

◎ 普通高等学校教材

瓦斯地质基础

WA SI DI ZHI JI CHU

张子敏 主编

煤炭工业出版社

普通高等学校教材

瓦斯地质基础

主 编 张子敏

副主编 刘 勇 张玉贵 崔洪庆

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

瓦斯地质基础 / 张子敏主编. —北京: 煤炭工业出版社,
2008. 8

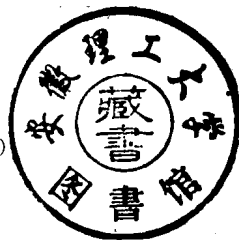
(普通高等学校教材)

ISBN 978-7-5020-3311-8

I. 瓦… II. 张… III. 瓦斯煤层-地质学 IV. TD712

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 059869 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
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行



*
开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 13¹/₄
字数 321 千字 印数 1—2,500
2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷
社内编号 6116 定价 25.00 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

前 言

煤炭是我国能源的主体，在国民经济中具有不可替代的作用。国民经济快速发展，煤炭需求日益增加，促使我国煤炭生产朝着高产、高效和集约化的方向发展。然而，由于受自然条件和现有技术条件等因素的制约，我国煤炭生产中还存在着大量的不安全因素，以致煤矿灾害时有发生，特别是煤矿瓦斯灾害已成为影响我国煤炭安全生产的最大障碍。

瓦斯是地质作用的产物，现今的煤层瓦斯是含煤地层经受复杂的地质历史演化作用的结果。在煤矿安全生产中，矿井瓦斯的集聚、涌出和突出，不仅涉及开采因素和人为因素，更主要受复杂的地质因素的控制。瓦斯是重要的资源，我国 2 000 m 以浅煤层气资源量共为 $3.81 \times 10^{13} \text{ m}^3$ ，居世界第三位。因而，开展瓦斯地质研究是解决我国煤矿瓦斯治理和开发煤层气（煤矿瓦斯）资源的重要基础。

进行瓦斯地质研究，需要宽厚的地质基础知识。从宏观上，瓦斯地质研究涉及板块构造理论、区域地质历史演化，涉及瓦斯赋存构造逐级控制理论。煤与瓦斯突出灾害涉及地球动力学、岩体力学等学科；从微观上，瓦斯赋存机理、瓦斯的吸附、解吸特性和煤的渗透性等涉及煤化学、地球化学等学科。

鉴于上述认识，引用了《中国煤田地质学》(杨起，韩德馨，1979，煤炭工业出版社)、《煤田地质与勘探》(孙平，1996，煤炭工业出版社)、《地质学基础》(长春地质学院，1984，地质出版社)、《构造地质学》(徐开礼，1984，地质出版社)、《煤矿地质学》(阎琇璋，1989，中国矿业大学出版社)、《煤矿地质学》(杨孟达，2000，煤炭工业出版社)、《普通地质学》(夏邦栋，1995，地质出版社)、《矿井地质工作手册》(柴登榜，1986，煤炭工业出版社)、《动力地质学原理》(李淑达，1983，地质出版社)、《矿山测量与矿图》(吴蕴珉，1998，地质出版社)、《煤矿壁式开采及矿图基础知识》(沈天良，2003，中国矿业大学出版社)、《矿井地质及矿井水文地质》(淮南煤炭学院，1979，煤炭工业出版社)等相关书刊的内容，并结合研究成果，在河南理工大学研究生瓦斯地质专业课程教学讲义的基础上，编写了《瓦斯地质基础》教材，为在我国广泛开展瓦斯地质研究，提供必要的专业基础知识，谨供相关专业的本科生、研究生和现场技术人员学习和参考。本教材的前五章主要介绍煤田地质方面的专业基础知识，第六章介绍构造地质学方面的专业知识，第七章介

