

许靖华教授

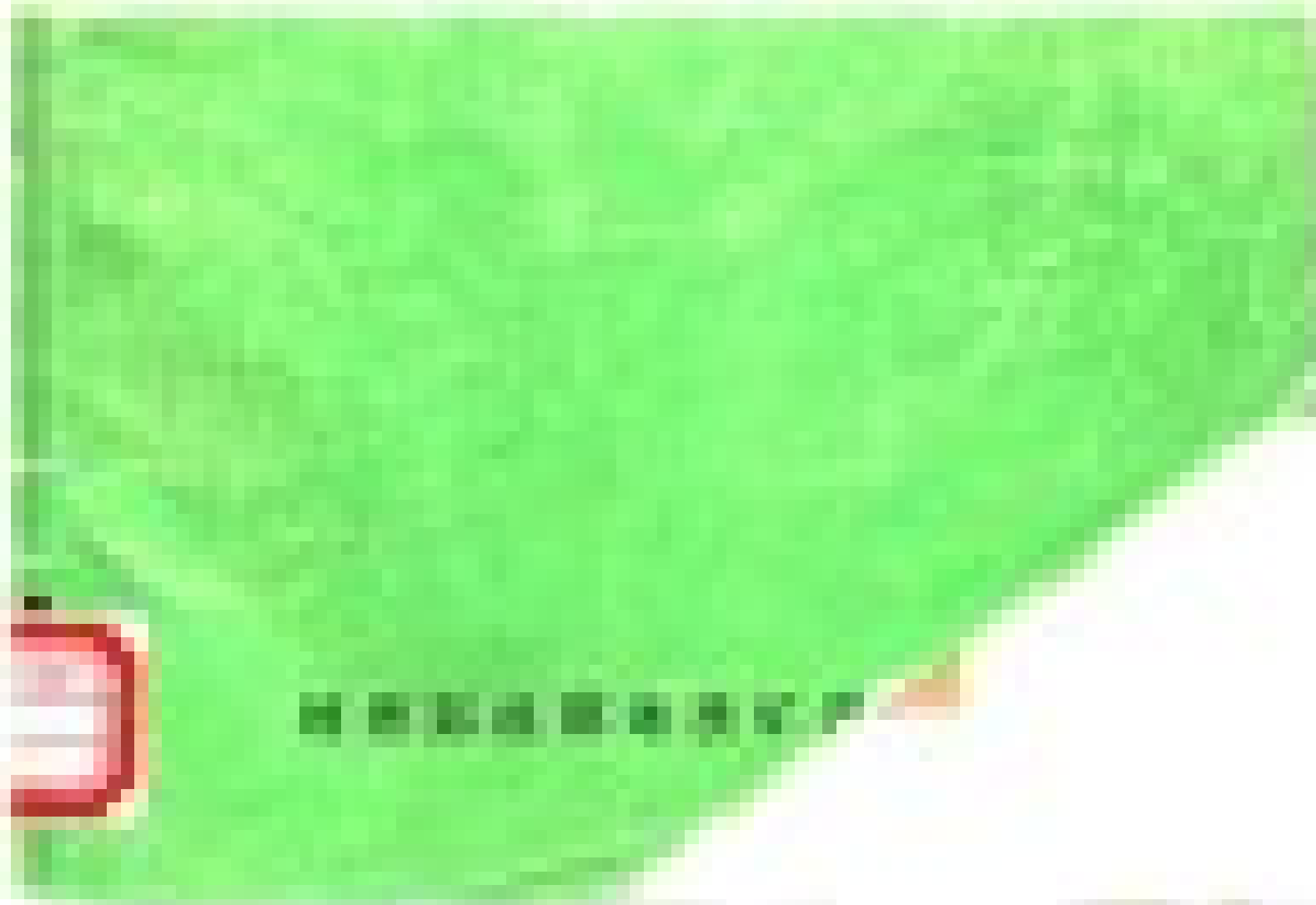
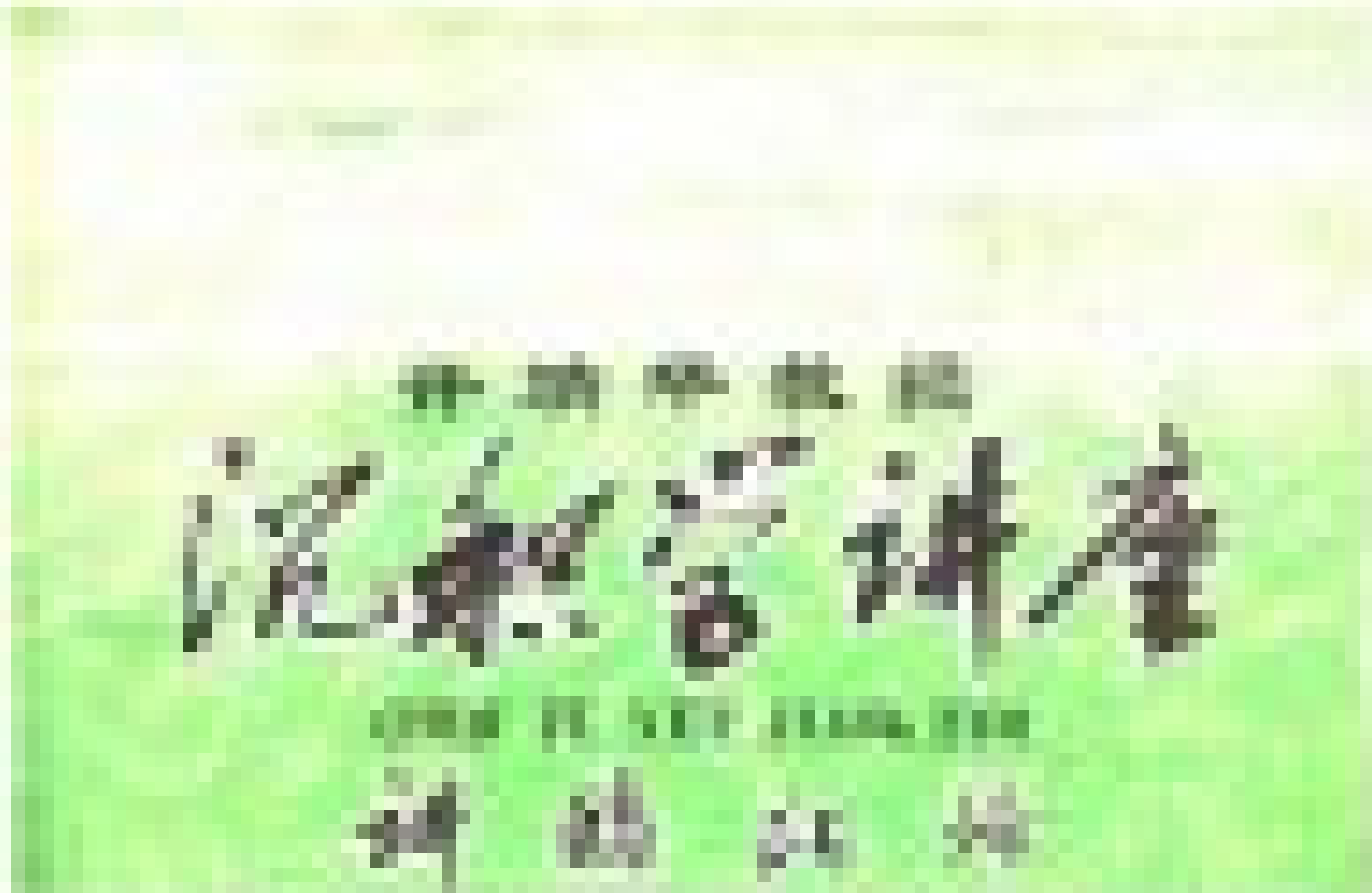
沉积学讲座

