

传统木结构建筑木柱预防性保护问题

——基于真实模拟实验成果的初步解析

陈琳¹, 徐静^{2,3}, 余嘉^{2,3}, 戴仕炳¹

(1. 同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200092; 2. 上海融创房地产开发集团有限公司, 上海 200051;

3. 苏州绿城玫瑰园房地产开发有限公司, 江苏苏州 215000)

摘要: 木柱作为传统木结构建筑的重要结构, 其耐久性是影响其使用性能的关键。我国对传统木结构建筑的保护理念逐渐从定性判断转向定量分析, 使得预防性保护更具科学性。本文在对现存传统木结构建筑木柱的耐久性现状进行定性分析的基础上, 采用真实模拟方法, 分析不同因素对木柱耐久性的影响, 为传统木结构建筑乃至新建木结构建筑的预防性保护提供科学依据。

关键词: 传统木结构建筑; 木柱; 预防性保护; 耐久性; 定量实验分析

[中图分类号] TU366.2

[文献标识码] A

Essentials of Preventive Conservation for Wooden Columns in Traditional Chinese Wooden Structures

—— Preliminary Interpretation based on the Results of Real Simulation Experiments

Chen Lin¹, Xu Jing^{2,3}, Yu Jia^{2,3}, Dai Shibing¹

(1. School of Architecture & Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai Rong Chuang Real Estate Development Group Co., Ltd., Shanghai 200051, China;

3. Suzhou Green City Rose Garden Real Estate Development Co., Ltd., Suzhou Jiangsu 215000, China)

Abstract: As an important structure of traditional wooden structure building, the wooden column is the key factor that affects its performance. The protection concept of traditional wooden structures has gradually changed from qualitative judgment to quantitative analysis, making the preventive conservation more scientific. Based on a qualitative analysis of the durability status of the existing wooden columns in traditional wooden structures, this paper adopts real simulation experiments to analyze the influence of different factors on the durability of wooden columns, with a view to provide scientific basis for the preventive protection of traditional wooden structure building or even the newly-built wooden structure building.

Key words: traditional wooden structures; columns; preventive conservation; durability; quantitative test analysis

我国公布的全国重点文物保护单位^[1]和近年来的新中式建筑, 仍以木结构建筑为主要建筑体系, 但是从木结构建筑保存现状来看, 现存建筑数量与历史时间并不成比例。影响传统木结构建筑留存的因素除了倾斜、歪闪、扭转等结构性问题外, 材料方面的木材耐久性也是决定其寿命的重要因素。

1 木柱预防性保护的意義

1.1 木柱耐久性现状分析

木柱作为木结构建筑中重要的纵向承重结构, 其与墙连接以及与地面连接处, 恰恰是易于被忽视的重要构造节点。木柱嵌于墙中, 通风性较差, 不利于木材中的水分与环境进行交换, 易于出现腐朽、虫蛀等病害(见图1红框), 而同一建筑中置于空气畅通环境下且未与墙连接的部分, 材质状况明显更佳(见图1黄框)。此外, 木柱与地面直接连接, 从地面吸收水分, 造成木柱根部含水率过高, 木材易出现腐朽、长青苔的现象(见图2)。在木柱与地面之间

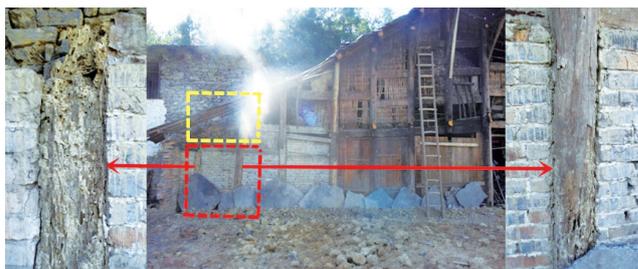


图1 置于墙内木柱出现腐朽、虫蛀等病害(图片来源:作者自摄)



图2 木柱根部吸水出现腐朽、青苔(图片来源:作者自摄)

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51738008); 上海市科委课题(19DZ1202402)。

