

# 水利工程隧洞开挖支护施工技术研究

伍翔宇

中国水利水电第四工程局有限公司 青海西宁 810000

**摘要:** 在水利工程建设工作中,隧洞的开挖与支护施工的质量对整体工程建设的质量有着极大的影响,因而施工人员应当结合实际施工情况,选择适配的施工技术,并将之进行有效应用,以有效保障的隧洞开挖与支护施工的施工质量,进而保障水利工程整体建设质量。本文通过对水利工程隧洞开挖环节的施工技术以及支护施工技术进行简要分析,并对其中的施工要点提出探讨,意在为后续水利工程隧洞施工质量的优化与提升提供参考。

**关键词:** 水利工程;隧洞开挖;支护施工;技术

我国国民经济的不断发展,使得人们对于资源的利用率也不断加大,而作为提升水资源利用率的一种主要基础设施,我国水利工程建设也开展得如火如荼。截至 2023 年 4 月 30 日,我国的中央财政投资计划已分解并落实到了 13184 个水利项目当中,其中已经开始动工的有 8745 个,开工率为 66.33%,其中中央预算内的水利建设工程项目共计 278 个,已经开始动工的有 153 个,开工率为 55.03%;中央财政规划的水利发展资金水利建设项目共计 12906 个,已经开始动工的有 8592 个,开工率为 66.57%。在这些水利建设工程项目中,涉及到复杂的地质及地形环境的项目比比皆是,因此在进行引水隧洞的开挖支护施工时需严格按照相关操作技术的标准及要求执行,同时注意对相应的技术进行改进与创新,以期能够进一步保障并提升引水隧洞乃至整个水利工程建设质量<sup>[1]</sup>。

## 一、水利工程隧洞开挖施工技术分析

### 1. 全断面开挖施工技术

这一技术是水利工程隧洞开挖施工作业中的常用技术之一。该技术是对隧洞断面进行一次性开挖,在隧洞完全打通或开挖至相应距离以后再根据施工区域实际环境采取相应的支护以及衬砌施工,以保障隧洞的稳固与安全。通常而言,这一技术主要应用于围岩良好的工程中,例如作业区域的岩石较硬的情况下会选择使用这一技术,因此施工人员在选择这一技术前需对整个作业区域中的岩体情况进行科学详实地勘测,对岩体的物理学参数及其结构面抗剪峰值强度参数进行确定<sup>[2]</sup>。该项施工技术具有能够实现一次性的有效钻爆,且能够实现安全的支护施工的特点,并且具有作业

推进速度快、施工较为便利以及工序相对独立有序的优点。在这项技术使用过程中,施工人员需参照隧洞断面的尺寸以及使用的施工设备性能等客观因素进行实际施工作业,而在此过程中最关键的施工模式主要为台阶掌子掘进方式以及垂直掌子掘进方式等,而在进行台阶掌子掘进时,施工人员需要对隧洞断面以分层的形式进行掘进,此时必须保障上层的掘进必须大于下层的距离,且为了能够保证能够顺利清运洞渣,施工人员需将上层超出 2~3.5m 的距离,在实施爆破作业时也需将两层记性同时爆破,在通风、散烟、排险后及时将台阶清理干净,而为了提升施工的效率,施工人员进行下台阶的出渣时可开展上台阶的钻孔作业。

围岩级别	重力密度 (kN/m <sup>3</sup> )	抗剪断峰值强度		变形模量 E(GPa)	泊松比 $\nu$
		内摩擦角 $\Phi(^{\circ})$	粘聚力 C(MPa)		
I	>26.5	>54	>1.7	>20	<0.25
II		54~43	1.7~1.2	20~10	0.25~0.30
III	26.5~24.5	43~33	1.2~0.5	10~5	0.30~0.35
IV	24.5~22.5	33~22	0.5~0.2	5~1	0.35~0.40
V	<22.5	<22	<0.2	<1	>0.4

