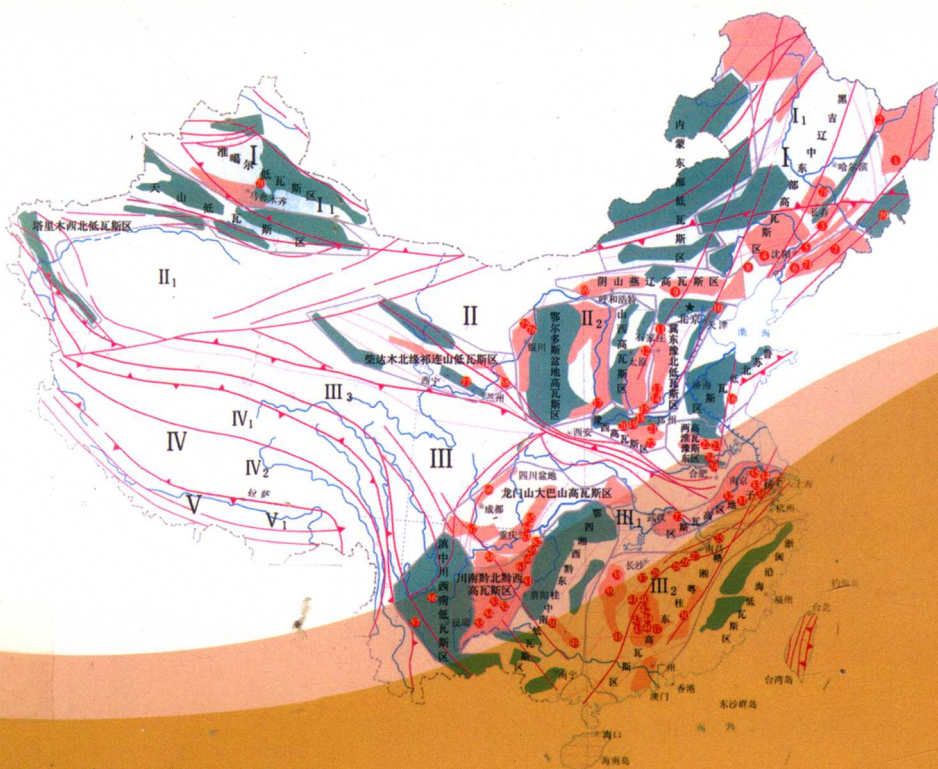


Wasi Dizhi Yanjiu Jinzhan Yu Yingyong

瓦斯地质

研究进展与应用

主编 王兆丰 宋党育 张明杰



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

瓦斯地质研究进展与应用

王兆丰 宋党育 张明杰 主编

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书收录了瓦斯地质基础研究和瓦斯灾害防治技术与工程应用方面的论文 30 余篇,是近几年来瓦斯地质基础研究和瓦斯灾害防治技术与应用方面的成果总结,同时也反映出我国在瓦斯地质基础理论与应用方面的最新进展与发展方向。

本书可供从事瓦斯地质、煤层气地质、矿井地质、通风安全、采矿工程等专业的现场技术人员和高校相关专业本科生和研究生阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

瓦斯地质研究进展与应用 / 王兆丰, 宋党育, 张明杰

主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2017. 7

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3654 - 8

I. I. ①瓦… II. ①王… ②宋… ③张… III. ①瓦斯煤层—地质学—研究 IV. ①TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第178366号

书 名 瓦斯地质研究进展与应用

主 编 王兆丰 宋党育 张明杰

责任编辑 潘俊成

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 15.5 字数 397 千字

版次/印次 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价 60.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



前 言

瓦斯地质学作为研究瓦斯的形成、运移、赋存、涌出的地质控制理论的一门交叉学科,在矿井瓦斯灾害防治与瓦斯资源开发与利用中发挥了重要作用。2001年以来,中国煤炭学会瓦斯地质专业委员会每年组织召开全国瓦斯地质学术年会,与瓦斯地质相关的高校、科研院所以及煤炭生产企业的科研与技术人员积极撰写论文并参会交流,通过学术会议交流瓦斯地质基础理论研究的发展前沿、瓦斯防治与瓦斯抽采的新方法与新装备。在总结瓦斯地质研究进展与瓦斯防治成果的基础上,近年来相继出版了《瓦斯地质基础与应用研究》、《瓦斯地质研究进展》和《瓦斯地质与瓦斯防治》等8部著作(论文集);这些学术著作对瓦斯地质基础理论、瓦斯防治技术与瓦斯抽采方法进行了总结,对瓦斯赋存规律与运移机理等基础理论的发展及瓦斯防治技术的推广与应用起到了积极作用。

