

应用地球物理方法 研究含煤建造

[苏]B·B·格列丘欣 著

地质出版社

P618-118

G-488

应用地球物理方法 研究含煤建造

〔苏〕B. B. 格列丘欣 著

蔡柏林 黄智辉 佟文琪 译
陆 克 校

地 质 出 版 社

627945

ИЗУЧЕНИЕ УГЛЕНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

〔苏〕 В. В. ГРЕЧУХИН

МОСКВА НЕДРА 1980

应用地球物理方法研究含煤建造

〔苏〕В.В.格列丘欣 著

蔡柏林 黄智辉 佟文燕 译

陆克 校

责任编辑：曹玉

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：850×1168¹/₃₂ 印张：10⁷/₈ 字数：271,000

1987年11月北京第一版·1987年11月北京第一次印刷

印数：1—1,105册 国内定价：3.10元

ISBN 7-116-00071-2/P·062

统一书号：13038·新472



内 容 提 要

本书叙述了作为煤矿床分类、含煤岩层岩石-地球物理学分类、煤田地球物理测井典型综合方法选择、研究煤及其围岩地质-地球物理工作方法基础的含煤建造岩石物理学研究结果。

本书还叙述了在钻孔剖面上划分煤层，研究其厚度、结构、质量指标，特别是灰分，划分围岩岩石学类型、确定其矿物成分、物理化学性质，在矿山坑道中的稳定性，钻孔剖面对比及查明构造破碎带的地质-地球物理工作方法。这些是煤储量计算时必须确定的主要参数，这就提高了煤田勘探的可靠性和质量。

本书可供在煤田勘探队和煤矿企业工作的地质、地球物理工作者，以及高等院校和中等技术学校学生，煤田普查和勘探专门技术训练人员使用。

书中表26张，图149幅，参考文献249篇。

译 者 的 话

应用地球物理方法研究含煤建造一书共分十九章，其内容大致可分三部分：首先论述的是苏联伯绍拉、顿涅茨克、库兹涅茨克等地槽型煤由含煤岩层的岩石物理学研究成果，并在此基础上对煤矿床进行了岩石物理学分类，推荐了典型的和合理的煤田测井综合方法，在第二部分中，较详细的叙述了利用测井资料在井剖面上划分煤层、定深、定厚、研究结构、确定煤质指标和含煤岩层的物理-力学性质的方法和效果；最后叙述的是钻孔剖面对比和实施无岩心钻进的基本条件及效果。本书对我国煤田测井工程技术人员来说是一本较好的理论基础性读物，该书可供地球物理测井研究生和大专院校师生作为参考教材，对国内开展地球物理测井基础性研究也会有启迪。

书中第一至第十章由蔡柏林译，第十一至第十六章由黄智辉译，第十七至第十九章由佟文琪译。全书由陆克校对。尹善春同志校对了第一章。限于译者水平，书中有不足之处敬希读者批评指正。

绪 言

根据岩心进行钻孔剖面地质编录的方法既不完善又极其繁重,这首先与钻探不能保证完全的取心有关。特别是疏松胶结的岩石的取心率很低,首先是煤层及其顶板。在剖面的某些井段上没有取出岩心,就不可能获得可靠的连续的钻孔剖面。当岩心采取率不高时,即使是在大量钻探的情况下,选取大量岩心也很难保证编录的质量。因此,研究岩心并根据岩心确定煤层顶板的物理-力学性质,只能用稀疏的勘探网,并在硬岩层上进行。因为软岩层易破碎,通常不能从钻孔中把它们取出,由这种测定方法来预测煤层顶板的稳定性就很少有代表性。

在煤田地质研究中,地球物理方法占有重要地位,但应用现代地球物理方法研究钻孔剖面时离开地质资料也存在很大的缺点。

钻孔的地球物理研究最好将选取岩心的参数井的地质研究与实验室分析结合起来,根据这些研究资料,建立每个煤产地的煤和围岩的岩石物理学分类,它能用来解释地球物理资料,在这样的条件下,在详细勘探阶段绝大多数的普通钻孔就可进行无岩心钻进。并借助一些地球物理方法,像参数井中那样进行地质编录。这样的勘探方法能保证煤产地的地质研究有较好的地质效果和经济效益。

