

文章编号: 1674—8247(2018)01—0061—05

地铁盾构下穿高速铁路桥梁结构安全性评估研究

李吉林

(中国铁路总公司, 北京 100844)

摘 要:随着我国高速铁路和轨道交通基础设施的大规模发展,新建地铁采用盾构形式下穿高速铁路桥梁的情况越来越多,需对既有高速铁路桥梁变形和结构进行安全评估。文章以某地铁盾构下穿高速铁路为例,介绍了对既有高速铁路桥梁结构安全性进行评估的思路:以规范为依托,以数值分析为手段,从桩基强度、桩基承载力、桥墩变形三个方面计算盾构施工对既有桥梁桩基的附加影响,进而对既有桥梁结构的安全性进行评估,得出评估结论及建议。

关键词:盾构; 高速铁路; 桥梁; 安全评估

中图分类号:U443.15⁺7

文献标志码:A

Study on Structural Safety Assessment of Subway Shield underneath Passing High-speed Railway Bridge

LI Jilin

(China Railway, Beijing 100844, China)

Abstract: With the large-scale development of China's high-speed railway and rail traffic infrastructure, there are more and more new subways underneath passing the high-speed railway bridges with shield construction method, so it is necessary to assess the existing high-speed railway bridge deformation and structure. Taking a certain subway shield underneath passing the high-speed railway as an example, the thought of safety assessment of the existing high-speed railway bridge structure is introduced in this paper, and the additional impacts of shield construction on the existing bridge pile foundations are calculated from three aspects of pile base strength, pile base bearing capacity and the pier deformation by means of numerical analysis relying on the specification, and then the security of the existing bridge structure is assessed and conclusions and the recommendations are obtained.

Key words: shield; high-speed railway; bridge; safety assessment

1 工程概况

以某地铁盾构下穿既有高速铁路为研究背景,下穿位置处高铁设计最高速度 350 km/h,无砟轨道。桥梁跨度为(40+64+40) m 连续梁。新建地铁为两条不同线别,交叉下穿,衬砌环外径 6.4 m,内径 5.8 m,管片宽度 1.2 m,管片厚度 0.3 m,采用盾构法施工。为减少盾构掘进施工对高速铁路桥墩的影响,预先在

穿越段盾构区间隧道两侧各打设 1 排 $\phi 800$ mm 钻孔灌注桩和 1 排 $\phi 600$ mm 搅拌桩,深度均为 38 m,新建地铁与既有高铁的平面及立面关系如图 1、图 2 所示,既有高速铁路的桩基布置如图 3 所示。

由于盾尾间隙、刀盘超开挖间隙及周围土体受到扰动等原因,将不可避免的引起周围地层的位移和变形,由于高速铁路对线下结构的变形极为严格,根据既有高速铁路管理部门要求,需要对既有高铁桥梁结构

收稿日期:2017-08-17

作者简介:李吉林(1976-),男,高级工程师。

引文格式:李吉林. 地铁盾构下穿高速铁路桥梁结构安全性评估研究[J]. 高速铁路技术,2018,9(1):61-65.

LI jilin. Study on Structural Safety Assessment of Subway Shield underneath Passing High-speed Railway Bridge [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(1): 61-65.

