

地质力学参考文献选

国家地震局地震地质大队编

1972

毛 主 席 語 录

无产階級認識世界的目的，只是为了改造世界，此外再无別的目的。一个正确的認識，往往需要經過由物质到精神，由精神到物质，即由实践到認識，由認識到实践这样多次的反复，才能够完成。这就是馬克思主义的認識論，就是辯証唯物論的認識論。

在人类的認識史中，从来就有关于宇宙发展法則的两种見解，一种是形而上学的見解，一种是辯証法的見解，形成了互相对立的两种宇宙观。

我們不能走世界各国技术发展的老路，跟在別人后面一步一步地爬行。

目 录

1. 地球表面形象变迁之主因	1
2. 古生代以后大陆上海水进退的规程	26
3. 东亚一些典型构造型式及其对大陆运动问题的意义	59
4. 大陆漂流	96
5. 广西台地构造之轮廓	99
6. 二十年经验之回顾	109
7. 山字型构造的实验和理论研究	120
8. 地质力学之基础与方法	125
9. 扭裂缝之泥浆试验	183
10. 中国之造山史和构造轮廓	188
11. 受了歪曲的亚洲大陆 (节要)	201
12. 受了歪曲的亚洲大陆 (摘译)	205
13. 地质工作者在科学战线上做了些什么?	208
14. 关于地质构造的三重基本概念	217
15. 地壳运动问题 (讨论提纲)	224
16. 答复关于《旋卷构造及其他有关中国西北部大地构造体系复合问题》一文的一些意见	233
17. 旋卷构造及地质构造体系复合问题 (第一辑)	
1. 前言	245
2. 关于《旋卷构造及其他有关中国西北部大地构造体系复合问题》一文的讨论	247
18. 莲花状构造	256
19. 东西复杂构造带和南北构造带	267
20. 建国十年来中国地质工作的发展	274
21. 在第一届全国构造地质学术会议开幕式上的讲话	285
22. 关于改进构造地质工作的几点意见	292
23. 地质力学发展的过程和当前的任务	303
24. 运用毛主席的哲学思想发展科学技术	315
图版	
东亚一些典型构造型式及对大陆运动问题的意义	320
扭裂缝之泥浆试验	326
受了歪曲的亚洲大陆	330
莲花状构造	331

地球表面形象变迁之主因

李 四 光

在渐变论战胜了灾变论的日子里，兴起学派的首领们显然认为海水的进退曾在漫长的时间里无限地在我们地球的整个表面进行着。除此以外，那时对海陆间的调整知道得很少。随着我们对大陆构造知识的发展，和均衡学说的建立，真正海洋与过去时代的陆缘海之间的基本差别变得越来越明显。确实，今天呈现给我们地质工作者的世界，和曾经在欧洲西北角辛勤工作的老一辈人所看到的相比，是一幅很不同的图景。似乎我们必须承认，在我们现有知识范围内，地向斜和山脉只不过是大陆构造的一个特殊相——一个小相；或者换句话说，造山运动仅是更广布的大陆运动的激烈表现。如果这个概念能有些接近真实的话，那将很难说过去地质时代大的构造运动是局部原因造成的。

那么，是什么作用引起和什么力包含在这一不断地变化中呢？著名的地质科学家经常告诉我们，对解决这个疑难问题，还没有作足够的努力；同时，我们不能不承认大多数地质工作者似乎曾经是见树不见林。然而也不能责怪他们回避这样一个高度理论性的讨论，因为任何理论都是从详细地事实观察研究中引伸出来的。

著名地质学家E.徐士较他以前的地质学家对这个问题的研究可能更深入。在检阅了大量地质文献之后，他不止一次地断言，欧亚大陆对印—非陆块的整体运动。这个主张并不是基于任何假设，而是分析了伊朗和喜马拉雅山以及一系列东亚弧的直接结果。他的方法大部，如果不是全部的话，是归纳法。且不管他大量掌握地质事实和很强的综合能力，徐士似乎没有能够，甚至在他的晚年，找出这种巨大运动的最终原因或所需要的力。但是他在这方面的失败并不能置疑于他的权威和见识，因为是在他的不朽著作《地球的面貌》中，人们第一次看到了到达我们的问题最后障碍的精辟见解。

从徐士的时代以来，曾作过许多的尝试。他们之中包括由F.B.泰勒、A.魏格纳和J.约理提出的革命性理论，震动了依然属于一般认为是传统地质学的忠实信徒的很多地质学家。不管传统派对这些大胆的理论的根本含意可能持什么态度，它们赖以建立的某些基本事实，对于我们来说是不可忽视的宝贵财富。

纯粹是一个偶然机会，作者有幸在我们有限的图书馆里发现了泰勒的文章，惊喜地见到，在自己心目中逐渐成型的较明显的事物有许多已经被写出了。遗憾的是这样一篇重要文章竟被埋没在大量地质文献中，没有得到应有的注意。泰勒不仅领会和掌握了徐士采用的大量地质构造事实，并进而探讨有关阿尔卑斯运动方面徐士可能的错误。后边我们将可以看到，徐士和泰勒两者都不完全对。沿用徐士曾用过的同样方法，泰勒给我们指出欧洲与亚洲一起向南蠕动，因而拖起在第三纪横跨欧亚的山脉带。他还指出，北美大陆如何由于向西南漂流而从格陵兰扯开，以及澳大利亚如何推向它原来位置的东北。事实上他提供证据去证明全球的陆块在中第三纪运动时趋于或事实上已滑向赤道。泰勒对那次运动产生

的实际位移量的估计可能是夸大了，但似乎他的确成功的指示了事件的趋向。

还是根据徐士海面升降运动的论证，泰勒推论表现为其扁圆度的同一海洋振荡运动，必定适用于大陆壳。关于大陆的形状，他写道：“不管其原因如何，它的分布特征恰好和属于扁度增大的海洋形状是一样的。”

由于泰勒显然没有考虑地球形状变化的根本原因，又因为他没有回顾遥远过去的地质变化，他首先讨论地球的重心。由于北极大陆向低纬度蠕动，向南极移动的可能。他说：“这将使遗留的北极大陆在较前稍大的应变之下……当然，这一改变将增大从北极进一步运动的机会，而减少从南极运动的机会。”然后，在他论文的最后几行，他简单地提到潮汐力的一些形式，把它作为无论是海洋振荡或岩石圈变形中，使地球扁度变化的唯一可能的作用。这些一般见解，对于解决这个突出问题似乎并不能为我们提供明智的答案。

我们现在暂时转到魏格纳博士提出的著名“大陆漂流”理论。在其启发性的论文中，他力图用假想在大陆部分进行的两组运动，去说明我们今天所看到的大陆块的外形及其变动的边缘，以及过去某些动、植物群的分布和气候变化。这些运动的第一组是设想为大陆块的向西漂流；第二组是以“极移”为特征的运动。大西洋东西两岸之间的协调关系确切指示了美洲的西移；这种关系就给了魏格纳发展其精心设想的理论一个最初的基础。极移问题在克莱希告尔和泰勒早期论文中已讨论过，但如果不是由于魏格纳的苦心钻研的话，可能不会引起这样广泛的注意。

