

# 水利工程软岩隧洞开挖与支护施工研究

王东

昌吉市水利管理站(三屯河流域管理处), 新疆 昌吉 831100

**[摘要]**在水利工程领域,特别是在软岩环境下,隧洞的开挖与支护施工面临着极大的挑战。作为典型的大型水利项目,努尔加水库工程的复杂性尤其显著。该工程涉及的导流洞、放水洞和表孔溢洪洞等隧道系统,对工程技术的要求极为严格。这些隧洞的建设不仅需要精确的施工技术,还必须确保工程进度和安全性。当前,在软岩条件下进行隧洞开挖及支护结构的稳定性保持,成为了关键研究课题。文章通过对不同隧洞类型施工方法的深入探讨,旨在揭示这些挑战的解决方案,并为类似项目的实施提供有价值的参考。

**[关键词]**水利工程;软岩隧洞;开挖施工;支护结构;技术挑战

DOI: 10.33142/hst.v7i11.14312

中图分类号: TV672.1

文献标识码: A

## Research on Excavation and Support Construction of Soft Rock Tunnels in Hydraulic Engineering

WANG Dong

Changji Water Conservancy Management Station (Santun River Basin Management Office), Changji, Xinjiang, 831100, China

**Abstract:** In the field of hydraulic engineering, especially in soft rock environments, tunnel excavation and support construction face great challenges. As a typical large-scale water conservancy project, the complexity of the Nurga Reservoir project is particularly significant. The tunnel systems involved in this project, such as diversion tunnels, drainage tunnels, and spillway tunnels, have extremely strict requirements for engineering technology. The construction of these tunnels not only requires precise construction techniques, but also must ensure project progress and safety. Currently, maintaining the stability of tunnel excavation and support structures under soft rock conditions has become a key research topic. The article aims to reveal solutions to these challenges and provide valuable references for the implementation of similar projects through in-depth exploration on construction methods for different types of tunnels.

**Keywords:** water conservancy engineering; soft rock tunnel; excavation construction; supporting structure; technical challenges

### 1 工程概况

努尔加水库工程坝址位于昌吉市三屯河山口上游约2km处,坝型为沥青混凝土心墙坝,枢纽主要建筑物有:拦河坝、表孔溢洪洞、导流兼泄洪排沙洞和放水洞组成。表孔溢洪洞、导流兼泄洪排沙洞和放水洞均布置在左岸,左岸基岩裸露,岩性为砂砾岩,导流泄洪洞、溢洪洞和放水洞洞室围岩主要为IV类。

表孔溢洪洞全长约511m(不含消力塘),洞身为7.2m×8.8m的城门洞型。导流兼泄洪排沙洞洞身全长640m(不含消力塘),进口隧洞洞身为6.0m×6.5m的城门洞型,洞身段为5.0m×6.8m的城门洞型。放水洞为压力洞,全长573m,进口隧洞洞身为4.0m×5.0m的城门洞型,洞身段为直径4.0m的圆型断面。

### 2 导流洞开挖

导流兼泄洪排沙洞全长640m,为了确保施工进度与安全,采用了“短进尺、强支护、快封闭、勤量测”的方法进行施工。上半洞的边顶拱由风镐完成开挖,开挖1~2m后,随即展开钢支撑的安装、挂网和喷射混凝土作业。混凝土的厚度与强度将根据围岩的实际情况进行调整,以确保隧洞结构的稳定性。达到预定挖掘距离后,下半洞的

开挖由挖掘机接手,小型设备被用来剔除欠挖部分,确保隧洞断面符合设计要求<sup>[1]</sup>。弃渣通过自卸汽车运至指定的弃料场,从而减少对施工区域的干扰。

竖井的高度为57m,开挖由挖掘机自上而下逐层进行,每两米开挖后,挂网喷护作业立即展开。此过程旨在增强围岩稳定性,防止局部坍塌或岩石掉落。出渣工作由50吨吊车完成,渣土由挖掘机装入吊罐后,吊车将其提升至地面平台,再由自卸车将渣土运至弃料场。为了确保施工安全,现场安装了多台监测设备,实时监测围岩和支护结构的动态变化,并依据监测数据对施工方案进行及时调整。

