

Principles and construction techniques of electrical automation wiring in rail transit

Xingli Ding

CRRC Datong Electric Locomotive Co., Ltd., Datong, Shanxi, 037000, China

Abstract

Starting from the scope of wiring and the composition of the wiring system in rail transit, this article points out the principles of electrical automation wiring in rail transit, and elaborates in detail on the key points of automation wiring construction technology, including reasonable wiring, standardized construction, comprehensive grounding, safety control and test acceptance. This article provides a reference for the electrical wiring construction work of rail transit, improves the construction efficiency and quality, and ensures the safe and efficient operation of the entire rail transit network.

Keywords

Rail transit Electronic automation Wiring principle; Construction technology

轨道交通中的电气自动化布线原则及施工技术

丁兴利

中车大同电力机车有限公司, 中国·山西大同 037000

摘要

文章从轨道交通布线范围及布线系统组成入手, 指出轨道交通电气自动化布线原则, 详细阐述了自动化布线施工技术要点, 包括合理布线、规范施工、综合接地、安全控制和测试验收。通过本文, 为轨道交通电气布线施工作业提供参考, 提高施工效率与质量, 保证整个轨道交通网络安全高效运行。

关键词

轨道交通; 电子自动化; 布线原则; 施工技术

1 引言

据统计, 截至2024年12月底, 我国共有54个城市开通运营城市轨道交通线路325条, 车站6324座, 运营里程10945.6 km^[1]。轨道交通建设过程中, 电气自动化布线是一项复杂且关键的工程, 能为各种设备和子系统提供可靠的信息传输通道, 直接影响轨道交通的运行安全。以下结合实践, 探讨了轨道交通中的电气自动化布线原则及施工技术要点, 为同业人员提供参考。

2 轨道交通布线范围及布线系统组成

2.1 布线范围

轨道交通布线范围广, 不仅包括轨道交通的各个场所, 如车站、区间隧道、车辆段、控制中心等; 而且涉及多种设备, 如电力设备、通信设备、信号设备、售检票设备、通风空调设备、火灾自动报警设备等。通过布线, 能构建一个标准统

一的基础设施, 满足系统间、设备间的信息交互需求。

2.2 布线系统组成

该布线系统由6个部分组成: ①工作区子系统, 由终端设备到信息插座之间的连接线缆和适配器组成, 提供设备接入端口。②水平子系统, 将工作区信息插座与楼层配线架连接起来, 满足数据水平传输需求。③垂直干线子系统, 将不同楼层的弱电间与车站通信机房或主设备房连接起来, 是布线系统的主干部分。④管理子系统, 由配线架、交换机、路由器等设备组成, 可对布线系统集中管理和维护。⑤建筑群子系统, 用来连接不同建筑物之间的布线系统, 不仅实现长距离、高速率数据传输, 而且抗干扰能力强。⑥设备间子系统, 由核心交换机、服务器、通信机柜等组成, 是布线系统的核心枢纽。

3 轨道交通电气自动化布线原则

3.1 安全可靠原则

电气自动化布线满足安全可靠原则, 一是选用符合国家标准的阻燃、耐火型线缆, 且线缆能匹配系统额定电流, 根据环境条件预留安全余量。二是严格控制不同电压等级、

【作者简介】丁兴利(1977-), 男, 中国山西大同人, 本科, 高级工程师, 从事电力机车技术研究和试验检测研究。

不同系统电缆的敷设间距，以减少电磁干扰对信号传输的影响。三是关键设备和线缆，采取防潮、防振动措施，减少外部环境造成的影响^[2]。四是布线与综合接地系统紧密配合，所有电气设备可靠接地，防控触电风险。

3.2 易安装维护原则

布线施工既要保证现场作业便捷，又要方便后期维护管理，以降低运营成本。其一，设计简单布线路径，注意避开设备检修窗口和高温高湿环境，消除故障隐患。其二，采用模块化的布线组件，线缆规格和接口都要统一，方便后续替换。其三，在弱电间、信息机房等核心区域，布线时避免过度密集缠绕，应预留充足的维护空间，为后续设备升级、系统扩容打下基础。

3.3 重量均匀分配原则

轨道交通运行中，不论是列车、还是建筑物，均对荷载分布有严格要求，布线时应遵循重量均匀分配的原则。第一，在列车内部布线时，线槽、桥架等分布在车体两侧及底部，防止重心偏移对列车行驶的稳定性的影响。第二，在车站内部布线时，合理布置吊顶内、地板下的线缆桥架，通过

