

文章编号:1006-2106(2002)01-0042-05

圆梁山隧道毛坝向斜有关岩溶水文地质问题的浅见

邓谊明*

(铁道部第四勘测设计院 总工办, 武汉 430063)

提 要: 圆梁山隧道是整个渝怀线的关键控制性工程。毛坝向斜的岩溶水文地质的复杂性制约该隧道设计和修建的难度。通过对关键难题的分析, 提出一些浅见, 供参考。

关键词: 毛坝向斜特征; 岩溶水文地质难题; 浅见

中图分类号: U452 **文献标识码:** A

圆梁山隧道是渝怀铁路最长的隧道、是全线控制性的关键工程。而该隧道又以穿越的毛坝向斜最为复杂, 是该隧道的要害地段, 该段的一些地质问题对隧道的设计、施工具有重大的影响。今年被邀参加渝怀铁路隧道工程施工技术专家研讨会, 接触到部分资料, 经初步研究, 对毛坝向斜有关岩溶水文地质的重大问题谈谈一点浅见, 供讨论、参考。

1 隧道所处毛坝向斜构造的部位问题

隧道所处的构造部位, 反映隧道的总体地质条件。圆梁山隧道处在毛坝向斜的位置:

(1) 平面上处在该向斜弧形弯曲最西凸的部位(图1);

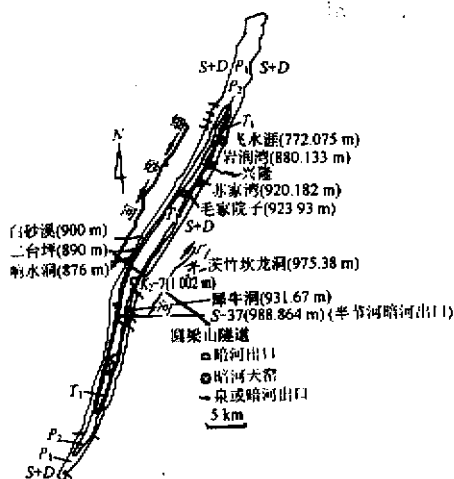


图1 毛坝向斜地质平面图

(2) 空间上, 处在该向斜以中部为旋轴, 其向斜轴面南北相反旋扭变形的枢纽部位(图2);



图2 毛坝向斜轴面旋扭示意图

(3) 隧道处在封闭的毛坝向斜自流盆地的核心部位(图3)。

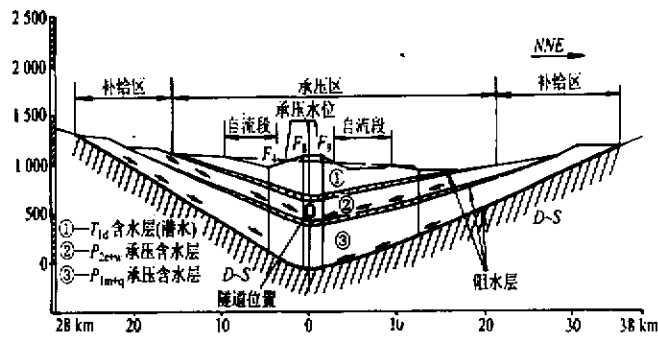


图3 毛坝向斜自流盆地纵轴断面图

上述反映隧道位在向斜构造应力集中、变形最强

万方数据

烈的部位,亦即构造形迹密集(NW 张扭、走向压扭、向斜平、剖面弧顶张扭等结构面最发育)的地段;隧道处在向斜承压储水构造最大水压范围;因此,隧道部位是整个向斜构造岩溶水文地质条件相对最复杂的区段。

