# 把地球“拆”成一千四百多块

**（上接第一版）研究生期间还接受了6年野外区域地质填图训练。这段经历对您的研究生涯意味着什么？**

**李三忠：**说实话，我10多年内只回家两次的主要原因是没有钱，学校离家太远了，我买不起火车票。既然不能回家，我就把这部分时间用来学习。专业课之外，我又学了计算机、数学、力学、地球物理、地球化学等课程，还有一些没有学分、没有记录的自学科目。在海洋地质这个复杂的学科中，这些专业知识为我后来开展交叉创新研究打下了基础。

其间，我还和所有学地质的学生一样，跑野外、去现场，经常一身泥、一身雨、一身汗、一身盐。有人说我是“科学家中的农民”，庄稼不收年年种。其实这段野外或海上勘察经历，为我后来开展微板块构造理论研究、探测海底氢能等工作打下了坚实根基。

**记者：**1986到1996年之间，您主要侧重陆地地质研究。那么您是如何逐渐与海洋地质结缘的？

**李三忠：**我上大学四年级的时候，有两门课只能二选一：《板块构造》和《地质力学》。前者在当时是热门，后者选课人数较少。老师说，《地质力学》是李四光创立的构造地质理论，需要有人继承和发扬，我就义无反顾地选了后者。

所以，直到1996年博士毕业，我到西北大学做博士后研究期间才开始接触板块构造。1998年，我来到中国海洋大学任职，才意识到板块构造理论是在海底构造研究基础上发展起来的。当时，中国海洋地质研究的手段极其有限，远落后于国外；而中国海洋大学的研究偏偏侧重于海底构造方面——这恰恰是我大学没学的那部分“短板”。

我不得不开始自学《板块构造》。一方面，我消化经典理论和最新学术进展，初步整理改造了板块构造理论。另一方面，我和三大油田公司合作，收集他们采集的海域地球物理资料，解决了获取数据难的问题，为开展基础科学研究打下基础；再通过分析这些数据，将基础研究成果服务于油气勘探领域等生产环节，让理论研究一开始就紧密联系科研实践。

**记者：**当时，海洋地质、海底板块构造在中国发展势头怎么样？您自学的过程中有没有遇到困难？

**李三忠：**我自学的时候，发现国内连这个领域的教材都不成体系，相关的书籍不超过十本。所以，自1998年起，我一边自学，一边立志要为学生编撰一套教材，从2017年开始陆续出版了《海底构造原理》《海底构造系统》《区域海底构造》《洋底动力学》《海洋大历史》等近20本教科书。这些教材目前成为国内一百多所大学相关专业的主流教材。

## “析狗至微而无狗”：微板块构造理论“跳出整体看细节”

**记者：**教科书上写地球分为六大板块，后来是七大板块，这个框架用了半个多世纪。但您进一步把地球拆分到1400多块微板块，为什么要拆分？

**李三忠：**传统理论的“粗糙”划分，犹如中国画的大写意，大制不割，做科普和入门可以，但做细致的科学研究和工程应用就不具备指导价值了。传统板块构造理论难以解决大家公认的三大难题，但微板块构造理论可以。

第一是时间。地球年龄45.4亿年，早期是一团岩浆，什么时候出现相对刚性的板块结构？全球学者莫衷一是。微板块构造理论不必回答这个起源问题，时间的约束就放开了。

第二是机制。传统理论认为是地幔对流“拖着”板块跑，板块运动就像“坐在车上”。但后来发现板块运动比地幔对流快，“慢的拖着快的跑”不符合物理原理。微板块构造理论发现，板块运动最根本的原因是重力：微板块随着压力增加，密度会变大而下坠，驱动地幔发生对流，机制上跟传统认识正好相反。

第三是板内变形。传统板块构造理论普遍认为：板内是不会发生变形的刚性块体，地震这类变形基本沿板块边界发生，可该理论解释不了为什么欧亚板块内部也有地震发生。微板块构造理论细分以后发现，很多板内地震其实落在微板块边界上。

