

绍兴轨道交通 1 号线建设中的文物保护

王丽佳¹ 贾波² 黄龙² 计国贤²

(1. 绍兴文理学院元培学院, 312000, 绍兴; 2. 绍兴市轨道交通集团有限公司, 312000, 绍兴//第一作者, 工程师)

摘要 介绍了绍兴轨道交通 1 号线沿线文物分布情况。为确保轨道交通 1 号线沿线文物的安全, 结合文物安全检测情况, 通过数值模拟计算, 详细分析及评估了轨道交通 1 号线建设对沿线文物安全的影响。制定了基于文物安全稳定性的控制指标, 提出了临时预加固及实时监测方案, 为绍兴古城风貌及文物的保护提供保障。

关键词 城市轨道交通; 文物保护; 结构监测

中图分类号 U231.3; TU-87

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2023.01.051

Study on Cultural Relics Protection in the Construction of Shaoxing Rail Transit Line 1

WANG Lijia, JIA Bo, HUANG Long, JI Guoxian

Abstract The distribution of cultural relics along Shaoxing Rail Transit Line 1 is introduced. To ensure the safety of cultural relics along the line, during the construction considering the safety detection of cultural relics and through numerical simulation, the impact of the metro line construction on cultural relics safety is thoroughly analyzed and evaluated. The control index based on the safety and stability of cultural relics is formulated, and temporary pre-reinforcement and real-time monitoring scheme is put forward, guaranteeing the protection of Shaoxing ancient urban landscape and cultural relics.

Key words urban rail transit; protection of cultural relics; structural monitoring

First-author's address Yuanpei College, Shaoxing University, 312000, Shaoxing, China

绍兴是 1982 年国务院首批公布的全国 24 座国家历史文化名城之一, 具有深厚的文化底蕴和丰富的历史文化遗存, 保存有众多历史名人故居以及较为完整的古城整体格局, 在我国的历史文化名城保护体系中具有重要的地位和影响力。在绍兴城市轨道交通线网体系中, 轨道交通 1 号线从北向南贯穿历史古城区, 在改善古城交通条件的同时, 也对古城、街区和文物古迹等遗产体系的保护带来了影响。如何趋利避害, 在减小城市轨道交通对遗产保

护负面影响的同时, 最大程度地利用城市轨道交通对古城社会经济发展的促进作用, 成为了绍兴轨道交通建设乃至城市规划、名城保护、城市综合交通体系规划的重要课题, 对于全社会针对城市轨道交通建设与遗产保护形成共识也具有重要的意义。

本文在对绍兴轨道交通 1 号线(以下简称“1 号线”)沿线文物进行结构安全检测的基础上, 通过数值模拟提出了文物变形控制指标, 并制定了文物保护方案。根据现场监测数据验证了相关保护措施的有效性, 可为后续城市轨道交通线路规划与实施中的文物保护研究提供工程经验和技術指导。

1 绍兴轨道交通规划及建设情况

根据 2015 年绍兴市政府批复的《绍兴市城市轨道交通线网规划》, 绍兴市轨道交通线网由 6 线 1 支组成, 总长约为 262.0 km, 共设车站 127 座, 其中两线换乘站 14 座。2016 年 5 月, 国家发改委批复了《绍兴市城市轨道交通第一期建设规划(2016—2021 年)》, 规划建设轨道交通 1 号线主线、1 号线支线工程和轨道交通 2 号线(以下简称“2 号线”)一期工程, 其中 1 号线全长为 34.1 km, 共设车站 24 座, 2 号线一期全长为 10.8 km, 共设车站 9 座。目前, 1 号线和 2 号线一期工程均在建设中, 1 号线计划于 2022 年通车, 2 号线一期计划于 2023 年通车。绍兴市城市轨道交通线网规划截图(2015 年批复)如图 1 所示。



图 1 绍兴市城市轨道交通线网规划截图(2015 年批复)
Fig. 1 Screenshot of Shaoxing urban rail transit line network planning (approved in 2015)

2 1 号线文物古迹分布情况

绍兴至今保存着丰富的文物古迹,在市区范围内有文物保护单位约 235 处,其中全国重点文物保护单位约 24 处,浙江省文物保护单位 32 处,绍兴市文物保护单位约 179 处。古城范围内有 8 处全国重

