

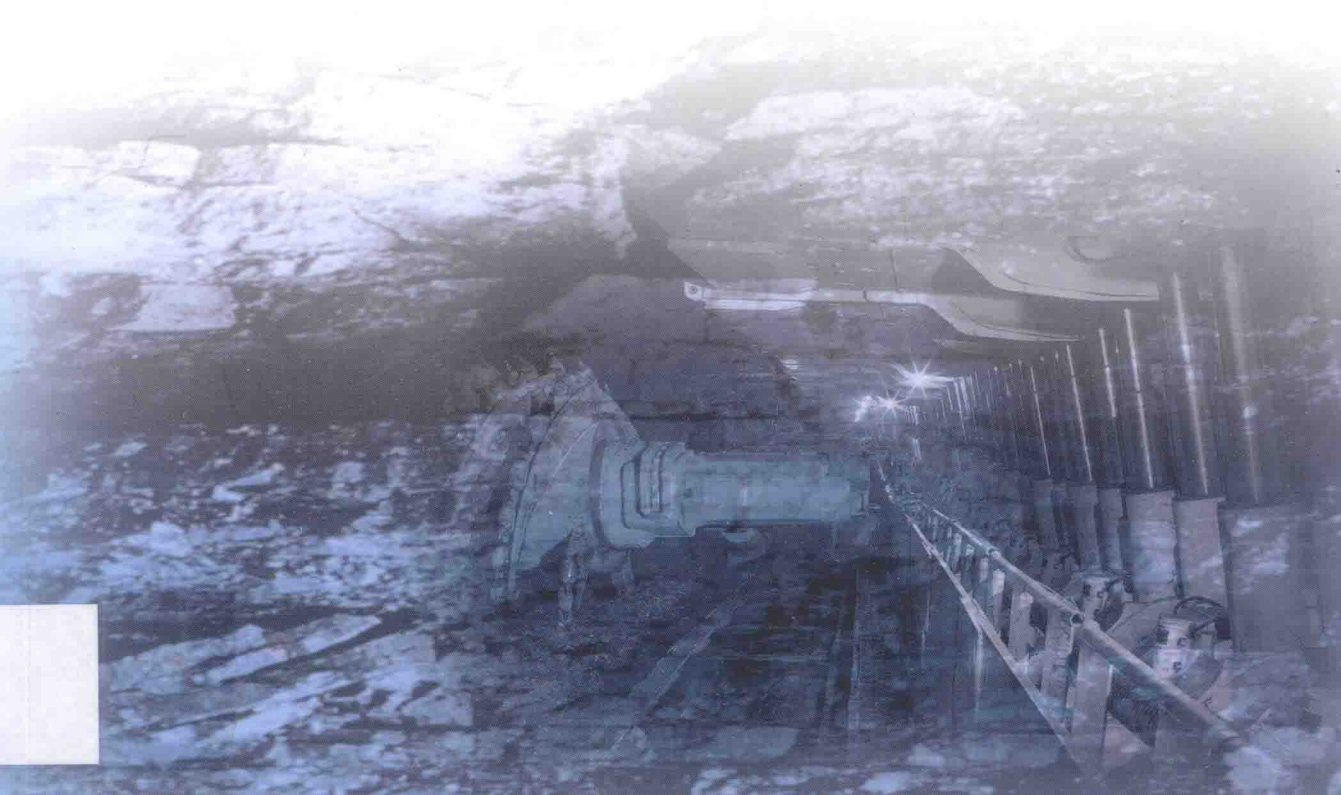
高等教育“十二五”规划教材

矿井灾害防治

Kuangjing Zaihai Fangzhi

邢玉忠 张俭让 主编

中国矿业大学出版社



高等教育“十二五”规划教材

矿井灾害防治

主 编 邢玉忠 张俭让

副主编 刘 健

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书是采矿工程、安全工程专业“矿井灾害防治”(或“矿山安全学”)课程的“十二五”规划教材,与《矿井通风学》配套使用。全书共十章。第一章矿井瓦斯爆炸及其防治,介绍了煤层瓦斯的赋存、涌出和瓦斯爆炸及相关标准规范;第二章瓦斯喷出、煤与瓦斯突出及其防治,介绍了煤(岩)与瓦斯突出规律及分类、煤(岩)与瓦斯突出的预测、预防措施及相关标准规范;第三章矿井瓦斯抽采,介绍了煤层中瓦斯的运移规律及本煤层、邻近层、采空区瓦斯抽采方法;第四章煤层瓦斯参数测定,介绍了煤层瓦斯压力、瓦斯含量、煤层透气性、钻孔瓦斯流量、煤的坚固性系数、瓦斯放散指数的测定方法;第五章矿井火灾,介绍了煤炭自燃理论、外因火灾的预防、矿井火灾处理与控制;第六章煤炭自燃的防治,介绍了煤炭自燃的预测预报方法及预防性灌浆、阻化剂、均压、惰气、凝胶等防灭火方法;第七章矿尘及其防治,介绍了矿尘的性质、尘肺病、煤尘爆炸、综合防尘与矿尘的检测等内容;第八章矿井水害防治,介绍了地面防治水、井下防治水、矿井突水及其处理等内容;第九章矿山救护,介绍了矿山救护队、矿工自救、现场急救等内容;第十章煤矿事故预防与处理,介绍了矿井灾害预防与处理计划、煤矿事故应急救援、煤矿事故的分类、报告与调查处理。

本书适合煤炭高等院校采矿工程、安全工程及相关专业作为教材使用,也可供从事煤炭工业科研、设计、管理及工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

矿井灾害防治/邢玉忠,张俭让主编. —徐州:

