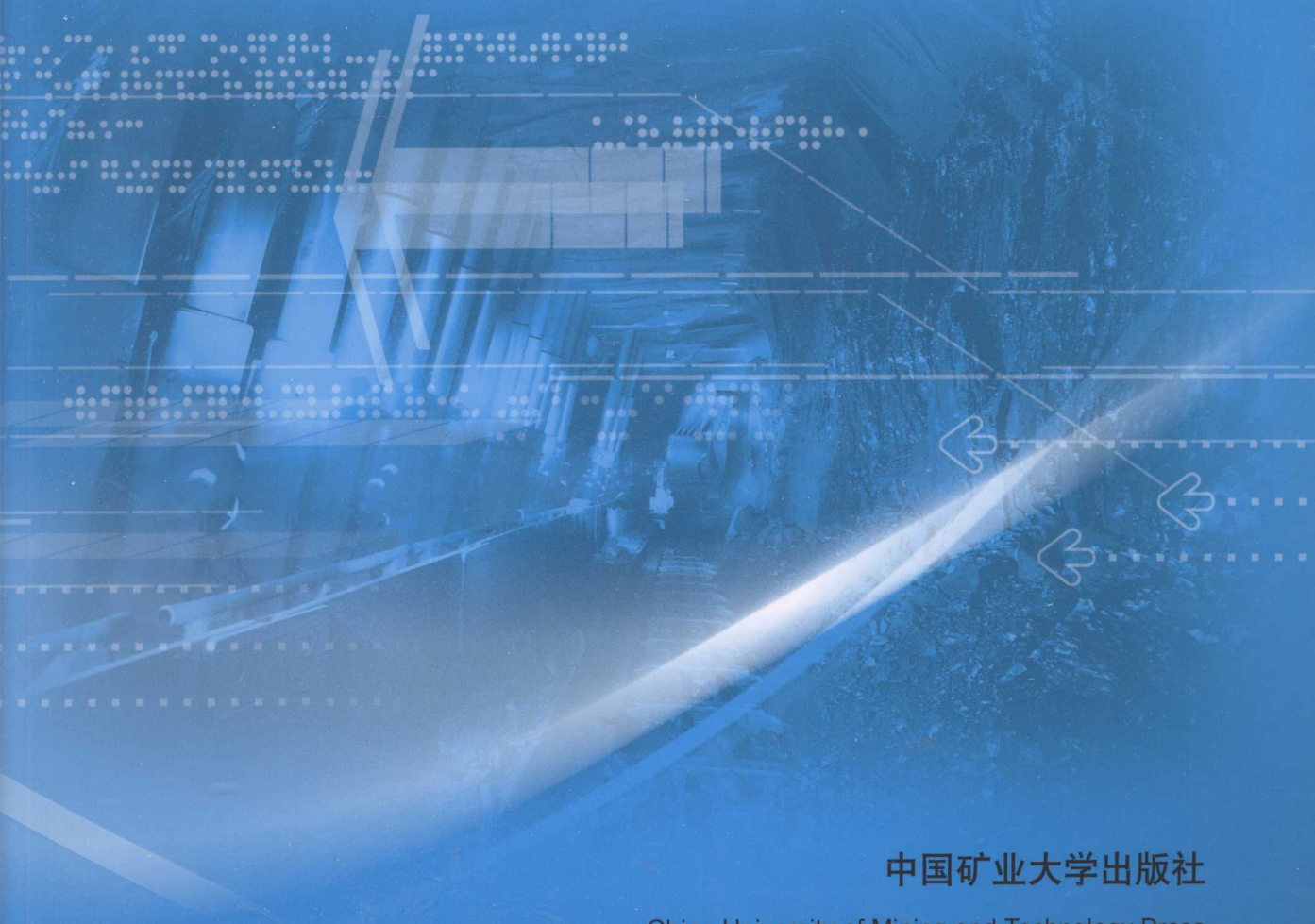


教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材

矿井瓦斯防治与利用

主编 孙和应 周贵全

Kuangjing Wasi Fangzhi Yu Liyong



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材

矿井瓦斯防治与利用

主 编 孙和应 周贵全
副主编 王正荣 常松岭

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是教育部高等学校高职高专安全专业类规划教材之一。全书共七章,内容包括:瓦斯地质基础、煤层瓦斯的测定、矿井瓦斯爆炸预防与检测技术、煤(岩)层瓦斯喷出防治、煤与瓦斯突出防治技术措施、矿井瓦斯抽放与管理以及矿井瓦斯的综合利用。

本书主要作为煤炭类高等职业教育“安全技术管理”专业主干课程教材,以及其他相关专业的通用教材,也可供煤矿企业管理人员、工程技术人员和安全技术培训等参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

矿井瓦斯防治与利用/孙和应,周贵全主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2009.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0463 - 9

I. 矿… II. ①孙…②周… III. ①煤矿—瓦斯爆炸—防治—高等学校:技术学校—教材②瓦斯—利用—高等学校:技术学校—教材 IV. TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 156409 号

书 名 矿井瓦斯防治与利用
主 编 孙和应 周贵全
责任编辑 孙建波 章毅
责任校对 杜锦芝
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 19 字数 471 千字
版次印次 2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷
定 价 28.50 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

序

目前,我国各行各业的经济建设正在蓬勃发展,为国家和社会“培养有道德、有技能和有持续发展能力的高素质技能型人才”已经成为我国各高职高专院校培养人才和发展的努力方向。

为更好地适应整个社会对高职高专安全类专业人才的需求,满足高职高专院校“安全技术管理”及其相关安全工程专业的人才培养需要,高职高专安全类专业教学指导委员会于2008年4月在徐州召开了有关高职高专安全类专业教材编写会议,聘请来自全国30多所高职高专院校安全类专业的专家、学者参与教材编写,计划出版一套全国高职高专安全类专业院校较为适用的全国统编教材,以促进全国高职高专安全类专业院校的健康发展和教学水平的全面提高。

安全专业是一门知识面宽、涉及专业广、跨多学科的系统工程,各院校对此专业的基础课、专业基础课和专业课的设置均有自己的特色和办学经验。在尊重各院校办学的基础上,决定对所设的主要课程“安全管理”、“安全系统工程”、“安全人机工程”、“事故管理与应急处置”、“矿井通风与安全”、“安全管理文书写作”和“瓦斯防治与开采技术”等10多门课程的教材进行统一编写,以进一步提高教学水平,增强高职高专安全类专业学生的实际工作(竞争)能力。

