

煤炭质量检验技术

MEI TAN ZHI LIANG JIAN YAN JI SHU

康恩兴 杜美利 朱芝蕾 编著

西安地图出版社

煤炭质量检验技术

（第二版）

煤炭工业出版社

（中国煤炭出版社）

煤炭质量检验技术

康恩兴 杜美利 朱芝蕾 编著

西安地图出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

煤炭质量检验技术/康恩兴, 杜美利, 朱芝蕾编著.

西安: 西安地图出版社, 2006.12

ISBN 7-80748-013-0

I. 煤... II. ①康...②杜...③朱... III. 煤炭—质量检验 IV. TQ533

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 001468 号

煤炭质量检验技术

康恩兴 杜美利 朱芝蕾 编著

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮政编码 710054)

新华书店经销 新颖印刷厂印刷

850 毫米×1168 毫米 1/16 开 15.75 印张 390 千字

2006 年 12 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

印数 1—800

ISBN7-80748-013-0/TD·1

定价: 50.00 元

序 言

煤在我国能源结构中具有不可替代的核心作用，是国民经济长期、健康、稳定发展的粮食。近年来，随着能源危机的不断加剧，尤其是石油危机的日趋严重，更加确立了煤作为国家能源安全基石的地位。我国是世界上煤炭资源最为丰富的国家之一，探明储量达一万多亿吨。改革开放以来，国民经济建设对煤炭的需求量日益增大，2005 年全国煤炭开采量已经突破 20 亿吨大关，钢铁、火力发电、化工、建材等国民经济关键部门发展对煤的依赖越来越强。随着煤炭在经济发展中作用的持续增强，煤炭生产、利用与贸易中暴露出来的质量问题与经济纠纷逐年增加，影响煤炭工业的正常秩序。市场呼唤与煤炭产、供、销、用相配套的技术监督队伍的发展能适应这一新的形势，而出版一部切合煤炭监督检验队伍培养实际的教材尤为重要。

《煤炭质量检验技术》适应当前形势发展的急迫需要应运而生。《煤炭质量检验技术》编著者长期执著于我国煤炭质量检验技术的研究和人才培养，为提高煤炭质量监督检验水平做出了大量有益的工作。此书汇集了作者及相关研究者多年从事相关方面工作的心得、体会和成果。全书以大量丰富的第一手资料，从煤的基础知识、煤质分析基础、采制样方法、检验方法、检验结果审查、常用煤炭检验仪器设备等六个方面介绍了煤炭检验技术的基本内容。该书涵盖面广、实用性强、内容充实、详略得当，囊括了当前国内该领域研究的最新成果，是近年该领域技术应用与推广方面的一部力作。

《煤炭质量检验技术》一书融基本理论、专业知识和操作技能于一体，兼顾中、高级技术等级培训的不同要求，重点突出操作方法和操作技术等内容的介绍。有关名词、术语、试验方法、量和单位均采用最新国家标准和行业标准，具体内容具有典型性、综合性和实用性，理论联系实际，突出知识的应用和技能的训练。该书可作为从事煤炭生产、加工、营销、质检等工程技术人员的培训教材，还可作为煤炭系统分析化验工（中、高级）技能培训和等级考核的参考用书。

相信该书的出版将有利于促进煤炭质量监督检验事业的发展，更好地发挥煤炭质量监督检验技术为国民经济建设保驾护航的作用，为落实以人为本、全面协调可持续发展的科学发展观做出应有的贡献。

张 福 海

2006 年 8 月

目 录

序 言

第一章 煤的基础知识	1
第一节 地层	1
第二节 煤的形成	2
第三节 煤的性质及分类	6
第四节 煤炭加工和等级划分	37
第二章 煤质分析基础	45
第一节 化学分析基础	45
第二节 煤炭检验一般规定	80
第三节 统计技术	94
第三章 采制样方法	132
第一节 煤样采取概述	132
第二节 商品煤采取方法	134
第三节 煤样制备概述	140
第四节 煤样制备方法	144
第五节 机械化采样简介	152
第四章 检验方法	157
第一节 煤中水分测定	157
第二节 煤的工业分析方法	160
第三节 发热量的测定	167
第四节 煤的元素分析	174
第五节 煤的元素分析方法	177
第六节 煤中全硫的测定	180
第五章 检验结果审查	186
第一节 工业分析各项指标关系	186
第二节 工业分析与元素分析关系	190
第三节 煤的各种粘结性指标间的关系	194
第四节 煤灰成分与煤灰熔融性的关系	198
第五节 浮煤工业分析与原煤工业分析的关系	201
第六节 煤质分析结果判断与审查	204
第六章 常用煤炭检验仪器设备	213
第一节 颚式破碎机	213