中国矿业大学出版社, 2014. 5

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2324 - 1

I. ①矿… II. ①邢… ②张… III. ①煤矿—灾害防治—高等学校—教材 IV. ①TD7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 086195 号

书 名 矿井灾害防治

主 编 邢玉忠 张俭让

责任编辑 王美柱

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 24 字数 599 千字

版次印次 2014年5月第1版 2014年5月第1次印刷

定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



前 言

本书是全国煤炭高等学校采矿工程、安全工程专业“矿井灾害防治”或“矿山安全学”课程的高等教育“十二五”规划教材,与《矿井通风学》、《采矿学》配套使用。本书编写的指导思想是:以矿井灾害的防治理论与防治技术为基础,吸收煤矿安全最新科研成果、最新标准规范、最新技术政策,以提高学生的专业素养和工程实践能力为目标,注重理论与实践相结合,注重理论技术在工程中的应用,注重标准、规范、规程、规定在工程技术中的应用,既适应本科采矿工程、安全工程专业教学需要,又适应现场工程技术与管理需要,为提高我国采矿与安全专业工程技术与工程管理人员的矿井安全知识与安全技术水平作出应有的贡献。

全书共分十章,内容涵盖了矿井瓦斯、矿井火灾、矿尘、矿井水灾、矿山救护与事故的预防处理等五个方面。教材内容力求深入浅出,以传授基础理论和基本知识为主,并适当增加了应用技术、标准、规范,以求理论与实践相结合。

本书由邢玉忠、张俭让担任主编,刘健担任副主编。具体编写分工为:第一章(矿井瓦斯爆炸及其防治)由西安科技大学张俭让编写;第二章(瓦斯喷出、煤与瓦斯突出及其防治)与第四章(煤层瓦斯参数测定)由安徽理工大学刘健编写;第三章(矿井瓦斯抽采)由湖南科技大学罗文柯编写;第五章(矿井火灾)由西安科技大学吴奉亮编写;第六章(煤炭自燃的防治)由太原理工大学邢玉忠编写;第七章(矿尘及其防治)由太原理工大学李国瑞编写;第八章(矿井水害防治)由太原理工大学胡耀青编写;第九章(矿山救护)由太原理工大学刘赫男编写;第十章(煤矿事故预防与处理)由西安科技大学董丁稳编写。

改革开放 30 多年来,我国的矿山安全理论和技术得到迅速发展,矿井灾害防治教材亦有较多版本,各有特色。本次编写过程中吸收了以前诸教材的优点,参阅了国内外近年来发表的科技文献与国家标准、规程、规范。为此特向文献作者们表示感谢。

由于编者水平所限,加之时间紧迫,错误和不妥之处在所难免,恳请读者不吝赐教。

作 者

2014 年 3 月

| | |
|----------------------------------|-----|
| 第一章 矿井瓦斯爆炸及其防治 | 1 |
| 第一节 概述 | 1 |
| 第二节 煤层瓦斯赋存 | 3 |
| 第三节 矿井瓦斯涌出 | 6 |
| 第四节 瓦斯爆炸及其预防 | 11 |
| 第五节 相关标准规范简介 | 24 |
| 复习思考题 | 37 |
| 第二章 瓦斯喷出、煤与瓦斯突出及其防治 | 39 |
| 第一节 瓦斯喷出及其预防 | 39 |
| 第二节 煤(岩)与瓦斯突出规律及分类 | 44 |
| 第三节 煤(岩)与瓦斯突出的预测 | 51 |
| 第四节 区域性防突措施 | 61 |
| 第五节 岩巷揭煤防突措施 | 69 |
| 第六节 采掘工作面防突措施 | 74 |
| 第七节 突出矿井的安全防护措施 | 78 |
| 第八节 相关标准规范简介 | 82 |
| 复习思考题 | 88 |
| 第三章 矿井瓦斯抽采 | 89 |
| 第一节 瓦斯抽采概述 | 89 |
| 第二节 煤层瓦斯运移规律 | 93 |
| 第三节 本煤层瓦斯抽采 | 98 |
| 第四节 邻近层瓦斯抽采 | 107 |
| 第五节 采空区瓦斯抽采 | 120 |
| 第六节 相关标准规范简介 | 129 |
| 复习思考题 | 152 |
| 第四章 煤层瓦斯参数测定 | 153 |
| 第一节 煤层瓦斯压力测定 | 153 |
| 第二节 瓦斯含量测定 | 158 |
| 第三节 煤层透气性测定 | 163 |
| 第四节 钻孔瓦斯涌出初速度测定 | 166 |

| | |
|--------------------|-----|
| 第五节 煤的坚固性系数测定 | 169 |
| 第六节 瓦斯放散指数测定 | 171 |
| 复习思考题 | 175 |
| 第五章 矿井火灾 | 176 |
| 第一节 概述 | 176 |
| 第二节 外因火灾及其预防 | 177 |
| 第三节 煤炭自燃的理论基础 | 182 |
| 第四节 矿井火灾时期通风 | 187 |
| 第五节 矿井火灾处理与控制 | 191 |
| 第六节 火区管理与启封 | 197 |
| 复习思考题 | 203 |
| 第六章 煤炭自燃的防治 | 204 |
| 第一节 煤炭自燃的预测预报 | 204 |
| 第二节 开采技术措施 | 212 |
| 第三节 预防性灌浆防灭火 | 214 |
| 第四节 阻化剂防火 | 219 |
| 第五节 均压防灭火 | 223 |
| 第六节 惰气防灭火 | 233 |
| 第七节 凝胶防灭火 | 241 |
| 第八节 相关标准规范简介 | 244 |
| 复习思考题 | 261 |
| 第七章 矿尘及其防治 | 262 |
| 第一节 矿尘及其性质 | 262 |
| 第二节 矿山尘肺病 | 267 |
| 第三节 煤尘爆炸及预防 | 270 |
| 第四节 矿井综合防尘 | 280 |
| 第五节 矿尘的检测 | 297 |
| 复习思考题 | 301 |
| 第八章 矿井水害防治 | 303 |
| 第一节 概述 | 303 |
| 第二节 地面水防治 | 308 |
| 第三节 井下水防治 | 310 |
| 第四节 矿井突水及其处理 | 318 |
| 复习思考题 | 325 |

| | |
|---------------------|-----|
| 第九章 矿山救护 | 326 |
| 第一节 矿山救护队 | 326 |
| 第二节 矿工自救 | 342 |
| 第三节 现场急救 | 350 |
| 第四节 相关规程规范简介 | 354 |
| 复习思考题 | 354 |
| 第十章 煤矿事故预防与处理 | 355 |
| 第一节 矿井灾害预防和处理计划 | 355 |
| 第二节 煤矿事故应急救援 | 357 |
| 第三节 煤矿事故的分类、报告与调查处理 | 363 |
| 复习思考题 | 371 |
| 参考文献 | 373 |

