

BIANZHI RUANYAN SUIDAO BIANXING TEZHENG YU ZHIFANG JISHU
WUDUXI SUIDAO GONGCHENG SHIJIAN

变质软岩隧道 变形特征与支防技术

——武都西隧道工程实践

杨晓华 聂双成 晏长根 等◎编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

变质软岩隧道变形特征与支防技术

——武都西隧道工程实践

杨晓华 聂双成 晏长根 等 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书是在对国内外软弱围岩隧道研究成果总结的基础上,结合武都西隧道软岩大变形段的变形特点及防治和涌水段的处治实例编写而成的。书中系统介绍了软弱围岩隧道的变形机理和施工防治技术,全书共分9章,包括:绪论、绢云母绿泥千枚岩矿物晶体微观特性研究、软弱围岩的地质特征及其评价、隧道软岩大变形机理、软弱围岩隧道变形控制的基本理念与工程应用、控制掌子面挤出位移的技术、武都西隧道应力应变特征分析、武都西隧道软岩涌水段分析及其处置措施和武都西隧道软岩段防治措施及效果评价。

本书可供隧道科研、设计、施工、技术管理人员以及在校学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

变质软岩隧道变形特征与支防技术:武都西隧道工程实践/杨晓华等编著. —北京:人民交通出版社股份有限公司, 2014. 10

ISBN 978-7-114-11774-9

I. ①变… II. ①杨… III. ①高速公路—公路隧道—隧道施工—研究 IV. ①U459.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第235305号

书 名:变质软岩隧道变形特征与支防技术——武都西隧道工程实践

著 作 者:杨晓华 聂双成 晏长根 等

责任编辑:韩亚楠 郭红蕊

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:720×960 1/16

印 张:14.75

字 数:255千

版 次:2014年10月 第1版

印 次:2014年10月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-11774-9

定 价:100.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

本书编委会

主 编:杨晓华 聂双成

副 主 编:许永震 张维军

编 委 会:晏长根 刘潭平 赵众爱 杨 凯 李鸿杰

杜耀辉 赵伟平 陈伟祥 张宏亮 张海平

王立勇 杨国栋 李新社 高新民 杜晓伟

张伟利 张 剑 惠鹏嘉 许江波 卢 浩

参编单位:甘肃长达路业有限责任公司

长安大学

甘肃路桥公路建设集团公司

前言

PREFACE

随着高速公路建设的快速发展,越来越多地遇到软岩隧道问题,软岩大变形及隧道衬砌开裂等会给施工安全和运营安全带来极大的隐患,成为目前公路、铁专等隧道修筑的关键控制技术之一。成武高速公路武都西隧道为分离式特长隧道,左线全长达 3763m,右线全长达 3781m。其中施工第 18 标段左线长 1883m,其中 V 级围岩 683m,Ⅳ级围岩 1200m;右线长 1892m,其中 V 级围岩 792m,Ⅳ级围岩 1100m,最大埋深近 1000m。

该隧道在建设过程中就遇到软岩大变形及隧道涌水等问题,对此我们开展了相关测试研究并进行了相应的技术处理。本书就是在工程实践的基础上总结相关测试结果与工程施工经验编写而成的,可以为我国高速公路软岩隧道修建技术提供经验参考。全书分为 9 章,第 1~3 章主要介绍软弱围岩的内涵、特性及武都西隧道软岩的微观特性;第 4~6 章详述了隧道软岩大变形的机理、变形控制的概念及掌子面挤出位移技术;第 7 章通过对隧道围岩进行应力应变监测对隧道软岩变形的过程及机理进行分析;第 8 章为进出口段武都西隧道涌水及其处治效果分析;第 9 章为武都西隧道软岩段处治效果评价。

本书由杨晓华、聂双成、晏长根等编写,许江波、卢浩博士和王凯、马定乐、李为、罗鑫、刘城、邵钰淇、董英杰和张浩等硕士生协助编写,晏长根副教授和许江波博士负责全书的统稿。本书原始资料主要由甘肃长达路业有限责任公司和甘肃路桥公路建设集团公司协助提供,在此对相关人员一同表示感谢。

