

地铁杂散电流腐蚀防护系统相关问题探讨

路春莲 李 锋

(西安市地下铁道有限责任公司 西安 710018)

摘 要 论述地铁牵引供电系统中的杂散电流腐蚀防护系统,讨论地铁杂散电流腐蚀产生的机理及其危害,阐述治理杂散电流所采用的方法和防治原则,简要介绍目前应用的杂散电流监测系统和排流柜之间的关系,对杂散电流腐蚀防护提出合理建议。

关键词 地铁;过渡电阻;杂散电流;监测系统;排流柜;运营维护

中图分类号 U231.7 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2013)01-0064-04

目前,地铁列车牵引用电一般都采用直流电,由设置在沿线的牵引变电所通过架空线或第三轨向列车供电,利用走行轨作为回流线路。地铁系统的走行轨本身具有电阻且对地做不到完全绝缘,所以总有一部分回流电流从走行轨泄露到大地。这部分从走行轨泄露的电流被称为杂散电流,也叫迷流^[1]。

1 杂散电流的危害和防治

1.1 杂散电流的主要危害

杂散电流对金属管线、混凝土结构钢和通信系统均有不同程度的危害,也被看做是一种环境污染,其主要危害包括以下几方面。

1.1.1 腐蚀金属

1) 杂散电流引起的腐蚀比自然腐蚀要剧烈得多。杂散电流引起的腐蚀与钢铁在电解质中发生的自然腐蚀不同:自然腐蚀的电流是自发进行的,其实质是一种化学腐蚀;杂散电流的腐蚀是在自然腐蚀的基础上外加直流电流作用而引起的结果,实质是一种电化学腐蚀。杂散电流在数值上要比自然腐蚀的电流大几十倍,甚至上百倍。

2) 当杂散电流为1 A时,一年内可腐蚀10 kg铁。在杂散电流干扰比较严重的地区,电流可达到几十安培甚至几百安培,壁厚8~9 mm的钢管快则2~3个月就会穿孔,可见杂散电流造成的腐蚀相当严重^[2]。

3) 排流网是杂散电流的良好通道。当设置在牵引变电所的排流柜装置未启动排流功能时,在回电点附近杂散电流从排流网的结构钢中流出,结构钢失去电子而带正电,形成铁离子,铁离子与水蒸气中的硫酸根离子作用变成硫酸盐,因而被腐蚀。

4) 北京地铁一期工程投入运营数年后,其主体结构钢筋发现严重腐蚀,隧道内水管腐蚀穿孔,仅东段部分区段就更换水管54处^[3];天津地铁也存在水管被杂散电流迅速蚀穿的情况^[4];香港地铁曾因地铁杂散电流引起煤气管道腐蚀穿孔,造成煤气泄漏的事故^[5]。

1.1.2 破坏混凝土结构

1) 在杂散电流由混凝土进入钢筋之处,钢筋呈阴极状态。如果阴极析氢且氢气不能从混凝土逸出,就会形成等静压力,使钢筋与混凝土脱开。

2) 在电流离开钢筋的部位,钢筋呈阳极而发生腐蚀,并形成腐蚀产物 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{xH}_2\text{O}$ (红锈)、 Fe_3O_4 (黑锈)等。腐蚀产物在阳极处堆积,会以机械力作用排挤混凝土而使之开裂^[6]。

3) 根据研究,红锈的体积可扩大到原来钢筋体积的4倍,黑锈体积可扩大到原来的2倍。铁锈的形成使钢筋体积膨胀,进而对周围混凝土产生压力,使混凝土内部形成拉应力。由于混凝土的抗拉强度很低,一般只有0.88~1.5 MPa,使混凝土沿钢筋方向开裂^[6]。

1.1.3 对通信系统产生影响

杂散电流使通信导线与附近大地形成电位差,会在接地的通信设备机架上形成高电位而影响通信,甚至危及设备和人员的安全。

可见,寻求减少杂散电流腐蚀危害的方法是非常重要的。目前,我国地铁建设处于高潮时期,因此要全

收稿日期: 2012-04-20 修回日期: 2012-05-22

作者简介: 路春莲,女,工程师,从事地铁供电系统运营管理与研究,
luchunlian1122@163.com

面考虑杂散电腐蚀防护问题,设计合理的杂散电 流 腐 蚀 防 护 系 统 具 有 一 定 的 现 实 意 义。

1.2 杂散电流的腐蚀防护

尽管杂散电 流 腐 蚀 防 护 系 统 涉 及 多 个 专 业,但 由 于 直 流 牵 引 供 电 系 统 是 产 生 杂 散 电 流 的 根 源,因 而 通 常 将 杂 散 电 流 腐 蚀 防 护 系 统 归 由 供 电 系 统 设 计。