在施工过程中,超欠挖的控制至关重要。挖掘精度必须保持严格,支护方案也将依据监测数据进行优化,以应对围岩变形和应力释放可能带来的风险。钢支撑、挂网与喷护作业紧密衔接,所有施工步骤均按照设计标准执行,以避免支护不及时可能导致的安全隐患<sup>[2]</sup>。出渣方案经过精心设计,出渣的路径与频率被合理规划,既减少了现场的拥堵,也有效降低了环境污染的风险。

### 3 放水洞开挖

放水洞,全长573.342m,为压力洞。采用了免爆机械与挖掘机相结合的裸挖方法,确保了施工的高效性。在

开挖过程中,超欠挖的严格控制措施被实施,以确保隧洞形状符合设计要求。圆形断面开挖期间,技术总工及地质专家对现场进行了查勘。基于地质条件的详细分析,决定无需额外的支护。这一决策,不仅提升了施工效率,还避免了支护材料的浪费。

竖井的高度为45m。开挖工作从上游进口段开始,逐步推进至闸井部位。钻机在开挖前钻通了闸井,形成了与上游洞室的连接,确保了有效的出料通道的建立。接下来,挖掘机从上至下进行分层开挖,每开挖两米后立即完成挂网喷护,增强了岩体的稳定性,保证了洞室结构的安全。弃料通过出料通道卸至进口洞室,再由自卸汽车运送至弃料场。

在竖井开挖过程中,围岩的变化被实时监测,施工方案也因此根据监测数据进行调整。这种方法最大限度地降低了围岩变形的风险。通道式出渣方案的采用,提高了出渣效率,并避免了竖井内渣土堆积对施工进度的影响<sup>[3]</sup>。通过先进机械设备与技术手段的合理运用,施工人员不仅提升了施工效率,还降低了施工风险,确保了施工质量与安全标准。

#### 4 表孔溢洪洞开挖

全长511.341m的表孔溢洪洞(不包括消力塘),其洞身断面为7.2m×8.8m的城门洞型。在施工过程中,斜坡段、反弧段及渐变段的高程问题,通过“短进尺、强支护、快封闭、勤量测”的开挖方法得以应对,确保施工的稳定性与安全性。作业从洞顶拱开始,由挖掘机械对上半洞进行开挖。开挖至1~2m的深度后,钢支撑的安装、网片的挂设与混凝土喷护工作被立即进行。喷护层的厚度设定为10cm。待开挖进度满足要求并确保作业空间足够后,挖掘机将继续对下半洞进行开挖。通过这种开挖与支护的交替进行,超欠挖现象得到了有效控制,隧洞形状保持了良好的准确性。

对于斜坡段与反弧段的复杂地质条件,特别的支护措施被引入。高程的调整与支护结构的精准配置,在确保施工安全与进度方面,发挥了关键作用。每一段开挖完成后,必须及时执行支撑与喷护,以防围岩出现松动或坍塌。通过这种循环实施的工序,避免了开挖过程中可能出现的结构问题。在开挖过程中,对不确定性的有效应对成为重点。精细的测量与实时监测使得施工方案能够迅速调整,从而保障了施工的准确性与安全性。围岩的预处理以及支护措施的加强,显著减少了岩体应力释放的问题,提升了开挖过程的稳定性。弃料通道与储存方案的合理配置,确保了弃料处理的高效,避免了施工现场的拥堵,提高了施工效率,保证了表孔溢洪洞开挖工程的安全顺利完成。

#### 5 浅析优缺点

##### 5.1 导流洞的优势与不足

导流洞的洞身较长,长度使得施工时间成为关键。为

保证项目顺利推进,在0+144位置设置了一条支洞,使得进口、出口、支洞上游、支洞下游及竖井五个工作面能够同时开挖。这种多工作面的开挖方式大大提高了施工效率,尤其是在洞身全线贯通前的关键节点起到了重要作用。施工组织团队精心安排了开挖进度,确保当年11月下旬进行洞身开挖,次年3月下旬洞身全线贯通,为4月的砼浇筑工序提供了足够的时间缓冲。

