

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2013.06.020

西安地铁地裂缝段道岔区轨道结构研究与应用

孙大新 金 晋

(北京城建设计研究总院有限责任公司 北京 100037)

摘 要 结合西安地铁2号线的地裂缝特性、线路条件及轨道技术要求,通过方案比选,确定在地裂缝影响区域内的道岔区采用碎石道床并配置预应力混凝土岔枕的方案。采用有限元方法与传统计算方法对照进行岔枕的结构分析,针对地铁荷载、轨道结构高度及岔区设置条件等因素,合理确定岔枕的外形尺寸及钢筋配置。这一轨道结构已在西安地铁2号线成功运营使用超过1年,在国内地铁碎石道床道岔地段开始取代传统木岔枕结构。

关键词 城市轨道交通;西安;地裂缝;轨道;道岔;岔枕

中图分类号 U213.21 **文献标志码** A
文章编号 1672-6073(2013)06-0084-04

1 西安地铁地裂缝及应对措施概述

西安地裂缝现象是国内地铁的独特地质灾害,根据相关研究,穿越西安市地铁2号线工程共有主地裂缝10条,次地裂缝2条。地裂缝有垂直位移、水平张拉和水平扭动共三个方向的活动。其中以垂直位移最为强烈,活动速率为5~30 mm/a,最大为56 mm/a;水平张拉居中,为2~10 mm/a;水平扭动最小,为1~2 mm/a。地裂缝按最不利的垂直位移设防,最大设防值为100年500 mm^[1]。

地裂缝对于西安地铁的线路、结构、轨道都有较大的影响。

西安地铁1、2号线在非道岔区的地裂缝地段采用可调式框架板道床^[2](见图1)。该结构可通过调整框架板下的调高垫块,实现较大的调高能力。西安地铁2号线会展中心站后折返线末端设有2组单渡线,其

4组道岔均位于地裂缝f10的设防范围内(见图2),若采用可调式框架板轨道结构,则需根据道岔外形结构增加多块不同尺寸的框架板规格,也增加了设计及加工的难度;另外将一组道岔铺设在多块框架板轨道结构上,如地裂缝发生较大的差异沉降、对道岔进行多次调整之后,很难维持道岔的整体性,从而会影响道岔的使用性能,因此适用于地裂缝地段的可调整道岔轨道结构的研究设计成为本工程轨道设计的难点和重点之一。



图1 可调式框架板

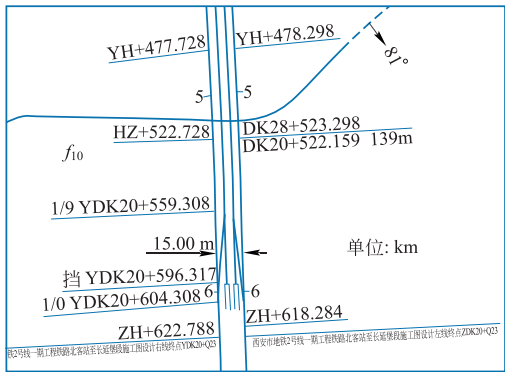


图2 f10地裂缝及与南侧单渡线

2 地裂缝道岔区轨道结构方案选型

2.1 道岔区可调高轨道结构方案比选

2.1.1 方案1:整体式可调高浮置板道床

整体式可调高浮置板道床是将整组道岔铺设在一整块可调高浮置板道床上(见图3),设置20~30个可调高支座,经过对浮置支座调高机构的特殊设计,提高支座的调高能力,支座的调高过程与普通浮置板道床的顶升过程基本相同。该方案的不足之处是:造价较

收稿日期:2012-12-20 修回日期:2013-05-30

作者简介:孙大新,男,工程师,从事轨道专业设计和研究,
sundx@buedri.com

高,水平调整能力不足,而且为确保整块浮置板及各支座受力与变形均匀,解决当支座失效时能被及时发现等难题,需设置一套复杂的监测装置,这样除了会增加成本外还使系统变得更为复杂。在长期的运营过程中,可靠性及维护成本方面均存在一定的风险。此外,转辙机及其联结设备需在浮置板上开6道沟槽,将使浮置板的整体性受到严重制约。

