



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 28026.1—2018  
代替 GB/T 28026.1—2011

---

## 轨道交通 地面装置 电气安全、 接地和回流 第 1 部分：电击防护措施

Railway applications—Fixed installations—Electrical safety, earthing and  
the return circuit—Part 1: Protective provisions against electric shock

(IEC 62128-1:2013, MOD)

2018-12-28 发布

2019-07-01 实施

---

国家市场监督管理总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 架空接触网区和受电器区的规定 .....	11
5 直接接触的防护措施 .....	13
6 间接接触的防护措施 .....	29
7 非牵引的低压电力供电系统保护规定 .....	32
8 轨道系统用作牵引回流电路或接触网系统穿越危险区的防护措施 .....	38
9 接触电压限制和危险钢轨电位防护 .....	40
10 其他防护措施 .....	46
附录 A (规范性附录) 警示牌 .....	49
附录 B (资料性附录) 典型防护栏 .....	50
附录 C (资料性附录) 交流供电制式铁路回流系统的设置原则 .....	52
附录 D (规范性附录) 电压限制装置(VLD)的使用 .....	54
附录 E (资料性附录) 有效接触电压和人体电流 .....	55
附录 F (规范性附录) 有效接触电压的测量方法 .....	60
附录 G (资料性附录) 钢轨电位的指导值 .....	61
参考文献 .....	63

## 前 言

GB/T 28026《轨道交通 地面装置 电气安全、接地和回流》分为三个部分：

- 第 1 部分：电击防护措施；
- 第 2 部分：直流牵引供电系统杂散电流的防护措施；
- 第 3 部分：交流和直流牵引供电系统的相互作用。

本部分为 GB/T 28026 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 28026.1—2011《轨道交通 地面装置 第 1 部分：电气安全和接地相关的安全性措施》，与 GB/T 28026.1—2011 相比，主要技术变化如下：

- 修改了防护措施规定(见第 5 章、第 6 章,2011 年版的第 4 章、第 5 章)；
- 修改了规范性引用文件(见第 2 章,2011 年版的第 2 章)；
- 修改了术语与定义(见第 3 章,2011 年版的第 3 章)；
- 增加了电压限制装置(VLD)的使用(见附录 D)。

本部分使用重新起草法修改采用 IEC 62128-1:2013《轨道交通 地面装置 电气安全、接地和回流 第 1 部分：电击防护措施》。

本部分与 IEC 62128-1:2013 相比存在结构性差异，修改了附录编号，按在条文中提及的先后次序编排，附录 A 调整为附录 B、附录 B 调整为附录 A、附录 C 调整为附录 G、附录 D 调整为附录 E、附录 E 调整为附录 F、附录 F 调整为附录 D、附录 I 调整为附录 C，删除了附录 G、附录 H。

本部分与 IEC 62128-1:2013 相比存在技术性差异，这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线(∟)进行了标示，具体技术性差异及其原因如下：

——关于规范性引用文件，本部分做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中，具体调整如下：

- 用修改采用国际标准的 GB/T 32578—2016 代替 IEC 60913:2013(见 4.1、4.3、5.3.1、10.5.1)；
- 用等同采用国际标准 IEC 60529:2013 的 GB/T 4208—2017 代替 IEC 60529:1989(见 5.3.2.1、图 7、5.3.2.2、图 8、图 10、5.3.4)；
- 用修改采用国际标准的 GB/T 1402 代替 IEC 60850(见 5.6.3.1)；
- 用修改采用国际标准的 GB/T 28026.2 代替 IEC 62128-2(见 6.2.2.1、6.2.3.3、6.3.1.1、7.2、7.3.1、9.3.2.4、10.1、10.3.1)；
- 用等同采用国际标准的 GB/T 21714(所有部分)代替 IEC 62305(所有部分)(见 7.1、10.6)；
- 用等同采用国际标准的 GB/T 10963.1 代替 IEC 60898-1:2002(见 7.4.4.1、7.4.4.2)；
- 用修改采用国际标准的 GB/T 32350.1 代替 IEC 62497-1:2010(见 10.5.1)；
- 用修改采用国际标准的 GB/T 2893.1—2013 代替 ISO 3864-1:2011(见附录 A)；
- 用修改采用国际标准的 GB/T 31523.1—2015 代替 ISO 7010:2011(见附录 A)；
- 用不注日期引用的 IEC 61936-1 代替注日期引用的 IEC 61936-1:2010(见 10.3.1、10.1、9.1.2)；
- 删除了 IEC 60050-101、IEC/TS 60479-1:2005，调整为参考文献；
- 增加了 GB/T 2900.1—2008、GB/T 21413.1(见 9.1.2、10.1)；

——修改了铁路 OCS 带电体部分和树枝、灌木丛之间的间距的要求，按照 GB 50061—2011 规定进行修改(见 5.2.6)；

——修改了“DC 3 kV 及以下”为“DC 1.5 kV 及以下”，使其与 GB/T 1402—2010 统一(见 6.2.2.2)；

——修改了警示牌，与我国使用的警示牌一致(见附录 A)；

——删除了附录 G 特殊国家条件、附录 H A-偏差，不适用我国。

本部分做了下列编辑性修改：

——增加了受电器区的注，即根据我国的习惯，受电器区可称为受电弓区或受流器区(见 3.5.10)；

——修改了参考文献。

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这些专利的责任。

本部分由国家铁路局提出。

本部分由全国牵引电气设备与系统标准化技术委员会(SAC/TC 278)归口。

本部分负责起草单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司。

本部分参加起草单位：中铁电气化勘测设计研究院有限公司、中铁第五勘察设计院集团有限公司、中国铁路设计集团有限公司。

本部分主要起草人：汪自成、吴德昌、戚广枫、陈敏、万勇、吴凤娟、董志杰。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 28026.1—2011。

# 轨道交通 地面装置 电气安全、 接地和回流 第1部分：电击防护措施

## 1 范围

GB/T 28026 的本部分给出了交直流电力牵引供电系统的地面装置以及可能受牵引供电系统影响的地面设施的电气安全和保护措施的要求。

本部分适用于电力牵引供电系统地面装置维护工作中对电气安全的要求。

本部分适用于所有新建线路和既有线路更新改造的电力牵引供电系统,包括:

- 铁路;
- 导向式公共交通系统,例如:有轨电车、高架和地下的铁路、山区铁路、无轨电车系统及安装有接触网或接触轨的磁悬浮系统;
- 物料运输系统。

本部分不适用于:

- 地下矿山牵引供电系统;
- 吊车,有轨运输平台和类似运输设备,临时建筑(例如:展会结构),因为这类设施目前尚无以接触网供电的先例,它们不会受牵引供电系统的影响;
- 悬式缆车;
- 缆索铁路。

本部分不对维修作业规程进行规定。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 1402 轨道交通 牵引供电系统电压(GB/T 1402—2010,IEC 60850:2007,MOD)

GB/T 2893.1—2013 图形符号 安全色和安全标志 第1部分:安全标志和安全标记的设计原则(ISO 3864-1:2011,MOD)

GB/T 2900.1—2008 电工术语 基本术语

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

GB/T 10963.1 电气附件 家用及类似场所用过电流保护断路器 第1部分:用于交流的断路器(GB/T 10963.1—2005,IEC 60898-1:2002,IDT)

GB/T 16895.21—2011 低压电气装置 第4-41部分:安全防护 电击防护(IEC 60364-4-41:2005,IDT)

GB/T 17045—2008 电击防护 装置和设备的通用部分(IEC 61140:2001,IDT)

GB/T 21413.1 轨道交通 机车车辆电气设备 第1部分:一般使用条件和通用规则(GB/T 21413.1—2018,IEC 60077-1:2017,MOD)

GB/T 21414—2008 铁路应用 机车车辆 电气隐患防护的规定(IEC 61991:2000,IDT)

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

GB/T 28026.2 轨道交通 地面装置 电气安全、接地和回流 第2部分:直流牵引供电系统杂散电流的防护措施(GB/T 28026.2—2018,IEC 62128-2:2013,MOD)

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

GB/T 32350.1 轨道交通 绝缘配合 第1部分:基本要求 电工电子设备的电气间隙和爬电距离(GB/T 32350.1—2015,IEC 62497-1:2010,MOD)

GB/T 32578—2016 轨道交通 地面装置 电力牵引架空接触网(IEC 60913:2013,MOD)

IEC 61936-1 交流电压大于1 kV的电力装置 第1部分:通用规则(Power installations exceeding 1 kV a.c.—Part 1:Common rules)

IEC 62724:2013 轨道交通 固定设施 电力牵引 支持高架连接线的绝缘合成绳(Railway applications—Fixed installations—Electric traction—Insulating synthetic rope assemblies for support of overhead contact lines)

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1 电气安全及危害

##### 3.1.1

**电气安全 electrical safety**

不存在电气系统引起的不可接受的危害的风险。

##### 3.1.2

**电击 electric shock**

电流流经人或动物躯体而引起的生理效应。

[GB/T 17045—2008,定义 3.1]

##### 3.1.3

**(有效)接触电压 (effective) touch voltage**

$U_{te}$

人或动物同时接触到两个可导电部分之间的电位差。

注1:有效接触电压的大小与人体和回路间的接触电阻有很大关系。

注2:通过人体的电流径路是由手通过人体经双脚或由一只手经另一只手(接触点的水平距离为1 m)。

注3:改写 GB/T 2900.73—2008,定义 195-05-11。

##### 3.1.4

**预期接触电压 prospective touch voltage**

$U_{tp}$

人或动物尚未接触到可导电部分时,这些可能同时触及的可导电部分之间的电位差。

[GB/T 2900.73—2008,定义 195-05-09]

##### 3.1.5

**人体电压 body voltage**

$U_b$

电流通过人体和人体阻抗形成的电压差。

##### 3.1.6

**站立面 standing surface**

人可站立或行走的表面。

##### 3.1.7

**防护板 protective boarding**

一种非导电的障碍,用以防护人与带电导轨的直接接触。

## 3.1.8

**(电气)保护阻挡物 (electrically) protective obstacle**

为防止无意的直接接触而设置的防护物,但并不防止有意的直接接触。

[GB/T 2900.73—2008,定义 195-06-16]

## 3.1.9

**(电气)保护遮拦 (electrically) protective barrier**

为防止从任一通常接近方向直接接触而设置的防护物。

[GB/T 2900.73—2008,定义 195-06-15]

## 3.1.10

**防非法进入设施 anti-trespassing guard**

用以防止非授权人员进入限制区域、建筑物或大楼的设备。

## 3.1.11

**导电部分 conductive part**

电流能流通的导体部分。

注: 改写 GB/T 2900.73—2008,定义 195-01-06。

## 3.1.12

**外露导电部分 exposed conductive part**

电气设备的可触及的,并且通常情况下不带电但当基本绝缘失效后则可能带电的导电部分。

注: 电气设备的一个导电部分,仅因其与变为带电的外露导电部分接触才成为带电,则其本身不视为外露导电部分。

[GB/T 2900.70—2008,定义 422-01-21]

## 3.1.13

**带电体 live part**

正常工况下带电的导体或导电部分,通常不包括走行轨和与走行轨相连的导体。

## 3.1.14

**直接接触 direct contact**

人或动物与带电部分的电接触。

[GB/T 2900.71—2008,定义 826.12.03]

## 3.1.15

**间接触电 indirect contact**

人或动物与发生事故时才带电的外露导电部分接触。

注: 改写 GB/T 2900.71—2008,定义 826.12.04。

## 3.1.16

**中性导体 neutral conductor**

电气上与中性点连接并能用于配电的导体。

[GB/T 2900.71—2008,定义 826.14.07]

## 3.1.17

**保护导体 protective conductor**

PE

为防止电击,用来与下列任一部件作电气连接的导体:

- 外露的导电部件;
- 次要的导电部件;
- 主接地端子;
- 电源接地点或人工中性点。

3.1.18

**PEN 导体 PEN conductor**

兼有保护接地导体和中性导体功能的导体。

[GB/T 2900.71—2008, 定义 826.13.25]

3.1.19

**实体墙设计 solid-wall design**

利用混凝土、钢或其他材料建成的没有任何漏洞和裂缝的各种类型的建筑。

3.1.20

**电压限制装置 voltage-limiting device; VLD**

可防止不允许的高接触电压存在的保护装置。

3.2 接地和等电位连接

3.2.1

**地 earth**

一般被视为零电位的大地。

3.2.2

**接地 earthing**

把导电部分连接到合适的接地极上。

3.2.3

**接地极 earth electrode**

一个或一组与大地紧密接触、可提供与地连接的导体。

3.2.4

**结构地 structure earth**

由金属部件构成的构筑物或包括相互连接的金属结构构成的构筑物,其可被用作接地极。

示例:铁路的结构钢筋,如桥梁、高架桥、隧道、支柱基础和道床的钢筋。

3.2.5

**轨地间电阻 rail to earth resistance**

钢轨与地或结构地之间的电阻。

3.2.6

**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。

[GB/T 2900.71—2008, 定义 826-13-9]

3.2.7

**等电位连接母线 main equipotential busbar; MEB**

用于与多个等电位连接端子电气连接的母线。

3.2.8

**横向连接 cross bond**

回流电路的导体的并联连接。

3.2.9

**轨间横向连接 rail-to-rail cross bond**

同一线路两根走行轨间的电气连接。

3.2.10

**股道间横向连接 track-to-track cross bond**

股道间的横向电气连接。

## 3.2.11

**轨隙连接 rail joint bond**

保证轨道在连接处电气连续性的导线。

[GB/T 2900.36—2003, 定义 811.35.7]

## 3.2.12

**开式连接 open connection**

当电压超过一定限值时,通过电压限值装置实现导电部分与回流电路间的暂时或永久连接。

## 3.2.13

**普通建筑 common building**

构成或支撑交流和直流供电制式铁路的建筑物或结构体。此外也包括位于交流供电制式铁路和直流供电制式铁路架空接触网区或受电弓区内带有金属导体的建筑物。

注:不同结构的导电部分非专门连接而构成的普通建筑,如加强钢筋、布线、管道等。

## 3.3 回流

## 3.3.1

**回流电路 return circuit**

在故障和牵引状态下,全部参加回流的导体。

注:这些导体可以是走行轨、回流轨、回流导线、回流电缆。

## 3.3.2

**轨道回流系统 track return system**

铁路钢轨构成牵引电流回流电路一部分的系统。

[GB/T 2900.36—2003, 定义 811.35.2]

## 3.3.3

**回流导体 return conductor**

与线路平行并与走行轨按一定间隔作连接的导体。

## 3.3.4

**回流导电轨 return conductor rail; return current rail**

代替钢轨用作回流电路的导电轨。

[GB/T 2900.36—2003, 定义 811.34.10]

## 3.3.5

**回流电缆 return cable**

连接回流轨和变电所的导线,或与钢轨并联架设起回流作用的导线。

[GB/T 2900.36—2003, 定义 811.35.4]

## 3.3.6

**牵引回流电流 traction return current**

返回电源侧(变电所或再生车辆)回流的总和。

## 3.3.7

**钢轨电位 rail potential**

$U_{RE}$

钢轨与地之间的电位差。

## 3.3.8

**闭式路基 closed formation**

走行轨顶部与路基平面处于同一水平的路基。

3.3.9

**开式路基 open formation**

走行轨顶部处于路基平面之上的路基。

3.3.10

**电导率 conductance per length**

$G'_{RE}$

单位长度轨地间电阻的倒数。

注：单位为西门子每千米(S/km)。

3.3.11

**轨道绝缘节 insulated rail joint**

对轨道实行纵向电气分段的机械结点。

3.3.12

**轨道电路 track circuit**

由一段轨道区段构成的电气回路,通常在区段的一端连接一个电源,在另一端连接检测装置用以检测该区段有无被车辆占用。

注：在一个连续信号系统中,轨道电路可用作地面与车辆间的信息交换设备。

3.3.13

**轨面 top of rail level; TOR**

轨顶的水平切线。

3.4 电力牵引供电系统

3.4.1

**电力牵引供电系统 electric traction system**

给机车车辆提供电能的配电网系统。

注：该系统可包括：

- 接触网系统；
- 电力牵引供电系统的回流系统；
- 与电气化走行轨道相邻且相连的非电气化走行轨道；
- 由接触网直接或经由变压器供电的电气装置；
- 发电站和变电所内单独直接给接触网供电的发电和配电的电气装置；
- 开关站的电气装置。

3.4.2

**变电所 substation**

**牵引变电所 traction substation**

把外部电源的电压和频率变换成牵引供电系统的电压和频率的供电装置。

3.4.3

**(牵引)开关站 (traction) switching station**

将电力分配至不同馈电区段或可对不同馈电区段进行分合闸操作的设施。

3.4.4

**供电臂 feeding section**

一个线路区段,该区段通过牵引所(开闭所)的馈线隔离开关,在开关设备的供电范围内供电。

[GB/T 32578—2016,定义 3.3.2]

3.4.5

**事故状态 fault condition**

设备或装置的非正常工况。

## 3.4.6

**短路 short-circuit**

两个或多个导电部分之间意外的或有意的形成的导电通路,此通路迫使这些导电部分之间的电位差等于或接近于零。

[GB/T 2900.73—2008,定义 195-04-11]

## 3.4.7

**高压 high voltage**

额定电压超过交流 1 kV 或直流 1.5 kV 的电压。

## 3.4.8

**低压 low voltage**

额定电压不超过交流 1 kV 或直流 1.5 kV 的电压。

## 3.4.9

**相互作用区域 zone of mutual interaction**

交、直流供电制式铁路间相互影响的区域。

## 3.4.10

**预期短路电流 expected prospective short-circuit current**

在直流牵引供电系统中故障不切除条件下的短路电流。

## 3.5 接触网系统

## 3.5.1

**牵引网系统 contact line system**

从牵引变电所向电力牵引机车车辆供应电能的支持结构网络,该网络包括接触网系统和接触轨系统,系统电气分界是与受流装置的供电点和接触点。

注:该机械系统可包括下列对象:

- 接触网;
- 支持结构和基础;
- 导线悬挂定位支持结构和部件;
- 横跨结构;
- 下锚装置;
- 沿线布置的供电线、正馈线、加强线,以及其他与接触网导线合架的线路,如地线和回流线;
- 接触网运行中必要的其他设备;
- 自接触网取电的其他电气设备的连接导体,例如照明灯、信号操作、设备控制和设备加热等。

[GB/T 32578—2016,定义 3.1.1]

## 3.5.2

**接触网系统 contact line**

通过受流装置给电力牵引机车车辆供应电能的导体系统。

注:除包括所有接触导体和导轨外,还包括下列对象:

- 加强线;
- 跨股道连接线;
- 隔离开关;
- 分段绝缘器;
- 过压保护装置;
- 带电体连接的支持结构;
- 与带电体连接的绝缘件。

不包括其他附加导线,如:

——供电线;

——地线和回流线。

[GB/T 32578—2016,定义 3.1.2]

### 3.5.3

**架空接触网系统 overhead contact line system;OCS**

通过架空接触网给电力牵引机车车辆提供电流的接触网系统。

[GB/T 32578—2016,定义 3.1.3]

### 3.5.4

**架空接触网 overhead contact line;OCL**

安装在机车车辆限界上方或临近的接触悬挂,通过车顶上安装的弓形受流装置向电力牵引机车车辆供应电能。

注:改写 GB/T 32578—2016,定义 3.1.4。

### 3.5.5

**架空接触网的非工作支 out of running overhead contact line**

架空接触网(OCL)的一部分,是偏离线路中心并在支柱上下锚或不直接用于受流的接触网。

### 3.5.6

**接触轨系统 conductor rail system**

通过接触轨受电的接触网系统。

[GB/T 32578—2016,定义 3.1.5]

### 3.5.7

**接触轨 conductor rail**

安装在走行轨道附近绝缘子上的、由金属段或轨道制成的刚性的接触悬挂。

[GB/T 32578—2016,定义 3.1.7]

### 3.5.8

**架空刚性悬挂 overhead conductor rail**

安装在机车车辆限界之上或以外的刚性架空接触网,采用简单分段或重叠分段。

[GB/T 32578—2016,定义 3.1.6]

### 3.5.9

**架空接触网区 overhead contact line zone;OCLZ**

架空接触网的接触线或承力索断线解体时其残片被限定的区域。

### 3.5.10

**受电器区 current collector zone;CCZ**

受电器脱线或解体时其残片被限定的区域。

注:受电器区也可称为受电弓区或受流器区。

### 3.5.11

**接触线 contact wire**

架空接触网中与受电弓直接接触的导线。

[GB/T 2900.36—2003,定义 811-33-15]

### 3.5.12

**拉出值 stagger**

为避免受电弓滑板局部磨损,接触线在定位点处相对于线路中心线两侧的偏移值。

[GB/T 2900.36—2003,定义 811-33-21]

## 3.5.13

**馈线 feeder**

牵引变电所或开关站与接触网相连的导线。

## 3.5.14

**加强线 reinforcing feeder**

在架空接触悬挂附近安装架设,并按固定间距与接触悬挂直接连接、加大接触网有效载流截面的架空导线。

[GB/T 32578—2016,定义 3.2.2]

## 3.5.15

**分段绝缘器 section insulator**

安装在接触线上带有滑板或类似装置并可保持受电弓连续运行的绝缘分段装置。

## 3.5.16

**双重绝缘 double insulation**

由基本绝缘和辅助绝缘组成的绝缘。

## 3.6 腐蚀与防护

## 3.6.1

**腐蚀 corrosion**

金属与其周围介质发生化学和电反应,导致金属的不断销蚀和破坏。

注:本部分规定了杂散电流的腐蚀。

## 3.6.2

**漏泄电流 leakage current**

在正常工况下流经大地或回路中其他导电部分的电流。

## 3.6.3

**杂散电流 stray current**

$I_s$

不按规定径路流通的电流。

## 3.6.4

**阴极保护 cathodic protection**

由适当的阴极极化产生的电化学免疫。

[GB/T 2900.61—2008,定义 111-15-40]

## 3.7 受流

## 3.7.1

**受流 current collection**

把电能从接触线(或接触轨)传输到机车车辆的过程。

## 3.7.2

**受电器 current collector**

装在车上、从接触线或导电轨上取得电流的设备。

[GB/T 2900.36—2003,定义 811.32.1]

## 3.7.3

**受电弓 pantograph**

从单根或多根接触线上取得电流的装置,上有铰链机构允许滑板作垂直运动。

[GB/T 2900.36—2003,定义 811.32.2]

3.7.4

**受流靴 shoe gear**

用于从导电轨取得电流的组件。

注：改写 GB/T 2900.36—2003，定义 811.32.19。

3.7.5

**杆形受电器 trolley**

通过活动杆上安装的触轮和触靴从接触线上获取电流的装置。

[GB/T 2900.36—2003，定义 811.32.8]

