

# 城市轨道交通带上盖物业开发的停车场 无线通信覆盖方案及关键技术

李庆刚<sup>1,2</sup>

(1. 陕西省铁道及地下交通工程重点实验室(中铁一院), 710043, 西安;

2. 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710043, 西安)

**摘要** [目的]城市轨道交通带上盖物业开发的停车场设计非常复杂,需增加较多的柱网,且上盖物业开发后,综合楼楼顶架设全向天线将无法覆盖停车场地面区域。为了有效解决带上盖物业开发的停车场无线通信覆盖,需对带上盖物业开发停车场的无线通信覆盖方案及关键技术进行研究。

[方法]以西安地铁6号线带上盖物业开发的纺织城停车场TETRA(泛欧集群无线电)通信系统工程设计为依托,鉴于无线通信覆盖工程的难点,提出了无线通信系统的频率规划分配方案;针对该停车场的运用库、道岔区、出入段线以及场内非盖下区域道路,提出了无线通信覆盖方案。[结果及结论]纺织城停车场采用FA频组进行无线覆盖时,保证了频率间隔,避免了同频干扰;纺织城停车场引入公安无线通信系统,采用与专用无线通信系统信号合路覆盖方案;盖下停车场区域采用定向天线替代楼顶全向天线覆盖方式,其中运用库采用天线对射,咽喉区采用天线补强,U型槽采用天线覆盖解决越区切换,周边道路利用建筑物侧墙或立柱采用定向天线进行覆盖。提出的带上盖物业开发的停车场无线通信覆盖方案,降低了系统干扰以及对既有运营的影响,有效解决了盖下停车场的无线通信覆盖,节约了工程投资。

**关键词** 城市轨道交通;上盖物业开发;停车场;无线通信覆盖方案;关键技术

**中图分类号** U231.7:U279.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.03.048

## Research on Coverage Scheme and Key Technology of Wireless Communication for Cover Development of Urban Rail Transit Parking Lot

LI Qinggang<sup>1,2</sup>

(1. Shaanxi Railway and Underground Traffic Engineering Key Laboratory (FSDI), 710043, Xi'an, China; 2. China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China)

**Abstract** [Objective] The cover development design for urban rail transit parking lot is very complicated, requiring more new column grids. Moreover, after the cover develop-

ment, the omnidirectional antenna set up on the roof of the complex building cannot cover the ground area of the parking lot. In order to effectively realize the wireless communication coverage of the parking lot, it is necessary to study the related schemes and key technologies. [Method] Based on the systematic engineering design of TETRA (terrestrial trunked radio) communication system for the parking lot of Textile City Station on Xi'an Metro Line 6 and in view of the difficulties of wireless communication coverage engineering, the frequency planning and allocation scheme of wireless communication system is proposed. A wireless communication coverage scheme is proposed for the parking lot, switch area, access sections and roads in the non-cover area of the parking lot. [Result & Conclusion] FA (frequency allocation) frequency group for wireless communication coverage is adopted for the parking lot of Textile City Station, which ensures frequency interval and avoids same frequency interference. The public security wireless communication system is introduced into the above parking lot, and the scheme of signal route coverage combined with the dedicated wireless communication system is adopted. Directional antenna is used as the coverage mode for the covered parking area to replace the omnidirectional antenna on the roof. Antenna correlation is used for the depot, antenna reinforcement for the throat area, and antenna coverage for U-shaped slot to solve the cross-zone switching, and directional antennas are adopted to cover the surrounding roads by utilizing building sidewalls or columns. The proposed wireless system coverage scheme for the cover development parking lot not only reduces the system interference and the impact on the existing operation, but also effectively solves the problem of the wireless communication coverage for the cover development parking lot, saving the project investment.

