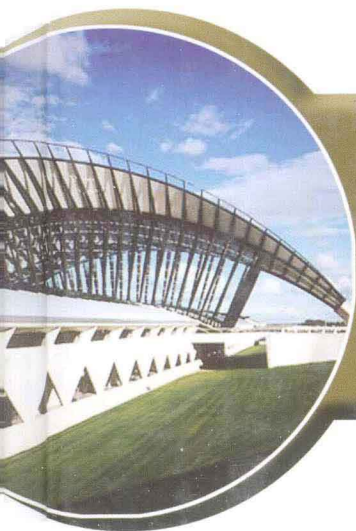


土木工程施工工艺

隧道及地铁工程

(第2版)

中铁二局股份有限公司 卿三惠 等 编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

土木工程施工工艺

隧道及地铁工程

(第2版)

中铁二局股份有限公司 卿三惠 等 编著

中国铁道出版社

2013·北京

内 容 提 要

《土木工程施工工艺》是中铁二局股份有限公司依据国家及行业最新技术标准、规范、规程等,在广泛收集国内外资料的基础上,结合工程实践总结提炼而编制的,内容涵盖铁路、公路、市政、城市轨道交通、房屋建筑等土木工程领域共计有 374 项施工工艺,每项工艺均包括工艺特点、适用范围、工艺原理、工艺流程、操作要点、主要机具设备、劳动力组织、质量控制要点、安全及环保措施九个方面,大部分项附有工程应用案例,基本反映了当前国内外土木工程施工的新技术、新材料、新工艺、新方法,重点突出了施工工艺的先进性、适应性和可操作性。内容丰富,适用范围广泛,是一套土木工程施工的实用工具书,可满足企业制定投标方案、编制施工组织设计、现场技术交底、检查验收、施工技术培训等工作的需要。

本工艺共分为五册:包括《路基路面工程》、《桥梁工程》、《隧道及地铁工程》、《铺架与“四电”工程》、《房屋建筑工程》。本册为《隧道及地铁工程》,收有 87 项施工工艺,可隧道、地铁工程施工技术人员及管理人员学习和参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

隧道及地铁工程/卿三惠等编著. —2 版. —北京:中国铁道出版社,2013. 10

(土木工程施工工艺)

ISBN 978-7-113-17509-2

I. ①隧… II. ①卿… III. ①隧道工程-工程施工②地下铁道-铁路工程-工程施工 IV. ①U455②U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 246791 号

书 名:土木工程施工工艺 隧道及地铁工程(第 2 版)
作 者:中铁二局股份有限公司 卿三惠 等 编著

责任编辑:徐 艳 电话:(010)51873065

封面设计:马 利

责任校对:龚长江

责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街 8 号)

印 刷:中煤涿州制图印刷厂北京分厂

版 次:2009 年 3 月第 1 版 2013 年 10 月第 2 版 2013 年 10 月第 1 次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:69.75 字数:1770 千

书 号:ISBN 978-7-113-17509-2

定 价:260.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部联系调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

编辑委员会

主 任:唐志成

副 主 任:卿三惠 王广钟

委 员:钱纪民 任中田 刘世杰 刘仁智 韩兴旭

付 洵 张胜全 兰文峰 黄世红 于 力

何开伟 郜小群 唐光建 潘永光 李 林

陈 杰 代伯寿 苏雄念

编 辑:韦 慎

隧道及地铁工程编审人员名单

主 编:卿三惠

副 主 编:刘世杰 刘仁智 兰文峰 黄世红 何开伟 李 林

编写人员:

公司本部:卿三惠 刘世杰 刘仁智 吴建和 唐坤全

李朝晖 杨维裕 李学仕 何 军 郭 平

一 公 司:兰文峰 朱家稳 罗兴财 罗 飙 赵瑞文

杨 勇 王国炜 王 浩 刘远建

二 公 司:杨家松 谢文清 谢思东 吴建福 王正新

刘敏丁 黄瑞金

三 公 司:孙 凯 吴德胜

四 公 司:钟 彬 廖 波 李庆生 何盛光 邓 平

何开伟 陈莉苹 李远平 谭 兵 刘 泽

李 宏 谭祥国

五 公 司:黄龙平 谭文杰 付艳军 肖志云 王 尹

李泽伦 何小勇 唐宗存 李 勇

城通公司:李 林 何达兵 陈 强 段绍和 郑世加

张 斌 杨 勇 王家祥 孙锡山 刘 东

审查人员:卿三惠 刘世杰 刘仁智 李福华 吴建和

丁 睿 唐坤全 杨维裕 罗兴财 黄世红

王正新 杨育红 李学仕 何开伟 何盛光

李 宏 段绍和 陈 强

前 言

改革开放以来,我国土木工程建设迅猛发展,给施工企业带来了良好的发展机遇。为规范土木工程施工工艺,预防工程项目实施过程中的安全质量隐患,中铁二局股份有限公司组织编制了《土木工程施工工艺》,对成熟的施工技术及工艺进行系统集成,构建一个具有指导性和可操作性的土木工程施工工艺体系。

为做好编制工作,公司成立了《土木工程施工工艺》编辑委员会,并下发了中铁二局股份有限公司《关于公布土木工程施工工艺编制规划的通知》,结合公司涉及的经营业务范围,确立了“统一规划、同步实施、整体推进”的总体部署,按照专业划分为路基路面工程、桥梁工程、隧道及地铁工程、辅轨架梁与“四电”(通信、信号、电力、电气化)工程、房屋建筑工程五个部分进行编制。编制过程中,在编委会确定编写大纲的指导下,各参编单位精心组织 了 262 名专业技术人员和 53 名资深专家参加编制与审查工作。经过一年多的努力,终于完成了涵盖铁路、公路、市政、城市轨道交通、房屋建筑等土木工程领域的数百项施工工艺,每项工艺均包括工艺特点、适用范围、工艺原理、工艺流程、操作要点、主要机具设备、劳动力组织、质量控制要点、安全及环保措施九个方面,大部分项附有工程应用案例。

本工艺主要依据国家及行业最新技术标准、规范、规程等,在广泛收集国内外资料的基础上,结合工程实践总结提炼而编制了共 374 项施工工艺。本次分五册出版:包括《路基路面工程》79 项,《桥梁工程》70 项,《隧道及地铁工程》87 项,《铺架与“四电”工程》82 项,《房屋建筑工程》56 项。全书贯彻了“以我为主、博采众长”的指导思想,力求反映当前国内外土木工程施工采用的新技术、新材料、新工艺、新方法,重点突出了施工工艺的先进性、适应性和可操作性。内容十分丰富,适用范围广泛,是一套土木工程施工的实用工具书,可满足企业制定的投标方案、编制施工组织设计、现场技术交底、检查验收、施工技术培训等工作的需要。

《土木工程施工工艺》编制是一项庞大的综合性系统工程,工作量巨大,全书篇幅达 678 万字,并附有表格 1 640 个、工程案例 305 个、图片 1 994 张。参加编写的作者大多为施工生产一线工作的技术人员,对各类土木工程施工具有较丰富的实践经验和体会。但由于时间仓促,加之土木工程施工工艺的不断发展和技术标准的更新,本书难免存在疏漏和不足之处,希望读者提出宝贵意见,以便进一步修订完善。

