

中国煤成烃基本理论与实践

吴俊 著

THE THEORIES AND APPLICATIONS OF
COAL-GENERATED HYDROCARBON IN CHINA

WU JUN

煤炭工业出版社

CHINA COAL INDUSTRY PUBLISHING HOUSE

中国煤成烃基本理论与实践

吴 俊 著

THE THEORIES AND APPLICATIONS OF
COAL—GENERATED HYDROCARBON IN CHINA
WU JUN

煤炭工业出版社

CHINA COAL INDUSTRY PUBLISHING HOUSE

(京) 新登字 042 号

中国煤成烃基本理论与实践

吴俊 著

责任编辑:吕代铭 罗醒民 马淑敏

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街 21 号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行



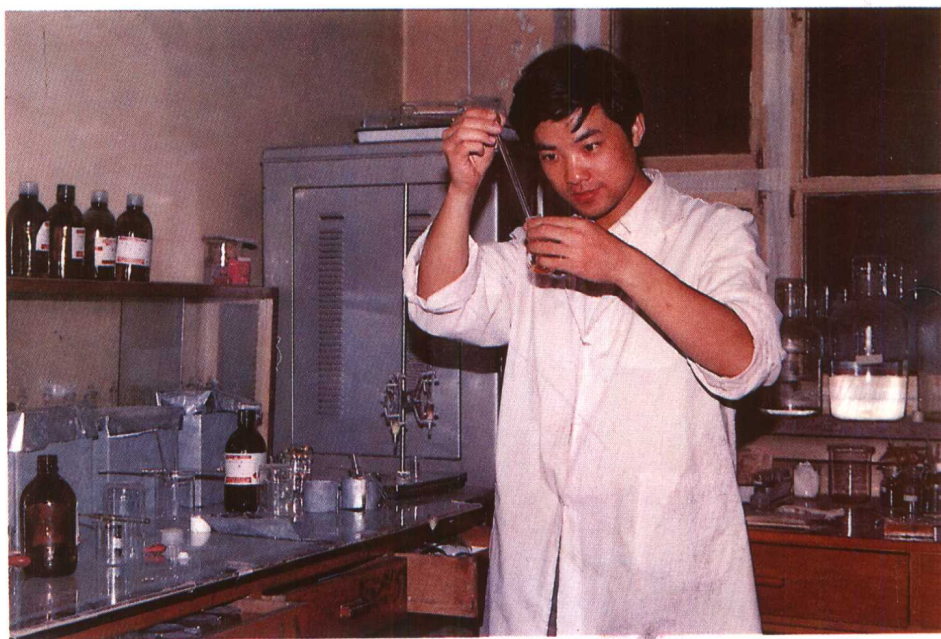
开本 787×1092mm¹/16 印张 11 插页 14

字数 316 千字 印数 1-800

1994 年 3 月第 1 版 1994 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 7-5020-0912-4/TD·846

书号 3678 M0054 定价 23.20 元



笔者科研工作照

中国煤成烃基本理论与实践

(摘 要)

笔者根据有机岩石学、有机地球化学和物理化学等学科的基本原理和研究方法,以中国南方二叠纪龙潭煤系和北方二叠纪、侏罗纪的富烃煤层(突出煤层)和贫烃煤层(非突出煤层)为研究对象,系统地研究了它们在气体、液体和固体三相态方面的性质。

研究表明:富烃煤层(突出煤层)除含有较多的气态烃和液态烃外,还存在着明显的成烃作用光学标志。有机粘土复合膜是突出煤中一种特殊的超微结构标志。笔者认为,煤的成烃和富烃不仅与煤中有机质的性质和含量有关,而且还与煤的物理性质(吸附性、表面能、孔隙性)有关。在实测和实验的基础上,作者划分出“煤层气体的三个富集保存阶段”,并提出“煤成烃多阶段性”和有机质的机械降解作用有利于煤成烃和煤富烃”的观点。笔者还针对煤成油、能源地质和采矿安全等方面的问题进行了研究和讨论,并提出了煤层气体运移、抽放、突出倾向性和突出煤的评价方法。

关键词:煤成烃、有机岩石学、煤层气体、孔隙性、富烃煤层、成烃机理、表面能、超微结构、有机粘土复合膜。

THE THEORIES AND APPLICATIONS OF COAL-GENERATED HYDROCARBON IN CHINA

ABSTRACT

Author has systematically researched the characteristics in gas, liquid and solid states of the hydrocarbon-rich coal seams (Outbursting-prone coal seams) and hydrocarbon-poor coal seams (no-outbursting coal seams) from Lōngtan formation in south China, Permian and Jurassic coal-bearing strata in north China, made use by the principles and methods in organic petrology, organic geochemistry and physical-chemistry.

