

小断面、长隧洞悬臂式纵轴掘进机 开挖工法

鞠林林 黑旭豪 廖兆勇

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 郫县 611730)

【摘要】 本文中该工法提出了悬臂式纵轴掘进机开挖与轴流风机负压抽风、激光导向仪定位放样辅助的配套使用模式,重点介绍了悬臂式纵轴掘进机在小断面、长隧洞开挖中的施工工艺流程及操作要点,为类似工程施工提供参考。

【关键词】 负压抽风;激光导向仪定位放样;横向往复式截割;二次倒运

中图分类号: TV53+4

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)05-0078-05

On the construction methods of cantilever vertical shaft type tunneling machine in small section and long tunnels excavation

JU Linlin, HEI Xuhao, LIAO Zhaoyong

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Pixian 611730, China)

Abstract: In the paper, the matched application mode of cantilever vertical shaft type tunneling machine excavation, axial flow fan negative pressure convulsion, and laser alignment telescope location lofting auxiliary measures is proposed for the method. The construction process flow and operation keys of cantilever vertical shaft type tunneling machine in small section and long tunnels excavation are mainly introduced, thereby providing reference for construction in similar projects.

Keywords: negative pressure convulsion; laser alignment telescope location and lofting; horizontal reciprocating cutting; secondary reshipment

传统水利水电工程隧洞的开挖方法多为钻孔爆破法,需经过测量放线、钻孔、装药、连线、起爆、通风散烟、排险、出渣等工序,不仅工序繁琐,而且施工安全风险高、爆破冲击波对隧洞围岩及附近建筑物的扰动大、超欠挖控制难度大。小断面、长隧洞的开挖更是存在火工材料单耗高、通风散烟困难、施工效率低等一系列弊端。

1 适用范围

本文中该工法适用于岩石单轴抗压强度低于100MPa、施工区域居民较多、环保要求高、横断面面积

为10~30m²小断面隧洞开挖施工,隧洞长度大于1000m时优越性能尤为显著。

2 施工工艺流程及操作要点

2.1 施工工艺流程

悬臂式纵轴掘进机的主切割运动是通过截割头旋转和截割臂水平或垂直摆动合成的运动。截割头的截齿克服与岩体的摩擦阻力,通过旋转产生切削力进行岩石切割,达到切削岩石、完成隧洞开挖的目的。

其施工工艺流程见图 1。

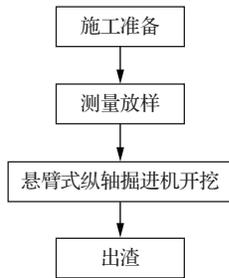


图 1 小断面、长隧洞悬臂式纵轴掘进机开挖
施工工艺流程

2.2 操作要点

2.2.1 施工准备

掘进机组装与调试:悬臂式纵轴掘进机的机身长且自重大,不能整体运至施工现场,设备到场后由厂家的技术人员在隧洞外组装并完成专用变压器的安装。组装完成后进行整体调试,试运转正常后方可进洞掘进,悬臂式纵轴掘进机组装见图 2。

安装电缆:悬臂式纵轴掘进机供电电压为 1140V,其专用高压电缆放置于锚固在隧洞边墙的简易电缆支



图 2 悬臂式纵轴掘进机组装

架上,距离底板高度 80cm,以便于移线作业,高压电缆随掘进机开挖进尺向洞内延伸。

安装通风设备:开挖过程中隧洞内空气污浊,若长隧洞采用射流风机进行压入式通风,通风效果甚微,故在隧洞口安装 3 × 37kW 轴流风机负压抽风,采用

DN800mm HDPE 双壁波纹管延伸至掌子面。开挖时掌子面产生的污浊空气通过轴流风机及波纹管被抽排至隧洞外,洞口附近的新鲜空气则由于掌子面范围形成负压自流至隧洞内,大大改善隧洞内的空气质量。通风设备及电缆安装见图 3。



图 3 通风设备及电缆安装

2.2.2 测量放样

测量检查加密控制桩点,采用全站仪按设计桩位坐标进行放样,放出开挖轮廓边线,并将测量放样成果向现场管理人员交底。隧洞轴线的水平允许偏差为 $\pm 100\text{mm}$,洞底高程允许偏差为 $\pm 60\text{mm}$,隧洞开挖轮廓线的允许偏差为 $+50\text{mm}$,且不允许欠挖。

