



中华人民共和国国家标准

GB/T 46288—2025

褐煤显微组分分类

Maceral classification for brown coals and lignites

2025-10-05 发布

2026-05-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 分类依据 2

5 分类方案 2

附录 A（资料性） 褐煤显微组分特征描述 5

参考文献 16

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国煤炭工业协会提出。

本文件由全国煤炭标准化技术委员会(SAC/TC 42)归口。

本文件起草单位：中国矿业大学(北京)、中煤科工西安研究院(集团)有限公司、江苏地质矿产设计研究院。

本文件主要起草人：唐跃刚、王绍清、肖文钊、张群、张谷春、朱士飞。

褐煤显微组分分类

1 范围

本文件规定了褐煤显微组分的分类依据和分类方案。
本文件适用于腐植体随机反射率小于或等于 0.40% 的褐煤。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 5751 中国煤炭分类
GB/T 12937 煤岩术语

3 术语和定义

GB/T 5751 和 GB/T 12937 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

腐植组 huminite

由植物的木质纤维组织经腐植化作用和凝胶化作用转化而成的褐煤显微组分,反射力介于同一煤样中较暗的类脂体和较亮的惰质体之间,呈灰色的显微组分。

注:腐植体组(huminite group)简称腐植组,强调个体时称腐植体(huminite)。

3.2

结构腐植体 telohuminite

植物细胞结构可辨的腐植组显微组分亚组。

3.3

木质结构体 textinite

植物细胞结构清晰可辨的结构腐植体。

3.4

腐木质体 ulminite

植物细胞结构隐约可辨的结构腐植体。

3.5

碎屑腐植体 detrohuminite

植物细胞结构不可辨认、粒度小于 10 μm 的腐植组显微组分亚组。

3.6

细屑体 attrinite

疏松多孔的碎屑腐植体。

3.7

密屑体 densinite

无定形、致密的碎屑腐植体。

3.8

凝胶腐植体 gelohuminite

均一、无结构的腐植组显微组分亚组。

3.9

凝胶体 gelinite

无定形、均匀、无结构的凝胶腐植体，多呈条带状或胞腔充填状分布。

3.10

团块腐植体 corpohuminite

均一、团块状、粒度大于 $10\ \mu\text{m}$ 的凝胶腐植体，呈胞腔充填状或分散状分布。

3.11

类脂组 liptinite

植物中富类脂化合物的组织或成分形成的显微组分，反射力弱于腐植组。

3.12

叶绿素体 chlorophyllinite

由叶绿素形成的类脂组显微组分，呈圆形、小颗粒状，直径一般为 $1\ \mu\text{m}\sim 5\ \mu\text{m}$ ，具有血红色荧光特性。

3.13

惰质组 inertinite

由植物的木质纤维组织经丝炭化作用转化而形成的显微组分，反射力强于腐植组和类脂组，少数惰质体来源于真菌遗体。

4 分类依据

以显微组分成因和显微光学特征，结合工艺性质，对褐煤显微组分进行的系统分类。首先根据成因、显微光学特征和化学工艺性质将显微组分划分为显微组分；再根据细胞结构保存程度将腐植组划分为显微组分亚组；依据显微光学特征、形态、大小、产状将显微组分或亚组划分为显微组分；依据成因将显微组分划分为显微组分型；依据反射力将显微组分型划分显微组分种。

5 分类方案

褐煤显微组分包括 3 个显微组分、19 个显微组分和 8 个显微组分型。其中，腐植组分有 3 个显微组分亚组，6 个显微组分；结构腐植体有 4 个显微组分种。分类方案见表 1。褐煤显微组分特征描述见附录 A。

表 1 褐煤显微组分分类

显微组分组(代号) Maceral group	显微组分亚组(代号) Maceral subgroup	显微组分(代号) Maceral	显微组分型(代号) Maceral Type	显微组分种 Maceral Variety
腐植组 Huminite (H)	结构腐植体 Telohuminite (TH)	木质结构体 Textinite (Tx)	—	A(暗) B(浅)
		腐木质体 Ulminite (U)	—	A(暗) B(浅)
	碎屑腐植体 Detrohuminite (DH)	细屑体 Attrinite(A)	—	—
		密屑体 Densinite(D)	—	—
	凝胶腐植体 Gelohuminite (GH)	团块腐植体 Corpohuminite (CH)	鞣质体 Phlobaphinite(Ph)	—
			假鞣质体 Pseudo-phlobaphinite (PPh)	—
		凝胶体 Gelinite (G)	多孔凝胶体 Porigelinite (PG)	—
			均匀凝胶体 Levigelinite (LG)	—
类脂组 Liptinite (L)	—	孢粉体 Sporpolleninite(Sp)	—	—
		角质体 Cutinite(Cu)	—	—
		木栓质体 Suberinite(Sub)	—	—
		树脂体 Resinite (Re)	—	—
		叶绿素体 Chlorophyllinite (CP)	—	—
		藻类体 Alginite (Alg)	结构藻类体 Telalginite (TA)	—
			层状藻类体 Lamalginitite (LA)	—
		沥青质体 Bituminite (Bt)	—	—
		类脂碎屑体 Liptodetrinite (LD)	—	—

表 1 褐煤显微组分分类（续）

显微组分组(代号) Maceral group	显微组分亚组(代号) Maceral subgroup	显微组分(代号) Maceral	显微组分型(代号) Maceral Type	显微组分种 Maceral Variety
惰质组 Inertinite (I)	—	丝质体 Fusinite (F)	—	—
		半丝质体 Semifusinite (SF)	—	—
		真菌体 Funginite(Fu)	—	—
		粗粒体 Macrinite(Ma)	粗粒体 1 Macrinite 1(Ma1)	—
			粗粒体 2 Macrinite 2(Ma2)	—
		惰质碎屑体 Inertodetrinite(ID)	—	—

附 录 A
(资料性)
褐煤显微组分特征描述

A.1 腐植组

A.1.1 一般特征

腐植组又称腐植体(huminite)。腐植组可划分为 3 个显微组分亚组和 6 个显微组分(见表 1)。

腐植体,呈暗灰至中灰色。腐植体分类方案的反射率上限 0.40%。腐植体一般具有各向同性。若含有残余的纤维素,则具有各向异性(双反射率),该特征在透射光下更容易被识别,可用来鉴别纤维素。荧光的颜色和强度取决于煤阶以及腐植体的降解、腐植化和沥青化程度。荧光颜色为黄棕至红棕色,木质结构体 A 和腐木质体 A 的荧光最为强烈。腐植体抛光硬度较软,与伴生的类脂体和惰质体相比,腐植体无突起(团块腐植体除外)。