介绍矿井水文地质方面的专业知识，第八章介绍矿图方面的专业知识，第九章和第十章介绍了矿井瓦斯基础知识和相关的研究成果，第十一章介绍了瓦斯地质图的编制方法。

由于水平有限，时间仓促，编写工作中错误和不足之处在所难免，望广大读者提出宝贵意见。

编 者

2007年12月

目 次

| | |
|------------------|-----|
| 第一章 煤的物质组成 | 1 |
| 第一节 煤岩组成及煤的物理性质 | 1 |
| 第二节 煤的元素组成和工业分析 | 8 |
| 第三节 煤的工业分类 | 12 |
| 第二章 煤变质作用与煤化程度指标 | 15 |
| 第一节 煤的变质作用类型 | 15 |
| 第二节 煤化程度指标 | 20 |
| 第三章 煤层 | 27 |
| 第一节 煤层结构与煤层形态 | 27 |
| 第二节 煤层顶、底板 | 28 |
| 第三节 煤体结构分类与构造煤 | 29 |
| 第四章 含煤岩系 | 34 |
| 第一节 煤系特征 | 34 |
| 第二节 煤系古地理类型 | 42 |
| 第五章 中国煤炭资源分布概况 | 48 |
| 第一节 中国主要聚煤期 | 48 |
| 第二节 中国主要聚煤区 | 50 |
| 第六章 地质构造 | 68 |
| 第一节 岩层的产状 | 68 |
| 第二节 褶皱构造 | 76 |
| 第三节 断裂构造 | 85 |
| 第四节 岩浆侵入煤层 | 100 |
| 第五节 喀斯特陷落柱 | 103 |
| 第七章 矿井水文地质基础 | 111 |
| 第一节 地下水的基本知识 | 111 |
| 第二节 矿井充水条件 | 120 |
| 第八章 矿图与识读 | 127 |
| 第一节 矿图的种类 | 127 |
| 第二节 常用矿图的识读 | 127 |
| 第九章 矿井瓦斯 | 134 |
| 第一节 瓦斯的性质和形成 | 134 |
| 第二节 瓦斯在煤层中的赋存状态 | 136 |
| 第三节 煤层瓦斯的运移 | 139 |

| | | |
|------|-----------------|-----|
| 第四节 | 瓦斯分带 | 144 |
| 第五节 | 矿井瓦斯涌出、煤与瓦斯突出概述 | 145 |
| 第六节 | 影响瓦斯赋存的地质条件 | 150 |
| 第十章 | 中国煤层瓦斯分布特征 | 179 |
| 第一节 | 不同含煤地层的煤层瓦斯分布特征 | 179 |
| 第二节 | 煤层瓦斯的区域分布特征 | 184 |
| 第三节 | 中国煤层瓦斯区域分布规律 | 187 |
| 第四节 | 中国煤层瓦斯的分区、分带特征 | 191 |
| 第十一章 | 煤矿瓦斯地质图的编制方法 | 194 |
| 第一节 | 采、掘工作面瓦斯地质图编制方法 | 194 |
| 第二节 | 矿井瓦斯地质图编制方法 | 202 |
| 第三节 | 矿区瓦斯地质图编制方法 | 204 |
| 参考文献 | | 206 |

第一章 煤的物质组成

研究煤的物质组成和性质，评价煤质是合理开发和利用煤炭资源的前提，也是瓦斯地质研究的重要基础。研究煤的物质组成和性质主要有两种方法：一是煤岩学方法，即用肉眼及显微镜来观察和确定煤岩组成，根据煤的物理性质确定其变质程度，从而评价煤质；二是煤化学方法，通过化学分析和工艺试验，研究煤的化学组成和煤的工艺特征。煤化学方法所确定的各项指标和煤的工业牌号基本满足了评价煤质的需要，是当前工业评价煤质的主要依据。

第一节 煤岩组成及煤的物理性质

煤是一种固体可燃有机岩，岩石组成比较复杂，并经常具有明显的不均一性。煤既然是一种岩石，那么就可以用研究普通岩石的方法来研究它，这就是所谓的煤岩学。煤岩学经常使用的方法有肉眼观察和显微镜观察。肉眼（或用放大镜）观察可以划分出不同的宏观煤岩成分和煤岩类型，用显微镜观察可以进一步分出各种显微煤岩组分和显微煤岩类型。不同的煤层由于成煤原始物质及其聚积条件和转化过程的不同，其岩石组成和煤化学组成也不相同，因而具有不同的物理、化学性质和工艺性质。所以，从煤岩学的角度来研究煤的组成和变质程度是评价煤质和确定煤的工业用途的常用手段，也是研究煤成因的基础。

一、煤岩成分和煤岩类型

（一）煤岩成分

煤岩成分是组成煤的基本单位，它包括镜煤、亮煤、暗煤和丝炭4种成分，其中镜煤和丝炭为简单的煤岩成分，亮煤和暗煤则为复杂煤岩成分。不同的煤岩成分的物理、化学、工艺性质是不相同的。下面分别介绍4种煤岩成分的主要特征。

1. 镜煤

镜煤也是简单的煤岩成分。它是煤中颜色最深、光泽最强的成分，多呈黑色，结构致密均一，呈贝壳状、眼球状断口，内生裂隙最为发育，性脆，易碎成棱角状小块。在煤层中，多呈厚度为几毫米到1~2 cm的透镜状分布于暗煤或亮煤之中，很少单独构成煤层。

在4种煤岩成分中，镜煤的挥发分和氢含量最高，黏结性强。

2. 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，呈贝壳状断口。亮煤可单独组成较厚的煤分层，也可呈透镜状分布。

3. 暗煤

暗煤的颜色为灰黑色，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。

4. 丝炭

丝炭的颜色为暗黑色，外观似木炭，为简单煤岩成分，具明显的纤维状结构和丝绢光泽，疏松多孔，性脆易碎，易染指。丝炭的细胞腔被矿物质充填，变得致密坚硬，相对密度增大，称之为矿化丝炭。丝炭在煤层中多沿层理呈透镜状分布，厚度一般为1~2 mm或几毫米，有时也能形成不连续的薄层。煤层中丝炭的数量不多，但较易识别。