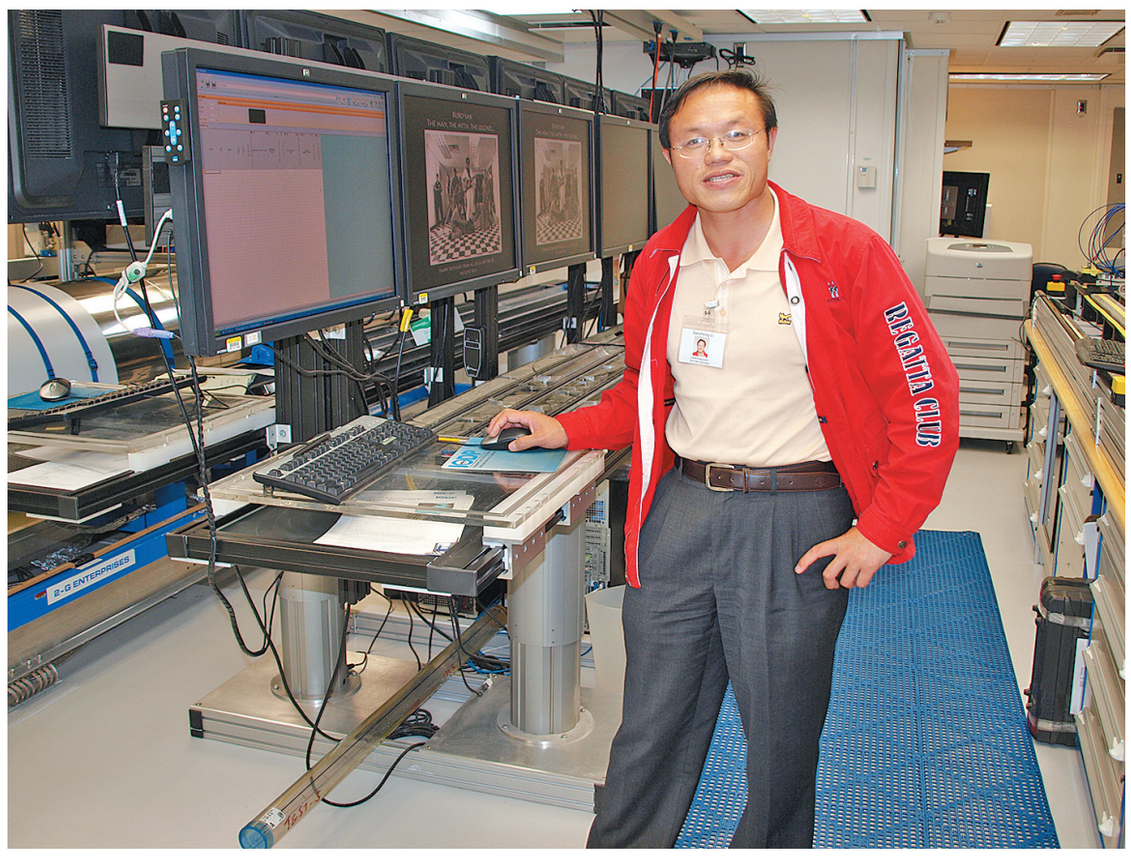
**记者：**微板块到底是个什么概念？您把全球划分成1400多块微板块，走在了全球前列，是怎么实现的？

**李三忠：**微板块是从尺度大小上来定义的，是相对于“大板块”而言“微小的板块”。目前，全球微板块平均大小是50万平方公里。但面积大小得根据研究的程度、具体研究的问题定。比如，最小的微板块只有几百平方公里大小。

我形容这项工作是“析狗至微而无狗”：把“狗”拆分到细胞、分子、极微层面，去理解完整“狗”的生命整体涌现性和微观结构、运行机制。板块构造理论也发展到了不能只“宏观擘画”而不“精微雕琢”的时代了。

事实上，我的整个职业生涯都在研究微板块：从华北克拉通18亿年前古老海洋中微陆块如何聚合、裂解，到5亿年前至2亿年前之间的特提斯洋中微陆块演化、深俯冲，再到现代海洋中的微陆块、微洋块、微幔块如何形成。研究过程中，我发现很多不符合传统板块构造理论的现象。

微板块研究是“跳出整体看细节”，不是把大板块“切碎”，而是按照年龄、尺寸、运动、演化、组成、成因等方面，遵照地质标志划分。板块在英文中被称为“plate”，本来就是“盘子”的意思。整个地球的微板块结构，就像把一个大盘子摔碎成上千块，要拼到一起，得先知道每块的花纹、边角对不对得上。



■李三忠在大洋钻探船“决心号”上开展科考活动。

- 微板块研究是“跳出整体看细节”，不是简单把大板块“切碎”，而是按照时间、空间、机制、圈层、力学、成因等方面，遵照地质标志划分
- 此前，国际上尚无将海底天然氢气作为能源勘探对象的先例。现在，我们原创提出了“氢构造”“海底氢能”等新概念，与科学前沿同步
- 按照我国相关部门规划，预计2030年可在海底找到1到2个氢气富集区，2030到2035年可开展详细勘探并尝试开采，2035到2040年有望实现商业化、规模化开采。这可以说是中国海底氢能发展的“时间表”
- 科学家的“顶天”，是在无人区里靠扎实的理论素养叩问苍穹、预判未来，践行格物致知的初心，洞见规律；而“立地”，就是推动理论成果锚定国家急需、民生所盼，让实验室里的成果走出高墙、落地生根

