

水利水电工程隧洞钻孔爆破技术的应用研究

张居坚

广东水电二局股份有限公司

摘要: 本文将围绕广东省某水利水电工程案例进行分析讨论, 阐述隧洞钻孔爆破技术的应用路径, 并从炮孔布置、装药量计算、支护搭建、土方挖掘等方面进一步优化隧洞钻孔爆破技术的应用方法, 以此提高施工效果, 保证施工安全, 确保水利水电工程顺利开展。

关键词: 水利水电工程; 事故处理; 隧道掘进; 隧洞钻孔爆破技术

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.08.060

引言: 隧洞钻孔爆破技术是指通过钻孔洞、爆破土方等一系列施工技术, 结合不同施工地质以及工时需求, 在工作面上钻孔, 并在孔内装填炸药, 之后引爆、粉碎介质, 以此实现开挖隧洞。为了确保后续提出的隧洞钻孔爆破技术在水利水电工程中的应用路径更具针对性与实用性, 需要对工程概况进行深入了解。

一、工程案例

以广东省某水利水电工程为例, 其主体工程段位于红旗渠3号洞2号斜井, 控制段起点到红旗渠尾之间, 渠系桩号为11+235.64~19+002.44, 标段渠线长约9245.3m。施工内容包括: 红旗渠3号隧洞洞身段的开挖、混凝土浇筑; 3号隧洞出口下游渐变段、2号渡管、支渠的土建施工; 4号隧洞洞身段的混凝土浇筑与灌浆; 1号倒虹吸、梯形明渠的土建施工; 5号隧洞的土建施工; 机电设备的安装; 环境保护工作。至于隧洞开挖的方式则以全断面掘进法以及断面分部开挖法为主, 其中全断面掘进法可以理解依照隧道设计开挖断面, 保证一次开挖到位的施工方法, 该方法的优势在于施工区域开阔、出渣便捷且掘进速度较快, 适用于I~III级围岩。而断面分部开挖法是指将设计的隧道断面分为若干份, 之后进行二次及以上开挖, 直至达到隧道设计开挖断面。

二、隧洞钻孔爆破技术在水利水电工程中的应用路径

隧洞钻孔爆破技术在水利水电工程中的应用会由于不同孔之间的差异性而体现一定不同之处, 比如: 辅助孔的作用在于帮助隧洞岩体实现爆破, 能够为其他周边孔爆破提供安全环境; 掏槽孔的作用在于提升爆破临空面, 强化爆破效果; 周边孔的作用在于保证开挖面轮廓稳定, 提升管控力度对轮廓的控制。在实际应用时需要施工人员严格遵循图纸、标准等规范化操作, 保证爆破孔布局合理, 能够实现多孔合作。

(一) 布置孔位

本次工程中炮孔的布置方法为: 分区与布孔, 在具

体布置过程中需要工作人员结合钻孔作业问题, 尽可能减少炮孔移动频率, 保证炮孔放线与岩层之间处于垂直关系, 并消除卡钻问题。对于周边孔的布置则要保证遵循轮廓图, 切实降低潜在风险。而对于掏槽孔的布置, 则要确保其深度高于塌落孔的15%。至于在钻爆设计过程中, 则需要工作人员预先考虑围岩完整性, 合理选定开挖方法, 进一步提高炮孔利用率, 之后依次对掏槽眼、周边眼的深度、数量、装药量进行控制。以本次工程中的III级围岩作为研究对象, 炮孔设计需要根据周边孔间距40cm、辅助孔间距100cm的形式进行布置, 同时为了确保控断面净空能够符合安全标准, 也能为钻臂装置提供足够的作业空间, 需要在周边孔附近安装外插角, 并考虑钻孔深度与围岩状况, 将角度控制在2~3度之间, 使孔底与开挖断面保持15cm左右的间距。而在爆破后掌子面的断面半径要高于设计断面半径20cm, 至于理论全断面开挖的超挖量应在8~10cm之间, 因此作业人员需要结合钻爆现场的断面测量状况来准确判断实际超挖量。此外, 本次工程隧洞的设计全断面布孔数量为170个, 周边孔65个, 辅助孔70个, 掏槽孔30个, 而底板孔为5个。其中周边孔以不耦合装药方式为主, 掏槽孔则以耦合装药结构为主。

