

文章编号: 1000-7598-(2008)12-3235-06

用 SBQ 值作为砂类土质隧道围岩分级基准的构想

王明年¹, 王玉锁¹, 李玉文²

(1. 西南交通大学 土木工程学院, 成都 610031; 2. 四川省交通厅公路规划勘察设计研究院, 成都 610041)

摘要: 砂类土的抗剪强度和重度与砂类土体隧道围岩稳定性有较大的关系。从影响砂类土体隧道围岩稳定性因素及围岩分级的角度出发, 探讨了利用综合性指标 SBQ 值作为基准指标来评定砂类土体隧道围岩稳定性方法的可行性。分析表明, SBQ 值可以作为其他物理力学指标的代表值, 可以综合评定砂类土隧道围岩的稳定性, 并给出了用 SBQ 值描述各物理力学指标的定量表达式。

关键词: 隧道; 围岩分级; 砂类土

中图分类号: U 451

文献标识码: A

Conception of using SBQ as reference of sand soil tunnel surrounding rock classification

WANG Ming-nian¹, WANG Yu-suo¹, LI Yu-wen²

(1. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Planning Investigation and Design of Highway, Sichuan Provincial Department of Communications, Chengdu 610041, China)

Abstract: The shear strength and unit weight have much relations with the stability of sandy soil surrounding rock of tunnel. From the factors influencing the stability of sandy soil surrounding rock and classification of surrounding rock, the feasibility that using sandy soil surrounding rock basic quality index (SBQ) as a synthetic factors to evaluate the stability of sandy soil surrounding rock of tunnel is explored. It is found that the SBQ can be a representative value of other physico-mechanical indexes. The quantitative expressions of other physico-mechanical indexes and the SBQ are presented.

Key words: tunnel; surrounding rock classification; sandy soil

1 引言

我国现行《公路隧道设计规范》^[1]对岩石隧道围岩采用了《工程岩体分级标准》^[2]的分级方法。它是针对岩石隧道及其他地下工程提出的, 不包括土体围岩分级。为了适应公路隧道的实际情况和需要, 引入土体围岩分级, 将围岩分为6级。其中, 土体围岩分级引用了《铁路隧道设计规范》(TB10003)的相关内容, 但这种分级方法经验成分较大, 有一定的人为因素和不确定性, 在实际应用中存在不少的问题^[1]。目前, 我国正处于基础设施建设发展的高峰期, 各种高速交通设施正在或有待建设, 必然会遇到比以前地质条件更加复杂的情况。如台湾新

建的高速铁路, 其中由台湾高铁公司负责修建的330 km高速铁路中, 隧道有44座, 其中除一条长2 149 m的迴龙隧道外, 均属软弱地层, 主要组成为卵砾石及胶结软弱的砂泥层。在以往定线规划时会避开这些软弱地质条件, 以降低施工的风险^[3]。现有参考的国内外类似地质情况的围岩分类方法都不适用于此, 所以针对上述地质情况制定了一个新的区别于一般岩体围岩的分级方法^[4]。由此可见, 围岩分级应是一个完善的体系, 应尽可能包括各种地质情况, 况且围岩分级并非完全是围岩稳定性的分级, 还应涉及到支护结构设计参数的确定、工程定额的制定, 甚至还涉及到工程完成后的维修和养护工作。在这方面, 日本走在了前面, 日本国铁中

收稿日期: 2007-04-16

基金项目: 西部交通建设科技项目 (No.2004-318-000-30)。

作者简介: 王明年, 男, 1965年生, 教授, 博士生导师, 主要从事隧道及地下工程研究工作。E-mail: 19910622@163.com

已有较完善的、明确的土质隧道围岩分类。

以上情况说明,我国有必要采用定量指标方法进行土体公路隧道围岩分级的研究。

2 砂类土质隧道围岩基本质量指标

2.1 岩体基本质量指标概述

我国国家标准《工程岩体分级标准》^[2]对工程岩体稳定性的分级是采用定性与定量相结合方法,并分两步进行:先确定岩体基本质量,再结合具体工程的特点确定岩体级别。该方法认为,在影响工程岩体稳定性的诸因素中,岩石坚硬程度和岩体完整程度是岩体的基本属性,是各种岩石工程类型的共性,反映了岩体质量的基本特征,而其他影响岩体稳定的因素,如:地下水状态、初始地应力等则作为修正因素来考虑^[2]。目前,实行的《公路隧道设计规范》^[1]中的围岩分级方法就是以此标准为基础进行的。其中,岩体基本质量指标用 BQ 表示,是利用数理统计的方法得出的一个指标表达式,可用下式表示:

$$BQ = 90 + 3R_c + 250K_v \quad (1)$$

式中: R_c 为岩石单轴饱和抗压强度 (MPa); K_v 为岩体完整性指数。

根据 BQ 计算值的大小,将岩体分为 5 个级别, BQ 值越大,则说明岩体的稳定性越好^[1]。

这种利用一个综合指标来反映岩体稳定性的方法,在较大程度上减少了分级的主观性,提高了围岩分级的精度,并且降低了围岩分级工作的难度,便于工程技术人员在实际工程中的应用。

对砂类土隧道围岩分级的研究,同岩体围岩一样,也应首先从稳定性入手,找出影响稳定性的因素及规律,再找到一个稳定性分级的基准,据此基准,对所采用的分级指标或因素进行分级,并给出相应的力学参数和支护措施。但由于目前有关土质隧道设计及施工的资料较少,不能从调研中总结出一个像评定岩体围岩稳定性的基准指标 BQ 那样,可以衡量土质隧道围岩稳定性基准的指标。

如果能找到一个像 BQ 这样能反映砂类土质隧道围岩稳定性的综合指标,并且能用一个含与稳定性相关的砂类土的物性指标表达的定量表达式来计算,将是一个比较好的围岩分级思路。

2.2 砂类土质隧道围岩开挖后的受力形态

总的来说,土是一种三相介质的堆积体,与一

般固体材料不同。总的说来,它不能承受拉力,但能承受一定的剪力和压力。在一般工作条件下,土的破坏形态是剪切破坏,所以把土的强度称为抗剪强度。对于土来说,强度理论有不少,但目前比较简单而又比较符合实际的是摩尔-库仑强度理论。摩尔-库仑强度理论可以用如下公式描述^[5]:

$$S = c + \sigma \tan \phi \quad (2)$$

式中: S 为土的抗剪强度; c 为土的黏聚力; σ 为作用在剪切面上的有效法向应力; ϕ 为土的内摩擦角。

以上的 c 和 ϕ 取决于土的性质,与土中的应力状态无关,一般称为土的强度指标,可由试验直接确定。

如果说抗剪强度是砂类土体围岩抗力的主要来源,那么上覆土的压力就是其荷载效应的主要来源。对于砂类土体围岩,抗剪强度与土压力的比值的大小可以作为一个评定隧道开挖后围岩稳定程度的基本质量指标,比值越大,说明稳定程度或承载力越好。如直接用物性指标来评定围岩稳定性,由于我国类似施工实例较少,用室内试验模拟时,即使采用正交试验或均匀试验方法,也会在试验条件及时间上有所限制。因此,用此比值作为用物性指标评定围岩稳定性的中间桥梁,通过小试验件的土工试验,研究物性指标对此比值的影响规律,可在大致范围内确定围岩稳定性分级所对应物性指标的界限值,在此基础上,进行较少数量的数值模拟和模型试验进行验证和修正,从而得出较精确的分级界限,这就是本文的主要思路和研究的出发点。

2.3 砂类土质隧道围岩基本质量指标

由前面的分析可知,砂类土隧道围岩的抗剪强度与上覆土压力之比可以反映隧道开挖后坑道的稳定性,此指标可用下面公式来表达:

$$S/(\gamma H) = (\sigma_n \tan \phi + c)/(\gamma H) = c/(\gamma H) + \sigma_n \tan \phi/(\gamma H) \quad (3)$$

式中: σ_n 为正应力 (kPa); H 为埋深 (m); γ 为重度 (kN/m³)。

对于式 (3) 中的 σ_n 可用相应埋深为 H 时的最大垂直压力 $\sigma_{\max} = \gamma H$ 来代替,这样处理的优点是指标容易获得,还可使结构设计偏于安全,这是因为由于砂类土具有“拱效应”,当埋深大到一定程度时,作用于结构上的荷载会小于 γH ; 当然,也可

