

浅埋大断面公路隧道塌方处置措施

范明浩

浙江八咏公路工程集团有限公司, 浙江 金华

收稿日期: 2022年8月16日; 录用日期: 2022年9月1日; 发布日期: 2022年9月8日

摘要

以某公路隧道塌方为工程背景, 分析塌方发生原因, 得出该塌方发生的原因因为地质原因, 进行浅埋大断面隧道塌方处置措施分析, 包括测量放样、洞内反压回填、洞顶开挖及边坡支护、拱顶浇筑及初期支护、洞身开挖及支护、洞顶基坑回填压及实施工要点和注意事项、安全保障措施等。结果表明, 该塌方处置措施效果显著, 可为类似塌方处置提供参考。

关键词

公路隧道, 浅埋大断面, 塌方, 塌方原因, 处置措施

Disposal Measures for Collapse of Shallow Buried Large Section Highway Tunnel

Minghao Fan

Zhejiang Bayong Highway Engineering Group Co., Ltd., Jinhua Zhejiang

Received: Aug. 16th, 2022; accepted: Sep. 1st, 2022; published: Sep. 8th, 2022

Abstract

Taking the collapse of a highway tunnel as the engineering background, the paper analyzed the cause of the collapse for shallow buried large-section tunnels, concluded that the cause of the collapse was the geological cause, and analyzed the collapse disposal measures, including measurement and lofting, hole counter-pressure backfill, cave roof excavation and slope support, vault pouring and initial support, cave excavation and support, cave body excavation and support, cave top foundation pit backfill and implementation of key points and precautions, safety and security measures, etc. The results show that the landslide disposal measures are effective and can provide a reference for the similar landslide disposal.

Keywords

Road Tunnel, Shallow Buried Large Cross Section, Landslide, Cause of Landslide, Disposal Measures

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近些年来,随着我国交通建设的快速发展,隧道等地下工程日益增多,建设规模也越来越大,由于隧道建设面临复杂的地形与地质条件,常常发生大变形、岩爆、涌水、塌方等严重地质灾害[1][2]。在软弱围岩浅埋隧道段,围岩的自稳能力差,受到开挖影响极易发生塌方,对人员财产造成巨大威胁,对施工进度造成严重影响,并产生恶劣的社会影响[3][4]。本文以某浅埋大断面公路隧道塌方为例,首先分析了引起本次塌方的原因[5][6],参照前人的研究成果和已有的隧道塌方处置案例[7][8][9],并提出了塌方的处置原则,并制定了针对塌方的各项处置措施以保证工程的正常推进,其次提出了预防塌方及保障人员设备安全的施工举措,为类似隧道工程施工塌方的处置提供参考。

2. 工程概况及地质情况

2.1. 工程概况

某公路隧道右线隧道原设计长度 563 m (桩号 YK15 + 255~YK15 + 818 m),变更后设计长度 533 m (桩号 YK15 + 255~YK15 + 778 m),隧道净宽 14.0 m,净高 5.0 m,为大断面公路隧道。隧道暗洞段按新奥法原理采用复合式衬砌结构,采用锚杆、钢拱架、喷混凝土的支护体系进行初期支护,采用模注混凝土进行二次衬砌,防排水夹层设于初期支护与二次衬砌之间。2019 年 11 月 17 至 18 日隧道采用上下台阶法掘进至桩号 YK15 + 723 m (支护桩号 YK15 + 722 m)断面时发生掌子面坍塌,隧道冒顶。

2.2. 地质情况

隧道所处地形为垄状丘陵,穿越山体呈 EN 走向,线路与山脊线大角度相交,两侧山坡上陡下缓,丘顶浑圆,丘顶高程约 235 m。塌方发生于隧道出洞段丘陵缓坡,自然坡度 10°~25°,缓坡表部为玄武岩残积黏性土,红褐色,孔隙比大,液限高,厚度 3.0~6.0 m;下部为第三系嵊县组暗紫色玄武岩,风化强烈,岩体破碎,岩质较软,覆盖于白垩系朝川组地层之上,岩性接触带处岩体破碎。该段隧道埋深仅为 10 m 左右,为浅埋隧道,隧道主要位于全~强风化玄武岩地层中,岩层厚度达 24.1 m,岩体破碎,综合评定为 V 级围岩,自稳能力差。

