

文章编号:1671-7619(2004)01-0044-04

洋碰隧道 F7、F8 断层及其影响带 施工工艺和整治措施

陈宁青, 吴益林

(广东省交通科学研究所, 广州 510420)

摘要:洋碰隧道是京珠国道主干线粤境高速公路小塘至甘塘段的长隧道之一。隧道穿过 F7、F8 两断层的交汇处,地质构造较为复杂,F8 断层形成先于 F7 断层且被 F7 断层切断,且 F7 断层为灰岩与砂岩的分界线,岩溶极易发育,由硬塑状粘土夹表面溶蚀的灰岩块石或碎块状砂岩组成。简要总结分析该断层特点,以及采用的施工方法和整治措施。

关键词: 高速公路;隧道;断层影响带;施工工艺

中图分类号: U457.5

文献标识码: B

1 工程概况

洋碰隧道是京珠国道主干线粤境高速公路小塘至甘塘段重要的长隧道之一,位于乳源瑶族自治县乳城镇北西约 6km,近东西走向。西起省道 1947 线洋碰道班东侧,东至双口河南水水库下游约 3km,出口接洋碰双口河大桥。为分离式单向行车双线隧道,左、右线全长分别为 2 053m、2 110m,左、右线间距 40m。

2 工程地质及水文情况

2.1 超前地质预报

洋碰隧道 F7、F8 断层及其影响带地质构造复杂。左线进口掌子面开挖至 LK76+782 处采用 TSP202 超前地质预报,结果显示:LK76+782~+875 段隧道穿过 F7、F8 两断层的交汇处,地质构造较为复杂。F8 断层形成先于 F7 断层且被 F7 断层切断,岩体破碎,且 F7 断层为灰岩与砂岩的分界线,岩溶极易发育。LK76+782~+861 段有数条强的反射信号,软硬反射面相间多变,此段为断层破碎带,由硬塑状粘性土夹表面溶蚀的灰岩块石或碎块状砂岩组成,粘性土被水渗泡后承载力很低,围岩类别为 ~ 类。LK76+861~+875 段有较强的反射信号,为断层影响带,岩体较为破碎,可按 类围岩施工。LK76+875~LK77+042 段无明显反射信号,岩体较为均一,围岩完整性较好,按 V 类围岩施工。

2.2 开挖揭示情况

2000 年 6 月 27 日洋碰隧道左线施工至 LK76+748 里程时遇溶洞充填物坍塌,坍塌体处理完后实际已进入 F7 断层影响带,比原设计图里程提前 30m。自 LK76+778 起往珠海方向亚粘土层,土体松散,自稳性差,局部有渗水,该处隧道埋深 60m。LK76+770~+780 段,拱部出现大面积线状滴水。

2.3 水文地质条件

从实测的地表纵横断面看,左线隧道 LK76+740~+830 段正处于洋碰隧道山体与坪乳公路之间的溪沟右侧,从近期地表降雨变化与隧道内滴水的情况看,溪沟流水与隧道内水联系密切。

3 LK76+744~+790 段施工工艺及技术参数

3.1 施工工艺

洋碰隧道左线进口施工至 LK76+744~+748 处出现亚粘土滑坍,处理措施为对塌穴采用碴体反压预埋 $\phi 108\text{mm}$ 钢管泵送 C10 砼回填。LK76+744~+790 段采用 CD 工法施工,采用超前小导管作为辅导施工。全断面分成两个台阶开挖,第一台阶设临时仰拱加纵向连接筋模筑 C20,采用 20b 工字钢,间距为 50cm 一榀。初期支护施工完毕后采用系统小导管注浆代替锚杆,每榀钢拱架打 8 根锁脚锚管,必要时增加竖向钢架支撑,

3.2 技术参数

该段施工技术参数进行如下调整:

(1)围岩类别由原设计 ~ 类围岩调为类围岩,采用 S2 复合式衬砌。

(2)超前支护采用外径 $\phi 42\text{mm}$ 超前小导管作为辅助措施,环向间距 $= 30\text{cm}$,纵向间距 $a = 200\text{cm}$ 。超前小导管长度 $L = 3.5\text{m}$,搭接长度 $L = 1.5\text{m}$ 。超前小导管注浆采用水泥 - 水玻璃,其注浆参数如下: 水泥与水玻璃体积比:1 0.5; 水泥浆水灰比:1 1; 水玻璃浓度:35 玻美度;模数:2.4; 注浆压力:0.5 ~ 1.0MPa。

(3)初期支护参数: 20b 型钢架间距 $a = 50\text{cm}$; 初期支护挂双层 $\phi 8$ 钢筋网; 初期支护喷射 C20

砼厚度 $= 27\text{cm}$; 采用系统小导管(径向小导管)注双液浆,注浆参数同超前小导管注浆参数。

(4)开挖时 LK76 + 744 ~ + 776 预留变形量 $L = 10\text{cm}$,LK76 + 776 ~ + 790 预留变形量 $L = 35\text{cm}$ 。

