



全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

矿井 瓦斯防治

主编 王永安 朱云辉

煤炭工业出版社

全国煤炭高职高专矿井通风与安全类“十一五”规划教材

矿井瓦斯防治

主 编 王永安 朱云辉

副主编 李开学

煤炭工业出版社

·北 京·

内 容 简 介

本书是全国煤炭高职高专矿井通风与安全专业“十一五”规划教材之一,全书共分八章,内容包括煤层瓦斯的赋存与含量、矿井瓦斯涌出、矿井瓦斯爆炸及其预防、瓦斯浓度检测、瓦斯喷出及其预防、煤(岩)与瓦斯突出及其防治、矿井瓦斯抽放、实践教学等。

本书是煤炭高等职业院校、高等专科学校矿井通风与安全专业和采矿工程类各相关专业的通用教材,也可作为煤炭高级技师学院、中等职业学校、成人高校和煤矿干部培训的教材,同时可供从事煤矿设计、管理及工程技术的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿井瓦斯防治/王永安,朱云辉主编. —北京:煤炭工业出版社,2007.11

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5020-3188-6

I. 矿… II. ①王…②朱… III. 煤矿-瓦斯爆炸-防治-高等学校:技术学校-教材 IV. TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 147285 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址:www.cciph.com.cn

北京京科印刷有限公司 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 13¹/₄

字数 333 千字 印数 1—6,000

2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷

社内编号 5989 定价 24.00 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

全国煤炭高职高专矿井通风与安全类“十一五”规划教材

编审委员会

主任：幸大学 王永安

副主任：刘殿武 李永怀

秘书长：刘其志

委员（按姓氏笔画为序）：

王永祥 王占元 王延飞 朱云辉

刘子龙 刘其志 刘学鲁 孙玉峰

孙和应 吕智海 任世英 李洪

沈杰 何林 苏寿 张长喜

张钦祥 陈雄 陈光海 姚向荣

高专 常海虎 郭林祥 彭奏平

前 言

随着煤炭工业的快速发展,面临煤矿安全工作的严峻形势,国家启动了煤炭行业技能紧缺型人才培养培训工程,许多煤炭高职院校相继开办了矿井通风与安全专业或相近的煤矿安全类专业。为了培养适应煤矿生产、建设、管理、服务一线需要的,德、智、体、美等全面发展的高技能性人才,保证培养规格和人才质量,迫切需要一套适合高职高专要求和特点的专业规划教材,满足当前各学校教学急需。2006年5月,由中国煤炭教育协会和中国矿业大学(北京)教材编审室共同组织,在北京召开了全国煤炭高等职业教育教材工作会议,根据会议精神,我们编写了高职高专矿井通风与安全专业《矿井瓦斯防治》一书。

本教材内容依据国家有关煤炭行业的法律、法规及规程、标准,紧密结合近年来矿井瓦斯防治方面的生产经验和新技术,紧紧围绕专业培养目标,体现职业性、行业性的特点,理论知识以“必需、够用”为原则,突出矿井瓦斯爆炸及其预防、煤与瓦斯突出及其防治、矿井瓦斯抽放等核心教学内容,选用了大量的工程实例和案例,具有较强的实用性。同时,增设了与瓦斯防治相关的主要实验和课程设计指导内容,便于实践性教学的开展。

本书由王永安、朱云辉任主编,李开学任副主编。具体编写分工如下:山西煤炭职业技术学院王永安编写绪论和第一章,山西煤炭职业技术学院朱国宏编写第二章、第三章、第四章和第八章第一节实验一、实验二,重庆工程职业技术学院李开学编写第五章、第六章、第八章第一节实验二及第二节课程设计一,淮南职业技术学院朱云辉编写第七章和第八章第二节课程设计一。全书由王永安、朱云辉统稿。中国矿业大学(北京)资源与安全学院张江石老师审阅了全书。

在本书编写过程中,借鉴和参考了有关教材、专著、手册等书籍和文献,在此谨向各位作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2007年8月

目 录

绪论	(1)
第一章 煤层瓦斯的赋存与含量	(4)
第一节 矿井瓦斯的概念及性质	(4)
第二节 煤层瓦斯的生成和赋存	(6)
第三节 煤层瓦斯压力及其测定	(12)
第四节 煤层瓦斯含量及其测定	(16)
思考题与习题	(24)
第二章 矿井瓦斯涌出	(25)
第一节 矿井瓦斯涌出量及其影响因素	(25)
第二节 矿井瓦斯等级及其鉴定	(31)
第三节 瓦斯涌出量的预测	(37)
思考题与习题	(42)
第三章 矿井瓦斯爆炸及其预防	(43)
第一节 瓦斯爆炸的过程及危害	(43)
第二节 瓦斯爆炸条件及其影响因素	(45)
第三节 防止瓦斯爆炸及其事故扩大的措施	(49)
第四节 局部瓦斯的积聚和处理	(52)
第五节 瓦斯爆炸事故案例及一般规律分析	(61)
思考题与习题	(67)
第四章 瓦斯浓度检测	(68)
第一节 便携式瓦斯检测仪器	(68)
第二节 瓦斯浓度测定及管理	(74)
思考题与习题	(79)
第五章 瓦斯喷出及其预防	(80)
第一节 瓦斯喷出的分类和规律	(81)
第二节 瓦斯喷出的防治	(82)
思考题与习题	(84)
第六章 煤(岩)与瓦斯突出及其防治	(86)
第一节 煤(岩)与瓦斯突出的规律及分类	(86)
第二节 煤与瓦斯突出机理	(90)
第三节 煤与瓦斯突出预测	(93)
第四节 煤与瓦斯突出的综合防治	(100)
第五节 区域性防突出措施	(103)
第六节 局部性防突出措施	(110)
第七节 安全防护措施	(123)