作者简介: 陈琳(1989-), 女, 博士研究生。研究方向: 建筑遗产保护与再生、木质建成遗产保护。

通讯作者: 戴仕炳(1963-), 男, 博士, 教授、博士生导师。研究方向: 文物保护技术、建筑病害勘查及病理、建筑遗产保护材料、传统建筑材料及工艺。邮箱: daishibing@tongji.edu.cn。

放置柱础，一方面可以防止木材吸收来自地面土壤内的水分，另一方面可以防止土白蚁等木蛀虫对木材造成破坏。但是对有柱础连接的木材，有研究表明，由于石柱础导热系数大于木柱，空气中的水分在石材表面形成冷凝水，木柱通过毛细作用吸收这部分水分而导致含水率上升，形成腐朽虫蛀的隐患^[2]。因此，对于木柱脚处耐久性的考量不仅要考虑节点构造形式，也要从材料表面保护的预防性保护角度来防止木材从石材中吸收水分。

1.2 预防性保护概念的提出及应用

预防性保护(Preventive Conservation)的概念最早是在1930年于罗马的艺术品检查和保护科学方法研究会议中提出来的。其出发点是提倡在文物保护中，应关注整体，注重环境对文物的影响^[3]。古代匠人在建造之初，针对木材特点施用一些预防性的保护技术，在木材与环境之间增加一道保护屏障，保证木材内部的水分处于相对稳定状态，预防木材含水率过高，从而出现腐朽、虫蛀等病害。在现代工业条件下，一般采用专业的木材室外防腐、防霉剂以及表面涂料对木结构建筑表面进行预防性保护^[4-9]。

1.3 相关规范要求

我国现行多部标准^[10-13]明确对建筑木材表面处理提出相关要求，从使用、分类、构造、防腐药剂浸渍量等方面做出相关规定，但现实中由于施工工期、造价、场地限制等原因，对木材的表面保护处理效果差强人意，致使其在一定程度上会降低木材的耐久性，增加建筑后期的维护难度，因此应增强对木材表面的预防性保护措施。

2 从“定性判断”到“定量分析”的实验研究

现阶段对于遗产保护的趋势逐渐从定性走向定量，从抢救性保护转变为预防性保护。对于影响传统木结构建筑耐久性的初步定性判断，需要有定量的数据进行分析验证，精准的数据也为制订科学的预防性保护方案提供了重要依据(见图3)。

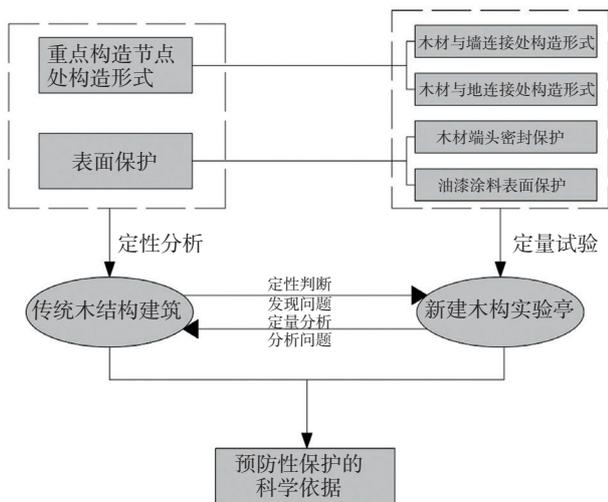


图3 传统木结构建筑预防性保护的定性研究与定量研究过程图 (图片来源:作者自绘)

本文中木柱耐久性预防性保护的定量研究部分采用全真模拟试验法。选择具有江南气候特征的浙江湖州地区，在室外条件下构建实际尺寸木结构试验亭进行室外自

然老化实验。

基于木柱不同的构造形式与表面保护方法会影响到木材的温湿度，继而对木结构木材的耐久性造成影响，实验采用控制变量—单因素分析法，分别以木材与墙的连接形式、木材与地面的连接形式、端头密封保护处理、表面油漆保护四个方面作为实验因素进行木结构试验亭建造(见图4、图5)。通过对建筑本体木材的温湿度进行监测(见图6)，数据选择高湿度江南梅雨季以及低温度冬春季，以表明不同实验因素影响下木材耐久性的变化。