3. 塌方概况及原因分析

3.1. 塌方概况

2019 年 11 月 17 日夜间隧道右线掌子面往大桩号方向发生塌方,施工台车遭塌方土体压埋,塌方位置位于隧道桩号 YK15 + 723 m (支护桩号 YK15 + 722 m)处,塌方长度约 5 m (桩号 K15 + 728~K15 + 722 m)。2019 年 11 月 18 日 10 时再次发生塌方并出现冒顶现象,山顶形成一个约 500 m³的空腔。塌方段围岩以全风化玄武岩为主,掌子面距离地表 10 m 左右,为浅埋隧道。塌方现场情况如图 1。



Figure 1. Tunnel face collapse (left) and surface collapse (right)
图 1. 隧道掌子面塌方(左)及地表塌陷(右)

3.2. 隧道塌方机理分析

隧道施工过程中发生塌方的原因复杂多样，根据塌方机理分析主要有如下几种原因：

1) 地质原因

地质因素是隧道施工发生塌方的主要因素之一，施工时对原地质环境造成扰动，地质状态稳定性受到影响，例如当隧道穿越断层和破碎带、施工遇到松散堆积体时，开挖后不能形成有效的承载体，导致塌方发生，地质构造运动、高地应力、溶洞、穿越挤压破碎带、河流、山体浅埋段等区域也存在着塌方的风险。

2) 工程爆破

由于岩层环境的复杂性，常规机械掘进常常不能满足隧道施工进度要求，工程爆破成为快速掘进的有效手段之一，但工程爆破受地质条件影响较大。隧道施工时，爆破会对围岩造成扰动，爆破后岩层内部形成不稳定体，这种不稳定体在较短的时间内进行完全非线性运动，从而发生塌方。

3) 地下水的的影响

水对隧道施工过程中的塌方有催化剂的作用。由于地下水的作用，岩体软化、侵蚀、溶解，强度降低，稳定性降低，同时岩层间的填充物也会因水的冲刷作用流失，使得岩层间的结合力降低，从而诱发塌方。

3.3. 该隧道塌方原因

根据隧道工程地质情况及隧道塌方机理，分析该隧道发生塌方原因主要为地质原因，具体原因如下：

1) 该掌子面围岩拱顶至拱腰为全风化玄武岩(黄色砂性土)，拱腰以下为红砂岩，存在一个接触带。

2) 全风化玄武岩胶结性差，摩擦角小、自持力差，造成分片分层坍塌。

3) 泡沫砼支撑面为松散土层，泡沫砼在分层浇注过程中空腔体存在塌方，致使大量土块夹在砼体中，造成泡沫砼整体支撑自稳性差。

4. 处理原则及方案

4.1. 处理原则

在该类隧道中，由于其埋深浅、断面大且围岩软弱，造成隧道开挖后拱圈承载能力差，施工过程易发生塌方，故发生塌方后采取“安全、快速、保质”的处理原则进行处理。塌方发生后，为避免该塌方引起的二次塌方以及因水浸泡形成的大破碎段影响后续施工，应及时对该塌方面采取稳固措施，同时在

塌方处理过程中要保障人员安全, 保证处理措施安全可靠, 做到质量过关, 杜绝任何隐患。

4.2. 处理方案

1) 测量放样

为提供塌方段洞顶边坡开挖位置、范围、开挖高度及开挖数量等依据, 对塌方段拱顶地表每 5 m 绘制横断面图。同时根据地形确定开挖开口线位置, 并参考地质情况确定开挖坡度, 放出开挖脚点位, 并用画出开挖范围。

2) 洞内反压回填

为保证洞内掌子面的稳定, 避免再次出现塌方, 在塌方段采用洞外土方对洞内塌方段进行全断面反压回填方法。分一个台阶, 两个坡面, 坡面用机械压实回填至钢拱架底部, 使反压回填坡顶伸入支护段不少于 5 m。为便于回填及回填密实, 对初期支护台车不影响主体结构部分进行拆除。分层回填, 松铺厚度不超过 50 cm, 分层压实。

3) 洞顶开挖及边坡防护

边坡开挖自上而下分台阶开挖, 边开挖边支护, 每层高度为 3~4 m, 平台宽度为 2~3 m, 下台阶必须在上台阶支护完毕后再行开挖, 并加强监控量测。边坡开挖后应立即进行临时防护封闭, 边仰坡临时防护形式采用强风化(1:0.5~1:0.75), 设计参数为: $\Phi 22$ 砂浆锚杆(长 3.5 m, 间距 1.2 * 1.2 m), 挂双层 E6 钢筋网, 喷射 15 cm 厚的 C20 砼。为防止雨水对山体的侵蚀及直接冲刷, 设置第一级临时防护与截水沟相连, 边坡防护喷砼前预先埋设排水管, 同时在边坡开口线 2 m 及 15 m 处各修建一条截水沟, 截水沟底用砂浆抹平。