分散荷载的方式避免吊顶变形、地板沉降。第三，尽量选用强度高、轻量化的布线材料，控制单条线缆的长度与截面，使得布线系统与轨道交通的结构承载力相匹配。

3.4 车内空间最大化原则

列车内的空间本就有限，布线施工在满足功能要求的前提下，应实现空间利用率最大化。基于此，一是推行隐蔽式布线方案，将线缆嵌入座椅下方、装饰板内部，不占用设备安装和乘客活动空间。二是选用高集成度的线缆，敷设时与空调管路、通风通道等设施协调布局，避免空间上产生冲突。三是车载设备如交换机、配线架等，集中部署在机柜内，既能减少空间占用，又能降低干扰风险^[3]。

4 轨道交通电气自动化布线施工技术要点

4.1 合理布线

电气自动化布线前，应综合分析现场情况、设计要求，选择合理的布线方式，既保证电气系统安全，又能提高施工经济性。常用布线方式有直接布线、管道布线、接线盒布线、接线架布线等，各自优缺点见下表 1。

表 1 常用布线方式比较

布线方式	优点	缺点	适用场景
直接布线	施工流程简单，线缆敷设速度快，成本低	抗干扰能力弱，后期维护难度大	短距离、环境简单的区域
管道布线	防护性能好，电磁屏蔽效果优	施工复杂度高，成本较高	恶劣环境和防护要求高的场景
接线盒布线	分支灵活，节点清晰	接线节点较多，占用空间较大	设备分支连接处，需频繁扩展线路的区域
接线架布线	线缆管理规范，便于集中维护与故障排查	初始投入成本高，施工专业要求高	核心设备区域，布线整洁度与管理要求高的场景

4.2 规范施工

(1) 电气线缆敷设时，线缆不能交叉、扭曲或受到外力挤压。在车站内部，可敷设于吊顶内、地板下，或使用墙面线槽。需要注意的时，不同系统的电缆分开敷设，为减少电磁干扰严格控制间距，如下表 2 所示。

表 2 电缆支吊架、梯架或托盘的最小层间距 (mm)

电缆电压等级、类型和敷设特征	支架或吊架	梯架或托盘
控制电缆明敷	120	200
电缆敷设于槽盒中	h+80	h+100
电力电缆明敷	6 kV 以下	150
	6-10 kV 交联聚乙烯	200
	35 kV 单芯	250
	35 kV 三芯	300
	110-220 kV	300
330 kV、500 kV	350	400

注：h 代表槽盒外壳高度。

(2) 线缆敷设后，为防止风吹或振动因素导致其松动，需对线缆进行固定。若线缆位于线槽或桥架内，每间隔一定距离使用卡子、扎带等固定；若线缆穿越墙壁或楼板，则要设置套管予以保护，并对套管密封处理^[4]。

(3) 对敷设好的线缆进行准确标识，一般在线缆的两端、分支和转弯处，设置标识牌明确线缆的规格、起点和终点、所属系统等信息，以方便后续管理和维护工作，尤其在发生故障时能及时精准定位，缩短故障时间。

(4) 线缆敷设完成，安装交换机、服务器、菲尼特配线架等设备，这些设备要安装在稳固机柜内，具有良好的通风、散热条件；严格按照说明书安装。保证设备与线缆之间、设备与设备之间正确连接，并且接地处理。

4.3 综合接地

当前，轨道交通综合接地有多种方案。方案 1 是每个设备选用两路独立的电缆引出到接地母排，设备之间不进行电气连接。该方案的安全性能最高，但接地电缆的布线复杂，接地母排的连接结点较多，成本较高，实际施工中局限性较大。方案 2 是设备间采用两路电缆串联，并引出到综合接地母排。该方案中任何一路接地电缆断开，不会影响整个系统的接地安全，但设备之间形成环路，发生故障时有助于故障电流传输，从而影响接地性能。方案 3 是每个设备使用一路电缆相互连接，并引出到接地母排形成环网，如下图 1 所示。该方案既增加了接地可靠性，又减少了接地电缆，在轨道交通中广泛应用。