图 1 隧洞洞室岩体物理力学参数

岩体结构面类型		摩擦系数 $f'$	摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	粘聚力 $C'$ (MPa)
硬性结构面	胶结的结构面	0.90~0.70	42°~35°	0.30~0.20
	无充填的结构面	0.70~0.55	35°~29°	0.10~0.20
软弱结构面	岩块岩屑型	0.55~0.45	29°~24°	0.10~0.08
	岩屑夹泥型	0.45~0.35	24°~19°	0.08~0.05
	泥夹岩屑型	0.35~0.25	19°~14°	0.05~0.02
	泥	0.25~0.18	14°~10°	0.010~0.005

图 2 岩体结构面抗剪峰值强度参数

## 2. 导洞开挖施工技术

这一技术更多地应用于平洞断面的挖掘中,在开挖时首先需对较小的断面洞进行挖掘,之后再以此作为导洞向设计轮廓线及相关要求扩挖,并向前推进,直至完成对所有的断面的开挖任务。这一技术具有较强的灵活性,应用时也需参照实际的施工区域地质条件及特性进行作业,以便后续的工程能够顺利推进。该项技术在实际使用过程中会按照导洞及扩挖部分的开挖先后顺序分为“导洞并进”或是“导洞专进”等施工作业模式。其中“导洞并进”是指在导洞掘进一大约 10~15m 之后,保证导洞与断面进行同时施工作业;而“导洞专进”则是指先将导洞全部挖通,再对某部分区域进行扩大,以便充分了解隧洞作业区域的地质情况,同时也有助于优化隧洞内部的通风状况,但这一模式也具有一定的局限性,即需要施工人员实施二次铺设,需投入大量的时间与资源,因此该模式在相对复杂的施工环境下使用频率较多。通常来说,导洞开挖的相关施工作业技术主要应用于地质条件相对恶劣或相对复杂的情况,但在断面尺寸较大,导致无法使用全断面开挖施工技术的情况下也能够适用<sup>[1]</sup>。

## 3. 岩爆作业技术

施工人员在开展岩爆施工前需对断面进行喷水处理,并沿着轮廓线进行锚杆洞孔的作业,在此过程中需注意对孔深及循环间距等关键性的指标进行严格地控制,并且除上述指标外,施工人员还需加大对于二次循环超前锚杆孔的控制力度,以确保其与前排洞孔之间的位置相互错开。在利用钻孔设备完成打孔作业后,施工人员应当选择密度较低但爆力较高的炸药进行装药填充,在进行严密地堵塞后再实施爆破作业。

## 4. 锚杆支护施工技术

将金属、聚合物以及其他材料制作而成的杆柱打入施工作业区域的岩体钻孔中,再将杆柱的顶端、杆体及尾端等部位进行连接,以达到围岩与稳固岩体的目的,这样的支护施工技术就是锚杆支护。在此过程中施工人员需注意可有效结合必要的粘接技术对锚杆支护的稳固性进行补强,进一步提升支护技术的稳固性与可靠性,保障施工作业的安全性。此外施工人员在选择该项技术时,还需充分结合隧洞开挖的实际情况,进而选择适配的支护方式。例如围岩质量较好时可在锚杆的外围挂设钢筋材质的网片,并在其上喷射混凝土,而若是围岩质量不够稳定,则可先选择适配的锚杆进行初步的支护,之后再进行混凝土的浇筑作业,以便进一步加强锚

杆支护的稳固性<sup>[4]</sup>。

### (1) 超前锚杆支护施工

在开展隧洞开挖施工中的爆破作业环节时,极易对施工区域的地质结构以及隧洞的稳定性造成极大的影响,因此必须选择适合的锚杆支护等技术对隧洞进行必要的稳固,同时对爆破作业区的岩层属性进行细致地勘测,制定并完善相关支护标准及规范,并遵照规范严格实施。施工人员可在隧洞开挖作业区域前方部位,将超前锚杆打入构造相对稳定的岩体中,再将锚杆顶端位置与对隧洞拱部围岩进行结合,有效提升超前锚杆的支撑性,同时也使支护结构的锚杆支撑性也得到保障,使隧洞开挖的距离能够始终保持在设定范围之内,并有效保障隧洞围岩的稳固,为后续施工作业的开展奠定良好基础。

