



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 28026.2—2018  
代替 GB/T 28026.2—2011

## 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

Railway applications—Fixed installations—Electrical safety,  
earthing and the return circuit—Part 2: Provisions against the  
effects of stray currents caused by d.c. traction systems

(IEC 62128-2:2013, MOD)

2018-12-28 发布

2019-07-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
中国国家标准化管理委员会



## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 危害和风险的识别 .....	1
5 杂散电流评估和验收准则 .....	2
6 设计规定 .....	4
7 对受影响结构的要求 .....	6
8 对金属结构的保护方法 .....	7
9 车库和车间 .....	8
10 测试和测量 .....	8
附录 A (资料性附录) 杂散电流及其对金属结构影响估算 .....	10
附录 B (资料性附录) 线路特性测量 .....	12
附录 C (资料性附录) 杂散电流评估 通过钢轨电位评估轨条绝缘 .....	19
参考文献 .....	21



## 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 2 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 28026.2—2011《轨道交通 地面装置 第 2 部分：直流牵引系统杂散电流防护措施》，与 GB/T 28026.2—2011 相比，主要技术变化如下：

- 增加了规范性引用文件 GB/T 1402 和 GB/T 28026.3—2018(见第 2 章)；
- 修改了术语和定义，直接定义改为引用 GB/T 28026.1—2018(见第 3 章，2011 年版的第 3 章)；
- 修改了受杂散电流影响的范围(见第 4 章，2011 年版的 4.3)；
- 修改了对杂散电流大小影响的重要参数(见 5.1，2011 年版的 5.1)；
- 修改了对金属钢筋混凝土或金属结构，运输高峰期间结构对地电位平均值的限值，由 +100 mV 提高至 +200 mV(见 5.3，2011 年版的 7.2.3)；
- 修改了对回流系统的一般要求(见 6.2.1，2011 年版的 6.1)；
- 修改了对走行轨电阻的规定，降低钢轨纵向电阻的措施(见 6.2.2，2011 年版的 6.1.2)；
- 修改了对回流导体的要求(见 6.2.4，2011 年版的 5.5)；
- 修改了对回流系统与地不绝缘的装置的关系要求(见 6.2.6，2011 年版的 6.2.1)；
- 修改了“在封闭式路基情况下，平交道处应避免其电导率显著高于轨道连接时的常规值”，改为“在封闭式路基情况下，平交道处电导率不应高于相邻线路”(见 6.6，2011 年版的 6.1.1.2)；
- 修改了对走行轨的绝缘水平的要求(见 6.7，2011 年版的 5.3)；
- 修改了条标题，“隧道结构”修改为“隧道、桥梁、高架桥及钢筋混凝土道床”，并在下文相应描述中扩大适用范围(见 7.2，2011 年版的 7.2)。

本部分使用重新起草法修改采用 IEC 62128-2:2013《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》。

本部分与 IEC 62128-2:2013 相比在结构上做了调整，附录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 C、附录 C 调整为附录 A。

本部分与 IEC 62128-2:2013 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 1402 代替 IEC 60850(见 6.2.6)；
  - 用修改采用国际标准的 GB/T 28026.1—2018 代替 IEC 62128-1(见第 4 章、6.2.1、6.2.6、6.5、6.7、7.2.3、7.2.5、7.4、第 9 章)；
  - 用修改采用国际标准的 GB/T 28026.3—2018 代替 IEC 62128-3(见 6.4)。

——修改了注为正文，因为注包含要求(见 7.2.5)。

本部分与 IEC 62128-2:2013 相比，做了下列编辑性修改：

- 删除了注 1(见 5.3)；

- 删除了示例的注(见第 8 章);
- 修改了引用 EN 50162:2004 的表 1 为直接在文本中列出表 A.1(见 A.2);
- 增加了附录中公式的编号,便于公式的引用(见附录 A、附录 B)。

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。

本部分起草单位:中铁电气化勘测设计研究院有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司、中国铁路设计集团有限公司、中铁第五勘察设计院集团有限公司、中国电力科学研究院。

本部分主要起草人:杨建兴、陈敏、李力鹏、吴江涛、杲秀芳、焦劼、朱万方、郑励耘、杨孝忠、沈海滨。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 28026.2—2011。

# 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

## 1 范围

GB/T 28026 的本部分给出了对直流牵引供电系统杂散电流防护的要求。

本部分适用于牵引供电系统内部的所有金属性固定装置,也适用于其他埋在地中的轨道交通有杂散电流流过的金属部件。

本部分适用于所有新建的直流供电制式线路,也可应用于需要考虑杂散电流影响的已建电气化线路和既有线路的更新改造。

其适用范围包括:

- 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 28026.1—2018 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(IEC 62128-1:2013,MOD)

GB/T 28026.3—2018 轨道交通 地面装置 电气安全、接地和回流 第3部分:交流和直流牵引供电系统的相互作用(IEC 62128-3:2013,MOD)

## 3 术语和定义

GB/T 28026.1—2018 界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 危害和风险的识别

当回流系统与地不完全绝缘时,直流牵引供电系统可产生杂散电流,并对轨道交通内部和外部相关

系统产生负面影响。

杂散电流的主要影响包括当杂散电流由金属结构流出时可产生电蚀并危及建筑物安全,产生过热、电弧和火焰,对轨道交通内部和外部的人员以及设备造成危害。

可能产生杂散电流的系统:

- 以走行轨作为回流导体的直流牵引供电系统,包括与直流牵引供电系统轨道有连接的其他线路区段;
- 与走行轨回流系统有相同供电电源的直流无轨电车系统;
- 不以走行轨为回流轨的直流牵引供电系统,其直流电流可流入大地或接地系统。

受杂散电流影响的系统包括:

- 走行轨;
- 金属管道工程;
- 有金属铠装或屏蔽的电缆;
- 金属箱体和器具;
- 接地系统;
- 钢筋混凝土结构;
- 地下金属结构;
- 信号和通信系统;
- 非牵引的交流和直流供电系统;
- 阴极保护系统。

用来控制杂散电流影响的任何规定均应按本部分进行检查、核实和验证。

应先期完成系统设计,以确定与杂散电流相关的系统参数,如牵引变电所间距、结构设计方案等满足杂散电流防护的需要。具体可见 5.4 和第 6 章。

负责轨道交通基础设施设计和施工的单位应确保与结构有关的轨道交通工程满足相关电气要求的规定。

当既有线路改造时,对杂散电流的影响应通过计算和/或测量进行评估。

当杂散电流防护规定影响电气安全时,根据 GB/T 28026.1—2018,应优先采取电击的防护措施。

## 5 杂散电流评估和验收准则

### 5.1 一般要求

杂散电流及其影响取决于整个牵引供电系统的设计。杂散电流流出回流系统时,会对回流系统自身以及相邻系统产生影响,见第 4 章。

除工作电流外,影响杂散电流的参数有:

- 钢轨和其他回流系统的电导率;
- 牵引变电所间距;
- 走行轨纵向电阻;
- 回流系统横向连接间距。

如果轨道交通系统符合本部分的要求和措施,则系统可接受。

### 5.2 轨道防护

钢轨对地的电导率是决定流出钢轨杂散电流大小的最重要影响因素。腐蚀率是风险评估的主要方面。

除另有更高的防护水平要求外,对轨道的防护准则应满足本条的规定。

钢轨电位反映了与杂散电流相关参数的重要信息,参数主要包括牵引电流、走行轨纵向电阻,对地电阻以及供电区间的长度。钢轨与地之间应没有直接的电气连接。

经验表明,如果单线的单位长度的平均杂散电流不超过  $I'_{\max} = 2.5 \text{ mA/m}$ (单线单位长度的平均杂散电流),轨道结构在 25 年的运行周期内不会有损伤。

双线(两股道)的最大平均杂散电流应为上述限值乘以 2。超过两股道的线路,数值相应提高。在平均过程中,只有 24 h 或 24 h 倍数时间段内,才考虑阳极区的杂散电流。

