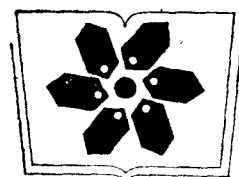


南海新构造 与地壳稳定性

刘以宣 主编

科学出版社



中国科学院科学出版基金资助出版

南海新构造与地壳稳定性

刘以宣 主编

科学出版社

1994

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是中国科学院南海海洋研究所构造地球物理研究室自 70 年代以来对南海及其沿岸的地质、地球物理和新构造调查的基础上所撰写的一部专著。

本书以“岩石圈动力构造”观点为指导,概述本区研究历史、岩石圈动力构造学术思想和新构造研究中若干新认识,全面论述区域地质与深部构造、构造地貌与第四纪地质、新构造类型及新构造运动分布规律、活动断裂、海平面变化与地壳升降、火山活动与热流分布、地震活动、构造应力场分析、新构造单元基本特征、地壳稳定性分析,它包括对沿岸经济开发区的珠江三角洲、韩江三角洲、琼雷地区和珠江口盆地、南沙海域以及海底不稳定因素等进行分析,最后对新构造在实践上的意义,结合生产实践的体会,分资源勘查与开发利用、工程建设与地壳稳定性评价、减灾防灾与环境保护等三方面进行阐述。

本书资料丰富、图文并茂,涉及到海洋地质、地球物理、地貌及第四纪地质、环境地质、灾害地质、大地构造、构造地质、地震地质、工程地质、数学地质、石油地质等学科,本书适合于上述学科研究者以及从事矿产资源普查、港口工程、农田水利工程、海洋工程、减灾防灾与环境保护、国土和城市规划等广大科技人员和大专院校师生参考。

南海新构造与地壳稳定性

刘以宣 主编

责任编辑 李祺方

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

北京东华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1994 年10月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1994 年10月第一次印刷 印张: 18 1/4 插页: 2

印数: 1--450 字数: 420 000

ISBN 7-03-004204-2/P·759

定价: 19.50元

前 言

富饶的南海是东亚陆缘最大的边缘海之一,面积达 350 万平方公里,位于欧亚板块、太平洋板块和印澳板块之交汇地带,地质构造复杂,新构造运动活跃。该边缘海及邻域岩石圈动力学性质及其与地壳稳定性的研究,是当代地球科学和“国际减灾十年”研究的十分重要课题之一。南海新构造与地壳稳定性的研究,对发展我国新兴的海洋新构造学,填补我国海区该项研究的空白以及勘探开发矿产资源、海洋工程建设、减轻地质灾害、环境保护等有着重要的理论和实践意义。

《南海新构造与地壳稳定性》是在中国科学院基金课题(850835)的基础上继续深化研究的成果,中国科学院出版基金资助出版。它是中国科学院南海海洋研究所自 1976 年以来,先后在南海北部、中部、中央海盆和南沙群岛进行地质地球物理调查和在韩江三角洲、珠江三角洲、雷琼地区、珠江口一大亚湾沿海、台湾海峡西部、南沙群岛、珠江口盆地、南海北部海域进行专题新构造与地壳稳定性的调查与研究,它包括反射地震测量、电火花地震测量、浅层剖面测量、重力、磁力、海底测深以及柱状取样、钻探等方法 and 手段。在 1986—1988 年间从厦门至湛江沿岸和万山群岛、上下川岛、海陵岛、海南岛沿岸以及珠江三角洲、韩江三角洲进行了行程达 3000 多公里的野外调查,采集 300 多个标本样品,拍摄了上千张照片和专门编绘重点地区的新构造、第四纪和地貌图件。在系统获得南海海区和北部沿岸大量地质地球物理和新构造资料基础上,参考国内外公开发表的文献资料,对南海新构造运动与地壳稳定性进行综合性分析研究,力求探寻岩石圈动力学与新构造运动的一些规律,并重点突出评价经济特区和开发区的地壳稳定性,以便加快对南海的开发。

本专著以“岩石圈动力构造”观点为指导思想(刘以宣,1990)。地壳构造单元的性质(活动区与稳定区)主要取决于地幔物质运动及其运载的岩石圈运动的变化、变形及其动力学性质。根据岩石圈动力构造观,概述南海及邻域区域地质构造与深部构造背景以及构造地貌与第四纪地质特征,分析了新构造的动力学成因类型和各类型新构造运动基本特征、新构造运动时空上的分布规律,不同动力学类型和时代的活动断裂系统,探讨南海地壳升降运动与海平面变化规律、地震活动和火山活动规律,阐明新构造单元基本特征,应用有限元法定量分析南海区域应力场,同时根据大量的新构造资料评价南海北部沿岸经济开发区以及南海石油开发区的地壳稳定性和海底不稳定性地质因素,还对新构造研究在实践上的意义进行了比较系统和全面的论述。在编著过程中尽量采用最新成果和文献资料,力图统一在一个观点下,深化新构造的认识,在此基础上提出一些与新构造运动传统理论不同的新观点,对开拓海洋新构造学和发展新构造学理论有一定的意义。

本专著由刘以宣主编。全书分十二章,前言、第一章、第四章、第五章、第十二章由刘以宣执笔;第二章由刘以宣、张毅祥执笔;第三章由谢以萱、陈俊仁执笔;第六章由刘以宣、陈俊仁、陆成斌执笔;第七章由詹文欢、夏斯高、夏戡原、陈忠荣执笔;第八章由周蒂、钟建强