第一章 矿井瓦斯爆炸及其防治

第一节 概 述

瓦斯这一煤炭开采过程中的伴生物,早在 15 世纪就开始为人们所认识。我国明代宋应星 1637 年撰著的《天工开物》中记载,在煤炭开采时,煤层中存在一种能使人窒息和可燃爆的气体,并提出了利用竹管引排的方法。16 世纪,英国和其他西欧国家在采煤时,也遇到了“有害的”气体,但并未引起重视。18 世纪初期,英国有的深井开始发生瓦斯爆炸。1839 年,美国煤矿也发生瓦斯爆炸。此后,随着瓦斯爆炸次数的增多,人们才逐渐重视并开始研究爆炸的原因及应采取的防范措施。而有关瓦斯生成及来源的问题,直到 20 世纪 40 年代才逐步受到重视并开始研究。当今,矿井瓦斯爆炸及其防治的理论研究、实验研究以及数值模拟研究不断深入并取得了新的进展。

一、矿井瓦斯的概念及性质

1. 矿井瓦斯的定义

瓦斯是在煤矿生产过程中形成的一个概念。

广义的矿井瓦斯是指煤矿在生产和建设过程中从煤层、岩层、采空区放出的各种有害气体的总称。矿井瓦斯成分很复杂,主要成分是甲烷(CH_4 , 俗称沼气),其次是二氧化碳(CO_2)和氮气(N_2),另外还有少量的氢气(H_2)、一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO_2)、硫化氢(H_2S)和重烃类气体(C_2H_6 、 C_4H_{10} 、 C_5H_{12})等。

狭义的矿井瓦斯就是指甲烷(CH_4)。因为甲烷在煤矿井下各种有害气体中所占的比重最大,可达 80% 甚至 90% 以上,同时,甲烷对煤矿的危害也最严重。通常所说的矿井瓦斯以及煤矿术语中的瓦斯习惯上都是指甲烷。

2. 瓦斯(甲烷)的性质

① 瓦斯是一种无色、无味、无嗅的气体。该特性决定了不能依靠人的感觉来判断瓦斯,瓦斯浓度的检测必须借助于仪器、仪表。

② 瓦斯密度较小,具有较强的上浮力。在温度为 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 、大气压力为 $101\ 325\ \text{Pa}$ 的标准状态下,瓦斯的密度为 $0.716\ \text{kg}/\text{m}^3$,是空气密度的 0.554 倍。因此,瓦斯容易在巷道上部、顶板冒落的空洞等处积聚。

③ 瓦斯微溶于水。在 $10\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $0.1\ \text{MPa}$ 的条件下, $1\ \text{m}^3$ 水可以溶解 $0.042\ \text{m}^3$ 的瓦斯。

④ 瓦斯的扩散性和渗透性都很强。瓦斯的扩散速度是空气的 1.34 倍,因此,从煤岩中涌出的瓦斯会很快扩散到巷道空间。瓦斯的渗透能力是空气的 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。

⑤ 瓦斯本身无毒,但具有窒息性。空气中的瓦斯浓度增高时,氧气浓度就要相对降低,

会因缺氧而使人窒息。当瓦斯浓度为 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;当瓦斯浓度达到 57% 时,相应的氧气浓度降到 9%,人即刻处于昏迷状态,并有死亡危险。井下通风不良的盲巷,往往积存大量瓦斯,如果未经检查贸然进入,就可能因缺氧而很快昏迷、窒息,甚至死亡。

⑥ 瓦斯具有燃烧性和爆炸性。当瓦斯和空气混合达到一定浓度时,遇到高温火源时能够燃烧或爆炸。

⑦ 瓦斯是一种温室气体,同比产生的温室效应是二氧化碳的 20 倍,在全球气候变暖中的份额为 15%,仅次于二氧化碳。我国是煤炭生产和消费大国,煤炭开采每年向大气排放瓦斯量约占世界采煤排放瓦斯总量的 1/3,瓦斯对大气的严重污染已引起关注。

二、矿井瓦斯的危害

瓦斯是煤矿井下主要危险源,严重威胁煤矿安全生产。矿井瓦斯的主要危害有瓦斯爆炸、煤与瓦斯突出、瓦斯喷出、瓦斯窒息。

瓦斯灾害为煤矿主要灾害之首。瓦斯爆炸、煤与瓦斯突出是当今煤矿灾害之最。一旦发生瓦斯爆炸,不仅会造成大量人员伤亡,摧毁井下设备和设施,有时还会引起煤尘爆炸或矿井火灾,导致灾害扩大。煤与瓦斯突出发生后,能摧毁井巷设施,破坏通风系统,造成人员窒息,甚至引起矿井火灾和瓦斯爆炸等二次事故。瓦斯喷出属于瓦斯的一种特殊涌出形式,喷出瓦斯在时间上的突然性和空间上的集中性,可造成人员窒息、引发爆炸,还能产生动力效应并导致破坏作用。瓦斯虽无毒,但具有窒息性,煤矿井下常因人员进入通风不良的盲巷而发生窒息伤亡。

