

*Gaosu Tielu Daduanmian Ruanruo Weiyao Suidao
Bianxing Texting ji Shigong Jiance Xinxihua*

高速铁路 大断面软弱围岩隧道 变形特性及施工监测信息化

高军 著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

*Gaosu Tielu Daduanmian Ruanruo Weiyao Suidao
Bianxing Texing ji Shigong Jiance Xinxihua*

高速铁路 大断面软弱围岩隧道 变形特性及施工监测信息化

高军◎著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路大断面软弱围岩隧道变形特性及施工监测信息化/高军著. —武汉:中国地质大学出版社,2017.9

ISBN 978-7-5625-4117-2

I. ①高…

II. ①高…

III. ①高速铁路-大断面地下建筑物-围岩-岩石变形特性-研究②高速铁路-大断面地下建筑物-围岩-隧道施工-信息化-研究

IV. ①U459.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 234315 号

高速铁路大断面软弱围岩隧道变形特性及施工监测信息化

高 军 著

责任编辑:段连秀 彭钰会

责任校对:周 旭

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://cugp.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:340 千字 印张:13.25

版次:2017 年 9 月第 1 版

印次:2017 年 9 月第 1 次印刷

印刷:武汉教文印刷厂

印数:1—800 册

ISBN 978-7-5625-4117-2

定价:68.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

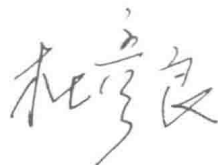
序

高速化、重载化和多式运输是当今铁路的发展趋势。铁路作为一种经济的、大运量的交通工具,在各国的经济生活中发挥着重大作用。虽然曾遇到了航空和公路的严峻挑战,但各国铁路都加快了体制改革和技术创新,铁路的高速化也随之应运而生,并得到了快速发展。高速铁路作为主要的公共交通工具之一,将在21世纪获得全面发展。目前,继日本、法国、德国、意大利、西班牙、比利时等国相继建成4600余千米高速铁路后,世界上正在建设和已立项准备建设的新线有45条,总长为21000千米。高速铁路的研究和建设必将适应可持续发展和运输市场的需求,在世界范围内形成一场新的铁路运输领域的复兴运动,孕育着高速铁路大发展时代的快速到来。

京广、郑万高铁途径湖北、湖南、广东、河南、重庆等沿线,沿途岩溶区段极多,各种复杂的地质情况都极为常见。为了规避风险,预防安全事故,本书在总结京广高铁建设技术的基础上,结合国内其他高铁线路的建设情况,建立了高铁隧道力学模型,利用有限元进行分析,得出了岩溶隧道有关受力参数,建立了完整的岩溶隧道综合超前地质预报标准模式和管理体系,将施工地质超前预报纳入工序管理,为快速有序、安全处理岩溶地段提供可靠依据;针对不同岩溶溶腔、岩溶水、暗河,建立较为系统的新型和模式化处理技术,创新高压富水充填溶腔、断层破碎带的隧道施工新工艺,为在高铁建设过程中解决岩溶带来的隐患具有很强的针对性和迫切性。

适逢我国大规模高速铁路建设的开局之际,本书对于提高高速铁路隧道结构设计和施工合理性,指导规范化施工和设计,建立隧道动力学模式和体系、建立隧道信息化设计和施工提供了理论依据和技术实践。作者是我的学生,也是高铁建设领域的专家和学者。该书提出的理念能在铁路、公路、水利水电、市政、交通等行业得到广泛的应用和推广,对相关领域的科技进步将起到一定的作用。

中国工程院院士



2017年11月

前 言

高地应力下深埋隧道施工过程中,洞室周边围岩发生应力集中现象,各方向的主应力与剪应力对岩体进行作用并使其产生裂隙,内部储存的弹性能释放,导致围岩塌方、局部或整体失稳等灾害现象。由于相对于低地应力条件下围岩变形压力基本可以简化为山岩压力的假定已不成立,高地应力使隧道围岩具有蠕变与流变特性。

本项目依托武广、郑武、武九铁路项目隧道,针对高速铁路大断面软弱围岩变形特性及施工关键技术,进行了高地应力隧道围岩稳定性因素分析和量化分析,研究了隧道高地应力软岩大变形的控制技术,针对浅埋、大断面软弱围岩隧道冒顶等进行了处理技术研究,还建立了针对高地应力软岩隧道的“Ⅰ”字形支架的力学理论,并将其应用于武九铁路隧道。