CHEN JI XUE JIANG ZUO

讲稿汇编

(北京)

地质部成都地质矿产



10221

许靖华教授

沉积学讲座

讲稿汇编

《沉积学讲座讲稿汇编》编辑组 编

地质部成都地质矿产研究所

一九八〇年七月

内 容 简 介

本书是沉积学的基础理论读物，以讲座题材汇编而成。内容基本反映了当前国际上沉积学的研究现状和发展趋势，着重论述了板块构造与沉积作用，相模式与古地理，深海沉积与古海洋、古气候学和沉积学研究的现代趋势等问题，共分四篇十八讲。

本书可供我国地质界广大科研、教学和生产第一线的同志参考。

许靖华教授

沉 积 学 讲 座

讲 稿 汇 编

《沉积学讲座讲稿汇编》编辑组编

地质部成都地质矿产研究所出版

四川新华印刷厂印刷

1980年7月

前 言

中国地质科学院于今年六月十三日至七月七日，在成都举办了美籍地质学家许靖华教授《沉积学讲座》。出席讲座听课的有来自全国各系统科研、教学、生产等单位近500人。本书是这次讲学内容的汇编，由地质部成都地质矿产研究所内部出版发行。

许靖华教授是国际上著名的地质学家，现任国际沉积学会主席、瑞士苏黎世高等工学院地质系主任、地质研究所所长，多年来从事沉积学的研究与教学工作，具有渊博的知识和丰富的实践经验。今年来我国帮助指导工作期间，不辞劳累，精心备课，进行了近一个月的讲学，并亲赴现场指导野外实习，又为讲学的录音记录稿作了审查、修改和补充，同时提供了各讲的参考文献、幻灯底片，为编辑出版这本书打好了基础。为此，对许教授这种高度负责精神和为中国人民服务的优良品质致以衷心地敬意和感谢。

本书整理编辑过程中，基本上是以许教授的审阅稿为准，少数地方作了如下处理：

1. 采用比较准确的中国语言习惯表达词意，对审阅稿作了适当的调整和增删。
2. 幻灯照片是根据各讲内容安排和图片清晰情况，进行了选择并加了说明，然后编入书中。
3. 略去了部分审阅稿中没有文字说明的黑板示意图，对必附图中不够清晰、内容不全或文字记录不够准确的地方，除重放录音整理外，并查阅了许教授已发表过的原著和参考了有关文献，进行适当的更正补充。修改较大的地方，一般均加了脚注。
4. 许靖华教授于6月29日—30日观察峨眉龙门洞三迭系剖面时的谈话，由张继庆等记录整理，以“野外实习——观察峨眉龙门洞三迭系剖面时的谈话记录”为题列为第二篇“相模式和古地理”的第九讲。

本书由王宜生、杜德勋、邹定邦负责编辑，参加这次整理讲稿的有：陈智樑、苏俊周、肖永林、罗建宁、邹培馨、李文汉、杜德勋、冯纯江、颜仰基、蒲心纯、王吉礼、刘朝基、尚成琳。另外，在《沉积学讲座》期间，刘训、马丽芳、陈晓东、吴进民、陈荣林、沈逸劳、梁百和、朱宏发、周梅初、吕达人、陈跃钦、张树新、方少仙、袁鄂蓉、邹定邦、李兴振、蒲心纯等担任原讲稿的记录和整理，成都地质矿产研究所蒲心纯、杜德勋负责原记录的组织和录音整理的协调工作。孙弥珍负责本书的绘图、照相复制等组织和送印的联系工作。郭曼郎、贺宏群、杨代明、万筱霞、师莉负责本书的绘图整饰。张计保、王允年、乔石军负责图片的照相洗印。冯纯江为本书作了封面设计，还有很多同志参予了一定工作，最后由四川新华印刷厂在紧张的生产任务中，及时承担了本书的印刷装订工作，借此一并致谢。

