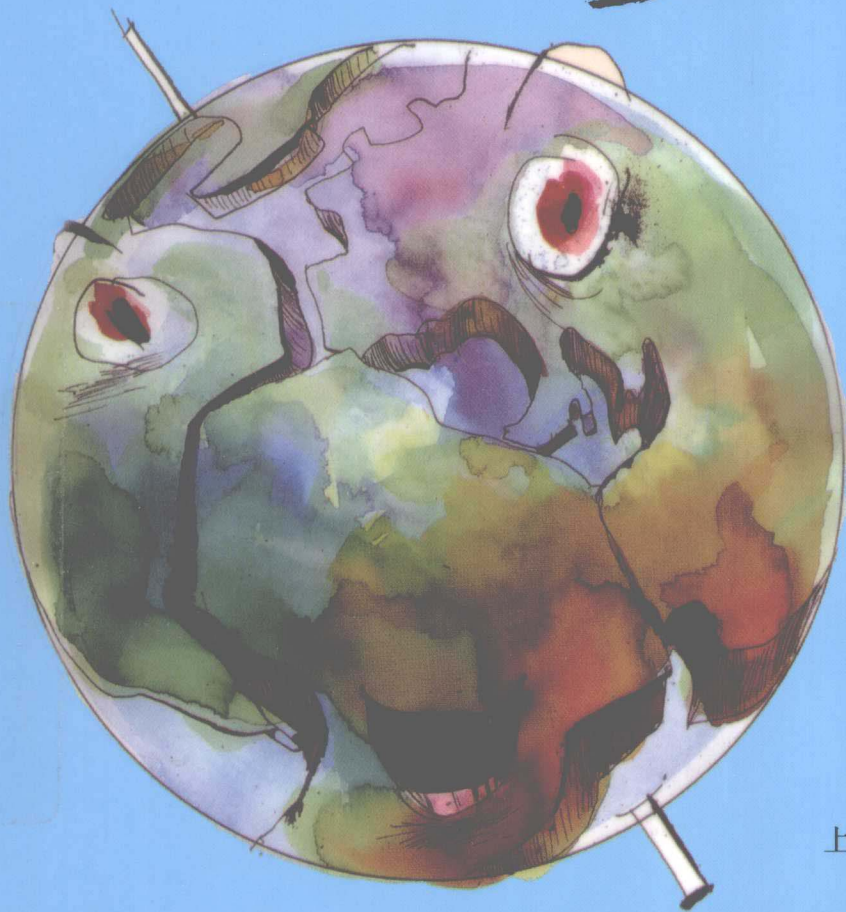


地球的18个关键词

[法] 法比安-勒玛尔尚 等著 王一平 译

按有一切便简单了！



上海科学技术文献出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

地球的18个关键词 / (法) 法比安·勒玛尔尚著; 王一平译.
—上海: 上海科学技术文献出版社, 2010. 5
(探究知识丛书)
ISBN 978-7-5439-4319-3

I. ①地… II. ①法… ②王… III. ①地球—普及
读物 IV. ①P183-49

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第059035号

La terre en 18 mots-cles, by La Recherche
© 2007 La Recherche, Les sciences de la Terre en 18 mots cles, Hors serie no3
© 2009 La Recherche / Dunod Editeur, 1st edition in bookform
DIVAS INTERNATIONAL (迪法国际) 代理本书中文版权。
contact@divas.fr
Copyright in the Chinese language translation (Simplified character rights only) ©
2010 Shanghai Scientific & Technological Literature Publishing House

All Rights Reserved
版权所有, 翻印必究

图字: 09-2010-023

责任编辑: 张 树 李 莺
封面设计: 许 菲

地球的18个关键词
[法] 法比安·勒玛尔尚等著 王一平 译
出版发行: 上海科学技术文献出版社
地 址: 上海市长乐路746号
邮政编码: 200040
经 销: 全国新华书店
印 刷: 昆山市亭林印刷有限责任公司
开 本: 740×970 1/16
印 张: 8.75
字 数: 210 000
版 次: 2010年5月第1版 2010年5月第1次印刷
书 号: ISBN 978-7-5439-4319-3
定 价: 35.00元
<http://www.sstlp.com>

· 探究知识丛书 ·

地球的 18 个 KEY WORD 关键词

[法] 法比安-勒玛尔尚等 著
王一平 译

上海科学技术文献出版社

目 录



板块构造学说于20世纪60年代末被提出,引起了地球科学领域的一场变革。它为阐释地球自形成之日起的演变提供了一个统一的框架。

板块构造学的理论揭示了山脉出现的原因:它们是由于大陆地壳的收缩而造成的。

地幔夹在地壳和地核之间,占地球体积的83%、地球质量的67%。板块构造的动力也正是源自此处。

熔岩泉、汹涌的熔流、火山碎屑,火山喷发既让人心驰神往,也使人心惊胆战。然而凡此种种,不过是一个行星活跃的迹象,因为正是它们在不断重塑这个行星的外壳和大气。

岩石在地球深处断裂,波浪在地球表面撼动房屋。剩下的便是需要弄明白之前发生了什么。

如果一个现代的儒勒·凡尔纳写《地心游记》,他笔端流淌出的想象世界里定会出现地核、地核波、地核点、对流、轻元素、地球发电机、金刚石压腔这样的字眼。

今天,再没有人质疑人类活动对全球温度变化所造成的影响。可是,我们对其中的原因和过程又有多少了解?

总是在飘移,不停地改变形状,云朵是不可捉摸的!这对试图弄清它们对地球气候的影响的科学家们来说非常不利。

星星般的雪花、细雪、雪崩……与雪有关的这些词汇事实上表达了极为不同的现象。什么是雪?无非是一些水和空气。但是随着条件的变化,雪也在不断变化着。

它吹、刮、加速、翻转、呼啸、盘旋。我们将其称之为北风、西北风甚至是焚风。何以风会这般摇摆不定?在主要气流与狂风之间的共同点是什么?

