



公路瓦斯隧道 施工及安全技術

贵州路桥集团有限公司 主编



人民交通出版社

China Communications Press

Highway Gas Tunnel Construction and Safety Technology

公路瓦斯隧道施工及安全技術

贵州路桥集团有限公司 主 编



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书以公路瓦斯隧道瓦斯治理技术为中心,总结和借鉴国内公路瓦斯隧道施工的成果,如贵州水盘高速发耳隧道、四川都汶高速公路龙溪隧道、四川渝邻高速公路华蓥山隧道、重庆成渝高速公路中梁山隧道、重庆黔彭高速公路武陵山及肖家坡隧道等。全面介绍公路瓦斯隧道施工涉及的主要技术及管理,形成了一套较为完整的公路瓦斯隧道瓦斯治理体系。以便将现有成熟技术及成功经验转化为现实生产力,在更大范围内得到应用,更好地为公路瓦斯隧道施工服务。

本书适合从事瓦斯隧道及地下工程施工的工程技术人员、管理人员、操作人员阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

公路瓦斯隧道施工及安全技術/贵州路桥集团有限公司主编.--北京:人民交通出版社,2013.7

ISBN 978-7-114-10746-7

I. ①公… II. ①贵… III. ①公路隧道—瓦斯隧道—隧道工程—工程施工 ②公路隧道—瓦斯隧道—隧道工程—安全技术 IV. ①U459.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 145730 号

书 名:公路瓦斯隧道施工及安全技術

著 者:贵州路桥集团有限公司

责任编辑:周 宇

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:19.5

字 数:452千

版 次:2013年7月 第1版

印 次:2013年7月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10746-7

定 价:55.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《公路瓦斯隧道施工及安全技术》

编 委 会

主 任：戎 凯

副 主 任：应 松 何志军

委 员：姚 豪 秦 林 韩洪举 赵 伟 杨 华

魏红宇 彭 庆

主 编：姚 豪

副 主 编：罗太友 宋聚勇 李秋林

参编人员：郭二川 康建宁 黄长国 湛 勇 徐文平

吴燕飞 何祥松 陈 武 何 坤 陈俊杰

冯康武 吕贵春 刘志伟 韩承强 李金友

周锦萱 古兴龙 覃 俊 程 广

前言 QIANYAN



随着我国经济的持续高速发展及西部大开发的不断深入,我国将进一步加快基础设施的建设,特别是公路运输系统的建设。根据《交通运输“十二五”发展规划》,“十二五”期间,我国交通基本建设投资总规模约6.2万亿元,其中大部分的资金将用于公路建设。到2015年,公路总里程达到450万公里,其中高速公路总里程达到10.5万公里,覆盖90%以上的20万以上城镇人口城市,二级及以上公路里程达到65万公里,国省道总体技术状况达到良等水平,农村公路总里程达到390万公里。五年内,计划新增高速公路约2.3万公里。我国公路建设已经进入一个快速发展的时期,也为公路施工相关技术的发展提供了良好的机遇。

我国是世界上煤炭资源和煤层气储量最丰富,同时也是瓦斯灾害最为严重的国家之一。随着国家公路建设力度的不断加大,相应的瓦斯隧道在公路建设中频繁出现,特别是在煤炭富集且埋藏较浅的中西部地区,一些公路隧道频繁穿越煤系地层,加之公路隧道开挖断面大,开挖工序相对复杂。在开挖过程中,煤炭中的瓦斯大量涌入工作面,很容易造成人员窒息、瓦斯燃烧或瓦斯爆炸,且具有突出危险性的煤层还易发生煤与瓦斯突出事故,给隧道的安全施工带来严重威胁;同时,在瓦斯治理过程中,若治理措施不当,很容易导致隧道施工进度延缓,制约公路隧道的安全快速掘进。

近年来,瓦斯隧道的安全工作问题受到了党和政府的高度重视。国内高等院校、科研院所以及施工单位在瓦斯隧道方面开展了一系列的试验研究,并初步取得了一些的科研成果,如用概率统计的方法对通风巷道瓦斯积聚危险性进行评估、变色关联分析法评估、基于集对理论(SPA)模型对煤矿瓦斯危险评估、基于模糊神经网络对瓦斯爆炸危险性评估模型、模糊综合评估方法等。此外,在不断的工程实践中,工程技术人员也总结出了一些宝贵经验。但到目前为止,我国公路隧道瓦斯治理未形成一套完整的、系统的技术体系。目前,公路隧道瓦斯治理主要参照铁路瓦斯隧道有关技术标准、规范执行,而这些标准、规范主要依据我国原

《煤矿安全规程》、原《防治煤与瓦斯突出细则》等旧的煤矿法规制定。需注意的是,公路隧道在施工的工艺技术、通风技术、开挖方式、瓦斯涌出规律等方面与煤矿和铁路隧道有较大的差异,其相应的瓦斯治理有所不同;其次,煤矿原执行的《煤矿安全规程》已修改多次,原《防治煤与瓦斯突出细则》已修改并更名为《防治煤与瓦斯突出规定》,相应的标准、规范已建立健全,因而,公路瓦斯隧道瓦斯治理技术随着我国瓦斯治理技术的进步而提高。

