

文章编号:1006-2106(2013)09-0100-06

武汉 2 号线调线调坡设计研究*

赵 强**

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要:研究目的:调线调坡是一项涉及多专业的综合性工作,是对地铁施工所产生的差、错、漏等误差,通过调整线路平纵断面,达到消除并满足各种设备限界要求的过程。地铁车站、区间结构是否侵限,关系到地铁运营的安全,因此调线调坡作为侵限情况的检查和消除,已是目前地铁建设中不可缺少的环节。本文通过实际工程,对调线调坡设计流程及碰到的问题进行总结,希望对今后的地铁设计和施工给予帮助。

研究结论:通过研究得出:(1)明挖结构施工精度容易控制,若有部分侵限,可通过结构处理满足要求;(2)盾构区间施工时,若姿态未得到有利控制,出现盾构侵限现象,应缓慢纠偏,之后调线调坡才有条件;(3)车站或区间结构突变处,须加密断面测量,避免遗漏限界受控点;(4)需注意轨道结构与区间最低点排水管道的关系;(5)轨道设计需综合考虑环评要求。

关键词:轨道交通;调线调坡;设计体会

中图分类号:U212.3 **文献标识码:**A

Research on Adjustments of Track and Gradient of Line 2 of Wuhan Metro

ZHAO Qiang

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430063, China)

Abstract: Research purposes: Adjustments of track and gradient are the comprehensive multi-disciplinary work, and its purpose are to eliminate the gaps, the mistakes, the missing and the other errors produced in metro construction by adjustment of track plane and vertical section to make the track meeting the various boundary requirements of the devices. Whether the metro station and the interval structure invade the boundary or not is crucial to the metro. As the work to examine and eliminate the invasion of the boundary, the adjustment of track and gradient has become an indispensable work. Compared with the actual project, this paper sums up the design process of the adjustments of track and gradient and the problems encountered in it for giving a hand to metro design and construction.

Research conclusions: From the research it is concluded: (1) It is easy to control the construction precision of open cut structure. If any part of it invades the boundary, the treatment can be conducted to the structure to make it meeting the requirements. (2) During shield construction, if the shield invades the boundary due to no effective control of gesture, the slow correction should be made and after it the conditions for the adjustments of track and gradient can be realized. (3) The section measurement should be conducted tensely to the sharp change areas of the station or the interval structure to avoid missing the boundary control point. (4) The attention should be paid to the relation between the track structure and the drainage pipe in the lowest area. (5) The track design should comprehensively consider the EIA requirements.

Key words: rail transit; adjustment of track and gradient; design experience

* 收稿日期:2013-03-13

** 作者简介:赵强,1982 年出生,男,工程师。

1 概述

武汉轨道交通 2 号线是武汉市轨道交通网络中最重要线路,它是武汉市第一条轨道交通越江线、第一条全地下的轨道交通线、也是线网中预测客流量最大的轨道交通骨干线路,它联系了常青花园、汉口火车

站、武广商圈、江汉路、中南、街道口、高校园区,以及光谷广场等城市重点功能区,不仅是城市客运系统的重要交通走廊,而且对方便居民跨江出行、缓解内环线交通压力均起到显著作用。武汉轨道交通 2 号线线路走向示意如图 1 所示。



图 1 武汉轨道交通 2 号线线路走向示意图

线路北起汉口常青花园北端的金银潭,终至光谷广场,全长 27.735 km,设 21 座车站,全线均采用地下线路敷设方式。同步建设的还有常青车辆段一座,地下敷设的中山北停车场一处,王家墩和中南路两座主变电站。

武汉 2 号线调线调坡工作于 2011 年 5 月开始,2012 年 5 月结束,同年 6 月全线轨通。作为武汉第一条全地下线路的调线调坡设计,它是地铁施工质量和管理工作的一种检验,也将为后续工程的建设积累经验,同时为武汉 2012 年至 2017 年每年建成 1 条线的目标奠定了坚实的基础,其设计经验可为后续线路提供参考,其影响和意义深远。