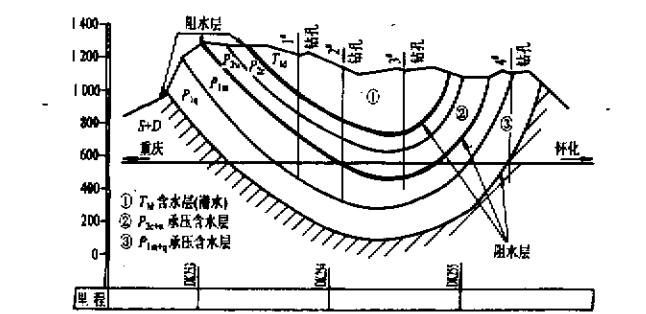


图 4 隧道穿越毛坝向斜横断面图

2 毛坝向斜储水构造的特征问题

2.1 封闭式独立储水构造

毛坝向斜为一核部由碳酸盐岩、翼部由碎屑岩组成的、两端翘起的狭长(长 65 km、宽 3.5 km)船形向斜。核部碳酸盐岩含水层置于宽厚的志留系碎屑岩阻

水层之上,被其三维空间包围,使之与外界隔离,构成独立的封闭储水构造。(图 1、图 3、图 4)。

2.2 典型的向斜自流水盆地特征

毛坝向斜东西翼为山岭,南北两端翘起,形成四周高起中间低洼的盆地,核部汇水。由上部岩溶潜水含水层、下部(二层)承压含水层组成的复合型含水结构。阻水层以上的浅部潜水层具相对独立的补给、径流、排泄系统。产于阻水层之间的深部二含水层具有承压性质,承压水头标高、纵、横向承压水位梯度见表 1、图 3。具备典型的向斜自流盆地的特征。承压水补给区为含水层(P_{1q+m} 、 P_{2w+c})沿向斜两翼至南北翘起端构成的环状分布区及其汇水范围,处在环状圈较高的部位;承压区为向斜的中部盆地;自流区在承压区范围内、标高低于承压水位的沟槽,特别是切割封闭向斜向外排泄的横向沟槽,如东翼半节河—犀牛洞一带;两翼响水沟—朱河溪一带等。见图 1、图 3。

三层含水层都被阻水层隔开形成独立的含水体系。具有各自的储存场所、各自的承压水头和水位。它们通过横向断层沟通,形成不同程度的联系(一般相对较差)。

表 1 毛坝向斜自流盆地纵横向水位梯度表

含水层 水位 地 层		1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	横 向 梯 度
T _{1d}		1 032.90	981.20	981.20		
P _{2c+w}		999.95	996.17	990.54		$I = \frac{999.95 - 990.54}{0.8} = 0.0118$
P _{1m+q}		1 043.61	1 000.31	1 003.75	1 059.10	$I = \frac{1 059.1 - 1 043.61}{1.6} = 0.0097$
纵向梯度	P _{2c+w}	$I_{南1} = \frac{1 200 - 996}{16} = 0.0128$			屏 溪	$I_{北1} = \frac{1 050 - 996}{21} = 0.0026$
	P _{1m+q}	$I_{南2} = \frac{1 200 - 1 000}{21} = 0.0095$			獭 溪	$I_{北2} = \frac{1 050 - 1 000}{28} = 0.0018$

3 毛坝向斜自流盆地承压水层岩溶发育及特征问题

浅部(T_{1d})潜水层岩溶发育特征符合一般岩溶发育规律。承压水层夹于两阻水层之间,处于相对封闭状态,其水动力条件有别于潜水型,因此其岩溶发育条件、特征与潜水型(T_{1d}含水层也不同)。

3.1 深部承压水层岩溶成因

毛坝向斜潜水型岩溶发育深度受排泄基面控制(毛坝向斜地表最低排水点标高约 800~900 m),且受制于第一层阻水层(T_{1d}¹)的产出顶面标高(最低约 680 m)。P_{2c+w}承压水层产于 T_{1d}¹、P_{2w}两阻水层之间,P_{1q+m}承压水层产于 P_{2w}、S 两阻水层之间。形成阻水层的阻隔,抵御岩溶向深部发育。据此,按惯常规律,此

承压水层深部不应发育岩溶。然事实（钻探揭露）它们却发育岩溶，而且深度达 333 m 标高以下，大大低于区域排泄基面（800~900 m 标高），且逾越两层阻水层。此现象很难用一般岩溶发育规律解释。因而承压含水层深部发育的岩溶有其特别的成因：

（1）随着季节和降雨的变化，补给区地下水位不断升降，承压区则形成“涨潮”、“落潮”的“潮汐”作用，引起岩体孔隙、裂隙空间的微小脉冲，该脉冲运动可加强

表 2 承压含水层游离 CO₂ 含量表(mg/L)

含 水 地 层	钻 孔				雨水	毛坝犀牛洞	毛家院子暗河
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]			
	T _{1d}	17.8~28.0	3.6				
	P _{2c+w}	18.23	17.4	7.3			
	P _{1m+q}	9.34	46.7~55.3		20.1	3.4	3.4