公路瓦斯隧道瓦斯治理关键在于突出危险性预测技术、隧道独立通风技术、瓦斯涌出预测技术、瓦斯监测技术与管理、防爆(燃烧)技术与防灭火技术、揭煤突出危险性预测技术、突出危险性防治技术与效果评价(检验)方法、安全防护技术、钻爆技术等方面。本书在编制过程中,大量地总结和借鉴了国内公路瓦斯隧道施工的成果经验及成熟技术,如贵州水盘高速发耳隧道、四川都汶高速公路龙溪隧道、四川渝邻高速公路华蓥山隧道、重庆成渝高速公路中梁山隧道、重庆黔彭高速公路武陵山及肖家坡隧道等,并依据煤炭行业、铁路行业、交通行业现行瓦斯治理方面的规程、规定、标准及规范、部门规章制度等编制而成。

本书共十四章,其中第一章和第二章主要介绍了瓦斯的基础知识及瓦斯防治的一般规定;第三章至第五章主要介绍了公路瓦斯隧道的施工准备、电气及机械配置;第六章至第十三章主要介绍了公路瓦斯隧道揭煤瓦斯治理技术,安全防护技术,监测监控技术,钻爆技术,防尘、放灭火及防治水技术;第十四章主要介绍了公路瓦斯隧道瓦斯治理费用编制技术。全书以公路瓦斯隧道瓦斯治理技术为中心,全面介绍公路瓦斯隧道施工涉及的主要技术及管理,形成了一套较为完整的公路瓦斯隧道瓦斯治理体系。其目的是将现有成熟技术及成功经验转化为现实生产力,在更大范围内得到应用,更好地为公路瓦斯隧道施工服务。

在本书编写过程中,得到了中煤科工集团重庆研究院相关科研人员的大力支持,在此表示衷心感谢。由于时间仓促,编者水平有限,书中难免有不妥或错误之处,敬请广大读者批评指正。

本书供从事瓦斯隧道及地下工程施工的工程技术人员、管理人员、操作人员使用,也可供科研院所、工程监理等相关单位以及项目监察监管部门参考。

编者

2013年4月16日

目录 MULU

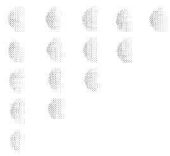


| | |
|------------------------------------|----|
| 第一章 煤层瓦斯基础知识 | 1 |
| 第一节 煤层瓦斯来源与性质..... | 1 |
| 第二节 煤层瓦斯成因..... | 3 |
| 第三节 煤层瓦斯组分及沿深度的分带..... | 3 |
| 第四节 煤层的基本含气特征..... | 6 |
| 第五节 瓦斯在煤中的赋存状态..... | 9 |
| 第六节 煤层瓦斯含量..... | 9 |
| 第七节 煤层瓦斯压力..... | 11 |
| 第八节 隧道瓦斯涌出..... | 12 |
| 第九节 隧道瓦斯涌出预测..... | 13 |
| 第二章 公路瓦斯隧道施工中防治瓦斯一般规定 | 15 |
| 第一节 瓦斯等级鉴定..... | 15 |
| 第二节 勘查及设计..... | 17 |
| 第三节 通风与瓦斯防治..... | 20 |
| 第四节 防火、防爆与防治水..... | 22 |
| 第五节 人员配备及机构设置..... | 23 |
| 第六节 培训..... | 24 |
| 第三章 公路瓦斯隧道施工准备 | 25 |
| 第一节 临时设施布置..... | 25 |
| 第二节 技术准备..... | 27 |
| 第三节 管理机构及人员准备配置..... | 28 |
| 第四节 机具准备..... | 29 |
| 第五节 材料准备..... | 29 |
| 第四章 公路瓦斯隧道机械配置 | 30 |
| 第一节 一般原则..... | 30 |