2 调线调坡设计

2.1 调线调坡的目的和重要性

线路平面和纵断面调整又称调线调坡。该项工作是在车站与区间结构工程完成后,轨道工程整体道床铺设前进行的又一项重要的设计工作,它的重要性关系到地铁运营的安全。

在施工过程中由于存在不可避免的测量误差、施工误差、结构变形等因素,导致建成后的车站、区间局部结构与设计位置不符,若不进行处理仍按原设计位置铺轨,则局部结构将侵限,危机列车运行安全而发生事故。

调线调坡设计是在对车站和区间竣工断面进行测

量的基础上,根据结构侵入限界的情况,在不降低线路主要技术标准的前提下,对局部地段的线路平纵断面进行适当调整,作为修改轨道设计的依据和铺轨前施工整体道床的基准,以满足行车的限界要求,从而保证运营安全。

2.2 调线调坡设计基本原理

地铁调线调坡设计首先要对实测限界与设计限界进行比较,分别得出水平及垂直侵限值、然后根据侵限值的大小分别进行调线及调坡设计工作。线路平面调整主要包括交点位置、曲线半径、缓和曲线长度单个因素或多个因素的组合调整,线路纵断面调整主要包括坡长、坡率、竖曲线半径的调整,调整以后,再次校核结构侵限情况,如若不合适需重新进行调线及调坡设计工作,直至取得满意的结果为止。

2.3 调线调坡流程

调线调坡设计流程如图 2 所示。

2.3.1 制定测量要求

线路专业牵头编写测量要求,限界和轨道专业配合完成。最终测量要求下发给第三方监测单位。

2.3.2 接收(收集)基础资料

需收集的资料有:线路平纵断面施工图、最终版限界图、轨道结构最小高度要求、曲线超高表、减振地段表、隧道偏移值等。以上资料由设计单位提供。

竣工断面测量成果报告。该资料由第三方监测单位完成。

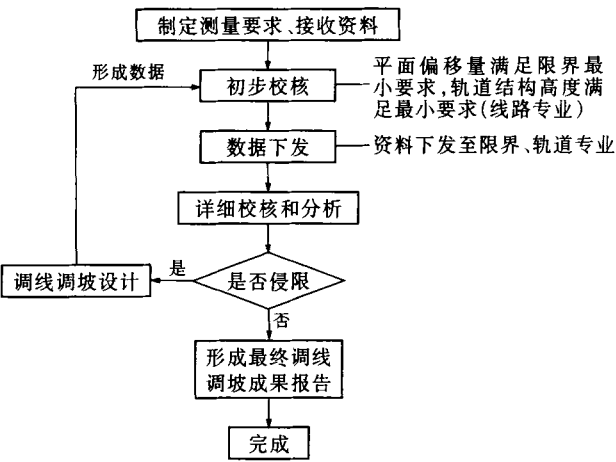


图 2 调线调坡设计流程图

2.3.3 测量数据校核

根据测量成果资料,检查每个断面的测量数据是否满足限界要求。限界专业对每个断面进行分析判断,检查误差是否在可利用空间范围之内。如果不能满足限界要求,则将成果提交给线路专业进行调线调坡设计。如发现有个别地段侵限,一般也不进行调线调坡,而是通过对断面特殊处理,使得设备满足限界要求。

检查每个断面的测量数据是否满足轨道要求。轨道专业对每个断面进行分析判断,检查误差是否在可利用空间范围之内。如果不能满足限界要求,则将成果提交给线路专业进行调线调坡设计。

2.3.4 调线调坡设计

经限界、轨道专业核实确需调线调坡的,视具体侵限情况进行调整,主要有以下几种调整方式:曲线半径调整、缓长调整、曲线交点位置调整(直线段方位角调整)、增加大半径曲线、调整坡率、以上方式的组合。

曲线半径调整:适用于圆曲线段盾构隧道掘进控制不力,整体向一侧偏移过多,导致平面侵限的情况。

缓长调整:适用于缓和曲线段平面偏差侵限情况。需注意调整缓长应在满足全线技术标准的前提下进行。

曲线交点位置调整:适用于直线和相邻曲线段均有平面偏差侵限的情况。

增加大半径曲线:适用于直线段中间某段向一侧有较大平面偏差造成侵限的情况。

调整坡率:适用于轨道结构高度不满足轨道结构最小高度要求的情况。

调线调坡设计后,需将所有有变化断面的平面和纵向调整量列出,与隧道施工偏差进行累计,然后进行初步校核,在基本达到限界、轨道要求后,再发给限界、轨道专业,让其进行详细校核分析,直至不再侵限。