根据中国煤炭学会第五届瓦斯地质专业委员会的工作安排,2017年将召开第五届瓦斯地质委员会第四次全国瓦斯地质学术年会。瓦斯地质专业委员会从2016年、2017年提交的参会论文中遴选出优秀论文31篇,由中国矿业大学出版社出版了《瓦斯地质研究进展与应用》文集。书中论文涵盖了瓦斯地质规律、瓦斯防治技术与瓦斯抽采技术三个部分,可供从事瓦斯地质、煤层气地质、矿井地质、安全工程、采矿工程等专业或学科方向的科研、教学及现场技术人员参考。

本文集由王兆丰、宋党育、张明杰主编,河南理工大学对本书的出版给予了大力支持与资助,在此深表感谢。由于时间仓促,书中不足之处敬请读者批评指正。

中国煤炭学会
瓦斯地质专业委员会
2017年6月

目 录

瓦斯地质规律篇

福建龙岩翠屏山煤矿瓦斯地质特征分析及应用·····	黄俊斌(3)
基于吸附层厚度理论的煤中甲烷吸附量确定方法·····	岳基伟,王兆丰(9)
薛湖矿二 ₂ 煤层地质构造复杂程度定量评定·····	马志奇,崔洪庆,司小昆(20)
薛湖矿二 ₂ 煤层瓦斯赋存构造逐级控制特征·····	司小昆,崔洪庆(26)
淮北许疃矿煤储层物性及瓦斯赋存特征评价·····	秦修培,邹艳,汪吉林(31)
林南仓煤矿瓦斯地质规律研究·····	王猛,代旭光,黄凯(38)
煤中狭缝型纳米孔隙吸附甲烷分子模拟·····	赵豪田,宋党育,吉小峰(47)
平煤十矿深部瓦斯赋存规律研究·····	吕有厂(56)
平顶山矿区煤与瓦斯突出特征与构造控制作用·····	张建国(63)
鄂尔多斯盆地南部瓦斯赋存的地质因素·····	范立民,张晓团,安秀煜,等(75)
神华神东寸草塔二矿瓦斯地质规律·····	张福成(83)
赵家寨煤矿 14 采区瓦斯赋存影响因素及瓦斯预测·····	翟元杰(91)

瓦斯防治技术篇

多信息集成煤矿瓦斯防治钻孔工程自动化设计模型创建与展望·····	连昌宝,连杰(103)
淮北许疃矿 3 号煤层瓦斯突出危险性综合评价·····	陈光桓,汪吉林,秦修培(112)
采空区瓦斯运移与瓦斯治理的数值模拟研究·····	李艳昌,刘剑,邓立军(121)
双鸭山矿业公司东荣三矿井下瑞利波超前探测技术·····	赵海鸿,高同尚(126)
综采面瓦斯涌出运移规律研究及防治技术·····	赵庆刚,赵鹏,李之军(132)
综采工作面煤层顶板定向钻孔抽采瓦斯实例分析·····	任旭明(137)
高瓦斯大采高工作面初采瓦斯综合治理技术研究·····	李海贵,申晋伟(140)
韩城矿区开采 2 [#] 煤层保护 3 [#] 煤层卸压角考察·····	李建民(150)
左则沟煤矿瓦斯涌出量预测及瓦斯防治技术·····	刘佳,李金文,庞贵智(159)

瓦斯抽采技术篇

“三软”煤层抽采影响半径测试及水力冲孔卸压效果考察·····	翟华(167)
单一中厚倾斜低透气性煤层采动应力集中区瓦斯抽采 规律研究·····	肖林,田紫微,陈云,等(174)

液态 CO ₂ 相变致裂影响半径研究	柯巍,王兆丰,赵龙(179)
基于流量法测定瓦斯抽采影响半径的研究	马向攀,王兆丰(189)
地面井压裂井下抽采钻孔技术探索	李海贵,申晋伟(196)
千米深井辅助巷内深孔预裂爆破与注浆技术在石门揭煤中的应用	张超(207)
钻孔与空压机联合排放盲巷瓦斯技术应用	武建山,李存清,庞贵智(215)
低透气性突出煤层低瓦斯区域提高瓦斯抽放效果实践	李志红,周忠国,殷绍林(220)
高瓦斯矿井瓦斯抽采及利用技术实践	刘建峰,尹训涛,陈成果(223)
煤层气井轻质陶粒水力压裂微地震裂缝监测	王哲雷(227)

瓦斯地质规律篇

福建龙岩翠屏山煤矿瓦斯地质特征分析及应用

黄俊斌

(福建煤电股份有限公司翠屏山煤矿, 福建龙岩, 364014)