瓦斯是煤矿安全生产的大敌,预防和控制瓦斯灾害的发生对煤炭工业健康持续发展具有重要意义。

三、矿井瓦斯的利用

瓦斯虽然会对人类产生危害及灾难,但同时又是一种可利用的资源。

瓦斯是优质洁净能源。瓦斯的燃烧热为 37 MJ/m^3 ,相当于 $1 \sim 1.5 \text{ kg}$ 烟煤燃烧产生的热量。瓦斯燃烧后所产生的污染大体上只有石油的 1/40、煤炭的 1/800。瓦斯可以用作居民家庭燃料、工业发电和汽车动力燃料等;瓦斯还是重要的化工原料,可以用来生产甲醛、炭黑等一系列重要化工产品。

我国的瓦斯资源丰富,对煤矿瓦斯进行抽采并加以利用,既可大量减少瓦斯事故的发生,又能减少对环境的污染,同时为社会提供优质洁净能源和重要的化工原料,因此瓦斯的利用具有巨大的经济效益,可谓一举多得。

陕西煤业化工集团彬长矿业公司所属的大佛寺煤矿在瓦斯治理和利用中,通过地面煤层瓦斯预抽及压缩利用、井下瓦斯抽采及低浓度瓦斯发电和矿井回风瓦斯(乏风)综合利用,实现了瓦斯零排放,走出了一条煤矿绿色开采和循环经济发展之路。大佛寺煤矿建成的装机容量全国最大的低浓度瓦斯发电厂,每年消耗瓦斯约 2 400 多万 m^3 ,年供电能力 8 000 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$,年减排二氧化碳 37.8 万 t。该项目是陕西省首家被国家发改委确定的 CDM(清洁发展机制)项目。为了有效利用矿井风排瓦斯,减排温室气体,大佛寺煤矿建成我国首座矿井回风瓦斯(乏风)发电厂,该电厂年可供电 3 000 多万 $\text{kW} \cdot \text{h}$,回收利用瓦斯 3 000 多万立

方,减排二氧化碳约 41 万 t。

第二节 煤层瓦斯赋存

一、矿井瓦斯的生成

矿井瓦斯是成煤过程中的一种伴生产物。在成煤过程中,瓦斯的生成大致经历了两个阶段:从植物遗体到形成泥炭的生物化学作用阶段;从褐煤、烟煤到无烟煤的煤化变质阶段。

1. 生物化学作用阶段

古代植物遗体在沉积形成泥炭的生物化学作用过程中,有机物在隔绝外部氧气进入和温度不超过 65℃ 的条件下,被厌氧微生物分解为瓦斯和二氧化碳。成煤初期的泥炭化过程发生于地表附近,上覆盖层不厚且透气性较好,生成的气体容易扩散到大气中去。因此,生物化学作用阶段生成的瓦斯,一般不会保留在煤层内。

2. 煤化变质作用阶段

随着泥炭层的下降及其上覆盖层厚度的增加,压力和温度随之增高,生物化学活动逐渐弱化直至停止。在高温、高压的作用下,泥炭转化为褐煤而进入煤化变质阶段。随着褐煤层的进一步沉降,压力与温度的影响随之加剧,煤化变质作用增强,褐煤逐渐转变成烟煤、无烟煤。在整个煤化变质过程中,煤的挥发分逐渐减少,固定碳逐渐增加,同时伴随着大量瓦斯生成,且煤的变质程度越高,生成的瓦斯量越多。在漫长的地质年代中,由于地质构造的形成和变化,瓦斯在其压力差和浓度差的驱动下发生运移,导致不同煤田甚至同一煤田不同区域的煤层瓦斯含量差别可能很大。

二、瓦斯在煤体内的赋存状态

煤体能够保存瓦斯,主要与煤的结构有关。

煤是一种复杂的多孔性固体,有着十分发达的、大小不同的孔隙和裂隙,具有巨大的自由空间和孔隙内表面积(煤体孔隙的内表面积,每克煤可达 150~200 m²)。因此,成煤过程中生成的瓦斯就能以不同的状态存在于这些孔隙和裂隙中。

瓦斯通常以游离和吸附两种状态存在于煤体之中,如图 1-1 所示。

1. 游离状态

游离状态也称自由状态,是指瓦斯以完全自由的气体状态存在于煤体的孔隙和裂隙中,对应的这一部分瓦斯称为游离瓦斯。游离瓦斯可以自由运动,表现出一定的压力,并遵循一般的气体定律。游离瓦斯量取决于煤体孔隙和裂隙的大小以及瓦斯压力等因素。

2. 吸附状态

吸附状态也称结合状态,按结合形式的不同又可分为吸着和吸收两种状态。

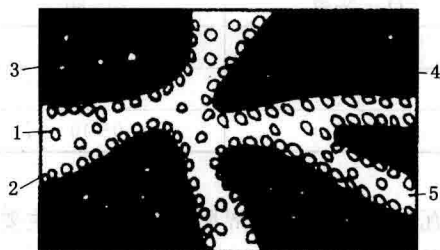


图 1-1 瓦斯在煤体内的赋存状态

1——游离瓦斯;2——吸着瓦斯;3——吸收瓦斯;
4——煤体;5——孔隙

(1) 吸着状态

由于气体(瓦斯)分子与固体(煤)分子间的引力作用,瓦斯分子被吸着在煤体孔隙的内表面上,形成一层很薄的膜状附着层。

(2) 吸收状态

瓦斯分子进入煤体胶粒结构与煤分子结合,类似于气体溶解于液体的现象。

吸附瓦斯量的多少,取决于煤对瓦斯的吸附能力,即煤的结构特点、孔隙率、煤化程度等,同时与外界压力、温度也有很大关系。

煤体中瓦斯的赋存状态不是固定不变的,而是处于不断交换的动态平衡状态,当条件发生变化时,这一平衡就会被打破。当压力降低、温度升高或煤体结构遭到破坏时,部分吸附状态的瓦斯就会转化为游离状态,这种现象称为解吸;反之,当压力增大或温度降低时,部分游离状态的瓦斯也会转化为吸附状态,这种现象叫吸附。

