

中华人民共和国行业标准

地铁杂散电流腐蚀防护 技术规程

CJJ 49—92



1993 北 京

中华人民共和国行业标准

地铁杂散电流腐蚀防护
技术规程

CJJ 49—92

主编单位：北京市地下铁道科学技术研究所
批准部门：中华人民共和国建设部
施行日期：1993年4月1日

关于发布行业标准《地铁杂散电流腐蚀 防护技术规程》的通知

建标〔1992〕477号

根据原城乡建设环境保护部(88)城标字第141号文的要求,由北京市地下铁道科学技术研究所主编的《地铁杂散电流腐蚀防护技术规程》,业经审查,现批准为行业标准,编号CJJ49—92,自1993年4月1日起施行。

本标准由建设部城镇建设标准技术归口单位建设部城市建设研究院归口管理,其具体解释工作由北京市地下铁道科学技术研究所负责。

本标准由建设部标准定额研究所组织出版。

中华人民共和国建设部

1992年7月25日

目 录

第一章 总 则	(1)
第二章 基 本 原 则.....	(2)
第三章 地铁结构与设备受杂散电流腐蚀的 危险性指标	(3)
第四章 地铁杂散电流值的限制	(5)
第一节 地铁牵引供电系统	(5)
第二节 地铁走行轨回流系统	(6)
第五章 地铁沿线金属管线结构的防护	(9)
第一节 地铁主体结构	(9)
第二节 电缆及管道结构.....	(9)
第三节 地铁及车辆段结构与设施	(10)
第六章 防 护 监 测.....	(11)
第一节 一 般 规 定	(11)
第二节 监测点和测量室.....	(12)
第七章 验收与检查试验	(13)
附录一 本规程术语解释	(16)
附录二 地铁杂散电流腐蚀与防护的试验测量 和使用仪表	(19)
附录三 本规程用词说明	(32)
附加说明	(33)
附：条文说明.....	(35)

第一章 总 则

第 1.0.1 条 地铁的杂散电流(迷流)对城市建筑和地铁本身具有较大的腐蚀作用,为有效地限制地铁杂散电流,降低与消除其不利影响,保证地铁具有良好的社会经济总体效益,制订本规程。

第 1.0.2 条 本规程适用于采用直流电力牵引和走行轨回流方式的地铁系统的设计、施工和运行维护等各个环节。其中主要包括:

一、地铁直流牵引供电系统中与限制和减小杂散电流值有关的措施;

二、地铁中可能受到杂散电流腐蚀或影响其外泄的结构与设备;

三、地铁系统中的防蚀措施。

本规程不适用于地铁建设过程中所采取的临时性措施。

第 1.0.3 条 地铁的工程设计,应包括杂散电流腐蚀防护的内容(积极防护和消极防护措施)。

第 1.0.4 条 地铁的建设施工必须按照工程设计的要求,完成限制杂散电流的各项措施和地铁结构的腐蚀防护与监测设施,并作为工程验收的内容。施工过程中,应及时逐段检查施工质量,保证达到技术指标。

第 1.0.5 条 常年正常运行的地铁线路,应在运行方式上力求减小杂散电流值。地铁的线路和线路上部建筑,应经常处于清洁、干燥和良好绝缘的状态。

第 1.0.6 条 地铁的杂散电流腐蚀防护除应遵守本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

第二章 基本原则

第 2.0.1 条 地铁杂散电流(迷流)腐蚀防护的基本原则应符合下列规定:

- 一、以治本为主,将地铁杂散电流减小至最低限度;
- 二、限制杂散电流向地铁外部的扩散;
- 三、地铁附近的地中金属管线结构,应单独采取有效的防蚀措施。

第 2.0.2 条 新建的地铁线路,在其工程设计中,应包括下述有关杂散电流腐蚀防护的内容:

- 一、在地铁的牵引供电与回流系统中限制杂散电流的措施;
- 二、设计合理、性能可靠持久的隧洞绝缘防水措施;
- 三、主体结构钢筋及金属管线结构的防护措施;
- 四、在地铁沿线敷设的各种电缆、水管等管线结构,应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;
- 五、沿线及车站防蚀监测点的设置方案;
- 六、杂散电流腐蚀特殊防护方法论证和实施方案。

第 2.0.3 条 在对既有地铁线路进行“杂散电流腐蚀防护”设计时,应以现场实测和调查的结果为依据。

第三章 地铁结构与设备受杂散电流 腐蚀的危险性指标

第 3.0.1 条 应对运行中的地铁建筑、结构与设备等进行相应的电气测量,以判断其受杂散电流腐蚀的情况。

第 3.0.2 条 地铁结构与设备受杂散电流腐蚀的危险性指标,应由结构表面向周围电解质漏泄的电流密度和由此引起的电位极化偏移来确定。

第 3.0.3 条 电腐蚀危险性的直接定量指标漏泄电流密度,其允许值应符合表 3.0.3 的规定。

地铁结构允许漏泄电流密度 **表 3.0.3**

材 料 与 结 构	允许漏泄电流密度 (mA/dm ²)
生铁	0.75
混凝土结构中的钢筋	0.60
钢结构	0.15

注:①表中所列为列车运行高峰时的 1h 平均值;

②漏泄电流密度的计算方法见附录二。

第 3.0.4 条 腐蚀危险性的间接指标漏泄电流引起的结构的电位极化偏移(电压)值,应取在列车运行高峰时间内测得的小时平均值。

第 3.0.5 条 隧洞结构的外表面,受杂散电流腐蚀危害的控

制指标是由漏泄电流引起的结构电压偏离其自然电位数。对于钢筋混凝土地铁主体结构的钢筋,上述极化电压的正向偏移平均值不应超过 **0.5V**。

第 3.0.6 条 直接埋在土壤中的金属外铠装电缆,受杂散电流腐蚀的危险电压不应大于表 **3.0.6** 中所列数值。

电缆金属外铠装危险电压

表 **3.0.6**

“危险电压”值 (V)		土壤电阻率 ρ ($\Omega \cdot m$)
铁质接地极	硫酸铜测量参比电极	
0	-0.55	<100
0.1	-0.45	100~500
0.2	-0.35	500~1000
0.4	-0.15	>1000