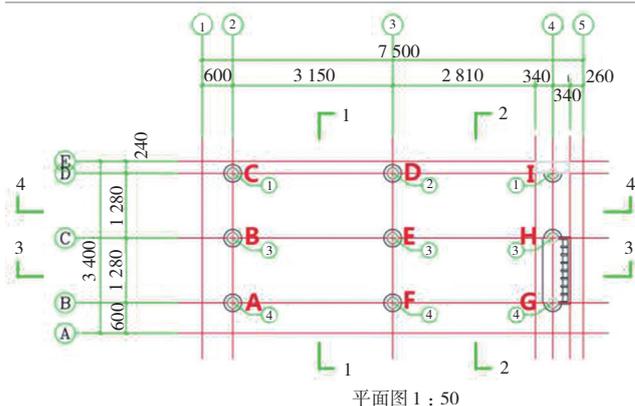


图4 木结构试验亭平面图(图片来源:陈琳策划,孙启祥绘)



图5 木结构试验亭实景图(图片来源:作者自摄)



图6 木柱本体温湿度监测(图片来源:作者自摄)

其中，木柱C、I对比有无砖砌体包裹木柱的不同构造形式对木材耐久性的影响，木柱I被砖砌体包裹(图7中红

框为木柱C, 蓝框为木柱I); 木柱C、D对比不同柱础所形成的不同构造节点对木材耐久性的影响, 木柱C采用实心石材柱础, 木柱D采用空心石材柱础, 木柱D与地面直接接触(见图8); 木柱E、F对比端头不同的表面处理方法对木材耐久性的影响^①, 木柱F端头涂刷端头密封剂^②(见图9); 木柱G、H对比有无油漆表面保护对材质耐久性的影响, 木柱G表面涂刷油漆^③(图7中绿框为木柱G, 黄框为木柱H)。



图7 不同处理方法对比图(图片来源:陈琳)



(a)木柱D采用空心石材柱础 (b)木柱E采用实心石材柱础

图8 采用不同的石材柱础(图片来源:作者自摄)



(a)端头未涂端头密封剂 (b)端头涂刷端头密封剂

图9 采用不同端头处理方法的木柱(图片来源:作者自摄)

3 结果分析

3.1 重要构造节点不同构造形式的耐久性研究结果

3.1.1 砖砌体包裹对木材耐久性的影响(见图10a)

木柱C和木柱I含水率均大于木材纤维饱和点含水率30%^④, 处于木腐菌可快速生长的含水率范围内^⑤。木柱I的含水率一直高于木柱C, 在2019年3月30日趋近于相等。2019年3月29日对木柱I进行了外围的砖砌体包裹实验, 此后两根木柱含水率差异增大, 木柱C含水率波动, 整体呈下降状态, 表明木柱C在伴随室外温湿度变化, 与环境发生一定程度的水分交换, 而木柱I的含水率保持相对稳定, 几乎未与环境进行水分交换。由此得出, 砖砌体

包裹不利于木柱向环境疏散水分, 会降低木材的耐久性。

3.1.2 不同柱础的构造形式对木材耐久性的影响(见图10b)

木柱C和木柱D含水率均大于木材纤维饱和点含水率30%^④, 处于木腐菌可快速生长的含水率范围内^⑤。木柱C与木柱D的含水率交替上升, 在2019年5月20日趋于相等后, 并于2019年5月25日左右呈现出跳跃式增加, 此后木柱D的含水率一直高于木柱C。在相同的环境条件下, 控制其他实验因素, 不同柱础形式对木材含水率存在影响, 木柱D含水率高于木柱C, 而高含水率更易发生木材腐朽、虫蛀。由此可以推测, 木柱D的柱础构造形式会降低木材耐久性。

3.2 不同表面保护方法对木材耐久性的影响结果

3.2.1 端头密封处理对木材耐久性的影响(见图10c-10e)

