

圆梁山隧道毛坝向斜水压力监测分析

Observation and analysis hydraulic pressure in Maoba syncline of Yuanliangshan tunnel

张民庆, 彭 峰

(中铁隧道集团科研所, 河南 洛阳 471009)

摘 要: 圆梁山隧道所处毛坝向斜存在高压富水, 给隧道的设计与施工带来了很大的难度。本文主要介绍了圆梁山隧道毛坝向斜水压力的监测状况, 并通过对监测数据进行理论分析, 计算出毛坝向斜的水压力值和注浆后水压力降低状况, 同时, 通过推测监测区溶洞形态, 对下一步该溶洞的注浆施工提供指导。

关键词: 圆梁山隧道毛坝向斜; 水压力; 监测; 分析

中图分类号: U 451

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2003)06-0702-04

作者简介: 张民庆(1970-), 男, 中铁隧道集团科研所高级工程师。

ZHANG Min-qing, PENG Feng

(Science and Technology Research Institute under China Railway Tunnel Group Co. Ltd., Luoyang Henan Province 471009, China)

Abstract: There is high pressure and abundant water in MaoBa syncline where Yuanliangshan tunnel lies, that brings a great many difficulties for design and construction of the tunnel. This paper introduced the observation of water pressure. Through theoretic analysis of the observed data, the numerical value of water pressure in MaoBa syncline and the reduction of water pressure after grouting are calculated. The predicted shape of dissolved cavity is used to supervise the next grouting.

Key words: Yuanliangshan tunnel Maoba syncline; water pressure; watch; analysis

0 概 述^{*}

圆梁山隧道是渝怀铁路线上最长的隧道, 该隧道曾于 1965~1966 年作为原川汉铁路的控制工程, 由国家科委组织专家进行考察, 并拟开展深一步的综合研究工作, 后因故停止。1998 年由铁道部第二勘测设计院组织调查了北起黔江, 南至乌江的南北 100 km 范围的地质状况, 对 4 个大线路方案进行比选, 并由铁道部工程鉴定中心多次组织专家对设计方案进行论证, 最终选定目前的圆梁山隧道方案^[1~3]。

圆梁山隧道全长 11068 m。隧道地处渝、鄂、黔三省市毗连地区, 为川东褶皱山地与鄂西山地、贵州高原的接触带, 属中、低山地形。主要发育有毛坝向斜、桐麻岭背斜及伴生断裂。如图 1 所示, 毛坝向斜为一条燕山期形成的北东 35°左右的盖层褶皱带, 后期遭受了喜马拉雅期北北东向的褶皱改造, 使得向斜与区域主要构造形迹的产状一致, 其南段呈北北东(N18°E)向, 而向北渐变为北东(N35°E)向, 总体形貌呈向北西凸出的弧形。两翼为下古生界, 核部为上古生界—中古生界, 核部向斜的空间形态呈长舟形状。南北长 65 km, 东西宽 2~3 km。平面形态呈“S”状, 总体走向为北东—南南西向, 两端分别向北东和南南西方向扬起。隧道穿越乌江水系与沅江水系的分水岭——武陵山脉。

根据定测深孔钻探资料, 证实存在 P_{2wt-c} 和 P_{1qt-m} 两层承压水, 相对于隧道洞身标高而言, 其静水头

(H): P_{2wt-c} 承压水为 490.09 m, P_{1qt-m} 承压水为 446.43 m。这表明在隧道洞身处确实存在 P_{2wt-c} 层段 4.9 MPa 和 P_{1qt-m} 层段 4.46 MPa 的高静水压力。参考锦屏资料, 预计掌子面上瞬时涌突水压力可达 2.9~3.2 MPa, 因而该隧道存在突发性的规模高压岩溶涌突水可能, 所以该隧道被称为“国内外隧道设计、施工禁区”工程。

