ICS 91.140.50
CCS Q 77

中华人民共和国国家标准

GB/T 16895.3—2024/IEC 60364-5-54:2021
代替 GB/T 16895.3—2017

低压电气装置
第 5-54 部分:电气设备的选择和安装
接地配置和保护导体

Low-voltage electrical installations—
Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment—
Earthing arrangements and protective conductors

(IEC 60364-5-54:2021,IDT)

2024-12-31 发布　　2025-07-01 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 …… Ⅲ
引言 …… Ⅳ
541　总则 …… 1
541.1　范围 …… 1
541.2　规范性引用文件 …… 1
541.3　术语和定义 …… 2
542　接地配置 …… 4
542.1　一般要求 …… 4
542.2　接地极 …… 5
542.3　接地导体 …… 7
542.4　总接地端子 …… 7
543　保护接地导体 …… 7
543.1　最小截面积 …… 7
543.2　保护接地导体类型 …… 9
543.3　保护接地导体的电气连续性 …… 9
543.4　PEN、PEL 或 PEM 导体 …… 10
543.5　保护接地和功能接地共用导体 …… 11
543.6　保护接地导体的电流 …… 11
543.7　保护接地导体电流超过 10 mA 的加强型的保护接地导体 …… 12
543.8　保护接地导体的配置 …… 12
544　保护联结导体 …… 12
544.1　接到总接地端子的保护联结导体 …… 12
544.2　辅助联结用的保护联结导体 …… 12
545　信息和通信技术(ICT)的设备和系统的功能接地和功能等电位联结 …… 12
545.1　ICT 的功能等电位联结 …… 12
545.2　总功能接地端子(MFET) …… 13
545.3　环形等电位联结导体 …… 14
附录 A（规范性）　543.1.2 中系数 k 的计算方法(也可见 IEC 60724 和 IEC 60949) …… 15
附录 B（资料性）　接地配置和保护导体的示例 …… 19
附录 C（资料性）　埋入混凝土基础内的接地极的安装 …… 21
附录 D（资料性）　埋入土壤内接地极的安装 …… 23
附录 E（资料性）　某些国家注的清单 …… 26
参考文献 …… 32

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。

GB/T 16895《低压电气装置》已发布6个部分,其中第4部分、第5部分、第7部分和第8部分又分为多个子部分:

——第1部分:基本原则、一般特性的评估和定义;

——第4部分:安全防护;

——第5部分:电气设备的选择和安装;

——第6部分:检验;

——第7部分:特殊装置或场所的要求;

——第8部分:功能方面。

本文件是GB/T 16895的第5部分:电气设备的选择和安装中的第5-54子部分。GB/T 16895的第5部分已经发布了以下子部分:

——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;

——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;

——建筑物电气装置　第5-53部分:电气设备的选择和安装　隔离、开关和控制设备　第534节:过压保护电器;

——低压电气装置　第5-54部分:电气设备的选择和安装　接地配置和保护导体;

——低压电气装置　第5-55部分:电气设备的选择和安装　其他设备;

——低压电气装置　第5-56部分:电气设备的选择和安装　安全设施。

本文件代替GB/T 16895.3—2017《低压电气装置　第5-54部分:电气设备的选择和安装　接地配置和保护导体》。本文件与GB/T 16895.3—2017相比,除结构调整和编辑性改动外,主要技术变化如下:

——更改了应用范围(见541.1,2017年版的541.1);

——增加了部分术语和定义(见541.3.13～541.3.19);

——增加了信息和通信技术(ICT)的设备和系统的功能接地和功能等电位联结的附加要求(见545)。

本文件等同采用IEC 60364-5-54:2021《低压电气装置　第5-54部分:电气设备的选择和安装　接地配置和保护导体》。

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。

本文件由全国建筑物电气装置标准化技术委员会(SAC/TC 205)提出并归口。

本文件起草单位:中国航空规划设计研究总院有限公司、中机国际工程设计研究院有限责任公司、中国市政工程西北设计研究院有限公司、上海建筑设计研究院有限公司、中国联合工程有限公司、中国石油工程建设有限公司北京设计分公司、施耐德电气(中国)有限公司、中机中电设计研究院有限公司、优利德科技(中国)股份有限公司、北京兴电国际工程管理有限公司。

本文件主要起草人:苏碧萍、谢哲明、丁杰、王健华、刘叶语、钱中阳、陈众励、尹湘武、房昆、唐颖、赵静怡、唐振宇、康潜、洪少林、杨志凌、龙基智、杜奎廷、焦建雷、杨宏峰、朱连旺。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

——1993年首次发布为GB 16895.3—1993,2004年第一次修订,2017年第二次修订为GB/T 16895.3—2017;

——本次为第三次修订。

引　言

GB/T 16895(所有部分)对低压电气装置的安全防护、电气设备的选择和安装、检验,以及对特殊装置或场所的安全要求有着指导性的作用。GB/T 16895 由 6 个部分组成。

——第 1 部分:基本原则、一般特性的评估和定义。目的在于为低压电气装置的设计、安装以及检验确立安全规则,以避免在合理使用中的低压电气装置可能发生的对于人员、家畜和财产的危险和损害,并保证电气装置的正常运行。

——第 4 部分:安全防护。包含 4-41、4-42、4-43、4-44 子部分,目的在于确立低压电气装置的电击防护、热效应防护、过电流防护、电压骚扰和电磁骚扰防护的基本要求。

——第 5 部分:电气设备的选择和安装。包含 5-51、5-52、5-53、5-54、5-55、5-56 子部分,目的在于依据安全防护的基本要求,确立满足电气装置预期使用的功能要求和适合外界影响要求的通用规则,以及确立对布线系统、隔离、通断和控制设备、接地配置和保护导体、低压发电设备及辅助设备、安全设施及其供电系统等方面的电气设备选择和安装的要求。

——第 6 部分:检验。目的在于确立电气装置的初步检验和定期检验的要求。

——第 7 部分:特殊装置或场所的要求。包含 7-701、7-702、7-703、7-704、7-705、7-706、7-710、7-711、7-712、7-713、7-714、7-715、7-717、7-740、7-753 子部分,目的在于为 7-7××所属的特殊装置或场所的电气装置确立补充和/或修改的电气安全要求。7-7××各子部分之间是相对独立的,没有相关联系。

——第 8 部分:功能方面。包含 8-1 子部分,对电气装置设计、安装和运行时的能源效率(EE)的评估提出了要求、建议和方法。

上述第 1 部分、第 4 部分、第 5 部分和第 6 部分为通用性要求和规定(一般部分),一般情况下也适用于第 7 部分(不注日期引用),但在特殊装置和场所中,第 7 部分提出了补充、修改或取代 GB/T 16895 的第 1 部分、第 4 部分、第 5 部分和第 6 部分的一些规定和要求。

第 8 部分的所有要求和建议都在功能方面强化了 IEC 60364 的第 1 部分～第 7 部分内的要求。

GB/T 16895 的 5-54 部分的详细内容列在以下条款内:

541　总则;

542　接地配置;

543　保护接地导体;

544　保护联结导体;

545　用于信息和通信技术的设备和系统(ICT)的功能接地和功能等电位。

为明确界定功能性接地和保护性接地,本文件给出如下解释。

功能接地:如果功能接地的任一连接中断,不会损害为电气安全提供的任何保护措施和保护装置。因而主要涉及通信、测量、主要针对辐射干扰和高频干扰的电磁兼容(EMC)。

保护接地:如果保护接地的任意连接中断,就会损害为电气安全提供的保护或保护装置的性能。

保护接地的要求参见:IEC 60364-4-41 电击防护、IEC 60364-4-42 热效应防护、IEC 60364-4-44 电压骚扰和电磁骚扰防护。

低压电气装置
第5-54部分:电气设备的选择和安装
接地配置和保护导体

541 总则

541.1 范围

本文件对接地配置和保护导体作出了相应的规定,以便满足电气装置安全方面的要求。

本文件还包括信息和通信技术(ICT)的接地和等电位要求,目的在于:

——降低这些设备和信息通信技术线路正常运行时的电气危害风险;

——参照ISO/IEC 30129,为电信系统提供可靠的信号参考基准,以提高抗电磁干扰(EMI)能力。

注:信息和通信技术(ICT)的例子包括:

——为建筑物内ICT设备供电的直流供电网络(和系统);

——星型专用自动交换机(PABX)及其设备;

——局域(通信)网络(LAN);

——火警和入侵报警通信系统;

——楼宇自动化系统,如直接数字控制系统;

——计算机辅助制造(CAM)和其他计算机辅助服务系统;

——广播和通信技术。

541.2 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 16895.10—2021 低压电气装置 第4-44部分:安全防护 电压骚扰和电磁骚扰防护(IEC 60364-4-44:2018, IDT)

注:GB/T 16895.10—2021被引用的内容与IEC 60364-4-44:2007被引用的内容没有技术上的差异。

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 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)

注:GB/T 16895.21—2020被引用的内容与IEC 60364-4-41:2005被引用的内容没有技术上的差异。

GB/T 17045—2020 电击防护 装置和设备的通用部分(IEC 61140:2016,IDT)

注:17045—2020被引用的内容与IEC 61140:2001被引用的内容没有技术上的差异。

GB/T 21714.3—2015 雷电防护 第3部分:建筑物的物理损坏和生命危险(IEC 62305-3:2010,IDT)

IEC 60417 电气设备用图形符号(Graphical symbols for use on equipment)

注:GB/T 5645.1—2009 电气设备用图形符号 第1部分:概述与分类(IEC 60417 Datebase:2007-01,MOD)

GB/T 5465.2—2023 电气设备用图形符号 第2部分:图形符号(IEC 60417 Datebase:2023-03,IDT)

IEC 60445 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(Basic and safety principles for man-machine interface, marking and indentification—Identification of equipment terminals, conductou terminnations and conductors)

注: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)

IEC 60724 额定电压为1 kV(U_m=1.2 kV)和3 kV(U_m=3.6 kV)电缆短路的温度限值[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 60909-0 交流三相系统的短路电流 第0部分:电流计算(Short-circuit currents in three-phase a.c. systems—Part 0: Calculation of currents)

