

21723



地学革命风云录

许靖华 著

何起祥 译

业治铮 校

S225/18



地质出版社

内 容 简 介

本书以“格洛玛·挑战者”号的钻探活动为主线，通过作者的亲身经历，介绍了深海钻探计划(DSDP)的全过程，反映了六十年代开始的“地学革命”及板块构造理论的发生和发展。是一部内容丰富而又生动的高级科普读物。可供专业地质工作者参考，也可供具有中等以上文化水平的读者阅读。

EIN SCHIFF REVOLUTIONIERT DIE WISSENSCHAFT DIE EORSCHUNGSREISEN DER GLOMER CHALLENGER

K. J. HSÜ

HOFFMANN UND CAMPE

1982年第一版

地学革命风云录

许靖华 著

何起祥 译 业治铮 校

*

责任编辑：殷维翰

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：11¹/₂ 字数：263,000

1985年5月北京第一版·1985年5月北京第一次印刷

印数：1—2,385册 定价：2.80元

统一书号：13038·新116

序

本书作者是当代国际上享有盛名的美籍地质学家。自1976年起曾多次来华讲学，推动了我国沉积地质学的发展。

六十年代末期，地质学领域里出现了革命性的变化。“深海钻探计划”保证了这场革命的实现，而“格洛玛·挑战者”号钻探船又为实施这项宏伟计划提供了必不可少的重要手段。作者以其亲身参与这项计划的制定与实践的经历，用故事性的形式叙述了这场革命风暴的历程。

全书分二十章。分别叙述深海钻探各阶段的主要收获和成就。各章既前后贯通，又好象二十个专题，扼要地描述了地质学领域里重大理论问题的由来及其具体内容，诸如海底扩张理论、板块构造模式、板块内火山活动规律、古海洋学以及地质历史上“偶然事件”的发现等。

这些新理论的产生和建立并不是一帆风顺的，而是经过一系列激烈的新旧学术思想的争论才得来的。我们可从作者的论述和他本身的经验教训中进一步认识到，科学的道路是曲折的。一种新思想、新理论的出现，无不是一批理论基础广泛、学术思想活跃、愿为科学献身的实干家与那些坚信教义、墨守陈规、人云亦云的保守者长期争论的结果。其中年青科学家起着先锋作用，新老结合起着完善作用。可是新思想、新理论一旦涌现，必然就有人忽视它、反对它；但同时也有人按照新观点重新回顾旧观点、重新解释旧资料，并积极而广泛地搜集新事实来支持它、证实它、发展它，使之趋于完善。科学发展就是沿着这样的曲折道路不断向前推进的。

本书作者以生动而通俗易懂的文字扼要地叙述了深海钻探的历史，系统地阐明了地质科学的学术思想发展史。译者是作者的学生，在他的老师领导下，也曾部分地参与这场革命，对他老师的治学态度和科研经历是比较清楚的，并以生动的笔法，畅通的文字译成中文。译文主要根据作者的英文原稿，德文版问世后，作了订正，以求正确。同时在不失原意的前提下做了少量删改，以适合于中国国情，看来是适宜的。深信这本书不论是一般的地质人员或是专业地质人员都会爱读，可谓是一本老少咸宜的高级科普读物。

业 治 铮

1983年11月于南京



寄中国读者

——中译本序

在地球科学的发展史上，有两个重要的里程碑，即十八世纪末叶地质学的奠基时期和六十年代后半期的地学革命。在地质学奠基以前，人们对地球历史的解释充满着圣经的神秘色彩。圣经上的洪水成了一切疑难的最终答案，因此魏尔纳的门徒才被称为“水成论者”。詹姆士·哈顿的地质学是在观察事实的基础上建立起来的；他的均变论强调物理规律的不变性，宣告了与以圣经为最后依据的传统观念的决裂。在近两百年的时间里，加上莱伊尔的均变论和达尔文的生物进化论，哈顿的均变论所向披靡。哈顿的理论本来是根据陆上露头的观察建立起来的。但随着时间的的发展，却逐渐滋长了一种教条主义的倾向。均变论的解释日趋狭隘。在整个二十世纪的前半期，地质学家们用地表状态或地表条件的永恒性替代了物理定律的不变性，从而引伸出“海陆永恒”的统治性科学思想体系，这就是所谓“固定论”。

本书所叙述的地学革命，是从海洋勘探中发展起来的。它始于地球物理学家所作的地磁、地震和地热研究，以及由此得来的与“固定论”思想相径庭的大批资料。最后的冲刺是由地质学家完成的，他们能够有幸参与深海样品的研究，那就要感谢“格洛玛·挑战者”号的航行了。

在地质学奠基以前，争论的焦点是玄武岩的成因问题。这种暗色的细粒岩石曾一度被认为是洪水中的沉淀物。只有对维苏威活火山进行实地观察后，A.P. 魏尔纳水成论的信徒们才认识到，他们的老师错了，他们自己也错了。而在地学革命以前，争论的焦点是大陆漂移说。瓦因和马修斯的海底扩张理论扫清了魏格纳理论所遇到的主要障碍。但是，如果没有“格洛玛·挑战者”号，如果没有深海钻探，那么他们的理论就会无休止地争论下去，地学革命也就不会有成功的一天。

在科学的问题上，一直存在着某种误解。有人认为科学“真理”是绝对的，而科学实践只不过是观察、测试和数据处理的总合。我写本书的目的之一，就是要说明，科学本身也是人类的一种实践。科学研究是一个思考过程。科学行动则是推行某种思考过程的活动，其目的是为了检验这些思考过程的有效性，进而修正和改善这些思考过程，以期达到更高的认识。象一切科学实践一样，科学的判断力取决于个人的经验、信仰和情绪。我们中间的许多人，或者说我们全体，在我们的专业经历中，都犯过这样或那样的错误。科学工作者应当有虚怀若谷的精神，敢于摒弃先入之见，敢于摆脱对错误思想的感情上的依附。本书在某种程度上是自传性的。我强调了我在思想演变过程中的失误。

我曾经一度被戴上“传统固定论的叛徒”的帽子。在我的学术生涯的头二十年中，我是一个固定论者。因为我的老师们就是这样教育我的。我的生活道路并不是一帆风顺的。在我作为一名学生而为自己的前途疲于奔命的艰难岁月里，有一位老师曾从多方面帮助过我。因此我对他满怀感激之情。这种感情使我对他的教诲不敢稍有微辞。他的话，予我犹