能由于埋深较小而体现不出“拱效应”,或是可能由于侧压力系数 $H_0 > 1$ 时,而侧压力大于垂直土压力的现象,但不管埋深多大或是能否形成“塌落拱”,式(3)的值都能综合反映砂类土体围岩的稳定性或是承载力。

对于埋深,统一取 $H = 20$ m。引入埋深 H 这个量,完全是从统一式(3)量纲上来考虑的,同时也考虑到砂类土在地下的常见深度约为 20 m 以内来定的, H 在式中并不是一个变量。

经过如此处理后,并参照岩体基本质量指标用字母组合 BQ 表达的方式,将砂类土质围岩的抗剪强度与上覆荷载之比用字母组合 SBQ 来表示,称为砂类土质围岩的基本质量指标,可表示为如下公式:

$$SBQ = c/(\gamma H) + \tan \phi \quad (4)$$

可以看出, SBQ 是一个无量纲量,涵盖了砂类土的抗力及荷载效应,并且使力学强度指标值 c , ϕ , γ 有机结合在一起,避免了 3 指标的相互割裂。对同一围岩来说,3 指标是同时出现的一个组合体,而不是任意数值的组合。此值越大,说明围岩的基本质量越好,说明开挖后稳定程度越高。

需要说明的是,本研究是针对位于地下水位以上的受地下水影响较小的潮湿的砂类土围岩进行的。因为当处于地下水位以下或受地下水影响较大时,施工时则需特殊处理了,处理过后的砂类土已不具有原状土的性质了,因此,研究意义不大。所以,本文中所提的砂类土实际上属于非饱和土的范畴。

3 围岩力学指标与 SBQ 的关系

根据弹性理论的推导,砂类土的力学参数有如下的关系^[6]:侧压力系数 $K_0 = 1 - \sin \phi'$, ϕ' 为有效内摩擦角;泊松比 $\nu = K_0 / (1 + K_0)$;变形模量 $E_0 = [(1 - 2\nu)(1 + \nu)] / [(1 - \nu)E_s]$, E_s 为土的压缩模量,常用 $E_{1.2}$ 来表示。

由于本次研究的对象属非饱和的砂类土,可以认为 $\phi' \approx \phi$, ϕ 为通过不排水不固结的快剪直剪试验测得的砂类土的总摩擦角。

有了以上的理论公式及适当的处理,根据砂类土的定义及特点,选用对其力学性质有显著影响的细粒含量 w 、细粒土含水率 w_L 及相对密度 D_r 等 3 个物性指标的不同组合,分别进行了直剪和压缩室内试验。其中,直剪试验采用全面组合,共有 225

种,而压缩试验中,细粒含量为 18.75 %, 37.85 %, 49.31 %,采用全面组合方法,共有 $4 \times 9 \times 3 = 108$ 种组合情况,而细粒土含水率为 30.69 % 和 43.29 %,与细粒含量为 37 % 和 45 % 及相对密度 D_r 为 0.67 和 0.83 进行组合,有 10 种,共有 118 种组合情况。3 个物性指标的选用水平如下:(1) 相对密度 D_r 为 0.1, 0.27, 0.5, 0.67, 0.83;(2) 细粒含量 w 为 2 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 37 %, 45 %;(3) 细粒土含水率 w_L 为 18.75 %, 30.69 %, 37.85 %, 43.29 %, 49.31 %。

根据所做的 225 个直剪试验数据及 118 个压缩试验数据,通过以上公式的换算,就可以得到对应的 225 个砂类土围岩的 SBQ 值和侧压力系数 K_0 、泊松比 ν 及对应的 118 个变形模量 E_0 ,部分试验结果见表 1。

3.1 相关分析

首先将 118 个全部对应的力学指标(包括重度 γ),进行了典型相关分析^[7],结果如表 2 所示。

从结果可以看到,包括重度 γ 在内的所有 8 个物理力学指标中,只有 SBQ 在 0.01 水平下用双尾检验与其他 7 个指标都是显著相关的,说明该指标是可以用来描述其他 7 个指标的。