在相同变质程度的宏观煤岩成分中，丝炭的碳含量高、氢含量低、挥发分产出率低，不具黏结性，因孔隙多易矿化，而使硫的含量增高。因此，丝炭含量高的煤不宜炼焦和炼油。此外，丝炭还易受空气中氧的作用，致使煤遭到氧化甚至自燃。

(二) 煤岩类型

煤岩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、煤岩成分的数量比例及组合情况，划分煤的岩石类型。可分为4种类型，即光亮型煤、半亮型煤、半暗型煤和暗淡型煤。

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，组成较为匀一、条带结构不明显，内生裂隙发育，脆度较大，机械强度小，容易破碎，常见贝壳状断口。镜下观察时凝胶化组分含量较高，一般在85%以上，因而黏结性较强。通常中变质阶段的光亮型煤是最好的冶金用煤。

2. 半亮型煤

主要由亮煤，含有镜煤和暗煤或丝炭组成、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，常具有棱角状或阶梯状断口，性较脆，易碎。半亮型煤是最常见的煤岩类型。

3. 半暗型煤

由暗煤和亮煤组成，常以暗煤为主，有时夹有镜煤和丝炭的线理、细条带和透镜体，光泽较暗，相对密度、硬度和韧性都较大，条带结构明显，内生裂隙不甚发育，多见粒状断口。当矿物质含量增加而光泽减弱时亮煤也可成为半暗型煤。

4. 暗淡型煤

主要由暗煤组成，有时有少量镜煤、丝炭或矽石透镜体，光泽暗。煤质坚硬致密，层理构造不明显，通常呈块状，韧性大，相对密度大，内生裂隙不发育，断口多为棱角状、参差状。矿物杂质含量往往较高，煤质较差。

二、煤的物理性质、结构和构造

煤的物理性质、结构和构造是肉眼鉴定煤的岩石类型、确定煤的变质程度和成因类型以及评价煤的依据。

(一) 煤的物理性质

煤的物理性质很多，下面只就煤的颜色、光泽、硬度、脆度、真密度、视密度、断口裂隙等进行介绍。

1. 颜色

煤的颜色是指煤块新鲜表面的自然色彩，是煤对不同波长的可见光吸收的结果。在不同的条件下，煤可呈现出不同的颜色。在普通反射光下，煤的表面所显示的颜色称为表色。煤的表色变化很大，腐泥煤的表色有时为浅黄色、棕褐色，有时为灰绿色以至黑色；腐植煤的颜色则随煤化程度的增高而变化；褐煤可由褐色变为深褐色、黑褐色；烟煤呈褐黑色、黑色；无烟煤呈灰黑色，并常有古铜色或钢灰色。另外，水分一般可使煤的颜色加深，矿物杂质则往往使煤的颜色变浅。根据颜色特征可明显区别褐煤、烟煤和无烟煤（表1-1）。不同变质程度的煤，颜色上也有差别。在观察煤的颜色时，应在干燥煤样的新鲜镜煤或较纯净的亮煤断面上观察。

表1-1 不同变质程度煤的颜色和条痕色比较

| 煤的种类 | 颜色 | 条痕色 |
|------|-------------|------------|
| 褐煤 | 褐色、深褐色、黑褐色 | 浅褐色、深褐色 |
| 长焰煤 | 褐黑色、黑色略带褐色 | 深褐色、黑褐色 |
| 气煤 | 黑色 | 褐黑色 |
| 肥煤 | | 黑色带褐色 |
| 焦煤 | | 黑色 |
| 瘦煤 | | |
| 贫煤 | 黑色有时带灰和灰黑色 | |
| 无烟煤 | 灰黑色带古铜色和钢灰色 | 灰黑色、钢灰色或黑色 |

2. 光泽

煤的光泽是在自然光下，煤的新鲜断面的反光能力，它是煤的重要物理性质和主要肉眼鉴定标志之一。影响煤的光泽变化的因素较多，主要有成煤的原始物质，煤岩组分，煤的变质程度，矿物杂质的成分、含量以及分布情况、煤的表面性质等。

成煤的原始物质不同，煤的光泽就不同。如腐泥煤的光泽暗淡，而腐植煤的光泽较强，并随煤变质程度的加深而增强，即从褐煤到无烟煤，光泽呈有规律的增强。根据镜煤和亮煤的光泽，从褐煤到无烟煤变质系列的光泽可分为：沥青光泽、玻璃光泽、金刚光泽及似金属光泽（表1-2）。

表1-2 不同变质程度的光泽比较

| 煤的种类和符号 | 光泽 |
|----------|----------------|
| 褐煤 (HM) | 无光泽或暗淡的沥青光泽 |
| 长焰煤 (CY) | 沥青光泽 |
| 气煤 (QM) | 强沥青光泽或较亮的似玻璃光泽 |
| 肥煤 (FM) | 光亮的玻璃光泽 |
| 焦煤 (JM) | 十分光亮的玻璃光泽 |
| 瘦煤 (SM) | 强玻璃光泽 |
| 贫煤 (PM) | 金刚光泽 |
| 无烟煤 (WY) | 似金属光泽 |