《土木工程施工工艺》编委会

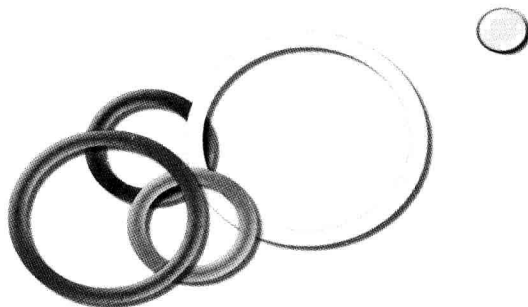
目 录

隧道围岩类别划分开挖方法.....	1
隧道围岩类别划分与判定.....	3
全断面开挖法施工工艺	22
台阶法施工工艺	37
环形开挖预留核心土法施工工艺	46
双侧壁导坑法施工工艺	55
中洞法施工工艺	61
中隔壁法(CD法)施工工艺	67
交叉中隔壁法(CRD法)施工工艺	73
隧道进洞施工准备及超前地质预报	79
隧道施工准备工作	81
洞口边仰坡开挖及支护施工工艺	95
洞门工程施工工艺.....	104
明洞、棚洞工程施工工艺	110
TSP203超前地质预报技术	125
地质雷达预报技术.....	136
隧道其他超前地质预报技术.....	144
地质综合分析技术.....	160
隧道工程施工.....	167
小导管施工工艺(含超前锚杆).....	169
大管棚施工工艺.....	176
帷幕注浆施工工艺.....	187
隧道钻爆法开挖设计与施工工艺.....	198
隧道有轨运输技术.....	208
隧道无轨运输技术.....	218
格栅、型钢钢架及W钢带施工工艺.....	225
喷射混凝土施工工艺.....	232
隧道锚杆施工工艺.....	241
隧道防排水施工工艺.....	251
隧道施工排水技术.....	264
简易衬砌台架设计与施工技术.....	274

全液压衬砌台车施工技术·····	287
压入式通风技术·····	299
隧道巷道式射流通风技术·····	315
隧道辅助系统施工技术·····	325
辅助坑道施工工艺·····	347
隧道测量及质量检测·····	377
隧道洞外控制测量技术·····	379
隧道洞内控制测量技术·····	403
隧道施工测量技术·····	421
隧道竣工测量技术·····	430
竖井联系测量技术·····	435
隧道监控量测技术·····	443
隧道初期支护施工质量检测技术·····	449
隧道二次衬砌施工质量检测技术·····	462
特殊岩土隧道施工·····	479
富水软弱破碎围岩深孔预注浆施工技术·····	481
连拱隧道施工技术·····	490
瓦斯隧道施工技术·····	503
膨胀岩隧道施工技术·····	526
岩溶隧道施工技术·····	533
风积砂及含水砂层隧道施工技术·····	560
岩爆隧道施工技术·····	570
挤压性围岩隧道施工技术·····	584
车站及明挖区间施工·····	599
钻孔围护排桩施工工艺·····	601
地下连续墙施工工艺·····	608
SMW 桩施工工艺·····	629
咬合桩施工工艺·····	646
支撑体系施工工艺·····	658
地铁工程降水施工技术·····	672
水平冷冻施工工艺·····	680
垂直冷冻施工工艺·····	705
水平旋喷施工工艺·····	719
地表深层注浆施工工艺·····	727
洞桩法施工技术工艺·····	738
非开挖超长管棚施工工艺·····	750
明挖法基坑开挖技术·····	762

地铁盖挖顺作法施工工艺	772
地铁盖挖逆作法施工工艺	783
暗挖法车站开挖技术	794
车站及区间土石方垂直提升技术	812
防水层敷设施工工艺	820
特殊部位防水层施工工艺	826
地铁车站及明挖区间监控量测技术	831
盾构隧道施工	849
盾构选型、监造及设计联络	851
盾构下井、组装、调试、验收、拆卸及运输	881
管片预制技术	892
后配套设备选型、设计及洞内布置	911
盾构端头地基加固施工工艺	925
洞门墙拆除、洞圈浇筑施工工艺	934
盾构始发架设计、制造、安装技术	939
盾构始发(含试掘进)技术	946
盾构到达技术	960
盾构推进及地表沉降控制技术	971
盾构注浆施工工艺	992
盾构施工测量技术	1004
盾构过站、调头施工技术	1017
盾构隧道防水施工综合技术	1031
盾构三线并行及下穿铁路施工技术	1046
盾构浅覆土及立交施工技术	1061
盾构小半径曲线施工技术	1072
顶管施工	1085
顶管施工技术	1087
参考文献	1105

