

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

# 山崩地裂海神啸

—地壳运动的故事



## 怎样知晓大地的运动现象

### 从一个民俗谈起

在我国江浙的一些偏僻地区，过去有许多古老的风俗习惯，其中之一就是庆祝地藏王生日的民间活动。

农历七月三十日夜晩，家家户户沿自己住宅的外围，除了点燃一双红色的蜡烛以外，还用无数支香火沿着墙脚、门前、屋后成行成排地安插在地面上。特别是光线幽暗的小巷里，被这密密麻麻的香火“布阵”以后，“火龙”滚地的壮观景象，足以称奇。人们不禁要问：这般的为地藏王生日而举办的庆祝盛典，到底是怎么回事？当地人如是说：

“传说，我们生活的土地，是靠地藏王菩萨的两只肩膀担负着才能稳定，人们才能平安地生活。但是，地藏王担负大地，也就像我们的农民挑担一样，时间长了，就要换肩，以便让另一肩休息一会儿。这换肩的一瞬间，使得大地会震动起来；如果转得猛一些，震荡得厉害些，大山也会摇动，发出轰鸣的响声；更厉害一些，房屋就会倒塌，出现灾害！”

“所以，每逢七月三十日夜晩，家家户户点燃香火庆祝地藏王生日，目的就是希望地藏王换肩时尽量放慢速度，转动得小一些，避免出现山摇地动，房屋倒塌的灾害。”

随着科学知识的普及，人们逐渐了解了所谓地藏王换肩，就是发生地震，这决不是因为人们用庆祝地藏王生日的办法所能幸免的。地震是有规律可循的，世界上发生地震的范围，也只是在一定的区域之内，甚至哪里有大地震，哪里只会发生小地震等等，都有科学道理可以追索，不必杞人忧天。

地震是地壳运动的一种表现方式，如果从严格的地壳运动的定义来说，全世界每天、每时、每刻都在动，只不过人类迟钝的感觉器官不容易觉察罢了。

### 地壳运动的原因

19世纪时，人们对地球内部的结构还不清楚，只认为地球的形成是由一团密集星云物质凝结而成，这块炽热的天体逐渐降温冷却，外表的部分先冷，并凝结起硬壳，即地壳。当再冷却时，地壳就发生收缩，正好像越冬储藏的苹果，其表面会出现皱纹。当皱纹发生时，会产生收缩力，使地壳产生运动。地壳表面的皱纹，比如山脉，不平坦的地貌等，它们就是地壳冷却收缩的结果，收缩力就是地壳运动。因为地球一直要冷下去，地壳运动也就不断地发生。但这一假说，未能得到地球内部结构的证实。

后来，地球物理学家从地震波得到启示，它在地球内部传导的速度是不均匀的。这表明地球内部的结构是不同的，有层圈存在。其具体的特点，就好像一只鸡蛋，具有三个主要的层圈构造：相当于鸡蛋中心的蛋黄部分，称为地核，其半径约为3470公里；相当于蛋白的那一部分，称为地幔，其半径约有2500公里；最外面相当于蛋壳部分，称为地壳。其平均厚度为35公里，我国的西藏高原是全球地壳最厚的地方，有65公里；而深海的洋底，地壳最薄，仅5—8公里。

地壳由坚硬的岩石组成，也就是岩石圈。地幔是岩石的熔融体，这一层

含有许多放射性元素，能够释放出大量的热能，这些能量连同熔融体，为了调整其平衡，无时不向地壳冲击，地壳就会发生震动。特别是那些地壳比较薄弱的地区，例如深海沟，大断裂带上，震动就大些，也就成为地震的发源地。有时，地幔里的岩石熔融体也会沿着深海沟或大断裂的空隙突围而出，岩浆外溢，甚至造成火山喷发。即使不发生地震或火山喷发，能量冲击不大，地壳也会发生运动，比如说振荡运动——会使地壳发生此起彼伏的升降运动，即垂直运动。另一方面研究表明，地壳像许多木块一样拼接起来，各个块体像浮冰一样浮动在地幔之上，当地幔里的能量由位能转变为动能时，会使木块般的一部分地壳像浮冰似的漂移，甚至相互碰撞，这就是地壳的水平运动。不管是升降的垂直运动或是水平运动，我们总称之为地壳运动。地幔冲击地壳的活动，是地壳运动的主因，也就是内因。

影响地壳运动，还有一个外因。因为地球是宇宙空间的一个天体，和其他的九大行星、卫星及其他天体一样，有相互吸引的巨大力量，处于平衡状态。一旦某个天体发生爆炸，比如太阳的大耀斑、超巨星的爆炸，发出的能量足以使天体之间的引力失去平衡，地壳的表面也会出现振动，于是也会成为地壳运动的外来因素。由此可见，地壳运动是上述的内因和外因相互作用的结果。

在地壳运动中，地震与火山喷发是人们最容易感受到的，因为这是短时期内的突发性事件。如果把一些非突发性的、人们一时难以觉察出来的地壳运动方式放到漫长的地质历史（往往以百万年为一个时间单位来计算）时期去考察，与人类短促的生命比较，自然就不容易感受到了。

总之，地壳运动的方式，基本上分为两类。一类是不太剧烈的，地质学家称之为造陆运动，表现为海陆的大规模升降运动，或者说是垂直运动、振荡运动，出现大规模的海水向大陆侵进，即所谓海浸；或者原来浸淹大陆的海水向海洋撤退，使这块被淹的大陆重新暴露于海面之上，即所谓海退。另一类是剧烈的地壳运动，表现为岩层发生褶皱、断裂，甚至伴有地震、火山喷发、岩浆的流溢与侵入，地物的位置出现水平方向的位移，称之为造山运动。不管那一类地壳运动，在漫长的地质历史过程中，对地球上的各种自然环境、自然现象的改变，都会产生举足轻重的影响。

### 古代学者对地壳运动的关注

人们对地壳运动的认识，是从造陆运动开始的，特别是居住在海边的人，海平面的进退变化，很容易联想到地壳在运动。

公元前几百年间，地中海沿岸各国是比较发达的国家，住在那里的一些学者见到许多海生贝类的壳体埋藏在平原之下，甚至在山上的岩层里这一异常现象，提出了猜想：海水曾一度淹进到平原，甚至水位升高到山上。后来，海面下降，陆地相对上升，海生贝壳就遗留在陆上，甚至上了山，这就初步萌发了有关地壳的升降运动乃是造陆运动的基础思想。到了公元1世纪，古罗马时代的诗人，曾将这种地质现象用诗的形式生动地描述了造陆运动的景象，其中写道：

“我看到  
从前是牢固的陆地，  
现在变成汪洋。

我看到

从海底暴露出大陆——  
远离海岸的地方散布着贝壳，  
在那高山之巅发现古老的船锚。  
洪流奔腾澎湃，  
把往昔的平畴冲成山谷。

瞧吧！

巨浪正在把那高山移向海洋。”

这首诗的主题道出了“沧海桑田”的基本道理，无独有偶，我国古代学者也有过同样的见解。例如晋代葛洪（公元 284 ~ 363 年）在其《神仙传》中作过这样的描述：有一次，仙女麻姑与另一仙人王方平相遇，她说：“我已三次见到东海变为桑田。这次到蓬莱，海水比过去浅了一半，看来，东海又要变成陆地了”。王方平笑着回答说：“圣人都说海中又要扬起尘土了。”这就是“沧海桑田”这句成语典故的由来。当然，这是神话故事，不足以作为科学见解的凭据，但是任何神话都是用想象和借助想象以征服自然力、支配自然力，把自然力加以形象化。

如果回到现实科学意义上来，我国唐宋时期的一些学者也作过海陆变迁情况解释的尝试。例如唐代著名的书法家颜真卿（公元 709 ~ 785 年）曾写过一篇《抚州南城县麻姑山仙坛记》，文中提到：江西“南城县有麻姑山，顶有坛，相传麻姑于此得道。……东北有石崇观，高山中犹有螺蚌壳，或以为桑田所变。”他将高山上发现螺蚌壳（化石），联系到“沧海桑田”的变化，在古代地质科学尚未建立的时候，有如此见解，实属难得。

又如，北宋时著名学者沈括（公元 1031 ~ 1095 年），在他的名著《梦溪笔谈》中提及他在担任河北西路察访使兼判军器监时，曾到河北一带巡视，沿着太行山向北的大道上前进，发现山崖间的石头里衔有螺蚌壳化石。沈括认为太行山东麓曾是海滨边岸的所在，如卵般的石子是当年海滨遗留下来的沉积物，而石头里的螺蚌壳也正是过去滨海地带生活的贝类在死亡以后，留下的壳体遗骸。

沈括由此推想到华北平原的形成过程，他说：“所谓大陆，都是由泥沙堆积而成的。相传尧杀死鯀的羽山，原是在东海中（按地理位置，应该是黄海，不是东海——作者），而现在的羽山，已经到平原（在今江苏省东海县境内）上来了。”他还对同行者再进一步阐述：黄河、漳河、滹沱河、涿水、桑乾河等都是挟带大量泥沙，水流混浊不堪。当这些泥沙冲到河口，就把海滨逐渐填塞起来，平原也就逐年扩大了。时间长久以后，海岸不就越来越向东推移了。现在河南、陕西、山西黄土高原上为什么有深切百米的河谷，就是因为黄土被河水带走的缘故。”如果把沈括的这些见解说得更符合科学道理，应该说，在地壳上升过程（即造陆运动）的同时，黄土高原上发育深切河谷，黄土及其泥沙等冲积物就被携带到下游淤积，终于形成举世闻名的华北大平原。但不管怎样，沈括所理解的地质变迁思想，仍然是十分珍贵的。

### 此起彼伏的造陆运动

完全从地质学角度研究造陆运动，始于吉尔伯特，他在 1890 年提出这样的概念。他认为缓慢的地壳垂直运动是造成大陆高原、大陆平原以及海洋盆

地的最主要原因。或者说，是造成地球表面隆起与凹陷的最主要因素。在地球历史上，曾经发生过大规模的海退——海水从大陆退回到海洋，使原来是海底的地方形成陆地；或者发生过大规模的海侵——海平面上升，海水向原来是高出海面的大面积陆地发生侵进，海水淹没了大陆，使原先的陆地变成海洋。

如果用吉尔伯特的概念，举一个地质历史时期曾经发生过的具体实例，不妨看我国华北及其邻近的朝鲜半岛、辽东半岛、陕西、内蒙甚至到达淮河以北的河南、皖北、苏北的广大地区，在距今四亿年前的中奥陶世以前，基本上是一个海底相当平坦、海水深度不大的海洋，与现在我国东部的大陆架相似。到中奥陶世时，当地发生造陆运动，沧海转变为桑田。一直到距今三亿五千万年前的早石炭世时，大陆发生沉降，桑田又沦为沧海。正是由于这一重大的变化，致使从石炭纪到二叠纪的近一亿年间，在这块广袤的大地上出现过滨海沼泽和陆上沼泽，生长了茂密的森林，成为后来丰富的煤炭，至今，这里已是我国著名的煤田所在地了。

如果从现代地貌特点看，以我国为例，黄土高原、青藏高原、云贵高原等都属于地壳上升的大面积隆起区；而黄河下游的华北平原、松辽平原、东海与黄海相邻的平原区，都属于下降的凹陷地区。

从历史记载或长期仪器测量结果，也能识别地壳的升降运动。例如渤海北部，河北省昌黎县东边，2000多年以前，有一座屹立于海滨的碣石山，是观赏海上日出的胜地，秦始皇与汉武帝都曾登临游览。三国时，曹操在北征乌桓，胜利班师途中，也来到碣石山，游览之余，还写了著名的诗歌《观沧海》。

此后，陆地连续下沉，海水向大陆侵进，碣石山就变成海里的礁石，如今去看碣石山，已经被海水吞没，再也见不到当年的巍然雄姿了。

就地壳沉降看，世界上最著名的低地是荷兰。全国约有1/4的土地位于海平面以下，平均每年下沉2~3毫米，别看这小小的数字，如果加上时间的长久因素，下降的幅度就相当可观了。所以荷兰是靠堤坝过日子的，在这里水利科学也特别受到重视，取得许多重要的成就。相反，北欧的瑞典、芬兰、挪威则是一个著名的上升区，例如位于芬兰与瑞典之间的波的尼亚湾的海水逐年变浅，1602年在那里修建的一个可停泊巨轮的码头，不到百年，已经无法使用而放弃了。

升降运动最有趣的例子，莫如意大利那不勒斯塞拉比斯古庙的三根古石柱，它纪录了近四千年来地中海数次升降的变化。公元前开始建庙时，海水远离边岸。到13世纪，地壳沉降，海水浸淹，柱子被海水没去一半。18世纪时，地壳上升，柱子又露出海面，柱面6米以下，留下海生动物蛀蚀的痕迹。到1955年，柱子的2.5米又没入水中了。

由此可见，造陆运动实际上是一个运动的两个方面。升与降，高与低，往往相伴而生，即所谓此起彼伏的道理。同一事物表现为两个相对方向，既矛盾又统一，使自然界成为和谐的规律。

### 板块相撞是造山运动的原因

相对于造陆运动来说，认识造山运动却非易事，因为它很难像海陆变化之类容易被人们识别。

那么，逶迤高耸的山岳是从那里来的？这一直是人们关心的问题。直到19世纪中叶，有些地质学家在现今的巨大山系区域工作时，发现那里的岩层颇为奇特，褶皱、卷曲，好像面饼一样。这种好像任意的褶皱，不仅见于整座山岳的岩层有如此模样，而且延伸千百公里以上的山系也都是如此。在那里，还发现火山岩、岩浆岩穿插其中，与褶皱相伴的，推复逆掩断层也十分发育。从这些地质构造现象分析，似乎地壳有一种比垂直振荡运动更为剧烈的水平运动存在着，只有这种力量才能驱使水平的岩层卷曲起来。进一步才想象到只有卷曲的岩层相互挤压、叠复，才是山脉形成的基础，于是造山运动这一地质术语也就从此而诞生了。

为了验证这一设想，地质学家考察了当今世界各大山系，诸如喜马拉雅山、阿尔卑斯山、安第斯山、洛基山、阿帕拉契亚山等等，这里的地质特点也同样显示出强烈的褶皱，无一例外。

于是人们认定：水平运动是造成山脉的主要动力。但是，水平运动的原动力又从哪里来的？

关于这个问题的解释，不同学派有不同的说法，而且针锋相对，各不相让。例如早在700多年以前有些学者提出：地壳表面本来就分成稳定区与活动区两部分。稳定区的地壳运动表现为升降作用为主；而活动区的地壳运动则表现为以水平运动为主，而且这种水平运动是由于升降运动而诱发起来的，如现今的山脉，就是位于活动区内而发展而来的。

我国著名的地质学家李四光认为：地球自转速度的变化是导致水平运动的由来。当地球自转时，赤道的离心力很大，南北两半球的力都向赤道运移，一旦自转速度发生变化，运移力量如遇到阻碍，就好像桌面上的台布在相对两力挤压时，布面出现褶皱一样，地壳表面也就出现山脉，并以东西方向延伸。但如果各地由于局部情况变化，山脉方向也就不一定东西向，而出现其他的方向。

最新的解释认为：地壳表面由若干大小不同的板块构成，它们浮动在地幔软流圈之上，随着地幔对流，板块随着漂移，如果两个或两个以上的板块在漂移过程中发生碰撞，就会在相撞的边界上出现山脉，随着板块不断紧靠，甚至复叠其中的一部分时，山脉也就不断升高。当然，山脉的形成并不是一朝一夕的事，其中有量变和质变的过程。比如拿当今世界上最高的喜马拉雅山脉来说吧！早在一亿年前，印度（大陆）板块开始脱离位于南半球的贡瓦纳大陆（相当于现在南半球各大陆联合在一起的古大陆），逐渐向北漂移，直到距今5000万年前的始新世时期，印度板块才与亚洲（大陆）板块相撞连接，在这六七千万年间的漂移，可说是量变。到始新世，两板块相接时，可说是质变。从此以后，印度板块斜插到亚洲板块之下，像木楔一样使亚洲板块垫高，并继续升高，至今尚未停息。

现在让我们来看一看来自喜马拉雅山地区的纪录报告：

白垩纪晚期，印度板块已经脱离贡瓦纳古陆，位于南纬 $40^{\circ}$ ~ $20^{\circ}$ 之间（据古地磁测定）。

古新世时，印度板块漂移到南纬 $30^{\circ}$ （以德干高原古地磁测量及古植物化石资料确定）。

古新世末期，印度板块继续向北漂移，越过赤道，约位于北纬 $10^{\circ}$ ~ $20^{\circ}$ （古地磁测定）。

始新世末期，由于再见不到海相地层，并出现在此以前形成的地层均发

生褶皱，可知当时的印度板块已与亚洲板块相撞，喜马拉雅山脉的基础，于此时奠定。

渐新世至中新世时期，山脉形成以后处于上升阶段，由于造山运动结束以后转变为造陆运动，剥蚀作用已经进行。并出现了在华北地区常见的三趾马动物群，由此推测，当时的喜马拉雅地区海拔约为 1000 ~ 2000 米（目前发现三趾马动物群的地点海拔 4000 米以上），比现在要低 3000 米左右。

上新世晚期，山脉继续升高，但尚未到达雪线高度。因为发现高山砾植物化石，此类化石生长于海拔 2500 米左右的山区，而目前化石产地的高度已达 5200 ~ 5900 米。

进入第四纪时期，很多山峰已到达雪线高度，山岳冰川已经形成，一片洁白世界。海拔 7000 米以上的高峰已非罕见。

现代测量证明，喜马拉雅山每年约有十几毫米的速度仍在继续升高。

以人类在世的短促寿命，无法直接观察到造山运动与造陆运动的全过程，但发生运动的形迹却往往留存在岩层里和古代生物形成的化石上，地质古生物学家的智慧就在于凭借这些大自然的信息，分析其来龙去脉。研究地球上升降现象的成因。

## 大陆漂移说的兴衰

### 魏格纳的思考

1910年的某一天，德国气象学家魏格纳（公元1880~1930年）无意中从世界地图上发现大西洋两岸的大陆岸线弯弯曲曲的形态正好吻合——非洲几内亚湾刚好填补上巴西东北角亚马逊河河口的那块突出的大陆；沿北美东海岸到特立尼达和多巴哥的凹入弧形地带刚好填补上欧洲西海岸到非洲西海岸的凸出弧形大陆。