煤的宏观煤岩成分不同，也可引起煤的光泽不同，如镜煤的光泽最强、亮煤的光泽较强、暗煤的光泽较弱、丝炭的光泽最弱。不过镜煤、亮煤的光泽并不是在任何时候都是很强的，同样暗煤的光泽也不总是暗淡的，而是随着变质程度的不同而有所变化。如褐煤中镜煤的光泽就要比烟煤中的弱，无烟煤中暗煤的光泽也较强，几乎与无烟煤中的镜煤、亮煤没有什么区别。

煤受风氧化后，光泽都明显变暗。风化煤多为暗淡光泽。

煤中的矿物杂质的含量及分布情况对煤的光泽影响也很大。在变质程度相同、煤岩成分差别不大的情况下，矿物杂质的存在可使煤的光泽变暗。因此，光泽特征可大致反映出煤的灰分含量的高低，初步确定煤质的好坏；同时也可以比较有效地鉴别煤的变质程度，确定煤的宏观（肉眼）煤岩成分、光泽和煤岩类型。

3. 硬度

煤的硬度是指煤抵抗外来机械作用的能力。由于外来机械作用方式的不同，煤所表现的硬度也不相同，据此可将煤的硬度分为刻划硬度、压痕硬度和抗磨硬度3种。

1) 刻划硬度

接近于普通矿物鉴定中的摩氏硬度，即用标准矿物（摩氏硬度计）刻划标本而得出的粗略相对硬度。煤的硬度一般在1~4之间，主要与煤岩成分和变质程度有关（图1-1），暗煤较镜煤、亮煤的硬度大，年青褐煤和中变质焦煤硬度最小，为1.5~2，2~2.5；无烟煤硬度最大，近于4。

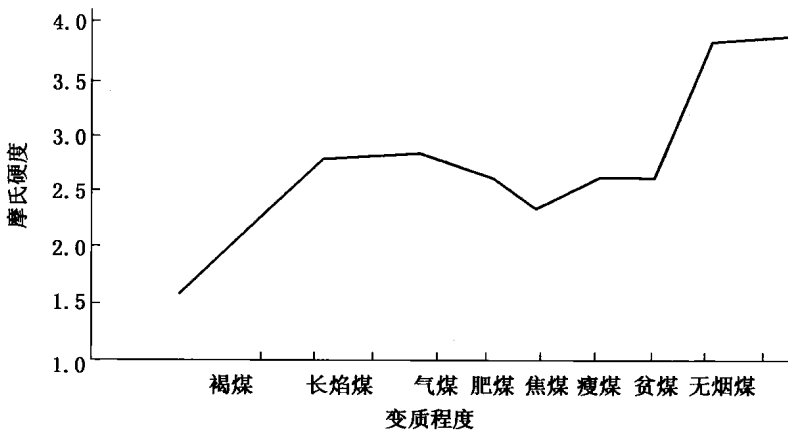


图 1-1 变质过程中镜煤的硬度变化

2) 显微硬度

显微硬度是压痕硬度的一种，是专门用作测定显微组分硬度的。测定方法：在显微硬度计上，以很小的负荷静压力（一般为0.01~0.02 kg）先将金刚石锥压入煤的显微组分，然后测量所得压痕的大小，即可确定其显微硬度，即压痕大的，显微硬度低；压痕小的，显微硬度高。其数值是以压锥与煤实际接触面上单位面积所承受的载荷质量来表示，即 kg/cm²。一般变质程度相同时，丝质组较镜质组的显微硬度大；而在变质程度不同时，各类显微组分的显微硬度也有一定的变化规律，显微硬度随煤化程度的增加而急剧上升。

3) 抗磨硬度

抗磨硬度是指煤岩组分的抗磨强度，即用研磨阻力的大小表示磨光面上显微组分的硬度，常用突起表示。突起是反射光下研究煤光片的一项重要指标。各类显微组分的突起在低变质煤中差别最大。随变质程度的增加，突起差别变小。相同变质程度时，丝炭化组分的突起较凝胶化组分高。

不论测定哪种硬度，都应注意排除矿物杂质、裂隙、孔隙以及风氧化程度的影响。

4) 脆度和韧性

脆度是指煤受外力作用时容易破碎的程度，韧性的性质则与脆度相反。一般腐泥煤和腐植腐泥煤脆度小，韧性大。在腐植煤的煤岩成分中，镜煤和没有矿化的丝炭脆度最大，亮煤次之，暗煤则往往因含有许多稳定组分和矿物杂质而韧性较大。不同变质程度的煤，以肥煤、焦煤和瘦煤脆度为最大，无烟煤脆度最小，长焰煤和气煤的脆度较小，并具有一定的韧性。