如果系统运行期间电导率  $G'_{\text{RE}}$  和平均钢轨电位  $U_{\text{RE}}$  不超过下面的限值,则无需进行 5.4 的调查。

对于开式路基系统见式(1)。

$$G'_{\text{RE}} \leq 0.5 \text{ S/km (每股道)}, \text{ 且 } U_{\text{RE}} \leq +5 \text{ V} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$G'_{\text{RE}}$ ——电导率,单位为西门子每千米(S/km);

$U_{\text{RE}}$ ——平均钢轨电位,单位为伏特(V)。

对于闭式路基系统见式(2)。

$$G'_{\text{RE}} \leq 2.5 \text{ S/km (每股道)}, \text{ 且 } U_{\text{RE}} \leq +1 \text{ V} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$G'_{\text{RE}}$ ——电导率,单位为西门子每千米(S/km);

$U_{\text{RE}}$ ——平均钢轨电位,单位为伏特(V)。

上式中钢轨电位只考虑数值为正的部分,平均值计算周期为 24 h 或 24 h 的倍数。

采样频率宜为每秒采样 2 次。

如果不满足式(1)和式(2)的要求,设计中  $G'_{\text{RE}}$  应按式(3)计算和采用。

$$G'_{\text{RE}} = \frac{I'}{U_{\text{RE}}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

$I'$ ——2.5 mA/m(每股道),或 5.4 中的调查值。

双线的单位长度最大电导值应乘以 2,超过两股道的线路,数值相应提高。

由于杂散电流不容易直接测量,可按测量钢轨电位进行判断。根据式(3),可计算出单行线路单位长度的允许电导。

注:工程设计时,可根据列车运行图对牵引供电系统进行模拟,计算出单位长度杂散电流的大小。计算方法参见 A.1。该附录给出了一种较为保守的计算方法,实测值通常均较计算值低。

工程完工后,应按式(1)、式(2)或式(3)验证电导率满足要求。测量方法参见附录 B。

运营期间,电导率应符合式(1)、式(2)或式(3)计算的限值。

### 5.3 金属钢筋混凝土或金属结构防护

在金属钢筋混凝土或金属结构中(如整体道床、隧道或高架桥),应考虑杂散电流对其影响。

该金属结构对地的电压变化是附加的评估准则。

除另有更高的防护水平要求外,对金属结构的防护要求应满足本条的规定。经验表明,如果在运输高峰期间金属结构对地的偏移电位平均值不超过 +200 mV,对非阴极防护区的结构不需要采取特别的措施。对于埋地金属结构,金属结构对地的电位值取决于土壤电阻率和结构的材料。

注:如果满足本部分的要求,可以接受杂散电流对非轨道交通设施的影响。

为了防止杂散电流对土建结构产生不可接受的影响,应计算隧道任意两点间的纵向电位,电压最大值应小于上述的偏移电位允许值。计算示例参见 A.2,该附录给出了一种较为保守的计算方法。隧道对地的实测电位通常均较计算值低。

## 5.4 具体的调查和测量

如果 5.2 和 5.3 中的要求无法满足,或计划采用其他的实施方案,在早期规划阶段就要开展研究。既有线路大修时,杂散电流可能变得更严重,应开展杂散电流研究。

应从以下几方面对杂散电流影响进行分析:

- 钢轨和与其连接的金属结构与地之间的绝缘;
- 道床湿度;
- 走行轨纵向电阻;
- 牵引变电所的数量和间距;
- 牵引变电所空载电压不均衡的影响;
- 牵引变电所空载电压和系统阻抗;
- 列车运行图和车辆类型;
- 相邻的金属结构。

第 6 章和第 7 章给出了相应的规定。

## 6 设计规定

### 6.1 一般要求

任何用来控制杂散电流影响的措施均应按本部分进行检查、核实和验证。

### 6.2 回流系统

#### 6.2.1 一般要求

为了减少直流系统的杂散电流,牵引回流应尽可能被限制在设定的返回电路。

直流系统中,回流系统通常不接地,对钢轨电位的安全防护措施需满足 GB/T 28026.1—2018 中 6.2.2 和第 9 章的规定。

#### 6.2.2 走行轨电阻

走行轨纵向电阻应尽可能小,钢轨连接应采用焊接或采用低电阻的轨缝连接,使其总纵向电阻的增量不超过 5%,该值不包括信号系统的绝缘轨缝。

在轨缝采用阻抗连接处,总电阻的增量可以超过 5%。

可通过采用较大截面的走行轨,和/或走行轨间以及线路间实行横向连接(在信号系统允许的情况下)的措施降低钢轨纵向电阻。

#### 6.2.3 轨道系统

当走行轨作为回流系统的一部分时,走行轨和回流系统均应与地保持高度绝缘。

轨道设计需满足在有水的情况下钢轨对地的绝缘水平不会大幅下降。为满足 5.2 中式(1)、式(2)和式(3)的要求,应考虑轨道系统排水措施。

电导率限值适用于单行线路,线路的两根走行轨通过连接电缆或者其他设施连接。

**示例 1:** 开式路基系统能达到需要电导值的措施有:

- 采用清洁道碴;
- 采用木枕或有绝缘固定结构的混凝土轨枕;
- 走行轨与道碴间有足够净空。

示例 2: 闭式路基系统能达到需要电导值的措施有:

- 将走行轨置于绝缘树脂道床上;
- 在线路与支持结构间加绝缘层;
- 采取有效的排水措施。

#### 6.2.4 回流导体

如需设置回流导体,则回流导体应与线路平行并与走行轨按一定间隔连接。回流导体应与地绝缘。

#### 6.2.5 回流电缆

回流电缆连接走行轨和牵引变电所。为避免杂散电流流入或流出,回流电缆应带绝缘外护套。在可能遭受机械破坏的处所,回流电缆应设附加防护。

#### 6.2.6 回流系统与接地装置的隔离

为减少杂散电流,回流系统任何部分与地不绝缘的装置、元件或金属结构都不应有直接的电气连接。

如果回流系统与地不绝缘的装置、元件或金属结构有直接电气连接,对于回流系统以及与其连接的设施,要满足 5.2 中式(1)、式(2)和式(3)的要求。

若防护电击应与回流系统作电气连接时,应采取措施减少杂散电流的影响。如:

- 与回流系统开式连接时,其电压限制装置应满足 GB/T 28026.1—2018 中附录 D 的要求;
- 与走行轨相连的设备或装置应与接地的基础或元件绝缘;
- 将金属结构与地绝缘。

工作车间及类似场所的规定见第 9 章。

与地绝缘的导电轨可作为“四轨”应用于牵引回流系统中。由于四轨是一个独立的导体,与走行轨不连接,因此不会产生杂散电流。如果供电系统采用三轨和四轨,按照 GB/T 1402,三轨和四轨对地的绝缘水平均需按系统标称电压考虑。

#### 6.2.7 轨间和线路间横向连接线

一切与地接触的轨间横向连接线、连接母线、线路间横向连接线和其他连线均应与地绝缘。

### 6.3 非牵引相关的电气设备

非牵引相关的电气设备应按 GB/T 28026.1—2018 中第 7 章规定安装。

### 6.4 其他牵引供电系统的轨道

一般情况下,其他牵引供电系统的线路不应与直流牵引供电系统的线路有直接电气连接。

在特定情况下,且回流系统满足 6.2.3 的要求,可允许其他无接触网的线路与回流系统相连。

如果走行轨应用于直流和交流牵引供电系统,应按照 GB/T 28026.3—2018 的要求采取附加措施防止杂散电流和接触电压的危害。

采取附加措施时不应发生安全方面的问题,接触电压不应超标,操作电源、轨道电路和通信系统的正常运行不受干扰。

### 6.5 牵引变电所的回流母线

牵引变电所布置应保证直流电流不流入牵引变电所的金属结构地。维护工作接地的杂散电流的影响应予以考虑。牵引变电所的回流母线或类似装置应与地绝缘。出于安全考虑,可按 GB/T 28026.1—

2018 附录 D 的规定,在回流母线与地间接入 VLD(至少为 VLD-O)。对于车库或车间变电所按第 9 章执行。

## 6.6 平交道

在闭式路基情况下,平交道处电导率不应高于相邻线路。

## 6.7 有轨电车和无轨电车共用电源

如果无轨电车和有轨电车由同一电源供电,根据 GB/T 28026.1—2018,无轨电车的一根接触线可与轨回流系统连接,此时应检查两个系统的杂散电流防护措施是否仍然满足要求。