在现今矿井开采深度下,煤层中的瓦斯主要以吸附状态存在,吸附瓦斯量占 80%~90%,游离瓦斯量只占 10%~20%。但在断层、大的裂隙、孔洞和砂岩内,主要为游离瓦斯。

三、煤层瓦斯垂直分带

经过漫长的地质年代,浅部煤层内的瓦斯在其自身压力和浓度差的驱动下,逐渐运移到地表;同时,地面大气也向煤层渗透和扩散。由此形成煤层中各种气体成分由浅到深有规律的变化,使煤层内的瓦斯呈现出垂直分带特征。一般将煤层由露头自上而下分为四个带:二氧化碳—氮气(CO₂—N₂)带、氮气(N₂)带、氮气—瓦斯(N₂—CH₄)带和瓦斯(CH₄)带,其中,前三个带统称为瓦斯风化带。煤层瓦斯垂直分带各带气体成分见表 1-1。

表 1-1 煤层瓦斯垂直分带各带气体成分

| 名称 | 气体成分/% | | |
|-----------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | CO ₂ | N ₂ | CH ₄ |
| CO ₂ —N ₂ 带 | 20~80 | 20~80 | 0~10 |
| N ₂ 带 | 0~20 | 80~100 | 0~20 |
| N ₂ —CH ₄ 带 | 0~20 | 20~80 | 20~80 |
| CH ₄ 带 | 0~10 | 0~20 | 80~100 |

瓦斯风化带下部界限的确定依据主要是瓦斯成分。矿井缺乏瓦斯成分资料时,也可以采用其他一些指标来确定。

根据下列指标中的任何一项可以确定瓦斯风化带下部界限:

- ① 煤层内甲烷及重烃的浓度之和占气体组分的 80%(按体积);
- ② 煤层内的瓦斯压力为 0.1~0.15 MPa;
- ③ 煤层的相对瓦斯涌出量为 2~3 m³/t;
- ④ 煤层的瓦斯含量达到下列数值:长焰煤 1.0~1.5 m³/t,气煤 1.5~2.0 m³/t,肥煤、焦煤 2.0~2.5 m³/t,瘦煤 2.5~3.0 m³/t,贫煤 3.0~4.0 m³/t,无烟煤 5.0~7.0 m³/t。

瓦斯风化带的深度取决于煤层地质条件和赋存情况,如围岩性质、煤层有无露头、断层发育情况、煤层倾角、地下水活动情况等。围岩透气性越大、煤层倾角越大、开放性断层越发

育、地下水活动越剧烈,则瓦斯风化带下部边界就越深。有露头煤层的瓦斯风化带往往比无露头煤层的瓦斯风化带深。

我国各煤田瓦斯风化带的深度差异很大。开滦矿区各矿瓦斯风化带的平均深度可达471 m;原湖南白沙矿务局红卫、马田矿瓦斯风化带深度不到100 m;我国北方一些矿区瓦斯风化带深度一般为200~300 m。

在瓦斯风化带开采煤层时,相对瓦斯涌出量一般不超过 $2\text{ m}^3/\text{t}$,瓦斯对生产不构成主要威胁。我国大部分瓦斯矿井皆是在瓦斯风化带内进行生产的。需要说明的是,有的位于瓦斯风化带内的矿井或区域,二氧化碳或氮气的含量却很高,如果通风不良或管理不善,也有可能造成人员窒息事故。如1980年,江苏某矿在瓦斯风化带内掘进带式输送机巷道时,曾先后两次发生人员窒息事故,经分析是煤层中高含量氮气涌入巷道内造成的。

瓦斯风化带以下的瓦斯带,是大多数矿井进行采掘活动的主要区域。在瓦斯带内,煤层的瓦斯含量、瓦斯压力以及瓦斯涌出量都随深度的增加而有规律地增大,不少矿井还出现了瓦斯喷出、煤与瓦斯突出等特殊涌出现象。因此,掌握开采煤田煤层瓦斯垂直分带的特征,确定瓦斯风化带的深度,是搞好矿井瓦斯涌出量预测和日常瓦斯管理工作的基础。

四、煤层瓦斯含量及其影响因素

1. 瓦斯含量

瓦斯含量是指在自然条件下单位质量或体积的煤层或岩层所含有的瓦斯量,其单位一般采用 m^3/t 或 m^3/m^3 。瓦斯含量包括游离瓦斯含量和吸附瓦斯含量两部分。

煤层未经采动影响的瓦斯含量称为原始瓦斯含量;煤层受采动影响已经排放部分瓦斯,则剩余在煤层中的瓦斯量称为残存瓦斯量。煤层的围岩中有时也有一定数量的瓦斯,称为岩层瓦斯含量。

根据理论分析,在从植物遗体到无烟煤的变质过程中,每吨煤至少可生成 100 m^3 以上的瓦斯,而在现今的天然煤层中,最大的瓦斯含量不超过 $50\text{ m}^3/\text{t}$ 。一方面是由于煤层本身储存瓦斯的能力所限;另一方面因为瓦斯是以压力气体存在于煤层中的,经过漫长的地质年代放散了大部分,留存的仅为成煤过程生成瓦斯量的 $1/10\sim 1/5$ 或更少。

2. 影响瓦斯含量的因素

煤层瓦斯含量的大小取决于成煤过程中生成的瓦斯量和保存瓦斯的条件,主要有以下五个方面的影响因素。

(1) 煤的变质程度

一般说来,煤的变质程度越高,生成的瓦斯量就越大;而且煤的变质程度越高,煤化过程中挥发性物质由孔隙中排出,所增加的煤的有效面积越大,其孔隙率也越高,煤吸附瓦斯的能力和储存的瓦斯量就越大。因此,变质程度较高的煤,其瓦斯含量要比变质程度较低的煤的瓦斯含量大。