摘要:通过论述福建龙岩翠屏山煤矿地质构造及瓦斯涌出情况, 分析了翠屏山煤矿矿井瓦斯特征及低瓦斯成因; 依据瓦斯地质特征分析, 进一步分析了编制瓦斯地质图对于指导矿井安全生产意义重大, 提出了加强瓦斯地质工作的思路。

关键词:瓦斯地质特征; 低瓦斯成因; 瓦斯赋存与排放; 瓦斯地质图

近年来, 煤矿在搞好安全生产、建设“一通三防”方面快速发展, 普遍实行机械抽出式通风, 综合防尘、防火、防突、抽采瓦斯等措施, 建立了瓦斯自动监测、监控系统, 但是, 煤矿瓦斯事故仍未得到有效控制。由于长期以来煤矿解决瓦斯问题过于偏重防治措施的研究, 而忽视了瓦斯地质规律的研究, 使防治措施缺乏针对性。瓦斯预测技术领域不完善, 未采用矿井瓦斯地质图作为预测瓦斯、指导煤矿安全生产是其主要表现形式之一。

1 翠屏山煤矿及矿井地质概况

1.1 翠屏山煤矿概况

福建省龙岩市翠屏山煤矿位于新罗市区东南 156° 方位, 直线距离 3 km, 隶属新罗区翠屏山居委会管辖。矿井地处翠屏山井田和东山井田范围内, 地理坐标: 东经 $117^{\circ}03'55''$, 北纬 $25^{\circ}05'25''$ 。本区地处闽西山区, 地形为低山丘陵, 属低山侵蚀地貌。

翠屏山煤矿 1971 年建矿, 1981 年 11 月投产, 1988 年经过改建(从 9 万 t/a 扩到 15 万 t/a), 2000 年矿井进行技术改造(从 15 万 t/a 提到 21 万 t/a), 2004 年矿井进行三水平延深设计(生产能力 24 万 t/a), 后由福建省经济贸易委员会核定, 矿井生产能力为 30 万 t/a 矿井。2012 年扩建工程竣工验收, 2012 年 10 月取得煤炭生产许可证(矿井生产能力为 51 万 t/a)。

1.2 矿井地质概况

1.2.1 含煤地层

本矿区主要含煤地层由一套海陆交互相沉积的细砂岩、砂质泥岩、泥质砂岩、泥岩及煤组成, 厚度为 657 m。根据岩性和古生物特征可分为三段, 自下而上分别命名为第一、第二和第三段。

童子岩组第一段(P_1t^1) 厚 234.5 m。煤层编号 31~45, 分上、下两个亚段。上亚段含煤 4 层, 均不可采; 下亚段厚约 155 m, 含煤 10 余层, 编号 37~45, 其中 37、38、39 煤层可采, 38_下 煤层局部可采。底部为标志层 I, 厚 6 m, 由一套薄~中厚层状细砂岩夹 45 煤层组成。

童子岩组第二段(P_1t^2)厚 103 m,为一套海陆相沉积,不含煤,底部为一层厚 2.5 m 的钙质细砂岩,为标志层Ⅱ。

童子岩组第三段(P_1t^3)厚 427 m,分为上、中、下三个亚段。下亚段(P_1t^{3-1})厚 128 m,为海陆交互相碎屑沉积,含煤 12 层,编号 13~30,其中 22 煤、28 煤层可采,27 煤层局部可采。中亚段(P_1t^{3-2})厚 124 m,含煤 23 层,编号 13~22,其中 22 煤层可采。上亚段(P_1t^{3-3})厚 175 m,含煤 12 层,编号 1~12,无可采煤层。

翠屏山煤矿主要可采煤层为童子岩组第三段的 22、28 两煤层和童子岩组第一段的 37、38、39 三煤层,局部可采煤层为 27、38_下煤层,分述如下:

22 煤层:煤层走向近南北向,煤厚度为 1.50~2.0 m,全区基本可采,平均厚度为 1.21 m,可采系数为 0.80,为较稳定煤层,直接顶板为砂质泥岩,底板为泥质砂岩。

27 煤层:下距 28 煤层 25~30 m,巷道中见煤厚度 0.60~1.30 m,厚度变化较大,全区平均厚度为 0.55 m,可采系数为 0.60,为局部可采煤层,直接顶板为砂质泥岩,底板为泥质砂岩。

28 煤层:结构简单,煤厚 0.36~2.11 m,全区平均厚度为 1.09 m,可采系数为 0.80,为较稳定煤层。直接顶板为砂质泥岩,底板为薄~中厚层状的细砂岩。

37 煤层:属复杂结构煤层。含不稳定夹矸 3~5 层,夹矸为砂质泥岩或炭质泥岩,厚 0.10~0.15 m 不等,煤厚 1.10~3.00 m,平均厚度为 1.07 m,可采系数为 0.7,为较稳定煤层。顶板为灰黑色砂质泥岩,底板为灰黑色细砂岩。