第二节	双辊破碎机	215
第三节	密封式化验制样粉碎机	216
第四节	电子天平	217
第五节	干燥箱	220
第六节	马弗炉	221
第七节	水分自动测定仪	226
第八节	量热仪	230
第九节	碳氢元素分析仪	233
第十节	智能测硫仪	234
第十一节	粘结指数测定仪	239
附录		241
后 记		243
主要参考文献		245

第一章 煤的基础知识

第一节 地 层

地球形成至今已有 46 亿年的历史。在漫长的地质岁月里，地球经历着不断的发展变化，生活在地球上的生物也经历着从简单到复杂、水生到陆生和低级到高级的不断进化。

在不同地质历史阶段，组成地壳的矿物与岩石、地球上的生物和地壳构造运动都具有独特的性质。经过大量研究，人们通常根据生物发展史、地球沉积史和地壳运动史将地质历史时期从古到今划分为不同的地质年代。

地质年代单位从大到小依次为宙、代、纪、世、期、时等。从古到今可以划分为两个宙，即隐生宙和显生宙，其中隐生宙包含太古代和元古代两个次级地质年代，显生宙包括古生代、中生代和新生代三个重要时期，每个代一般持续几千万年到几亿年。为了反映更短时间间隔内地壳的变化，代以下可分为若干纪，纪以下可分为若干世，世以下可分为若干期，期以下可分为若干时。

在各个地质时代内，随着地球演化的进行，形成了厚度不等的由沉积岩、变质岩和岩浆岩组成的岩层。把一定时期、一定环境和代表一定生物群落演变特征的岩层称为地层。

划分地层的依据不同，地层单位的类型就不一样。按照地层形成时期划分的地层单位称为年代地层单位，从大到小有宇、界、系、统、阶、带等，其形成时间对应于宙、代、纪、世、期、时，这是国际统一的地层单位。地球形成后的地质年代表见表 1-1。

表 1-1 地质年代表

地质时代及相应的年代地层单位			绝对年龄 (百万年)
代(界)	纪(系)		世(统)
新 生 代 (界) C ₂	第四纪(系) Q		全新世(统) 更新世(统)
	第 三 纪 (系) R	新第三纪 N	上新世(统) 中新世(统)
			渐新世(统) 始新世(统) 古新世(统)
		老第三纪 E	
中 生 代 (界) M ₂	白垩纪(系) K		晚(上)白垩世(统) 早(下)白垩世(统)
	侏罗纪(系) J		晚(上)侏罗世(统) 中(中)侏罗世(统) 早(下)侏罗世(统)
	三叠纪(系) T		晚(上)三叠世(统) 中(中)三叠世(统) 早(下)三叠世(统)

古 生 代 (界) P _z	晚 (上) 生 代 (界)	二叠纪(系) P		晚(上) 二叠世(统) 早(下) 二叠世(统)	225	
		石炭纪(系) C		晚(上) 石炭世(统) 中(中) 石炭世(统) 早(下) 石炭世(统)	270	
		泥盆纪(系) D		晚(上) 泥盆世(统) 中(中) 泥盆世(统) 早(下) 泥盆世(统)	350	
	早 (下) 生 代 (界)	志留纪(系) S		晚(上) 志留世(统) 中(中) 志留世(统) 早(下) 志留世(统)	400	
		奥陶纪(系) O		晚(上) 奥陶世(统) 中(中) 奥陶世(统) 早(下) 奥陶世(统)	440	
		寒武纪(系) ε		晚(上) 寒武世(统) 中(中) 寒武世(统) 早(下) 寒武世(统)	500	
元古代 (界) P _t	晚(上) 元古代(界)	震旦纪(系) Z			570	
	中(中) 元古代(界)					
	早(下) 元古代(界)					
太古代 (界) A _r					2600	
地球最初发展阶段						4600

第二节 煤的形成

一、植物演化与成煤作用

煤由地质历史时期的植物遗体堆积而成。地质历史上形成煤的时期气候温暖潮湿,植物茂盛,特别是湖泊沼泽、河流沼泽等环境尤其发育茂密的森林或水生植物。植物遗体原地堆积或经过一定距离的搬运开始堆积。随着地壳下沉,堆积下来的植物遗体逐渐被水覆盖与空气隔绝。在生物化学作用影响下,遗体发生分解与合成作用,保留下来的部分变成为泥炭。高等植物遗体演变为泥炭的过程称为泥炭化作用,这一作用经历的过程称为泥炭化作用阶段。低等植物经历的与泥炭化作用相似的过程称为腐泥化作用阶段。

随着时间的推移,地壳继续下沉,泥炭层被水携带来的泥砂等物质覆盖并逐渐加厚。受到压力和温度影响,在一定地球化学作用条件下,泥炭层发生压实、脱水和胶结;并伴有增碳、失氧、失腐植酸和游离纤维素转变成褐煤。由腐泥转变而来者称为腐泥褐煤。