隧道围岩类别 划分开挖方法



隧道围岩类别划分与判定

隧道围岩分级就是评定围岩性质、判断隧道围岩稳定性,作为选择隧道位置、支护类型的依据并指导安全施工。

国内外现在的围岩分级方法有定性、定量、定性与定量相结合 3 种方法,且多以前 2 种方法为主。定性分级的做法是,在现场对影响岩体质量的诸因素进行定性描述、鉴别、判断,或对主要因素作出评判、打分,有的还引入分量化指标进行综合分级。以定性为主的分级方法,如现行的公路、铁路隧道围岩分级等方法经验的成分较大,有一定人为因素和不确定性,在使用中,往往存在不一致,随勘察人员的认识和经验的差别,对同一围岩作出级别不同的判断。采用定性分级的围岩级别,常常出现与实际差别 1~2 级的情况。定量分级的做法是根据对岩体性质进行测试的数据或对各参数打分,经计算获得岩体质量指标,并以该指标值进行分级。如国外 N. Barton 的 Q 分级,Z. T. Bieniawsks 的地质力学(MRM)分级、Dree 的 RQD 值分级等方法。但由于岩体性质和赋存条件十分复杂,分级时仅用少数参数和某个数学公式难以全面准确地概括所有情况,而且参数测试数量有限,数据的代表性和抽样的代表性均存在一定的局限,实施时难度较大。

影响围岩稳定的因素多种多样,主要是岩石的物理力学性质、构造发育情况、承受的荷载(工程荷载和初始应力)、应力变形状态、几何边界条件、水的赋存状态等。这些因素中,岩体的物理力学性质和构造发育情况是独立于各种工作类型的,反映出了岩体的基本特性。在岩体的各项物理力学性质中,对稳定性关系最大的是岩石坚硬程度,岩体的构造发育状态、不连续性、节理化程度所反映的岩体完整性是地质体的又一基本属性。国内外多数围岩分级都将岩石坚硬程度和岩体的完整程度作为岩体基本质量分级的两个基本因素。

1 国标《锚杆喷射混凝土支护技术规范》围岩分级

1.1 围岩分级

围岩级别的划分应根据岩石坚硬性岩体完整性结构面特征地下水和地应力状况等因素综合确定并应符合表 1 规定。

表 1 围 岩 分 级

围 岩 级 别	主要工程地质特征							毛洞稳 定情况
	岩体 结构	构造影响程度,结构面发育 情况和组合状态	岩石强度指标		岩体声波指标		岩体 强度 应力 比	
			单轴饱和 抗压强度 (MPa)	点荷载 强度 (MPa)	岩体纵 波速度 (km/s)	岩体完整 性指标		
I	整体结构及层间 结合良好的厚层 状结构	构造影响轻微,偶有小断层结构面不 发育,仅有 2~3 组,平均间距大于 0.8 m,以原生和构造节理为主,多数 闭合,无泥质充填,不贯通。层间结 合良好,一般不出现不稳定块体	>60	>2.5	>5	>0.75	—	毛洞跨 度 5~10 m 时 长期稳定, 无碎块掉落