关于这些大陆运动的起因，魏格纳博士主张，大陆块的重心在地球上任意一点都比浮力中心位于较高的水平。由于这些力的中心所在的平面，除在两极和赤道外，彼此之间都成一个小的交角，就形成一个小的合力迫使大陆块趋向赤道。但在两极和赤道合力为零。

关于大陆的向西漂流，魏格纳似乎认为是可能由于潮汐拉力或更可能由于极移和地球自转的联合作用，就象贸易风发展中所表现的那样。如果我们承认极移是个事实，则很难否认，其有关的向西运动。可惜魏格纳的寓言似的建议太简略，使我们无法深刻理解它所包含的结论。

在魏格纳的理论中，我们遇到的基本困难并不是有关大陆运动的方向，而是其动力基础。魏格纳提出的力是否足以支配漂流理论中假定的大陆那么广泛的运动？如果那些力曾是大陆变形或变貌的原因，那么我们是否可以设想从古至今的岩层的不断变形？但地质历史清楚地显示，造山力的表现肯定是周期性的。因而我们似乎应该去寻找证明极移现象的另外力源。

在魏格纳理论中最有争议之点可能是其无条件要求大范围的地极漂移。这个争论的问题Leo A. 柯通曾很好地并深入地讨论过，他似乎倾向认为地球内部的组成和性质的状况好象“在持续应力下表现为高粘性的固体。”既使承认这个假设，在我们对其动力作用的性质得到任何概念之前，似乎仍然必须探求那样一个粘性固体的变形方式。这种探讨将明显的包括一些不可避免的重大假设，将使能用其它方式解释的问题的解决，受到延迟。在地球物理进一步发展以前，从地质的观点来考虑这问题似乎更保险些。无论地极如何移动以及移动到什么程度，其过程必由地球表层现有构造所记载。

诚然，世界很多重要地区还没有从地质角度彻底探查；但已有足够资料提供给我们有关大的地质建造的相继空间分布和穿过几个大陆的构造轴的协调性的一般图景。从舒克特的说明问题的古地理图可以看出，加拿大地盾和阿巴拉契亚与科底勒拉地向斜在古生代开

始时即已存在。就象徐士看到的一样,我们发现伊尔库茨克围场从同样古的时代就继续存在。以后在亚洲接着而来的各时代的建造带,总的来说,就是简单地围绕着这个亚洲大陆古老核心而排列。简言之,整个地球的较重要的表面特征,似乎曾以一定的次序和沿着肯定的方向发展。如果地球的旋转轴相对其整体,在地质时代中有任何程度的改变,我们是否可以预期从而引起的应力和应变的再分配,将会影响到其表面形象的改变,从而造成比我们今天见到的更不协调或更多样的构造特征的相互关系?这个简单的概括必然是很笼统的。但它将使我们在讨论地质历史上更强烈地壳运动的方向时更易于理解。

甚至各地质时代的气候变化现象也不须要求地极位置有任何显著的变动。事实上,可以定性的推论气候周期性变化可能是地球旋转速度变化的力学结果。既然这个问题不属于本文的范围,也就无须讨论它。

约里教授近来提出的理论更具有革命性,其严肃的论证给迄今尚未探索的领域投以新颖的希望。在检阅了从近代大地测量结果和分析地震波解释出的均衡作用的事实之后,约里象魏格纳那样,指出地壳包括两层:上层或大陆块大致为25至35公里厚的轻物质,如同只是漂浮在一个较密致的玄武岩成分的下层之上。这个具已知放射性物质含量的下层,形成海洋底并位于大陆块之下。如果假定那样一个高热下层是接近熔化状态,那么只需少量的潜热即可发展其流动性。这种热可以在大陆之下很容易地储存起来,因为大陆本身也含有足够数量的放射性物质去阻止下层发生的热的逸散。

从固体的玄武岩质下层开始,约里计算约25—35百万年就使不仅大陆之下,而且大洋底一定深度之下变成液态。潮汐力在这里发生作用。其结果是大陆被向西拉并改变其位置。接着是通过从海底的对流系统的冷却时期。地壳的体积收缩接着发生,在大陆上并将发生破碎或造山运动。

这样,约里给潮汐力以一种周期性表现的说明,而这方面正是魏格纳理论之不足。

这样,约里的理论似乎是无可争辩的。但当我们过细地研究了大陆的构造,我们又有些失望。诚然,在克底勒拉山的构造上,还有非洲大陆上的南北向大断裂上,我们有些证据说明美洲大陆的向西漂移。但是欧亚大陆又怎样?为什么在这些大陆上最显眼的山脉基本上呈东西向而其次是边缘弧?约里教授可能说这些山脉代表早期的地向斜,因此按照均衡补偿的原理,更容易受其下融熔岩浆的影响。但我们要进一步追问:为什么地向斜要在那儿?这样一个问题似乎并没有包括在约里的论题之中。再说,如果地壳经历的每一造山运动时期包含着大陆位置的彻底改变,那为什么,那样巨大的一些运动,没有在所有大陆上留下更多的象非洲大断裂谷或美洲大陆挤压边缘那样类型和规模的痕迹呢?

对于这些提问,和约里去找适当的答案似乎遇到了困难。然而我们没有任何理由低估,约里教授令人赞赏地提出的放射性因素在确定“地下世界”物理状态的重要性。

后来代表不同学派的人们提出了一些其他的理论。其基本概念似乎在这一方面或另一方面与J.霍尔、J. D. 德纳及J. 乐康特早期的建议相联系着。有些着重地向斜的扩展,从而引起下沉的内陆块向其边缘陆地的下冲。另外一些人相信海洋底分片沉没是主因,它引起“洋下扩展”和向大陆的“惰性块体”施加的侧向压力。这些理论各自都确实提供给我们对大地构造现象某些方面予以一定解释,并可能确实表现了一部分真理;但他们都没有能说明葛利普博士最近指出的那些重要事实。

理解了问题的复杂性,在进入地质讨论之前,即便是简略地考虑一下,地球在持

续性力的作用下可能的特性，似乎是必要的。这个课题的详细研究显然是地球物理学的范畴，因而在此不能承担。

首先让我们注意，当一个象地球这样的椭球体围绕其最短轴旋转时，直交于转轴的一个支配力必定作用于每个旋转因子，同时这些因子具有同等但方向相反的力使其由轴飞离。由旋转产生的这个力和拉普拉斯方程确定的重力势是控制地球形状的主要因素，是熟知的事实。两因素中，由于某些原因将在后面讨论的那个旋转因素，容易受变化使地球产生新的形状，一般地是当转速增加时更扁，转速减小时扁度就小。产生的扁率的量，部分是由于旋转力的改变，部分来自重力势的变化。接受这些原则没有多少困难。但当我们要确定地球体实际完成所需要的变形方法时却发生了很大困难。