在所有的自然灾害中,气旋是最常见的一种,也最具杀伤力。这种气候现象出现在热带湿热的水面之上。

4 板块构造学

10 山脉的形成

16 地幔

22 火山

29 地震

38 地心

46 温室效应

54 云

61 雪

67 风

74 气旋



每一年，河流和溪水都会泛滥。洪水的频率似乎没有增多，其范围也似乎没有变广，但是这一无法阻挡的自然现象的影响力却在不断增强。人类对于它的演变并不陌生。

83 洪水

现在有关生态的讨论中，生态系统这一概念并没有我们所设想的那样得到了很好的定义。事实上，这一概念对于生态多样性研究是很关键的。

89 生态系统

沙漠随着气候的变化而发展，但是人类的活动加剧了事情的进展……在毛里塔尼亚，不出两代人的短暂时间里，沙丘就会出现。

96 沙漠

3.5 亿年以来，森林一直生存在地球之上。它们不断进化，适应着地球的气候，占据了地表的 30%。尽管欧洲近年来大力倡导重新植树，然而这个比率却在持续下降。

105 森林

地质年代里，沉积物沉淀下来，变成了各种各样的岩石。对不同地层的研究可以追溯出地球以及生命的历史。

112 地层

原油价格飙升、黑潮、大气污染，人们总是将如此种种怪罪到石油头上。这就是石油的形象：不为世人所理解却非常有用。

118 石油

奢侈品也好，高科技工具也好，钻石不过是一种矿物精华。矿物学家们研究钻石的包体，目的是为了探测地球深处的奥秘。

125 钻石



板块构造学

板块构造学说于 20 世纪 60 年代末被提出，引起了地球科学领域的一场变革。它为阐释地球自形成之日起的演变提供了一个统一的框架。

Fabienne
Lemarchand

科学记者

Paul Tapponnier

巴黎地球物理学院

Edouard Kaminski

巴黎七大

[1] 岩石圈是地球坚硬的外壳，厚度大约一百千米，包括地壳和一部分上部地幔。

● 什么是板块？

板块是一种巨大而又坚硬的冰川盖，厚达数百千米，不易变形。各板块像七巧板一样，一块嵌着另一块，构成了地球的表层外壳，即岩石圈^[1]（该词源自希腊文 lithos，意即“石头”）。而岩石圈由地壳和地幔顶部组成。有些板块包括某一片海洋（例如“太平洋”板块），另一些则由一部分海洋和陆地共同构成（“非洲”板块，“南美洲”板块等）。

板块之间以每年数厘米的速度相对运动。这些相对运动发生在具有黏性却坚固的下部地层上，该地层被称为软流层。有些板块沿着洋中脊相背运动，绵延不绝的大洋板块随着深海里那些巨大的火山山脉得以形成。我们将这种板块之间的边界称为“离散

型”边界。有些板块则相互汇聚。由于汇聚板块类型不同，我们还可以区分出不同的汇聚种类。当一块大洋板块遇到一块大陆板块时，由于洋壳物质的密度较厚，大洋板块会潜没于大陆板块之下，并浸入地幔：这便是俯冲现象。随着岩石圈不断陷没，其中一部分会逐渐融化，融化产生的岩浆淤积在火山山脉表面，巨大的安第斯山脉便因此形成。然而，当两块大陆板块汇聚时，由于陆壳物质密度较小，不足以引起俯冲进入地幔，所以只会出现碰撞：板块边缘变形且碎裂，在板块结合处形成山脉。阿尔卑斯—阿马拉雅山脉便是典型的板块碰撞带。最后，通过影响到整个岩石圈的大断层，板块之间还可以相互剪切滑动：即转换断层。美国西海岸的圣安地列

斯断层是其中最著名的一例。由此我们便很容易理解何以地震、火山、山脉主要集中在板块边界之处。

● 板块构造学说是怎样诞生的？

早在 17 世纪人们就发现了大西洋两岸轮廓那惊人的对应。

图一 十二大板块

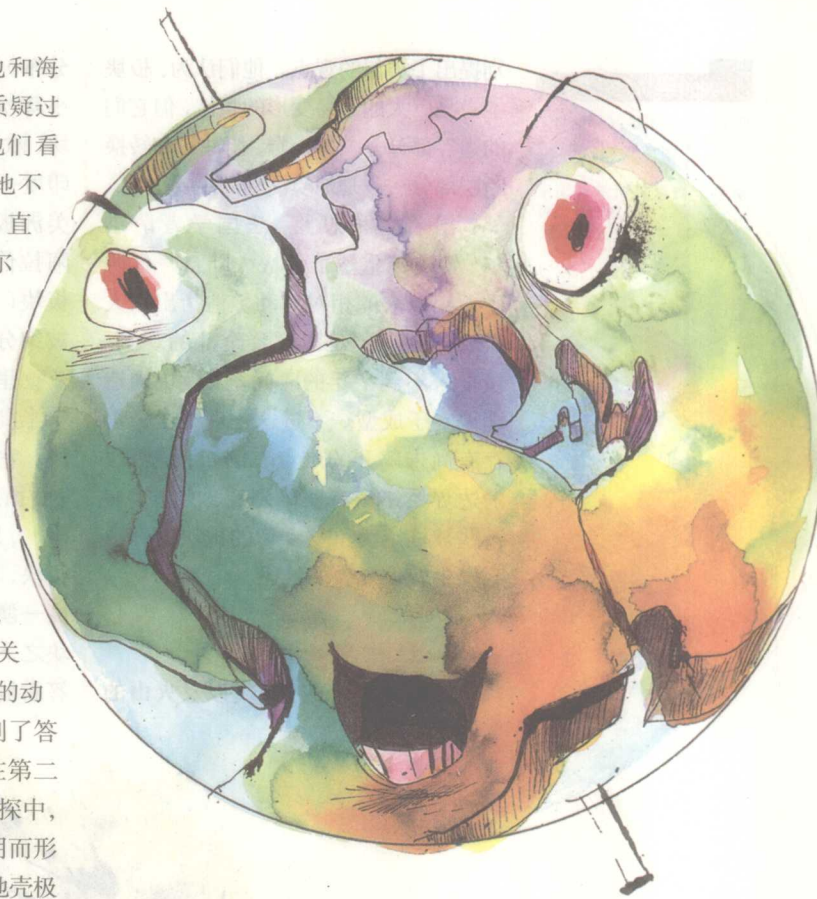
地球表面大约有十二个板块以每年数厘米的速度相对运动。地震、火山及山脉多集中在这些板块的边界之处。



