

Design and Optimization of Signal System Interface of Metro Link

Yuanyuan Zhao Xiwei Yi Bin Zhou

UniTTEC Co., Ltd, Hangzhou, Zhejiang, 310051, China

Abstract

The subway tie line is a line connecting two independently running main lines. In the subway signal design work, the design of the tie line interface is not only related to the independence of the operation of the two lines, but also to the safety and reliability of the transfer line operation. The paper combines the project of Hangzhou Metro Line 6 and Hangzhou Fu Line in China, and analyzes and optimizes the design scheme of the signal system interface of the subway connection line from two levels of normal operation and fault handling.

Keywords

subway tie line; signal design; interface circuit; reliability

地铁联络线的信号系统接口设计与优化

赵媛媛 易希为 周斌

浙江众合科技股份有限公司, 中国·浙江 杭州 310051

摘要

地铁联络线是连接两条独立运行正线之间的线路。在地铁信号设计工作中, 联络线接口设计既关系到两条线路运行的独立性, 也关系到转线运行的安全性与可靠性。论文结合中国杭州地铁6号线及杭富线工程, 从正常运行和故障处理两种层面, 对地铁联络线的信号系统接口设计方案进行分析与优化。

关键词

地铁联络线; 信号设计; 接口电路; 可靠性

1 引言

近年来, 中国城市规模不断扩大, 人口数量不断增多, 这使得地面交通愈加拥堵。为解决城市交通拥堵问题, 保障人们出行便利, 加快地铁建设显得尤为重要。在进行地铁建设过程中, 如何保障地铁信号系统与其他线路信号系统有效连接, 关系到地铁运营的安全性与可靠性。

2 地铁联络线的信号系统接口设计要求

在进行地铁联络线的信号系统接口设计时, 设计人员要结合线路专业相关知识, 包括站台设计内容、线路限速、线路资料等, 了解地铁信号系统实际用电量、车站地线的规划建设等情况。设计人员也需对通讯专业相关知识有所涉及, 以保证数据传输效率科学合理, 信息传输渠道规范有效, 并且还要能在设计过程中准确计算出牵引布点与追踪间隔、列车最大加速度、紧急制动减速度等。设计人员需准确计算出

以上数据, 从而保证接口设计的规范性、合理性^[1]。

3 地铁联络线的信号系统接口设计标准

3.1 故障导向安全原则

按照国家与行业相关规定, 在进行地铁信号系统接口设计时, 需严格遵循故障导向安全原则, 确保信号能及时、安全传输。经调查研究发现, 在具体设计过程中, 故障情况下的处理措施容易被忽视, 导致接口的稳定性不高, 信号传输的安全性得不到保证, 给地铁的运营带来了安全隐患且严重影响地铁运营效率。因此, 在接口设计阶段, 就应秉承故障导向安全原则, 对系统在运行过程中可能会发生的各项意外事故做全面考虑, 并结合相关资料对故障情况进行分析, 在此基础上合理确定电压、电流等参数, 科学确定接口位置与数量以及接口间的联锁关系, 从而保证接口设计的科学性、合理性^[2]。

3.2 细化接口设计文件

在进行地铁信号系统接口设计时，接口设计文件是各项工作开展依据，如果接口设计文件中各项内容不详尽、数据不准确，界定不明确，就会导致具体的设计工作很难开展，进而对接口设计质量产生直接性影响。因此，要想保证地铁信号系统接口设计的科学性、准确性，就必须将接口文件进行细化。设计时，要增强专业设计者之间的交流与沟通，确保对文件各项内容有一个准确的理解与把握，在之后的设计工作中也认真落实各项规定与要求，从而保证接口设计质量，保证地铁信号系统安全^[5]。

