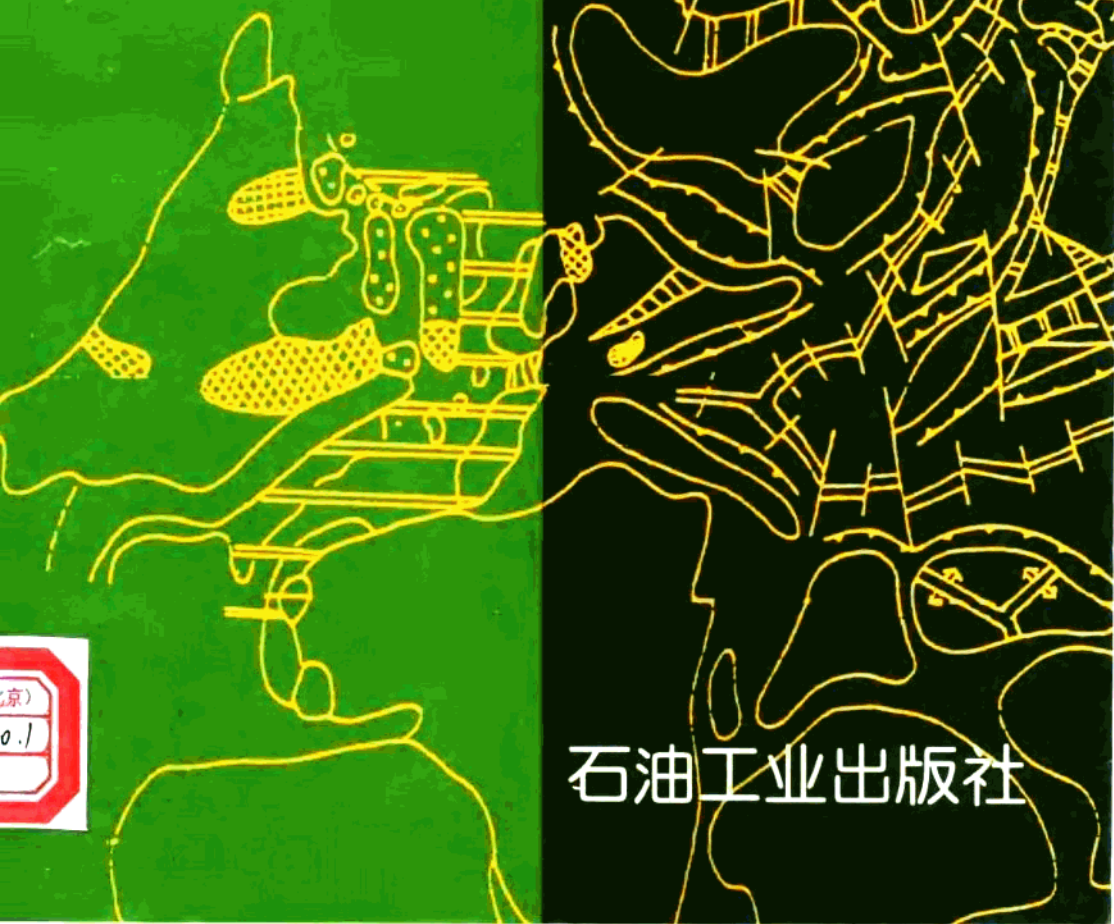
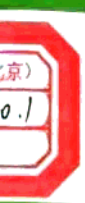


张 恺 著

板块构造与 油气成因二元论



石油工业出版社



· 作者简介 ·

作者于1950年春就读于北洋大学石油地质工程学系,1952年秋全国院系调整后,同年冬毕业于北京地质学院石油地质普查勘探系;1953~1973年春在新疆从事油气勘探与开发地质工作;1964年始任新疆石油管理局总地质师,对发现和勘探开发克拉玛依油田做出了一定的贡献,1956年春获全国先进生产者光荣称号;1973~1978年夏在江苏省从事油气勘探与开发地质工作,曾任江苏油田勘探开发会战指挥部总地质师,对发现和勘探开发苏北油田做出了贡献,1978年作为江苏代表团成员出席了在京召开的全国科学大会。

1978年秋—现在,在中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院地质所从事中国大陆板块演化特征与含油气盆地分类、评价研究,先后被聘为高级工程师、教授级高级工程师;共完成有关中国海域、东北、新疆、甘、青、藏、云南、渤海湾盆地及全国性科研成果七项,发表有关论文近47篇,合著出版了《石油构造地质学》一书,之后又独自出版了《中国大陆板块构造与含油气盆地评价》一书,共培养了石油构造地质硕士研究生8名。对中国大陆板块演化特征,中国含油气区构造区划,中国含油气盆地类型、演化特征、含油气特点及其分区、分带分布规律,以及新疆三大盆地多套油气源叠合、富集的油气聚集带的五种类型等提出了新的观点和新的认识;并提出了地球演化的板块构造阶段学说,以及油气两大起源的演化特点和世界油气富集、分布规律及其五种地质模式等新的学说。作者1992年元月获中国石油天然气总公司授予的石油工业有突出贡献科技专家的光荣称号;1992年10月获国务院授予的政府特殊津贴。

作者早年信奉槽台学说和油气有机成因学说;70年代信奉全球板块构造理论和油气非生物成因学说,主张油气起源二元论,认为油气生物成因与非生物成因都是地球演化过程中的客观自然产物,但油气两大起源形成的油气资源叠合的大地构造条件是控制油气全球分布、富集的主要因素,只靠生物成因形成的油气源很难形成特大型、巨型和超巨型油气田。从而作者提出了油气勘探的新准则和油气生物成因与非生物成因多套油气源叠合、富集的新理论。

序 一

张恺是与新中国同步而进的石油地质工作者，亦是新中国培养的第一批专家。他从事石油和天然气勘探和研究工作已有 40 年历史，对克拉玛依油田的发现做了工作。以后，研究领域遍及各个油区。在长期勘探实践和研究中取得的成果，集著于此。