在教材编写过程中,以重实践、重能力和重应用作为本套教材编写的宗旨。体现职业教育的理念、特点和要求,突出行业特点,突显理论联系实际和培养实际动手能力为主的职业教育特色;在不同章节体系上考虑不同教学方法的特点和要求,引用最新的典型事例;在知识结构上以传统与现代相结合,保持知识结构的稳定性、代表性、前沿性和前瞻性;将安全生产方针和法规融入到具体知识内容之中。增加具有职业教育特点的实训内容,并增加有关能力与素质培养的训练题。

本套教材有别于理论课程的教学设计和教学组织,强调学习过程和方法,从学生素质、兴趣和发展的角度出发,全面构建课程知识与技能,过程与方法等方面的协调一致。课程的学习应当是学生自主学习为主,教师引导为辅,把“过程和方法”的培养作为课程教学目标之一,将学习重心从知识的传承积累向知识的探究积累过程转化。

本套教材是目前高职高专安全类专业较为系统和实用的专用系列教材,可满足当前安全类高职高专院校的教学需要,可大大提高安全类高职高专院校的教学水平,为规范教学创造了条件。

教育部高等学校高职高专安全专业类教学指导委员会

2008年8月8日

前 言

矿井瓦斯是煤矿生产中最为严重的自然灾害之一,一旦发生瓦斯爆炸,不仅造成人员伤亡和财产损失,而且还会严重摧毁矿井设施、中断生产。有时还能引起煤尘爆炸、矿井火灾、井巷垮塌和顶板冒落等二次灾害事故,加重矿井灾害的后果,使生产难以在短期内恢复。因而,防治矿井瓦斯是煤矿安全生产的首要任务。研究与掌握矿井瓦斯的防治技术,对保障煤矿安全生产有着现实的重要意义。

《矿井瓦斯防治与利用》是根据《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》提出的“高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分,培养拥护党的基本路线,适应生产、建设、管理、服务第一线的,德、智、体、美等方面发展的高素质技术应用性专门人才”的要求,以及教育部高等学校高职高专安全类专业教学指导委员会教材编写的要求,而编写的实用性教材。整个教材在内容上力求通俗易懂,紧密联系基于职业岗位工作过程的任务,系统地介绍煤层瓦斯参数测定、瓦斯地质图编绘、矿井瓦斯检测与技术管理、瓦斯喷出和煤与瓦斯突出的防治、矿井瓦斯抽放与管理以及瓦斯的综合利用等内容。

本书由孙和应、周贵全担任主编,王正荣、常松岭为副主编。云南能源职业技术学院王正荣编写第一章、平顶山工业职业技术学院常松岭编写第二章和第五章、平顶山工业职业技术学院孙和应编写第三章和第四章、阳泉职业技术学院周贵全编写第六章、吕梁高等专科学校贺全智编写第七章。并通过校企合作的“专业建设指导委员会”及煤矿企业专家论证评审,推荐出版作为安全管理专业的课程教材。

本教材编写过程中,吸收和借鉴了同类教材和书籍的精华,在此谨向各位原作者表示衷心感谢。

由于编者能力有限,书中若有错误和不妥之处,恳请有关专家和广大读者批评指正。

编者

2009年6月

目 录

第一章 瓦斯地质基础	1
第一节 矿井瓦斯及瓦斯地质工作.....	1
第二节 瓦斯地质图	26
第二章 煤层瓦斯的测定	34
第一节 煤层瓦斯含量的测定	34
第二节 煤层瓦斯压力预测	42
第三节 矿井瓦斯涌出预测	48
第四节 矿井瓦斯等级鉴定	62
思考与练习	67
第三章 矿井瓦斯爆炸预防与检测技术	68
第一节 预防矿井瓦斯爆炸措施	68
第二节 矿井瓦斯检测与监测监控	91
思考与练习.....	103
第四章 煤(岩)层瓦斯喷出的防治	104
第一节 煤(岩)层瓦斯喷出及其规律.....	104
第二节 防止煤(岩)层瓦斯喷出技术措施.....	106
思考与练习	110
第五章 煤与瓦斯突出防治技术措施	111
第一节 煤与瓦斯突出防治概述.....	111
第二节 煤与瓦斯突出的危险性预测.....	128
第三节 煤与瓦斯突出预防技术措施.....	145
第四节 煤与瓦斯突出防治措施效果检验.....	171
第五节 安全防护措施.....	174
第六节 防突技术措施的编写.....	181
第七节 煤与瓦斯突出案例分析.....	182
思考与练习	185

第六章 矿井瓦斯抽放与管理	186
第一节 矿井瓦斯抽放概论.....	186
第二节 矿井瓦斯抽放方法.....	188
第三节 矿井瓦斯抽放设备及检测装置.....	207
第四节 矿井瓦斯抽放设计与施工.....	221
第五节 矿井瓦斯抽放管理.....	266
实验实训一 煤层透气性系数的测定与计算.....	277
实验实训二 煤的坚固性系数测定.....	279
实验实训三 煤的瓦斯放散指数 Δp 的测定.....	280
实验实训四 钻屑量及瓦斯解吸指标的测定.....	281
实验实训五 钻孔排放瓦斯有效半径的测定.....	281
实验实训六 采煤工作面瓦斯抽放课程设计.....	283
思考与练习.....	285
第七章 矿井瓦斯的综合利用	287
第一节 概述.....	287
第二节 矿井瓦斯的民用工程.....	288
第三节 瓦斯发电.....	290
第四节 瓦斯汽车.....	292
第五节 矿井瓦斯利用展望.....	293
参考文献	294

第一章 瓦斯地质基础

第一节 矿井瓦斯及瓦斯地质工作

一、矿井瓦斯

(一) 矿井瓦斯及性质

1. 矿井瓦斯、煤成气、煤系气、煤层气的概念

矿井瓦斯是指矿井中主要由煤层气构成的以甲烷(CH_4)为主的有害气体。它包括在采掘过程中从煤层和围岩中释放出来的气体;井下空气与煤、矿物、围岩、支架和其他材料之间发生化学反应、生物化学反应所形成的各种气体;矿井生产过程中生成的气体(如爆破时产生的炮烟,内燃机运行时排放的废气,充电过程中生成的氢气等)。此外还有放射性物质蜕变过程中生成的或地下水放出的放射性惰性气体氡(Rn)及惰性气体氦(He)。