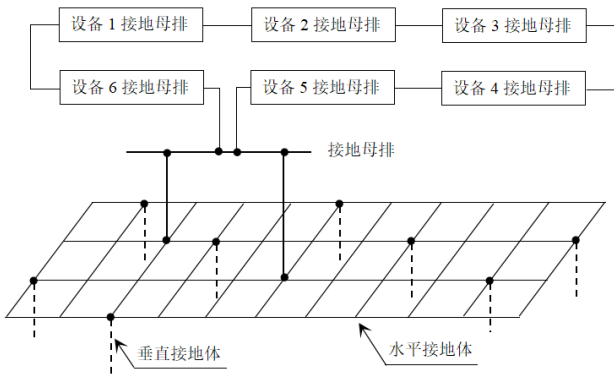


图1 综合接地方案示意图

4.4 安全控制

轨道交通安全运营的前提，是保证电气自动化系统的安全，这就必须防范电缆过载发热引起的火灾问题，在布线施工中重点关注电流指标。系统运行时，电缆等效电流 I_c 的计算公式：

$$I = \frac{I_0}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4} \quad (1)$$

式中， I_0 代表额定工作电流， K_1 代表环境温度修正系数， K_2 代表线缆敷设种类修正系数， K_3 代表电缆使用时间修正系数， K_4 代表运行中断时短期电流修正系数。通过查表得到各个系数值，结合线缆的截面积即可计算出发热状态，适当增大线缆面积能防止过热现象发生。常用电缆导体的最高允许温度见下表3。

表3 常用电缆导体的最高允许温度

电缆			最高允许温度(℃)	
绝缘类别	型式特征	电压(kV)	持续工作	短路暂态
聚氯乙烯	普通	≤1	70	160(140)
交联聚乙烯	普通	≤500	90	250
自容式充油 半合成纸	普通牛皮纸	≤500	80	160
		≤500	85	160

注：括号内数值适用于截面 > 300 mm² 的聚氯乙烯绝缘电缆。

4.5 测试验收

电气自动化布线施工结束，首先进行全面测试，包括线缆连通性测试、衰减测试、回波损耗测试、近端串扰测试等，保证线缆性能符合标准要求^[5]。若是光纤线缆，还要进行光时域反射测试、光纤熔接损耗测试；安装的电气设备则进行功能测试和性能测试。以光时域反射测试为例，向光纤发射窄脉冲光，接收光纤中反向传回的散射/反射光，通过光的传播时间计算距离，通过回波光功率计算损耗。光在光

纤中的传播速度 v 为：

$$v = \frac{c}{n_g} \quad (2)$$

式中， c 代表真空中的光速，取值 3×10^8 m/s； n_g 代表光纤的群折射率。测试时，仪器发射光脉冲后，待测点到仪器的单程光纤长度为：

$$L = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{n_g} \cdot t \quad (3)$$

式中， t 代表仪器接收到背向光的往返时间，s。光功率损耗 α 的计算公式：

$$\alpha = 10 \lg \frac{P_{in}}{P_{out}} \quad (4)$$

式中， P_{in} 、 P_{out} 分别代表输入光功率和输出光功率。光纤衰减系数 α_L 的计算公式：

$$\alpha_L = \frac{10 \lg \frac{P_1}{P_2}}{L_2 - L_1} \quad (5)$$

式中， P_1 、 P_2 分别代表光纤上 L_1 、 L_2 位置的瑞利背向散射光功率， $L_2 - L_1$ 代表两点间的光纤长度。根据计算结果， α 值、 α_L 值越小，说明光纤的传输性能越好。各项测试指标均满足标准和设计要求，才能判定布线系统通过验收。

5 结语

轨道交通电气自动化布线，是保障轨道交通安全高效运行的关键基础设施，文章系统介绍了布线施工技术要点，以确保系统性能达标。未来，布线技术向着集约化、智能化的方向发展，需进一步优化布线设计、提升系统的抗干扰能力，推动轨道交通高质量发展。

参考文献

- [1] 中国政府网. 去年我国城市轨道交通客运量增长9.5%[EB/OL]. 2025-01-16, https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202501/content_6998938.htm
- [2] 刘恺, 周汉江. PLC技术在电气工程及自动化控制中的应用[J]. 消费电子, 2025(18):104-106.
- [3] 李婉东. 轨道交通低压配电柜内部短路故障诊断方法[J]. 电气技术与经济, 2025(8):402-404.
- [4] 都青华, 周勇志. 轨道交通车辆三维布线占空比算法研究[J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(2):126-129.
- [5] 刘伟明. 轨道交通电气自动化布线方法与实施技术[J]. 运输经理世界, 2023(25):4-6.