走行轨的绝缘水平应满足其他相关规定,以确保在正常运行、短路以及接地故障时,接触电压均满足 GB/T 28026.1—2018 的要求。

## 6.8 车库和车间

见第 9 章。

# 7 对受影响结构的要求

## 7.1 一般要求

与地不绝缘的金属结构和轨道回流系统间的电阻应较高。除车库、车间等场所外(见第 9 章),地与牵引回流系统不应有直接的电气连接。对于某些采用直流系统的工矿企业(如露天煤矿),可根据其环境的特殊性,允许回流系统与地相连。

## 7.2 隧道、桥梁、高架桥及钢筋混凝土道床

### 7.2.1 基本程序

对于有导电部件的金属结构,应限制杂散电流,并应考虑防电击措施。这适用于隧道、桥梁、高架桥及钢筋混凝土道床。

示例:减轻有金属部件隧道杂散电流影响的措施,考虑以下因素:

- 主要杂散电流源是来自于隧道内部还是外部;
- 防护措施的目标是以保护隧道金属结构为先还是以保护隧道和线路外的其他金属结构为先。

### 7.2.2 纵向连接

隧道、桥梁、高架桥及道床有钢筋混凝土结构时,杂散电流可能进入这些金属结构并对轨道交通外部其他导电部件产生影响。其影响可通过在个别隧道段或导电结构下部作等电位连接的方法加以减轻,电位应满足 5.3 的要求。等电位连接可通过以下方式实现:

- 足够数量的结构钢筋;
- 连接成网格;
- 其他导电结构部件;
- 在隧道内部敷设适当截面的附加连接导体。

在特殊情况下,个别金属结构段可能不与其他部分等电位连接,可通过绝缘电缆跨过被分割的结构段与其他结构段连接。

在一个结构段内,钢线绑扎的结构钢筋导电能力通常可以满足流通杂散电流。

### 7.2.3 结构分段

在杂散电流对外部结构影响较小的区域,当轨地间无法保证有足够高的轨地间电阻时(因潮湿或道碴不洁),隧道金属结构的防腐蚀问题为首要问题。

当相邻系统杂散电流可能沿隧道结构流通,使不同系统间产生不必要的电气连接时,应对钢筋混凝土的隧道结构沿纵向作绝缘分段。

结构与地间的电阻相对较高时,如在岩石隧道内,钢筋混凝土隧道也可作纵向绝缘分段。

在两相互接近部分间可能出现不允许电压的风险时,相关措施见 GB/T 28026.1—2018。

在每一分段的环状连接处应提供测试端子。端子与纵向结构钢筋间应作可靠连接。测试方法参见 B.6。

通常相邻结构段间的端子不作电气连接。

### 7.2.4 外部导电部分

钢筋混凝土隧道的结构钢筋和隧道的其他导电部分不应与隧道外部的管道、电缆、回流系统或与地不绝缘的相邻系统有任何电气连接。如果上述电气隔离无法实现(如不同的接地系统存在于同一个建筑中),存在杂散电流互相流通和腐蚀的危害,应按 10.2.1 的规定持续监测钢轨电位,及时切断钢轨与结构地的连接。

隧道的预应力构件可接至专用的接地端子,以满足接地保护的要求。

### 7.2.5 电缆、管道和外部电源线

应采用必要的预防措施避免杂散电流在金属结构地与轨道交通外部设施间流通。

在结构钢筋混凝土或轨道交通金属结构引入处(如隧道、高架桥、车库和车间),所有由外部进入的金属管道、液压管道、电缆屏蔽层和接地连接线(保护用)应与结构地在电气上隔离,避免结构地与外部接地极间有任何电气连接。可采用以下措施:

- 在管线上作绝缘分段,或使管线与结构地完全绝缘;
- 采用有独立线圈的变压器或按 GB/T 28026.1—2018 采用 TT 系统。

出于安全原因,必要时各金属管线分段可与结构地相连接。

### 7.3 相邻的管线或电缆

直流牵引供电系统与地下管线或电缆接近时,为减少杂散电流影响,它们之间的距离应尽可能远。

为评估杂散电流影响,测量方法参见 B.4。

经验表明,走行轨与管线或电缆交叉时,最小距离达 1 m,即可满足杂散电流防护的要求。

### 7.4 电压限制装置

若在结构的金属部件与回流系统间设有防止高电位的电压限制装置,为减少杂散电流,电压限制装置应满足 GB/T 28026.1—2018 附录 D 的规定。

## 8 对金属结构的保护方法

本部分的保护措施旨在降低杂散电流及其腐蚀作用。常规的防腐措施均可采用。如需采用附加防护措施,其保护原则应经受影响部门同意,并满足有关杂散电流防腐要求。

任何金属结构与牵引变电所回流母线连接,包括通过极性排流装置连接,均会导致整体杂散电流的增加。因此,任何金属结构与牵引变电所回流母线连接前,均应考虑对走行轨和其他受影响结构的总体

影响。仅当被保护的结构远离其他结构时,可采用极性排流。

## 9 车库和车间

由于车库和车间的轨道集中在一个很小的区域,轨道上的电压降不会很大。为了确保安全,可将回流系统与金属结构地直接等电位连接,该措施与 7.1 的要求有偏差,因此,车库、车间以及类似场所的走行轨应通过绝缘节与正线分隔,牵引动力也应由独立的整流机组提供。如果杂散电流研究表明没有负面影响,也可采取其他方法。

轨缝接触电压见 GB/T 28026.1—2018 的表 6。

若车库与正线共用牵引供电系统,应采取适当措施预防杂散电流引起的损害,并确保正线和车库内回流系统的连续性。

若车库或车间内走行轨与正线相连,回流系统对地绝缘水平应与正线一致。

为满足安全需要,可设置电压限制装置(VLD-O),装置设置应满足 GB/T 28026.1—2018 的 9.3.2.3 中关于车库和车间钢轨电位的规定。

## 10 测试和测量

### 10.1 总则

为避免杂散电流腐蚀危害回流系统(见 5.2)和相邻的金属结构(见 5.3),调试期间应对杂散电流进行评估,运营期间对杂散电流进行检查。应使用正确的测量方法。

直接测量杂散电流很困难,可采用间接方法进行测量,即测量回流系统对地的电阻或列车运行产生的回流系统对地电位并采取对策。

回流系统与地非计划中的连接应尽早移除,以免因杂散电流腐蚀引起严重的损害。

对于杂散电流评估,不同区段应采用不同的方法,测量方法参见附录 B。

### 10.2 钢轨绝缘监测

#### 10.2.1 钢轨电位持续监测

当电导率显著改变时(如在回流系统和地之间发生低电阻的电气连接)沿线的钢轨电位会发生改变。

运营期间,钢轨电位与一个基准值进行比较,该基准值为本部分系统应满足的值。

沿线钢轨电位的变化表明电导率有变化,包括回流系统个别处钢轨与地连接,这将影响杂散电流大小。

持续监测钢轨电位,可对回流系统的通畅进行监督,并探测回流系统与地连接以及轨道扣件污染情况。采用方法参见 C.1。

#### 10.2.2 重复检测

##### 10.2.2.1 一般规定

如果持续监测无法实现,则应进行重复检测。

重复检测的时间间隔应视具体风险情况而定,宜为 5 年。

##### 10.2.2.2 走行轨电导率重复测量

电导率应满足 5.2 的规定,测量方法参见 B.1~B.5。

### 10.2.2.3 钢轨电位重复测量

当回流系统与地电气连接,或走行轨电导率变化时,沿线钢轨电位会改变。此时若其他影响参数(如运行电流、列车时刻表)未发生显著变化,则上述改变可通过测量发现。

宜在相同的地点进行后续测量,并采用相同的方法。

在固定时间间隔内重复测量沿线钢轨电位,如检测到轨道绝缘水平下降,则应采取措施改进。测量方法参见 C.2。

附录 A

(资料性附录)