点文物保护单位、6 处省级文物保护单位、31 处市级文物保护单位。1 号线南北向沿解放路贯穿古城,沿线涉及 3 处世界文化遗产、3 处全国重点文物保护单位、2 处浙江省文物保护单位、2 处绍兴市文物保护单位及 4 处绍兴市文物保护点。1 号线沿线涉及的文物保护单位汇总如表 1 所示。

表 1 1 号线沿线涉及的文物古迹汇总
Tab. 1 Summary of cultural relics involved along Line 1

序号	文物古迹名称	类别	时代	文物古迹信息
1	大善塔	古建筑	明代	全国重点文物保护单位
2	钱业会馆	古建筑	清代	省级文物保护单位
3	小江桥	古建筑	民国	市级文物保护点
4	布业会馆	古建筑	清代	省级文物保护单位
5	绍兴鲁迅故里	近现代重要史迹	清代	国家级文物保护单位
6	大庆桥	古建筑	明代	市级文物保护点
7	景宁桥	古建筑	明代	市级文物保护点
8	章学诚故居	古建筑	清代	市级文物保护单位
9	应天塔	古建筑	明代	市级文物保护单位
10	建安桥	古建筑	明代	市级文物保护点
11	大运河浙东运河绍兴段(环城河)	古建筑	春秋战国	世界文化遗产
12	蔡元培故居	近现代重要史迹代表建筑	近代	全国重点文物保护单位
13	大运河浙东运河绍兴段(下大路河)	古建筑	春秋战国	世界文化遗产
14	秋瑾纪念碑	革命遗址及革命纪念建筑物	民国	全国重点文物保护单位
15	大运河浙东运河绍兴段(凤则江)	古建筑	春秋战国	世界文化遗产

3 城市轨道交通建设对文物古迹的影响

城市的发展需要城市轨道交通的建设,而文物保护是城市发展的文化魂魄。建设城市轨道交通对文物保护存在较大的影响,这其中既有正面的促进作用,也有负面的破坏影响^[1]。

3.1 正面促进作用

绍兴市的古城古迹主要分布在越城老城区内,且较多地分布于绍兴市老城区主要道路干线两侧,如解放路、胜利路和延安路等,有的甚至分布在道路中间(如秋瑾纪念碑),限制了老城区主要道路的扩展。建设城市轨道交通系统可以减少城市道路修建规模和机动车环境污染,能够有效改善老城区道路资源紧张、交通供需矛盾突出的现状。

3.2 负面破坏影响

城市轨道交通建设可能对地下的未知文物存在破坏性损害。由于城市轨道交通多为地下结构,车站和盾构施工将对未探明的地下文物遗址产生破坏性损害。地面线及高架线可能会对文物风貌保存及文物周边景观产生负面影响。另外,城市轨道交通车站、区间隧道施工等都将在一定程度上造成周边土体沉降、地面变形^[2],进而影响线路周边

文物结构的安全,对文物造成破坏。若运营中的城市轨道交通线路所采取的减振措施不当,传到地面的振动值将超过文物本体所能承受的振动允许值,会对其结构安全造成一定的危害。

4 城市轨道交通沿线文物古迹保护措施

为使绍兴轨道交通建设对文物古迹的影响降到最低,确保古城区文物遗址的安全,从规划设计、建设施工、通车运营三方面采取有效的文物保护措施,经过反复论证和技术攻关,最终达到建设方案最优、施工精准、安全可靠的施工效果。

4.1 规划设计阶段

在进行城市轨道交通线网规划、建设规划及工程可行性研究初步设计阶段,通过深入研究、细化论证,编制文物影响评估报告及文物保护措施方案,通过国家、省、市各级文保部门的审批。主要工作流程如下。

4.1.1 文物遗址调查和文物结构检测

在规划设计阶段,根据 1 号线线路走向,着重调查沿线文物遗址分布情况,对有可能涉及文化层的车站进行专项文物勘探工作。结合调查情况,对 1 号线所涉及的文物进行专项结构安全性