然而当时却没有人怀疑过陆地和海洋的坚韧性和固定性，更无人质疑过它们存在的久远的年代。在他们看来，非洲和美洲一直以来就原地不动地存在着，大西洋亦是如此。直至1912年，德国气象学家阿尔弗雷德·魏格纳才提出了“大陆漂移”的设想。他的证据是什么？证据之一自然是非洲西海岸和南美东海岸近乎切合的海岸线，证据之二在于南大西洋两岸地质轮廓的吻合及两岸相同的古代地层序列和一模一样的动植物化石等。然而这一崭新的理论却遭到了大众的否定，因为在魏格纳的理论中缺少了最关键的一点：这种假说中大陆移动的动力是什么？五十年后人们才找到了答案——这动力源自海洋深处！在第二次世界大战结束后兴起的海底勘探中，人们发现了洋中脊和因俯冲作用而形成的海沟的存在，更揭示了大洋地壳极为年轻的事实（少于两亿年，而地球已经存在45.5亿年了！）

1962年，美国地质学家哈雷·赫斯提出了“海底扩张”的假说：热流自地幔深处的洋中脊上升而形成新的大洋地壳。新的大洋地壳推动洋脊向两侧扩张，并在冷却后在海沟区域重新沉入地幔。时隔一年后，通过对洋中脊区地磁场极性的周期性倒转的分析，海底扩张学说进一步得到了确切的证实。

数年之后，在“海底扩张”学说的基础上，通过对地震活动区域长期观测，板块构造学说诞生了。和达清



夫和雨果·贝尼奥夫分别于1930年和1955年发现在海沟附近发生的地震带沿着某一斜面而推进。于是地质物理学家们便合理地推断出这一斜面正是大洋地壳俯冲至地幔之下的深断裂带。1965年，加拿大学者图佐·威尔逊提出了“转换断层”的概念，借助这一概念，他将地球表面划分成数个相对运动的小板块，并将其命名为“岩石圈板块”。1967年，杰森·摩根划分出6个较大的板块及12个较小的板块，并描述了它们的位移。同年，英国学者丹·麦肯齐和他的同事罗伯特·帕克分

引用的相关研究

萨维尔·勒皮雄,《地球科学何时重新起飞》,2000年5月,第91页

雅克·德维尔谢尔和埃里克·加莱,《亚洲的非典型裂缝》,1999年10月,第40页

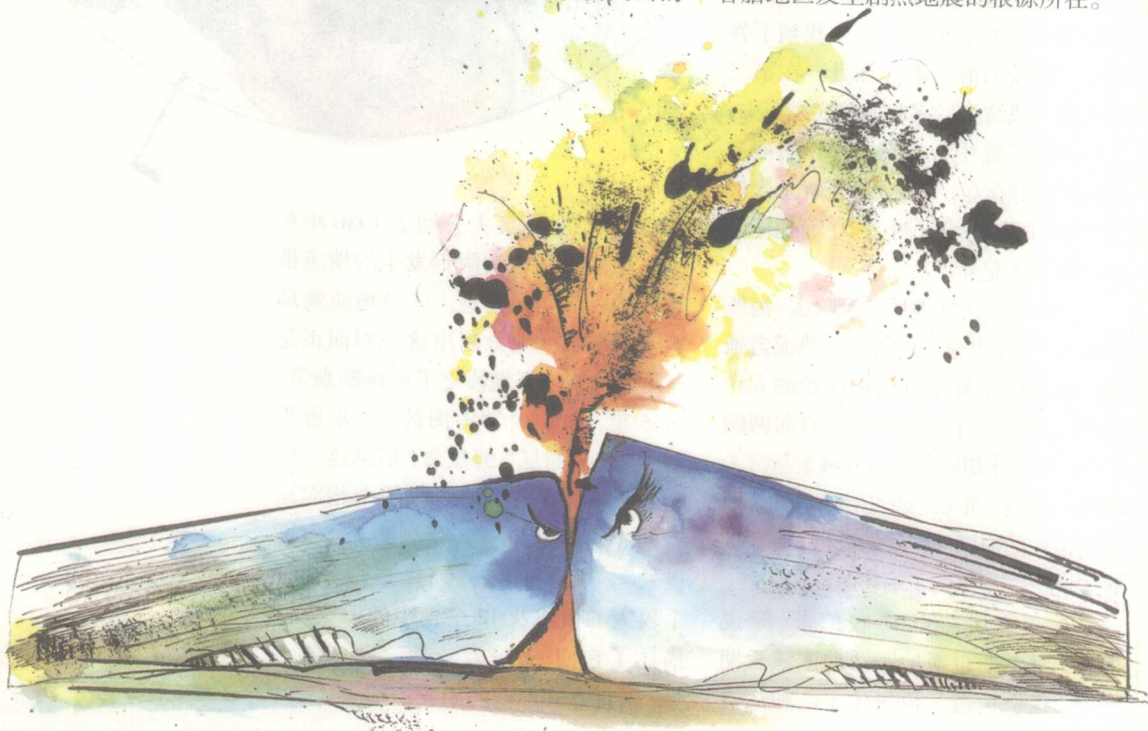
别提出了类似的观点。他们认为,板块本身是巨大的不易变形的整体,但它们的边界部分——即山脊、俯冲带和转换断层部分——是地质活动的主要区域。

沿着这种思路,法国学者萨维尔·勒皮雄重塑了各块大陆自一亿两千万年以来的相对运动。他指出六大板块的存在便足以解释全部的观测。接下来不到十年的时间里,板块构造学说终于成型。不过这一理论至今仍有尚未解开的难点。例如,各板块的边界始终没有明确划定;此外,在某些被推定为不易变形的板块内部也会发生较大规模的地震。

● 一共有多少板块?

