

文章编号: 1000-7598 (2010) 02-0547-06

公路隧道岩质和土质围岩统一亚级分级标准研究

王明年¹, 陈炜韬², 刘大刚¹, 童建军¹

(1. 西南交通大学 土木工程学院, 成都 610031; 2. 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院, 成都 610072)

摘要: 目前实施的《公路隧道设计规范》(JTG D70-2004)对土质围岩分级、围岩亚级分级方法都没有进行研究, 因此, 不能满足隧道设计和施工的要求。通过对岩质围岩和土质围岩自稳性的大量室内试验、数值计算和理论分析, 建立了公路隧道岩质围岩和土质围岩统一的亚级分级标准。研究结果显示: 围岩自稳跨度是围岩自稳性的综合反映, 围岩自稳跨度可分为长期稳定跨度、基本稳定跨度、暂时稳定跨度和不稳定跨度。研究表明, 规范中岩质围岩的III级、IV级和V级分别依据自稳跨度可分为2个、3个和2个亚级; 土质围岩尽管分为黏质土围岩、砂质土围岩及碎石土围岩, 但按照各自的自稳跨度可以分别进行亚级划分。可见, 以自稳跨度可以建立岩质围岩和土质围岩统一的亚级分级标准。

关键词: 公路隧道; 亚级分级; 自稳跨度

中图分类号: U 451

文献标识码: A

Study of unified standard of rocky and soil surrounding rock sub-classification in road tunnels

WANG Ming-nian¹, CHEN Wei-tao², LIU Da-gang¹, TONG Jian-jun¹

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

2. Hydro China Chengdu Engineering Corporation CHIDI, Chengdu 610072, China)

Abstract: The implementary *Code for Design of Road Tunnel* (JTG D70-2004) can't satisfy the requirement of design and construction sometimes due to no study of soil surrounding rock classification and sub-classification methods. After ascertaining the building foundation of surrounding rock sub-classification standard in road tunnel, it had been constituted through lots of test, numerical calculation and theoretical analysis. The researches show that self-stability span is synthetical reflection of surrounding rock stability, so sub-classification standard can be constituted based on it. Surrounding rock self-stability span can divide into long-term stability span, basic stability span, temporary stability span and instability span. III class of Rocky surrounding rock in criterion can divide into two sub-classification according as surrounding rock stability, three for IV class and two for V class. Though soil surrounding rock include clayey surrounding rock, sandy surrounding rock and debris surrounding rock, their stability can be unified. The uniform standard of rocky and soil surrounding rock sub-classification built by self-stability span has rationality and inheritance.

Key words: road tunnel; surrounding rock sub-classification; self-stability span

1 引言

根据宏观、微观特征及表现的力学特征, 隧道围岩可以分为岩质围岩和土质围岩, 针对这两类围岩的分级研究, 国内外已有上百种方法^[1-3], 并且呈单一岩性指标→单一综合岩性指标→综合岩性指标→考虑围岩稳定性的发展^[3-4]。

在这些分级方法中, 大部分选取了一些能综合反映围岩特性的指标, 并建立了岩质围岩和土质围

岩统一的分级标准。如我国的铁路、公路隧道围岩分级以自稳性(自稳跨度、塌方情况等)指标建立了围岩级别的统一分级标准^[5-6]; 普氏分级、法国隧道协会(AFTES)推荐分级等方法根据坚固性系数 f 建立了分级标准; 劳菲尔分级方法以隧道自稳时间进行了分级标准研究, 并将围岩分为7个等级^[3]; 日本国铁则以弹性波速、围压比建立了统一的分级标准。而其他国外分级方法, 如Q法、RMR法、太沙基法、RSR法、SRC^[7]及国内工程岩体分级方法