| | | |
|------------|----------------------------------|------------|
| 第二节 | 钻爆作业设备 | 30 |
| 第三节 | 装渣与运输作业设备 | 31 |
| 第四节 | 洞外主要设备 | 31 |
| 第五节 | 洞内主要机械设备 | 32 |
| 第六节 | 机械设备防爆改装及注意事项 | 32 |
| 第五章 | 公路瓦斯隧道电气系统 | 34 |
| 第一节 | 供配电系统 | 34 |
| 第二节 | 电气系统组成 | 34 |
| 第三节 | 电器控制与保护 | 35 |
| 第四节 | 检修系统及照明 | 35 |
| 第五节 | 接地防雷系统 | 36 |
| 第六节 | 通信系统 | 36 |
| 第七节 | 电气设备布置 | 36 |
| 第六章 | 公路瓦斯隧道施工通风技术 | 38 |
| 第一节 | 隧道施工通风方式 | 38 |
| 第二节 | 隧道施工通风系统设计 | 41 |
| 第三节 | 隧道施工通风设备选择 | 46 |
| 第四节 | 通风参数测定 | 52 |
| 第五节 | 通风管理 | 55 |
| 第七章 | 公路瓦斯隧道施工安全检测监控系统 | 60 |
| 第一节 | 隧道瓦斯检测监控基本知识 | 60 |
| 第二节 | 有毒有害气体 | 63 |
| 第三节 | 检测仪器及监控系统 | 65 |
| 第四节 | 监控管理 | 71 |
| 第八章 | 公路瓦斯隧道施工瓦斯涌出治理技术 | 74 |
| 第一节 | 概述 | 74 |
| 第二节 | 风排瓦斯技术 | 76 |
| 第三节 | 瓦斯抽放技术 | 77 |
| 第四节 | 防治瓦斯爆炸 | 86 |
| 第五节 | 防止瓦斯喷出 | 92 |
| 第六节 | 瓦斯排放技术 | 94 |
| 第七节 | 日常瓦斯管理 | 97 |
| 第九章 | 公路瓦斯隧道施工揭煤技术及安全防护措施 | 102 |
| 第一节 | 煤与瓦斯突出基本知识 | 102 |
| 第二节 | 超前地质预报 | 105 |
| 第三节 | 揭煤的一般程序 | 112 |
| 第四节 | 区域综合防突措施 | 115 |
| 第五节 | 局部综合防突措施 | 128 |

| | | |
|--------------|---|------------|
| 第六节 | 过煤门 | 139 |
| 第七节 | 安全防护措施 | 143 |
| 第八节 | 揭煤实例 | 150 |
| 第十章 | 公路瓦斯隧道钻爆作业技术 | 156 |
| 第一节 | 概述 | 156 |
| 第二节 | 钻爆设计 | 162 |
| 第三节 | 施工工艺 | 172 |
| 第四节 | 常见爆破事故预防及处理 | 180 |
| 第十一章 | 公路瓦斯隧道施工防尘技术 | 186 |
| 第一节 | 概述 | 186 |
| 第二节 | 防尘技术 | 192 |
| 第三节 | 防尘管理及个人防护 | 197 |
| 第十二章 | 公路瓦斯隧道施工防灭火技术 | 203 |
| 第一节 | 火灾基本知识 | 203 |
| 第二节 | 内因火灾防治 | 208 |
| 第三节 | 外因火灾防治 | 213 |
| 第四节 | 防灭火管理 | 218 |
| 第十三章 | 公路瓦斯隧道施工防治水技术 | 219 |
| 第一节 | 防治水基本知识 | 219 |
| 第二节 | 地表水防治 | 223 |
| 第三节 | 地下水防治 | 224 |
| 第十四章 | 公路瓦斯隧道瓦斯治理费用计算 | 235 |
| 第一节 | 瓦斯治理费用构成 | 235 |
| 第二节 | 费用计算依据 | 236 |
| 第三节 | 费用编制方法 | 237 |
| 附录 1 | 名词解释 | 240 |
| 附录 2 | 隧道瓦斯等级鉴定中瓦斯涌出量计算方法 | 247 |
| 附录 3 | 煤与瓦斯突出基本特征和突出后的煤量及瓦斯涌出量计算方法 | 249 |
| 附录 4 | 煤的破坏类型分类 | 251 |
| 附录 5 | 煤层瓦斯压力的测定方法 | 252 |
| 附录 6 | 煤层瓦斯含量测定方法 | 255 |
| 附录 7 | 煤层透气性系数的测定方法 | 259 |
| 附录 8 | 钻屑指标法 | 262 |
| 附录 9 | 煤的坚固性系数(f)的测定方法 | 263 |
| 附录 10 | 瓦斯放散初速度指标(Δp)测定方法 | 265 |
| 附录 11 | 瓦斯隧道管理规章制度及操作规程 | 266 |
| 附录 12 | 瓦斯隧道管理表格 | 286 |
| 参考文献 | | 300 |

第一章



煤层瓦斯基础知识

第一节 煤层瓦斯来源与性质

一、瓦斯的定义

广义的瓦斯是指从煤(岩)涌入隧道的有毒有害气体,包括隧道开过程中形成的气体、空气与有用矿物、围岩、支架和其他材料之间的化学反应、生物化学反应所形成气体的总称。各种类型的瓦斯具有不同的成因和性质,其中一部分(甲烷及其同系物、 H_2 、 CO 、 H_2S)是可燃的,与空气混合可形成爆炸混合物;另一部分(CO 、 NO 、 H_2S 、 NH_3 、含硫的气体、乙醛、汽油蒸气、汞和砷的蒸气)是有毒的,对人体有危害;其他部分(CO_2 、 N_2 、 Ar 及其同系物)属于惰性气体,只有当其浓度大大超过空气中的正常含量时才对人体有害。

二、隧道瓦斯的来源及性质

1. 甲烷

甲烷是腐殖型有机物在成煤过程中产生的。在漫长的地质年代中,煤中的瓦斯大部分逸散和释放,据实验室测定,能保存至今的煤层瓦斯含量最高值不超过 $60m^3/t$ 。隧道内的甲烷一般主要来自煤层和顶底板的邻近煤层和煤线,少量来自岩层。

