

文章编号: 1005—0523(2005)04—0060—05

城市轨道交通的防杂散电流施工

王泽学

(中铁十一集团有限公司, 湖北 武汉 430064)

摘要:结合上海市轨道交通 6 号线工程土建 3 标段, 分析杂散电流产生原因, 作用机理, 介绍上海项目应用情况。

关 键 词:上海轻轨; 危害; 防护

中图分类号: TM13

文献标识码: A

1 工程概况

上海市轨道交通六号线工程土建 3 标段位于规划的浦兴路路中 13m 绿化带内, 线路附近为规划的开发用地, 现状为农田村庄, 起点桩号为 SK7+077.360, 终点桩号为 SK9+470.250, 包括二站二区间, 正线全长 2 462.89m, 站房面积 8231 m². 标段钻孔灌注桩总共 294 根, 共计 14 688 延米. PHC 预制管桩 686 根, 均为 $\Phi 600$ mm, 本合同段区间承台 73 座. 高架区间 2382.89m 共计 70 跨, 采用简支箱梁、连续箱梁, 连续梁共五联 15 跨, 最大跨度为 80 m, 最小跨度 25 m; 桥墩有 71 座采用双柱墩, 2 座采用独立墩, 桥梁基础采用打入 PHC 管桩或钻孔灌注桩。

2 杂散电流的形成及其危害

所谓杂散电流是专门指直流牵引供电系统中, 以走行轨作负极回流导体的供电网络, 在实际运行中, 有少量电流不沿回流轨回到牵引变电所的负极, 而流向电位低、电阻率低的位置, 形成杂散电流, 或称为迷流。

在城市地铁和轻轨等轨道交通运输系统中, 一般采用直流牵引, 走行轨回流, 因此, 不可避免会有

电流从走行轨泄入大地, 对地下或地面的金属构件如结构钢筋、地下管线等产生严重的腐蚀。国内外都有大量这方面的报道。腐蚀不仅造成大量的金属损失, 更为严重的是, 由于腐蚀的隐蔽性和突发性, 一旦发生事故, 往往会造成灾难性的后果, 如煤气或石油管道的腐蚀穿孔; 结构钢筋的腐蚀, 会破坏混凝土的整体性, 降低其强度和耐久性, 给安全运营带来严重威胁, 并且由于这个过程是一个缓慢的电化学反应, 易被忽略, 因此, 对杂散电流腐蚀必须给予足够的重视, 并在施工过程中加以防范。国外对地铁杂散电流的腐蚀都做了较为深入的研究, 但国内对这方面的研究还很欠缺。轨道交通系统中机车是一个运动变化的负荷, 地铁杂散电流腐蚀的介质一般为土壤, 情况千差万别, 影响腐蚀过程的因素太多, 并随时间变化, 在理论分析的基础上结合大量调查研究和试验, 才能提出有针对性的治理杂散电流的技术和方法。在分析清楚杂散电流分布的情况下, 对新建的轨道交通系统, 要在设计、施工各个阶段, 从实际出发, 根据不同的线路施工方法、线路方案、地质状况、不同的供电方案, 相关的专业都要采取相应的技术措施, 尽量减少杂散电流。对已建成的线路或因某些原因绝缘下降而产生杂散电流后, 应对杂散电流腐蚀的状况进行实时监测, 采取有针对性的措施减少杂散电流对金属结构和管

收稿日期: 2004—12—18

作者简介: 王泽学(1966—), 男, 湖北襄樊人, 中铁十一局集团统计处工程师。

中国知网 <https://www.cnki.net>

线的腐蚀。

3 杂散电流腐蚀机理

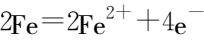
金属材料与其环境介质发生化学的和电化学反应而引起材料的退化和破坏称为金属的腐蚀。与机械磨损不同，多数情况下，金属材料的腐蚀破坏是由于它逐渐丧失了金属特性，由单质转变为热力学上更为稳定的化合态。腐蚀过程中金属原子丢失电子，发生了氧化反应，金属腐蚀的必要条件是存在氧化剂。金属腐蚀有不同的分类方法，按照反应的化学属性可分为化学腐蚀和电化学腐蚀。

