



根据隧道钻孔中所取水样水质分析,隧址区地下水 pH 值为 8.0,  $\text{Cl}^-$  含量为 5.9 mg/L,  $\text{SO}_4^{2-}$  含量为 72.84 mg/L,  $\text{HCO}_3^-$  含量 261.37 mg/L,  $\text{Mg}^{2+}$  含量 24.45 mg/L, 总矿化度 446.26 mg/L, 水化学类型为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca}$ , 对混凝土无腐蚀性, 对钢筋具弱腐蚀性。

### 1.3 地层岩性

根据工程物探、钻探和地质测绘,隧址区第四系厚度较薄,分布范围较小,以粉质粘土混碎石为主。隧址区大面积裸漏基岩,岩性主要为志留纪斑鸠关组片岩、寒武-奥陶纪碳硅质板岩、片岩、千枚岩等,以软岩和较软岩为主。

### 1.4 地质构造与地震

根据调绘和区域资料,结合工程物探,隧址区内未见大的断裂,存在一些小的破碎带,对隧道围岩分级、支护与衬砌方式、隧道涌水量等均有一定的影响。隧道进口附近存在破碎带,裂隙较发育,岩体破碎,出露的岩层产状为  $15^\circ \angle 62^\circ$ , 主要发育有 2 组节理:  $125^\circ \angle 48^\circ$ ,  $273^\circ \angle 73^\circ$ ; 隧道出口出露的岩层产状为  $21^\circ \angle 40^\circ$ , 主要发育有 3 组节理:  $133^\circ \angle 38^\circ$ ,  $225^\circ \angle 34^\circ$ ,  $290^\circ \angle 83^\circ$ 。节理局部贯通性较好,裂隙为石英脉、泥质等充填。

根据 1:400 万《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001)和《国家高速公路十堰至天水联络线陕西境鄂陕界至安康公路工程场地地震安全性评价工作报告》,勘探区地震动峰值加速度为 0.10 g,地震动反应谱特征周期为 0.25 s,对应的地震基本烈度为 7 度。

## 2 隧址区工程地质特征

### 2.1 土体工程地质特征

根据调绘,隧址区零星分布第四系,厚度小。结构较松散,强度较低,抗冲刷能力较弱,作为隧道洞口仰坡土体,易产生冲刷变形破坏。在雨水浸润、冲刷作用下、开挖受到扰动后易失稳,承载力基本容许值一般小于 150 kPa。

### 2.2 岩体工程地质特征

#### 2.2.1 志留纪斑鸠关组

强风化千枚岩:黄灰色,鳞片变晶结构,片状构造,岩石多呈碎块状混粘土状,易碎,裂隙发育。承

载力基本容许值 400 ~ 450 kPa,摩阻力标准值 100 ~ 140 kPa。

中风化千枚岩:黄灰—深灰色,鳞片变晶结构,片状构造,岩心多呈碎块状,柱状,裂隙发育,易碎。承载力基本容许值 800 kPa,摩阻力标准值 190 kPa。

微风化千枚岩:黄灰—深灰色,鳞片变晶结构,片状构造,岩心多呈碎块状,柱状,裂隙发育。承载力基本容许值 1 000 ~ 1 200 kPa,摩阻力标准值 220 kPa。

全风化片岩:浅—深灰色,鳞片变晶结构,片状构造,岩体多呈碎片状混粘土状,易碎,局部含石英岩脉,呈散体状。承载力基本容许值 260 kPa,摩阻力标准值 70 kPa。

强风化片岩:浅—深灰色,鳞片变晶结构,片状构造,岩体多呈碎块状混粘土状,易碎,裂隙发育。承载力基本容许值 400 ~ 450 kPa,摩阻力标准值 100 ~ 140 kPa。

中风化片岩:浅—深灰色,鳞片变晶结构,片状构造,岩心多呈碎块状,中长柱状,裂隙发育,易碎,局部含石英岩脉。承载力基本容许值 800 kPa,摩阻力标准值 190 ~ 200 kPa。