杂散电流及其对金属结构影响估算

A.1 经走行轨流入大地的杂散电流估算

牵引回流流经走行轨,引起钢轨电位变化,导致杂散电流经轨道绝缘流入大地。

考虑腐蚀的危险,每单位长度的杂散电流决定了材料损耗。

最严重的情况是与既有轨道交通网络接驳的末端线路或者延伸线。

计算时假设条件如下:

——既有线路按诺顿等效电路建模,电源导纳按系统电阻特性的倒数估算;

——在区间末端,牵引电流被注入回流系统。

钢轨电位按式(A.1)、式(A.2)、式(A.3)计算。

$$U_{RE} = 0.5 \times I \times R_C \times [1 - e^{-\frac{L}{L_C}}] \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

$$R_C = \sqrt{\frac{R'_R}{G'_{RE}}} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

$$L_C = \frac{1}{\sqrt{R'_R \times G'_{RE}}} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$U_{RE}$  ——钢轨电位,单位为伏特(V);

$I$  ——高峰小时计算区间牵引回流平均值,单位为安培(A);

$R_C$  ——走行轨/结构的特性电阻,单位为欧姆( $\Omega$ );

$L_C$  ——走行轨/结构的特性长度,单位为米(m);

$L$  ——计算区间长度,单位为米(m);

$R'_R$  ——走行轨单位长度纵向电阻(包括并联导体),单位为欧姆( $\Omega$ );

$G'_{RE}$  ——走行轨对地电导率,单位为西门子每千米(S/km)。

利用钢轨电位和走行轨对地电导,单位长度内的杂散电流可按式(A.4)计算。

$$I'_S = U_{RE} \times G'_{RE} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

$I'_S$  ——与长度有关的钢轨泄漏入地中的杂散电流,单位为安培(A)。

由式(A.1)和式(A.4)可得式(A.5)。

$$I'_S = 0.5 \times \frac{I}{L_C} \times [1 - e^{-\frac{L}{L_C}}] \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

如果每行轨道单位长度杂散电流小于 2.5 mA/m,则满足 5.2 的规定。

A.2 金属钢筋混凝土结构纵向电压估算

对于钢筋混凝土结构(如隧道、高架桥、道床板),杂散电流经走行轨泄漏后流入结构中。如果结构纵向不连通,杂散电流会经过结构外部的钢筋流入地中。在电导不均匀的地方,杂散电流会集中泄漏,导致结构外部钢筋被腐蚀。结构钢筋在纵向上通过低电阻连接,会降低其纵向电压降。如果纵向电压小于表 A.1 中规定的数值,则杂散电流腐蚀无大问题。因此,除了杂散电流,还需计算金属钢筋混凝土

结构的纵向电压  $U_s$ 。

表 A.1 未采取阴极防护的埋地或浸入液体金属结构的正电位偏移最大允许值  $\Delta U$

结构材料	电解质电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	正电位偏移最大允许值 $\Delta U/\text{mV}$ (包含 IR 降)	正电位偏移最大允许值 $\Delta U/\text{mV}$ (不包含 IR 降)
钢、铸铁	$\geq 200$	300	20
	15~200	$1.5\rho$	20
	$< 15$	20	20
铅		$\rho$	
埋地混凝土构筑物中的钢		200	
注： $\rho$ 单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ 。			

列车运行时金属钢筋混凝土结构的纵向电压降与以下因素有关：

- 计算区间的长度；
- 相邻区间的长度；
- 走行轨与结构间电导；
- 结构与地间电导；
- 走行轨纵向电阻；
- 内部连通结构的纵向电阻；
- 计算区间的牵引回流；
- 相邻区间的牵引回流。

对无限长金属钢筋混凝土结构的一个回流区间，纵向电压降计算见式(A.6)、式(A.7)。

$$U_s = 0.5 \times I \times L \times \frac{R'_R \times R'_S}{R'_R + R'_S} \times \left\{ 1 - \frac{L_c}{L} \times [1 - e^{-\frac{L}{L_c}}] \right\} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

$$L_c = \frac{1}{\sqrt{(R'_R + R'_S) \times G'_{RE}}} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

- $U_s$  ——金属钢筋混凝土结构的纵向电压，单位为伏特(V)；
- $G'_{RE}$  ——走行轨对地电导率，单位为西门子每千米(S/km)；
- $I$  ——高峰小时计算区间牵引回流平均值，单位为伏特(V)；
- $L$  ——计算区间长度，单位为米(m)；
- $L_c$  ——走行轨/结构的特性长度，单位为米(m)；
- $R'_R$  ——走行轨单位长度纵向电阻(包括并联导体)，单位为欧姆( $\Omega$ )；
- $R'_S$  ——结构的单位电阻，单位为欧姆( $\Omega$ )。

式(A.6)的计算方法较为保守，式中考虑计算区间两侧结构长度为无穷大，且没有考虑相邻段列车运行时的降低效应和隧道结构对地的电导率，计算值高出实际值很多。

如果计算结果超出表 A.1 的规定，则应采用更精确的计算方法。

**附录 B**  
(资料性附录)  
**线路特性测量**

**B.1 轨条电阻**

确定轨条电流与其产生电压间的关系和其电导率,需测量轨条电阻。  
宜按图 B.1 进行测量。

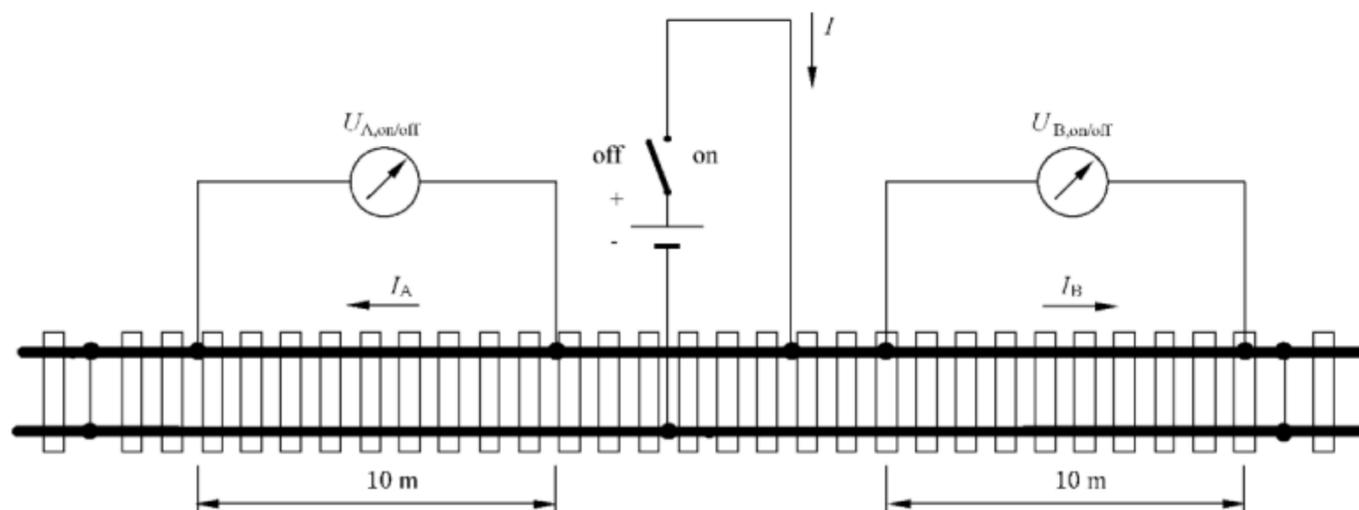


图 B.1 10 m 轨条的电阻测量

直流电流  $I$  测量时应周期性地闭合和断开其开关电路,以检验断开时其他因素的影响。  
读数偏差问题宜通过多次测量来解决。宜研究测量电路的极性变换导致的偏差较大的测量结果。  
这种测量方法只有在没有牵引电流时才有效。如无法避免牵引电流,宜在同一电流时进行测量,以消除电流对测量结果的影响。

走行轨的测量点与电流注入点间距离宜大于 1 m。

纵向电压降  $U_A$  和  $U_B$  可在轨道各相邻段间进行测量。轨条电阻计算见式(B.1)。

$$R_{R10m} = \frac{(U_{A,on} - U_{A,off}) + (U_{B,on} - U_{B,off})}{I} \dots\dots\dots ( B.1 )$$