由于时间仓促和我们的业务水平及编辑能力都很有限，书中错误和不当之处敬希许教授和广大读者批评指正。

编 辑 组

1979年12月

目 录

第一篇 板块构造与沉积作用

第一讲	根据板块构造理论解释沉积盆地的成因	3
第二讲	被动的大陆边缘	10
第三讲	活动的大陆边缘	22
第四讲	边缘盆地和转换断层盆地	31
第五讲	沉积区的火成活动	43
第六讲	“板块构造与沉积作用”问题解答	47

第二篇 相模式和古地理学

序		65
第一讲	交错层的成因及河流沉积作用	68
第二讲	三角洲沉积作用	73
第三讲	滨海与浅海沉积作用	82
第四讲	碳酸盐(浅海)沉积作用	88
第五讲	白云岩	93
第六讲	蒸发岩	103
第七讲	地中海中新世的干化作用	109
第八讲	浊流沉积作用	120
第九讲	野外实习—观察峨眉龙门洞三迭系剖面时的谈话纪录	142

第三篇 深海沉积学的研究

第一讲	近海及深海沉积作用	155
第二讲	古海洋学的发展及古气象学的研究	166

第四篇 沉积学研究的现代趋势

(一)		187
(二)		193

图 版		203
-----	--	-----

第 一 篇

板块构造与沉积作用

第一讲 根据板块构造理论 解释沉积盆地的成因

从六十年代以来,整个地质科学经历了很大的变革,有人叫地球科学的大革命。分析起来,这是一个复兴和再生的过程。就是不改变过去已有的基本原理,拿来重新再使用。这些原理,主要是十九世纪初已经发展起来的均变说(uniformitarianism)、现实主义(actualism)等等。所以,六十年代以来的大变化,实质上是返回到十九世纪初的现实主义的原则上来。

追溯历史,十九世纪以前,还没有地质学的名称。研究岩石、矿物常常是从哲学和宗教出发的,写成各种经典传给弟子。十八世纪的有些地质资料,看起来就像圣经一样。诸如,“这种石头……是地球上的大洪水造成……”等等。但真正的进行研究和观察现代地球上的各种作用是没有多少的。

到十八世纪末和十九世纪初,英国人郝屯、史密斯、莱伊尔,对地质学的发展作出了重大的贡献,建立了地质学的基本原理。这就是,岩石的成因与各种自然作用有关,包括沉积作用、火成作用、造山运动等等。这些自然作用是古代的,但现在还能看到同样的作用。要解释以前的这些作用就要观察现代的作用。如河谷的成因,过去认为是大灾难造成的,如打雷、闪电等等,有各种各样奇怪的猜想。莱伊尔说服了这些科学工作者:河谷的成因不是由于神秘的作用,而是由河流侵蚀出来的。河流可能很小,但是一种长期作用的结果。这就是“均变说”和“现实主义原则”。uniformitarianism,我们译作“均变说”,认为变动的速率比较平稳。我觉得这种翻译的含义*不一定正确。这个原则主要认为现在有河流侵蚀,以前也会有,但并不坚持说过去的河流和现在的一样大。用actualism这个词,表示以现实为原则,只是说明现代的现象过去也有。

十九世纪到二十世纪初,地质学积累了许多新的知识,但思想方法反而退化了。有了神秘化和经典化的倾向,离开了原来的正确原理,把地质学局限于古代的作用,认为地质学只搞岩石、化石等,研究现代作用是搞地理的人做的事,把古代的作用和现实的作用割裂开了。这样,很多的地质结论就成了猜想。例如,地槽的成因就是这样。下面主要用地槽学说的发展为例子,来说明思想如何钻了牛角尖。现在我们用现实主义的板块学说来解释这一问题,重新回到了地质学的正确原理上来。

以前我在四川学地质时,老师讲了大地槽、造山作用等等,但到底现在的地槽在什么地方,造山作用又是怎样的,都很含糊。因为当时的地质学和现代的现象已经脱节了,各种学派之间进行咬文嚼字的争论。又如,那时到河谷中去看中生代陆相地层,就从来不看现代河流作用,似乎这是地理学的内容。搞构造的人只注意褶皱、断裂的几何形态,

* 据了解,一般都这样去理解uniformitarianism的含义。如Gary M., and others(1972): Glossary of Geology, P767.

