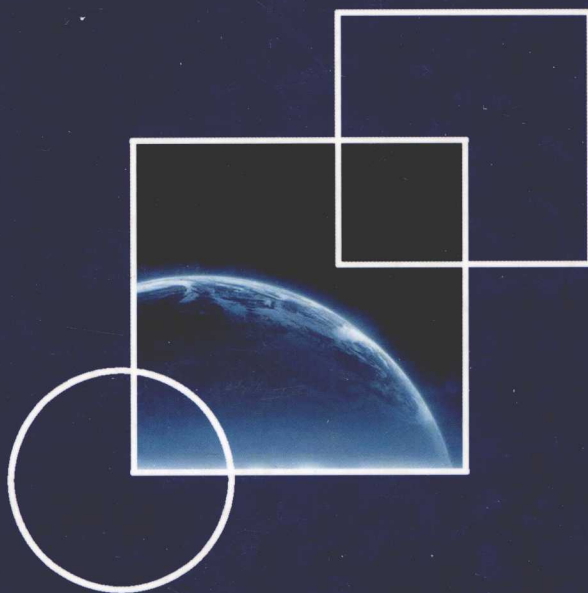


ZHONGGUO YOUQI DIZHI TEZHENG

中国油气地质特征

——小陆拼合 外促压张

王金琪 著



地质出版社

0712500

P618.130.2
600

中国油气地质特征

——小陆拼合 外促压张

王金琪 著



石油大学

0739465

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书旨在研究中国油气地质特征,并探求油气宏观成藏规律。中国大陆三个重要的控油(气)地质发展阶段:一是以早古生代为主的自由陆块阶段,二是以晚古生代为主的小陆拼合阶段,三是以中、新生代为主的陆盆发育阶段。中国大陆在印支运动期基本拼合完成后,由于“焊接”多、稳定性差,并受到其他板块俯冲或挤插叠接的影响,在陆内促发强烈的拉张和挤压。这种状况既有利于晚期油气适时成藏,又普遍改造早期油气藏并使之复杂化。多旋回叠合导致大多数油气藏深埋、重组、致密化、垂向穿层运移活跃,油气藏的次生作用和非常规性也很突出。中国油气资源(尤其是天然气)蕴藏丰富,但今后勘探开发难度将日益增大。

本书全面探讨了中国油气地质理论基础性问题,可供油气勘探、科研、管理工作及高等院校相关专业的研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国油气地质特征/王金琪著. —北京:地质出版社, 2010.4

ISBN 978-7-116-06593-2

I. ①中… II. ①王… III. ①石油天然气地质—研究—中国 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第027095号

责任编辑:刘亚军 夏军宝

责任校对:杜悦

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

咨询电话:(010)82324508(邮购部);(010)82324578(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:889mm×1194mm $\frac{1}{16}$

印 张:23.75

字 数:750千字

版 次:2010年4月北京第1版·第1次印刷

定 价:85.00元

书 号:ISBN 978-7-116-06593-2

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

总结历史经验，加强石油地质
基础建设，结合中国实际，不断
探索创新，丰富发展油气
理论体系。

賀金琪同志新著出版



塞風
一九九二年二月



序 一

中国的油气藏分成有广阔的空间，油气聚集的形式琳琅满目。烃源层和产油气的层位从老至新，几乎每个时代都有。生产油气的岩石，几乎遍及沉积岩、火成岩和变质岩三大类。在沉积岩为主要产层的岩石中，更是陆相、海相地层均富含油气。但总体来说，我国油气生成、运移、聚集、改造、破坏、散失、再运移、再聚集的石油地质历史是非常复杂的。这种丰富多彩的状况，这种繁杂多姿的现象，是什么原因造成的？这种油气地质的特征，受什么因素控制？与国外盛产油气的地域相比，它有什么差异和不同？

本书正想回答上述的一些问题。作者强调油气活动地史观，中国海陆变迁经历多旋回构造、沉积，地史经历复杂，中生代以来地壳活跃、形变剧烈。油气是流动性矿产，受外力的影响、构造的变异，油气不断从生成到破坏，相互叠置，相互融合，形成了十分复杂的景象。

作者从两个大的时间段对多旋回构造、沉积与油气生成、聚集、改造、破坏的关系进行了详尽的描述。一是早古生代至印支运动时期，即自由小陆块活动与拼合时期，这段时期生烃条件良好，油气运移、聚集与圈闭条件良好，形成了一批大型油气田，是我国油气成藏史上最光辉的一页。二是燕山运动以来至第四纪，这个时期有两个非常重要的构造运动，即我国东部的燕山运动和西部的喜马拉雅晚期运动，这两个运动对我国油气地质面貌影响十分强烈，产生了翻天覆地的变化，也成为中国油气成藏的主导因素。由于外力的作用，又由于拼合陆块焊缝多，很不坚固，因此产生了大型的挤压和拉张事件。挤压作用产生俯冲、碰撞，形成了大面积的褶皱、断裂；拉张作用则形成了大面积的裂陷盆地。

早期聚集的油气藏，由于后期构造变化而迁移改造甚至破坏，也可随地温演化由油变气，再由气变质消亡，当然也有比较稳定的地区，受到影响重新改造和保留了部分油气。中期生成与聚集的油气建立了新的成藏体系，包括以陆相为主的成藏体系，但在某些地区新的系统又与老的油气有着千丝万缕的交叉关系。晚期生成与聚集的油气特点是晚期生烃、及时成藏，包括了西部的前陆盆地和东部的年青盆地。我国更广泛的早期、中期的油气活动与晚期成藏的关系也很重要。