3.8 剩余电流保护器

3.8.1

**剩余电流保护器 residual current device; RCD**

在正常运行条件下能接通、承载和分断电流，以及在规定条件下当剩余电流达到规定值时能使触头断开的机械开关器件。

注：剩余电流保护器可是组合电器，用以检测和评估剩余电流和通、断电流。

[GB/T 2900.70—2008，定义 422-05-02]

3.8.2

**不带过电流保护的剩余电流动作断路器 residual current operated circuit-breaker without integral overcurrent protection; RCCB**

不能用来执行过载和/或短路保护功能的剩余电流动作断路器。

[GB/T 2900.70—2008，定义 422-05-03]

3.8.3

**带过电流保护的剩余电流动作断路器 residual current operated circuit-breaker with integral overcurrent protection; RCBO**

能用来执行过载和/或短路保护功能的剩余电流动作断路器。

[GB/T 2900.70—2008，定义 422-05-04]

3.9 一般术语

3.9.1

**受过培训的电气人员 electrically instructed person**

**受过培训的人员 instructed person**

由熟练电气技术人员充分指导或监督的，能觉察和避免由于电引起危害的人员。

[GB/T 2900.73—2008，定义 195-04-02]

3.9.2

**经授权者的线路侧人行道 authorized trackside walking route**

沿线路纵向的人行通道，只有经授权者才被允许通过的人行通道。

3.9.3

**监控 monitoring**

人工或自动观察某种事物状态的行为。

注：改写 GB/T 2900.13—2008，定义 191-07-26。

3.9.4

**公共区域 public area**

进出不受严格限制的场所。

3.9.5

**限制区域 restricted area**

得到授权人的许可才能进出的区域。

## 4 架空接触网区和受电器区的规定

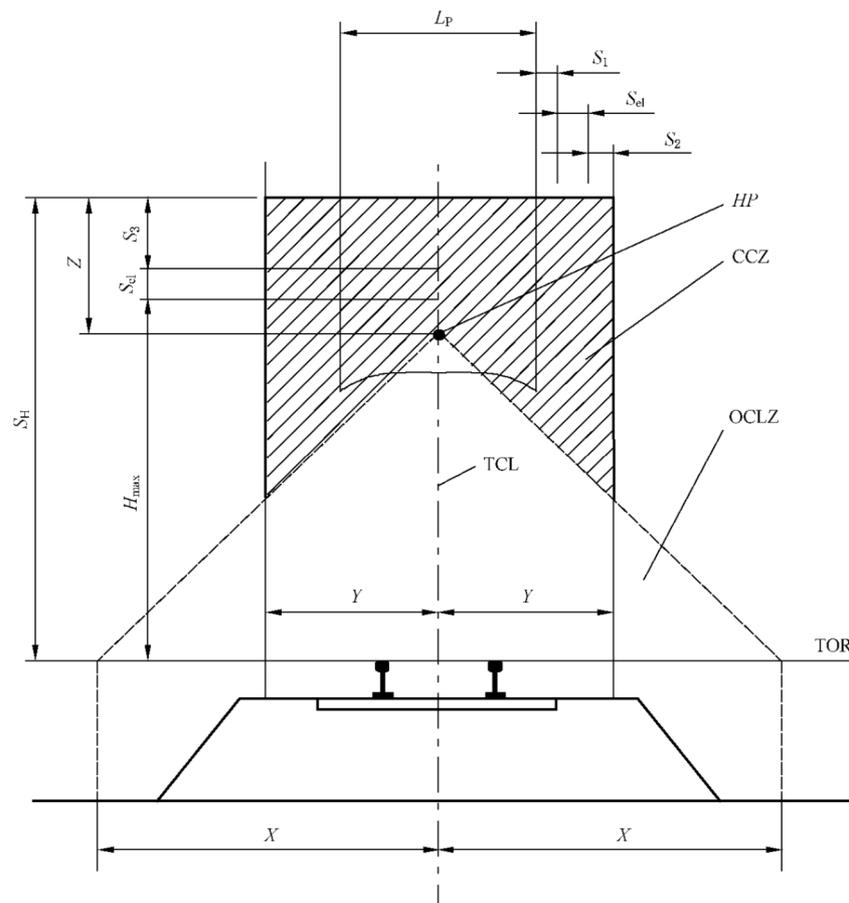
### 4.1 架空接触网系统

6.2 和 6.3 规定了架空接触网区(OCLZ)和受电器区(CCZ)的保护措施,即架空接触网的接触线、承力索断线或受电器破损解体时其残片被限定的范围。

结构或设备侵入该区域后可能与断线接触网、解体受电器或其碎片相接触而变成带电体。图 1 给定的范围是断线接触网或脱线受电弓可能触及结构或设备的区域。

注 1: 接触线、承力索断线和受电器解体的原因是机械冲击。

注 2: 如机车采用多个受电器同时取流或机车能再生制动,那么机车可在某个受电器因意外脱离架空接触网时继续正常运行。



说明:

HP —— 架空接触网的最高点;

OCLZ —— 架空接触网区;

CCZ —— 受电器区;

TCL —— 线路中心线;

TOR —— 轨面;

X —— 轨顶平面的最大单向 OCLZ 的半宽值;

Y —— 最大水平单向 CCZ 的半宽值;

Z ——  $S_H$  与  $H_P$  之差;

$S_1$  —— 受电弓横向移动的宽度;

$S_2$  —— 解体的受电弓水平方向安全距离;

$S_3$  —— 解体的受电弓垂直方向安全距离;

$S_{el}$  —— GB/T 32578—2016 规定的电气安全距离;

$S_H$  —— 受电弓的最大高度;

$L_P$  —— 受电弓的宽度;

$H_{max}$  —— 受电弓最大抬升时的高度。

图 1 架空接触网区(OCLZ)和受电器区(CCZ)

图 1 中 X、Y 和 Z 宜取经验最小值：X=4 m；Y=2 m；Z=2 m。X 尺寸应考虑拉出值。  
如果受电器是受电弓，CCZ 的宽度 Y 尺寸见式(1)。

$$Y = L_P / 2 + S_1 + S_{el} + S_2 \quad \dots\dots\dots ( 1 )$$

式中：

- $L_P$  ——受电弓宽度，单位为米(m)；
  - $S_1$  ——受电弓横向运动距离，单位为米(m)；
  - $S_{el}$  ——GB/T 32578—2016 规定的电气间距，单位为米(m)；
  - $S_2$  ——受电弓破裂或解体后的安全距离，单位为米(m)。
- CCZ 的高度 Z 见式(2)。

$$Z = H_{max} + S_{el} + S_3 - HP \quad \dots\dots\dots ( 2 )$$

式中：

- $H_{max}$  ——受电弓完全抬升后距 TOR 的高度，单位为米(m)；
  - $S_{el}$  ——GB/T 32578—2016 规定的电气间距，单位为米(m)；
  - $S_3$  ——受电弓解体后的安全距离，单位为米(m)；
  - $HP$  ——架空接触导线在各种运行条件下在线路中心线上的最高位置，单位为米(m)。
- 架空接触网限界在 TOR 以下为垂直方向直至地面的区域。  
该限界在铁路穿越跨线桥时可不延伸至桥面以下。  
对于存在接触网非工作支时，其限界范围应作相应延伸。

注 3：架空接触网的非工作支要注意隧道衬砌。

对于非架空的导电轨系统，不需划定限界范围，如能证明架空导电轨解体后不会危及相邻区域，则可不考虑架空导电轨区，但应考虑受流器限界。受流器限界最低为轨面(TOR)以上 3 m。

4.2 接触轨系统

接触轨靠近走行轨不需考虑架空接触网区(OCLZ)。  
接触轨断裂的风险可忽略。  
直接接触的防护规定按 5.5 的要求。CCZ 的限值应根据基础设施管理规定视具体情况而定。

4.3 无轨电车系统

OCLZ 和 CCZ 的保护措施见 5.6.3。  
结构或设备侵入该区域后可能与断线接触网或解体受流器或其碎片相接触而变成带电体。图 2 给定的范围是断线接触网或脱线受流器可能触及结构或设备的区域。

图 2 中 X、Y 和 Z 参考值可取：X=4 m；Y=0.6 m；Z=1 m。

对于无轨电车系统，由于杆形受电器和受电器头是由接触线引导的，所以受电器的宽度  $L_P$  和横向运动距离  $S_1$  均为零。

受电器区的宽度尺寸 Y 见式(3)。

$$Y = S_{el} + S_2 \quad \dots\dots\dots ( 3 )$$

式中：

- $S_{el}$  ——GB/T 32578—2016 规定的电气间距，单位为米(m)；
  - $S_2$  ——受电器破裂或解体后的安全距离，单位为米(m)。
- 受电器区的高度 Z 见式(4)。

$$Z = H_{max} + S_{el} + S_3 - HP \quad \dots\dots\dots ( 4 )$$

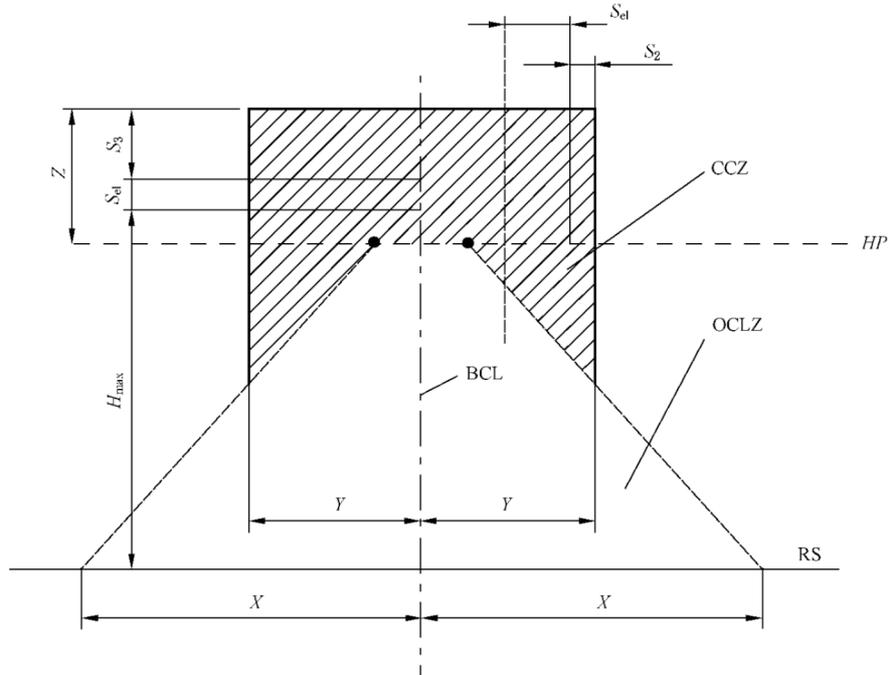
式中：

- $H_{max}$  ——受电器完全抬升后距 TOR 的高度，单位为米(m)；

$S_{el}$  ——GB/T 32578—2016 规定的电气间距,单位为米(m);

$S_3$  ——受电器解体后的安全距离,单位为米(m);

$HP$  ——架空接触网的最高点,高架桥区段接触网限界不必延伸至桥面以下,单位为米(m)。



说明:

$HP$  ——架空接触网的最高点;

$RS$  ——路面;

$OCLZ$  ——架空接触网区;

$CCZ$  ——受电器区;

$BCL$  ——双接触线的中心线;

$X$  ——地面的最大单向  $OCLZ$  的半宽值;

$Y$  ——最大水平单向  $CCZ$  的半宽值;

$Z$  —— $S_H$  与  $HP$  之差;

$S_2$  ——解体的受电器水平方向安全距离;

$S_3$  ——解体的受电器垂直方向安全距离;

$S_{el}$  ——GB/T 32578—2016 规定的电气安全距离;

$S_H$  —— $CCZ$  的最大高度;

$H_{max}$  ——受电器最大抬升时的高度。

图 2 无轨电车系统  $OCLZ$  和  $CCZ$

## 5 直接接触电的防护措施

### 5.1 一般规定

根据 GB/T 16895.21—2011 中的规定,对于额定电压在 AC 25 V/DC 60 V 以下的设备无需采取防直接接触电措施。但该规定不适用于与牵引回流电路有连接的相关设施。

应至少采用以下一种用于架空接触网系统(OCS)的直接接触电防护措施:

——保护净空;

——防护栏。

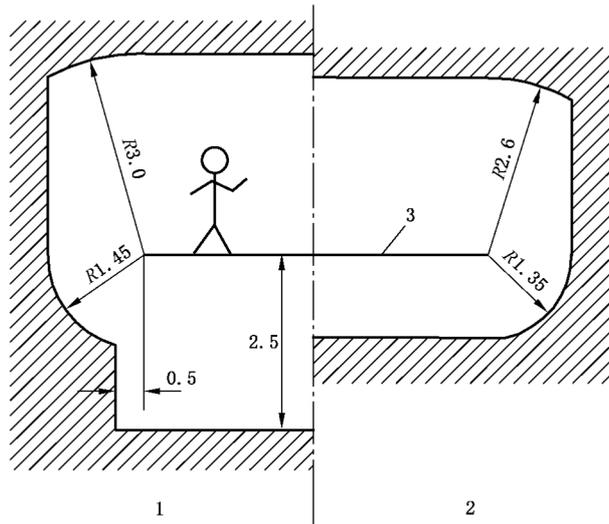
本部分考虑净空尺寸时,与带电体直接相连的所有绝缘子均应视作带电体,但采用 IEC 62724:2013 中的复合绝缘绳时,其爬电距离远离带电体超过 1.0 m 以上时除外。

5.2 防护净空的设置要求

5.2.1 站立面

在站立面上为防止直接接触 OCS 带电体及车体外部的带电体(例如:受电弓、车顶导体和电阻器等)的人体允许接近净空见图 3 和图 4。该图不适用于接触轨系统(接触轨系统见 5.5)。

单位为米

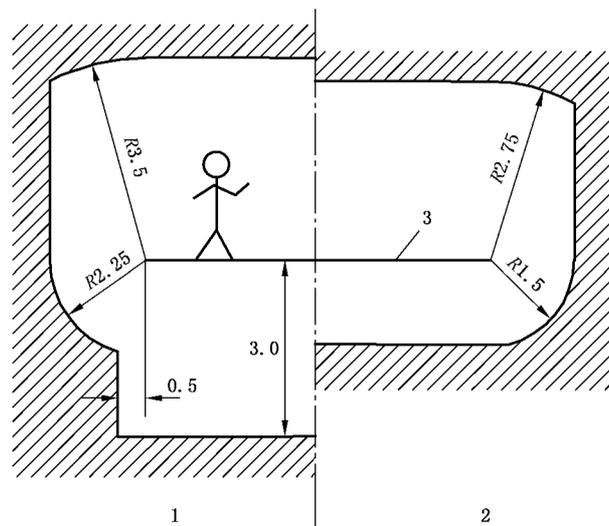


说明:

- 1——公共区域;
- 2——限制区域;
- 3——站立面。

图 3 低压系统人与车体外部及 OCS 带电部分的允许接近净空

单位为米



说明:

- 1——公共区域;
- 2——限制区域;
- 3——站立面。

图 4 高压系统人与车体外部及 OCS 带电部分的允许接近净空

图 3 和图 4 中给出的净空是在任何温度和导线电气、机械负荷最大范围内都应保证的最低限值。根据各地实际情况的不同,有关铁路主管部门可改变净空的大小。

在有其他措施保证带电体的隔离时本措施不具强制性。

注 1: 直线接触是指人站在站立面上不使用工具时对带电体的接触。

图 3 和图 4 中设定站立面对位于其下方的带电部分不承担防护责任。在实践中可根据具体结构条件采取设置防护栏的方法进行保护。在有防护栏情况下,图中接触净空可相应减小。

注 2: 净空尺寸可根据 GB/T 16895.21—2011 规定的臂长再加上最小安全裕度确定。最小安全裕度则由接触网系统电压和站立面是否位于公共区域或限定区域而定。

### 5.2.2 作业人员站立面的特殊要求

位于接触网系统带电体附近的工作人员的可见净空应在作业指导书中列出,如果作业指导书中没有规定,则应按图 3、图 4 或 5.3 确定其净空尺寸。

站立面或者作业平台等完全远离架空接触网的设施除外。例如站台屋顶、工作平台、信号桥铺板、电务作业平台、维修用梯、液压作业平台的作业斗、塔车作业平台。

### 5.2.3 警告标志

5.2.1 中规定的可能给靠近接触网系统带电体的人带来严重风险的限制区域应设置警告标志。警告标志应放在突出位置或容易看到的出入口。标志应按照附录 A 或国家、行业的相关要求。如果需要,也可使用一个适当的辅助标志。

### 5.2.4 架空接触网及其馈线的最小架设高度

当一个通过正常运输车辆的公路与设有架空接触网的铁路(或电车轨道)相交时,除另有规定外,从公路路面至架空接触网及其馈线最低点间最小净空要求如下:

——低压系统为 4.70 m;

——高压系统为 5.50 m。

如果上述最小净空要求无法满足,则应限制公路车辆的最大通过高度,以确保公路车辆(载货时)最高点至架空接触网带电部分的最小垂直净空(除另有规定外)满足下列条件:

——对于低压系统:公路交通标志对车辆高度有明确规定时为 0.5 m;在公路与铁路交叉处两侧设有附加固定限高门时(例如:用钢性护栏或被固定的金属导线制成的醒目警示悬挂标志)最小净空取 0.3 m;

——对于高电压系统:公路交通标志对车辆高度有明确规定时为 1.0 m;在公路与铁路交叉处两侧设有附加固定限高门时(例如:用钢性护栏或被固定的金属导线制成的醒目警示悬挂标志)最小净空取 0.5 m。

### 5.2.5 跨越交通道路的架空馈线

高压架空供电线或加强线不宜跨越运输道路或交通专用线。如无法避免,则高压馈线的最低点距道路行驶面间垂直距离不应小于 12.0 m。

### 5.2.6 电气化铁路的 OCS 带电体部分和树枝、灌木丛之间的间隙

在考虑风、冰荷载的条件下应保证不小于 3.5 m。

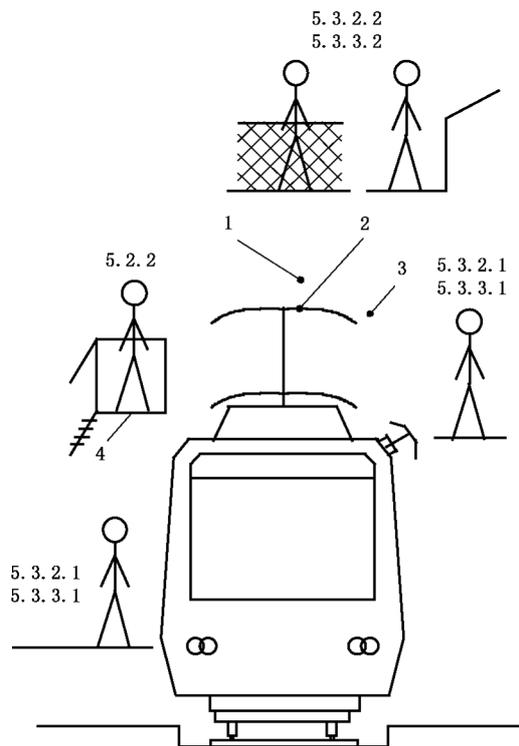
### 5.3 防护栏的设置要求

#### 5.3.1 一般原则

当 5.2.1~5.2.5 规定的净空无法保证时,可采用防护栏防直接接触。防护栏的设计应根据站立面与带电体的相互位置确定,见图 5 和图 6。当站立面位于公共区域或限制区域时,其防护栏与带电体间的净空防护距离要求不同。

防护栏的尺寸应保证人员不持工具站在站立面时直线方向上接触不到带电体。

当防护栏由导电材料制成时,则应符合 6.2 的规定。

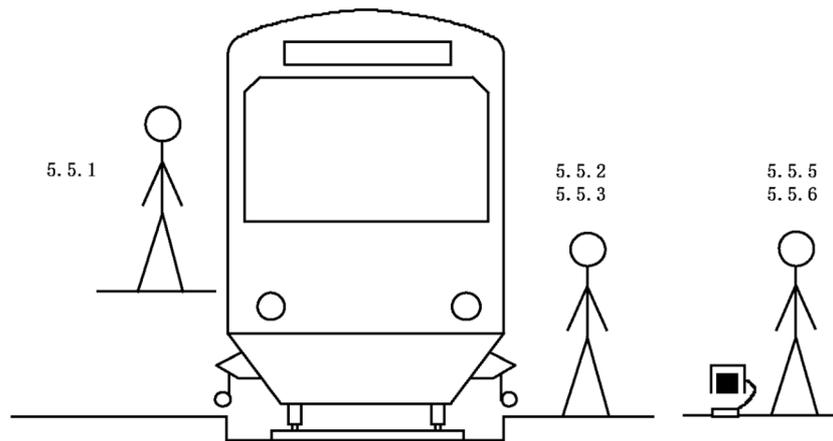


说明:

- 1——承力索;
- 2——接触线;
- 3——同杆合架馈线;
- 4——作业平台。

注: 图中编号对应相关条款的规定。

图 5 人员接近车辆外部和 OCS 带电体时不同位置的站立面



注：图中编号对应相关条款的规定。

图 6 人员接近车辆外部和受流轨系统带电体时不同位置的站立面

防护栏应只采用以下两种形式：

- 实体墙或实体门；
- 网孔结构。

OCLZ 和 CCZ 内设置防护栏应满足以下要求：

a) 非金属的防护栏应是实体墙或实体门：

- 1) 对于高压系统,距带电体 0.6 m 范围内的防护栏应设置接地外框；
- 2) 防护栏材料的选择,应保证其在潮湿、紫外线辐射、化学侵蚀和其他环境损害等影响下不会变成导电体,也不会与带电体接触。

b) 不应采用塑料涂层的金属网孔结构。

防护栏应固定可靠,只能使用工具才能被移动。防护栏应确保与带电体的安全距离。

带电体与防护栏间的最小净空应满足 GB/T 32578—2016 的相关规定外,还应满足以下要求：

- 当无法避免弯曲或变形时,实体墙或实体门的净空应增加 0.03 m；
- 当 5.3.2.1 和 5.3.3.1 没有规定其他最小净空时,对于网孔结构防护栏的净空应增加 0.1 m。