**Key words** urban rail transit; cover development; parking lot; wireless communication coverage scheme; key technology

城市轨道交通(以下简称“城轨”)专用无线通

信系统对行车安全与高效运营起着非常重要的作用。带上盖物业开发的停车场设计非常复杂<sup>[1]</sup>,需增加较多的柱网,直接影响了无线通信覆盖。因此,带上盖物业开发停车场的无线通信覆盖设计需详细分析,以满足无线信号覆盖的需求。

为了保证无线通信覆盖的范围和质量,以往停车场均采用在综合楼楼顶架设全向天线进行停车场地面区域的无线覆盖<sup>[2]</sup>。由于上盖物业开发后,综合楼楼顶架设全向天线将无法覆盖停车场地面区域。为了有效解决带上盖物业开发的停车场无线通信覆盖,以西安地铁 6 号线(以下简称“6 号线”)带上盖物业开发的纺织城停车场为例,对该停车场无线通信覆盖方案及关键技术进行研究。

## 1 无线通信覆盖工程建设的难点

6 号线终点站纺织城站为 6 号线与西安地铁 1 号线(以下简称“1 号线”)、西安地铁 9 号线(以下简称“9 号线”)三线的换乘车站,站内采用三线平行同台换乘。同时 6 号线纺织城停车场设置在纺织城站东端头外侧,与 1 号线纺织城站向东延伸已设置的灞河停车场并排建设。纺织城停车场站段关系示意图如图 1 所示。上述 3 条线专用无线通信均采用 800 MHz 频段 TETRA(泛欧集群无线电)通信系统和小区制结构。6 号线以西安市无线电管理委员会已正式批复的 806 ~ 821 MHz(移动台发,基站收)以及 851 ~ 866 MHz(基站发,移动台收)的 8 对频点资源为基础,双工间隔取 45 MHz,频道间隔取 25 kHz。纺织城停车场 TETRA 通信系统建设将面临如下几个方面的难点<sup>[3]</sup>。

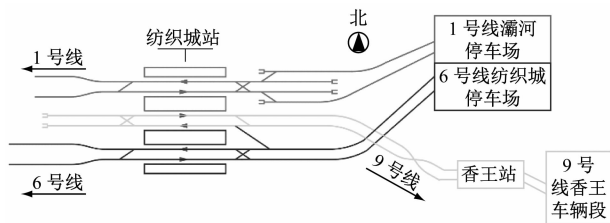


图 1 纺织城停车场站段关系示意图

Fig. 1 Diagram of segment relations in Textile City Station parking lot

1) 纺织城停车场与其邻近的 1 号线、6 号线、9 号线三线换乘车站纺织城站的干扰保护与网络优化。1 号线和 9 号线 TETRA 通信系统均占用 806 ~ 866 MHz 频段中已批复的 8 对频点,组成 FA、FB、FC、FD 等 4 个频组,每个频组采用 2 对载频(收发

分离),沿线车站分别采用 3 个频组轮流交叉复用的频率复用方式(FA-FB-FC-FA-FB-FC)。纺织城站 1 号线区域采用 FB 频组,9 号线区域采用 FD 频组。

2) 纺织城停车场与 9 号线香王车辆段的干扰保护与网络优化。香王车辆段内 TETRA 通信系统采用综合楼楼顶架设全向天线对车辆段地面区域进行无线通信覆盖,且采用 FA 频组。

3) 纺织城停车场与灞河停车场的干扰保护与网络优化。纺织城停车场与灞河停车场并排布设,灞河停车场内 TETRA 通信系统采用楼顶架设全向天线对停车场地面区域进行无线通信覆盖,且采用 FC 频组。

4) 纺织城停车场上盖物业开发后的无线通信覆盖方式与网络优化。纺织城停车场由于上盖物业开发,不能采用在综合楼楼顶架设全向天线进行停车场地面区域无线通信覆盖的传统方案,需根据上盖物业开发后的具体情况采用有效的无线通信覆盖方案。