结构腐植体中,显微组分种 B 的反射率是一个能够反映煤阶的可靠参数。如果样品中不存在显微组分种(这种情况可能出现在煤以外的其他沉积物中),则可用“密屑体”和“团块腐质体”的反射率来替代。

结构腐植体包括木质结构体和腐木质体,二者可通过凝胶化程度加以区分。

A.1.2 结构腐植体

A.1.2.1 木质结构体

褐煤中腐植体的细胞壁物质,主要包括未凝胶化的、离散的但具有保存完整的细胞壁,或植物组织中的细胞壁[见图 A.1a)和 b)]。木质结构体有两个显微组分种:木质结构体 A 和木质结构体 B,前者的反射率低于后者。

木质结构体 A 呈暗灰色,常略带褐色,内反射色呈橙色至红褐色。木质结构体 B 呈灰色,无内反射。木质结构体 A 反射率较低,接近其伴生的类脂体的反射率。木质结构体 B 的反射率取决于煤阶。在反射光下,木质结构体具有各向同性。在透射光下,由于纤维素残余物的存在,可导致木质结构体 A 具有显著的各向异性。木质结构体的荧光一般呈藏黄色至棕色。木质结构体 A 的荧光性比木质结构体 B 强,有时甚至接近类脂体,但二者的荧光强度均低于伴生的类脂体。木质结构体抛光硬度较低,在抛光的块煤样品中,木质结构体不显任何突起。

A.1.2.2 腐木质体

腐木质体可见不同凝胶化程度的植物组织中的细胞壁[见图 A.1c)]。凝胶化作用使细胞壁发生显著的膨胀,导致在同一植物组织中,腐木质体细胞壁的厚度大于木质结构体细胞壁的厚度,并且在腐木质体中,细胞壁被压缩,从而可能使细胞产生收缩裂缝。根据反射率的不同,可将腐木质体分为腐木质体 A 和腐木质体 B[见图 A.1d)],前者的反射率低,而后者的反射率较高。腐木质体 A 的荧光性为棕黄色、褐色至深褐色。腐木质体 A 的荧光强度高于腐木质体 B。腐木质体的抛光硬度较弱,与其他显微组分相比,不显突起。

A.1.3 碎屑腐植体

A.1.3.1 一般特征

细小的腐植碎片可能会被无定形的腐植物质胶结。煤中碎屑腐植体包括松散堆积的细胞碎片或其他腐植植物碎屑。根据凝胶化程度,碎屑腐植体包含 2 个显微组分,未凝胶化的细屑体和凝胶化的密屑体。

A.1.3.2 细屑体

细屑体是由不同形态的小于 $10\ \mu\text{m}$ 腐植体颗粒和海绵状至多孔状、未凝胶化的无定形腐植物质组成的混合物[见图 A.1e)]。长的细胞壁碎片长轴方向可能会大于 $10\ \mu\text{m}$,但如果其短轴方向小于 $10\ \mu\text{m}$,也将其归入细屑体。细屑体呈暗灰色,这取决于孔密度。细屑体的荧光性与其成分有关,呈浅棕色。若细屑体来源于裸子植物组织的残余物,荧光性会增强。细屑体的抛光硬度较软,不显任何突起。在煤化作用过程中,细屑体经凝胶化作用形成密屑体。

A.1.3.3 密屑体

密屑体为凝胶化相对均匀的腐植基质,胶结着煤中其他成分[见图 A.1f)]。其致密表面的面积应大于 $15\ \mu\text{m}^2$ 。

密屑体呈灰色,其反射率取决于煤化程度。如果不存在腐木质体 B,可用密屑体的反射率表征其煤阶。密屑体无荧光或荧光下呈较弱的暗褐色。密屑体的磨抛硬度较软,在抛光面上无明显突起。

密屑体的形成有两种过程:

- a) 由纤维素和木质素构成的茎、叶的薄皮组织和木质组织发生强烈的腐化,随后在泥炭阶段潮湿条件下经生物化学凝胶化作用形成;
- b) 随着煤化作用的进行,原来的细屑体发生地球化学凝胶化作用而形成。

A.1.4 凝胶腐植体

A.1.4.1 一般特征

凝胶腐植体是具有腐植体反射率的物质,包括团块腐植体和凝胶体。前者是相互分离的均质团块个体或原地形成的鞣质体胞腔充填物;后者为次生、均一的充填物,常充填在之前就存在的空隙中。

凝胶腐植体有多种成因,可来源于强烈凝胶化的植物组织和腐植碎屑,并且在反射光下,已无法辨认其结构;也可来源于沉淀的腐植凝胶,或者植物原生的鞣质体胞腔充填物(主要在裸子植物中)。

A.1.4.2 团块腐植体

团块腐植体见图 A.1 g)。球形的团块腐植体粒径为 $10\ \mu\text{m}\sim 40\ \mu\text{m}$,长条状的团块腐植体尺度为 $20\ \mu\text{m}\sim 170\ \mu\text{m}$ 。大多数团块腐植体是紧密均质的,但也有的团块腐植体有孔隙存在。团块腐植体中有两个显微组分型,即鞣质体(Ph)和假鞣质体(PPh)。可通过下列特征区分:鞣质体为原生细胞分泌物的煤化作用产物,假鞣质体来源于腐植凝胶物质形成的次生胞腔充填物。只有它们赋存在木质结构体或腐木质体中,这二者才可被辨别。如果充填物未与闭合的细胞壁接触(孤立地位于胞腔内),则为鞣质体[见图 A.2d)、e)和 f)];如果胞腔内完全被无定形的腐植质充填,并且细胞壁和充填物间的界限模糊,则为假鞣质体。次生的腐植胞腔充填物也可归类为凝胶体。团块腐植体无荧光。团块腐植体的磨抛硬度不一,取决于团块腐植体的来源。

鞣质体来源于富鞣酸的细胞分泌物,通常沉淀于表皮细胞、薄皮组织或髓射线细胞中,特别是木栓

组织中。鞣质体在杉科植物中较常见。在含树脂道的松柏类植物中,较为少见。假鞣质体是由胶质腐植溶液形成的。

A.1.4.3 凝胶体

凝胶体可分为两个显微组分型,即均匀凝胶体和多孔凝胶体[见图 A.1h)。均匀凝胶体不显任何结构,呈致密均匀状。化学浸蚀后,可分辨出 3 种隐显微组分:结构凝胶体(可见细胞结构)、碎屑凝胶体(具有细屑体形态)、纯凝胶体(无结构)。