微风化片岩:浅—深灰色,鳞片变晶结构,片状构造,岩心多呈碎块状,长柱状,裂隙发育。承载力基本容许值 1 000 ~ 1 200 kPa,摩阻力标准值 200 ~ 220 kPa。

#### 2.2.2 寒武-奥陶系

全风化片岩:褐灰色,鳞片变晶结构,片状构造,岩体多呈碎片状混粘土状,易碎,局部含石英岩脉,呈散体状。承载力基本容许值 260 kPa,摩阻力标准值 60 kPa。

强风化片岩:浅—深灰色,鳞片变晶结构,片状构造,岩体多呈碎块状混粘土状,易碎,局部含石英岩脉,裂隙发育。承载力基本容许值 400 ~ 450 kPa,摩阻力标准值 100 ~ 140 kPa。

中风化片岩:浅—深灰色,鳞片变晶结构,片状构造,岩心多呈碎块状、中长柱状,裂隙发育,易碎,局部含石英岩脉。承载力基本容许值 800 kPa,摩阻力标准值 190 kPa。

微风化片岩:浅—深灰色,鳞片变晶结构,片状构造,岩心多呈碎块状、长柱状,裂隙发育,局部含石英岩脉。承载力基本容许值 1 000 ~ 1 200 kPa,摩阻力标准值 200 ~ 220 kPa。

### 2.3 隧道围岩物理力学指标

根据隧道围岩结构特征,隧道各级围岩物理力学指标见表1<sup>[2]</sup>。

表1 磨河村隧道主要设计参数建议值

围岩级别	围岩名称	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$R_c$ (MPa)	$K$ (MPa/m)	$E$ (GPa)	$\mu$	$\varphi$ (°)	$C$ (MPa)	$\Phi_c$ (°)
Ⅲ	微风化片岩	23	50	600	9	0.27	42	0.9	64
Ⅳ	微风化千枚岩、片岩	21	28	280	4.0	0.30	32	0.5	55
	强风化千枚岩、片岩								
Ⅴ	中风化千枚岩、片岩	20	8	180	1.8	0.40	24	0.12	42
	微风化千枚岩、片岩		16						

注:表中 $\gamma, K, E, \mu, \varphi, C$ 及 $\Phi_c$ 等数据参照试验值及查《公路隧道设计规范》(JTGD70-2004)附录A表A.0.4.1所得的经验值,取相对较安全值;表中 $R_c$ 值根据室内试验统计结果结合野外现场实际情况综合确定。

### 3 隧道稳定性评价

隧道区岩性以千枚岩和片岩为主,属软岩和较软岩,在地质测绘基础上根据赤平极射投影图对其稳定性进行分析评价<sup>[2]</sup>。

#### 3.1 隧道进口稳定性评价

拟建磨河村隧道进口段左线隧道轴线方向约73°,洞口自然坡度约35°,坡向约90°,隧道左线轴线与地形等高线小角度斜交,岩层产状15°∠62°;右线隧道轴线方向约73°,洞口自然坡度约40°,坡向约90°,隧道右线轴线与地形等高线小角度斜交,岩层产状15°∠62°。发育两组裂隙,273°∠73°,125°∠48°,洞口主要地层主要为全一微风化片岩,发育破碎带,岩体松散破碎,风化强烈。

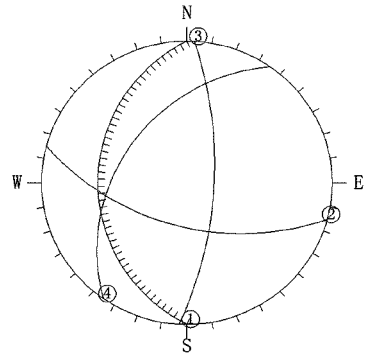
隧道左线:洞口仰坡坡面倾向与岩层倾向基本呈垂直相交,岩层倾角大于坡角,边坡较稳定,与两组结构面倾向相反,结构面形成的楔形体倾角大于45°,属于较稳定结构边坡。总体上隧道左线边坡属于较稳定边坡。