38 煤层:上距 37 煤层约 40 m,简单结构。煤巷揭露煤厚 0.21~4.0 m,特厚点高达 15 m,全区平均厚度为 1.39 m,可采系数为 0.85。顶板为灰黑色砂质泥岩,底板为灰黑色细砂岩。

38_下煤层:上距 38 煤层约 20 m,简单结构。煤巷揭露煤厚 0.70~1.30 m,全区平均厚度为 0.86 m,可采系数为 0.6,为局部可采煤层。顶板为条带状砂质泥岩,底板为泥质砂岩。

39 煤层:上距 38 煤层约 40 m,简单结构。煤巷揭露煤厚 1.00~1.50 m,全区平均厚度为 1.34 m,可采系数为 0.85,为稳定的可采煤层。顶板为泥岩,底板为泥质砂岩或砂质泥岩。

1.2.2 矿井地质构造

随着生产的发展,翠屏山煤矿井巷工程和小煤窑巷道已控制了龙岩组一段地层 380 水平以上勘探面积的 85% 以上,基本揭露了矿井地质构造的面貌。主体构造形态以断层为主,反“S”形褶曲又经次一级的断层切割破坏。本区煤系地层沉积于加里东期后所形成的拗陷区内,其构造位于龙岩“山”字形构造脊柱东侧,面临龙岩—东中背斜,东部为黄坑背斜,矿区整体构造是向北北东倾伏的复式向斜构造。由于受北西~南东向水平挤压力的作用,复式向斜的东西两翼均被 F_4 、 F_1 断层所破坏,形成了地堑形构造,在地质力不断加剧下,煤层产生了强烈的变形,发生了一系列的紧密褶皱和反“S”形褶曲,后经小型次一级的断层切割破坏,形成了现有的煤层条块。根据井巷工程揭露材料,每百米巷道揭露 5~7 条以上的小断层,因此矿区的煤系地层完全受断层构造的控制和制约。全区经确定的主要断层有 F_0 、 F_1 、 F_4 、 F_6 、 F_8 ,与地质报告基本符合;305 采区构造相对较简单,煤层也较稳定。矿井主要断层情况见表 1。

表 1 矿井主要断层明细表

	出露位置	性质	产状		断距/m	影响范围/m	备注
			倾向/(°)	倾角/(°)			
F ₀	底部断层	正	80~111	15~20	不等	一段地层与灰岩	
F ₁	4~10 线	正	80~110	60	>750	1 000~1 200	
F ₄	4~21 线	正	260~280	50	>700~1 000	4 500~5 000	
F ₆	4~10 线	正	230~260	30~40	>150	2 500~3 000	
F ₉	13~18 线	逆	110~130	30~40	20~100	1 000~1 200	
F _{西1}	350 西石门	正	85	25	<80	10~13 线	
F ₁₂	7~9 线	正	215	58	>20	7~8 线	
F _{南3}	245 石门	正	175	60	<30	17~18 线	新揭露
F _{中4}	10~12 线	正	300	25~30	10~20	10~12 线	新揭露
F _{南1}	245 石门	正	160	65	>95	13~15 线	新揭露

1.2.3 岩浆岩

井田内岩浆岩较发育,从南到北都有零星出露,主要分布在井田的南端,以酸性侵入岩为主,亦有中性和基性浅成岩,对煤系地层影响不大。在矿区南部(原东山井田)8-1、8-3 钻孔,揭露中粒斜长花岗岩岩体,对煤系地层具有一定的影响和破坏作用,见有吞蚀煤层的现象。

1.2.4 煤质

井田内主要可采煤层煤质为低灰低硫磷高发热量无烟煤,主要可采煤层煤质化验结果见表 2。

表 2 主要可采煤层煤质化验结果表

煤层编号	M _{ad} /%	A _d /%	V _{daf} /%	F _{cad} /%	Q _{net,d} MJ/kg	S _{t,d} /%	P _d /%	H _{daf} /%	ARD	ST /℃
22	4.94	13.52	3.70	73.08	26.03	1.26	0.053	2.33	1.62	1 360
27	6.52	16.30	3.85	66.94	24.81	1.10	0.016	1.93	1.62	1 170
28	7.12	16.78	3.34	66.17	26.65	0.89	0.019	1.31	1.60	1 336
37	5.04	13.54	3.30	78.67	27.67	0.91	0.003	1.98	1.65	1 238
38	4.66	10.26	3.42	82.56	29.22	0.87	0.009	1.79	1.58	1 201
38 _下	5.10	9.35	2.49	85.86	29.47	0.44	0.15	1.66	1.64	1 240
39	4.77	12.18	3.20	80.28	28.23	1.01	0.072	1.25	1.52	1 258

