

山岭隧道软弱围岩变形机理分析与处治对策

赵峰

(中铁西南科学研究院有限公司, 四川 成都 611731)

摘要: 对国高网乐雅高速公路槽渔滩隧道左线软弱围岩地段产生大变形的机理进行了详细分析, 以现场地质情况为依据, 结合检测手段, 发现产生变形既有地质情况的原因, 也有施工质量缺陷的原因。根据变形机理, 结合实际变形情况, 针对性的提出合理、有效的处治方案, 解决了工程实际问题。

关键词: 隧道工程; 变形机理; 监控量测; 软弱围岩; 处治对策

中图分类号: U459.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2012)02-0141-03

Deformation Mechanism Research and Countermeasures for Soft Surrounding Rocks of Mountain Tunnel

ZHAO Feng

(China Railway Southwest Research Institute Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 611731, China)

Abstract: The large deformation mechanism in the soft surrounding rock section of Caoyutan tunnel's left line is analyzed here in detail, which is in Leya Expressway from national expressway network. In the process of analysis, based on the geological conditions in sites and combined with detection measures, it is found out that the deformation is attributed to both geological conditions and construction quality defects. According to the deformation mechanism and combined with actual deformation conditions, the reasonable and effective solution is proposed to solve actual engineering problems.

Keywords: tunnel engineering; deformation mechanism; monitoring; soft surrounding rock; countermeasure

1 工程概况

国高网乐雅高速公路槽渔滩隧道全长 2 923 m, 分为上下双洞行车, 单洞两车道。隧址区属于四川盆地西南边缘浅~中切剥、侵蚀构造低山地形, 局部为侵蚀堆积台地, 隧道左线处于基岩强风化带, 岩石属极软岩~软岩, 岩体松动, 受风化影响严重, 层间结合差, 岩体较破碎~破碎, 以层状破碎为主, 含少量基岩裂隙水, 呈滴水渗出。其中 ZK74 + 158 ~ ZK74 + 188 段主要为中生界白垩系下统灌口组 (K_{1g}) 粉砂岩夹粉砂质泥岩和夹关组 (K_{1j}) 细砂岩夹粉砂岩、粉砂质泥岩, 倾角为 $4^\circ \sim 15^\circ$, 细粒结构, 泥钙质~钙质胶结, 为典型的缓倾角层状岩层。该类围岩在隧道开挖后, 拱顶极易发生片状坍塌, 若有地下水的作用时, 规模将明显扩大, 围岩级别为 V 级。该段复杂的水文地质、工程地质条件将对隧道施工产生重大影响。

2 监控量测

隧道于 2011 年 6 月 10 日开挖至 ZK74 + 158 处, 为安全通过软弱围岩段, 采用上下台阶法开挖, 设超前小导管预支护, 支护类型设计为 V 型, 设计断面图见图 1。

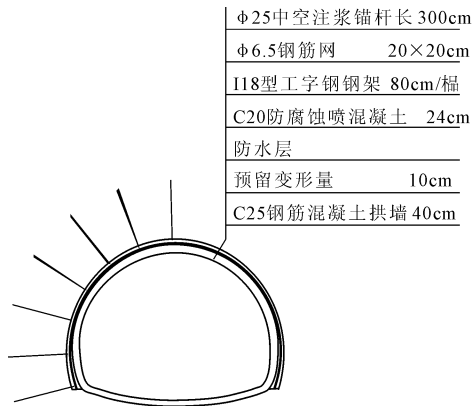


图 1 V 型支护衬砌

课题组在该段加强了监控量测^[1-2],每间隔 5 m 布置 6 个监测断面。6 月 27 日监测人员在隧道左线掌子面附近 ZK74 + 186 处左拱腰到拱顶位置发现有较明显裂缝,且裂缝发展较快,部分初期支护呈溃破形式,钢拱架已外露,附近也均有裂缝在发展,掌子面呈散体状结构并不时有碎块塌落。通过对监测数据的分析发现,截止到裂缝出现当日,该两个监测断面拱顶下沉值与周边收敛值都无较明显增大。但