式中:

$I$  ——注入电流,单位为安培(A);

$R_{R10m}$  ——10 m 轨条的纵向电阻,单位为欧姆( $\Omega$ );

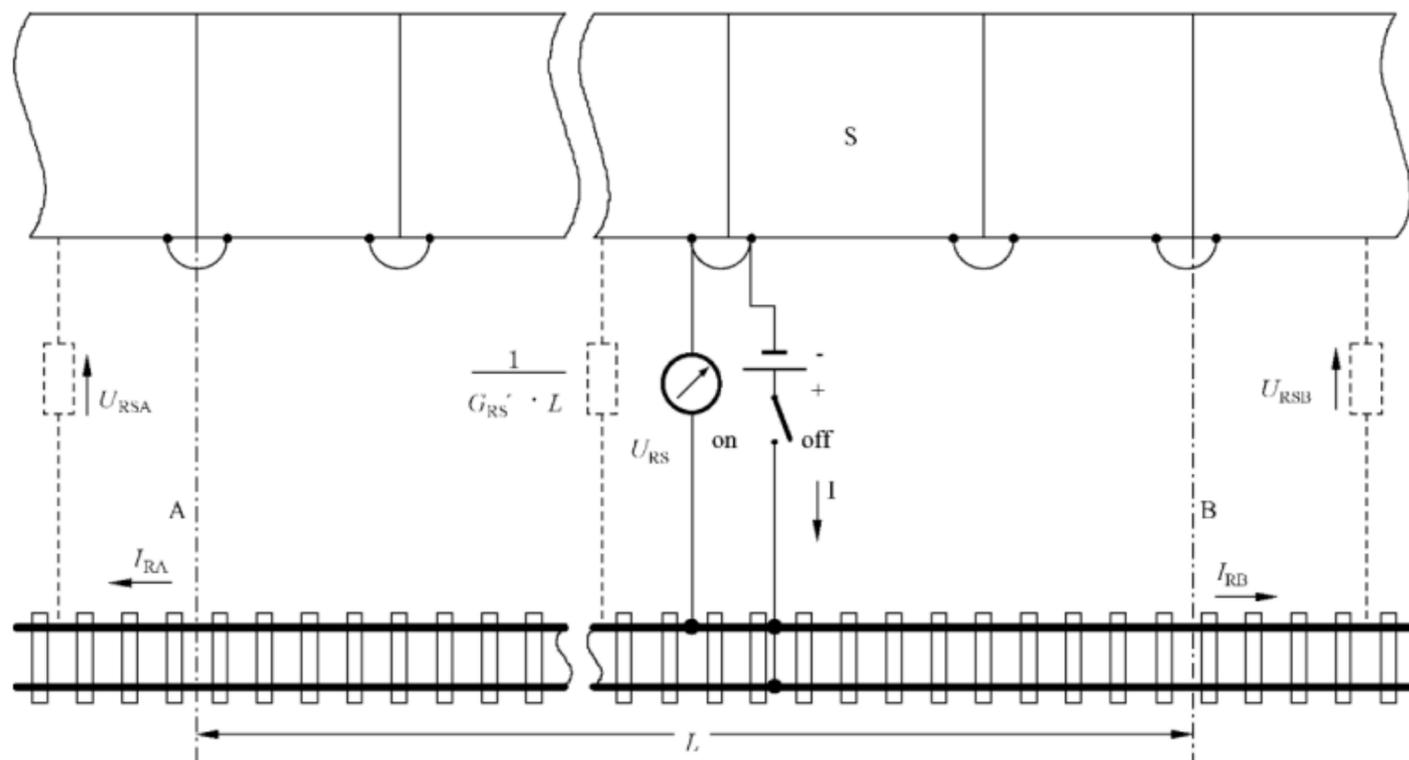
$U_{on,off}$  ——在注入和不注入电流时轨条的电压降,单位为伏特(V)。

测量时规定在测量区域的轨条间和线路间不应有横向连接(如阻抗连接)。

**B.2 走行轨与金属预应力结构间电导率**

测量时,走行轨需通过绝缘节或断轨与金属预应力结构外的走行轨电气隔离。隧道可将分段设置在与地面线路之间的过渡坡道处。

可采用一种特殊的测量方法或程序测量结构区域内的钢轨电导率,无需做钢轨绝缘节。钢轨电导率  $G'_{RS}$  的测量可按图 B.2 接线进行,3 处测量电压平均值计算见式(B.2)。



说明:

S——金属预应力结构。

图 B.2 轨道与金属预应力结构间电导率  $G'_{RS}$  测量

注入轨道与结构间的测试直流电流  $I$  应周期性地合、分闸操作。

$$G'_{RS} = \frac{1}{L} \times \frac{1 - I_{RA} - I_{RB}}{(\Delta U_{RS} + \Delta U_{RSA} + \Delta U_{RSB})/3} \quad \Delta U = U_{on} - U_{off} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- $G'_{RS}$  ——轨道与隧道间电导率,单位为西门子每千米(S/km),  $1 \text{ S/km} = 1/\Omega \cdot \text{km}$ ;
- $I$  ——注入电流,单位为安培(A);
- $I_{RA}, I_{RB}$  ——分别为被测量段 A、B 两端的外侧电流,单位为安培(A);
- $U_{RS}$  ——电流注入点轨道与结构间电压,单位为伏特(V);
- $U_{RSA}, U_{RSB}$  ——结构段 A、B 两端的轨道与结构间电压,单位为伏特(V);
- $L$  ——被测段长度,单位为千米(km)。

注:  $I_{RA}, I_{RB}$ 可按 B.1 通过测量电压降获得。

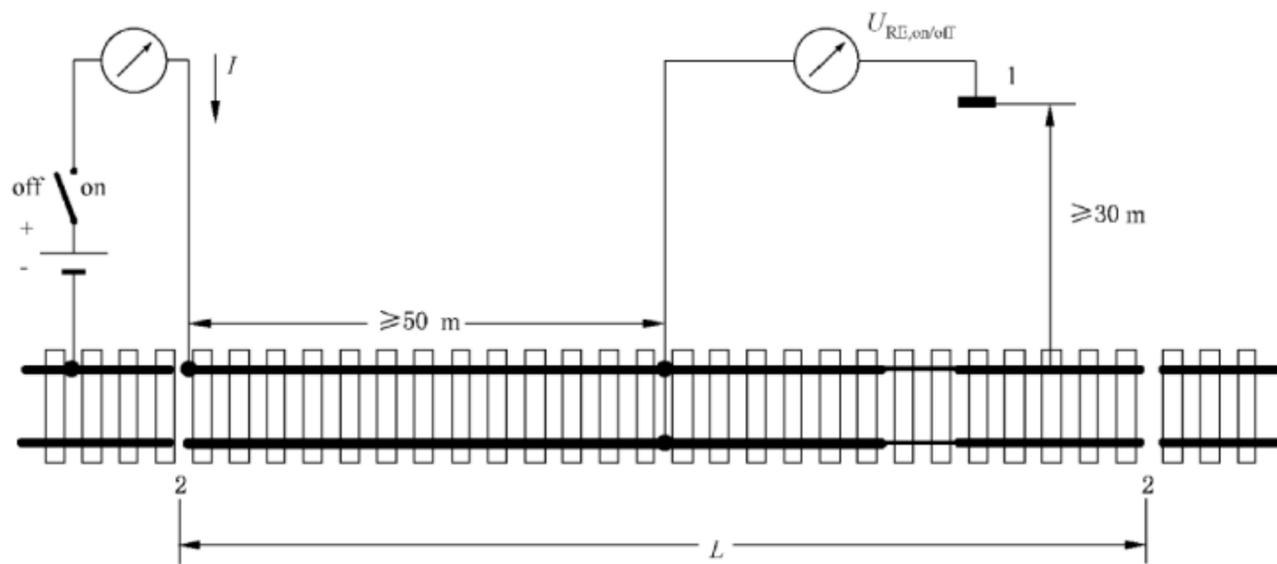
应确保测量不受钢轨与地连接线或电压限制装置启动的影响。

### B.3 没有结构钢筋的线路区段,轨道对地电导率测量

将被测线路段用轨道绝缘节或断轨隔离,被测线路的长度一般不超过 2 km。

被测段长度超过 2 km 时,可采用 B.4 的方法,或事先设置轨道绝缘节。

隔离线路段电导率测量方法如图 B.3 和式(B.3)所示。



说明：

- 1——参考电极；
- 2——轨道绝缘节。

注：宜选用铜/硫酸铜参考电极。

图 B.3 没有结构钢筋的线路电导率  $G'_{RS}$  的测量

电导率的计算方法见式(B.3)。

$$G'_{RE} = \frac{1}{L} \times \frac{I}{U_{RE,on} - U_{RE,off}} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

