

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2007年工程建设标准规范制订、修订计划(第一批)〉的通知》(建标[2007]125号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订了本标准。

本标准的主要技术内容是:1.总则;2.术语;3.基本规定;4.防护指标及防护工程方案;5.防护设计;6.防护监控;7.检验和测试;8.验收检验与移交;9.运营维护。

本标准修订的主要技术内容是:1.增加了防护指标及防护工程方案;2.增加了防护设计;3.增加了检验和测试;4.增加了验收检验与移交;5.增加了运营维护。

本标准由住房和城乡建设部负责管理,由北京市地铁运营有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议,请寄送北京市地铁运营有限公司[地址:北京市西城区西直门外大街2号(地铁大厦),邮政编码:100044]。

本标准主编单位:北京市地铁运营有限公司
中建城开环境建设股份有限公司

本标准参编单位:中国矿业大学
徐州和纬信电科技有限公司
北京城建设计研究总院有限责任公司
中铁工程设计咨询集团有限公司
中铁电气化勘测设计研究院有限公司
中国腐蚀与防护协会
深圳市华力特电气股份有限公司
深圳市地铁集团有限公司

北京京港地铁有限公司
北京腐蚀与防护学会
中铁二院工程集团有限责任公司
天津市地下铁道集团有限公司
杭州市地铁集团有限责任公司
宁波市轨道交通集团有限公司
广州地铁设计研究院有限公司
西安市地下铁道集团有限责任公司
成都地铁有限责任公司
上海市隧道工程轨道交通设计研究院
上海轨道交通维护保障中心供电公司
大连地铁集团有限公司
青岛双瑞海洋环境工程股份有限公司
徐州中矿大传动与自动化有限公司
北京煜能电气有限公司
中铁电气化局集团有限公司城铁公司
扬中市中泰电力设备有限公司
北京市市政工程设计研究总院有限公司
北京电铁通信信号勘测设计院有限公司
中国建筑材料科学研究总院有限公司

本标准主要起草人员：宋杰 张元 马宏儒 张栋梁
汪园园 姜勇 陈敏 游泽银
李力鹏 温志伟 王云 张建根
陈光章 陈丽 徐秋平 董鑫汇
陈桁 王陆平 于松伟 李国欣
赵勤 张华英 杜贵府 李鲲鹏
王军平 吴军 高巍 黄德亮
傅铭 金江涛 谢伟 顾群益

杜占林	赵叶辉	于 喆	魏云生
常素良	郭海峰	赵海量	曹 明
苏 霄	陈德洪	刘卫东	刘拥政
王 琰	达世鹏	李 岩	赵大伟
马祖丽	白秀梅	王禹桥	何启明
郑永平	潘建杰	韩 严	侯佩成
房金萍	王远志	何治新	潘国荣
陆志东	周成涌	蒋建炜	张洵儒
柏广伟	刘 博		

本标准主要审查人员：刘卡丁 王晓保 孙 宁 李耀宗
丁复华 姜坚白 张 刚 杨铁荣
于小四 戴克平 何积铨 徐光强
马长城

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	4
4	防护指标及防护工程方案	6
4.1	防护指标	6
4.2	防护工程方案	6
5	防护设计	11
5.1	一般规定	11
5.2	线路	12
5.3	轨道	13
5.4	主体建筑结构	16
5.5	供电系统	18
5.6	车辆基地	23
6	防护监控	25
6.1	一般规定	25
6.2	监控系统	25
6.3	监测参数	27
6.4	监控设施	28
7	检验和测试	29
7.1	检验	29
7.2	测试	33
8	验收检验与移交	34
8.1	验收条件	34
8.2	验收组织	35
8.3	验收内容	35

8.4 验收移交文件	36
9 运营维护	37
附录 A 测试方法	39
附录 B 测试设备要求	54
附录 C 测试记录表	57
本标准用词说明	64
引用标准名录	65

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms	2
3	Basic Requirements	4
4	Protection Index and Protection Engineering Program	6
4.1	Protection Index	6
4.2	Protection Engineering Program	6
5	Protection Design	11
5.1	General Requirements	11
5.2	Line	12
5.3	Track	13
5.4	Main Building Structure	16
5.5	Power Supply System	18
5.6	Vehicle Base	23
6	Protection Test Control	25
6.1	General Requirements	25
6.2	Test Control System	25
6.3	Test Control Parameters	27
6.4	Test Control Facilities	28
7	Inspection and Test	29
7.1	Inspection	29
7.2	Test	33
8	Acceptance Test and Transfer	34
8.1	Acceptance Conditions	34
8.2	Acceptance Organization	35
8.3	Acceptance Content	35

8.4 Acceptance Transfer Documents	36
9 Operation Maintenance	37
Appendix A Test Methods	39
Appendix B Test Equipment Requirements	54
Appendix C Test Record	57
Explanation of Wording in This Standard	64
List of Quoted Standards	65

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

1 总 则

1.0.1 为防止和减少地铁直流牵引系统的泄漏电流，降低和控制杂散电流的危害及影响，提高地铁杂散电流防护设计与防护措施的技术水平，确保防护工程的施工质量和运营安全，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于新建、扩建及改建地铁杂散电流防护工程的设计、施工、验收、检验、移交、监测控制和维护。

1.0.3 地铁杂散电流防护技术要求除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 杂散电流 stray current

在非指定回路上流动的电流。或因有意和无意的接地，而流入大地或埋地金属物体中的泄漏电流。

2.0.2 杂散电流腐蚀 stray current corrosion

由非指定回路上流动的电流引起的外加电流腐蚀。

2.0.3 保护电位 protective potential

金属达到有效保护所需要的电位。

2.0.4 极化电位 polarized potential

由于电流的流动引起电极/电解质界面电位的偏移成为极化状态时的电位。

2.0.5 阴极保护 cathodic protection

通过阴极极化控制电化学腐蚀的方法，包括牺牲阳极法和外加电流法。

2.0.6 过渡电阻 transition resistance

走行轨与结构之间、走行轨与大地之间或其他两个导体之间单位长度的电阻。

2.0.7 排流装置 stray current drainage devices

通过电气排流来实现电腐蚀防护的装置。

2.0.8 回流线 return cable; track negative cable

连接回流轨和变电所的导线，或与钢轨并联敷设起回流作用的导线。

2.0.9 回流点 revenue point of traction current

牵引电流回流线与回流走行轨的连接点。

2.0.10 轨道回流系统 track return system

地铁钢轨构成牵引电流回流电路一部分的系统。

2.0.11 轨道电位 track potential

牵引回流流过轨道线路时轨道对大地间产生的电位。

2.0.12 电气轨隙连接 electrical rail joint; bonded rail joint

机械的轨隙连接，它还保证回流回路的电气连续性。

2.0.13 绝缘式轨隙连接 insulated rail joint

机械的轨隙连接，它电气上与钢轨隔离。

2.0.14 测量电极 measuring electrode

置于或插入材料中并与材料接触，以便测量材料介电性能的一种导体。

2.0.15 参比电极 reference electrode

在测量电位时用以作为参照，具有稳定开路电位的电极。

2.0.16 隐蔽工程 concealed work

被后一工序覆盖的部位或被后续作业覆盖的工序。

3 基本规定

3.0.1 地铁杂散电流防护工程应进行整体性防护系统的规划设计，应确定地铁沿线防护对象的安全策略和技术措施，应按国家现行有关标准的规定进行建设、管理和维护。

3.0.2 地铁杂散电流防护工程的基本原则应符合下列规定：

1 应将预防与治理地铁直流牵引系统回流电流的泄漏作为防护工程的根本，并使产生的杂散电流减小至最低限度。

2 应限制杂散电流向地铁外部扩散。

3 沿线所有的埋地金属结构及管线，应单独采取有效的防护措施。

4 应统筹兼顾、综合协调、配套设计，并与受杂散电流影响的相关方共同进行防护措施的评估。

5 应做到安全可靠、技术先进、经济适用。

3.0.3 新建地铁杂散电流防护设计应列入地铁建设工程总体规划，在工程可行性研究阶段或初步设计阶段应进行技术、经济、环保、安全性论证与评估，应与相关专业进行统筹、协调与综合设计。

3.0.4 既有线路大修或沿既有线路新敷设的金属结构、管线及设备设施，应采取防护杂散电流腐蚀的技术措施。

3.0.5 新建地铁线路工程的总体设计中，杂散电流防护设计应包括下列内容：

1 应对地铁杂散电流防护方案进行论证、评估并确定。

2 应对地铁沿线所经地域内的土壤电阻率、地下水电解质及工程材料耐腐蚀特性等参数进行综合分析。

3 应确定结构金属对地电位的允许高峰小时平均值和含有10%峰值的平均值，并应通过技术评估。当设计未提出针对本地

的杂散电流防护指标或提出后未通过评估时，应按本标准规定的防护指标执行。

4 根据所选定的方案，应对线路、轨道、主体建筑结构、接触网、回流网、排流装置、金属管线与设备、车辆基地等防护工程进行系统设计。

5 采用轨道回流系统的地铁工程设计，应满足走行轨对结构、走行轨对地绝缘电阻值的技术要求，应制定减小走行轨纵向电阻值、加强轨道绝缘等技术措施。

6 应制定针对主体结构、金属管线与设备、车辆基地等重点防护对象的防护措施。

7 针对地铁沿线敷设的金属管线结构，应提出或选择符合杂散电流腐蚀防护要求的材质、结构设计和施工方法。

8 应提出杂散电流防护监测、监控及排流设施的要求。

9 应提出重点地段推荐采用的特殊防护方法。

3.0.6 地铁建设工程的其他设计及施工，不得影响、减少和降低杂散电流防护所必需的防护措施及要求。

3.0.7 地铁杂散电流防护工程应在地铁工程建设阶段完成施工，并应进行工程验收检验与移交。

4 防护指标及防护工程方案

4.1 防护指标

4.1.1 地铁杂散电流腐蚀防护指标应由地铁沿线敷设的金属表面向周围电解质泄漏的电流密度和由此产生的偏移电位组成。

4.1.2 地铁金属结构受杂散电流腐蚀影响程度，宜通过监测回流走行轨对地、回流走行轨对结构钢筋、结构钢筋对地的过渡电阻及结构钢筋对地电位等参数进行分析和评估，并可按本标准附录 A 的规定进行计算。

4.1.3 判定金属结构受到杂散电流腐蚀影响的监测数值，可取列车运行高峰时间内的小时平均值或 1h 内 10% 峰值的平均值。

4.1.4 钢筋混凝土结构极化电位正向偏移平均值应小于 0.5V。

4.1.5 金属结构表面受杂散电流腐蚀的允许电位，可按本标准附录 A 的规定进行计算，防护指标应符合下列规定：

1 结构钢筋对地电位高峰小时正向偏移平均值应取 0.1V，或 1h 内 10% 峰值的正向偏移平均值应取 0.5V；

2 对地铁及地铁线路周围的金属结构和金属管线未采取阴极防护的区域，结构钢筋对地电位高峰小时正向偏移平均值宜取 0.2V。

4.1.6 当采取保护电位防护时，地铁主体建筑结构和金属管线结构对地的保护电位值范围应取 $-1.5V \sim +0.5V$ 。

4.2 防护工程方案

4.2.1 地铁杂散电流腐蚀防护工程方案宜按整体防护类型与回流网的设计进行划分，其中回流网可分为由专用导体（轨）及其连接件组成的绝缘回流系统和由走行轨及其连接件组成的轨道回流系统。新建地铁线路工程应对回流网系统采用的回流导体、防

护类别和技术要求等进行技术经济论证与评估，为杂散电流防护选择并确定适宜的防护方案。

4.2.2 当地铁牵引供电系统回流网采用专用轨为回流导体设计时，回流网应为绝缘回流系统，其杂散电流防护工程方案可列为方案一。当地铁牵引供电系统回流网采用走行轨为回流导体设计时，回流网应为轨道回流系统，其杂散电流防护工程方案可按下列防护措施进行划分：

