

宜昌市北海路隧道塌方处理技术

刘光新

(浙江省隧道工程公司, 浙江 杭州 310005)

摘要:通过宜昌市北海路隧道塌方处理施工的实例,分析了造成塌方的原因,提出并实施了钢拱架、锚喷网复合支护结构塌方处理方案,并对塌空区的回填方案进行了比对,优选泵送陶粒砼加固的新工艺,取得了较好的回填加固效果。通过监控量测成果分析证明了采用陶粒砼工艺大大减轻了回填砼的质量,从而减小了对钢拱架支撑、锚喷复合支护结构的压力,确保回填砼及钢拱架支撑、锚喷复合支护结构的稳定性,确定二次砼衬砌施作的时间。

关键词:隧道塌方;钢拱架支撑;锚喷网复合支护;陶粒砼回填加固;监控量测

中图分类号:U458.3 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)07-0055-04

Treatment Technology for Tunnel Collapse of Beihai Road in Yichang City/LIU Guang-xin (Zhejiang Tunnel Engineering Company, Hangzhou Zhejiang 310005, China)

Abstract: The cause of collapse was analyzed by tunnel collapse in Beihai Road in Yichang City, the treatment by steel arch frame and composite support with bolt shotcreting mesh was introduced. Better result of backfill was achieved by argil concrete that is light to reduce the loading supporting structure.

Key words: tunnel collapse; steel arch support; composite support with bolt shotcreting mesh; backfill reinforcement with argil concrete; monitoring and measuring

1 工程概况

北海路隧道位于宜昌市东山开发区北海路,隧道长 150 m,总宽 10.5 m,其中行车道宽 2×3.75 m,两侧人行道宽各 1.25 m,高 6.35 m,车辆通行限高 4.5 m,开挖断面约为 80 m^2 。起讫桩号为 K0+110~K0+260,与洞口桩号对应的路基设计标高分别为 93.10、92.36 m,路基坡度为 0.5%,由北向南倾斜,以 $120^\circ \sim 300^\circ$ 的方向展布,北端与发展大道直交。

2 工程地质情况

2.1 地形、地貌

隧道穿越地带为剥蚀丘陵地貌,最高标高 139 m,最低标高 95.3 m,相对高差 43.7 m,隧道以 $120^\circ \sim 130^\circ$ 的方向与山脊近直立布设。山脊北侧地面坡度 45%,洞口部位为垂直陡坎;南侧坡度 43%,局部存在 1~3 m 的陡坎。隧道埋深相对较浅。

2.2 地层及地质构造

2.2.1 地层

场地内分布地层为第四系及白垩系。第四系土层主要为残坡积成固形成及局部人工回填成固的素填土,厚度 < 3 m;白垩系下统五龙组属河湖相马固

的碎屑岩,浅红~紫红色泥质粉砂岩、粉砂岩为主夹粉砂质泥岩,厚度 > 500 m,为区内的基岩地层。

2.2.2 构造

场内岩层倾向东南($100^\circ \sim 130^\circ$),倾角 $5^\circ \sim 8^\circ$,属缓倾单斜构造,岩层倾向与隧道底板基本水平,根据区域地质资料,场地附近约 10 km 范围内无大的构造(断层)通过。

2.2.3 不良地质作用

场地无明显的不良地质现象。但山体坡面较陡,局部段存在陡坎,如遇暴雨及强烈震动易形成泥石流及局部垮塌,为场区内潜在的不良地质因素。

3 塌方的规模和成因

3.1 前期施工情况

(1) 开挖:采用光面爆破,隧道规格控制较好。

(2) 初期支护形式:塌方段为Ⅳ类围岩,设计支护形式采用 $\varnothing 18\text{ZW}$ 药卷锚杆 $@ 1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$, $L = 2.5 \text{ m}$,呈梅花形布置;挂网钢筋采用 $\varnothing 8$, $@ 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$,拱部 108° 局部布设;喷砼 10 cm。