注:表中所列是在列车运行高峰时的 **1h** 平均值。

第四章 地铁杂散电流值的限制

第一节 地铁牵引供电系统

第 4.1.1 条 在采用走行轨回流的直流牵引供电系统中,接触网应与牵引变电站的正母线相连接,回流走行轨应与负母线连接。

第 4.1.2 条 新建地铁线路的牵引供电系统,宜选用较高的牵引电压和分布式的牵引供电方案。应缩短直流牵引馈电距离。

第 4.1.3 条 在正常运行情况下,地铁接触网应实行双边供电。馈电区间两侧牵引变电站直流母线上的空载电压值应保持一致,不应出现越区供电现象。

第 4.1.4 条 不得从一个牵引变电站向不同的地铁线路实行牵引供电。

第 4.1.5 条 牵引变电站的负回流线应使用电缆,其根数不应少于两根。耐压等级不应低于工频 5kV。

第 4.1.6 条 地铁结构钢筋、自来水管及电缆金属外铠装等金属管径结构,与回流走行轨和电源负极间不应有直接的电气连接。

可经过论证设置极性排流防护系统。

第 4.1.7 条 牵引变电站的负极回流线应与主线路的走行轨相连接,并应保证在走行轨的任何线路区段实现牵引电流沿双方向回流。只有在车站线路上长度不超过 12.5m 的单线区段以及车辆段车场及检修库中的连接线路等,可允许单方向回流。

第 4.1.8 条 地铁车辆段中的牵引供电网,应具有来自本段牵引变电站的主电源及来自正线的备用牵引电源。在两电源的接

合处,接触网和回流轨应分别实现电气分断并分别装设相应的断路器与隔离开关,两者应能实现同步操作。

第 4.1.9 条 不同地铁线路之间的连接与过渡区段,应从一条地铁线路接触网取得主供电电源,另一条线路提供备用电源。备用电源线路的接触网和走行轨应从备用电源侧与过渡区段的接触网和走行轨实行电气分断,装设专用的断路器与隔离开关,并实现操作连锁。

不重要的过渡区段接触轨,可从一条地铁线路上实现牵引供电。

第二节 地铁走行轨回流系统

第 4.2.1 条 兼用作回流的地铁走行轨与隧洞主体结构(或大地)之间的过渡电阻值(按闭塞区间分段进行测量并换算为 1km 长度的电阻值),对于新建线路不应小于 $15\Omega \cdot \text{km}$,对于运行线路不应小于 $3\Omega \cdot \text{km}$ 。

第 4.2.2 条 木质轨枕必须先用绝缘防腐剂进行防腐处理。枕木的端面和螺纹道钉孔,必须经过绝缘处理,或设置专门的绝缘层。

螺纹道钉孔不应贯通。轨底部与道床之间的间隙值不得小于 30mm。

第 4.2.3 条 地铁的隧洞衬砌结构和钢筋结构不应兼作它用。

第 4.2.4 条 走行轨回路中的扼流变压器、道岔等与线路的路基,路面混凝土及主体结构之间,应具有良好的绝缘。道岔转辙装置控制电缆的金属外铠装与道岔本体之间亦应具有良好绝缘。

扼流变压器的塑料连接电缆、股道间均流线用塑料电缆的绝缘要求,应与负回流电缆相同。

第 4.2.5 条 在车辆段的检修与停车库中,每一条线路的走行轨均应使用绝缘接头与车场线路的走行轨相隔离。在绝缘接头

处,应设置隔离开关,以保证列车能驶出停车位置。轨道和接地回路之间应具有良好绝缘。轨道和金属结构、管道、电缆外铠装壳、混凝土钢筋等之间亦应具有良好绝缘。

第 4.2.6 条 地铁隧洞内及沿线的各种金属设施和设备、临时存放洞内的钢轨、备用材料及设备等与走行轨之间不得有金属连接。

第 4.2.7 条 位于钢轨下面的道床素混凝土层的厚度,不宜小于 **0.4m**。

第 4.2.8 条 地铁线路的结构,应能保证道床、线路上部建筑及轨道不受水流和积水的浸蚀,不污染。隧洞结构不得漏水和积水,且应具有好的排水系统。严禁采用直排废水入隧洞的设计与运行方式。

第 4.2.9 条 回流走行轨应焊接成长钢轨,其连接质量应符合有关标准规定,且能满足相应等级钢轨纵向电阻值的要求。

第 4.2.10 条 地铁线路中的道岔与辙岔的连接部位应设置铜引连接线,其截面面积不应小于 **120mm²**,铜引线与钢轨之间应焊接,接头电阻不应超过 **1m** 长完整轨道的电阻值。

第 4.2.11 条 回流走行轨系统中,每处扼流变压器所增加的电阻值不应超过 **36m** 长度轨道的等值电阻。扼流变压器和走行轨之间的连接,应采用耐压水平不低于工频 **5kV** 的铜芯塑料电缆。

第 4.2.12 条 复线地铁中应设置股道间均流线,股道间均流线所用电缆的绝缘水平和截面与回流电缆相同。在具有牵引变电站的车站上,股道间均流线的功能,可通过连向各股道的负回流电缆来实现。

第 4.2.13 条 在地铁线路的区间区段中,股道间均流线及走行轨可分断点的设置与分布,应符合杂散电流测试和信号系统的技术要求。

第 4.2.14 条 地铁走行轨的下述部位,应实现电气隔离。

一、所有的电气化与非电气化区段之间;

