

国家重点基础研究发展计划 (973计划) (2005CB221504)

国家自然科学基金项目 (51204070)

国家“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAK03B01)

教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (NCET-11-0837)

中央高校基本科研业务基金项目 (3142014012)

煤层瓦斯压力与 含量测定技术及应用

陈学习 齐黎明 著



煤炭工业出版社

国家重点基础研究发展计划(973计划)(2005CB221504)
国家自然科学基金项目(51204070)
国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAK03B01)
教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-11-0837)
中央高校基本科研业务基金项目(3142014012)

煤层瓦斯压力与 含量测定技术及应用

陈学习 齐黎明 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤层瓦斯压力与含量测定技术及应用 / 陈学习, 齐黎明著. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2015
ISBN 978 - 7 - 5020 - 4912 - 6

I. ①煤… II. ①陈… ②齐… III. ①煤层瓦斯—
瓦斯含量—测定 IV. ①TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 150049 号

煤层瓦斯压力与含量测定技术及应用

著 者 陈学习 齐黎明

责任编辑 肖 力

责任校对 刘 青

封面设计 于春颖

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

电 话 010 - 84657898 (总编室)

010 - 64018321 (发行部) 010 - 84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京市郑庄宏伟印刷厂

经 销 全国新华书店

开 本 710mm × 1000mm¹/₁₆ 印张 11³/₄ 字数 222 千字

版 次 2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷

社内编号 7758 定价 36.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010 - 84657880

内 容 提 要

本书主要介绍了主动式测定煤层瓦斯压力的理论和主动式煤层瓦斯压力测定装置及应用,系统地阐述了卸压密闭与反转密封取样直接测定煤层瓦斯含量技术,探讨了水分对间接法测定煤层瓦斯含量结果的影响,提出了保持原煤水分的间接测定煤层瓦斯含量方法。

本书可作为煤矿瓦斯防治、瓦斯地质、煤岩动力灾害、煤与瓦斯共采等领域科技工作者的参考书,也可供科研院所和高校相关专业的研究生、高年级本科生参考使用。

前 言

我国煤矿开采的煤层大多属于石炭二叠纪煤层，瓦斯压力大，瓦斯含量高，煤层透气性低，地质构造复杂，瓦斯灾害严重。随着开采深度的增加，瓦斯对煤矿安全生产的威胁日趋严重，瓦斯治理工作的难度也日益增加。

煤层瓦斯压力与含量测定是矿井瓦斯防治的一项基础性工作，也是矿井日常瓦斯管理工作的重要依据。国内外许多学者对煤层瓦斯压力和含量的测定开展了大量研究工作，提出了多种测定方法，也研制出了相应的测定装备，取得了一定的成果。但是，也存在诸多方面问题需要改进与完善，如煤层瓦斯压力测定封孔不严、操作烦琐、测定时间长、测定过程不直观；煤层瓦斯含量直接测定所取煤样瓦斯损失量难以精确补偿计算，煤层瓦斯含量间接测定对水分影响修正不准确等。为此，作者在著名瓦斯防治专家、中国工程院院士周世宁教授的指导下，先后承担或作为主要研究人员参与了国家重点基础研究发展计划（973 计划）（2005CB221504）、国家自然科学基金项目（51204070）、国家“十一五”科技支撑计划项目（2006BAK03B01）、教育部新世纪优秀人才支持计划项目（NCET-11-0837）、中央高校基本科研业务基金项目（3142014012）等的研究工作；在煤层瓦斯压力与含量测定方面进行了多年的科技攻关，成功研发了 MWYZ-H 型系列主动式煤层瓦斯压力测定仪、卸压密闭与反转密封取样装置，提出了保持原煤水分测定瓦斯含量方法。这些设备和方法广泛应用于我国大部分高瓦斯与突出矿区。

《煤层瓦斯压力与含量测定技术及应用》一书是在广泛参阅前人

研究成果的基础上,根据作者多年来在煤层瓦斯压力与含量测定方面的理论研究成果与工程实践而完成的。本书的主要内容:(1)煤层瓦斯压力测定方面,依主动式测定的封孔机理、测压钻孔中的胶囊-孔壁应力关系,介绍了新型主动式煤层瓦斯压力测定装置、固体与液体封孔材料、密封液压力自动调节技术、煤层瓦斯压力自动监测技术等;(2)煤层瓦斯含量方面,提出了卸压密闭与反转密封取样直接测定瓦斯含量的技术方案,并研制出了相应的取样装备,完善了残存瓦斯含量测定装置,提出了保持原煤水分的间接测定煤层瓦斯含量的基本原理、现场采样方法、实验室测试方法。

书中也介绍了煤层瓦斯压力和含量测定技术在淮南、淮北及郑州矿区的应用情况。

在本书的撰写过程中,作者参阅了大量的中外文献,借此机会向所有文献作者表示诚挚的谢意。特别感谢中国工程院院士周世宁教授,在煤层瓦斯压力与含量测定装备研制思路方面给予了作者大量指导并鼓励作者不断探索;淮南矿业(集团)有限责任公司、淮北矿业(集团)有限责任公司和国投河南新能开发有限公司在现场采样与试验方面给予了大力支持;华北科技学院的马尚权教授、陈绍杰副教授、徐阿猛讲师和柏松高级工程师等对煤层瓦斯压力和含量测定装备的研制与试验工作提供了大量帮助,在此一并表示感谢!