在直流牵引电 流 流 经 走 行 轨 时,因 走 行 轨 存 在 内 部 电 阻,所 以 在 走 行 轨 上 产 生 纵 向 电 位,其 大 小 与 直 流 牵 引 电 流、走 行 轨 电 阻 和 供 电 分 区 长 度 有 关。在 相 同 条 件 下,牵 引 变 电 所 的 供 电 分 区 长 度 越 长,走 行 轨 上 产 生 的 纵 向 电 位 差 越 大,杂 散 电 流 泄 漏 量 就 越 大,不 利 于 杂 散 电 流 腐 蚀 防 护。在 日 本,将 杂 散 电 流 腐 蚀 防 护 的 需 要 列 为 确 定 牵 引 供 电 分 区 长 度 的 首 要 条 件^[7]。

因为杂散电 流 的 危 害 在 地 铁 修 建 初 期 甚 至 是 二 三 十 年 内 都 不 能 明 显 地 表 现 出 来,所 以 未 能 引 起 足 够 的 重 视。一 旦 杂 散 电 流 对 地 铁 本 身 及 周 边 设 施 造 成 危 害,其 后 果 往 往 相 当 严 重,有 时 甚 至 是 不 可 挽 回 的。

1.3 杂散电流的防治方法

通过对杂散电 流 产 生 的 原 因 及 腐 蚀 过 程 进 行 分 析,可 以 知 道 提 高 走 行 轨 对 地 绝 缘 和 保 持 牵 引 回 流 畅 通 是 治 理 杂 散 电 流 泄 露 的 两 种 途 径。在 行 业 内,对 杂 散 电 流 腐 蚀 的 防 治 总 结 为“以 防 为 主,以 排 为 辅,防 排 结 合,加 强 监 测”的 16 字 原 则。根 据 这 个 原 则,提 出 了 3 种 应 对 杂 散 电 流 的 方 法。

1.3.1 方法 1

控制杂散电 流 产 生 的 源 头,减 少 杂 散 电 流 产 生 的 总 量,即“防”的 方 法。这 种 方 法 有 两 个 要 点:第 一 是 增 加 轨 地 过 渡 电 阻 值,即 要 加 强 绝 缘;第 二 是 减 小 回 流 轨 的 纵 向 电 阻,这 一 点 从 目 前 来 看,通 过 选 用 大 截 面 的 重 型 钢 轨 和 控 制 焊 接 长 轨 接 缝 的 电 阻 值 比 较 容 易 做 到^[2]。

1.3.2 方法 2

对泄露出钢轨的杂散电 流 采 取 排 流 的 方 法 来 减 少 其 腐 蚀 危 害,即“排 流 法”。目 前,多 采 用 极 性 排 流 法。该 方 法 是 在 道 床 下 和 隧 道 侧 壁 铺 设 纵 向 电 气 连 接 的 钢 筋 排 流 网,使 杂 散 电 流 通 过 这 个 人 为 设 置 的 低 阻 值 金 属 网 络 回 流 到 牵 引 所 附 近,再 通 过 电 缆 将 排 流 网 引 出 端 子 与 排 流 柜 连 接,通 过 排 流 柜 进 行 极 性 排 流,使 杂 散 电 流 及 时 地 回 到 牵 引 所 整 流 器 的 负 极。

1.3.3 方法 3

对杂散电 流 进 行 实 时 监 测,一 旦 发 现 泄 露 超 标,则 采 取 一 定 的 对 策 来 减 轻 其 危 害,即“测”的 方 法。该 方 法 运 用 杂 散 电 流 监 测 系 统,通 过 在 地 铁 沿 线 布 置 相 当

数 量 的 传 感 器,对 结 构 钢 筋 的 腐 蚀 程 度 进 行 实 时 监 测,为 地 铁 运 营 维 护 提 供 必 要 的 参 考。

因为杂散电 流 和 经 由 轨 道 回 流 的 正 常 电 流 是 一 个 此 消 彼 长 的 关 系,其 中 关 键 的 决 定 因 素 就 是 轨 地 过 渡 电 阻 值。因 为“防”的 方 法 是 控 制 源 头 的 方 法,具 有 主 动 性,通 过 控 制 施 工 质 量 和 做 好 后 期 运 营 维 护 就 可 以 最 大 限 度 地 控 制 杂 散 电 流 的 产 生,而“排”的 方 法 是 被 动 的,是 在 泄 露 达 到 一 定 程 度 后 采 取 的 补 救 措 施,不 是 解 决 问 题 的 根 本 办 法。