如“圣经”。这位老师对魏格纳及其大陆漂移说抱着一种十分蔑视的态度，而我又不敢承认他犯了错误。是一个偶然的机，使我登上了验证海底扩张说的航船，得以厕身于随船科学家的行列。在“马克斯威尔的数字游戏”一章中，我描写了当时的感情冲突。而正是那次航行中的不眠之夜，使我最后完成了“从梭罗到保罗”的转变。如果说我因此而站到了另一个营垒，那么动机绝非因为机会主义。事实俱在。作为一个科学工作者，我并无其它选择的余地。就象吉安·弗朗柯伊斯·德奥布逊不得不同他的老师魏尔纳分道扬镳而由水成论者变为火成论者一样，我也不得不舍弃我的老师，承认自己的错误而变成新“信仰”的信徒。

人类的一些弱点也是导致科学上的某些错误的原因之一。在本书第五章中，我写到一件事。当瓦因对海底扩张论所做的工作被选为当年最重大的成就，而我对弗朗西斯科混杂岩的工作却不幸落选时，我的自尊心受到了伤害。由于虚荣心和忌妒心理的驱使，我竟至没有参加1966年美国地质学会期间瓦因的报告会。如果我参加了那次报告会，如果我不是那么自负，我本来是会接受选题组的意见的。瓦因的工作确实是意义深远的，即使把它对地球科学的影响与爱因斯坦对物理学的贡献相提并论，也不算过分。如果我当时未为感情上的弱点所征服，我也许会认识到海底扩张的必然结果是洋壳沿着活动边缘的俯冲，从而找到弗朗西斯科混杂岩的答案，而毋需等待他人来向我指出这一了如指掌的事实，或者我甚至会在我的地球物理同行之前最先得出板块构造的思想。

这就是我个人的两条教训。洞察秋毫的读者也许还会找到其它教训。在地球科学的成就或“格洛玛·挑战者”号的成就中，人为的因素是不可忽视的。诚然，气候变幻无常，大自然变化莫测，但是许多失败是与人为的错误分不开的。另一方面，成就也取决于人的精神美德，诸如光明磊落，勇往直前和坚忍不拔，就象已故的戴尔·杰克逊在他生命的最后时刻，在夏威夷海底山链的钻探中所表现出来的可贵精神。公平地说，我写本书的目的，并不是为了追求它的科学性，而是为了使后代的科学家能稍受裨益。因此，这不是一本海洋地质学的教科书，而是人类的一种实践，即所谓科学的历史。

这篇序是根据译者的建议撰写的。本意是要向我的骨肉同胞，特别是我的同行们表达我的感情和祝愿。兴之所至，写了上述一些读者们也许并不十分感兴趣的话。瓦因发动地学革命的那一篇论文正好与姚文元的评海瑞罢官同年发表。地学革命把我们引入了一个新天地，揭开了人类认识史上的新的一页，而且诚如我在最后一章中所指出的，这场革命还将影响生物学和其它科学领域。然而，在整整十年中，我的中国同行们却因为“四人帮”的倒行逆施而失去了参加这场历史性变革的机会，这是非常可惜的。但是巨龙一旦觉醒，它对人类的科学贡献必定是未可限量的。我由衷地期待着这一天早日到来。感谢译者将此书译成中文，感谢业治铮教授校阅译稿。我愿借此机会再一次向国内的读者致以良好的祝愿和衷心的问候。

作 者

1983年8月于北京

前 言

这本书叙述的故事，都是围绕一艘船、一场革命以及在船上从事这一革命实践的人物的。这艘船，就是“D/V·格洛玛·挑战者”号；这场革命，就是近廿年来名闻遐迩的地质革命；这些人物都是地学界具有献身精神的人，其中包括我的老师、我的朋友、我的同事和我的学生，当然也包括我自己。因此，从某种意义上说，这本书是传记性的。

“D/V·格洛玛·挑战者”号自1968年夏天启航，如果不是数以千计，至少也是数以百计的人参加了它的航行。各航次的初步报告全部出版后，加起来将超过80卷，每卷厚达千页以上，毋庸讳言，本书难免有欠全面之处或强调不当之处。我已经说过，本书是传记性的。因此，如果有所偏颇，对我熟知的事介绍较详或对我最熟悉的人物，包括我自己，讲得较多，希望读者能够谅解。鉴于我有幸卷入这场地质革命的许多活动，又有幸结识那些发动并参与这场革命的许多人物，我想，我是会得到朋友们的谅解的。我希望我的疏忽不致涉及要害，更无贬低本书未提到的许多人物的大小成就之意。因为这本书实在太薄了，与80多卷巨厚的原始报告相比，只能是管中窥豹，仅见一斑。如有严重疏漏，望同行不吝指正。有机会再版时，当予订正。要提一下的是，本书是根据作者的记忆撰写的，并非“格洛玛·挑战者”研究航次的官方报告。

撰写本书的动机之一，是为了还地质工作者以本来面目。在好莱坞的电影或某些惊险小说里，地质工作者常常被描写成呆头呆脑的碌碌无能之辈。由于地质学不在中学教学内容之列，所以许多人对地质学是近乎无知的，更不了解献身这一事业的许多人物。卓越的地质工作者，同其它行业的卓越人物一样，具有忘我的献身精神。但是他们中间的大多数人并非盲从的宗教信徒，而是气质不凡的科学家。

撰写本书的另一个动机，是为初学者提供一个从事科学研究的范例。科学是人类同自然搏斗的经验总结。它既能结出累累硕果，也能带来失望，甚至愤怒和悲哀。当然也能带来满足，充实和欢乐。科学事业中，既有忌妒、自私、妄自尊大和渺小，也有豁达大度、质朴、虚怀若谷和公正无私。在我们的事业中，错误是难免的。我们都犯过这样或那样的错误。在本书中，我试图分析一些人为的感情用事的错误，当然也包括我自己的错误。

作者愿以此书献给我的前妻鲁丝和她在临终时还念念不忘的“钥匙挂在脖子上”的孩子：伊丽沙白、马丁、安德鲁以及彼得。如果孩子们有暇阅读本书，他们就会更好地了解他们的父亲。最后，作者谨以此书献给我的妻子克列斯蒂，她为我为所献出的劳动是难以尽言的。

