



文章编号:1001-1986(2004)06-0023-04

功率声波影响煤层甲烷储运的初步探讨

聂百胜¹,何学秋²,王恩元²,张 力³,冯志华¹,薛二龙¹

(1.中国矿业大学,北京 100083;2.中国矿业大学,江苏 徐州 221008;

3.中国煤炭工业技术委员会,北京 100713)

摘要:分析了功率声波对煤岩介质孔隙率和渗透率的影响规律及作用机理。结果表明,功率声波能够增加煤的孔隙体积,提高甲烷在煤层中的渗透率;功率声波对煤岩等介质的主要作用机理有机械作用、激波作用、定向作用、热效应、空化作用,使煤岩层产生微裂缝,改变煤岩的孔隙结构,降低甲烷气体的粘度,从而为煤层甲烷开发提供了一种新的思路。

关键词:煤层甲烷;功率声波;解吸;渗透率;作用机理

中图分类号:P618.11;TD712 **文献标识码:**A

1 引言

煤层甲烷(俗称“瓦斯”)是煤矿生产中的最具危险性的有害气体。在我国煤矿开采中,由瓦斯引起的工伤事故约占30%~40%;同时,它又是引起全球气温升高,产生“温室效应”的温室气体之一,所引起的升温效应是同体积二氧化碳的25倍。我国矿井每年向大气排放的甲烷量194亿m³,约占世界采煤排放甲烷总量的1/3。但是,煤层甲烷又是一种天然清洁能源。据测算,我国埋深2000m以浅的煤层气有35万亿m³,如果能够加以合理开发利用,前景十分可观^[1]。因此,从治理煤矿瓦斯灾害和温室

效应以及进行煤层甲烷利用来讲,抽放甲烷是最好的途径。我国抽放煤层甲烷最大的障碍是其赋存的煤层条件大都是低渗透性的,而且吸附的甲烷难以充分解吸,因此,研究利用煤层甲烷的关键技术难题,是如何提高其在煤层中的解吸率及渗透率。

针对低透气性煤层,采取了注水驱动、水力压裂、高压水力割缝、松动爆破和交叉钻孔等措施,费用较大,而且没有从根本上有效地解决此问题,仍以井下和采空区抽放为主。国内外目前激励煤层的主要措施是石油天然气开采中使用的液压压裂法。尽管该法在美国的煤层甲烷开采中已取得较好的效果,但由于中国和美国煤层甲烷储存条件的差异以

收稿日期:2003-12-18

基金项目:国家自然科学基金重点项目(No.50134040);国家自然科学基金项目(No.59874028,50204010);国家杰出青年基金项目(No.59925411);国家十五攻关项目(No.2001BA803B0408);中国博士后科学基金项目(No.2002032120)

作者简介:聂百胜(1973—),男,山西平陆县人,中国矿业大学副教授,工学博士,主要从事煤岩电磁辐射监测技术及应用、多孔介质传热传质学等方面的研究。

Monitor study on broken floor depth caused by underground pressure

SHI Long-qing¹, ZHU Lu¹, HAN Jin¹, SU Bao-cheng¹, WANG Ze-cai², YIN Wan-cai², LI Guo-chen², SHANG Ya-ping²

(1. College of Geoscience and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Taian 271019 China;

2. Group Limited Company of Feicheng Mining, Feicheng 271619 China)

Abstract: Only the effective water-resisting zone has water-resisting capacity. At present about 61 percent coal reserve in Feicheng coal field is suffering the danger of water-inrush from floor Ordovician karst water while it is mined. Therefore monitor the broken floor depth is a main research project of controlling mine inundation in Feicheng coal field. The being mined coal seam 8 and coal seam 9 of Caozhuang coal mine in Feicheng coal field is selected as the monitor objects. The broken floor can be monitored with infusion method. The stratum original fracture degree before mining coal and broken depth caused by underground pressure can be monitored with the patent 'Double Ends Sealed Water-loss Monitor'. The research result show that the depth of the broken floor caused by mining coal seam 8 is 36.5 m and the depth of the broken floor caused by mining coal seam 9 is 14.2 m.

