

滇中红层软岩地质条件下隧洞开挖支护参数及技术试验研究

高正波¹ 李江能² 李守静³

1. 云南省滇中引水工程有限公司 云南 玉溪 653100

2. 云南省滇中引水工程有限公司 云南 玉溪 653100

3. 云南省滇中引水工程建设管理局玉溪分局 云南 玉溪 653100

摘要:滇中红层是一种特殊不良地质,主要分布在玉溪至红河地区,经取样试验具有弱~中等膨胀特性,中~强风化滇中红层洞段,洞室开挖后,由于应力重分布,易产生挤压变形,遇水洞段,在挤压变形的基础上,因遇水膨胀,变形尤其严重。为降低施工风险,探索滇中红层适宜的支护参数与开挖技术,研究人员依托螺峰山隧洞进口从支护参数、循环进尺、底板封闭时机等方面开展试验研究,解决了滇中红层施工过程中变形侵限问题,在此基础上,形成了适宜的滇中红层支护参数与控制技术。

关键词:滇中红层;软岩地层;支护参数;开挖技术;试验研究

引言

螺峰山隧洞进口滇中红层强风化洞段初期支护变形开裂频繁发生,初步分析,主要原因是围岩位移挤压及膨胀挤压初期支护产生。目前,软岩变形国内外学者开展了相关研究,赵利奎^[1]开展了滇中红层深埋软岩隧洞支护措施及开挖工法研究,提出了软岩隧道支护参数及变形控制开发工法;郑红^[2]开展了滇中红层深埋软岩隧洞开挖方式研究,提出了台阶法控制软岩变形方法;李小坤^[3]开展了滇中红层软弱围岩隧道变形开裂原因分析及处治措施研究,提出了强化超前地质预报、增加径向注浆加固、加强初期支护、控制各工序的施工时间和间距等变形控制措施,隧道变形开裂得到有效控制。然而,滇中红层浅埋软岩隧洞支护参数与开挖控制技术未见相关报道,为解决围岩位移及膨胀引起的支护开裂变形问题,研究适宜的支护参数及开挖控制技术,解决困扰施工难题很有必要。

1 工程概况

1.1 工程简介

螺峰山隧洞位于通海县境内,线路全长14578.842m,线路纵坡1‰;设计断面形式为城门洞型、断面尺寸为3.0×3.9m;螺峰山进口承担1602.7m施工任务,YX61+527处下穿玉蒙铁路,隧洞最大埋深148m,地下水位高于隧洞顶板93m。

1.2 工程地质

洞身穿越地层岩性主要以强~全风化滇中红层为主,其次为泥质粉砂岩、砂岩,滇中红层为J1f紫红色中层状~中厚层状泥岩夹泥质粉砂岩,泥岩、泥质粉砂

岩比例约为8:2,滇中红层遇水易软化、泥化,具有弱~中等膨胀性,为极软岩~软岩。结构面、节理面光滑,有镜面发育,岩体完整性差~破碎,岩体结构呈散体结构、碎裂结构。

1.3 水文地质

地下水位高于隧洞顶板约93m,岩体透水性弱, $q = 1 \sim 3Lu$,滴水到渗水,局部线状流水。

1.4 地质构造

隧址位于地震多发地带,受玉川断裂(F52)与曲江断裂(F35)影响,隧道穿越断裂带共计7条,螺峰山进口穿越FVI-91断裂带^[1]。

2 施工情况

2.1 设计参数

- 1) 超前锚杆: C25mm,长4.5m螺纹钢,间距0.2m,排距3m。
- 2) 钢支撑: I16工字钢,间距80cm/榀,钢垫板采用200mm*200mm*6mm钢板。
- 2) 系统砂浆锚杆: C25mm螺纹钢,长2.5m,排距0.8m,环向间距2m,梅花形布置。
- 3) 网片: $\Phi 6$ mm圆钢,200mm*200mm网格,喷160mm厚C20混凝土。
- 4) 锁脚锚杆: 每榀钢支撑设置4根C25mm,长2.5m螺纹钢。

3 试验方案

为控制滇中红层软岩变形,在原设计支护参数及开挖控制技术基础上开展试验研究,试验段遵循“管超前、短

进尺、强支护、早封闭、勤量测”的原则施工^[2]。

3.1 第一次试验段 (YX61+023.2~YX61+057.4)