5) 真密度和视密度

煤的真密度是指一定体积的煤（不包括煤的孔隙在内）的质量与同温度（20℃）同体积水的质量之比，用 d_{20}^{20} 表示（右下角的 20 是水的温度，右上角 20 是煤的温度）。影响煤的真密度的因素主要有煤岩成分、煤的变质程度及煤中矿物杂质的成分和含量。纯煤的真密度一般是随煤变质程度的增加而增大。煤中含矿物杂质时，由于矿物的真密度比有机质要大得多，如黄铁矿真密度为 5.0、菱铁矿为 3.8、黏土矿物为 2.4~2.6、石英为 2.65 等，因此煤的真密度随煤中所含矿物杂质的增高而增大。

煤的视密度是指包括煤的孔隙在内的一定体积煤的质量与同温度（20℃）同体积水的质量之比，即：

$$\text{视密度} = \frac{\text{质量}}{\text{体积}} \quad (\text{t/m}^3 \text{ 或 } \text{g/cm}^3)$$

煤的视密度是煤田地质勘探中计算各种储量的基本参数之一。煤的视密度同样受煤岩成分、变质程度和矿物杂质含量等因素的影响。

我国各种煤的真密度和视密度见表 1-3。

表 1-3 各种煤的真密度和视密度

| 煤 类 | | 纯煤真密度 | 视 密 度 |
|-----------|-----|-------------|---|
| 腐植煤 | 泥 煤 | 0.72 ~ 0.80 | 1.05 ~ 1.20 1.20 ~ 1.40 1.35 ~ 1.80 |
| | 褐 煤 | 1.28 ~ 1.42 | |
| | 烟 煤 | 1.27 ~ 1.33 | |
| | 无烟煤 | 1.40 ~ 1.80 | |
| 腐泥煤 | | 1.10 | — |
| 腐泥无烟煤（石煤） | | 1.77 ~ 2.00 | 1.80 ~ 2.40，一般为 2.2 |
| 腐植泥煤 | | 1.20 | — |

6) 断口

煤受外力打击破裂时形成的断面称为断口。严格来说，断口不应包括沿层理面或裂隙断开的表面。由断口的表面形状不同，可反映出煤的物质组成不同的特点，因此断口可以

作为煤岩鉴定的辅助标志。煤中常见的断口有贝壳状、参差状等。贝壳状断口是组成均匀的煤的特征，腐泥煤、镜煤、较纯净的亮煤及一些块状无烟煤都常见有贝壳状断口。

7) 裂隙

裂隙是在成煤的不同时期中，各种自然力作用于煤层所造成的裂开现象。根据成因不同，煤的裂隙可分为内生裂隙和外生裂隙两种。

(1) 内生裂隙。是指煤化过程中凝胶化物质受上覆岩系所产生的温度压力等因素的影响，体积均匀收缩时因产生内张力而形成的张裂隙。因此，其发育情况与煤变质程度和煤岩类型密切相关，而与构造变动产生的外力无关。

内生裂隙主要是在光亮煤条带中发育，而且垂直或大致垂直于层理面，暗煤条带中不发育。裂隙面平坦，并常伴生眼球状的张力痕迹（有时被矿物质充填）。互相垂直的两组裂隙中，发育较密的一组，称为主要组，较稀的一组为次要组（图 1-2）。内生裂隙发育程度与煤变质程度有关，中变质煤（焦煤、肥煤）内生裂隙最多，达 40 ~ 50 条/5 cm，低变质烟煤和高变质烟煤较少，一般在 10 ~ 15 条/5 cm；无烟煤最少，一般小于 5 条/5 cm。

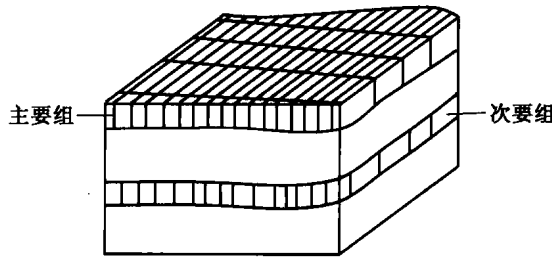


图 1-2 镜煤中两组内生裂隙示意

(2) 外生裂隙。外生裂隙是煤层在形成以后，受构造变动作用力的影响所产生的裂隙。其特征是：可以出现在煤层的任何部位（包括暗淡型煤），并往往同时穿过几个煤分层，能以各种角度斜交于层理面；裂隙面上常有各种波纹状、羽毛状滑动痕迹，有时还可以见到次生矿物或破碎煤屑的充填痕迹；有时它与内生裂隙重叠发生，使后者被掩盖、歪曲或加深。外生裂隙主要裂隙组的方向往往与当时构造运动作用力的方向一致。