按照地震带的分布(以及火山的

分布)大致可划出十二大板块。按其大小降次排列,它们分别是:太平洋板块、欧亚板块、非洲板块、南极洲板块、印度—澳大利亚板块、北美洲板块、南美洲板块、纳兹卡板块、菲律宾板块、阿拉伯板块、科科斯板块以及加勒比板块(见图一)。其中有些板块还可以被细分为更小的板块。地中海西部的亚德里亚断块便是此例——包括亚平宁半岛东部的意大利和亚德里亚海板块。它与非洲板块相连,与欧亚板块相对,由此形成阿尔卑斯山脉。在印度洋区域,欧亚板块的西部还有两块较小的板块,即巽他群岛板块和缅甸板块。印度—澳大利亚板块会俯冲入这些小板块之下,这便是2004年和2005年苏门答腊地区发生剧烈地震的根源所在。



● 板块构造的动力何在？

热对流。事实上，地球需要排放地层深处由放射性物质（主要包括铀、钍和钾）衰变所释放的热量。于是就导致了夹在冷却的表层地壳和滚烫的金属地核之间的地幔一直不停地在进行涡旋运动：巨大的上升流体将炙热的岩石从洋中脊带到表层，同时将下沉板块冷却的岩石推入深处。尽管地幔因其岩石特性而坚硬无比，但也在不断沉降，并发生缓慢的变形。由于其运动速度每年最多不过数十厘米，所以地幔在缓慢变形的同时也不至于碎裂。

一直以来，科学家们都在努力从几何学角度精确解析出这种热对流。流体是从地幔底层上升到岩石圈吗？是否存在两种独立的对流层，一层在上地幔，一层在下地幔大约 660 千米处？事情的真相可能更为复杂。近年来，在流体动力学实验以及数字模拟和地震新图像的基础上，出现了一种被称之为“穹丘”的对流模型（详见《地幔》章节，第 18 页）。

根据此种模型，由某种炙热且轻盈的物质造成的大规模爆炸会发生在地核与地幔交界处的被称之为“D”的层面。在两个大的穹丘区——一个在太平洋下，一个在大西洋下——随之形成上升流体。在这两个区域里，冷却的板块沉没入俯冲区，造成下沉流体。通过对地震的研究，我们可以知道俯冲板块有时会穿越整个地幔，然后在“D”层碎裂。

另外还有两大难题尚待解决：为

什么地球表面会有板块？板块运动的始作俑者即俯冲带是如何形成的呢？现有的对流实验模型和数字模拟都尚无法解析出个中原因。

● 板块一直以来就存在着吗？

和我们探究板块生成的原因一样，这个问题也还没有答案。我们只知道，板块构造大约从 25 亿年到 27 亿年前便已经开始，而地质学家也已经发现同时代的岩石具有俯冲带的特性。因为缺乏直接明了的证据，更为久远的年代仍是一个谜团。

一些科学家认为，板块构造应该发生在地球形成数亿年后海洋出现的时期。海洋的诞生使得地表得到充分的冷却，从而生成一块坚硬的地壳。然而原始的地球要比现今炎热许多，所以对流活动也相应地更加活跃。因此，板块应该更加轻薄，体积更小，数量更多。当然其存在的时间也更为短暂。

也有一些科学家认为，正是因为热对流活动异常强烈，一次板块构造便足以稳定下来。在他们看来，板块构造出现的时间要更晚一些，大约在其活动了 15 亿年到 20 亿年之后。

板块构造将来会停止吗？对此难以妄下定论。不过，随着地球的变冷，



板块构造的脚步自然也会放慢。当然我们也无需过分担忧：这个过程至少还要持续数十亿年。

● 板块如何诞生？它的存在周期多长？

大洋地壳沿着洋中脊而形成：下地幔上升，并随着压力减小而部分融化。岩浆随之涌入裂口并灌注海底。新的地壳慢慢冷却，逐渐被沉积物覆盖。年复一年，新的地壳渐渐变沉，当其密度达到一定程度便会没入地幔。然而由于无法观测俯冲发生的真实情形，对其细节我们也是所知甚少。

大洋地壳存在的时间很少超过2亿年。甚至可以说，所有的大洋地壳都没有那么古老：如果一块大洋地壳沉入地幔的速度高于它在洋中脊形成的速度，它就会越来越小。伴随阿尔卑斯山的出现而消失了的特提斯海便是如此。这一情形现如今正发生在地中海区域，地处欧洲和非洲大陆之间的地中海很有可能在距今大约一亿年后消失。所以说，所有大洋地壳的命运就是在俯冲区沉入地幔，然后循环再生。大陆地壳则恰好相反。它们相对来说更加轻薄，因此几乎不沉。

已知最古老的土地现今已有38亿年，其中包括格陵兰岛、南非、西伯利亚，还有澳大利亚。不过大陆地壳出现的年代可能更为久远。地质学家已经发现44亿年前的锆石颗粒。要知道，这种矿物质只可能出现在花岗石岩浆里，意即大陆环境下。所以问题就在于，第一块大陆地壳是如何生成，而这种地壳又与什么相仿。现如今大陆地壳只生成在俯冲带。俯冲至大陆板块之下的大洋板块会带来满溢海水的沉积物。随着不断的变热，这些沉积物的水分流失，并向上渗透。在此过程中，上层板块的岩石溶液的温度随之下降。浓密的硅石岩浆因此形成，增加了大陆地壳的厚度。

然而，在最初的开始，当大陆尚未形成，一切又是如何发生的呢？现有的一个假说认为，应该是有一股由热物质造成的巨大烟团从地幔底层上升，在地表引起了特别的火山喷发，构建了一块厚实的板块，冲入俯冲区。正是这一板块成为最原始大陆的发端。一些火山弧——就好似今天矗立在一块大洋涌入另一片大洋的俯冲区的火山弧一样——当初应当发挥了相似的作用。



● 我们如何测量板块的位移?

如今,某一板块的运动速度大致可精确到数毫米。之所以会如此精确,还是得益于大地测量学技术的发展,尤其是GPS(全球定位系统)的运用。地质学家主要通过研究板块经过的磁场来描绘板块运动的地质年表:某些矿物质(如磁铁矿或赤铁矿)在它们形成的时候会被磁化,而其磁化的方向正是周围磁场的方向。不过,因纬度不同,磁场会有相应的变化:赤道区域磁场一般呈水平方向,两极则是垂直方向。通过测量古岩石的磁场便可以找到该岩石成形的纬度,于是也可以重组各板块相继的位置。

● 板块的几何样貌一直以来都是如此吗?