凝胶体呈中至浅灰色,多孔凝胶体内部呈离散状的橙色内反射。均匀凝胶体,是腐植体反射率测定对象。在同一煤中,多孔凝胶体的反射率通常略高于腐木质体 B 或细屑体的反射率。凝胶体无荧光性。凝胶体外观均匀,抛光后无突起。

凝胶体可形成于同生和后生阶段。在泥炭堆积阶段的潮湿环境下,无定形腐植体从胞腔内分泌出,并充填于原始的细胞腔,形成同生的均匀凝胶体和多孔凝胶体。均匀凝胶体和多孔凝胶体多是胶质腐植溶液的沉淀产物,并充填于次生的胞腔中。

A.2 类脂组

A.2.1 一般特征

类脂组又称类脂体(liptinite)。成煤植物中化学稳定性强的组成部分,泥炭化和成岩阶段保存在煤中的显微组分几乎没有发生什么质的变化,所以,国内学界又称稳定组分。褐煤中,它们在透射光下透明到半透明,颜色呈柠檬黄色—黄色—桔黄色—红色,轮廓清楚,外形特殊。反射光下呈现深灰色,大多数有突起;油浸反射光下呈现深灰色—灰黑色—黑灰色—浅灰色,低突起,反射力弱于腐植组。蓝光激发下呈绿黄色—亮黄色—橙黄色—褐色荧光,较强的荧光性是类脂体的重要特征。

类脂组包括孢粉体、角质体、木栓质体、树脂体、叶绿素体、藻类体、沥青质体和类脂碎屑体,前 5 个显微组分主要来源于高等植物的孢子、花粉、角质、木栓、树脂、蜡质等类脂物质,藻类体和沥青质体主要来自低等植物的藻类、浮游生物、细菌和动物等类脂物质。

A.2.2 各显微组分特征

A.2.2.1 孢粉体

孢粉体是由孢子和花粉的外膜(外壁和周壁层)构成。在透射光下,褐煤中的孢粉体呈亮黄色。蓝光激发下孢粉体的荧光色呈亮黄色、橙色、棕色。

孢子是孢子植物的繁殖器官,都是由单细胞组成的,一般雌性的孢子体称为大孢子,雄性的孢子体称为小孢子。有时 3 个或 4 个大孢子在一起,称为三孢体或四孢体[见图 A.2a)。花粉是种子植物的繁殖器官,其个体小,一般直径小于 0.05 mm,形态与小孢子相似,但花粉没有三射裂缝。

A.2.2.2 角质体

角质体是由叶和茎的角质层形成的显微组分。在显微镜下呈现宽度不等的长条带状,其一边外缘平滑,而另一边(内缘)呈现明显锯齿状[见图 A.2b)和 c)],转折端为尖角状。有时角质层被挤压成叠层状或盘肠状,末端折曲处多带尖角状折曲等特征,故易于与大孢体相区别。角质体在反射白光下呈深灰色,在透射光下,角质体的颜色为橙黄色。角质体的荧光色由浅到深为绿黄色或黄色。煤中大多数的角质体源自树叶。

A.2.2.3 木栓质体

木栓质体是指植物木栓化细胞壁,主要是由植物茎(少数由根)的周皮组织中木栓层转变而来。细胞腔有时中空,有时充填团块腐植体。由多层扁平的长方形木栓细胞所组成,排列规则[见图 A.2d)、e)和 f)]。

在反射白光下,木栓质体几乎均为黑色、深灰色或中灰色。与其他类脂体显微组分相比,木栓质体的反射率在较低煤级时与木质结构体趋同。在透射光下,木栓质体呈淡黄色至金黄色、红色或棕色,取决于薄片厚度、煤化程度以及植物种类。反光下,它几乎均为黑色、深灰色。木栓质体的荧光色取决于煤化程度和植物种类,在蓝光激发下则为柠檬黄、黄橙色和棕色[见图 A.2f)]。

A.2.2.4 树脂体

树脂体源自树脂和蜡,主要以原位细胞填充物或孤立体的形式存在于煤中。其形态为不同形状的离散个体,横截面呈圆形、椭圆形或杆状,有时也呈弥散浸渍状或填充于木质结构体胞腔。

树脂体是植物分泌组织——树脂道的分泌物。形状多样,主要为圆形、椭圆形,也有不规则形状,轮廓清楚,没有结构。有时充填在有细胞结构的胞腔中。透射光下呈黄色—浅黄色—透明—半透明,反射光下呈深灰色。同煤级煤中不同树脂体的荧光强度和颜色可能变化很大,尤其是萜烯树脂体[见图 A.2c)和 h)]。有突起,不同成因的树脂体的磨抛硬度变化很大。

A.2.2.5 叶绿素体

叶绿素体呈圆形、小颗粒状,直径一般为 $1\ \mu\text{m}\sim 5\ \mu\text{m}$,具有血红色荧光特性。在极少数情况下,例如藻类的叶绿素体直径可能达到 $100\ \mu\text{m}$ 。当其保存良好时,很容易通过红色荧光识别,但当其保存不完整时鉴别困难。在难以鉴别时,它通常会被鉴定为类脂碎屑体。在紫外光或蓝光激发后的几分钟,它的红色荧光将逐渐变为淡橙色[见图 A.2i)、j)、k)和 l)]。

叶绿素体通常由小颗粒组成,反射光很弱,因此在白色反射光下很难与类脂碎屑体区分开。在透射光下,当叶绿素体高度密集时,可以通过淡绿色的颜色识别出叶绿素体,但是这种微弱的颜色可能会被褐色的腐植质所掩盖。叶绿素体显示出强烈的血红色荧光[见图 A.2i)]。由于其他显微组分不会发出血红色荧光,因此可依此准确鉴别颗粒很小的叶绿素体颗粒[见图 A.2j)]。叶绿素体的轻度分解可以引起其荧光颜色从血红色到玫瑰色以至乳白色的转变;在蓝光或紫外光辐射 $10\ \text{min}\sim 15\ \text{min}$ 内,会使叶绿素体产生这种荧光颜色转变,这种变化是不可逆的。

