

中国东部中—新元古界 地质学与油气资源



孙 枢 王铁冠 / 主编



科学出版社



中国东部中—新元古界 地质学与油气资源

孙 枢 王铁冠 主编



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要内容包括全球中—新元古代地层层序,中国东部中—新元古代地层、生储盖层发育与沉积背景,中国东部中—新元古代沉积盆地发育的地质构造背景与岩浆活动以及中国东部中—新元古界油气富集成藏、保存条件与资源前景。本书分为四篇 24 章。第一、二篇共计九章,综述了中国东部不同地区元古界地层框架、沉积环境和生—储—盖层发育特点;总结了中—新元古界的同位素年代学研究进展;分别综述了燕山和南华北元古界的地层框架和沉积环境背景,对燕山地区发育的生—储—盖层作为重点阐述;重点讨论了埃迪卡拉系(震旦系)中广泛发育的烃源层分布与沉积环境背景;为了揭示元古宙地球—生命系统与显生宙的明显差异,分别从有机分子地球化学和生物地球化学的角度对全球元古代烃源岩的特征和发育的地球环境背景进行了综述。第三篇共计六章,综述了中国东部中—新元古代沉积盆地的区域构造背景,讨论了地壳多期伸展事件对沉积盆地的制约;讨论了伸展盆地及其与 Nuna 超大陆的联系;从岩浆活动探讨了华南的构造演化;论述了燕山地区大规模辉长岩—辉长辉绿岩—辉绿岩的地球化学研究成果;研究了华北罗迪尼亚泛大陆的裂解与燕山下马岭组发育烃源岩的内在联系。第四篇由八章内容组成,涉及中—新元古界的油气资源问题,综述了中—新元古界油气资源的全球性分布状况;研究了华北燕山地区烃源岩、油源与油气成藏研究;论述了南华北始寒武系的烃源与成藏条件;讨论了四川始寒武系的含油气性与天然气勘探前景。

本书可供从事前寒武系地质学、地球化学基础性研究以及从事中—新元古界油气资源应用基础性研究的科研人员、高等院校教师和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国东部中—新元古界地质学与油气资源 / 孙枢, 王铁冠. —北京: 科学出版社, 2016

ISBN 978-7-03-047923-5

I. ①中… II. ①孙…②王… III. ①中新世—地质学—中国—文集②中新世—油气资源—中国—文集 IV. ①P534.62-53②TE155-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 061171 号

责任编辑: 韦 沁 韩 鹏 胡晓春 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 肖 兴 / 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>

北京利丰雅高长城印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

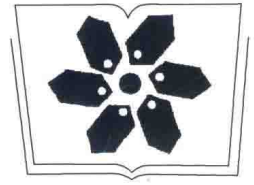
2016 年 5 月第 一 版 开本: 889×1194 1/16

2016 年 5 月第一次印刷 印张: 36 1/2

字数: 1 170 000

定价: 468.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



中国科学院科学出版基金资助出版



第444次香山科学会议“中国东部中—新元古界沉积地层与油气资源”与会人员合影



第444次香山科学会议“中国东部中—新元古界沉积地层与油气资源”四位执行主席
(前排右一孙枢院士、右二王铁冠院士、右三钟宁宁教授、右四朱茂炎研究员)



