

Safe Production Systems of Shield Tunneling under the Operation Tunnels

Yuhai GUO^{1,2}, Xinggao LI¹, Dajun YUAN¹

¹School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing, China, 100044

²Fourth Construction Division, Beijing Municipal Group, Beijing, China, 100055

Email: yuhai1120@126.com, Lxg_njtu@163.com, Yuandj603@163.com

Abstract: During the period of shield driving Yanda interval tunnels of Line 2 east extension of Shenzhen metro under the existing operation tunnels of Line 1, safe production systems were set up and perfected in order to ensure the safeties of the above operation tunnels and the newly built shield tunnels. The safe production systems mainly consists of technical preparation system of construction unit, examination system of construction plan, checking and maintenance system of equipment, material preparation system, zoning management system of shield driving under the operation tunnels, checking and acceptance system of executing under-crossings, in-situ on duty system and another monitoring system ready for use. Practice shows the systems guaranteed the smooth shield driving under the operation tunnels, which can be used or referenced in similar conditions.

Keywords: shield tunneling; under-crossing; operation tunnel; safety production; management system

盾构下穿运营隧道施工安全生产管理制度

郭玉海^{1,2}, 李兴高¹, 袁大军¹

¹北京交通大学土建学院, 北京, 中国, 100044

²北京市政集团四处, 北京, 中国, 100055

Email: yuhai1120@126.com, Lxg_njtu@163.com, Yuandj603@163.com

摘 要: 在深圳地铁 2 号线东延线燕大盾构区间下穿既有 1 号线运营隧道施工期间, 为确保既有隧道的运营安全和新建盾构隧道的施工安全, 建立健全了各项安全生产管理制度。主要由生产单位技术准备制度、方案实施审查制度、设备检修和维修保养制度、生产用材料准备制度、穿越掘进分区管理制度、正式穿越条件验收制度、现场值班办公制度和监测手段备用制度组成。工程实践表明, 这些制度从技术与管理两个方面保证了穿越工程的顺利实施, 对类似工程有较好的参考价值。

关键词: 盾构; 下穿; 运营隧道; 安全生产; 管理制度

1 引言

受线路控制的需要, 深圳地铁 2 号线东延线燕大盾构区间需要下穿既有 1 号线运营隧道施工。新建线路与运营线路水平夹角仅为 20°~23°, 下穿距离长, 地铁 2 号线左右线对地铁 1 号线的影响范围均超过 70m, 盾构施工对运营线路的影响周期长; 新建盾构隧道位于 350m 的曲线上, 隧道洞身上部为全风化花岗岩地层, 下断面大部分为强风化花岗岩地层, 局部存在中风化花岗岩地层, 施工线路与运营线路之间的最小净距仅约为 2m, 盾构掘进控制难度大; 同时, 运营隧道

亦位于 350m 的曲线上, 线路的纵坡也较大, 对变形控制要求较高。为确保地铁 1 号线运营安全, 杜绝出现列车倾覆、人员伤亡等重大事故发生, 深圳地铁燕大区间在工程建设中严格了作业程序, 切实把安全生产放在各项工作的首位, 认真遵循了“安全第一, 预防为主, 综合治理”的安全生产方针, 把安全生产放在坚持不懈、重在治理的突出位置上, 为此加大了工程控制安全生产管理力度建设, 细化管理责任和目标, 以保障穿越工程的成功实施。

为贯彻“安全第一, 预防为主, 综合治理”方针, 加强盾构下穿轨道交通既有线等危险地段施工管理, 切实做好盾构施工事前专项方案评审和事中信息化施

资助信息: 中国国家自然科学基金(No. 50978017) 资助。

工各项工作,落实全方位、全过程安全意外防范工作,提高盾构施工安全生产管理水平,在做好日常人员、设备、材料、运输等各项安全管理工作的同时,建立健全了相应各项安全生产管理制度和安全措施,以确保穿越工程的成功实施。

2 综合生产管理制度

2.1 生产单位技术准备制度

所谓生产单位技术准备制度,就是在穿越工程进行前,生产单位应组织本部门相关技术人员进行技术分组,开展浆液配比试验、碴土改良试验,在本标段或其它标准选择与穿越位置处相近的区段进行掘进试验,从而为穿越工程做好技术储备。

为确保燕大区间穿越工程顺利实施,专门成立了深圳地铁燕大区间下穿地铁 1 号线工作小组组织机构,下设掘进技术组、资源保障组、应急协调组,并对各组技术人员进行了分工,并建立了下穿 1 号线工作小组的例会制度。通过在线路中线上埋设地表沉降观测点及土体深层位移监测仪器,掌握盾构推进过程地表及地中土体变形的监测,总结出相应规律,优化同步注浆浆液配合比,落实带压开仓准备工作及施工设备保障技术,为穿越过程中盾构掘进参数的取值做好技术准备。