(2) 煤层赋存条件

① 煤层有无露头。煤层如果有露头,因为煤层中存在大量的裂隙,瓦斯能沿煤层流动而逸散到大气中,瓦斯含量就会减少。如果煤层没有通达地表的露头,瓦斯难以逸散,瓦斯含量就较大。

② 煤层倾角。煤层倾角小,瓦斯沿煤层运移路线长,阻力大,煤层瓦斯不容易流失,导

致煤层瓦斯含量增高;反之,煤层瓦斯含量低。

③ 煤层埋藏深度。煤层埋藏越深,煤层中的瓦斯向地表运移的距离就越长,散失就越困难。同时,煤层埋藏深度增加也使煤层在地应力作用下降低了透气性,有利于瓦斯的保存。随着煤层埋藏深度的增加,煤层瓦斯含量呈线性增加。

(3) 围岩的透气性

围岩性质对煤层瓦斯含量影响很大。如果围岩为致密完整的低透气性岩层,如泥岩、完整的石灰岩,煤层中的瓦斯就难以运移而容易被保存下来,瓦斯含量就较高;反之,围岩由中粗砂岩、砾岩或裂隙溶洞发育的石灰岩组成,则煤层瓦斯含量就小。

(4) 地质构造

地质构造是影响煤层瓦斯含量的重要因素。实践证明,地质构造对煤层瓦斯的保存具有封闭和释放两重性。同一煤层不同区域瓦斯含量不均衡往往是地质构造因素造成的结果。

① 断裂构造。断层对煤层瓦斯含量的影响,一方面要看断层的封闭性,另一方面要看与煤层接触的对盘岩层的透气性。开放性断层有利于瓦斯的散放而使煤层瓦斯含量降低;封闭性断层,煤层对盘岩层透气性差,不利于瓦斯的排放,煤层瓦斯含量则较高。

② 背斜构造。当煤层顶板是致密岩层而又未遭到破坏时,背斜轴部地点的瓦斯容易积聚和保存,形成瓦斯含量较高的“气顶”。当背斜轴部的煤岩层因张力作用而形成有连通地表的裂隙时,背斜轴部的瓦斯就会流失,瓦斯含量就会降低。

③ 向斜构造。向斜轴部的瓦斯容易通过构造裂隙和透气性较好的煤层转移而减少。如果向斜轴部顶板岩层受到的挤压应力比底板岩层强烈,使顶板岩层和两翼煤层透气性变小,瓦斯就能储存于向斜轴部。

④ 其他构造。局部煤层突然变厚而形成的大型“煤包”、由两条封闭断层与致密围岩圈闭而形成的“地垒”或“地堑”等构造,瓦斯难以扩散或排放,煤层瓦斯含量较其他地点要高。

(5) 水文地质条件

地下水活跃的地区,通常煤层瓦斯含量较小。地下水对瓦斯含量的降低作用表现在三个方面:一是长期的地下水活动,能带走部分被溶解的瓦斯;二是地下水的渗透通道也可成为瓦斯的渗透通道;三是地下水能溶蚀并带走围岩中的可溶性矿物质,增加了煤系地层的透气性,导致煤层瓦斯的流失。

第三节 矿井瓦斯涌出

一、矿井瓦斯涌出形式

煤层中的瓦斯向采掘空间的运动可分为流动和涌出两个过程。瓦斯在煤层内的运动称为流动;瓦斯从煤层暴露的自由面向采掘空间释放过程称为涌出。

根据瓦斯涌出特性不同,矿井瓦斯涌出可分为普通涌出和特殊涌出两种形式。

瓦斯的普通涌出是指受采动影响的煤岩层以及采落的煤、矸石向井下空间均匀地放出瓦斯的現象。涌出的首先是游离瓦斯,而后是部分解吸的吸附瓦斯。普通涌出是矿井瓦斯涌出的主要形式,其特点是涌出范围广、时间长、速度缓慢、累积总量大。

瓦斯的特殊涌出是指时间上突然、空间上集中的大量瓦斯涌出,有时还伴有煤粉、煤块或岩块的大量抛出。瓦斯的特殊涌出又分为瓦斯喷出和煤与瓦斯突出两种形式,具体内容将在第二章中介绍。

二、矿井瓦斯涌出量及矿井瓦斯等级

1. 矿井瓦斯涌出量

矿井瓦斯涌出量是指矿井生产过程中涌向采掘空间的瓦斯量,一般情况下,是对普通涌出的瓦斯而言。矿井瓦斯涌出量的表示方法有两种,即绝对瓦斯涌出量和相对瓦斯涌出量。

(1) 绝对瓦斯涌出量 指矿井或某一开采区域在单位时间内所涌出的瓦斯量,单位为 m^3/min 或 m^3/d 。可用下式计算:

$$Q_g = Q \cdot C \quad (1-1)$$

式中 Q_g ——矿井或某一开采区域绝对瓦斯涌出量, m^3/min ;

Q ——矿井总回风量,或水平、一翼、采区、工作面回风量, m^3/min ;

C ——回风流中的平均瓦斯浓度, %。

(2) 相对瓦斯涌出量 指矿井在正常生产条件下,平均日产 1 t 煤所涌出的瓦斯量,单位为 m^3/t 。可用下式计算:

指矿井在正常生产条件下,平均日产 1 t 煤所涌出的瓦斯量,单位为 m^3/t 。可用下式计算:

$$q_g = Q_g / A_d \quad (1-2)$$

式中 q_g ——相对瓦斯涌出量, m^3/t ;

Q_g ——绝对瓦斯涌出量, m^3/d ;