地壳中的天然气可分为油成气、煤成气和它成气三大类,其中煤成气和油成气是天然气的主要类型。

煤成气是指煤系地层中的有机物在成煤过程中形成的天然气的总和。它大部分逸散到空气或围岩中,只有大约3%~24%残存在煤层中,另有大约1%~15%储集在围岩的砂岩和石灰岩中。煤成气可分为煤系气和煤层气两大类型。

(1) 煤系气。是指气源来自煤系地层的天然气,一般均经过较大规模的运移。

(2) 煤层气。残存在煤层中的煤成气称为煤层气,它是赋存在煤层中的基本上未经运移的天然气体,其化学成分以甲烷(CH_4)为主,也含有数量不等的其他烃类和杂质气体。

煤系气和煤层气都可分为两大部分,即留存在生气母岩(煤系或煤层)中,基本上未经运移的那部分煤成气,称为煤中气;从生气母岩运移出去的那部分煤成气,称为煤出气。

煤出气又可分为两部分,即已经分散的失去工业价值的煤出气,称为煤散气,它占煤出气的大部分;储集在围岩的砂岩和石灰岩中,聚集在一起形成煤气田,可供开采利用的煤出气,称为煤聚气,它占煤出气的小部分。

据估计,目前全球探明天然气储量中,煤成气类占到了60%~70%左右。

矿井瓦斯和煤层气是分属采矿和地质两个学科的专业术语,其所指基本是一个含义。但是严格地说,煤层气与矿井瓦斯的含义是有所不同的。矿井瓦斯是指矿井井下除大气以外的所有有害气体,既可来源于煤层本身及顶底板围岩,又包含矿井生产过程中产生的各种废气,还有矿井下各种化学反应生成的气体,也可能存在深源无机气和地下水释放气。由煤成气的概念可知狭义的矿井瓦斯是煤中气(煤系煤中气和煤层煤中气)释放到煤矿采掘空间的各种气体的总称。

2. 矿井瓦斯的性质

矿井瓦斯是一种多成分混合气体,包括 CH_4 、 N_2 、 CO_2 、 C_2H_6 、 SO_2 、 H_2S 、 CO 等。其中

甲烷(CH_4)占绝大多数,可达80%~90%以上(一般狭义的矿井瓦斯即指甲烷);其次为氮气(N_2)和二氧化碳(CO_2),一般占1%~20%左右;烷烃及其化合物,包括乙烷(C_2H_6)、丙烷(C_3H_8)、丁烷(C_4H_{10})、戊烷(C_5H_{12})等,含量很少,一般在1%以下;氦(He)、氖(Ne)、氩(Ar)、氪(Kr)、氙(Xe)、氡(Rn)等稀有气体,含量甚微。

(1) 甲烷(CH_4)。甲烷俗称沼气,为无色、无味、无臭、无毒、略带酸味,可燃和可爆的气体,但不助燃。标准状态下(气温为 $0\text{ }^\circ\text{C}$,大气压为 $1.01\times 10^5\text{ Pa}$), 1 m^3 甲烷(CH_4)的质量为 0.7168 kg ,而 1 m^3 空气的质量为 1.293 kg ,为空气密度的 0.554 倍,比空气轻,故聚积在巷道上部。它易于扩散,渗透岩体的能力为空气的 1.6 倍。甲烷的化学性质不活泼,微溶于水,在 101.3 kPa 条件下,当温度为 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 100 L 水可溶 3.31 L 甲烷, $0\text{ }^\circ\text{C}$ 时可溶解 5.56 L 甲烷。空气中甲烷含量达到 40% 时,可使人窒息。甲烷的发热量大约为 37.656 MJ/m^3 。

(2) 氮气(N_2)。氮气是一种惰性气体,无色、无臭、无味,瓦斯中含量一般为 $0.5\%\sim 3\%$,气体密度 1.2506 kg/m^3 ,不溶于水。常温下化学性质稳定,加热至 $560\text{ }^\circ\text{C}$ 时,能被镁、钙、锂和另外一些金属所吸收,在更高温度下能直接与氧和氢化合。氮气本身是无毒的,仅在氧气压力明显低时,才表现出氮气的毒性。若空气中含氮量升高,则势必造成氧含量相对降低,从而造成人员的窒息性伤害。

(3) 二氧化碳(CO_2)。二氧化碳无色、无臭、微溶于水,具有一定的毒性。一般瓦斯中含量不大于 $0.1\%\sim 0.4\%$ 。当空气中 CO_2 达 5% 时,人即感觉呼吸困难;超过 20% ,可使人窒息。对空气的相对密度为 1.53 ,比空气重,沉积在巷道下部,不助燃。除瓦斯本身含有少量 CO_2 外,人的呼吸、坑木氧化、爆破、某些物质的水解等,都可产生一定量的 CO_2 。

(4) 乙烷(C_2H_6)。乙烷在常温、常压下为无色、无味的气体,对空气的相对密度为 1.036 ,具有麻醉和窒息作用。不溶于水,易燃易爆,极易燃烧,能与空气形成爆炸性混合物,引起火灾的危险性很大。在 $300\text{ }^\circ\text{C}$ 左右分解出乙烯,在 $1200\sim 1300\text{ }^\circ\text{C}$ 时分解出乙炔。

(5) 二氧化硫(SO_2)。二氧化硫无色,有强烈的硫磺气味及酸味,空气中浓度达 0.0005% 即可嗅到,对空气的相对密度为 2.21 ,易溶于水。当浓度达 0.002% 时,眼及呼吸器官即感到有强烈的刺激,浓度达 0.05% 时,短时间内即有致命危险。其主要来源于含硫矿物的氧化与自然。