2.2 专项方案制定审查制度

穿越施工前,生产单位应对既有线的现状情况进行详细调查,根据调查结果并结合自身情况(主要包括生产进度现状、盾构机性能特点和人员配备等),制定详细可行的生产计划,对穿越施工涉及的人员、设备及工期安排等精心筹划,精心组织,对人员安排、盾构机和其它设备配备、物资供应、应急救援、掘进参数取值和重大技术问题应对措施等逐项落实,以做到切实可行,最终形成内容完整、数据翔实的施工方案。施工方案完成后,还要依据地铁新线穿越既有工作程序、施工进展和生产情况变化,实施严格的方案审查制度,大致可分为以下 4 个层次:

第一层次:生产单位自查

对于穿越工程,施工单位应抽掉专家组织编写专项施工方案,方案成稿后应在本单位更大范围内组织相关专业技术人员对方案进行广泛、详细讨论,土建、设备、测量、运转及材料组织人员应结合自身专业情况和工作岗位单位,分别结合施工方案内容,提出各

自有针对性的建议和措施,尤其是对于设备维护、人员组织和班组交接等问题更要充分协调各方意见,最后由项目经理、项目副经理和项目统筹考虑,进一步落实和完善施工方案,从人员、设备和制度建设方面确保施工方案的安全可靠、技术合理和经济可行。方案在现场施工单位通过后,一般还要提前其上级主管部门,在更广范围内对专项施工方案进行补充和完善。

2) 第二层次:聘请外部专家审查

生产单位自查将方案完善后,还要聘请 3~5 位外部专家(主要是深圳市轨道交通建设专家库中的专家),召开地铁新线穿越既有线施工方案审查会,对于穿越施工方案涉及的技术难题进行深入剖析,对施工方案的可操作性和完备性进行全面认证,最后形成专家意见,作为生产单位进行修改、补充和完善的参考和依据。

3) 第三层次:地铁公司技术委员会审查

生产单位依据专家意见,将施工方案进一步补充、修改和完善后还要提交到地铁公司技术委员会进行审查。地铁公司技术委员会将组织土建组和经济组的委员,主要由常任委员和非常任委员组成,在听取相关方案汇报后参会委员发表意见并填写《委员评审意见书》,最后形成会议纪要。针对施工方案,为确保顺利实施,技术委员会提出相应要求和建议,尤其对于既有线监控量测、既有线限速运营和应急抢险等涉及安全敏感问题,提出了相应要求。

4) 第四层次:穿越施工期间方案调整审查制度

随着穿越施工的进行、地层的不断揭露以及工程施工中暴露出来的技术难题,有必要相应调整施工方案。生产单位在征得监理和业主同意的情况下,在监理的组织下,聘请地铁公司内部和外部专家,及生产涉及的相关单位,如地铁运营部门和测量单位等,对调整方案再次审查。与会专家除对方案本身提出补充、修改和完善建议外,还可结合工程实际情况,对工程需要但方案未涉及的问题,也可提出措施和建议。综合相关措施和建议,最后形成专家意见,以作为方案调整、补充、完善和执行的重要参考和依据。

2.3 方案实施审查制度

所谓方案实施审定制度,即对修改、补充、完善的专项施工方案即将付诸实施前期,由建议单位或建设单位委托监理,就方案实施涉及的人员、设备和材料及其它准备工作,进一步落实,确保方案的贯彻执

行, 是对专家意见落实情况的审查, 同时也是方案实施前的最后“查缺补漏”, 重在强调方案的执行和落实。同时, 在方案实施过程中因条件变化, 方案调整后再次实施时, 出需要建议单位或建设单位委托监理, 组织对方案继续实施的审查确定。

2.4 设备保养、检修和维修保养制度

盾构法一种作业程序高度自动化的施工方法, 对各种设备的依赖性大, 在整个作业施工程序中, 除盾构机及后配套设备外, 还涉及到龙门吊、叉车、搅拌站、充电机及其它电气设备和辅助设备。设备工作性能测试、检修和维护保护对盾构法作业流程的顺利、高效运转至关重要。因此, 下穿施工之前就制定详细的盾构机及后配套设备下穿 1 号线检查保养细则、检修方案及穿越过程中的日常维修、养护制度, 确保了下穿 1 号线施工的安全、快速进行。