1 水压力监测

毛坝向斜是否存在高压水, 水压力究竟有多大? 这个问题一直是困扰着业主、设计和施工单位的一道难题, 只有知道了这个问题, 才能做好圆梁山隧道的动态设计和动态施工, 以及确保工程施工及运营的安全和质量。对此, 施工单位展开了对圆梁山隧道水压力的监测工作。

1.1 监测位置

水压力监测主要是监测隧道内毛坝向斜的水压力和经注浆后地层的渗透水压力, 以此进行二衬型式的动态设计。

如图 2 所示, 监测位置选择在发生突涌水的 DK354+460~+490 深埋(埋深 550 m)粉细砂层填充型溶洞和与之相对应的 PDK354+430~+470(推测)

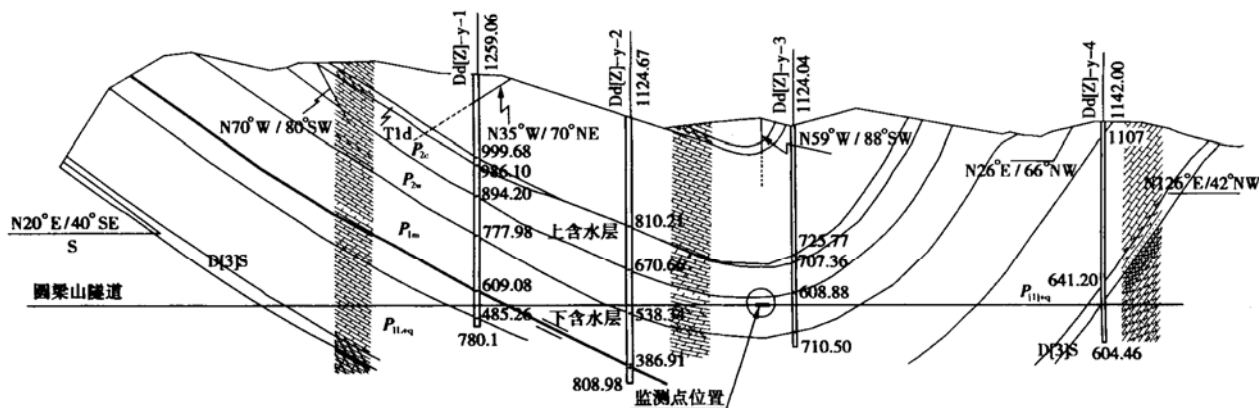


图1 圆梁山隧道毛坝向斜工程地质图

Fig. 1 Geological profile of Maoba syncline, Yuanliangshan tunnel

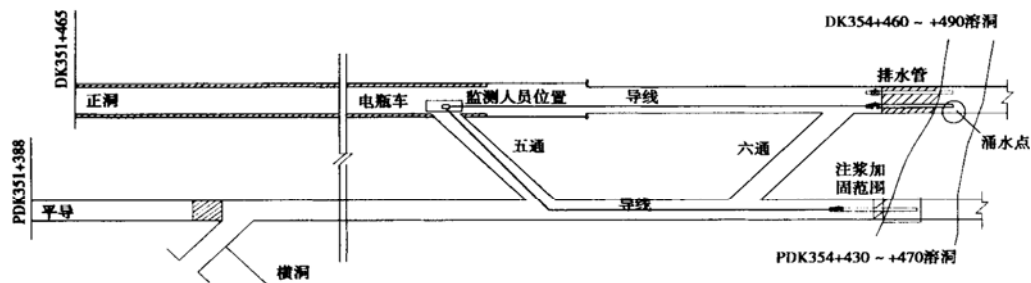


图2 水压力监测位置图

Fig. 2 Layout of water pressure monitoring spots

粉细砂层填充型溶洞。DK354+ 460~ + 490 溶洞下导坑通过采取超前预注浆措施后安全通过,但由于高压水存在,使注浆体破坏,于是于2002年10月23日~11月10日相继发生多次突涌水,最大涌水量为69000 m³/h,稳定涌水量为550 m³/h,因而相继在下导坑DK354+ 440和DK354+ 395位置采取预留Φ108排水管进行排水,施作两道5 m厚的钢筋混凝土止浆墙进行封闭。PDK354+ 430~ + 470 溶洞和正洞DK354+ 460~ + 490 溶洞是连通的,该溶洞采用超细水泥-水玻璃双液浆进行了全断面超前预注浆。因而,通过对正洞DK354+ 460~ + 490 溶洞涌水位置进行水压测试以确定毛坝向斜的水压水值,通过对平导PDK354+ 430~ + 470 溶洞段注浆后注浆体水压力测试以确定注浆对地层渗水压的影响,从而为动态设计和施工提供参考。