The results show that the hydrocarbon-rich coal seams (outbursting-prone coal seams) not only contain more gas and liquid hydrocarbon matters, also possess the obvious optical hydrocarbon-generating markers. The organic-clay mixed film is a kind of ultra-microstructure marker in the outbursting-prone coals. Author considers that the characteristics of the hydrocarbon-generation and hydrocarbon-rich of coals are not only dependent on the properties and contents of the organic matter in coals, also related to the coal material properties (adsorption, surface energy and porosity, etc). Based on measured data and experiments, author has driven "three hydrocarbon-rich and stored stages of the coalbed gas, and pointed out two views, as (1) that coals are of more hydrocarbon-generating stages, (2) that mechanism degradation of the organic matter is beneficial to the hydrocarbon-generation and hydrocarbon-rich of coals. Author also made the researches and discussions in coal-generated oil, energy resource geology and mining safety, etc., and suggest some evaluation me-

thods on the migration, gas-drained and outbursting potentiality of coalbed gas and outbursting-prone coals.

KEYWORDS: Coal-generated hydrocarbon, Organic petrology, Porosity, Hydrocarbon-rich coal seams, Hydrocarbon generating mechanism, Surface energy, Ultra-microstructure, Organic-clay mixed film.

前 言

对煤层气体和煤中液态烃的认识和研究并非始自今日，这是一个复杂而未能很好解决的问题。人们从煤的开采实践中认识到，煤层里存在着一种能使人窒息的燃爆性气体，这在古人的著作中就曾记载〔1〕。

国外，自1834年法国发生了世界上第一次有记载的煤和瓦斯突出事故以来，人们就一直在研究煤层瓦斯突出和爆炸机理及其预防措施〔3〕~〔6〕。

中国煤炭资源分布广阔、煤种较齐全。新中国成立后，采矿事业有了飞速的发展，煤与瓦斯突出一直是人们的重要防治对象。然而，人们对煤与瓦斯突出的理论认识还非常不够。迄今为止，我们仍不清楚为什么这些煤层富含烃类气体，它们是怎么形成和演化的，煤层气体与有机质类型和演化有何关系，它们在采矿安全中有什么作用，……等等。在以往的研究中，采矿人员和从事天然气研究的学者，又常常忽略了瓦斯还具有潜在资源价值的研究、开发领域。尽管如此，国家自“六五”计划以来倍加重视，并投入很大的力量来研究有关煤成气、煤成油的问题，其中又将很大的力量投入到对煤层气体的理论和开发的研究。

笔者选择中国南方二叠纪龙潭煤系和北方部分煤系地层中的富烃煤层和突出煤层作为研究对象，以有机岩石学、有机地球化学、气体热力学、化学反应动力学、物理化学等作为理论基础和研究方法，抓住与矿井安全生产和煤层烃类资源开发有关的前沿性问题，诸如煤的含烃性、富烃规律、产烃机理、煤与瓦斯突出和爆炸、煤层气体抽放的影响因素以及地质勘探过程中对煤层气体、煤成油的综合评价等等问题，进行了比较系统的研究。作者在研究中提出了“煤成烃多阶段性”和“有机质机械降解富烃性”的新认识。

研究工作起始于1987年4月，历经2年。笔者先后深入贵州、四川、安徽、浙江、江苏、河北等省的10多个煤田和矿区进行现场调查（野外实际时间4个多月），数十次下井观察突出煤层，并对30多个煤层剖面进行了勘察和采样（煤样和气样），然后独立在室内制作光片1050个，并对其中507个光片进行了定性、定量观察，其它测试均是在有关老师的指导下独立和委托完成的（表1）。在试验中获得基础性数据约5万多个，统计整理数据2万多个，实测图谱400多张，拍摄煤岩和扫描电子显微镜底片1300多张。根据详实的测试数据和理论研究成果，最终写成这部适宜中国从事煤能源地质和采矿工程科技人员参考的专著——《中国煤成烃基本理论与实践》。

