

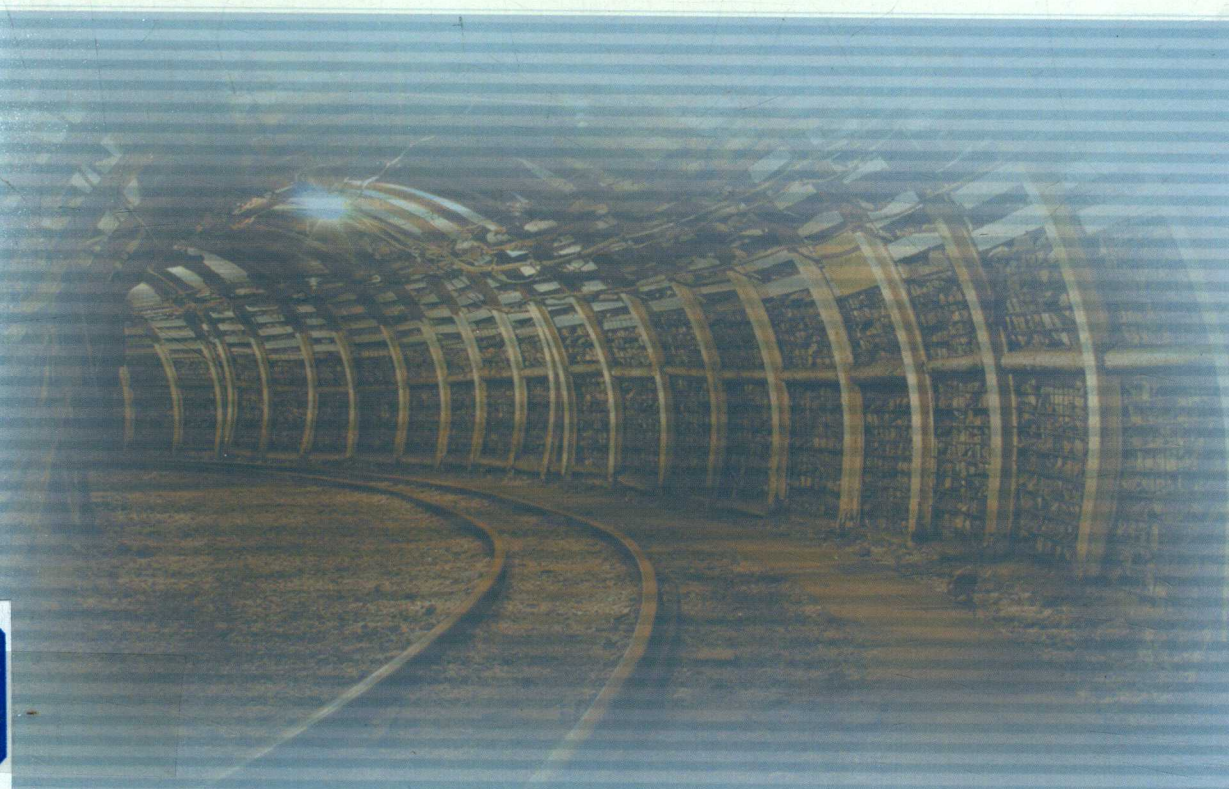
国家自然科学基金项目 (51374198, 51074162)

国家重点基础研究计划 (973) 项目 (2013CB036003)

侏罗纪弱胶结软岩巷道

稳定控制原理与技术

许国安 夏宇君 靖洪文 孟波 编著



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

侏罗纪弱胶结软岩巷道 稳定控制原理与技术

许国安 夏宇君 靖洪文 孟 波 编著

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书在借鉴现有研究成果的基础上,以内蒙古矿区普遍存在的侏罗纪弱胶结软岩巷道为工程背景,综合运用实验室实验、现场实测、物理模拟、数值模拟等手段,系统研究了侏罗纪弱胶结软岩巷道的稳定控制原理与技术。全书共分七章:第1、2章测试了侏罗纪软岩的物理力学特性和地应力;第3至5章详细研究了侏罗纪软岩巷道围岩的变形破坏规律,稳定控制机理、对策及技术;第6章介绍了自主开发的一套围岩松动圈智能预测与软岩支护设计专家系统;第7章为研究成果在榆树井矿区进行应用的几个典型工程实例。

