

CRTS II 型板式无砟轨道 抬轨更换轨道板施工参数研究

马 超^{1,2}, 王海超^{1,2}, 张晓东^{1,2}

(1. 石家庄铁道大学 道路与铁道工程安全保障省部共建教育部重点实验室, 河北 石家庄 050043;

2. 石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043)

摘要:在 CRTS II 型板式无砟轨道进行抬轨更换轨道板施工过程中,需选择合理的作业轨温、抬升方式、扣件松开范围等施工参数,以避免施工中钢轨失稳和弯折及扣件损伤。针对该问题,建立钢轨抬升模型,计算分析钢轨抬升过程中不同施工参数对钢轨失稳、钢轨及钢轨扣件受力与变形的影响,总结相关规律并提出合理的施工参数。结果表明,钢轨抬升施工时,抬升间距建议为 7.2 m;温差超过 20 ℃可适当增大两抬升点间距。钢轨的抬升量为 10 cm 时,扣件的松开范围宜为 51 组扣件,抬轨量每增加 1 cm,扣件松开范围宜增加 1 组扣件;当温差超过 20 ℃时,可适当按照温差每增加 1 ℃,扣件松开数量减少 2 组扣件进行施工。

关键词:轨道板;钢轨抬升;抬升方式;扣件松开范围;轨温

中图分类号: U213.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2023)02-0056-06

0 引言

CRTS II 型板式无砟轨道^[1]结构自 2005 年在京津城际客运专线上首次使用以来^[2],至今已服役 17 a。在此过程中受列车荷载、环境温度、基础沉降和偶然荷载等多种因素影响产生一定的损伤^[3-6]。当损伤较为严重时,为恢复轨道结构的安全性和稳定性,保证列车的安全运行,需对失效轨道板进行更换^[7]。为避免钢轨切割与焊接施工^[8-9]对无缝长钢轨造成的损伤^[10-11],抬轨更换轨道板是采用较多的维修方式。抬轨施工前需制定合理的施工方案,其中,确定合理的抬升方式、扣件松开范围以及施工作业轨温等施工参数是制定施工方案的关键。

目前,已有相关学者对上述问题进行了一定的研究。针对弹性支承块式无砟轨道抬轨更换支承块施工,林红松等^[12]确定了起道量为 16 cm 时扣件的最优松开范围,并确定了合理的养护维修作业轨温范围;谢露^[13]分析了合理的抬轨间距、扣件松开范围及相关变化规律。针对 CRTS I 型板式无砟轨道抬轨更换轨道板施工,潘国瑞等^[14]分析了不同起道量和扣件松开数量对钢轨的受力与变形规律;王涛等^[15]对施工方法和施工流程进行介绍。针对 CRTS II 型板式无砟轨道抬轨更换轨道板施工,WANG et al^[16]分析了钢轨抬升后,所需的支承块间的距离以及扣件松开长度、施工温度等参数对施工后钢轨力学状态的影响;任娟娟等^[17]确定了起道 20 cm 时的最优松开扣件长度,明确了起道作业轨温范围;张世堂^[18]研究了钢轨的抬升高度为 10 cm 时的施工方案。

目前,针对 CRTS II 型板式无砟轨道进行抬轨更换轨道板施工研究,主要局限于特定的抬升高度下施工方案的研究,没有总结出一定的规律,并且在分析施工方案中,缺乏考虑施工轨温与锁定轨温之间温差对抬轨施工方案的影响,其计算结果与实际情况不符。全面分析 CRTS II 型轨道结构抬轨施工中抬升方式、扣件松开范围及施工轨温等不同参数组合对施工安全性的影响,为采用抬轨更换轨道板施工参数选择提供参考。

收稿日期:2022-11-23 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxbzb.20220353

作者简介:马超(1974—),女,副教授,研究方向为铁路轨道结构设计和养护维修理论与技术。E-mail:mach_74@stdu.edu.cn

马超,王海超,张晓东.CRTS II 型板式无砟轨道抬轨更换轨道板施工参数研究[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2023,36(2):56-61.