作者特别注意“烃源岩”来源的研究，例如被动大陆边缘、裂陷、深水海槽、湖泊、前陆深渊等地域，均作为评价烃源的有利场所。包括早期重要的生烃坳陷，有些被后期构造掩盖或消失。有些曾经形成过的古油藏被破坏，仍进行追踪研究。作者推论了很多大面积的致密砂岩气区，如鄂尔多斯、准噶尔南部等，也提出了致密砂岩的超致密化问题，还提出了油气垂向运移（“烟囱作用”）、异层运聚等观点，都值得广大读者借鉴与参考。

作者是我的老学长，早年大学毕业后，从事野外工作多年，有非常丰富的野外地质经验。他长期致力于油气勘查，在油气地质理论与实践的结合上有很深的造诣，在四川找油找气的过程中做出了重要的贡献。他 1988 年退居二线以来，带着心中思考的问题，广泛阅读地质与油气勘探的资料及文献，并发表了一批内容广泛的论文，作为撰写本书的准备。他从 2002 年开

始撰写《中国油气地质特征》，笔耕7年，得以完稿。

本书观点新颖、明确，文笔流畅，有很强的可读性，可供广大的石油地质勘探和研究人员阅读、研究和参考。当然，本书的某些观点并不能全部取得共识，但可以讨论，可以争鸣，可以存疑，可以丰富和发展，并共同推动中国油气地质特征认识的发展。

中国工程院院士 

2009年2月9日

序 二

我和王金琪先生相识，是在 20 世纪 50 年代地质部矿产普查委员会工作时期。当时，他是四川石油普查大队的技术负责人，我是黄汲清总工程师的助手。1954 年底，地质部奉国务院命令，勘查全国石油资源；1955 年，普查委员会开始了全国性石油普查，即第一轮石油普查，组织了新疆、柴达木、四川、鄂尔多斯、华北、松辽等石油普查大队。从那时起，王先生一直是四川石油普查勘探的主要技术负责人。他 1988 年退居二线后，继续孜孜不倦地探索，研究中国油气地质，完成了《中国油气地质特征》这部著作。

王金琪先生是我国老一辈石油天然气地质学家，长期在第一线指挥油气勘探、开发，既有丰富的实践经验，又有深厚的理论造诣。该书就是他集一生精力对中国油气地质研究的结晶。其最大特点是：它不是从学院式的书本或固有的理论框架出发，而是从中国的地质实际出发，以事实为依据，具体分析中国各个地质时期和各个地区的油气地质情况，总结规律，指导实践。书中处处体现出务实、求真、创新、独具一格的风格。

王金琪先生认为，油气是流动的矿产，其生成、运移、聚集和保存都因时、因地而异。在地史演化曲折、构造环境复杂的中国大陆，油气藏的形成、破坏和保存，情况就更复杂。因此，研究中国油气资源必须高度重视油气地质的时序，用油气活动地史观来统帅，这是全书的指导思想。“控制中国油气主要是地质构造变动”，并将中国地质构造总结为：“小陆块拼合、多旋回、古缝合带再活动以及与之相关的陆内构造运动”，强调西太平洋古陆和印度大陆推挤对中国地质和油气资源的重大影响。

在论述中国油气地质的大地构造背景中，作者强调印支运动的转折意义：印支运动前油气地质构造总体是“舒展宽缓，海相沉积为主，多隆坳，少挤褶，油源非常丰富，各陆块都形成过大型、特大型油田，尤以扬子南缘为最，这是中国石油富集的辉煌阶段”。印支运动以来，“中国构造体制以鄂尔多斯和四川盆地为缓冲区，东西分制”。东部，由于西太平洋古陆向亚洲大陆推挤，导致天翻地覆的燕山运动；西部，印度向亚洲大陆挤播，发生强烈的喜马拉雅运动，从而使中国石油地质面貌彻底改观。燕山运动时期，东部以改造为主，强烈的挤压褶皱、隆升，使许多油气藏遭到极其严重的破坏；西部，以隆坳为主，对油气有相当建树。喜马拉雅运动时期，东部是油藏的重要建设阶段；西部对油气的改造和建树均较突出。喜马拉雅期的大抬升，对云贵高原和西藏的油气资源非常不利。

作者明确表示，不能同意“没有盆地，就没有石油”的提法，指出“中国古生代的含烃沉积，大多不在‘盆内’”。例如四川盆地，早古生代是浅海台地，三面都是较深的水域，只有到了中、新生代，才进入陆相盆地沉积阶段。基于此，他在论述中国油气资源时，并未拘泥于含油气盆地，而是按照地史发展顺序，分出早古生代海相、晚古生代海陆过渡相和中、新生代陆相等几个油气巨系统以及特提斯油气系统，并以这一思路详细论述了各个巨系统油气资源的形成、聚集、成藏过程、远景评价及普查勘探方向。

根据中国地质发展的多旋回性，该书特别强调油气沿断层、裂缝的跨层垂向运移（“烟囱作用”）在中国十分活跃，并以四川、塔里木、准噶尔、吐哈、柴达木北部、河西走廊、松辽、渤海湾等地为例，做了具体分析和说明。他从北美落基山区白垩纪—古近纪致密砂岩含气盆地受到启示，经川西晚三叠世须家河组含气砂岩的研究，到鄂尔多斯古生代大气田的发现，详细论证了中国储层的致密化问题。他指出，今后我国深部天然气勘探中，储层致密和超致密化将更加突出，必须加强这方面的理论和技术研究。

针对青藏高原油气勘探问题，作者指出：“西藏油气资源近期不能估计过高，地史上多期缝合、褶皱、抬升，与中东稳定大陆边缘无共同之处”。“羌塘找到油田是可能的，但不能和中东相，高海拔区勘探难度大，必须实事求是评价和进行相应的研究”。