1 采用加强绝缘与监测技术措施的防护工程方案可列为方案二。

2 采用绝缘、监测与排流技术措施的防护工程方案可列为方案三。

4.2.3 地铁杂散电流防护工程方案应符合表 4.2.3 的规定。

表 4.2.3 地铁杂散电流防护工程方案

方案	回流导体	回流网	防护类型	技术要求特征
一	专用轨	绝缘回流系统	系统性绝缘	绝缘要求应与接触网相同
二	走行轨	轨道回流系统	加强绝缘+监测	由地铁杂散电流引起的地铁结构电位偏离应小于自然电位
三	走行轨	轨道回流系统	绝缘+监测+排流	由地铁杂散电流引起的地铁结构电位偏离应小于危险电位，使地铁结构处于保护电位

4.2.4 采用方案一的地铁杂散电流防护工程应符合下列规定：

1 专用轨回流网应按绝缘回流系统进行设计，回流轨应对地、对结构、对走行轨绝缘，绝缘水平应满足牵引供电系统标称电压最高值的要求。

2 专用轨回流网不应直接接地。当因检修等原因需接地时，应采取安全防护措施并保证接地电流值小于 100mA/km。

3 在远期运行高峰期间由地铁杂散电流引起的结构钢筋对地电位平均值应小于 0.1V。

4.2.5 采用方案二的地地铁杂散电流防护工程应符合下列规定。

1 走行轨对地、走行轨对结构钢筋应绝缘，其过渡电阻值不应小于 $150\Omega \cdot \text{km}$ 。

2 在远期列车运行高峰期间，由杂散电流引起的结构钢筋对地电位平均值应按本标准附录 A 规定的方法进行计算，一个互联区间的结构钢筋纵向电压平均值应小于 0.1V。或经测试，结构钢筋对地电位正向偏移平均值应小于 0.1V，或含有 10% 峰值的对地电位正向偏移平均值应小于 0.5V。

3 走行轨不得直接接地，不应与无回流要求的其他系统有电气连通。

4 当走行轨回流系统设置轨电位限制装置时，地铁金属结构和沿线敷设的金属管线应对地绝缘，重点区段应采取双重绝缘或加强绝缘的防护措施。

5 地铁沿线金属管线敷设与设备安装应符合下列规定：

1) 穿越地铁隧道及高架桥的金属管线，应在穿越区段的隧道内外及桥梁外侧设置绝缘接头或绝缘法兰。当管线穿越道床时，应采用绝缘套管。

2) 主体结构中预埋的金属管孔与结构钢筋之间，不应有电气连接。穿越金属管孔的线缆，应采用绝缘套管或外敷绝缘层。

3) 管线在轨道下方穿越时，宜采用非金属绝缘材质的管材。金属管材的水管应采取加强绝缘的防护措施。

4) 敷设在地铁隧道中的电缆、水管等金属管线结构，不应直接接触地下水、积水、潮湿墙壁、土壤及含盐沉积物等。

5) 穿越区段应保持清洁、干燥，在其两侧应加装绝缘接头或绝缘法兰。

6) 安装部位应便于检修维护。

7) 绝缘距离应与接触网相同。

4.2.6 采用方案三的地铁杂散电流防护工程应符合下列规定：

1 走行轨对结构、对地应保持绝缘，其过渡电阻值不应小于 $15\Omega \cdot \text{km}$ 。

2 由杂散电流引起的结构钢筋对地电位平均值应按本标准附录 A 规定的方法进行计算，一个互联区间的结构钢筋纵向电压高峰小时平均值应小于 0.1V 。

3 走行轨不得直接接地，不应与无回流要求的其他系统有电气连通，凡与走行轨相连的设备或装置应与接地的基础或元件绝缘。

4 地铁结构钢筋应采取绝缘防护措施，结构段之间应具备电气连通条件，结构钢筋不得接地或兼作他用。

5 应建立自动监测与排流防护系统，并可人工或自动控制，应对地铁沿线杂散电流参数进行连续监测。

6 当出现下列情况时，应采取排流防护措施，并使地铁结构钢筋处于 $-1.5\text{V} \sim +0.5\text{V}$ 防护电位范围之内：

1) 当测算杂散电流引起的结构钢筋对地电位平均值大于设计允许值时；

2) 按本标准附录 A 测算的结构钢筋对地电位高峰小时平均值大于 0.1V 或含有 10% 峰值的平均值大于 0.5V 时。

4.2.5 条第 5 款及下列规定：

1) 地铁沿线轨旁设备的安装应对地、对结构、对排流网绝缘，沿线敷设的金属管线、设备外壳及支架应采取绝缘措施。管线外护套为金属材质的宜增加绝缘防护套管或绝缘层，厚度宜大于等于 5mm 。

2) 新建或改扩建地铁所敷设的管线及设备外壳的材质，宜采用非金属的绝缘材料。

3) 安装在隧道内壁和高架桥梁上的金属接地支架应与接

地网进行可靠连接，但不得与结构钢筋和金属管线有电气连通。

4) 对地铁沿线敷设的埋地金属结构和金属管线采取的防护措施，应经技术论证与评估后确定。

4.2.7 地铁杂散电流腐蚀防护工程设计宜在工程可行性研究阶段或初步设计阶段完成对所选方案的防护工程设计。

4.2.8 同一条地铁线路应采用同一种防护工程方案。

4.2.9 在地铁不同线路实施的两种防护工程方案之间，应采取隔离措施。

5 防护设计

5.1 一般规定

5.1.1 地铁杂散电流防护设计应按选定的防护方案及线路、轨道、主体建筑结构、供电系统、车辆基地等专业分别进行设计，受杂散电流影响方应共同进行防护评估，并应由工程总体设计进行统筹、综合与协调。

5.1.2 地铁杂散电流防护工程设计应与电气安全、接地安全等相关的防护设计相互协调，并应同时进行系统设计。

5.1.3 防护设计应结合地铁线路的环境条件，对地铁杂散电流相关参数、产生因素、影响范围，以及相邻系统的防护方法、措施和技术要求等进行综合分析、研究和评估，并应提出预防性的技术措施。

5.1.4 防护设计中所采取的防护技术措施，应根据引起地铁杂散电流并影响其大小的重要参数进行计算、分析、评估和确定。地铁杂散电流重要参数宜包括下列内容：

1 牵引供电系统的工作电流；

2 回流导体与地（或与结构钢筋）、排流网（或结构钢筋）与地的过渡电阻值；

3 回流导体、结构钢筋或排流网的纵向电阻；

4 牵引变电所间距、列车位置与线路长度；

5 回流导体电压降；

6 回流电路横向连接间距。

5.1.5 地铁回流电路可由专用轨、走行轨、电缆及连接件等导体组成。地铁杂散电流防护工程应将走行轨回流网列为重点防护内容进行系统设计。

5.2 线 路

5.2.1 地铁线路专业杂散电流防护设计应符合下列规定：

1 应对地铁线路途经区域的地形、地质、水文、气象、地震等自然环境条件，进行综合分析和多方案技术经济比较，确定地铁线路的走向，并提交沿线杂散电流腐蚀防护研究报告。

2 应调查分析地铁线路途经区域的土壤电阻率、地下水电解质及土建工程材料等可能对杂散电流产生影响的主要因素，应对本标准第 4.2 节所规定的三种防护方案进行论证，确定其中的一种防护方案并提交方案论证报告。

3 新建地铁线路走向设计，不应干扰市政给水排水、热力、石油、天然气、电力和电信等埋地金属管线管廊，并应对沿线埋地金属管线和金属结构单独采取有效的防护措施。

5.2.2 接近地铁线路的市政给水排水、热力、石油、天然气、电力、电信等埋地金属管线、管廊或管网工程，在新建或改扩建时，防护设计应符合下列规定：

1 埋地金属管线、管廊或管网应采取自身防护措施，并应与已建成的地铁线路保持有效的防护间距。当某些区段接近地铁线路无法避免时，埋地金属管线、管廊或管网工程应采取主动预防地铁杂散电流腐蚀的专项防护措施。

2 埋地金属管线、管廊或管网工程的自身防护措施应符合国家现行标准《钢质管道外腐蚀控制规范》GB/T 21447、《埋地钢质管道阴极保护技术规范》GB/T 21448、《埋地钢质管道腐蚀防护工程检验》GB/T 19285、《埋地钢质管道阴极保护参数测量方法》GB/T 21246、《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》GB/T 23257、《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》GB/T 50991、《钢质石油储罐防腐蚀工程技术标准》GB/T 50393、《埋地钢质管道防腐保温层技术标准》GB/T 50538、《城镇燃气埋地钢质管道腐蚀控制技术规程》CJJ 95、《埋地钢质管道直流排流保护技术标准》SY/T 0017、《埋地钢制管道环氧煤沥青防腐层技术标

准》SY/T 0447 和《埋地钢制管道石油沥青防腐层技术标准》SY/T 0420 的规定。

5.2.3 新建地铁线路与沿线埋地金属管线、管廊和管网之间应保持有效的防护间距，设计防护间距宜根据地下环境条件、地铁杂散电流腐蚀防护工程方案、主体建筑结构的绝缘防护措施、土建工程材料特性、地下工程防水材料的体积电阻率、沿线埋地金属管线、管廊和管网工程自身的防护措施、防护水平及防护能力等确定。

5.3 轨道

5.3.1 地铁轨道专业杂散电流防护设计应根据地铁主体建筑结构的结构设计、构造要求和施工方法等条件，并按本标准第 4.2 节规定的防护方案及技术要求采取对应的防护措施。

5.3.2 对采用方案一专用轨回流网的地铁建设工程，轨道专业防护设计应符合本标准第 4.2.4 条的规定，专用回流轨应与走行轨绝缘，走行轨及其连接导体可直接接地。

5.3.3 对采用方案二以走行轨回流和加强型绝缘防护组合设计的地铁建设工程，轨道专业防护设计应符合本标准第 4.2.5 条的规定。

5.3.4 对采用方案三以走行轨回流、绝缘和强制排流防护组合设计的地铁建设工程，轨道专业防护设计应符合本标准第 4.2.6 条的规定。

5.3.5 对采用方案二和方案三轨道回流系统的地铁建设工程，轨道专业应配合供电专业进行轨道回流网的绝缘性能和通畅性能的防护设计，并应符合下列规定：

1 走行轨与地、走行轨与主体结构钢筋之间应采取绝缘措施。

2 走行轨与沿线敷设的金属管线、通风空调及电线电缆的金属外壳等不应连通。

3 走行轨及设备与道床的固定方式，宜在短轨枕上预埋绝

缘套管。

4 轨道绝缘件体积电阻率不应小于 $1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{m}$ 。单个轨枕的金属连接件与走行轨、地之间的绝缘电阻值不应小于 $1\text{M}\Omega$ /件，湿电阻值不应小于 $100\text{k}\Omega$ /件。

5 轨枕块和钢轨下绝缘垫块的外延尺寸应大于与其连接的金属件，其外延尺寸不宜小于 20mm 。

6 道床螺纹道钉的套孔不应贯通，其绝缘电阻值应大于 $10\text{M}\Omega$ /支。

7 回流走行轨应保持钢轨的连续性和回流的通畅性，钢轨的连接应采取能减小其纵向电阻值的技术措施，包括焊接或低电阻的电气轨隙连接装置等。走行轨上行和下行并联后的纵向电阻值应小于 $0.01\Omega/\text{km}$ 。