许 靖 华

1981.6.10于苏黎世

目 录

序

寄中国读者——中译本序

前言

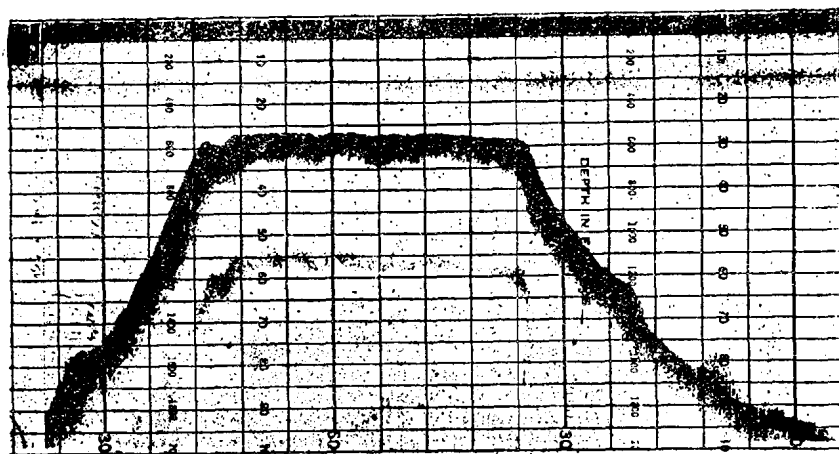
第一章	莫霍面和莫霍孔计划	1
第二章	从“长岩心委员会”(LOCO)到“地球深部取样规划联合海洋机构”(JOIDES)	11
第三章	“格洛玛·挑战者”号首航告捷	18
第四章	瓦因和马修斯吹响了地学革命的号角	26
第五章	马克斯威尔在南大西洋的数字游戏	41
第六章	大西洋和特提斯海——一对命运不同的孪生姐妹	50
第七章	地中海板块构造	58
第八章	吞噬洋底的地质作用	70
第九章	陆缘海	77
第十章	板块内部的火山活动	83
第十一章	夏威夷热点	92
第十二章	印度次大陆向北漂移	100
第十三章	南极探险记	108
第十四章	白垩纪中期事件	116
第十五章	地中海干化之谜	122
第十六章	几度变色的黑海	131
第十七章	洋壳卡钻	139
第十八章	海滨吃花生	146
第十九章	驱动海洋循环的马达	151
第二十章	生物大规模死亡事件	160
人名索引	173

第一章 莫霍面和莫霍孔计划

在美国有一句笑话：“掘井足够深，就能到中国”。当然，一般人谁也不会认真地看待这种笑话，唯独一个人例外，这个人就是哈雷·海斯。他曾不辞劳苦，四出奔走，向美国议会游说，劝他们耗费百万巨资去钻一个十公里深的海底钻孔，以探索莫霍面的奥秘。

我第一次见到哈雷·海斯，是在德克萨斯州休斯敦市的保险咨询大楼。那是1954年的二月，正是早春时节。我刚刚读完博士学位，在壳牌石油公司勘探开发研究实验室工作。而当时海斯却早已名满宇内，在普林斯顿大学担任地质系主任的要职。他休斯敦之行的目的，是为了筹措科学基金。普林斯顿校友会特地请他作了一次有关“盖奥特”(Guyot)的报告。盖奥特是太平洋里新发现的一种沉落的海底平顶山，正象谜一样地吸引着万千地质工作者。

二次大战期间，哈雷·海斯是美国太平洋舰队“约翰逊角”号运输舰上的一名青年军官。有一次，他随舰横渡太平洋，向马利安那群岛、菲律宾和硫磺岛一带运兵。船上的回声测深仪记录到一连串的圆形海底山。这些海底山从平坦的海底上拔地而起，高逾数千米。四周壁立而顶部平坦(图版1)，酷似美国科罗拉多高原上的平顶山。这一地貌形态的发现使他诧异万分。他认为是一群顶部已经夷平的沉没火山岛。为了纪念普林斯顿大学第一任地质学教授阿诺尔德·盖奥特，海斯决定把它们命名为盖奥特。普林斯顿大学地质系的一个大厅也是以他的名字命名的。战争结束后，海斯报导了他的发现。据他的初步统计，这样的平顶山在太平洋里竟有一百六十多个。



图版 1 太平洋中的平顶山

哈雷·海斯利用军舰上的深度纪录仪发现了许多平顶海底山(盖奥特)。本图版所示即为一例。其峰顶距海面约1000多米，比周围海底高出2000多米。船只从海面驶过这一海底山要一个多小时。船的航速为10哩/小时左右，故其直径应在20公里以上。“格洛玛·挑战者”号考察船的深海钻探已经证明，这些盖奥特都是沉落的火山(据瓦特·苏里凡)

后来，又有不少海洋考察船陆续出航太平洋，发现了更多的盖奥特。人们从这些沉落岛屿的陡壁上，用拴在钢丝绳一端的剪式取样器取回了不少样品。结果不出海斯所料，样品都是火山岩。

在现代海洋中，海底火山原是屡见不鲜的。人们都习惯地称之为海底山。盖奥特与众不同之处乃在其平顶。海斯认为，这些盖奥特曾一度是火山岛，是波浪的侵蚀作用削平了当时高出海面的锥顶。而后，由于某种原因下沉了三、四千米，遂成为盖奥特。

我在治学问题上，从不人云亦云。还在学生时代，我就知道海洋中的火山会在其自重的作用下发生沉降。但沉降的速度是很有限的。当火山处于活动状态时，滚滚的熔岩从地球内部喷溢而出，加积速度大于沉降速度。于是形成火山岛；而在火山的沉寂时期，由于重力的作用，火山岛就会慢慢地沉入海下。

火山岛的沉落现象，在地质学中几乎已成老生常谈。查理斯·达尔文就是用这种机制来解释珊瑚环礁的成因的。而海斯竟为深海盖奥特的成因绞尽脑汁，当时颇使我迷惑不解。在休斯敦的那次报告会上，我未敢贸然发问，但事后终觉耿耿。于是就给海斯写了一封信。

不久，我收到了海斯的回信。信写得很长，而且备极谦逊。信中说，因为新学期课务繁忙，穷于应付，无暇详细解释我所提出的问题，深感内疚；接着又为打字技巧欠熟练表示歉意。但是，他还是向我耐心地解释了为什么不能用简单的重力沉降模式解释盖奥特成因的原委。

最使海斯为难的问题，还是盖奥特的平顶。波浪作用是极其缓慢的地质作用过程。要削去火山岛的尖顶，需要很长很长的时间。是什么原因使这些火山岛长期伫立，任凭风吹浪打呢？又是什么原因最终使这些经过海浪雕琢的火山岛沉入万丈深渊？海斯在作了可能的解释后，仍然坦率地表示了他的困惑。并希望今后会有更简单合理的答案来解答这些问题。

