

86.5.11
大地构造与沉积作用

● 许靖华 著

● 地质出版社

大地构造与沉积作用

许靖华 著
何起祥 赵霞飞 宋鸿林 译
罗正华 校

地质出版社

内 容 提 要

本书搜集了著名大地构造和沉积学家许靖华教授历年来重要论著共三十篇。内容包括：地槽论与板块构造、混杂岩、复理石，白云岩成因、浊流沉积作用、干化深盆地成盐论及白垩纪末期事件。论文资料丰富、立论严谨，很多文章被公认为是该领域中的经典著作。本书由何起祥、赵霞飞、宋鸿林合译，罗正华校对。适合于从事科研、教学及野外工作的广大地质人员阅读，也是地质院校研究生及高年级学生的重要参考书。

大地构造与沉积作用

许靖华 著

何起祥 赵霞飞 宋鸿林 译

罗正华 校

责任编辑：罗正华

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：29³/₈ 字数：687,000

1985年11月北京第一版·1985年11月北京第一次印刷

印数：1—3,280册 定价：7.00元

统一书号：13038·新135

序

许靖华教授原籍江苏扬州，1948年以弱冠之年毕业于原中央大学，旋赴美国留学，于加州大学获博士学位，先后在美国和瑞士担任科研和教学工作达三十余年，曾多次领衔参加深海钻探，历任国际沉积学会主席、国际地科联海洋地质委员会主席、国际海洋学会地质委员会主席及苏黎世瑞士联邦理工学院地质研究所所长等职，是一位在国际上享有盛誉的华裔地质学家。

许教授在地学方面的贡献是多方面的。在沉积学方面，他所创立的“干化深盆地成盐模式”及“白云岩的蒸发泵成因”已成为教科书中的重要内容；他所提出的“纵向浊流模式”对寻找浊积岩油田具有重要意义。近年来，他致力于白垩纪末期事件的研究，认为天外事件引起地球上的环境变化导致生物群灭绝，从而提出偶然选择的观点，向传统的自然选择学说提出挑战，独树一帜，在国际上颇有影响。

在大地构造学方面，许教授早年对弗朗西斯科杂岩的研究，解决了地学界争论多年的难题。他提出的混杂岩的概念，至今仍被视为经典。他对地槽学说的精辟论述，更是有口皆碑。在板块构造理论方面，他结合阿尔卑斯地质提出薄壳板块碰撞模式，科学地阐明了比较大地构造学的基本原理。

本书搜集的，是许教授多年来在上述诸领域中的代表作。本书内容丰富，文字浅显而又引人入胜，是不可多得的一部好书，可供从事教学、科研及野外工作的广大地质人员参

近年来我与许教授经常接触，深感他博学多才，虚怀若谷；不但是一位良师，也是一位良友。他热爱祖国，随时愿以自己所学为祖国的现代化贡献力量。自1977年以来，他曾多次回国讲学和指导科研活动，受到国内同行的普遍赞扬。

本书的译者何起祥同志和其它几位同志，邀我作序。许教授的著作能在国内出版，我感到十分高兴，聊赘数语，表达我欣慰之情。

黄汲清

一九八四年四月二十一日

代序

——从地槽论到板块构造

几年前，我曾答应一个出版社，要写一本关于大地构造和沉积作用的专著，还在青年时代，我就有此愿望。但遗憾的是，我挤不出时间来履行这一许诺。后来，出版社又同我商量，打算出一本我的选集来作为弥补，但我却颇犹豫，因为前后的文章，时隔多年，文体既不尽相同，内容又不免重复，而且免不了还会有不成熟的见解和谬误；何况，编选一个文集也非易事，一般是在作者身后由别人完成的，历史上，只有极少数著名的地质学家，在他们有生之年出版过选集，而且经常因此而招到非议。

前几年回国讲学时，不少国内的同行希望翻译出版我的一些著作，我又有些犹豫。但我还是被说服了，因为他们认为这样做是有益于中国地质事业的，既不怕工作量大，也无不谦虚之嫌。待到何起祥先生来到苏黎世，我们才最后决定进行这项工作。于是掸去灰尘，重翻旧作，开始考虑选哪些文章献给我的中国读者。

我的研究活动开始于1949年，正当人民共和国的初创时期。在此之后的一段时期内，国内的地质学家与外界失去了联系，十年动乱时期尤甚。而恰恰是在这一段时间内，地球科学得到了迅速的发展，发生了巨大的变化，某些革命性的变化直接关系到这一学科的基础。可以说，当代的地质学已经与三十年前的情况大不相同。被称为板块构造的新理论已经代替了有权威的地槽学说。这个文集就是要追溯这三十年中所发生的变化，反映变化着的思潮以及导致地学革命的前因。在编选这些文章时，我深感在科学领域中实行现代化的重要性，因为旧概念已经不能解释层出不穷的新事物。我们之所以必须抛弃“地槽论”，并不是因为它是“一件过时的旧衣服”，而是因为它确已是“一件褴褛不堪的破大褂”。在这些论文中，明眼人当会看出我对旧教条的崇拜，但必定也会看出，我一旦接受了新理论便断然与旧的决裂。

地质学主要是一门观察性和经验性的科学，但我却一直是一个理论工作者。因此我一度热衷于地槽论是毫不为怪的。记得青年时代就学于南京时，我曾因攻读由中国地质学会印行的葛利普(A.W. Grabau)《地槽的迁移》一书而彻夜不眠。到美国之后，我的导师Edmund Spieker发现了我的理论癖，给我两年的时间，整天埋头于Orfon图书馆，从事一项理论研究。我读过Hall和Dana的著作，也读过Bucher和Griggs，乃至Jeffreys, Joly及Holmes等的著作。为了准备德文考试，我读了Suess, Neumayr, Steimann, Koss-mat, Kober, Staub, 和Stille的著作，为了准备法语考试，我读了Bertrand, Lugeon, Argand和Gignoux的著作。所有这些书都是以地槽论为主导思想的。读过之后，我深感地槽成因问题乃是地质学中最有意义也是最扑朔迷离的问题之一。