由于著者水平有限,书中疏漏和错误在所难免,敬请读者不吝赐教。

著 者

2015年9月

目 次

1 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 煤层瓦斯压力测定研究现状	1
1.3 煤层瓦斯含量测定研究现状	11
2 主动式煤层瓦斯压力测定机理及其分析	17
2.1 主动式煤层瓦斯压力测定机理	17
2.2 测压钻孔中的胶囊-孔壁应力分析	17
2.3 主动式测压对钻孔周围煤体力学作用的数值模拟分析	20
2.4 煤巷两帮卸压瓦斯带宽度分析	34
2.5 瓦斯压力测定中封孔材料长度理论分析	36
2.6 测压封孔前瓦斯损失量补偿计算	39
3 主动式煤层瓦斯压力测定技术与装置	43
3.1 主动式封孔测压装置结构与工作原理	43
3.2 固体封孔装置主动自密封技术	46
3.3 三相泡沫密封技术及其配方优化	48
3.4 密封液压自动调节装置	56
3.5 基于光纤传感的煤层瓦斯压力自动监测系统	59
3.6 固液耦合一次性主动式封孔测压装置	66
3.7 下向穿松软多煤岩层涌水钻孔测压装置	68
4 卸压密闭与反转密封取样直接测定煤层瓦斯含量技术	72
4.1 影响煤层瓦斯含量准确测定的因素	72
4.2 卸压密闭取芯直接测定瓦斯含量的原理	72
4.3 取芯前钻孔煤芯瓦斯漏失量分析	73
4.4 密闭液减少煤芯瓦斯漏失理论分析	77

4	► 煤层瓦斯压力与含量测定技术及应用	
4.5	卸压密闭取芯直接测定瓦斯含量关键技术	81
4.6	双管单动卸压密闭式取芯器	84
4.7	反转密封定点取样装置	87
4.8	残存瓦斯含量测定系统的完善	91
5	保持原煤水分条件下间接测定瓦斯含量	98
5.1	水分影响煤吸附甲烷的机理	98
5.2	不同水分煤样高压等温吸附实验测定	101
5.3	水分对间接法测定瓦斯含量的影响	104
5.4	保持原煤水分条件下煤层瓦斯含量间接测定	105
6	煤层瓦斯压力与含量测定技术的应用	111
6.1	淮南谢一矿望峰岗井煤层瓦斯压力与含量测定	111
6.2	淮北祁南矿煤层瓦斯含量测定	126
6.3	国投新能王行庄矿煤层瓦斯压力与含量测定	132
	附录	142
	煤层瓦斯含量井下直接测定方法 (GB/T 23250—2009)	142
	煤矿井下煤层瓦斯压力的直接测定方法 (AQ/T 1047—2007)	165
	参考文献	177

1 绪 论

1.1 引言

煤炭是我国的主要能源,约占一次性能源构成的70%,而我国煤矿开采松软低透气性高瓦斯煤层约占60%,属极难抽放瓦斯煤层。我国煤矿煤层赋存条件复杂多变,瓦斯灾害最为严重,是瓦斯事故最多的国家之一。

瓦斯灾害主要表现为瓦斯爆炸(煤尘瓦斯爆炸)和煤与瓦斯突出。2004年10月20日至2005年2月14日,短短115天时间里,河南大平、陕西陈家山、辽宁阜新孙家湾连续发生3起死亡百人以上特大恶性煤矿瓦斯爆炸事故,不仅使国家和人民的生命财产遭受了重大损失,也造成了极坏的国际影响。我国所有煤矿均为瓦斯矿井,其中国有重点煤矿高瓦斯矿井占26.8%,煤与瓦斯突出矿井占17.6%,煤与瓦斯突出次数占全世界突出总次数1/3以上。今后,随着开采深度的进一步增加、开采强度的加大,瓦斯危害会越来越严重,防治难度也更大^[1-2]。

