ICS 29.130.20
CCS K 31

中华人民共和国国家标准

GB/T 7251.1—2023/IEC 61439-1:2020
代替 GB/T 7251.1—2013

低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则

Low-voltage switchgear and controlgear assemblies—Part 1: General rules

（IEC 61439-1:2020，IDT）

2023-08-06 发布　　2024-03-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　次

前言 …… Ⅷ
引言 …… Ⅹ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 5
4　符号和缩略语 …… 20
5　接口特性 …… 21
5.1　通则 …… 21
5.2　电压额定数据 …… 21
5.2.1　额定电压(U_n)(成套设备的) …… 21
5.2.2　额定工作电压(U_e)(成套设备中的一条电路的) …… 21
5.2.3　额定绝缘电压(U_i)(成套设备中的一条电路的) …… 21
5.2.4　额定冲击耐受电压(U_{imp})(成套设备的) …… 21
5.3　电流额定数据 …… 21
5.3.1　成套设备的额定电流(I_{nA}) …… 21
5.3.2　主出线电路的额定电流(I_n) …… 21
5.3.3　主电路但额定电流(I_{nc}) …… 22
5.3.4　额定峰值耐受电流(I_{pk}) …… 22
5.3.5　额定短时耐受电流(I_{cw})(成套设备中的一条电路的) …… 22
5.3.6　(成套设备或成套设备一条电路的)额定限制短路电流(I_q) …… 22
5.4　额定分散系数(RDF) …… 22
5.5　额定频率(f_n) …… 23
5.6　其他特性 …… 23
6　信息 …… 23
6.1　成套设备规定的标志 …… 23
6.2　文件 …… 24
6.2.1　关于成套设备的信息 …… 24
6.2.2　装卸、安装、操作与维护的使用说明书 …… 24
6.3　器件和/或元件的识别 …… 24
7　使用条件 …… 24
7.1　正常使用条件 …… 24
7.1.1　气候条件 …… 24
7.1.2　污染等级 …… 25
7.2　特殊使用条件 …… 25
7.3　运输、存放和安装条件 …… 25
8　结构要求 …… 26

8.1 材料和部件的强度 …… 26
8.1.1 通则 …… 26
8.1.2 防腐蚀 …… 26
8.1.3 绝缘材料的性能 …… 26
8.1.4 耐紫外线(UV)辐射 …… 27
8.1.5 机械强度 …… 27
8.1.6 提升装置 …… 27
8.2 成套设备外壳的防护等级 …… 27
8.2.1 对机械碰撞的防护(IK 代码) …… 27
8.2.2 防止触及带电部分以及外来固体和水的进入(IP 代码) …… 27
8.2.3 带有可移式部件的成套设备 …… 28
8.3 电气间隙和爬电距离 …… 28
8.3.1 通则 …… 28
8.3.2 电气间隙 …… 28
8.3.3 爬电距离 …… 28
8.4 电击防护 …… 29
8.4.1 通则 …… 29
8.4.2 基本防护 …… 29
8.4.3 故障保护 …… 30
8.4.4 Ⅱ类成套设备的附加要求 …… 31
8.4.5 稳态接触电流和电荷的限定 …… 32
8.4.6 操作和使用条件 …… 32
8.5 开关器件和元件的组合 …… 34
8.5.1 固定式部件 …… 34
8.5.2 可移式部件 …… 34
8.5.3 开关器件和元件的选择 …… 34
8.5.4 开关器件和元件的安装 …… 34
8.5.5 可接近性 …… 34
8.5.6 挡板 …… 35
8.5.7 开关位置的指示和操作方向 …… 35
8.5.8 指示灯和按钮 …… 35
8.5.9 功率因数补偿装置 …… 35
8.6 内部电路和连接 …… 35
8.6.1 主电路 …… 35
8.6.2 辅助电路 …… 36
8.6.3 裸导体和绝缘导线 …… 36
8.6.4 为减少短路的可能性，对无保护的带电导体的选择和安装 …… 37
8.6.5 主电路和辅助电路导体的识别 …… 37
8.6.6 保护导体(PE、PEL、PEM、PEN)和主电路的中性导体(N)以及中间导体(M)的识别 …… 37
8.6.7 交流电路中穿过铁磁外壳或铁磁板的导体 …… 37
8.7 冷却 …… 37
8.8 外接电缆端子 …… 37
9 性能要求 …… 38

9.4 介电性能 …… 38
9.4.1 通则 …… 38
9.4.2 工频耐受电压 …… 38
9.4.3 冲击耐受电压 …… 39
9.4.4 浪涌保护器件的保护 …… 39
9.5 温升极限 …… 39
9.5.1 通则 …… 39
9.5.2 根据周围空气温度调整额定电流 …… 39
9.6 短路保护和短路耐受强度 …… 40
9.6.1 通则 …… 40
9.6.2 有关短路耐受强度的信息 …… 40
9.6.3 峰值电流与短时电流之间的关系 …… 40
9.6.4 保护器件的配合 …… 40
9.7 电磁兼容性(EMC) …… 41
10 设计验证 …… 41
10.1 通则 …… 41
10.2 材料和部件的强度 …… 42
10.2.1 通则 …… 42
10.2.2 耐腐蚀性 …… 42
10.2.3 绝缘材料性能 …… 43
10.2.4 耐紫外线(UV)辐射验证 …… 44
10.2.5 提升 …… 45
10.2.6 机械碰撞防护(IK 代码)验证 …… 46
10.2.7 标志 …… 46
10.2.8 机械操作 …… 46
10.3 成套设备的防护等级(IP 代码) …… 46
10.4 电气间隙和爬电距离 …… 47
10.5 电击防护和保护电路完整性 …… 47
10.5.1 通则 …… 47
10.5.2 Ⅰ类成套设备外露可导电部分与保护电路之间的有效接地的连续性 …… 47
10.5.3 保护电路的短路耐受强度 …… 47
10.6 开关器件和元件的组合 …… 48
10.6.1 通则 …… 48
10.6.2 电磁兼容性 …… 48
10.7 内部电路和连接 …… 48
10.8 外接导线端子 …… 48
10.9 介电性能 …… 48
10.9.1 通则 …… 48
10.9.2 工频耐受电压 …… 49
10.9.3 冲击耐受电压 …… 50
10.9.4 绝缘材料外壳的试验 …… 51
10.9.5 外部门或覆板安装的绝缘材料操作手柄 …… 51
10.9.6 绝缘材料覆盖以提供电击防护的导体和危险带电部分的试验 …… 51

10.10 温升 …… 51
10.10.1 通则 …… 51
10.10.2 通过试验验证 …… 52
10.10.3 验证比较 …… 56
10.10.4 评估验证 …… 58
10.11 短路耐受强度 …… 60
10.11.1 通则 …… 60
10.11.2 可免除短路耐受强度验证的成套设备电路 …… 60
10.11.3 通过与一个参考设计比较进行验证——使用核查表 …… 60
10.11.4 通过与一个参考设计比较进行验证——使用计算 …… 61
10.11.5 用试验进行验证 …… 61
10.12 电磁兼容性(EMC) …… 65
11 例行检验 …… 65
11.1 通则 …… 65
11.2 防止触及带电部分以及外来固体和水的进入外壳的防护等级 …… 66
11.3 电气间隙和爬电距离 …… 66
11.4 电击防护和保护电路完整性 …… 66
11.5 内装元件的组合 …… 66
11.6 内部电路和连接 …… 66
11.7 外接导线端子 …… 66
11.8 机械操作 …… 66
11.9 介电性能 …… 67
11.10 布线、操作性能和功能 …… 67
附录A(规范性) 适合连接外部电缆端子用铜电缆的最小和最大截面积(见8.8) …… 77
附录B(规范性) 在短时电流引起热应力情况下,保护导体截面积的计算方法 …… 78
附录C(资料性) 用户信息模板 …… 79
附录D(资料性) 设计验证 …… 83
附录E(资料性) 额定分散系数 …… 84
E.1 通则 …… 84
E.2 成套设备内出线电路的额定分散系数 …… 84
附录F(规范性) 电气间隙和爬电距离的测量 …… 88
F.1 基本原则 …… 88
F.2 槽的使用 …… 88
附录G(规范性) 电源系统的标称电压与设备的额定冲击耐受电压的关系 …… 92
附录H(资料性) 铜电缆的工作电流和功率损耗 …… 93
附录I(资料性) 振荡电流的热等效 …… 96
附录J(规范性) 电磁兼容性(EMC) …… 97
J.1 通则 …… 97
J.3 术语和定义 …… 97
附录K(规范性) 裸铜母排的工作电流和功率损耗 …… 104

附录 L（资料性） 温升试验指南 …… 106
L.1 通则 …… 106
L.2 温升极限 …… 107
L.3 试验 …… 107
L.4 评估验证 …… 108
L.5 与参考设计的比较验证 …… 108
附录 M（规范性） 通过计算与参考设计比较的母线结构短路耐受强度的验证 …… 110
M.1 通则 …… 110
M.2 术语和定义 …… 110
M.3 验证方法 …… 111
M.4 应用条件 …… 111
附录 N（资料性） 某些国家的注的清单 …… 114
参考文献 …… 119

图 E.1 典型的成套设备 …… 85
图 E.2 示例 1，表 E.1——额定分散系数为 0.68 的成套设备功能单元负载 …… 86
图 E.3 示例 2，表 E.1——B 单元额定分散系数为 0.5 和 C 单元额定分散系数为 0.68 的成套设备功能单元负载 …… 87
图 F.1 电气间隙和爬电距离的测量 …… 88
图 I.1 计算平均热效应实例 …… 96
图 J.1 端口的示例 …… 97
图 L.1 温升验证方法 …… 109
图 M.1 已试验的母线结构(TS) …… 110
图 M.2 未试验的母线结构(NTS) …… 111
图 M.3 拐角处有支撑件的角形母线配置 …… 112

表 1 空气中的最小电气间隙(8.3.2) …… 67
表 2 最小爬电距离(8.3.3) …… 68
表 3 铜保护导体的截面积(8.4.3.2.2) …… 69
表 4 导体的选择和安装要求(8.6.4) …… 69
表 5 铜保护导体(PE)的最小端子连接能力(8.8) …… 70
表 6 温升限值(9.2) …… 70
表 7 系数 n 的值(9.3.3) …… 71
表 8 主电路的工频耐受电压值(10.9.2) …… 72
表 9 辅助电路的工频耐受电压值(10.9.2) …… 72
表 10 冲击耐受试验电压(10.9.3) …… 72
表 11 用于额定电流为 400 A 及以下的铜试验导体(10.10.2.3.2) …… 72
表 12 用于额定电流为 400 A～7 000 A 的铜试验导体(10.10.2.3.2) …… 73

表 13　通过与一个参考设计比较进行短路验证，核查表(10.5.3.3,10.11.3 和 10.11.4) …… 74
表 14　预期故障电流与铜丝直径的关系 …… 75
表 15　气候条件 …… 75
表 A.1　适合连接外部电缆端子用铜电缆的截面积 …… 77
表 B.1　不包括在电缆内的绝缘保护导体的 k 值，或与电缆护套接触的保护导体的 k 值 …… 78
表 C.1　用户信息模板 …… 79
表 D.1　特定成的设计验证清单 …… 83
表 E.1　成套设备负载示例 …… 85
表 F.1　槽宽度的最小值 …… 88
表 G.1　电源系统的标称电压与设备额定冲击耐受电压之间的相应关系 …… 92
表 H.1　导体温度 70 ℃的单芯铜电缆的工作电流和功率损耗(成套设备内部环境温度 55 ℃) …… 93
表 H.2　电缆在导体允许温度为 70 ℃时的降容系数 k_1 …… 95
表 J.1　A 类环境中对 EMC 抗扰度的试验(见 J.10.12.2) …… 100
表 J.2　B 类环境中对 EMC 抗扰度的试验(见 J.10.12.2) …… 101
表 J.3　电磁骚扰出现时的验收准则 …… 102
表 K.1　矩形截面铜排的工作电流和功率损耗，水平走向，最大两垂直排列，频率 50 Hz～60 Hz(成套设备内的环境空气温度为 55 ℃，导体温度为 70 ℃) …… 104
表 K.2　成套设备内不同空气温度和/或不同导体温度的系数 k_2 …… 105

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是GB/T 7251《低压成套开关设备和控制设备》的第1部分。GB/T 7251已经发布了以下部分：

——第1部分：总则；

——第2部分：成套电力开关和控制设备；

——第3部分：由一般人员操作的配电板(DBO)；

——第4部分：对建筑工地用成套设备(ACS)的特殊要求；

——第5部分：公用电网电力配电成套设备；

——第6部分：母线干线系统(母线槽)；

——第7部分：特定应用的成套设备——如码头、露营地、市集广场、电动车辆充电站；

——第8部分：智能型成套设备通用技术要求；

——第10部分：规定成套设备的指南。

本文件代替GB/T 7251.1—2013《低压成套开关设备和控制设备　第1部分：总则》，与GB/T 7251.1—2013相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

——更改了文件的范围，在范围中增加了本文件不适用的说明，例如电力电子转换器系统和设备(PECS)、开关电源(SMPS)、不间断电源(UPS)、基本传动模块(BDM)、成套传动模块(CDM)、调速电气传动系统(PDS)、和其他电子设备；(见第1章，2013年版的第1章)；

——增加了成套设备主电路型额定电流的定义(见3.8.10.6)；

——增加了成套设备主电路型额定电流的接口特性(见5.3.3)；

——更改了与型额定电流这一新特性相关的要求和温升验证(见3.8.11、5.3.1、5.3.2、5.4，2013年版的3.8.11、5.3.1、5.3.2、5.4；见10.10.1、10.10.2.3、10.10.4，附录L，2013年版的10.10.1、10.10.2.3、10.10.4，附录O)；

——更改了与直流有关的相关规定(见3.7.18、3.8.9.2、3.8.10.3、5.3.5、9.3.3、10.9.2、10.9.3、10.11.2、10.11.5.4、表9，2013年版的3.8.9.2、3.8.10.3、5.3.4、9.3.3、10.9.2、10.9.3、10.11.5.4、表9)；

——更改了电击防护的相关规定，引入了电击防护的Ⅰ类和Ⅱ类成套设备的概念，并相应增加了此类成套设备的相应要求和验证。(见3.7.24、3.7.25、8.4.3、10.11.5.6，2013年版的8.4.3、10.11.5.6)。

本文件等同采用IEC 61439-1:2020《低压成套开关设备和控制设备　第1部分：总则》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——纳入了IEC 61439-1:2020/COR1:2021的技术勘误内容，所涉及的条款的外侧页边空白位置用垂直双线(‖)进行了标示。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国低压成套开关设备和控制设备标准化技术委员会(SAC/TC 266)归口。

本文件起草单位：天津电气科学研究院有限公司、天津天传电控设备检测有限公司、中国质量认证中心、施耐德电气(中国)有限公司上海分公司、浙江省机电产品质量检测所有限公司、雷德天马电器股份有限公司、贵州长通电气有限公司、青岛特锐德电气股份有限公司、泰江科技股份有限公司、浙江正泰

电器股份有限公司、正泰电气股份有限公司、北京普瑞斯玛电气技术有限公司、盛隆电气集团有限公司、维源技术有限公司、国网上海能源互联网研究院有限公司、中国电力科学研究院有限公司武汉分院、上海南空通讯电器设备有限公司、库柏(宁波)电气有限公司、上海友邦电气(集团)股份有限公司、西门子(中国)有限公司上海分公司、浙宝电气(杭州)集团有限公司、广州白云电器设备股份有限公司、上海华建开关有限公司、万控智造股份有限公司、昇辉智能科技股份有限公司、湖南电科院检测集团有限公司、上海拓中电气有限公司、大全集团有限公司、杭州之江开关股份有限公司、红光电气集团有限公司、川开电气有限公司、西门子工厂自动化工程有限公司、江苏威腾配电有限公司、常熟开关制造有限公司(原常熟开关厂)、施耐德(广州)母线有限公司、中检质技检验检测科学研究院有限公司、厦门明翰电气股份有限公司、巨邦集团有限公司、高原(山东)机电设备有限公司、上海欧通电气有限公司、天津市特变电工变压器有限公司、山东万海电气科技有限公司、泰安市三山电气有限公司、天津市天传德科科技发展有限公司、福建裕能电力成套设备有限公司、山东厚俞实业有限公司、杭州欣美成套电器制造有限公司、宁波天安(集团)股份有限公司、北京路电电气设备有限公司、深圳市光辉电器实业有限公司、广东广信科技有限公司、深圳市勤诚成检测技术有限公司、重庆众恒电器有限公司、广东科源电气股份有限公司、珠海益源电气有限公司、护航母线(江苏)有限公司、浙江俊图电气自动化股份有限公司、江苏南瑞泰事达电气有限公司、大航有能电气有限公司、人民电器集团上海有限公司、天津滨海机电设备制造有限公司、广东伯林电气设备厂有限公司、大连华锐重工集团股份有限公司电控装备厂、中天电气技术有限公司、东营市瑞洲石油科技有限公司、山东万盛电气有限公司、镇江加勒智慧电力科技股份有限公司、江苏亿能电气有限公司、山东胜利通海集团东营天蓝节能科技有限公司、江苏华强电力设备有限公司、北京昊创瑞通电气设备股份有限公司、天祥(广州)技术服务有限公司、山东汉德自动化控制设备有限公司、杭州电力设备制造有限公司余杭群力成套电气制造分公司、天津瑞盛博源智能装备有限公司、胜利油田胜利电器有限责任公司、山东恒东实业集团有限公司、淄博市临淄恒立电器有限公司、天津市产品质量监督检测技术研究院电工技术科学研究中心、精泰电气集团有限公司、福建鼎达电气股份有限公司、山东鲁能力源电器设备有限公司、合肥博雷电气有限公司、重庆施能电力设备有限公司、深圳市中电通科技实业有限公司、俊邦电气有限公司、深圳市华诚电力设备有限公司、博纳认证有限公司、科畅电气有限公司、深圳金奇辉电气有限公司、万可电子(天津)有限公司、宁波恒升电气有限公司、北京中兴天传电气技术有限公司、许昌豫盛昌电气股份有限公司、宁夏凯晨电气集团有限公司、裕成电器有限公司、科润智能控制股份有限公司、义乌市输变电工程有限公司八方电气分公司、河南瑞尔电气股份有限公司、山东省产品质量检验研究院、河南正宇电气有限公司、雷盾电气集团有限公司、河南省三禾电气集团有限公司、大唐东营发电有限公司、河南神马电气有限公司、浙江江山派光电气有限公司、佛山市顺德区本立电器科技有限公司、博方电气有限公司、浙江精力工具有限公司、深圳市华通电气设备有限公司、广东省顺德开关厂有限公司、杭州电力设备制造有限公司富阳容大成套电气制造分公司、宁波新胜中压电器有限公司、宁波恒力达科技有限公司、广东正超电气有限公司、深圳市欣亚特电器设备有限公司。

本文件主要起草人：周锋、刘洁、王晋鑫、郑士泉、陈磊、袁萍平、聂加斌、张艾、周君、章雪峰、魏小华、郑春华、任艺、徐正新、房明东、韩瑞银、刘晓军、高广春、胡标、王国良、黄勤、姜晓东、邓玉全、徐旭强、廖恒才、于相勇、李斌、倪延辉、杨全兵、庄耀定、林瑶、张兵、戴立俊、杨益民、管瑞良、冯成华、甘梨利、魏益松、韩羽、陈卢明、杨东亮、项章峰、刘铭、李玉刚、刘振、保良、金贺、胡景光、王鹏程、罗景华、许晓玲、贺来、蔡贵镇、黄民喜、王全兵、王景阳、曾建辉、王子豪、谢卫锋、臧永正、姚久明、章建新、董强、黄松杰、张杰、吉鸿志、杨伟、单豪、马呈璋、王宽、韩国强、马宇清、闫秀章、阎建新、张新峰、留毅、郭宝生、刘军、崔建国、潘光明、吕治国、郑自施、陈泽银、张少宝、刘凯、李爱平、高俊、苏杭、张其仁、易亮、魏征、金军业、汪芳、周博炼、赵建平、胡明强、朱建华、柏树宏、刘建华、丁兴群、贡永贤、丛林、郭亿宁、钟新国、曾云杰、王鹏、李明、毛锋、林诺锋、李兴朝、胡靖铭、吴郁君、蒙正林、赵志勇、张锡波、赵志伟、吴厚炜、刘德芳。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——1997年首次发布为GB 7251.1—1997，2005年第一次修订；

引　言

GB/T 7251 采用 IEC 国际标准，以适应国际间的贸易、技术经济交流的需要。

本文件的目的是尽可能协调适用于低压成套开关设备和控制设备的所有一般性质的规则和要求，以获得成套设备的要求和验证的一致性，并避免在其他标准中进行验证。因此，被视为通用的各类成套设备标准的所有要求，以及广泛关注和应用的特定主题，如温度、介电性能等，都汇集在本文件中。

各类低压成套开关设备和控制设备，确定其所有要求和相应的验证方法只需两个主要标准：

——基础标准，(本文件)在特定标准中被称为 GB/T 7251.1，它覆盖了各类低压成套开关设备和控制设备；

——特定成套设备标准，在下文中称作相关成套设备标准。

如果基本规则不适用时，则特定成套设备标准不要求，故不需提出；如果基本规则对于特殊场合的要求不充分时，则特定成套设备标准可以增加要求；除非有可靠、充足的技术理由，特定成套设备标准中与基本规则相违背是不被允许的。

在本文件中，如果对另一条款作了交叉引用，则在适用的情况下，该引用适用于经特定成套设备标准修订的该条款。

附录 N 列出了与本文件不同做法的"某些国家的注的清单"。

GB/T 7251 中的其他部分均为产品标准，产品标准中引用了大量的本文件中规定的技术要求和试验方法，因此其他部分与本文件结合使用。

GB/T 7251 拟由九个部分构成。

——第 1 部分：总则。旨在规定各类成套设备标准的通用要求。

——第 2 部分：成套电力开关和控制设备。旨在规定成套电力开关和控制设备的特定要求和验证方法。[1]

——第 3 部分：由一般人员操作的配电板(DBO)。旨在规定由一般人员操作的配电板的特定要求和验证方法。

——第 4 部分：对建筑工地用成套设备(ACS)的特殊要求。旨在规定建筑工地用成套设备的特定要求和验证方法。

——第 5 部分：公用电网电力配电成套设备。旨在规定公用电网动力配电成套设备的特定要求和验证方法。

——第 6 部分：母线干线系统(母线槽)。旨在规定母线槽的特定要求和验证方法。

——第 7 部分：特定应用的成套设备——如码头、露营地、市集广场、电动车辆充电站。旨在规定特定应用的成套设备的特定要求和验证方法。

——第 8 部分：智能型成套设备通用技术要求。旨在规定智能型成套设备的特定要求，如网络连接、四遥功能等及其验证方法。

——第 10 部分：规定成套设备的指南。旨在为成套设备的用户提供应用导则。

1) 第 2 部分包括用于光伏发电的成套设备的要求。

低压成套开关设备和控制设备
第1部分：总则

1 范围

本文件规定了低压成套开关设备和控制设备的通用定义、使用条件、结构要求、技术特性和验证要求。

注：本文件中，本语成套设备（见3.1.1）是指低压成套开关设备和控制设备。

为了确定成套设备的符合性，IEC 61439-2及以后的相关部分的要求与引用本文件的要求一起适用。对于IEC 61439-4及以后未涉及的成套设备，IEC 61439-2适用。

本文件仅适用于符合下述相关的成套设备标准要求的成套设备：

——额定电压交流不超过1 000 V、或直流不超过1 500 V的成套设备；

——为连线电缆的标称频率不超过1 000 Hz而设计的成套设备；

——适用于户内和户外的成套设备；

——带外壳或不带外壳的固定式或移动式成套设备；

——与发电、输电、配电和电能转换的设备以及控制电能消耗的设备相关联使用的成套设备。

本文件不适用于符合各自相关产品标准的单独的器件及整装元件，如电机起动器、熔断器式开关、电力电子转换器系统和设备（PECS）、开关电源（SMPS）、不间断电源（UPS）、基本传动控制（BDM）、成套传动模块（CDM）、测量电气量系统（PMS）、和其他电子设备。本文件描述了器件和整装元件集成到成套设备或集成到空壳体并组成成套设备。

对于一些特殊，例如爆炸性环境、功能安全的应用，除了IEC 61439-2（及后续部分）规定的要求外，可能需要遵守其他标准或法规的要求。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温（IEC 60068-2-2，2007，IDT）

GB/T 2423.4—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db：交变湿热（12 h+12 h循环）（IEC 60068-2-30：2005，IDT）

GB/T 2423.17—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾（IEC 60068-2-11：1981，IDT）

GB/T 4025—2010 人机界面标志标识的基本和安全规则 指示器和操作器件的编码规则（IEC 60073：2002，IDT）

GB/T 4026—2019 人机界面标志标识的基本和安全规则 设备端子、导体终端和导体的标识（IEC 60445：2017，IDT）

GB/T 4205—2010 人机界面标志标识的基本和安全规则 操作规则（IEC 60447：2004，IDT）

GB/T 5094.1—2018 工业系统、装置与设备以及工业产品 结构原则与参照代号 第1部分：基

本规则(IEC 81346-1:2009,IDT)

GB/T 5169.10—2017 电工电子产品着火危险试验 第10部分:灼热丝/热丝基本试验方法 灼热丝装置和通用试验方法(IEC 60695-2-10:2013,IDT)

GB/T 5169.11—2017 电工电子产品着火危险试验 第11部分:灼热丝/热丝基本试验方法 成品的灼热丝可燃性试验方法(GWEPT)(IEC 60695-2-11:2014,IDT)

GB/T 11021—2014 电气绝缘 耐热性和表示方法(IEC 60085:2007,IDT)

GB/T 16895.6—2014 低压电气装置 第5-52部分:电气设备的选择和安装 布线系统(IEC 60364-5-52:2009,IDT)

GB/T 16895.18—2010 建筑物电气装置 第5-51部分:电气设备的选择和安装 通用规则(IEC 60364-5-51:2005,IDT)

GB/T 16935.1—2008 低压系统内设备的绝缘配合 第1部分:原理、要求和试验(IEC 60664-1:2007,IDT)

GB/T 17626.4—2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验(IEC 61000-4-4:2012,IDT)

GB/T 17626.6—2017 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度(IEC 61000-4-6:2013,IDT)

GB/T 17627—2019 低压电气设备的高电压试验技术 定义、试验和程序要求、试验设备(IEC 61180:2016,IDT)

GB 17799.3—2012 电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的发射(IEC 61000-6-3:2011,IDT)

注:GB 17799.3—2012被引用的内容与IEC 61000-6-3:2006/AMD1:2010被引用的内容无技术差异。

GB/T 20641—2014 低压成套开关设备和控制设备空壳体的一般要求(IEC 62208:2011,IDT)

GB/T 24276—2017 通过计算进行低压成套开关设备和控制设备温升验证的一种方法(IEC TR 60890:2014,IDT)

GB/T 35698.1—2017 短路电流效应计算 第1部分:定义和计算方法(IEC 60865-1:2011,IDT)

ISO 178:2019 塑料 弯曲性能的测定(Plastics—Deter mination of flexural properties)

注:GB/T 9341—2008 塑料 弯曲性能的测定(ISO 178:2001,IDT)

ISO 179-1:2010 塑料 简支梁冲击性能的测定 第1部分:非仪器化冲击试验(Plastics—Determination of Charpy impact properties—Part 1: Noninstrumented impact test)

注:GB/T 1043.1—2008 塑料 简支梁冲击性能的测定 第1部分:非仪器化冲击试验(ISO 179-1:2000,IDT)

ISO 179-2:2020 塑料 简支梁冲击性能的测定 第2部分:仪器化冲击试验(Plastics—Determination of Charpy impact properties—Part 2: Instrumented impact test)

注:GB/T 1043.2—2018 塑料 简支梁冲击性能的测定 第2部分:仪器化冲击试验(ISO 179-2:1997,IDT)

ISO 2409 色漆和清漆 划格试验(Paints and varnishes—Cross-cut test)

注:GB/T 9286—2021 色漆和清漆 划格试验(ISO 2409:2020,IDT)

ISO 4628-3:2016 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第3部分:生锈等级的评定(Paints and varnishes—Evaluation of degradation of coatings—Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance—Part 3: Assessment of degree of rusting)

注:GB/T 30788.3—2014 色漆和清漆 涂层老化的评价 缺陷的数量和大小以及外观均匀变化程度的标识 第3部分:生锈等级的评定(ISO 4628-3:2003,IDT)

ISO 4892-2:2013 塑料 实验室光源暴露试验方法 第2部分:氙弧灯(Plastics—Methods of exposure to laboratory light sources—Part 2: Xenonarc lamps)

注:GB/T 16422.2—2014 塑料 实验室光源暴露试验方法 第2部分:氙弧灯(ISO 4892-2:2006,IDT)

ISO 7010 图形符号 安全色和安全标志 注册的安全标志(Graphical symbols—Safety colours and safety signs—Registered safety signs)

注：GB/T 31523.1—2015 安全信息识别系统 第1部分：标志(ISO 7010:2011,MOD)

IEC 60364(所有部分) 低压电气装置(Low-voltage electrical installations)

注：GB/T 16895(所有部分) 低压电气装置[IEC 60364(所有部分)]

IEC 60364-1 低压电气装置 第1部分：基本原则、一般特性评估和定义(Low-voltage electrical installations—Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions)

注：GB/T 16895.1—2008 低压电气装置 第1部分：基本原则、一般特性评估和定义(IEC 60364-1:2005,IDT)

IEC 60364-4-41:2005 低压电气装置 第4-41部分：安全防护 电击防护(Low-voltage electrical installations—Part 4-41: Protection for safety—Protection against electric shock)

IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017 低压电气装置 第4-41部分：安全防护 电击防护第1号修改单

注：GB/T 16895.21—2020 低压电气装置 第4-41部分：安全防护 电击防护(IEC 60364-4-41:2017,IDT)

IEC 60529:1989 外壳防护等级(IP代码)[Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)][2)]

IEC 60529:1989/AMD1:1999 外壳防护等级(IP代码)第1号修改单

IEC 60529:1989/AMD2:2013 外壳防护等级(IP代码)第2号修改单

注：GB/T 4208—2017 外壳防护等级(IP代码)(IEC 60529:2013,IDT)

IEC 60695-2-12 电工电子产品着火危险试验 第12部分：灼热丝/热丝基本试验方法 材料的灼热丝可燃性指数(GWFI)试验方法[Fire hazard testing—Part 2-12: Glowing/hot-wire based test methods—Glow-wire flammability index (GWFI) test method for materials]

注：GB/T 5169.12—2013 电工电子产品着火危险试验 第12部分：灼热丝/热丝基本试验方法 材料的灼热丝可燃性指数(GWFI)试验方法(IEC 60695-2-12:2010,IDT)

IEC 60947-4-1:2018 低压开关设备和控制设备 第4-1部分：接触器和电动机起动器 机电式接触器和电动机起动器(Low-voltage switchgear and controlgear—Part 4-1: Contactors and motor-starters—Electromechanical contactors and motor-starters)

注：GB/T 14048.4—2020 低压开关设备和控制设备 第4-1部分：接触器和电动机起动器 机电式接触器和电动机起动器(含电动机保护器)(IEC 60947-4-1:2018,MOD)

IEC 61000-4-2:2008 电磁兼容(EMC) 第4-2部分：试验和测量技术 静电放电抗扰度试验[Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-2: Testing and measurement techniques—Electrostatic discharge immunity test]

注：GB/T 17626.2—2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验(IEC 61000-4-2:2008,IDT)

IEC 61000-4-3:2020 电磁兼容(EMC) 第4-3部分：试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验[Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-3: Testing and measurement techniques—Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test]

注1：IEC 61000-4-3:2020被引用的内容与IEC 61000-4-3:2006被引用的内容无技术差异。

注2：GB/T 17626.3—2016 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验(IEC 61000-4-3:2010,IDT)

IEC 61000-4-5:2014 电磁兼容(EMC) 第4-5部分：试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验(Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-5: Testing and measurement techniques—Surge immunity test)[3)]

IEC 61000-4-5:2014/AMD1:2017 电磁兼容(EMC) 第4-5部分：试验和测量技术 浪涌(冲击)

2) 合并版2.2(2013)，包括了IEC 60529(1989)及其第1号修改单(1999)和第2号修改单(2013)。

3) 有一个统一的版本3.1(2017)，它包括了IEC 61000-4-5(2014)及其修订1(2017)。

抗扰度试验第1号修改单

注：GB/T 17626.5—2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验(IEC 61000-4-5:2014,IDT)

IEC 61000-4-8:2009 电磁兼容 第4-8部分：试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验[Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-8: Testing and measurement techniques—Power frequency magnetic field immunity test]

注：GB/T 17626.8—2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验(IEC 61000-4-8:2001,IDT)

IEC 61000-4-11:2020 电磁兼容 试验和测量技术 每相输入电流不超过16 A的设备的电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验[Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-11: Testing and measurement techniques—Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current up to 16 A per phase]

注：GB/T 17626.11—2008 电磁兼容 试验和测量技术 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验(IEC 61000-4-11:2004,IDT)

IEC 61000-6-4:2018 电磁兼容性 第6-4部分：通用标准 工业环境中的发射标准(Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 6-4: Generic standards—Emission standard for industrial environments)

注：GB 17799.4—2012 电磁兼容 通用标准 工业环境中的发射标准(IEC 61000-6-4:2006+A1:2010,IDT)

IEC 61082-1:2014 电气技术用文件的编制 第1部分：规则(Preparation of documents used in electrotechnology—Part 1: Rules)

注：GB/T 6988.1—2008 电气技术用文件的编制 第1部分：规则(IEC 61082-1:2006,IDT)

IEC 61439(所有部分) 低压成套开关设备和控制设备(Low-voltage switchgear and controlgear assemblies)

注：GB/T 7251(所有部分) 低压成套开关设备和控制设备(IEC 61439系列部分)

IEC 61921:2017 电力电容器 低压功率因数补偿装置(Power capacitors—Low-voltage power factor correction banks)

注：GB/T 2259—2008 电力电容器 低压功率因数补偿装置(IEC 61921:2003,IDT)

IEC 81346-2:2019 工业系统、装置和设备、工业产品 结构原则和参考标识 第2部分 对象分类和类的代码(Industrial systems, installations and equipment and industrial products—Structuring principles and reference designations—Part 2: Classification of objects and codes for classes)

注：GB/T 5094.2—2018 工业系统、装置与设备以及工业产品 结构原则与参照代号 第2部分：项目的分类与分类码(IEC 81346-2:2009,IDT)

CISPR 11:2015 工业、科技和医疗设备 无线电频率干扰特性 测量限值和方法(Industrial, scientific and medical equipment—Radio-frequency disturbance characteristics—Limits and methods of measurement)

CISPR 11:2015/AMD1:2016 工业、科技和医疗设备 无线电频率干扰特性 测量限值和方法第1号修改单

CISPR 11:2015/AMD2:2019 工业、科技和医疗设备 无线电频率干扰特性 测量限值和方法第2号修改单

注：GB 4824—2019 工业、科学和医疗设备 射频骚扰特性 限值和测量方法(CISPR 11:2015,IDT)

CISPR 32:2015 多媒体设备的电磁兼容性 辐射要求(Electromagnetic compatibility of multimedia equipment—Emission requirements)

CISPR 32:2015/AMD1:2019 多媒体设备的电磁兼容性 辐射要求第1号修改单

注：GB/T 9254.1—2021 信息技术设备、多媒体设备和接收机 电磁兼容 第1部分：发射要求(CISPR 32:2015,MOD)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 通用术语

3.1.1

低压成套开关设备和控制设备 low-voltage switchgear and controlgear assembly

成套设备 assembly

由制造商制造确定交货状态的设备(3.3.5)，包含一个或多个低压开关器件和与之相关的控制、测量、信号、保护、调节等设备，以及所有内部的电气和机械的连接及结构部件组成总组合体。

注1：在本文件中，术语成套设备对于低压成套开关设备和控制设备。

注2：术语"开关器件"包括机械开关器件和非机械开关电器，例如软起动器。开关设备、辅助电路还可包括附属设备、测量仪器、端子、标志、电子设备、软件、电气控制设备、电子测量和保护装置、总线通信、可编程逻辑控制器等。

3.1.2

成套设备系统 assembly system

初始制造商规定的，能够满足预期设计应用要求的组合成完整成套设备的一系列机械和电气元件(外壳、母线、功能单元、辅助电路和相关的控制等)。

3.1.3

主电路 main circuit

在成套设备中，一条用来传输电能的电路上的所有导电部分。

[来源：IEC 60050-441:1984，441-13-02]

3.1.4

辅助电路 auxiliary circuit

在成套设备中，一条用于控制、测量、信号、调节和处理数据等的电路(除了主电路以外的)中的所有导电部分。

注：成套设备的辅助电路包括开关电器的控制电路和辅助电路。

[来源：IEC 60050-441:1984，441-13-03，有修改]

3.1.5

母线 busbar

一种能与几条电路分别连接的低阻抗导体。

注：母线这个术语是一般性的并且与导体的材料、几何形状、尺寸、面积无关。

[来源：GB/T 2900.83—2008，151-12-30，有修改]

3.1.6

主母线 main busbar

连接一条或几条配电母线和/或进线和出线单元的母线。

注：连接在功能单元和主母线之间的导体不被认为是主母线的一部分。

3.1.7

配电母线 distribution busbar

在一个框架单元内，连接到主母线上，并向出线单元供电的母线。

注：在功能单元和配电母线之间连接的导体不作为配电母线的一部分。

3.1.8

功能单元 functional unit

由完成组同功能的所有电气和机械部件包括开关电器组成的成套设备的一部分。

注：连接功能单元与主母线或配电母线以及外部导体端子的导线是功能单元的一部分。其虽然连接在功能单元上，但位于隔室或封闭的防护空间外部的导体(例如公共隔室内连接的辅助电缆)不视为功能单元的一部分。

3.1.9

进线单元 incoming unit

把电能馈送到成套设备中去的功能单元。

3.1.10

出线单元 outgoing unit

把电能输送给一个或多个出线电路的功能单元。

3.1.11

短路保护电器 short-circuit protective device;SCPD

用分断短路电流来保护电路或电路部件免受短路电流损坏的电器。

[来源:IEC 60947-1:2020,3.4.21]

3.1.12

限流器件 current-limiting device

在规定的电流范围内，限止允通电流达到预期的峰值，并限制允通能量(I^2t)的 SCPD。

注 1：允通电流也称为截止电流(参见 IEC 60050-441:1984，441-17-12)。

注 2：限流器件的例子是符合 IEC 60947-2 的限流断路器和符合 IEC 60269-2 的熔断器。

3.1.13

非限流器件 non-current-limiting device

在规定的电流范围内，允通电流达到预期的峰值，并能具有额定短时耐受电流(I_{cw})，使其在短时电流持续时间内能够承受允通能量的 SCPD。

3.1.14

线导体 line conductor;L

并用，相导体 phase conductor(AC 系统)

并用，极导体 pole conductor(DC 系统)

正常运行时带电并能用于输电或配电的导体，但不是中性导体或中间导体。

[来源:IEC 60050-195:1998，195-02-08]