A_d ——平均日产量, t/d。

相对瓦斯涌出量的单位虽然与煤层瓦斯含量的单位相同,但两者的物理含义是不同的,其数值也是不相等的。

2. 矿井瓦斯等级

《煤矿安全规程》第一百三十三条规定:一个矿井中只要有一个煤(岩)层中发现瓦斯,该矿井即为瓦斯矿井。瓦斯矿井必须依照矿井瓦斯等级进行管理。

根据矿井相对瓦斯涌出量、矿井绝对瓦斯涌出量和瓦斯涌出形式,矿井瓦斯等级划分为:

① 瓦斯矿井:矿井相对瓦斯涌出量小于或等于 $10 \text{ m}^3/\text{t}$ 且矿井绝对瓦斯涌出量小于或等于 $40 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

② 高瓦斯矿井:矿井相对瓦斯涌出量大于 $10 \text{ m}^3/\text{t}$ 或矿井绝对瓦斯涌出量大于 $40 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

③ 煤(岩)与瓦斯(二氧化碳)突出矿井。

对矿井进行瓦斯等级的划分,目的是为了按等级进行管理,采取相应的瓦斯管理制度和防范措施,确保矿井安全生产。

矿井瓦斯等级鉴定是矿井瓦斯防治工作的基础。《煤矿安全规程》规定:“每年必须对矿井进行瓦斯等级和二氧化碳涌出量的鉴定工作,报省(自治区、直辖市)负责煤炭行业管理的部门审批,并报省级煤矿安全监察机构备案。”

我国安全生产行业标准《矿井瓦斯等级鉴定规范》(AQ 1025—2006)规定了矿井瓦斯等级鉴定的一般要求、鉴定方法和鉴定报告的内容与格式等,具体内容见本章第五节。

三、影响矿井瓦斯涌出量的因素

矿井瓦斯涌出量受自然因素和开采技术因素的综合影响。

1. 自然因素

(1) 煤层和围岩的瓦斯含量

煤层和围岩的瓦斯含量是影响瓦斯涌出量的最重要因素,含量越高,涌出量也越大。对单一的薄煤层和中厚煤层进行开采时,瓦斯主要来自煤层暴露面和采落的煤炭。开采煤层附近存在瓦斯含量大的夹层、煤层或岩层时,由于采动影响,邻近层中的瓦斯就会沿着开采所形成的裂隙涌向开采煤层的采掘空间,使矿井瓦斯涌出量增加。

(2) 地面大气压的变化

地面大气压力变化,必然引起井下空气压力的变化。根据测定,地面大气压力在1年内的变化量可达 $(5\sim 8)\times 10^{-3}$ MPa,1天内的最大变化量可达 $(2\sim 4)\times 10^{-3}$ MPa,但与煤层瓦斯压力相比,地面大气压的变化量是很微小的。

地面大气压的变化对煤层暴露面的瓦斯涌出量没有太大影响,但对采空区瓦斯涌出有较大的影响。在生产规模较大、采空区瓦斯涌出量占很大比重的矿井,当气压突然下降时,采空区积存的瓦斯会更多地涌入风流中,使矿井瓦斯涌出量增大;当气压变大时,矿井瓦斯涌出量会明显减小。有资料表明,1910~1960年间美国有一半的瓦斯爆炸事故发生在大气压力急剧下降时。

2. 开采技术因素

(1) 开采规模

开采规模是指矿井的开采深度、开拓与开采的范围以及矿井产量。开采深度越大,煤层瓦斯含量越高,矿井瓦斯涌出量就越大;开拓与开采范围越广,煤、岩的暴露面就越大,矿井瓦斯涌出量也就越大;在其他条件相同时,产量高的矿井瓦斯涌出量大。

(2) 开采顺序

厚煤层分层开采时,首采分层瓦斯涌出量最大,这是由于受采动影响,其他分层的瓦斯会沿裂隙渗入所采工作面。

如果一个矿井有多个煤层,则首先开采的煤层瓦斯涌出量大,原因是第一层煤开采时,邻近层的瓦斯会涌入开采层。

(3) 采煤方法与顶板管理

机械化采煤时煤体破碎严重,有利于游离瓦斯的释放和吸附瓦斯的解吸,瓦斯涌出量较大。采空区丢煤多、回采率低的采煤方法,瓦斯涌出量较大。采用全部垮落法管理顶板时,能造成顶板更大范围的破坏和卸压,其瓦斯涌出量比采用充填法管理顶板时要大。

(4) 生产工序

无论采用何种采煤方法,煤层内的瓦斯大都是从煤体的暴露面和采落的煤炭中开始涌向采掘空间的,并且其涌出量随着时间的延长而逐渐下降。因此,生产过程的各工序中,落煤时的瓦斯涌出量最高。

(5) 通风压力

采用负压通风(抽出式通风)的矿井,有利于煤体内的瓦斯释放,负压越高,瓦斯涌出量越大;采用正压通风(压入式通风)的矿井,不利于煤体内的瓦斯释放,风压越高,瓦斯涌出量越小,这主要是风压抵消了部分瓦斯涌出压力的结果。

(6) 采空区管理

采空区内往往积存着大量高浓度的瓦斯(可达60%~70%),如果未能及时封闭采空区或采空区封闭质量差,或采空区进、回风侧的通风压差较大,就会造成采空区瓦斯向外涌出,使矿井瓦斯涌出量增大。

总之,影响矿井瓦斯涌出量的因素是多方面的,煤层赋存状态和矿井生产条件不同,各个因素的影响程度也不尽相同。因此,对一个矿井而言,应确定影响瓦斯涌出量的主要因素,才能采取针对性的控制和防治措施。