瓦斯事故之所以频频发生,除管理措施不到位、安全监察不力、安全措施不落实等人为因素外,最重要的是还有很多本质的东西没有被认识,很多科学上的问题没有得到解决。煤层中的瓦斯如同“地雷”,煤层开采如同在雷区中行走。煤层瓦斯压力和煤层瓦斯含量测定装备是辨识和预防瓦斯灾害的“探雷针”,其测定值的准确性与精度,直接关系到瓦斯灾害的预测和防治效果。进行煤层瓦斯压力和瓦斯含量测定理论与技术研究,解决目前煤层瓦斯压力和含量测定准确性与精度低、灾害前兆信息监测和危险性预测适应性和有效性差的技术难题,对预防瓦斯灾害,保障煤矿安全生产具有重要意义。

1.2 煤层瓦斯压力测定研究现状

几十年来,人们对煤层瓦斯压力测定方法进行了大量的研究,提出了多种测定方法。这些方法归纳起来可以分为间接测定方法和直接测定方法两类。

1.2.1 间接方法测定煤层瓦斯压力研究现状

间接测定方法种类较多,通常是根据煤层瓦斯流动规律、瓦斯解吸规律及煤层的透气性系数和瓦斯含量系数曲线,在测压地点附近测定煤层瓦斯涌出量,或

统计采掘中瓦斯的涌出量等参数,通过计算推测出需要测定地点的瓦斯压力。苏联和我国一些学者通过大量统计资料分析瓦斯压力与垂深的关系,利用经验公式估算煤层瓦斯压力^[3];近年来,有人基于热力学角度,从理论上计算煤层瓦斯压力^[4];煤炭科工集团重庆研究院研究了煤瓦斯解吸指标 K_1 值与瓦斯压力之间的关系,提出了利用 K_1 值进行煤层瓦斯压力间接测定的方法^[5]。煤层瓦斯含量与煤层瓦斯压力通过朗格缪尔 (Langmuir) 方程可以换算,因此,在煤层保持完整或较完整状态时,可以由煤层瓦斯含量间接反算煤层瓦斯压力,但在煤层处于破碎离散状态时不适用此方法^[6]。通过相同暴露时间下同一粒径煤样得出的残存瓦斯含量,利用煤层瓦斯压力和瓦斯含量存在的幂函数关系,可以由煤层残存瓦斯含量快速间接确定煤层中的瓦斯压力^[7-8]。间接测定方法一般用于难以进行直接测压、实施时间紧凑、封孔困难及直接法测压不成功的条件下,只能作为直接测定煤层瓦斯压力的参考值。

1.2.2 直接方法测定煤层瓦斯压力研究现状

直接测定方法是通过钻机向需要测定瓦斯压力的地点打钻,用压力表直接测定煤层瓦斯压力。直接测定瓦斯压力的历史可以追溯到 19 世纪,俄国曾于 1879—1881 年在博尔东矿井的若干煤层进行过瓦斯压力测定^[9]。经过 100 多年的发展,瓦斯压力直接测定方法更加丰富多样起来。主要封孔方法有:黄泥黏土封孔、注浆(水泥砂浆、水泥浆、化学材料)封孔、胶圈封孔、胶囊封孔、胶圈(囊)-压力黏液(三相泡沫)封孔、聚氨酯-压力黏液(三相泡沫)封孔等。

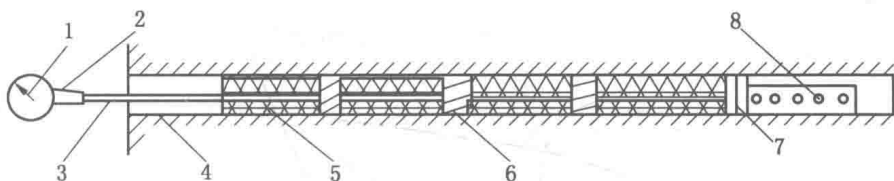
《煤矿井下煤层瓦斯压力的直接测定方法》(AQ/T 1047—2007)按是否向测压钻孔注入补偿气体,将直接测定法分为主动测压法和被动测压法。主动式测压法在钻孔预设测定装置和仪表安装完毕并完成密封后,通过预设装置向钻孔揭露煤层处或测压室充入一定压力的气体,从而缩短瓦斯压力平衡所需时间,进而缩短测压时间。补偿气体用于补偿钻孔密封前通过钻孔释放的瓦斯,可选用氮气(N_2)、二氧化碳(CO_2)或其他惰性气体。被动式测压法则无须向测压室充入补偿气体,依靠钻孔周边煤层中的瓦斯自然渗透达到平衡压力。

主动式测压法的划分,虽然已经写入《煤矿井下煤层瓦斯压力的直接测定方法》(AQ/T 1047—2007),但仍然存在争议。如我国著名瓦斯防治专家周世宁院士认为:传统采用黏土、黄泥、水泥浆、聚氨酯、胶圈、胶囊等固体封孔方法,由于缺少对测压钻孔周边微裂隙的主动封堵能力,因而是被动式封孔;而采用胶圈(囊)-黏液(三相泡沫)封孔,使密封液体的压力在测压过程中始终大于煤层中的瓦斯压力,对钻孔周边微裂隙是一种主动进攻式密封,因而称之为主动式封孔^[10]。本书所述主动式测压法符合周院士观点,并按测压钻孔封孔材料的不同,将直接测压法分为固体封孔法和液体封孔法两大类。