本书可供从事软岩工程支护的工程技术人员及相关研究人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

侏罗纪弱胶结软岩巷道稳定控制原理与技术 / 许国安等著. — 徐州:中国矿业大学出版社,2015.8

ISBN 978-7-5646-2776-8

I. ①侏… II. ①许… III. ①侏罗纪—软岩巷道—稳定控制—研究 IV. ①TD263.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 180772 号

书 名 侏罗纪弱胶结软岩巷道稳定控制原理与技术

编 著 许国安 夏宇君 靖洪文 孟 波

责任编辑 吴学兵

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 12 字数 300 千字

版次印次 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



前 言

长期以来,软岩支护问题一直是我国煤矿建设与开采中面临的重大难题之一。随着开采深度的不断增加,矿井地质条件变得越发复杂,尤其是地应力的增大使得这一问题更加突出,已成为研究者广泛关注和研究的对象。

为了解决软岩给煤矿生产和建设带来的一系列难题,众多科技工作者对软岩巷道的稳定控制原理与技术进行了卓有成效的研究。其中何满潮院士及其科研团队从微观和宏观的角度系统研究了我国煤矿软岩的黏土矿物特征、软岩工程力学、软岩工程设计与施工等问题,他们根据软岩的物理力学特性及产生显著塑性变形的机理把软岩分为膨胀性软岩、高应力软岩、节理化软岩和复合型软岩四类,指出确定软岩巷道的变形力学机制并把复合型软岩转化为单一型软岩是解决软岩支护问题的关键。这些研究成果为解决软岩工程问题提供了基本的思路和指导。

随着近年来新近纪、古近纪和侏罗纪煤田的开发,我国煤矿的软岩问题又出现了一些新的特征。由于侏罗纪煤系地层成岩时间短、胶结差、岩石强度低,导致施工过程中围岩变形量大、持续时间长,有些工程不得不反复维修甚至停产翻修,严重影响了煤矿的安全生产和经济效益。

本书在借鉴现有研究成果的基础上,以内蒙古矿区普遍存在的侏罗纪弱胶结软岩巷道为工程背景,综合运用实验室实验、现场实测、物理模拟、数值模拟等手段,系统研究了侏罗纪弱胶结软岩巷道的稳定控制原理与技术。全书共分7章:第1、2章测试了侏罗纪软岩的物理力学特性和地应力;第3至5章详细研究了侏罗纪软岩巷道围岩的变形破坏规律,稳定控制机理、对策及技术;第6章介绍了自主开发的一套围岩松动圈智能预测与软岩支护设计专家系统;第7章为研究成果在榆树井矿区进行应用的几个典型工程实例。

本书部分内容是在国家自然科学基金项目(50674083,51074162,51374198)的资助下完成的,在现场实施过程中得到了榆树井煤矿和新上海一号煤矿相关领导和技术人员的大力支持与配合,中国矿业大学深部岩土力学与地下工程国家重点实验室岩石力学与工程科研团队的博士生和硕士生在实验室实验、现场实施及数值模拟等方面做了大量工作,在此一并表示衷心的感谢!

由于时间仓促和作者水平有限,书中难免存在不足和错误,敬请读者批评指正!

作 者

2015年6月1日

目 录

1 侏罗纪软岩物理力学特性分析	1
1.1 侏罗纪软岩物理性质测试	1
1.1.1 物相指标测试	1
1.1.2 吸水率测试	3
1.2 侏罗纪软岩力学性质测试	4
1.2.1 自然含水状态下的力学性质	4
1.2.2 饱和状态下的力学性质	8
2 侏罗纪软岩地应力实测分析	9
2.1 钻孔应力解除法测地应力原理及方法	9
2.2 地应力测量结果与分析	12
2.2.1 地应力测站布置	12
2.2.2 地应力实测结果	12
3 侏罗纪软岩巷道围岩变形破坏规律与机理研究	16
3.1 软岩巷道围岩变形破坏规律实测分析	16
3.1.1 软岩巷道围岩变形实测分析	16
3.1.2 软岩巷道围岩松动圈实测分析	19
3.1.3 软岩大断面硐室矿压规律分析	34
3.2 软岩巷道围岩变形破坏规律模拟试验研究	39
3.2.1 相似材料的研制	39
3.2.2 试验方案设计	47
3.2.3 试验过程与结果分析	53
3.3 软岩巷道围岩变形破坏机理初探	64
3.3.1 围岩主应力差演化机理分析	64
3.3.2 主应力差峰后跌落幅度与围岩损伤程度的关系	65
4 侏罗纪软岩巷道围岩稳定性控制机理研究	67
4.1 理论分析	67
4.1.1 大松动圈软岩巷道二次稳定机理	67
4.1.2 大松动圈软岩巷道“三锚支护”作用机理	69
4.2 支护阻力作用机理的物理模拟研究	73