- 二、地铁的运行线路与正在建设的线路区段之间；
- 三、地铁与地面铁道线路之间；
- 四、尽头线每条轨道的车档装置与电气化轨道之间。

第五章 地铁沿线金属管线结构的防护

第一节 地铁主体结构

第 5.1.1 条 结合工程的具体情况,应将地铁主体结构沿纵向分为若干结构段,相邻的结构段之间应绝缘。每个结构段内部的主钢筋,应实现可靠焊接,在结构段两端的变形缝或沉降缝处附近,应按设计要求焊接引出杂散电流测防端子。

第 5.1.2 条 地铁主体结构的防水层,必须具有良好的防水性能和电气绝缘性能。防水材料的体积电阻率 ρ 不得小于 $10^9\Omega \cdot m$ 。

第 5.1.3 条 地铁线路与电车线或直流电气化铁路交叉跨越的地方,在自交叉位置向两侧各延长 50m 的区段中,地铁主体结构应采取双倍的加强型防水绝缘措施。

第二节 电缆及管道结构

第 5.2.1 条 敷设在地铁沿线的电力、通讯及控制测量电缆,应采用防水绝缘护套的双塑电缆。

第 5.2.2 条 地铁中各种电缆应以绝缘方式进行敷设。电缆在支架上敷设时应具有 5mm 以上的塑料绝缘垫层。

第 5.2.3 条 敷设在隧洞中的电缆、水管等金属管线结构,不得与地下水流、积水、潮湿墙壁、土壤以及含盐沉积物等发生接触。

第 5.2.4 条 水管在铁轨线路下方穿越时,宜采用非金属绝缘材质,否则水管应具有加强的绝缘层并在穿越部位两侧装设绝缘法兰,其安装部位应便于检查和维护,穿越部位必须保持清洁、干燥。

第 5.2.5 条 所有通向地铁隧洞外部的电缆和管道,必须装有绝缘接头或绝缘法兰,并应装设在地铁中的干燥和可以接近的部位,以便于进行观察和检测。上述电缆及管道结构位于绝缘法兰至穿越部位的区段应与周围的结构绝缘。

第 5.2.6 条 在供水贮槽的水管出口处,应设置绝缘法兰。

第三节 地铁及车辆段结构与设施

第 5.3.1 条 地铁与城市管网相连接的电缆和水管线路,在其离开车辆段的部位,应设置绝缘接头、绝缘套管或绝缘法兰。

第 5.3.2 条 在地铁车辆段范围内,直接埋设在地中的金属管线,应具有双倍加强的绝缘保护层。必要时,经过论证可采用阴极保护或保护阳极等防护方法。

第 5.3.3 条 在地铁车辆段范围内,电缆应按相应技术要求敷设在专门的电缆沟中,当采用地中直埋敷设方式时应采用塑料绝缘护套的电缆。

- | | |
|--------------------|-----------------|
| 1——监测点接线盒； | 2——通往监测中心的测量电缆； |
| 3——熔断器； | 4——活动式短接导线或铜片； |
| 5——测量连接线； | 6——接线端子； |
| R——走行轨； | C——结构钢筋； |
| K——电缆外铠装等金属结构； | Z——测量接地极； |
| Tr——扼流变压器(或走行轨分断点) | |

第 6.1.5 条 地铁杂散电流腐蚀与防护的试验测量和使用仪表应符合附录二的规定。

第二节 监测点和测量室

第 6.2.1 条 监测点宜采用 **CD—I** 型,并应设置在下列部位:

- 一、车站站台的两侧进、出站信号附近；
- 二、每一个回流点处及需要进行测试的走行轨分断点处；
- 三、地铁桥梁的两端；
- 四、地铁的尽头线及线路与车辆段的连接坡道处。

第 6.2.2 条 在有绝缘轨道电路的线路上,监测点应设在距轨道扼流变压器 **10m** 以内处。在采用无绝缘轨道电路的线路上,监测点的设置应与走行轨分断点配合。

第 6.2.3 条 监测点测量线的截面面积不应小于 **2.5mm²**,长度不宜超过 **10m**,并应具有工频 **2kV** 以上的绝缘耐压水平。

第 6.2.4 条 在需要进行遥测杂散电流参数的情况下,应在车站上设置监测室,敷设必要的遥测线路。

第 6.2.5 条 车站测量室内应具备符合现场测试要求的试验场地,测量专用电源、接地极和专用仪表等。

第 6.2.6 条 对以直埋方式敷设在地中的水管和电缆等,应利用已有的可接触部位作监测点(如观察窗、观测井以及建筑物或其它可利用的设施等)。对于距离较长的管线结构,可参照通信部门的有关规定,设置专用的监测点。

第七章 验收与检查试验

第 7.0.1 条 地铁工程的验收与检查工作,可分为工程建设过程中的检查试验、工程竣工验收试验和运行过程中的检查试验。

第 7.0.2 条 地铁工程的验收与检查试验项目,应符合表 7.0.2 的规定。

验收与检查试验项目 **表 7.0.2**

序号	项 目	检 验 周 期	检 验 方 法
1	测量回流走行轨的过渡电阻	工程验收时;投入运行 12 个月内;运行中每两年一次或巡视发现问题时	附录二(三, 1)
2	测量回流走行轨的平均电压曲线	设入运行后 12 个月以内;根据需要进行	附录二(二, 2)
3	检查轨道铜引线焊接质量及扼流变压器的连接质量	工程验收时;运行中每季度一次	巡视
4	测量轨道连接部位的电阻	工程验收时;运行中每两年一次或巡视发现问题时	附录二(三, 3)
5	测量扼流变压器连接单元的电阻	工程验收时;运行中每两年一次或巡视发现问题时	附录二(三, 4)
6	根据第 4.2.14 条要求设置的所有绝缘接头的绝缘电阻测试	工程验收时;运行中每两年一次或巡视发现问题时	用绝缘摇表测量或参照附录二(四, 3)
7	车辆段及停车场库线中的走行轨过渡电阻测试	工程验收时;运行中每两年一次	附录二(三, 1)

