

# 高速铁路隧道塌方原因分析与施工处治技术

李孝晋

(中铁十四局集团有限公司, 山东 济南 250014)

**摘要:**结合某高速铁路隧道 DgK88 + 520 ~ 522 段施工出现掌子面附近拱顶塌方的工程背景,从现场地质条件与设计支护参数等方面分析了塌方原因,并采用数值模拟对比分析了勘查设计与围岩变更后的开挖支护措施引起的围岩变形。结果表明,根据原勘查设计 III a 级围岩确定的开挖方法与支护参数不能有效保证实际围岩条件下的隧道稳定性,而采用围岩变更为 V b 级围岩、三台阶七步法开挖、V b 级围岩复合式衬砌支护的设计,拱顶沉降则可大幅度降低。介绍了塌方处治措施和拱顶沉降监测结果。由于围岩表现为脆性,在塌方后拱顶沉降较小,为确保工程安全,应根据地质勘查与超前地质预报等辅助措施,更为准确地掌握隧道围岩地质赋存条件,确定合理的开挖方法与支护参数。

**关键词:**隧道工程;塌方;超前小导管;拱顶沉降

**中图分类号:**U455 **文献标识码:**A **文章编号:**1672 - 7428(2014)11 - 0073 - 04

**Analysis on the Causes of High-speed Railway Tunnel Collapse and the Dealing Construction Technology/LI Xiao-jin** (China Railway 14 Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250014, China)

**Abstract:** According to the vault collapse near tunnel face occurred at the section DgK88 + 520 ~ 522 of a high-speed railway tunnel, the analysis is made on the collapse causes in site geological conditions and designed supporting parameters, and the comparative analysis is also made by numerical simulation on the exploration design and surrounding rock deformation caused by excavating and supporting measures. The result showed that the design, which was based on III a surrounding rock by original survey, of excavation method and support parameters couldn't guarantee the tunnel stability under the actual surrounding rock conditions, while with the design of 3 - step and 7 - process excavating method and composite lining support for V b surrounding rock, crown settlement was drastically reduced. The paper introduces the dealing method for collapse and the monitoring result of crown settlement. Due to the brittleness of surrounding rock, the crown settlement is light after collapsing. To ensure the safety of the construction project, geological occurrence conditions of tunnel surrounding rock should be grasped more accurately based on the geological survey and geological forecast to decide reasonable excavation method and support parameters.

**Key words:** tunnel engineering; collapse; advanced small pipe; vault collapse

## 0 引言

我国高速铁路建设快速发展,近年来的建设规划逐步向西南西北地区发展,受地域条件与选线要求限制,隧道工程也逐渐增多。隧道塌方是隧道工程中一种比较常见的事故,通常发生于断层破碎带、膨胀岩(土)、第四系松散岩层、不整合接触面、侵入岩接触带及岩体结构面不利组合地段<sup>[1]</sup>。塌方对隧道工程的安全生产和施工进度造成了极大影响,同时也大大增加了施工成本<sup>[2,3]</sup>。隧道塌方究其原因,主要包括不利地质因素、勘查设计失误、施工与管理不当等<sup>[4]</sup>。目前对隧道塌方的处治技术主要包括管棚、超前小导管、地表注浆等工程措施,这些辅助工法必须配合合理的施工工法才能达到较好的效果<sup>[5]</sup>。本文结合某高速铁路隧道 DgK88 + 520 ~

522 段出现掌子面拱顶塌方事故,从现场地质条件与开挖支护设计等方面分析拱顶塌方原因和处治措施,并通过拱顶监控量测数据分析掌握围岩变形情况,以确保隧道围岩稳定和施工安全,为类似工程提供借鉴作用。

## 1 工程概况

### 1.1 工程总体概况

该隧道位于秦岭山区,平均海拔 1300 ~ 2638 m,洞身地表起伏较大,地表自然坡度 30° ~ 60°,山高坡陡,基岩裸露,沟壑纵横,地形复杂。该隧道起讫里程 DgK85 + 533 ~ DgK100 + 378.99,为单洞双线隧道,总长 14845.99 m,最大埋深约 1185 m,隧道以 25.00% 上坡进洞至 DgK99 + 450 里程后以

收稿日期:2014 - 08 - 27; 修回日期:2014 - 11 - 02

作者简介:李孝晋(1979 - ),男(汉族),山东巨野人,中铁十四局集团有限公司,土木工程专业,硕士,从事高铁、隧道与地铁施工技术安全管理工作,山东省济南市和平路 1 号, Lxj197904@souhu.com。