Key words: slope sill; underground pressure; depth of broken floor; monitor

及储油气的砂岩或石灰岩层与储煤层甲烷的煤层性质具有本质差别,所以在我国试验效果并不理想^[2]。因此,如何寻找新的技术方法提高煤层甲烷的解吸率和渗透率是急待解决的难题。本文试图从功率声波提高煤层甲烷解吸率和渗透性方面进行一些初步的探讨。

2 功率声波及其对煤岩孔隙率及渗透性的影响

2.1 功率声波及其应用

声波在介质中传播时,由于和介质之间的相互作用,使介质发生一系列物理和化学的变化,也出现一系列力学、光学等效应。声波在气体和液体中只有纵波,在固体中除了纵波以外,还可能有横波(质点振动的方向与声波传播的方向垂直),有时还有面波。声波频率的范围大致为:可听声的频率为 20 Hz ~ 20 kHz,小于 20 Hz 为次声,大于 20 kHz 为超声。声波尤其是超声波,除了被广泛应用于固体中的无损检测和液体中的探测外,在加工、清洗、焊接、乳化、粉碎、脱气、促进化学反应,医疗以及种子处理等方面,功率超声波也被广泛地应用,并还在继续发展。国防上次声波武器现在也成为研究热点。功率声波就是用大功率或高声强的声波产生系统,利用其振动形式的能量,使物质的一些物理、化学和生物特性或状态发生改变,或者使这种改变的过程加快的技术。本文的叙述都是针对功率声波进行的。在石油开采中,波场采油作为一种增产增注新

技术,已经在国内外得到日益广泛地应用^[3,4]。声波采油技术就是用不同频率的功率声波激励油层,达到增产的目的。不同频率的声波对油层的影响机理、处理效果、处理范围也不相同。声波技术在采油方面的应用为声波提高煤层渗透性的研究,提供了有益的借鉴意义。

2.2 功率声波对煤的孔隙结构的影响

煤体孔隙是甲烷扩散和渗流的重要通道,所以煤体的孔隙大小和结构对甲烷在煤层中的吸附、解吸、扩散和渗流有重要的影响^[5]。为了说明功率声波对煤孔隙结构的影响,我们引用李永昕等^[6]的研究结果,并对实验数据进行了统计。他们在研究超声波对水煤浆性质的影响时,曾用强度为 80 W/m²,频率为 20 kHz 的超声波处理由大同、兖州、红会、神木煤样制备的水煤浆,干燥后测得孔径为 17×10^{-10} ~ $3\,000 \times 10^{-10}$ m 的孔体积普遍增大,结果见图 1。图中孔体积为相邻尺寸孔径的孔体积。结果表明,超声处理后煤的孔体积普遍增大,且孔体积随着超声处理的时间增加而增大,最大可增大 28.32%。

图中测定的孔隙体积范围为包括微孔(孔径 $\leq 100 \times 10^{-10}$ m)、过渡孔(100×10^{-10} m < 孔径 $\leq 1\,000 \times 10^{-10}$ m)以及部分中孔($1\,000 \times 10^{-10}$ m < 孔径 $\leq 10\,000 \times 10^{-10}$ m),孔隙体积增大说明超声波改变了煤的孔隙结构,而煤的微孔、过渡孔、中孔等孔隙正是煤层气吸附扩散渗流的主要场所与通道。因此超声波对煤体甲烷的吸附、解吸、扩散以及流动有重