答案是否定的。板块的位置和大小一直都在变化,直到形成现如今地球的面貌。例如,我们知道,距今大约3亿年前,所有的土地不过是一块巨大的岩块(盘古大陆),一支海洋的支流(特提斯海)渗入其中。大约2亿年前,盘古大陆一分为二:北方是劳亚大陆(欧亚、斯堪的纳维亚、格陵兰和北美),南方是冈瓦那大陆(南美、非洲、澳大利亚、印度、马达加斯加和南极)。这两块大陆随后也分割成小块,特提斯海汇拢,大西洋和印度洋开启。之后一些板块又重新发生碰撞。非洲板块撞击欧亚板块产生了阿尔卑斯山,印度板块对亚洲板块的冲压则产生了喜马拉雅山和西藏。

可是盘古大陆之前呢?超大陆曾

数次形成。大约10亿年前出现了罗迪尼亚超大陆,它在3亿年后裂开。事实上,大片的陆地是沿着海洋和碰撞的闭合与开启这个循环规律聚合而成超大陆。这从某种程度上解释了山脉造山运动的周期性。按照现在的板块运动的发展来看,地中海将会汇拢,而澳大利亚将与印度尼西亚发生碰撞。一块由欧亚板块、印度板块、非洲板块和澳大利亚板块构成的超大陆将在300万年到500万年后形成。

● 哪些板块交界处最为危险?

按照它们的位置,会聚交界处(俯冲区和碰撞区)对人类而言最具危险性。尤其是那些板块运动速度较快的地区。无论是从地震角度来看,还是从火山角度来说,以下两大地带尤为活跃:一个是环太平洋区域,另一个是从南部欧洲到中国包括中东和南亚的区域。这些区域在未来几十年内将发生较大规模的地震。苏门答腊地区极有可能在不远的将来再度遭受地震的侵袭。美国西海岸亦将遭遇相同的命运。地球物理学家还认为同样强烈的地震将发生在伊斯坦布尔附近北安纳托利亚断层处,它将波及欧亚板块和非洲板块交界处土耳其附近1500千米的范围,缝合印度和亚洲的喜马拉雅山脉也在其中。此外,太平洋周围的俯冲区还有着大量尤为危险的活火山:圣海伦山、皮纳图博火山、鲁伊斯火山、默拉皮火山、喀拉喀托火山等。

推荐阅读

■ Claude Allègre《地球的泡沫》,阿榭特文学出版社,2006年

■ Vincent Deparis 与 Hilaire Legros《地心游记》,法国国家科学研究中心出版社,2000年

山脉的形成

板块构造学的理论揭示了山脉出现的原因：它们是由于大陆地壳的收缩而造成的。

Fabienne
Lemarchand

科学记者

Paul Tapponnier

巴黎地球物理学院板块构造学实验室主任

● 为什么会有山脉？

“一切都是水平推移的结果。”日内瓦学者贺拉斯—贝内迪克特·德·索绪尔在18世纪末曾如是说。当时流行的“垂直”派观点认为山脉的形成仅仅是由于地面的抬升而造成的。索绪尔对此提出了质疑。他惊讶地发现，阿尔卑斯山上的沉积岩不仅是在阿尔卑斯山形成之后被抬升，而且出现了褶皱，因此在水平方向上缩短了。有些沉积岩甚至还处在垂直的位置上。于是，他在1784年合理地推出以下结论：阿尔卑斯山乃至所有山脉的褶皱肇始于水平方向上的推移，换言之，即水平方向上的压缩。索绪尔还没有思考出可能产生这种压缩的力量来源，便于1799年与世长辞。然而他的工作成果为稍后不久“活动论者”的研究指明了方向。

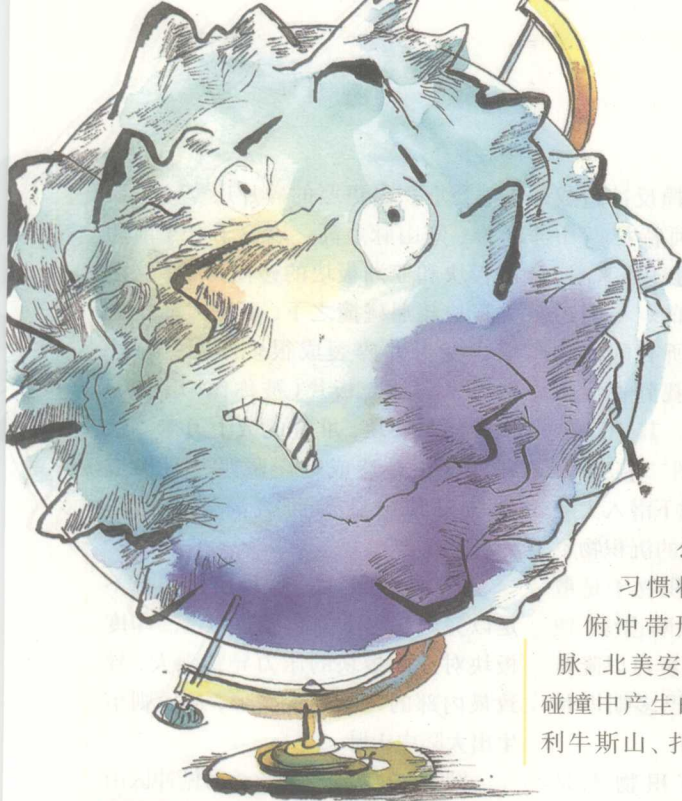
一个半世纪后出现的板块构造学说为之前种种的观察提供了理论支撑。其中心论点在于：地球的表面可以分割成数块较大的板块，它们被称为岩石圈，而岩石圈本身又由外层

的地壳(大陆地壳和
大洋地

壳)和深层的地幔所构成。这些板块在更炙热更黏稠的下部地层——软流圈之上作相对运动。大洋岩石圈沿着洋中脊形成于海洋的中心处，并从洋中脊延伸至大陆周围的海沟即俯冲带，最后在俯冲带里被淹没。正是在这块大洋与陆地会聚之处产生了山脉。相对较软的大陆地壳被挤压，并逐渐变短变厚：山体于是隆升起来。