究竟什么是地槽？由于地槽一词一直是一个理论概念，而不是一个实体，所以从未有过确切的定义。不同的理论工作者有不同的想法。先是有所谓正地槽和准地槽，继之有所

谓优地槽和冒地槽。而后，当Marshall Kay于1951年出版其论述北美地槽的专著时，名词之多，即使专家也难以尽记。当时，我发现人们已经处在一种极端混乱的状态中，以致连地槽究竟是什么这样最简单的问题也无法回答。

我反复思考的第一个问题是地槽的几何形态涵义。向斜是一个拗陷，地向斜即地槽则必然是一个大拗陷，地处深水之下，成为巨厚的沉积物所充填。1957年，我到华盛顿出席美国地球物理学会年会，看到了George Wollard编绘的一个切过北美的地壳横剖面。清晰展现在眼前的是地球表部拗陷区下面的地壳都非常薄。而这种地壳结构恰与George Airy一百多年前提出的方案极为相似。这一启示，是使我抛却对地槽的神秘感的开始。原来地槽不过是地壳较薄的简单区域！这种地壳较薄的区域通过沉降来恢复均衡平衡。因此，要回答地槽成因或地槽沉降作用原因等问题，就要设法阐明使地壳变薄的地质作用过程。这就是我在1958年发表的《均衡论及其与地槽的关系》一文的主题。

由于均衡调整作用在地质上是瞬间发生的，故地壳变薄的地区应当立即沉陷而变成一个深海盆地。但是在许多地槽中，其最早期的常常是，或者只是厚逾几千米的浅海沉积物或陆相沉积物。Airy的模式无法解释这一事实。何况五十年代末至六十年代初对地槽的调查也得出了与Airy的预言相径庭的结论。另一个突破点是地幔密度侧向变化的发现。根据这一发现，地壳变薄区就不一定是一个拗陷。倘若地幔温度正在升高，即如北美的盆地山岭相间区的情况，则地壳就会上升，顶部的侵蚀作用就会使地壳逐渐变薄。这就是我1965年发表的《均衡作用、地壳薄化、地幔密度变化和古地块的消亡》一文的主要论点。

本文集未收录1958年和1965年的两篇文章，但其基本思想在1972年和1973年发表的两篇关于地槽的论评中均已有所反映。后二文已选入本文集的第一部分。在这些文章中，我曾多次指出，对于地槽的定义，从来就没有取得过一致意见。而且自从板块构造理论问世以来，人们有了解释造山带建造序列的有效假说，再用地槽一语，已经纯属多余。因此，如果把地槽沉积物看作造山带沉积物的同义语，我以为并没有什么错误。根据这一定义，所有各种地槽沉积物就有了一个共同特性，即不管其沉积时的沉积环境和构造环境如何，它们都产于造山带。然而，也可以这样说，即地槽沉积物大都是沉积于古大陆边缘的。

术语的明确化并未解决根本问题。大陆边缘的地壳总是比大陆地壳薄，而且都经历过沉降历史，就象我们过去所理解的地槽一样。虽然板块构造的新术语已经代替了旧概念，但基本问题仍然是我在1958和1965两文中所提出的问题，即地壳变薄的原因和地壳沉降的原因究竟是什么？为此，我们有必要回顾一下有关大陆边缘演化知识的现状，以便找出地槽成因这一难题的答案。

许多所谓冒地槽沉积物，实际上都是被动大陆边缘的沉积层序。“被动”之意系指造山活动缺如。被动大陆边缘位于岩石圈板块之内：它们下面是薄薄的陆壳，经历过沉降的历史，处于均衡状态。北美的大西洋边缘就是研究得最好的被动边缘之一，最近，Watts和Steckler (1979) 著文总结了它的沉降史。正如我在1965年的文章中指出的，大西洋边缘的成因可以追溯到中生代早期的地壳薄化，而后由于地幔密度变化和沉积载荷而发生沉降。对大西洋边缘和其它被动边缘的定量分析表明，沉降作用不难解释为上地幔冷却和均衡作用的结果。然而对地壳变薄的原因却依然众说纷纭。较为流行的模式有两个：（1）由于地表侵蚀作用而变薄；（2）由于陆壳的拉伸和颈缩（necking）而变薄。

我过去受过葛利普的影响，他认为现代的大陆边缘通常都是“古陆”向大陆内部地槽

输送碎屑之所。在大陆裂开的初始阶段，断块运动势必极为发育，于是，上冲断块成为高地并遭到侵蚀。深成的侵入岩和变质岩出露地表，正是侵蚀作用使地壳变薄的标志。尔后 Sleep (1971) 对地壳薄化和随后的沉降作用进行了定量计算。这是一种模式。第二种地壳薄化模式是 Waller Bucher 1933 年在其《地壳的变形》一书中提出的。凡是在化学实验室里制作过简单玻璃器皿的人都熟悉颈缩现象：把玻璃管放到本生灯上加热并慢慢拉伸，管子受热点就逐渐变薄，直到继裂为二。根据这一原理，Bucher 推测地槽是由引张作用形成的。近年来，McKenzic (1978) 对颈缩现象进行了分析处理，使这种效应已成为目前最流行的模式。然而，对于上述模式，尚难最后定论，可能对各个情况要分别予以考虑。

仔细考查地槽发育早期阶段的沉降史可能会对人们有所启发。当该区高出于海平面时，由于发生侵蚀作用而使地壳变薄。这种现象见于大陆分裂、洋底出现之前的一段时间。在这种情况下，边缘沉降作用只有在分裂大陆离开海底扩张轴一定距离时，才能因为地幔的冷却而发生。然而，如果地壳变薄是由于拉伸作用的结果，则断裂区在断裂谷具有洋壳海底以前很久，就应当发生沉降。以上所述可以阿尔卑斯地槽南部边缘作为检验。