全书运用新的设想探讨了中国大陆的构造演化背景，盆地成因类型，油气运移、聚集规律以及远景评价等。特别是运用油气生成二元论对油气在地壳中的富集区提出了个人的见解。

翁文波

1993 年 3 月 3 日

序 二

在石油生成问题上有机说和无机说两大学派的争论一直没有停止过，而且正是这种争论推动了油气生成学说的前进和发展。

多年来油气生成的有机说在石油工业界占有主导地位，特别是 70 年代以来，由 Tissot 和 Wilte 等人所创立的油气热生成学说有了较完善的发展，更为大多数人所接受。根据有机生成学说已经成功地找到了大量的油气资源。毫无疑问有机生成说有其正确性，但是在大量的油气勘探工作中还存在一些用有机生成说不能满意地说明的一些问题。近代地球化学研究的结果已经提出了在地壳深部，至少在地幔中，存在甲烷的充分论据。由此提出了油气生成说应与油气的生物成因说相结合的油气起源的二元论学说。这一学说，虽然目前仍处于发展阶段，但已经得到了学术界的重视；并为某些研究工作者所接受。张恺同志是我国倡导油气生成的二元论学说的科技工作者之一。

张恺同志从事石油和天然气的勘探和研究已有 40 年的历史，足迹遍及全国各个油区，从天山南北到大江上下，从松嫩平原到滇黔高地。在长期的实践中总结了他在油气勘探方面的经验，本书就是这样一本总结性的专著。在本书中作者以油气生成的二元论和大地构造的板块学说为依据，从理论和实践的结合上探讨了我国各大油区油气富集的规律；指出了在不同地层进一步进行油气勘探的有利方向及其前景；进而在全球范围又分析探讨了大油气区的形成条件及其出现的规律性；对于我国乃至世界范围内石油工业的进一步发展具有一定的意义。特别值得指出的是作者把油气生成的二元论与板块构造的理论相结合，在全球范围内探讨了油气的富集规律，在这一点上具有很高的创造性。虽然作者的意见中有许多尚待在今后的工作中进一步证实，但是在本书中提出的不少新观点和具体意见都是值得重视的。这对于研究油气生成和富集规律无疑地将起到一定的推动作用。

借此机会，我谨对张恺同志 40 年来的辛勤劳动，对我国石油工业的发展作出的贡献表示热烈祝贺，并祝愿他在今后的科学研究和生产实践中取得更大的成就。

秦同洛

1992 年 8 月 14 日

前 言

一百多年来世界各国通过石油和天然气的勘探和开发实践,对石油和天然气的生成理论以及油气富集规律的认识,不断加深,并借以指导油气田的勘探。特别是石油和天然气的有机成因学说,目前在理论上占有统治地位。在19世纪末到20世纪初只限于一般试验室的一些小型试验和地质上的初步概念,到20世纪20~30年代,随着生物化学、放射性学、地球化学的不断发展,有机成因学说进一步完善和系统化,并占有主导地位;到40~50年代,由于世界各地各种类型油田的大量发现和各方面的试验研究工作的展开,并在生油母质形成石油的机理方面提出了几十种不同观点,使有机成因学说达到百花齐放的全盛时期;到60年代为止,有机成因学说虽已有近一百年的历史,但仍有一些重大问题没有得到彻底解决,各种观点仍然统一不起来;70年代以来,有机成因学说有些接近自然界的客观实际,提出了石油和天然气生成的成熟度概念和油气在地壳中由浅到深有规律地分带分布学说。有机成因学说的发展历史说明这一问题的复杂性。相反,作为有机成因学说的对立面的无机成因学说,虽比有机成因学说提出来较早,但发展很慢,一百年来只提出了几个方案。开始多偏于化学工作者,50年代以来,苏联有少数学者从地质方面探讨了这个问题,但在世界范围内影响不大;60~70年代以来,关于天体演化、生命起源、地球深部结构、海洋地壳等的研究,特别是关于全球板块构造学说的诞生,使本世纪初由德国气象学家魏格纳提出的大陆漂移学说,获得了新生,这是地球科学中的一场革命。它将涉及到各个有关学科分支,尤其是对石油地质学的基础理论,从油气的生成、运移和储存到散失,都将产生深刻地影响。有可能使油气生成的无机学说进一步发展,而占相当重要的地位。它将扩大找油、找气领域,指导世界的油气勘探。

油气生成的有机学说和无机学说是两个对立的观点,分歧的核心是生成油气的母质问题;但在形成油气的化学机理上又有些相似之处。由此而来的关于油气运移、储存和散失问题,也产生不同的观点,但在找油找气的领域上又有相似之处。这也是有机成因学说之所以能指导油气勘探的客观因素。但在世界油气资源分布、油气资源形成、有利的油气富集带展布等主要问题上,无机学说有着更大的优越性。例如,石油年产量达5亿t,美国花了104年,前苏联花了112年,沙特阿拉伯只花了28年,这是为什么?这个问题很值得研究,我国有没有可能快一些?因而这些新观点的提出,将有利于促进油气勘探的发展速度,特别是作者主张油气成因二元论,将两者有机地结合起来,可发挥两者固有的优势。本书试图将这些基本问题提出来进行有益地探讨,希望能引起石油地质界的争论,从争论中进一步发展我国的石油地质科学理论,让它更好地为祖国的石油工业发展做出新的贡献,为人类做出新的贡献。

本书在编写过程中承蒙史训知局长大力支持和提出修改意见,并对石油科技界老前辈翁文波学部委员和秦同洛教授为本书写序,在此表示衷心地感谢。

目 录

第一章 板块构造理论的诞生与发展	(1)
第一节 板块构造理论的诞生及其发展趋势	(1)
一、板块构造理论的诞生是地球科学的一场革命	(1)
二、板块构造理论诞生的历史沿革	(1)
三、板块构造理论诞生与发展的特点	(7)
四、板块构造理论研究的发展趋势	(8)
第二节 全球古板块研究的进展	(10)
一、太古宙以来板块构造地球动力学的两种模式	(10)
二、前寒武纪板块构造研究	(24)
三、全球性古陆联合裂解和大陆漂移方面研究的新进展	(30)
第三节 地球演化的板块构造阶段假说	(48)
一、地球与月球、火星和水星的地质对比	(48)
二、地球演化的四个阶段假说	(49)
三、地球演化的板块构造阶段的活动特点与板块构造旋回理论	(52)
第四节 银河周期与全球性板块构造旋回活动的联系	(64)
一、银河周期与地球重大地质事件因果关系研究的新进展	(64)
二、银河周期与全球性板块构造旋回活动的联系	(73)
第二章 板块构造理论与油气两大成因	(77)
第一节 板块构造理论在石油地质学中的应用	(77)
一、含油气区类型的研究	(77)
二、含油气盆地的成因类型研究	(77)
三、油区岩相古地理研究	(77)
四、油气生成理论与假说研究	(77)
五、控制油气运移的流体动力学研究	(78)
六、油气藏的圈闭类型及油气富集带类型研究	(78)
七、盆地的热演化史与油气垂直分带分布规律研究	(78)
八、深部地质特点与油气分布规律研究	(78)
九、油气全球分布规律研究	(78)
十、开展数学地质与盆地模拟和油气资源量估算研究	(78)
十一、油气勘探新方法研究	(78)
十二、油气勘探新准则研究	(78)
第二节 板块构造与油气生物成因理论研究	(79)
一、深海沟油气生成和运移的逆掩断层假说	(79)
二、碰撞前陆沉降带周缘盆地油气生成与运移假说	(80)
三、深部油气勘探与干酪根晚期生油理论研究	(81)