1.2 监测方法及监测过程

水压力监测共进行了3次。

第一次监测是对正洞DK354+ 460~ + 490 溶洞体水压力值进行测试。监测方法是通过在排水管上安装压力表,关闭排水管上的阀门后,直接通过水压表观测水压力值。监测从2002年12月13日3:00开始,到2002年12月14日12:00时,水压上升到1.05 MPa,此时平导PDK354+ 400处有股水射出,射程3 m。为保证安全,于是停止第一次监测工作。

第二次监测是在通过对正洞、平导薄弱部位进行初支加强后进行。监测方法是采用在排水管内设渗压计,将渗压计导线引到500 m以外的五通正洞位置,通过监测渗压计频率值,计算出水压力值。该次监测对正洞DK354+ 460~ + 490 溶洞和平导PDK354+ 430~ + 470 溶洞同时进行。监测工作于2002年12月23日8:55开始,到2002年12月24日2:00,正洞水压值上升到2.369 MPa,平导水压值上升到1.798 MPa。之后,洞内水压监测人员发现压力呈波动变化。通过和洞外水量监测结果进行对比分析,并进洞观测,发现法兰盘连接垫片被高压水冲脱破坏,于是,该日12:00停止第二次水压监测工作。

第三次水压监测是在通过将排水管上法兰盘连接方式由平板连接改为指扣连接,以保证连接部位不会出现漏水情况后,于2002年12月28日9:00开始进行。到2002年12月30日15:00水压已基本稳定于2.7 MPa,之后继续监测,水压一直处于稳定状态,经现场监理和设计单位,以及专家组对水压力确认后,于2003年1月10日结束了水压力监测工作,并以此压力值确定为圆梁山隧道毛坝向斜水压力值。

2 水压力分析

根据3次监测结果绘制监测过程中的水压力 P 、

隧道内总涌水量 Q (此处隧道内总涌水量 Q 是指圆梁山隧道进口目前正洞和平导已开挖段内的总涌水量) 和时间 T 之间的 $P-Q-T$ 关系曲线, 见图 3~ 图 5。

结合数据统计, 综合三次监测过程的 $P-Q-T$ 曲线, 可以得到如下结论:

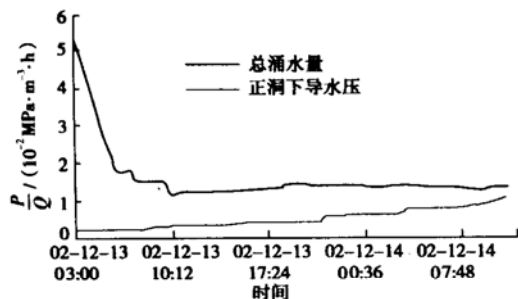


图 3 第一次监测的 $P-Q-T$ 曲线

Fig. 3 $p-Q-T$ curves of the first monitoring

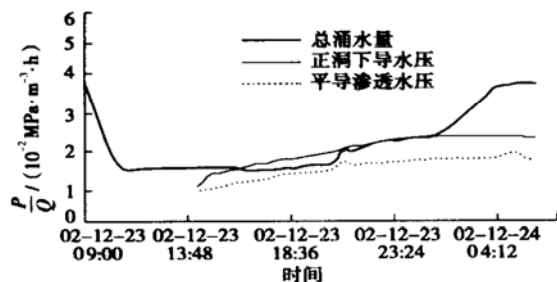


图 4 第二次监测的 $P-Q-T$ 曲线

Fig. 4 $p-Q-T$ curves of the second monitoring

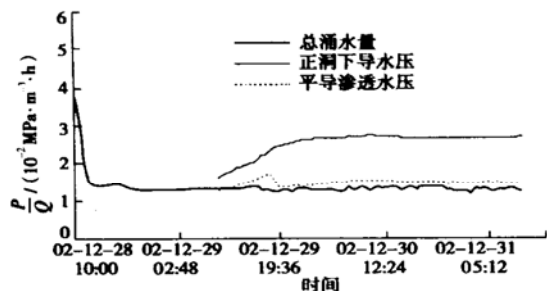


图 5 第三次监测的 $P-Q-T$ 曲线

Fig. 5 $p-Q-T$ curves of the third monitoring

(1) 在第一次水压力监测时, 当排水管阀门关闭后, 总涌水量迅速降低, 这说明 DK354+ 460 溶洞涌水量占总涌水量的比例较大, 该溶洞是一个主要的涌水点。随着监测进行, 水压力值缓慢上升, 这说明在隧道顶部已存在较大的涌水通道。后期总涌水量缓慢上升, 这和平导 PDK354+ 400 处出现了射水有关, 这样, 继续监测下去意义不大, 于是停止监测。

(2) 在第二次水压力监测时, 排水管阀门关闭后, 总涌水量迅速降低, 在水压力值上升到 2.369 MPa 时, 总涌水量呈明显增大趋势, 此时水压力值基本稳定, 不再上升, 这说明排水管路上出现了问题, 于是停止监测, 待解决了管路漏水后再继续监测。

(3) 在第三次水压力监测时, 排水管阀门关闭后, 总涌水量迅速降低, 并稳定于 140~ 160 m³/h, 因而, 在这种条件下水压力值的监测结果是真实可靠的。

(4) 平导的水压值和正洞下导的水压值具有明显的对应性, 结合施工情况和地质分析, 平导 PDK354+ 430 掌子面和正洞 DK354+ 460 溶洞一定是连通的, 且连通性极好。由第二次和第三次水压力监测情况来看, 平导的水压值在水压小时和正洞下导水压差不大。但随着水压升高, 两者的差值越来越大。平导水压值稳定在 1.5 MPa 左右, 这和正洞下导水压相比, 经注浆后地层水压力降低了 1.2 MPa, 因而对于该处, 理论上可以肯定采取超前预注浆和径向注浆措施, 在二衬结束后, 完全能将抗水压能力提高到 1.5 MPa。

(5) 平导的渗透水压曲线有多个拐点出现, 这可能表明水压上升过程中溶洞填充物受到水压的影响, 使其透水能力产生了波动性的变化, 同时这也意味着可能在长期高压下, 地层的渗透能力会产生水力破坏。

3 水压力极值推算

根据第三次水压力监测 $P-Q-T$ 曲线特征, 按指数方程 $P = de^{b/T}$ 对水压力曲线进行回归分析, 以计算出圆梁山隧道毛坝向斜水压力值^[5]。

水压力的回归方程为 $P = 2.729e^{-60.507/T}$, 因而可得 $P_{\max} = 2.729$ MPa, 取 $P_{\max} = 2.73$ MPa。

4 DK354+ 460~ + 490 溶洞体形态判析

为计算方便, 将溶洞体简化为直径为 D 的圆形断面, 设平均蓄水断面面积为, 水头高度为, 时间为, 总水量为, 压力为, 根据毛坝向斜西翼岩层的倾角约为 45°, 所以设溶洞亦沿 45° 角发育, 那么溶洞蓄水空间的长度为 $H/\sin 45^\circ$ 。