3.1.15

相关成套设备标准 relevant assembly standard

IEC 61439-2 及以后，涵盖了通用类型成套设备的标准。

示例：成套电力开关和控制设备(PSC 成套设备)。

3.2 成套设备结构单元

3.2.1

固定式部件 fixed part

设计成固定安装的，由组装在公共支撑上并在其上配线的元件组成的部件。

3.2.2

可移式部件 removable part

即使在与其连接的电路可带电的情况下，也可从成套设备中完整的取出和放回的，由组装在公共支架上并在其上配线的元件组成的部件。

3.2.3

连接位置 connected position

可移式部件为实现其预期功能而处于完好的连接状态的一种位置。

3.2.4

移出位置 removed position

可移式部件获得成套设备外部，并与成套设备在机械上和电气上均脱离的一种位置。

3.2.5

插入式联锁 insertion interlock

一种防止可移式部件插入其非预定位置的装置。

3.2.6

固定连接 fixed connection

既可以用工具连接也可以不用工具连接，并且只能用工具断开连接的一种连接。

3.2.7

框架单元 section

成套设备中两个相邻的垂直分界面之间的结构单元。

3.2.8

框架单元 sub-section

成套设备中框架单元内的两个相邻的水平或垂直分界面之间的结构单元。

3.2.9

隔室 compartment

除进行内部接线、调整或通风时才需要打开外，通常是封闭着的一种框架单元或框架单元。

3.2.10

运输单元 transport unit

不进行拆卸即可适合于运输的完整的成套设备或其中一部分。

3.2.11

活动挡板 shutter

能在下述两个位置间移动的成套设备的部件：

——移动到这一位置时，允许可移式部件的动触点和静触点接合，并且

——移动到另一位置时，作为覆板或隔板将静触点屏蔽起来。

[来源：IEC 60050-441:1984，441-13-07，有修改]

3.3 成套设备外部设计

3.3.1

开启式成套设备 open-type assembly

一种由支撑电气设备的支撑结构所组成的，电气设备的带电部分易被触及的成套设备。

3.3.2

固定面板式成套设备 dead-front assembly

带有前护板，其他的面仍可能易于触及带电部分的开启式成套设备。

3.3.3

封闭式成套设备 enclosed assembly

除安装面外，所有面都封闭，以此方式确保满足给定的防护等级的成套设备。

3.3.4

柜式成套设备 cubicle-type assembly

可由若干个框架单元、框架单元或隔室组成的，封闭的立式成套设备。

3.3.5

柜组式成套设备 multi-cubicle-type assembly

数个柜式成套设备机械的组合在一起，并成一种组合体。

3.3.6

台式成套设备 desk-type assembly

具有控制、测量、信号等器件，带有水平或倾斜控制面板，或二者兼有的封闭式成套设备。

3.3.7

箱式成套设备 box-type assembly

安装在水平面上的一种封闭式成套设备。

3.3.8

箱组式成套设备 multi-box-type assembly

数个箱式成套设备机械的组合在一起，带有或不带有公共支撑框架，通过两个相邻的箱式成套设备的邻接面的开孔进行电气连接的一种组合体。

3.3.9

安装在墙表面的成套设备 wall-mounted surface type assembly

安装在墙体表面的成套设备。

3.3.10

嵌入墙中的成套设备 wall-mounted recessed type assembly

安装在墙面凹槽里，外壳不支撑上面部分的墙体的成套设备。

3.3.11

落地式成套设备 floor-standing assembly

安装在地面上的成套设备。

3.4 成套设备结构部件

3.4.1

支撑结构 supporting structure

用来支撑成套设备中的各种元件和任何一种外壳的，成套设备的结构组成部分。

3.4.2

安装结构 mounting structure

用来支撑成套设备但不作为成套设备的组成部分的一种结构部件。

3.4.3

安装板 mounting plate

用于支撑各种元件并且适合于在成套设备中安装的板。

3.4.4

安装框架 mounting frame

用于支撑各种元件并且适合于安装在成套设备中的一种框架。

3.4.5

外壳 enclosure

能提供预期应用上相适的防护类型和防护等级的外罩。

[来源:IEC 60050-195:1998,195-02-35]

3.4.6

罩板 cover

成套设备外壳上的外部部件。

3.4.7

门 door

一种带铰链的或可滑动的罩板。

3.4.8

可移式罩板 removable cover

用来覆盖外壳上的开口的,当进行某些操作和检验时,能被移开的一种罩板。

3.4.9

盖板 cover plate

用它来遮盖外壳上的开口,以提供对成型组件或其他设备在其位置上的成套设备上的一种部件。

注1:设备投入运行后此盖板一般不移开。

注2:此盖板主要配备电缆入口。

3.4.10

隔板 partition

将一个隔室与其他隔室分开的一个成套设备的部件。

[来源:IEC 60050-441:1984,Ref-13-06]

3.4.11

挡板 barrier

对来自各个方向的直接接触提供防护的部件。

[来源:IEC 60050-195:1998,195-06-15,有修改]

3.4.12

屏障 obstacle

用来防止无意的直接接触,但不能防止有意的直接接触的一种部件。

注:屏障是用来防止非故意的接触带电部分,但不能防止有意的绕过屏障的故意接触。它们是用来保护熟练技术人员、合格人员、授权人员或受过培训的人员而不是一般人员。

[来源:IEC 60050-195:1998,195-06-16,有修改]

3.4.13

端子护罩 terminal shield

用于封闭端子和提供规定的防护等级以防止人或物体接近带电部分的一种部件。

3.4.14

电缆入口 cable entry

一种带有开口，可以将电缆从此开口处引入成套设备的部件。

3.4.15

防护空间 protected space

将电器元件封闭起来，提供规定的防护以防止外界的影响和接触带电部分的成套设备的一部分。

3.5 成套设备安装条件

3.5.1

户内式成套设备 assembly for indoor installation

适用于7.1中所规定的户内正常使用条件的成套设备。

3.5.2

户外式成套设备 assembly for outdoor installation

适用于7.1中所规定的户外正常使用条件的成套设备。

3.5.3

固定式成套设备 stationary assembly

固定在安装位置上，例如固定在地面或墙上，并在该位置上使用的成套设备。

3.5.4

移动式成套设备 movable assembly

能容易地从一个使用地点移动到另一个使用地点的成套设备。

3.6 绝缘特性

3.6.1

电气间隙 clearance

两个导电部分之间空气的最短距离。

注：这个距离是指在这些导电部件之间获得的最短的一条线来测量。

[来源：IEC 60050-581:2008，581-27-76，有修改]

3.6.2

爬电距离 creepage distance

两个导电部分之间沿固体绝缘材料表面的最短距离。

注：两个固体绝缘材料之间的接缝被认为是表面的一部分。

[来源：GB/T 2900.83—2008，151-15-50，有修改]

3.6.3

过电压 overvoltage

峰值大于在正常运行下最大稳态电压的相应峰值的电压。

[来源：GB/T 16935.1—2008，3.7]

3.6.4

暂时过电压 temporary overvoltage

持续数秒钟的工频过电压。

3.6.5

瞬态过电压 transient overvoltage

持续时间为几毫秒或更短的，并通常具有高阻尼振荡或非振荡的短时过电压。

[来源:IEC 60050-614:2016,614-03-14,有修改]

3.6.6

工频耐受电压 power-frequency withstand voltage

在规定的试验条件下，不引起击穿的工频正弦电压有效值。

[来源:IEC 60947-1:2020,3.7.35]

3.6.7

冲击耐受电压 impulse withstand voltage

在规定的条件下，不造成绝缘击穿，具有一定形状和极性的冲击电压最高峰值。

[来源:IEC 60050-442:1998,442-09-15]

3.6.8

污染 pollution

能使绝缘的电强度和表面电阻率下降的固体的、液体的或气体的外来物质的增加。

[来源:IEC 60050-442:1998,442-01-25,有修改]

3.6.9

污染等级(环境条件的) pollution degree (of environmental conditions)

根据导电的或吸湿的尘埃、游离气体或盐类和相对湿度的大小及由于吸湿或凝露导致表面介电强度和/或电阻率下降事件发生的频度而对环境条件作出的分级。

注1：器件和元件的绝缘材料所受的污染等级不同于成套设备所处的宏观环境的污染等级。因为外壳或内部加热提供了防止吸湿或凝露的保护。

注2：在本文件中，除适用条款另有规定外，污染程度指的是成套设备内部的微观环境。

[来源:IEC 60947-1:2020,3.7.57,有修改]

3.6.10 环境

3.6.10.1

微观环境 micro-environment

特别会影响确定爬电距离尺寸的绝缘附近的环境。

注：微环境对爬电和/或间隙距离的影响决定了成套设备内部绝缘的选择。微观环境可比宏观环境好，也可能比宏观环境差。

[来源:IEC 60050-851:2008,851-15-14,有修改]

3.6.10.2

宏观环境 macro-environment

安装或使用成套设备的房间或其他地点的环境。

[来源:IEC 60050-442:1998,有修改]

3.6.11

过电压类别(电路或电气系统中的) overvoltage category (of a circuit or within an electrical system)

根据规定(或控制)电路中(或在具有不同标称电压的电气系统中)产生的预期瞬态过电压和为限制过电压所采用的有关方法为基础而确定的分类。

注：在一个电气系统中，根据接口的要求，通过采用适当方法可以从一个过电压类别向一个较低的过电压类别转换，例如采用过电压保护器件或变压器，后者或将输入端电流能量的串并联阻抗，把瞬态过电压降低到预期的较

低过电压类别。

[来源:IEC 60947-1:2020,3.7.59]

3.6.12

浪涌保护器件 surge protective device

SPD

保护电器免受较高的瞬态过电压,并能限制持续电流的持续时间和幅值的一种器件。

[来源:IEC 60947-1:2020,3.4.22,有修改]

3.6.13

绝缘配合 insulation co-ordination

考虑到预期微观环境和其他影响应力的电气设备绝缘特性的相互关系。

[来源:IEC 60050-442:1998,有修改]

3.6.14

非均匀电场 inhomogeneous field

电极之间的电压梯度不恒定的电场。

[来源:IEC 60947-1:2020,3.7.62]

3.6.15

电痕化 tracking

固态绝缘材料表面在电场和电解液的联合作用下逐渐形成导电通路的过程。

[来源:IEC 60947-1:2020,3.7.53]

3.6.16

相比电痕化指数 comparative tracking index;CTI

在规定的试验条件下,材料所能承受的最大电压值(以伏特计),在此电压值下不会产生电痕化和持续火焰。

注:每个试验电压值和CTI值宜记录试验报告。

[来源:IEC 60947-1:2020,3.7.54,有修改]

3.6.17

击穿放电 disruptive discharge

在电应力作用下,放电几乎完全穿透了试验的绝缘体,导致电极间的电压降为零或接近于零的一种绝缘损坏的现象。

注1:固体绝缘体上的击穿放电会导致永久性的绝缘强度降低,在液体或气体绝缘体上绝缘强度的降低可仅仅是暂时性的。

注2:"击穿跳火"用来表示在气体或液体绝缘体上发生的击穿放电。

注3:"闪络"用来表示在气体或液体介质绝缘体表面不同导体间的击穿放电。

注4:"击穿"用来表示击穿放电穿透固体绝缘体的情况。

3.7 电击防护

3.7.1

带电部分 live part

正常条件下带电的可导电部分,包括中性导体或中间导体,但按惯例不包括PEN导体或PEM导体或PEL导体。

注:本术语不意味着有电击危险。当中性导体有效地接地时,它不是危险带电部分,因此除非其他标准特别要求,否则不在TN-S或TN-C-S系统中切换。

[来源:IEC 61140:2016,3.4,有修改]

3.7.2

危险带电部分 hazardous live part

在某些条件下能造成伤害性电击的带电部分。

[来源:IEC 61140:2016,3.5,有修改]

3.7.3

外露可导电部分 exposed-conductive-part

成套设备上能触及到的可导电部分,它在正常状况下不带电,但在基本绝缘损坏时可能带电。

注:成套设备的导电部分只有通过接触已通电的外露可导电部分才能带电,不认为它是外露可导电部分。

[来源:IEC 60050-195:1998,195-06-10,有修改]

3.7.4

保护导体 protective conductor;PE

以安全为目的而提供的导体,例如电击防护。

注1:例如保护导体能与下列部件进行电气连接:

——外露可导电部分;

——主接地端子;

——接地极;

——电源的接地点或人为的中性点。

注2:保护导体也可以是保护接零导体。

[来源:GB/T 2900.71—2008,826-12-21,有修改]

3.7.5

中性导体 neutral conductor;N

电气上与中性点连接,并能参与分配电能的导体。

[来源:IEC 60050-195:1998,195-02-06,有修改]

3.7.6

保护中性导体 PEN conductor

兼有保护接地导体和中性导体功能的导体。

[来源:IEC 60050-195:1998,195-02-11]

3.7.7

故障电流 fault current

由于绝缘损坏,跨接绝缘或电路错误连接所产生的电流。

3.7.8

基本防护 basic protection

在无故障条件下的电击防护。

注:基本防护用来防止触及带电部分,一般是假设正常情况下。

[来源:IEC 60050-195:1998,195-06-01,有修改]

3.7.9

基本绝缘 basic insulation

提供基本防护的危险带电部分上的绝缘。

注:本概念不适用于仅用作功能性目的的绝缘。

[来源:GB/T 2900.71—2008,826-12-14]

3.7.10

故障防护 fault protection

单一故障条件下的电击防护。

注1:基本绝缘失效(3.7.9)是单一故障状态的一个例子。

注 2：故障防护一般是指防止间接接触。主要与基本绝缘损坏有关。

[来源：IEC 60050-195:1998，195-06-02，有修改]

3.7.11

保护特低电压系统 PELV system

PELV 系统

电压不超过 IEC 60364-4-41:2005 的 414 中规定值的电气系统：

——正常条件下，和

——在单一故障条件下，不包括其他电气回路的接地故障。

注 1：PELV 是保护性特低电压的缩写。

注 2：PELV 电路和/或由 PELV 电路供电的设备的外露可导电部分能接地。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-12-32，有修改]

3.7.12

安全特低电压系统 SELV system

SELV 系统

电压不超过 IEC 60364-4-41:2005 的第 414 章中规定值的电气系统：

——正常条件下，和

——在单一故障条件下，包括其他电气回路的接地故障。

注 1：SELV 是安全特低电压的缩写。

注 2：SELV 电路在带电部分和接地之间具有基本的绝缘。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-12-31，有修改]

3.7.13

熟练[电气]技术人员 (electrically)skilled person

具有相应教育和经验，能察觉和避免由于电引起危害的人员。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-15-01]

3.7.14

合格人员 competent person

在专业培训、经验和相关设备知识的基础上，能判断所分配的工作和识别可能的危险的人员。

注：在评估专业培训时，考虑在相关技术领域的多年实践。

[来源：IEC 60050-851:2008，851-11-10]

3.7.15

受过培训的人员 instructed person

由熟练技术人员充分指导或监督的，能够察觉和避免由于电引起危害的人员。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-15-02，有修改]

3.7.16

一般人员 ordinary person

既不是熟练技术人员，也不是受过培训的人员。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-15-03]

3.7.17

授权人员 authorized person

被授权完成指定工作的熟练技术人员或受过培训的人员。

3.7.18

中间导体 mid-point conductor

M

电气上与中间点连接并能够用于配电的导体。

注：中间导体这个术语最常与直流应用联系在一起。

[来源：IEC 60050-195:1998，195-02-07，有修改]

3.7.19

保护接地中间导体 PEM conductor

兼有保护接地导体和中间导体功能的导体。

[来源:IEC 60050-195:1998,195-02-13,有修改]

3.7.20

护强地线导体 PEL conductor

兼有保护接地导体和线导体功能的导体。

[来源:IEC 60050-195:1998,195-02-14]

3.7.21

附加绝缘 supplementary insulation

除了基本绝缘外,用于故障防护附加的单独绝缘。

[来源:GB/T 2900.71—2008,826-12-11]

3.7.22

双重绝缘 double insulation

既有基本绝缘又有附加绝缘构成的绝缘。

[来源:GB/T 2900.71—2008,826-12-16]

3.7.23

加强绝缘 reinforced insulation

危险带电部分具有相当于双重绝缘的电击防护等级的绝缘。

注1:加强绝缘可由几个不能单独作基本绝缘或附加绝缘单独测试的绝缘层组成。

注2:加强绝缘符合GB/T 16935.1—2008。

[来源:GB/T 2900.71—2008,826-12-17,有修改]

3.7.24

Ⅰ类成套设备 class Ⅰ assembly

具有至少一个基本防护措施和一个连接到保护导体作为故障防护措施的成套设备。

注1:参见IEC 61140:2016的7.3了解更多细节。

注2:Ⅰ类成套设备可能有一个用于基本防护的绝缘外壳和一个保护导体,以方便通过Ⅰ类成套设备提供的外部电路的故障防护。

3.7.25

Ⅱ类成套设备 class Ⅱ assembly

提供下列的成套设备:

——作为基本防护措施的基本绝缘,和

——作为故障防护措施的附加绝缘,

或在其中:

——提供基本防护和故障防护的加强绝缘

注:参见IEC 61140:2016的7.4。

3.8 特性

3.8.1

标称值 nominal value

用以标志和识别一个元件、器件、设备或系统的量值。

注:标称值一般是一个圆均值。

[来源:GB/T 2900.63—2008,151-16-09]

3.8.2

极值 limiting value

在元件、器件、设备或系统的规范中一个量的最大或最小允许值。

[来源:GB/T 2900.83—2008,151-16-10]

3.8.3

额定值 rated value

为元件、器件、设备或系统规定的运行条件所制定的用于规范目的的量值。

[来源:GB/T 2900.83—2008,151-16-08]

3.8.4

额定数据 rating

额定值与运行条件的组合。

[来源:GB/T 2900.83—2008,151-16-11]

3.8.5

标称电压 nominal voltage

用以标志或识别电气系统电压的近似值。

[来源:IEC 60050-601:1985,601-01-21,有修改]

3.8.6

短路电流 short-circuit current

I_c

由于电路中的故障或错误连接引起的电路所产生的过电流。

[来源:IEC 60050-441:1984,441-11-07]

3.8.7

预期短路电流 prospective short-circuit current

I_{cp}

在尽可能接近受试设备电源端,用一根忽略阻抗的导体将电路的导电导体电路短路时流过的电流。

注:对于交流和直流应用,电流参照其最高预期对称有效值和平均值。

3.8.8

截断电流 cut-off current

允通电流 let-through current

I_s

开关电器或熔断器在分断动作中达到的最大瞬时电流值。

注:当电路电流尚未达到预期电流峰值时,开关电器或熔断器分断时这一概念尤其重要。

[来源:IEC 60050-441:1984,441-17-12]

3.8.9 电压额定数据 **voltage ratings**

3.8.9.1

额定电压 rated voltage

U_n

成套设备制造商宣称成套设备主电路预定连接的电气系统最大标称值。

注1:对于多相电路,指线间电压。

注2:不考虑瞬态电压。

注3:由于系统允差,电源电压值可超过额定电压。

注4:电压分别为交流和直流应用的有效值和平均值。

3.8.9.2

额定工作电压 rated operational voltage

U_e

成套设备制造商为成套设备或成套设备的一条电路宣称的与额定电流共同确定设备使用的电压值。交流(有效值)或直流(平均值)。

注：对于多相电路，指线间电压。

3.8.9.3

额定绝缘电压 rated insulation voltage

U_i

由成套设备制造商(3.10.2)为成套设备或成套设备的一条电路给出的，表征绝缘规定的(长期)耐受能力的耐受电压有效值。

注1：对于多相电路，指线间电压。

注2：额定绝缘电压不一定等于设备的额定工作电压，额定工作电压主要与[illegible]

[来源：GB/T 16935.1—2008，3.9.1，有修改]

3.8.9.4

额定冲击耐受电压 rated impulse withstand voltage

U_{imp}

成套设备制造商为成套设备或成套设备的一条电路规定的以表征绝缘规定的耐受瞬态过电压能力的冲击耐受电压值。

[来源：GB/T 16935.1—2008，3.9.2，有修改]

3.8.10 **电流额定数据 current ratings**

3.8.10.1

额定电流 rated current

成套设备制造商宣称的，在规定的条件下能承载的，成套设备各部件经温升不超过规定限值的不间断电流值。

注1：成套设备的额定电流(I_{nA})见3.8.10.7和5.3.1，主电路的额定电流(I_{nc})见3.8.10.8和5.3.2，主电路组额定电流见3.8.10.9和5.3.3。

注2：一般情况下，确定电路的额定电流时，不考虑电动机、变压器等的涌流。

3.8.10.2

额定峰值耐受电流 rated peak withstand current

I_{pk}

成套设备制造商宣称的在规定条件下[illegible]的短路电流峰值。

3.8.10.3

额定短时耐受电流 rated short-time withstand current

I_{cw}

成套设备制造商宣称的，在规定条件下，用电流和时间定义的能耐受的短时电流交流有效值或直流平均值。

注：额定短时耐受电流与IEC TR 61641中给出的内部电弧故障额定值不同。

3.8.10.4

额定限制短路电流 rated conditional short-circuit current

I_q

成套设备制造商宣称的在规定条件下在SCPD全部动作时间内(断开时间)能承受的预期短路电

流器。

3.8.10.5

主电路额定电流 **rated current of a main circuit**

I_{nc}

当主电路是成套设备一个框架单元中唯一有电流的主电路时，主电路所能承载的额定电流。

注1：根据各自的条件标准，主电路的额定电流能低于安装在主电路中的器件的额定电流。

注2：由于决定额定电流的因素很复杂，因此无标准值给出。

注3：一个成套设备只能由一个单独的框架单元组成。

3.8.10.6

主电路组额定电流 **group rated current of a main circuit**

I_{nG}

考虑同时加载在成套设备同一框架单元的其他电路的相互热影响，主电路所能承载的额定电流。

注1：在某些成套设备设计上，I_{nG}可能等于I_{nc}。

注2：一个成套设备可能只由一个单独的框架单元组成。

3.8.10.7

成套设备额定电流 **rated current of an assembly**

I_{nA}

在任何部件的温升不超过规定极限的情况下，能由成套设备分配的额定电流。

注：如果再连进一步增加电路，则不超过成套设备的额定电流。

3.8.10.8

设计电流(电气回路的) **design current (of an electric circuit)**

I_B

正常运行时电气回路承载的电流。

注：I_B通常由用户提供。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-11-10，有修改]

3.8.11

额定分散系数 **rated diversity factor**

RDF

出线主电路的组额定电流I_{nG}除以同一出线主电路的额定电流I_{nc}(I_{nG}和I_{nc}通过试验得出)，计算得出的值。

注1：因此，RDF表示I_{nG}的每单位值，在考虑到相互的热影响的情况下，成套设备同一框架单元的两个或多个出线电路能连续和同时加载到该值。

注2：对于连续且同时负荷的一组电路，电路的额定电流(I_{nc})乘以额定分散系数(RDF)通常不小于用户确定最终的电路的设计电流(I_B)，即$I_{nc} \times RDF \geqslant I_B$。

3.8.12

额定频率 **rated frequency**

f_n

成套设备制造商宣称的，与所设计的电路和工作条件有关的频率值。

注：一条电路可指定几个额定频率或额定频率范围，或可用于交流和直流。

3.8.13

电磁兼容性 **electromagnetic compatibility (EMC)**

设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中的任何事务构成不能承受的电磁骚扰的能力。

注：有关EMC的相关术语和定义见附录J。

[来源:IEC 60050-151:2001,151-04-07,有修改]

3.9 验证

3.9.1

设计验证 design verification

在成套设备的样机或其部件上进行的用以证实设计满足相应成套设备标准要求的验证。

注:设计验证可包含一个或几个等效方式,见3.9.1.1、3.9.1.2和3.9.1.3。

3.9.1.1

验证试验 verification test

在成套设备的样机或其部件上进行的,以验证设计满足相关的成套设备标准要求的试验。

3.9.1.2

验证比较 verification comparison

成套设备或成套设备部件的建议设计与已由试验验证的参考设计的结构比较。

3.9.1.3

验证评估 verification assessment

对成套设备或其部件使用产品的设计准则和/或计算进行的,以表明设计能满足相关成套设备标准要求的设计验证。

3.9.1.4

参考设计 reference design

经过试验验证的成套设备或成套设备部件的设计。

3.9.2

例行检验 routine verification

对每一台成套设备在制造过程中和/或组装后进行的,以确认是否满足相关成套设备标准要求的检验。

3.9.3

检查 inspection

对一项物品进行,包括条件明显时的目测观察,在没有拆除或根据需要增加部分拆除的情况下,辅以诸如测量等手段的仔细观察,以便对一项物品的状况得出可靠结论的动作。

[来源:IEC 60050-426:2008,426-14-02,有修改]

3.10 制造商

3.10.1

初始制造商 original manufacturer

进行初始设计并依照相关成套设备标准对成套设备进行相关验证的组织。

3.10.2

成套设备制造商 assembly manufacturer

对整个成套设备负有责任的组织。

注:成套设备制造商和初始制造商是相同的组织或是不同的组织。

3.11

用户 user

被定、购买、使用和/或操作成套设备的,或由其他人代其执行的参加者。

4 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

将带有符号和缩略语的术语及其首次使用的条款，按字母顺序列表如下。

符号/缩略语	术语	术语编号
CTI	相比电痕化指数	3.8.16
EMC	电磁兼容性	3.8.13
f_r	额定频率	3.8.17
I_c	短路电流	3.8.6
I_{cc}	成套设备或成套设备一条电路的预期短路电流	3.8.10.4
I_p	脱扣电流、允通电流	3.8.8
I_{pk}	预期短路电流	3.8.7
I_{cw}	额定短时耐受电流	3.8.10.3
I_{Δ}	成套设备中[illegible]的电流	3.8.10.8
I_{nA}	成套设备额定电流	3.8.10.7
I_n	主电路额定电流	3.8.10.5
I_{nA}	成套设备额定电流	3.8.10.6
I_{pk}	额定峰值耐受电流	3.8.10.2
L	线导体	3.7.14
M	中间导体	3.7.18
N	中性导体	3.7.5
PE	保护导体	3.7.4
PEL	保护接地线导体	3.7.20
PEM	保护接地中间导体	3.7.19
PELV	保护特低电压	3.7.11
PEN	保护中性导体	3.7.6
RDF	额定负荷系数	3.8.11
SCPD	短路保护电器	3.1.14
SELV	安全特低电压	3.7.12
SPD	浪涌保护器件	3.8.12
U_r	额定工作电压	3.8.8.2
U_i	额定绝缘电压	3.8.8.3
U_{imp}	额定冲击耐受电压	3.8.8.4
U_n	额定电压	3.8.8.1

5 接口特性

5.1 通则

成套设备的特性应保证所连接电路的额定值与安装条件相适应，而且成套设备制造商应按 5.2～5.6的准则对成套设备进行说明。

5.2 电压额定数据

5.2.1 额定电压(U_n)(成套设备的)

额定电压应至少等于电气系统的标称电压。

注：有关额定系统电压的详细信息，参见IEC 60038。

5.2.2 额定工作电压(U_e)(成套设备中的一条电路的)

任何电路的额定工作电压应不小于其所连接的电气系统的标称电压。

如果规定的是三相系统的标称电压，则单相电路的额定工作电压应不小于额定电压除以$\sqrt{3}$。

如果一条电路的额定工作电压与成套设备的额定电压不同，则应说明适合电路的额定工作电压。

5.2.3 额定绝缘电压(U_i)(成套设备中的一条电路的)

成套设备中一条电路的额定绝缘电压是介电试验电压和爬电距离参照的电压值。

一条电路中的额定绝缘电压应等于或高于该条电路中规定的额定电压U_e和额定工作电压U_e。

对于TT系统的单相电路(见GB/T 14895.6—2021)，额定绝缘电压应至少等于电源导体的线间电压。

5.2.4 额定冲击耐受电压(U_{imp})(成套设备的)

成套设备的额定冲击电压是指电气间隙和固体绝缘材料对瞬态过电压所能承受的电压值。

额定冲击耐受电压应等于或高于该电路额定连接的系统中出现的瞬态过电压的规定值。

额定冲击耐受电压的优选值在表G.1中给出。

5.3 电流额定数据

5.3.1 成套设备的额定电流(I_{nA})

成套设备的额定电流应为下列所述情况的电流最小值：

——进线电路的总组额定电流(I_{nc})：它是单个进线电路的组额定电流，或者是成套设备内并行且同时工作的进线电路的组额定电流的总和；

——特殊布置的成套设备中主母线能分配的总电流。

该电流应在各个部件的温升不超过9.2规定的限值的情况下承载。

注1：进线电路的组额定电流可能低于安装在成套设备内的(符合各自器件标准的)进线器件的额定电流。

注2：就此而论主母线是指在运行中正常连接的单个母线或单个母线的组合体，例如使用母线连接器。

5.3.2 主出线电路的额定电流(I_{nc})

主出线电路的额定电流是当同一框架单元内所有其他出线主电路都不带电流时，该出线电路所能承载的电流(见10.10)。该电流应在成套设备各个部件的温升不超过9.2规定的限值的情况下承载。

如果给出了电路的组额定电流I_{nc}，则一条电路的额定电流I_{nc}是自愿给出的。如果指定了I_{nc}，则

可评估在轻载框架单元单个电路上的最大允许连续负载电流，单个电路上的负载有可能允许超过 I_u，但绝不允许超过 I_{nA}。

注：I_{nA}表示在全负载框架单元内的最大允许连续负载电流。

5.3.3 主电路组额定电流(I_u)

主电路组额定电流是，在初始制造商规定的一个特定的协议中，可能由该电路连续并同时与至少同一个成套设备或成套设备的框架单元的一个其他电路承载的电流。该电流应在成套设备各个部件的温升不超过 9.2 规定的限值的情况下承载。

注 1：如果成套设备的设计中已经按照 IEC 61439(所有部分)之前的版本给出 RDF，则 I_u 能用 $I_{nA}\times$RDF 计算。

如果声明 I_u，初始制造商应说明组额定电流所涵盖的特定布置：

——同一成套设备或框架单元中允许安装的电路/功能单元的类型、额定值和最大数量；

——各框架单元和/或成套设备内的功能单元的布置。

注 2：对于具有给定 I_u 的功能单元，也能用功率损耗来说明成套设备或成套设备框架单元的具体布置。

注 3：在大多数情况下，初始制造商按照的同一类型的框架单元能够满足特定客户的需求，配备不同数量和不同类型的电路(功能单元)。通常，并不是安装在一个框架单元的所有电路都连续且同时承载其额定电流。因此，由初始制造商规定的具体布置明确了哪些情况由 I_u 值所包含。

连续且同时承载的主电路组额定电流应等于或大于出线电路的假定负载(等于 IEC 60364-1 中电路的设计电流 I_b)。

出线电路的假定负载应由相关成套设备标准规定。

注 4：出线电路的假定负载可能是稳定连续电流或生化电流的热当量(参见附录 I)。

I_u 是根据 10.10.2.3.5 或 10.10.2.3.6 或 10.10.2.3.7 进行试验，或根据 10.10.4 进行计算得到。使用 10.10.2.3.6 或 10.10.2.3.7 方法，用 I_u 值来计算 RDF。

为每种类型的主电路给出 I_u 的另一种选择是为每种类型的主电路给出 I_n 和适当的 RDF。

5.3.4 额定峰值耐受电流(I_{pk})

额定峰值耐受电流应等于或大于电路预定连接的电源系统的预期短路电流峰值(参见 9.3.3)。

5.3.5 额定短时耐受电流(I_{cw})(成套设备中的一条电路的)

成套设备主电路的额定短时耐受电流应等于或大于连接到电源每一点上的预期短路电流 I_{cw}(参见 3.8.10.3)。

成套设备不同的 I_{cw} 值可对应不同的持续时间(例如 0.2 s、1 s、3 s)。最长持续时间通常不超过 1 s。

对于交流，此电流值是交流分量的有效值。对于直流，电流的值是算术平均值。

5.3.6 (成套设备或成套设备一条电路的)额定限制短路电流(I_{cc})

成套设备制造商宣称的成套设备或成套设备一条电路的额定限制短路电流，是制造商规定由 SCPD 保护，在 10.11 规定的试验条件下器件的动作时间内能令人满意地承载的电路的最大短路电流。

成套设备或成套设备的一条电路的额定限制短路电流应等于或大于短路电流预期值 I_{cp}，其持续时间受保护电路或成套设备的短路保护器件的动作限制。成套设备制造商应根据器件制造商提供的数据，声明特定短路保护器件的分断能力、限流特性，I^2t 和 I_k。

5.4 额定分散系数(RDF)

作为声明各主出线电路组额定电流的一种选择，它们在同时运行条件下的载流能力能用额定电流

I_u和额定分散系数来表示。

额定分散系数是 I_u 的单位值，考虑到相互的热影响，出线电路装在如制造商规定的特定布置下在成套设备同一柜架单元内连续且同时承载。更详细布置见 5.3.3。

注 1：关于 IEC 的更多信息参见附录 E。

额定分散系数乘以电路的额定电流 I_u 应等于或大于出线电路的假定负载，在这种情况下，假定负载电流等于连续且同时负载电路的设计电流 I_b。如果没有提供设计电流 I_b，则出线电路的假定负载应按照 IEC 61439 的相关成套设备标准给出，并遵照用户和制造商之间的协议。

注 2：出线电路的假定负载可能是稳定连续电流或等效电流的热等效（见附录 I）。

5.5 额定频率（f_n）

一条电路的额定频率是与其工作条件有关的频率值。如果成套设备的电路标明了不同的频率值，则应给出各条电路的额定频率值。

频率值宜限制在内装元件相关的国家标准中所规定的范围内。如果成套设备制造商没有其他规定，则额定频率的上下限值，限制在额定频率的 98%～102%范围内。

5.6 其他特性

应给出以下特性：

a) 功能单元使用的附加要求（例如，匹配类型，过载特性）；
b) 宏观环境污染等级（见 3.6.16.2）；
c) 为成套设备所设计的系统接地类型；
d) 户内型/或户外成套设备（见 3.5.1 和 3.5.2）；
e) 固定式或移动式（见 3.5.3 和 3.5.4）；
f) 对触及危险带电部分以及外来固体和水进入的防护等级，IP 代码（见 8.2.2）；
g) 拟由一般人员或授权人员使用（见 3.7.16 和 3.7.17）；
h) 电磁兼容性（EMC）类别（见附录 J）；
i) 特殊使用条件，如果适用（见 7.2）；
j) 外形设计（见 3.3）；
k) 对机械碰撞的防护等级，IK 代码，如果适用（见 8.2.3）；
l) 结构类型—固定或可移式部件（见 8.5.1 和 8.5.2）；
m) 短路保护电器的类型（见 9.3.2）；
n) 电击防护措施；
o) 外形尺寸（包括凸出部分，如手柄、面板、门），如果需要；
p) 重量，如果需要。

6 铭牌

6.1 成套设备规定的标志

成套设备制造商应为每台成套设备配置一个或数个铭牌，铭牌应坚固、耐久，其位置应是在成套设备安装好并投入运行时易于看到且容易辨认的地方。是否合格应依据 10.2.7 的要求进行试验和目测检验。

成套设备的下列信息应在铭牌上标出：

a) 成套设备制造商的名称或商标（见 3.10.2）；
b) 型号或标志号，或其他标识，据此可以从成套设备制造商获得相关的信息；

c) 鉴别生产日期的方式；

d) 成套设备的额定电流 I_{nA}（见 3.8.10.7 和 5.3.1）；

e) 成套设备的额定电压 U_r（见 3.8.9.1 和 5.2.1）；

f) 成套设备的额定频率 f_r（见 3.8.12 和 5.5）；

g) GB/T 7251.X（应标明特定部分"X"）。

注：铭条铭牌上给出成套设备相关标准的附加信息。

6.2 文件

6.2.1 关于成套设备的信息

第 5 章中所有接口特性，如果适用，应在随同成套设备交货的成套设备制造商的技术文件中提供。

6.2.2 装卸、安装、操作与维护的使用说明书

如需要，成套设备制造商应在其技术文件或产品目录中规定成套设备及设备内部件的装卸、安装、运行与维护条件。在适当的情况下，说明书应说明，当需要修理成套设备时，应咨询成套设备制造商。

如需要，说明书应指出成套设备安全、合理地、正确地运输、装卸、安装和运行等极其重要的措施。提供与运输单元的运输和装卸安排相关的重量细节是极为重要的。另外，安装说明应提供足够的详细信息，以使安装人员在使用过程中充分保证成套设备的安全。

制造商应在成套设备制造商的文件或说明书上给出主母线系统或端单元、起吊装置的正确位置和安装及起吊装置尺寸。

如需要，应规定与成套设备的安装、运行和维护有关的 EMC 措施（见附录 J）。

如果一个被确定用于 A 类环境的成套设备打算用于 B 类环境，那么在使用说明书上应包括以下的警告：

> **警告**
>
> 此产品设计为适用于 A 类环境。在 B 类环境使用此产品可能产生有害的电磁骚扰，在这种情况下使用者可能要采取适当的防护措施。

必要时，上述文件中应标明推荐的维护内容和频次。

如果成套设备内部的电路不明显，例如，有来自几个进线电源的连接，如光伏电源、发电机、电池，则应提供详细的电路布置信息。

当安装熔断器时，成套设备制造商应说明要使用的熔断体的类型和等级。

6.3 器件和/或元件的识别

在成套设备中，应能识别出各个电路和它们的保护器件。标签应清晰易读，经久耐用且适合自然环境。所用的标识应符合 GB/T 5094.1—2018 和 IEC 81346-2:2019，并与配电图中的标识一致，配线图中的标识应符合 IEC 61082-1:2014。