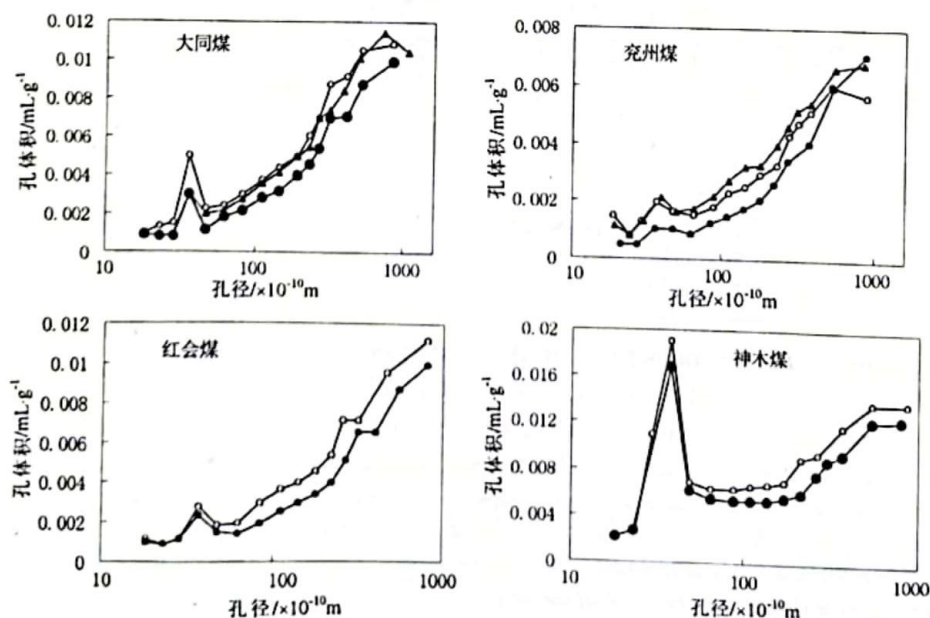


图 1 功率超声对煤孔体积的影响

—●— 未经超声处理; —○— 经超声处理 4 min; —▲— 超声处理 8 min

表1 超声波作用下岩心渗透率的提高率

岩心 编号	超声波作用前 渗透率 $K_1/10^{-3} \text{ m}^2$	超声波作用后 渗透率 $K_2/10^{-3} \text{ m}^2$	提高率/% $(K_2 - K_1)/K_1$
12	52.4	67.6	29.0
60	30.5	39.5	29.5
79	43.4	65.4	50.7
82	62.7	119.0	91.9

要影响,可以大大提高煤层甲烷在煤孔隙中的扩散和渗流速度。

2.3 功率声波对煤岩渗透性的影响

功率声波对煤岩多孔介质的渗透率有多大影响?邵长金等^[7]用20 kHz的功率超声,研究了超声波对岩样渗透率的影响(实验结果见表1)。结果表明:在常温常压下,超声波可使油对多孔岩样的渗透率增加1倍以上,使空气对多孔岩样的渗透率提高18%。这说明超声波不但能使液体在煤岩体中的渗透性增大,而且可以使气体在其中的渗透性增加,这为研究超声波提高甲烷在煤层中的渗透性,提供了很好的参考依据。

超声波对煤体的渗透性也有影响,任伟杰等^[8]用20 kHz的功率超声对同一煤样切割的十几块煤样进行了测试(实验结果见表2)。结果表明:超声波使得煤岩小尺度裂隙数目增加,使煤岩弹性模量最大可降低60%~70%,抗压强度可降低20%~40%;超声振动方向与煤层层理一致时,可使煤岩试样测试的渗透率增大1倍左右,而振动方向与煤样的层理方向垂直时超声对渗透率的影响不明显(1号试件)。而且功率超声波作用时间越长,煤体的弹性模量、抗压强度就下降得越多,煤岩样渗透率就越高。这说明,使用超声波作用具有方向性,与煤层层理一致可以提高渗透率,功率超声波作用时间越长渗透率越高。