虽然这种施工方案在工期保证上表现良好,但在实施过程中也暴露出一些问题。五个工作面的同步作业带来了较高的施工协调难度。各工作面之间的距离和作业状态不同,可能导致相互干扰。隧洞的长度意味着通风、照明、排水等辅助设施的布置更加复杂,尤其是在洞内深处,工人面临着较差的作业环境。为了解决这一问题,施工方需要配备更加专业的设备和设施,进一步增加了施工成本<sup>[4]</sup>。此外,多个工作面同时开挖的作业模式,虽然加快了进度,但在不同工序的衔接和各个工作面之间的协调上存在更高的要求,需要施工管理者具备出色的组织能力。

##### 5.2 城门洞型隧洞的开挖策略

对于城门洞型隧洞的开挖,采用了“短进尺、强支护、快封闭”的施工方法。该工艺强调在短距离内快速完成每个工序,避免长时间裸露引起的隧洞不稳定问题。风镐技工严格按照设计断面进行操作,特别是在边顶拱的位置,作业人员优先开挖,以减少岩层的应力释放。每当开挖进度达到2m,立即安装一期支护钢拱架,能够防止由于基岩应力释放带来的塌方危险。支护钢拱架采用了科学设计,由主筋和附筋组成“△”形结构,确保结构稳固并具备足够的承载能力。拱架与基础之间通过钢脚板进行连接,并在榫与榫之间利用螺纹钢筋进行加固。每榫拱架之间的间距为1m,整体结构通过挂网喷砼进一步加固,喷砼厚度为10cm,确保隧洞结构的整体稳定性,快速且高效地进行隧洞开挖,同时确保了隧洞的安全性。

由于支护钢拱架的安装需要较高的精度和技术水平,施工队伍的技术能力直接影响到工程的质量。此外,强支护和快封闭的施工策略虽然能够有效减少风险,但也增加了施工时间的紧迫性,稍有疏忽可能导致支护不及时、工序延误等问题。为应对这些挑战,施工方应在施工前期加强人员培训,提高技工的作业水平,同时通过合理的工序安排确保各环节的顺畅衔接。

##### 5.3 放水洞的竖井开挖

在竖井开挖之前,首先将上游进口段洞室开挖至闸井部位,随后采用钻机将闸井与上游洞室联通。这一措施的目的在于形成一个通畅的出渣通道,大幅提高了竖井开挖时的出渣效率。相比于导流洞开挖中采用吊车吊运料斗、挖掘机装渣的方式,放水洞竖井的出渣方式显著简化,避免了吊车吊升和装运步骤,节省了大量时间和资源。通过钻通形成的出渣通道,不仅提高了出渣速度,也大大减少

了竖井施工中可能产生的物料堆积问题,确保施工现场整洁、顺畅。然而,竖井的高度使得在开挖时需要特别关注安全性,尤其是地质条件复杂的情况下,竖井的结构稳定性成为施工的重点难题。为保证施工质量,施工方应通过实时监测系统来掌控竖井的地质情况,并根据现场情况随时调整开挖方案,确保施工进度与安全兼顾。

#### 5.4 技术挑战与改进方向

隧洞施工过程中,各类隧洞的开挖方法与技术手段展示了其独特的优点,但也暴露了若干技术难题。导流洞在多工作面同时作业的情况下,显著提高了施工进度,但也对施工管理与协调能力提出了更高的要求。随着多个作业面同时推进,资源配置、设备调度和人员协调等问题的复杂性大幅增加,这使得施工管理的难度显著加大。进度的不均衡问题也时有发生,这就要求管理者具备卓越的应变能力,及时调整施工计划,以确保各个工作面顺利衔接。尽管导流洞的多面作业显著缩短了工期,提高了施工效率,但施工管理的要求随之提升。如何在多个作业面之间实现进度协调,避免因一个工作面的滞后而影响整体项目进度,是施工管理中的一项重大挑战。解决这一挑战的关键在于灵活而精准的现场管理,通过实时调整施工计划和利用信息化手段监控进展,方能确保项目的顺利推进。隧洞内环境复杂,包括通风、排水和照明等问题,都必须得到妥善处理,以保证施工的顺利进行。城门洞型隧洞的开挖中,“短进尺、强支护、快封闭”的策略提升了安全性,但也带来了更大的施工复杂性和组织难度。该类型隧洞的结构设计较为复杂,特别是在开挖边顶拱过程中,对技术人员提出了较高要求。为防止塌方等风险,需要采取多层安全措施。虽然强支护策略在提高安全性方面表现突出,但对材料的需求也显著增加,尤其是在钢拱架的安装和支护材料的选用方面,需要经过严格计算和规划,以确保施工结构的稳定性。

