

S446省道扎窝至红岩改扩建项目中隧道塌方处置思考

中交第一公路勘察设计研究院有限公司 袁博怀

摘要: 近几年,软岩隧道作为隧道专业的重点难点问题,被广泛关注。本文主要介绍一次软岩隧道的从大变形逐渐发展成塌方的情况及后续处理办法,希望对今后类似施工及事故处理起到一定的参考作用。

关键词: 软岩隧道;塌方;处理技术

一、工程概况

(一)工程情况

S446扎红路项目是阿坝州的一条重要的南北向通道,连接着松潘县、黑水县和理县,是G213和G248之间一条纵向通道,方便了三地之间的交通往来,加强了黑水县东西向和南北向的通达能力,强化了黑水县的交通枢纽地位。该项目建设对加快黑水县脱贫致富具有重要意义。

该项目周边有较多的规划路网,项目东侧有规划的汶川至川主寺高速公路,项目北侧有规划的马尔康—朶里台高速公路,项目西侧有规划的马尔康—久治高速公路,项目南侧有规划的汶川—马尔康高速公路。本项目的建设使黑水县与周边的高速路网联系更加紧密,对外出行更加便利。

本项目路线全长为8.359km,全段拟采用沥青混凝土路面。设置隧道管理所一处。

(二)隧道情况

扎窝隧道位于黑水县境内,隧道进口位于扎窝乡克别村境内,隧道出口位于二瓜西村,隧道总体轴线方向约 156° ;扎窝隧道K1+516.098—K4+150,全长为2667.00m,洞净宽9.0m,洞净高5.0m,进口段洞底设计高程2220.00m,地面高程2226.4m,出口段洞底设计高程2262.320m,地面高程2275.586m。隧道最大埋深约404.43m,位于里程K2+180,为一条深埋的长隧道。

隧址区属季风高原型气候区,旱、雨季分明,日照充足,气温年差较小,日差较大,夏无酷暑,冬无严寒。项目区内是阿坝州降水较多的地区之一,降雨分布不均,夏季集中,秋季阴雨连绵,雨量的日变化大,夜间降雨占全年总降雨量的70.2%,年平均降雨量为620.2mm。

无霜期平均为166.1天,地势较低的河谷地带为230天左右。年平均气温为 9.5°C ,最低极端气温 -14.4°C 。

拟设路线在黑水河与毛尔盖河之间。黑水河和杂谷脑河,均为岷江支流,属岷江水系。

黑水河,是长江支流岷江上游最大的支流,位于阿坝州黑水县和茂县境内,有西、北两源:西源发源于黑水县西部的羊拱山麓;北源发源于毛尔盖草原,其流程和面积均大于西源,但通常以西源为干流。流经阿坝州黑水县和茂县,由茂县回龙乡沙坝区的两河口注入岷江。全流域面积为 7240km^2 ,占岷江上游流域面积的31.4%。河口多年平均流量 $140\text{m}^3/\text{s}$,干流全长122km,落差达1048m,平均比降低了8.6%。

毛尔盖河,发源于四川省阿坝藏族羌族自治州松潘县西部夏沃隆山麓。流域面积 3230km^2 ,占黑水河流域面积的44.6%,干流全长96km(草原乡—河口),落差为1254m,平均比降低了13.0%。多年平均流量 $66\text{m}^3/\text{s}$,水量丰沛,径流稳定,水能资源较丰富。

(三)塌方路段情况

扎窝隧道4号紧急停车带(K3+345.65—K3+294.35)因围岩破碎、大变形等问题,前后发生过两次变更,最终发展为坍塌。

塌方带地质结构为三叠系统侏倭组(T3zh),岩体呈灰色至深灰色,薄、中至厚层、块状细粒石英砂岩与粉砂质板岩。砂岩与板岩呈互层状产出,砂岩与板岩之厚度比约为7:3或6:4。上部韵律清晰,常见夹1~2层厚数10m的厚块状变质砂岩,下部以砂岩夹较多板岩为主,韵律特征不明显。褶皱发育、岩层倾角一般大于 50° ,节理裂隙发育。

二、塌方前的处理

(一)开挖前支护参数调整

K3+345.65—K3+294.35段落为设计中紧急停车带(四)段落,由大里程向小里程方向施工。原设计该段落为IV级围岩,实际揭示后掌子面围岩差,以炭质板岩为主,夹杂中风化砂岩,节理裂隙极发育,岩层破碎,持续掉块,经四方现场查勘后共同确定围岩等级变更为V级围岩,并调整支护参数,采用《V级围岩紧急停车

带砌设计图》结构进行开挖。开挖方法由原来的三台阶预留核心土开挖改为CD法开挖。

(二) 第一次发生大变形

K3+345.65—K3+330段变更后按照《紧急停车带V级围岩施工方案设计图》中的CD法进行开挖施工,施工过程中围岩以强风化砂岩、板岩为主,极其破碎,呈碎石土状。施工至K3+333处时,K3+345.65—K3+333段线路右侧初支及中隔壁临时支护发生较大的收敛、沉降变形,拱顶掉块严重,拱架扭曲变形。

