

跨坐式单轨线路盖梁支座锚箱横坡超差的调整工艺*

陈德超

(中铁十一局集团有限公司投资公司, 430061, 武汉//高级工程师)

摘要 介绍了影响跨坐式单轨交通轨道梁线形的因素,阐述了盖梁支座锚箱横坡超差可能引发的 PC(预应力混凝土)梁端轨面横坡、线间距、抗剪榫与支座下摆高差、锚固螺栓丝牙外露长度等指标超标的问题。通过理论计算和模拟试验,提出了包括改用加工较厚的梯形调整活动板、改制楔紧块等一整套跨坐式单轨 PC 轨道梁线形调整技术措施。结合实际工程,验证了锚箱横坡超差处理方法的可靠性,并在此基础上总结得出横坡超差调整的工艺方法。

关键词 跨坐式单轨; 轨道梁; 盖梁支座; 锚箱; 横坡超差; 线形调整工艺

中图分类号 U232.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.07.043

Adjustment Technology of Cross Slope Out of Tolerance of Bent Cap Support Anchor Box of Straddle Monorail Line

CHEN Dechao

Abstract The factors influencing the linear alignment of straddle monorail track are introduced. The cross slope out of tolerance of bent cap anchor box leading to problems of indicators exceeding standards including PC beam end rail surface cross slope, line spacing, height difference between shear tenon and support, exposed length of anchor bolt thread. Through theoretical calculation and simulation test, a set of technical measures for PC track beam linear adjustment, including processing thick trapezoidal adjustment movable plate and reforming wedge block, are put forward. On the basis of actual project, the reliability of anchor box cross slope out of tolerance treatment method is verified, and the adjustment method of cross slope out of tolerance is summarized.

Key words straddle monorail; track beam; bent cap support; anchor box; cross slope out of tolerance; linear adjustment process

Author's address Investment Company of China Railway 11th Bureau Group Co., Ltd., 430061, Wuhan, China

预应力混凝土(PC)轨道梁既是跨坐式单轨列车的承重轨道,又是列车的走行轨道,其线形调整质量的好坏直接关系到列车运行的舒适性和安全性。工程实践中,PC 轨道梁在工厂内预制成形,相关指标控制良好。但因墩柱盖梁施工主要处于城市主干道的绿化隔离带内,施工的干扰因素较多,且盖梁支座锚箱安装工艺复杂,精度控制难度大^[1],因而在重庆轨道交通 3 号线的一期工程、二期工程及其南(北)延伸段,以及重庆轨道交通 2 号线延伸段等工程中均不同程度地出现了盖梁支座锚箱横坡超差甚至返坡的现象,进而造成轨面横坡、锚固螺栓外露螺距等关键指标超差。本文重点针对此问题,提出有效的解决措施。

1 工程背景

本文以重庆轨道交通 3 号线二期工程双龙站—碧津站区间出现的跨坐式单轨轨道梁盖梁支座锚箱横坡超差问题为案例进行论述。该区间的 18[#]墩柱(QJ28-D18)至 27[#]墩柱(QJ28-D27)位于该市渝北区绿梦广场区域,线路区间的最小曲线半径为 298.05 m,最大设计横坡为 12%,主要集中在 QJ28-D22、QJ28-D23 两处。该区间线路平面布置如图 1 所示,盖梁(含支座锚箱)构造详图如图 2 所示。

调整该区段的线形后发现:PC 梁横坡偏差在规范允许范围内,偏差的最大值为 -6.1% ; QJ28-Y22 大里程端调整垫片最大厚度为 36 mm,超差 6 mm;锚固螺栓外露 -2 个螺距,不满足外露 3 个螺距的要求。经调查,该盖梁支座垫石施工控制不当,造成垫石横坡超差较大,超差最大值发生在 QJ28-D22 的 Y1[#]锚箱(以下简称“D22Y1[#]锚箱”)处。实测该处的横坡为 15.5%,较设计要求的 12% 超出了 3.5%,这是造成 PC 梁线路调整指标不能满足规范要求的主要原因。该区间横坡超标的主要部位为

* 西南交通大学重点实验室开放项目(ZD2021010021)