- $G'_{RE}$ ——线路与地间电导率,单位为西门子每千米(S/km, 1S=1/Ω)；
- $I$ ——注入电流,单位为安培(A)；
- $U_{RE}$ ——轨地间电压,单位为伏特(V)；
- $L$ ——被测线路段长度,单位为千米(km)。

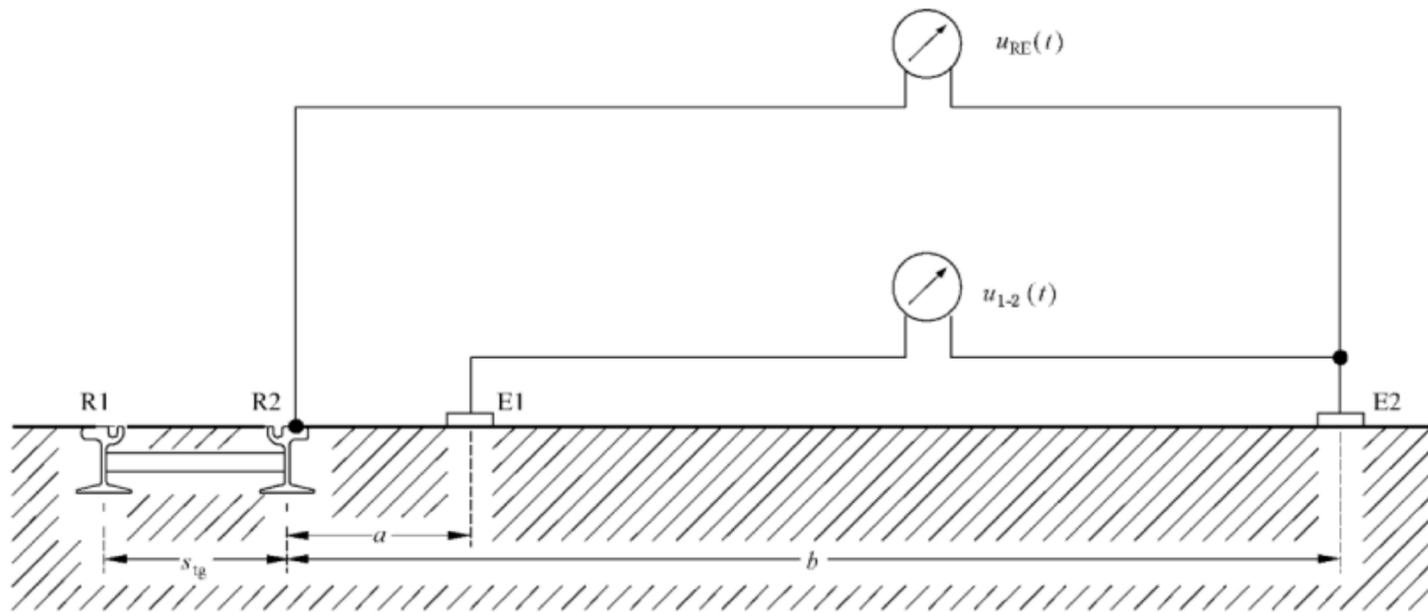
从两端的轨道绝缘节注入一路直流测量电流  $I$ ,该电流应周期性地接入和断开,测量电流由隔离线路段钢轨流入地后进入连接线路段的钢轨。电导率可由轨地间电压和测量电流  $I$  确定。电压值的测量需利用参考电极。参考电极的位置至少应距电流注入点 50 m 以上,距线路 30 m 以上。为了不影响测量结果,要检查钢轨对地连接(如电压限制装置)均处于正确的位置。

**B.4 没有结构钢筋的线路区段,局部电导率测量**

地面上 2 km 长线路的平均电位电导可按 B.3 的方法进行测量,被测段长度超过 2 km 时,测量点局部的电导率和杂散电流影响可按图 B.4 和式(B.4)~式(B.6)评估。测量时钢轨不需断开,可在线路运行期间测试。钢轨电位  $U_{RE}$  可通过走行轨和埋设在地中的参考电极 E2 之间的电压表测得,其中 E2 与轨条 R2 的距离为  $b$ 。轨条附近某点电位变化  $U_{1-2}$  可通过另一个电极 E1 和远方电极 E2 之间的电压表测得,其中 E1 与轨条 R2 的距离为  $a$ 。优先选择铜/硫酸铜电极。

上述两个电位通过数据记录器记录好,绘制出轨条附近某点电位变化  $U_{1-2}$  与钢轨电位  $U_{RE}$  函数关系的曲线,这个函数的线性回归的斜率为杂散电流传输比  $m_{sy}$ 。

另外,还需测量电极 E1 附近的土壤电阻率。



说明:

- R1 —— 轨条 1;
- R2 —— 轨条 2;
- E1 —— 电极 1(靠近轨条);
- E2 —— 电极 2(远离轨条);
- $U_{RE}(t)$  —— 钢轨电位;
- $U_{1-2}(t)$  —— 电极 E1 和 E2 间的电压;
- $a$  —— 轨条 R2 与电极 E1 间的距离;
- $b$  —— 轨条 R2 与电极 E2 间的距离;
- $s_{tg}$  —— 轨间距。

图 B.4 局部电导率测量

对单行线路,局部电导率的计算见式(B.4)。

$$G'_{RE} = \frac{m_{sy} \cdot \pi \cdot 2\,000}{\rho_E \cdot \{\ln[b \times (b + s_{tg})] - \ln[a \times (a + s_{tg})]\}} \dots\dots\dots (B.4)$$

双线线路采用的计算方法见式(B.5)。

$$G'_{RE} = \frac{m_{sy} \cdot \pi \cdot 1\,000}{\rho_E \cdot \{\ln[(b + 0.5 \cdot s_{tg}) \times (b + 0.5 \cdot s_{tg} + s_{td})] - \ln[(a + 0.5 \cdot s_{tg}) \times (a + 0.5 \cdot s_{tg} + s_{td})]\}} \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

- $G'_{RE}$  —— 走行轨与地之间,局部电导率,单位为西门子每千米(S/km);
- $m_{sy}$  —— 杂散电流传输比;
- $\rho_E$  —— 土壤电阻率,单位为欧姆米( $\Omega \cdot m$ );
- $a$  —— 外侧轨条与靠近轨条电极间的距离,单位为米(m);
- $b$  —— 外侧轨条与远离轨条电极间的距离,单位为米(m);
- $s_{tg}$  —— 轨间距,单位为米(m);
- $s_{td}$  —— 线间距,单位为米(m)。

与走行轨直接连接的设施,如排水箱涵和轨条连接线,会使轨道紧邻区域的等电位情况发生改变。因此,距离  $a$  不应小于 1 m。距离  $b$  需满足电极在电位波动区域外,在城市地区通常 30 m。测量期间需核查距离  $b$  是否满足要求,不满足则需加大。为评估走行轨绝缘是否满足要求,测量要在多个位置进

行,特别是在与其他地下设施交叉处。

杂散电流传输比  $m_{sy}$  也适用于走行轨对地定期的绝缘评估。如果走行轨对地绝缘发生改变,流入地中的杂散电流会随钢轨电位梯度发生相同程度的改变。

此时,需满足两个前提条件:

- 靠近轨条的电极与走行轨间的距离宜和与轨道平行或交叉的金属设施与轨道的距离一致;
- 测量周期应与时刻表周期的倍数一致。

依据某点钢轨电位变化的方均根值可判断此处金属设施最高可能的电位抬升。钢轨电位变化的方均根值与杂散电流活动电压  $U_{SCA}$  成正比,见式(B.6)。

$$U_{SCA} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_{1-2,i} - \overline{U_{1-2}})^2} \dots\dots\dots (B.6)$$

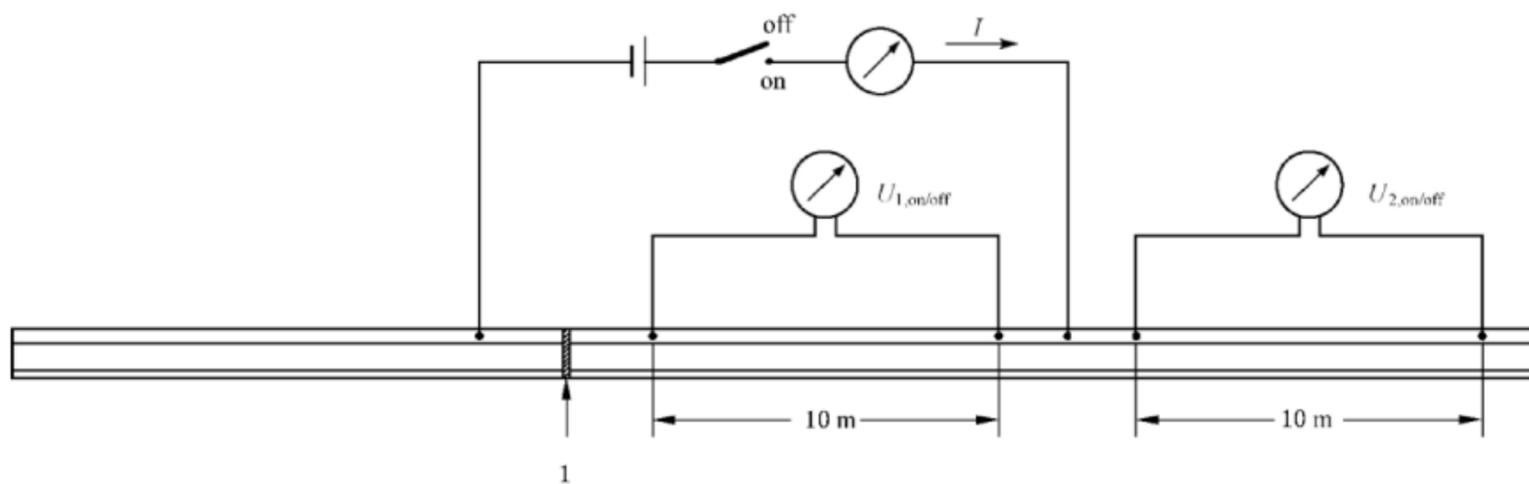
式中:

- $U_{SCA}$  ——杂散电流活动电压,单位为伏特(V);
- $N$  ——测试数据的数量;
- $U_{1-2,i}$  ——电位变化的瞬时值,单位为伏特(V);
- $\overline{U_{1-2}}$  ——电位变化的平均值,单位为伏特(V)。

上述评估方法的限值参见表 A.1。如果杂散电流活动电压超出了表 A.1 中的规定值,宜进行 24 h 以上的长期测试,进而评估金属结构的正电位抬升情况。

### B.5 钢轨绝缘节

单轨条钢轨绝缘节处的测量方法见图 B.5,测试区段内轨条与轨条间、线路与线路间都不应有电气连接。



说明:

1——钢轨绝缘节。

图 B.5 钢轨绝缘节的测量

在导通状态时,会有几安培的持续电流通过被测试绝缘节流入钢轨。钢轨绝缘节的绝缘性能决定了流入绝缘节的电流和远离绝缘节的电流。记录 10 m 长测试钢轨区段的电压降  $U_{1,on}$  和  $U_{2,on}$ 。

在开断状态时,电流切断 0.5 s 后,直接记录  $U_{1,off}$  和  $U_{2,off}$  的电压。

钢轨绝缘节的绝缘性能  $F_j$  (用百分数表示) 计算见式(B.7)。

$$F_j = \frac{U_{2,on} - U_{2,off}}{U_{1,on} - U_{1,off} + U_{2,on} - U_{2,off}} \times 100\% \dots\dots\dots (B.7)$$

式中：

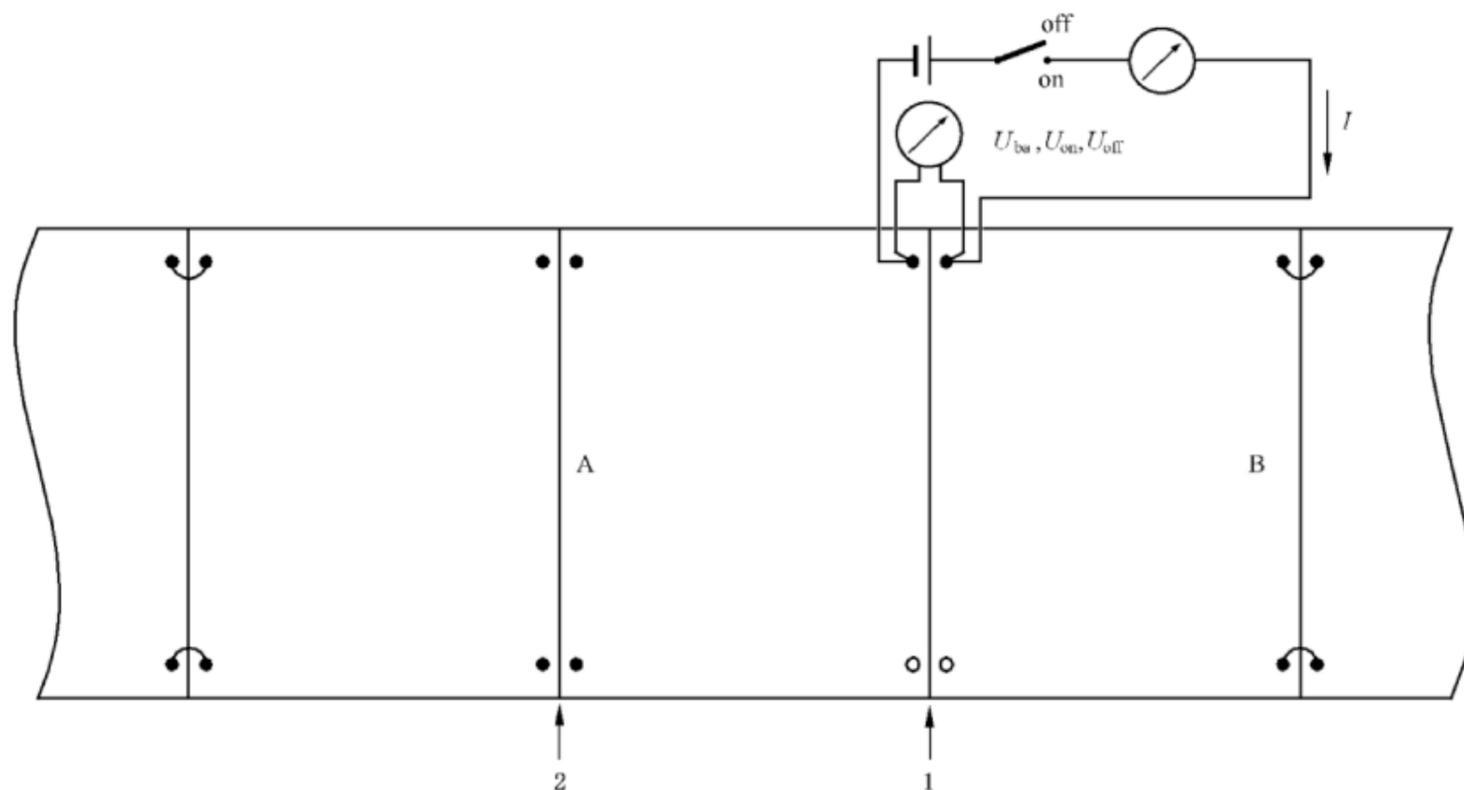
- $F_j$  ——钢轨绝缘节的绝缘性能；
- $U_{1,on/off}$  ——钢轨测量区间 1 的电压,单位为伏特(V)；
- $U_{2,on/off}$  ——钢轨测量区间 2 的电压,单位为伏特(V)。