四、浅层勘探与早期生理理论研究·····	(86)
五、推覆体构造带油气生成与聚集理论研究·····	(90)
六、关于一种新的力学—化学成烃机理的新学说·····	(98)
第三节 板块构造与油气非生物成因研究·····	(99)
一、油气非生物成因理论研究的几种模式及其新进展·····	(99)
二、板块构造活动带与油气非生物成因的新证据和新发现·····	(122)
第三章 板块构造与油气成因二元论·····	(139)
第一节 油气生物成因与非生物成因和板块构造活动带的内在联系·····	(139)
一、油气生物成因与板块构造活动带的内在联系·····	(139)
二、油气非生物成因与板块构造活动带的内在联系·····	(140)
第二节 板块构造旋回与油气壳—幔深部非生物成因学说·····	(141)
一、地球内部保留大量的氢是油气非生物成因的物质基础·····	(141)
二、板块构造旋回与油气壳—幔深部非生物成因模式及其组合·····	(145)
三、四种特殊的地球或板块构造活动带油气壳 一幔深部非生物成因的地质—地球化学条件及其成因模式·····	(149)
四、板块构造旋回与油气壳—幔深部非生物成因学说综述·····	(168)
第三节 地球演化的板块构造阶段假说与油气两大起源的演化、叠合及其特点的 对比分析·····	(179)
一、地球演化的板块构造阶段假说与油气的生物成因及其演化的探索·····	(179)
二、地球演化的板块构造阶段假说与油气的非生物起源及其演化的探索·····	(180)
三、地球演化的板块构造阶段假说对油气两大起源的剖析和其叠加作用的特点·· ·····	(181)
第四节 油气成因二元论与全球油气分布规律和富集规律的五种地质模式·····	(183)
一、油气成因二元论与全球油气分布规律·····	(183)
二、油气成因二元论与全球油气富集规律·····	(183)
三、油气成因二元论与全球多套油气源叠合、富集的五种地质模式·····	(185)
第四章 油气成因二元论与油气勘探的新准则·····	(190)
第一节 油气勘探的板块构造单元选择·····	(190)
一、板块构造的六种活动沉降带及其深部的优选排列·····	(190)
二、板块构造活动形成的四种类型造山隆起带及其深部的优选排列·····	(190)
三、地球表面陨石坑破碎带及其深部·····	(191)
第二节 油气勘探盆地类型选择·····	(191)
第三节 油气勘探目的层的选择·····	(192)
第四节 大油气田和油气聚集带勘探方向·····	(192)
一、屋脊式二度空间多套油气源叠合、富集的油气聚集带模式和概念·····	(193)
二、屋脊式三度空间多套油气源叠合、富集的油气聚集带模式和概念·····	(193)
第五节 油气勘探程序·····	(193)
一、油气勘探概查阶段·····	(193)
二、油气勘探普查阶段·····	(194)
三、油气勘探详查阶段·····	(194)

四、油气深部勘探阶段·····	(194)
五、复杂油气田勘探阶段·····	(195)
第五章 油气成因二元论与全球含油气区类型划分和油气资源展布·····	(196)
第一节 板块构造旋回与全球含油气区类型划分及其展布·····	(196)
一、大陆内部和陆缘裂谷扩张型含油气区·····	(196)
二、陆间裂谷扩张型含油气区·····	(196)
三、窄大洋型北冰洋深海盆含油气区·····	(196)
四、环绕新生大洋的被动型大陆边缘含油气区·····	(197)
五、环太平洋沿岸的主动型大陆边缘含油气区·····	(200)
六、与大陆间碰撞活动有关形成的含油气区·····	(202)
第二节 板块构造旋回与全球油气资源·····	(203)
一、全球油气资源的展布·····	(203)
二、全球各类含油气区的油气富集程度·····	(203)
三、全球各类含油气区分布面积的展布·····	(203)
四、全球各类含油气区的勘探程度和含油气潜力·····	(204)
五、全球各类含油气区中油气资源的比例关系和油气资源的垂直分布规律·····	(204)
第六章 油气成因二元论与中国油气资源展望·····	(205)
第一节 板块构造旋回与中国含油气盆地评价·····	(205)
一、板块构造旋回与中国叠合型盆地油气资源的经济效果评价分类·····	(205)
二、中国叠合型盆地油气资源经济效果评价分类及其优选序列·····	(206)
第二节 从板块构造旋回观点评价中国东、西部含油气区油气资源的经济效益·····	(207)
一、盆地处于不同的板块构造旋回的演化、叠合阶段·····	(208)
二、盆地后期的覆盖条件·····	(209)
三、盆地后期叠合盆地的地热条件·····	(209)
四、盆地后期叠合盆地储集层物性条件·····	(209)
第三节 板块构造旋回与中国油气资源的分布特点·····	(210)
一、现今的板块构造展布特点控制着中国含油气盆地的类型和分布·····	(210)
二、含油气丰度不同的三种类型盆地的分布控制着中国油气资源 在各含油气亚区中的展布特点·····	(210)
三、中国叠合型含油气盆地演化特征及其含油气特点说明中国天然气资源 非常丰富·····	(212)
主要参考文献·····	(220)