对中国石油天然气资源的前景，作者认为：“古生界只在新疆有油藏，其他地区可设研究课题，争取有新的进展”。“中、新生界近期仍将是我国石油勘探开发的主要方向，以东部裂陷盆地、西部前陆盆地为基础阵地”。“中国天然气分布广阔，资源丰富，各个地区都有其特色。因为多旋回构造运动，除新生代盆地外，生、储、圈适时常规聚集很少。深埋、隐蔽、致密、次生、非常规等，成为中国天然气聚集的普遍现象，成藏规律复杂、勘探开发难度很大，在战略、战役和战术上，都必须有相应的对策”。

可以看出，《中国油气地质特征》并不是一般意义的学术著作，而是一个资深石油地质学家积数十年之实践、思考，对中国油气地质的深刻剖析和总结。书中的真知灼见，其理论意义和实际应用价值，将会成为我国石油地质工作者不可多得的智慧和财富。我衷心祝贺专著出版发行，同时对我的老学长、老朋友的辛勤劳作和丰硕成果，表示由衷的敬慕。

中国科学院院士 任纪舜

2009年5月18日

前言

我从事石油勘查实践40年，脑中堆积了无数地质问题。长期负责一个地区具有风险的技术工作，精神压力很大，学习时间少。而石油地质理论和技术日新月异，心中时常感到空虚。在职期间，我从未发表过一篇论文。1988年退居二线时，地矿部原副部长塞风同志说：现在解脱了，今后不要只关心四川的事，可到全国多跑跑，考虑中国石油地质有哪些特殊性。这也正是我多年思考的问题。退休后，地矿部有关部门安排我兼任西北石油局技术顾问，并经常参加各地区石油勘探部署讨论会、科研项目评审和有关学术活动。退下来后，我发表了20多篇涉及面较广的论文，作为本书的准备。我从2002年开始撰写《中国油气地质特征》，笔耕7年得以脱稿，初步探讨了中国控油地质理论基础问题。

中国大陆是多旋回构造、沉积的产物，中生代以来地壳活跃、形变剧烈。油气是流动矿产，前期聚集的油气藏，后期由于暴露或断层被破坏、改造；也可随地温热演化由油变气、由气变质消亡；甚至早期气藏由于分子扩散而自然散失。在褶皱基础上叠合新的盆地，既有富烃盆地，也有非烃或烃类未成熟盆地。深部油气可通过断裂垂直运移进入上叠盆地，特别是前陆盆地次生气藏很普遍。上叠盆地由于沉积岩厚度的变化，往往改造下伏盆地早期油气藏，使之迁移、分散甚至消失，如华南、靖边、塔北、川中等地。因此，研究中国油气地质必须强调油气活动地史观。除部分上叠盆地外，都须运用“四维观念”，这是贯穿本书总的创作思路。本书的宗旨是研讨中国油气地质特征和规律，不能不涉及一些基础地质结构问题，只是肤浅运用。可能多有谬误，诚请地质专家指教。

中国大陆是冈瓦纳古大陆裂离碎块，在古特提斯大洋中逐步向欧亚大陆飘移，到印支期古特提斯及分支洋相继封闭，中国大陆基本拼合而成。从小陆块自由状态到逐步靠拢、碰撞，大致经历了整个古生代，有广阔的被动大陆边缘和台缘、斜坡，以及碰撞形成的各种构造变动，对油气生成运聚都非常有利，破坏性则是局部的。因此，印支期（包括燕山初期）正是中国地史上油气藏最辉煌的生成阶段。

但“小陆拼合”的中国大陆主体，焊缝多、稳定性差作为内因，在外力促发下遭受严重变异。“外促压、张”是小陆拼合后的基本构造活动，各有其特殊意义。关于压性方面：古、新特提斯洋封闭后，由于新生洋壳（太平洋、印度洋）快速拉开，先后将太平洋古陆和印度陆块顺着古、新特提斯俯冲带，向中国大陆腹部推挤，导致陆内古缝合带复活再俯冲，岩石圈上、下矛盾激化，先后爆发了罕见的燕山期和喜马拉雅晚期广阔而强烈的陆内构造运动。对我国油气有利有弊，显然弊多利少。本书根据大量地质现象，概括、推理形成“外陆深挤插、陆内古缝合带复活俯冲”系列论点，还需要更多的资料补充或修改甚至否定。

关于小陆拼合后张性方面的三种类型盆地为：太平洋板块俯冲弧后盆地、南海洋壳拉开两侧被动大陆边缘盆地、北方蒙古-鄂霍次克强烈挤压带补偿拉张盆地，都是我国重要的产油区，天然气的远景潜力也很大。

今后我国油气资源大多为深埋、隐蔽、致密、次生、非常规。因此，科研与勘探的思维方式，必须和客观实际相符合。烃藏由于深埋导致储层普遍致密化，本书给以特别关注和阐述，在北美有关“深盆地”的基础上，增加并强调超致密化造成呆矿、死矿的严重性以及部分裂缝

复活的意义。探讨低孔渗、致密、超致密砂岩以及碳酸盐岩储层系列各类气藏形成机理，并希望学术界不要回避和淡化已经面临的复杂问题。

另外，中西部印支期前陆盆地（ T_3-J_2 ）由海相变陆相，有非常丰富的烃源，往往由于喜马拉雅晚期前陆叠加过于深埋，下部原生或被改造的（油）气藏，目前难以探采。但晚期断裂发育，部分天然气垂直上移至浅层形成“次生气藏”，有些已成为中西部油气勘查的一大亮点。这种“烟囱作用”的生、储、圈关系，比常规烃藏复杂得多。还有深部更为丰富的生、储同层资源，其探采的可行性研究，应抓紧进行。如准噶尔南部深坳等地极其丰富烃源的去向和行踪，本书从多方面进行了探索。