## 2 无线通信覆盖方案分析

### 2.1 频率规划分配方案分析

1 号线和 6 号线专用无线通信系统采用的是 Motorola 的 TETRA 通信系统,9 号线采用的海能达通信股份有限公司的 TETRA 通信系统。目前 1 号线和 9 号线均已开通运营,在纺织城站的 1 号线和 9 号线区域,半坡站和香王站(两站为纺织城站相邻车站),以及灞河停车场和香王车辆段分别使用了 FA、FB、FC 和 FD 等 4 个频组。为了避免纺织城站内部的频率干扰,该站内还需设置 1 个新频组 FE 用于纺织城站 6 号线区域,临站纺二路站采用 FC 频组,这样就有效解决了纺织城站的同频干扰问题<sup>[4]</sup>。为了避免与 1 号线同频干扰,纺织城停车场不能采用 FC 频组。为了避免与 6 号线、9 号线同频干扰,不能采用 FD 和 FE 频组,因此可选择的只能有 FA 或 FB 频组,且各频组之间的最小间隔均不小于 50 kHz,这可以满足系统频率最小保护间隔要求。

#### 2.1.1 采用 FA 频组

若纺织城停车场采用 FA 频组,其唯一可能产生同频干扰的是 9 号线香王车辆段使用的 FA 频组。由于香王车辆段采用的是综合楼楼顶架设全向天线的方式进行车辆段内无线通信覆盖,因此,

需通过计算来确定该车辆段的 FA 频组对纺织城停车场的无线通信覆盖是否会有同频干扰。

香王车辆段位于西安白鹿原与洪庆山之间的谷地,距离纺织城停车场约 2.5 km。根据香王车辆段的地形情况及各种条件,适合采用 Hata-Okumura 无线传播模型来进行计算。以市区内传播损耗作为基本数据,其他地区以市区为基准进行相应的修正。香王车辆段无线通信覆盖空间路径损耗公式为:

$$L_m = 69.55 + 26.16 \lg f_c - 13.82 \lg h_b + (44.9 - 6.55 \lg h_b) \lg d - a(h_r) \tag{1}$$

式中:

$L_m$ ——城市市区收发天线之间的基本传输损耗中值,单位 dB;

$f_c$ ——无线频率,单位 MHz;

$h_b$ ——基站发射天线的有效高度,单位 m, $h_b = h_t - h_r$ ;

$h_t$ ——基站发射天线高度,单位 m,有效高度取 30 ~ 300 m;

$h_r$ ——移动台接收天线高度,单位 m,有效高度取 1 ~ 10 m;

$d$ ——收发天线距离,即基站覆盖半径,单位 km,一般小于 2 km;

$a(h_r)$ ——移动台天线高度修正因子,单位 dB。

针对大型城市,频率在 300 MHz 以上时, $a(h_r)$ 为:

$$a(h_r) = 3.2 [\lg (11.75 h_r)]^2 - 4.97 \tag{2}$$

根据香王车辆段的具体情况,空间路径损耗参数取值如表 1 所示。

表 1 香王车辆段空间路径损耗参数取值  
Tab.1 Level parameter values of spatial path loss in Xiangwang Depot

参数	取值
$f_c$ /MHz	850
$h_t$ /m	57
$h_r$ /m	1.8
$h_b$ /m	55.2
$d$ /km	2.5

根据式(1)一式(2)以及各种参数的取值计算得到:对于大型城市, $a(h_r) = 0.651$  dB;对于距离香王车辆段 2.5 km 处, $L_m = 134.74$  dB。

按照相关要求,下行链路的每载频信号电平值,

以及便携台在覆盖区内的最低接收电平值均应  $\geq -85$  dBm。便携台边缘电平值为:

$$P_e = P_f + G_i - L_m - L_j + M \tag{3}$$

式中:

$P_e$ ——便携台边缘电平;

$P_f$ ——基站输出电平;

$G_i$ ——基站天线增益;

$L_j$ ——馈线以及接头损耗;

$M$ ——终端天线增益。

根据香王车辆段无线通信系统设备的情况,便携台边缘电平参数取值如表 2 所示。

表 2 香王车辆段便携台边缘电平参数取值  
Tab.2 Level parameter values of portable station edge in Xiangwang Depot

