

# 大跨度道路箱涵顶进施工工艺及质量控制研究

鲍永利

内蒙古城市规划市政设计研究院有限公司 内蒙古自治区呼和浩特市 010000

DOI:10.32629/ems.v8i6.20527

**[摘要]** 为解决大跨度箱涵下穿既有道路施工对交通运营、土体扰动及结构稳定性的影响问题,本文系统探究大跨度道路箱涵顶进核心施工工艺,围绕工作坑开挖、滑板浇筑、箱涵预制、顶进系统布设、挖土出土、姿态纠偏等关键工序开展技术分析,结合现阶段市政道路工程建设规范与施工技术发展现状,梳理顶进施工过程中轴线偏移、沉降超标、结构开裂、接口渗漏等质量隐患成因,从施工前期准备、过程管控、监测预警、动态纠偏等维度构建质量控制体系,可为同类大跨度箱涵顶进工程标准化施工与质量管控提供理论参考。

**[关键词]** 大跨度箱涵; 道路工程; 顶进施工; 施工工艺; 质量控制

## 引言

随着城市路网扩容与立体交通建设快速推进,大跨度箱涵下穿既有市政道路成为城市地下通道、排水综合管廊建设的重要形式。相较于常规箱涵,大跨度箱涵自重更大、截面尺寸更广,顶进过程易受土体应力、顶力分配、施工环境等因素影响,施工难度显著提升。传统施工管控模式难以适配大跨度结构施工需求,易引发轴线偏差、路面沉降等病害。基于此,开展大跨度箱涵顶进施工工艺优化与质量控制研究,对保障工程安全、提升施工技术水平具有现实意义。

## 1 大跨度道路箱涵顶进施工技术概述

### 1.1 技术原理与工程特点

箱涵顶进施工属于非开挖地下暗挖施工技术范畴,其核心原理为利用预制钢筋混凝土箱涵结构作为受力主体,在工作坑内借助液压顶进设备提供水平顶推力,克服箱涵自重与周边土体摩阻力,将预制箱涵逐节顶推至设计位置,同步完成土体开挖置换,实现下穿既有道路、管线区域的地下构筑物施工,可最大限度降低对地表交通、周边构筑物的扰动。相较于中小跨度箱涵,大跨度道路箱涵截面宽度大、整体刚度与自重显著增加,施工呈现鲜明技术特征。一是顶推力需求大,土体侧压力、正面阻力与箱涵侧壁摩阻力叠加,对顶进系统承载力、反力结构稳定性提出更高要求;二是结构变形控制难度高,大跨度箱涵整体抗弯、抗扭性能对不均匀沉降、顶力偏心极为敏感,易出现局部开裂、扭曲变形;三是土体扰动范围广,开挖断面大,若出土、支护管控不当,易引发道路路基整体沉降、侧向位移;四是施工精度要求严苛,轴线、高程偏差直接影响后期道路平整度与结构使用寿命,需全过程动态管控。

### 1.2 现阶段施工技术发展现状

当前国内市政道路大跨度箱涵顶进施工技术已逐步实现机械化、精细化发展,液压同步顶进、智能姿态监测、信息化动态纠偏等技术广泛应用,施工装备从传统手动液压设备向智能数控同步顶进系统升级,有效解决了大跨度箱涵顶进不同步、顶力失衡等问题。同时,行业规范对箱涵预制精度、顶进参数、沉降控制指标提出更为严格的量化标准,推动施工工艺标准化。但现阶段施工仍存在共性技术难题:大跨度箱涵多节段拼接顶进时,节间接口防水与变形协调控制难度较大;复杂地质条件下,土体参数波动易造成顶力突变;施工监测多侧重地表沉降,箱涵本体应力、滑板摩擦系数等内部参数监测体系不完善;质量管控多集中于事后整改,事前预防、事中动态调控体系尚未完全成熟,制约工程整体质量提升,亟需完善施工工艺与全过程质量控制体系。