检测,根据检测结果评定文物结构健康状况,对大善塔、秋瑾纪念碑等重要建筑结构通过模拟计算,结合相关文献案例^[3-5]、GB/T 50452—2008《古建筑防工业振动技术规范》、GB 50894—2013《机械工业环境保护设计规范》和 GB 50157—2013《地铁设计规范》,提出文物的沉降、倾斜和振动等控制指标。

4.1.2 编制文物影响评估报告

在初步设计阶段,通过研究 1 号线线路站位设置对周边文物的影响,编制完成文物影响评估报告,优化 1 号线车站及盾构隧道设置。在设计盾构隧道 3 次穿越世界文化遗产——大运河浙东运河绍兴段(环城河)时,采取加大埋深措施,使盾构隧道结构顶的覆土埋深不小于 2 倍盾构直径,最大限度地减少施工期对大运河的影响。1 号线与大运河位置关系如图 2 所示。在设计盾构隧道穿越全国重点文物保护单位——秋瑾纪念碑时,在加大隧道埋深的同时增大线间距,从秋瑾纪念碑两侧绕行穿越,从平面上避开文物本体以确保盾构隧道施工时的文物安全。1 号线与秋瑾纪念碑位置关系如图 3 所示。另外,在车站距离文物较近的情况下,采用加强基坑围护支撑强度和刚度的措施,针对性地进

行基坑土地加固,以减少施工时的基坑变形及地面不均匀沉降对文物本体的影响。文物古迹结构安全控制指标如表 2 所示。

表 2 文物古迹结构安全控制指标
Tab.2 Safety control index of cultural relics structure

文物古迹名称	最大沉降 控制值/ mm	差异沉降 控制值/ mm	隆起 控制值/ mm	倾斜率 控制值/ ‰	振动速度 限值/ (mm/s)
钱业会馆	≤25	≤10	≤10	≤6	≤0.29
小江桥	≤20	≤10	≤10		≤0.60
大善塔	≤15	≤8	≤10	≤2	≤0.20
布业会馆	≤20	≤10	≤10	≤6	≤0.29
大庆桥	≤13	≤6	≤10		≤0.45
景宁桥	≤15	≤8	≤10		≤0.60
章学诚故居	≤20	≤8	≤10	≤5	≤0.29
应天塔	≤20	≤8	≤10	≤3	≤0.45
建安桥	≤15	≤7	≤10		≤0.60
环城河	≤20		≤10		
蔡元培故居	≤20	≤10	≤10	≤4	≤0.18
下大路河	≤15		≤10		
秋瑾纪念碑	≤20	≤10	≤10	≤5	≤0.20
凤则江	≤20		≤10		

4.1.3 数值模拟计算

通过数值模拟计算评估文物的结构安全。根据地铁车站及区间设计方案、文物与地铁间距,针对地铁施工对文物保护的影响,采用 Plaxis 及 Midas GTS 有限元软件进行施工模拟计算,主要分析施工引起的地面沉降对文物的影响。由于布业会馆、钱业会馆、章学诚故居及应天塔距离 1 号线较远,本文不对其进行影响分析计算。部分文物结构沉降计算值如表 3 所示。由表 3 可知,这些文物在施工阶段的沉降量均在控制指标内,文物结构处于安全可控范围。

表 3 部分文物古迹结构沉降计算值

Tab.3 Calculation values of some cultural relics structural subsidence

文物古迹名称	最大沉降 计算值/ mm	最大沉降 控制值/ mm	文物古迹名称	最大沉降 计算值/ mm	最大沉降 控制值/ mm
小江桥	1.53	≤20.00	建安桥	1.60	≤15.00
大善塔	2.41	≤15.00	环城河	1.52	≤20.00
大庆桥	6.83	≤13.00	下大路河	1.61	≤15.00
景宁桥	2.20	≤15.00	秋瑾纪念碑	2.32	≤20.00
凤则江	1.10	≤20.00			