(3) 开挖于 2004 年 10 月完成,初期支护于 2004 年 11 月全部完成。

3.2 塌方概况

收稿日期:2007-04-23

作者简介:刘光新(1961-),男(汉族),浙江常山人,浙江省隧道工程公司副总经理、总工程师,高级工程师,探矿工程、岩土工程专业,从事隧道、土石方、爆破、岩土工程及地质灾害防治工程施工管理与技术管理工作,浙江省杭州市湖墅南路 356 号锦绣大厦 8 楼, zjsdlgx@163.com。

2004 年 12 月 12 日下午 7 时 30 分左右,在桩号 K0 + 150 ~ 186 段拱部发生塌方,塌方掉块仍在持续,且有延洞轴线两端继续发展的迹象。据当时统计塌方量达 300 m^3 ,块度一般较大,其中最大的达 1.5 m^3 左右。塌方高度 4 m 左右,影响长度 30 ~ 40 m,塌体呈圆拱形。

3.3 塌方成因分析

(1)北海路隧道地层地质条件较差,水平节理、层理、裂隙极发育,水平节理夹角为 $3^\circ \sim 5^\circ$,近似水平,拱部围岩稳定性较差。

(2)隧道口部明方开挖爆破作业在隧道开挖初期支护完成时进行,施工过程中对隧道围岩稳定有较大的影响。

(3)隧道围岩达不到 IV 类,初期支护仅考虑锚喷网支护不能达到对围岩加固的目的。

4 处理方案的确定

4.1 钢拱架、锚喷网复合支护结构加固方案

为防止塌方的进一步扩大,以至出现大范围垮塌或冒顶,经与业主、设计、监理等单位紧急协商,我们确定的初期处理方案如下:

(1)对塌方影响段 K0 + 130 ~ 150、K0 + 186 ~ 220 架设 I18 钢支撑,间距 0.5 m;对每榀钢支撑施工 8 根锁脚锚杆($\varnothing 25 \text{ mm}$ 药卷锚杆, $L = 4.0 \text{ m}$)和 8 根预应力锚杆($\varnothing 25 \text{ mm}$ 药卷锚杆, $L = 5.0 \text{ m}$,在外锚头施加 50 kN 的预拉紧固力),挂 $\varnothing 8 \text{ mm}$ 钢筋网, @ $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$,再复喷 22 cm 厚的 C20 砼,施工完成后确保塌方部位不再向洞身轴线方向继续延伸,确保施工有一个安全稳固的“后方”。

(2)对塌空区暴露面进行喷射 C20 钢纤维砼封闭,厚度 20 cm,分 2 次喷射,每次喷射砼厚度 10 cm,以达到围岩稳定,不掉块,提供一个相对稳定的作业面。

(3)对 K0 + 150 ~ 186 塌方区的塌落土石方组织清理外运,完成后及时架设 I18 钢支撑,间距 0.5 m,对每榀钢支撑施工 8 根锁脚锚杆($\varnothing 25 \text{ mm}$ 药卷锚杆, $L = 4.0 \text{ m}$)和 8 根预应力锚杆($\varnothing 25 \text{ mm}$ 药卷锚杆, $L = 5.0 \text{ m}$,在外锚头施加 50 kN 的预拉紧固力),挂 $\varnothing 8 \text{ mm}$ 钢筋网, @ $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$,再复喷 22 cm 的 C20 钢纤维砼,与塌方前后钢支撑联成一个整体。

(4)对塌方部位的钢支撑背部铺设钢板(钢板厚度 5.0 mm),预埋 $\varnothing 130 \text{ mm}$ 泵送管及 2 in($\varnothing 50.8 \text{ mm}$)镀锌灌浆管及透气管,施工完毕后对钢支撑背

部进行喷射 C20 钢纤维砼,厚 25 cm。

钢拱架支撑、锚喷网复合支护完成后,达到了预期的目的。但由于种种原因,二次衬砌没有适时跟上,塌方区又出现了大的塌方,并向原影响段 K0 + 130 ~ 150、K0 + 186 ~ 220 发展,致使拱顶钢板局部垮塌,塌方量约 400 m^3 。

