

水利工程施工中导流施工技术的应用管理分析

何 盛

广西贵港市桂平市麻垌镇何村, 广西 贵港 537000

[摘要]导流工程是水利工程建设的重要组成部分,并发挥着至关重要的作用,一方面能够助力水利工程控制水流,另一方面可以营造适宜的水利工程建设环境。导流施工技术类型多样,包括成孔导流、隧洞导流、堤坝导流以及明渠导流等。其中隧洞导流是指在施工基坑上下游修筑围堰挡水,引导河水通过岸边导流隧洞导向下游的施工导流。隧洞导流在复杂地质条件下的应用比较广泛。本篇文章以隧洞导流施工技术为例,分析了复杂特殊地质条件下隧洞导流施工的难点与存在的问题,并分别从隧洞开挖与支护等维度入手,就水利工程施工中导流施工技术的应用管理措施进行探究。

[关键词]水利工程;导流施工技术;隧洞导流施工;支护技术

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17674

中图分类号: TV5

文献标识码: A

Application and Management Analysis of Diversion Construction Technology in Water Conservancy Engineering Construction

HE Sheng

Guangxi Guiping City Madong Town Hecun, Guigang, Guangxi, 537000, China

Abstract: Diversion engineering is an important component of hydraulic engineering construction and plays a crucial role. On the one hand, it can help control water flow in hydraulic engineering, and on the other hand, it can create a suitable environment for hydraulic engineering construction. There are various types of diversion construction techniques, including borehole diversion, tunnel diversion, dam diversion, and open channel diversion. Tunnel diversion refers to the construction of cofferdams upstream and downstream of the construction foundation pit to block water and guide river water through the diversion tunnel on the bank to downstream construction diversion. Tunnel diversion is widely used in complex geological conditions. This article takes tunnel diversion construction technology as an example to analyze the difficulties and problems of tunnel diversion construction under complex and special geological conditions, and explores the application and management measures of diversion construction technology in water conservancy engineering construction from the dimensions of tunnel excavation and support.

Keywords: water conservancy engineering; diversion construction technology; tunnel diversion construction; support technology

引言

水利工程是重要的基础工程,对国民经济发展意义重大。导流工程在水利工程建设中发挥着至关重要的作用,可以为水利工程施工创造安全、适宜的环境条件。水利工程施工中需要结合工程要求、环境条件等因素合理选用导流施工技术,助力水利工程有效控制水流,为水利工程高效施工奠定基础。因此对导流施工技术应用管理方面的研究具有重要的现实意义。

1 复杂特殊地质条件下隧洞导流施工难点与问题

隧洞导流即通过围堰挡水的方式将河水沿导流隧洞导向下游,导流隧洞常见断面形式包括马蹄形断面、圆形断面以及城门洞形断面,其中圆形断面适合有压隧洞,马蹄形断面以及城门洞形断面适合无压隧洞。以隧洞断面尺寸为标准,可以将其划分为特大断面、大断面、中断面以及小断面,其划分标准详见表1。

在我国,大型水利工程主要分布在西南与西北地区,大型水利工程所在地地形通常比较复杂,水利工程施工中常见IV-V类围岩。现阶段的很多隧洞工程呈现出较大的

施工难度,其中的重要根源即为隧洞所处的地质环境较为特殊、复杂,并且分布着断层、破碎岩体、严重风化岩层等。由于以上因素的存在,将会明显增加隧洞施工人员面临的风险因素。

表1 导流隧洞断面划分标准

序号	断面类型	断面面积 (m ²)	等效直径 (m)
1	特大断面	断面面积大于 120m ²	等效直径大于 12.0m
2	大断面	断面面积大于 50m ² 小于等于 120m ²	等效直径大于 7.5m 小于等于 12.0m
3	中断面	断面面积大于 20m ² 小于等于 50m ²	等效直径大于 4.5m 小于等于 7.5m
4	小断面	断面面积小于 20m ²	等效直径

导流隧洞工程施工会受到诸多因素的影响,而地质条件则是其中的重要影响因素之一。需要结合工程地质特征来确定隧洞导流工程施工方案,同时结合具体的围堰类别确定具体的施工技术。基于以上因素的考虑,隧洞施工部门需加强前期勘察,旨在全面把握隧洞所处区域的环境情况,从而制定行之有效的隧洞施工整改方案,明确隧洞围