导坑掌子面施工至K3+333时监控量测显示该处围岩变形量超警戒值(图1),单日收敛量达30mm。现场踏勘后对在原有方案基础上补充后注浆,临时钢支护方案,注浆管参数采用护拱间距0.6m,拱架型号I20b,径向小导管型号 $\phi 42\text{mm} \times 4\text{mm}$,长3.5m,间排距为1m \times 0.6m,临时钢支护采用I20b工字钢结构。

三、塌方情况

导坑掌子面施工至K3+319时,K3+340—K3+319段初期支护突然发生剧烈变形并迅速发展为塌方。塌方形成后,塌腔上方大股地下水涌出并伴随 $\phi 30 \sim \phi 80$ 的碎石。上方塌腔形成自然堆积坡,封住塌口。

从现场勘察(图2)来看,从掌子面20m的初期支护都受到不同程度的破坏,塌腔位于拱顶右侧。塌体破碎,夹有泥质,且塌腔中有大量的碎石堆积,无法探明上方塌腔具体大小。

推测塌方原因为开挖掌子面后扰动岩层,出现新的水路使围岩后侧出现新裂隙与地下水连接,地下水积存

在裂隙中,将岩体中的千枚岩软化,原本的围岩结构被破坏,失去自稳能力,岩体从原本的协助受力转变为纯荷载。裂隙位置偏右导致出现局部偏压情况,最终使初期支护发生偏压破坏。而原本地下水经过此次塌方顺利流出,对围岩的破坏作用停止。



图2 塌方后现场情况

四、塌方处理

处理塌方面临以下三个难点:首先初期支护已产生偏压破坏,需要重新施作初期支护才能进入工作面处理塌方;其次,塌腔上方还存在失稳堆积体,上方堆积体大小不明,清理塌腔前需先加固塌腔内堆积体,防止清理堆积体产生后续问题;最后,原设计紧急停车带大断面在该处实施风险过大,容易出现二次塌方问题,需要将该处改为小断面开挖。

根据以上几点,制订以下塌方处置方案(表1)。

S446线黑水县扎窝至红岩隧道新建工程项目															
扎窝隧道出口监控量测记录															
单位:×××公路建设集团有限公司							观测日期:2020-7-6								
拱顶下沉记录表															
监测断面	每日下沉		累计下沉	预留量	变化速率	初测日期	监测断面	每日下沉		累计下沉	预留量	变化速率	初测日期		
	第一次	第二次						第一次	第二次						
K3+370		0	593	150	11.2	2020/5/14	K3+360		1	215	150	4.6	2020/5/20		
监测断面	每日下沉		累计下沉	预留量	变化速率	初测日期	监测断面	每日下沉		累计下沉	预留量	变化速率	初测日期		
	第一次	第二次						第一次	第二次						
K3+350		1	600	150	15.4	2020/5/28	K3+345		1	180	150	4.9	2020/5/30		
监测断面	每日下沉		累计下沉	预留量	变化速率	初测日期	监测断面	每日下沉		累计下沉	预留量	变化速率	初测日期		
	第一次	第二次						第一次	第二次						
K3+340		3	79	150	4.2	2020/6/18	K3+335		10	22	204	150	11.3	2020/6/19	
监测断面	每日下沉		累计下沉	预留量	变化速率	初测日期	监测断面	每日下沉		累计下沉	预留量	变化速率	初测日期		
	第一次	第二次						第一次	第二次						
K3+330		66	57	283	150	18.9	2020/6/22	K3+325		45	54	124	150	62.0	2020/7/5
周边收敛记录表															
监测断面	每日收敛		累计收敛	预留量	变化速率	初测日期	监测断面	每日收敛		累计收敛	预留量	变化速率	初测日期		
	第一次	第二次						第一次	第二次						
K3+370		1	564	150	10.6	2020/5/14	K3+360		1	671	150	14.3	2020/5/20		
监测断面	每日收敛		累计收敛	预留量	变化速率	初测日期	监测断面	每日收敛		累计收敛	预留量	变化速率	初测日期		
	第一次	第二次						第一次	第二次						
K3+350		1	647	150	16.6	2020/5/28	K3+345		2	265	150	7.2	2020/5/30		
监测断面	每日收敛		累计收敛	预留量	变化速率	初测日期	监测断面	每日收敛		累计收敛	预留量	变化速率	初测日期		
	第一次	第二次						第一次	第二次						
K3+340		5	70	166	150	8.7	2020/6/18	K3+335		28	101	371	150	20.6	2020/6/19
监测断面	每日收敛		累计收敛	预留量	变化速率	初测日期	监测断面	每日收敛		累计收敛	预留量	变化速率	初测日期		
	第一次	第二次						第一次	第二次						
K3+330		111	47	338	150	22.5	2020/6/22	K3+325		62	21	108	150	54.0	2020/7/5
备注及异常情况解释:															
1、每日变化值红色代表变化过大,需预警(日变化超过5mm),每日变化值黄色代表变化较大,需加强监测(日变化4-5mm),每日变化值黑色代表变化正常,可正常施工(日变化为1-3mm)。															
2、变形累计值与开挖预留量比较:① $U < U_0/3$, 正常; $U_0/3 < U < 2U_0/3$, 需加强支护; $U > 2/3U_0$, 需停工等待支护方案(U 为累计值, U_0 为设计值)															
3、K3+330—K3+320段拱顶掉块严重。变形较为明显,掌子面已停工。K3+400—K3+322线路右侧已侵限,拱顶偏左侧,护拱已大面积变形,持续掉块。															
监测人员:				复核人员:				监理工程师:							