4.2.1	试验条件	73
4.2.2	试验过程	74
4.2.3	试验结果分析	75
4.2.4	试验结论	80
4.3	联合支护协同作用机理的数值模拟研究	80
4.3.1	模拟方案	80
4.3.2	位移分析	83
4.3.3	应力分析	88
4.3.4	塑性区分析	91
4.3.5	模拟结论	93
5	侏罗纪软岩巷道围岩稳定控制技术研究	94
5.1	软岩巷道围岩稳定控制对策	94
5.1.1	及时加固	94
5.1.2	合理卸压与让压	94
5.1.3	支护整体性与关键部位加强支护	95
5.1.4	水的治理	95
5.2	软岩巷道合理支护结构物理模拟研究	96
5.2.1	试验设计	96
5.2.2	不同支护结构围岩变形及破裂演化分析	99
5.2.3	不同支护结构围岩维护情况对比分析	106
5.3	软岩巷道合理支护技术数值模拟研究	108
5.3.1	模拟方案	108
5.3.2	方案一~方案四模拟结果分析	113
5.3.3	方案五、方案六模拟结果分析	120
5.3.4	方案七、方案八模拟结果分析	127
5.3.5	数值模拟结论	134
6	围岩松动圈智能预测与支护专家系统的研发	135
6.1	围岩松动圈分类表与软岩支护	135
6.2	巷道围岩松动圈智能预测研究	135
6.2.1	研究的理论基础	136
6.2.2	基于 ANFIS 的松动圈预测系统设计	140
6.3	基于二次稳定的支护专家系统开发	142
6.3.1	概述	142
6.3.2	研究内容与方法	143
6.3.3	系统框架结构设计	143
6.3.4	知识库与推理机设计	144
6.3.5	软件设计与实现	151

7 工程案例	153
7.1 榆树井煤矿轨道石门支护	153
7.1.1 工程概况	153
7.1.2 支护方案及参数设计	153
7.1.3 施工工艺及要求	156
7.1.4 支护效果	159
7.2 榆树井煤矿 11801 工作面顺槽支护	161
7.2.1 工程概况	161
7.2.2 支护设计	161
7.2.3 支护效果	165
7.3 新上海一号煤矿副井马头门支护	166
7.3.1 工程概况	166
7.3.2 支护设计	167
7.3.3 支护效果	169
7.4 新上海一号煤矿 112052 工作面皮带顺槽底鼓治理	175
7.4.1 工程概况	175
7.4.2 控制底鼓方案设计	176
7.4.3 支护效果	177
参考文献	181

1 侏罗纪软岩物理力学特性分析

1.1 侏罗纪软岩物理性质测试

1.1.1 物相指标测试

由于不同矿物颗粒具有不同的比表面积、阳离子交换量、可溶性、膨胀性等物理化学特性,因此,围岩的矿物成分组成及其相对含量成为决定岩石物理力学特性的重要因素。采用 D/Max-3B 型 X 射线衍射仪(图 1-1)对岩样成分进行物相分析,以获取岩样的基本物理成分及其组成。

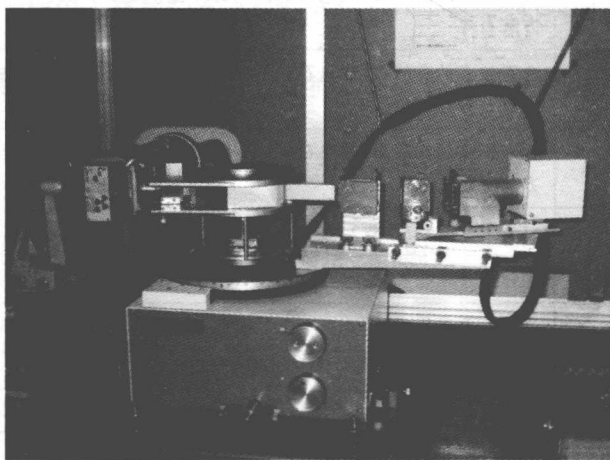


图 1-1 D/Max-3B 型 X 射线衍射仪

X 射线衍射仪是利用衍射原理,根据 X 射线照射样品的晶体结构所发生的衍射现象而进行物质结构与物相分析的仪器设备。主要用于对粉末样品、块状样品的物质定性分析、定量分析、物质晶体结构分析、点阵参数测定、晶粒度及点阵畸变的测定等。

D/Max-3B 型 X 射线衍射仪的主要技术指标为:

① 测试条件:Cu 靶, $K\alpha$ 辐射,石墨弯晶单色器。

② 狭缝系统:DS(发散狭缝): 1° ;

RS(接收狭缝): 1° ;

SS(防散射狭缝):0.15 mm;