希望本书的出版,能够对软弱围岩隧道的设计、施工有所裨益。由于时间仓促,并限于作者的水平,书中的不足之处,欢迎读者批评和指正。

作者
2014 年 9 月

目录

CONTENTS

■ ■	第 1 章 绪论	1
	1.1 软岩概述	1
	1.2 国内外研究现状	6
	1.3 软岩隧道施工主要技术问题	8
	1.4 软岩隧道修建技术的发展方向	11
■ ■	第 2 章 绢云绿泥千枚岩矿物晶体微观特性研究	16
	2.1 矿物成分分析	16
	2.2 岩石微结构及构造	18
■ ■	第 3 章 软岩的地质特征及其评价	22
	3.1 软岩的变形特征和力学机制	22
	3.2 软岩的强度特征	25
	3.3 软岩的分类及评价	26
■ ■	第 4 章 隧道软岩大变形机理	40
	4.1 软岩大变形特征描述	40
	4.2 软岩的工程力学特性	41
	4.3 软岩变形成因分析	43
	4.4 软岩大变形机理	59
■ ■	第 5 章 软弱围岩隧道变形控制的基本理念与工程应用	63
	5.1 软弱围岩隧道变形控制的基本理念	63
	5.2 软弱围岩隧道变形控制的基本原则	66
	5.3 工程实例介绍	68
■ ■	第 6 章 控制掌子面挤出位移的技术	76
	6.1 掌子面形状	76



6.2	留核心土·····	78
6.3	掌子面喷混凝土·····	80
6.4	掌子面锚杆·····	81
6.5	岩土控制变形分析法·····	109
■ ■	第7章 武都西隧道应力应变特征分析·····	127
7.1	武都西隧道工程地质特点·····	127
7.2	隧道现场监控量测的任务与要求·····	127
7.3	周边收敛量测·····	129
7.4	拱顶下沉量测·····	130
7.5	应力应变监测·····	131
7.6	围岩压力特征分析·····	134
■ ■	第8章 武都西隧道涌水分析及其处置措施·····	157
8.1	隧址区基本概况及涌水分析·····	157
8.2	隧道涌水原因分析·····	168
8.3	隧道涌水控制措施分析·····	170
8.4	隧道涌水量的预测·····	184
8.5	地下水渗流数值分析·····	193
■ ■	第9章 武都西隧道软岩段处治措施及效果评价·····	199
9.1	隧道软岩段处治措施研究·····	199
9.2	处治后变形监测分析·····	203
9.3	结构安全评价·····	210
9.4	处治效果评价·····	216
9.5	小结·····	217
■ ■	参考文献·····	218

第 1 章 绪 论

围岩是指受隧道开挖影响而发生应力状态改变的岩土体。根据岩土体的强度,可将围岩分为坚硬围岩和软弱围岩两大类,这里所指的围岩强度是指包含结构面的岩土体强度。

软岩,也称为松软岩层,其含义国内外学者尚无统一认识。1981 年 9 月,国际岩石力学协会委托日本力学协会召开了“国际软岩学术讨论会”,1984 年 12 月,我国煤炭工业部矿山压力情报中心站、《煤炭学报》编辑部、中国煤炭学会岩石力学专业委员会联合发起的“煤矿矿山压力名词讨论会”,集中了国内矿山岩石力学方面的专家、学者,在昆明会议上专门讨论了松软岩层的定义。关于软岩的定义,国内外有十几种之多,大体上可以分为描述性定义、指标化定义和工程定义,且各有其优缺点。目前,国内外专家学者在研究前人关于软岩概念的基础上,提出了新的软岩概念及其分类体系。

1.1 软岩概述

1.1.1 地质软岩的概念

目前,人们普遍采用的软岩定义基本上可归于地质软岩的范畴。按照地质学的岩性划分,地质软岩是指强度低、孔隙度大、胶结程度差、受构造面切割及风化影响显著或含有大量膨胀性黏土矿物的松散、软弱夹层,该类岩石多为泥岩、页岩、粉砂岩、泥质砂岩和千枚岩等单轴抗压强度小于 30MPa 的岩石,是天然形成的复杂地质介质。国际岩石力学学会将软岩定义为单轴抗压强度在 0.5 ~ 30MPa 之间的一类岩石,其分类依据基本上是依据强度指标。