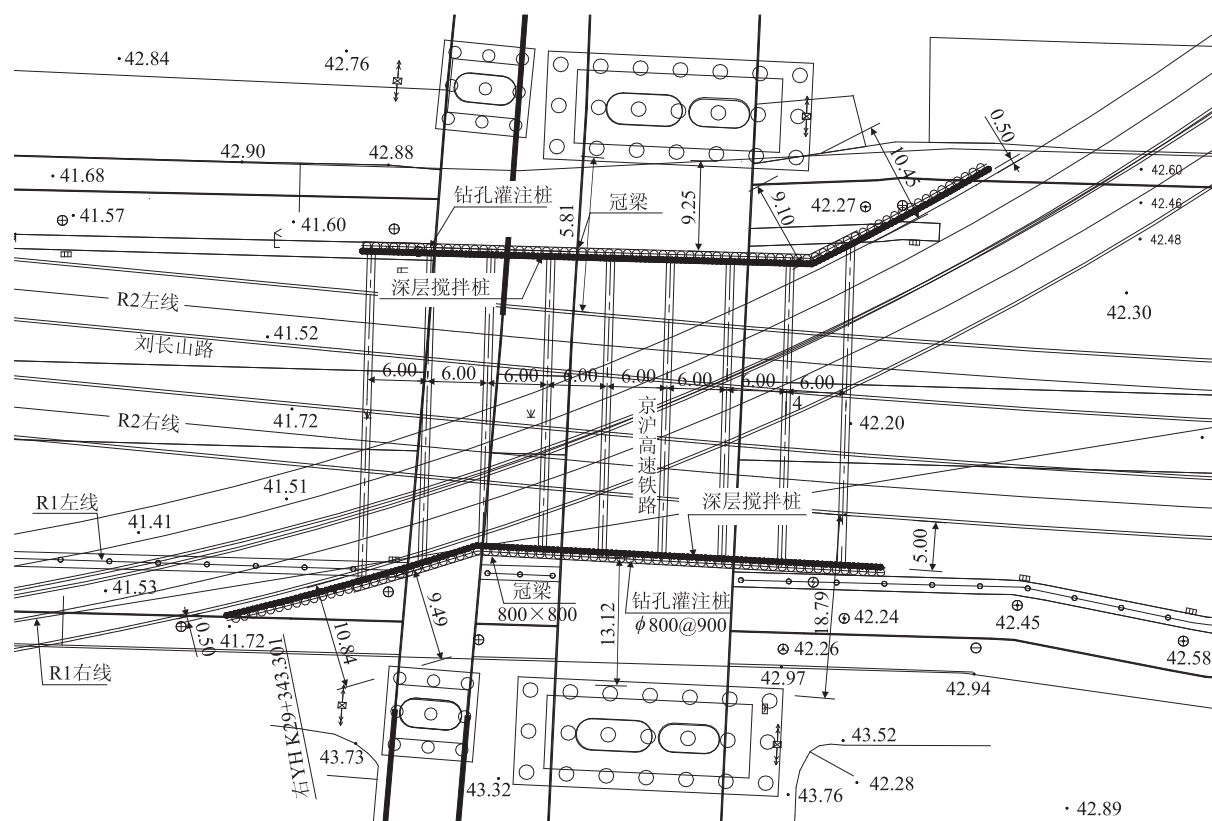


图1 盾构下穿高速铁路桥梁平面布置图(m)

