

瓦斯隧道

建设关键技术

KEY TECHNOLOGY
ON GAS TUNNEL CONSTRUCTION

丁睿
编著



人民交通出版社
China Communications Press

瓦斯隧道

建设关键技术

KEY TECHNOLOGY
ON GAS TUNNEL CONSTRUCTION

丁睿
编著



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书基于作者主持的相关科研项目研究成果,综合参建紫坪铺隧道、明月山隧道的经验及国内大量瓦斯隧道工程实例分析、总结,系统地阐述了瓦斯隧道建设方面的关键技术。其主要内容包括:瓦斯灾害及其发生条件,瓦斯隧道等级、工区定量评价及建设危险性评估方法,瓦斯监测与预测、施工通风、设备防爆选型及改造、坍方防治、煤与瓦斯突出防治等。

本书的编写注重理论联系实际,尤其强调防治技术的工程实践应用。本书可供从事隧道及地下工程施工的管理、设计、施工以及科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

瓦斯隧道建设关键技术 / 丁睿编著. — 北京: 人民交通出版社, 2010.5

ISBN 978-7-114-08388-4

I. ①瓦… II. ①丁… III. ①瓦斯煤层采煤法 IV. ①TD823.82

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第091401号

书 名:瓦斯隧道建设关键技术

著 者:丁 睿

责任编辑:吴有铭 夏 迎

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)59757969,59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盛通印刷股份有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:17.75

字 数:419千

版 次:2010年5月第1版

印 次:2010年5月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08388-4

定 价:55.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

近日读到丁睿博士撰著的新作《瓦斯隧道建设关键技术》，对隧道瓦斯灾害防治的关键技术进行了详尽的总结，并提出了很多新观点。听闻该书稿行将付梓，感到由衷高兴。

我国是一个煤炭资源丰富的国家，随着交通基础设施的全面推进，在建设过程中已出现大量的瓦斯隧道。通过煤系地层的瓦斯隧道面临防突、防坍、防瓦斯及防有害气体等安全问题，尤其是瓦斯爆炸以及煤与瓦斯突出，将造成人民生命财产的重大损失和恶劣的社会影响。为了有效预防和减少瓦斯隧道地质灾害，需要对瓦斯灾害有全面的认识，对隧道瓦斯状况有准确的把握，从而制订安全、经济、快速、节能的施工方案和技术措施，这是非常必要的。

作为一名青年技术工作者，作者本人近年来一直工作在瓦斯等不良地质隧道施工、科研第一线。通过大量瓦斯隧道的建设资料整理、分析、总结，在工程实践的基础上采用理论与实践相结合的方法，得出很多有益的设计与施工新理念。纵观全书，作者针对隧道瓦斯灾害的防治，在分级分区、超前探煤、瓦斯释放、瓦斯监测、通风技术、煤和瓦斯突出防治、坍方防治七个方面进行了系统深入的论述。

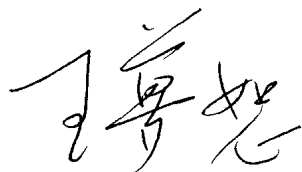
作者强调了地质分析在超前探煤中的作用，阐述了综合应用地质分析和超前钻孔进行探煤的技术体系；在瓦斯监测方面，对目前瓦斯隧道应用的监测系统和个人便携式瓦斯检测仪相结合进行了论述，并在利用监测数据实现瓦斯预报方面进行了有益的探讨，形成了比较完整的体系；通风是瓦斯防治的重要措施，作者论述了各种通风模式应用于瓦斯隧道的优缺点，明确了射流巷道式通风是长大瓦斯隧道通风最优选择，总结了瓦斯隧道通风设计方案和管理要点；在防治坍方方面，强调了瓦斯隧道施工应避免坍方发生，引发重大灾害，同时讨论了瓦斯隧道和非瓦斯隧道坍方处理的区别，这些对指导瓦斯隧道施工方案及防治技术，都有很大参考价值。

该书将评分法和模糊数学法这样的定量分析手段，引入瓦斯隧道分级分区评价是一种很有意义的尝试。作者进行了大量的探索，提出了多指标定量综合评价方法，颇有新颖性，丰富了瓦斯隧道等级评价的方法和手段，值得在实践中进一步完善。

瓦斯隧道建设风险极大，作者在这方面进行的探索和研究，无疑很有意义，对隧道瓦斯防治技术起到推动作用，相信广大隧道建设技术人员能从本书中能得到有益的借鉴，并有所获益。

我为青年技术工作者对事业的热爱和责任，甚感欣慰，也祝愿他们在科技攻关的道路上更进一步。为此，欣然作序。

中国工程院院士：



前 言

我国的地质构造环境造就了广泛分布的富集程度不一的煤炭资源,目前已探明埋深在2000m以内的煤炭储量就达5.57万亿吨,隧道建设将不可避免地穿越大量的煤系地层,施工过程中经常会遭遇瓦斯灾害,对隧道工程的建设 and 施工人员的安全构成了极大威胁。仅以西南地区为例,新建及在建的瓦斯隧道就有:都汶高速紫坪铺、龙溪隧道;垫邻高速明月山、铜锣山隧道;镇胜高速槽箐头、孙家寨隧道等;贵广线李家院、小范坪、尖山营、太阳庄、高田头、上寨隧道等;兰渝线肖家梁、仲家山、四方山、梅岭关、熊洞林、李家山、李家沟、大梁山、金竹林隧道等;六沾线乌蒙山、新且午、三联隧道等近50座。