2.3.5 形成调线调坡成果报告

在确保结构不再侵限后,需出具正式的调线调坡成果报告以指导铺轨工作。

3 武汉 2 号线调线调坡研究

武汉 2 号线包含车站 21 座,正线区间 20 个,车辆段、停车场出入场(段)线各 1 处。根据竣工断面测量成果报告校核,调整平面以满足限界要求的有 3 处,主要为盾构姿态未得到有利控制所致;调整纵断面以满足轨道要求的有 20 处(左右线合计),主要为施工时标高控制不力和钢弹簧浮置板道床铺设要求所致。以下选取平面调整和纵断面调整实例各一处加以分析。

3.1 越江区间武昌岸线路平面调整

越江区间武昌岸线路过江南明珠园段,左线采用 $R-360\text{ m}$ 、 $L-60\text{ m}$ 的右偏曲线,设计超高为 120 mm ,隧道偏移量设计值为 143 mm 。越江隧道盾构半径 $R-2\,750\text{ mm}$ (一般地段 $R-2\,700\text{ mm}$)。实测数据记录和分析如表 1 所示。

表 1 实测数据记录和分析摘录表

断面里程	断面位置	实测断面 L/mm		隧道施工 偏移量/ mm	设计偏移量 / mm	施工误差/ mm
		左横距	右横距			
左 DK 13 + 913.614	中	2 668	2 831	- 82	143	61
左 DK 13 + 918.124	中	2 688	2 812	- 62	143	81
左 DK 13 + 922.905	中	2 720	2 780	- 30	143	113
左 DK 13 + 927.099	中	2 766	2 734	16	143	159
左 DK 13 + 931.619	中	2 797	2 703	47	143	190
左 DK 13 + 936.149	中	2 838	2 662	88	143	231
左 DK 13 + 940.589	中	2 871	2 628	121	143	264
左 DK 13 + 944.968	中	2 898	2 602	148	143	291
左 DK 13 + 949.495	中	2 909	2 591	159	143	302

续表 1 实测数据记录和分析摘录表

断面里程	断面位置	实测断面 L/mm		隧道施工 偏移量/mm	设计偏移量 /mm	施工误差/mm
		左横距	右横距			
左 DK 13 + 954. 07	中	2 879	2 621	129	143	272
左 DK 13 + 958. 56	中	2 833	2 666	84	143	227
左 DK 13 + 963. 073	中	2 797	2 702	47	143	190
左 DK 13 + 967. 592	中	2 741	2 757	- 8	143	135
左 DK 13 + 972. 087	中	2 685	2 814	- 65	143	78
左 DK 13 + 976. 578	中	2 625	2 873	- 124	143	19
左 DK 13 + 981. 122	中	2 613	2 886	- 136	143	7

注:施工误差一栏中,正值表示隧道向左偏离了设计要求,若需调整线路需向左侧调整;负值表示隧道向右偏离了设计要求,若需调整线路需向右侧调整。

根据以上数据可知,左 DK 13 + 927. 099 ~ 左 DK 13 + 967. 592 约 40 m 长隧道施工偏移方向与设计方向相反,致使误差累计放大,最大处误差超过了 300 mm,经限界和轨道专业对以上数据进行详细校核,轨道结构高度可满足要求,但该段范围平面侵限较多,施工误差已超出了可利用空间范围,只能通过调线解决平面侵限问题。

从平面图中可以看出,该段范围基本位于圆曲线中部,可通过调整曲线半径,使线路整体向一侧偏移来减小误差值。但同时尚需注意,调整曲线半径在满足该处要求时,不应使其他区段超限。