7 使用条件

7.1 正常使用条件

7.1.1 气候条件

符合本文件的成套设备适用于表 15 的正常使用条件。

如果使用的元件，例如继电器、电子设备等不是按这些条件设计的，则成套设备内提供的环境应适合这些元件。

7.1.2 污染等级

附录C中提及的污染等级是指成套设备所处的宏观环境条件。

对于外壳内的开关器件和元件，可使用外壳内微观环境条件的污染等级。

为了评定电气间隙和爬电距离，确定了以下四个微观环境的污染等级。

污染等级1：

无污染或仅有干燥的、非导电性污染。此污染无影响。

污染等级2：

一般情况下只有非导电性污染，但要考虑到偶然由于凝露造成的暂时导电性。

污染等级3：

存在导电性污染，或者由于凝露使干燥的非导电性污染变成导电性的污染。

污染等级4：

持久的导电性污染，例如由于导电尘埃、雨雪或其他潮湿条件造成的污染。

污染等级4不适用于本文件的成套设备内的微观环境。

成套设备内部的微观环境可能不同于外壳外部的宏观环境，特定类型的成套设备的污染等级在相关的成套设备标准中给出。

注：设备微观环境的污染等级可能受相关内安装方式的影响。当需要打开成套设备以进行维修或运行时，安装的宏观环境能对微观环境产生影响。

7.2 特殊使用条件

如果存在下述任何一种特殊使用条件，则应遵守适用的特殊要求或成套设备制造商与用户之间应签订专门的协议。如果存在这类特殊使用条件的话，用户应向成套设备制造商提出。

特殊使用条件举例如下：

a) 温度值、相对湿度和/或海拔高度与7.1的规定值不同；

b) 在使用中，在气候条件变化的应用场合，可能会导致成套设备内部异常凝露；

c) 空气被尘埃、烟雾、腐蚀性微粒、放射性微粒、蒸汽或盐雾严重污染；

d) 暴露在强电场或强磁场中；

e) 暴露在极端的气候条件下；

f) 受霉菌或微生物侵蚀；

g) 安装在有火灾或爆炸危险的场地；

h) 遭受强烈振动冲击和地震发生；

i) 安装在会使载流容量受到影响的地方，例如将设备安装在机器中或嵌入墙内；

j) 暴露在除电磁骚扰以外的传导和辐射骚扰场所，以及除在9.4中所述环境以外的电磁骚扰场所；

k) 异常过电压状况或异常的电压波动；

l) 电源电压或负载电流的过度畸变；

m) 暴露于辐射(例如，X射线、微波、太阳辐射外的紫外线、激光)。

7.3 运输、存放和安装条件

如果运输、存放和安装条件，例如温度和湿度条件与7.1中的规定不符时，应由成套设备制造商与用户签订专门的协议。

8 结构要求

8.1 材料和部件的强度

8.1.1 通则

初始制造商有责任使所有的设计活动由合格人员进行或监督。

成套设备外壳的外形、加军有，可能改变，以适应应用和使用。

示例如下：

——柜式成套设备(见 3.3.6)；

——框架式成套设备(见 3.3.5)；

——台式成套设备(见 3.3.6)；

——箱式成套设备(见 3.3.7)；

——箱组式成套设备(见 3.3.8)；

——安装在墙表面的成套设备(见 3.3.9)；

——嵌入墙中的成套设备(见 3.3.10)；

——落地式成套设备(见 3.3.11)。

这些外壳可采用各种材料，例如绝缘材料、金属材料或这些材料的组合。

成套设备应由能够承受在规定的使用条件下产生的机械应力、电气应力、热应力和环境压力的材料构成。

成套设备可能安装在特殊使用条件情况下的物理环境中(例如，灰尘、酸、腐蚀性气体、盐)，成套设备应充分防护污染物(见附录 C)。当成套设备受到辐射(例如，X 射线、微波、紫外线、激光)，应采取附加的措施，避免成套设备故障和绝缘的加速损坏。当需要采取这些措施时，成套设备制造商和用户应达成协议。

当成套设备受到不希望的振动或冲击影响时，例如由机器及其相关设备引起时，宜考虑选择合适的设备，或将其安装在远离振动源的地方，或提供防振架。

8.1.2 防腐蚀

考虑在正常使用条件下(见 7.1)，为确保防腐蚀，成套设备应采用合适的材料或在裸露的表面涂上防护层。依据 10.2.2 的试验进行此要求的验证。

8.1.3 绝缘材料的性能

8.1.3.1 热稳定性

尚未通过其本身产品标准认证的绝缘材料制成的外壳或外壳部件，如百叶窗、网眼，应能在至少 70 ℃的温度下工作。应按照 10.2.3.1 进行热稳定性的验证。

8.1.3.2 绝缘材料的耐热和耐异常热性能

8.1.3.2.1 通则

由于内部电效应而可能暴露在热应力下且由于部件的老化而使成套设备的安全性可能受到损害的绝缘材料的部件，不应受到正常(使用)发热、非正常发热或着火的有害影响。

8.1.3.2.2 绝缘材料耐正常发热性能

按照 9.2 和表 6 的规定，初始制造商应选择适合于其在正常运行中暴露的最高温度的绝缘材料、

绝缘材料部件的适用温升限值(见9.2)应根据例如IEC 60216(所有部件)的方法或根据GB/T 11021—2014确定的热等级进行验证。

注：若识别了与其他方法的不同，绝缘材料也能根据相对热指数(RTI)(见7.4.8)来选择。

8.1.3.2.3 绝缘材料耐受内部电效应引起的非正常发热和着火的性能

用于固定及维持载流部件在正常使用位置所必需的部件和由于内部电效应而可能暴露在热应力下的部件的绝缘材料，由于绝缘部件的老化可能影响成套设备的安全性，所以不应受到非正常发热和着火的有害影响，并应采用10.2.3.2的灼热丝试验进行验证。在进行本试验时，保护导体(PE)不作为载流部件考虑。

8.1.4 耐紫外线(UV)辐射

拟用于户外暴露在紫外线辐射下，由绝缘材料和带涂层的金属外壳制成的外部表面，不应开裂或损坏，从而损害成套设备的安全。应按照10.2.4进行耐紫外线辐射验证。

注：对于暴露在除太阳辐射外的紫外线辐射下的成套设备，外壳和由绝缘材料制成的外部部件或由合成材料涂覆在其暴露表面的外部金属部件的耐受验证方法，遵照用户和制造商之间的协议。

8.1.5 机械强度

所有的外壳或隔板包括门的闭锁装置和铰链，应具有足够的机械强度可承受正常使用(也见10.2.8)和短路条件下所遇到的应力(也见10.11)。

可移式部件的机械操作，包括所有的插入式联锁，应按10.2.8试验进行验证。

8.1.6 提升装置

如果制造商建议用起重机或叉车以外的方法进行提升，则运输单元应配备适当的提升设备。按照10.2.5进行符合性验证。

8.2 成套设备外壳的防护等级

8.2.1 对机械碰撞的防护(IK代码)

由成套设备外壳提供的防止机械碰撞的最小防护等级，如需要，应由相关的成套设备标准进行规定。

按照10.2.6进行符合性验证。

8.2.2 防止触及带电部分以及外来固体和水的进入(IP代码)

依据IEC 60529:1989、IEC 60529:1989/AMD1:1999和IEC 60529:1989/AMD2:2013，由任何成套设备提供的防止触及带电部分及防止外来固体和水进入的防护等级，用IP代码表示，并按照10.3进行验证。

按照成套设备制造商的说明书安装后，封闭式成套设备的防护等级应至少为IP2X，固定面板式成套设备正面的防护等级应至少为IPXXB。

对于无附加防护设施的户外成套设备，第二位特征数字应至少为3。

注：对于户外成套设备，附加的防护设施可能是防护棚或类似设施。

除非另有规定，按照成套设备制造商的说明书安装时，成套设备制造商给出的防护等级适用于整个成套设备。例如，封闭成套设备敞开的安装面等。

如果成套设备各部位有不同的防护等级，成套设备制造商则应单独标出该部位的防护等级。

不同的IP等级不应损害成套设备预期的使用。

举例：

——操作面 IP20，其他部分 IP00；

——底座中的排水孔为 IPXXD，其他部分为 IP43。

除非按照 10.3 进行过适合的验证，否则成套设备制造商不应给出 IP 代码。

拟用于高湿度和温度变化范围较大场所的户内和户外的封闭式成套设备，应采取适当的措施（通风和/或内部加热、排水孔等）以防止成套设备内产生有害的凝露，但同时应保持规定的防护等级。

8.2.3 带有可移式部件的成套设备

成套设备标明的防护等级（IP）通常适用于可移式部件的连接位置（见 3.2.3）。

在可移式部件移出后，如通过关闭门成套设备仍不能够保持原来的防护等级，则成套设备制造商应提供覆板或类似物，以恢复原来的防护等级。如果无法采取这些措施，则应在可移式部件未就位的情况下进行 IP 测试。

当挡板用来为带电部分提供足够的防护时，它们应确保防止非故意地移动。

8.3 电气间隙和爬电距离

8.3.1 通则

电气间隙和爬电距离的要求主要基于 GB/T 16935.1—2008 的说明，旨在规定装置内部的绝缘配合。

注：更多信息参见 IEC TR 60664-2-1:2021。

作为成套设备组成部分的设备的电气间隙和爬电距离，应符合相关产品标准的要求。

装入成套设备内的设备，在正常使用条件下应保持规定的电气间隙和爬电距离。

应采用最高电压额定数据来确定各电路间的电气间隙和爬电距离（电气间隙依据额定冲击耐受电压，爬电距离依据额定绝缘电压）。

电气间隙和爬电距离适用于线对线、线对中性线、除了导体直接接地（这适用于线对地和中性线对地）。

对于裸带电导体和端子其电气间隙和爬电距离应至少符合与其直接连接的设备的有关规定。

短路电流小于和等于宣称的成套设备额定数据时，导线间或连接线间的电气间隙和爬电距离不应减小至成套设备的规定值以下。由于短路导致的外壳部件或内部隔板、挡板和屏障的变形，不应永久地使电气间隙和爬电距离减小到 8.3.2 和 8.3.3 中的规定值以下（亦见 10.11.5.5）。

8.3.2 电气间隙

电气间隙应足以达到能承受宣称的电路的额定冲击耐受电压（U_{imp}）。电气间隙应至少为表 1 的规定值；否则按照 10.9.3 和 11.3 分别进行设计验证试验和例行冲击耐受电压试验。

用测量来确定电气间隙的方法见附录 F。

8.3.3 爬电距离

初始制造商应依据所选择的成套设备电路的额定绝缘电压（U_i）去确定爬电距离。对于任一列出的电路，其额定绝缘电压不应小于额定工作电压（U_e）。

在任何情况下，爬电距离都不应小于相应的最小电气间隙。

爬电距离应符合 7.1.2 规定的污染等级和表 2 给出的在额定绝缘电压下相应的材料组别。

用测量来确定爬电距离的方法见附录 F。

对于无机绝缘材料，例如玻璃或陶瓷，它们不产生电痕化，其爬电距离不需要大于其相应的电气间隙，但宜考虑击穿放电的危险。

如果使用最小高度 2 mm 的加强筋，在不考虑加强筋数量的情况下，可减小爬电距离，但不应小于

表 2 值的 0.8 倍，而且不应小于相应的最小电气间隙。带弧机械要求来确定加强筋的最小底宽(见F.2)

8.4 电击防护

8.4.1 通则

成套设备中元器件和电路的布置应便于运行和维护，并具有要求的电击防护。

当成套设备安装在一个符合 IEC 60364(所有部分)的电气系统中时，下述要求用来确保所需的防护措施。

注：有关可接受的防护措施可参照 IEC 61140：2016，IEC 60364-4-41：2005，以及 IEC 60364-4-41：2005/AMD1：2017。

那些对于成套设备特别重要的防护措施在 8.4.2～8.4.6 中有描述。

8.4.2 基本防护

8.4.2.1 通则

基本防护旨在提供正常条件下的电击防护，防止直接与危险带电部分接触。

基本防护能利用成套设备本身适宜的结构措施，或在安装过程中采取的附加措施来获得，可要求成套设备制造商提供相关信息。

附加措施的举例：只有授权的人员才允许进入安装了入侵一步防护措施的封闭式成套设备的场所。

采用结构措施的基本防护可选择 8.4.2.2 至 8.4.2.5 中的一种或多种防护措施。如果相关的成套设备标准无规定，应由成套设备制造商选择防护措施。

8.4.2.2 由绝缘材料提供基本绝缘

危险带电部分应用绝缘完全覆盖，绝缘只有破坏后或使用工具后才能去掉。

绝缘应采用适合的能够持久承受使用中可见现的机械、电气和热应力的材料做成。

举例：用绝缘包覆的电气器件和绝缘导线。

通常单独的色漆、清漆和橡胶不能满足基本绝缘的要求，且并不能按使用满足 10.9.4 中规定的介电要求的专门设计的绝缘层。

8.4.2.3 挡板或外壳

空气绝缘的带电部分应置外壳内或挡板后，外壳或挡板应提供至少 IPXXB 的防护等级。

对不高于安装地面 1.6 m 可触及的外壳水平顶部表面的防护等级至少应为 IPXXD。

考虑到外部影响，在正常工作条件下，挡板和外壳均应可靠固定在其安装上，且有足够的稳固性和耐久性以维持要求的防护等级并适当的与带电部分隔离。导电的挡板或外壳与带电部分的距离不应小于 8.3 规定的电气间隙与爬电距离。

在只准许移动挡板、打开外壳或拆卸外壳的部件时(见 8.4.6)，应满足 a)到 c)条件之一：

a) 使用钥匙或工具，即任何器械的帮助来打开门、盖板或拆除取锁；

b) 在由挡板或外壳提供的基本防护情况下，当电源与带电部分隔离后，只有在挡板或外壳更换或复位后才能够恢复供电。在 TN-C 和 TN-C-S 系统中，PEL、PEM 或 PEN 导体不应被隔离或断开。在 TN-S 和 TN-C-S 系统中，中间导体和中性导体不需要被隔离或断开。

举例：用隔离器对门进行联锁，仅在隔离器处在隔离位置时，门才能被打开，而且当门打开时，不使用工具不可能闭合隔离器。

c) 中间挡板提供的防止接触带电部分的防护等级至少为 IPXXB，此挡板仅在使用钥匙或工具时才能移动。

8.4.3 故障保护

8.4.3.1 安装条件

成套设备应包含保护措施并适合于依据 IEC 60364-4-41:2005 和 IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017 进行安装。

注 1：适用于特定安装的防护措施可能需要满足额外的或不同的要求，例如 IEC 60603(所有部分)中规定的安装在船上的防护措施。

当一个 TT 接地系统用在一个电网中时，成套设备应使用下面的一种防护措施：

a) 所有连接到系统中第一个 RCD 的电源侧的导体(进线电缆、扩展端子等)采用双重绝缘或加强绝缘(当使用Ⅱ类成套设备时，无此要求)，或

b) 进线电路采用剩余电流器件(RCD)保护。

注 2：刚性连接、空气和适当的机械保护通常提供相当于增强绝缘。

此条款遵照用户与制造商间的协议。

8.4.3.2 为便于自动断开电源对保护导体的要求

8.4.3.2.1 通则

每台成套设备都应有保护导体，便于电源自动断开：

a) 防止Ⅰ类成套设备接地故障引起的后果；

b) 防止由Ⅰ类和Ⅱ类成套设备供电的外部电路接地故障引起的后果。在Ⅱ类成套设备的情况下，保护导体可或不可包含在成套设备中；允许它从外部通过成套设备。

注：外设可能是保护电路或是保护电路的一部分。

具体要求见 8.4.3.2.2 和 8.4.3.2.3。

保护导体(PE、PEN、PEM、PEL)的识别要求见 8.6.6。

8.4.3.2.2 接地连续性提供的防止Ⅰ类成套设备内部故障引起的后果的要求

成套设备所有的外露可导电部分应连接在一起，并连接至电源保护导体上，或通过接地导体与接地装置连接。

这种连接可用金属螺钉、焊接或用其他导体连接来实现，或通过一个独立的提供接地连续性的导体实现。

使用耐蚀的表面材料的成套设备的金属部件，例如经未喷涂的密封板，互联提供接地连续性时，应除去或穿透涂层。

验证成套设备外露可导电部分与保护导体间的接地连续性的方法见 10.5.2。

对于这些连接的连续性，下述内容应适用：

a) 当把成套设备的一部分取出时，如例行维护，成套设备其余部分的接地连续性不应中断。

如果采取的预防措施能够保证有持久良好的导电能力，那么，成套设备的各种金属部件的组装方式则被认为能够有效地保证接地连续性。

除非是为此目的设计，否则柔软或易弯的金属导管不应用作保护导体。

b) 对于盖板、门、覆板和类似部件，如果除了属于 PELV 或 SELV 系统的装置外，没有安装电气装置，通常的金属螺钉连接和金属铰链连接则被认为足以能确保连续性。

如果在盖板、门、覆板等部件上装有电压值超过 PELV 或 SELV 系统的器件时，如适用，应采取附加措施，以保证接地连续性。这些部件(盖板、门或覆板)应按照表 3 配备保护导体(PE)，此保护导体的截面积取决于器件的最大额定工作电流 I_n。作为另一种选择，如果器件的额定工作电流小于或等于

16 A，则应采用特别设计的等效的电连接方式(如滑动接触、防腐蚀铰链)并进行验证。

器件的外露可导电部分不能通过其固定方式实现接地连续性相互连接时，应采用符合表 3 规定的截面积的导体连接到成套设备的接地布置上。

成套设备的某些外露可导电部分不构成危险，不需要连接到接地布置上：

——既不可能大面积接触，也不可能用手抓住；

——或由于外露可导电部分尺寸很小(大约 50 mm×50 mm)，或其位于不与带电部分有任何接触的位置。

以上适用于螺钉、铆钉和铭牌，也适用于接触器或继电器的衔铁、变压器的铁芯、脱扣器的某些部件等类似部件，不论其尺寸大小。

如果可移式部件配备有金属支撑表面，而且施加在支撑表面上的压力足够大，应认为这些支撑面能充分保证接地连续性。

8.4.3.2.3 防止Ⅰ类或Ⅱ类成套设备供电的外部电路接地故障引起的后果所提供的保护导体的要求

成套设备内部保护导体的设计应使它们能承受在成套设备的安装场地可能遇到的由为其供电的外部电路接地故障电流所引起的最大热应力和动应力，导电的结构部件可作为保护导体或它的一部分。Ⅱ类成套设备的保护导体的附加要求见 8.4.4 e)。

除依据 10.11.2 规定的不应进行短路耐受强度验证外，其他则应依据 10.5.3 进行验证。

原则上，除了下述情况外，成套设备内的保护导体不应包含分断器件(开关、隔离器等)。

——只有授权的人员应借助工具来拆卸及接近保护导体的连接片(这些连接片可为了满足某些试验的需要)。

——当利用连接器或插头插座器件切断保护电路连续性时，只有当带电体被切断后，保护电路才能被中断；在带电体重新通电之前，应先恢复保护电路的连续性。

如果成套设备中的结构部件、框架、外壳等是由导电材料制成的，则保护导体不需要与这些部件绝缘。当其制造商有规定时，带有电压动作故障检测器的导体，包括连接到独立接地极的导体都应绝缘。这也能适用于变压器中性线的接地连接。

与外部导体连接的成套设备内的保护导体(PE、PEL、PEM、PEN)的截面积不应小于附录 B 中规定公式计算求得的值，应采用可出现的最大接地故障电流、故障持续时间以及考虑到保护相关带电导体的 SCPD 的限值。短路耐受强度依据 10.5.3 进行验证。

对于 PEL、PEM 和 PEN 导体，下述补充要求适用：

——最小截面积应为铜 10 mm^2 或铝 16 mm^2；

——PEN 和 PEM 导体的截面积不应小于所要求的中性导体和中间导体截面积(见 8.6.1)；

——PEN PEL 和 PEM 导体在Ⅰ类成套设备内不需要绝缘；

——结构部件不应用作 PEN、PEL 和 PEM 导体，但可使用依据 IEC 60947-7-2:2009 的附录 A 的铜或铝制安装轨道。

外部保护导体端子的详细要求见 8.8。

8.4.3.3 电气隔离

各个电路的电气隔离是用来防止通过接触因电路基本绝缘损坏而可能带电的外露可导电部分引起的电击。

此类保护见 IEC 60364-4-41:2005 和 IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017。

8.4.4 Ⅱ类成套设备的附加要求

应满足以下要求。

a) 对于通过双重或加强绝缘进行的基本防护和故障防护，应满足下列附加要求。电气装置应用相当于双重或加强绝缘的绝缘材料完全封闭。外壳上应有从被保护空间外部易见的符号回。

注1：外壳可能是被保护的空间，或者被保护的空间可能是在外壳门后的挡板后面。

注2：Ⅱ类成套设备的要求可能通过与危险带电部分隔离的金属外壳和通过双重或加强绝缘保护的 PEL、PEM 和 PEN 导体来满足。

b) 外壳上应不存在因导电部分穿过而可能将故障电压引出外壳的部位。

即对金属部件，例如由于结构上的原因只准许引出外壳的操作机构的轴，在外壳的内部或外部应使成套设备中所有电路的最大额定绝缘电压和最大额定冲击耐受电压与带电部分绝缘。

如果操作机构或类似的操作机构是由金属制成的（无论是否覆盖绝缘材料），则操作机构应具有成套设备中所有电路的最大额定绝缘电压和最大额定冲击耐受电压的绝缘额定数据。

c) 如果操作机构或类似的操作机构主要是用绝缘材料制成的，若它的任何金属部分在绝缘失效时变得可容易接近，也应使成套设备中所有电路的最大额定绝缘电压和最大额定冲击耐受电压与带电部分绝缘。对类成套设备准备投入运行并接上电源时，外壳或被保护空间应将所有的带电部分，外露可导电部分和附属于保护电路的部件封闭起来，以使它们不能被触及。外壳提供的防护等级至少应为 IP2XC（见 IEC 60529:1989，IEC 60529:1989/AMD1:1999 和 IEC 60529:1989/AMD2:2013）。

如果外部保护 PEL、PEM 或 PCN 导体穿过Ⅱ类成套设备，则成套设备宜标备适当标识的端子。

d) 在Ⅱ类成套设备外壳或被保护空间内部，保护导体（PE、PEL、PEM 或 PCN 导体）及其端子应与带电部分和外露可导电部分绝缘，成套设备内的外露可导电部分不应连接到保护导体。这同时也适用于内装电器元件，即使它们具有用于连接保护导体的端子。

e) 如果外壳上的门或覆板无论用钥匙或工具都能打开，则只设备绝缘材料的挡板，此挡板提供至少 IPXXB 防护，不仅防止非故意触及可接近带电部分，而且也防止非故意接近仅由覆板打开后可接近的外露可导电部分；无论如何，此挡板不使用工具不应被移开。

8.4.5 稳态接触电流和电荷的限定

如果成套设备内的设备在其断电后还可存在电荷（如没有内部基本防护的电容器等），则要求装有警示牌。

用于灭弧和继电器延时动作等的小电容器，不应认为是有危险的设备。

如果在切断电源后的 5 s 之内，由静电产生的电压降至直流 60 V 以下时，非故意的接触不认为是有危险的。

通过确保外露可导电部分有效地连接到保护导体来限制接触电流，见 8.4.3.2。

8.4.6 操作和使用条件

8.4.6.1 由一般人员操作器件或更换元件

当操作器件或更换元件时，应保持防止与任何带电部分的接触。

最小防护等级应为 IPXXC。在某些灯或熔断体更换期间，允许开口大于防护等级 IPXXC 的规定值。

8.4.6.2 对授权人员在使用中可接近性的要求

8.4.6.2.1 通则

授权人员在使用中的应用和可接近性，应满足下述 8.4.6.2.2 到 8.4.6.2.4 中一项或多项要求。这些

要求应作为对 8.4.2 基本防护的补充。

如果成套设备的门或覆板由授权人员解除联锁后能被打开而接近带电部分，则门重新闭合或覆板就位后，联锁装置应自动恢复。

屏障能用来阻止以下两种情况：

——非故意的身体接近带电部分；或

——正常使用中带电设备操作时非故意接触带电部分。

屏障不使用钥匙或工具就可移除，但应确保防止非故意移除。导电屏障与其保护的带电部分之间的距离不应小于 8.3 中规定的电气间隙和爬电距离的值。

如果仅通过基本防护将导电屏障与危险带电部分隔开，则它是外露可导电部分，也应采取故障防护措施。

8.4.6.2.2 检查和类似操作对可接近性的要求

成套设备的构造，应使成套设备使用中和通电时，某些操作项目能进行。

这类操作可包括：

——目测检查：

- 开关器件及其他元器件；
- 继电器和脱扣器的设定和指示；
- 导线的连接与标记；

——继电器、脱扣器及电子设备的调整和复位；

——更换熔断体；

——更换指示灯；

——某些故障部位的检测，例如，用合适并经准确的仪器仪表测量电压和电流。

8.4.6.2.3 维护时可接近性的要求

在邻近的功能单元或功能组仍带电的情况下，对成套设备中已断开的功能单元或功能组进行维护时，应采取必要的措施。措施的选择取决于使用条件、维护频率、授权人员的能力、现场安装规则等等。这些措施可包括：

——在实际功能单元或功能组与邻近的功能单元或功能组之间应留有足够大的空间。维护时可能移动的部件，宜具有夹持规定措施；

——使用设计并布置的挡板或屏障，以防止直接接触邻近功能单元或功能组中的设备；

——使用端子防护罩；

——对每个功能单元或功能组使用隔室；

——插入成套设备制造商提供或规定的附加保护器具。

8.4.6.2.4 在带电情况下为扩展对可接近性的要求

当应能在成套设备其余部分带电的情况下，用附加的功能单元或功能组来扩展成套设备，则应根据成套设备制造商与用户的协议，按 8.4.6.2.3 的规定进行。这些要求同时适用于现有电缆带电情况下，插入和连接附加的出线电缆。

扩展母线和连接附加单元至进线电源时，均不应在带电的情况下进行，除非成套设备是为此目的而设计的。

8.5 开关器件和元件的组合

8.5.1 固定式部件

对固定式部件(见 3.2.1)、主电路(见 3.1.3)的连接应只能在成套设备断电的情况下进行接线和断开。应使用工具拆卸和安装固定式部件。

固定式部件的断开应需要全部或部分断开成套设备。

如果会发生非授权的操作,开关器件可通过所提供的措施,固定在一个或多个位置上。

8.5.2 可移式部件

可移式部件的设计应使其电气设备能安全地与带电的主电路断开或连接。可移式部件可配备插入式联锁(见 3.2.5)。

在从一个位置移动到另一位置的过程中,应满足电气间隙和爬电距离(见 8.3)。

可移式部件应配备一个能够确保它只有在主电路与负载断开后才能移出和插入的器件。

如果可能发生非授权的操作,则应为可移式部件提供一个可锁定的方式将可移式部件固定在一个或几个位置上。

8.5.3 开关器件和元件的选择

装入成套设备中的开关器件和元件应符合相关的国家标准。

开关器件和元件应适用于成套设备外形设计(例如:开启式或封闭式)的特定用途,适合于它们的额定电压、额定电流、额定频率、使用寿命、接通和分断能力、短路耐受强度等。

安装在电路中的器件其额定绝缘电压和额定冲击耐受电压,应等于或高于此电路规定的相应的值。在某些情况下,过电压保护可为必要的,如满足过电压类别Ⅱ的设备(见 3.6.11)。开关器件和元件的短路耐受强度和/或分断能力不足以承受安装场合可能出现的应力时,应使用具有适当限流特性的保护器件来保护,例如熔断器或限流断路器。当为内装的开关器件选择限流保护器件时,为了达到协调性(见 9.3.4),宜考虑器件制造商规定的最大允许值。

开关器件和元件的配合应符合相关国家标准。电机起动器同短路保护电器的配合,应符合 IEC 60947-4-1:2018。并见 9.3.4。

注:指南参见 IEC TR 61912-1:2007 和 IEC TR 61912-2:2009。

8.5.4 开关器件和元件的安装

成套设备内的开关器件和元件的安装和布线应依据其制造商所提供的说明,使其本身的功能不致由于正常工作中出现相互作用,例如热、开合操作、振动、电磁场而受到损害。对电子装置,可有必要把电子信号处理电路进行隔离或屏蔽。

如果安装了熔断器,则给制造商应规定所使用的熔断体的类型和额定数据。

8.5.5 可接近性

只准许在成套设备内部操作进行调整和复位的器件,应易于接近。

安装在同一支架(安装板、安装框架)上的功能单元及其外接导线端子的布置应使其在安装、布线、维护和更换时易于接近。

假设成套设备的底座和操作人员的正常站立区域在同一水平线上,应适用以下与落地式成套设备相关的可接近性要求。

——端子,不包括保护导体端子,应位于成套设备的基础面上方至少 0.2 m,并且端子的位置应使

电缆考虑其各自的弯曲半径能易于与其连接。

——由操作人员观察的指示仪表应安装在成套设备基础面上方 0.2 m～2.2 m 之间。

——操作器件，如手柄、按钮或类似器件，应安装在能易于操作的高度上；这就是说，其中心线一般应在成套设备基础面上 0.2 m～2 m 之间。不经常操作的器件，如每月少于一次，可装在高度达 2.2 m 处。

——紧急开关器件的操作机构，在成套设备基础面上0.8 m～1.6 m 之间应是易于接近的。

8.5.6 挡板

手动开关器件的挡板的设计应使开合操作对操作者不产生任何危险。

为了减少更换隔断体时的危险，应使用相同挡板，除非破断器的设计和安装已考虑了这一点。

8.5.7 开关位置的指示和操作方向

应清晰的标识元件和器件的操作位置。操作位置是位置"开"和"关"（见 IEC 60947-1:2020 的 8.3.1.6）。脱扣位置不被认为是操作位置，也不需要标识。如果操作方向不符合 GB/T 4205—2010，则应清晰的标识操作方向。

8.5.8 指示灯和按钮

除非有相关产品标准的其他规定，否则指示灯和按钮的颜色应符合 GB/T 4025—2010。

8.5.9 功率因数补偿装置

对于成套设备中内装的的功率因数补偿装置，应满足 IEC 61921:2017 的要求。

注：IEC 61439 是 IEC 61921:2017 预要求的验证的主要参考。

8.6 内部电路和连接

8.6.1 主电路

母线（裸的或绝缘的）的布置应使其不会发生内部短路。母线应至少符合要求中关于短路耐受强度的等级（见 9.3），并且，应使其至少能够承受在母线电源侧保护器件指定的短路应力。

在一个框架单元内、主母线与功能单元电源侧或在单框架单元的成套设备的情况下，在每个出线 SCPD 的供电端子和进线器件的负载端子之间及包括在这些单元内的元件之间的导体（包括配电母线）可根据每个单元内相关短路保护电器在负载侧衰减后的短路应力来评估，所提供的这些导体的布置应使得在正常运行条件下，尽可能避免带电部分间和/或带电部分与地之间发生内部短路（见 8.6.4）。

在带中性导体的三相电路中，中性导体的最小截面积应满足：

——如果电路线导体的截面积小于或等于 16 mm^2，则与线导体相同。

——如果电路线导体的截面积大于 16 mm^2，则为线导体的一半，但最小为 16 mm^2。

注：当用户提受较小的中性导体时，有特定的应用。

假设中性导体：

a) 电流不超过线电流的 50%；

b) 导体和线导体的材料相同。如果不是这种情况，中性导体应具有当中性导体与线导体相同材料时提供的至少相同的电导率或载流能力。

对于会造成零序谐波较大值的特定应用（例如三次谐波）可需要较大截面积的中性导体，因为这些线导体上的谐波会加到中性导体上，并导致高频率下的高负载电流。这种情况通常成套设备制造商与用户间的专门协议。

PEL、PEM 和 PEN 导体尺寸应依据 8.4.3.2.3 的规定。

8.6.2 辅助电路

辅助电路的设计宜考虑辅助电路接地并保证接地故障不会引起非故意的危险操作。

通常，辅助电路应带有保护以防止短路的影响。然而，如果短路保护电器的动作易于造成危险，则不应配备保护器件。在此情况下，辅助电路导体的布置方式应使其不会发生短路(见 8.6.4)。

注：有关辅助电路要求的更多信息参见 IEC 60364-5-53:2011、IEC 60364-5-55:2011/AMD1:2012 和 IEC 60364-5-55:2011/AMD2:2016 的 557.3.4。

8.6.3 裸导体和绝缘导线

正常的温升、绝缘材料的老化和正常工作时所产生的振动不应造成载流部件的连接有异常变化。宜考虑到不同金属材料的热膨胀和电解作用以及所达到的温度而引起的变化的影响。

与安装在门上的器件或其他可移式部件的连接应使用软导线，如 GB/T 5023.6—2008 规定的第 5 类或第 6 类，以允许部件的移动。导线应独立于电气连接端子而固定在固定部件和可移式部件上。

载流部件之间的连接应保证有足够和持久的接触压力。

如果是基于试验(见 10.10.2)进行温升验证，成套设备内部导体及其截面积的选择应由初始制造商负责。如果是依据 10.10.3 的规则进行温升验证，导体应符合 GB/T 16935.1—2023 规定的最小截面。如何使本文件用于成套设备内的状态的系列在表 H.1 和表 H.2 中给出。除了导体的载流量，导体的选择还取决于：

——成套设备可承受的机械应力；

——敷设和固定导体的方法；

——绝缘类型；

——所连接元件的种类(如符合 IEC 60947(所有部分)的开关设备和控制设备、电子装置或设备)。

关于绝缘导线或软导线，应用以下规则：

——截至实际照有关电路的额定绝缘电压(见 5.2.3)确定绝缘导线；

——连接两个端子之间的导线不应有中间接头，例如拉接或焊接；

——只带有基本绝缘的导线应防止与不同电位的裸带电部分接触；

——应防止导线与带有尖角的边缘接触；

——在覆板或门上连接电器元件和测量仪器的导线的安装，应使这些覆板和门的移动不能对导线产生机械损伤；

——在成套设备中对电器元件进行焊接连接时，只有在电器元件和指定类型的导线适合此类型的连接时，才是允许的；

——除上述以外的其他电器元件，焊接电缆接线头或多股导线的焊接端头不适用于有剧烈振动的状况。在正常工作时有剧烈振动的地方，例如运行的挖掘机和起重机、运行的船上、起吊设备和机车，宜注意将导线固定住；

——通常，一个端子夹紧单元上宜只连接一根导线，只有在端子夹紧单元是为此用途而设计的情况下才允许将两根或多根导线连接到一个端子夹紧单元上；

——不同电路的导线可并排敷设，可占用同一管道(例如导管、干线系统)，或者在不影响各自电路正常工作的情况下，可在同一多导线电缆中。当这些电路在不同的电压下工作时，导线之间应用适当的挡板隔开。作为一种选择，同一管道内的所有导线或多芯电缆中的任何导线都应绝缘，以承受同一管道内任何导线所能承受的最高电压，例如未接地系统的线对线电压和接地系统的线对地电压。

8.6.4 为减少短路的可能性，对无保护的带电导体的选择和安装

成套设备内无短路保护电器保护的带电导体(见8.6.1和8.6.2)，在整个成套设备内的选择和安装应符合表4。无保护的带电导体的选择和安装见表4，主导线与各个SCPD之间导体总长度不应超过3 m，或者在单一框架单元成套设备的情况下，在进线器件的负载端子和每个出线SCPD的供电端子之间。

8.6.5 主电路和辅助电路导体的识别

除了8.6.6中提到的情况外，导体的识别方法和内容，例如利用连接端子上的或在导体本身末端上的排列、颜色或符号，应由成套设备制造商负责，并且，应与接线图和原理图上的标志一致。如果合适，应用GB/T 4026—2019中的方法标识。

8.6.6 保护导体(PE、PEL、PEM、PEN)和非电缆的中性导体(N)以及中间导体(M)的识别

用位置和/或标志或颜色应很容易地识别保护导体(PE、PEL、PEM、PEN)。如果用颜色或标志来识别，应按照GB/T 4026—2019的规定。如果保护导体是绝缘的单芯电缆，也应采用此种颜色标识，颜色标记最好贯穿整个长度。

主电路的任何中性导体或中间导体用位置和/或标志或颜色应很容易识别(见GB/T 4026—2019中应为蓝色的部分)。

8.6.7 交流电路中穿过铁磁外壳或铁磁板的导体

当额定电流超过250 A的交流电路中的导体穿过铁磁外壳、框架单元或板材，它们应：

——安排导体或回路铁磁材料位置，例如穿过同一孔；或

——导体通过每回路的布置应经过温升试验的验证。

允许额外的保护导体单独进入铁导壳。

8.7 冷却

如果要求安装热敏元件以防设备以没有足够的冷却，则成套设备制造商应提供必要的信息(例如，标出易发生过高散热或发热部件所需要的间隔)。

8.8 外接电缆端子

基于初始制造商的资料，成套设备制造商应指出端子是适合于连接铜导线，还是适合连接铝导线，或者是两者都适合。端子应能与外接导线进行连接(如采用螺钉、连接件等)，并保证维持适合于电器元件和电路的电流额定数据和短路强度所需要的接触压力。

除非有具体信息指出需要更大的端子外接导线更大的电缆，否则端子应能适用于随电路保护器件额定电流 I_n 而选定的铜导线从最小至最大的截面积(见附录A)。对于可调节保护器件，额定电流是所选电流的整定值。

如果使用铝导线，其类型、尺寸和导线在端子上的接线方法应遵循成套设备制造商与用户之间的协议。

当低压小电流(小于1 A，且交流电压低于50 V或直流低于120 V)的电子电路的外部导线只准许与成套设备连接时，表A.1不适用。

可利用的布线空间应允许规定材料的外接导线能正确地连接，而在多芯电缆的情况下，能展开芯线。

导线不应承受可能降低其正常寿命的应力。

除非有具体信息指出需要更大的端子时使用更大的电缆，否则在带中性导体的三相电路中，中性导

体的端子应允许连接具有以下最小截面积的铜导线：

——如果线导体的截面积大于 16 mm^2，则截面积等于线导体截面积的一半，但最小为 16 mm^2；

——如果线导体的截面积小于或等于 16 mm^2，则截面积等于线导体的截面积。

对于非铜导线，上述截面宜以等效电导率的截面代替，此时可需要较大尺寸的端子。

对于会造成零序谐波较大值的特定应用(例如三次谐波)可需要较大截面积的中性导体，因为这些线导体上的谐波会加到中性导体上，并导致高频率下的高负载电流。这种情况遵照成套设备制造商与用户间的专门协议。

如果提供用于进线和出线的中性导体，中间导体，保护导体，PEL，PEM 和 PEN 导体的连接设施，应将它们放置在相应的线导体端子的附近。

注：IEC 60204-1:2016 要求导体的一个最小截面积并且不允许将 PEN 接至机器的电气设备中。

电缆入口，盖板等应设计成在电缆正确安装后，能够达到所规定的防触电措施和防护等级，这意味着电缆入口方式的选择要适合成套设备制造商规定的使用条件。

外部保护导体的端子应按照 GB/T 4026—2019 进行标记，示例见 IEC 60417-5019:2006-08-25 图形符号⏚。如果外部保护导体准备与带有绿黄颜色清楚标记的内部保护导体连接时，则不要求此符号。

外部保护导体(PE，PEL，PEM，PEN)的端子和连接电缆的金属护套(铠装管，铅铠装管等)应是裸的，如无其他规定，应适于连接铜导体。应为每条电路的出线保护导体设置一个尺寸合适的单独端子。

除非有具体信息指出需要更大的端子时使用更大的电缆，否则保护导体的接线端子应允许连接的铜导线的截面积取决于相应的线导体的截面积，见表 5。PEN 导体的端子应与中性导体相同。