1 CRTS II 型板式无砟轨道抬轨更换轨道板施工方法分析与仿真模型

1.1 CRTS II 型板式无砟轨道抬轨更换轨道板施工方法

目前对 CRTS II 型板式无砟轨道采用抬轨法进行轨道板更换施工时,主要考虑施工轨温、抬升方式、抬升高度以及扣件松开范围这几个关键参数。抬轨施工方法如下:

(1)以待更换轨道板中心线为基准,在其两侧对称松开一定长度范围的扣件,扣件的松开程度为全部松开。扣件的松开范围应合理。范围太小可能会导致第一个未松开扣件受较大的上拔力而被拔出;松开范围太大则可能会影响钢轨的稳定性,诱发钢轨失稳。

(2)人工采用起道机对钢轨进行起道作业,采用两点或单点抬升的方法进行钢轨抬升。两点抬升时,钢轨抬升点对称分布于待更换轨道板中心线两侧,并选择合适的抬升点间距,然后将钢轨缓慢抬升到规定高度,避免钢轨在抬升过程中出现弯折伤损或抬升范围以外紧固扣件的伤损。

钢轨抬升方案制定中,施工轨温、扣件的松开范围、钢轨抬升方式以及钢轨抬升高度为关键施工参数,需考虑施工轨温与锁定轨温差对施工参数的影响。为保证施工安全,避免轨道部件伤损和钢轨失稳,建立抬轨施工有限元仿真模型,将上述施工参数对轨道部件受力及变形的影响进行计算和分析,探索其影响规律,指导施工方案的制定。

1.2 抬轨施工仿真分析模型的建立

模型中考虑抬轨施工对钢轨、轨道板、砂浆层及扣件施加的作用力位移的影响。抬轨施工力学模型如图 1 所示,钢轨、轨道板与底座板采用弹性梁单元模拟,未松开的钢轨扣件采用三向弹簧单元模拟,松开扣件部分采用单向(只受压力)弹簧单元模拟,砂浆采用非线性弹簧模拟。图 1 中, F_1 与 F_2 为抬轨力, l 为两抬升点之间的间距, h 为抬升点的抬升高度, H 为两抬升点中间钢轨最大垂向位移, L 为扣件的松开范围, k_1 为钢轨扣件的垂向刚度, k_2 为钢轨扣件的纵向阻力。

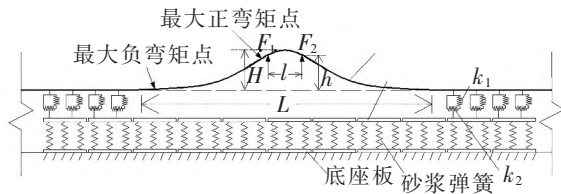


图 1 钢轨抬升力学模型

模型中,考虑钢轨的重力及未松开扣件的阻力,底座板底部采用固定约束,在抬轨位置施加位移约束以模拟抬轨量。模型长度 200 m,钢轨为 CHN60 轨,扣件为 WJ-7 型扣件。

1.3 模型验证

在 ANSYS 有限元模型中计算采用单点抬升,扣件松开范围为 60 组扣件时,抬升钢轨 20 cm 所需的抬轨力与未松开扣件受到的上拔力,与力学模型计算的结果进行对比,验证模型的正确性和精度。

模型中钢轨采用 CHN60 轨,重力参数为 60.643 kg/m;钢轨扣件间距为 0.625 m,松开扣件范围的钢轨重力约为 22 740 N。其中,计算结果中抬轨力与未松开扣件反力总和为 22 148 N,与理论值的误差为 2.6%,在合理的误差范围内,说明建立的有限元模型较为准确,可以使用此模型计算分析 CRTS II 型板式无砟轨道采用抬轨法进行轨道板更换施工时相关施工参数对轨道结构的影响。

2 抬轨方式研究

目前,抬轨方式主要分单点抬升和两点抬升 2 种常用方案。通过对比分析单点抬升和两点抬升方式下钢轨的变形与纵向受力情况,确定无温度力状态下合理的钢轨抬升方式,然后分析施工轨温与锁定轨温温差对抬轨方式的影响,选择合适的钢轨抬升施工方式。

计算中,通过钢轨最大垂向位移的变化与钢轨最大正负弯矩的变化,分析抬升方式对钢轨弯折变形的影响;通过钢轨最大拉应力的变化,分析抬升方式对钢轨纵向受力的影响;通过第一组未松开扣件受到的上拔力,分析抬升方式对扣件拔出的影响。为防止抬升过程中温度作用造成钢轨的失稳,以钢轨的最大横向位移限制 2 mm 为指标,分析温度作用对抬轨方式的影响。抬升点的高度为 20 cm,扣件松开范围为 60 组扣件^[8]。单点抬升时,抬升点之间的距离为 0 m。