1.00‰下坡出洞。该隧道为特长隧道,地质条件复杂,沿途穿越沟谷浅埋段、断层破碎带等不利地质结构,属高风险隧道。

## 1.2 隧道塌方情况

该隧道 DgK88 + 520 ~ 522 段于 2014 年 8 月 14 日凌晨在弱爆作业后出渣完成即将进行喷混作业时,发现拱顶右侧出现掉块现象,随着掉块范围扩大,塌方体堆积并逐渐封堵了掌子面(如图 1、图 2 所示)。塌方段并无涌水渗水现象,塌方体为松散碎裂岩体,强度较低。

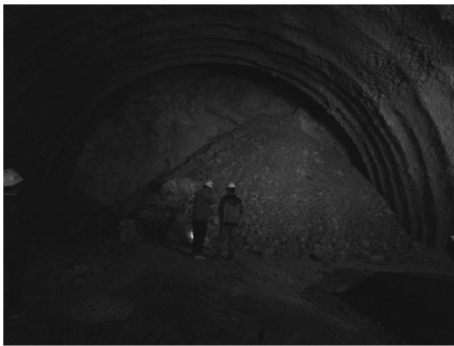


图 1 2014 年 8 月 14 日 8:20 塌方体堆积



图 2 2014 年 8 月 14 日 8:50 塌方体堆积



图 3 塌方体松散岩块

C25 喷混凝土, C25 喷混凝土, 拱墙厚度 12 cm, 拱部设  $\varnothing 6.5$  mm 钢筋网, 网格间距 25 cm  $\times$  25 cm, 拱墙设锚杆, 长度 3.0 m, 环纵间距: 1.2 m  $\times$  1.5 m, 拱部采用  $\varnothing 25$  mm  $\times$  7 普通中空锚杆, 边墙采用  $\varnothing 22$  mm 砂浆锚杆, 不使用钢拱架或格栅钢架支护, 也未采取超前支护措施。

实际地质情况与勘查设计资料存在较大出入(已由设计院确认变更为 Vb 级围岩)。隧道开挖方法与支护参数设计均按 III a 级围岩设计, 但全断面开挖不能有效保证该实际围岩条件下的隧道稳定性, 支护强度也不能满足实际围岩的强度要求, 因而无法保证在二衬施做前隧道围岩稳定性(将在下文通过数值计算方法进一步验证)。

## 2.3 施工初期支护不及时

施工过程中, 虽然已根据前段围岩变差的情况采用了弱爆破短进尺, 但出渣完成后, 由于混凝土供应问题, 未及时进行挂网喷混, 围岩存在一段裸露期, 松散碎裂围岩的应力充分释放, 导致了掉块塌方。

## 3 开挖与支护设计验证

根据勘查设计资料, 围岩为 III a 级, 全断面开挖, 支护设计为 III a 级围岩复合式衬砌; 围岩变更后为 Vb 级围岩, 采用三台阶七步法开挖, 支护设计为 Vb 级围岩复合式衬砌。采用 flac3d 有限差分软件对上述 2 种方案进行施工模拟。全断面开挖与三台阶开挖的计算模型如图 4、图 5 所示。

计算模型中个假定围岩为均一性质围岩, 隧道衬砌采用结构单元模拟, 计算参数如表 1 所示。

在计算模型范围内不考虑仰拱开挖。2 种方案计算得到的拱顶沉降量如表 2 所示。

计算结果可以表明, 根据勘查设计确定的全断面开挖与 III a 级围岩复合式衬砌方案引起的拱顶沉降变形为三台阶开挖和 Vb 级围岩复合式衬砌方案

## 2 塌方原因分析

综合分析塌方段的地质情况和施工过程, 塌方原因主要可以概括为以下几个方面。

### 2.1 地质条件较差

根据塌方段现场地质调查, 塌方体为松散的粉质砂岩, 强风化(如图 3 所示)。围岩节理发育, 塌方段拱顶上方存在松散破碎岩体, 岩层被切割为角砾状松散结构, 岩体极其破碎, 岩体间胶结性弱、自稳定性差、强度低, 在施工中极易发生坍塌。此次塌方与这种松散碎裂的变质砂岩有直接关系。