地球物理测井是基于煤和围岩存在物理性质差异,事先知道煤产地的岩石的物理性质,就可根据地球物理曲线编制钻孔地质剖面。因此,首要的任务是研究勘探煤田和煤产地的岩石物理性质,岩石物理学是选择地球物理方法及其合理综合和拟定地球物理工作方法解决地质问题的基础。

每一种岩石具有一定的物理性质,但实际中往往遇到不同岩

石的某些物理性质相同，这就不能利用以这些物理性质为基础的地球物理方法单值地划分剖面。在这种情况下，为了单值的地解释地球物理资料，应采用综合地球物理方法。

目前已知有30多种地球物理方法及其变种，可用来进行煤田勘探钻孔的地质编录。从中可选择出最有效的方法组成合理的综合应用于具体煤矿床。

目前，为了保证有效地实现生产过程的高度机械化和自动化，在建设和开采矿井时，对矿场地质勘探可靠性的要求很高。

书中叙述的仅是当前工作中的主要地质任务，限于篇幅，不可能对所使用的地球物理方法的物理和理论基础作充分论述。

在解决具体地质任务时各种地球物理方法具有不同的分辨率。各种地球物理方法的有效性不仅与其特点有关，而且很大程度上与地质-地球物理条件有关。

在某种条件下，某些地球物理方法的效果很差，在另一种条件下，它们可能是有效的。因此，为了成功地应用矿场地球物理学的各种方法，就必须知道各种综合方法的主要性质和特点以及每种方法的最佳应用条件的范围。对于矿区当选择了最佳的综合地球物理测井方法以后，地球物理工作的难点是对矿区钻孔所记录的地球物理曲线的综合解释。

所应用的综合方法能够在一定的地质-地球物理条件下完全单值地解决大量的地质问题。然而在另外条件下就没有单值解，在这种情况下，地球物理工作者应当知道需进行典型综合方法以外的其它的补充研究、以便获得单值解。在各种矿场地球物理方法的现代条件下，这样的可能性总会存在。实际上地球物理工作者也常常利用这种可能性，然而在某些情况下钻孔技术条件（例如井壁塌陷）不允许这样做，在这种情况下，地球物理曲线的解释是假设的，解释是建立在对矿区的岩石物理学和地质的认识基础上，认识得越深刻，解释就越正确。因为要在地球物理关系中同样可能的几个结论之间进行选择，没有充分的岩石物理学和地质资料，解释地球物理曲线的地球物理工作者有可能造成很大的

错误。

本书中不限于不同煤田上实际现有的地球物理测井的综合，不同煤田上地球物理测井的水平是不同的。本书所叙述的地球物理方法仅是生产中所应用的一部分和所解决地质问题的一部分。

即使各地球物理部门的技术装备相同，解决地质问题的精度也不相同，这取决于钻孔的地质地球物理条件，工作执行者的业务水平，以及他们的经验和执行测井技术条件的认真程度。

作者殷切希望把所有意见和建议寄给全苏地球物理研究所 (ВНИИ геофизики, Москва, К-242 УЛ. Черныше Вского, Дом 22) 和矿藏出版社 (Москва, К-12, Третьяковский Проезд, дом 1/19)。

目 录

绪 言

第一章 煤和含煤岩层形成的地质因素 (1)

§ 1 煤的形成 (1)

§ 2 含煤岩层的形成 (8)

第二章 含煤岩层的岩石物理学参数及测定它们的地球

物理方法 (16)

§ 3 含煤岩层的孔隙度 (17)

§ 4 含煤岩层的密度 (29)

§ 5 弹性波传播速度 (39)

§ 6 含煤岩层的放射性 (44)

§ 7 含煤岩层的电阻率 (51)

第三章 含煤岩层物理性质的地层变化规律 (61)

§ 8 伯绍拉煤田 (61)

§ 9 顿涅茨克煤田 (72)

§ 10 库兹涅茨克煤田 (81)

§ 11 砂-粉砂-泥质沉积压实逆变的规律性 (90)

§ 12 含煤沉积的岩石物理学参数的普遍性原则 ... (98)

§ 13 地槽型煤田沉积的典型岩石物理学剖面 (101)

§ 14 古温度和古压力 (113)

第四章 含煤岩层物理性质的区域变化规律 (117)