光阴荏苒。转瞬间，几年又过去了。随着岁月的流逝，我们对海洋的认识也进了一大步。盖奥特确实是在重力的作用下沉落的。海斯的困难还是在于用侵蚀作用来解释它的平顶。环顾太平洋中星罗棋布的岛屿，许多火山岛高出海面达几百米。要将它们削平，谈何容易！然而，平顶岛也不是绝无仅有的。诸如塞班岛(Saipan)、梯尼岛(Tinian)等等，顶部都极为平坦。二次大战期间，美国曾利用这些岛屿作为B-24型轰炸机的基地，其平坦当可想见。但是，这些岛屿的平顶却并非波浪侵蚀作用所致。恰恰相反，倒是沉积作用的结果。在另一些地方，平顶岛则系由熔岩流或火山灰的堆积作用所造成。如果我们接受达尔文的看法，即环礁是在沉落火山岛的基础上生长起来的，那么，环礁顶上的泻湖沉积作用，未尝不能看作岛屿变平的原因之一。而一旦珊瑚礁停止生长，这些岛屿就会下沉而变成盖奥特。从这一角度理解，盖奥特可能就是一种死亡不久的珊瑚环礁。

关于盖奥特的故事，我在后面还要讨论。书接上文。1954年时，海斯的回信给我留下的最深刻的印象，与其说是信的内容，毋宁说是他确实写过那么一封信。虽然我并不相信他列述的证据，但是，对于这位名人的手笔，我却是视若珍宝的。

几年以后，我在华盛顿再次见到海斯。那是在美国地球物理学会的一次年会上。我准备了一个报告。有幸被列为第一次会议的首项议程。提交这份报告的时候，我的心情本来是很轻松的。但是后来我终于发现，这是一次错误的尝试，而首先是选错了题目。一般而

言，当一个年青人开始迈向学术讲坛的时候，应当选择陈述事实的课题作为其事业的开端，并以此向其同代人证明自己的才干。但是，我却选择了一个十分棘手的题目，一个有关地槽成因的理论课题。

地槽的概念是十九世纪的一些地质学家发展起来的。目的是为了描述造山带的沉积物。地质学家早就发现，山脉地带和平原地区的沉积岩是迥然不同的。前者一般厚度较大，或是较深海中的沉积物(图1—1)，而后者则薄薄地盖在基底上，大多属浅海沉积。但是，人们随后就发现，这种差别并非到处一律的。不过，地槽一词已经成为习用的套语，虽然谁都说不清地槽究系何物，但在文献中却屡见不鲜。

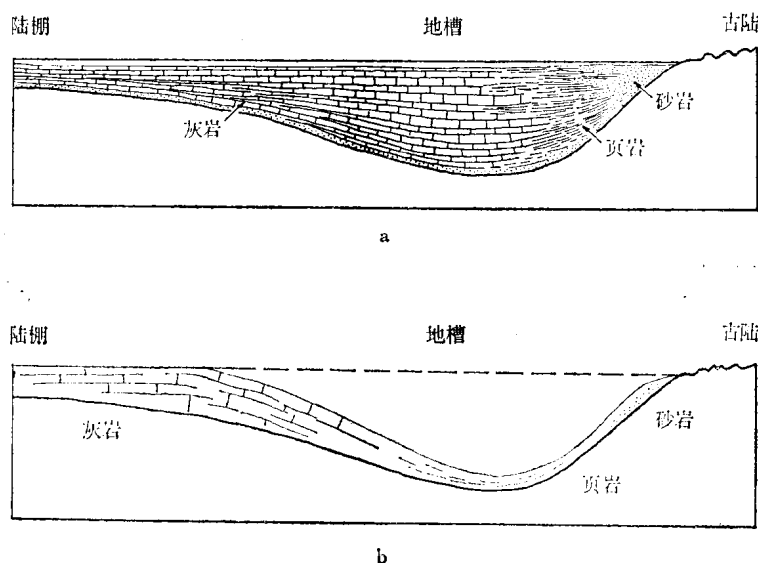


图 1—1 地槽的概念是詹姆士·霍尔在 1859 年创立的，表示山脉沉积岩系下古的巨大拗陷。“向斜”是一种下拗的地质构造，加上“地”字前缀，说明其规模巨大。按照霍尔及其后来人的观点，地槽或为沉积物厚度极大的地区(a)，或为水深极大的地区(b)。地槽中的沉积物也很特殊，它们是命中注定要变为山脉的。这种神秘的“造山地槽论”统治地质思潮百余年，才渐趋衰落而为板块理论所取代

现实主义原理是地质学的理论基础。按照这一原理，历史上的地质作用，都应可以出现于现代；过去的地质环境，也应有相似的现代类型。然而，在当今地球上，似乎并无适当的地表单元真正与地槽相似。这是一个十分严重的问题。但是，长期以来，人们并未充分认识到它的严重性，反而在冥思苦想地槽之所以沉降并导致沉积物大量堆积的机制。在我的报告中，我力图澄清这一概念，罗列了一些证据，想证明地槽并非怪物，不过是一种简单的地表凹陷，诸如大洋盆地、大陆边缘等等。一旦沉积物发生堆积，海底就会在沉积物的负荷下发生沉降，恰如下沉的盖奥特一般。

虽然我搜集了一些新的资料，但这一思想并不新鲜。其中的一些观点，今天看来仍然站得住脚。然而一个年青人，在前辈地质学家面前阐明如此显而易见的事实，仍不无放肆之嫌。因此，随着开会时间的迫近，我的不安感也逐渐强烈起来。

会议开幕的那一天终于来到了。我提前半小时来到会场华盛顿行政管理大楼。不一会

儿，人们陆续进入会场。老一辈地质学家在前排就坐。海斯是会议开幕式和首次会议的主持人。时针指向八点。开会的时间已到。但海斯却踪影全无。八点一刻，八点二十…，时间在难堪的沉默中悄悄逝去。我焦急地等待着，心情越来越紧张。直到八点半，才见海斯气喘吁吁，急步赶来。他登上讲台，就一叠连声地向大家道歉。原来，他把会议的地址记错了。在华盛顿到处打听美国地质学会大楼，竟忘了美国地质学会的会址在纽约。

海斯喘息甫定，艰难地念出了我的名字。这时，我差不多完全被紧张感征服了。我无可奈何地走上讲台，面对麦克风，一时竟不知怎样开口。最后，我终于结结巴巴地念完了讲稿。会场上是一片难堪的静寂。这是对鲁莽的年青人的一种不客气的冷落。然而，海斯却误以为是他的迟到扫了与会者的雅兴。会后，他再三向我表示歉意，使我在失败的懊丧之余，感受到了一丝温暖和慰藉。