(6) 硫化氢(H_2S)。除瓦斯本身含有极少量硫化氢外,井下坑木腐烂、含硫矿物水解等也产生一定量的硫化氢。硫化氢为无色、微甜、有臭(臭鸡蛋味)气体,对空气的相对密度为 1.19 ,具高溶解度。硫化氢为剧毒气体,当含量达 $0.0001\%\sim 0.0002\%$ 时,可嗅到臭鸡蛋味;达 0.0027% 时,味最浓;超过 0.0027% 时,可使嗅觉失灵;达 $0.01\%\sim 0.015\%$ 时,出现中毒症状;达 0.05% 时,半小时内可使人失去知觉。

(7) 一氧化碳(CO)。一氧化碳无色、无臭、无味,对空气的相对密度为 0.97 ,微溶于水,能与空气均匀地混合。一氧化碳能燃烧,当空气中一氧化碳浓度在 $13\%\sim 75\%$ 时有爆炸的危险。瓦斯中一氧化碳极少,只占千分之几。但它为剧毒气体,与人体血红蛋白结合,可造成人体组织和细胞严重缺氧而使人中毒死亡。当空气中一氧化碳达 0.048% 时, $20\sim 30\text{ min}$ 可使人致命;达 1% 时,立即致命。一氧化碳主要来源于矿井火灾、煤炭自燃及煤尘瓦斯爆炸等。

巷道内瓦斯浓度的分布取决于其涌出源的分布和涌出强度。在自然条件下,由于甲烷在空气中表现为强扩散性,它一与空气均匀混合,就不会因其相对密度较空气轻而上浮、聚

积。所以当无瓦斯涌出源时,瓦斯在井巷断面内的分布是均匀的;当有瓦斯涌出源时,瓦斯浓度则呈不均匀分布,在有瓦斯涌出的侧壁附近会出现瓦斯浓度增高。巷道顶板、冒落区顶部常积聚高浓度瓦斯,这并不是因为瓦斯密度比空气小,而是说明这里有瓦斯涌出源。

(二) 矿井瓦斯的危害

矿井瓦斯是煤矿井下普遍存在的一种有害气体,具有可燃性和爆炸性,瓦斯大量积聚时,当氧气含量下降到 12% 以下,就能使人窒息、死亡,发生中毒窒息事故。井下空气中瓦斯达到一定的浓度时,遇引爆火源可发生矿井瓦斯爆炸事故。一些煤层瓦斯含量大的矿井,甚至会发生煤与瓦斯突出事故,严重威胁煤矿安全生产和井下作业人员的生命安全。多年来,矿井瓦斯事故一直是矿井主要灾害类型,并随着资源开采深度的不断增加而更加表现出其危害性。

1. 瓦斯的燃烧和爆炸

瓦斯与空气混合达到一定浓度,当空气中混有 5%~16% 的甲烷时,遇到高温、火源就能燃烧或发生爆炸,浓度 9% 时爆炸最强烈。一旦形成灾害事故,会造成大量井下作业人员的伤亡,损坏矿井设施,严重影响和威胁矿井安全生产,给国家财产造成巨大损失。

1988 年 8 月 5 日,甘肃陇南地区某煤矿二号井掘进上山与采空区打通,瓦斯浓度达到 10% 以上,在未采取预防措施情况下排放瓦斯,不停电,不撤人,随意启动局部通风机“一风吹”,工人在回风巷拆卸矿灯引起瓦斯爆炸,死亡 45 人。

2. 瓦斯窒息

甲烷本身虽无毒,但空气中甲烷含量较大时,就会相对降低空气中氧气浓度。在压力不变的情况下,当甲烷浓度达到 43% 时,氧含量将下降到 12%,会使人感到呼吸困难、头痛、心跳、呕吐、丧失行动能力;当甲烷浓度达到 57% 时,氧含量将下降到 9%,则会使人短时间内严重缺氧而窒息死亡。

1998 年 6 月 26 日,云南省文山州某矿井,矿井主通风机因停电停止运转 2 h,未打开主通风机防爆门,井下局部通风机停止运转,有害气体涌出,造成 970 m 水平以下巷道空气缺氧,于一号风井岔口 970 m 水平安全通道口下 58 m 处发生重大缺氧窒息事故,死亡 6 人,直接经济损失 14 万元。

二氧化碳也是可能造成人员窒息的因素之一。它具有一定的毒性,不助燃,比空气重,沉积在巷道下部,大量聚积时可使人窒息。

2000 年 8 月 24 日,云南省曲靖市某无证独眼矿井,无任何通风设施,井下处于无风状态,致使二氧化碳聚积,浓度严重超限,发生二氧化碳窒息事故,死亡 5 人,伤 1 人,直接经济损失 2 万元。

3. 环境污染与温室效应

瓦斯中的甲烷是一种温室气体,其温室效应是二氧化碳的 20~40 倍,它对全球气候变暖的影响占到 15%,仅次于二氧化碳。据 2000 年估算,我国煤矿在开采过程中每年排放到大气中的甲烷总量约为 200 亿 m^3 ,并随着煤炭产量的增加而增加,约占全球采煤排放总量的 1/3。

二、煤层瓦斯的赋存及其垂直分带

(一) 煤层瓦斯的生成

煤层瓦斯是腐殖型有机物在成煤过程中生成的。成煤的原始物质——腐殖质沉积以

后,一般经历两个成气时期:一是从植物遗体到泥炭的生物化学成气时期,二是在高温高压作用下从褐煤到烟煤直到无烟煤的煤化变质作用成气时期。除此之外,还有油气田的瓦斯侵入和岩浆岩气体的侵入。

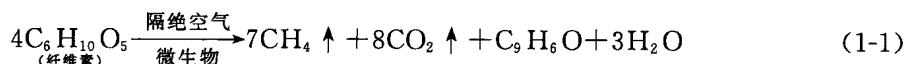
1. 生物化学成气

植物遗体在成煤作用第一阶段的泥炭沼泽环境中,发生泥炭化作用,此过程中有机物质不断分解形成瓦斯。但在不同的成煤环境中,其分解产物不同。

(1) 富氧条件。植物分解生成的气体主要是 CO_2 、 NO 等气体。

(2) 缺氧条件。植物分解生成的气体主要是 CH_4 等烷烃、 H_2 及其他气体。

在植物遗体沉积成煤初期的,随着地壳的缓慢下降运动,有机物在隔绝外部氧气,温度不超过 65°C 的条件下,被厌氧微生物分解为 CH_4 、 CO_2 和 H_2O ,其模式可用下式来概括:



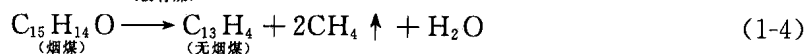
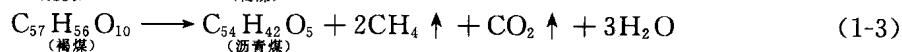
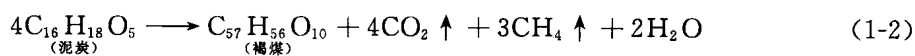
在这个阶段生成的泥炭层,埋深不大,上覆盖层的胶结固化不好,生成的瓦斯通过渗透和扩散容易排放到大气中,因此,生物化学作用产生的瓦斯一般不会保留在煤层内。随着泥炭层的下沉,上覆盖层越来越厚,压力与温度也随之增高,生物化学作用逐渐减弱直至结束。

2. 煤化变质作用成气

泥炭层随着地壳的缓慢下降运动而沉降,所处的压力和温度进一步增加,泥炭化的木质素和纤维素逐渐转化为褐煤,便进入煤化变质造气阶段,褐煤再进一步变为烟煤和无烟煤。一般在 100°C 及其相应的压力下,煤层就会产生强烈的热力变质成气作用。

在煤化变质作用初期,煤中有机质基本结构单元主要是带有羟基($-\text{OH}$)、甲基($-\text{CH}_3$)、羧基($-\text{COOH}$)、醚基($-\text{O}-$)等侧链和官能团的缩合稠环芳烃体系。煤中的碳元素主要集中在稠环中,稠环的键结合力强、稳定性好,而侧链和官能团之间及其与稠环之间的结合力弱、稳定性差。因此,随着地壳的下降、温度增高,侧链和官能团不断发生断裂与脱落,生成 CO_2 、 CH_4 、 H_2O 等挥发性气体。

煤化过程中有机质分解、脱除甲基侧链和含氧官能团而生成 CO_2 、 CH_4 和 H_2O 是煤成气形成的基本反应,可以用下列反应式来表达不同煤化阶段的成气反应:



从上述反应式(沥青煤到烟煤反应式略)可以看出,煤化过程中生成的气体中甲烷为主要组分。

在瓦斯产出的同时,芳核进一步缩合,碳元素进一步集中。随着煤化变质作用的加深,基本结构单元中缩聚芳核的数目不断增加,到无烟煤时,主要由缩聚芳核所组成。从褐煤到无烟煤,煤的变质程度不断增高,挥发分减少,固定碳增加,生成的瓦斯量也越来越多,且主要为 CH_4 和 CO_2 。

煤的有机显微组分可分为镜质组、惰性组和壳质组,这些组分产烃的能力大小依次是壳质组 $>$ 镜质组 $>$ 惰性组,如表 1-1 所列。

表 1-1 煤的各有机显微组分人工热演化产气结果

显微组分	壳质组(树脂体)	镜质组(抚顺)	惰性组(阜新)
产气率/ $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$	483	183	43.9

实验条件:500 °C, 110 h, 无压、真空封闭体系(中科院地球化学所)。

在煤化阶段生成并保存于煤层中的瓦斯,在以后漫长的地质演化过程中,随着地壳的隆起、侵蚀和断层活动以及瓦斯本身在地层中的流动,一部分或大部分瓦斯扩散到大气中,或转移到围岩中(在适当的条件下可形成煤气田),只有一部分被保存在煤层中,二氧化碳也多数被地下水吸收。

据计算,在理想条件下,每生成 1 t 煤,伴随生成 1 000 m^3 的甲烷和二氧化碳等气体。但事实上,煤层瓦斯含量远低于上述数据。据测试,煤的最大瓦斯含量可达 35~45 m^3/t ,一般不超过 60 m^3/t 。

3. 岩浆岩气体的侵入

岩浆岩侵入体中带有大量的二氧化碳气体,当岩浆岩侵入煤系时,其二氧化碳通过各种空隙渗入煤层及其围岩中,并赋存下来。如在研究营城矿时,发现其二氧化碳与岩浆岩侵入体有关。

4. 油气田气体的侵入

有的矿区,煤系地层下伏或上覆地层中含有油气层。油气层中的各种气体渗入到煤层中并赋存下来。如陕西铜川焦坪矿的瓦斯与顶底板的砂岩含油层有密切关系,它们不仅在性质上具有明显的一致性,在成分上也极为相似。

(二) 煤层瓦斯的赋存及其影响因素

1. 瓦斯在煤体内的赋存状态

煤体之所以能保存一定数量的瓦斯,与煤的结构有密切关系。煤是一种复杂的孔隙性介质,有着十分发达的、各种不同直径的微孔隙和裂隙,形成了庞大的自由空间和孔隙表面。因此,成煤过程中生成的瓦斯就能以游离状态和吸附状态存在于这些孔隙和裂隙中。

为了研究瓦斯在煤中的赋存与流动,常把煤中的孔隙作如下分类:

- ① 微孔。直径小于 10^{-5} mm,它构成煤中的吸附空间。
- ② 小孔。直径为 $10^{-5} \sim 10^{-4}$ mm,它构成毛细管凝结和瓦斯扩散空间。
- ③ 中孔。直径为 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ mm,它构成缓慢的层流渗透空间。
- ④ 大孔。直径为 $10^{-3} \sim 10^{-1}$ mm,它构成强烈的层流渗透空间,是结构高度破坏煤的破碎面。

⑤ 可见孔及裂隙。直径大于 10^{-1} mm,它构成层流及紊流混合渗透的空间,是坚固和中等强度煤的破碎面。

一般地,把小孔至可见孔的孔隙体积之和称为渗透容积;把吸附容积与渗透容积之和称为总孔隙体积;煤的总孔隙体积占相应煤体积的百分比称为煤的孔隙率。

瓦斯气体分子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(自由状态)瓦斯。瓦斯以自由气体状态游离于煤体和围岩的较大孔隙、裂隙和空洞中,瓦斯分子在孔隙内可自由运动,如图 1-1 所示。游离状态瓦斯存在量的多少取决于煤层和围岩内自由空间(孔隙率)的大小,同时也取决于气体的温度、压力和压缩系数。

