

隧道工程地质评价的内容和方法

陈新建, 孙琳, 李新星, 孙巧银

(长安大学地质工程与测绘工程学院, 陕西西安710054)

[摘要] 结合工程隧道实际, 首先阐述了隧道工程的基本地质环境和工程地质条件, 然后针对隧道工程可能出现的不良地质现象和可采取的工程措施, 从大气降水、围岩稳定、围岩压力、洞口稳定、隧道比选等角度探讨隧道工程地质评价的主要方法和一般内容, 进行隧道工程地质评价, 为隧道施工、支护提供了依据。

[关键词] 隧道工程; 工程地质条件; 工程地质评价; 围岩压力; 隧道稳定性

[中图分类号] P642 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)01-0041-05

[作者简介] 陈新建(1971—), 男, 湖北武汉人, 讲师, 硕士研究生, 现从事地质工程教学和科研工作。

隧道通常指用作地下通道的工程建筑物, 主要有道路隧道、水底隧道、城市道路隧道、地下铁道、铁路隧道和水利隧道等, 总体上可分为土质隧道和岩质隧道。近年来, 国内外出现了许多偏压隧道、长大隧道和大跨度隧道, 因而其修建技术研究受到了广泛重视并取得了一些成果^[1~4], 相比之下, 对隧道所处的工程地质条件和环境反而被忽视。事实上, 工程岩土体不仅是隧道勘测目的, 也是隧道设计的依据、施工的对象, 始终贯穿工程全过程。因此, 工程地质评价一方面是隧道设计与施工的基础, 另一方面也为隧道设计提供反馈信息, 为施工提供指导(如超前预报等)。隧道工程是目前科技发展两大领域之一即地下空间的重要内容, 笔者以秦岭某公路隧道为例, 探讨岩质隧道工程地质评价的主要内容和一般方法, 并藉此引起对隧道工程地质的重视。

1 基本地质环境

基本地质环境是指隧道范围内的工程岩土体与周围(尤其是与隧道轴线两侧各约500~2000 m范围内)地质体的关系, 主要包括自然地理环境、场地和生态环境、区域地质构造及施工环境等, 反映了隧道与交通、气候、地形、地质等基本因素之间的

关系, 它预示了隧道可能存在的工程地质条件, 在很大程度上决定着隧道定线及洞口位置选择, 同时也是工程地质评价的基础。地质环境的好坏直接影响隧道的长度、隧道高程的选择、施工的难易、工期的长短、运营的安全和经济效益。

该隧道位于秦岭腹地, 海拔1400~2180 m, 属中高山地貌, 山岭谷坡25°~55°。隧道设计为双洞, 洞室净宽10.5 m, 高7.85 m, 呈板栗圆形, 全长4930 m, 属特长隧道。隧道所在地区属大陆性季风气候, 雨雪多、云雾多, 湿度大、日照短, 冰期最大冻结深度0.13 m。隧道介于两大断裂之间, 区域构造上属秦岭褶皱系南秦岭印支褶皱带中一复向斜的南翼, NW、NE向次级断裂发育; 地质历史上一直受到近SN向的挤压。地震活动性较弱, 基本烈度VI度, 地震加速度 $(0.10 \sim 0.15) \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$ 。

2 工程地质条件

工程地质条件是指直接或间接影响隧道规划、设计、施工和正常运用等工程活动的地质因素, 是工程地质评价的直接依据, 主要包括岩土性质、地质构造、水文条件和不良地质现象。其影响方式有: 以一定作用影响隧道的稳定, 以一定作用影响隧道运营安全, 由于不良地质而提高隧道造价^[5~9]。