续上表

围岩级别	主要工程地质特征							毛洞稳定情况
	岩体结构	构造影响程度,结构面发育情况和组合状态	岩石强度指标		岩体声波指标		岩体强度应力比	
			单轴饱和抗压强度(MPa)	点荷载强度(MPa)	岩体纵波速度(km/s)	岩体完整性指标		
II	同 I 级围岩结构	同 I 级围岩特征	30~60	1.25~2.5	3.7~5.2	>0.75		毛洞跨度 5~10 m 时,围岩能较长时间(数月甚至数年)维持稳定,仅出现局部小块掉落
	块状结构和层间结合较好的中厚层或厚层层状结构	构造影响较重,有少量断层,结构面发育,一般为 3 组,平均间距 0.4~0.8 m,以原生和构造节理为主,多数闭合,偶有泥质充填,贯通性较差,有少量软弱结构面。层间结合较好,偶有层间错动和层面张开现象	>60	>2.5	3.7~5.2	>0.5	—	
III	同 I 级围岩结构	同 I 级围岩特征	20~30	0.85~1.25	3.0~4.5	>0.75	>2	毛洞跨度 5~10 m 时围岩能维持 1 个月以上的稳定,主要出现局部掉块塌落
	同 II 级围岩块状结构和层间结合较好的中厚层或厚层层状结构	同 II 级围岩块状结构和层间结合较好的中厚层或厚层层状结构特征	30~60	1.25~2.50	3.0~4.5	0.5~0.75	>2	
	层间结合良好的薄层和软硬岩互层结构	构造影响较重结构面发育一般为 3 组,平均间距 0.2~0.4 m,以构造节理为主,节理面多数闭合,少有泥质充填。岩层为薄层或以硬岩为主的软硬岩互层,层间结合良好,少见软弱夹层、层间错动和层面张开现象	>60 (软岩 >20)	>2.50	3.0~4.5	0.30~0.50	>2	
	碎裂镶嵌结构	构造影响较重,结构面发育一般为 3 组以上,平均间距 0.2~0.4 m。以构造节理为主,节理面多数闭合,少数有泥质充填,块体间牢固咬合	>60	>2.50	3.0~4.5	0.30~0.50	>2	
IV	同 II 级围岩块状结构和层间结合较好的中厚层或厚层层状结构	同 II 级围岩块状结构和层间结合较好的中厚层或厚层层状结构特征	10~30	0.42~1.25	2.0~3.5	0.50~0.75	>1	毛洞跨度 5 m 时围岩能维持数日到 1 个月的稳定,主要失稳形式为冒落或片帮
	散块状结构	构造影响严重,一般为风化卸荷带,结构面发育一般为 3 组,平均间距 0.4~0.8 m,以构造节理卸荷风化裂隙为主,贯通性好,多数张开夹泥,夹泥厚度一般大于结构面的起伏高度。咬合力弱,构成较多的不稳定块体	>30	>1.25	>2.0	>0.15	>1	
	层间结合不良的薄层中厚层和软硬岩互层结构	构造影响严重,结构面发育一般为 3 组以上,平均间距 0.2~0.4 m,以构造风化节理为主,大部分微张(0.5~1.0 mm),部分张开(1.0 mm),有泥质充填,层间结合不良,多数夹泥,层间错动明显	>30 (软岩 >10)	>1.25	2.0~3.5	0.20~0.40	>1	
	碎裂状结构	构造影响严重,多数为断层影响带,或强风化带,结构面发育一般为 3 组以上,平均间距 0.2~0.4 m,大部分微张(0.5~1.0 mm),部分张开(1.0 mm),有泥质充填,形成许多碎块体	>30	>1.25	2.0~3.5	0.20~0.40	>1	

续上表

围岩级别	主要工程地质特征						毛洞稳定情况	
	岩体结构	构造影响程度,结构面发育情况和组合状态	岩石强度指标		岩体声波指标			岩体强度应力比
			单轴饱和抗压强度(MPa)	点荷载强度(MPa)	岩体纵波速度(km/s)	岩体完整性指标		
V	散体状结构	构造影响很严重,多数为破碎带、全强风化带。破碎带交汇部位构造及风化节理密集,节理面及其组合杂乱,形成大量碎块体,块体间多数为泥质充填,甚至呈石夹土状或土夹石状	—	—	<2.0	—	—	毛洞跨度5 m时围岩稳定时间很短,约数小时至数日

注:1. 围岩按定性分级与定量指标分级有差别时一般应以低者为准。

2. 本表声波指标以孔测法测试值为准,如果用其他方法测试时可通过对比试验进行换算。

3. 层状岩体按单层厚度可划分为:厚层大于0.5 m,中厚层0.1~0.5 m,薄层小于0.1 m。

4. 一般条件下确定围岩级别时应以岩石单轴湿饱和抗压强度为准。对洞跨小于5 m、服务年限小于10年的工程确定围岩级别时,可采用点荷载强度指标代替岩块单轴饱和抗压强度指标,可不作岩体声波指标测试。

5. 测定岩石强度作单轴抗压强度测定后可不作点荷载强度测定。

1.2 围岩分级的主要影响因素

1.2.1 体完整性指标

用岩体完整性系数 K_v 表示, K_v 可按式计算:

$$K_v = (V_{pm}/V_{pr})^2 \quad (1)$$

式中 V_{pm} ——岩体弹性纵波速度(km/s);