木柱E和木柱F含水率均大于木材纤维饱和点含水率30%^④, 处于木腐菌可快速生长的含水率范围内^⑤。木柱E的含水率高于木柱F, 在2019年3月12日左右持平, 此后木柱E含水率普遍低于木柱F。木柱F含水率波动与温度呈规律性变化, 即温度升高, 含水率下降。而木柱E含水率与温度并无直接关联, 且木柱E基本处于含水率持平状态。笔者通过对比木柱F发现, 此过程木柱处于向环境释放水分的过程, 而木柱E释放和吸收基本持平, 综上所述说明木柱E有通道在稳定吸收水分, 木柱E的柱础构造形式降低了木材的耐久性。

3.2.2 表面油漆处理对木材耐久性的影响(见图10f)

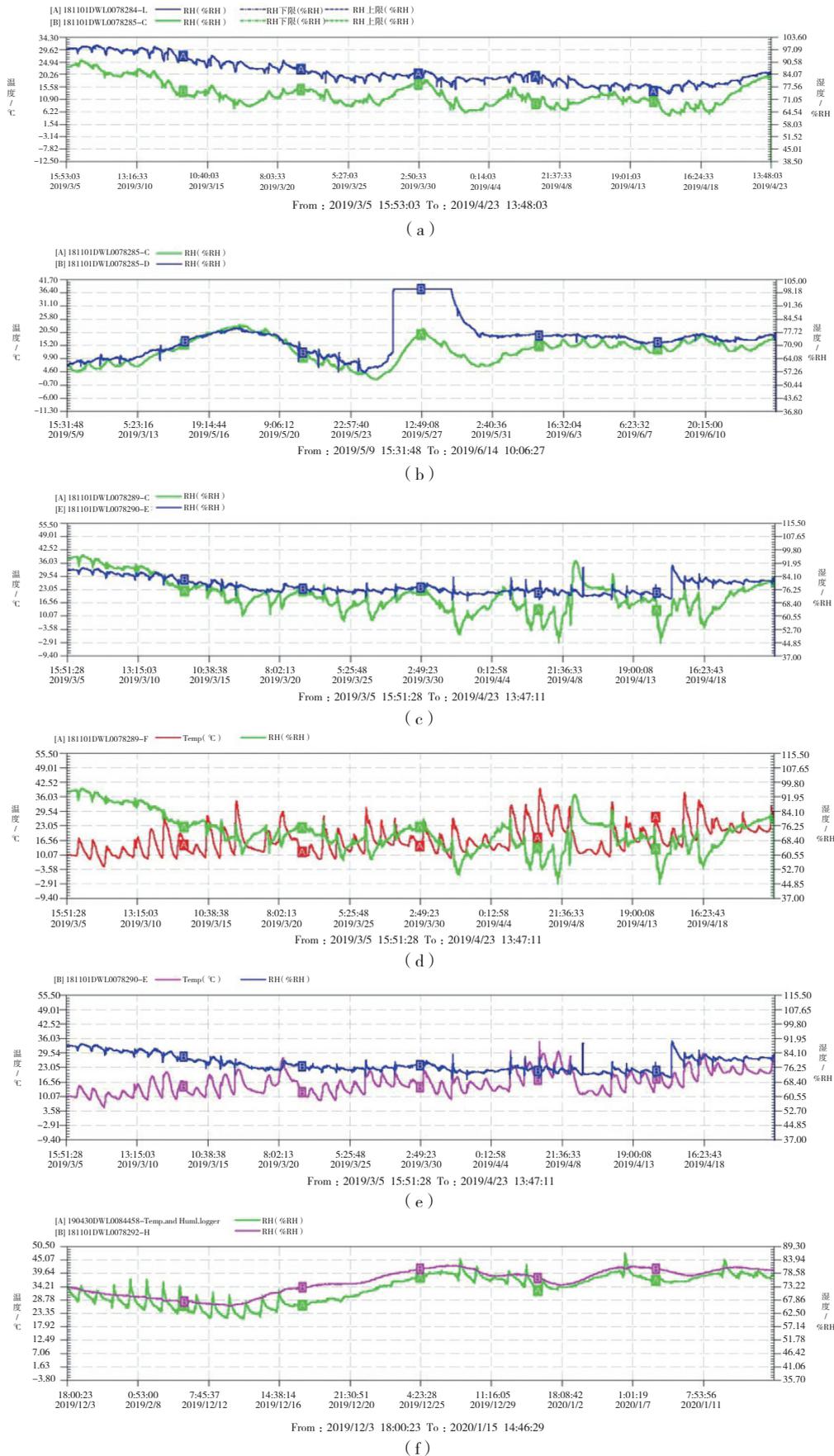
木柱G和木柱H的含水率均大于木材纤维饱和点含水率30%^④, 处于木腐菌可快速生长的含水率范围内^⑤。木柱H的含水率整体高于木柱G, 只有在局部各点处由于木柱G含水率波动较大而偏高, 可忽略不计。由此可见, 木柱H含水率处于更高的水平, 木柱更为潮湿, 也易于出现腐朽、虫蛀等病害, 故进行表面油漆保护的木柱G的耐久性优于未做表面油漆保护的木柱H。