随着瓦斯隧道建设数量日益增加,隧道瓦斯灾害造成的重、特大安全事故也时常发生。如达成线炮台山隧道瓦斯爆炸死亡13人,被迫停工7个月;新213国道的友谊隧道,先后发生瓦斯燃烧、爆炸40余次,并于2004年12月7日发生恶性瓦斯爆炸事故,造成60多人伤亡;董家山隧道于2005年12月22日发生特大瓦斯爆炸事故,造成44人死亡,11人受伤,直接经济损失2035万元。

造成瓦斯隧道建设事故频发的原因是多方面的,其中最重要的原因是20世纪90年代以前,我国瓦斯隧道工程实践少,因而这种不良地质隧道施工技术发展也相当缓慢,这直接表现在规程规范的缺乏和不完善。直到2002年,铁路部门才出台《铁路瓦斯隧道技术规范》,而公路交通部门,截至目前尚无公路瓦斯隧道工程技术标准,施工单位在组织瓦斯隧道施工时多照搬《煤矿安全规程》有关规定进行。值得说明的是:煤矿部门由于长期与瓦斯接触,已经形成了一套瓦斯地层采煤的成套技术和标准,也具有丰富的瓦斯治理经验,参考和借鉴其相应的规程是必要的,但如果不注意煤矿井巷与瓦斯隧道的区别,不结合瓦斯隧道的特点提高认识,盲目地机械照搬,同样会导致瓦斯隧道安全事故的发生;同时,还会增加许多不必要的投入,加大工程成本、延长工期。

瓦斯隧道不同于煤矿井巷系统,主要表现在:(1)煤矿以采煤为目的,井巷多沿煤层布置,由于接触点多而便于认识瓦斯规律;隧道则尽量以最短距离穿过煤层,尽管所发生的瓦斯涌出远不如煤矿严重、复杂,但对瓦斯规律更难认识和掌握。(2)煤矿井巷断面小,一般不超过 18m^2 ;隧道断面大,双线公路隧道的开挖断面目前多已超过 120m^2 ,因而围岩失稳危险度高,进而释放瓦斯的危险度也高。(3)隧道的大型开挖、装载、衬砌设备,多工序交叉作业等给通风技术和设备防爆都带来一系列新的、不同于煤矿的技术难题。

对于通过煤系地层的瓦斯隧道的建设而言,最关键的防治技术在于施工通风、瓦斯监测及超前探煤几个方面。通过有效的通风技术,将隧道内瓦斯浓度控制在限值以内,将不具备发生瓦斯爆炸的条件,这样完全可能把瓦斯隧道变为按普通隧道组织施工;通过系统完善的瓦斯监控网络,建设者可实时了解洞内各处的瓦斯状况,出现异常立即进行处理;通过地质分析与超前钻孔,掌握开挖工作面前方煤层的厚度、走向、分布,可以及时地制订相应的防治措施,同时,超前探孔还可起瓦斯排放及卸压作用。把握住这几方面,就把握住了隧道瓦斯灾害防治的

关键。

鉴于瓦斯隧道建设数量不断增长,以及工程建设单位对瓦斯灾害防治认识的不足,作者基于主持的相关科研项目研究成果,综合参建紫坪铺隧道、明月山隧道的经验及国内大量瓦斯隧道工程实例分析、总结,精心编撰完成本书。编写过程中,注重理论联系实践,尤其强调防治技术的工程实践应用;本书首先阐述瓦斯赋存与运移特点、瓦斯灾害及其发生条件等相关理论,在此基础上进一步论述瓦斯隧道等级、工区定量评价及建设危险性评估方法,为瓦斯隧道分级设防奠定理论基础;其次针对杜绝或控制瓦斯灾害发生条件,在超前探煤、瓦斯监测与预测、施工通风、设备防爆选型及改型、坍方防治、煤与瓦斯突出防治等关键技术方面进行系统、全面的阐述、分析;最后,就国内数座知名瓦斯隧道施工总体方案及各分项技术进行详细阐述。

本书在编写过程中,得到王梦恕院士很多指导和帮助,在此特别致以感谢。书稿部分内容来自作者所主持的科研项目“高瓦斯特长隧道建设关键技术”中的研究成果,在此,感谢课题组成员康小兵博士在瓦斯隧道分级及分区方面所做的资料整理分析工作,感谢杜铭敏硕士在瓦斯预测方面所做的资料整理分析工作,感谢课题组所有成员对于作者所给予的帮助和支持。此外,本书引用、参考了大量专业书籍及文献,在此,对原作者致以真诚的感谢。