V_{pr} ——岩石弹性纵波速度(km/s)。

当无条件进行声波实测时,也可用岩体体积节理数 J_v 按表2确定 K_v 值。

表2 J_v 与 K_v 对照表

J_v (条/m ³)	<3	3~10	10~20	20~35	>35
K_v	>0.75	0.75~0.55	0.55~0.35	0.35~0.15	<0.15

1.2.2 岩体强度应力比

岩体强度应力比的计算应符合下列规定:

(1)当有地应力实测数据时。

$$S_m = K_v f_r / \sigma_1 \quad (2)$$

式中 S_m ——岩体强度应力比;

f_r ——岩石单轴饱和抗压强度(MPa);

K_v ——岩体完整性系数;

σ_1 ——垂直洞轴线的较大主应力(kN/m²)。

(2)当无地应力实测数据时。

$$\sigma_1 = \gamma H \quad (3)$$

式中 γ ——岩体重力密度(kN/m³);

H ——隧洞顶覆盖层厚度(m)。

1.2.3 地下水

对Ⅲ、Ⅳ级围岩,当地下水发育时,应根据地下水类型、水量大小、软弱结构面多少及其危害程度适当降级。

1.2.4 断层带

对Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级围岩,当洞轴线与主要断层或软弱夹层的夹角小于 30°时应降一级。

2 铁路隧道围岩分级

2.1 铁路隧道围岩分级及其适用条件

目前,我国铁路隧道采用的围岩分级见表 3。当用物探法测有弹性纵波速度时,可参照围岩弹性纵波速度测定值确定围岩级别。本分级适用于一般地质情况的隧道,对特殊地质条件的围岩,如膨胀岩、盐岩、多年冻土等须另行考虑。关于隧道围岩分级的基本因素和围岩基本分级及其修正,可参照 2.3 节的内容确定。

表 3 铁路隧道围岩分级

围岩级别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态(单线)	围岩弹性纵波速度 v_p (km/s)
	主要工程地质特征	结构特征和完整状态		
I	极硬岩(单轴饱和抗压强度 $R_c > 60$ MPa);受地质构造影响轻微,节理不发育,无软弱面(或夹层);层状岩层为巨厚层或厚层,层间结合良好,岩体完整	呈巨块状整体结构	围岩稳定,无坍塌,可能产生岩爆	>4.5
II	硬质岩($R_c > 30$ MPa);受地质构造影响较重,节理较发育,有少量软弱面(或夹层)和贯通微张节理,但其产状及组合关系不致产生滑动;层状岩层为中厚层或厚层,层间结合一般,很少有分离现象,或为硬质岩石偶夹软质岩石	呈巨块或大块状结构	暴露时间长,可能会出现局部小坍塌;侧壁稳定;层间结合差的平缓岩层,顶板易塌落	$3.5 \sim 4.5$
III	硬质岩($R_c > 30$ MPa);受地质构造影响严重,节理发育,有层状软弱面(或夹层),但其产状及组合关系尚不致产生滑动;层状岩层为薄层或中层,层间结合差,多有分离现象,硬、软质岩石互层	呈块(石)碎(石)状镶嵌结构	拱部无支护时可产生小坍塌,侧壁基本稳定,爆破振动过大易坍	$2.5 \sim 4.0$
	较软岩($R_c \approx 15 \sim 30$ MPa);受地质构造影响较重,节理较发育;层状岩层为薄层、中厚层或厚层,层间一般	呈大块状结构		
IV	硬质岩($R_c > 30$ MPa);受地质构造影响极严重,节理很发育;层状软弱面(或夹层)已基本破坏	呈碎石状压碎结构	拱部无支护时,可产生较大的坍塌,侧壁有时失去稳定	$1.5 \sim 3.0$
	软质岩($R_c \approx 5 \sim 30$ MPa);受地质构造影响严重,节理发育	呈块(石)碎(石)状镶嵌结构		
	土体:1. 具压密或成岩作用的黏性土、粉土及砂类土 2. 黄土(Q1、Q2) 3. 一般钙质、铁质胶结的碎石土、卵石土、大块石土	1和2呈大块状压密结构,3呈巨块状整体结构		
V	岩体:软岩,岩体破碎至极破碎;全部极软岩及全部极破碎岩(包括受构造影响严重的破碎带)	呈角砾碎石状松散结构	围岩易坍塌,处理不当会出现大坍塌,侧壁经常小坍塌;浅埋时易出现地表下沉(陷)或塌至地表	$1.0 \sim 2.0$
	土体:一般第四系坚硬、硬塑黏性土,稍密及以上,稍湿或潮湿的碎石土、卵石土、圆砾土、角砾土、粉土及黄土(Q3、Q4)	非黏性土呈松散结构,黏性土及黄土呈松软结构		
VI	岩体:受构造影响严重呈碎石、角砾及粉末、泥土状的断层带	黏性土呈易蠕动的松软结构,砂性土	围岩极易坍塌变形,有水时土砂常与水一齐涌出;浅埋时易塌至地表	<1.0 (饱和状态的土 <1.5)
	土体:软塑状黏性土、饱和的粉土、砂类土等	呈潮湿松散结构		

