

充填混凝土超前支护在三四沟水电站隧洞 塌方处理中的应用

刘 彤

(四川省水利规划研究院,四川 成都 610072)

摘 要:以三四沟水电站隧洞塌方处理方案为例,阐述了利用塌方渣体作为支撑、采用泵送混凝土对隧洞塌方空腔进行一定厚度充填的方式以减小塌方腔体、约束塌体周边围岩变形并在隧洞上部形成封闭,最终起到超前支护的作用,进而为保证隧洞内塌方体的处理及后续隧洞的支护工作提供安全操作空间,所取得的经验可为类似隧洞塌方处理方案的选择借鉴。

关键词:三四沟水电站;隧洞;塌方处理;充填混凝土;泵送混凝土;塌方体超前支护

中图分类号:TV7;TV52;TV554

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2023)增 2-0058-04

Application of Filling Concrete as Advanced Support Method in the Treatment Plan of Tunnel Collapse at Sansigou Hydropower Station

LIU Tong

(Sichuan Provincial Water Resources Planning and Research Institute, Chengdu Sichuan 610072)

Abstract: Taking the tunnel collapse treatment plan of Sansigou Hydropower Station as an example, the article explains how to use the collapsed slag body as a support and use pumped concrete to fill the collapsed cavity of the tunnel with a certain thickness to reduce the collapsed cavity, restrain the surrounding rock around the collapsed cavity, and form a closure in the upper part of the tunnel which ultimately plays the role of provide advanced support, thereby, providing a safe operating space for ensuring the treatment of the collapsed body in the tunnel and subsequent tunnel support work. And it may provide reference for the selection of similar tunnel collapse treatment plans.

Key words: Sansigou Hydropower Station; Tunnel; Tunnel collapse treatment; Filling concrete; Pumped concrete; Advance support for collapsed bodies

1 概 述

三四沟水电站位于九龙县斜卡乡雪洼村,电站厂区高程为 3 150 m,取水口高程为 3 510 m,属于高海拔高寒地带,距九龙县城的公路里程约为 185 km,距西昌市的公路里程约为 252 km。电站装机容量为 2.4 万 kW,采用引水式开发,取水枢纽为底格栏栅坝,引水隧洞长 10.12 km,采用地面厂房发电,设计引用流量为 $9.3\text{ m}^3/\text{s}$,额定水头为 306 m。

三四沟水电站引水隧洞为无压隧洞,城门洞型。电站采用的是隧洞内前池,其机组甩负荷形成的涌水通过前池和隧洞返至 3 号支洞溢出,故 3 号支洞下游隧洞、4 号支洞上、下游隧洞—前池段隧洞结构均为窄高的城门洞型。该工程引水隧

洞施工时布置了 4 个支洞用于施工。

2014 年 9 月 1 日晚 21:00,在隧洞桩号 K9+384.33 向上游位置出现了洞内岩体垮塌后形成封洞。垮塌段上台阶掌子面桩号为 K9+303(Ⅳ类围岩),下台阶掌子面桩号为 K9+369.8(Ⅴ类围岩),垮塌类型为洞内中部垮塌。洞内岩体垮塌前,安全员发现下台阶掌子面附近钢支撑有异响,遂及时组织人员撤离而无人员伤亡或被关在封闭的洞内。此时,塌方处理技术方案的确定成为重中之重。

2 塌方处理技术方案的确定

2.1 塌方原因分析

该洞段岩体在前期地质分类中被划定为Ⅴ类围岩(桩号 9+384~9+342),同时,在桩号 K9+384~K9+364 段存在一挤压破碎带且其与洞轴

收稿日期:2023-07-15

线呈 15° 角斜交。桩号 K9+384~K9+342 段围岩岩性为变质砂岩夹板岩,产状为 $N40^\circ W/NE \angle 85^\circ$,裂隙发育,岩体破碎,呈碎裂结构,地下水在雨季较丰富。