§ 15 伯绍拉煤田 (117)

§ 16 顿涅茨克煤田 (124)

§ 17 库兹涅茨克煤田 (129)

第五章 预测煤的变质程度 (133)

§ 18 按煤产地和煤田剖面预测 (134)

§ 19 按煤产地和煤田面积预测 (134)

第六章 含煤岩层物理性质的局部变化规律 (137)

第七章 煤的物理性质及煤和围岩的共生关系	(143)
§ 20 煤的物理性质	(143)
§ 21 煤和其围岩的共生关系	(155)
第八章 煤矿床的岩石物理学分类	(159)
第九章 含煤岩层物理性质的成因变化规律	(167)
§ 22 研究含煤岩层物理性质成因变化规律的 原则	(167)
§ 23 岩石-地球物理学台阶和地段的划分	(169)
§ 24 含煤沉积岩石类型的划分	(173)
§ 25 含煤岩层的岩石-地球物理分类	(174)
第十章 典型的和合理的煤田综合地球物理测井方法	(184)
§ 26 关于煤田综合地球物理测井方法的概念	(184)
§ 27 煤田地球物理测井应当解决的地质问题	(185)
§ 28 煤田测井方法及其综合的选择	(186)
§ 29 研究复杂条件的钻孔时, 典型综合地球物理 方法的使用特点	(190)
§ 30 利用典型综合方法确定煤田测井的合理的综 合地球物理方法	(191)
§ 31 勘探地段上合理的煤田综合地球物理测井方 法	(192)
第十一章 在钻孔剖面上划分煤层及确定煤层的埋藏深 度	(198)
§ 32 在钻孔剖面上划分煤层	(198)
§ 33 测定煤层的埋藏深度	(202)
第十二章 确定煤层的厚度	(204)
§ 34 电阻率测井和电流测井	(204)
§ 35 自然极化电位法和激发极化电位法	(214)
§ 36 放射性测井法	(215)
§ 37 地球物理测井方法确定煤层厚度的一般效 果	(217)

第十三章	确定煤层的结构	(220)
第十四章	研究煤质参数	(227)
§ 38	煤的主要质量指标及其煤心确定方法	(227)
§ 39	利用取样样品确定煤层的灰分	(228)
§ 40	利用地球物理资料及取样样品确定煤的灰分	(231)
§ 41	利用地球物理方法确定煤层的灰分	(238)
§ 42	根据取样样品确定煤的各种质量指标	(255)
§ 43	利用地球物理方法确定各种煤质指标	(256)
第十五章	含煤岩层的岩石学研究	(267)
§ 44	根据岩石类型划分煤层围岩	(267)
§ 45	详细划分钻孔剖面及确定岩石的矿物成分 ...	(270)
第十六章	研究含煤岩层的物理-力学性质	(278)
§ 46	含煤岩层的物理-力学性质及其变化的地质因素	(278)
§ 47	确定含煤岩层的物理-力学性质	(281)
§ 48	利用井径测量研究含煤岩层的物理-力学性质	(288)
第十七章	在矿山坑道中预测含煤岩层的稳定性和塌陷性	(295)
§ 49	在矿井中预测煤层顶板的稳定性和塌陷性 ...	(295)
§ 50	预测煤层底板的稳定性	(304)
第十八章	钻孔剖面对比和查明构造破碎带	(307)
§ 51	钻孔剖面对比	(307)
§ 52	查明构造破碎带	(309)
第十九章	煤田勘探中的新的地质-地球物理方法	(320)
§ 53	新方法的实质	(320)
§ 54	煤田勘探中应用无岩心钻进的基本条件	(322)
§ 55	无岩心钻进的效果	(325)
参考文献		(328)

第一章 煤和含煤岩层形成的地质因素

§1. 煤 的 形 成

煤及其围岩的各种物理性质取决于它们的矿物成分和结构的复杂性，这些性质的变化某种程度上反映了地壳演变中的地质作用。

岩石的物理性质与其岩石学的特性有紧密的联系。因此，为了对地球物理调查结果作出地质解释，就必须详细地研究沉积岩。研究煤和含煤岩层的物理性质，应从沉积物和沉积岩的形成及改造的综合地质因素着手。对此，已完成了大量研究，并在文献[9, 12, 18, 20, 23, 34, 41, 107, 108, 109, 121, 132, 133, 134, 142, 143, 159, 161, 171, 172, 222]中作了详细叙述。