注:层状岩层的层厚划分:

巨厚层:厚度大于 1.0 m;

厚层:厚度大于 0.5 m,且小于等于 1.0 m;

中厚层:厚度大于 0.1 m,且小于等于 0.5 m;

薄层:厚度小于或等于 0.1 m。

2.2 各级围岩的物理力学指标

各级围岩的物理力学指标标准值应按试验资料确定,无试验资料时可按表 4 选用。

表 4 各级围岩的物理力学指标

围岩级别	重度 γ (kN/m^3)	弹性反力系数 $K(\text{MPa}/\text{m})$	变形模量 $E(\text{GPa})$	泊松比 ν	内摩擦角 φ ($^\circ$)	黏聚力 c (MPa)	计算摩擦角 φ' ($^\circ$)
I	26~28	1 800~2 800	>33	<0.2	>60	>2.1	>78
II	25~27	1 200~1 800	20~33	0.2~0.25	50~60	1.5~2.1	70~78
III	23~25	500~1 200	6~20	0.25~0.3	39~50	0.7~1.5	60~70
IV	20~23	200~500	1.3~6	0.3~0.35	27~39	0.2~0.7	50~60
V	17~20	100~200	1~2	0.35~0.45	20~27	0.05~0.2	40~50
VI	15~17	<100	<1	0.4~0.5	<22	<0.1	30~40

注:1. 本表数值不包括黄土地层;
2. 选用计算摩擦角时,不再计内摩擦角和黏聚力。

2.3 围岩分级的主要因素

2.3.1 围岩基本分级

围岩基本分级应由岩石坚硬程度和岩体完整程度两个因素确定;岩石坚硬程度和岩体完整程度,应采用定性划分和定量指标两种方法综合确定。岩石坚硬程度可按表 5 划分,岩体完整程度可按表 6 划分,围岩基本分级可按表 7 确定。

表 5 岩石坚硬程度划分

岩石类别		单轴饱和抗压强度 $R_c(\text{MPa})$	代 表 性 岩 石
硬质岩	极硬岩	$R_c>60$	未风化、可微风化的花岗岩、片麻岩、闪长岩、石英岩、硅质灰岩、钙质胶结的砂岩或砾岩等
	硬岩	$30<R_c\leq 60$	弱风化的极硬岩;未风化或微风化的熔结凝灰岩、大理岩、板岩、白云岩、灰岩、钙质胶结的砂岩、结晶颗粒较粗的岩浆岩等
软质岩	较软岩	$15<R_c\leq 30$	强风化的极硬岩;弱风化的硬岩;未风化或微风化的云母片岩、千枚岩、砂质泥岩、钙泥质胶结的粉砂岩和砾岩、泥灰岩、泥岩、凝灰岩等
	软岩	$5<R_c\leq 15$	强风化的极硬岩;弱风化至强风化的硬岩;弱风化的较软岩和未风化或微风化的泥质岩类;泥岩、煤、泥质胶结的砂岩和砾岩等
	极软岩	$R_c\leq 5$	全风化的各类岩石和成岩作用差的岩石