1.2.5 地形地貌

本区地处闽西山区,地形为低山丘陵,属低山侵蚀地貌。地形特点是东北部高,西南部低。最高标高位于东北部的高公山,海拔 959.76 m,最低点位于井田南部的冬料溪,海拔 345 m,相对高差 614.76 m。

1.2.6 地下水

矿区地下水主要为栖霞组裂隙~岩溶水,含水不均匀,富水性中等~强,单位涌水量为0.13~3.05 L/(s·m),渗透系数为2.19~9.31 m/d。地下水常通过缓倾角滑覆断裂构造及破碎带较宽断层侵出地表。矿区在开采过程中遇断层裂隙和岩浆岩常出现淋水和滴水现象,矿井涌水量平均为512 m³/h。

2 矿井瓦斯涌出量情况

龙永煤田区域范围内各煤矿瓦斯浓度比较低,翠屏山煤矿也不例外。自1982年以来,翠屏山煤矿每年都进行瓦斯等级鉴定,矿井相对瓦斯涌出量均在2.57 m³/t左右,2015年翠屏山煤矿矿井瓦斯等级鉴定和二氧化碳测定结果见表3。

表 3 翠屏山煤矿 2015 年度矿井瓦斯等级鉴定和二氧化碳测定结果报告表														
气体名称	矿井煤层一翼水平采区名称	三旬中最大一天涌出量/(m³/min)			月实际工作日/d	月产煤量/t	月平均日产量/(t/d)	相对涌出量/(m³/t)	矿井瓦斯等级	上年度矿井瓦斯等级	上年度最大相对涌出量/(m³/t)	自然发火期/月	煤层自燃等级	煤尘爆炸指数
		风流	抽放	总量										
	全矿	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
瓦斯		1.416	0	1.416	30	14 153	471.8	2.57	瓦斯矿井	瓦斯矿井	2.63	无	不易自燃	无爆炸性
二氧化碳		1.416	0	1.416	30	14 153	471.8	2.576	瓦斯矿井	瓦斯矿井	3.12	无	不易自燃	无爆炸性

3 矿井瓦斯涌出量低的原因分析

3.1 露头出露明显、埋藏浅

翠屏山煤矿的可采煤层都存在露头,露头线长达1 000多米,分布于标高+425~+675 m,平均标高为+550 m。煤层露头线起伏不平,高差很大,总的趋势为西高东低,煤层与地面直接联系的露头面积大,并且长时间与大气相通,因而煤层大部分的瓦斯通过露头释放到大气中,开采时涌出量就比较小。

如翠屏山煤矿目前开采煤层最低标高-50 m,其埋藏深度距地表仅为430 m,基本处于瓦斯风化带附近。

3.2 煤层覆盖层薄、开放性断层发育

翠屏山煤矿地处闽西南侵蚀剥蚀型低山区,地面沟谷发育,第四系(Q)覆盖层薄(5 m以下),其下翠屏山组(P₂cp)为一套陆相碎屑岩沉积,透气性强,厚度仅为478.5 m,都较有利于煤层瓦斯释放到大气中。

翠屏山煤矿属于受多组断层切割的构造复杂矿井,且大部分断层为受张应力作用的开放性断层,煤层的顶底板节理、裂隙又比较发育,淋水较大,透气性也较好,非常有利于瓦斯释放,这也是瓦斯浓度低的一个重要原因。

3.3 煤层薄、变质程度高,吸附能力小

翠屏山煤矿开采的煤层,基本为高变质的光亮型无烟煤,平均煤厚1.0 m左右,挥发分

仅为 3.5% 左右。根据煤变质程度到达二级无烟煤后煤层吸附能力随变质程度增加而降低的原理,以及煤层厚度越厚保存瓦斯能力越强、煤层厚度越薄保存瓦斯能力越弱的原理,反映出各煤矿煤质及煤厚因素也是影响矿井瓦斯低的因素。

3.4 地下水排放瓦斯能力强

翠屏山煤矿地下水主要为栖霞组裂隙~岩溶水,它通过低角度断层与煤系地层相接,使深部煤层瓦斯通过断层和裂隙释放一部分到栖霞灰岩里,造成深部煤层瓦斯含量小,开采时瓦斯涌出量较小。

3.5 岩浆岩提供了瓦斯排放通道

翠屏山煤矿岩浆岩发育,主要以岩脉、岩墙为主,局部见有岩床。岩浆岩从地层深处直通地表,且开采越深,岩浆岩越发育,成为瓦斯排放的通道。此外,岩浆岩含水性强,井下巷道掘至岩浆岩时,常出现淋水现象,说明其透气性也非常好。这种不协调产状的小型岩浆岩为瓦斯释放提供了良好的通道。

