

超深矿井岩石巷道及井筒 快速施工综合技术研究

经来旺 雷成祥 郝朋伟
张五一 经纬 著



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

超深矿井岩石巷道 及井筒快速施工综合技术研究

经来旺 雷成祥 郝朋伟 张五一 经纬 著

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 简 介

本书围绕“千米深井岩石巷道快速施工”和“超深立井井筒掘砌快速施工”两大核心内容展开研究,全书共包括两大部分、十三章具体内容,依次对超千米深井软岩巷道围岩变形控制技术、巷道变形与控制机理相关数值模拟、千米深矿区岩石巷道快速掘进施工工艺、机械化快速施工管理措施、国产半煤岩综掘机在全岩巷道中应用、超深立井快速掘砌条件及施工方案、超深立井快速施工机械化配套技术、超深立井快速施工掘砌新技术、超深立井快速施工组织与管理技术等内容进行了较为深入的理论研究和实验分析。全书理论与实践相结合,内容丰富,可作为煤矿工程技术人员、高校专业教师、专业设计人员等施工、教学与设计等方面的参考材料。

图书在版编目(CIP)数据

超深矿井岩石巷道及井筒快速施工综合技术研究/经来旺等著. —武汉:武汉理工大学出版社,2014. 1

ISBN 978-7-5629-4152-1

I. ①超… II. ①经… III. ①超深井—矿井—巷道施工—快速施工 ②超深井—矿井—井筒—矿井施工—快速施工 IV. ①TD263

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 316777 号

项目负责人:王兆国

责任编辑:李兰英

责任校对:向玉露

装帧设计:志于学

出版发行:武汉理工大学出版社

地 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:17.75

字 数:371 千字

版 次:2014 年 1 月第 1 版

印 次:2014 年 1 月第 1 次印刷

定 价:48 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87785758 87515778 87515848 87165708(传真)

版权所有,盗版必究。

前言

本书以淮南矿区谢一矿望峰岗千米深井、朱集煤矿超千米深井的岩石巷道及朱集矿超千米深副井井筒为研究对象,以千米深井岩石巷道和千米深立井井筒的快速施工掘砌技术为研究内容,介绍了一系列的研究和实验工作,具体包括“软岩巷道围岩控制技术研究、快速掘进技术及工艺研究、注浆技术及工艺研究、国产半煤岩综掘机在全岩巷道中的应用及技术改造、机械化快速施工相关管理措施研究”和“超深立井快速施工机械化配套技术研究、超深立井快速施工掘砌新技术研究、超深立井快速施工组织与管理技术研究”等内容。整个研究历时4年,获得有较大意义的创新点4个(软岩巷道围岩控制新技术、快速施工注浆新工艺、快速掘进技术及新工艺、国产EBZ160综掘机技术改造)、创新管理模式1个(513121创新管理模式)、创新施工方法4个(分台阶施工法、耙装机后使用组装线喷浆平台的出矸与喷浆平行作业方法、“四大一深”施工法、2炮3段高爆破方式)、创新记录3个(超深水平岩石巷道258m的月成巷记录、9条试验巷道连续37个月平均月成巷153.78m的记录、5500mm以上槽眼的炮眼利用率达90%的记录)。在安徽理工大学课题组和谢一矿、朱集矿课题组的共同努力下,在淮南矿业(集团)有限责任公司科技中心和生产技术部的指导下,在有关领导的关心下,该课题取得了较大的成功,经济效益显著。

项目的研究以安徽理工大学为核心,淮南矿业(集团)有限责任公司谢一矿和朱集煤矿为课题主要承担单位,期间得到了安徽省科技厅的大力支持(安徽省自然科学基金项目:矿井水灾害之井筒破裂的力学机理与防治,项目编号为11040606M101,在此,课题组的全体人员表示衷心的感谢!