针对高地应力软弱围岩大变形施工难题,本项目通过武广、郑武、武九铁路隧道施工的实际应用和研究,获得适合高地应力软岩大变形控制的技术要点,还推导了“Ⅰ”字形支架支护的力学模型,建立了相应的施工工艺并将其应用在地应力软岩隧道中。

通过实际工程隧道开挖中掌子面出现的塌方冒顶事故的处理,对浅埋、大断面软弱围岩隧道冒顶处理技术进行了研究,形成了针对高速铁路浅埋大断面软弱围岩隧道成套施工工艺。

本书主要对影响高地应力铁路隧道围岩稳定性的因素进行量化分析,得出影响围岩稳定性的因素与隧道最大围岩应力及变形的半经验半理论公式,为高地应力铁路隧道工程施工提供一些理论指导,具有一定的科学实践意义。

作 者

2017 年 6 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 研究背景	(1)
1.2 研究的目的和意义	(2)
1.3 国内外研究现状	(2)
1.3.1 围岩稳定性发展研究现状	(2)
1.3.2 高地应力隧道卸压支护措施研究现状	(5)
1.4 主要研究内容	(7)
第二章 高地应力软岩隧道围岩变形影响因素	(8)
2.1 高地应力软岩围岩变形影响因素	(8)
2.1.1 地质因素	(8)
2.1.2 工程因素	(11)
2.2 基于正交设计的围岩变形影响因素	(12)
2.2.1 正交试验设计	(12)
2.2.2 模型建立与参数选取	(12)
2.2.3 正交试验结果	(13)
2.2.4 极差分析	(14)
2.2.5 方差分析	(14)
2.3 基于实例分析的高地应力软岩隧道变形影响因素	(18)
2.3.1 工程概况	(18)
2.3.2 变形情况统计	(18)
2.3.3 围岩变形影响因素显著性分析	(19)
2.4 超前应力释放技术	(22)

2.5	本章小结	(22)
第三章 高铁隧道结构设计特性 (23)		
3.1	主要设计依据及技术标准	(23)
3.2	荷载计算	(23)
3.2.1	荷载计算公式	(23)
3.2.2	断面荷载计算	(25)
3.2.3	衬砌内力计算	(26)
3.2.4	二次衬砌强度检算及配筋	(31)
3.3	本章小结	(36)
第四章 大断面隧道超前预加固判据及影响因素 (37)		
4.1	引言	(37)
4.1.1	大断面隧道的定义	(37)
4.1.2	超前预加固工法综述	(37)
4.2	隧道超前预加固判据	(39)
4.2.1	隧道掌子面失稳的判据	(39)
4.2.2	隧道掌子面失稳形式	(40)
4.2.3	隧道稳定性判据	(40)
4.2.4	掌子面稳定性分级	(41)
4.3	超前预加固影响因素	(41)
4.3.1	超前预加固概述	(41)
4.3.2	围岩因素影响	(42)
4.3.3	掌子面超前预加固	(42)
4.3.4	棚式支护	(43)
4.3.5	初期支护对超前预加固稳定性影响	(44)
4.3.6	开挖进尺对掌子面稳定性的影响	(45)
4.4	本章小结	(46)
第五章 浅埋、大断面软弱围岩隧道冒顶处理技术研究 (48)		
5.1	浅埋段掌子面冒顶概况	(48)
5.2	浅埋段冒顶原因分析	(49)
5.3	冒顶塌方处理技术	(50)

5.3.1	水泥-水玻璃双浆液掺入量确定	(50)
5.3.2	洞内塌方体封闭加固技术	(52)
5.3.3	塌穴处理技术	(52)
5.3.4	塌方体注浆加固技术	(53)
5.3.5	已支护段变形处理措施	(57)
5.3.6	通过塌方体施工技术	(58)
5.4	浅埋、大断面软弱围岩隧道围岩加固	(59)
5.4.1	围岩加固方案的比选	(60)
5.4.2	隧道洞内长管劈裂注浆施工方法	(61)
5.4.3	超前锚杆稳定掌子面施工方法	(64)
5.4.4	围岩加固注意事项	(65)
5.4.5	围岩加固效果分析	(65)
5.5	本章小结	(67)
第六章 隧道施工现场监控量测技术研究		(68)
6.1	监控量测的必要性及意义	(68)
6.2	监控量测项目	(68)
6.3	量测数据反馈方法	(69)
6.4	隧道监控量测方案	(70)
6.5	超前预报技术	(73)
6.6	监控量测技术	(75)
6.6.1	测点布置	(75)
6.6.2	塌方影响段量测数据分析	(76)
6.6.3	围岩加固段量测数据分析	(77)
6.6.4	塌方之前施工不足分析	(80)
6.7	本章小结	(82)
第七章 隧道施工过程有限元模拟分析基本原理		(83)
7.1	有限元分析法	(83)
7.2	隧道工程弹性和弹塑性问题的有限元法分析	(85)
7.2.1	隧道工程弹性问题的有限元法分析过程	(85)
7.2.2	隧道工程弹塑性问题的有限元法分析思路	(85)