4 地铁联络线信号系统接口具体设计

中国杭州地铁 6 号线及杭富线工程接口联络线的信号平面布置如图 1 所示：

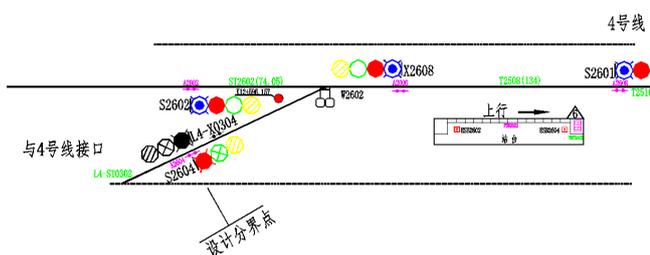


图 1 与地铁 4 号线接口信号布置图

地铁 6 号线在中医药大学站通过联络线与 4 号线接口，接口采用安全继电器方式。两线之间在进行转线作业时，列车驾驶模式采用非限制人工驾驶模式与人工驾驶模式两种。在运行过程中，司机主要按照接发车进路始端信号机显示行车。

经测算确定，地铁 6 号线与 4 号线联络线路总长度为 163m。在联络线的分界点处，6 号线和 4 号线分别设置各自的列车占用检查设备（计轴）和防护进入本线的防护信号机，并纳入各自的联锁控制。在上行线，联络线、信号机 X0304、计轴 A0304 以及道岔 W0302 属于 4 号线控制范围；信号机 S2604、计轴 A2604 和道岔 W2602 属于 6 号线控制范围^[6]。

在设计时，综合考虑到该线路的地形、位置、线路运行需求等各项情况，最终制定出以下设计方案。

4.1 基本原则

地铁 6 号线信号系统与 4 号线信号系统接口设计的联锁关系需满足以下要求：在非转线作业时，两条线路保持独立性，运营中不相互干扰。两条线路之间在联络线处建立联锁照查

关系，在转线作业时，将经过联络线的发车进路和接车进路当作一条进路来处理，保证联络线上列车进路的安全。两条线路联络处的两组道岔分别归各自线路控制。在供电方面，遵循谁采集谁供电原则^[5]。

4.2 接口信号

4.2.1 从 6 号线联锁到 4 号线联锁的接口信号

表 1 从 6 号线联锁到 4 号线联锁的接口信号说明

序号	名称	状态说明
1	6 号线接车黄灯继电器信号状态 (S2604 UJ)	吸起 -6 号线接车信号开放 落下 -6 号线接车信号关闭
2	6 号线接车信号引导继电器状态 (S2604 YXJ)	吸起 -6 号线接车信号开放引导 落下 -6 号线接车信号未开放引导
3	6 号线 ST2602 区段占用情况 (ST2602 GJ)	吸起 -ST2602 空闲 落下 -ST2602 占用
4	6 号线发车进路锁闭继电器情况 (S2604 ZCJ)	吸起 -6 号线发车进路未锁闭 (或已经解锁) 落下 -6 号线发车进路锁闭
5	6 号线道岔定位表示继电器状态 (W2602 DBJ)	吸起 (常态) -W2602 道岔处于定位 落下 -W2602 道岔未处于定位

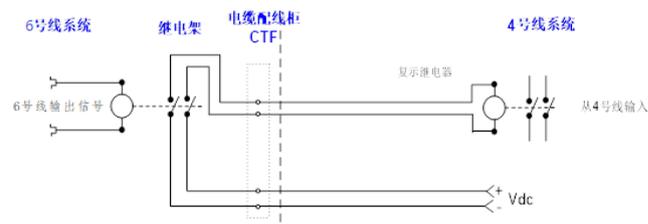


图 2 6 号线安全输出示例

6 号线系统至 4 号线系统的安全输出示例如图 2 所示。6 号线系统至 4 号线系统的安全输出的电气需求为：6 号线输出的接口信号状态将在 4 号线联锁中通过继电器进行复示；复示继电器电路，使用 6 号线状态输出继电器的两个接点（双断）；该电路所需的直流电源为 24V，由 4 号线提供。

