

采用地表钻孔注浆治理公路隧道塌方地质灾害

何裕宝, 殷关虎

(广西地矿建设工程发展中心, 广西南宁 530023)

摘要:结合百富高速公路者桑隧道因滑坡而引起的隧道塌方灾害治理工程, 详细介绍了采用地表钻孔注浆治理隧道塌方的施工技术。

关键词:隧道; 地质灾害; 滑坡; 塌方; 钻孔注浆

中图分类号: U45 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2008)06-0073-03

百富高速公路穿行于滇桂两省(区)交界崇山峻岭, 地质条件复杂, 岩性多变, 地形切割深; 降雨量大, 地表和地下水均非常丰富。在整个路线施工过程中, 频发滑坡和塌方等地质灾害。本文介绍该公路者桑隧道地质灾害原因和规模, 以及治理措施, 供同行参考。

1 地质灾害的原因和规模

1.1 地理位置及工程地质条件

者桑隧道南北走向, 高程 270 ~ 275 m, 埋深一般为 100 ~ 200 m, 最大埋深 370 m。设计为两座分离式双向六车道, 左洞长 2848 m, 右洞长 2867 m, 最大开挖宽度为 18.32 m, 最大开挖高度为 12.39 m, 是一座公路宽体隧道中规模较大的隧道。隧道区地形起伏较大, 西面有山间小河环绕, 北面是漏斗状山间盆地, 具明显的剥蚀地貌特征。

工程地质条件: 地层表面松散土层, 为坡积粘土含碎石粘土层, 土体粘性差, 结构不均匀, 透水性好。基岩为炭质灰岩、炭质页岩夹煤层等软质岩。两条较大断裂构造分布于隧道北进口端和中部北段, 相距约 600 m, 断裂呈东西走向, 断层角砾岩角砾大小 2 ~ 10 cm, 泥质胶结, 裂隙发育。隧道北段洞外有一滑坡, 滑坡体长约 480 m, 宽约 250 m, 平均厚度 23 m, 体积约 220 万 m^3 。滑坡面呈圆弧形, 倾向北西, 倾角 34° , 安全系数 $K > 1.3$ 。施工前处于稳定状态, 施工扰动有可能复活, 形成地质灾害。

1.2 地质灾害规模

施工过程中, 正值暴雨频繁季节, 在隧道进口北端的隧道内由于大量地表水下渗, 在水的润滑作用下, 岩层错断, 产生滑动, 在隧道北段洞外形成推移

式滑坡。同时引发隧道中部北段“通天”大塌方, 在地表出现一个长约 80 m、宽约 60 m、深约 25 m 的大坑, 估计塌方量约为 20000 m^3 , 在隧道内形成长达 188 m 的塌体。塌方向进口端推移了约 60 m、向出口端推移了约 100 m, 其中约有 60 m 全为塌方体阻塞。现场查明: 塌陷口呈漏斗状, 东西走向, 几乎与隧道方向垂直, 倾向北端, 倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$, 宽度 8.0 ~ 13.5 m, 上宽下窄, 塌陷坑较陡直。按掌握的地质资料分析, 塌体是位于张性断裂构造带上之溶沟、溶槽中。充填以灰岩风化而成的亚粘土, 其中含有少量碎块石, 含水量高, 呈软塑状, 故抗剪强度极低, 加上雨水渗入又形成流塑状, 自稳能力极低, 隧道开挖处拱顶埋深约 70 m, 在这种巨大压力下, 导致洞内初期支护破坏, 大量泥石流突破洞顶, 涌入洞内, 形成大塌方。

2 治理方案选择

现场勘测推算, 塌方的中心位置在隧道中部北段, 距北进口 460 m, 塌方后拱顶仍有约 60 m 高的土柱, 且上部约有 480 m^2 的大坑, 坑壁不稳定, 坑内还有积水下渗。塌陷与洞外滑坡面贯通, 如单纯在洞内采取措施, 继续掘进, 均难以稳定坑内塌方体, 反而会继续下塌, 极不安全; 同时滑坡体失稳, 继续下滑, 其后果将更为严重。

因此, 地质灾害治理方案的选择, 本着治标又治本的原则, 从治本开始。首先对滑坡采用抗滑桩加锚杆进行支挡, 在滑坡体外缘修建截水沟, 减少地表水入渗以减轻水对滑坡体的软化和润滑作用, 使滑坡体不再继续下滑; 对塌方的治理则采用地表钻孔注浆加固, 注浆可以充填、挤密、加固松散软弱的塌

收稿日期: 2008-04-07

作者简介: 何裕宝(1956-), 男(汉族), 广西人, 广西地矿建设工程发展中心副总经理、工程师, 工业管理工程专业, 从事工程地质勘察、基础工程、路桥工程、房屋建筑施工管理工作, 广西南宁市建政路 1 号。