笔者长期在一个地区工作，见识浅薄。因此，退休后读书学习是第一任务。中国油气地质最基本特征和主控因素是什么？又如何表达？7年来一直萦挂于脑海之中。学习、思考、辨析，书稿反复修改，仍不甚满意。但个人精力已不允许再拖延，“丑媳妇总得见公婆”。面对专业学者和各地区专家，真是诚惶诚恐，如蒙指点，感激不尽！

在写作期间，承蒙中石化西南石油局、西南油气分公司领导的关心，并安排兰茵同志协助出版事宜；中石化西南油气分公司勘探开发研究院卿淳和廖光伦同志多方协助，深表谢意。在成稿过程中，曾请邻近好友罗志立、郭正吾、金晓华、邓康龄、安风山等审阅，提了许多宝贵意见。在最后定稿中逐条参考修改，增色不少，衷心感谢！在此我还要衷心感激老部长塞风同志对我的鼓励和题词。邱中健院士在百忙中审阅我的文稿，指出原文中生硬的笔风，使我对有些问题能客观分析；他给本书写了很好的序言。特别是任纪舜院士在病休中详细审阅文稿和图件，指出许多重要地质问题；并写了很宝贵的序言。对于上述老领导和老院士的关怀指教，我将铭记在心。在多年写作中，有爱妻李寅的关心照顾，是成书的根本保证；女儿佳眉和儿子一兵都关心鼓励，并在各方面给以支持，一并致谢！

王金琪

2009年12月

目 次

第一章 中国油气地质结构概要	1
第一节 中国大陆深部地质概况	2
一、我国上地幔低速带	2
二、中国大陆深部均衡作用	2
三、地壳厚度变化特征	4
四、地壳与上地幔速度模型和构造稳定性	6
五、中国地热场与油气构造关系	10
六、深部结构与大陆上部构造关系	11
第二节 小陆拼合、多旋回、陆内构造运动	12
一、小陆拼合	12
二、多旋回	15
三、陆内构造	19
第三节 中国含油气沉积区(盆地)结构概述	35
一、盆地型与非盆地型沉积区	35
二、中国主要含烃沉积领域(盆地)	36
第二章 中国油气地质特征与问题	54
第一节 两种油气构造体制(印支运动为转折)	54
一、印支运动的重要转折	54
二、印支运动以前海相油藏的辉煌史	57
三、印支运动以来新构造体制对油气的改造和建树	59
第二节 多期叠合盆地	61
一、下叠大旋回海相沉积体系与展布	63
二、叠合盆地的中间大旋回沉积体系与展布	63
三、上叠陆相盆地与其下主要叠合方式	64
第三节 中国陆相油气	65
一、陆相生烃层沉积	66
二、陆相油气成藏	69
第四节 中国储层致密化问题	73
一、川西的实践与思考	73
二、我国比较典型的深盆气(致密砂岩气)区	76
三、中国致密砂岩含气展望	77
四、碳酸盐岩致密化问题	80
第五节 油气垂向运移(烟囱作用)突出	82
一、构造断裂导致油气向上穿层运移	83
二、高压油气突破盖层向上渗漏	89
三、天然气浓度差异导致的扩散作用	91

第六节 中国烃源、资源、储量的严重反差	94
一、反差情况	94
二、历次构造破坏是古生界海相烃源成藏后的最大杀手	94
三、过于深埋对古生界油气的后果严重	96
四、适时成藏与早聚晚藏	101
五、努力缩小反差	103
第三章 早古生代自由陆块海相油气巨系统	106
第一节 华北自由陆块	106
一、陆块形成及中、新元古界油气问题	106
二、华北陆块下古生界油气	110
第二节 扬子自由陆块	116
一、扬子自由陆块形成	116
二、扬子自由和半自由陆块阶段 ($Z - O_1$, $O_2 - S$) 的沉积和烃源 (以下简称“早古生代”或“下古生界”)	116
三、扬子陆块在燕山运动前具有特殊优越的成藏条件	119
四、燕山运动中、晚幕对扬子陆块早期油气聚集造成严重的改造	121
五、扬子自由陆块期烃源巨系统问题讨论	121
六、关于上扬子区	122
七、关于中扬子	125
八、关于下扬子	132
第三节 塔里木自由陆块	139
一、塔里木陆块形成概述	139
二、关于下古生界烃源岩	140
三、塔里木陆块富含烃层的复杂地史经历	141
四、塔里木下古生界油气评价的主控因素	145
五、塔里木下古生界油气远景评价意见	149
第四章 陆块拼合过程中的上古生界 (海陆过渡为主) 油气巨系统	162
第一节 华北陆块上古生界海陆过渡天然气成藏系统	162
一、控制上古生界沉积的区域构造背景	162
二、上古生界海陆过渡相与生、储、盖组合	163
三、华北陆块构造发展与上古生界油气	165
四、华北陆块上古生界油气评价意见	166
五、巴彦浩特、六盘山上古生界远景评价	175
六、东北地区上古生界油气成藏可能性探讨	175
第二节 拼合后华南陆块油气系统	177
一、概况	177
二、华南晚古生代 (含 T_{1+2}) 沉积与烃源岩	177
三、华南上古生界 (含 T_{1+2}) 油气分区论述	181
第三节 西北地区古陆块及海西期增生陆块	207
一、塔里木古陆块上古生界油气	207
二、海西期增生陆块上古生界油气	218
第五章 中国新特提斯拼合区 (西藏) 油气	232