（3）吴家坪组（P_{2w}）假整合于茅口组（P_{1m}）之上，它们之间存在沉积间断，因此茅口组的顶部存在古风化壳和古岩溶的可能。

3.2 承压水层的深部岩溶特征

（1）规模较小：鉴于形成岩溶的“混合作用”和“承压水层的循环作用”，都较微弱。形成的岩溶的规模较小，为溶孔、溶隙型。多数充填物较少。

（2）不均匀性：①鉴于岩体孔隙、裂隙的不均匀性，循此空隙发育的岩溶也具有不均匀性。一般向斜核部弯弧顶、断层带、古风化壳等处相对较发育。②岩层性质决定的溶蚀程度差异，如吴家坪组（P_{2w}）含泥质较多，岩溶相对欠发育。

4 圆梁山隧道毛坝向斜段外水压力问题

4.1 承压水段外水压力折减系数的选取

深埋隧道和穿越承压水层隧道，岩溶水压是隧道设计应考虑的基本荷载之一。外水压力通常采用水位确定，但作用在隧道衬砌上的外水压力，受传递介质、衬砌外表面实际接触外水面积等因素的影响，水头有所损失。因此水头高度表征的压力实际打了折扣，需乘以一个折减系数（β）。

外水压力折减系数的选取，迄今研究甚少，目前多通过经验法确定。今后有待完善。现介绍几种经验确定值，供参考。

4.1.1 根据岩溶发育程度选取折减系数（β），见表 3。

4.1.2 大瑶山隧道例，见表 4。

含游离 CO₂（勘测资料表明承压水层深部游离 CO₂ 相对偏高，见表 2）的溶蚀作用；该脉冲运动可从孔隙、裂隙中吸出矿化水、原生沉积的结晶水等与地下水混合，形成一定的混合溶蚀作用。

（2）承压区的承压水，存在自流水溢出时，在水压的作用下，产生循环水流，形成在承压水层内的溶蚀作用。

4.2 圆梁山隧道承压水段外水压力的选取

4.2.1 承压水层的承压水头，见表 5。

表 3 岩溶发育程度——折减系数（β）

岩溶发育程度		透水性		折减系数 (β)
强度	类型	程度	K	
微弱岩溶	溶孔型	微弱透水	<0.01	<0.1
弱 岩 溶	溶隙型	弱透水	0.01~1	0.1~0.3
中等岩溶	隙洞—洞隙型	透 水	1~10	0.3~0.5
强 岩 溶	管道—强洞隙型	强透水	>10	0.5~1.0

表 4 大瑶山隧道实际折减系数（β）

水头水压(MPa)		隧道内 实测水压 (MPa)	折减系数 (β)	岩溶类型
水头高(m)	水头水压 (MPa)			
434	4.34	0.8	0.18	溶隙型 (10~40 cm)

表 5 毛坝向斜承压含水层水头值

钻 孔		1 [#]	2 [#]	3 [#]
项 目	P _{2w+c}	999.95	996.93	990.54
	P _{1q+m}	1043.61	1000.31	1004.61
隧道标高(m)		554.68		555.97
承压水标高 (m)	P _{2w+c}	445.27	442.25	434.57
	P _{1q+m}	448.93	445.6	448.6

4.2.2 外水压力折减系数的选取

(1)DK354+100~DK354+760 计长 660 m,隧道穿越的地层为吴家坪组(P_{2w}),该层含泥质较多,应属微弱透水层。根据表 3、表 6,折减系数可考虑取 0.1。

(2)DK353+280~DK354+100、DK354+760~

DK355+330 隧道围岩为 P_{1q} 、 P_{1m} 灰岩,其试验得渗透系数(K)最大值为 0.0443(表 6),在表 3 溶隙型顶中的渗透系数(K)接近偏低值,结合参考表 4,折减系数取 0.18~0.15。

4.2.3 外水压力的选取

表 6 毛坝向斜承压含水层 K 值表

地 层 、 厚 (m)		1 [#]		2 [#]		3 [#]		4 [#]	
		含水厚 (m)	<i>K</i> (m/d)	含水厚 (m)	<i>K</i> (m/d)	含水厚 (m)	<i>K</i> (m/d)	含水厚 (m)	<i>K</i> (m/d)
T _{1d}	343	16.44	0.0127	160.55	0.0247	110.88	0.0192		
P _{2c}	100	100	0.00123	100	0.0349	88.5	0.0274		
P _{2w}	121								
P _{1m}	249	263.7	0.00903	219.68	0.0443	49.16	0.0319		0.0058
P _{1q}	182							167.3	
备 注		1. P _{2w} 视为相对隔水层。 2. 1 [#] ~3 [#] 孔未钻透 P _{1m} , 更未达 P _{1q} 。4 [#] 仅钻透 P _{1q} 。							