7.3	有限元在岩体支护结构中的应用	(87)
7.4	初始地应力以及围岩开挖卸载的处理	(89)
7.4.1	开挖卸荷的基本思想	(89)
7.4.2	卸荷方法的具体实现	(89)
7.5	本章小结	(91)
第八章	隧道开挖 ANSYS 模拟实例分析	(93)
8.1	ANSYS 软件简介	(93)
8.2	ANSYS 软件模拟分析	(94)
8.3	隧道开挖过程的 ANSYS 仿真模拟	(95)
8.3.1	隧道的工程概况和计算范围	(95)
8.3.2	计算参数的选取	(96)
8.3.3	ANSYS 模型的建立	(97)
8.3.4	加载与初始地应力场模拟	(98)
8.4	本章小结	(113)
第九章	隧道高地应力软岩大变形施工控制技术	(114)
9.1	隧道受力特征	(114)
9.2	隧道变形破坏特征	(115)
9.3	大变形施工控制技术	(116)
9.4	本章小结	(118)
第十章	高地应力软岩隧道“ I ”字形支架支护方案	(120)
10.1	“ I ”字形支架支护	(120)
10.2	计算模型	(120)
10.3	工程应用	(123)
10.4	计算结果分析	(127)
10.5	本章小节	(130)
第十一章	隧道监控量测辅助信息化分析系统	(131)
11.1	系统结构	(131)
11.2	系统菜单	(132)
11.2.1	文件	(132)

11.2.2	工程和隧道信息管理	(133)
11.2.3	断面和围岩信息管理	(136)
11.2.4	必测项目监测及分析模块	(142)
11.2.5	选测项目监测及分析模块	(154)
11.2.6	数据报表模块	(162)
11.2.7	窗口管理	(163)
11.3	本章小结	(163)
第十二章	隧道运营期健康信息化监测系统	(164)
12.1	系统应完成的任务和主要组成	(164)
12.2	自动化传感测试子系统	(165)
12.2.1	系统功能	(165)
12.2.2	传感器选型	(165)
12.2.3	传感器布设	(171)
12.2.4	数据采集与传输模块	(172)
12.3	交通安全监测子系统	(175)
12.3.1	系统组成及功能	(175)
12.3.2	各子系统设计方案	(175)
12.4	综合预警与结构安全评估子系统	(181)
12.4.1	系统功能	(181)
12.4.2	技术特征	(181)
12.4.3	系统预警分级	(181)
12.4.4	系统安全评估方法及实现	(182)
12.5	用户界面子系统	(184)
12.5.1	在线监测评估软件	(185)
12.5.2	三维隧道仿真数据查询软件	(187)
12.5.3	用户界面系统软硬件配置	(191)
12.6	本章小结	(191)
第十三章	结束语	(193)
	参考文献	(195)

第一章 绪论

1.1 研究背景

在高速铁路隧道施工中,开挖方法是影响隧道稳定和施工、运营期间各种工程安全问题的重要因素。在开挖隧道软弱围岩的过程中,选择不同的开挖方法及施工步骤,会产生不同的围岩松动圈,引起隧道周边围岩应力重新分布,对隧道周边及掌子面围岩稳定性产生影响,进而对施工进度产生影响。在施工过程中,由于开挖面的不断改变,围岩的应力也不断改变,所以隧道开挖所选的施工方案会直接影响隧道开挖时的稳定性。

隧道施工过程中如遇到软岩,一般采用台阶法或其他不同分部的开挖方法,这些开挖方法在软岩隧道的施工中起到了重要作用,并且随着我国隧道建设的快速发展,不断得到完善。但是由于其工序衔接、作业空间限制和对围岩扰动次数多等因素,施工工效并不高。而全断面开挖法工序衔接较少,一次性爆破开挖对围岩扰动减到最小,且相对作业空间大,可以较快速地施工,但由于全断面开挖的安全性需求,在软弱围岩隧道中往往不被采用。

