

Surrounding Rock Characteristics of Rich Water Neogene
Strain in Tunnel and Its Key Constructing Technology

富水新近系地层隧道 围岩特性与施工关键技术

马 莎 张战强 丹建军/著



科学出版社

富水新近系地层隧道围岩 特性与施工关键技术

Surrounding Rock Characteristics of Rich Water Neogene
Strain in Tunnel and Its Key Constructing Technology

马 莎 张战强 丹建军 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书针对富水新近系地层隧道的施工在围岩特性研究基础上提出降水试验、渗流场反分析、渗流场正分析的技术方法及富水新近系地层隧道开挖支护新理念和新方法,研发出不良地质地段隧洞施工的新装置、新技术和新设备,对解决不良地质地段的隧道施工有显著的效果,为类似地层工程的设计和施工提供理论支撑和实践依据,具有重要的工程实践意义和推广应用价值。

本书可供从事软岩-硬土工程的设计、施工、管理和研究人员参考,也可作为水利水电工程、岩土工程、地质工程及土木工程等专业本科生、研究生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

富水新近系地层隧道围岩特性与施工关键技术 = Surrounding Rock Characteristics of Rich Water Neogene Strain in Tunnel and Its Key Constructing Technology/马莎,张战强,丹建军著. —北京:科学出版社,2016.9
ISBN 978-7-03-049911-0

I. ①富… II. ①马… ②张… ③丹… III. ①富水性-地层-水工隧洞-工程施工 IV. ①TV554

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 214468 号

责任编辑:李 雪 / 责任校对:郭瑞芝
责任印制:张 伟 / 封面设计:无极书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年9月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016年9月第一次印刷 印张:13 3/4

字数:277 000

定价:118.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

新近系地层分布广泛,我国的河南、河北、山西、新疆、甘肃、山东、湖北等省份均有分布,美国、俄罗斯、日本、希腊、瑞士等国家也有分布。新近系地层具有极其复杂的工程特性,在世界范围内由该类过渡性岩土体引起的灾害不断发生。富水新近系地层由未胶结砂层、弱胶结砂岩和黏土岩交叉或互层构成,工程围岩属于不稳定Ⅳ类围岩或极不稳定Ⅴ类围岩,含水量丰富,围岩自稳能力极差,易软化、泥化、崩解,且易发生边墙挤入、底鼓及洞径收缩等现象,极易受到重力、地下水、施工爆破及开挖机械等因素的扰动而失稳。施工中涌水、涌砂、塌方、泥石流等现象频发,且成井、成洞极为困难,施工难度之大为国内外所罕见,施工安全无法保障。

新近系地层的赋存环境更加复杂,现有的勘察方法无法较好地表述其工程地质特征,现有的岩体试验规程或土体的试验规程也无法较好地表述其物理力学特征,前期勘察工程特性与现场工程地质条件差别非常大。开展对富水新近系地层的围岩强度、变形、破坏形式及破坏机理等围岩特性的研究,对研究富水新近系地层的隧洞施工理论和方法显得尤为重要,具有很重要的工程实际意义和理论支撑价值。

新奥法施工在富水新近系地层中遇到很大的挑战,施工中要面对地下水的控制、在地下水渗透压力作用下的涌水涌砂及大变形的预防和控制、施工进度控制及辅助施工方法的选择和应用等问题。工程实践表明,应用广泛的新奥法及其辅助施工方法在富水新近系地层隧道的施工中不具有适用性,现有的施工支护理论难以有效地解释其地层受力、变形及破坏方式,现有的支护方式难以安全、有效地在该地层围岩隧道进行支护,这给富水新近系地层围岩隧道支护理论的研究和工程实践带来极大的难度和挑战。

小浪底水库南岸灌区自流总干工程[引黄(河)入洛(阳)工程]为洛阳市重点水利工程项目,是小浪底水库南岸节水型生态农业灌区工程的组成部分。该工程于2010年4月底开工建设,工期为3年,但由于引水隧洞段围岩主要为新近系地层,施工中面临流砂层、弱胶结砂岩、黏土岩交叉或互层等不良地质条件,极易发生涌水、涌砂、塌方及泥石流等地质灾害,成井、成洞极为困难,施工难度极大,造成施工进度缓慢,整个工期长期延滞,工程投资也大幅度增加,因此,该地层围岩的隧洞施工成为关键控制性工程。