对铝或铝合金的外壳和导体，宜特别注意电腐蚀的危险。用于保证导电部分与外部保护导体的电的连续性而采取的连接措施不应作其他用途。

对于使用耐蚀的表面材料的成套设备的金属部件，尤其是密封板，例如使用粉末喷涂，这可能需要特别预先加以注意。

若无其他规定，对端子的识别应依据标准 GB/T 4026—2019。

9 性能要求

9.1 介电性能

9.1.1 通则

成套设备的每条电路都应能承受：

——暂时过电压；

——瞬态过电压。

用施加工频耐受电压的方法验证成套设备承受暂时过电压的能力及固体绝缘的完整性；用施加冲击耐受电压的方法验证成套设备承受瞬态过电压的能力。

在变频驱动或转换器的情况下，反射电压波，反复出现的峰值电压和频率可能需要特别注意。

注：GB/T 16935.1—2008 包含了附加和加强绝缘(Ⅱ类)的要求。

9.1.2 工频耐受电压

成套设备的电路应能承受表 8 和表 9 给出的相应的工频耐受电压(见 10.9.2)。成套设备任何电路的额定绝缘电压应等于或高于其最大额定工作电压。

用绝缘材料制造或覆盖的外壳和外部操作手柄应能够耐受 10.9.4 和 10.9.5 中规定的工频介电试验。

覆盖绝缘材料以提供电击防护的导体应能够耐受 10.9.6 规定的工频介电试验。对于根据其产品

标准进行适当绝缘验证的绝缘导体(如电缆),不应进行此测试。

9.1.3 冲击耐受电压

9.1.3.1 主电路的冲击耐受电压

带电部分与外露可导电部分之间,不同电位的带电部分之间的电气间隙应能承受表 10 给出的对应于额定冲击耐受电压的试验电压值。

对给定额定工作电压的相应额定冲击耐受电压不应低于附录 G 中给出的成套设备使用点的电路的电源系统类别及其标称电压和相应的过电压类别。

9.1.3.2 辅助电路的冲击耐受电压

a) 连接在主电路上,且以额定工作电压(没有任何减少过电压的措施)运行的辅助电路应符合 9.1.3.1的要求。

b) 不与主电路连接的辅助电路,可有与主电路不同的过电压承受能力。这类交流或直流电路的电气间隙应可以承受附录 G 中给出的相应的冲击耐受电压。

9.1.4 浪涌保护器件的保护

当过压情况要求主电路连接浪涌保护器(SPD)时,按照浪涌保护器制造商的规定,应对此浪涌保护器进行保护以防止不可控的短路情况。

SPD 的安装应遵照 SPD 制造商的说明书,如 SPD 端子到线和地之间的导线总长度。

9.2 温升极限

9.2.1 通则

成套设备和它的电路在特定条件下应能够承载其额定电流(见 5.3.1、5.3.2、5.3.3 和 5.4),考虑到元件的额定数据、它们的布置和应用,且当按照 10.10 验证时不超过表 6 中给出的限值。表 6 中给出的温升限值适用于周围空气日均温度 35 ℃。

元件或部件的温升是按照 10.10.2.3.3 的要求测得该元件或部件的温度与成套设备外部环境空气温度的差值。如果周围空气平均温度高于 35 ℃,则温升限值应适应此特殊使用条件,使得周围温度和温升限值之和仍保持不变。如果周围空气日均温度低于 35 ℃,则温升限值在遵照用户与成套设备制造商间的协议下,可允许按照上述相同的方式调整。

在某些情况下,例如,手动操作方式,可触及的外面板和外壳,更高的温度是允许的,但不高于表 6 的最大限值。见表 6 脚注 h。

温升不应造成成套设备载流部件或相邻部件的损坏。特别对于绝缘材料,初始制造商应通过或是参考温度指标,例如按 IEC 60216(所有部分)的方法确定,或是按照 GB/T 11021—2014 的规定来证明符合性。

9.2.2 根据周围空气温度调整额定电流

如果改变了温升极限,使其涵盖不同的周围空气温度,则所有母线、功能单元等的额定电流可需要做相应改变。初始制造商应说明采取的措施,以确保与温升极限相符合。如果适应较低的周围空气温度,则不应超过器件制造商公布的器件额定电流。

如果之前已对周围空气日均温度 35 ℃应用温升限值进行过温升试验,那么,周围空气日均温度 50 ℃时的额定电流能使用之前验证过的额定电流通过 10.10.3.6 给出的计算方式进行调整。

9.3 短路保护和短路耐受强度

9.3.1 通则

成套设备应能够耐受不超过额定值的短路电流所产生的热应力和电动应力。

注1：限制流经器件和电路、限流熔断器或其他限流开关器件能减小短路应力。

注2：根据IEC 60947-9-1规定，当电弧避灾器件(AQD)或任何其他有意的短路装置产生短路时，会在相关电路上产生最大应力。

成套设备应采取针对短路电流的防护措施，例如：断路器、熔断器或两者的组合件。上述元器件可安装在成套设备的内部或外部。

对用于IT系统的成套设备，短路保护电器的每个极在线电压下宜有足够的分断能力以排除双相接地故障。

除非成套设备制造商在运行和维护说明中另有规定，否则没有经过熟练技术人员检查和/或维护，短路后的成套设备不可再使用。

9.3.2 有关短路耐受强度的信息

对于进线单元带有SCPD的成套设备，成套设备制造商应标明成套设备进线端的预期短路电流的最大允许值。这个值不应超过相应的额定值(见5.3.4、5.3.5.3和5.3.5.4)。相应的功率因数和峰值应为9.3.3给出的数据。

如果使用带延时脱扣的断路器作为短路保护电器，则成套设备制造商应标明最大延时时间和相应于给定预期短路电流的电流整定值。

对于进线单元没有短路保护电器的成套设备，成套设备制造商应用下述一种或两种方法标明短路耐受强度：

a) 额定短时耐受电流(I_{cw})及相应的持续时间(见5.3.5)和额定短路耐受电流(I_{pk})(见5.3.4)；

b) 额定限制短路电流(I_q)(以及上游SCPD的限流特性(见2.3.11))。

当持续时间不超过3 s时，额定短时耐受电流与相应的持续时间的关系用公式I^2t=常数表示，但峰值不超过额定峰值耐受电流。

具有几个但不大可能同时工作的进线单元的成套设备，其短路电流耐受强度应根据上述条款在每个进线单元上标出。

对于具有几个且可能同时工作的进线单元的成套设备，以及对于具有可能分担短路电流的一个进线单元和一个或几个大功率出线单元的成套设备，宜考虑所有操作模式，确定每个进线单元、每个出线单元和母线中的预期短路电流值。预期短路电流的确定应基于用户提供的数据。

9.3.3 峰值电流与短时电流之间的关系

为确定电动应力，峰值电流值应用短路电流的交流有效值和直流平均值乘以系数n获得。系数n的值和交流相应的功率因数在表7中给出。直流的峰值系数遵照制造商和用户之间的协议。

注：对于直流，如果用户没有说明峰值电流值，则通常使用n=1.41。

9.3.4 保护器件的配合

成套设备内部和用于成套设备外部的保护器件之间的配合应遵循成套设备制造商与用户之间的协议。成套设备制造商的产品目录中给出的信息可替代这类协议。

如果工作条件要求供电电源有最大的连续性，则成套设备内短路保护电器的整定或选择宜有可靠是选择配合的，即在任何一个输出电路发生短路时，利用安装在该故障电路中的SCPD使其消除，而不影响其他输出电路，从而确保保护系统的选择性。

如果将短路保护电器串联连接，并准备同时运行，以达到所要求的短路通断能力(即后备保护)，则成套设备制造商应告知用户(例如通过成套设备上或使用说明书中的警告标志，见 6.2)，保护器件不允许用不同类型和额定数据的其他器件替换，除非此器件已与备用器件组合在一起经过试验和核准，否则整个组合的通断能力可能会受到损害。

详细指南见 IEC TR 61912-1:2007 和 IEC TR 61912-2:2009，也见 8.5.3。

9.4 电磁兼容性(EMC)

与 EMC 相关的性能要求，见表 9.4。

10 设计验证

10.1 通则

初始制造商有责任确保所有的设计验证应由合格人员进行或监督。

设计验证是为验证成套设备或成套设备系统的设计是否符合 IEC 61439(所有部分)的要求。

设计验证应包含所有声明的安装方向。

若成套设备已按照 IEC 61439(所有部分)[4]之前版本做过了相关试验，而且试验结果完全满足 IEC 61439(所有部分)现行版本相关部分的要求，则这些要求的验证不需要重复进行。

如组合在成套设备中的开关器件或元件包括导体已经按照 6.1.3 的规定选定，并且是依照其制造商的说明书安装的，则不必再按其产品标准进行验证。各个器件和元件包括导体依照其相关产品标准进行的试验不能代替本成套设备标准的设计验证。

如果对已验证的成套设备进行更改，则应使用 7.1 章来核查这些更改是否影响成套设备的性能。如果可能存在不利影响，则进行新的验证。

方法包括：

——检查试验；

——与参考设计进行验证比较；

——验证评估，例如，确认计算和设计规则的正确应用，包括适当的安全余量。

包含的设计验证全列表见附录 D。

当同一验证有不止一种方法时，则认为它们是等效的，且初始制造商有责任选择合适的方法。

试验应在制造和新的条件下，在有代表性的成套设备样机上进行。

成套设备的性能可受前述试验(例如短路试验)的影响。这些试验不应在打算使用的成套设备上进行。

由初始制造商(见 3.10.1)依据本文件验证过的成套设备，当由其他制造商组装或制造时，如果全部满足初始制造商规定的要求和提供的使用说明书，则不要求重复初始设计验证。若成套设备制造商加入了自己的布置方式进行组装时，而这些布置方式不包括在初始制造商所做验证范围内，则该成套设备制造商被认为是这些布置方式的初始制造商并对这些替换的布置负责。

设计验证应由以下部分组成：

a) 结构：

10.2 材料和部件的强度；

10.3 成套设备的防护等级(IP 代码)；

10.4 电气间隙和爬电距离；

---

4) IEC 60439 系列已废止并被 IEC 61439 系列取代。

10.5 电击防护和保护电路完整性；

10.6 开关器件和元件的组合；

10.7 内部电路和连接；

10.8 外接导线端子。

b) 性能：

10.9 介电性能；

10.10 温升；

10.11 短路耐受强度；

10.12 电磁兼容性。

参考设计，用于验证的成套设备或其部件的数量，所适合的验证方法的选择以及执行验证顺序应遵从初始制造商的规定。

成套设备验证中使用的数据，计算和比较，应记录在验证报告中。

10.2 材料和部件的强度

10.2.1 通则

成套设备的结构材料和部件的机械、电气和热性能应通过结构和运行特性来验证。

如果使用符合 GB/T 20641—2014 的空壳体，且没有对其进行过降低外壳性能的更改，则无需按 10.2 规定再进行外壳的试验。

10.2.2 耐腐蚀性

10.2.2.1 试验验证

成套设备含铁的金属外壳及内部和外部含铁金属部件的代表性样品应进行耐腐蚀性验证。

试验应执行在：

——外壳或代表性样品外壳，且正常使用时，具有代表性的内部部件且门关闭，或

——单独的代表性外壳部件和内部部件。

在所有情况下，铰链、锁和紧固件也应进行试验，除非它们原先已进行过等效试验并且使用中没有损害其耐腐蚀性。

当使用外壳进行试验时，外壳应按照初始制造商说明书中正常使用的要求安装进行试验。

试验样品应是新的，并在清洁的条件下，并应耐受 10.2.2.2 和 10.2.2.3 中严酷试验 A 或 B 的验证。

注：盐雾试验提供了加速腐蚀的环境，但这不意味着成套设备适用于盐雾环境。

10.2.2.2 严酷试验 A

试验适用于：

——户内安装的金属铁外壳；

——户内安装成套设备的外部金属铁部件；

——户内和户外安装的成套设备内部可用于机械操作的金属铁部件。

试验包括：

根据 GB/T 2423.4—2008(试验 Db)进行湿热循环试验，温度(40±2)℃，试验以 24 h 为一个循环，共进行 6 个循环。根据 GB/T 2423.4—2008 的附录 A 推荐的选择方案 1 或 2，之后，

根据 GB/T 2423.17—2008(试验 Ka：盐雾)进行盐雾试验，温度(35±2)℃，试验以 24 h 为一个循环，共进行 2 个循环。

10.2.2.3 严酷试验 B

试验适用于：

——户外安装的金属铸外壳；

——户外安装或在设备的外部金属铸部件。

试验由两个完全相同的 12 天周期组成。

每个 12 天的周期包括：

根据 GB/T 2423.4—2008(试验 Db)进行湿热循环试验，温度为(40±2)℃，试验以 24 h 为一个循环，共进行 5 个循环。根据 GB/T 2423.4—2008 附录 A 推荐的选择方案 1 或 2，之后。

根据 GB/T 2423.17—2008(试验 Ka，盐雾)进行盐雾试验，温度(35±2)℃，试验以 24 h 为一个循环，共进行 7 个循环。

10.2.2.4 试验结果

试验结束后，应开启水龙头对外壳或样品用水冲洗 5 min，用蒸馏水或软化水漂净，用甩动或用吹风机除去水珠，然后将试验样品存放在正常使用条件下 2 h。

进行目测检查，以确定：

——没有明显破裂或除锈蚀外不超过 ISO 4628-3:2016 所允许的 Ri1 锈蚀等级的其他损坏(作为整体考虑样本)。然而，允许保护涂层表面的损坏。如果对色泽和清洁有疑问，应参考 ISO 4628-3:2016 验证，看试样是否符合样品 Ri1。

——机械完整性没有损坏。

——密封没有损坏。

——门、铰链、锁和紧固件工作没有异常。

10.2.2.5 通过与参考设计对比进行验证

类似的外壳、外壳部件和内部金属铁部件，不论其形状和尺寸，如果它们是用相同的材料、相同的表面处理、使用相同的制造工艺制造的，则包含在代表性样品的腐蚀试验中。

10.2.3 绝缘材料性能

10.2.3.1 热稳定性

10.2.3.1.1 通过试验进行的外壳热稳定性验证

由绝缘材料制造的外壳的热稳定性应用于热试验验证。试验根据 GB/T 2423.2—2008 试验 Bb 进行，温度 70 ℃，自然通风，持续 168 h，恢复 96 h。

对于没有技术上的意义，只用于装饰目的的部件不应进行此项试验。

将一个如同正常使用时一样安装的外壳放在加热箱中进行试验，加热箱有同周围空气一样的成分和压力而且自然通风。如果外壳的尺寸比可用的加热箱大很多，则试验可在一个有代表性的外壳样品上进行。

推荐使用电加热箱。

可通过加热箱壁上的孔提供自然通风。

经正常视力或没有附加放大设备的校正视力目测外壳或样品，既没有可见的裂痕，其材料也没有变为黏性或油脂性。可用下列方法判断：

——在食指裹一块干棉布，以 5 N 力按压样品，样品上应没有布的痕迹并且外壳或样品的材料没有粘到布上。

注：5 N的力能用下面方法获得：外壳或样品放在天平的一个秤盘上，天平的另一秤盘加载的质量等于样品的质量+500 g。在套在上面一片相同的干布放在样品上使天平平衡。

样品上不应留有布料的痕迹，外壳或样品的材料不应粘在布料上。

10.2.3.1.2 通过比较进行的外壳热稳定性验证

外壳或附在外壳上的部件具有相同的材料、相同的颜色、相同或更厚的壁和相同的一般结构，但有：倒角、其他尺寸，则包含在代表性样品的试验中。

10.2.3.2 绝缘材料耐受内部电效应引起的非正常发热和着火的验证

10.2.3.2.1 试验验证

GB/T 5169.10—2017中的灼热丝试验原理和GB/T 5169.11—2017中给出的详细说明用来验证用于下列部件的材料的适用性：

a) 成套设备的部件上；或

b) 从这些部件上提取的样本上。

试验应在a)或b)部件中最薄的材料上进行。

该试验的说明见GB/T 5169.11—2017的第8章，所用的设备是GB/T 5169.11—2017的第5章。

灼热丝顶部的温度应如下：

——其上需要安装载流部件的部件，960 ℃；

——用于嵌入墙内的外壳，850 ℃；

——其他部件，包括需要安装保护等体的部件和嵌入墙内的耐燃外壳部件，650 ℃。

注1：实测温度的公差包括在GB/T 5169.11—2017中。

注2：由绝缘材料组成的成套设备或部件被认为是最终产品，并按照GB/T 5169.11—2017进行试验。

对于表面尺寸不超过14 mm×14 mm的小零件，可使用替代试验(如依据GB/T 5169.13—2020的针焰试验)。同样的程序可适用于其他实际原因，或一个部件的金属有机比绝缘材料大时。

10.2.3.2.2 通过与参考设计比较进行验证

如果用相同材料制成的部件，并具有与已经满足8.1.3.2.3要求的基准部件相同或更大的厚度，则不需要进行试验。对于之前已经依据其各自规范通过试验的所有部件亦同理。

10.2.3.2.3 通过评估进行验证

供替代的另一种选择，初始制造商应提供关于绝缘材料制造商的材料适用性数据，以证明所使用的材料符合IEC 60695-2-12的要求并且适用温度符合10.2.3.2.1的要求。

10.2.4 耐紫外线(UV)辐射验证

10.2.4.1 验证试验

此试验仅适用于用绝缘材料制作的或用金属制作但完全用合成材料包覆的，用于户外安装的成套设备的外壳和外部部件。这些部件的代表性样品应进行如下试验。

10.2.4.1.1 绝缘材料制成的成套设备的外壳和外部部件的验证

试验样品：

——符合ISO 178:2019规定的6个标准尺寸的试样；和

——符合ISO 179-1:2010、ISO 179-2:2020规定的6个标准尺寸的试样。

应准备好。

试样应在与制造外壳的相同条件下制成。

试验步骤：

a) 依据 ISO 4892-2:2013 中的方法 A 在 12 个样品上进行 UV 试验，循环 1 试验周期总共 500 h；

b) 依据 ISO 178(方法 A)在 6 个样品上验证绝缘材料的弯曲强度。暴露在 UV 下的样品的表面应正面向下，并在非暴露表面施加压力。

c) 依据 ISO 179 在 6 个样品上进行摆锤冲击验证。不应在样品上切割切口，并且冲击应施加在暴露的表面上。

试验结果：

a) 经正常视力或没有附加放大设备的校正视力目测样品应没有可见的裂痕或损坏；

b) 依据 ISO178 的弯曲强度应至少保留 70%；

c) 依据 ISO179 的摆锤冲击应至少保留 70%。对于材料，断裂未产生裂痕，所以冲击弯曲强度不能在暴露前确定，不应损坏超过 3 个暴露试验的样品。

10.2.4.1.2 用合成材料涂覆在外露表面的成套设备外壳和外部部件的验证

试验样品：应测试三个具有代表性的合适尺寸的样品。试件的制作条件应与所考虑的外壳制造所用的条件相同。

试验步骤：

a) 依据 ISO 4892-2:2013 中的方法 A 在 3 个样品上进行 UV 试验，循环 1 试验周期总共 500 h；

b) 根据 ISO 2409 对涂层的附着性进行验证。

试验结果：

合成材料的粘附物依据 ISO 2409 应至少符合分级 3。

10.2.4.2 通过与参考设计比较进行验证

由相同绝缘材料制成的外壳和外部部件，不论其形状和尺寸，应包含在代表样品上的试验中。

10.2.4.3 验证评估

作为替代方案，初始制造商应向绝缘材料供应商提供相同类型、厚度或更薄材料的试用性数据，以证明符合 8.1.4 的要求。

10.2.5 提升

10.2.5.1 验证试验

如果初始制造商提供了除手动外的提升方式，用以下试验验证符合性。

将初始制造商允许提升的最大数量的框架单元、元件和/或成品装在一起，并使质量达到最大运输质量的 1.25 倍。将门关闭，用初始制造商规定的方法，用指定的提升设施提升。

将运输单元从静止位置垂直平稳地、无冲击地向上提升大于或等于 1 m 高度，然后，以相同方法缓慢地放到静止位置。此试验再重复两次，之后将运输单元提升离开地面不做任何移动悬吊 30 min。

按照以上试验并使用相同的运输单元，运输单元应从静止位置垂直平稳地、无冲击地提升大于或等于 1 m，并水平移动(10±0.5) m，然后放到静止位置。按照这个顺序以相同的速度进行三次试验，每次试验时间在 1 min 之内。

试验后，试验样品应就位，运输单元经正常视力或没有附加放大设备的校正视力目测没有可见的裂痕或永久变形，其性能也没有受到损害。

10.2.5.2 与参考设计比较进行验证

如果外壳的质量与测试样品的质量相同或更低，则验证具有相同或相同结构设计和结构布置的外壳的提升。

10.2.6 机械碰撞防护(IK 代码)验证

特定的成套设备标准要求的机械碰撞试验应依据相关成套设备标准的试验要求进行。

10.2.7 标志

10.2.7.1 验证试验

模压、冲压、刻字或类似方法制作的标志，包括带有塑料覆膜的标签，不应经受本试验。

试验时先手持一块在水中浸泡过的布，摩擦标志 15 s，再用在石油溶剂油中浸泡过的布摩擦标志 15 s。

注：石油溶剂油已完成所需显微试验的适宜溶剂。

试验后，经正常视力或没有附加放大设备的校正视力目测标志，仍容易辨认。

10.2.7.2 与参考设计比较进行验证

相同材料和印刷方法的标记包含在参考样品上完成的试验中。

10.2.8 机械操作

10.2.8.1 验证试验

对于依据相关产品标准进行过型式试验的成套设备的这些器件(例如抽出式断路器)，除非其机械操作做了与器件制造商说明书中给出的不同安装布置的修改，否则不应对这些器件进行此验证试验。

对于需要作此验证试验的部件(见 8.1.5)，在成套设备中安装好之后，应验证机械操作是否良好，操作循环次数应为 200 次。已经按照其产品标准进行过试验的器件，但安装方式没有按照制造商说明书进行的，操作次数应当按照产品标准进行。

同时，应检查与这些动作相关的机械联锁机构的工作。如果元器件、联锁机构、规定的防护等级和位置指示等的工作状态未受损伤，而且所要求的操作力与试验前一样，则认为通过了此项试验。对于具有特定操作标准的器件，宜参考设备产品标准和/或制造商的说明书。

10.2.8.2 与参考设计比较进行验证

具有相同或同等的机械操作结构方案的外壳包含在参考样品上完成的试验中。

10.3 成套设备的防护等级(IP 代码)

8.2.2、8.2.3 和 8.4.2.3 中规定的防护等级应依据 IEC 60529:1989、IEC 60529:1989/AMD1:1999 和 IEC 60529:1989/AMD2:2013 进行验证；试验可在一台有代表性装备的成套设备上按初始制造商规定的环境条件下进行。当成套设备使用的空壳体符合 GB/T 20641—2014 规定的要求或按照 IEC 61439(所有部分)做过成套设备外壳试验时，应进行验证评估以确保已进行的所有外形更改不会导致降低防护等级。例如，这种评估可能是一种目视检查，以确认具有适当保护等级(IP 代码)的器件已按照设备制造商的安装说明安装在外壳的开口中。这种情况下不应再做进一步的试验。

防护等级(IP 代码)试验应执行在：

——如正常使用状态下，所有覆板和门就位并关闭，不考虑它们是否能打开或移除，使用或不使用

钥匙或工具；

——在断电状态下(主电路和辅助电路)；

——当成套设备是由多框架单元组成或被描述为可扩展的，应包含接入的框架单元。

防护等级为 IP5X 的成套设备，应依据 IEC 60529:1989 和 IEC 60529:1989/AMD1:1999 中的 13.4，类型 2 进行试验。

防护等级为 IP6X 的成套设备，应依据 IEC 60529:1989 和 IEC 60529:1989/AMD1:1999 中的 13.4，类型 1 进行试验。

注：IEC 60529:1989、IEC 60529:1989/AMD1:1999 和 IEC 60529:1989/AMD2:2013 中给出的试验，与水相关有关的是加速试验，不代表成套设备的实际操作条件。该试验模拟了在短时间内成套设备生命周期内的条件。在现实生活中，会发生通过定期维护来消除的一种缓慢的污染。

IPX3 和 IPX4 的试验装置，及 IPX4 试验中外壳的支撑物的类型在试验报告中应予以说明。

IPX1 试验可用移动滴水箱取代成套设备的旋转。如果待测成套设备的表面尺寸大于滴水箱的尺寸，试验应在必要时反复进行，以覆盖成套设备的所有相关表面。每次单独测试时间为 10 min。

在成套设备从 IPX1 到 IPX6 的试验中，只有对于进入路径明显，且只接触到外壳但不降低电气间隙和爬电距离的进水是允许的。如果降低了电气间隙和爬电距离，其不应低于表 1 和表 2 的规定的最小值。

如果在外壳内的爬电距离通路上可见灰尘，并且爬电距离降低到表 2 规定最小值以下，则不认为通过了 IP5X 试验，见 IEC 60529:1989 中的 13.5.2。

10.4 电气间隙和爬电距离

验证电气间隙和爬电距离应符合 8.3 的要求。

测量爬电距离的方法如附录 F 所示。

电气间隙通过依据附录 F 的测量来验证或通过依据 10.9.3 的试验验证。

10.5 电击防护和保护电路完整性

10.5.1 通则

对装配连续性和保护电路有效性的下列功能进行验证：

a) 防止 10.5.2 中列出的Ⅰ类成套设备内部故障产生的后果；和

b) 防止 10.5.3 中列出的由成套设备供电的外部电路故障产生的后果。

10.5.2 Ⅰ类成套设备外露可导电部分与保护电路之间的有效接地的连续性

应验证成套设备的不同外露可导电部分是否有效地连接到进线外部保护导体的端子上。

应使用电阻测量仪器进行验证，此仪器至少能输出 10 A 交流或直流电流。在每个外露可导电部分与外部保护导体的端子之间通以此电流。电阻不应超过 0.1 Ω。

有必要限制试验的持续时间，否则，低电流设备可能会受到试验的不利影响。

10.5.3 保护电路的短路耐受强度

10.5.3.1 通则

应验证额定短路耐受强度。验证可通过与参考设计比较的方式(见 10.5.3.3 或 10.5.3.4)或10.5.3.5 中详述的试验方式来进行。

初始制造商应确定将在 10.5.3.3 和 10.5.3.4 中应用的参考设计。

10.5.3.2 免除短路耐受验证的保护电路

符合 8.4.3.2.3 的单独保护导体，如果满足 10.11.2 中的条件之一，则可以不进行短路试验。

10.5.3.3 通过与参考设计比较进行验证——使用核查表

当待验证的成套设备与已试验的设计使用核查表 13 中的 1～6 项和 8～10 项进行比较无偏差时，则验证通过。

为确保流过外露可导电部分具有相同承载故障电流的能力，提供的保护导体与外露可导电部分间连接的部件的设计、数量和布置应与参考设计相同。

10.5.3.4 通过与参考设计比较进行验证——使用计算

验证是基于与依据 10.11.4 计算的参考设计相比较进行的。

为确保流过外露可导电部分具有相同承载故障电流的能力，提供的保护导体与外露可导电部分间连接的部件的设计、数量和布置应与参考设计相同。

10.5.3.5 通过试验验证

按 10.11.5.6 的要求进行。

10.6 开关器件和元件的组合

10.6.1 通则

依据 8.5 的设计要求，开关器件和元件的组合应经初始制造商检查确认。

注：如果成套设备制造商对初始制造商的设计进行修改，则成套设备制造商对该设计变更承担初始制造商的责任，并负责进行初始制造商的检查，见 8.5.3。

10.6.2 电磁兼容性

J.9.4 中电磁兼容性的性能要求应通过检查验证，必要时通过试验验证（见 10.12.3）。

10.7 内部电路和连接

依据 8.6 设计要求，内部电路和连接应经初始制造商检查确认。

注：如果成套设备制造商对初始制造商的设计进行修改，则成套设备制造商对该设计变更承担初始制造商的责任，并负责进行初始制造商的检查，见 10.1。

10.8 外接导线端子

依据 8.8 设计要求，外接导体端子应经初始制造商检查确认。

注：如果成套设备制造商对初始制造商的设计进行修改，则成套设备制造商对该设计变更承担初始制造商的责任，并负责进行初始制造商的检查，见 10.1。

10.9 介电性能

10.9.1 通则

试验时，成套设备的所有电气设备都应连接起来，除非根据有关规定应施加较低试验电压的元器件以及某些消耗电流的元器件（如线圈、测量仪器、浪涌抑制器），对这些元器件施加试验电压后将会引起电流的流动，则应将它们断开。此类元器件应将它们的一个接线端上断开，除非它们被设计为不能耐受

全试验电压时，才可将所有接线端子脱开。

试验电压的允许误差和试验设备的选择按 GB/T 17627—2019 的规定。

10.9.2 工频耐受电压

10.9.2.1 主电路、辅助电路

主电路以及连接到主电路的辅助电路应承受表 8 中的试验电压值。

不与主电路连接的辅助电路，无论交流或直流，应承受表 9 中的试验电压值。此试验不在以下辅助电路上进行：

——只包含制造商规定的具有适当绝缘强度的绝缘导体，和

——由额定值不超过 16 A 的短路保护装置保护，和

——如果之前在辅助电路设计的额定工作电压下进行过电气性能试验。

10.9.2.2 试验电压

用于交流应用的电路应最好用交流试验电压进行试验。只有当试样不准许用交流电进行试验时，才宜考虑用直流电压试验代替交流电压试验，例如电容器、电容器和类似的情况下（见 GB/T 2900.33.1—2008 中 6.1.3.4.1 的第 5 段）。

注：当直流试验电压的值等于交流试验电压的峰值时，试验的强度与交流试验电压一致。

直流电压应使用与额定绝缘电压相对应的交流或直流试验电压进行试验。

当使用交流试验电压时，试验电压波形应基本为正弦波，频率等于或接近设备额定频率，公差为 ±25%。直流试验电压应有可忽略不计的波纹。

在输出电压已调整到合适的试验电压值后，当输出端子短路时，用于试验的高压源应设计为输出电流足以使过流继电器跳闸，并大于 100 mA。

当输出电流小于 100 mA 时，过流继电器不应动作。

试验电压值应是表 8 或表 9 中规定值，允许有 ±3% 的偏差。

10.9.2.3 试验电压的施加

开始时施加的试验电压不应超过全试验电压值的 50%，然后将试验电压平稳地加至全试验电压值，并维持 60^{+5}_{0} s，试验电压应施加于：

a) 主电路的所有带电部分（包括连接到主电路上的辅助电路）连接在一起与外露可导电部分之间。此时，所有开关器件的主触头应处于闭合状态，或由一个合适的低阻导体短接。

b) 主电路不同电位的每个带电部分和不同电位其他带电部分与连接在一起的外露可导电部分之间。此时，所有开关器件的主触头应处于闭合状态，或由一个合适的低阻导体短接。

c) 通常，不连接主电路的每条辅助电路与

- 主电路；
- 其他电路；
- 外露可导电部分。

注：在本文件发布之前，在电压保持至少 5 s 的情况下进行的工频耐压测试被认为是可以接受的，无需重复。

10.9.2.4 验收准则

试验过程中，过流继电器不应动作，且不应有击穿放电（见 3.6.17）。

10.9.3 冲击耐受电压

10.9.3.1 通则

应通过试验或评估进行验证。

初始制造商可根据 10.9.3.3 或 10.9.3.4 的规定，自行决定进行等效的交流或直流电压试验，以代替 10.9.3.2 的冲击耐压试验。

10.9.3.2 冲击耐受电压试验

冲击电压发生器应调整到连接的成套设备所要求的冲击电压值。试验电压值应是 8.1.3 中的规定值。施加的峰值电压的公差应为±3%。如果制造商同意，试验电压的正公差可被超出。

不与主电路连接的辅助电路进行以下试验 a)和 b)时应接地。对成套设备每个极性施加 1.2/50 μs 的冲击电压 5 次，间隔时间至少为 1 s。

a) 主电路的所有带电部分(包括连接到主电路上的辅助电路)连接在一起与外露可导电部分之间。此时，所有开关器件的主触头应处于闭合状态，或由一个合适的低阻导体短接。

b) 主电路不同电位的每个带电部分和不同电位其他带电部分与连接在一起的外露可导电部分之间。此时，所有开关器件的主触头应处于闭合状态，或由一个合适的低阻导体短接。

c) 通常不连接主电路的每条辅助电路与

- 主电路；
- 其他电路；
- 外露可导电部分。

此试验不在以下辅助电路上进行：

——只包含制造商规定的具有适当绝缘强度的绝缘导体；和

——由额定值不超过 16 A 的短路保护装置保护；和

——如果之前在辅助电路设计的额定工作电压下进行过电气功能试验。

可以接受的结果是，冲击电压试验过程中不应有击穿放电。

有些导线在脉冲测试后仍能保留相当多的电荷，在这种情况下，反转极性时宜小心。为了允许放电的布置，建议使用适当的方法，例如在试验前在相反的极性下以试验电压的 80%左右施加三个脉冲。

10.9.3.3 可选择的工频电压试验

试验电压波形应是近似正弦波形，额定频率公差为±25%。

在输出电压已调整到合适的试验电压值后，当输出端子短路时，用于试验的高压源应设计为输出电流足以使过流继电器跳闸，并大于 100 mA。

当输出电流小于 100 mA 时，过流继电器不应动作。

试验电压值应是 8.1.3 及表 10 中规定值，允许有±3%的偏差。

应一次满额施加工频试验电压，3 个循环(见 GB/T 16935.1—2008 的 6.1.2.2.2.2)。

它适于成套设备在以上 10.9.3.2 a)、b)及 c)中的试验。

可以接受的结果是，试验过程中，过流继电器不应动作，不应有击穿放电。

10.9.3.4 可选择的直流电压试验

试验电压应含有可以忽略的纹波。

用于试验的高压源应设计成在输出电压调整到合适的试验电压值，且输出端子短路时，其输出电流足以使过流继电器跳闸，并大于 100 mA。

当输出电流小于 100 mA 时，过流继电器不应动作。

试验电压值应是 9.1.3 及表 10 中规定值，允许有±3%的偏差。

对每个极性施加直流电压三次，持续时间 10 ms(见 GB/T 16935.1—2008 的 6.1.2.2.2.3)。

它适于成套设备在以上 10.9.3.2 a)、b)中的试验。

可以接受的结果是，试验过程中过流继电器不应动作，不应有击穿放电。

10.9.3.5 验证评估

电气间隙可用测量方法进行验证，或使用附录 F 中给出的测量方法在设计图纸上测量进行验证。电气间隙至少为表 1 中规定值的 1.5 倍。

注：对于设计验证，达到表 1 中值的 1.5 倍的成套设备可免除冲击耐受电压试验，此安全系数已考虑制造公差。

应通过对器件制造商的数据评估来验证所有装入的器件对规定的额定冲击耐受电压(U_{imp})是合适的。

10.9.4 绝缘材料外壳的试验

用绝缘材料制造外壳的成套装置，还应进行一次附加介电试验。在外壳的表面包覆一层能覆盖所有开孔和接缝的金属箔。交流试验电压施加于这层金属箔与成套设备内靠近开孔和接缝的相互连接的带电部分以及外露可导电部分之间。对此附加试验，其试验电压应等于表 8 中规定值的 1.5 倍。

10.9.5 外部门或覆板安装的绝缘材料操作手柄

手柄由绝缘材料制作或包覆的情况下，应在带电部分与金属箔包裹的整个有代表性手柄表面之间施加表 8 中给出试验电压 1.5 倍的试验电压进行工频耐压试验。在此测试期间，外露可导电部分不应接地或连接到其他电路。

10.9.6 绝缘材料覆盖以提供电击防护的导体和危险带电部分的试验

由绝缘材料覆盖的导体和危险带电部分与导体直接接触，以提供电击防护，但不包括那些事先根据其产品标准验证过的部件(如电缆)，应进行额外的绝缘试验。该试验应通过在敷设在导体绝缘外部(包括绝缘中的开口和接头)的金属箔和绝缘内部相互连接的导电部件之间施加交流试验电压来进行。对于这个附加的试验，试验电压应等于表 8 中给出值的 1.5 倍。

10.10 温升

10.10.1 通则

验证成套设备或成套设备系统不同部分的温升限值不应超过 9.2 中给定的值。

通过以下一种或多种方式验证(见附录 L 的指南)：

a) 试验(10.10.2)；

b) 与参考设计比较(10.10.3)；

c) 评估(计算)(10.10.4)。

额定频率 60 Hz 以上的成套设备总是要求通过试验(10.10.2)或通过以相同使用频率(10.10.3)试验过的类似设计的推导来进行温升验证。

待验证的电路的载流能力由以下确定：

——主电路的组额定电流 I_{nA}(见 5.3.3)；或

——主电路额定电流 I_{nA}(见 5.3.2)和 RDF(见 5.4)。

注：除了 I_{nA}之外，还使用 I_{nA}来评估母线部分的载流能力，见 5.3.2。

对于包含功率因数补偿装置的成套设备，温升的验证应满足 IEC 61921:2017 的附加要求。

10.10.2 通过试验验证

10.10.2.1 通则

通过试验验证时，应包含以下内容：

a) 如果被验证的成套设备系统包含几个方案，应依据 10.10.2.2 选择有最严酷布置的成套设备系统进行试验；

b) 采用下面的方法之一对所选择的成套设备方案进行验证(见附录 L)：

1) 依据 10.10.2.3.5，整体考虑各个功能单元、主母线、配电母线以及成套设备；

2) 依据 10.10.2.3.6，分别考虑各个功能单元，以及包括主母线、配电母线的整套成套设备；

3) 依据 10.10.2.3.7，分别考虑各个功能单元、主母线、配电母线以及整套成套设备。

c) 当被试验的成套设备是成套设备系统中最严酷的方案时，其试验结果能用于制定类似方案的额定值而不用进一步试验。10.10.3 中给出了这种比较的规则。

10.10.2.2 代表性布置的选择

10.10.2.2.1 通则

试验应在一个或多个代表性布置上进行。该代表性布置的选择应选择一个或多个代表性负载组合，以便确定正常工作和发生条件下导体温度的最大温升。用来确定的代表性布置的选择在 10.10.2.2.2 和 10.10.2.2.3 中给出。还应选择由相邻制造商生产、导致制造商选择测试布置时应考虑到，按照 10.1.3.3，从已试验过的布置推导出的结构。

10.10.2.2.2 导线

由单根或多根矩形截面导体组成的母线系统，其方案的区别仅在于一个或多个量的变化：

——高度；

——宽度；

——每个导体的母线根数

且具有相同的：

——导体几何布置方式；

——导体中心线间距；

——外壳；

——母线隔室(如果有)。

为了减少试验次数，应选择最大截面积的母线作为代表性布置。对于较小导线尺寸方案额定数据或其他材料见 10.10.3.3。

10.10.2.2.3 功能单元

a) 类似功能单元组的选择

如果不同额定电流的功能单元，满足下列的条件，那么能认为这些功能单元具有类似的热性能，并形成一个类似的单元系列：

1) 主电路功能及基本电路图相同(例如进线单元、可逆起动器、电缆馈线)；

2) 器件具有相同的框架尺寸且属于相同系列；

3) 相同类型的安装结构；

4) 器件相互之间的布置方式相同；

5) 导体的类型及布置方式相同；

6) 一个功能单元内的主电路导体的截面应至少等于电路中最小额定数据器件的额定数据。电缆的选择应按照试验或依据 GB/T 16895.6—2014。表 H.1 和 H.2 中给出了成套设备内部状态如何适配这个标准的例子。母排的截面积应按照试验或按附录 K 的数据。

b) 每个类似组合中挑选出一个关键方案作为试验样品

确定功能单元的每个方案的最大可能电流额定数据。对于只包含一个器件的功能单元，它就是器件的额定电流值。对于具有几个器件的功能单元，它就是具有最小额定电流器件的额定值。

对于每个功能单元，其功率损耗应在最大可能电流下按器件制造商给出的每个器件和相关导体的功率损耗的数据来计算。

对于电流小于等于 630 A 的功能单元，每个系列中的关键单元是具有最高总功率损耗的功能单元。

对于电流在 630 A 以上的功能单元，每个系列中的关键单元是具有最高额定电流的单元。这种单元应确保考虑涡流及电流集肤效应引起的附加热效应。

关键功能单元应至少执行下列试验：

- 相对于这个功能单元的最小隔室（如果有）；和
- 考虑到通风口尺寸，最差的内部隔离方案（如果有）；和
- 其特点具有单位体积最大功率损耗；和
- 特定的通风方式（自然或强制）和通风口尺寸最差的方案。