在本专题研究中，始终得到了导师韩德馨教授、金奎励教授的悉心指导。笔者在此谨表示真挚感谢。

笔者有幸参加了中国科学院地质研究所孙广忠教授、应育浦教授和李任伟副教授领导的“七五”科技攻关项目《南桐矿区煤与瓦斯突出机理及综防措施》、中国矿业大学北京研究生部金奎励教授领导的“七五”科技攻关项目《气源岩有机成分的研究》，受益匪浅。北京中关村地区联合分析测试中心及淮南矿业学院唐修义教授领导的课题组又给予作者经

表 1 样品、分析工作量

研究类别	测试项目	工作地点	样品数
样品	煤样	贵州, 四川, 浙江, 江苏	1050
	气样	安徽, 河北, 河南等省	30
气体分析	气体成分	大多为收集煤炭科学研究总院抚顺分院资料	10
	同位素	无锡石油地质实验中心	30
	含量	大多为收集煤炭科学研究总院抚顺分院资料	8
有机结构分析	有机抽提	中国科学院地质研究所	50
	饱和烃, 芳烃色谱	无锡石油地质实验中心	70
	红外光谱 (抽提物和固体)	清华大学高分子实验室	150
	有机碳	石油勘探开发科学院	30
	热解色谱	煤炭科学研究总院抚顺分院	150
	热解-气相色谱	中国科学院地质研究所	13
有机质热模拟	动态热模拟	石油勘探开发科学院	4
	静态热模拟	无锡石油地质实验中心	33
物性分析	扫描电镜及能谱	中国科学院地质研究所	55个(120h)
	吸附性	南桐、水城、淮南矿务局	35
	孔隙性	南京炼油厂物化研究所	68
光性分析	反射率R _v 测定	中国矿业大学北京研究生部	102
	煤岩组分鉴定	中国科学院地质研究所	507
	荧光分析		103

费资助, 在此也一并向他们深表谢忱。

感谢任德贻、唐修义、童有德、刘德汉、冯福凯、张义纲、李执、赵师庆、徐永昌、张鹏飞、何志高、戴金星、邱纯一、袁崇孚、杨宜春、赵继尧等教授和老师们对作者工作及课题的关心、鼓励与悉心指教。

感谢水城矿务局吴裕忠高级工程师、宋兆祥高级工程师提出的应用性问题, 使理论得以进一步密切联系实际。作者对水城矿务局、南桐矿务局、长广煤矿公司、淮南矿务局、开滦矿务局现场的支持表示衷心的感谢。

感谢肖贤明、马兴祥、于海涌、陶成才博士和秦勇讲师为本文提出了许多建设性意见。感谢我的爱妻濮英英女士为课题研究处理了相当多的数据和对手稿的整理。感谢我的父亲吴恒先生对书稿的整理、校对和誊清。

在研究中, 笔者有幸聆听了中国地质界前辈叶连俊、关士聪和岳希新三位学部委员的教诲, 谨向他们表示由衷的感谢。

最后, 感谢中国科学院地质所所长基金为本书的出版提供了部分赞助。笔者衷心期待各位读者的指教。

吴俊

1991年12月23日

序 一

吴俊同志于1989年进入中国科学院地质研究所，开始博士后研究工作。从此，我们过从渐密，切磋琢磨，相得益彰。他参与了国家攻关项目“煤与瓦斯突出的预测和综合治理”的科研工作，主要从事四川南桐矿区二叠系龙潭组煤层及煤层中甲烷等气体的地球化学研究。他在这方面的工作是很出色的，所取得的成果受到了同行的高度评价。他还承担了徐州矿务局地质测量处及该局所属张小楼煤矿所提出的“徐州张小楼矿井煤层有机质特征和深部瓦斯研究”课题的研究，并取得了优秀的成果，受到了徐州矿务局及有关方面的好评。吴俊同志工作认真细致，勤奋实践，勤于思考，勇于创新。短短的几年里，就在《中国科学》，《科学通报》等一级刊物上发表了许多篇论文，还撰写了长达几十万字的专著——《中国煤成烃基本理论与实践》。在我们所接触的青年科学家中，他的学术成就给我们留下了深刻的印象。吴俊同志待人热情，尊师乐道，团结同志。这些好的品德，似高山流水，使我们这些与之相处已久的同志仰之、慕之。现在，吴俊同志不幸英年早逝，我们的心情是沉痛的。我们感谢煤炭工业出版社即将出版他的这部专著。这是对科技战线上一个耕耘者最好的支持和鼓励。这本书的出版对煤炭地质界沉积学及有机地球化学的工作者们，无疑是一本宝贵的参考文献。