隧道右线:洞口仰坡坡面倾向与岩层倾向基本呈垂直相交,岩层倾角大于坡角,边坡较稳定,与2组结构面倾向相反,结构面形成的楔形体倾角大于45°,属于较稳定结构边坡。总体上隧道右线边坡属于较稳定边坡。

仰坡及两侧边坡坡体全、强风化岩厚度较大,多呈散体结构或较破碎,自稳能力差;边坡及仰坡开挖时,在无坡面防护或无超前支护措施、不恰当的爆破施工、坡比较陡、地表水冲刷等情况下,边坡岩土体易产生大面积坍塌、碎落。

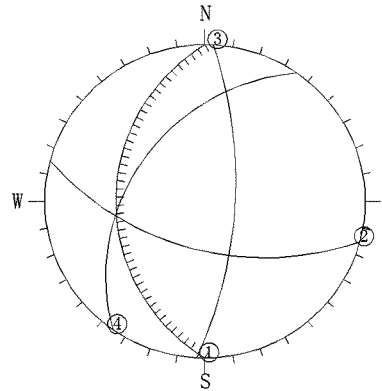
隧道进口端洞口边坡坡面与结构面组合关系分

析见图2、图3。



①坡度:90°∠35°;②地层产状:15°∠62°;  
③裂隙1:273°∠73°;④裂隙2:125°∠48°

图2 进口左线洞口坡面与结构面关系赤平投影图



①坡度:90°∠40°;②地层产状:15°∠62°;  
③裂隙1:273°∠73°;④裂隙2:125°∠48°

图3 进口右线洞口坡面与结构面关系赤平投影图

#### 3.2 隧道出口稳定性评价

拟建隧道出口端洞口段左线隧道轴线方向约73°,洞口自然坡度约30°,坡向约210°,隧道轴线与地形等高线近小角度斜交,岩层产状21°∠40°;右线隧道轴线方向约73°,洞口自然坡度约30°,坡向约220°,隧道轴线与地形等高线小角度斜交,岩层产状21°∠40°。上部地层主要为全一中风化片岩,多呈散体状,受断裂带影响,节理裂隙发育,岩体极破碎,主要发育有3组节理:133°∠38°,225°∠34°,290°∠83°。

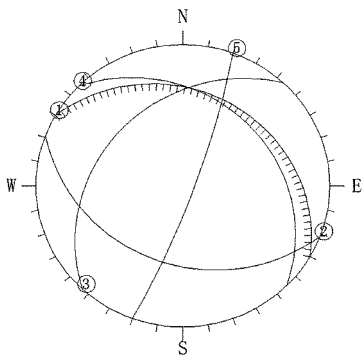
隧道左线:洞口仰坡坡面倾向与岩层倾向相向,呈小角度相交,仰坡属于较稳定结构边坡;与3组节理结构面同向,结构面形成的楔形体倾角小于45°,属于较不稳定结构边坡。总体上隧道左线边坡属于较不稳定边坡。

隧道右线:洞口仰坡坡面倾向与岩层倾向相向,

呈小角度相交,仰坡属于较稳定结构边坡;与3组节理结构面同向,结构面形成的楔形体倾角小于 $45^\circ$ ,属于较不稳定结构边坡。总体上隧道右线边坡属于较不稳定边坡。

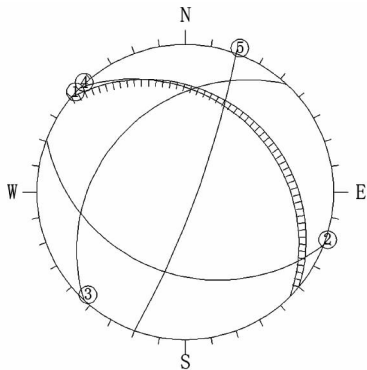
仰坡及两侧边坡坡体全一强风化岩,多呈散体结构或较破碎,自稳能力较差;下部地层中风化片岩,受断裂带影响,节理裂隙发育,岩体较破碎,自稳能力差;边坡及仰坡开挖时,在无坡面防护或无超前支护措施、不恰当的爆破施工、坡比较陡、地表水冲刷等情况下,边坡岩土体易产生坍塌、碎落。