4) 拱顶护拱浇筑及初期支护

为更好保证施工安全, 优先进行拱顶部分初期支护施工, 防护形式参照原设计, 护拱半径 938 m, 预留沉降量 30 cm。护拱内环向设置 20a# 工字钢拱架, 纵向间距 50 cm, 护拱两侧拱脚纵向设置一道 24# 槽钢, 用纵向 $\Phi 25$ 螺纹钢焊接在一起, 环向钢拱架与纵向槽钢应大面积接触, 焊缝要饱满。环向钢拱架在拱顶均匀设置三处纵向 20a# 连接工字钢, 连接工字钢与环向拱架焊接牢固, 纵向连接工字钢伸入已成拱架内 1 m。为增加护拱整体性, 环向工字钢需与既有管棚焊接牢固。

5) 洞身开挖及支护

塌方段采用机械开挖, 开挖过程中严禁爆破。采用上下台阶法开挖, 严格控制每次开挖进尺, 以每循环(0.5 m)能立一榀拱架为宜, 每天两个循环。开挖后及时采用 28 cm 厚 C20 喷射混凝土 + 工 20a 型工字钢(榀间距 50 cm) + 双层 E6 定型钢筋网 + 系统锚杆的联合支护体系进行初期支护。护拱处不设超前支护, 护拱以下部分采用双层小导管, 角度分别为 15°和 45°。为防止沉降过大导致初支侵陷, 施工过程中加强监控量测, 塌方段开挖预留变形量 30 cm。上台阶锁脚锚杆采用小导管, 每环每边设 2 道, 每道三根。1 道位于拱脚以上 1.3 m, 1 道位于拱腰处, 锁脚小导管长度 3.5 m。

为避免发生二次塌方, 开挖支护采用开挖一段即闭环一段方式进行, 上台阶每开挖 3~5 m 后停止开挖, 随即进行下台阶开挖支护和仰拱施做形成闭环, 待该段闭合成环后再行下段施工。

6) 洞顶基坑回填压实

当该段二衬完成砼强度达到 100%后, 拱背按明洞设计进行拱顶回填。对洞顶空腔塌方平面浇筑 3 m 厚 C30 混凝土, 3 m 以上至原地面用黏土分层回填, 每层厚度控制在 30 cm 以内, 用挖机斗及履带进行压实, 压实度为 85%。为有利于排水, 回填高度高于原地面 50 cm。

5. 施工要点及注意事项

1) 严格按照施工工序进行, 开挖时严格按技术交底进行, 严禁随意冒进, 严禁超挖和欠挖。为保障

作业安全,开挖方法采用双侧壁导坑法,禁止采用拉钩等存在安全隐患的作业方法。当岩石坚硬完整,抗压强度在 30 MPa 以上时,在确认岩石个别凸入衬砌断面不影响衬砌结构稳定性时,可允许每 1 m² 不大于 0.1 m² 的岩石凸出,初期支护和二次衬砌岩石凸入距离应严格规定,初期支护时凸入应小于 30 mm,二次衬砌时凸入应小于 50 mm。进行开挖、支护等作业时,严格做到“短开挖、强支护、快衬砌、勤检查、精测量”的施工要点。若现场施工需进行工序调整,必须经报监理工程师同意后方可实施。

2) 施工过程中应加强监控量测。对洞内拱顶下沉、水平收敛进行测量,设置测点为每 5 m 一个横断面,每断面共埋设 7 个测点,分别位于拱顶中心位置,起拱线以上垂直距离 3 m 拱腰处左右 2 点,起拱线处左右 2 点及下导坑路面标高以上 1.0 m 处左右 2 点,每天观测次数不少于 2 次。对裂缝进行观测,观测精度为 0.1 mm,每天观测次数不小于 2 次,洞顶沿边坡开口线设置 10 个监控点对地表沉降进行测量。收集观测数据绘制变形量与时间关系曲线图,出现异常情况立刻报备,及时采取应急措施。

3) 采取预防为主防护措施。在进入洞内一定的深度或根据掌子面土质情况,按要求配备抢险物资,专人负责,专物专用。开挖临近不良地质段时,做好预加固、预支护,当地质变化明显或靠近围岩分界线时,开挖前必须探明工程地质和水文地质情况。若开挖过程中出现塌方体异常的情况,及时疏离施工人员及设备,当塌方体逐渐趋于稳定时,用方木、钢筋网片、型钢等封堵塌方孔洞,加强支撑,然后使用喷混凝土封闭塌方方面,采用小导管注浆填充加固塌方地层,观测塌方体表层,当其稳定后才可进行下一步施工。