如果功能单元能在不同的安装方向（水平或垂直），那么应验证最严酷的布置。

如果有，对于非关键功能单元的布置及方案的附加试验可由协议制造商决定。

10.10.2.3 试验方法

10.10.2.3.1 通则

在 10.10.2.3.5 到 10.10.2.3.7 中，给出三种试验方法，它们所需的试验次数和试验结果应用范围不同。10.10.2.3.5 提供了一种试验整套成套设备的方法，其以额定电流 I_n 为试验结果。10.10.2.3.6 提供了一种试验成套设备的方法，另外，该成套设备的主汇流排的额定电流 I_n 和试验次数比 10.10.2.3.7 规定的次数更少，参见附录 L。

各电路的温升试验应采用设计的预期的电流类型，任何试验电压应可产生所需电流。应对消耗电能的设备，如电子元件、继电器线圈、接触器线圈、脱扣器线圈等施加其额定工作电压。

对于具有主动冷却功能的成套设备，冷却设备应能够正常工作。

成套设备应按正常使用时放置，所有覆板包括底板都应就位。

如果成套设备中包含有熔断器，试验时应按照制造商的规定配备熔断体。

试验中使用的熔断体的详细资料，如制造商的名称和编号、额定电流、熔断体的功率损耗和分断能力，均应在试验报告中给出。使用熔断体的型式试验，应视为包括使用任何其他有功率损耗的熔断体，但在组合单元的常规热电流下，其功率损耗不超过试验用熔断体的功率损耗。

试验时使用的外接导体的尺寸和布置方式也应载入试验报告中。

试验持续的时间应足以使温度上升到稳定值。实际上当所有的测量点（包括周围空气温度）温度变化不超过 1 K/h 时，即认为达到稳定温度。

如果器件允许的话，可在试验开始时加大电流，然后再降到规定的试验电流值，用这样的方法缩短试验时间。

在试验期间，当控制电磁铁通电时，应在主电路和电磁铁都达到热平衡时测量温度。

实际进线试验电流的平均值应在预期值的 100%和 103%之间。每相应在预期值的±5%范围内。

允许对成套设备每个框架单元进行试验。为使试验具有代表性，可被连接的附加框架单元的外表面应覆盖隔热层以防止过度冷却。

当一个隔室中的单个功能单元的性能作为一个完整的成套设备的一部分(或成套设备的一部分)根据 10.10.2.3.7 d)考虑在其各自隔室的其他功能单元的影响进行试验时,这些其他功能单元需被加热电阻替代,只要每个的额定值不超过 630 A,并且其额定值不用此试验验证。

如果成套设备中有附加的辅助电路或器件,则可用加热电阻器来模拟这些附加项目的功率损耗。

减少所需的测试确定电路的额定电流 I_1,最大允许升温 ΔT_1,电流额定值可以由实际测试电流 I_2 计算得出,如果载流部件(如母排和端子)的测量升温 ΔT_2 偏离允许值不超过 ±5 K,使用下面的公式:

$$\frac{I_1}{I_2}=\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)^{0.61}$$

[来源:Copper Development Association; Publication No.22,1996 的公式第 8 号。]

只有当器件和导体的功率损耗基本上与 I^2 成正比时,该公式才能适用。

示例:试验电流为 973 A 时,母线达到 $\Delta T_2=102$ K(允许 $\Delta T_1=105$ K),通过使用这个公式,报告的测试值在 105 K 时将是 990 A。

注:由于所考虑的温度测量点附有带,该公式也适用于铝导体。

宜注意确保所有其他测量点在这个更高的电流下不会达到其最高温度。任何调整后的电流额定值都应在试验文件中通过记录试验过程中获得的结果清楚地标明。在确定应用此计算的点的数量时,应谨慎,以确保改变几个电流后引起的功率损耗变化对其他测量点(包括内部空气温度)的影响。

10.10.2.3.2 试验导体

在缺少外接导体和使用条件的详细资料时,外接试验导体的截面应按照每条电路的额定电流来选择,如下:

a) 额定电流值在 400 A 以下(包括 400 A):
   1) 导线应使用单芯铜电缆或绝缘线,其截面积按表 11 给出的数值;
   2) 导线宜尽可能暴露在大气中;
   3) 每根从端子到端子的临时接线的最小长度应是:
      ——当截面小于或等于 35 mm^2 时,长度为 1 m;
      ——当截面大于 35 mm^2 时,长度为 2 m。
b) 额定电流值高于 400 A,但不超过 1 600 A 时:
   1) 根据初始制造商的规定,导线应是单芯铜电缆,其截面积在表 12 中给出,或者是表 12 中给出的等效铜母排。
   2) 电缆或铜母排的间隔大约为端子之间的间距。每个端子的多根平行电缆应捆在一起,互相间的距离大约为 10 mm。每个端子的多根铜母排之间的间距大约等于铜母排的厚度。如果所要求的铜母排尺寸不适合端子或没有这种尺寸的铜母排,则允许采用截面尺寸大致相差 ±10%,冷却面积大致相同或略小一些的其他铜母排。电缆或铜母排不应交叉。
   3) 单相或多相试验,连接试验电源的临时接线的最小长度为 2 m。连接星形点的临时接线的最小长度,如初始制造商同意,可减少到 1.2 m。
c) 额定电流值高于 1 600 A,但不超过 7 000 A 时:
   1) 导体应是表 12 中规定尺寸的铜母排,除非成套设备的设计规定只能使用电缆。在这种情况下,电缆尺寸和布置应由初始制造厂商推出。
   2) 铜母排的间隔大约为端子间的间隔。每个端子排的多根铜母排应以大约等于铜母排厚度的间距隔开。如果所要求的铜母排尺寸不适合端子或没有这种尺寸的铜母排,则允许采用截面尺寸大致相差 ±10%,冷却面积大致相同或略小一些的其他铜母排,铜母排不应交叉。
   3) 对于单相或多相试验,连接试验电源的任何临时接线的最小长度为 3 m,但如果连接线的

电源末端的温升低于连接长度中点的温升不超过 5 K，那么，连接线能减少到 2 m。连接至星形点的接线的最小长度应为 2 m。

d) 额定电流值高于 7 000 A 时。

制造商应确定有关试验的所有事项，例如：电源类型、线数和频率（如需要）、试验导线的截面等。这些信息应作为试验报告的一部分。

10.10.2.3.3 温度的测量

应使用热电偶或温度计来测量温度。对于线组，通常采用测量电阻变化值的方法来测量温度。在无法实现的情况下，可用热电偶来确定线圈表面的温度。

温度计或热电偶应防止空气流动和热辐射。

应对应规测温升限值（见 9.2）的所有点进行温度测量，特别是宜注意主回路中的导体和端子连接点。为测量成套设备内部的空气温度，应在适宜的地方配置几个测量装置。

10.10.2.3.4 周围空气温度

测量周围空气温度，至少要用两个热电偶或温度计均匀地布置在成套设备的周围，其高度约等于成套设备的二分之一，并距成套设备 1 m 的地方安装。温度计或热电偶应防止空气流动和热辐射。

试验期间的周围空气温度应在 +10 ℃ 和 +40 ℃ 之间。

10.10.2.3.5 整个成套设备的验证

成套设备主电路应承载其预计组额定电流 I_{nA}（见 5.3.3）（见附录 L）。

如果进线电路或配电母线系统的组额定电流 I_{nA} 小于所有出线电路的组额定电流 I_{nc} 的总和，则出线电路应根据进线电路或配电母线系统的组额定电流分成几个测试集。测试集形式应能获得最高可能的温升。应形成足够多的测试集并进行试验，以保证至少在一个测试集中包含功能单元的所有不同的方案。

若调负载电路不精确分配总输入电流，则剩余电流应由其他适合的电路进行分配。试验应反复进行直到所有出线回路在其组额定电流下都被验证。

由于相邻单元的热影响可有很大的差别，所以在已验证过的成套设备中的功能单元或成套设备的框架单元中布置的变化可做附加试验。

10.10.2.3.6 分别验证各功能单元和整个成套设备

依据 5.3.3 的电路的组额定电流 I_{nA} 和依据 5.3.2 的出线主电路额定电流 I_{nc}，应通过以下两个阶段进行验证：

——每个关键方案出线功能单元的额定电流 I_{nc}，10.10.2.2.3 b）中定义，分别按 10.10.2.3.7 c）进行验证；

——成套设备应通过进线电路和所有出线功能单元都通以其预计组额定电流 I_{nA} 进行验证。

如果进线电路或配电母线系统的组额定电流 I_{nA} 小于所有出线电路电流 I_{nc} 的总和，则出线电路应根据进线电路或配电母线系统的组额定电流分成几个测试集。测试集形式应能获得可能最高的温升。应形成足够多的测试集并进行试验，以保证至少在一个测试集中包含了功能单元的所有不同方案。

若调负载电路不精确分配总输入电流，则剩余电流应由其他适合的电路进行分配。试验应反复进行直到所有出线回路在其额定电流下都被验证。

由于相邻单元的热影响可有很大的差别，所以在已验证过的成套设备中的功能单元或成套单元的框架单元中布置的变化可做附加试验。

如果验证了 I_{nc} 和 I_{nA}，则单个电路的 RDF 通过 I_{nA} 除以 I_{nc} 来计算。

10.10.2.3.7 分别验证功能单元、主母线、配电母线和整个成套设备

成套设备应依据 10.10.2.2.2 和 10.10.2.2.3 对所选标准部件分别进行 a)～c)的验证，并且应在最严酷条件下对整个成套设备 d)进行验证，详述如下。

a) 主母线应分别进行试验。主母线应像正常使用时一样安装在成套设备外壳内，所有覆板及将主母线与其他隔室隔开的所有隔板应就位。如果主母线有连接点，它们应被包含在试验中。试验应在额定电流下进行。试验电流应流过母线全长。当母线可延展时，在成套设备设计允许的情况下，为了减小外部试验导体对温升的影响，用于试验的外壳内主母线的长度至少为 2 m，并最少包括一个接点。

b) 每条配电母线应在与出线单元隔离的情况下分别进行试验。它们应像正常使用时一样安装在成套设备外壳内，所有覆板及将母线与其他隔室隔开的所有隔板应就位。配电母线应与主母线连接。没有其他导体(例如连接到功能单元的导体)连接到配电母线上。考虑到最严酷的条件，试验应在额定电流下进行。试验电流应流过配电母线全长。如果主母线的额定电流高于试验电流，它应输出附加电流，以便它能把它的额定电流流至与配电母线的连接点。

c) 如果制造商声明了 I_{nn}，相关功能单元应单独进行试验。它们应像正常使用时一样安装在外壳内，所有覆板及所有内部隔板都就位。如果功能单元能安装在不同地方，则应安装在最不利的位置。功能单元应像正常使用那样与主母线或配电母线连接。如果主母线和/或配电母线(如果有的话)打算为其他电路供电并且制造商有标准的电流额定数据，则应输出附加电流，使它们把额定电流引至各自的连接点。对于功能单元试验应在预计额定电流 I_n 下进行。

d) 完整的成套设备应通过在使用中可能遇到最严酷布置的温升试验来验证。这种布置由初始制造商确定。在进行这项试验时，当声明了 I_{nn} 时，在 I_{nn} 等于 I_n 乘以 RDF 情况下，进线电路和各出线功能单元承载其额定电流 I_n。如果进线电路或配电母线系统的组额定电流小于所有出线电路试验电流的总和(如它们的组额定电流)，则应预先获得进线电路或配电母线系统的额定电流分成几个测试集。如果主母线和/或配电母线(如有)的额定电流较高，则应给它们增加额外的电流，以使符合到 a)和 b)中的额定电流。测试集形式应能获得最高可能的温升，应考虑足够多的测试集并进行试验，以保证至少在一个测试集中包含了功能单元的所有不利的方案。

如果验证了 I_{nn} 和 I_n，则单个电路的 RDF 通过 I_{nn} 除以 I_n 来计算。

10.10.2.3.8 试验结果

经试验验证的 10.10.2.3.5、10.10.2.3.6 和 10.10.2.3.7 的预计额定电流，决定了最终的 I_{nn} 和/或 I_n(如适用)。

试验结束时，温升不应超过表 6 中规定值。

如果已经按照 10.10.2.3.6 或 10.10.2.3.7 进行了试验，除了 I_{nn}，还验证了 I_n，那么对于出线电路，可计算出额定分散系数(见 5.3.8.11 和 5.4)。

10.10.3 验证比较

10.10.3.1 通则

以下的条款规定了方案的额定电流如何能通过经试验验证的类似布置来推导验证。

在特定频率下进行的试验适用于对较低频率(包括直流)具有相同额定电流的情况。

额定电流小于等于 800 A 时，在 50 Hz 电路上进行的温升试验，适用于 60 Hz 的电路。电流大于 800 A，不进行 60 Hz 电路的试验时，60 Hz 的额定电流应减到 50 Hz 的额定电流的 95%。作为选择，

如果 50 Hz 时的最大温升没有超过允许值的 90%，则可以不对 60 Hz 的情况降低额定数据。

10.10.3.2 成套设备

由经试验的类似布置来推导未经验证的成套设备应满足以下条件：

a) 功能单元与试验所选择的功能单元属于相同组别(见 10.10.2.2.3)；

b) 与试验中使用的结构类型相同；

c) 与试验中使用的外形尺寸相同或有所增大；

d) 与试验中使用的冷却条件相同或更加有利(强迫或自然对流，相同或较大的通风口)；

e) 与试验中使用的内部隔离相同或更少(如果有)；

f) 与试验中使用的相同框架单元功率损耗相同或较小。

被验证的成套设备可包含被先验证过的成套设备中全部或部分电路，只要相邻单元的热影响不是更严酷，允许对照试验方案去改变成套设备或框架单元内部的功能单元的布置。

只要中性导体的尺寸等于或大于以相同方式布置的线导体时，三相三线制的成套设备的热性能试验被认为是代表三相四线制或单相二线制或三线制的成套设备。

10.10.3.3 母线

在相同截面尺寸和结构时，管母线确定的额定数据对扁母线也是有效的。然而，扁母线确定的额定数据不应用于确定管母线的额定数据。

依据 10.10.2.2.2 来被选作试验方案的额定数据，应由其截面积乘以经试验验证的有相同设计的较大截面积的母线电流密度来决定。

如果又对相比于已试验的截面积更小的截面进行了试验，并满足 10.10.2.2.2 的条件，则中间方案的额定数据也可通过插值法建立。

如果修改通过试验进行了验证，其新布置的温升不高于参考设计的试验试验，则允许修改主配电母线之间的连接。

10.10.3.4 功能单元

一组类似功能单元(见 10.10.2.2.3 a))的关键方案经温升极限试验验证后，该组中的所有其他功能单元的实际额定电流 I_n，如果确定了 I_n，应使用这些试验的结果计算得到。

对每个试验功能单元的降容系数(额定电流 I_n 或 I_m，将试验得出的结果除以该功能单元的最大可能电流，见 10.10.2.2.3 b))应被计算得出。

系列中每个未进行试验的功能单元的额定电流 I_n 或 I_m 应是该功能单元的最大可能电流乘以试验范围内方案所确定的降容系数。

允许修改功能单元与主母线或配电母线之间的连接，前提是该修改通过一项试验加以验证，在该试验中，新布置的温升不高于参考设计的比较试验。

10.10.3.5 功能单元-替代器件的温升注意事项

额定电流 I_n 不超过 1 600 A 的器件可用来自相同器件制造商的另一个系列或不同器件制造商的一个与初始验证类似器件替代，前提是当两者都按器件产品标准试验时，替代器件的功率损耗和端子温升与初始验证中使用的器件相同或更低。

或者，在不限制额定电流的情况下，当初始器件和替代器件来自同一器件制造商时，器件制造商可发布温升性能声明。声明应确认替代器件可能替代初始器件，无需再对温升进行验证。声明中应注明，替代器件的功率损耗与初始器件相同或更低。

此外，对于上述两种选择，应保持功能单元内的物理布置，不应提高功能单元的额定数据。

物理布置应包括端子屏蔽、导体类型、材料和连接尺寸、安装方向、与其他部件的电气间隙、通风布置和端子布置。

端子温度和功率损耗的性能数据可从器件制造商处获得或由负责替换的人进行的比较试验中获得。任何试验都应在新样品上进行。

其他设计特性,包括短路耐受(见表 13 的第 6 项),在更换器件时宜考虑。请见表 D.1。

10.10.3.6 基于周围空气温度调整的电流计算

一旦温升试验在日均周围空气温度 35 ℃时应用温升限值进行,在日均 35 ℃的周围空气温度的试验确认的额定电流,能通过计算来调整以确定日均周围空气温度在 20 ℃~50 ℃之间的额定电流,假设每个元件或器件的温升与此元件产生的功率损耗成正比。

能准确地确保被评估的器件在一个与 I^2 成比例的功率损耗,并不用于有实质上固定或线性损耗的器件。经用户和制造商同意,在导体和器件的功率损耗基本上与 I^2 成比例的成套设备中,在周围空气温度(外壳外)在 20 ℃~50 ℃之间,电路的额定电流可用以下公式计算:

$$\frac{I_2}{I_1}=\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)^{0.61}$$

[来源:Copper Development Association: Publication No.22,1996 的公式第 8 号。]

注:由于所考虑的温度间隔范围很小,该公式也适用于铝导体。

式中:

I_1 ——为进行温升试验时的电流;

I_2 ——为指定周围空气温度在 20 ℃~50 ℃之间待确定的电流额定值;

ΔT_1——为在电流 I_1 时试验测量的温升;

ΔT_2——为指定周围空气温度在 20 ℃~50 ℃之间最大允许温升。

I_2 不能超过任何器件的额定电流(如断路器的 I_n),在所考虑的电路中,如包含 1 600 A 断路器的电路,不能在周围空气温度 20 ℃下指定 1 750 A 的电流额定值。

10.10.4 评估验证

10.10.4.1 通则

提供以下计算方法,它们适用性范围不同:

1) 带自然冷却的单隔室成套设备,额定电流 I_{nA} 不超过 630 A(10.10.4.2);

2) 带自然冷却的成套设备,额定电流 I_{nA} 不超过 1 600 A(10.10.4.3)。

这两种方法确定由所有电路功率损耗引起的外壳内的空气近似温升,并与所安装的设备的温升限值进行比较。两种方法的不同之处由释放的功率损耗与外壳内空气温升关系来确定。

因为载流器件的实际局部温度不能用这些方法计算得出,故一些限值及安全裕量是必要的并应包含在内。在满足下列一般条件和所选计算方法的附加条件的情况下,可通过计算对温升进行验证。

a) 额定频率 60 Hz 及以下。

b) 内装电气元件功率损耗数据可以从元件制造商处获得。

c) 在外壳内部有一个近似均匀的功率损失分布。

d) 供被器件和安装设备的布置,使空气流通没有明显的阻碍。

e) 待验证的成套设备电路的组额定电流(I_{nA}),不应超过额定常规自由空气热电流(I_{th})的 80%,或者当 I_{th} 不可用,不应超过电路中包含的开关器件和电气元件的额定电流(I_n)的 80%。应选择电路保护器件,以确保对出线电路有足够的保护,例如,在成套设备中计算温度下的电机热保护器件。限制在额定电流 I_{nA} 或 I_n 的 80%,不适用于根据器件制造商说明安装时采用强制通风方式的电子器件。

注1：开关器件和电子元件没有共同的特性来描述这里要使用的电流值。为了验证温升极限，使用了电流值，该值描述了在不过热的情况下能承受的最大连续工作电流。例如，熔断器的额定工作电流 I_r，MCB的额定电流 I_n。

注2：这种验证方法在假设功率损失均匀分布的情况下评估外壳内的平均空气温度。因此，不能检测到器件上存在的局部热点，而这些热点是损耗的主要来源。为了防止器件过热，引入了80%的安全裕度，这是基于一般的测试经验。

注3：强制通风的电子器件主要通过冷却空气来分散功率损耗。它们不能推广通过导体和器件/外壳表面的功率损耗。通常装有内部温度监控，防止过热。因此，强制在额定电流的80%强加给其他器件是不合适的。

f) 所有直接连接到器件上的导体，其最小截面积应基于相关电路的组额定电流（I_{nA}）的125%。电缆的选择应符合GB/T 16895.6—2014。成套设备内环境如何适应这个文档的例子见附录H。裸铜导体的截面应按试验或按附录K的要求。当器件制造商指定更大截面积的导体时，应使用指定截面。

注4：采用125%的系数来确保导体不会进一步使器件降容。

g) 承载电流超过200 A的导体和邻近的结构部件的布置使涡流和磁滞损耗最小化。

所有电路（包括互相连接的导体）的有效功率损耗应在假定电路工作在其组额定电流（I_{nA}）的情况下计算。成套设备的总功率损耗是通过电路功率损耗相加来计算，考虑总负载电流用额在成套设备额定电流 I_{nA}。导线的功率损耗由计算确定（见附录H和附录K）。

注5：有些器件的功率损耗基本上与 I^2 成比例，其他器件的损耗基本上是固定的，例如变速驱动器。

示例：额定电流 I_{nA} 为100 A的配电母线排制的单隔室成套设备配有20条出线电路，每条电路的假定组额定电流 I_n 为8 A，总有效功率损耗应计算每个负载8 A的12个出线电路。

10.10.4.2 带自然冷却且额定电流（I_{nA}）不超过630 A的单独隔室的成套设备

10.10.4.2.1 验证方法

如果满足所有10.10.4.1中列出的一般条件，则可通过计算来验证其温升，应用以下：

a) 在外壳内给定功率损耗时，对于考虑的适用安装方法（如平装、表面安装），外壳内的空气温升：

- 可从外壳制造商获得，或；
- 根据10.10.4.2.2确定。

b) 外壳内总功耗的计算方法详见10.10.4.1。

外壳内最大允许空气温升由具有最低的最高工作空气温度的器件确定，取该器件的最高工作温度减去（外壳外）日平均周围空气温度。

当装入的电子器件自带强制通风时，无论外壳中是否存在开口，外壳都应被认为没有自然通风。

10.10.4.2.2 用试验确定外壳的功率损耗

功率损耗应通过加热电阻来模拟，其产生的热量相当于外壳预期的功率损耗能力。加热电阻应均匀分布在外壳的高度上，并安装在外壳内部的合适位置。

这些电阻器的引线横截面应没有明显的热量从外壳传导出去。

试验应按照10.10.2.3.1～10.10.2.3.4进行，空气温升应在外壳顶部进行测量。外壳温度不应超过表6中给出的值。

10.10.4.2.3 结果

成套设备为被验证，如果：

——在外壳内最高允许空气温升下，外壳能够耗散等于或大于成套设备产生的功率损失；

——成套设备内的所有导体都被选择在成套设备内最高允许空气温度下工作。

10.10.4.3 带自然冷却且额定电流(I_{nA})不超过 1 600 A 的成套设备

10.10.4.3.1 验证方法

如果附加要求满足的话，温升验证可按照 GB/T 24276—2017 的方法通过计算来验证。

成套设备内部的空气温升用 GB/T 24276—2017 中规定的方法由总功率损耗来确定。

通过将该空气温升和成套设备的每日平均周围空气温度相加，计算出成套设备内的空气温度。当采用整体强制通风的电子器件时，无论外壳中是否存在开口，外壳都应被认为没有自然通风。

注：自然通风是指在没有强制通风的情况下，空气进出外壳。

10.10.4.3.2 结果

如果任何内装元件(器件、导体等)安装高度的计算空气温度不超过其制造商声明的内装元件的允许工作空气温度，则成套设备为被验证。

10.11 短路耐受强度

10.11.1 通则

应对宣称的短路电流额定值进行验证(见 10.3)，下列步骤以外，验证可以通过与一个参考设计比较(10.11.3 和 10.11.4)或通过试验(10.11.5)进行。可采用下面的验证：

a) 如果待验证的成套设备系统包含多个方案，则宜考虑 10.11.4 和 10.11.5 的规则选择成套设备最严酷的布置方案。

b) 试验所选择的成套设备方案应按 10.11.5 进行验证。

c) 当试验的成套设备是成套设备系统中较大产品范围内最严酷的方案时，不用进行进一步试验，试验结果就能用于建立类似方案的额定数据。此类规则见 10.11.3 和 10.11.4。

10.11.2 可免除短路耐受强度验证的成套设备电路

以下情况可以不进行短路耐受强度的验证：

a) 额定短时耐受电流(见 5.3.5)或额定限制短路电流(见 5.3.6)不超过交流 10 kA 有效值和直流 10 kA 平均值的成套设备；

b) 成套设备或成套设备电路采用限流器件保护，该器件在最大允许预期短路电流时，在成套设备进线电路端子上的截断电流不超过 17 kA；

c) 与变压器相连接的成套设备中的辅助电路，该变压器次级额定电压不小于 110 V 时，其额定容量不超过 10 kVA；或次级额定电压小于 110 V 时，其额定容量不超过 1.6 kVA，而且其短路阻抗不小于 4%；

d) 由变压器保护的电路，其输出配有电子短路保护，限制截止电流不超过 17 kA，如制造商声明的那样。

所有的其他电路都应通过短路耐受强度验证。

10.11.3 通过与一个参考设计比较进行验证——使用核查表

验证是通过与参考设计的成套设备进行比较，其核查表见表 13。

如果核查表中标识的任何部件与该核查表的要求不一致，则这项将被标记为"否"，应使用下列方法之一进行验证(见 10.11.4 和 10.11.5)。

在以下情况下，参考设计中使用的熔断器能用另一品牌或系列的熔断器替代，不用进一步试验：

——熔断器连接的额定值应相同；

——使用类别相同(例如 gG)；

——熔断器系统是相同的(例如 NH)，和

——功率损耗相同或更低。

10.11.4 通过与一个参考设计比较进行验证——使用计算

通过计算，对成套设备及其电路的额定短时耐受电流进行评估时，应将被评估的成套设备与另一个通过试验验证的成套设备相比较，成套设备主电路的验证评估应按照附录 M。此外被评估的成套设备的每一电路应满足表 13 中第 6,8,9 和 10 项的要求。

使用的数据、做过的计算和进行的其他核查应在验证文件中说明。

如果按照附录 M 的评估没有通过或上表中一项或多项未满足要求，则成套设备及其电路应按10.11.5通过试验来验证。

10.11.5 用试验进行验证

10.11.5.1 试验安排

进行全部试验的成套设备或其部件应像正常使用时一样安装。当某组合的功能单元有相同的结构，则仅对其中一个功能单元进行试验就够了。同样的，如果某给定的配置有相同结构，则只对其中一个母线配置进行试验就够了。表 13 中给出了可以不进行附加试验即予接受的说明。

10.11.5.2 试验的实施

如果试验电路中包含有熔断器，则应采用具有最大允许电流的熔断体，如适宜，应使用制造商规定的熔断器。

被试验成套设备所用到的供电导体和短路连接导体应有足够的短路耐受截面，它们的连接不应给成套设备造成任何附加的应力。

如果没有其他规定，试验电路应接到成套设备的进线端上，三相成套设备应接到三相电源上。

在使用中与保护导体连接的设备的所有部件，包括外壳，应进行如下连接。

a) 对适用于三相四线系统，且带已标记出接地星形点的成套设备，可接到电源中性点或接到允许预期故障电流至少为 1 500 A 的坚固的感性人工中性点。

b) 对适用于三相三线系统及三相四线系统且有相应标志的成套设备，要与产生对地电弧的可能性最小的线导体连接。

除了 8.4.4 中所述的成套设备外，以上 a)和 b)连接方式应包括一个直径为 0.8 mm、长度至少 50 mm的铜丝作为熔体，或者连接一个等效熔体用以检测故障电流。除了注 2 和注 3 所述情况外，在这种有熔体的电路中，预期故障电流应为(1 500±150) A。必要时，用一个电阻器把电流限制在该值上。

注 1：一般 0.8 mm 直径的铜丝，在 1 500 A 下，电源频率在 45 Hz—67 Hz 之间，均经过半个周波就熔断(或者在 0.01 s)。

注 2：按照有关产品标准的要求，小型设备的预期故障电流可能小于 1 500 A，则可选用熔断时间与注 1 相同直径较小的铜丝(见注 4)。

注 3：在电源具有一个人工中性点的情况下，能被受较低的预期故障电流，根据成套设备制造商的协议，用熔断时间与注 1 相同直径较小的铜丝(见注 4)。

注 4：在有熔体电路中的预期故障电流和铜丝直径之间的关系见表 14。

10.11.5.3 主电路试验

10.11.5.3.1 通则

对初始制造商宣称的下述一种或多种状况，应试验可达到额定值的短路电流引发的最大热应力和动应力的电路：

a) 不依赖于 SCPD，应用额定峰值耐受电流和额定短时耐受电流在规定的持续时间[见 5.3 和 9.5.2a)]内对成套设备进行试验。

b) 依赖于成套设备中进线 SCPD，应用预期进线短路电流在进线短路保护电器限定的时间内对成套设备进行试验。

c) 依赖于上一级 SCPD，应用初始制造商确定的上一级短路保护电器允许的值对成套设备进行试验。

如果进线或出线电路包括一个可以降低故障电流峰值和/或故障电流持续时间的 SCPD，则允许在 SCPD 动作，切断故障电流(见 5.3.5 额定限制短路电流 I_{cc})情况下进行电路试验。如果 SCPD 包含有可调短路脱扣器，则应设定在最大允许值(见 9.5.2.2 第 2 段)。

注：在某些情况下，器件的保护功能可能被禁用，这可能导致更高的峰值电流和允通能量。

每一种类型的电路应选择一条电路按 10.11.5.3.2 到 10.11.5.3.5 中所描述哪样承受短路试验。

10.11.5.3.2 出线电路

出线电路的出线端子应用螺栓进行短路连接。当出线电路中的保护器件是一个断路器时，见 IEC 60947-1:2020 中 9.3.4.1.2b)，试验电路可包括一个分流电阻器与电抗器并联来调整短路电流。

对于额定电流小于或等于 630 A 的断路器，在试验电路中，导线长度应为 0.75 m，截面积应适于额定电流的导线(见表 11 和表 12)。如果由初始制造商选定，则可选用长度小于 0.75 m 的导线连接。

开关器件应按正常使用的方式闭合和保持闭合。然后，试验电压应按 10.11.5.4 给出的大小和持续时间施加一次。如果出线电路不包括 SCPD，其大小和持续时间应符合初始制造商对主母线的规定。出线电路的试验也可导致进线 SCPD 的动作。

10.11.5.3.3 进线电路和主母线

应对有主母线的成套设备进行试验，以检验主母线和至少含一个指向外延伸母线接点的进线电路的短路耐受强度。试验中短路点应选择包括主母线长度在内的长度为(2±0.4) m 处。在验证额定短时耐受电流(见 5.3.5)和额定峰值耐受电流(见 5.3.4)时，此距离可增加，在所提供的任何适宜的电压下进行试验，应使试验电流为额定值[见 10.11.5.4 b)]。如所设计的成套设备的被试验母线长度小于 1.6 m，而且成套设备不打算再扩展时，则应试验整个母线的全长，短路点应设在这些母线的末端。如果一组母线是由不同母线段构成(诸如截面、导体中心线间隔、母线类型和每米母线上支架的数量)且满足上面所要的条件，则每一组架单元应分别或同时进行试验。

10.11.5.3.4 出线单元电源侧的连接

如果成套设备的主母线和出线功能单元电源侧之间所包含的导体，包括任何配电母线不符合 8.6.4 中要求时，则每种类型应选择一条电路进行附加试验。

在母线与单独出线单元连接的导体上，使用螺栓连接实现短路，短路点宜尽量靠近出线单元母线侧的端子。短路电流值及其持续时间应与主母线相同。

10.11.5.3.5 中性或中间导体

10.11.5.3.5.1 中性导体

如果电路中存在中性导体，则应进行一次试验以检验它与电路中最靠近的线导体(包括任何一个连

接点)的短路耐受强度。应按照 10.11.5.3.3 的要求进行线与中性点的短路连接。

如果制造商与用户没有其他协议,则中性导体的试验电流应至少为三相试验时线电流的 60%。

如果试验电流是线电流的 90%并且中性导体满足以下条件,则不需要进行试验:

——与线导体有相同的形状和截面;

——与线导体的支撑方式相同,沿导体长度的支撑间距不大于各相导体的支撑间距;

——与最靠近相导体的距离不小于各相导体间的距离;

——与接地金属工件的距离不小于同线导体的距离。

如果四极母线系统被三极器件分段,如果试验的电流是线电流的 90%,则不需要进行包括中性点在内的短时耐受电流试验并且:

a) 满足上述标准;和

b) 中性极是包括三极器件的四极母线系统的一部分;和

c) 如果三极器件不存在,不会导致支撑线导体和中性导体的支撑系统发生任何改变。

10.11.5.3.5.2 中间导体

中间导体应接受一次试验,以证明其相对于被测试电路的线导体(包括任何接头)的短路承受强度。中间点到线的短路连接应按照 10.11.5.3.3 的规定进行。

除非制造商和用户另有约定,中间导体的试验电流值应为线对线试验电流的 100%。

如果中间导体未位于线导体之间,则不需要执行测试,且满足以下条件:

——与线导体形状和截面相同;

——它的支撑方式与线导体相同,并且支撑中心沿导体的长度不大于线导体的长度;

——它的间距等于或大于线路导体之间的距离。

如果满足以下条件,则不需要执行短时耐受电流测试:

a) 满足上述标准;和

b) 中间极是包括器件的三极母线系统的一部分;和

c) 如果器件不存在,不会导致支撑线导体和中间导体的支撑系统发生任何改变。

10.11.5.4 短路电流值及其持续时间

对所有短路耐受额定数据,应在指定保护器件的电源侧,用预期电流进行动应力和热应力的验证。若有的话,预期电流等于给出的额定短时耐受电流、额定峰值耐受电流或额定限制短路电流。

对于所有短路耐受额定数据的验证(见 5.3.4~5.3.6),在试验电压等于 1.05 倍额定工作电压 U_r 时的预期短路电流值的公差应在 0%~+5%之间,应由标定的示波图来确定,该示波图从成套设备供电的导体上测得,该成套设备用一个可以忽略的阻抗所替代,并在尽可能靠近成套设备的输入电源处进行短接。示波图应显示出一个在成套设备内相当于保护器件动作一次时或在指定持续时间内测出的稳定的电流值[见 9.3.2 a)]。

校准时的电流值为:

——交流试验时,多相系统中交流元件的有效值和各相电流的平均值;或

——直流试验时,持续条件下的平均值。

在最大工作电压下进行试验时,校准电流应等于额定短路电流,偏差为 0%~+5%。在多相系统中,该偏差适用于所有线电流的平均值,而每个单独的线电流的偏差可为额定值的±5%。对于交流试验,功率因数的偏差应在 0.00 和−0.05 的范围内。

交流试验的峰值电流和功率因数应符合 9.3.3 的要求。所有交流应用试验应在成套设备额定频率下进行,其偏差为±25%。除以下情况外,直流应用试验应在直流条件下进行。

交流短时电流试验可用于验证直流额定短时耐受电流和直流额定峰值耐受电流，前提是交流试验的峰值电流等于直流额定峰值耐受电流，且短时电流的有效值至少等于直流额定短时耐受电流。用交流试验代替直流试验时，宜认识到交流试验的热应力和动应力高于等效直流试验的热应力和动应力。

a) 对于额定限制短路电流 I_q 试验，无论保护器件是在成套设备的进线单元或是其他地方，试验电压的施加时间应足够长，以确保短路保护电器动作，并清除故障。在任何情况下，交流不应少于10个周波，直流不应少于200 ms。试验应在1.05倍额定工作电压和预期短路电流下，在规定的保护器件的电源侧进行，预期电流值等于额定限制短路电流值。试验不允许在低电压下进行。

b) 对于额定短时耐受电流和峰值耐受电流的试验，用宣称的额定短时耐受电流和峰值耐受电流值相等的预期电流进行动应力和热应力验证。应在规定时间内施加电流，此期间交流试验的交流分量有效值或直流试验的直流值应保持不变。

如在最大工作电压下进行短时或峰值耐受试验有困难的情况下，可按10.11.5.3.3、10.11.5.3.4和10.11.5.3.5规定，在任何合适的电压下进行试验(征得初始制造商同意)。此时的实际试验电流应等于额定短时耐受电流或峰值耐受电流。这一点应在试验报告中说明。然而，如果在试验期间触点布置中出现任何瞬时触点分离(例如在开关器件或插入式触点内)，则应在最大工作电压下重复试验。

由于试验条件的限制，允许采用不同的试验周期，在此情况下，试验电流宜依据公式 I^2t =常数 进行修正，但如果没有初始制造商的同意，峰值不应该超过额定峰值耐受电流，而且交流试验短时电流有效值或直流试验短时直流值至少有一组在电流起始后的0.1 s内应不低于额定值。

短时电流试验和峰值耐受电流试验可分别进行。在此情况下，峰值耐受电流试验时施加短路电流的时间，应使 I^2t 值不大于短时电流试验的相应值，但它不应小于60 ms。

若不能达到各相要求的试验电流，经初始制造商同意可规定正偏差。

10.11.5.5 试验结果

试验后，如电气间隙和爬电距离仍符合8.3的规定，则母线和导体的变形是可以被接受的。此时如对电气间隙和爬电距离有疑问，应进行测量(见10.4)。

绝缘性能应能保证设备的机械和导电性能满足相关成套设备标准的要求。母线支撑件或电缆固定件不应分成两块或多块，且在支撑件的反面不应出现裂缝。支撑件的整个长度或宽度，以及表面也不应出现裂缝。如对成套设备的绝缘性能有疑问，则应依据10.9.2，以2倍 U_r 且不小于1 000 V电压进行附加的工频试验。

导体的连接部件不应松动，且导体不应从输出端子上脱离。

成套设备的母线或支撑结构的扭曲变形使其正常使用受到损害，应视为失效。

成套设备的母线或支撑结构的任何扭曲变形使可移式部件正常插入或移出受到损害，应视为失效。

由于短路电流引起的外壳或内部隔板、挡板和屏障的变形是允许的，只要没有明显的损坏其防护等级，电气间隙或爬电距离没有减小到小于8.3规定的值以下。

另外，在10.11.5.3的包含短路保护电器的试验后，被试设备应能承受10.9.2的工频耐受电压试验。“试验后”的电压值在为合适的短路试验而规定在相关短路保护电器标准中。试验部位如下：

a) 在成套设备所有带电部分与外露可导电部分之间，和

b) 在每一极与被连接到成套设备外露可导电部分的所有其他极之间。

如进行上述a)和b)试验，则应更换熔断器并闭合开关器件。

如有疑问，则应检查装入成套设备内的设备是否符合相关产品标准和/或器件制造商信息，例如能手动打开和关闭。熔体(见10.11.5.2)如果有的话，不应显示故障电流。保护器件的电极之间或电极与

外壳之间不应有电弧或闪络。

10.11.5.6 保护电路试验

10.11.5.6.1 通则

本试验不用于10.11.2所述的电路。

单相试验电源一极连接到一相的进线端子上，另一极连接到进线保护导体的端子上。如果成套设备带有单独的保护导体，应使用最靠近的线导体。如果成套设备可延伸，则试验的保护电路应至少包括一个接头。对于每个代表性的出线单元，应进行单独试验，即用螺栓在单元的对应出线相端子与相关的出线保护导体的端子之间进行短路连接。