方体,提高土体强度,增加其抗剪能力。根据土力学计算,只要在隧道拱顶 35 m 范围内经注浆加固后的土体的内摩擦角 $>18^\circ$,即可保证隧道塌方段重新开挖时的安全,才能清理洞内塌方,继续掘进。本文重点介绍地表钻孔注浆。

3 深孔注浆设计

3.1 注浆范围的确定

注浆范围纵向是隧道中部北段,距北进口 450 ~ 470 m,长 20 m,而横向是在隧道中线两侧各 15 m,即 20 m \times 30 m 范围内,在垂直方向是拱顶以上 35 m,直至隧道底以下 2 m。用 $\varnothing 89$ mm \times 6 mm 的无缝钢管,以间距 1 m \times 1 m 呈梅花形布置注浆孔,共设 644 个注浆孔,总计 35000 m。注入水泥达 7800 t,单孔压注水泥约 12 t,相当于水泥浆 9.7 m³。所用无缝钢管作为垂直方向主体受力构件,类似钢筋。

3.2 注浆压力的确定

注浆压力的高低关系着施工成败,首先要满足浆液能使土体达到被充填挤密,但也要控制压力避免上部拱抬或大范围扰动土体,同时还要考虑浆液迁移扩散的方向和范围。一般注浆的初灌压力为 0.5 ~ 1 MPa、终灌压力为 4 ~ 6 MPa。结合本工程情况,确定终灌压力 2.1 ~ 2.6 MPa,当孔口压力表读数在 1.8 ~ 2 MPa,并注入有一定浆液时,即可终止单孔高压注浆。

3.3 注浆配合比

在确定注浆浆液配合比时,要考虑注浆对象是松散、不均质和含水量大的土体,所以要针对此塌方体中有足够多的水泥结石,也要考虑形成结石后土中应力不宜过大,因而选用了 90% ~ 95% 水泥结石率的浆液,其水灰比为 0.5 ~ 0.6。

当初灌压力 >1 MPa 时,说明孔内可灌性差,水灰比调整到 0.8 ~ 1,同时也应针对此塌方体的周围并未封闭是开放性的体系,浆液易于泄漏,注浆时必须考虑其初凝时间和其流动性。当注浆量大、压力低时,结合注浆设备性能,并考虑不堵塞注浆导管,确定初凝时间为 25 min 左右。这样可保证既有一定注浆量,又可将通道堵塞,防止浆液任意扩散和注浆孔之间的串浆现象。

根据室内配合比试验结果,水玻璃掺入比例为水泥浆液体积的 8% ~ 10% 为宜。

3.4 注浆量的确定

根据注浆试验孔结果,有关单孔注浆量,当土体

孔隙率为 17%,在注浆目的层内,即隧道顶上 35 m 中单孔有效注浆量为 5.9 m³,但考虑到泄浆,远距离扩散及向上返渗等情况,因此单孔实际注浆量应增加 0.8 ~ 1 倍,而刚开始注浆的钻孔,其注浆量还会大些。

4 钻孔注浆施工

4.1 注浆施工场地准备

为了保证注浆施工安全,首先采取挂网喷锚加固坑壁,以稳定坑的四周土体,同时加强坑的上、下排水以切断及排除坑中水流,减小土中含水量,注浆前在整平填实部分陷坑基底后,浇筑 20 cm 厚的水泥砼板,遮盖着坑口,并给深层处理提供一个工作场地。在此基础上采用钻孔双液注浆加固塌方体,使其力学强度高,以减小土体对衬砌支护的压力,而保证在洞内继续施工的顺利与安全。此外,在洞内塌方体的末端底部,设置砂包给予反压,以防塌体向外滑移。

4.2 成孔设备及方法

4.2.1 钻探设备

200 型钻机 12 台,XY-1 型钻机 8 台,XU-300 型钻机 3 台。

4.2.2 成孔方法

采用冲击回转钻进,基岩钻孔采用金刚石钻进,对检查孔需抽心检查。在钻进过程中,特别要注意卡、埋钻等事故,并事先研究处理这些事故的对策,以免造成废孔。

4.3 注浆管的设置

所用 $\varnothing 89$ mm \times 6 mm 无缝钢管注浆管,每节管长 3 ~ 4.5 m,用公母丝口连接,下入后不需起拔。在不注浆段采用原管,而在注浆段则采用花管。花管上每隔 20 cm 钻 4 个 $\varnothing 6$ ~ 8 mm 小孔,但在管两端丝扣 30 cm 长的范围内不应钻孔。钻进时当孔内沉渣厚度 >1.5 m 时,需清孔下管,管下至孔底 1.5 m 范围内用锤击方法加以固定。

4.4 清孔

当注浆管放好后,需用泥浆清除管内沉渣,要求在隧道范围内沉渣厚度 ≥ 5 m,在隧道空间两侧和陷坑下盘基岩沉渣厚度 ≥ 1 m,同时其顶面也不得高出隧道拱顶。在钻孔成孔后,应尽快进行注浆,以防止泥沙沉积,影响注浆质量。