出现裂缝当日,拱顶及净空收敛变形急剧增大,典型断面监测数据分析见图 2 所示。

从图 2 中可以看出,ZK74 + 162 断面从开挖至 6 月 26 日共 13 d 时间围岩变形增长缓慢,累计拱顶下沉值不到 20 mm,但 6 月 27 日,围岩变形呈突增形式,拱顶下沉速率达 35 mm/d,净空收敛速率达 43.9 mm/d,初期支护多处出现裂缝。

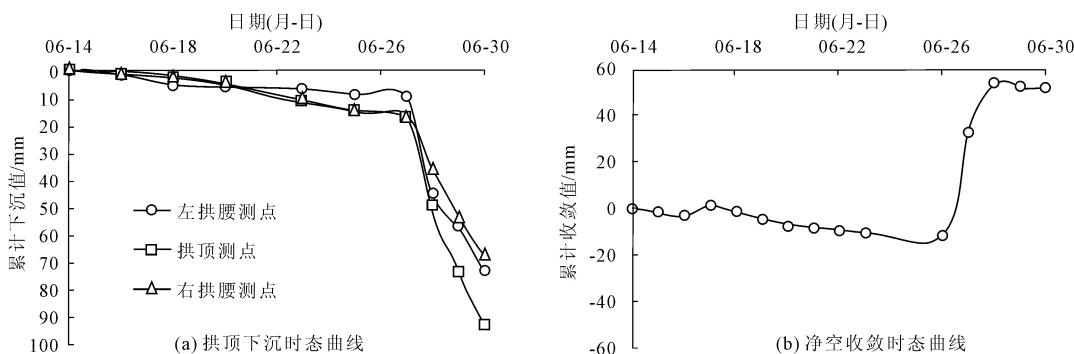


图 2 ZK74 + 162 围岩变形时态曲线

3 变形机理分析

3.1 初期支护背后空洞探测

为综合分析变形原因,现场对 ZK74 + 153 ~ ZK74 + 173 段进行了地质雷达检测,检测目的是探测初期支护背后是否存在空洞。现场共布置了 5 条雷达测线,分别为左右起拱线测线、左右拱腰测线和拱顶测线。对雷达检测数据进行分析并结合现场实际情况,提出了 4 个钻孔验证位置,里程分别为:ZK74 + 158、ZK74 + 163、ZK74 + 168、ZK74 + 173,均位于左拱腰附近。通过对开孔揭露情况的仔细观察分析,ZK74 + 158 和 ZK74 + 163 处可以看到初期支护背后有较明显空洞存在;ZK74 + 168 和 ZK74 + 173 处未见有明显空洞,钻孔深处均被泥浆填充。

综合分析认为:该检测段落 ZK74 + 158 和 ZK74 + 163 处及其附近初期支护背后有空洞存在,其余位置所检测测线处均未见有明显空洞特征。

3.2 变形机理分析

软弱围岩段隧道变形主要表现在浅埋段地表沉降、洞周收敛、仰拱隆起、边墙下沉,甚至初期支护结构破损^[3](喷射混凝土开裂或表层脱落掉块、钢架扭曲、弯折、断裂变形等)。

隧道开挖后,由于解除了部分围岩的约束,原始的应力平衡被破坏,围岩将进行二次应力重新分布,围岩向隧道内部空间变形。在软弱围岩中,岩体强

度很小,不能承受开挖后急剧增大的隧道周边应力而产生塑性变形,沿隧道周边围岩应力松弛而形成—个应力降低了的区域,高应力向围岩深部转移。扰动了的岩体向隧道内变形,当变形超过一定数值就会出现围岩失稳和坍塌^[3-6]。

槽渔滩隧道软弱围岩地段主要为泥质砂土,呈散状结构,地下水发育,围岩遇水软化,容易坍塌;由于施工质量缺陷,初期支护与围岩之间的空洞导致初期支护与围岩不能形成整体而共同产生协调变形,且空洞的存在导致该部位相当于未作支护,坍塌的围岩松散体堆积在初期支护结构上,当初期支护承受超过其承载能力的荷载时,初期支护结构就会产生大变形甚至破损。