8 回流走行轨在牵引变电所回流点同一断面轨缝连接处宜设置电缆连接的绝缘节，在并联的电缆线路中宜串接两只电流分流器。

9 走行轨不得直接接地，不应与无回流要求的其他系统有电气连通。

10 当走行轨设置轨电位限制装置时，地铁金属结构和沿线敷设的金属管线应对地绝缘，重点地段应采取加强绝缘的防护措施。

11 使用木枕的道床区段所需木枕宜符合现行行业标准《防腐木枕》TB/T 3172 的规定，木枕的端面和螺纹道钉孔应经过绝缘处理，并应设置专用绝缘层。

12 高架路段道床结构应采用加强绝缘的防护措施，走行轨对地过渡电阻值宜为隧道区段数值的 2 倍。

13 当采用防护工程方案二时，轨道防护设计应采取下列防护措施之一：

- 1) 轨枕应经过绝缘处理；
- 2) 与轨枕的连接应设置绝缘套靴；
- 3) 道床下面应铺设耐久性绝缘层。

14 具备铺设条件的道床区段应铺垫道床素混凝土，其铺垫厚度不应小于 400mm。当道床采用钢筋混凝土结构或受条件限制道床素混凝土铺垫厚度达不到 400mm 时，应在道床下面铺设耐久性绝缘层或采取其他绝缘措施。

15 钢轨底面与道床面之间的间隙值应大于 30mm。

16 隧道道床应设置排水系统，不得有积水。道床排水沟不应作为用水点生活用水和设备冷却用水的排水通道。

17 轨道专业采取杂散电流防护措施的技术指标应符合下列规定：

- 1) 当地铁采用防护工程方案二时，走行轨对结构、对地的过渡电阻值不应低于 $150\Omega \cdot \text{km}$ ；
- 2) 当地铁采用防护工程方案三时，走行轨对结构、对地的过渡电阻值不应低于 $15\Omega \cdot \text{km}$ ；
- 3) 地铁单线钢轨 24h 或 24h 整倍数时间段内流出的平均杂散电流值不应大于 $2.5\text{A}/\text{km}$ 。

5.3.6 当采用防护工程方案三时，轨道专业应配合供电专业进行地铁杂散电流排流网的防护设计，并应符合下列规定：

- 1 排流网应敷设在道床底部并保持纵向电气连通。
- 2 排流网导体可为钢筋、扁钢或扁铜等金属。
- 3 排流网宜分段建设，每段的两端应设置杂散电流专用的测量与防护连接端子，端子至变形缝的距离宜为 $0.2\text{m} \sim 1.0\text{m}$ 。端子应与排流网导体进行焊接连接，其数量和位置应满足设计要求。

4 隧道及地下结构排流网设计宜在道床下预埋排流钢筋、扁钢条或扁铜条等导体，在确认道床纵向结构钢筋与隧道结构钢筋处于绝缘的前提下，当排流网纵向电阻过大时，宜采取下列防护措施：

- 1) 排流钢筋、扁钢条或扁铜条等导体宜与隧道结构钢筋进行焊接连接；
- 2) 宜在排流网上并联电缆。

5 高架结构排流网设计宜在轨道梁承轨台预埋排流扁钢条或扁铜条等导体，在确认梁体纵向结构钢筋与桥墩支撑结构钢筋处于绝缘的前提下，当排流网纵向电阻偏大时，宜采取下列防护措施之一：

- 1) 排流钢筋、扁钢条或扁铜条等导体宜与梁体纵向结构钢筋进行焊接连接；
- 2) 宜在排流网上并联电缆。

6 用于隧道和高架区段排流网的钢筋、扁钢或扁铜等导体的总截面，应按现行国家标准《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 和本标准规定的方法进行计算，参考数值应满足下列指标之一：

- 1) 远期高峰时段排流网对地电位正向偏移平均值应小于 0.1V；
- 2) 远期高峰时段 1h 内 10% 峰值的排流网极化电位正向偏移平均值不应大于 0.5V。

5.4 主体结构

5.4.1 地铁主体建筑结构的杂散电流防护设计宜包括车站建筑、高架结构和地下结构。

5.4.2 主体建筑结构的地下工程防水应符合下列规定：

1 地下工程防水的设计、施工和验收要求，应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 和《地下防水工程质量验收规范》GB 50208 的规定。

2 地下车站及机电设备集中区段的防水工程，应按现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 执行，并应列为一級。

3 区间隧道及连接通道等附属的隧道结构防水等级，应按现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 执行，并不应低于二级。

5.4.3 在干燥环境下测试地下建筑防水材料的体积电阻率 (ρ) 值不得小于 $1 \times 10^8 \Omega \cdot m$ 。

5.4.4 穿越江、河、湖、海及沼泽地带的隧道和线路交叉跨越点 50m 区域内的地铁主体建筑结构，应采取加强绝缘的防护措施。

5.4.5 主体建筑结构的结构强度与载荷性能、混凝土结构设计和混凝土结构耐久性设计等要求，应符合国家现行标准《建筑结构荷载规范》GB 50009、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476、《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 和《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005 的规定。

5.4.6 对采用轨道回流系统的地铁建设工程，主体建筑结构防护设计应符合下列规定：

1 钢筋混凝土结构中钢筋网的焊接要求应符合国家现行标准《钢筋混凝土用钢 第 3 部分：钢筋焊接网》GB/T 1499.3 和《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》JGJ 114 的规定。

2 钢筋混凝土结构中的钢筋保护层要求应符合国家现行标准《地铁设计规范》GB 50157 和《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的规定。

3 主体建筑结构中的钢结构防护设计应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 执行。

4 结构变形缝应采取防渗水措施或绝缘措施。

5 变形缝两端应设置杂散电流专用的测量与防护连接端子，端子至变形缝的距离宜为 0.2m~1.0m。

5.4.7 对采用防护方案二的地铁建设工程，主体建筑结构的杂散电流腐蚀防护设计应符合本标准第 4.2.5 条和第 5.4.6 条的规定，并应从结构整体上采取有效的绝缘防腐措施。

5.4.8 对采用防护方案三的地地铁建设工程，主体建筑结构的杂散电流腐蚀防护设计应符合本标准第 4.2.6 条、第 5.4.6 条和下列规定：

1 在结构防护的措施中，应包括杂散电流腐蚀防护的技术措施。

2 在结构钢筋具备电气连通的条件下，经技术经济论证与评估可作为专用排流网使用，结构钢筋应实现电气隔离，结构段之间应设置测防端子，结构钢筋的纵向电阻值不应大于相同长度走行轨电阻值的 10 倍。

3 对采用钢筋混凝土结构的高架区段，防护设计应符合下列规定：

- 1) 区间桥梁结构钢筋与桥墩结构钢筋之间、高架车站中的轨道梁与其支撑结构之间应采取绝缘措施，其绝缘件体积电阻率不应小于 $1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{m}$ ；
- 2) 桥梁与桥墩之间宜加装绝缘垫层，垫层的绝缘电阻值不应小于 $30 \text{k}\Omega/\text{个}$ ；
- 3) 桥梁支座本身宜采取绝缘措施；
- 4) 应与轨道专业和供电专业综合设计，并应满足本标准第 5.3.6 条的设计要求。

5.5 供电系统

5.5.1 地铁供电系统杂散电流防护设计宜包括牵引电源、牵引变电所、牵引网、电力电缆、接地和排流系统。牵引网防护设计宜包括接触网与回流网，其中回流网宜包括专用轨回流网或走行轨回流网。走行轨回流网杂散电流防护应列为供电系统的重点内容进行系统设计。

5.5.2 地铁供电系统防护设计应对杂散电流防护方案进行技术经济论证与评估，提出合理的防护方案和系统性的防护措施。

5.5.3 采用直流牵引供电并以专用轨回流的地铁建设工程，杂散电流防护设计应按本标准第 4.2.4 条的规定制定防护措施。

5.5.4 采用直流牵引供电并以走行轨回流的地铁建设工程，杂散电流防护设计应按本标准第 4.2.5 条和第 4.2.6 条的规定制定防护措施。

5.5.5 在牵引网电压等级为直流 750V 和直流 1500V 的情况下，宜选择较高的牵引电压等级。

5.5.6 牵引变电所数量、容量和分布距离的设计，应按本标准附录 A 规定的方法进行计算，应满足杂散电流防护的要求，并应符合现行国家标准《城市轨道交通直流牵引供电系统》GB/T 10411 和《地铁设计规范》GB 50157 的规定。

5.5.7 牵引变电所的正极母线应与接触网连接，负极母线应与回流网连接。正极和负极不应接地。

5.5.8 牵引变电所不应越区为两条线路同时供电。

5.5.9 正线接触网应实行双边供电。

5.5.10 当地铁供电电源采用集中供电方式时，应使馈电区间两侧牵引变电所直流母线上的空载电压值保持一致。

5.5.11 在地铁不同线路之间、过渡区段及车辆基地，牵引网防护设计应符合下列规定：

- 1 接触网应设置电分段。
- 2 回流网应设置电气分隔。

5.5.12 车辆基地应具有来自本地牵引变电所的主牵引电源以及来自正线的备用牵引电源。在两电源相邻处，回流走行轨应采用绝缘轨轨隙连接设置绝缘节，按供电方式和要求可设置隔离开关或单向导通装置。

5.5.13 备用电源设置应符合下列规定：

- 1 备用电源侧与过渡区段的接触网应设置电分段，走行轨回流网应设置电气分隔。
- 2 应设置专用的断路器或隔离开关。
- 3 应实现操作连锁。

5.5.14 当进行走行轨回流网的防护设计时，应配合轨道专业按本标准第 5.3.5 条的规定对回流走行轨进行综合设计，并应符合下列规定：

- 1 走行轨在下列部位应实现电气隔离：
 - 1) 所有的电气化与非电气化区段之间；

- 2) 运营线路与正在建设的线路区段之间；
 - 3) 运营正线与车辆段或停车场联络线之间；
 - 4) 两条正线之间的联络线；
 - 5) 地铁与地面铁路之间；
 - 6) 当线路末端车挡装置安装有接地线时，该装置与电气化轨道之间。
- 2 走行轨在下列位置应设置绝缘节和隔离开关：
- 1) 运营正线与车辆段或停车场的联络线；
 - 2) 当车辆基地内车库牵引网采用电分段时，库内和库外之间；
 - 3) 两条正线之间的联络线；
 - 4) 穿越水域的隧道、潮湿地段及高架桥等重点防护区段。
- 3 当走行轨绝缘断点处需电气连通时，应采用电缆连接板进行连接，电缆连接板应符合下列规定：
- 1) 电缆连接板通用技术要求应符合现行行业标准《电气化铁路接触网零部件技术条件》TB/T 2073 的规定；
 - 2) 电缆连接板应与走行轨腰面紧密连接，载流量不应小于走行轨载流量的 1.1 倍；
 - 3) 铝质电缆连接板与铜芯电缆的连接，应采取防止金属间电化学腐蚀的措施。

5.5.15 走行轨回流网技术要求应符合下列规定：

1 牵引变电所负极母线应与主线路走行轨连通，并应在走行轨的所有线路区段实现牵引电流沿双方向回流。在线路单边区段、车辆基地以及在隧道出入口处已安装了单向导通装置的线路，可单方向回流。

2 在上下行走行轨回流点处，宜通过电缆转接排将回流电缆连接至牵引变电所负极。

3 牵引变电所回流电缆数量与截面应与正馈线匹配，每个回路的电缆根数不得少于 2 根。当牵引供电只有一种方式时，在车辆启动和制动处宜增设回流电缆，电缆数量及规格应根据载流

量计算确定。

4 道岔和线路中的连接部位应使用铜芯电缆实现电气连通，连接电阻应小于1m长走行钢轨的电阻值。正线每处应采用2根铜芯电缆连接，每根铜芯电缆截面积应根据载流量计算确定。