本书本着独创性和原创性的原则,由华北水利水电大学与洛阳水利工程局有限公司合作,进行了富水新近系地层隧道围岩特性与施工关键技术的研究。本书以“引黄入洛”工程隧道处于富水新近系地层这一复杂施工环境为实例,以未胶结砂层、弱胶结砂岩与黏土岩交叉或互层所构成的新近系地层为研究对象,以富水新近系地层隧道围岩特性及施工关键技术为核心,在现场勘察、施工揭露、室内物理力学试验及现场试验的基础上,揭示了不同岩土分类、岩石结构、在地下水作用下的工程力学特性及围岩破坏机理,并提出施工对策。本书提出了降水试验、渗流场反分析、渗流场正分析的技术方法及适合富水新近系地层隧道工程的施工新理念研发出不良地质地段隧洞施工新装置、新技术和新设备,并进行实例验证。

本书旨在深入研究富水新近系地层工程性质,提出富水新近系地层隧道施工的新理念与新方法,为类似地层工程的设计和施工提供理论支撑和实践依据。因此,本书的研究具有重要的科学意义和广阔的工程实践推广价值,是对现有学科的有效补充。

在前期相关研究和撰写过程中,本书得到了武汉大学肖明教授,中山大学张巍博士,长江勘测规划设计研究院张志国博士,华北水利水电大学刘汉东教授、黄志全教授、陈宇高级实验员的大力支持与帮助,得到了华北水利水电大学岩土工程与土工结构研究所的支持,得到了洛阳水利工程局有限公司的资助,在此一并表示衷心感谢。

感谢《人民黄河》期刊的匿名审稿专家和马广州主编,感谢华北水利水电大学的曹连海教授,他们的修改意见和建议使本书的部分内容得到了完善和提升。

本书由马莎提出大纲和思路,并由马莎统稿完成。各章节分工如下:第一章,马莎;第二章,马莎,张战强;第三章,马莎,成益洋;第四章,马莎,丹建军,张战强;第五章,马莎,张战强;第六章,马莎,丹建军,张战强,成益洋;第七章,丹建军,张战强,成益洋;第八章丹建军,张战强,成益洋。

受笔者水平所限,书中难免存在不足之处,敬请各位专家和读者批评指正。

马 莎

2016年5月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	4
1.2 国内外研究进展	5
1.2.1 新近系地层国内外研究进展	5
1.2.2 富水新近系地层围岩特性研究	6
1.2.3 富水新近系地层施工理论与方法研究	6
1.2.4 富水新近系地层施工技术研究	7
1.2.5 降水辅助工法研究现状	9
1.3 本书的研究框架、结构体系及技术路线	9
1.3.1 本书的研究框架	10
1.3.2 本书的结构体系	10
1.3.3 本书的技术路线	13
1.4 本书的创新之处	14
第 2 章 新近系未胶结砂的物理力学特性室内研究	16
2.1 常规试验指标	16
2.2 饱和未胶结砂的 CD 试验	17
2.2.1 试验方案	17
2.2.2 控制标准	17
2.2.3 试验结果及分析	18
2.3 未胶结砂的三轴不固结不排水剪切试验	22
2.3.1 试验方案	22
2.3.2 控制标准	23
2.3.3 试样结果及分析	23
2.4 粉质黏土的三轴不固结不排水剪切试验	28
2.4.1 试验方案	28
2.4.2 试验结果及分析	29
2.5 动强度试验及分析	32
2.5.1 试验方案	32