A.2.2.6 藻类体

藻类体由单细胞生物或浮游和底栖的藻类形成。煤中常见的藻类体是绿藻和蓝绿藻,如皮拉藻、轮奇藻等。根据形态,将藻类体分为两个显微组分型:结构藻类体和层状藻类体。

- a) 结构藻类体:在透射光下呈浅黄色至棕色。在反射光下(明视场、白光、油浸),结构藻类体比孢子体颜色暗。当煤中存在结构藻类体时,该煤的腐植体反射率值通常会受到抑制而较低。在紫外光/紫光/蓝光激发下,结构藻类体在褐煤中发亮绿色至绿黄色荧光[见图 A.2m)]。结构藻类体很硬,抛光硬度相对高,会呈现正突起并且通常在抛光后有粗糙的划痕。
- b) 层状藻类体:与结构藻类体相比,层状藻类体较小,通常具有更高的长厚比值,荧光强度更低[见图 A.2n)];在垂直于层理的截面中很少发现有其结构。与沥青质体相比,层状藻类体反射率更低,荧光强度更高。层状藻类体在形态上有时类似于孢子体或角质体,但其荧光通常比其他显微组分强。在透射光下,褐煤中的层状藻类体是半透明的,通常与黏土矿物难以区别。在

白色反射光下(明视场,油浸)通常无法辨认。层状藻类体没有内反射,在白光下不自发荧光。在紫外光/紫光/蓝光激发模式下,褐煤中层状藻类体荧光色为绿黄色至橙色。层状藻类体的抛光硬度适中,其正突起远小于结构藻类体。

A.2.2.7 沥青质体

顾名思义,沥青质体的名称表明该显微组分具有沥青的特性,可产生大量的可溶性沥青、挥发性物质、焦油以及碳氢化合物。沥青质体既可呈细颗粒基质形式出现,也可呈薄层状、不规则纹理状、束状、鳞片状、荚状、线头状、条带状、貌似脉状的细长透镜体状、细粒浸染状等形式出现;在平行层理的切面上,沥青质体以较均匀的、弥散状的、形态各异的、等粒状的等形式赋存[见图 A.2n)和 o)]。沥青质体主要是各种有机物质在缺氧和弱氧化条件下的降解产物,通常推测认为其主要有机物质前身是藻类、浮游生物、细菌和较高等的动物(鱼、小虾等)。

在反射白光下(明视场、油浸),沥青质体为深棕色,深灰色,有时几乎是黑色的,成熟度较低时有内反射。在偏光下,颜色为黑色。在透射光下,沥青质体呈橙色、红色或棕色。沥青质体反射率明显低于腐植体的反射率。在蓝光激发下,受煤的类型和煤阶影响,沥青质体的荧光颜色可以由淡黄色、浅橙色、浅棕色到深棕色变化。

云南白泡煤常富集沥青质体、矿物沥青基质,并伴有大量孢粉体和少量藻类体,矿物主要为黏土,亦有棱角状石英。反映煤为水下搬运沉积,腐泥褐煤性质。

A.2.2.8 类脂碎屑体

类脂碎屑体是各种类脂体显微组分细小碎片的统称,由于它们的颗粒非常细小,不能准确鉴别它们是类脂体某个特定显微组分。类脂碎屑体是由类脂体的显微组分的碎片或残骸组成,其颗粒只有几微米的大小,来源不明,形态各异,如呈棒状、尖锐碎片、线状、圆形等[见图 A.2p)]。一般,类脂体组分的细碎屑颗粒($<3\ \mu\text{m}$),只有在高倍荧光显微镜下,依据它们的荧光性,才能和其他显微组分区分开。

在反射白光下,类脂碎屑体为黑色、深灰色或深棕色;当类脂碎屑体堆积成致密微层时,它具有褐色或淡红色的内反射。在透射光下,类脂碎屑体颜色为白色、黄色、红色或黄色。类脂碎屑体荧光强度变化很大,可呈黄绿色、柚子黄色、黄色、橙色或浅棕色。

A.3 惰质组

A.3.1 一般特征

惰质组,又称惰质体(Inertinite)。最近的研究发现,个别煤中惰质体可能来源于动物的排泄物粪便。

反射光下呈白色至亮白色,具有较高突起和较高反射率。油浸反光下呈灰白色、亮白色、亮黄白色,大多具中高突起;透光下呈棕黑色到黑色、微透明或不透明;蓝光激发下一般不发荧光或极弱荧光。惰质体显微组分的灰度更多地反映了其沉积环境而非煤化作用程度。丝质体的细胞壁可能具有微弱各向异性。与腐植体和类脂体比较,惰质体是指在碳化和液化过程中具有惰性。低反射的、具荧光的惰质体在液化过程中会部分或全部具有活性。

惰质体包括丝质体、半丝质体、真菌体、粗粒体和惰质碎屑体 5 个显微组分。与腐植组一样,前 3 者保存细胞的结构,粗粒体没有保存植物的细胞结构,最后一显微组分呈碎屑状结构。

A.3.2 各显微组分特征

A.3.2.1 丝质体

丝质体具有高反射率值及保存有完好的细胞结构的细胞壁[见图 A.3a)、b)和 c)]。丝质体的细胞壁常比结构腐植体和半丝质体的细胞壁要薄。丝质体既可以是规则的、保存完好的组织(有时可以识别出筛板和具缘纹孔),也可以是上述细胞组织的弧形碎片(当多个薄壁碎片聚集时出现弧形结构)。丝质体可能是通过水或空气被搬运到泥炭或沉积盆地中,但也可能是原位燃烧产生的,构造活动可导致丝质体含量增加。

在灰度和反射率方面,丝质体呈灰白色至淡黄白色。丝质体通常没有双反射率,无荧光,研磨硬度通常非常高,在抛光表面丝质体呈高突起。

A.3.2.2 半丝质体

半丝质体是丝质体与木质结构体之间的过渡型丝炭化组分。由木质部形成的半丝质体的胞腔和细胞壁通常比由树叶形成的半丝质体的胞腔和细胞壁保存得更好。半丝质体的胞腔可能是空的或充填了其他显微组分或黏土矿物等。

半丝质体的灰度为灰色至白色[见图 A.3d)]。在同一煤样品中,其反射率高于木质结构体而低于丝质体。半丝质体的反射率随泥炭的脱水程度和成煤植物氧化程度的增加而提升。半丝质体通常显示出不规则的各向异性。在长波长光源激发光照射下,半丝质体可发荧光;但是,其荧光强度比同一煤中腐植体弱。随着半丝质体的反射率增高,其研磨硬度也越大,突起也越高。半丝质体的细胞结构大多没有丝质体保存完好。

