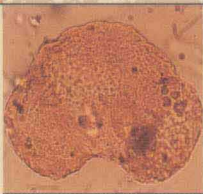
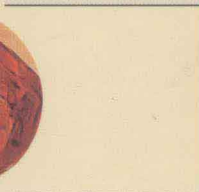
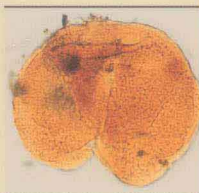
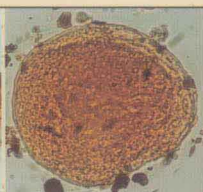
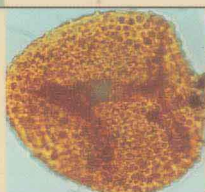
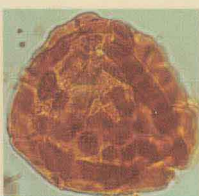
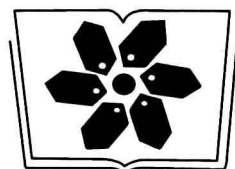


油源孢粉学

江德昕 杨惠秋 著



科学出版社



中国科学院科学出版基金资助出版

油源孢粉学

江德昕·杨惠秋 著

中国科学院油气资源研究重点实验室开放基金项目资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是以国家“七五”科技攻关项目“油气田地地质理论和勘探技术研究”和“八五”科技攻关项目“塔里木盆地油气资源”有关孢粉学成果以及国家自然科学基金资助项目“根据孢子花粉确定油气源岩的原理、方法及其应用”(No.R850879)等研究成果为基础,并参考国内外最新有关文献撰写的一本专著。书中论述了根据孢粉化石判识油气源岩的原理和方法;展示了塔里木、准噶尔、吐鲁番、柴达木、酒泉等内陆含油气盆地以及东海渤海湾和南海北部湾等沿海陆架含油气盆地原油中发现的孢粉和藻类化石;根据原油孢粉集合的组成,并通过孢粉化石属种和颜色的油源对比,判识了各含油气区的油气源岩。基于丰富的孢粉化石资料,论述和支持了石油有机成因理论;根据孢子花粉母体植物的生态环境,论证了油气源岩形成的环境特征,确认湿热气候下的湖相沉积是油源岩形成的最佳环境;根据残存在油气中的孢粉化石,探讨了油气运移的通道、相态、方向、路线和期次等运移机理;在以上基础上,总结了我国陆相油气源岩的时空分布规律。全书共九章,书末附孢粉化石图版 48 幅。

本书可供孢粉学、古生物学和石油地质学等专业科学技术人员及有关高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

油源孢粉学/江德昕,杨惠秋著.—北京:科学出版社,2013.6

ISBN 978-7-03-037402-8

I. ①油… II. ①江…②杨… III. ①孢粉-微体化石-研究-中国②油气-沉积岩-研究 IV. ①Q944.571②P618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 097640 号

责任编辑:胡晓春/责任校对:邹慧卿

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 0/00

2013 年 6 月第一次印刷 印张:14 插页:24

字数:403 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

Palynology of Petroleum Source

Jiang Dexin Yang Huiqiu

Supported by the Open Fund Program of the Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences

Science Press

Beijing

序

《油源孢粉学》是江德昕、杨惠秋教授集一生在科学领域的辛勤耕耘和宝贵的积累所完成的一部有重要学术价值、对油气勘探有指导意义的学术专著。作者基于对我国塔里木、准噶尔、柴达木等十个含油气盆地数十个油气田的原油中孢子花粉化石研究,并以自己在孢粉学与石油地质学方面的学识为指导,撰写了油源孢粉学领域的第一部专著。