第444次香山科学会议会场一角



孙枢院士



王铁冠院士



翟明国院士



彭平安院士



钟宁宁教授



朱茂炎研究员



朱士兴研究员



韩克猷高级工程师



刘德良教授



储雪蕾研究员



高林志研究员



张世红教授



张水昌教授级高级工程师



刘鹏举研究员



罗顺社教授



张传明研究员



李献华研究员



王春江副教授



王兰生教授级高级工程师



陈振岩教授级高级工程师



苏犁教授



孟庆任研究员



李振生副教授



刘岩博士

自序

2011年11月上旬一个会议的间歇时间,我同王铁冠院士一起谈到国内外元古宙石油天然气地质研究的一些动向,并主张组织一次“香山科学讨论会”就这一问题在国内地质界作一次广泛的研讨。后经王铁冠院士同有关学者交换意见和积极筹划,邀请前寒武纪地质学(元古宙古生物、地层、沉积、构造、岩浆岩、无机和有机地球化学)和油气地质学方面的专家46人,于2012年11月中旬举行了以“中国东部中—新元古界沉积地层与油气资源”为主题的“第444次香山科学会议”。与会者一致认为,这次会议对相关科学问题作了深度交流与讨论,开得很成功;在会议结束时一致主张合作撰写一部学术专著,以推动今后的科学研究和学术交流。经过主编王铁冠和全体作者两年九个月的辛勤笔耕,这部约百万字的论著已经呈现在我们面前,对此我由衷地感到高兴。

专著分为四篇24章。四篇主要内容包括全球中—新元古代地层层序与划分,中国东部中—新元古代地层、生储盖层发育与沉积背景,中国东部中—新元古代沉积盆地发育的地质构造背景与岩浆活动以及中国东部中—新元古界油气富集成藏、保存条件与资源前景。在这四篇之内,又以不同的科学问题和地区分章展开阐述和讨论,内容丰富,观点明确,反映了近期以来国内外研究的基本进展,包括华北和扬子地区中—新元古代地层、沉积、构造演化历史与若干重大地质事件,石油天然气地质学等基本问题与世界各地已发现的油气田概况,以及对华北和扬子地区中—新元古界油气远景的分析,等等。

谈到我国中—新元古代地质,我们会很自然地回忆起1924年李四光等在三峡地区首次建立的南方“震旦系”地层系统,1934年高振西等在蓟县建立的北方“震旦系”地层系统。此后随着地质科学研究工作的发展,了解到相当地层在我国的广泛分布,确立北方和南方“震旦系”的先后关系及其进一步的划分和全球对比,并且逐渐更新对我国晚前寒武纪地质演化历史的判断。近年来,同位素年代学数据对年代地层学提出了许多新见解,尽管还存在这样那样的分歧,但在我国中—新元古界的深入全面研究与全球范围的对比以及重大地质事件研究等方面不断取得新的进展。本专著力图反映当前国内学术界的这些研究进展,我认为是相当成功的。

为便于广大地质工作者和在校学生熟悉我国东部中—新元古界地质学,本书的有关章节对中—新元古界地层划分、组段命名、层序框架、同位素年代学测定、地层接触关系、雪球地球时期的冰期划分、构造运动、岩浆活动等地质学研究沿革与进展现状,以及全球与中国中—新元古界油气资源现状,均有综合性的论述。书中依据我国元古宙地层年代学研究的最新进展,将原来置于 Pt_3 新元古界青白口系下部的下马岭组地层,划归 Pt_2 中元古界待建系,同位素年龄为1400~1323 Ma;但在下马岭组至中元古界顶界(年龄现设定为1000 Ma)的地层柱中,还缺失 Pt_3^4 (1323~1000 Ma)的地层记录,有待于今后的地层研究工作来弥补。

对晚前寒武纪地质与化石能源这一当代世界热点战略问题的讨论,自然也是题中之意。我们不难理解,20世纪前期,国内外一般都不考虑将前寒武系作为油气勘探的目的层。我国1942年黄汲清等开始的威远构造震旦系油气勘查活动,可能是这方面早期的工作之一,但限于技术条件直到1964年才获得有商业价值的天然气田。20世纪70年代,王铁冠、张一伟、赵澄林等对华北燕辽裂陷带“震旦亚界”的油气地质勘查与资源潜力研究,也应该视为我国较早开展古老地层油气地质研究活动的代表性工作。

目前认为,前寒武系烃源岩的发育主要集中在2.76~2.67 Ga、2.0 Ga、1.5~1.4 Ga、1.0 Ga、0.7~0.6 Ga以及0.6~0.5 Ga等时间段。本专著涉及的油气系统,大体上对应于1.5 Ga以来的几个时间段,通常认为这个时间拐点之后,油气形成与资源保存的可能性较大,也就是本专著所强调的中—新元古代。已知这个时期世界最著名的油气田产自东西伯利亚的里菲系和文德系,对它们的勘查工作主要始于20世纪70年代,油气田的开发则从20世纪80年代开始;再有的当数阿拉伯半岛阿曼产自新元古代侯格夫超