续表 7.0.2

序号	项 目	检 验 周 期	检 验 方 法
8	牵引变电站负回流母线及股道间均流线的绝缘电阻测试	工程验收时,运行中每两年一次或巡视发现问题时	用绝缘摇表测量
9	隧道衬砌层的状态质量检查;洞内地面是否有漏水、被水淹的区段,轨道线路上部建筑、混凝土结构表面清洁干燥性检查	工程验收时,隧洞内工程竣工以后或根据需要进行	巡视
10	定电流试验	工程验收时(在典型区段进行),在其它必要情况下	附录二〔三,2,(2)〕
11	检查电缆、水管等结构在遂洞中及地铁桥上的敷设条件	工程验收时,运行中每两年一次	巡视
12	绝缘套管与绝缘法兰状态检查及绝缘电阻测试	工程验收时,运行中每两年一次,巡视发现问题时	附录二(三,3)
13	在地铁特殊区段测量隧道钢筋相对土壤的极化电压	线路段投入运行 8 个月以内,运行中需要进行	附录二(四,1)
14	地铁结构钢筋漏泄电流测试	线路段投入运行 6 个月以内,运行中根据需要进行	附录二(四,2)
15	防腐蚀监测点及测试线路的状态检查	每年一次	三用表测量
16	电气防蚀设施的工作状态及完好性检查	根据需要进行	巡视
17	车辆段车库轨道绝缘检查	每年一次或根据需要进行	附录二(三,1)

第 7.0.3 条 隐蔽工程应在建设施工过程中进行中间验收试验,并做好记录。主体结构的防水层、结构段内钢筋焊接质量及

其纵向电阻值的测定和线路及上部建筑的施工质量、过渡电阻等参数，均应逐段试验验收。

第 7.0.4 条 工程验收时，应提供下列技术文件：

- 一、有关杂散电流监测及腐蚀防护设施的竣工图纸；
- 二、在工程的具有代表性区段上进行定电流试验的试验报告；
- 三、走行轨对地（结构）过渡电阻的测试报告；
- 四、接触轨及走行轨回流系统的纵向电阻测试报告以及回流走行轨连接质量的检查记录；
- 五、地铁试运行后的结构电位分布曲线测试报告；
- 六、全线各监测点施工质量检查报告及初次试验的使用情况说明；
- 七、本地铁工程中各有关绝缘接头及绝缘法兰的绝缘电阻测试报告；
- 八、有关的接地电阻的测试报告；
- 九、主体结构钢筋纵向电阻的测试报告。

第 7.0.5 条 各项检查与试验工作，应由专业人员进行，试验工作应遵守有关安全标准的规定和地铁现场工作的规定。

第 7.0.6 条 在地铁线路的露天区段，严禁在雨、雪及大雾天气中进行各种试验工作。

第 7.0.7 条 验收与检查试验工作中所使用的导线，应具有工频 **2kV** 以上的绝缘耐压水平和不小于 **2.5mm²** 的截面。

当需要在接触轨或走行轨的下面通过测量接线时，必须将测量导线沿全长进行逐点可靠固定。

附录一 本规程术语解释

本 规 程 术 语 解 释 附表 1.1

术 语 名 称	解 释
1. 杂散电流	在非指定回路上流动的电流
2. 杂散电流腐蚀	由杂散电流引起的腐蚀
3. 土壤腐蚀	以土壤作为腐蚀介质的腐蚀
4. 地下金属结构腐蚀	由于周围腐蚀性介质或杂散电流的电化学作用，或是由于它们的综合作用而引起的地下金属结构的腐蚀
5. 电气排流保护	通过从金属体上将杂散电流排回电源负极来防止杂散电流腐蚀的电化学保护
6. 排流装置	用于实现电气排流防蚀的装置
7. 直接电气排流	具有双向导电能力的排流装置
8. 极性电气排流	具有单向导电性能的电气排流装置
9. 强制排流装置	在排流回路中串接入直流电源以加强排流防蚀效果的排流装置
10. 杂散电流源	产生地中杂散电流的直流电气设施及系统
11. 绝缘接头	结构的金属部分之间利用绝缘材料实现的机械连接，借以防止它们之间电气导通的装置

续附表 1.1

术 语 名 称	解 释
12. 阴极极化	电极电位从自然电位向负方向的极化现象
13. 阴极保护	电化学保护的一种，通过向金属结构表面输入阴极电流，使其电位向负极化，并保持在比自然腐蚀电位更负的数值，以达到防蚀的目的
14. 消极防护	从结构的材质和加强表面绝缘方面采取的防止金属结构与电解质接触以达到防蚀目的的保护措施
15. 防蚀监测点	由金属结构及接地端子等组成的测量装置
16. 介质的腐蚀性	给定的腐蚀体系内，环境介质对金属腐蚀的能力
17. 牵引电流负极回流线	用于连接牵引变电站负极和回流轨的电气绝缘导线
18. 回流点	回流线与回流走行轨的连接点
19. 表面漏泄电流密度	从金属结构单位表面积上向其周围介质中漏泄出的电流值
20. 地下金属结构电位分布图	在金属结构的实际线路坐标图上按一定比例画出的结构对地电位的平均值或最大值分布图
21. 回流走行轨电压分布图	在回流走行轨的线路坐标图上按一定比例画出的回流走行轨电压的平均值和最大值的分布图
22. 地下金属结构的电压	地下金属结构相对于其周围大地电介质的某一点（相对于此点进行电压测量）的电压

