

大管径混凝土顶管穿越高速公路施工关键技术

史红伟 卢腾飞

中国水利水电第十一工程局有限公司 四川 成都 610000

【摘要】：近些年我国社会经济飞速发展，各行业都取得了很大的进步，尤其是电力行业。现如今电能人们在人们日常生活中占据着十分重要的地位，工程施工中经常需要铺设大量的地下管线，此时就需要用到顶管技术，促使非开挖施工技术越来越规模化、国际化和规范化。面对人们日益增长的需求，顶管技术也迎来的全新的挑战和机遇，只有积极引入国外及其他领域更为先进的现代化技术，同时结合自身实际情况进行科学应用，努力创新，持续研发，才能取得更佳的施工效果。本文结合某工程实例，通过对大管径顶管下穿高速施工进行研究，总结出了一套快速、高效、满足质量和安全的顶管施工技术。

【关键词】：大管径；混凝土顶管；穿越；高速；施工

1 工程概况

郑州航空港区 110KV 新苑输电线路工程地理位置处于港区会展路的西侧，线路全长 3975.62 米，建成之后将主要服务于河南中国移动数据中心和郑州高铁南站的电力供应。工程从 110KV 变电站出现，然后沿着港区会展路西侧向南延伸，中途会路过韦三河、瑞空路、商登高速等地，最终达到商登高速路南大概 500 米的位置。经过实地勘察，综合考虑各方面因素之后，本工程决定应用顶管和明挖联合隧道电缆铺设施工方式，施工顶管共计 2 段，主要包括西气东输段和商登高速段下穿顶管工程，顶管总长为 487.5 米，西气东输段顶管总长 220 米，商登高速段顶管总长 267.5 米，顶管设计直径为 4140mm、内径为 3500mm、单节长度为 2.5m 的 C50 混凝土顶管，单节管重 23.4 吨。

2 施工工艺及要点分析

2.1 施工工艺流程

施工准备→测量放样、复核→始发井内附属设施施工→地面附属设施施工→顶管机头安装及调试→出洞→注浆材料准备→掘土顶进→进排泥→注浆→测量及方向纠正→下管、接口处理→进洞→取出顶管机及附带设备→润滑泥浆置换→洞口处理→全线测量→结束。

2.2 施工工艺要点分析

2.2.1 施工前期准备工作

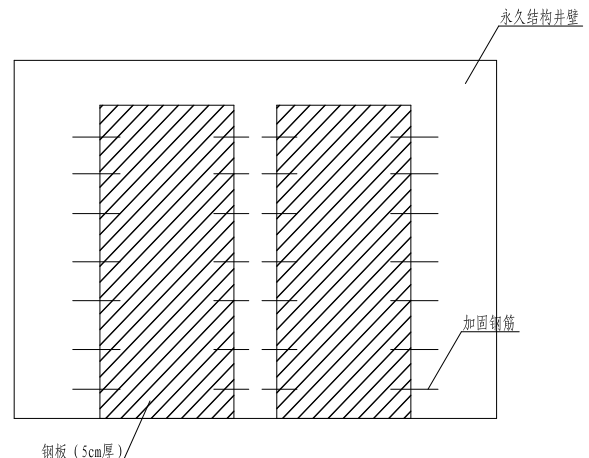
(1) 仔细研读设计图纸内容，领会设计意图，认真阅图、会审，明确施工过程需要达到的要求和标准，准确把握图纸对各施工环节具体的要求以及具体的施工流程。

(2) 参加设计方交底，理解设计意图和施工注意事项以及相关变更事宜，以便正确无误地指导施工。

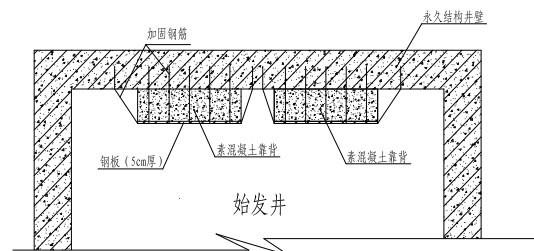
(3) 做好和高速公路主管单位及产权单位之间的沟通与对接，尽快办理好一切施工手续，参考专家的相关意见和建议，确保后期顶管施工作业的有序顺利推进。