### 5.3.2 公共区域站立面的防护栏

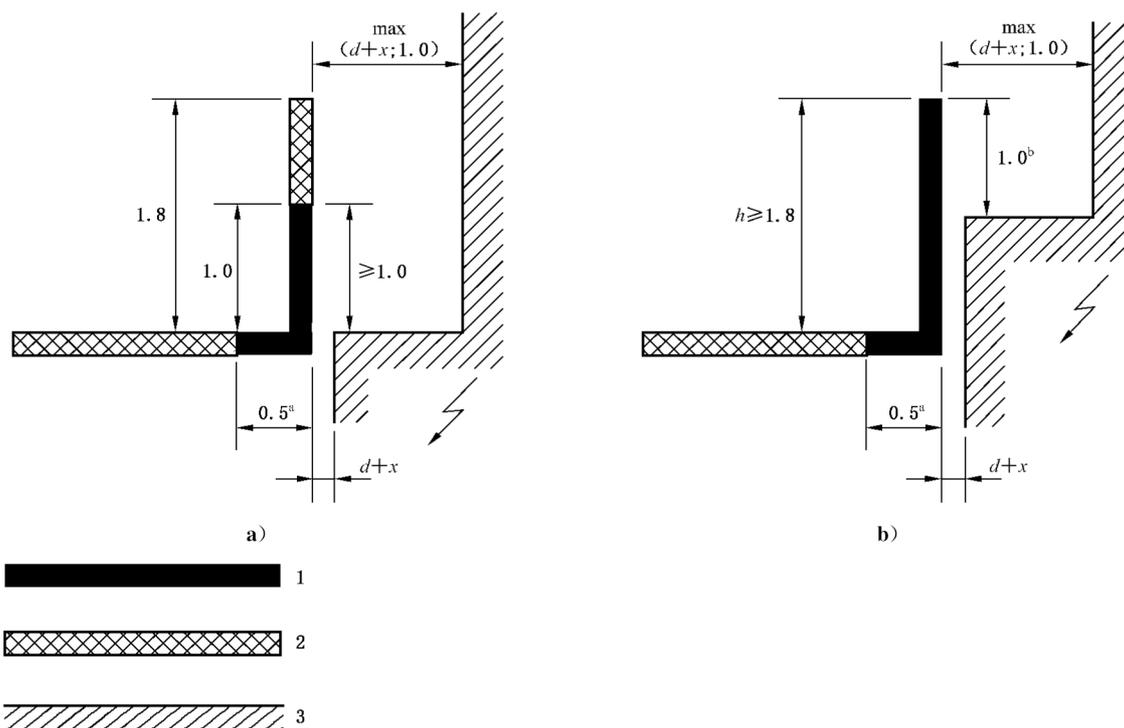
#### 5.3.2.1 临近带电体的站立面的防护栏

图 3 和图 4 给出了站立面与车辆外部带电体或接触网系统带电体临近时的净空。净空不能满足规定时,如果防护栏顶部与带电体间的净空不少于 1 m,见图 7 a),则防护栏应设计成 1 m 高的实体墙,且满足 GB/T 4208—2017 中规定的低压防护等级 IP2X,并加装最大网孔尺寸为 1 200 mm<sup>2</sup> 的网孔防护栏,使防护栏总高度不小于 1.8 m。

网孔应设计成无法攀爬,如果上述净空无法满足,则防护栏应为全高 1.8 m 实体墙结构(或达到低压防护等级 IP2X),见图 7 b),图 7 中的尺寸“d”应根据 5.3.1 确定。

站立面与护栏间应无缺口。

防护栏的顶部应设计成无法站立和行走的结构。



说明：

- 1 ——符合 GB/T 4208—2017 中 IP2X 防护等级的实体墙防护栏设计；
- 2 ——最大网孔尺寸为 1 200 mm<sup>2</sup> 的防护网栅(也可采用实体墙设计)；
- 3 ——带电体边界；
- d* ——5.3.1 规定的防护栏与带电体间的空气绝缘间隙；
- h* ——防护栏的高度；
- x* ——附加距离：

- 对于实体墙, *x* 取值 0 m；
- 对于满足低压防护等级 IP2X 的防护栏, *x* 取值 1.0 m；
- 对于网孔为 1 200 mm<sup>2</sup> 的防护栏, *x* 取值 1.5 m；

$\max(d+x; 1.0)$  ——按  $(d+x)$  计算, 但不小于 1.0 m。

<sup>a</sup> 5.3.2.2 给出了该尺寸的取值。

<sup>b</sup> 当高度 *h* 大于 1.8 m 时, 该值可相应缩减。

图 7 临近车辆外部或接触网系统带电体的公共区域防护栏设置示例

### 5.3.2.2 位于带电体上方的防护栏和站立面

站立面位于车辆外部带电体或接触网系统带电体上方时, 防护栏应采用实体墙设计。

实体墙防护栏的站立面长度应根据 CCZ 确定, 并且两侧应延伸至接触网系统带电体外不少于 0.5 m。非接触受流导线(如馈线、加强线、架空接触网的非工作支), 考虑动态和热效应引起的导线偏移其两侧应各留出不少于 0.5 m。

沿站立面的各边, 应设防止直接接触机车车辆外部和 OCS 带电体的防护栏, 甚至应采用防止利用棍棒或水流喷射方式接触到带电体的防护栏。防护栏应按大于站立面规定长度作实体墙设计。

防护栏也可采用满足 GB/T 4208—2017 规定的防护等级 IPX3 的建筑或其他相同安全等级的建筑。

当水平防护栏超出垂直防护栏长度至少满足以下要求时：

- 低压系统的最小值为 0.5 m；
- 高压系统的最小值为 1.5 m。

才可考虑采用以下规定：

- 低压系统防护栏侧面距带电体的净空最小值 1.45 m，见图 3；
- 高压系统防护栏侧面距带电体的净空最小值 2.25 m，见图 4。

参照点可采用垂直防护栏顶部取代站立面的侧边缘〔低压系统参见图 B.1 a)，高压系统参见图 B.2 a)〕。为了保证达到以上净空要求，垂直防护栏应相应加高。水平防护栏应设计成无法进入、且无法在防护栏面上站立或行走的结构。

水平防护栏应设计成不允许站人或作成向上或向下的倾斜面〔低压系统参见图 B.1 a)，高压系统参见图 B.2 a)〕。

当无水平防护栏时，垂直防护栏应满足 5.3.2.1 的要求〔低、高电压系统分别参见图 B.1 b)和图 B.2 b)〕。

低、高电压系统的变通解决方案分别参见图 B.1 c)和图 B.2 c)。

此类防护栏的顶部应设计成人无法站立或行走。

所有垂直防护栏应为实体墙设计或符合 GB/T 4208—2017 中低压防护等级 IP2X 的要求，并且其高度不应小于 1 m，低压系统参见图 B.1，高压系统参见图 B.2，除非设有水平防护栏和可靠的扶手并满足图 3 和图 4 的净空要求。

根据电气安全的需求，可对防护栏提出其他附加要求。

### 5.3.3 限制区域站立面的防护栏

#### 5.3.3.1 临近带电体的站立面的防护栏

当站立面与车辆外部带电体或接触网带电体临近时，如果带电体位于站立面上方，则应设置最大网孔尺寸为 1 200 mm<sup>2</sup> 网孔结构防护栏，其高度“*h*”不应小于 1.8 m〔低压系统见图 8 a)，高压系统见图 9 a)〕。

防护栏高度“*h*”应保证防护栏顶部至带电体的净空符合如下要求：

- 低压系统的净空距离为 1.35 m，防护栏的要求见图 8 b)；
- 高压系统的净空距离为 1.50 m，防护栏的要求见图 9 b)。

防护栏与带电体间最小净空应满足以下要求：

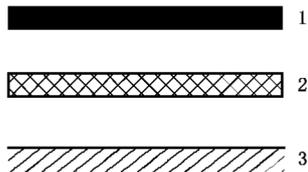
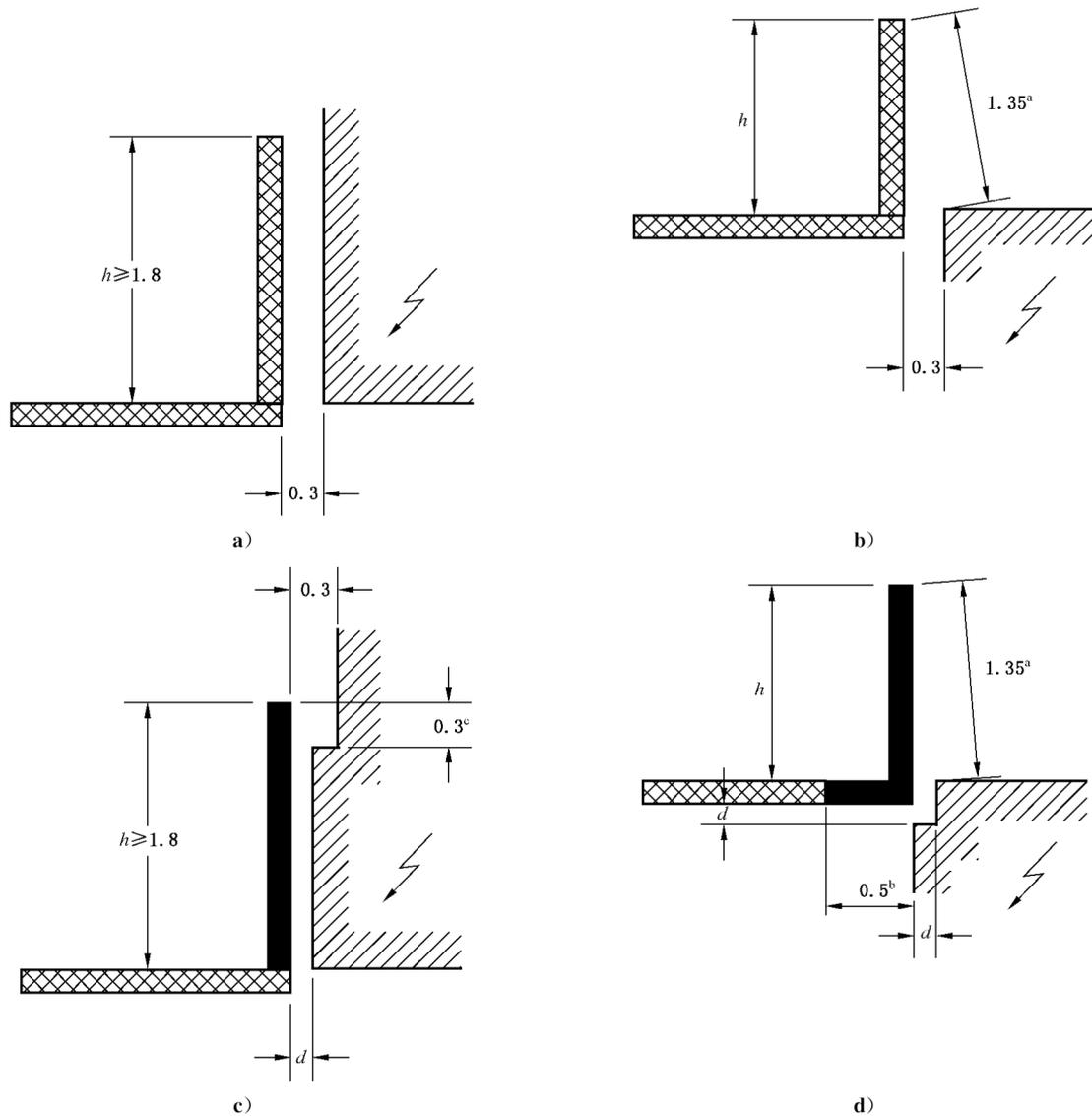
- 低电压系统为 0.3 m；
- 高电压系统为 0.6 m。

如果不能保证上述的净空要求，则低压系统的防护栏应根据 5.3.4 的规定进行设计，或应采用与站立面间无缺口的实体墙防护栏，低压系统见图 8 c)和 8 d)，高压系统见图 9 c)和图 9 d)。各图中带电体与防护栏间的净空距离应符合以下规定：

- 低压系统应按图 8 所示；
- 高压系统应按图 9 所示。

并应根据 5.3.1 规定进行确定。

单位为米



说明:

- 1 ——符合 GB/T 4208—2017 中 IP2X 防护等级的实体墙防护栏设计;
  - 2 ——最大网孔尺寸为 1 200 mm<sup>2</sup> 的防护网栅(也可采用实体墙设计);
  - 3 ——带电体边界;
- d* ——5.3.1 规定的防护栏与带电体间的空气绝缘间隙;

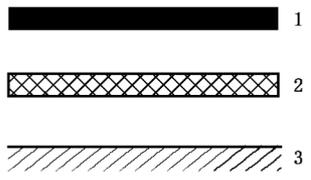
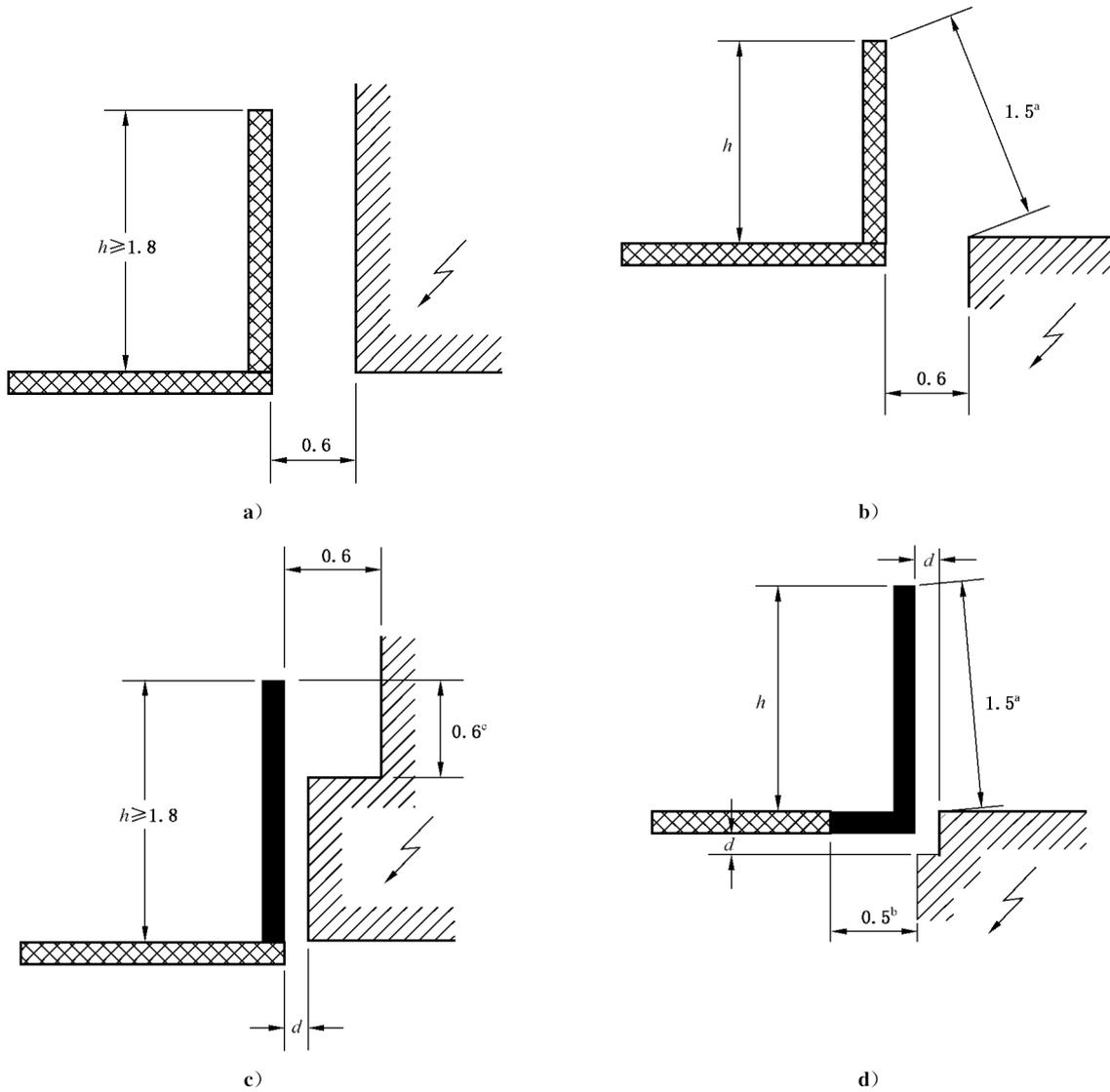
*h* ——高度。

<sup>a</sup> 该尺寸的取值可由图 3 确定。

<sup>b</sup> 5.3.2.2 给出了该尺寸的取值。

<sup>c</sup> 当高度  $h > 1.8$  m 时,该值可相应缩减。

图 8 临近低压系统的车辆外部或接触网带电体的限制区域防护栏设置示例



说明：

- 1 —— 实体墙或防护栏；
- 2 —— 最大网孔尺寸为 1 200 mm<sup>2</sup> 的防护网栅(也可采用实体墙设计)；
- 3 —— 带电体边界；
- d* —— 5.3.1 规定的防护栏与带电体间的空气绝缘间隙；
- h* —— 高度。
- <sup>a</sup> 该尺寸的取值可由图 4 确定。
- <sup>b</sup> 5.3.3.2 给出了该尺寸的取值。
- <sup>c</sup> 当高度 *h* > 1.8 m 时,该值可相应缩减。

图 9 临近高压系统的车辆外部或接触网带电体的限制区域防护栏设置示例

5.3.3.2 位于带电体上方站立面的防护栏

站立面高于车辆外部带电体或接触网系统带电体时,低压系统的防护栏应根据 5.3.4 进行设计或采用实体墙设计,见图 10 a)和图 11。

对于低压系统,当站立面底部与其下方带电体之间的净空距离为 0.60 m 及以上时,可采用带防护网栅的步行通道作为防护措施,见图 10 b),防护网栅的最大网孔为 1 200 mm<sup>2</sup>。

站立面实体墙长度应与 CCZ 相适应,两侧向外延伸至 OCS 带电体外至少 0.5 m。对于不用作集电的导线(如同杆架设馈线、加强线、接触网的非工作支),考虑动态或热效应引起的导线偏移其两侧应至少各留出 0.5 m 宽度。

站立面的侧面应至少设置网孔尺寸不大于 1 200 mm<sup>2</sup> 的网栅作为防护栏,其高度  $h$  应确保带电体至防护栏顶部的净空距离如下:

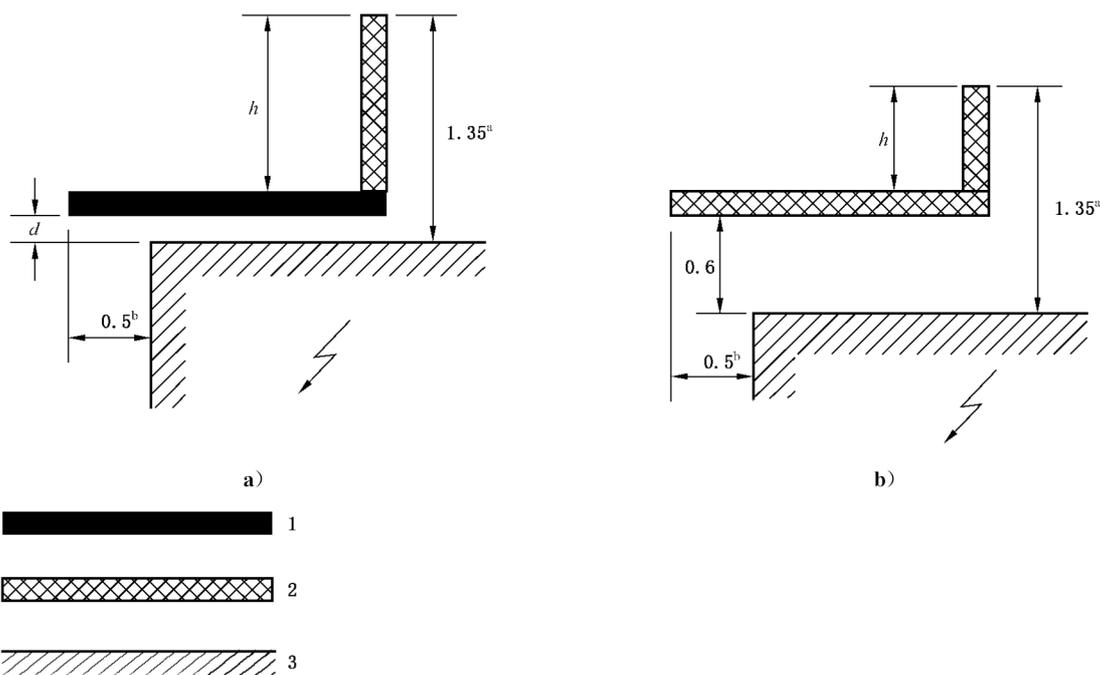
- 低压系统为 1.35 m,如图 3 所示,防护栏的要求见图 10a)和图 10b);
- 高压系统为 1.50 m,如图 4 所示,防护栏的要求见图 11。

防护栏长度至少与位于带电体上方的站立面长度相等。

侧面防护栏的高度应与安全扶手高度一致,但不应小于 1 m。

图 10 和图 11 中防护栏与带电体间的尺寸“ $d$ ”,应按 5.3.1 确定。

单位为米



说明:

- 1 ——符合 GB/T 4208—2017 中 IP2X 防护等级的实体墙防护栏设计;
- 2 ——最大网孔尺寸为 1 200 mm<sup>2</sup> 的防护网栅(也可采用实体墙设计);
- 3 ——带电体边界;

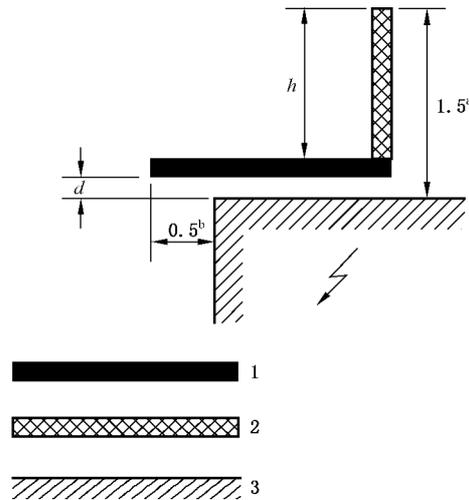
$d$  ——5.3.1 规定的防护栏与带电体间的空气绝缘间隙;