第八节 岩石与瓦斯突出的防治	(128)
思考题与习题	(131)
第七章 矿井瓦斯抽放	(133)
第一节 瓦斯抽放概况	(133)
第二节 本煤层瓦斯抽放	(137)
第三节 邻近层瓦斯抽放	(143)
第四节 采空区瓦斯抽放	(155)
第五节 综合抽放瓦斯	(160)
第六节 瓦斯抽放设备与设施	(163)
思考题与习题	(178)
第八章 实践教学	(180)
第一节 实验	(180)
实验一 瓦斯爆炸演示实验	(180)
实验二 便携式瓦斯检测仪器的使用和校正	(182)
实验三 WTC 瓦斯突出参数仪的使用	(185)
第二节 课程设计	(195)
课程设计一 煤与瓦斯突出防治设计	(197)
课程设计二 瓦斯抽放设计	(199)
主要参考文献	(203)

绪 论

我国是煤炭生产和消费大国,2005年煤炭产量达到了21.9亿t。多年以来,煤炭一直占到我国一次能源生产和消费结构中的70%左右。根据我国能源中长期发展规划,2020年的煤炭产量将达到30亿t,在能源消费中的比重仍将占到50%以上。因此,在相当长的时期内,煤炭仍将是我国的主要能源。当前,我国经济的快速增长,对煤炭工业发展提出了更高的要求。为此,必须加强安全生产,确保煤炭工业持续、稳定、健康发展。

一、“十五”期间我国煤矿安全工作的主要成就及存在问题

“十五”期间,我国煤矿安全生产逐步得到加强,百万吨死亡率显著下降,安全状况呈现总体稳定、趋于好转的发展态势。据统计,“十五”期间全国煤炭产量增长了近70%,煤矿死亡人数上升2.4%,百万吨死亡率下降39.2%。与2004年相比,2005年的各类伤亡事故减少335起,下降9.2%,百万吨死亡率下降8.8%,达到2.81,减少0.27。这些成绩的取得,大大促进了煤矿的健康、可持续发展,保证了社会的稳定,为“十一五”计划的顺利实施奠定了良好的基础。

然而,在取得成绩的同时,我们也应该清醒地看到,我国煤矿事故多发的状况尚未根本扭转,煤矿安全形势依然严峻,主要表现在以下几方面:

(1) 事故总量过高,损失严重。2003年世界煤矿产量约50亿t,煤矿事故死亡总数约8000人。当年我国的煤矿产量约占全球的35%,但事故死亡人数却占了80%,全员效率虽仅为美国的2.2%、南非的8.1%,百万吨死亡率却是美国的100倍、南非的30倍,与世界先进产煤国家相比差距很大,严重影响了煤炭工业的可持续发展和社会的稳定。

(2) 重特重大事故尚未得到有效遏制。据统计,2005年全年共发生一次死亡10人以上特大事故58起,事故次数和死亡人数比上一年分别上升34.9%和66.6%。特别是2004年10月至2005年,连续发生了6起死亡百人以上重特重大事故,这些重特重大事故的频发,不但造成国家财产和人民生命的巨大损失,而且严重影响了我国的国际声誉。

(3) 小煤矿事故多发。经过连续多年的整顿关闭,到目前为止,我国各类小煤矿还有1.8万处左右,占到全国煤矿总数的85%,占全国煤炭产量的40%左右。但事故平均死亡人数却占到全国煤矿事故死亡人数的70%,事故次数占60%以上,2004年乡镇煤矿百万吨死亡率高达5.87,成为煤矿安全事故的重灾区。

(4) 煤炭行业职业危害严重。据统计,全国煤矿共有职业病患者约60万人,每年新增尘肺病患者约7万人。

我国煤矿安全事故频发有其深层次的原因,是煤炭工业长期负重爬坡、各种矛盾积累的集中反映。既有煤炭赋存和开采条件差,高瓦斯和瓦斯突出矿井多,瓦斯突出机理等许多重大技术难题需要研究等因素,又有采掘抽比例失调、安全技术标准低、产业层次低、生产力水平低、从业人员素质低、煤炭法律政策环境不完善、安全投入严重不足、监管不到位等因素。