设溶洞的平均涌水量为 $\bar{Q}$, 统计水压测试前两天的涌水量和监测水压过程中涌水量, 根据积分公式 $\bar{Q} = \int_{T_1}^{T_2} Q(t) dt$, 并由 $\bar{Q} =$ 监测前洞内平均涌水量- 监测期洞内平均涌水量来确定溶洞补给水量值。

根据 3 个水压监测阶段的数值, 表明 DK354+ 460 ~ + 490 溶洞体上部溶腔具有以下特征:

①在隧道顶部 0~ 30 m 范围内存在着较大的蓄水空腔, 这可能也就是洞内大量涌砂的结果。

②在隧道顶部以上 30~ 60 m 范围存在着一个颈缩过水空腔, 这个空腔也在一定程度上会限制涌砂和涌水量的恶化发展。

③在隧道顶部以上 60~ 110 m 范围, 溶洞过水空

腔较前一段过水空腔变大,但要远小于隧道顶部。

④在隧道顶部以上 110~ 140 m 范围,也存在着一个颈缩空腔,但不明显,要远比第 2 阶段的颈缩空腔大。

⑤在隧道顶部以上 140~ 210 m 范围,存在着和隧道顶部以上 110~ 140 m 范围基本相同断面的过水空腔。

⑥在隧道顶部以上 210 m 以上范围,汇水区域变得越来越大。在 270 m 时汇水面积变得很大,同时更有可能是在拱顶以上 270 m 处存在着排泄点,根据隧道标高可推测出排泄点高程约为 820 m 左右。

将整个测试过程分为 12 个阶段,根据计算公式 $W = \bar{Q} \times T, S = W \times \sin 45^\circ / H, D = 2 \sqrt{S/\pi} = 2 \sqrt{\bar{Q} \cdot T \cdot \sin 45^\circ / \pi h}$,可计算出各区域平均蓄水断面面积 S 和溶洞体直径 D ,计算结果如表 1 所示。

表 1 溶洞体形态判析计算结果表

Table 1 Calculated results for detemining shape of karst caves					
阶段	时间	水压力/MPa	s/m^2	D/m	
1	12- 13 03: 00~ 12- 13 10: 00	0. 25~ 0. 3	251. 0	17. 9	
2	12- 13 10: 00~ 12- 13 21: 00	0. 3~ 0. 4	198. 0	15. 9	
3	12- 13 21: 00~ 12- 13 23: 30	0. 4~ 0. 6	23. 0	5. 4	
4	12- 13 23: 30~ 12- 14 07: 00	0. 6~ 0. 8	67. 4	9. 3	
5	12- 14 07: 00~ 12- 14 09: 00	0. 8~ 0. 9	35. 9	6. 8	
6	12- 14 09: 00~ 12- 14 12: 00	0. 9~ 1. 05	35. 9	6. 8	
7	12- 23 14: 15~ 12- 23 16: 20	1. 100~ 1. 560	35. 4	6. 7	
8	12- 23 16: 20~ 12- 23 18: 00	1. 560~ 1. 744	73. 8	9. 7	
9	12- 23 18: 00~ 12- 23 22: 00	1. 744~ 2. 131	84. 2	10. 4	
10	12- 23 22: 00~ 12- 24 02: 00	2. 131~ 2. 369	136. 7	13. 2	
11	12- 29 17: 45~ 12- 30 10: 00	2. 311~ 2. 711	150. 5	13. 9	