煤炭工业部矿山压力情报中心站副站长、软岩分站站长、长春煤炭研究所总工程师陆家梁提出,松软岩层系指松散、软弱的岩层,它是相对于坚硬岩层而言的。松软岩层由于成岩的时间短、结构疏松、胶结程度差,故自身强度很低。煤炭工业部软岩分站副站长郑雨天、王明恕、何修仁教授等认为,软岩是软弱、破碎、松散、膨胀、流变、强风化蚀变及高应力的岩体之总称。淮南矿业学院朱效嘉



教授提出,松软、破碎、膨胀及风化等岩层称为松软岩层,简称软岩。东煤公司的曾小泉高级工程师认为,松软岩层系松散破碎、软弱、强风化和膨胀性岩层的总称。1984年12月,在昆明市举行的“煤矿矿山压力名词讨论会”上提出的定义是,松软岩层是指强度低、孔隙度大、胶结程度差、受构造面切割及风化影响显著或含有大量膨胀性黏土矿物的松、散、软、弱岩层,或统指低强度的岩体。

地质软岩的定义用于工程实践中时会出现矛盾,比如:隧道所处深度足够浅,地应力水平足够低,则小于30MPa的岩石也不会产生软岩的特征;相反的是,大于30MPa的岩石,当其工程埋设部位足够深,地应力水平足够高的情况下,也可能产生软岩的大变形和难以支护的现象。因此,地质软岩的定义用于工程实际中会存在问题,有专家学者提出了对软岩指标化的概念。软岩必须满足两个条件:

①抗压强度 $\sigma_c < 30\text{MPa}$ 的岩层称之为软岩;

② $\frac{\sigma_c}{\gamma H} < 2$ 的岩层称之为软岩,其中: σ_c 为岩石单轴抗压强度; γ 为岩石重度;

H 为岩层埋深。

1.1.2 工程软岩的概念

因为地质软岩的定义用于实际工程中会存在问题,故而有学者又提出了工程软岩的概念。工程软岩是指在工程力作用下能够产生显著塑性变形的工程岩体。目前流行的软岩定义强调了软岩的软弱、松散等低强度特点。但同时应当强调软岩所承受的工程力荷载的大小,强调从软岩的强度和工程力荷载的对应统一关系中分析、把握软岩的相对实质。

工程软岩中主要涉及的是有工程力、显著变形和工程岩体问题。工程岩体是软岩工程研究的主要对象,是隧道、边坡或基坑开挖扰动影响范围内的那部分岩体,包含岩块、结构面及其空间组合特征。工程力是指作用在工程岩体上的力的总和,它可以是重力、构造残余应力、水的作用力和工程扰动力以及膨胀应力等。显著塑性变形是指以塑性变形为主体的变形量超过了工程设计的允许变形值并影响了工程的正常使用,显著塑性变形包含显著的弹塑性变形、黏弹塑性变形、连续性变形和非连续性变形等。

工程软岩的定义揭示了软岩的相对性实质,即取决于工程力与岩体强度的相互关系。当工程力一定时,不同岩体的表现形式不一样,强度高于工程力水平的岩体大多表现出硬岩的力学特性,强度低于工程力水平的岩体则可能表现为软岩的力学特性;对于同一种岩体而言,在较低的工程力作用下,岩体表现为硬

岩的变形特性,在较高工程力作用下则可能表现为软岩的变形特性。

在工程实际中,不同的专家学者从松动圈的大小这个角度提出了软岩的工程定义。中国矿业大学董方庭教授提出,松动圈厚度大于1.5m的围岩称为软岩。中国矿业大学鹿守敏教授指出,围岩松动圈大于1.5m,并且用常规支护不能适应的围岩称为软岩。松软岩层是指难以支护的围岩或者多次支护,需要重复返修的围岩。

1.1.3 软岩的两个基本力学属性

软岩有两个基本力学属性:软化临界荷载和软岩临界深度,这两个基本力学属性揭示了软岩的相对性实质。

(1) 软化临界荷载

软岩的蠕变试验表明,当所施加的荷载小于某一荷载水平时,岩石处于稳定变形状态,蠕变曲线趋于某一变形值,随着时间延伸而不再变化;但当所施加的荷载大于某一荷载水平时,岩石出现明显的塑性变形加速现象,即产生不稳定变形,这一荷载临界值称为软岩的软化临界荷载,即能使岩石产生明显变形的最小荷载。岩石种类一定时,其软化临界荷载是客观存在的,当岩石所处荷载水平低于软化临界荷载时,该岩石属于硬岩范畴;而只有当荷载水平高于软化临界荷载时,该岩石表现出软岩的大变形特性,此时该岩石称为软岩。