试验中的每个出线单元应配有其保护器件，如将保护器件装入出线单元，应使用可通过最大峰值电流值和 I^2t 值的保护器件。

对于此项试验，成套设备的框架应与地绝缘。试验电压应等于1.05倍额定工作电压的单相值。除非初始制造商与用户另外达成协议，保护导体试验电流值应至少是成套设备三相试验期间线电流的60%。

此项试验的所有其他条件应与10.11.5.2～10.11.5.4中的条件相同。

10.11.5.6.2 试验结果

无论是由单独导体或是由框架或是成套设备的外壳等组成的保护电路，其连续性和短路耐受强度不应遭受严重破坏。除目测检查外，还可用合适又出线单元确以额定电流的方法进行测量，以验证上述结果。第1类成套设备的外露可导电部分与保护电路之间的接地连续性应保持有效。如有疑问，应依据10.5.2进行测量。由于短路可能的外壳或内部隔板、挡板和屏障的变形无关紧要，只要没有明显的削弱其防护等级，电气间隙或爬电距离没有减小到小于8.3中规定的值以下。

当把框架或成套设备的外壳与保护导体使用时，只要不影响连续性，而且邻近的易燃部件不会燃烧，那么连接点处出现的火花和闪烁发热是允许的。

注：试验前后，对进线保护导体端子与相关的出线保护导体端子间测量电阻比较以验证是否符合这一条件。

10.12 电磁兼容性(EMC)

EMC试验见J.10.12。

11 例行检验

11.1 通则

在成套设备制造商的责任下，所有例行检验(包括试验、安装和调试)应由合格人员进行或监督。

例行检验用来检查材料和工艺的缺陷和用来确认制造完工的成套设备的良好功能。每一台成套设备都要进行例行检验。成套设备制造商应确定例行检验是在制造过程中和/或制造后进行。例行检验应符合成套设备制造说明。

如果成套设备中的器件和整装元件已按照8.5.3进行选择，并且按照8.5.4进行安装，则可以不对上述器件和整装元件进行例行检验。

检验应包括以下项目：

a) 结构(见 11.2～11.8)：
   1) 防止触及带电部分以及外来固体和水的进入外壳的防护等级；
   2) 电气间隙和爬电距离；
   3) 电击防护和保护电路的完整性；
   4) 内装元件的组合；
   5) 内部电路和连接；
   6) 外接导线端子；
   7) 机械操作。
b) 性能(见 11.9～11.10)：
   1) 介电性能；
   2) 布线、操作性能和功能。
   注：该验证包括任何通信设备的合适连接和操作。
c) 确认提供与成套设备一起提供的文件，包括 6.2.1 中要求的文件。

11.2 防止触及带电部分以及外来固体和水的进入外壳的防护等级

应用目测检查确认成套设备规定的措施是否能达到所要求的防护等级。

11.3 电气间隙和爬电距离

这里的电气间隙：
——小于表 1 规定值时，冲击电压耐受试验应按 10.9.3 要求执行；
——通过目测检查不明显大于表 1 中给出的值(见 10.9.3.3)时，应通过实际测量或依据 10.9.3 的冲击电压耐受试验进行验证；
——目测检查明显大于表 1 中给出的值，可仅通过目测检查进行验证。

对爬电距离(见 8.3.3)通常的检测方法是目测检查。凡是目测检查不够明显的部位，应通过实际测量来验证。表 2 给出的值不能减少。

11.4 电击防护和保护电路完整性

关于基本防护和故障保护(见 8.4.2 和 8.4.3)规定的防护措施通常用目测检查。

应用检查核查保护电路，以确认制造商说明书所规定的措施是否得到验证。当检查不能明显确认保护电路的接地连续性符合 8.4.3.2 的要求时，应根据 10.5.2 进行连续性试验。

应以随机抽样方式检查螺钉和螺栓的连接是否有正确的检紧度。

11.5 内装元件的组合

内装元件的安装和标识应符合成套设备制造商的说明书。

11.6 内部电路和连接

应检查连接，特别是螺钉和螺栓的连接应以随机抽样方式检查是否有正确的检紧度。

应检查导体是否符合成套设备制造商的说明书。

11.7 外接导线端子

应检查端子的数量、类型和标识是否符合成套设备制造商的说明书。

11.8 机械操作

应检查机械操作部件、联锁和锁，包括与可移式部件有关的部件的有效性。

如果设计的操作手柄位于设备门的开关位置，当门打开时，手柄与器件分离，锁应确认当门关闭时，手柄对器件的打开确实提供明确且清晰的指示。

11.9 介电性能

应按照 10.9.3 和 10.9.2，对所有电路进行工频耐受试验，持续时间为 1 s 和泄漏电流不小于5.5 mA。

此试验不需要在下述辅助电路上进行：

——用额定容量不超过 16 A 的短路保护电器进行保护的辅助电路；

——如果辅助电路已事先按所设计的额定工作电压进行了电气功能试验。

对于 630 A 及以下和额定电压 U_r 不超过 500 V 的带进线保护的成套设备，作为一种选择，绝缘电阻的验证可用电压至少为 500 V 直流的绝缘测量仪器进行绝缘测量。

如果电路与外露可导电部分之间的绝缘电阻至少为 1 MΩ，则认为通过了试验。

11.10 布线、操作性能和功能

应验证第 8 章中规定的信息和标识的完整性。

根据成套设备的复杂程度，可有必要检查布线，并进行电气功能试验。试验程序和试验次数取决于成套设备是否包括复杂联锁装置和程序控制装置等。

通过用户和成套设备制造商之间的协议，可需要检查成套设备系统中包括和连接的通信设备的基本操作和功能。

在某些场合下，在装置投入运行之前，可有必要在现场进行或者重复此项试验。

表 1 空气中的最小电气间隙(8.3.2)

额定冲击耐受电压 U_{imp} kV	最小的电气间隙[a] mm
≤2.5	1.5
4.0	3.0
6.0	5.5
8.0	8.0
12.0	14.0
[a] 根据非均匀电场环境的污染等级 3 决定。	

表 2　最小爬电距离(8.3.3)

额定绝缘电压 U_i V[a]	最小爬电距离/mm							
	污染等级							
	1	2			3			
	材料组别[c]	材料组别[c]			材料组别[c]			
	所有材料组	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲa,Ⅲb	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲa	Ⅲb
32	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
40	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.8	1.8
50	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.7	1.9	1.9
63	1.3	1.5	1.5	1.5	1.6	1.8	2	2
80	1.3	1.5	1.5	1.5	1.7	1.9	2.1	2.1
100	1.4	1.5	1.5	1.5	1.8	2	2.2	2.2
125	1.5	1.5	1.5	1.5	1.9	2.1	2.4	2.4
160	1.6	1.6	1.6	1.6	2	2.2	2.5	2.5
200	2	2	2	2	2.5	2.6	3	3.2
250	2.5	2.5	2.5	2.5	3.2	3.4	4	4
320	3.2	3.2	3.2	3.2	4	4.3	5	5
400	4	4	4	4	5	5.4	6.3	6.3
500	5	5	5	5	6.3	6.8	8	8.0
630	6.3	6.3	6.3	6.3	8	8.6	10	10
800	8	8	8	8	10	11	12.5	*
1 000	10	10	10	10	12.5	14	16	*
1 250	12.5	12.5	12.5	12.5	16	18	20	*
1 600	16	16	16	16	20	22	25	*

注 1：脚注 c 中 CTI 的值是根据 IEC 60112:2020 中所用绝缘材料试验方法 A 获得的。

注 2：源自 GB/T 14048.1—2012 的保持最小值 1.5 mm。

[a] 材料组别Ⅲa 和材料组别Ⅲb 一般不推荐用于 630 V 以上的污染等级 3。

[b] 作为例外，对于额定绝缘电压 127 V、208 V、415 V、440 V、660 V/690 V 和 830 V，可采用分别对应于 125 V、200 V、400 V、630 V 和 800 V 的较低档的爬电距离。

[c] 根据相比电痕化指数(CTI)(见 3.6.16)的范围值，材料组别分组如下：

——材料组别Ⅰ：$600 \leqslant CTI$；

——材料组别Ⅱ：$400 \leqslant CTI < 600$；

——材料组别Ⅲa：$175 \leqslant CTI < 400$；

——材料组别Ⅲb：$100 \leqslant CTI < 175$。

表 3　铜保护导体的截面积(8.4.3.2.2)

额定工作电流 I_n A	保护导体的最小截面积 mm^2
$I_n \leqslant 20$	S *
$20 < I_n \leqslant 25$	2.5
$25 < I_n \leqslant 32$	4
$32 < I_n \leqslant 63$	6
$63 < I_n$	10
* S 为载导体的截面积(mm^2)。	

表 4　导体的选择和安装要求(8.6.4)

导体的类型	要求
裸导体或带基本绝缘材料(非总承载、单独、带走 IEC 60227-3:1993 和 IEC 60227-3:1993/AMD1:1997 规定的电缆	应避免相邻或与导电部分接触，例如，加隔离物
带基本绝缘但允许导体之间至少为 60 个标称芯导体，例如，符合 IEC 60245-3:(Ed)+ 规定的电缆或符合 IEC 60227-3:1993 和 IEC 60227-3:1993/AMD1:1997 规定的聚氯乙烯(PVC)绝缘电缆	或导体绝缘导体应符合 6.5.3 的要求，假如制造或安装过程之后之后可能的试验结果，在没有施加外部压力的地方相互接触或与外露可导电部分接触是容许的，应避免与导体的边缘接触。 具有额外电绝缘的导体只有在不超过最高允许导体工作温度后下一个较高的温度下使用
带基本绝缘的导体，例如符合 IEC 60227-3:1993 和 IEC 60227-3:1993/AMD1:1997 规定，并带有附加绝缘的电缆，例如，用绝缘套管单独覆盖电缆或用塑料套管单独走线的电缆	
具有很高的抗破强度材料的电缆导线，例如，乙烯四氟乙烯(ETFE)，或用于 3 kV 以内带有导体的保护套的双重绝缘导线，例如，符合 IEC 60502-1:2021 规定的电缆	没有附加要求
单芯或多芯带护套电缆，例如：依据 IEC 60245-4:2011 或 IEC 60227-4:1992 和 IEC 60227-4:1992/AMD1:1997 规定的电缆	

表 5 铜保护导体(PE)的最小截面积(8.8)

相导体的截面积 S mm^2	相应保护导体(PE)的最小截面积 S_p mm^2
$S \leqslant 16$	S
$16 < S \leqslant 35$	16
$35 < S \leqslant 400$	$S/2$
$400 < S \leqslant 800$	200
$800 < S$	$S/4$

表 6 温升限值(9.2)

成套设备的部件	温升 K
内装元件[a]	根据各个元件的相关产品标准要求，或制造方和制造商协商的极限值，考虑成套设备内的温度
绝缘材料或绝缘导体的端子	70[b]
裸露导体	考虑下述条件限制[c]： ——导电材料的机械强度[d]； ——对相邻设备的可能影响； ——与导体或触头的绝缘材料的允许温度极限； ——导体温度对与其接连的电器元件的影响； ——对于插拔式触点，接触材料的性质和表面的处理
触点手柄： ——金属的； ——绝缘材料的	15[e] 25[e]
与操动机构连接的： ——金属的； ——绝缘的	10[e] 20[e]

表 6　温升限值(9.2)(续)

成套设备的部件	温升 K
分散排列的接头与接线盒	由组成部件的相关设备的那些元件的温升极限确定[a]
本表中给出的温升限值要求在使用条件下(见 7.1)周围空气日平均温度不超过 35 ℃。在短暂过程中,不同的环境温度是允许的(见 10.10.2.4.1)。	
[a] "内装元件"指: ——常用开关设备和控制设备; ——电子部件(例如,驱动器,印制电路); ——设备的部件(例如:调节器,稳压电源,测算放大器)。 [b] 温升极限为 70 K 是根据 10.10 的常规试验确定的数值。在实际条件下使用或试验的成套设备,可由于接线端子类型、种类、布置与试验所用的不尽相同,因此端子的温升可不同,这是允许的。如果内装元件的端子同时也是外部绝缘导体的端子,则应采用较低的温升极限值。温升极限是元件制造商规定的最大温升和 70 K 之间的较小值。缺少制造商说明书时,它是内装元件产品标准规定的限值,且不超过 70 K。对于作为外部绝缘导体端子的内置部件的端子,温升试验用的热电偶不应放置在试验导体绝缘上。 [c] 那些只有在成套设备打开后才能接触到的成套设备内的手动操作机构,例如,成套设备正常使用中不操作的轴上式手柄,其温升极限允许值高 25 K。 [d] 除非另有规定,在正常工作情况下可以接近但不需触及的外表和覆板,允许其温升值高 10 K。距离成套设备基座 2 m 以上的外表面和部件可认为是不可触及的。 [e] 此类型设备(如电子部件)而言,它们的温升限值不同于那些通常的开关设备和控制设备,因此有一定程度的灵活性。 [f] 对于按照 10.10 的温升试验,准许由初始制造商在考虑元件制造商所采用的任何附加测量点和限值的基础上规定温升极限。 [g] 如果是列出的所有列限,铜母线按裸导体的最大温升应不超过 105 K。105 K 与铜表可能发生的温度有关。在没有初始制造商关于电触头或绝头老化的可靠性和稳定性的说明的情况下,漆(无涂层)铝母线和导体的最大温升为 55 K 是适用的。 [h] 如果成套设备安装在日平均空气温度超过 35 ℃的环境中,则可允许有更高的绝对温度。温升不应超过本表给出的数值。见 5.2。在这种情况下,应按供符合 ISO 7010 W017 的警示标签。	

表 7　系数 n^{a} 的值(9.3.3)

短路电流的有效值 kA	$\cos\varphi$	n
$I \leqslant 5$	0.7	1.5
$5 < I \leqslant 10$	0.5	1.7
$10 < I \leqslant 20$	0.3	2
$20 < I \leqslant 50$	0.25	2.1
$50 < I$	0.2	2.2
[a] 表中的值适于大多数用途。在某些领域的场合,例如在变压器或发电机附近,功率因数可更低。因此,最大的预期峰值电流就可作为根据前以代替短路电流的有效值。		

表 8　主电路的工频耐受电压值(10.9.2)

额定绝缘电压 U_i (线-线 交流或直流) V	介电试验电压 交流有效值 V	介电试验电压 直流 V
$U_i \leqslant 60$	1 000	1 415
$60 < U_i \leqslant 300$	1 500	2 120
$300 < U_i \leqslant 690$	1 890	2 670
$690 < U_i \leqslant 800$	2 000	2 820
$800 < U_i \leqslant 1\,000$	2 200	3 110
$1\,000 < U_i \leqslant 1\,500$[a]	2 [illegible]	3 820
[a] 仅指直流。		

表 9　辅助电路的工频耐受电压值(10.9.2)

额定绝缘电压 U_i (线-[illegible]) V	介电试验电压 交流有效值 V	介电试验电压 直流 V
$U_i \leqslant 12$	[illegible]	415
$12 < U_i \leqslant 60$	[illegible]	710
$60 < U_i$	[illegible]	见表 8

表 10　冲击耐受试验电压(10.9.3)

额定冲击耐受电压 U_{imp} kV	海平面	200 m	500 m	1 000 m	1 500 m	每千米	200 m	500 m	1 000 m	2 000 m
2.5	2.95	2.8	2.8	2.7	2.5	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8
4.0	[illegible]	[illegible]	4.7	4.4	4.0	3.4	3.3	3.3	3.1	2.8
6.0	7.3	7.2	7.0	6.7	6.0	5.1	5.1	5.0	4.7	4.2
8.0	9.8	[illegible]	9.3	[illegible]	8.0	6.9	[illegible]	6.8	6.4	5.7
12.0	14.8	14.5	[illegible]	13.3	12.0	[illegible]	10.3	9.9	9.4	8.5

表 11　用于额定电流为 400 A 及以下的铜试验导体(10.10.2.3.2)

额定电流的范围[a] A		导体截面积[b][c] mm^2	导体截面积[b][c] AWG/MCM
0	8	1.0	18
8	12	1.5	16
12	15	2.5	14
15	20	2.5	12
20	25	4.0	10
25	32	6.0	10

表 11　用于额定电流为 400 A 及以下的铜试验导体(10.10.2.3.2)(续)

额定电流的范围[a] A		导体截面积[b] mm²	导体截面积[b] AWG/MCM
32	50	10	8
50	63	16	6
63	80	25	4
80	100	35	2
100	125	35	2
125	160	50	1
160	200	70	0
200	250	95	00
250	315	120	000
315	400	185	350
400	500	240	500
500	630	300	600

[a] 额定电流超过下面一个值的第一个值，小于或等于此栏中给出之一个值。

[b] 为了便于试验，经过制造商同意后，对标注的额定电流可采用小于给定值的试验导体。

[c] 可使用规定的两种导体中的一种。

表 12　用于额定电流为 400 A～7 000 A 的铜试验导体(10.10.2.3.2)

额定电流的范围 A	试验导体			
	小型		母线[a]	
	数量	截面积 mm²	数量	尺寸 mm (宽×强)
400<I≤500	2	150	2	30×5
500<I≤630	2	185	2	40×5
630<I≤800	2	240	2	50×5
800<I≤1 000	3	185	2	60×5
1 000<I≤1 250	3	240	2	80×5
1 250<I≤1 600	4 或 3	240 300	2	100×5
1 600<I≤2 000			3	100×5
2 000<I≤2 500			4	100×5
2 500<I≤3 150			3	100×10
3 150<I≤4 000			4	100×10

表 12　用于额定电流为 400 A～7 000 A 的铜试验导体(10.10.2.3.2)(续)

额定电流的范围[1] A	试验导体[2]			
	电缆		铜母排[3]	
	数量	截面积 mm^2	数量	尺寸 mm (宽×厚)
4 000<I≤5 000			5	100×10
5 000<I≤6 300			6	100×10
6 300<I≤7 000			7	100×10

[1] 额定电流值应大于第一个值,小于或等于第二个值。

[2] 母排悬挂其长面(平)垂直排列的。如果制造商有规定,也可以其长边水平排列。母排可覆盖涂层。

[3] 当额定电流大于 1 600 A,且端子设计为连接到电缆系统时,总铜截面不应过本表中铜导排横截面的并联电缆能用作试验导体。

表 13　通过与一个参考设计比较进行短路验证,核查表(10.5.3.3、10.11.3 和 10.11.4)

序号	考虑的要求	是	否
1	评估成套设备每条电路的短路耐受等级,是否小于或等于参考设计?		
2	评估成套设备每条电路的母线和导体的截面尺寸,是否大于或等于参考设计?		
3	评估成套设备每条电路的母线和导体的中心线间距,是否大于或等于参考设计?		
4	评估成套设备每条电路的导线支撑件的类型、形状、材料同参考设计是否相同,沿母线长度方向支撑的间距是否不小于或等于参考设计的中心线间距? 母线和导体固定方式的安装结构是否有相同设计和相同机械强度?		
5	评估成套设备每条电路导体的材料及其性能是否与参考设计相同?		
6	评估成套设备每条电路短路保护电器,若其制造和系列[1]是否相同? 此外,要评估成套设备的每个电路的短路保护装置,是否 • 具有不低于成套设备额定工作电压下短路额定值的分断能力? • 在限流保护器件的情况下,在短路额定值和成套设备额定工作电压下,具有等于或小于参考设计的峰值允通电流和允通能量? • 对于非限流器件,额定短时耐受电流 I_{cw} 等于或高于参考设计? • 如果需要,满足上一级和下一级器件协调的要求(见 8.3.4)? • 与参考设计中的布置相同?		
7	评估成套设备的每一支保护电路的主保护带电导体的长度(按照 8.6.4),是否小于或等于参考设计?		
8	如果被评估的成套设备包括外壳,当试验验证时,参考设计是否包括外壳?		
9	在同样设计和型号的被评估的成套设备的外壳,是否至少与参考设计有相同的尺寸?		
10	评估成套设备每条电路的隔室是否有同参考设计相同的机械设计和至少有相同的尺寸?		

表 13　通过与一个参考设计比较进行短路验证，除表表(10.5.3.3、10.11.5 和 10.11.4)(续)

所有要求为"是"——无须进一步验证。 任何一个要求为"否"——需进一步验证。
[a] 不同系列的预装成套的短路保护电器可认为具有相当或近似的特性且与用于验证的系列的设备相关与相似且相同或更好，例如，脱扣特性(广、点)和临界曲线。

表 14　预期故障电流与铜丝直径的关系

铜丝直径 mm	在回路电路中的预期故障电流 A
0.3	50
0.5	120
0.7	200
0.8	300
0.9	400
1.0	500
1.2	630
1.5	800
1.8	1 000

表 15　气候条件

环境条件	单位	户内装置		户外装置	
		下限	上限	下限	上限
(1)周围空气温度	℃	-5[a]	+40[a] (24 h 内的平均温度不超过 35 ℃)	-25	+40[b] (24 h 内的平均温度不超过 35 ℃)
(2)相对湿度	%	5[c]	95[c]	15[d]	100[d]
(3)温度变化率(1 min 内的平均值)	℃/min	0.5			
(4)海拔[e]	m	未规定	2 000 (相当于安装现场的空气压力不小于 80 kPa)[c]	未规定	2 000 (相当于安装现场的空气压力不小于 80 kPa)[c]
(5)辐射		有(由于温度的变化，可能会产生中等程度的辐射)		有	
(6)风携带水(雨、雪、冰雹等)的/或灰尘		无		有	
(7)除水以外的水源		预期用户要求：无/垂直滴水/垂直两侧 60°以下喷水/任意方向飞溅/任意方向喷射/任意方向强力喷射			

表 15　气候条件（续）

外壳参数	单位	户内安装		户外安装	
		下限	上限	下限	上限
(8)冰的形成		无		有	

[a] 等于 GB/T 4208—2017 的 IP2X 级。

[b] IEC 60721-3-3:2019 的图 A.1 给出了空气温度和湿度之间的关系。

[c] 等同于 GB/T 4208—2017 中的 IP4X 级。

[d] 对于在更高海拔使用的设备，应把介质冷却和额定绝缘水平的开关能力和空气的冷却效果考虑在内，见 GB/T 16935.1—2008 的表 A.2。

[e] 等于 GB/T 4208—2017 的 IP3X 级。

[f] 大多数设备适用于高达 1 000 m 的高度。对于装在超过 1 000 m 以上地点的子设备，可需参考空气冷却效果的降低。

附 录 A
（规范性）
适合连接外部电缆端子用铜电缆的最小和最大截面积(见 8.8)

表 A.1 适用于每个端子上连接一根铜导线。

表 A.1 适合连接外部电缆端子用铜电缆的截面积

额定电流 A	单芯或多芯电缆截面面积/mm²		软电缆截面积/mm²	
	最小	最大	最小	最大
6	0.75	1.5	0.5	1.5
8	1	2.5	0.75	2.5
10	1	2.5	0.75	2.5
12	1	2.5	0.75	2.5
16	1.5	4	1	4
20	1.5	6	1	4
25	2.5	6	1.5	4
32	2.5	10	2.5	6
40	4	16	2.5	10
50	6	25	4	16
63	10	35	6	25
80	16	50	10	35
100	16	50	16	35
125	25	70	16	50
160	35	95	25	70
200	50	120	35	95
250	70	150	50	120
315	95	185	70	150

如果外接导线直接连接到内装器件上，有关规定中给出的截面积应适用。

如果只准许选用表 A.1 中规定值以外的电缆，应在成套设备制造商与用户之间达成专门的协议。

附 录 B
（规范性）
在短时电流引起热应力情况下，保护导体截面积的计算方法

应单独设定时间大约为0.2 s～3 s电流热应力的保护导体，其截面积应按下述公式计算：

$$S_p=\frac{\sqrt{I^2t}}{k}$$

式中：

S_p ——截面积，单位为平方毫米（mm²）；

I ——在阻抗可以忽略的故障情况下，流过保护器件的故障直流电与均方交流电流值（有效值），单位为安（A）；

t ——隔离器件的分断时间，单位为秒（s）；

k ——系数，取决于保护导体的材质、绝缘以及初始和最终温度，见表B.1。

注1：I^2t被认为是绝热状态计算保护导体的特点参数。

应考虑到电路阻抗的限流作用和保护器件的限流能力（焦耳积分）。

表B.1 不包括在电缆内的绝缘保护导体的k值，或与电缆护套接触的裸保护导体的k值

保护导体或电缆护套的绝缘		PVC 热塑性	XLPE EPR 普导体	下标数据
初始电流条件下导体的最高温度[a]		160 ℃	250 ℃	220 ℃
导体材料的系数k	铜	143	176	166
	铝	95	116	110
	钢	52	64	60
[a] 导体的初始温度设定为30 ℃。				

更多的详细信息可见IEC 60364-5-54:2011、IEC 60724:2000和IEC 60724:2000/AMD1:2008。

注2：其他类型导体的温度信息可参见IEC 60865-1。

附 录 C
（资料性）
用户信息模板

附录C将作为识别成套设备制造商所必需项目的模板，由用户提供。
原在相关成套设备标准中使用和起草。

表C.1 用户信息模板

特性	参考的条或参号	缺省的假[a]	本文件中列出选项[b]	用户要求[c]
电气系统				
接地系统类型	5.4.3.1.2.1，8.4.3.2.3.3.8.8.2，10.5.11.4	制造商标准，选择以适应本地要求	TT/TN-C/TN-C-S/IT/TN-S	
标称电压/V	5.4.3.1.4.2.1，8.3.3	本质的，根据安装条件	最大交流1 000 V或直流1 500 V	
瞬态过电压	7.2.4.10.5.3.3.5.1，附录G	由电气系统决定	过电压类别Ⅰ/Ⅱ/Ⅲ/Ⅳ	
暂时过电压	9.1	短路系统电压+1 200 V	无	
额定频率 f_n/Hz	3.8.12.4.5.4.3.5.10.10.3.1，10.11.5.3	根据本地安装条件	直流/50 Hz/60 Hz	
现场其他试验要求（布线、工作负载和功能）	11.10	制造商标准，根据应用	无	
短路耐受能力				
电源端的预期短路电流 I_{cp}/kA	3.8.7	由电气系统决定	无	
中性导体的预期短路电流	10.11.5.6.3	最大为相电流的80%	无	
保护电路中的预期短路电流	10.11.5.8	最大为相电流的80%	无	
进线功能单元中的短路保护电器(SCPD)	8.5.1	根据本地安装条件	是/否	

表 C.1 用户信息模板（续）

特性	参考的单或条号	缺省约定[a]	本文件中列出选项[a]	用户要求[a]
短路保护电器的配合，包括外部短路保护电器在内	8.2.4	根据本地安装条件	无	
可能增大短路电流的负载的相关数据	9.2.2	不可能增显增大短路电流的负载	无	
依照 IEC 60364-4-41:2005 和 IEC 60364-4-41:2005/AMD1:2017 的电击防护的规定				
电击防护类型——基本防护（对直接接触的预先防护）	8.4.2	基本防护	根据本地安装规则	
电击防护类型——故障防护（对间接接触的预先防护）	8.4.3	根据本地安装条件	自动断开电源/电气隔离/双重绝缘或加强绝缘	
安装环境				
场所类型	8.2.5.1；8.4.2	按适用标准，例如应用	户内；户外	
防止外来固体物体的侵入	8.2.5.4；8.2.3	户内（封闭）：IP 2X 户外（最小）：IP 23	按要求安排各部件，如：金属台架/壳体的外壳等级至少达到所标注	
外部机械碰撞（IK 代码）	8.2.1.2；9.3.3	无	无	
避免外线辐射（适用于非特殊用途的户外成套设备）	10.2.4	户内：不适用 户外：适用气候	无	
腐蚀物件	10.2.2	常规户内/户外约定	无	
周围空气温度——下限	7.1.1	户内：−5 ℃ 户外：−25 ℃	无	
周围空气温度——上限	7.1.1	40 ℃	无	
周围空气温度——日平均温度最大值	7.1.1.2.2	35 ℃	无	
最大相对湿度	7.1.1	户内： −5 ℃～+40 ℃为 95% +55 ℃为 70% +40 ℃为 57% 户外： −25 ℃～+27 ℃为 100% +35 ℃为 60% +40 ℃为 48%	无	

表 C.1 用户信息模板（续）

特性	参考的章或条号	缺省约定[a]	本文件中列出选项[a]	用户要求[a]
宏观环境污染等级（安装环境的）	7.1.3	工业用途，3	1，2，3，4	
海拔	7.1.1	≤2 000 m	无	
EMC 环境（A 或 B）	9.4，10.12，附录 J	A/B	A/B	
特殊使用条件（油，振动，异常凝露，严重污染，腐蚀性环境，强电场或强磁场，霉菌，小动物，爆炸性危险，强烈振动和冲击，地震）	7.1.2，7.3，8.3.4，9.3.3 表 7，	无特殊使用条件	无	
安装方式				
类型	5.3，7.9	制造商标准	落地，独立式，墙上，定制	
静止的/可移动的	3.7	静止的	静止的，可移动的	
最大外形尺寸和质量	7.4，6.2.1	制造商标准，根据应用		
外接导体类型	8.8	制造商标准	为电缆或母线系统	
外接导体方向	8.8	制造商标准	无	
外接导体材料	8.8	铜	铜，铝	
外接线导体，截面积，端子	8.8	标准中定义	无	
外层保护，中性，中间，PEL，PEM，PEN 导体截面积，端子	8.8	标准中定义	无	
特殊端子标识要求	8.8	制造商标准	无	
存放和装卸				
运输单元最大尺寸和质量	6.2.2，8.4.3	制造商标准	无	
运输方式（叉车，起重机）	6.2.2，8.4.6	制造商标准	无	
环境条件	7.3	按照使用条件	无	
包装事项	6.2.2	制造商标准	无	
操作要求				
接近手动操作器件	8.4		授权人员/一般人员	
手动操作器件场所	8.5.5	容易接近	无	
负载安装设备的隔离	8.4.2，8.4.3.3，8.4.4.2	制造商标准	单独/组/全部	

表C.1 用户信息摘录（续）

特性	参考的要求条号	缺省约定[1]	本文件中明示选项[2]	用户要求[3]
维护和升级能力				
一般人员使用中可接近性的要求，或者设备通电时操作器件或更换元件的要求	8.4.6.1	基本防护	无	
标志和类似警告对可接近性的要求	8.4.6.2.2	对可接近性无要求	无	
授权人员使用中维修时对可接近性的要求	8.4.6.2.3	对可接近性无要求	无	
授权人员使用中带电扩展时对隔离性的要求	8.4.6.2.4	对可接近性无要求	无	
功能单元连接方法	8.5.3.4.5.2	制造商标准	无	
在维护或升级期间对直接接触内部危险带电部分的防护（如功能单元、主母线、配电母线）	8.4	在维护或升级期间的防护无要求	无	
耐高能力				
成套设备额定的最大总负载电流（由此确定成套设备的额定电流 I_{nA}）	3.8.10.1、5.3、8.4.3.2.1、8.5.3、8.8、10.10.2、10.10.3、10.11.3、附录E	制造商标准，根据应用	无	
每个电路的设计电流 I_n，和负载特性或 I_n 的非循环性（在这种情况下，提出 IEC 61439 的相关部分计算负荷系数）	3.8.10.8	无	无	
中性导体与线导体的截面积比值，线导体不超过 16 mm^2	8.6.1	100%	无	
中性导体与线导体的截面积比值，线导体超过 16 mm^2	8.6.1	50%S（最小 16 mm^2）	无	

[1] 某些情况下或某设备制造商业务的信息可替代协议。

[2] 表中的"无"指除了默认条件和缺省外，本文件中没有其他的选项。

[3] 对于特别复杂的应用，用户可需要规定比标准更加严格的要求。

附 录 D
（资料性）
设计验证

表 D.1 提供了各种特性待完成的设计验证清单。

表 D.1 待完成的设计验证清单

序号	待验证的特性	导成条	可用的验证选项		
			试验[a]	与一个参考设计比较	评估
1	材料和部件强度：	10.2			
	腐蚀保护	10.2.2	是	是	否
	绝缘材料性能	10.2.3			
	热稳定性	10.2.3.1	是	是	否
	耐受由内部电弧造成影响的非正常条件和要求	10.2.3.2	是	是	是
	耐紫外线辐射(UV)	10.2.4	是	是	是
	起吊	10.2.5	是	是	否
	机械撞击(IK)	10.2.6	是	是	否
	标志	10.2.7	是	是	否
	机械操作	10.2.8	是	是	否
2	外壳防护等级(IP)	10.3	是	否	是
3	电气间隙	10.4	是	否	否
4	爬电距离	10.4	是	否	否
5	电击防护和保护电路完整性：	10.5			
	下游成套设备中外露可导电部分与保护电路间的有效连续性	10.5.2	是	否	否
	保护电路的短路耐受强度	10.5.3	是	是	否
6	开关器件和元件的组合	10.6	否	否	是
7	内部电路和连接	10.7	否	否	是
8	外部导体端子	10.8	否	否	是
9	介电性能：	10.9			
	工频耐受电压	10.9.2	是	否	否
	冲击耐受电压	10.9.3	是	否	是
	绝缘材料制造的外壳	10.9.4	是	否	否
	绝缘材料的外部操作手柄	10.9.5	是	否	否
	绝缘材料覆盖导体的电击防护	10.9.6	是	否	否
10	温升极限	10.10	是	是	是
11	短路耐受强度	10.11	是	是	否
12	电磁兼容性(EMC)	10.12	是	否	是
[a] 如果适当的试验条款允许，则可对代表性样品进行试验。					

附 录 E
（资料性）
额定分散系数

E.1 通则

制造商可自行决定一个成套设备或组的所有出线电路或单个出线电路的额定分散系数。附录E对此提供了一些指导。

成套设备内的所有出线电路按5.3.2[illegible]其额定电流I_{nc}，但是任一电路的电流承载能力可受到相邻电路的影响，热量的相互影响可能导致热量传入或传出临近的电路，对由于受到其他电路的影响，温度大大超过周围空气温度的电路可采用冷风冷却。

实际上，通常并不要求成套设备内的所有出线电路都能持续、同时承载额定电流I_{nc}。在一个典型应用中，负载的形式和特征明显不同，某些电路将基于恒色冲击电流、断续或短时的负载，几个电路可承担重载，而其他电路则承担轻载或断开。

因而，没有必要配备一个所有出线电路能在额定电流I_{nc}下连续运行的成套设备，这样将造成材料和资源的低效率利用。本文件通过5.4.1.1确定的额定分散系数对配置、生产制成套设备的实际要求。

通过指定额定分散系数，成套设备制造商确定了成套设备所设计的平均负载条件。额定分散系数确定成套设备内出线电路的每一单元配备或并同时加载的额定电流值I_{nc}。成套设备中，如果在额定分散系数下运行的出线电路的额定电流总和超过出线电路总数时，额定分散系数适用于分配出线电流的任一组合的出线电路。

E.2 成套设备内出线电路的额定分散系数

E.2.1 通则

额定分散系数在5.4中规定。典型成套设备可到E.3中查出。表下1和图E.2、图E.3给出了分散系数的负载安排示例。

对于每个功能单元(A1、B1 等),电器的额定电流(I_n)被示。

[a] 成套设备电路的额定电流可小于器件的额定电流。

[b] 如果 D2 的额定电流小于 100 A 的额定电流之和,通常为符合工程实践,对 D2 提供适当的过电流保护。

图 E.1 典型的成套设备

表 E.1 成套设备负载示例

功能单元	A1	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D2a	D2b	D2c	D2d
	电流/A														
器件额定电流 I_n	1 600	800	500	500	630	250	200	250	250	600	500	100	100	100	100
功能单元——额定电流 I_w[a] (见图 E.1)	1 350	750	430	430	575	190	190	190	190	430	430	100	100	100	100
示例 1(见图 E.2) 成套设备的 RDF=0.68	1 350	510	292	292	0	129	59[c]	0	0	0	272[c]	68	68	68	68
示例 2(见图 E.3) RDF:B 单元=0.6;C 单元=0.68	1 350	450	258	258	391	129	64[c]	0	0	0	0	0	0	0	0