$h$  ——高度。

<sup>a</sup> 该尺寸的取值可由图 3 确定。

<sup>b</sup> 5.3.2.2 给出了该尺寸的取值。

图 10 临近低压系统的车辆外部或接触网带电体的限制区域防护栏设置示例



说明：

1——实体墙；

2——最大网孔尺寸为 1 200 mm<sup>2</sup> 的防护网栅(也可采用实体墙设计)；

3——带电体边界；

$d$ ——5.3.1 规定的防护栏与带电体间的空气绝缘间隙；

$h$ ——高度。

<sup>a</sup> 该尺寸的取值可由图 4 确定。

<sup>b</sup> 5.3.3.2 给出了该尺寸的取值。

图 11 临近高压系统的车辆外部或接触网带电体的限制区域防护栏设置示例

#### 5.3.4 用于低压系统的防护等级

用于低压系统的防护栏应满足 GB/T 4208—2017 规定的 IP2X 防护等级、且距带电体最小距离应为 0.5 m,或采用实体墙的设计。

#### 5.3.5 防攀爬措施

除特殊情况外,一般不需要防攀爬措施。

### 5.4 带电作业的防护措施

#### 5.4.1 一般原则

本部分仅适应于低压带电作业的防护措施。

在电气安装过程中应采取必要措施确保工作人员或电气安装的安全。在设计中应考虑电力设备的运行和维护的安全措施。作业程序应由供需双方协商确定。

这项规定不适用于在技术上无法实现带电作业的场所,例如有轨或无轨电车的接触网线岔、分段绝缘器等。

**示例:** OCS 通过安装附加绝缘使中性段每边延伸 0.5 m,以保证在工作区域内完全避免或最大程度避免同时接触不同电位的带电体。

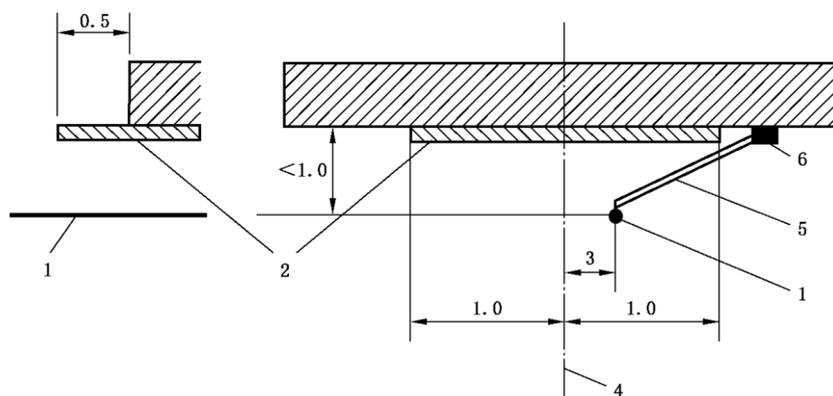
在有带电作业的接触网系统中,不应采用在短路条件下会导致支撑结构带电的绝缘子(如马鞍形或搭扣形连接的绝缘子)。

### 5.4.2 位于建筑物下方的铁路或有轨电车的 OCS

当 OCS 悬挂在建筑物(隧道、地下通道)下方,且会有作业平台带电工作时,在没有净空或防护栏等其他防护措施时应在带电体上方的建筑物底部设置绝缘隔板。当建筑物底部对带电体的净空不足 1.0 m 时,绝缘隔板的宽度不少于 2 m(相对于线路中心两侧各 1.0 m),见图 12。绝缘隔板应伸出建筑物边缘 0.5 m。

非受流导线(如馈线、加强线、架空接触网的非工作支)也应采取相应的防护措施。

单位为米



说明:

- 1——接触线/带电导线;
- 2——绝缘隔板;
- 3——拉出值;
- 4——线路中心线;
- 5——绝缘支持器;
- 6——支撑件。

注: 图中尺寸 1.0 m 已经考虑了拉出值的影响。

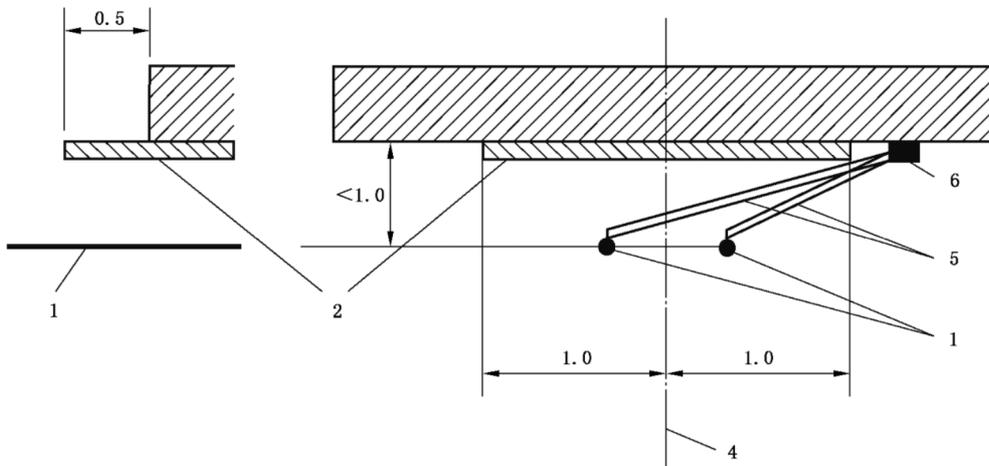
图 12 铁路或有轨电车系统中建筑物下方设置绝缘隔板示例

### 5.4.3 位于建筑物下方的无轨电车 OCS

#### 5.4.3.1 不接地系统

当 OCS 悬挂在建筑物(隧道、地下通道)下方,且会有作业平台带电工作时,应在带电体上方的建筑物底部设置绝缘隔板。当建筑物底部对带电体的净空小于 1.0 m 时,绝缘隔板的宽度应相对于接触线对称中心线两侧各不小于 1.0 m,见图 13。绝缘隔板应伸出建筑物边缘 0.5 m。

单位为米



说明:

- 1——接触线;
- 2——绝缘隔板;
- 4——双线中心线;
- 5——绝缘支持器;
- 6——支撑件。

注: 根据 GB/T 32578—2016 的规定接触导线间距离一般为 0.6 m~0.7 m。

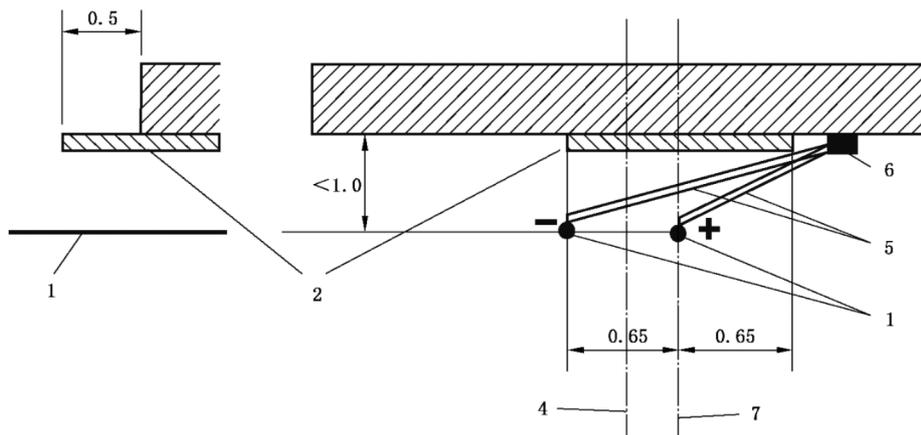
图 13 不接地的无轨电车系统中建筑物下方设绝缘隔板的示例

5.4.3.2 其中一支接触线接地或接入某个有轨电车的回流电路的系统

当 OCS 悬挂在建筑物(隧道、线路下方通道)下方且会有作业平台带电工作时,应在带电体上方建筑物底部设置绝缘隔板。当建筑物底部对带电体净空小于 1.0 m 时,绝缘隔板的宽度应相对于正极接触线中心两侧各不小于 0.65 m,见图 14。绝缘隔板应伸出建筑物边缘 0.5 m。

图 14 同样适用于正极接触线接地的情况,图中正负极接触线位置应交换。

单位为米



说明:

- 1——接触线;
- 2——绝缘隔板;
- 4——双线中心线;
- 5——绝缘腕臂;
- 6——支撑件;
- 7——正极接触线中心。

图 14 负极接触线接地或接入有轨电车系统回流电路的无轨电车系统中建筑物下方设绝缘隔板的示例

## 5.5 接触轨系统中的电击防护措施

### 5.5.1 位于站台区的接触轨

接触轨应设置在线路的远离站台侧,除非只有一条线路并处于两站台之间。

### 5.5.2 特殊情况

当接触轨受流系统的受流靴未明显超出车辆限界时,可不考虑 5.3.3 的规定。在车库内,应清晰地区分内部工作通道。

### 5.5.3 车库内的防护措施

当车库内无法在接触轨周围设置防护措施时,则不应采用接触轨系统。车辆的受电可采用电车线或其他方式。作业规程应确保在车库内车辆带电体(如受流靴)附近作业的安全。

### 5.5.4 限制区域内接触轨的防护罩

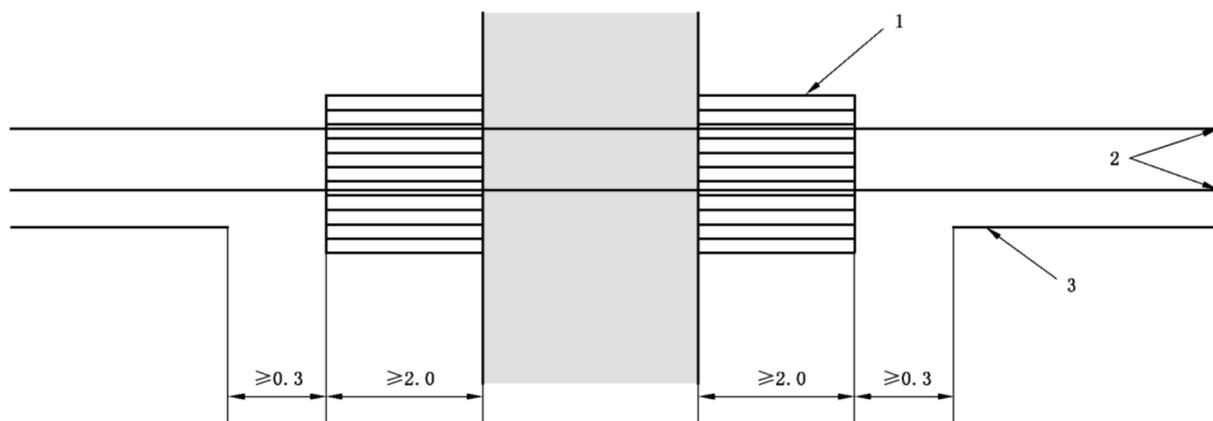
下部受流的接触轨系统与受流靴不接触的面应采用防护罩加以防护。

侧面受流的接触轨系统其顶部和无接触的侧面应采用防护罩加以防护。

### 5.5.5 公共区域内上部受流的接触轨系统防护要求

在公共专用平交道处应与线路平行设置长度不小于 2 m 的防通行挡板,防通行挡板应由非导电材料制成。接触轨应在距防通行挡板边缘不小于 0.3 m 处中断,见图 15。

单位为米



说明:

- 1——防通行挡板;
- 2——走行轨;
- 3——接触轨。

图 15 公共和专用平交道处的防护措施

防通行挡板的表面应设计成不准许人和动物行走。

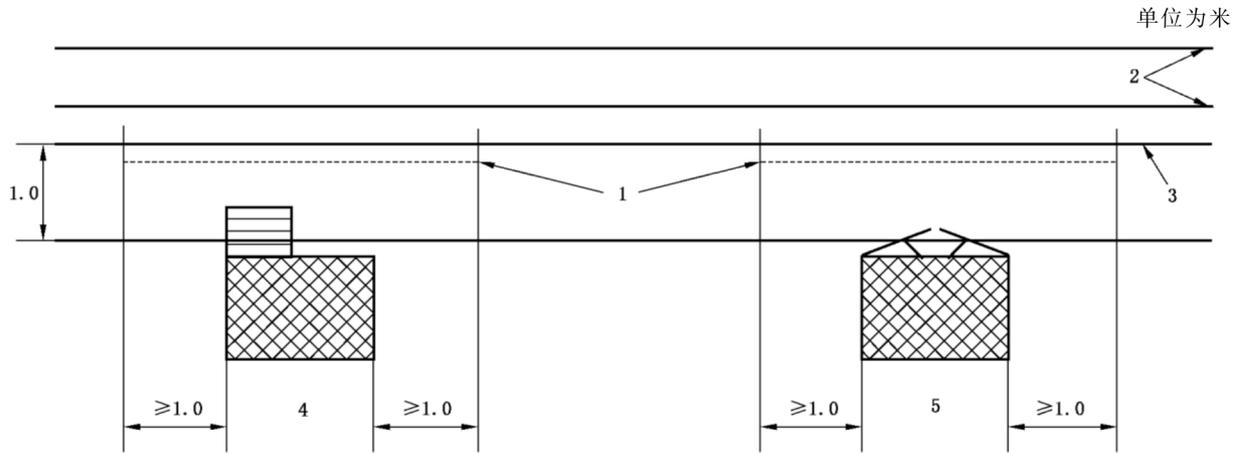
按 5.3.2.1 防护要求设有闸门的公共平交道口,除了在站立面与门间应留有必要净空以防止在公路开通时有人进入铁路外,接触轨还应在平交道边缘 0.3 m 处作终端。此时,无需设防通行挡板或防护板。

防止闲杂人员进入铁路设有闸门的铁路专用平交道口,接触轨应在平交道边缘 0.3 m 处作终端,并应设长度距接触轨端头为 2 m 以上的双侧防护板,见图 19。

注:公共和非公共平交道口的防护措施根据运行使用中的差异进行设定。

5.5.6 限制区域内上部受流的接触轨系统防护要求

建筑物或设备的大门或出口面向线路且距接触轨在 1.0 m 之内,且无防护板防护时,应在接触轨外设单防护板,其长度应延伸至建筑物或设备箱两侧各 1.0 m 及以上,见图 16。

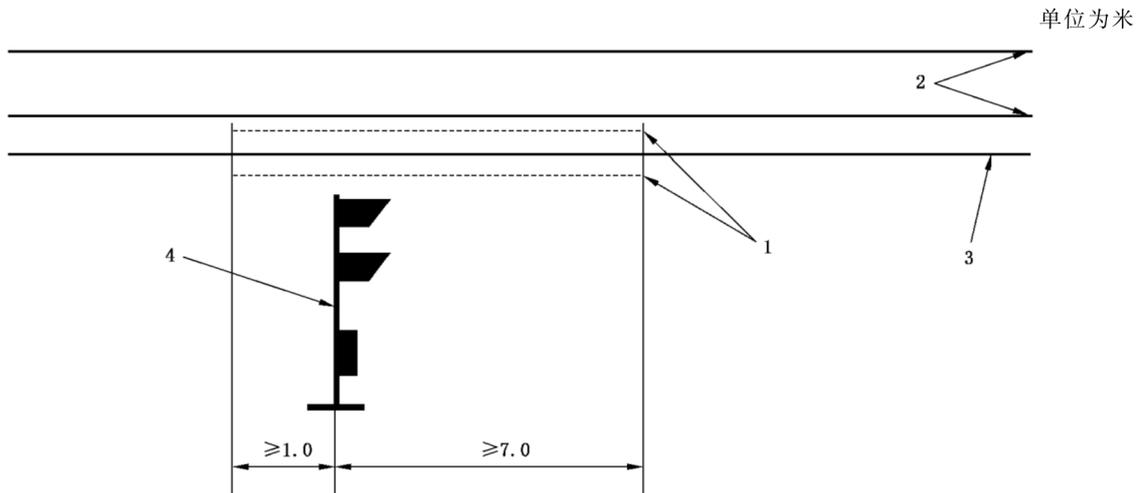


说明:

- 1——单侧防护板;
- 2——走行轨;
- 3——接触轨;
- 4——房屋与楼梯;
- 5——设备箱和门。

图 16 线路侧建筑物处的防护措施

在带电话的信号机处,应在接触轨两侧各设长度不少于 8.0 m 的防护板,其在接近机车车辆行驶的一侧不少于 7.0 m,见图 17。



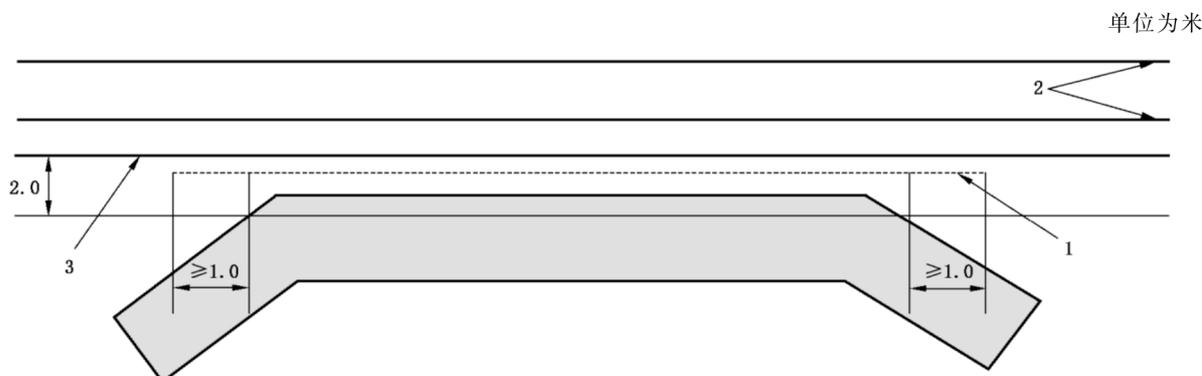
说明:

- 1——双侧防护板;
- 2——走行轨;
- 3——接触轨;
- 4——带电话的信号柱。

图 17 带电话的信号机处的防护措施

如果电话亭和信号机不在同一地点,防护板应设置在电话亭的位置。

当铁路专用人行通道位于距接触轨 2.0 m 之内且无防护栏时,应在接触轨邻近通道侧设单侧防护板,其长度应在人行通道全长的基础上,向两端各延伸不少于 1.0 m,见图 18。

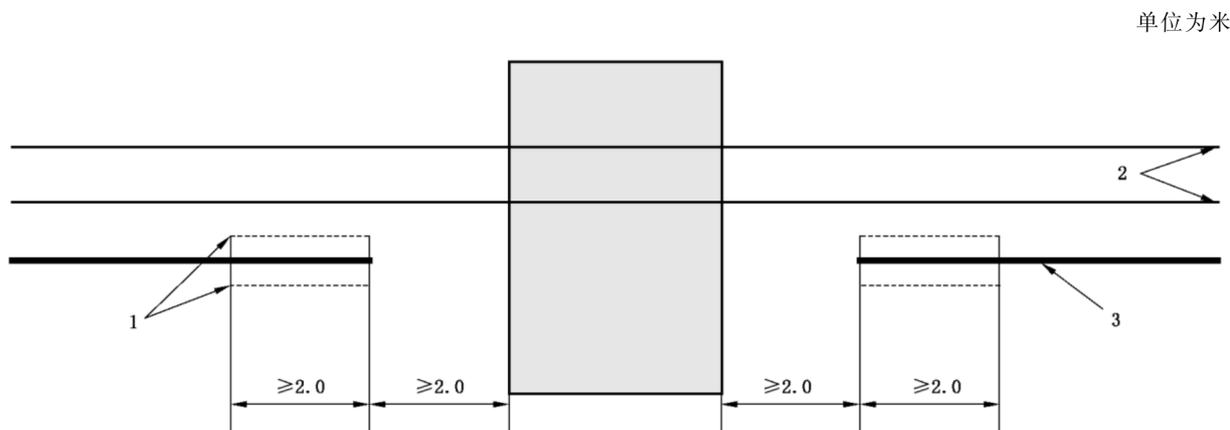


说明:

- 1——单侧防护板;
- 2——走行轨;
- 3——接触轨。

图 18 铁路专用人行通道处的防护措施

对于由铁路管理的平交道,接触轨应在距平交道 2.0 m 以外作终端并设双侧防护板,防护板长度距接触轨端头不小于 2.0 m,见图 19。



说明:

- 1——双侧防护板;
- 2——走行轨;
- 3——接触轨。

图 19 由铁路管理的平交道(车库、货场、车站平交道)处的防护措施

## 5.6 非走行轨回流的牵引供电系统的电击防护措施

### 5.6.1 一般原则

本条适用于正常运行条件采用绝缘导体而不用走行轨作为回流通路的牵引供电系统,例如“第三和第四轨”直流感触轨系统,以及某些三相交流供电制式铁路系统、独轨系统和无轨电车。

## 5.6.2 铁路系统

### 5.6.2.1 利用走行轨作为车辆连接的保护地

如果车辆设备故障时,设备带电体能把接触网或回流导体与走行轨连通,则变电所设备应自动跳闸切除接地故障,而不是由车辆的设备隔离,见 10.3.1。

### 5.6.2.2 车辆不必与回流轨直接电气连接

如果车辆设备故障时,设备带电体能把接触网或回流导体与走行轨连通,则采用 5.6.3.2 的防护措施。为了使多个接地故障引起的接触电压过高或相关的连接导线过热的风险降低到最低水平,应在足够短的时间内切除接触线接地故障。

## 5.6.3 无轨电车系统

### 5.6.3.1 一般原则

每支接触线的绝缘应满足 GB/T 1402 规定的系统额定电压要求。

### 5.6.3.2 非接地系统

非接地系统的架空接触网应安装绝缘监测装置,以监控各接触线对地的绝缘状态。  
任何供电臂送电的时候,两接触线的开关应切断,允许按顺序倒切。

### 5.6.3.3 接地系统

双接触线其中一支接地时,防护措施应满足下列要求:

- 接地的接触线和非接地的接触线上应各安装一套开关装置,且开关装置应设置闭锁,以保证其在馈线电源开关打开之前不被打开;
- 每个供电臂内只能有一处接地;
- 10.3.1 给出的回流电缆的接地要求。

### 5.6.3.4 无轨电车和有轨电车共用供电系统

当无轨电车和有轨电车共用供电系统时,应符合下列规定:

- 无轨电车的一支接触线应与有轨电车回流线相连接;
  - 其中一个开关应安装在无轨电车接地的接触线与有轨电车的回流电路之间,另一个开关应安装在无轨电车的非接地接触线与有轨电车接触线之间,且开关装置应相互闭锁,以保证开关在馈线电源开关打开之前不被打开;
  - 无轨电车回流电路与有轨电车系统回流电路应至少连接一次。
- 无轨电车和有轨电车的各个供电臂应通过变电所内不同的断路器与电源分开。  
应考虑有轨电车回流系统中具有专用的线缆系统。  
应注意无轨电车和有轨电车相互经对方回流系统的电流。

## 6 间接触电的防护措施

### 6.1 一般原则

外露导电部分或 OCS 带电体应采取措施防止间接触电。

牵引供电系统实现电气安全的首选方法是与回流电路相连接。

注:该措施保证故障电流通过回流通路时能自动切断电源。

## 6.2 OCLZ 和 CCZ 内外露带电部分的防护措施

### 6.2.1 交流牵引供电系统

位于 OCLZ 和 CCZ 内牵引供电和非牵引供电系统的外露导电部分应直接与回流电路相连接。

C.1 宜采用连接走行轨或回流导体的方法。

如果外露导电部分不能直接与回流电路相连接,应采取适当的措施以防止危险接触电压。

示例:采用 F 型电压限制装置(VLD-F)为短路电流提供一个通路就是一种解决方案。C.2 中所示为裸露导电部分不能直接连接到回流电路的解决实例。

### 6.2.2 直流牵引供电系统

#### 6.2.2.1 一般原则

由于杂散电流腐蚀的影响,位于 OCLZ 和 CCZ 内的、不能与地绝缘的牵引和非牵引供电系统裸露带电体不应与回流电路直接相连,见 GB/T 28026.2,需要采取适当的措施以防止危险的接触电压。适当的限制措施应保持电压满足表 6 中给出的限制值或 9.3.2.3 规定。