据观察,塌渣表面可见黄褐色锈膜,局部伴有白色钙质附着物,据此,技术人员推测该洞段岩体受地表冲沟影响,长期受地下水浸泡导致其强度下降、结构松散。而当年夏季降雨量偏多致该洞段地下水丰富,是引起洞内产生塌方的一个主要因素。

鉴于该隧洞段的开挖断面为 26.37 m^2 ,根据《水工建筑物地下工程施工技术规范》DL/T 5009—2011^[1]中的规定,其开挖断面积大于 25 m^2 ,故将该洞段划分为中断面。但因该段洞身结构为窄高城门洞型(宽 4 m,高 7.06 m),高跨比达 1.75,且围岩以Ⅳ、Ⅴ类岩体为主,为保证开挖和支护质量,对该段围岩的开挖选择了上、下台阶分部开挖的方式。上台阶开挖后,受破碎带与水的影响围岩已具有一定的变形量,在下台阶开挖后因开挖断面变大、加之放炮震动影响,围岩变形量的叠加导致该段原实施的临时支护变形过大遭到破坏,从而造成比较大范围的垮塌。

2.2 前期治理时采取的加固及探测措施

(1)塌方暂时稳定后,施工人员利用 4 号洞下游主洞洞挖弃渣,在塌方体后进行回填形成了操作平台,减小了洞高并对型钢支撑起到了压脚稳定作用,其长度及高度依据现场施工设备确定。

(2)加固塌方体后的未垮塌临时支护型钢。在距顶拱拱脚 30 cm 处采用 I14 工字钢对撑形成临时支护型钢,对其接头处采用电焊焊接,其主要作用是加强横向支撑以增加其稳定性,同时对塌方体下游 8 榀钢拱架进行了加固。

(3)在完成了上述(1)~(2)项加固工作后,对未垮塌的最前端钢支撑与垮塌段钢支撑原来的联系筋进行了切割以断开其联系,避免在处理垮塌段时对未垮塌段带来牵引式的破坏,同时对垮塌时连接处附近受损的原喷射混凝土进行了补喷和加强。

(4)在完成了(1)~(3)项加固处理措施后,利用手风钻对顶拱以上的塌方体厚度进行了初步探测,经初探得知:顶拱以上的塌方渣体厚约 2.0~2.5 m。

2.3 技术方案比较

技术人员根据现场的垮塌情况,并结合破碎带以及下台阶桩号 K9+369.8 段与挤压破碎带于右边墙出露点与底板交点处桩号 K9+364 的相互关系,推测垮塌段的长度最短为 14~20 m(塌方处理完成后的实测长度为 16 m)。鉴于该工程所在地属于高海拔高寒地带,故在施工方案选择时应尽量选择以机械实施为主、人工为辅的方案^[2,3]。

根据初步估计的塌方长度以及探测得到的塌方渣体的高度,项目业主邀请了相关专家与参建各方就塌方处理方案进行了深入探讨。

(1)由于塌方段的塌体处于封洞状态,若要在隧洞内形成比较安全的操作空间,就需要在顶拱以上进行一些超前支护,以形成具有一定强度的封闭层;而管棚施工就是在隧洞处于不利地质条件下开挖和塌体处于封洞状态处理中最常见的进行超前支护的手段;但是从该段塌方渣体的情况看,其渣体的块体和强度构成非常不均,成孔难度较大且其上覆渣体厚度较薄,灌浆成形后在洞身再次开挖的扰动下其强度很难得到保证;又因工程区域比较偏远,灌浆队伍和设备的进场需要的准备时间较长,对防止塌方体塌方范围的延伸和扩大具有不利影响。

(2)常规的处理方案为排除部分或全部渣体,即先对垮塌体的上部空腔进行安全支护后,再对隧洞进行临时或永久支护,后期再根据隧洞工况对塌体空腔进行部分或全部混凝土回填。由于塌方体空腔很高,即使利用塌方的渣体作为操作平台,但因其上部空腔的高度比较高且形状不规则,很难形成比较有效的支撑,且其塌腔本身会不断出现掉块、局部垮塌的情况,导致直接在隧洞下部进行临时支护或永久支护的作业人员长时间处于危险之中,无法避免作业中人员安全风险的出现。