经过反复调整,曲线半径调整为 $R - 359.9\text{ m}$,缓长仍为 60 m,调线后数据分析如表 2 所示。

表 2 调线后数据分析表

断面里程	断面位置	实测断面 L/mm		隧道施工 偏移量/mm	设计偏移量 /mm	施工误差 /mm	调整量(外 调)/mm	调后误差 /mm
		左横距	右横距					
左 DK 13 + 913. 614	中	2 668	2 831	- 82	143	61	- 55	6
左 DK 13 + 918. 124	中	2 688	2 812	- 62	143	81	- 55	26
左 DK 13 + 922. 905	中	2 720	2 780	- 30	143	113	- 55	58
左 DK 13 + 927. 099	中	2 766	2 734	16	143	159	- 55	104
左 DK 13 + 931. 619	中	2 797	2 703	47	143	190	- 56	134
左 DK 13 + 936. 149	中	2 838	2 662	88	143	231	- 56	175
左 DK 13 + 940. 589	中	2 871	2 628	121	143	264	- 56	208
左 DK 13 + 944. 968	中	2 898	2 602	148	143	291	- 56	234
左 DK 13 + 949. 495	中	2 909	2 591	159	143	302	- 57	246
左 DK 13 + 954. 07	中	2 879	2 621	129	143	272	- 57	215
左 DK 13 + 958. 56	中	2 833	2 666	84	143	227	- 57	170
左 DK 13 + 963. 073	中	2 797	2 702	47	143	190	- 57	134
左 DK 13 + 967. 592	中	2 741	2 757	- 8	143	135	- 57	78
左 DK 13 + 972. 087	中	2 685	2 814	- 65	143	78	- 57	21
左 DK 13 + 976. 578	中	2 625	2 873	- 124	143	19	- 57	- 38
左 DK 13 + 981. 122	中	2 613	2 886	- 136	143	7	- 57	- 50

调整后误差最大值降为 246 mm,检查其余曲线段受调整影响的误差最大为 - 146 mm,经限界专业核实均能满足要求。(越江隧道盾构半径 $R - 2\,750\text{ mm}$,较一般地段大)

3.2 中宝区间线路纵断面调整

中南路站至宝通寺站区间隧道总长为 1 194.3 m,采用盾构法施工,线路出中南路站后以 27.6‰、260 m 的下坡和 3.85‰、220 m 的下坡到达区间最低点,然后以 21.49‰、630 m 的上坡接入宝通寺站。隧道实测数据如表 3 所示。

表 3 隧道实测数据表

(单位:m)

断面里程	实测高程		顶点至底点 高程差	轨面至底点 高程差	轨面至顶点 高程差	设计轨面 标高
	顶点	底点				
右 DK 20 + 683.48	16.831	11.430	5.401	-0.907	4.494	12.337
右 DK 20 + 689.50	16.973	11.565	5.408	-0.901	4.507	12.466
右 DK 20 + 695.58	17.149	11.761	5.388	-0.837	4.552	12.597
右 DK 20 + 701.54	17.291	11.929	5.361	-0.796	4.565	12.725
右 DK 20 + 707.60	17.459	12.081	5.378	-0.775	4.604	12.855
右 DK 20 + 713.63	17.588	12.200	5.387	-0.785	4.602	12.985
右 DK 20 + 719.60	17.707	12.320	5.388	-0.794	4.594	13.113
右 DK 20 + 725.66	17.795	12.414	5.381	-0.830	4.552	13.244
右 DK 20 + 731.71	17.957	12.575	5.382	-0.798	4.584	13.373
右 DK 20 + 737.72	18.096	12.713	5.382	-0.789	4.593	13.503
右 DK 20 + 743.75	18.211	12.821	5.390	-0.811	4.579	13.632
右 DK 20 + 749.71	18.313	12.906	5.407	-0.854	4.553	13.760
右 DK 20 + 755.77	18.408	13.002	5.406	-0.889	4.518	13.891
右 DK 20 + 785.91	19.024	13.619	5.405	-0.919	4.486	14.538
右 DK 20 + 791.89	19.199	13.799	5.400	-0.868	4.532	14.667
右 DK 20 + 799.38	19.441	14.033	5.408	-0.795	4.613	14.828
右 DK 20 + 806.89	19.580	14.189	5.391	-0.799	4.592	14.988
右 DK 20 + 812.93	19.699	14.310	5.389	-0.798	4.591	15.108
右 DK 20 + 818.92	19.828	14.428	5.400	-0.786	4.613	15.214
右 DK 20 + 824.94	19.881	14.483	5.397	-0.826	4.571	15.309
右 DK 20 + 830.97	19.920	14.538	5.383	-0.855	4.528	15.392
右 DK 20 + 837.00	19.978	14.581	5.398	-0.882	4.515	15.463