5 对设有牵引变电所的车站，上下行均流线和同行连接线宜利用连向各股道的负回流电缆。对无牵引变电所的车站，上下行区间的走行轨应设置均流线，区间线路的均流线间距不宜大于600m。上下行均流线和同行连接线所用电缆的绝缘耐压等级应与牵引网正极电缆相同。

6 当牵引变电站间距较大或走行轨对地绝缘值较低或在潮湿地段时，应采取下列专项措施减小走行轨对地电压或限制轨道电位装置动作：

- 1) 走行轨并联回流电缆；
- 2) 在轨道绝缘值低和潮湿的线路两侧设单向导通装置，用回流电缆隔离；
- 3) 增设变电所回流点。

5.5.16 供电系统接地技术要求应符合现行国家标准《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、《交流电气装置的接地设计规范》GB 50065 的规定。

5.5.17 采用方案三的地铁杂散电流防护工程，应由供电专业牵头与轨道、主体结构、综合监控等相关专业，经技术论证与评估进行排流系统的防护设计。排流系统宜包括排流网、监测装置、排流装置和保护装置，防护设计应符合下列规定：

1 排流系统的设计、施工、验收和运营维护应由供电专业牵头负责并全程监管。

2 排流网设计应符合本标准第5.3.6条及下列规定：

- 1) 排流网不应与其他金属结构、金属管线、机电设备和接地装置等有电气连接；
- 2) 专用排流网宜与地下结构、盾构管片、车站结构和桥

- 墩结构等的内部钢筋实现电气隔离；
- 3) 地下结构、盾构管片和车站结构等具备排流条件并满足防护需要时，经技术评估可兼作排流网，其内部钢筋应实现电气连通，纵向电阻值应满足排流网的要求；
 - 4) 排流网引流点布设应根据所在区域特性经评估确定，宜提前布设或多点布设。
- 3 监测装置功能设计应符合下列规定：
- 1) 实时监测杂散电流参数应包括下列内容：
 - a) 走行轨对地电位；
 - b) 走行轨对结构电位；
 - c) 结构对地电位；
 - d) 各支路排流电流；
 - e) 总排流电流等。
 - 2) 测算杂散电流参数应包括下列内容：
 - a) 走行轨对地的过渡电阻值；
 - b) 走行轨对结构钢筋的过渡电阻值；
 - c) 走行轨对排流网过渡电阻值；
 - d) 走行轨的纵向电阻值；
 - e) 结构钢筋或排流网的纵向电阻值等。
 - 3) 监测数据应包括实时采集、处理、传输、显示、存储、报警、分析和控制。
 - 4) 应便于制造、施工、安装、使用和维护管理。
 - 5) 应预留软件系统升级的条件和硬件功能扩展的接口。
 - 6) 应具备防腐蚀、防过压、防过流的保护功能。
- 4 排流装置功能设计应符合下列规定：
- 1) 对杂散电流应具有收集功能，并应按设定的排流路径将杂散电流引至牵引变电所负极。
 - 2) 应具备自动控制或人工控制及相互之间的转换功能。
 - 3) 对监测数据应进行自动评判，设定与调整运行规则，制定启动和退出的技术条件。

- 4) 排流装置电阻应具有分段调节的功能, 并应满足排流防护电位的要求。当电阻值达到最大时, 应保证能在额定最大排流时稳定长期运行。

5.6 车辆基地

5.6.1 地铁车辆基地杂散电流防护设计应包括车辆段、停车场和维修中心等。

5.6.2 车辆基地防护工程方案应与地铁正线防护工程方案相同。

5.6.3 当采用防护工程方案三时, 防护设计应符合下列规定:

- 1 地铁与市政管网相连接的电缆和水管等, 在其离开车辆基地的部位, 应设置绝缘接头、绝缘套管或绝缘法兰。

- 2 直接埋地金属管线宜采用双重绝缘或加强绝缘的防护措施, 可根据防护需要采用阴极保护或阳极保护等电化学保护的方法。

- 3 电缆敷设应符合现行国家标准《电力工程电缆设计标准》GB 50217 的规定。

- 4 轨道性能防护设计应按本标准第 5.3.5 条的规定采用。

- 5 当设置排流网时, 其设计应符合本标准第 5.3.6 条的规定。

- 6 牵引电源设置要求应按本标准第 5.5.12 条的规定采用。在库内与库外之间, 接触网宜采取电分段, 回流网宜采取电气分隔。

- 7 回流走行轨技术要求应按本标准第 5.5.14 条和第 5.5.15 条的规定采用。基地内部回流走行轨在库内外及与正线之间应设置绝缘节和隔离开关, 或在轨道的适当地点采取轨道隔离措施, 回流网宜增设回流点和均流线。

- 8 接地技术要求应按本标准第 5.5.16 条的规定采用, 排流系统技术要求应按本标准第 5.5.17 条的规定采用, 接地网和排流系统应与正线分隔。

5.6.4 车辆基地检修线、停车库和静调库的防护设计应符合下

列规定：

- 1 检修线及车库内应采取双重绝缘或加强绝缘防护措施。
- 2 运行时走行轨不得直接接地。
- 3 停车线防护措施应符合设计要求。

5.6.5 位于地下的或进行上盖开发的车辆基地应采取加强的防护措施。

6 防护监控

6.1 一般规定

6.1.1 地铁杂散电流防护监控系统应包括杂散电流防护监测系统和防护控制系统。

6.1.2 当采用防护工程方案二时，宜建立杂散电流防护监测系统。

6.1.3 当采用防护工程方案三时，应建立杂散电流防护监测系统和防护控制系统。

6.1.4 防护监测系统应由变电所监测装置、轨道电位监测点设备、道床和主体结构的测试与防护连接端子、连接线缆组成。

6.1.5 防护控制系统应由监测装置和排流控制装置组成，并宜具备自动或人工启动和退出的功能。

6.1.6 地铁杂散电流参数测量、试验、检测及监控的测试设备应符合本标准附录 B 的规定。

6.2 监控系统

6.2.1 杂散电流监控系统宜由参比电极、排流网、测量与防护连接端子、极性排流装置、保护装置、传感器、数据转接器、传输电缆等组成。

6.2.2 相邻主体结构段应根据测试或防护需要经评估确定连接端子的导通。

6.2.3 测量走行轨与主体结构钢筋或大地的过渡电阻，应按测量区间分段进行，计算时应换算为 1km 长度的过渡电阻值。

6.2.4 地铁沿线应设置监测杂散电流专用的测量与防护连接端子，设置要求应符合本标准第 5.3.6 条第 3 款和第 5.4.6 条第 5 款的规定。

6.2.5 监测点可设置在测防端子处或一定的监控区域范围内。

监测点的设置应符合下列规定：

1 在牵引变电所回流点附近的每行走行轨处，可设置串联测量电流的分流器，回流线应连接分流器的一端；或可在每一根行走轨道上设置 10m 长的阻抗测量点。

2 在区间线路每隔 500m~800m 的每一根行走轨道上，可设置 10m 长的阻抗测量点。

3 可设置在主体结构变形缝 0.2m~1.2m 范围内。

4 可在紧邻的金属管线处设置测量电流和电压的接线点。

5 在土壤电阻率的测量点附近可设置土壤电阻率测量电极。

6 宜进行定电流试验。

6.2.6 监测点可由通信设备、模拟量采集设备、保护设备和接线端子等组成（图 6.2.6）。

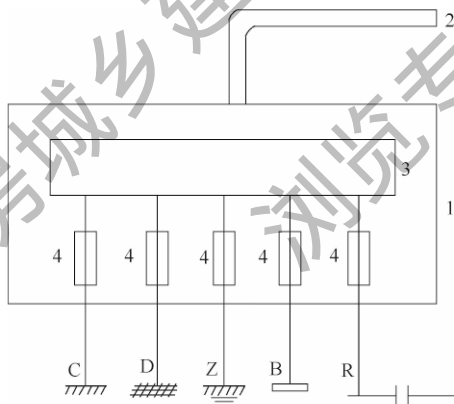


图 6.2.6 监测点接线原理图

1—智能传感器；2—通往杂散电流监测装置的通信电缆；3—模数转换器；

4—熔断器；C—结构钢筋；D—排流网；Z—地极（或外引接地极或洞内接地极或参比电极）；B—备用；R—行走轨（或 10m 长测量点或分流器）

6.2.7 轨道电位连续监测系统的设计宜按本标准附录 A 执行。

6.2.8 监测数据的统计处理宜按时刻 15min、30min、60min 和运营高峰时段、日、周、月、季、年进行划分。监测数据的电子

记录并应符合现行行业标准《建设电子文件与电子档案管理规范》CJJ/T 117 的规定。监测数据应进行归档整理与保管，整理工作应符合现行行业标准《城市轨道交通工程档案整理标准》CJJ/T 180 的规定。

6.2.9 一个互联的牵引供电区间的结构钢筋在连通后应开启监测系统，并应根据杂散电流的影响程度随时采取有效的防护措施。防护指标应使结构钢筋处于 $-1.5\text{V}\sim+0.5\text{V}$ 的保护电位。

6.2.10 排流装置启动运行条件应符合下列规定：

1 结构钢筋对地电位经测试高于设计允许值。

2 按本标准附录 A 测算的一个互联的牵引供电区间的结构钢筋网纵向电压高峰小时平均值超过 $+0.1\text{V}$ ，或含有 10% 峰值的平均值超过 $+0.5\text{V}$ 。

3 过渡电阻、纵向电阻等杂散电流参数监测结果低于设计值，经采取补救措施后仍低于设计值时。

4 满足设定的其他要求时。

5 排流装置运行后应随时监测排流参数的变化，排流参数的选择与调整应按本标准第 5.5.17 条的规定采用。

6.2.11 保护装置功能设计应能承受运行中可能出现的接触网最大故障电流，并应保护排流系统元器件运行正常。

6.3 监测参数

6.3.1 地铁杂散电流监测参数应符合表 6.3.1 的规定。

表 6.3.1 地铁杂散电流监测参数

序号	监测对象	监测参数	测算要求	限值要求	允许偏差
1	走行轨对结构钢筋	实时瞬间电压值	最大值 最大平均值 本期平均值	电压： $<0.02\text{V}$ 电流： $<0.1\text{A}$	$<1\%$
2	走行轨对地	实时瞬间电位值			
3	结构钢筋对地	实时瞬间电位值			
4	各排流支路	实时瞬间电流值			
5	总排流	实时瞬间电流值			
6	变电所负极柜	回流电流			

续表 6.3.1

序号	监测对象	监测参数	测算要求	限值要求	允许偏差
7	金属管线	对地电位	最大值	电压: <0.1V 电流: <0.5A	<2.5%
8	排流网	对地电位	最大平均值 本期平均值		
9	结构钢筋	自然电位	最大值 最大平均值	电压: <0.02V	<2.5%
10		危险电位			
11	结构钢筋防护电位				
12	最佳防护电位				
13	危险电位				
	排流装置				

6.3.2 地铁杂散电流监测参数的监测周期应小于 1s。

6.4 监控设施

6.4.1 地铁杂散电流监控设施应包括中央计算机系统、监控系统、监测信息显示系统、供配电系统、光（电）缆系统及附属设施。

6.4.2 监控设施应具有信息采集与处理功能、通信传输功能、信息显示与文档管理功能、故障检测与处理功能等。

6.4.3 监控设施的系统硬件应包括服务器、图形计算机、信息显示器、网络集线器及配电设备等。

6.4.4 监控设施的系统软件应包括信息采集与监视、信息发送、设备控制、信息控制、数据管理及参数超限报警等。

6.4.5 监控设施技术性能应满足模块化的硬件与软件构成和操作简便的人员界面，并应预留扩展接口。

6.4.6 地铁杂散电流监控设施技术指标应符合表 6.4.6 的规定。

表 6.4.6 地铁杂散电流监控设施技术指标

项目	指标	项目	指标
系统采样周期	≤1s	信息传递误码率	≤10 ⁻⁶
主控机显示刷新周期	≤3s	系统平均无故障时间	≥8000h
控制命令延时	≤30s	故障修复时间	≤2h
网络速率	≥10Mbps	连续工作时间	24h 不间断
遥控命令传送时间	<2s	设备状态变化信息传送时间	<2s