他知道，早在1620年，英国哲学家法兰西斯·培根在他的《新工具》一书中已经注意到大西洋两岸地理形态的相似性问题。后来，有人作过尝试性的解释：恐怕是大断裂所致，但魏格纳感到，断裂应该都是比较挺直的走向，如此大的弧曲拐弯有这可能吗？1858年，美国地质学家斯奈德，在其《地球及其奥秘》一书中将欧洲与北美的石炭纪煤系及其所含的植物化石的相似性作了对比，断言大西洋两岸曾是联合在一起的，后来分裂而漂移开来。这恐怕是提出大陆漂移设想的第一人，而且有地质论据。

到20世纪初期，泰勒和贝克也同时提出大陆漂移的看法，他们补充了大西洋两岸山脉起源的相似性问题并作了论证。

魏格纳认为这个问题十分重要，于是就着手到陌生的地质学、古生物学各领域中去寻求论证。

第二年，即1911年秋天，他在翻阅一本地质学著作时，发现一位地质学家提到一种被称为中龙的化石，这是一种在淡水中生活，长约30厘米的小型早期爬行动物，曾在巴西晚石炭世和南非早二叠纪湖泊中形成的沉积岩地层中找到过，它们的身体结构几乎没有什么差别，确认为同属同种的动物。魏格纳由此得到启发，这与50年前斯奈德提过的北美与欧洲石炭纪的植物化石的相似性问题，真是如出一辙。如今两边相望的大陆被大西洋的汹涌波涛隔着，植物和中龙都是无法横渡的，唯一的解释是，两亿年前，大西洋并不存在，两岸的大陆是相连在一起的。只是后来，大陆出现分裂，然后漂移，才能造成现今的海陆位置……，魏格纳沉思在大陆漂移的猜想之中。

### 现代大陆漂移说的提出

魏格纳又经过一年的地球物理资料搜集工作，大陆漂移的设想逐渐明朗化，1912年，发表了《根据地球物理学论地质轮廓（大陆及海洋）的生成》的论文。到1915年，终于完成《海陆的起源》这本轰动地质界的名著。在这本书中，他阐述了全球各大陆在中生代以前是一块完整的大陆，称之为联合古陆或泛大陆。当时的大洋也只有一个，并围绕在联合古陆的周围，称之为泛大洋。自中生代开始，联合大陆出现分裂，并开始漂移，于是形成目前见到的亚洲、欧洲、北美洲、南美洲、澳大利亚以及南极洲等。到新生代，各个大陆终于漂移到现在所处的位置上。基本上稳定了现在的轮廓形态。随着各大陆的分裂和漂移，裂隙逐渐加大，终于形成大西洋、印度洋这两个新生的海洋，原先的泛大洋也分成太平洋和北冰洋。至此，现代的海陆面貌终于在新生代后期奠定。

魏格纳的设想，基本上根据以下各项资料作为论证的基础：

一、大西洋两岸地理形态及其弯曲的轮廓线，基本上是相互吻合的。

二、从山脉的走向、构造地质的特点以及地层分布的情况看，北美洲纽芬兰一带与西北欧斯堪的纳维亚半岛上的山脉，遥相呼应，同属于志留纪末期造山运动时形成的，即所谓加里东山系。又如美国阿帕拉契亚山脉的东北端没入大西洋以后，延伸到英国西南部及中欧一带重新出现，也是隔着大西洋遥相呼应的，均属于二叠纪后期的造山运动所致，称为海西山系。再如北美东部与欧洲西部，都分布着泥盆纪的“老红砂岩”。非洲西部太古代和元古代的变质岩系与巴西的同期同类的岩系相接，构成完整的山系。非洲南端的开普山脉与南美布宜诺斯艾利斯附近的山脉在地质构造与地层方面亦彼此衔接，等等。

魏格纳把上述两项论据，作了形象的比喻，大西洋两岸大陆好像被撕破的报纸，不仅撕破的毛边可以相互吻合，而且印刷在报纸上的文字也能拼接起来阅读而毫不费劲。

三、古生物方面的证据也相当充分，除上述的中龙化石外，生活于中生代早期温暖地区湖泊或沼泽中的肯氏兽与水龙兽动物群，从中国、非洲到澳大利亚等地三叠纪地层中均有发现，从生物学特征看，属种都相同或相近。这一耐人寻味的事实，只能认为中生代早期以前确实存在过一个联合古陆，后来出现分裂，大陆的漂移得到解释。再如植物化石的分布，也很有说服力，繁荣于晚期古生代的舌羊齿植物群，发现于澳大利亚、印度、南美洲、非洲以及南极洲，而这些大陆目前所处的纬度位置相差甚远，植物生长的环境必须在相似的气候区域之内，由此可见，只有联合古陆的存在才有可能，现已证明，南半球各大陆古生代时期是合并成一块，即所谓贡瓦纳大陆。其他由于当时发生海浸，在这块大陆上留下无数无脊椎动物化石，而且门类众多，现亦散布在南半球各大陆上。

四、古气候遗迹的论证：古生代晚期，在南半球出现过一次规模巨大的大陆冰川，至今，在南半球各大陆及印度（请注意，它们之中有些处于热带或温带纬度上，不可能出现大陆冰川的）的晚古生代地层中都能找到这些冰川的遗迹，诸如冰擦痕、冰碛物、羊背石、冰溜面等，特别从冰擦痕的方向上可以看出当时冰川的流动方向，还可以凭借冰川的流动方向将各大陆拼接起来，恢复其原先的地理位置，找到当时的南极所在地（今南非）。

除冰川遗迹可以指示气候外，其他如煤炭、石膏、岩盐、红色岩层等也可以指示气候，因为这些矿产或岩石的形成环境均与纬度带有关，或者说与气温的高低，潮湿、干燥等条件有关。因此，将各大陆古生代晚期地层中埋藏的指示气候特征的岩石与矿物在地图上标志出来，再进行拼接，很自然地恢复了当时的纬度，也就证明联合古陆的存在。

五、地球物理资料：魏格纳注意到海陆起伏曲线中的大陆台地与大洋盆地之间存在显著的高差（相差 5 公里），结合地壳均衡说，他认为大陆高而质轻，海洋低而质重。海陆的区分并不是地球表面的地势起伏，而是大陆壳与大洋壳有本质的差异。这样，大陆壳就可以漂浮在大洋壳之上，移动的可能性也就存在了。

六、大地测量证据：魏格纳引用天文测量的数据认为格陵兰东北与欧洲之间，每年以 35 米的速度漂离，大西洋两岸的距离逐年在增加，说明从古到今，大陆漂移未曾停止。

魏格纳还解释了漂移的驱动力来源，他认为有两种：一是地球自转时赤

道产生的离极力，阿尔卑斯山与喜马拉雅山的形成即导源于此。二是与太阳、月亮的引力有关，即潮汐的磨擦力，出现向西漂移的大陆，如美洲大陆，前缘受太平洋的阻力，于是挤压出科迪勒拉山脉。在向西漂移时，大陆后缘会脱落出一些陆块，如亚洲和澳洲东部的许多岛屿。

### 大陆漂移说的衰落

本来，地质界在讨论地壳运动时，差不多都认为大陆与海洋的基本位置，从古到今没有什么多大变化。地壳运动是以垂直的升降运动为主。而魏格纳提出大陆漂移说的想法，无疑是一块巨石砸到平静的湖水里。于是在地质界引起了热烈的争论——认为地壳运动以水平方式为主的活动论者与认为地壳运动以垂直方式为主的固定论者两个学派互不相让。

1924年，以英国颇有名气的地球物理学家杰弗里斯为首的研究组首先对魏格纳的主张提出异议。他们指出，把漂移说建立在地壳均衡说的基础之上是错误的，假设硅铝质地壳像冰山一样沉浮在较重的硅镁质的岩浆之上是不可能的。他们以地球物理的研究新成果证明大洋底仍然是坚硬的岩石，于是向魏格纳质问：由坚硬的岩石组成的大陆壳又怎能在坚硬的洋底上漂移？这批英国地球物理学家们又经过周密的计算，认为地球自转的离极力和潮汐磨擦力都很小，这一点微弱的力量不足以推动深厚而庞大的陆块发生移动。

不久，又有实验证明，硅铝质花岗岩的熔点低于硅镁质玄武岩，如果地球温度升高到足以熔化大陆壳底层的玄武岩层并使大陆壳漂移的话，那么花岗岩质的大陆壳也就不可能保持固体状态而漂移，这是不可违背的物理定律，也给魏格纳的假说造成致命的弱点。

为此，1928年魏格纳与许多知名的地质学家聚会在纽约，共同探讨大陆漂移问题，在到会的14名成员的发言中，各持己见，5人表示支持大陆漂移说，7人表示反对大陆漂移说，2人则表示有条件支持，双方势均力敌，反对者提出一连串问题，诸如是什么力量推动大陆漂移的？大陆是在什么样的一层物质基础之上进行漂移的？原始大陆为什么到中生代开始分裂，然后漂移？石炭纪以前的大陆又怎样分裂？怎样漂移？等等。当时，魏格纳也曾进行答辩，但终因当时的科学资料不足，无法说服对方。会议主持人也只好提议，学术争论不能轻率否定或肯定，应该继续研究，讨论会暂时告一段落。

魏格纳的大陆漂移说自出笼之日开始，就遭到来自多方面的责难。

不幸的是，1930年11月，魏格纳在作第4次北极探险时，于格陵兰冰原上遇险身亡，此后，大陆漂移说就逐渐地消声匿迹了。

### 大陆漂移说东山再起

进入本世纪50年代以后，第二次世界大战期间人们对海军活动时观察到的许多海洋地质及地球物理现象开始进行深入研究，并引起极大兴趣。许多新的发现又重新燃拨了大陆漂移假说的火种，而且火焰越来越高。

在这许多新发现的事物中，首先是古地磁的研究成果。什么是古地磁？不妨先从火山喷发物谈起。当火山物质喷发到地面以后，逐渐冷却，其中所含的铁矿物就会结晶出来，当温度下降到一定限度时，就开始获得磁性，这个极限的温度称为居里点，例如磁铁的居里点是600℃，因此，这个磁铁

矿就能在居里点时取得磁性方向，这个方向，我们可以用仪器测出南北极，称为天然剩磁。利用天然剩磁可以测量火山喷发时的两极位置及其当时所处的纬度位置。后来发现沉积岩中含有碎屑磁性矿物，而这些碎屑物就像许多小磁棒，也具有磁场的定向作用。这样，无论是火成岩，还是沉积岩都可以测得天然剩磁。

关于天然剩磁的发现，最早是在1909年法国地球物理学家伯纳德·布伦尼斯测量法国中央地块的火山岩时获得，当时又知道古代火山喷发时的磁场与现在的磁场不一样，并有倒转现象。过了20年以后，日本科学家松山在研究日本火山岩时，也观察到同样的磁性倒转现象。这种反常现象是怎样产生的？解释只能有两种，一是地球磁极的位置在地质历史上曾经改变过；二是取样地点的位置曾经发生改变——漂移。前者称为磁极游移说，后者称为大陆漂移说，孰是孰非，当时未作定论。

到50年代，人们感到要解决这个问题，必须对地磁场成因的理论进行研究。英国剑桥大学的布拉德和美国普林斯顿大学的瓦特·艾萨塞尔各自独立地提出发电机理论来回答地磁场成因问题。发电机理论或者称为地磁场的电磁流体力学理论——电流通过导线就产生磁场。由此艾萨塞尔得出结论说：地球的两个磁极应当经常接近地球的转轴（或地理极）。地极的游移不可能离开地理极的位置太远。而地理极的位置，从地球形成以后基本上就没有太大的变动。所以，现在出现的地磁的倒转问题，只能用大陆漂移来解释了。他们俩人又重新奏响了大陆漂移假说的第一声。

1953年春天，英国青年科学家凯斯·朗卡在美国加利福尼亚大学做博士后研究工作时，坚持“红层”的地磁研究，结果表明：岩石的剩磁与地球的磁场并不一致。换句话说，地质历史时期的南北极的位置与现在两极的位置并不符合，发生倒转。因此，凯斯·朗卡就把岩石的天然剩磁（磁极倒转）问题与大陆漂移问题联系在一起考虑。

1954年，美籍华裔地质学家许靖华在壳牌石油公司做研究工作时，为了解决石油钻探时要恢复岩心的原来位置，不得不求助于岩石的天然剩磁，在测量过程中，从几千块标本中也发现磁极倒转现象。这样，使他原来对大陆漂移说持怀疑的态度，也发生动摇，开始向大陆漂移说的观点靠拢。此时，朗卡正奔波于大西洋两岸，宣传他的大陆漂移观点，他已经获得更多的资料，证明两亿年来大西洋两岸的大陆已反向漂移很远，相距达数千公里了。

## 新海洋的诞生

科学上的论证必须全面，仅仅以古地磁的新资料还不足以说明大陆漂移假说的正确性，海底扩张的假说帮助了大陆漂移说的重建。

海底扩张说，也就是地壳形成以后，在原始海陆的基础上所出现的新海洋诞生的新概念，最先发现者是哈雷·赫斯，他是美国普林斯顿大学地质系系主任。第二次世界大战期间，他是美国太平洋舰队“约翰逊角号”运输舰上的一名年青的军官。有一次，他随舰横渡太平洋，向马利安纳群岛、菲律宾、硫磺岛一带前进时，舰上的回声探测器纪录到一连串圆形海底山，山从平坦的海底耸然立起，高逾数千米，四周陡峭壁立，山顶平坦，令他十分诧异。像这种形态奇特，为数颇多的山体，不仅在大陆上从未见到过，而且在海底也是初次发现，于是他就以普林斯顿大学首任地质系系主任阿诺尔德·盖

奥特的名字命名。战争结束后，赫斯报道了他的发现，据他的初步统计，太平洋底的盖奥特竟有 160 多个。这些盖奥特是从哪里来的？为什么会造成如此奇特的模样？或者说是侵蚀夷平以后的山沉落到海底的，或者说是环礁沉没的，但都得不到满意的解释，暂时成为悬案。后来，研究海底扩张机理以后，解决了这一悬案，也就是说，先研究清楚海底的若干地质及地球物理问题。

在这方面，赫斯有一个有利条件。因为他在本世纪 30 年代之时，当过丹麦船长芬宁·马因内兹的助手，在海上从事过重力加速度的测量工作，受到良师的熏陶。他认为地球熔融的核心热散发必将在地幔内导致热的对流。也就是说，由温差导致的热应力会引起液体的对流。地震工作者告诉我们，地幔物质是能够传导短脉冲地震波的固态物质。然而实验证明，固态物质在高温高压的长时期应力作用下，会变成液态，能变为塑性和蠕变，所以地幔的对流作用是能够产生的。计算也证明，在热聚集达到引起地幔融化点以前很久，地幔物质就开始以对流的形式发生运动了。

但问题是，这样的“热流”现象能否让人们直接观察到呢？正逢第二次世界大战结束后不久，一位从太平洋退役的年青美国军官亚瑟·马克斯威尔原想去原子能研究机构寻求工作，刚好在半路上遇见剑桥大学的地球物理学家爱德华爵士，两人谈得很投机，当讨论到探测洋底导热问题时，使马克斯威尔骤然间兴高采烈，他想：坐在房子里搞原子分裂实验，不如上船去体验一下海洋的滋味更诱人，于是参加了海底地温的测量工作。几年以后，他发现太平洋底的热流是从地球内部释放出来的，几乎与大陆上的热流颇有相似的特点。但洋底的热流值偏高，约为预期值的 10 倍，这就告诉人们，洋底热流的来源不可能来自玄武岩，也就是说，洋底热流并非洋底（玄武岩质的地壳）所固有，更不是玄武岩壳中的放射性矿物释放出来的。因此，像太平洋底下必有某种形式的对流存在，情况如何，尚需探索。

不久以后，青年科学家理查德·冯·赫岑和上田诚也在太平洋多次研究并测量热流工作。他们发现洋底的某些隆起带上，比如东太平洋的隆起带和大西洋的中脊地带，洋底的热流值特别高；但在海沟所在处的热流值却比正常的要低。这一鲜明的对比，只能解释为洋底的热流分布是不均等的，其原因则由于洋底隆起带和洋中脊是热流的上升处；而海沟则是热流向下流动处。

当时，爱丁堡的亚瑟·霍尔姆斯根据赫岑与上田诚的结论，进一步提出，洋底的热流既然有上升与下降两种，升降的结果必然发生对流，于是他猜想说：热的对流运动可能就是驱使大陆漂移的马达。如果这股来自地幔的热流发生在大陆下面，并持续上升，会把大陆撕开，先形成像红海或加利福尼亚湾那样宽阔的裂缝，然后再继续扩大，最终就会变成开阔的大洋。

第二次世界大战结束以后，海洋科学获得突飞猛进的发展，特别是利用声纳探测海底地形的工作，取得更大的成绩。虽然在上世纪就已经在大西洋中间发现一个巨大而宽阔的大洋中脊，但有关洋中脊的其他资料所知有限，现在仅就洋中脊的地形观察就令人神往。例如洋中脊的地形十分崎岖，在洋中脊的中央有一条很深的裂谷，好像把洋中脊劈成两半似的。大西洋的洋中脊延伸极为远长，北起斯匹茨卑尔根，一直向南，与非洲西南方的印度洋上的洋中脊相接，洋中脊两侧如万仞削壁，兀立于深海平原之上，其相对高差足有二三千米。洋中脊中间的大裂谷还是浅源地震的发源地，沿着裂谷，构

成连续的地震带。如此等等。

那位久负盛名的美国地质学家——盖奥特的发现者赫斯，获得有关海底岩层的古地磁资料、热流资料、洋中脊及裂谷资料，以及地幔热流促使大陆漂移的设想等，再经过他的综合分析以后，认为：大洋中脊是热流上升的地方，地幔上部的融化部分足以推开地表，熔岩喷溢而出，形成海底山脉，其中不少是海洋火山，当露出海平面时，就是火山岛，例如冰岛。随着时间的流逝，火山岛一方面被剥蚀作用所夷平，一方面受到热流的推动而渐渐离开洋中脊，甚至也会随着热流的下降而又会沉没到海底，于是形成前面所说的盖奥特奇观。所以，盖奥特是洋中脊热对流的产物，多年来未能解决的难题终于找到了答案。赫斯并不以此为满足，他的富有想象力的一整套有关洋底发展史的概念，终于写出一篇题为《海盆的历史》的短小精悍的论文，选择在1962年为其同事A·F·布丁顿退休纪念会上宣读，这是向全世界公布一个理论的时刻，庄严而难忘。但赫斯却十分谦虚地说：“这篇短文并不称为论文，而是一篇地球的诗篇。”一年以后，美国海军电子实验室的罗伯特·迪茨在一篇论文中高度赞扬赫斯的“诗篇”，在阐述赫斯的新构思时冠以“海底扩张理论”的桂冠。