2.1 地层岩性

出露地层属中泥盆统池沟组和中、上泥盆统青

石垭组, 沉积环境为浅海—陆源相。岩性以变质砂岩、粉砂岩、板岩、片岩及大理岩为主, 岩层一般走向东西, 倾向北, 倾角 $40^{\circ} \sim 80^{\circ}$; 沿断层破裂带充填有石英岩脉、闪长岩脉及辉长岩脉; 地表则主要是以粉质粘土及碎石土为主要成分的第四系冲洪积物。隧道穿越的岩层有变质砂岩层、粉砂岩层、片岩层、大理岩层及碎石土层。

2.2 地质构造

小褶皱, 大量发育, 褶皱轴部向西倾伏, 两翼倾角 $75^{\circ} \sim 82^{\circ}$, 受区域构造挤压作用, 呈韧性变形、后期剪切特征, 对隧道安全稳定影响不大。

断层, 以 NE、NW 为主, 共计有 22 条, 其中 14 条与隧道轴线相交并且基本与隧道轴线呈高角度斜交 (隧道总体方位为 SW215°), 产状 $90^{\circ} \sim 140^{\circ} / 180^{\circ} \sim 230^{\circ}$, 倾角 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$, 延伸几十米至几百米; 断层破碎带宽度小的几十厘米, 大的十几米, 以碎裂岩和角砾岩为主, 夹有断层泥。其影响以横切变形为主, 隧道轴部断层切割较深断层可能产生崩塌, 切河断层中还包含有导水断裂, 有可能产生突水。

节理, 以剪性节理为主, 平直光滑闭合无充填, 走向以北向为主, 延伸几厘米到几米, 一般为断层的二级构造。

2.3 水文条件

地下水主要为松散岩类孔隙水、大理岩裂隙岩溶水和风化、基岩裂隙水 3 种均存在, 其中以裂隙水水量最多, 但总水量较少且表现随季节差异很大, 受地形和裂隙构造影响分布极不均匀, 以大气降水入渗补给为主, 属淡水类型。

2.4 不良地质现象

发育有崩塌、岩溶、泥石流、岩体风化等不良地质现象, 不同程度地影响了隧道的安全, 尤其是在隧道进出口, 崩塌对洞口的稳定性有相当的影响。在埋深超过 200 m 隧道有可能产生岩爆, 在断层带较宽的地段还有可能产生突水。

3 隧道工程地质评价的内容和方法

3.1 大气降水天然补给量及涌水量评价

3.1.1 地下水天然补给量的评价

地下水是隧道涌水的主要来源之一, 尤其是施工期间大面积的集中大气降水可导致突水。一般评价大气降水天然补给量有两种方法:

(1) 降水渗入系数法。地下水天然补给量

$$Q = \alpha \cdot F \cdot X,$$

式中: Q 为地下水天然补给量 (m^3/a); α 为降水入渗系数, 一般可据区域水文资料获取; F 为计算段径流面积; X 为降水量, 可据气象资料获得。

一般由于大气降水的季节不均匀性造成补给量的季节不均匀性, 5~7 月的补给量最大, 12~2 月的补给量最小。

隧道参数取 $\alpha=0.02$; $F=7.09 \times 10^6 \text{ m}^2$; 多年平均降水量取 $X=1.092 \text{ m}$, 丰年最大降水量 $X=1.480 \text{ m}$; 则地下水天然补给量 $Q_{\text{均}}=1.549 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, $Q_{\text{丰}}=2.099 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

(2) 地下水径流模数法。地下水天然补给量

$$Q = 3.1536 \cdot F \cdot M,$$

式中: Q 为地下水天然补给量 (m^3/a); M 为地下水径流模数, $M=Q_c/F_c$, Q_c 为实测沟谷枯水期径流量, F_c 为径流补给面积, 可实测也可以地图上量取; F 为计算段径流面积。

隧道参数取 $Q_c=3.3062 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$; $F_c=4.329 \times 10^6 \text{ m}^2$; $M=8.198 \times 10^{-10} \text{ m/s}$; $F=7.09 \times 10^6 \text{ m}^2$; 则地下水天然补给量 $Q=3.1536 \cdot F \cdot M=1.8330 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