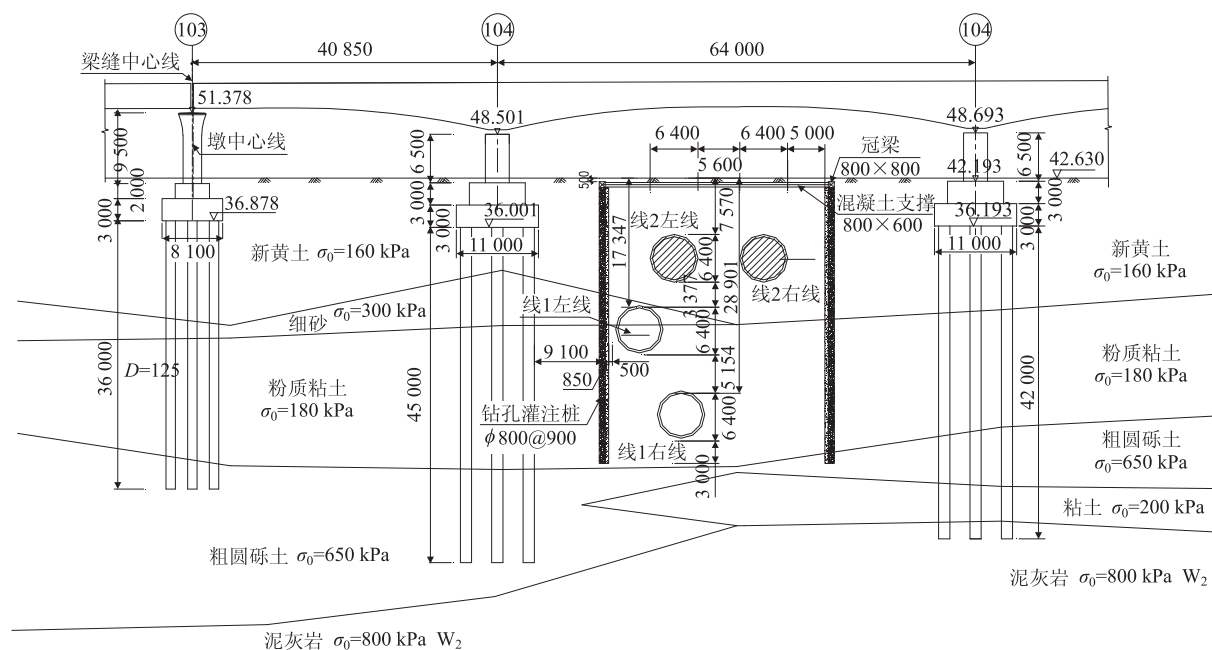
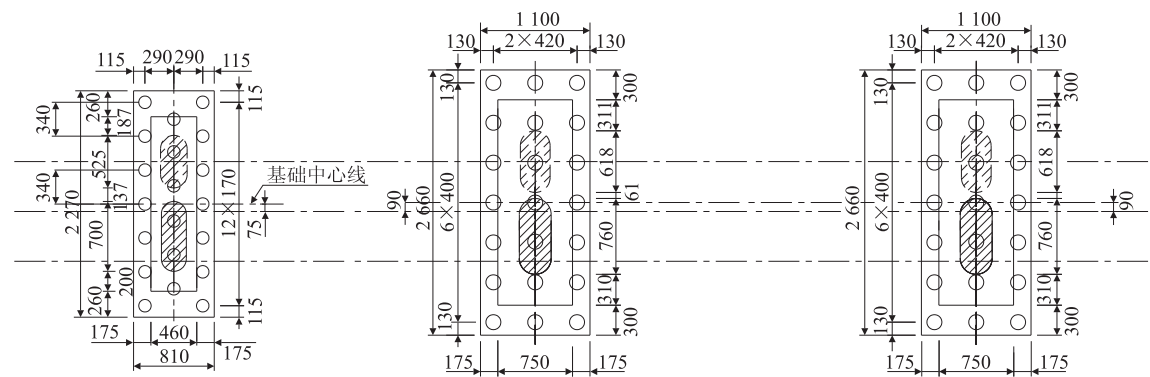


图2 盾构下穿高铁桥梁立面布置图(mm)

进行安全性评估。

工点所在地区附近钻探 60 m 深度范围内揭露地层主要以黄土、粉质黏土、卵石为主,局部含砂土层,第四系覆盖层厚度大于 50 m,成因以冲洪积为主。桩侧土体的承载力及土层性质(如图 2 所示),上段桩侧土

为承载力 160 kPa 的新黄土层,中段桩侧土为承载力为 180 kPa 的粉质粘土层,下段桩侧土为承载力为 650 kPa 的粗圆砾土,桩尖位于承载力为 800 kPa,风化程度为 W₂ 泥灰岩层。土层分布及承载力情况(如图 2 所示)。