注:GB/T 15544.1—2023 三相交流系统短路电流计算 第1部分:电流计算(IEC 60909-0:2016,MOD)

IEC 60364-4-41 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)

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 60364-4-44 低压电气装置 第4-44部分:安全防护 电压骚扰和电磁骚扰防护(Low-voltage electrical installations—Part 4-44: Protection for safety—Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances)

注:GB/T 16895.10—2021 低压电气装置 第4-44部分:安全防护 电压骚扰和电磁骚扰防护(IEC 60364-4-44:2018, IDT)

IEC 60364-5-51 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(Electrical installations of buildings—Part 5-51: Selection and erection of electrical equipment—Common rules)

注: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)

IEC 60949 考虑非绝热升温效应的热允许短路电流的计算(Calculation of thermally permissible short-circui currents, taking into account non-adiabatic heating effects)

注:GB/T 42397—2023 考虑非绝热效应时允许短路电流的计算(IEC 60949-0:1988,IDT)

IEC 61140 电击防护 装置和设备的通用部分(Protection against electric shock—Common aspects for installation and equipment)

注:GB/T 17045—2020 电击防护 装置和设备的通用部分(IEC 61140:2016,IDT)

IEC 61439-1 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)

注:GB/T 7251.1—2023 低压成套开关设备和控制设备 第1部分:总则(IEC 61439-1:2020,IDT)

IEC 61439-6 低压成套开关设备和控制设备 第6部分:母线干线系统(母线槽)[Low-voltage switchgear and controlgear assemblies—Part 6:Busbar trunking systems(busways)]

IEC 61439-2 低压成套开关设备和控制设备 第2部分:电源成套开关设备和控制设备(Low-voltage switchgear and controlgear assemblies—Part 2: Power switchgear and controlgear assemblies)

注:GB/T 7251.2—2023 低压成套开关设备和控制设备 第2部分:成套电力开关和控制设备(IEC 61439-2:2020,IDT)

IEC 61534-1 电源母线系统 第1部分:通用要求(Powertrack systems—Part 1: General requirements)

注:GB/T 34130.1—2017 电源母线系统 第1部分:通用要求(IEC 61534-1:2014,MOD)

IEC 62305(所有部分) 雷电防护[Protection against lightning(all parts)]

注:GB/T 21714(所有部分)雷电防护 [IEC 62305(所有部分)]

541.3 术语和定义

IEC 61140 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

用于接地配置和保护导体的定义,在附录B中以图形表示并罗列如下:

541.3.1

外露可导电部分　exposed-conductive-part

设备上可触及的可导电部分，它在正常状况下不带电，但在基本绝缘损坏时会带电。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-12-10]

541.3.2

外界可导电部分　extraneous-conductive-part

非电气装置的组成部分，且易于引入电位的可导电部分，该电位通常是为局部地电位。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-12-11]

541.3.3

接地极　earth electrode

埋入土壤或特定的导电介质(如混凝土)中，与大地有电接触的可导电部分。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-05，有修改]

541.3.4

埋入混凝土基础内的接地极　concrete-embedded foundation earth electrode

埋入建筑物基础混凝土内的接地极，通常为闭合环路。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-08，有修改]

541.3.5

埋入基础下土壤内的接地极　soil-embedded foundation earth electrode

埋入建筑物基础下土壤内的接地极，通常为闭合环路。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-08，有修改]

541.3.6

保护导体　protective conductor

为了安全目的，如电击防护中设置的导体。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-22]

注：用于电击防护时，保护导体示例包括保护联结导体、保护接地导体和接地导体。

541.3.7

保护联结导体　protective bonding conductor

用于保护等电位联结的保护导体。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-24]

541.3.8

接地导体　earthing conductor

在系统、装置或设备的给定点与接地网之间提供导电通路或部分导电通路的导体。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-12]

注：就 IEC 60364 的本部分而言，给定点通常是总接地端子，接地导体将该点与接地极或接地网相连接。

541.3.9

总接地端子　main earthing terminal

总接地母线　main earthing busbar

电气装置接地配置的一部分，并能用于与多个接地用的导体实现电气连接的端子或母线。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-15]

541.3.10

保护接地导体　protective earthing conductor

用于保护接地的保护导体。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-23]

541.3.11

功能接地　functional earthing

出于电气安全之外的目的，将系统、装置或设备的一点或多点接地。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-10]

541.3.12

接地配置　earthing arrangement

系统、装置或设备的接地所包含的所有电气连接和器件。

[来源：GB/T 2900.73—2008，195-02-20]

541.3.13

功能接地导体　functional earthing conductor

用于功能接地的导体。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-28，修改——“接地导体”替换为“导体”。]

541.3.14

总功能接地端子　main function earthing terminal；MFET

总功能接地母线　main function earthing busbar

电气装置的功能接地配置组成部分的端子或母线，用于多个功能接地导体的电气连接。

541.3.15

功能等电位联结　functional-equipotential-bonding

非电气安全目的的等电位联结。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-21，修改——“安全以外的操作原因”替换为“电气安全以外的原因”。]

541.3.16

保护等电位联结　protective-equipotential-bonding

以电气安全为目的的等电位联结。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-20，修改——增加“电气”。]

541.3.17

等电位联结　equipotential bonding

为达到等电位，多个可导电部分间的电连接。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-19]

541.3.18

保护接地　protective earth

以电气安全为目的的接地。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-09，修改——删除了“系统、装置或设备的一点或多点”]

541.3.19

功能联结导体　functional bonding conductor

用于功能等电位联结的导体。

[来源：GB/T 2900.71—2008，826-13-29]

542　接地配置

542.1　一般要求

542.1.1　根据电气装置的要求，接地配置可以兼有或分别承担保护接地和功能接地两种作用。应首先实现保护接地的作用。

542.1.2 如在装置内部有接地极，则应将该接地极用一接地导体连接到总接地端子上。

542.1.3 当装置是高压供电时，涉及高压电源和低压电气装置的接地配置要求还应符合GB/T 16895.10—2021 中 442 的规定。

542.1.4 对接地配置的要求，在于提供一种符合下述要求的对地连接：

——对装置的防护要求既可靠又适用；

——能将接地故障电流和保护导体电流传导入地，且不会因此电流而产生有害的热的、热-机械的、电动机械的应力以及电击危险；

——如兼有功能接地，也应适用于对功能要求；

——能耐受可预见的外界影响(见 IEC 60364-5-51)，如机械应力和腐蚀。

542.1.5 接地配置需考虑预期流过的高频电流的影响(见 GB/T 16895.10—2021 的 444)。

542.1.6 IEC 60364-4-41 所述的电击防护，应不受任何可预见的接地极电阻变化(如因腐蚀、干燥或冰冻)的不利影响。

542.2 接地极

542.2.1 对接地极的类型、材料和尺寸的选择，应使其在预期的使用寿命内既耐腐蚀又具有适当的机械强度。

注 1：对于腐蚀，可考虑以下参数：现场土壤 pH、土壤电阻率、土壤湿度、杂散和泄漏交流和直流电流、化学腐蚀和不同材质的相互接近度。

对于常用的接地极材料，按抗腐蚀和机械强度要求，埋入土壤或混凝土的接地极的最小尺寸规定见表 54.1。

注 2：由于垂直接地极打入时受到较大的机械应力，垂直接地极的保护镀层的最小厚度大于水平接地极的保护镀层的最小厚度。

若有防雷装置，还应执行 GB/T 21714.3—2015 中 5.4 的规定。

表 54.1 考虑腐蚀和机械强度的埋入土壤或混凝土内的常用接地极的最小尺寸

材料和表面	形状	直径/mm	截面积 mm^2	厚度 mm	镀层质量 g/m^2	镀层/外护层厚度 μm
埋在混凝土内的钢材(裸、热镀锌或不锈钢)	圆线	10				
	条状或带状		75	3		
热浸镀锌钢[c]	带状[b]或成型带/板-实体板-花格板		90	3	500	63
	垂直安装的圆棒	16			350	45
	水平安装的圆线	10			350	45
	管状	25		2	350	45
	绞线(埋在混凝土内)		70			
	垂直安装的型材		(290)	3		
铜包钢	垂直安装的圆棒	(15)				2 000
电沉积铜包钢	垂直安装的圆棒	14				250[e]
	水平安装的圆线	(8)				70
	水平安装的带		90	3		70

表 54.1 考虑腐蚀和机械强度的埋入土壤或混凝土内的常用接地极的最小尺寸（续）

材料和表面	形状	直径/mm	截面积 mm^2	厚度 mm	镀层质量 g/m^3	镀层/外护层厚度 μm
不锈钢[a]	带状[b]或成型带/板		90	3		
	垂直安装的圆棒	16				
	水平安装的圆线	10				
	管状	25		2		
铜	带状		50	2		
	水平安装的圆线		(25)[d]50			
	垂直安装的圆棒	(12)15				
	绞线	每股 1.7	(25)[d]50			
	管状	20		2		
	实体板			(1.5)2		
	花格板			2		

注：括号内的数值仅适用于电击防护，不在括号内的数值适用于雷电防护和电击防护。

[a] 铬≥16%，镍≥5%，钼≥2%，碳≤0.08%。

[b] 如轧制带状或带圆角的切割的带状。

[c] 镀层应均匀、连续和无斑点。

[d] 经验表明，在腐蚀和机械损伤风险极低的场所，可采用 16 mm^2。

[e] 此厚度是为在安装中铜镀层能耐受机械损伤而规定的，如果能按制造商说明书要求采取特殊措施（例如先在地面上钻孔洞或在接地极顶端上安装保护套）以免铜镀层受机械损伤，则此厚度可减少至不小于 100 μm。