3.1.2 涌水量的评价

涌水是指在隧道已挖或在挖地段出现的地下水大量流出直接影响继续施工的现象, 严重时可导致岩体崩溃、泥沙埋没隧道、泥石流、地面陷穴裂缝等工程危害。涌水主要受构造发育程度及延伸方向控制, 构造发育地段是可能涌水的主要地段。涌水的来源主要有静储量的释放、沟水透过断层侧向激发补给、大气降水入渗补给。而涌水的主要原因有: ①断层与隧道近似直交, 破碎带宽度大而引起的地下水静储量; ②隧道与河流同时被断层切割造成沟水侧向激发补给。其评价方法一般有 4 种^[7]:

(1) 类比外推法, 是一种近似预测, 前提条件是水文地质条件相似。

(2) 解析法, 根据地下水动力学原理, 用数学分析方法对特定模式的地下水运动建立解析式, 求得解析解; 主要有以裘布依为代表的稳定流公式和以泰勒为代表的非稳定流公式。

(3) 数值法, 以有限单元法、边界单元法为代表的数值近似计算方法, 试算法^[8]。

(4) 水均衡法, 据地下水的补给、径流、排泄动态平衡近似计算方法, 笔者用此法预测洞室涌水量

$$Q_{\text{总}} = Q_{\text{w}} + Q_{\text{p}},$$

式中: Q_w 为地下水达到新的平衡后排出大气降水的稳定流量, 即侧向径流, 可由隧道两侧稳定流量求得, $Q_w = 1.926 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$; Q_j 为打破后平衡, 过渡到新的平衡系统过程中排除的静储量, 即疏干量, 可由影响带宽度内漏斗排出水量来求得, $Q_j = 2.558 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

由此 $Q_{\text{总}} = Q_w + Q_j = 2.751 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$, 则平均每天涌水量 $q = Q_{\text{总}}/L = 590.40 \text{ m}^3/\text{a}$ (L 为隧道疏干段长度, 取 4 650 m)。

3.2 围岩类别划分及稳定性评价

3.2.1 围岩分类

分类是以稳定性为基础的, 即将影响稳定的因素按其影响程度分别归类, 而围岩分类的因素十分复杂, 涉及地质因素和人为因素, 主要包括岩石物理力学性质、岩体完整性、结构面、初始应力、地下水、施工及支护等。

围岩遇地下水时调整原则是: IV、V 类硬质岩石中可不考虑地下水的影响, 软质岩中可视具体情况降低 1 级; II、III 类围岩呈松散状、碎石状结构, 裂隙中充填粘性土, 可视具体情况降低 1~2 级; 而 I 类围岩分类已考虑了一般含水地质情况的影响, 可不考虑地下水的影响。

依据上述因素, 结合岩石质量指标 RQD 、波速 V_p 、岩体完整性系数 I 等指标, 将隧道围岩划分为 5 类(表 1)。

围岩分类划分标准主要有: 工程岩体分级标准(GB50218-94); 公路隧道围岩分类; 铁路隧道围岩分类; 普氏围岩分类法; 太沙基围岩分类法, 地下工程支护结构中还有一些其他的分类方法^[9]。

3.2.2 隧道围岩稳定性评价

稳定性评价以围岩类别为基础, 按类别分别评价, 不同类别其围岩的稳定性是不同的, 稳定性评价结果见表 1。

3.3 洞室围岩压力计算

围岩压力是指引起地下开挖空间周围岩体和支护变形、破坏的作用力, 包括由地应力引起的围岩应力和围岩变形受阻而作用在支护结构上的总作用力, 可分为松动压力、变形压力、冲击压力和膨胀压力 4 类, 涉及弹性、塑性和蠕变; 按其方向又可分为垂直压力、侧压力和底压力。围岩压力在工程地质评价中只作合力计算(其值往往作为设计荷载), 确定方法有现场量测、工程类比、理论计算 3 种, 其中理论计算方法主要有 5 种。