因此，山脉的形成与岩石圈板块的运动和海洋的闭合与打开紧密相关。欧亚板块上年轻的山体全部都是随着1.8亿年前冈瓦那超大陆的逐步解体、特提斯海的闭合、大西洋以及印度洋的打开而形成的。阿尔卑斯山、比利牛斯山、喜马拉雅山、北非马格里布国家的山脉都始于这次被称之为“阿尔卑斯”的造山运动(该词源于希腊文的山脉“oros”)(图一)。地球在更久远的年代里曾经历过其他几次造山运动。欧洲经历的最重要的是海西期(三亿两千万年前至两亿六千万年前之间)和加里东期(四亿八千万年前至四亿两千万年前之间)。阿登高地、孚日山、中央高地和阿摩里卡丘陵是海西期的产物，而英国、斯堪的纳维亚国家和格陵兰岛的高地则与加里东期相关。这些山脉历经磨损侵蚀，其中大部分早已失去了昔日的气势。此外，我们这里的“山脉”仅仅指涉一种特殊的地



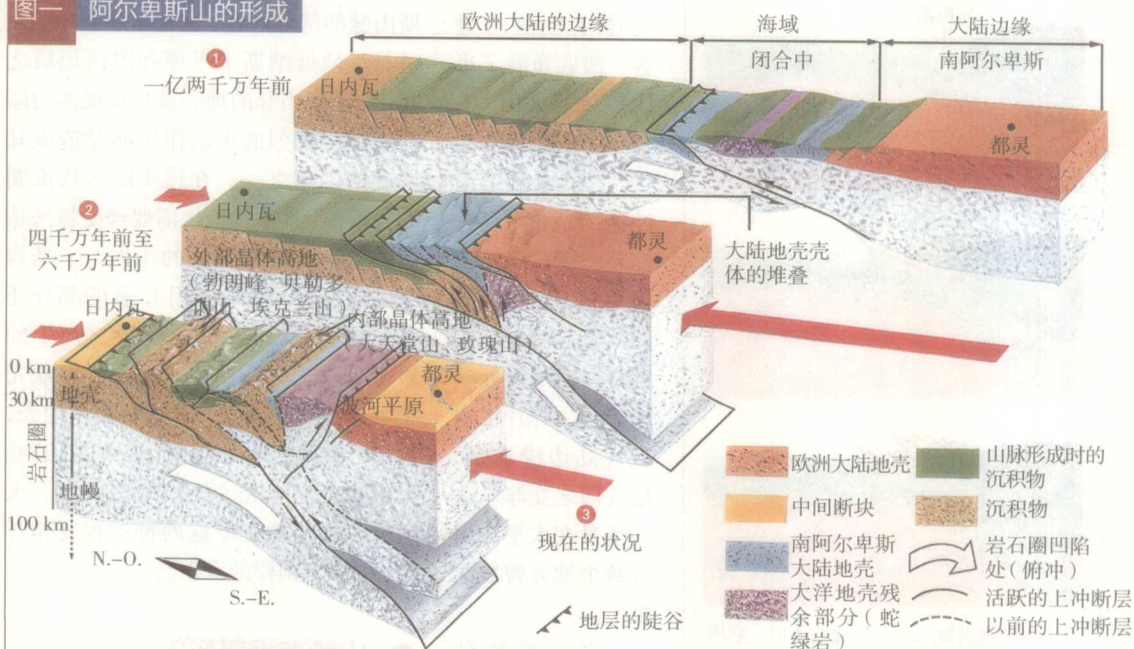


势，即在挤压的前提下而形成的山体，火山以及其他类型的高地均不在此列。

● 山脉都是一样的吗？

如果从相关板块的性质考虑的话，那么答案是否定的。我们习惯将山脉分成三类：沿着俯冲带形成的山脉（安第斯山脉、北美安第斯山系），从两块大陆碰撞中产生的山脉（阿尔卑斯山、比利牛斯山、扎格罗斯山、喜马拉雅山

图一 阿尔卑斯山的形成



特提斯海的闭合发生在阿尔卑斯山形成之前。大陆地壳的收缩与变厚导致了如今高地的出现，这块地貌现仍在不断变化中。

引用的相关研究

Fabienne Lemarchand,《山脉抬升所需的气候》,2004年1月,第14页

文献《阿尔卑斯亦战亦退》,2003年6月,第30页

Nicolas Arnaud,《追忆消失了的山脉》,1998年11月,第70页

Jacques Malavieille 和 Michel Seranne,《山脉的破坏》,1996年2月,第88页

和西藏高原等),还有碰撞反冲造成的大陆内山脉(天山、阿特拉斯山等)。如果从山脉形成的过程来看,那么答案又可以是肯定的。与上述分类堆叠的情况相反,所有的山脉都可以在同一种现象中找到根源所在,那就是地壳的缩短。其中一个总体的概念是增生楔【图二】:当大洋岩石圈在俯冲海沟区域下潜入大陆岩石圈之下时,它所带来的沉积物不能够沉入深处。这些沉积物于是散裂成碎片,然后堆积到大陆边缘,便形成了增生楔,即海底一群可以隆升的小山。安地列斯的巴巴多斯即是

此例。

沉积物不是大洋岩石圈里惟一的体重轻盈的过客。海底布满了难以数计的火山、山丘和海底地势的起伏,它们减缓了俯冲区的速度,也会在某一时刻从俯冲区里被抬升上来。同沉积物一样,它们最终在地幔处解体碎裂。碎片堆积在大陆边缘地带,地壳因之变厚。这一场景在太平洋周围数个地方曾数次发生。

当一整块陆地接触俯冲带

时,会堆积出更厚的碎片层。碎片层愈厚,则山脉愈高。以五千万年前印度板块和亚洲板块的碰撞为例,这两大板块相遇碰撞之下,亚洲大陆地壳缩短变形并碎裂成很多断层:厚达两万米的地壳板片(被称作“层”)一块滑向另一块,堆叠成数十万米。这种堆叠正是造成地壳坚厚并且形成喜马拉雅山脉和西藏高原的始作俑者。