3 功率声波对煤岩作用机理的讨论

功率声波在煤岩介质传播时,能够对煤岩层产生一系列的作用。功率声波对煤岩层主要有力学、热学和化学效应等,下面进行简要叙述^[3,9]。

3.1 机械作用

超声波是弹性介质中机械振动的传播者,传播时会引起介质粒子作交变振动,弹性粒子的振幅、速

度及加速度也会发生显著变化,从而产生松动、边界摩擦、微裂缝、声流、解聚及热作用等。超声波的机械振动具有解除孔隙或孔隙喉道内附面层的作用,使储层毛管孔隙有效半径增加,相对渗透率增大。机械振动使煤岩骨架及颗粒产生频繁往复振动,使煤岩产生裂隙从而改变渗流特征。煤岩体、水和高压甲烷的声特性阻抗是不同的,当超声波在其中传播时,不同介质内的声波之间发生耦合作用,在自由界面或两种介质的交界处产生新波(与声波发生器辐射的声波频率不同的声波)。这种新波本身之间或新波与母波(声波发生器辐射的声波)之间产生干涉作用,形成应力集中的现象,称为会聚效应。会聚效应造成不连续的应力分布,可在岩石抗拉强度较小处形成微裂缝,而不破坏整个岩层的结构。

3.2 激波作用

大振幅振动在介质中传播时会形成锯齿形波面的周期性激波,在波面处造成很大的压力梯度,因而能产生局部高温高压等一系列特殊效应。

3.3 定向作用

振动的非线性会引起一些直流定向力,其中最主要的是沿声的传播方向的辐射压力,此外还有可以在粒子之间引起相互靠近的伯努利力,由粘度的周期性变化而引起的直流平均粘滞力等等,这些直流力可以使流体介质产生一定的定向作用、凝聚作用等力学效应,从而改变甲烷在煤岩体中的运移过程。

3.4 热效应

超声波对煤岩介质和煤-甲烷系统作用还能够产生热效应,提高煤-甲烷系统的温度,能够改变煤体甲烷的吸附势垒,提高扩散系数,提高甲烷气体粘度,改变煤体的孔隙结构和力学性质,从而提高甲烷的解吸量和煤体的渗透率。

3.5 空化作用

这是仅能在液体介质中出现的一种重要的基本作用,在声场中,液体中的气泡可以逐步生成和扩大,然后突然破灭。在这急速的气泡崩溃过程中,气泡内出现高温高压,气泡附近的液体中也形成局部的、强烈的激波,这就是功率声波的“空化作用”。在液体中进行的声处理技术,几乎大多数都与空化作用有关。如果在煤层中存在有水等流体,当使用功

表2 功率超声对煤的力学性质与渗透率的影响

试件编号	1	2	3	4	5	6	7	8	11(未振)	13(未振)	14(未振)
抗压强度/MPa	7.94	10.1	6.49	10.1	7.87	9.82	4.14	7.3	10.2	8.13	7.69
弹性模量/MPa	733.1	793.6	265	677.9	509.8	773.4	308.4	313	468.1	839.8	880.5
渗透率/ 10^{-5} m^2	9.63	1020	21.5	2480	60.3	4700	1200	127	1.27	4.29	4.1

率声波处理时,超声波的强度和频率达到一定值时,将产生空化现象,在地层的裂缝或孔隙表面发生重复空化爆发,引起煤层和液体介质的非同向振动,改变煤层的力学性质和孔隙结构。