(二) 测量用药

钻孔爆破技术的用药量将直接决定工程的施工效果, 适当的用药量不仅可以有效减少作业过程的施工成本, 也能保证技术的安全性与可靠性。通常来说隧道挖掘过程中的钻孔爆破技术大多采用类比法与经验公式法, 通过一系列公式来计算炮孔的实际数量与间隔距离, 并进一步明确挖金深度以及用药量, 同时为了保证计算结果能够与施工现场相互吻合, 还要做出适当调整, 才可最终确定相关信息^[1]。

在具体计算时可用X表示隧道钻孔爆破过程中每排炮尺所采用装药量的总和, 用y表示钻爆时用到的药量, 用Z表示爆破时每进尺的体积, 用N表示钻孔深度, 用P表示施工作业时开挖断面的面积, 用l表示炮孔利用率, 最终可得到以下公式:

$$X=yZ=yNP1$$

这样便可计算出钻爆每排进尺装药量, 也能准确获取每次爆破时所需使用的炸药药量, 从而避免成本的过度支出, 更好的节约工程资金。同时为了进一步结合用药量与炮孔间距, 充分考虑钻破时产生的松动爆破, 还需要工作人员准确计算松动圈半径, 之后将松动圈半径作为最小抵抗线。在计算过程中需要用OP代表松动圈半径, 用P表示应力波的应力值, 用q表示应力波衰减值,

用 b 表示炸药密度,用 S_j 表示岩体抗拉强度,用 k 表示炮孔半径,用 m 代表泊松比,之后便可获得以下公式:

$$op=[mbS_j/1-m]^{1/q}k$$

通过该公式便可准确计算各炮孔间的距离,但要注意由于炮孔的方向布置需要与最小抗线相互隔离,因此两者的方向布置要保持一定的差异性,通常来说可使用倾斜炮孔的方法使其与最小抗线方向形成一定夹角,当夹角处于45度以上时便可起到降低冲炮状况的目的。此外,为了进一步提升隧洞钻爆过程中岩体破裂的发育状况,减少爆破所带来的抛掷问题,还要准确计算炮孔实际用药量,防止投入过量的炸药。在计算时可采用 D 表示各炮孔炸药用量, e 代表换算系数,而 g 则代表炮孔堵塞系数,采用 l 代表炮孔深度,之后便可获得以下计算公式:

$$D=etglwnc/\sqrt{1+nc^2}$$

施工人员可通过该公式准确计算各炮孔的真实用药量,并配合上述公式 $X=yZ=yNP1$ 计算隧洞钻孔爆破过程中每排炮尺的实际装药量,从而确定用药总量,确保炸药量的使用安全、合理^[2]。

(三) 钻孔爆破循环作业

第一,要进行钻爆作业,作为平洞施工过程中的重要环境,爆破质量将直接影响后续的开挖规范以及施工安全,因此在作业过程中需要预先做好钻前准备,比如:备好钻机以及风钻;进行工作面的清理,之后依次开展测量放线、管道延伸等工作;在打孔时需要预先吹扫孔内岩粉,依照既定的爆破方案完成装药、堵塞,并完成引信连接,在检查合格后才可进行爆炸处理。

第二,通风、防尘,通常来说在进行通风排烟时大多会采用压入式通风,究其原因在于其入口的距离较大,排烟功能极强,且能够保证出渣机械的活动空间较大,可有效阻隔污染空气,确保其不会通过鼓风机,而采用的通风设备也不会产生大量污染,方便管理。此外,压入式通风可以实现污染空气随风排出,不会二次对工作面产生污染,至于通风方式则采用2台15kw的轴流通风装置,风筒直径为0.6m。为了更好的避免出现局部循环风,还要将通风设备安装在与孔口相隔30m的位置,要求单节风筒长度在6~10m之间。

第三,出渣运输,在平洞开挖时,为了减少出渣搬运最耗费的时间与精力,提高隧洞施工速度,需要合理选用装渣输送装置,结合施工现场实际情况,选择采购数量,并规划后输送线路。

第四,协调洞内出渣,首先在爆破过程中需要做好扒渣设备的保护配合,预先将扒渣装置停靠在与爆破面间隔50m以外的位置,之后利用一系列防护措施,比如布置隔离铁网等,避免爆破产生的飞石损坏岩机。其次在洞内要主动避让卸车,当出现两辆车并排行驶时预留50cm左右的间隔距离。最后要提高协调效率,强化人员之间的沟通、交流,利用内控体系、管理制度,保