时间使我的自信心逐渐增强起来。但海斯却依然那样平易近人和虚怀若谷。人们可能不易想象这位和蔼的老人对他毕生为之献身的事业曾经作过多大的贡献。他的海底扩张思想，诱发了一场科学革命；而他对一项理想科研计划的追求，开创了海洋勘探的新时代。

我最后一次见到海斯是在1969年。又是一个繁花似锦的春天。我刚刚结束南大西洋的一个钻探航次，风尘扑扑，来到普林斯顿大学，与同船的科学家讨论我们的成果。这一航次用钻探证实了最先由海斯提出的海底扩张说。他不仅没有丝毫得意之态，相反，却好象事实证明了她的正确预见反而增加了他的惶恐和不安。我和他一道漫步走出盖奥特大厅去食堂用膳。他甚至只字不提海底扩张学说，反而忧心忡忡地向我谈着在通货膨胀日甚一日的美国，私立大学所面临的困境。其时，他刚刚辞去了地质系主任的职务，但仍保留着许多国内外的兼职。他因工作过度而显得有些疲惫。那次见面之后不久，他就因为心脏病暴发而与世长辞了。但是，作为地球科学中最成功的进展之一——地球深部取样规划联合海洋机构(JOIDES)主持的深海钻探计划(DSDP)的发起人，他将永远留在我们的记忆中。

海斯的兼职之一，就是作为一个委员会的成员，帮助美国科学基金会选择有价值的研究项目。早在五十年代初期，物理学家就取得了大量科学基金，建立了一批耗资亿万的大型加速器。但是地质学家却束手无策，除了填图之外，竟提不出象样的项目来申请科学基金。1957年春天，海斯及其委员会曾试图设立一些项目，但都失之气魄不大而缺乏吸引力。作为一名地质学家，他深感羞愧和苦恼。

18世纪末期和19世纪前半叶，是地质学发展的鼎盛时期。那绚烂夺目的蓬勃景象，已经成为令人神往的遥远回忆。那时，詹姆士·哈顿奠定了地质学作为一门观察性科学的基础；威廉·斯密士发现了化石的地层学价值；查理斯·莱伊尔揭去了圣经“创世纪”的神秘外衣，提出了均变论的思想；达尔文则创立了生物进化论……。地学界人才辈出，万花竞妍，生机勃勃，春意盎然。但是进入二十世纪以后，局面就完全改观了。几乎没有什么重大发现堪与前人比美。但是，地球物理学却是有所进展的。其中之一就是莫霍面的发现。

1909年10月8日，一次强烈地震震撼了南斯拉夫。震源位于扎格雷勃(Zagreb)附近一个名叫巴布斯波斯柯(Papuspsko)的村子下面25公里深处。南斯拉夫的一位地震学家——安德雷斯·莫霍洛维奇研究了地震波的首波到达各地震站的时间，即所谓初至时间。

地震产生的地震波有几种。有的是通过弹性介质交替的压缩和伸张传递的，类似于空气中的声波，称为压缩波或者P波。这种波传播最快，总是最先到达地震站。在均匀介质

中，压缩波的传播速度 v_p 为常数，因此，初至时间 t 应与震中至地震站的距离成正比，即：

$$t = s/v_p$$

这就是说，一个距离震中 200 公里的地震站纪录到的初至时间，应当是 100 公里地震站的两倍。这是牛顿力学中最简单的一种线性关系，在中学里就学过的。莫霍洛维奇整理了距震中 300 公里范围内的地震纪录，在 $t-s$ 图上得到了一条通过原点的直线。地震纪录确实证明了这一简单的线性关系(图1—2)。根据物理学的常识，该直线的斜率，就是地震波的传播速度。莫霍洛维奇通过计算，得出压缩波的传播速度为每秒5—6公里。

别的地震站也提供了极有意义的纪录。其中最远的一个地震站是距扎格雷勃 2400 公里、远在高加索山脉中的第比利斯。莫霍洛维奇发现，300 公里以外的初至时间，与上述通过原点的直线不一致，而是一条不通过原点，而且斜率更小的直线。这条直线的斜率表明，最快的地震波是以每秒7—8公里的速度向更遥远的地震站传播的。他是怎样解释这种现象的呢？究竟是另有一种速度较快的地震波，抑或是同一种压缩波选择了一条捷径呢？

凡是常开汽车的人是不难回答这个问题的。如果某人要从苏黎世驱车前往10公里以外的克尔希堡(Kilchberg)，那他一定会选择较短的滨湖公路，尽管驱车速度不得超过每小时六十公里。然而，如果他要在最短的时间内驱车到 60 公里以外的维森(Weesen)去，那么他一定会选择迂迴的高速公路，因为在那里车子速度可以允许高达 120 公里。莫霍洛维奇用同样的逻辑解释了地震波的传播时间。传向各地震站的最快的波都是压缩波。但是最先到达 300 公里以外的地震站的地震波却选择了一条尽管迂迴，但却传得更快的“高速公路”。用科学术语来表达，“迂迴的传播途径”就是“波的折射”，而所谓“高速公路”就是一种深度较大、密度较高的介质。波在其中的传播速度要高于它在地下浅处的传播速度(图1—2)。

自从伊萨克·牛顿的时代以来，人们就已知道，地球内部的密度要大于它的表层。十九世纪中叶，英国皇家学会的天文学家乔治·艾利曾经设想，地球有一薄层较轻的固体外壳，包在密度较大的液态核心外面。炽热的火山熔岩就是从地球深部喷溢出来的。他把地球外围的这一固体薄壳称为“地壳”。较轻的地壳浮在比重较大的液态物质之上，应保持漂浮平衡。这种重力平衡模式，就叫做艾利均衡(等压)平衡模式。后人曾用艾利的模式解释海洋中盖奥特的沉落和地槽在沉积负荷作用下发生的沉降。本世纪初，由阿尔弗雷德·魏格纳创立的名闻遐迩的大陆漂移说，就是用均衡平衡的思想来论证“漂移”的。魏格纳的

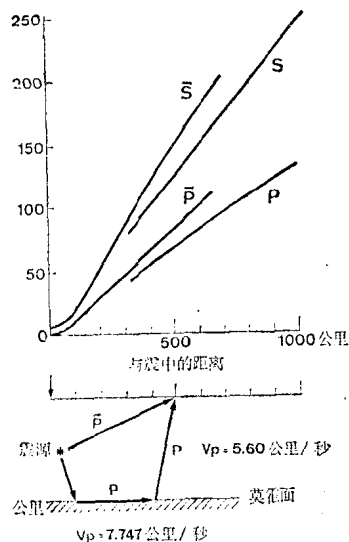


图 1—2 地震波到达记录站的时间，不仅取决于震中的远近，而且也取决于波的传播速度。在靠近震中的地震站，首先到达的是 \bar{P} 波，它直接通过一种低速介质传播。这种低速介质就称为地壳。至于更远的地震站，首先到达的是 P 波，它穿过了较长的距离，通过了一个高速介质的顶部。这种高速介质就称为地幔。地壳与地幔之间有一个不连续面，称为莫霍洛维奇不连续面，或简称莫霍面(据莫霍洛维奇原图修改)