3.2 聚类分析

为进一步考察 SBQ 综合反映砂类土的力学性质,又进行了 8 个指标的指标(R 型)聚类分析,结果如表 3 所示。

从表 3 的垂直冰柱图可以清楚看出,8 个指标经过 7 次合并后聚合成一类,这也说明 8 个指标中可以挑选出一个有代表性的指标作为典型指标。根据表 2 求出的相关系数,可计算每个指标与其他指标的相关指数(相关系数的平方)的平均数,计算公式如下:

$$R_i^2 = (\sum t_{ij}^2) / (m - 1) \quad (5)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, m$; m 为所在类的指标个数; r_{ij} 为相关系数, $i \neq j$, $j = 1, 2, \dots, m$ 。在算出的 R_i^2 中,挑选出 R_i^2 最大的指标作为该类的典型指标^[7]。

根据表 2 的结果,由式(5)算出了各指标的 R_i^2 ,其中 $m = 8 - 1 = 7$ 。结果如表 4 所示。可以看到, SBQ 的 R_i^2 是最大的。这也进一步证明,用 SBQ 可以作为 8 个力学指标的典型指标,是具有代表性的指标。

表 1 试验结果
Table 1 Test results

细粒含量 w /%	相对密度 D_r	细粒土含水率 w_L /%	重度 γ /kN·m ⁻³	c /kPa	$\tan\phi$	侧压力系数 K_0	泊松比 ν	SBQ	压缩模量 E_s /kPa	变形模量 E_0 /kPa
2	0.27	18.75	16.1	8	0.72	0.41	0.29	0.75	35 505	26 904
5	0.83	49.31	17.3	12	0.81	0.37	0.27	0.85	40 629	32 521
10	0.27	18.75	15.7	8	0.58	0.50	0.33	0.61	20 276	13 572
15	0.83	18.75	17.4	20	0.67	0.44	0.31	0.73	40 333	29 449
20	0.50	49.31	17.5	8	0.58	0.50	0.33	0.61	11 106	7 461
25	0.27	49.31	16.4	1	0.56	0.51	0.34	0.56	2 005	1 308
30	0.50	37.85	17.6	9	0.56	0.51	0.34	0.58	2 671	1 737
37	0.27	18.75	15.0	6	0.63	0.47	0.32	0.65	1 209	848
45	0.27	18.75	15.4	15	0.59	0.49	0.33	0.64	1 547	1 043

表 2 相关系数
Table 2 Correlation coefficients

项目	相关系数							
	重度 γ	c	$\tan\phi$	侧压力系数 K_0	泊松比	SBQ	压缩模量 E_s	变形模量 E_0
重度 γ	1.000	0.027	-0.386**	0.407**	0.390**	-0.379**	-0.193*	-0.203*
c	0.027	1.000	0.116	-0.124	-0.118	0.296**	0.240**	0.219*
$\tan\phi$	-0.386**	0.116	1.000	-0.993**	-1.000**	0.983**	0.642**	0.668**
侧压力系数 K_0	0.407**	-0.124	-0.993**	1.000	0.995**	-0.978**	-0.585**	-0.607**
泊松比	0.390**	-0.118	-1.000**	0.995**	1.000	-0.983**	-0.631**	-0.656**
SBQ	-0.379**	0.296**	0.983**	-0.978**	-0.983**	1.000	0.662**	0.683**
压缩模量 E_s	-0.193*	0.240**	0.642**	-0.585**	-0.631**	0.662**	1.000	0.997**
变形模量 E_0	-0.203*	0.219*	0.668**	-0.607**	-0.656**	0.683**	0.997**	1.000

注: **表示在 0.01 水平下用双尾检验是显著相关的; *表示在 0.05 水平下用双尾检验是显著相关的。

表 3 垂直冰柱图表
Table 3 Vertical icicle

聚类数	参数														
	变形模量 E_0	压缩模量 E_s	SBQ	$\tan\phi$	c /kPa	泊松比 ν	侧压力系数 K_0	重度 γ							
1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	/	×	×	×	×	×
3	×	×	×	×	×	×	×	/	×	/	×	×	×	×	×
4	×	×	×	×	×	×	×	/	×	/	×	×	×	/	×
5	×	×	×	/	×	×	×	/	×	/	×	×	×	/	×
6	×	×	×	/	×	/	×	/	×	/	×	×	×	/	×
7	×	×	×	/	×	/	×	/	×	/	×	/	×	/	×