全书共计13章,由经来旺(安徽理工大学)、雷成祥(淮南矿业集团)、郝朋伟(安徽理工大学)、张五一(淮南矿业集团)和经纬(安徽理工大学)共同完成,由经来旺规划、整理与统稿。其中,第2、4、6三章由经纬整理撰写,第1、7两章由张五一整理撰写,第3、5、9三章由经来旺整理撰写,第8、10两章由雷成祥整理与撰写,第11、12、13三章由郝朋伟整理与撰写。

经来旺

2013年11月

目 录

上篇 超深矿井岩石巷道快速施工综合技术研究

1 工程地质概况	(3)
2 地应力测试与围岩性质测试报告	(4)
2.1 前言	(4)
2.2 谢一矿地应力测试方法、原理	(5)
2.2.1 测试地点(图 2.1)	(5)
2.2.2 测试方法	(5)
2.2.3 两测站地应力测试结果	(12)
2.2.4 测试结果总结	(14)
2.3 岩体强度原位测量	(14)
2.3.1 岩体强度原位测量简介	(14)
2.3.2 围岩强度原位测量方法	(15)
2.3.3 测试原理	(15)
2.3.4 围岩强度测量装置	(16)
2.3.5 测试方法	(17)
2.3.6 现场测试	(18)
3 超千米深井软岩巷道围岩变形控制技术研究	(22)
3.1 巷道基本概况	(22)
3.1.1 地质、水文概况	(22)
3.1.2 围岩物理力学性质及原岩应力分析	(23)
3.1.3 围岩构造应力分析	(24)
3.2 巷道变形特征分析	(26)
3.3 围岩变形与控制机理	(27)
3.3.1 围岩松动圈发生、发展与控制机理	(28)
3.3.2 松动圈稳定增强技术	(30)
3.4 支护设计	(47)

3.4.1	“锚网喷+底角锚杆”支护方案	(47)
3.4.2	“先架棚,锚喷注+帮部补强短梁”支护方案	(50)
3.4.3	“锚网喷注+套棚+帮部补强短梁”支护方案	(52)
3.5	谢一矿软岩巷道围岩变形控制技术创新点总结	(56)
4	巷道变形与控制机理相关数值模拟研究	(57)
4.1	底角锚杆控制机理数值模拟分析	(57)
4.2	二次支护合理间距数值模拟分析	(68)
4.2.1	研究背景	(68)
4.2.2	巷道迎头支撑效应分析	(69)
4.2.3	数值模拟方案	(69)
4.2.4	结论	(90)
4.3	构造应力影响的数值模拟分析	(90)
4.3.1	理想模型分析	(90)
4.3.2	岩体分层情况下的数值模拟分析	(96)
4.3.3	对比分析及结论	(101)
5	千米深矿区岩石巷道快速掘进施工工艺研究	(102)
5.1	我国煤矿岩石巷道快速施工概况	(102)
5.2	千米深矿区岩石巷道快速施工影响因素分析	(103)
5.3	千米深矿井岩石巷道施工最佳作业方式研究确定	(103)
5.4	巷道综掘施工条件分析	(104)
5.5	机械化快速施工支护技术	(105)
5.6	劳动组织及循环图表	(105)
5.6.1	锚网喷巷道	(105)
5.6.2	架棚巷道	(107)
5.7	机械化快速施工工艺	(109)
5.7.1	锚网喷巷道	(109)
5.7.2	架棚巷道	(111)
5.8	机械化设备配套分析	(113)
5.8.1	机械化作业线构成	(113)
5.8.2	机械化作业线配套分析	(115)
5.8.3	机械化作业线核心设备概要	(116)
5.9	其他机械化配套设备	(121)
5.10	千米深井岩石巷道快速施工机械化配套特征分析	(123)
5.10.1	岩石巷道综合掘进机械化施工前景广阔	(123)
5.10.2	国产半煤岩综掘机在全岩巷道施工中存在问题分析	(124)
5.10.3	上述问题的解决方案	(125)