A.3.2.3 真菌体

真菌体由高反射率的单细胞或多细胞真菌孢子、菌核、菌丝、菌丝体(菌基质和菌根)及其他真菌遗骸组成[见图 A.3e)]。真菌体缺乏高等植物细胞壁所具有的结构特征(如多层细胞壁,胞间隙等)。值得注意的是,保存完好的真菌来源的组织或细胞不是丝质体而是真菌体。真菌体的细胞壁不能称为木质结构体,这主要是因为它们的成煤物质来源不同,与反射率的高低并没有关系。

在油浸反射光下,真菌体呈浅灰色到白色,黄白色较少见。同一煤层中真菌体的反射率变化范围很大,反射率通常高于对应的腐植体。真菌体无荧光,但被沥青浸渍时除外。煤中真菌体具有中-高突起。真菌体的研磨硬度和突起取决于真菌体的植物来源,且与其反射率成正相关。

A.3.2.4 粗粒体

粗粒体是指以无定形基体或以形态各异的、离散的、无结构块体出现。在垂直于层理的切面上,粗粒体无特定形状,可呈基质状、条带状或透镜状产出的惰质体显微组分。是一种无结构或者没有显示结构的无定形的丝炭化作用基质。粗粒体集合体的最小直径大于 10 μm 。需要注意它的纹理、反射率、形态和大小与其他显微组分的区别。

粗粒体反光呈浅灰色到白色。在同一煤样中,粗粒体的反射率值变化范围可能很大,但通常比共伴生的腐植体反射率高。有时粗粒体和同一煤样中的腐植体接近,但是低于丝质体。粒径较大的粗粒体表面可有斑点。用长波长光源激发粗粒体时可见荧光,其荧光强度通常比同一煤中的腐植体显微组分弱。同一煤样中粗粒体的突起变化较大;在大多数情况下,同一煤样中粗粒体突起比腐植体高。粗粒体的反射色可以和其周边的腐植体接近,但是远低于周边的丝质体。粗粒体不具有固定的形态特征,其大小为 10 μm ~100 μm 或更大。

粗粒体可能来源于絮凝的腐植质基质,由于短暂的地下水位下降,这些腐植基质物质在早期炭化过程中经历过脱水和氧化还原过程所致。粗粒体也可以是真菌和细菌的代谢产物,孤立存在的粗粒体的集合体可能来自粪化石。内蒙古胜利煤田褐煤中发现成群出现的来自粪化石的粗粒体[见图 A.3f)]。粗粒体可能形成于缓慢的泥炭火灾。

粗粒体可划分两个显微组分型。

- a) 粗粒体 1:灰白色,反射率与半丝质体相同[见图 A.3f)]。粗粒体有动物粪便形成的粗粒体(粗粒体 1),这些粪化石起初分布在遭到降解的植物组织中,而后发生火灾而形成了粗粒体集合体。也可以没有植物组织结构的惰质体,降解的植物组织又经历了煤火而形成。
- b) 粗粒体 2:亮白色,反射率与丝质体相同[见图 A.3g)]。有学者认为,煤中有的粗粒体是降解作用形成的显微组分,它们显示不同的固结程度,其反射色均介于腐植体和丝质体之间,高于同一煤样中的半丝质体,是粗粒体 2。表明它是降解的显微组分,在形成的初始,它和碎屑腐植体很类似,而后是经历了时间更长的降解过程。

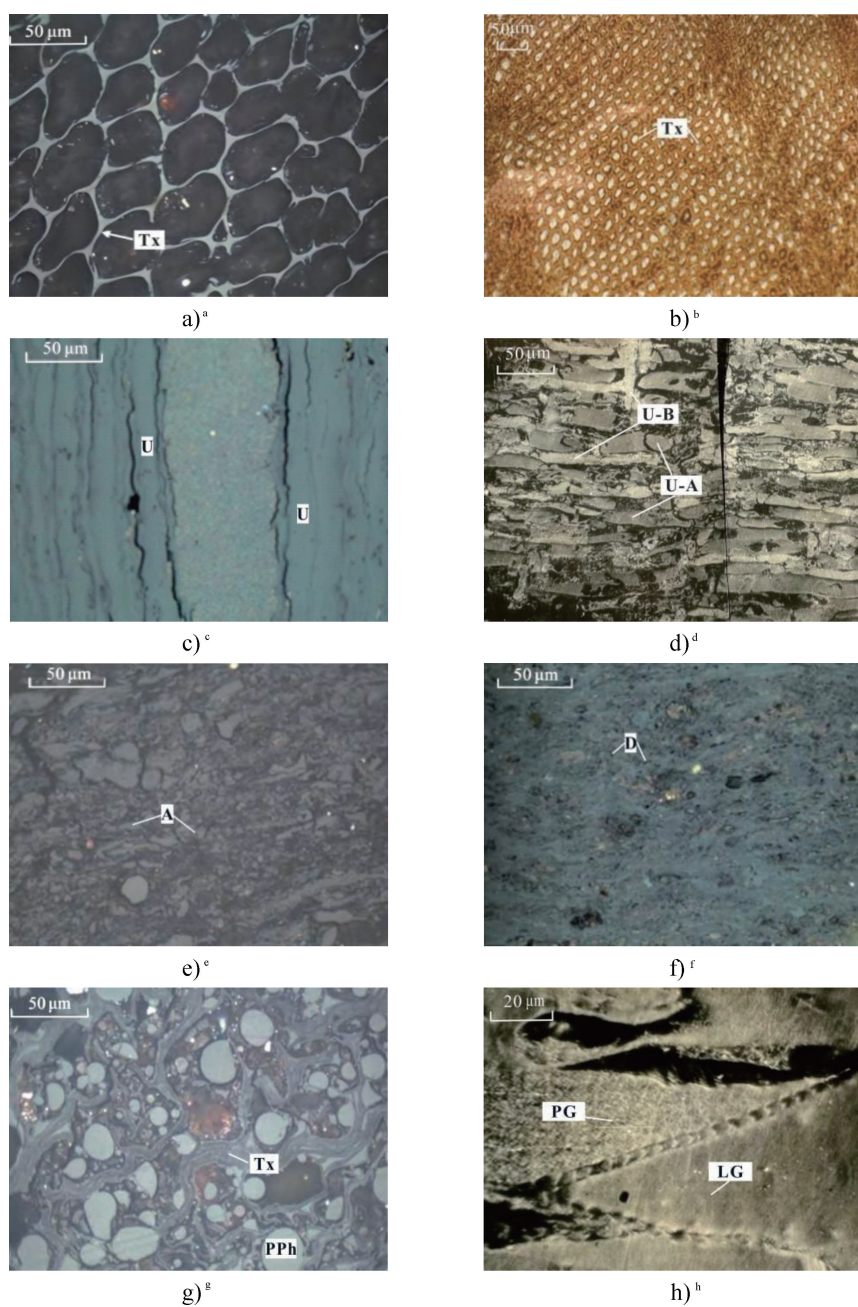
A.3.2.5 惰质碎屑体

惰质碎屑体简称惰屑体,是以细小的、呈分散状和不同形状的惰质体碎片形式存在。颗粒呈分散状以及颗粒大小是识别惰质碎屑体的重要标准。短粗状的颗粒最大粒径 $<10\ \mu\text{m}$,线状碎片的短轴尺寸 $<10\ \mu\text{m}$ [见图 A.3h)]。需要注意的是,无论尺寸的大小,那些惰性的、孤立存在的并具完整细胞和“弧状结构”的弯曲细胞壁碎片属于丝质体,不能鉴定为惰质碎屑体。