褐煤(腐泥褐煤)在地下深处受到温度和压力的影响,水分和氧含量进一步减少、含碳物质进一步富集、比重增大、颜色变深、硬度增加,逐渐变成烟煤(腐泥烟煤)。烟煤(腐泥烟煤)进一步变化形成无烟煤(腐泥无烟煤)。无烟煤(腐泥无烟煤)进一步变化形成石墨。

从植物到形成煤的地质作用称为成煤作用，成煤作用包括泥炭化作用（腐泥化作用）和煤化作用两个阶段。煤化作用包括成岩作用和变质作用两个阶段，成岩作用即由泥炭（腐泥）变为褐煤（腐泥褐煤）的过程，煤的变质作用指由褐煤（腐泥褐煤）到无烟煤的整个变质过程。植物遗体演变成煤及煤的变质过程如图 1-1 所示。

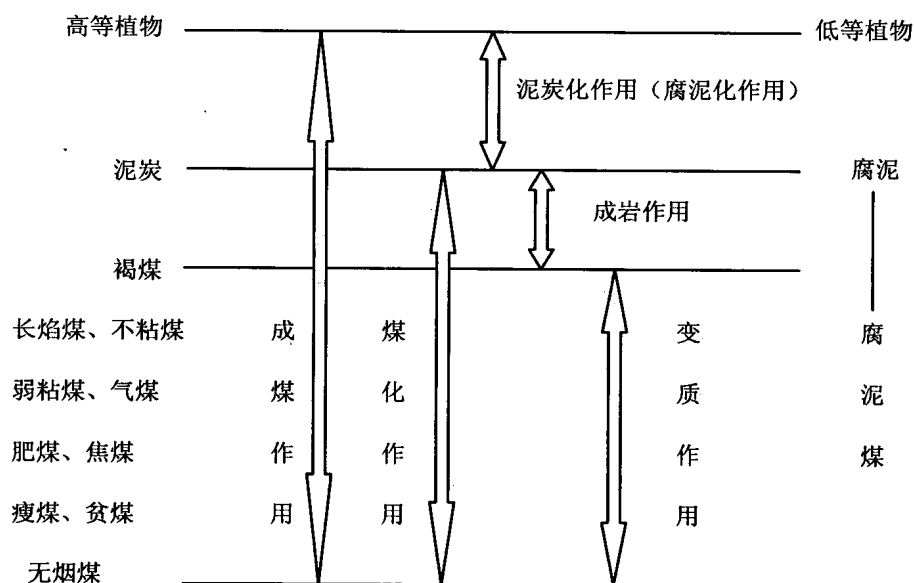


图 1-1 成煤过程划分示意图

二、影响煤质的主要地质因素

大量研究表明，影响形成具有开采价值煤层的主要地质因素包括：植物条件、气候条件、地理环境和地壳运动特征等。

1. 植物条件

植物遗体是成煤原料，没有植物的生长就不可能有煤的形成。因此，在漫长的地质历史中，成煤的时期应该是有植物大量繁殖的时代。例如，我国最主要的三个成煤时期(石炭二叠纪、侏罗纪和第三纪)，就分别是植物界的孢子植物、裸子植物和被子植物繁盛的时代。

2. 气候条件

植物的生长直接受气候影响。只有在温暖潮湿的气候条件下，植物才能大量繁殖。同时，植物遗体只有在沼泽地带才能被水淹没免遭完全氧化而逐渐堆积。沼泽的发育则要求有潮湿的气候。因此，温暖和潮湿的气候是成煤的重要条件。

3. 地理环境

要形成分布面积较广的煤层，必须有能够产生大面积沼泽化的自然地理条件。通常滨海平原、潟湖海湾、盆地、宽阔的河漫滩、河流三角洲等环境受地壳升降的影响，容易发育大片的沼泽地带。

4. 地壳运动

地壳运动对煤形成的影响是多方面的。泥炭层的积聚要求地壳发生缓慢下沉，而下沉速度最好与植物遗体堆积的速度大致平衡，这种状态持续的时间越久，形成的泥炭层就越厚。

泥炭层的保存和转变成煤的过程则要求地壳应有较大幅度和较快的沉降。在同一地区若能形成较多的煤层，则又要求地壳在总的下降过程中还应发生多次的升降和间歇性的下沉。

综上所述，地球发展过程中只要某个地区同时具备了上述四个条件，且持续时间较长，就可能形成具有开采价值的煤层，成为重要煤田。如果这些条件的配合是短暂的，虽然也可能有煤生成，但一般形成不了具有开采价值的厚煤层。