542.2.2 接地极的功效取决于它的配置和当地的土壤条件。接地极应根据土壤条件和接地电阻值的要求进行选择。

附录 D 给出了接地极电阻的估算方法。

542.2.3 可采用的接地极举例如下：

——埋入混凝土基础内的接地极；

注：更多的信息见附录 C。

——埋入基础下土壤内的接地极；

——垂直或水平直接埋入土壤内金属接地极（例如，棒、线、条、管和板）；

——根据当地条件或要求所设电缆的金属护套和其他金属护层；

——根据当地条件或要求所设置的其他适用的地下金属件（例如金属管）；

——埋在地下的钢筋混凝土（预应力的混凝土除外）内焊接的钢筋。

542.2.4 在选择接地极类型和确定其埋地深度时，需考虑到可能的机械损伤和当地条件，以便将土壤干燥和冻结的影响降至最低。

542.2.5 需考虑在接地配置中采用不同材料时的电解腐蚀。当自埋入混凝土基础内的接地极引出外接导体时（例如接地导体），埋在土壤内的外接导体不应采用热浸镀锌钢材。

542.2.6 接地配置不应利用可燃性液体或气体的金属管道作为接地极，且确定接地极尺寸时也不需考虑上述管道埋设长度。

注：此要求并不排除按 IEC 60364-4-41 要求将该管道通过总接地端子(541.3.9)进行保护等电位联结。

采用阴极保护且由 TT 系统供电的单台电气设备的外露可导电部分与可燃性液体和气体金属管道直接连接，则该段管道可作该设备的专用接地极。

542.2.7 接地极不应直接浸入溪流、河流、池塘、湖泊等的水中(也见 542.1.6)。

542.2.8 如果接地极由相互连接的部件组成，其连接应采用放热熔焊、压力连接器、夹板或其他适合的机械连接器。

注：仅由铁丝所做的绑扎连接不适用保护目的。

542.3 接地导体

542.3.1 接地导体应符合 543.1.1 或 543.1.2 的规定，其截面积不应小于 6 mm^2(铜)或 50 mm^2(钢)。埋入土壤内的裸接地导体，其截面积和特性应按表 54.1 确定。

若预期通过接地极的故障电流不大(例如，在 TN 系统或 IT 系统内)，则接地导体尺寸可按 544.1 确定。

铝导体不应用作接地导体。

注：防雷保护装置连接到接地极，接地导体截面积不宜小于 16 mm^2(铜)或 50 mm^2(铁)[见 IEC 62305(所有部分)]。

542.3.2 接地导体与接地极的连接应牢固，且有良好的导电性能。此连接应采用放热焊接、压力连接器、夹板或其他的适合的机械连接器。机械连接器应按制造商家的说明安装。若采用夹板，则不应损伤接地极或接地导体。

仅靠锡焊连接的连接件或固定件不应独立地使用，因不能提供可靠的机械强度。

注：在垂直电极安装处，提供连接的检验和更换垂直电极的措施。

542.4 总接地端子

542.4.1 在采用保护等电位联结的每个装置中都应配置总接地端子，并应将下列导体与其连接：

——保护联结导体；

——接地导体；

——保护接地导体；

——有关的功能接地导体。

注 1：当保护导体已通过其他保护导体与总接地端子连接时，则不需要把每根保护导体直接接到总接地端子上。

注 2：建筑物的总接地端子，通常可用于功能接地的目的。对信息技术目的，它被认为是对地的连接点。

多个接地端子配置场所，其接地端子应相互连接。

542.4.2 连接到总接地端子上的每根导体，都应能被单独地拆卸。此连接应当可靠，且只有用工具才能拆卸。

注：可在总接地端子处卸下接地导体，方便地测量接地极电阻。

543 保护接地导体

注：宜考虑 GB/T 16895.18—2010 中 516 的要求。

543.1 最小截面积

543.1.1 每根保护接地导体的截面积都应满足 GB/T 16895.21—2020 中 411.3.2 的关于自动切断电源所要求的条件，且能承受保护电器切断时间内预期故障电流引起的机械和热应力。

保护接地导体的截面积可按 543.1.2 的公式计算，也可按表 54.2 进行选择。这两种方法都应满足 543.1.3 的要求。

保护接地导体的端子大小，应能容纳按本条所规定截面积的导体。

TT 系统中，电源系统与外露可导电部分的接地极在电气上是独立的(见 IEC 60364-1 的 312.2.2)，保护接地导体截面积不需超过：

——25 mm^2 铜；

——35 mm^2 铝。

表 54.2 保护接地导体的最小截面积

(如不根据 543.1.2 的公式计算)

线导体截面积 S/mm^2(铜)	相应保护接地导体的最小截面积/mm^2	
	保护接地导体与线导体使用相同材料	保护接地导体与线导体使用不同材料
$S \leqslant 16$	S	$\frac{k_1}{k_2} \times S$
$16 < S \leqslant 35$	16[a]	$\frac{k_1}{k_2} \times 16$
$S > 35$	$\frac{S^2}{2}$	$\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S}{2}$
其中： k_1 是线导体的 k 值，它是由附录 A 中公式导出或由 IEC 60364-4-43 中的表按导体和绝缘的材料选择的。 k_2 是保护接地导体的 k 值，是按表 A.54.2～表 A.54.6 中适用的有关参数选择的。		
[a] 对于 PEN 导体，其截面积仅在符合中性导体截面积确定原则(见 IEC 60364-5-52)的前提下，才允许减小。		

543.1.2 保护接地导体的截面积应不小于由如下两者之一所确定的值：

——按 IEC 60949；或

——仅对切断时间不超过 5 s 时，可由下列公式确定。

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

式中：

S ——截面积，单位为平方毫米(mm^2)；

I ——流过保护电器的忽略故障点阻抗产生的预期故障电流方均根值(见 IEC 60909-0)，单位为安培(A)；

t ——保护电器自动切断的动作时间，单位为秒(s)；

k ——由保护接地导体、绝缘和其他部分的材料及初始和最终温度决定的系数(k 值的计算见附录 A)。

若用公式求得的规格是非标准的，至少应采用最接近的较大标准截面积的导体。

注 1：宜考虑回路阻抗的限流影响和保护器的 I^2t 的限值。

注 2：对处于有潜在的爆炸环境中的装置的极限温度值，见 IEC 60079-0。

注 3：因符合 IEC 60702-1 要求的矿物绝缘电缆的金属护套承受接地故障的能力大于线导体承受接地故障的能力，当把金属护套用作保护接地导体时，可不必计算其截面积。

543.1.3 不是电缆的组成部分或不与线导体共处于同一外护物之内的每根保护接地导体，其截面积不应小于：

——有防机械损伤保护，2.5 mm^2 铜，16 mm^2 铝；

——无防机械损伤保护，4 mm^2 铜，16 mm^2 铝。

注：不排除将钢材用作保护接地导体。

不是电缆的组成部分的保护接地导体敷设在导管、线槽内或类似方式保护，可认为已有机械保护。

543.1.4 两个或更多个回路共用一根保护接地导体，其截面积应为：

——在这些回路中遭受最严重的预期故障电流和动作时间，其截面积按 543.1.2 计算；或

——按表 54.2 中对应于所用诸回路中的最大线导体截面积来选择。

543.2 保护接地导体类型

543.2.1 保护接地导体由下列的一种或多种导体组成：

——多芯电缆中的导体；

——与带电导体共用外护物的绝缘的或裸露的导体；

——固定安装的绝缘的或裸露的导体；

——符合 543.2.2 的 a)和 b)规定条件的金属的电缆护套、电缆屏蔽层、电缆铠装、金属编织物、同心导体、电缆的金属导管。

注：关于保护接地导体的配置，见 543.8。

543.2.2 如果装置包括带金属外护物的设备，例如低压成套开关设备和控制设备(见 IEC 61439-1 和 IEC 61439-2)或母线干线系统(见 IEC 61439-6)，若金属外护物或框架同时满足以下三项要求，则可用作保护接地导体：

a) 应能利用结构或适当的连接，使对机械、化学或电化学损伤的防护性能得到保证，从而保证它们的电气连续性；

b) 它们应符合 543.1 的要求；

c) 在每个预留的分接点上，应允许与其他保护接地导体连接。

543.2.3 下列金属部分不应用作保护导体：

——金属水管；

——含有可能引燃的气体、液体、粉末等物质的金属管道；

注：对于阴极保护，见 542.2.6。

——正常使用中承受机械应力的结构部分；

——柔性或可弯曲的金属导管(用于保护接地导体或保护联结导体目的而特别设计的除外)；

——柔性的金属部件；

——支撑线、电缆托盘、电缆梯架。

543.3 保护接地导体的电气连续性

543.3.1 保护接地导体对机械损伤、化学或电化学损伤、电动力和热动力等应具有适当的防护。

保护接地导体之间或保护接地导体与其他设备之间的每处连接(例如：螺栓连接，夹板连接器)应具有持久的电气连续性和足够的机械强度和保护。连接保护接地导体的螺栓不应用作任何其他目的。