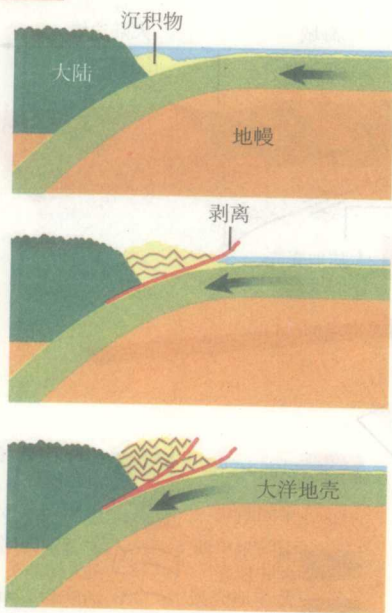
需要注意的是,这种层状切分不足以完全耗尽全部的缩短力量。印度板块对亚洲板块的压力异常强大,导致最内部的区域发生变形,最后则衍生出大陆内山脉。

同时,大陆地壳的收缩对俯冲区山脉来说也是一种重要的现象。在安第斯山脉的部分区域,这种缩短至今仍在进行。地处纳斯卡平原和巴西地盾之间,安第斯山脉的地壳被拉扯成两边厚的地貌。强烈的火山作用亦是造成其厚度的因素之一。在逐步陷入软流圈的过程中,太平洋板块需要经受越来越高的温度和越来越强的压力。于是岩石发生变形(变质作用),有的部分还开始融化(大约700℃)。随之产生的岩浆再次上升。其中有一部分在地壳之下变成板片,另一部分则注入地壳,甚至可能到达地壳表面生成火山,这些火山也是使地壳变厚的原因所在。火山变厚和缩短变厚这两种过程交相呼应,唱响了别样的音乐会。

● 山脉有根基吗?

有。且山脉愈高,根基愈深。这

图二 增生楔



当大洋地壳潜没入大陆地壳之下时,它所带来的沉积物散裂成碎片,然后堆积成增生楔。

里涉及的是阿基米得原理的一次简单应用。我们已经了解,不管山脉的类型如何(碰撞型、大陆内型、俯冲区型),它们都是大陆地壳的收缩变厚的结果。在挤压作用下,地壳不单向上变厚,其底部同时也在变厚:随着高地的隆起,界定地壳与地幔边界的莫霍面也不断深入。其结果就是:地壳的厚度可能变成原有厚度的两倍,超过60千米。事实上,由地势的起伏造成的大量盈余(不是空气而是岩石)会被深层的大量短缺(2.8 g/cm^3 密度的地壳而不是平均密度 3.3 g/cm^3 的地幔)而补偿。这种补偿被称作地壳均衡【图三】。

高山会对下层岩石圈产生一种垂直压力,而这种垂直压力则会被另一股作用在地壳根基之上的对抗力(阿基米得推力)而冲抵。山脉因此处于一种不稳定的平衡状态。任何形式的紊乱都会被补偿,其方式要么是高地的隆起以及地壳根的深入,要么就是高地的降低以及根基的抬升。

● 地壳之下发生了什么?

这是现今争论最激烈的话题之一。大陆地壳之下的岩石圈地幔变成了什么样子?有些人认为,它变厚了。另外一些人则认为,它“碎裂”了,并且潜没入了软流圈。地球物理学的数据尚不足以断定诸如如此的假设之中哪一种更为合理。不过有一点却值得注意,岩

石圈地幔是几乎不可延展^[1]的,这一点与以往传统的观点背道而驰。随着压力和温度的上升,岩石圈地幔只有在深处才变得可延展。另外我们还知道,在所有岩石的狭窄位置倾向于发生变形,这无疑意味着要穿过整个岩石圈才可以实现。我们在亚洲板块上便发现了这样的情形:大陆地幔被很多剪切面横穿而过,沿着这些剪切面,大陆地幔逐渐深入直至最终。这种陡谷尚未得到地震断层摄影术^[2]的确切证实。然而日益精密的地质观测似乎揭示出,是地壳在地幔之下变厚,而非地幔本身变厚。

● 一座山峰可以达到怎样的高度?

最高(也是最近期的)的山峰在喜马拉雅山脉。它们大约在9000米左右。喜马拉雅山脉至今仍在演进过程中。所以,还会出现更高的山峰吗?换言之,一座山峰可以无限制地增高吗?我们先把视角集中到喜马拉雅山脉上。大约一亿年前,印度板块从冈瓦那超大陆脱离出来,向北朝着亚洲板块漂移,最终在五千万年前与亚洲板块相撞。今天,印度板块仍以每年5厘米