假定地球作为整体是一个“均质、不可压缩的弹性球”，达尔文从第二级的协和变形推出了整个地球应力差分布的独特方式。根据这个有名的作者，一个恒量应力差表面地遍及两个极冠，它们从两极伸展到南、北纬的 $54^{\circ}44'$ ；从而向赤道方向，这表面上的应力差以余纬正弦的平方而增加。据计算在赤道的值是两极冠值的三倍。“在两极区，应力差当下降到回转椭球体时是减小的，然后又增加；而在赤道区当下降时它总是增加。极大值在中心，”据达尔文的意见，它刚好能支持千分之一扁率的过剩或缺，高于或低于这个对其旋转采取的平衡扁率，只有具铸黄铜的强度的物质组成的椭球才能适应。达尔文还进一步涉及到如果地球象克尔文从其潮汐研究中所指出的地球不是一个刚体时，其内部和外壳中应力差分布可能的变化。

另一类型的假设是，假定地球体除其最外层薄壳外是缺乏抵抗持续力的强度的。从这个假定，接着是认为地球内部必须总处于静水平衡，因为任何通过转速改变发生的扭应力，在这种情况下，将很容易被塑性调整所抵消。既然没有强度并不一定意味着没有刚度，这样一个塑性地球并不全然与天文学和地震学的要求不相容。

还可能有更多的假设。但这些相当极端类型的实例已足以说明地表变形的方式与其内部状态的密切联系。但正如从地质学和现代地震学所知道的，地球不是象达尔文所假定的那样是一个均质的弹性体，也不象是完全的塑性体。另一方面，我们至少可以确定地壳的最外层是一非均质的构造，并具有一定的刚度和强度，且几乎可以确定在地球的上壳和下壳间有一物理的不连续面。

在这样的情况下，对我们来说，知道内部相继水平面上应力和应变的详细状态，对于我们研究的问题的解决，并不是绝对必要的。只要由于转速变化而发生的地球形状的必要调整，没有立即被内部的塑性变形完全地接受，只要外壳未能以简单的弯曲完全调整成一个新的样子，那就可能：部分的调整将会由外壳本身中的切向运动所完成。确实，不是不可能的，假若地球是很刚性的，以至在重圈开始改变自己形状以前，这种调整可能大部由外壳来实现。据 F. D. 亚当和 L. V. 金的研究似乎组成地壳岩石的强度，随着深度的增加而增加到某一限度。因而一个给定的变形作用力，如作用在地壳的旋转力，在其最外层是最有力的。最重要的是，我们在大陆壳表层看到的很多薄而广阔的逆掩断层片和地层挤压而成的褶皱，似乎说明扭应力广泛分布，因而可拿这个证据来反对简单弯曲的理论，倘若它能说明整个地球表面的大的构造形迹的走向可归因于旋转力的作用的话。

接着我们要追问，如果地球整体形状的调整没有立即通过其内部变形而全部完成的话，旋转力的性质及其作用到地球表层的力学效果；并要探究为什么这一推断的效果符合于观

察到的或建立的事实。

为了简化这个力学问题，我们假定地球形状为一理想旋转椭球体，并暂仅考虑其表面很薄的一层。椭球体的轴剖面由图1椭圆代表， XX' 为长轴， YY' 代表短轴或旋转轴。当椭球体以角速度 ω 旋转时它处于平衡状态，则在其表面的给定点 $P(x, y)$ 的具有质量 m 的任意单元将获得一个离心力 F ，当与重力合成时将产生一个直交该点表面的合力。〔注1〕 F 由下式给定：

$$F = m\omega^2 x \quad (1)$$

现在让我们假定角速度增加到 $\omega + \delta\omega$ ，离心力增加到 $F + \delta F$ ，从(1)式我们得到

$$\delta F = m(2\omega + \delta\omega)\delta\omega x \quad (2)$$

把这个力的增量分解到法向分力 p 和切向分力 t 。 t 将沿从椭圆表面的 P 点所作切线 ST 方向作用。将容易看出 p

一部分被重力和 F 的合力抵消了，而大部分作为在 P 点的单元重量的减轻。但切向分力 t 将趋向于把该单元拉向低纬度。让我们再来计算这个力的大小：

从(2)我们得到

$$t = m(2\omega + \delta\omega)\delta\omega x \cos \angle STO$$

或

$$= m(2\omega + \delta\omega)\delta\omega x \cos \theta \quad (3)$$

用最简单的方程式代表椭圆

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

我们得到

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \cdot \frac{x}{\sqrt{a^2 - x^2}} \right)$$

因此

$$t = m(2\omega + \delta\omega)\delta\omega x \cos \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \cdot \frac{x}{\sqrt{a^2 - x^2}} \right) \right\} \quad (4)$$

给角速度以一定量的增量，切向力明显的是依 θ 而变的变量。

当

$$\theta = 0$$

$$x = 0$$

$$\text{则 } t = 0$$

而当

$$\theta = \frac{\pi}{2}$$

$$\cos \theta = 0$$

$$\text{则 } t = 0$$

这就意味着切向应力在两极和赤道消失了。但在壳层引起的应力则是另一回事。没有切向力并不意味着没有应力和应变，因为壳层必须作为一个整体考虑。极堪注意的另一事实是，这个力的大小的增加较之角速度的增加更快，而且在密度没有显著变化的带中，这个力在最上层最强，也就是说在一给定纬度大陆壳的最上层中最强。再者，只要角速度继续

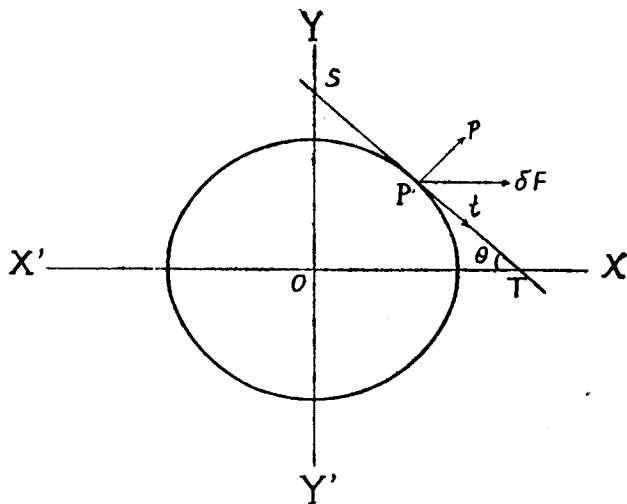


图 1

增加, 并且地球作为一个整体还没有变形到相当的形状, 其量值就有限度。

现在让我们找出切向力在最外层达到最大值的位置。从(4)我们得到,

$$\begin{aligned} \frac{dt}{dx} &= m(2\omega + \delta\omega) \delta\omega \left\{ \cos(\tan^{-1} \frac{b}{a} \frac{x}{\sqrt{a^2 - x^2}}) - x \sin(\tan^{-1} \frac{b}{a} \frac{x}{\sqrt{a^2 - x^2}}) \right. \\ &\quad \cdot \frac{a^2(a^2 - x^2)}{a^4 + x^2(b^2 - a^2)} \cdot \frac{b}{(a^2 - x^2)^{\frac{3}{2}}} \left. \right\} \\ &= m(2\omega + \delta\omega) \delta\omega \left\{ \frac{a^2(a^2 - x^2)}{a^4 + x^2(b^2 - a^2)} \right\}^{\frac{1}{2}} \\ &\quad \cdot \left\{ 1 - \frac{a^2 b^2 x^2}{(a^2 - x^2)[a^4 + x^2(b^2 - a^2)]} \right\} \end{aligned}$$