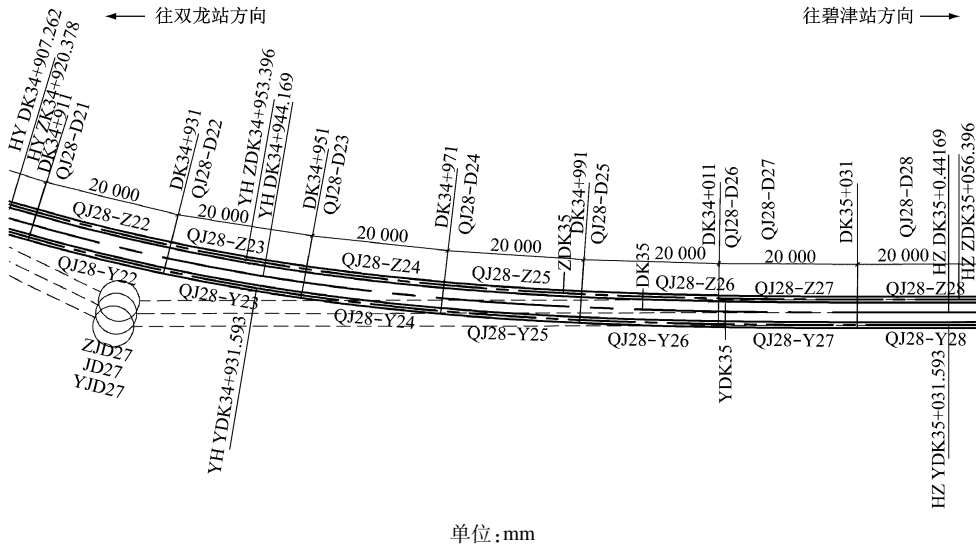


图 1 案例线路 QJ28-D22 至 QJ28-D27 区间的线路平面布置截图

Fig.1 Layout plan of the case line between QJ28-D22 to DJ28-D27 interval

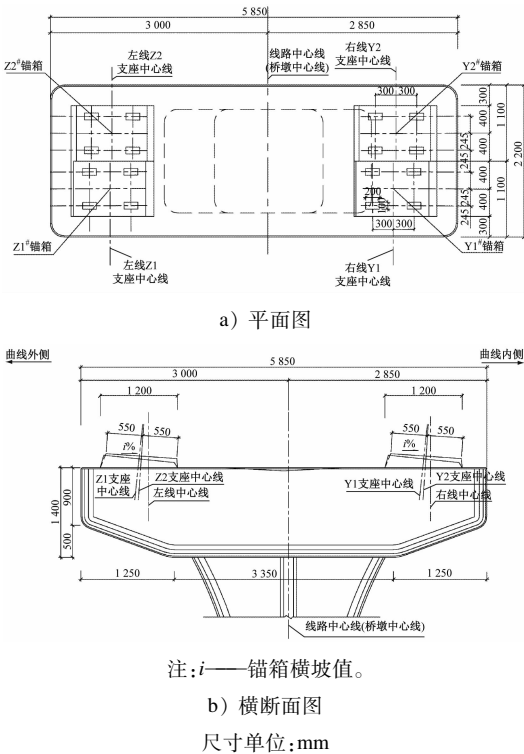


图 2 案例区间的盖梁(含支座锚箱)构造设计截图

Fig.2 Structural design of bent cap (including support anchor box) of case interval

QJ28-D22 和 QJ28-D23,其具体指标值如表 1 所示。

梁顶横坡采用长 200 mm 的框式水平仪测量,测量部位为 PC 梁大里程固定端接缝板,得到的测量结果如表 2 所示。

对 QJ28-Z(Y)22 和 QJ28-Z(Y)23 对应盖梁支座锚箱的调整垫片及锚固螺栓外露螺距进行统计。

表 1 案例线路横坡超标的主要部位及具体指标值

Tab.1 Main parts and specific index values of case line cross slope exceeding standards

墩柱号	锚箱编号	实测左、右侧高差/m	实测横坡/%	设计横坡/%	横坡偏差/%
QJ28-D22	Z1 [#]	0.144	15.3	12.0	3.3
	Z2 [#]	0.136	14.5	11.5	3.0
	Y1 [#]	0.146	15.5	12.0	3.5
	Y2 [#]	0.135	14.4	11.6	2.8
QJ28-D23	Z1 [#]	0.123	13.1	11.5	1.6
	Z2 [#]	0.105	11.2	9.8	1.4
	Y1 [#]	0.125	13.3	11.6	1.7
	Y2 [#]	0.108	11.5	10.0	1.5