赫斯的海底扩张的新设想，虽然得到众多地质学家的重视，但作为坚实的理论提出，还需要更多的科学事实予以证实。1962年，还在英国剑桥大学做研究生的弗雷德·瓦因，在参加“H·M·S欧文斯号”海洋考察船工作时，对印度洋的卡尔斯堡洋中脊中段进行地磁调查，他发现了与海底地形有关的地磁条带。1963年，瓦因与他的导师德鲁姆·马修斯一起发表了关于大洋中脊磁异常的论文，这一重要著作，补充阐明了地热流与大陆漂移的关系。是席卷了整个地学界的一场伟大的革命，起了点燃火炬的作用。因为洋中脊两侧的磁带是对称的，近洋中脊处时代较新，远洋中脊处的则时代较老，说明向两侧移动。

对这一现象，瓦因与杜佐·威尔逊进一步解释说：洋中脊的中央裂谷是一个由于地幔热对流引起的张力而产生的海底裂谷，于是地幔上部的岩浆沿裂隙上升而注入裂谷，这些熔岩就记录了喷发时的地磁极性。如果老的中央裂谷在中间再次裂开，则熔岩再次溢出，并充填于新的中央裂谷中，形成新的洋底。此时若发生地磁场倒转，则中央的磁性条带必为两翼极性相反的磁性条带所包裹。如此多次重复，出现了正负相间的磁异常，由于中央裂谷总是在中间裂开，所以磁带的对称性必然出现。并由此可以推算出海底扩张的速度（由地磁条带测出该熔岩的喷出年代，再测出该熔岩距裂谷中央的距离，即推算出洋底每年扩张的速度）。

随着海底扩张问题得到解决以后，多年来探索大陆漂移的机制问题也终于有了结论。这就是说，大陆不断推开洋底扩张而前进，大陆必须在洋底扩张的基础上向两侧产生推动力而移动。

早在1928年的有关大陆漂移问题的纽约讨论会上，霍姆斯就曾提出一个假说，认为大陆并不是在地幔上“航行”，而是在流动的地幔“传送带”上运移。60年代时，加拿大地球物理学家威尔逊接受了这个想法，并加以发展，提出：洋底不是一成不变的，而是不断地更新的。这就恰如其分地解释了洋底沉积物为何薄而新的现象。

1964年在伦敦召开了一次大陆漂移讨论会，布莱克特宣布：大陆漂移已不是有没有的定性问题，而是转入到讨论漂移的时间和空间的定量问题了。

正当瓦因、赫斯、威尔逊、布莱克特等新一代的科学家为论证大陆漂移取得重大成果而欣喜若狂的时候，约在 60 年代中期，南太平洋又传来振奋人心的消息，那里也发现了地磁条带的对称性。到 1968 年，吉姆·德尔兹勒、G·O 狄克逊等人发表了《论海底磁异常、地磁场倒转与洋底及大陆移动》重要论文，证明太平洋、大西洋、印度洋的所有地磁剖面都是以大洋中脊为轴，两侧对称，洋底年代也是两侧对称的。并由此推算出 8000 万年以来海底扩张的速度是恒定的，进而认为近一亿多年以内，非洲与南美洲背离漂移，于是产生了今天的大西洋。

由于古地磁、地幔热流、洋中脊等研究新成果的不断出现，不仅吹响了地质革命的号角，而且被冷落遗忘的大陆漂移说又东山再起，重新活跃起来。

大量的古地磁资料以及电子计算机的广泛应用，为大西洋两岸地理形态的拼接问题找到更满意的答案。1965 年，英国地球物理学家 E·布拉德等就利用这些新技术沿大西洋两岸约 1000 米以下等深线进行拼接（也就是用大陆坡的轮廓线拼接），效果极为理想，绝大部分地区十分吻合，只有两处稍有些问题：一处是巴哈马群岛和尼日尔三角洲发生明显的重叠，这是由于巴哈马群岛是较年青的生物礁建造；尼日尔三角洲是近期冲积物向海洋推进的结果，所以很难吻合。另一处是在墨西哥湾地区，也不吻合。但当你研究一下这里的地质历史特点就明白了，因为这个海湾在大西洋两岸分裂漂移以前就已存在了。后来，又从概率论进行分析，也认为大西洋两岸能有如此的、几乎是天衣无缝的拼接，不可能是偶然的。

据来自日本的宇宙卫星的测量资料表明：1986 年以后的 5 年时间里，澳大利亚平均每年向日本靠近 38.76 厘米，北美向日本每年靠近 11 厘米，夏威夷群岛的靠近数字更大，为 39 厘米。因此，学者们认为：离日本最近的夏威夷群岛大约再过一亿年以后可与日本相撞，不仅将形成新的沿海高山峻岭，而且将合并而扩大为新的大陆。另外，日本的北方四岛——齿舞、色丹、国后与择捉，现在也正逐渐向北海道靠近而漂移。

更有意思的是，据 1992 年 5 月 11 日《文汇报》报道：中国科学院上海天文台应用甚长基线干涉测量（VLBI）技术与国际合作，进行数十次测量板块运动，首次证明上海与日本、美国、澳大利亚之间的距离每年以 2~8 厘米的速率在缩短。这项测量数据反映欧亚板块东端（上海）与北美板块（以阿拉斯加和日本鹿岛为测量点）太平洋板块（以夏威夷为测量点）、澳洲板块（以澳大利亚为测量点）、相对移动的速率。另外，还观测到上海相对于欧洲大陆存在每年约 1~2 厘米的向东运动，这说明欧亚板块不是完全的刚性块体，而它的东西部之间存在扩展运动，这种运动可能是印度板块对于中国大陆的冲撞、挤压的结果。

## 地壳的结构如何

### 地壳的结构是固定的吗

地球的表面分成大陆和海洋两部分，这是早已为人们所熟知的。而且大陆和海洋并非固定不变，有时会出现相互转换，这一事实，也被古代的一些学者注意到了。随着人类对矿产资源需求的激增，人类掀起开发矿业的高潮。人类与山石打交道的机会逐渐增多，对地球本身问题的探索研究，大到地球的来历，小至矿物晶体形态的特点，无不令人感兴趣。

当此之际，有些科学家提出了这样的疑问：大陆上为什么有高山、平原、盆地之分？又为什么有些山岳内的岩层褶皱得十分剧烈，而有些山岳的岩层则平整地躺卧着？有些山体内由大量的火成岩组成，而有些山体则见不到火成岩，而遍布沉积岩层？等等。于是研究者联想到莫非各地的地壳结构有所不同？其中的奥妙何在？一百多年来大批地质学家都围绕着地壳的构造问题纷纷进行研究。

1859年，美国地质学家J·霍尔在调查研究北美的阿帕拉契亚山脉时，发现那里的古生代地层厚度达万米，褶皱异常剧烈，与其相邻不远的平缓起伏的地层厚度相比，几乎相差10倍之多。再看这些由强烈褶皱而且巨厚的岩层组成的山脉，分布在狭窄而呈条状的地带内延伸，而平整厚度不大的地层分布在宽阔的地区，两者相比之下，反差很大，这是为什么呢？他反复考虑后认为：地球表面可能存在狭窄的长条形槽状凹地，如阿帕拉契亚山脉最先接受沉积地方，当后来地壳发生运动时，巨厚的岩层出现褶皱，运动强烈，褶皱也剧烈，最后抬升，形成山脉。到1873年，另一位地质学家丹纳补充了霍尔的研究，认为这长条形的凹槽地是属于浅海沉积的环境，不过凹槽在持续沉降，所以浅海相的岩层变得十分巨厚。他还将这个凹槽地形称之为地槽，是山脉的摇篮。

几乎同时，欧洲的地质学家休斯与奥格却认为地槽是深海沉积环境。

到1885年，休斯注意到霍尔曾经提过的相邻地槽之侧，广袤达几百万平方公里，近等轴状或多边形地区的地质特点，构造简单，地层厚度较小，常呈平丘缓岗地形，他认为这是地壳运动比较平和的稳定区，称之为地台。

自此以后，地质学家就接受了霍尔与休斯对地壳结构的解释，认为地球的大陆部分就由地槽与地台两种不同的构造单元组成。如果以我国为例，整个秦岭、淮河以北的华北地区及其邻近的东北南部、朝鲜半岛大部与西北东部就属于地台区。在这里，从古生代（甚至元古代晚期开始）到现在，都属于地壳的稳定区，未曾经历过剧烈的地壳运动。地形上也只是一片广阔的平原或高原。其间虽然也有山脉，但未见延绵千万里，高耸入云端的山岳。与其相邻的秦岭、天山、祁连山、兴安岭相比，后者则完全是另一番形态，它们是狭长的山脉，延伸可达几千公里，高度可达雪线以上，甚至有现代冰川。而且凡地壳剧烈运动导致的强烈褶皱与岩浆侵入活动的痕迹，均历历在目，不少岩层均遭到变质作用。如果再追究一下这些山脉发生壳地运动时的时间，古生代的不同时期均有所表现，说明它们并非稳定地区，而是活动地区。

如果推而广之，就世界范围而论，北美的加拿大、前苏联的俄罗斯平原、西伯利亚平原、北欧的芬兰、瑞典一带、澳大利亚、非洲内陆、南美洲的巴西及其邻近地区、南极洲等地均属于稳定的地台区；而许多著名的山系，如

安第斯山脉、乌拉尔山脉、阿尔卑斯山脉、喀尔巴阡山脉、高加索山脉、喜马拉雅山脉、洛矶山山脉以及许多岛链地区都属于活动的地槽区。

研究者还认为：地球早期，或者确切地说，地壳形成的初期阶段，活动性十分显著，几乎到处是火山喷发，地震摇晃，造山运动的特点无处不见，完全是一派地槽面貌，地质学家称之为泛地槽。后来，在大海般的泛地槽中间出现若于岛屿状的稳定性的地台，称之为原始地台。随着地质历史的发展，原始地台逐渐扩大，地槽范围则相对地缩小。也就是说，在地台周围的地槽，经过地壳运动的洗礼，都变成山脉，归附于地台的周围，这就是地台逐步扩大的由来。

上面所说的，以地槽—地台的发展为主导思想的地壳构造理论，几乎在60年代以前风靡了半个世纪。但许多地质学家在研究时，仍对它们的某些问题发生诸多怀疑或感到解释不大满意。比如：（一）当地台形成以后，就不会再有什么变化，甚至不可能转变为地槽。换句话说，何处是地台，何处是地槽，固定以后就不会再有变化？即使有些变化，最多只限于若于小型的变化，不会再出现本质的变化，这能符合自然界的规律吗？（二）在阐明地槽—地台发展历史时，讲不出它们的本质因素，也无法解释为什么地槽是长条形的，而地台则是块体状的？（三）各个地槽或地台的发展过程可以讲得清楚，但无法说明各个地槽或地台之间的彼此关系问题。特别是强调地壳的垂直运动，忽视大规模的水平运动时，更难以讲清两者的关系问题。（四）地槽—地台学说是建立在大陆地质资料的基础上，而忽略了比大陆面积更大的海洋地质资料，所以，对海洋地质发展史的特点几乎未能涉及。这样来了解全球的地壳构造显然是不全面的。（五）如果运用今天所获得的“现代地质资料”去阐明过去的地球历史是十分困难的，地质学上著名的“将今论古”的原则在地槽—地台学说中难以运用。因此，地质学家们不满足于地槽—地台那样固定论的思路去观察地球，他们要进一步追究地壳构造的实质性问题，是很自然的事。

## 活动论的兴起

本世纪60年代中期开始，由于海底磁异常带的不断发现，大洋中脊地质资料的不断丰富，海底扩张事实受到地质学家们的重视，于是对地壳构造的新构想也就日趋活跃。例如：1965年加拿大地球物理学家威尔逊在研究海洋地质构造时，发现大洋中脊被一系列横向断裂带所切割，其间距离约为50~300公里。这种断裂带与中脊的轴线垂直，表面一看，颇似中脊形成以后被后来的平移断层错开，但仔细观察，这种断层却是由于中脊轴部向两侧的海底扩张所引起的，于是他把这种新发现的断层类型命名为转换断层。再深入观察时，发现洋底的中脊与中脊、中脊与海沟、海沟与海沟之间都是由转换断层连接起来的。而且洋中脊、海沟、转换断层这三种地质构造都属于地壳的活动构造带，以地震的频繁出现为主要特征。这种活动构造带没有终端，它们连绵不断地从一种活动带转换为另一种活动带，直到封住自己的端部。这样，整个地壳（岩石圈）并不是连续完整的圈层，而是由这种活动带首尾相接所分割，形成大小不一的块体，称为岩石圈板块，简称板块。

1968年，法国地球物理学家勒皮雄，根据大量新资料的分析后提出地壳是由板块构成的学说，或称之为新的全球构造理论。这个理论认为：固体地

球表面是刚性和粘性都比较大的岩石圈，厚度约 50~150 公里，而大洋底部的岩石圈的厚度则不到 10 公里。它的下面是厚约 100~200 公里的脆性和粘性都较小的软流层。岩石圈被一些活动带（洋中脊、海沟、岛弧和大断层）切割成若干大小不同的板块。全球大致划分为欧亚板块、非洲板块、印度洋板块（或称印度板块、印度—澳大利亚板块）、太平洋板块、美洲板块、南极洲板块六大板块。这些板块沿岩石圈与软流圈的界面在地幔对流作用下作大规模的水平（漂移）运动。这也正是全球构造大规模相对运动是地壳运动的最基本的因素。这些板块的边界不一定正好是海陆边界。例如北美板块的范围除包括北美大陆外，还包括大西洋中央裂谷（大西洋的洋中脊）以西的半个大西洋；同时，其西部边界还包括了西伯利亚最东部的楚科奇地区。又例如太平洋板块，虽然基本上是在洋底范围，但其东部边缘则包括了旧金山附近圣安德列斯断层以西的狭长陆地和加利福尼亚半岛。各板块的划分依据是考虑到同一块体内的地层分布、地质构造、地球物理资料等等都是相同的。

总之，板块是稳定区的地壳构造，其内部没有剧烈的地壳运动，地热相当平坦，颇有些类似于地台区；而板块的周边的狭长地带则是强烈的地壳运动发生区，地势的反差极大，颇有些类似于地槽区的特点。板块与地台相比，其最大的区别在于能活动，在地质历史时期曾发生过多次漂移，这也就是活动论者最基本的出发点。就拿欧亚板块与印度板块的关系来说吧：在二叠纪以前，印度板块原是南半球贡瓦纳大板块的一部分，三叠纪以后，从贡瓦纳板块分裂出来，并向北漂移，到早第三纪时，越过赤道，并与欧亚板块相撞，促使喜马拉雅山的形成，于是印度板块就与欧亚板块连结在一起了。

后来的板块研究者在勒皮雄的基础上再进一步分出若干，如 1983 年司多坎将全球划分为 12 个板块，还有划出几十个之多的。他们是怎样划分板块的？各板块的边界又有什么样的特征呢？一般说来，海洋里的板块边界主要有洋中脊、海沟、地震活动带。在陆地上，则有高大的山系，蛇绿岩套（一种深海沉积与来自上地幔的蛇绿岩的混杂岩）、混杂岩组成的断层带，大型的断裂带等等。

最近二十几年来，通过海洋地质、古地磁、大陆边缘的电脑拼接技术、深部岩石的分布、地震带的分布等多门类科学研究证明：海底裂谷的诞生与海底的扩张是由于洋中脊向两侧推移的结果；地壳的表面是由若干大小不同的板块组合而成的；板块会随着洋中脊的分裂扩大而漂移。即所谓海底扩张——板块构造——大陆漂移组成了地学革命的三部曲。

## “地体”论的提出

自从板块构造风行地质界以后，由此引伸出大陆增长与山脉形成问题的讨论。

1963 年，美国地质调查所青年地质学家 W·哈密顿在美国西部爱达荷州西部考察地质，这里是著名科迪勒拉山系延绵分布的地方，他的工作范围并不大，仅仅 1000 平方英里，但遇到令人不解的问题——东半部与西半部的岩石特征相差很大，前者属于大陆壳范畴，而后者则属于海洋壳的范畴。他自问：现在的海洋远在 400 英里以外，为什么会出现这种奇事？

1969 年，他在加利福尼亚州南部（也是科迪勒拉山系延伸的部分）又发现了同样的两种截然不同的岩石。他大胆提出前所未有看法：认为西半部岩

石，即洋壳特点的岩石原来是热带岛屿的一部分，在地质历史的某个时期，由于那里出现分裂，这块部分岩石就漂移数千英里，远渡重洋，最后并合到北美板块（即其东半部具有陆壳特征的部分）的边缘，使北美大陆扩大了陆地面积。在并合过程中，有如板块相撞，在接合带上形成山脉。总之，他认为科迪勒拉山系中有外来的地块，称之为“地体”。换句话说，从地体的移动到并合，促使大陆增长和山脉形成。

1972年，另一些地质学家在加拿大西南角太平洋边岸上的温哥华岛工作时，发现岛上属于二叠纪的地层，应该形成于热带海洋里，如今两地相距有数千英里之遥。

1974年，又一些地质学家在阿拉斯加工作时，提出该州南部（北纬55°左右）的古生代地层与俄勒冈州（北纬45°左右）的几乎完全相同，大概在中生代末期从俄勒冈州分裂出来，向北漂移，并合到阿拉斯加。

1977年，美国地质调查所D·琼斯等补充提出北美西部还有一些地体是从赤道附近漂来的。

从此以后，地质学界掀起“地体热”，认为大陆的增长和某些山脉的形成，都是由于地体漂移并合的结果，认为许多大陆原来都不大，例如北美大陆，大概有四分之一的土地是外来加入的——华盛顿州、加里福尼亚大部分是外来的；加拿大的不列颠哥伦比亚是外来的；阿拉斯加是由原来互不相关的地体并合而成的；雄伟而硕长的科迪勒拉山系也是由不同地质条件的地体并合组成的。现在，不少地质学家认为整个中美洲、中国大陆的很大一部分、日本、南美洲边缘、俄罗斯以及大西洋周围的一些陆地都由地体并合而成。太平洋边缘的很多陆地都是在古生代晚期从各地分裂漂移并合到已存在几十亿年的古老大陆上增长起来的。