(3)出渣至顶拱附近、将后期塌方腔体需要进行的回填混凝土提前到前期进行充填。使用混凝土泵对塌腔进行一定厚度的充填,其充填厚度的设计需根据隧洞工况作永久考虑。施工时根据设计的充填厚度进行分层、分时段浇筑方案的设计,其下部的开挖支护工序与管棚施工近似,特点是充分利用塌方渣体本身作为支撑,以减小混凝

土浇筑的支撑、支模工作量及浇筑时间段的作业风险;使用泵送混凝土对隧洞的塌方空腔进行一定厚度的充填以减小塌方腔体、约束塌体周边围岩变形,并在隧洞上部形成封闭、起到超前支护的作用,为保证隧洞下部塌方体的处理以及后续隧洞的支护工作提供安全操作的空间。

鉴于该工程隧洞的长度超过 10 km。工程前期,针对隧洞不良地质段开挖以及坍塌处理预案时就有混凝土输送泵等浇筑设备、人员的准备预案。通过参建各方及专家的研究和讨论认为该方案实施起来简单、安全、可靠、及时,可变因素比较少,最终一致同意按照这一方案进行施工组织设计。

3 塌方体处理方案

最终采用的处理方案:首先清除部分塌方体,利用清除的渣体在塌方体下游逐步形成操作平台以进一步探明塌方体的高度及宽度。探挖并经实测得知顶拱以上塌方体的最大高度约为 10 m,最大宽度约为 6 m。塌方体上游侧处于封洞状态,纵向长度未探明。

3.1 塌方体上部的处理方案

(1)利用所清除的塌方体石渣在塌方体下游形成装载机或挖掘机操作平台,该平台的高度在机器能够操作的范围内越高越好,机器可以通过该平台完成一些混凝土浇筑的辅助工作。

(2)开挖、拉动渣体需要进行控制性出渣,其塌方体上部顶拱连接处一旦有小空腔出现,必须立即停止出渣而改为进行平台修整、修缓渣体坡度等工作。对其进行观察后对顶拱出露的小空腔进行控制性的扩挖和回填,其目的是使空腔上部周边垮塌的渣体尽可能地顺漏斗通过出露的小空腔向下滑落以得到清理。理想的状态是顶拱以上一定长度内的渣体基本清除,渣体的高度应尽可能地保持在顶拱附近。

根据塌方体的具体情况对上游前端顶拱高程的渣体反复进行了槽挖并利用下滑的渣体进行回填,其目的是希望所浇筑的混凝土长度在可控的范围内尽可能长一些;对左侧边墙部分松散的渣体进行了槽挖清除处理。

(3)根据设计确定的充填厚度和施工的分层厚度进行泵送混凝土的埋管并观察排气管的安设。充填混凝土的设计厚度为 2.5 m,共安设泵

送混凝土 $\Phi 100$ mm 埋管 2 根,其安设高度高出顶拱 3 m。采用 2 层浇筑,其第 1 层的厚度为 1 m,分别安设了高出顶拱 1 m 和 2.5 m 的观察管($\Phi 50$ mm 钢管)各 1 根用于排气、排水及检查混凝土浇筑厚度是否达到顶拱以上 1 m 及 2.5 m 厚。

(4)在顶拱范围布置了 6 m 长、 $\Phi 50$ mm 钢管,后续采用了 4.5 m 长、 $\Phi 28$ 超前锚杆,其环向间距为 0.15~0.20 m,具体的数量视实际情况确定,其下游端与钢拱架焊接连接,并将上游端架立在渣体中,其目的是使新浇筑的充填混凝土在下游端得到一定程度的竖向支撑,进而给下一步的开挖和支护工作提供保障。

(5)为了尽量减少混凝土浇筑时混凝土浆向下渗漏,在顶拱钢管下铺设了风袋布,风袋布采用铁丝与钢管绑扎牢固。在钢管与风袋布下塞填了袋装洞渣或直接架设边顶拱钢模,其所有空腔必须塞填密实。