参数	取值
$P_f$ /dBm	37
$G_i$ /dBi	12
$L_m$ /dB	134.74
$L_j$ /dB	6
$M$ /dBi	3

根据式(3)以及各种参数的取值,可以得到  $P_b = -88.74$  dB  $< -85.00$  dB。

根据上述计算可以得出:在距香王车辆段架设全向天线 2.5 km 外的纺织城停车场的信号电平值,已低于便携台在覆盖区内的最低接收电平值 -85 dB,同时由于 6 号线、9 号线无线通信系统设备不是同一厂家,因此,香王车辆段的 FA 频组不会对纺织城停车场造成同频干扰,满足纺织城停车场的无线通信要求。

2.1.2 采用 FB 频组

若纺织城停车场采用 FB 频组,其唯一可能产生同频干扰的是纺织城站 1 号线区域和 9 号线香王站使用的 FB 频组。由于香王站为地下车站,距离纺织城停车场约 1.5 km,因此不会对纺织城停车场使用的 FB 频组造成干扰。

纺织城站为地下车站,车站范围内 1 号线和 6 号线轨行区无开放区域,1 号线使用的 FB 频组不会对纺织城停车场造成影响。但停车场处于出入段线区域,列车由区间隧道驶入停车场或列车由停车场驶入区间隧道,列车就会在区间隧道无线覆盖区和停车场无线覆盖区之间进行越区切换。为了保证切换成功率,一般的做法是在隧道侧壁悬挂漏缆

的末端,通过连接跳线增加定向天线,将区间隧道内的无线信号扩展至隧道外,与停车场无线覆盖区形成长度为 200 m 左右的无线覆盖重叠区,从而达到成功切换的目的<sup>[5]</sup>。因此,灞河停车场 U 型槽处的室外板状天线是否会对纺织城停车场造成干扰,需要进一步计算。

1 号线 U 型槽处设置的室外板状天线距 6 号线纺织城停车场的最近距离为 100 m。考虑到停车场内部的空间特性,可以选用无线信号室内路径损耗附加因子的传播模型。该模型公式为:

$$L_k = 32.4 + 20\lg f_o + 20\lg d + \alpha d + F_{AF} \quad (4)$$

式中:

$f_o$ ——频率,单位 MHz;

$\alpha$ ——信道衰减常数,单位 dB/m,取值范围为 0.48~0.62,因天线覆盖范围很小,因此此项可忽略不计;

$F_{AF}$ ——不同层路径损耗附加值,一般为 0,单位 dB。

TETRA 通信系统采用 850 MHz 频率,计算得到 1 号线 U 型槽处设置的室外板状天线在 6 号线纺织城停车场边缘区域的  $L_k = 71$  dB。

便携台边缘电平值的计算公式如下:

$$P_e = P_v - L + M \quad (5)$$

式中:

$P_v$ ——天线输入电平;

$L$ ——总损耗。

$P_v$ 的计算公式如下:

$$P_v = P_f - L_o - L_g - L_u - L_s - L_l \quad (6)$$

式中:

$L_o$ ——耦合器损耗;

$L_g$ ——功分器损耗;

$L_u$ ——跳线损耗;

$L_s$ ——射频缆损耗;

$L_l$ ——漏缆损耗。

总损耗的计算公式为:

$$L = L_k + L_z \quad (7)$$

式中:

$L_z$ ——综合损耗。

根据 1 号线纺织城站的站型,7/8 in (2.222 5 cm) 射频电缆长度按 100 m 计算,区间漏缆长度按 700 m 计算,多根跳线合计损耗按 2.5 dB 计算。考虑到停车场建筑物、上盖立柱等阻挡损耗,综合损耗取 10 dB,板状天线增益取 9 dBi。板状天线便携

台边缘电平参数取值如表 3 所示。

表 3 纺织城站板状天线便携台边缘电平参数取值  
Tab.3 Level parameter values of portable station edge of plate antenna in Textil City Station

参数	取值	说明
$P_f/\text{dBm}$	37.0	
$L_o/\text{dB}$	1.8	选用 6 dB 耦合器
$L_g/\text{dB}$	6.0	选用四功分器
$L_u/\text{dB}$	2.5	多根跳线损耗总和
$L_s/\text{dB}$	3.6	传输 100 m 的损耗值为 3.6 dB
$L_l/\text{dB}$	16.1	传输 100 m 的损耗值为 2.3 dB
$L_z/\text{dB}$	10.0	
$M/\text{dBi}$	9.0	