(2) 软化临界深度

与软化临界荷载对应地存在着软化临界深度。在特定的区域内,软化临界深度是一个客观存在量。当隧道的位置大于某一开采深度时,围岩产生明显的塑性大变形和难支护现象;但当隧道位置较浅,即小于某一深度时,大变形和高地压等现象明显消失,这一临界深度称为岩石软化临界深度。根据前人的研究成果,软化临界深度的地应力水平大致相当于软化临界荷载。

1.1.4 软岩的定义

上述关于软岩的几种定义,各有其优缺点。作为软岩的定义应该抽象出前述各种定义的共性规律,抽象出软岩的本质特征,力求简明扼要并反映软岩的实质性规律。

软岩是指隧道工程力的作用下能产生显著变形的工程岩体。上述定义的主题词是隧道工程力、显著变形和工程岩体。工程岩体是软岩隧道工程研究的主要对象,是隧道开挖扰动影响范围之内的岩体,包含了岩块、结构面及其空间组合特征和赋存条件;隧道工程力是指作用在隧道工程岩体上的力的总和,它可



以是重力、构造残余应力、水的作用力和工程扰动力以及膨胀应力等；显著变形是指变形量超过了隧道设计的允许变形值并影响了隧道的正常使用，显著变形包括显著的弹性变形、塑形变形、黏弹性变形、黏塑性变形、连续性变形和非连续性变形等，但以显著塑性变形和非连续性变形为主要特征。何满朝院士给出的此定义揭示了软岩的相对性实质，即关键取决于工程力与岩石强度的相互关系。当工程力一定时，不同岩石，强度高于工程力水平的表现为硬岩的力学特性，强度低于工程力水平的则可能表现为软岩的力学特性；而对同种岩石（如泥质粉砂岩），在较低工程力作用下，则表现为硬岩的变形特性，在较高工程力的作用下则可能表现为软岩的变形特性。

针对软岩这种特殊岩性，由此衍生出软岩工程这门学科。软岩工程指的是与塑性大变形岩体有关的岩体工程，如软岩边坡工程、软岩隧道工程等。在构造应力复杂地区、矿区内岩体往往是强度较低、变形较大，特别是沉积岩体中的砂质页岩、泥岩、泥质砂岩类岩体更是如此。针对这种软岩中隧道施工的问题衍生出了软岩工程这门学科。软岩工程主要指的是软岩隧道工程，其主要科学问题是研究软岩隧道的变形力学机制及软岩隧道支护的对策技术问题。

软岩隧道工程最主要的问题是研究软岩隧道的工程地质力学特性和软岩隧道围岩在多种力作用下的变形、破坏全过程及其稳定性评价。软岩工程是一门交叉学科，它涉及工程地质学、岩体力学、工程力学和桥梁与隧道工程等。软岩工程其本身特点既有这些学科的共性，又有其特殊性，软岩工程学科就是研究和解决软岩工程问题的一门新兴学科。

1.1.5 软岩的分类

按照上述软岩的定义，软岩可分为三大类，即低应力软岩、高应力软岩和节理化软岩。

低应力软岩系指在较低应力水平（小于 20MPa）条件下即发生显著变形的低强度工程岩体，例如描述性软岩定义中所列举的软弱、松散的岩体，膨胀、流变、强风化的岩体以及指标定义中所述的抗压强度小于 20MPa 的岩体，均属于低应力软岩的范畴。在实际工程中，埋度不大的隧道围岩就出现了显著变形，一般的地质特点是泥质岩类为主体的低强度工程岩体。

高应力软岩则是指在较高应力水平（大于 20MPa）条件下才发生显著变形的中、高强度的工程岩体，如描述性定义中所讲的高应力岩体等。这种软岩的强度一般高于 20MPa，其地质特征是泥质成分较少，但有一定含量，砂质成分较多，如泥质粉砂岩、泥质砂岩等。它们的工程特点是，在深度不大时，表现为硬岩的