连接不应采用锡焊。

注：所有的电气连接宜有耐受在导体或有最大截面积的电缆/外护物中可出现任何电流/时间组合的符合要求的耐热能力和机械强度。

543.3.2 除如下所列各项外，保护接地导体的接头都应是可接近的：

——填充复合物的接头；

——只能通过破坏打开的外护物内部的接头；

——在金属导管、管槽、母线干线系统的接头；

——按相关标准，已成为设备的一部分的接头；如：符合 543.2.2 的低压开关柜设备和控制设备的组件

——电焊或铜焊的接头；

——压力连接的接头。

543.3.3 在保护接地导体中，不应插入开关器件；但为了测试，可设置能用工具拆开的接头。

543.3.4 当采用电气监测器进行接地检测时，不应将专用部件（如工作的传感器、线圈、电流互感器）串接在保护接地导体中。

543.3.5 电气设备的外露可导电部分不应用于构成其他设备保护接地导体的一部分，但 543.2.2 允许的除外。

543.4 PEN、PEL 或 PEM 导体

注：由于这些导体有两种功能，既为 PE 导体又为 N 导体、L 导体或 M 导体，应满足所有功能的要求。

543.4.1 PEN、PEL 或 PEM 导体只能在固定的电气装置中采用，而且，考虑到机械强度原因，其截面积不应小于：10 mm^2 铜或 16 mm^2 铝。

注 1：基于电磁兼容（EMC）原因，PEN 导体不应安装在装置受电点负荷侧（见 GB/T 16895.10—2021 中 444.4.3.2）。

注 2：IEC 60079-14 不准许在爆炸性环境中使用 PEN、PEL 或 PEM 导体。

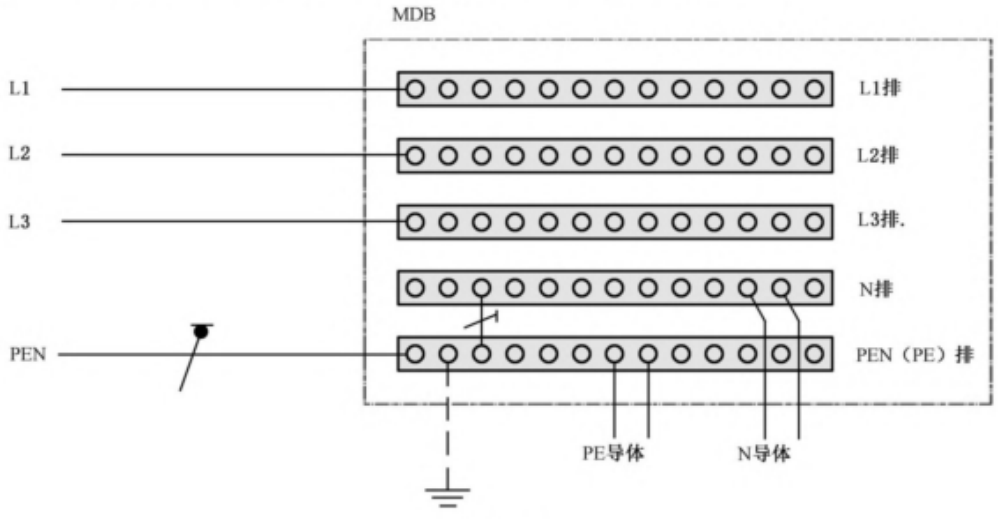
543.4.2 PEN、PEL 或 PEM 导体应按线导体额定电压加以绝缘。

布线系统的金属外护物不应用作 PEN、PEL 或 PEM 导体，但符合 IEC 61439-6 要求的母线干线系统和符合 IEC 61534-1 要求的电源导轨系统除外。

注：产品委员会要考虑由 PEN、PEL 或 PEM 导体可能对设备产生电磁干扰（EMI）的影响。

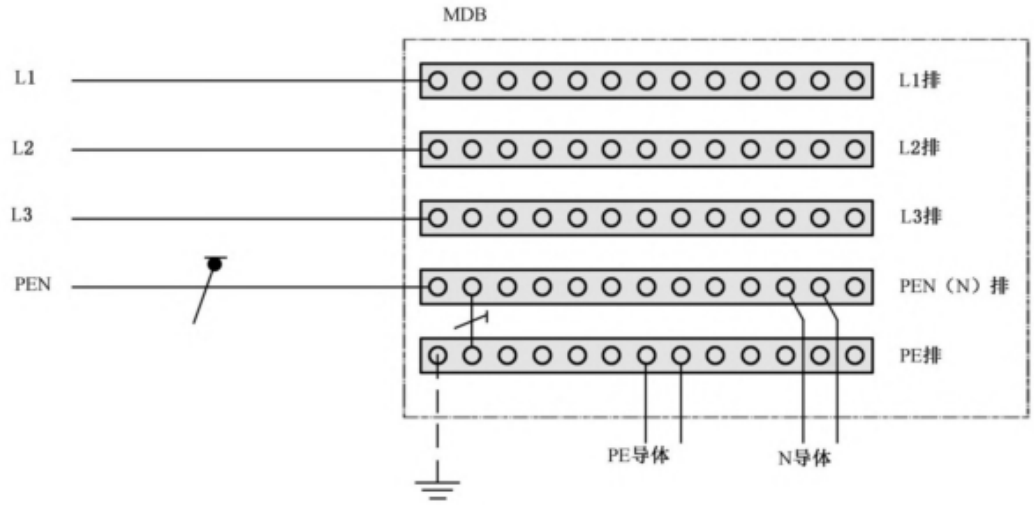
543.4.3 如果从装置的任一点起，中性导体/中间导体/线导体和保护功能导体分别采用单独的导体，则不准许将该中性导体/中间导体/线导体再连接到装置的任何其他的接地部分。然而，允许由 PEN、PEL 或 PEM 导体分接出的中性导体/中间导体/线导体和保护接地导体超过一根以上。

PEN、PEL 或 PEM 导体应连接到保护接地导体的端子或母排上[见图 54.1 a)]，除非有专为 PEN、PEL 或 PEM 导体连接的专用端子或母排[图 54.1 b)和图 54.1 c)给出示例]。

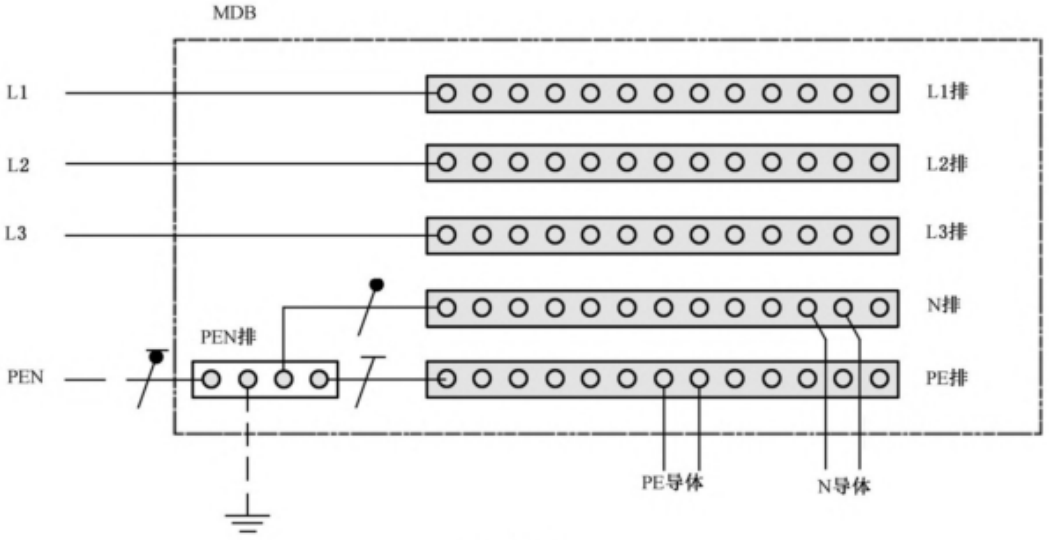


a） 示例 1

图 54.1 PEN 导体连接的示例



b） 示例 2



c） 示例 3

标引序号说明：

MDB——总配电盘。

图 54.1 PEN 导体连接的示例（续）

注：在以直流 SELV 供电的电气系统内，例如电信系统，没有 PEL 或 PEM 导体。

543.4.4 外界可导电部分不应用作 PEN、PEL 或 PEM 导体。

543.5 保护接地和功能接地共用导体

保护接地和功能接地共用导体时，应首先满足有关保护导体的要求。此外，也应符合相关的功能要求（见 GB/T 16895.10—2021 的 444）。

对于信息技术电源的直流返回导体 PEL 或 PEM，也可以用作功能接地和保护接地的共用导体。

注：更多的信息见 GB/T 17045—2020 的 7.6.4.1。

543.6 保护接地导体的电流

在正常运行条件下保护接地导体不宜用作电流传导通路[例如在电磁兼容（EMC）的滤波器接线

中],见 IEC 61140。在正常运行条件下,如保护接地导体的电流超过 10 mA,应使用加强型保护接地导体(见 543.7)。

注:容性泄漏电流,例如电缆或电机产生的,宜由装置和设备的设计来降低。

543.7 保护接地导体电流超过 10 mA 的加强型的保护接地导体

对于固定连接,且其保护接地导体电流又超过 10 mA 的用电设备,应满足下列要求之一:

——如用电设备仅有一个保护接地端子,则保护接地导体的全长应采用截面积至少为 10 mm^2 铜或 16 mm^2 铝;

注 1:543.4 内的 PEN、PEL 或 PEM 导体应满足此项要求。

——如果用电设备具有用于第二根保护接地导体的单独的端子,则第二根保护接地导体的横截面积至少与用作故障防护所需的横截面积相同,其敷设始于保护接地导体的截面积不小于 10 mm^2 铜或 16 mm^2 铝处。

注 2:在 TN-C 系统中,中性(N)导体和保护接地导体共用一根导体(PEN 导体)且敷设至设备端子上,则保护接地导体的电流可视为负载电流。

注 3:通常具有大保护接地导体电流的用电设备与装有剩余电流保护器的装置可能不兼容。

543.8 保护接地导体的配置

当过电流保护器用作电击防护时,保护接地导体应与带电导体合并在同一布线系统中,或置于带电导体附近。

544 保护联结导体

544.1 接到总接地端子的保护联结导体

接到总接地端子的保护联结导体其截面积不应小于装置内最大保护接地导体的二分之一,且不小于:

——6 mm^2 铜;或

——16 mm^2 铝;或

——50 mm^2 钢。

接到总接地端子的保护联结导体其截面积不必大于 25 mm^2 铜或其他材料的等值截面积。

544.2 辅助联结用的保护联结导体

544.2.1 联结两个外露可导电部分的保护联结导体,其电导不应小于接到外露可导电部分的较小的保护接地导体的电导。

544.2.2 联结外露可导电部分和外界可导电部分的保护联结导体,其电导不应小于相应保护接地导体二分之一截面积所具有的电导。

544.2.3 作辅助联结用的保护联结导体和两个外界可导电部分之间联结导体最小截面积应符合 543.1.3 的要求。

545 信息和通信技术(ICT)的设备和系统的功能接地和功能等电位联结

545.1 ICT 的功能等电位联结

545.1.1 通则

功能等电位联结系统包括:

——功能接地导体，

——功能联结导体，

——总功能接地端子。

当功能等电位联结系统没有连接到保护等电位联结系统时，功能联结导体应：

——绝缘，且

——与保护导体分开安装，且

——与总接地端子只能连接一次。

注：功能联结导体是绝缘的，因为它在某些情况下会有潜在的危险。

如果电气装置中存在多个功能联结导体，则应安装一个单独的总功能接地端子(MFET)，以方便这些导体连接，总功能接地端子与总接地端子只能连接一次。

每个功能联结导体或功能接地导体的截面积应能承受由预期工作电流引起的机械应力和热应力，该电流应根据产品说明或通过考虑 ICT 设备或系统的测量确定。

545.1.2 最小截面积

在缺少要求的情况下，例如设备制造商没有给出规定时，功能接地导体和功能联结导体的最小截面积不应小于：

——有机械损伤保护，2.5 mm^2铜，16 mm^2铝；

——无机械损伤保护，4 mm^2铜，16 mm^2铝。

注：由于电磁兼容(EMC)原因，可以指定更大的截面积。

545.1.3 标识

根据 IEC 60445，功能接地导体应通过以下方式标识：

——字母符号 FE，或

——至少在端头或连接点处用粉色标识，或

——用符号标识(图形符号 IEC 60417-5018:2011-07)。

功能联结导体应通过以下方式标识：

——字母符号 FB，或

——用符号标识(图形符号 IEC 60417-5020:2002-10)。

注：字母符号和颜色标记应符合 IEC 60445 规定，黄绿颜色组合不应用于标识功能联结导体。

545.1.4 功能联结导体的电气连续性

除 543.3.5 外，543.3 的要求也适用于功能联结。

如果设备的某一部分可以拆除，则电气装置的剩余部分的功能联结导体不应断开。

545.1.5 保护联结和功能联结共用导体

如果保护联结和功能联结共用导体，则应满足保护联结导体的所有要求。保护和功能联结共用导体应由黄绿组合色标标识。

545.2 总功能接地端子(MFET)

若有，则下列导体应连接到总功能接地端子(MFET)：

——功能接地导体；

——功能联结导体。

总功能接地端子(MFET)和总接地端子(MET)可以共用，如 542.4 所述。

545.3 环形等电位联结导体

总接地端子(MET 参照 542.4 和/或 MFET 参照 548.2)可以做成环形导体,以便于信息和通信技术设备(ICT)以最短路径接入等电位联结系统。

在需要连接处,等电位联结环形导体应易于接近。

当等电位联结环形导体兼用作保护联结导体时,其截面积应符合 544 的要求,或:

——不小于 50 mm^2 的热浸镀锌钢带,或

——不小于 16 mm^2 的铜,或

——其他材料,所选截面提供不小于截面为 16 mm^2 的铜的电导。

附 录 A
（规范性）
543.1.2 中系数 k 的计算方法
（也可见 IEC 60724 和 IEC 60949）

系数 k 值由下式确定：

$$k=\sqrt{\frac{Q_C(\beta+20)}{\rho_{20}}\ln\left(\frac{\beta+\theta_f}{\beta+\theta_i}\right)}$$

式中：

Q_C ——导体材料在 20 ℃时的体积热容量，单位为焦耳每摄氏度立方毫米[J/(℃ · mm³)]；

β ——导体在 0 ℃时电阻率温度系数的倒数，单位为摄氏度(℃)；

ρ_{20} ——导体材料在 20 ℃时的电阻率，单位为欧姆毫米(Ω · mm)；

θ_i ——导体初始温度，单位为摄氏度(℃)；

θ_f ——导体最终温度，单位为摄氏度(℃)。

表 A.54.1 不同材料的参数值

材料	β[a]/℃	Q_C[a]/[J/(℃ · mm³)]	ρ_{20}[a]/(Ω · mm)	$\sqrt{\frac{Q_C(\beta+20)}{\rho_{20}}}$ $A\sqrt{s}$/mm²
铜	234.5	3.45×10^{-3}	17.241×10^{-6}	226
铝	228	2.5×10^{-3}	28.264×10^{-6}	148
钢	202	3.8×10^{-3}	138×10^{-6}	78
[a] 取自 IEC 60949 的值。				

表 A.54.2 非电缆芯线且不与其他电缆成束的绝缘保护接地导体的 k 值

导体绝缘	温度/℃[b]		导体材料		
			铜	铝	钢
	初始	最终	k 值[c]		
70 ℃ 热塑性 (PVC)	30	160/140[a]	143/133[a]	95/88[a]	52/49[a]
90 ℃ 热塑性 (PVC)	30	160/140[a]	143/133[a]	95/88[a]	52/49[a]
90 ℃ 热固性 (如 XLPE 或 EPR)	30	250	176	116	64
60 ℃ 热固性 (EPR 橡胶)	30	200	159	105	58

表 A.54.2 非电缆芯线且不与其他电缆成束的绝缘保护接地导体的 k 值（续）

导体绝缘	温度/℃[b]		导体材料		
			铜	铝	钢
	初始	最终	k 值[c]		
85 ℃ 热固性 （EPR 橡胶）	30	220	166	110	60
185 ℃ 热固性 （硅橡胶）	30	350	201	133	73

[a] 低数值适用于截面积大于 300 mm^2 的热塑性(如 PVC)绝缘导体。

[b] 各种类型绝缘材料的温度限值见 IEC 60724。

[c] k 值的计算方法，见本附录开始处给出的公式。

表 A.54.3 与电缆外护层接触但不与其他电缆成束的裸露保护接地导体的 k 值

电缆护层	温度/℃[a]		导体材料		
			铜	铝	钢
	初始	最终	k 值[b]		
热塑性	30	200	159	105	58
(PVC)聚乙烯	30	150	138	91	50
CSP[c]	30	220	166	110	60

[a] 各种类型绝缘材料的温度限值见 IEC 60724。

[b] k 值的计算方法，见本附录开始处给出的公式。

[c] CSP＝氯磺化聚乙烯。

表 A.54.4 电缆芯线或与其他电缆或绝缘导体成束的保护接地导体的 k 值

导体绝缘	温度/℃[b]		导体材料		
			铜	铝	钢
	初始	最终	k 值[c]		
70 ℃ 热塑性 （PVC）	70	160/140[a]	115/103[a]	76/68[a]	42/37[a]
90 ℃ 热塑性 （PVC）	90	160/140[a]	100/86[a]	66/57[a]	36/31[a]
90 ℃ 热固性 （如 XLPE 和 EPR）	90	250	143	94	52

表 A.54.4 电缆芯线或与其他电缆或绝缘导体成束的保护接地导体的 k 值（续）

导体绝缘	温度/℃[b]		导体材料		
			铜	铝	钢
	初始	最终	k 值[c]		
60 ℃ 热固性 （橡胶）	60	200	141	93	51
85 ℃ 热固性 （橡胶）	85	220	134	89	48
185 ℃ 热固性 （硅橡胶）	180	350	132	87	47

[a] 低数值适用于截面积大于 300 mm^2 的热塑性(如 PVC)绝缘导体。

[b] 各种类型绝缘材料的温度限值见 IEC 60724。

[c] k 值的计算方法，见本附录开始处给出的公式。

表 A.54.5 用电缆的金属护层，如铠装、金属护套、同心导体等作保护接地导体的 k 值

导体绝缘	温度/℃[a]		导体材料		
			铜	铝	钢
	初始	最终	k 值[c]		
70 ℃热塑性 （PVC）	60	200	141	93	51
90 ℃热塑性 （PVC）	80	200	128	85	46
90 ℃热固性 （如 XLPE 和 EPR）	80	200	128	85	46
60 ℃热固性 （橡胶）	55	200	144	95	52
85 ℃热固性 （橡胶）	75	220	140	93	51
矿物热塑性 (PVC)外护层[b]	70	200	135	—	—
矿物裸露护套	105	250	135	—	—

[a] 各种类型绝缘材料的温度限值见 IEC 60724。

[b] 该值也应适用于外露可触及的或与可燃性材料接触的裸露导体。

[c] k 值的计算方法，见本附录开始处给出的公式。

表 A.54.6 所示温度不损伤相邻材料时的裸露导体的 k 值

条件	初始温度 ℃	导体材料					
		铜		铝		钢	
		最高温度（最终温度） ℃	k 值	最高温度（最终温度） ℃	k 值	最高温度（最终温度） ℃	k 值
在狭窄区域内并可目察的	30	500	228	300	125	500	82
正常条件	30	200	159	200	105	200	58
有火灾危险	30	150	138	150	91	150	50