表 1 围岩分类及稳定性评价

Table 1 Surrounding rock classification and stability evaluation

围岩类别	分类描述	稳定性评价	备注
I 类围岩	第四系松散堆积物, 碎石土宽断层破碎带, 碎石状松散结构岩体等。	洞室段为碎石土及散体状变质砂岩断层破碎带, 围岩结构松散, 成洞困难, 且局部段为浅埋洞室易坍塌、掉块甚至塌至地表, 有水时土砂常与水一齐涌出。	定性评价一般可根据围岩类别, 定量评价可根据有限元等数值分析。
II 类围岩	处于挤压带的岩石强烈风化, 节理裂隙十分发育, 有溶洞、溶隙的围岩, 角砾状松散结构岩体。	洞室段岩石强烈风化不良地质现象发育, 洞室局部稳定, 但容易塌方、塌顶掉块, 浅埋时易出现地表下沉陷。	
III 类围岩	遇水后力学指标降低的软质片岩, 具软弱结构面的地段。	洞室段为软岩及弱软结构较发育, 洞室基本稳定, 拱部无支护时可产生小坍塌, 侧壁有时会失稳。	
IV 类围岩	受构造变化影响小的硬质岩, 破碎带窄小或硬岩侵入充填较好, 呈块状结构的软岩。	洞室段为硬岩及充填的破碎带, 洞室较稳定, 拱部无支护时可产生坍塌, 侧壁基本稳定, 爆破震动过大会坍塌。	
V 类围岩	构造较发育, 层间结构一般很少分离, 结构面较不发育, 大块砌体结构岩体。	洞室段为硬岩, 中厚层状, 洞室稳定, 暴露时间过长可能出现局部小坍塌, 侧壁稳定。	

3.3.1 按主动荷载计算

按矿山法施工, 适用于深度远大于隧道宽度且不产生显著偏压及膨胀的隧道, 即公路隧道设计规范(JTJ026-90)推荐的方法。

根据荷载等效高度 $h_q = q/r$, 比较等效高度 h_q 、埋深 H 及分界深度 H_p 判断是否为浅埋。

(1) 深埋隧道围岩压力。

垂直均布压力/kPa $q = 0.45 \times 2^{s-rw}$

水平均布压力/kPa $e = 0.4 \times q \text{ (kPa)}$

式中: s 为围岩类别(I ~ VI 类); r 为围岩容重; w 为宽度影响系数。

(2) 浅埋隧道围岩压力。

当埋深 $H \leq$ 等效高度 h_q 时:

垂直均布压力 $q = rh$ 。

水平均布压力 $e = r(H + H_t/2) \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$ 。

当等效高度 $h_q <$ 埋深 $H <$ 分界深度 H_p 时, 洞顶面上总垂直压力 $Q_{\text{总}} = rH(B_t - H \lambda \tan \varphi)$ 。作用在支护结构上的均布压力 $q_{\text{浅}} = Q_{\text{总}}/B_t$ 。

水平均布压力 $e = r \lambda (h + H)/2$ 。

当埋深 $H >$ 分界深度 H_p 时, 则按深埋隧道围岩

压力计算。式中: φ 为内摩擦角; λ 为侧压力系数; r 为岩石容重; h 为隧道底板至地面的垂直距离; H 为隧道埋深; B_t 为隧道宽度; H_t 为隧道高度。

3.3.2 普氏理论计算

按松散结构, 即平衡拱理论, 要求埋深较大:

垂直均布压力 $q=rh_0$,

平衡拱高 $h_0=b/f_{kp}$,

式中: $b=[B_t+H_t\tan(45^\circ-\varphi_{kp}/2)]/2$ 。

水平均布压力

$$e=(q+rH_t/2)\tan^2(45^\circ-\varphi_{kp}/2),$$

式中: f_{kp} 为似摩擦系数; φ_{kp} 为似摩擦角; r 为岩石容重; B_t 为隧道宽度; H_t 为隧道高度。

3.3.3 太沙基计算方法^[19]