第一节	羌塘陆块	232
一、	羌塘陆块的发展及烃源条件	232
二、	油气成藏经历三个重要阶段	234
三、	羌塘盆地的油气评价意见	236
四、	羌塘陆块向东南延伸地区油气地质分析	236
第二节	拉萨（冈底斯）陆块	238
第三节	藏南（原印度陆块大陆边缘）地区	238
第四节	拼合中的新生代裂陷盆地	240
一、	新生代裂陷盆地的发展	240
二、	伦坡拉盆地成藏有利条件	241
三、	伦坡拉盆地后期发展的不利因素	241
四、	伦坡拉盆地油气远景评价	243
五、	特提斯域拼合大陆新生代裂陷盆地总体分析	243
第六章	中国中、新生界陆相油气巨系统	245
第一节	中西部印支期（或与喜马拉雅期叠合）压性前陆盆地	245
一、	塔里木陆相盆地油气	246
二、	天山北侧中、新生代前陆盆地	252
三、	祁连山两侧中、新生代前陆拗陷	256
四、	鄂尔多斯盆地中生界陆相油气	262
五、	“广义四川盆地”陆相油气	268
第二节	中国北部拉张盆地群带	280
一、	酒西地区	281
二、	银额（巴丹吉林）盆地	281
三、	二连盆地	284
四、	海拉尔盆地	286
五、	松辽盆地	290
第三节	东部弧后型拉张盆地	296
一、	中国东部弧后型活动大陆边缘的构造发展	297
二、	油藏富集规律探讨	298
三、	弧后型活动大陆边缘陆相裂陷盆地远景论述	303
第四节	南海北部新生代被动大陆边缘型拉张盆地	321
一、	新生代裂陷盆地基底构造背景	321
二、	南海北部新生代裂陷盆地主要特征	322
三、	南海北部各盆地特色很强，需分别解析研究	325
第七章	中国主要控油地质结构与远景展望	338
第一节	小陆拼合 外促压张（中国控油地质结构演化）	338
一、	小陆拼合	338
二、	外促压张	340
第二节	中国油气远景展望	345
一、	中国石油远景意见	345
二、	中国天然气远景展望	348
参 考 文 献		355

第一章 中国油气地质结构概要

从显生宙以来大陆可分为两大类（图1）：

第一类是长期稳定的古陆核，其中洲级的有西伯利亚、北美、格陵兰、东北欧，原冈瓦纳从中生代开始分裂为南美、澳大利亚、印度、非洲、南极和阿拉伯半岛以及许多更小的陆块。大型陆块内部很少有造山形变，但局部可发生拉张裂隙，有较厚的充填。古大陆即使分裂离散，仍保持其稳定性，可能与整个岩石圈刚性基础有关。如印度陆块和亚洲大陆碰撞挤压，使西藏地区严重加厚变形，构造应力波及中国大部分地区，印度陆块北部也已断裂反冲，边缘下拗，但陆块主体形变甚微。

第二类是显生宙以来历次造山运动、大陆拼合增生的广大地区。有些早期褶皱带，通过变质、结晶、后期夷平，成为相对稳定的新地台，如西西伯利亚、松辽、准噶尔、墨西哥湾沿岸等。

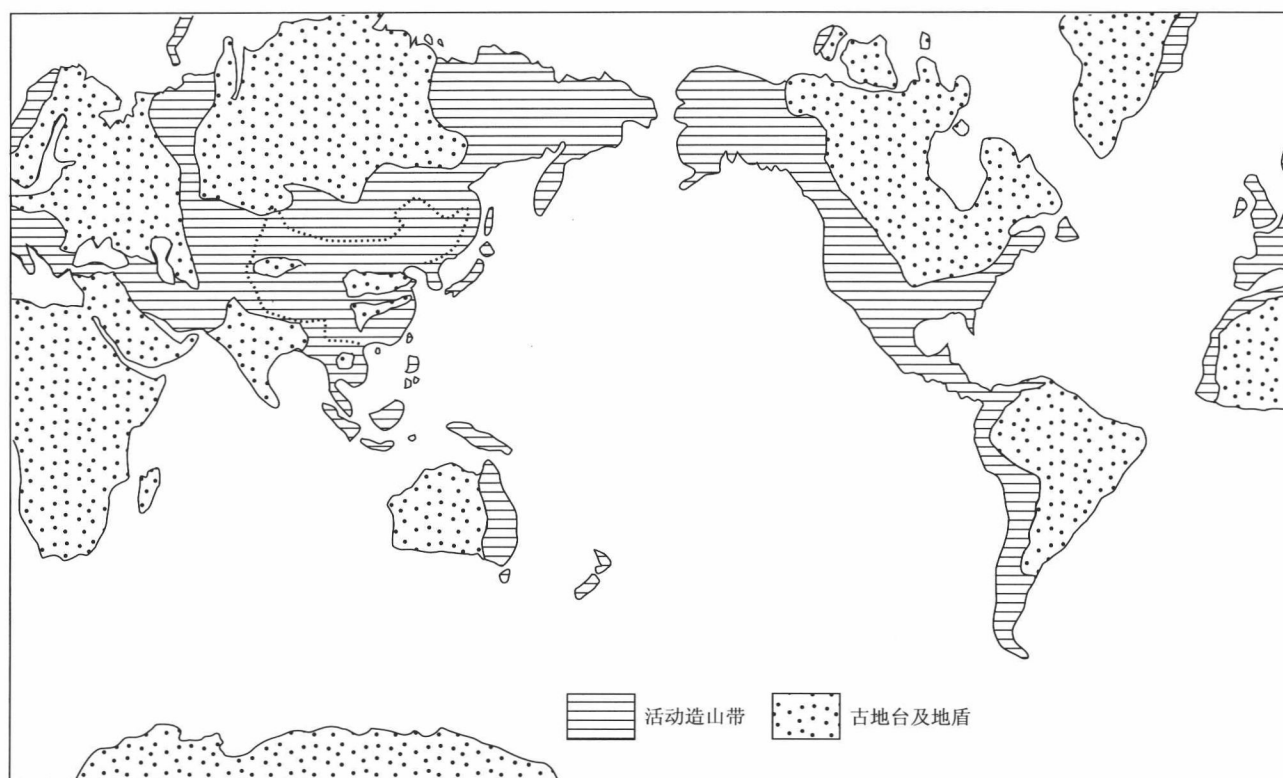


图1 显生宙古陆核及造山带展布示意图

在洲级古陆块之间，如塔里木、华北、扬子、羌塘、呵叻等，它们具有前显生宙坚固基底。但因其体积小，在碰撞拼合过程中以及拼合后邻近新的碰撞缝合带，推挤压力往往使陆块上的沉积盖层多次遭受变动；尤其是陆块岩石圈彼此消减缩短，盖层必然剧烈褶皱、推覆，以求平衡。中国大陆在显生宙期间，是典型的小陆拼接。这是中国地质结构最基本的特征，黄汲清先生用“多旋回”学说给予了本质性的概括。除了理论意义外，重要的是内涵独特的成矿规律，更是控制含油气沉积盆地与盆地改造的基础。