元”功能模拟衬砌结构的施工。数如表 2 所示。

土体本构模型采用剑桥模型^[5]进行模拟,土体参

表 2 土体参数表

地层编号	名称	层底深度/m	压缩指数	回弹指数	λ	κ	泊松比	初始孔隙比
⑦	黄土	6.26	0.184 4	0.018 4	0.080 2	0.008 0	0.434 5	0.941
⑧	粉质黏土	13.76	0.094 7	0.009 5	0.041 2	0.004 1	0.414 4	0.726
⑩	粉质黏土	20.76	0.033 2	0.003 3	0.040 0	0.004 0	0.382 9	0.727
⑩ ₄	黏土	22.76	0.048 2	0.004 8	0.040 0	0.004 0	0.412 1	0.636
⑩	粉质黏土	23.76	0.048 2	0.004 8	0.040 0	0.004 0	0.412 1	0.636
⑪	粉质黏土	30.26	0.091 4	0.009 1	0.039 7	0.004 0	0.402 2	0.787
⑪ ₁	卵石	37.26	0.036 5	0.003 7	0.015 9	0.001 6	0.263 2	0.696
⑫	粉质黏土	40.46	0.091 4	0.009 1	0.039 7	0.004 0	0.402 2	0.787
⑫ ₁	卵石	45.76	0.036 5	0.003 7	0.015 9	0.001 6	0.263 2	0.696
15-2	中风化石灰岩	100.00	0.020 0	0.002 0	0.008 7	0.000 87	0.333 3	0.696

盾构顶进施工过程采用以下十七个阶段模拟:

- (1)初始地应力平衡,求出地层的初始应力状态。
- (2)施加桩基承台顶的恒载外力。
- (3)模拟钻孔灌注桩施工。
- (4)线 1 隧道右线掌子面开挖。
- (5)线 1 隧道右线施工衬砌。
- (6)线 1 隧道右线盾尾脱开,应力释放。
- (7)线 1 隧道左线掌子面开挖。
- (8)线 1 隧道左线衬砌。
- (9)线 1 隧道左线盾尾脱开,应力释放。
- (10)线 1 线开通运营,施加线 1 地铁车辆荷载。
- (11)线 2 隧道右线掌子面开挖。
- (12)线 2 隧道右线施工衬砌。
- (13)线 2 隧道右线盾尾脱开,应力全部释放。
- (14)线 2 隧道左线掌子面开挖。
- (15)线 2 隧道左线衬砌。
- (16)线 2 隧道左线盾尾脱开,应力全部释放。
- (17)线 2 线开通运营,施加线 2 地铁车辆荷载。

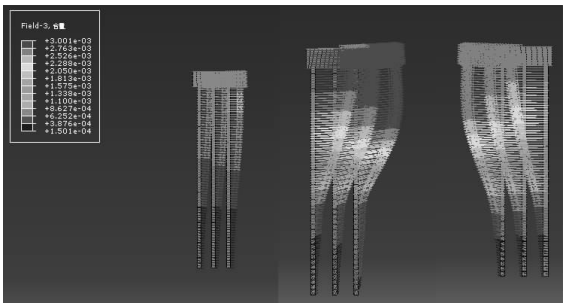


图 4 盾构施工影响下既有桥梁桩基顺桥向变形

表 3 盾构施工完成后高铁桥梁墩顶变形表 (mm)

变形指标	原设计值	附加值	累计值	规范限值
沉降值	-11.200	-0.034	-11.234	-20.000
相邻墩台沉降差	-3.800	-0.034	-3.834	5.000
顺桥向变形	11.808	3.166	14.974	31.620
横桥向变形	2.255	0.817	3.072	24.350

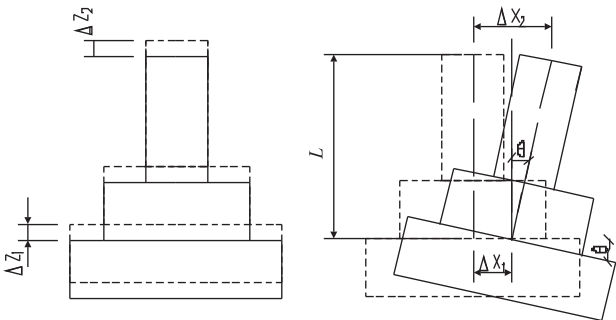


图 5 墩顶位移与承台顶位移关系示意图

4 数值模拟结果分析

4.1 桩基及墩顶变形分析

采用上述模拟方法对盾构下穿高铁的影响进行了计算,盾构施工完成后既有高铁桩基的变形模式如图 4 所示。由该图得出,盾构施工完成后,由于土体侧向应力的释放,既有高铁桥梁的变形以顺桥向水平变形为主,同时由于盾构施工对于既有高铁桥梁桩基周围土体竖向上为卸载作用,因此既有桥梁桩基略有隆起。盾构施工完成后的高铁桩基变形如表 3 所示。