## 2 大跨度道路箱涵顶进核心施工工艺

### 2.1 前期施工准备工艺

前期准备是保障大跨度箱涵顶进施工安全有序开展的基础,主要包含地质勘察、工作坑布设、滑板制作、后背墙施工四大核心环节。地质勘察阶段需采用钻探、原位测试相结合的方式,精准获取施工区域土体含水率、黏聚力、内摩擦角、地下水位等参数,分析软弱夹层、承压水层分布规律,结合大跨度箱涵受力特征,核算最大顶推力、土体摩阻力,为顶进设备选型、降水方案制定提供依据。针对地下水位偏高区域,优先采用深井降水、轻型井点降水结合方式,降低土体含水率,防止开挖过程出现流沙、管涌,提升土体稳定性。工作坑采用矩形基坑形式,依托放坡开挖或钢板桩、排桩支护体系,严格控制基坑边坡坡度与支护刚度,避免基坑坍塌。工作坑尺寸需满足箱涵预制、顶进设备安装、出土作业空间需求,坑底采用混凝土硬化处理,做好排水设施布设,

及时排出坑内积水。滑板作为箱涵预制与顶进的基础结构,采用钢筋混凝土现浇成型,滑板表面需保持平整顺直,设置合理纵坡,匹配箱涵设计坡度;滑板表层涂刷隔离润滑层,降低箱涵预制及顶进过程中与滑板的摩擦阻力,隔离层需均匀无空鼓,防止局部摩擦系数突变引发箱涵偏移。后背墙为顶进施工反力支撑结构,直接承受液压设备传递的顶推力,大跨度箱涵顶进顶推力巨大,后背墙采用钢筋混凝土重力式结构,结合土体被动土压力共同受力,后背墙需与土体紧密贴合,严禁出现空隙、松散问题,施工前核算后背墙抗滑移、抗倾覆稳定性,避免顶进过程后背墙变形破坏。

## 2.2 箱涵预制施工工艺

大跨度箱涵多采用分节预制、分节顶进施工模式,单节箱涵长度根据顶进设备承载力、土体条件合理划分,一般控制在6~10m,箱涵预制质量直接决定整体结构性能与顶进稳定性。钢筋加工采用集中下料、现场绑扎方式,严格控制钢筋间距、保护层厚度,大跨度箱涵顶板、侧板、底板钢筋配筋量大,需保证钢筋搭接、焊接质量,重点强化节点区域、转角处钢筋布设,提升结构抗裂性能。模板采用高强度定型钢模板,模板拼接严密,刚度满足大体积混凝土浇筑侧压力需求,防止涨模、漏浆,保证箱涵外形尺寸精准。混凝土采用高性能商品混凝土,优先选用低水化热配比,优化骨料级配,添加适量外加剂,提升混凝土抗渗性、抗裂性。浇筑采用分层连续浇筑方式,分层厚度控制在300~500mm,使用插入式振捣器充分振捣,避免出现蜂窝、麻面、空洞等质量缺陷。大跨度箱涵混凝土方量大,浇筑完成后及时开展保湿养护,控制内外温差,防止温度裂缝产生。箱涵节段端部设置企口结构,预留防水凹槽,为后期节间密封防水施工预留条件。

## 2.3 顶进系统布设工艺

顶进系统主要由液压千斤顶、高压油管、液压泵站、顶铁、传力设备组成,是实现箱涵顶推的核心动力体系。大跨度箱涵顶进需采用多台千斤顶同步作业,按照箱涵轴线对称布设,保证顶推力均匀分布,避免单侧顶力过大引发箱涵扭转、偏移。千斤顶优先选用大吨位液压设备,配套数控同步控制系统,实现多设备同步启停、同步加压,精准调控顶进速度与顶力大小。顶铁采用型钢与钢板组合成型,分为横顶铁、顺顶铁,顶铁尺寸、刚度需匹配顶推力,顶铁与箱涵接触面、顶铁之间贴合紧密,轴线保持一致,严禁出现歪斜、偏心受力。顶进系统布设完成后,开展空载调试与预顶试验,检验设备运行稳定性、同步性,校准压力参数,排查油管渗漏、设备故障隐患,正式顶进前完成整体系统验收。