执笔;第九章由詹文欢执笔;第十章由刘以宣、詹文欢执笔;第十一章由刘以宣、钟建强、詹文欢、陈俊仁执笔。全书统稿由刘以宣负责,谢以萱、詹文欢参加部分章节的统稿工作。图件清绘由殷佩英、许跃萌负责。参加本课题野外调查和阶段性工作有刘以宣、卓家伦、黎昌、钟建强、詹文欢、丘学林、陆成斌、潘新虎、李赶先等。

《南海新构造运动与地壳稳定性》研究,牵涉地域较广,学科较多,包括海洋地质学、地球物理学、大地构造学、构造地质学、第四纪地貌学、地震地质学、工程地质学、数学地质等学科,难度较大,对海洋新构造学的系统和全面研究在我国尚属首次,在国外专门系统论述海洋新构造的文献极为少见。本专著作者虽然长期从事南海新构造与地质地球物理调查研究工作,由于本书涉及面较广,学科较多,加上作者水平有限,不可避免存在一些缺点和错误,敬希同行予以指正。

本专著是中国科学院南海海洋研究所构造地球物理研究室全体成员长期劳动的结晶;地质矿产部第二海洋地质调查大队陈俊仁高级工程师及其同事们亦付出辛勤的劳动和提供若干新资料,使本书增色不少。在编写过程中得到陈国达教授的关怀和指导,中国科学院南沙综合科学考察队总负责人陈清潮教授对南沙新构造调查研究和专著的出版给予支持和鼓励,孙玉科、黄玉昆、李祺方等专家对专著进行了评审,并提出了一些宝贵的修改意见,在此一并致以谢意。

目 录

前 言	(v)
第一章 绪论	(1)
第一节 研究历史回顾	(1)
第二节 新大地构造单元与岩石圈动力学	(4)
第三节 新构造研究中若干理论问题新认识	(12)
第二章 区域地质与深部地壳构造	(17)
第一节 区域地质基础	(17)
第二节 地壳结构与地壳深部构造	(25)
第三节 区域大地构造背景	(31)
第三章 区域构造地貌与第四纪地质	(37)
第一节 区域构造地貌特征	(37)
第二节 第四纪地质	(47)
第四章 新构造运动类型及分布规律	(60)
第一节 新构造运动动力学类型划分	(60)
第二节 新构造类型基本特征	(64)
第三节 新构造运动分布规律	(69)
第五章 活动断裂	(85)
第一节 活动断裂格局与系统	(88)
第二节 活动断裂的演化与类型	(92)
第三节 活动断裂带基本特征	(95)
第六章 海平面变化与地壳升降运动	(108)
第一节 海平面变化标志及识别	(108)
第二节 海平面变动及古岸线遗迹	(113)
第三节 晚更新世以来海平面变化	(121)
第四节 地壳升降运动	(128)
第七章 火山活动与热流分布	(134)
第一节 火山活动	(134)
第二节 热流分布	(143)
第八章 地震活动	(151)
第一节 地震带划分系统	(151)
第二节 台湾-菲律宾地震带	(152)
第三节 南海地震区	(158)
第四节 华南地震区	(162)

第五节 地震活动与新大地构造的关系·····	(163)
第九章 构造应力场分析·····	(166)
第一节 河流水系反映的构造应力场·····	(166)
第二节 由震源机制解反映的应力场·····	(167)
第三节 地幔对流反映的应力场·····	(170)
第四节 数值模拟反映的应力场·····	(171)
第十章 新构造单元基本特征·····	(181)
第一节 新构造单元分区原则与系统·····	(181)
第二节 台湾-菲律宾岛弧断褶带·····	(184)
第三节 南海陆缘扩张裂陷带(Ⅱ)·····	(190)
第四节 华南-中南半岛沿海断块隆起带(Ⅲ—Ⅳ)·····	(198)
第十一章 地壳稳定性分析·····	(201)
第一节 地壳稳定性评价方法和原则·····	(201)
第二节 大区域地壳稳定性分区特征·····	(208)
第三节 珠江三角洲地壳稳定性·····	(211)
第四节 韩江三角洲地壳稳定性·····	(217)
第五节 琼雷地区地壳稳定性·····	(222)
第六节 珠江口盆地地壳稳定性·····	(228)
第七节 南沙群岛地壳稳定性·····	(234)
第八节 海底不稳定因素分析·····	(240)
第十二章 新构造研究在实践上的意义·····	(257)
第一节 资源勘查与开发利用·····	(257)
第二节 工程建设与地壳稳定性评价·····	(263)
第三节 减灾防灾与环境保护·····	(266)
参考文献·····	(272)
英文摘要·····	(282)