某些褐煤中惰质碎屑体发荧光。惰质碎屑体的磨抛硬度比对应的腐植体显微组分高,但根据其颗粒来源不同而有所变化。

A.4 图版及其说明

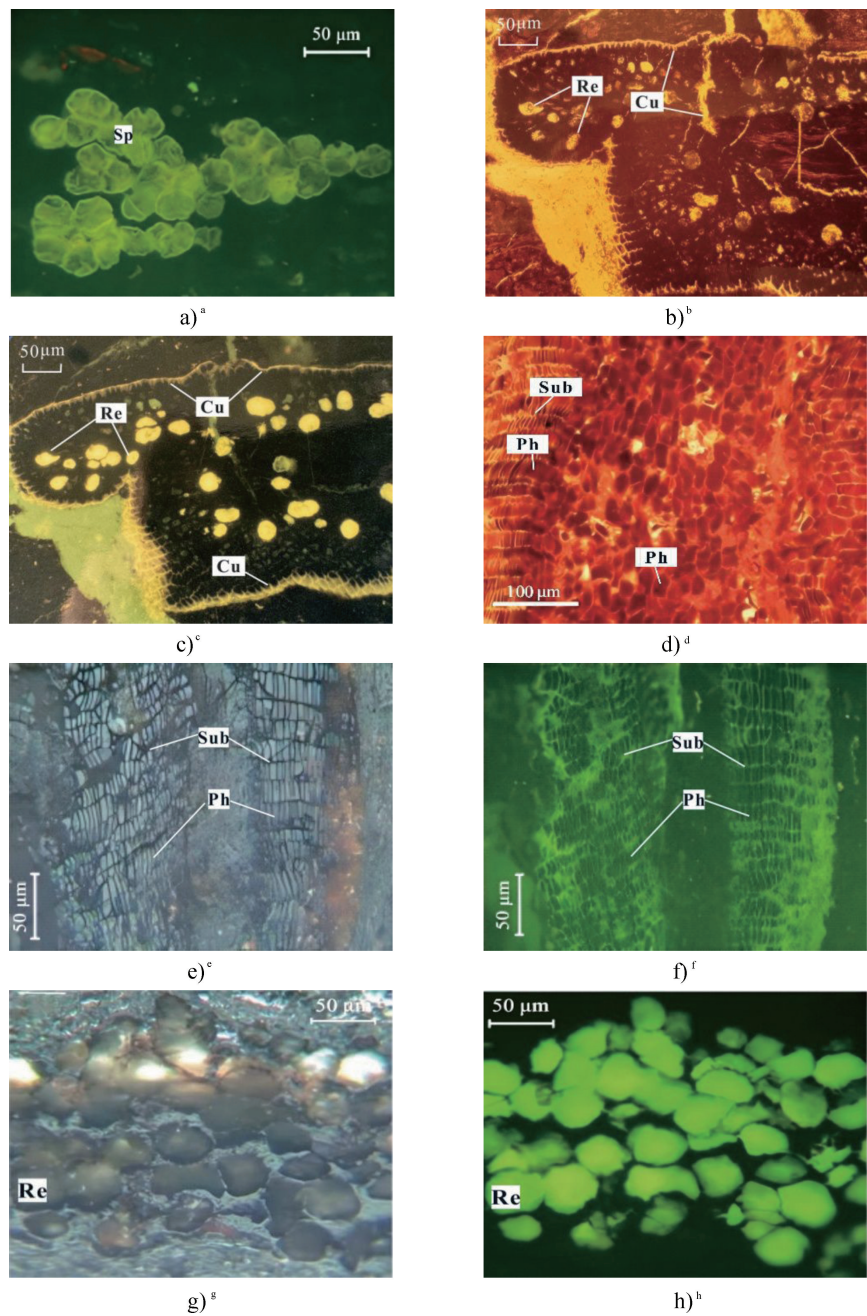
A.4.1 腐植组



- ^a 木质结构体(Tx)。云南金所褐煤,腐植体随机反射率 $R_{\text{ran}}=0.31\%$,油浸反射光。
- ^b 木质结构体(Tx)。云南松型木。云南可保五邑,3-2A号煤层,上新世褐煤, $R_{\text{ran}}=0.22\%$,透射光。
- ^c 腐木质体(U)。云南金所褐煤, $R_{\text{ran}}=0.31\%$,油浸反射光。
- ^d 充分分解腐木质体 A、B(U-A,B)。云南可保皂角 7-2 号煤层,上新世褐煤, $R_{\text{ran}}=0.26\%$,蓝色反射荧光。
- ^e 细屑体(A)。云南龙陵镇安新近纪, $R_{\text{ran}}=0.27\%$,油浸反射光。
- ^f 密屑体(D)。云南金所褐煤, $R_{\text{ran}}=0.31\%$,油浸反射光。
- ^g 假鞣质体(PPh), $R_{\text{ran}}=0.31\%$,油浸反射光;云南金所褐煤, $R_{\text{ran}}=0.31\%$,油浸反射光。
- ^h 多孔凝胶体(PG)和均匀凝胶体(LG)。云南先锋中新世小龙潭组褐煤, $R_{\text{ran}}=0.35\%$,油浸反射光。