1. 固体封孔法

1) 黄泥、黏土封孔测压法

封孔材料为质地细密、富有可塑性的半干黏土、黄泥、水泥团或黄泥-水泥混合物，封孔方式为手工操作。为使钻孔密封可靠，在封孔的过程中，每充填1 m左右打入1个木塞，并用堵棒捣固（图1-1）。黄泥、黏土封孔测压法的优点是成本低、不需要特殊装置，在岩层坚硬、裂隙少、操作认真的条件下，封孔质量可得到保证，能测得较高的瓦斯压力值。缺点是人工封孔费时费力，且封孔长度短。只适合于从岩巷向煤层钻孔的测压场所，且要求岩层坚硬裂隙不发育；黄泥、黏土材料必须软硬适当（太软时容易粘在孔壁上，泥送不到位，易形成空腔与裂隙，使测压失败；过硬时会出现裂缝，也会漏气），且封孔后须等黄泥、黏土基本凝固后，才能安装压力表测压。目前该方法已被淘汰。



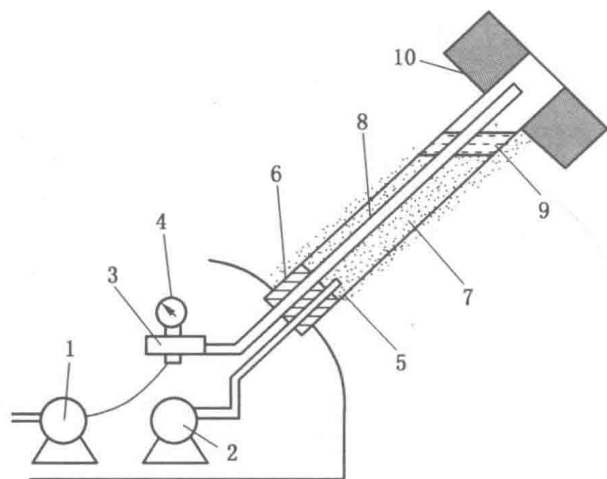
1—压力表；2—管接头；3—测压管；4—水泥；5—黏土；6—木塞；7—挡盘；8—筛管

图 1-1 黏土-木塞封孔示意图

2) 注浆封孔测压法

该方法是目前应用比较广泛的一种封孔测压方法，适用于测压钻孔比较长的情况。封孔材料为水泥砂浆、水泥浆或其他化学材料等。注浆封孔最初只适用于上向穿层钻孔测压，测压装置有孔口木塞（或毛巾缠绕聚氨酯）、注浆泵、阀门、测压管、注浆管（由多节直径16 mm铁管或4分镀锌管组成）、压力表等部件。首先连接好测压管和注浆管，在孔口固定好木塞或用毛巾缠绕聚氨酯封堵孔口，然后根据孔深确定的注浆量进行注浆，待水泥浆凝固后即可安装压力表测压。为增强密封效果，封孔完毕后，有时通过测压管注入5~10 kg的黏液或水玻璃，通过重力自然渗透进一步密封钻孔周围的微裂隙。停注后，测压管内会残留部分黏液或水玻璃，必须全部排尽后方可安装截止阀和压力表^[11]。聚氨酯-水泥砂浆封孔测压如图1-2所示。

注浆封孔的优点是可以封较深的孔，材料便宜，操作方便。缺点是对注浆压力的控制和对注浆停止的时机把握要求比较高。由于水泥凝固后有收缩，对周围微裂隙封堵能力有限。因此，AQ/T 1047—2007中，取消了水泥砂浆封孔材料，建议使用水泥浆加膨胀剂。