第一章 板块构造理论的诞生与发展

第一节 板块构造理论的诞生及其发展趋势

一、板块构造理论的诞生是地球科学的一场革命

大地构造学是研究地壳构造、运动历史、形成机制和动力来源的科学，是现代地质学中颇为活跃的学科。它不仅只限于构造方面，而且涉及到地层沉积、岩浆活动，以及成矿作用等各个方面。所以从某种程度来说它又是地质学的一个基础学科。板块构造学说是近 30 年来发展起来的新的地壳构造学说。J.T. 威尔逊称之为地学中的一场重大的科学革命。我国学者李春昱先生认为板块构造是当今世界上最盛行的大地构造学说。1972 年春尹赞勋先生介绍了板块构造学说，把板块构造学说的理论根据及其发展和基本观念，作了系统的介绍，并给予很高的评价，建议要建立和健全“板块地质学”，在我国地质界引起了很大的反应。作者曾在与他人合著的《石油构造地质学》中系统地介绍了板块构造理论的基本概念及其在石油地质学中的应用。

近 30 年来人类对地球的认识发生了深刻的变化，其原因是以“活动论”为特征的板块构造学说的出现，引起了固体地球科学的革命性变化。随着地学各分支学科发生综合化的发展趋势的同时，出现了以全球变化为对象的地球系统科学，成为跨越地球科学、生命科学、化学、物理学等的更高层次的学科分类单元。

板块构造学说的发展引起人们对大陆边缘、大陆岩石圈内部研究的浓厚兴趣，对大陆裂谷、碰撞造山带、韧性剪切带与推覆体构造的深入研究要求人们对大陆岩石圈内部各部分之间的相互作用和演化过程进行再认识；从而使由板块构造学说引出的全球构造理论不断得到验证、补充和完善。

近 20 年来，我国学者在区域地质、石油地质、矿产地质、海洋地质，以及地震地质研究方面不断取得新的认识，探讨了中国大陆及海域的板块构造演化特征与矿产的关系。它标志着我国地质学界在 70 年代末期就开始了板块构造学的理论与实践的研究工作。其特点是首先在应用地质科学各部门开展起来了。

我国科学研究部门，很快认识到中国在全球构造环境中占有重要的位置，确定并开始了近期的研究重点：岩石圈的物质组成、结构与演化；不同地质时期的大陆与大陆边缘构造带、造山带、沉积盆地的形成与演化；前寒武纪构造演化和成岩成矿与构造动力学；矿产资源、能源矿产、水资源等形成的物理、化学、生物作用及其成矿机理；自然环境全球变化的地质演化规律、地质灾害预测与人类活动的地质效应等主要领域的基础研究。

二、板块构造理论诞生的历史沿革

板块构造学说的诞生，与 200 年来其他大地构造学说一样，随着其他基础科学的发展，人们在生产实践活动中对各应用学科反复实践与检验，不断在批判中发展起来的。它的发生和发展是近代科学技术发展的结晶，也是辩证唯物论的认识论，在自然科学中的地质界取得一次新的胜利。1979 年孙荣生在全国构造会议上概括地从哲学含义方面论述了这个历史过程。了解 200 年来有关大地构造学各假说的争论与发展，对认识板块构造理论的发生与发展

是有益的，并有助于从认识论方面辨明是非，吸取经验，作为当前研究工作的借鉴。

(一) 主火学派与主水学派的论战 (17 世纪末期)

其论战主题是岩石成因问题。

主水派领袖魏纳 (A.G.Werner, 1750~1817) 根据晶体矿物形态的研究和已有的化学实验结果认为：既然过饱和溶液能够析出晶体，那么一切结晶岩，包括花岗岩、片岩和细晶玄武岩都是水成岩，并且推测晶体越大说明水越深。他认为地壳是不动的，阿尔卑斯山为原始地球所固有，大水退却后才露出水面，火山是地下煤层燃烧引起的局部现象，是水成岩的派生物。

主火派足迹遍及欧美，看到了魏纳在萨克逊盆地看不到的地质现象。学派领袖郝屯 (J.Hutton) 对花岗岩的侵入、接触变质、不整合现象作了正确的解释。德马列 (N.Desmarest) 顺玄武岩层追索到了古火山口。魏纳的学生洪堡德 (F.H.A.V.Humboldt) 和布赫 (C.L.V.Buch) 发现山脉轴部往往有岩基侵入，在花岗岩和火山岩地区常常没有煤层。这些事实不仅说明花岗岩和玄武岩不是水成岩，而且动摇了魏纳的地壳不动论。地壳运动的科学概念被确立下来，布赫提出第一个造山假说——隆起说，郝屯提出了地壳运动周期性假说。主火学派的科学成果成为后来大地构造学的出发点。

(二) 地壳运动均变论与激变论的论战 (17 世纪末—19 世纪初)

其论战的主题是地壳运动周期性问题。

对不整合的观察使郝屯认识到，地壳的运动具有革命的性质，两次地壳运动之间的剥蚀、搬运和沉积是渐进过程。地球上这种反复循环是无始无终的，所以地壳历史可用现在仍在进行的过程来解释。

布丰 (G.L.L.de Buffon) 差不多同时也提出地壳运动周期性假说。不同点在于，布丰认为地球是在原始太阳与其他天体碰撞中产生的，它有一个激变的开始。在地球的地质史中，有突然而迅速的地壳隆起和塌陷，也有连续而缓慢的地质过程。虽然古今地质现象是类似的，但其结果永远不一致。

莱逸尔 (G.Lyell, 1797~1875) 继承了郝屯的均变论，在《地质学原理》中提出了地壳运动的三个著名的论点：地壳运动此起彼伏的均衡论、古今一致的均变论和缓慢进化的渐变论。这三个论点统治地质学达半个世纪，并一直影响到现在。其缺点是认为在地球上起作用的各种力是不变的，无论在质或量上都是不变的。

波蒙 (J.B.A.Elle de Bedumont, 1798~1874) 继承了布丰的激变论，提出了冷缩说，与莱逸尔展开了论战。波蒙将全球山脉归纳为若干个体系，认为每次冷缩形成的山脉具有特定的走向。他认为在地球史中渐变过程与激变过程交替发生，前者形成地层，后者形成山脉，相对而言后者比前者为时短得多。徐士 (F. Suess, 1831~1914) 用冷缩说归纳了当时能搜集到的全球地质构造资料。徐士注意到中国的弧形山脉和喜马拉雅山脉，日本和爪哇岛弧都是围绕着西伯利亚和蒙古这个巨大中心分布的。他认为现在的地中海不过是向东插入欧亚大陆南缘的古地中海的残余，古地中海大部分褶皱成山脉乃是欧亚大陆向南推覆的结果。徐士还根据地质史和构造特征对全球一级大地构造单元进行分类，即劳亚古陆和冈瓦纳古陆。这为 20 世纪全球大地构造学的发展奠定了基础。冷缩论者贝特朗 (M.Bertrand, 1897~1907) 根据欧洲和北美的地质比较认为，欧美大陆在志留纪时已大部分形成，此后，两个大陆边缘大致同时发生了几次造山运动，即加里东、海西和阿尔卑斯运动。后来的事实和研究表明，这种大约二亿年为周期的造山旋回具有相当的普遍性。造山旋回说第一次用事实而