限于作者水平,书中错误在所难免,不当之处,敬请广大读者批评指正。

丁 睿

2010年02月于成都

目 录

第 1 章 瓦斯赋存与瓦斯灾害	1
1.1 煤层类型及其性质	1
1.2 煤层瓦斯的形成及赋存	6
1.3 我国煤层瓦斯的区域分布特征	9
1.4 煤层瓦斯赋存的主要影响因素.....	12
1.5 瓦斯赋存及运移与地质构造的关联关系.....	15
1.6 瓦斯灾害.....	16
第 2 章 瓦斯隧道等级与工区评价体系	25
2.1 瓦斯等级划分现状.....	25
2.2 瓦斯隧道评价体系的理论.....	30
2.3 隧道建设瓦斯危害的工程案例和影响因素.....	34
2.4 瓦斯隧道等级评价体系.....	52
2.5 瓦斯隧道工区评价体系.....	58
2.6 瓦斯隧道建设危险性评估.....	68
第 3 章 过煤系地层隧道施工超前地质预报	76
3.1 过煤系地层隧道超前地质预报体系.....	76
3.2 紫坪铺隧道工程地质条件.....	78
3.3 地质条件宏观分析.....	80
3.4 地质调查和地质编录.....	81
3.5 地球物理勘探方法.....	91
3.6 超前钻探	102
3.7 综合分析 with 开挖验证	109
第 4 章 隧道瓦斯监测及预测技术	111
4.1 瓦斯检测仪器及监控系统	111
4.2 隧道瓦斯监测技术	119
4.3 瓦斯监测数据分析	130
4.4 隧道瓦斯预测技术	135
第 5 章 瓦斯隧道施工通风技术	146
5.1 隧道施工通风方式	146
5.2 隧道常用风机	150
5.3 隧道施工通风系统设计	152
5.4 瓦斯局部积聚防治	163
5.5 瓦斯隧道通风管理	164
5.6 瓦斯隧道施工通风数值分析	167

5.7	瓦斯隧道施工通风工程案例	173
第6章	高瓦斯隧道设备配置及供配电系统	181
6.1	高瓦斯隧道设备配置	181
6.2	有轨运输设备选型	184
6.3	无轨运输设备防爆改型	190
6.4	瓦斯隧道供配电系统	195
第7章	瓦斯隧道坍方防治技术	207
7.1	瓦斯隧道坍方原因分析	207
7.2	瓦斯隧道坍方预防	211
7.3	瓦斯隧道坍方处理技术	213
7.4	瓦斯隧道坍方处理工程案例	214
第8章	隧道煤与瓦斯突出防治技术	222
8.1	煤与瓦斯突出机理	222
8.2	瓦斯隧道防突综合措施执行系统	224
8.3	突出危险性预测	225
8.4	煤与瓦斯突出防治措施	230
8.5	防治突出措施的效果检验	236
8.6	安全防护措施	237
8.7	瓦斯隧道突出防治工程案例	238
第9章	瓦斯隧道施工工程实例	249
9.1	明月山隧道	249
9.2	朱嘎隧道	259
9.3	华荳山隧道	264
	参考文献	271

第 1 章 瓦斯赋存与瓦斯灾害

煤层瓦斯主要指煤层及煤层围岩内赋存的气体,以甲烷为主,约有 20 种组分:甲烷 CH_4 及其同系烃类气体(乙烷 C_2H_6 、丙烷 C_3H_8 、丁烷 C_4H_{10} 、戊烷 C_5H_{12} 等)、二氧化碳 CO_2 、氮气 N_2 、一氧化碳 CO 、二氧化硫 SO_2 、硫化氢 H_2S 等。

甲烷本身无色无味,但往往因含有少量其他芳香族碳氢气,而常伴随有一种苹果的香味。在大气压力为 $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ (760mmHg)、温度为 0°C 的标准状态下,每立方米甲烷的质量为 0.716kg,与空气比较,其相对密度为 0.554,与氧适当混合具有可燃烧性和可爆炸性。甲烷本身无毒,但是当空气中瓦斯浓度超过 40% 时(即空气中氧气含量下降到 12% 以下),就会使人因严重缺氧而窒息死亡。甲烷的化学性质不活泼,微溶于水。煤层瓦斯中甲烷及其他气体的主要物理性质见表 1-1。

煤层瓦斯中甲烷及其他气体的主要物理性质

表 1-1

项 目	甲烷 CH_4	二氧化碳 CO_2	一氧化碳 CO	硫化氢 H_2S	乙烷 C_2H_6	丙烷 C_3H_8	
分子量	16.042	44.01	28.01	34.08	30.07	44.09	
密度(kg/m^3)	0.7168	1.98	1.25	1.54	1.36	2	
对空气的相对密度	0.5545	1.53	0.97	1.17	1.05	1.55	
沸点(K)(101.3kPa)	111.3	194.5	83	211.2	184.7	230.8	
爆炸下限(%)(293K,101.3kPa)	5	—	12.5	4.3	3	2.1	
爆炸上限(%)(293K,101.3kPa)	15	—	74.2	45.5	12.5	9.35	
发热量(MJ/m^3 ,288K)	最高值	37.11	—	11.86	23.5	64.53	98.61
	最低值	33.38	—	11.86	21.63	58.93	88.96

1.1 煤层类型及其性质

1.1.1 宏观煤岩成分及其类型

1.1.1.1 宏观煤岩成分

煤是一种岩石组成较为复杂的固体可燃有机岩。宏观煤岩成分是指用肉眼或放大镜可以区分和辨认的组成煤的基本单位,包括丝炭、镜煤、暗煤和亮煤四种成分,其中丝炭和镜煤为简单煤岩成分,暗煤和亮煤则为复杂煤岩成分。

1) 丝炭

丝炭是经炭化作用形成的丝炭化物质。丝炭化作用是指植物遗体中的木质纤维组织,在沼泽覆水浅、水流畅通的氧化条件下,且有喜氧细菌参与,遭受氧化分解、脱水、脱氢和炭化作

用,转变成贫氢、富碳的腐殖物的过程。丝炭颜色暗黑,外观像木炭,有明显的纤维状结构和丝绸光泽,疏松多孔,性脆易碎,组成单一,成分简单,质地软,易染手。其碳含量高,氢含量低,挥发分产出率低,不具黏结性,孔隙度大,吸氧性强,易氧化而自燃。丝炭在煤层中多沿层理分布,呈透镜体出现,厚度一般 1~2mm,有时能形成不连续的薄层。