忽略梁体对桥墩的约束作用(偏安全),认为桥墩变形为由于承台顶的沉降及转动引起的刚体位移。按照式(2)及式(3)计算墩顶的附加变形。

$$\Delta Z_2 = \Delta Z_1 \tag{2}$$

式中:ΔZ₂——承台顶的竖向位移;
ΔZ₁——墩顶的竖向位移。

$$\Delta X_2 = \Delta X_1 + L\theta \tag{3}$$

式中:ΔX₂——墩顶的水平变形;
ΔX₁——承台顶的水平变形;

L ——墩高;
 θ ——承台顶的转角。
由此可知,考虑原设计值及盾构施工影响的叠加效应后,高铁桥墩的变形指标满足规范要求。

4.2 桩基内力及强度分析

对盾构施工过程中既有高铁桩基的弯矩和轴力增量进行考察,如图 6 及图 7 所示。

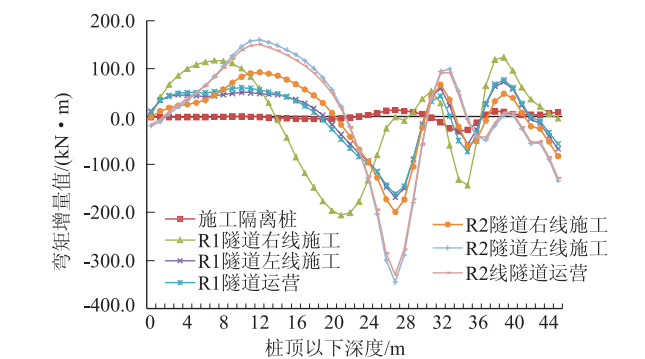


图 6 施工过程中桩身弯矩增量

由图 6 可知,隔离桩施工时,104 号桥桩的最大弯矩增量值为 -30.1 kN ;线 1 隧道施工时,最大弯矩增量值为 $-221.43\text{ kN}\cdot\text{m}$;考虑远期规划的线 2 施工后,

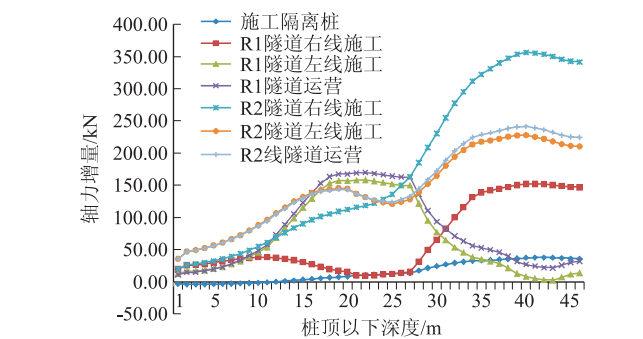


图 7 施工过程中轴力增量($\text{kN}\cdot\text{m}$)

最大弯矩增量值为 $-345\text{ kN}\cdot\text{m}$ (负值表示隧道侧受压)。施工过程中的弯矩增量最大值发生在线 1 右线位置处。

由图 7 可知,隔离桩施工时,桩身轴力产生一定增加,增加量为 40 kN ;线 1 隧道施工阶段,桩身轴力增加量为 170 kN ;考虑远期规划线 2 施工后,桩身最大轴力增加量为 356 kN 。轴力在线 1 右线标高上方基本无变化,在线 1 右线标高下方迅速增大,在其标高线下方 10 m 位置处达到最大值,随后趋于稳定。桩身的强度检算如表 4 所示。