CONTENTS

Preface	(v)
Chapter 1. Introduction	(1)
Section 1. Historical review	(1)
Section 2. Neotectonic division and lithospheric dynamics	(4)
Section 3. A new view on some problems in neotectonic studies	(12)
Chapter 2. Regional geology and deep crustal structures	(17)
Section 1. Regional geology	(17)
Section 2. Crustal structure and deep structural framework	(25)
Section 3. Tectonic setting	(31)
Chapter 3. Structural geomorphology and Quaternary geology	(37)
Section 1. Regional structural geomorphology	(37)
Section 2. Quaternary geology	(47)
Chapter 4. Types and distributions of neotectonic movements	(60)
Section 1. Dynamic classification of neotectonic movements	(60)
Section 2. Basic characteristics of neotectonic types	(64)
Section 3. Distributions of neotectonic movements	(69)
Chapter 5. Active faults	(85)
Section 1. Framework and system of active faults	(88)
Section 2. Evolution and types of active faults	(92)
Section 3. Basic characteristics of active fault belts	(95)
Chapter 6. Sea-level changes and vertical crustal movements	(108)
Section 1. Marks and identification of sea-level changes	(108)
Section 2. Sea-level changes and paleo-coastline relicts	(113)
Section 3. Sea-level changes since the Late Pleistocene	(121)
Section 4. Vertical crustal movements	(128)
Chapter 7. Volcanic activities and heatflow distributions	(134)
Section 1. Volcanic activities	(134)
Section 2. Heat flow distributions	(143)
Chapter 8. Seismic activities	(151)
Section 1. The system of seismic divisions	(151)
Section 2. Taiwan-Philippine Seismic Zone	(152)
Section 3. South China Sea Seismic Region	(158)
Section 4. South China Seismic Region	(162)
Section 5. Relations between seismic activities and neotectonics	(163)
Chapter 9. Tectonic stress field	(166)
Section 1. Tectonic stress field as revealed by drainage systems	(166)
Section 2. Tectonic stress field as revealed by hypocentral mechanic solutions	(167)
Section 3. Tectonic stress field as revealed by mantle convection	(167)

calculations	(170)
Section 4. Tectonic stress field estimated by numerical modeling	(171)
Chapter 10. Neotectonic divisions	(181)
Section 1. Principle and system for neotectonic division.....	(181)
Section 2. Taiwan-Philippine Fault-fold Zone	(184)
Section 3. Marginal Spreading Rift Zone of South China Sea	(190)
Section 4. South China and Indo-China Peninsula Coast Block-fault and Uplift Zone	(198)
Chapter 11. Crustal stability	(201)
Section 1. Principle and methods for evaluating crustal stability	(201)
Section 2. Large-scale divisions of crustal stability.....	(208)
Section 3. Crustal stability of Zhujiang River Delta	(211)
Section 4. Crustal stability of Hanjiang River Delta	(217)
Section 5. Crustal stability of Hainan Island and Leizhou Peninsula.....	(222)
Section 6. Crustal stability of Zhujiang River Mouth Basin	(228)
Section 7. Crustal stability of Nansha Islands	(234)
Section 8. Factors affecting the stability of sea-bed	(240)
Chapter 12. Practical significance of neotectonic studies	(257)
Section 1. For resource exploration and exploitation	(257)
Section 2. For constructions and evaluation of regional stability	(263)
Section 3. For environmental protection and hazard reduction and prevention	(266)
Reference	(272)
Abstract	(282)

第一章 绪 论

第一节 研究历史回顾

对南海新构造运动的研究,大量文献资料显示,主要从研究沿岸新构造升降运动开始,至70年代末才逐步转向海洋新构造运动某些特征方面的研究。国外对海洋新构造运动的研究主要有岛弧地区的地震活动、火山活动和海平面变动等文献较多,而对海洋新构造学作为一门学科全面系统进行论述并不多见。

一、南海北部沿岸新构造研究回顾及述评

近代对南海沿岸新构造运动的研究已有近百年的历史,主要着重于沿岸地区的海岸升降运动的研究,大致可分为50年代以前的定性研究阶段;50年代至70年代的定性与半定量研究阶段以及80年代至今的定性与定量综合研究阶段。

第一阶段自1862年T. W. Kingsmil在香港发现30m以上含海相化石的半胶结沉积物,首次提出该区存在海岸上升的看法后,此后研究沉寂了近半个世纪。1912年F. V. Richthofew(李希霍芬)在《中国》一书中提出“中国海岸以浙江杭州湾口舟山群岛为折点,以北一段为上升岸,以南一段为下沉岸”,这一观点流行颇久,并为一些教科书所引用。随后R. W. Brock和S. J. Schofield(1926)、A. Heim(1929)C. M. Heaney和J. L. Shell-shear(1932)、林观得(1931)等先后在香港、广州和福建平潭相继发现若干级上升海成阶地,提出南海北部沿岸是属于“先下沉后再上升”新观点。1935年李庆远在《中国海岸升降问题》一文中,指出我国海岸“不分南北,均属沉降型”海岸。1937年林观得指出福建沿海同时存在海岸下降和上升的证据。1940年吴尚时在《广州南路地形》一文中,提出“阳江以东为轻微上升区,阳江以西方近期下沉区”的观点。1942年马廷英在《闽南岸线之变动》一文提出,闽南岸线在最近地质时期发生三升两降的论点,同年高振西提出福建海岸“先降后升,大降小升”的看法。1948年陈国达在《广州附近上升浪蚀阶地及粤式海岸之成因》一文中,认为广州和粤西属“沉降中参有逆向运动的复式岸线”,并把海岸升降归因于挠曲和断块运动。

第一阶段研究特点是在局部地点进行粗略调查后,大多以海岸升降运动思想为指导,以地貌形态描述的定性研究为主,围绕华南沿岸是沉降还是上升作为争论焦点,这些争论虽无年代依据,但给后人研究海岸升降运动打下一些基础,活跃了学术思想。