主要由植物物质组成的，并含有不小于50%有机物质的固体可燃岩石称作为煤。在富含水分的条件下植物物质发生初级的变化，这些变化的产物分为泥炭和腐泥两种。泥炭是高等植物的生成物，而腐泥（腐烂的软泥）是低等植物和动物变化的产物。按原始物质堆积类型又可分为原地堆积和异地堆积；植物的原地堆积和转化过程发生在植物生长的地方。在异地堆积过程中，泥炭田的形成是由水或风搬运的植物分解产物来实现的^[121]。绝大多数情况下，泥炭的堆积系原地生成的。植物最初的分解可分为腐烂、腐土化和泥炭化三种；腐烂发生于富含氧的介质中，在需氧微生物的作用下植物物质变为水、二氧化碳和矿物组分。腐土化发生在乾燥的草原和森林中氧气不多的条件下，这时主要的植物变为水、二氧化碳，少部分变为形成土壤的腐殖土。植物残体的泥炭化发生在水或高湿度介质中缺氧或氧不多的情况下，即腐殖质成煤的初级作用。

泥炭的生成取决于三个因素：形成泥炭的植物的每年增长、植物的死亡和泥炭的堆积。这时年生成植物物质（在适中的气候条件下）达到每公顷（万平方米）2t，保证每年的泥炭增长速度为0.2—1.0mm。如果说，在成煤过程中泥炭量降低1/10，那么形成1m厚的煤层或10m厚的泥炭就需要10000—50000年。

当潜水面升高时，植物物质的分解程度就降低；反之，低的潜水导致分解增强。由于通气条件的这种变化，结果形成条带状煤。

泥炭和腐泥的化学成分与植物成分和它的分解程度有关。这时泥炭中的碳水化合物化合物的形成与植物的生物化学稳定部分成反比，而与泥炭的分解程度成正比^[121]。

泥炭沼泽按水-矿物的补给条件分为低地沼泽和高位沼泽两类。低地沼泽靠富含矿物盐的潜水和地表排水供给。因而需要矿物补给的植物发育成低地沼泽。高位泥炭田靠矿物盐很贫的大气降雨供给，不需要矿物盐的植物发育成高位泥炭田。此外，在每一类沼泽里植物还与地貌、气候、地形的特点有关^[121]。

海水对近海泥炭的成分有很大影响。在这些泥炭中由于加入了硫酸盐，硫的含量增高了。

与泥炭层相比，腐泥层不太发育。腐泥由低等植物的残体和含大量矿物杂质的微生物所组成。矿物杂质可能是粘土，二氧化硅，石灰岩，铁及其它非有机物质。腐泥常形成于弱碱性水的湖泊森林地带，腐泥层的厚度可达几十米。

在植物物质转变为煤的物质组分时，发生三种作用类型：胶体物的形成（凝胶化作用），丝炭化作用（炭化作用）及成煤物质的带出和带入过程^[121]。在需氧介质中植物的变化过程是靠原始分子结构转变来进行的（少量还原煤），在厌氧介质中是由于分子结构的复杂化和转变，导致氢含量及沥青质（还原煤）的增高。