搞得很复杂，至于现在究竟有没有这样的作用，有多大规模、速度多大、作用的深度和温度怎样等等，都没人去解决。这种神秘化、经典化倾向，在五十年代使地质学本身产生了很大的矛盾。

第二次世界大战以后，地质学有许多发展。沉积学的最大发展是重新研究现代的作用，这和经济的发展有关。第一，有的公司要找石油，但过去的沉积学已经不能解决实际问题。因此许多人就去观察河流、湖泊、海洋，了解现代的沉积作用，进行深入研究；第二，由于研究工具的发展，一些学校和研究单位对海洋的研究也扩大了。海洋占地表的四分之三，过去不能很好地研究，对它的了解很少甚至无知。现代研究增多了，相应地对古代沉积环境的了解也就多了，因为古代的沉积多半是海相的，浅海的、深海的等等。到了五十年代，这些新发展所获得的资料与原有经典发生了许多矛盾，这就需要地球科学的革命。

解释地质学的问题，如岩石、地层等，要借助于观察现代作用——现实主义的原则，这就是我这次讲学的重点。当解释每一种作用时，要看是否有现代的例子，这些现代的例子和现代的环境发生在什么地方等等。总之，都要从现实的角度来看待各种沉积学问题。下面就用地槽作例子。

地槽学说是在一百多年前提出来的，是一个有影响的重要学说。它完全是根据观察古代岩石产生的原理。地槽，在1859年首先由美国古生物学家霍尔(Hall)提出来的。他在进行地层对比时，发现阿巴拉契亚山的中志留—泥盆系，以及整个古生代地层的厚度比山外面要大得多；而他认为造山运动是在二迭纪以后发生的，在这以前沉积岩的基底是一个大向斜(Geosyncline)，即地槽。他发现古代地层有两种情况，例如在阿巴拉契亚山，寒武—奥陶系岩层在地槽内外岩相很相似，都是浅海相碳酸盐岩，可称为IA型地槽。以后到了泥盆—石炭纪时，地槽内有了许多砂页岩，还有一些碳酸盐岩，是三角洲—河流相的沉积，这种地槽可称为IB型。

在造山运动以前是地槽，现在这些地方已经不是地槽而是山。所以说它是“槽”，只是一种解释，并没有实际的例子。

这个学说出现后不久，到1870年，奥地利人徐士(Suess)反对霍尔的观点。他认为山里的地层不一定厚，可能比山外还薄，而且常常是深水的。从阿尔卑斯山来看，地层中又常有火成岩混杂。总之，奥地利派的学者不同意霍尔的观点。

到二十世纪初，法国人奥格(Haug)认为地槽学说在欧洲还可以用。虽然阿尔卑斯山和阿巴拉契亚山不同，可能山外的地层较厚，但多半是浅水相的，而山里的地层薄，多半是深水相的，因此还是一个地槽。奥格认为这是一种深水地槽，可以称作第Ⅱ种地槽。

然而，阿尔卑斯山除了这种深水沉积外，也有浅水沉积，和霍尔所见到的碳酸盐岩层相似。在白垩—第三纪沉积中，还有很厚的所谓复理石相（厚几千米）和磨拉石相（4000—5000米）。磨拉石可能是浅海的或河流三角洲的沉积，复理石则与之不同，可能是一种奇怪的东西。在磨拉石和复理石中，碳酸盐岩都很少。1919年，瑞士人阿尔本兹(Arbenz)提出复理石和磨拉石的底，在造山运动前可能还是个大向斜。这可算作第Ⅲ种地槽。

后来，美国学者对阿巴拉契亚山重新研究，发现它的北部也有火山岩，以安山岩等中、

酸性喷出岩为主，多与砂页岩共生。可作为第Ⅳ种地槽。

1951年，在凯伊(Kay)的“北美地槽”中，已经提出了二十多个名词。差不多每一个盆地都代表一种地槽，每种地槽都是一个不同的东西，但它们的成因一个也没有解决。

所有这些都是从研究阿巴拉契亚山和阿尔卑斯山古代地层提出来的。在这些类型中，Ⅰ、Ⅱ型没有火山岩共生，被称为冒地槽(Miogeosyncline)。欧洲的地槽(Ⅰ型)，有基性、超基性岩，称为优地槽(Eugeosyncline)。这是德国人斯蒂勒(Stille)的分类。以后，凯伊把北美有安山岩的地槽(Ⅳ型)，也称为优地槽。

那么人们不禁要问，现代的冒地槽和优地槽究竟在什么地方？三十年代，从事海洋地形研究的荷兰人万宁曼尼兹(Vening-Meinesz)在印尼爪哇岛弧前发现有深海沟，当时认为优地槽就是这种深海沟。凯伊提出优地槽是狭长的深海地堑，下降时有许多火成作用，不仅有玄武岩火山喷发，还有超基性的侵入岩，如蛇纹岩之类。这种看法也只是一种猜想，当时没有什么人研究爪哇海沟，不了解是否在下降，有无火山作用等。为什么有的优地槽有超基性岩侵入和基性岩的喷出，而又有的是安山岩喷出呢？这个问题也没有解决。冒地槽的问题更大，什么地方有像阿巴拉契亚山那样的冒地槽呢？当时，找油工作发现，美国东南的巴哈马平台地区有巨厚的侏罗—白垩纪碳酸盐沉积，一直延到第三纪，厚达几千米(图1-1)。认为可与阿巴拉契亚山冒地槽对比。但在构造上又不同，地槽从地形上说应该是一个槽，这里不但没有凹下去，反而是个比大西洋高几千米的平

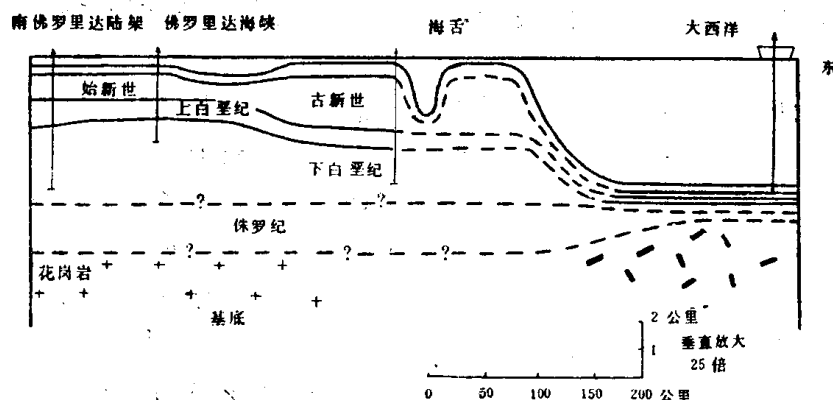


图 1—1 巴哈马平台示意图

台。虽然沉积物相似而构造似乎是很不同，所以冒地槽到底是什么样的，没有解决。

对复理石盆地的解释，矛盾很多。五十年代有许多不同的论文。有人认为是深海沉积，是造山运动时强烈下降的地方的沉积物。但是，为什么它不同于典型的优地槽，没有基性超基性火成岩？没有放射虫硅质岩、碳酸盐岩？……也都没有解决。总之，那时对地槽的认识，出现的矛盾越来越多。