当然，研究地体漂移和并合，并不是凭空想象的，最主要的条件有四方面：第一，要指出该地区的岩层及其种类和相邻地区有很大差异；第二，沉积物中的古生物化石并非当地所有，与相邻地区所见的化石迥异；第三，岩石中测定的古地磁方位与相邻地区不一致；第四，地体的边界是并接的，必定有断层存在。

地体的提出，解释了某些大陆的增长和某些山脉的形成是当今地质界的新思潮。

### 固定论者仍在挑战

本世纪有关地壳表面的构造问题，即所谓大地构造问题的争论，不外乎前述的固定论（强调地槽—地台观点）与活动论（强调大陆漂移、板块构造观点）两大派。而且近年来，活动论的拥护者几乎取得压倒优势，这样，是否这场争论可以休止，可以作出结论了呢？

事实可不那么简单，有些问题，固定论者尚有理由坚持，活动论者也难以解释。其中陆桥之说，就属于此。所谓陆桥，简单地说，即连接两块相距较远的大陆，曾起过桥梁作用的陆地。如果你有兴趣，不妨打开世界地图，考查一下现代各大洲之间的陆桥，也不乏存在呢！例如亚洲与北美之间有白令海峡，在海峡上，还分布着好几个面积不大，相距不远的岛屿，它们堪称为联结亚洲与美洲之间的陆桥。亚洲与澳洲之间，有新几内亚与约克角半岛之间的托雷斯海峡等等。再注意这些海峡的海水深度，更令人吃惊，如白令

海峡最低深度为 42 米，马六甲海峡的最低深度为 25 米，托雷斯海峡的最低深度仅 5 米，德雷克海峡（南美洲与南极洲之间）最低深度也只有 80 米。一旦海平面下降，这些海峡之底，就会暴露出海面而成为陆地（或者形成如巴拿马地峡），成为联接各大陆之间的桥梁。这不是无端的猜测，而是有事实上的可能。有人估计，距今 1~7 百万年前，当第四纪的玉木冰期之时，由于全球气温降低，出现大规模的冰川，海平面就可能比现在下降 100 米（有人甚至估计可达 200 米），这样，世界各大陆之间就可以徒步跨越，是不需船只摆渡的。

如此看来，难道地质历史时期，像现在所见的海峡或陆桥不存在吗？早在大陆漂移说尚未确立以前，19 世纪时，有些地质学家，如休斯就已注意到被汪洋大海分隔开来的南半球各大陆上的古生物化石、地层分布、地质构造、古冰川沉积等特征都有极大的相似性。那时，他解释说，原先南半球是一个完整的贡瓦纳大陆，后来由于大陆内部若干地区发生陆沉、海水侵进，于是分隔了各个大陆。

后来，许多研究现代生物的学者注意到大西洋两岸——欧洲的西部和北美的东海岸都生存同样的圆口蜗牛。又如正蚯蚓科的许多属种在大西洋两岸同纬度的大陆上也有发现。于是，有些地质学家推想，早年北大西洋中间可能存在联结欧美两洲之间的陆桥，这块陆桥（陆地）大概由于某种原因而沉没了，不然，又如何解释这种奇特的生物分布现象呢？甚至有人将这块想象中的陆地命名为“阿特拉斯”。还有人推测，这块陆地发生沉没的时间不会太远，也许就在史前不久，有些热心的考古学家还饶有兴趣地企图到北大西洋底去寻找“文物”佐证，但他们的希望都落空了。

与此类似，有人还注意到马达加斯加岛上的狐猴与印度、斯里兰卡，甚至东南亚地区生长的狐猴也极相似，于是猜想印度与马达加斯加之间曾有过联结亚非之间的陆桥，后来而成为印度洋，但也找不到任何地质证据。

更有甚者，有人甚至怀疑浩瀚无边的太平洋中心地带也有陆桥沉没的可能——现存的复活节岛也许是当年古老太平洋大陆沉没以后残留下来的部分呢！当然，这也没有什么可靠的证据。但并不能因此而否定陆桥之说。

## 地震——无时不在的地壳运动

### 灾害性地震的历史记录一瞥

地震，几乎人人都知道，如果用地质科学的概念给予一个定义，这就是：“地球的快速颤动称为地震。”可见地震的过程是短暂的，瞬息即逝。据统计资料表明，地球上每年发生地震，约有 500 万次。幸好绝大多数是用灵敏度很高的仪器测量出来的，所以人们所能感受到的地震是极少的。破坏性的地震，每年也不过 1~2 次，七级以上的地震，每年平均不到 20 次，况且很多地震是发生在人烟稀少的山区或海洋里，对人类的影响较小，不然，人类真是惶惶不可终日了。

我国是地震发生较多的国家之一，因此对于地震的观察与纪录的历史也最为悠久、最为丰富。最早的一次地震，据《竹书纪年》的记载，发生在夏帝发七年（公元前 1831 年），地点在泰山。

到春秋战国时期，记载地震的文字就更多了，如在《吕氏春秋》、《国语》、《晏子春秋》中都能找到。甚至文学作品中也能看到记载。

最有价值的一次地震纪录是发生在东汉永和三年（公元 138 年）二月初三日。当时，著名的学者张衡（公元 78 年~139 年）首次制造了世界上第一台地震仪（当时称地动仪）放置在首都洛阳城里，突然发出一声清脆的当啷声，这是地动仪西侧龙口所含的铜球落到了仰对着龙头的铜蟾蜍的嘴里发出的响声。张衡由此推断说，在洛阳的西边某地发生了一次地震。新闻传出，轰动了朝廷内外，谁都不信。因为当时洛阳街头，车水马龙，如往常一样地热闹，人们毫无感觉，甚至有人攻击张衡胡说八道、无事生非。张衡却安然若素，静候消息。此时，正好骑着驿马的信使赶到京城报告，远离洛阳 1400 多里的陇西（今甘肃兰州、临洮一带）地区于初三那日发生地震，证实了张衡制作的地动仪纪录无误，张衡的发明从此传诵四海，成为世界上著名的科学家。

唐宋以后，方志纪录的地震十分详细，许多笔记，诗文中也有反映。四千年来，我国可查的地震纪录已逾 9000 次。在这些记录中，人们不仅分析出地震发生频繁的地区，而且分析出华北地区近一千年来地震发生的平静期与活跃期各有三次，目前阶段处于第四次活跃期内，告诫人们要注意地震的研究与预报。

我国历史上发生的灾害性地震，文献中有较详细记载的，主要是分布在东部地区。

例如 1556 年（明·嘉靖）12 月 23 日，关中大地震，震中在陕西华县、渭南、华阴一带。河北、安徽、湖南等地都波及影响。面积达 90 万平方公里。其中有 28 万平方公里属于破坏区。由于这次地震发生在午夜 12 时，正当人们熟睡之时，死伤惨重。当时的记载说：“压死官吏军民奏报有名者八十二万有奇，……其不知名，未经奏报者复不可数计。”震中地区死亡人数占总人口的 50%~70%。房屋及其他各种建筑物破坏倒塌者不计其数，由地震引发的地裂、地陷、滑坡、山崩等随处可见。大震之后，余震不断，甚至过了两年以后，还发生一次破坏性的强震。

1688 年（清·康熙）7 月 25 日，山东莒县——郯城大地震，是我国有纪录以来最强烈的一次地震，震级大约相当于 8.5 级。震中位于莒城——郯城

之间，烈度到达 12 度。凡山东、苏北、豫东、皖北的广大地区内均遭到严重破坏，其影响波及地区更大，北至北京，南达江西吉安，东到辽宁丹东、西及山西运城，总面积达 200 多万平方公里。震中一带的建筑物全部倒毁，郟城、莒城、临沂三地死亡人数逾十万。地震以后，连续的暴雨成灾，山崩、地裂、滑坡随处可见，郟城因地震而发生涌泉多处，其上喷的水柱高达二三丈。

1679 年（清·康熙）9 月 2 日上午 10 时，河北省三河、平谷一带发生大地震，破坏范围有十几万平方公里，余震持续三月之久，死亡三万人以上。当时的记载说“是时城廓、村庄、房屋、塔、庙，荡然一空。远近茫茫，了无隔障，黑水横流，田禾皆毁。阎境人民除墙屋压毙及地裂陷毙者外，其生存者仅十之三四。”由于余震的关系，因“灶有遗烬”而引起火灾，真是祸不单行。在地震发生的前一年，当地又逢大旱，“秋禾不登”。民不聊生，饿殍遍野的惨景不忍目睹。

1920 年 12 月 16 日晚上 8 时，宁夏海原大地震，这是我国现代最大的一次大地震，震级接近 8.5 级。波及范围很大，北京、上海、重庆、玉门均有感觉，面积达 300 万平方公里，余震持续三年方定。虽然震中地区人烟稀少，但由于发生在晚间，死亡人数超过 20 万，海原城中的所有建筑物荡然无存，死亡者达 90% 以上。离震中几百公里以外的通渭、固原等地的建筑物也几乎全部坍塌。再由于当时政府没有及时组织救灾防病措施，致使震后瘟疫流行，又造成大量死亡。

1933 年 8 月 25 日四川茂汶县叠溪大地震，震级为 7.5 级，烈度为 10 度。震中位于海拔 2300 米的高地上，震源距地面 16 公里，当地原是一座山区的小集镇，有房屋 278 间，全部坍塌。居民 500 余人，幸存者仅 3 人。地震后，山体下滑 90 余米，陷落范围长达 2000 余米，堵塞岷江上游，一时大水淹没，来不及逃避而淹死者约 2500 余人。这次地震共计死亡 6300 余人。

最近的一次，1976 年的唐山大地震，震级 7.8 级，唐山城内建筑物几乎全部被毁。死亡人数达 20 余万。由于政府及时组织抢救工作，避免了更大的损失，如今已重新在废墟上建起一座新的唐山城，很难找到地震的痕迹了。

## 地震与矿物的关系

地震对于人类的生命财产来说，几乎是有百害而无一利，但地震确实是成矿的一种营力。

例如：地震有助于石油的形成。因为有机质在 100 以下是不可能转变成石油的。1975 年俄罗斯科学家发现，在交变弹性变形作用下，有机质在 20~70 的低温时也能转变成石油。这是因为一次地震余震期间可有  $10^7$  米<sup>3</sup> 的水沿地震断裂重新分布。此时，一部分水分子会分解成氢根和氢氧根，增强水的活动性，对油气藏和金属矿床的形成都有利。

地震的成矿作用，目前已经为一些事实证明：在沉积盆地中，有机物质的转化程度在地震的活跃盆地边缘地带最高，愈离此地带愈低。有人计算出，在地震活跃的山前凹陷带，石油含量比地震不活跃的地区高 2 倍。

金矿也与地震带有关。例如 1988 年 12 月 20 日美国合众国际社报道，一支研究队在加拿大北极区对地震断裂带的调查中，意外地发现一条由地震形成的长 14 公里的富金矿床。

更多的金属矿带也都沿地震带分布。

## 地震是如何运动的

地震发生时，地壳到底是怎样运动的？小地震一般不易觉察，而大地震遗留下来的若干痕迹可以观察到，其运动方式，大致与海洋中波涛的前进相似，既有垂直的运动，又有水平的运动。例如 1976 年唐山大地震发生前，在唐山、滦县和乐亭一带出现上升，一年之内曾上升 5 毫米，成为近 20 年来上升幅度最高的纪录。而天津一带则发生下降，一年之内下降 4 毫米，这就是垂直运动的表现。唐山地震后，原来是平坦的大道，变得坎坷扭曲，有些高低不平，其高差竟达六七十厘米；水平方向的位移甚至更大，竟有 120 ~ 250 厘米，林荫大道被水平错开十分清楚。

国外有些大地震以后出现的水平位移情况也颇为惊人。例如 1855 年新西兰一次大地震，道路水平位移达 12.3 米。1906 年美国旧金山大地震后，铁路发生严重扭曲，水平位移达 6.4 米。1976 年 2 月 4 日危地马拉大地震后，使这个国家的北部地区向西推移 1 米以上。

国外有些大地震发生以后，也有垂直运动的纪录。例如 1891 年日本浓尾平原大地震后，原是一块平整的地面，突然变成一个高 6 米的大台阶。1946 年秘鲁大地震，使当地安第斯山出现一个高 3 米的新断崖。1899 年阿拉斯加大地震，甚至出现 14.1 米高的新断崖。

由此想象到，在地震发生的一刹那间，震中地区的地面确实会像大海中的波涛那样汹涌起伏。

既然地震发生时的运动像波涛那样动荡，也就不难想象会出现波峰和波谷，处于波峰地段，升降的幅度大，建筑物及其他损失必然严重。而处于波谷地段，相对的比较稳定，升降的落差也极小，这里的建筑物及其他损失必然轻微。当唐山大地震后，看到残存的建筑物与倒塌的建筑物正好相间排列，就是这个道理。

## 地震是怎样发生的

探索地震发生的原由是科学家一直探索的课题。但是迄今还不可能提出一种为大众所公认的说法，但有一点却有共识，即是地壳（岩石圈）受力的作用所致。

据统计，各类大大小小的地震，90%以上是分布在地壳的断层带上。因此，里德于 1911 年根据 1906 年旧金山大地震的研究，特别是断层位移现象（如前所述）的观察以后，提出地震的成因是“弹性回跳说”。他认为断层两侧岩体受力的作用以后，开始时沿断层尚无位移，仅在两侧岩石上产生弹性变形，当岩体继续受力，弹性变形越来越大，累积起变形能。最后，断面上的磨擦力不能维持这种变形时，沿断面两侧的岩体就发生滑动，弹性变形也随之消失。此时，变形能转变为位能，同时，就发生地震。

本世纪 60 年代以后，有人根据实验资料提出，甚至深达 60 公里的地下，岩石在高温高压下，会使弹性变形突然变为破裂，含水的矿物出现脱水，也可以产生地震。由此推测，甚至深度到达几百公里处，岩石已呈熔融状态，其强度突然降底，也会发生地震。因此，猜测有些深部地震大概即由此而来。

还有人提出，当岩浆入侵到地壳中间，其体积膨大，挤压围岩，导致围岩破裂，也会产生地震。

又有人解释深部地震发生的原因时认为：上地幔内部许多矿物由于外界温度、压力的变化常常由一种结晶状态急剧转变为另一种结晶状态，从而使体积突然变化，也会产生地震。

此外，还有火山爆发引起地震。水库充水以后，发生沉陷；洞穴发生坍塌（特别是岩溶地貌十分发育的石灰岩地区）等也会产生地震，只是这些地震的震级较小，局部地段也可能会造成灾害。还有地下核爆炸也可引发地震。

## 地震分布的规律

如果你翻阅一下地震资料纪录之类的书籍，或者打开一幅地震分布图一看，不难发现，历史上的地震发生地并不是各地均匀分布的，而是集中在某几个地带上。如果把这些地震带再与地质构造图作一比较，又不难发现它与地壳的断层带关系特别密切。

就全世界范围而论，由震中密布点所组成的地震带，基本上有三条：第一条称为地中海南亚带，包括地中海——中东——中亚——喜马拉雅山——印度支那半岛——印度尼西亚群岛。第二条称为洋中脊带，包括冰岛在内的纵贯大西洋的洋中脊、东非大裂谷、印度洋的澳洲与南极洲之间的洋中脊以及南太平洋的洋中脊。第三条称为环太平洋带，包括起自南极洲的南极半岛——沿南美洲西海岸——北美洲西海岸——阿留申群岛——堪察加半岛——日本——琉球群岛——台湾——菲律宾与南亚地震带相接。

为什么会这三条地震带呢？先说地中海——南亚带，这是一条地质历史上最年轻的造山带，或者说，正好是非洲板块、阿拉伯板块、印度板块自南向北推移与欧亚大板块相撞的交界处。自比利牛斯山、阿尔卑斯山、喀尔巴阡山再向东经过土耳其的托格罗斯山脉、伊朗的库赫鲁德山脉直到喜马拉雅山脉，再转向东南亚的横断山脉，基本上是第三纪时期造山运动时形成的。这些山脉，迄今仍在不断升高，说明这条几个板块相接的地带至今仍在活动，或者说，这是地质构造上的活动地区，所以地震在此带频繁出现就不是偶然的了。

至于洋中脊带，这里是海底（实际上也就是地壳）发生裂口的所在地，其下直通地幔，岩浆往往从此喷溢而出。当然，这正是地壳破裂且极易活动的地区，地震带在此出现，也是势在必然。

而太平洋地震带，也属于板块构造的接界之处，以太平洋东岸为例，是太平洋板块与南北美两大板块的接触处；西太平洋岸也是太平洋板块向亚洲大陆板块向下俯冲的所在地——深海沟成为两者的接触带，断裂同样深入到上地幔部分，岩浆不时从此喷出，现今的日本、菲律宾一带正是活火山喷溢，地质历史的新生代的火山熔岩亦沿此带广为分布，地震活动之频繁自然亦可以理解了。

这里，也许你会发问：“有好些地震并不发生在上述的三带上，那又为什么呢？”我们说这三条地震带只是说明地震频繁出没的地方。有些地震，甚至是灾害性的大地震并不位于“三带”之内，但多少与当地的断层（特别是大断层）有关。

例如 1920 年 12 月 16 日发生于宁夏海原的接近 8.5 级的大地震，也不

在“三带”上，但却位于鄂尔多斯西部边缘的断裂带上。这条断裂带，大致呈南北走向，其南起自陕西宝鸡，向北沿六盘山东侧通过，经固原直达贺兰山南段，再向西北延伸到腾格里沙漠之内，自古生代以来，特别是新生代时期，处于十分活跃阶段，使断层东西两侧的地质特征发生重大差异，断层的深度也肯定很大，所以在海原发生了大地震。

## 地震能否预报

地震确实很可怕，为了减轻或避免生命财产的损失，谁不希望能进行预报？在科学尚不发达的古代，人们凭借地震历史的纪录，或遭受地震的经验，也总结出若干有意义的预报方法，并取得一定效果。

举例来说吧！根据山西省《虞乡县志》记载：清·嘉庆二十年（公元 1815 年），山西平陆地区从 8 月 6 日开始，连续下了三十多天的倾盆大雨。过了重阳节，天气才转晴，照理，此后的气温应该逐日凉爽，可是那几天出现异样，气温比常年偏高，几天之内，一天高于一天。当地的老人们根据前辈流传下来的谚语“霖雨后天大热，宜防地震”的说法，向群众预报近日可能发生地震。果然，9 月 20 日午夜 2 时，突然地摇山动，发生了一次强烈的地震。