当 $a > x$, $a^2(a^2 - x^2)$ 不为0, 所以我们要找最大值必须使

$$1 - \frac{a^2 b^2 x^2}{(a^2 - x^2)[a^4 + x^2(b^2 - a^2)]} = 0$$

解这个方程我们得到

$$x^2 = \frac{a^2(a \pm b)}{a^2 - b^2}$$

或

$$x = a \sqrt{\frac{a}{a+b}} \quad (5)$$

由方程(5)很容易看出, 当旋转体是个理想的球时最大切应力将出现于 45° 纬度。但在象地球这样一个椭球体时, 则最大值的位置稍有不同。设 λ 是切应力获得极大值的纬度, 并若取 A.R. 克拉克的地球长、短轴的值,

即

$$a = 20926202 \text{ 呎}$$

$$b = 20854865 \text{ 呎}$$

将会看到

$$\begin{aligned} \tan \lambda &= \frac{b^{\frac{1}{2}}}{a^{\frac{1}{2}}} \\ \lambda &= 44^\circ 51' 40'' \end{aligned}$$

最大切应力在现今地球椭球体的最上层的位置, 较之真正圆球的位置仅向赤道移了 $8' 20''$ 。这样的量值实际上是可以忽略不计的。

这个一般的结果可使我们得到大陆壳上层主应力性质和分布的一些概念。既然构成地球外层的物质, 整体上被水平力推向赤道, 这个力的量从两极下至南、北 45° 度纬度不断增加, 然后从这个位置向赤道又减小, 切向应力在两极为零, 在高纬度将发展张力, 而在低纬度则为挤压。最大剪切力位于中纬度。而当理想状态下, 我们可以期望在 45° 附近分布着最强烈的差异运动。

但是应力的真实分布是一个远为复杂的问题。如已讨论的, 解决整个力学问题, 不仅需要确定通过转速改变地球内部可以变形的程度, 而且还须确定地壳的真实厚度及其各组的强度。

幸运的是, 我们知道很可能地球内部在一定的深度上仍具有相当的刚性, 并且大陆壳的厚度不超过地球直径的二分之一。很多逆掩断层片给我们提供了确切的证据, 在一个

造山运动中我们所处理的与地球直径相比仅是最外的表层^[注2]。在心目中有了这些和其它它可以承认的材料,就可以似乎有依据的认为,作为有一定强度的固体物质薄层铺在地球的一部分上,其位置是由其下的高粘度的固体岩浆固定的。由于产生于旋转变化的切向力,在每一块大陆壳中,取决于其广度和纬度位置,我们必须提供在大型陆块和较小陆块间,以及在那些广泛分布于极区的和那些或与极区完全分离或与极区几乎不连的陆块之间的不同的表现情况。因为,这是容易理解的,在极区推力几乎为零,当只要其抗拉强度够大或大陆与其下层粘结够紧,就能坚定的站住,而那些与极区不连的就较容易地被推向赤道方向。

沿着这个思路,我们可以预见到陆块的真正运动可采取两种方式:它或者是整体向赤道蠕动,或者是大陆不同部位的差异运动。在后一情况下,在高纬度大陆块可以被拉开一定的量。伴随一定量的离极漂移,必将在大陆本身产生东西向的山脉。既然在纬度 45° 附近是切向应力达到极大值的带,发生的山脉将在这个位置或稍偏离的地带延展,如果大小相等但相反的力在相对的半球发育的话;或换言之,如果相反半球的表面,有一个对称的相等质量的大陆块存在的话。假若相对半球上没有大陆或者在同一纬度上仅有一个小陆块粘连在一个大陆块上,山脉发生地点将离 45° 较远。即它们较之理想情况的位置将趋近或离开赤道。

这样,似乎在连续伸展于南、北半球的大的陆块上,由于切向应力作用的结果,产生大致平行于赤道伸展的长条山脉将是一个必然的结果。至于较小的陆块,尤其是那些没有与极区相连,在赤道一侧又没有阻碍地块,则会以一整体运动调整自己到新的位置,因而东西向的造山隆起将在很大程度上被抵偿了。

到目前为止,我们仅考虑了大陆运动的趋势。只要地球转速一增加,大洋体很容易屈服,并马上冲向赤道。这将在低纬度产生一个海面上升运动,而在高纬度产生一个海面下降运动。也就是洋面形状变得更扁。事物的这种状态继续着。更多的海洋体移向赤道,更大的应力在大陆上发育,直到最后,或者大陆块在破坏应力下开始屈服或者大陆与壳下层之间的粘结开始解体。大陆的预期运动将在应力聚集的冲动下发生。

随着大陆的真实运动,应该清楚地想着这样的事实,即构成重圈最上层的壳下层是非常粘性的,大陆是有些弹性的固体,好象是漂浮在壳下层之上。假若均衡说能够作为一个事实被接受,事实上完全有理由这样作,似乎也不大可能否认这些事实。

现在考虑大陆实际运动所产生的作用。既然那些由西向东漂移的大陆的那些部分,在高纬度上以较低的速度向着赤道移动,它们将趋于抵抗其下急速运动的重圈。重圈由西向东移,挨着的陆地以较低的速度也由西向东移。由于前者竭力带着后者走,而后者趋于抵抗,一个强烈的冲突必在大陆的西缘发生,不可避免的结果是大陆部分的变形,或生成地向斜或形成广阔的山脉。这可能是一般的结果。但是不同的情况下可能导向不同的力学结果。例如,大而滑动慢的大陆,以其广阔和不规则的底面粘在重圈上,通过现有地向斜和对应山脉体固紧,在缓慢运动过程中,将部分地获得必要的角速度,并部分地充当使重圈活动慢下来的煞车作用。在这种情况下,应变将沿着大陆已有变形地带分布,而沿西部边缘就不会遇到活动。另一方面,孤立的大陆——孤立的意思在于在赤道一边没有陆块阻止其前进,也没有极地陆块在后边拉它——只要地球旋转继续加速,就会向赤道继续推进。如果大陆是小块的,并且重圈速度变化缓慢而且是逐步的话,它们将很快的获得重圈的速

度而不引起什么构造运动。

不管大陆经受什么样的变化，其最后效果都是暂时的减慢地球的转速。所以我们可以设想当地球的转速增加超过一定极限时，所有大陆块都作为巨大的煞车而自动的出来制动。

这些只是理论的推导。如果我们承认地球增加自己的转速这一假设，似乎我们就不得不承认这个必然的结果。问题就发生了：我们是否真能在地球表面找到这些过程。我们没有足够的材料来鉴定现在的情况，但我们有历史的精确记录。