收稿日期: 2008-11-07

基金项目: 交通部西部交通建设科技项目(No. 2004-318-00030)。

第一作者简介: 王明年, 1965年生, 博士, 男, 教授, 主要从事隧道及地下工程教学与科研工作。E-mail: 19910622@163.com

等^[8], 由于没有对土质围岩分级进行研究, 故没有建立两类围岩统一分级标准。

目前, 由于《公路隧道设计规范》^[6]没有围岩亚级分级方法, 因此, 在实际隧道施工中, 当围岩级别仅需调整半级或更少级别时, 由于规范没有给出亚级分级方法, 故不得不按一级调整, 从而造成浪费^[9]。因此, 本文在交通部西部交通建设科技项目——《公路隧道围岩分级指标体系与动态分类方法研究》^[1]基础上, 阐述了建立统一亚级分级标准的思路, 并据此建立了公路隧道岩质围岩和土质围岩统一亚级分级的理论标准和实用标准。

2 亚级分级标准研究思路

由于隧道所处围岩有岩质和土质之分, 千差万别, 种类繁多。因此, 必须根据围岩分级的目的, 制定出统一的围岩分级标准, 这样才能保证各种类型的围岩在分级上保持一致。可见, 统一的分级标准是围岩分级中必须解决的重要问题之一; 同时, 分级标准必须反映隧道围岩本质特性。

为了满足隧道钻眼、爆破、开挖、支护等要求, 围岩可以分别根据稳定性、可钻性、爆破性等单项进行分级, 也可根据这些特性进行综合分级。对于矿山法施工的隧道, 围岩稳定性是级别划分的主要依据; 同时, 为了反映对《公路隧道设计规范》^[6]中围岩分级的继承性, 本次研究选取围岩自稳性为统一亚级分级标准的建立依据。

围岩稳定性一般在洞室的形状和尺寸相对固定的条件下, 可以分为长期稳定、基本稳定、暂时稳定和不稳定 4 个等级^[3]。由于围岩的各稳定性等级都有相应的稳定跨度, 故围岩自稳跨度是围岩稳定性的综合反映。因此, 可以根据围岩自稳跨度制定统一的围岩亚级分级标准。根据围岩稳定性等级划分, 自稳跨度可以分为 4 类: 长期稳定跨度、基本稳定跨度、暂时稳定跨度、不稳定跨度。

对于复杂的围岩, 要获得所有围岩稳定性是十分困难的, 也是不现实的, 为此, 结合前人的研究成果, 首先将围岩分为土质围岩和岩质围岩, 然后分别研究获得各自亚级的稳定性跨度。

对于土质围岩, 要穷尽其所有的稳定性也是不现实的。根据研究成果表明^[10], 影响土质围岩稳定性只有有限的几个主要因素, 即土质围岩分级指标体系。因此, 可以采用土质围岩分级指标体系中不同指标值的组合, 来获得所有的土质围岩稳定性。

根据这一观点, 可以首先采用大量的小试件试验, 研究土质围岩分级指标体系中各指标值的变化

对土质围岩稳定性的影响, 从而对土质围岩各指标值进行分组。对每一组土质围岩进行模型试验和数值分析, 获得其自稳跨度, 由此确定每一组土质围岩稳定性。

对于岩质围岩, 研究思路同土质围岩。目前, 《公路隧道设计规范》^[6]已经给出了岩质围岩分级指标体系中各指标值的变化对岩质围岩稳定性的影响, 并根据这一影响, 将岩质围岩进行了分级。实际上每一级围岩都包含了若干种不同指标值的组合。本次研究就是要对每一级岩质围岩中的各种不同指标值的组合进行数值试验, 并结合相似模型试验, 获得其自稳跨度。由此, 获得每一级岩质围岩稳定性。

根据岩质围岩和土质围岩自稳跨度制定出统一的围岩亚级分级标准。

3 围岩自稳性研究

依据《公路隧道设计规范》^[6]中公路隧道围岩分级, 由于 I、II 级围岩对应的组合较为简单, 稳定性较好, 所以没有必要再进行细化分析。因此, 细化分组的主要对象是针对较为复杂的 III、IV 和 V 级围岩, 分别通过数值计算和模型试验对岩质围岩和土质围岩的稳性进行了研究。关于计算和试验的分组分类及参数参见文献^[11]。

3.1 岩质围岩自稳性研究

(1) 数值计算

采用离散元方法, 数值计算组合的确定是依据《公路隧道设计规范》^[6]中公路隧道围岩分级表(表 4-3)、岩体完整程度的定性划分表(表 3-12)、结构面发育程度分级表(表 3-8)以及《铁路隧道设计规范》^[5]中围岩分级表(表 4-4), 计算模型图见图 1(图中斜线表示结构面, 曲线为隧道开挖轮廓线)。据此, III 级岩质围岩共有 4 类组合, IV 级岩质围岩共有 4 类组合, V 级岩质围岩共有 3 类组合, 参见文献^[11]。数值计算结果见图 2~4。