不是用推测表述了地球史中激变与渐变的对立统一。

冷缩说在均变论和激变论的论战中发展起来了,使地质学进入新的领域,大地构造学开始作为地质科学出现了。到19世纪末,冷缩说取得了巨大的成功,以至没有一个地质学家设想,地球除了冷缩之外,还有什么对立的过程和原因。

(三) 冷缩说与膨胀说的论战(19世纪20~50年代)

论战的主题是引起地壳运动的动力性质问题。

在贝克勒尔(H. Beequerel, 1896)发现铀盐射线之后,人们逐渐认识到地壳中放射性同位素的衰变和放热现象,从而看到了地球(至少是地壳)热胀的可能性。彭克(A. Penk, 1909)等人将第四纪冰期分出四个冰期和间冰期。这个发现说明,地球表面不仅可以变冷,而且可以变热。

泰勒(F. B. Taylor, 1910)和魏格纳(A. Wegener, 1912)相继提出了大陆漂移假说。泰勒的大陆漂移说侧重表述地壳大尺度接近而产生挤压造山带和岛弧,魏格纳的大陆漂移说侧重表述地壳更大尺度分离而产生引张性大洋裂谷和岛弧。但他们二人对地壳产生大规模水平运动的动力问题,当时没有得到满意的解决。但大陆漂移说的大量事实,不是用地球的冷缩说所能解释的。因而19世纪20年代重新提出膨胀说。希根堡(O. C. Hilgenberg)设想原始地球有一个封闭的硅铝圈,因地球膨胀而破裂离散,形成现在的海陆分布。果真如此,在石炭纪以后地球半径需要增长2000km,地球体积需要增加五倍。但经热学理论、化学相变理论和宇宙学的引力常数随时间变小的假说都认为这在理论上是不可能的,但计算表明半径伸长100km是可能的。

冷缩说的衰落和膨胀说所遇到的问题,使人们认识到这两个学说在解决地壳运动的动力学问题上都是片面的。因而1943年施奈德罗夫(A. J. Shneiderov)试图用地球的脉动说解释全球大地构造的发展,认为急剧膨胀使地壳引张而形成大洋,缓慢收缩使地壳挤压而形成山脉。每次收缩比上次膨胀幅度小,因此地球是在脉动中膨胀。脉动说的发展将收缩说和膨胀说的对立观统一起来,解释了两者都难解释的地质现象。他的论点认为山脉与大洋的形成不能同步而必须交替发生。但实际上,现在洋底地质资料说明,当白垩纪末安第斯造山时,南大西洋正在扩张,因此脉动说经不住实践的考验。

(四) 地幔对流说与板块构造学说的兴起(19世纪20~60年代)

其实,关于山脉和大洋同步发生的现象,魏格纳(1924年)曾给予简明的解释:在大西洋扩张的同时,因美洲大陆西移而产生海岸山脉,但是动力问题魏格纳并没解决。1928年霍姆斯(A. Holmes, 1890~1965)提出地幔对流假说,他认为若地幔能够对流,那么魏格纳的困难就可迎刃而解。但是这与当时人们认为地幔是坚固不动的概念是格格不入的。30年代,万宁·曼内兹(F. A. Vening Meinez)乘潜艇在印度尼西亚和西太平洋海沟上发现负重力异常带,说明有一种比重力强大的力将地壳向海沟深处牵引,这对对流说是个鼓舞。60年代世界裂谷系、大洋中脊两侧对称磁性岩带和洋底热流异常系一系列重要发现,使对流说以新的形式再度兴起。根据地球内部的地震波速度的研究确定:地球上部100km左右深度相对来说是刚性的,其下面则是地震波低速层,它的粘滞性低,并且比较柔软。因而威尔逊(J. T. Wilson)在霍姆斯的基础上,提出新的地幔对流说和大陆漂移的新概念。而大陆漂移的旧概念必须修正。漂移不是发生于地壳上、下层之间,而是发生在包括海陆地壳和部分上地幔在内的岩石圈板块,随着软流层一起缓慢流动。岩石圈因海底扩张而生长,经过大幅度的平移从海沟下边的贝尼奥夫带返回地幔。地幔对流说表述了地球本身吸引和排斥对

立统一的一种具体形式。

1967年某些年轻的科学家，如摩根（J. Morgan）、帕克（R. L. Parkar）以及勒比雄（X. L. Pichon）等人，根据已搜集到的有关全球范围的隆起、深海沟、转换断层、地磁条带图像以及与地表有关的运动方向的资料，进一步探讨地幔对流说与大陆漂移、海底扩张、岩石圈的消减、大陆碰撞和转换断层等概念成立的可能性。结果是他们认为这个概念得到大量资料的支持，因此应该命以新名，称为板块构造或新的全球大地构造。十几个国家参加的上地幔计划，于1970年结束。其主要成果是板块构造学说的建立。但对于动力学问题，尚处于知其然而不知其所以然的阶段。那时，对于板块动力则多寄希望于地幔对流，提出各种各样的对流假说，但没有一种能够逾越难以克服的困难。根据这种情况，从1972年起开始执行地球动力学计划，几十个参加国把重点转向板块驱动力的研究。近五、六年来，坚持以对流为主要动力的人大大减少。把注意力转向其他方面。表1—1和图1—1概括了板块构造理论诞生的历史篇章。