让我们立即转向中第三纪运动，它被一再证明是具有世界意义的造山幕。今日陆块的形象很大程度上取决于这次强烈运动，我们可以无疑问的作为一个事实来接受。

检阅所有的构造事实，将超出本文的范围；我们将只能满足于一些变动最厉害的区域有较大构造线的简单讨论。在欧洲大陆上，有比利牛斯、阿尔卑斯、喀尔巴阡和高加索这些高峻山脉，通常走向东西，在其南侧伴随着较小的山脉，从非洲的西北角经过西西里、希腊群岛和小亚细亚而延伸。这些平行山脉以及夹于其间的山脉，虽然基本上是阿尔卑斯升起产生的，但它们各自发生的时间可能略有不同；这些山脉的局部构造可以不同，但整体上看，它们构成一个扇形的楔，或柯伯博士的所谓“乌拉根”，其北翼向北逆掩，南翼向南逆掩。但必须注意的是，向北的逆掩远较重要，乌拉根是不对称的，它倾斜并向北伸展很远。就是这种特征现象，使得徐士在其他欧洲地质学家之中，相信引起阿尔卑斯运动的压力是从南边来的。这个假设有部分是正确的，这点我将在后边试图说明；但是我们决不能忽视这样一个事实，如果有一个逆掩，必定同时有一个下冲，虽然它甚至并不影响下冲块的绝对位移，它必定提供了很大的反作用力以使逆掩力能起作用。在这种情况下，这一反作用力是从整个欧洲大陆于中第三纪时向南推的趋势导来的。重要的事实是，在阿尔卑斯、喀尔巴阡山等带上曾有一强烈的运动，它们大致位于纬度 45° ，据我们的简单计算，应该是最大变动的地区。

转向非洲大陆，在很大程度上是欧洲大陆块的对应部分，我们发现整个大陆无一处伸到了纬度 45° 。而且有关这一广大地区的可靠地质资料，还是很充分的。然而有足够的证据说明，在开普省的卡鲁后的运动一般是指向北的，以至认定属于早白垩纪的幽屯黑格层也按着同样的方向受到变动。据奥斯瓦尔德和他的同事们在尼安萨维多利亚湖东岸的观察，一火山岩流直接下伏着含化石的中新世地层。前者大致与格利哥里定的赖基皮安玄武岩同时期，而后者的沉积显然是随着断裂谷的发育。因而很明显，中第三纪运动也影响了非洲大陆。虽然我们在南非没有中第三纪倒转褶皱和逆掩断层的实例，似乎也没有理由去假定其运动方向与早期者明显的不同。另一方面，有间接证据，仍然令人信服地证明，非洲大陆整体上或者至少其南部，在中第三纪时曾向北推动过。

从非洲大陆大部分位于赤道带上或挤压带上这个事实出发，可以预期其变形类型不成造山褶皱，而是作为相对的两半球相互挤压的结果，赤道带升起成高原，而这正是非洲的主要特征。更进一步，据确定泊松比中包含的原理，当对一固体在一定方向施加压力的话，则在直交于挤压力的方向产生张应力。那么，如果非洲陆块，或者至少其赤道带，一方面受到由南向北推，另一方面受到欧洲的抵抗，它将受到纵向挤压，因而同时必定受到东西方向的张力。如若这个张应力超过了它的破裂强度，其结果将产生南北向的裂缝。这正是在东非实际发生的，在那儿我们看到大断裂谷伸长超过了 52° 纬度的距离，并据格利哥里教授的材料，在赤道区发育最好。考虑到欧非大陆作用力的大小，并考虑到非洲大陆高度挤压的性质，似乎不必要去设想那些裂缝发育的什么地球以外的原因。非洲大陆在东西方

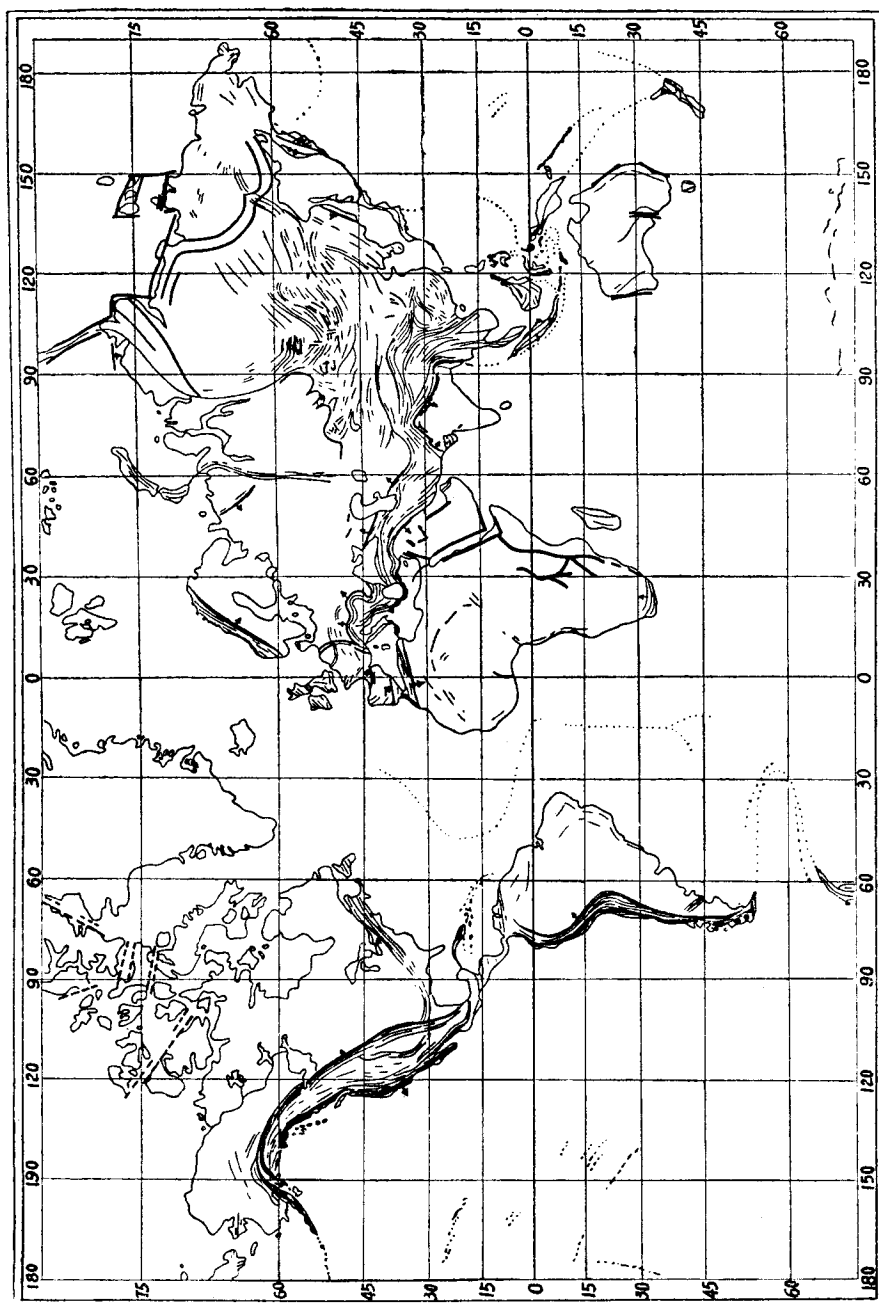


图 2 按莫卡托投影划的一张具有主要表面特征的世界图

细线，褶曲；粗线，断裂（很粗线，断裂谷；中粗线，冲断层及正断层）；断线：可能褶曲及断裂，箭头表示逆掩断层或广阔的倒转褶皱的方向

向上的伸展可由海岸褶皱的发育所确证。

这样就可以看出,阿尔卑斯—喀尔巴阡—高加索山脉如何由欧非大陆从南北两方挤压而成。由高加索山脉向东南东追索,我们可以看出,这些近于东西的山脉还继续延长了很远:它们在波斯和俾路支北部总称为伊朗山脉。更东在西藏高原之北连接着天山或昆仑山,但主要的山脉沿藏南伸展而成喜马拉雅弧。接着出现的是中国西南部的南北向山脉。更东重新出现为华南的南岭山脉。