## 2.4 挖土出土与顶进作业工艺

挖土出土与顶进作业同步开展,遵循“先挖土、后顶进,勤挖土、少扰动”原则。大跨度箱涵开挖断面大,采用人工与小型机械结合开挖方式,机械开挖预留20~30cm人工清底,避免超挖扰动原状土体。开挖轮廓严格按照箱涵设计尺寸控制,两侧、顶部预留合理间隙,减少箱涵与土体摩擦阻力。正面土体开挖坡度根据土体稳定性合理设置,软弱土体放缓坡度,必要时采用临时支护,防止掌子面坍塌。出土采用机械装车、外运方式,及时清运开挖土体,避免土体堆积挤压箱涵。顶进作业时,控制顶进速度,匀速缓慢顶推,严禁急停急进、强行顶进。顶进过程实时监测箱涵轴线、高程、姿态,每项进一定距离开展一次测量,及时调整顶力分布。多节箱涵顶进时,前一节箱涵顶进到位后,进行节间密封处理,再开展下一节顶进,节间缝隙采用止水橡胶带密封,做好防水处理。

## 2.5 附属工序施工工艺

顶进完成后,及时开展箱涵周边土体回填注浆、路基恢复、防水施工等附属工序。通过同步注浆、二次注浆填充箱涵与土体之间的空隙,加固周边土体,抑制后期道路沉降;箱涵外侧涂刷防水涂料,节间缝隙做好密封处理,提升整体防水性能。道路路基分层压实恢复,严格控制压实度,匹配原道路路基技术标准,保障道路后期通行安全。

## 3 大跨度道路箱涵顶进施工主要质量隐患及成因分析

### 3.1 轴线与高程偏移

轴线偏移、高程偏差是大跨度箱涵顶进最常见质量问题,主要表现为箱涵水平方向偏离设计轴线、竖向高程忽高忽低。核心成因包含:千斤顶布设不对称,顶推力偏心;后背墙受力不均、变形位移;滑板表面摩擦系数不均匀,箱涵滑动受阻偏移;挖土不对称,一侧超挖、一侧欠挖,土体阻力不平衡;监测频次不足,姿态调整不及时。大跨度箱涵自重较大,微小的受力不均都会被放大,加剧偏移问题。

### 3.2 地表道路沉降超标

大跨度箱涵开挖断面大,土体卸荷扰动明显,易引发上部道路路基沉降、开裂,影响道路正常通行。成因主要为:掌子面开挖过大、土体支护不到位,原状土体应力失衡;出土过快、土体流失;注浆回填不及时、注浆量不足,土体空隙未有效填充;降水作业不合理,土体固结沉降;顶进速度过快,扰动周边土体应力场。

### 3.3 箱涵本体结构开裂变形

大跨度箱涵在顶推过程中易出现顶板、侧板裂缝、局部变形,严重时影响结构安全。主要原因:混凝土养护不到位,

自身存在早期裂缝; 顶力过大超过结构承载力; 顶铁受力不均, 局部应力集中; 箱涵节段拼接不合理, 受力不协调; 土体不均匀沉降导致箱涵受弯受扭。

### 3.4 接口渗漏与防水失效

箱涵节间接口、外壁防水失效, 易出现渗水、漏水问题, 长期侵蚀结构钢筋, 降低结构耐久性。成因包括: 止水带安装位置偏移、扭曲、破损; 混凝土企口部位振捣不密实; 注浆压力不足, 防水密封不严; 后期土体变形挤压接口, 密封结构破损。

## 4 大跨度道路箱涵顶进全过程质量控制措施

### 4.1 施工前期质量预控

前期预控以源头管控为核心, 建立参数核算、方案审核、材料设备验收三位一体管控体系。精准开展地质参数复核, 优化降水、支护、顶进施工专项方案, 明确顶推力控制值、开挖尺寸、沉降预警值等量化指标; 严格验收钢筋、混凝土、止水带、液压设备等材料设备, 杜绝不合格产品进场; 对施工人员开展技术交底, 明确大跨度箱涵施工重难点、操作规范、质量标准; 提前模拟顶进受力状态, 预判潜在风险, 制定应急预案, 实现质量隐患前置防控。