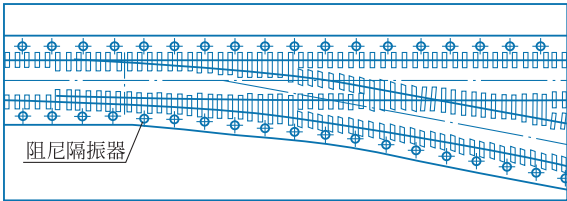


图3 可调高浮置板道床

2.1.2 方案2:碎石道床

碎石道床(见图4)方案简单、技术成熟、成本较低,应用在地下线隧道结构时,道砟的稳定性可得到有效保证。碎石道床在小调量调高时可通过扣件实现,在大调量时,可通过抬道补砟的方式实现。1号线、2号线均为在一处采用碎石道床,增加的养护维修工作量很有限,对全线轨道结构的弹性及列车运行舒适性的影响较小。对于可能发生的地裂缝垂直和水平位移,可以很方便地进行调整。

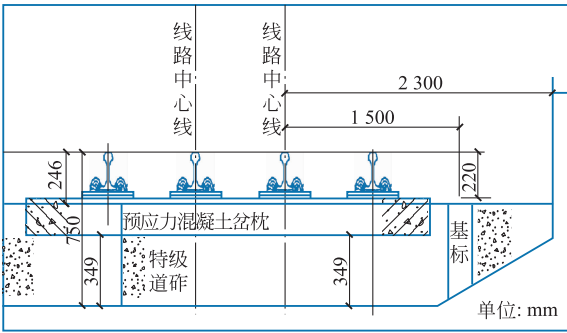


图4 碎石道床

2.1.3 方案比选

综合以上因素,推荐选择技术成熟、造价低、适应

性好的碎石道床方案,需重点解决的是研制稳定、耐久、经济可行的岔枕及道岔区的排水问题。

2.2 碎石道床岔枕类型比选

碎石道床道岔岔枕有三种方案:木岔枕、合成树脂岔枕和预应力混凝土岔枕。

2.2.1 木岔枕

国内传统地铁的碎石道床道岔均采用木岔枕。木岔枕在强度、稳定性、耐久性及环保等方面略有不足,且造价越来越高,目前在国铁已经逐步被淘汰(见图5)。



图5 木岔枕

2.2.2 合成树脂岔枕

合成树脂岔枕的技术最早引进于日本,首先在广州地铁4号线直线电机系统中采用,目前已有国产化产品出现并应用。这种轨枕具有很好的强度、韧性及可修复性能,使用寿命较长,但造价较高。



图6 合成树脂岔枕

2.2.3 预应力混凝土岔枕

目前,国铁新设计的大号码道岔已全部采用预应力混凝土岔枕,其断面及质量较大,道床阻力大稳定性更好,且混凝土耐久性好,可节约木材,并减少更换和维修的工作量。

2.2.4 方案比选

从表1中可以看出,预应力混凝土岔枕为最优方案,考虑隧道内空间狭窄,岔枕更换困难,对岔枕耐久性要求高,因此推荐地下线9号道岔设计采用地铁专用预应力混凝土岔枕。

表1 碎石道床地段几种类型岔枕的对比

类型	单根长度/m	单根质量/kg	整组价格估算/万元	寿命/a	优点	不足	应用
木岔枕	2.1~4.4	85~180	6	≈10	生产简单,便于搬运及安装	质量较轻,稳定性不好,不环保,使用寿命短	传统地铁车辆段道岔
预应力混凝土长岔枕	2.2~4.7	230~460	4.5	≥30	稳定性好,耐久性好,价格适中	设计、安装较复杂,生产技术要求高	国铁大量应用
合成长岔枕	2.1~4.4	85~180	30	≥30	耐久性好,便于搬运机安装,可修复	厂家较少,价格昂贵	广州地铁

3 预应力岔枕设计方案及结构计算

3.1 岔枕设计范围和长度规格

预应力混凝土岔枕设计需解决道岔岔枕设计范围、岔枕长度规格和岔枕断面三个问题。地铁2号线道岔全长29.054 m,岔后8根轨枕因直股与侧股钢轨的扣件及轨枕无法分离,需纳入到道岔区统筹考虑;此后6根轨枕可以分离,但长度不能达到标准的2.5 m,需纳入到道岔区统筹考虑;岔前3根轨枕因涉及轨底坡的顺坡问题,也需纳入到道岔区统筹考虑,则岔枕的设计范围为37.502 m,一共需设置65根岔枕,分为24种长度规格,其中最短的为2.35 m,最长的为4.7 m。岔枕布置时,将直股钢轨外侧的岔枕端部取齐,侧股钢轨外侧的岔枕自然排放,岔枕具体布置见图7。