中国科学院地学部学部委员 叶连俊
中国科学院地质研究所研究员
中国科学院地质研究所研究员 李任伟

1993年8月3日

序 二

1993年5月2日上午接到36岁的吴俊博士在与血癌顽强搏斗近两年后不幸逝世的噩耗，我的眼泪止不住地往下滴。这不仅是由于我曾任他的博士生导师，有深厚的师生之谊，而且更重要的是惋惜这位青年科学家的英年早逝。瓦斯研究需要他，煤成烃研究需要他！

每当人们得知，他在两次病危通知的险情下，毅然呕心沥血地写完了题为《我国煤成烃显微标志特征及其成因研究》的他的最后一篇优质论文——中国博士后首届学术大会追加论文，无不痛惜祖国失去这样一位心灵这么高尚，成就这么卓著，年纪又这么轻的英才。

我认识他近10年了。1984年11月的一天，他拿着煤岩学家唐修义教授的信和他关于瓦斯地质研究的硕士论文，前来邀我到淮南矿业学院出席并主持他的学位答辩会。当时，他侃侃而谈的音容笑貌和新颖、独到的学术思路和成果，一下子把我抓住。我心想，他将来会很有出息。答辩会上，他的报告和答辩更坚定了我对他的看法。他是无锡人，但在我回京与我话别时，却坚定地说，他决心远离故乡告别双亲和恋人去煤炭科学研究院抚顺研究所，研究瓦斯，去定了。多有志气的青年人呵！从此，我们建立起深厚的友谊、忘年之交。

我为唐教授培养出中国第一个瓦斯地质硕士而欣庆。在以后的接触过程中，我一再鼓励他循着唐教授确定的科研方向前进。从他的学识基础看，他完全可以依据当前有机岩石学，结合有机地球化学的研究趋向来研究瓦斯和领域更宽阔的煤成烃。在他到抚顺研究所工作不久，我就免费吸收他参加我主办的面向全国의 显微镜光度学学习班，并推荐他阅读一些有关的国外文献。

由于他工作勤奋，很快成为抚顺研究所“六五”攻关课题的小组负责人。后来在该国家课题鉴定会上，我和一些评审员都认为他领导完成的“煤层烃类气体组分与煤岩煤化关系研究”这部分课题内容，无论在研究方法上抑或取得的研究成果上，均达到国际同类研究的水平。经过这一段实际锻炼，他的能力上了一个新台阶，对知识的追求更加迫切。为了给他提供更好的外部条件，我建议他到北京来。1986年，他终以优异的成绩成为中国矿业大学北京研究生部的博士生。在这里，他的外文水平和掌握各种先进测试手段的能力有了长足的进步，并参加了我领导的“七五”攻关子课题“气源岩有机成分与干酪根组分研究”和中国科学院地质研究所孙广忠教授领导的“七五”攻关课题《南桐矿区煤与瓦斯突出机理及综防措施》等研究工作。我鼓励他闯出去开阔视野、经受锻炼，他在第二届亚非石油地球化学会议上发表了论文，并参加了国际第40届煤岩学会接待外国代表的工作。

他的博士论文题为“我国富烃煤层(突出煤层)岩石学和孔隙特征及成烃理论研究——

兼论煤成油”。论文的研究成果是多方面的：首先是建立和完善了煤孔隙理论，并将它运用到对瓦斯突出与瓦斯抽放的研究工作中，受到中外学者的注目。其次是在大量样品试验的基础上，根据化学反应动力学原理，建立了煤成烃多阶段性和气驱油的理论，对我国找煤成油具有重要的实际意义。再次是发展和充实了煤成烃和排烃的显微标志。再其次是创造性地提出了突出煤层煤的显微标志以及利用熵函数与熵值计算评价瓦斯突出倾向性及煤层富烃程度。

展现在读者面前的这部专著，是他在博士论文的基础上，经过在中国科学院地质研究所博士后阶段的再钻研、再提高，集十数年攀登科研高峰的成果总汇。除此之外，他尚有30余篇优质学术论文。1986年以来，他先后获得各级学术奖励8次。1989年，他在攻读博士学位期间，获得煤炭工业部首届邝寿荃奖；1990年获侯德封奖；1991年获国家教委科学技术进步二等奖。成就卓越，令人钦佩，令人注目。