4 变形处治对策

4.1 初期支护净空断面检测

为确定处治方案,确保变形段二次衬砌厚度及隧道净空满足设计要求^[7],对槽渔滩隧道初期支护净空断面进行了测量,共测量了 4 个断面,里程分别为 ZK74 + 158、ZK74 + 163、ZK74 + 168 和 ZK74 + 173,测量结果统计见表 1。

4.2 变形处治方案设计

考虑到工程现场的实际情况,制定了 ZK74 + 158 ~ ZK74 + 188 共 30 m 变形段的处治方案:

(1) 洞身严重变形段设临时支撑

表 1 测量断面侵限情况统计

断面里程	最大侵限值/cm		
	左拱腰	拱顶	右拱腰
ZK74 + 158	-9.3	-3.1	-4.0
ZK74 + 163	-8.3	-6.8	-4.3
ZK74 + 168	-11.1	-2.5	-10.0
ZK74 + 173	-13.3	-3.2	-8.2

① 临时工字钢支撑:

在初期支护严重变形段 ZK74 + 158 ~ ZK74 + 188(30 m)初期支护外侧,增加临时钢支撑,采用 I18 工字钢钢架。

其中,ZK74 + 158 ~ ZK74 + 178(20 m),为已施工 V 型衬砌段,临时钢架间距平均 1 m。ZK74 + 178 ~ ZK74 + 188(10 m),为已施工 V 加强型衬砌段,临时钢架间距平均 0.6 m。实际施工段落和间距可以根据现场实时监控量测资料作调整。

② 临时混凝土基础:ZK74 + 158 ~ ZK74 + 188(30 m)上半断面初期支护底部,增设 C20 混凝土基础,宽 40 m、高 40 cm。

(2) 洞内开挖后注浆

鉴于 ZK74 + 158 ~ ZK74 + 188(30 m)初期支护目前处于持续变形之中,初期支护背后有空洞以致大范围坍塌,并导致围岩松弛圈扩大。在临时钢支撑施作且变形基本稳定后,避开雨季,适时施作周边注浆,加固围岩和减小围岩空隙率。注浆材料采用水泥 - 水玻璃双液浆,注浆加固范围 4.5 m,注浆孔环向间距 1.5 m,注浆顺序为先两侧,后拱顶。

(3) 拆除严重变形段已施作的初期支护

对 ZK74 + 158 ~ ZK74 + 188(30 m)已施工的初期支护因变形较大需拆除重建,其数量包括以下四部分:

① ZK74 + 158 ~ ZK74 + 188(30 m)施工的临时工字钢钢架;

② ZK74 + 158 ~ ZK74 + 188(30 m)上半断面初期支护底部增设的 C20 混凝土基础;

③ ZK74 + 158 ~ ZK74 + 178(20 m)已施工的 V 型衬砌段的初期支护;

④ ZK74 + 178 ~ ZK74 + 188(10 m)已施工 V 加强型衬砌段的初期支护。

(4) 隧道初期支护变形严重段重新支护

对初期支护侵限较大和变形较大的段落 30 m (ZK74 + 158 ~ ZK74 + 188 段),在施工过程中因地质

情况持续恶化造成该段初期支护严重变形,采用“置换初支、加强二衬”的支护方案,衬砌基本型式采用 $V_{\text{特}}^{\text{加强}}$ 型衬砌。

其中,ZK74 + 158 ~ ZK74 + 173 段由于变形侵限相对较小,采用工字钢间距为 60 cm 的 $V_{\text{特}}^{\text{加强}} - 1$ 型衬砌;ZK74 + 173 ~ ZK74 + 188 段由于变形侵限较大,采用工字钢间距为 40 cm 的 $V_{\text{特}}^{\text{加强}} - 2$ 型衬砌。具体设计参数为:

① 割除原初期支护工字钢之间的喷射混凝土和连接钢筋,嵌槽置换 $V_{\text{特}}^{\text{加强}}$ 型 I20b 型工字钢钢架,恢复初期支护。

② 采用 $\phi 25$ 中空注浆锚杆作为系统锚杆,兼钢架定位作用,长度 3.5 m。

③ 二次衬砌采用厚度 60 cm 的 C25 钢筋混凝土。

④ 根据现场处理情况,对拱顶稳定性较差的段落增设 $\phi 42$ 小导管作超前支护。

(5) 加强排水措施

对 ZK74 + 158 ~ ZK74 + 188 段,为防止和减小地下水静水压力对结构造成影响、防止细小颗粒对主纵向排水沟(管)造成堵塞,在原有排水系统基础上,增设环向排水措施,将该段地下水直接排入隧道中央排水沟,主要措施如下:

在初期支护施作完成后,在拱顶钻孔布置 $\phi 50$ 泄水孔,深度 5 m,按间距 5 m \times 3 m(纵 \times 横)布设,布孔时应结合利用加密、加长原有泄水孔;在泄水孔对应位置,用市售三通管连接,将地下水集中引排进入环向设置的 $\phi 50$ HDPE 单壁波纹管,每处 $\phi 50$ HDPE 管设置 3 根,将墙背水直接排入中央排水沟内。 $\phi 50$ HDPE 单壁波纹管墙背环向设置段采用有孔结构,基底下横向排水支管采用无孔结构。

5 施工建议

(1) 施工中应坚持“管超前、严注浆、短进尺、留核心、弱爆破、强支护、紧封闭、勤量测”的二十四字方针;

(2) 隧道施工时,应特别加强对该段地表以及隧道的岩体和水体的监控量测,防止岩体失稳;

(3) 隧道开挖建议采用微台阶环形掏槽留核心土法,当围岩特别软弱含水时,可以采用中隔壁法(CD法)或交叉中隔壁法(CRD法),并可兼作超前导坑作用;

(上接第 143 页)

(4) 工字钢钢架施作时,应注意钢架接长应稳妥可靠,每次只能有 1~2 个钢架脚短时间悬空。定位锚杆和纵向连接钢筋应及时施作。如发现边墙有坍塌,必要时还应在纵向设置钢板或混凝土基础。施工边墙和仰拱工字钢时,还应注意必须保证围岩和结构的稳定性。

通过上述处治措施,隧道施工顺利通过大变形段,从对变形过大区域的监测结果来看,后期没有出现异常情况,说明处治方案合理、有效。

6 结 语

槽渔滩隧道施工通过软弱围岩地段时产生了初期支护变形开裂的现象,为查找原因,有针对性的提出合理的处治方案,通过现场检测的手段,对变形原因进行了深入分析,并根据检测结果,提出了合理的处治对策,解决了工程实际问题,也为今后类似工程积累了宝贵经验。

(1) 软弱围岩由于岩体强度小,不能承受开挖后急剧增大的隧道周边应力而产生塑性变形,当变形超过一定数值就会出现围岩失稳和坍塌。而通过地质雷达及钻孔检测发现初期支护与围岩之间存在空洞,导致初期支护与围岩不能形成整体而共同产生协调变形,坍塌的围岩松散体堆积在初期支护结

构上,当初期支护承受超过其承载能力的荷载时,初期支护结构就会产生大变形直至破损。

(2) 在制定处治方案时,对变形段初期支护侵限情况进行详细检测,对侵限地段采用拆除原支护重新开挖支护的方法,能有效避免二衬厚度不足或二衬净空侵限。

参考文献:

- [1] 蒋树屏,赵 阳.复杂地质条件下公路隧道围岩监控量测与非确定性反分析研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(20):3460-3464.
- [2] 徐林生,孙 均,蒋树屏.洋碰隧道进口右线施工中的现场监控量测[J].岩石力学与工程学报,2002,21(5):675-678.
- [3] 李伟平.公路隧道穿越软弱围岩的变形与控制方法[J].现代隧道技术,2009,(2):44-49.
- [4] 关宝树.隧道力学概论[M].成都:西南交通大学出版社,1993:86-90.
- [5] 李树军.高地应力大变形隧道变形特性及工程应对措施分析[J].水利与建筑工程学报,2009,7(3):33-35,45.
- [6] 廖祥元,肖启航.青坑隧道地质复杂段坍塌机理分析与治理[J].现代隧道技术,2008,(S1):482-484.
- [7] 中华人民共和国交通部.JTG F80-1-2004.公路工程质量检验评定标准[S].北京:人民交通出版社,2004:112-123.