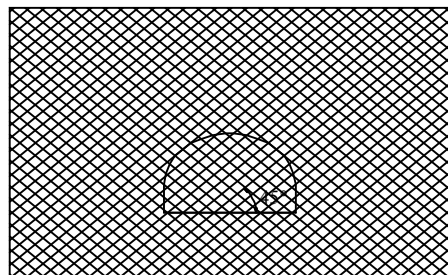


图 1 计算模型示意图

Fig.1 Sketch map of numeration model

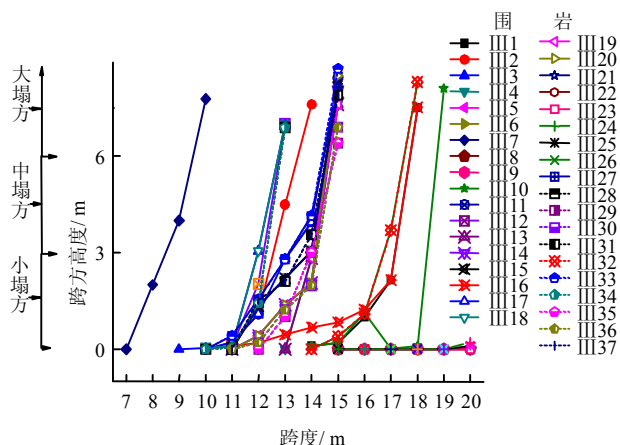


图2 III级围岩稳定性曲线

Fig.2 Stability curves of III grade surrounding rock

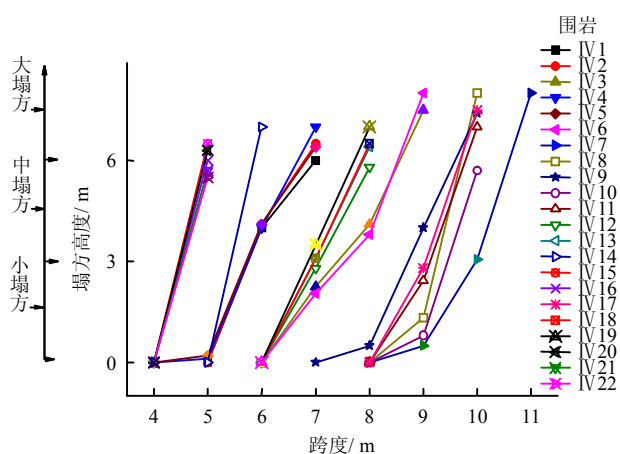


图3 IV级围岩稳定性曲线

Fig.3 Stability curves of IV grade surrounding rock

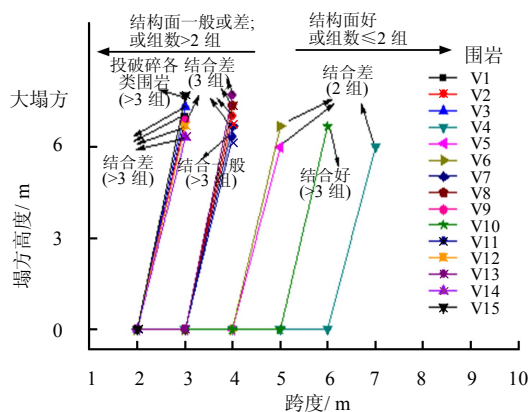


图4 V级围岩稳定性曲线

Fig.4 Stability curves of V grade surrounding rock

从图2中可以看出, III级围岩稳定性曲线明显呈两个相对集中区域。对每一区域内围岩稳定性进行分析, 可见: ①每种组合随着开挖跨度的增加, 稳定性曲线有4个阶段组成, 即由基本稳定, 发展到小塌方, 再发展到中塌方, 最后发展到大塌方; ②根据III级围岩自稳跨度曲线分布特点, 可以分为