三、煤系地层

在煤的形成过程中，煤层上下有许多其它非煤岩层间隔。倘若这一套含有煤层的岩石在同一成煤时期形成，通常就把它称为相关地质时代的煤系地层。因此，煤系就是含有煤层的一整套沉积岩系，它们彼此间大致连续沉积并在成因上具有密切联系。

煤系是在温暖潮湿气候条件下形成的，富含有机物质，所以煤系岩石的颜色往往以灰色、灰黑色、灰绿色、黄绿色为主。煤系中常伴有油页岩、铝土矿、菱铁矿、黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿等其它沉积矿产。煤系地层除煤和上述矿产外，常见沉积岩类型有：角砾岩、砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、页岩及石灰岩等。

1. 角砾岩

堆积在山坡下的一些有棱角的大小不同的碎石块被矿物质胶结起来成为岩石，其中直径大于 2mm 的碎屑占 50% 以上。

2. 砾岩

在搬运过程中磨去棱角的石块和岩屑被矿物质胶结起来就成为砾岩。其中直径大于 2mm 的碎屑占 50% 以上。

3. 砂岩

由直径 0.1mm~2mm 的碎屑和胶结物组成的岩石。按照碎屑直径大小，砂岩又可分为粗砂岩(碎屑直径 0.5mm~2mm)，中粒砂岩(碎屑直径 0.5mm~0.25mm)，细砂岩(碎屑直径 0.25mm~0.1mm)。碎屑成分以石英、长石为主，含有白云母和其它暗色矿物。胶结物有钙质、硅质、铁质和粘土等。砂岩的坚固性主要决定于岩石的成分、胶结物的性质以及岩石受构造影响的程度。

4. 粉砂岩

碎屑直径 0.1mm~0.01mm 的含量大于 50%，外表像泥岩但用手摩擦有轻微粗糙感。

5. 泥岩与页岩

由各种粘土矿物形成的岩石。其颗粒直径小于 0.01mm，结构致密，肉眼难以辨别。厚层状或没有明显层理的叫泥岩，薄层而层理明显的叫页岩。

6. 石灰岩

矿物成分主要是方解石，一般为白色或灰色，含杂质较多时为深色，有致密状、结晶状和鲕状，性脆，遇稀盐酸发生化学反应冒泡。石灰岩可能是化学沉积物，也可能是生物遗体沉积。在海底或湖底含石灰质的物质，失去水分经胶结成岩作用成为石灰岩。石灰岩容易被水溶解形成溶洞，通常称为喀斯特溶洞。

四、中国的煤炭资源

我国煤炭资源丰富，其储量约占全国化石能源的 95%，有着巨大的资源潜力。据第三次

全国煤炭资源的预测，全国煤炭资源总量为 5.57 万亿吨，保有储量 1 万亿吨。

我国煤炭资源虽然丰富，但勘探程度不高。目前，已查明资源中精查资源量仅占 25%，绝大部分为普查资源量。尚未利用的 6563.5 亿吨储量中，精查储量只有 617.5 亿吨，占煤炭总储量的 9.4%；详查储量 1086.52 亿吨，仅占全部储量的 16.6%。

我国煤种齐全，从褐煤到无烟煤均有分布。褐煤占全部保有储量的 13.1%，主要分布于内蒙古东部、黑龙江西部和云南东部等地。低变质烟煤(长焰煤、不粘煤、弱粘煤、1/2 中粘煤)占全部保有储量 32.6%，主要分布于新疆、陕西、内蒙古、宁夏等省区，甘肃、辽宁等省低变质烟煤也比较丰富。中变质烟煤(气煤、气肥煤、肥煤、1/3 焦煤、焦煤和瘦煤)占全部保有储量的 26.3%，主要分布于华北石炭、二叠纪和华南二叠纪含煤地层中。中变质烟煤主要用于炼焦，但是，肥煤、焦煤和瘦煤等炼焦主要煤种少，仅占全国保有储量的 13.7%，优质炼焦用煤则更加短缺。高变质煤(贫煤、无烟煤)占全部保有储量的 16.9%，主要分布于山西、贵州和四川南部等地区。分类不明的煤占 11.2%。

中国煤炭的质量差异很大。秦岭以南，除少数煤田外，多数煤田煤质差，含硫高。秦岭以北地区，煤质一般较好，以低变质烟煤为主，占 33%，其次为中变质烟煤、贫煤和高变质无烟煤以及低变质的褐煤；以特低硫、低硫煤为主，占 56%；中低硫、中硫煤占 33%；灰分中等，以低中灰、中灰煤为主，占查明资源量的 76%；特低灰、低灰煤也比较丰富，占查明资源量的 22%；高、中热值煤占 92%，中低热值煤很少。