附 录 B
（资料性）
接地配置和保护导体的示例

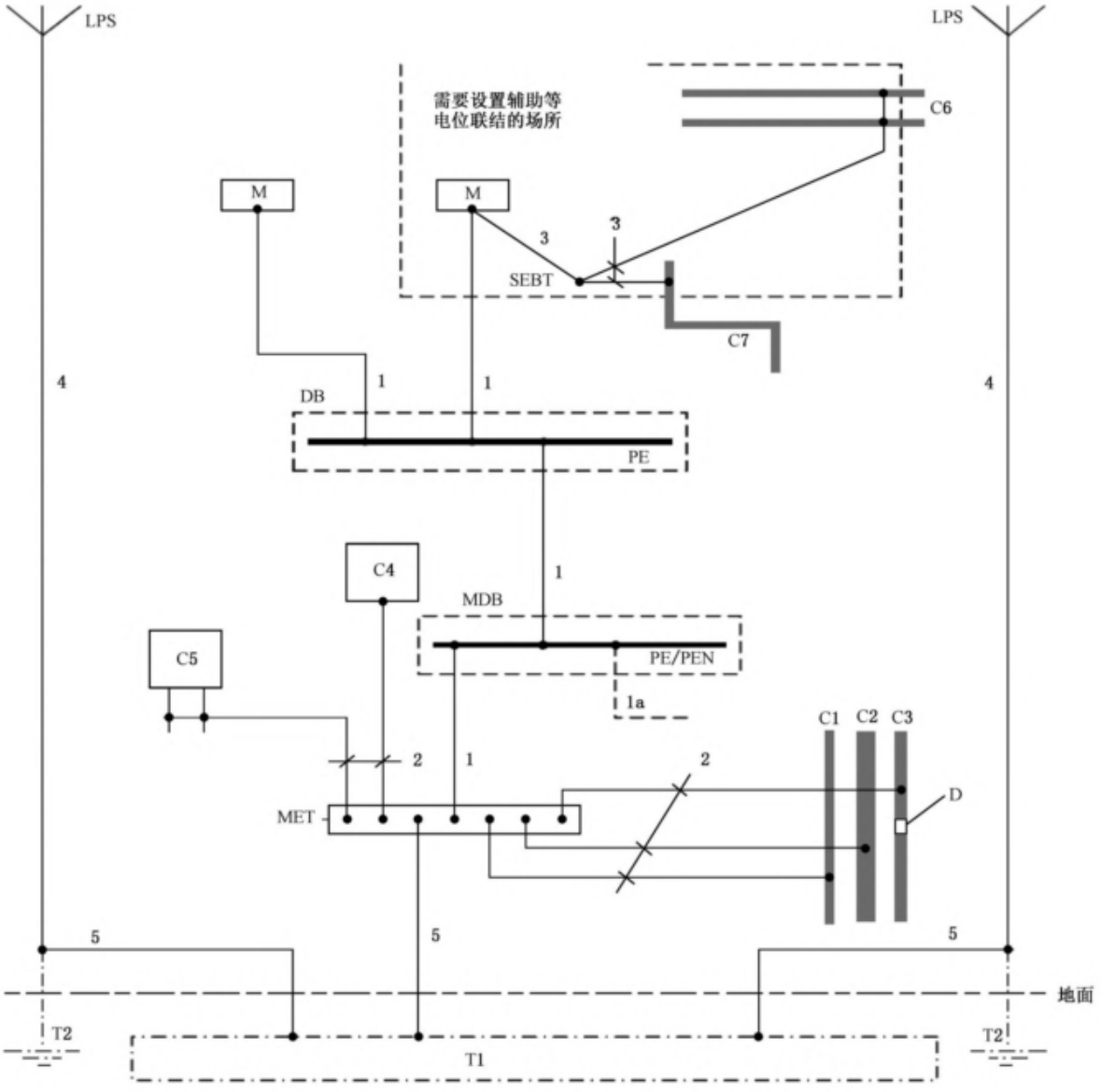


图 B.54.1 基础接地极和保护导体的接地配置示例

标引序号说明：

符　号	名　　称	备　　注
C	外界可导电部分	
C1	水管，引入的金属管	或区域供热管
C2	排水管，引入的金属管	
C3	插入绝缘段的燃气管，引入的金属管	
C4	空调	
C5	供热系统	
C6	水管，如：需要设置辅助等电位联结区域的金属管	见 GB 16895.13—2012 的 701.415.2
C7	排水管，如：需要设置辅助等电位联结的区域的金属管	见 GB 16895.13—2012 的 701.415.2
D	插入绝缘段	
MDB	总配电盘	
DB	配电盘	由总配电盘供电
MET	总接地端子	见 542.4
SEBT	辅助等电位联结端子	
T1	埋入混凝土基础内的接地极或埋入基础下土壤内的接地极	见 542.2
T2	可能安装的防雷装置的接地极	见 542.2
LPS	可能安装的防雷装置	
PE	配电盘内的 PE 端子(排)	
PE/PEN	总配电盘内的 PE/PEN 端子(排)	
M	外露可导电部分	
1	保护接地导体(PE)	见 543 截面积见 543.1 保护接地导体类型见 543.2 电气连续性见 543.3
1a	如适用，来自供电网络的保护接地导体或 PEN 导体	
2	连接到总接地端子的保护联结导体	见 544.1
3	辅助联结的保护联结导体	见 544.2
4	如适用，防雷装置引下线	
5	接地导体	见 542.3

设置有防雷装置的场所，应注意 GB/T 21714.3—2015 中第 6 章给出的附加要求，特别是 6.1 和 6.2 中给出的要求。

注：功能接地导体在图 B.54.1 中未示。

图 B.54.1　基础接地极和保护导体的接地配置示例（续）

附 录 C
（资料性）
埋入混凝土基础内的接地极的安装

C.1 总则

用于建筑物基础的混凝土具有一定导电性，且通常与土壤有很大的接触面积。因此，完全埋入混凝土内的裸金属电极能用于接地，除非基础被覆以隔热材料或其他物质使混凝土与土壤隔离。由于化学和物理作用，埋入混凝土深度大于 5 cm 的裸露或热浸镀锌钢材或其他金属有很高防腐性，通常与建筑物同寿命。建筑物的钢筋的传导作用也宜尽可能利用。

建筑物建设期间，埋入混凝土基础内接地极的设置，能获得长期有效的良好接地极的经济解决方案，由于：

——不增加开挖工程，

——安装在通常不受季节气候负面影响的深度下，

——与土壤有良好的接触，

——接地面可延伸到建筑物基础的所有表面，从而获得此接地面的最小的接地极阻抗，

——提供对防雷装置最佳的接地配置，和

——建筑物建设初期即能利用作为建筑工地电气装置的接地极。

除接地作用外，埋入混凝土基础内接地极还为总保护联结提供了良好的基础。

下述为混凝土基础内接地极安装的要求和建议。

C.2 有关埋入混凝土基础内的接地极的其他考虑

假如用非导热材料将建筑物基础进行完全热绝缘，以防止热能损失，或者采用某些绝缘措施防止渗水，例如采用大于 0.5 mm 厚度塑料板防水，如用这样的基础混凝土做接地是不可行的。在此情况下，其钢筋的有效作用可被用作保护联结；而为了接地的目的宜采用其他的接地配置，例如，在绝缘的基础之下增设埋入混凝土基础内的接地极，或沿建筑物周围作接地配置或埋入基础下土壤内的接地极。

C.3 埋入混凝土基础内的接地极的施工

C.3.1 埋入素混凝土基础内的接地极应与基础的布置型式和尺寸相适应。而且最好采用一个或多个尺寸范围可达 20 m 和相互连接的闭合的矩形或环形接地极。

C.3.2 为保证埋入混凝土内接地极处于深度不小于 5 cm，宜采取适当的安装措施。若采用带状材料用作接地极，宜竖着安装并避免其下出现混凝土的孔洞。带状接地极与钢筋间宜每不大于 2 m 间距固定一次。其连接宜符合 543.3.2 要求。不宜采用插接式连接。

C.3.3 埋入混凝土内接地极宜至少有一个用于连接到建筑物电气系统的接线端子，可由建筑物内混凝土引出接地线至适当的连接点（例如，总接地端子），也可自埋入混凝土墙内连接线夹具引出接地线至连接点。连接点的位置应便于维护和测量。

对防雷和信息技术有特殊要求的建筑物，基础接地极可有多个接线端子，例如专用于防雷装置引下线的接地端子。

对于在基础混凝土之外通过土壤的接地线连接，需注意钢质接地线的腐蚀问题（见 C.4）。对于这一连接线，推荐埋设在建筑物的混凝土内或敷设在建筑物外地面之上。

C.3.4 接地极及其接线端子的最小截面积应符合表 54.1 所列值。连接应牢固和电气性能良好（见 542.3.2）。

C.3.5 建筑物基础内钢筋如符合542.3.2条连接良好的要求，可利用作接地极。钢筋的焊连需征得建筑物结构设计和分析工程师的同意，仅由铁丝所做的绑扎连接不适用于保护目的，但适用于信息技术的电磁兼容(EMC)。预应力钢筋不应用作接地极。

若将较小直径的钢线焊接成格栅用作加强钢筋网，且从格栅多点牢固地连接到接线端子或接地极的其他部分上，其总截面积不小于表54.1要求的截面积，则可将格栅用作接地极。接线端子与每个格栅至少有四处连接，格栅的线材直径不宜小于5 mm。

C.3.6 水平接地极不宜直接穿过两大基础之间的接触缝，在此处，宜在混凝土基础外装用柔性的连接器以实现可靠的电气连接。

C.3.7 单一基础(例如大楼建筑)的埋入混凝土基础内接地极，采用适当的接地导体宜连接到埋入混凝土基础内接地极的其他部位。对埋在土壤内此种连接见C.4。

C.4 埋入混凝土基础内接地极以外的其他接地装置部分可能出现的腐蚀的问题

应注意到埋入混凝土内的普通钢材(裸露或热浸镀锌)与埋入土壤内铜材的电化学电位相等。因此，对埋入基础附近土壤内的钢材与埋入混凝土基础内的接地极钢材的不同接地装置部分出现电化学腐蚀危险。此作用也可在大的建筑物钢筋基础内产生。

任何钢质接地极不应直接从混凝土基础进入土壤，除非接地极由不锈钢制作或采用适当的防潮措施。表面热浸镀锌或涂漆或其他措施，此后发现其防腐蚀的效果不够好。在此建筑物周围或附近宜采用非热浸镀锌钢材作附加的接地装置，为使接地装置本部分提供足够的使用寿命。

C.5 埋入混凝土基础内接地极的竣工

C.5.1 埋入接地极和与其连接的钢筋后，在混凝土浇筑前，应由熟练技术人员编写接地配置的测量数据和文字。文件宜包括说明、平面图和照片，且宜形成电气装置全部文件的一部分(见IEC 60364-6)。