群的油田。我国四川威远气田以及安岳气田（高石梯、磨溪区块）的新元古界—下寒武统特大型气田，亦因其重要商业价值受到国际的关注。

从全球石油天然气资源的现有统计资料来看，中—新元古界的油气储量仅占 1% ~ 2%，远不能同显生宙相提并论，但具体到一个油气田的经济价值而言，又绝对不容产业界忽视。国际上业界经过多年研究后认为，北非、西亚的新元古代油气资源潜力，已日益提升到受重视的地位。

前已述及，四川威远、安岳（高石梯、磨溪区块）一带已获得具有可观探明储量的特大型气田，而我国其他地方还有新元古界分布。我国北方中元古界分布广泛，燕辽裂陷带的北部坳陷带油苗、固体沥青点随处可见，业已查明发育有良好的烃源层，因此在华北寻找原生油气藏无疑应当进入业界的视野。本专著的有关章节在汇总已有数据和分析地质条件的基础上，对一些地带提出的油气潜力评价和建议，将在今后的实践中接受检验，而科学见解就是在不间断的、循环往复的质疑中前进的。

作为“第 444 次香山科学会议”的组织者以及本专著手稿的早期阅读者之一，我相信本书将在今后我国东部中—新元古代地质学和油气资源的研究中发挥积极的作用！



2015 年 8 月

前 言

Menchikoff (1949) 和 Pruvost (1951) 最初将含三叶虫地层以下的下寒武统底部, 至不整合于岩浆岩或变质岩结晶基底之上的地层, 笼统地称为“底寒武系”(Infracambrian); 现今“底寒武纪”也经常作为早寒武世至新元古代, 乃至中元古代期间的泛称 (Smith, 2009)。由于当初“底寒武系”归属于不含生物化石的“哑层”, 因此在 20 世纪 50 年代普遍认为, 前寒武系不可能含有烃类沉积 (Dickes, 1986)。

最近五十年来, 随着科学界对地球早期生命的研究进展, 不仅证明了元古宙生物的多样性, 也为中—新元古界含油气性的物质基础提供了科学依据。同时全球中—新元古界地质学研究也已取得长足进展, 在油气勘探方面更有了突破性的重要发现。事实证明, 在中—新元古界沉积地层中, 不仅确实富含有机质, 而且还形成了众多油气苗与大型沥青脉, 特别是 20 世纪 70 年代以来, 全球一些地区 (如俄罗斯东西伯利亚克拉通、我国四川乐山—龙女寺古隆起、安曼和印度等) 总计业已发现数十个油气田, 探明的油气储量可达到亿吨级至十亿吨级油当量的规模, 并且具有日产百万立方米级天然气的产能。

目前中—新元古界的油气资源潜力业已引起国际地质界的密切关注, 以致英国伦敦地质学会于 2006 年 11 月专门召开国际性学术会议 “Global Infracambrian Petroleum System Conference” (全球底寒武系油气系统会议), 以总结当前对全球广泛分布的新元古界—下寒武统油气系统的认识, 会议试图强调对北非新元古界值得给予较以往更多的关注。2009 年会议主办方以“(伦敦) 地质学会 326 号专门出版物”的方式, 出版会议论文专辑 *Global Neoproterozoic Petroleum System: The emerging potential in North Africa* (全球新元古界油气系统: 在北非萌现的潜力), 力图表明“底寒武系”将是北非、中东油气勘探的一个新篇章, 新元古界—下寒武统是一个具有挑战性的油气勘探前沿领域。此后, 伦敦地质学会又针对亚洲 (2013 年出版) 和北美等地区陆续汇编出版同名专辑。