丝炭化作用发生在具有氧和需氧微生物的需氧介质中，结果形成丝炭化组分。它在物理化学性质上与凝胶化的物质有显著的差别。

易溶腐殖质的带入可以是局部性的（从泥炭沼的顶部到底部

的垂直带入)和区域性的(在较大距离内腐殖质的冲刷搬运)。
随着物质加入的特点(垂直的或面积的),煤的结构及其微量组分的比例发生变化。

水流把胶体物质从泥炭沼泽冲刷出来或带走引起植物残体的氧化及类脂组分的堆积,在此不产生胶体的和氧化的分解。

由于植物资料的上述转变过程,形成了煤的不同组分(显微组分)及其共生组合。它们不断的经受变化,但仍保持着各个阶段自身的特点和煤层中的组合关系。

由于成煤初期作用的基本地质成因因素显示的强度不同,形成了煤的各种成因和性质(图1)。

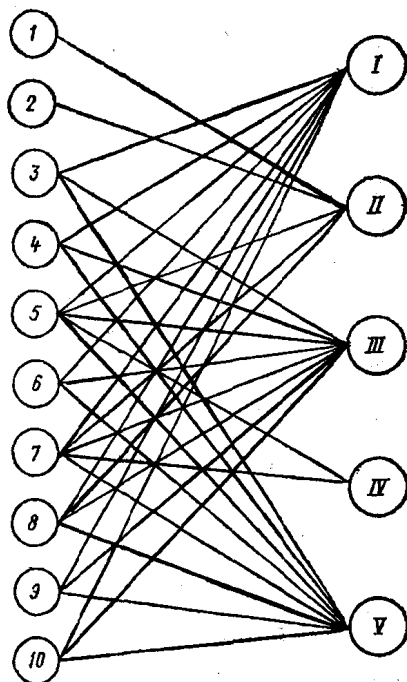


图 1 煤的成分和性质与地质成因因素的关系

(根据И. И. Аммосов)

1—灰分; 2—矿物质分配; 3—碳含量; 4—氢含量; 5—粘结性; 6—焦油率;

7—挥发分产率; 8—密度; 9—裂隙节理性质; 10—溶解度

I—原始物质; II—堆积条件; III—需氧条件; IV—介质的化学性质; V—变质作用

久而久之,泥炭层沉入深部,并被冲刷区冲来的岩石所覆盖,以后泥炭继续变化——压实、失水、微生物的作用渐渐停止,并发生物理化学变化,最终泥炭变成褐煤。

可见,煤矿床的形成是在潮湿气候、地壳拗陷区平缓沼泽地内植物发育的条件下形成的。泥炭以石化状态埋藏起来而形成煤层。

泥炭变成褐煤及其以后的变化,很多研究者认为属于成岩阶段。实际上在覆盖岩石不高的压力和温度的作用下,褐煤的物理性质和化学性质都发生了变化。褐煤的平均下界位于2000m的深度上(当地温梯度为 $2.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 时),温度为 50°C ,压力为 $460\text{ kgf}/\text{cm}^2$ ①

继续沉降,褐煤会发生更深的变质变化,进而变成烟煤。烟煤的微组分也遭受变化,并且微组分的性质随变质程度的增加而相互接近。温度给予煤的变质作用以主要的影响,在煤变质的低级阶段压力给予煤的变质作用以很大的影响;在高级阶段则不大。煤变质与地质时代的关系很小,因为,从石炭纪到二叠纪的整个时代内均会见到褐煤、烟煤和无烟煤。在平均温度的条件下($2.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$),在2—6km的深度上形成了所有阶段的烟煤(包括过渡型烟煤到瘦煤),也就是说温度是 $50—150^{\circ}\text{C}$,压力是 $460—1500\text{ kgf}/\text{cm}^2$ 。而半无烟煤和无烟煤是在6000—12000m的深度上或者在 $150—300^{\circ}\text{C}$ 、压力 $1500—3000\text{ kgf}/\text{cm}^2$ 的条件下形成的。

变质时煤的化学成分的变化是多值的,因为它还决定于煤的岩石学成分,矿物杂质,氧化程度及煤物质的还原性。类脂组分含量的增高,造成挥发分和焦油率增高,而丝炭化组分含量的增高使挥发分、焦油率及氢含量降低。

煤质量的主要指标是煤的变质程度。用化学方法测定的煤的其它重要质量指标如下:灰分、挥发分及焦油率、硫、磷、碳、

① $\text{kgf}/\text{cm}^2 = 98.0665\text{ N}/\text{cm}^2 = 98.0665\text{ kPa}$ (以下同)

氢、氧含量、发热量。除此，还有附加的重要指标，对褐煤是湿度（水分），对焦煤是粘结性（胶质层的厚度和体积收缩度），对半无烟煤和无烟煤是机械强度、密度和挥发分^[121]。为了按煤化学指标最可靠地确定煤的变质程度，应该利用最均匀和纯净的凝胶化物质——镜质组，取它的挥发分产率和碳含量作为煤变质的指标。但煤质不仅仅与变质程度和岩石成分有关，而且还决定于形成煤的凝胶物质特点。这一物质的性质又决定于植物物质及其堆积和转变条件，氧化或还原程度。同样的变质程度，煤的还原程度增高，造成较好的粘结性，氢含量大，氧含量小，发热量大及挥发分产率大。