当测量值  $F_j \leq 95\%$  时,表明绝缘节间有电气连接,或者绝缘节有故障。

### B.6 金属钢筋混凝土结构间的绝缘节

结构 A 和 B 之间绝缘节电阻测量方法见图 B.6。测量期间,相邻的绝缘节连接需打开,运营时再连接上。

若不打开绝缘节 2 的连接,考虑到相互影响,绝缘节 1 的电阻相当于结构 A 和 B 段大地电阻之和。由于结构大范围与地相连,这个电阻会非常小,不能用来评估绝缘节 1 的有效性。当相邻的绝缘节 2 打开,结构 A 的一部分被切除,其接地电阻即为绝缘节 1 的测量电阻。



说明：

- 1 ——被测量绝缘节；
- 2 ——测量期间需打开绝缘节；
- A ——结构 A；
- B ——结构 B。

图 B.6 金属钢筋混凝土结构绝缘节的测量

电阻测量采用四极测量方法。在首次施加测量电流前,需测量绝缘节初始基础电压  $U_{ba}$ ；接下来,持续施加 10 A 左右的电流几分钟,在电流切断前,测量绝缘节的电流  $I$  和电压  $U_{on}$ 。电流切断约 1 s 后,记录电压  $U_{off}$ 。

绝缘节电阻的计算见式(B.8)。

$$R_{joint} = \frac{U_{on} - U_{off}}{I} \dots\dots\dots (B.8)$$

式中：

- $R_{joint}$  ——绝缘节电阻,单位为欧姆( $\Omega$ )；

$U_{on}$  ——导通状态下的电压,单位为伏特(V);

$U_{off}$  ——开断状态下的电压,单位为伏特(V);

$I$  ——注入电流,单位为安培(A)。

若  $R_{joint} \geq 0.5 \Omega$ ,且极化电压  $U_{off} - U_{ba} \geq 0.1 \text{ V}$ ,绝缘节电阻即满足要求。

## 附录 C

(资料性附录)

## 杂散电流评估 通过钢轨电位评估轨条绝缘

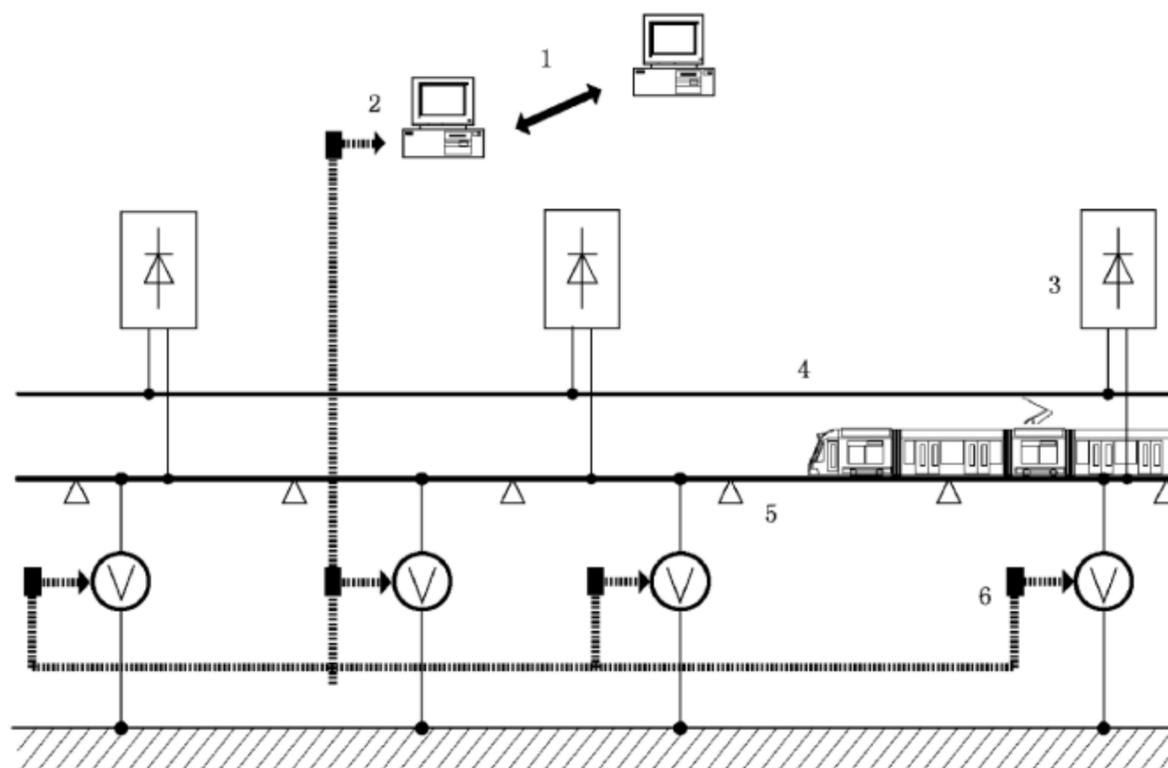
## C.1 钢轨电位持续监测

对于持续监测,钢轨电位监测点为沿线特定的位置,如牵引变电所或者车站。为了得到与变化的运行图独立的数据,需进行平均处理。平均周期建议为 24 h。测量需连续进行,且不能影响轨道交通正常运行。

如果平均钢轨电位发生变化,意味着钢轨对地电导有改变,杂散电流增大。因此,监测的平均值需与根据本部分给出的满足系统要求的基准值进行对比。

注:在杂散电流情况不清楚的既有系统,基准值难以确定。测量点之间的距离取决于对这种变化的位置定位所需的精度。沿线钢轨电位与牵引变电所位置、时刻表、列车牵引和制动特性有关。为了得出沿线典型钢轨电位曲线,可将测量点选择在牵引变电所和车站。这种方法能够找出回流系统电气隔离段接地点的位置,如隧道、高架桥、其他结构钢筋下部或道床附近。

采用集中式数据采集系统,可自动显示钢轨与地连接的状态和位置,便于运营维护,具体见图 C.1。



说明:

- 1——通过调制解调器或互联网连接的远程计算机;
- 2——中央处理器;
- 3——牵引变电所;
- 4——接触网系统;
- 5——回流系统(轨道);
- 6——测量传感器和数据传输网络。

图 C.1 钢轨电位持续监测系统示意图

## C.2 以监测电导为目的的钢轨电位重复测量

测量的前提条件要与之前的基准量测量一致。轨道交通沿线选择几处测量点,测量点可以在牵引变电所附近、车站、专用建筑或可能受杂散电流影响的建筑或装置附近。

测量点附近既有或另外安装的接地电极可以用作接地参考点。测量方法见图 C.1,区别在于不包括中央处理部分。测量点钢轨电位通过数据记录器或带数据处理功能(可统计最小值、最大值和平均值并存储)的电压表来测量和记录。为了更好地评估,可在图表中绘制出沿线各点三个测量值(最大、最小、平均)。为了获得有用的平均值,测量周期应足够长。

对每个测量点,均可得出钢轨电位算术平均值以及最大值和最小值,这些数值形成了沿线的电压特性。电压特性取决于电导率、钢轨电阻、运行图等参数。沿线电压特性显示了钢轨绝缘的变化,为了确认这些变化,需开展更详细的测量,进行更全面的调查,进而根据调查结果确定解决办法。

测量时间可以是高峰小时,或者是约 3 倍的时刻表循环时间。

当前提条件如运量、线路配置发生变化时,对测量结果的解释需适当调整。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.36 电工术语 电力牵引
  - [2] EN 12954:2001 埋于地下或浸于液体的金属结构的阴极保护 一般原则和管道应用
  - [3] EN 50162:2004 直流系统中杂散电流引起腐蚀的防护
-

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

\*

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

服务热线：400-168-0010

2018年12月第一版

\*

书号：155066·1-61746

版权专有 侵权必究



GB/T 28026.2—2018