C.5.2 用于基础的混凝土宜由至少每立方米混凝土含240 kg水泥组成。混凝土应具有半液体稠度以填充接地极之下所有的孔洞。

附 录 D
（资料性）
埋入土壤内接地极的安装

D.1 总则

接地极电阻取决于接地极的尺寸、形状和埋入处土壤电阻率。其电阻率通常随地点和深度变化。

土壤电阻率用Ω·m表示，其数值上，它是截面积为1 m^2、长度为1 m圆柱形土壤的以Ω为单位的电阻。

地貌和植物可在一定程度上反映土壤的有用特性，以便接地极的实施。类似的土壤内接地极已有测量结果，可提供更好的参考。

土壤电阻率取决于土壤的湿度和温度，两者全年变化。湿度本身受土壤的颗粒和空隙影响。实际上，土壤电阻率随湿度减少而增加。

水流可漫过的地表面，如河流的近旁，很少适合接地极的安装。事实上，多石地面组成的这些地表层，有很好的渗透性和很容易浸入天然过滤净化水，且有高电阻率。为了达到可有较好电阻率的较深层土壤，宜采用深埋式接地极。

冰冻大大增加了土壤电阻率，在冰冻层内土壤电阻率可达到数千Ω·m。在一些地区，冻土层厚度可达1 m及以上。

干燥也增加土壤电阻率。干旱作用在一些地区深达2 m。在此情况下，电阻率值能与冰冻期间呈现电阻率值相同量级。

D.2 土壤电阻率

表D.54.1给出一些类型土壤电阻率值数据。

表D.54.2所示为同类型土壤电阻率大范围变化。

表D.54.1 各类土壤电阻率

土壤性质	电阻率/Ω·m
沼泽地	数个～30
冲积土	20～100
腐殖土	10～150
潮湿泥炭土	5～100
有延展性黏土	50
泥灰和密实的黏土	100～200
侏罗纪的泥灰	30～40
含黏土的沙子	50～500
含硅的沙子	200～3 000
裸露多石土壤	1 500～3 000
草坪覆盖的多石土壤	300～500
软石灰石	100～300
密实石灰石	1000～5 000
破碎石灰石	500～1 000
页岩	50～300
云母页岩	800

表 D.54.1 各类土壤电阻率（续）

土壤性质	电阻率/Ω·m
花岗岩和风化砂石	1 500～10 000
花岗岩和严重蚀变的砂石	100～600

用表 D.54.2 所示的平均值能用以计算接地极电阻的近似值。

显然，采用这些值计算给出的仅是接地极电阻的很近似结果。采用 D.3 给出公式计算后，其电阻的测量值可供土壤平均电阻率的评估。此经验可用于将来类似条件下的工程。

表 D.54.2 不同类型土壤电阻率的估值

土壤性质	电阻率平均值/Ω·m
黏性可耕土壤，潮湿密实填土	50
贫瘠可耕土壤，沙砾，不密实填土	500
裸露多石土壤，干燥沙子，不可渗透岩石	3 000

D.3 埋入土壤内的接地极

D.3.1 组成部件

接地极可由暗敷部件组成：

——热浸镀锌钢，

——铜包钢，

——电沉积铜包钢，

——不锈钢，

——裸露铜。

不同性质金属之间接头不应与土壤接触。通常其他金属及合金不宜使用。

上列部件的最小厚度和直径是考虑到常见的化学和机械损害的风险。存在严重腐蚀风险场所，此尺寸是不够的。在电气牵引的返回的直流电流或阴极保护装置附近的土壤内出现杂散环流，就可能会遇到此风险。在此情况下，应采取特殊的预防措施。

接地极宜埋入可利用土壤的最湿润部分。接地极应远离垃圾场，粪便、液态化肥、化学产品和焦炭等的渗透可腐蚀接地极，接地极还应安装在尽可能远离人员密集的场所。

D.3.2 接地极电阻的估值

a) 水平埋设导体

依据以下公式可近似地求得水平埋设导体(见 542.2.3 和表 54.1)的接地极电阻 R：

$$R = 2\frac{\rho}{L}$$

式中：

ρ ——土壤电阻率，单位为欧姆米(Ω·m)；

L ——导体敷设地沟的长度，单位为米(m)。

应注意到在地沟内导体成曲折敷设，并不明显地降低接地极电阻值。

事实上，导体用两种不同方式敷设：

——建筑物基础接地极：接地极敷设在环绕建筑物整个周边的基础内。考虑的长度是建筑物的周长。

——水平地沟：导体敷设深度约 1 m 开挖的地沟内。

地沟内不宜回填石料、炉渣或类似物体，但易使土壤保持潮湿者除外。

b) 埋设平板

为保持与土壤两面良好的接触，整个平板最好垂直布置。

平板的顶端宜处于大约 1 m 深度埋设。

足够深度埋设的平板，其接地极电阻(R)近似等于：

$$R = 0.8\frac{\rho}{L}$$

式中：

ρ ——土壤电阻率，单位为欧姆米(Ω·m)；

L ——是平板周长，单位为米(m)。

c) 垂直埋设接地极

依据以下公式可近似求得垂直埋设接地极的电阻(R)(见 542.2.3 和表 54.1)。

$$R = \frac{\rho}{L}$$

式中：

ρ ——土壤电阻率，单位为欧姆米(Ω·m)；

L ——棒或管的长度，单位为米(m)。

出现冰冻或干旱的风险之处，棒的长度宜增长 1m 或 2m。

深埋一些并联的垂直棒，降低接地极电阻值，在两根棒的情况下，棒的间距为棒的长度；若超过两根棒，棒的间距应加大。

应注意到特长棒的深埋的事实，由于地表层的土壤电阻率很少是均匀的，棒可深埋至具有低电阻率或可忽略电阻率的地表层出现的情况。

D.4 金属桩作为接地极

金属桩由金属结构相互连接且埋在地面一定深度，可用作接地极。

埋设的金属桩的电阻(R)可用公式近似地计算。

$$R = 0.366\frac{\rho}{L}\lg\frac{3L}{d}$$

式中：

L ——桩埋入长度，单位为米(m)；

d ——桩接触的柱体的直径，单位为米(m)；

ρ ——土壤电阻率，单位为欧姆米(Ω·m)。

相互连接的置于建筑物周围的一组金属桩有与基础接地极相同数量级的电阻。

混凝土并不妨碍将金属桩利用作接地极，但也不显著改变接地极电阻。

附 录 E
（资料性）
某些国家注的清单

表 E.54.1 为某些国家注的清单。

表 E.54.1 某些国家注的清单

国家代码	条款编号	理由(国家说明的详细理由)	说明内容
US	541.1	在美国,国家电气规范 NFPA70 包含适用于接地的特定要求	在美国,接地配置和相关保护导体的特定要求参见国家电气规范 NFPA70
BE	541.3.3, 541.3.4, 542	布线规则(第 69 条)不应使用根据 IEV826-13-05 或 IEV826-13-08(在 541.3.4 或 541.3.5 中修改)定义的接地极。在“说明内容”栏中给出的定义与 IEV 826-04-02:2004 或 IEV 604-04-03:1987 一致	在比利时,接地极应符合以下定义:埋设在土壤中并与大地连接的一个或一组连接在一起的导体
DE	542.1.1		在德国,每座新建建筑物应根据国家标准 DIN 18014 安装基础接地极
IE	542.2.1		该条不适用于爱尔兰
SI	542.2.1, 542.3.1		在斯洛文尼亚,条状或带状钢质接地极或接地导体的最小截面积为 100 mm^2
CZ	542.2.1		在捷克共和国,除了符合表 54.1,考虑到抗腐蚀性和机械强度,埋入电阻率高于 50 Ωm 的土壤中的钢质接地极的最小尺寸如下表所示:

表 E.54.1　某些国家注的清单（续）

<table>
<tr><th>国家代码</th><th>条款编号</th><th>理由（国家说明的详细理由）</th><th>说明内容</th></tr>
<tr><td>CZ</td><td>542.2.1</td><td></td><td>
土壤电阻率高于 50 Ωm 的情况下钢质接地极的最小尺寸
<table>
<tr><th rowspan="2">接地极类型</th><th rowspan="2">形状</th><th colspan="2">最小直径</th></tr>
<tr><th>镀锌钢</th><th>裸钢
（无涂层）</th></tr>
<tr><td rowspan="2">条状或圆线接地极</td><td>条状</td><td>根据表 54.1</td><td>截面积 150 mm²，厚度 4 mm</td></tr>
<tr><td>钢绞线</td><td>φ8 mm</td><td>φ10 mm</td></tr>
<tr><td rowspan="3">垂直安装的接地极</td><td>圆棒</td><td>φ8 mm</td><td>φ10 mm</td></tr>
<tr><td>管状</td><td>φ15 mm，管壁厚度 3 mm</td><td>φ15 mm，管壁厚度 4 mm</td></tr>
<tr><td>角钢等</td><td>截面积 100 mm²，角钢壁厚 3 mm</td><td>截面积 150 mm²，角钢壁厚 4 mm</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>CZ</td><td>542.2.1</td><td></td><td>在捷克共和国，金属板仅在某些情况下用作接地极</td></tr>
<tr><td>US</td><td>542.2.1</td><td>美国对接地极最小尺寸的要求与表 54.1 中的要求不同</td><td>在美国，无论是否有涂层或镀层，铁质或钢质接地极的最小直径为 15.87 mm(0.625 in)。如果经过认证，不锈钢或有色金属杆的直径不应小于 13 mm(0.519 in)。</td></tr>
<tr><td>NL</td><td>542.2.2</td><td></td><td>在荷兰，接地配置的单个断点不应导致装置（连接到该接地配置）产生不符合 411 的接触电压</td></tr>
<tr><td>NL</td><td>542.2.2</td><td></td><td>在荷兰，接地电极和相关导体的安装深度应至少为 60 cm。接地装置中的导体敷设成环形或圆形，安装时导体之间的距离应至少为 1m</td></tr>
<tr><td>AT</td><td>542.2.3</td><td></td><td>在奥地利，水管不应用作接地极</td></tr>
<tr><td>BE</td><td>542.2.3</td><td></td><td>在比利时，水管不应用作接地极</td></tr>
<tr><td>CH</td><td>542.2.3</td><td></td><td>在瑞士，水管不应用作接地极</td></tr>
<tr><td>DE</td><td>542.2.3</td><td></td><td>在德国，水管不应用作接地极</td></tr>
<tr><td>FI</td><td>542.2.3</td><td></td><td>在芬兰，水管不应用作接地极</td></tr>
<tr><td>IE</td><td>542.2.3</td><td></td><td>在爱尔兰，水管不应用作接地极</td></tr>
</table>