5.11 千米深矿区岩石巷道快速施工工艺创新点分析	(126)
6 机械化快速施工管理措施研究	(127)
6.1 施工组织管理模式	(127)
6.2 管理措施	(128)
6.2.1 技术管理措施	(128)
6.2.2 安全管理措施	(131)
6.2.3 进度管理措施	(132)
6.3 管理体系、质量保障体系、安全保证体系	(132)
6.3.1 管理体系	(132)
6.3.2 千米深井岩石巷道施工质量保障体系	(133)
6.3.3 千米深井岩石巷道施工安全保证体系及安全技术措施	(137)
6.4 市场运行机制在千米深井岩石巷道工程项目中的运用	(140)
6.4.1 项目责任人制在超深矿井岩石巷道工程项目中的运用	(140)
6.4.2 施工监理制	(141)
6.4.3 工程合同制	(142)
6.5 总 结	(143)
7 国产半煤岩综掘机在全岩巷道中应用的技术改造	(145)
7.1 国产半煤岩综掘机在全岩巷道施工中存在问题分析	(145)
7.2 EBZ160 综掘机技术改造	(145)
7.2.1 国产 EBZ160 综掘机结构及技术特征分析	(145)
7.2.2 国产 EBZ160 综掘机技术改造	(148)
7.3 国产 EBZ160 综掘机改造前后效果对比分析	(151)
7.4 综掘机及配套机械化作业线在谢一矿望峰岗矿井应用情况(表 7.2)	(152)
7.5 创新点总结	(152)
8 总结与建议	(153)
8.1 成果总结	(153)
8.2 建议	(154)

下篇 超深矿井井筒快速施工综合技术研究

9 朱集矿井井筒快速施工条件分析及施工方案优选	(157)
9.1 朱集矿井井筒快速施工条件分析	(157)
9.1.1 井筒快速施工水文地质条件分析	(157)
9.1.2 井筒快速施工所需空间条件分析	(159)
9.1.3 井筒快速施工所需围岩稳定性条件分析	(160)

9.2	井筒快速掘砌施工方案优选	(166)
9.2.1	朱集矿副井地质及水文概况	(166)
9.2.2	朱集矿副井井筒施工方案优选	(167)
9.3	施工测量技术研究	(173)
9.3.1	井口标定技术	(173)
9.3.2	井筒施工中的测量技术	(173)
9.4	结论	(174)
10	超深立井快速施工机械化配套技术研究	(175)
10.1	工程与水文地质概况	(175)
10.2	朱集矿副井快速掘砌机械化设备配套研究	(175)
10.2.1	千米井筒机械化设备配套原则及标准	(176)
10.2.2	朱集矿副井井筒施工主要机械化设备优化选型	(178)
10.2.3	朱集矿副井井筒机械化设备选型验算	(182)
10.2.4	朱集矿副井机械化选型表	(197)
10.3	朱集矿副井快速施工工艺	(198)
10.3.1	冻结表土段	(198)
10.3.2	基岩段	(198)
10.4	朱集矿副井综合机械化配套施工效果	(199)
10.5	朱集矿副井综合机械化配套新模式分析	(199)
10.5.1	伞钻打眼和深孔光面爆破技术	(199)
10.5.2	大型抓岩机和大吊桶出矸	(200)
10.5.3	设置两套提升系统,加快了提升速度	(200)
10.5.4	采用大吨位稳车悬吊井内设施	(200)
10.5.5	MJY 金属活动模板和管路泵送混凝土	(200)
10.5.6	辅助设施配套,缩短了辅助作业时间,提高了机械利用率	(200)
10.6	主要创新点	(201)
10.6.1	机械化模式创新	(201)
10.6.2	设备创新	(202)
10.6.3	管理创新	(202)
11	井筒快速掘砌技术研究	(204)
11.1	快速掘砌的深孔爆破技术研究	(205)
11.1.1	立井深孔爆破理论分析	(205)
11.1.2	立井深孔爆破技术	(209)
11.1.3	拒爆原因及预防	(212)
11.1.4	人抱钻辅助伞钻凿岩施工组织及安全技术措施	(214)
11.2	井筒支护方式分析	(214)