2) 镜煤

镜煤主要是由植物的木质纤维组织经凝胶化作用转变而成,凝胶化物质占 95% 以上。凝胶化作用是指堆积在沼泽中的植物遗体的主要组成部分(木质纤维组织)在覆水较深、水体滞流、缺氧的弱氧化至还原的环境中,由于厌氧细菌的参与和长期浸润的作用而转化成以腐殖酸和沥青质为主要成分的凝胶、溶胶等胶体物质的过程。经凝胶化作用产生的不同形态和结构的凝胶化物质,再经过煤化作用即形成成为煤中的凝胶化组分——木煤、木质镜煤、镜煤和凝胶化基质。

镜煤是煤中颜色最深、光泽最强的成分,多呈乌黑色,结构致密均一,贝壳状、眼球状断口,内生裂隙最为发育,性脆、易碎成棱角状小块。镜煤在煤层中多呈数毫米至 2cm 的透镜体分布于暗煤或亮煤中,很少单独构成煤分层。在四种煤岩成分中,镜煤的挥发分和氢含量最高,黏结性强。

3) 暗煤

暗煤的颜色灰黑,光泽暗淡,致密坚硬,断口粗糙,内生裂隙不发育,相对密度较大,韧性较强。暗煤在煤层中普遍发育,可单独构成煤层或煤分层。暗煤常以不透明基质胶结较多的形态分子和数量不等的矿物杂质为特征,成分复杂多样:有以孢子和花粉为主要成分的孢子暗煤,以角质体为主要成分的角质层暗煤,以木栓体为主要成分的树皮暗煤,以树脂体为主要成分的树脂暗煤,以丝炭碎屑为主要成分的丝炭暗煤,以由各种形态分子混合组成且比例不一的混合暗煤。

4) 亮煤

亮煤是最常见的煤岩成分,光泽较强,仅次于镜煤,较脆易碎,内生裂隙较为发育,相对密度较小,结构比较均一,表面隐约可见微细纹理,有时具贝壳状断口。其组成比较复杂,以凝胶化组分为主。亮煤可单独组成较厚的煤分层,也可呈透镜体出现。

1. 1. 1. 2 宏观煤岩类型及其特征

宏观煤岩石类型,是指用肉眼观察时,根据同一变质程度煤的平均光泽强度、煤岩成分的组合及比例情况划分的煤的岩石类型,通常有光亮型煤、半亮型煤、半暗型煤和暗淡型煤四种。

(1) 光亮型煤:主要由光泽很强的亮煤和镜煤组成,有时也夹有暗煤和丝炭的透镜体或薄层,光泽最强,组成较为均一,条带状结构一般不明显,内生裂隙发育,脆度较大,机械强度较小,易破碎,常具贝壳状断口,镜质组分含量一般在 80% 以上。

(2) 半亮型煤:主要为亮煤,有时同镜煤和暗煤一起组成,也可夹丝炭,平均光泽强度较光亮型煤稍弱,条带状结构明显,内生裂隙发育,常具棱角状或阶梯状断口,性较脆,较易碎,是最常见的煤岩类型,镜质组分含量 60%~80%。

(3) 半暗型煤:由暗煤和亮煤组成,常以暗煤为主,硬度、韧性较大,条带结构明显,内生裂隙不甚发育,多见粒状断口,镜质组分含量 40%~60%。

(4) 暗淡型煤:主要由暗煤组成,有时有少量镜煤、丝炭或矸石透镜体,光泽暗淡,煤质坚硬致密,层理构造不明显,通常呈块状,韧性大,内生裂隙不发育,断口多为棱角状、参差状,镜质

组分含量小于40%。

根据煤的结构、构造还可以进一步划分出亚型,见表1-2。

煤的煤岩类划型分表

表1-2

成因类型		煤的光泽岩石类型	
		类型(按煤平均光泽强度划分)	亚型(按煤的结构和构造划分)
腐殖煤类	腐殖煤	光亮型煤	均一状光亮煤(镜煤);似均一状光亮煤;线理—透镜状光亮煤;隐条带状光亮煤;条带状光亮煤;眼球状光亮煤
		半亮型煤	似均一状半亮煤;线理—透镜状半亮煤;隐条带状半亮煤;条带状半亮煤;不规则状半暗煤;眼球状半亮煤
		半暗型煤	似均一状半亮煤;线理—透镜状半暗煤;隐条带状半暗煤;条带状半暗煤;不规则状半暗煤;眼球状半暗煤;粒状半暗煤
		暗淡型煤	似均一状暗淡煤;线理—透镜状暗淡煤;隐条带状暗淡煤;条带—线理状暗淡煤;眼球状暗淡煤;粒状暗淡煤;叶片状暗淡煤;纤维状暗淡煤
	残殖煤	半暗型煤	线理—透镜状半暗煤;隐线理状半暗煤;叶片状半暗煤
		暗淡型煤	线理状暗淡煤;叶片状暗淡煤
腐泥煤类	藻煤胶泥煤	暗淡型煤	均一状腐泥煤;似均一状腐泥煤;微粒状腐泥煤
腐殖腐泥煤类	腐泥腐殖煤	半暗型煤	似均一状半暗煤;隐线理状半暗煤;不规则线理—透镜状半暗煤;粒状半暗煤
	腐殖腐泥煤	暗淡型煤	似均一状暗淡型煤;隐线理状暗淡型煤;不规则线理—透镜状暗淡煤;粒状暗淡煤