4.2 塌方回填方案

二次塌方的产生使塌方的处理技术更加复杂,原采用普通砼回填的方案已无法实施,洞顶塌空区的处理成了塌方处理的技术难点。塌空区放之不理势必造成更大的塌方,采用普通砼回填,大体积砼荷载对原钢拱架、锚喷网结构定会产生强大的压力,支撑结构、乃至二次衬砌结构能否满足荷载要求是面临的大问题。设计单位和施工单位分别提出了不同的处理技术方案。

4.2.1 设计单位方案

设计单位根据塌方的状况,经咨询有关专家提出了“双洞”的处治方案:即在隧道拱顶塌空区施作钢筋混凝土仰拱,然后沿塌空区轮廓面增设 I14 工字钢架,并喷射 20 cm 厚的钢纤维混凝土,形成“双洞”结构的加固方案。如图 1 所示。

4.2.2 施工单位方案

施工单位认为,设计单位的处治方案理论上是可行的,但由于塌方段已架设钢拱架,并做好了初期支护,实施“双洞”方案已不可能,并且该方案在实施过程中安全隐患很大,不能确保作业人员的安全。为此,根据业主及监理的要求,施工单位对塌方段进行了认真的技术论证,提出“填实”处理方案,并报请有关专家进行审核,形成如下具体施工方案:

(1)对 K0 + 150 ~ 186 塌方空腔进行泵送陶粒砼,砼标号 C20,分 4 次进行泵送,泵送过程中加强监控量测,以指导施工;

(2)泵送完毕砼后,及时对塌空区进行固结灌浆,增加砼与周边围岩的交接;

(3)施工期间加强对洞顶钢支撑结构的变形监测,确保施工安全,并确定二次衬砌的合理时间。

4.3 处治方案的确定

2005 年 3 月 23 日,业主单位委托宜昌市土木建筑学会组织有关专家及勘察、设计、施工、监理和监测等单位,召开了北海路隧道塌方抢险方案技术论证会,与会专家经过会前审阅资料,踏勘现场,进行了咨询讨论,形成一致意见:

(1)由原设计单位及施工单位分别提出的“双洞”方案和“填实”方案,在理论上均是可行的。但

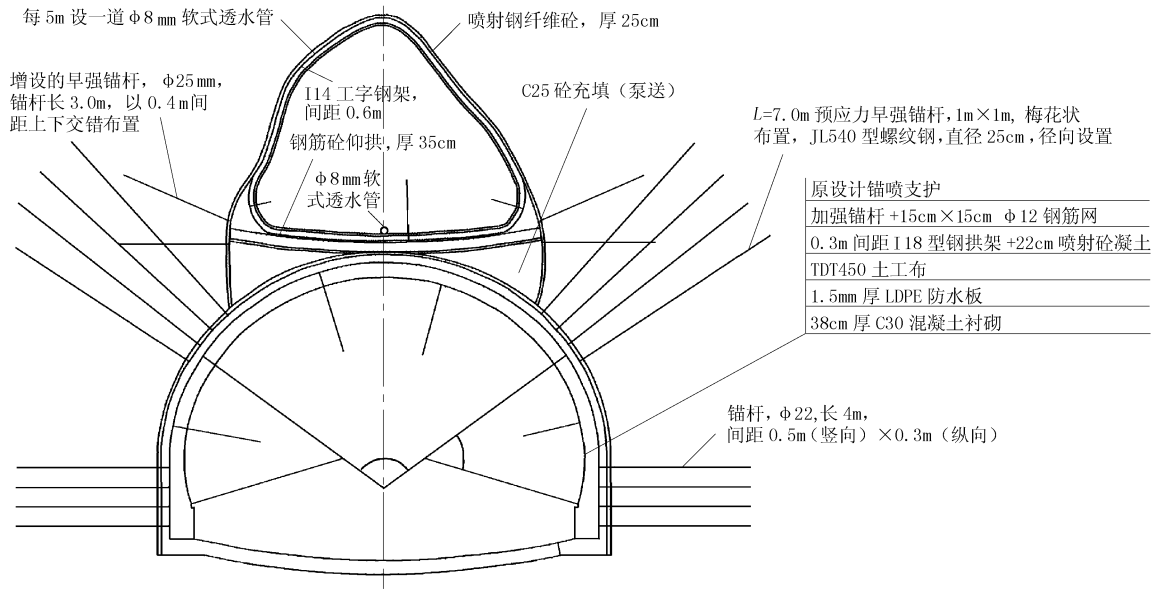


图 1 设计单位提出的北海路隧道塌方处治方案

“双洞”方案实施难度大,不能确保作业人员安全,且鉴于目前洞内已完成塌方段及塌方影响段的钢支撑,实现“双洞”方案已不可能,同意对塌空区采用“填实”方案。

(2)塌空区填实采用泵送陶粒砼,由坡顶打孔实施重力式充填,应添加外加剂,控制较大的坍落度,使砼与原洞壁尽可能紧密接触。砼填实宜分层实施,待下层达到一定强度后再充填上层直至全部填实。

(3)完成回填砼后应对砼与洞壁之间及相关山体 and 钢支撑上已坍塌的松散岩石进行固结灌浆,使砼与周边围岩形成一个整体。

(4)在抢险施工过程中,对塌方及相关区段和山体地表增设检测控制断面和监测点,补充完善监测方案,加强监控测量,随时为施工和验算提供数据,做到信息化施工。

(5)由建设单位请有计算能力的单位对钢支撑和相关结构的承载能力进行验算,提供一个比较科学的理论依据。对抢险中初次充填的砼可考虑其依钢支撑形成的拱承担部分施工荷载,永久性支护按原设计处理。

5 处治方案的实施

在回填前按要求对塌方段及影响段钢拱架支撑结构进行了加固,对围岩也同时补做锚喷支护,使之满足加固设计要求。在此基础上,由山顶钻 Ø130 mm 孔实施泵送 C20 陶粒砼灌注,共钻孔 4 个。陶粒砼坍落度为 22 cm,密度 1933 kg/m³,陶粒 500

级。所谓陶粒砼就是以页岩陶粒为轻集料的级配砼,由于采用页岩陶粒,所以在不降低其强度的前提下其密度大大降低,从而减轻对钢拱架整体压力。共分 3 次进行灌注,4 月 28 日、5 月 2 日、5 月 5 日分别泵送 265、249、236 m³,共灌注陶粒砼 750 m³。回填完毕并对原有塌方岩堆进行固结灌浆加固,以使砼与周边围岩形成一个整体,共计用水泥量 40 t。钢拱架、锚杆及铺设钢板共用钢材 215.72 t。

6 围岩量测成果

塌方回填实施的同时,对 K0+150~186 塌方段的钢支撑在砼回填过程中进行变形量测。分别设 K0+160、K0+165、K0+170、K0+175、K0+180 五个监测断面。每个监测断面设置收敛测桩 4 个,主要监测 AD 测点之间测线的变化。

6.1 收敛监测测桩布置(如图 2 所示)