2. 重烃

重烃是煤变质过程中的伴生气体,煤的变质程度不同,其重烃含量亦有差异,以中等变质煤的含量为最多;同时,重烃在煤中的分布不是均匀的。在煤的开采过程中,部分重烃气体能够解吸并从煤体释放出来进入隧道开挖空间。

3. 二氧化碳

二氧化碳也是成煤过程的伴生气体,有些煤层中甲烷与二氧化碳混生,赋存较深的煤层,有时甲烷与二氧化碳赋存量均很大;地表生物圈内生物化学氧化反应产生二氧化碳,溶解于地下水中并携带至煤系地层;岩浆与火山气中有大量的二氧化碳,当岩浆沿断裂构造流动和上升时,因温度下降而析出二氧化碳,储存于煤系地层中;碳酸岩在高温下(如火成岩侵入)分解出

二氧化碳。煤、岩层中赋存的二氧化碳,在开挖过程中向隧道涌出,污染隧道空气。此外,有机物(坑木等)的氧化、碳酸岩的水解、内因和外因火灾,以及瓦斯和煤尘爆炸等均能产生二氧化碳。二氧化碳的次要来源有:人员呼吸,人均1h呼出50L二氧化碳;爆破工作,1kg硝铵炸药爆炸时,产生150L二氧化碳。

4. 一氧化碳

通常认为,成煤过程中不产生一氧化碳,但在个别煤层已发现有微量的一氧化碳。隧道内一氧化碳的主要来源是爆破工作与隧道内火灾,1kg炸药爆炸后约生成100L一氧化碳;其次是瓦斯、煤尘爆炸以及支架、坑木燃烧,当 1m^3 木材不完全燃烧时,能生成 500m^3 的一氧化碳。

5. 二氧化硫

在个别煤层中,二氧化硫以巢状聚集的形式存在,并能泄入隧道空间。二氧化硫的来源,还有含硫矿物氧化与自燃及其矿尘的爆炸等。

6. 硫化氢

隧道内硫化氢的来源为:有机物的腐烂;硫化矿物的水解;含硫矿物的氧化、燃烧;在含硫矿体中爆破以及从含硫矿层中涌出等。

7. 二氧化氮

煤层瓦斯组分中不含二氧化氮。炸药爆破时产生一系列的氮氧化物,如NO、NO₂等;NO遇空气中的氧,即氧化为NO₂。

8. 氢

煤层中含有少量氢,亦为有机质的变质过程产物;煤受热变质时,在高温下热分解能产生氢。隧道内发生火灾或爆炸事故时,可能产生氢;蓄电池充电时也有氢气泄出。

9. 氮

煤、岩和地下水释放的瓦斯组分中,往往含有氮。煤层接近露头及瓦斯风化带内,由于生物化学作用,产生大量氮气。爆破作业时,1kg硝化甘油炸药产生135L氮气。有机质的腐烂也是氮气的一种来源。

矿井瓦斯的主要性质参见表1-1。

井下常见有害气体的一些物理性质

表1-1

| 性 质 | 甲烷 CH ₄ | 二氧化碳 CO ₂ | 一氧化碳 CO | 硫化氢 H ₂ S | 乙烷 C ₂ H ₆ | 丙烷 C ₃ H ₈ | 氢 H ₂ |
|------------------------------|--------------------|----------------------|---------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| 分子量 | 16.042 | 44.01 | 28.01 | 34.08 | 30.07 | 44.09 | 2.016 |
| 密度(kg/m ³) | 0.716 | 1.98 | 1.25 | 1.54 | 1.36 | 2 | 0.09 |
| 相对密度 | 0.554 | 1.53 | 0.97 | 1.17 | 1.05 | 1.55 | 0.07 |
| 沸点K(101.3kPa) | 111.3 | 194.5 | 83 | 211.2 | 184.7 | 230.8 | 20.2 |
| 爆炸下限(%) (293K,101.3Pa) | 5 | — | 12.5 | 4.3 | 3 | 2.1 | 4 |
| 爆炸上限(%) (293K,101.3Pa) | 15 | — | 74.2 | 45.5 | 12.7 | 9.35 | 74.2 |
| 发热量(MJ/m ³ ,288K) | | | | | | | |
| 最高值 | 37.11 | — | 11.86 | 23.50 | 64.53 | 96.61 | 11.94 |
| 最低值 | 33.38 | — | 21.86 | 21.63 | 58.93 | 88.96 | 10.07 |

第二节 煤层瓦斯成因

煤层瓦斯是腐植型有机物在成煤过程中的伴生产物。煤的原始母质——腐殖质沉积以后,煤层瓦斯的生成过程,一般经历以下两个成气时期。

一、生物化学成气时期

从植物遗骸到形成泥炭属于生物化学成气时期。这一时期是从腐殖型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°C 的条件下,腐殖体经厌氧微生物分解成甲烷和二氧化碳。由于在这个阶段生成的泥炭层埋深浅,上覆岩层的胶结固化不好,而生成的瓦斯通过渗滤和扩散很容易排放到大气中去,因此生化作用生成的瓦斯,一般不会保留在现有煤层中。随着泥炭层的下沉,上覆岩层越来越厚,温度压力随之增高,泥炭逐渐转化成褐煤,生物化学作用成气过程也逐渐减弱直至结束。