但要完成1400多块这样的“拼图”，工作量是巨大的。具体的微板块划分依据有四条：运动方向是否一样？物质组成是否一样？年龄是否有差异？专属矿产是否相同？

为此，我吸收国际上相关成果，将全球60年来的零星研究提炼并系统化、理论化；为了检验结果，我几乎跑遍了全球。与其他研究仅采用“大数据”解析微板块边界的做法不同，我反其道而为之，先收集和对比相邻微板块之间的地质演化历史、地质标志，利用地球大数据来检验初步划分，进而用关键数据约束重建各个微板块之间的运动是否合理、是否协调，不断迭代改进方案。

**记者：**这项成果让您获得了“李四光地质科学奖”。英国杜伦大学的国际知名地球物理学家姬玲院士评价它“必将使得全球构造研究面貌一新”。微板块构造理论具体的理论价值和应用价值有哪些？

**李三忠：**对于微板块构造理论价值的理解，不能停留在大小尺度划分上。它是为解决传统板块构造理论难题而生，既包容了教科书里“大板块构造”的合理内容，又拓展了其内涵与边界。微板块构造理论突破了大板块构造理论遗留的难题，具有广泛的理论适应性。目前，我们的相关理论在全球的论文引用率遥遥领先。

同时，微板块划分的尺度细致到了能“看清”一个海湾、一条断裂、一座桥等所在的那块地壳大小，可以拓展到相关的应用场景，与矿床地质、灾害地质、工程地质、油气勘探、海底氢能探测等结合，让理论落地并服务国民经济主战场。

## 海底是座“氢气工厂”：为海底产氢制定中国“时间表”

**记者：**海底能产氢并不是新发现。1987年人们就观测到海底在产氢气，可此后近四十年，它一直局限在“生命起源”研究领域，没人把它当成人类可利用的能源看。这道门槛卡在哪？您是怎么转向并开辟这个领域研究的？

**李三忠：**海底规模化产氢的机制多数是橄榄石和海水发生反应生成氢气，这是一个简单的无机反应。但要意识到这些氢气可以成为能源并为人类所用，得同时明白三件事：海底连续不断产氢的构造机制是什么？是否有过石油等能源勘探的经验？海洋地质的基本原理有哪些？这分别属于三个学科的问题：构造地质学、石油地质学、海洋地质学。

学科分科的时代，很少人同时跨界懂这么多，更少人跨学科去做创新。而我的前期研究，恰好横跨了这三个领域，天然具备了学科交叉的基础。

2024年初，全国“两会”期间，代表委员们热烈讨论氢能政策。我忽然意识到，海底其实是一座天然的“氢气工厂”。在构造地质、能源地质、海洋地质知识融合的基础上，我们具备构建海底氢能理论的可能性，并向中国科学院院士吴立新作了详细汇报，我们开始一起推动此事，当年就发表了三篇论文。在此之前，国际上尚无将海底天然氢气作为能源勘探对象的先例。我们原创提出了“氢构造”“海底氢能”等新概念，与科学前沿同步。

之后，崂山实验室主办了首届全国海底氢能研讨会，在穆绍海沟、南海盆地等海域寻找海底天然氢气，获得了系列发现和进展。2026年8月，《海底氢能》出版，系统化、理论化阐述了海底氢能理论：板块构造运动驱动海水从微板块缝隙中进入由橄榄岩组成的地幔——特别是剥露的微幔块部位，在温度和压力都合适的前提下，会出现规模化产氢的现象。

**记者：**温度和压力要达到什么水平才能产氢？很长一段时间来，都有“洋底无能源”的说法。海底产氢的发现，是否从某种程度上推翻了这一认知？

**李三忠：**在天然氢气作为能源提出之前，能源界“洋底无能源”之说主要是针对石油这种能源。业界默认海域石油的“死亡线”大体是水深3000米左右。4000至5000米水深的大洋洋底基本都是玄武岩，更没有生油的基础物质，因此不具备石油产生的条件，是“能源禁区”。

但氢气的产生不需要生油岩，而是依靠海底橄榄石和海水。橄榄石和海水相遇，在温度300到350摄氏度、压力150兆帕，也就是大约6公里海底深处，就会广泛反应，生成氢气。

海水和橄榄石如何“相遇”？靠缝。微板块的边界就是这些缝，海水顺缝下去，就跟橄榄石接触。还有些地方，橄榄石直接暴露在海底面，那里持续天然产氢。海底橄榄石是大量存在的、海水是海量的，只有“海枯石烂”时地球才不会产生氢气。所以理论上讲，地球会在未来几十亿年内依然不断产生氢气。