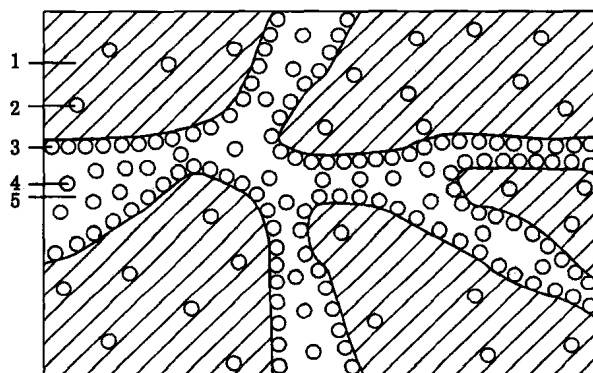


图 1-1 瓦斯在煤体中的赋存状态

1——煤体；2——吸收瓦斯；3——吸着瓦斯；4——游离瓦斯；5——孔隙

(2) 吸附状态瓦斯。吸附状态瓦斯又可分为吸着和吸收两种状态。

① 吸着瓦斯。瓦斯分子被紧紧地吸附于煤体和岩体的孔隙表面上,形成很薄的一层薄膜,称为吸附层。薄膜的形成是由于气体分子与固体颗粒之间存在着极大的分子引力。吸着量的大小,取决于煤对瓦斯的吸附能力,而吸附能力又取决于煤的孔隙率、变质程度以及外界的温度和压力。

② 吸收瓦斯。瓦斯气体分子进入煤体内部,紧密充满于数埃($1\text{\AA}=10^{-10}\text{ m}$)到数十埃的微细孔隙内,占据着煤分子结构的空位和煤分子之间的空间,类似于气体被液体所溶解的现象。

瓦斯在煤体中存在状态不是静止不变的,而是处于动态平衡中。当外界压力降低或温度升高时,吸附瓦斯可以转变为游离瓦斯,这种现象称为瓦斯的解吸;反之,当压力增加或温度降低时,部分游离瓦斯会转变为吸附状态,这种现象称为瓦斯的吸附。

在煤层中,无论浅部还是深部,瓦斯总是以吸附状态最多,约占煤中瓦斯总量的 80%~90%,游离状态的瓦斯只占 10%~20%。但是在断层、大的裂隙、孔洞和砂岩内,主要为游离瓦斯。如果矿井中某处瓦斯的压力较高,采掘工程接近这些地点时,在高压作用下,瓦斯就可能突然大量涌出,造成安全事故。

2. 影响瓦斯赋存的地质因素

瓦斯是地质作用的产物,它的产生、赋存、富集均受地质条件的控制。影响瓦斯赋存的地质条件主要有煤系地层岩性特征、煤的变质程度、地质构造、埋藏深度、地下水、岩浆作用等。对于不同矿区、不同矿井、不同块段,影响瓦斯赋存的地质条件类型和作用程度高低往也不同。

(1) 地层岩性特征对瓦斯赋存的影响

瓦斯作为一种地质实体,主要赋存在煤层中,而煤层本身又是煤系地层中的一部分,因此,煤系地层岩性特征是瓦斯形成和保存的基本条件。

由于煤系地层所指范围较大且不具有确定性,所以一般只需考虑煤层围岩,也即包括煤层直接顶、基本顶和直接底等在内的一定厚度范围的层段。

煤层围岩对瓦斯赋存的影响,主要取决于它的透气性。煤层围岩的透气性主要与围岩

的孔隙性、渗透性以及围岩的力学性质有关。

① 岩性特征。泥质类岩石有利于瓦斯的保存,但若其中的砂、粉砂等杂质含量较高时,则会显著降低它的遮挡能力。例如泥岩中粉砂组分的含量为 20% 时,泥岩内占优势的孔隙的截面宽为 $0.025\sim 0.05\ \mu\text{m}$;粉砂组分的含量为 50% 时,泥岩内占优势的孔隙的截面宽为 $0.08\sim 0.16\ \mu\text{m}$ 。孔隙管道直径的这种变化,必然会反映到岩石的遮挡性上来,即随着孔隙直径的增大,渗透性将增强,岩石的遮挡能力则随之减弱。砂岩一般有利于瓦斯逸散,但若其孔隙度和渗透率均低时,也能有效阻止瓦斯逸散。

② 岩性组合特征。围岩的岩性组合及其变形特点对瓦斯的保存和逸散有着重要的影响。按照岩石力学的观点,坚硬岩层易于脆性破裂,软弱岩层常呈塑性变形。不同力学性质的岩层若组合在一起常常表现出不同的构造表象。例如:断层裂隙型围岩顶板主要由砂岩组成,紧密褶皱型围岩顶板主要由泥岩、粉砂岩和细砂岩组成。因此,上述差别的存在,无疑将影响到煤层瓦斯的赋存状况。

(2) 煤的变质程度对瓦斯赋存的影响

煤中的瓦斯主要是在煤化作用过程中形成的。在由泥炭、褐煤逐渐转化为烟煤、无烟煤的煤化过程中,煤的挥发分减少,固定碳增多,其中的挥发分在变质过程中部分转变为甲烷,这部分甲烷生成量大,构成了现今煤中所含瓦斯的主体。

由泥炭演变为煤的煤化作用包括先后进行的成岩作用和变质作用,在这一过程中,受以温度和压力为主的物理化学作用的影响,泥炭经过褐煤、烟煤转变为无烟煤。在煤化作用过程中,不断产生瓦斯,煤的煤化程度越高,产生的瓦斯也越多。其主要原因是:第一,煤层瓦斯的产出量直接依赖于煤化程度;第二,随着变质程度的加深,煤的气体渗透率下降,瓦斯自煤层内向地表方向运移散逸速度也就更慢;第三,煤的变质程度越高,煤的吸附能力也就越大,即煤层中可以滞留更多的瓦斯气体。

根据模拟实验结果推测,每生成 1 t 褐煤可产生约 $60\ \text{m}^3$ 左右瓦斯;每生成 1 t 肥煤可产生约 $300\ \text{m}^3$ 左右瓦斯;而每生成 1 t 无烟煤,则可产生 $400\ \text{m}^3$ 以上的瓦斯。这就说明煤的变质程度越高,生成的瓦斯量也就越大。