采用不同的岩石学方法（在显微镜下）区分出来的煤的基本成分称为有机组分或微组分（组分）。煤中的微组分与沉积岩石中的矿物（胶结物和包裹体）相类似。显微组分分为有机的和矿物的。有机微组分可分为凝胶化的、丝炭化的和类脂组的。

煤的微组分所有属于凝胶化的微组分（镜质体）是在植物物质转化为溶胶，然后胶体膨胀和胶体固化过程中形成的^[121]。保持着原始细胞结构（丝炭）和完全无结构（微粒体）的部分属于丝炭化的煤的微组分。高等植物的各种稳定部分（孢膜、花粉、角质层、木栓组织、树脂体）属于类脂物的微组分（稳定组）。

煤中的非有机物组分可分为矿物包裹体（薄层，透镜体，结核，浸染物，节理和孔隙充填物）和非有机物杂质（内部灰分）。煤的灰分是固体剩余物，在温度为800℃煤烧尽时获得。那时有一些矿物包裹体（碳酸盐和硫酸盐）分解或烧尽，因此，灰分（质量上）比矿物杂质少。

煤中的矿物包裹体可分为以下各种矿物：陆源矿物，夹杂在泥炭中的矿物（石英、粘土、长石，云母等等），与煤同时或以后从溶液中生成的自生矿物（黄铁矿、褐铁矿、菱铁矿、方解石等等）。灰分的成分是煤形成和变化条件的标志。

与围岩相比较，在煤中见到的含量高的元素杂质是：钼，硼，钛，钒，锆，硒，砷，钼，银，稀土，金，铅，镭，钍，铀。

在不同的煤中这些微量元素的总和从238.8到586g/t变化^[121]。它们以不同方式在煤中富集，其中的大部分是被泥炭或煤从水溶液中所吸附。锗通常富集于煤层的顶底板及其夹矸中。煤中有开采价值的锗含量是1.2—4.8g/t(灰分为0.05—0.1%，最大达8.4%)，锗常见于煤含量很高的腐殖煤、褐煤和长焰煤中。锗从土壤中进入植物，而后至泥炭，泥炭从水溶液中又补充吸附锗。

煤中的铀含量可达百分之几十。具有工业意义的铀含量为0.1—0.2%或更高些(常在高灰分褐煤中)。煤中的铀是在泥炭和成煤阶段从天然溶液中富集的。

在大多数情况下，煤的肉眼类型是由几部分组成。因此划分了煤的岩石学类型。煤的岩石学类型是具有一定的物质成分和由目测及显微镜下所确定的典型外表标志的植物起源的岩石。煤的目测部分(根据光泽、结构)称之为拼分^[121]。腐殖煤的主要岩石学类型可划分为：镜煤、亮煤、暗煤、丝煤。镜煤光亮煤呈均匀结构，其95—100%由均匀的凝胶化物质组成。然而它的包裹体广泛分布。亮煤光亮，煤呈均匀或不均匀结构并有带状构造。凝胶化物质占80—95%，其余部分则为孢子、角质层、树脂体。这种煤分布广泛。暗煤、暗淡煤的混合成分为无光泽的煤且呈带状和均匀的或块状构造，凝胶化组分为65—80%，丝炭和类脂化合物组分少于35%。暗煤分布也很广泛。丝炭暗煤或半暗煤呈粗碎屑结构及块状或层状构造，丝炭化微组分大于80%，而煤的其余部分是镜质和类脂化合物组分，在这些类型的煤中还有过渡型。这样来划分煤不是唯一的，因为某些研究者不用亮和暗而用其它的名称来划分几种拼分^[121]。

在近地表的外力因素作用下(氧、空气、水等等)煤的变化作用称为风化作用，它与变质作用相反。由于风化煤的性质发生化学、物理-化学、工艺、物理-力学的变化。所有这些性质的变化是同时的。风化作用的强度取决于气候、岩石的侵蚀、覆盖岩石的厚度和岩性成分、水文地质条件、煤的裂隙和变质程度以及其它因素。在煤层中风化和氧化带的生成不同时发生^[121]。