中国煤炭资源埋藏量分布不均。南北方向上主要分布于昆仑—秦岭—大别山以北，煤炭资源量之和为 51842.82 亿吨，占全国煤炭资源总量的 93.1%，其余各省煤炭资源量之和为 3854.67 亿吨，仅占全国煤炭资源总量的 6.9%。东西方向上分布于大兴安岭—太行山—雪峰山以西，该线以西的内蒙古、山西、四川、贵州等 11 个省区，煤炭资源量占全国煤炭资源总量的 91.8%。而该线以东地区，煤炭资源量占全国煤炭资源总量的 8.2%。显然，中国煤炭资源在地域分布上存在北多南少、西多东少的特点。这就决定了中国西煤东运、北煤南调的基本格局。

中国煤系伴生矿产资源丰富。其中，煤层气、石英、铝土矿、黄铁矿、高岭土、锗、镓、铀等多种伴生矿产最为丰富，中国煤田地质总局最新(2003)全国煤层气资源预测结果表明，中国煤层气资源总量超过 31 万亿立方米，相当于 450 亿吨标准煤，位居世界第三。其中山西、陕西、内蒙古等西部省区煤层气资源量最为丰富，有 17 万亿立方米，占全国煤层气总资源量的一半以上。新疆、内蒙古等省区煤田中含有丰富的铀矿。此外，其它伴生矿产在我国大多数煤田均有分布。

五、煤炭综合利用

煤不但是燃料，还是重要的工业原料。根据有关资料，煤中组分多达 475 种。煤做原料制成不同产品，经济效益可大幅提高。以炼焦为例，除主要产品冶金焦炭外，还可获取煤焦油和焦炉煤气。煤焦油可以用来生产化肥、农药、合成纤维、合成橡胶、塑料、油漆、染料、药品、炸药等产品；焦炭除用于冶金外，还可用来制造氮肥。焦炉煤气可用于炼钢和作为焦炉本身燃料、城市煤气、发电、制双氧水，也可作为化肥、合成纤维的原料等。煤的气化、液化在煤的综合利用中更是重要内容。

一般煤炭作为一次性能源直接燃烧利用。据统计，目前世界总发电量的 47%来自以煤作

燃料的火力发电厂。近年来，各国大力开发煤炭转化技术，如采用将煤转化为二次洁净能源的煤气化和煤液化工艺，可得到流体燃料(煤气和液体燃料)。流体燃料在运输和使用上非常方便，并可大大减少污染。目前正在开发的气化和液化工艺不下数十种，其中一部分已实现工业化。与此同时，煤粉与水相混制水煤浆和细煤粉与石油重油相混制油煤浆作为能源利用的工作也取得进展，有的已应用于工业。

由煤制取化工产品的方法有：焦化、加氢液化、气化、氧化制腐植酸类物质以及煤制电石以生产乙炔等。其中，将煤气化制成合成气，再通过各种合成方法制造多种化工原料(“一碳化学”路线)及将煤液化制造苯等芳香烃的工艺日益引起人们的重视。

煤炭综合利用包括将煤炭本身作为一次能源，用煤炭制造二次能源、化工原料等几方面。只有采取多个部门联合，才能实现这一目的，以下是几种具体的部门联合与综合利用方式。

1. 不同煤炭利用部门的联合

- (1) 采煤—电力—建材—化工；
- (2) 采煤—电力—城市煤气—化工；
- (3) 钢铁—炼焦—化工—煤气—建材；
- (4) 炼焦—煤气—化工(三联供)。

2. 不同单元过程的联合

- (1) 焦化(或高温过速热解)—气化—液化；
- (2) 热解(或溶剂精制)—气化—发电；
- (3) 气化—合成；
- (4) 液化(溶剂精制或超临界萃取)—燃烧—气化；
- (5) 液化(超临界萃取)—加氢气化。

此外还可以有多种方式的联合，通过联合可以大大提高煤的利用效率，推动煤炭应用科学技术的迅速发展。

中国煤炭综合利用情况与发达国家相比，具有起步晚、规模小、发展速度快等特点。目前，中国在煤的综合利用方面虽然做了大量的工作，取得了一定成绩，但与世界先进水平相比，差距还很大，煤炭的终端消费结构还有待进一步优化调整。中国的煤炭利用以燃烧为主，在加工利用方面比较薄弱，原煤入洗率低，只有 1/4 左右，大部分原煤在使用前不经洗选。因而商品煤质量较差，平均灰分为 20.5%，平均硫分为 0.8%。型煤技术虽已有较长发展历史，但技术和设备的改进与提高效果不尽如人意，技术推广较慢，产量较低。动力配煤与水煤浆技术均处于初级阶段。高效固硫剂、助燃剂等尚处于开发和试用阶段。因此，作为世界第一产煤和用煤大国，中国的煤炭洁净加工与高效利用依然还有很长的路要走。