续附表 1.1

术 语 名 称	解 释
23. 保护阳极	与被保护金属结构相连，可以提供阴极保护电流的接地电极
24. 防蚀保护层	在金属管道或结构的表面为防蚀目的而施加的绝缘保护层

附录二 地铁杂散电流腐蚀与防护的 试验测量和使用仪表

一、杂散电流腐蚀测量工作的一般规定：

1. 为及时了解地铁中牵引回流漏泄的情况和地下金属结构受杂散电流腐蚀的程度，应进行专门的测量工作。现场测量的结果应作为金属结构受杂散电流腐蚀的定量判断依据。

2. 对地铁回流系统、隧道体结构等的电压测量，应在地铁正常运行条件下进行。

根据测量的目的，试验进行的时间和频率应符合附表 2.1 的规定。求取平均值的测量持续时间，应大于地铁运行中双向通过 10 对列车的时间。

地铁结构是否受外部杂散电流腐蚀影响的试验，其持续时间，应不小于 0.5h。

地铁杂散电流参数计算公式表 表 2.1

被测参数种类	测 量 目 的	被测参数 代号	测量结果计算公式
日（每昼夜） 平均值	对被测参数分布情况的一般评价； 对日和年杂散电流腐蚀损失情况等 进行一般评价	A_{da}	$A_{da} = \frac{n_d}{n_m} \cdot A_r$
地铁运行时间 内的平均值	对被测参数的水平进行 一般评价	A_{ca}	$A_{ca} = \frac{n_o}{n_m} \cdot A_r$

续附表 2.1

被测参数种类	测 量 目 的	被测参数 代号	测量结果计算公式
高峰运行时间 内的小时平均值	确定被测参数超过允许值 的程度	A_{pa}	$A_{pa} = \frac{n_p}{n_m} \cdot A_r$
参数的最大值 (短时测量的 瞬时最大值)	根据运行安全地求确定保 护装置工作条件与其额定 值的对应程度	A^{max}	根据实测结果确定
测量时间内的 被测参数平均 值	根据运行安全要求确定保 护装置工作条件与其额定 值的对应程度	A_{mx}	根据实测结果确定

表中符号的含义：

A_r ——被测参数物理量（电压、电流等）实测值；

N ——每昼夜运行列车总对数；

n_d ——每昼夜的地铁列车小时平均运行对数， $n_d = N/24$ ；

n_c ——在地铁运行时间内，运行列车的平均对数（列车/h），
 $n_c = N/T_c$ ；

n_m ——在进行测量的时间内的每小时平均列车对数（列车/h）；

n_p ——地铁运行高峰时间内每小时平均列车对数（列车/h）；

T_c ——地下铁道的工作时间（h）。

当需要将上述测量值换算为预测值时，可将实测值乘以一个预测系数 y 。

$$y = n_y / n_m$$

式中 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；

注：本条中列车的单位均为列车对数。

3. 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 U_r ，应按下式换算：

$$U_r = U_m (R_1 + R_e) / R_1 \quad (\text{附 } 2.1)$$

式中 U_r ——实测电压数值 (V)；

U_m ——测量时仪表的指示值；

R_1 ——仪表内阻值；

R_e ——测量电极电阻值。

二、回流走行轨电压的测量和电压分布图：

1. 当进行“走行轨—结构”、“走行轨—大地”电压的测量时，应使用内阻值符合要求的指针式或记录型测量仪表。仪表的正极通过 CD— I 型监测点与走行轨扼流变压器中性点相连接。其负极与主体结构钢筋或接地极相连。

测量工作的持续时间，应符合本附录（一、2）的有关规定。

2. 为了绘制走行轨电压分布图，应在线路的不同监测点上同时进行测量，相邻测点间的距离可取为 0.5~1km。当测量不同时进行时，应按附表 2.1 中的公式将实测值换算为相应时间区段的平均值。

3. 电压分布图的绘制方法（昼夜平均值）宜符合下列规定：

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。

在电压分布图的下面，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 ω 值。

4. 为对电压分布图进行定量评价，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。电压不对称系数应符合附表 2.2 的规定。

不对称系数 β 应按下述公式计算：

$$\beta = \frac{U_{r-c}(+)}{|U_{r-c}(+)| + |U_{r-c}(-)|} \quad (\text{附 } 2.2)$$

式中, $U_{r-c}(+)$ 和 $U_{r-c}(-)$ 分别表示走行轨对主体结构电压昼夜平均值的正值和负值。

走行轨电压特性区段 附表 2.2

走行轨电压特性区段	电压不对称系数 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	$\beta < 0.3$

三、地铁杂散电流参数的测量方法:

1. 走行轨和主体结构之间的过渡电阻 ω 和带有绝缘节的走行轨相邻闭塞区段之间的绝缘电阻值,可利用电压、电流表法或 **ZC-8** 型接地电阻测量仪测量。测量工作应在停电以后进行,并应断开本闭塞区段与相邻区段之间的电气连接。在具有股道间均流线的扼流变压器处,应在分断处断开股道间均流线。对整个区间过渡电阻的测试,宜对各个闭塞区间的过渡电阻逐个进行测试,并按下述方法求出其等值过渡电阻。

(1) 整个区间或 **1km** 线路中,共有 n 个测试闭塞区间,则整个区间或 **1km** 线路的等值过渡电阻值 ω 的倒数为:

$$\frac{1}{\omega} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_m} \quad (\text{附 } 2.3)$$

(2) 一般情况下,实测得走行轨对主体结构的过渡电阻值,相当于 **1km** 长度走行轨的等值过渡电阻值 $\omega(\Omega \cdot \text{km})$ 为:

$$\omega_{r-c} = R_m \cdot L / 1000 \quad (\text{附 } 2.4)$$

式中 R_m ——测量时仪表的实际指示值(Ω);