在这部专著中,作者首先提出原油孢粉集合的概念,论证了以孢粉化石进行油源对比的学科依据及确定油源岩的有效途径;阐明了我国内陆和沿海陆架含油气盆地的油源岩特征及其时空分布规律;根据孢子花粉母体植物的生态所反映的古气候和岩相古地理特征,论证了暖湿和湿热气候下的深水湖相沉积是油气源岩形成的最佳环境;以原油中孢粉化石为指示物追踪油气运移的轨迹,从中提取油气运移通道、相态、方向、路线、期次等油气地学研究中一系列根本性的信息。通过研究证明了岩石微裂隙是石油初次运移的主要通道,从而否定了“孢子花粉不能从源岩中运移出来”的论点;论证了准噶尔盆地北三台火成岩油储原油中的孢子花粉来源于周围二叠系、三叠系和侏罗系沉积岩源岩,强有力地证明了这些火成岩中的石油为有机成因。

江、杨有关油源孢粉学的研究成果,石油地学界和植物学界两位大师朱夏院士和徐仁院士都给予了极高的评价。朱夏说:“油源孢粉研究在孢粉学与石油地质学之间建立起学科渗透的桥梁,开拓了新的研究领域。”徐仁认为“江德昕和杨惠秋的工作代表我国孢粉学者在这一领域的领先研究”。由于油源孢粉学这一分支学科我国学者工作最多、研究最深,又得益于我国是世界上最主要的陆相成油的国家,具有极其丰富的背景资料,可以无愧地说,在国际上这一领域,我国学者的研究成果也是领先的。这从上世纪 80 年代直到近年国外学者对此领域的关注可以得到佐证,如: Fleet 等(1988)在湖相油源岩著作《Lacustrine Petroleum Source Rocks》中将“指示湖相油源岩的原油中孢子花粉”(Jiang, 1988)以独立章节列出。Robbins (1990)将“鉴定中国非海相油源岩的孢粉学证据”(Jiang, 1990)编入《Palynology of Ore Deposits》,认为这对世界上其他地区辨认非海相油源岩有指导意义。McGregor (1996)将“我国准噶尔盆地北三台油田火成岩油储原油中的孢粉化石”(Jiang, 1996)作为独立章节纳入 Jansonius 和他共同主编的孢粉学巨著《Palynology: Principles and

Applications》。近年来,有越来越多的西方学者关注这一领域的研究,英国剑桥大学出版的著名地学杂志《Geological Magazine》以超常篇幅详细刊登中国塔里木盆地中生代油源孢粉的研究成果(Jiang *et al.*, 2008)。以一定的篇幅引用了国际上从过去到近年关于油源孢粉学学术界的关注情况,应当可以说明“油源孢粉学”这一学科我国学者的研究成果在国际上的领先地位和它至今拥有的在学术上和应用上的意义。因而本专著的出版价值当不言而喻。出版这本专著的另一个重要意义是希望能引起学术界和产业部门对于这一经典而又具有现实价值学科领域的关注。可以这样说,作为《油源孢粉学》专著诞生的中国,在学科后继乏人的情况下,已导致科研成果明显减少,但国际上却给予了越来越多、越来越大的关注。我国理应发扬自己的优势,更好地研究和运用这一学科,使之百尺竿头更进一步,这应当是江德昕、杨惠秋教授在耄耋之年以老骥伏枥的壮志完成这部专著的心愿之一。我有幸受江德昕教授之邀为本书作序,以我的身份这样的荣誉是受之有愧的,但在十年多的时光里,我的确是真挚希望这本著作能尽早呈现在读者面前,因为我深知这是一本有重要学术意义又对油气勘探实际有指导意义的学术著作、是国际上迄今为止唯一可以呈现给世人的《油源孢粉学》、是原中国科学院兰州地质研究所的一笔宝贵的财富。非常令人欣慰的是德昕教授终于以惊人的毅力、严谨敬业的态度、集家人的全力支持,胜利完成了这一“抢救”工程。我深信这部专著的问世将会给油气地学带来许多重要的认识,让读者对“油源孢粉学”的学术和实际意义有更深入的了解,也必然会推动该学科的发展。

徐永昌

2012年2月1日

前 言

石油和天然气作为能源对国民经济的发展有着重要影响,在我国能源消费结构中居第二位。世界石油工业发展的高峰期在 1950~2000 年,20 世纪 80 年代是发展的高点。20 世纪 70 年代以来,我国石油勘探开发迅速发展,在内陆含油盆地相继发现许多新油气田,如塔里木盆地的柯克亚油田和雅克拉油田,准噶尔盆地的火烧沟油田和北三台油田等。石油工业发展进入新阶段使科技工作面临新的挑战,同时为科研创新提供新的机遇。