中国是全球中—新元古界沉积地层发育最为完整的国家之一, 也是研究中—新元古界地层最早的国家。早在 1924 年李四光先生在长江三峡以及 1934 年高振西先生在燕山蓟县最先建立了我国南方和北方的“震旦系”地层剖面, 在国际上产生很大影响, 在相当一段时期内, 其成为国际地质界进行前寒武纪地层对比的标志性剖面。我国前辈地质家们祈望在国际地层年代表上, 确立以“震旦系”命名的一个地层年代单位。令人遗憾的是, 由于“文革”十年浩劫, 我国在生物地层学、年代地层学、沉积学、古地磁学、古海洋学等诸多学科领域的研究停滞不前, 影响到对我国中—新元古界地质学的深化研究, 也与国际同行差距拉大, 致使前辈地质家的心愿未能实现。

但是, 从 20 世纪 70 年代以来, 我国地质界对中—新元古界的生物地层学、层序地层学、年代地层学、寒武系生物大爆发事件、活动论构造古地理重建以及油气地质学—地球化学等不同地质学科范畴与跨学科的交叉研究, 业已取得重大进展。在沉积地层层序上, 业已建立起我国南北方统一的中—新元古界地层框架, 从古到新确立了长城系、蓟县系、待建系、青白口系 (华北北部)、南华系和震旦系 (南华北与华南) 六个系级地层单元, 并初步建立了国内外同期地层的对比关系, 从而有利于在新的地层框架中研究我国油气的分布, 进行资源潜力的预测。但迄今在区域地层分布对比、精确地质年代的系统厘定等方面, 仍存在诸多问题有待深入研究。我国中—新元古代古海洋学、沉积—古地理学与区域构造地质学等方面的研究, 也将有助于深入探讨与认识中—新元古界油气资源的形成、演化与保存、生油层—储集层—盖层发育与地质演化背景。

尤其是在扬子克拉通四川盆地乐山—龙女寺古隆起上, 继 1964 年发现震旦系威远大气田之后, 近期又相继发现震旦系—下寒武统安岳大气田, 获得百万立方米级的高产气流, 万亿立方米级的天然气三级储量。此外, 通过几十年的野外勘查, 在川西北龙门山和华北燕辽裂陷带, 分别发现下寒武统大型沥青脉和中元古界众多“活”油苗。但是较之国外同类研究, 我国的中—新元古界研究不仅面临地层更为古老、地质年龄跨度

长达 13 亿年之久问题, 而且又有相当大的面积分布于复杂地质构造与有机质高演化地区, 不利于液态石油的保存。如何正确评价我国中—新元古界油气资源的分布规律, 是一个迫在眉睫的问题。

因此, 研究我国中—新元古界油气资源问题, 既具有地层发育齐全、前人科研积淀深厚的有利条件, 又面临地层更加古老、地质条件更为复杂的挑战, 同时也存在着更宽阔的科研创新机遇。为此于 2012 年 11 月 13~15 日, 我们申请并召开了“第 444 次香山科学会议”, 组织国内有关中—新元古界地层学、沉积学与泛大陆地质构造研究与油气地质学—地球化学领域的专家, 作了一次当前各个学科研究进展与科研成果的总结与交流, 通过跨系统、跨学科、跨专业的学术交流与研讨, 促进各方面科研的深化发展。会议邀请中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院南京地质古生物研究所、中国科学院广州地球化学研究所、中国地质科学院地质研究所、天津地质矿产研究所、核工业北京地质研究院、中国石油勘探开发研究院、中国石油咨询中心、中国石油西南油气田公司、中国石油辽河油田公司、中国石化石油勘探开发研究院、北京大学、中国科技大学、南京大学、中国地质大学(北京)、长江大学、合肥工业大学、国家自然科学基金委员会、香山科学会议和中国石油大学(北京) 20 个单位从事相关研究的 46 位专家与会研讨。