在上述多种效应的作用下,功率声波使煤岩层产生微裂缝,改变煤岩的孔隙结构,使甲烷的粘度降低,从而提高煤岩层的渗透率。

4 功率声波在煤层甲烷抽放中的应用探讨

上述研究结果表明,功率声波可以改变煤的孔隙结构和煤岩层的渗透性,从而可以改变甲烷在煤层中的吸附、解吸、扩散和渗流特性,而且声波具有很强的穿透能力,这为低渗透性煤层甲烷的高效抽放提供了一条新的思路。目前这方面的研究还没有详细进行,急需解决的课题还有许多,如功率声波对甲烷的吸附、解吸和渗流特性的影响规律和影响机理;功率声波在煤体中的作用距离、作用时间和作用效果;功率声波提高煤岩多孔介质渗流特性的最优参数选择,包括声强、频率等。声波对煤岩介质-甲烷系统的作用研究,涉及到力学、声学、物理化学等理论,所以需要进行多学科交叉等深入的研究。可以首先研制符合实验室需要的频带和功率可调的声波发生器,实验研究声波影响甲烷在煤体中吸附、解吸、扩散和渗流的规律,确定相关的参数;然后测定现场的含瓦斯煤体的声学参数,根据实验室的研究结果和声波传播衰减的规律确定现场声波发生器的参数,然后研制出能够在现场钻孔使用的设备,并进行现场工业性试验,工业性试验可以采用对比方法,即在同一煤层的同一区域打两个钻孔进行煤层透气

性系数测定及影响范围试验,并不断完善设备和技术,最终推广应用。这些技术问题还需要多学科的技术人员共同解决。

5 结论及建议

a. 功率声波作用于煤岩体,能够提高煤岩等多孔介质的孔隙率,提高其渗透性,从而能够提高甲烷在煤体中的解吸率和渗透性,为我国低渗透煤层高效抽放煤层甲烷提供了一种新的思路。

b. 功率声波对煤-甲烷体系的作用机理有机械作用、激波作用、定向作用、热效应和空化作用。

c. 建议开展功率声波对甲烷-煤体系统影响规律、作用机理及应用方面的研究。

参考文献

- [1] 张新民,张遂安,钟玲文等. 中国的煤层甲烷[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1991.
- [2] 陈 斌. 一种通过围岩开采煤层气的方案[J]. 中国煤层气, 1996, (1): 54-55.
- [3] 瓦希托夫 IT, 西姆金 SM 著. 利用物理场从地层中开采石油[M]. 蔡天成译. 北京:石油工业出版社,1993.
- [4] 胡博仲. 波场采油[M]. 北京:石油工业出版社,1996.
- [5] 聂百胜,张力,马文芳. 煤层甲烷在煤孔隙中扩散的微观机理[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(6): 20-22.
- [6] 李永昕,李保庆,陈涌英. 超声处理对煤孔结构的扩孔作用及其对成浆性影响[J]. 煤炭转化, 1998, 21(2): 46-49.
- [7] 邵长金,罗荣章,孙仁远等. 利用物理场提高原油产量的基础研究[J]. 石油学报, 1997, 18(3): 63-70.
- [8] 任伟杰,袁旭东,潘一山. 功率超声对煤岩力学性质影响的实验研究[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2001, 20(6): 773-746.
- [9] 聂百胜. 煤岩电磁效应规律及其应用研究(博士后出站报告)[R]. 北京:中国矿业大学北京校区, 2003.

The effect of power sound wave on storage and motion of coalbed methane

NIE Bai-sheng¹, HE Xue-qiu², WANG En-yuan², ZHANG Li³, FENG Zhi-hua¹, Xue Er-long¹

(1. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2. China University of Mining and

Technology, Xuzhou, 221008, China; 3. Technical Committee of China Coal Industry, Beijing 100713, China)

Abstract: The rules and effect of power sound wave (PSW) on porosity and permeation of coal or rock were analyzed. The results show that PSW can increase pore volume of coal and can enhance permeability of coalbed methane (CBM) in coal. The main mechanism of PSW acting on coal or rock is mechanical action, shock wave action, directional action, heat effect and acoustic cavitation. These effects can make coal seam produce micro-crack, change porous structure of coal and decrease viscosity of methane. The research can provide a new thinking for the exploitation and development of CBM.

Key words: coalbed methane; power sound wave; desorption; permeation; mechanism