正确理解和看待我国煤矿安全生产的现状,将有利于从根本上系统地解决煤矿安全生产问题。

二、我国煤矿瓦斯赋存及灾害事故特点

我国是煤矿瓦斯储量十分丰富的国家,埋深 2 000 m,以浅的煤层瓦斯资源量为 31.46 万亿 m^3 ,到 2004 年底已陆续探明瓦斯储量 1023 亿 m^3 。同时,我国也是瓦斯灾害比较严重的国家,2004 年国有重点煤矿中,共有高瓦斯矿井 152 处,煤与瓦斯突出矿井 154 处,约占国有重点煤矿 49.8%。

井工矿生产过程中的主要自然灾害有:煤与瓦斯突出、冲击地压、瓦斯煤尘爆炸、煤层自然发火、矿井突水、冒顶、热害、尘害、放射性物质等。其中,瓦斯事故在煤矿特别重大事故中所占比重最高。新中国成立以来,全国煤矿共发生一次死亡百人以上的事故 19 起,其中 18 起是瓦斯爆炸、瓦斯煤尘爆炸、煤尘爆炸、煤与瓦斯突出等,事故起数和死亡人数分别占 94.74% 和 96.52%,并且绝大部分事故发生在国有煤矿。2001 年至 2005 年 2 月底,全国煤矿发生一次死亡 30 人以上的事故 28 起。其中,瓦斯事故 24 起,事故起数和死亡人数分别占 85.71% 和 92.2%。因此,搞好瓦斯防治工作是当前乃至今后相当长时间内煤矿安全工作的重中之重。

三、我国煤矿瓦斯防治和利用现状

(一) 瓦斯治理

近几年来,随着国家对煤矿安全生产工作力度的加大,先后安排了多项专项资金支持国有煤矿安全技术改造和瓦斯治理。在国家补贴资金的带动下,煤矿企业安全投入大幅增加。这些资金主要用于“一通三防”系统、设施和装备的更新改造,以及新技术的推广应用。

据 2004 年统计,国有重点煤矿通风能力基本能满足生产要求,初步建立了以钻孔和巷道抽采为主的瓦斯抽放技术体系,国有重点煤矿建有地面瓦斯抽放系统 308 套,井下移动抽放系统 272 套,瓦斯抽放量 18.66 亿 m^3 ,抽放率达 26.5%。安全重点监控企业的高瓦斯、突出矿井全部装备了瓦斯抽放系统,瓦斯抽放量为 16.95 亿 m^3 。

在防治煤与瓦斯突出方面,国有煤矿基本建立了预测预报、预防煤与瓦斯突出措施、效果检验和安全防护的“四位一体”综合防突出体系。近年来,试验研究了区域预测和连续预测技术。

在监测监控方面,国有重点煤矿装备了监测监控系统 552 套,配备瓦斯、设备开停、一氧化碳等传感器 3.5 万多台。安全重点监控企业装备了 392 套安全监测监控系统。其中,高瓦斯和突出矿井全部安装了监测监控系统。

(二) 瓦斯利用

1. 矿井瓦斯利用

我国煤矿瓦斯利用尚处于起步阶段,主要集中在瓦斯抽放量高的国有重点矿区,尤其是 45 户安全重点监控企业,目前以民用和工业燃气为主,部分用于瓦斯发电。2004 年,安全重点监控企业已有居民和工业用户 45 万户,瓦斯发电装机功率 44 000 kW;瓦斯实际利用量 4.1 亿 m^3 ,平均利用率 24.7%。

2. 煤层瓦斯地面钻井抽采利用

我国煤层瓦斯地面钻井抽采利用,仍处于勘探和小范围生产试验阶段,尚未进入规模开发。到 2004 年底,共施工地面煤层瓦斯井 287 口,试验井组 6 个。抽采的瓦斯主要供居民

用气和发电机组发电。

四、今后几年瓦斯治理与利用的主要目标

根据 2005 年 6 月国家通过的《煤矿瓦斯治理与利用总体方案》，煤矿瓦斯治理与利用大体分三个阶段：

第一阶段，初步治理阶段(2005 年~2006 年)，主要目标是控制一次死亡百人以上的特别重大瓦斯事故，瓦斯事故起数和死亡人数在现有基础上下降 1/3，实现煤矿安全状况稳定好转。

第二阶段，基本治理阶段(2007 年~2010 年)，主要目标是有效控制一次死亡 50 人以上的特别重大瓦斯事故，瓦斯事故起数和死亡人数在第一阶段的基础上继续下降 1/3，实现煤矿安全状况明显好转。

第三阶段，根本治理阶段(2011 年~2012 年)，主要目标是有效控制一次死亡 10 人以上的特大瓦斯事故，瓦斯事故起数和死亡人数在第二阶段基础上再下降 1/3，实现煤矿安全状况根本好转。

为了搞好瓦斯治理工作，实现预期目标，必须坚持以人为本，关爱矿工生命，树立“瓦斯事故可以预防和避免”、“瓦斯是资源和清洁能源”的意识，贯彻“安全第一、预防为主”和瓦斯治理“先抽后采、监测监控、以风定产”的方针，完善与主体能源地位相适应的煤炭法律政策体系、煤矿安全技术标准体系，切实加强煤矿瓦斯治理与利用工作，努力建设本质安全型煤矿，才能确保能源供应安全和煤炭工业的可持续发展。