表 4 桩身强度检算表

验算截面深度/m	结构情况	原设计弯矩/($\text{kN}\cdot\text{m}$)	原设计轴力/ kN	计入地铁影响后弯矩/($\text{kN}\cdot\text{m}$)	计入地铁影响后轴力/ kN	配筋情况	混凝土压应力/ MPa	截面偏心距/m	核心半径/m	是否满足
0	钢筋混凝土	-1 396.6	2 132	1 415.6	2 128.9	26 ϕ 20	8.316	-	-	是
0	钢筋混凝土	-1 396.6	9 375.20	1415.6	9 410.8	26 ϕ 20	9.075	-	-	是
7	钢筋混凝土	601.1	2 085.15	718.1	2 074.87	26 ϕ 20	3.415	-	-	是
7	钢筋混凝土	601.1	8 363.24	718.1	8 266.87	26 ϕ 20	6.498	-	-	是
18	素混凝土	0	1 991.38	147.5	1 998.92	0	1.580	0.098	0.375	是
18	素混凝土	0	6 550.16	147.5	6 504.14	0	4.134	0.030	0.375	是
27	素混凝土	0	1 921.07	345.2	1 938.45	0	2.145	0.237	0.375	是
27	素混凝土	0	5 171.29	345.2	5 002.05	0	3.881	0.092	0.375	是

由表 4 可知,考虑盾构引起的附加内力后,桩基的强度满足《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》^[6] 要求。

5 结论及建议

通过数值计算的手段,对地铁盾构下穿既有高铁桥梁进行安全评估,经计算,考虑原设计状态及盾构施工引起的增量后,高铁桥梁的变形指标满足规范要求,强度指标及承载力指标在原设计允许范围内,从既有桥梁结构安全的角度,地铁从高铁 104 ~ 105 号墩间穿越方案可行。

为降低盾构施工过程中既有桥梁结构的安全风险,提出如下建议:

- (1) 重视管片间接缝的可靠性设计,避免运营期

间渗水,穿越高铁段的管片结构设计建议适当提高结构重要性系数。

- (2) 为避免防护桩塌孔对高铁墩顶水平变形造成影响,桥下对应的防护桩应采取防塌孔措施。

- (3) 加强防护桩设计检算,保证强度满足受力要求。

- (4) 为确保地铁施工、运营期间既有高铁的运营安全,建议对铁路桥梁变形监测,并制定应急处理预案。

参考文献:

[1] TB 10621 - 2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621 - 2014 Code for Design of High Speed Railway[S].

通过技术创新、严密筹划、精心施测和多方案比
算,确保了兰新高铁精密测量建网和复测成果满足线
下工程施工、线上无砟轨道铺设和精调、构筑物结构变
形监测的需要,实现了勘测设计、施工建设和运营维护
各阶段控制网的“三网合一”,按时完成了各项任务,
成果正式交付使用后,经兰新高铁甘青公司和新疆公
司组织的测量咨询评估单位评估验收,证明测量精度
满足要求,成果正确可靠,效果良好。

参考文献:

[1] 卢建康,刘华. 高速铁路精密工程测量技术体系的建立及特点
[J]. 铁道标准设计, 2010,54(S1): 70-73.
LU Jiankang, LIU Hua. Establishment and Characteristics of Precise
Engineering Survey Technology System and Characteristic for High -
speed Railway [J]. Railway Standard Design, 2010, 54 (S1):
70-73.

[2] 卢建康,任自珍,岑敏仪. 客运专线无砟轨道施工平面控制网优化
设计[J]. 铁道工程学报, 2007,24(8):49-52.
LU Jiankang, REN Zizhen, CEN Minyi. Optimum Design of Plane
Control Net for Construction of Ballastless Track of Passenger
Dedicated Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society,
2007, 24(8):49-52.