表 1—1 地球科学大变革进展的各个阶段（据 P. J. 怀利，1975）

时间（年）	主题或事件	有关科学家
1912~1915	大陆漂移说的提出	魏格纳（Wegener）
1915~1930	大论战	魏格纳（逝世于格陵兰冰原）
1930~1950	僵持状态，一项在美国已告失败的事业；论战在别处继续进行	杜托阿（Du Toit），霍尔姆斯（Holmes）
1950~1960	重新发生兴趣	凯里·金（Carey, King）
	海底勘察	布拉德（Bullerd），尤因（Ewing），希曾（Heezen），梅纳德（Menard）
	岩石古地磁学和极移路线	布莱克特（Blackett），朗科恩（Runcorn）
1960~1962	海底扩张——地质史诗	迪茨·赫斯（Dietz, Hess）
1963	与海底扩张有关的海底磁异常，“磁带记录器”	马修斯（Matthews），莫利（Morley），瓦因（Vine）
1963~1966	地球磁场的极性反转，陆地熔岩和深海沉积物岩心的古地磁和岩石年龄的准确测定	考克斯（Cox），达尔林普尔（Dalrymple），多伊尔（Doell），福斯特（Foster），麦克杜格尔（McDongall），奥普代克（Opdyke）
1965~1966	转换断层和地震研究	赛克斯·威尔逊（Sykes, Wilson）
1966~1967	人员在戈达德会议上会合齐会后宣布地球科学的变革	
1967~1968	板块构造说与海底扩张和大陆漂移说的结合	勒比雄（Le Pichon），麦肯齐（Mckenzie），摩根（Morgan），帕克（Parker）
	地震综合	
	给出海底等时线的外推极性反转时标	艾萨克斯（Isacks），奥利弗（Oliver），赛克斯（Sykes）

时间 (年)	主题或事件	有关科学家
1968~1970	海流滚滚	海茨勒 (Heirtzler), 皮特曼 (Pitman)
1970	“格洛玛挑战者”号的深海钻探	马克斯韦尔 (Maxwell) 等
目前	“地质史诗成为地质史实”, 《时代》杂志 近代地质特征正被联系到现代板块和板块边界, 古代地质特征正在进行分析, 以求重建板块的历史	所有的人或几乎所有的人, 不包括别洛乌索夫 (Belousov), 杰弗里 (Jeffreys), 梅耶霍夫 (Meyerhoff)

注: 表中的人名依字母顺序排列——另有几百人被略去。其中的一些科学工作者本书并未提到, 他们的论文可在马文 (U.B. Marvin) 的《大陆漂移》一书中或本书末尾参考文献选篇所列举的一些书中找到。

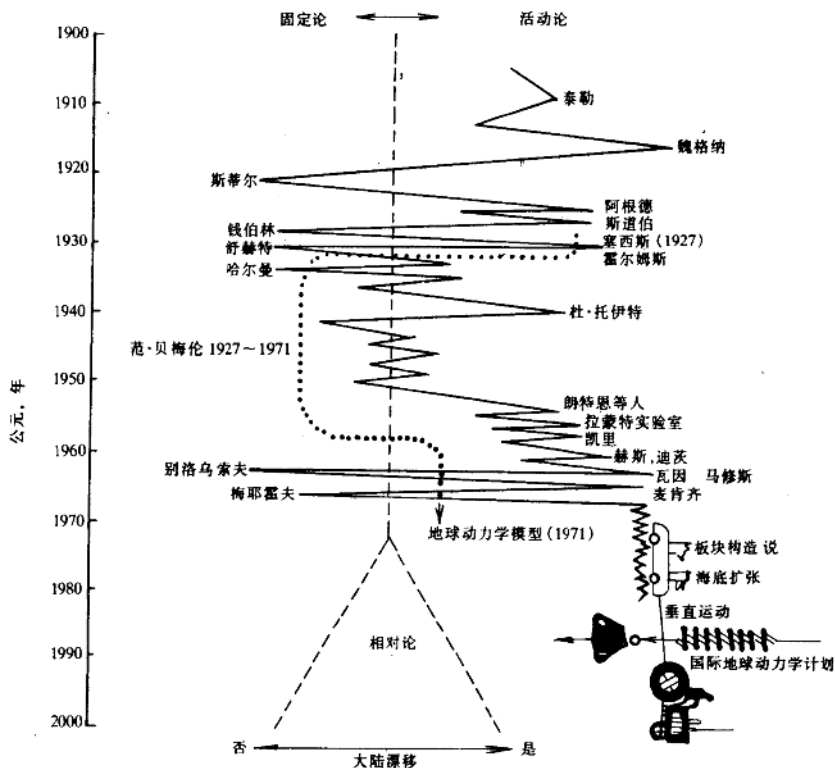


图 1—1 20 世纪支持和反对大陆漂移观点的论战 (据范·贝梅伦, 1972)

(五) 国内外关于地壳运动驱动力研究的新动向

实践证明用地幔对流说解释全部大地构造过程也是困难的 (70 年代)。例如, 在迪茨和霍尔登 (R. S. Dietz 和 J. C. Holden, 1970) 的联合大陆解体史再造中, 魏格纳指出过的

大陆块“向西漂移”和“离极运动”又被古地磁资料揭示出来。因此,不能不考虑固体地球本身吸引和排斥对立统一的其他形式。因而地球自转变速说再度引起人们的重视。虽然早在1955年徐士,1899年乔治·达尔文,1924年魏格纳和1926年泰勒都曾探讨过地球自转的地质含义。但他们提供的事实和方法却被我国杰出的地质学家李四光批判地继承下来。李四光认为地球自转速度的变化是地壳运动的主要原因。他认为由于地球全体的收缩,或其内部重的分子向深处移动就会使地球自转速度加快,此时地球自转所产生的离心力增大,地壳受到自两极向赤道方向的推挤,即产生离极力。当地球转速加快的时候,还会产生和地球自转方向相反,即自东向西的惯性力。为此,北京大学地质系王仁教授(1978年)用电子计算机对轴对称地球模型进行了分层计算,以验证此假设的科学性。据古生物钟提供的地球自转变速率得出结论:“在 10^7 年量级的长期单向变化情况下,由离心惯性力的变化可以积累起 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 量级的东西向和南北向正应力,它们足以造成洋脊和极圈处的拉破,以及纬向、经向单褶皱带。1973年威廉斯(G.E. Williams)也得出类似的动力学假说。他认为地球自转迅速减慢引起地球内部的“刹车作用”,在惯性力的驱动下,使大陆板块发生向赤道和向东运动。在向赤道运动中,板块因适应角动量而发生旋转,南半球为顺时针,北半球为反时针。