2.5.2	试样破坏形式	33
2.5.3	动强度特性	34
2.5.4	动应变特性	39
2.5.5	孔隙水压力增长特性	47
2.5.6	饱和砂的液化机理	58
2.6	动力变形特性试验及分析	61
2.6.1	试验方案	62
2.6.2	应力、应变时程曲线	62
2.6.3	应力路径曲线	63
2.6.4	骨干曲线分析	64
2.6.5	动弹性模量分析	64
2.6.6	动剪模量比、阻尼比分析	66
第3章	弱胶结软岩的物理力学特性研究	69
3.1	取样及制样	69
3.2	新近系弱胶结岩的水理特性研究	70
3.3	膨胀性试验	71
3.3.1	累积自由膨胀试验	71
3.3.2	侧向约束膨胀率试验	73
3.3.3	膨胀压力试验	74
3.3.4	岩样膨胀性分析	74
3.3.5	试验结果分析	75
3.4	新近系弱胶结砂岩的力学特性试验研究	75
3.4.1	试验方案	75
3.4.2	应力-应变曲线	76
3.5	新近系弱胶结黏土岩力学特性试验研究	77
3.5.1	试样描述及其破坏形式	77
3.5.2	力学参数	78
3.5.3	应力-应变曲线	79
3.5.4	黏土岩与砂岩的试样结果对比分析	81
第4章	富水新近系地层隧道围岩特性研究	84
4.1	岩土的分类性质研究	84
4.1.1	国内外软岩、硬土界限分类标准	84
4.1.2	所研究试样的岩土分类	86
4.2	新近系地层围岩特性	88
4.2.1	未胶结或弱胶结特性	88

4.2.2 水稳性特征	89
4.2.3 易扰动性	90
4.2.4 工程施工中的主要工程力学特性	90
4.3 破坏机理及其对策分析	91
4.3.1 破坏机理分析	91
4.3.2 工程施工对策分析	92
第5章 富水新近系地层“先治水再施工”的隧洞施工新理念	93
5.1 研究背景与内容	93
5.1.1 问题的提出	94
5.1.2 研究内容	94
5.2 数值计算的基本理论	95
5.2.1 渗流场计算基本理论	95
5.2.2 显式有限差分法的基本理论	98
5.3 基于降水试验的隧洞区域渗流场反分析	100
5.3.1 降水试验	100
5.3.2 围岩渗流场反分析计算条件	108
5.3.3 计算结果及分析	109
5.4 洞外“深井群降水”措施下隧洞区域渗流场分析	110
5.4.1 洞外深井群降水方案拟订	110
5.4.2 计算条件	111
5.4.3 计算结果及分析	113
5.5 不采取降水措施时隧洞开挖渗流场分析	117
5.5.1 计算条件	118
5.5.2 计算结果及分析	119
5.6 隧洞开挖围岩稳定分析	121
5.6.1 计算条件	122
5.6.2 考虑地下水作用计算结果分析	123
5.6.3 不考虑地下水作用计算结果分析	135
5.6.4 计算结果对比研究	149
第6章 沉筒加固装置及施工加固方法	151
6.1 采用沉筒加固法的必要性	151
6.2 总体方案、技术原理及参数	153
6.2.1 总体方案	153
6.2.2 技术原理和技术参数	156
6.2.3 “竖井施工用沉筒加固装置”的结构	156

6.2.4	施工加固方法	157
6.3	沉筒加固法的优越性	161
6.3.1	沉筒加固结构的先进性	161
6.3.2	沉筒施工加固方法的特色及其先进性	163
6.4	沉筒结构三维有限元数值分析	164
6.4.1	沉筒加固装置的钢结构有限元计算原理	164
6.4.2	沉筒加固装置的钢结构有限元计算条件	166
6.4.3	沉筒加固装置的结构有限元计算结果及分析	170
第7章	新型防渗堵漏便携式灌浆装置及施工技术	184
7.1	灌浆装置	184
7.1.1	灌浆装置的设计参数及结构	184
7.1.2	施工工艺	187
7.1.3	优越性	188
7.2	工程实践验证	189
7.2.1	工程应用	189
7.2.2	工程适用性	189
第8章	富水新近系围岩隧洞支护新技术	190
8.1	深埋斜井流砂层段透水钢板桩施工技术	190
8.1.1	概述	190
8.1.2	透水钢板桩施工技术	191
8.1.3	透水钢板桩在流砂层段的实施	193
8.1.4	施工效果	195
8.2	流砂层渗流大变形的处理与加固技术	196
8.2.1	概况	196
8.2.2	应急处理措施	197
8.2.3	前进超前加固注浆法处理	197
8.2.4	导水洞超前降水	199
8.2.5	加固技术	202
8.2.6	施工效果	203
8.3	洞内降水技术	204
8.3.1	钢板桩(钢板槽)集水坑降水	204
8.3.2	钢护筒集水井	205
8.3.3	顶部透水钢管降水	205
参考文献		206

第 1 章 绪 论

新近系(neogene system)即新近纪时期形成的地层,曾被称为新第三系、上第三系,自下而上包括中新统和上新统,中国新近系仍以陆相为主,陆相新近系与下伏岩层一般呈假整合或不整合接触。