两组, 每组围岩稳定性情况见表1。

表1 III级围岩稳定性分组

Table 1 Stability grouping of III grade surrounding rock

组别	稳定性
1	跨度大于18 m, 可发生中~大塌方; 跨度10~18 m, 可暂时稳定, 可发生小~中塌方; 跨度小于10 m, 基本稳定。
2	跨度大于14 m, 发生中~大塌方; 跨度7~14 m, 可暂时稳定, 可发生小~中塌方; 跨度小于7 m, 基本稳定。

从图3中可以看出, IV级围岩稳定性曲线明显呈3个相对集中的区域。对每一区域内围岩稳定性进行分析, 可见: ①IV级围岩自稳跨度曲线的3个区域分别代表了3种不同的破坏模式。第1种破坏模式, 随着开挖跨度的增加, 稳定性曲线由4个阶段组成, 即由基本稳定发展到小塌方, 再发展到中塌方, 最后发展到大塌方; 第2种破坏模式, 随着开挖跨度的增加, 稳定性曲线由基本稳定迅速发展到中塌方, 最后发展到大塌方; 第3种破坏模式, 随着开挖跨度的增加, 稳定性曲线由基本稳定迅速发展到大塌方。②根据这3种破坏模式, 可将IV级围岩自稳性分为3个组, 每组围岩稳定性情况见表2。

表2 IV级围岩稳定性分组

Table 2 Stability grouping of IV grade surrounding rock

组别	稳定性
1	跨度大于9 m, 可发生中~大塌方; 跨度7~9 m, 暂时稳定, 可发生小塌方; 跨度小于7 m, 可基本稳定。
2	跨度大于7 m, 可发生中~大塌方; 跨度6~7 m, 暂时稳定, 可发生小塌方; 跨度小于6 m, 可稳定。
3	跨度大于或等于5 m, 可暂时稳定~不稳定, 可直接发生中~大塌方; 跨度小于5 m, 可基本稳定。

从图4中可以看出, V级围岩稳定性曲线明显呈两个相对集中的区域, 对每一区域内围岩稳定性进行分析, 可见: ①随着开挖跨度的增加, 稳定性曲线由基本稳定迅速发展到大塌方; ②以跨度3~4 m为界, 呈现出两个相对集中的区域, 即可以分为两个组, 每组围岩稳定性情况见表3。

(2) 模型试验

模型试验的目的是在分组的基础上验证各组别的稳定性情况, 模型试验应为破坏模型试验, 试验采用的台架见图5, 相似材料配比材料及力学参数可参考文献[11]。根据相似理论, 分别进行III级、IV级和V级围岩各指标组合分组的稳定性相似模型试验, 试验结果见表4。

表3 V级围岩稳定性分组

Table 3 Stability grouping of V grade surrounding rock

组别	稳定性
1	跨度大于6 m, 完全无自稳能力。
	跨度为4~6 m, 可暂时稳定, 可发生中~大塌方。
	跨度小于4 m, 可基本稳定。
2	跨度大于4 m, 完全无自稳能力。
	跨度为3~4 m, 可暂时稳定, 可发生中~大塌方。
	跨度小于3 m, 可基本稳定。



图5 模型试验台架

Fig.5 Model test-bed

表4 岩质围岩稳定性的模型试验结果

Table 4 Model test results of rocky surrounding rock stability

围岩级别	稳定性组别	围岩稳定性相似模型试验结论
III	1	当跨度为11~17 m时, 可稳定一段时间后发生小~中塌方。
	2	当跨度为7~13 m时, 可稳定一段时间后发生小~中塌方。
IV	1	当跨度为5~9 m时, 可稳定一段时间后发生小塌方; 大于9 m无自稳能力, 很快发展成中~大塌方。
	2	当跨度为5~7 m时, 可稳定一段时间后发生小塌方; 大于7 m无自稳能力, 很快发展成中~大塌方。
	3	当跨度为4~5 m时, 可稳定一段时间后发生小塌方; 大于5 m无自稳能力, 很快发展成中~大塌方。
V	1	当跨度为4~6 m时, 可稳定一段时间后发生小塌方, 很快发展成中~大塌方, 大于6 m无自稳能力。
	2	当跨度为2~4 m时, 可稳定一段时间后发生小塌方, 很快发展成中~大塌方, 大于4 m无自稳能力。