11.2.1	混凝土井壁结构检验	(215)
11.2.2	深井井壁支护机械化作业线	(221)
11.2.3	混凝土配制和质量检验	(225)
11.3	深立井开凿综合治水	(231)
11.3.1	综合防治水技术研究	(231)
11.3.2	朱集矿副井综合治水措施	(232)
11.4	本章技术总结	(234)
12	超深立井快速施工组织与管理技术研究	(235)
12.1	朱集矿副井施工组织	(235)
12.1.1	千米深井合理的工期安排	(235)
12.1.2	劳动组织	(236)
12.1.3	掘砌循环表	(237)
12.1.4	施工重点	(239)
12.1.5	特色	(240)
12.2	朱集矿副井施工管理技术的研究	(240)
12.2.1	施工组织管理模式	(240)
12.2.2	管理体系	(241)
12.2.3	管理措施	(243)
12.3	朱集矿工程项目管理制度的研究	(249)
12.3.1	工程施工管理的基本原则	(249)
12.3.2	工程项目管理制度的质量标准	(250)
12.3.3	千米深井质量保证体系	(251)
12.3.4	具体施工管理制度	(251)
12.4	市场运行机制在超深立井建设项目中的运用	(252)
12.4.1	项目法在超深立井建设中的运用	(252)
12.4.2	施工监理制	(258)
12.4.3	工程合同制	(262)
12.5	工程效益	(263)
12.6	小结	(265)
13	总结	(267)
	参考文献	(270)

上 篇

超深矿井岩石
巷道快速施工
综合技术研究

1 工程地质概况

望峰岗矿井(原谢李深井)位于淮南矿区谢一矿和谢李公司的深部,浅部起于-660 m水平,深部止于-1200 m水平。全井田走向长约8.1 km,倾斜宽1.7~3.1 km,平均2.4 km左右,面积约19.6 km²。全井田地质储量561 Mt,可采储量289 Mt。矿井年设计生产能力为3.0 Mt/a。

望峰岗矿井是淮南矿区第一个开发建设的千米深井,井筒最深达1022 m,最大开采深度达-1200 m,水平标高分别为-820 m、-960 m和-1200 m。

深部煤岩层的赋存发生物性变化。浅部主要是层状构造;深部(-790 m以下)高角度纵向节理非常发育,岩层被层理和节理切成“豆腐丁”。根据勘探孔资料及上阶段C15煤层实见资料综合分析:C15煤、岩层走向为325°~335°,倾向为55°~65°,倾角为19°~23°,平均厚为1.0 m。C15煤层顶板为泥岩、砂质泥岩、粉细砂岩并夹有三层煤线,煤线沿走向不稳定,C15煤底板为泥岩、砂质泥岩。C13煤底板,主要岩性为粉砂岩、泥岩、细砂岩、粉砂质泥岩,其中夹有二层煤线,厚为0.05~0.3 m。煤、岩层走向与C15基本一致。

望峰岗矿井深水平地压很高,测得-780 m水平的最大主应力为20.20 MPa,-820 m水平最大主应力为21.5 MPa,矿压显现剧烈。进入深部以后覆岩的自重应力和地质构造应力随着开采深度增加的幅度远大于岩块强度随深度的增加值,而且深部工程往往受采掘扰动复杂叠加支承压力影响,巷道周边围岩应力状态变化很大,致使围岩松软破碎、变形严重,3个月最大巷道底鼓量在2 m以上,给巷道的维护带来极大困难。

望峰岗矿井深水平温度很高,采深-660 m以下进入一级高温区,-960 m以下进入二级高温区,围岩温度超过40℃。

C15顶板砂岩有少量裂隙水,沿裂隙向掘进工作面渗出,预计最大涌水量约0.1 m³/h。 -960 m水平C13轨道大巷阶段掘进区段水文地质条件简单,预计砂岩段有少量淋、滴水,涌水量为0.01~0.1 m³/h。