注:Z1[#]为小里程端,Z2[#]为大里程端;Y1[#]为小里程端,Y2[#]为大里程端。

表 2 梁顶横坡的测量结果

Tab.2 Measurement results of beam top cross slope

PC 梁号	实测高差/mm	设计高差/mm	高度偏差/mm	实测坡度/%	设计坡度/%	坡度偏差/%
QJ28-Z22	23.5	24.0	0.5	11.75	12.00	-2.5
QJ28-Y22	23.0	24.0	1.0	11.50	12.00	-5.0
QJ28-Z23	21.1	22.1	1.0	10.55	11.04	-4.9
QJ28-Y23	21.2	22.4	1.2	10.60	11.21	-6.1

左(右)线 PC 梁对应盖梁上设 8 个测点,其布置示意图如图 3 所示。调整垫片与螺栓外露螺距的测量结果如表 3 所示。

2 横坡超差的解决思路

GB 50614—2010《跨坐式单轨交通施工及验收规范》的表3.5.7要求:PC轨道梁梁端轨面横坡安

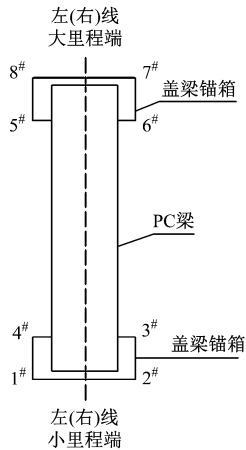


图3 盖梁测点布置示意图

Fig. 3 Layout of bent cap measuring points

表3 调整垫片及锚固螺栓外露螺距的测量结果
Tab.3 Measurement results of exposed pitch of adjusting gasket and anchor bolt

PC 梁号	盖梁测点	垫片 厚薄	垫片 数值/个	垫片高度/ mm	螺栓外露 螺距/mm
QJ28-Z22	2 [#] 、3 [#]	薄片	3	4	27
	1 [#] 、4 [#]	厚片 薄片	5 1	32	4
	6 [#] 、7 [#]	薄片	1	1	28
	5 [#] 、8 [#]	厚片 薄片	6 2	36	0
	2 [#] 、3 [#]	无垫片		0	33
QJ28-Y22	1 [#] 、4 [#]	厚片 薄片	4 2	26	8
	6 [#] 、7 [#]	薄片	2	2	24
	5 [#] 、8 [#]	厚片 薄片	6 2	36	-4
	2 [#] 、3 [#]	薄片	2	2	24
	1 [#] 、4 [#]	厚片 薄片	4 2	27	2
QJ28-Z23	6 [#] 、7 [#]	厚片 薄片	1 1	7	24
	5 [#] 、8 [#]	厚片 薄片	4 1	27	6
	2 [#] 、3 [#]	薄片	1	1	32
	1 [#] 、4 [#]	厚片	4	25	10
	6 [#] 、7 [#]	无垫片		0	27
QJ28-Y23	5 [#] 、8 [#]	厚片 薄片	2 1	14	12

装精度为(7/1 000) rad。经过技术经济比较,拟在本区间进行第二次线形调整,使得梁端轨面横坡按

上限值(7/1 000) rad 进行控制^[2-3],并将原有较薄的调整垫片更换为加厚梯形调整活动板。第二次线形调整后,根据支座两侧加垫活动板所形成的倾斜度实测值,加工改制部分斜楔紧块,以保证楔紧块的面接触及自锁性能。随后验证当支座调整角度控制在2°以内时锚固螺栓与球面螺母座、2[#]球面螺母座之间是否会发生干扰。若无干扰,则可认为锚固螺栓与支座安装正确。

以锚箱超高最大点位的 D22Y1[#]锚箱为例,其所对应的梁号 QJ28-Y22 5[#]、8[#]测点的垫片高度为36 mm,螺栓外露螺距为-4 mm。该处梁顶轨面的设计横坡为12.0%,实测横坡为11.5%。将横坡加大至12.7%后,横坡可调整1.2%,因左右侧垫片间距为850 mm,则反映在垫片上的可调整高度Δh约为10.2 mm。在现有基础上去掉厚度为10.2 mm的垫片,则垫片高度可调整值约为25 mm,螺栓外露螺距可调整值约为6 mm,从而满足调整垫片最大厚度不得超过25 mm、螺栓外露螺距不少于3个螺距(6 mm)的高度要求。