3.6 露头附近小窑增加了瓦斯排放通道

翠屏山煤矿露头附近小煤窑很多,星罗棋布,且开采历史悠久,开采范围广,面积大。其采后顶板冒落,产生的裂隙带很大,增大了深部煤层瓦斯通往大气的面积和通道,加大了矿井瓦斯排放力度,这也是矿井瓦斯低的一个重要原因。

4 瓦斯地质特征研究与应用

福建省龙岩市区域各煤矿虽然属于低瓦斯矿井,但瓦斯地质工作也应按瓦斯矿井标准要求进行管理,否则局部地质构造带和煤层产状、厚度异常带同样会发生瓦斯集聚、瓦斯超限而发生安全事故等。因此,瓦斯矿井的瓦斯地质研究与安全生产关系密不可分,瓦斯矿井应加强瓦斯地质工作,以确保安全生产。

4.1 预测局部高瓦斯区,加强瓦斯管理

煤矿生产过程中发现褶曲构造复杂、断层构造较明显的中部区域瓦斯涌出量相应较高;煤层倒转程度频繁,瓦斯涌出量偏高。矿井根据瓦斯涌出规律,采取不同的局部通风方式,加强通风和瓦斯管理工作。一般在矿井中、东部煤层瓦斯含量与涌出量较低,采取混合式通风;西翼煤层瓦斯含量和涌出量较大,采用压入式通风,有效冲淡瓦斯,以保障安全生产。

4.2 编制矿井瓦斯地质图指导瓦斯防治

(1) 将瓦斯资料、地质变化情况、采掘位置综合填绘在矿井瓦斯地质图上,确定采掘工作面瓦斯地质情况及瓦斯涌出情况,对瓦斯涌出情况做出准确预报,提前采取有效防瓦斯措施。

(2) 下一水平延深时利用瓦斯地质图预测深部瓦斯变化情况,可采取措施防止瓦斯事故。特别是煤层厚度急剧变化,出现煤包时,可能出现大量瓦斯涌出,此时,在开采方法上必须实行分层开采,禁止深孔爆破采煤。而且必须布置好配风巷,以加强现场通风,防止瓦斯积聚。

(3) 褶曲煤层容易积聚瓦斯,在布置采煤巷道时应根据瓦斯地质图掌握向斜或背斜的位置范围,相应地改变开采方法,并加强瓦斯监测与通风管理工作。

(4) 开采深部新水平时,必须根据瓦斯地质图瓦斯预测涌出情况,实行局部地段高瓦斯管理制度。

4.3 加强瓦斯地质工作的思路

- (1) 瓦斯地质是一门边缘学科,在煤炭生产中应重视加强研究。
- (2) 矿井应建立瓦斯地质研究信息网,结合矿井安全监控系统,创立本质安全型瓦斯管理系统。
- (3) 把瓦斯地质研究工作纳入日常通风管理,实行目标管理。
- (4) 把编制瓦斯地质图与矿井编制采掘工程平面图结合起来,以便及时、直观地展现瓦斯地质变化规律,更好地为矿井安全生产服务。

5 结论

翠屏山煤矿存在煤层露头多、煤层埋藏深度浅、地形地貌好、煤阶高及煤厚小、地下水活跃、岩浆岩发育、地表露头多、小窑多等多方面瓦斯赋存影响因素,决定了整个龙岩市范围各矿井属于低瓦斯矿井。依据瓦斯地质特征分析,进一步分析了编制瓦斯地质图对于指导矿井安全生产意义重大,提出了加强瓦斯地质工作的思路。

参考文献

- [1] 福建省龙永煤田翠屏山井田详查最终地质报告[R]. 福建省 121 地质队,1984.
- [2] 孙和应. 煤与瓦斯突出预测和防治[治]. 徐州:中国矿业大学出版社,2014.

作者简介:黄俊斌(1982—),男,2007年7月毕业于龙岩学院地质专业,现任福建煤电股份有限公司翠屏山煤矿生产部副经理、地质副总工。

基于吸附层厚度理论的煤中甲烷吸附量确定方法

岳基伟¹, 王兆丰^{1,2}

(1. 河南理工大学安全科学与工程学院, 河南焦作, 454000;

2. 河南省瓦斯地质与瓦斯治理重点实验室——省部共建国家重点
实验室培育基地, 河南焦作, 454000)