4 结论与展望

4.1 结论

作者通过数据定量分析发现, 砖砌体包裹木柱不利于木柱与环境进行及时有效的的水分交换, 会降低木材的耐久性; 木柱穿过柱础接地面的构造形式, 会增加木柱含水率, 降低木材耐久性; 柱础进行密封处理可以减少木柱根部毛细水的上升, 提升木材耐久性; 木柱表面采取适宜的油漆表面保护, 有利于提高木材耐久性。以上所有量化数据的分析结果与定性判断评估相一致。

基于定性判断与定量分析的结果, 笔者针对现有传统木结构建筑乃至当代新建的木结构建筑, 提出以下几条提高木柱耐久性、预防性保护的基本要点: ①所有木柱必须进行防腐防虫处理; ②所有木柱端头必须进行密封剂涂刷的端头密封性保护处理; ③木柱表面可以进行适宜的表面油漆保护工艺; ④着重处理构造节点处的构造形式, 尤其是木柱与砖砌体连接处, 需考虑木材的通风性, 可以参考国家标准^[11]对木梁、檩、桁架的相关规定, 保留30mm以上的通风缝, 不适合做砖砌体围合处理; ⑤木柱与地面的连接需避免直接与地面接触, 于中间放



注：图(a)中绿色、蓝色曲线，分别代表木柱C、木柱I湿度；图(b)中绿色、蓝色曲线，分别代表木柱C、木柱D湿度；图(c)中蓝色、绿色曲线，分别代表木柱E、木柱F湿度；图(d)中红色、绿色曲线，分别代表木柱F温、湿度；图(e)中粉色、蓝色曲线，分别代表木柱E温、湿度；图(f)中绿色、粉色曲线，分别代表木柱G、木柱H湿度。

图10 木柱温湿度监测图(图片来源：作者自绘)

置柱础是必要的。

4.2 展望

由于木材劣化是一个缓慢的过程,需要长时间监测,长久采集数据,因此本文仅研究了部分影响传统木结构建筑木柱耐久性的因素,更全面、更多的数据分析还需在今后的研究中逐步完成。

注释:

①端头密封剂为水性聚氨酯树脂端头密封保护剂。

②所有实验用材均进行防腐防霉处理,选用碧林®油性木材防腐防霉剂 FS-711,为溶剂型防腐防霉剂异噻唑啉酮衍生物等复配物。

③油漆涂料为醇酸类油性漆。

④木材纤维饱和点:木材中不包含自由水,且吸着水达到最大时的含水状态,叫木材的纤维饱和点。此状态下木材的含水率是纤维饱和点含水率。纤维饱和点的含水率因树种而异,其变化范围为23%~33%,平均值为30%。

参考文献

- [1] 国家文物局.第八批“国保”核定 我国切实加强文物保护利用和传承[EB/OL].http://www.sach.gov.cn/art/2019/9/26/art_722_156868.html.
- [2] 陈彦,陈琳,戴仕炳.历史建筑木柱防腐措施研究[J].文物保护与考古科学,2018,30(01):63-71
- [3] Michalski, Stefan. Looking Ahead to Future Challenge[J].CCI Newsletter,2002.