隧道仅穿越 P_{1q+m} 和 P_{2w+c} 两承压含水层。而 T_{1d} 潜水层位于隧道顶,且有阻水层阻隔,对隧道影响相对较小,因此考虑外水压力时,应以 P_{1q+m} 、 P_{2w+c} 两层为主。

上述两层承压水中,2[#]、3[#] 孔位在毛坝向斜的核部所收集的水头高具代表性。基于此,结合考虑折减系数 β ,其外水压力:

(1) P_{1q+m} 含水层(DK353+280~DK354+100、DK354+760~DK355+330)的外水压力:

$P=P_1 \cdot \beta=4.49 \times 0.18=0.808$ (MPa) ①

(2) P_{2w} 含水层(DK354+100~DK354+760)的外水压力:

$P=P_1 \cdot \beta=4.43 \times 0.1=0.443$ (MPa)

综合上述值, P_{1q+m} 承压水层外水压力选取 1 (MPa), P_{2w} 承压水层外水压力选取 0.5 (MPa)。供参考。

5 圆梁山隧道毛坝向斜段涌水量预测问题

圆梁山隧道通过毛坝向斜时,主要穿越向斜深部的 P_{1q+m} 、 P_{2w+c} 两承压含水层。上部 T_{1d} 岩溶潜水层有阻水层与承压水层阻隔;承压水层之间也有阻水层分隔。因此它们是相对独立的。穿越独立的承压水层的隧道涌水量预测采用潜水型的一般方法难符实际,结合毛坝向斜的实际情况可试用如下方法预测。

5.1 方法导引

万方数据
承压水向隧道涌出时具有一定的速度和压力,即

相应的动能。该动能等于承压水的势能:

$$E_{\text{动}}=E_{\text{势}}$$
$$E_{\text{动}}=\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$
$$E_{\text{势}}=m \cdot g \cdot h$$
$$\text{即 } \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2=m \cdot g \cdot h$$
$$v=\sqrt{2\beta gh} \text{ (考虑折减系数时)}$$
$$v_1(\text{渗流速度})=v \cdot n$$
$$Q=v_1 \cdot \omega=v \cdot n \cdot \omega=\sqrt{2\beta gh} \cdot n \cdot \omega \quad \text{②}$$

式中: β ——水压折减系数;
 m ——水质量;
 g ——重力加速度(m/s^2);
 ω ——过水断面面积($L \cdot n \cdot b \cdot n$)(m^2);
 h ——承压水头(m);
 n ——溶隙度;
 L ——隧道轴长(m);
 b ——隧道周长(m)。

5.2 试算(预测)涌水量例

(1)根据不同地质情况分段,并分别选取有关参数。

(2)溶隙度(裂隙度)参照表 7 选取。

表 7 溶隙度(裂隙度)表

岩溶化程度	溶 隙 度
强岩溶化	0.15~0.05
岩溶化	0.05~0.01
软弱-弱岩溶化	0.01~0.005

(3)试算涌水量,见表 8。

表 8 毛坝隧道分段试算涌水量表

试 算 分 段	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
	DK353+270 ~670	DK353+670~ DK354+060	DK354+060 ~+760	DK354+760 ~+910	DK354+910~ DK355+320
L (隧道轴长)(m)	400	390	700	150	410
b (洞身周长)(m)	28	28	28	28	28
h (m)	449	449	442	449	449
β	0.12	0.18	0.1	0.15	0.12
n	0.0055	0.007	0.005	0.006	0.0055
$W=L \cdot n \cdot b \cdot n(m^2)$	0.3388	0.5821	0.4900	0.1512	0.3473
$Q=\sqrt{2\beta gh} \cdot n \cdot W$	5 285	14 154	6 293	2 877	5 418
$\sum Q(m^3/d)$	34 027				

隧道穿越的承压含水层相对独立、相对封闭、属同层补给且相对稳定,一般情况下,涌水量相对变化不大,受季节影响不致灵敏。

隧道穿越 P_{2w} 可视为相对阻水层,涌水量较少; P_{1q} 分布于山地和陡坡,表水渗入甚少,岩溶发育微弱,富水性差,涌水量居中; P_{1m} 存在古风化壳、顺层断层等,岩溶相对较发育,是隧道主要涌水地段。