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

新近系地层分布广泛,我国的河南、河北、山西、新疆、甘肃、山东、湖北等省份均有分布,美国、俄罗斯、日本、希腊、瑞士等国家也有分布。新近系地层具有极其复杂的工程特性,在世界范围内由该类过渡性岩土体引起的灾害不断发生。在国外,日本的上第三系泥质沉积物常引起大量滑坡和隧洞变形破坏;希腊的上第三系泥质沉积物的分布十分广泛,受构造运动、地貌条件及气候条件的影响,常导致滑坡、泥石流等地质灾害的发生;前苏联伏尔加格勒和前高加索地区在引水工程建设中曾遇到严重的上第三系灾害问题;在瑞士的北部,许多超固结黏土沉积物由于修建公路造成大量边坡失稳。国内方面,在兰渝线桃树坪隧道及胡麻岭隧道在富水第三系弱成砂岩中的修建难度非常大,国内外专家、学者曾多次现场考察并进行专题论证,确定为“国内罕见、世界性难题”;引洮工程隧洞在上第三系地层采用单护盾 TBM 施工,出现了埋机、栽头等严重施工事故;南水北调穿黄工程由于下伏上第三系砂岩和黏土岩使得施工技术难度很大,曾出现支护开裂的严重问题;西霞院水电站厂房坝段建基在上第三系及软岩层上,导致厂房结构和基础处理的大范围变更;洛阳伊川贾雷隧洞工程在第三系地层的隧洞施工中出现了塌方冒顶事故;三门峡槐扒引水隧洞工程、孟西灌区隧洞由于第三系(洛阳组)地层使得施工工期长期延长,造价成倍增长。

小浪底水库南岸灌区自流总干工程(引黄入洛工程)为洛阳市重点水利工程项目,是小浪底水库南岸节水型生态农业灌区工程的组成部分,主要解决洛阳市邙岭地区的农业灌溉和洛阳市城市用水。该工程于 2010 年 4 月初开工建设,工期为 3 年,但由于引水隧洞段围岩主要为富水新近系地层,施工中揭示的施工地质条件与工程勘察提供的岩土体条件差别非常大,工程围岩属于不稳定Ⅳ类围岩或极不稳定Ⅴ类围岩,含水量丰富,围岩自稳能力极差,易发生边墙挤入、底鼓及洞径收缩等

现象;毛洞不能自稳,极易受到各种因素的扰动而失稳,施工中涌水、涌砂、塌方及泥石流现象频发,成井、成洞极为困难,施工难度之大为国内外所罕见,施工安全受到很大威胁,多次险象环生,施工安全无法保障。原设计方案和施工措施难以有效实施,正洞段自 2012 年 5 月以来受到饱和状态下此类地层的影响,施工停工至 2015 年 4 月;5[#]竖井在 2011 年 12 月至 2013 年 4 月期间,9[#]竖井在 2012 年 5 月至 2013 年 5 月期间,两井的施工均受到高压水的作用而停滞;11[#]斜井自 2012 年 12 月至 2014 年 8 月的施工速度非常缓慢,平均月进度不足 10m。以上问题导致整个隧道工程工期严重拖延,造成整个引水工程的长期延滞,工程造价成倍增加,严重影响了施工区人民的生产和生活,无法实现对洛阳市邙岭地区的农业灌溉和洛阳市城市用水的目标,造成极大的经济损失。施工中主要出现如下的工程问题。

(1) 地下水位在隧洞顶部上方 30~50m 处,地层渗透系数大,地下水位高,降水难度极大。

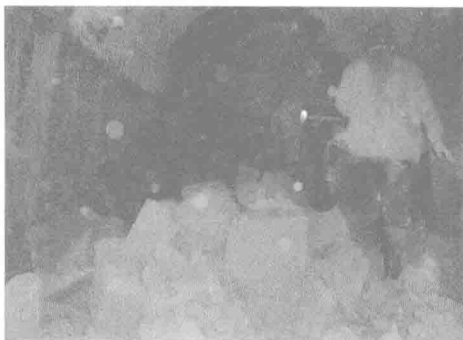
(2) 掌子面涌水、涌砂,导致掌子面上方严重空洞,造成塌方、泥石流等地质灾害,现场情形如图 1-1 所示。