城门洞型隧洞的施工还要求技术人员根据地质条件灵活调整支护措施,以防基岩应力释放带来的风险。尽管通过密集的拱架和支撑,上部结构得到有效保护,但下部开挖作业仍面临挑战。在实际操作中,工人需不断调整施工方法,这一动态调整的过程考验着管理者的统筹能力及技术人员的应变能力。未来,城门洞型隧洞施工中的重点在于优化支护策略、降低施工成本,并提高作业效率。放水洞竖井的开挖工艺采用钻通闸井以形成出渣通道,这一方法相较于传统吊斗方式显著提升了出渣效率。然而,高度达45m的竖井施工带来了更高的安全风险,设备的性能要求也更为严格。竖井下部开挖过程中,地质条件的变化可能对施工安全产生影响,特别是当基岩的应力分布不均时。竖井施工应实施严格的安全监控,实时监测基岩稳定性,并根据地质条件的变化调整施工方案,以确保施工安全。尽管放水洞竖井的出渣工艺提升了效率,但高竖井施

工的复杂性和安全隐患不容忽视。相比传统的吊车吊斗方式,钻机形成的出渣通道虽然提高了效率,但也带来了新的风险。未来,放水洞竖井施工中可以考虑引入更多智能化设备,例如自动化排渣系统和无人化设备,以减少人工操作的风险,提升工作效率,并降低事故发生率。

未来的隧洞施工需要充分考虑引入智能化与自动化设备,以解决当前面临的技术挑战。无人机的应用能够显著提高隧洞巡检的效率,尤其在狭长且复杂的隧洞环境中,传统人工巡检不仅费时且难以全面覆盖。无人机通过3D扫描技术,可实时生成隧洞的三维模型,从而提供精确的数据支持,确保施工的精准性。建立信息化管理平台能够实时记录并分析施工进度,优化施工流程,减少不必要的延误。在多个工作面同时作业的情况下,数据化管理有助于协调各工作面的进展,避免资源浪费和工期延误。自动化排渣系统及无人化设备的应用,特别是在高风险区域如竖井的开挖中,能够减少人工操作的风险。通过将高危险任务交由智能设备完成,施工人员的安全性得以大幅提高,同时施工效率也显著增强。尽管智能化设备的初期投入较高,但从长期来看,这些设备能够显著降低人工成本,并提升施工效率和质量。在成本控制方面,通过合理规划材料的使用、优化支护策略,也可以在保障施工安全的前提下进一步减少开支。

#### 6 结语

努尔加水库工程的隧洞开挖与支护施工,展现了在复杂地质条件下应对技术挑战的有效策略。实施的“短进尺、强支护、快封闭、勤量测”方法,成功地解决了施工过程中遇到的各种问题,确保了项目的顺利推进及工程的安全性。通过这些策略,施工效率得到了显著提升,同时隧道结构的稳定性也得以保持。然而,施工过程中暴露出的问题,如施工协调的难度增加以及恶劣环境条件带来的挑战,突显了需要进一步优化施工方案的必要性。未来,技术创新与管理优化将成为提高施工效率与安全性的关键因素。展望未来,通过持续改进与创新,水利工程施工将变得更加高效和安全,为实现工程目标提供坚实的保障。

#### 【参考文献】

- [1] 杨树波. 新型全长预应力锚在输水隧洞支护中的应用试验[J]. 水利科学与寒区工程, 2023, 6(12): 96-98.
  - [2] 晏明. 水利工程小断面隧洞开挖与支护施工研究[J]. 中国高新科技, 2023(16): 145-146.
  - [3] 汪义安. 针对水工隧洞支护结构的耦合性力学作用性分析[J]. 水利科技与经济, 2024, 30(6): 44-48.
  - [4] 潘纯. 隧洞下穿煤层段开挖支护施工技术在水利工程中的应用[J]. 东北水利水电, 2022, 40(5): 11-13.
- 作者简介: 王东(1973.5—), 毕业院校: 新疆农业大学, 当前单位名称: 昌吉市水利管理站(三屯河流域管理处) 职称: 副高级职称, 职务: 工程科科长。