根据式(5)一式(7)以及各种参数的取值,1 号线 U 型槽处设置的室外板状天线输入功率  $P_v = 7$  dB,6 号线纺织城停车场边缘区域自由空间  $L = 81$  dB,6 号线纺织城停车场  $P_e = -65$  dB  $> -85$  dB。

根据上述计算可以得出,1 号线 U 型槽处的板状天线无线信号会被 6 号线手持台接收,会产生同频干扰。

经过上述两个方案的分析计算比较,6 号线纺织城停车场应采用 FA 频组,可有效避免同频干扰。

## 2.2 停车场无线通信覆盖方案分析

纺织城停车场无线信号频率确定为 FA 频组后,根据上盖物业开发的情况对停车场内无线通信覆盖进行分析。

整个停车场其中盖板下主要有运用库、洗车库、咽喉区、出入段线等,未上盖开发的单体有综合楼、料库料棚、门卫及周边道路等。上盖物业开发平台高度为 10 m,综合楼为地上 5 层建筑物,主楼高度为 21.45 m,因此,不能采用在综合楼楼顶架设全向天线进行停车场地面区域的无线通信覆盖<sup>[6]</sup>。运用库和上盖物业根据功能布局和柱网设置情况,均呈现为线状空间,因此采用定向天线优于采用全向天线。

在停车场盖下有限空间区域,无线信号覆盖受影响的因素较多,环境复杂,上盖、墙体、立柱、地面、车体、检修平台和工作人员地等都会引起无线信号的散射、反射、折射和吸收,无线电波传播模型类型较多,根据停车场盖下情况,可以采用室内小尺度路径损耗传播模型计算,计算公式如下:



$$P_{L,d} = P_{L,d_0} + 10n\lg\left(\frac{d}{d_0}\right) \tag{8}$$

式中:

- $P_{L,d}$ ——路径的总损耗值,单位 dB;
- $P_{L,d_0}$ ——距天线 1 m 处的自由空间衰减值,单位 dB;
- $d_0$ ——近地天线距离,单位 m;
- $n$ ——环境和建筑物传播损耗指数,其取值范围为 1.6 ~ 3.3,本文取 2.8。

TETRA 通信系统采用 850 MHz 频率,距离地面 1 m 天线处的自由空间损耗  $P_{L,d_0} = 31$  dB。

停车场盖下区域  $P_e$  的计算公式如下:

$$P_e = P_v - P_{L,d} - L_w + M \tag{9}$$

式中:

- $L_w$ ——电平值衰减储备。
- 停车场盖下区域天线均通过直放站传输后,末端天线电平值基本都在 10 dB 以上,天线增益为 9 dB,衰减储备为 10 dB。根据式(8)和式(9),采用 850 MHz 频率时,分别计算距离天线 50 ~ 300 m 的电平值,见表 4。

表 4 距离天线 50 ~ 300 m 的电平值

Tab.4 Field strength level value in 50 ~ 300 m away from antenna

$d/m$	$P_{L,d}/dB$	$P_e/dB$
50	78.6	-69.6
100	87.0	-78.0
150	91.9	-82.9
180	94.1	-85.1
200	95.4	-86.4
250	98.1	-89.1
300	100.3	-91.3

从表 4 可以看出,盖下区域专用无线通信系统采用定向天线进行无线信号覆盖 150 m 是能够满足便携台在覆盖区内最低接收电平值应  $\geq -85$  dBm 的要求,天线极限覆盖距离可以到达 180 m。

2.2.1 专用无线与公安无线通信覆盖方案分析

城市轨道交通公安无线通信是为了提高公安部门对轨道交通范围内更好的治安管理,保证城市轨道交通内部与公安局各部门之间的通信联络,传统的停车场只需要进行专用无线通信的覆盖,公安无线通信是通过市政公安 350 MHz 频率无线通信进行覆盖<sup>[7]</sup>,但由于纺织城停车场带上盖物业开