由于该区间部分线路下穿建筑,环境影响评估报告指出,需要在该段(右 DK 20 + 600 ~ 右 DK 20 + 830)采用钢弹簧浮置板轨道结构形式,以减小振动和噪音对上方建筑的影响,而钢弹簧浮置板的轨道结构高度最小为 840 mm。从实测数据可以看出,右 DK 20 + 695.58 ~ 右 DK 20 + 743.75、右 DK 20 + 799.38 ~ 右

DK 20 + 824.94,共约 74 m 长的范围轨道结构高度无法满足要求,因此,需要通过坡度上调解决此问题。
经过反复检算,将区间纵坡调整为:线路出中南路站后以 27.6‰、260 m 的下坡和 3.85‰、220 m 的下坡到达区间最低点,然后以 21.678‰、625 m 的上坡接入宝通寺站。调坡后数据分析如表 4 所示。

表 4 调坡后数据分析表

(单位:m)

断面里程	实测高程		顶点至底点 高程差	调坡后轨面 至底点 高程差	调坡后轨面 至顶点 高程差	调坡后设计 轨面标高 顶点
	顶点	底点				
右 DK 20 + 683.48	16.831	11.430	5.401	-0.996	4.405	12.426
右 DK 20 + 689.50	16.973	11.565	5.408	-0.992	4.416	12.557
右 DK 20 + 695.58	17.149	11.761	5.388	-0.929	4.460	12.689
右 DK 20 + 701.54	17.291	11.929	5.361	-0.889	4.473	12.818
右 DK 20 + 707.60	17.459	12.081	5.378	-0.869	4.510	12.949
右 DK 20 + 713.63	17.588	12.200	5.387	-0.880	4.508	13.08
右 DK 20 + 719.60	17.707	12.320	5.388	-0.890	4.497	13.21
右 DK 20 + 725.66	17.795	12.414	5.381	-0.927	4.454	13.341
右 DK 20 + 731.71	17.957	12.575	5.382	-0.897	4.485	13.472
右 DK 20 + 737.72	18.096	12.713	5.382	-0.889	4.494	13.602
右 DK 20 + 743.75	18.211	12.821	5.390	-0.912	4.478	13.733
右 DK 20 + 749.71	18.313	12.906	5.407	-0.956	4.451	13.862
右 DK 20 + 755.77	18.408	13.002	5.406	-0.992	4.414	13.994
右 DK 20 + 785.91	19.024	13.619	5.405	-1.028	4.377	14.647

续表 4 调坡后数据分析表 (单位:m)

断面里程	实测高程		顶点至底点 高程差	调坡后轨面 至底点 高程差	调坡后轨面 至顶点 高程差	调坡后设计 轨面标高 顶点
	顶点	底点				
右 DK 20 + 791. 89	19. 199	13. 799	5. 400	- 0. 978	4. 422	14. 777
右 DK 20 + 799. 38	19. 441	14. 033	5. 408	- 0. 906	4. 502	14. 939
右 DK 20 + 806. 89	19. 580	14. 189	5. 391	- 0. 904	4. 487	15. 093
右 DK 20 + 812. 93	19. 699	14. 310	5. 389	- 0. 893	4. 496	15. 203
右 DK 20 + 818. 92	19. 828	14. 428	5. 400	- 0. 872	4. 528	15. 3
右 DK 20 + 824. 94	19. 881	14. 483	5. 397	- 0. 902	4. 496	15. 385
右 DK 20 + 830. 97	19. 920	14. 538	5. 383	- 0. 921	4. 461	15. 459
右 DK 20 + 837. 00	19. 978	14. 581	5. 398	- 0. 939	4. 458	15. 52