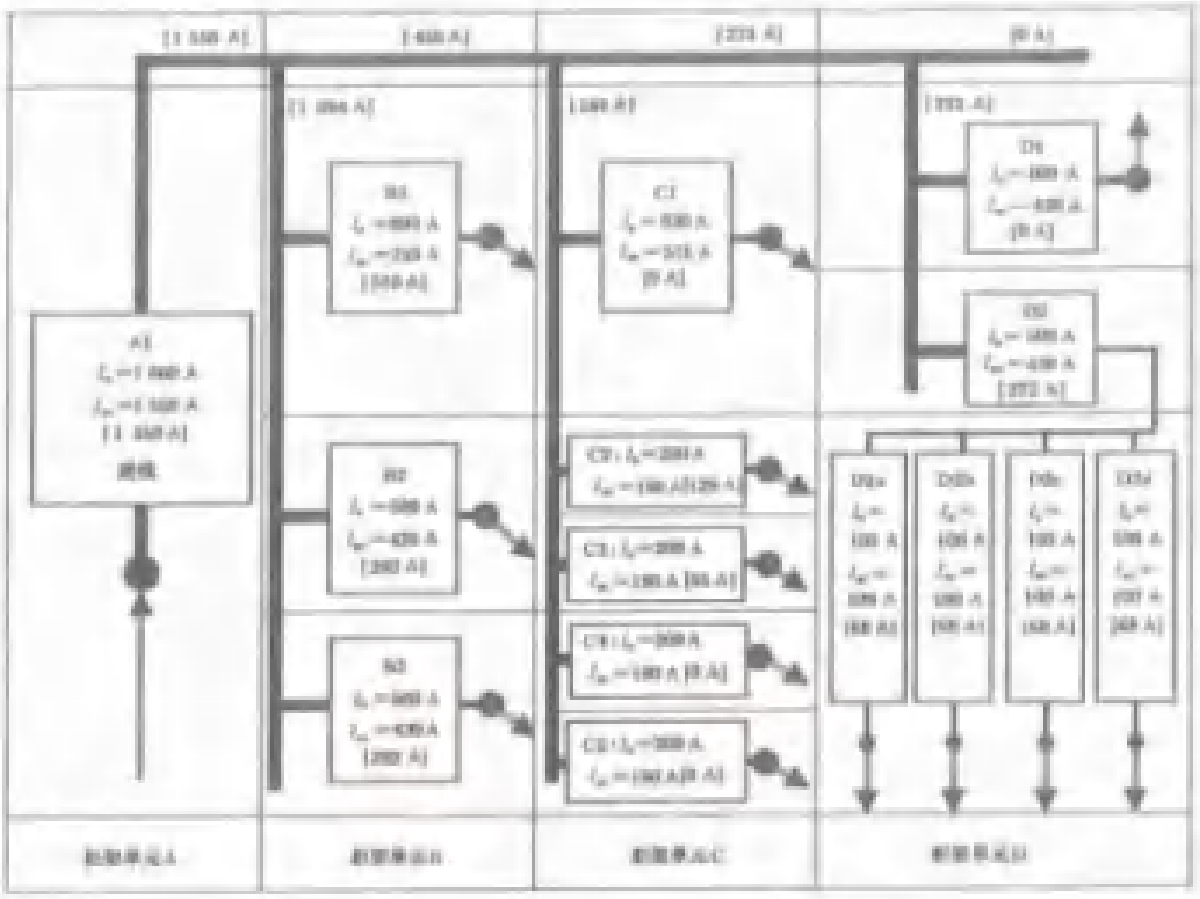
[a] 平衡电流将进线电路加载到它的额定电流为止。

[b] 成套设备内功能单元(电路)的额定电流可小于器件的额定电流。

[c] 分散系数为 0.68 的配电板的最大负载。

K.2.2 固定分散系数为0.68的成套设备

图K.2给出了固定分散系数为0.68的成套设备负载示例。



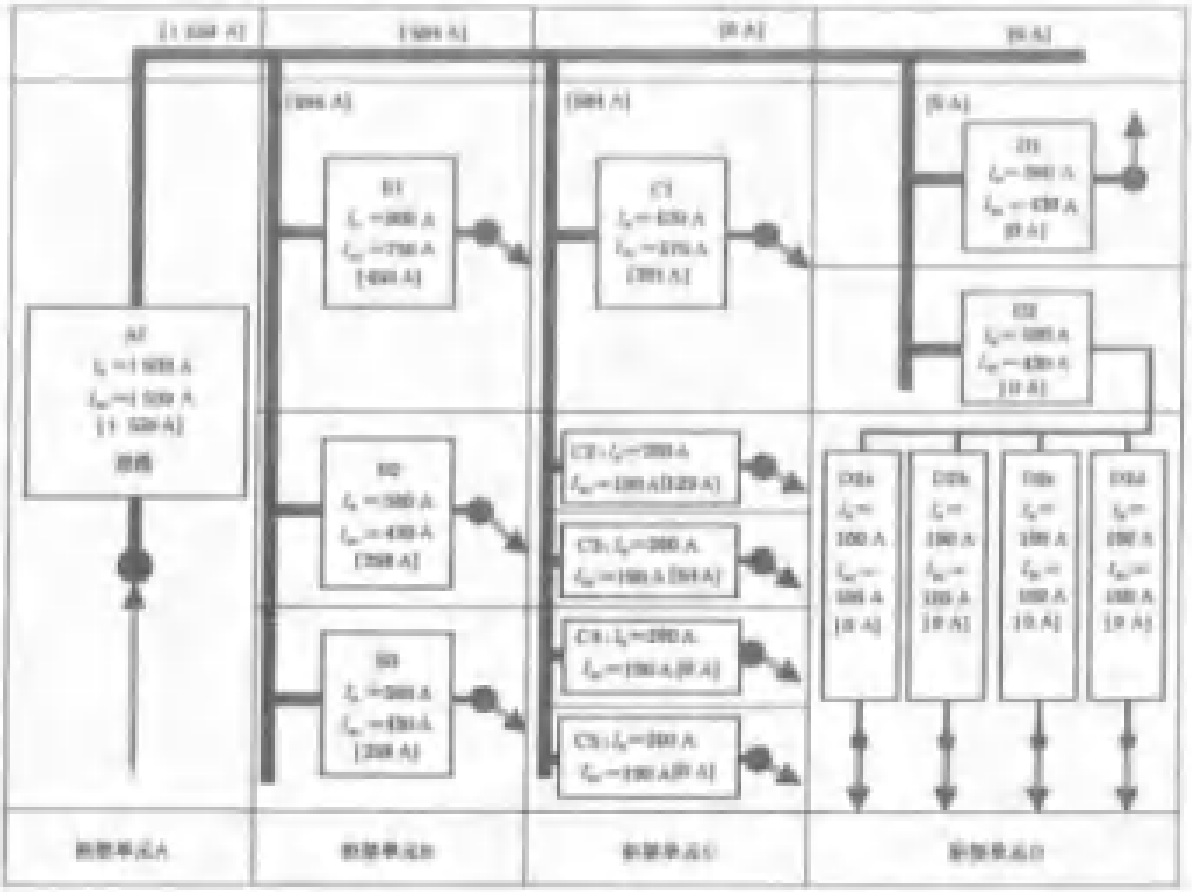
实际负载在图中以虚线给出，例如[392 A]。

馈线标签单元负载在图中以虚线给出，例如[1 668 A]。

图K.2 示例1：表K.1——固定分散系数为0.68的成套设备馈线单元负载

K.2.3　成套设备每个单元的额定分散系数示例

图 K.3 给出了不同单元额定分散系数为 0.6 和 0.68 的成套设备负载示例。



实际负载在图中括弧给出，例如[450 A]。

母线框架单元至负载在图中括弧给出，例如[384 A]。

图 K.3　示例 2，表 K.1——B 单元额定分散系数为 0.6 和 C 单元额定分散系数为 0.68 的成套设备功能单元负载

附 录 F
（规范性）
电气间隙和爬电距离的测量[1]

F.1 基本原则

在示例1～示例11[图F.1 b)～l)]规定的槽宽度 X 基本上适用于以污染等级为函数的所有实例，如表F.1规定：

表F.1 槽宽度的最小值

污染等级	槽宽度 X 的最小值 mm
1	0.25
2	1.0
3	1.5
4	2.5

如果有关的电气间隙小于 X mm，则槽宽度不应减小至该电气间隙的三分之一。

测量电气间隙和爬电距离的方法在示例1～示例11中给出，适用于非绝缘与槽之间、或绝缘类型之间没有什么区别。

假设：

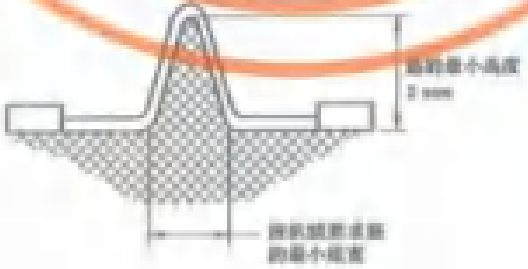
——假定任意槽宽度为 X(mm)的绝缘支撑件在最不利的位置下形成(见示例3)；

——当确定槽底部的距离为 X(mm)或更大时，应考虑沿槽的爬电距离要满足爬电距离(见示例2)；

——测量应在相对运动部件之间的电气间隙和爬电距离，当它们在这些部件处于最不利的位置时进行。

F.2 筋的使用

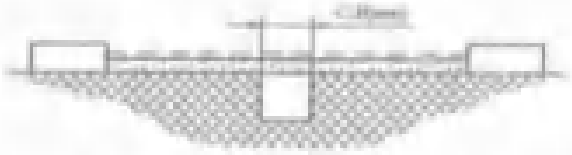
由于其对污染物的影响和改进的干燥效果，筋明显减少了泄漏电流的形成。假如筋的最小高度为2 mm，爬电距离因而能减小到要求值的0.8倍，见图F.1 a)。



a) 筋的测量：示例

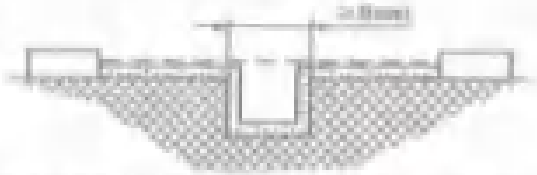
图F.1 电气间隙和爬电距离的测量

[1] 附录F是基于IEC TR 60664-2-1:2011。



条件:此爬电距离路径包括宽度小于 X(mm)且宽度彼此平行或者底部连接的槽。
说明:电气间隙和爬电距离按照两示例进行测量。

a) 示例 1

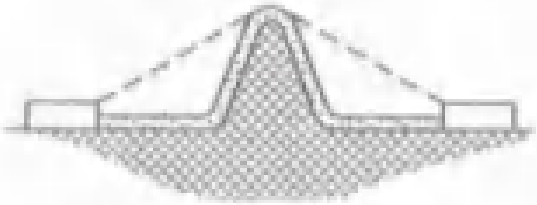


条件:此爬电距离路径包括比槽深度且宽度等于或大于 X(mm)的平行面的槽。
说明:电气间隙是"虚线"的距离,爬电距离是沿槽的轮廓测量。

c) 示例 2

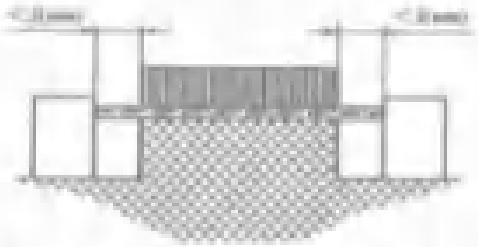
条件:此爬电距离路径包括宽度大于 X(mm)的 V 形槽。
说明:电气间隙是"虚线"的距离,爬电距离路径沿槽的轮廓标注 X(mm)的短法拉第电缆路径

d) 示例 3



条件:爬电距离路径包括一条筋。
说明:电气间隙是通过筋顶的最短的空气路径,爬电距离沿着筋的轮廓。

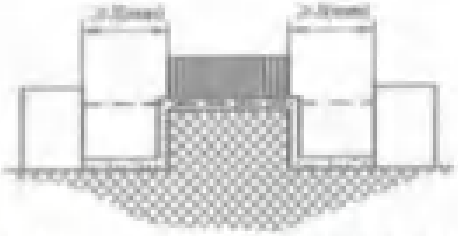
e) 示例 4



条件:爬电距离路径包括一条未胶接的接缝且每边宽度小于 X(mm)的槽。
说明:爬电距离和电气间隙路径如虚线所示的"垂直"距离。

f) 示例 5

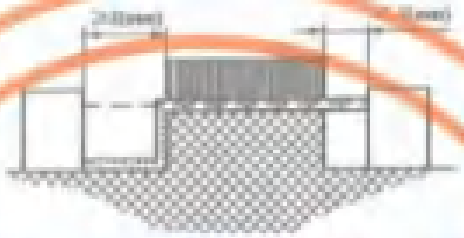
图 F.1 电气间隙和爬电距离的测量(续)



条件：此段电距离路径包括一条未胶结的接缝以及每边宽度等于或大于 X(mm)的槽。

规则：电气间隙为"直线"距离，爬电距离路径沿槽的轮廓。

g) 实例6



条件：爬电距离路径包括一条未胶结的接缝以及一个宽度等于或大于 X(mm)的槽构成。

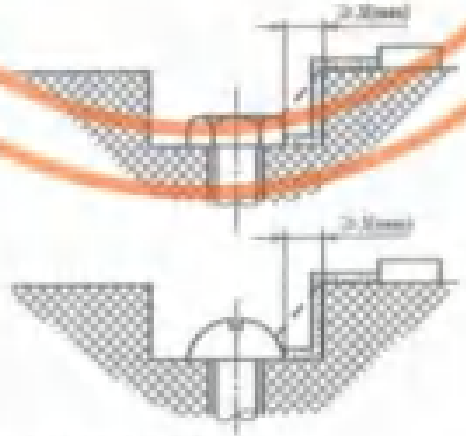
规则：电气间隙和爬电距离路径如图示。

h) 实例7

条件：穿过未胶结的缝隙的紧固件（一个防止内部部件松动）

规则：电气间隙是通过内部顶部的最短直接空气路径。

i) 实例8

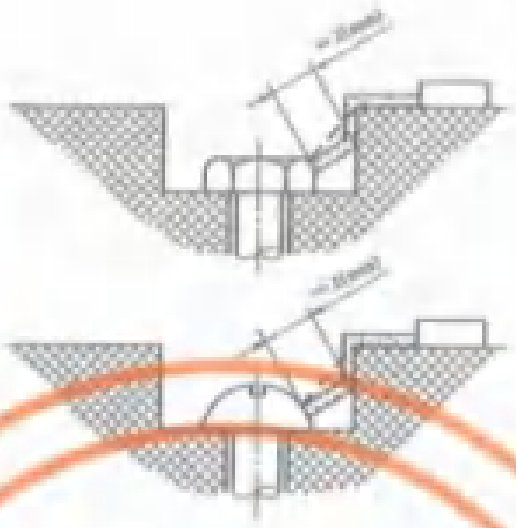


条件：丝锥螺钉头与凹坑之间总等宽的间隙考虑在内。

规则：电气间隙和爬电距离路径如图所示。

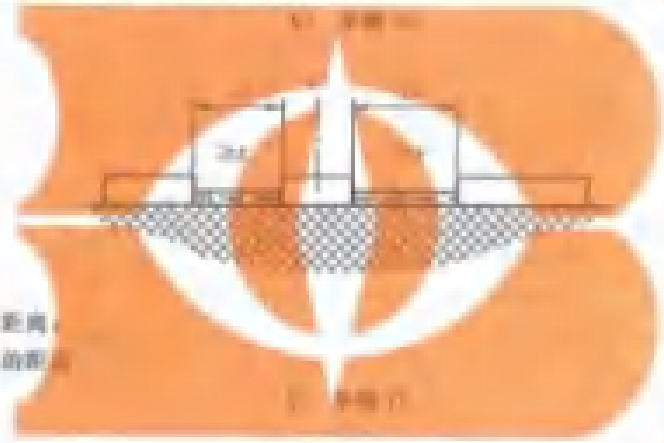
j) 实例9

图 F.1 电气间隙和爬电距离的测量（续）



条件，螺钉头部凹窗（间的间隙过分窄小以至不必考虑。

规则：当距离等于 X（mm）时，测量爬电距离是从螺钉至槽壁。



电气间隙为 a+D 的距离，
爬电距离也为 a+D 的距离

标引符号说明：

——— 电气间隙　　爬电距离

图 F.1　电气间隙和爬电距离的测量（续）

附 录 G
（规范性）
电源系统的标称电压与设备的额定冲击耐受电压的关系[61]

本附录旨在给出有关在电气系统中或部分系统中的一条电路上使用的设备选择所需的信息。

表 G.1 提供了关于电源系统标称电压与相应的设备额定冲击耐受电压之间的关系的实例。

表 G.1 给出的额定冲击耐受电压值是基于 GB/T 16935.1—2008 的 4.3.3。关于选择合适的过电压类别和过电压保护的标准的更多信息（如果需要），在 IEC 60364-4-44:2007，IEC 60364-4-44:2007/AMD1:2015 和 IEC 60364-4-44:2007/AMD2:2018 的第 443 章中给出。

还宜指出，能利用电源系统的运行状态，诸如存在合适的阻抗或电缆馈线，控制与表 G.1 的值相关的过电压值。

表 G.1 电源系统的标称电压与设备额定冲击耐受电压之间的相应关系

标称工作电压对地最大值，交流有效值或直流 V	系统的标称电压（=设备的额定绝缘电压） V				额定冲击耐受电压（1.2/50 μs）值先测（海拔 ≤ 2 000 m） kV			
					过电压类别			
					Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
	交流有效值	交流有效值	交流有效值或直流	交流有效值或直流	电源进线点（进线端）水平	配电电路水平	负载（器件，设备）水平	特殊保护水平
50	—	—	12.5，24，25，30，42，48		1.5	0.8	0.5	0.33
100	66/115	66	60	—	2.5	1.5	0.8	0.5
150	120/208 127/220	115，120 127	110，120	220-110， 240-120	4	2.5	1.5	0.8
300	220/380， 230/400 240/415， 260/440 277/480	220，220 240，260 277	220	440-220	6	4	2.5	1.5
600	347/600， 360/660 400/690， 415/720 480/830	347，380，400 415，440，480 500，577，600	480	960-480	8	6	4	2.5
1 000	—	660 690，720 830，1 000	1 000	—	12	8	6	4

61 附录 G 基于 IEC 60947-1:2020 的附录 H。

附 录 H
（资料性）
铜电缆的工作电流和功率损耗

表 H.1 和表 H.2 提供了理想状态下，成套设备内单芯铜电缆的工作电流和功率损耗的指导性数值。给出确定这些值的计算方法以用来计算其他工作环境下的数值。

表 H.1 导体温度 70 ℃的单芯铜电缆的工作电流和功率损耗
（成套设备内部环境温度 55 ℃）

导线布局		穿在电缆管道中的单芯电缆，沿垂直上水平面垂直走向，3 根电缆(2 个三相电路)有防辐射板		单芯电缆，在空气中不接触成束一个有散热孔的竖架上，3 根电缆(3 个三相电路)有辐射板		最少每一个电缆直径的间隔 单芯电缆水平间隔放置在空气中	
导体截面积	20℃时的导体电阻 R_{20}[1]	最大工作电流 I_{max}[2]	单位导体的功率损耗 P_v	最大工作电流 I_{max}[3]	单位导体的功率损耗 P_v	最大工作电流 I_{max}[4]	单位导体的功率损耗 P_v
mm^2	mΩ/m	A	W/m	A	W/m	A	W/m
0.5	39	8.5	0.4	—	—	—	—
0.75	26.1	11	0.7	—	—	—	—
1	19.5	14	0.7	—	—	—	—
1.5	13.3	17.5	0.8	17	1.3	15	1.2
2.5	7.41	24	0.9	23	1.5	21	1.3
4	4.61	32	1	31	1.7	28	1.5
6	3.08	41	1.1	39	2	36	1.7
10	1.83	57	1.3	52	2.3	50	1.9
16	1.15	76	1.5	69	2.7	67	2.2
25	0.727	101	1.8	90	3	89	2.5
35	0.524	125	1.9	111	3.4	110	2.7
50	0.387	151	2	133	3.7	134	3.1
70	0.268	192	2.2	168	4.2	171	3.4
95	0.193	232	2.4	201	4.7	207	3.9
120	0.153	269	2.5	232	5	239	4.2
150	0.124			258	5.4	275	4.5

表 H.1　导体温度 70 ℃的单芯铜电缆的工作电流和功率损耗
（成套设备内部环境温度 55 ℃）（续）

导线布局		穿在电缆管道中的单芯电缆[a]，沿直墙上水平和垂直走向，3 根电缆（3 个三相电路）有持续负载		单芯电缆[a]，相邻之间不接触成直立的列阵，3 根电缆[a]（3 个三相电路）有持续负载		单芯电缆水平间隔放置在空气中	
导体截面积	20℃时的导体电阻 R_{20}	最大工作电流 I_{max}[b]	单位导体的功率损耗 P_v	最大工作电流 I_{max}[c]	单位导体的功率损耗 P_v	最大工作电流 I_{max}	单位导体的功率损耗 P_v
mm^2	$m\Omega/m$	A	W/m	A	W/m	A	W/m
185	0.09[d]			270	9.7	358	12
240	0.07[d]			305	8.3	375	12.7
300	0.06[d]			341	7.5	432	13.5

[a] 数值来自 GB/T 3858—2008 中表 7 的第 8 栏（导体普通铜电缆）。

[b] 一条三相电路的电流承载能力 I_{max}，来自 GB/T 16895.6—2014 中表 B.52.4 的第 3 栏（安装方法：表 B.52.1 中 B1 项），k_2=0.8（表 B.52.17 中第 1 项 3 条电路）。

[c] 一条三相电路的电流承载能力 I_{max}，来自 GB/T 16895.6—2014 中表 B.52.10 的第 3 栏（安装方法：表 B.52.1 中第 1 栏，第 F 项，截面积小于 25 mm^2 依据 GB/T 16895.6—2014 的附录 D 计算），k_2=0.85（表 B.52.17 中第 4 项，3 条电路，优选用于单层布置）。

[d] 一条三相电路的电流承载能力 I_{max}，来自 GB/T 16895.6—2014 中表 B.52.10 的第 7 栏（安装方法：表 B.52.1 中第 1 栏，第 G 项），截面积小于 25 mm^2 依据 GB/T 16895.6—2014 的附录 D 计算，k_2=1。

[e] 成套设备内水平垂直布线的系数对垂直敷设电缆的影响可以忽略。

$$I_{max} = I_{20} \times k_1 \times k_2$$

$$P_V = I_{max} \times R_{20} \times [1 + \alpha \times (T_c - 20\,℃)]$$

式中：

k_1 ——外壳内导体周围空气温度的降容系数（GB/T 16895.6—2014 的表 B.52.14）

k_1=0.61　导体温度 70 ℃，环境温度 55 ℃。

在其他空气温度时的 k_1 值，见表 H.2。

k_2 ——多于一条电路组合的降容系数（详情见表 H.1 的脚注 b、c 和 d）；

α ——电阻温度系数，α=0.004 K^{-1}；

T_c ——导体温度；

I_z ——导体周围空气温度 30 ℃时单根导线的最大工作电流。

表 H.2　电缆在导体允许温度为 70 ℃时的降容系数 k_1
（见 GB/T 16895.6—2014 的表 B.52.14）

所在内导体周围空气温度 ℃	降容系数 k_1
25	1.12
35	1.06
30	1.00
35	0.94
40	0.87
45	0.79
50	0.71
55	0.61
60	0.50

如果表 H.1 中的工作电流使用降容系数 k_1 转换成其他的空气温度，则相应的冷却剂温度也应用上面的公式重新计算。

附 录 A
（资料性）
断续电流的热等效

电器中元件的载流热量产生的电压降关与电流的实际有效值成比例。一个通过实际断续电流负荷的等效的有效值电流可以由图 A.1 的公式计算。假设断续工作制被确定，就能得出热等效真实的有效满电流（I_{eq}），因而，可得到一个完全负载曲线图。鉴于有热时间常数的详细信息，合理确定时间不短于 30 min，而且通电时间应小于断电时间，因为小的器件在此时已经达到热平衡。对于直流应用，同样的，使用平均断电流而不是有效值电流。除非有相等电路危险的准确信息，在化/解决和截治热等效电流不应超过成套设备的额定电流（I_{nA}）。

$$I_{eq}=\sqrt{\frac{I_1^2\times t_1+I_2^2\times t_2+I_3^2\times t_3+\cdots+I_n^2\times t_n}{t_1+t_2+t_3+\cdots+t_n}}$$

式中

I_{eq} ——等效电流为 I_1 时的起动时间；

I_1 ——电流值为 I_1 时的运行时间；

t_1 ——电流值为 I_1 时的运行时间；

t_2 ——电流值为 I_2 时的断开时间；

I_1、I_2、I_3 ——周期性的。

图 A.1 计算平均热效应实例

附 录 J
（规范性）
电磁兼容性(EMC)

J.1 通则

在本附录中各条的编号与标准本文相匹配。

J.3 术语和定义

下列术语和定义适用于附录J。（延续上页）

J.3.8.13.1

端口 port

与周围电磁环境的特定接口。

图 J.1 端口的示例

J.3.8.13.2

外壳端口 enclosure port

电磁场可辐射穿过或撞击其上的电器的物理边界。

J.3.8.13.3

功能性接地端口 functional earth port

不同于信号、控制或电源端口，但主要供给了电气安全目的以外的接地的端口。

J.3.8.13.4

信号端口 signal port

承载信号的导体或电缆与电器连接的端口。

注：例如模拟输入、脉冲控制线、数据总线、通信网络等。

J.3.8.13.5

电源端口　power port

控制电源端口　control supply port

承载电器或与其关联电器的动作(功能性)所需主要电源的导体或电缆与电器连接的端口。

[来源:IEC 60947-1:2020,3.9.3]

J.3.8.13.6

主端口　main port

连接到设备主电路一个极上的导体或电缆的端口。

J.9.4　性能要求

J.9.4.1　通则

对属于本文件范围的大多数成套设备,应考虑下面的A类和B类两种环境条件:

a)　A类环境

A类环境主要与直接或中间变压器供电电网有关,它用于为生产输送装置或类似装置供电,并且拟工作在工业场所或邻近工业场所,如下所述。本文件同样适用于电池供电和拟在工业场所应用的设备。

环境为工业环境,包括户内和户外。

工业场所表现为以下一种或几种附加特征:

——工业、科研和医疗(ISM)设备(在CISPR 11:2015/AMD1:2016中确定义);

——频繁切换的大感性或容性负载;

——电流及其所产生的高磁场。

注1:工业环境中电气和电子设备的EMC通用标准涉及干扰现象的IEC 61000-6-4:2018和关于发射的IEC 61000-6-4:2018。本文件给出的工业环境成套设备的EMC要求符合这些标准。

b)　B类环境

B类环境主要与低压公共主电网或能够对直流电源供给设备有关,直接电源供给设备与低压公共主电网的接口。也适用于电池供电的非公共、非工业、非ISM电源和电池供电的设备。此设备应用场所如下所示。

环境涵盖居民区、商业区和轻工业区,包括户内和户外。如下列项,虽然不详尽,但表明了所涵盖的场所:

——居民区,例如住宅、农舍;

——零售店,例如商店、超市;

——商业建筑,例如办公室、银行;

——公共娱乐场所,例如,电影院、公共酒吧、舞厅;

——户外场所,例如加油站、停车场、娱乐和体育中心;

——轻工业场所,例如车间、实验室、服务中心。

以通过低压公共主电网直接供电为特征的场所,认为是居民区、商业区和轻工业区。

注2:居民区、商业区和轻工业区环境中的电气和电子设备的EMC通用标准为关于抗扰度的IEC 61000-6-1:2019和关于发射的GB 17799.3—2012。本文件给出的工业环境成套设备的EMC要求符合这些标准。

成套设备制造商应指出其成套设备所适合的环境类别,是A类环境和/或B类环境。

J.9.4.2　试验要求

包含了或多或少的器件和元件随机组合的成套设备,在多数情况下是一次性生产或组装。

如果满足下述条件,则无需在最终的成套设备上进行EMC抗干扰或发射试验:

a) 按J.9.4.1中规定的环境的EMC要求装入的器件和元件符合相关产品的标准或通用的EMC标准。

b) 内部的安装及布线是按照器件和元件制造商的说明书进行的(关于互相影响、电缆、屏蔽和接地等方面的安排)。

其他情况按J.10.12的试验来验证EMC的要求。

J.9.4.3 抗干扰

J.9.4.3.1 不装有电子电路的成套设备

不装有电子电路的成套设备在正常使用条件下不易受电磁骚扰,因此无需进行抗干扰试验。

J.9.4.3.2 装有电子电路的成套设备

安装在成套设备内的电子装置应符合相关产品标准或通用EMC标准的抗干扰要求,并按成套设备制造商的规定适用于指定的EMC环境中。

其他情况按J.10.12的试验来验证EMC的要求。

装置使用完全由无源部件(例如二极管、电阻器、压敏电阻、电容器、浪涌抑制器、电感)构成的电子电路时,可以不进行EMC试验。

成套设备制造商应从器件和/或元件制造商那里获得已装入相关成套设备标准中的产品特定性能标准。

J.9.4.4 发射

J.9.4.4.1 不装有电子电路的成套设备

不装有电子电路的成套设备正常预想的操作过程中,设备可能产生电磁骚扰,骚扰的持续时间为毫秒级。这种发射的标准、等级及结果被视为此压设备的正常电磁环境的一部分,因此认为满足了电磁发射的要求,不需要进行验证。

J.9.4.4.2 装有电子电路的成套设备

装在成套设备内的电子设备应符合相关产品标准或通用EMC标准的发射要求并适用于由成套设备制造商指定的EMC环境中。

装置使用完全由无源部件(例如二极管、电阻器、压敏电阻、电容器、浪涌抑制器、电感)构成的电子电路时,可以不进行EMC试验。

装有电子电路的成套设备(例如一般开关电源,包含有高频时钟和微处理器的电路)可出现持续的电磁骚扰。

此类产品的发射要求不应超过相关产品标准规定的限值或IEC 61000-6-4:2018的表3—表5和第9章中A类环境的要求和/或GB 17799.3—2012的表1—表4和第7章中B类环境的要求。试验按照相关产品标准进行,如果有,否则依据J.10.12进行。

J.10.12 EMC试验

J.10.12.1 通则

如果成套设备内的功能单元不满足J.9.4.2 a)和b)的要求,则应适用下列试验项目:

应依据相关EMC标准进行发射和抗干扰试验;尽管如此,如果需要,成套设备制造商应指定验证成套设备的性能标准的其他附加措施(如持续时间)。

J.10.12.2 抗干扰试验

J.10.12.2.1 不装有电子电路的成套设备

不需试验:见 J.9.4.3.1。

J.10.12.2.2 装有电子电路的成套设备

试验应依据相应的 A 类环境或 B 类环境。表 J.1 和/或 J.2 给出了数值,除非相关产品标准给出了不同试验等级。

成套设备制造商规定的性能标准,应基于表 J.1 中的验收准则。

J.10.12.3 发射试验

J.10.12.3.1 不装有电子电路的成套设备

不需试验:见 J.9.4.4.1。

J.10.12.3.2 装有电子电路的成套设备

成套设备制造商应指定试验方法:见 J.9.4.4.2。

A 类环境发射试验见 IEC 61000-6-4:2018 的表 3—表 5。

B 类环境发射试验见 GB 17799.3—2012 的表 1—表 3。

如果成套设备包含通信端口,则相关端口及环境的选择应依据 CISPR 32:2015 的发射要求。

表 J.1 A 类环境中对 EMC 抗扰度的试验(见 J.10.12.2)

试验项目	所要求的试验等级	验收准则
静电放电抗扰度试验 IEC 61000-4-2:2008	±4 kV 接触放电或如等级触放电不可能 ±8 kV 空气放电	B
射频电磁场辐射抗扰度试验 80 MHz 到 1 GHz IEC 61000-4-3:2020	10 V/m	A
射频电磁场辐射抗扰度试验 1.4 GHz 到 6 GHz IEC 61000-4-3:2020	3 V/m	A
电快速瞬变/脉冲群抗扰度试验 GB/T 17626.4—2018	电源端口±2 kV/5 kHz 信号端口±1 kV/5 kHz[a]	B
1.2/50 μs 到 8/20 μs 浪涌抗扰度试验 IEC 61000-4-5:2014[a]	电源端口(线对地)±2 kV 电源端口(线对线)±1 kV 信号端口(线对地)±1 kV	B
射频传导抗扰度试验 (150 kHz 到 80 MHz) GB/T 17626.6—2017	10 V(电源端口) 10 V(信号端口)[a]	A

表 J.1 A 类环境中对 EMC 抗扰度的试验(见 J.10.12.2)(续)

试验项目	所要求的试验等级		验收准则
工频磁场抗扰度试验[a] IEC 61000-4-8:2019	30 A/m		A
电压暂降抗扰度试验 (50 Hz/60 Hz) IEC 61000-4-11:2020[c]	类别 2[d][e]	类别 3[d][e]	
	0.5 循环/半周期为 0%	0.5 循环/半周期为 0%	C
	25/30 个周期为 70%	10/12 个周期为 40%	C
		25/30 个周期为 70%	B
		250/300 个周期为 80%	B
短时中断抗扰度试验 IEC 61000-4-11:2020	类别 2[d] 250/300 个周期为 0%	类别 3[d] 250/300 个周期为 0%	C
注:验收准则见表 J.3。			

[a] 应用见 IEC 61000-4-3:2014 的 7.3 和 8.2[当二次电路(与交流电源隔离)不受瞬态过电压影响时,不适用于低压直流输入/输出端口(≤60 V)]。

[b] 仅适用于成套设备中包含易受工频磁场影响的器件。

[c] 给定的百分比表示额定工作电压的百分比,例如 0%表示 0 V。

[d] 类别 2 适用于一般工业环境中的公共供合点和厂内公共耦合点。类别 3 仅适用于工业环境中的厂内耦合点,当负载的主要部分通过转换器供电,存在焊接机、大型电机频繁启动或负载变化迅速时,宜考虑此杂合质。产品标准应说明适用情况。

[e] 标志(/)前的值为 50 Hz,后的值为 60 Hz。

[f] 根据制造商信息确定,仅适用于连接线缆的总长可超过 3 m 的端口。

表 J.2 B 类环境中对 EMC 抗扰度的试验(见 J.10.12.2)

试验项目	所要求的试验等级	验收准则
静电放电抗扰度试验 IEC 61000-4-2:2008	±4 kV 接触放电或相应接触放电不可能 ±8 kV 空气放电	B
射频电磁场辐射抗扰度试验 80 MHz~1 GHz IEC 61000-4-3:2020[a]	3 V/m	A
射频电磁场辐射抗扰度试验 1.4 GHz~4 GHz IEC 61000-4-3:2020	3 V/m	A
电快速瞬变/脉冲群抗扰度试验 GB/T 17626.4—2018	电源端口±1 kV/5 kHz 信号端口±0.5 kV/5 kHz[b]	B

表 J.2　B 类环境中对 EMC 抗扰度的试验(见 J.10.12.2)(续)

试验项目	所要求的试验等级	验收准则
1.2/50 μs 和 8/20 μs 浪涌抗扰度试验 IEC 61000-4-5:2014 和 IEC 61000-4-5:2014/AMD1:2017[a]	电源端口(线对地):±2 kV 信号端口(线对地):±1 kV	B
射频传导抗扰度试验 (150 kHz~80 MHz) GB/T 17626.6—2017	3 V(信号端口和电源端口)	A
工频磁场抗扰度试验[b] IEC 61000-4-8:2009	1 A/m[c]	A
电压暂降抗扰度试验 (50 Hz/60 Hz) IEC 61000-4-11:2020[a]	0.5 和 1 个周期为 0% 25/30 个周期为 70%[d]	C C
短时中断抗扰度试验 IEC 61000-4-11:2020	250/300 个周期为 0%[d]	C
注:验收准则见表 J.3。		
[a] 应用见 IEC 61000-4-5:2014/AMD1:2017 的 7.2 和 8.2(除"连接电缆(与交流电源隔离)不出现过电压影响时,不适用于低压直流输入/输出端口(<60 V)"以外。 [b] 仅适用于检查设备中包含或易受工频磁场影响的部件。 [c] 给定的百分比表示额定工作电压的百分比,例如 85%表示 0 V。 [d] 标志(-)指的是为 50 Hz 时间段为 60 Hz。		

表 J.3　电磁骚扰出现时的验收准则

项目	验收准则 (试验期间性能准则)		
	A	B	C
一般性能	工作特性无明显改变,正常运行	可自恢复的性能暂时降低或丧失	性能暂时降低或丧失,需要操作者干预或系统复位[a]
电源电路和辅助电路的运行	无不必要的操作	可自恢复的性能暂时降低或丧失[a]	性能暂时降低或丧失,需要操作者干预或系统复位[a]
显示和控制板的运行	日视显示信息无变化。仅发光二极管有轻微的亮度变化或轻微的字符移动	短暂的可视变化或信息丢失。发光二极管非正常发光	停机或显示持久丢失。错误的信息和/或非法操作模式,它宜被显示或宜提供指示。 不能自行恢复

表 J.3 电磁骚扰出现时的验收准则（续）

项目	验收准则 （试验期间性能准则）		
	A	B	C
自适应保护功能	与外部设备的通信和数据交换未受影响	暂时的通信故障，可能造成内部和外部设备出错	错误的故障信息、 设置值/动作点丢失、 单位出错、 不能自行恢复
* 在产品标准中，应详细给出验收准则。			

附 录 K
（规范性）
母线母排的工作电流和功率损耗

表 K.1 和表 K.2 提供了成套设备内的导体在理想条件下（见 10.10.2.2.2、10.10.4.2.）和 10.10.4.3.2）的工作电流和功率损耗值。附录 K 不适用于试验验证的导体。

给出可以建立这些值的计算方法，以便在其他条件下进行值的计算。

表 K.1 矩形截面铜母排的工作电流和功率损耗，水平走向，最大两垂直排列，频率 50 Hz～60 Hz（成套设备内的环境空气温度为 55 ℃，导体温度为 70 ℃）

母排规格（高度×厚度）	铜导体截面积	每相一根母排			每相两根导体（间距等于母排厚度）		
		[redacted]			[redacted]		
mm×mm	mm²	k_1	工作电流 A	单位线导体功率损耗，P_v，W/m	k_1	工作电流 A	单位线导体的功率损耗，P_v，W/m
12×2	23.5	1.00	70	4.5	1.01	118	6.4
15×2	29.1	1.00	83	5.0	1.01	138	7.0
15×3	44.3	1.01	103	5.8	1.02	184	8.3
20×2	38.3	1.01	105	6.1	1.01	172	8.1
20×3	58.9	1.01	133	6.4	1.02	239	8.4
20×5	99.1	1.02	178	7.0	1.04	325	11.9
20×10	199	1.02	278	8.5	1.07	526	16.8
25×5	124	1.02	214	8.0	1.05	381	13.2
30×5	149	1.03	249	9.0	1.06	437	14.5
40×10	399	1.05	372	10.4	1.11	689	18.9
40×5	199	1.03	315	10.9	1.07	543	17.0
40×12	479	1.07	465	12.4	1.13	829	21.7
50×5	249	1.04	379	12.9	1.09	646	19.6
50×10	499	1.08	554	14.2	1.18	982	24.4
60×5	298	1.05	447	15.0	1.10	748	22.0
60×10	599	1.10	660	16.1	1.21	1 118	27.1
80×5	399	1.07	575	19.0	1.13	944	27.0
80×10	799	1.13	808	19.7	1.27	1 372	32.0
100×5	499	1.10	702	23.3	1.17	1 125	31.8
100×10	999	1.17	969	23.5	1.33	1 613	37.1
120×10	1 200	1.21	1 151	27.8	1.41	1 859	44.5

表 K.1 给出的电流额定值，当母线水平走向，且最大面水平排列或母线垂直走向，且超过 2 m 时，应降低 20%。

注 1：表 K.1 给出的工作电流值仅适用于给定的额定母排配置。

$$P_V = \frac{I^2 \times k_1}{\kappa \times A} \times [1 + \alpha \times (T_r - 20\ ℃)]$$

式中

P_V ——每米的功率损耗；

I ——工作电流；

k_1 ——电流位移系数；

κ ——铜的导电率，$\kappa = 56\ m \cdot \Omega^{-1} \cdot mm^{-2}$；

A ——母排的截面积；

α ——电阻的温度系数，$\alpha = 0.004\ K^{-1}$；

T_r ——导体温度(℃)。

计算验证的导线其设计温度不应超过 90 ℃。如果之前已在参考设计中对母线温度进行试验，则可接受更高的母线温度。

注 2：考虑到实际中特定部件的工作温度可能发生变化，最大设计温度为 90 ℃。

成套设备内不同的环境空气温度和/或导体温度为 90 ℃时，工作电流可通过表 K.1 中的数值乘以表 K.2 中的相应系数 k_t 来变换。则功率损耗也应用上面给出的公式计算。

表 K.2 成套设备内不同空气温度和/或不同导体温度的系数 k_t

外壳内导体周围的空气温度 ℃	k_t 系数	
	导体温度 70 ℃	导体温度 90 ℃
20	2.[illegible]	[illegible]9
25	1.[illegible]	[illegible]7
30	1.[illegible]	2.[illegible]6
35	1.[illegible]	[illegible]4
40	[illegible]	[illegible]03
45	[illegible]	2.91
50	[illegible]	1.77
55	[illegible]	1.6[illegible]
60	0.77	[illegible]38

应认为，根据成套设备的设计，可能出现完全不同的环境和导体温度，尤其在较大的工作电流时。

在这些环境条件下，验证实际母线应通过试验。功率损耗可使用与用于表 K.2 相同的方法来计算。

注 3：在大电流条件下，附加的损耗就可能会是显著的，且表 K.1 中的值一般考虑此种情况。

注 4：导体截面的示例。

参数：

——母线电路的额定电流为 200 A；

——外壳内的空气温度为 60 ℃；

——导体的允许温度为 90 ℃。

根据表 K.1，母线的最小截面积为基于 200 A 的电流(由于母线不是功能单元(电路)的一部分，所以额定电流可以不为电路额定电流 125%的导体)

若重新设定内部温度为 60 ℃和导体温度为 90 ℃，将 200 A 除以 1.48(见表 K.2)，其等效额定电流为 135.1 A。

最接近的额定电流为 178 A(见表 K.1)，每线使用 20 mm × 5 mm 的单母线；或额定电流为 172 A，每线使用 30 mm×2 mm 的双母线。