现在，他一步三回头地离我们去了，愿他的心血结晶《中国煤成烃基本理论与实践》为战胜瓦斯恶魔和寻找煤成油、气发出耀眼光芒。

中国矿业大学北京研究生部教授 金奎励

1993年7月22日

序 三

1977年，下放在皖南农村的知青吴俊通过了全国高校招生考试，被淮南矿业学院地质系录取，先读大学本科，后为硕士研究生。1984年取得硕士学位后，在煤炭科学研究总院抚顺分院工作了两年，1986年考入中国矿业大学北京研究生部，攻读博士学位。1989年取得博士学位后继而进入中国科学院地质研究所博士后站。在淮南矿业学院的七年间，我作为地质系的教师和研究生导师，与吴俊经常接触。以后，我们又都参加了“六五”和“七五”国家科技攻关项目，共同研究煤成烃方面的问题，彼此过往甚密。不料，风华正茂的吴俊却过早地被病魔夺去了年轻的生命，作为一个长者为他的这本遗著写几句话，内心感慨万分。同时又为有吴俊这样一位有为的学生而深感骄傲和欣慰。

吴俊对科学的执著和追求，集中反映了祖国青年一代科技工作者的优秀品德。十年前，我国大规模开展煤成气的研究工作，吴俊接受了我对他的选择，把研究煤成气（重点为煤矿瓦斯）作为他的硕士学位论文的课题。自此，他一直坚持这一研究方向，不断探索，在科学的大道上辛勤劳动，刻苦钻研，攀登了一个又一个高峰。《中国煤成烃基本理论与实践》这部著作，凝聚了他十年的心血。我想，读者会从中看到，在煤成烃研究领域里，吴俊的工作处于前沿地位，他所作的试验和提出的一系列论点，无疑具有较强的理论和实践意义。一个刚步入科学界的年青人，能够写出这样的一部著作，不能不让我这个虚长一些年纪的人感到钦佩。

在获得硕士学位后，他本有机会回家乡工作。但是，为了事业，他却自愿远离父母和妻女去到千里之外工作和深造。吴俊的父母没有让这个独生儿子留在身边；妻子濮英英更是支持他的事业，独自抚养幼女。直到吴俊逝世，他们还没有建立起一个固定的“家”。吴俊的光阴主要是在煤矿井下和实验室里度过的，他把自己短暂的一生全部奉献给了科学事业。这部著作凝聚了他的艰辛劳动。

吴俊为人处事诚恳、热忱，凡是与他相处过的人对此都有口皆碑。他的过早去世，不仅使我们失去了一位有前途的青年科学家，而且还失去了一个好同志和好朋友。

煤炭工业出版社早就向吴俊约稿，现在吴俊虽然已经离开了我们，出版社仍然把这部著作献给了读者。目前，对煤成烃研究，仍是举世瞩目的课题，这部著作的面世，其意义是不言而喻的。这也是出版社对青年科技工作者的关怀和支持。在此，我写这几句话，表达我内心的深切怀念。