RSM(单色器狭缝): 0.6° 。

- ③ X射线管电压:35 kV,X射线管电流:30 mA。
- ④ 定性分析:扫描方式为连续扫描,扫描速度 3°/min,采样间隔 0.02°。
- ⑤ 定量分析:扫描方式为步进扫描,扫描速度 0.25°/min,采样间隔 0.01°。

岩石矿物成分分析标准采用粉末衍射联合会国际数据中心(JCPDS-ICDD)提供的各种物质标准粉末衍射资料,并按照标准分析方法进行对照分析。

对榆树井煤矿样品进行了矿物组成的定性、定量分析。各样品矿物定性分析结果见表 1-1,定量分析结果见表 1-2。

表 1-1 样品衍射矿物定性分析结果

序号	原始编号	定性分析结果
1	8#煤顶板 1#样品	含有较多的高岭石、蒙皂石、石英,有部分伊利石、绿泥石、长石、伊蒙混层和少量的方解石、菱铁矿等
2	8#煤顶板 2#样品	含有较多的高岭石、蒙皂石、石英,有部分伊利石、绿泥石、长石、伊蒙混层和少量的方解石等
3	8#煤顶板 3#样品	含有较多的高岭石、蒙皂石、石英,有部分伊利石、绿泥石、长石、伊蒙混层和少量的方解石、菱铁矿等
4	8#煤底板 1#样品	含有较多的高岭石、蒙皂石、石英,有部分伊利石、绿泥石、长石和少量的伊蒙混层、方解石等
5	8#煤底板 2#样品	含有较多的高岭石、蒙皂石、石英,有部分伊利石、绿泥石、长石和少量的伊蒙混层、方解石等
6	8#煤底板 3#样品	含有较多的高岭石、蒙皂石、石英,有部分伊利石、绿泥石、长石和少量的伊蒙混层、方解石等
7	8#煤 1#样品	主体为非晶物质(煤),有少量的石英、高岭石、伊利石、绿泥石、石膏、方解石等
8	8#煤 2#样品	主体为非晶物质(煤),有少量的石英、高岭石、伊利石、绿泥石等
9	8#煤 3#样品	主体为非晶物质(煤),有少量的伊利石、高岭石、石英、方解石等

表 1-2 各样品的矿物定量分析结果(重量百分比)

序号	原始编号	Q	F	K	Cl	I	I/S	S	C	Non	L	G	O
1	顶板 1#	15.3	10.1	41.3	5.8	6.5	4.5	14.2	0.5		0.6		余量
2	顶板 2#	13.5	9.6	38.9	4.2	7.8	5.6	18.4	0.6				余量
3	顶板 3#	13.1	7.5	39.8	5.1	9.2	4.5	18.9	0.4		0.3		余量
4	底板 1#	10.2	7.3	41.4	6.2	10.1	4.1	19.2	0.5				余量
5	底板 2#	13.4	6.1	38.1	6.7	13.2	1.5	19.4	0.5				余量
6	底板 3#	11.6	7.8	38.5	6.5	13.1	1.6	19.1	0.6				余量
7	煤 1#	1.1		2.4	2.1	2.3			0.3	88.5	0.3	0.8	余量
8	煤 2#	3.2		2.1	1.7	3.8				86.8			余量
9	煤 3#	0.6		2.9		2.1			0.5	91.6			余量

备注:样品中各矿物分子式如下:

Q——石英(Quartz): SiO_2

F——长石(Feldspar): $(\text{Na}, \text{Ca}) \text{AlSi}_3\text{O}_8 / (\text{Na}, \text{K}) \text{AlSi}_3\text{O}_8$

K——高岭石(Kaolinite): $\text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$

I——伊利石(Illite): $\text{KAl}_2(\text{OH})_2(\text{AlSi})_4\text{O}_{10}$

S——蒙皂石(Smectite): $(\text{Na}, \text{Ca})_{0.7}(\text{Al}, \text{Mg})_4(\text{OH})_4(\text{SiAl})_8\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}$

I/S——伊蒙混层(Illite / Smectite interstratified minerals):伊利石/蒙皂石形成的混层矿物

Cl——绿泥石(Chlorite): $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_6(\text{OH})_8(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}$

L——菱铁矿(Siderite): FeCO_3

C——方解石(Calcite): CaCO_3

Non——非晶物质(Noncrystalline material):煤

G——石膏(Gypsum): $\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

O——其他[Other(s)]