将表1~3与表4对比可知, 相似模型试验与数值计算结果基本吻合。

3.2 土质围岩自稳性研究

根据《公路隧道设计规范》^[6]和《岩土工程勘察规范》^[12]将土质围岩分为黏质土围岩、砂质土围岩及碎石土围岩并分别进行研究, 对3种土质围岩的分级指标选取及指标值分界分组结果见表5~7, 具体见参考文献[11, 13~14]。

表5 黏质土围岩指标值组合分组

Table 5 Combination and grouping of values of clayey surrounding rock classification indexes

组别	液性指数 (稠度状态)		天然密度 $\gamma / (\text{kN/m}^3)$	塑性指数 I_P
	定性描述	液性指数 I_L		
1	坚硬	<0	≥ 20	
2	坚硬	<0	< 20	
	硬塑	$[0, 0.25)$	≥ 20	
3	硬塑	$[0, 0.25)$	< 20	≤ 18
	可塑	$[0.25, 0.5)$	≥ 16	> 18
4	可塑	$[0.25, 0.5)$	< 16	
	可塑~流塑	≥ 0.5		

表6 砂质土围岩指标值组合分组

Table 6 Combination and grouping of values of sandy surrounding rock classification indexes

组别	密实程度			细粒含量 $W / \%$	细粒含水率 $W_L / \%$
	定性描述	定量指标			
		标准贯入	相对密度		
		锤击数 N	D_r		
1	密实	≥ 30	≥ 0.67	< 10	
	密实	≥ 30	≥ 0.67	≥ 30	≤ 18.75
2	密实	≥ 30	≥ 0.67	≥ 30	$18.75 \sim 43.29$
	密实	≥ 30	≥ 0.67	$10 \sim 30$	
	密实~中密	$15 \sim 30$	$0.5 \sim 0.67$	< 10	
	密实以下	< 30	< 0.67	≥ 30	≤ 18.75
3	中密~稍密	$10 \sim 15$	$0.5 \sim 0.27$	< 10	
	稍密~密实	$10 \sim 30$	$0.27 \sim 0.67$	$10 \sim 30$	
	密实以下	< 30	< 0.67	≥ 30	$18.75 \sim 43.29$
4	稍密以下	< 10	< 0.27	< 30	
				≥ 30	≥ 43.29

注: 细粒指粒径 $<0.075 \text{ mm}$ 的土粒。

表7 碎石土围岩指标值组合分组

Table 7 Combination and grouping of values of debris surrounding rock classification indexes

组别	密实程度		细粒	细粒	
	定性	定量指标	含量	含水率	
	描述	动力触探锤击数	相对密度 D_r	$W / \%$	$W_L / \%$
1	密实	$N_{63.5} > 20$, 或 $N_{120} > 11$	≥ 0.73	< 30 ≥ 30	≤ 14
	密实	$N_{63.5} > 20$, 或 $N_{120} > 11$	≥ 0.73	≥ 30	> 14
2	中密	$10 < N_{63.5} \leq 20$, 或 $6 < N_{120} \leq 11$	$[0.49, 0.73)$	< 30 ≥ 30	< 18
	中密	$10 < N_{63.5} \leq 20$, 或 $6 < N_{120} \leq 11$	$[0.49, 0.73)$	≥ 30	≥ 18
3	稍密	$N_{63.5} \leq 10$, 或 $N_{120} \leq 6$	< 0.49		

注: 细料指粒径 $<2 \text{ mm}$ 的土粒。

通过有限元和离散元计算方法和室内模型试验,研究表5~7中黏质土、砂质土及碎石土围岩的稳定性,结果见表8。

4 亚级分级统一标准建立

《公路隧道设计规范》规定,围岩分级采用6级分级标准^[6]。此次对于I级、II级围岩没有进行亚级划分,围岩分级标准仍采用规范值;由于VI级围岩不具有自稳,但为了保持结论的完整性,故直接给出了围岩级别及稳定性。对III级、IV级、V级围岩进行了亚级划分,根据表1~3中岩质围岩的自稳性及表6中土质围岩的自稳性研究结果,结合《公路隧道设计规范》^[6]确定出围岩亚级分级标准见表9。