隧道洞口仰坡、边坡坡面与结构面组合关系分析见图4、图5。



①坡度:  $210^\circ / 30^\circ$ ; ②地层产状:  $21^\circ / 40^\circ$ ; ③裂隙 1:  $133^\circ / 38^\circ$ ; ④裂隙 2:  $225^\circ / 34^\circ$ ; ⑤裂隙 3:  $290^\circ / 83^\circ$

图4 出口左线坡面与结构面关系赤平投影图



①坡度:  $210^\circ / 30^\circ$ ; ②地层产状:  $21^\circ / 40^\circ$ ; ③裂隙 1:  $133^\circ / 38^\circ$ ; ④裂隙 2:  $225^\circ / 34^\circ$ ; ⑤裂隙 3:  $290^\circ / 83^\circ$

图5 出口右线坡面与结构面关系赤平投影图

### 3.3 隧道洞身稳定性评价

#### 3.3.1 隧道左线洞身

ZK95 + 412 ~ ZK96 + 700, ZK98 + 540 ~ ZK98 + 780 和 ZK98 + 980 ~ ZK99 + 321 段为Ⅴ级围岩,隧道埋深约 0 ~ 373 m,该段为Ⅴ级围岩,岩性主要为

全一微风化片岩、千枚岩为主,发育断裂破碎带,风化强烈,岩体极易破碎,隧道开挖后围岩自稳能力较差,顶部无支护时易产生大面积坍塌,侧壁易失稳。集中降水状态下洞室呈点滴状出水。

ZK96 + 700 ~ ZK96 + 980, ZK98 + 470 ~ ZK98 + 540 和 ZK98 + 780 ~ ZK98 + 980 段为Ⅳ级围岩,隧道埋深 87 ~ 202 m,岩性主要为微风化片岩,局部微风化千枚岩,节理裂隙发育,临近破碎带,岩体较破碎。隧道开挖后顶部及侧壁围岩自稳能力较差,无支护时局部可能产生较大面积坍塌,侧壁易产生掉块或失稳现象。洞室呈潮湿或点滴状出水。

ZK96 + 980 ~ ZK98 + 470 段为Ⅲ级围岩,隧道埋深 150 ~ 484 m,岩性主要为微—未风化片岩,节理裂隙稍发育,岩体稍破碎。隧道开挖后顶部及侧壁围岩自稳能力较差,无支护时局部可能产生较小面积坍塌,侧壁易产生掉块现象。洞室呈潮湿或点滴状出水。

#### 3.3.2 隧道右线洞身

K95 + 382 ~ K96 + 800, K98 + 530 ~ K98 + 790 和 ZK98 + 980 ~ ZK99 + 360 段为Ⅴ级围岩,隧道埋深 0 ~ 370 m,岩性主要为全一微风化片岩、千枚岩为主,发育断裂破碎带,风化强烈,岩体极破碎,隧道开挖后围岩自稳能力较差,顶部无支护时易产生大面积坍塌,侧壁易失稳。集中降水状态下洞室呈点滴状出水。

K96 + 800 ~ K96 + 920, K98 + 460 ~ K98 + 530 和 K98 + 790 ~ K98 + 980 段为Ⅳ级围岩,隧道埋深 73 ~ 182 m,岩性主要为微风化片岩,局部微风化千枚岩,节理裂隙发育,临近破碎带,岩体较破碎。隧道开挖后顶部及侧壁围岩自稳能力较差,无支护时局部可能产生较大面积坍塌,侧壁易产生掉块或失稳现象。洞室呈潮湿或点滴状出水。