S 为平均蓄水面积, D 为管道直径。

综合以上理论计算结果,可粗略画出 DK354+ 460 溶洞形态的简单示意图,如图 6 所示。

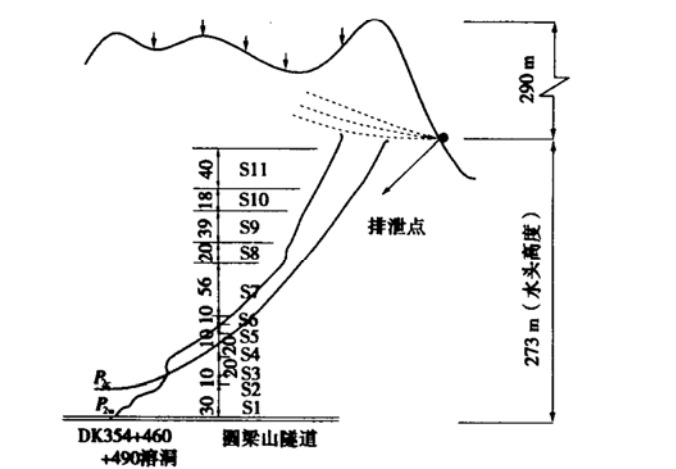


图 6 推测 DK354+ 460 溶洞体形态示意图

Fig. 6 Shape of predicted karst caves at DK354+ 460

5 结论与体会

(1) DK354+ 460 溶洞体发育形态具有明显的不规则性,在接近隧道拱顶部位溶洞体最大,向上发育时大

时小,结合铁道部第二勘测设计院地勘图推测 P_{2c} 距隧顶可能就是 40 m 左右,同时在 P_{2c} 和 P_{2w} 层间岩溶体狭窄,可能其阻力介质已完全进入隧道,因而可能已导致 P_{2c} 水流入隧道。

(2) 监测点溶洞体上部存在着 2. 73 MPa 以上的水压力,因而可推算出在标高 820 m 左右可能存在着排泄点。这个监测结果和铁道部第二勘测设计院地勘资料所提供的在标高 850 m 左右存在排泄基准面的结论是相一致的。

(3) “毛坝向斜存在高水压力”这个结论经这次监测证明是不容置疑的。从监测结果来看,水压力为 2. 73 MPa,但从客观上讲,由于隧道已大量开挖施工,在局部会存在渗流水,因而,测试期间所测结果也并非严格意义上的“静水压”,但实测水压力结果可作为圆梁山隧道毛坝向斜衬砌结构设计的重要参考依据。

(4) 地层经注浆后水压力表现为渗透压,渗透压要小于注浆前的水压力。圆梁山隧道注浆后监测到水压力降低了 1. 2 MPa,即注浆后水压力降低到 1. 5 MPa,那么可以肯定采取注浆措施后能使地层降压,但对于各种深埋充填型溶洞,由于溶洞的填充介质不同,注浆效果会有所不同,特别是浆液在地层中的注浆机理差别很大。例如由圆梁山隧道目前所揭示的溶洞来看,在淤泥质溶洞地质条件下,采用注浆措施后,地层的注浆均一性较好,浆液能在地层中形成网状致密结构,因而在这种地质条件下认为采取注浆措施后可以利用注浆体抵抗水压,但对于象粉细砂层这样的溶洞体,在这种地层中注浆,浆液主要还是依靠挤压和分割作用,很难达到均一的注浆效果,这样,在局部位置将无法达到水压力衰减。因而在这种地质条件下,注浆措施应主要是满足安全开挖施工要求,至少在目前国内外还没有先例的条件下,建议不要按水压力衰减进行二衬结构设计。圆梁山隧道设计中纳入了永久性监测项目,该项目水压力监测成果将会对今后类似地质条件下的二衬设计提供依据。

(5) 对溶洞体空腔的判析会对下一步正洞溶洞体注浆施工提供参考依据。

参考文献:

[1] 渝怀线圆梁山隧道设计方案论证会[R]. 北京, 2000.
[2] 渝怀线圆梁山隧道高水位富水段工程技术方案论证会[R]. 北京, 2001.
[3] 渝怀铁路圆梁山隧道施工技术方案论证会[R]. 重庆, 2003.
[4] 圆梁山地质资料[R]. 铁道部第二勘测设计院, 2000.
[5] 工程地质手册编委会. 工程地质手册(第三版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.