本书第二部分的第一 (1971) 和第二 (1973) 篇文章，就是根据板块构造理论来探讨阿尔卑斯地槽的成因的。关键性的资料来自大西洋的海底线性构造 (Pitman 和 Talwani, 1971)：三叠纪时的阿尔卑斯是联合古陆 (Pangea) 的一部分，东面外海是楔形的古特提斯。地槽的形成是在侏罗纪，即非洲从欧亚大陆和北美裂开的时期。随后，欧亚板块又同北美板块分开，并以比非洲板块更快的速度向东漂移，于是二者日益接近，终于发生碰撞而使阿尔卑斯山隆起。根据这一分析，奥地利阿尔卑斯推覆体的侏罗纪和早白垩世沉积物是属于阿尔卑斯特提斯南岸的被动边缘沉积物。在这一部分的第三篇文章 (1976) 中，我对该区的沉降史作了一些解释。根据 Sclater 等关于海底沉降史的理论，我得出的结论是，在最早的洋壳出现于阿尔卑斯的 Pennine 地区之前，南特提斯边缘可能已达 2,000 米以上的深度。沉降作用始于三叠纪最晚期或侏罗纪最早期，其时，可能由于上升的热对流，联合古陆开始分裂。因此特提斯边缘早侏罗世的沉降作用与其说是与地幔冷却有关，毋宁说是与“颈缩”效应有关。但是，根据同一分析，则似应以侵蚀作用来解释西非大陆边缘的变薄现象为宜。在西非陆缘，在边缘从海底扩张轴移开不久，沉降作用就已开始，而且速度极大 (Lancelot 和 Winlerer, 1980)。

优地槽沉积，现在都被看作是古海底上的远洋沉积。本书第三部分的第一篇文章 (1974) 是对历史的回顾。文章指出，Suess 和 Steimann 早就作出过蛇绿岩是特提斯海底的解释。但是本世纪前半叶的理论工作者却放弃了这一观点，错误地认为是沉降海沟内海底火山活动的产物，甚至在板块理论研究者的最早期著作中还可以看到这一错误的痕迹，他们也认为蛇绿岩是侵位到靠近活动板块边缘的海沟内壁或海底的基性火成岩。现代海底扩张理论把蛇绿岩看作古海底下的地壳和上地幔，这一理论在联合海洋机构地球深层取样 (JOIDES) ① 第Ⅲ航次钻探中，首次得到证实。我有幸参加了这项工作，并且是本书第三部分第二篇文章 (1970) 的作者之一。

并非大洋中的所有基性熔岩都是从大洋中脊喷出的。南太平洋的深海钻探发现了分布

① 美国拉蒙特、迈阿密、伍兹霍尔、斯克里普斯、华盛顿大学等五单位联合——编注。

极广的板块内部火山活动。这种火山堆积导致了洋壳的增厚。这种增厚了的洋壳，在地幔密度较低时成为隆起，形成海底山和火山岛，但当地幔冷却时，就要发生区域性的沉降，这些死火山就成为深海底的平顶山（平顶海底山）。1968年Schlanger和我撰写了本书第三部分的第三篇文章，以解释南太平洋达尔文洋隆的成因。而后在太平洋的深海钻探（Schlanger和Jackson, 1976）证实了这一通过板块内部火山活动来解释洋隆演化的模式。

陆地上的蛇绿岩是在构造混杂岩中呈岩板或断块形式出现的。⁹ 混杂岩的成因与活动大陆边缘沿着贝尼奥夫带的下冲作用有关。这一结论的得出，差不多花了我十年之久的宝贵光阴。本书第四部分的文章反映了这十年间我的思想发展。第一篇文章（1968）给混杂岩下了定义，描述了混杂岩的基本特征。与此同时，我第一次指出，混杂岩不是沉积成因的。如果我们不拘谨于用层序原则、地层连续性原理和古生物年代测定法来解释混杂岩地质，那么众所周知的Franciscan-Knoxville疑难问题就不难解决。Franciscan所含的化石较Knoxville所含的化石新，是因为混杂岩俯冲在Knoxville之下。

引入了混杂岩的概念，纠正了将Franciscan作为基底杂岩的错解释，我才能提出加利福尼亚海岸山脉中生代地质的工作假说。这就是本书第四部分的第二篇文章（1966）。第三篇文章是与我从前的学生Dick Ohrbom合写的，目的是为了了解Franciscan典型地区的地质。我们也引荐了一项混杂岩覆盖区的填图工作方法。当时，我还没有认识到海底扩张理论的优越性；我以为混杂岩的成因是由于巨厚的重力滑落块体引起的碎屑化作用和混合作用。不久，我就发现这一结论有问题，因为重力滑动似乎不能移动太远，即便存在，也不能产生Franciscan混杂岩那样强烈的剪切作用。待到我接受了海底扩张和板块构造学说后，问题就迎刃而解了。现在我们知道，大量晚中生代和早新生代的洋壳已经由于板块消亡作用而消失。Franciscan混杂岩中的蛇绿岩块体不过是大洋岩石圈大规模消亡以后的零星残余罢了。

第四部分的第四篇文章发表于1971年，讨论了优地槽沉积作用和俯冲构造作用的Franciscan模式。这一模式对于大陆碰撞缝合带的蛇绿岩混杂岩也是适用的。诚然，并非所有构造混杂岩中的海底玄武岩，都是在大洋中脊形成的洋壳。例如Franciscan混杂岩中的白垩纪远洋灰岩可能是在海底山玄武岩上沉积的，而这种玄武岩则是板块内部火山活动的产物。换言之，某些“优地槽”沉积表面可能未曾成为坳陷，相反，却可能是一个海底隆起，或者是象太平洋达尔文洋隆那样的海底隆起。

当许多地质学家尚不谙高围压下岩石的变形机制时，将构造混杂岩误认为沉积成因的错误观点难免会持续一段时间；因为他们无法看到构造角砾化作用和混合作用。有鉴于此，1974年为纪念Marshall Kay而在威斯康星州麦狄逊（Madison）市召开的讨论会特地请我去澄清这一问题。这就是本书第四部分最后一篇论文的内容，它强调了混杂岩和海底滑积层（Olistostrome）之间的区别。