1.1.1.3 煤的物理性质

煤的物理性质包括:光泽、颜色、硬度、脆度、断口、密度(相对密度)、反射率及导电性等。煤的物理性质是在煤的形成和变化过程的不同阶段,受成煤原始物质、聚积环境、煤化作用等因素的影响而逐渐形成的。根据煤的物理性质可以确定煤的成因类型、宏观煤岩成分和煤化程度,作为初步评价煤质的依据。

(1)光泽:指煤的表面的反光能力,是肉眼鉴定煤的主要标志之一。

(2)颜色组分:煤的颜色随煤化程度的增高而变化。在普通白光照射下,煤表面反射光线所显示的颜色称为表色;煤研磨成粉末的颜色称为粉色,粉色往往略浅于表色;用镜煤或较纯净的亮煤在脱釉瓷板上划的条痕的颜色称为条痕色。

(3)硬度:指煤抵抗外来机械作用的能力。

(4)断口:煤受外力断开后呈现凹凸不平的表面称为断口。严格来说,断口不应该包括沿层理面或裂隙面断开的表面特征。

(5)密度:指单位体积煤的质量。煤的密度取决于煤岩组成、煤化程度及煤中矿物杂质的成分和含量。

(6)导电性:指煤传导电流的能力,通常以电阻率表示。

1.1.2 各种成因类型煤的特征

根据成煤原始物质、聚积环境条件、化学性质和岩石组成不同等因素,可把自然界中的煤分为腐殖煤类、腐泥煤类及腐殖—腐泥煤类。

1.1.2.1 腐殖煤类

1) 腐殖煤

腐殖煤是高等植物遗体经泥炭化和煤化作用所形成的煤。

(1)泥炭:又称草炭、柴煤、泥煤,为高等植物遗体经泥炭化作用后所形成的产物。新鲜的泥炭呈黄褐色、褐色、棕色和黑褐色等,氧化后为黑色、黑褐色;光泽暗淡,结构多呈疏松土状、泥状和叶片状等块状构造;常含有未分解的植物残体碎片,相对密度一般在0.72~0.8之间,抗压强度低,易破碎,透水性差;腐殖碳含量一般为20%~50%,水分含量可达50%以上,吸附性强,可塑性强,可压制成型,为低热值燃料。

(2)褐煤:多呈褐色,少数为棕黑色,极少数为黑色,条痕均为褐色;光泽暗淡或具弱沥青光泽;无内生裂隙,韧性较大;含有数量不等的原生腐殖煤;无黏结性,置于空气中极易风化而裂成碎块;纯煤相对密度一般为1.28~1.42;结构较复杂,多为线理状、细条带状和透镜状等。褐煤的吸水性比泥炭小。

(3)烟煤:为褐煤经变质作用而形成。烟煤和褐煤的区别在于其一般不含游离的腐殖酸,不能把碱溶液染成褐色,并开始具有不同强度的光泽和黏结性。根据变质程度的强弱,可将烟煤分成低变质烟煤(长焰煤、气煤)、中变质烟煤(肥煤、焦煤、瘦煤)和高变质烟煤(贫煤)。

(4)长焰煤:变质程度较低,其镜煤为褐红色,条痕为褐色或深褐色,沥青光泽,韧性较大,多具贝壳状断口,不具或具极弱的黏结性。长焰煤与褐煤的区别在于其不含原生腐殖煤,部分含次生腐殖酸,焦油产出率较高,燃烧时火焰长、呈红色、烟浓、发热量也比褐煤高。

(5)气煤:低变质烟煤,褐黑色,条痕棕色或褐黑色,沥青光泽或弱玻璃光泽,相对密度小,硬度、脆度小,内生裂隙不发育,加热时有较多的挥发分、焦油和热稳定性较差的胶质体逸出或析出,一般能单独结焦,但焦炭细长而易碎,并有较多的纵裂纹。

(6)肥煤:属中变质烟煤。其镜煤为深黑色,条痕为黑略带棕色,具玻璃或油脂光泽,内生裂隙发育,脆度较大,加热时能产生大量的胶质体。

(7)焦煤:属中变质烟煤。其镜煤为深黑色,条痕为黑色,强玻璃光泽,内生裂隙发育,脆度最大,加热时能产生热稳定性很高的胶质体。

(8)瘦煤:属中变质烟煤。其镜煤为黑色至灰黑色,条痕为黑色,强玻璃光泽,内生裂隙发育中等,脆度大,加热时产生少量的胶质体。

(9)贫煤:变质程度最高的烟煤。其镜煤为黑灰色至黑色,条痕为深黑色,金刚光泽,韧性较大,内生裂隙不发育,挥发分较低,加热时不产生胶质体,通常不具有黏结性,燃烧时火焰短,稍有烟。

(10)无烟煤:为变质程度最高的一种煤,燃烧时火焰无烟。灰黑色或略带金黄、银白的灰黑色,条痕为浅黑或灰黑色,金刚光泽或似金属光泽,内生裂隙不发育,相对密度大(纯煤真比重为1.4~1.8),硬度大,多具贝壳状断口,可燃基含碳量高(90%~98%),含氢量低(小于4%),化学活性较低,热稳定性较差。