在成煤初期,褐煤结构疏松,孔隙率大,气体分子能够渗入煤体内部,因此褐煤具有很大的吸附能力,但同时又由于此阶段瓦斯生成量较少且不易保存,故褐煤中实际所含的瓦斯量是很小的。在煤的进一步变质过程中,由于地压的作用,煤的孔隙率减小,煤的质地渐趋致密,如烟煤系列中低变质程度的长焰煤,其孔隙和表面积都较小,故其吸附瓦斯的能力大大降低,长焰煤最大瓦斯吸附量只有 $20\sim 30\ \text{m}^3/\text{t}$ 左右。进入高变质阶段,在高温、高压作用下,煤体内部因干馏作用而生成许多微孔隙,从而使得煤的比表面积到无烟煤时达到最大。根据实验测定,1 g 无烟煤的微孔表面积可达 $200\ \text{m}^2$ 之多。因此,无烟煤吸附瓦斯的能力最强可达 $50\sim 60\ \text{m}^3/\text{t}$ 。当无烟煤进一步向石墨转化时,无烟煤中的微孔又将不断收缩、减少,最终转化成石墨时变为零,不再具有吸附瓦斯的能力,如图 1-2 所示。

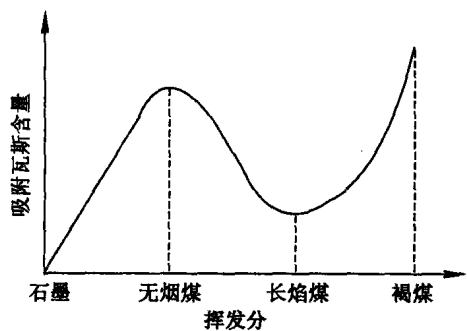


图 1-2 不同变质程度的煤对瓦斯的吸附能力示意图

我国的煤炭资源丰富,煤质多种多样,煤变质分带明显。煤变质总的规律,从地质年代上看:古生代以高、中变质煤为主体,尚未发现褐煤;中生代以中、低变质烟煤为主体,有褐煤存在;新生代的新近纪、古近纪同时存在低变质烟煤和褐煤。总的来说,反映出成煤时期越早,经历的地质历史越长,煤的变质程度就越高的趋势。从地区上看,大致上河南、山西以各种变质程度的烟煤、无烟煤为主,这一地区以外则以褐煤、中变质程度的烟煤为主。大体上讲,反映出我国由中心地带向外推移,煤的变质程度存在由高变低的趋势。

统计资料表明,全国高瓦斯矿井中,70%的矿井开采中等变质程度以上的煤层。

(3) 地质构造对瓦斯赋存的影响

国、内外瓦斯地质研究成果表明,地质构造与瓦斯的赋存关系密切,甚至可以说起到了控制作用。

地质构造的不同,一方面造成了瓦斯分布的不均衡,另一方面则形成了或有利于瓦斯赋存或有利于瓦斯排放的地质条件。

① 褶皱构造与瓦斯赋存的关系

褶曲类型和褶皱复杂程度对瓦斯赋存均有影响。封闭的背斜有利于瓦斯的储存,是良好的储气构造(或称圈闭构造)。

简单向斜盆地构造的矿区,其瓦斯排放往往是比较困难的。因为在这种情况下,瓦斯沿垂直地层方向运移十分困难,大部分瓦斯仅能够沿煤田两翼流向地表。但在盆地边缘部分,含煤地层暴露面积大,瓦斯则便于排放。遭受侵蚀的褶曲矿区,就在更大程度上易于瓦斯的逸散。因为在这些地区,矿区的大部分范围,含煤岩系中的瓦斯都能流向地表。复式褶皱或紧闭褶皱,盖层封闭良好时,有利于造成瓦斯分布的不均衡和相对地富集。

② 断裂构造与瓦斯赋存的关系

断裂构造破坏了煤层的连续性和完整性,使煤层瓦斯的排放条件发生了变化。有的断层有利于瓦斯的排放,有的对瓦斯的排放起阻挡作用,成为瓦斯逸散的屏障。前者称为开放性断层,后者称为封闭性断层。断层的开放与封闭性取决于下列条件:

a. 断层的类型及其力学性质。一般张性正断层属于开放型构造,而压性或压扭性断层的封闭条件往往较好。

b. 断层与地面或冲积层的连通情况。规模大而且与地表相通或与松散冲积层相连的断层一般为开放型。

c. 断层将煤层断开后,煤层与断层另一盘接触的岩层的性质。若煤层与断层另一盘接触的岩层的透气性好则有利于瓦斯排放。

d. 断层带的特征。断层带的充填情况、紧闭程度、裂隙发育等情况不同,则断层的开放性、封闭性也随之有所差异。

e. 断层的空间方位。一般走向断层阻隔了瓦斯沿煤层倾斜方向的逸散,而倾向和斜交断层则把煤层切割成互不联系的块体。

③ 构造组合对瓦斯赋存的影响

构造组合指的是控制瓦斯分布的构造形迹的组合型式,可大致归纳为以下3种类型:

a. 压性断层矿井边界封闭型。这一类型系指压性断层作为矿井的对边边界,断层面一般为相背倾斜,使整个矿井处于封闭的条件下,因此瓦斯含量高。如内蒙古大青山煤田南北两侧均为逆断层,断层面倾向相背,煤田位于逆断层的下盘,在构造组合上处于较好的封闭

条件。该煤田各矿煤层瓦斯含量普遍高于区内开采同时代含煤岩系的乌海煤田和桌子山煤田。

b. 构造盖层封闭型。瓦斯的赋存决定于瓦斯的保存条件。盖层条件原指沉积盖层,从构造角度,也可指构造成因的盖层。如某一较大的逆掩断层,将大面积透气性差的岩层推覆到煤层或煤层附近以上,改变了原来的盖层条件,同样对瓦斯起到了封闭作用。如吉林通化矿区铁厂二井,北北东向的张性断层虽然有利于瓦斯排放,但煤层上覆地层被 F28 逆断层的上盘所覆盖,由于断层面及上盘地层的封闭作用,使得下盘煤层瓦斯得不到释放而大量聚集,瓦斯含量增高。

c. 正断层断块封闭型。该类型是由两组不同方向的压扭性正断层在平面上组成三角形或多边形块体,井田边界为正断层所圈闭。它的特点是除接近正断层露头的浅部或因煤层与断层另一盘接触岩性为透气性岩石时瓦斯较小外,其余皆因断层的挤压封闭而利于瓦斯的储集。

