

文章编号: 1001-1986(2007) 04-0027-03

# 煤层气资源特点与开发模式

张遂安

( 中国石油大学石油工程教育部重点实验室/煤层气研究中心, 北京 102249)

**摘要:** 为探索煤层气高效开发模式, 促进煤层气资源的开发, 在总结 20 多 a 理论研究成果和勘探开发实践经验的基础上, 将煤层气厘定为赋存于煤层及其围岩中的与煤炭共伴生的天然气, 并将煤层气资源的特点概括为吸附态、自生自储两点。依据煤层气资源的特点, 提出了煤层气资源开发模式分类方案, 其中顶级分类包括地面开发、井下抽采、采煤采气一体化等。

**关键词:** 煤层气; 资源特点; 开发模式; 分类

**中图分类号:** P618.11 **文献标识码:** A

## Features and development model of coalbed methane resources

ZHANG Sui-an

( CMOE Key Laboratory of Petroleum Engineering/ Coalbed Methane Research Center,  
China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract** In order to look for high efficiency development model of the CBM and prompt the development of the CBM resources, on the basis of summarizing the theoretical research results and exploration and development practical experiences, the author defines the CBM as the natural gas which is occurred in the coal seam and its surrounding rocks and is accompanied with the coal; the features of the CBM resources are generalized as two points: the adsorption state, and the self-generation and self-storage. According to the features of the CBM resources, this paper suggests the classification opinion on the development types of the CBM resources, of which the top class including the surface development, underground drainage, and the integration of the coal mining and gas exploiting, etc.

**Key words:** coalbed methane (CBM); resources feature; development model; classification

煤层气资源的开发可以追溯到 18 世纪的煤矿瓦斯抽放, 20 世纪得到了快速发展。随着我国煤矿瓦斯抽采工作的进一步深化和煤层气资源地面开发的逐步商业化, 煤层气资源的开发模式分类迫在眉睫。作者依据 20 多 a 的理论研究和勘探开发实践, 就煤层气资源特点和开发模式分类提出如下观点, 供同仁们商榷。

### 1 煤层气概念的厘定

为便于讨论, 本文将煤层气厘定为赋存于煤层及其围岩中的与煤炭共伴生的天然气, 其主要气体组分为甲烷( $\text{CH}_4$ )。煤层气是地史时期煤中有机质的热演化生烃产物。由于不同时期、不同学者从不同的角度给予不同的命名, 最常见的有瓦斯、煤层甲烷、煤层气等, 本文统一命名为煤层气。

由于煤层气涌入煤矿巷道或爆炸会引起灾难, 因此, 煤炭工业界一直将煤层气视为有害气体。由于翻译原因, 我国煤炭工业界一直将涌入煤矿巷道

内的煤层气称之为瓦斯。事实上, 煤矿瓦斯除煤层气组分外, 还有采矿活动所产生的氮气( $\text{N}_2$ )、二氧化碳( $\text{CO}_2$ )等空气组分以及一氧化碳( $\text{CO}$ )、二氧化硫( $\text{SO}_2$ )等气体组分。

继美国实现煤层气商业开发之后, 煤层气的资源价值才逐步引起能源界的重视。由于煤层气的独特赋存状态(以吸附态为主)、非常规储层(典型的自生自储、多重孔渗的有机储层)和产出机理(排水—降压—解吸—采气), 在油气资源分类中将煤层气划归为“非常规天然气”(Unconventionality Natural Gas)。

从成因和组分的角度, 本文将煤层气的成因分类以及与瓦斯、天然气、煤成气的关系概括如图 1 所示。鉴于上述厘定, 无论采用何种抽采方式, 本文将所有抽采煤层中甲烷气体的工业行为都定义为煤层气开发。

### 2 煤层气资源的特点

煤层气资源的显著特点主要体现在以下两方面:

收稿日期: 2007-04-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(40672105); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2002CB2117)

作者简介: 张遂安(1957—), 男, 山东菏泽人, 研究员, 从事煤层气开采理论和技术研究

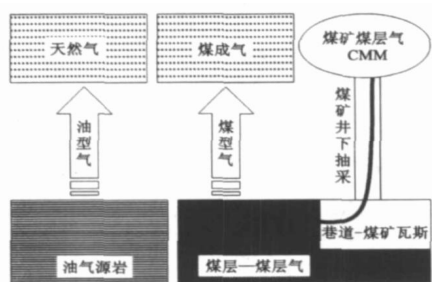


图 1 煤层气成因分类及其与瓦斯、天然气、煤成气的关系示意图

Fig. 1 The sketch map of CBM genetic classification

a. 以吸附态为主要赋存状态是煤层气资源的最突出特点

天然气资源的赋存状态取决于储层特性和赋存条件。对常规天然气来讲,其储层以砂岩、灰岩为主,赋存于空隙之中,在常规的压力和温度条件下,主要呈游离态;而煤层气则是赋存于煤层之中,因煤层是一种特殊的储层,对甲烷具有极强的吸附能力,故以吸附态为主。煤对甲烷的最大吸附量约为  $10 \sim 50 \text{ m}^3/\text{t}$ ,通常用 Langmuir 体积来表征。