表 6 岩体完整程度

完整程度	结构面特征	结构类型	岩体完整性指数(K_v)
完整	结构面 1~2 组,以构造型节理或层面为主,密闭型	巨块状整体结构	$K_v>0.75$
较完整	结构面 2~3 组,以构造型节理、层面为主,裂隙多呈密闭型,部分为微张型,少有充填物	块状结构	$0.75\geq K_v>0.55$
较破碎	结构面一般为 3 组,节理及以风化裂隙为主,在断层附近受构造影响较大,裂隙以微张型和张开型为主,多有充填物	层状结构、块石、碎石状结构	$0.55\geq K_v>0.35$
破碎	结构面大于 3 组,多以风化型裂隙为主,在断层附近受构造作用影响较大,裂隙宽度以张开型为主,多有充填物	碎石角砾状结构	$0.35\geq K_v>0.15$
极破碎	结构面杂乱无序,在断层附近受断层作用影响大,宽张裂隙全为泥质或泥夹岩屑充填,充填物厚度大	散体状结构	$K_v\leq 0.15$

表 7 围岩基本分级

级别	岩体特征	土 体 特 征	围岩弹性纵波速度(km/s)
I	极硬岩,岩体完整	—	>4.5
II	极硬岩,岩体较完整; 硬岩,岩体完整	—	3.5~4.5
III	极硬岩,岩体较破碎; 硬岩或软硬岩互层,岩体较完整; 较软岩,岩体完整	—	2.5~4.0
IV	极硬岩,岩体破碎; 硬岩,岩体较破碎基破碎; 较软岩或软硬岩互层,且以软岩 为主,岩体较完整或较破碎; 软岩,岩体完整或较完整	具压密或成岩作用的黏性土、粉土及砂类土, 一般为钙质、铁质胶结的粗角砾土、粗圆砾 土、碎石土、卵石土、大块石土、黄土(Q1、Q2)	1.5~3.0
V	软岩,岩体破碎至极破碎;全部极 软岩及全部极破碎岩(包括受构 造影响严重的破碎带)	一般为第四系坚硬、硬塑黏性土,稍密及以上, 稍湿、潮湿的碎(卵)石土、粗圆砾土、细圆砾 土、粗角砾土、细角砾土、粉土、及黄土(Q3、Q4)	1.0~2.0
VI	受构造影响很严重呈碎石、角砾 及粉末、泥土状的断层带	软塑状黏性土、饱和的粉土、砂类土等	<1.0(饱和状态的土<1.5)

2.3.2 隧道围岩分级修正

隧道围岩级别应在围岩基本分级的基础上,结合隧道工程的特点,考虑地下水状态、初始地应力状态等必要的因素进行修正。

(1)地下水状态的分级宜按表 8 确定。地下水对围岩级别的修正,宜按表 9 进行。

表 8 地下水状态的分级

级 别	状 态	渗水量[L/(min·10 m)]
I	干燥或湿润	<10
II	偶有渗水	10~25
III	经常渗水	25~125

表 9 地下水影响的修正

围岩基本分级 地下水状态分级	I	II	III	IV	V	VI
I	I	II	III	IV	V	—
II	I	II	IV	V	VI	—
III	II	III	IV	V	VI	—

(2)围岩初始地应力状态,当无实测资料时,可根据隧道工程埋深、地貌、地形、地质、构造运动史、主要构造线与开挖过程中出现的岩爆、岩芯饼化等特殊地质现象,按表 10 评估。初始地应力对围岩级别的修正宜按表 11 进行。

(3)隧道洞身埋藏较浅,应根据围岩受地表的影响情况进行围岩级别修正。当围岩为风化层时,应按风化层的围岩基本分级考虑;围岩仅受地表影响时,应较相应围岩降低 1~2 级。

(4)施工阶段隧道围岩级别的判定宜按表 12 的判定卡进行。