1960年前后，由于海洋地质的发展，开始有了海底扩张的学说。大家都知道，海底扩张说是从研究海底物探，主要是研究地磁带产生的。它认为大西洋、太平洋每年扩张几厘米到十几厘米。试计算一下，以每年扩张5厘米为例，从侏罗纪到现在算二亿年，那么扩张就有

5 厘米/年 $\times$ 200百万年=10000公里。

这是个很大的问题：地球并没有这样膨胀，这一万公里宽的大洋产生出来以后又到哪里去了呢？

后来，地震学的研究发现在海洋和大陆接触的地方有地震活动带，好像海洋俯冲下去了，一部分熔化成为安山岩。

1963—1967年，板块构造发展时，我在美国加利福尼亚做野外工作，研究旧金山统。以前的研究者认为旧金山统成份复杂，有砂砾岩、页岩、有孔虫碳酸盐岩、放射虫硅质岩，有各种火成岩、基性超基性岩、蛇纹岩、以及各种高温高压的变质岩，整个构造简直无法了解。这边是沉积岩，那里就是高温高压的变质岩，说不出这种变化的理由。人们就认为旧金山统是一种基底，无法再分析了。后来，我在海边看得清楚的露头上，发现岩石都是一块一块的。这种块子都是透镜状，有变质的或未变质的页岩、砂岩、也有火成岩，周围是页岩。这是在高压条件下，页岩发生流动，硬的岩层破碎成块体而形成的。这种现象在二十世纪初就为英国人格林利（Greenley）所发现，称为 *Mélange*（法文），原意就是“混杂岩”。混杂的原因：（1）这些东西本来是互层的，在高压下页岩是柔性的，其它是刚性的，就产生了块体；（2）有很大的变形，而在变形期间混杂起来。

当时野外工作时对混杂岩的产生无法解释。1967—1968年板块学说发展后，从板块学说的角度需要地质上证据来证明俯冲带的存在，认为这是一个很好的古代俯冲带。1969年国际地质旅行团到加利福尼亚观察了这个宽达200公里的混杂岩带，公认这是一个太平洋俯冲带。从侏罗纪到第三纪，历时近二亿年，10000公里宽的太平洋洋底俯冲下去了，形成了这个混杂岩带。

以后，在别的地方也都发现了这样的混杂岩带，诸如阿拉斯加、日本、台湾、新几内亚、南太平洋小岛、秘鲁等地都有，表明在环太平洋带都有太平洋的俯冲。阿尔卑斯的火成岩经常是和沉积岩混杂在一起的，过去被认为是一个狭长的优地槽。从板块学说来看，优地槽是没有的。过去说优地槽是一个窄长的海洋，有火山活动、造山作用；现在认为所谓的优地槽是大洋产生的，可以有几千公里宽，其中的火山岩是混杂岩，超基性岩是地下上来的地幔物质，玄武岩是海底扩张时喷出的。所谓优地槽，不过是洋底地壳和地幔经俯冲作用造成的混杂岩堆积。混杂岩中有基底的玄武岩、超基性岩，放射虫硅质岩和深海沉积，加上靠近大陆岛弧的浊流沉积——复理石相的砂页岩，经过应变造成了块体大小不一的混杂堆积。这样，神秘的优地槽问题就解决了。

另一种优地槽是安山岩地槽，火成岩主要是安山岩。后者是在俯冲带后面150—200公里地带内，由安山质的火山活动和酸性喷出岩组成。在这里，火山岩可能和陆相沉积或与岛弧的深海沉积成互层，形成了前面所说的Ⅳ型优地槽。这两种优地槽的成因，按板块构造来说，是完全不同的。

初期曾有人假设，优地槽中的超基性岩完全是在深海地堑中侵入的，然而深海钻井没有在地堑中发现这种侵入作用。现在我们认为它是地幔基底，后来和深海沉积物混在一起的。

综上所述，我们认为一个向斜的优地槽并不存在，整个海洋就是所谓的大地槽。优地槽实际是个混杂岩带。

关于冒地槽的问题，在五十年代以前，争论很多。霍尔认为冒地槽下沉是由于重力压下去的，由水或沉积物把地壳压下去了。

另一种看法是丹诺(Dana)提出来的，他认为冒地槽是由于水平压力造成的，先有一个槽，接受沉积。所以，沉积物是被动的。而霍尔的意见认为沉积物是主动的。从1860年到1960年，这种争论很多，对为什么冒地槽会下降有不同的说法。