6 几个值得思考的岩溶水文地质问题

圆梁山隧道毛坝向斜段因其复杂,拟开展超前预报和动态设计施工。在万千变化的地质条件下,为取得更好效果,提醒几个值得思考的问题,供参考。

(1)根据隧道所处毛坝向斜的特殊构造位置,分析该处毛坝向斜褶曲变形特征所反映的应力状态(不均匀的近东西向挤压及派生的平面弧形外曲凸突、空间轴面扭动的受力状态),总结结构面的成生序次和等级以及它们的分布、组合特征;它们对岩溶地下水、岩体稳定的控制作用……,思构超前预报的构造控制模式。

(2)毛坝向斜的岩溶水富水类型有潜水型、承压水型。它们各具特征、各具独立性。隧道主要穿越承压水层,主要受承压水层的影响。因此,在分析毛坝向斜的的含水层结构特征的同时,有必要研究毛坝向斜自流盆地特征(储水构造特征、独立的水动力特征)、及其外水压力、岩溶发育、隧道涌水等的制约作用,建立岩溶

水文地质的预报模式。

(3)充分利用超前导坑以及各种超前预报的空间、手段等收集实际水压、岩溶度(岩溶率)等,及时修正有关参数,以②式预测为主,结合考虑其它影响因素,进行综合涌水量预报。

(4)承压含水层和潜水含水层存在微弱的联系,随着平导和正洞的封堵前的排水,这种联系可能增强,应密切注意地表相关泉水、暗河水量的变化(特别是自流型泉、暗河的变化)(建立长期监测网点),分析其变化特点、路径、趋势;及时进行动态评价和预测。

(5)隧道位于向斜承压水层的最大承压区,左右侧都是高水压的丰水区(图 3)。右侧平导(距正洞 30 m,与正洞等标高)能否降低正洞水位? 能否降低正洞水压?应注意观察。如果平导难以疏降正洞的水量、水位,降低正洞的水压,影响“以堵为主”原则的实施,未能降低施工难度,应做好预报和充分的应急补救措施。

参考文献

[1] 铁二院. 圆梁山深埋特长隧道工程地质勘测报告[R].
[2] 邹成杰. 水利水电岩溶工程地质[M].
[3] 任美镔,刘振中. 岩溶学概论[M].
[4] 四川省地质局 107 地质队. 区域地质测量报告[R]. (西阳幅 1/20 万).

(上接第 46 页)

DENG Yi-ming

The Fourth Survey & Design Institute of China Railway

Abstract: The Yuanliangshan Tunnel is the key works for the whole Yu-Huai Railway. The complex karst hydrogeology of the Maoba Synclinal Structure controls the degree of difficulty for the tunnel design and construction. Through analysing the key to the difficult problems about the Tunnel's data, the author put forward some humble opinions for reference.

Key words: features of Maoba Synclinal Structure; difficult problems of karst hydrogeology; humble opinions

圆梁山隧道毛坝向斜有关岩溶水文地质问题的浅见

作者: [邓谊明](#)
作者单位: [铁道部第四勘测设计院, 总工办, 武汉, 430063](#)
刊名: [铁道工程学报](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [JOURNAL OF THE RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2002 (1)
被引用次数: 6次

参考文献(4条)

1. 铁二院 [圆梁山深埋特长隧道工程地质勘测报告](#)
2. 邹成杰 [水利水电岩溶工程地质](#)
3. 任美镔;刘振中 [岩溶学概论](#)
4. 四川省地质局107地质队 [区域地质测量报告](#)

引证文献(6条)

1. 王勐, 许兆义, 王连俊, 白明洲 [铁路深埋隧道区岩溶发育特征研究](#)[期刊论文]-[工程地质学报](#) 2004 (3)
2. 吴明生, 刘会, 刘保伟, 张金梅 [隧顶溶洞下隧道围岩稳定性数值模拟](#)[期刊论文]-[交通科技与经济](#) 2012 (3)
3. 陈林杰, 蒋树屏 [限量排放下富水隧道衬砌外水压力计算探讨](#)[期刊论文]-[公路交通技术](#) 2006 (2)
4. 蒋忠信 [深埋岩溶隧道水压力的预测与防治](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2005 (6)
5. 蒋忠信 [隧道工程与水环境的相互作用](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2005 (1)
6. 高新强 [高水压山岭隧道衬砌水压力分布规律研究](#)[学位论文]博士 2005

引用本文格式: [邓谊明](#) [圆梁山隧道毛坝向斜有关岩溶水文地质问题的浅见](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2002 (1)