(6)安设混凝土输送泵、泵管及辅助进料斗^[4](混凝土输送泵采用中联重科生产的 HBT60C)。混凝土的标号为 C20,利用洞口布置的 JZC350A 搅拌机进行搅拌,采用 ZL918 装载机装砂石料往储料斗内运料,水泥采用袋装水泥,混凝土采用 ZL30 装载机自洞口运至洞内输送泵集料斗泵送入仓内。

(7)第一轮边顶拱混凝土分两层浇筑,第一层厚 1.0 m,浇筑时以预埋并超过顶拱 1.0 m 的 $\Phi 50$ mm 架管流出混凝土浆为准。第一层混凝土浇筑 3 d 后方可浇筑第二层混凝土。第二层混凝土厚 1.5 m,浇筑时以预埋超过顶拱线 2.5 m 的 $\Phi 50$ mm 架管流出混凝土浆为准。第二层混凝土浇筑完毕待混凝土凝固 1 d 后即可进行下一工序的施工。

3.2 针对洞身塌方体采用的处理方案

(1)塌方体全断面共分三层进行治理:第一层为隧洞顶拱及顶拱线以下 1.5 m 区域,第二层为隧洞起拱线以下 1.5~3.5 m 区域,第三层为隧洞起拱线以下 3.5 m 至隧洞底板。施工顺序:第一轮超前支护及上部混凝土浇筑→第一层第一段的开挖及支护→第二轮超前支护及上部混凝土浇筑→第一层第二段的开挖及支护→第三轮超前锚杆(前两轮顶拱混凝土的充填使塌方腔体基本

填充完毕)→第一层第三段的开挖及支护→第四轮超前锚杆→第一层第四段的开挖及支护→第五轮超前锚杆→第一层第五段的开挖及支护→第六轮超前锚杆→第一层第六段的开挖及支护→对上游未垮塌段的临时支护进行加固处理→第二层的

开挖及支护→第三层的开挖及支护^[5]。
该塌方段共长 16 m,其上部超前支护分 6 轮处理完成,其中第 3~6 轮超前支护没有进行顶拱充填混凝土浇筑。4 号洞上游 K9+384.345~K9+368.345 洞段塌方处理纵剖面见图 1。