根据岩样矿物成分分析结果,榆树井煤矿 11801 顺槽顶、底板岩样中具有较强可塑性的高岭石,平均含量分别达到了 40.00%和 39.23%,为岩样中主要矿物成分,因此,对巷道开挖卸载后的支护体系提出了较高的要求;顶、底板岩样中蒙皂石(蒙脱石类)平均含量分别为 17.17%和 19.23%,由于蒙皂石吸水性很强,具有很强的吸附能力,吸水后其体积能膨胀增大几倍到十几倍,易引起巷道围岩变形,对支护结构体系造成破坏,因此,巷道施工及支护过程中应尽可能减少水对围岩的影响。

1.1.2 吸水率测试

由于不同含水量对岩石试件力学性能影响较大,因此,进行了岩石试件吸水率的测定试验,结果如表 1-3 所列。

表 1-3 岩石试件吸水率测定结果

岩石名称	试样编号	饱和试件质量/g	干试件质量/g	吸水率/%	平均吸水率/%
8# 煤顶板	1-7-1	529.3	461.7	12.77	12.41
	1-7-2	588.9	516.3	12.33	
	1-7-3	560.3	492.3	12.14	
8# 煤	2-7-1	319.5	225.5	29.42	30.00
	2-7-2	286.4	196.6	31.35	
	2-7-3	312.8	221.4	29.22	
8# 煤底板	3-7-1	527.6	461.5	12.53	12.62
	3-7-2	536.8	473.2	11.85	
	3-7-3	509.4	440.8	13.47	

试验结果表明,顶、底板岩样的吸水率在 12%~13%之间,且根据试样抗压强度对比情

况,饱和含水情况下,试件的力学指标急剧下降;煤样的吸水率是顶、底板岩石的 2 倍左右,虽然由于矿物成分不同,煤样含水率的变化对力学指标的影响小于围岩,但在开采条件下,煤层含水率的变化也将对围岩稳定造成影响,工程中应引起重视。

1.2 侏罗纪软岩力学性质测试

本次岩石力学试验的岩石试件由内蒙古上海庙矿业公司榆树井煤矿提供,试验工作在中国矿业大学深部岩土力学与地下工程国家重点实验室完成。

岩石试件的加工与试验过程遵照中华人民共和国国家标准《工程岩体试验方法标准》(GB/T 50266—1999),并参照了中华人民共和国水利水电行业标准《水利水电工程岩石试验规程》(SL 264—2001)。

试件加工时,首先将岩块夹持在钻石机平台上,用金刚石钻头钻取岩石试件,然后用锯石机根据试验内容的不同,分别锯成高 100 mm、50 mm 和 25 mm 左右的圆柱体试件。钻、锯岩石试件时用纯净水冷却。最后在磨平机上将岩石试件两端磨平,要求试件两端不平行度不得大于 $\pm 0.05\text{ mm}$,试件两端面应垂直于试件轴线,允许偏差为 $\pm 0.25^\circ$ 。由于岩石强度较低,围岩地质条件较差,岩石吸水后破坏严重,因此,部分试件采用干法制样。

岩石力学试验采用万能压力试验机[图 1-2(a)]对岩石试样(顶板、底板岩样及 8# 煤煤样)进行抗压强度、抗拉强度以及抗剪强度的测定。采用岩石伺服试验机[图 1-2(b)]完成顶板、底板岩样及 8# 煤煤样的全应力-应变曲线试验。

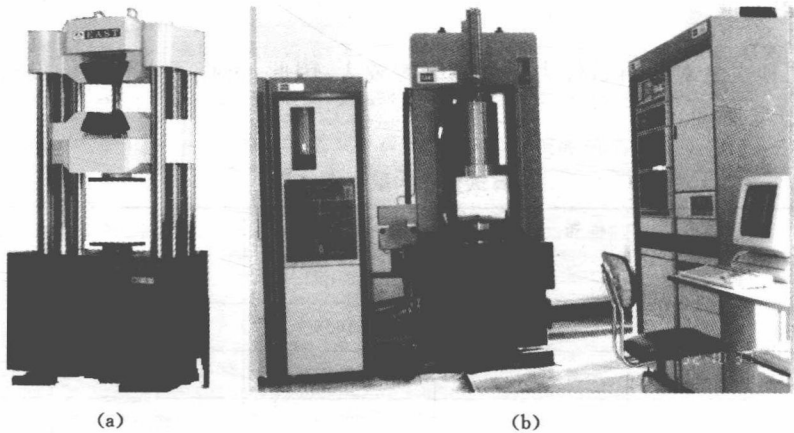


图 1-2 试验所用岩石力学试验机
(a) 万能压力试验机;(b) 岩石伺服试验机

1.2.1 自然含水状态下的力学性质

1.2.1.1 单轴抗压强度测定

表 1-4 列出了榆树井煤矿 8# 煤及顶底板岩石的单轴抗压强度试验结果。

表 1-4 单轴抗压强度试验结果

岩石名称	试样编号	含水量/%	单轴抗压强度/MPa	
			试验值	平均值
8# 煤顶板	1-1-1	9.21	5.56	5.58
	1-1-2	9.42	4.39	
	1-1-3	9.09	6.80	
8# 煤	2-1-1	24.36	17.93	18.08
	2-1-2	24.42	17.27	
	2-1-3	24.10	19.03	
8# 煤底板	3-1-1	7.06	5.22	3.94
	3-1-2	7.26	3.39	
	3-1-3	7.24	3.20	