第一节 中国大陆深部地质概况

大陆岩石圈具体表现为垂向的分层性和横向的不均一性。上地壳与地幔之间的下地壳是这方面研究的枢纽(上地壳构造发生、发展的动力在深部)。下地壳的结构和性质的研究,对认识地壳和岩石圈的结构、构造、深层作用、地震孕育和发生以及岩石圈动力学等,至关重要。

20世纪80年代,我国参加“国际岩石圈计划”中的“全球地学断面计划”(GGT),基本覆盖全国的大型剖面有11条。截至1985年底,我国共进行地震测深32000km;并普遍使用大地电磁测深,得到上地幔重要信息,与地热流相结合,研究岩石圈深部构造。我国还利用开矿、工程大爆破(如江西永平、湖南棋梓桥、柳州、湖北贾家湾及西北工程等人工爆破),布置多方向测线。另外,配合地震区的研究,专门进行了测深工作。我国航磁除少数地区外都已进行,编制1:400万中国及其毗邻海区航空磁力异常图以及平均布格重力异常图。通过上述地球物理资料,对我国深部地质结构已有一定了解。

一、我国上地幔低速带

现代地球物理认为:地球内部直至2900km地震波速度总趋势是增长的,以刚硬的固体为主^[1]。由古登堡发现并经多次大型人工爆炸及天然地震记录,确证在100~200km范围内,存在全球上地幔低速层^[2],地震纵波速度可由8.1~8.5km/s下降到7.2~7.8km/s,再向下又恢复到8.1km/s以上。地球物理学家一般认为此带的介质仍是固体,已接近岩石熔点,有些晶体的边界上发生了部分熔化,导致物质黏滞系数变小,在长期力的作用下,可表现为相当塑性而发生极为缓慢地流动,为板块运动提供了条件^[1~3]。我国在华北、黄海、东海、青藏高原及南北带等地,都发现上地幔低速层^[4],而华南莫霍面下未见此低速层。据宋仲和等(1988)资料,我国上地幔速度模型差别很大,反映中国深部结构的复杂性。尤其是300km以上,上地幔低速层的深度、速度等区别都很大。华南低速带不显,崔作舟等(1990)根据大地电磁测深资料,上地幔高导低阻层推测衡阳一带软流层顶界深达240km。华北在断陷活动区莫霍面P波速度仅7.9km/s,在60km深处的低速层也仅7.8km/s,速度差不到0.1km/s,说不上低速带。华北、四川盆地以西的南北带,莫霍面下104km最高速度为8.2km/s,速度差0.23km/s,似为一小的低速夹层。上述三者构成我国大陆主体,上地幔低速带不明显甚至不见,和一些地盾区近似。但两侧近期活跃的青藏高原和沿海大陆架,低速带比较清楚,速度降低幅度达0.55~0.5km/s,低速带厚度也较大。地幔深部密度反映两侧锋线密度异常显著。青藏高原由于后期地壳重叠加厚,上地幔顶部高速位置113km(8.33km/s)和最低速位置138km(7.78km/s)都较深。关于“软流圈”概念仍有不同见解,长期比较稳定的岩石圈与其下相对移动减少和停止,上下可能黏滞在一起,如我国中部现代低速带就不明显了。在结构复杂的大陆上,岩石圈底部凹凸不平,不像大洋板块容易滑动。西昆仑地震展布表明,岩石圈本身也并不是一块完整的刚性体,其间存在复杂的构造面^[5]。陆内地震带及其震源深度,显然反映了地壳深部物质沿特定构造部位上所受到的扰动,在内、外力作用上,岩石圈内部各构造层之间易于运动。据别洛乌索夫计算,低速层的密度仅2.85g/cm³,而上地幔为3.45g/cm³,相差甚大,物质有上冲能量,是岩石圈构造力的源泉^[2]。中国大陆圈层纵横向不均最为显著,产生了独特的中国陆块内部印支、燕山以及喜马拉雅强烈而广泛的造山运动,石油地质面貌多次受到改造。

二、中国大陆深部均衡作用

我国地壳、岩石圈及更深部大多趋于基本平衡状态^[3]。地壳、地幔密度的非均匀性引起的均衡异常,一般恢复时间为10³~10⁵年^[6]。现在不均衡状态主要反映新构造运动。在成都附近的南北带以东,一般正、负活动不超过4mm/a,异常走向以NNE为主,局部EW;像秦岭、长江这样的高山大川,已相当平静了。而南北带以西,鲜明的NW异常走向,有好几条显著的失衡带,主要与印度板块继续挤压有关。准噶尔、阿