④ 煤岩层倾角与瓦斯赋存的关系

煤岩层倾角本质上反映了构造应力的作用。一般情况下,煤岩层所受到的应力作用越强烈,其自身破碎程度也就越高。若其他条件相同,由于倾角陡比倾角缓更有利于瓦斯的排放,所以缓倾斜煤层要比急倾斜煤层瓦斯浓度大。据苏联黎金(1962年)的研究,煤层脱放瓦斯的深度随煤层倾角的变化而变化,如表 1-2 所列。

表 1-2 煤层倾角与瓦斯脱放深度的关系表

煤层倾角/(°)	瓦斯脱放深度/m
60	80~90
45	70
30	50
20	30~40
10	15~20

我国瓦斯分布的总体规律是:南方瓦斯大,北方瓦斯小。瓦斯涌出量大、突出较严重的矿井,多数分布在南方,特别是四川、湖南、贵州、江西等省。在华北广大煤田中,一般矿井瓦斯涌出量较小,突出矿井相对较少。

我国南、北方在瓦斯分布上的差异,是与南、北方区域地质构造密切相关的。华南地区因受印支、燕山等构造运动的强烈影响,褶皱和断裂多呈压性或压扭性,构造复杂,地应力相对比较集中,因而瓦斯大,突出多;华北地区,多张性或张扭性断裂,形成断块构造或阶梯状构造,以正断层为主,常为开放型构造,因而瓦斯较小,突出较少。

⑤ 其他地质条件对瓦斯赋存的影响

除了岩性特征、煤的变质程度、地质构造三大主要因素外,还有一些地质条件对瓦斯的赋存有影响,但只是在部分矿区或矿井内对瓦斯赋存的影响较为明显。由于其分布具有区域性,因而对瓦斯赋存的影响也就具有一定的局限性。

a. 埋藏深度。一般出露地表的煤层,其瓦斯容易逸出,而且由于空气也向煤层内渗透,故煤层中常含有 CO₂、N₂ 等气体,瓦斯含量少;随着煤层埋藏深度的增加,甲烷所占比例增

大,瓦斯含量随之增大。根据实测资料分析,在瓦斯风化带以下,瓦斯含量、涌出量以及瓦斯压力,都与煤层埋藏深度的增加有一定的比例关系。

一般情况下,煤层中的瓦斯压力随着埋藏深度的增加而增大。随着瓦斯压力的增加,在煤与岩石中游离瓦斯量所占的比例增大的同时,煤中的吸附瓦斯逐渐趋于饱和。所以,从理论上分析,在一定深度范围内,煤中的甲烷含量随埋藏深度的增大而增加。但是如果埋藏深度继续增大,则煤中甲烷含量增加的速度将要减慢。

b. 地下水。地下水与瓦斯共存于含煤岩系中,它们的共性是均为流体,运移和赋存都与煤层和岩层的孔隙、裂隙通道有关。由于地下水的运移,一方面驱动着孔隙和裂隙中瓦斯运移,另一方面又带动了溶解于水中的瓦斯一起流动。因此,地下水的活动有利于瓦斯的逸散。同时,水吸附在孔隙和裂隙的表面,还减弱了煤对瓦斯的吸附能力。地下水和瓦斯占有的空间是互补的,这种相逆关系,表现为水大地带瓦斯小,反之亦然。因此,水、气运移和分布特征,可以作为认识矿井瓦斯地质和水文地质条件的共同规律而加以运用。

(4) 岩浆作用

岩浆侵入含煤岩系、煤层,使煤、岩层产生胀裂及压缩。岩浆的高温烘烤可使煤的变质程度升高。另外,岩浆岩体有时使煤层局部被覆盖或封闭。但有时也因岩脉蚀变带裂隙增加,造成风化作用加强,逐渐形成裂隙通道。所以说,岩浆侵入煤层对瓦斯赋存既有形成、保存瓦斯的作用,在某些条件下又有使瓦斯逸散的可能。值得注意的是,岩浆呈岩床沿煤层侵入时,对瓦斯赋存和瓦斯突出都将产生剧烈影响,主要表现为:

- ① 使煤受热力变质,碳化程度增高,进一步生成瓦斯;
- ② 若岩床位于煤层顶板部位,对排放瓦斯通道起着封闭作用,易于保存瓦斯;
- ③ 使煤层受力,搓揉粉碎,造成煤体结构的破坏;
- ④ 岩浆侵入使局部煤系地层处于不均衡的应力紧张状态,积蓄了弹性潜能。

(三) 煤层瓦斯的运移

1. 瓦斯运移的基本概念

游离状态瓦斯可以自由运动,在一定条件下,吸附状态瓦斯又可转化成游离状态瓦斯,因此瓦斯运移是一种经常而普遍的现象。这种运移大致可分为两种情况:一种是瓦斯在地壳深处从形成和聚集地点向地表方向的运移,称为渗滤[深处瓦斯沿煤层(或岩层)向地表露头方向的运移,一般称为层移];再一种是瓦斯分子向四周自然散布,称为扩散。渗滤、扩散彼此紧密地联系在一起,经常形成混合型瓦斯流,统称运移。

产生运移的基本原因是瓦斯分子浓度和瓦斯压力差异所致。瓦斯流总是由高浓度地段向低浓度地段运移,以达到扩散平衡;它又总是由高压地段向低压地段运移,以达到动平衡。此外,地下水的运动也可促使瓦斯的运移。

2. 瓦斯运移的基本特征和方式

瓦斯运移虽是一种普遍现象,但不总是连续进行,而是时断时续,时强时弱,时快时慢,有时规模大,有时规模小。小规模慢速运移经常在进行,大规模的快速运移实际上就是瓦斯喷出或煤与瓦斯突出。由此可知,瓦斯运移可分为慢速运移和快速运移。

瓦斯主要是沿煤(岩)层孔隙和裂隙运动,这是瓦斯运移的基本方式(途径),其次是沿煤层或岩层的微孔隙缓慢(速度相当慢)渗滤,也有一部分瓦斯溶解在水中并沿构造裂隙或含水层和地下水一起运动。