并非所有的冒地槽沉积都是被动边缘沉积。特提斯北缘碳酸盐陆架沉积作用向深海或半深海沉积作用的转变发生在白垩纪早期。诚如我在1971年的文章（见本书第二部分第一篇文章）中所指出的，这一变化乃是大西洋海底扩张历史上一个重大事件的结果。白垩纪时欧洲与北美分开，改变了欧亚板块和非洲板块之间的相对运动，使之由引张而变为挤压。因此晚白垩世时的北特提斯边缘也由被动边缘而转变为活动边缘。

活动边缘与被动边缘的重大区别之一是：活动边缘不存在普遍的均衡现象，这可以与

岛弧构造带伴生的巨大重力异常为证。当代这类边缘之一就在地中海，从Penepelosus到克里特(Crete)岛及Rhodos岛这一岛弧的南缘。Cretan弧的南边是海伦(Hellenic)深海沟，北部是一个背弧盆地，即爱琴海的Cretan盆地。海伦海沟的钻探(见第五部分第一篇文章)已经证实，其中有复理石状的浊积岩存在。而且更令人吃惊的是，海槽内壁下面，不是一加积楔，而是原来沉积于陆架上的白垩纪碳酸盐层。这次钻探首次揭示了这一事实，即活动边缘的大陆边可以被拖曳到深部，形成深海槽的内壁。这类沉降作用与地幔密度的变化无关，与均衡作用也无必然的联系；而只说明，在大洋板块俯冲而形成深海沟的部位，大陆板块边缘可能被拖曳到深处。

在日本海沟西边所进行的深海钻探发现了相似的情况。渐新世时，亚洲大陆一直延展到日本以东。这一部分广阔的大陆边缘在第三纪中期，由于太平洋板块在日本海沟下面沿着活动板块边缘俯冲而被拖曳了下去。在那里，现代大陆斜坡下面的早第三纪沉积物是浅水沉积物或陆相沉积物，而晚第三纪则为深海或半深海沉积，与今日无异。不难想象，中白垩世时的北特提斯边缘可能曾发生类似的变化。因此在阿尔卑斯地槽的赫尔微(Helvetic)区，第一期深海沉积物是覆盖在较老的陆架沉积物之上的。更往南，至北Pennine区，才是接受白垩纪复理石堆积的深海槽。

第五部分的第二(1960)和第三篇(1971)文章反映了我对晚中生代至第三纪早期变形期间阿尔卑斯构造演化的理解。根据古水流分析，我得出结论，瑞士中部的Gurnigel复理石和Schlieren复理石并非沉积在下伏中生代碳酸盐岩(典型的外赫尔微Ultrahelvetic相)的外赫尔微区。我的学生Andreas Bayer新近所作的研究证实了这一古地理的解释。当时，我以东地中海为模式，推测Gurnigel复理石盆地是一个古老岛弧(Habkern弧)南侧的海沟，而Schlieren复理石盆地是岛弧北侧的一个背弧盆地。Bayer的新资料与这一推论是完全一致的。Bayer的最重要的成果是证实了所谓外赫尔微野复理石建造，事实上是由构造混杂岩组成。这些混杂岩包括原先沉积在Pennine和赫尔微区的块体，而这些块体在Pennine推覆体推到赫尔微之上的过程中，与始新世半深海页岩的基质相混合。

复理石砂岩大多是浊积岩，但浊积岩却并不一定是复理石，这一区别经常为人所忽视。所以在加拿大蒙特里尔举行的复理石沉积学讨论会上，我应邀作主题演说，“复理石一词的涵义”就是演说的题目。该文发表于1970年，收集在本文集的第五部分中。我指出，阿尔卑斯复理石建造是白垩纪和第三纪早期的岩石地层单位。在用复理石一词来描述一种重复出现的沉积相，不仅其沉积学特征要类似于复理石，而且还应当沉积于类似于阿尔卑斯复理石的构造环境中。至于阿尔卑斯复理石的构造环境，我在1972年蒙特里尔国际地质学会上也有一个报告(见第五部分第五篇文章)。我开始认识到把复理石沉积作用的海槽与大洋俯冲带活动边缘的深海槽等同起来是错误的。事实上，我们现在已经知道，地中海的欧亚板块和非洲板块边缘，是一个活动的俯冲带，其位置在克里特岛西南；而该区只有克里特的东南边界才是一个走向滑动断层带。第五部分第五篇文章强调了复理石沉积的连续性，延续时间达几千万年或几亿年，非常相似于转换板块边缘的沉积物。

我指出了阿尔卑斯复理石与加利福尼亚文图拉盆地上新世和第四纪浊积岩的相似性。我还怀疑阿尔卑斯复理石盆地的构造位置与南加利福尼亚西面大陆边缘带上的深海盆地也是相似的(见第五部分第二篇文章)。如果把复理石海槽无例外地看作消亡板块边缘海槽，那么这种比较似乎是不在理的，因为加利福尼亚晚第三纪的构造是以走向滑动断层为主。但若

承认阿尔卑斯复理石，尤其是奥地利东阿尔卑斯的复理石也有沉积于转换边缘的可能性，那么这种比较就颇相当了。我当时仍在思考1.2和5.5两文所提出的拉开盆地（Pull-apart basins）的成因问题，但该问题在国际沉积学会新建的一次讨论会上（Ballance和Reading, 1980）已有详细的讨论。转换区的“拉开盆地”，象其它地槽盆地一样，下伏薄薄的地壳，也经历过沉降历史。在这种情况下，地壳的变薄乃是由于构造拉伸作用，而沉降作用则可能是如我1958年的文章中所说的那样，主要是均衡补偿的结果。这种观点曾用来解释文图拉盆地的沉降作用。