2 对轨地过渡电阻进行全程控制

《地铁杂散电 流 腐 蚀 防 护 技 术 规 程》规 定:新 建 线 路 的 走 行 轨 与 区 间 主 体 结 构 之 间 的 过 渡 电 阻 值 不 应 小 于 $15\ \Omega\cdot\text{km}$,对 于 运 行 线 路 不 应 小 于 $3\ \Omega\cdot\text{km}$ 。杂 散 电 流 腐 蚀 的 防 护 应 坚 持“以 防 为 主”的 原 则,“防”的 关 键 就 是 控 制 轨 地 过 渡 电 阻 值,为 此 就 必 须 想 办 法 增 加 轨 道 绝 缘 强 度。笔 者 认 为,比 较 有 潜 力 的 做 法 是:在 地 铁 建 设 阶 段,在 钢 轨 的 绝 缘 安 装 方 面 不 断 开 展 新 材 料、新 工 艺、新 工 法 的 研 究;在 地 铁 运 营 阶 段,加 强 绝 缘 维 护 工 作。只 有 堵 住 杂 散 电 流 泄 露 的 源 头,使 杂 散 电 流 的 泄 露 总 量 得 到 控 制,才 能 有 效 地 治 理 杂 散 电 流。另 外,轨 地 过 渡 电 阻 的 控 制 还 需 要 对 各 专 业 提 出 一 些 要 求。

2.1 对轨道专业的要求

过渡电 阻 值 的 控 制 与 轨 道 专 业 关 系 最 为 密 切,但 杂 散 电 流 腐 蚀 防 护 系 统 一 般 归 供 电 专 业 管 理,在 专 业 衔 接 上 存 在 衔 接 不 严 密 的 弊 端,轨 道 专 业 对 钢 轨 绝 缘 安 装 的 重 要 性 往 往 认 识 不 足。但 是,杂 散 电 流 腐 蚀 防 护 系 统 普 遍 是 在 试 运 营 或 正 式 运 营 以 后 才 组 织 验 收,这 时 大 家 关 心 的 问 题 集 中 在 杂 散 电 流 监 测 系 统 的 通 信 或 系 统 功 能 的 实 现 上,往 往 忽 视 对 过 渡 电 阻 的 要 求。有 些 新 修 线 路 是 在 全 线 轨 道 铺 完 后 才 测 量,过 渡 电 阻 值 往 往 达 不 到 规 范 要 求,有 的 甚 至 出 现 轨 道 与 排 流 网 连 通 的 情 况。因 此,建 议 在 轨 道 验 收 条 款 里 明 确 轨 地 过 渡 电 阻 阻 值 的 要 求。

2.2 对土建施工的要求

加强和保持轨 道 绝 缘 是 一 项 系 统 工 程,需 要 多 工 种、多 专 业 紧 密 配 合。

2.2.1 道床排水沟设置

根据测定,不 同 含 水 状 态 下 混 凝 土 电 阻 率 差 别 很 大,如 表 1 所 示。

混凝土在潮 湿 和 干 燥 状 态 下,电 阻 率 相 差 很 大。因 此,保 持 混 凝 土 整 体 道 床 的 干 燥,不 但 是 加 强 走 行 轨 道 对 地 绝 缘 的 有 效 措 施,而 且 也 是 减 少 轨 道 绝 缘 垫

表 1 混凝土电阻率^[2]

含水状态	电阻率参考值/ $\Omega \cdot m$
在水中	40 ~ 55
在湿土中	100 ~ 200
在干土中	500 ~ 1 300
在干燥的大气中	12 000 ~ 18 000

堆积含盐沉积物的有力措施。因此,宜将道床排水沟设在道床两侧,并保证排水通畅,这有利于保持道床混凝土的干燥,可以有效防止走行轨对地绝缘水平的降低。例如,必须把排水沟设置在道床中间,适当增加排水坡度,使积水及时排进区间水池^[2]。

2.2.2 道床混凝土设置

为有效防止杂散电流对主体结构钢筋的腐蚀,杂散电流道床收集网钢筋与走行轨之间需要进行绝缘处理,道床收集网钢筋与主体结构钢筋之间也应避免金属连通。为保证收集网与走行轨之间的绝缘性能,位于钢轨下面的道床混凝土层需要具有一定厚度。