五、《煤矿瓦斯防治》课程的主要任务和要求

煤矿瓦斯防治是煤矿安全工作的重点，也是矿井通风与安全专业的核心教学内容。其主要任务是，使学生牢固掌握煤层瓦斯的赋存和涌出规律，针对瓦斯爆炸和煤与瓦斯突出等瓦斯灾害特点，能采取针对性防治措施，培养学生对瓦斯参数测定、制定安全措施、编制瓦斯抽放和防突设计并组织施工等方面的能力。

随着煤矿生产建设的不断发展，瓦斯防治技术也在不断进步。本教材以培养面向煤矿生产、建设、管理一线的高技能型人才为目标，力求体现先进性、实用性。由于我国煤矿生产条件和规模差异较大，地质条件和瓦斯涌出特点不同，瓦斯防治手段也各不相同，学习内容应根据当地实际有选择地加以侧重，以达到学以致用目的。

第一章 煤层瓦斯的赋存与含量

在煤矿建设和生产过程中,煤层和围岩中的瓦斯气体会涌到生产空间,对井下的安全生产构成威胁。对于不同的煤层、不同的矿井,由于瓦斯赋存状况不同,瓦斯涌出所造成的危险程度也不同。只有了解了瓦斯的基本性质和煤层瓦斯的赋存状况,掌握了瓦斯赋存的主要参数,才能为瓦斯治理提供可靠的基础依据。本章主要介绍瓦斯的概念及性质、煤层瓦斯的生成和赋存、煤层瓦斯压力及其测定、煤层瓦斯含量及其测定等内容。

第一节 矿井瓦斯的概念及性质

一、矿井瓦斯的概念

矿井瓦斯是指矿井内以甲烷为主的有毒有害气体的总称,有时专指甲烷。由此可见,瓦斯指的是一种混合气体,其组分包括井下产生的所有有毒有害气体。

矿井瓦斯的来源主要有四类:一是煤层及围岩内赋存并能涌入到矿井的气体;二是矿井生产过程中生成的气体,如炮烟等;三是井下空气与煤、岩、矿用材料之间的化学或生物化学反应生成的气体;四是放射性物质蜕变过程中生成的气体。

国内外对煤层瓦斯组分的大量实测表明,煤层中的瓦斯有约 20 种组分。表 1-1 是我国部分煤矿煤层瓦斯组分的测定结果。从表中可以看出,煤层中瓦斯的主要成分是甲烷,一般占到煤层瓦斯组分的 80% 以上。

瓦斯组分中的气体成分不同,其性质具有很大的差异。从安全的角度可以将这些组分划分为四类:

(1) 可燃性气体:如甲烷等烷烃类(C_nH_{2n+2})、环烷烃(C_nH_{2n})、 H_2 、 CO 、 H_2S 等,这些气体具有可燃烧的特性,在一定浓度范围内与空气的混合往往具有爆炸性,对煤矿安全构成严重威胁。

(2) 有毒性气体:如 H_2S 、 CO 、 SO_2 、 NH_3 、 NO 、 NO_2 等,这些气体达到一定的浓度时,会直接威胁人体的健康甚至生命。

(3) 窒息性气体:如 N_2 、 CH_4 、 CO_2 、 H_2 等,这些气体往往赋存在煤体或其围岩内,开采过程中大量涌到生产空间,从而使空气中氧气的浓度降低,造成人员窒息。

(4) 放射性气体:如氡气。

以上可以看出,矿井瓦斯成分相当复杂,但各种成分的含量差别极大。在煤矿井下,由煤层及其围岩涌出的甲烷往往占到瓦斯总量的 90% 以上。因此,在述及到矿井瓦斯时,通常是独指甲烷(本书如不特别指明,则瓦斯单独指甲烷)。