变形特征,当深度加大至一定深度一下,就表现为软岩的变形特性了。

节理化软岩系指含泥质成分很少(或几乎不含)的岩体,发育了多组节理,其中岩块的强度颇高,呈硬岩力学特性,但整个工程岩体在隧道工程力作用下则发生显著的变形,呈现出软岩的特性。在我国甘肃南部地区,岩块强度很高,节理发育很好,岩体强度较低,常常发生显著的大变形,在进行隧道开挖施工中,隧道经常会发生位移侵限的问题,这些变形表现为非线性、非光滑的特性。

1.1.6 软岩强度影响因素分析

对岩体来说,其强度不同于岩石(完整岩块)的强度,也不同于结构面的强度,岩体的强度受岩石强度、结构面强度、岩体结构、岩体赋存环境等多种因素的控制,其强度较岩石块体强度低。对软弱围岩来说,导致其强度较低的原因主要有以下三点:

(1) 岩石强度低

根据我国工程岩体分级标准、岩土工程勘察规范、铁路隧道设计规范等资料,一般将单轴饱和抗压强度低于 30MPa 的岩石称为软质岩或软岩。软质岩主要包括未成岩的岩石、已风化的岩石以及含有软弱矿物的岩石。未成岩的岩石,即尚未固结的岩石,其范围大致是新第三系以后的低固结、未固结的砂岩、泥岩,以及形成一部分冲积层的砂质土、砾质土、火山灰等未固结的以及固结度低的岩石,统称为未固结岩石。已风化的岩石是指由于风化作用而使强度降低的岩石,包括全风化的各类土。含有软弱矿物的岩石主要包括泥质岩组,含煤岩组,含盐、含石膏岩组,云母片岩,滑石片岩组等。

(2) 岩体破碎

对于一些坚硬的岩石,如坚硬的岩浆岩、石灰岩、砂岩等,虽然其岩石强度较高,但若受到强烈的构造运动影响,导致节理、裂隙、断层等结构面发育,特别是结构面充填软弱充填物的场合,会造成围岩强度降低很多,其自稳性变差。

(3) 围岩赋存环境差

隧道围岩由于赋存于富水、地应力等不良地质环境中,而易引起涌水、塌方等地质灾害,赋存于这种地质环境下的围岩也可称为软弱围岩。

总之,这里指的软弱围岩,包括软弱、破碎、富水等不良地质条件下的围岩,但不包括岩溶、瓦斯等特殊的围岩。从围岩级别上看,这类围岩,基本上属于 V、VI 级围岩,对大断面和特大断面隧道(隧道开挖断面积大于或等于 100m^2 并小于或 140m^2 的称为大断面隧道,开挖断面积大于或等于 140m^2 的为特大断面隧道),也包括一部分 IV 级围岩在内。



1.2 国内外研究现状

软岩是世界上分布最广泛的一种岩石,其中的泥岩和页岩就占据地球表面岩石的50%左右,构造应力复杂地区遇到的软岩一般为变质岩。据不完全统计,在水利水电工程建设中,约有三分之二的工程建设涉及软岩的工程地质问题。软岩是一种特定环境下具有显著变形的复杂力学介质,给工程的建设施工带来了一系列特殊问题,因而软岩的研究引起了国内外的广泛关注。软岩工程问题从20世纪60年代就困扰着各国的科学家,成为一个世界性难题。我国自20世纪70年代以来,在进行边坡工程、大坝工程和大型深埋地下长隧道工程等基础工程中,尤其是在隧道工程建设中,软岩工程成为制约工程建设的一个重要方面,成为当今科技攻关和工程实践的难点和热点之一。软岩工程中由于其工程地质性质极差,往往制约着工程建设的规模,并对各类工程建设的施工和运营起到相当大的危害作用。在兰渝线铁路建设中,由于在施工前期对围岩的软弱变形研究不足,造成施工停滞。软岩在浸水条件下,其力学性能大幅度降低,甚至导致完整岩体解体。如意大利瓦依昂水坝,高258m,在当时是最高的拱坝。近坝库区的山体由石灰岩和黏土岩组成,当时对黏土岩未给予高度重视,水库蓄水后,黏土岩浸水膨胀而推动山体下滑。