4.1.4 轨道减振措施

采取轨道减振措施,减少 1 号线运营振动的影响。1 号线运营期间的影响主要为列车运行引起的振动。当列车在轨道上运行时,由于轮轨间相互作用

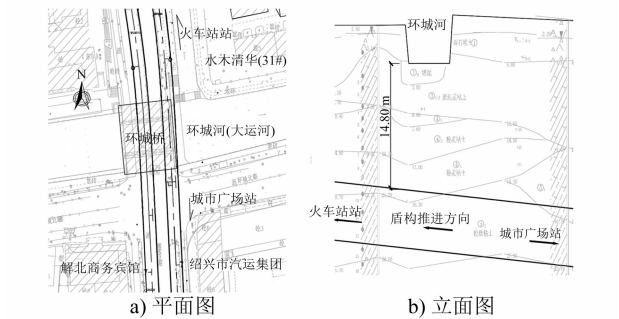


图 2 1 号线与大运河位置关系图

Fig.2 Location diagram of Line 1 and the Grand Canal

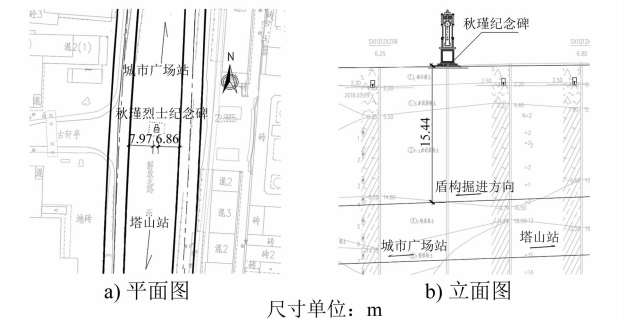


图 3 1 号线与秋瑾纪念碑位置关系图

Fig.3 Diagram of the location relation of Line 1 and Qiuqin Martyr Monument

会产生撞击振动、滑动振动和滚动振动,经轨枕、道床传递至隧道衬砌,再传递至地面,进而引起地面建筑物的振动。在1号线工程的减振设计方案中,对振动超标地段采用最高等级减振措施——液体阻尼钢弹簧浮置板道床,能够合理、经济地将1号线运行时对历史文物建筑产生的影响控制在规范允许范围内。

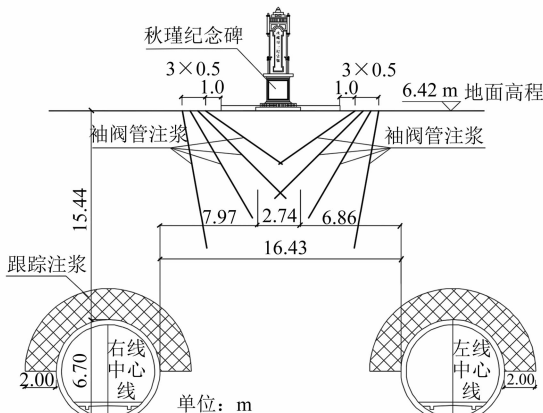
4.1.5 文物本体临时支护加固

根据文物结构检测结果,对塔、碑和桥等容易受到施工影响的结构采取临时支护、预埋注浆管等加固措施,确保文物本体的安全。1号线塔山站基坑临近文物保护点大庆桥,直线距离仅3.1 m。为了确保施工期间的文物安全,预先对桥体采用脚手架支护,减少车站基坑施工变形对文物的影响。大庆桥预加固照片如图4所示。1号线在穿越秋瑾纪念碑前,在碑体地基周边预埋袖阀管,根据盾构穿越过程中碑体的监测情况对其进行注浆加固。秋瑾纪念碑预加固方案示意图如图5所示。



图4 大庆桥预加固照片

Fig. 4 Picture of pre-reinforcement of Daqing Bridge



注: 3×0.5 表示 4 个袖阀管注浆孔的间距为 0.5 m。

图5 秋瑾纪念碑预加固方案示意图

Fig. 5 Diagram of pre-reinforcement scheme of Qiuji Monument

4.2 建设施工阶段

1) 文物专项施工监测。在施工阶段,根据文物结构安全检测研究结果,明确每处文物保护单位

现状保存状况、工程关系、监测内容及监测控制指标,并在施工期间委托文物监测专业单位对各个文物进行专项监测,对于等级较高、结构敏感的塔、桥、碑等文物进行24 h全自动监测。