4.5 注浆孔与钻孔间的关系

为减少钻孔间的串浆发生,防止注浆时土体中形成应力衰减过快,要求钻孔与注浆孔间距离 <4

m。当钻孔中发现有串浆,应停止施工,并进行封孔。对未及时注浆的钻孔,如有串浆、冒浆现象而造成堵孔时,待水泥凝结再扫孔注浆,以确保每孔都能逐一注浆。

4.6 注浆设备与材料

4.6.1 注浆设备

早期采用 BW-150 型注浆机 1 台;中后期采用 SGB6-100 型注浆泵,配套搅拌机和制浆机 3 台套。双液注浆混合器为自制孔口花洒式施喷混合器。

4.6.2 注浆材料

采用 R425 普通硅酸盐水泥,35 Be、 $M=2.4$ 水玻璃。

4.7 注浆运作顺序

根据设计的注浆孔分布的顺序,采用分层挤压,以保证注浆效果,按此将注浆孔分为 5 个序次:Ⅰ序次为 38 孔,Ⅱ序次为 101 孔,Ⅲ序次为 124 孔,Ⅳ序次为 105 孔,Ⅴ序次为 120 孔,

Ⅰ序次的注浆孔是采用低压力、大注浆量,其作用是封堵大的、连通性好的泄浆和串浆通道,形成一个相对封闭的注浆环境。所以在塌方体外围,并与其他序次保持 4 孔的间距。Ⅱ~Ⅴ序次为高压力、充填至挤压注浆,逐渐增加土体强度。

4.8 注浆时的监控

为了保证注浆质量,在现场需要及时进行动态监控,对注浆压力、速度、水灰比、水玻璃掺入量、注浆量等数据作出调整。如发现注浆压力较低或上升

缓慢以及注浆量较标准要求大时,就应调整水泥浆液、水灰比和水玻璃掺入比例;而在注浆量小、压力却又上升时,应注意观察注浆管是否被堵,抑或注浆速度过快、浆液过浓等现象。

为了保证浆液在塌方体内扩散,当发现有明显的串浆泄浆时,或注浆量特别大时,才可注入 8%~10% 水玻璃,使压力上升达到目标压力为止,然后以较稀水泥浆液继续注浆。

5 地质灾害治理效果

对洞外滑坡和洞内塌方地质灾害的治理,效果显著。对洞外滑坡采用抗滑桩加锚杆进行支挡,在滑坡体外缘修建截水沟,减少地表水入渗以减轻水对滑坡体的软化和润滑作用,使滑坡体不再下滑,处于稳定状态。对洞内塌方采用地表钻孔注浆是成功的,它首先改善了塌方体的物理力学性质,从抽心检验结果,内摩擦角值为 $20^{\circ} \sim 27^{\circ}$, c 值为 35~70 kPa。在隧道恢复施工后,工程进展顺利,在掌子面上可以见到水泥结石脉,并使导坑壁稳定,确保了施工安全,塌方体全部通过,未再作超前支护工程等。其次是有效地阻止了地下水的渗透,使施工在无水条件下进行,改善了施工条件,为隧道的全面贯通奠定了基础。

以上地质灾害治理措施,尤其是地表深孔注浆治理隧道塌方,为在不良地质条件下工程施工引发地质灾害的治理积累了成功经验。

(上接第 70 页)

直径在 2~3 mm,少部分 5 mm 以上,厚度 1~2 mm。从岩屑和钻进速度看,滚刀组装钻头破碎岩石是疲劳体积破碎,对于某一点及其附近的岩石来说,在滚刀齿的不断撞击碾压下,逐渐达到疲劳强度极限,以至于成块的被剥落。因此钻进压力和转速是 2 个很重要的钻进工艺参数,尤其钻进压力,存在一个临界压力,钻进压力应高于临界压力,临界压力在钻进中的表现是很明显的。

6 结语

本工程按照设计施工到 205.5 m 终孔,从设备运转及钻进的情况来看,还足以继续向下施工一定的深度,因此对现有设备进行改造,充分利用新技术、新材料,先施工前导孔再扩孔,是大口径硬岩深

孔的一种切实可行的施工工艺。

投料孔等大口径工程钻孔对钻孔弯曲的要求较水井钻孔要高,因此如何采取科学有效、经济的措施方法控制钻孔的弯曲达到设计区域是一项有待探讨的工作。

参考文献:

- [1] 郑培根. 大口径钻头图谱[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [2] 姚爱国. 岩土工程钻进原理[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2000.
- [3] 刘瑞琪,张长舟. 水文地质钻探钻井工程实用技术手册[M]. 北京:煤炭工业出版社,1999.

致谢:中国地质科学院勘探技术研究所、兄弟施工单位、钻头制造厂家、钻探老专家在本工程施工中给予我们以大力支持和帮助,在此表示诚挚的谢意。