第二阶段自50年代至70年代。解放后由于国家经济建设的需要,对海岸带地质地貌调查研究的学者日益增多。1951年陈国达在《中国岸线问题》一文中,再次论证中国海岸是“海岸下沉后,地壳依次隆起形成四级阶地”。1957年曾昭璇在《我国南海海岸最近升降问题》一文中,提出“先升后降”,认为沿岸几级台地、阶地是在海侵以前上升的产物,大

海侵后下沉。1961年叶汇在《华南与华中的新构造运动》一文中阐述了更新世有过三次以上间歇性上升,晚更新世末期下沉的观点。

60年代中国科学院南海海洋研究所牵头与中山大学地质地理系、广州地理研究所等单位联合对“华南海岸第四纪地质与新构造运动”进行系统和全面调查,测绘1:20万第四纪地质图与地貌图,出版了《华南沿海第四纪与新构造运动调查研究报告》(1978),并做了大量微体生物分析、机械分析、镜下矿物鉴定、第四纪化石和考古文物鉴定工作,划分第四纪沉积和地貌成因类型及相对年代,使该项研究从过去定性描述走向定性半定量研究,提出华南海岸的升降变化是构造升降与第四纪冰期、间冰期更替引起海水增减彼此消长的结果,指出晚更新世末期受冰期影响产生大海退,全新世早期产生大区域海侵,幅度80—100m,全新世中期海侵幅度3—7m,现今海岸属稳定或轻微上升。刘以宣(1961、1965、1966)曾先后著文论述华南海岸升降问题,他认为“水动型”升降与“地动型”升降在华南沿海同时存在,其升降幅度因时因地而异,指出冰期与间冰期交替变化引起海水增减对第四纪以来海岸升降起着控制作用。晚更新世末最后一次冰期海面下降120m,冰期后海面急剧回升,至五六千年前有比现今海面高3—5m的高海面,接着海面再小下降,近几千年历史时期海面有过1—2次小幅度波动,近期海岸部分地区构造运动有轻微上升的趋势,现今海平面变化以1—2mm/a速率上升。黄玉昆和刘以宣(1966)在《华南沿海新构造一些迹象》一文中较全面和系统论述沿海的升降运动、断裂与断块、褶曲、火山、地震、温泉等新构造迹象和分布特征。

该阶段研究不论在资料积累、研究广度和深度、学术思想和观点阐述比前一阶段有了新进展,特别是在“水动”与“地动”升降及其时代、幅度、次数以及新构造运动迹象等观点为第三阶段研究打下良好基础。

自80年代以来至今的第三阶段,沿岸新构造运动研究出现崭新的局面,主要是改革开放促进经济和科技发展,应用新技术新方法、多种测龄手段、验潮资料分析等,使海岸升降变化以及对活动断裂的研究走向定性和定量的综合分析阶段,并从地质历史时期海平面变化规律,预测未来变化趋势,对活动断裂、块断构造、地震活动、火山活动、地壳稳定性等新构造研究亦趋向于定性定量的综合研究。有关华南沿海海平面变化、新构造运动、活动断裂、地震活动与地壳稳定性分析文章大量涌现。有代表的研究论著有赵希涛(1979、1984、1985)、林观得(1985)、黄玉昆(1980、1987、1989、1992)、刘以宣(1981、1983、1985、1987、1991)、黄镇国(1982、1986、1987)、李平日(1982、1987、1991)、张虎男(1983、1986、1990)、丁原章(1984)、陈恩民(1984)、冯文科(1982、1988)、陈俊仁(1983、1991)等,他们对华南沿海地壳升降运动与海平面变化的论点有许多共同之处:

(1) 论证华南沿岸不是地壳构造稳定区,是新构造时期断块差异运动明显地区,珠江三角洲与韩江三角洲是断陷三角洲。

(2) 第四纪冰期与间冰期交替变化对南海海面变化有控制作用,海平面曾有过多次海侵和海退的交替变化。

(3) 最后一次冰期低海面位置在80—160m,随后海面迅速上升,并在不同位置有过相对间歇性停留,塑造各级水下阶地。

(4) 全新世以来海平面呈波动状态,在中期和晚期海平面曾有过1—5m的高海面,个别学者认为全新世没有出现过高海面,沿岸低位阶地是地动型升降的结果。

(5) “水动型”和“地动型”的海平面变化同时存在,目前难以把两者的升降幅度和速率截然分开,因而全新世海平面变化曲线只有相对海平面意义,没有必要再去争论有关“高海面”的问题。

(6) 未来 100 年内海平面是呈上升的趋势,其上升速率在 1—5 mm/a 之间或更高,今后 50 年内对华南沿海生态环境及社会经济带来重大影响。

分歧之处是由于确定海平面标志物的多解性和影响海平面变化的多样性,以及新构造运动的复杂性和差异性,因而晚更新世以来海平面变化时代、幅度的曲线形态有出入,未来海平面变化趋势定量认识不一致,以上共识使今后进一步讨论南海北部沿岸升降运动和海平面变化有了共同基础。

在本阶段除上述有关南海北部沿岸的升降运动论述外,对华南沿海新构造时期的断裂构造,特别是 NW 向和 NEE 向断裂的活动性研究以及活动断裂的类型,断块构造、雷琼地区火山岩、华南沿海温泉与地震活动关系、地壳稳定性分析、琼山大地震陆陷成海的研究以及珠江和韩江三角洲的断块构造和三角洲形成演化、沿海的地质灾害、新构造应力场、海滩岩等方面均取得了进展。在该段时间张虎男等(1990)著《华南沿海新构造运动与地质环境》和黄玉昆等(1992)主编《华南沿海晚新生代地质》论文集的出版,是华南沿海地区较系统和全面阐述该区新构造的著作。