4) 严格贯彻落实交班制度,加强管理和安全教育,保障施工安全。开班和班组交接时,工班负责人要对所在施工内容进行清点,提醒安全隐患,强调施工注意事项和预防措施。质安人员跟进各工作面的作业情况,对可能存在的安全隐患进行预估,及时消除每一处安全隐患,不留后患。

5) 雨季施工时基坑土方开挖按规定放坡,及时监测,做好排水和挡水措施,坑内及洞内施工注意边坡稳定性,发现险情及时撤离。及时掌握气象动态,临电设施绝缘情况要定期、定人检查,按 1:0.5 对洞顶土堆边坡进行修坡并压实坡面,防止雨水冲刷危害环境。

6. 安全保障措施

1) 开挖作业台架应经常检查加固,确保钻眼平台不变形不垮塌,钻眼时当使用支架作业平台,要保证支架稳固,当站在碴堆上钻眼,注意防止石碴滑塌。作业台架必须设置腰栏杆,安全密布围护,底板满铺,确保作业人员不踩空,不跌落。上下爬梯及其边上护栏应焊接牢固,爬梯不得缺档和断档。

2) 保证连接风钻与风管的橡胶软管的质量,紧密连接,施工时风压调整到适宜大小,避免因风压过大导致的“爆管”造成施工人员受伤。

3) 合理放置开挖作业台架上的物料,不可放置在台架临边位置,提前撤除或加固有掉落可能的物料,以免跌落伤人。上下传递物件时要用传递绳或工具袋,严禁上下抛掷。

4) 避免因人为因素引起的工程事故。操作各种机械和驾驶车辆时必须具备操作合格证,酒后严禁上岗,机械出现故障立即停止,且不能出现超负荷运转。出碴作业时严格控制车速,施工作业地段和错车时车速度应控制在 15 km/h 以内,成洞地段应控制在 20 km/h 以内。

5) 洞口及洞内需布设应急照明和视频监控系统,监控洞内施工情况,保证应急处理措施的有效进行。按照规定架设线路,用 PVC 管对开挖时布设的照明线进行保护,闸刀盒、配电箱应上锁,室外闸刀盒、配电箱应做好防雨措施。

7. 结语

隧道塌方受到地质因素、工程爆破、地下水等多方面的影响,在隧道施工过程中,应根据地质资料

和实际开挖情况，对可能发生的塌方情况进行预测，并采取相应的防护措施。埋深浅、断面大、围岩软弱的隧道施工时易发生塌方，当塌方发生后，采取“安全、快速、保质”的原则，按照测量放样、洞内反压回填、洞顶开挖及边坡支护、拱顶浇筑及初期支护、洞身开挖及支护、洞顶基坑回填压实的施工工序进行塌方处理。为保障施工安全，开挖时严格按照施工工序进行，加强洞内和地表监控量测，严禁超挖、欠挖，在开挖、支护、喷浆等作业时，要严格遵循“短开挖、强支护、快衬砌、勤检查、精测量”的原则，同时加强施工过程中的安全保障，避免因人为因素造成的安全事故。隧道塌方不仅会造成人员伤亡、设备损坏，还会影响施工进度，应制定完备的预防、处置及应急方案。

参考文献

- [1] 杨林, 江鸿, 陈培帅, 等. 浅埋大断面公路隧道塌方处治措施及效果分析[J]. 现代隧道技术, 2020, 57(6): 207-213.
- [2] 沈孟龙, 杨华清, 茶增云, 等. 景海高速公路全-强风化花岗岩隧道塌方机理分析与处置[J]. 勘察科学技术, 2021(5): 21-25.
- [3] 李志强, 杨涛. 浅埋黏土层大跨度隧道施工技术 with 塌方风险分析[J]. 公路交通科技, 2020, 37(2): 116-122.
- [4] 莫朝良. 隧道施工中的塌方防治技术[J]. 交通世界, 2018(6): 116-118.
- [5] 侯艳娟, 张顶立, 李奥. 隧道施工塌方事故分析与控制[J]. 现代隧道技术, 2018, 55(1): 45-52.
- [6] 王一鸣. 隧道塌方时空特点及其诱发因素分析[J]. 四川建筑, 2019, 39(2): 132-134.
- [7] 孙权. 高速公路隧道塌方处置措施及塌方段施工技术[J]. 交通世界, 2022(6): 53-55.
- [8] 李海燕. 营岭隧道塌方处置专项方案研究[J]. 交通世界, 2021(10): 13-15.
- [9] 毛鹏飞. 隧道施工塌方治理技术应用研究[J]. 工程建设与设计, 2022(9): 189-192.