为了结合找油找气开展孢粉学研究,中国科学院兰州地质研究所建立了原油孢粉分离实验室,自 1965 年以来先后在酒泉、鄂尔多斯、准噶尔、吐鲁番、塔里木、柴达木、下辽河、北部湾、三水、珠江口等含油气盆地采集原油和石油伴生天然气样品 200 余件,从中分离出相当丰富的孢子花粉和藻类化石。原油中孢子花粉与油源研究得到老科学家的热诚支持和鼓励。中国科学院地质研究所老所长侯德封院士说:“运用原油孢粉判断生油层年代是切实可行的,这对解决油气运移和石油成因问题也有帮助。”著名沉积学家叶连俊院士说:“原油孢粉工作是创新的研究,是用学科手段为生产服务,是见了效的。”著名孢粉学家徐仁院士说:“原油中的孢子花粉研究在解决石油成因和油源问题中可提供有价值的证据,江德昕和杨惠秋的工作代表我国孢粉学者在这一领域的领先研究。”著名石油地质学家朱夏院士说:“油源孢粉研究在孢粉学与石油地质学之间建立起学科渗透的桥梁,开拓了新的研究领域,研究成果必将对油气勘探起重要的指导作用。”在老科学家的支持下,油源孢粉研究被列入“七五”和“八五”国家重点科技攻关项目,并荣获国家自然科学基金资助。

本书是以“七五”国家重点科技攻关项目“油气田地质理论和勘探技术研究”和“八五”国家重点科技攻关项目“塔里木盆地油气资源”有关孢粉学成果以及国家自然科学基金项目“根据孢子花粉确定油气源岩的原理、方法及其应用”(No.R850879)等研究成果为基础,参考国内外最新有关文献撰写的一本专著。书中论述的含油区包括塔里木、准噶尔、吐鲁番、柴达木、酒泉等内陆含油气盆地和东海渤海湾及南海北部湾等沿海陆架含油气盆地,是 20 多年积累的资料的总结。油源孢粉研究属于孢粉学与石油地质学学科交叉渗透的边缘学科,是一个新开拓的有前景的应用科学领域。本专著的主要成果有:

(1) 提出原油孢粉集合的定义和分类,通过 8 个含油盆地的应用,说明孢粉化石属种和颜色的油源对比是判明油源岩的一个有效途径。

(2) 针对孢子花粉直径太大,不能从源岩中运移出来,因而不能用以测定源岩年代的论点,以原油中找到的孢子花粉化石及其性状为依据,论证微裂隙是油气初次运移的通道,阐明原油中的孢粉化石能测定油源岩的年代。

(3) 根据原油中指示油源岩系的孢子花粉化石母体植物的生态所反映的古气候和岩相古地理环境,阐明温暖潮湿和湿热气候下的湖泊沉积是油气源岩形成的最佳环境,亚热

带半湿润-半干旱气候下的潟湖和沼泽沉积也是有利于油气源岩形成的环境;塔里木盆地油气源岩沉积时的水体为微咸水或半咸水。

(4) 以原油中的孢子花粉化石为指示物,追踪油气运移的轨迹,从中提取油气初次运移和二次运移的通道、相态、方向、路线、期次等信息,探讨油气运移机理。塔里木盆地的研究表明,在油气源岩成岩过程中由异常高压形成的岩石微裂隙是石油初次运移的通道,断层、不整合面、节理和其他裂隙是石油二次运移的通道;在运移过程中石油可保持其原有相态,液态与气态混合相是运移过程的主要相态;石油运移的方向、路线因油藏类型而异,或以垂直运移为主,或以侧向运移为主;多时期的油气源岩常伴有多期次的运移。