宁夏《隆德县志》曾经把地震前兆归纳为“地震六端”：一、井水本湛静无波，倏忽浑如墨汁，泥渣上浮，势必地震。二、池沼之水，风吹成苕交萦，无端泡沫上腾，若沸煎茶，势必地震。三、海面遇风，波浪高涌，奔腾泽汹，此常情；若风日晴和，颭颭不作，海水忽然绕起，汹涌异常，势必地震。四、夜半晦黑，天忽开朗，光明照耀，光异日中，势必地震；五、天晴日暖，碧空清静，忽见黑云如缕，蜿如长蛇，横亘空际，久而不散，势必地震。六、时置盛夏，酷热蒸腾，挥汗如雨，蓦觉清凉如受冰雪，冷气袭人，肌为之粟，势必地震。用现在的科学内容去考察这六条，都符合情理。特别是对震前天气异常、地下水异常、海啸、地光、地震云等宏观先兆的观察，作了精辟的概括，其中对地震云的描述与观察与现代研究成果基本一致。这些总结性的资料，十分可贵。此外动物的异常现象，也是对地震的极好的预报，很值得注意。

我国预报地震的能力已趋世界先进水平，从事预报工作者中最有名的科学家就是中国地球物理学会理事长翁文波教授，他在 1984 年出版《预测理论基础》一书中就预报过 1991 年华中（河南、湖北、湖南、安徽各省）地区将发大洪水，果然应验了。1990 年 10 月 14 日，他应邀赴美参加经济地质学家学会年会，临行前，向美国 HGS 驻北京办事处总裁杰利·哈曼先生递交了一份书面备忘录，以一个科学家的责任感向美方提出忠告：加利福尼亚地区近期内将有地震发生，望加监测。三天以后，一场 6.9 级的强烈地震果然在那里发生。1990 年 3 月，翁教授在中国科学院地学部举行的中国自然灾害灾情分析与减灾对策研讨会上发表一份题为《认识与预测》的论文，预测 1990 年全世界将发生 15 次较强烈的地震，结果得到证实的就有 13 次，预测成功率到达 87%。他的地震预报到达惊人的准确程度——发震日期前后不差 31 天，震级误差不超过 0.9 级，发震地点基本上在震中的周围。

人们不禁要问：翁教授是不是一位超人？他有没有特异功能？诸如对地震的敏感性胜过常人？没有！翁教授自己说：“我的预测工作没有什么秘诀，只靠看前人留下来的历史纪录资料和一架电子计算机。”他这里所说的历史

纪录资料，包括图书馆里的藏书、报刊上发表的文章和讯息、各方有关单位相互交流的资料等，所有这些，都是公开的，没有什么保密的内容。关键的问题是要把资料搜集得完整，分析得清楚，结论就能准确。

现在讨论地震预报，必须将地震发生的原因与地震的地质背景材料一起综合起来看，前面提到断层带问题，是不是处于断层带上的都会发生地震？那也不见得，因为断层带只是背景材料，何时发生，何处发生，还要看那里近期的地应力变化情况，如果地应力无变化，地震就不见得会发生，这就是地震预报问题。

什么是地应力？地应力就是岩体内部逐渐累积起来的内力，当岩体出现破裂，表明地应力很快会发生突变，接着就可能发生地震。所以，监视地应力的变化，实际上就是监视岩体发生破裂的程度，岩体聚积内力的程度，这是用仪器长期观察与统计以后才获得的。

但是地震发生在地下，跟踪观察相当困难，各种干扰的因素又比较多，自然，所以准确预报地震相当困难。就目前而论，定性预报的资料已经有较多的积累，而定量预报仍然十分困难。况且人们最关心的是震前预报，从各方面资料总结出大致有以下几方面可供参考。

研究小震的活动规律。一般在大震前小震的活动次数突然增多，或在增多以后又会突然减少，甚至平静下来。例如 1975 年 2 月 4 日 19 时 36 分辽宁海城发生的地震，在发震前三天开始出现小震，后来小震次数逐渐增多，临震前到达高峰，24 小时之内竟达 500 余次，然后又平静了几小时，接着就发生大震。所以海城地震预报比较准确，减少了损失。1966 年邢台发生地震，震前亦有小震活动。所以群众曾总结说：“小震闹，大震到，地震一多一少要报告。”但是，这条规律不一定都可靠，有些地震前不一定发生许多次小震；或小震多次后却不见有大震发生。有人曾将全世界 1950~1973 年间发生的 163 次较大的地震作过统计，震前出现过小震的只有 72 次，占总数的 44%。

测量地面形态的变化。大震发生前，岩体已受到构造应力（地应力）的持续作用而变形，岩石的变形会影响到地表，使地面失去原有的平衡，产生地形变化，当地形变化到一定程度时，即预示着地震的来临（通过仪器观测获得）。人们能看到的地形变化，有地面的升降、倾斜之类。

观察地下水的变化。这主要表现在地下水位的突然升高或降低，水温、水质的突然变化（如苦、咸、甜味的变化），突然浑浊，突然变清或翻花冒泡等等。当然，这许多不正常现象必须排除气象因素。如 1856 年 6 月 10 日湖北咸宁发生 6 级地震，据湖南《花垣县志》记载：“前数日，各处水井咸涌出红水。”水的化学成分也会发生变化。群众总结井水与地震的关系说：“井水是个宝，地震前兆来得早。”

观察动物生活习性的异常变化。许多动物的某些感觉器官十分灵敏，胜过人类。在震前几分钟、几小时，甚至几天就有反映，能比人类提早捕捉到将要发生地震的讯息。于是它们表现出异常的势态，如烦躁不安、惊慌慌乱、不肯进圈、鸡飞狗吠等现象。据中国科学院有关研究部门统计，大约有 58 种动物对地震有敏感性。

震前动物为什么会异常反应？意大利动物学家特利波对此作了反应机理的阐述，他认为：地震前由于地层深处压力增加，会产生一种压电效应。被压缩的石英晶体的棱角处产生电荷而放电，放电的电流分解了地层中的水

而产生无数正电微粒。正电微粒沿袭裂隙上升到地表空气中，称为气溶胶微粒。这种微粒能使动物产生一种特殊的神经激素而使中枢神经高度兴奋，继而出现异常行为。如果震前正好遇到天下大雨，雨水能冲刷气溶胶微粒而使之逸散，在空气中就很难保存气溶胶微粒，那么，动物的神经中枢不可能受到刺激影响，它们就不会表现出异常反应了。

某些植物在震前也有所反应，如提前开花、突然枯萎等，这是由于震前气温变暖或地下水位下降之类而引起的间接反应。

地声和地光。地声和地光常出现在大地震前几分钟的极短时间里，地声有时也在几天前听到。地声的音响或如闷雷、或如狂风吹过、或如载重汽车、飞机疾驶而过、或如开山炸石的炮响。

地光是天空的发光现象，呈现红、黄、白、蓝等五颜六色的闪光、光带或光球。唐山地震前几分钟，火车将临唐山站，驾驶员曾见地光，听到地声，及时刹车停运，避免了一场损失。

扩容现象的研究。岩石受力作用但未到达破裂以前而产生许多很细的裂隙并出现体积膨大现象，称为扩容现象。这实质上是地应力、地磁、地电的一种反应。据实验表明，岩石承受应力值达到岩石破裂所需应力值的一半时，岩石开始扩容（扩大容积），体积膨胀，使一系列可测量的物理量（如岩石的地震波波速比、地形变、电阻率等均发生相应的变化。根据这些物理量的测得，可以预报地震。例如地震波波速变化和地形变化等可在地震前 10 ~ 15 年发生，可作为地震长期预报的依据。

断裂带上氡的异常富集现象。根据美国内华达山脉的前缘断裂和某地断裂的外侧研究，氡的异常富集与活动断层中的地下水关系密切。日本中部的松代地区，在 1965 ~ 1967 年间对每天 600 次之多的地震活动调查，也证实了氡与现代构造活动有密切关系。前苏联地质学家利用断层带上土壤中含氡量的变化预报地震。美国蒙大拿西南部地区的天然水井及泉水的调查也证明：氡的富集与活动断裂有关，主震前 17 天，氡含量几乎降为零点，而在地震之后，立刻进行调查，却发现氡大为富集，比正常含量高出 7 倍之多。

以上所说的各项因素，当然不可能单凭某一项出现异常就能作出地震预报，最好是综合几项观察。地震预报是一个复杂的问题，准确预报尚待进一步研究。

## 海洋里的地震——海啸

什么是海啸？简单地说，就是海洋里发生地震。不像陆地，地震波在海水中传播的速度极快，每小时可达 700 ~ 800 公里，波长可达 100 公里以上，但波高却与平常的海浪相当。因此，在深水的汪洋里，海啸就不大容易发现，但在浅水海域里，特别是海边滩地上，情况就不同了，那里的波长显著缩短，波高则迅速增高。当其冲击海岸时，波高可达 10 ~ 20 米，最高的可达 64 米，形成巨大的波涛，顷刻之间可以摧毁堤岸、码头、建筑物。其严重的破坏程度也是相当惊人了。例如 1896 年 6 月 15 日发生在日本三陆件的 7.6 级地震后的海啸，将正在欢度节日的居民 2.7 万人冲走，毁坏房屋万余幢，当时的浪涛高达 24 米。1933 年日本海沟发生 8.5 级的大地震时，沿海地区掀起的巨浪高达 27 米。海浪以每小时 750 公里的速度向东推进，10 小时以后，传到旧金山，20 小时以后，传到南美洲的智利北部，并使那些地方遭到一定的

损失。又如 1900 年智利发生 8.4 级的地震时，不少地方在几分钟之内下沉 2 米，海洋上随着出现巨大的海啸，波涛横渡太平洋，迅速到达日本，把日本一艘颇大的海上渡轮推到岸上，并压塌一座海滨民房。如果在船只航行时偶然遇到如此巨大的海啸，其后果之惨，不难想象。

1946 年 4 月 1 日，阿留申群岛的南海域发生 7.4 级地震引起海啸，传到夏威夷，人们正在熟睡，听到狂啸的声音，赶忙跑到门外，已是汪洋一片，纷纷往高地逃跑，还没站稳脚跟，又一阵巨浪扑来，几经反复，当场就冲死 150 人，财产损失达 2500 万美元。当时夏威夷群岛的乌尼马克岛的海浪高达 30 米。

1964 年 3 月 28 日阿拉斯加发生 8.4 级的大地震，震中附近的断层上升 17 米，引发海啸，浪涛高达 9 米，也造成重大伤亡。在瓦尔迪兹港，浪涛竟高达 30 米。

1983 年 5 月 26 日正午，日本秋田县近海发生 7.7 级地震，引起海啸，浪高 8 米。在海边玩耍的 13 名小孩，一浪就被卷走了。在长达 8 小时的海啸中，100 多人失踪。海浪上岸后，到距岸 800 米处，翻越过 14 米高的小山丘。

1993 年 7 月 12 日晚 11 时 17 分，日本北海道西南海发生 7.8 级大地震，并引起海啸，这里虽然比较偏僻，仍夺去 78 人的生命，近 200 人下落不明，百余人受伤，500 多栋民房化为一片废墟。事后，据日本气象厅称，震源在奥尻岛附近，深度约 50 公里。当地震发生后 5 分钟，海啸警报声四起，但是，还未等奥尻岛南部的青苗地区的居民逃离现场，高达 10 米的海浪即已临头。

## 火山——地震的孪生兄弟

### 火山危害

位于意大利那不勒斯附近的维苏威山，本来是一座不高的小山，山坡和山顶覆盖着一层黄土，满山长着丰茂的野草，当地农民自古以来就把这里当作天然牧场，成群的牛羊和马匹使这里具有恬静而幽雅的田园风光，景色十分迷人。

公元 79 年 8 月的一天，可怕的灾害在这里发生，火山爆发了。先是一声震天动地的巨响，随着一阵黑烟从山顶腾空而起，紧接着断断续续的爆发声夹杂着大量的灰尘、砂土、碎石冲向天空。黑烟汇合成烟柱，直插云霄，足有 5000 米之高。隆隆的爆破声，远闻数十里之外。夜晚，浓黑的烟柱变成熊熊的火焰，方圆几十里照耀得如同白昼。当碎石和灰尘抛向天空以后，散落飘移开来，形成“石头雨”。漫天蔽日，顷刻之间使晴朗的天空变成漆黑的“夜晚”，伸手不见五指。在这些飘落下来的碎石中，有些甚至重达 100 千克。呛人窒息的硫磺气（硫化氢）及其他难嗅的气体令人呕吐、昏昏沉沉地倒下，再也起不来了。有许多活蹦乱跳的野兽和家畜，也都在“毒气”的弥漫下丧生。原来是郁郁葱葱的草木，顿时焦枯，毫无生机。几乎与此同时，飘泼大雨从天而降，但不是明净透亮的雨水，而是浑浊粘稠的泥水，地上一切景物，都被涂上一层厚厚的“泥漆”。

祸不单行，从喷气冒烟的山顶上又流出火红灼热的熔岩，所到之处林木燃烧了、田野燃烧了、房舍燃烧了。转瞬之间，大片绿野变成火海，不仅所有地栖的动物都遭到火燎殒命之灾，连飞鸟也很少逃脱而跌落到火海之中，化为灰烬。

更惨的是从山上喷发出来的尘埃，源源不断地飘到几十公里以外的庞贝城和库兰嫩镇，庞贝城原是古罗马时代非常繁华的城市，系希腊人所建，有 25000 人口；库兰嫩镇虽不及庞贝，但也有一定规模，可是这突如其来的大量火山尘灰迅速降下，所有的房屋、码头、街道……全给淹没了。灼热的火山灰挡住了视线，人们不知向何处逃生，都被烤死或掩埋。最后，整个城市不见了，只留下厚达 7 米的火山灰堆积起来的荒野。

直到 19 世纪，过去了一千多年以后，意大利政府组织人力清除火山灰，进行发掘，这两座古城终于重见天日。大批考古工作者接踵而来，到此搜集各种文物资料。在清理发掘中，发现火山灰凝结而成的岩石不时发出中空的响声，打开一看，原来是人畜形态“铸成”的空模子，其形体轮廓的线条清清楚楚。后来，当挖掘到中空响声时，就小心地先凿开一个小洞，用石膏浆灌注进去，停会，再打开岩体，整具的人兽“雕塑”就暴露出来，有时，还能见到他们被火山灰掩埋时的挣扎惨状。

从挖掘出来的“尸首”中进行初步统计，当时惨遭罹难的竟有两千余人。

由于火山喷发，熔岩溢出，现在维苏威火山的高度也增加到 1000 米以上。

火山喷发时的直观危害，十分可怕，而且对人体健康有间接的影响，不能不引起人们的注意。例如 1980 年 5 月，美国圣海伦斯火山喷发后，美国捷哈斯大学保健中心，国立职业保险与保健研究所以及其他一些医疗机构都对火山灰的物理化学性质与人体健康的关系进行研究，专家们发现：硅的无

机化合物在火山灰中的含量为 1.5% ~ 7.2%。另外在对动物和培植人体细胞的实验中，专家们研究了火山灰的溶血活性（指破坏红血球的性能）、纤维蛋白原活性（指引起结缔组织增生的性能）及火山灰对肺泡巨噬细胞的影响。他们认为：原来火山灰对人体肺泡的巨噬细胞并无毒性，但对红血球却有破坏作用。火山灰对加快动物结缔组织纤维的形成也有作用。所以，医学专家警告人们：吸入火山灰的人们，染上矽肺的危险性正在增加。

前苏联的医学专家们也对这个课题进行过研究，他们以近百年来一次最大的火山喷发，即 1975 年 7 月 6 日至 1976 年 12 月 10 日西伯利亚东部沿海的堪察加的托尔巴奇克火山喷发为对象，统计出这次喷发的火山物质达 20 ~ 30 亿吨，相当于一年中全球所有火山喷发物的总和。其岩浆气体与微小的火山灰环游全球。专家们采集了这次喷发的新鲜火山灰、岩浆气体及熔岩样品测定其化学元素的含量。据米克里沙斯基等学者的计算，每年进入大气中的镉为 37.3 ~ 299 吨；铅为 200 ~ 2000 吨；铜为 500 ~ 4350 吨；锌为 1900 ~ 15300 吨；锰为 28000 ~ 280000 吨。火山气体每年约有 3 千万到 1 亿 5 千万吨；火山灰为 3 千万到 3 亿吨。另据前苏联学者古辛科的资料，近百年间全球每年火山喷发约为 7 ~ 38 次。由此推算出平均每次喷出的镉为 5.3 ~ 7.8 吨。须知镉中毒对人体的危害是不容忽视的，它会使人体的血压升高，引起肾虚乃至癌症；如果通过胃肠吸收（如通过火山灰、熔岩流出来的水饮用以后），严重的使人的骨骼变形、变脆。

所以火山喷发时对生命财产的损失，危害极大，而如上所说的，潜在的影响人体健康的危害，特别是靠近活火山地区的人们，更应注意。

像维苏威这样的灾害性火山，当然是典型的，但也绝非仅有，世界上的活火山与死火山不知其数。

## 地震与火山的关系

地震作为地壳运动的表现方式之一，人们容易理解，而将火山也视为地壳运动的范畴来研究，似乎关系不大，其实，有些地震与火山是紧密地联系在一起。例如 1960 年 5 月 22 日，智利发生了一次特大地震，震后 48 小时，位于震中东南 150 公里外的普耶韦火山猛烈爆发，其烟柱冲到 6000 米高空，在这座火山的西北面，有一条长约 14 公里的断裂带上，有 28 个喷出口，流溢出炽热的熔岩，这也是火山活动，并且持续了几个星期。

为什么有一部分地震与火山喷发有如此紧密的关系呢？

大家都知道，从地面到地下深处的温度是不断升高的。例如黑龙江鹤岗煤矿，在严寒的冬季，地面气温是零下 20℃，而在 300 米深处的矿井底下，始终保持 20℃ 以上。美国有一个金矿矿井，在 600 米深处，竟达 42℃ 高温。这两个例子说明随着地壳深度的增加，地下的温度也随着升高了而温度与深度的递增关系又怎样呢？华北平原有一个钻孔在 1000 米深处为 46.8℃，在 2100 米深处 84.5℃。由此推算，每深 100 米，温度升高 3.4℃；另一个华北平原的钻孔资料统计表明，每深 100 米，温度增加 3.3℃。由此可见，每深 100 米，增加 3℃ 是完全可能的。地球的半径为 3670 公里，其中心部位的温度可增至 19 万度了。