二、瓦斯的性质

1. 瓦斯的基本性质

表 1-1 我国部分煤矿煤层瓦斯组分的测定结果

采样地点	煤层	煤质	煤层瓦斯组分(体积)/%												
			N ₂	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	i - C ₄ H ₁₀	n - C ₄ H ₁₀	i - C ₅ H ₁₂	n - C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	C ₇ H ₁₆	C ₈ H ₁₈	
北票台吉矿 - 550 m 水平	4	气煤	7.10	0.39	92.03	0.090 8	0.007 9	0.018 7	0.022 8	0.011 8	0.016 9	0.023 6	0.027 1		
北票台吉矿 - 550 m, 东三石门	5A	气煤	1.42	1.60	73.07	16.18	5.49	0.713 0	0.652 0	0.173 0	0.158 0	0.099 0	0.154 0	0.064	
北票冠山矿 - 58 m 水平	5C	气煤	7.28	0.93	91.57	0.070 4	0.001 8	0.005 2	0.011 2	0.006 0	0.011 2	0.022 3	0.064 8	0.019 4	
铁法大隆矿西翼南二区	7	气煤	12.27	1.08	84.92	1.686 8	0.006 0	0.000 30	0.0005	0.001 9		0.010 8			
鸡西滴道立井二路	18	焦煤	12.85	1.07	85.87	0.045 3	0.004 2	0.000 4	0.012 0				0.159 0		
中梁山北井 2443 采煤工作面	K ₄	焦煤	4.61	3.33	91.35	0.670 8	0.013 5	0.002 0	0.005 7	0.000 6	0.000 3		0.005 2		
天府南井六石门	K ₉	焦煤	5.05	2.95	91.92	0.034 4	0.026 0	0.002 6	0.006 9	0.001 1	0.001 8	0.002 3	0.006 5		
天府南井北段 + 110 m	K ₂	焦煤	2.98	2.64	93.78	0.547 7	0.004 3	0.000 6	0.001 5	0.000 5	0.000 6				
南桐直属二井 2504 采煤工作面	5	瘦煤	2.96	1.97	87.44	6.271 1	1.312 1	0.005 0	0.012 7	0.001 1	0.002 1	0.001 1	0.0281	0.016 6	
沈阳红阳三井 860 孔	7	瘦煤	5.45	5.50	87.58	1.314 2	0.088 8	0.003 1	0.007 6	0.001 2	0.003 6	0.005 3	0.051 7		
沈阳红阳三井 895 孔	13	瘦煤	3.73	2.02	92.79	1.377 7	0.060 7	0.002 5	0.009 0	0.000 3	0.000 7		0.006 2		
阳泉一矿北头嘴井	3	无烟煤	0.93	2.29	96.72	0.050 0	0.003 6	0.002	0.002 0						
松藻 + 430 m, 1356 采煤工作面	K ₃	无烟煤	14.17	0.32	84.84	0.548 5	0.006 0	0.001 3	0.001 3				0.094 9		
白沙红卫垣家冲井	6	无烟煤	9.07	12.14	73.72	4.12	0.034 8	0.002 7	0.010 1	0.001 9	0.004 9	0.006 3	0.014 3		
焦作李封大井	2	无烟煤	9.15	9.14	77.82	2.97	0.020 5	0.000 1		0.000 4	0.001 4	0.002 3	0.033 2		

注: 1. 煤层瓦斯组分是根据空气中氧和氮的比例, 按试样中的含氧量扣除混进的空气量测定的结果;

2. 除沈阳红阳三井煤样为勘探钻孔煤样外, 其他均为井下新暴露面煤样。

瓦斯是一种无色、无味、无嗅、无毒的气体,人的感觉器官无法感知瓦斯的存。标准状态下瓦斯的密度为 0.716 kg/m^3 ,是空气密度的 0.554 倍,在无风或微风的巷道中,涌出的瓦斯往往容易积聚在巷道的顶板上,形成瓦斯层。瓦斯在空气中具有较强的扩散性,扩散速度是空气的 1.43 倍,局部地区较高浓度的瓦斯会自动向低浓度的区域扩散,从而使瓦斯浓度趋于均匀。因此,在风量充足的巷道中,瓦斯的分布通常是均匀的。瓦斯的渗透性也很强,其渗透能力是空气的 1.6 倍,在煤层附近的围岩中掘进巷道时,有时也能从围岩中涌出瓦斯。

瓦斯难溶于水,在 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 0.1013 MPa 时,100 L 水可溶 3.31 L 瓦斯。瓦斯本身虽然无毒,但井下涌出的瓦斯会挤占空气的空间,使井下空气中的氧气浓度下降,从而使空气具有窒息性。当混合气体中瓦斯的浓度达到 43% 时,空气中氧气的浓度降到 12%,人在此环境下会感到呼吸短促;当瓦斯浓度在空气中达到 57% 时,相应的氧气浓度被冲淡到 9%,人即刻处于昏迷状态并有死亡危险。井下空气中瓦斯和氧的浓度关系如图 1-1 所示。

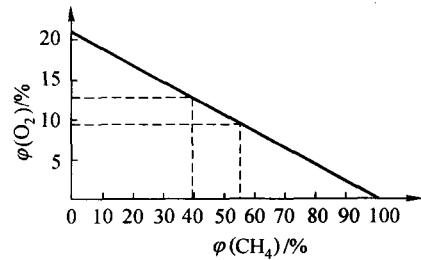


图 1-1 井下空气中瓦斯和氧的浓度关系

2. 瓦斯的燃烧性和爆炸性

瓦斯是一种可燃性气体,当其在空气中的浓度达到某一范围时,遇适当的火源就会发生燃烧或爆炸。当瓦斯浓度在 $0 \sim 5\%$ 时,遇火源发生氧化燃烧反应,在火焰外围形成稳定的燃烧层;瓦斯浓度位于 $5\% \sim 16\%$ 范围内,遇火源会形成强烈的爆炸;瓦斯浓度超过爆炸上限 16% 时,混合气体无法被点燃,但与新鲜空气混合时,可以在混合界面上被点燃,形成稳定的火焰。