1—注液泵;2—注浆泵;3—三通;4—压力表;5—注浆管;6—聚氨酯封口段;7—水泥砂浆;8—测压管;9—黏液;10—煤层

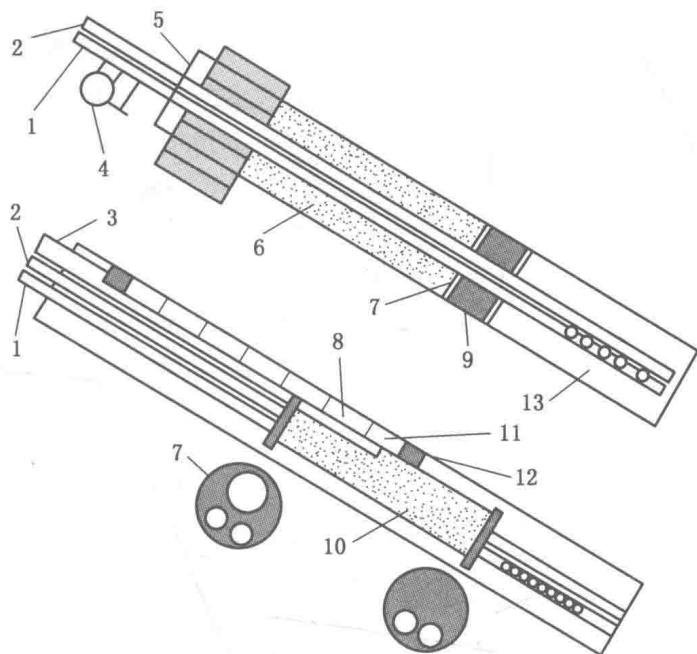
图 1-2 聚氨酯-水泥砂浆封口测压示意图

针对测压钻孔周边围岩裂隙存在发育、涌水和下向孔等问题,注浆封孔法衍生了水泥浆分段高压注浆封孔、分段分时封孔、套管封孔、水泥浆-马丽散(树脂)下向测压封孔等。

(1) 水泥浆分段高压注浆封孔针对下向钻孔裂隙发育和有水情况,实施的主要步骤^[12]: ①先打大直径钻孔(一般直径 113 mm) 5 m, 将直径 108 mm 孔口管送入孔内, 安装上法兰, 并用水泥浆配合水玻璃加固孔口。②打直径 91 mm 钻孔至待测煤层顶

板 1 m 止, 将钻杆提起 10 m 左右, 用钻杆注水泥砂浆, 稳定 30 min 左右后, 再将钻杆提起 10 m 左右, 再注水泥砂浆, 稳定 30 min 左右, 依次类推直至孔口处。全部起出钻杆, 盖上法兰盘后, 利用注浆泵高压注浆。③待注浆凝固稳定后, 可用直径 75 mm 钻头沿导向管扫孔, 进入待测煤层底板岩层 0.5 m 以上。④在直径 75 mm 钻孔中下测压管和排水管, 下端用两个挡板加聚氨酯缠绕棉纱封堵形成测压室; 孔口下注浆管和回浆管, 并用聚氨酯缠绕棉纱封堵孔口。⑤用注浆泵注入水泥浆, 直至孔口返浆, 将返浆管关闭, 高压注入水泥浆一段时间后停注, 完成测压封孔工作。水泥砂浆分段高压注浆封孔示意如图 1-3 所示。该种工艺适用于岩壁裂隙不太发育但围岩出水点较多的测压钻孔。但由于第一次注浆封堵渗水裂隙的有效作用范围有限且不易确定, 而且重新开孔的轴心与原孔轴心经常存在一定的偏离, 孔越深偏离量越大。如果渗水裂隙区离孔口较深, 则二次孔往往偏离出原孔的注浆封堵有效半径之外, 从而导致封孔堵水失败。

(2) 针对煤层群层间距较小, 只能施工上向钻孔测压时, 可采用分段分时封孔注浆工艺。分段分时封孔操作步骤^[13]: ①将测压管插入钻孔至目标煤层, 留 1.5 m 测压室长度, 测压管前端设置挡盘, 挡盘上缠适量棉纱, 将注浆管插入钻孔至接近挡盘, 钻孔孔口设置封孔塞, 确保封闭密实, 不漏浆, 不脱落。②通过注浆管向钻孔内注浆, 直至测压管外端有水泥浆流出, 停止注浆, 关闭注浆球阀。③15 min 后通过注浆管注入清水, 直至测压管外端流出清水为止。④开启测压管及注浆管孔外端球阀, 使钻孔内瓦斯自然排放。⑤48 h 后重复②、③、④步,



1—测压管；2—排水管；3—注液管；4—压力表；5—法兰盘；6—水泥砂浆；7—挡板；
8—聚氨酯白药；9—聚氨酯；10—棉纱；11—聚氨酯黑药；12—活塞；13—测压室