证施工进度。

第五,洞内供电与排水,一方面要采用照明系统,要求将洞内照明线路电压设置在220V,而基坑支护的线路电压则在24~36V之间。另一方面要做好洞外沟道防洪处理,利用挖排水沟等方式排出地下水,并通过抽水泵提高排水效率,之后在各施工孔入口位置打造下水道,用于实现工作面污水的沉淀,之后才可排入沟道。根据调查显示,本次施工过程中出现的河道洪水大多因强降雨引发,各沟渠流量在7~8月份达到最高值。为了防止汛期出现洪水涌入,需要在沟渠位置安装排水涵管,并在洞口位置布置围堰,用以削弱洪水产生的不利影响^[3]。

第六,预应力支撑,在完成洞室开挖后,围堰会产生全新的受力状况,若洞室的结构稳定性不佳,则会引发崩塌等安全事故。为了解决此类问题需要结合地层条件、开挖方式,搭建临时支护,比如框架式支护,以此达到侧壁加固的目的。

(四) 事故预防与处理

由于水利水电工程中的钻孔爆破工作属于高危作业,容易受环境因素、人为因素的影响产生塌方事故,为了更好的保障人员生命安全,保证施工作业有序开展,需要施工单位做好塌方事故的预防工作,并制定一系列切实可行的应对措施,以此在出现安全事故时能够及时组织应对,最大程度控制安全损失。例如技术人员可结合信息化手段,利用工程设计中的数据参数,在revit软件中预先设置各项数据信息,之后打造3D模型,以此反映工程钻爆施工过程中可能出现的问题,模拟危机事故,再有针对性的制定应急对策,进而保障施工进度,实现钻爆作业的质量把控。而在实际作业时施工人员还要注意炮孔布置过程中的钻杆高垂度,适当调节钻头的升降速度,防止因浆液冲刷导致孔壁塌方,避免负压原因危及人员生命安全。至于在钻进成孔环节,则要结合底层以及孔深的实际变化合理把控钻进参数,第一时间完成泥浆配置,提高成孔质量。此外,在施工时还要做好清运钻渣,保证隧洞内环境整洁,直至钻孔满足标准后才可停钻,并保持泥浆浆面高程,以此增强孔壁稳定性。

除了上述提出的事故预防与处理方法外,施工单位还要组建应急救援团队,并为相关人员分配好职责与任务,要求救援小组成员包括:技术专家、抢险救灾人员、物资供应人员、医疗救护人员、后勤保障人员以及事后处理人员,保证各组员能够尽职尽责,实现工作协调,由负责人依照施工状况设立岗位责任体系,确保人员分工明确,能够在出现险情时参与对遇难者的营救,把控现场局势。至于抢救人员则要结合塌方范围对遇难者状况以及被困人员情况进行合理推测,之后制定具有针对性的应急救援方案。而施工单位则要注意当塌方出现时,通常隧洞会被石块所堵塞,并形成密闭空间,会

在一定程度上限制人员活动，一旦长时间无法得到救援，必然会感染各类疾病。为此，需要在钻爆前预先准备好抗生素等药物，以此降低病菌感染的概率。最后在救援开始前还要对坍塌范围顶部做好锚固处理，强化隧洞支护，通过架设钢支撑的方式避免出现大范围塌落，将塌方造成的损失控制到最低^[4]。

（五）技术保障措施

1. 勘察投入

为了保证钻孔爆破技术达到预期效果，降低问题的形成概率，需要在技术应用前强化勘察投入质量，为后续的技术方案制定提供事实依据，以此降低外界环境的不良影响。在实际作业时需要有有限勘察项目施工环境，了解地质结构、地下水状况、抗震能力以及岩层稳定性，之后收集有关方案制定的材料与数据参数，将孔的位置作为勘察重点，为后续孔炮、孔位置计算以及炸药填充量的估算打下基础，确保理论与实践能够充分结合，提升方案的合理性。比如对于工程周边建筑、岩体结构稳定性较差的位置来说，容易在开展爆破作业后造成岩石滑落，为了提高其稳定性，需要设置防护栏以及防护网。