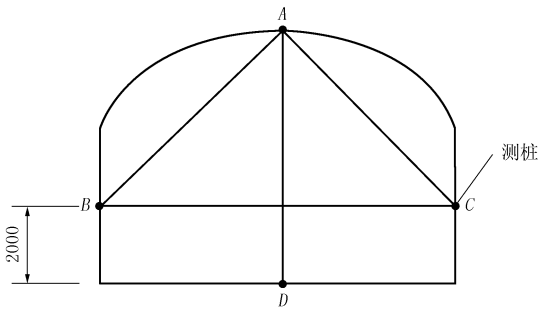


图 2 收敛监测测桩布置图

6.2 监测结果

各断面下沉速率监测计算结果见表 1。

表 1 北海路隧道下沉速率监测成果表 /mm·d⁻¹

观测时间	K0 + 160 断面	K0 + 165 断面	K0 + 175 断面	K0 + 180 断面	备注
4.28 08:30			0.00	0.00	浇筑前基准值
4.28 11:00			0.00	6.82	
4.28 13:30			1.63	-2.04	
4.28 15:30			0.12	0.00	
4.28 19:00	0.00	0.00			
4.28 23:00	0.06	0.84			第一次浇筑
4.29 00:00		-0.24			
4.29 16:00	1.52	0.81	3.35	0.67	
4.30 15:00	2.81	0.88			
4.30 16:30			1.38	4.59	
5.02 08:30			-0.43	-0.30	
5.02 10:00	0.29	0.59			
5.02 13:00	-1.44	0.48			
5.02 14:00			0.17	2.53	
5.02 17:00		0.18	1.36	0.32	第二次浇筑
5.02 19:00		0.00	0.00	0.24	
5.03 09:00			-3.69	-0.30	
5.03 09:30	-3.57				
5.03 19:30		-1.85			
5.05 09:00	0.13	-0.44			
5.05 11:00	0.60	0.84			
5.05 14:00		0.40	0.02	-0.63	第三次浇筑
5.05 16:00		0.00	1.20	-0.24	
5.06 09:00	-1.07	-0.88		-1.95	
5.06 09:30			-3.74		
5.07 09:00	0.06	0.30	-0.19	0.09	
5.07 15:00	0.20	0.80	0.48	1.64	
5.08 09:00	0.47	0.08	0.07	-0.12	钻孔回填灌浆
5.08 15:00	1.92	0.08	0.12	0.20	
5.09 15:00	0.31	0.09	0.60	0.23	
5.11 15:00	0.03	0.05	0.11	0.24	
5.16 15:00	-0.05	-0.01	0.01	0.03	
5.20 09:00	0.01	0.04	-0.03	-0.01	

6.2 监测结果分析

选取 K0 + 175 断面拱顶下沉位移 - 时间关系曲线(见图 3)进行分析。

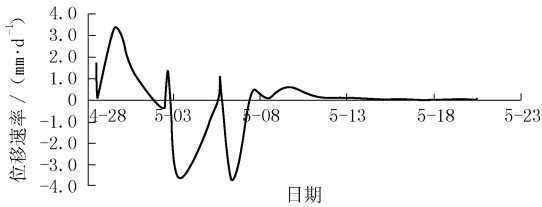


图 3 K0 + 175 断面拱顶下沉位移 - 时间关系曲线图

从塌方区回填监测成果可以看出,拱顶位移变

化最大发生在第一次回填陶粒砗结束、第二次回填开始不久,第三次回填开始时拱顶位移反而开始减小并有所抬升。这主要是因为回填之初流态砗对钢支撑结构产生了较大的压力,二次回填的砗荷载叠加致使汉港支撑产生了最大的位移;第三次回填时,原回填砗已经形成“拱梁”作用,在新回填砗荷载作用下使钢支撑拱顶部位出现了抬升变形。从拱顶位移变化速率看,回填期间拱顶位移表现为“递减式三峰”型,变化速率出现 3 次峰值,但幅度最近减小,灌浆结束约 10 天后,位移变化几乎趋近于零,表明回填砗与隧道围岩结合紧密,回填区围岩及回填砗变形已经稳定。同时证明初期支护的钢支撑、锚喷复合结构能够承受拱顶回填陶粒砗的压力。

《公路隧道施工技术规范》(JTJ 042 - 94)9.3.5 规定,二次衬砌的施作在满足下列要求时进行:

- (1)各测试项目的位移速率明显收敛,围岩基本稳定;
- (2)已产生的各项位移已达预计总量的 80% ~ 90% ;
- (3)周边位移速率 < 0.1 ~ 0.2 mm/d,或拱顶下沉速率 < 0.07 ~ 0.15 mm/d。

根据检测成果,回填砗与隧道围岩结合紧密,回填区围岩与回填砗变形已经稳定,拱顶下沉速率 < 0.07 mm/d,隧道满足进行二次衬砌所具备的条件。

7 结语

- (1)采用陶粒砗轻质砗进行塌方回填,不仅能够满足砗强度的要求,达到回填加固的目的,而且能够减轻对初期支护和二次衬砌的压力。
- (2)隧道施工必须坚持新奥法施工,采取有效的开挖施工技术,加强围岩量测,适时地进行初期支护和二次衬砌,尽可能地防止塌方的产生。
- (3)隧道塌方处理是一项抢险工作,一旦发生就要及时采取措施进行处理,以免错失良机,造成更大的损失。
- (4)隧道塌方处理是一项复杂的技术,应根据塌方的成因、规模、形态选择合理、快速、经济、有效的工艺。

欢 迎 订 阅、 欢 迎 投 稿!