2) 严格落实施工工艺。在经过文物保护的区间隧道选择影响较小的盾构法施工,当盾构临近文物保护单位时,在严格控制盾构方向的同时及时调整盾构机的掘进系数,适当降低盾构刀盘转速,增加刀盘推力和同步注浆量,以减小对周边文物的扰动。当采用明挖法车站施工时,严格落实文物保护方案和车站设计方案,以确保文物结构的安全。

3) 严格落实应急预案。为保证文物安全,建设单位、设计单位和施工单位等应成立文物保护专项小组,制定应急预案并配备足够的专项巡视人员,经常在现场进行抢险演练。如有异常情况,根据应急预案采取措施,并将现场情况及时通知各相关单位。

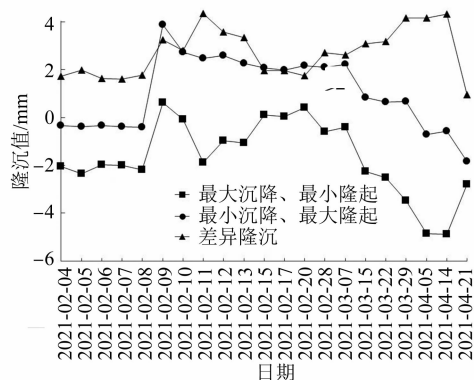
5 文物保护实施效果

5.1 施工期间地面位移监测

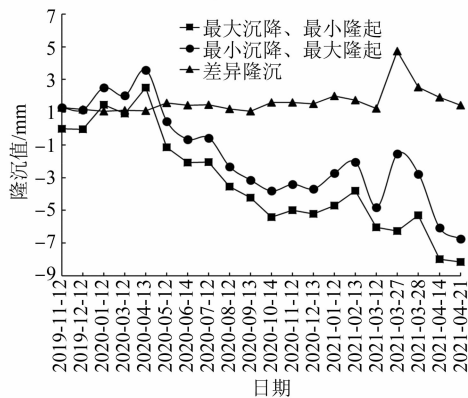
1号线盾构于2021年2月7日开始穿越全国重点保护文物秋瑾纪念碑,于2021年2月9日盾构机整体离开碑体。秋瑾纪念碑的隆沉监测图如图6 a)所示。由图6 a)可知,盾构穿越过程中,地面最大隆起量约为4.0 mm(控制值为10.0 mm),在2021年4月21日施工完成后,地面最大沉降量约为5.0 mm(控制值为20.0 mm),最大差异隆沉量为4.3 mm(控制值为10.0 mm),均小于控制指标。1号线城市广场站临近全国文物保护单位大善塔,大善塔的隆沉监测图如图6 b)所示。由图6 b)可知,在1号线城市广场站施工过程中,大善塔本体最大沉降量约为8.2 mm(控制值为15.0 mm),最大差异隆沉量为4.7 mm(控制值为8.0 mm),均小于控制指标。1号线塔山站基坑临近全国文物保护单位大庆桥,大庆桥的隆沉监测图如图6 c)所示。由图6 c)可知,在1号线施工过程中,大庆桥最大隆起量约为9.3 mm(控制值为10.0 mm),最大沉降量约为12.6 mm(控制值为13.0 mm),最大差异隆沉量约为7.9 mm(控制值为8.0 mm),基本满足控制指标要求。

5.2 施工期间振动监测

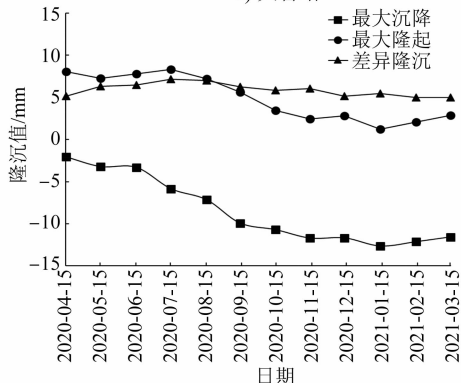
秋瑾纪念碑的振动监测图如图7 a)所示。由图7 a)可知,1号线盾构穿越秋瑾纪念碑施工期间的最大振动速度为0.26 mm/s,仅个别数据超过控制值,其余均小于控制值0.20 mm/s。大善塔的振