二、变质作用成气时期

从褐煤到烟煤直到无烟煤属于煤化变质作用成气时期,随着褐煤进一步沉降,当埋深超过 1000m 时,地温升至 $50 \sim 160^{\circ}\text{C}$,由温度产生的热分解起决定作用。这时煤化作用处于长焰煤到瘦煤的阶段,以甲烷为主的烃类物质大量产生,在焦煤和部分肥煤阶段,是重烃产率最高的时期。当埋深达 $6000 \sim 7000\text{m}$ 时,地温超过 $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$,贫煤转变为无烟煤,这阶段生成的气体中,绝大多数为甲烷。

根据计算和试验模拟,在褐煤形成阶段,即生物化学成气时期,累计产气量约为 $68\text{m}^3/\text{t}$ 。从长焰煤到无烟煤形成阶段,即煤化作用成气时期,累计产气量则高达 $300 \sim 400\text{m}^3/\text{t}$ (表 1-2),而煤矿开采的实践表明,煤层瓦斯含量最大不超过 $40 \sim 50\text{m}^3/\text{t}$ 。由此看来,成煤过程中生成的瓦斯绝大部分已散入大气中或扩散到煤层围岩及运移至储气构造,形成煤层气田。

成煤过程甲烷生成量 (单位: m^3/t)

表 1-2

| 煤 阶 | 褐煤 | 长焰煤 | 气煤 | 肥煤 | 焦煤 | 瘦煤 | 贫煤 | 无烟煤 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 累计产气量 | 68 | 168 | 212 | 229 | 270 | 287 | 333 | 419 |
| 阶段产气量 | 100 | 44 | 17 | 41 | 17 | 46 | 86 | |

第三节 煤层瓦斯组分及沿深度的分带

一、煤层瓦斯组分

煤层瓦斯是多种气体的混合物,其成分是很复杂的。国内外对煤层瓦斯组分的大量测定表明,煤层瓦斯有约 20 种组分,如甲烷及其同系烃类气体(乙烷、丙烷、丁烷、戊烷、己烷等)、

二氧化碳、氮、二氧化硫、硫化氢、一氧化碳和稀有气体(氦、氖、氩、氪、氙)等。其中甲烷及其同系物和二氧化碳是成煤过程的主要产物,当煤层赋存深度大于瓦斯风化带深度时,煤层瓦斯的主要组分(>80%)是甲烷,因此,习惯上提到的煤层瓦斯往往就是仅指甲烷而言。

表 1-3 ~ 表 1-5 分别为国内外矿井瓦斯组分的一些测定结果。

我国部分煤矿煤层瓦斯组分测定结果

表 1-3

| 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 |
| 北票台吉矿-550m 水平 | 4 | 气、肥 | 7.10 | 0.39 | 92.03 | 0.0908 | 0.0079 | 0.0187 |
| 北票台吉矿-550m 水平,东三石门 | 5A | 气、肥 | 1.42 | 1.60 | 73.07 | 16.18 | 5.49 | 0.7130 |
| 北票冠山矿-580 水平 | 5C | 气、肥 | 7.28 | 0.93 | 91.57 | 0.0704 | 0.0018 | 0.0052 |
| 铁法大隆矿西翼南二区 | 7 | 气 | 12.27 | 1.08 | 84.92 | 1.6868 | 0.0060 | 0.0003 |
| 鸡西滴道立井二路 | 18 | 焦 | 12.85 | 1.07 | 85.87 | 0.0453 | 0.0042 | 0.0004 |
| 中梁山北井 2443 采面 | K4 | 焦 | 4.61 | 3.33 | 91.35 | 0.6708 | 0.0135 | 0.0020 |
| 天府南井六石门 | K9 | 焦 | 5.05 | 2.95 | 91.92 | 0.0344 | 0.0260 | 0.0026 |
| 天府南井北段+110m | K2 | 焦 | 2.98 | 2.64 | 93.78 | 0.5477 | 0.0043 | 0.0006 |
| 南桐直属二井 2504 采面 | 5 | 瘦 | 2.96 | 1.97 | 87.44 | 6.2711 | 1.3121 | 0.0050 |
| 沈阳红阳三井 860 孔 | 7 | 瘦 | 5.45 | 5.50 | 87.58 | 1.3143 | 0.0888 | 0.0031 |
| 沈阳红阳三井 895 孔 | 13 | 瘦 | 3.73 | 2.02 | 92.79 | 1.3777 | 0.0607 | 0.0025 |
| 阳泉一矿北头嘴井 | 3 | 无烟 | 0.93 | 2.29 | 96.72 | 0.0500 | 0.0036 | 0.002 |
| 松藻+430m,1356 采面 | K3 | 无烟 | 14.17 | 0.32 | 84.84 | 0.5485 | 0.0060 | 0.0027 |
| 白沙红卫坦家冲井 | 6 | 无烟 | 9.07 | 12.14 | 73.72 | 4.12 | 0.0348 | 0.0001 |
| 焦作李封大井 | 2 | 无烟 | 9.15 | 9.14 | 77.82 | 2.97 | 0.0205 | |