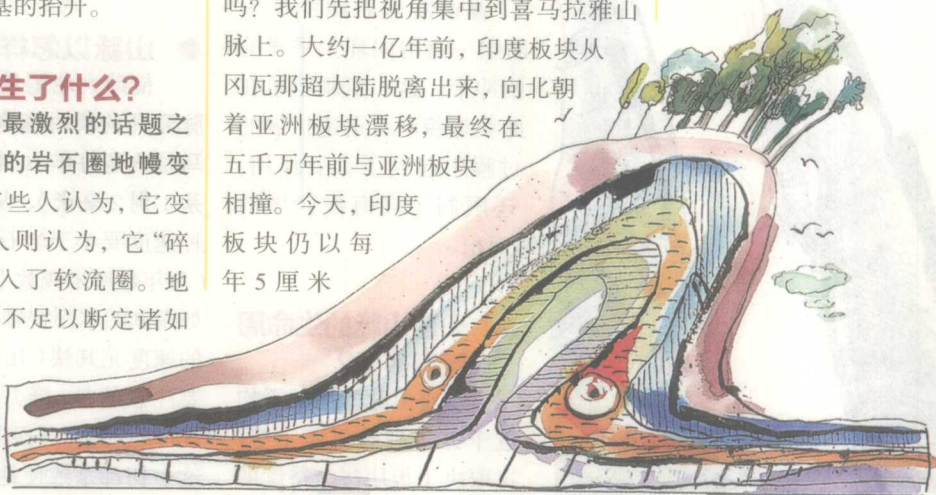
[1] 延展性是指某种物质塑性变形即不可逆转变形的能力。

[2] 地震断层摄影术可以提供地球内部冷热量分布的三维图像。

图三 地壳均衡



地壳的密度小于地幔的密度。高山会对岩石圈产生一种垂直压力,而这种垂直压力则会被另一股作用在地壳根基之上的对抗力(阿基米得推力)而冲抵。



相关链接

www.geol-alp.com

格勒诺布尔一位地质学教授搜集的有关阿尔卑斯山的信息

<http://tinyurl.com/2c9txm>

"GeoManips": 法国国家科学研究中心研究地球运动的网站

的速度不断前进。其结果是：大陆地壳缩短并变厚。然而这一切并非毫无规律。现有的（大地测量学和地貌学）测量结果表明，缩短最大的地方（指喜马拉雅山脉）也不会隆起超过9000米。这一观测结果衍生出另一个问题：如果板块靠近的速度更快，山脉是否会变得更高？有可能。但几乎不会。因为一旦山脉达到了一定高度之后就会开始变宽并横向发展。相对让一小块平原隆升起来而言，使已经很高的山脉继续被抬升无疑要困难许多。与勃朗峰一般海拔高度

的近两百万平方千米的青藏高原就极有可能是这一横向发展的结果。亚洲的很大一部分因此向东扩展：它们一

整块一整块的沿着切断岩石圈的巨大断层一直滑向环太平洋的俯冲带。这一机制不在此类地貌向北迅速扩展的过程中起到了重要作用，还限制了高海拔区域的面积。

● 一座山脉的生命周期有多久？

一座山脉的增长平均五千万年到一亿年不等。这取决于板块碰撞持续的

时间。喜马拉雅/西藏这一带的地貌从五千万年前印度板块冲压亚洲板块起便已经开始隆升，至今仍在慢慢演变过程中。

事实上，较小范围来讲，我们可以发现，山脉高地并非发生整体性的隆升，而是只有一部分山峰在不断隆升。一座山峰增高变大，大约需要数百万年。现在中国中部一些超过4000米的山峰就是大约200年前突然出现的。之后山峰的增长会停止，因为发生变形的区域已经移动到更远一些的地方。接着便会出现新的山峰。变形首先发生在碰撞区附近，然后会波及越来越远的土地。山脉于是一个接着一个相继出现，从而高山区域便不断向北扩展。如今，远在3000千米之外的北方蒙古高原和阿尔泰山脉都可以感受到压缩的压力。在所有出现在阿尔卑斯软流圈附近的近期山脉身上，我们可以观测到相同的现象。

● 山脉以怎样的速度隆升？

借助大地测量学仪器测量到的山脉隆升的瞬时速度为每年数毫米（喜马拉雅是每年10毫米，阿尔卑斯山则是1到2毫米）。从大小角度来看，这种速度要小于岩石圈板块移动的速度（每年数厘米或数十厘米）。有些地区，如南迦帕尔巴特峰、巴基斯坦等，隆升的速度尤其快（几乎每年1厘米）。需要注意的是，隆升过程并不是一种有规律的现象：它可能断断续续地发生。这一切都是致使地貌隆升的断层移动



作用的结果。

● 山脉是怎样坍塌的？

一经形成之后，高山地貌便开始受到侵蚀，这种侵蚀以每世纪数毫米的速度逐步损耗着山脉。山脉愈是宏伟，则侵蚀愈加活跃：年轻的山脉（总的来说是那些山峰被冰雪覆盖的山脉）受到的侵蚀尤为严重。冰川的侵蚀实际上是一种极为有效的对抗地貌隆升的方式。

理论上说，侵蚀作用应该可以持续到彻底的海蚀，即变厚了的地壳恢复到正常厚度（大约 30 千米）。但是这里所指的并不只是削减数千米而已。因为，根据地壳均衡理论，当一大部分被破坏的地貌可以在区域性隆升和莫霍面崛起的双重作用下得以重塑，这一点与货物的吃水线会随着货物被卸载而逐步上升的现象颇有些类似。

在这个恢复正常的过程中，另一种机制有时也会起作用：这就是山脉的“引力坍塌”。山脉受到垂直压缩，受到其自身重力和其根基上的阿基米得推力两种力量的作用。而其根基由于受到在地壳拉伸过程中而储存的热量的作用而变厚变软。山脉最终变薄并且沉降下来。

这一现象曾于四分之一世纪前在西藏得到了证实，并且被应用到盆地——在这片广袤的区域上我们发现了曾经坐落在美国西部边界的山脉的遗迹。似乎这一现象对地势起伏的作用更为明显，最近便在阿尔卑斯西

部山脉再次得到了证实。

● 山脉的出现会改变气候吗？

几乎一定会。山脉会影响当地低气压的变化、降雨量和风带的分布等。因此，我们通常会把喜马拉雅山和西藏高原的隆起与亚洲季风的出现联系在一起。季风源自喜马拉雅山脉的类似吸泵和压力泵效应，这一点尽管已经明确无疑，但仍有不少问题尚待解决。这种季风是如一些人所预测的那样出现在 1 100 万年前到 1 200 万年前吗？它是某一天突然出现的，还是逐渐出现的？

就全球范围来讲，我们关心的是山脉的出现会不会引发冰期。这一点尚无任何确凿的证据证明。高地的出现确实会加剧当地的冰川效应，不过就此而推断出全球范围的冰期未免有点……不要忘记，主导气候的始终还是海洋，并且冰期的触发是和北半球的光照时间密切相关的。

● 山脉会促进陆地的增长吗？

答案是否定的。它们甚至会导致陆地面积的减少。我们前面曾经提及，山脉的形成涉及大陆地壳的收缩。以印度板块和亚洲板块的碰撞为例，这次碰撞发生在 2 500 千米的交接面上，而隆升导致的缩短大约是每百万年 110 000 到 130 000 平方千米，即每年 0.13 平方千米。随着山体的增高而活跃的侵蚀在缩减着山体体积的同时，也导致了陆地的减少。

推荐阅读

■ Michel Marthaler,《马特宏峰在非洲？一段有关阿尔卑斯山和我们星球的地质史》，LEP 出版社，2001 年

■ Marcel Lemoine 及其他著者，《从海洋到山脉。阿尔卑斯山的板块构造论》，戈登和布里奇出版社，2000 年

■ Laurent Jolivet 与 Xavier Le Pichon,《大陆的变形》，海曼出版社，1997 年