化学腐蚀是金属表面与环境介质发生直接的化学反应而引起的破坏，其特点是反应过程中没有电流产生。电化学腐蚀是金属在电解质溶液或潮湿金属表面发生的破坏，与化学腐蚀相比电化学腐蚀在进行过程中有电流产生。

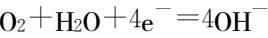
电化学腐蚀的发生一般应具备以下四个缺一不可条件：

- 1) 必须有阴极和阳极。
- 2) 阴极和阳极之间必须有电位差。
- 3) 阴极和阳极之间必须有金属的电流通道。
- 4) 阴极和阳极必须浸在电解质中，该电解质中有流动的自由离子。

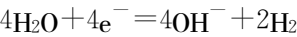
一旦具备以上条件，腐蚀电池即形成。换言之，金属开始发生电化学腐蚀。然而，上述四项条件中，我们只要阻止其中一项，即可阻止金属的电化学腐蚀，而电化学腐蚀是轨道交通系统金属腐蚀的主要腐蚀形式。杂散电流又称迷流，杂散电流引起的腐蚀比自然腐蚀要剧烈得多。杂散电流一旦流入埋地金属体，再从金属体流出，进入大地或水中，则在电流流出的部位（阳极区）发生腐蚀。在阳极，金属被氧化形成离子进入电解质，同时释放电子，对铁来说，一般反应如下：



在充气的电解质中，在阴极发生如下反应：



在缺氧或酸性环境中，将发生如下反应，有氢气析出：



铁离子和氢氧根离子生成氢氧化亚铁，或进一步生成我们经常看到的铁锈。

由杂散电流引起的腐蚀简称电蚀，有如下特点：

- 1) 腐蚀激烈
- 2) 腐蚀集中于局部位置
- 3) 当有防腐层时，往往集中于防腐层的缺陷部位

4 预防杂散电流的方法

1) 减小钢轨阻抗

地铁列车走行钢轨同时作为牵引列车人流回流用，因此钢轨阻抗越小，从钢轨向外流失的杂散电流也越小，减少钢轨阻抗的有效办法是采用长钢轨，钢轨越长，钢轨接头就越少，钢轨的阻抗也就越小。对钢轨接头除了用鱼尾板螺栓连接外，再在两根钢轨之间用 2 根 120 mm² 以上的绝缘铜电缆连接。

2) 走行钢轨采用点支承

减少钢轨与地面的接触面也是减少杂散电流的方法之一，为此走行钢轨采用点支承，即用混凝土软枕作为支承。

3) 钢轨与地绝缘

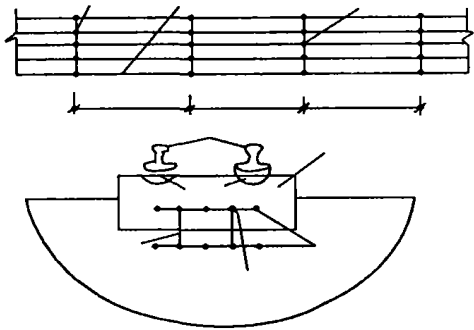
钢轨与地绝缘越好，杂散电流也就越小，为此在钢轨与混凝土软枕之间、紧固用螺栓与混凝土软枕之间、扣件与混凝土软枕之间采取绝缘，要求每公里轨道对杂散电流收集网的泄漏电阻值大于 10 Ω。

4) 设置杂散电流收集网

上海轨道交通电动车辆采用直流供电，额定电压为 1 500 V、额定牵引电流高达 3 000 A。虽然兼作回流的走行钢轨与地之间采取了绝缘措施，又采用长钢轨，钢轨接头处加焊铜电缆，但钢轨本身具有电阻，当电流流过钢轨时在电阻上就产生电位差，因钢轨对地绝缘电阻不可能处于无穷大，故有电位差就会产生杂散电流，即大行钢轨小一部分电流将流出轨道，此杂散电流在地铁中作为“迷流”。当迷流进入地铁隧道的结构钢筋及与隧道绝缘不良的金属管道、支架、桥架等时，在有电解质的情况下，这些金属设备将受到电腐蚀。为此在地铁混凝土软枕下的道床内设置杂散电流收集网。

