

复杂地质条件下大断面箱涵顶进施工关键技术及偏差控制

顾伟杰

上海苏河湾建设工程有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i6.21018

[摘要] 本文从万荣路下穿南何线大断面双层箱涵顶进工程入手,结合该项目的施工地质和地下水环境特点,依据项目基坑开挖和营业线行车安全管控要求,提出科学的大断面箱涵顶进施工技术。针对深基坑维护、线路D型便梁加固以及大体积双层箱梁预制等施工工艺优化,明确复杂地质条件下的箱涵顶进施工体系,配套完善的动态监测和纠偏控制措施,有效提高箱体成型和顶进施工的准确性,为同类复杂地质条件下的铁路箱涵顶进施工提供技术参考。

[关键词] 复杂地质; 大断面箱涵; 顶进施工; 偏差控制

中图分类号: P5 文献标识码: A

Key technology and deviation control of jacking construction of large section box culvert under complex geological conditions

Weijie Gu

Shanghai Suhewan Construction Engineering Co., Ltd.

[Abstract] Starting with the jacking project of large-section double-deck box culvert under Wanrong Road and Nanhe Line, this paper puts forward the scientific jacking construction technology of large-section box culvert according to the characteristics of construction geology and groundwater environment and the requirements of foundation pit excavation and traffic safety control of business lines. Aiming at the optimization of construction technology such as the maintenance of deep foundation pit, the reinforcement of D-beam and the prefabrication of large-volume double-layer box girder, the box culvert jacking construction system under complex geological conditions is defined, and the dynamic monitoring and rectification control measures are complete, which effectively improves the accuracy of box body forming and jacking construction, and provides technical reference for similar railway box culvert jacking construction under complex geological conditions.

[Key words] complex geology; Large section box culvert; Jacking construction; Deviation control

引言

城市下穿既有普速铁路经常面临高地下水、软土路基、施工场地狭窄等问题,万荣路下穿南何线双层箱涵顶进工程属于超常大截面结构,道路与南何线斜交 13.914° ,需要开展双层机动车大断面箱涵和现浇箱涵施工,机动车箱涵尺寸为 $27\text{m}\times 10\text{m}\times 9.5\text{m}$ 。由于该项目施工现场淤泥质粘土承载能力较差,具有较高的渗透性,深基坑施工容易出现涌砂和滑移现象,营业线路基的控制较为严格。以往的顶进施工容易出现轴线偏移和线路沉降超标现象,为此,积极探索科学的大断面箱涵顶进施工技术,对提高该项目箱涵施工质量具有重要意义。

1 大断面箱涵顶进施工准备

1.1 技术勘察与方案编制

该项目施工前需进行现场地质详勘、管线探测及铁路线路

参数复测等内容,施工场地的基底分布厚层灰色淤泥质粘土,土体压缩性高,潜水年变幅 1m ,容易发生基坑变形和箱涵顶进扎头现象。参照国标城市建规及基本工程序言,并结合上海市地基规范以及上海铁路局管内营业线施工管理实施细则;形成以地质资料、设计图纸和铁路封锁命令为技术资料体系;技术人员经现场实测并复核了隧道坡度、开挖断面尺寸和桥位,在挖掘区域中发现西部离汽车维修中心仅 9.69m ,东部靠近汽车维修车间,受场地条件制约无法进行大范围的边坡施工。针对复杂的场地和土质情况,采取钻孔桩+三轴搅拌桩的复合防护措施,在事前做好了基坑排水方案、围闭线路、箱体顶进方案的准备工作并报备机管部门审批同意;还做了混凝土配合比试验以及桩基施工工艺试验,为了保证有效预防因地层及环境条件导致的风险。

1. 2场地平面与临时设施布设

在现场施工需严格遵循紧凑集约布设原则，项目部设置于汶水路北侧，钢筋加工和材料堆放区域统一设置在工作坑的西侧，沿基坑环向浇筑10~20cm厚混凝土施工便道形成环形运输通道。为了保证供电安全可靠，设置500KV的专用变压器及一套应急柴油发电机组，以防发生顶进或者降水施工而出现停顿的情况；同时在基坑四周设置一道300mm×300mm环形排水沟拦截地表径流，并就地设置多级水处理装置对建筑垃圾中的泥浆进行处理。基坑挖土区、滑板作业区、箱体制作区以及顶进机具暂存区，从而区分各区域用途，防止因土方或者材料混堆占用作业面的情况发生^[1]。