调整后支座下摆处的调整角度α为:

$$\alpha = \arctan [(h_a - h_b - \Delta h)/b] \tag{1}$$

式中:

h_a ——表3中QJ28-Y22对应5[#]、8[#]测点处的垫片高度;

h_b ——表3中QJ28-Y22对应6[#]、7[#]测点处的垫片高度;

Δh——垫片的可调整高度;

b——两测点处垫片的外边宽度。

式(1)中, h_a 取36.0 mm, h_b 取2.0 mm,Δh取10.2 mm,b取780 mm,可得到调整后支座下摆处的调整角度α为1.7°。

以上思路可解决横坡超差问题。实际操作中需兼顾线间距、接缝板安装面高差等指标的合规性,并考虑钢制品构件本身存在的加工误差和装配间隙。各项指标是否满足要求应以最终工况检查验收数据为准。

3 横坡超差解决措施的技术验证

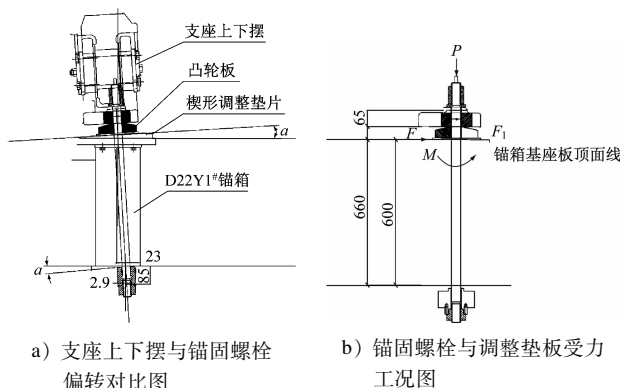
3.1 理论依据

该线的施工和监理单位提供了《双龙站—碧津站区间锚箱成品测量数据统计》的相关数据^[4],铸钢拉力支座设计单位对该区间最不利工况下支座调整角度取2°时,锚固螺栓与球面螺母座、2[#]球面

螺母座之间的位置关系,以及锚固螺栓与调整垫板受力状况及应力值进行了检算。

3.1.1 主要构件受力状况与位置关系

图4为锚箱基座板上平面的最大荷载工况, $\alpha = 2^\circ$ 。楔形调整板无定位时,单根锚杆竖向力 P 在最大荷载工况下为 230 kN,在预应力工况下为 115 kN。调整垫板横向力,使得最大荷载工况下调整垫板与锚箱基座板顶面间横向力 $F = 8$ kN,预应力工况下调整垫板与锚箱基座板顶面间横向力 $F_1 = 4$ kN,预应力下锚固螺栓所承受的最大弯矩 $M = 1\ 000$ Nm。



注:最大荷载工况下 $P = 230$ kN;预应力工况下 $P = 115$ kN。

图4 锚箱基座板上平面最大荷载工况示意图

Fig.4 Schematic diagram of maximum load condition on the upper plane of anchor box base plate

如图5所示,支座的基座板预埋在盖梁中,即支座安装基面随超高斜面也有 15.5% 的横坡。若不调整支座的超高偏差,待支座安装完毕后,支座中心与基座中心是重合的。若采取纠偏措施,在支座

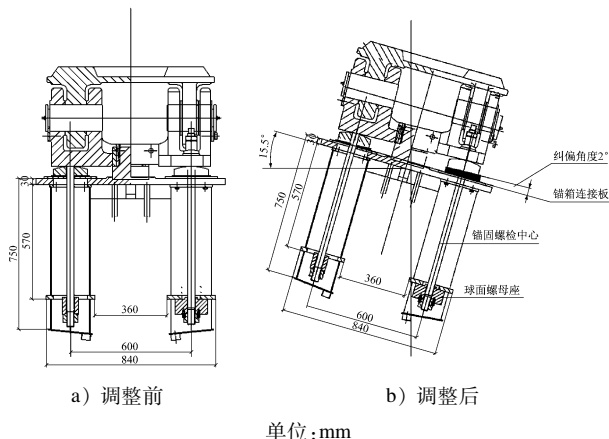


图5 调整角度前、后各部件的位置示意图

Fig.5 Position diagram of components before and after angle adjustment

凸轮板下添加成型的楔形板,将支座反向调整 2° ,则支座与基座板上平面将出现 2° 的夹角,锚固螺栓中心、球面螺母座上平面与锚箱连接板也将产生 2° 的夹角,进而导致锚固螺栓下端球面螺母座台阶面产生一定偏转位移。