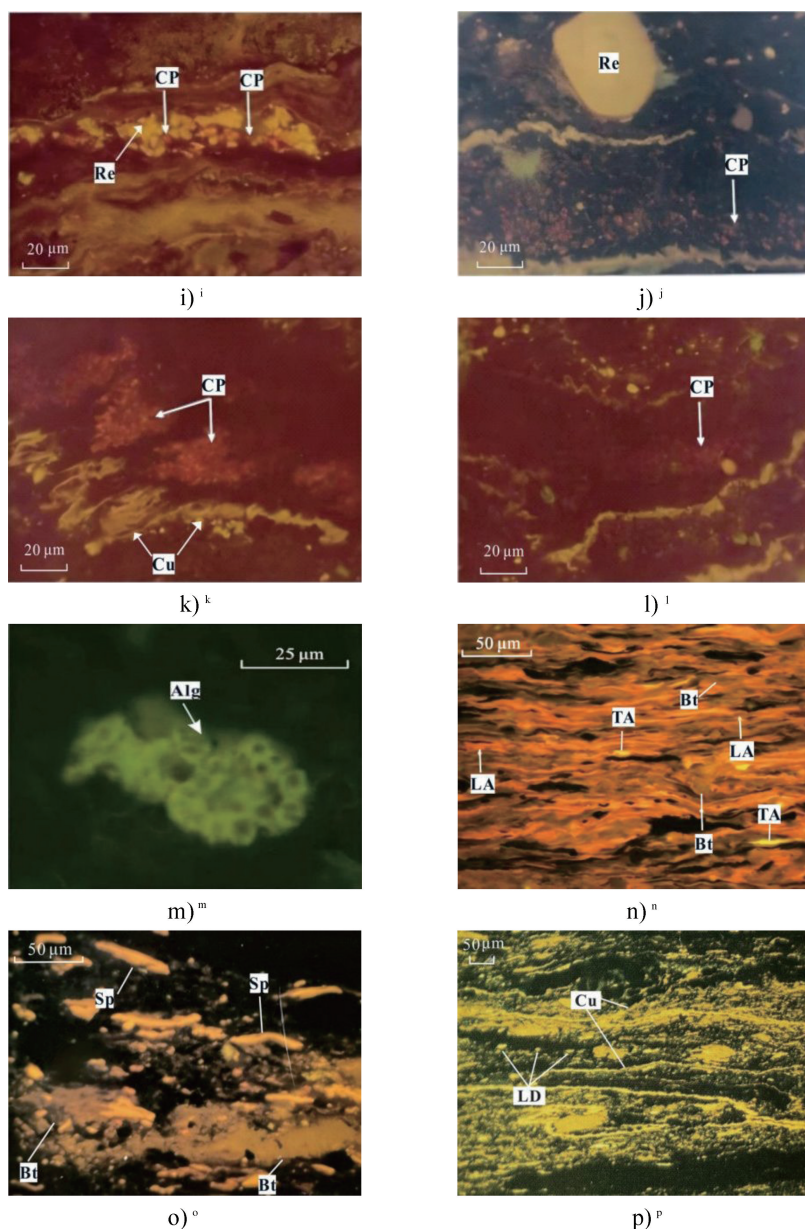
图 A.1 腐植组

A.4.2 类脂组



^a 孢粉体(Sp)。云南弥勒新近纪褐煤, $R_{\text{ran}}=0.40\%$, 油浸反射荧光。
^b 针叶中的角质体(Cu)和树脂体(Re)。云南可保皂角 7-2 号煤层, 上新世褐煤, $R_{\text{ran}}=0.26\%$, 光薄片, 透射光。
^c 针叶中的角质体(Cu)和树脂体(Re)。与 b 同一视域, 反射荧光。
^d 木栓质体(Sub), 鞣质体(Ph), 云南金所褐煤, $R_{\text{ran}}=0.31\%$, 透射光。
^e 木栓质体(Sub)和鞣质体(Ph)。云南弥勒新近纪褐煤, $R_{\text{ran}}=0.40\%$, 油浸反射光。
^f 木栓质体(Sub)和鞣质体(Ph)。与 e 同一视域, 油浸反射荧光。
^g 树脂体(Re)。云南弥勒新近纪褐煤, $R_{\text{ran}}=0.40\%$, 油镜反射光。
^h 树脂体(Re)。与 g 同一视域, 油浸反射荧光。

图 A.2 类脂组



ⁱ 叶绿素体(CP), 红色荧光的叶绿素体, 与黄色树脂体(Re)共伴生, 周围为腐植体, 云南金所露天矿上新世 M_3 褐煤, $R_{\text{ran}}=0.20\%$, 光薄片, 蓝色反射荧光。

^j 叶绿素体(CP)发暗红或桔红荧光, 荧光照射后呈桔黄色, 一般为 $1\ \mu\text{m}\sim 5\ \mu\text{m}$, 分布于上下有角质层的阔叶体内, 上可见黄色树脂体(Re, 见氧化纹), 云南可保皂角矿, 上新世褐煤 $R_{\text{ran}}=0.26\%$, 光薄片, 蓝色反射荧光。