跟着这些大致东西向的山脉到南亚,必然要发生这样的问题:如果它们是同样原因产生的话,为什么它们没有象欧洲的阿尔卑斯山那样沿纬度 45° 发育?这个和正常情况相比的差异,当我们考虑到在低纬度缺乏陆地,在南半球完全没有相平衡的大陆时,马上就会明白了。事实上我们可以看到,在印度洋岸向北缩时伊朗山脉即弯向南,而喜马拉雅弧几乎正好位于同一纬度上,但与东印度弓形的海岸线恰好相反。这些山脉与亚洲大陆南海岸线之间的这种特殊关系似乎不好解释,除非是依据这样的理由,即大陆越向南伸展,对北陆块冲击的抵抗就越大。

同样,可以说比利牛斯和阿特拉斯带较其位置向南弯,因为从欧洲,即莱茵地堑的经线以西的欧洲那部分来的压力,仅是被西北部的隆起块所阻,其南端甚至还没有达到赤道;而在阿尔卑斯和喀尔巴阡的经度上,非洲陆块的凸角,在其现代的伸展上,超过了南纬 34° 。

另一组重要特征是,沿着或平行大陆边缘连续排列的山脉。这些山脉或与其相当的地向斜,宏伟地发育于北美和东亚。与这关连的格外有兴趣的现象是沿着北美东缘有阿巴拉契亚地向斜;同样,在东亚的东边有一个新地向斜,现在被鄂霍茨克海、日本海和中国海所淹没。

这些边缘地向斜和地背斜的发育,给我们提供了亚洲大陆和北美大陆向南运动的另一个证据。为什么?北美是,而且显然一直是,一个顶角指向赤道的大致三角形陆块。东亚也呈现类似的边缘。当这一个相当薄和有些柔软的三角楔,从北推入低纬度时,其下部沉入壳下层,将不可避免地引起直交于其侧边的静压力(图3)。这将引起其轴向平行于其侧边的狭长的山脊和槽子^[注3]。如果象一些作者所坚持的那样,对这种大陆的变形的压力

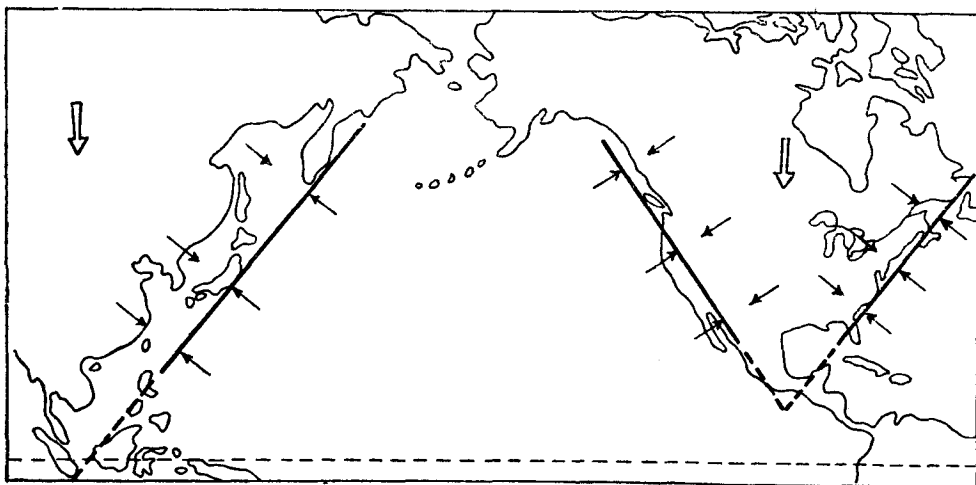


图3 说明北美和东亚边缘变形原因的图解

全来自海洋底是真实的话，那么我们将应该在沿极区海岸找到大致相似的褶皱山脉。但事实显然是相反的〔注4〕。

然而有一些有关边缘山脉更重要的事实需要一个说明。在美洲，科迪勒拉显然比阿巴拉契亚大得多；在南亚，其半岛的西海岸主要是高山。我们还不能确定区域变动对印度半岛西高次山脉的形成起了怎样的作用，但是我们可以肯定东南亚的高山是构造成因的。它们包括缅甸和马来亚半岛的南北向山脉。苏门答腊和巽他群岛上巍峨的山脉也属于这一组。但在那里，由于赤道两侧的挤压，被迫改变它们的方向。因为我们有理由假定，这些山脉的成因与美洲大陆的科迪勒拉相似，它们可以放在一块处理。

美洲大陆不同于东半球的最显著差别是，没有东西方向的阿尔卑斯或喜马拉雅山脉。而有南北向巍峨的科迪勒拉山沿着其西边延伸。这就发生了一个问题：如果世界大陆的变形是由于同一的原因的话，那为什么在一种情况下隆起东西向山脉，而在另一种情况下是南北向山脉？这在我们的理论推导中已暗示出来了。

因为缺乏南美构造方面可靠的材料，我们将在我们的讨论中放弃这个大陆。至于北美大陆，虽然它没有欧亚型的阿尔卑斯山脉，我们也不应忘记在北边有一个大型褶皱穹窿，加拿大地盾，这个事实。很有意义的事实是这个穹窿具有一个东西向的轴。如葛利普教授讲的：“把美洲作为一个整体看，可以得到这样的印象，即除穹窿之外，有一个中心部分的拱起，这个拱起大致成东西向，其轴在大湖地区。”我要提醒的是它大致沿纬度 45° 延伸。这说明，在过去的地质时代，在相当阿尔卑斯的位置发生过一些情况。它可能从古生代起即已存在，并可能被中第三纪的造山变动所加强。但，这还不是发生的事情的全部。

与欧亚大陆相比，北美是一个小得多的大陆，也没有与极区广泛的相连，在南半球也没有一个大陆与其平衡。作为地球转速增加的结果，而使大陆向赤道方向推动时，则作整体移动比不同部位中的差异运动更容易。假若这种移动确实发生过，它将没有在其下的重圈或壳下层同样的速度。因此，重圈将影响大陆加快其速度，或者大陆将以其惯性使重圈速度减慢。不可避免地要发生遭遇，沿其西缘力最强。其结果是科迪勒拉和类似山脉的升起。我们现在可以看出，为什么科迪勒拉比阿巴拉契亚大得多，为什么挤压山脉褶皱发生于东南亚的西缘。