(二) 煤的结构与构造

煤的结构与构造是反映成煤原始物质及其聚积和转变等特征的标志，是煤重要的原生特征。

1. 煤的结构

煤的结构是指煤岩组分的形态和大小所表现的特征，反映了成煤原始物质的性质、成分及其变化。在煤变质程度增高过程中，煤的各种组分的肉眼鉴定标志逐渐消失，至高变质阶段，煤的成分趋于一致，煤的宏观结构也逐渐趋于均一。

煤的宏观结构最常见的有下列几种：

1) 条带状结构

煤岩成分（镜煤、亮煤、暗煤和丝炭）多呈各种形状的条带，在煤层中相互交替的出现而形成条带状结构。按条带的宽窄又可分为：细条带状结构（宽度为 1 ~ 3 mm）、中

条带状结构（宽度为3~5 mm）和宽条带状结构（宽度大于5 mm）。条带状结构在中变质烟煤中表现最为明显，尤其在半亮型煤和半暗型煤中最常见，褐煤和无烟煤中条带状结构不明显。

2) 线理状结构

是指镜煤、暗煤及黏土矿物等呈厚度小于1 mm的线理断续分布在煤层各部位面形成的结构。根据线理的间距，又可分为密集线理状和稀疏线理状两种。在半暗型煤中常见到线理状结构。

3) 透镜状结构

是条带状结构的一种特殊类型，而且二者常伴生，多是以大小不等的镜煤、丝炭及黏土矿物、黄铁矿等的透镜体连续或不连续地散布在暗煤或亮煤中，称透镜状结构。常见于半暗型煤、暗淡型煤中。

4) 均一状结构

煤的成分较为单一，组成均匀的结构。镜煤的均一状结构较典型，某些腐泥煤、腐植腐泥煤和无烟煤有时也有均一状结构。

5) 木质结构

是植物茎部原生的木质结构在煤中的反映。这种结构的煤在外观上清楚地保存了植物木质组织的痕迹，有时还可见到保存完整的已经煤化的树干和树桩。木质结构在褐煤中比较常见。如我国山东、山西俗称的柴煤或柴炭，就是以木质结构特别清晰而得名。

6) 粒状结构

煤的表面较粗糙，肉眼可清楚地看到颗粒状。这种结构多由煤中散布着的大量稳定组分或矿物质组成，为某些暗煤或暗淡型煤所特有。如淮南某些暗淡型煤含有大量小孢子和木栓体的即呈粒状结构。

7) 纤维状结构

是植物茎部组织经过丝炭化作用转变而成的一种结构。其特点是沿着一个方向延伸并呈细长纤维状和疏松孔。丝炭就是典型的纤维状结构。

8) 叶片状结构

煤的断面上具纤细的页理及被其分成的极薄的薄片，使其外观呈现纸片状、叶片状。这种结构主要是由煤中顺层分布有大量的角质体和木栓体所致。如我国云南禄劝角质层残植煤即具有叶片状结构，它可像纸张一样一张一张地分开。

2. 煤的构造

煤的构造是指煤中不同煤岩组分在空间排列上的相互关系。它与植物遗体的聚积条件及其变化过程有关。层理是煤的主要构造，按层理特征可将煤的构造分为层状构造和块状构造两种。

1) 层状构造

是指在垂直煤层层面的方向上煤层的明显不均一性特征。它反映了成煤物质和成煤条件变化的情况。在复杂结构煤层中层状构造最为明显，煤中最常见的是水平层理，偶见波状层理和斜层理。

2) 块状构造

不见层理，外观均一的煤层为块状构造。块状构造表明了成煤物质的相对均匀和聚积

条件相对稳定的特征。原生块状构造多见于腐泥煤、腐植腐泥煤及腐植煤中的某些暗淡型煤；次生块状构造多见于某些变质程度很深的无烟煤。

第二节 煤的元素组成和工业分析

煤的种类很多，各有不同的性质和用途。煤的不同性质和用途是与煤的元素组成和工艺性质密切相关的。研究煤的元素组成和工艺性质，是为了正确评价煤质，从而为煤炭资源的科学加工和合理利用提供依据。

煤的元素组成大致可分为有机质和无机质两部分。不同的煤，其中有机质的各种元素的含量和化学结构是不同的，从而造成了不同的煤在物理性质和化学性质上的差异，并使煤在加工利用过程中表现出不同的工艺性质。如不同的黏结性、发热量、化学活性、热稳定性等。煤中的无机质包括水分和矿物杂质，它们绝大多数是有害成分，对煤的加工利用产生不良影响，会降低煤的质量和利用价值。由于煤中有机质和无机质的含量和性质与成煤原始物质、聚积环境、煤化作用、风化作用等因素有密切关系，因而，在研究煤的元素组成和工艺性质时，必须与影响煤的地质因素结合起来，这样才能全面地评价煤质。