传统的分部开挖方法的核心仍旧是新奥法理念,允许围岩和结构发生可控的变形,最大限度地利用和发挥围岩自承载能力。目前,围岩承载结构支护能力的研究主要集中在围岩自稳能力评价方面。评价方法主要是依据围岩质量分级,再针对各级岩体中不同跨度区间的隧道进行自稳时间及可能塌方程度预计。这类方法对隧道开挖后,围岩承载结构加固的延滞与施工安全措施制定具有指导作用。但是,该评价方法未曾考虑到掌子面前方核心土的强度和刚度对隧道稳定性的影响,且评价结果并没有提供确切的定量表征指标,仅仅是定性的描述,其准确程度依赖于研究者的经验。

根据国内外学者研究结论和工程实践经验,隧道开挖过程中围岩变形分为三种,即挤出变形、预收敛变形、收敛变形。掌子面超前核心土的强度及变形特性是引起围岩变形的真正原因。为落实推进软弱围岩全断面(或微台阶)开挖的需要,开展软弱围岩全断面开挖法机械化配套快速施工技术的试验研究工作,重点研究大断面隧道软弱围岩变形特征、掌子面前后稳定性评价、掌子面稳定措施及适应性、全断面(微台阶)工法开挖进尺选择、全断面(微台阶)支护参数、施工设备配套、工艺流程和工序管理等,本课题组进一步对该施工技术进行了试验方案研究。

1.2 研究的目的是和意义

高地应力下深埋隧道施工过程中,洞室周边围岩发生应力集中现象,各方向的主应力与剪应力对岩体进行作用并使其产生裂隙,内部储存的弹性能释放,导致围岩塌方、局部或整体失稳等灾害现象。由于相对于低地应力条件下围岩变形压力基本可以简化为山岩压力的假定已不成立,高地应力使隧道围岩具有蠕变与流变特性。

由于深埋长大隧道运营期内,造成隧道衬砌的开裂与荷载向围岩转移,引起围岩大面积的承拉、损伤演化,所以在高地应力作用下传统隧道结构设计理论显然已经不能适用。高地应力下岩体开挖过程中出现的灾害现象,直接威胁施工人员和设备的安全,影响施工进度,甚至支护体系的不完善直接影响隧道运营期间的安全,已成为世界性的地下工程课题之一,受到各国岩石力学界的重视,并开展了大量研究。

我国西部地区地形、地貌及地质环境复杂。在西部经济发展过程中,将建设大量隧道,这些隧道具有穿越分水岭,隧道埋深大、线路长的特点,穿越不同的地质单元且无法避开高地应力、高地温及岩爆等地质问题的影响,而传统的围岩稳定性分析理论与方法对此无能为力,传统的设计方法与施工措施亦无法防止隧道围岩的塌方、衬砌破坏或整体失稳。

本书利用数值仿真模拟方法,建立高地应力铁路隧道数值模型,对影响高地应力铁路隧道围岩稳定性的因素进行量化分析,得出影响围岩稳定性的因素与隧道最大围岩应力及变形的半经验半理论公式,初步估计高地应力铁路隧道施工的最大围岩应力及变形,确定其成洞性的强弱;同时对几种高地应力隧道卸压支护措施进行模拟分析,确定卸压支护措施解决围岩应力集中现象与大变形的可行性及效果,分别对本书选取的卸压与措施进行对比,提出合理解决围岩应力集中现象及大变形措施,为高地应力铁路隧道工程施工提供一些理论指导,具有一定的科学实践意义。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 围岩稳定性发展研究现状

20世纪20年代之前,围岩稳定性压力理论主要是古典的压力理论。该理论认为,作用在支护结构上的压力主要是其上覆岩层的重量,具有代表性的理论有海姆(Haim)理论、郎肯(Rankine)理论和金尼克理论,其侧压力系数取值有一定的不同。但随着隧道埋深的加大,古典的压力理论与实际的情况已经不符合,随后出现了散体压力理论,认为作用在支护结构上的压力,不是上覆岩层的质量,而是围岩塌落拱内松动岩体的质量,他们对塌落拱的形状假设不同。具有代表性的理论有太沙基(Terzaghi)理论和普氏理论,但

是他们并没有认识到围岩的塌落不是形成围岩压力的惟一因素,更没有认识到可以通过稳定围岩以充分发挥围岩的自承作用。

20世纪50年代以后,逐步利用弹塑性理论进行围岩稳定性研究,深埋隧道埋深大,围岩基本上体现出强烈的流变特性,对于软弱围岩,本身就具有明显的流变特性,流变理论逐渐被引用到围岩稳定性分析的研究中。在这些理论的基础上,围岩稳定性分析方法主要有以下几种。