表 E.54.1 某些国家注的清单（续）

国家代码	条款编号	理由(国家说明的详细理由)	说明内容
IS	542.2.3		在冰岛，水管不应用作接地极
FR	542.2.3		在法国，水管不应用作接地极
SE	542.2.3		在瑞典，水管不应用作接地极
UK	542.2.3		在英国，构成供水系统一部分的金属管道不应用作接地极
IT	542.2.3		在意大利，可使用水管系统作为接地极，但需经供水部门同意
PL	542.2.3		在波兰，可使用水管系统作为接地极，但需经供水部门同意
KR	542.2.3		在韩国，可使用水管系统作为接地极，但需经供水部门同意
NL	542.2.3		在荷兰，水管不应用作接地极
SI	542.2.3		在斯洛文尼亚，水管不应用作接地极
NO	542.2.3		在挪威，金属管道不应用作接地极
DK	542.2.3		在丹麦，水管不应用作接地极
DE	542.2.5		在德国，连接到基础接地的外部导体(例如防雷引下线)所用的热镀锌钢材不应埋入土壤中，除非使用塑料覆盖的接头或符合 No：1.4571 的不锈钢接头以实现持久绝缘(根据欧洲认证参考材料 CRM 284-2 EN 10020)
CH	542.3.1		在瑞士，接地导体的最小截面积不应小于 16 mm^2
IE	542.3.1		在爱尔兰，最小截面积为 10 mm^2
DK	542.3.1		在丹麦，埋在土壤中的接地导体的深度应至少为 0.35 m
NL	542.3.1		在荷兰，用于多个装置的保护导体中的单个中断不应导致不符合第 411 章的接触电压
NO	542.3.1		在挪威，埋在地下的接地导体应至少为 25 mm^2 铜或 50 mm^2 防腐蚀铁。接头和/或连接应耐腐蚀
SI	542.3.2		在斯洛文尼亚，接地导体与接地电极的连接应牢固，使用的螺钉不应小于 M10
NL	542.3.2		在荷兰，埋在土壤中的接地导体应安装在至少为 60 cm 的深度
DK	542.2.4		在丹麦，接地极的埋设深度应至少为 2 m

表 E.54.1　某些国家注的清单（续）

国家代码	条款编号	理由（国家说明的详细理由）	说明内容
CZ	542.2.5（在第一段之后）		在捷克共和国，在高密度人口地区，允许使用铜或铜包钢接地极，但前提是控制了铜对钢、镀锌钢等的腐蚀影响，并采取了牺牲性保护措施以消除电化学效应
CZ	542.2.5（在子条款末尾）		在捷克共和国，钢接地极和接地导体的连接点、不同介质之间钢质接地极和接地导体的交叉点都应受到保护，无论它们是否受到一般意义上的保护（例如，通过锌层），连接处都要通过被动防护措施（例如，沥青密封化合物、灌注树脂、防腐蚀带等）进行保护，直至以下距离： ——接地导体在进入土壤时至少应在地表下方 30 cm 和地表上方 20 cm 处； ——引自基础接地极的接地导体； ——在混凝土与土壤的交界处，混凝土内至少 30 cm，土壤内至少 100 cm； ——在混凝土与地表交界处，混凝土内至少 10 cm，地表以上至少 20 cm； ——在伸缩缝处的拱形连接件——在接缝处以及接缝两侧至少 20 cm 的混凝土中
ES	542.2.6	强制执行的西班牙布线规则 RD 842/2002 规定了不同的要求	在西班牙，出于安全原因，易燃液体或气体的金属管道不应用作接地配置
IE	542.3.1		在爱尔兰，照明回路的最小截面积为 1.5 mm^2
FI	542.3.1		在芬兰，未做防腐处理的接地导体的最小截面积为 16 mm^2 铜或 50 mm^2 钢
USA	543.1		在美国，保护导体的最小截面积的规定参见 NFPA70《国家电气规范》第 250 条
AT	543.1.1		在奥地利，将第 1 段和第 2 段替换为： 每根保护导体的横截面积应能承受在预期持续时间内由故障电流的引起的机械应力和热应力。当根据 411.3.2 自动断电时，保护导体的横截面积应： ——按照 543.1.2 计算； ——或者根据表 54.2 选择。对于保护电源外露可导电部分（如发电机或变压器）的保护导体来说，截面积如果只有线导体的一半，可能不够。在这种特殊情况下，需要确保满足第一段的要求。 无论哪种情况，都应满足第 543.1.3 条的要求
AT	543.1.1 表 54.2 第 5 行	长期经验	在奥地利，在对电缆标准进行相关更改之前，允许使用截面积为 150/70 mm^2 和 400/185 mm^2 的标准电缆，而无需根据 543.1.2 进行计算，但保护导体的截面积略小于表 54.2 中要求的线导体的截面积的二分之一

表 E.54.1 某些国家注的清单（续）

国家代码	条款编号	理由(国家说明的详细理由)	说明内容
DK	543.1.1		在丹麦,对于由 RCD 保护的电路,通常允许使用截面积至少为 2.5 mm^2 的铜保护导体,与线导体的截面积无关且无需计算。 仅当 RCD 用于 TN 系统,保护导体连接至 RCD 前端的 PEN 导体时,其截面积小于线路导体且短于 10 m 时,才需要根据公式计算保护导线的截面积
NL	543.1.4		在荷兰,如果接地配置用于多个装置,则接地导体的安装方式应确保导体的单个断点不会损害接地配置的保护功能
ES	543.2.1	强制执行的西班牙布线规则 RD 842/2002 规定了不同的要求	在西班牙,禁止使用导管作为保护导体
ES	543.2.1	强制执行的西班牙布线规则 RD 842/2002 规定了不同的要求	在西班牙,出于安全原因,易燃液体或气体的金属管道不应用作接地配置
IT	543.2.1		在意大利,根据当地或国家法规或标准,允许将电缆桥架和电缆梯架作为保护导体
UK	543.2.1		在英国,根据当地或国家法规或标准,允许将电缆桥架和电缆梯架作为保护导体
UK	543.2.1	在英国,金属线槽也可用作保护导体	在英国,外界可导电部分可用作保护导体
US	543.2.1		在美国,根据当地或国家法规或标准,允许将电缆桥架和电缆梯架作为保护导体
UK	543.2.3		在英国,根据当地或国家法规或标准,允许将电缆桥架和电缆梯架作为保护导体
CH	543.2.3		在瑞士,金属水管可用作等电位联结导体
UK	543.4	在英国,《2002 年电力安全、质量和连续性条例》第 8(4)条规定,消费者不应将其设备中的中性导体和保护导体共用	在英国,消费者不应将其设备中的中性导体和保护导体共用
DE	544.1		在德国,将第一段替换为: 连接至总接地端子的保护联结导体的截面积不应小于:
UK	544.1		在英国,对适用多重保护接地(PME) 条件的保护联结导体的最小可接受截面积有特殊要求

表 E.54.1　某些国家注的清单（续）

国家代码	条款编号	理由(国家说明的详细理由)	说明内容
CZ	543.4.1		在捷克共和国，允许在未计量的装置部分使用 PEN 导体，前提是： ——从分支到计量表，以及从计量表到 PEN 导体分开点，所有导体的截面积都相同，并且不小于 6 mm^2 铜或 10 mm^2 铝； ——在计量表后布线系统系统最近的合适点将 PEN 导体分开为中性导体 N 和保护导体 PE，并符合本子条款的其余要求
SE	543.4.3 b)		在瑞典，b)中的示例做法不准许使用
DE	544.1		在德国，将第一段替换为： 连接至总接地端子的保护联结导体的截面积不应小于：
CH	544.1.1	瑞士法律要求至少 10 mm^2 的截面积用于设置防雷保护的建筑物	在瑞士，如果与防雷保护装置共用，主保护联结导体的最小截面积应为 10 mm^2
IE	544.1 第一个破折号		在爱尔兰，最小值为 10 mm^2。此外，应在每个主联结处永久固定一个刻有“安全电气连接——不要移除”的永久标签
IE	544.1 第二段		在爱尔兰，总联结导体的值不需要超过 70 mm^2
IE	544.2.3		在爱尔兰，辅助联结导体的最小截面积为 2.5 mm^2(有机械保护时)或 4 mm^2(无机械保护时)。 此外，应在管道的联结处永久固定一个刻有“安全电气连接-不要移除”的永久标签

参 考 文 献

[1] GB/T 2900.71—2008 电工术语 电气装置

[2] GB/T 2900.73—2008 电工术语 接地与电击防护

[3] GB/T 16895.13—2022 低压电气装置 第7-701部分:特殊装置或场所的要求 装有浴盆或淋浴的场所

[4] IEC 60079-0 Explosive atmospheres—Part 0:Equipment—General requirements

[5] IEC 60079-14 Explosive atmospheres—Part 14:Electrical installations design, selection and installation of equipment inclucling initial inspecition

[6] IEC 60364-4-42 Low-voltage electrical installations—Part 4-42:Protection for safety—Protection against thermal effects

[7] IEC 60364-4-43 Low-voltage electrical installations—Part 4-43:Protection for safety—Protection against overcurrent

[8] IEC 60364-5-52 Low-voltage electrical installations—Part 5-52:Selection and erection of electrical equipment—Wiring systems

[9] IEC 60364-6 Low-voltage electrical installations—Part 6:Verification

[10] IEC 60702-1 Mineral insulated cables and their terminations with a rated voltage not exceeding 750 V—Part 1:Cables

[11] IEC 61643-12 Low-voltage surge protective devices—Part 12:Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems—Selection and application principles

[12] National Standard DIN 18014:1994 Fundamenterder("Foundation earth electrode" in English)

[13] ISO/IEC 30129 Information technology—Telecommunications bonding networks for buildings and other structures