(5) 在准噶尔盆地东南部北三台火成岩油滞原油中发现孢子花粉化石 55 属 96 种,根据孢粉化石属种和颜色的油源对比,上二叠统是本区主要油气源岩系,三叠系、下、中侏罗统和上石炭统也含有油气源岩。北三台石炭纪火成岩油滞处于上古生界至中生界沉积岩系包围之中,油气应来自周围沉积岩系中的油气源岩。因为火成岩储集岩自身不可能含有生物化石,该油滞原油中孢粉化石的发现为石油有机成因理论提供了有说服力的证据。

(6) 在塔里木盆地原油中发现 89 属 183 种孢子花粉化石,获得如此丰富的孢粉化石可谓得天独厚,这受益于陆相生油,归因于陆相生油。孢子花粉虽可随风和水流进入海洋,因其母体大都为陆生植物,起源于大陆,塔里木原油中的孢粉化石可以作为陆相生油的见证。

(7) 含油区原油孢粉集合研究结果证明,我国内陆含油盆地具有多时期油气源岩,上石炭统、二叠系、三叠系、下、中侏罗统、下白垩统和下第三系都含有良好的油气源岩;东海和南海陆架含油盆地下第三系含有良好的油气源岩。基于孢粉化石颜色的热变指数 (TAI) 指示这些源岩都是成熟的油气源岩。

参加上述项目的科技人员除著者外还有孙峰、王永栋、杜金娥、来常玉、伍平、师铮。

本项研究在实施过程中得到中国科学院地学部领导和孙枢院士的支持和关怀以及中国石油天然气总公司勘探开发研究院黄第藩、梁狄刚两位教授和中国石油化工总公司西北地质局勘探开发研究院何卓生、董凯林两位高级工程师的大力支持和帮助,作者在此表示诚挚的感谢。

本书由江德昕撰写,杨惠秋编排图版。撰写过程中得到中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心领导的支持和关怀,徐永昌教授给予鼓励和指导,魏俊超教授审读初稿并提出宝贵意见,魏江副教授协助在网上搜索最新参考文献,董宇晓女士热心协助馆际借阅图书资料,在此一并表示诚挚的感谢。同时衷心感谢参与本项研究的科技人员在野外考察和实验室工作中付出辛勤劳动并做出重要贡献。

目 录

序	
前言	
第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 关于油源孢粉学	2
一、对象和目的	3
二、原理和方法	3
三、回顾和展望	4
第二章 地质背景	7
第一节 油气田形成的地质条件	7
一、生储盖组合	7
二、油气生成、运移和聚集	7
三、油气藏及其类型	8
第二节 内陆含油气盆地	8
一、塔里木盆地	8
二、准噶尔盆地	15
三、吐鲁番-哈密盆地	19
四、柴达木盆地	21
五、酒泉西部盆地	23
第三节 沿海陆架含油气盆地	25
一、辽河盆地	25
二、北部湾盆地	26
三、珠江口盆地	28
第三章 原油中的孢子花粉化石	30
第一节 材料来源和分离方法	30
一、材料来源	30
二、分离方法	30
第二节 塔里木盆地	31
一、塔北隆起	31
二、库车拗陷	39
三、西南拗陷	41
第三节 准噶尔盆地	48

一、东部拗陷	48
二、南部拗陷	57
第四节 吐鲁番盆地	63
一、七克台油田	63
二、胜金口油田	67
第五节 柴达木盆地	69
一、北缘块断带	69
二、茫崖拗陷带	73
第六节 酒泉西部盆地	79
一、老君庙背斜带	79
二、白杨河单斜带	81
第七节 渤海湾辽河盆地	81
第八节 南海陆架盆地	83
一、北部湾盆地	83
二、珠江口盆地	85
第四章 原油孢粉集合与油源岩判识	88
第一节 原油孢粉集合的定义和分类	88
一、定义	88
二、分类和特征	88
第二节 塔里木盆地	89
一、塔北隆起	89
二、库车拗陷	95
三、西南拗陷	97
第三节 准噶尔盆地	102
一、东部拗陷	102
二、南部拗陷	106
第四节 吐鲁番盆地	108
一、七克台含油区	108
二、胜金口含油区	110
第五节 柴达木盆地	111
一、北缘块断带	111
二、茫崖拗陷带	113
第六节 酒泉西部盆地	116
一、老君庙背斜带	116
二、白杨河单斜带	118
第七节 辽河盆地	118
第八节 北部湾盆地	118
第九节 珠江口盆地	120