事实上,在原地储层条件下的煤层气主要为吸附态甲烷,这一点早已被大量的等温吸附实验和煤层气开发实践所证实。其证据有三:

第一,通过将实测煤层气含量数据与等温吸附实验所获得的理论吸附量进行对比发现,绝大多数样点的煤层气吸附饱和度处于吸附欠饱和或接近吸附饱和状态,很少有吸附过饱和状态。

第二,煤层气开发实践中发现,绝大多数煤层气生产井都是在排水降压之后才开始产气,说明其不具有游离气产出的特征。

第三,尽管煤层孔隙及裂隙中充满了水,但相对于实测煤层气含量值,水溶甲烷量可谓微不足道。甲烷水溶实验表明<sup>[1]</sup>,在通常煤储层温度、压力和矿化度条件下,水所能溶解的甲烷也不过  $0.05 \sim 3.11 \text{ L/L}$ 。若煤层孔隙按 30% (此假设值远大于实际情况) 计算,每 t 煤最多也只有  $0.25 \text{ m}^3$  的水;用最大溶解度  $3 \text{ L/L}$  计算,煤中最多溶解甲烷也不过  $0.75 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

b. 煤层气是一种典型的自生自储式非常规天然气资源

煤本身是一种有机碳含量极为丰富的有机源岩,在其成岩、煤化过程中生成大量的烃类物质<sup>[1]</sup>,其中以甲烷为主。由于煤本身具有极强的吸附性能<sup>[1-3]</sup>,加之甲烷与煤的有机质又具有较强的亲合力,因此,煤演化过程中生成的甲烷气体被吸附在煤

中各类孔隙的内表面,以吸附态赋存于生气的煤层之中。这一演化、生气和吸附过程使煤层气在一定温度和压力条件下得以富集,导致煤层具有较高的含气量。

### 3 煤层气开发理念的发展

早在 1733 年,英国一家煤矿首次进行了煤矿瓦斯抽放和管道输送的尝试。1844 年,又有一个发生过瓦斯爆炸事故的矿井将采空区的瓦斯抽放至地面。19 世纪后期,英国威尔士开始进行从煤层中抽排瓦斯的试验。英国生产矿井中,45% 的甲烷通过管道抽排到地面进行利用。20 世纪 40 年代,德国的一座煤矿首次大规模利用瓦斯。

我国的煤矿井下瓦斯抽放始于 20 世纪 50 年代。1952 年,煤炭部率先在辽宁抚顺矿务局龙凤煤矿进行了井下瓦斯抽放试验,并获得成功。通过 50 a 的发展,我国煤矿井下瓦斯抽放,已由最初为保障煤矿安全生产发展到“抽放—利用”,之后又进一步发展成“抽放—利用—环保”的商业理念。

20 世纪 70 年代,美国的矿主为了寻求一条根治煤矿瓦斯的途径,尝试着利用石油天然气开发技术进行煤矿瓦斯地面预抽试验。经过近 10 a 的探索,煤矿瓦斯地面抽采获得成功。之后,一些石油公司纷纷介入,在政府扶持下逐步形成了一个介于煤炭工业和石油天然气工业之间的新兴产业——煤层气开发。

我国的煤层气地面开发可追溯到 20 世纪 70 年代末至 80 年代初,原煤炭工业部煤炭科学研究院抚顺煤研所曾在抚顺、阳泉、焦作、白沙、包头等高瓦斯矿区施工了 20 余口地面瓦斯抽排试验井,用于解决煤矿瓦斯突出问题。这批地面瓦斯抽排钻孔可谓是我国采用地面垂直井进行煤层气开采的最先尝试。然而,由于当时井位选择和技术、设备等条件的限制,试验未达到预期效果。20 世纪 90 年代,随着美国煤层气地面开发技术的传入,我国煤层气地面勘探和开发工作逐步出现热潮,先后在众多地区进行不同目的的煤层气地面开发试验。经过 10 余 a 的煤层气勘探和开发试验,在沁水盆地南部晋城矿区取得了重大突破。并且,在煤层气勘探开发领域开始倡导所谓的“资源—安全—环境”的商业理念。