自1855年以来，艾里(Airy)发展了他的均衡学说，认为海水的深度(D)和地壳的厚度(T)有关。海洋中水深的地方，地壳薄，水浅的地方地壳就厚。例如，原来地壳厚5公里，水深可达6公里；地壳厚20公里，水深为2.5公里；地壳增厚到32公里，水深只有100米。1924年，杰佛里斯(Jeffreys)用重力学说分析了重力可以压下去多少，是和原来的水深有关。水的深度(D)为6.3公里时，压下去以后可容沉积物厚度(Ts)15.6公里；水深2.5公里时，可容沉积物厚7.3公里；如果只有几百米水深，那也只能压下去几百米。所以，假如原来就是浅水，都是浅水沉积，就不能再把地壳压下去。这表明霍尔的假设从地壳均衡看来是行不通的。1958年，我指出地槽中常有深海沉积。若原来为地壳厚5公里的海洋，就可以有很厚的沉积。我当时就用这样的想法来解释复理石沉积的。因为复理石的特点表明最初是深水沉积，后来变成了磨拉石相的浅水沉积。从重力学说来看，原来有一个深海盆地，堆满了浊流沉积，后来成为陆相沉积。这可能解释一部分复理石和磨拉石的成因。但对浅水碳酸盐沉积盆地是如何下沉的，还很难解释。

1960—1965年，地球物理研究的结果把艾里的地壳均衡观点基本改变了。

(1)艾里当时认为地壳下面是岩浆，是液态的，地壳是固体。岩浆重，地壳轻，地壳在岩浆之上就像冰山浮在水上一样。1900年以后，认识到地壳下面不是岩浆，是地幔，不是液体而是固体。1935年以后，岩石力学实验发现地幔岩石是很强硬的。如在莫霍面附近，是一种强硬的固体。这样，地壳浮在上面的看法就不能成立。1960年以后，发现地幔岩石到了100公里左右深度，温度使其接近熔化，稍有压力就可以发生很大变形，因此是一种很弱的固体。这样，板块学说把地壳和100公里左右的上部地幔叫做岩石圈(Lithosphere)，在这以上的地壳和地幔维持了均衡*。(2)艾里认为地幔是液体，各处密度一样。1950年以

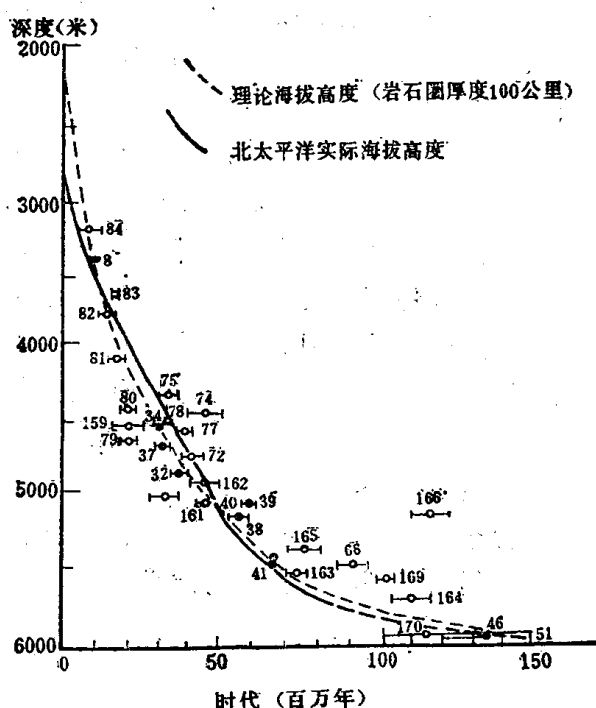


图 1—2

* 岩石圈和软流圈等问题的研究可追溯到很早以前。至少在1914年，巴雷尔(J. Barrell)已明确提出了这两个术语；谷屯堡(B. Gutenberg)等人对此做了大量的工作。

——整理者

后的工作表明,地幔的密度是可以不同的,热流高的地方地幔密度为 3.15克/厘米^3 ,热流低的地方为 3.45克/厘米^3 ,后者比前者大10%左右。所以,要研究岩石圈的均衡以及地壳的高度和深度,需要把地壳厚度、地幔厚度、地幔密度一起来考虑。现代地球物理从地震波的研究中发现,地幔密度和洋底的年龄有关。最年青的洋底——海洋扩张中心,密度最小, 3.2克/厘米^3 左右;最老的洋底,白垩—侏罗纪的洋底,地幔密度就可以达到 3.45克/厘米^3 。同时,地球物理统计发现,现代海洋深度也和洋底年龄有关,现代最年青的海洋的深度为2500—2600米左右,到了最老的侏罗纪的海洋,深度可达6000米(图1—2)。当然,有其他因素影响海洋深度,如沉积物的厚度等等。但深度变化的原因主要是地幔密度加大。这样,就可以按岩石圈均衡的原理来解释为什么大陆边缘还会继续下降。例如,巴哈马平台底下的地幔在侏罗纪时密度小,平台为浅海,以后密度加大,继续下降接受浅海沉积,造成了今日的平台。这就对冒地槽的下沉提出了解释。

以上解释了各种地槽的成因。但对如何形成复理石相和磨拉石相盆地,还有不同的意见。有一种看法认为是在岛弧前的深海地槽中形成的;另一种看法认为复理石盆地和转换断层有关。就像美国加利福尼亚在断裂带中形成了深的复理石盆地。它可以在大陆上,也可以在深海中。

我们再强调一下,山区古代的岩石、地层如何在某种盆地中沉积,完全可以参照现代的例子来考察,它们的构造状态、地形地貌可以和现代的实例类比。如果只说优地槽、冒地槽,除了反映有无火成岩以外,不能提供更多的内容。从板块构造来看,不需要用假设的现象来解释各种沉积盆地,所有现代和古代的沉积盆地大都可以和现代大陆边缘或板块边缘相比(也有一部分在大陆内部)。我们可以用这样的模式,从另星的、不完全的资料中认出古大陆或古板块的边缘。