一、煤的元素组成

在研究煤的元素组成时，一般是通过元素分析来了解煤中有有机质、无机质的含量和性质，借以初步评价煤的工业性质和用途。

煤的元素组成以有机质为主，煤的工艺用途主要是由煤中有机质的性质决定的，因此了解煤中有机质的组成很重要。煤中的有机质主要由碳、氢、氧组成，此外，还有氮、硫和少量的磷以及稀有元素等。其中碳、氢、氧占有机质的 95% 以上。有机质的元素组成与煤的成因类型、煤岩组成及煤化程度等因素有关。它是煤质研究的重要内容。生产中根据煤的元素分析判断煤的变质程度、计算煤的发热量，推断某些工艺性质以及煤加工利用过程中的化工产品，也可作为煤的分类参数。我国各种煤的元素组成见表 1-4。

表 1-4 中国各种煤的元素组成 %

| 煤 类 | 元 素 | | | |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | $w(C_{daf})$ | $w(H_{daf})$ | $w(O_{daf})$ | $w(N_{daf})$ |
| 年老无烟煤 | 94.5 ~ 98.0 | 0.5 ~ 2.3 | 0.4 ~ 2.5 | 0.3 ~ 1.4 |
| 典型无烟煤 | 92 ~ 95 | 1.9 ~ 3.2 | 0.8 ~ 2.4 | 0.5 ~ 1.5 |
| 年轻无烟煤 | 90 ~ 94 | 3.3 ~ 4.0 | 1.0 ~ 3.3 | 0.8 ~ 1.8 |
| 贫 煤 | 90 ~ 92 | 4.0 ~ 4.5 | 1.0 ~ 3.3 | 1.1 ~ 1.8 |
| 瘦 煤 | 88 ~ 92 | 4.4 ~ 5.0 | 2 ~ 5 | 1.0 ~ 2.0 |
| 焦 煤 | 87 ~ 90 | 4.8 ~ 5.5 | 3.0 ~ 5.5 | 1.0 ~ 2.0 |
| 肥 煤 | 80 ~ 89 | 5.4 ~ 6.5 | 3.5 ~ 7.0 | 0.8 ~ 2.2 |
| 气 煤 | 79 ~ 87 | 5.0 ~ 6.4 | 4.0 ~ 9.0 | 0.9 ~ 2.5 |
| 不黏煤 | 77.6 ~ 85.2 | 3.8 ~ 5.0 | 9.0 ~ 16.5 | 0.6 ~ 1.4 |

表 1-4 (续)

| 煤 类 | 元 素 | | | |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | $w(C_{daf})$ | $w(H_{daf})$ | $w(O_{daf})$ | $w(N_{daf})$ |
| 弱黏煤 | 79.9 ~ 89.0 | 4.5 ~ 5.2 | 5.0 ~ 13.7 | 0.8 ~ 1.4 |
| 长焰煤 | 76.4 ~ 80.7 | 4.8 ~ 6.1 | 12.1 ~ 17.4 | 0.6 ~ 2.4 |
| 腐植褐煤 | 64.2 ~ 76.2 | 4.5 ~ 6.5 | 15.6 ~ 27.7 | 0.7 ~ 2.3 |
| 腐泥质褐煤 | 77.0 ~ 77.5 | 6.6 ~ 6.8 | 11.2 ~ 12.6 | 0.7 ~ 2.3 |
| 泥 煤 | 55 ~ 63 | 5.5 ~ 6.5 | 26 ~ 35 | 1.5 ~ 3.5 |

注：此表据《煤质及化验基础知识》，煤炭工业出版社，1980年。

1. 碳 (C)

碳是煤中主要的可燃有机质成分，也是煤燃烧过程中产生热量的重要元素。每千克纯碳完全燃烧时，能放出 832 J 的热量。煤中碳含量随煤化程度的加深而增高。泥炭的碳含量为 50% ~ 60%，褐煤为 60% ~ 77%，烟煤为 74% ~ 92%，无烟煤为 90% ~ 98%，在煤化程度相同的煤中，镜质组的碳含量比丝质组低。

2. 氢 (H)

氢是煤中重要的可燃有机质成分。每千克氢完全燃烧时，能产生 3.35×10^5 J 的热量，氢的发热量约为碳的 4.2 倍。但煤中氢的含量比碳少得多，腐泥煤的氢含量比腐植煤高，腐泥煤的氢含量一般在 6% 以上，有时可达 11%。腐植煤的氢含量一般在 0.8% ~ 6.5%，从变化总趋势看，氢含量是随煤化程度加深而减少。其中，褐煤的氢含量最高，烟煤次之，无烟煤最低。

3. 氧 (O)

氧是煤中不可燃的元素，在煤中含量变化较大，并随煤化程度加深而降低。泥炭中氧含量为 30% ~ 40%，褐煤氧含量最高达 15% ~ 30%，无烟煤中的氧含量则减少到 2% 左右。当煤受到氧化时，含氧量迅速增高，而碳、氢含量则明显降低。因此，氧含量是确定煤层风化带和氧化带深度的主要标志之一。对煤中的氧含量，一般都不进行直接测定，而是用差额法计算得出。