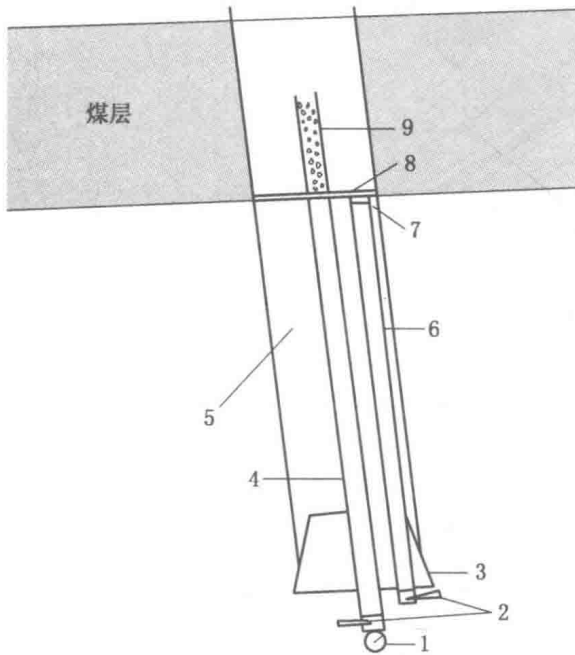
图 1-3 水泥砂浆分段高压注浆封孔示意图

且每 12 h 重复该步骤,直至测压管有水泥浆流出,关闭球阀,终止注浆。12 h 后在测压管外接球阀和压力表测压。分段分时封孔如图 1-4 所示。该方法能够对目标煤层以下的其他煤层全部密封,保证所测煤层瓦斯压力为单一煤层压力。

(3) 套管封孔可分为普通套管封孔和套管带压固结封孔。煤层间距过小,直接封孔不可能准确地测出本煤层原始瓦斯压力,需要把其他煤层屏蔽掉时,可采用下套管封孔测压的方法。首先在钻孔内安装大直径钢管(其长度根据实际需要而定),其外端焊接法兰盘,然后向大直径管内注入水泥浆,水泥凝固 48 h 后再采用小直径钻头重新套孔(钻进),到达设计测压钻孔深度停钻、退杆,然后再在孔内安装小直径测量管,封闭固定后安装测量仪表。

套管带压固结技术的基本原理是通过对含水层注浆,充填含水层的含水空间,改变含水层的赋水性,使含水层变为隔水层或弱含水层。由于套管带压固结封孔,可以隔绝测压钻孔与周围围岩裂隙的连通,使钻孔与围岩的裂隙无法导通,从而保证测压孔无漏水现象发生^[14-15]。

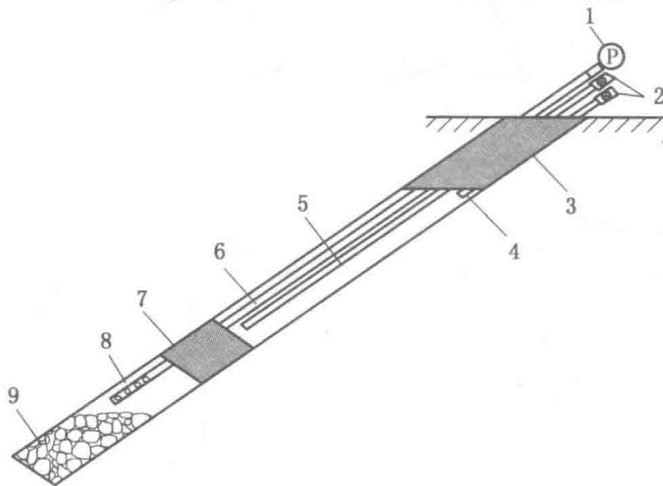
(4) 下向测压孔不同于上向测压孔,下向测压孔封孔形成测压室时需要利用棉布制成的防漏塞将测压室与注浆室分开,同时为了让水泥浆液能够顺利凝



1—压力表；2—球阀；3—封孔塞；4—测压管；5—钻孔；
6—注浆管；7—注浆孔；8—挡盘；9—集气箱

图 1-4 分段分时封孔示意图

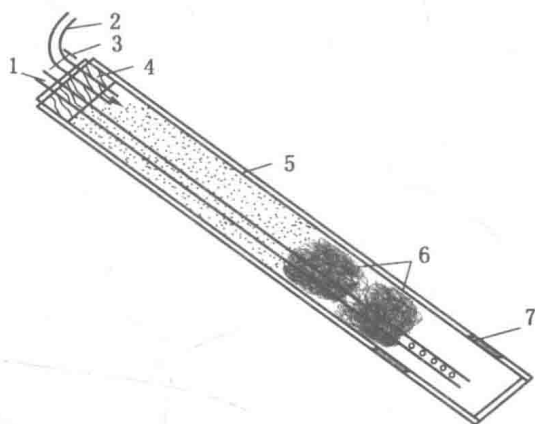
固，孔口也要用具有快速凝聚功能的马丽散堵住。水泥浆-马丽散下向测压封孔系统可以概括成“三管、两室、两塞”。其中“三管”分别指测压管、注浆管、排水管；“两室”指测压室和注浆室；“两塞”指防漏塞和孔口塞。注浆前，分别将制作好的带有防漏塞的测压管、注浆管和排水管下放到预定位置，然后用聚氨酯材料(马丽散)将孔口堵住，注浆时水泥浆从注浆管进入注浆室，在水泥浆的重力作用下，将倒扫把形的防漏塞压紧与测压室隔开，并同时相对较轻的积水通过排水管向上挤出注浆室，当浆液到达孔口时，先后关闭注浆管和排水管的阀门，等浆液凝固后在测压管上安装压力表即可^[16](图 1-5)。