2.2.2 始发井内附属设施施工

(1) 后靠背设置及加固该工程始发井内需要配设相应的后背墙，结合实际情况最终确定墙体厚度为 0.6 米，宽 2.5 米，高 5.5 米（两块），同时还需要在每块靠背的前面放置一块厚度约为 5 厘米的钢板。除此之外，还应事先在墙体内部预埋好靠背钢板和钢筋，将做好焊接固定处理，将钢板、靠背和墙体固定在一起，这样即使千斤顶回顶时产生比较大的振动，靠背也不会出现位移或者倾倒事故。



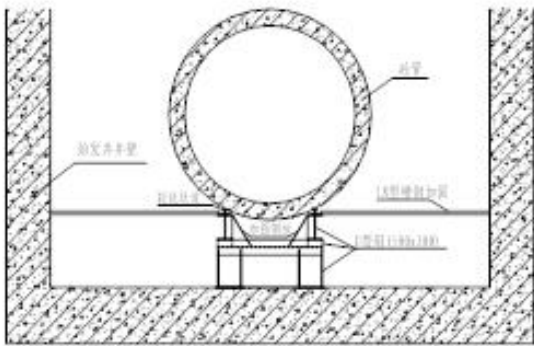
后靠背立面布置图



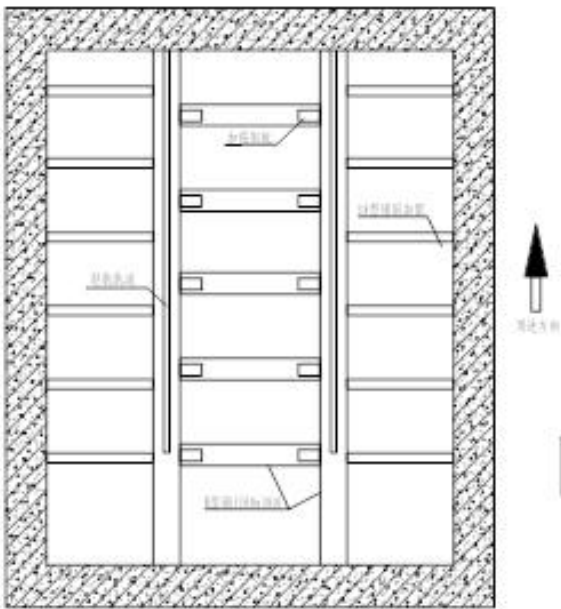
后靠背平面布置图

(2) 导轨安装及加固

为了使顶管管节能够按照设计方向和高程规范运行，管道入土顶进前最好将管节安装在导轨上。为增加管节在轨道上的稳定性，加快施工进度，经研究确定导轨基础采用型钢，导轨采用 30kg 每米的轻钢轨。



导轨立面布置及加固图

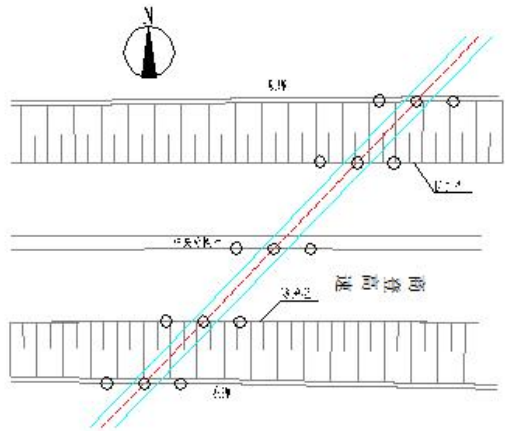


导轨平面布置及加固图

2.2.3 高速监测布置

大管径混凝土顶管穿越高速公路施工作业，势必会给高速公路工程造成一定的影响，加之公路日常行驶车辆比较多，车速又快，为了实时掌控顶管施工期间高速公路具体沉降状况，保证施工过程中高速公路结构足够安全稳定，必须安排专人对其沉降量变化情况与发展趋势进行严密监测。