对煤矿井下安全威胁最大的是瓦斯爆炸,局部区域瓦斯的瞬间爆炸可以对井下的人员和设施造成很大的伤害和破坏,由此引发的煤尘爆炸、火灾、冒顶及通风系统紊乱等又会使事故进一步扩大,造成更大损失。瓦斯燃烧是煤矿非常危险的事故,瓦斯的瞬间燃烧往往使人来不及躲避,造成人员伤亡,并引发火灾事故。因此,在煤矿建设和生产中,防治瓦斯爆炸和燃烧是防治瓦斯事故的主要环节。

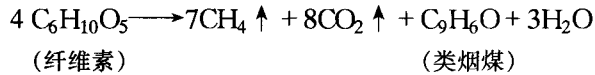
第二节 煤层瓦斯的生成和赋存

一、煤层瓦斯的生成

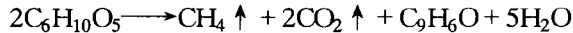
煤层瓦斯是腐植型有机物在成煤的过程中生成的。煤是一种腐植型有机质高度富集的可燃有机岩,是植物遗体经过复杂的生物、地球化学、物理化学作用转化而成。从植物死亡、堆积到转变成煤要经过一系列演变过程,这个过程称为成煤作用。在整个成煤过程中都伴随有烃类、二氧化碳、氢和稀有气体的产生。结合成煤过程,大致可划分为两个成气时期。

1. 生物化学作用成气时期

这是成煤作用的第一阶段,即泥炭化或腐植化阶段。这个时期是从成煤原始有机物堆积在沼泽相和三角洲相环境中开始的,在温度不超过 $65 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下,成煤原始物质经厌氧微生物的分解生成瓦斯。这个过程,一般可以用纤维素的化学反应方程式来表达:



或

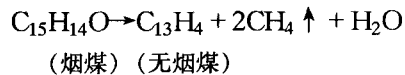
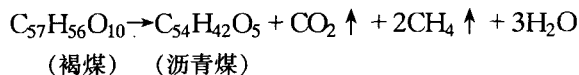
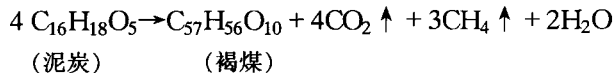


这个阶段生成的泥炭层埋藏较浅,覆盖层的胶结固化程度不够,生成的瓦斯很容易渗透和扩散到大气中去,因此,生化作用生成的瓦斯一般不会保留到现在的煤层内。

2. 煤化变质作用成气时期

这是成煤作用的第二阶段,即泥炭、腐泥在以压力和温度为主的作用下变化为煤的过程。在这个阶段中,随着泥炭层的下沉,上覆盖层越积越厚,压力和温度也随之增高,生物化学作用逐渐减弱直至结束,进入煤化变质作用成气时期。由于埋藏较深且覆盖层已固化,在压力和温度影响下,泥炭进一步变为褐煤,褐煤再变为烟煤和无烟煤。

煤中的有机质基本结构单元是带侧键官能团并含有杂原子的缩合芳香核体系。在煤化作用过程中,芳香核缩合和侧键与官能团脱落分解,同时会伴有大量烃类气体的产生,其中主要的是甲烷。整个煤化作用阶段形成甲烷的示意反应式可由下列方程式表达:



从褐煤到无烟煤,煤的变质程度越高,生成的瓦斯量也越多。表 1-2 为我国一些单位对部分煤进行热模拟实验所得到的不同煤种各阶段的产气量。

表 1-2 我国部分煤热模拟实验煤层气(甲烷)发生率 m³/t

试验单位	变质阶段	未变质煤	低变质煤		中变质煤			高变质煤	
		褐煤	长焰煤	气煤	肥煤	焦煤	瘦煤	贫煤	无烟煤
煤炭科学研究总院地质勘探分院(1987年)	阶段产气量		3~25	10~54	27~102	55~170	108~246	134~333	268~393
	累计产气量	38~68*	41~93	48~122	65~170	93~238	146~314	172~401	306~461
石油开发研究所(1985年)	阶段产气量		4~31	7~58	26~108	48~176	86~230	114~321	168~390
	累计产气量	38~68*	42~99	45~126	64~176	86~244	124~298	152~389	206~458
地质矿产部石油地质研究所(1985年,舒兰褐煤)	阶段产气量								
	累计产气量	0.55	1.06	4.25	24.32	55.9	94.77	127.72	221.13
兰州地质研究所(1986年,乌苏褐煤)	阶段产气量		2.49	22.92	53.04	113.57		183.34	325.23
	累计产气量	1.61	4.10	24.53	54.65	115.18		184.95	326.84

注: * 为引用国外文献数据。

数据表明,尽管各实验单位得出的结果有明显差异,却都反映出成煤过程生成的瓦斯量是很大的,最高可达 $300 \text{ m}^3/\text{t} \sim 400 \text{ m}^3/\text{t}$ 。但从煤矿开采实践过程来看,煤层中的瓦斯含量一般不超过 $20 \text{ m}^3/\text{t} \sim 30 \text{ m}^3/\text{t}$ 。由此看来,在漫长的地质年代中,由于地层的隆起、侵蚀和断裂以及瓦斯在地层内的迁移,一部分或大部分瓦斯已经扩散到大气中,只有少部分瓦斯渗透到煤层围岩内或运移至储气构造中而形成煤成气田。