图 2 为抬升作用点之间距离不同时,钢轨垂向位移的分布示意图。由图 2 可知,随钢轨抬升作用点之间距离的增大,钢轨最大垂向位移增大。由表 1 中钢轨最大正弯矩的变化可以看出,钢轨最大正弯矩的值随抬升点之间距离的增大而减小,钢轨最大垂向位移处的变形也越圆顺。这是由于两点抬升时,两抬升点间的钢轨发生了上拱变形,产生了弦弧差,使得钢轨的变形变得圆顺。

由表 1 可知,第一个扣件受到的上拔力值随抬升点之间距离的增加而增大,扣件有可能被拔出而破坏;钢轨的最大负弯矩值在第一个未松开扣件处,随扣件受到上拔力值的增大而增大,钢轨在此处的弯曲受力较大,所以钢轨抬升作用点之间的距离不宜太大。

表 1 不同抬升点距离下钢轨的最大正负弯矩与第一个扣件上拔力值

抬升点之间的距离/m	钢轨最大正弯矩值/kPa	钢轨最大负弯矩值/kPa	扣件上拔力/kN
0	39.299	-13.369	1.318 6
1.2	35.451	-13.425	1.565 8
2.4	31.886	-13.574	2.177 0
3.6	29.070	-13.814	3.123 5
4.8	26.891	-14.166	4.370 9
6.0	25.265	-14.667	5.899 1
7.2	24.132	-15.376	7.699 5
8.4	23.446	-16.382	9.773 0
9.6	23.171	-17.806	12.130 0

图 3 为钢轨最大拉应力随抬升作用点之间距离的变化图。钢轨最大拉应力随抬升间距的增大而减小,在抬升点之间的距离为 7.2 m 时其值最小,然后随抬升点间距的增大而缓慢增大;从钢轨受到的拉应力的角度考虑,钢轨抬升作用点间的距离有最优值,约为 7.2 m。

图 4 为施工轨温与锁定轨温的温差对选择钢轨抬升方式的影响曲线,由图 4 可知,温差在 14 °C 以下时,抬升点间距的选择对抬升钢轨稳定性几乎没有影响;此时,温差对钢轨横向位移的影响不大。温差在 14 °C 以上时,随温度的升高,抬升点间距越大,钢轨的横向位移越小;抬升点间距在一定范围内的增大,对松开扣件部分钢轨的约束范围增大,使钢轨的横向位移随抬升点间距的增大而减小。其中,抬升间距为 6.0 m 时,其最大温差应控制在 19 °C,且抬升点间距每增大 1.2 m,其对应的最大温差限制增加 1 °C。