按松散围岩平衡理论并服从莫尔-库仑强度理论: 垂直压力

$$q=rb[1-\exp(-k\tan\varphi h/b)]/k\tan\varphi,$$

式中: $b=B_t+H_t\tan(45^\circ-\varphi/2)$ 。

水平均布压力 $e=(q+rh_t)\tan^2(45^\circ-\varphi/2)$,

式中: h_t 为算点埋深; k 水平应力与垂直应力比值。

3.3.4 岩柱法

按松散围岩, 岩体内聚力 $c=0$, 最大埋深 $H_{\max}=a_1/k$ 以内。

垂直分布压力 $q=rh(1-H^\circ k/2a_1)$,

$$k=\tan^2(45^\circ-\varphi/2)\tan\varphi。$$

水平均布压力 $e=r[H+H_t/2]\tan^2(45^\circ-\varphi/2)$ 。

3.3.5 斜坡法计算

岩柱法的改进, 即考虑 c 值的影响。

垂直分布压力

$$q_i=rh_i[1-r\tan\varphi(H^2\lambda+H_0^2\lambda_0)/2w]。$$

水平分布压力

$$e_1=rH\lambda, e_2=rh\lambda, e_{10}=rH_0\lambda_0, e_{20}=rh_0\lambda_0,$$

式中: h_i 为计算点的岩柱高度; e_1, e_2 为同一侧; e_{10}, e_{20} 为另一侧。

确定隧道围岩容许承载力 σ_0 时, 按洞口、洞室和围岩类别分别确定, 方法有: 隧道围岩现场测试、经验法、综合法。

隧道围岩压力和容许承载力计算结果见表 2。

3.4 洞口稳定性评价

隧道洞口底板高出沟河底约 30 m, 基本无洪水危害; 洞口围岩受到断裂较强影响, 结构松软, 节理裂隙大量发育, 强风化, 围岩稳定性差; 洞口浅埋, 上覆岩土厚度差别较大, 开挖后易塌顶、掉块, 支护不及时可塌至地表。洞口处于斜坡地带, 斜坡倾向 $30^\circ\sim 65^\circ$, 倾角 $30^\circ\sim 55^\circ$, 节理将岩石切割成大小不等的楔形体, 节理贯通形成软弱结构面, 对斜坡稳定极为不利, 因此必须进行斜坡稳定性评价, 其方法可参考工程地质斜坡稳定性评价方法^[3]。另外, 由于斜坡表面有部分残积坡积松散层、部分全风化并含泥碎石土, 可能产生散落、小滑塌等。

3.5 应力场、地温、岩爆及放射性评价

3.5.1 应力场

岩土体内地应力的大小主要与岩土体自重应力和构造应力有关, 一般测量方法有应力解除法、应力恢复法、水压致裂法。隧道采用水压致裂法实

表 2 围岩压力计算结果及围岩容许承载力

Table 2 Results of pressure calculation and allowable bearing capacity of surrounding rock

围岩压力最大段		深埋隧道		浅埋隧道		深埋隧道	普氏理论
围岩类别		I 类	I 类	II 类	III 类		
计算参数	围岩容重 $r/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	20	20	27	27	28	27
	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$		25	20	35	45	$H=6\text{ m}$
	宽度影响系数 w	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	$f_{kp}=3$
	上覆岩层厚度 H/m		26.3	10.5	24	35	$H_t=9$
	等效高度/分界高度/ m		24.48/61.2		12.3/30.6	6.12/15.3	$\varphi_{kp}=65^\circ$
	侧压力系数 λ		0.505		0.3495		$B_t=12\text{ m}$
	垂直均布压力 q/kPa	489.6	370	283.5	474	171	62.98
水平均布压力 e/kPa		195.84	311	201.9	269	69	9.067
围岩容许承载力 σ_0/kPa		洞口段	I 类围岩	II 类	洞室段	III 围岩	IV
			500	1500		2000	2500