宜使用 F 型电压限制装置(VLD-F),电压限制装置(VLD)将外露金属部件与回流电路作开式连接,在电压超标时形成短路通道,并随后将电流快速切断。

如使用 VLD,则应按照附录 D 的要求。

对临近带电体的结构进行维护工作时,应将非接地的结构视为带电体并根据 5.2.2 做好相应的防护措施。

#### 6.2.2.2 隧道内的例外情况

对于电压为 1.5 kV 及以下的直流 OCS,在允许的情况下,悬挂在隧道内且处于图 4 范围之外的架空接触网金属支承件可不满足 6.2.2.1 的要求。但需要采用绝缘子恢复闪络后的介电性能。

在正常情况下不可触及到的金属部件可不作接地。在隧道内利用绝缘子进行绝缘困难且维修困难时,此时装在隧道拱顶的金属支架固定装置需要使用具有良好绝缘性能的水泥进行固定。

### 6.2.3 低电压牵引供电系统的例外情况

#### 6.2.3.1 一般原则

除 6.2.2 中规定的情况外,触电的所有风险都应降低到可接受水平。

#### 6.2.3.2 双重绝缘或加强绝缘架空接触网

架空接触网采用符合 GB/T 17045—2008 规定的双重绝缘或加强绝缘,接触网的支柱、支持结构则不接地和回流系统。

维修指南和流程应确保绝缘子有缺陷或被外来物体桥接时结构的带电安全,防止绝缘子功能失效。

#### 6.2.3.3 非绝缘架空接触网

如果低电压直流供电制式铁路的支撑结构与回流电路相连,且与 6.2.2 要求的结构对地绝缘时,绝缘需要通过测量检验。

回流电路和结构连接导体的电导率见 GB/T 28026.2。

#### 6.2.3.4 导电轨绝缘子故障的预防措施

为了避免走行轨接触过电压或设备过热,应采取预防措施使非导电轨连接到地。应考虑导电轨、基

板和固定螺栓之间假性连接的风险。如果基板不能按照 6.2.2 规定的开放式连接,应采取预防措施,把风险限制在可接受的水平,例如:

- 定期清洗绝缘子;
- 及时清除钢轨上的垃圾,特别是导电的垃圾;
- 按照 GB/T 17045—2008 要求采用双重绝缘或加强绝缘;
- 把基板和固定螺栓对地绝缘,例如将它们安装在木块上;
- 使用绝缘护罩保护基板通过外界物体与导电轨接触。

#### 6.2.4 非导电锚杆

当 OCS 的支撑结构没有连接到回流电路上时,伸入图 3 和图 4 区域内的非导电锚杆应采用绝缘安装。

### 6.3 位于 OCLZ 或 CCZ 全部或部分导电的结构及金属建筑物的防护

#### 6.3.1 位于 OCLZ 或 CCZ 的结构

##### 6.3.1.1 与回流电路连接的防护措施

6.2 中的保护措施适用于金属结构以保证剩余的接触电压满足第 9 章(接触电压限制和危险钢轨电位防护)中给出的限制。

注 1: 这些金属结构包括信号台架和信号亭、桥梁、站台雨篷、管道、栅栏、棚屋和设备外壳、非电力牵引的轨道、与回流电路不连接的轨道(如轨道电路)。

注 2: 部分导电结构是钢筋混凝土结构。

除以下情况外,混凝土结构的金属钢筋应采用与金属结构相同的方式处理:

- 结构不能把潜在的危险从故障位置转移;
- 与带电部分接触的概率很低,风险可接受,即短路故障不能在足够短的时间内切断,接触系统或结构可能被损坏。

这些保护性条款应与直流牵引供电系统减少杂散电流腐蚀定义的规定相一致,见 GB/T 28026.2。

##### 6.3.1.2 对于小导电部件的特殊情况

对于小尺寸导电部件在满足下列条件和表 1 的前提下,不必提供任何防护措施:

- 部分不支持、包含电气设备或只包含电气设备 II 类整合,见 7.3.2;
- 人从任何方向接近它可看到的带电导体接触的部分。

表 1 小导电部件的最大尺寸

单位为米

导体类型	低压		高压	
	平行于轨道	垂直于轨道	平行于轨道	垂直于轨道
完全导电	15	2	3	2
部分导电	15	2	15	2

不包括在 6.2 和 7.3 中用作防护措施的项目。

示例:小导电部件如沟盖、信号柱、道口柱、单桅杆、警告标签、垃圾桶、栅栏、网状结构和最大长度的金属结构如表 1。

按照 6.3.1.1 基本要求由几个小导电部件组成的部件是有效的。该部件超过表 1 规定值将无法消除短路造成的潜在危险。

### 6.3.1.3 用于暂时存储部分靠近铁轨的特殊情况

导电材料暂时存储在轨道附近不必采取保护性措施,如钢轨(有操作规范要求的除外)。

### 6.3.1.4 采用栅栏的防护措施

6.2 中给定的位于 CCZ 或 OCLZ 的导电结构或零部件的防护措施的替代方案就是采用栅栏,附录 B 中给出了进一步的说明。设置在架空接触线和结构或零部件栅栏的宽度不应小于 CCZ 和 OCLZ,同时沿着结构或零部件边缘方向延伸不应少于 0.5 m。栅栏应达到 II 级绝缘防护等级或者与回流电路相连。

由架空接触网引导的受流器(如无轨电车),CCZ 宽度可通过延伸位于接触网两侧的栅栏方式减小 0.05 m。

### 6.3.2 临近铁路的导体

临近铁路的导体受接触网电压的电磁感应可能带电,若不能与回流系统相连,则需接地。包括以下两种情况:

- a) 铁路沿线安装的金属围栏,标志牌等;
- b) 位于 OCLZ 或 CCZ 内,因尺寸过小未与回流电路相连接或不能直接与回流电路相连接的部件。若未设绝缘节,则经由基础接地即可满足要求。

## 7 非牵引的低压电力供电系统保护规定

### 7.1 一般原则

本条适用于在特定情况下能长距离转移危险电压的非牵引低电压供电系统。不应与非铁路牵引接地系统电气连接。

如果铁路侧供电系统与电网侧供电系统相连接,则两者之间应统一。应注意电位转移和电缆过热,见 10.2。

以下条款适用于安装基础或各自的结构(地)可能会连接到铁路回流系统的低电压电源:

- 铁路的结构地或结构地的一部分连接到回流通路;
- 直流供电制式铁路的结构地或结构地的一部分通过 VLD 连接到回流通路;
- 直流供电制式铁路的结构地或结构地的一部分中可能有杂散电流;
- OCLZ 和/或 CCZ 内的电气装置。

示例 1:会危及到以下设备:

- 消费设施;
- 铁路信号设备、通信设备或交通信号灯装置;
- 照明系统;
- 非牵引的低压电源;
- 远程控制设备。

示例 2:以下情况可能使上述装置受到危害:

- 断线的架空接触线或解体的受电器会把接触网电压传递给 OCLZ 和 CCZ 内的装置,或者通过导体与 OCLZ 和 CCZ 内的装置相连接的装置;
- 牵引回流电流可导致保护导体或 PEN 导体载流过载,或者削弱连接到回流系统的外露导电部分的保护措施。

根据 GB/T 16895.21—2011 要求,额定电压 AC 50 V/DC 120 V 应采取间接接触防护,满足 GB/T 16895.21—2011 中 411.1 的除外。

6.3.1.2 给出的位于 OCLZ 和 CCZ 内的支撑电气设备的导体(不包括保护Ⅱ类)不应视为小尺寸零件。

需要设置防雷保护,见 GB/T 21714 的接地和等电位联结。

## 7.2 相关防护措施

7.3 和 7.4 所列各项防护措施是对 7.1 防护措施的补充,以满足相关标准要求。这些措施应与 GB/T 28026.2 规定的直流牵引供电系统减少杂散电流影响的措施相协调。

## 7.3 对位于 OCLZ 和 CCZ 内电气装置的防护措施

### 7.3.1 外露导电部分

位于 OCLZ 和 CCZ 内的外露导电部分,应直接或通过 VLD(见附录 D)与回流电路相连,或通过坚固的防护栏加以防护。如果防护栏不是由绝缘材料制成,则应与回流电路相连。在直流牵引供电系统中这种防护栏应符合 GB/T 28026.2 要求。

电气装置的 PE 导体应有足够的截面积,不会因电流造成过热。位于 OCLZ 或 CCZ 内的设备或与之相连的电力电缆和通信电缆,其回流电路的设计和等电位联结应与之绝缘水平相协调,使电缆和设备在接触网系统接地故障时不被损坏。

### 7.3.2 Ⅱ级防护设备

按照 GB/T 17045—2008 规定Ⅱ级防护的电气设备保护的暂时过电压应与牵引网额定电压相一致。

注 1: GB/T 16935.1—2008 中 4.3 定义了暂时过电压的低电压设备。

该设备不能被连接到 PE 线。

对于小的导电部件进行保护,Ⅱ级防护设备对 6.3.1.2 中示例仍然适用。

如果Ⅱ级防护的电气设备保护与牵引网额定电压不一致,则接触区和集电区内裸露带电体的防护应满足相关要求。

注 2: 由于经济上的原因,高压系统的Ⅱ级防护设备不适用。

## 7.4 对受牵引回流影响设备的防护措施

### 7.4.1 辅助电力设施的设计

根据 GB/T 16895.21—2011 的规定,不适用Ⅱ级防护的间接接触设备或设施应采用自动转换电源。裸露导体应连接到保护导体上。

注: GB/T 16895.21—2011 中根据接地连接方法区分设备。铁路固定设备的应用,通常采用电源变压器中性点接地、设备外露部分与中性线相连的低压配电系统(TN 系统)和电源变压器中性点接地,电气设备外壳采用保护接地的低压配电系统(TT 系统)。

辅助电力设施通常由高压电网、公共低压电网或牵引供电系统供电。

各种不同的辅助电力设施及其铁路侧接地连接方式见表 2。此外,表 2 给出了适用于铁路侧的低压配电系统的前提条件。

表 2 辅助电力设施的接地连接方式

电源侧		铁路侧	
供电类型	连接方式	应用接地系统	前提条件
公共低电压电源	与非牵引供电系统地或中性点相连接	TT 接地系统	剩余电流保护器(RCD)
		TN 接地系统	独立绕组变压器

表 2 (续)

电源侧		铁路侧	
供电类型	连接方式	应用接地系统	前提条件
高压电源	与非牵引供电系统地或中性点相连接	TN 接地系统	
		TT 接地系统	
牵引供电电源	中性点与回流电路或铁路自身的结构地相连接	TN 接地系统	

允许其他类型的设计,如 IT 系统等。

#### 7.4.2 低压电源由 TT 系统供电

所有外露导电部分采用相同的保护装置通过导体连接到共同的接地系统。

供电电源可来自无隔离变压器的公共高压电源。

非铁路牵引供电系统的进线侧中性导体(PEN 的 N 和 PE 分开)应连接远方地。铁路配电盘中性导体仅适用于 N。进线的 PE 应在绝缘母线终止,不应用于铁路侧。PE 导线接至等电位连接母线(MEB),MEB 与铁路自身的结构地相连。

在 MEB 处测得接地电阻  $R_A$  应满足式(5)的要求。

$$R_A \leq U/I_a \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$R_A$  ——MEB 处测得接地电阻,单位为欧姆( $\Omega$ );

$U$  ——标称线对地的额定电压  $U_0$ ,单位为伏特(V),如果通过 RCD 保护,则根据 GB/T 16895.21—2011 规定取值 50 V;

$I_a$  ——使保护装置在 0.4 s 内自动跳闸的电流,单位为安培(A)。

示例:对于断路器来说,该动作电流取决于脱扣特性,A 类型的脱扣电流  $I_a = 3 \times I_N$ (额定电流),B 类型的脱扣电流  $I_a = 5 \times I_N$ ,C 类型的脱扣电流  $I_a = 10 \times I_N$ ,D 类型的脱扣电流  $I_a = 20 \times I_N$ (参见 GB/T 16895.21—2011 和 GB/T 10963.1);例如 B 类型的断路器的额定电流 16 A,则要求最大接地电阻为  $230 \text{ V}/(16 \text{ A} \times 5) = 2.88 \Omega$ 。

当保护器是一种剩余电流保护装置, $I_a$  是额定剩余动作电流  $I_{\Delta N}$ (见 GB/T 16895.21—2011)。

带永久性安装设备的电路除外。

宜安装 RCD 装置。如果 MEB 接地电阻不够低,则应装设 RCD。

如果设备位于 OCLZ 和 CCZ 以外,或与等电位主母线(MEB)相连接,纳入电力电缆的 PE 线不必连接设备的外露导电部分。

#### 7.4.3 低压电源由 TN 系统供电

设备装置的所有外露导电部分通过保护导体与高压变压器线圈接地点相连。

为了防止危险电压或电流的传输,应优先使公共地和铁路自身结构地相互隔离。如果隔离,独立绕组变压器应采用 TN 系统。

电源可来自于:

——带隔离绕组变压器的公共低压电源;

——带辅助绕组变压器的高压电源。

非铁路牵引供电系统进线侧的地应在绝缘母线终止,不应用于铁路侧。在变压器二次绕组的星型中点及其框架(外露导体部分)应连接到 MEB。

在特殊情况下,可通过 PE 导体或带屏蔽的电力电缆把变压器框架连接到公共地。变压器框架与铁路自身的结构地应相互绝缘。

由牵引电压供电的辅助变压器，一次侧和二次侧中性点应与铁路自身的结构地相连。

低电压保护系统应采用 TN-S 系统。末端的配电电路宜采用 RCD 装置。过电流保护装置应符合 GB/T 16895.21—2011。应保持 TN 系统的最大开断时间。

如果设备位于 OCLZ 和 CCZ 以外，或与 MEB 相连接，纳入电力电缆的 PE 线不必连接设备的外露导电部分。

#### 7.4.4 特殊措施

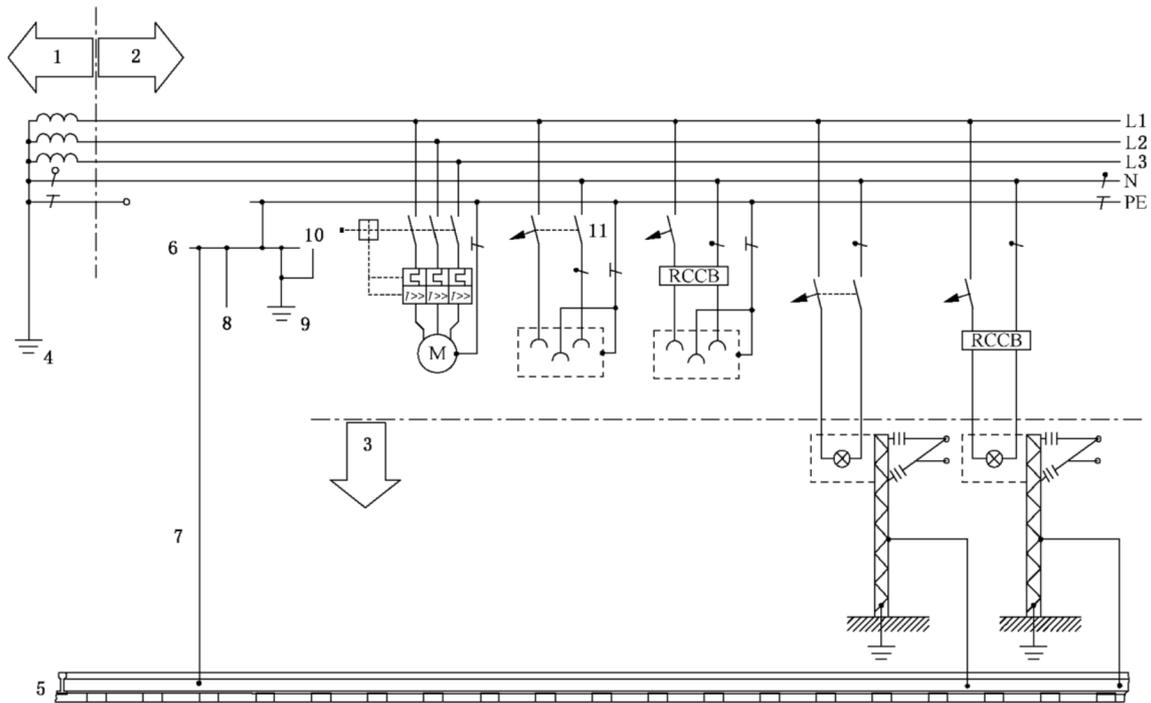
##### 7.4.4.1 交流供电制式铁路

当交流供电制式铁路的走行轨与由接触网支柱的基础、无碴轨道钢筋和其他（如隧道、高架桥基础结构等）的结构地相连时，走行轨和辅助电力设施的等电位母排应连接在一起。由于信号专业的要求，应通过扼流圈进行连接。OCLZ 和 CCZ 内的设备 PE 导体应能承受最大短路电流。若无法满足要求，则需与回流电路直接相连接的通路来承担短路电流。且 PE 导体不必连接到设备外露的导电部分。

等电位连接的设计保证在牵引回流和牵引短路电流条件下，不超过允许接触电压。

过电流保护装置应用于无 RCD 电路的中性导体，即根据 GB/T 10963.1 规定，断路器有两个或四个保护极，如果钢轨电位大于 50 V，在跳闸的情况下所有导线应同时断开，不能使用熔断器。

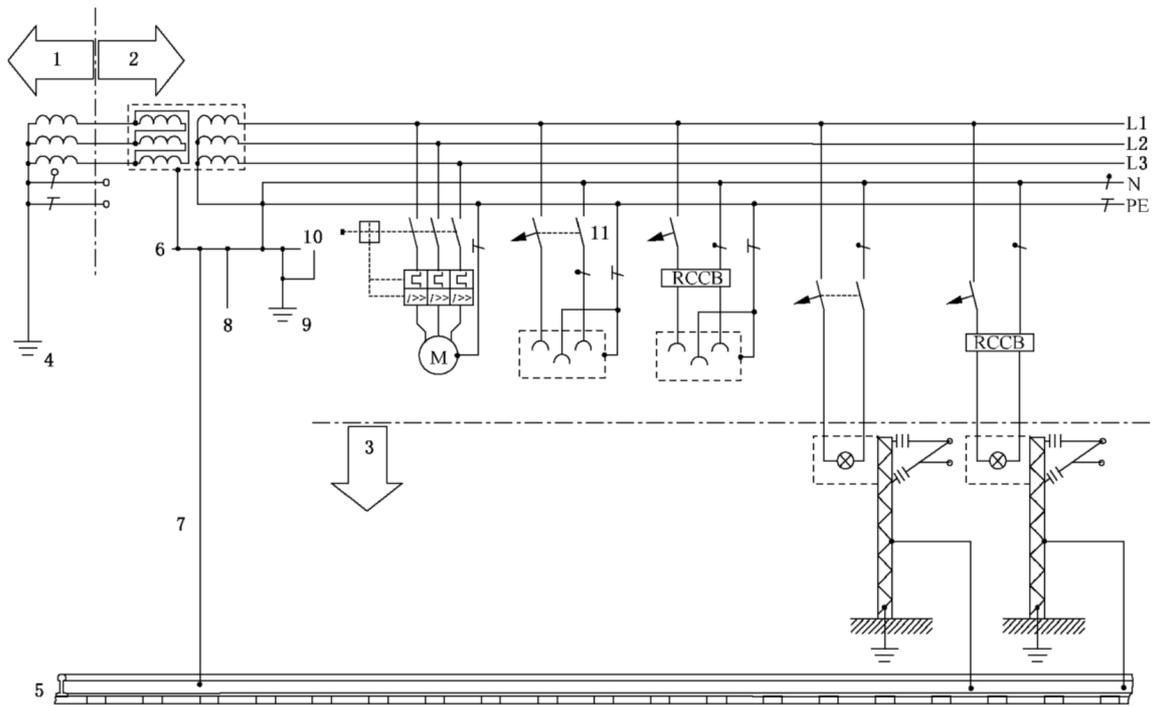
图 20 给出了交流供电的 TT 接地系统，图 21 为应用于交流供电制式铁路系统在回流电路接地的 TN 系统。



说明：

- |                  |                      |
|------------------|----------------------|
| 1 —— 供电网的电力电源；   | 7 —— MEB 与回流钢轨的连接线；  |
| 2 —— 铁路供电电网；     | 8 —— 水管、输气管或热力管道的接地； |
| 3 —— OCLZ 和 CCZ； | 9 —— 铁路建筑物的接地；       |
| 4 —— 公共地；        | 10 —— 防雷保护接地；        |
| 5 —— 回流钢轨；       | 11 —— RCCB 接地。       |
| 6 —— MEB；        |                      |

图 20 交流供电制式铁路供电的 TT 接地系统



说明：

- 1 —— 供电电网的电力电源；
- 2 —— 铁路供电电网；
- 3 —— OCLZ 和 CCZ；
- 4 —— 公共地；
- 5 —— 回流钢轨；
- 6 —— MEB；
- 7 —— MEB 与回流钢轨的连接线；
- 8 —— 水管、输气管或热力管道的接地；
- 9 —— 铁路建筑物的接地；
- 10 —— 防雷保护接地；
- 11 —— 不带过电流保护的剩余电流动作断路器(RCCB)接地。

图 21 交流供电制式铁路供电的 TN 接地系统

也可利用带过电流保护的剩余电流动作断路器(RCBO)代替带有 RCCB 的断路器。

注：牵引回流的连接(图 21 中的 7 个关键)参见附录 C。

#### 7.4.4.2 直流供电制式铁路

直流供电制式铁路中,作为回流的走行轨不能连接到结构地和地。由于杂散电流的原因,走行轨和辅助电力设施系统的 MEB 通常不能直接相连。OCLZ 或 CCZ 内设备的 PE 导体可承载相关的牵引故障电流。VLD 能提供在接触线接地故障情况下 MEB 和回流电路间的连接。