该段按上述参数施工后,初期支护仍出现下沉。

4 下沉段量测结果及变形分析

洋碰隧道土层段拱顶下沉量测结果和最大下沉示意图表 1 及图 1。

表 1 洋碰隧道土层段拱顶下沉量测结果表

量测里程	LK76 + 751	+ 758	+ 768	+ 777	+ 781	+ 783	+ 787
累计沉降量/mm	385.70	595.85	628.97	638.95	274.27	553.98	144.35

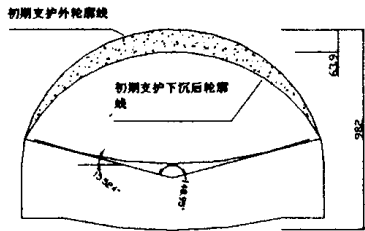


图 1 最大下沉示意图

量测过程中发现,掌子面开挖后由于没有及时成环,靠掌子面测点的下沉速率比较大,最大时 $> 97\text{mm/d}$ 。随着掌子面向前掘进后,其下沉速率下降到 $45 \sim 65\text{mm/d}$,这个阶段拱部砼没有出现开裂。第二个台阶向前掘进后,在该台阶处出现一次新的下沉突变点。成环之后,下沉速率处于 $6 \sim 45\text{mm/d}$ 之间,这个阶段拱部及边墙出现斜向裂纹。成环与否只是部分地解决了下沉速率问题,下沉量测曲线没有收敛趋势。

3 个收敛量测断面的累积收敛值分别为 11.37 mm、38.77mm、26.25mm。收敛值呈现收敛趋势。

从整段的上台阶初期支护下沉情况看,下沉是持续的,成环与否只是部分地解决了下沉速率问题,没有从根本上达到收敛状态。初支结构在下沉速率大大超过预留变形量后,钢支撑被压弯。下沉原因一是土层失水,一是地基承载力本身不够造成。

从第二个台阶成环后依然出现砼的斜向裂纹分析,说明该段客观上存在偏压。

5 断层及影响带整治措施

5.1 LK76 + 748 ~ + 790 下沉严重侵限段整治措施

5.1.1 断层及影响带处理方案比选

方案一:初期支护严重侵限段不再扰动,采取调整隧道纵坡,掌子面往前采用超前预注浆加固 CRD 工法开挖支护。

方案二:初期支护严重侵限段,初支再次注浆扩大围岩固结范围,扩大断面开挖支护,掌子面往前施工方法同方案一。

方案一由于当时仰拱已施作至 LK76 + 770,分段增大隧道坡率,降低原来设计标准,不可取;方案二工程投资及工期适当,施工工艺较为简单,可取。

5.1.2 隧道下沉段处理措施

5.1.2.1 隧底处理方法

以“注浆加固围岩,防止土层失水,加强基础承载力”为指导思想,对隧道底部采取注双液浆。其参数:采用 $\phi 42\text{mm}$ 、 $L = 3.5\text{m}$ 小导管竖向注浆,间距 $1.0\text{mm} \times 1.0\text{mm}$ 梅花型布置。现场施工根据实际情况适当加密,注浆参数同超前小导管注浆参数。

5.1.2.2 围岩注浆加固

选用 FIRELY 钻机 2 台,配 1 ~ 2m 可连接钻杆和 $\phi 27\text{mm}$ 硬质合金钻头。该机成孔直径 $\phi 29\text{mm}$,要求风压 0.4 ~ 0.6MPa,水压 0.2MPa,且对润滑油有较高要求,条件具备。该设备可实现较高的成孔效率,钻孔速度快,成孔率高。先在掌子面做 2m 厚 C20 砼作为止浆墙。每孔孔深 6m,在周边斜打 2 ~ 3 个排气孔,利用 50cm 长 $\phi 42\text{mm}$ 无缝钢管头直接逐渐加压式注浆,在隧道周边形成 6 ~ 8m 深度范围内的加固圈,改变围岩物理、力学性质,提高其自身的承载能力,使围岩主动承载。每次注浆前应先清孔,冲净孔内杂物。钻孔过程中

若遇塌孔须重钻。注浆过程中时刻关注初支变化情况,若初支变形较大,应停止注浆,待浆液凝固后再换孔注浆。注浆主要技术参数:

注浆孔布置:孔间距 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ 梅花形布置。

注浆材料:先用 1:1 水泥浆,随后加水泥与水玻璃,体积比 1:0.5:35Be 水玻璃。

注浆压力:2.0~5.0MPa。

5.1.2.3 侵限段开挖

围岩注浆加固后,采用挑顶替换进行处理。挑顶替换逐榀凿开,逐榀替换,替换后逐榀喷射

C20 砼封闭(替换长度视实际情况定为 6m 或 12m),并及时施作二衬钢筋混凝土。挑顶深度按实测断面侵限情况确定,确保替换封闭后,满足衬砌净空要求。

5.2 LK76+790~+861 段施工工艺

采用“CRD 工法”,初期支护采用 25b 工字钢拱架+网喷砼加强(图 2)。总体施工步骤为:超前周边预注浆 CRD 工法+25b 工字钢拱架开挖支护系统小导管注浆固结底部注浆加固二次钢筋混凝土衬砌。

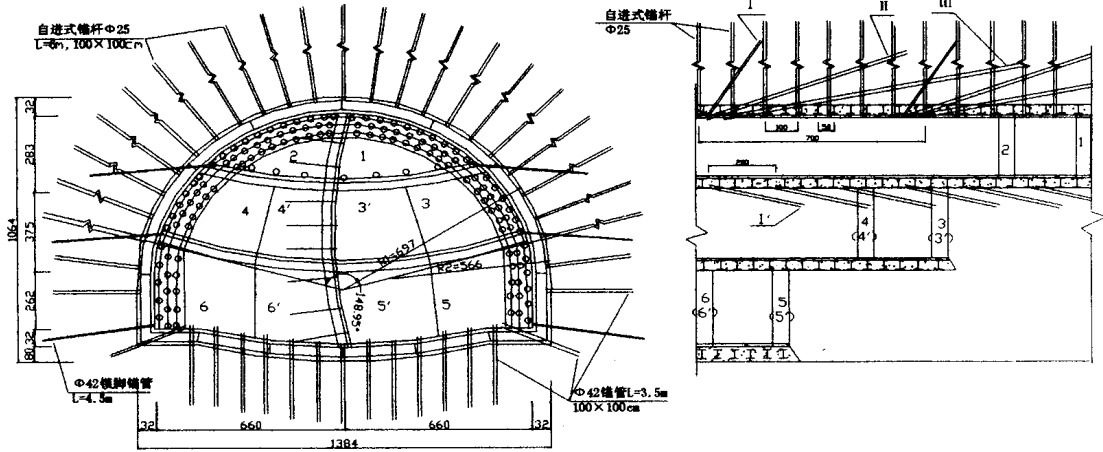


图 2 多台阶法(CRD 工法)施工顺序图

5.2.1 超前预注浆支护

超前预注浆之前,在掌子面施作 20cm 厚混凝土止浆墙。超前锚管与水平夹角 48° ,用普通钻机钻 45 孔,孔深 3.5m,下 3.0m 钢花管后进行低压注浆,注浆压力控制在 0.5~1.0MPa。超前锚管与水平夹角 20° ,选作 FIREFLY 钻机钻 40 孔,孔深 7.0m。一次难成孔,采用前进式注浆成孔,下 6.0m 钢花管后进行中压注浆,压力控制在 1.5~4.5 MPa,同时控制注浆量下注浆。超前锚管与水平夹角 11.5° ,选作 FIREFLY 钻机钻 40 孔,孔深 10.0 m,下 6.0m 钢花管高压注浆,压力控制在 4.5~7.0 MPa,同时控制注浆量。超前锚管与水平夹角 -30° ,打 7 孔,孔深 3.5m,下 3.0m 钢花管注浆。

通过超前预注浆,在隧道开挖面及轮廓线外 4m 范围固结圈,起到压密亚粘土固结围岩,同时也起到止水作用。开挖时增打自进式锚杆注浆或系统小导管注浆,这样在隧道开挖轮廓线外形成一较为稳固的压力圈,同时隧道开挖下沉量也得到有效的控制。

5.2.2 CRD 工法施工工序

(1)开挖 1 部,初喷砼,架立 I 部钢拱架,挂网,打锁脚锚管注浆,焊接纵向连接筋。复喷至设计厚度,临时仰拱采用模筑砼,打自进式系统锚杆注浆。

(2)开挖 2 部,初喷砼,架立 II 部钢拱架,其余同(1)。

(3)开挖 3 部,初喷砼,架立 III 部钢拱架,其余同(1)。临时仰拱采用模筑砼,开挖 3 部,初喷砼,架立 III 部钢拱架,挂网,焊接纵向连接筋,复喷至设计厚度,临时仰拱采用模筑砼。

(4)开挖 4 部,初喷砼,架立 IV 部钢拱架,挂网,打锁脚锚管注浆,焊接纵向连接筋。复喷至设计厚度,打自进式系统锚杆注浆,临时仰拱采用模筑砼,开挖 4 部,初喷砼。架立 IV 部钢拱架,挂网,焊接纵向连接筋,复喷至设计厚度,临时仰拱采用模筑砼。