^k 叶绿素体(CP)和角质体(Cu), 云南可保皂角矿, 上新世褐煤 $R_{\text{ran}}=0.26\%$, 光薄片, 蓝色反射荧光。

^l 叶片中局部分布有叶绿素体(CP), 云南可保皂角矿, 上新世褐煤 $R_{\text{ran}}=0.26\%$, 光薄片, 蓝色反射荧光。

^m 藻类体(Alg), 云南金所新近纪褐煤, $R_{\text{ran}}=0.31\%$, 反射荧光。

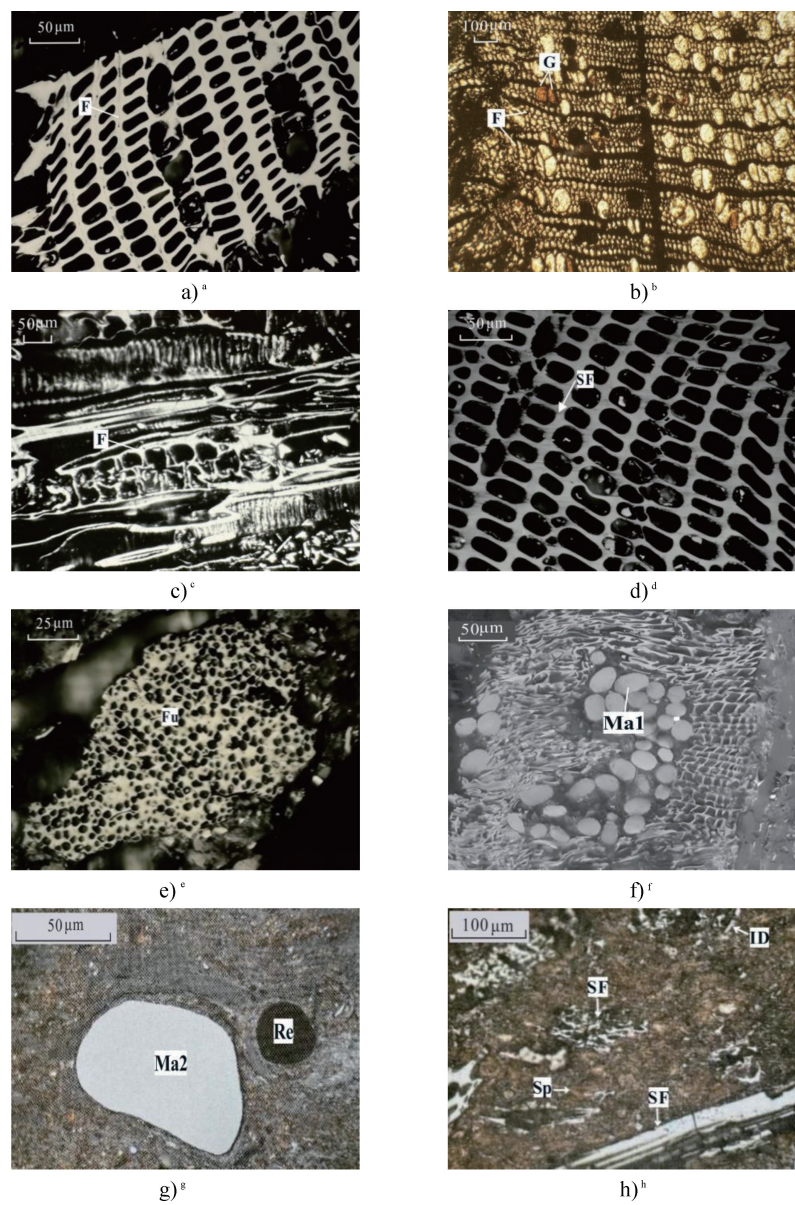
ⁿ 结构藻类体(TA, 亮绿黄色)、层状藻类体(LA, 褐黄色), 沥青质体(Bt, 灰绿色)。吉林桦甸古近纪褐煤, 反射荧光。

^o 孢子体(Sp, 黄色)和沥青质体(Bt, 褐黄色基质)(橘黄色)和沥青质体(云雾状黄色)内蒙古霍林河早白垩世褐煤, 反射荧光。

^p 类脂碎屑体 LD、角质体 Cu。台湾基隆瑞和煤矿, 新近纪 N1, 石底层, 反射荧光。

图 A.2 类脂组 (续)

A.4.3 惰质组



^a 丝质体(F)，可见胞间隙，云南罗茨大猪街煤露天矿，上新世 M₂ 褐煤层， $R_{\text{ran}}=0.21\%$ ，油浸反射光。
^b 火焚丝质体(F)，被子植物，可见导管(可见次生充填的凝胶体 G)。云南罗茨大猪街煤露天矿，上新世 M₂ 褐煤层， $R_{\text{ran}}=0.21\%$ ，光薄片，透射光。
^c 丝质体(F)，可见细胞中环纹结构，射线细胞双排列。云南罗茨大猪街煤露天矿，上新世 M₂ 褐煤层， $R_{\text{ran}}=0.21\%$ ，粉煤砖光片，油浸反射光。
^d 半丝质体(SF)，可见次生壁，云南罗茨大猪街煤露天矿，上新世三营组 M₂ 褐煤层， $R_{\text{ran}}=0.21\%$ ，油浸反射光。
^e 真菌体(Fu)，云南金所露天矿上新世褐煤， $R_{\text{ran}}=0.20\%$ ，油浸反射光。
^f 粗粒体 1(Ma1，粪球粒)。内蒙古乌兰图嘎早白垩世褐煤，油浸反射光。
^g 粗粒体 2 (Ma2)。云南金所新近纪褐煤， $R_{\text{ran}}=0.31\%$ ，油浸反射光。
^h 惰质碎屑体(ID)及角质体(Cu)。云南金所新近纪褐煤， $R_{\text{ran}}=0.31\%$ ，油浸反射光。

图 A.3 惰质组

参 考 文 献

- [1] 代世峰,王绍清,唐跃刚,等.煤的显微组分定义与分类(ICCP system 1994) 解析Ⅱ: 惰质体[J].煤炭学报,2021a,46(7): 2212-2226.
- [2] 代世峰,刘晶晶,唐跃刚,等.煤的显微组分定义与分类(ICCP system 1994) 解析Ⅲ: 腐植体[J].煤炭学报,2021b,46(8): 2623-2636.
- [3] 代世峰,赵蕾,唐跃刚,等.煤的显微组分定义与分类(ICCP system 1994) 解析Ⅳ: 类脂体[J].煤炭学报,2021c,46(9): 2965-2983.
- [4] 韩德馨.中国煤岩学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1996.
- [5] 陆杰,张秀仪.云南金所第三纪褐煤盆地泥炭藓煤的发现和意义[J].科学通报,1986, 31(3): 214-216.
- [6] 姜尧发,代世峰,王伟铭,等. 中国新生代煤的煤岩学、孢粉学和地球化学研究[M]. 北京:地质出版社, 2021.
- [7] 唐跃刚.云南省可保等地褐煤煤岩特征及其与液化的关系[D].北京:中国矿业学院北京研究生部,1986.
- [8] 王士俊,于冰,张井,等.云南第三纪白泡煤的成煤植物及煤的成因. 煤炭学报,1997,22(1): 8-12.
- [9] BS ISO-11760:2018. Classification of coals
- [10] ASTM International. ASTM D388-19. Standard Classification of Coals by Rank [S]. West Conshohocken, PA, USA: Annual Book of ASTM Standards,2019.
- [11] Lu Jie,Zhang Xiuyi.Characteristics of sphagnum coal considered as a new genetic type of coal[J].International Journal of Coal Geology,1989,11(2):191-203.
- [12] Qi M, Rong X, Tang DZ, et al. Petrographic and geochemical characterization of pale and dark brown coal from Yunnan province, China[J]. International Journal of Coal Geology,1994, 25 (1):65-92.
- [13] Jin KL, Qin Y. Coal petrology and anomalous coalification of Middle and Late Pleistocene peat and soft brown coal from the Tengchong Basin, Western Yunnan, People's Republic of China [J]. International Journal of Coal Geology, 1989, 13(1-4):143-170.
- [14] Stach E, Mackowsky MT, Teichmüller M. Stach's textbook of coal petrology[M]. GebrüderBorntraeger, Berlin Stuttgart,1982.
- [15] Taylor GH, Teichmüller M, Davis A, et al. The organic petrology[M]. GebrüderBorntraeger, Berlin,1998.
-