二、南海海洋新构造调查研究史略

与南海北部沿岸新构造调查历史相比,南海海洋新构造运动研究则起步较晚。解放前仅有个别学者对我国南海诸岛进行过珊瑚岛屿的调查,为研究地貌第四纪与新构造提供基础资料。自 60 年代开始,由于能源和国防的需要,美、苏、日等国,利用新技术和新方法对南海进行了多学科的地质地球物理调查,调查项目包括测深、底质取样、地热、反射与折射地震、重力、航磁和海磁等项目,调查范围主要在南海东部和西南部海域。70 年代亚洲近海矿产资源联合勘探协调委员会(CCOP)和政府间海洋学委员会(IOC)联合实施“东亚构造和资源研究”专题,上述研究成果对研究东亚大陆边缘和南海地质构造提供重要基础资料。

我国对南海地质地球物理大规模调查研究始自 70 年代初,以找油气资源为目的,由地质矿产部第二海洋地质调查大队主持,南海海洋研究所参加,对北部湾盆地进行 1:50 万的海底地形、重、磁、地震以及底质调查,首次肯定北部湾盆地的含油气远景。70 年代中后期二海对珠江口盆地进行 1:100 万以寻找油气资源为目的的地质地球物理调查以及在 80 年代后期转而对珠江口盆地进行 1:20 万工程地质调查和灾害性地质专题研究,90 年代又对南沙群岛曾母盆地及邻近海域进行地质地球物理调查。1974—1979 年石油工业部南海西部石油公司继续在北部湾盆地进行地震详查和钻探工作,以及 80 年代至 90 年代南海西部与东部石油公司为海洋石油工程地质和勘探做了较多地球物理调查工作。上述各部门围绕油气资源为目的的地质地球物理调查工作,为研究南海新生代构造提供重要的科学依据。

中国科学院南海海洋研究所对南海海域进行多次海洋科学综合调查,其中与地质地球物理有关的调查研究有 1976 年“南海北部海域地质地球物理调查”,1977—1978 年的

“南海中部海域地质地球物理调查”和“南海中央海盆黄岩岛地质地貌调查”，1984—1990年“南沙群岛及邻近海域地质地球物理调查”，1986—1990年“台湾海峡西部石油地质地球物理与化探调查”，1987年“南海北部湾涠11-1井海区工程地质调查评价”，1986—1991年多次对珠江口盆地和莺歌海崖城区海洋工程地质调查，这些调查研究成果为研究该区新构造、地貌及第四纪地质提供大量基础资料。我所是开展研究海洋新构造起步较早的单位，在1960—1964年开展1:20万“华南沿海第四纪地质与新构造调查研究”。1976年成立我国第一个海洋新构造学的学科组，对南海北部沿岸和南海北部、南部利用先进地球物理方法和综合手段开展一系列新构造专题研究，出版和编写报告有《海震及其引起的海啸》(1976)、《南海北部沿岸区域断裂构造图》(1978, 据卫片分析)、《华南沿海区域断裂构造分析》(1981)、《广东大亚湾核电站选址新构造调查研究报告》(1980—1982)、《闽粤滨海断裂带分析研究专题报告》(1980)、《华南沿海的活动断裂》(1985)、《珠江口—红海湾的活动断裂》(1986)。

1985年获中国科学院自然科学基金(850835)资助，开展对南海新构造运动与地壳稳定性研究，在此基础上结合生产课题开展一系列有关新构造专题研究以及发表有关论文计有：《南海北部新构造运动与海洋环境稳定性研究》(1986)、《汕头广澳全新世风坡积岩与东南沿海碳酸盐胶结碎屑岩成因的研究》(1987)、《汕头深水港选址新构造调查研究》(1986)、《深圳大鹏湾上洞采油平台厂选址新构造调查研究》(1985)、《珠江口盆地东部石油开发区活动构造与地震危险性分析》(1987)、《琼州海峡西部海洋环境评价》(1986)、《南海及邻区现代构造应力场研究》(1987—1990)、《琼州海峡断裂构造与区域稳定性分析》(1989)、《粤东沿海全新世碳酸盐胶结碎屑岩的基本特征及其与古地理环境的关系》(1988)、《南海新构造运动与地震》(1988)、《台湾海峡新生代断裂构造与地壳稳定性分析》(1989)、《南沙西南新构造运动与灾害性地质》(1989)、《南沙礼乐滩海域新构造运动与区域稳定性》(1990)、《南海珠江口盆地及邻域活动断裂与区域稳定性分析》(1988)、《滨海断裂与南澳断裂基本特征及其活动性探讨》(1987)、《珠江口及邻域活动断裂与区域稳定性分析》(1988)、《南沙群岛的新构造运动与地壳稳定性分析》(1992)、《华南沿海灾害地质类型与分布规律》(1990)、《海洋大地构造类型与岩石圈动力学分析》(1991)、《论全球活化构造的类型、演化与成矿作用》(1990)、《南海晚更新世以来海平面变化与环境变迁专题研究》(1991—1993)、《大亚湾石化项目港湾工程选址海域活动断裂调查与地壳稳定性分析》(1992)。上述成果为我们全面系统研究南海新构造运动与地壳稳定性提供重要依据。