二、瓦斯在煤体内的赋存状态

1. 煤体内的孔隙特征

1) 煤体内的孔隙分类

煤体之所以能保存一定数量的瓦斯,这与煤体内具有大量的孔隙有密切关系。根据煤的组成及其结构性质,煤中的孔隙可以分为三种:

(1) 宏观孔隙:指可用肉眼分辨的层理、节理、劈理及次生裂隙等形成的孔隙。一般在 0.1 mm 以上。

(2) 显微孔隙:指用光学显微镜和扫描电镜能分辨的孔隙。

(3) 分子孔隙:指煤的分子结构所构成的超微孔隙。一般在 $0.1 \mu\text{m}$ 以下。

根据孔隙对瓦斯吸附、渗透和煤强度性质的影响,一般按直径把孔隙分为以下几种:

(1) 微孔:直径小于 $0.01 \mu\text{m}$,它构成煤的吸附空间。

(2) 小孔:直径为 $0.01 \mu\text{m} \sim 0.1 \mu\text{m}$,是瓦斯凝结和扩散的空间。

(3) 中孔:直径为 $0.1 \mu\text{m} \sim 1 \mu\text{m}$,它构成瓦斯层流渗流的空间。

(4) 大孔:直径为 $1 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$,它构成强烈层流渗透的空间,是结构高度破坏煤的破碎面。

(5) 可见孔和裂隙:大于 $100 \mu\text{m}$,它构成层流及紊流混合渗流空间,是坚固和中等强度煤的破碎面。

2) 煤的孔隙率

煤的孔隙率是指煤中孔隙总体积与煤的总体积之比,通常用百分数表示。即

$$K = \frac{V_p - V_t}{V_p} \times 100 \quad (1-1)$$

式中 K ——煤的孔隙率, %;

V_p ——煤的总体积,包括其中的孔隙体积, mL;

V_t ——煤的实在体积,不包括其中孔隙体积, mL。

煤的孔隙率可以通过实测煤的真密度和视密度来确定,不同单位煤的孔隙率与煤的真密度、视密度存在如下关系:

$$K = \frac{1}{\rho_p} - \frac{1}{\rho_t} \quad (1-2)$$

$$K_1 = \frac{\rho_t - \rho_p}{\rho_t} \quad (1-3)$$

式中 K, K_1 ——单位质量和单位体积煤的孔隙率, $\text{m}^3/\text{t}, \text{m}^3/\text{m}^3$ (或 %);

ρ_p ——煤的视密度,即包括孔隙在内的煤密度, t/m^3 ;

ρ_t ——煤的真密度,即扣除孔隙后煤的密度, t/m^3 。

煤的视密度 ρ_p 和煤的真密度 ρ_t 可在实验室内测得。真密度与视密度的差值越大,煤的

孔隙率也越大。

国内外对煤孔隙率的测定结果表明,煤的孔隙率与煤的变质程度有一定关系。表 1-3 列出了俄罗斯顿巴斯矿区不同变质程度煤的孔隙率,表 1-4 是我国部分矿井煤的孔隙率。图 1-2 是我国煤炭科学研究总院抚顺分院对不同变质程度煤孔隙率的测定结果。

表 1-3 各种种类煤的孔隙率

煤的种类	孔隙率/(m ³ /t)		煤的种类	孔隙率/(m ³ /t)	
	变化范围	平均值		变化范围	平均值
长焰煤	0.073~0.091	0.084	瘦煤	0.028~0.065	0.045
气煤	0.028~0.080	0.053	贫煤	0.034~0.084	0.055
肥煤	0.026~0.078	0.051	半无烟煤	0.041~0.094	0.065
焦煤	0.021~0.068	0.045	无烟煤	0.055~0.136	0.088

表 1-4 我国矿井煤的孔隙率表

矿井	煤的挥发分/%	孔隙率/%
抚顺老虎台	45.76	14.05
鹤岗大陆	31.86	10.6
开滦马家沟 12 号煤	26.8	6.59
本溪田师傅 3 号煤	13.71	6.7
阳泉三矿 3 号煤	6.66	14.1
焦作王封大煤	5.82	18.5

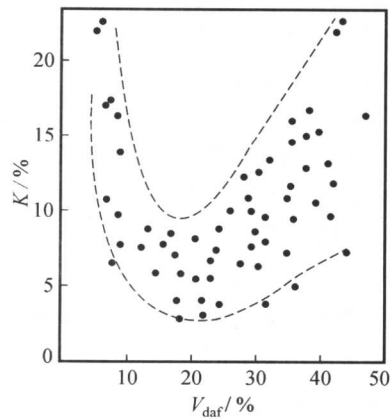


图 1-2 煤的孔隙率随煤可燃基挥发分含量的变化

从以上图表可以看出,不同的煤种孔隙率有很大不同,即使是同一类煤种,孔隙率的变化范围也很大,但总的趋势是中等变质程度的煤孔隙率最小,变质程度变小和变大时,孔隙率都会增大。