岩的支护与开挖作业步骤,以确保施工安全。反之,施工人员如果未能准确把握隧洞工程的特殊地质情况,再加之未能及时采取有效的补救措施,容易导致塌方等安全事故。例如在洞顶岩层较薄的情况下容易发生冒顶,在两中岩层交接带容易发生塌方,在软弱岩层段受地下水渗透等因素的影响容易出现局部坍塌等。这些不仅增加了导流隧洞施工的难度,而且还会给导流施工带来巨大的安全风险。为保证施工质量与施工安全,一方面要全面了解工程地质状况,另一方面则要结合工程地质状况合理选用开挖与支护技术,在保障施工安全的同时提升施工质量与施工效率。

2 导流隧洞开挖施工技术

开挖是导流隧洞工程施工的重要环节,同时也是导流隧洞施工中的核心环节。合理选择开挖方法是导流隧洞开挖施工安全、高效的关键,开挖技术会受到诸多因素的限制,如技术水平、设计断面以及地质条件等。具体而言,导流隧洞的开挖作业体现为如下的技术应用要点:

2.1 不良地质地段的处理措施

复杂特殊地质条件下的导流隧洞开挖施工,首先要做好溶洞、断层以及软弱岩层等不良地段的处理。具体的处理措施详见表2。

表2 不良地质地段处理措施

序号	不良地质情况	加固处理措施
1	熔岩发育地段	针对小溶洞采用挂网喷锚、注浆回填的方法处理。针对山体发育有多处岩溶潭、河边有泉点等需要采用洞内洞外处理相结合的方式。设置排水装置,加强排水,开挖揭露后立即用混凝土封堵或进行帷幕灌浆。同时,为了减轻外水压力,须根据溶洞出水流量在回填混凝土的地方设置排水装置;当有死溶洞露出时,将溶洞内水排完后回填满足结构设计要求混凝土即可。
2	软弱岩层带	对挤压密实、强度极低的岩体进行固结灌浆加固;对泥质含量高、遇水易软化的岩体进行固结灌浆和设置悬吊锚杆进行加固。
3	断层带及其影响带	对断层两侧影响带裂隙较发育的岩体进行固结灌浆加固处理;对断层严重地段,除采取固结灌浆外还需设置悬吊锚杆。

结合表2分析,通过对不良地质地段的处理,能够显著提升断层段围岩的整体稳定性,为施工安全提供有力保障,同时也能为导流隧洞的开挖与支护施工创造便利条件。

2.2 断层及破碎岩段上导流隧洞的开挖

处于破碎围岩或者断层上部的导流隧洞如果要实现安全有序的施工目标,则不能够缺少爆破、钻孔、注浆等多个工序之间的有机协调。在此前提下,加强隧洞施工全过程的质量控制与监督,施工人员需坚持正确的开挖操作流程,并应当遵循因地制宜的思路展开支护作业。隧洞施工人员针对断层较为集中的区域,应尽可能采取超前支护的处置方案,并需要注浆加固其中一部分的强风化破碎岩体。具体在开挖上层的破碎围岩结构时,通常可以将岩柱

预留在隧洞中部,或者采取左右两侧同步开挖的方式;在开挖下层的破碎围岩结构时,关键就是要借助爆破作用力予以实现,该部分主要涉及光爆层开挖、梯段爆破开挖、半断面的爆破开挖等。除了以上的导流隧洞开挖方法之外,施工部门还可结合实际情况,考虑采用周边导坑开挖的方案,或者采取浅孔爆破与开挖相结合的方案。详见表3。

表3 不同导流隧洞开挖方法的特点与优势

序号	开挖方法	开挖特点	技术优势
1	左右半洞开挖法	分左右侧进行先后开挖	这种开挖方法有助于缩小初期开挖顶拱跨度,减少围岩变形,更好地保障顶拱稳定性
2	周边导坑法	拱部弧形导坑先进,然后依次两侧开挖拱脚导坑以及墙脚导坑	这种开挖方法只需对部分周边围岩进行加固,不仅减少了工程量,而且有助于节约施工成本
3	中部预留岩柱法	先开挖左右侧导洞,再开挖中部预留的岩柱	这种开挖方法缩小了一次开挖中的顶拱跨度,减少了开挖初期的应力变形,限制了围岩松弛范围,有利于顶拱的稳定
4	中导洞开挖法	先开挖中部导洞,再开挖两侧	有利于减小对两侧边墙的爆破扰动,适合于地质情况对边墙不利的洞室开挖