四、矿井瓦斯涌出来源分析与分源治理

查明矿井瓦斯来源及所占比重与数量,是风量分配和有效治理瓦斯的基础。

一般将全矿(或翼、水平)的瓦斯来源分为回采区、掘进区和已采区三部分。其测定方法是同时测定全矿井的、各回采区的和各掘进区的绝对瓦斯涌出量,以全矿井的绝对瓦斯涌出量为百分之百,各回采区绝对瓦斯涌出量之和与矿井绝对瓦斯涌出量的比值即为回采区涌出量的百分比。同理,计算出掘进区的百分比,剩余的就是已采区的瓦斯涌出量的百分比。测定回采区或掘进区的瓦斯涌出量时,应分别在各区进、回风流中测瓦斯浓度和通过的风量,回风和进风绝对瓦斯涌出量的差值即为该区的绝对瓦斯涌出量。测定可以结合矿井瓦斯等级鉴定同时进行,也可根据一段时间内的瓦斯和风量测量报表进行统计分类。

为了掌握瓦斯涌出动态,还可根据不同的目的,采用不同的瓦斯来源分类。例如,为了提供瓦斯抽采设计的资料,有必要对一个采区、煤层或工作面按煤层暴露面、采落的煤炭、围岩或工作面邻近空间和采空区瓦斯进行测定。又如按回采和掘进的不同工序进行瓦斯测定,就能对采掘工作面瓦斯涌出随工序和时间变化规律有所了解。

分源治理瓦斯就是根据瓦斯来源特征,有针对性地采取相应治理措施进行重点控制与管理。

五、瓦斯涌出不均衡系数

正常生产过程中,矿井绝对瓦斯涌出量受各种因素的影响其数值是经常变化的,但在一段时间内只在一个平均值上下波动,峰值与平均值的比值称为瓦斯涌出不均衡系数。

矿井瓦斯涌出不均衡系数表示为:

$$k_g = Q_{\max}/Q_a \quad (1-3)$$

式中 k_g ——给定时间内瓦斯涌出不均衡系数;

Q_{\max} ——给定时间内的最大瓦斯涌出量, m^3/min ;

Q_a ——给定时间内的平均瓦斯涌出量, m^3/min 。

确定瓦斯涌出不均衡系数的方法是:根据需要,在待确定区域(工作面、采区、翼或全矿)的进、回风流中连续测定一段时间(一个生产循环、一个工作班、一天、一月或一年)的风量和瓦斯浓度,一般以测定结果中的最大一次瓦斯涌出量和各次测定的算术平均值代入式(1-3),即为区域在该时间间隔内的瓦斯涌出不均衡系数。

通常,工作面的瓦斯涌出不均衡系数总是大于采区的,采区大于一翼的,一翼大于全矿井的。进行风量计算时,应根据具体情况选用恰当的瓦斯涌出不均衡系数。

总之,任何矿井的瓦斯涌出在时间上与空间上都是不均匀的,在生产过程中要根据不同煤层、不同区域采取不同的措施,使瓦斯涌出比较均匀和稳定。

六、瓦斯涌出量预测

对于新建、改扩建矿井或生产矿井的新水平、新采区,往往要预测其瓦斯涌出量的大小,以便作为生产设计和通风瓦斯管理的依据。

由于影响矿井瓦斯涌出量的因素较多且很复杂,要想做到十分准确预测,几乎是不可能的。几十年来,国内外各主要采煤国家投入了大量的人力、物力进行技术攻关,研究了适应不同矿井开采条件下的矿井瓦斯涌出量预测方法与技术。目前,预测矿井瓦斯涌出量的方法很多,但主要可分为两大类:一是统计法,二是计算法。这两类方法预测的瓦斯涌出量均为近似值,其中计算法的误差往往更大一些。

1. 矿山统计法

矿山统计法是国内外长期以来普遍采用的矿井瓦斯涌出量预测方法。该方法的基本原理是:根据矿井已采区域历年测定的相对瓦斯涌出量及相应的开采深度,采用数理统计方法建立两者之间的线性或非线性回归方程,并经过统计检验,确认回归方程有意义后,用于对深部(或条件相同矿井)未采区域的瓦斯涌出量作出预测。

2. 分源计算法

分源计算法是应用较为广泛的矿井瓦斯涌出量预测方法。一个矿井瓦斯涌出量的大小,取决于瓦斯源的数量及其涌出瓦斯量的多少。通常,构成矿井瓦斯涌出总量的直接瓦斯源按地点来分有开采层、邻近层、掘进巷道、采空区及围岩等。分源计算法的实质是:以煤层瓦斯含量、煤层地质与开采技术条件为基础,根据瓦斯源的瓦斯涌出规律,分别计算出采煤工作面、掘进工作面、生产采区和矿井瓦斯涌出量。

3. 其他预测方法

(1) 类比法

瓦斯生成、赋存和排放条件是受地质构造因素控制的。在未开发的井田、未受采动影响处于自然状态的煤层,瓦斯含量的分布规律与地质构造条件有密切关系,而矿井瓦斯涌出量的大小,一方面受控于地质因素,另一方面受开采方法的影响很大。因此,在一个煤田或一个矿区范围内,在地质条件相同或相似的情况下,矿井瓦斯涌出量与钻孔的煤层瓦斯含量之间存在一个自然比值。

对于新建矿井,在地质勘探期间已经提供了钻孔瓦斯含量的基础数据,而矿井瓦斯涌出量是未知数,若要求得该参数,可以通过邻近矿井瓦斯涌出量资料和钻孔煤层瓦斯含量资料的统计,求得一个比值。然后,将该比值与新建矿井已知的钻孔煤层瓦斯含量相乘,即可得到新建矿井的瓦斯涌出量。

(2) 瓦斯地质数学预测法

该方法通过研究瓦斯地质规律,分析瓦斯涌出量的变化规律,筛选影响瓦斯涌出量变化的主要地质因素;在此基础上,根据矿井已采区域瓦斯涌出量的实测资料和相关的地质资料,综合考虑包括开采深度在内的多种影响因素,采用一定的数学方法,建立预测瓦斯涌出