7 检验和测试

7.1 检验

7.1.1 采用防护方案二和方案三的地铁杂散电流防护工程，在各阶段工程交付前应进行检验。检验内容宜包括工程施工过程检验、工程竣工验收检验、试运营和运营后检验等。

7.1.2 在防护工程施工过程中应进行施工过程检验，检验内容宜符合表 7.1.2 的规定。

表 7.1.2 地铁杂散电流防护工程施工过程检验

序号	项目		防护工程	要求	验证
1	过渡电阻	走行轨对结构钢筋 (或专用排流网) 走行轨对地 结构钢筋(或专用 排流网)对地	方案一 方案二 方案三	4.2.4、5.3.2、A.2 4.2.5、5.3.5、A.2 4.2.6、5.3.5、 5.3.6、5.4.8、A.2	合格/ 不合格
2	纵向电阻	走行轨回流网 结构钢筋 (或专用排流网) 排流系统	方案一 方案二 方案三	4.2.4、5.3.2、A.2 4.2.5、5.3.5、A.2 4.2.6、5.3.5、 5.3.6、5.4.8、 5.5、5.6、A.2	合格/ 不合格
3	绝缘电阻	绝缘接头、绝缘件 轨枕对地、轨枕对走行轨 牵引变电所负回流母线 股道间均流线	方案一 方案二 方案三	4.2.4、5.3.2、A.2 4.2.5、5.3.5、A.2 4.2.6、5.3.5、 5.5、5.6、A.2	合格/ 不合格

注：1 检验项目应逐段进行。

2 检验要求应对照本标准进行。

7.1.3 对过渡电阻、纵向电阻和绝缘电阻的检验，在铺轨施工

完成后至工程竣工验收前，抽检不应少于2次。

7.1.4 在地铁工程竣工验收时或通车试运营一年内，应进行竣工验收检验，检验内容应符合表7.1.4的规定。

表 7.1.4 地铁杂散电流防护工程竣工验收检验

序号	项 目		防护工程	要求	验证
1	过渡电阻	走行轨回流网	方案一	4.2.4、5.3.2、A.2	合格/ 不合格
		对结构钢筋（或专用排流网）	方案二	4.2.5、5.3.3、5.3.5、5.4.7、5.6、A.2	
		走行轨对地	方案三	4.2.6、5.3.4、5.3.5、5.3.6、5.4.8、5.5.14、5.5.15、5.6、A.2	
2	纵向电阻	走行轨回流网	方案一	4.2.4、5.3.2、A.2	合格/ 不合格
		结构钢筋（或专用排流网）	方案二	4.2.5、5.3.3、5.3.5、5.4.7、5.6、A.2	
		金属管线	方案三	4.2.6、5.3.4、5.3.5、5.3.6、5.4.8、5.4.14、5.4.15、5.6、A.2	
3	绝缘电阻	绝缘接头、绝缘件	方案一	4.2.4、5.3.2、5.5、5.6、A.2	合格/ 不合格
		轨枕对地、轨枕对走行轨	方案二	4.2.5、5.3.3、5.3.5、5.5、5.6、A.2	
		轨道连接引线和分电器连接质量	方案三	4.2.6、5.3.4、5.3.5、5.5、5.6、A.2	
4	定电流试验	—	方案三	A.2	合格/ 不合格

续表 7.1.4

序号	项 目		防护工程	要求	验证
5	状态、质量、清洁度、积水情况	隧道	方案二 方案三	重点部位应进行电阻率测试	合格/ 不合格
6	管线敷设检查	隧道	方案二	4.2.5	合格/ 不合格
			方案三	4.2.6	
7	轨道电位	走行轨	方案三	A.3	合格/ 不合格
8	结构钢筋(或专用排流网)对地电位或极化电位	隧道	方案三	5.3.6、 5.4.8、A.3	合格/ 不合格
9	参数测试及准确性验证	排流系统	方案三	5.3.6、5.5.17、6	合格/ 不合格
10	功能测试	监控系统	方案三	6	合格/ 不合格

注：检验要求应按本标准对应条款进行。

7.1.5 地铁杂散电流防护工程投入运营后应定期进行检验，周期宜为两年，检验内容应符合表 7.1.5 的规定。

表 7.1.5 地铁杂散电流防护工程运营检验

序号	项目		防护工程	要求	验证
1	过渡电阻	走行轨回流网对结构钢筋(或专用排流网)	方案二	4.2.5、5.3.3、5.5、 5.6、6.2.3、A.2	合格/ 不合格
		走行轨回流网对地 结构钢筋(或专用排流网)对地	方案三	4.2.6、5.3.4、5.3.5、 5.3.6、5.5、5.6、 6.2.3、A.2	
2	纵向电阻	走行轨回流网排流系统	方案二	4.2.5、5.3.3、5.3.5、 5.5、5.6、A.2	合格/ 不合格
			方案三	4.2.3、5.3.3、5.3.4、 5.3.5、5.3.6、5.5.14、 5.5.15、5.5.17、 5.5、5.6、A.2	

续表 7.1.5

序号	项目		防护工程	要求	验证
3	绝缘电阻	绝缘接头、绝缘件 轨枕对地、轨枕对走行轨 轨道连接引线和分 流器连接质量	方案二	4.2.5、5.3.3、5.3.5、5.5、5.6、A.2	合格/不合格
		牵引变电所负回流母线 股道间均流线	方案三	4.2.6、5.3.3、5.3.4、5.3.5、5.5、5.6、A.2	
4	定电流试验	—	方案三	A.2	合格/不合格
5	轨道电位	走行轨	方案三	A.3	合格/不合格
6	结构钢筋对地电位和极化电位	隧道	方案三	5.4.8、A.3	合格/不合格
7	隧道状态	隧道	方案三	重点部位应进行电阻率测试	合格/不合格
8	测试线路的状态检查	监测点	方案三	6.2.5	合格/不合格
9	设备状态检查	监测与排流装置	方案三	测数据的收集、整理、统计和分析	合格/不合格
10	绝缘特性测试	结构钢筋(或专用排流网)与走行轨回流网金属管线与走行轨回流网	方案三	A.2	合格/不合格
11	巡视检验	—	—	9	—

注：检验要求应按本标准对应条款进行。

7.2 测 试

7.2.1 地铁杂散电流防护工程检验项目应采用现行国家标准《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 和本标准规定的方法进行测试。

7.2.2 对本标准第7.1节规定的检验项目，宜采用表7.2.2的方法进行测试。

表 7.2.2 地铁杂散电流检验项目的测试方法

项 目	方 法
过渡电阻	A.2、电压电流表法、接地电阻测量仪法
纵向电阻	A.2、电压电流表法、电桥法
绝缘电阻	A.2、兆欧表法、双毫伏表法
杂散电流值	A.2、间接测量法、定电流试验法
轨道电位	A.3、电压表法
极化电位	A.3、高内阻双向指针式表法、双向自动记录式电压表法

8 验收检验与移交

8.1 验收条件

8.1.1 地铁杂散电流防护工程在完成本标准第7章规定的检验项目及竣工后或交付前应进行验收检验，检验合格方可通过验收，验收合格方可组织工程移交。

8.1.2 防护工程验收检验应按现行国家标准《城市轨道交通运营基本条件》GB/T 30013和本标准的规定，对杂散电流防护工程投入试运营的基本条件进行评估认定，验收检验合格后方可移交。

8.1.3 施工过程中分阶段或逐段进行验收检验的防护工程项目应包括下列内容：

1 隐蔽工程。

2 按本标准第5.3.5条规定的轨道及结构钢筋或专用排流网的过渡电阻测试数据和施工质量检验报告/单。

3 按本标准第5.4.2条规定的主体建筑结构地下工程防水施工质量检验报告/单。

4 按本标准第5.4.8条规定的结构钢筋或专用排流网的纵向电阻测试数据及工程质量检验报告/单。

8.1.4 防护工程项目的检验记录及资料应完整，可作为验收移交依据归档保存。

8.1.5 验收检验合格的工程项目，应进行技术文件的整理、检查和报送，并应符合现行行业标准《城市轨道交通工程档案整理标准》CJJ/T 180的规定。

8.1.6 验收检验不合格的工程项目，应查明原因进行整改，择期再次进行验收检验，直至合格。

8.1.7 地面线路不应在雨、雪、雾等恶劣天气中进行验收检验

工作。

8.1.8 现场验收检验及测试工作应确保人员安全，工作环境应满足测试要求。

8.2 验收组织

8.2.1 地铁杂散电流腐蚀防护工程的验收检验应由建设单位、设计单位、施工单位、监理单位、运营单位、杂散电流受影响方和第三方检测机构等的专业人员组成。

8.2.2 验收组织应按本标准第4章至第8章规定的防护工程项目的要求，逐项完成对应项目的验收工作，验收检验合格的项目可办理移交手续。

8.2.3 施工质量不满足本标准及设计文件要求的，应视为不合格，不得办理工程移交。经返修并应验收合格，方可办理工程移交。

8.3 验收内容

8.3.1 验收检验的内容应符合下列规定：

- 1 施工范围和内容应符合本标准的规定。
- 2 工程质量应符合设计文件及本标准的规定。

8.3.2 工程验收检验应包括下列内容：

- 1 地铁杂散电流腐蚀防护工程的所有文件和图纸。
- 2 本标准第7.1节规定的所有检验项目的资料。
- 3 接触网、回流网的纵向电阻测试数据，回流网对地和对结构、结构钢筋对地的过渡电阻测试数据。
- 4 走行轨回流网的焊接点和栓接点的连接电阻测试数据。
- 5 线路试运行时的结构钢筋电位分布曲线测试数据。
- 6 全线各监测点施工质量检验单。
- 7 绝缘接头及绝缘法兰的绝缘电阻测试数据。
- 8 接地电阻检验单、接地电极及说明。
- 9 检验时采用的测试方法说明。

10 地铁杂散电流防护工程验收检验测试原始记录表（本标准附录 C 表 C-1）。

8.4 验收移交文件

8.4.1 地铁杂散电流防护工程验收移交需提供技术文件和资料应包括下列内容：

- 1 本标准第 8.3.2 条规定的验收检验技术内容的文件资料。
- 2 防护工程材料的出厂合格证明、进场检验或试验报告、现场抽样的复检报告。
- 3 设计变更通知单、材料代用的技术文件及施工过程中重大技术问题的处理记录。
- 4 隐蔽工程、走行轨回流网、结构段施工、设备、管道防护工程验收检验记录表（本标准附录 C 表 C-2~表 C-5）。

8.4.2 运营维护单位应保存防护工程验收移交技术资料的副本。

9 运营维护

9.0.1 地铁线路工程投入试运营或运营后，运营单位应按现行国家标准《城市轨道交通试运营基本条件》GB/T 30013 和本标准的要求，对地铁杂散电流防护工程投入试运营基本条件进行确认。

9.0.2 地铁运营维护应按现行国家标准《城市轨道交通运营管理规范》GB/T 30012 和本标准的要求，采取措施防止杂散电流腐蚀，对杂散电流进行实时监测和定期分析。

9.0.3 地铁运营维护应使地铁杂散电流防护系统保持实时连续工作状态，监测数据应自动保存。

9.0.4 地铁运营维护应符合下列规定：

- 1 应设置专业人员对地铁杂散电流防护进行总体负责。
- 2 监测与排流装置的运行、维护、管理及监测数据的收集、整理、统计、分析工作，宜设置专人负责。
- 3 运营检验应按本标准第 7.1.5 条的规定执行。
- 4 隧道、轨道、监测点的巡视和检查，应列入地铁杂散电流防护的工作计划，并应由相关专业组织实施。