如果设备是柱上设备,应在设备与回流电路之间安装 VLD-F。

PE 导体不应连接设备的外露导电部分。

外露导电部分也可通过适当的装置,如电容器连接到电源电缆 PE 导体。放电电阻应与相应的装置并联。该电容器的尺寸应保证脱扣电流满足允许接触电压。

注：采用适当的装置防止牵引回流电流通过保护导体。

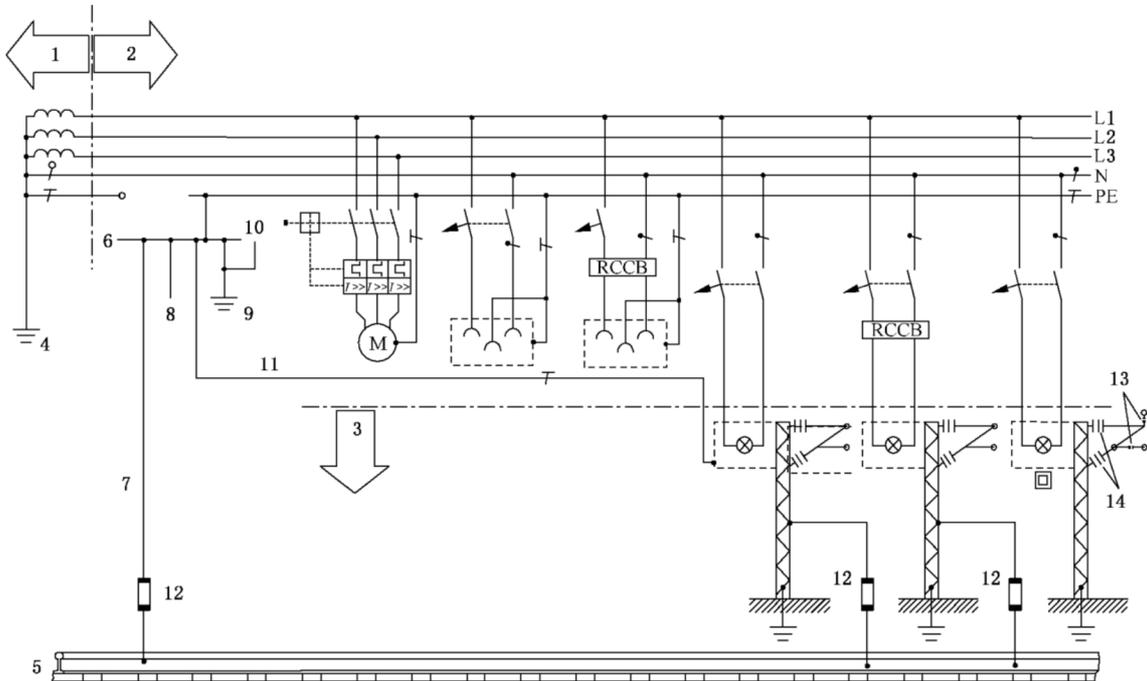
如果是 II 类防护电气设备(见 7.3.2),则可采用小尺寸零件的规定措施。

带有框架保护的牵引供电设施中低压设备不能与低压供电电缆的 PE 导体相连,应与牵引供电设备框架做好等电位连接。

如果在机车车辆、走行轨或与牵引回路相连的导电部分作业,应采用 I 级电气设备,其电源应由铁路电网的墙式插座供电。该墙式插座应通过剩余电流动作防护装置或有独立绕组的变压器与铁路电网相连。当采用剩余电流动作防护装置时,防护线应通过适当装置(如电容器)与 PE 导线相连。在电容器上则应并联一个放电电阻。

过电流保护装置可应用于电路无 RCD 的中性导体,即 GB/T 10963.1 规定的带有两个或四个保护极的断路器。如果跳闸,所有导线应同时断开。不应使用熔断器。

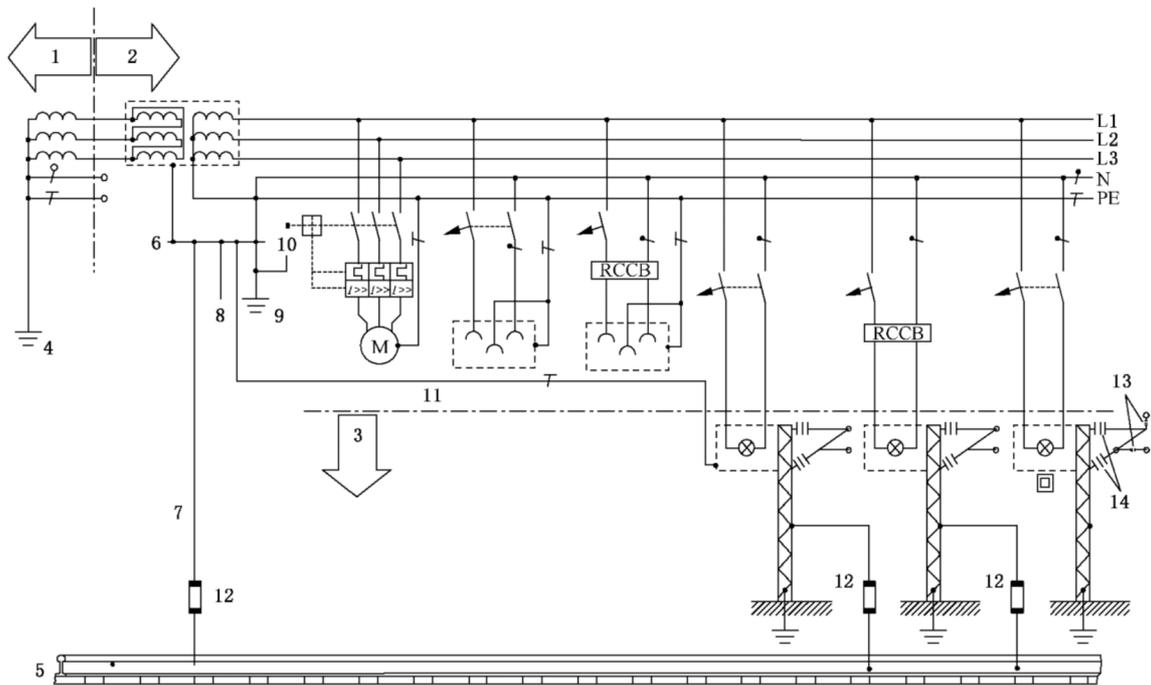
图 22 给出了直流供电制式铁路系统的 TT 系统,图 23 给出了直流供电制式铁路系统的 TN 系统。在车间等场合内的走行轨与正线相互隔离时,为降低接触网电压的影响,MEB 和走行轨可直接连接。也可利用 RCBO(参见 GB/T 2900.70)代替带有 RCCB 的断路器。



说明:

- 1 —— 供电电网的电力电源;
- 2 —— 铁路供电电网;
- 3 —— OCLZ 和 CCZ;
- 4 —— 公共地;
- 5 —— 回流钢轨;
- 6 —— MEB;
- 7 —— MEB 与 VLD 的连接线;
- 8 —— 水管、输气管或热力管道的接地;
- 9 —— 铁路建筑物的接地;
- 10 —— 防雷保护接地;
- 11 —— 外露导体部分与 MEB 连接线;
- 12 —— 电压限制装置;
- 13 —— 一次绝缘;
- 14 —— 二次绝缘(仅对低压牵引供电系统)。

图 22 直流供电制式铁路供电的 TT 接地系统



说明：

- 1 —— 供电电网的电力电源；
- 2 —— 铁路供电电网；
- 3 —— OCLZ 和 CCZ；
- 4 —— 公共地；
- 5 —— 回流钢轨；
- 6 —— MEB；
- 7 —— MEB 与 VLD 的连接线；
- 8 —— 水管、输气管或热力管道的接地；
- 9 —— 铁路建筑物的接地；
- 10 —— 防雷保护接地；
- 11 —— 外露导电部分与 MEB 连接线；
- 12 —— 电压限制装置；
- 13 —— 一次绝缘；
- 14 —— 二次绝缘(仅对低压牵引供电系统)。

图 23 直流供电制式铁路供电的 TN 接地系统

## 8 轨道系统用作牵引回流电路或接触网系统穿越危险区的防护措施

### 8.1 一般原则

如果由铁路系统感应、传导或电磁耦合引起的爆炸风险未被排除,则需按照 6.1.2~6.1.8 中的要求采取保护措施。因火花引起爆炸的防护措施参见其他标准。

示例 1:由火花引起爆炸可能有以下几种:

- 与 OCL 相接触；
- 接触网断裂；
- 用作回流的走行轨与地间的电位差(钢轨电位)；
- 对牵引供电系统地的静电放电；

——断开导体时的返回电流。

示例 2:属于这类装置有炼油厂、化工厂的部分装载设备和贮油罐等。

### 8.2 等电位连接

每一个上料口直接与回流电路相连。

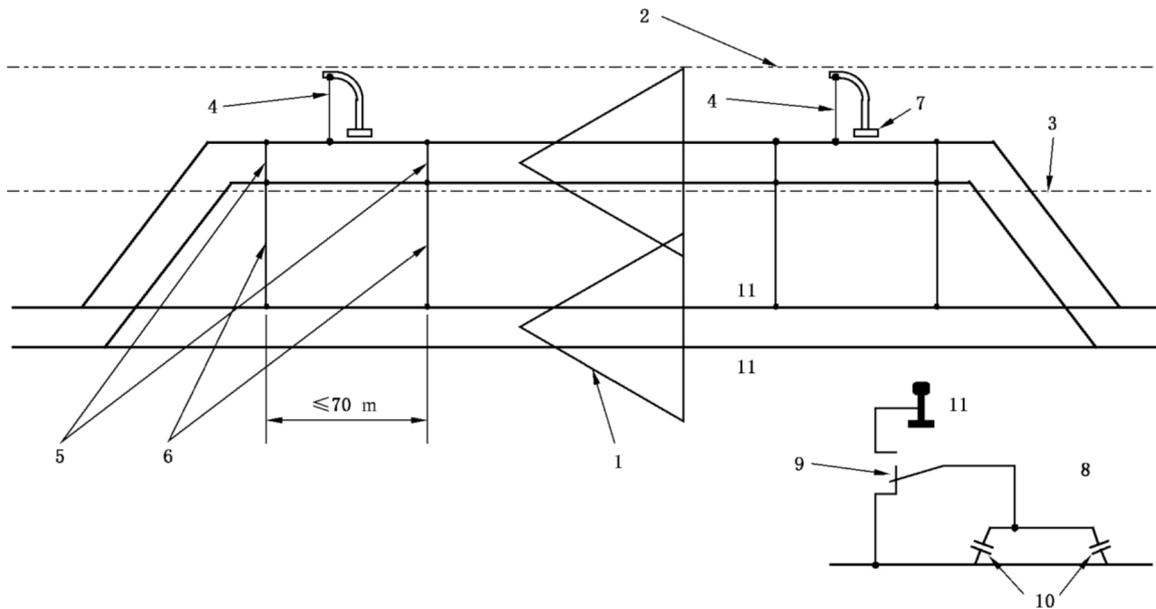
在以下条款中任选其一，横向连接的间隔不应超过 70 m：

——同一线路的轨条间；

——相邻线路间，见图 24。

线路和邻近装置的金属部件应在内部连通。

危险区外的钢轨横联方法，应遵循信号系统相关要求，见图 24 中 6 所示。



说明：

- 1 ——根据图 1 得出的 OCLZ；
- 2 ——OCLZ 边界；
- 3 ——危险区域边界；
- 4 ——牵引回流系统与等电位连接公共地；
- 5 ——钢轨间横向连接；
- 6 ——线路间横向连接；
- 7 ——上料口；
- 8 ——架空接触网接线图；
- 9 ——接地开关；
- 10 ——分段绝缘器；
- 11 ——钢轨。

图 24 轨条与轨条间、线路与线路间(见图示为双线)横向连接和装货站线在有接触网情况下的 OCL 布置

### 8.3 并联管道

运输易爆液体或气体的管道不应作为回流导体的并联通路。

为多个上料口供料的管道位于 OCLZ 和 CCZ 内时，每个上料口均应绝缘。

与回流电路相连接的所有带电体均应与地绝缘。

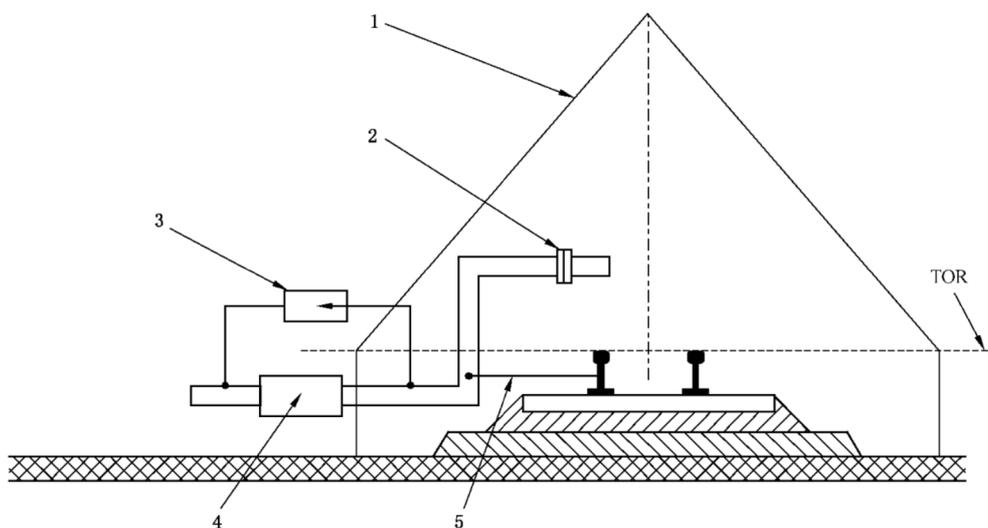
上述要求对于交流供电制式铁路和直流供电制式铁路均适用。

#### 8.4 绝缘接头

OCLZ 或 CCZ 内外的运输易爆液体或气体的导电管道应相互隔离。绝缘接头应能承受接触线的电压。如绝缘接头两端电压能人工导通,则电压不应超过第 9 章给出的限值。

#### 8.5 避雷器

如果雷击导致绝缘段闪络或击穿,绝缘段应并联一个避雷器,见图 25。危险区域内应设防火型避雷器。应注意不使绝缘段或避雷器被意外旁路。



说明:

- 1——根据图 1 得出的 OCLZ;
- 2——上料口;
- 3——避雷器;
- 4——绝缘段;
- 5——回流系统与等电位的连接。

图 25 (绝缘段可能遭雷击时)在装载线 OCLZ 外的上料管上有绝缘段时避雷器的安装位置

#### 8.6 装卸线的接触网

有装卸作业的站线接触网应可断开,并可与牵引供电系统地连接,保证在装卸作业开始前,接触网已实现接地,见图 24。

### 9 接触电压限制和危险钢轨电位防护

#### 9.1 一般原则

##### 9.1.1 钢轨电位

为了保护人员免遭钢轨电位危害,电力牵引供电系统的设计和建造应使接触电压不超过 9.2 和 9.3 规定的水平,或采取措施使人不易接近钢轨或与钢轨相连的导体。

注：交流系统参见附录 C。

不同局部和不同时限的钢轨电位,操作和故障(短路)是产生接触电压的主要原因。如无其他规定,接触电压限值应符合 9.2 和 9.3 的要求。允许接触电压分为长时制值和短时制值,分别对应操作条件和短路条件。

在电压变化剧烈的情况下,应特别注意时间间隔的确定以确保考虑到各种不利情况。

第 9 章表中所列数据假设电流经由人体的路径是由手经双脚入地。这包括电流从手流到手(参见附录 E)。从维护工作安全考虑,计算条件也可考虑其他更危险的电流径路,从而需要采取附加防护措施。

### 9.1.2 人体电压和接触电压

第 9 章给定的接触电压和人体电压是可接受的最大值。第 9 章给出的所有电压(包括直流电压)均为方均根值,时间间隔与 GB/T 2900.1—2008 中 3.1.10 中的规定一致。

按 IEC 61936-1 的规定,站立面的电阻可加在任何时间间隔。

附录 E 给出了表 3~表 6 中的值的计算方法。

有效/预期接触电压的测量方法见附录 F。

第 9 章表中所有中间时限的容许值可利用插值法求出。

### 9.1.3 车辆的接触电压

需注意的是当车体内外发生短路故障时,有可能导致直接接触电。在接触电路中接触电压可视为电压源,该接触电压由车体对走行轨的阻抗电压降和全部或部分的钢轨电位形成。车体与走行轨间的阻抗值见 GB/T 21414—2008 中 6.4.3 的规定。根据 GB/T 21414—2008 中 6.4.4 车辆的电压降(包括钢轨电位的相关部分在内)不应超过第 9 章的规定值。

### 9.1.4 故障持续时间条件

为评估允许接触电压,需对相关故障持续时间进行评价,此时,应假设保护装置和开关的操作正确。不考虑同时发生的多个故障。

### 9.1.5 电压限值和持续时间

在任何时刻和任何时间间隔,最大有效电压值的时间间隔,交流系统不应超过表 3、表 4 的规定值,直流系统不应超过表 5、表 6 的规定值。

注：长时制的时限对应于正常条件,短时制的时限对应于短路或开关操作条件。

## 9.2 交流牵引供电系统接触电压限值

### 9.2.1 一般原则

为了判定是否出现不允许的高压接触电压,应对正常工况和事故工况两种情况下的相关钢轨电位作出评估。

如果钢轨电位是通过计算确定的,则其计算条件应取最大的工作电流、短路电流和短路电流的初始值。

注：G.1 给出了正常的钢轨电位的指导值。

### 9.2.2 对人体安全的交流电压限值

#### 9.2.2.1 人体安全电压

人体安全电压和对应的时限不应超过表 3 所列数值。

表 3 交流牵引供电系统中人体最大允许电压( $U_{bmax}$ )与时限的关系

t/s	$U_{bmax}/V$
>300	60
300	65
1	75
0.9	80
0.8	85
0.7	90
0.6	100
0.5	120
0.4	150
0.3	230
0.2	295
0.1	345
0.05	360
0.02	370

注：t 为电流持续时间， $U_{bmax}$  为人体最大允许电压。

9.2.2.2 有效接触电压限值

长时制的时限  $t \geq 0.7$  s 时，允许的有效接触电压不应超过表 4 中长时制所对应的值。

短时制的时限  $t < 0.7$  s 时，允许的有效接触电压不应超过表 4 中短时制所对应的值。

注：E.1 中的值包含了附加电阻达 1 000  $\Omega$  的旧湿鞋的情况。

表 4 交流牵引供电系统中人体最大允许接触电压( $U_{bmax}$ )与时限的关系

t/s	$U_{bmax}$ (长时制)/V	$U_{bmax}$ (短时制)/V
>300	60	—
300	65	—
1	75	—
0.9	80	—
0.8	85	—
0.7	90	—
<0.7	—	155

表 4 (续)

$t/s$	$U_{\text{bmax}}$ (长时制)/V	$U_{\text{bmax}}$ (短时制)/V
0.6	—	180
0.5	—	220
0.4	—	295
0.3	—	480
0.2	—	645
0.1	—	785
0.05	—	835
0.02	—	865

注： $t$  为电流持续时间， $U_{\text{bmax}}$  为最大允许电压。

注：动作时间的不同是由继电器协调、不同类型的继电器和不同的开放时间造成的。

### 9.2.2.3 车间和类似场所

在车间和类似场所的有效接触电压应不超过 25 V 的限值。短时制时应采用 9.2.2.2。

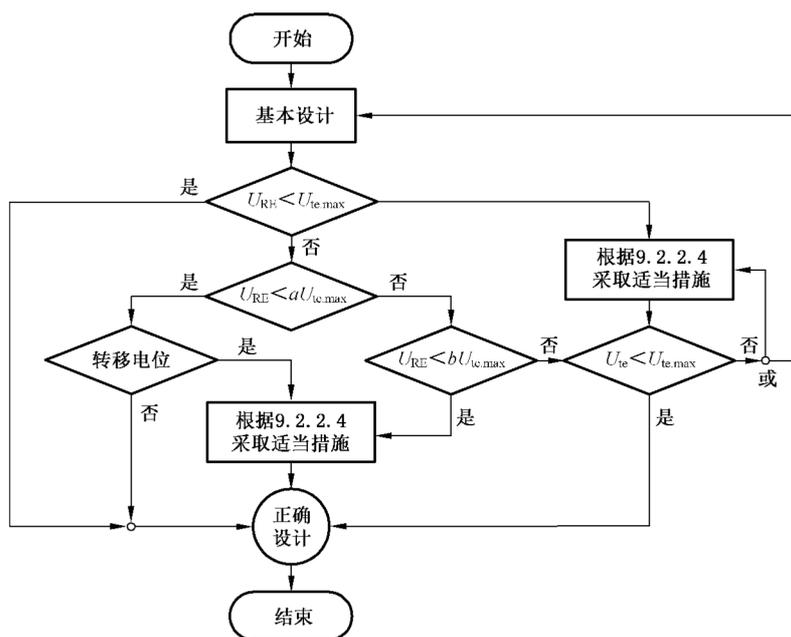
注：车间内接触电压对工作人员造成伤害的风险高，可降低接触电压限值。

### 9.2.2.4 降低接触电压危害的措施

如果超过 9.2.2.2 或 9.2.2.3 给出的限值，按照图 26 给定的流程采取保护措施，通过降低钢轨电位或通过管理等降低接触电压带来的风险。

可采用以下措施降低接触电压危害：

- 降低钢轨接地电阻(如采用增加接地极的方法)；
- 采用等电位连接；
- 采取电磁耦合方法以加强回流电路；
- 将站立面作绝缘隔离；
- 利用适当的地面接地极将电位分级；
- 对可触及带电体进行防护或绝缘处理；
- 设置围栏防止接触到钢轨电压；
- 禁止接近走行轨道和列车，经过专业培训的维修人员除外；
- 降低短路/正常电流；
- 采用 VLD；
- 缩短短路时的跳闸时间。



说明:

- $U_{RE}$  —— 钢轨电位;
- $U_{te}$  —— 有效接触电压;
- $U_{tc,max}$  —— 最大允许有效接触电压;
- $a=2$  —— 电位下降 50% 的距离, 见图 G.1;
- $b=3.3$  —— 电位下降 30% 的距离, 见图 G.1。

图 26 根据允许有效接触电压设计回流电路流程图

### 9.3 直流牵引供电系统接触电压限值

#### 9.3.1 一般原则

为了判定是否出现不允许的高压接触电压,应对正常工况和事故工况两种情况下的相关点钢轨电位在有回流导线电压降基础上作出评估。

如果钢轨电位是通过计算确定的,则其计算条件应取钢轨最大的工作电流和故障断开瞬间电流最大值(参见 G.2)。

#### 9.3.2 对人体安全的直流电压限值

##### 9.3.2.1 人体安全电压

直流牵引供电系统中人体最大允许电压与时限的关系见表 5。

表 5 直流牵引供电系统中人体最大允许电压( $U_{bmax}$ )与时限的关系

$t/s$	$U_{bmax}/V$
$>300$	120
300	150
1	160
0.9	165

表 5 (续)