20世纪50年代,随着中国大规模工程的建设,在坝基、隧道、矿山、边坡等工程建设中,都遇到过软弱结构面问题,开始引起各方面的重视,各部门各单位结合工作开始了对软弱结构面的研究。20世纪60年代,软弱结构面的研究进入了成因分类、室内外试验相结合选择抗剪强度的阶段。在此过程中,工程地质工作者更进一步认识到软弱结构面对岩体变形破坏和破坏特征具有优先控制作用。20世纪七八十年代进入软弱结构面的深入研究阶段,对其组成成分、微观结构、应力与应变关系、演变趋势、电算及模型试验等进行综合研究。

在研究初期,对软弱结构面以研究其物理力学参数为主要目的,例如20世纪60年代,主要对其成因、室内现场试验进行研究。20世纪70年代初期,陈宗基教授对软弱结构面问题进行了大量、系统而富有成效的研究,提出了著名的第三屈服值(流变屈服极限),此值对工程的长期稳定性具有重要意义,被国际上誉为“陈氏屈服值”。通过研究软弱结构面黏粒成分与抗剪强度参数之间的定量关系,能够对软弱结构面强度的本质及黏粒含量影响抗剪强度的机理有较深的认识。研究表明,软弱结构面的抗剪强度随着充填的厚度增大而减小,颗粒越

细的充填物这一效应越明显。

软弱结构面的强度参数取值多以试验为基础,结合软弱结构面的其他特征进行综合分析。目前,试验研究仍是探索软岩特性的直接研究手段,就软岩而言,研究的重点将是扩容膨胀、崩解、软化、流变和黏性时效等问题。

软岩(软弱结构面)的变形不仅表现出弹性和塑性,而且其变形破坏除与构造应力有关外,还受到时间因素的影响,即具有流变性。流变一词最早由古希腊哲学家提出,意思是万物皆流,即所有物质都有流变性。流变学作为一门研究物质流动与变形的科学,近年来其研究也迅速发展起来,世界各国尤其是工业发达国家纷纷成立了流变学会。由 Bingham 建议于 1929 年成立了美国流变学会,被公认为流变学历史的新纪元。

流变(即蠕变)是岩石材料的固有力学性质之一,也是用来解释和分析地质构造运动和进行岩体工程长期稳定性预测的重要依据。岩土体的流变现象则到处可见,最出名的就是意大利比萨斜塔。比萨斜塔的下沉是由于砂层地基中黏土透镜体蠕变和挤压所引起的。由于岩土体的流变对人们的生产生活产生了重要影响,对流变特性的研究已日益引起人们的重视。

对岩土流变特性的研究,国外学者开展的较早,国内研究者则较少关注。岩石的流变性研究大致可以追溯到 20 世纪 30 年代,1939 年 Griggs 通过对砂岩、泥页岩、粉砂岩进行的大量试验研究得出:在较小的应力条件下,即荷载接近其极限强度时,岩体就表现出蠕变的特性。国内对岩体蠕变特性的研究起步较晚,但进步很快。1948 年,陈宗基和荷兰的 Geuze E. C. W. A 首先开始对土流变学进行了系统的研究。20 世纪 50 年代以来,国内外已经对软岩流变的本构规律进行过大量的研究。20 世纪 60 年代,陈宗基教授等学者率先开展了流变学在岩土工程领域的研究,此后许多学者先后在这一领域做出了卓越贡献。日本有学者曾从 1977 年开始进行了长达 27 年之久的流变试验,提出了令世人瞩目的花岗岩流变参数。

软岩的时间效应除了表现在风化作用强烈迅速之外,还表现在其流变特性实质。岩石流变性的研究广泛涉及工程地质分析、地震机制、大型岩体工程长期稳定性评价、核废料及其他有害物质在地层深部的长期储存,因而引起了岩石力学与岩土工程界的广泛关注,使得其理论发展得到实际应用的巨大推动。岩石尤其是软岩的流变问题是一个时间效应的问题,而实际工程中软岩的蠕变是个长时间的过程,这个过程可以长达几十年甚至于几百年。而在对软岩的蠕变研究中,室内试验仍是目前研究流变现象的主要手段。在实验室研究中,由于技术以及各个方面实际条件的限制,软岩的蠕变试验只可能进行几个小时或几天,少