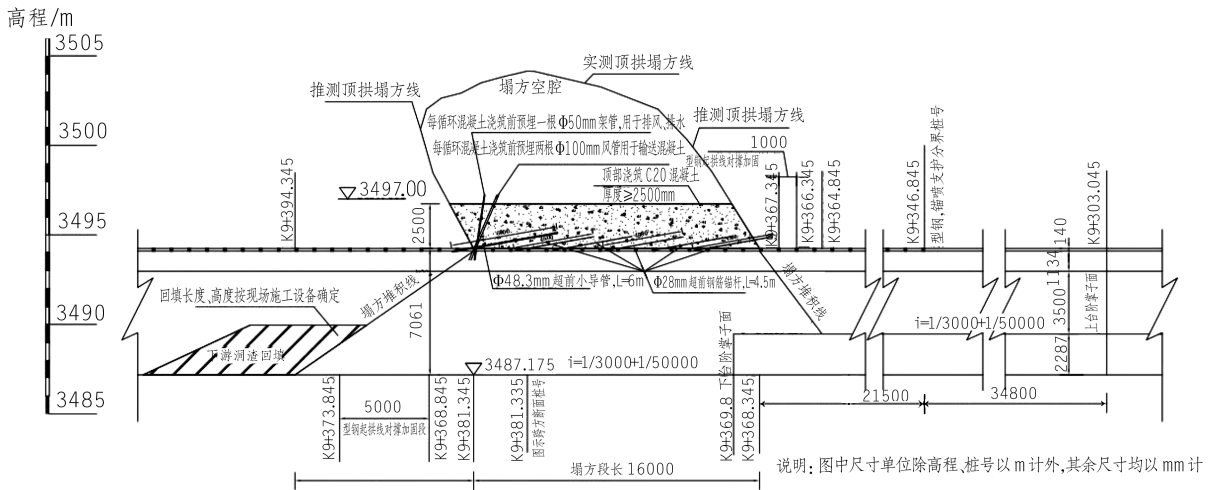


图 1 4 号洞上游 K9+384.345~K9+368.345 洞段塌方处理纵剖面图

(2)第一层第一段的开挖及支护:第二层顶拱混凝土浇筑完 1 d 后,人工辅助久保田 60 型挖掘机挖除支撑混凝土袋装洞渣,拆除沙袋或钢模,开挖塌方体至第一层底,采用短进尺、强支护的方法,型钢采用 I16 工字钢。采用电焊或气割枪切除已垮塌的原有型钢或钢筋,对侵占开挖结构断面的混凝土采用风镐进行处理。开挖与支护的长度一般在不大于 3.0 m 时就应该进行上部第二轮的超前支护。

(3)第二轮超前支护及上部混凝土浇筑:采用 $\Phi 50$ mm 的架管搭设操作平台,用风钻施工第二轮 4.5 m 长的 $\Phi 28$ 超前锚杆,其环向间距为 0.15~0.20 m。按文中 3.1 节的施工顺序依次完成对塌方体上部的处理。第一层第二段的开挖及支护方式同(2)。

(4)第三轮超前支护、第一层第三段的开挖及支护:从前两轮混凝土浇筑的实施效果看,其上部设计需要充填混凝土的范围已充填完毕,故此轮超前支护仅进行了超前锚杆的施工。开挖塌方体至第一层底部,支护型钢采用 I16 工字钢。

(5)第四轮超前支护、第一层第四段的开挖及支护~第六轮超前支护、第一层第六段的开挖及支护方式同(4)。

(6)对上游未垮塌段的临时支护进行加固处理:在距顶拱拱脚 30 cm 处采用 I14 工字钢对撑临时支护型钢,对其接头处采用电焊焊接。对其上游未塌段的 2 榀拱架进行加固处理。

第一层全部施工完毕,采用风钻施工拱脚处的排水孔,排水孔长 3.0 m,孔径为 40 mm,排距为 2.0 m,深入基岩的深度 ≥ 0.5 m。

(7)第二层开挖及支护:槽挖左边墙松散塌方体并连接一期支护型钢,施工 $\Phi 22$ 边墙锚杆及 $\Phi 20$ 混凝土加强筋。采用人工清除边墙内的松散塌方体,架立钢模,人工浇筑第二层左边墙的混凝土。混凝土采用 ZL30 装载机自洞口搅拌机运至洞内仓外,入仓方式可根据其浇筑量的大小采用泵送或人工方式入仓。由于采用的是短进尺、强支护的方式,故其每一仓的混凝土量均不大,最终采用的是人工铲运入仓方式。

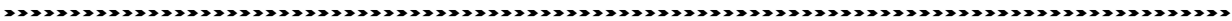
因该段右边墙未垮塌,为降低安全风险,尽量先对左边墙进行槽挖,待左边墙混凝土浇筑完成并具有一定强度后再进行右边渣体的开挖。

采用短进尺、强支护,支护型钢做到出来一段就支撑、喷锚一段及时跟进的方法,支护型钢采用 I16 工字钢,取得了较好的效果。

(下转第 86 页)

职业健康、威胁设备设施使用寿命的一种有害因素。单一的防尘和除尘措施虽然能够降低相关地点的粉尘浓度,但仍会存在较高的粉尘浓度,因此,应根据不同地点和工序的相关特性采取切实有效的综合防尘除尘措施才能有效地降低施工场所整体的粉尘浓度,最大限度地保护作业人员的身心健康并延长机械设备的使用寿命。采取有效的防尘除尘措施对地下矿山项目经济高效发展、实现绿色环保具有重要的意义。

参考文献:

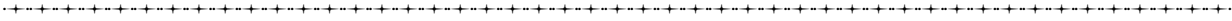


(上接第 61 页)

(8)第三层的开挖及支护:塌方体的第三层处理在第二层处理过程中穿插进行。第二层比第三层的处理保持超前 5 m 以上,在第二层混凝土浇筑后等待强度时即可穿插进行第三层的开挖及支护,其具体施工工艺同步骤(7)直至下台阶掌子面桩号 K9+369.800。

4 结 语

本次塌方处理从塌方开始、经过前期未塌段加固、方案选择到最后实施完成总计用时 30 d,其实施过程均处于安全可控的范围。塌方处理施工期间其顶拱多次出现过局部垮塌,皆因施工方法选择的合理而未发生一例人员伤亡事故。由于充填混凝土整体性好、强度高的特性对周边围岩起到了很好的约束作用,根据笔者对后期变形观测



(上接第 68 页)

5 结 语

结合具体的工程实例,针对位于水势较大、水流较快、水情复杂条件下的公路桥梁桥墩基础防护加固,采取钢管桩+高喷桩的联合防护方案进行防护加固的实施效果表明:该联合方案技术可行、工期优势突出、抗冲击性佳、防护加固效果好,但其施工成本稍有增加。对于水势及水情相对较好的区域,在保证设计目标实现的前提下,制定防护方案时可将钢管桩的外部钢管优化,其可大幅度降低施工成本。以该工程钢管桩施工成本为参照物,可降低施工成本约 31%。

参考文献:

[1] 樊俊生. 苏通大桥主墩基础冲刷防护工程质量控制[J]. 世界桥梁,2008,6(1):58-60.

[1] 李雨成. 矿井粉尘治理理论及技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,2015.
[2] 李雨成. 矿井粉尘防治[M]. 北京:煤炭工业出版社,2017.
[3] 杨胜强. 矿井粉尘防治[M]. 徐州:中国矿业出版社,2015.
[4] 郝玉柱. 矿井粉尘防治[M]. 北京:煤炭工业出版社,2017.
[5] 支学艺,张红婴. 矿井通风与防尘[M]. 北京:化学工业出版社,2013.

作者简介:

谢剑波(1976-),男,四川西充人,项目常务副经理,高级工程师,从事矿山工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

的数据进行分析得知:本次实施的临时支护体一直到 2017 年开始永久混凝土浇筑前均处于稳定状态。

充填混凝土作为实施简单、安全、可靠、及时、可变因素比较少的超前支护施工方案,可以在隧洞塌方处理方案选择时借鉴。

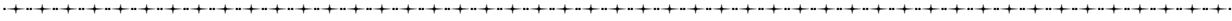
参与文献:

[1] 水工建筑物地下工程施工技术规范,DL/T5009-2011[S].
[2] 水利水电地下工程施工组织设计规范,SL642-2013[S].
[3] 水工建筑物地下开挖工程施工规范,SL378-2007[S].
[4] 泵送混凝土施工技术规范,JGJ/T10-2001[S].
[5] 水利水电工程锚喷支护施工规范,DL/T5181-2007[S].

作者简介:

刘 彤(1967-),男,四川成都人,高级工程师,从事水利水电工程设计与施工技术管理工作。

(责任编辑:李燕辉)



[2] 邓朗妮,等. 微型钢管桩抗弯性能及受力监测试验研究[J]. 混凝土,2016,37(8):130-132,135.
[3] 董弘. 高压旋喷桩在桥梁工程中的应用研究[J]. 工程技术,2019,10(6):54-55.
[4] 胡建伟,等. 注浆微型钢管桩在某填土边坡滑坡治理中的应用研究[J]. 土工基础,2014,28(1):17-20.
[5] 李相然,贺可强. 高压喷射注浆技术与应用[M]. 北京:中国建材工业出版社,2007.
[6] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

作者简介:

高 强(1985-),男,四川成都人,高级工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工

王志鹏(1989-),男,甘肃定西人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工

张 晶(1987-),男,陕西咸阳人,工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)