### (2) 钢支撑施工

钢支撑支护施工是隧洞开挖支护施工中较为高效的一类施工技术,在进行隧洞的开挖时,施工人员需根据隧洞的具体大小、尺寸以及规格等制作出相应的模具,并对关键性的指标如内外弧长、半径以及弦长等进行严格的控制,同时还需对制作出的完成品进行有效防护。而在钢支撑支护的施工过程中,施工人员也需对隧洞的实际挖机情况进行细致地核实,一旦发现问题便及时予以处理,同时及时将产生的岩石碎块进行及时、彻底的清运,并保障钢架结构的安全性、稳固性及其设计的间距等。在进行具体的施工作业中,施工人员首先应对钢架底角进行固定与架设,即在施工作业的平台上放置底角节,并遵照工程设计的标准对底部的高程进行严格把控,确保工字钢的设置均衡。在完成底角的架设后再进行隧洞拱顶部位钢结构的架设,采用适配规格的螺栓进行连接,并选择适配的支护结构对工字钢的整体结构进行加固,以有效保障结构的安全性及稳定性。

### 5. 钻孔与灌浆施工技术

在隧洞的开挖施工中结合有效的钻孔及灌浆施工作业不仅能够用有效加固隧洞的内部结构,同时也有利于预防可能出现的漏水问题。施工人员在是对顶拱部位进行灌浆回填时,应将每个分段的位置距离控制在 45m 左右,同时为确保回填的混凝土中不存在空气,应从位置相对较低的端口进行灌入,直到顶部。灌浆孔的位置则应当以 3m 为间距,而回填灌浆孔之间的间距则应当设置为 5cm,灌浆压力则保持在 0.2MPa 左右,固结灌浆则应当在回填灌浆作业完成后的

7~14d 后再进行<sup>[9]</sup>。在整个钻孔灌浆作业期间,施工人员需对具体的施工作业情况进行严格检测,一旦发现问题便及时采取措施进行补救,确保施工质量符合标准要求。

#### 6. 混凝土衬砌施工技术

混凝土衬砌施工技术的主要应用目的在于保障隧洞围岩的稳定性,避免出现变形或坍塌等安全问题,该项技术主要采用钢筋混凝土结构对隧洞及其周围建立相应的支护,而在此过程中施工人员首先需要注意在施工前进行充分、详实地勘测,明确岩石的属性,在此基础上选择适配的混凝土衬砌施工作业方案,同时在进行施工之前还需采取必要措施使隧洞内的水体流速减缓,确保如顶拱位移速度以及水平收敛速度等相关的关键性指标的实际情况能够满足开展混凝土衬砌作业的要求;其次施工人员还需保障混凝土浇筑作业的顺序性与连贯性,严格遵循先底板、后边墙、最后拱顶或先底板后边顶拱的顺序进行浇筑作业。

#### 7. 排水施工技术

有效排水是水利工程中隧洞建设的核心内容要求之一,若不能及时充分地进行排水,将会严重阻碍施工进度,甚至引发隧洞出现变形或坍塌等危险,因此施工人员需对隧洞施工产生的水体进行及时排出,在此过程中首先需注意对平洞及上坡洞进行排水,在施工前便应当根据隧洞的具体施工要求设计相应排水规划,并做好技术交底,避免施工进度及质量受到影响,施工人员需参照实际施工中应用的机电设备及各类管路的布设情况选定最终排水方案,将水体的影响降至最低;其次是对下坡掘进行排水,在这一环节中施工人员需根据实际出水情况选择适配的排水方式及排水设备,以保障隧洞内施工人员及设备的安全。