(a) 涌水



(b) 涌砂



(c) 塌方



(d) 泥石流

图 1-1 掌子面涌水、涌砂、塌方、泥石流

(3) 边墙涌水、涌砂,造成围岩变形加大,洞径收缩,初期支护变形破坏,现场情形如图 1-2 所示。



图 1-2 初期支护变形破坏

(4) 边墙饱和砂质黏土岩时,水浸泡围岩使其软化,造成下部钢拱架无法实施,边墙隆起,变形破坏,无法进行下一步的支护和衬砌,现场情形如图 1-3 所示。



图 1-3 边墙隆起及变形破坏

(5) 竖井在通过此类地层时,在地下水作用下,涌砂可达 12m,灌浆卡机卡钻,无法施工。

(6) 饱和未胶结砂层在施工中受到爆破、机械、振动等扰动后,围岩出现液化现象,现场情形如图 1-4 所示。

(7) 渗透系数大,竖井、斜井及正洞的施工在停电或水泵能力不足时极易被水淹没,无法施工,如图 1-5 所示。

自 2010 年 10 月底至 2012 年 12 月近两年内,一些施工段的施工进度相当缓慢,有的施工段甚至因无法施工而停滞。为此,自 2010 年 7 月底至 2013 年初

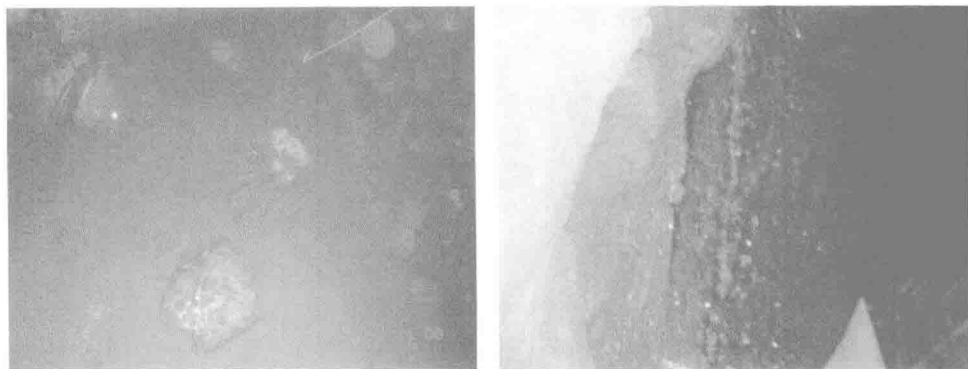


图 1-4 未胶结砂液化现象

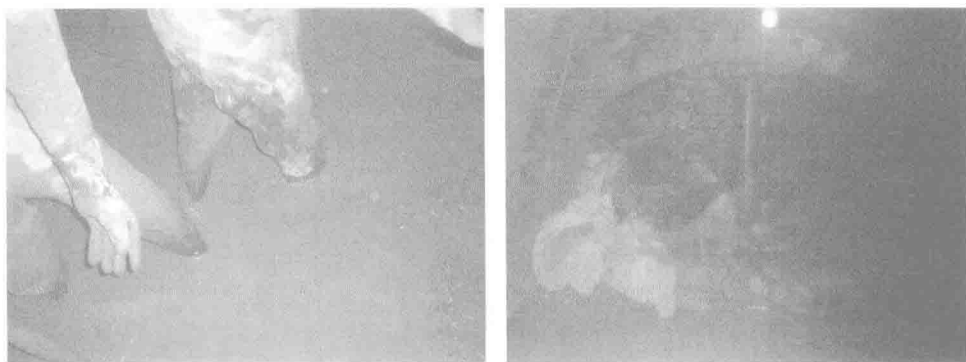


图 1-5 水砂淹没工作面

(2012 年年底),建设单位多次组织国内隧洞施工方面的知名专家,就引黄入洛工程新近系围岩段施工(技术)方案召开咨询会,参加会议的有王梦恕院士及水利部松辽委,中国水利水电第十五工程局、西安理工大学、中铁隧道局、河南省水利厅、省水利设计院、省水利工程局等相关单位的专家学者,专家们一致认为其工程地质条件在国内外隧道施工中罕见,可借鉴的经验少。鉴于小断面长隧道不良地质的实际施工情况难以采用现有的先进施工技术,也不能照搬照抄国内类似工程地质条件的隧洞施工的成功经验,只能结合实际情况寻求经济、合理、有效的施工技术和方法,因此,该地层围岩的隧洞施工成为整个引黄入洛工程的关键控制性工程。