第二节 新大地构造单元与岩石圈动力学*

70年代国际上地幔计划和地球动力学计划的实施,80年代岩石圈研究计划的一些新进展,兴起岩石圈动力分析法,该法主要是分析岩石圈运动变化、变形及其动力学机制的关系,从而探索岩石圈演化历史。80年代,我们曾用此法与地质历史分析法相结合,着重分析南海大地构造、海洋大地构造及全球大地构造单元的类型和成因(刘以宣,1984、1990、1992),称之为岩石圈动力构造观。近年继续以此观点和理论体系研究海洋新大地构造,并作为全书的学术指导思想。

* 本节为所长基金资助阶段性成果。

一、地壳构造地貌单元与壳幔结构

大陆、大洋和大陆边缘是地球表面三大超级构造地貌单元,亦可称为超级新大地构造单元。大量的地质地球物理资料显示,大陆、大洋和大陆边缘的地壳—上地幔结构基本特征不同,它们分别是属于大陆型地壳、大洋型地壳和过渡带型地壳。壳幔结构主要依据上地幔中存在着地震波的低速层而确定。在大陆之下,低速层的顶面深度大(100—200km),层厚度较小;在大洋之下,低速层顶面深度较浅(50—60km),层厚度较大,低速层中地震波速降低以横波为显著,地壳中横波速度为 4.6—4.7km/s,而低速层中的横波降低 0.2—0.3km/s;位于大陆与大洋之间过渡带的大陆边缘,低速层埋深则处于两者之间,一般在六七十至百公里以上。低速层中横波波速的降低,反映出其物质较热、较轻或较软,具有一定的可塑性,是岩浆的主要来源,相当于软流圈,大致与上地幔中的低速层相当,低速层以上基本为固体,称之为岩石圈。岩石圈底部主要由二辉橄榄岩或较多基性岩组成,上部的大陆壳则由硅镁层和硅铝层组成。岩石圈厚度为 100—120km,而大洋地壳则缺硅铝层,岩石圈厚约 50—60km;大陆边缘在许多特征方面处于洋陆之间,既有陆壳(或次陆壳)亦有洋壳(或次洋壳),岩石圈厚在 60—100km 之间。

在超级构造地貌中,次一级不同构造地貌单元,软流圈的埋深和表现程度亦不相同,在活动的构造地貌区,特别在高热的大洋裂谷、陆缘裂谷、大陆裂谷以及新生代造山带的轴部之下,软流圈或低速层的上界显著抬升,大洋裂谷的软流圈上升至洋底不过数公里。

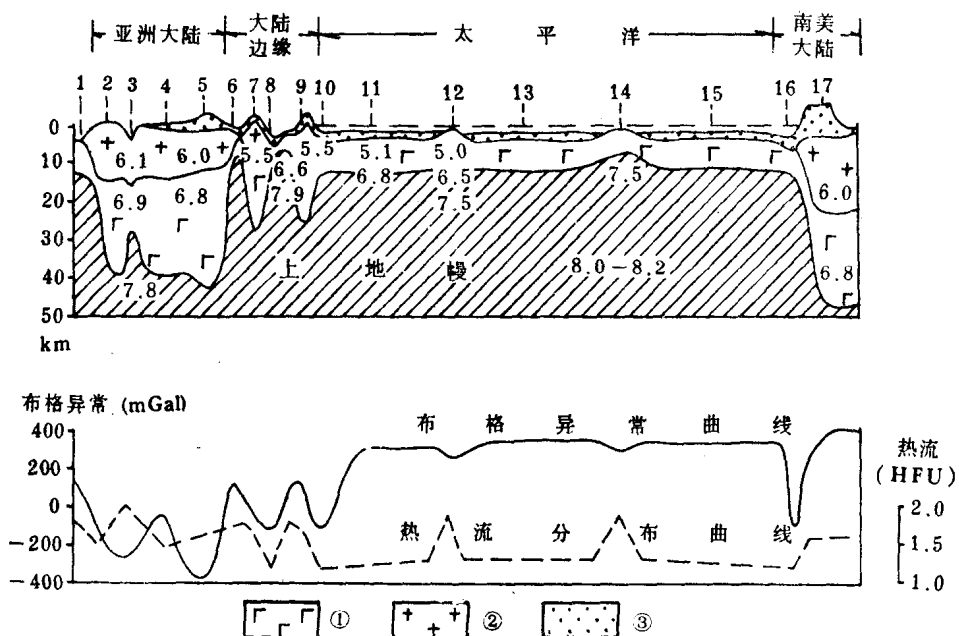


图 1-1 亚洲—太平洋—南美洲地壳结构、布格重力异常、热流综合剖面

1. 北冰洋被动陆缘海; 2.4. 西伯利亚地台; 3. 贝加尔大陆裂谷; 5. 华夏型活化区; 6. 东海陆缘海; 7. 琉球-台湾岛弧; 8. 菲律宾海; 9. 马里亚纳岛弧; 10. 马里亚纳海沟; 11. 马里亚纳海盆; 12. 中太平洋海岭; 13. 东太平洋海盆; 14. 东太平洋海脊; 15. 秘鲁海盆; 16. 秘鲁智利海沟; 17. 安第斯造山带; ①硅镁层; ②硅铝层; ③沉积层