### 二、隧洞开挖的施工质量控制

水利工程隧洞的开挖方案与施工方式应当根据实际的工程情况进行设计与确定,地质差异、覆盖层的厚薄以及隧洞长短等都会对隧洞的开挖提出相应的施工要求,在方案设计完成后还需经由工程造价部门以及工程技术部门进行对比才能最终确定。

#### 1. 隧洞开挖质量控制

隧洞进行实际开挖施工,其施工轮廓线需以前期进行测量放样时确定的轮廓线作为标准,而在部分特定因素的影响下,施工时的误差与测量贯通的误差可在相应的设计要求基础上进行适当放大,但不宜出现较大超欠挖的情况。而在

其后的每一次开挖施工中,施工人员都需参照施工图纸,对出水量以及岩体的软硬程度等具体地质情况进行观察,以有效判断施工区域周围的岩石稳定性,在开挖后也需根据相应的设计标准及规定的测量项目与频率,对周围的地质环境记性测量,并进行相应数据、情况的记录与反馈,以便及时调整施工方法或方案。

#### 2. 爆破质量控制

保障爆破质量的关键点在于保障钻孔定位的精准性,在临空面以及钻孔的深度等施工作业相关程序上最大限度地提升作业的精确程度,能够有效地保障爆破技术的应用达到理想效果。此外在进行钻孔装药的过程中需注意对药量进行严格地控制,避免多装或少装,在实施爆破作业前还需对雷管的连接及预埋的位置进行仔细地核对,相关参数也应在施工作业前经过严谨的实验进行调整与确认。

#### 3. 钻孔及灌浆质量控制

钻孔位置、浆液质量以及灌浆数量都会对钻孔灌浆作业的质量产生极大的影响。在灌浆作业时,施工人员需对混凝土的材料进行严格检查,对混合比例进行确定并严格按照标准执行,在灌浆输送前,可先输送少量水泥砂浆,增加泵送管内的湿润度,在输送过程中则需对泵送管的管道弯折处进行适当力度的击打,防止管道内部出现堵塞。

#### 4. 隧洞支护质量控制

隧洞支护的质量影响着隧洞的安全性,高质量的支护施工是预防隧洞出现坍塌的关键,因此施工人员需根据实际施工作业区域情况采取相应的支护施工方案与措施,保障隧洞结构的稳定性,同时对于已经出现的塌方情况,也需根据具体情况采取相应的措施进行处理。但经验较为丰富的工作人员也可在事前就根据可能出现的情况做出应急预案,以便在出现塌方时进行及时响应。

### 三、结束语

在水利工程的整体建设中,隧洞犹如工程建设的“血脉”,隧洞施工显得极为重要,但作为地下暗挖工程施工存在诸多不确定因素,因此相关工程设计人员及施工人员应当加大对隧洞开挖支护施工的重视程度,在实际施工过程中严格遵循相关技术标准及要求进行操作,在确保施工技术标准的同时还可对其进行适度地创新,以便更好地开展隧洞开挖支护施工作业。

### 参考文献

- [1] 胡青松. 水利工程隧洞开挖施工技术应用研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2023(3):0022-0024.
- [2] 姚世宽. 水利工程隧洞开挖施工技术研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2023(4):0032-0035.
- [3] 刘耀儒, 侯少康, 程立, 黄跃群. 水利工程智能建造进展及关键技术 [J]. 水利水电技术 (中英文), 2022, 53(10):1-20.
- [4] 姚志宾, 熊永润, 付廉杰, 全永威, 牛文静, 胡磊. 深埋 TBM 隧洞岩性界面区围岩破坏特征与支护技术研究 [J]. 隧道建设 (中英文), 2023, 43(1):102-111.
- [5] 刘榴. 分析水利工程引水隧洞开挖支护施工技术 [J]. 科技创新导报, 2018, 15(10):31-32.