此次香山科学会议由香山科学会议理事会批准、香山科学会议办公室主办, 中国石油大学(北京) 油气资源与探测国家重点实验室作为依托单位, 承办会前的大量专业性筹备、会议期间的业务性服务以及会后专著出版撰写的技术性工作。在此我们谨向香山会议理事会、香山会议办公室以及中国石油大学(北京) 油气资源与探测国家重点实验室的领导和同事们致以由衷的感谢。同时感谢朱茂炎、钟宁宁两位教授作为此次香山会议的执行主席, 邱楠生教授、宋到福博士作为会议学术秘书, 对会议成功举行与专著顺利出版所做出的诸多重要贡献。

香山科学会议与会专家们一致希望以此次会议为契机, 组织国内更多的前寒武纪研究者, 以中国东部中—新元古界地质学与油气资源为主题, 作一次深度的总结, 撰写、出版一部综合性研究专著, 以飨国内外的同行研究者。会后针对目前的研究程度, 进一步商定了专著的撰写框架与详细提纲, 全书计划分为地层、沉积、构造与岩浆活动、油气资源四篇共计 24 章, 特邀 22 位与会专家独立或合作撰写, 分头组织各自科研团队的总计百位研究者探讨撰写成文, 经过大家两年零九个月的相互切磋与笔耕, 终于成就了这部约百万字的科研专著, 作为当前我国东部中—新元古界地质学与油气资源研究领域的一部综合性与总结性文献, 奉献给读者。对于来自各个不同部门与单位的百位作者在短短两年多的写作期间表现出来的无私奉献、求同存异、通力合作的协作精神, 严肃、严谨、认真负责的科学态度, 我们深受感动。如若没有群体的努力, 这部专著的问世是难以想象的, 在此谨向全体合作者们表示最深切的谢意。

考虑到这部专著涉猎诸多地质学科, 为便于跨学科交流起见, 凡是书中涉及的外文缩略语或缩写词, 在各章节中首次出现时, 均在括弧内标注中、英文全称, 书后还汇编了主题词分类索引, 以便读者参阅。对于书中论述到的 403 个国外地名以及组成地层或地质构造单元的地名, 均参照《外国地名译名手册》(商务印书馆, 1983 年版)、《世界地名翻译手册》(知识出版社, 1988 年版) 和《世界地名翻译大词典》(中国出版集团中国对外翻译出版公司, 2007 年版) 译成中文。

希望此次香山会议以及会后完成的科研专著, 对于提升我国中—新元古界科学研究的学术水平, 提升我国在前寒武纪科研领域的学术地位与国际影响, 推动与指导我国中—新元古界油气资源的研究与勘探, 能够贡献一点绵薄之力。

最后, 在本书出版之际, 我们还要感谢中国科学院科学出版基金、中国石油大学(北京) 油气资源与探测国家重点实验室对出版这部专著的鼎力支持与经费资助, 感谢科学出版社的编辑们对本专著出版所付出的辛勤劳动。

中国石油大学(北京)



2015 年 8 月 31 日

目 录

自序
前言

第一篇 中—新元古代地层层序与划分

第1章 全球新元古代沉积地层研究现状	3
1.1 引言	3
1.2 新元古代地球历史特征	3
1.3 新元古代地层划分沿革	6
1.4 新元古代地层学研究现状与展望	11
1.5 全球新元古代沉积地层的发育特征与对比	14
参考文献	19
第2章 中国东部中—新元古代地层同位素年代学研究进展	25
2.1 引言	25
2.2 华北中元古代地层的底界年龄新标定	28
2.3 蓟县剖面缺失 1.2 ~ 1.0 Ga 的 Pt_2^+ 地层	29
2.4 青白口系骆驼岭组和景儿峪组在地层柱中的位置	31
2.5 华南地区江南造山带年代学进展	32
2.6 扬子克拉通“南华系”	41
2.7 华南地区新元古代年代学新认识	42
2.8 结论与讨论	45
参考文献	45
第3章 燕辽裂陷带中—新元古界地层序列和划分	51
3.1 引言	51
3.2 地层研究沿革	53
3.3 地层序列	57
3.4 地层划分依据	73
3.5 《中国地层表(试用稿)》尚存问题	78
3.6 新的建议	82
3.7 基本结论和存在问题	85
参考文献	86
第4章 华南埃迪卡拉纪(震旦纪)生物地层学研究进展	89
4.1 引言	89
4.2 岩石地层序列	89
4.3 碳同位素地层学特征	90
4.4 微体古生物群特征及微化石生物地层序列	91
4.5 宏体生物群特征及其生物地层序列	93