理论遭到了地质学家的激烈反对。原因是地质学家们听信了地球物理学家的意见，即地壳下面较重的物质是固态的，地壳并非浮在比重较大的液态层之上。那么，这一结论的基础又是什么呢？

前已述及，一次地震要产生几种波。P波或压缩波是传播得最快的。随之而来的是S波或者剪切波。P波既能通过固体，又能在流体中传播。人们之所以能听到声音，就是因为声波是一种压缩波，能借助空气传播。然而S波却不能通过流体。地震学家通过地震资料的分析发现，在一些遥远的地震站，纪录不到S波，说明地球内部确有液体存在(图1—3)。然而，地球内部的液体要比艾利设想的深得多。S波可以到达地下2900公里的固体深处，再下面就是地球的液态核心了。这就是说，在地球核心的外层，是2900公里厚的地幔。莫霍洛维奇还发现，地幔有一个密度较小的外壳，称为地壳。在大陆下面，地壳厚约50公里。P波在传向邻近的地震站时，以每秒5—6公里的速度穿过地壳，而在通过地幔传向遥远的地震站时，其速度为每秒7—8公里。因此在地壳和地幔之间，有一个地震波速的突变，说明地球组成物质的物理性质有差别，而且是一种不连续的变化。由于莫霍洛维奇第一个发现分隔地壳和地幔的不连续面，因而后人称之为莫霍洛维奇不连续面，或者简称莫霍面。

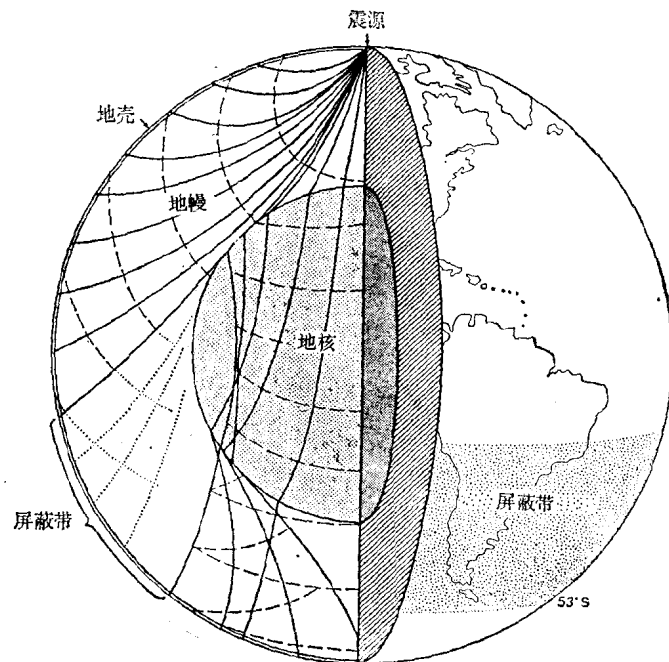


图 1—3 人们通过对地震剪切波传播状况的研究，确定了地球的构造。剪切波与压缩波不同，不能在液体中传播，它们只能通过固体介质传播，或者直接传播，或者通过波的折射传播。例如，北极地震产生的剪切波，可被从北极到南纬12度以及从南纬53度到南极的广大地区内的纪录站接收到。在图上的屏蔽区，只能收到通过液体核心的压缩波，但不能收到剪切波

我们在地表看到的岩石，都属于地壳物质。莫霍面以下究竟是什么，则不得而知。倘若能了解地幔物质，许多地质学中的难题就可以迎刃而解。

推测地幔物质的方法之一，是研究各种岩石的弹性波传播速度，并以之与通过地壳和

地幔的地震波速相比较。

在大洋底部取样，最常见到的是玄武岩。玄武岩是一种固结的熔岩。其成分中，约有一半是二氧化硅，其它为镁、铁、铝、钙的氧化物。由于在海底喷出的炽热岩浆凝固极其迅速，玄武岩的组成矿物一般都很细。而如果同一成分的熔融体侵位到海底以下1—2公里的裂隙中，矿物就会结晶成几毫米的粗大晶体。这种缓慢冷却的岩石，虽然其成分与玄武岩并无二致，但结构却全然不同，地质学家称之为辉长岩。由于穿过洋壳的地震波速与玄武岩或辉长岩中测得的数据近乎一致，地质学家都认为海洋地壳是由这类岩石组成的。陆地上的情况就不同了。沉积地层下最常见的岩石是花岗岩和片麻岩。而地震资料表明，大陆地壳下面也是玄武岩或辉长岩，或者矿物成分相似的岩石。

能够传递弹性波而且具有更高波速的地幔岩石，肯定是另一种物质。人们推测有两种可能性，一种可能是榴辉岩。这是一种化学成分与玄武岩相同而矿物成分不同的岩石，其比重大于玄武岩或辉长岩。另一种可能是橄辉岩，其化学成分与玄武岩不同，含硅、铝、钙较低，但含氧化镁较高；密度也更大。这两种可能对地震波的传播而言，效果是一样的。

在本世纪中叶，绝大多数的地质学家都属于所谓“固定论”者。他们认为所有的地壳运动都是上下方向的；而大陆和海洋的位置，从混沌初开到如今，从来都未改变过。诚然，有些古陆曾下沉为深海，也有些古海洋曾升起成山系，证据确凿，无法否认。但在固定论者眼里，这些变动是不重要的；而且运动方向也是垂直的；象魏格纳等“活动论”者所倡导的水平运动，则是微不足道的。对“固定论”者来说，地幔由榴辉岩组成的设想有利于解决难题。玄武岩（或辉长岩）与榴辉岩成分相同，只是形成条件不一样。在高压条件下，玄武岩会变成榴辉岩，而加温则发生相反的变化。榴辉岩变成玄武岩时，体积增加，因而引起地表的隆起，深海变成高原和山系。他们认为，阿尔卑斯山就是这样形成的。

理论地质学家大多倾向于上述设想，但在野外工作中，榴辉岩却很少见。相反，在古海底碎片出露的山区，在作为古洋壳的玄武岩和辉长岩之下发现的岩石，却不是榴辉岩而是橄辉岩。因此，一些不大恪守“固定论”教义的地质工作者，倾向于地幔是由橄辉岩组成的设想。海斯就属于这类“离经叛道”的“活动论”者。