L ——被测闭塞区段的长度(m)。

将被测区间所含的各闭塞区段的测量结果按并联方式计算其等值电阻值,即可求出本区间的等值过渡电阻。

在车场测量过渡电阻时,测量工作应在被测库线或尽头线上没有电压的情况下进行。

2. 地铁杂散电流不得用电流表直接测量,应采用间接测量法或定电流试验方法进行实测。

(1) 间接测量法:按上述方法分别测出过渡电阻值 ω 和隧道对走行轨的电压值,然后根据欧姆定律计算出杂散电流值:

$$i_s = \frac{U_{r-c}}{\omega} \quad (\text{附 2.5})$$

(2) 定电流试验方法:应在列车停运之后或新线投入运行前进行。以模拟的方法创造一个接近实际的走行轨回流条件,并在走行轨扼流变压器线圈中性点处串接入分流器或电流表,实测该点的走行轨回流电流,同时用电压表测量各点的有关电压值,这样相应的各测点走行轨电流之差即为漏泄出的杂散电流值。走行轨电流达到最小值的点即为中性点,最大杂散电流等于总负荷电流与中性点电流之差。定电流试验原理及电源波形示意图如附图 2.1 所示。

3. 走行轨道接头部位的电阻可采用双毫伏表法进行测量。测量工作应在停车、无电的情况下进行。为使轨道中产生测量电流,可短时将一试验用直流电源与轨道接通。

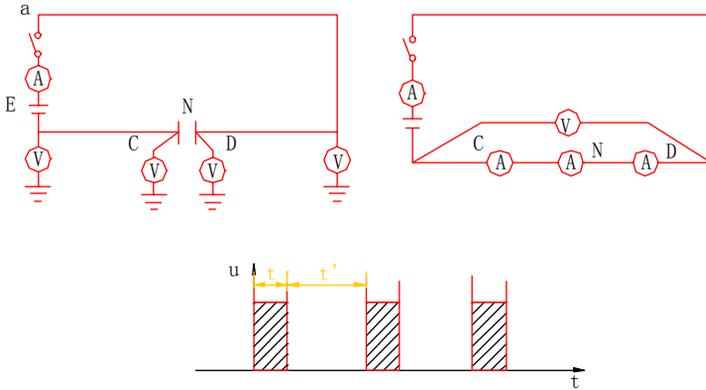
以相对值表示的轨道接头电阻 R_j 可按下式进行计算:

$$R_j = \frac{U_1}{U_2} - 1 \quad (\text{附 2.6})$$

式中 U_1 ——包括有接头的 1m 轨道长度上的电压降(V);

U_2 ——不包括有接头的 1m 轨道长度上的电压降(V)。

测量时,同时读取 U_1 和 U_2 之值,读数应同步进行。取不少于 5 次读数的平均值。



(a)漏泄电流试验示意图

(b)轨道电流试验原理接线图

(c)定电流试验电源波形

附图 2.1 定电流试验原理及波形示意图

A——电流表;V——电压表;C、D——测点

4. 走行轨回路扼流变压器连接处的接头电阻值,可按双电压表法进行测量。测量应在没有列车运行的停电情况下进行。可利用具有相应容量的直流电源产生测量电流,在短时间通以电流的情况下,在扼流变压器的一个半边和附近 1m 长度的走行轨上同时测量电压降 U_1 及 U_2 ,然后在线路的另一侧轨道上进行同样的测量,测出另一半边的电压降 U_3 和 U_4 。

根据上述的测量结果,由扼流变压器所带入的附加回流电阻可按下式算出:

$$R_b = \frac{U_1}{U_2} + \frac{U_3}{U_4} - 1 \quad (\text{附 } 2.7)$$

式中 $U_1、U_3$ ——相应半边扼流变压器上的电压降(V);

$U_2、U_4$ ——1m 长度走行轨上的电压降(V)。

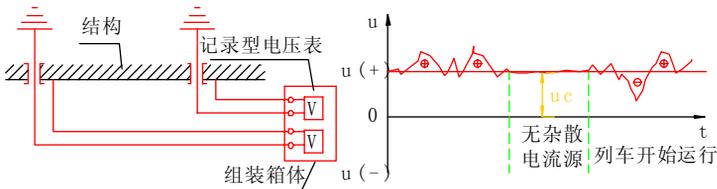
按上述方法求出扼流变压器单元的电阻值,与第 4.2.11 条中规定的标准进行比较判断(其单位用相对倍数表示)。

5. 地铁运行过程中,应及时发现“走行轨—主体结构”过渡电阻值 ω 局部降低的区段,并进行处理,使过渡电阻值达到标准要求。

四、对地铁建筑与结构的腐蚀状态及防蚀措施效果的监测:

1. 结构极化电压的测量:

(1)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_0 ,测量应采用高内阻双向指针式或自动记录式电压表。在地铁停电半小时以后进行。仪表正极接主体结构钢筋,负极接测量参比电极,如附图 2.2(a)所示。这样测出的自然本底电位如附图 2.2(b)中的平行于时间轴的横线 U_0 所示。



(a)测量原理接线

(b)考虑自然本底电位 U_0 时的电位曲线处理方法

附图 2.2 隧道体结构对地电位测量方法示意图

(2)以 U_0 作为本次测量的基准零电位,在地铁运行时,按上述相同的测量条件和相同仪表测量具有随机变量特性的地铁结构的极化电压值(测量时间应不少于 30min)。求取正向极化的电压曲线平均值,并与规程规定值进行分析比较。