4.6 生物地层序列与年代地层格架建立	97
4.7 结论	97
参考文献	98

第二篇 中—新元古代地层、生—储—盖层 发育与沉积背景

第5章 华南新元古代地层、生—储—盖层发育与沉积环境	107
5.1 引言	107
5.2 新元古代地层框架与构造背景	109
5.3 青白口纪沉积盖层的发育特征及区域对比	110
5.4 南华系发育特征、划分与对比	114
5.5 震旦系发育特征、地层划分与对比	119
5.6 新元古代油气生—储—盖层的发育状况	128
参考文献	130
第6章 元古宙氧化—还原分层海洋与烃源岩的生物地球化学背景	136
6.1 引言	136
6.2 古海洋氧化—还原代指标	137
6.3 元古宙古海洋的氧化—还原	142
6.4 氧化—还原分层的前寒武纪海洋	144
6.5 元古宙烃源岩及生物地球化学背景	147
参考文献	150
第7章 燕辽裂陷带中—新元古界层序地层、沉积相及生—储—盖组合配置研究	158
7.1 区域地质概况	158
7.2 层序地层学格架	159
7.3 沉积环境与沉积相	178
7.4 层序地层格架内生—储—盖组合	189
7.5 结论	191
参考文献	192
第8章 南华北地区中—新元古代地层与沉积背景	195
8.1 引言	195
8.2 南华北地区中—新元古代地层	196
8.3 南华北地区中—新元古代地层对比	200
8.4 南华北地区中—新元古代沉积环境讨论	204
8.5 南华北地区中—新元古代地层生烃潜力分析	204
参考文献	204
第9章 前寒武纪烃源岩特征与发育背景浅析	207
9.1 引言	207
9.2 烃源岩分布及特征	208
9.3 烃源岩发育的规律与可能机制	211
9.4 几个重要问题的讨论	214
参考文献	216

第三篇 中—新元古代沉积盆地发育的 地质构造背景与岩浆活动

第 10 章 元古宙中期 (约 1800 ~ 1300 Ma) 全球伸展盆地及其与哥伦比亚超大陆演化的关系	221
10.1 引言	221
10.2 西伯利亚古陆元古宙中期盆地	223
10.3 印度温迪彦 (Vindhyan) 盆地	228
10.4 北澳大利亚麦克阿瑟 (McArthur) 等盆地	229
10.5 北美贝尔特 (Belt) 盆地	232
10.6 波罗的 (Baltica) 古陆元古宙中期盆地	233
10.7 华北克拉通元古宙中期盆地	235
10.8 哥伦比亚超大陆聚散过程及其对中元古代盆地性质的制约	239
10.9 结论	242
参考文献	242
第 11 章 华北元古宙的多期伸展与裂谷事件	245
11.1 引言	245
11.2 华北克拉通的古元古代末—新元古代主要裂谷与沉积地层	246
11.3 沉积岩碎屑锆石年龄与物源	258
11.4 主要的岩浆活动	262
11.5 华北克拉通多期裂谷事件及其地质意义	274
11.6 结论	276
参考文献	277
第 12 章 华北克拉通北缘中元古代沉积盆地演化	287
12.1 引言	287
12.2 区域地质背景	288
12.3 地层格架	289
12.4 沉积特征	290
12.5 不整合面分析	292
12.6 构造意义	294
参考文献	297
第 13 章 华南新元古代岩浆作用与构造演化	301
13.1 引言	302
13.2 华南前新元古代结晶基底	302
13.3 新元古代岩浆作用的时空分布	304
13.4 新元古代岩浆作用与构造演化	307
13.5 华南与罗迪尼亚超大陆演化的关系	317
参考文献	319
第 14 章 燕辽裂陷带中元古界下马岭组辉长辉绿岩岩床成岩机制与侵入时间	325
14.1 区域地质背景	325
14.2 辉长辉绿岩岩床的岩石学	329
14.3 地球化学特征	332
14.4 成岩年龄: 斜锆石年代学	336
14.5 燕辽裂陷带 1400 ~ 1300 Ma 基性火成岩成岩机制	339
参考文献	341