第五章 孢粉化石颜色与油源岩质量	123
第一节 孢粉化石颜色与有机质成熟度	123
第二节 有机质类型和成熟度与生油气潜力	125
第六章 石油有机成因论的孢粉学证据	128
第一节 孢粉素与石油起源	128
第二节 沉积岩储层原油中的孢子花粉化石	129
第三节 火成岩油滞原油中的孢子花粉化石	130
第七章 油气源岩形成环境	132
第一节 孢粉化石的亲缘关系	132
第二节 古生态与古气候	137
第三节 古生态与古地理	141
第四节 沉积环境与油气源	143
第八章 油气运移机理	147
第一节 初次运移	147
一、初次运移的通道	147
二、初次运移的相态	148
第二节 二次运移	149
一、二次运移的通道	150
二、二次运移的相态与流动类型	151
三、二次运移的方向、路线和距离	152
第三节 油气藏形成的时间和期次	153
第九章 陆相油源岩的时空分布	154
第一节 内陆含油气盆地	154
第二节 沿海陆架含油气盆地	155
结束语	157
参考文献	159
英文摘要	167
图版说明	192

Contents

Foreword

Preface

Chapter 1 Introduction	1
Section 1 Outline	1
Section 2 On palynology of petroleum source	2
1. Objects and purposes	3
2. Principles and methods	3
3. Review and outlook	4
Chapter 2 Geological Background	7
Section 1 Geological conditions for oil-gas field formation	7
1. Complex of source rock, reservoir rock and seal rock	7
2. Generation, migration and accumulation of petroleum	7
3. Petroleum deposit and its classification	8
Section 2 Inland petroliferous basins	8
1. Tarim Basin	8
2. Junggar Basin	15
3. Turpan-Hami Basin	19
4. Qaidam Basin	21
5. West Jiuquan Basin	23
Section 3 Coastal shelf petroliferous basins	25
1. Liaohe Basin	25
2. Beibu Gulf Basin	26
3. Zhujiang Mouth Basin	28
Chapter 3 Fossil Spores and Pollen in Crude Oils	30
Section 1 Materials and methods	30
1. Materials	30
2. Methods	30
Section 2 Tarim Basin	31
1. North Tarim Upheaval	31
2. Kuqa Depression	39
3. Southwest Tarim Depression	41
Section 3 Junggar Basin	48

1. East Junggar Depression	48
2. South Junggar Depression	57
Section 4 Turpan Basin	63
1. Qiktim oil-field	63
2. Shengjinkou oil-field	67
Section 5 Qaidam Basin	69
1. North Border Block-fault Zone	69
2. Mangnai Depression	73
Section 6 West Jiuquan Basin	79
1. Laojunmiao Anticlinal Zone	79
2. Baiyanghe Monoclinical Zone	81
Section 7 Liaohe Basin of Bohai Gulf	81
Section 8 Shelf Basins of South China Sea	83
1. Beibu Gulf Basin	83
2. Zhujiang Mouth Basin	85

Chapter 4* Petroleum Sporo-pollen Assemblages and Judgment of Petroleum

Source Rocks	88
Section 1 Definition and classification of petroleum sporo-pollen assemblage	88
1. Definition	88
2. Classification and character	88
Section 2 Tarim Basin	89
1. North Tarim Upheaval	89
2. Kuqa Depression	95
3. Southwest Tarim Depression	97
Section 3 Junggar Basin	102
1. East Junggar Depression	102
2. South Junggar Depression	106
Section 4 Turpan Basin	108
1. Qiktim petroliferous province	108
2. Shengjinkou petroliferous province	110
Section 5 Qaidam Basin	111
1. North Border Block-fault Zone	111
2. Mangnai Depression	113
Section 6 West Jiuquan Basin	116
1. Laojunmiao Anticlinal Zone	116
2. Baiyanghe Monoclinical Zone	118
Section 7 Liaohe Basin	118
Section 8 Beibu Gulf Basin	118