### 4.2 施工过程动态质量管控

#### 4.2.1 结构预制质量管控

严格管控箱涵预制精度, 模板安装偏差控制在规范允许范围内, 钢筋绑扎、混凝土浇筑全程旁站监督, 避免漏筋、振捣不密实问题; 控制混凝土浇筑温度与养护周期, 做好抗裂措施; 箱涵企口、防水凹槽尺寸精准, 止水带预埋位置准确, 为后期防水施工提供保障。

#### 4.2.2 顶进参数与姿态管控

采用智能监测系统实时采集箱涵轴线、高程、顶力、沉降数据, 实现动态调控。千斤顶对称布设, 同步加压, 根据偏移情况调整单侧顶力, 及时纠偏; 滑板保持平整, 润滑层均匀; 挖土作业对称均衡, 严控超挖欠挖; 顶进速度保持匀速, 严禁超负荷顶进; 顶铁布设顺直, 保证传力均匀, 避免应力集中。

#### 4.2.3 土体扰动与沉降管控

严格控制开挖断面与掌子面稳定性, 软弱土体采用超前支护; 降水作业精准调控地下水位, 避免土体过度固结; 及时开展同步注浆与二次注浆, 填充土体空隙, 加固路基; 严控出土速度, 减少土体流失; 全过程监测地表沉降, 沉降值接近预警值时, 立即放缓顶进速度, 采取加固措施。

### 4.2.4 防水接口质量管控

止水带安装牢固顺直, 避免扭曲破损; 箱涵节段拼接紧密, 缝隙均匀; 注浆压力、注浆量严格按照设计执行, 确保密封严实; 箱涵外壁防水涂层均匀完整, 无破损空鼓, 提升整体抗渗性能。

### 4.3 信息化监测与应急管控

构建多维度信息化监测体系, 监测内容包含箱涵本体应力应变、轴线高程、地表道路沉降、土体位移、地下水位、后背墙变形等, 实现数据实时传输、自动预警。建立监测数据反馈机制, 根据监测结果动态调整施工参数, 实现施工与管控同步。针对坍塌、沉降超标、结构开裂、设备故障等风险, 制定专项应急方案, 储备应急物资, 一旦出现异常立即停工处置, 保障施工质量与安全。

### 4.4 后期质量验收与运维管控

顶进施工完成后, 开展全面质量验收, 重点核查箱涵结构尺寸、混凝土强度、沉降数据、防水密封性、道路恢复质量等指标, 全部达标后方可投入使用。同时建立后期运维监测机制, 定期检测道路沉降、箱涵渗漏、结构变形情况, 及时处置潜在病害, 保障工程长期稳定运行。

## 5 结语

大跨度道路箱涵顶进施工技术凭借非开挖、扰动小、适用性强的优势, 在城市市政道路工程中应用愈发广泛。该类工程施工工序复杂, 受力体系特殊, 质量管控贯穿前期准备、预制施工、顶进作业、后期恢复全流程, 轴线偏移、沉降超标、结构开裂、防水失效是主要质量控制难点。本文通过梳理大跨度箱涵顶进各环节核心施工工艺, 剖析质量隐患成因, 从前期预控、过程管控、信息化监测、后期运维等方面提出系统性质量控制措施, 强调参数精准化、施工精细化、管控动态化, 契合当前市政工程高质量发展需求。

## [参考文献]

- [1] 张军朋. 市政公路多箱涵顶进下穿既有铁路站场的影响研究[J]. 国防交通工程与技术, 2024(06)
- [2] 宋中鑫. 箱涵顶进施工精确控制技术分析[J]. 江西建材, 2022(12)
- [3] 张军朋. 市政公路多箱涵顶进下穿既有铁路站场的影响研究[J]. 国防交通工程与技术, 2024(06)
- [4] 刘飞. 软土地基大体积箱涵顶进施工技术分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(12)