

水利工程中引水隧洞施工技术分析

杨昊天

广东水电二局股份有限公司

摘要: 因为引水隧洞施工具有较高的复杂性,其施工技术综合性较强,所以为了确保水利工程整体施工质量,需要对水利工程引水隧洞施工技术进行深入研究,明确其具体应用情况,从而进一步增强隧道整体结构的稳定性、安全性,要不断对施工技术进行创新升级,最大程度进行资源的有效分配以及应用。水利工程施工过程中,引水隧洞施工是较为困难的部分,受制于地形地貌的影响施工难度较大,具有较高的危险性,因此要加强引水隧洞施工技术方面的研究,一定要在确保施工人员安全的基础上提升施工质量以及效率。

关键词: 水利工程; 引水隧洞; 施工技术; 应用要点

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.15.093

引言

引水隧洞施工超前地质预报和监控量测是引水隧洞施工过程中保障施工安全的关键环节,地质预报为施工探明前方围岩状况,监控量测把控施工过程安全,可对隧洞地质风险及大变形进行预报预警,可有效预防隧洞坍塌等工程事故的发生。随着我国国民经济的迅速发展,高速公路、高速铁路、引水工程等工程大规模建设,长大隧道、隧洞的数量也越来越多。引水隧洞工程属于引调水工程中的关键构筑物,且长距离隧洞施工往往存在地质结构复杂、线路长、工期长、工序多、隧洞集中分布等特点,因此为施工安全带来了很大困难。引水隧洞施工超前地质预报为隧洞施工前方探明围岩状况,监控量测为隧洞施工实时掌握围岩和支护结构变形情况,为实现引水隧洞动态设计,信息化施工,保障引水隧洞施工安全具有重要意义。

一、案例工程基本概况

车坝河水库引水工程主要为恩施城区提供水源,二、三水厂近期设计供水规模(扩建后)分别为10万吨/日、12万吨/日,总供水规模为22万吨/日;二、三水厂远景控制规模分别为22万吨/日、18万吨/日,总供水规模为40万吨/日,工程设计引用流量 $5.12\text{m}^3/\text{s}$ 。

在车坝河水库主流道及右岸支岔口距离坝角200m处新建圆筒结构的取水塔,通过300m长的钢管接入无压力引水隧洞,隧洞为城门洞型,宽约3.8m,高约4.1m,穿过罗针田、枫香坳、谭家坪、笔架山、马鬃岭至曹家屋场,总长约11.84km。隧洞出口段设进水前池,进水前池后接压力钢管,长约2.1km,管径DN1500mm,压力钢管后在松树坪设消能电站减压,消能减压电站后采用

球墨铸铁管穿建恩高速沿金山大道接至二水厂,经高旗大道接至三水厂,其中消能减压电站至金山大道长度约984m,管径DN1400mm,金山大道至金山、高旗大道交汇处长度约1957m,管径DN2000mm,交汇处至二水厂长度约370m,管径1500mm,交汇处至三水厂长度约5857m,管径DN1400mm,引水工程总长度约23.108km。

二、隧洞坍塌冒顶过程及原因分析

(一) 隧洞坍塌冒顶过程

该隧洞进口采用铣挖机开挖至某桩号时,掌子面为泥岩,钢拱架立好后,拱顶出现较多滴水,在喷护过程中顶部渗水较多,喷护料不凝固被渗水冲下,喷护不成型,掌子面顶部出现掉块,泥土夹杂水不停塌落,塌落口靠近左上方,直径约1.20m,同时也是渗水集中部位,塌落接近 15m^3 左右。经参建各方现场查看研判后,决定快速用导管把塌落孔封堵,进行喷护,预留排水孔及灌注混凝土管。施工人员用导管把塌落孔堵住,土不再滑下,然后进行喷护,喷护结束后清理塌落体。拱架距离掌子面剩余0.70m间距,又立了一榀间距0.60m的拱架。喷护完成,停止进尺,每日观测洞内渗水和地表情况,在地表掌子面部位插旗拉警戒线,防止人员及机械进入。