3.1.1 试验段技术参数

1) 超前小导管: $\Phi 42\text{mm}$, 壁厚3.5mm, 长4.5m无缝钢管, 管壁开 $\Phi 8\text{mm}$, $30\text{cm}\times 30\text{cm}$ 注浆孔, 梅花形布置, 排距3m。

2) 钢支撑: 工字钢间距由原设计80cm/榀调整为60cm/榀, 钢垫板采用6mm钢板, 尺寸由原设计20cm*20cm调整为30cm*30cm, 底部增加I16工字钢横撑, 浇筑20cm厚C20混凝土。

3) 锁脚锚杆: 由原设计每榀钢支撑4根2.5m, C25mm螺纹钢, 调整为每榀钢支撑设8根锁脚锚管($\Phi 42\text{mm}$ 钢管, $L = 3\text{m}$), 左右边墙腰部和底部各布置1组, 并低压注浆。

4) 在原设计断面尺寸基础上增加10cm预留变形量。

3.1.2 试验段施工技术

1) 试验时间

试验段于2022年3月30日开始施工, 2022年4月20日施工完成。

2) 控制要点

开挖方法: 弱振动爆破开挖

开挖工法: 全断面开挖

超前支护: 采用 $\Phi 42$ 小导管超前支护, 环向间距0.3m, 长度4.5m, 排距3.0m, 打设角度 $3^\circ \sim 15^\circ$, 施工范围拱部1200。

循环进尺: 每循环1.2m

底板封闭: 每榀钢支撑底部增设I16工字钢横撑, 并及时浇筑20cm厚C20混凝土, 底板施作长度现场根据监测数据定, 以1个循环施工为宜。

3) 监测结果

试验段底板封闭后共埋设6个监测断面, 每个断面5个测点, 施工监测0~15天(含)最大累计平均收敛速率2.04mm, 16~45天(含)最大累计平均收敛速率0.75mm, 监结果见监测数据统计表1。

表1 试验段监测数据统计表

序号	断面里程	读取初值时间	0~15天(含)				16~45天(含)				备注
			累计变形量(mm)		平均速率(mm/d)		累计变形量(mm)		平均速率(mm/d)		
			边墙收敛	拱顶沉降	边墙收敛	拱顶沉降	边墙收敛	拱顶沉降	边墙收敛	拱顶沉降	
1	025	2022.4.02	22.5	5.3	1.50	0.35	18.2	4.3	0.61	0.14	
2	031	2022.4.05	15.8	12.7	1.05	0.85	10.9	2.9	0.36	0.10	
3	036	2022.4.09	18.3	10.2	1.22	0.68	8.7	-1.4	0.29	-0.05	
4	042	2022.4.13	20.6	2.3	1.37	0.15	14.4	1.9	0.48	0.06	
5	047	2022.4.17	30.7	9.4	2.04	0.63	19.8	1.3	0.66	0.04	
6	053	2022.4.19	27.3	13.2	1.82	0.88	22.5	3.4	0.75	0.11	

4) 总结分析

通过监测, 试验段15天(含)平均收敛速率2.04mm, 16~45天平均收敛速率0.75mm, 较研究前15天(含)平均收敛速率减少2.96mm, 16~45天平均收敛速率减少0.66mm, 支护参数调整后, 经监测数据分析, 收敛数据较试验前明显减少, 但未明显收敛。

3.2 第二次试验段 (YX61+057.4~YX61+095.2)

3.2.1 试验段技术

在第一次试验参数基础上, 对支护参数及监测项目做出如下调整, 再次开展试验:

1) 钢支撑调整: 由试验段一I16工字钢调整为I18工字钢。

2) 围岩应力监测: 设置1个围岩位移及支护内力监测断面, 多点位移计3个, 锚杆应力计4个, 钢支撑应力计3个。

3) 支护类型调整: 由试验段一D2型支护类型调整为

D6型支护类型。

3.2.2 试验施工技术

1) 试验时间

试验段于2022年4月21日开始施工, 2022年5月22日施工完成。

2) 控制要点

开挖方法: 机械开挖。

开挖工法: 全断面开挖。

超前支护: 采用 $\Phi 42$ 小导管超前支护, 环向间距0.3m, 长度4.5m, 排距3.0m, 打设角度 $3^\circ \sim 15^\circ$, 施工范围拱部120°。