2) 残殖煤

残殖煤主要是由高等植物体中的稳定组分富集而成。自然界中残殖煤很少单独组成煤层,常与腐殖煤互层或逐渐过渡。残殖煤光泽渐暗或具油脂光泽,韧性较大,纯净的残殖煤相对密度较小(约为1),挥发分产出率高,氢含量和含油率高,与腐泥煤相近。根据主要稳定组分不同,可分为以下亚类:

(1)角质层残殖煤:呈灰黑色或褐黑色,光泽暗淡,新鲜而具油脂光泽,叶片状结构,燃烧时有沥青味,主要由厚薄不等的角质组分互层组成,含量占60%~75%以上。

(2)树皮残殖煤:呈褐黑色,略具油脂光泽,垂直断面上亮暗成分相间出现,具水平微波状层理,韧性较大,燃点低,燃烧时具沥青味,相对密度较小,条痕棕色,木栓质含量达60%~70%以上。

(3)孢子残殖煤:以大孢子和小孢子为主,常具粒状结构,光泽暗淡,质地致密,柔韧性强,多数呈透镜体或夹层出现在煤层中。

(4)树脂残殖煤:树脂多呈颗粒状,黄色透明,断面呈油脂光泽,可用来制作工艺品、香料和药材。

1.1.2.2 腐泥煤类

腐泥煤类主要由古代菌、藻类植物及浮游生物遗体转变而成。颜色常呈灰白、褐色或黑色,光泽暗淡或近似沥青光泽,韧性大,纯煤相对密度一般为1.1,常具贝壳状断口,层理不显,常呈均一状结构,块状构造,燃点低,燃烧时有沥青味。根据原始物质分解程度不同,可分为腐泥煤和胶泥煤。典型的腐泥煤是藻类,胶泥煤是无结构的腐泥煤。

1.1.2.3 腐殖—腐泥煤类

腐殖—腐泥煤类为腐殖煤和腐泥煤的过渡类型,其性质介于二者之间,其典型代表为烛煤、藻—烛煤等。

(1)烛煤:是一种易于点燃,火焰与蜡烛火焰相似的腐殖—腐泥煤。颜色呈灰色或稍带褐色,质轻(纯煤真比重1.2),致密坚硬,韧性大,具贝壳状断口,块状构造。

(2)藻—烛煤:介于烛煤与藻煤之间的过渡类型。

(3)煤精:成因尚待研究,结构致密均一并具有沥青光泽。煤精可用于雕刻工艺品,硬度大于3,呈黑色。

1.1.2.4 石煤(腐泥无烟煤)

石煤主要是由菌、藻类等低等植物在浅海、静水、还原环境下所形成的,变质程度普遍较高,达无烟煤阶段或更高,属腐泥无烟煤。其特点为灰黑和暗灰色,黑或灰黑色条痕,质地致密坚硬,相对密度大,多为2.1~2.3,燃点高,燃后发红、无烟、无焰。

1.1.3 煤体结构

煤体结构是指煤岩组分的形态、结构、大小所表现出来的特征。一般原生结构的煤不发生突出,属非突出煤层,受构造应力作用,煤的原生结构遭受破坏后,所表现出的称为构造结构,即构造煤或软分层煤。构造煤一般光泽显暗淡,煤岩成分大多破碎为颗粒而难分辨,结构构造复杂,外生裂隙发育,常见有角砾状、粒状、鳞片状、碎裂状、褶皱状、粉末状等。构造煤在宏观上主要表现为以下特点:

(1)煤的原生结构遭到程度不同的破坏,除碎裂煤可断续见到原生条带状结构外,大部分

均失去了原生结构。

(2)表现出明显的构造结构特征,如碎裂状、砂糖状、鳞片状、土状等,还不同程度地发育有镜面、揉皱镜煤、定向排列构造等。

(3)强度低,松软易碎,用手捻搓易成碎粒或煤粉。

煤的破坏类型分类见表 1-3。

煤的破坏类型分类表

表 1-3

破坏类型	光泽	构造与构造特征	节理性质	节理面性质	断口性质	强度
I类 (非破坏煤)	亮与 半亮	层状构造、块状构造, 条带清晰明显	一组或二、三组 节理,节理系统发 达,有次序	有方解石充填, 次生面少,节理、 劈理面平整	参差阶状、 贝壳状、 波浪状	坚硬,用手 难以掰开
II类 (破坏煤)	亮与 半亮	尚未失去层状,较有 次序;条带明显,有时扭 曲,有时错动;不规则 状,多棱角;有挤压特征	次生节理面多, 不规则,与原生节 理成网状节理	节理面有擦纹、 滑皮,节理平整, 易掰开	参差多角	用手易剥 成小块,中等 硬度
III类 (强烈破坏煤)	半亮与 半暗	弯曲成透镜体构造; 小片状构造,细小碎块, 层理较紊乱,无次序	节理不清,系统 不发达,次生节理 密度大	有大量擦痕	参差及粒状	用手捻成 粉末,硬度低
IV类 (粉碎煤)	暗淡	粒状或小颗粒胶结而 成,形似天然煤团	节理失去意义, 成黏块状	—	粒状	用手捻成粉 末,偶尔较硬
V类 (全粉煤)	暗淡	土状构造,似土质煤; 如断层泥状	—	—	土状	可捻成粉 末,疏松

1.2 煤层瓦斯的形成及赋存

1.2.1 煤层瓦斯的形成

如前所述,煤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、堆积到转变为煤要经过一系列演变过程,这个过程称为成煤作用。整个成煤过程都伴随有烃类、二氧化碳、氢和稀有气体的产生。