经过3天观察,洞内和洞外无异常情况发生,该部位地表无塌陷,渗水集中引致左侧边墙。参建各方人员察看该隧洞内部和地表情况后,现场讨论后达成一致意见,每循环进尺0.70m,5m长导管跟进,搭接不小于2m。完成第一个0.70m循环,一切正常。第二天下午,在开挖完成第二榀0.70m洞挖后,掌子面顶部出现掉块现象,土块越掉越快,超前导管被砸掉或砸弯,失去作用。晚上,塌落基本稳定,洞内滑塌体长度约20m,方量约 160m^3 。参建各方到洞内察看情况,强堵塌孔不能实现,在洞顶拉 $40\times 40\text{m}$ 警戒线,洞内观察塌落体是否稳定。第三天下午地表出现塌陷坑,经测量塌陷坑直径10.50m,深度约4m。为了尽快靠近掌子面封堵塌落孔,在观察地表无变化、渗水很小的情况下开始清理洞内泥水,清理塌落体长度约7m(总长20m),同时人员观察塌落变化情况。清理过程中出现再次塌落,塌落体长度在洞内距离掌子面仍是20m,察看顶部塌落深度约9m,洞内停止清理。继续观察洞内和洞外情况,渗水很小,塌落体无变化,为预防降雨,在地表塌方处搭了防雨棚,周边开挖了排水沟。

(二) 地质条件

根据地质钻孔资料,该处地层上部为第四系中更新统风积成因的黄土(中、重粉质壤土),层厚17.40m左右,竖向裂隙较发育,一般具湿陷性,为非自重湿陷性黄土,底部3m左右含水量较大,呈软塑状;下部为古近系始新统卢氏组第四段泥岩,未揭穿,岩层倾向北东,倾角约27°,泥岩具遇水膨胀、失水干裂的特性,耐崩解性较低,软化系数较小,为软化岩石。洞顶泥岩层厚6m左右,地下水位于土岩结合面附近,高于隧洞洞顶,主要为第四系松散土类孔隙水及古近系碎屑岩类孔隙、裂隙水。根据地质编录资料,该段洞室围岩为泥岩,浅紫红色,泥质结构,层状构造,裂隙发育,局部竖向裂隙发育,强度较低,属极软岩,遇水易泥化脱落;该段地下水活动较活跃,拱顶有出水点,呈线状明流;组成洞室围岩的古近系泥岩整体强度较低,自稳能力差,局部围岩由于发育的裂隙交错,在开挖过程中洞顶或侧墙在卸荷作用下发生掉块现象。

(三) 冒顶原因分析

该洞段洞室围岩主要为泥岩,具遇水膨胀、失水干裂的特性,对隧洞稳定不利,受地质构造影响,岩体裂隙发育程度较高,易形成渗水通道;洞顶岩层覆盖层较薄,洞室开挖时,受开挖及卸荷影响,泥岩裂隙扩张松动,顺裂隙洞室渗水量增大,泥岩具遇水膨胀的特性,耐崩解性较低,软化系数较小,遇水易软化,并且泥岩上部的黄土含水量较高,呈软塑状,自稳能力差,导致洞顶上部土体出现坍塌,洞顶土体坍塌后,上部黄土由于含水量较高,自稳能力差,出现冒顶现象。

三、水利工程中引水隧洞施工技术分析

(一) 水利工程中引水隧洞的爆破施工技术

水利工程中引水隧洞的爆破采用光面爆破技术,在实际应用过程中,该爆破技术相关参数的选取主要取决于地质条件,同时还受爆破过程中所使用炸药的品类和性能、水利工程中引水隧洞断面的大小和形状以及装药结构和起爆形式等因素的影响。

在实际水利工程引水隧洞的爆破过程中,不同爆破环节具有不同的爆破技术要求,具体如下:(1)测量放线环节:该环节中主要使用的设备为徕卡TS09全站仪与徕卡350M电子水准仪,相关工作人员在进行测量放线工作过程中,经过测量工作与复查工作,保障引水隧洞爆破测量控制工序有效、高效进行,令隧洞贯通误差满足相关标准。(2)钻孔作业环节:该环节中由专业施工人员进行钻孔施工,同时要求工程师对爆破所用装备与物品进行详细检查。(3)装药环节:该环节采用不耦合装药模式,依照设计线装药量进行装药,并且在导爆索上每隔150mm就捆绑一个药卷。为避免导爆索弯曲,可通过竹片固定导爆索。(4)通风和洒水除尘环节:在完成爆破后,通过通风机进行通风处理,开启工