发,且盖下区域较大,根据相关规范要求需要考虑公安无线的引入,根据上述公式,分别计算距离天线 50 ~ 400 m 的电平值,通过计算,盖下区域公安无线通信系统采用定向天线进行无线信号覆盖 300 m 是能够满足便携台在覆盖区内最低接收电平应  $\geq -85$  dBm 的要求,天线极限覆盖距离可以到达 330 m。由此可见,公安无线通信系统完全可以利用专用无线通信系统的天馈进行无线覆盖。

2.2.2 运用库内无线通信覆盖方案分析

纺织城停车场运用库采用尽端式布置,顺接于出入段线,运用库面积 3.37 万 m<sup>2</sup>,长 274.2 m,宽 83.5 m,运用库库顶平台高度为 10 m。由于运用库上盖物业开发为多层住宅,柱网较密,每排柱网间根据距离设置 1 ~ 3 列位,因此无线覆盖采用运用库每排柱网两端设置定向天线对射方式进行,中间会有 40 m 左右的覆盖重叠区域,可以满足库内无线通信覆盖及切换需求。

2.2.3 出入段线 U 型槽处无线通信覆盖方案分析

停车场出入段线 U 型槽侧壁敷设有纺织城方向的漏缆,直至出地面部分,为了使列车能够在 U 型槽部分成功完成区间和停车场的无线覆盖小区切换,在 U 型槽终点上方区域,利用上盖设置定向天线进行 U 型槽无线信号覆盖,与 U 型槽内漏缆形成无线覆盖重叠区,同时在此处其他柱网间设置定向天线,完成牵出线和其他就近区域的无线通信覆盖。

2.2.4 道岔区无线通信覆盖方案分析

洗车库布设在咽喉区附近,洗车库长 65.6 m,宽 9.0 m,全部处于盖下。出入段线 U 型槽终点距离运用库左端头 330 m,同时考虑咽喉区的布局和柱网的不规则布置,无线覆盖会受到遮挡,因此不仅在 U 型槽上方和运用库左端架设定向天线,而且在咽喉区线缆转折处增设背对背定向天线进行补强。

2.2.5 停车场内非盖下区域道路无线通信覆盖方案分析

停车场内非盖下区域主要为周边的道路,根据各单体建筑的分布,利用建筑物的侧墙或者立柱设置板状定向天线进行道路的无线覆盖,不仅可以满足道路线性的覆盖区域,同时可以减少对周边环境的电磁干扰。

### 3 无线通信覆盖工程建设方案的实施

在充分了解纺织城停车场、附近车站及停车场周边既有无线通信覆盖情况,再通过以上的计算分析,可以得到纺织城停车场无线覆盖方案,采用 FA 频组进行无线通信覆盖,由于停车场上盖物业开发,因此,不能采用在综合楼楼顶架设全向天线进行停车场地面区域的无线覆盖,而是在运用库内部

以及上盖物业下方采用了定向天线进行无线信号覆盖,在停车场周边道路,尤其是与既有灞河停车场相邻的道路,利用建筑物侧墙或者立柱方式安装定向天线,调整天线安装的方向和角度,实现对停车场地面区域无线全覆盖,满足停车场无线通信覆盖的需求,同时减少对周边环境的无线电磁干扰<sup>[8]</sup>。纺织城停车场无线通信覆盖示意图如图 2 所示。

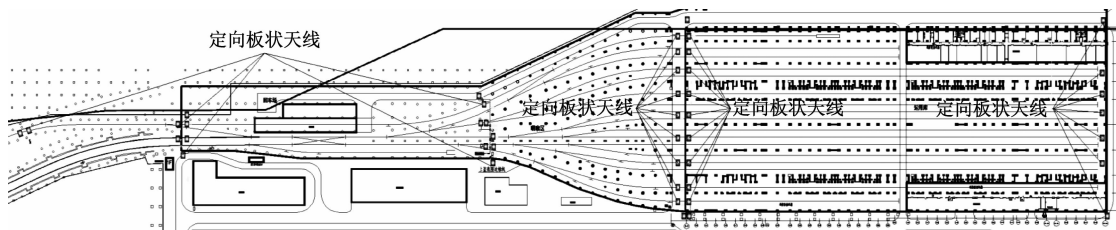


图 2 纺织城停车场无线通信覆盖示意图

Fig. 2 Schematic diagram of wireless communication coverage in Textile City Station parking lot