根据上述方法求得的电压平均值,可画出沿线路的电压分布曲线,为此,应按照一定比例沿地下金属管线结构标出线路各个

坐标位置上的电压数值并作出电压分布曲线。

测量所用的参比电极,应设在与被测点接近的地方。测量应采用短引线进行。

2. 从地铁结构钢筋向外漏泄出的杂散电流密度,在地铁结构钢筋按区段连通的情况下,可按下述的间接测量方法求得:

(1)间接测量方法是分别测量主体结构钢筋对地的电压和漏泄回路的电阻值,再计算出漏泄电流值。

$$I_s = \frac{U_{c-z}}{R_{c-z}} \quad (\text{附 2.8})$$

式中 I_s ——在测量时间内,钢筋的漏泄电流平均值(A);

U_{c-z} ——结构钢筋对地电压平均值(V);

R_{c-z} ——钢筋对地过渡电阻(Ω)。

(2)测定 R_{c-z} 可用接地电阻测量仪进行,也可以通过电流表将回流走行轨扼流变压器的中点和结构钢筋连通,测量此电流 I_y ,并同时测量钢轨对地电压 U_{r-z} ,测量时间不少于 30min,如用指针式仪表,则每隔 10s 读取一次读数,求取其占优势极性的平均值,按下式计算电阻 R_{c-z} 的值:

$$R_{c-z} = \frac{U_{r-z}}{I_y} \quad (\text{附 2.9})$$

(3)地铁结构的漏泄电流密度,可按下式进行计算:

$$J = \frac{I_s \times 10^3}{S_s} \quad (\text{附 2.10})$$

式中 J ——电流密度(mA/dm²);

S_s ——杂散电流自结构钢筋漏出的表面积(取外层钢筋表面积的一半,结构段的长度取阳极电压区段的长度)(dm²)。

3. 运行中,对电缆或管线上设置的绝缘接头的状态,可采用下述方法进行检测:

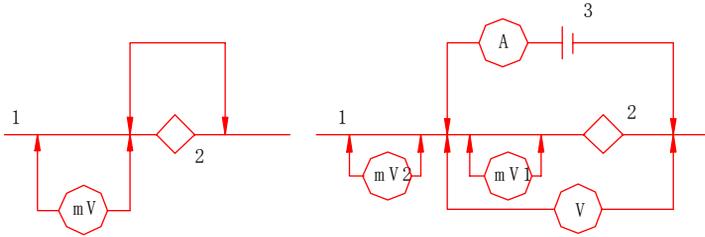
(1)近似测量:如附图 2.3(a)所示,在地铁和设备运行的情况下,并且在绝缘接头上有电压存在时,如在一侧电缆外

皮一定长度上所接毫伏表的指针不发生偏转,则表示绝缘接头的状态正常。

当利用近似方法测量发现仪表指针偏移时,则应采用精确测量方法,作进一步的测量和确定。

(2)精确测量:如附图 2.3(b)所示,在短时接通电源的情况下,同步读取四支仪表的读数,按下式计算出绝缘电阻 R_{11} 值:

$$R_{11} = \frac{U_1 + U_2}{U_1} \cdot \frac{U}{I} \quad (\text{附 2.11})$$



(a)不需电源的近似监测法 (b)准确检测方法示意图

附图 2.3 电缆或管线绝缘接头状态检测方法示意图

1——电缆或管线; 2——绝缘接头; 3——测量用电源

当测得的绝缘电阻值 $R_{11} \geq 10^3 \Omega$ 时,可认为其绝缘接头的质量是可靠的。测量时,所取的电缆或管线区段,应具有相同的长度。

当运行的电缆额定电压高于 1kV 时,应在没有电压的情况下进行测量。

4. 为了判断土壤对金属结构的腐蚀性和进行杂散电流腐蚀防护计算的需要,应进行土壤电阻率的现场测量。

在地铁的地面部分应每隔 100m 测量土壤的电阻率 ρ 值,测量可利用接地电阻测量仪或电压电流表法,按四电极方法的接线

方式进行。

测量时,各电极按直线方向设置,直线的方向应与线路平行,对于已埋设在地下的金属管线应在与此结构垂直或平行的方向(平行时应距离线路轴线**2~4m**)上进行测量。相邻电极之间的距离**a**可取结构埋设深度的**2**倍,且各电极间取相等的距离。测量电极打入地下的深度不宜超过**a/20**。

测量时,如果不具备接地电阻测量仪,可利用“电压—电流”法进行测量。

土壤电阻率的实测值,当采用接地电阻测量仪时,可按下式计算:

$$\rho=2\pi R_a \quad (\text{附 } 2.12)$$

式中 **a**——测量时,两相邻测量电极之间的距离(m);

R——仪表指示值(Ω)。

当按电压—电流法测量时,可按下式计算:

$$\rho=2\pi a \frac{U}{I} \quad (\text{附 } 2.13)$$

式中 **U**——在不同电源极性连接方式的情况下,各次测量电压表指示的平均值(V)。

为测量土壤电阻率,还可以从现场取土样,在试验室条件下,进行专门的试验和分析,也可以同时对土壤水分和地下水进行化学分析试验。

五、为保证地铁信号自动闭塞系统正常工作而进行的电气测量工作:

1. 扼流变压器的主线圈和附加线相对于变压器外壳的绝缘电阻值,应在地铁停电后用**500V**兆欧表进行测量,测量时,应断开被测扼流变压器的外部接线。

主线圈对外壳的绝缘电阻值应不小于**10k Ω** ,附加线圈对外壳的绝缘电阻值应不小于**2M Ω** ,测试周期为每**3**年一次。

对于安装在水泥底座上的扼流变压器,测量其线圈对外壳绝

缘电阻时,可以在先不解开外引接线的情况下进行测量,当测得的电阻值达不到标准要求时,再解开外部接线进行测量。

2. 每年测量一次扼流变压器相对于回流牵引电流的不平衡系数。可通过测量扼流变压器的两个线圈上的电压降得到。在扼流变压器的两个线圈上各接以相应量程的电压表,在 10~15min 测量时间内,每隔一定的时间,同时读取两只电压表的读数,测量时,宜使用记录型仪表。在使用指针式测量仪表时,应读取不小于 10 次的读数,求电压降的平均值 U_{1b} 和 U_{2b} ,再按下述公式求出不平衡系数 K 。

$$K = \frac{U_{1b} - U_{2b}}{U_{1b} + U_{2b}} 100\% \leq 15\% \quad (\text{附 2.14})$$

如果按上述方法求得 K 值超过标准规定值,则应对牵引回流的有关连接部位的可靠性、连接质量、连接线段长度以及线圈状态进行检查和调整,使不平衡系数达到标准要求。

六、电压测量数据的处理:

1. 在测量周期中,正电压 $U_a(+)$ 和负电压 $U_a(-)$ 的平均值或是相应电流的平均值,可按下列公式计算:

$$U_a(+)=\frac{\sum_{i=1}^p U_i(+)}{n} \quad (\text{附 2.15})$$

$$U_a(-)=\frac{\sum_{i=1}^m U_i(-)}{n} \quad (\text{附 2.16})$$

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

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

n ——试验中读取测量数据的总数;

p, m ——分别为试验中读取的正极性和负极性实测值的次数。

2. 利用非极化电极测得电压的平均值,可按下式计算:

$$U_{\bullet}(+) = \sum_{i=1}^p U_i(+)/n - U_{\bullet} \quad (\text{附 } 2.17)$$

式中 $\sum_{i=1}^p U_i(+)$ ——所有正电极性电压瞬时值和绝对值小于 U_{\bullet} 值的负极性电压各瞬时值之和;

p ——所有正电极性电压瞬时值读取次数及绝对值小于 U_{\bullet} 的负极性瞬时值读取次数之和。

对于其余所有被测量的负极性瞬时值,其平均值可按下式计算:

$$U_{\bullet}(-) = \sum_{i=1}^m U_i(-)/n - U_{\bullet} \quad (\text{附 } 2.18)$$

式中 $\sum_{i=1}^m U_i(-)$ ——绝对值超过结构恒定电位 U_{\bullet} 的负极性瞬时值之和;

m ——绝对值超出 U_{\bullet} 的负极性电位的读取次数;

n ——总的测量次数。

3. 在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_{\bullet} 值,在整理试验结果和进行相应计算时,可相对于上述位移后的电压水平曲线进行计算。

七、测量仪表:

1. 在进行本规程中所规定的各种测量时,测量仪表应满足下述技术要求:测量轨道、隧道洞体、建筑与结构的电压或电位时,需要使用高内阻电压表,用于钢筋混凝土衬砌层和高架桥结构电压测量仪表的内阻应不小于 $1 \times 10^6 \Omega$,且仪表应具有多量程和快阻尼特性。在杂散电流场中测量所使用的电气仪表,应符合附表 2.3 所列的技术要求。

2. 对于随时间有强烈变化特性的被测物理量可采用记录型仪表进行测量,记录仪应具有较高的内阻值和便于携带。

3. 对于土壤电阻率 ρ 、过渡电阻 ω 、结构的接地电阻等进

杂散电流参数测量专用仪表的技术要求

附表 2.3

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 携带式	双向刻度 0位在中间	0—±75mV—±150mV— ±300mV—±1V—±3V— ±5V	20kΩ/V
电压表 携带式电压表	0.5 携带式	双向刻度 0位在中间	0—±100V—±50V—±100V —±200V	50kΩ/V
携带式自动记录 电位差计或电压表	不低于 0.5	仪表0位可根 据需要调节	根据需要确定	1×10 ⁴ Ω
接地电阻测量仪 ZC—8	1.0	单向刻度	0—10—100Ω 0—10—100—1000Ω	
兆欧表 ZC—7型	1.0	单向刻度	仪表电压为 50V、100V、 500V、1KV、2.5KV	

进行现场测量,可采用 ZC—8 型接地电阻测量仪以及额定电压为 50V、100V、250V、500V、1000V、2500V 的 ZC—7 型兆欧表。

4. 测量参比电极,在进行与杂散电流有关的结构电位测量时,常用参比电极,即接地电极,以便在测量回路中实现与大地的电连接。电极与土壤接触产生的电极电位应稳定并可预先测知,对测量结果产生的影响应较小,并宜采用预先准确知道其极化电位值的专用硫酸铜测量电极。

在现场测量中,当被测电压值在 1V 以上时可采用钢制参比电极,如直径 10~15mm、长度 0.5~0.8m 的钢钎,其上端设有专用的测量接线螺母。在洞内可通过监测点进行测试,在地面测量时,钢钎电极打入地下的深度不应小于 0.5m。

附录三 本规程用词说明

一、为便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1. 表示很严格，非这样作不可的：
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作的：
正面词采用“应”；
反面词采用“不应”或“不得”。
3. 对表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样作的：
正面词采用“宜”或“可”；
反面词采用“不宜”。

二、条文中指明必须按其它有关标准执行的写法为“应按……执行”或“应符合……的要求（或规定）”。非必须按所指定的标准执行的写法为“可参照……的要求（或规定）”。

附加说明

本规程主编单位、参加单位 和主要起草人名单

主编单位：北京市地下铁道科学技术研究所

参加单位：北京市城建设计研究院

铁道部电气化工程局

铁道部第三勘测设计院

天津地铁管理处

北京腐蚀与防护学会

北京市公共交通研究所

主要起草人：马洪儒 张佩春 包国兴

史集芬 张兴昭 耿悦宾

李明远