原苏联、比利时、英国煤层瓦斯组分(体积%)

表 1-4

| 国别 | 矿区或矿井 | CH ₄ | N ₂ | CO ₂ | H ₂ | O ₂ | 其他烷烃 |
|-----|----------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------|
| 原苏联 | 顿巴斯 | 91.56~98.4 | 0.71~7.97 | 0~0.47 | | | |
| 比利时 | 60 个矿井统计 | 92.9~99.6 | 0~6.27 | 0.03~3.38 | 0~0.24 | | 0.02~2.79 |
| 英国 | 鲍尔兹 | 95.8 | 3.07 | 0.68 | 0.20 | 0.25 | |

美国煤层瓦斯组分(体积%)

表 1-5

| 气体组分 | 最大(%) | 最小(%) | 平均(%) | 气体组分 | 最大(%) | 最小(%) | 平均(%) |
|--------------------------------|--------|-------|---------|-----------------|-------|-------|-------|
| CH ₄ | 99.22 | 63.1 | 91.89 | CO ₂ | 14.75 | 0.06 | 3.58 |
| C ₂ H ₆ | 0 | 0.48 | | N ₂ | 35.96 | 0.05 | 4.017 |
| C ₃ H ₈ | 1.59 | 0 | 0.00149 | O ₂ | 0.5 | 0 | 0.148 |
| C ₄ H ₁₀ | 0.0109 | 0 | 0.00033 | H ₂ | 0.02 | 0 | 0.002 |
| C ₆ H ₁₂ | 0.0022 | 0 | 0 | He | 0.27 | 0 | 0.03 |

二、煤层瓦斯沿深度的带状分布

当煤层有露头或在冲积层下有含煤地层时,煤化过程生成的瓦斯经煤层、上覆岩层和断层不断由煤层深部向地表运移;而地表的空气和生物化学生成的气体,则由地表向煤层深部渗透和扩散。由于这两种反向运移的结果,造成了煤层瓦斯组分沿赋存深度的带状分布。前苏联矿业研究院格·德·李金通过对顿巴斯和库兹巴斯等煤田大量的煤层瓦斯组分和含量的测定,将煤层瓦斯组分按赋存深度自上而下分为4个瓦斯带,即氮气—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1-6。

各瓦斯带的煤层瓦斯组分及含量

表 1-6

| 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 | 0.61 ~ 10.5 |
| 甲烷 | 0 ~ 10 | 0 ~ 0.37 | 0 ~ 20 | 0 ~ 1.93 | 80 ~ 100 | 0.61 ~ 10.5 |

随着深度的增大,煤层瓦斯组分由以 CO₂ 为主逐渐转化为以 N₂ 为主,最后到深部转化为以 CH₄ 为主。瓦斯带的前三带统称为瓦斯风化带。

瓦斯风化带下部边界煤层中甲烷组分含量为 80%,煤层瓦斯压力为 0.1 ~ 0.15MPa,煤的瓦斯含量为 2 ~ 3m³/t。瓦斯风化带的深度取决于井田地质和煤层赋存条件,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,则瓦斯风化带深度就越大。表 1-7 列出了我国部分高瓦斯矿井煤层瓦斯风化带深度的实测结果。

我国部分高瓦斯矿井煤层瓦斯风化带深度

表 1-7

| 局 | 矿 | 煤层 | 瓦斯风化带深度(m) | 局 | 矿 | 煤层 | 瓦斯风化带深度(m) |
|----|-----|----|------------|----|-----|------------------|------------|
| 抚顺 | 龙凤 | 本层 | 250 | 南桐 | 南桐 | 4 | 30 ~ 50 |
| 抚顺 | 老虎台 | 本层 | 300 | 天府 | 磨心坡 | 9 | 50 |
| 北票 | 台吉 | 4 | 115 | 六枝 | 地宗 | 7 | 70 |
| 北票 | 三宝 | 9B | 110 | 六枝 | 四角田 | 7 | 60 |
| 焦作 | 焦西 | 大煤 | 180 ~ 200 | 六枝 | 木岗 | 7 | 100 |
| 焦作 | 李封 | 大煤 | 80 | 淮北 | 芦岭 | 8 | 240 ~ 260 |
| 焦作 | 演马庄 | 大煤 | 100 | 淮北 | 朱仙庄 | 8 | 320 |
| 白沙 | 红卫 | 6 | 15 | 淮南 | 谢家集 | C ₁₃ | 45 |
| 涟邵 | 洪山殿 | 4 | 30 ~ 50 | 淮南 | 谢家集 | B _{11b} | 35 |
| 南桐 | 东林 | 4 | 30 ~ 50 | 淮南 | 李呈孜 | C ₁₃ | 428 |
| 南桐 | 鱼田堡 | 4 | 30 ~ 70 | 淮南 | 李呈孜 | B _{11b} | 420 |