5 当极化电位或过渡电阻超限时，应及时查明原因并采取有效措施进行处理。

6 检验数据和实时监测数据应整理成工作报表。

7 应填写地铁杂散电流防护系统运营维护相关报表，报表的格式宜按本标准附录 C 表 C-6~表 C-8 执行，或根据运营维护的需要自行制定不低于本标准要求的报表。

9.0.5 地铁运营中应实时监测地铁杂散电流相关参数，应根据参数值的变化情况采取相应措施进行有效控制。当监测的结构钢筋电位超标时，维护工作应符合下列规定：

- 1 应判明情况。
 - 2 当情况不明时，应对走行轨回流网的绝缘情况进行测试检验。
 - 3 采取排流措施应根据检测结果经评估决定。
- 9.0.6** 地铁杂散电流监测点应保持连接可靠，数据传输应稳定，并应进行清洁、检查和维护。

附录 A 测试方法

A.1 一般规定

A.1.1 地铁牵引回流泄漏情况、地铁主体建筑结构钢筋及金属管线受杂散电流腐蚀的程度，宜通过测试数据进行计算、分析和判断。地铁杂散电流实时变化情况及其对金属结构影响估算、线路特性测量、走行轨绝缘评估，应符合现行国家标准《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和本标准的规定。

A.1.2 杂散电流测试数据应包括下列内容：

- 1 每日平均值；
- 2 运行时间平均值；
- 3 高峰小时平均值；
- 4 含10%峰值的平均值；
- 5 瞬时最大值；
- 6 测试时间平均值等。

A.1.3 杂散电流测试持续时间应符合下列规定：

- 1 计算平均值的测试持续时间应大于地铁运行中双向通过10对列车的时间。
- 2 计算地铁主体建筑结构钢筋受外部杂散电流腐蚀的影响程度，测试持续时间应大于0.5h。

A.1.4 地铁杂散电流参数计算宜符合下列规定：

- 1 每日平均值可按下式计算：

$$A_{da} = \sum_{i=1}^n \frac{A_{di} \cdot \Delta t}{n} \quad (\text{A.1.4-1})$$

式中： A_{da} ——每日平均值；

A_{di} ——24h内被测电压(V)、电流(A)等参数物理量的实测值;

Δt ——表示实测数据的取样时间间隔(s);

n ——表示24h内的取样数目。

2 运行时间平均值可按下式计算:

$$A_{pa} = \sum_{i=1}^n \frac{A_{pi} \cdot \Delta t}{n} \quad (\text{A. 1. 4-2})$$

式中: A_{pa} ——运行时间平均值;

A_{pi} ——运行时间内被测电压(V)、电流(A)等参数物理量的实测值;

Δt ——表示实测数据的取样时间间隔(s);

n ——表示运行时间内的取样数目。

3 高峰小时平均值可按下式计算:

$$A_{pa} = \sum_{i=1}^n \frac{A_{pi} \cdot \Delta t}{n} \quad (\text{A. 1. 4-3})$$

式中: A_{pa} ——高峰小时平均值;

A_{pi} ——高峰小时内被测电压(V)、电流(A)等参数物理量的实测值;

Δt ——表示实测数据的取样时间间隔(s);

n ——表示高峰小时内的取样数目。

4 瞬时最大值 $A_{m, \max}$ 可根据实测结果计算确定。

A. 1. 5 当测量值需换算为预测值时, 宜将实测值乘以预测系数(y)。预测值系数可按下式计算:

$$y = n_y / n_m \quad (\text{A. 1. 5})$$

式中: y ——预测值系数;

n_m ——测量时的列车实际运行对数;

n_y ——地铁未来预期运行对数。

A. 1. 6 当测量仪表的内阻值小于测量电极的电阻值时, 所测得的实测值可按下式换算:

$$U_r = U_m(R_i + R_c)/R_i \quad (\text{A. 1. 6})$$

式中： U_r ——实测电压数值（V）；

U_m ——测量时仪表的指示值（V）；

R_i ——仪表内阻值（ Ω ）；

R_c ——测量电极电阻值（ Ω ）。

A. 1. 7 测试地铁杂散电流实时变化情况，宜采用静态测试方法和动态测试方法。静态方法宜适用于工程的检查验收和施工过程中的质量测试。动态方法宜适用于地铁运营过程中的监测。

A. 1. 8 地铁在运营过程中对动态的杂散电流参数，应进行自动监测、记录 and 数据处理，并应根据数值变化和防护需要采取相应措施。

A. 2 静态测试方法

I 过渡电阻

A. 2. 1 地铁牵引网与结构钢筋、地之间或杂散电流防护对象的两个导体之间，应按本标准进行过渡电阻测试。

A. 2. 2 牵引网与结构钢筋、地之间的过渡电阻测试内容应符合表 A. 2. 2 的规定。

表 A. 2. 2 牵引网与结构钢筋、地之间的过渡电阻测试

牵引网		结构钢筋	地	过渡电阻	测点里程标
接触网	架空接触网	正馈线导体			
		连接组件			
	接触轨	三轨			
		连接组件			
回流网	专用回流网	回流导体			
		连接组件			
	走行轨回流网	走行轨			
		连接组件			

续表 A. 2. 2

牵引网	结构钢筋	地	过渡电阻	测点里程碑
测试方法				
测量仪器仪表				
测试计算数据				
是否合格				
测试时间				
测试人员				

注：测试重点内容宜为走行轨回流网。

A. 2. 3 结构钢筋对地过渡电阻宜采用接地电阻测量仪或电压电流法进行测试。

A. 2. 4 过渡电阻测试应符合下列规定：

1 测试工作应在停电以后进行，并应断开本测量区段与相邻区段之间的电气连接。

2 整个区间各个测试区段进行逐个测试，并按下述方法求出其等值过渡电阻值。实测走行轨对结构钢筋、地的过渡电阻值，宜换算为1km长度走行轨的等值过渡电阻值。过渡电阻值可按下式计算：

$$\omega_{r-c} = \frac{R_m \cdot L}{1000} \quad (\text{A. 2. 4})$$

式中： ω_{r-c} ——过渡电阻值（ $\Omega \cdot \text{km}$ ）；

R_m ——在测试区间的实测值（ Ω ）；

L ——被测区段的长度（m）。

3 将被测区间所含的各个独立区段的测量结果，按并联方式计算其等值电阻值，方可求出本区间的等值过渡电阻。

4 在车场测试过渡电阻时，应在被测库线或端头线上没有电压的情况下进行。

II 纵向电阻

A. 2. 5 纵向电阻的测试可分为轨条电阻测试、线路纵向电阻测

试和轨道连接电阻测试。

A. 2. 6 轨条电阻测试方法应符合现行国家标准《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 的规定。

A. 2. 7 线路纵向电阻测试内容应符合表 A. 2. 7 的规定。

表 A. 2. 7 线路纵向电阻测试记录

测试对象			纵向电阻	测点里程标	备注
牵引网	接触网	架空接触网	正馈线导体		
			连接组件		
		接触轨	三轨		
			连接组件		
	回流网	专用回流网	回流导体		
			连接组件		
		走行轨回流网	走行轨		
			连接组件		
排流网					
结构钢筋					
测试方法					
测量仪器仪表					
测试计算数据					
是否合格					
测试时间					
测试人员					

A. 2. 8 线路纵向电阻测试应符合下列规定：

- 1 应对一个区间的走行轨进行测试。
- 2 宜假定上行接触网区间长度的电阻值为 R_1 ，下行接触网区间长度的电阻值为 R_2 ，回流走行轨的电阻值为 R_3 。
- 3 测试方法宜采用电压电流表法或电桥法。
- 4 应至少进行三次相类似的测试。

5 应通过计算求得相应的电阻值。

A. 2. 9 线路纵向电阻测试步骤及公式应符合下列规定：

1 宜设定 R_1 、 R_2 和 R_3 分别代表任何一个待测长线型导体结构的电阻。

2 在区间另一端的牵引变电站上，宜将上行接触网（轨）和回流走行轨短接后在本侧牵引站上测量电阻，可按下式计算：

$$A = R_1 + R_3 \quad (\text{A. 2. 9-1})$$

3 在区间另一端的牵引变电站上，宜将下行接触网（轨）和回流走行轨短接后在本侧牵引站上测量电阻，可按下式计算：

$$B = R_2 + R_3 \quad (\text{A. 2. 9-2})$$

4 在区间另一端的牵引变电站上，宜将上、下行接触网（轨）短接后在本侧牵引站上测量电阻，可按下式计算：

$$C = R_1 + R_3 \quad (\text{A. 2. 9-3})$$

5 宜将以上三次所测得的电阻值相加，并扣除 A 、 B 、 C 测量接线电阻值，可按下式计算：

$$A + B + C = 2(R_1 + R_2 + R_3) = D \quad (\text{A. 2. 9-4})$$

由此可得出：

上行接触网（轨）的电阻值可按下式计算：

$$R_1 = D/2 - B \quad (\text{A. 2. 9-5})$$

下行接触网（轨）的电阻值可按下式计算：

$$R_2 = D/2 - A \quad (\text{A. 2. 9-6})$$

走行轨的电阻值可按下式计算：

$$R_3 = D/2 - C \quad (\text{A. 2. 9-7})$$

6 宜将上述所求得的电阻值换算为单位长度每公里走行轨的电阻值，方可求得走行轨纵向电阻值。

7 利用本测试方法可同时测量排流网、结构钢筋的纵向电阻。

A. 2. 10 轨道连接电阻测试应符合下列规定：

1 回流走行轨轨道之间焊接部位的连接电阻可采用双毫伏表方法进行测试。

2 测试工作条件应符合下列规定：

- 1) 应在停车、无电的情况下进行测试；
- 2) 应将试验用直流电源与轨道接通，生成测试电流。

3 轨道连接电阻以相对值 R_j 表示，可按下式计算：

$$R_j = \frac{U_1}{U_2} - 1 \quad (\text{A. 2. 10})$$

式中： R_j ——轨道连接电阻；

U_1 ——包括有接头的 1m 轨道长度上的电压降 (V)；

U_2 ——不含有接头的 1m 轨道长度上的电压降 (V)。

III 绝缘电阻

A. 2. 11 绝缘电阻测试应符合下列规定：

1 绝缘电阻测试内容应符合表 A. 2. 11 的规定。

表 A. 2. 11 地铁绝缘电阻测试记录

测试对象			绝缘电阻	测点里程碑	备注
牵引网	接触网	架空接触网	正馈线导体		
			连接组件		
		接触轨	三轨		
			连接组件		
	回流网	专用回流网	回流导体		
			连接组件		
		走行轨回流网	走行轨		
			连接组件		
排流网					
走行轨断点绝缘节					
结构段绝缘节					
测试方法					
测量仪器仪表					
测试计算数据					
是否合格					
测试时间					
测试人员					

2 绝缘电阻的测试点选定宜包括下列内容：

- 1) 走行轨断点绝缘节相邻段之间；
- 2) 结构段绝缘节；
- 3) 回流轨的轨枕金属连接件对走行轨条、对地之间；
- 4) 高架桥的桥梁与桥墩之间。

3 测试方法可采用电压电流表法。

IV 定电流试验

A. 2. 12 地铁杂散电流值可采用定电流试验的方法进行现场实测，并可根据测试数据进行计算与判断。

A. 2. 13 定电流试验应符合下列规定：

- 1 试验时间宜选择在地铁停运后或新线试运行前进行。
- 2 宜采用模拟的方法创造接近实际情况的回流条件，确定某一特定时刻的数值。
- 3 在走行轨分断点处可串联接入符合试验要求的分流器或电流表，也可事前测定每一根走行轨 10m 长的电阻值，可利用实测电压值换算出该点的走行轨回流电流。
- 4 宜采用电压表测量各点的电压值。
- 5 应计算各测点走行轨电流之差，此数值为泄漏的杂散电流值。
- 6 走行轨电流达到最小值的点应为中性点。
- 7 最大杂散电流值应等于总负荷电流与中性点电流之差。