测地应力水平最大 8.18 MPa, 方位 297°, 最小为 5.58 MPa, 方位 27°, 计算垂直主应力 5.62 MPa, 可见最大主应力方向与隧道近似垂直, 对隧道稳定不利。同时, 隧道开挖后导致应力重分布, 影响围岩稳定和地表沉降变形^[11]。

3.5.2 地温

实测最大地温梯度每百米 3.2 °C, 求得隧道埋深处的地温为 11 °C~15 °C, 对施工较适宜。

3.5.3 岩爆

岩爆是由岩体内积蓄的弹性应变能突然释放引起的, 具爆裂和弹射现象, 其判定方法较多^[12]。隧道穿越变砂岩等脆性质岩, 具备岩爆发生条件, 采用经验判据式 $\sigma_0 \geq (0.19 \sim 0.40) \sigma_c$, 其中 σ_0 为开挖后洞壁的切向应力(MPa), σ_c 为岩石饱和单轴抗压强度(MPa)。经计算, 隧道在超过 200 m 深度后有可能产生弱岩爆。

3.5.4 放射性评价

按隧道设计标高在特定钻孔中放置放射性样品, 经测试其放射性背景值均为正常值, 对人体无危害, 有利于施工。

3.5.5 腐蚀性评价

隧道地下水以裂隙水为主, 取水样作水质分析, 测试结果表明地下水对拟用衬砌材料无腐蚀性。

4 隧道方案比选

对两种以上的隧道方案进行比较时, 其要点有: 线型、线长、地形、用地、投资、养护、施工以及安全性、行驶性能、与当地环境和景观的协调、对附近地区的综合影响等。隧道分正线和比较线两种方案, 两线最大距离 500 m, 进出口位于同一位置, 穿越地层基本一致, 比较时着重从以下 3 个方面考虑:

(1)断层危害程度比较: 正线经过断层有 14 条, 受影响较大的有 5 条, 隧道轴线方向与断层延展方向近似正交; 比较线经过断层有 10 条, 受影响较大的有 6 条(其中 4 条与正线相同), 相比而言正线地质构造有利于隧道的稳定。

(2)各类围岩长度比较: 正线长 4 930 m, I~V 类围岩全长分别是 62、61、939、2 978、5、875 m; 比较线长 5 050 m, I~V 类围岩全长分别是 45、95、500、3 903、497 m; 正线围岩中 II 类及以上围岩类别全

较长, 有利于稳定。

(3)环境影响因素比较: 比较线比正线长出约 150 m, 增加了弃土量, 从而影响了更多的植被。雨季增加了水土流失量, 不利于水土保持、弃土处理和植被保护。综合以上因素, 借助航片卫片, 结合隧道运营效应、工程社会效应, 确定正线为优选方案。

5 结论

(1)隧道工程是地下工程的主要内容之一, 受到多种因素影响, 工程地质条件是一个重要因素。

(2)工程地质评价以基本地质环境和工程地质条件为依据, 对隧道涌水量、围岩稳定性、围岩压力、洞口稳定性及地应力、地温、岩爆、放射性等作专题评价, 其方法主要有工程类比、理论计算、数值分析、现场测试、工程经验等。

(3)工程地质评价是隧道设计、施工及支护的基础, 始终贯穿隧道工程的全过程, 对隧道超前预报起着决定性作用, 在隧道工程中应引起高度重视。

[参 考 文 献]