第四节 煤层的基本含气特征

一、煤的孔隙性及吸附性

1. 煤的孔隙构成及类别

煤是一种多孔性固体,多孔性固体通常分为高分散性固体和发达孔隙系统固体,煤属于后者。煤的孔隙性决定着煤吸附瓦斯的能力、煤的渗透性和强度性质。研究证实,煤中具有孔隙直径小至 5\AA 大至数百万埃的不同数量级的孔隙系统。

按煤的组成及其结构性质,煤中孔隙可分为以下三种:

- (1) 宏观孔隙;
- (2) 显微孔隙;
- (3) 分子孔隙。

2. 煤体孔隙率

煤体孔隙率的性质和数量直接关系到瓦斯的赋存和瓦斯突出,计算公式如下:

$$K_{\text{空}} = \frac{d-s}{d} - \frac{W}{100-d_{\text{水}}} - \frac{F}{s \cdot 100} \quad (1-1)$$

式中: $K_{\text{空}}$ ——煤的孔隙率,%;

$$d \text{——煤的真密度, } d = (1.69 - 0.08H_2) \frac{100}{100 - A^f};$$

H_2 ——氢含量,%;

A^f ——煤的灰分,%;

$$s \text{——煤的视密度, } s = (1.33 - 0.0055V^r) \frac{100}{100A^f - W^f};$$

V^r 、 A^f 、 W^f ——煤的挥发分、灰分、水分,%;

W ——煤的总水分,%;

$d_{\text{水}}$ ——水的密度,g/ml,一般取1;

F ——在静压力作用下每单位体积煤压缩百分数,% , $F = 0.005 \times 0.25H$;

H ——计算地点的深度。

煤的孔隙率的大小与煤的变质程度有关,煤的孔隙率随挥发分的变化,遵循同一规律。即在某一挥发分值的情况下,孔隙率最小,挥发分大于此值时,孔隙率随挥发分的增加而增加,小于此值时,孔隙率随挥发份的减少而增加。孔隙率最小的挥发分数值,对抚顺煤田为 $V_r = 32\%$,对前苏联不同煤田为 $18.1\% \sim 25.9\%$ 。

3. 煤的吸附性

固体物质都具有或大或小的,能把周围介质中的分子、原子或离子吸附到自己表面的能力,称为该物质的吸附性能,煤就是一种很好的吸附剂。

研究表明,煤对瓦斯的吸附作用,在一定的瓦斯压力下,属于物理吸附。煤表面的原子(它们的价力尚未达到完全饱和程度)在其表面层产生一种力场,在这种力场影响下,周围的瓦斯分子比无力场存在时更易凝结,瓦斯的凝结能力便决定着它的被吸附能力。根据分子运动学说,可以把吸附作用看作是瓦斯分子在煤表面上凝结与蒸发的可逆过程,当煤全部表面均被单层瓦斯分子膜覆盖时,吸附量便达到了饱和值。

如上所述,煤是一种多孔介质,其中直径在 100\AA 以下的微孔,由于其内表面积高达 $200\text{m}^2/\text{g}$,而决定了煤的吸附容积。

煤吸附的瓦斯量不但取决于煤的变质程度,而且取决于瓦斯压力、煤体温度、煤中内在水分及煤的岩相成分。

煤的变质程度是决定煤的瓦斯吸附量的重要因素。根据中煤科工集团重庆研究院的测定,每克干燥纯煤(可燃基)可能吸附的最大值 a (m^3/t 纯煤),将随煤的变质程度增高而增大。在 30°C 时,无烟煤的 a 值平均为 $30\text{m}^3/\text{t}$ 纯煤左右,最大为 $48\text{m}^3/\text{t}$ 纯煤;焦煤的 a 值为 $15 \sim 25\text{m}^3/\text{t}$ 纯煤,气煤的 a 值低于 $20\text{m}^3/\text{t}$ 纯煤,长焰煤的 a 值只为 $12 \sim 16\text{m}^3/\text{t}$ 。

煤的瓦斯吸附量随变质程度增高而增大的规律,是由煤的天然活化作用所决定的,随着煤变质程度增大、挥发分减少,煤的微孔容积(吸附容积)增加。然而,随着无烟煤的进一步石墨化,煤分子的排列由紊乱到整齐,各分子环彼此接近,煤的微孔隙容积和吸附瓦斯量又急剧减少。

二、煤层透气性

煤是一种多孔介质,在一定压力梯度下,气体和液体可以在煤体内流动。煤层透气性是煤层对于瓦斯流动的阻力,通常用透气性系数表示,透气性系数越大,瓦斯在煤层中流动越容易。煤层透气性系数在我国普遍用的单位是 $\text{m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$,其物理意义是在 1m 长煤体上,当压力平方差为 1MPa^2 时,通过 1m^2 煤层断面,每日流过的瓦斯立方米数, $1\text{m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$ 相当于 0.025mD (毫达西)。