1.2.1.2 三轴抗压强度测定

三轴抗压强度试验在 MTS 伺服控制试验机上完成,采用位移控制模式,加载速率为 0.004 mm/s,三轴试验时的围压为 20 MPa。三轴抗压强度试验结果见表 1-5 和表 1-6。

表 1-5 三轴抗压强度试验结果

岩石名称	试样编号	围压/MPa	三轴抗压强度/MPa	
			试验值	平均值
8# 煤顶板	1-3-1	20	23.06	22.21
	1-3-2	20	20.75	
	1-3-3	20	22.81	
8# 煤	2-3-1	20	41.07	39.90
	2-3-2	20	38.57	
	2-3-3	20	40.05	
8# 煤底板	3-3-1	20	23.65	23.09
	3-3-2	20	22.18	
	3-3-3	20	23.44	

表 1-6 弹性模量与泊松比

岩石名称	试样编号	围压/MPa	弹性模量/MPa		泊松比	
			试验值	平均值	试验值	平均值
8# 煤顶板	1-6-1	20	1 521.15	1 550.74	0.70	0.66
	1-6-2	20	1 302.10		0.68	
	1-6-3	20	1 828.96		0.61	
8# 煤	2-6-1	20	787.60	838.97	0.40	0.39
	2-6-2	20	885.26		0.38	
	2-6-3	20	844.04		0.39	

续表 1-6

岩石名称	试样编号	围压/MPa	弹性模量/MPa		泊松比	
			试验值	平均值	试验值	平均值
8# 煤底板	3-6-1	20	1 080.65	1 002.26	0.88	0.81
	3-6-2	20	706.30		0.73	
	3-6-3	20	1 219.82		0.81	

岩样常规三轴压缩试验中的试样全程应力-应变曲线,分别如图 1-3~图 1-5 所示。由图可见,在 20 MPa 围压作用下,试件中的孔隙被压密,峰后脆性破坏不明显,呈黏塑性破坏状态。

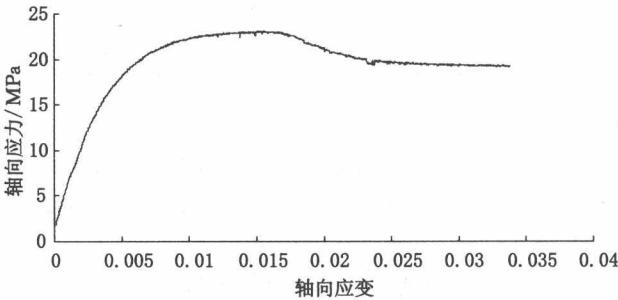


图 1-3 8# 煤顶板岩样典型全应力-应变曲线

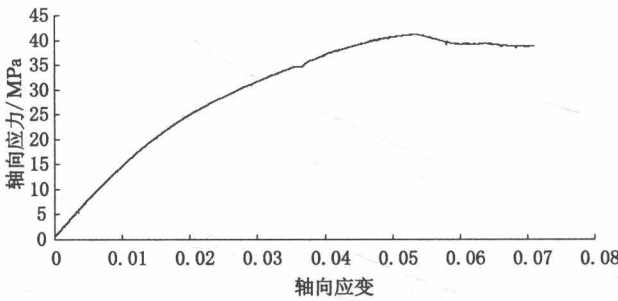


图 1-4 8# 煤典型全应力-应变曲线

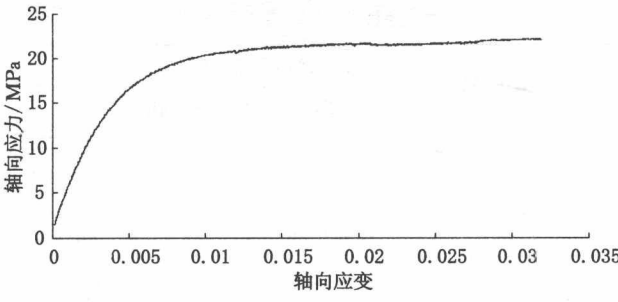


图 1-5 8# 煤底板岩样典型全应力-应变曲线

1.2.1.3 抗拉强度测定

采用巴西圆盘劈裂试验测定岩石的抗拉强度。圆柱体标准试样的高度为直径的 0.5 倍左右。试验过程为:① 将试样置于压力机承压板中心,调整有球形座的承压板使试样均匀受载;② 在圆柱体试样的直径方向以 0.3 MPa/s 的加载速度施加载荷,直到试样破坏为止,记录最大破坏载荷。试验获得的岩石抗拉强度如表 1-7 所列。