[3] 安国栋. 高速铁路精密工程测量技术标准的研究与应用[J]. 铁道
学报, 2010,32(2):98-104.
AN Guodong. Study on Technical Standard for Precise Engineering
Surveying of High - speed Railways and Its Applications [J]. Journal
of the China Railway Society, 2010, 32(2): 98-104.

[4] 周东卫. 高速铁路精密工程测量管理关键控制环节及对策[J]. 工
程勘察, 2015,43(6): 66-72.
ZHOU Dongwei. The Key Control Elements for Precise Engineering
Surveying Management of High-speed Railway [J]. Geotechnical

Investigation & Surveying, 2015, 43(6): 66-72.

[5] GB/T 18314-2009 全球定位系统(GPS)测量规范[S].
GB/T 18314-2009 Code for global position system (GPS) surveys
[S].

[6] 铁建设[2006]189号, 客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规
定[S].
Tie Jian She[2006] No. 189, Provisional Regulations for Survey of
Ballastless Track Engineering Surveying for Passenger Dedicated Line
[S].

[7] TB 10601-2009 高速铁路工程测量规范[S].
TB 10601-2009 Code for Engineering Survey of High Speed Railway
[S].

[8] GB/T 12897-2006 国家一、二等水准测量规范[S].
GB/T 12897-2006 Code for The First and Second Order Leveling
[S].

[9] 任晓春,周东卫. 高速铁路 CP0 基线解算中天顶对流层参数估计
研究[J]. 铁道标准设计, 2014,58(11): 36-40.
REN Xiaochun, ZHOU Dongwei. Research on Estimation of
Parameters of Zenith Troposphere with CP0 Baseline Resolution for
High - speed Railway [J]. Railway Standard Design, 2014,
58(11): 36-40.

[10] 周东卫. 高速铁路 CP0 基线解算中起算点坐标精度研究[J]. 铁
道标准设计, 2014,58(12): 40-44.
ZHOU Dongwei. Research on Accuracy of Initial Point Coordinate in
CP0 Baseline Resolution for High-speed Railway [J]. Railway
Standard Design, 2014, 58(12): 40-44.

[11] 周东卫. 高速铁路 CP0 框架控制网数据处理模式与方法研究
[J]. 铁道标准设计, 2015,59(3): 11-16.
Zhou Dongwei. Research on Data Processing Mode and Method for
CP0 Frame Control Network of High-Speed Railway [J]. Railway
Standard Design, 2015, 59(3): 11-16.

(编辑:车晓娟 张红英)

(上接第 65 页)

[2] TB 10002-2017 铁路桥涵设计规范[S].
TB 10002-2017 Code for Design on Railway Bridge and Culvert
[S].

[3] 彭坤,陶连金,高玉春,等. 盾构隧道下穿桥梁引起桩基变位的数
值分析[J]. 地下空间与工程学报,2012,8(3):485-489.
PENG Kun, TAO Lianjin, GAO Yuchun, et al. Numerical Analysis of
Bridge Pile Deformation Caused by Shield Tunnel Construction [J].
Journal of Underground Space and Engineering, 2012, 8 (3):
485-489.

[4] 江帆,胡群芳,黄宏伟. 盾构隧道施工 Plaxis 2D 数值模拟分析
[J]. 现代隧道技术,2010,(S1):366-369.

JIANG Fan, HU Qunfang, HUANG Hongwei. Plaxis 2D Numerical
Simulation Analysis of Shield Tunneling Construction [J]. Modern
Tunnelling Technology, 2010,(S1):366-369.

[5] 费康,张建伟. ABAQUS 在岩土工程中的应用[M]. 北京:中国水
利水电出版社,2010.
FEI Kang, ZHANG Jianwei. Applications of ABAQUS in Soil
Engineering[M]. Beijing: China WaterPower Press,2010.

[6] TB 10002.3-2005 铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设
计规范[S].
TB 10002.3-2005 Code for Design on Reinforced and Prestressed
Concrete Structure of Railway Bridge and Culvert[S].

(编辑:车晓娟 苏玲梅)