循环进尺: 每循环1.2m。

底板封闭: 每榀钢支撑底部增设I18工字钢横撑, 并及时浇筑20cm厚C20混凝土, 底板施作长度现场根据监测数据定, 以1个循环施工为宜。

3) 监测结果

a. 施工监测

试验段底板封闭后共布设7组监测断面, 每个断面

5个测点, 施工监测0~15天(含)最大累计平均收敛速率1.78mm, 16~45天(含)最大累计平均收敛速率0.62mm, 监测结果见监测数据统计表2。

表2 试验段监测数据统计表

序号	断面里程	读取初值时间	0~15天(含)				16~45天(含)				备注
			累计变形量(mm)		平均速率(mm/d)		累计变形量(mm)		平均速率(mm/d)		
			边墙收敛	拱顶沉降	边墙收敛	拱顶沉降	边墙收敛	拱顶沉降	边墙收敛	拱顶沉降	
1	058	2022.4.25	26.8	8.6	1.78	0.57	18.5	3.3	0.62	0.11	
2	063	2022.5.05	15.5	8.1	1.03	0.54	12.6	2.3	0.42	0.08	
3	069	2022.5.06	24.8	-2.4	1.65	-0.16	16.5	-1.7	0.55	-0.06	
4	075	2022.5.11	24.2	9.7	1.61	0.64	9.8	2.9	0.33	0.10	
5	080	2022.5.16	17.9	8.9	1.19	0.59	13.0	2.9	0.43	0.10	
6	087	2022.5.22	22.2	7.6	1.48	0.51	5.8	2.5	0.19	0.08	
7	093	2022.5.23	22.5	6.8	1.50	0.45	8.9	2.1	0.30	0.07	

b. 围岩位移及支护应力监测

YX61+070布设围岩位移及支护应力监测断面, 监测情况见表3

表3 围岩内部变形测点监测数据统计表

序号	监测项目	最大位移量及应力值统计		备注
		测点	位移量(mm)	
1	围岩位移	D1-3	-0.72	左拱座
		D1-5	-1.12	
		D1-7	-0.58	
		D2-3	1.10	洞顶拱
		D2-5	1.40	
		D2-7	1.60	
		D3-3	1.19	右拱座
		D3-5	1.91	
D3-7	-0.68			
2	锚杆应力	测点	应力值(Mpa)	备注
		M10	107.37	左侧锁脚
		M11	-1.43	左侧边墙
		M12	78.15	右侧边墙
		M13	101.14	右侧锁脚
3	钢支撑应力	测点	应力值(Mpa)	
		C1	-27.30	左侧直墙中部
		C2	-13.84	顶拱中部
		C3	-5.99	右侧直墙中部

通过监测, 试验段15天(含)平均收敛速率1.78mm, 16~45天平均收敛速率0.62mm, 较第一次试验段15天(含)平均收敛速率减少0.26mm, 16~45天平均收敛速率减少0.13mm, 支护参数调整后, 经监测数据

分析, 收敛数据较第一次试验明显减少, 随监测时间增加, 围岩变形逐步趋于稳定^[3]。

结束语

1、围岩位移与支护应力监测: 监测结果表明, 围岩内部变形介于-1.12mm~1.91mm之间, 无异常情况, 深部变形状态基本稳定; 监测断面处锚杆应力计值介于-1.43MPa~107.37MPa之间, 左侧锁脚、右侧边墙锚杆应力值呈受拉状态, 数值呈逐渐增大趋势, 左侧边墙锚杆应力计变化正常, 无异常情况; 监测断面处钢板计值介于-27.30MPa~-5.99MPa之间, 钢拱架左侧直墙的应变值为受压有呈逐渐增大趋势, 钢拱架顶拱中部和钢拱架右侧直墙中部的应变值基本趋于稳定。

2、支护参数与控制技术: 钢支撑由I16调整为I18, 间距由80cm调整为60cm; 开挖方法采用机械开挖, 循环进尺控制在1.2m, 底部封闭成环控制在1个循环(1.2m), 超前支护由C25mm螺纹钢超前锚杆调整为Φ42超前小导管, 在原设计断面基础上增加10cm预留变形量(喷射砼厚度由16cm调整为28cm), 每榀钢支撑边墙腰部增设2组注浆锚管(左右侧各1组, 每组2根)后, 随监测时间增加, 围岩变形逐步趋于稳定。

参考文献

- [1] 赵利奎. 滇中红层深埋软岩隧洞支护措施研究 1673-0836(2020)增2-0737-07
- [2] 郑红. 滇中红层软岩隧洞开挖方式研究 1673-4033(2018)09-0130-03
- [3] 李小坤. 滇中红层软弱围岩隧道变形开裂原因分析及处治措施研究, 1672-741X(2012)01-0088-06