图6为球面螺母座与 2° 球面螺母座的偏转示意图。按照 GB/T 73—2017《开槽平端紧定螺钉》的术语定义,M12 \times 30 中 M 为螺钉,12 表示其直径为 12 mm,30 表示其长度为 30 mm。

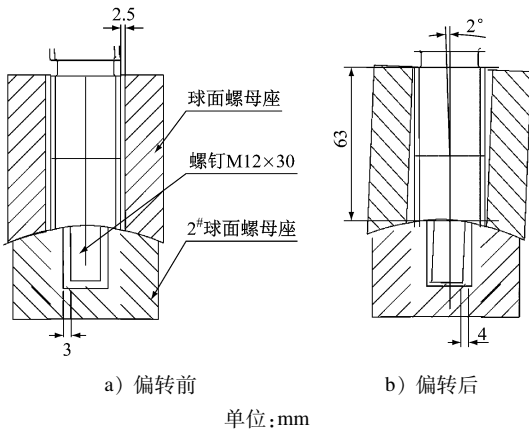


图6 球面螺母座与 2° 球面螺母座偏转示意图

Fig.6 Deflection diagram of spherical nut seat and 2° spherical nut seat

3.1.2 锚固螺栓安装验算

1) 球面螺母座下端螺钉安装验算。该处台阶面的位移 S 为 23 mm,调整角度为 2° ;球面螺母座两处 M12 螺钉下端的位移 S_1 均为 2.9 mm; 2° 球面螺母座定位槽的直径为 18 mm,单边间隙为 3.0 mm(实际加工中孔偏大、轴偏小)。由此可知, S_1 小于单边间隙,螺钉与定位槽间不会发生干扰。

2) 球面螺母座安装验算。该处台阶面的中心位移为 2.2 mm;锚固螺栓尺寸为 M36,球面螺母座孔直径为 41 mm,单边间隙为 2.5 mm。由此可知,球面螺母座台阶面的中心位移小于单边间隙,台阶面与球面螺母座孔间不会发生干扰。

3.1.3 理论工况下锚固螺栓的应力值验算

重庆轻轨 3 号线二期铸钢支座技术条件 7.2.12 规定:锚固螺栓材质为 1Cr17 Ni2,其设计容许应力值 $[\sigma]$ 为:

$$[\sigma] = \sigma_s / k_s \quad (2)$$

式中:

σ_s ——材料屈服强度;

k_s ——材料的安全系数。

式(2)中, σ_s 取 700 MPa, k_s 取 2,可得到锚固螺栓的 $[\sigma]$ 为 350 MPa。

理论工况下,锚固螺栓的应力值 σ 应符合如下要求:

$$\sigma = P/A_s \leq [\sigma] \tag{3}$$

式中:

A_s ——单根锚杆的截面积。

式(3)中, P 取 230 kN, A_s 取 865 mm²,可得到理论工况下的 σ 为 266 MPa,小于 350 MPa,符合铸钢支座技术条件的要求。

3.2 实际安装效果验证

根据上文的解决思路,并依据设计与理论计算结果,本文采取标准件与加工配件配合模拟现场实际工况的方式,验证实际安装与理论计算的一致性,以确保锚固螺栓与支座锚固可靠^[5-6]。

3.2.1 支座下摆、盖板、凸轮板等组件

按照模拟尺寸匹配数据,需将盖板、垫片、凸轮板的宽度改为 80 mm,其余技术要求按设计标准执行。改制后各组件的具体尺寸及数量如表 4 所示。

表 4 改制后组件的规格及数量

Tab.4 Specification and quantity of components after revision

组件名称	规格	数量
盖板	宽度为 80 mm,厚度为 9 mm	2 件
	宽度为 80 mm,厚度为 6 mm	2 件
	宽度为 80 mm,厚度为 5 mm	5 件
凸轮板	宽度为 80 mm,圆弧半径为 250 mm,厚度为 45 mm	2 件
固定端下摆	标准件	1 件
锚固螺栓	标准件	4 套
楔紧块	标准件	4 套