另外，岩石的熔点也会随着压力的增大而逐渐提高，这两种温度到 100 公里深处以下（已到达岩石圈以下）最为接近，也就是说，这里的岩石最容

易熔融成岩浆。但因为岩石圈以下的平均温度还是低于岩石熔点，所以在绝大部分地区的地下并没有岩浆存在。只是当地壳构造运动或其他因素发生时，使某处出现较高的热量聚积或压力降低时，那里才会产生岩浆。此时，流态的岩浆就慢慢地向压力较低的地方（往往就在它的上方）移动。当岩浆向上移动到一定高度时，压力平衡，便暂时停止运移，在某个地方聚积成“岩浆库”。在“岩浆库”里，一部分较重的元素会结晶而沉淀出来，同时又熔化一部分围岩，结果，岩浆中易挥发的成分（如过热的水、碳酸等）逐渐增多，压力就越来越大。当压力增加到一定程度时，就会沿岩石的裂隙冲向地表，于是形成火山喷发。作为火山“通道”的裂隙，往往其深度较大，可以直达岩浆所在地（上地幔），前已述及，这些裂隙“通道”，也正是地震频繁出没之处。所以，地震与火山往往成为某种地壳运动的孪生姐妹，就不难理解了。

## 火山的威力

世界上有很多次规模很大的火山喷发活动，造成惨重的损失。前面提到的维苏威火山就是一例。

又如公元前 1400 多年前 地中海东部的克里特岛及其附近的斯托朗特里群岛上的火山喷发以后，几千年来，每隔十几分钟就要喷发一次，而且山体逐年增高，目前已超出海平面 926 米。在 3400 多年前，克里特岛上的克诺索斯城是地中海海上交通的要道，经济与文化都相当繁荣，人口有 10 万之众，历史上所称的米诺斯文化（比古希腊、古罗马的文化还要古老），就以此为中心。后来，这座滨海城市突然消失了，一度成为考古工作之谜，许多考古学家对此作过种种猜测。现已证明，就由于这里连续不断的火山喷发，伴随着强烈的地震、海啸，终于把克诺索斯城吞没了。

墨西哥帕里庭库火山，也是很著名的活火山。在火山尚未活动前，帕里庭库原是一座富饶而美丽的河谷村庄。1943 年前，当地一个叫普里多的农民，发现自己的一块玉米地“发热”，晚上睡在田里也不感到冷。1943 年 2 月，这里开始有地震发生，田里的土缝中有烟气冒出来，到 2 月 20 日下午 4 时左右，大地震动的频率突然加强，还伴有隆隆的响声，先前冒烟气的地裂缝也逐渐加宽，约有 6~7 分米。不久，裂隙越来越长，宽度也越来越大，而且裂缝的数量也骤然增多，带有浓烈的硫磺气味的烟从裂缝中陆续冒出，并嘶嘶作响。烟气逐渐变成烟火，田埂上的树木被灼热燃烧了。冒烟的若干裂缝终于扩大成洞隙，除浓烟外，还翻腾出石块、砂土。第二天上午，喷翻出的砂石碎块堆到 10 米高的小丘，一星期以后，变成一座高达百米的小山。随着，火红的熔岩流外溢，温度达 1000 。开始时，熔岩流像两条火龙，每分钟流动几十米，当流到 2 公里长时，表面冷凝，失去亮光。几年以后，共流出熔岩流达 10 亿吨，掩盖面积达 24.8 平方公里，到 1952 年 3 月 4 日，喷发才暂时告一段落，此时的火山高度已达 450 米。

西印度群岛中的马中尼克岛的培雷火山，也是一个很惨的灾害。1902 年 5 月 8 日爆发，位于火山脚下的美丽滨海城市——圣佩尔城摧毁于顷刻之间。这样的事例还有许多，这里不一一描述。

假如火山在海洋中喷发，尤其在陆缘海里喷，还会造成新的陆地。例如日本的西之岛，由于海底火山喷发，1973 年露出水面，到 1974 年，再度增

长，使新岛面积达到 7700 米<sup>2</sup>，与旧岛相连，总面积比旧岛大 3 倍，增加了日本的领土。

又如大西洋亚速尔群岛附近，1957~1958 年间，一次海底火山喷发，迅速形成一个高出海面 150 米的新岛，取名卡维里诺斯岛。

但是，有些新岛形成以后，并不稳定，几经沧桑。例如南太平洋汤加王国的拉特岛西南海底上，1875 年由于海底火山喷发，形成一个高出海面 9 米的小岛。到 1890 年，再度升高，露出海面 46 米。此后火山平息，遭受到强烈的海浪的拍打与侵蚀，迅速降低，在不到 8 年的时间里，小岛没入水下 7 米。过了 69 年，到 1967 年，火山再度喷发，小岛又重新露出水面。次年，又消失了。直到 1979 年 6 月，火山又一次爆发，大量的熔岩和火山块集岩终于又堆成高出海面的小岛，并取名拉特伊基岛。这座小岛的命运，今后将还会发生变化。因为当地正处在太平洋的洋中脊位置上，地壳活动相当强烈，火山喷发时有时停，升降的规律也难以捉摸，也可说是大自然的戏谑！

### 火山分布规律及其预报

不管是国外还是国内的火山，其分布都有一定规律，基本上与地震分布带一致。目前全世界约有 2000 座死火山，500 多座活火山，主要分布在四个火山带上。

一、环太平洋火山带：与地震带基本一致，从南、北美洲西海岸、阿拉斯加、阿留申群岛，经堪察加、日本群岛、菲律宾群岛以迄新西兰。在本带上，现有活火山 300 余座，占全球活火山数近 80%，其中南美及中美洲西海岸、西印度群岛达 100 座。阿拉斯加、阿留申群岛，堪察加半岛、日本群岛约 90 多座。西及西南太平洋达 200 座左右，其中印度尼西亚就有 90 座之多，它成为世界上火山最多的国家。如 1991 年喷发的日本、菲律宾、智利诸火山，我国东部诸火山，均属于本带之内。

二、地中海火山带：有活火山几十座，如维苏威火山，我国的于田火山、腾冲火山均属本带。

三、大西洋火山带：约有 22 座，许多位于海面以下，冰岛与詹迈扬岛有露出海面的活火山是洋中脊上的产物。

四、东非火山带：沿东非大裂谷分布，它是陆地上的“洋中脊”所在处。这些火山带的成因，或者说它的地质背景与地震带是相同的。

地震比较普遍，有时会发生在人烟稠密的地区，造成极大的生命与财产的损失，所以科学家与政府都比较重视，提出许多预报地震的方法。相比之下，火山活动区一般比较清楚，人们的生产和生活活动都避而远之，所以对其重视的程度也不免稍有不足。但是，火山一旦突然爆发，其灾害也不轻。例如菲律宾的皮纳图博火山，沉睡了 600 年之后（当地人对其已产生麻痹思想），突然于 1991 年 6 月 9 日爆发，造成 800 余人丧生，20 万人逃离家园，工农业生产遭到破坏，初步估计，损失达 50 亿比索。可见预报火山爆发，在火山活动区仍是相当重要，特别是利用火山区地热进行发电的地方，更不能大意。从本世纪 30 年代以来，不少科学家深入火山区细致观察研究，到目前已总结出若干有效地预报火山爆发的事例。例如美国夏威夷天文台的贾加教授根据岩浆上升诱发的轻微地震曾预报 1935 年冒纳罗亚火山的一次爆发。前苏联堪察加火山站曾于 1955 年预报当地一座无名火山喷发两周时间。1979

年，前苏联科学家还准确地预报苏弗里埃尔火山的爆发。1980年，美国科学家也较好地预报圣海伦斯火山的爆发。

根据十几年来火山科学家的研究，预报工作可以从以下几方面入手。

**地形变化。**由于火山爆发前，地下岩浆在活动，产生地应力，使地面起伏有所改变。例如阿拉斯加卡特迈火山于1912年爆发前，其周围甚至远距十几公里以外，突然出现许多地裂缝，从那里冒出气体，喷出灰沙。1978年吉布提阿法尔三角区的阿尔杜科巴火山爆发前，突然出现高达百米的突起。1979年圣海伦斯火山爆发前，在其北坡出现一个圆丘。到1980年，圆丘的高度迅速增长，最快时，每天增高45厘米，终于在当年5月18日就从这个圆丘突破，发生大爆发。但在冰岛克拉夫拉火山于1980年10月爆发前，地面却发生沉降，也与岩浆运移有关。

**火山上的冰雪融化。**许多高大的火山常年处于雪线以上，爆发前由于岩浆活动、地温升高，火山上的冰雪融化预示将要爆发。如圣海伦斯、科托帕克希、鲁伊斯等火山均有此现象，融化的雪水甚至造成泥石流或山洪爆发。

**动物异常。**和地震的情况相似，有些动物会表现出烦躁不安的神态。

**火山发出隆隆的响声。**由于岩浆和气体膨胀，尚未冲出火山口时的响声，预告喷发即将来临。

**地震仪器监测。**火山爆发前常有微震，设置在那里的地震仪能监测到。一般在活动火山的周围均设有地震站。如圣海伦斯火山周围有13个，夏威夷基拉韦亚火山周围有47个，印尼默拉皮火山周围设6个等。如圣海伦斯火山在1980年5月大爆发前曾监测到每天3级地震达30次之多，苏弗里埃尔火山在1978年4月大爆发前，可感地震每小时达15次。

**分析火山气体。**在火山附近经常取气体样品分析，不正常的气体增加，表示火山爆发前某些火山气体已“先行”了。

**火山附近的水温、地温监测。**火山喷发前温度一般都升高，可以测得。

通过上述迹象人们就可以用来预测火山喷发了。

## 火山带来的利益

火山与地震不一样，地震带给人类的几乎都是灾害，即使小震也没有多大好处。可是火山不一样，纵使它在喷发的时候，十分可怕，灾害也不轻，但是，它毕竟能带给人类一些好处，有些还是很重要的“恩惠”。

首先，火山的喷发物本身就具有经济价值。特别是玄武岩类，分布十分广泛，除作为一般的建筑石材外，还是铸石的理想原料。因为许多机器的基础与水分、酸碱溶液要经常接触，如果用铁铸成，不仅价格高，而且易被酸、碱及水腐蚀生锈。现在代之以玄武岩制成的铸石，非但牢固坚实，而且具有抗酸碱、耐腐蚀的奇效。

本世纪80年代初期，前苏联的发明家文丘纳斯甚至制造出“石头纸”。它的原料就是玄武岩，先以两千度高温使其熔融，然后拉制成纤维，再把纤维浸泡在酚醛树脂里，这些纤维很快就变成棕色的类似于复写纸的东西。再加入白土粉，终于制成名贵的“石头纸”。这种不怕水、不怕火，又耐磨，同时又能制成薄如蝉翼，白如冰雪，滑润如脂，柔韧若绵的纸张，是任何纸张都无法比拟的。更妙的是，虽经反复折叠，展开以后，不断、不裂，完好如初。连虫也不会咬它，还可以进行染色。这样，可以根据需要，染成各色

纸张。它还具有很强的抗拉强度，在印刷机上快速滚动时也不破裂，可以提高印刷速度。

自然，这种“石头纸”的身价便增高百倍。凡绘制图件、印刷文件、各类纸币、邮票以及需长期保存的资料，珍贵契约之类都可以利用“石头纸”的优点而制作。

玄武岩，甚至其他火山喷发出来形成的岩石除能制纸外，目前一些工业比较发达的国家，已经利用它们来制造“棉花”，称为岩棉。利用天然的玄武岩类经过高温熔融以后，拉成直径仅几微米的纤维，外形很像棉花。膨松的岩棉适用于不规则形状的设备空腔的充填，也可以在岩棉中加入特制的粘结剂和防尘油制成岩棉板、岩棉缝毡、岩棉保温带等产品，供各种规则形态的设备使用。

岩棉的用途相当广泛，主要是在建筑和工业的保温方面。据报道，前苏联使用的保温材料中，岩棉几乎占一半。美国、德国、瑞典的利用也很大，我国也已生产并投入使用。

为什么岩棉受欢迎呢？因为它的重量轻、导热系数低、使用温度高、吸音、隔音效果好。作为保温材料，可节约大量能源，据测算，工业热力装置如采用1米<sup>3</sup>岩棉，平均每小时可节省热能2500千卡，相当于每年节省3吨标准煤。如建筑上使用一吨岩棉保温，一年至少节省一吨石油。例如北京燕山石油化工公司用岩棉代替常规保温材料，在直径50厘米，长1600多米的蒸气管道上进行试验，结果表明，热损失减少50%，隔热效率达99%，仅此一段管道，每年可节省加热油500多吨。

普通棉花在常温下会着火，岩棉不会燃烧，试验证明：750℃炉内放置岩棉，也不会燃烧，到900~1000℃时，一半岩棉才开始变形。在绝对零度（-273℃）时，岩棉也不变形。所以，在绝对零度到700℃范围内，可以放心使用岩棉。

每1米<sup>3</sup>的岩棉，其重量只有几十公斤到一百公斤，所以是建筑的理想材料。岩棉对化学反应具有稳定性，无腐蚀作用。

玄武岩类与矿产的关系也很密切，特别如铜矿、铁矿、钴矿等的成因。作为高级光学仪器镜头之用的冰洲石矿物的形成也与玄武岩有关。不少作装饰之用的玛瑙的形成，也往往贮存在玄武岩的裂隙中。

有些火山喷发的熔岩属于安山岩类的，则与许多金属矿产的形成更为密切，特别是某些大型的斑岩铜矿、铁矿。至于铜、金、铅、锌、银、汞、碲诸矿的形成也与安山岩类有关。例如著名的墨西哥银矿、台湾金瓜石的金矿、智利拉科巨大的磁铁矿、山西五台山龙须沟的铜矿等，都与火山喷发的安山岩类有关。

至于安山岩类本身岩石，可作建筑石材以及化学工业上用作耐酸材料，更是很普通的。如果火山喷发熔岩属于粗面岩类，含有明矾和高岭土的话，还是理想的陶瓷原料。

少数火山喷溢的熔岩属于流纹岩类的，有利于金、银、铜矿的形成。在非金属矿中，如明矾、黄铁矿（制造硫酸的重要原料）、叶腊石（雕刻工艺美术品和图章的重要原料）、黄玉、红柱石、刚玉（经常作装饰用的宝石）、莹石（提炼氟的重要原料）等也都与流纹岩类有关。其实，这类岩石本身也是优良的建筑石材，其中的浮石，质地轻，可浮于水上，我们常在一些观赏鱼的鱼缸中见到，与金鱼藻等相衬映，使鱼缸更显诗情画意。浮石还是重要

的工业原料，如制成浮石混凝土，具有隔热、隔音性能，可作为高级的建筑材料。

火山灰也有很多用途，它是火山喷发出来的最多的物质，其颗粒微细，含有多种植物生长所需要的成分，是天然的肥料，对增加土地的肥力大有好处。像印尼、古巴、日本、中美洲等地的耕地，人工施肥较少，而作物丰收不减，究其原因，不少耕地原是昔日火山灰铺盖而成的。

火山灰还可当作天然的水泥利用，例如古罗马时代的许多宏伟的建筑物差不多都是利用当地的火山灰为原料，其胶结的坚固程度，不比现代水泥逊色。而且这种火山灰“水泥”的抗水性能特好。

从火山口喷发出来的气体，如果能够收集起来，也是宝贵的财富，成为重要的矿产资源。例如硫磺蒸气往往在火山口或温泉的边缘上凝结成硫磺矿，有些则凝成硼酸、卤砂、盐酸、氟酸等重要的化工原料。

如果提到火山的间接赐予，那就更多，与人们的生活关系更密切了。

首先是地热。当今世界性能源供应比较紧张的时候，地热作为能源开发利用的对象，已被各国政府所重视，地热发电就是主要的开发目标。地热能量的蕴藏是极丰富的，往往需以  $10^{38}$  尔格计算，比地球上的化石燃料（煤、石油、天然气之类）的全部能量大 1 亿倍，仅次于太阳能。

早在 1904 年，意大利拉尔德雷洛地热田建起了世界上第一座天然蒸气试验电站。到 1913 年，建成一座 250 千瓦的地热电站开始运行，标志着近代一系列地热电站的开端。

从本世纪 60 年代后期开始，世界各国加速地热电站的建设步伐。据计算，在地壳深处 4~6 公里之间的热能大约相当于 600 万亿吨标准煤，这样的深度，开发的可能性是很大的，目前仅开发了其中很少的一部分，潜力很大。据 1985 年统计，世界上已建成 186 座地热电站，分布在 17 个国家里，总发电能力为 4764 兆瓦，其中美国居首位，约有 2012 兆瓦，在建与计划建设的有 1309 兆瓦。其他国家依次为菲律宾 894 兆瓦、墨西哥 645 兆瓦、意大利 519 兆瓦、新西兰 167 兆瓦。菲律宾境内现有 12 座活火山，预计建成地热电站后的发电量可能超过美国。其中莱特岛上的地热开发的前景最佳，约相当于菲律宾地热发电量的二分之一。印度尼西亚也是多火山的国家。地热发电的潜力很大，正在积极开发，她们打算在本世纪 90 年代初期到达世界第四位行列。我们的东邻日本，火山、地震均较多，有条件开发地热电站，她们从 1966 年开始注意建设，目前已建成 10 座左右，总发电量可能达到 20 万千瓦，也许位居世界第五。其中以八丁原电站最大，发电量达 5.5 万千瓦。电站现有地热生产井 16 眼，9 眼为正常运转，7 眼备用，井深 900~1500 米，井口温度为 170℃，每小时产汽 300 吨，热水 600 吨。热气田的储热层与盖层都是第四纪更新世的火山岩。其他的地热田也大都位于火山群中，已查明可开发的约有 80 多处。

我国最大的地热区在台湾北部的大屯复式火山区，其地质条件亦与日本相同，从 1965 年开始调查勘探，已获得 13 个热气孔和热泉的具体资料，面积达 50 平方公里以上。其中有一处喷出的热气温度高达 120℃，通过打钻，还可提高温度，可达 200℃ 以上。据初步估计，大屯地热发电的潜力很大，可达 8~20 万千瓦。

目前我国地质工作者在大陆范围内已经勘探的地热田（区）已达 40 余个，已发现的天然温泉露头约 2600 余处，人工热水露头约 130 处。

一些小规模的地热电站自 1970 年开始陆续建成，广东丰顺邓屋、河北怀来、湖南汤灰以及西藏羊八井等 8 座已经发电。其中以羊八井地热电站最为成功。羊八井位于拉萨北面约 90 公里，海拔 4300 米，周围山峰终年冰封雪盖，但这里的热水湖温度高达 92（当地沸点为 86）沸水翻腾，水花四溅、蒸气灼人。1974 年开始进行调查勘探，打了几十个钻孔，最深者达 1200 米，井口水气温度达 150，压力为 4 个大气压，平均流量每小时 100 吨。这里是几组断裂的交汇处，中生代的岩浆活动比较强烈，这是热源的所在。中生代岩浆岩之上，覆盖着较厚的第四系地层，把热量储藏覆盖起来，形成地热田（区）。据估计，深钻井中可获得 300 热泉，最有利于发电，其潜在发电量可达 1 万多千瓦。