尽管煤矿瓦斯抽采和煤层气开发倡导的商业理念都包含“安全”、“资源”和“环境”的内容,但其工业行为却存在着巨大的差异,更没有涉及煤层气开发与煤炭开采的关联问题。通常情况下,煤矿瓦斯抽采只注重瓦斯治理效果,很少关注资源与环境问题,

最佳情形只是将“资源与环境”作为一种意外收益,因此,导致许多煤矿抽采出的煤层气未被利用。而煤层气开发则相反,多数项目只注重采取获利,没有真正考虑未来煤矿开采的安全问题,无论是区块优选还是开发技术方案,都没有真正体现所谓的“资源与环境”,其仅仅是一种副产品而已。

2005 年,国家发展改革委能源局吴吟副局长明确提出了将“瓦斯抽放”改为“煤层气抽采”。随着煤层气开发和煤矿瓦斯抽采事业的发展,煤层气开发与煤炭开采的关系愈来愈被煤炭工业界和煤层气产业界广泛关注。

一方面,随着煤矿开采深度的增加,煤矿瓦斯灾害也越来越严重,严重制约着煤炭工业的快速发展。为彻底解决煤矿瓦斯灾害,保障煤炭工业的快速发展,中华人民共和国国务院和有关部委采取了一些有效措施。2005 年国家八部委联合颁布了《煤矿瓦斯治理与利用实施意见》,明确提出了坚持“可保尽保、应抽尽抽、先抽后采、煤气共采”的原则和瓦斯治理“先抽后采、监测监控、以风定产”的 12 字方针。2006 年国务院发布了《国务院办公厅关于加快煤层气(煤矿瓦斯)抽采利用的若干意见》,进一步明确了坚持采气采煤一体化的具体措施。

另一方面,中国的煤层气开发取得了突破性进展。山西晋城无烟煤矿业集团有限责任公司率先(在晋城矿区寺河煤矿)实现了煤层气开发的商业化过程,即从勘探、开发试验、大规模开发到集输和利用。中联煤层气有限责任公司和中国石油天然气股份有限公司紧随其后,形成了沁水盆地南部煤层气商业开发基地。

采煤采气一体化不仅是“安全—资源—环境”商业理念的全面体现,而且更是一种值得倡导的资源综合开发的新模式。采煤采气一体化的实施,从根本上改变了以往煤层气开发和煤炭开采的传统做法。煤炭工业不再将瓦斯抽采作为专项措施,煤层气地面开发也不再作为单纯的可燃烃类气体资源的开发,而是将瓦斯抽采和煤层气开发视为煤矿安全生产体系的重要组成部分。

2006 年,国务院在“关于加快煤层气(煤矿瓦斯)抽采利用的若干意见”(简称“若干意见”)中明确指出:“加快煤层气抽采利用是贯彻以人为本,落实科学发展观,建设节约型社会的重要体现。必须坚持先抽后采、治理与利用并举的方针,采取各种鼓励和扶持措施,防范煤矿瓦斯事故,充分利用能源资源,有效保护生态环境。”“若干意见”还进一步指出:

“坚持采气采煤一体化,依法清理并妥善解决煤层气和煤炭资源的矿业权交叉问题。凡新设探矿权,必须对煤层气、煤炭资源进行综合勘查、评价和储量认定。煤层中瓦斯含量高于规定标准且具备地面开发条件的,必须统一编制煤层气和煤炭开发利用方案,并优先选择地面煤层气抽采。”届时,我国的煤矿瓦斯抽采工作将进入新的发展时期。

#### 4 煤层气开发模式的分类

由于煤层气抽采目的、抽采对象、抽采条件和资源条件的不同,形成了不同的开发模式。煤层气开发的根本目的无外乎有效地开发和利用煤层气资源、最大限度地改善煤矿安全生产条件(降低瓦斯)、更好地保护人类赖以生存的大气环境等几个方面。对投资者而言,投资的根本目的是获取利润。基于投资目的和开发技术条件,在煤层气资源开发过程中逐步发展成为两类截然不同的开发方式。煤矿业主,从煤矿开采需要出发,对煤矿区煤层气运用采煤采气一体化的开采模式;石油公司,为获取商业利润,借鉴常规油气开采技术,对原始储层煤层气采用地面直井或水平井开发模式。