a) 秋瑾纪念碑



b) 大善塔

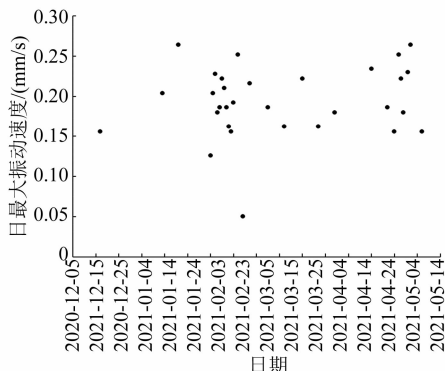


c) 大庆桥

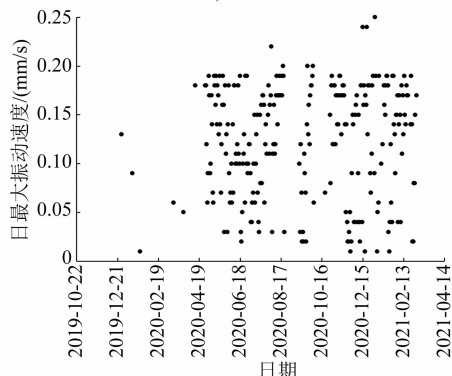
图 6 不同日期下 3 个文物古迹的隆沉监测图

Fig. 6 Heave and subsidence monitoring diagram of three cultural relics on different dates

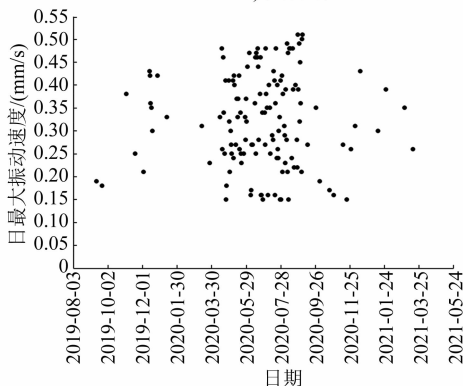
动监测图如图 7 b) 所示。由图 7 b) 可知,在 1 号线城市广场站施工过程中,大善塔本体的最大振动速度为 0.25 mm/s,仅个别数据超过控制值,其余均小于控制值 0.20 mm/s。大庆桥的振动监测图如图 7 c) 所示。由图 7 c) 可知,由于 1 号线塔山站基坑距离大庆桥本体较近,在车站施工过程中,桥体振动速度的小部分数据超过了控制值,最大振动速度为 0.51 mm/s,但大部分数据小于控制值 0.45 mm/s。经现场勘察分析,桥体结构基本处于安全状态。



a) 秋瑾纪念碑



b) 大善塔



c) 大庆桥

注: 图中各分图的施工前振动速度监测值分别为 0.15 mm/s、0.10 mm/s、0.42 mm/s。

图 7 不同日期下 3 个文物古迹的振动监测图

Fig. 7 Vibration monitoring diagram of three cultural relics on different dates

通过监测 1 号线施工期间文物的变形和振动,可以实时地了解文物的结构安全状况。综上所述,1 号线施工期间,各个文物安全状态良好,变形及振动数据基本处于安全可控范围。

6 结语

文物是历史文明的载体,是不可再生的珍贵资源,也是人类文明的瑰宝,要全面贯彻“保护为主、抢救第一、合理利用、加强管理”的工作方针,切实

加大文物保护力度。因此妥善处理城市轨道交通建设与沿线文物之间的关系是建设过程中的主要难题和重大使命。轨道交通建设对文物的影响主要表现为:① 主体沉降、振动等导致文物结构出现沉降、变形及倾斜,进而影响文物的结构安全;② 轨道交通建筑结构与文物风貌的不协调导致对文物周边景观产生负面影响。

本文通过检测文物结构、评估影响及分析数值计算结果,结合相关规范要求及国内外类似工程经验,提出基于文物结构安全的沉降、倾斜、变形、振动等文物保护控制指标,并在此基础上确定监测控制值以确保文物结构安全。在设计上采用线路站位绕避、加大隧道深埋、加强基坑强度、加设轨道减振构件和文物本体预加固等措施,通过加强对地面环境的实时动态监测、信息化动态施工等方法,最大程度地减少城市轨道交通建设和运营对文物产生的不利影响。