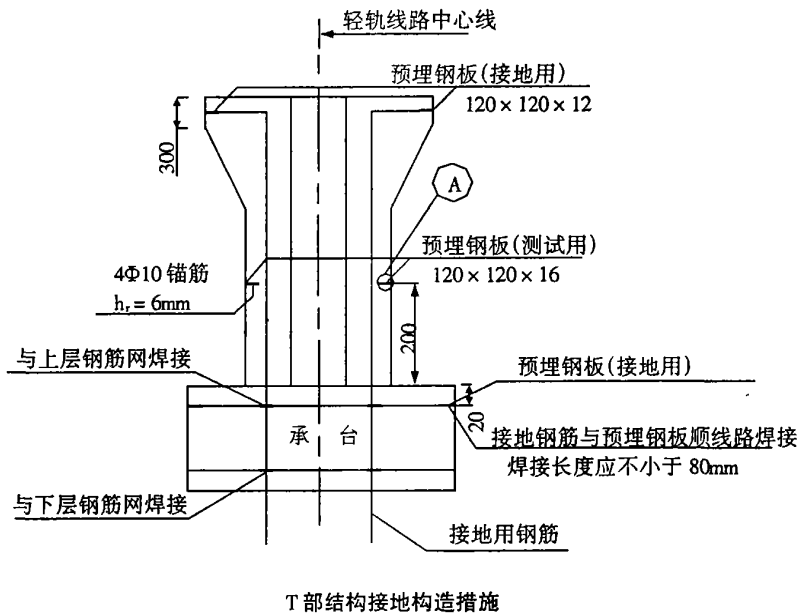
杂散电流收集网由上、下两排纵向钢筋组成，每排钢筋为 5 根 Φ12 mm 钢筋，每隔 50 m 用一根 Φ25 mm 以上的横向钢筋将 5 根纵向钢筋焊接成一体，同时用两根 Φ20 mm 钢筋把上、下 2 根横向连接钢筋焊成一体，如图 33 所示。上排的 5 根钢筋除了起杂散电流收集作用外，还起固定混凝土软枕的

作用,混凝土软枕上预先穿好孔,钢筋在施工时穿进去.下排钢筋固定在混凝土道床里.

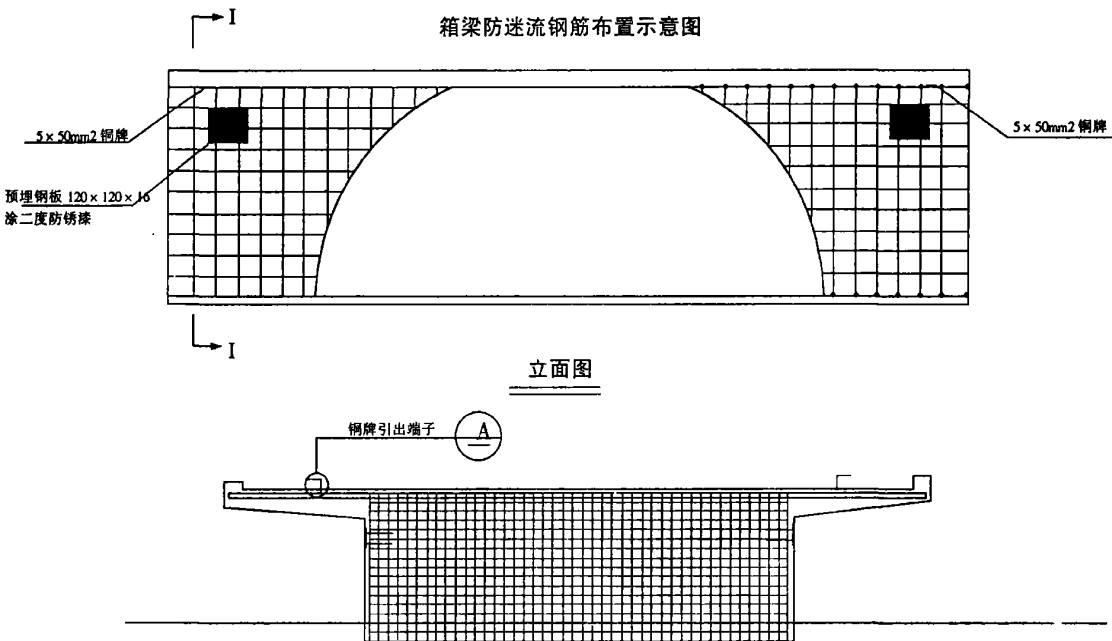


杂散电流收集网与隧道的结构钢筋间应绝缘,不能相连.杂散电流收集网在每个牵引变电所的两个端头设引出端子,用以测量和收集杂散电流.