2.3 对运营维护的要求

在工程建设时,要重视日常维护,采取合理措施,严格施工,同时需要加强运营养护和维修,这样才能保证杂散电流腐蚀防护获得长期效果。

在运营维护中,应采取有效的措施,使轨道绝缘性能保持在一定水平上。

1) 定期清扫线路,清除粉尘、油污、赃物、沙土等,保持走行轨清洁和绝缘水平良好。

2) 及时消除道床积水,保持道床处于干燥状态。

3) 根据杂散电流监测系统的报警信息,及时处理线路异常现象。

清扫工作的重点是钢轨绝缘安装部分,按铺枕数量 1 440 根/km 算,一条 25 km 的地铁线路约有 7.2 万个绝缘点需要清除尘,工作量较大。建议:对绝缘安装部位采取保护措施,如可用绝缘材料对结合部位进行覆盖,或涂抹绝缘漆,拉长维护周期,降低维护强度;对于除尘、除油和保持干燥,可考虑开发一种兼顾除尘、除油和干燥功能的非标设备,或采

用其他高科技手段,以便有效地提高维护效率。

3 杂散电流监测系统与排流柜

3.1 杂散电流监测系统

3.1.1 系统组成

目前,地铁中用到的杂散电流监测系统一般由参比电极、智能传感器、信号转接器、监测装置及上位机组成。在传感器之间、传感器与信号转接器之间、信号转接器与监测装置之间,均通过现场总线实现信息传递;监测装置通过变电所内的通信网络与电力监控系统接口,将处理和统计后的数据传至杂散电流监测系统的上位机。图 1 为一个监测分区智能传感器、信号转接器以及排流柜与杂散电流监测装置的连接关系。

3.1.2 功能实现

杂散电流监测装置与上下行信号转接器通过 RS485 总线或 CAN 总线进行数据通信,上下行信号转接器分别与分布在车站两端的各智能传感器连接;通过各监测点传感器,实时采集监测点的结构钢筋的极化电位、接触电位,参比电极自然本体电位,并对采集的模拟量进行 A/D 转换、计算、存储、统计,通过变电所内通信网络与杂散电流监测系统的上位机连通。在上位机电脑上,可以看到全线杂散电流监测点的信息。一般杂散电流监测系统具备通信、测量、计算、显示、报警及分析功能等。

智能传感器是杂散电流监测系统最前端的信号采集装置,其接线如图 2 所示,信号采集端子分别与钢轨、排流

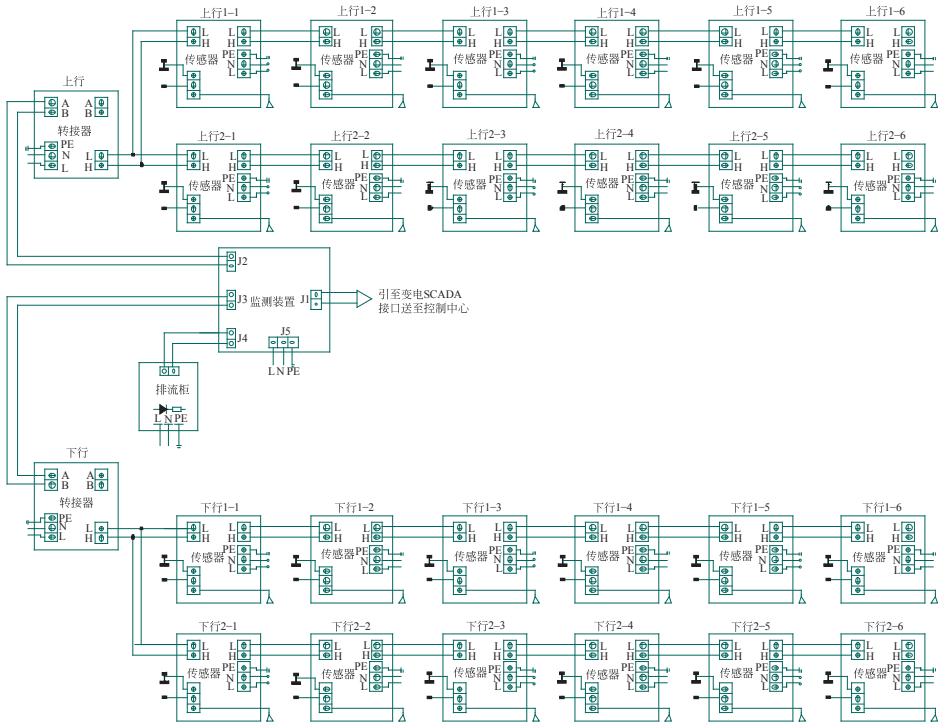


图 1 杂散电流监测系统