3.2.2 验证的过程及结果

在预设支架上定位 1 个锚箱基座组件,支座下摆与锚箱基座板间的一端加垫高度为 26 mm 垫片,另一端不加垫片。安装锚固螺栓组件,并与支座下摆进行连接固定。通过测量、观察与计算,得到的验证结果如下:① 支座下摆处的 α 为 1.9°;② 2#球面螺母座与球面螺母座自动调心定位时,球面螺母座上的螺钉不会干涉球面螺母座的调心,保证锚固可靠;③ 可保证安装后抗剪榫高于下摆面 15 mm,锚固螺栓螺纹高于防松螺母 3 个螺距。

4 横坡超高的工艺方法

QJ28D18-D27 段横坡超高的处理工艺应满足跨坐式单轨 PC 轨道梁第二次线形调整的技术工艺要求。与第二次线形调整不同的是,该区间轨道梁两侧汇流排已安装完成,需对其进行临时的拆除、固定,待作业完成后再予以恢复。本文对该段横坡超高的工艺方法进行阐述。

1) 计划工期。拆除和恢复汇流排的工期为 4 d,PC 梁线形调整工期为 8 d,施工工期共计 12 d。

2) 人员配置。分两个作业面同步作业,施工人员共计 8 人,分别为 4 名工人、1 名检测人员、1 名技术人员、1 名安全防护人员和 1 名机动人员。

3) 材料与设备配置。除常规线形调整所配的材料与机具设备外,还需配置加工加厚梯形断面活动板和改制楔紧块。加配的活动板和楔紧块仅对断面尺寸进行调整,其余材质及性能仍按原技术规格参数执行。其中:梯形断面活动板有 2 种规格,共计 18 件;改制楔紧块有 3 种规格,共计 64 件。

4) 作业流程。分别为:① 办理停电作业令,确认线路断电后,进行汇流排短路连接;② 施作地面安全防护及检修通道成品防护,防止损坏检修通道表面涂层;③ 拆除汇流排的固定螺栓,做好临时固定支撑及防护;④ 拆除 PC 梁两端的接缝板、楔紧块。曲线梁顶起前,左右侧下摆与抗剪榫之间要有不少于 15 mm 厚的平楔紧块。采用便携式薄型液压油缸顶升 PC 梁,以便于更换和加減活动板、调整垫片。需注意每一个点位增设的加厚梯形活动板不得超过 3 块,加垫垫片的总高度不得大于 30 mm。其余作业与常规线形调整作业的要求类同。

5 横坡超差调整后的检查与验收

以 D22Y1#锚箱为例,经实测与计算,调整后的 $\alpha = 1.9^\circ$,且锚固螺栓是在自由活动状态下完成安装的。QJ28D18-D27 段的其他超差点位也均严格按照要求,重新进行了线形调整。实测数据显示,轨面实际横坡均按照规范规定的上限值 7‰要求,向锚箱超差方向进行了调整,调整后轨面的最大横坡值为 12.7‰。整改段各项技术指标均满足《跨坐式单轨交通施工及验收规范》的要求。

(下转第 221 页)