因而可以概括为大陆西缘的褶皱是大陆制动的直接结果。但这个概括是否受到欧非大陆西岸的事实明显反对？回答是很肯定的。在这一点上，我们的理论似乎首先暴露了它的弱点，但稍一考虑就会看出，正是由于这个严峻的考验，促使我们在这个理论中去发现一致的说明，而在那种例如建立在潮汐拉力上的理论中是找不到的。

正如已经讨论过的，欧非大陆作为一个整体，是我们发现的唯一的盖过南、北半球，连续的、大致均衡分布的大陆壳，如果我们略去地中海槽不计的话。当这个壳的对应部分挤压在一起时，很多的能量要消耗在侧向扩展或垂直的隆起上。大陆作为一个块的真实位移，将限于造山带缩短的空间和侧向伸展的程度。所以作为科迪勒拉型山脉升起原因的速度差将是比较有限的。大陆的下表面也必须考虑。基于均衡补偿原理，我们可容易地看出美洲大陆的下表面较之欧亚者在形态上简单得多，在欧亚有很多地向斜和山脉，必然有其对应部分插到壳下层中。这种不规则的凸出部分对剩余动能的传递将是一个有用的机械装置。任何时候重圈和大陆壳差异地旋转时，它们将首先经受到；没有什么特殊的情况进一步发生在大陆的西缘。

按这些考虑,再进一步,我们还可以发现阿尔卑斯和喀尔巴阡山脉弧形的动力原因,阿平宁和狄那里克褶皱和冲断等的特殊排列。整个问题是有广泛兴趣的。可惜篇幅不允许进一步的讨论。总之结果相当清楚,没有理由期望欧非大陆西缘有高大的山脉。

澳洲的情况,以及可能比较不那么显著的马达加斯加,则刚好相反。虽然在澳洲没有真正象科迪勒拉那样的山脉,其强烈变动的区域在东部而不在西部。理由很清楚。澳洲是一个更小的陆地,而且几乎完全孤立。当它被向北移动时,它很容易获得必要的速度,其不可避免的结果是产生一定数量的构造变动。当它与其下复重圈以同样速度跑的时候,突然到了一个时刻,其它大陆的制动作用发生了效用。重圈慢下来了,但澳洲以其高速度继续滑过。因此强烈的遭遇将发生在其东部。这将说明这个大陆的中第三纪运动的主幕应该稍晚于较大的陆地上的运动极盛期的推论。这个推论的一个明显的证实,是在可能属上新世的所谓考秀斯科运动,它至少曾影响到澳大利亚东南部;最近 P. 马歇尔也说,在新西兰最强烈的第三纪运动发生在上新世。

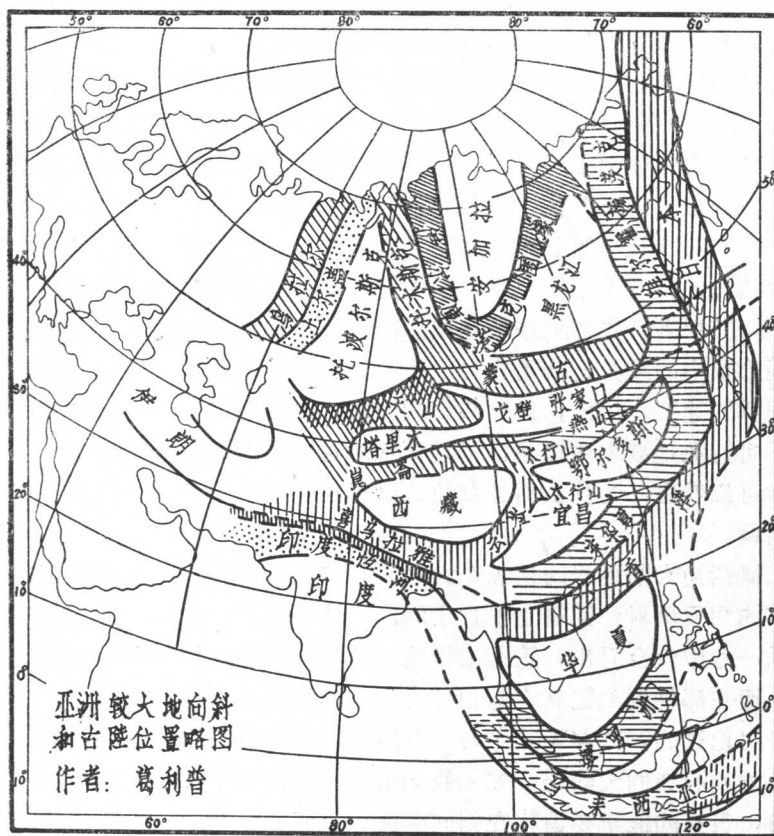


图 4 亚洲的地向斜

褶皱的大致时期: 向右的细斜线: 志留纪末期 (伊尔库茨克围缘); 向左的细斜线: 泥盆纪末 (天山的一部分); 向右的粗斜线: 二叠纪末 (乌拉尔、托木斯克、蒙古、天山、昆仑山、南山、秦岭); 水平线: 侏罗纪末或早期白垩纪 (东华夏、维尔霍扬斯克、燕山、婆罗洲); 白垩纪末 (马来亚); 粗垂线: 渐新世末 (喜马拉雅、云岭、香港——日本其中一些中新世重新活动); 垂直断线: 中新世后? (东马来亚); 细垂线: 上新世 (西瓦里克); 点区示无褶皱 (印度—恒河、土尔盖); 空白: 时代未定 (戈壁、伊朗); (转引自葛利普《中国地层》, 2卷, 296页, 图511)

看来第三纪山岳志提供的事实似乎基本上符合于我们的理论预想。

在欧亚大陆上有些更明显的构造特征值得我们注意。除边缘弧和纬向带外，在大陆北部还发育了一系列不同时代的经向褶皱。这些包括乌拉尔、托姆斯克、伊尔库茨克地向斜。要说明这些褶皱带的成因，我们只需考虑在欧亚大梁上应力分布的性质，其负荷是由其自身质量导出的力。这个梁在欧洲一端由非洲陆块所支；在亚洲一端由构成东印度群岛西组陆棚的沉没陆块在一定程度上支持着。除印度小陆块外，其中央部分没有陆块支持。当负荷起作用时，梁将向赤道弯曲，在其下部也就是南部发育着东西向张应力，在其上部即北部发育着东西向压应力。中性面明显的位于纬度 50° 附近。我们有长的东西向山脉说明这样的弯曲确实发生过，特别是伊朗山脉（图2），因之在北边必然产生南北向褶皱。在这方面，可以直接注意葛利普博士最近主要根据古生物材料编制的亚洲构造图（图4）。这个图不仅显示了由于弯曲产生的经向褶皱的分布，而且对亚洲大陆向南运动给以新的启发。因为如果造山挤压是从印度洋产生的，我们就会看到地向斜和地背斜由南向北相继迁移；但一般的实际顺序恰恰相反。在这一方面，亚洲大陆不仅给我们提供了在近期造山作用而且在地质古代的运动性质的进一步证据。