近年来,国际上很有兴趣的一个问题是特提斯地槽问题。按板块学说,特提斯在二迭纪到早三迭纪时是个深海,位于欧、亚、非之间。很多人提出,二迭—三迭纪或这以前的大洋到什么地方去了?有些人研究国外印支运动混杂岩带,认为从罗马尼亚到阿富汗是个大优地槽,现在已成为印支运动的混杂岩带。希望国内对川西、藏东的混杂岩带的研究,会有助于国际上对这一问题的研究。有许多超基性岩体,可能是很小的一块,而在地质上有很大的意义,可能原有几千公里宽的海洋,最后只剩下这么几个小露头了。

最近我到康定,听说附近有石棉矿,石棉和超基性岩有关。我很奇怪为什么这种超基性岩混杂在三迭纪地层中,是否有一个小的混杂岩带,值得注意。这可能对重建地质构造和恢复古地理都有很大的意义。

(刘训记录* 陈智樑整理**)

* 为原讲稿的记录整理者。

** 为本书修订稿整理者(后同)

参 考 文 献

- Airy, G.B., 1855, On the computation of the effect of the attraction of mountain masses disturbing the apparent astronomical latitude of stations in geodetic surveys: *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, V.145, P.101—104.
- Arbenz, P., 1919, Probleme der Sedimentation und ihre Beziehungen zur Gebirgsbildung in den Alpen: *Heim-Festschr. Viertelj. Nat. f. Ges.*, Zürich, 64, P.246—275.
- Dana, J., 1873, On Some results of the Earth's contraction from cooling, including a discussion of the origin of mountains, and the nature of the Earth's interior: *Am. Jour. Sci. and Arts*, ser.3, V.5, P.423—443, V.6, P.6—14, 104—115, 161—172.
- Greenley, E., 1919, The Geology of Anglesey, Great Britain *Geol. Surv. Mem.*, 980PP.
- Hall, J., 1859, Natural History of New York, 3, Paleontology. Appleton, New York.
- Haug, E., 1900, Les géosynclinaux et les aires continentales: *Bull. Soc. Géol. France*, 3 ser., V.28, P.6 17—711.
- Hsu, K.J., 1958, Isostasy and a theory for the origin of geosynclines: *Am. Jour. Sci.*, V.256, P.305—327.
- Hsu, K.J., 1971, Franciscan mélanges as a model for eugeosynclinal sedimentation and underthrusting tectonics: *Jour. Geophys. Research*, V.76, P.1162—1170.
- Hsu, K. J., 1973, The Odyssey of Geosyncline, in R. Ginsburg (editor), *Evolving Concepts of Sedimentology*: John Hopkins press, Baltimore, P.48—92.
- Jeffreys, H., 1924, The Earth, Cambridge Univ. Press, 277PP.
- Kay, M., 1951, North American geosynclines: *Geol. Soc. Am. Mem.*, 48, 143 PP.
- Mitchell, A.H.G., and Reading, H.G., 1969, Continental margins, geosynclines and ocean floor spreading, *Jour. Geology*, V.77, P.629—646.
- Stille, H., 1940, Einführung in den Bau Amerikas, Bornträger. Berlin, 717PP.
- Suess, E., 1875, Die Entstehung der Alpen, Braumüller, Wien, 168 PP.
- Vening-Meinesz, F. A., 1940, The Earth's Crust deformation in the East Indies, *Proc. K. Ned. Akad. V. Wet. Amsterdam*, V.43, P.278—293.

第二讲 被动的大陆边缘

先讲一些定义。海洋一词，在地球物理学上的用法和沉积学上的不同，地球物理学是以地壳的厚度来区分大陆和海洋的。普通的海洋地壳厚约5—6公里，大陆超过30公里。大洋中的小岛也可厚10—20公里，大陆上最厚可达70公里以上，如喜马拉雅。从板块构造的意义上讲，大陆板块上也可以有浅海。总之，大陆地壳比较厚，海洋地壳比较薄。地壳之下是地幔，两者的界线主要以地震波速度来识别，莫霍面位于纵波速度6—7公里/秒与8公里/秒之间。莫霍面以上为地壳，以下是地幔。地震波速度与岩石密度有关，例如有的地方纵波速度为7.5公里/秒，它们的密度约为3.15克/厘米³；有的地方的纵波速度达8.3—8.4公里/秒，它的密度约为3.35克/厘米³。这些密度是不能直接测到的，而是根据地震波速度建立的。

大陆边缘分二种：一种是活动的大陆边缘，如北美西部，那里的大陆架窄，构造活动性强，地震频繁，是一种有俯冲带的板块边缘，即北美板块和东太平洋板块的结合处。北美东部是另一种大陆边缘，大陆架宽缓。由于北美和西大西洋是一个板块，大西洋板块的界线远在大西洋中脊，所以这里的大陆边缘位于板块中间，很少地震，可称为不活动的或被动的边缘 (Passive Margin)。它的活动不是自己俯冲或运动，而是像坐火车一样，跟着板块一起活动，因此很少发生构造运动。被动大陆边缘最普通的例子是大西洋两岸，这里大都是被动边缘。中国南海也可能是被动边缘，南海中间有大洋地壳，而岛弧盆地后面可能是一个被动的大陆边缘。