注: ×表示指标聚类形态一致, /则表示不一致。

表 4 指标的相关指数 R_i^2
Table 4 Correlation indexes

指标	重度 γ	c	$\tan\phi$	侧压力系数 K_0	泊松比 ν	SBQ	压缩模量 E_s	变形模量 E_0
R_i^2	0.099	0.034	0.567	0.546	0.564	0.575	0.383	0.399

3.3 多元回归分析

对砂类土围岩设计施工时所需各物理力学参数与对应的 SBQ 进行了多元回归分析, 经回归拟合的公式及曲线见图 1~6。

从以上的曲线图可以看, 对于力学指标如摩擦系数 $\tan\phi$ 、泊松比 ν 及侧压力系数 K_0 等 3 个指标与 SBQ 的相关性非常显著, 用 SBQ 值回归得到的拟合公式的判断系数 R^2 都大于 90%, 而黏聚力 c 、

重度 γ 、压缩模量 E_s 及变形模量 E_0 则离散性相对大些。从图中可以看出, 重度 γ 的变化范围不大, 介于 15~20 之间, 所以尽管 R^2 小, 但也可以用回归公式进行估计, 而变形模量则在 SBQ 为 0.6 是一个较明显的分界点, 将曲线在 $SBQ = 0.6$ 处分开, 按两段不同曲线进行数据的回归拟合, 结果如图 7 和图 8 所示。