**记者：**这套全新的理论是否受到过质疑？海底氢能距离产业化有多远？还需要克服哪些难题？

**李三忠：**氢气是活跃的气体，分子小、化学性质活泼，很容易逸散，怎么可能在地下保存得住呢？这个质疑从理论上讲是成立的。但现实告诉我们，暂时不知道其保存机理，不等于天然氢气不能保存。在非洲马里共和国，天然氢气在地下稳定储存，业界对该区域天然氢气的商业化开采已经有所尝试。我们现在正在探索天然氢气保存机制。

整体来说，全球海底氢能的探索和开采还处于科学评估阶段。但按我们的理论，石油勘探企业已经在勘探海底石油的过程中“顺手”开展了海底氢气检测工作，发现海水6公里深度、板块有缝隙的地方，确实是海底天然氢气富集的区域。

按照我国相关部门规划，预计2030年可在海底找到1到2个氢气富集区，2030到2035年可开展详细勘探并尝试开采，2035到2040年有望实现商业化、规模化开采。这可以说是中国海底氢能发展的“时间表”。

## 给数万座海山“溯源”：从跟跑到领跑的跨越

**记者：**海底并不像我们看到的海面一样“一望众波平”，而是与陆地一样，沟壑纵横、山峰林立。你们称这些山峰为海山。什么是海山？目前全球有多少座海山？

**李三忠：**关于全球海山数量，不同统计口径、不同测量工具，给出的数字差异很大。实际上，对海山定义还存在不同看法。高度大于1000米的狭义海山，全球已确认约14500座，也有统计给出约3.3万座，差异源于探测覆盖度不同。高度在500到1000米之间的海丘，数量达13.8万座以上。包含更小的深海丘陵在内，全部海底隆起估计约20万座。目前常被引用的主要口径是“超过4万座”。

然而，传统“热点假说”或者其升级版的“地幔柱构造理论”，都只能解释50多条海山链的成因。这套理论认为，深部岩浆热物质上升而喷出并堆积为火山岩，其岩浆上升位置固定不动，而其上覆的板块在动，拖拽着这些火山岩组成的海山形成一条链。但全球有五十多条海山链，按每条链一百座海山算，也就5000多座。针对剩下的那些弥散的、不成链的、高度不一的海山，这些传统的理论就解释不了了。

**记者：**您从什么时候开始关注这个领域？目前取得了什么进展？

**李三忠：**我从1998年来到中国海洋大学就开始研究太平洋构造问题，真正开始研究海山始于2009年，我参加美国“决心”号大洋钻探船在西北太平洋两个月的航次，研究对象是洋底高原事件和东亚东部陆地上同时期的岩浆大爆发事件之间的关联。遗憾的是，那个航次期间，我母亲突发脑溢血去世，这成为我无法释怀的遗憾，情绪持续低落。

为了摆脱丧母的痛苦，我每天拼命工作，逐渐走出低谷。这些年，我与澳大利亚科学院院士、悉尼大学教授Dietmar Mueller，美国明尼苏达州立大学教授刘丽军等国际一流科学家合作，通过联合培养青年学生的方式，联合研究海山的成因，取得了系列成果。

我们模拟发现，地幔柱那股热物质上来、喷发之后，大量余热会残留或滞留在岩石圈底部，随着板块运动漂移，漂到别处，也可能在不同时间再喷发。所以这部分海山年龄不一样，也不成链，是以散乱形式存在的，且高度不一。根本原因还是地幔柱与板块运动的耦合程度，只不过有的成了规模，有的散落存在。

至此，我们在全球率先实现了对海山成因的定量研究，很好地解决了现在常说的四万座海山的成因，无论是时空分布上还是数量上，都与现实分布相吻合，一举实现了我国在海山研究领域从跟跑到领跑的转变。

**记者：**您从事的主要是前沿理论创新，但这些成果也为产业应用作出了贡献。比如，您的含油气盆地研究成果累计创造经济效益超千亿元。您怎么看待科学家的“顶天”与“立地”？

**李三忠：**科学家的“顶天”，是在无人区里靠扎实的理论素养叩问苍穹、预判未来，践行格物致知的初心，洞见规律。而“立地”，就是推动理论成果锚定国家急需、民生所盼，让实验室里的成果走出高墙、落地生根。虽然我们是做基础科学研究的，但雄厚的海域含油气盆地基础研究积累，能解决海上油气勘探部门遇到的难题，这个逻辑就是“生产部门出题、我们做答卷”。

**记者：**您如何理解国家战略科技力量中海洋地质领域的作用？下一步最重要的工作方向是什么？

**李三忠：**深海开发、海底开发是国家经略海洋的重点方向，深海采矿、深海油气勘探、深海清洁能源勘探、海洋国土划界、海洋生态保护等方面，都需要我们认知海底、探索海底、开发海底。海洋地质研究要增强国家海底科学与探测技术的科技实力，增强国家海底开发的技术创新和装备研发能力，在国家最需要的时候能起到作用，承担得起并按时按质按量完成使命任务。