2.5 生产用材料准备制度

盾构法作业大量设备系统中存在着一些易损件, 这些易损件一旦发生损坏时, 就需要及时更换, 否则就会较大影响到盾构法作业流程, 危及下穿施工安全。因此, 在下穿 1 号线之间就要备足易损件, 做好材料供应。另外, 在整个下穿施工过程中, 出现险情时, 应急抢险工作需用到大量设备。这些设备也应该提前做好, 放置到可靠的地点, 并保证处于工作状态。对于上述材料和设备, 建设单位组织或委托监理单位组织检查验收, 保证材料和设备的品质、数量和放置。

2.6 穿越掘进分区管理制度

为加强穿越工程中的过程控制, 实施差别化管理, 以及为正式穿越施工提供可靠的各项技术参数, 对穿越工程实施穿越掘进分区管理制度。下穿重叠部分为危险区, 危险区外侧各 6m 范围为风险区, 风险区外各 20m 范围为预警区。在预警区和风险区, 主要结合地层变形监测结果, 继续优化和完善各项控制技术参数, 如盾构掘进参数、碴土改良泡沫参数及注浆配比参数等, 落实人员岗位职责、材料和物质储备, 为正式穿越打下良好基础。在预警区仅需要对地表沉降进行监测, 而在风险区就需要对既有有线实行自动化监测, 监测频率大致为次/4h。在穿越区, 加大自动化监测频率, 大致为次/0.5h。在掘进管理上, 在穿越区, 尽量做到满仓掘进, 更为严格控制出土量。

(1) 下穿地铁 1 号线试验段

试验段为盾构机刀盘到达下穿地铁 1 号线起始里程前 50m 处~盾构机刀盘到达下穿地铁 1 号线起始里程点前 6m。具体划分情况如下:

左线 ZDK31+247.848~ZDK31+203.848, 为左线下穿地铁 1 号线试验段, 该段长度为 50m。

右线 YDK31+205.052~YDK31+161.052, 为右线下穿地铁 1 号线试验段, 该段长度为 50m。

(2) 下穿地铁 1 号线穿越段

穿越段为盾构机刀盘进入下穿地铁 1 号线起始里程点前 6m~盾构机盾尾脱出下穿地铁 1 号线终止里程点后 6m。具体划分情况如下:

左线 ZDK31+118.004~ZDK31+203.848, 为左线下穿地铁 1 号线穿越段, 该段长度为 70.485m。该区段 2 号线与 1 号线的竖向最小净距离位 3.092m。

右线 YDK31+078.567~YDK31+161.052, 为右线下穿地铁 1 号线穿越段, 该段长度为 73.844m。该区段 2 号线与 1 号线的竖向最小净距离 3.016m。

(3) 下穿地铁 1 号线保护段

保护段为盾构机盾尾脱出下穿地铁 1 号线终止里程点后 6m~盾构机盾尾到达下穿地铁 1 号线终止里程以外 50m 处。具体划分情况如下:

左线 ZDK31+74.004~ZDK31+118.004, 为左线下穿地铁 1 号线保护段, 该段长度为 50m。

右线 YDK31+034.567~YDK31+078.567, 为左线下穿地铁 1 号线保护段, 该段长度为 50m。

2.7 正式穿越条件验收制度

所谓条件验收, 就在宣布正式穿越之前, 再次对方案修改、人员安排、材料储备和设备检修情况进行最后确认, 以保证各项准备工作做到万无一失。同时, 通过条件验收, 也对既有有线现状进行确认, 以便为以后责任划分提供基础数据。这其中主要有 3 项主要工作: (1) 完成消项表; (2) 既有有线洞内自动化监测初始值确认; 3) 既有有线洞内裂缝情况三方确认。需要说明的是, 这些条件准许正式穿越启动的必要条件, 而非充分条件。通过这些条件的验收, 不仅确认下穿施工的方案、人员、材料和设备已经进入临战状态, 而且也为了在穿越施工进行中真实掌握既有有线的状态打下基础, 也为以后可能出来的责任纠纷做了前期标定。

2.8 现场值班办公制度

所谓现场值班制度,就在施工现场,成立穿越工程相关单位、部门联合值班办公室。通过现场值班,使各相关单位可以方便、快捷掌握既有线的变形状况和新建隧道的生产情况,以便对既有线的安全状况做出迅速判断。一旦生产出现不利情况,既有线的状态有所改变时,可迅速集合相关部门人员进行分析、讨论并做出相对对策。这一制度是对既有线安全控制工作的有力保障,也是新建隧道信息化施工的重要手段。