### 2.2 勘查设计存在较大失误

根据勘查设计资料, 塌方段属 III a 级围岩, 围岩整体性较好, 采用全断面开挖方法, 初期支护采用

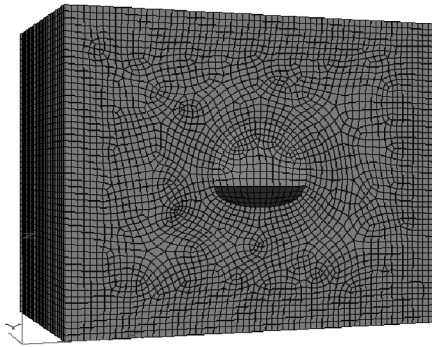


图 4 全断面开挖计算模型

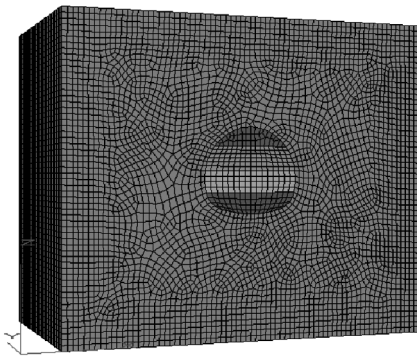


图 5 三台阶开挖计算模型

表 1 计算参数

材料	弹性模量 /MPa	泊松比	容重/(kN·m <sup>-3</sup> )	粘聚力 /MPa	内摩擦角/(°)
围岩	1e2	0.3	19.5	25.2	35
设计衬砌	15e3	0.25	25		
变更后衬砌	42.5e3	0.22	27		
锚杆	45e3		78		

表 2 拱顶沉降计算结果

计算方案	拱顶沉降/mm
全断面	41.3
三台阶法	13.7

的 3 倍。在隧道该段实际围岩条件下,采用全断面开挖围岩变形较大,隧道施工存在较大安全隐患,应采用三台阶法开挖施工。

#### 4 塌方处治措施

塌方发生后,在保证人身安全的前提下,观测塌方区岩块塌落情况,当岩块不再掉落、塌方区稳定后再采取相应的处治措施,保证安全通过塌方段<sup>[6]</sup>。

(1)对塌方体喷射混凝土,对塌空区起到封闭支撑作用。

(2)对比分析超前小导管和管棚 2 种超前支护措施,2 种方案的处治效果都是基于钢管的梁效应和注浆的加强效应,但各有优缺点<sup>[7]</sup>。结合现场施

工情况,塌方断面在围岩条件变更后,成为 IVb 级围岩到 Vb 级围岩的分界面,管棚施工会影响下一循环开挖断面限界,因此采用  $\varnothing 42 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$  超前小导管,长 3.5 m,共 37 根,设置角度为  $10^\circ \sim 12^\circ$ ,注浆加固以固结松散碎裂岩体。

(3)上一循环初期支护采用 IVb 级围岩断面初期支护设计进行加固:采用 I18 型钢架,每榀间距 1 m;拱部采用  $\varnothing 25 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$  普通中空锚杆,边墙采用  $\varnothing 22 \text{ mm}$  砂浆锚杆,长 3.5 m。

(4)对塌腔空洞采用混凝土喷射填满,再进行水泥注浆,以达到加固防渗目的。

(5)隧道开挖方案由原来的全断面开挖变更为三台阶七步法开挖,同时堆土回填,并将土体回填至掌子面上的台阶,以防止土体进一步坍塌。

#### 5 围岩变形监测情况

为及时掌握隧道塌方区围岩变形情况,加密测点,在 DgK88 + 515 断面布设一个拱顶沉降观测点,在 DgK88 + 520 布设 3 个拱顶沉降观测点(根据勘查设计 IIIa 级围岩,监测断面间距为 30 m,该段未布设测点),如图 6 所示。测得的沉降量如图 7 所示。

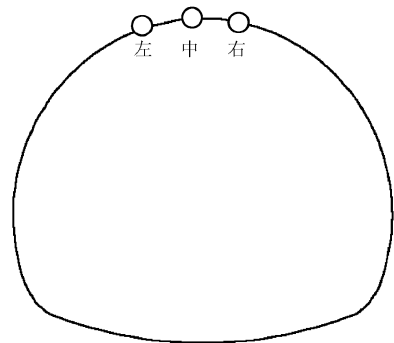


图 6 DgK88 + 520 拱顶沉降测点

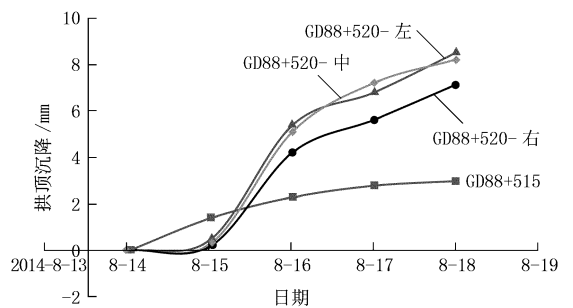


图 7 拱顶累积沉降量

从监测结果来看,塌方后围岩的拱顶沉降量与沉降速率都较小,最大沉降量为 8.5 mm。其主要原因在于,该段隧道围岩为变质砂岩,主要表现为脆性,在爆破后的短暂时间内,围岩应力充分释放,收