言归正传，让我们再回到1957年。有一次，哈雷·海斯和瓦特·门克等人在一起议论地质界的发展状况。对于地质界竟连一个象样的研究课题都提不出来的那种状况，深感失望。瓦特·门克半开玩笑地提出一个异想天开的想法，建议打一个深孔穿入地幔，探索一下莫霍面下面究竟是什么岩石。谁知这一想法却使海斯受到了启发。于是他们发起成立了一个“美国混成协会”（简称AMSOC），立即开始向政府进行游说。这一设想中的深孔就称为莫霍孔（Mohole）。

在陆地上，莫霍面深埋在30—50公里的深处。技术上的困难，排除了在陆地上实行这一伟业的可能性。然而，地球物理调查却证明，海底的莫霍面要浅得多。如果将钻孔布在深海底部，5公里深处就能穿过地壳而进入地幔。

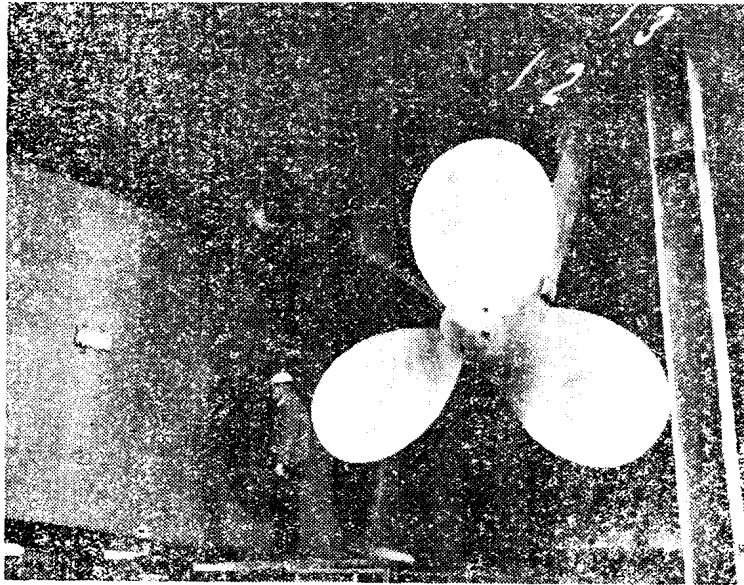
用钻探手段来验证地质结论并不是新鲜事。达尔文提出珊瑚环礁的基底是沉没火山岛的设想后不久，1897年就在太平洋的方纳夫蒂（Funafuti）岛上钻过一孔。遗憾的是没有取得结果就失败了。1950年，在恩尼维托克岛（Eniwetok）钻孔成功，打到了玄武岩基底，证实了达尔文的假说。1943年，美国地质调查所的T.A.杰格尔也曾建议在海洋里钻孔。

但是这一设想超越了当时的经济条件和技术条件，只能成为人们茶余饭后的话题而已。

可是，到了1957年，时代不同了。这一设想似乎已非不可能。同年，国际大地测量和地球物理协会在加拿大的多伦多开会。美国混成协会在会上宣布了他们的设想，得到了与会者的热情支持。苏联代表团也暗示，他们有类似的打算。这一新的情况那激了美国政府，促成了这一计划的批准。于是由美国混成协会和美国科学院联合组成了一个办事机构，开始通过国家科学基金会向议会吁请财政支持，并且很快取得了勘探投资。

消息传开，舆论大哗。美国的地质工作者很快分裂成为两派。年青的激进派积极支持这一计划，而地位较高的保守派则强调这一计划的不现实性。当时，我是持反对态度的。理由是技术上的困难。首先，很难在深海上锚定船位固定钻探船只；其次，一个钻头无论如何打不到莫霍面，而要更换钻头并重新返回原孔，似乎是不可能的。

然而，莫霍孔计划的参与者的机智很快就解决了第一个难题。他们发明了一种动力定位系统，在钻探船上安装了四个马达或侧向推进器(图版2)。船只到达预定地点后，就从甲板上将一个信号装置沉入海底。该装置不断从海底发回声波信号。船上的接收装置立即将信号输入计算机。当船只从孔位漂开时，计算机就能根据声波信号显示漂移的方向和距离。这些信息传送到船侧的推进器，它们就能自动开始工作，调整船只的位置(图版3)。当然，这一装置并非尽善尽美的，但已能将船只的位移控制在方圆50米的范围内。

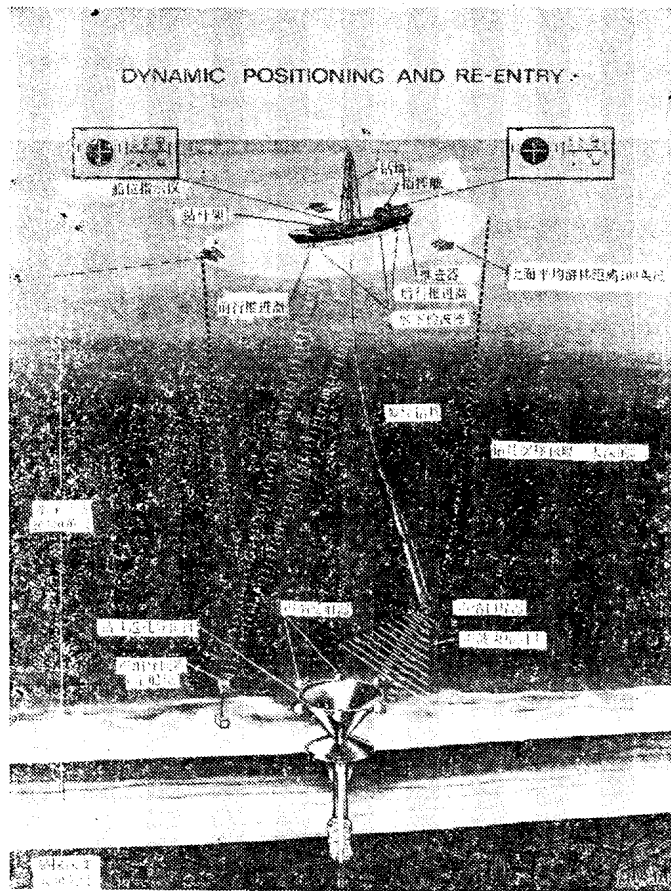


图版 2 侧向推进器

钻探船“格洛玛·挑战者”号的一个特点是能在水中不用锚就保持稳定。除了船尾的一般推进器外，它有四个侧向推进器。图上的工人们正在检查船尾推进器。船尾推进器再加上船头的两个推进器就能固定船位。虽有风浪，亦无关大局