第五部分的后四篇文章，代表了我对各种浊积岩盆地进行沉积学研究的最重要成果。

《加利福尼亚文图拉油田研究》《加利福尼亚文图拉盆地再沉积相及浊流纵向搬运模式》两文是由两份报告改写后发表的。这两份报告写于五十年代，当时我正在壳牌石油开发公司从事文图拉盆地浊积岩的沉积学研究。最后二文主要基于我的两位学生 Kerry Kelts 和 Andres Lambert 的论文资料。无论文图拉的资料抑或瑞士湖泊的研究，都强调了深水盆地狭窄海沟底部的浊流沉积作用。在那些盆地中，长形的浊积岩体是沿着海槽长轴流动的水流沉积的。这一模式与流行的浊积岩相海底扇模式有极大的不同，后者当然可以用于其它场合，但不是我所研究的文图拉盆地的情况。

某些山区沉积物一直被认为是“造山期前”的，有人将它包括在地槽建造内（如Pettijohn, 1957），有人则将它排除在地槽建造之外。它们主要是沉积在浅海底的碳酸盐岩，与蒸发岩或石英砂岩共生。有些形成于大陆边缘附近，有些则沉积于大陆或岩石板块的内部。本书第六部分主要讨论碳酸盐岩和蒸发岩组合的沉积物。

当我还在得克萨斯壳牌石油开发公司勘探和采油实验室工作时，白云岩的成因就是我的研究课题之一。对这一问题加以分析以后，我发现关键因素是水动力运动对镁的供应问题。那时，盐水下渗引起白云石化的假说，亦即所谓“渗滤回流模式”还十分流行。但是，我的理论计算却表明，设想的渗滤回流水头无论如何也不能使足够的含Mg水体流过泥质沉积而导致广泛的白云石化。实际上，当时我所想的是，干旱地区的滨海萨布哈并不是地下水的“水源”，而是它的“封闭洼地”：在干盐滩上，没有足够的表层水来重灌下面的地下水库，然而水库中的水必定是不断“泵”出以补充地表附近的蒸发损失。水不是向下而是向上流的。因此我用“蒸发泵”一词来描述一种向上运动的机制。第六部分的第一篇文章报导了我的助教C. Siegenthaler的实验结果，他用实验证实了我的设想。第二篇文章总结了我们在阿布札比（Abu Dhabi）的野外实验。在那里，我的学生Jean Schneider和Judy McKenzie完成了他们的博士论文的野外工作。待到将这些材料整理后，我们才发现原来的模式太简单了。蒸发泵在该区确实是存在的，但是我们也发现了由于风驱高潮导致萨布哈地区定期潮泛的证据。这种潮泛补给发生在每年的冬末春初，冲走上一个蒸发泵阶段所留下的石盐。

第六部分后三篇文章涉及蒸发岩的成因，尤其是地中海盆地中新世上统蒸发岩的成因。我们关于深地中海盆地几乎完全干化的设想，经过1970年和1975年深海钻探所获资料的证实（见6.3和6.4二文），现已为广大的地质工作者所接受。6.5一文对各种有关巨型蒸发岩矿床成因的假说，进行了评述。现在我认为，象北美泥盆纪、欧洲二叠纪和中国西南（四川盆地）三叠纪这样巨型的蒸发矿床，也都是在干化盆地内沉积的，不过这些内陆凹陷的盆底更接近世界范围的平均海平面罢了。

最后一部分包括两篇涉及哲学观点和方法论的文章。对山脉沉积物的分析使我发现了一种新体制。根据它们在造山带板块构造演化过程中所起的作用，可以把它们分为若干必不可少的部分。这些部分可以与生物的器官或骨骼相比拟。在重建一种化石生物时，我们并不需要找到它们全部的遗骸。有关生物机能的知识，并借助比较解剖学知识的补充，使得古生物学家得以根据从药铺买来的一两颗臼齿就能重塑北京猿人的形象。同样地，知道了各种沉积建造在板块构造中的位置，我们就可以根据大陆碰撞缝合带构造混杂岩中的外来块体重建整个特提斯海。这就是我关于碰撞型造山作用的薄壳板块构造模式一文的哲学思想。根据这一模式可以指出，华南的中生代造山带，就其复杂性和规模来说，都可与美国东南部阿巴拉契亚山脉的古生代造山带相比拟。当然，这些意见充其量不过是一种工作假说，但我希望将来中国同行的工作能对此加以检验。

本书最后的一篇文章，对莱伊尔的均变论和达尔文在均变论基础上提出的生存竞争、适者生存的观点提出了质疑。我是在这种经典理论的传统教育下成长的。然而，从我开始独立观察起，我就开始发现矛盾。还在五十年代，我从事当代沉积环境的研究，给我印象最深的事实是，在许多地方，沉积记录都是与“罕见”事件有关，而不是与日常的作用相联系。这些“罕见”事件的涵义是指一年来一、两次的春潮，或者几十年才达到礁区一次的大规模飓风。当然，从地质历史的角度说，它们并不是“罕见”事件，而是日常过程。使我更趋向灾变论的是1970年在地中海从事第XIII航次深海钻探时。遵照一世纪以前Ochsenius的设想，教科书都说，大型盐矿是在小规模的滨海泻湖内形成的，无数小泻湖沉积集积起来，才形成蔡希斯坦(Zechstein)这样的大盐矿。这些叙述理应面对真实的地质证据的检验，但教条主义哲学却使我们大量事实视而不见。地中海蒸发岩的研究毫无疑问地证实，地中海曾与大西洋隔绝，而后发生干化。唯一的问题是，这种解释不符合莱伊尔均变论的观点。事实上，莱伊尔的原理包含着两部分涵义：一是物理定律的不变性；二是作用过程的均速性。前者是所有科学的基础（不包括神学或形而上学），但后者仅仅是莱伊尔的设想，遗憾的是在上世纪却不由分说地被人们奉为圣典。如果地中海的证据证实了偶然事件的存在，那么无异承认灾变是存在的；也就是说莱伊尔反对灾变论的成见是错误的！