2 地应力测试与围岩性质测试报告

2.1 前 言

巷道围岩是一个极其复杂的地质体。与其他工程材料相比,它具有两大特点:其一是岩体内部含有各种各样的不连续面,如节理、裂隙等,这些不连续面的存在显著改变了岩体的强度特征和变形特征,致使岩块与岩体的强度相差悬殊;其二是岩体含有内应力,地应力场的大小和方向都显著影响着围岩的变形和破坏。因此,一切与围岩有关的工作,如巷道布置、巷道支护设计,特别是锚杆支护设计,都离不开对围岩地质力学特征的充分了解。为了对采矿工程进行科学合理的设计和施工,就必须对影响工程稳定性的各种因素进行充分调查。在诸多影响岩体开挖工程稳定性的因素中,地应力状态、围岩原位强度和围岩结构观测是其中最基础且最重要的影响因素。近几年来,随着煤巷锚杆支护技术的迅速发展,作为该技术中的关键内容,巷道围岩地质力学测试也逐步得到重视,测试结果应用于支护设计,显著提高了支护设计的合理性和可靠性。

在国外,澳大利亚、英国和美国等采煤技术先进的国家,十分重视巷道围岩地质力学测试工作,在进行巷道布置、锚杆支护设计之前,都要进行详细的围岩强度、围岩结构和地应力测试,从而保证巷道布置和支护设计的合理性和巷道的安全程度。巷道围岩地质力学测试水平能反映锚杆支护技术的水平。

在国内,随着煤巷锚杆支护技术的迅速发展,作为该技术中的关键内容之一,巷道围岩地质力学测试也逐步得到重视。邢台、新汶、铁法等矿区进行过地应力测量和围岩强度测定工作,对支护设计起到积极作用。但是由于缺乏快速、方便的测试仪器和配套机具,致使巷道围岩地质力学测试成为一件非常繁琐,耗费大量人力、物力和时间的工作,有时甚至影响矿井正常生产。鉴于这种情况,我国大多数矿区还没有进行过全面、系统的巷道围岩地质力学测试工作,基础参数严重不足。巷道布置和支护设计随意性大、可靠性差、安全得不到保证。为了解决上述问题,我国相关科研人员付出了很大的努力,目前自主研发的 SYY-56 型小孔径水压致

裂地应力测量仪、WQCZ-56 型井下巷道围岩强度测定装置,是一套非常实用的巷道围岩地质力学快速测试系统,可快速、准确地获得围岩各种地质力学参数。

我国煤矿立井的深度在 20 世纪 50 年代平均不到 200 m,而在 20 世纪 90 年代平均已达 600 m,相当于平均每年以 8~12 m 的速度向深部发展。新汶、淄博、开滦、南票等矿区的开采深度已超过 1000 m。淮南矿业(集团)有限责任公司多数生产矿井也面临着深部开采的问题,深部开采所遇到的工程地质灾害将以更加剧烈的方式显现出来,如巷道变形剧烈、采场矿压显现剧烈、瓦斯高度积聚、瓦斯压力增大、矿井突水严重等问题。上述众多灾害都与地应力、深部条件下的岩石力学特征以及岩层的结构特征存在密不可分的联系。为了保证矿井在深部条件下安全、高效地生产,淮南矿业(集团)有限责任公司与安徽理工大学、天地科技股份有限公司等科研单位合作,对谢一矿进行了地质力学原位测试工作。

2.2 谢一矿地应力测试方法、原理

2.2.1 测试地点(图 2.1)

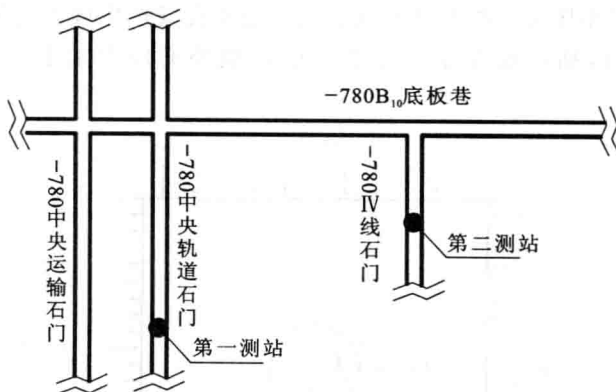


图 2.1 测站位置示意图

2.2.2 测试方法

测试方法为水压致裂法。

1. 水压致裂法优点

与应力解除法相比,水压致裂法有以下优点:

- ① 能测量较深处的绝对应力状态;
- ② 它是最直接的测量方法,无需了解和测定岩石的弹性模量,甚至连岩石的抗拉强度也可以用水压曲线求出;
- ③ 水压致裂测量应力的空间范围较大,受局部因素的影响较小;
- ④ 不需要套芯工序,可利用其他工程的勘探孔进行测试;
- ⑤ 井下测量速度快,成功率较高。

2. 水压致裂法测试原理

水压致裂应力测量一般分为平面应力测量和三维应力测量。就平面应力测量而言,它的三个基本假设条件为:①岩石呈现弹性且各向同性;②岩石是完整的、非渗透性的;③岩石中主应力之一的方向和钻孔轴平行。因此,水压致裂的力学模型可简化为一个平面问题,即相当于两个相互垂直的水平应力 σ_1 和 σ_2 作用在一个带圆孔的无限大平面上。根据弹性力学计算可知圆孔孔壁夹角为 90° 的 A 、 B 两点的应力分别为(图 2.2):

$$\left. \begin{aligned} \sigma_A &= 3\sigma_2 - \sigma_1 \\ \sigma_B &= 3\sigma_1 - \sigma_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

若 $\sigma_1 > \sigma_2$, 则 $\sigma_A < \sigma_B$ 。因此,当圆孔内施加的液压大于孔壁上岩石所承受的压力时,将在最小切向应力的位置上,即 A 点及其对称点 A' 点处产生张破裂,且破裂将沿着垂直于最小压应力的方向扩展。此时把使孔壁产生破裂的外加液压 P_0 称为临界破裂压力,临界破裂压力等于孔壁破裂外的应力加上岩石的抗拉强度 T ,即:

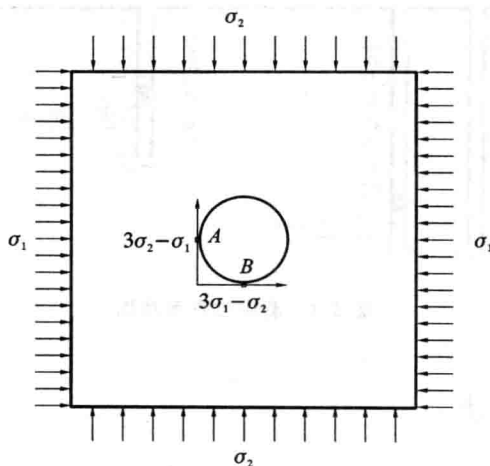


图 2.2 水压致裂应力原理图

$$P_b = 3\sigma_2 - \sigma_1 + T \quad (2.2)$$

若考虑岩石中所存在的孔隙压力 P_0 ，将有效应力换为区域主应力，上式将变为：

$$P_b = 3\sigma_h - \sigma_H + T - P_0 \quad (2.3)$$

式中， σ_h 、 σ_H 分别为原地应力场中的最小和最大水平主应力。

在实际测量中被封隔器封闭的孔段，在孔壁破裂后，若继续注液增压，裂隙将向纵深处扩展；若马上停止注压并保持压裂系统封闭，裂隙将立即停止延伸，在地应力场的作用下被高压液体涨破的裂隙趋于闭合，把保持裂隙张开时的平衡压力称为瞬时关闭压力 P_s ，它等于垂直裂隙面的最小水平主应力，即：