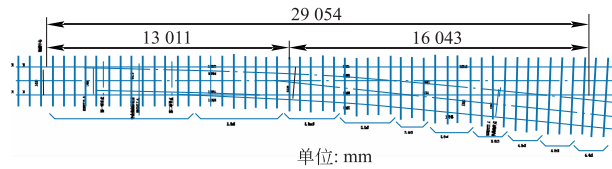


图7 60 kg/m 钢轨9号弹性可弯曲尖轨道岔

3.2 岔枕截面

国铁岔枕断面一般为标准梯形断面(见图8(a)),该断面高度较高,可适应国铁高速、重载的要求,但地铁轴重小,速度低,使用国铁的这种断面富余量较大,又增加了轨道结构高度和土建开挖断面的高度,造成了不必要的浪费。因此,在国铁岔枕断面的基础上,结合地铁车辆荷载特点,进行了减薄处理(见图8(b))。修改后,岔枕高度降低了35 mm,同长度单根岔枕质量降低了20%,岔枕及扣件组装高度为223 mm,与道岔两端顺接的弹条Ⅰ型扣件及新Ⅱ型枕的组装高度仅相差8 mm,不需额外增加土建高度^[3-5]。

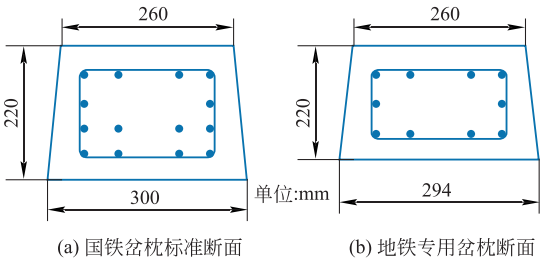


图8 两种岔枕断面的对比

3.3 弯矩计算模型及结果

岔枕的受力计算分为两步,第一步以钢轨为计算对象,按照TB 2034—88传统静态算法^[6]对钢轨在

列车动载作用下的支承力进行准静态计算,将钢轨建立为弹性支承连续梁计算模型(见图9),计算得到作用在每个支承节点的节点力 R_d ;第二步以岔枕为计算对象,将第一步计算所得的节点力 R_d 施加在岔枕上,计算得到轨枕的弯矩。

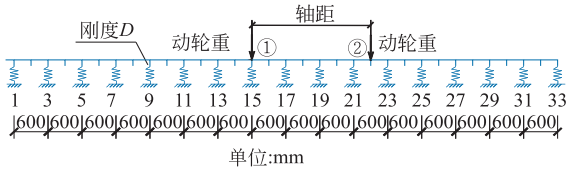


图9 枕上压力计算模型

国铁传统预应力混凝土枕的受力计算主要参照铁道部科学研究院的研究报告《预应力混凝土枕设计方法》^[7],但该设计方法提供的枕下道床支撑反力无法应用于较长的长岔枕,因此利用有限元软件进行设计计算,计算正负弯矩的模型略有差别(见图10)。