(5)开挖 5 部,初喷砼,架立 V 部钢拱架,挂网,打锁脚锚管注浆,焊接纵向连接筋。复喷至设计厚度,打系统锚杆注浆,临时仰拱采用模筑砼,开挖 5 部,初喷砼。架立 V 部钢拱架,挂网,焊接纵

向连接筋,复喷至设计厚度,临时仰拱采用模筑砼,仰拱竖向导管注浆。

(6)开挖 6 部,初喷砼,架立 部钢拱架,挂网,打锁脚锚管注浆,焊接纵向连接筋。复喷至设计厚度,打系统锚杆注浆,仰拱采用模筑砼,开挖 6 部,初喷砼,架立 部钢拱架,其余同(5)。

6 体会

6.1 超前地质预报和监控量测

在隧道不良地质段,采用 TSP 超前地质预报,以及对已开挖出来的碴体、地表状况进行分析,摸清该断层不良地质、水文情况,选用合理的施工方法,才能确保隧道施工的安全。洋碰隧道 F7、F8 断层长达 100 多 m,处理时间达半年多,未发生大的塌方和质量事故。同时要加强监控量测,新奥法施工方法的核心是量测,在现场施工队伍与量测队伍同心协力,施工单位每天做必测项目,量测队伍做选测项目,并将量测结果及时反馈给施工单位和监理方,以指导施工。

6.2 注浆质量评价

注浆属地下隐蔽性工程,其注浆质量评价以各孔的注浆参数进行分析。从后期注浆孔钻取的岩芯和隧道导坑开挖后观测岩层补浆液充填的程度和浆液的固结质量,作定性分析。再以隧道内注浆前后水文条件的变化情况来做定量评价。洋碰隧道 F7、F8 断层及其影响带通过注浆来改善岩层的物理性质,增强其密实性。在隧道开挖轮廓线外形成一密实圈,将地下水堵住,增加隧道开挖后的自稳能力,控制了下沉量。从开挖出来的碴体呈密实粘土夹浆液,从注浆量和注浆压力的控制,可见洋碰隧道 F7、F8 断层及其影响带的注浆取得良好的效果。

参考文献:

[1] 安鸿逵. 铁路工程设计手册 隧道[S]. 北京:中国铁路出版社,1995.
[2] 江新锡. 铁路工程施工技术手册[S]. 北京:中国铁路出版社,1998.

(收稿日期:2003 - 07 - 20)

(上接第 32 页)

与溶洞接触较好,分析桩基底持力层能满足设计要求。也有个别桩基持力层溶洞压浆不饱满,基岩裂隙发育等现象,需按实际情况进行验算。

4.3 结构调整

(1)将主桥双薄壁柱柱距由 6m 改为 4m,减少桥墩刚度,降低桥墩的分配弯矩,从而达到降低单桩要求承载力的目的。对于已施工的 5 号墩上游薄壁柱,经业主同意将其打掉重做,保证主桥桥墩外观的协调。

(2)在 3、4 号墩原设计的两排桩间各加 4 根 $\phi 1.5\text{m}$ 桩,按嵌岩桩设计,重新分配各桩的单桩承载力,各桩调整前后的要求单桩承载力如表 2 所示。通过调整桩基承载力比较容易满足设计要求。

表 2 加桩前后承载力比较

墩 号	加桩前承载力/ kN	加桩后承载力/ kN
3 号墩东侧 $\phi 2.2\text{m}$ 桩	15 800	14 460
3 号墩西侧 $\phi 2.2\text{m}$ 桩	12 220	10 380
3 号墩新加 $\phi 1.5\text{m}$ 桩	/	6 000
4 号墩两侧 $\phi 2.2\text{m}$ 桩	14 600	13 050
4 号墩新加 $\phi 1.5\text{m}$ 桩	/	6 000

5 结语

经过多方努力,大桥于 2002 年 12 月建成通车。广东省交通工程质量检测中心对该桥主桥连续刚构作了静载试验,各项指标应力、应变、裂缝均满足《大跨径砼桥梁的试验设计方法》的要求,表明结构的工作状态良好,在力学性能上满足设计和使用要求。

(1)减少石灰岩地区桩基质量问题的主要措施是要充分做好地质调查工作,调查越具体、越详细,设计就越不容易出现差错。

(2)桩基施工时,应对每道工序严格把关,特别要调节好泥浆比重和混凝土的质量,才能有效保障桩基质量。

(3)一旦发生质量问题,应认真研究问题和采取适当的处理方法,更要对处理效果进行严格的检验。

(注:本文得到陈彦平主任的大力指导,在此表示感谢)

(收稿日期:2004 - 05 - 19)