根据施工监测结果,绍兴轨道交通 1 号线在建设过程中采取上述措施后,能够较好地控制施工过程中对周边土层的扰动变形和振动影响,有效减少了 1 号线施工对沿线文物的影响,对后期线路的建设具有较大的借鉴意义。

参考文献

- [1] 伍建国,徐明,王安理,等. 西安市轨道交通周边文物保护问

题研究与实践[J]. 都市轨道交通,2011,24(5):38.

WU Jianguo, XU Ming, WANG Anli, et al. On the protection of cultural relics around Xi'an Subway[J]. Urban Rapid Rail Transit,2011,24(5):38.

- [2] 陈志华,李楠. 地铁站施工对邻近文物建筑的影响研究[J]. 路基工程,2016(3):65.

CHEN Zhihua, LI Nan. Study on influence of metro station construction on adjacent historical and cultural relics building[J]. Subgrade Engineering,2016(3):65.

- [3] 秦东平. 地铁施工变形对邻近建筑物安全影响分析[D]. 北京:北京交通大学,2016.

QIN Dongping. Analysis of the influence of deformation in metro construction on the safety of adjacent buildings[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2016.

- [4] 魏广文. 北京地铁盾构隧道施工引起的地表沉降及建(构)筑物的变形控制标准研究[D]. 北京:北京交通大学,2008.

WEI Guangwen. Study on standard of the ground surface settlement and structures deformation induced by shield tunnelling construction in Beijing Subway[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2008.

- [5] 朱衍峰,周晓军,邓彬. 地铁施工中地下建筑物对地表沉降的控制标准[J]. 四川建筑,2008,28(1):86.

ZHU Yanfeng, ZHOU Xiaojun, DENG Bin. Control standard of underground buildings on surface subsidence in subway construction[J]. Sichuan Architecture, 2008,28(1):86.

(收稿日期:2021-12-01)

(Continued from Commentary)

Higher quality rail transit, first of all, is the precise supply in compliance with demand, benefiting the bigger crowds in more regions by diversified modes and innovative technology services. Consequently, various modes of rail transit other than metro are needed. For example, by making one-network-broad-coverage through three '1 000-kilometre', intercity railway network in major urban clusters is constructed as a headstart, pushing forward development of city (suburban) railway and urban rail transit in major metropolises. Rail transit will no longer be a signature of 'downtown', but also belongs in the life of every local citizen. In addition to metro of large traffic volume, city (suburban) railway and multi-format low-volume urban rail transit are also needed, to manifest a similar sense of 'attainability' to crowds in different regions.

Higher quality rail transit is also the resilience in facility, service and even requirements. It will be the most resilient meridian flowing through the city operation support system. In the three years of pandemic, all aspects of city operation and citizen traveling are affected, and the passenger volume recovery of rail transit shows earlier signs than other statistic indicators, 'when spring spreads warmth in river for it's coming, the ducks know first', which also has proven the unparalleled importance of rail transit to a city. An overall deployment with systematic and consistent approach is necessary for whether it is design and maintenance of lines, stations and equipment, or operation management-control, emergency protection and incident countermeasures, so that citizens have a substantially reliable system to turn to under all circumstances.

Higher quality rail transit is the more convenient service through digital transformation as well. Passenger flow health management requirements during pandemic has promoted the intelligent transformation of rail transit operation management externally. The widespread of various digital payments, especially passengers' acceptance and adaptivity to it, have improved travel efficiency and invited organization of urban space and activities 'centering rail transit stations'. Relying on the prioritized digital transformation of rail transit network and information network, from rail transit construction leading urban spatial structure optimization to leading life and production organization forms to change, from intensive transport means to integrated travel platform centering railway and organizing high-quality transport service of various transport means, rail transit affords these new opportunities and responsibilities.

Better city, better life to 2023. Let high quality rail transit bring vitality, efficiency and resilience to our cities!

(Translated by ZHANG Liman)