1. 3人员设备材料前置配置

按照各施工阶段进度安排工作内容以及劳动力投入，如建造保护墙基底时有40名打桩工和30名钢筋工；进入箱体制作、顶进高峰期最大劳动力为224人，并增加14名线路看护人员和4名站务联系人。所有上道人员均经过上海铁路局营业线施工安全培训合格。机具设备陆续进场，包括三轴拌和机、GPS—15转机；一套140套320t液压爬升架等。此外还有D16和D24型号的钢桥板和大开挖铲斗；上述机械均会进行预检调试，在正式使用前完成。大宗原材料采取多采购少供应的原则，钻杆注浆料和制箱C35防水混凝土按照月用量分批供货，同时钢筋及防水膜也一起到场进行检验。

2 大断面箱涵顶进施工技术流程

2. 1深基坑复合围护与降水施工

采用桩径 $\phi 1000$ 钻孔灌注桩+桩径 $\phi 850$ 搅拌桩止水帷幕及桩径 $\phi 500$ 二搅一注桩复合地基加固施工。轨道一侧托板桩长12m；轨道另一侧托板桩长27.6m。采取钻孔灌注桩成孔泥浆护壁法施工，控制泥浆比重为 $1.1 \sim 1.2 \text{ g/cm}^3$ 。采用二次清渣保证沉淀厚度小于等于100mm；钢筋笼按规范要求搭接，搭接部位焊缝长度不少于10d；为避免桩头浮浆，在浇注水下混凝土时超灌高度大于1m。对于三轴混拌桩采用“插一节打一节”的方式，同时要求下沉速度 $\leq 0.5 \text{ m/min}$ ，并且在施工的过程中会向桩底以及桩头处分别喷射一定的浆液，从而保证其能够起到长期的防渗作用；最后还要结合10根 $\phi 325$ 的排水井来确保能够有效地降低地下水水位，最低不得低于坑底下1m以上。

2. 2滑板后背体系与大断面双层箱涵预制

在基坑底封底后，采用C25钢筋混凝土滑动板浇筑，在其下部铺设碎石滤水层。为降低推力时的摩阻，在滑动板上抹M10水泥砂浆并压光磨平3道；并在滑动板内设30a型钢限位方块限制箱体横向位移量。支撑采用2道钻孔灌注桩+整体式钢筋混凝土后背梁结构体系，该体系由围护桩主筋贯通形成整体受力，以抵抗箱体顶推产生的巨大反力^[2]；汽车双层箱涵采用C35P8防渗等级混凝土浇筑。分三段完成；即先下部；再底壁板及顶壁板；最后是箱体部分，并在所有竖直施工缝中设置宽为300mm的钢板止水带。箱涵的前端预制1:5坡度船头坡和两侧混凝土刃角。顶进西侧机动车箱涵图1所示。

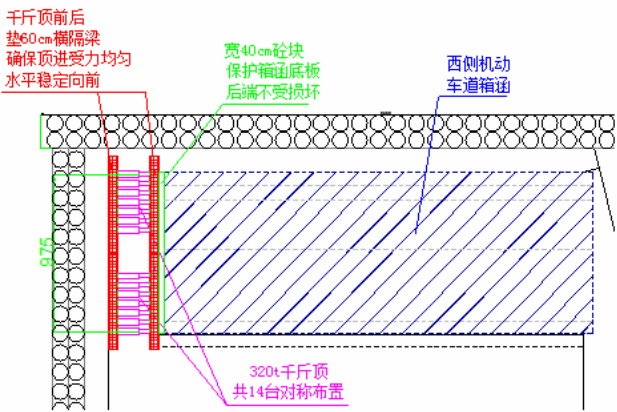


图1 顶进西侧机动车箱涵

2. 3营业线D型便梁分级加固施工

营业线路基加固采用D16、D24钢便梁，施工采取简易支墩浇筑、旋喷桩基底加固、条形支墩成型、便梁纵移架设等施工工序。利用在天窗内拆掉隔断以及替换下铁轨上的铁枕的方法解决铁路信号红光带的问题，为了避免发生这样的问题，在铁枕及铁轨之间设置了隔离垫板；采用条形立柱下面设置 $\phi 600$ 的高压旋喷桩，长28m掺入水泥量20%，提高稳定性。水量比例为1.0，前进速度控制在 $0.2 \sim 0.35 \text{ m/min}$ ，在支柱顶部铺设枕木以及厚度为2mm的钢板作为临时桥梁基础并设置纵、横向制动装置防止钢梁下滑；架设完成后限速为45km/h，巡检队每日对螺栓紧固情况进行检查。