第三节 煤的性质及分类

一、煤的物理化学性质

煤的物理化学性质与煤成因有关，也就是说与成煤的原始物质、堆积条件、经历的地质活动、成煤时间等有关，同时与灰分、水分及风氧化程度有关。

1. 煤的颜色和光泽

煤的颜色和光泽是煤的表面性质。煤的颜色是指新鲜煤的表面的天然颜色，它是煤对不

同可见光吸收的结果。高等植物形成的煤，随着变质程度增加，煤的颜色逐渐加深，褐煤主要呈褐色，烟煤呈黑色，无烟煤为钢灰色。低等植物形成的煤，主要呈深灰色，也有些为棕褐色、浅黄色、灰绿色等。水分增加使煤表面的颜色加深，灰分增加使表面颜色变浅。除了煤表面的颜色外，煤的划痕颜色也因煤的类别不同而变化。如烟煤中的气煤划痕颜色呈棕黑色，肥煤和焦煤呈黑色，略带棕色，瘦煤、贫煤为黑色，无烟煤为钢灰色。

煤的光泽是指煤断面对可见光的反光能力，是肉眼鉴定煤的主要指标。反光能力强的光泽强，反光能力弱的光泽弱。腐植煤的反光能力较强，光泽通常为沥青光泽、玻璃光泽、金刚光泽等。腐泥煤的光泽多较暗淡。煤的光泽也与煤岩组分有关，镜煤光泽最强，丝炭最弱。不同煤化程度煤的颜色、条痕色和光泽见表 1-2。

表 1-2 不同煤化程度煤的颜色、条痕色和光泽

煤化程度	光泽	颜色	条痕色
褐煤	无光泽、暗淡的沥青光泽	褐色、深褐色、黑褐色	棕色
长焰煤	沥青光泽	黑色、褐黑色	深棕色
气煤	沥青光泽、弱玻璃光泽	黑色	深棕色
肥煤	玻璃光泽	黑色	黑色、棕黑色
焦煤	强玻璃光泽	黑色	黑色、棕黑色
瘦煤	强玻璃光泽	黑色	黑色
贫煤	金属光泽	黑色、灰黑色	黑色
无烟煤	似金属光泽	黑色、灰黑色	灰黑色

2. 煤的断口与裂隙

(1) 断口

煤受外力打击后不沿层理面或裂隙面断开，成为凹凸不平的表面，称为断口。根据表面形状和性质的不同，煤的断口常分为：贝壳状、参差状、阶梯状、棱角状、粒状、针状等。总的反映了煤的物质组成的均一性或方向性的变化。例如贝壳状断口可作为腐泥煤、腐植煤中的光亮煤以及某些无烟煤的特征，同时也是煤的物质组成均一性的重要标志，不规则状断口常是各种变质程度的、暗淡的、矿物质高的煤的特征。肉眼观察煤的断口，应以煤岩类型为基本鉴定单位。

(2) 裂隙

煤的裂隙是成煤过程中，煤受到自然界各种应力的影响所造成的裂开现象。按成因不同分为内生裂隙和外生裂隙两种。

内生裂隙是在煤化作用过程中，凝胶化物质受到温度和压力等因素的影响，体积均匀收缩产生内张力而形成的一种裂隙。内生裂隙的发育情况与煤的变质程度和煤岩成分(煤岩类型)密切相关。在同一煤岩类型中，内生裂隙数目随变质程度由低到高增多。

内生裂隙是褶皱运动之前形成的，具有如下特征：①主要出现在比较均匀致密的光亮煤分层中，特别是镜煤凸镜体或条带中最发育；②一般垂直或大致垂直层理面；③裂隙面较平坦，裂隙面或断面常伴有眼球状的张力痕迹；④裂隙方向有大致互相垂直或斜交的两组，交叉呈四方形或菱形，其中一组裂隙较发育，为主要裂隙组，另一组裂隙稀疏为次要裂隙组；

⑤裂隙在中变质烟煤中最发育，而褐煤和无烟煤中则不发育。由于光亮煤中的内生裂隙在同一变质阶段煤中数目比较稳定，因此，在判断煤的变质程度时，常以光亮煤为准。

外生裂隙是煤层形成后受构造应力作用产生的。其特点为：①外生裂隙可出现在煤层的任何部位，通常以光亮煤分层最为发育，并往往同时穿过几个煤岩分层；②以同角度与煤层理面相交；③裂隙面上常有波状、羽毛状或光滑的滑动痕迹，有时还可见到次生矿物与破碎煤屑的充填；④外生裂隙有时沿袭既成的内生裂隙而重叠发生。