Section 9	Zhujiang Mouth Basin	120
Chapter 5	Spore/Pollen Fossil Coloration and Petroleum Source Rock Quality	123
Section 1	Spore/pollen fossil coloration with organic material maturity	123
Section 2	Organic material type and maturity with hydrocarbon generation potential	125
Chapter 6	Palynological Evidence for Organic Petroleum Origin Theory	128
Section 1	Sporopollenin and petroleum origin	128
Section 2	Fossil spores and pollen in crude oils from sedimentary rock petroleum reservoirs	129
Section 3	Fossil spores and pollen in crude oils from igneous rock petroleum pool ...	130
Chapter 7	Environment for Formation of Petroleum Source Rocks	132
Section 1	Botanical relationships of dispersed spores and pollen	132
Section 2	Paleoecology and paleoclimate	137
Section 3	Paleoecology and paleogeography	141
Section 4	Sedimentary environment and petroleum source	143
Chapter 8	Mechanisms of Petroleum Migration	147
Section 1	Primary migration	147
1.	Passages of primary migration	147
2.	Phase states of primary migration	148
Section 2	Secondary migration	149
1.	Passages of secondary migration	150
2.	Phase states and flow types of secondary migration	151
3.	Direction, route and distance of secondary migration	152
Section 3	Period and time of formation of petroleum deposit	153
Chapter 9	Geochronic and Geographic Distribution of Nonmarine Petroleum Source Rocks	154
Section 1	Inland petroliferous basins	154
Section 2	Coastal shelf petroliferous basins	155
Concluding Remarks		157
References		159
Summary		167
Explanation of Plates		192

第一章 绪 论

第一节 概 述

孢粉学是研究孢子和花粉的科学,孢子是隐花植物即孢子植物的孢子,花粉是高等植物即种子植物的花粉,两者均为植物的生殖细胞。异孢植物的小孢子为雄性,直径为 $20\sim 100\mu\text{m}$;大孢子为雌性,直径 $200\mu\text{m}$ 以上。花粉是雄性生殖细胞,直径一般为 $10\sim 50\mu\text{m}$,松柏类花粉粒较大,可超过 $100\mu\text{m}$ 。由于孢子花粉在沉积物中含量丰富,比植物的其他部分容易保存,又有特殊的构造和外壁纹饰可作为属种鉴定的依据,因此孢粉化石是特别有价值的显微化石。19世纪中期至末期,C.A.Weber等在瑞典晚冰期泥炭沉积中发现大量孢粉化石,使斯堪的纳维亚(Scandinavia)成为早期孢子花粉研究的中心。1916年,瑞典学者L. Von Post关于沼泽上森林乔木花粉定量研究论文的发表,宣告了花粉分析(pollen analysis)的诞生。此后,孢子花粉形态描述和系统分类工作在欧美得到广泛推广。1944年H.A.Hyde和D.W.Willems提出以孢粉学(Palynology)作为这一新兴学科的名称。1950年在瑞典斯德哥尔摩(Stockholm)召开的第7届国际植物学大会上,孢粉学家着手筹备国际孢粉学会。1962年在美国亚利桑那(Arizona)大学举行第一届国际孢粉学会议,以后每四年或五年举行一次国际会议,交流各国孢粉学家的最新研究成果。会议研讨内容包括形态学、分类学、进化学、生态学、生理学、生物化学、生物地层学、古气候学、古地理学、大气生物学、蜂蜜花粉学以及数据处理模式等。