第 15 章 哥伦比亚超大陆裂解与华北克拉通烃源岩发育的耦合关系	343
15.1 引言	343
15.2 哥伦比亚超大陆裂解事件在华北克拉通的响应	344
15.3 燕辽裂陷带宣龙坳陷下马岭组烃源岩的发育背景	350
15.4 超大陆裂解与烃源岩发育的耦合关系	358
15.5 结论	362
参考文献	362

第四篇 中—新元古界油气富集成藏、 保存条件与资源前景

第 16 章 全球与中国东部中—新元古界油气资源	371
16.1 引言	371
16.2 全球中—新元古界的油气资源	372
16.3 中国东部中—新元古界油气资源	385
16.4 结论	397
参考文献	398
第 17 章 燕辽裂陷带中元古界烃源层与油源	401
17.1 引言	401
17.2 中元古界烃源层段	403
17.3 有机质类型与热演化	413
17.4 中元古界油苗、沥青的烃源分析	417
17.5 结论	429
参考文献	430
第 18 章 冀北坳陷中元古界油气成藏史重建	433
18.1 引言	434
18.2 石油地质背景	434
18.3 冀北坳陷中—新元古界地层沉积—埋藏史重建	437
18.4 冀北坳陷中—新元古界地层热演化史	442
18.5 结论	446
参考文献	447
第 19 章 辽西坳陷中—新元古界生—储—盖组合与油气成藏条件分析	449
19.1 引言	449
19.2 区域地质背景	450
19.3 辽西坳陷中元古界具备大规模成藏基本条件	450
19.4 中—新元古界油苗原生性与古老地层油气勘探新领域	464
19.5 晚期成藏利于油气资源的保存	465
19.6 油气成藏主控因素探讨	467
参考文献	468
第 20 章 南华北地区中—新元古界含油气性分析	469
20.1 引言	469
20.2 区域地质概要	469
20.3 中—新元古界含油气性分析	483
20.4 结论与讨论	491
参考文献	492

第 21 章 南华北地区下寒武统马店组烃源层研究	497
21.1 引言	497
21.2 马店组地质时代和岩性特征	498
21.3 沉积-构造环境和分布特征	502
21.4 烃源岩地球化学评价	503
21.5 烃源岩有效性分析	506
参考文献	507
第 22 章 四川盆地及邻区震旦系含气性与勘探前景	510
22.1 引言	510
22.2 震旦系天然气勘探概况与成果	510
22.3 南华纪地质事件与油气生成	513
22.4 陡山沱组黑色页岩——扬子克拉通潜在的烃源层	515
22.5 灯影组储层特征及其分布	517
22.6 油气成藏问题	521
22.7 勘探前景及勘探目标	524
参考文献	525
第 23 章 四川盆地震旦系天然气地球化学特征与勘探前景分析	527
23.1 震旦系天然气勘探历史回顾	527
23.2 地质构造背景与地层划分沿革	529
23.3 天然气地球化学特征及气源研究	533
23.4 油气运聚特征	539
23.5 四川盆地震旦系天然气勘探前景	539
参考文献	541
第 24 章 川西北龙门山前山带沥青脉的石油地质特征	542
24.1 引言	542
24.2 特殊的地质背景	543
24.3 沥青脉的分布与特征	545
24.4 沥青理化性质和品位	550
24.5 沥青物质来源探讨	551
24.6 大沥青脉的成因机制	557
参考文献	558
附录 主题词分类索引	560