A. 2. 14 定电流试验应按试验原理进行工作布置，并绘制接线图（图 A. 2. 14）。

V 结构钢筋的杂散电流

A. 2. 15 结构钢筋的杂散电流值宜采用测试与估算的方法，测算出钢筋混凝土结构向外泄漏出的杂散电流值。在测试区段内结构钢筋连通的情况下，可按下式计算：

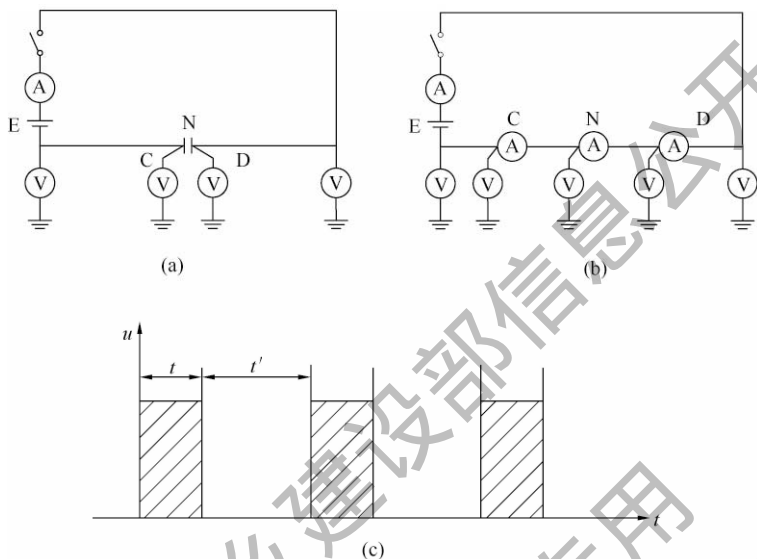


图 A.2.14 定电流试验原理及试验电源波形示意

(a) 中性点明确时泄漏电流与过渡电阻试验；(b) 泄漏电流与过渡电阻试验；

(c) 定电流试验电源波形；A—电流表；V—电压表；C、D—测点；

N—试验区间中性点

$$I_a = \frac{U_{c-z}}{R_{c-z}} \quad (\text{A. 2.15})$$

式中： I_a ——在测量时间内，结构钢筋的泄漏电流平均值 (A)；

U_{c-z} ——某一结构钢筋段长度内的结构钢筋对地电位平均值 (V)；

R_{c-z} ——相应结构钢筋段长度内结构钢筋对地过渡电阻 ($\Omega \cdot \text{km}$)。

A.3 动态测试方法

I 轨道电位

A.3.1 采用方案二和方案三的地铁杂散电流防护工程，在运营

期应对轨道电位进行持续监测，并应绘制走行轨对地、走行轨对结构、走行轨对排流网的轨道电位分布图。

A. 3.2 轨道电位测试应符合下列规定：

1 监测测试持续时间应符合本标准附录 A 第 A.1.3 条的规定。

2 监测点应沿线路方向布设。

3 监测数据宜进行平均处理。

4 平均周期宜为 24h。

5 宜采用集中式数据采集系统。

6 应自动显示轨道与地连接的状态和位置。

7 宜参照推荐的方法。

8 应便于运营维护。

A. 3.3 监测点位置宜布设在牵引变电所和车站附近，监测点之间的距离宜为 0.5km~1km。

A. 3.4 轨道电位动态连续监测可得到与变化的运行图独立的数据。

A. 3.5 轨道电位可按下列公式计算：

$$U_{RE} = 0.5 \times I \times R_C \times (1 - e^{-\frac{L}{L_C}}) \quad (\text{A. 3.5-1})$$

$$R_C = \sqrt{\frac{R'_R}{G'_{RE}}} \quad (\text{A. 3.5-2})$$

$$L_C = \frac{1}{\sqrt{R'_R \times G'_{RE}}} \quad (\text{A. 3.5-3})$$

式中： U_{RE} ——轨道电位 (V)；

I ——高峰小时计算区间牵引回流平均值 (A)；

R_C ——走行轨/结构钢筋的特性电阻 (Ω)；

L_C ——走行轨/结构钢筋的特性长度 (km)；

L ——计算区间长度 (km)，正常双边供电时，取牵引变电所间距的 1/2；

R'_R ——单位长度走行轨纵向电阻 (Ω/km)；

G'_{RE} ——单位长度走行轨对地电导 [$1/(\Omega \cdot \text{km})$]。

当两监测点走行轨对地电压极性一致时，单位长度内的杂散电流可利用轨道电位和走行轨对地电导进行测算，可按下式计算：

$$I'_S = U_{RE} \times G'_{RE} \quad (\text{A. 3. 5-4})$$

式中： I'_S ——与长度有关的钢轨泄漏入地的杂散电流（A）。

由公式（A. 3. 1. 5-1）和公式（A. 3. 1. 5-4）可推导出下式：

$$I'_S = 0.5 \times \frac{I}{L_C} \times \left(1 - e^{-\frac{L}{L_C}}\right) \quad (\text{A. 3. 5-5})$$

A. 3. 6 轨道电位连续监测系统可由调制解调器、计算机、中央处理器、牵引变电站、接触网、回流走行轨、传感器和传输网络等组成（图 A. 3. 6）。

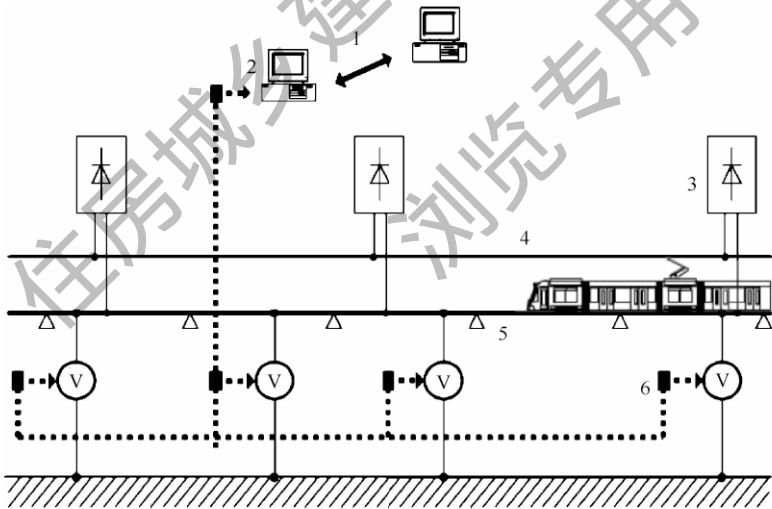


图 A. 3. 6 轨道电位连续监测系统原理示意

- 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—牵引变电站；4—接触网；5—回流走行轨；6—测量传感器和
数据传输网络

A. 3. 7 轨道电位测试数据记录应符合表 A. 3. 7 的规定。

表 A.3.7 轨道电位测试数据记录

监测点	测点里程标	走行轨-地	走行轨-结构	结构-地	备注

II 轨道电位分布图

A.3.8 轨道电位分布图宜采用在不同监测点同时采集的数据进行绘制。当测量工作不能同时进行，可按本标准附录 A 第 A.1.4 条将实测值换算为对应时间区段的平均值进行绘制。

A.3.9 轨道电位分布图的绘制应符合下列规定：

1 应采用高峰小时平均值、含有 10% 峰值的平均值、日（昼夜）平均值。

2 应沿水平轴线标出地铁长度距离（百米公里标），沿纵轴标出相应的电压值，正极性向上，负极性向下。

3 在轨道电位分布图的下面，应按线路相应区段的坐标位置，标出现场测得的走行轨-结构的过渡电阻值。

A.3.10 轨道电位分布图定量评价应符合下列规定：

1 走行轨电压特性区段可分为优先阳极区、优先阴极区和极性变换区；

2 轨道电位不对称系数 β 可按下式计算：

$$\beta = \frac{U_{r-c}(+)}{|U_{r-c}(+)| + |U_{r-c}(-)|} \quad (\text{A.3.10})$$

式中： $U_{r-c}(+)$ ——走行轨对主体结构电压日平均值的正值 (V)；

$U_{r-c}(-)$ ——走行轨对主体结构电压日平均值的负值 (V)。

3 轨道电位不对称系数应符合表 A. 3. 10 的规定。

表 A. 3. 10 轨道电位不对称系数

走行轨电压特性区段	轨道电位不对称系数 β
优先阳极区	$\beta > 0.7$
极性变换区	$0.3 \leq \beta \leq 0.7$
优先阴极区	$\beta < 0.3$

III 结构钢筋纵向电压

A. 3. 11 地铁主体结构钢筋纵向电压应在运营过程中进行测试和计算，并应以此测算数据为依据对结构钢筋的防护状态及效果进行分析、判断和评估。

A. 3. 12 测算结构钢筋纵向电压需分析和计算的参数宜包括下列内容：

- 1 计算区间的长度；
- 2 相邻区间的长度；
- 3 走行轨与结构间电导；
- 4 结构与地间电导；
- 5 走行轨纵向电阻；
- 6 结构内部连通状况及纵向电阻；
- 7 计算区间的牵引回流；
- 8 相邻区间的牵引回流。

A. 3. 13 测算结构钢筋纵向电压降可按回流区间分别进行，可按下列公式估算：

$$U_s = 0.5 \times I \times L \times \frac{R'_R \times R'_T}{R'_R + R'_T} \times \left(1 - \frac{L_C}{L} \times (1 - e^{-\frac{L}{L_C}}) \right) \quad (\text{A. 3. 13-1})$$

$$L_C = \frac{1}{\sqrt{(R'_R + R'_T)/R'_{RT}}} \quad (\text{A. 3. 13-2})$$

式中： U_s ——结构钢筋纵向电压 (V)；

I ——高峰小时计算区间牵引回流平均值 (A)；

L ——计算区间长度 (km)，正常双边供电时，宜取牵引变电所间距的 1/2；

R'_R ——单位长度走行轨纵向电阻 (Ω/km)；

R'_T ——单位长度结构钢筋纵向电阻 (Ω/km)；

L_C ——走行轨/结构钢筋的特性长度 (km)；

R'_{RT} ——单位长度走行轨对地过渡电阻率 ($\Omega \cdot \text{km}$)。

A. 3. 14 当进行结构钢筋纵向电压降测算时，应分析和计算公式中参数对结构钢筋或排流网的影响。

IV 极化电位

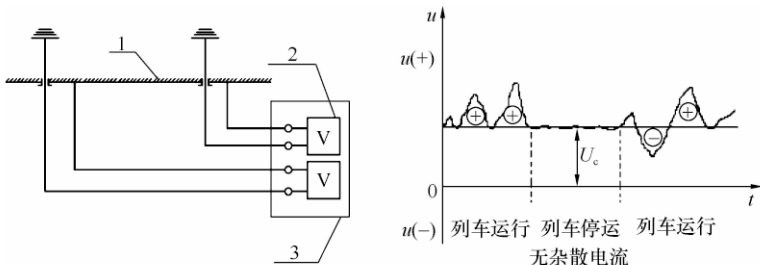
A. 3. 15 极化电位测试应符合下列规定：

1 应测量主体结构钢筋在不受地铁杂散电流影响时的自然本底电位 U_c 。

2 可使用高内阻双向指针式或双向自动记录式电压表进行测量。

3 应在地铁停运并停电 0.5h 以后进行。

4 主体结构钢筋对地电位测试接线时，仪表正极应接主体结构钢筋，负极应接测量参比电极 (图 A. 3. 15a)。



(a) 测量原理接线

(b) 考虑自然本体电位 U_c 时的电位曲线处理方法

图 A. 3. 15 主体结构钢筋对地电位测量方法示意

1—结构钢筋；2—记录型电压表；3—组装箱体

5 测出的自然本体电位应采用平行于时间轴的横线 U_c 表示 (图 A. 3. 15b)。

6 宜以 U_c 作为本次测量的基准零电位。

7 按以上 1~5 步骤可测得地铁运行时具有随机变量特性的地铁结构的极化电位值。

8 测量时间不应少于 30min。

9 应计算正向极化电压曲线的平均值。

10 应与以往测量值及标准的规定值进行分析比较。

A. 3. 16 根据测试数据计算得出的电压平均值画出沿线路的电压分布曲线图, 应按一定比例沿地下金属结构及管线标出线路各个坐标位置上的电压数值。

A. 3. 17 监测点应设置在参比电极附近。

A. 3. 18 测试数据整理应符合下列规定:

1 在测量周期中正电压 $U_a (+)$ 和负电压 $U_a (-)$ 的平均值或电流的平均值应分别加绝对值, 可按下列公式计算:

$$U_a (+) = \frac{\sum_{i=1}^p U_i (+)}{n} \quad (\text{A. 3. 18-1})$$

$$U_a (-) = \frac{\sum_{i=1}^m U_i (-)}{n} \quad (\text{A. 3. 18-2})$$

式中: $\sum_{i=1}^p U_i (+)$ —— 被测物理量正极性瞬间实测值之和 (V);