作面设置的喷水雾设备进行洒水除尘,并尽快完成石渣内炮烟的清除工作。

(二) 开凿技术

1)导洞室开凿。此种方式主要是以围岩断面为根本来进行导洞的设置,按照隧道施工的实际情况以及具体规模实施开凿设计。此种施工技术对于相应技术和施工人员要求较高,要确保其充分了解隧洞内部地质情况,要以施工设计为基础明确边坡防线的具体位置,之后按照从上到下的顺序实施支护、开凿等操作,防止产生开裂或者滑动的情况。2)全面开凿法。此种方法主要是通过一次爆破的方式开凿隧洞,在隧洞完成贯穿之后要根据具体施工标准对其实施支护设计。此种方法具有较高的施工效率,比较适合用在相对较硬的岩石地质中。

(三) 土方明挖施工

因为此土方开挖属于引水隧洞明挖施工,所以开挖之前要利用测量放样来明确洞口边坡开挖边线位置。对于案例工程来说,土方开挖过程中容易受到雨水浸渍,所以开挖过程中要进行充分的前期准备,要按照项目具体地质条件、地形地貌、水文条件等确定边坡开挖情况,要顺着等高线按照从下到上、分层分段的方式进行。开挖时为了确保边坡具有足够的稳定性,需要顺着边坡底位置挖出100mm×100mm的水沟,确保其按照3%的纵向坡率来进行设置,并且在开挖过程中要对边坡实施必要的修坡处理,在此基础上要根据图纸要求实施喷锚支护,直到全部完成洞口的明挖为止。按照此工程的具体规模,可以采取2m³挖掘机进行土方开挖,采取12t自卸车运输渣料,开挖过程中永久边坡要参照设计坡度来进行,随着开挖的进行要进行修坡处理,确保修坡满足设计标准后就可进行护坡施工。

(四) 混凝土施工

该工程引水隧洞混凝土衬砌主要采取的是C25混凝土,施工时要以便于施工为原则对衬砌进行分缝。此工程所采取的混凝土分缝方案为设置垂直施工缝,利用此缝将混凝土分成底部、边墙以及顶拱混凝土分别进行施工。要按照设计标准要求对结构缝进行分割,要通过沥青杉板来对施工缝进行嵌缝。施工缝设置时要严格遵照标准实施凿毛、按照梅花型进行钢筋(Φ18mm)设置,同时也要设置止水带,要避免钢筋发生截断情况。此工程项目主要通过泵送的方式进行混凝土施工,为了避免施工过程中发生泵堵塞的问题,施工时要严格遵照图纸规范对混凝土重量进行管控,同时也要严格控制混凝土坍落度以及和易性等指标,确保混凝土内骨料粒径满足泵送标准要求。泵送之前可以在管道中冲入一定量水泥砂浆,以便能够对管道进行润滑,泵送过程中要确保混凝土的连续性,防止由于供料暂停而造成混凝土发

生初凝问题。若是泵送的总体路径相对较长,那么要定期对泵送管和弯管等容易发生堵塞的位置进行敲击,防止出现堵塞问题。

想要确保混凝土喷射施工的有效性,需要充分分析施工现场的具体条件以及相关重要指标(包括:混凝土强度标准、设备的养护条件、防渗防漏等级、回弹值等)来最终确定。对于引水隧洞施工来说,需要按照如下指标来设定喷射混凝土技术要求:采用颗粒直径 $<16\text{mm}$ 碎石以及细度值 >2.5 的硅酸盐水泥实施融合;在进行混合水配比过程中严禁将酸碱值(pondushydrogenii, pH) <4 的酸性水和污水进行融合;混凝土配比调制过程中要保证严格遵照标准规范来对喷射混凝土试验,从而保证混凝土的质量。

(五) 管棚超前支护

地表注浆加固完成14d后,进行洞内二次开挖,开挖前首先挖除洞内塌落的土体。洞室继续开挖时,采用管棚超前支护,范围为顶拱 150° ,间距 40cm ,外插角 3° ,管棚采用直径 108mm 的无缝钢管,每循环长 15m ,循环间搭接长度 7m 。钻孔采用管棚钻机进行,钻孔顺序为按高孔位向低孔位对称进行;钻进过程中根据孔口流出岩屑、钻探软硬程度及渗水情况,判断地质情况,作为洞身开挖时地质预报的参考资料,从而指导洞身开挖。管棚注浆控制压力为 2MPa ,其余注浆参数与地表注浆相同,注浆施工过程采用过程控制,上述参数根据实际灌浆过程监测结果进行适时调整。