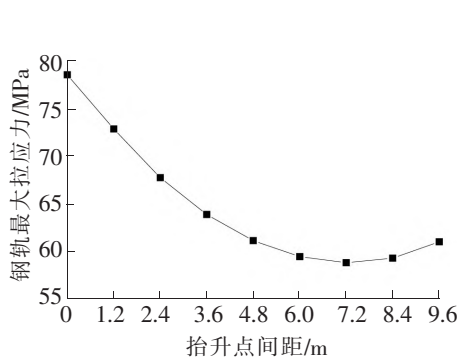


图 3 不同抬升点间距下钢轨最大拉应力曲线图

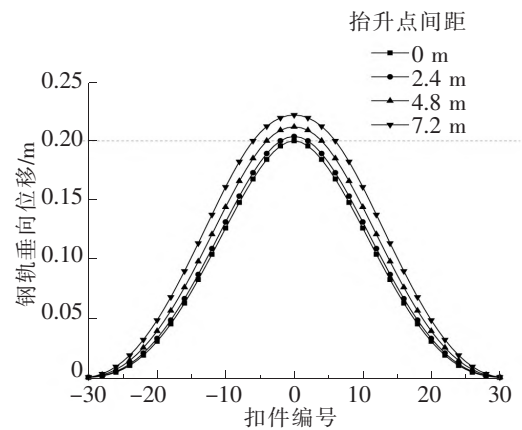


图 2 不同抬升点间距下钢轨垂向位移分布图

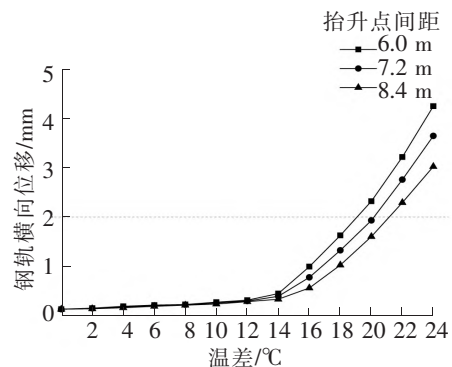


图 4 温差对抬升点间距的影响曲线图

综上,为避免钢轨失稳破坏,减小钢轨的弯折程度,使抬升时钢轨的变形更加圆顺,降低钢轨所受的拉应力,避免扣件被拔出,在对钢轨进行抬升施工时,宜选择两点抬升。施工轨温与锁定轨温温差在 20°C 以下时,抬升间距建议为 7.2 m ;温差超过 20°C 时,应根据施工方案适当增大两抬升点之间的距离。

3 扣件松开范围研究

在设计钢轨抬升方案时,对于钢轨的不同抬升高度,均对应合理的扣件松开范围,且此扣件松开范围的确定受施工轨温与锁定轨温温差的影响。扣件松开范围太小,会使扣压区扣件破坏,并导致抬轨力的增大;扣件松开范围太大,则会增加现场的施工量,还有可能导致钢轨抬升过程中失稳破坏。

选择不同抬升高度对应最优扣件松开范围时,分析不同工况下钢轨的抬轨力与第一个未松开扣件受到的上拔力,以其第一个扣件受到的上拔力为 0、且抬轨力最小为依据,确定钢轨不同抬升高度对应的最优扣件松开范围,并探究其规律。分析施工轨温与锁定轨温温差对选择扣件松开范围的影响,从而确定合理的施工参数,为施工方案的制定提供参考。

对 CRTS II 型板式无砟轨道进行抬轨更换轨道板的施工中,钢轨抬升高度需大于承轨台的高度,且需考虑操作施工的便利性。计算时两点抬升,抬升间距为 7.2 m ,取钢轨抬升高度为 $10、12、14、16、18、20\text{ cm}$ 6 组工况,分析钢轨不同抬升高度对应的最佳扣件松开范围。为防止升温导致抬升过程中钢轨失稳,以钢轨的最大横向位移限制 2 mm 为指标,分析温度作用对扣件松开范围的影响,并确定合适的施工轨温范围,计算时取钢轨的抬升高度为 20 cm 。计算结果见图 5~图 7。