- [4] 曹金珍.国外木材防腐技术和研究现状[J].林业科学,2006(07):120-126.
- [5] 刘能文.防腐木在我国建筑园林木结构中的应用前景广阔[J].中国园林,2006(05):97.
- [6] 许莉.硝基木器漆[J].中国涂料,1998(03):29-34,3.
- [7] 刘军船.聚酯漆和聚氨酯漆在我国的发展状况[J].中国涂料,1995(05):28-34,50.
- [8] 喻鸣曲,陈辉.新一代水性木器涂料用丙烯酸乳液的研究[J].中国涂料,2009,24(06):27-30.
- [9] 朱雄.水性聚氨酯哑光木器漆的制备和性能[D].华南理工大学,2013.
- [10] 中国建筑西南设计研究院,四川省建筑科学研究院.木结构设计规范(GB 50005-2003)[S].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [11] 哈尔滨工业大学,中建新疆建工(集团)有限公司.木结构工程施工质量验收规范(GB 50206-2012)[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [12] 中国林业科学研究院木材工业研究所.防腐木材的使用分类和要求(LY/T 1636-2005)[S].北京:中国标准出版社,2005
- [13] 四川省建筑科学研究院.古建筑木结构维护与加固技术规范(GB 50165-92)[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [14] 王振林,于钦水.对木材腐朽原因的探讨[J].黑龙江科技信息,2012(17):198.

(上接第154页)

每个断面设置3个监测点,使用TM50自动化全站仪、RJ20压差式静力水准仪分断面进行自动监测,监测隧道竖向、水平位移、净空收敛及轨道竖向、水平位移、静态几何尺寸等,为下穿施工提供指导。

提高监测测量频率,离既有有线10环之外时1次/2h,10环之内时1次/5min。数据通过网络传至地面,用“现场综合监测系统”专用软件对测量数据进行处理分析,实施信息化施工。

8 沉降分析与实施效果

施工过程中,既有地铁轨道的沉降差、沉降量和水平位移量均得到很好的控制,确保了地铁隧道结构和运营安全。完成2个月后监测数据显示沉降已稳定。上行线道床结构施工过程中最大竖向变形值为+4mm、水平位移为2.8mm,最终沉降值为0.2mm(见图4)。下行线道床结构施工过程中最大竖向变形值为+3mm、水平位移为2.5mm,最终沉降值为0.4mm(见图5)。

9 结论

通过在软土地层中盾构近距离下穿既有地铁隧道的成功实践,笔者总结得到以下结论。

在既有线洞内布置自动化监测系统,及时反馈监测信息,实施信息化施工来调整优化各项施工参数是安全顺利完成下穿工程施工的前提和保证。通过优化的施工技术措施和措施,能够实现既有线隆沉不超限的地铁运营安全控制目标。

采用科学合理的施工方案、技术参数和及时有效的控制技术,在穿越过程中保持既有线道床始终处于可控隆起状态,来抵消大部分滞后固结沉降,使最终沉降值被控制在允许范围内。对既有线下方土体无须预加固,通过后无须注浆补偿加固,从而简化施工程序,降低工程成本,满足既有线行车安全需求。

参考文献

- [1] 陈湘生,李兴高.复杂环境下盾构下穿运营隧道综合技术[M].北京:中国铁道出版社,2011.
- [2] 李围,何川.盾构隧道近接下穿地下大型结构施工影响研究[J].岩土工程学报,2006(10):1277-1282.
- [3] 杨俊龙.盾构机近距离穿越运营中地铁隧道施工技术研究[J].现代隧道技术,2004(S):165-167.
- [4] 马云新.克泥效抑制沉降工法在盾构近距离下穿地铁既有工程中的应用[J].施工技术,2015,44(01):94-98.