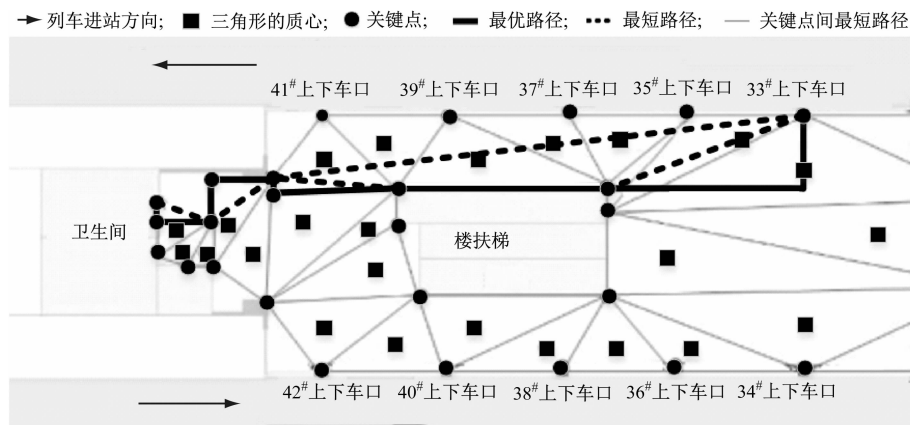


图2 路径规划仿真结果

Fig.2 Simulation results of path planning

参考文献

- [1] 张广林,胡小梅,柴剑飞,等. 路径规划算法及其应用综述[J]. 现代机械,2011(5):85.
ZHANG Guanglin, HU Xiaomei, CHAI Jianfei, et al. Summary of path planning algorithm and its application[J]. Modern Machinery, 2011(5):85.
- [2] 李洪波,王茂波. Floyd 最短路径算法的动态优化[J]. 计算机工程与应用,2006(34):60.
LI Hongbo, WANG Maobo. Dynamic optimum of shortest path's algorithm devised by Floyd[J]. Computer Engineering and Applications, 2006(34):60.
- [3] 张雷. 基于启发式搜索的最优规划算法研究[D]. 南京:南京大学,2014.

- ZHANG Lei. Research on heuristic search based algorithms for optimal planning[D]. Nanjing: Nanjing University, 2014.
- [4] 李昌. 概率特征选择分类向量机[D]. 合肥:中国科学技术大学,2016.
LI Chang. Probabilistic feature selection and classification vector machine[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2016.
- [5] 裴胜玉,周永权. 基于 Pareto 最优解集的多目标粒子群优化算法[J]. 计算机工程与科学, 2010(11):85.
PEI Shengyu, ZHOU Yongquan. A multi-objective particle swarm algorithm based on the Pareto optimization solution set[J]. Computer Engineering and Science, 2010(11):85.

(收稿日期:2020-05-21)

(上接第 216 页)

6 结语

轨道梁桥施工过程中,必须精确控制盖梁支座锚箱的施工误差,误差过大将影响结构的安全性及列车运行的平稳性、舒适性。本文结合工程实践,找出了影响跨坐式单轨线路平曲线大横坡区段精度控制的关键因素,通过用加厚梯形调整活动板替换原有较薄的平面调整板、改制楔紧块及第二次线形调整等措施,有效解决了盖梁支座锚箱横坡超差问题,确保了锚固螺栓的有效使用寿命及结构安全。本文的技术改进措施可为类似线路问题提供技术思路,对跨坐式单轨制式关键受力部件后续在设计上的改进与创新具有一定的借鉴作用。

参考文献

- [1] 牛铁忠,杜珏. 重庆轨道交通三号线一期盖梁支座锚箱施工技术[J]. 城市道桥与防洪,2010(7):121.
NIU Tiezhong, DU Jue. Chongqing Rail Transit No.3 Line phase I capping beam support anchor box construction technique[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2010(7):121.
- [2] 谢耀春. 研究跨坐式单轨交通轨道梁定位测量及线形检测方

- 法[J]. 低碳世界,2021(1):175.
- XIE Yaochun. Research on methods of track beam positioning measurement and alignment detection of straddle monorail transit[J]. Low Carbon World, 2021(1):175.
- [3] 柯斌,易思蓉,余浩伟. 悬挂式单轨系统线路平面曲线参数研究[J]. 铁道标准设计,2021(5):851.
KE Bin, YI Sirong, YU Haowei. Research on line plane curve parameters of suspension monorail system[J]. Railway Standard Design, 2021(5):851.
- [4] 王忠义. 双龙站—碧津站区间锚箱成品测量数据统计[R]. 重庆:重庆单轨交通工程有限责任公司,2011.
WANG Zhongyi. Measurement data statistics of finished anchor box in Shuanglong Bijin Station section [R]. Chongqing: Chongqing Monorail Transit Engineering Co. Ltd., 2011.
- [5] ZHAO X, WANG G, WU X, et al. Parameter deduction and accuracy analysis of track beam curves in straddle-type monorail systems[J]. Journal of Engineering Science and Technology Review, 2015,8(5):34.
- [6] 钟明琳,朱尔玉,周勇政. 单轨交通轨道梁快速替换中的目标线形[J]. 北京交通大学学报,2013(1):90.
ZHONG Minglin, ZHU Eryu, ZHOU Yongzheng. Objective alignment for rapid track beam replacement of straddle monorail transit [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2013(1):90.

(收稿日期:2021-06-22)