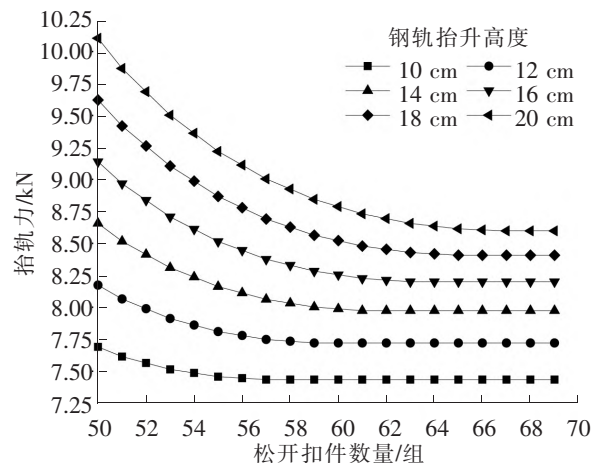


图 5 扣件松开数量与抬轨力关系曲线图

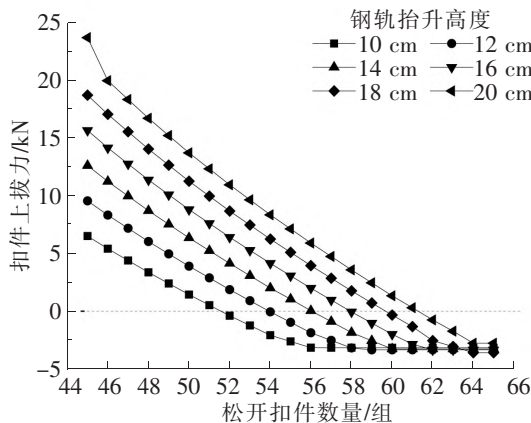


图 6 扣件松开数量与第一组未松开扣件所至上拔力关系曲线图

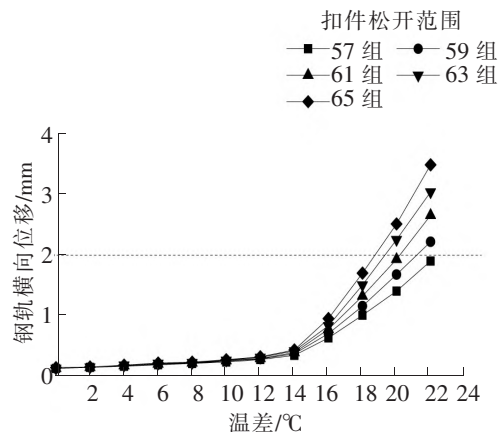


图 7 温差对扣件松开范围的影响曲线图

由图 5 可知,各个抬升高度工况下,钢轨的抬轨力在没达到扣件松开的最优范围时,随着扣件数量的增加而减小;达到扣件松开的最优范围后,随松开扣件数量的增加,抬轨力保持不变;且随钢轨抬升高度的增加,其最优扣件松开范围也在线性增大。从图 6 可见,随钢轨抬升高度的增加,其达到 0 附近的扣件松开范围是逐渐增大的,呈线性增长趋势;且随着扣件松开数量的增多,扣件受到的力为相邻松开扣件钢轨的重力,最后趋于一个定值。由图 5、图 6 可知,当钢轨的抬升量为 10 cm 时,扣件的最优松开范围为 51 组扣件,钢轨抬升量每增加 2 cm ,最佳的扣件的松开范围增加 2 组扣件。

由图 7 可见,施工轨温与锁定轨温之间的温差在 $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时,由于抬升钢轨两端扣件的约束作用,温差对钢轨的横向位移影响较小,温差对扣件松开范围的选择几乎没有影响;超过 $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,随温差的增大,扣件松开范围越小,钢轨的横向位移越小。这是因为随温度的增加,钢轨的横向位移增大,扣件松开范围越小,对钢轨的约束作用越大,钢轨的横向位移随扣件松开范围的增大而增大。其中,钢轨抬升 20 cm 、扣件松开长度为 61 组扣件时,其最大温差应控制在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,温差每增加 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,扣件松开数量应减少 2 组扣件。

综上,由图 5~图 7 可知,施工轨温不超过锁定轨温 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,钢轨的抬升量为 10 cm ,扣件的最优松开范围为 51 组扣件,钢轨抬升量每增加 1 cm ,最佳的扣件的松开范围宜增加 1 组扣件;施工轨温超过锁定轨温 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,温差每增加 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,扣件松开数量应减少 2 组扣件。

4 结论

(1)为防止钢轨受到弯折损伤,在对钢轨进行抬升施工时,宜选择两点抬升,施工轨温与锁定轨温温差在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时,抬升间距建议为 7.2 m ;温差超过 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,应根据施工方案适当增大 2 个抬升点之间的距离。

(2)每一个钢轨抬升高度都有与之对应的最优扣件松开范围,施工轨温不超过锁定轨温 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,钢轨的抬升量 10 cm ,扣件的最优松开范围为 51 组扣件,钢轨抬升量每增加 1 cm ,扣件的松开范围宜增加 1 组扣件;若施工轨温超过锁定轨温 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,应根据施工方案,可适当按照温差每增加 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,扣件松开数量减少 2 组扣件进行施工。