结合设计内容，下顶进过程中，路面的最大隆起值不得超出 20 毫米，最大沉陷量不得超出 15 毫米。为了监测人员的人身安全考虑，高速公路路面变化监测位置通常布设在路两侧的路肩、坡脚和中央分隔带，该工程共布设了 15 个监测点，相邻两个点之间的横向距离为 6 米。观测点布置工作需在开始施工前就做好，开始监测之后需对监测数据做好详细的记录，顶管顶进过程中，每隔 4 小时观测一次，直到两个监测周期内速率小于 0.01~0.04mm 的时候方可停止监测。



高速观测点布设图

2.2.4 顶管顶进的减摩措施

为了降低顶管顶进过程遇到的摩擦阻力，可以在管子周边放置一些润滑泥浆，这种方式可以有效减小顶管顶进阻力，是非常方便经济的一种举措。泥浆的制备需要借助搅拌机，事先化开纯碱，并加入一定量的膨润土，然后搅拌 20 分钟，保证混合料足够均匀，拌和好之后还需将泥浆放置在储浆桶中静止一天一夜进行发酵膨化。

部位	膨润土 (kg)	水 (kg)	纯碱 (kg)	漏斗粘度 (s)
高速范围	285.7	1000	2~3	50.2
高速以外范围	200	1000	2~2.5	42.5

2.2.5 进出洞口处理

洞口土体需采用二重管法高压旋喷注浆方式进行加固处理，加固注浆的流量应大于 30L/min，压力大于 25MPa。

由于顶管机属于大型机械设备，自身重量比较大，机器在转动的时候往往会产生剧烈的震动，会在一定程度上促进土体液化，降低其承载力，这就使顶管机面临下沉的风险。也有可能因为上层和下层土质不同，恰巧下层土质更加松软，致使顶管机下偏。此时就需要利用拉杆将顶管机和前三节管节连接在一起，调整后座主推千斤顶的合力中心，一旦顶管机出现下溜趋势，可以通过底部的千斤顶进行及时纠偏。

2.2.6 重点区域可视化监控

顶管施工涉及工序及设备较多，操作稍有不慎，将造成较大的影响。在此情况下为了保证顶管施工过程的安全性，需要在施工区域恰当的位置合理布设监控系统，利用监控系统及时收集施工区域的具体施工情况，从而掌握其安全状况，及时发现隐患并做出处理，保证施工现场的安全性。这里所说的监控系统包含有多种监控设备，比如：高清红外摄像机、3G/4G 网络硬盘录像机、高清网络球 7 机等。

序号	覆盖范围	选用设备类型	实现目的	备注
1	行吊上方	高清网络球机	监控行吊作业情况，并监控整个场地。	
2	泥浆坑	红外线防爆防水摄像机	监视整个泥浆坑，保证泥浆坑运行正常。	
3	润滑泥浆拌置系统	红外线防爆防水摄像机	监视整个润滑泥浆拌置，尤其是泥浆池和注浆泵压力表。	
4	始发井	红外线防爆防水摄像机	监视井内运行情况。	
5	顶管机头仪表盘和机头内激光靶	红外线防爆防水摄像机	监视仪表盘数据是否正常和顶管机头偏移情况。	
6	螺旋输送机出口及泥水转换箱	红外线防爆防水摄像机	监视出土情况和泥水转换箱运行情况。	
7	顶管内	红外线防爆防水摄像机	监视整个管道内情况，按照 100m 增加一个。	

通过对视频监控系统设施的布设，使工作人员能够做到对施工现场的远程监控，借助这些现代化监控设备对整个顶管施工过程进行全方位、全天候图像监控和数据查看，保证现场安全满足工程施工设计要求。随着科学技术的快速发展，现如今这些监控设备性能已经非常完善，操控人员在监控室内就可以清晰地看到现场具体施工情况，结合监控数据进一步作出科学合理的决策，为施工作业提供可靠的指导。