1. 工程地质法

在围岩稳定性分析方法中,工程地质法主要有 Stini 法、Franklin 法、Bieniawski 的 RMR 法、Barton 等人的 Q 法、Arild Palmstrom 的 RMI(Rock Mass Index)法。我国学者在这方面也作了一些研究,例如李世辉(1999)总结得到典型类比分析法和隧道位移反分析技术,并编制了反分析程序(BMP90)。上述方法的主要思路是,首先进行工程地质调查,获得岩体的变形、强度、初始应力等岩体力学参数;其次根据影响围岩稳定性中权重较大的因素,运用赤平极限投影法,得到可能不稳定的岩土体,依据地应力条件,综合对比洞轴线位置方案,运用块体极限平衡理论,判断围岩的稳定性;最后按照围岩分类法,对围岩稳定性进行判断及支护结构设计。但是,前期的调查取证包含参数较多,而且部分参数很难准确测得,岩体工程具有不确定性与不确知性应力和变形以及破坏机理。目前围岩分类方法由定性到定量、从单一到复合,运用灰色系统理论、神经网络、模糊数学理论等,围岩的分类更加合理和科学。

2. 解析与半解析法

解析与半解析法大多是基于圆孔或球孔扩张理论,现在的解析解基本上是在简单的假设条件下所得到的,可以定性地判断地层移动的一般规律,解析法和半解析法分析围岩应力及变形目前多用于深埋地下工程。Lee 和 Rowe(1992)提出理论分析模型,得到不排水条件下的计算公式如下:

$$g = G_p + U_{3D}^* + w$$

式中: G_p 为物理间隙;

U_{3D}^* 为隧道的三维弹塑性变形;

w 为工艺水平参数。

Sagaseta(1987)基于不可压缩液体流动的解析解,研究了平面应变条件下隧道开挖引起的地层位移,该方法需要给出地层损失的假定值。曾小清和张庆贺(1998)利用解析和数值方法对双孔平行隧道施工过程这一单连通与多连通体共存及转化的相互作用问题,构造出合理的半经验半理论公式,进一步使隧道施工的三维模拟得到实现。

解析与半解析法具有精度高、分析速度快、易于进行规律性研究等优点,适合于边界条件较简单、介质特性不复杂的情况。

3. 模型试验法

由于岩土体本身的复杂性,应用理论计算显得非常困难,且有时得不到数值解,现场

观测只能在施工过程中进行。针对上述情况,国内外不少学者开展了大量的模型试验研究工作,得出了许多有益的结论。

荷兰 Bandis 和 Vardakis(1989)等模拟了高地应力圆形洞室开挖模型试验,得出在超高地应力条件下,围岩的各向异性还是很明显,二次应力及变形与岩体构造有直接关系。

Sellers 和 Klerek(2000)利用模型试验和数值方法,分析研究了圆形洞围岩中破裂的发展,对于层曲破坏也有定量的分析,在试验中垂直和水平方向都施加了很高的压力,以模拟深部矿山的应力状况。

朱维申等(2008)以大渡河上双江口水电站工程为例,通过高地应力条件下洞群稳定性的地质力学模型试验(包括模型试验钢结构台架、液压系统、围岩岩土相似材料、模型试验测试技术及元器件的研制、锚索和锚杆的制作与埋设技术、洞群的开挖及测试等),研制出的钢结构台架可成功模拟大埋深、高地应力的条件,与之相配套的全自动液压系统可实现同步非均匀梯度加载,具有压力高、持荷稳定等优点。以高精度的光栅尺为传感器制成的新型多点位移计,对开挖过程中洞周围岩位移进行实时监测,并采用先进的数字摄像技术成功测量洞周收敛。

吴成刚等(2008)以高地应力条件下修建的苍岭隧道为研究对象,采用室内模型试验,研究不同应力场中隧道主体结构实际力学状态及破坏形态,为隧道运营期间主体结构安全监控及工程维护提供基础数据。模型试验法是对实际工程按照一定的比例进行缩放后进行试验分析,需要足够的资金和先进的技术设备来支持。