敛变形基本已趋于稳定,不会像软岩产生较大的后期蠕变变形。该沉降量与上文采用数值方法得到的结果也存在较大区别,主要原因是数值计算结果包括了从开挖到围岩趋于稳定的全部变形量,而加密观测点的拱顶沉降量为初期支护结束后的测得,因此沉降量较数值结果小得多。综合上述分析,对于类似脆性岩体围岩条件下应该通过勘查与超前地质预报等辅助手段,更为准确地掌握隧道围岩地质赋存条件,确定合理的开挖方法与支护参数,避免发生塌方事故。

## 6 结语

山岭隧道施工中,塌方事故时有发生,究其原因,主要有不良地质条件、勘查设计不当及施工作业不规范等因素。在工程施工中,为了避免类似事故的发生,应做好不良工程地质条件的超前预报工作,遵循“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”原则,规范施工工序,加强围岩监控量测工

作,完善风险预报预警系统,发现问题,及时采取相应措施。

## 参考文献:

- [1] 刘旭. 乌竹岭隧道塌方事故原因分析和处治方法研究[D]. 吉林长春: 吉林大学, 2008.
- [2] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [3] 汪成兵, 朱合华. 隧道塌方机制及其影响因素离散元模拟[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(3): 450-456.
- [4] 张光杰. 高速铁路隧道围岩大变形特征及机理分析[J]. 湖南城市学院院报, 2014, 22(3).
- [5] 王迎超, 尚岳全, 靖洪文, 等. 隧道塌方段施工方案优化及效果评价[J]. 岩土力学, 2011, (Z2): 514-520.
- [6] 陈秋南, 赵明华, 周国华, 等. 复杂层状岩层隧道塌方原因分析与加固后信息化施工技术[J]. 岩土力学, 2009, 30(3): 650-653.
- [7] 高攀科, 毛红梅, 宋秀清, 等. 渝湘高速公路正阳隧道塌方治理方案研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9): 93-95.

(上接第72页)

## 4 结语

在冻土层条件下,进行探槽爆破施工,需要考虑探槽施工规格、冻土层的自然条件、爆破参数的选择及飞石控制等诸多因素,有一定的难度。通过对黑龙江省塔河县宝兴沟矿区冻土层下探槽爆破施工工艺的研究,经现场多次实验和技术攻关,成功解决了冻土层中探槽爆破施工难题。试验结果表明,只要根据当地气候、土质等实际情况合理选定爆破参数和技术经济指标,改进施工工艺,就可以取得良好的爆破效果。冻土层下球状药包爆破法,可有效控制爆破飞石,加快施工进度,是一种安全、高效、快捷的爆破方法。采用此方法后,宝兴沟矿区仅2013年就

节省探槽施工经费10万元左右。此项技术目前已在我国全面推广使用,深受广大官兵的欢迎。

## 参考文献:

- [1] 郭威, 刘华南, 孙友宏, 等. 东北冻土区天然气水合物科学钻探试验及钻进效率影响因素分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 6-9.
- [2] 王兆林, 孙贵仁. SH30-2A型钻机在冻土爆破中的应用[J]. 探矿工程, 1992, (2): 62-63.
- [3] 杨滨荪. 冻土层采用爆破法挖槽效率提高三倍以上[J]. 探矿工程, 1960, (5).
- [4] 陶永生, 马芹永. 冻土试块爆破漏斗试验研究[A]. 现代矿山建设技术文集[C]. 江苏徐州: 中国矿业大学出版社, 1993.
- [5] 马芹永. 冻土爆破冻结管受力计算[J]. 煤炭科学技术, 1995, 23(12).
- [6] 冯叔瑜, 马乃耀. 爆破工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1980.

## 刘广志院士逝世

中国共产党的优秀党员、中国工程院资深院士,杰出的探矿工程专家,新中国地质探矿工程的主要奠基人和开拓者,国土资源部咨询研究中心咨询委员刘广志同志,因病于2014年11月19日(星期三)23时2分在北京逝世,享年92岁。