由于地热发电在经济核算、环境保护、安全生产等方面都有其优点，所以此项建设设备受各国青睐。

与地热有关的，或者说与火山作用有关的另一资源，就是温泉。我国古代就有利用温泉治病的记录。

至于利用温泉灌溉田地，冬季养殖绿肥或饲料，代替燃料使温室保温，种植蔬菜瓜果，以及冬季取暖之类的设施，更是好处说不完。例如冰岛，位于北极圈附近，天气自然十分寒冷，可是在首都雷克雅未克，家家户户，温暖如春，其热能供应，全靠这里丰富的火山温泉。因为冰岛是著名的火山之国，正好位于大西洋的洋中脊上，火山喷发特多，每五年就有一次喷发，有些喷发时的延续时间也很长，其中有一火山，于 1783 年喷发，持续两年之久才告暂停。

有些温泉的矿泉水，甚至对人体的健康也大有好处。据报载：位于黄河之滨，崑山脚下的河南省陕县温塘村多年来一直谜一样地被当地流传着，本村人与一箭之遥的邻村相比，身材高大（男女小学生较普通村的身高高 3~5 厘米，体重也重 2.7~4.6 公斤），寿命长，患流行病少、患癌症病人更少（温塘村人群总死亡率及肿瘤死亡率低于普通村）。现经中国预防医学科学院对这里进行流行病学的调查和动物试验表明：温塘村人身体高大、抗病力强、发癌率低是由于长期饮用当地温泉矿泉水的结果。因而，专家认为：如果能长期饮用，有延长寿命、增强免疫力、提高血白细胞、降低肿瘤死亡率的功效。

另一处著名的高原温泉，位于青海省西宁市之南 130 公里，与贵德相邻，有所谓贵德古八景之一的“沸泉冬温”。泉水在两山对峙的狭谷之中，当地海拔 2500 米，有 24 个泉眼流出一股晶莹透明的潺潺泉水，其中有三个从沟壁岩石裂缝中喷出，正好位于断层带上。

远在明代洪武 13 年（公元 1381 年）就有人来此治病，特别对关节炎、皮肤病有显著疗效；饮用温泉，还能治疗胃病。

1979 年当地政府在此建造温泉疗养院，不到三年时间已有 2 万多人前来治疗，治愈率占 82%。后来，通过构造地质的调查研究，打出一眼 100 米深的高温自喷热矿泉水，喷水高出地面 19.4 米，井口温度在 93°~96°之间，高于当地开水沸点。15 分钟可煮熟鸡蛋，40 分钟可煮熟土豆，2 小时可炖熟肉类。该井每昼夜涌水量达 450 吨。水色透明，经化验鉴定，水中含有氡、钍、镭、铀等矿物质，属重碳酸盐矿泉水，很适宜于医用。

我国目前城市利用地热资源最有成绩的是天津，不仅居国内领先地位，而且在国际上也居前列。已查明的全市地热资源大约等于 13 亿吨标准煤，为

利用地热已打成地热深水井 100 多眼，试验地热发电也已获得成功。全市利用地热取暖的建筑面积已达 140 万米<sup>2</sup>，成为世界上规模最大的地热采暖区。不仅如此，建立在天津大学的我国第一所地热研究培训中心，已成为国际性的亚太地区最大的地热科研基地，为我国以及日本、美国、德国、俄罗斯等培养地热专门人才已达 160 多名。

## “杀人湖”揭秘

活动的地震与火山给人们带来的危害，毋需赘言；而潜在的地震与火山活动给人们带来的恐惧，也不能掉以轻心。

位于非洲中部喀麦隆境内玛瑙湖畔发生的恶作剧，足以令人惊心动魄。

1984 年 8 月 16 日早晨，年轻的牧师伏尔鲍同他的几位好友驱车到玛瑙湖游览。那天，晨雾很浓，他们只得慢速行进。到湖滨，时针已过 8 时。开始映入眼帘的是一辆停在岸边的小轿车，车内的人都睡着了，虽然感到有些奇怪，但无暇去仔细研究，自己的轿车继续前行。走不了多远，又看见一辆摩托车倒在路旁，一个青年小伙子，戴着头盔，也躺倒在摩托车旁睡着了。这时候，好奇心驱使着他们停下车来，走近去看个究竟。他们大吃一惊，那个小伙子已经口鼻流血，四肢僵硬了。他们意识到赶快去报警：是不是发生了谋杀案？正在迟疑时，一团团烟云从湖面升起，随风向湖岸飘来，伏尔鲍首先嗅到一股刺鼻的味道，于是招手同伴们，边喊边跑：“赶快向高地上跑！”但他们吸到这股异味以后，一个个都感到四肢无力，摇摇晃晃地迈开艰难的步履，尽力向高地爬，但总觉得力不从心，有的在半路上撂倒了。同伴虽然上去搀扶相救，自己也走不动，一起倒下了。最后，只剩下伏尔鲍勉强爬上高地，已经上气不接下气，坐下休息一会儿，头脑逐渐清醒过来。

伏尔鲍站在高地上，浓雾散开以后，俯视湖边公路，一派凄惨的景象呈现在他的眼底，只见十多辆汽车歪歪斜斜地停在公路上，有的甚至冲到湖水中去。这就是说，在他们来到玛瑙湖之前，已经有好多人遇难了。

抬头远看湖面，往日的碧波微澜已经消失，而是一片红褐色的湖水，好像血染似的。一团团烟云不时从湖面升起，随风飘送到湖滨的公路上弥漫开来。

到上午 10 时余，政府派来警察，封锁了玛瑙湖地区的交通，再不让人们进入。后来，在清理现场时，发现共计 37 具尸体，他们身体僵硬，口鼻中凝结着大块血块，法医断定：他们都是窒息死亡的。但也令人不解的是，死者身上的衣服完整无损，随身携带的物件未少，连首饰、钞票也都原封未动地放着，天下那有这样杀人越货的强盗？旷野间怎么会出现在窒息死亡？

喀麦隆政府对此惨案当然十分重视，于是请来本国和美国的科学家对此进行调查研究。8 月 18 日，他们在玛瑙湖上看到一系列异常现象：清晨近 6 时，湖面上曾飘来缕缕烟丝，随后变成雾状烟团，人们吸入时，感到苦味，头晕、憋气、想呕吐，四肢乏力。后来，烟雾加浓，约在 8 时到 11 时之间，凡路过此地的人，都会发生死亡的危险。11 时以后，烟雾徐徐散开，气味也就淡了，最后可以呼吸了。但湖面及湖岸上留下一派凄惨的景象：动物，甚至昆虫都死光了。绿草倒伏在地上，有些树叶也枯黄脱落了。湖水也是褐红色的。第二天，湖水恢复平静，往日的碧水又重新返回。

科学家们观察以后，排除了任何人在湖里投放毒药之类的可能性。于是

他们首先怀疑玛瑙湖是否是火山湖，湖底有火山活动的迹象，有毒的火山气体从湖中冒出。他们走访了玛瑙湖周围几十里地域内的群众，据反映说，在事件没有发生的头几天夜里，曾经听到自玛瑙湖方向传来的低沉的爆炸声。于是他们又对湖底进行调查，果然发现这是一个火山湖，湖底碳酸盐离子的浓度特别高，用同位素方法测定，证明碳酸盐中的碳来源于火山。

但是如果完全归因于火山，另一些事实又颇有矛盾。比如说，湖的周围看不见任何火山活动的痕迹。湖底水层中也没有富集火山喷发时所特有的硫、卤族元素等。

可是科学家们却意外地发现了深水中含有大量的二价铁，有些还形成新生的菱铁矿（碳酸铁矿物），这对研究玛瑙湖的环境问题提供了新的线索。后来，终于找到了铁的来源，它是撒哈拉大沙漠中的红土经过北风的搬运降落到玛瑙湖里的。原来红土中的三价铁（氧化）沉落到湖水中以后，通过酸的作用变成二价铁（还原）。湖水中所保持的酸性作用，则由于二氧化碳转变为碳酸盐所造成的。这样，铁与碳酸盐便形成菱铁矿，并在湖底沉积起来。但是，这些化学成矿过程，必须在湖水宁静的条件下才能完成，而且还要有长达数百年的时间。如果在这数百年内有火山从湖底喷发，菱铁矿形成的化学平衡必然遭到破坏。有菱铁矿存在，用火山喷发解释事件也是说不通的。

那么，8月16日的杀人烟雾又从何而来？原来，在平静的湖水里，存在着十分精妙的化学平衡状态，湖水按化学性质出现分层现象，在湖的最底层，是重碳酸盐浓度很高的聚积处，当湖水由于某种原因受到强烈搅动时，充满碳酸的水就上升，产生大量二氧化碳气，冲出水面，形成缕缕云烟，再遇到微风吹拂，这些二氧化碳便飘到湖岸公路上聚集，另一些伴随的毒气也乘机而来，当其浓度大增时，人类及其他动物就会窒息死亡。伏尔鲍则由于从烟云团的边缘掠过，向高地跑去，避开了死亡的威胁，得救了。

红褐色的湖水也是由于湖底的搅动的结果，当搅动停止后，湖面又恢复澄碧。

关键的问题，还是在于湖底的搅动。地质学家们研究了当地的构造地质以后，认为此间处于多火山地带，地震也多。虽然几十年来没有见到火山活动的明显迹象和破坏性的地震发生，但轻度地震是存在的，也就是搅动湖底的前提是存在的。玛瑙湖的杀人之谜终于解开。

本来，一些火山湖的分层现象早已被科学家发现，还有人曾设想过：将平静的湖水进行搅动，打破湖水的化学平衡，释放出大量的能量，作为开发新能源的尝试。如今，由于玛瑙湖的悲剧发生，科学家们对待这种设想也就更加慎重了。利用大自然的赋予，并不能随心所欲。

那么火山湖到底喷发出什么样的毒气致人于死地？最初，喀麦隆首都雅温德医院的医生根据受害者的情况分析，认为是硫与氢的混合气体。美国化学安全和健康顾问则根据受害者述说有臭鸡蛋的气味，断定是硫化氢中毒。但美国地质调查所的分析认为：硫化氢的成分很少，不足以死人，他们认为是一氧化碳和二氧化碳。英国研究喀麦隆火山的专家也认为二氧化碳是杀人的凶手，因为这种气体比较重，易在低洼处集中，这与死难者多在尼奥斯湖北侧的低洼地里相吻合，也与玛瑙湖的情况基本一致。日本医学研究所的山本安弘副教授对617名受毒气伤害的居民诊治后发现许多人胸部出现湿性肺杂音，表明他们吸入某种化学物质。体外也有腐蚀外伤，他认为与腐蚀性气体有关。

因此，一般研究者几乎都认为凶手是火山湖喷出的一氧化硫、二氧化碳、一氧化碳、硫化氢之类。但很多专家却认为，这些气体很浓时固然能致人于死，但不见得逃跑也来不及。况且在尼奥斯湖事件约4天之后对湖面的空气进行分析鉴定，其中二氧化碳的含量虽然高于正常大气，但不足以死人。硫离子的浓度也不高，杀人的元凶不见得是它们。

那么，到底谁是杀人的元凶？研究者将目光转移到亚洲东北部堪察加半岛上的火山群，这里大小火山计160多座，其中活火山有28座。最令人恐惧的是基赫皮内奇火山附近的死亡谷地。谷地长约2公里，宽100~300米，间歇温泉、圆形深坑、天然硫磺矿遍地皆是。谷底里的熊、狼、飞禽及许多小动物的尸骨狼籍不堪，随处可见。前苏联科学家研究了这里的情况以后认为：杀死它们的不是二氧化碳和硫化氢之类，而是一种剧毒的一氟化氢及其衍生物。即使在大气中含量极微，也会使动物的呼吸神经中枢麻痹，全身乏力，窒息而死。他们对火山气体进行分析，氟化氢的含量还相当高，这是真正的杀人元凶。

## 天外来客对地球的影响

前面说的地壳运动的力量基本上是来自地球内部，也就是地球本身的问题。但随着天体研究的不断进展，以及对地壳表面某些构造运动留下的痕迹（特别是断裂系统及其周围的岩石、矿物特征）的深入观察与研究，有人认为，至少其中有一部分构造现象并不是地球内部的力量所能塑造，很有可能是天体运行时的偶然戏谑所致。

这个大胆的设想是 1982 年诺贝尔奖金获得者阿尔瓦勒兹父子俩人提出的。他俩认为距今 6500 万年前的白垩纪末期曾有一颗直径达 8 公里的慧星以每秒 70 公里的速度向地球袭来，撞击地球表面，发生大爆炸，使地面撞成一个几百公里直径的大坑，坑的周围产生环状和放射状的断裂系统，还留下富含铁镁质的岩石和矿物。他俩还计算出：当撞击发生时，地表扬起 1700 立方公里的碎石，黑云般的尘埃冲向天空，遮盖了阳光，空气的成分也顿时改变，如此的“黑暗世界”经历数年之久。以致自然界的生态骤然失去平衡，地球上的大量动植物惨遭灭亡之灾。

当时，很多地质学家认为阿尔瓦勒兹父子的设想是学术上的邪说。不久后许多包括地质学、地球化学、地貌学等多种学科相继找到能够支持阿尔瓦勒兹父子假说的证据，于是相信的人变得越来越多。可是，紧接着严峻的问题提出来了——这个大爆炸的坑口究竟在哪里？有没有 6500 万年前的遗迹？于是学术界的这场争论开始了。

直到 1990 年地质学家终于在海地发现了大量天体撞击地球后而产生的碎石堆积物，并且断定当时的慧星与地球撞击的地方就在这碎石堆的 1000 公里的范围之内。

不久，又在墨西哥尤卡坦半岛 1100 米厚的石灰岩层之下，找到了一个埋藏着的直径达 180 公里的巨大而圆形的盆地，它的中心大概位于半岛北部的奇克休卢镇，并沿墨西哥湾扩展。

由此得到启发，以往在美国衣阿华州的梅森城也发现过一个直径 35 公里的环形坑，人们确认它也是 6500 万年前天外来客的戏谑。

对此感兴趣的地质学家越来越多，他们回想起见过的环形坑为数并不少，而且也早已注意到了，只是对它们的成因解释并没有跟天体运行牵上关系。如今，将这些环形坑与盆地的成因归之于天外来客对地球的撞击，这新论点怎不令人惊喜？

现在让我们放开眼界，再看世界上其他地方还有没有这些环形坑或盆地构造。回答是肯定的。例如非洲的加纳境内，圆形轮廓的湖泊比较多，湖底并不平坦，湖盆向下呈锥形体，湖的中央部位水深，而四周水浅。就好像一只强有力的陀螺向地壳旋钻出来似的。科学家从目前遗存的湖泊面积估算，认为当时从天而降的陨石（慧星落地烧毁以后也成为陨石）的直径不少于 3 公里。

又如前苏联的楚克奇湖，亦呈圆形，直径达 12 公里，中央水深达 170 米，而周边水浅，作锥形湖体。在湖的四周边缘上，分布着由于陨石落地爆炸以后产生的碎石片组成的岩石，从这些岩石埋藏的地层的地质年代推算，应属于 350 万年前第三纪上新世时期的产物。科学家还计算出这块大陨石降落的速度，每秒可达 8~70 公里。

专家们搜集了全世界各地陨石湖或陨石坑的资料以后认为：目前已发现

了不下 100 个。

那么，就以这 100 多个湖坑而论，位于中国境内的到底有没有呢？近年来，随着对构造地质学的深入研究，有些青年地质学家敢于向传统的学术观点挑战，据吴思本的研究报道，从 1983 年以来，已经发现 4 处陨击坑。第一个是多伦陨击坑，位于内蒙古自治区与河北省交界处，其直径约 170 公里，是世界上所罕见的大型陨击坑，坑内的原岩是花岗闪长班岩、安山岩和石灰岩等。内环范围内的地表主要为冲击熔岩，另有少量冲击角砾岩。从地层的上下关系判断，确定其冲击时间大约距今一亿四千万年前的侏罗纪与白垩纪之间。

第二个是上河湾陨击坑，位于吉林省九台县，直径约 30 公里，从卫星照片上清楚地看到当地的环形水系，为沐石河及松花江畔的低地所围绕。坑内原岩为花岗岩、石灰岩、片岩及黑云母安山岩等，还有冲击角砾岩。

第三个是龙斗村陨击坑，位于广东省始兴县，直径 3 公里，是一座环形山，坑内为花岗岩、砂岩、粉砂岩，也有冲击熔岩及角砾岩。

第四个是内洞陨击坑，位于广东省新兴县，直径约为 6 公里，也是一座环形山，坑内的岩石有花岗岩、石灰岩、千枚岩等，还有冲击角砾岩，并有铀含量的异常。在山的周围，有环状与放射状的断裂系统。

还有一个最令人瞩目的例子就是有关太湖的成因，有人提出：这是巨大陨石降落地面时撞击的“陨击湖”，并不是以往所说的断层陷落或其他构造成因的“构造湖”。

位于江苏、浙江交界的太湖，素有“包孕吴越”之称，面积达 2 万平方公里。如果从人造卫星摄取的照片看，基本上是两个隆起、两个凹陷的环形地貌轮廓。中心洼地呈碟形，面积有 2500 平方公里。在湖的四周，围绕着一圈弧形的低丘与山地，好像对太湖进行围限。在这圈围限的山丘之外，又断断续续地分布着一圈低地与水泊，也作弧形的围圈。在这片低洼地的外围，又有一层弧形的、由岩石组成的高地分布着。因而不由得发人深思：这两圈高、一圈低的多层环状围限地貌绕湖而转，怎样能用一般的断层与褶皱构造来解释呢？难道这是偶然产生的吗？如果在地质历史上的某个时期，有一颗巨大的天体落到大气层内，发生燃烧，变成陨石，猛烈地撞击地面，形成陨击坑（即目前的湖泊所在地），其中心部位呈锥形体下陷，其四周部分，则因地表发生振动，向周围作波状扩展，于是形成两圈高、一圈低的环状多层圈的地貌轮廓。