附 录 L
（资料性）
温升试验指南

L.1 通则

L.1.1 原则

所有成套设备在使用中会产生热量。当散热等于产生的热量时，则会建立热平衡。温度将稳定在一个成套设备周围大气温度以上的温升。温升验证的目的旨在确保温度稳定在一个值上，不会导致：

a) 成套设备的严重损坏或老化，或

b) 过度的热量传输到外部导体，则其连接的外部导体和任意设备的使用能力可能会受损害，或

c) 成套设备附近的人员、操作员或动物在正常工作环境中被灼烧。

L.1.2 成套设备的额定电流

L.1.2.1 通则

温升验证期间，确认了对成套设备使用者重要的几个额定电流。见 L.1.2.2～L.1.2.5。

L.1.2.2 主电路的组额定电流（I_{nA}）

在正常使用中，成套设备内的大多数主电路都承载负载电流。这导致电路之间的相互加热，并且在大多数情况下，与设备标称额定值相比，载流能力降低。

载流能力的降低是由组额定值定义，但由于在成套设备设计时不能够预测每一种不同的负载模式，因此只能在假定条件下指定，即成套设备指定电路的连续同时加载。

组额定值能分配给进线电路、主母线和配电母线以及出线电路。在不完全了解成套设备各种负载可变性的情况下，出线电路的组额定值不宜小于 IEC 60364（所有部分）中定义的电路设计电流 I_b。

L.1.2.3 成套设备的额定电流（I_{nA}）

成套设备的额定电流定义了能由进线电路供电并通过主母线分配的最大负载电流。该额定电流能由进线电路或主母线的容量确定。

成套设备的额定电流 I_{nA} 为(i)进线电路的组额定电流和(ii)主母线的组额定电流，这两者中的较低值。

要注意的是，进线电路的组额定值可低于进线电路所用设备的标称额定值 I_n。

L.1.2.4 成套设备电路的额定电流（I_{nc}）

制造商可自行决定成套设备中出线电路的额定电流 I_{nc}。这是当成套设备或成套设备的框架加载唯一出线电路时，出线电路能提供的电流。在这些条件下，其他电路的热效应最小。

一般来说，当一个单元只有一个出线电路时，该电路的 I_{nc} 至少等于 I_{nA}，但不会比 I_{nA} 高得多。当一个单元有多个电路时，由于相邻电路之间的相互热效应，I_{nc} 可能会明显高于 I_{nA}。

考虑负载（I_B、时间、持续时间等），允许确定 I_{nA} 和 I_{nc}，在某些情况下，设计电流 I_B 能大于 I_{nA}，但是 I_B 不宜大于 I_{nc}。

当负载的电流是周期性电流或在相对较短的时间内发生变化（通电时间小于断电时间，最大通电时间为 30 min），热等效稳态电流能由附录 I 的详细说明给出，这能用来替代设计电流 I_B 来确定所需输

出电路的额定值。

进线电路或母线的额定电流 I_u 能确定，但没有实用价值。因此，它通常不是由制造商提供。进线电路和母线唯一有用的载流能力是成套设备在满负荷条件下运行时的载流能力，即额定电流 I_{nA}。

10.11.2.5 器件的额定电流(I_u)

器件的额定电流 I_u 是根据其产品标准的额定值。该额定值适用于所规定的条件，通常是在空气中，特定的试验导体。一般来说，当器件安装在成套设备上时，会降低额定值。按照 IEC 61439(所有部分)进行成套设备试验，器件的额定值没有得到证实，但是器件 I_u 的额定值和相关的保护特性对负载电路的充分保护至关重要。

10.12 温升极限

为温升验证选择合适的方法是制造商的责任。

本文件中给出的所有温升限值，都假定成套设备被放置在日平均和峰值大气温度分别不超过 35 ℃和 40 ℃的环境中。

本文件也假定成套设备内所有出线电路不会同时承载其额定电流。实际情况由每个出线电路的"组额定值"定义。

确定成套设备内的温升限值是制造商的职责，他们需要以不超过成套设备内所使用材料的长期能力的工作温度为基础来确定。成套设备与外界间的接口，如电缆端子和操作手柄，本文件定义了温升限值(见表 6)。

在本文件定义的界限内，温升验证能通过试验、比较或评估进行。见图 10.1。允许使用本文件中陈述的一种或组合的验证方法来验证成套设备的温升性能。在考虑成套设备的体积、结构、设计适应性、电流额定和尺寸的情况下，允许制造商为成套设备或成套设备的部件选择最适合的方法。

包含在标准设计一些所适应的典型应用中，很有可能使用一种以上的方法去涵盖成套设备设计的各种元件。

10.13 试验

10.13.1 一般要求

为了避免不必要的试验，本文件提供了如何选择类似功能单元组的指南。详细列出如何在待试验组中选择关键的方案，随后设计规则应用于为其他电路设置额定数据，这些电路与已试验的关键方案具有"热相似性"。

文件中为试验验证提供了三种选择。

10.13.2 方法 a)——整个成套设备的验证(10.10.2.3.5)

如果成套设备的几个或所有电路同时加载，则由于其他电路的热影响，相同的电路只能承载其组额定电流 I_{nA}(见 3.8.10.6)。为验证成套设备电路的组额定电流，需要进行电路同时加载的试验[见 10.13.3 方法 b)和 10.13.4 方法 c)]。如果制造商说明了电路的额定电流，则对每个出线电路类型单独进行试验。

为了避免可需要的大量的试验，10.10.2.3.5 中描述了在所有电路中仅做一个同时加载的验证方法。由于没有试验单独的出线电路，所以每个电路只能确定 I_{nA}。

如果已试验的功能单元组不包括安装在成套设备中的每一个不同类型出线电路，进行不同出线电路组的进一步的试验，直到每一种类型都有一台被试验。

L.3.3 方法 b)——分别验证各功能单元和整个成套设备(10.10.2.3.6)

使用这种试验安排,出线电路的每个关键方案都单独试验以确认它的额定电流,随后进行成套设备整体试验,这时进线电路承载其组额定电流,出线电路组分配进线电流,承载其组额定电流 I_{nA}。待试验的组宜包括安装在成套设备中的每个关键方案的一个出线电路。这种方法不适用时,进行更多的组试验,直到出线电路的所有关键方案都被考虑到。

这种试验体制考虑了出线电路组的负载,它适用于多数场合。然而,如方法 a),结果只适用于被试成套设备的特殊布置。

L.3.4 方法 c)——分别验证各功能单元以及主母线和配电母线还有整个成套设备(10.10.2.3.7)

此试验方法使模块化系统不需要试验每个可能的电路组合就可以进行温升验证。温升试验单独进行来证明以下的额定数据:

a) 主母线,

b) 配电母线,

c) 功能单元(可选),

d) 整个成套设备。

为验证整个成套设备的性能,上述方法 a)、b)、c)通过对有代表性的成套设备试验 d)的补充,它的进线电路和出线电路承载其额定电流 I_{nA}。

此方法要求比 L.3.2 的方法 a)和 L.3.3 的方法 b)进行更多的试验,它的优势在于可以验证模块化系统而不是成套设备的特殊布置。

L.4 评估验证

L.4.1 一般要求

本文件中包括几种通过计算进行温升性能验证的方法。

L.4.2 额定电流(I_{nA})不超过 630 A 的单独成套设备

一种非常简单的温升验证方法,要求确认成套设备内的元件和导体的总功率损耗不超过已知的外壳的功率消耗能力。此方法的范围很有限,为了在热点处没有问题,所有元件宜降低额定数据到它们自然通风时电流额定值的 80%或更小。

L.4.3 额定电流(I_{nA})不超过 1 600 A 的单独成套设备

依据带附加余量的 GB/T 24276—2009 通过计算进行温升验证。本方法的范围限制到成套设备的额定电流 I_{nA} 为 1 600 A,元件降低额定数据到它们在大气中额定值的 80%或更小,并且所有水平隔板宜至少有 50%的开口面积。

L.5 与参考设计的比较验证

在明确定义的情况下,文件允许从已由试验验证的相似方案衍生出额定数据。例如,如果双层母线的电流额定值已由试验建立,当所有其他考虑因素都相同的情况下,分配给一个有相同宽度和厚度的单层母线试验值为 50%的额定数据是可以接受的。

类似功能单元组内(所有器件应具有同样的框架尺寸并且属于同一系列)所有电路的额定数据能由组内关键方案的单独温升试验衍生出来。例如,可试验一个标称 250 A 出线断路器且在成套设备内为其确定一个额定数据。则假定考虑同样框架尺寸的断路器且满足其他特殊条件,通过计算验证同一外

壳内的标称 160 A 断路器的额定数据。

就温升而言，在不进行重测试时，允许使用其他系列或其他形式的相似器件替代器件，其温升有非常严格的设计规则。这此情况下，除了实际布置需要相同以外，当依据其本身产品标准进行试验时，替代器件的功率损耗和端子温升不宜高于初始器件。

当考虑器件替换时，所有其他性能标准，特别是关于短路电流能力，依据本文件，宜在成套设备验证需考虑和满足。

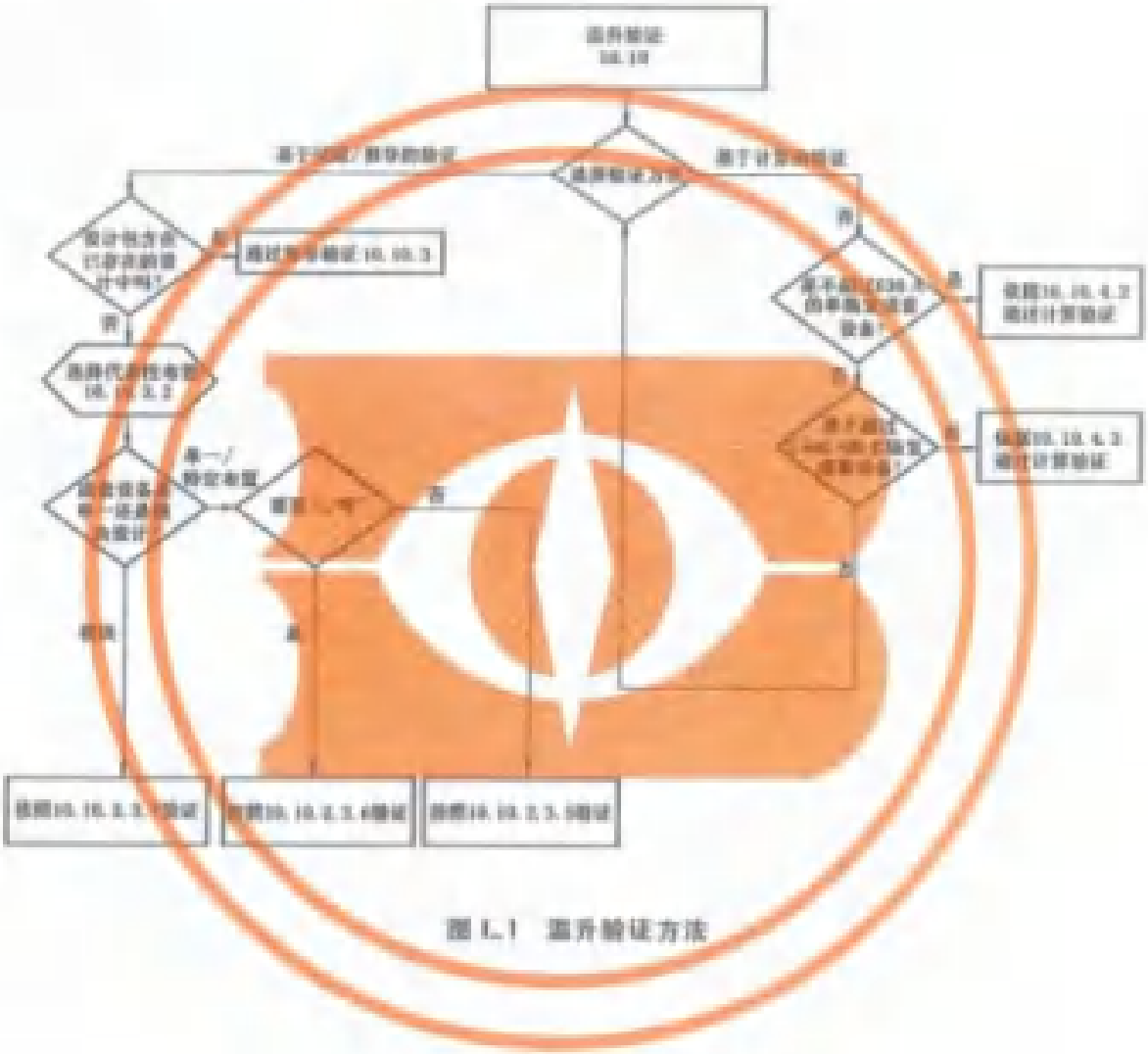


图 L.1 温升验证方法

附 录 M
（规范性）
通过计算与参考设计比较的母线结构短路耐受强度的验证

M.1 通则

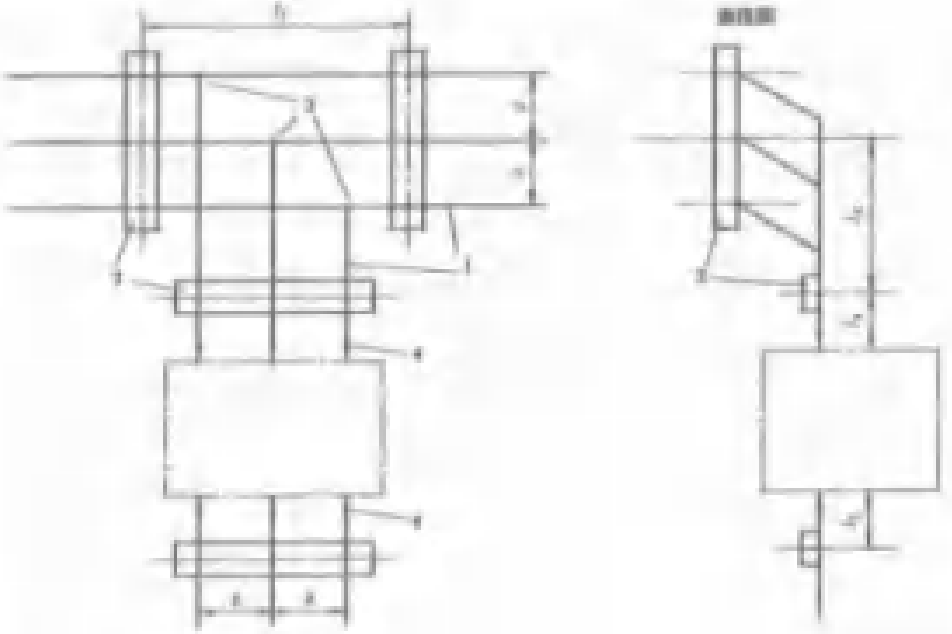
本附录提供了通过待评估的成套设备与已由试验验证的成套设备相比较（见 10.11.5）的评估成套设备母线结构短路耐受强度的一种方法。

M.2 术语和定义

以下术语和定义适用于本附录。

M.2.1 已试验的母线结构(TS) tested busbar structure

由型和设备由图纸、部件清单和试验证书等文件给出的结构（见图 M.1）。



标引符号说明：

1 ——母线；

2 ——支撑件；

3 ——母线连接；

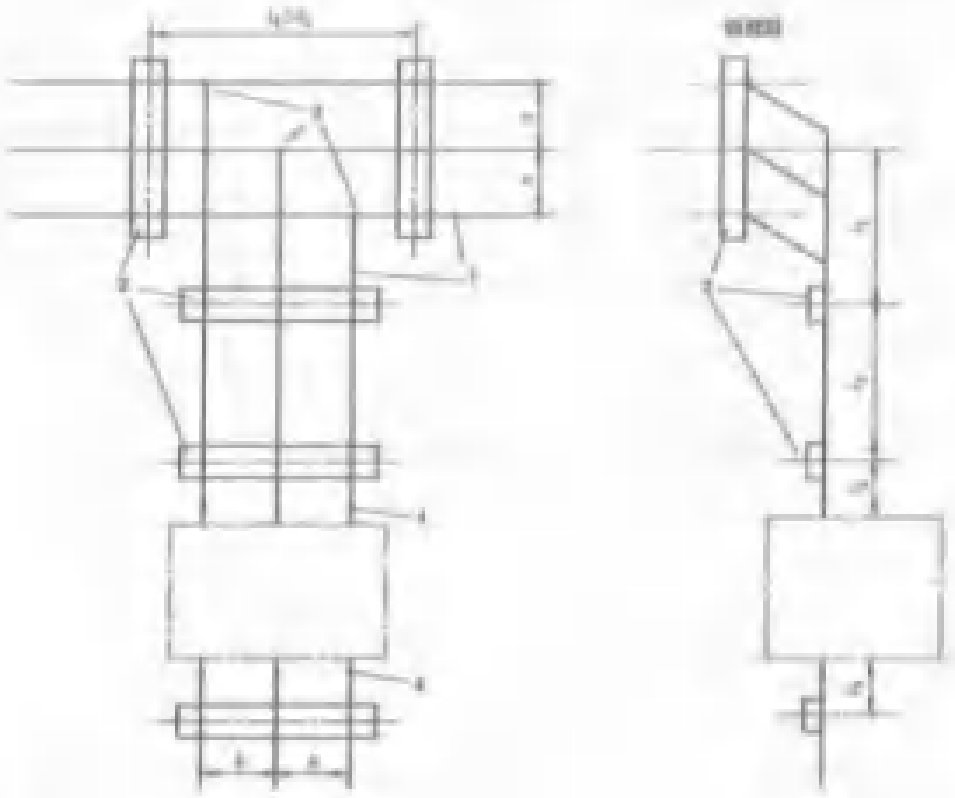
4 ——设备连接；

a，b ——距离。

图 M.1 已试验的母线结构(TS)

M.2.2 未试验的母线结构(NTS) non tested busbar structure

应验证短路耐受强度的结构（见图 M.2）。



标引符号说明：

1 ——母线；

2 ——支撑件；

3 ——母线连接；

4 ——设备连接；

a、b、l ——距离。

图 M.2 未试验的母线结构(NTS)

M.3 验证方法

一种没有经过短路耐受强度试验的结构(TS)中，依据 GB/T 35638.1—2017 的规定对两种结构进行计算推导出来的。如果计算显示 NTS 不应比测试结构承受更高的机械和热应力，则认为 NTS 的短路耐受强度得到了验证。

M.4 应用条件

M.4.1 通则

仅在符合 M.4.2～M.4.7 的以下条件，才能改变母线电气间距、导线截面积和母线配置等参数。

M.4.2 峰值短路电流

短路电流只可变为更小的值。

M.4.3 热短路强度

NTS的热短路强度应依据GB/T 35698.1—2017通过计算进行验证。NTS计算出的温升不应高于TS的温升。

M.4.4 母线支撑件

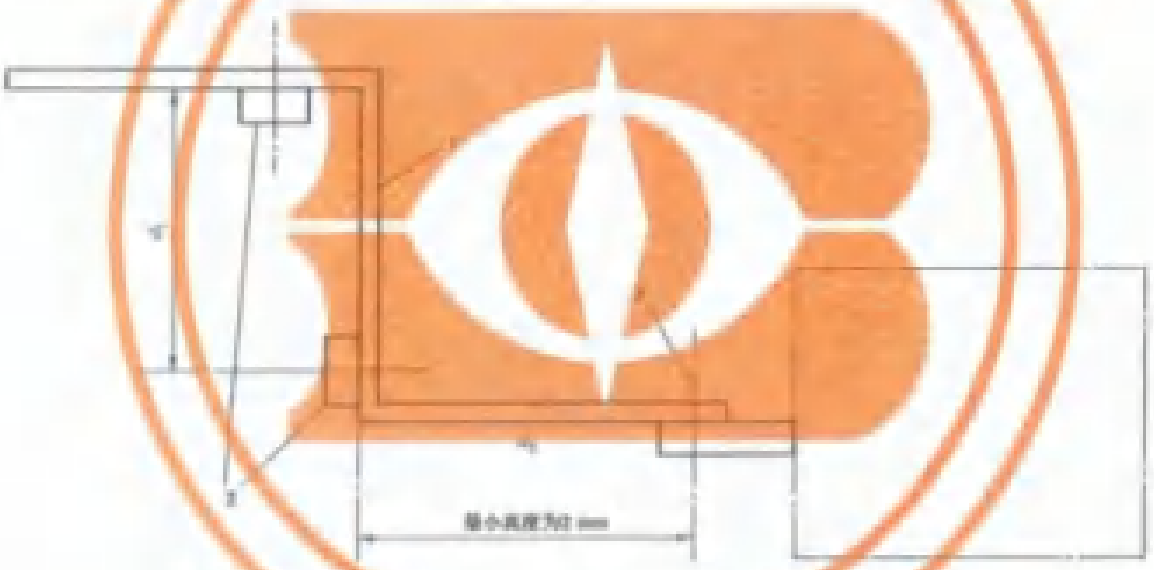
不允许对已由试验验证的成套设备的支撑件的材料或形状进行改变。然而，可使用其他支撑件，但它们应预先已经通过代表性布置中的短路试验进行了所要求的机械强度试验。

M.4.5 母线连接，设备连接

母线和设备连接类型应预先已经通过试验验证。

M.4.6 角形母线配置

GB/T 35698.1—2017只适用于直线形母线配置。当拐角处有母线支撑件时，角形母线配置可看作直线形结构系列(见图M.3)。



标引符号说明：

1 ——母线；

2 ——支撑件；

3 ——设备连接；

d_1，d_2 ——支撑件间距。

图M.3 拐角处有支撑件的角形母线配置

M.4.7 关于导体温度的计算

为使已试验的结构(TS)的计算符合GB/T 35698.1—2017的规定，应使用下列系数V_s，V_m和V_r值：

$$V_s = V_m = V_r = 1.0$$

```
```

附 录 N
（资料性）
某些国家的注的清单

条款号	内容
3.1.14	俄罗斯，术语"线导体"的定义不同。 线导体(L) 设计意图处于通电和将能电能的导体，不是中性或中间导体
3.1.14	俄罗斯，以下定义适用。 接地线导体(LE) 与设备连接在电气连接的线导体
3.1.14	俄罗斯，以下定义适用。 相导体 交流电路中使用的线导体
3.1.14	俄罗斯，以下定义适用。 相导体 直流电路中使用的线导体
3.4.11	俄罗斯，术语(电气)保护挡板的定义不同。 (电气)保护挡板 防止试验员前带电部件的部件
3.4.12	俄罗斯，术语(电气)保护屏蔽的定义不同。 (电气)保护屏蔽 防止无意接触，但不防止有意接触危险带电部件的部件
3.7	俄罗斯，定义了本语前或添附。 接地故障 带电部分和接地或外露可导电部分，或外界可导电部分，或保护导体之间的意外导电路径
3.7.1	在注1后增加： 注2：在隔离，隔离设备中点，总可需要服务中性点来防止过电流
3.7.3	俄罗斯，术语"外露可导电部分"的定义不同。 外露可导电部分 设备上能触及的可导电部分，它在正常情况下不带电，但在基本绝缘失效时能成为带电部分
3.7.4	俄罗斯，术语"保护导体"的定义不同。 保护导体(PE) 以电气安全为目的而提供的导体，例如电击保护
3.7.5	俄罗斯，术语"中性导体"的定义不同。 中性导体(N) 电气上与中性点连接，并能传输电能的导体
3.7.7	俄罗斯，以下定义适用： 接地故障电流 由于带电部件的绝缘故障而产生流向大地、外露可导电部分、外界可导电部分或保护导体的电流

表（续）

条款号	内容
3.7.9	俄罗斯，术语“基本防护”的定义不同： **基本防护** 正常条件下的电击防护
3.7.5	俄罗斯，术语“基本绝缘”的定义不同： **基本绝缘** 提供基本防护的带电部件的绝缘
3.7.11	俄罗斯，术语“特低电压保护系统”的定义不同： **特低电压保护系统（PELV 系统）** 电压不能超过特低电压限的电力系统 ——正常条件和 ——单一故障条件下，其他电路的接地故障除外
3.7.12	俄罗斯，术语“安全特低压系统”的定义不同： **安全特低压系统（SELV 系统）** 电压不能超过特低压限的电力系统， ——正常条件和 ——单一故障条件下，包括其他电路的接地故障
3.7.18	俄罗斯，术语“中间导体”的定义不同： **中间导体（M）** 与直流电气系统的中间带电部件电气连接并用于传输电能的导体
3.7.24	俄罗斯，术语“Ⅰ类设备”的定义不同： **Ⅰ类设备** 基本绝缘用作基本防护的保护装置，和保护性连接用作故障保护的保护装置的电气设备 注：保护性连接是将第Ⅰ类电气设备的外露可导电部分与保护导体进行电气连接
3.7.25	俄罗斯，术语“第Ⅱ类设备”的定义不同： **Ⅱ类设备** 基本绝缘用作基本防护的保护装置，辅助绝缘用作故障防护的保护装置，或基本防护和故障防护由加强绝缘提供的电气设备
3.8.6	俄罗斯，术语“短路电流”的定义不同： **短路电流** 短路时电路中的过电流
3.10.2	增加注释， 注2：在英国，成套设备在现场完成总装时，成套设备的安装产商被视成安装设备制造商的说明，但它们不一定被视为成套设备制造商
3.10.3	增加注释， 注3：在欧盟，成套设备制造商被定义为相关指令的制造商，例如低压指令（LVD）
3.4	最后一段增加： 注3：在美国，导体的过载保护不应仅基于下一级电路分级系数的使用

表（续）

条款号	内容
6.1	注释后增加： 注2：在挪威，气候条件与本文件(见7.1.1)规定的不同，且成套设备不适用于固定位置
7.1.1	增加注释： 注：在挪威，适合在低于－25 ℃的环境空气温度正常运行的成套设备也应符合本文件的要求
8.2.2	最后一段增加： 在美国(USA)，加拿大和墨西哥，分元"类型"用于规定装入成套设备的"防护等级"。对于美国的应用，宜按照 NFPA 250 的规定使用适当的外壳类型名称。对于加拿大的应用，宜按照 CSA 标准 C22.2 No.94.1 和 94.2 的规定使用适当的外壳类型名称。对于墨西哥的应用，宜按照 NMX-J-235/1-ANCE 和 NMX-J-235/2-ANCE 中的规定使用适当的外壳类型名称。
8.3.1	增加： 美国(USA)和墨西哥的国家电气规范用于规定最小爬电距离。在美国，国家电气规范 NFPA 70 的第 408.54 条适用。在墨西哥，NOM-001-SEDE 适用。加拿大电气规范第 2 部分产品安全标准中规定了加拿大应用的最小爬电距离。 表1和表2给出了北美地区的最小空气间隙和爬电距离。 表1 空气中最小电气间隙 最小电气间隙 mm 额定工作电压 V 相对相 相对地 (150)* 125 或以下 22.2 12.7 (151)* 126～250 31.8 12.7 251～600 50.8 25.4 * 括号内的值适用于墨西哥。 表2 最小爬电距离 最小爬电距离 mm 额定工作电压 V 相对相 相对地 (150)* 125 或以下 15.1 12.7 (151)* 126～250 21.8 12.7 251～600 50.8 25.4 * 括号内的值适用于墨西哥。 这不是针对北美市场的所有法规完整和详尽的清单
8.4.2.3	序号b)后增加： 注：在挪威，中性导体不必被隔离或断开
8.4.3.1	序号b)后增加： 注：在荷兰，TT 系统允许使用过流保护器件

表（续）

条款号	内容
8.6.6	最后一段增加： 注：在美国、澳大利亚、南非和韩国，中性导体要求其他颜色。
8.8	第五段增加： 注 1：在美国(USA)和墨西哥，首使用国家电气规范来确定导线最小弯曲空间要求，美国 NFPA 70 第 312 条适用，墨西哥 NOM-001-SEDE 适用。在加拿大，加拿大电气规范第 1 部分标准 C22.2 No.0.12 规定电压为 [illegible] 干使用中的设备外壳中的导线空间和导线弯曲空间要求导线空间和导线弯曲空间。
9.2	增加： 在美国(USA)和墨西哥，国家电气规范规定了最大温升。美国 NFPA 70 第 110.14C 适用；墨西哥 NOM-001-SEDE 适用。对于这些应用，应使用以下给出的值选择温升。在加拿大，加拿大电气规范第 1 部分产品安全标准规定了最大温升。 温升值基于所连接设备（连接排、母线、断路器等）允许的上升。为了保持整个电力系统的合理和安全，宜考虑这些因素。 表 3 允许温升限值 [illegible] 成套设备的部件 | 温升 K 手电筒旋钮 | 50 电缆导线 | 65 下述情况以外的端子 | 70 属于 75 ℃ 额定导体标准可使用的 75 ℃ 等级的器件端子 | 60 标准标有可使用 75 ℃ 导体，额定电流 110 A 及以下的器件端子 | 65
10.10.3.3	最后一段增加： 注：在等级比率、澳大利亚和新西兰，如果满足本章的条件，且器件额定电流不超过 3150 A，则能替换另一制造商的类似器件
10.10.3.3	最后一段增加： 注：在美国，额定电流 I_n 不超过 1 200 A 的电路中的器件能考虑替换
10.10.3.5	最后一段增加： 注：在美国，替代器件的单个尺寸和外形尺寸（高×宽×深）不应超过原器件的 110%。此外，当替代器件按预期安装在成套设备中时，与相邻器件的距离不应小于原始器件距离的 90%。
10.10.3.5	最后一段增加： 注：在虚大利，如果两个器件都完全符合产品标准要求，那么器件终端温升值（当按照相关产品标准进行试验时）对于确定是否可以进行替代并不重要
10.11.5.4	序号 k)后增加： 注：在南非(ZA)，SANS 10142-1[1]建筑布线　第 1 部分：低压装置要求），当工作电压达到 525 V(含 525 V)时，电源电压能等于标称电压的 1.1 倍

续（续）

条款号	内容
10.11.3.4.3	条款编号后增加： 注：容感型(ZA)：允许的电压变化要求试验电压等于标称电压的 1.1 倍
表 6	脚注 b 后增加： 注：北美国(UK)：如果安装导体表面温度超过了 70 ℃，则应确定与导体相连的设备适用于该较高的温度，见 GB/T 16895.6—2014 的表 52.1 工作温度超过 70℃ 的安装电器导体不应连接到按照本系列标准制造的成套设备上，除非成套设备制造商在文件中明确地注意并记录了相关电器，且上述要求已通过试验验证。
表 10	第一段的序号 b 替换为： 注：在脚感，如果短路保护装置不等效，则应： • 成套设备额定工作电压下具有不低于成套设备短路额定值的分断能力，而且 • 对于限流保护器件，在成套设备的短路额定值和额定工作电压下，其峰值允许电流和允许能量等于或小于参考设计，而且 • 对于非限流器件，其额定短时耐受电流 I_{cw} 等于或高于参考设计，而且 • 当施加给器件额定导电能力相对应的电流时，其散热量小于或等于参考设计的散热量，而且 • 如果需要，满足上一级和下一级器件(见 8.2.4)协调的要求，而且 • 与参考设计的布置相同
表 13	序号 6 增加： 注：非普伦北亚(CD)，德津(ZA)，新加坡(SG)，澳大利亚(AU)与新西兰(NZ)，如果满足表 13 脚注 a 的条件，并且替代器件的最低特性(U_r，I_{cs})等于或低于原始的被替代器件，则可替代另一制造商的短路保护器件

参 考 文 献

[1] GB/T 2900.71—2008 电工术语 电气装置

[2] GB/T 2900.83—2008 电工术语 电的和磁的器件

[3] GB/T 3956—2008 电缆的导体

[4] GB/T 5169.5—2020 电工电子产品着火危险试验 第5部分:试验火焰 针焰试验方法 装置、确认试验方法和导则

[5] GB/T 16935.1—2008 低压系统内设备的绝缘配合 第1部分:原理、要求和试验

[6] IEC 60038 IEC standard voltages

[7] IEC 60050-161:1990 International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Part 161:Electromagnetic compatibility

[8] IEC 60050-195:2020 International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Part 195:Earthing and protection against electric shock

[9] IEC 60050-426:2008 International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Part 426:Equipment for explosive atmospheres

[10] IEC 60050-441:1984 International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Part 441:Switchgear,controlgear and fuses

[11] IEC 60050-442:1998 International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Part 442:Electrical accessories

[12] IEC 60050-581:2008 International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Part 581:Electromechanical components for electronic equipment

[13] IEC 60050-601:1985 International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Part 601:Generation,transmission and distribution of electricity—General

[14] IEC 60050-614:2016 International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Part 614:Generation,transmission and distribution of electricity—Operation

[15] IEC 60050-851:2008 International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Part 851:Electric welding

[16] IEC 60092(all parts) Electrical installations in ships

[17] IEC 60112:2020 Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials

[18] IEC 60204(all parts) Safety of machinery—Electrical equipment of machines

[19] IEC 60204-1:2016,Safety of machinery—Electrical equipment of machines—Part 1:General requirements

[20] IEC 60216(all parts) Electrical insulating materials—Thermal endurance properties

[21] IEC 60227-3:1993 Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V—Part 3:Non-sheathed cables for fixed wiring

IEC 60227-3:1993/AMD1:1997

[22] IEC 60227-4:1992 Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V—Part 4:Sheathed cables for fixed wiring

IEC 60227-4:1992/AMD1:1997

[23] IEC 60245-3:1994 Rubber insulated cables—Rated voltages up to and including 450/750 V—Part 3:Heat resistant silicone insulated cables

[24] IEC 60245-4:2011 Rubber insulated cables—Rated voltages up to and including 450/750 V—Part 4:Cords and flexible cables

[25] IEC 60269-2 Low-voltage fuses—Part 2:Supplementary requirements for fuses for use by authorized persons(fuses mainly for industrial application)—Examples of standardized systems of fuses A to K

[26] IEC 60364-4-44:2007 Low-voltage electrical installations—Part 4-44:Protection for safety—Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances [7]

IEC 60364-4-44:2007/AMD1:2015

IEC 60364-4-44:2007/AMD2:2018

[27] 60364-5-54:2011 Low-voltage electrical installations—Part 5-54:Selection and erection of electrical equipment—Earthing arrangements and protective conductors

[28] IEC 60364-5-55:2011 Electrical installations of buildings—Part 5-55:Selection and erection of electrical equipment—Other equipment

IEC 60364-5-55:2011/AMD1:2012

IEC 60364-5-55:2011/AMD2:2016

[29] IEC 60417 Graphical symbols for use on equipment(available at http://www.graphical-symbols.info/equipment)

[30] IEC 60502-1:2021 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV(U_m=1.2 kV)up to 30 kV(U_m=36 kV)—Part 1:Cables for rated voltages of 1 kV(U_m=1.2 kV)and 3 kV(U_m=3.6 kV)

[31] IEC TR 60664-2-1:2011 Insulation coordination for equipment within low-voltage systems—Part 2-1:Application guide—Explanation of the application of the IEC 60664 series,dimensioning examples and dielectric testing method—Apparatus for confirmatory test arrangement and guidance

[32] IEC 60721-3-3:2019 Classification of environmental conditions—Part 3-3:Classification of groups of environmental parameters and their severities—Stationary use at weatherprotected locations

[33] IEC 60724:2000 Short-circuit temperature limits of electric cables with rated voltages of 1 kV(U_m=1.2 kV)and 3 kV(U_m=3.6 kV)

IEC 60724:2000/AMD1:2008

[34] IEC 60947(all parts) Low-voltage switchgear and controlgear

[35] IEC 60947-1:2020 Low-voltage switchgear and controlgear—Part 1:General rules

[36] IEC 60947-2 Low-voltage switchgear and controlgear—Part 2:Circuit-breakers

[37] IEC 60947-7-2:2009 Low-voltage switchgear and controlgear—Part 7-2:Ancillary equipment—Protective conductor terminal blocks for copper conductors

[38] IEC 60947-9-1 Low-voltage switchgear and controlgear—Part 9-1:Active arc-fault mitigation systems—Arc quenching devices

[39] IEC 61000-2-2:2002 Electromagnetic compatibility(EMC)—Part 2-2:Environment—Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public lowvoltage power supply systems

---

7) 合并版 2.2(2018)包括 IEC 60364-4-44(2007)、修正案 1(2015)和修正案 2(2018)。

8) 合并版 3.2(2015)包含了 IEC 60364-5-53(2001)及其修正案 1(2002)和修正案 2(2015)。该第 3 版已于 2019 年被第 4 版 IEC 60364-5-53:2019 所取代,建筑物电气装置 第 5-53 部分:电气设备的选择和安装-安全、隔离、开关、控制和监控。

IEC 61000-2-2:2002/AMD1:2017

IEC 61000-2-2:2002/AMD2:2018

[40] IEC 61000-4-13:2002 Electromagnetic compatibility(EMC)—Part 4-13:Testing and measurement techniques—Harmonics and interharmonics including mains signalling at a.c. power port,low-frequency immunity tests

IEC 61000-4-13:2002/AMD1:2009

IEC 61000-4-13:2002/AMD2:2015

[41] IEC 61000-6-1:2016 Electromagnetic compatibility(EMC)—Part 6-1:Generic standards—Immunity standard for residential,commercial and light-industrial environments

[42] IEC 61000-6-2:2016 Electromagnetic compatibility(EMC)—Part 6-2:Generic standards—Immunity standard for industrial environments

[43] IEC 61082(all parts) Preparation of documents used in electrotechnology

[44] IEC 61140:2016 Protection against electric shock—Common aspects for installation and equipment

[45] IEC TR 61641 Enclosed low-voltage switchgear and controlgear assemblies—Guide for testing under conditions of arcing due to internal fault

[46] IEC TR 61912-1:2007 Low-voltage switchgear and controlgear—Overcurrent protective devices—Part 1:Application of short-circuit ratings

[47] IEC TR 61912-2:2009 Low-voltage switchgear and controlgear—Over-current protective devices—Part 2:Selectivity under over-current conditions

[48] Copper Development Association Publication No.22 (1998,European Copper Institute Publication No.Cu0201,Copper for Busbars—Guidance for Design and Installation

[49] UL 746B Standard for polymeric materials—long term property evaluations

[50] EN 50565-2 Electric cables—Guide to use for cables with a rated voltage not exceeding 450/750 V(U0/U)—Specific guidance related to EN 50525 cable types

[51] NEMA 250:2018 Enclosures for Electrical Equipment(1000 Volts Maximum)

[52] C22.2 NO.94.1-15 Enclosures for electrical equipment,non-environmental considerations

[53] NMX-J-235/1-ANCE Enclosures for electrical equipment,non-environmental considerations

[54] NMX-J-235/2-ANCE Enclosures for electrical equipment,environmental considerations

[55] NFPA 70:2020 National Electrical Code(NEC)

[56] NOM-001-SEDE Electrical Installations(Use)

[57] SANS 10142-1 Wiring of Premises Part 1:Low-voltage installations

GB/T 7251.1—2023/IEC 61439-1：2020

中华人民共和国
国家标准
低压成套开关设备和控制设备
第1部分：总则
GB/T 7251.1—2023/IEC 61439-1:2020
*
中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)
网址：www.spc.net.cn
总编室：(010)68533533　发行中心：(010)51780238
读者服务部：(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销
*
开本 880×1230　1/16　印张 6.25　字数 167 千字
2023年2月第一版　2023年2月第一次印刷
*
书号：155066·1-73037　定价 160.00 元

如有印装差错　由本社发行中心调换
版权专有　侵权必究
举报电话：(010)68510107

GB/T 7251.1-2023