2.2.7 顶管顶进施工

(1) 主顶设备及安装

主顶设备是指主顶千斤顶，其安装在顶进工作坑内，主要作用是向土体中顶进管道，目前常见的驱动方式为活塞式双作用油缸。

(2) 顶管机的安装和调试

顶管机作为大管径混凝土顶管穿越施工中最为关键的一个设备，必须对其安装及调试工作引起高度重视。开始安装前就应进行一次调试操作，同时做好油管安装前的清洗工作，严禁任务污染物进入油管，同时保证电路系统的干燥性，机头运转性能处于良好的工作状态，液压系统也没有泄漏现象。

(3) 运输路线规划及协调

郑州航空港区为新建城区，基础设施较为完善，但是该段工程运输需经过一个临时安置区，顶管运输路线在进入临时安置区前，道路畅通，满足大型构件运输要求。首先，进入临时安置区后存在高压线过低，运输车辆无法正常驶过。需提前协调对沿线高压线进行改造或修建临时道路避开高压线。其次，严格规定管材运输时间，尽量做到不扰民。最后，做好安置区内运输路线的扬尘治理和安全文明施工，不因管材运输出现阻挠施工的现象，确保顶管管材运输稳定，为顶管施工提供足够的管材。

(4) 人员及设备配置及优化

根据现场施工情况，根据测算千斤顶顶进每分钟最高可达 5cm/min。但现场实际操作发现最快 3 小时方可完成一根管节的顶进工作。据现场统计，大部分时间都浪费到，注浆管安装、进水管、出泥

管安装、管节吊装、顶铁拆除安装等工序上。

为加快施工进度，我部对现场施工人员及管理人员进行合理安排，增加设备，确定设备专项使用，主要人员设备调整如下：

1) 行吊只用于膨润土、管节吊装，禁止它用，并配置一个行吊操作人员和泥浆拌置人员。一节管节在纯顶进时间约为 50 分钟，在单节管节顶进完成前，即 50 分钟内完成需用泥浆吊装和管节下井准备工作。

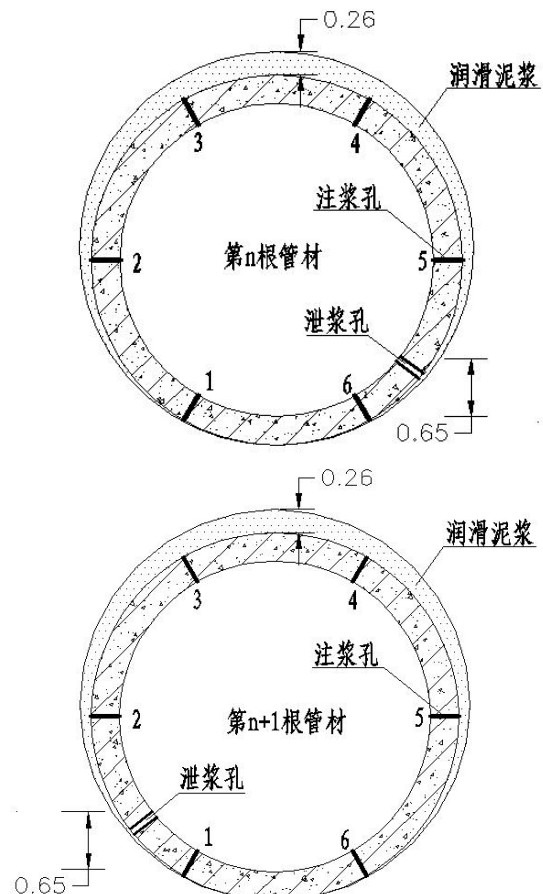
2) 由于用行吊作为顶铁的拆除，会造成管节吊装时间的浪费，导致千斤顶闲置时间增加，再加上行吊调运速度慢，故增加一台 25t 汽车吊作为顶铁的安装和拆除，增加汽车吊，单节管节顶进时间可节约 20 分钟。