表 1-7 劈裂抗拉强度试验结果

岩石名称	试样编号	抗拉强度/MPa	平均强度/MPa
8# 煤顶板	1-4-1	1.26	1.57
	1-4-2	1.45	
	1-4-3	2.01	
8# 煤	2-4-1	1.29	1.41
	2-4-2	1.32	
	2-4-3	1.63	
8# 煤底板	3-4-1	1.03	1.21
	3-4-2	1.01	
	3-4-3	1.58	

1.2.1.4 抗剪强度测定

- 采用角模压剪试验获得岩石的抗剪强度参数。具体试验方案如下:
- (1) 把试样和抗剪夹具一起放在压力试验机的承压板上,夹具与垫板之间放滚轴以消除摩擦力。
 - (2) 分别采用 35°、45°、55°夹具逐个进行试验。
 - (3) 以 0.5 MPa/s 的速度加载,直到试样剪断为止,记录下破坏时的载荷。
 - (4) 剪切试验完成后,利用天平和烘箱测量试件含水量。
- 试验获得的岩石抗剪强度如表 1-8 所列。

表 1-8 岩石抗剪强度试验结果

岩石名称	试样编号	含水量/%	夹具角度/(°)	破坏荷载/kN	正应力/MPa	剪应力/MPa	黏聚力/MPa	内摩擦角/(°)
8# 煤顶板	1-5-1	7.57	35	4.2	1.47	1.02	0.429	21.96
	1-5-2	9.56	45	2.4	0.73	0.73		
	1-5-3	9.21	55	1.7	0.41	0.59		
8# 煤	2-5-1	26.99	35	22.5	7.88	5.48	2.813	20.57
	2-5-2	26.77	45	17.8	5.36	5.36		
	2-5-3	25.29	55	9.9	2.41	3.47		
8# 煤底板	3-5-1	5.69	35	9.7	3.37	2.35	1.212	19.96
	3-5-2	4.77	45	7.2	2.18	2.18		
	3-5-3	5.59	55	4.3	1.04	1.50		

1.2.2 饱和状态下的力学性质

考虑到水对围岩承载能力的影响以及榆树井煤矿的特殊地层条件,通过测定饱和状态下岩石的单轴抗压强度,可以对比岩石浸水前后承载力的变化,分析饱水围岩的破坏形式。表 1-9 为饱和试件单轴抗压强度试验结果。

表 1-9 饱和试件单轴抗压强度试验结果

岩石名称	试样编号	饱和单轴抗压强度/MPa	
		试验值	平均值
8# 煤顶板	1-2-1	0.82	0.53
	1-2-2	0.42	
	1-2-3	0.35	
8# 煤	2-2-1	14.99	15.48
	2-2-2	14.48	
	2-2-3	16.97	
8# 煤底板	3-2-1	0.47	0.49
	3-2-2	0.76	
	3-2-3	0.26	

饱和试样试验结果表明:充分吸水后,煤层抗压强度较自然状态下降了 14.4%,而顶、底板试件的抗压强度则大幅度下降。特别值得注意的是,在试验过程中,顶、底板部分试件在浸泡过程中即出现分解、破坏、泥化现象,无法进一步完成力学试验,饱和后用于力学试验的顶、底板岩石试件在试验过程中大多呈松散破坏,很少有比较大的块状体。这说明水的浸入对该区域顶、底板岩石的破坏十分严重,工程施工及巷道维护过程中应随时关注围岩渗水情况,及时采取应对措施,避免出现灾害事故。

2 侏罗纪软岩地应力实测分析

2.1 钻孔应力解除法测地应力原理及方法

地应力测量可用于指导井下巷道的支护设计,有利于矿区的长远规划和生产布置。地应力测试的准确性与采用的测量方法、测量仪器和设备等密切相关。现有的地应力实测方法很多,但比较常用的方法可以归纳为三类,即应力解除法、水压致裂法、应力恢复法。目前应用较广泛的方法为套芯应力解除法。其基本原理为:当一块岩石从受力作用的岩体中取出后,由于其弹性会发生膨胀变形,测量出应力解除后此块岩石的三维膨胀变形,并通过现场弹模率确定其弹性模量,则由线性虎克定律即可计算出应力解除前岩体中应力的大小和方向。