4.2.2 从 4 号线联锁到 6 号线联锁的接口信号

表 2 从 4 号线联锁到 6 号线联锁的接口信号说明

序号	名称	状态说明
1	4 号线接车信号状态 (X0304 UJ)	吸起 -4 号线接车信号开放 落下 -4 号线接车信号关闭
2	4 号线接车信号引导状态 (X0304 YXJ)	吸起 -4 号线接车信号开放引导 落下 -4 号线接车信号未开放引导
3	4 号线 ST0302 区段占用情况 (ST0302 GJ)	吸起 -ST0302 空闲 落下 -ST0302 占用
4	4 号线发车进路锁闭情况 (X0304 ZCJ)	吸起 -4 号线发车进路未锁闭 (或已经解锁) 落下 -4 号线发车进路锁闭
5	4 号线道岔定位表示继电器状态 (W0302 DBJ)	吸起 (常态) -W0302 道岔处于定位 落下 -W0302 道岔未处于定位

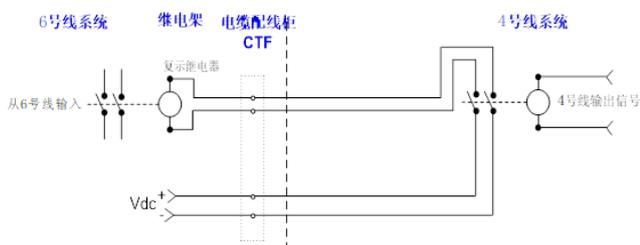


图3 6号线安全输入示例

4号线系统至6号线系统的安全输出（即6号线的安全输入）示例如图3所示。4号线系统至6号线系统的安全输出的电气需求为：4号线输出的接口信号状态将在6号线联锁中通过继电器进行复示；复示继电器电路，使用4号线状态输出继电器的两个接点（双断）；该电路所需的直流电源为24V，由6号线提供^[6]。

4.2.3 接口电路可靠性分析

(1) 接口电路的可靠性计算公式

采用《电子设备可靠性预计手册》（GJB/Z229C-2006）中所列的计算方法老计算联络线接口电路的可靠度，可采用的设备失效率计算公式为：

$$\lambda_{GS} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_{Gi} \cdot \pi_{Qi}) \quad (1)$$

式中： λ_{GS} ——设备的总失效率（ $10^{-6}/h$ ）；

λ_{Gi} ——第*i*中元器件的通用失效率（ $10^{-6}/h$ ）；

π_{Qi} ——第*i*种元器件的通用质量系数；

N_i ——第*i*种元器件的数量；

n ——设备所用元器件的种类数。

(2) 接口电路的可靠性失效率计算

图中直流可调电源，主要为桥式整流电路，一般由6个二极管和1个电阻组成。根据《电子设备可靠性预计手册》，二极管的相关参数为：

$$\lambda_{G\text{二极管}} = 0.03 \times 10^{-6} / h$$

$$\pi_{Q\text{二极管}} = 0.2$$

$$\lambda_{G\text{电阻}} = 0.12 \times 10^{-6} / h$$

$$\pi_{Q\text{电阻}} = 0.3$$

将上述参数带入公式(1)中，可计算出电源总失效率为：

$$\lambda_{GS\text{电源}} = 6 \times \pi_{Q\text{二极管}} \times \lambda_{G\text{二极管}} + \pi_{Q\text{电阻}} \times \lambda_{G\text{电阻}} = 0.072 \times 10^{-6} / h$$

根据《电子设备可靠性预计手册》，继电器的相关参数为：

$$\lambda_{G\text{继电器}} = 1.25 \times 10^{-6} / h$$

$$\pi_{Q\text{继电器}} = 0.3$$

将上述参数带入公式(1)中，可计算出继电器总失效率为：

$$\lambda_{GS\text{继电器}} = \lambda_{G\text{继电器}} \times \pi_{Q\text{继电器}} = 0.375 \times 10^{-6} / h$$

综上所述，图2和图3中，联络线接口电路由2个专用安全型继电器、一个直流可调电源组成。将 $\lambda_{GS\text{电源}}$ 、 $\lambda_{GS\text{继电器}}$ 带入公式(1)，计算可得接口电路的失效率为：

$$\lambda_{GS\text{接口电路}} = \lambda_{GS\text{电源}} + 2 \times \lambda_{GS\text{继电器}} = 0.822 \times 10^{-6} / h$$