但是，即使没有侧向的漂移，船只也免不了随着海浪上下颠簸。因此钻杆接头不能是刚性的，否则就会折断。为此，工程技术人员发明了一种可以吸收上下运动的“缓冲钻杆”。这种钻杆很象汽车的传动轴，由两层钢管组成。二者之间可以上下运动，但一旦齿槽咬合后，就能传递转动进行钻探。

这套钻探设备在洛杉矶码头进行了几次试验。之后，又在墨西哥西海岸滨外的瓜德鲁



图版 3 “格洛玛·挑战者号”的动力定位装置和海底导向系统

借助动力定位系统，“格洛玛·挑战者号”能保持在以水深的3%为直径的一个范围内，如水深为2000米，则其侧向漂移不超过60米。船只的推进器能根据海底声纳信号使船回到原来的位置。钻头磨坏后，将钻具取出，换上新钻头，借助海底的导向系统，就能重回原孔

普岛(Guadalupe)附近海域进行了深海试钻。1969年4月，钻探船CUSS-I号利用这种动力定位装置，成功地钻了五个孔，在海面上保持了三周的时间。一套相互连接的钻具下到3510米的深水，钻入洋壳183米，取出了玄武岩样品。该船返回洛杉矶时，当时的美国总统肯尼迪特地致电祝贺，称之为科学史上“历史性的里程碑”。

第二个技术难关也不是不可征服的。瓜德鲁普试验之后，深海钻探计划的工程技术人员经过悉心研究，终于在1970年7月14日，在纽约东南方300公里处的6000米深水中，试成返孔钻进技术。返孔钻进装置包括一个高分辨率的扫描声纳系统，一个直径为5米的返孔锥和钻杆定位系统(图3)。更换钻头时，将钻具取出，但返孔锥却仍然留在海底的孔口。钻头换完后，将钻具重新沉入海底。同时将一个水下传感接收器(扫描声纳系统的一部分)从钻杆内放下。该接收器由长达数千米的电缆与船上的控制中心相接。它接收水下声波发生器发出的信号并加以放大，然后传到船上的控制中心，显示在雷达屏幕上。船上的工作人员就能知道返孔锥与钻头之间的距离，据此调节船只的位置，逐渐使二者接近。当二者相距不远时，钻杆定位系统的一个喷水装置就会帮助钻头落入返孔锥中。于是，钻具返孔的操作就完成了。

近十多年来，返孔技术已经成为深海钻探中更换钻头的常规操作。事实证明，我反对莫霍孔的两条意见都是错误的。实际上，真正的困难来自一个意想不到的问题，即如何从钻孔中排除钻屑。在陆地上，这是不成问题的。泥浆泵将液体泵入孔中，在冷却钻头的同时，就能将钻屑带出孔外。由于陆上钻进是在套管中进行的，钻屑可以通过钻具与套管之间的空间返回地面。但在深海钻探中，不可能从船上的井口通过几千米的海水将套管下到海底。因此从孔中返出的岩屑就将堆积在孔口周围。岩屑锥超过一定高度，势必垮落。垮落的岩屑重新落入钻孔，就会妨碍钻具的旋转，甚至卡钻。为了解决这个问题，人们又专门设计了一种岩屑上升系统，使岩屑直接上返到钻探船上。这段时间内，钻探技术的进步确实是惊人的。然而，钻穿莫霍面却非同小可，没有成功的试验是谁也不敢下断语的。

瓜德鲁普试验以后的一段时间里，技术上的进展屈指可数。加上物价上涨，经济萧条，莫霍孔计划的反对者也逐渐增多起来。反对者认为，如果有足够的时间和资金从事技术开发，本来是没有什么事情办不到的。问题不在技术上的困难，而在于莫霍孔计划本身的科学价值。尤其是，如若有其他投资更少而受益更多的计划，这个问题就显得更突出了。有的科学家指出，地幔物质很可能出露在深海沟的陡壁上，因此海底取样说不定就可以直接取得地幔物质。而且海洋地质问题层出不穷，关系重大，也更需要科学基金。推行这些计划，要比莫霍孔计划更有现实意义和科学价值。面临这场新的争论，美国科学院指定了一个以霍里斯·海德堡为首的委员会来重新评价莫霍孔计划的利弊。海德堡是普林斯顿大学的石油地质学教授，具有丰富的实践经验。对海洋钻探技术也很熟悉。经过一段时间的调查研究，这个委员会得出结论，有两种方案可供选择：一是一鼓作气钻穿莫霍面；二是权衡得失，分阶段实现目标。只有冒失鬼才会孤注一掷。委员会的大多数成员认为，“把所有的鸡蛋都放在一个筐里”太危险。问题在于，花成亿美元去取一堆样品是否明智？何况能否取得样品还在未定之天。因此海德堡的委员会建议采取一个中间步骤，即先用一艘中等规模的动力定位钻探船在海底钻一系列浅钻以取得经验，然后再设计一条大船，装备必要的设备向莫霍面进军。

所谓海德堡委员会的中间步骤，实质上就是后来的深海钻探计划。但是，若干年后，海德堡曾告诉我，他的建议当时并未受到国家科学院某些要员的重视。莫霍孔计划的夭折，主要是受到了美国政治的影响。

莫霍孔计划的主要支持者之一，是来自德克萨斯州的参议员阿尔伯特·托马斯。他当时任议会拨款委员会主席。平心而论，与空间技术为数几十亿美元的研究投资相比，莫霍孔不过是一个小数。而且，托马斯支持莫霍孔计划并非没有理由，但他显然是另有隐衷的。他想借此机会支持以其故乡休斯敦为中心的钻探事业，而试验计划恰好又落入了一个支持他竞选的建筑公司手里。于是他的政敌开始群起而攻之，激烈地反对议会对莫霍孔计划的拨款。1966年，托马斯因心脏病暴发而一命呜呼。莫霍孔计划失去了后台，夭折的命运就无法逃避了。

回首往事，莫霍孔计划虽然夭折了，但我们还是要感谢哈雷·海斯及其在美国混成协会中的同事们。他们用事实证明了海洋钻探并非不可能。不过，即使在我们已经积累了12年以上的深海钻探经验的今天，也仍不能断言钻探莫霍面是否稳操胜券。但是，从莫霍孔计划中发展起来的深海钻探技术，却揭开了历史的新篇章，使“格洛玛·挑战者”号的光辉业绩得以永垂史册。