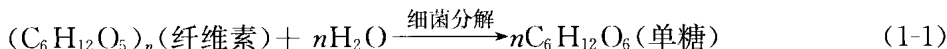
成煤过程大致可划分为两个造气时期,即生物化学造气时期和煤化变质作用造气时期。

1.2.1.1 生物化学造气时期

这是成煤作用的第一阶段(泥炭化阶段或腐泥化阶段)。在此阶段,植物在沼泽、湖泊或浅海中不断繁殖,其遗体在微生物参与下不断分解、化合和聚积。此阶段起主导作用的是生物化学作用,低等植物经生物化学作用形成腐泥,高等植物形成泥炭。在泥炭化过程中,有机组分的变化十分复杂,大致可分为两个阶段:第一阶段,植物遗体中的有机化合物,经过氧化分解和水解作用,转化为简单的化学性质活泼的化合物;第二阶段,分解产物相互作用进一步合成新的较稳定的有机化合物,如腐殖酸、沥青质等。

植物各有机成分抵抗微生物分解的能力不同,以植物中主要组分之一的纤维素为例,其分

解的结果如下式所示:

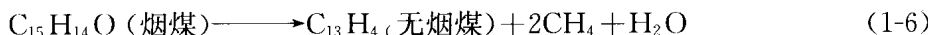
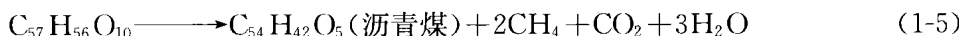
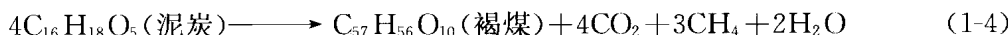


煤化过程初级阶段的造气规模取决于原始物质的组分、堆积的厚度、范围和层数。由于该时期生成的泥炭层埋藏浅,上覆盖层的胶结固化不好,生成的气体(包括甲烷)绝大部分逸散入大气,一般不会保留在煤层中。

1.2.1.2 煤化变质作用造气时期

随着泥炭层的下沉,上覆盖层越来越厚,成煤作用就由第一阶段进入第二阶段(煤化作用阶段)。在温度和压力影响下,泥炭物质产生热分解,引起一系列的物理—化学变化,使泥炭转变为褐煤,褐煤进而转变为烟煤和无烟煤。在这一过程中生成的气态产物,是以甲烷为主的烃类气体。

成煤作用各阶段形成甲烷的示意反应式如下:



在整个煤化作用过程中都有烃类气体组分产出。根据我国在煤成气研究中对不同矿区煤样采用热模拟试验的测定结果,烃类主要生成于气煤至瘦煤阶段,甲烷主要生成于肥煤至瘦煤阶段,详见图 1-1(注:干酪根是沉积岩中所有不溶于非氧化型酸、碱和非极性有机溶剂的分散有机质,其元素组成中,以 C 为主。根据干酪根的元素分析,将其分为三类,其中,III 型干酪根是陆生植物组成的干酪根,又称腐质型)。

1.2.2 煤层瓦斯的赋存

根据实验室和现场的测定结果,瓦斯在煤层中呈游离、吸附和吸收三种赋存状态,如图 1-2。

1) 游离状态

瓦斯以自由的气体状态赋存于煤和岩石的孔隙中,可自由运动,并遵循一般的气体定律,从高压处向低压处运移。煤和岩石中的游离瓦斯含量,取决于孔隙度、裂隙度(自由空间的大小)和瓦斯压力。一般而言,在煤层赋存的瓦斯中,游离状态的瓦斯量约占 10%~20%。

2) 吸附状态

由于瓦斯分子和固体颗粒之间的分子引力,瓦斯分子被吸附在煤体和岩体的微空隙表面,形成一层瓦斯薄膜,即吸附瓦斯。吸附瓦斯就是滞留在煤或岩石微孔隙表面的气体,不能自由运动,不服从气体定律。吸附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、变质程度以及外界温度和压力。一般而言,在煤层赋存的瓦斯中,吸附状态的瓦斯量约占 80%~90%。