3. 煤的密度

密度是反映煤的性质和结构的重要参数，密度的大小取决于分子结构和分子排列的紧密程度。煤的密度随煤化程度的变化有一定规律，利用密度数值还可以用统计法对煤进行结构解析。由于煤具有高度的不均一性，煤的体积在不同的情况下有不同的含义，因而煤的密度也有不同的定义。

(1) 四种表示煤密度的方法

煤的真相对密度(TRD) 煤的真相对密度是指在 20℃时，煤(不包括煤的孔隙)的质量与同体积水的质量之比。用符号 TRD 来表示。煤的真相对密度曾经叫煤的真比重。

煤的真相对密度测定国家标准(GB/T217—1996)是以十二烷基硫酸钠溶液为浸润剂，在一定容积的密度瓶中盛满水(加入少量浸润剂)放入一定质量的煤样，使煤样在密度瓶中润湿、沉降并排出吸附的气体，根据煤样的质量和它排出的水的质量计算煤的真相对密度。

真相对密度是煤的主要物理性质之一。在研究煤化程度、确定煤的类别、选定无烟煤在减灰时的重液分选密度等都涉及煤的真相对密度。

煤的视相对密度(ARD) 煤的视相对密度是指在 20℃时，煤(包括煤的空隙)的质量与同体积水的质量之比，用符号 ARD 表示。

测定煤的视相对密度的要点是，称取一定粒度的煤样，表面用蜡涂封后(防止水渗入煤样内的孔隙)放入密度瓶中，以十二烷基硫酸钠溶液为浸润剂，测出涂蜡煤粒所排开同体积水的溶液的质量，再计算出蜡煤粒的视相对密度，减去蜡的密度后，求出煤的视相对密度。

在计算煤的埋藏量时和对储煤仓的设计以及在煤的运输、磨碎、燃烧等过程的有关计算都需要用煤的视密度这项指标。

煤的堆密度(散密度) 煤的堆密度是指单位体积(包括煤粒间的空隙也包括煤粒内的孔隙)煤的质量，即单位体积散装煤的质量，又叫煤的散密度。在设计煤仓、计算焦炉装煤量和火车、汽车、轮船装载量时要用这个指标。

纯煤真密度 纯煤真密度是指除去矿物质和水分后煤中有机质的真密度，它在高变质煤中可作为煤分类的一项参数，在国外已经有用来作为划分无烟煤类的依据。

(2) 影响煤密度的因素

煤成因类型的影响 不同成因类型的煤，其密度是不同的。腐植煤的真密度大于腐泥煤的真密度。如腐植煤的真相对密度最小的为 1.25，而腐泥煤的真相对密度为 1.0，这主要是由于成煤的原始物质不同及煤有机质的分子结构不同。

煤化程度的影响 随着煤化程度的增高，煤的真密度逐渐增大。煤化程度较低时真密度增加较慢，当接近无烟煤时，真密度增加很快。各类型煤的真密度范围大致如下：泥炭为 0.72，褐煤为 0.8~1.4，烟煤为 1.2~1.5，无烟煤为 1.4~1.8。

煤岩成分的影响 对于同一煤化程度的煤,煤岩成分不同其真密度也不同。在同一煤化程度的四种宏观煤岩成分中,以丝炭的真密度最大,暗煤次之,亮煤和镜煤最小。

矿物质的影响 煤中矿物质对煤的密度影响很大,因为矿物质的密度比煤中的有机质的密度大得多。例如,常见的粘土密度为 $2.4\text{g/cm}^3 \sim 2.6\text{g/cm}^3$, 石英为 2.65g/cm^3 , 黄铁矿为 5.0g/cm^3 。煤中矿物质含量越多,煤的密度越大。一般认为,煤的灰分产率每增加 1%,煤的真相对密度要增加 0.01。

4. 煤的机械性质

煤的机械性质是指煤在机械力作用下所表现出的各种特性,这里重点介绍煤的硬度、可磨性和抗碎强度。

(1) 煤的硬度

煤的硬度是指煤抵抗外来机械作用的能力。根据测定原理和方法不同可分为划痕硬度、压痕硬度和耐磨硬度。常用的是前面的两种。

划痕硬度(又称莫氏硬度) 划痕硬度是用一套标准矿物刻划煤来判定煤的相对硬度。标准矿物的莫氏硬度见表 1-3。

表 1-3 标准矿物的莫氏硬度

级别	矿物	级别	矿物
1	滑石	6	长石
2	石膏	7	石英
3	方解石	8	黄玉
4	萤石	9	刚玉
5	磷灰石	10	金刚石

煤的莫氏硬度在 2~4 之间,煤化程度低的褐煤和中变质阶段的烟煤—焦煤的硬度最小,约为 2~2.5,无烟煤的硬度最大,接近 4。从焦煤向肥煤、气煤、长焰煤方向,煤的硬度逐渐增加,但到褐煤阶段又明显下降。各种煤岩组分的硬度亦不同。同一煤化程度的煤,以惰质组硬度最大,壳质组最小,镜质组居中。