2. 提高人员专业能力

钻孔爆破技术的应用质量与人员的个人能力有直接联系，如果人员的专业水平较低，便会影响作业效率，甚至引发安全事故。为此相关企业需要做好人员的技术培训工作，帮助人员树立安全意识，强化责任感与使命感，待人员积累足够的工作经验，能够熟练掌握正确的技术操作方法后才可投入施工现场，同时对于技术人员来说还要做好技术交底工作，保证每个人能够准确把握工程要求。比如企业可制定责任制度，用以规范人员的工作行为与思想态度，确保在产生意外事故时能够第一时间找到负责人，若条件允许也可引入VR技术与设备，打造虚拟环境，提高人员的实际体验感，学会如何应对危机情况，掌握逃生要领。此外施工单位也要为人员配备好安全设施，比如防护服、防护帽，并集合自动报警系统、视频监控技术，实时观察隧洞状况^[5]。

3. 保证材料、设备质量达标

一方面作业人员要做好材料的管理，在材料入场前做好质量检查，确保材料完整无损，无使用缺陷，而在存放时也要根据不同材料之间的差异性，因地制宜的选取管理方式，将材料放置在通风、干燥、低温的环境下，避免出现材料磨损与锈蚀老化。另一方面要以低功率、低污染、性价比高的设备作为首要选择，并定期做好设备的性能测试与维护保养，对于出现故障的零件要及时联系生产商进行更替，同时也要准备好应急设备，确保作业流程得以持续进行。

4. 强化设计效果

为了提高方案设计的科学性与合理性，还要在钻

孔爆破过程中融入新技术，比如BIM技术，工作人员可利用BIM进行3D模拟分析，通过建模的方式明确爆破需求，之后在模型上布置相应孔位、间距，利用模型完成事故影响分析，确认影响范围与影响程度，为后续应急对策的制定提供科学依据。

（六）质量控制措施

第一，施工质量控制，在计算炸药用量时需要充分结合隧洞钻孔的布置方式，掌握隧洞缝隙刚性，了解岩体材质，确认炮孔数量，完成上述参数的完整测算，之后得出爆破的炸药用量控制范围，同时还要充分参考技术方案的孔洞数量，不仅要利用上述经验公式法进行准确推算，还要根据孔洞间距以及实际情况进行药量的适当调整，并在投入使用前预先进行多次试验验证，直至测试结果符合施工需求与安全标准后，才可将炸药用量作为最终方案。而在爆破挖掘过程中，由于工程的施工类型多样，涵盖引水洞、交通洞、导流洞等，因此需要根据不同功能类型的隧洞采取与之对应的掘进方法，比如对于导流洞来说可采用导洞法，即先开挖断面部分作为导洞，之后逐次扩大隧洞的断面，此类方法有利于探明隧洞地质与水文地质，能够为洞内通风、排水创造有利条件。

第二，辅助控制，为了提高孔口的堵塞质量，确保孔口密封度满足安全标准，符合预期钻爆效果，需要保证钻孔利用效率的最大化，适当提升孔口应用频次，并严格检测孔口密封参数，防止出现堵塞不实的情况，控制好废渣排出率。

结论

综上所述，通过将广东省某水利水电工程作为研究对象，提出布置孔位、测量用药、事故预防与处理、钻孔爆破循环作业、技术保障措施、质量控制措施等一系列隧洞钻孔爆破技术在水利水电工程中的应用路径，以此提高施工成本的控制效果，切实保障施工安全，增强技术应用质量。

参考文献

- [1]周爱芬. 浅谈自然辩证法在水利水电工程建设上的应用[J]. 价值工程, 2020, 36(25): 219-221.
- [2]冷振东, 卢文波, 陈明. 岩石钻孔爆破粉碎区计算模型的改进[J]. 爆炸与冲击, 2020, 35(01): 101-107.
- [3]李泉. 几种水下钻孔爆破炸药单耗计算公式的分析与比较[J]. 爆破, 2020, 29(01): 94-97.
- [4]李爱花, 刘恒, 耿雷华. 水利工程风险分析研究现状综述[J]. 水科学进展, 2021, 20(03): 453-459.
- [5]李蓉, 郑垂勇, 马骏. 水利工程建设对生态环境的影响综述[J]. 水利经济, 2021, 27(02): 12-15+75.