近几年来，出现了多方面的证据，表明在白垩纪末期确有一次灾变，引起了生物的大批死亡。达尔文大概不会喜欢这种说法，他主张生存竞争，适者生存。灾难性的死亡使幸存者的命运完全操纵于偶然的机会。在本书的最后一篇，我们提供了一项新开展的研究生物大批死亡原因的计划的首批成果。我们还不能说达尔文不给偶然事件的研究留下余地是一种错误。然而，我们已经找到途径去获得新的事实，这些事实将使我们在解释演化的速度和方式时，处于比达尔文更有利的地位。

许靖华 (Kenneth J. Hsü)

1981年7月9日于苏黎世

目 录

序

代序——从地槽论到板块构造

I 地槽论的历史回顾	(1)
地槽史话	(1)
地槽概念今昔谈	(19)
II 从板块构造理论谈地槽	(37)
阿尔卑斯和西地中海的起源	(37)
地中海板块构造与三叠纪古地理	(43)
中生代阿尔卑斯特提斯的古地理	(48)
III 增生板块边缘的沉积作用和大地构造	(75)
陆上和海底的远洋沉积物	(75)
南大西洋的深海钻探——为海底扩张论提供了依据	(83)
上地幔地热史及其与太平洋盆地地壳演化史的关系	(105)
IV 活动板块边缘的沉积作用和大地构造	(116)
混杂岩原则及其在阐明Franciscan-Knoxville疑题时的意义	(116)
加利福尼亚海岸山脉的中生代地质——一种新的假说	(128)
圣弗兰西斯科半岛的混杂岩——典型Franciscan杂岩的地质新释	(143)
以优地槽沉积作用和俯冲构造为模式的Franciscan混杂岩	(165)
再论加利福尼亚海岸山脉的中生代演变	(173)
混杂岩及其与海底滑积岩之区别	(190)
V 复理石和浊积岩的沉积作用及大地构造	(206)
海伦海沟深海钻探	(206)
瑞士外赫尔微复理石盆地的古水流构造和古地理	(212)
从板块构造论外赫尔微复理石的沉积和变形	(246)
“复理石”一词的涵义——简短的历史回顾	(258)
地中海环境中的阿尔卑斯复理石	(272)
加利福尼亚州文图拉油田研究 1: 上新统下部浊积岩相的几何形态与成因	(279)
加利福尼亚州文图拉盆地的再沉积相及浊流纵向搬运模式	(306)
瑞士瓦伦湖非年度性似季候纹泥状的沉积旋回	(325)
苏黎世湖1875年霍尔根滑坡和浊流纵向搬运作用模式	(333)
VI 碳酸盐-蒸发岩沉积作用	(341)
关于蒸发作用引起水力学运动的初步实验及其与白云岩成因问题的关系	(341)
阿布札比地区萨布哈的地下水运动及其与蒸发白云岩成因的关系	(351)
晚中新世地中海的干化作用	(373)

地中海盐度突变的历史	(382)
巨型盐矿床的成因——地中海蒸发岩发现后的论评	(413)
VII 若干理论问题的探讨	(434)
碰撞型造山运动的薄壳板块构造模式	(434)
白垩纪末期生物大批死亡引起的环境变化及其演化意义	(444)

I、地槽论的历史回顾

地 槽 史 话

“虽已斯年，我仍将竭尽所能而为之……”

萧伯纳《Back to Methuselah》序

前 言

地槽的概念是美国学者James Hall在1859年提出的。当时，地槽被解释为伴随着沉积物充填作用的拗槽。待到本世纪，这一有用的概念移植到欧洲地质学的肥沃土壤上，又获得了新的发展：即使是未为沉积物充填的海槽也可以成为地槽。由于有那么多种不同的地槽，充填的或未充填的，沉积层序也各不相同，所以我们有了一个地槽概念的万花筒。你有你的观点，我有我的看法，有的正确，有的有误；多数是充实的，也有的显得贫乏。弄到时至今日，地槽究竟是什么组成的，尚无一致意见。挽近几十年间，陆续出版了一些很好的总结和历史论评（见Knopf, 1948；Glaessner和Teichert, 1949；Aubouin, 1965）。因此看起来似乎没有必要再回到这一有争议的领域。然而，作者仍然决定选这一题目向Pettijohn讨论会献礼。众所周知，地槽的概念是由一个研究古代地层的古生物学家提出的。这一概念的成长和发展，主要来自地质工作者对岩石的解释。Aubouin (1965) 曾经指出：“地槽的概念是一个地质的（亦即历史的）概念，不仅包括当时的条件，而且也包括之前或之后的记录。正因为如此，我们不能摒弃这一概念，而去支持一种根据当代的现象，不管是直接来自海洋学研究或间接来自地球物理资料所建立起来的观念。”

Aubouin采取的这一立场，忽视了一个基本事实，即地质学的力量正是来源于其现实主义基础，地质记录正是根据当代现象来解释的。毫无疑问，现代学者是需要沉积作用的现实主义模式的。因此，人们怀疑地槽的概念，尤其是它在造山运动中的特殊作用，还能持续多久。在1969年于蒙特里尔举行的新全球大地构造Penrose会议上，许多人都有这种感觉。这种感觉也反映在Dickinson (1970, 22页) 所作的总结中，他说道：“会议行将结束，讨论的趋势清楚地表明传统的、地槽理论所面临的困难。”

是否应当摒弃地槽这一概念？这一概念难道已不能应用于有用的目的？坚持神话般过去的危险究竟是什么？我们可以从中学到些什么而又如何去学习？我们将向哪里去？这些就是笔者执笔撰写此文时翻腾在脑海中的一些疑问。作为一个业余的历史学家，笔者愿列述下列线索，提出个人的，也许不那么公平的解释，以阐明我们现在的立场。

二十世纪教条的分裂

从辞义上看,地槽一词意味着一部分大规模下拗的地表。按照James Hall的观点,这种下拗作用与异常巨厚的沉积物的堆积作用有关,因此最大拗陷轴与最厚堆积线是一致的。在阿巴拉契亚,这套沉积物包括含大量滨海动物化石的一套地层,这就促使Hall得出这样的结论,即地槽沉积是在与当时的稳定陆架相似的浅水环境内沉积的。