3) 吸收状态

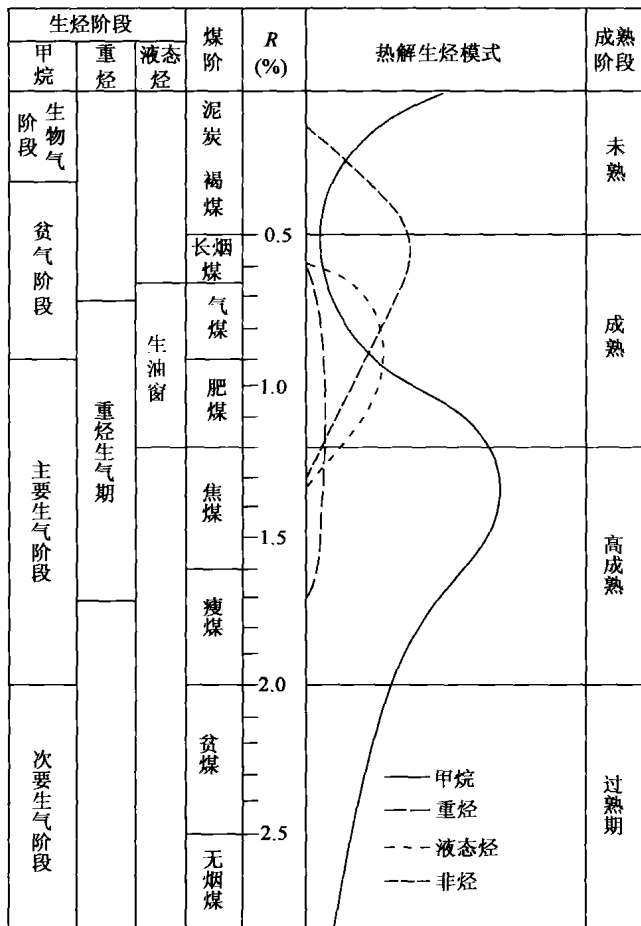


图 1-1 III 型干酪根热解生烃模式图
注: R 为生烃产率。

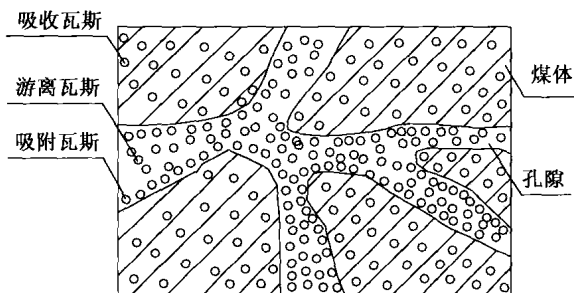


图 1-2 瓦斯在煤体中赋存状态示意图

瓦斯分子进入煤的分子团中,与煤分子紧密地结合在一起,成固溶体。这和气体被液体溶解的现象相似。近年来,随着分析测试技术的不断发展,有学者采用 X 射线、衍射分析等技术对煤体进行观察分析后认为,煤体内瓦斯的赋存不仅有吸附(固态)和游离(气态)状态,而且还包含有瓦斯的液态和固溶体状态。由于吸附和游离瓦斯所占的比例在 85% 以上,故瓦斯的赋存在整体上所表现的特征仍是吸附和游离状态的瓦斯特征。

1.2.3 瓦斯解吸

煤对瓦斯的吸附作用是物理作用,是瓦斯分子和碳分子相互吸引的结果。吸附瓦斯和游离瓦斯处于动平衡状态,吸附状态的瓦斯分子与游离状态的瓦斯分子处于不断地交换之中。若外界压力降低或温度升高,或给予冲击和振荡时,影响了分子的能量,则能破坏其平衡,吸附瓦斯可变为游离瓦斯,产生新的平衡状态。这种由吸附瓦斯转变为游离瓦斯的现像,称为解吸。

瓦斯在吸附状态时,不能形成瓦斯的内能,只有通过解吸变为游离瓦斯,才能形成瓦斯的内能。由于瓦斯吸附分子和游离分子是在不断地交换之中,在瓦斯缓慢地流动过程中,不存在游离瓦斯易放散、吸附瓦斯不易放散的问题。但是,在突出过程的短暂时间内,游离瓦斯会首先放散,然后吸附瓦斯迅速加以补充。

当煤体中的瓦斯压力从平衡状态过渡到正常的标准大气压状态时,煤体释放的瓦斯量就是煤的解吸瓦斯量。

1.3 我国煤层瓦斯的区域分布特征

我国煤炭资源丰富、分布面广,煤层中富集不同程度的瓦斯。《1:200万中国煤层瓦斯地质图》依据矿区和煤田煤层瓦斯形成的地质背景、煤层瓦斯的生成条件和保存条件、煤层瓦斯含量和矿井瓦斯涌出量的大小、煤与瓦斯突出发生的情况,按照中国的华北地区、华南地区、东北地区、西北地区划分为20个大瓦斯区和88个瓦斯带,如图1-3所示。

20个大瓦斯区中,高瓦斯区8个、低瓦斯区12个;88个瓦斯带中,高瓦斯带36个、低瓦斯带52个。

华北地区:有7个大瓦斯区,其中高瓦斯区3个、低瓦斯区4个;有27个瓦斯带,其中高瓦斯带11个、低瓦斯带16个。

华南地区:有7个大瓦斯区,其中高瓦斯区4个、低瓦斯区3个;有35个瓦斯带,其中高瓦斯带16个、低瓦斯带19个。

东北地区:有2个大瓦斯区,其中高瓦斯区1个、低瓦斯区1个;有13个瓦斯带,其中高瓦斯带6个、低瓦斯带7个。

西北地区:有4个大瓦斯区,全为低瓦斯区;有13个瓦斯带,其中高瓦斯带3个、低瓦斯带10个。

1.3.1 煤层瓦斯区域分布的地质背景

(1)华北地区,在大地构造上属华北板块。印支运动和燕山运动时期,由于库拉—太平洋板块向华北板块俯冲,华北板块不断隆起,使得大部分石炭—二叠纪煤层上覆缺失晚三叠世、侏罗纪、白垩纪地层,影响了煤层瓦斯的保存条件。

(2)华南地区,在大地构造上属华南板块,主要为石炭—二叠纪含煤地层和晚三叠世含煤地层。石炭—二叠纪含煤地层形成后,长期拗陷,连续沉积了三叠纪、侏罗纪和部分白垩纪的地层,煤层瓦斯保存条件极为优越。整个华南板块北面受塔里木—华北板块挤压,西面受特提斯构造域侧挤,南面受印支板块的推挤,东面受太平洋菲律宾板块的多次俯冲作用,从印支期经燕山期至喜马拉雅期,连续的挤压变形,多期造山、多期岩浆活动,这就使得华南地区是我国煤与瓦斯突出最为严重的地区。