$\sum_{i=1}^m U_i (-)$ —— 被测物理量负极性瞬间实测值之和 (V);

n —— 试验中读取测量数据的总数;

p —— 试验中读取正极性实测值的次数;

m —— 试验中读取负极性实测值的次数。

2 使用自动记录仪表对电压值进行连续测量时, 可在记录纸上标出相应的电压位移 U_c 值。在整理试验结果和进行计算时, 可根据位移后的电压水平曲线进行计算。

附录 B 测试设备要求

B.0.1 测量仪表应满足地铁杂散电流测量特性的要求，并应符合下列规定：

- 1 应具有能满足测量要求的显示速度、准确度和量程要求。
- 2 应具有携带方便、供电方便，适应现场测量环境的特点。
- 3 宜优先选用数字式仪表，并应符合下列规定：
 - 1) 电压表的准确度不应低于 0.5 级，电压表的分辨率应满足被测电压值的精度要求，应具有至少 3 位有效数。
 - 2) 电流表的准确度不应低于 2.5 级，电流表的分辨率应满足被测电流值的精度要求，应具有至少 2 位有效数；当只有 2 位有效数时，首位应大于 1；电流表的内阻应小于被测电流回路总电阻的 5%。
- 4 测量误差应小于 5%。
- 5 应定期校验。

B.0.2 当测量轨道、主体结构电压或电位时，应使用高内阻的电压表。

B.0.3 当测量钢筋混凝土主体建筑结构的纵向电压时，测量仪表应具有多量程和快阻尼特性，其内阻不应小于 $1 \times 10^6 \Omega$ 。

B.0.4 当被测参数具有随时间强烈变化的特性时，宜采用自动记录型的仪表进行测量，记录仪应具有较高的内阻值并便于携带。

B.0.5 当测量过渡电阻、结构接地电阻等参数时，可采用接地电阻测量仪或额定电压为 50V、100V、250V、500V、1000V、2500V 的兆欧表。

B.0.6 杂散电流参数测量仪表技术要求应符合表 B.0.6 的规定。

表 B.0.6 杂散电流参数测量仪表技术要求

仪表类型	精度等级	刻度	量程	内阻
毫伏表 (配合分流器使用)	≥ 0.5	双向刻度 0位在中间	0— $\pm 75\text{mV}$ — $\pm 150\text{mV}$ — $\pm 300\text{mV}$ — $\pm 1\text{V}$ — $\pm 3\text{V}$ — $\pm 5\text{V}$	$\geq 20\text{k}\Omega/\text{V}$
电压表 携带式电压表	≥ 0.5	双向刻度 0位在中间	0— $\pm 10\text{V}$ — $\pm 50\text{V}$ — $\pm 100\text{V}$ — $\pm 200\text{V}$ — $\pm 500\text{V}$ — $\pm 1000\text{V}$	$\geq 50\text{k}\Omega/\text{V}$
携带式自动记录 电位差计或电压表	≥ 0.5	仪表0位可根据需要调节	—	$\geq 1 \times 10^6 \Omega$
接地电阻测量仪	≥ 1.0	单向刻度	0— 10Ω — 100Ω 0— 10Ω — 100Ω — 1000Ω	—
兆欧表	≥ 1.0	单向刻度	仪表电压为50V、100V、 500V、1kV、2.5kV	—
电流表	≥ 2.5	—	—	$< 5\% \Sigma \Omega$

注： $\Sigma \Omega$ 为被测电流回路总电阻。

B.0.7 地铁杂散电流防护工程应选择能满足测试要求的接地极作为测量电极，并以此作为测量地铁结构中杂散电流参数的参比电极。测量所用的参比电极，应设置在与被测点接近的地方。

B.0.8 参比电极与土壤接触产生的电极电位应稳定并可预知，且不应影响测量结果。

B.0.9 地铁杂散电流防护工程宜采用预先准确预知其极化电位值的硫酸铜或氧化钨等测量电极作为专用的参比电极。

B.0.10 当被测电压值达到1V以上时，可采用钢制电极。

B.0.11 钢制电极应符合下列规定：

- 1 直径宜为10mm~15mm。
- 2 长度宜为50mm~80mm。
- 3 上端应设置测量专用接线螺母。

4 地面测量时电极置入地下深度不应小于 500mm。

B. 0. 12 测试连接线缆参数应符合表 B. 0. 12 的规定。

表 B. 0. 12 测试连接线缆参数

参数	单位	要求
长度	m	≤ 10
截面积	mm ²	≥ 2.5
绝缘耐压	kV	≥ 2

附录C 测试记录表

表 C-1 地铁杂散电流腐蚀防护工程验收检验测试原始记录

工程名称	测试单位名称				
线路长度	测试项目	:		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
测试仪表	测试范围			仪表精度	<input type="checkbox"/>
测试方法	计算公式				
测点序号	测试点里程标	测试点长度 (m)	原始测试数据	测试计算数据	是否合格
验收意见					
建设单位:	设计单位:	施工单位:	监理单位:	运营单位:	测试单位:
项目负责人:	项目负责人:	项目技术负责人:	项目专业质量检查员:	项目专业质量检查员:	项目负责人:
年 月 日	年 月 日	年 月 日	年 月 日	年 月 日	年 月 日
参与验收单位		××单位:			

表 C-2 隐蔽工程验收移交记录

工程名称		分项名称	
图号		隐蔽日期	
隐蔽内容			
简图或说明 (可附后)			
检查意见			
验收/接收单位： 现场代表： 年 月 日	建设单位： 项目负责人： 年 月 日	设计单位： 项目负责人： 年 月 日	施工单位： 项目技术负责人： 项目专业质量检查员： 施工班组长： 年 月 日
监理单位： 项目负责人： 年 月 日	运营单位： 项目负责人： 年 月 日	测试单位： 项目负责人： 年 月 日	××单位： 项目负责人： 年 月 日

表 C-3 验收移交记录

项目			
位置编号			
工号			
部位名称		施工图号	
实测项目	质量标准	实测数据	平均值
验收/接收单位： 现场代表： 年 月 日	建设单位： 项目负责人： 年 月 日	设计单位： 项目负责人： 年 月 日	施工单位： 项目技术负责人： 项目专业质量检查员： 施工班组长： 年 月 日
监理单位： 项目负责人： 年 月 日	运营单位： 项目负责人： 年 月 日	测试单位： 项目负责人： 年 月 日	××单位： 项目负责人： 年 月 日

表 C-4 设备、管线防腐蚀工程验收移交汇总

工程名称							
工程编号							
设备编号 管线编号	名 称	规格型号	数 量	安装位置	绝缘措施	绝缘电阻	检查结果
项目负责人：						年 月 日	
项目技术负责人：						年 月 日	
项目专业质量检查员：						年 月 日	

表 C-5 地铁杂散电流腐蚀防护工程验收移交报告

工程名称			
开工日期	年 月 日	移交日期	年 月 日
工程内容简述			
交工情况	符合设计程度	主要缺陷	处理意见
工程质量			
工程接收意见			
备注			
验收/接收单位： 现场代表： 年 月 日	建设单位： 项目负责人： 年 月 日	设计单位： 项目负责人： 年 月 日	施工单位： 项目技术负责人： 项目负责人： 年 月 日
监理单位： 项目负责人： 年 月 日	运营单位： 项目负责人： 年 月 日	测试单位： 项目负责人： 年 月 日	××单位： 项目负责人： 年 月 日

表 C-6 地铁杂散电流腐蚀防护系统运营维护记录

线路名称					
总负责人			联系电话		
监测点	区 段	长 度	车 站	联系电话	负 责 人

表 C-7 巡查记录

监测点					
负责人			联系电话		
机房设备	测点	连接线	轨道	隧洞	日期

表 C-8 监测数据统计记录

监测点					
负责人			联系电话		
轨道电位	道床电位	结构电位	超标参数值	排流情况	日期

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 2 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 3 《钢结构设计标准》 GB 50017
- 4 《交流电气装置的接地设计规范》 GB 50065
- 5 《地下工程防水技术规范》 GB 50108
- 6 《地下防水工程质量验收规范》 GB 50208
- 7 《地铁设计规范》 GB 50157
- 8 《电力工程电缆设计标准》 GB 50217
- 9 《钢质石油储罐防腐蚀工程技术规范》 GB/T 50393
- 10 《混凝土结构耐久性设计标准》 GB/T 50476
- 11 《埋地钢质管道防腐保温层技术标准》 GB/T 50538
- 12 《埋地钢质管道直流干扰防护技术标准》 GB/T 50991
- 13 《钢筋混凝土用钢 第 3 部分：钢筋焊接网》 GB/T 1499.3
- 14 《城市轨道交通直流牵引供电系统》 GB/T 10411
- 15 《埋地钢质管道腐蚀防护工程检验》 GB/T 19285
- 16 《埋地钢质管道阴极保护参数测量方法》 GB/T 21246
- 17 《钢质管道外腐蚀控制规范》 GB/T 21447
- 18 《埋地钢质管道阴极保护技术规范》 GB/T 21448
- 19 《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》 GB/T 23257
- 20 《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
- 21 《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
- 22 《城市轨道交通运营管理规范》 GB/T 30012

- 23 《城市轨道交通试运营基本条件》 GB/T 30013
- 24 《城镇燃气埋地钢质管道腐蚀控制技术规程》 CJJ 95
- 25 《建设电子文件与电子档案管理规范》 CJJ/T 117
- 26 《城市轨道交通工程档案整理标准》 CJJ/T 180
- 27 《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》 JGJ 114
- 28 《电气化铁路接触网零部件技术条件》 TB/T 2073
- 29 《防腐木枕》 TB/T 3172
- 30 《铁路桥涵混凝土结构设计规范》 TB 10092
- 31 《铁路混凝土结构耐久性设计规范》 TB 10005
- 32 《埋地钢质管道直流排流保护技术标准》 SY/T 0017
- 33 《埋地钢制管道石油沥青防腐层技术标准》 SY/T 0420
- 34 《埋地钢制管道环氧煤沥青防腐层技术标准》 SY/T

0447