欧洲地质学家,尤其是奥地利和法国的地质学家,在本世纪前就研究过阿尔卑斯,与Hall发生了意见分歧。Suess (1875, 96-102页) 首先提出地槽沉积代表远洋相的想法,但是他的论证比较空洞。他感到地槽沉积,与相应的陆架沉积相比,不仅厚度大,而且发育得更完全,没有不整合。然而,他举出东阿尔卑斯的三叠系来论证阿尔卑斯碳酸盐岩大多数为远洋沉积的说法是错误的。众所周知,阿尔卑斯的三叠系是一套潮坪组合 (Fisher, 1963)。他把阿尔卑斯中生代底栖动物解释为幸存于深海的古生代孑遗种属,同样也是错误的。Suess显然不是沉积学家。同一年,Neumayr (1875, 364页, 也见Neumayr 和Suess, 1920, 369-71页) 根据现实主义原则正确地解释了阿尔卑斯沉积的深度: 阿尔卑斯上侏罗统和下白垩统的放射虫燧石可以与赤道太平洋和印度洋的现代放射虫软泥相对比。这一解释经受了时间的考验。Neumayr认为巴巴多斯的第三纪放射虫燧石(始新世大洋沉积层)是从深海底升起的。这一点已经为联合海洋机构地球深层取样(JOIDES)的钻探结果所证实 (Bader等, 1970, 665页)。

Suess选取“远洋”一词,使Walther在1895年得以缓和美欧学者在地槽沉积深度问题上的分歧。在一篇关于化石生物相的论文中,他提出“底栖生物”和“浮游生物”,并于尔后为Hensen和Haeckel所引用。Walther强调含浮游放射虫的远洋沉积不必一定属于深海沉积 (Walther, 214, 237页)。并根据John Murray在Challenger探险专题报告中的看法,认为阿尔卑斯的放射虫岩并非大洋沉积。

然而,包含着分歧种子的“潘朵拉之箱”毕竟打开了,与Hall-Dana的传统观点分道扬镳的时机终于来到,这就是本世纪初Emil Haug出版了他的巨著《Les géosynclinaux et les Aires Continentales》。

Haug于1861年生于阿尔萨斯。象他同时代的许多人一样,他在青年时代是一位热心的化石采集者。他就学于省会Strassburg,并以其学位论文《summa cum laude》而成为一位年轻的菊石专家。该论文是用德文写的。在德国吞并阿尔萨斯之后,他作为一个激进学生,参加了许多抗议活动。以后出亡巴黎,他必须用法文来写另一篇论文。他孩提时代的朋友和同乡Kilian比他先到Sorbonne,当时Kilian正在海滨阿尔卑斯工作,主要研究晚侏罗纪和白垩纪地层。他劝Haug到野外去同他合作。这就使Haug有机会应用他的关于菊石的广泛知识,去解决多菲内 (dauphinois——法国东部旧省名) 阿尔卑斯的单调的侏罗纪黑页岩分带问题。与侏罗山和Provence的陆架碳酸盐地层相反,巨厚的阿尔卑沉积或地槽相包含着的一套富含菊石, *Posidonia* 和 *Inoceramus* 的连续沉积。但是与后者区别的还不仅在于厚度。这一事实引起了Haug的注意,也给在纽约的Hall以极深的印象。在欧洲实例中特别有意义的是沉积相的不同,说明存在两种完全不同的沉积环境。

Haug在1898年引入了“浅海”沉积和“深水”沉积的概念，认为地槽沉积是浅海稳定陆架沉积的相应的深水相，同时将深水环境定义为80或100米至900米（Haug, 1960, 620页）。他的推论乃是基于：（1）在地槽建造中无不整合；（2）在地槽中有远洋化石；（3）单调的页岩相地槽沉积与浅水陆架沉积相反，后者随着海侵和海退而表现出明显的纵向和横向变化；而页岩则不然，因此为深水沉积。笔石页岩、*Posidonomia*页岩、菊石的双瓣脰（*Aptychus*）页岩及其它含远洋化石的地层等，他都认为是典型地槽沉积的例子。

Haug的方案是那么简单，受到了O.T.Jones（1938）的赞扬和支持。他借此对比了美国古生代的地槽笔石页岩相和稳定陆架灰岩相。其它英国学者也将杂砂岩（Tyrell, 1933）或其典型的沉积构造粒序层理（Bailey, 1936）作为地槽沉积的特征。

如果上天垂幸，比同时代地层厚的沉积物总是沉积于较深水的话，那么Haug的新概念就没有什么疑难之处了。不幸的是，情况并非如此。以美国东部中上泥盆统为例，沉积于内部地台的Chattanooga页岩要比阿巴拉契亚地槽同时代的三角洲沉积Catskill和前三角洲沉积Chemung组深得多。

Haug的图案引起了一场危机：要么坚持Hall原来的定义，要么以沉积深度作为新的标准。美国学者站在Hall一边，而欧洲人则追随Haug。结果出现了地槽概念的“美国学派”和“欧洲学派”（见Trümpy, 1960, 865页；Aubouin, 1965, 17页）。遵照欧洲学派的意见，就必须接受“薄积地槽”（Lepto-geosyncline）的概念，诸如东阿尔卑斯Pennine区上侏罗统和下白垩统远洋沉积层，虽较同期陆架沉积薄得多，但因为是深水沉积，故也应属地槽之列。识别薄积地槽沉积的关键是有深水或较大深度沉积作用的证据（Trümpy 1960, P.865）。如果以此为准，则势必得出一个反结论，即北美东部的泥盆纪地槽不在阿巴拉契亚山脉，而是在沉积深水Chattanooga页岩的内部地台。这一解释肯定不是James Hall提出地槽概念时所希望的，而Haug和Trümpy也不会持如此极端的观点。