一、大西洋边缘的地球物理学和地质学的研究

被动的大陆边缘的例子很多，研究清楚的要数北美东部大西洋沿岸。今天讲一个模式，主要目的是讲一下被动边缘的历史和现代的发展，以及被动边缘的沉积历史。北美东部大陆边缘有的埋藏得很深，因此类似的被动边缘，如欧洲意大利南阿尔卑斯，虽然是古代的，但有证据证明与大西洋边缘相似，这里的岩石出露好，可以补充现代大陆边缘的沉积历史观察的不足。讲大陆边缘的沉积，主要因为你们以后可能在野外看到和发现它，不过古生代、中生代或第三纪的大陆边缘现在已在大陆内部了。

美国大西洋沿岸的研究已有一百年以上的历史。阿巴拉契亚山并不高，只有一、二千米，但是很重要的山脉，因为其中的古生界有褶皱、断层、变质及火成岩侵入。虽然不是地形上的高山，但构造很标准，是有名的山脉。它的造山运动历史很复杂，最少有三次，奥陶纪末一次，泥盆纪中期—后期一次，最后一次在石炭—二迭纪。二迭纪后，阿巴拉契亚山已开始固定下来。三迭系主要在大断层或块状断层形成的盆地中，主要是陆相的河流和湖泊沉积。大西洋岸边有一些海相白垩—第三纪沉积，第三纪以后再没有活动。白垩系和第三系都相当平缓，所以认为大西洋沿岸是被动的边缘。

1924年，葛利普 (Grabau) 在中国地质学报上发表了一篇文章“大地槽之迁移”

(“Migration of geosynclines”)。他认为原来的地槽变成山脉，古陆又变成了新的地槽。他举了20—30个例子。其中之一就是阿巴拉契亚山的历史。根据沉积史，阿巴拉契亚地槽在古生代时接受从东边古陆搬运来的陆源碎屑。造山运动后，地槽变成了山脉，而原来古陆又变成了新的地槽了（图1—3）。这种变化原因何在，葛利普未能了解，我们现在可以按岩石圈重力均衡理论予以解释。

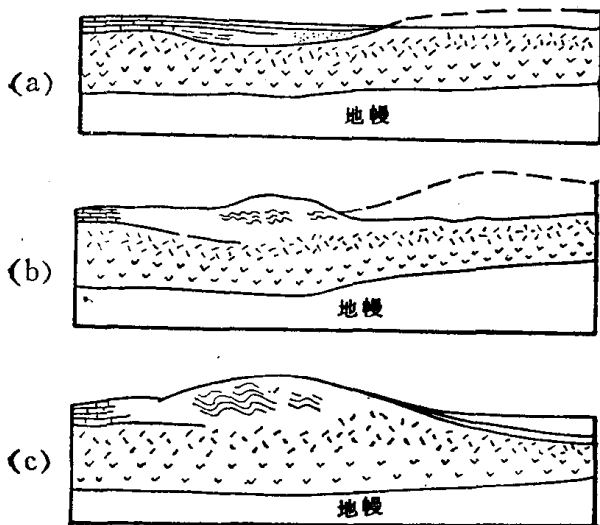


图1—3

解，我们现在可以按岩石圈重力均衡理论予以解释。

地球上地形的高低——山、平原或海的高度，与重力均衡有关。

艾里的均衡学说认为，地壳与地幔的密度在各个区域是相同的，地形的高低在于地壳厚薄及其根部的深浅。地壳厚的地方形成高山，薄的地方形成深海。但若拿整个一层来计算，则地幔和地壳中整个重力加起来，都是相等的。这就是重力均衡学说。

与此同时，普拉特 (Pratt, 1855)

学说则认为地壳的密度各地可以不同，地

壳的深度各地是相同的，地形的高低在于地壳密度小或大。假定有三个地形高低不一的地区，它们的地壳密度 (P) 和厚度 (T) 以及重力加速度 (g) 的乘积应该是相等的（此处按理应该乘体积而不是厚度，但计算压力可简化只计算厚度）。即

$$P_1 \times T_1 \times g = P_2 \times T_2 \times g = P_3 \times T_3 \times g$$

这样，高山地区地壳密度就小，海洋地壳的密度大些。普拉特认为各地地壳厚度都差不多，都是100公里左右。

自1855年艾里学说发表到1955年，这一段时间内得到的许多地球物理资料，都支持他的看法。艾里学说的要点之一，就是认为有轻的地壳和重的岩浆地幔，两者的界线在海洋之下浅，高山之下深。这一莫霍面的变化到1955年被地球物理资料证明了，所以认为普拉特不正确。但是艾里学说也有问题。首先，在美国西部科罗拉多高原，海拔2000—3000米，按艾里的看法莫霍面应40—50公里深，但它的莫霍面深度只有25—30公里左右，与平原上差不多；在大盆地 (Great Basin) 也有类似的情况，那里的地壳也不是原来推测的那样厚。艾里学说对这些现象不能解释。其次，1955年后对地幔地震波的速度研究发现地幔中速度有不同，美国中部是8.3—8.4公里/秒，而在大盆地仅7.5—7.7公里/秒。这样，若取海平面下100公里深的面，我们发现上迭岩柱所引起的压力在高山、平原和海洋三者都差不多。这种现象称为岩石圈平衡 (Lithospheric Equilibrium)。这种岩石圈平衡包括了艾里和普拉特的二种学说，地面上的高低不同，一方面是因为如艾里所说的地壳厚度不同，另一方面是因为如普拉特所说的地幔密度不同。

沉积盆地的沉降原因是与岩石圈平衡有关的。按艾里的学说，海洋即是薄的地壳，大陆即是厚的地壳。薄的地壳上有沉积物，可由重力来解释其沉降。但为什么以前是地壳厚的古陆现在又可变为地壳薄的海洋了，这是什么作用？艾里学说解释不了。到1963