$$P_s = \sigma_h \quad (2.4)$$

如果再次对封闭段注液增压，使破裂重新张开时，即可得到破裂重新张开的压力 P_r ，由于此时岩石已经破裂，抗张强度 $T=0$ ，那么：

$$P_r = 3\sigma_h - \sigma_H - P_0 \quad (2.5)$$

用式(2.3)减去式(2.5)即可在现场得到岩石的抗张强度：

$$T = P_b - P_r \quad (2.6)$$

根据式(2.4)、式(2.5)又可得到求取最大水平主应力 σ_H 的公式：

$$\sigma_H = 3P_s - P_r - P_0 \quad (2.7)$$

式(2.4)和式(2.7)是平面水压致裂应力测量中的重要公式，而垂直应力可根据上覆岩石的重量来计算：

$$\sigma_v = \rho g H \quad (2.8)$$

式中， ρ 为岩石密度； g 为重力加速度； H 为埋深。

地应力测量是在现场的巷道围岩钻孔中进行的(图 2.3)。在打好的钻孔中先用钻杆将一对橡胶封隔器送到钻孔的指定位置，然后注入高压水，使封隔器涨起将

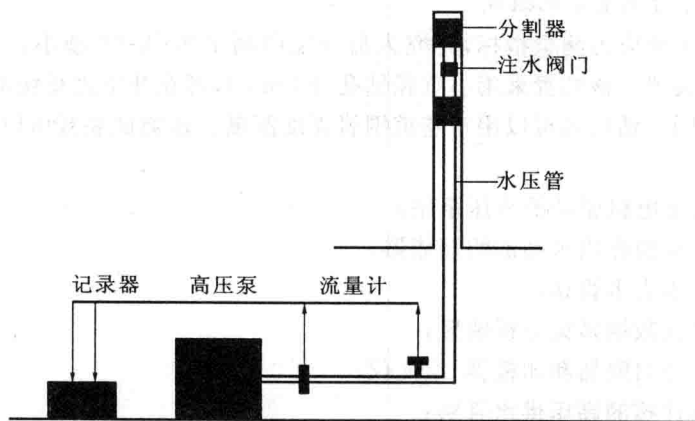


图 2.3 水压致裂地应力测量示意图

两个封隔器之间的岩孔封闭。对封隔器之间的岩孔进行高压注水,直到将围岩压裂。压裂的方向即为最大水平应力方向。为了得到水压裂缝的形态及方位,在压裂后需进行印模。方法是把带有定向罗盘的印模胶筒放在已压裂的孔段,然后给印模器注水加压,压力的大小和加压时间一般根据压裂参数设定,在印模器外层涂有半硫化橡胶,半硫化橡胶具有一定的塑性,因此,当印模器注水膨胀,压力达到一定数值后,其外层橡胶就挤入压裂缝隙中,并在卸压后把印痕留在胶筒上,这样就得到了压裂缝和原生裂缝。再根据印模装置中的定位罗盘测量出的胶筒基线方位确定出破裂的方位。根据水压致裂测量原理,破裂方位就是最大主应力 σ_H 的方位。

根据上述理论和方法,就可以通过实测和相应的计算,得到测站的原岩应力场中的最大水平应力的数值和方位。

3. 水压致裂法测量仪器

(1) 地应力测量指标确定

传统的水压致裂地应力测量均采用大孔径钻孔(钻孔直径在 89 mm 以上),钻孔速度慢,压裂设备笨重,不能实现快速测量。本项目根据煤矿井下特点,确定采用小孔径钻孔,显著减小测量设备质量,提高测量速度,实现快速测量。具体指标如下:

- ① 地应力测量钻孔直径 56 mm;
- ② 最大深度 30 m;
- ③ 最大水压 40 MPa;
- ④ 定位精度 3°;
- ⑤ 正常情况下每一测站的测量时间不超过 2 h;
- ⑥ 地应力测试精度与应力解除法相当,能够满足支护设计的要求。

(2) 地应力测量系统组成

根据上述地应力测量指标,研究人员开发研制了 SY-56 型小孔径水压致裂地应力测量装置。该装置采用小直径钻孔(56 mm),可在井下进行快速、大面积的应力测量。同一钻孔还可以用于巷道围岩强度测量。该测试装置由以下部分组成(图 2.4):

- ① 由隔爆电机驱动的高压泵站;
- ② 蓄存压裂介质水和油的储能器;
- ③ 静压水进水管路;
- ④ 便携式数据采集分析装置;
- ⑤ 小孔径封隔器和印模器、定向仪;
- ⑥ 快速连接的高压供水管路;
- ⑦ 高压手动泵站;
- ⑧ 封隔器(印模器)和注水管路的辅助提升装置。