新中国成立后,随着石油工业、煤炭工业和地质勘探的蓬勃发展,孢粉学在我国得到迅速发展。20世纪50~70年代在全国建立了上百个孢粉实验室,有数百人从事孢粉学研究,许多高等院校地质系和植物系设有孢粉学课程。1979年在天津举行我国第一届孢粉学讨论会,成立中国孢粉学会,公推中国科学院院士、我国孢粉学开拓者徐仁教授为理事长。参加这次会议的代表约200人,讨论内容涉及孢粉形态学、孢粉地层学、海洋孢粉学和孢粉分析技术等。以后每四年举行一次全国孢粉学研讨会,交流研究成果和工作经验。中国科学院院士、植物胚胎学家和孢粉学家王伏雄1953年在主持中国科学院植物研究所植物形态研究室时将孢粉学列为重要课题,在观察450种植物花粉形态基础上,结合国内外相关资料,对描述孢子花粉形态的专用术语做了订正,并详细介绍了研究孢粉的技术和方法。在王伏雄教授指导下,中国科学院植物研究所成为现代孢子花粉研究的中心。1960年由王伏雄主编的《中国植物花粉形态》专著问世,这是我国第一部描述花粉形态的著作。书中详细描述了118科900属1400多种种子植物的花粉形态特征,并配有精细的线图和清晰的花粉照片图版,对某些科属中难以区分的花粉编制了检索表。1995年该书再版时又增加了植物地理分布和生态环境等新内容。1976年由中国科学院植物研究所孢粉组编著的《中国蕨类植物孢子形态》专著出版,这是我国第一部描述孢子形态的著

作。书中系统描述了 52 科 174 属约 1000 种蕨类植物的孢子形态特征,并在一些科中加入有关化石孢子资料,配有孢子类型插图 119 幅,现代孢子照片图版 89 幅,化石孢子照片图版 12 幅。这两部专著为化石孢子花粉鉴定提供了重要依据,同时为植物分类、系统发育和演化、古地理、古气候和古植被等研究提供了孢粉学依据。此外,王伏雄院士任主编的《植物学报》和《Chinese Journal of Botany》还热心刊登孢粉学论文,及时向国内外介绍我国孢粉学研究成果。古植物学家和孢粉学家徐仁教授自 50 年代开始在中国科学院古生物研究所和中国地质科学院地质研究所培养了大批孢粉学科技人员,开展古生代、中生代和新生代孢粉学研究,形成古孢粉学研究的中心。研究成果主要发表在《古生物学报》和《微体古生物学报》上,有代表性的系统研究成果被收入《中国古生物志》。例如:“根据孢粉组合推论甘肃酒泉下惠回堡系底部的地质时代”(徐仁、周和仪,1956a),“根据孢粉组合推论甘肃酒泉下惠回堡系顶部的地质时代”(徐仁、周和仪,1956b),“根据孢粉组合推论湖南汝城文明司红色岩系的地质时代”(徐仁,1958),“甘肃酒泉第三纪红色岩系的孢子花粉组合及其在地层学和植物学上的意义”(宋之琛,1958),“云南富源晚二叠世—早三叠世孢子花粉组合”(欧阳舒,1986),“川中晚三叠世孢粉”(张璐瑾,1984),“塔里木盆地库车凹陷三叠纪和侏罗纪孢粉组合”(刘兆生,2003),“广东三水盆地白垩纪—早第三纪孢粉组合”(宋之琛等,1986)等。与此同时还出版了多部专著,例如:《陕甘宁盆地中生代地层古生物》(中国地质科学院地质研究所,1980),《新疆吉木萨尔大龙口二叠、三叠纪地层及古生物群》(中国地质科学院地质研究所、新疆地矿局地质科学研究所,1986),《新疆北部石炭纪—二叠纪孢子花粉研究》(欧阳舒等,2003),《柴达木盆地第三纪孢粉学研究》(青海石油管理局勘探开发研究院、中国科学院南京地质古生物研究所,1985),《江苏地区白垩纪—第三纪孢粉组合》(宋之琛等,1981)等。以上著作描述了数以千计的孢子花粉属种,包括许多新属新种,建立了各地质时期的孢粉组合序列,为地层划分对比提供了重要依据;并根据孢粉组合探讨了古植被、古气候、古地理、植物群的发展和演替以及植物地理分区等问题。我国孢粉学的研究成果在国民经济建设中发挥了积极的作用,同时为相关基础理论和应用科学研究奠定了坚实的基础。