### 4 结语

随着西安及各大城市轨道交通建设规模的不断扩大,城市轨道交通线网已逐渐形成,为了更好地利用场段土地,停车场带上盖物业开发必将是趋势,鉴于盖下区域的复杂性,无线覆盖将面临复杂的频率规划、分配、覆盖、干扰防护等一系列问题。

纺织城停车场处于西安城市轨道交通首个三线换乘车站纺织城站的端头,与 1 号线既有灞河停车场并排设置,与 9 号线香王车辆段相距 2.5 km,并且带上盖物业开发,工程特殊性几乎涵盖了所有停车场的无线覆盖及网络优化的场景,经充分调查分析研究,通过各种模型的理论计算、仿真、分析、实测及网优选择更优的无线覆盖方案,通过专用无线与公安无线信号合路共用天馈系统进行停车场无线通信覆盖,运用库采用柱间设置定向天线对射方式,咽喉区顺轨道方向在柱间设置定向天线并在咽喉部位进行天线覆盖补强,U 型槽过渡段利用上盖设置定向天线进行覆盖,与 U 型槽侧壁漏缆形成覆盖重叠区,有效的解决越区切换,盖外道路利用建筑物侧墙或立柱架设定向天线进行覆盖。经过上述一系列的覆盖方案优化及措施,有效解决了带上盖物业开发停车场的无线通信覆盖,不仅能够降低频率干扰,减少对既有运营影响,节约投资,而且能够保证无线通信系统的高质量覆盖,为停车场及列车的正常运营提供有力的保障,本文谈到的工程设计思路,希望可为后续带上盖开发的停车场无线

通信覆盖设计工作提供一些帮助。

### 参考文献

- [1] 李广君. 满足上盖物业开发条件的地铁大架修库跨度优化[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(4): 78.  
LI Guangjun. Optimization of metro overhaul maintenance garage span under condition of meeting overhead property development demand[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(4): 78.
- [2] 矫德余, 石勇, 张增一. 城轨车辆段车地无线传输系统设计与应用[J]. 都市快轨交通, 2021, 34(4): 29.  
JIAO Deyu, SHI Yong, ZHANG Zengyi. Design and application of train-ground wireless transmission system for urban rail depot[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(4): 29.
- [3] 燕强. 城市轨道交通无线通信网络的融合及其方案应用[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 107.  
YAN Qiang. Integration and scheme application of urban rail transit wireless communication network[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 107.
- [4] 葛隽, 赵辉. 上海轨道交通 10 号线 TETRA 专用无线系统的可靠性和应用[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(增刊 2): 96.  
GE Jun, ZHAO Hui. Reliability and application of TETRA dedicated wireless system on Shanghai rail transit line 10[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(S2): 96.
- [5] 朱俊, 张羽中, 张郁, 等. 上海城市轨道交通无线监测系统研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(11): 84.  
ZHU Jun, ZHANG Yuzhong, ZHANG Yu, et al. Research on wireless monitoring system of Shanghai urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(11): 84.

(下转第 267 页)

3 结语

本文以杭州某非 ATC 地铁车辆段局部平面布置示意图为例,详细地介绍了如何优选基本进路及变更进路的方法,将进路中的敌对信号归纳为 5 种,有效避免了在查找敌对信号时有所遗漏。选取了 5 条进路,并利用上述方法查找该进路中的敌对信号,通过优化敌对信号条件对联锁表进行了简化。本文所述方法能有效解决联锁表编制过程中敌对信号遗漏的问题,对简化联锁表提供了较大的帮助,可将其作为验证敌对信号的一种方法。

参考文献

[1] 郭进. 铁路信号基础[M]. 北京:中国铁道出版社, 2010.  
GUO Jin. Basics of railway signal [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2010.