2. 瓦斯在煤体内的赋存状态

瓦斯在煤体中呈两种状态存在,即游离状态和吸附状态。

1) 游离状态

游离状态也叫自由状态,存在于煤的孔隙和裂隙中,如图 1-3 所示。这种状态的瓦斯以自由气体存在,呈现出的压力服从自由气体定律。游离瓦斯量的大小主要取决于煤的孔隙率。在相同的瓦斯压力下,煤的孔隙率越大,则所含游离瓦斯量也越大。在储存空间一定时,其量的大小与瓦斯压力成正比,与瓦斯温度成反比。

2) 吸附状态

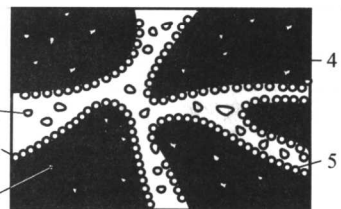


图 1-3 瓦斯在煤内的存在状态示意图

1—游离瓦斯;2—吸附瓦斯;
3—吸收瓦斯;4—煤体;5—孔隙

这种状态的瓦斯主要吸附在煤的微孔表面上(吸着瓦斯)和煤的微粒结构内部(吸收瓦斯)。吸着状态是在孔隙表面的固体分子引力作用下,瓦斯分子被紧密地吸附于孔隙表面上,形成很薄的吸附层;而吸收状态是瓦斯分子充填到极其微小的微孔孔隙内,占据着煤分子结构的空位和煤分子之间的空间,如同气体溶解于液体中的状态。吸附瓦斯量的大小,取决于煤的孔隙结构特点、瓦斯压力、煤的温度和湿度等。一般规律是:煤中的微孔越多、瓦斯压力越大,吸附瓦斯量越大;随着煤的温度增加,煤的吸附能力下降;煤的水分占据微孔的部分表面积,故煤的湿度越大,吸附瓦斯量越小。

煤体中的瓦斯含量是一定的,但处于游离状态和吸附状态的瓦斯量是可以相互转化的,这取决于外界的温度和压力等条件变化。如当压力升高或温度降低时,部分瓦斯将由游离状态转化为吸附状态,这种现象叫做吸附;相反,如果压力降低或温度升高时,又会有部分瓦斯由吸附状态转化为游离状态,这种现象叫做解吸。吸附和解吸是两个互逆过程,这两个过程在原始应力下处于一种动态平衡,当原始应力发生变化时,这种动平衡状态将被破坏。

根据国内外研究成果,现今开采的深度内,煤层中的瓦斯主要是以吸附状态存在着,游离状态的瓦斯只占总量的10%左右。但在断层、大的裂隙、孔洞和砂岩内,瓦斯则主要以游离状态赋存。随着煤层被开采,煤层顶底板附近的煤岩产生裂隙,导致透气性增加,瓦斯压力随之下降,煤体中的吸附瓦斯解吸而成为游离瓦斯,在瓦斯压力失去平衡的情况下,大量游离瓦斯就会通过各种通道涌入采掘空间,因此,随着采掘工作的进展,瓦斯涌出的范围会不断扩大,瓦斯将保持较长时间持续涌出。

三、煤层瓦斯赋存的垂直分带

当煤层露头或在冲击层下有含煤地层时,在煤层内存在两个不同方向的气体运移,即煤层中经煤化作用生成的瓦斯经煤层、上覆岩层和断层等由深部向地表运移;地面的空气、表土中的生物化学作用生成的气体向煤层深部渗透和扩散。这两种反向运移的结果,形成了煤层中各种气体成分由浅到深有规律地变化,呈现出沿赋存深度方向上的带状分布。煤层瓦斯的带状分布是煤层瓦斯含量及巷道瓦斯涌出量预测的基础,也是搞好瓦斯管理的重要依据。

1. 瓦斯风化带及其深度的确定依据

根据前苏联矿业研究院对井下煤层瓦斯组分和含量的大量测定,将煤层瓦斯赋存按深度自上而下划分为4个带:氮气—二氧化碳带、氮气带、氮气—甲烷带和甲烷带。各带的煤层瓦斯组分和含量见表1-5。

表 1-5 煤层瓦斯垂直分带瓦斯组分及含量表

瓦斯带名称	CO ₂		N ₂		CH ₄	
	/%	/(m ³ /t)	/%	/(m ³ /t)	/%	/(m ³ /t)
氮气—二氧化碳	20~80	0.19~2.24	20~80	0.15~1.42	0~10	0~0.16
氮 气	0~20	0~0.27	80~100	0.22~1.86	0~20	0~0.22
氮气—甲烷	0~20	0~0.39	20~80	0.25~1.78	20~80	0.06~5.27
甲 烷	0~10	0~0.37	0~20	0~1.93	80~100	0.61~10.5

图1-4是俄罗斯顿巴斯煤田煤层瓦斯组分在各瓦斯带中的变化图。由图中可见,甲烷带中的甲烷含量都在80%以上,而其他各带甲烷含量逐渐减少或消失。因此,把前面的氮气—二氧化碳带、氮气带、氮气—甲烷带统称为瓦斯风化带。