参 考 文 献

- [1]赵国堂.高速铁路无砟轨道结构[M].北京:中国铁道出版社,2006.
- [2]周凌宇,彭秀生,杨林旗,等.列车荷载下简支梁桥上 CRTS II 型板式无砟轨道经时力学性能研究[J].铁道学报,2021,43(3):120-129.
- [3]粟森,朱琦治,戴公连,等.考虑界面初始黏结缺陷的 CRTS II 型板式无砟轨道温度变形[J].交通运输工程学报,2020,20(5):73-81.
- [4]CAI Xiaopei, LUO Bicheng, ZHONG Yanglong, et al. Arching mechanism of the slab joints in CRTS II slab track under high temperature conditions[J]. Engineering Failure Analysis, 2019, 98: 95-108.
- [5]刘钰,赵国堂.CRTS II 型板式无砟轨道结构层间早期离缝研究[J].中国铁道科学,2013,34(4):1-7.
- [6]蔡小培,刘薇,王璞,等.地面沉降对路基上双块式无砟轨道平顺性的影响[J].工程力学,2014,31(9):160-165.
- [7]毛晓君.高速铁路无砟轨道拨换板技术[J].铁道建筑,2020,60(5):94-97.
- [8]孟玮,杨新文,许玉德,等.CRTS I 型轨道板拨换轨更换轨温差限值研究[J].华东交通大学学报,2020,37(3):20-26.
- [9]SARIKAVAK Y, TURKBAS O S, COGUN C. Influence of welding on microstructure and strength of rail steel[J]. Construction and Building Materials, 2020, 243: 1-8.
- [10]MESSAADI M, GROSSONI I, SHACKLETON P, et al. Rail degradation due to thermite weld discontinuities: Field experience[J]. Engineering Failure Analysis, 2021, 128: 1-14.
- [11]SHI H C, SHI L B, DING H H, et al. Influence of laser strengthening techniques on anti-wear and anti-fatigue properties of rail welding joint[J]. Engineering Failure Analysis, 2019, 101: 72-85.
- [12]林红松,赵坪锐,刘学毅.弹性支承块式无砟轨道无缝线路更换支承块系统的力学分析[J].铁道建筑,2008(10):104-106.
- [13]谢露.客货共线铁路弹性支承块无砟轨道更换支承块特性研究[J].铁道勘察,2022,48(3):123-128.
- [14]潘国瑞,杨荣山,刘笑凯,等.CRTS I 型板式轨道维修的起道分析[J].中国铁路,2014(9):59-63.
- [15]王涛,邵丕彦,李海燕,等.不锯轨更换桥上 CRTS I 型轨道板研究与实践[J].铁道工程学报,2016,33(3):39-43.
- [16]WANG X, DING Y, ZHAO J, et al. Feasibility study on the solution of replacing track slab with lateral pushing rail in one maintenance window time[J]. Construction and Building Materials, 2023, 362: 1-9.
- [17]任娟娟,杨荣山,赵坪锐,等.桥上无砟轨道设计与维修理论[M].北京:科学出版社,2015.
- [18]张世堂.CRTS II 型板式无砟轨道无缝线路换板施工技术[J].铁道建筑技术,2012(12):36-39.

Study on Construction Parameters of Rail-Lifting to Replace Damaged Slab During CRTS II Slab Track Maintenance

Ma Chao^{1,2}, Wang Haichao^{1,2}, Zhang Xiaodong^{1,2}

(1.Key Laboratory of Roads and Railway Engineering Safety Control of Ministry of Education, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2.School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: For the maintenance of CRTS II slab track, the damaged slab is replaced by rail-lifting method sometimes. It is necessary to select reasonable construction parameters such as rail temperature, lifting mode and fastener loosening range to avoid rail instability and bending, and to prevent the fasteners being damaged during the maintenance. In order to solve these problems, a simulation model of rail lifting for the slab replacing was established. The influence of different construction parameters on rail instability, stress and deformation of rail and rail fasteners in the process of rail lifting was calculated and analyzed. The relevant laws were summarized and reasonable construction parameters were put forward. The results show that the recommended distance between the two rail lifting points is 7.2 m. If the above-mentioned temperature difference exceeds 20 °C, the distance between the two lifting points should be a little larger. If the recommended lifting height of the rail at the lifting point is 10 cm, and the 51 sets of fasteners around the lifting points should be loosened. 1 cm increase in the rail lifting height, one more set of fasteners should be loosened. If the temperature difference exceeds 20 °C, the sets of fasteners being loosened should decreased by 2 sets for each 1 °C increase in temperature difference.

Key words: track slab; rail lifting; lifting way; fastener loosening range; rail temperature

~~~~~  
(上接第 55 页)

**Abstract:** The variety and spatial relationship complexity of underground pipelines make it difficult to find potential pipeline collision conflicts in urban rail transit line planning and station construction due to the current error prone two-dimensional management model with poor visibility. In this paper, the BIM API secondary development technology, database technology and C# language were adopted to realize the pipeline data extraction and processing algorithm, and the modeling method of pipe segment and pipe point connection component, which solved the key problems of automatic batch import of underground pipeline data and rapid and efficient creation of complex underground pipeline model. On this basis, a 3D modeling system of underground pipe network was developed, the color system of pipeline was established, and the BIM expression of the layout of underground pipe network was intuitive and reliable. The system can be applied to the modeling of various types of underground pipelines. Through the integration with the underground station and the surrounding structures on the ground, the 3D visualization displays directly and reflects the specific situation of the entire underground space, which provides reference for the 3D modeling of urban rail transit underground pipe network.

**Key words:** underground pipe network; 3D modeling; parametric design; building information modeling technology; system development