表8 土质围岩稳定性

Table 8 Stability of soil surrounding rock

类别	组别	自稳性
黏质土围岩	1	当跨度小于5 m时,能基本稳定
	2	当跨度小于4 m时,能基本稳定
	3	当跨度小于3 m时,能暂时稳定
	4	不能自稳
砂质土围岩	1	当跨度小于5 m时,可基本稳定
	2	当跨度小于4 m时,可基本稳定
	3	3 m开挖跨度,可暂时稳定
	4	不能自稳
碎石土围岩	1	当开挖跨度小于5 m时,可基本稳定
	2	当开挖跨度小于4 m时,可基本稳定
	3	当开挖跨度小于3 m时,可基本稳定

表9 围岩亚级分级标准

Table 9 Standard of surrounding rock sub-classification

围岩级别		自稳性
级别	亚级	
I		跨度为20 m,可长期稳定,偶有掉块,无塌方。
II		跨度为10~20 m,可基本稳定,局部可发生掉块或小塌方;跨度10 m,可长期稳定,偶有掉块。
III	III ₁	跨度大于18 m,可发生中~大塌方;跨度10~18 m,可暂时稳定,可发生小~中塌方;跨度10 m,基本稳定。
III	III ₂	跨度大于14 m,发生中~大塌方;跨度7~14 m,可暂时稳定,可发生小~中塌方;跨度7 m,基本稳定。
IV	IV ₁	跨度大于9 m,可发生中~大塌方;跨度7~9 m,暂时稳定,可发生小塌方;跨度小于7 m,可基本稳定。
IV	IV ₂	跨度大于7 m,可发生中~大塌方;跨度6~7 m,暂时稳定,可发生小塌方;跨度小于6 m,可稳定。
IV	IV ₃	跨度大于或等于5 m,可暂时稳定~不稳定,可直接发生中~大塌方;跨度小于5 m,可基本稳定。
V	V ₁	跨度大于6 m,完全无自稳性;跨度4~6 m,可暂时稳定,可发生中~大塌方;跨度小于4 m,可基本稳定。
V	V ₂	跨度大于4 m,完全无自稳性;跨度3~4 m,可暂时稳定,可发生中~大塌方;跨度小于3 m,可基本稳定。
VI		无自稳性

5 结 论

隧道围岩级别的判定是合理的支护结构设计和施工的前提,而分级标准的建立又是围岩级别判定的基础,因此,本文在确定分级标准的依据基础上,通过大量的数值计算和室内模型试验对公路隧道围岩亚级分级标准进行了详细系统的研究,得到以下结论:

(1) 确定了以围岩自稳跨度为公路隧道围岩亚级分级标准建立的基础,并将围岩自稳跨度分为长期稳定跨度、基本稳定跨度、暂时稳定跨度和不稳定跨度。

(2) 针对《公路隧道设计规范》^[6]中较为复杂的III、IV和V级岩质围岩稳定性分别进行研究,获得了各自的自稳性分组及各组自稳跨度。

(3) 根据现有规范和自身的力学特性,将土质围岩分为黏质土围岩、砂质土围岩及碎石土围岩,并分别获得了3种围岩的分级指标值组合分组和各

组围岩稳定性。

(4) 依据岩质围岩和土质围岩的稳定性,并结合现有规范,得到了公路隧道围岩亚级分级统一标准。

参 考 文 献

- [1] 胡卸文,黄润秋.西南某电站坝区岩体质量分级与评价[J].水力发电学报,1996,(2):71-85.
HU Xie-wen, HUANG Run-qiu. Classification and evaluation of rock-mass quality in dam site of a south-western hydroelectric station[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 1996, (2): 71-85.
- [2] 关宝树.铁路隧道围岩分类[M].北京:人民铁道出版社,1978.
- [3] 沈中其,关宝树.铁路隧道围岩分类[M].成都:西南交通大学出版社,2000.
- [4] 关宝树.国外隧道围岩分类的现状和发展[J].隧道译丛,1972,(4):1-3.