国外一些学者对于板块活动的驱使力问题各方面的研究进入一个更具体深入的阶段。1973年赛克斯(Sykes)二人主张板块在俯冲以前的重力下沉是主要的驱动力。哈坡(Hurper)1975年提出:板块前缘冷却、固结、加重、下沉、拖拉前进,引起板块从洋中脊向下滑动。他计算结果表明下沉拖拉力比洋中脊的推挤力大7倍。1973年弗赛思(Forsyth)对扩张脊和俯冲消减带这一对板块活动中各种力,进行分析的结果,也认为下沉板块(板块拉力)控制板块运动的速度。1977年卡普路(Chapple)和塔利斯(Tullis)二人分析了12个板块中的10种力的有无和大小,结果也说明下沉拖拉力和海沟吸引力是主要的作用力。上述这些研究虽然是初步的,但无疑对地幔对流说是一个致命的打击。但同时历史也告诉我们地球内部的热作用不会因此而无所作为的。自上个世纪以来人们形成一种习惯,总是企图用一种地球内部的矛盾甚至矛盾的一个方面说明全球一切大地构造过程,这种想法是不现实的。早在两个世纪以前,郝屯就认为地球具有多种过程,他把地球看作是蒸汽机、化学反应器、有机体。我国著名构造学家张文佑先生认为:对于岩石圈断块运动的动力来源问题,他主张从地球内部重力作用与热运动的对立统一中,从地球作为一个旋转天体所具有的各种动力学行为中,去进行全面考察,而不满足于国外板块学说的地幔对流假说。

从以上200年来大地构造学的发展历史,可以看出以下四个问题:

①大地构造学是沿着两条主线发展的:即地壳运动史和地球动力学。每次大论战都将大地构造学向前推进一步,每前进一步都与当时的大量实践与其他有关科学的发展是分不开的。板块构造学说是继承了一百多年来,其他学说积累的对地壳运动史和地球动力学方面许多知识的基础上,发展起来的;是积累了多半个世纪以来有关天体的演化、地球物理学、地震学、海洋地质学、地热学、地磁学、同位素地质学、古地磁学等科学新的研究成果和大量海洋调查实践的基础上发展起来的。因而必须承认它是当今世界上最盛行的大地构造学说。

②大地构造学的发展历史始终贯穿着对地壳运动史和地球动力学的认识论问题,是固定地看待地球演化过程中的地壳运动问题,还是以活动的观点来认识此问题。在探讨地球动力学的机制时,是片面地强调某一因素呢?还是辩证地从地球本身演化过程中,内部物质的重力作用与热运动的对立统一,内部物质的电、磁作用和化学作用中,以及从地球作为一个

旋转天体,所具有的各种动力学行为中,去进行全面考察呢?很显然板块构造学说是以活动论为基础并有所发展。虽然目前在驱动力方面的认识还不全面,目前还处于幼年时期,但现代科学的迅速发展和人们大量的实践活动和科学试验,一定会解决这一问题的。

③大地构造学作为一门基础科学,它的发展影响着地质学各学科的发展,同样的各学科的发展也必然反过来促进大地构造学的发展。板块构造学说近十年来在国外所以获得飞跃的发展,是与各工业部门,如石油工业、冶金工业、化学工业、海洋工程、水文工程、地震预测等在生产实践活动中,应用板块构造理论作指导,取得了一些初步的成效是分不开的。另外应用板块构造理论研究沉积学也取得很大进展。在国内首先取得区域地质、石油、矿产、地震等学科的重视也可看出它具有旺盛的生命力。因而尹赞勋先生建议再过几年要建立和健全“板块地质学”,而不仅是研究构造,这是有道理的。板块构造学说将给整个地质学带来一场大的革命。我国地质学界应对此予以重视。

④关于地壳发展方向性这一基本理论问题,一百多年来尚未完全解决。自丹纳 1873 年提出地槽学说和大陆好象有机体一样在生长的概念之后,他的大陆增长说被前苏联学者推广到全部地球史而成为泛地槽说。泛地槽说将地槽向地台转化和地壳稳定化看作是地壳发展的方向。50 年代初,前苏联学者看到亚洲中部和东部地台出现了“复活”现象,并一部分发生了“大洋化”。1965 年陈国达教授把这种后地台的活动构造称之为“地洼区”,认为它代表地槽阶段和地台阶段之后地壳发展的新阶段。近年来有人根据地月对比,将地月历史划分为四大阶段,以探讨作为行星的地球的演化方向。这个问题对于新兴的板块构造学说来讲,也是不可回避的。因为板块学说是根据地球史最近 5% 的时间的地质资料产生的。用它来探讨整个显生宙乃至隐生宙,还是有一定的困难。它作为一门独立的学说,近年来有许多同志开始接触这一问题,但这必需在前进中,接受实践的检验。相信随着前寒武纪地质、海洋地质和星球地质等学科研究工作的进展,以及板块构造学说在大陆上,在整个显生宙、隐生宙的领域不断探索,在 21 世纪出现重大的理论突破不是不可能的。

三、板块构造理论诞生与发展的特点

板块构造理论的诞生,被誉为是 60 年代地球科学中的一场革命。已渗透到地球科学的各个分支,并作为基础理论被应用到与人类息息相关的矿产、能源、自然灾害和工程地质、海洋地质等各个有关工业部门。板块构造理论与历史上其它大地构造理论相比,有下列六个特点:

①继承了地台、地槽学说一百多年来关于大陆构造地质研究成果的精华;

②吸取、综合了现代地球科学新的研究成果,如古地磁学、前寒武纪地质学、同位素地质学、遥感地质学、海洋地质学、地表地质学、深部地质学、显微构造地质学、地球动力学、地球物理学、地球化学、宇宙地质学等;

③应用了现代学科技术的新成就,如航天技术对类地行星的观察,卫星重力、卫星遥感影像对地球的探测技术,航空地热探测技术,爆破地震对地壳的测深技术,超深井钻探技术,海洋钻探技术、海洋测深技术等;

④得到地球科学各学科专家们的支持和拥护,地球物理学家、古生物学家、古地磁学家、同位素地质学家、地表地质学家,都以自己的学科研究成果支持和发展板块构造理论;

⑤持续不断地、有计划地开展国际间的、全球性的科学协作是促进板块构造理论迅速成长的一个重要因素,如已经执行过的“国际上地幔计划”、“国际地球动力计划”、“全球海洋钻探计划”和正在进行的“国际岩石圈研究十年计划”、“被动型大陆边缘钻探计划”等;