(5) 改进出土方式

根据本工程特点和地质条件，本工程选用土压平衡顶管机，采用土压平衡顶管机顶进过程中，出土的快慢将影响管节的进尺，为加快本工程出土进度，本工程采用斗车与起重设备结合的运土、泥土转泥水两种方式出土。

2.2.8 泥浆置换

在顶进完成后，必须及时做好水泥浆置换，以减少后期高速公路沉降。由于润滑泥浆成胶凝状态，置换较为困难，需在管节上用水钻打泄浆孔以利于泥浆的排出和水泥浆的注入。



注浆孔及泄浆孔布置图

为保证润滑泥浆和水泥浆注浆达到较好的效果，在每节管材端头布置注浆孔 6 个。由于注浆孔内设置止回阀，故润滑泥浆无法通过注浆孔排出，需在每根管材打一个 5cm 泄浆孔，以利于泥浆排出。泄浆孔位于两根管材注浆孔的中间，每根管材泄浆孔左右错开布置出。本工程水泥浆液配比为 0.5: 1，注浆压力控制在 0.5MPa，具体泥浆置换

操作方法如下:

第一步:用水钻在事先规定的位置打一个5cm的泄浆孔。

第二步:将打好的泄浆孔,用木塞和土工布将打好的泄浆孔封堵,防止浆液外溢,造成土体沉降。

第三步:开始第一根管材范围内的水泥浆置换工作,安装第一和第二根管材水泥浆注浆管,打开第一节管材的泄浆孔。

第四步:同时打开第一根和第二根注浆孔1,注入水泥浆液量达到注浆孔3的位置时,打开注浆孔2开始注浆。注入水泥浆液量达到注浆孔4的位置后打开注浆孔3开始注浆,注入水泥浆达到5的位置后打开注浆孔4开始注浆,泄浆孔开始出水泥浆后,打开注浆孔5和注浆孔6开始注浆,冒出纯水泥浆后,用木塞加土工布封堵泄浆孔,然后继续注1分钟水泥浆液,结束第一根管材的泥浆置换工作。

第五步:开始第二根管材范围内的水泥浆置换工作,安装第三根管材水泥浆注浆管,打开第二节管材的泄浆孔。

第六步:同时打开第二根和第三根管材注浆孔6,注入水泥浆液量达到注浆孔4的位置时,打开注浆孔5开始注浆。注入水泥浆液量达到注浆孔3的位置后打开注浆孔4开始注浆,注入水泥浆达到2的位置后打开注浆孔3开始注浆,泄浆孔开始出水泥浆后,打开注浆孔2和注浆孔1开始注浆,冒出纯水泥浆后,用木塞加土工布封堵泄浆孔,然后继续注1分钟水泥浆液,结束第二根管材的泥浆置换工作。其它管材的泥浆置换按照第三、四、五、六步的顺序进行。最后用无收缩性的细石混凝土将泄浆孔封堵。

3 结语

目前顶管施工工艺较为成熟,主要针对本工程施工特点,通过对大管径土压平衡顶管穿越高速技术研究,对顶管穿越高速快速化施工、顶管顶进的降阻减摩、高速监测布置及防沉降措施、重点区域可视化监控、泥浆置换等进行技术研究,制定相关控制措施,形成一套更为完善的技术成果。具有显著的社会、经济效益,推广前景良好。

参考文献:

[1]CECS246.给水排水工程顶管技术规程[S].2008.

[2]GB50268.给水排水管道工程施工及验收规范[S].2008.

作者简介:史红伟,男,甘肃泾川人,全日制本科学历,双学士学位。现就职于水电十一局黄藏寺工程项目经理经营合同部,主要从事技术、经营及党群工作。地址:青海省海北藏族自治州祁连县八宝镇。

卢腾飞,男,河南虞城人,全日制本科学历,现就职于水电十一局中开项目经理经营合同部,主要从事技术、安全工作。地址:河南省商丘市睢阳区豫苑路天明城。