4. 氮 (N)

煤中氮的含量很少，它主要来自成煤植物中的蛋白质。煤中氮含量一般为 0.4% ~ 2.6%，其含量通常随煤化程度的增高而降低。煤燃烧时，其中的氮一般不氧化而呈游离状态进入废气中。将煤进行加热加工时，煤中的氮则转变成氨及其他含氮化合物，可用于生产氮肥、硝酸等产品。

5. 硫 (S) 和磷 (P)

煤中的硫和磷，都是有害成分。

煤中硫分为有机硫和无机硫两种。有机硫来自成煤植物本身，有时则是在成煤过程中由硫酸盐类与植物分解产物相互作用而生成。有机硫与有机质结合紧密，在煤中分布均匀难以洗选清除。无机硫存在煤中矿物质里，它又可分为硫化物硫和硫酸盐硫两类。硫化物硫绝大部分是以黄铁矿形态存在，在煤层中呈球状、豆状、结核状、凸透镜状；硫酸盐硫主要存在形态是石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、绿矾 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 等极少量的硫酸盐矿物。

无机硫的洗选难易程度与矿物质颗粒大小及分布状态有关，颗粒大而分布集中的容易洗选，颗粒小而分布均匀的则难洗选。

煤中有机硫和无机硫的总含量称煤的全硫含量 $w(S_t)$ 。通常以煤的绝对干燥基全硫含量 $w(S_{t,d})$ 作为评定煤质的含硫指标，共分 4 级：

低硫煤： $w(S_{t,d}) \leq 1.5\%$ ；

中硫煤： $w(S_{t,d}) = 1.5\% \sim 2.5\%$ ；

高硫煤： $w(S_{t,d}) = 2.5\% \sim 4.0\%$ ；

富硫煤： $w(S_{t,d}) > 4.0\%$ 。

我国各地煤的含硫量相差很大，最低不到 0.2%，最高可达到 15%，多数煤的硫含量在 0.5% ~ 3.0%。

高硫煤燃烧时，放出大量硫化气体，不仅腐蚀机械设备，而且污染环境，有害于人体健康。在炼制冶金用焦炭时，煤中硫大部分（70%）转入焦炭，严重降低了焦炭的质量，冶金时它又会转入铁内，进而影响钢铁的质量。

煤中的磷以无机磷为主，如磷灰石 $3Ca_3(PO_4) \cdot CaFe_3$ ，也有微量的有机磷。炼焦时，磷进入焦炭，冶金时又转入铁内，使钢铁质量降低。我国各地所产煤的磷是较低的，一般为 0.001% ~ 0.100%，最高也不超过 1%，多数情况下不超过炼焦用煤规定的工业允许限度（ $w(P_d) < 0.01\%$ ）。

此外，煤中尚有砷、氯、铅、氟、汞、硼等有害元素，它们对煤在使用过程中的危害性各不相同。如砷主要对酿造和食品工业有害。它在煤中主要以砷黄铁矿 $FeS_2 \cdot FeAs_2$ 的形态存在，含量不高，一般在 $5 \times 10^{-4}\%$ 以下，但危害性大，因为煤中砷燃烧后生成的三氧化二砷有剧毒，食用微量就会使人中毒。因此，酿造和食品工业燃料用煤的砷含量不得超过 $8 \times 10^{-4}\%$ 。我国极个别地区煤中砷含量已超过标准，应予以注意。氯含量高于 0.3% 的煤，炼焦或作燃料时，各种管道及碳化室壁即会遭受强烈的腐蚀。铅、氟、汞、硼等有害元素、随着煤燃烧后排出的废气一起进入大气层，就会引起严重公害。所以，地质勘探中评价煤质时，对煤的有害成分应予以足够重视。

煤中还伴生其他稀有元素。除了锗、镓、铀、钒等稀有元素较易富集外，有时还富集铍、锂、铷、铯、铟、铊、钽、铌、钼、钨、铪等一系列有益元素。在石煤中有时还含有镍、钨等伴生元素。这些元素的含量有时可达工业品位，是十分重要的资源，已列为煤田普查勘探中必须进行综合评价的重要矿产。

二、煤的工业分析

煤的工业分析，包括测定煤的水分、灰分、挥发分、固定碳、全硫含量及发热量等项目。这些项目都是了解煤的基本性质和用途不可缺少的指标。如只分析水分、灰分、挥发分和固定碳 4 个项目，称为煤的半工业分析。

1. 水分 (M)

煤的水分是评价煤炭经济价值最基本的指标之一。煤中水分的含量和存在状态与外界条件和煤的内部结构有关。根据水在煤中的存在状态，将煤中的水分分为外在水分和内在水分。

外在水分 (M_f) 是指煤炭开采、运输、储存及洗选过程中，附着在煤颗粒表面及大毛细孔中的水。将煤放在空气中自然风干，外在水分即不断蒸发，直到与空气的相对湿度