这一方法要求在岩石中先打一个测量钻孔(图 2-1),将应力传感器安装在测孔中并观测读数,然后在测量孔外同心套钻钻取岩芯,使岩芯与围岩脱离,岩芯上的应力因解除而恢复,根据应力解除前后仪器所测得的差值,即可计算出应力的方向和大小。

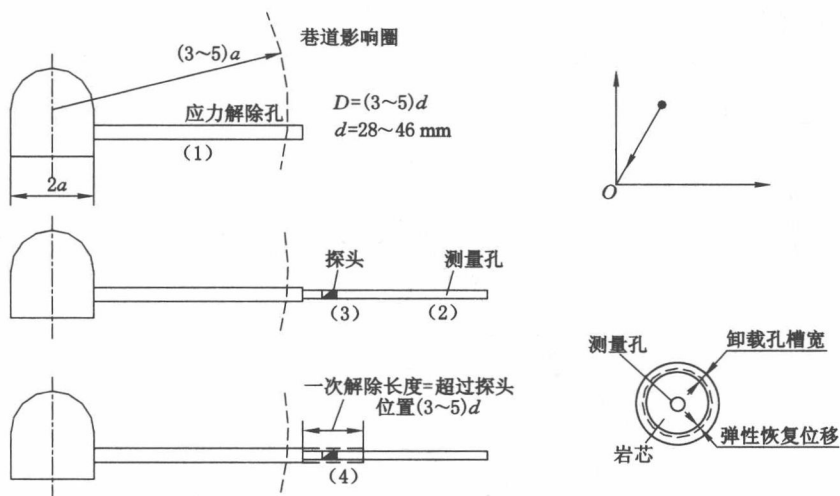


图 2-1 应力解除原理示意图

原岩应力测量一般在煤矿井下的巷道中进行,应力钻孔普遍采用在巷道内以一定的仰角向巷道顶板岩体中施工一定深度(扰动区以外)的导孔及安装孔,在小岩芯完整位置安装应力计,然后用金刚石岩芯筒将内部黏结着应力计的圆柱状岩芯取出,取芯过程中,岩体的应变则由应力计测量出来。钻孔施工如图 2-2 所示。

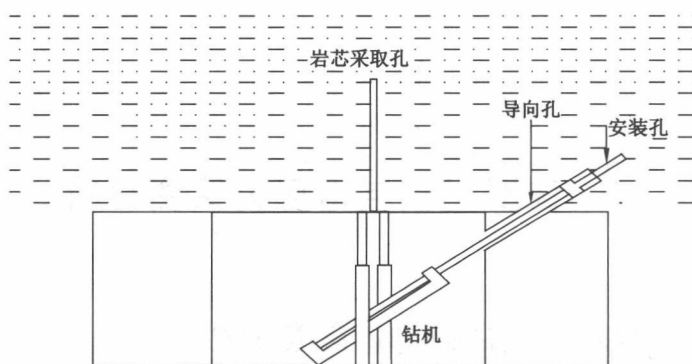


图 2-2 应力测试钻孔施工示意图

应力解除法原岩应力测试可分为以下九个步骤：

- (1) 明确应力解除法原岩应力实测的工程目的；
- (2) 测试位置的选择；
- (3) 测试地点及设备的准备；
- (4) 评估适合进行应力解除测量的层位；
- (5) 钻取导孔；
- (6) 安装应力计；
- (7) 取芯(应力解除)；
- (8) 三维应力计算；
- (9) 得出结果。

岩体中一点的三维应力状态可由选定坐标系中的六个分量来表示,根据图 2-3 进行钻孔应力应变计算如下：

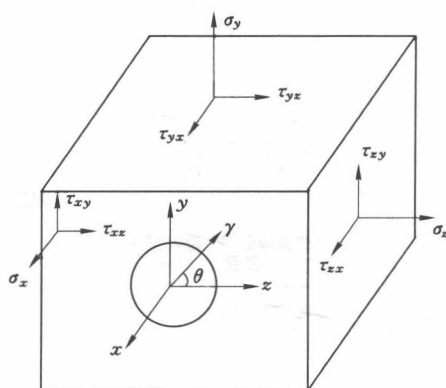


图 2-3 钻孔孔壁应力应变图

钻孔附近应力场 σ_r 、 σ_θ 、 σ_z^* 、 $\tau_{r\theta}$ 、 $\tau_{\theta z}$ 与原岩应力场之间有如下关系：