2. 4长距离箱体分级顶推出土作业

箱涵顶进施工顺序严格遵循西侧到东侧再到现浇人非箱涵推进原则，单节箱体顶程44.6m，对称布置14台320t千斤顶同步顶推。严格遵循“挖一寸、顶一寸”的控制原则，避免损坏铁路路基设施。采用大机具出土方式开挖南侧基坑；小机具双向转运土方开挖下穿线路范围内。推进过程中做到缓慢推进、逐级加载的原则。顶推后重新检测轴线位置及高程，箱体不断损耗的同时切割土层；船头倾角控制的土地不致下沉。为减小对周边环境的影响，分别从南北两侧出运以避开由于运输造成的对基座支撑体系的压力。

3 大断面箱涵顶进施工偏差控制

3. 1顶进偏差监测体系与数据管控

表1 施工监测控制标准表

监测对象	监测频次	单日报警值	总累计控制值	处置要求
基坑围梁位移	每日3次	5mm	30mm	增设临时钢支撑
便梁支墩沉降	2h/次	2mm	20mm	加厚钢板垫板
轨道高低偏差	每日5次	6mm	8mm	及时起道捣固
箱体中线偏差	每项程1次	200mm	300mm	调整千斤顶顶力分配
箱体高程偏差	每项程1次	+150/-200mm	$\pm 250 \text{ mm}$	调整上下挖土厚度

建立了三级动态监测体系,包括基本坑壁防护、长方立柱、营运线轨道及箱梁中心高程共四项指标,采用2s级全站仪配合精密水准仪进行全天候监测并根据施工情况随时增加测次。在开挖基坑期间,每天检查5次;在箱涵移动过程中,每次移动后立即再次检查。若遇雨天则应缩短至2h检查一次。各类监测项目报警阈值与控制标准如表1所示^[3]。

3.2 轴线水平偏移成因与渐进纠偏技术

引起箱体轴线偏差的原因主要包括千斤顶顶力不平衡、两侧吃土深度不一、切土阻力及入土角的变化、滑板上润滑带的磨损等方面。为避免出现此类现象,先采用渐进式顶力分配进行纠偏,即在偏向一侧减少千斤顶工作数量,而另一边没有偏移则增加推力来产生反向的扭矩。每一次的纠正都应该控制在50mm以内,避免一次大的纠偏导致箱体破碎。若出现偏移量进一步增大的情况,则需加大一边开挖深度减少一边开挖深度,即对偏移的一边进行多开挖土方减少其土压力,在开推前需认真复核导轨滑板上的导槽钢,在推动过程中及时清理导管内积土并在外侧留有宽5cm的缓冲带减少水平力影响。

3.3 高程扎头与抬头偏差防控处置

软土地基箱体易发生扎头下沉,核心原因为基底淤泥质粘土承载力不足、底部超挖、降水不充分。先采用全线路快速回旋式钻孔桩基础加强了地面硬度,并保证了滑板下渣垫层的压实,在施工中控制好底开挖深度,在箱体底部留有原土支撑,当出现首下沉情况时需缩小底开挖面积,并在前部箱内安装小型千斤顶来提升下部土体,同时加强排水控制土中含水量^[4]。而箱体抬升多为上覆土体卸载过快或是刀口开挖过多引起,解决方法是加大箱体上覆盖层及减弱刀口以上部位开挖强度以增大其

对上覆土压力,进而实现平衡箱体重量的作用。持续观察推力作用点处标高,确保千斤顶推力方向及箱体摩阻力在同一轴线上,防止竖向力引起的沉降差异过大,并在出现三处以上测点超限后停止施工,在加固完成后方可进行下一阶段施工。

4 结语

本文结合万荣路下穿南何线大断面双层箱涵工程,针对软土高地下水、狭小场地、营业线不间断行车多重复杂工况,系统梳理复合围护降水、大体积箱涵预制、D型便梁路基加固、长距离分级顶推核心技术,搭建全覆盖动态监测体系,明确轴线偏移、高程变形两类主要偏差的预判标准与分级纠偏工艺。本工程通过成套管控措施,箱体顶进中线、高程均满足规范允许偏差,营业线路基沉降稳定可控,未发生行车安全隐患。

[参考文献]

[1]侯康义,米分平,王浩宇,等.箱涵顶进施工中沉降监测及有限元分析[J].河北工业科技,2026,43(1):21-27.

[2]施有志,沈祖壮,高建瓴,等.大断面箱涵顶进工作井深基坑支护的优化设计与分析[J].厦门理工学院学报,2025,33(5):71-79.

[3]王芙蓉,马延青,陈昶昊,等.引水暗涵下穿高速箱涵顶进施工技术研究[J].水上安全,2025,(19):163-165.

[4]孙凤雪.箱涵顶进施工中降水对既有线沉降的影响研究[J].建筑监督检测与造价,2025,18(Z1):18-22.

作者简介:

顾伟杰(1982--),男,汉族,上海市人,本科学士,中级(市政工程),研究方向(市政工程施工)。