第二节 关于油源孢粉学

学科的发展必然会产生若干分支学科。孢粉学的发展产生了古孢粉学(Paleopalynology)、空气孢粉学(Aeropalynology)、蜂蜜孢粉学(Melissopalynology)等分支学科。古孢粉学研究地质时期沉积岩中的孢子花粉,目的是研究地质年代学、生物地层学和古生态学(Traverse,1988)。空气孢粉学是研究大气中花粉孢子的孢粉学,目的是研究和改善生态环境以及花粉过敏症防治等(Hyde,1969)。蜂蜜孢粉学是研究蜂蜜中的花粉所提供的蜜源信息,目的是评价和提高蜂蜜的产量和质量(Lieux,1972)。为了确定一个含油气盆地或含油气区的油气源岩,为油气资源评价和预测提供孢粉学依据,在长期科学实验中逐渐形成了油源孢粉学(江德昕、杨惠秋,1983b)。什么是油源孢粉学,孢粉学的这一分支学科有什么前景?本节乃至本书正是为了回答这个问题。

一、对象和目的

油源孢粉学 (Palynology of Petroleum Source) 研究的对象是石油中的孢粉型 (palynomorphs in petroleum), 即原油和石油伴生天然气及油田水中的孢子、花粉和菌藻类等显微化石。在研究石油中的孢粉型时, 还必须同时研究潜在的油源岩系岩石中的孢粉型, 在这里沉积岩中的孢子花粉化石是油源对比的依据。显然, 古孢粉学是油源孢粉研究的基石。

油源孢粉学的目的是判识油气源岩, 预测勘探目的层, 为油气资源远景评价和勘探部署提供科学依据。油气源岩年龄、石油成因和油气运移机理等相关理论的研究归根结底都是为了这一目的。长期以来, 人们直接认识的只是储油岩, 而真正生成石油的油源岩则是假定的, 识别油源岩的可靠标志需要探索追求。对油气源岩的正确判断是评价区域含油气远景和决定油气资源勘探部署的重要依据, 是寻找大油气田的关键。因此, 油气源岩判识对于找油找气是至关重要的前提。

二、原理和方法

石油中常常含有各种孢子、花粉和单细胞藻类化石, 这些显微化石可以为油源研究提供大量可靠的信息。孢子、花粉和藻类既是形成油气的原始物质, 又可保存为完整的化石, 这种性质为判识油气源岩提供了其特有的作用。埋藏在源岩中的孢子、花粉和单细胞藻类为油气生成提供了油质和胶质等有机物质, 同时残留下耐高温高压和抗酸碱、抗微生物腐蚀的外壁。孢子花粉这种特殊坚固的外壁在经历有机质转化为油气的热变作用和漫长的油气运移过程后, 仍能保存原有的结构和纹饰。因此, 人们能够正确地鉴定原油中孢粉化石的属种, 进而判断油气源岩的地质年代和层位及其形成环境。Chepikov 和 Medvedeva (1971) 根据油气运移模拟实验证明了植物显微化石不仅能和石油一起运移, 而且能和天然气一起运移, 经过运移的孢子花粉化石在形态上没有任何可察觉的变化。与储油层不同地质年代的孢子花粉化石在原油中的出现, 也说明孢粉化石可以和油气一起运移, 反映自然界孢子花粉化石随油气运移的过程和结果。

Hunt (1979) 质疑用孢粉化石测定油源岩年代, 认为孢子花粉直径太大, 不能通过油气源岩孔隙运移出来。笔者认为问题的关键在于油气初次运移的通道, 孢子花粉即使不能通过源岩孔隙运移出来, 仍然可以通过源岩的微裂隙被排驱出来。因为烃类的生成是产生异常高压的重要原因, 由异常高压产生的微裂隙是油气初次运移的重要通道 (李明诚, 2004)。而且, 孢子花粉化石还具有坚韧性和可塑性, 既轻又薄, 既能卷曲又能伸展, 在运移中具有很强的通过能力。当烃流较强时, 遇到狭窄通道, 孢粉化石可以被挤压成褶皱状态通过, 运移通道一旦开阔起来, 被压皱的孢粉化石又可以伸展开来, 恢复原状 (江德昕、杨惠秋, 1991)。

根据石油生成、运移和聚集理论, 油藏中所汇集的孢粉型不外乎来自烃源层、运载层 (carrier bed) 和储集层, 即来自油源岩系、运移途经岩系和储油岩系。根据显微化石判识