1.1.2 研究意义

在隧道施工理论与技术方面,新奥法在现有的隧道施工中应用广泛,在中国、美国、日本、西欧及北欧的许多国家的地下工程中得到迅速发展,成为现代隧道工程新技术标志之一。但新奥法在富水新近系地层的施工中不具有适用性,造成隧

道工程甚至整个工程的造价大幅度上升,工期长期延滞,因此,在围岩特性研究的基础上,针对富水新近系地层隧道支护理论和方法的研究是十分有必要的。

本书以引黄入洛工程隧道处于富水新近系地层为实例,以新近系地层为研究对象,以富水新近系地层隧道围岩特性及施工关键技术为核心,揭示工程力学特性及破坏机理和施工对策,建立渗流三维有限元模型,提出富水新近系地层隧道开挖支护的新理念及新方法,研发施工新装置、新技术和新设备,并结合三维数值模拟和工程实例进行验证,为类似地层工程的设计和施工提供理论支撑和实践依据。因此,本书具有重要的科学意义和广阔的工程实践推广价值,是对现有学科的有效补充。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 新近系地层国内外研究进展

新近系地层在工程建设中表现出极其复杂的工程特性,国内外与该类地层工程地质特性相关的很多工程问题都难以解决(Loupasakis and konstantopoulou, 2007; Sanada et al., 2012; 马莎等, 2016; 马莎和李曼, 2016)。新近系地层的施工成为限制工程进展的瓶颈问题,并引起了工程界的关注(曹峰, 2012; 高程, 2013; 张战强等, 2016b)。

近年来,国内外学者对新近系地层的研究取得了一些进展,主要集中在岩土工程分类(闰宇和宋岳, 2008; 常福庆等, 2009)、工程力学特性(Sdisun, et al., 2005; 段伟等, 2015)、水理特性(唐迎春等, 2014; 马向军等, 2016a; 薛振声等, 2016a)、施工技术(何满潮等, 2005; 陈东亮和闰长斌, 2009; 杨扶银, 2013; 杨军等, 2014; 马向军等, 2016b; 薛振声等, 2016b)及辅助工法等方面的研究。研究表明,新近系地层是一种似土非土、似岩非岩的过渡性岩土体材料,具有很强的地域性、多样性和复杂性,且岩层分布无规律、岩性多变、软硬夹层或岩层交叉或互层、相变大、胶结程度不一,工程地质特性多变,水理特性复杂,物理力学指标变化较大。

在岩土工程分类方面,对于其岩土性质的分类评价没有统一的标准,目前主要有三种观点:硬土类、软岩-硬土类或软岩类。刘汉东等(2006)认为上第三系洛阳组黏土岩具有典型的软岩硬土特征,应按软岩及土的特性指标进行深入研究。闰宇和宋岳(2008)采用工程地质研究方法,根据地层施工揭露、成岩作用、岩性及物理力学性质认为洛阳组地层等上第三系地层属于硬土类。常福庆等(2009)认为西霞院工程电站厂房地基的上第三系地层为特殊硬土或软岩-硬土类,具有土的工程地质特性,宜以土力学的方法进行评价。陈东亮和闰长斌(2009)认为上第三系中新统洛阳组地层是特殊的岩土体,适宜按照土力学的试验方法进行评价。甄秉国

(2013)按岩石分类分析了上第三系地层。

软岩和土的试验方法与试验标准迥异,而新近系地层呈现出“或岩或土、似岩似土”的特殊复杂性,现有岩石力学或土力学的勘察方法、试验方法和试验规程都不能很好地反映其工程特性,地层的岩土性质分类没有统一的标准。