穿越工程相关单位和部门组成联合办公小组,在施工现场值班,及时将监测信息和施工进展反馈到各相关单位。跨部门联合值班人员包括:地铁运营分公司领导联系人、现场联系人和抢修人员(工建车间人员)、地铁集团总部(总工办、安质部和运管办)值班人员、设计单位值班人员、监理单位值班人员、2号线建设分公司业主代表值班人员、既有线变形自动化监测单位值班人员、地表沉降第三方监测单位人员、施工单位值班人员、科研单位人员。同时,各相关单位负责人和主要技术人员联系名单及联系方式和负责工作制成相应表格并上墙。

在值班室,通过各种监视器,可随时了解现场出渣情况、掘进参数变化和既有线变形情况。能及时通过办公室电话与施工现场和外部进行沟通,及时将信息传达各级管理部门,保证了信息传递的畅通和快捷。

2.9 监测手段备用制度

由于传统监测技术在高密度的行车区间内无法实施,且不能满足对大量数据采集、分析、及时准确反馈的要求,必须采用远程自动监测系统对既有线结构和轨道变形进行 24h 实时监测,真正发挥监控量测为盾构穿越施工保驾护航作用。考虑到本工程的特点和重要性,必须采用人工监测和自动化监测相结合的方案。

从监测技术发展来看,自动化监测主要有 2 种方案。

(1) 测量机器人自动监测

徕卡 TCA 系列自动化全站仪,又称“测量机器人”,主要由莱卡全站仪与自动监测软件配套组成,可自动扫描布设在被测结构上的棱镜(标靶)进行监测,数据实时传输与监控用网卡内部局域网连接互联网传递。将 TCA 自动化全站仪安置在隧道侧壁的强制对中托盘架上,现场通过变压稳压设备对其进行不间断供电,保证对其本身的长效供电电池充电,全站仪数据

通过 CDMA 模块传输到数据中心(办公室),同时将监测指令传输到采集设备(全站仪)。实现远程自动的变形监测。

(2) 静力水准自动监测系统

自动化监测数据采集系统由电容感应式静力水准仪、数据采集单元模块、监控主机、DAMS-IV 数据采集软件构成,系统自动采集数据。

考虑到自动化监测在实施中,有可能出现信号中断、仪器故障等意外情况,可且白天由于列车运营,不可能实现迅速检修,自动化监测系统必须有所备用,同量两种测量系统测得数据也可以互为验证。在燕大区间穿越中,值班后期,测量机器人自动监测系统也曾发生类似故障,此时现场就以静力水准系统测得数据作为判断既有线安全和指导新建隧道施工的依据,为工程安全生产保驾护航发挥了重要作用。同时,也说明了既有线自动化监测系统备用制度的必要性。

3 结论

在上述各项管理制度支持下,穿越工程得以实施。通过穿越工程的实施,更深深印证了“管理高于技术的结论”,各项组织管理制度的建设是穿越工程得以安全、顺利、快速实施的保证。

隧道施工穿越既有地铁线路问题涉及到既有线的正常运营和新建隧道的施工安全,影响面较大,重要性不言而喻。而且在穿越工程的安全控制过程中,牵扯单位较多,需要地铁运营部门、新建隧道设计、施工和监理等单位的密切配合,必须形成一整套完善的安全生产技术管理体系和流程。盾构隧道穿越既有地铁线工程,安全生产管理制度建设为重中之重。

工程成功穿越,各项组织管理制度建设功不可没。生产单位技术准备制度是穿越工程成功实施的起点,藉此构建起盾构施工穿越既有线工程的总体技术框架;专项方案制定审查和执行审查制度可邀请相关单位技术力量和社会力量参与到穿越工程的技术深化之中,拓宽了技术应用的视野;设备保养、检修和维修保养制度是成功实施盾构穿越工程的基础,是连续、顺利成功实施穿越既有线的保证;生产材料准备制度确保了生产所需材料的物资供应,保证了穿越施工的有序进行;穿越工程掘进分区管理制度深化了盾构掘进管理,突出强调了既有线的安全控制;正式穿越条件验收制度确保了穿越工程实施的人、材、物的组织、计划和安排,保证了技术方案各项技术内容的落实;

现场值班办公制度充分调动相关单位技术力量服务于安全生产，真正体现了“安全生产，预防第一”的方针；监测手段备用制度确保了盾构穿越施工的信息畅通，保证了始终掌握既有线的变形状态。

References (参考文献)

- [1] Maidl B., Herrenknecht M. Anheuser L. Mechanised shield tunneling [M]. Berlin: Ernst & Sohn, 1996.
- [2] Chen Xiangsheng, Li Xinggao, Comprehensive control technologies of shield tunnelling below operation tunnels in complex environments [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2011.
陈湘生, 李兴高. 复杂环境条件下盾构下穿运营隧道综合控制技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.