(六) 钻孔及灌浆施工

完成混凝土衬砌施工后,隧洞要实施固结灌浆以及回填灌浆等操作,从而避免产生渗漏等问题。一般情况下都是按照先回填灌浆,后固结灌浆的顺序进行施工。对于拱顶区域来说,回填灌浆可以按照 45m 作为标准进行分区段实施,施工时要从底端开始逐渐延伸到两侧相对较高的区域,最终达到顶孔位置。一般要将灌浆孔设置到隧洞混凝土的拱部位置,按照 3m 间隔设置。按照此项目具体情况,设置回填灌浆孔孔径为 50mm ,并且要确保灌浆孔深入围岩 $>50\text{mm}$,排距为 4500mm ,灌浆压力为 0.20MPa 。一般在完成回填灌浆后的 10d 左右就可以实施固结灌浆,要按照环向梅花形设置固结灌浆孔,灌浆过程中要加强对洞壁等位置的观测,第一时间确定是否出现变形并对其进行及时处理。施工时要利用灌浆自动监测系统记录,从而确保灌浆质量。完成灌浆之后要对其实施水压试验,以此来确定灌浆效果,一旦发现存在灌浆质量较差区域要立即实施二次补灌浆处理。

钻孔以及灌浆施工中质量控制的关键主要集中在孔距和高度、灌浆量、浆液的配合比等指标,由于灌浆量、配合比等指标会对灌浆效果造成直接影响,从而对引水隧洞结构产生影响,所以施工过程中要重点控制这

些内容,并且及时对不同施工段接缝进行查验,发现存在施工缝问题要第一时间进行修复。一般情况下灌浆检查孔要在设计规定压力下,在 10min 内注入水灰比 $2:1$ 的浆液,每孔不超过 10L ,即为合格。

(七) 挂网与锚杆施工工艺

水利工程中引水隧洞详细支护施工工艺描述如下。

(1)根据水利工程中引水隧洞支护方案,在安装锚杆后进行注浆处理,依照详细施工位置与锚杆类型,确保钻孔方向垂直于岩面。(2)严格控制支护施工过程中的误差,孔深误差控制在 5cm 以下,锚杆孔距误差控制在 15cm 以下,开孔孔位误差控制在 10cm 以下。(3)安装锚杆,在安装前要进行验孔和清孔工作,清除孔中内的浮渣和残渣,在此基础上做好验收记录,保障钻孔相关参数满足相关标准。(4)锚杆注浆时,令注浆管处于距钻孔底部 $(7.5\pm 2.5)\text{cm}$ 区域,在注入砂浆过程中匀速拔出注浆管,避免拔管过快导致孔内砂浆出现脱节现象,确保锚孔全长注浆的饱满度。(5)在支护结构上安装钢筋网,通过焊接连接锚杆和钢筋网,设定壁面和钢筋的空隙小于 30mm ,迎水面保护层厚度不小于 40mm ,确保钢筋网和锚杆尾端均处于支护结构内。

结束语

综上所述,对于水利工程来说,引水隧洞施工是非常关键的内容,但是受制于各因素影响会对施工造成较大困难。相关人员要对其进行充分、全面分析,采取针对性施工技术措施进行施工。同时要根据工程的具体情况制定预防塌方等事故的应急预案,通过多种渠道来对施工人员实施安全方面的教育,不断增强其安全意识,避免出现安全事故,保证引水隧洞的顺利施工,从而进一步推动水利工程的整体发展,为社会经济发展以及人们生产生活带来便利。

参考文献

- [1]康兰方,冀玉豪,王琳,等.复杂环境下引水隧洞控制爆破与液压劈裂破岩技术研究[J].中原工学院学报,2022,33(4):57-63.
- [2]李冠豪,邢思达,翁新海.长距离引水隧洞爆破振动对临近建筑物影响的安全评价[J].科技通报,2019,35(6):103-108,117.
- [3]杨景峰,冀玉豪,康兰方,等.引水隧洞爆破开挖对临近隧道振动的影响及控制[J].河南城建学院学报,2023,32(2):1-8.
- [4]陈克霖,梁庆国,李海宁,等.基于引水隧洞安全和经济施工的支护参数优化分析[J].水资源与水工程学报,2021,32(6):143-151.
- [5]袁平,王穗丰,王涛,等.昔格达地层引水隧洞支护施工技术及其颗粒离散元模拟[J].武汉大学学报(工学版),2021,54(3):205-211