K96 + 920 ~ K98 + 460 段为Ⅲ级围岩,隧道埋深 102 ~ 453 m,岩性主要为微—未风化片岩,节理裂隙稍发育,岩体稍破碎。隧道开挖后顶部及侧壁围岩自稳能力较差,无支护时局部可能产生较小面积坍塌,侧壁易产生掉块现象。洞室呈潮湿或点滴状出水。

## 4 隧道涌水量预测

隧址区位于陕西安康境内,年降水量较大,该隧道属长隧道,汇水面积大,基岩裂隙较发育,隧道涌

水量预测准确与否对隧道的施工和安全运行都非常重要。根据《铁路工程水文地质勘察规程》(TB10049-2004)对隧址区的正常涌水量和最大涌水量进行了估算<sup>[3]</sup>。

#### 4.1 正常涌水量

(1)根据降水入渗法预测隧道正常涌水量

$$Q = 2.74 \cdot \alpha \cdot W \cdot A$$

$$A = L \cdot B$$

式中:  $Q$  为隧道通过含水地段段的正常涌水量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ );  $\alpha$  为降水入渗系数, 根据该区情况, 取  $\alpha = 0.18$ ;  $W$  为年降水量, 根据勘察区情况, 取  $1\ 100\ \text{mm}$ ;  $A$  为隧道通过含水地段段的集水面积 ( $\text{km}^2$ );  $L$  为隧道通过含水地段段的长度 ( $\text{km}$ ), 左线  $3.909$ , 右线  $3.978$ ;  $B$  为隧道涌水地段  $L$  长度内对两侧的影响宽度 ( $\text{km}$ ), 左线取  $2.7$ , 右线取  $2.7$ 。

该隧道预测正常涌水量左线涌水量  $5\ 725.919\ \text{m}^3/\text{d}$ ; 右线涌水量  $5\ 826.990\ \text{m}^3/\text{d}$ 。

(2)根据裘布依理论式预测隧道正常涌水量

$$Q_s = L \cdot K \frac{H^2 - h^2}{R_y - r}$$

式中:  $Q_s$  为隧道正常涌水量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ );  $K$  为含水层渗透系数 ( $\text{m}/\text{d}$ ), 参照  $K$  线庙沟隧道注水试验取  $0.015\ 206\ \text{m}/\text{d}$ ;  $H$  为洞底以上潜水含水层厚度 ( $\text{m}$ ), 左线  $180.0\ \text{m}$ , 右线  $175.0\ \text{m}$ ;  $h$  为洞内排水沟假设水深 ( $\text{m}$ ), 取  $0.3\ \text{m}$ ;  $R_y$  为隧道涌水地段的引用补给半径 ( $\text{m}$ ), 左线  $288\ \text{m}$ , 右线  $280\ \text{m}$ ;  $L$  为隧道通过含水体的长度 ( $\text{m}$ ), 左线  $3\ 909\ \text{m}$ , 右线  $3\ 978\ \text{m}$ ;  $r$  为洞身横断面等价圆半径, 取  $5.125\ \text{m}$ 。

该隧道预测正常涌水量左线  $Q_s = 6\ 808.341\ \text{m}^3/\text{d}$ , 右线  $Q_s = 6\ 739.548\ \text{m}^3/\text{d}$ 。

#### 4.2 最大涌水量

根据古德曼经验式预测隧道最大涌水量:

$$Q_0 = L \frac{2\pi \cdot K \cdot H}{\ln \frac{4H}{d}}$$

式中:  $Q_0$  为隧道最大涌水量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ );  $K$  为含水层渗透系数 ( $\text{m}/\text{d}$ ), 参照  $K$  线庙沟隧道注水试验取  $0.015\ 206\ 4\ \text{m}/\text{d}$ ;  $H$  为静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离 ( $\text{m}$ ), 左线  $180.0\ \text{m}$ , 右线  $175.0\ \text{m}$ ;  $d$  为洞身横断面等价圆直径 ( $\text{m}$ ), 取  $10.25\ \text{m}$ ;  $L$  为隧道通过含水体的长度 ( $\text{m}$ ), 左线  $3\ 909\ \text{m}$ , 右线  $3\ 978\ \text{m}$ 。该隧道预测最大涌水量左线  $Q_0 =$