数试验进行几个月,极少数进行数年。而整个实验时间与软岩的蠕变过程相比只是极短的,但专家学者在进行研究的过程中不得不将短时间的蠕变试验结果外推到长时间的实际蠕变过程中去,因此,在软岩(软弱结构面)的蠕变试验中,充分考虑时效变形特性,在分级加载时,时间尺度效应对何时施加下一级荷载起着关键性的作用。

在对软岩的研究过程中,不少专家学者从岩石的流变特性方面进行研究,其核心内容就是流变模型的建立与应用。关于岩石流变模型的研究,目前已经有许多可供选择的模型被建立起来,但是对于软岩这种特殊的岩体,国内外对其流变模型的研究很少。对于不同类型的岩石,可以选用相应的流变模型来描述其特性,用胡克体、牛顿体和圣维南体等基本元件来组成复合流变元件模型,来拟合软岩的实验室或现场原位蠕变试验数据,以获得其流变本构模型的研究方法,能够把软岩复杂的流变性质直观地表现出来,并且其数学表达式可直接描述蠕变、应力松弛及稳定变形。

1.3 软岩隧道施工主要技术问题

隧道开挖后,地应力将重新分布。由于软岩强度低,对工程扰动极其敏感,在受拉或受压条件下将产生塑性区,使围岩和支护发生变形。一旦施工方法和工程措施不当,将极易发生初期支护变形侵限或者隧道坍方等工程灾害。

从隧道开挖后的围岩变形看,在软弱围岩中开挖,经常出现以下力学现象,如:

- ①拱顶崩塌;
- ②掌子面失稳;
- ③底鼓现象严重;
- ④长时间的持续变形,或变形不收敛;
- ⑤初期支护严重变异;
- ⑥在富水条件下出现异常涌水,围岩流失等。

综合上述,在软弱围岩地质条件下,其变形的终极结果是造成掌子面崩塌、拱部坍塌以及各种异常现象。表 1-1 和表 1-2 分别从不同角度,说明不同地质条件下的掌子面崩塌现象及注意事项。

因此,在这类围岩中施工必须根据隧道开挖后可能产生的变形实态,采取相应的技术对策,如:

- ①采取预支护(加固)方法控制掌子面前方先行位移以及掌子面挤出位移;

- ②采取控制地表面下沉及拱脚下沉的技术对策；
- ③采取控制掌子面后方量测位移的对策；
- ④采取控制地下水的技术对策；
- ⑤采取有针对性的观察、量测、前方围岩探查等技术对策。

掌子面崩塌现象以及掌子面观察时的注意事项

表 1-1

围岩状况		掌子面崩塌现象(代表性的)	关注的重点	
均质	相当于大致均质的围岩,第三纪的泥岩等膨胀性围岩		基岩的性质	◎
			裂隙程度和方向	△
			涌水	△
层理	相当于不同物性的地层形成的互层围岩,如泥岩、砂岩等		基岩的性质	○
			裂隙程度和方向	◎
			涌水	◎
节理	多为硬岩,因节理、裂隙等分割形成的不连续的围岩		基岩的性质	△
			裂隙程度和方向	◎
			涌水	○



续上表

围岩状况		掌子面崩塌现象(代表性的)	关注的重点	
强风化、破碎带	因断层、破碎带存在与周边局部劣化性质不同的围岩,如风化花岗岩		基岩的性质	◎
			裂隙程度和方向	△
			涌水	◎

注:◎表示最重要;△表示不太重要;○表示比较重要。

崩塌现象的概念

表 1-2

崩塌现象的因素	代表性的地质	概念图	对掌子面稳定性的影响度	
起因于不连续面发育的崩塌	块状岩体; 中硬岩、软岩; 火成岩类; 砂岩、砾岩。 层状岩体; 中硬岩、软岩; 片岩类; 页岩; 黏板岩		基岩的性质	小
			不连续面的状况	大
			涌水的状况	大~中
起因于涌水的崩塌	断层、破碎带; 土砂围岩; 岩堆; 洪积层		基岩的性质	大
			不连续面的状况	小
			涌水的状况	大