摘要:针对煤中甲烷吸附量测试过程烦琐、确定方法复杂等难题,在采用压汞法测试了无烟煤和贫煤孔径分布基础上,基于热力学原理及物理吸附机理,建立了煤体吸附甲烷的吸附层厚度理论,分析了孔径及吸附平衡压力对吸附层厚度(吸附层数)的影响,通过获取的煤对瓦斯的吸附等温线计算了煤中甲烷吸附量。研究表明:无烟煤的孔隙主要分布在可见孔、大孔和微孔,贫煤的孔隙主要分布在可见孔、大孔、小孔和微孔,其孔径分布均可采用分段函数进行拟合。同一吸附压力下,吸附层厚度和吸附层数随孔径增大呈指数递减。甲烷在孔径较小的孔中吸附层厚,在孔径大的孔中吸附层薄。基于吸附层厚度理论计算得到的瓦斯吸附等温线与实测结果一致,误差小于5%,为预测煤层瓦斯含量提供了新方法。

关键词:孔径分布;吸附层厚度理论;吸附层数;吸附等温线

煤具有极其发育的微孔隙,主要包括微孔(直径 $<10^{-5}$ mm)、小孔(直径 $<10^{-5} \sim 10^{-4}$ mm)、中孔(直径 $<10^{-4} \sim 10^{-3}$ mm)、大孔(直径 $<10^{-3} \sim 10^{-1}$ mm),它决定了煤的吸附容积和煤的存储性能^[1]。煤体内表面对瓦斯的吸附是物理吸附,其本质是煤表面分子和瓦斯气体分子之间相互吸引的结果^[2-3]。

众多学者在吸附方面进行了大量研究,也得出了适合不同情况下的吸附理论。Langmuir从分子动力学的观点出发,提出固体对气体的单分子层吸附模型,建立了Langmuir方程^[4]。虽然该模型在研究煤对瓦斯吸附时应用最为广泛,但方程适用于表面均匀的孔隙介质吸附,对于不均匀的表面吸附存在不足。Brunauer等在单分子层吸附理论的基础上提出了多分子层吸附理论即BET模型,该模型在吸附研究中常用来测定煤的比表面积^[5]。Dubinin等^[6-8]提出并完善了微孔填充理论,并给出了许多吸附等温式,如D-R、D-A、D-S方程等,用来表征微孔固体吸附体系,该方程适合于孔径较小的物质,在煤的吸附研究领域中也有一定的应用。Freundlich^[9]提出的等温吸附方程形式简单,使用方便,但该方程是一个纯粹的经验推导公式,没有明确的物理意义,而且实验表明在达到饱和压力前,可以确定吸附的限度是直接随着压力而变化的,高于饱和压力点时,即使施加更高的压力,吸附速率

也会达到饱和,因此,Freundlich 吸附等温线不适用于描述高压情况。陈昌国等^[10]用微孔填充理论研究了无烟煤与活性炭的吸附特性,通过与 Langmuir 等温式、BET 等温式和 Freundlich 等温式对比,认为微孔填充理论更适用于描述无烟煤和活性炭的吸附,更接近于气体的实际存在状态。

由此可见,用于描述煤吸附等温线的模型虽然较多,但要确切描述煤吸附甲烷的现象都受到一定的限制。究其原因,在煤体内的不同孔径中,煤表面分子对气体分子的作用力不同,进而导致煤表面吸附甲烷分子的层数有差别,而上述吸附理论均为孔径对吸附层的影响。

基于此,本文通过压汞试验测得煤体内孔径分布特征,并根据热力学原理及煤对甲烷吸附机理,建立煤的孔径对甲烷吸附层厚度的方程;数值分析了吸附压力和孔径对吸附层厚度(吸附层数)的影响,同时计算了煤体对瓦斯的等温吸附曲线,并与实测瓦斯吸附曲线进行了对比分析。

1 煤体孔径分布及吸附特征测试

1.1 煤样制备及分析

试验煤样分别取自焦作九里山煤矿二₁煤层(无烟煤)和山西阳泉新元煤矿 3[#]煤层(贫煤)的新鲜煤样,密封保存后送实验室,工业分析是依照《煤的工业分析方法》(GB/T 212—2008)测得。根据《煤的真相对密度测定方法》(GB/T 217—2008)和《煤的视相对密度测定方法》(GB/T 6949—1998),煤样真密度和视密度、孔隙率如表 1 所示。

表 1 煤体参数测定

煤样	参数	无烟煤	贫煤
工业分析	水分 $M_{ad}/\%$	2.24	1.53
	灰分 $A_{ad}/\%$	8.68	7.14
	挥发分 $V_{daf}/\%$	8.47	11.84
孔隙率	真密度/(g/cm ³)	1.61	1.43
	视密度/(g/cm ³)	1.35	1.28
	孔隙率/%	16.15	10.49