为便于讨论,本文根据投资目的、煤层气开发条件、技术特点和产品质量,将煤层气开发模式分成(井下抽采、地面开发和采煤采气一体化)3 大类和若干小类(图 2)。

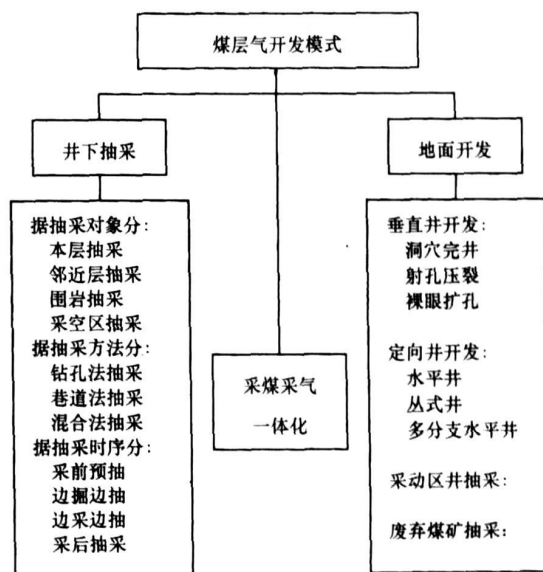


图2 煤层气开发模式分类图

Fig. 2 Classification of coalbed methane development models

鉴于篇幅所限,本文着重就采煤采气一体化模式进行分析。从产业层面,采煤采气一体化的内涵应体现以下几方面:

文章编号: 1001-1986(2007)04-0030-04

# 煤矿瓦斯的微生物治理技术

侯晨涛<sup>1,2</sup>

(1. 西安建筑科技大学市政与环境工程学院, 陕西 西安 710055;

2. 西安科技大学地质与环境工程系, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 甲烷氧化菌以甲烷为其唯一碳源和能源, 在瓦斯治理方面具有潜在应用价值。介绍了瓦斯微生物治理技术的国内外研究现状、甲烷氧化菌氧化甲烷的机理和影响因素, 以及甲烷氧化菌的生态分布。分析了微生物治理技术的可行性, 并展望了今后的研究方向。

**关键词:** 微生物治理; 瓦斯; 甲烷氧化菌

**中图分类号:** TD713.3; Q939.99

**文献标识码:** A

## Research prospect of applying microorganism in controlling coal gas

HOU Chen-tao<sup>1,2</sup>

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Dept. of Geology and Environmental Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Methanotrophs can use methane as their sole carbon and energy source, which has potential value in coal gas control. The related current research status is introduced and a preliminary conclusion was drawn on the mechanism of methane oxidation by methanotroph, its physiology and distribution in ecosystems, as well as potential use of methanotroph in biodegradation of gas. The feasibility of this kind of controlling techniques is analyzed, and the future research directions are pointed out in this paper.

**Key words:** biodegradation; gas; methanotroph

煤矿瓦斯是当今影响煤矿安全生产的头号杀手。据有关资料统计, 全国每年发生的重大煤矿瓦斯事故平均在 30~40 多起, 遍及全国 15~16 个省市、自治区, 造成至少数百人遇难, 给国家、社会和家庭都造成了不可弥补的损失, 而这种现象又伴随着煤矿开采强度加大, 开采深度加深, 表现出强劲上升

的趋势<sup>[1]</sup>。

多年来, 尽管我国一直比较重视煤矿瓦斯技术的研究工作, 并经过“七五”“十五”期间的国家科技攻关研究, 取得了一大批具国际领先水平的科技成果, 对治理煤矿瓦斯起到了很大的推进作用, 但主要治理技术仍为矿井通风、矿井瓦斯抽放和“四位一

**收稿日期:** 2007-01-30

**基金项目:** 陕西省自然科学基金项目(2005 D01)

**作者简介:** 侯晨涛(1975—), 女, 河北定州人, 讲师, 硕士, 从事环境工程研究与教学。

### a. 统筹规划, 煤、气共采

为有效开发和利用同源同体的煤炭资源和煤层气资源, 必须坚持统筹规划、煤炭资源和煤层气资源共采的原则, 切实做到以煤炭开采为中心, 建立采煤采气一体化开发模式。

### b. 先采气, 后采煤, 协调发展

为达到保障煤矿安全生产、综合开发资源、保护大气环境之目的, 必须坚持统筹规划、先采气后采煤的基本开发原则, 建设先进高效的绿色矿山。

### c. 井下抽采与地面开发并举, 分区实施

从煤气共采角度, 根据煤矿开采规划的区划, 可

分为采空区、煤矿生产区、近期煤炭开采区和煤矿规划区。由于不同区域的煤层气资源条件和开发条件差异较大, 因此, 煤层气开发应采取不同的开发模式和开发技术。

## 参考文献

- [1] 张新民, 张遂安. 中国的煤层甲烷[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1991.
- [2] HOLLUB V A, SCHAFFER P S. A guide to coalbed methane operations [M]. Chicago: US Gas Research Institute, 1992.
- [3] SAULSBERRY J L, SCHAFFER P S, SCHRAUFNAGEL R A. A guide to coalbed methane reservoir engineering [M]. Chicago: US Gas Research Institute, 1996.