这样, 砂类土隧道围岩的每个力学指标都能通

过 SBQ 值估算出来。也就是说,只要知道了砂类土隧道围岩的 SBQ 值,就可以估算出对应的力学参数的大小,有了力学参数,就可以通过数值方法进

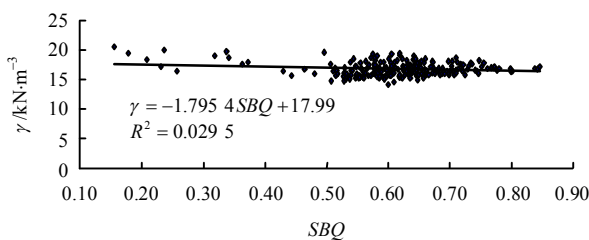


图 1 重度 γ 与 SBQ 的关系
Fig.1 Relations between γ and SBQ

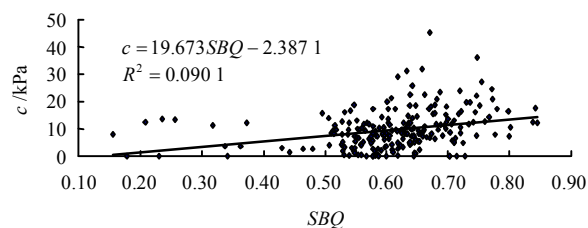


图 2 黏聚力 c 与 SBQ 的关系
Fig.2 Relations between c and SBQ

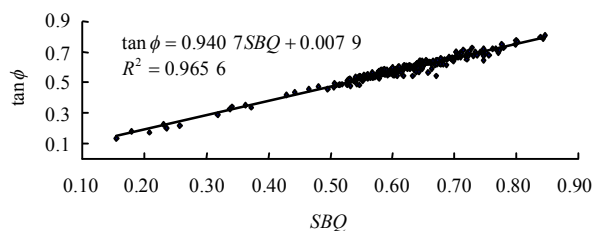


图 3 内摩擦系数 $\tan \phi$ 与 SBQ 的关系
Fig.3 Relations between $\tan \phi$ and SBQ

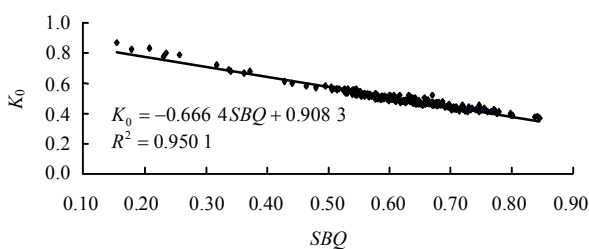


图 4 侧压力系数 K_0 与 SBQ 的关系
Fig.4 Relations between K_0 and SBQ

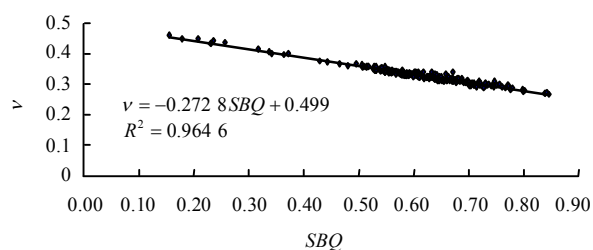


图 5 泊松比 ν 与 SBQ 的关系
Fig.5 Relations between ν and SBQ

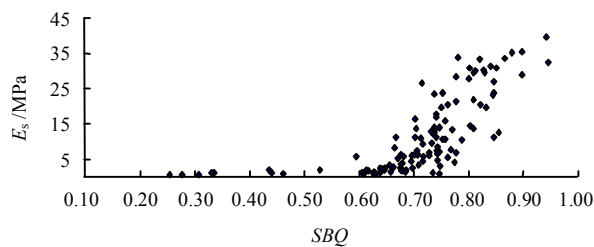


图 6 变形模量 E_0 与 SBQ 的关系
Fig.6 Relations between E_0 and SBQ

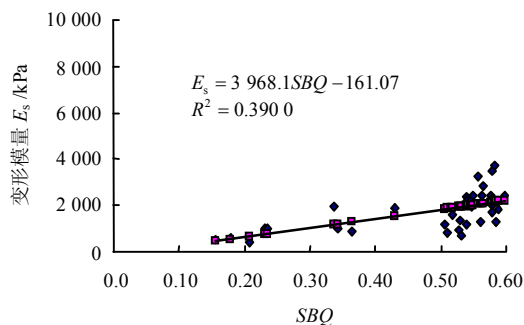


图 7 变形模量 E_0 与 SBQ 的关系 ($SBQ < 0.6$)
Fig.7 Relations between E_0 and SBQ ($SBQ < 0.6$)

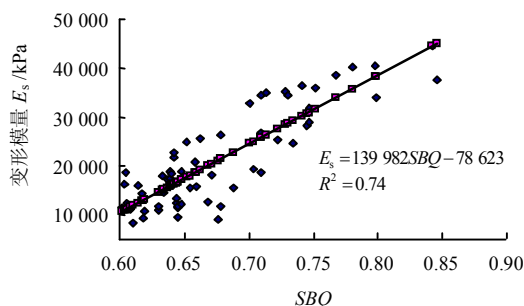


图 8 变形模量 E_0 与 SBQ 的关系 ($SBQ \geq 0.6$)
Fig.8 Relations between E_0 and SBQ ($SBQ \geq 0.6$)

行隧道围岩的稳定性分析,并能进行相应的结构设计及提出适宜的施工方法。各物理力学指标与 SBQ 的回归拟合公式及相关系数 R^2 见表 5 所示。

表 5 用 SBQ 预测各物性参数的表达式
Table 5 Using SBQ as predicted formula for physico-mechanical indexes

项目	SBQ 回归的公式	相关系数 R^2
c	$c = 19.67SBQ - 2.387\ 1$	0.090 1
$\tan \phi$	$\tan \phi = 0.940\ 7SBQ + 0.007\ 9$	0.096 6
泊松比 ν	$\nu = -0.272\ 8SBQ + 0.499$	0.964 6
侧压力系数 K_0	$K_0 = -0.666\ 4SBQ + 0.908\ 3$	0.090 1
重度 γ	$\gamma = -1.795\ 4SBQ + 17.99$	0.029 5
变形模量 E_s	$E_s = 139\ 982SBQ - 78\ 623 (SBQ \geq 0.6)$	0.740 0
	$E_s = 3\ 968.1SBQ - 161.07 (SBQ < 0.6)$	0.390 0