1.2.2 富水新近系地层围岩特性研究

国内外对新近系地层的工程特性研究较少,但也取得了一些成果,主要集中在对新近系泥岩、砂岩的工程力学特性研究,考虑地下水作用的水稳特性、地下水作用机理、蠕变等特性的研究(秦四清,1993;何满潮等,1998;董方庭,2001;徐志英,2003;马莎等,2008;马莎和肖明,2008,2010;马莎,2009,2011)。张一等(2009)认为上第三系地层具有特殊的工程、水文地质性质,其透水性渐变特征明显且跨越多个透水等级,各类地层的分布规律性差,水文地质结构较为复杂;唐迎春等(2014)认为南宁第三系泥岩的抗压强度高、压缩性小、抗剪强度高及力学和膨胀性指标变异性大;欧尔峰等(2013)分析了天水地区第三系地层泥岩的地球化学成分与矿物成分及其演化等工程地质特性;张晓宇(2012)分析了西宁第三系泥岩夹石膏岩在地下水及空气暴露时间等因素作用下的力学性质、膨胀性及崩解性;张永双等(2000)认为上第三系黏土属于区域性特殊土,极易受环境(包括自然环境和工程环境)变化的影响,是典型的超固结、裂隙性和膨胀性硬黏土,硬黏土强度受裂隙控制作用明显;符又熹等(2003)分析认为室内超高压试验获得的力学参数与物理指标的关系可以评价第三系泥质沉积物的力学参数;董兰凤和陈万业(2003)研究了兰州市第三系砂岩的工程特性;罗平(2011)分析了含水弱胶结砂岩地层围岩物理力学参数与时间相关的特性;魏国俊(2013)分析了地下水对第三系砂岩稳定性的影响及作用机理。曹峰(2012)、高程(2013)研究指出有效解决第三系含水砂岩稳定性的重要措施是超前降水使围岩含水率低于砂岩塑性变形含水率;蔡臣(2012)研究了隧道开挖过程中第三系含水弱胶结砂岩围岩的物理力学性质的变化情况;陈德彪(2013)分析了兰渝铁路胡麻岭隧道第三系弱成砂岩在各种含水量状态下的蠕变特性。

富水新近系未胶结砂层、弱胶结砂岩与黏土岩交叉或互层围岩特性的相关报道比较少见。如何分析富水新近系地层隧道围岩特性,成为亟待解决的难题之一。

1.2.3 富水新近系地层施工理论与方法研究

新奥法的应用很广泛,但不同的应用者对它的解释还存在着许多矛盾。工程实践表明,由于对软岩的物理含义和力学性质理解不够,对利用仪器进行巷道变形及载荷测量的重要性认识不足,经常会出现不合理的套用新奥法理论来解释极软岩巷道支护机理的现象,或因应用不当而造成锚喷或锚网喷支护的巷道大面积跨

落、坍塌等事故的发生,导致人力、物力的巨大浪费与损失(马莎和肖明,2011)。庞建勇等(2004)认为高应力巷道失稳的原因是围岩从弱支护部位鼓出,并逐渐导致牢固支撑部位的支架遭到破坏,发展过程由缓慢到急剧变化。周烨(2013)针对胡麻岭隧道富水第三系弱成砂岩提出了集新意法中“采用超前支护和加固措施减小或避免围岩变形”、新奥法中“尽快使支护结构闭合”、矿山法中“分部顺序采取分割式的开挖”三者相结合的施工理念。刘军(2013)针对乔家山隧道施工穿越第三系粉质黏土地层提出了降低施工风险的控制方法,主要通过增强支护强度、提高预留变形量等措施确保初期支护稳定性,并以衬砌不侵限为前提,允许初支产生较大变形并承担更多围岩压力,让由流变引起的主体变形在衬砌施作前完成。杨军等(2014)分析了我国第三系软岩巷道变形破坏特性及高应力节理化强膨胀复合型变形力学机制,提出锚网索-双层桁架耦合支护体系。软岩工程力学支护理论是以转化复合型变形力学机制为核心的新的软岩巷道支护理论(何满潮等,1998;何满潮,1999;周宏伟等,2001;刘泉声等,2004;孙晓明和何满潮,2005)。

数值计算方法方面主要集中在限元法、离散元的运用上,出现了大量计算软件,如 ANSYS、FLAC、FINAI、UDEC 等,这些软件与支护理论相结合,在软岩地下工程支护中得到了广泛应用(Chen and Zhao,2002;杜永彬,2009;马莎等,2012;杨绪烽,2013;王锦华,2014),用于软弱围岩段、碎裂岩体洞内施工过程及开挖支护效果进行数值模拟。