当直线型隧洞开挖长度大于 20m 时,根据断面尺寸使用 $5\sim 7$ 个激光导向仪定位放样,替代每循环的全站仪放样。激光导向仪安装在拱顶、拱脚、边墙等部位,使用过程中每隔3天对其进行检查、校核,防止仪器震动或损坏,确保放样准确性,以保证隧洞准确贯通。激光导向仪安装位置及应用效果见图4。

2.2.3 悬臂式纵轴掘进机开挖

启动悬臂式纵轴掘进机,依次开动油泵电机 \rightarrow 第一运输机 \rightarrow 星轮 \rightarrow 截割头。将掘进机行走至截割头与掌子面距离 50mm 位置,将后支撑操作手柄向后拉动,保证后支撑下降与底板压接密实,增大掘进机与底板摩擦力,以抵制截割时产生的巨大后推力。



图4 激光导向仪安装位置及应用效果

掘进机采用横向往复式截割,截割时将截割头调至隧洞中部,由隧洞中下部开口进刀,左右摆动先割出槽窝,然后按照S型或Z型左右循环向上的截割路线逐级截割以上部分。通过掘进机行走系统和截割头的伸缩控制进刀深度,进刀深度不超过截割头长度,以 0.8m 为宜,根据隧洞岩石性质确定每个循环的进刀次数、进尺长度。悬臂式纵轴掘进机开挖施工方法及截割路线如图5和图6所示。

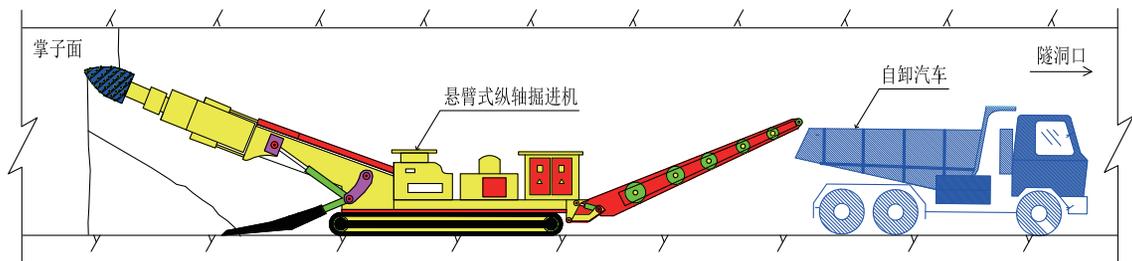


图5 悬臂式纵轴掘进机开挖施工方法示意图

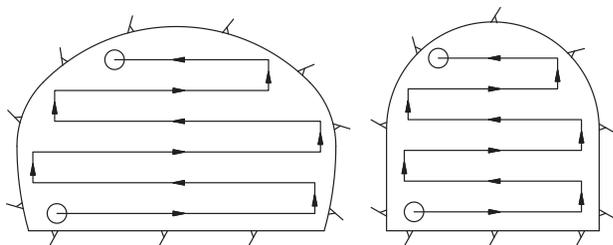


图6 悬臂式纵轴掘进机开挖截割路线示意图

在软岩和极软岩洞段开挖时,应根据围岩变形大小,在设计开挖线之外适当预留变形量,保证永久衬砌结构的设计尺寸。当遇有硬岩时,不应勉强截割,对于有部分露头的硬石,先截割其周围部分,使其坠落,解体后再进行装载。截割作业时,铲板尖与底板压接密

实,防止机体振动。

截割出初步断面形状后,进行二次修整成型并及时进行地质编录。悬臂式纵轴掘进机洞口及洞内开挖施工见图7。

悬臂式纵轴掘进机开挖作业应每天填写反映掘进机工作情况的日报表,日报表中应有下列主要内容:①掘进机开挖的起止桩号;②所掘进的洞段开挖轮廓线、高程和洞轴线偏差的检查结果;③掘进机的实际运行参数;④机械故障及维修的详细信息;⑤洞内各类人员和设备投入数量;⑥开挖洞段的地质条件,所遇到的特殊地质问题,并出具相应的检测数据和处理措施。