图1 监控大变形预警日监控量测记录

反压回填,从掌子面回填至被破坏的初期支护前,形成工作面。

由于部分岩体已失去自稳能力,无法采用“荷载—结构”体系,改为采用刚性支护。使用长30m的长管棚,一直延伸至原掌子面后方稳定岩层中。

重新开挖,对被破坏的初期支护拆除并重新施作,取消原设计紧急停车带断面,换为普通行车断面,衬砌结构采用《V级破碎带衬砌设计图》施工。调整后紧急停车带位置待处理完塌方后另行决定。

重新开挖至原掌子面处时,使用 $\phi 42$ 小导管对塌腔注浆,进一步稳定上方破碎体后再向前开挖。

塌腔中流水留管引出,防止该处二次积水,造成二次塌方。

隧道开挖方式由原设计CD法开挖改为留核心土法开挖。

表1 塌方前后衬砌结构参数对比

项目		单位	衬砌类型	
			加强V级	原设计V级
			一般段	紧急停车带
喷混凝土	C25混凝土	cm	49	26
径向锚杆	直径	mm	$\phi 42$	$\phi 42$
	长度	cm	400	400
	锚杆布置	cm	100×100	100×100
钢筋网	直径	mm	$\phi 6.5$	$\phi 6.5$
	钢筋布置	cm	20×20	20×20
工字钢架或格栅钢架	工字钢	型号	双层I20b	I20b
	间距	cm	60	60
二次模筑混凝土	C30钢筋混凝土	cm	60	60
仰拱	喷C25混凝土	cm	49	26
	C30钢筋混凝土	cm	60	60
超前支护	类型		$\phi 42$ 小导管	$\phi 42$ 小导管
	环向间距	cm	40	40

五、处理结果与原因分析

经过30天的处理,顺利通过验收,质检合格,后方孔洞使用注浆混凝土填满。该隧道现已顺利贯通。

在本次塌方事故中,监控量测起到重要的预警作用,在初次变形后及时加强了衬砌结构,避免了更大事故的发生。但相关人员对塌方的产生原因没有充分认

识,只做了临时处理,未进一步发现变形后形成新水路,导致地质失稳,从而造成塌方事故。

地质预报因其局限性未能及时发现衬砌范围内存在新水路的情况,从而错过了排除隐患的最佳时机。

总的来说,此次事故是对隧道隧址地质认识不到位,未能掌握岩体卸载后软岩变形的特性,导致未能及时意识到隧道大变形引起的水对围岩的破坏,进而造成的塌方。

六、结语

软岩隧道的岩性不同于其他隧道,在施工过程中要对开挖后围岩的变形有清晰的认识,在有失稳预兆时应对其产生的原因有系统的认识。软岩不同于其他围岩,其在开挖卸荷后不会因卸载形成的强度反而会使原本的岩层结构迅速被破坏导致风化失稳,失去强度,不能形成结构体系。同时,在砂岩、板岩互层地段,有易溶于水的千枚岩结构,在地下水的侵蚀作用下,原本脆弱的结构进一步被破坏,造成大变形。千枚岩溶于水后形成泥浆,又将隧道围岩中的裂隙填充,堵塞了后注浆的通路,导致采用后注浆方案没有形成有效的防护。

应对这种情况,笔者总结了以下三条经验。

(1) 软岩隧道围岩会随着形变而丧失自稳能力,需要靠更多的支护结构来承载荷载。

(2) 监控量测的预测作用在软岩隧道软岩变形发生突变往往意味着围岩后方已经发生了破坏,需要及时反压回填,做好超前加强措施,避免发生塌方。

(3) 隧道超前地质预报。有条件的情况下可以监测隧道围岩后方的富水段,对潜在的积水隐患点进行及时引排,排除隐患。

参考文献:

[1]黄志文. 软岩隧道塌方原因及处理措施分析[J]. 黑龙江交通科技,2019,42(06):4.
 [2]吴发展. 同寨隧道软岩塌方处理措施探讨[J]. 低温建筑技术,2018,40(11):3.
 [3]张晓今,钟毫忠,张超. 浅埋山岭隧道软岩段塌方原因分析及处理技术[J]. 现代隧道技术,2018,55(02):7.
 [4]蔡鹏宏,李长林,赵志华.任家沟1#大跨度千枚岩隧道塌方处理技术[J].公路交通科技(应用技术版),2012(11): 3.
 [5]刘洋.软岩隧道塌方处理技术[J].交通世界,2022(17): 49-52.

作者简介:袁博怀(1991),男,浙江省杭州市人,本科,工程师,主要研究方向为土木工程、隧道工程。