4 结 语

本研究是从砂类土体隧道围岩分级的角度出发,如直接研究物性指标与砂类土体隧道围岩开挖稳定性的关系,在试验操作和时间方面是难于实现的。先建立一个评定围岩稳定性的基准,该基准首先要能综合反映砂类土的力学特性,如抗剪强度参数、变形模量 E_0 及泊松比 ν 等的大小;其次,该基准要能用现场易于获取的物性指标来直接评定。以上述两点为出发点,将 SBQ 值作为用物性指标评定砂类土隧道围岩稳定性的中间桥梁,这样做既避免了由于缺乏施工实例而难于确定分级界限的困难,又可大大减少室内试验数量和难度。研究内容的下一步重点,就是研究如何利用对砂类土围岩稳定性有较大影响的物性指标来评定作为中间桥梁的 SBQ 值,而这些物性指标最终将被确定为砂类土隧道围岩分级的定量指标。

参 考 文 献

- [1] 重庆交通科研设计院. JTG D70—2004 公路隧道设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 中华人民共和国水利部. GB 50218—94 工程岩体分级标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1994.
- [3] 叶向阳, 罗文贤. 台湾高铁隧道施工现况[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(增 2): 4 692—4 703.
YE Xiang-yang, LUO Wen-xian. Construction of tunnels of Taiwan high speed railway[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2004, 23(Supp.2): 4 692—4 703.
- [4] 张吉佐, 侯秉承, 李民政, 等. 台湾地区岩体分类系统之建立[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(增 2): 4 679—4 684.
ZHANG Ji-zuo, HOU Bing-cheng, LI Min-zheng, et al. Development of rock mass classification for Taiwan[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2004, 23(Supp.2): 4 679—4 684.
- [5] 刘成宇. 土力学[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002: 137.
- [6] 洪毓康. 土质与土力学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001: 93.
- [7] 李志辉, 罗平. SPSS for Windows 统计分析教程(第 2 版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

第 7 届全国地面岩石工程学术会议暨第 2 届全国 岩石力学与工程实例学术会议(第 1 号通知)

(2009 年 10 月 23~25 日 安徽 合肥)

主办单位: 中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专业委员会; 中国岩石力学与工程学会工程实例专业委员会; 《岩石力学与工程学报》

承办单位: 合肥工业大学; 广东宏大爆破股份有限公司; 中科院武汉岩土力学所 岩土力学与工程国家重点实验室

会议主题: 中部崛起发展战略中的岩土力学与工程关键技术难题研究

会议专题: (1) 高速公路与高速铁路建设中的关键岩土工程问题与技术; (2) 深部能源开采与地下储存建设中的关键岩土工程问题与技术; (3) 地铁与过江隧道建设中的关键岩土工程问题与技术; (4) 内陆型核电站建设中的关键岩土工程问题与技术; (5) 气候变化所诱发的地质灾害及其防治技术; (6) 地震作用下岩土工程分析方法; (7) 岩石爆破工程技术与实践; (8) 岩土工程试验与测试新技术; (9) 重大岩土工程实录; (10) 其他岩石力学与岩土工程问题。

论文投稿要求: 论文版面一般不超过 6 页, 格式参照《岩石力学与工程学报》投稿要求(登陆《学报》网站), 文稿暂不分栏。反映我国当前岩土力学与工程领域的最新研究成果及工程实录的论文优先录用。经专家评审录用的部分优秀论文将在《岩石力学与工程学报》正刊发表, 其余在《合肥工业大学学报》等杂志增刊发表。投稿以 E-mail 方式发送到大会秘书处。

重要日期: 2009 年 4 月 20 日, 提交论文全文截止日; 2009 年 5 月 30 日, 论文评审结果送交作者; 2009 年 6 月 30 日, 提交修改后论文截止日。

会后考察: 皖南山区高速公路边坡与隧道工程以及黄山地区环境地质保护

联系地址: 安徽合肥市屯溪路 193 号 合肥工业大学土木与水利学院

邮政编码: 230009 **联系人:** 朱大勇 汪明武 姚华彦

电话: 0551-2901432 **传真:** 0551-2902066 **手机:** 15955134721, 15155100029

E-mail: zhudymeng@163.com, wanglab307@foxmail.com, yhuayan@sohu.com

联系人: 邢光武 **电话:** 13760815001, **E-mail:** guangwu_xing@126.com

(摘自 中国岩石力学与工程学会 网站)