尔泰下降幅度大，与贝加尔区域大地水准面凹陷有关^[7]。

近期深部构造的改造和均衡作用，在平均布格重力异常图上，可以明显看到太平洋板块与印度板块的作用。而我国地史上重要的古地块分界，如秦岭、阴山等东西构造线已不见影踪，祁连山的近代活动性也很弱。燕山期构造运动还非常强烈的华南，现代地壳运动，有史记载以来无六级以上地震，大地热流密度值小于 40mW/m^2 。中生代后期还非常活跃的中蒙构造带，现代都相对平静了。王懋基等编制的中国 $1^\circ \times 1^\circ$ 均衡重力异常图^[8]，大致以东经 104° 为界，东西两部分的均衡异常特征完全不同。西部异常变化剧烈，东部则很平缓，喜马拉雅山有很大的剩余质量。均衡重力异常差值，较好地反映造山带与沉积盆地的幅度，西部尤为显著。南北带是中国大陆内部一条强烈的地震活动带，也是一条重要的地貌分界线^[9]。北段地震震源机制以右旋剪切为主，南段以左旋剪切为主，基本受控于印度板块的俯冲推挤作用。

计算获得的岩石圈下面地幔流图像^[10](图2)，包括黄培华及随后朱介寿的成果。两者都反映南北带地幔对流的分异干涉现象。南北带以东，地幔流总体向东，引岩石圈层向东移动、拉伸，这和中国大陆向东挤压或蠕散的观点相符^[11]；南北带以西地幔流比较复杂，由印度洋、印度向北地幔流到昆仑山受阻，说明印度洋板块驮着次大陆向北移动趋势仍未停止，每年运动速率高达 60mm ^[9]。天山位于发散流中心的上升流地区，地震波穿过天山深部 $50\sim 200\text{km}$ 处具延迟现象，可能与物质部分熔融有关。

邓晋福等用“大陆根-柱构造”观点^[12]，把中国岩石圈（新生代以来）分为三带：①青藏陆内造山带，岩石圈厚度约 150km ，具造山岩石圈根，上地幔密度 $3.4\sim 3.65\text{g/cm}^3$ ，岩浆活动主要为钾玄岩系列、白云母二云母花岗岩，热流密度：北部 $40\sim 50\text{mW/m}^2$ 、边缘 $70\sim 90\text{mW/m}^2$ 、核部 $100\sim 300\text{mW/m}^2$ ，地震多发带，近代构造为逆冲推覆、走滑；②中部克拉通块体群（四川、鄂尔多斯、塔里木等），具克拉通岩石圈根，岩

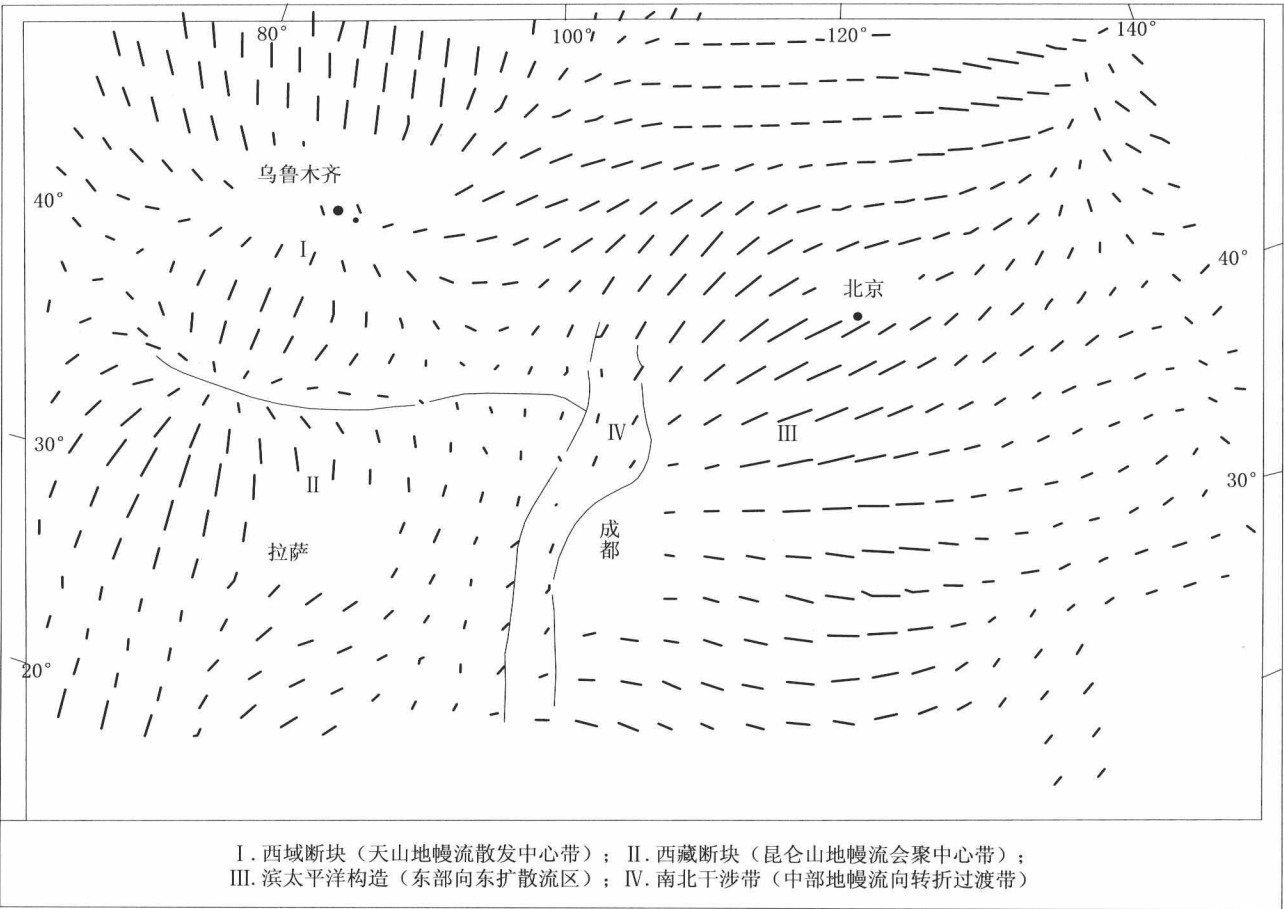


图2 中国大陆岩石圈以下地幔流示意图
(据黄培华, 1984)