为验证有限元计算的准确性,以2.5 m岔枕为例,与传统计算方法进行了对比,对比结果见表2。

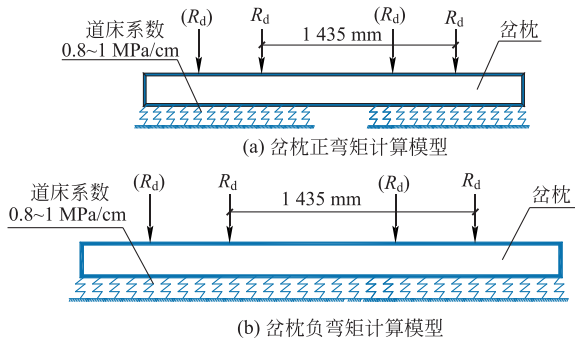


图10 岔枕弯矩计算模型

表2 不同计算方法计算结果对比

计算方法	有限元法	传统计算方法(轨道强度检算法)
最大正弯矩/kN·m	5.342	4.653
最大负弯矩/kN·m	-3.578	-3.83

由表2可知,有限元法与传统计算方法的计算结果相近,最大误差不超过15%,因此采用有限元计算方法是可行的。

通过计算,最大正弯矩为11.454 kN·m,出现在最长的长岔枕上;最大负弯矩为7.188 kN·m,出现在最短的岔枕上。

3.4 岔枕的主筋配置及检算

预应力筋配置按照铁道部预应力混凝土枕的设计方法进行。经计算,预应力筋采用3层设置,配置10 ϕ 7刻痕钢丝或螺旋肋钢丝。

考虑预应力钢丝张拉系数及预应力损耗,采用有限元方法进行计算,结果见表3。由计算可知,疲劳承载力满足轨下截面最大正弯矩、枕中最大负弯矩的要求。

表3 预应力混凝土岔枕检算结果

位置	疲劳承载力 $M_{fs}/$ kN·m	正截面抗裂强度 $M_{cr}/$ kN·m	受弯极限承载力 弯矩 $M_u/$ kN·m	抗裂静载 检验值 $P/$ kN	疲劳强度检 验值 $P_{max}/$ kN
轨下截面	13.54	17.04	27.92	127	136.05
枕中截面	12.35	15.71	22.95	117	125.43

在一枕失效情况下,轨下截面最大正弯矩为13.41 kN·m,枕中截面最大负弯矩为8.66 kN·m,说明在岔枕配筋一枕失效的情况下也能满足要求。

从以上检算可知,该截面及配筋用于9号道岔完全可以满足要求。

3.5 设计、制造及施工特殊技术要求

1) 长岔枕上有多个预埋套管,为避免岔枕受力不均而发生挠曲,应尽量保证纵筋形心与截面形心的重合,对于长度超过3.5 m的长岔枕,需进行拱度检验。

2) TB/T 3080—2003 规定岔枕的高度误差为(−3/+5 mm),但地铁专用预应力岔枕的截面高度为185 mm,小于国铁岔枕,根据试制情况,预应力岔枕厚度误差对承受荷载的影响较大,故要求岔枕的高度不允许出现负公差。

3) 该岔枕为首次设计,因此应执行严格的试制、试验和试铺程序,全部合格后方可批量生产。

4) 因预埋套管位置不能改变,因此施工中应注意提高施工精度,重点控制好轨枕间距。

4 应用情况及小结

目前,国内首组60 kg/m钢轨9号单开道岔预应力混凝土岔枕碎石道床已成功铺设于西安地铁2号线(见图11)。



图11 预应力混凝土岔枕铺设情况

自2011年9月西安地铁2号线开通试运营以来,岔枕状态良好,轨道结构稳定,经过了实际运营的考验。采用碎石道床预应力混凝土岔枕方案为解决地裂缝地段道岔区轨道结构设计进行了很好的尝试,积累了宝贵的经验,为其他城市轨道交通工程解决特殊地质问题提供了借鉴和参考。同时,采用预应力混凝土岔枕取代木岔枕,可节约大量木材,并降低造价,将在城市轨道交通中有广阔应用前景。

参考文献

[1] 北京城建设计研究总院有限责任公司. 西安地铁二号线地裂缝轨道综合技术研究中间成果报告[R]. 西安,2009.
[2] 杜峰,扈慧娜. 西安地铁2号线轨道系统思路及创新[J]. 城市轨道交通研究,2011,14(7).
[3] GB 50157—2003 地铁设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.
[4] 铁道科学研究院铁道建筑研究所. 预应力混凝土枕设计方法[R]. 北京,1994.
[5] TB/T 3080—2003 混凝土岔枕技术条件[S]. 北京,2003.
[6] 铁道部科学研究院. TB 2034—88 铁道轨道强度检算方法[S]. 北京,1988.
[7] 铁道科学研究院. 预应力混凝土枕设计方法[R]. 北京,1994.

(编辑:郝京红)

Turnout Track Structure on a Section of Xi'an Metro with Ground Cracks—Study and Application

Sun Daxin Jin Jin

(Beijing Urban Engineering Design &Research Institute Co., Ltd., Beijing 100037)

Abstract: Considering the ground cracks in the turnout zone of Xi'an metro Line 2, as well as line conditions and technical requirements of tracks, an option of ballast bed with prestressed concrete sleepers was determined through option comparison. In line with the subway load characteristics, height of rail structure and installation conditions and other factors, finite element method and conventional method were adopted to analyse the structure of turnout sleepers. Configuration and dimension of sleepers and their reinforcement were reasonably determined. This kind of track structure has been successfully used on Xi'an metro Line 2 for over 1 year. On turnout with ballast bed wooden sleepers are replaced by prestressed concrete sleepers gradually in China.

Key words: urban rail transit; Xi'an; ground crack; track; turnout; sleeper