1.2 煤体孔径分布测试

(1) 孔径分布测定原理

采用压汞法对压入煤中汞体积测定,建立充满孔隙所需压力 p_H 与孔径 d 的函数关系式^[11]:

$$d=-2\gamma_H\cos\theta/p_H \tag{1}$$

式中, d 为孔径,nm; γ_H 为汞的表面张力,取 4.85×10^{-3} N/m; θ 为汞与煤的接触角,取 130° 。

根据施加压力 p_H ,求出对应孔径尺寸 d ;然后根据汞的压入量,求出对应尺寸的孔体积;最后拟合不同 p_H 与孔径大小 d 累积分布曲线或微分曲线。

(2) 压汞试验

采用 AUTOPORE E 9505 型压汞仪(图 1),压力范围 0~228 MPa,孔径测量范围为

0.005~360.000 μm 。实验主要包括 3 个步骤:① 制备煤样粒度 3~6 mm,在温度设置 105 $^{\circ}\text{C}$ 的干燥箱中干燥 48 h;② 干燥后进行装样,放入压汞仪中先后进行低压站测试与高压站测试,得到压力与压入孔隙中汞体积的关系曲线;③ 分析曲线,得到一系列表征煤样孔隙特性的参数^[12-13]。

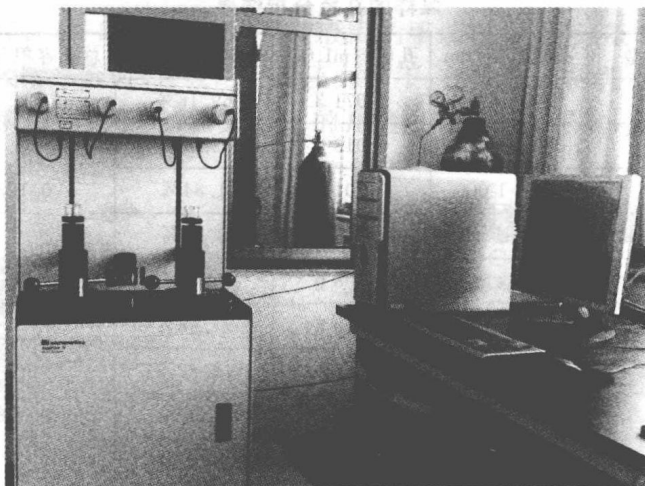


图 1 AUTOPORE E 9505 压汞仪

通过压汞试验,获得无烟煤和贫煤的压汞曲线如图 2 所示。从图 2 可以看出,进汞线(下面曲线)和退汞线(上面曲线)并不重合,表示具有滞后回线,这与煤的结构特征有关。在进汞阶段,汞最先进入并充满孔径较大的孔隙,随着压力的增大,汞才进入孔径较小的孔隙中,直至达到饱和。退汞阶段与进汞阶段相反,在压力减小的过程中,汞最先从孔径较小的孔隙中退出,随着压力进一步减小,汞才从孔径较大的孔隙中退出,直至不能退出。

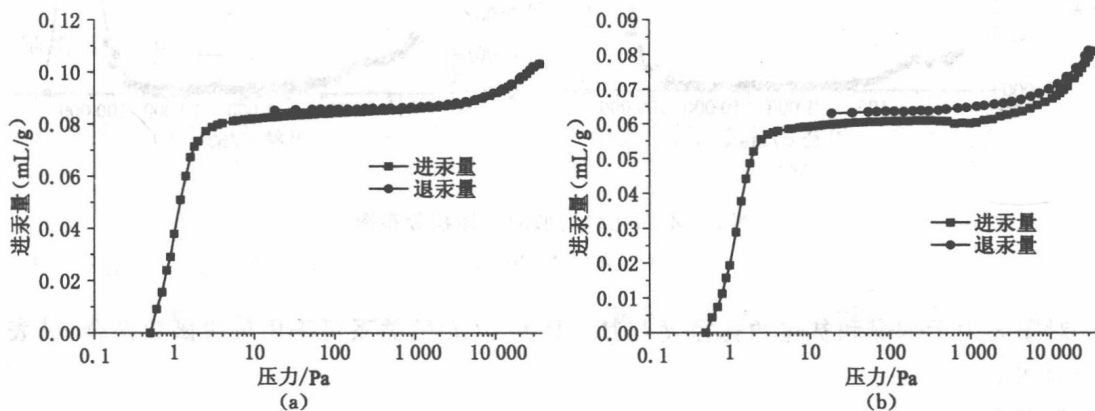


图 2 煤压汞曲线图
(a) 无烟煤;(b) 贫煤

(3) 煤样孔隙容积分析

根据式(1)和图 2 压汞曲线,可得到无烟煤煤样的不同孔径类型的孔径分布,如表 2 所示,并得到煤的孔体积与孔径分布关系,如图 3 所示。由表 2 和图 3 可知:① 实验仪器能够测得的大于 5.5 nm 的总孔容积为:无烟煤为 0.103 1 mL/g,贫煤为 0.078 8 mL/g;实验仪