一般是软流圈经历长期冷却作用而下沉和增厚,通常岩石圈厚度随年龄增加而增大。

超级构造地貌单元的壳幔结构和差异,除了它们在纵向和横向上有很大变化,表现出不均一性外,在重磁异常和热流方面表现亦不均一,如图 1-1 是通过亚洲—太平洋—南美地壳结构、布格重力异常、热流综合剖面,从剖面中可看出超级构造地貌中的次一级构造地貌单元的活动区与稳定区的差异性。它们之间主要区别在于地幔的不均一性,若是壳幔界面呈过渡关系,莫霍面不明显,上地幔低速层埋藏浅,厚度大,壳下显示异常地幔,热流值高,重力异常梯度突变,显示出构造地貌单元是活动区;若壳幔界面明显,上地幔低速层埋藏深、厚度薄、无异常地幔、热流值较低,布格重力异常变化和缓,则显示出是稳定区。

二、地壳构造单元的岩石圈动力学综合分析

如上所述,地壳构造地貌单元的活动性与稳定性是岩石圈客观存在的实体,在地球演化过程中,它们的出现主要取决于上地幔物质蠕动活跃情况以及驮载岩石圈块体的动力学性质。上地幔物质蠕动相对较小和驮载岩石圈块体之间运动缓慢、地幔物质的不均一性相对较小,上地幔 P 波速度在 $7.8—8.5\text{km/s}$ 之间,壳幔界面表现明显,上地幔低速层埋藏深、厚度薄,无异常地幔,则地壳表现为稳定区。上地幔物质蠕动和驮载岩石圈块体之间的运动比较快速,地幔物质不均一性大,上地幔 P 波速度为 $7.2—7.7\text{km/s}$,壳幔之间呈过渡关系,莫霍面不明显,上地幔低速层埋藏浅,厚度大,具异常地幔,则地壳表现为活动区。异常地幔包括两种类型,一类是以地幔物质隆升蠕动为特征,地幔流上升,地壳热流值增多,地壳块体受牵引变薄,两侧块体逐步裂离,以至露出洋壳,发生中基性火山岩、基性熔岩喷溢和超基性岩侵位,所形成的活动区是属张性,如大洋中脊裂谷系、陆间裂谷系、陆缘裂谷系和大陆裂谷系。南海海盆是属于大陆边缘裂谷系的陆缘海。另一类是以上地幔物质下降为特征,岩石圈块体因受挤压牵引而增厚,伴随酸性至中性岩浆侵入,岩石圈块体会聚拼合,产生强烈褶皱山系,所形成的活动区是属压性,如喜马拉雅造山带,包括南海邻侧的台湾—菲律宾—印尼岛弧在内的环太平洋造山带。

从海陆大地构造角度思考,以岩石圈动力学为指导思想,博取各家之长,吸收板块说、地洼说、断块说、地质力学说、多旋回说以及槽台说优点和分析法,开拓思路,建立既适合大洋,亦适合于研究大陆和大陆边缘,而有一定特色综合研究方法,我们曾称之为岩石圈动力学构造分析法,简称“动力构造”观点(刘以宣,1990、1991),它的特色是综合下列四种构造环境分析:

(1) 岩石圈动力学分析 岩石圈块体运动方式、方向、变形和动力作用过程,上地幔物质驮载岩石圈块体按一定方向蠕动,各块体之间的运动方式有离散型、敛合型和转换型三大类,每大类根据两块体壳幔性质分为若干类型的运动方式,如陆-陆、洋-洋、洋-陆、岛弧-大陆等会聚和离散以及地体碰撞与增生等类型,而每一类型的作用和结果都控制着大地构造和新大地构造单元的成因类型和基本特征,称之为大地构造动力学环境。

(2) 岩石圈地质历史分析 依据地壳各时代建造特征,包括沉积建造、岩浆建造、变质建造以及形变、构造层结构特征等恢复地质历史和大地构造演化特点,恢复每个阶段大地构造性质(活动区与稳定区)和类型(地槽、地台、地洼),称之为大地构造历史环境。

(3) 岩石圈应力分析 每个地质时期岩石圈块体之间的相对运动的力学性质、方

向、最大主应力值、剪应力值以及所形成的构造体系特征,可称之大地构造应力环境,依据岩石圈块体之间相对运动,分为拉张、挤压和剪切三大类以及张剪、压剪性等多种力学性质。现代岩石圈板块应力场的主应力和剪应力值大小,可以依据板块边界测定和推算应力值大小、方向、洋壳消减速率等数据,模拟计算出现代构造应力场分布格局。地质时期应力场依据古地磁、地层岩石的形变来推断。

(4) 岩石圈结构类型分析 主要分析岩石圈块体所在的超级构造地貌单元——大陆、大洋和大陆边缘的壳幔结构、深部构造、异常地幔以及大地构造单元形成时分布的地质地理位置和环境,简称为大地构造岩石圈结构环境,例如地台、地洼发育在大陆壳内部,地洼亦发育在大陆边缘的陆壳和过渡壳内,地槽发育在大陆边缘和大洋边缘的沟弧系内,大洋壳则发育洋盆、洋脊和洋岭等大洋构造单元。

上述四种综合分析法,以岩石圈动力分析为基础,贯穿岩石圈历史分析为其主要内容,把应力分析和壳幔结构分析作为纲目,综合大地构造性质、动力学环境与应力、壳幔结构以及上地幔界面形态及驱动力等关系综合在表 1-1 中。