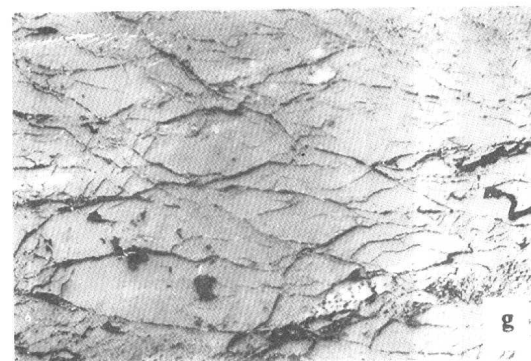
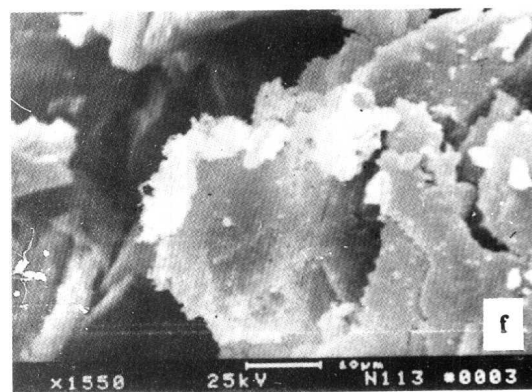
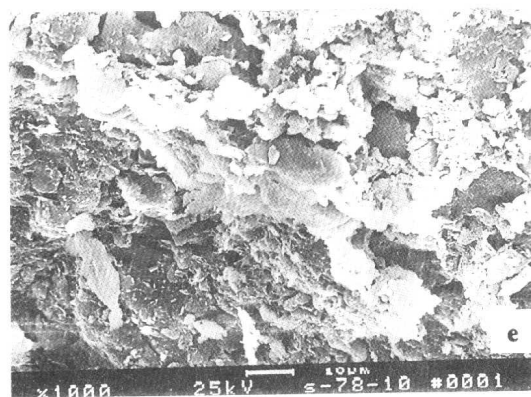
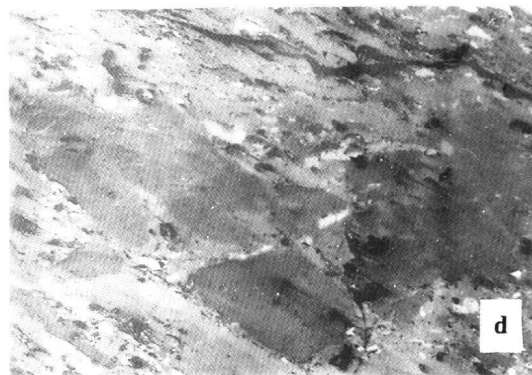
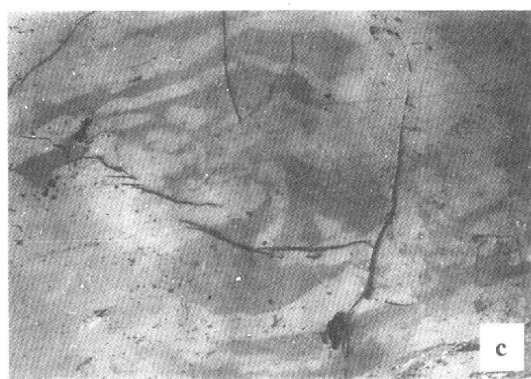
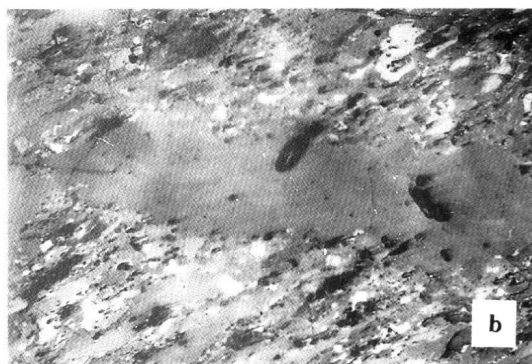
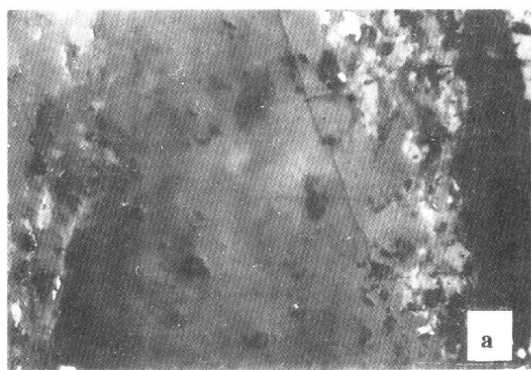
淮南矿业学院教授 唐修义

1993年7月26日

图 版 及 说 明

图版 I

- a, c** 富氢镜质体, 水城大河边矿 409 煤层, 油浸、反光, $500\times$ 。
- b, d** 不均一基质镜质体, 淮南煤田 C₁₃煤层, 油浸、反光, $500\times$ 。
- e** 表面粒状结构, 六枝大用矿 7 号煤层, SEM, $122\times$ 。
- f** 粒状结构, 南桐鱼田堡矿 4 号煤层, SEM, $1550\times$ 。
- g, h** 网状镜质体, 淮南煤田 B₁₁煤层, 油浸、反光, $500\times$ 。



图版 II

- a** 破碎状丝质体，水城汪家寨矿 409 煤层（软煤），油浸、反光，500 $\times$ 。
- b** 破碎状丝质体，水城木冲沟矿 11 号煤层，油浸、反光，500 $\times$ 。
- c** 半丝质体（具各向异性），南桐砚石台矿 4 号煤层，油浸、反光，500 $\times$ 。
- d** 粗粒体，南桐砚石台矿 4 号煤层，油浸、反光，500 $\times$ 。
- e, f** 丝质体（具各向异性镶边），水城汪家寨矿 409 号煤层，油浸、正交反光，500 $\times$ 。
- g** 带有各向异性镶边的粗粒体，南桐鱼田堡矿 4 号煤层，油浸、正交反光，500 $\times$ 。
- h** 各向异性粗粒体，南桐鱼田堡矿 4 号煤层，油浸、正交反光，500 $\times$ 。