对于我公司施工的上海轨道交通六号线工程,对于基础及下部结构采用内部钢筋作为导体,在墩身中通过主筋和承台钢筋框架相连接,再通过承台钢筋与桩基钢筋焊接后导入地下.承台及墩帽预埋的钢板作为接地用,墩身预埋钢板作为电阻测试用,要求测试电阻均要小于 $10\ \Omega$.具体布置见下图.



T 部结构接地构造措施



预埋钢板采用 120 x 120 x 16 mm 形式与墩身、墩帽及承台主筋焊接形式连接.

预埋钢板采用 $120 \times 120 \times 16 \text{ mm}$ 形式与墩身、墩帽及承台主筋焊接形式连接。

对于上部梁体结构，也采用梁体主筋作为导电体，设计要求在梁体中，焊接方式为：

(1) 所有顶班面层纵向钢筋进行纵向电气焊接，腹板及底板外侧 $1/3$ 纵筋进行纵向电气焊接，纵向每隔 5m 将顶板底板钢筋与纵向主筋进行电气搭接焊作为杂散电流收集网。

(2) 在梁端用 $5 \times 50 \text{ mm}^2$ 铜排与顶班面层纵向钢筋焊接后，在梁左右两侧引出铜排连接端子，并用两根 $\text{AC}1000\text{V}$ ， 120 mm^2 电缆将桥梁内收集网钢筋纵向电气相通。

(3) 梁端收集网下大横向钢筋圈焊连及引出方式：将箱梁内首末端 300mm 处钢筋与顶板横向钢筋焊接成大的横向钢筋圈，然后把此两个大钢筋圈与顶板面层所有纵向钢筋及腹板、底版的 $1/3$ 纵向钢筋焊接，并经 $\Phi 10\text{L}$ 形辅助钢筋分别将预埋钢板的锚筋（共四块）与大横向钢筋圈中的钢筋焊接。

(4) 在预埋承轨台钢筋时，所有 $1/2$ 承轨台钢筋与梁体主筋进行点焊，承轨台钢筋和梁体主筋也形成电气相通。

(5) 焊接要求
当两根钢筋平行紧靠时用单面焊接， $hf/1=6/30 \text{ mm}$ ；

当两根钢筋十字相交时（除注明外），如为国产钢筋，允许丁字点焊（不能咬肉）， $hf/1=6/30 \text{ mm}$ ，尽量满足。

具体布置详见箱梁防迷流示意图：
杂散电流的产生是由于电位差的存在引起的，在直流牵引系统中，充分利用钢轨作为回流导体，电流也是由高电位流向低电位，即车辆受流通过车轮、钢轨流回牵引变电所的负极。钢轨对地有一定的过渡电阻，这样就会因为电位差和过渡电阻的存在形成对地的泄漏电流。泄漏电流的大小主要取决于距离变电所的距离、回流电阻的大小、牵引电流的大小。距离越远、回流电阻越大、牵引电流越大，泄漏电流也越大。增大走行轨对地的过渡电阻，是减小杂散电流行之有效的办法。