石圈平均厚度达200km,上地幔密度平均 $3.1\sim 3.22\text{g/cm}^3$,几乎无岩浆活动,热流密度值也低,约 $40\sim 45\text{mW/m}^2$,除块体边缘外很少发生地震,构造相对稳定;③东部大陆裂谷带,曾具地幔热核,岩石圈约70km,上地幔密度 $3.23\sim 3.30\text{g/cm}^3$,普遍有大陆裂谷玄武岩,热流密度 $60\sim 70\text{mW/m}^2$,新生代拉伸构造及走滑断裂,地震多发。

多种地球物理资料及不同研究思路,大致都反映中国深部结构的三种类型,布格重力异常突出两条重力梯度带,最直观地反映近代地下特征。但是中国大陆在古生代、中生代深部构造与近代结构有很大区别,如古生代东西向陆块是骨架。据分析,中生代青藏地区主要为大陆边缘和裂谷带,地壳和岩石圈都很薄,地貌平缓;新生代地壳和地貌则为世界之最。而中国东部印支、燕山褶皱推覆构造强烈、岩浆活跃,可能具很厚的造山岩石圈根。邓晋福等(1996)解释为造山岩石圈根具重力不稳定性,拆沉的岩石圈下沉进入更深的地幔。中国大陆下面地幔对流模式在中生代到新生代应有根本性变化,而中部相对稳定区则反映轻微。

三、地壳厚度变化特征

中国大陆地震测深剖面比较稀疏,分布也不均匀,难以直接用莫霍不连续反射界面编制地壳厚度图。苏联用269条地震测深剖面、美国用56条各绘出地壳深度图^[13, 14]。一般古地台及地盾区地壳厚度中等而展布较均匀,主动或被动大陆边缘地壳都变薄,而年青褶皱造山带地壳厚度大而变化剧烈。1982年王谦身等提供的地壳厚度分布轮廓图^[15](图3),表明我国地壳厚度变化幅度是地球上少见的,总趋势为东薄西厚。以南北构造带为界,两侧等值线的形态和梯度差别很大:东部总体为NNE向,大兴安岭—太行山以东尤为显著,基本平行于太平洋俯冲带。西部青藏及帕米尔高原,是全球地壳最厚的地区,环绕其周围为梯度密集带。塔里木、准噶尔、巴丹吉林等盆地地壳相对变薄;而天山、阿尔泰、祁连山等构造活动带地壳较厚。地壳厚度与中、新生代沉积拗陷明显呈镜像关系,地貌海拔在中西部与地壳厚度也大致呈现镜像关系。从岩石圈的均衡要求,密度很低的中、新生界沉积,必须有高密度地幔适当上升来平衡。中国地壳和上地幔密度分布状态图,两者很不一样。地壳密度变化是重力场短波场变化引起的^[6],它不像上地幔密度图主要反映大区域规律,地壳上各种构造变动都将有所表现。地盾、古隆起、褶皱带、深大断裂以及晚期压性、压扭性地带多为高密度区,拉张区及张扭性断裂带、盆地、平原等则为低密度区。我国中、新生代沉积盆地,如松辽、渤海湾、南襄、江汉及苏北以及四川、银川、汾渭及河套、河西走廊、柴达木、准噶尔、吐哈等盆地都为低密度区。南方中、新生代零散盆地和桂黔中生代展布区也多为低密度。晚第三纪^①统一的塔里木盆隐藏着异常带,巴楚—塔中隆起中、新生代沉积较薄,又和北纬 40° 航磁高异常带复合,表现为一条高密度带,并与东昆仑相连。有些地区由于壳内较厚的低速层(组)存在,导致地壳平均密度变低;东南沿海地壳偏低密度可能与广泛分布的花岗岩有关。王懋基^[8]根据该区两条地震测深剖面进行重力模拟,以建立地壳与上地幔顶的密度模型。采用地面古生界及元古界标本实测,求出表层平均密度为 2.7g/cm^3 ;深层地壳由速度与密度对应关系求得,上部地壳平均速度为 6.21km/s ,相应密度 2.8g/cm^3 ;下部地壳平均速度 6.84km/s ,相应密度 2.95g/cm^3 ;上地幔顶平均速度 8.04km/s ,相应密度 3.3g/cm^3 ;反映地壳与上地幔顶不连续的基本情况。

我国地壳厚度由东向西加厚的趋势很突出(图3),与地势景观大体呈现镜像关系,总体上反映我国东部近期处于与洋壳有关的活动大陆边缘;西南则明显与年青的碰撞造山作用有关。我国含油气盆地是数亿年长期地史发展的结果,与现今地壳厚度图像不可能直接对应。但仍可按含油气盆地的宏观展布和地壳结构,分析其内在规律:①东部以伸展为主的相对年青的断陷盆地,陆架海区莫霍面深20km左右和陆上30km的壳带,地幔上拱,地温梯度高,沉积物相对年青,是中国液体油富集区。②中、西部厚地壳中相对薄壳区(约40km)或地壳深度线密集线前舒缓地带,往往为古、中、新多套叠合盆地含油(浅部)、含气(深部)区。

①因本书参考文献发表年代跨度较大,书中“第三纪(系)”(原划分为“早(老)第三纪(系)”、“晚(新)第三纪(系)”,现划分为“古近纪(系)”、“新近纪(系)”并取消了“第三纪(系)”、“早(老)第三纪(系)”、“晚(新)第三纪(系)”、“古近纪(系)”、“新近纪(系)”诸地质年代(年代地层)名称均有使用。