表 1-1 大地构造性质与大地构造动力环境及地幔关系

应力与 动力学 环境 壳幔 结构类型	拉 张	挤 压	剪 切	滑 动
	离散型	聚敛型	转换型	被动型
大陆	大陆裂谷系 (大陆活动区)	大陆-大陆碰撞带 洋-陆俯冲带 (大陆活动区)	转换断层带 (大陆活动区)	大陆地台 (大陆稳定区)
过渡带 (大陆边缘)	陆间裂谷系 活动陆缘裂谷系 (大陆边缘活动区)	岛弧海沟系 岛弧-大陆碰撞带 地体碰撞带 (大陆边缘活动区)	陆缘 转换断层带 (大陆边缘活动区)	被动陆缘裂谷系 (大陆边缘活动区)
大洋	大洋中脊裂谷系 大洋海岭活动带 (大洋活动区)	洋内弧沟系 (大洋活动区)	洋底转换断层带 (大洋活动区)	大洋盆地 (大洋稳定区)
上地幔界面形态	异常地幔,呈上隆	异常地幔,呈凹陷	异常地幔,呈上隆	正常地幔,呈和缓
驱动力方式	地幔流上升	地幔流下降	地幔流上升	地幔流并缓慢蠕动

上述块体概念包括板块和板内亚板块、壳块、微陆块和外来地块,因而板内同样出现不同类型的新构造类型活动区,如南海是欧亚板块边缘内部的一个陆缘壳块,其内部出现陆缘海地洼区、边缘海盆地槽区,边界出现离散、聚敛、剪切不同动力学类型新构造单元。

三、地壳基本构造单元的动力学类型划分

洋壳、大陆壳和大陆边缘地壳三大基本构造单元前人已研究清楚,在地质历史时期演化一般顺序是地槽(活动区)—地台(稳定区)—地洼(活动区)(陈国达,1959),它们在空间上配置呈有规律分布,在大陆壳内部,因板块或壳体滑动,刚性基底已褶皱变质和固结硬化未受构造形变和岩浆作用的影响,则为大陆稳定区,包括地台、地盾两类型;在大陆壳内

部由于大陆裂谷、陆-陆碰撞和洋壳俯冲消减作用出现大陆活动区,包括地洼区与地槽区,地洼区是在地台区内部发育,即经历地台阶段之后出现的活动区,有滨太平洋型(洋-陆俯冲)、喜马拉雅型(陆-陆碰撞)与大陆裂谷型(大陆扩张)。地槽区是在陆间海或大陆边缘洋壳环境上发展起来,后期转化为挤压的有特提斯型(陆-陆碰撞)和安第斯型(洋-陆俯冲)。在过渡型地壳内则出现大陆边缘活动区——地洼区与地槽区,它是洋壳俯冲消减,弧-陆碰撞或地体拼贴与陆缘扩张最剧烈地带,亦是洋壳与陆壳相互转化和新构造运动最强的活动带,在该带地洼区分布在靠大陆一侧,发育在陆壳或过渡壳之上;地槽区则分布在靠大洋一侧,发育在洋壳或过渡壳之上。西太平洋陆缘活动带一般自陆至海依次出现陆缘海型(陆缘扩张)地洼区(南海型)、陆缘岛型(弧-陆碰撞)地洼区(台西型)、沟弧型(洋-陆俯冲)地槽区(菲律宾型)、边缘海型地槽区(菲律宾海型)和火山弧沟型地槽区(马里亚纳型)。大洋地壳亦分为三个基本构造单元(刘以宣,1986,1991),其地质演化顺序是洋脊区(大洋中脊活动区)—洋盆区(大洋盆地稳定区)—洋岭区(大洋火山海岭活动区)。在空间配置亦呈有规律分布,洋脊区位于大洋裂谷带内,其两侧发育洋盆稳定区,在洋盆区内发育和分布有海底火山海岭。现将地壳构造单元的岩石圈动力学成因类型归纳在表1-2中。主要类型的动力学成因如图1-2和空间配置如图1-3所示。

表 1-2 地壳构造单元动力学类型划分

地壳构造单元类型	应力与动力学类型	拉 张	挤 压	剪 切	滑 动
		离散型	聚敛型	转换型	被动型(过渡型)
大陆	地槽	/	特提斯型(陆-陆) 安第斯型(洋-陆)	北美海岸山脉型 (海底转换型)	/
	地台	/	/	/	北美型 西伯利亚型
	地洼	东非型(陆谷型) 盆地山脉型(地垒-地堑)	滨太平洋型(洋-陆) 喜马拉雅型(陆-陆)	/	滨大西洋型
大陆边缘	地洼	红海型(陆间裂谷) 东亚陆缘海型	东亚陆缘岛弧(弧陆) 陆缘地体(外来地块)	加利福尼亚盆地型 (转换拉张型)	(拖曳型)
	地槽	边缘海型 (陆缘扩张型) 阿丁湾型 (新生大陆边缘)	岛弧海沟型(洋-陆) 地体型 新而几内亚型(弧-陆) 阿曼海型(推覆型) 马里亚纳型(洋-洋)	加利福尼亚湾型 (转换拉张型)	大西洋陆缘型 (被动陆缘型)
大洋	洋脊	大西洋中脊型	/	裂谷-裂谷转换型	/
	洋盆	/	/	/	北美海盆型
	洋岭	夏威夷海岭型	/	/	/