调整后该区段轨道结构高度最小为 869 mm,可满足轨道施工要求,同时轨上高度也满足限界要求。

4 结论

综上所述,调线调坡是一项从测量到设计,涉及多专业的综合性工作,它可以消除地铁隧道结构中的一些不合理因素,是保证地铁车辆安全运营的前提。

(1) 车站一般为明挖结构,施工精度容易控制,且车站内设备较多,调线影响面大。因此,车站范围线路一般不予调线调坡,若有部分侵限,可通过结构处理满足要求。

(2) 盾构区间施工时,若姿态未得到有利控制,出现盾构侵限现象,应要求施工单位对其缓慢纠偏,之后调线调坡才有条件。

(3) 对于车站或区间结构突变的地方,须加密断面测量,避免遗漏限界受控点。

(4) 武汉 2 号线设置的中心排水沟,在区间最低点处设置了排水泵站将区间的水汇集,中心水沟与泵站间通过预埋管连通。在轨道铺设前一般已将连通管施工完毕,但施工时往往忽视了管道标高,导致管道高出道床,使轨道施工困难、排水不畅。应提醒测量单位对管道管底和管顶进行标高测量,并核实是否符合轨道铺设要求,若有问题可通过区间坡度微调解决。

(5) 随着人们生活品质的提高,环评要求将更加严格,减振设置也将会增加。根据 2 号线补充环评要求,全线增加了许多减振地段,特殊减振(钢弹簧浮置板)长度达到约 4 km(双线),而钢弹簧浮置板铺设地段的轨道高度要求 840 mm 以上,致使许多地方难以满足。因此,在结构断面设计时就应考虑减振要求,制定合理的轨道设计值,为钢弹簧浮置板道床的实施提供有利条件。

参考文献:

[1] GB 50157—2003,地铁设计规范[S].
GB 50157—2003, Code for Design of Metro[S].

[2] 建标 104—2008,城市轨道交通工程项目建设标准[S].
Jianbiao 104—2008, Urban Rail Transit Project Construction Standards [S].

[3] GB 50490—2009,城市轨道交通技术规范[S].
GB 50490—2009, Technical Code of Urban Rail Transit [S].

[4] GB 50308—2008,城市轨道交通工程测量规范[S].
GB 50308—2008, Code for Urban Rail Transit Engineering Survey[S].

[5] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 武汉轨道交通 2 号线一期工程施工图设计文件[Z]. 武汉: 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 2011.
China Railway Fourth Survey and Design Institute Group Co. Ltd. The Construction Detail Design Documents of Wuhan Rail Transit Line 2[Z]. Wuhan: China Railway Fourth Survey and Design Institute Group Co. Ltd, 2011.

[6] 马振海. 地铁主体结构变形监测的必要性分析[J], 铁道工程学报, 2008(8): 93 - 95.
Ma Zhenhai. Analysis of Necessity of the Primary Structural Transmutation Observation in Subways[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008(8): 93 - 95.

[7] 毛保华. 城市轨道交通[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
Mao Baohua. Urban Rail Transport [M]. Beijing: Science Press, 2001.

[8] 何晓辉. 地铁测量控制要点[J]. 隧道建设, 2007(4): 72 - 73.
He Xiaohui. Control Essentials of Metro Survey [J]. Tunnel Construction, 2007(4): 72 - 73.

(编辑 梅志山)

武汉2号线调线调坡设计研究

作者: 赵强, ZHAO Qiang
作者单位: 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉, 430063
刊名: 铁道工程学报 ISTIC PKU
英文刊名: Journal of Railway Engineering Society
年, 卷(期): 2013(10)

参考文献(8条)

1. 地铁设计规范
2. 城市轨道交通工程项目建设标准
3. 城市轨道交通技术规范
4. 城市轨道交通工程测量规范
5. 中铁第四勘察设计院集团有限公司 武汉轨道交通2号线一期工程施工图设计文件 2011
6. 马振海 地铁主体结构变形监测的必要性分析[期刊论文]-铁道工程学报 2008(08)
7. 毛保华 城市轨道交通 2001
8. 何晓辉 地铁测量控制要点[期刊论文]-隧道建设 2007(04)

引用本文格式: 赵强, ZHAO Qiang 武汉2号线调线调坡设计研究[期刊论文]-铁道工程学报 2013(10)