$t/s$	$U_{\text{bmax}}/V$
0.8	170
0.7	175
0.6	180
0.5	190
0.4	205
0.3	220
0.2	245
0.1	285
0.05	325
0.02	370

注： $t$  为电流持续时间， $U_{\text{bmax}}$  为人体最大允许电压。

## 9.3.2.2 有效接触电压限值

长时制的时限  $t \geq 0.7$  s 时，允许的有效接触电压不应超过表 6 中长时制所对应的值。

短时制的时限  $t < 0.7$  s 时，允许的有效接触电压不应超过表 6 中短时制所对应的值。

注：E.1 中的值包含了附加电阻达 1 000  $\Omega$  的旧湿鞋的情况。

表 6 直流牵引供电系统中人体最大允许有效接触电压( $U_{\text{bmax}}$ )与时限的关系

$t/s$	$U_{\text{bmax}}$ (长时制)/V	$U_{\text{bmax}}$ (短时制)/V
1	160	—
$>300$	120	—
300	150	—
0.9	165	—
0.8	170	—
0.7	175	—
$<0.7$	—	350
0.6	—	360
0.5	—	385
0.4	—	420
0.3	—	460
0.2	—	520
0.1	—	625
0.05	—	735
0.02	—	870

注： $t$  为电流持续时间， $U_{\text{bmax}}$  为最大允许电压。

### 9.3.2.3 车间和类似场所

在车间和类似场所的有效接触电压不超过 60 V 的限值。短时制应采用 9.3.2.2。

注：车间内接触电压对工作人员造成的伤害的风险高，可降低接触电压限值。

### 9.3.2.4 降低接触电压危害的措施

如果超过 9.3.2.2 或 9.3.2.3 给出的限值，应通过降低钢轨电位，或通过管理等措施降低接触电压带来的风险。

可采用以下措施降低接触电压危害：

- 缩短供电臂长度；
- 加强回流导线的导电性能；
- 对站立面作绝缘；
- 减小切断短路电流的跳闸时间；
- 安装 VLD(至少为 VLD-O,见附录 D),例如在客运站把回流电路与地实行等电位连接；
- 在特定的位置把钢轨直接接地。

注：在特殊部位，例如仓库、车间和工业直流供电制式铁路系统(如地面采煤系统)，为了防止过高接触电压把钢轨直接接地。

杂散电流防护规定见 GB/T 28026.2。

## 9.4 出入口控制

若无其他措施，为使人不易接近钢轨或与钢轨相连的导体，应满足如下要求：

- 公众应避免与回路电压接触；
- 除安全人员外，员工禁止接近走行轨和列车。

## 10 其他防护措施

### 10.1 牵引变电所和开关站

变电所和开关站的电气安全和接地应符合 IEC 61936-1 的要求。该标准同样适用于交流和直流牵引供电系统，并有以下补充要求：

- 牵引供电系统引起的有效接触电压不应超过 9.2.2 和 9.3.2 的给定值；
- 对于交流牵引供电系统应将回流电路与变电所或开关站的接地系统直接连接；
- 对于直流牵引供电系统，牵引变电所的回流与接地方式按 GB/T 28026.2 执行，但出于安全原因，如车间和车站等需要直接接地者除外；
- 与接触网系统相连的设备绝缘配合要求应符合 GB/T 21413.1；
- 开关设备应具有足够的开断接触网短路电流的能力。

### 10.2 电缆

#### 10.2.1 一般要求

电力电缆的金属屏蔽层、铠装、护套与地间的多点连接，只有在不会引起温升超过允许极限时方可采用。

要对电缆的金属屏蔽层、铠装、护套与地作多点连接时，应确保在金属屏蔽层、铠装、护套内不会有超过限值的牵引回流流通。

### 10.2.2 交流牵引供电系统的电缆

单相交流馈电电缆的金属屏蔽层、铠装、护套应连接回流系统。应采取措施确保金属屏蔽层、铠装和护套不因在两端接地时供电电流感应而产生不允许的温升,或一端接地时产生不允许的高电位。

### 10.2.3 直流牵引供电系统的电缆

如直流馈电电缆的金属屏蔽层、铠装和护套(如有)与回流电路相连,则其应与地相互绝缘。如金属屏蔽层、铠装和护套没有与地绝缘,需采取防高压接触电压防护措施并避免流经金属屏蔽层、铠装、护套电流引起过热。

## 10.3 回流电路和接地导体

### 10.3.1 一般要求

每个牵引变电所的回流母排应至少采用两根回流电缆直接或通过扼流圈中性点与走行轨、回流导线或回流钢轨相连。回流电缆应满足最大负荷电流。回流电缆的根数应保证在一根电缆故障时,剩余的能负担全部最大回流。不应在回流电路中接入不用工具即可拆卸的设备,如熔断器、不可锁开关、连接带等。

所有导线在正常工况和事故条件下应能满足牵引回流引起的热荷载要求。由于机械原因,直接连接钢轨的导体截面积应不小于 50 mm<sup>2</sup>。直流供电制式铁路连接导体应采用绝缘导线。

所有与回流电路相连接的接地导体和接地极应按照 IEC 61936-1 的要求进行设计和施工。其中应特别关注对材质的选择及机械强度、防腐蚀和热效应对截面的要求。

在直流牵引供电系统中,导线“热截面”的计算应基于短路电流的期望值和短路持续的最长时间。

当回流电路接入开关设备时,应在电源电路设另一组开关设备并与回流电路开关实现连锁,以确保在电源开关断开前回流电路开关不应先行断开。对于无轨电车系统见 5.6.3.2。对于铁路系统中传输牵引电流的导体对地绝缘应采用相同的解决方式。

直流供电制式铁路见 GB/T 28026.2。

### 10.3.2 回流电路的连接

承载牵引回流的走行轨应作轨缝连接。对转辙处的钢轨也应作上述连接。对于高电压的交流牵引供电系统,钢轨连接处的鱼尾板一般已提供了足够的电气连接。

因技术原因不允许作轨缝连接时,为保证牵引回流畅通,可设扼流圈。

在铁路线路的可开断处(如可开启桥或轨道衡等处)应设导线确保牵引回流畅通。

### 10.3.3 回流电路的横向连接

为了确保牵引回流畅通,应按一定间隔在线路与线路间作横向连接,可降低在正常工况和事故工况下的接触和接近电压。

在牵引供电总体设计和轨道回流电路布置中应对线路与线路间的横向连接方案作出安排。

在没有轨道电路的区段,必要时可对每条线路的两根钢轨作横向连接。

如果在走行轨与钢质轨枕、钢轨铆钉紧固杆或钢轨螺钉紧固杆间设有绝缘层时,走行轨间的横向连接可提供足够的电气连接。

### 10.3.4 绝缘导线

如果正常运行情况下钢轨不能用作牵引回流,每个轨道至少有一条走行轨按照 10.3.1~10.3.3 方

式进行连接,以简化接触线接地故障定位的检测。

#### 10.4 拆除退出运行的 OCL

当某线路永久退出运行时,其 OCL 和相关馈线应予拆除。

#### 10.5 安全隔离的方法

##### 10.5.1 分段绝缘器

如果采用分段绝缘器作为 OCL 与馈线间的电气绝缘间隙,则其绝缘距离应小于 GB/T 32578 和 GB/T 32350.1 的要求。减小后的绝缘间隙应小于正常情况下最小空气绝缘间隙,但不应低于 GB/T 32578 定义的动态电气间隙。

由于受电弓需要通过接触网分段绝缘器,分段绝缘器的机械强度应满足 GB/T 32578 规定的接触网动态稳定性要求,但这些要求限制了不同带电体、带电体与接地体间的绝缘距离,以及分段绝缘器的尺寸和重量。基于以上原因,分段绝缘器可采用较小的绝缘间隙。

##### 10.5.2 绝缘间隙

在 OCS 中,其绝缘间隙可能被无防漏泄电流措施的绝缘子旁路,维护规程要求在 OCL 上进行维修工作时,该区段接触网应接回流系统或接走行轨。

#### 10.6 防雷

铁路的接地系统也可用于防雷。可采用 GB/T 21714(所有部分)标准,特别是针对牵引变电所、车站以及高架结构。

直流供电制式铁路的回流钢轨不能接地。

附录 A  
(规范性附录)  
警示牌

GB/T 2893.1—2013 和 GB/T 31523.1—2015 定义的破折箭头警示牌见图 A.1,此警示牌表示“当心触电”。

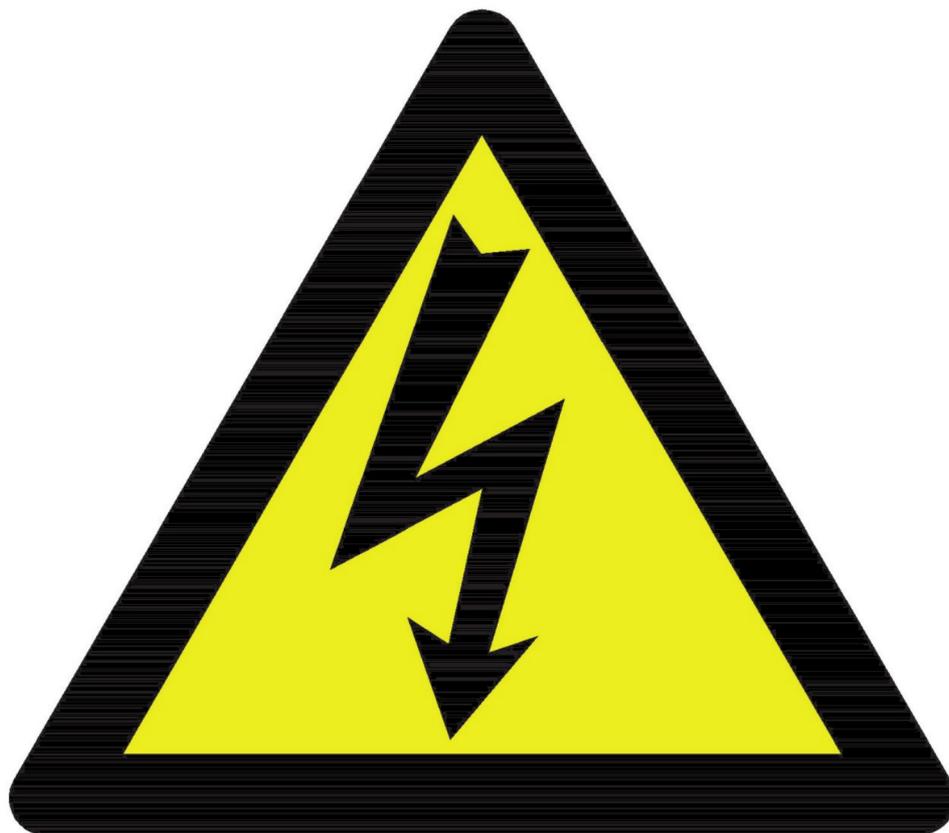
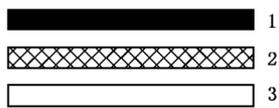
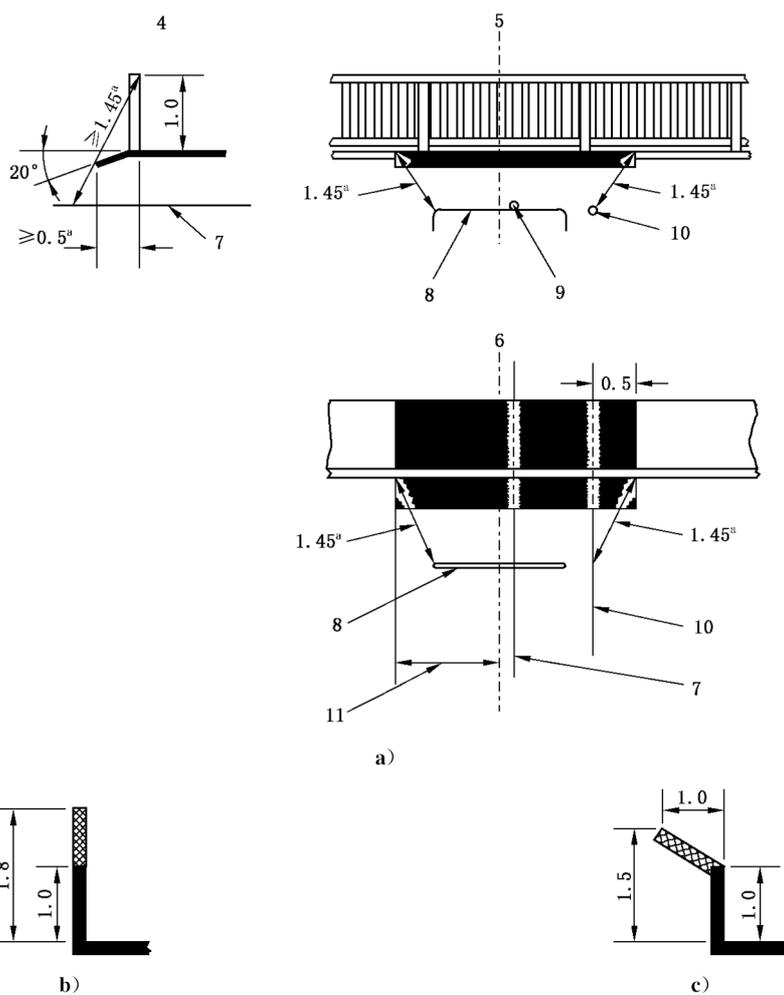


图 A.1 警示牌

附录 B  
(资料性附录)  
典型防护栏

公共区域内防直接接触而在站立面侧面设置防护栏示例见图 B.1、图 B.2。

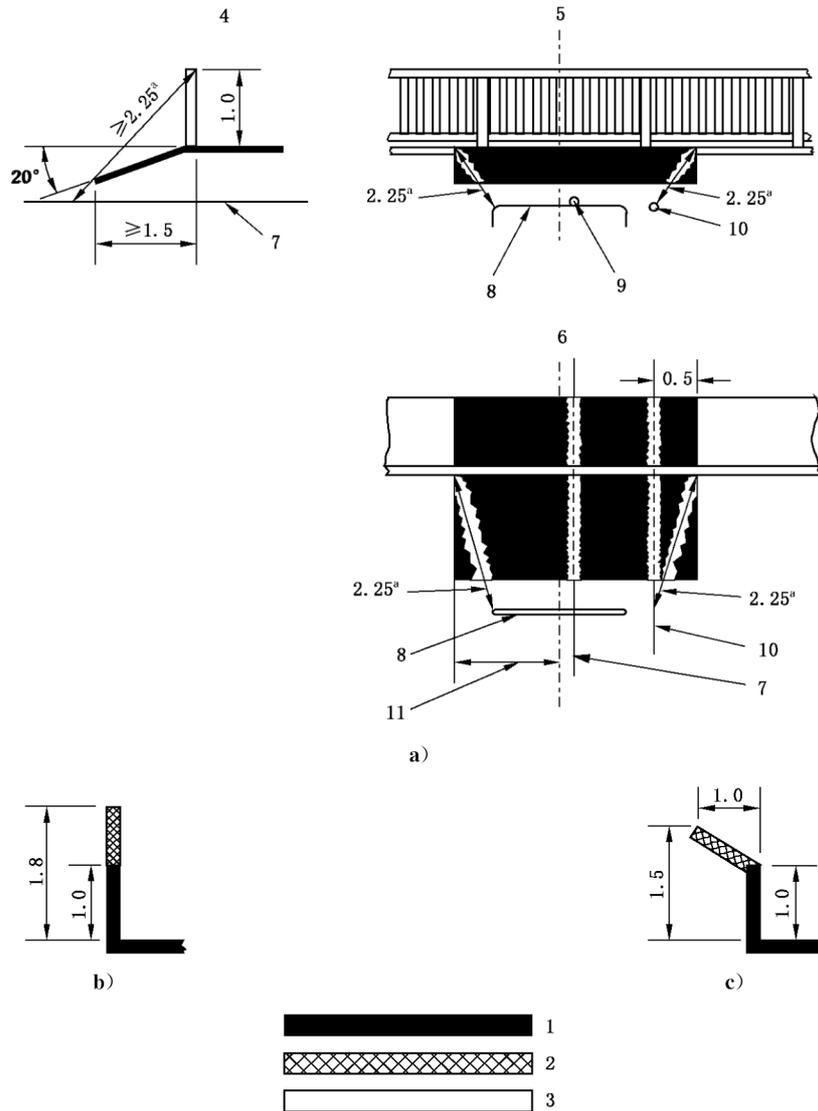
单位为米



说明:

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| 1——符合 GB/T 4208—2017 中的 IP3X 防护等级的实体墙防护栏设计;        | 7 —— 接触线、馈线;          |
| 2——最大网孔尺寸为 1 200 mm <sup>2</sup> 的网孔栅栏(也可采用实体墙设计); | 8 —— 受电弓;             |
| 3——网孔结构墙(也可采用实体墙设计);                               | 9 —— 接触线;             |
| 4——侧视图;  | 10—— 馈线;              |
| 5——正面图;  | 11—— 1/2 个 CCZ。       |
| 6——平面图;  | <sup>a</sup> 图 3 的尺寸。 |

图 B.1 公共区域内防直接接触而在站立面侧面设置防护栏示例(低压 OCL)(见 5.3.2.2)



说明：

- 1 ——符合 GB/T 4208—2017 中的 IP3X 防护等级的实体墙防护栏设计；
- 2 ——最大网孔尺寸为  $1\ 200\ \text{mm}^2$  的网孔防护栅栏(也可采用实体墙设计)；
- 3 ——网孔结构墙(也可是实体墙设计)；
- 4 ——侧视图；
- 5 ——正面图；
- 6 ——平面图；
- 7 ——接触线、馈线；
- 8 ——受电弓；
- 9 ——接触线；
- 10——馈线；
- 11——1/2 个 CCZ。

<sup>a</sup> 图 3 的尺寸。

注：公共区域内防直接接触而在站立面侧面设置防护栏示例(高压 OCL)见 5.3.2.2。

图 B.2 公共区域内防直接接触而在站立面侧面设置防护栏示例(高压 OCL)

附录 C

(资料性附录)

交流供电制式铁路回流系统的设置原则

C.1 通过限制接触电压达到电气安全

图 C.1 显示的是由几个平行轨道与之可能的连接组成的回流通路,信号系统允许直接接地或通过阻抗(如扼流圈等)连接。

如果回流和接地系统沿线连接在一起,可称为铁路综合接地系统,参见图 C.1。

在某些情况下,沿线回流的钢轨并联并和大地相连,形成综合接地系统。铁塔、埋地线、或桥梁、隧道的纵向结构钢筋都可作为回流导体。

图 C.1 显示回流系统及接地的连接,可应用于交流  $1 \times 15 \text{ kV}$  和  $1 \times 25 \text{ kV}$  直接供电系统和  $1 \times 25 \text{ kV}$  BT 供电系统,也可用于交流  $2 \times 25 \text{ kV}$  的 AT 供电系统。

回路连接到接地装置尽可能实现低电阻接地。钢轨电位可通过适当的系统设计被限制在第 9 章规定的允许值内。

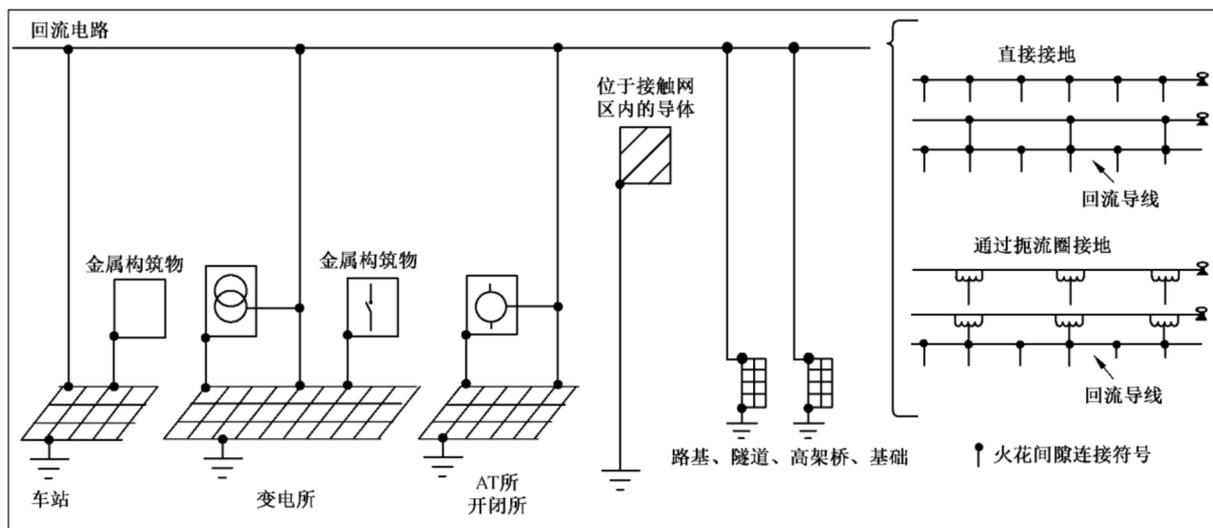


图 C.1 通过回流接地方式限制接触电压的接地原则(铁路综合接地系统)

C.2 通过隔离达到电气安全

图 C.2 显示的回流通路和可与之连接的设施,以及通过火花间隙间接连接到地的设施。

图 C.2 显示回流系统及接地的(例如火花间隙)连接,可应用于交流  $1 \times 15 \text{ kV}$  和  $1 \times 25 \text{ kV}$  直接供电系统和  $1 \times 25 \text{ kV}$  BT 供电系统,以及交流  $2 \times 25 \text{ kV}$  的 AT 牵引供电系统。