对于富水新近系地层隧道施工而言,以新奥法为代表的传统施工理论不具有适用性,因此,提出新的施工理念是保证隧道施工过程中围岩稳定亟待解决的难题。

1.2.4 富水新近系地层施工技术研究

现有隧道施工方法很多,为满足工程实践需要,一般采用一种或多种施工方法联合使用,在新近系地层隧洞施工技术方面也取得了一些成果。

1. 正洞施工技术

富水新近系围岩正洞的施工主要是处理地下水问题,并结合降水探索施工方法和技术,主要有钻爆法、新奥法、盾构法(tunnel boring machine, TBM)、沉悬臂式非全断面掘进法等,小断面开挖施工的方法主要有 CRD(center cross-diagram)法、台阶法等。辅助施工技术和工艺主要有超前单排或双排小导管灌浆,超前大管棚和水平旋喷灌浆加固围岩、灌浆、冻结等方法。

蒋勇(2011)认为 TBM 不适于第三系富含水疏松砂岩围岩的隧洞施工,易发生涌砂埋机、栽头等事故,甚至导致 TBM 拆机,需要采用钻爆法预先处理该围岩段。王利民等(2011)在第三系砾岩隧洞施工中采用煤矿巷道悬臂式非全断面掘进

机进行施工,但此方法成本高,且遇软弱夹层时常发生侧墙片帮、拱顶塌方等事故,洞底板承载力偏低,掘进机施工困难,效率低。程向民等(2013)认为TBM不适用于引黄(河)入晋(山西)工程中高含水率的第三系红黏土隧洞洞段的施工,TBM易出现围岩变形、泥裹刀及隧洞纵坡超限等难以处理的问题。苗河根(2008)在第三系巨厚地层凿井施工中采用放水放砂灌浆置换、帷幕植筋灌浆加固和化学灌浆堵水加固的方法改造围岩后,再利用普通凿井工艺施工。罗平(2011)、徐长久(2011)、刘成杰(2014)、司剑钧(2014)认为常规施工法对兰渝铁路桃树坪隧道的第三系粉细砂岩地层段不适用,应采用超前降水、超前小导管、台阶法施工,并采取钢拱架支护、水平旋喷桩、双侧壁工法、灌浆等施工措施。赵长海等(2006)介绍了新疆顶山隧洞极软岩段施工中采用的新奥法,该法以小型机械松动岩体,用人工非爆破方法开挖,并在导洞两侧分部开挖,格栅拱架-喷锚支护。赵士伟和楚建收(2008)对由泥质粉细砂岩、砂质泥岩构成主洞段围岩的隧洞采用洞内降水、“锚杆+挂网+钢支撑+喷砼”联合支护,并紧跟二次衬砌。海来提·卡德尔(2009)认为新疆某隧洞围岩为第三系的砂岩、泥岩,对塌方段宜采用并排钢格栅、挂板砼-灌浆-管棚和二次衬砌法等施工方法。

富水新近系地层的正洞施工技术复杂,常规隧洞施工技术和现有先进施工技术难以有效实施。

2. 竖井施工技术

竖井不良地质地层的施工工艺主要有钻爆法、新奥法、盾构法、沉管法、沉井法和钻机法。辅助施工技术和工艺主要有超前小导管灌浆、超前大管棚、冻结、固结灌浆帷幕法及地下连续墙等。李宗哲等(2009)、杨灿文和黄民水(2010)在竖井中采用沉井法施工。夏维学等(2013)介绍了在裂隙发育、透水率大Ⅳ类及Ⅴ类的围岩中采用反井钻机成井与预固结灌浆及反复固壁固结灌浆相结合的技术。程正明(2012)针对海底隧道穿越富水砂层地段,在洞外采取地下连续墙和降水井降水+TSS(total suspended solids)双液灌浆超前小导管超前支护加固砂层+CRD法开挖,初步支护采用钢支撑、双层钢筋网、长锁脚灌浆钢花管并喷混凝土进行施工。陈志国等(2010)针对厦门海底隧道翔安段在进入海域前下行穿越浅滩的富水性好且与海水连通的砂层,采用地下连续墙止水帷幕、减压降水井及洞内拱顶超前小导管灌浆的施工方案。

关于富水新近系地层复杂地质条件下的竖井施工技术的报道很少见,关于竖井中间段不良地质地段的施工技术的报道暂未见。

3. 斜井施工技术

目前对于软弱围岩的施工工艺主要采用台阶法、钻爆法、沉井法、钻机法,辅助