$15\ 810.802\ \text{m}^3/\text{d}$ , 右线  $Q_0 = 15\ 747.278\ \text{m}^3/\text{d}$ 。

## 5 隧道施工对环境影响评价

该隧道施工对环境的影响主要有3个方面: 洞口削坡可能对环境的破坏; 隧道弃渣堆放不当可能产生人为泥石流、滑坡等灾害; 隧道成洞后可能导致山体地下水平衡条件破坏, 影响地下水的补给、径流和排泄。

洞口削坡对环境的影响: 隧道两端洞口山体主要为全风化、强风化片岩和千枚岩, 第四系覆盖层厚度小, 岩体节理裂隙发育, 破碎。根据洞口位置、削坡高度及边坡地层岩性等判断, 洞口削坡不会导致大规模崩塌和滑坡, 边坡开挖后防护措施较容易实施, 洞口削坡对周围环境影响较小。

隧道施工弃渣堆放对环境的影响: 在隧道施工开挖过程中产生的岩石和弃渣除部分可以用于本公路工程建设外, 其余部分抛弃, 因此弃渣对环境会造成一定的影响。另外必须注意的是隧道弃渣不能堆放在冲沟内, 以免人为的造成泥石流等地质灾害。

隧道成洞后造成的山体地下水平衡条件破坏对环境的影响: 强风化和中风化千枚岩含裂隙水, 隧道开挖后的地下水将被疏排至地表, 而对山体地下水的平衡条件存在一定的影响。

## 6 结语

隧道位于中低山区, 地形地貌较复杂, 周边未见大的的断裂, 但隧道围岩岩性主要为片岩和千枚岩, 属软岩和较软岩, 风化层厚度较大, 遇水具弱膨胀性, 裂隙和破碎带较发育, 围岩等级主要属 III ~ V 级<sup>[4]</sup>, V 级围岩隧道长度达 50% 左右, 建议对隧道区的 V 级围岩, 采用台阶法开挖, 辅以管棚超前支护或小导管超前支护, 对 IV 和 III 级围岩采用台阶法开挖, 新奥法施工。隧洞开挖产生的岩石和弃渣应尽量用于本公路建设, 多余部分应作妥善处理, 以免人为造成泥石流等不良地质灾害。

考虑隧道洞身涌水量较大, 建议对隧道洞身采取相应的防水及排水措施, 尽量避免雨季施工, 并进行超前地质预报, 并设置异常情况处理预案。

## 参考文献:

[1] 时彦芳. 综合物探方法在马石店隧道勘察中的应用[J]. 山东

国土资源,2010,26(8):22-23.

的应用[J].北方交通,2008,(12):65-66.

[2] 李竖炜,金丽芳,郝勇.隧道围岩分级方法综合应用[J].山西建筑,2009,35(1):318-319.

[4] 刘伟,张旭,代伟.云桂线富宁隧道水文地质条件分析及涌水量预测[J].工程地质学报,2012,(20):330-332.

[3] 高俊义,刘建磊.赤平极射投影在隧道洞口边坡稳定性分析中

## Analysis on Geological Conditions of Tunnel Engineering in Mohe Village of Shiyán – Tianshui Expressway

WANG Tao, ZHANG Hailin

(Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China)

**Abstract:** Through survey on geological characteristics, such as topography, lithology, geological structures and rock and soil engineer, combining with engineering geophysical, geological drilling, rock mechanics test of physical and geological mapping and other survey results, stability of tunnel body and rocks in the entrance of the tunnel and surrounding rocks has been analyzed. Engineering geological problems which will be met in tunnel construction process have been pointed out, and some countermeasures are put forward, such as geological predication, support, preventing geological disasters and protecting the ecological environment.

**Key words:** Tunnel; inflow; surrounding rock stability