- [1] 王毅才. 隧道工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [2] 蒋爵光. 隧道工程地质[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1991.
- [3] 张顶立, 王梦恕, 高军, 等. 复杂围岩条件下大跨度隧道修建技术研究[J]. 岩土力学与工程学报, 2003, 22(2): 290~296.
- [4] 周天江. 四连拱大跨度浅埋隧道的设计[J]. 世界隧道, 1999, (1): 10~15.
- [5] 张俦元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [6] 中华人民共和国行业标准. 公路工程地质勘察规范(JTJ064—98)[S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [7] 杨成田. 专门水文地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1981.
- [8] 王建秀, 杨立中, 何静. 深埋隧道涌水量数值计算的试算流量法[J]. 岩土力学与工程学报, 2002, 21(12): 1776~1780.
- [9] 徐干成, 白洪才. 地下工程支护结构[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [10] 沈明荣. 岩体力学[M]. 上海: 同济大学出版社, 1993.
- [11] 丁春林, 朱世友, 周顺华. 地应力释放对盾构隧道围岩稳定性和地表沉降变形的影响[J]. 岩土力学与工程学报, 2002, 21(11): 1663~1668.
- [12] 缪晓军, 吴继敏, 李军波. 圆形洞室岩爆成因及其地质灾害研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2002, 30(5): 37~40.

(下转第 51 页)

[参 考 文 献]

[1] 南京大学地球科学系, 江苏地质工程勘察院, 南京市测绘勘察研究院. 工程地质勘察报告[R] . 南京: 南京大学地球科学系, 2002.

[2] 庄乾城, 罗国煜, 李晓昭. 南京地铁稳定性优势面理论分析[J] . 高校地质学报, 2002, 8(4): 453 ~ 459.

[3] 罗国煜, 陈新民, 李晓昭, 等. 城市环境岩土工程[M] . 南京: 南京大学出版社, 2000.

[4] 罗国煜, 刘松玉. 区域稳定性优势面分析理论与方法[J] . 岩土工程学报, 1992, 14(6): 10 ~ 18.

[5] 余才高. 南京地铁南北线隧道地基的地震液化问题[J] . 城市轨道交通研究, 2001, 3(3): 38 ~ 42.

[6] 李晓昭, 罗国煜, 汪青葆. 玄武湖水下交通隧道环境地质条件分析及工程方案评价[J] . 工程地质学报, 1999, 7(2): 118 ~ 124.

[7] 徐则民, 张俾元, 刘汉超, 等. 成都地铁环境工程地质评价[J] . 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(2): 63 ~ 69.

[8] 蒋建平, 章扬松, 罗国煜, 等. 南京地铁地基下稳定性因素分析及对策[J] . 地下空间, 2002, 22(1): 42 ~ 44.

Assessment on the main engineering geological problems
in the south-north line of Nanjing metro

CHENG Jian-jun, YAN San-bao, JIANG Jian-ping, MA Ji
(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The paper presents the general situation as well as the engineering conditions of the first-period project of the North-South line of Nanjing metro. The topography is complicated along the metro construction line. It has to cross bedrocks flood basin, the saturated silt and fine sand in ancient riverbeds. And engineering geological problems will be caused: regional stability, sand liquefaction, the stability of surrounding rockmass or soilmass, water inflow and seepage deformation, ground differential subsidences. Using preferred plane theory, these problems are discussed and the countemeasures are given. It has been proved by practices that it is vitally important for the reconnaissance and constructional plan to recognize the engineering geological problems clear and make scientific evaluations.

Key words: metro; engineering geological problems; evaluation

(英文审定: 苏生瑞)

(上接第 45 页)

Contents and methods of the tunnel engineering geology evaluation

CHEN Xin-jian, SUN Lin , LI Xin-xing, SUN Qiao-yin
(School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Referring to an tunnel, the basic geological environment and the engineering geology condition are expatiated for the tunnel. Aiming at the bad geology phenomenon that tunnelling may meet with and the engineering measures that can be adopted, the contents and methods of the tunnel engineering geology are appreciated from the viewpoints of natural precipitation, stability of surrounding rock, pressure, comparing and deciding of the best tunnel.

Key words: tunnel engineering; engineering geology condition; engineering geology evaluation; surrounding rock pressure; tunnel stability

(英文审定: 苏生瑞)