在实际施工过程中,需要结合工程地质特点选择适宜的开挖方法。如某大型水电站的主断层部分,平均宽度在8~17m范围内,中端层宽度为30m左右。工程勘察人员经过前期勘测得出,该隧洞断层的围岩破碎程度普遍较高,其中的大部分围岩已经倾向于断裂或破碎,尤其是角砾岩与石英脉集中的区域。基于此,隧洞施工部门拟采取分层开挖的作业方案,分别针对破碎岩体的上层、中层与下层实施集中的开挖支护操作。其中上层开挖主要采用核心留台法施工,中层与下层则借助半幅开挖法施工。除此之外,开挖施工中还将在上层划分为七个部分,并按照由上至下、先中间后两侧的顺序施工,支护施工与开挖施工同步,以此来保障施工安全。再以B水电站为例,B水电站导流隧洞进口段涉及区域性断层,溶蚀张开剧烈,导致进口和洞脸边坡的稳定性较差,再加之工作面部分围岩全部加固会涉及较大的工程量,不仅会影响施工进度,而且会增加施工成本。综合考虑各方面因素,最终决定采用周边导坑法进行开挖。具体的开挖施工工序详见图1。

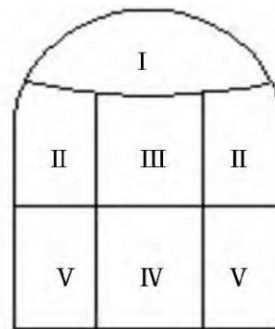


图1 周边导坑法施工工序示意图

2.3 软弱岩层上导流隧洞开挖

软岩主要包括粉砂岩、泥岩以及泥质矿岩等，具有孔隙度大、强度低以及胶结程度差等方面的特点。在实际施工过程中，应结合工程地质特征选择相应的开挖方法。如针对具有遇水易泥软化、失水易干裂、多层间剪切破碎的软弱岩层，应采用分层开挖的方式，通常应分三层进行开挖，并且要严格控制分层厚度。对于软弱岩层上部的导流隧洞在实施集中开挖作业时，隧洞施工部门应加强同工程设计人员、勘察人员之间的沟通协调，旨在全面把握隧洞施工的特殊环境情况，以此为依据展开协同性的开挖支护操作。

2.4 岩溶发育段上导流隧洞开挖

在导流隧洞施工过程中岩溶发育段也比较常见，大断面导流隧洞的施工处理难度普遍较高，对此需要坚持从上至下的施工指导思想，集中针对岩溶发育较为明显的区域进行封堵。如果涉及溶洞空腔施工，一方面要做好底板的清理与加固工作，另一方面要做好底板的回填，同时还要进行随机支护。施工部门还应结合实际情况，借助机械设备予以扩挖隧洞，然后采取弱爆破的工程辅助措施。

3 导流隧洞支护技术

支护是保障导流隧洞施工安全的关键，在复杂特殊地质特大断面导流隧洞施工过程中，应综合考虑隧洞大小、围岩类型、支护材料、开挖形式以及隧洞工况等因素确定合理的支护形式。