⑥有关矿产、能源、自然灾害等工业部门广泛应用板块构造理论，反过来在应用过程中不断地促进和发展板块构造理论。

四、板块构造理论研究的发展趋势

板块构造研究，反映了一个学说诞生后发展的必然趋势。1972年开始执行的“国际地球动力计划”集中地反映了这一历史事件。国际地球动力计划是由国际科学组织所制定的，是在国际大地测量和地球物理学会联合会以及国际地质学会的赞助鼓励下，来研究许多科学方面的机制而收集有关地球科学的资料，并集中于解决地球的动力和动力历史问题。

另外，板块构造理论也被应用在其他学科中，而发展起来，如沉积建造方面的研究，石油地质在含油气盆地成因机制方面的研究，地震学关于地震机制方面的研究，以及矿床学在岩浆活动与成矿规律方面的研究等。

由于板块构造学说建立的时间比较短，在研究的领域上和深度上都存在着明显的缺陷，有些模式是比较简单的，对人们长期以来在大陆上积累的丰富资料研究不够。这些都是板块构造理论前进的动力。

根据国内外近30年来开展板块构造研究的动向，可将板块构造理论研究的发展趋势概括为以下10个方面。

（一）由今到古

板块构造学说是根据中生代泛大陆的解体和大陆漂移、海底扩张、岩石圈的俯冲消亡，以及弧—陆碰撞、大陆间的碰撞等一系列地球动力学过程而建立起来的，但能否应用此理论研究地球古生代、元古代和太古代的活动历史呢？这是一个争论不休和很值得探索的问题。

（二）由海洋到大陆

板块构造理论有人认为是从研究海洋起家的，对大陆的复杂地质现象不能做出令人满意的解释，所以板块构造理论上大陆是必然的发展趋势，因为大陆上蕴藏着各种能源和矿产，人类主要是生活在大陆上。

（三）由板块边界向板内

板块构造理论认为岩石圈板块是一个不可压缩的刚体，其一系列地球动力学活动都发生在各种类型的板块边界上，但大陆岩石圈板块内部是比较复杂的，并且存在着各种级别的断裂系统，板块边界的各种地球动力学活动，都会通过地壳、地幔和软流层以及各级断裂系统传送到板块内部，而使板内地壳与沉积盖层也产生相应的振荡运动、水平位移和构造变动，它直接联系着板内含油气盆地的发生与发展，是一个极为重要的研究方向。

（四）由大到小

板块构造研究的一个重要趋势就是由大向小的、微的方向发展，这既是客观的需要，也是能源、矿产地质、区域地质和工程地质等工业部门的需要。如前所述，其研究发展的趋势有两点，一是由大板块向小板块和微板块划分研究发展，二是全球构造与显微构造研究相互结合。

（五）由地表向地球深部研究发展

板块构造理论认为岩石圈板块是一个不可压缩的刚体，其活动主要表现在岩石圈板块与软流层之间的接触带上；其次是沉积盖层和地壳。实际上，在沉积盖层与地核之间存在着一系列的岩石学的、物理的和化学的界面层圈，地球深部各级层圈之间存在着相对运动，而岩石圈和软流圈之间的活动，只是其中的一对。无疑，这对板块构造来说是很重要的一个界面

和层圈,但从地球整体来看,其他层圈的活动也是不容忽视的,特别是过渡层、下地幔、外核和内核,在地球演化过程中,始终以热的、化学的、物理学的、岩石学的各种方式进行着各层圈之间的物质交换、热能的扩散和由深部向浅层的各种动力学过程,对壳—幔引起各种相应的活动。

(六) 由重视以水平运动为主,同时向研究垂直运动的方向发展

板块构造理论是以研究水平运动起家的,这在大地构造学历史中是做出了贡献的,但垂直运动是客观存在的,它的产生一是与水平运动有关;二是与地球深部物质的上拱活动所产生的热效应和壳—幔物质混合作用有关;三是与岩石圈、软流圈和水圈的均衡作用有关。特别是对含油气盆地成因机制来说,垂直运动是非常重要的,所以,这也是一个很重要的发展方向。

(七) 由板块间的相对运动研究向板块的绝对运动发展

对于板块间的相对运动,无论在今板块和古板块研究方面都取得较大的进展。但对人类来说,自然灾害和能源、矿产的研究是非常重要的,板块间相对运动平均数字,不能满足客观的需要,必须研究板块间的绝对运动和突然爆发的活动。

(八) 由定性的大地构造学地质模型向定量的大地构造物理学和地球动力学方向发展

地球科学明确划分为地质科学和地球物理科学。大地构造物理学是利用物理学的技术和方法研究全球构造的学科,是地球物理科学的一个分支。地球动力学是研究实际观测到的构造现象所经历的演化和转换过程,它是在地质和地球物理两大学科之间发展起来的边缘学科,是对大地构造物理学的自然补充。地球动力学对地质事实进行概括和模拟,并建立模式,然后应用力学、热力学和物理化学的定律,对构造现象所经历的演化和转换过程进行复杂的计算机计算。

传统的大地构造学只研究地壳的构造运动和变形,而没有建立造成运动和变形的力学模型;更不能解释力的来源和解释水平运动和垂直运动发生的原因。而大地构造物理学和地球动力学在应用古地磁学、地震学、重力学、大地测量学、海洋地球物理学所实际观测到的地质构造现象,建立起各种模式,使全球板块构造理论沿着定量研究的方向发展。

此外,地热学模式和地球化学模式研究的发展,将对板块构造理论研究内部地球动力学产生重大的影响,使板块构造理论向更趋于完善的、定量的方向发展。

(九) 由地球本身向星系研究发展

地球作为天体的一个星球,它的演化受太阳系、银河系的控制。要解决板块运动的驱动力问题,除了研究地球本身外,还必须把地球作为天体的一员,研究太阳系、银河系对地球演化的控制因素;要研究地球演化的历史,必须研究类地行星的演化历史,从类地行星的演化可探知地球早期的演化历史。宇宙地质学的建立和航天技术的发展,为开展此方向的研究,提供了科学的依据。

(十) 由基础科学向广泛的应用科学方向发展

全球板块构造理论做为大地构造学是地球科学的一个重要分支,它可以做为基础理论应用于能源、矿产和自然灾害等工业系统的应用研究,一方面显示出它的旺盛的活力,一方面在工业部门广泛应用中,又可充实、发展板块构造理论。如板块构造理论在石油地质学的应用,不但在含油气区、含油气盆地类型划分方面提出了新的概念,并在盆地的演化,以及油气的生成、运移、聚集和分布规律方面都提供了许多新的认识和学说。