1—压力表；2—闸阀；3—树脂膨胀剂；4—排水管；5—注浆管；6—测压管；
7—防漏塞；8—煤层段；9—钻屑沉底

图 1-5 水泥浆-马丽散下向封孔测压示意图

防漏塞的制作是下向孔测压能否成功的关键之一。普通防漏塞采用挡盘加棉布条或棉纱（长约1 m）制成倒扫把形，上部先注稠水泥浆，等水泥凝固后再注稀水泥浆。这种方式形成的防漏塞在后续注浆压力不大时比较可靠。采用混合聚氨酯缠绕棉布条或棉纱形成的防漏塞，在测压钻孔较短时比较可靠，但当测压孔深超过15 m时，由于聚氨酯混合很快（几分钟），发生膨胀而致使测压管无法安装到预定位置。针对这一问题，徐付国等^[17]提出“双防漏塞-水泥砂浆”分时封孔工艺（图1-6），利用2个倒扫把形棉纱团并排固定在测压管上，前端棉纱团（第1个）长30 cm左右，直径以刚好能进入钻孔为宜，第2个棉纱团略细，并涂抹1 L左右的润滑脂。将缠绕2个棉纱团的测压管送到预定位置后，抽拉测压管使前端棉纱团卡住钻孔形成防漏塞，然后通过排水用的PVC管向钻孔内的棉纱团添加2 kg左右混合膨胀剂的干水泥粉，使之与第2个棉纱团上的润滑脂混合。将2~3 L较为黏稠的添加速凝剂和膨胀剂的水泥浆灌入钻孔，待20 min后再灌注正常浓度的水泥浆即可。



1—测压管；2—压风管；3—阀门；4—木塞；
5—水泥浆；6—棉纱；7—煤层

图1-6 “双防漏塞-水泥砂浆”分时封孔工艺

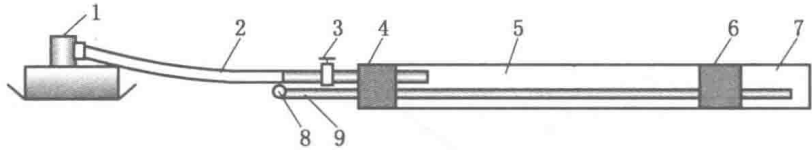
有学者^[18]提出采用注水膨胀胶囊作为防漏塞，提高了将测压孔阻隔为测压室和封孔段的可靠性。注水胶囊膨胀密封钻孔形成防漏塞后，即可安装测压表，不必等到后续注入的水泥浆凝固。这样减少了钻孔的暴露时间，缩短了瓦斯压力平衡时间，提高了测压时效。

3) 聚氨酯封孔测压法

聚氨酯是新型的聚合材料，具有膨胀性能大、密封好、黏结力强及不延燃的特点，操作简单，省时省力，成本与水泥封孔相同，适合快速密封不同深度、孔径及角度的钻孔，是性能较好的封孔材料。聚氨酯封孔施工步骤：打好测压钻孔后，把胶管和混合器用铁丝连接好，和封孔器一起放入钻孔中；连接好压风和封孔罐，将两种药液分别倒入封孔罐中（根据钻孔封孔长度和聚氨酯的发泡倍数计算所需药液量，由于施工过程中的损失，一般用量要多于计算量），开启压风，将封孔罐中的药液压入钻孔中混合发泡。待钻孔口有泡沫涌出，立即将孔口用棉纱堵住、捣实，使聚氨酯在孔内完全发泡密封钻孔。

利用聚氨酯（缠绕棉纱棉布、AB袋混合、橡胶袋等）作为测压钻孔的两端

堵头，然后在两端堵头形成的钻孔中间空间，带压注入膨胀水泥浆等，可以更有效地封堵钻孔周边裂隙。带压注浆封孔模型^[19-20]如图 1-7 所示。

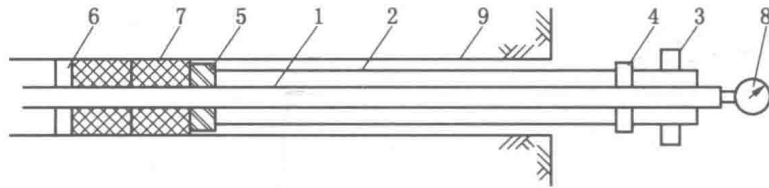


1—注浆机；2—高压管；3—球阀；4，6—聚氨酯段；5—封孔段；7—测量室；8—压力表；9—导气管

图 1-7 带压注浆封孔模型

4) 胶圈封孔器测压法

胶圈封孔器测压法是一种简便的封孔方法，适用于完整致密的条件。胶圈封孔器由内外套管、挡圈、胶圈、测压管和压力表等组成，如图 1-8 所示。其基本原理是：当拧紧压紧螺帽时，外套管向前移动压缩胶圈，使胶圈径向膨胀而达到封孔目的。