压痕硬度(即显微硬度) 煤的显微硬度是指煤抵抗坚硬物体压入的能力。它是用规定形状的金钢石压锥在 20g 静载荷下压入煤样并持续 15s,然后撤去载荷,在显微镜下放大 487 倍观测压痕大小后求出的显微硬度。以压锥与煤实际接触的单位面积上的荷重来表示 (kg/mm^2)。

本方法测定煤的显微硬度常在煤化学研究中应用。由于只要求很小的一块表面,并能在脆性煤上留下压痕,因而可避免煤质不均一及脆性破裂引起的误差。此外,还可用来直接测定不同显微组分的硬度。

煤的机械强度与变质程度之间存在一定关系。年老煤和年轻煤的机械强度较大,而中等变质程度的肥煤、焦煤的机械强度小;丝炭的机械强度最小,镜煤次之,暗煤最大。

(2) 煤的可磨性

煤的可磨性用可磨性指数表示,可磨性指数表示在规定条件下把煤研磨成粉的难易程度。这是一个与标准煤比较而得出的相对指标。可磨性指数越大,煤越易被粉碎,反之则较难粉碎。

煤的可磨性指数的测定方法很多,但其原理都是根据破碎定律建立的。即在研磨煤粉时所消耗的功与煤所产生的新表面积成正比。目前,国际上广泛采用哈特格罗夫法。该法操作简便,具有一定的准确性,实验规范性较强,并于1980年被国际标准化组织采用,列入国际标准。中国也采用此法作为煤的可磨性指标测定标准(GB/T2565—1998)。

哈特格罗夫法的基本方法是:将一定粒度范围和质量的煤样,经哈氏可磨测定仪研磨后在规定条件下筛分,称量筛上煤样的质量,由研磨前的煤样质量减去筛上煤样质量得到筛下煤样质量,再由标准煤样绘制的校准图上查得哈氏可磨指数。

(3) 煤的抗碎强度

煤的抗碎强度是指一定粒度的煤样自由落下后破碎的程度。煤在运输装卸过程中,由于煤块的碰撞常使原来的大块破裂成小块甚至产生一些煤粉,这对需要使用块煤的用户很不利。因此,使用块煤的用户对煤的抗碎强度有一定的要求。

抗碎强度的测定(GB/T15459—1995)方法是取一定粒度、一定质量(或一定块数)的煤块,将其从规定的高度落下,然后用筛孔为25mm的筛子筛分,称出大于25mm的筛上物质量。

抗碎强度计算公式是: $SS = m_1/m \times 100\%$

其中:SS表示抗碎强度(%), m 代表煤样质量, m_1 代表实验后大于25mm的筛上物质量。

煤的抗碎强度与煤化程度、煤岩成分、矿物含量以及风化、氧化等因素有关。煤的抗碎强度随煤化程度变化规律是:中等煤化程度的煤抗碎强度较低,向高、向低均增强。

在不同的煤岩组分中,暗煤抗碎强度最高,镜煤次之,丝炭最低;矿物含量较高时,抗碎强度较高;煤受到风化和氧化后抗碎强度降低。

5. 煤的热性质

煤的热性质包括煤的比热容、导热性和热稳定性,研究煤的热性质,不仅对煤的热加工(煤的干馏、气化和液化等)过程及其传热计算有很大的意义,而且某些热性质还与煤的结构密切相关。如煤的导热性,能反映煤的一些重要结构特点,煤中分子的定向程度。

(1) 煤的热容量

在一定温度范围内,单位质量的煤,温度升高1℃所需要的热量,称为煤的热容量,也叫煤的比热容。单位为kJ/(kg·℃)或J/(g·℃)。

煤的热容量与煤化程度、水分、灰分和温度的变化等因素有关。一般随煤化程度的加深而减小,热容量随着水分升高而增大;随着灰分的增加而减小。煤的热容量随温度的升高,而呈抛物线形变化,当温度低于350℃时,煤的热容量随着温度的升高而增大;如温度超过350℃,煤的热容量反而随着温度的增高有所下降,当温度增加到1000℃时,则热容量降至与石墨的比热容相接近。

(2) 煤的导热性

煤的导热性包括导热系数 λ [W/(m·K)]和导温系数 a (m²/h)两个基本常数,它们之间的关系可用下式表示: $a = \lambda / (C \cdot \rho)$

式中: C 是煤的热容量, kJ/(kg·K); ρ 为煤的密度, kg/m³。

物质的导热系数应理解为热量在物体中直接传导的速度。而物质的导温系数是不稳定导热的一个特征的物理量,它代表物体所具有的温度变化(加热或冷却)的能力。 a 值愈大,温