在实验室测定煤的透气性是在单向稳定流动条件下进行的,实验室可测定煤样的渗透性系数,按式(1-2)确定:

$$k = \frac{0.2\mu PQL}{F(p_1^2 - p_2^2)} \quad (1-2)$$

式中: k ——煤样渗透性系数, D (达西);

μ ——在试验温度条件下瓦斯的绝对黏度, $10^{-3}\text{Pa} \cdot \text{s}$;

p_1, p_2 ——煤样瓦斯入口和出口端的瓦斯压力, MPa ;

P ——大气压力, 0.1MPa ;

Q ——瓦斯流量, cm^3/s ;

L ——煤样的长度, cm ;

F ——煤样的断面积, cm^2 。

实验室试验表明,煤样的渗透性系数不仅与气体的种类有关,而且与煤样水分、渗透时的瓦斯压力以及煤样承受的机械荷载有密切关系。同一煤层煤样的渗透性系数的测定结果有很

大的差别。表 1-8 列出了阳泉矿务局和红卫煤矿两层煤干湿煤样渗透性系数的测定结果。

阳泉与红卫干、湿煤样渗透性系数测定结果

表 1-8

| 采样地点 | 煤层 | 干煤样渗透性系数(mD) | | | | 湿煤样渗透性系数(mD) | | | |
|-------|----|--------------|------|-----|------|--------------|------|-------|------|
| | | 煤样数量(个) | 最大 | 最小 | 平均 | 煤样数量(个) | 最大 | 最小 | 平均 |
| 红卫煤矿 | 6 | 35 | 60.6 | 5.6 | 12.6 | 11 | 10.9 | 0.004 | 1.4 |
| 阳泉矿务局 | 3 | 6 | 15.9 | 0.6 | 4.7 | 7 | 1.3 | 0.12 | 0.41 |

由表 1-8 中可以看出,无论干或湿煤样,其渗透性系数皆有较大范围的波动,但从平均值来看,干煤样的渗透性系数比湿煤样大 8~9 倍。

煤样的渗透性系数与煤样所受压力的关系可用经验公式(1-3)表示:

$$k = k_0 e^{-b\sigma} \quad (1-3)$$

式中: k ——承压煤样的渗透性系数, mD;

k_0 ——煤样不承压时的渗透性系数, mD;

σ ——煤样承受的机械压力, MPa;

b ——经验常数, MPa^{-1} 。

实验室测定的煤样渗透性无法代替煤层透气性,因为后者除了与煤的孔隙结构有关外,还与煤层中大裂隙的发育程度密切相关,这种大裂隙在煤样制备过程中是无法保留的。煤层深埋于地下,煤层的透气性与地应力、煤层水分以及在应力作用下煤中裂隙的闭合程度皆有关系,因此,我国皆采用现场实测的方法来确定煤层的透气性大小。

表 1-9 列出了我国部分矿井煤层实测的透气性系数值。由表中可以看出,煤层透气性系数的变化范围很大,最大可达数个毫达西,最小的在千分毫达西之下。

部分矿井煤层实测的透气性系数值

表 1-9

| 矿井 | 煤层 | 透气性系数 λ | | 矿井 | 煤层 | 透气性系数 λ | |
|---------|----|--|----------------------------------|----------|-------|--|-----------------------------------|
| | | $\text{m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$ | mD | | | $\text{m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$ | mD |
| 抚顺龙凤煤矿 | 本层 | 140~150 | 3.5~3.75 | 红卫矿里王庙井 | 6 | 0.12~0.32 | $(0.3 \sim 0.8) \times 10^{-2}$ |
| 抚顺胜利煤矿 | 本层 | 29.6~36.8 | 0.74~0.92 | 红卫矿坦家冲井 | 6 | 0.24~0.47 | $(0.6 \sim 1.18) \times 10^{-2}$ |
| 北票三宝煤矿 | 9B | 0.039 | 0.975×10^{-3} | 天府磨心坡煤矿 | 9 | 0.042~0.14 | $(1.06 \sim 3.5) \times 10^{-3}$ |
| 北票台吉煤矿 | 10 | 0.0028~0.004 | $(0.07 \sim 0.1) \times 10^{-3}$ | 中梁山北井 | K_1 | 0.64~0.68 | $(1.61 \sim 1.70) \times 10^{-2}$ |
| 北票台吉煤矿 | 4 | 0.006 | 0.16×10^{-3} | 六枝化处煤矿 | 7 | 0.0178 | 0.445×10^{-3} |
| 北票台吉煤矿 | 3 | 0.0144 | 0.36×10^{-3} | 六枝大用煤矿 | 7 | 0.0862 | 2.15×10^{-3} |
| 包头河滩沟煤矿 | G | 11.3~17.4 | 0.28~0.44 | 涟邵洪山殿立新井 | 4 | 1.10 | 0.0275 |
| 鹤壁六矿 | 大煤 | 1.2~1.8 | 0.03~0.045 | 焦作朱村煤矿 | 大煤 | 0.55~3.6 | 0.013~0.09 |