关于伴随亚洲弯曲的张应力的证据，我们可以转向围绕红海和波斯湾的那些断裂。“德干暗色岩”喷出的那些大裂隙可能属于同一范畴。沿红海和波斯湾的裂缝的方向并不正

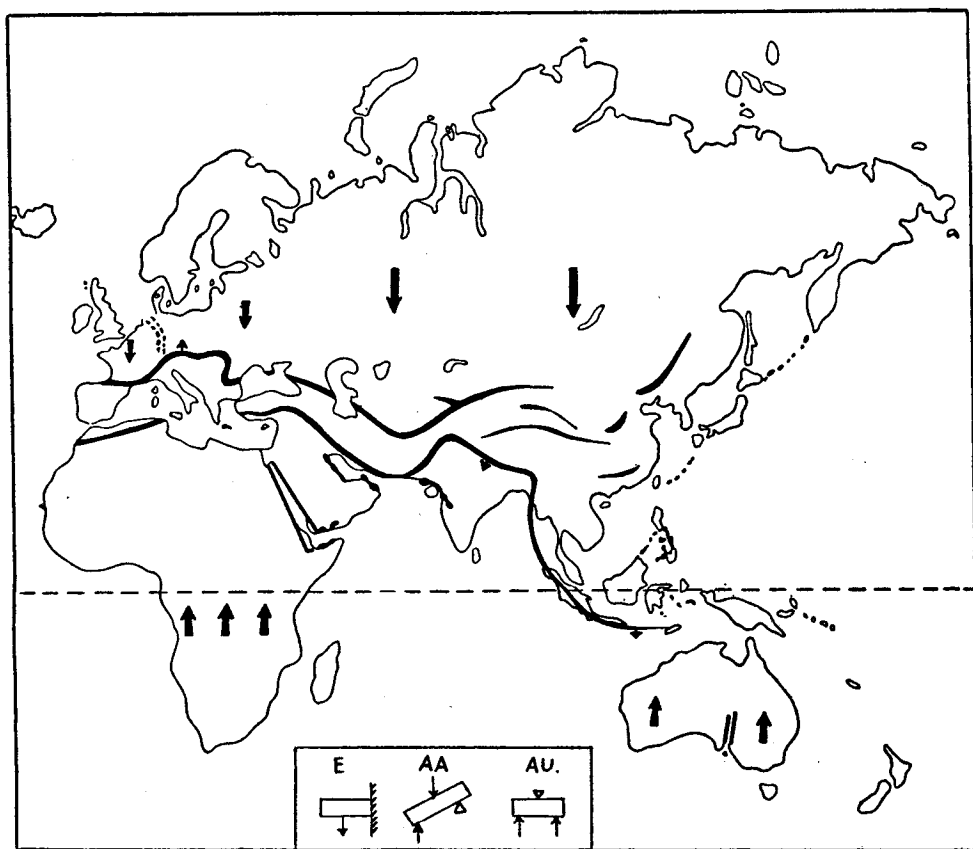


图5 东半球简图：示大陆块施力的方向和一些较晚地质时代产生的重要变位。插图是一个图解，说明鉴定平行线指示的断裂的原理。E，欧洲；AA，非洲——亚洲；AU，澳洲

好是经向，而是斜向西北，即向地中海方向，这一事实，可能曾有一次要原因：确实，欧非大陆基本上是一个连续单位。但是，我们不能忘记这个事实，即有一陆间地向斜——地中海槽——存在，它在过去地质时代很长时期内必定相当的深。这个凹地，这个陆块上的缺陷，自然要减弱西南亚和东北非的构造，因而当张应力在东西方向上发育时，必将产生破裂。

进一步，如果南非大裂谷的发育是由于如前面讨论的纵向挤压的结果，那么，跟着的必然是，南非在挤压前较现今位置向南伸展一定的距离。这就表示这样的可能性，即位于东经 10° 以东的非洲那一部分作用的切向应力的合力可能指向北。这样我们可以考虑，由于地中海凹地的存在，亚非大陆作为另一个梁，它在亚洲一端被印度地块和东印度群岛沉陆所支持，在其中部有一向南的载荷，而在非洲一端有一向北的载荷。当载荷超过某一极限，将会有裂隙横过其薄弱部分发育，它显然是位于外阿拉伯的部分。

按同一原理论，我们可以预期横过欧洲脊梁找到一些大的经向裂缝，如果它通过自身质量产生的载荷指向南的话。这样的破裂在莱茵地堑和沿莱茵地块的东缘确实找到了。从莱茵河谷更向下，它们作为一束断裂出现^[注5]。至于莱茵毛拉式槽是否由同一原因形成尚不能肯定。第四个实例是由澳大利亚梁提供的。在那里，陆块在东西两端都扩大而中部收缩。此外，中部在一定程度上被新几内亚赤道岩块和浅的阿拉弗拉海底支持着，这个浅海至少从中生代以来似乎不是真正海洋盆地的一部分。当昆士兰、新南威尔士以及西澳大利亚向北的载荷对梁发生作用时，梁将向南弯。结果熟知的南澳大利亚大裂谷产生了。据说这个裂缝从斯潘塞湾直伸到埃尔湖区。有意义的事实是它成经向，并位于大陆南部。所有这些情况都证明作用力的性质。

看遥远的过去，我们的问题的一些不同方面引起我们的注意。因此需要不同的攻研方法。在进入讨论之前，应该明确在任一广阔的古地理变迁中至少包括四个重要因素：它们是壳下层、海洋、大陆和陆缘海。由于其不同的物理特性和独特的分布，这些单元对地球转速改变的反映将有很不相同的状态。然而它们构成地球表面的主要部分，而且其表现是相关的。

为了我们现在的目的，我们可以把壳下层作为重圈的最上层考虑。重圈转速的任何变化，都将被壳下层，至少其下部，所分担。特别活动的海洋体，转速一开始增快，立即冲向赤道，从而造成一个较扁的表面，当地球转速一慢下来，即立刻撤退。但大陆则远为刚性，直到速度增加超过某一极限前，不会开始运动。当转速达到极大值时造山幕才开始表现。陆缘海一般趋于跟着海洋的运动，也就是当转速开始加快时或在主造山幕以前，陆缘海水趋于侵向赤道；当运动的主造山幕开始的过程或紧接之后，转速减小，陆缘海水从低纬度撤退，或侵向极区。但是陆缘海的实际运动还被海进时陆地表面的主要特征所限制。条件可能是这样，以致使边缘海水流向相反的方向。

还可能发生更复杂的情况，首先是来自地球整体的体积可能收缩的问题。当水圈的直径在这种情况下也要收缩时，海洋的体积将明显的扩张。海洋的显著扩展在不同的环境下对海岸线的运动可能产生很不同的效果：(a) 如果海底在收缩时平均加深到一种能容纳多余海水的程度，则在整个地球表面将不会有明显的海水运动。(b) 如果在另一方面，海洋的平均深度基本上保持不变，海洋体的不可避免的横向扩张，将必然要向低洼的大陆区去找出路，不管它们是向极区或者赤道方面倾斜。(c) 还可能第三种情况。如果大陆表面较海底更容易变形，则可能陆地面积收缩，并平均海拔升高。其结果将是普遍的负向海