杂散电流保护的内容，一是“防”，二是“导”。

5) 防范措施

(1) 支承块预制中，使用尼龙套管作为紧固螺栓孔，这样就使走行轨与承轨台之间有了绝缘保护

筋、承轨台结构钢筋、支承块外伸钢筋三者之间绝缘，保证

“三轨”供电牵引网与桥面的绝缘。为达到这一目的，首先，对桥面预埋钢筋进行调整，包括线路方向、线路垂直方向及高度方向的切割、搭焊处理，使两者基本达到绝缘；接着，对承轨台结构钢筋和桥面预埋钢筋两者间进行绝缘检查，有搭接处，采用 PVC 管隔离、胶带固定的方式，保证两者绝缘。完成后，进行混凝土浇筑，收浆抹面时设人字排水坡，以便迅速排水，保持承轨台的干燥。承轨台施工、长轨铺设完毕后，对桥面进行防水处理，达到保持梁体内部干燥的目的。采取以上措施的关键，主要是增大走行轨对地的过渡电阻，达到减小杂散电流的目的。

6) “导”的措施
在“导”方面，线上、线下施工过程中，也都进行了相应的处理。

(1) 线下施工即高架桥施工中，对梁片结构钢筋进行处理，形成钢筋网；同时，在梁端焊接防迷流端子，使进入梁体内的杂散电流能够导出。

(2) 线上铺架施工即整体道床施工，杂散电流的导出，依靠承轨台结构钢筋个体的连通和一片梁内所有承轨台结构钢筋的连通。承轨台结构钢筋个体的连通是通过主筋和两端整圈箍筋焊接来保证的。一片梁上所有承轨台钢筋的连通是通过承轨台结构钢筋相互间横向、纵向扁钢焊接来保证的。同时，在梁伸缩缝处，设防迷流端子，将进入道床内的杂散电流导出。

检测标准
在施工的各步骤中，应反复进行绝缘检测，当使用摇表检测绝缘电阻时，其电阻均应小于 10Ω ，才能符合设计要求，达到防杂散电流的目的。

5 杂散电流的监测

轨道交通部门利用杂散电流监测数据来决定采用什么样的控制措施，杂散电流的监测可是简单的目测连接电缆的状况，以保持回流轨的低电阻，也可请专业人员对特殊的地段进行杂散电流腐蚀状况的调查。但现代新建的轨道交通系统都要求预留测防端子和预装参考电极，在需要时可配备杂散电流的检测系统，对杂散电流腐蚀的可能性进行实时监测。杂散电流的调查一般是指轨道交通系统的结构如车站处的的轨道对地电阻和腐蚀电势。其它

杂散电流的监测包括对轨道对地电压、泄漏电流、指定的金属结构对负母线的电压和从牵引变电所馈出的总电流等的测量. 这些测量用于对当前杂散电流和杂散电流腐蚀的评估. 中华人民共和国行业标准—地铁杂散电流防护技术规程 CJJ 49—92 的规定: 隧道结构的外表面, 受杂散电流腐蚀危害控制指标是由泄漏电流引起的结构电压偏离自然电位数值. 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 0.5 V. 一般轨道交通系统的杂散电流监测系统主要是监测杂散电流对结构钢筋的腐蚀可能, 因此主要监测结构钢筋的极化电压.

6 实际应用效果

在上海轨道交通施工中, 通过对杂散电流预防实施, 在采用 ZC29B 型接地电阻测试仪测试中, 各

项指标均达到行业统一标准, 收到了良好的效果.

7 结 语

在上海轨道交通 6 号线工程建设中, 将防杂散电流施工分布于主体工程施工的各工序中, 严格按照技术规范“防”、“导”相结合, 达到了对杂散电流进行防范, 减小、避免杂散电流所造成危害的目的.

参考文献:

[1] 马洪儒. 北京地下铁道的杂散电流腐蚀与防护[J]. 城市轨道交通
[2] 易友详. 一种积极有效的地铁杂散电流防护方案[J]. 天津理工学院报, 1995, 11(2): 1~5.
[3] 胡 斌. 地铁迷流及上海地铁的迷流防护措施[J]. 电世界, 1994, (1): 2~4.

Prevention of Stray Currents in Construction of Urban Track Transport

WANG Ze-xue

Abstract: Through the illustration of Line 6, Bidding Section 3 project construction in Shanghai Track Transport, this paper mainly analyzes the reasons for causing the stray currents. Meanwhile, it discusses the harms and mechanism of the stray currents during the process of construction, introduces the current application of stray currents' prevention in Shanghai Light Railway Track Project.

Key words: Shanghai Light Railway Track; harms; prevention