3.1 断层及其影响带、卸荷带和节理带上导流隧洞支护

水利工程的隧洞结构如果存在大量的断层、卸荷带、影响带等，则会进一步增加岩体破碎导致的隧洞失稳风险。再加之受构造等因素的影响，导致导流隧洞开挖后容易发生变形，并且变形发展速度快，不仅要及时进行支护，而且还需要借助刚性大的联合支护措施来控制变形发展。通常可以采用格栅钢架锚杆支护、挂网喷锚支护等方式。以格栅钢架锚杆支护为例，该方法适用于IV、V类围岩段的支护，云南土卡河水电站导流隧洞的IV、V类围岩段便采用了格栅钢架锚杆支护的方式。例如在挂网喷锚的水利工程导流作业中，施工部门通常可采取“初步喷锚-挂网作业-二次喷锚-布置锚杆-二次挂网-再次喷锚”的方式；另一种形式为初喷、锚杆、挂网、再喷。相较于第一种形式，第二种形式少了挂第二层网的环节。通常情况下，第一种形式适用于软弱层较厚的主断层带，第二种形式适用于软弱带较窄的断层带及其影响带。除此之外，针对断层及其影响带还可以采用工字钢支撑的方式，这种支护方式耐久性更强，可以承受较大的压力。以小湾导流隧洞为例，小湾导流隧洞的支护体系主要采取了工字钢作为材料，然后采取喷射纤维混凝土的加固保护措施。

3.2 软弱围岩和岩溶地段导流隧洞的支护

软弱围岩和岩溶地段导流隧洞应借助超前支护措施对围岩进行加固，同时还能通过超前支护起到封堵地下水的作用，进而为接下来的施工创造良好的环境条件。例如近

些年来，大管棚钢管已经普遍应用于水利工程的导流施工，施工人员对此需要严格限定钢管的布置间距、仰角、直径尺寸等。超前小导管锚杆以及小管棚支护参数详见表4。

表4 超前小导管锚杆以及小管棚支护参数

围岩类别	钢管直径 (mm)	钢管长度 (m)	环向间距 (cm)	外插角 (°)	
				超前小导管锚杆	小管棚支护
IV	42	3~5	40~60	10~30	3~5
V	42	3~5	30~50	5~20	3~5

3.3 围岩破碎带、围岩变形强烈段导流隧洞支护

水利工程的导流施工以及围岩支护施工应突出因地制宜的理念，水利施工部门需重视围岩变形比较显著的区域、围岩风化破碎的区域等，针对上述区域采取预应力锚杆或者“中空自进锚杆”的两种常见支护形式。具体而言，“中空自进锚杆”能够很好适应特殊与复杂的导流施工环境，操作人员可以借助中空自进式锚杆替代砂浆锚杆，这样一来便可以解决砂浆锚杆存在的问题与不足，如注浆不饱满、塌孔等。能够充分发挥锚杆的支护作用，保障围岩整体性并强化围岩承载力。如小湾水电站导流隧洞中的断层初露洞段便借助中空自进式锚杆进行支护。再以水泥卷式预应力锚杆为例，此种锚杆支护形式可显著改善岩体结构的坚固度。应用水泥卷式预应力锚杆能够快速对开挖后的围岩施加支护压力，保障围岩受力稳定，保障围岩的整体性和稳定性。

总之，复杂特殊地质特大断面导流隧洞支护方式多样，在实际施工中应结合工程实际情况与具体的支护需求合理选择支护形式，这样才能保证支护效果，才能保障施工安全。

4 结束语

导流工程是水利工程建设中的关键，是水利工程施工安全的重要保障。合理应用导流施工技术能够为水利工程依照安全的施工环境，创造适宜的施工条件，是水利工程安全、高效施工的前提和基础。本文以导流隧洞施工为例，分别从隧洞开挖与支护两个维度入手介绍了导流施工技术应用与管理措施，希望能够为其他类似工程施工提供一定的参考。

【参考文献】

- [1]靳桂斌.浅谈水利工程施工设备中导流技术的应用[J].中华建设,2025(9):198-200.
- [2]马淇霖.南方某抽水蓄能电站导流洞混凝土衬砌施工技术[J].中国高科技,2025(12):137-139.
- [3]张昭昭.隧洞新奥法施工技术在白狮水库导流洞的应用效果分析[J].水利科技与经济,2025,31(6):136-141.
- [4]冯寅.组合式施工导流技术在引江济淮工程中的实践应用[J].水上安全,2025(11):7-9.
- [5]张雪梅,帖少娟.水利工程施工导流技术的多方案比选及动态调控策略研究[J].水上安全,2025(11):16-18.

作者简介：何盛（1988.11—），男，毕业院校广西科技大学；所学专业土木工程，当前就职单位山东龙信达咨询监理有限公司，职务监理工程师，工程师。