根据《电子设备可靠性预计手册》，系统可靠度计算公式为：

$$R_s(t) = e^{-\lambda_{GS}t} = e^{-0.822 \times 10^{-6}t} \quad (2)$$

根据公式(2)可计算出1~5年联络线接口电路的可靠度，如表3所示。

表3 联络线接口电路的可靠度

时间/年	1年	2年	3年	4年	5年
可靠度	0.99283	0.98570	0.97863	0.97161	0.96464
故障率	0.00717	0.0143	0.02137	0.02839	0.03536

根据表3可知，联络线接口电路的可靠度逐年下降，在五年之后可靠度为96.464%，故障率达到3.536%。

4.3 两条联络线之间的联锁关系

4.3.1 转线作业的办理

正常情况下，接车进路和发车进路都空闲，当6号线向联络线办理发车进路时，必须在4号线先行办理了自联络线的同向接车进路，锁闭道岔W0302，并相应地开放X0304的前提下，6号线才能办理至联络线的发车进路和开放信号机。当4号线向联络线办理发车进路时，必须在6号线先行办理了自联络线的同向接车进路、锁闭道岔W2602，并相应地开放S2604的前提下，4号线才能办理至联络线的发车进路和开放信号机。考虑到限速要求，若接车进路开放引导信号，则发车进路只能开放引导。

4.3.2 转线进路的解锁

一旦接车进路和发车进路都锁闭后，以从6号线到4号线的转线运行为例，4号线的接车进路不能随意解锁，必须6号线的发车进路先解锁，4号线的接车进路才能解锁，防止因发车进路未解锁，接车已进路解锁的情况，导致列车冲进已解锁的进路内，造成事故。正常情况下，接车进路和发车进

路随列车经过,区段顺序解锁。

在无列车占用发车进路的接近区段时,取消发车进路无需延时解锁。先取消发车进路,发车进路解锁后,再取消接车进路。如列车已进入发车进路的接近区段,取消发车进路需延时,如果延时后,列车停在发车信号机前未闯入发车进路,则发车进路解锁,否则发车进路不能解锁,待发车进路解锁后,接车进路办理取消进路。如未办理发车进路,接车进路的接近区段故障占用,则取消接车进路后,接车进路延时180s解锁。

4.4 优化设计

正常情况下,4号线X0304 ZCJ落下,6号线接车进路不允许取消。鉴于表3中联络线接口电路的故障率随时间增加而增大,会出现4号线因故障X0304 ZCJ落下或采集不到X0304 ZCJ的状态,导致6号线接车进路无法取消,影响6号线正线正常运行。为解决此故障产生的影响,且考虑安全性能,6号线在采集到X0304 ZCJ落下时,若能采集到W0302道岔DBJ吸起,则允许通过人工延时解锁的方式取消接车进路,保证6号线正线正常运行,缩小故障影响范围,提高故障情况下的运营效率。

5 结语

综上所述,作为城市轨道交通的重要组成部分,联络线的信号系统接口在地铁运行过程中发挥着重要作用。因此,在进行地铁联络线信号系统接口设计时,相关单位与人员应严格按照国家与行业要求,遵循故障导向安全原则,根据工程实际情况采取有效措施优化设计,确保地铁信号系统接口的功能安全性、可靠性得到充分发挥。

参考文献

- [1] 赵旻杰. 上海地铁17号线虹桥火车站联络线信号旁路功能设计改进[J]. 电子世界, 2019(17):123-125.
- [2] 王冠文. 地铁联络线的信号系统接口设计方案探讨[J]. 通讯世界, 2019(06):5-6.
- [3] 杜时勇, 郭戩. 地铁不同联络线信号系统站间联系分析[J]. 都市轨道交通, 2015(02):112-116+125.
- [4] 邹海平. 地铁联络线信号系统接口设计[J]. 铁道通信信号, 2014(06):27-29.
- [5] GJB/Z 299C-2006, 电子设备可靠性预计手册[S].
- [6] TB/T3027-2015, 铁路车站计算机联锁技术条件[S].