[2] 杨扬. 车站信号控制系统[M]. 成都:西南交通大学出版

(上接第 258 页)

[6] 吴英杰,朱俊. 上海城市轨道交通无线局域网干扰测试分析[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(11): 131.  
WU Yingjie, ZHU Jun. Interference test analysis of Shanghai urban rail transit wireless LAN[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(11): 131.

[7] 鲍淑红. 广州地铁 800 MHz 数字集群共网系统方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(7): 96.  
BAO Shuhong. On construction scheme of the 800 MHz digital cluster network in Guangzhou metro [J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(7): 96.

[8] 万勇兵,王大庆. 城市轨道交通 CBTC 系统互联互通测试平

(上接第 262 页)

参考文献

[1] 李芾,许文超,安琪,等. 悬挂式单轨车的发展及其现状[J]. 机车电传动, 2014(2): 16.  
LI Fu, XU Wenchao, AN Qi, et al. Development and current status of suspended monorail vehicle[J]. Electric Drive for Locomotives, 2014(2): 16.

[2] 鄢红英,姜梅,李艳. 悬挂式单轨于中等城市轨道交通制式适应性研究[J]. 交通世界(上旬刊), 2017(10):160.  
YAN Hongying, JIANG Mei, LI Yan. Study on adaptability of suspended monorail to rail transit system in medium-sized cities [J]. Transpo World, 2017(10):160.

[3] 李定南. 国内外悬挂式单轨列车的发展与展望[J]. 国外铁道车辆, 2017, 54(3): 1.  
LI Dingnan. Development and prospects of the suspended monorail train in China and abroad[J]. Foreign Rolling Stock, 2017, 54(3): 1.

[4] 杨昕映. 悬挂式单轨交通车辆基地工艺设计建议[J]. 铁道标

社, 2012.  
YANG Yang. Station signal control system[M]. Chengdu: South-west Jiaotong University Press, 2012.

[3] 林炳龙. 确定基本进路和变更进路的方法[J]. 铁路通信信号工程技术, 2011, 8(1): 57.  
LIN Binglong. Methods to confirm basic route and alternative route [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2011, 8(1): 57.

[4] 林炳龙. 联锁表之敌对信号的设计方法[J]. 铁路通信信号工程技术, 2014, 11(4): 75.  
LIN Binglong. Design methods of conflicting signal in interlocking table [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2014, 11(4): 75.

· 收稿日期:2021-10-09 修回日期:2022-01-10 出版日期:2024-03-10  
Received:2021-10-09 Revised:2022-01-10 Published:2024-03-10  
· 作者:付淳川,工程师,1429956463@qq.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

台的设计与实现[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(1): 149.  
WAN Yongbing, WANG Daqing. Design and realization of test platform for interoperable CBTC system of urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(1): 149.

· 收稿日期:2022-07-29 修回日期:2022-08-15 出版日期:2024-03-10  
Received:2022-07-29 Revised:2022-08-15 Published:2024-03-10  
· 作者:李庆刚,高级工程师,13884402@qq.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

准设计, 2022, 66(8):175.  
YANG Xinying. Suggestions on technological design of suspended monorail transit depot [J]. Railway Standard Design, 2022, 66(8):175.

[5] 沈文敏. 悬挂式空中列车系统的特点和优势[J]. 中国工程咨询, 2013(6): 65.  
SHEN Wenmin. Characteristics and advantages of suspended aerial train system[J]. Chinese Consulting Engineers, 2013(6): 65.

[6] 陈伟方. 悬挂式单轨车辆基地的检修工艺研究[J]. 内燃机与配件, 2018(9): 37.  
CHEN Weifang. The maintenance-study on monorail skytrain [J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2018(9): 37.

· 收稿日期:2023-08-03 修回日期:2023-12-27 出版日期:2024-03-10  
Received:2023-08-03 Revised:2023-12-27 Published:2024-03-10  
· 作者:臧向,高级工程师,4581685@qq.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license