1—测压管；2—外套管；3—压紧螺帽；4—固定手把；5—活动挡圈；

6—固定挡圈；7—胶圈；8—压力表；9—钻孔

图 1-8 胶圈封孔器结构

5) 胶囊封孔测压法

胶囊封孔测压法的基本原理是：压力水进入封孔胶囊后，通过在膨胀胶囊内部所形成的水压升高来促使胶囊膨胀，从而达到封堵钻孔的目的。膨胀胶囊可以是钢丝复合胶管，向胶管内的注水压力可以达到很高的压力，对钻孔具有很好的封闭效果。

2. 液体封孔法

当封孔段岩层为松软砂岩，钻孔周围存在微裂隙，或直接在煤层打测压钻孔时，采用黄泥（黏土）、水泥浆及胶圈等固体封孔方法均不能封严钻孔，结果会使测出的煤层瓦斯压力值低于真实值。为此，周世宁院士于 20 世纪 80 年代发明了一种新型封孔方法——胶圈-密封黏液封孔测压法。其基本原理是“固体封液体，液体封气体”^[21]，即采用胶圈作为封闭高压液体的密封端，在两组胶圈之间

注入高黏度密封液,使其不仅可以充满测压管和钻孔壁之间的空间,而且也可以主动进攻式地渗入钻孔周围的天然裂隙和卸压圈的裂隙中,起到严密封闭钻孔的作用。只要始终保持黏液压力高于钻孔内部测压室的瓦斯压力,则瓦斯就不可能向巷道泄漏,从而可准确地测得煤层瓦斯压力值。

胶圈-压力黏液封孔测压技术的研制成功是煤层瓦斯压力测定方法的一大进步,但是,这一方法是为岩巷向煤层打钻孔测压设计的,对于没有岩巷或岩巷很少的矿井,应用这一技术还存在一定的困难。为此,在胶圈-压力黏液封孔测压技术的基础上,进一步研制了胶囊-密封黏液封孔测压法,用于在煤巷中直接测定煤层瓦斯压力。

在煤矿井下煤层瓦斯压力测定中,以测压点的瓦斯通过钻孔周边的裂隙和封孔材料之间的微裂隙向外泄漏为最难解决。虽然胶圈-压力黏液封孔测压技术为解决煤层钻孔封孔段漏气的问题提供了新的解决途径,但是,煤孔与岩孔不同,煤孔比较松软,易于坍塌,打钻后,钻孔内表面往往凹凸不平。为了适应钻孔内表面凹凸不平的形状,要求胶圈要有较大径向变形量,而胶圈的容许变形量一般小于20%,难以适应孔型的变化。胶囊的有效膨胀变形量可达50%,可以较好地适应孔壁形状的变化,而且便于用水压进行控制,胶囊-密封黏液封孔测压技术便应运而生。胶囊-密封黏液封孔测压主要由两段胶囊、注水管、注液管、测压管和加压装置等组成。由于胶囊在高压水作用下的膨胀性能优于机械作用下的胶圈膨胀性能,因此封闭钻孔内表面之间的沟槽或裂隙的能力大大提高。只要保持胶囊的充水压力大于密封液压力,密封液压力大于预测的瓦斯压力,就可测得准确可靠的煤层瓦斯压力值。

在裂隙发育岩层和煤孔中测压时,胶囊和孔壁之间存在空隙,而钻孔封孔段内也存在裂隙发育的卸压圈。采用一般的黏液不能密封钻孔,在加压过程中黏液也会大量流失,液体压力不能保持高于瓦斯压力。因此,密封液必须具有自动堵漏的功能,在压入钻孔封孔段后能自动将各种孔隙堵塞,并防止黏液的泄漏。周世宁院士和林柏泉教授一起发明了三相泡沫密封液^[22]。该密封液由气、固、液三相组成,气相为氮气或二氧化碳等惰性气体,固相由刚性(粉煤灰、炉渣、膨胀土)和塑性(锯末、棉纱)两种材料组成,液相为发泡剂、稳泡剂的水溶液。经过发泡装置形成的三相泡沫,在压力作用下进入封孔段,在孔隙中产生泄漏时,所携带的固相颗粒在孔隙中能彼此咬合:首先是大颗粒固体堵塞孔道,然后是小颗粒堵塞大颗粒之间的缝隙,而塑性固体则起到了充填和加固颗粒之间的咬合作用。这样密封液就不致漏失,压力得以保持。

针对穿层钻孔围岩裂隙发育且有水、近距离煤层群穿一个或多个煤层(煤线)等复杂地质条件,为扩大胶囊-密封黏液封孔测压法的应用范围,保证测压