部分受限制的区域由于某些原因不能直接接地,车站外的钢轨电位可能超过第 9 章规定的允许值,可通过火花间隙间接接地解决限制区域的过电压问题。

为了避免人接近高压带电体,限制区域入口可通过设置栅栏进行防护,例如沿着铁路设置防护栏。在车站内 VLD 应采用等电位连接方式进行安装,以限制接触电压超过允许值。

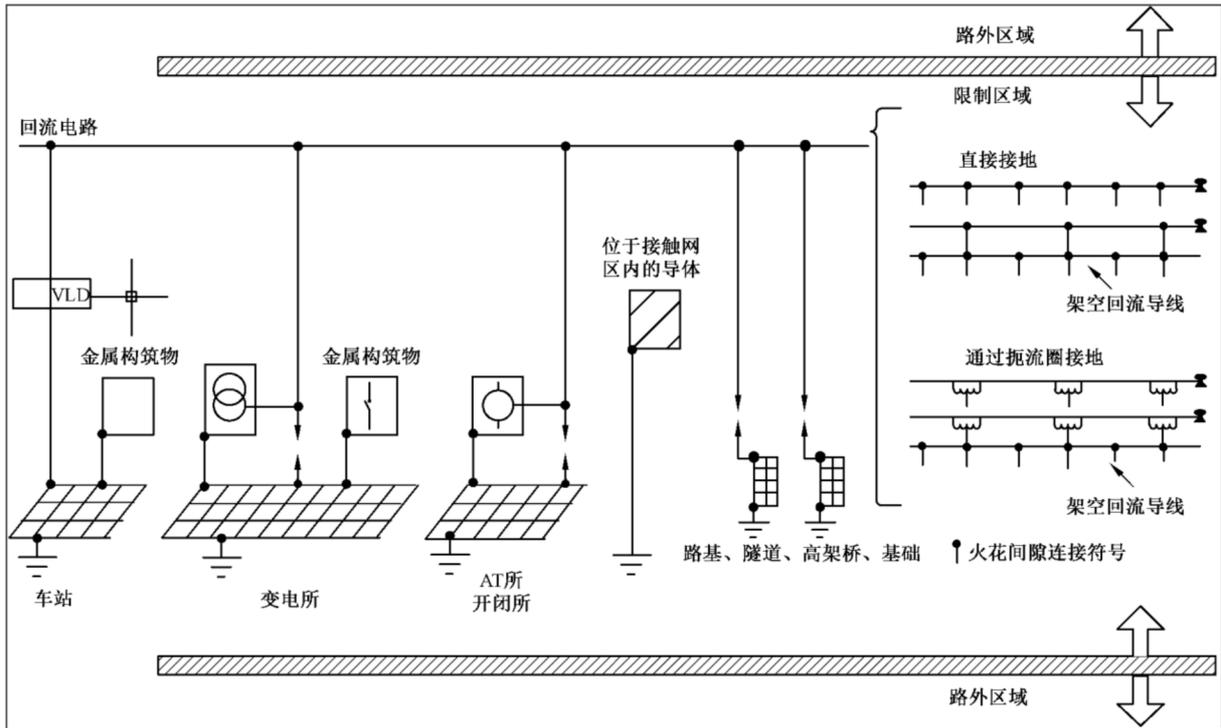


图 C.2 隔离的接地原则

**附 录 D**  
(规范性附录)  
**电压限制装置(VLD)的使用**

**D.1 一般原则**

当外加电压低于规定值时,VLD呈现高阻性,当外加电压超出规定值时,VLD则变成导体。当电压低于指定值时,它能保持非永久性或永久性连接。

**D.2 类型**

在故障和操作情况下,VLD可防止接触电压超标。

VLD可分为VLD-F和VLD-O两种类型,也可以一套装置满足两种类型的功能。

类型1(VLD-F型):牵引供电系统带电体和没有与回流轨相连接的导体发生短路时,VLD-F型VLD变为导体使电源跳闸,以防止接触电压超标。VLD-F通常是连通被保护导体和回流轨。

这些被保护导体包含:

- 位于OCLZ和CCZ内能被断线或解体的受电弓碎片接触的导体;
- 由于绝缘失效变为带电体的接触网支柱。

类型2(VLD-O型):VLD-O型VLD可防止由操作或短路引起的钢轨电位超标。短路电流路径与工作电流路径相同。VLD-O相当于一个限制接触电压的等电位连接装置,仅一部分回流电流流经VLD-O型VLD。根据9.2和9.3设置,接触电压将不会超标。线路断路器通过VLD-O跳闸时接触电压将不会超标。VLD-O通常是连接回流轨和结构之间,如在车站或变电站。

**D.3 技术条件**

每个VLD装置应控制流经其自身的电流大小。

除非流经VLD装置的电流大小低于装置自身的开断能力,否则不能断开。

VLD装置在损坏前能自动复位或更新,例如流经其自身电流引起杂散电流造成的重大损坏。

如果VLD动作且不能自动复位,程序或系统应迅速地标注和纠正事件发生的原因。

对于各种系统来说,闭合的VLD装置在保护装置给定的自动重合闸时间之后能自动重启。

用于典型的交通情况下VLD-O型装置最大复位时间指导值为60 s。

VLD必需维护时,为保护工人免受接触电压或弧的伤害,需将VLD短接。

## 附录 E

(资料性附录)

## 有效接触电压和人体电流

## E.1 计算的前提条件

根据 GB/T 2900.1—2008 中 3.1.10 的要求,附录 E 中给出的所有电压和电流均为有效值。

9.2 和 9.3 的允许有效接触电压值的计算是基于 GB/T 13870.1 和 IEC 61936-1,并作了以下假设:

- 电流路径由单手经双脚接地;
- 干燥条件下接触表面积大的人体阻抗;
- 人体电阻大于设定值的概率为 50%;
- 纤维化概率为 0%(见 GB/T 13870.1—2008 中曲线 C1);
- 在短路时间内旧湿鞋的附加电阻  $R_a$  取为 1 000  $\Omega$ 。

注:由于有鞋的存在,而且作用时间很短,危险发生的概率又很小,因此在按 IEC 61936-1 计算  $U_{cl}$  时可增加一个湿鞋电阻 1 000  $\Omega$ 。这个旧湿鞋值参见 IEC 61936-1。

根据 IEC 61936-1 的规定,对于不同时限,均应考虑站立面的电阻值。

即使考虑旧湿鞋的 1 000  $\Omega$  附加电阻,电流从一只手流经另一只手时引起的心脏颤动的风险比从手流经脚小。

## E.2 阻抗

## E.2.1 交流和直流电压的人体阻抗

GB/T 13870.1—2008 的表 1 给出的 50% 概率人体总电阻值为其电流径路由一只手经另一只手时的数值,将该值乘以 0.75 折减系数即可得出径路由手经双脚的电阻值,如表 E.1。

表 E.1 人体阻抗  $Z_b$  和人体电流  $I_b$ 

$U_b/V$	交流系统 $r=0.75$			直流系统 $r=0.75$		
	$Z_b(100)/\Omega$	$Z_b(75)/\Omega$	$I_b(75)/mA$	$R_b(100)/\Omega$	$R_b(75)/\Omega$	$I_b(75)/mA$
25	3 250	2 438	10	3 875	2 906	9
50	2 500	1 875	27	2 900	2 175	23
75	2 000	1 500	50	2 275	1 706	44
100	1 725	1 294	77	1 900	1 425	70
125	1 550	1 163	108	1 675	1 256	100
150	1 400	1 050	143	1 475	1 106	136
175	1 325	994	176	1 350	1 013	173
200	1 275	956	209	1 275	956	209
225	1 225	919	245	1 225	919	245
400	950	713	561	950	713	561
500	850	638	784	850	638	784
700	775	581	1 204	775	581	1 204

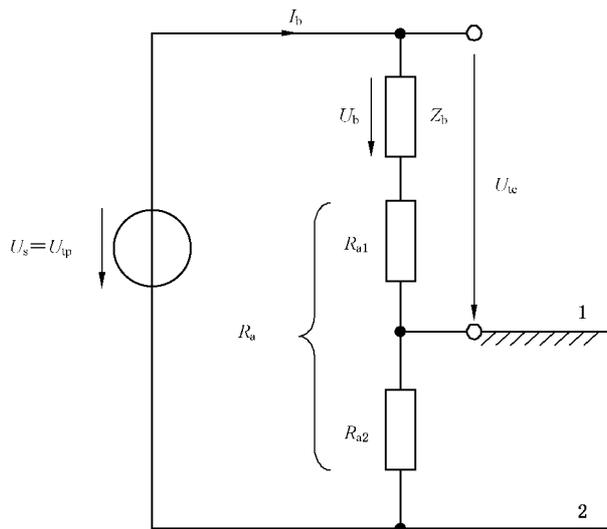
表 E.1 (续)

$U_b/V$	交流系统 $r=0.75$			直流系统 $r=0.75$		
	$Z_b(100)/\Omega$	$Z_b(75)/\Omega$	$I_b(75)/mA$	$R_b(100)/\Omega$	$R_b(75)/\Omega$	$I_b(75)/mA$
1 000	775	581	1 720	775	581	1 720

注： $I_b$  —— 人体电流，单位为毫安(mA)；  
 $U_b$  —— 人体电压，单位为伏特(V)；  
 $I_b(75)$  —— 对应于  $Z_b(75)$  的人体电流，单位为毫安(mA)；  
 $Z_b(100)$  —— 人体总阻抗，单位为欧姆( $\Omega$ )；  
 $Z_b(75)$  —— 人体总阻抗的 75%，单位为欧姆( $\Omega$ )；  
 $R_b(100)$  —— 人体总电阻，单位为欧姆( $\Omega$ )；  
 $R_b(75)$  —— 人体电阻的 75%，单位为欧姆( $\Omega$ )；  
 $r$  —— 换算系数。

E.2.2 附加电阻

考虑附加电阻，如图 E.1 所示。



说明：

- 1 —— 站立面；
- 2 —— 地；
- $U_s$  —— 电源电压；
- $U_{tp}$  —— 预期接触电压；
- $U_{te}$  —— 有效接触电压；
- $U_b$  —— 人体电压；
- $I_b$  —— 人体电流；
- $Z_b$  —— 人体总阻抗；
- $R_{a1}$  —— 鞋子的附加电阻；
- $R_{a2}$  —— 站立面的附加电阻；
- $R_{a2} = \rho_s \times 1.5 \text{ m}^{-1}$ ；
- $\rho_s$  —— 站立面处的土壤电阻率，单位为欧姆米( $\Omega \cdot \text{m}$ )；
- $U_{tp,max}(t) = U_{te,max}(t) + I_b(t) \times R_{a2}$ 。

图 E.1 允许接触电压计算的等效电路图

对于交流供电制式铁路,预期接触电压  $U_{tp}$  相当于图 G.1 中  $U_{RP}$ 。

表 E.2 给出了短期条件下站立面附加电阻  $R_{a2}=150\ \Omega$  和旧湿鞋的附加电阻  $R_{a1}=1\ 000\ \Omega$  的例子。

表 E.2 短期条件下附加电阻为  $1\ 150\ \Omega$  的最大允许的预期接触电压

$t/s$	$U_{tp,max}/V$
0.7	165
0.6	190
0.5	235
0.4	320
0.3	520
0.2	695
0.1	850
0.05	905
0.02	940

注:  $t$  ——持续时间;  
 $U_{tp,max}$  ——最大允许的预期接触电压。

### E.3 人体电流和对应的人体电压

#### E.3.1 一般原则

表 E.3 和表 E.4 中数值是基于 GB/T 13870.1—2008 给定的电流-时间曲线 C1 和从表 E.1 中得到人体电压  $U_b = f(I_b)$  的取值。

#### E.3.2 交流牵引供电系统

表 E.3 交流牵引供电系统人体电流、人体电压和接触电压与时间的函数关系

$t/s$	$I_{cl}/mA$	$U_{cl}/V$	$U_{b,max}/V$	$U_{tc,max}$ (长时制)/V	$U_{tc,max}$ (短时制)/V
>300	37	62	60	60	—
300	38	64	65	65	—
1	50	75	75	75	—
0.9	52	77	80	80	—
0.8	58	83	85	85	—
0.7	66	91	90	90	—
<0.7	66	91	90	—	155
0.6	78	101	100	—	180
0.5	100	119	120	—	220
0.4	145	152	155	—	295

表 E.3 (续)

$t/s$	$I_{cl}/mA$	$U_{cl}/V$	$U_{b,max}/V$	$U_{te,max}$ (长时制)/V	$U_{te,max}$ (短时制)/V
0.3	252	230	230	—	480
0.2	350	293	295	—	645
0.1	440	343	345	—	785
0.05	475	361	360	—	835
0.02	495	370	370	—	865

注 1: 时间  $t$  栏和电流  $I_{cl}$  栏数据采用 GB/T 13870.1 给定的值。  
 注 2: 电压  $U_{cl}$  栏数据是根据  $I_{cl}$  和表 E.1 迭代计算所得。  
 注 3:  $U_{b,max}$  栏数据是根据经验通过  $U_{cl}$  计算得到的。  
 注 4:  $U_{te,max}$  (短时制) 栏数据是指考虑旧湿鞋的附加电阻后短时条件下接触电压。  
 注 5:  $U_{te,max}$  (长时制) 栏数据是指考虑旧湿鞋的附加电阻后长时条件下接触电压。

$t$ ——电流持续时间,单位为秒(s)。  
 短时接触电压的计算见式(E.1)。

$$U_{te,max} = U_{cl} + R_{a1} \times I_{cl} \times 10^{-3} \text{ (短时制)} \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

$I_{cl}$  ——对应 GB/T 13870.1—2008 曲线 C1 的人体电流,单位为安培(A);  
 $R_{a1}$  ——旧湿鞋的电阻( $R_{a1} = 1\ 000\ \Omega$ ),单位为欧姆( $\Omega$ );  
 $U_{cl}$  ——与  $I_{cl}$  相对应的人体电压,单位为伏特(V);  
 $U_{te,max}$  ——最大允许有效接触电压,单位为伏特(V)。

E.3.3 直流牵引供电系统

表 E.4 直流牵引供电系统人体电流、人体电压和接触电压与时间的函数关系

$t/s$	$I_{cl}/mA$	$U_{cl}/V$	$U_{b,max}/V$	$U_{te,max}$ (长时制)/V	$U_{te,max}$ (短时制)/V
>300	140	153	120	120	—
300	140	153	150	150	—
1	150	160	160	160	—
0.9	160	167	165	165	—
0.8	165	170	170	170	—
0.7	175	177	175	175	—
<0.7	175	177	175	—	350
0.6	180	180	180	—	360
0.5	195	191	190	—	385
0.4	215	204	205	—	420
0.3	240	222	220	—	460
0.2	275	246	245	—	520

表 E.4 (续)

$t/s$	$I_{cl}/mA$	$U_{cl}/V$	$U_{b,max}/V$	$U_{te,max}$ (长时制)/V	$U_{te,max}$ (短时制)/V
0.1	340	287	285	—	625
0.05	410	327	325	—	735
0.02	500	372	370	—	870

注 1: 时间  $t$  栏和电流  $I_{cl}$  栏数据采用 GB/T 13870.1 给定的值。  
 注 2: 电压  $U_{cl}$  栏数据是根据  $I_{cl}$  和表 E.1 迭代计算所得。  
 注 3:  $U_{b,max}$  栏数据是根据经验通过  $U_{cl}$  计算得到的。  
 注 4:  $U_{te,max}$  (短时制) 栏数据是指考虑旧湿鞋的附加电阻后短时条件下接触电压。  
 注 5:  $U_{te,max}$  (长时制) 栏数据是指考虑旧湿鞋的附加电阻后长时条件下接触电压。

$t$ ——电流持续时间,单位为秒(s)。  
 短时接触电压的计算见式(E.2)。

$$U_{te,max} = U_{cl} + R_{a1} \times I_{cl} \times 10^{-3} \text{ (短时制)} \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

式中:

$I_{cl}$  ——对应 GB/T 13870.1—2008 曲线 C1 的人体电流,单位为安培(A);  
 $R_{a1}$  ——旧湿鞋的电阻( $R_{a1} = 1\ 000\ \Omega$ ),单位为欧姆( $\Omega$ );  
 $U_{cl}$  ——与  $I_{cl}$  相对应的人体电压,单位为伏特(V);  
 $U_{te,max}$  ——最大允许有效接触电压,单位为伏特(V)。

## 附录 F

(规范性附录)

### 有效接触电压的测量方法

有效接触电压的测量方法如下：

有效的接触电压应通过一个相当于人体电阻  $Z_b$  和附加电阻  $R_{a1}$  大小的电阻进行测量，见图 E.1。这个电阻应至少满足以下要求：

——短时制： $Z_b + R_{a1} = 1\ 000\ \Omega + 1\ 000\ \Omega = 2\ 000\ \Omega$ ；

——长时制： $Z_b + R_{a1} = 2\ 200\ \Omega + 0\ \Omega = 2\ 200\ \Omega$ 。

实际应用中电阻取值  $2\ 200\ \Omega$  可用于所有的条件。

模拟双脚的测量电极总面积应为  $400\ \text{cm}^2$ ，其对地面的最小作用力应为  $500\ \text{N}$ ，也可采用一个直径  $2\ \text{cm}$  和长度  $30\ \text{cm}$  的测量电极。这相当于一个大小为  $2.2\ \Omega$  的接地电极。

为了测量混凝土或干燥土壤的有效接触电压，应在电极底部与大地之间加一块湿布或水层。电极底部与外露导电部分间的距离不应小于  $1\ \text{m}$ 。

可利用测量电极（例如一个针状电极）模拟人手，此时，应采用涂漆（但不绝缘）电极。

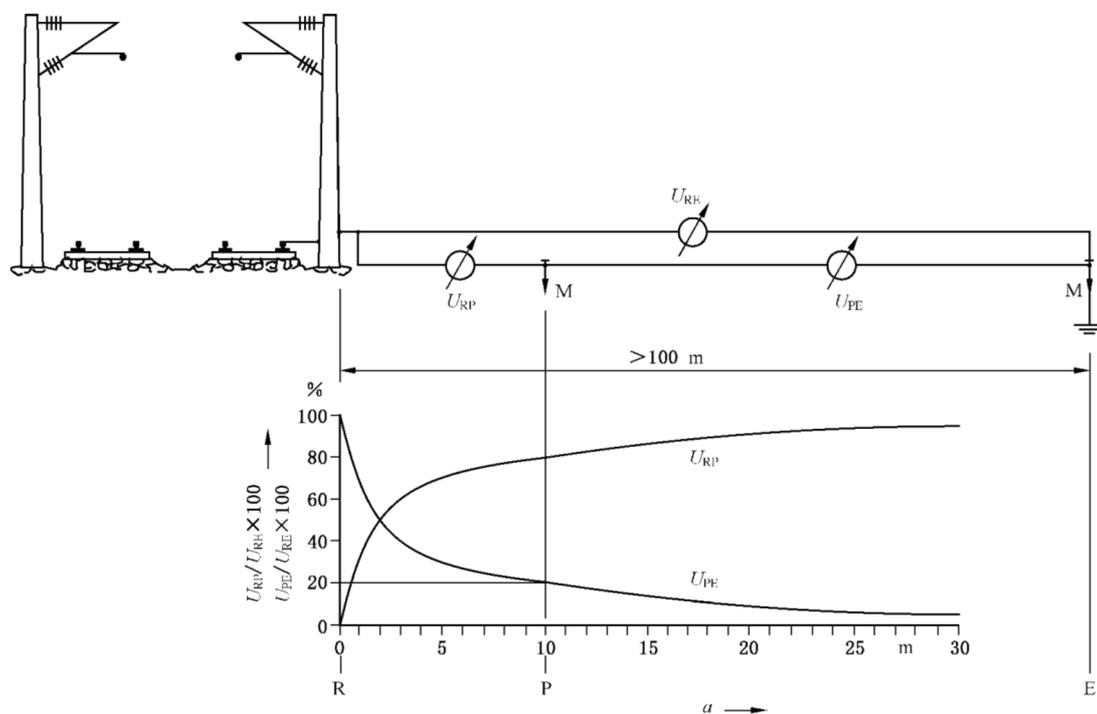
电压表的一个夹头应与手电极相连，另一个夹头则接至足电极。这种测量可随机选择任一装置进行。

有效的接触电压总是低于预期接触电压。可通过一个高内阻的电压表和一个适当的地电极进行简单测试的结果对预期接触电压做一个简单评估。

附 录 G  
(资料性附录)  
钢轨电位的指导值

### G.1 交流牵引供电系统

9.2 给出的交流牵引供电系统钢轨电位值可作为接触电压值。在均匀土壤电阻率和走行轨直接接地条件下,沿交流牵引供电系统轨道垂直方向的钢轨电位衰减如图 G.1 和表 G.1。



说明:

- $a$  —— 钢轨至测量点的距离;
- E —— 地;
- M —— 测量电极;
- P —— 测量点;
- R —— 钢轨;
- $U_{RE}$  —— 钢轨电位;
- $U_{RP}$  —— 钢轨对测量点的电位;
- $U_{PE}$  —— 测量点对地的电位。

图 G.1 交流牵引供电系统区段在均匀土壤电阻率条件下沿线路垂直方向钢轨电位的指导值

表 G.1 钢轨电位梯度的指导值

$a/m$	$U_{PE}/U_{RE} \times 100\%$	$U_{RP}/U_{RE} \times 100\%$
1	70	30
2	50	50
5	30	70
10	20	80
20	10	90
50	5	95
100	0	100

注： $a$  ——走行轨(路基)至测量点的距离；  
 $U_{RE}$  ——钢轨电位；  
 $U_{RP}$  ——走行轨(路基)对测量点的电位差；  
 $U_{PE}$  ——测量点和地的电位。

## G.2 直流牵引供电系统

由于走行轨对土壤绝缘,钢轨电位梯度很陡,因此整个钢轨电位可视作接触电压。

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.13 电工术语 可靠性和服务质量
- [2] GB/T 2900.33 电工术语 电力电子技术
- [3] GB/T 2900.36 电工术语 电力牵引
- [4] GB/T 2900.70 电工术语 电器附件
- [5] GB/T 2900.71 电工术语 电气装置
- [6] GB/T 2900.73 电工术语 接地与电击防护
- [7] GB/T 13870.1—2008 电流对人和家畜的效应 第1部分:通用部分
- [8] 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
- [9] GB 50061—2011 66 kV及以下架空电力线路设计规范
- [10] IEC 60050-101 International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Part 101:Mathematics
- [11] IEC 60050-111 International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Chapter 111:Physics And Chemistry
- [12] IEC 60050-821 International Electrotechnical Vocabulary(IEV)—Chapter 821:Signalling and security apparatus for railways
- [13] IEC 60664-1:2007 Insulation coordination for equipment within low-voltage systems—Part 1:Principles, requirements and tests
- [14] IEC 60721(all parts) Classification of environmental conditions
- [15] IEC 61219 Live working—Earthing or earthing and short-circuiting equipment using lances as short-circuiting device—Lance earthing
- [16] IEC 61558-2-6 Safety of transformers, reactors, power supply units and similar products for supply voltages up to 1 100 V—Part 2-6:Particular requirements and tests for safety isolating transformers and power supply units incorporating safety isolating transformers
- [17] EN 50122-3 Railway applications—Fixed installations—Electrical safety, earthing and the return circuits—Part 3:Mutual interaction of a.c.and d.c.traction systems
- [18] EN 50388:2008 Railway applications—Power supply and rolling stock—Technical criteria for the coordination between power supply(substation) and rolling stock to achieve interoperability
-

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
轨道交通 地面装置 电气安全、  
接地和回流 第 1 部分：电击防护措施

GB/T 28026.1—2018

\*

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.org.cn](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2018 年 12 月第一版

\*

书号: 155066 · 1-61741

版权专有 侵权必究



GB/T 28026.1—2018