活动性和地槽旋回

由上可见，对地槽的定义是多么不一致。那么究竟地槽一词有无意义，我们又为何要选用这一词汇呢？

原来，在各不同学派的观点之间，还有一个共同点：地槽意味着活动性。这种活动性则以极大的沉降速度为标志，而后者抑或导致极厚的沉积，抑或导致极深水沉积。Hall提出，而后又经Dana发展的原始定义强调这一活动带在地壳上的存在。而Haug（1900）、Schuchert（1923）和Bucher（1933）则把地槽解释为长长的线性带、地中海或大陆边缘带。在不同的地理区，这种活动性有不同的表现形式，结果就形成了变化多端的沉积体。后来，Stille（1941）和Kay（1951）将这些变化多端的沉积建造归结为一大堆复杂而矛盾百出的名词。这样，我们就有了正地槽和准地槽；优地槽和冒地槽；外枝准地槽（exogeosynclines）、平原地槽（autogeosynclines）和配合地槽（zeugogeosynclines）；地堑式地槽（taphrogeosynclines）和次生优地槽（epieugeosynclines）；三角洲地槽（dettageosynclines）和海滨地槽（paraliageosynclines）等等，等等。

Stille-Kay命名系统强调地槽活动性的空间变化。其次是要反映时间上的演化。在一定的带中,有无这种活动性的节奏或方式的变化呢?能否在地槽沉积建造中发现任何阶段性或旋回呢? Marcel Berfrand 是通过识别复理石-磨拉石序列而发现这种韵律的第一人。

Marcel Bertrand可以被认为是地质学中少有的几个天才之一。有一次,他在火车上阅读了Suess的《Die Entstehung der Alpen (阿尔卑斯山的成因)》一书。作为一个理论家,他立即对阿尔卑斯Glarus的推覆体构造作出了正确的解释。他经常在考虑如何从如此杂乱无章的事件中理出一个头绪来。但是正由于生性偏执,使他在失去他的独生子后无法排遣,以致精神失常。在1894年苏黎世国际地质学会议上,他散发了他的最后一篇论文。他的见解简短而明确:他改革了沉积相循环出现的概念,建立了地槽旋回的思想,同时列述了地槽形成于硅铝质地壳的证据。

Bertrand (170页)分出四种“相”或者“建造”(formations de montagne),地槽旋回即由它们组成(见图1):

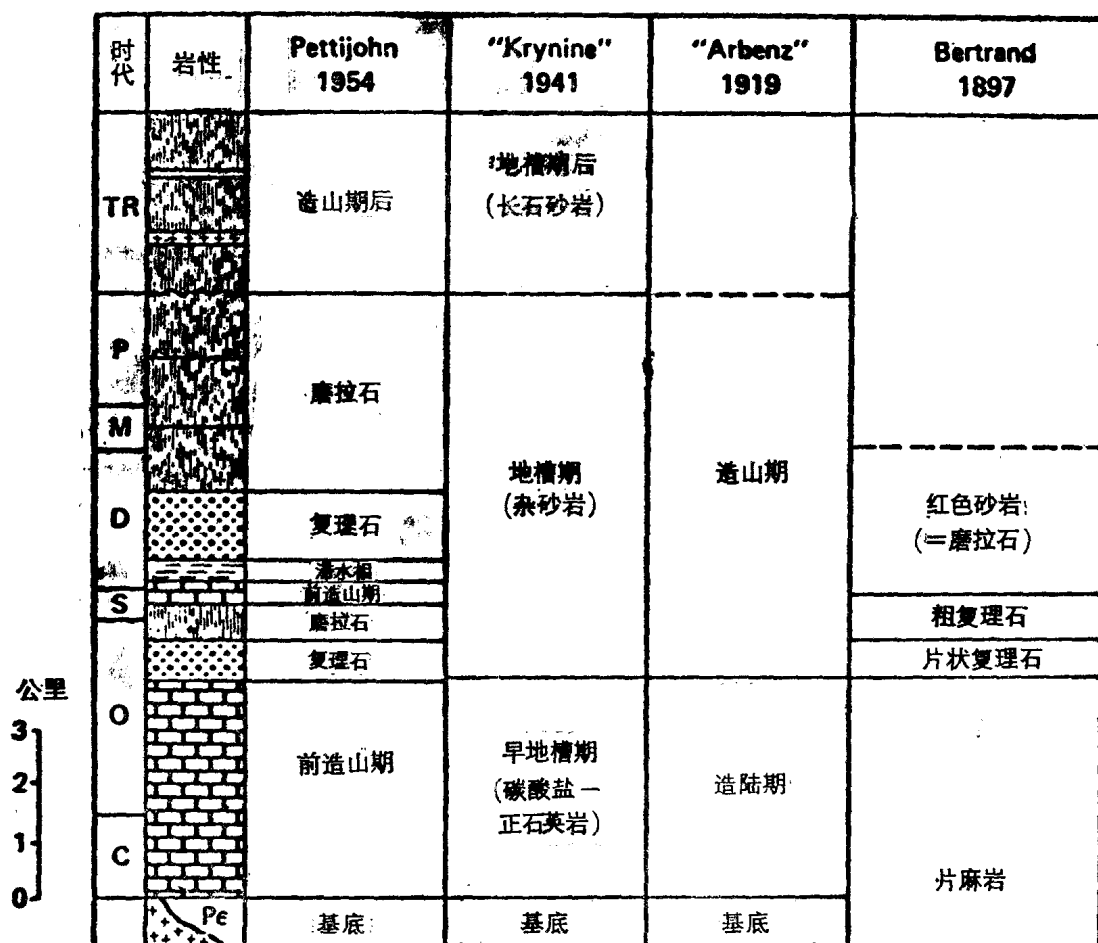


图1 地槽旋回概念的演化

- A. 片麻岩: 组成原始地槽的基底;
- B. 片状复理石 (Flyscht schisteux): 充填原始地槽的中央带;
- C. 粗复理石 (Flyscht grossier): 在地槽中轴隆起后充填在其周边部位;
- D. 红色砂岩 (磨拉石): 发育于新隆起山链的山麓。