4. 数值分析法

目前国内外对高地应力隧道施工进行了大量的数值模拟研究,分析高地应力隧道周边的位移与应力场。

石根华和 Goodmann(1997)提出的块体系统不连续变形分析是基于岩体介质非连续性发展起来的 DDA 法。CIndall 提出在岩块之间的相互作用,同时受表征位移——力的物理方程和反映力——加速度(速度、位移)运动方程的支配,通过迭代求解显示岩体的动态破坏过程的离散单元法。任青文(1995)利用块体单元的刚体位移作为基本未知量,依据外力作用下的变形协调条件、平衡条件以及块体中间夹层材料,得出新的本构关系,建立块体单元法的支配方程,用于确定块体位移以及中间夹层材料的应力形式的块体单元法。有限元法自提出以来,发展至今已经相当完善,是目前最广泛使用的一种数值方法,可以用来求解弹性、弹塑性、黏弹塑性、黏塑性等问题,是地下工程岩体应力应变分析最常用的方法,其中包括有限差分法和有限单元法。

张志强和郑鸿泰(2000)提出的大变形问题基础理论,指出了以传统小变形理论研究软弱围岩隧道大变形问题存在的弊端。运用非线性数值模拟大变形的的方法,针对二郎山铁路隧道在超高地应力条件下软弱围岩的大变形进行了研究,进而探讨了大变形破坏的本质问题。

柳厚祥和方风华(2006)提出了利用多点位移计确定围岩松动圈的现场量测及判别方法,并对开挖后的隧道围岩变形进行了有限元数值模拟,表明根据围岩内变形量与时间的

变化关系,并结合累积变形量随径向位移的变化规律及测点径向埋设位置,是确定围岩松动圈范围的有效方法。

苏国韶等(2007)在高地应力围岩变形破坏的特殊性以及大型地下洞室群开挖支护优化数值计算较多的三维弹塑性模型的基础上,运用体现高地应力脆性岩石变形破坏特点的新本构关系,得出弹性释放能、塑性区体积、洞室周边位移以及支护费用的隧道开挖顺序和支护参数确定的优化新指标,得到高地应力下地下结构开挖顺序和支护参数的智能优化新方法。

评价围岩稳定性的方法主要有工程地质法、解析与半解析法、模型试验法、数值分析法。由于影响围岩稳定性的因素很多,单一的研究方法无法研究众多因素影响的综合效应,所以前三种方法具有一定的局限性,数值分析法可以考虑多因素问题,较好地模拟工程地质实际,目前已广泛应用于围岩稳定性评价。

1.3.2 高地应力隧道卸压支护措施研究现状

国内外对高地应力地下洞室卸压支护的研究已经取得较多研究成果。国内主要是在采矿工程中高地应力巷道卸压支护研究的基础上,对高地应力隧道卸压支护进行继续研究。

高地应力隧道开挖过程中,其围岩压力对隧道周边产生许多不利影响,其中卸压原理为降低隧道周边地应力,使其向岩石内部转移,并减小对隧道周边环境的影响。卸压措施主要有切缝、卸压槽、钻孔、爆破等。在爆破卸压方面的研究较多,例如松动爆破、钻孔爆破等,以及爆破卸压和其他卸压方法的结合应用。Paine 和 Please(1994)从爆炸动力学和弹性动力学理论方面对爆破卸压的机理进行了研究,得出岩石产生裂隙是由爆炸冲击波与爆生气体的共同作用,应力集中在裂隙尖端,促使裂隙继续扩展,导致卸压孔周边形成径向“之”字形交叉的裂隙网。

Roest(1985)对运用巷道围岩卸压圈来保障高地应力巷道的稳定性进行了研究,结果表明在高地应力巷道实行应力转移技术,可以达到降低巷道周边围岩应力,改变围岩应力路径,进而确保巷道稳定。

Jiang(1996)分析了高地应力巷道工程特点、局部弱化控制围岩应力状态的基本思想以及钻孔爆破成缝卸压保护的原理,运用数值方法进行研究,得出巷道钻孔爆破成缝可以直接形成外承载圈和内卸压圈来充分调节岩体机能,合理分配载荷,对改变侧壁、底板的应力路径和围岩变形具有良好的效果。此外,还介绍了几个参数的初步研究成果,指出高地应力巷道围岩稳定性控制应由目前的支理论发展形成应力控制与支理论。

谢飞鸿(2001)将爆破卸压法应用于甘肃华亭矿务局杨家沟煤矿巷道围岩的支护中,取得了良好效果,与加强支护维护高应力巷道的方法相比,卸压支护技术可以降低维护成本,提高工程施工的安全性。

张向阳等(2009)研究了高地应力岩石巷道钻孔爆破卸压技术,采用数值模拟方法确