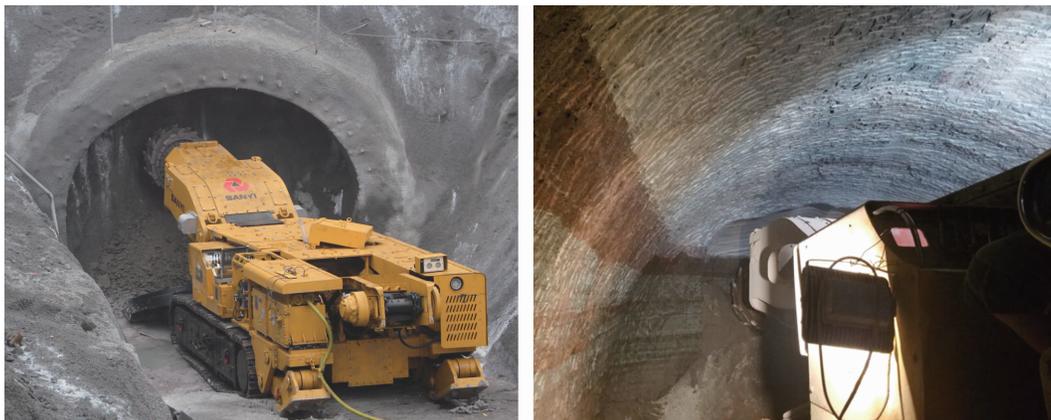


图7 悬臂式纵轴掘进机洞口及洞内开挖

2.2.4 出渣

开挖渣料采用掘进机自带装运铲板收集,经第一运输机和第二运输机装自卸汽车运输至指定渣场。当渣场运距较远或隧洞断面较小,洞内只能采用小型运输车时,在洞口设置临时堆渣场,采用装载机装大型自卸汽车二次倒运至指定渣场。悬臂式纵轴掘进机出渣施工见图8。



图8 悬臂式纵轴掘进机出渣

3 工法特点

a. 悬臂式纵轴掘进机开挖彻底取代了火工材料,从根源上消除了火工材料保管和使用过程中的安全隐患,且避免了由于火工材料供应的不确定性影响施工进度。

b. 采用悬臂式纵轴掘进机进行开挖施工,可彻底消除爆破冲击波对周边围岩及附近建筑物、结构物的扰动,提高围岩稳定性及隧洞整体施工质量,减少对外协调工作量。

c. 悬臂式纵轴掘进机进行开挖施工具有机械化水平高、施工工艺简单、施工进度稳定、施工速度快等特点,较钻爆法开挖速度可提高2~3倍。

d. 悬臂式纵轴掘进机开挖成型效果好,可有效控制超欠挖,减少后期超填工程量和欠挖处理工作量,提高施工效率,节约施工成本。

e. 悬臂式纵轴掘进机采用清洁能源——电能作为动力来源,对环境污染小,积极地响应了国家“绿色施工、环保施工、低碳施工、文明施工”的号召。

4 效益分析

4.1 经济效益

采用悬臂式纵轴掘进机开挖可大大提高机械化施工水平,采用激光导向仪放样,全站仪定期复核工艺,可大幅度降低人工成本;相比钻爆法开挖降低了由于手工操作工序繁琐而导致的人为操作失误概率,减少经济损失、降低安全风险;同时有效解决了小断面、长隧洞火工材料单耗量高等问题;隧洞成型效果好,可有效控制超欠挖,减少后期超填工程量和欠挖处理工作量,节约潜在成本;掘进机施工工艺简单、施工进度稳定、施工速度快(每天可开挖8~10m),较钻爆法开挖速度可提高2~3倍,节约了施工工期和管理成本,经济效益显著。

4.2 社会效益

悬臂式纵轴掘进机开挖彻底取代了火工材料,从根源上消除了火工材料保管和使用过程中的安全隐患,消除爆破冲击波对隧洞周边围岩及附近建筑物、结

构物的扰动,提高围岩稳定性及隧洞整体质量;有效降低施工噪音对周边村民生产、生活的影响,减少施工的负面影响;同时该掘进机采用清洁能源——电能作为动力来源,对环境污染小,响应了国家“绿色施工、环保施工、低碳施工、文明施工”号召,在施工区域居民较多、环保要求较高、隧洞覆土厚度不大的条件下,社会效益显著。