- GUAN Bao-shu. The actuality and development of surrounding rock classification in other countries[J]. **Tunnel Corpus**, 1972, (4): 1—3.
- [5] 中华人民共和国铁道部. TB10003—2005 铁路隧道设计规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [6] 重庆交通科研设计院. JTGD70—2004 公路隧道设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [7] GONZALEZ D E, VALLEJO L I. SRC rock mass classification of tunnels under high tectonic stress excavated in weak rocks[J]. **Engineering Geology**, 2003, (69): 273—285.
- [8] 中华人民共和国水利部. GB50218—94 工程岩体分级标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1995.
- [9] 王明年, 何林生. 建立公路隧道施工阶段围岩分级的思考[J]. 广东公路交通, 1998, (增刊 1): 125—127.
- WANG Ming-nian, HE Lin-sheng. Build surrounding rock classification of highway tunnel during the construction[J]. **Guangdong Highway Communications**, 1998, (Supp.1): 125—127.
- [10] 陈炜韬, 王明年, 王玉锁, 等. 黏性土土质隧道围岩分级指标选取的研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(4): 901—904.
- CHEN Wei-tao, WANG Ming-nian, WANG Yu-suo. et al. Study on the index selection of surrounding rock classification in cohesive soil tunnel[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2008, 29(4): 901—904.
- [11] 西南交通大学. 公路隧道围岩分级指标体系与动态分类方法研究[R]. 成都: 西南交通大学, 2007.
- [12] 建设部综合勘察研究设计院. GB 50021—2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [13] 陈炜韬, 王明年, 魏龙海, 等. 黏性土土质隧道围岩分级指标的界限值确定[J]. 岩土力学, 2008, 29(9): 2446—2450.
- CHEN Wei-tao, WANG Ming-nian, WEI Long-hai. et al. Value limits of the index of surrounding rock classification in cohesive soil tunnel[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2008, 29(9): 2446—2450.
- [14] 王玉锁, 陈炜韬, 王明年. 砂土质隧道围岩黏聚力影响因素的试验研究[J]. 水文地质工程地质, 2006, (6): 48—51.
- WANG Yu-suo, CHEN Wei-tao, WANG Ming-nian. Test research for influencing factors of the cohesive strength of sand soil tunnel surrounding rock[J]. **Hydrogeology & Engineering Geology**, 2006, (6): 48—51.

书 讯

ABAQUS 在隧道及地下工程中的应用（水利水电版）

工业技术类, 陈卫忠、伍国军、贾善坡著, 16 开, 813 千字, 524 页, 平装光膜, 估价: 68 元, 2010 年 1 月出版, ISBN: 978—7—5084—6995—9

本书系统阐述了地下工程数值模拟的基本原理和方法, 通过一系列的工程实例, 详细地介绍了 ABAQUS 在隧道及地下工程设计及施工中的应用, 较充分地反映了作者及国内外最新研究成果。本书主要立足于实际工程应用, 将 ABAQUS 相关模拟功能和隧道及地下工程中的具体研究对象结合起来, 背景性强, 属于 ABAQUS 软件分析的高级篇。读者对象: 土木工程、岩土与隧道工程、地质工程、水利工程、石油工程的专业技术人员及研究生。

ABAQUS 在岩土工程中的应用（水利水电版）

工业技术类, 费康、张建伟编著, 16 开, 652 千字, 420 页, 平装, 估价: 55 元, 2010 年 1 月出版, ISBN: 978—7—5084—6995—3

本书结合一系列应用实例, 系统介绍了 ABAQUS 软件用于岩土工程数值模拟分析的功能和方法。全书分为两大部分共 16 章, 即入门篇（第 1—5 章）和应用篇（6—16 章）。入门篇主要介绍软件的功能、岩土工程中常用的单元、本构关系和接触面理论等基本知识, 通过阅读这些章节, 读者可以达到快速入门的目的。应用篇中首先详细介绍了用户子程序的编写注意事项和编写过程, 然后通过岩土工程应用实例, 对模型建立、问题求解和结果后处理中需要考虑的关键问题进行了讨论。读者对象: 岩土工程、水利工程、结构工程等领域高校师生, 工程技术人员和研究生, 岩土工程专业土工数值分析课程师生。

（摘自 新华书目报·科技新书目）