5 应用实例

资中县水库联网输水工程 A2 隧洞和 B3 隧洞长度分别为 2140.3m、2049m,开挖断面尺寸分别为 5940×3738mm(马蹄形)、4040×3920mm(城门洞形),无施工支洞。隧洞开挖采用悬臂式纵轴掘进机施工,于 2016 年 3 月开始施工,2016 年 12 月贯通,满足工期及质量要求,施工过程中无安全事故发生,得到了县政府和业主的高度认可。

(上接第 77 页)

当水库正常高水位处于 330.00m 时,水深约为 35m,水面的宽度约为 300m,断面岸坡之间的长度 L 约为 100m,只考虑平面定位误差而忽略其余误差的情况下,断面面积误差应为 $(30+4) \times 100\text{m} = 34\text{m}^2$,此时断面面积应不小于 10000m^2 ,相对误差的取值范围在 0.35% 及以上。相反在只考虑测深误差而忽略其余误差的情况下,意味着将 $\tau = 0.4\%$ 的相对误差考虑到断面面积计算过程中,在最不利工况下,针对断面面积所计算出的相对误差 $\frac{\Delta S}{S} \leq 0.53\%$ 。

断面与断面之间的体积误差可以用下式计算:

$$\begin{aligned}\Delta V_{i,i+1}^h &= (S + \Delta S)(D + \Delta D) - SD \\ &= S\Delta D + D\Delta S + \Delta S\Delta D\end{aligned}$$

相对误差为:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta V_{i,i+1}^h}{V_{i,i+1}^h} &= \frac{S\Delta D + D\Delta S + \Delta S\Delta D}{SD} \\ &= \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta D}{D} \frac{\Delta S}{S} = 0.07\% + 0.53\% \\ &\quad + 0.07\% \times 0.53\% = 0.6\%\end{aligned}$$

根据计算得,库容成果所产生的相对误差最大值为 0.60%,完全符合规范对大连市小水库库区淤积测量精度的要求,这显然与差分 GPS 定位技术的运用是分不开

采用该工法施工,创造了此工程中隧洞开挖及初支综合进尺 277m/月和开挖进尺 16m/天的最高纪录,节约直线工期 1.5 个月,节约隧洞超挖清运及混凝土超填工程量约 9089m^3 ,避免采用钻孔爆破法开挖不能满足工期要求而新增施工支洞及新建施工便道长度 3142m,产生经济效益 1281 万元。

6 结语

在科技发展日新月异的今天,应积极采用“四新”工艺,提高机械化施工水平、降低安全风险。悬臂式纵轴掘进机开挖与轴流风机负压抽风、激光导向仪定位放线辅助的配套使用模式,成功破解了小断面、长隧洞工程开挖安全风险高、超欠挖控制难度大、施工成本高、通风散烟困难、施工进度慢等诸多难题,取得了较好的经济效益和社会效益,证明该工法具有较好的推广应用价值,可为类似工程施工提供参考。◆

的,可见在小水库库区淤积测量过程中,该方法的运用具有极大的精度优势,会大大提升测量的精确度。

在上述水库库容及淤积测量及分析模拟的过程中,定位、测深、采集获取数据、处理、成图等过程都是通过测量仪器及计算机系统自动完成,整个过程都是实时动态进行的,所以能够获取所有相关的数据信息,且数据精确度高、采集密度大,故测量结果比常规测量方式下的结果更加客观真实。

5 结语

本文对差分 GPS 定位技术与其他技术(如数字超声波测深技术、导航软件技术等)的有机结合进行了尝试性探索,可以实现平面数据与水深数据之间的转换与融合,并对大连市小水库库区淤积情况进行了测量,对小水库库容成果精度进行了科学合理的评价,可为类似工程提供指导借鉴。◆

参考文献

- [1] 秦晓东,任志峰. RTK 技术在三门峡水库淤积断面测量中的应用[J]. 人民黄河,2011(1):14-25.
- [2] 谢金明,吴宝生. 水库泥沙淤积管理综述[J]. 泥沙研究,2011(6):71-77.