太湖陨击成因的假说提出以后，很快引起地质学家，特别是天文地质学家的浓厚兴趣，于是他们集中力量在太湖周围山地间寻找断裂系统的分布特点，甚至采集定向的石英岩标本，在显微镜下观察岩石微细的裂缝排列方向，看它们是否符合“陨击”力量而破裂的规律。就目前初步研究的成果表明：从太湖周围的断裂系统观察，具有旋扭构造的特点，于是猜测这颗巨大的陨石是从西南方向朝东北方向迅猛飞来着地。当其与地面撞击以后，仍有很大的顺时针方向的旋转力量，以致在湖滨山地的岩石上留下旋扭断裂构造的痕迹。

由于有关太湖陨石撞击成因的说法尚在初步研究阶段，各种证据还需要继续搜寻，各种定量的资料尚需计算。所以，诸如这颗陨石到底有多大？什么时期掉下来的？都还没有找到答案。我国国土如此辽阔，地质历史也相当长久，难道可疑的陨石撞击而成的湖或坑，仅仅只有上述的四个及太湖吗？

从理论上讲，当然不只这几个，其他的又“潜伏”在哪里？这类十分引人感兴趣的现代地质学问题，仍然需要我们去进一步探索。可以相信，今后这方面的成果会不断产生的。

按理说，陨石打击地球的可能性是完全存在的，而且在地质历史的各个时期都有可能出现。推想，在地球诞生的初期，甚至在地壳形成的早期阶段，空气还没有的时候，就像月球现在的环境，陨石撞击的机会肯定很多。若在天气晴朗的夜晚，从天文望远镜里看月亮，见到许许多多、大大小小的环形坑满布在月球表面，虽然早在 1610 年时，伽利略曾认为这些凹坑是陨击坑，但以往很多学者仍把这些环形坑都解释为死火山口，现在则认为，除极少数是盾形火山口外，其中的大部分则应是陨石飞落到月球表面撞击而成的。像这类“陨击坑”，料想在地壳形成的早期阶段应该比后来更多（自从地球上有了空气以后，天体降落时与空气摩擦而容易被烧毁。）现在，许多地质学家正在千方百计地去找寻早期“陨击坑”，已经发现一些，但毕竟由于时间过去太久，地球后来的改造作用又十分频繁而剧烈，所以，当时留存下来的“陨击坑”残体自然就难以寻觅了。

陨石撞击地球，使地球发生的变化已越来越被人们重视。科学家曾作过计算，一个直径约为 1 公里的小天体，若以每秒 20 公里的速度降落地球，由此而产生的能量要比一次 8 级地震所释放出来的能量大 5000 倍。况且在地球历史的几十亿年中，也许比 1 公里更大的外来陨石恐怕不止几次。因为科学家还计算过，1 公里直径的小天体撞击地球后所产生的“陨击坑”直径约为 20 公里，而地球上现已发现的“陨击坑”直径可达 241 公里，相当于上述的 20 倍。另外，科学家们从月球、火星以及其他天体上获得的观测资料表明，那里有些“陨击坑”的规模可达 4 公里以上，因此，不能排斥地球上也有过类似的事件发生，只是难以寻觅而已。

到底陨击作用对地球产生哪些影响？就其作用的范围来说，不仅仅只是地球的表面，它会深及地球的内部，甚至触及地幔，并诱发其它的反应。如果巨大的天体撞击地球，其后果不是暂时的，有的会影响地球的一生。比如被撞击以后，有可能使地球的地轴改变位置，公转周期及其轨道、自转周期也都会改变，因而使内外力作用的强度分配也会变更。例如不同气候带上，外力作用的强度是不同的。而气候的形成则与地球旋转轴的倾角有关，显然当倾角发生变化时，气候带也会发生改变。许多诸如风化、侵蚀等地球的外部营力将作重新调配，地球的外貌亦将随之变化。从地质历史看，气候带的改变是经常发生的，其中的成因能否与外星体撞击地球有关？还值得研究。

陨石撞击地球，还会带来地外物质加入到地壳中来，影响该区的地球化学状态。例如有人认为今天地球上各地区化学元素并非均匀分布的，特别巨大的金属成矿区的出现（诸如美国与加拿大交界处的萨德伯里一带丰富的铜镍矿床），是否与地球历史的早期有巨大的陨石降落于此，撞击猛烈，深达地幔，并加入“天外之物”有关？目前这些富集元素形成的矿床，是否是天体的残骸？

即使“天外之物”不是集中来到地球，每次的数量也不算大，但时间久长以后，其累积的份量也足以惊人，于是必然会影响到地球的质量变化，从而导致地球运转速度的改变，甚至对地球与太阳之间的距离也会有影响，地球获取太阳能也就有变化，于是地球上的风霜雨雪、生物的生长与繁殖也必然有所影响。

目前，天体地质学家都认为，陨石轰击地球的作用并不是任何时期都均匀地发生，而是具有阶段性的。对照地球历史上发生的造山运动，也是有阶段性的。两者是否吻合？很值得注意，有些似乎有这种吻合的可能性，新的循环学说甚至计算出，每隔 2600 万年左右，彗星就会发生一次倾泻性的冲击。照这样推算，估计 1300 万年以后，地球上的居民将会遇到巨大的灾难。

## 地壳和地壳的变动

### 地质构造

地质构造承受地壳运动的岩层或岩石，在地壳运动的力的作用下，发生变形或变位的形迹，称为地质构造。地质构造的基本类型有：水平构造、倾斜构造、褶皱构造和断裂构造等。

1. 水平构造(水平岩层)原始岩层一般是水平的，在漫长的地质历史中，由于地壳运动、岩浆活动等影响，岩层的产状发生多种多样的变化，但有的地区原始岩层未经变动，仍保持着水平或接近水平的状态(一般倾角不超过 $5^{\circ}$ )，这样的构造称为水平构造，或叫水平岩层。如四川盆地中部的上侏罗系岩层，在一定范围内可以认为是水平构造。水平构造中新岩层位于老岩层之上，当地形受切割时，老岩层总是出露在低洼地方，而较新的岩层总是出露在较高的位置。

2. 倾斜构造(单斜岩层)地壳运动时水平岩层发生倾斜，使岩层面和水平面间具有一定的夹角，称为倾斜构造，也叫做单斜岩层。倾斜岩层往往是褶曲的一翼，断层的一盘或者是不均匀抬升或者是下降所引起。

3. 褶皱构造 原始岩层在地壳运动水平分力的挤压下形成一系列连续的波状弯曲，叫做褶皱构造。(1)褶曲——岩层的一个弯曲叫褶曲。褶曲包括核部、翼和翼角、轴面、轴、枢纽、转折端、脊线和槽线、鞍部等要素。褶曲是褶皱的基本单位，两个以上的褶曲组合就是褶皱。(2)背斜——一个中部向上拱起的弯曲，核心部分岩层相对较老，而两侧岩层较新。(3)向斜——一个中部向下凹陷的弯曲，中心部分岩层相对较新，而两侧岩层相对较老。(4)复向斜——由许多次一级褶皱组成的大向斜。(5)复背斜——由许多次一级褶皱组成的大背斜。

### 褶曲的主要类型

1. 直立褶曲 轴面直立、两翼岩层倾向相反，倾角相同。
2. 倾斜褶曲 轴面倾斜，两翼向不同方向倾斜，两翼角不等，两翼不对称。又叫不对称褶曲。
3. 倒转褶曲 轴面倾角较小，其中一翼发生倒转，岩层的新老顺序被颠倒。
4. 平卧褶曲 轴面水平或近于水平，两翼岩层产状也近于水平；一翼层位是正常的，另一翼层位发生倒转。
5. 等斜褶曲 两翼的岩层向相同方向倾斜，与轴面平行。
6. 挠曲褶皱的一种。状似屈膝，由倾向一致而倾角平缓的两段地层和介于其间但倾角较陡的一段地层所组成。
7. 扇状褶曲 转折端平缓而两翼岩层均倒转，其剖面呈扇形。在背斜中两翼岩层向轴面倾斜；在向斜中则自轴面向外倾斜。
8. 倾伏褶曲 枢纽是倾斜的，与水平面成一定角度倾没于地下的褶曲。岩层露头呈之字形弯曲。倾伏背斜轴倾向露头转折端，倾伏向斜轴倾向露头转折端的相反方向。
9. 穹窿构造 长短轴近于相等的背斜，岩层向四周倾斜，平面形态大体

呈浑圆形，中心部分岩层最老，向四周逐渐变新。这类构造有时是良好的储油构造。

岩层原始沉积物，特别是海洋中的沉积物多是水平或近于水平面的层状堆积物，按沉积顺序先沉积的在下面，后沉积的覆盖在上面，这些一层层叠置起来的沉积物，经过固结成岩作用形成坚硬的层状岩石，称为岩层。每个岩层具有相互平行的两个面，称为层面，顶面叫上层面，底面叫下层面。层面的出现，反映上下岩层在物质组成及结构构造方面都有明显的差异。

岩层产状岩层的空间位置的标志。确定岩层的空间位置是用岩层的走向、倾向和倾角来表示的，称为岩层产状要素。

1. 走向 指岩层层面与水平面交线的方向。

2. 倾向指层面由高处指向低处的方向，它垂直于层面的走向。

3. 倾角指层面与水平面的夹角。野外工作时，岩层产状要按规定记录，例如  $150^{\circ} \quad 30^{\circ}$  表示倾向为  $150^{\circ}$ （东南方向），倾角为  $30^{\circ}$ 。

此外，节理面、断层面、褶曲轴面等也都用走向、倾向和倾角表示其产状。

断裂构造岩石受力产生变形，当应力达到或超过强度时，岩石的连续性和完整性遭到破坏，产生破裂或沿破裂面发生位移，称为断裂构造。断裂包括节理、劈理和断层。

1. 节理（裂隙） 岩石沿断裂面无显著位移的断裂构造称为节理。按表现的明显程度不同，节理有张开的、闭合的和隐蔽的三种。节理大小不一，间距也不等。有的相互平行，有的纵横交错。节理面的产状，有直立的、水平的和倾斜的。节理面的产状，是以节理面的走向、倾向、倾角来确定的。节理可从成因、几何形态和力学性质上进行分类。按成因主要分为构造节理和非构造节理两大类。

2. 劈理岩石受力变形，沿着一定方向分裂成平行或大致平行的密集薄层或薄板的细微构造，叫做劈理。劈理是岩石受力沿着最大切应力的方向破裂、滑动，或岩石中的矿物沿着压应力作用面的方向平行排列而形成的。从岩石的变形过程来看，劈理处于塑性形变和断裂形变的过渡阶段。劈理不像节理那样普遍发育，它只发育在构造变动强烈的岩石或构造变动强烈的地段，如变质岩地区，某些沉积岩褶皱、断裂地带，岩浆岩构造变动强烈的地区。测定劈理产状的方法与测定岩层产状一样。

3. 断层岩层或岩体受力破裂后，破裂面两侧的岩块如果发出了明显的位移，这种断裂构造称为断层。断层在地壳上分布极其广泛。它对矿产的形成和改造，对工程基地的稳定，对地震的形成，都起到很大的作用。断层的形态多种多样，规模大小非常悬殊，小的几厘米，大的可在地面延长到几千公里。断层切割的深度也不一样，有所谓深大断裂，可通过硅铝层到达硅镁层，甚至切割到地幔。

习惯上把断层的各个组成部分叫断层要素。（1）断层面——断裂后的岩块发生相对位移时，总是沿着断裂面进行，此断裂面就是断层面。（2）断层线——断层面与地面的交线叫断层线，实际上就是断层面在地表的出露线，是地质界线之一，它反映断层的延伸方向。断层线在地质图上，可以是直线、曲线，甚至于可成为封闭的曲线。（3）断盘——被断层面分开的两侧岩块称断盘。位于断层面之上的叫上盘，位于断层面之下的叫下盘。如果断层面是垂直的，则没有上下盘之分。从断层的相对运动方向看，向上滑动者称上升

盘，向下滑动者称下降盘。（4）断距——指两盘相对位移的距离。断距可分为总断距、水平断距、倾向断距和垂直断距等。

断层的分类 断层的分类方法很多，根据断层两盘相对位移的关系可分成以下几种类型。

1. 正断层 上盘相对向下位移的断层叫正断层。正断层面一般倾角较陡，常大于 $45^{\circ}$ 。

2. 逆断层 上盘相对向上位移的断层叫逆断层。按逆断层面的倾角大小可分为：冲断层（倾角大于 $45^{\circ}$ ）、逆掩断层（倾角 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ）、辗掩断层（倾角小于 $25^{\circ}$ ）。

3. 平移断层 断盘沿断层面走向位移的断层叫平移断层，又叫平推断层、平错断层。

断层可以单独出现，也可以成组出现。成组出现的断层，走向大多是平行的（但不很规则）。一组断层又可能被另一组断层切割破坏。如果某地区的地壳被一组产状大体相同的断层切割，各断盘依次上升（或下降），呈现阶梯状，则称为阶梯构造。如果地壳被两组大致平行的断层切割，中间的断盘相对下降，两侧的断盘相对上升，则构成地堑；相反，如果中间断盘相对上升，两边断盘相对下降，则形成地垒。大规模的成组断层交叉出现时，会把地壳切割成地块，中间地块相对上升、四周地块相对下降的成为断块山地，中间地块相对下降、四周地块相对上升的成为断陷盆地。

断层存在的标志主要有以下几个方面：

1. 构造不连结 断层常将岩层、岩墙、岩脉错断，造成地质构造上的不连续。

2. 地层的重复与缺失 断层存在的重要标志。其重复、缺失情况和断层产状与被切断岩层产状的关系和断层性质而定。

3. 断裂破碎带 在断层发生过程中，由于断层两盘岩块相互挤压、错动，常使断层面附近岩石发生破碎，形成与断层面大致平行的破碎带，叫断裂破碎带。

4. 构造岩 断裂带的岩石，受构造动力的作用，使原来岩石、矿物发生破碎变形和结构构造的改变，甚至产生新的矿物，形成所谓构造岩。主要构造岩有：（1）构造角砾岩——在断层错动过程中，使岩石发生破裂搓动，形成大小不等的碎块。碎块之间为压碎研磨的细粉和粉末充填胶结，叫构造角砾岩；（2）断层泥——在断层错动过程中，岩石破碎形成松软泥土，称为断层泥。它们受地下水淋滤作用后常呈灰白色；若受到氧化铁污染常呈褐红色。

5. 断层面 由于断层面两侧岩块相对位移，所以在断层面上常留下种种错动摩擦的痕迹，常见的有：（1）镜面——岩石沿断层面发生错动，断层面因摩擦常被碾平磨光，有时可见铁锰氧化物薄膜以及碳酸盐类或硅质薄膜，形成十分光滑的镜面。镜面上往往保存着擦痕等摩擦的痕迹。（2）擦痕——是两盘位移时在断层面上留下的许多平行的线状滑槽、钉头状小沟或擦坑。擦痕的延展方向，表示断层的滑动方向。（3）阶步——在断层面上有时出现许多垂直滑动方向的小陡坎，叫阶步。由阶步的缓坡向陡坡的方向即对盘的位移方向。

研究断层的意义首先，在成矿期和成矿前断层带是起控制作用；在成矿后，对矿床起着改造作用。内生矿床物质来源于地下深部，断裂构造使地壳岩石形成裂隙，为地下深部成矿物质提供了运移的通道和良好的聚集成矿的

场所。成矿后，被错断，矿石角砾和围岩角砾被硅质、碳酸盐物质胶结，形成角砾状构造。其次，工程建设及水利建设必须考虑断层这个因素。断裂构造形成岩石破裂带，可使各含水层联通或使地表水与地下水联通，造成地下水活动流畅；如果断层构造岩胶结紧密，又可能堵塞地下水的活动。一般来说，断层带和断裂破碎带常给地下水的运移和富集提供必要条件。所以在选择水库坝址及兴建其他水利设施时，很好地研究断层，具有重要意义。

火山岩浆喷出地表的地方叫火山。有的火山呈锥形，叫火山锥。典型的火山在地貌上一般表现为顶部有凹形洼地的锥形孤立山峰，但因喷出物质不同，可以有各种不同的形态。

1. 火山喷发现象 火山爆发是自然界最为宏伟壮观的自然现象之一。通常是先从火山口或山脚的裂缝中冒出蒸汽来，随后大量的气体、灰砂和碎石从火山口喷射到天空，形成巨大的烟柱。火山灰可以使日光成桔红色或红色，甚至天色变黑暗了，同时地下雷鸣，地面震动，随之就有大量熔岩涌出火山口。在火山猛烈爆发的同时，由于空气受热膨胀发生强烈对流形成大风，喷出的水蒸汽又可以凝结成雨，火山喷发出的高温物质还常引起空中电荷的改变而发生雷电现象等等，构成一幅稀有的奇观。例如在 1883 年印度尼西亚爪哇和苏门答腊岛之间的一个岛上的喀拉喀托火山突然爆发，烟柱上升 27 公里，火山灰进入 80 公里的高空的平流层。硝烟和灰尘迷漫了整个世界，环绕了地球好几圈，火山灰总重量达 18 立方公里，原为 75 平方公里的海岛崩毁了三分之二。海浪直涌到英吉利海峡，大约有 10000 艘各种各样的船只在大海中破碎沉没，3600 多人葬身鱼腹，人、鱼和其它动物的尸体漂满了附近海洋。

2. 火山喷发物 火山喷出物质的化学成分是很复杂的，按其物理性质大致可分为液体、气体和固体三种：(1) 气体产物。火山喷出的气体最常见的是水蒸汽，一般占 60%~90%，此外还有  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{S}$ 、 $\text{N}_2$  等。火山爆发前后都有气体从火山口或其附近裂缝中冒出来，这些冒气的孔叫做喷气孔。喷气孔距火山口愈近，喷气的温度愈高，愈远则温度愈低。同一喷气孔的成分在时间上也是有变化的，如果温度在 500 以上，喷出物很少是水蒸汽，多为氯化物等盐类喷出，以后随时间而温度降低，逐渐变为硫化物和碳酸气喷出，说明火山活动渐停熄。火山喷出的气体物质不是全部逸散，其中有相当一部分直接由气体凝固成升华物堆积于火山口附近。常见的有  $\text{S}$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{KCl}$ 、 $\text{AsS}$  等。(2) 液体产物。火山喷出的液体物质称为熔岩。对不同火山来说，熔岩喷出量是不一致的。有些火山一次只喷出几立方米的熔岩，有些火山一次喷出量可达几百万至几十亿立方米的熔岩。如冰岛一火山，有一次喷出的熔岩就长达 80 公里，宽 24 公里，厚 10~30 米。大量熔岩溢出火山口后，顺地面流动，在陡崖处可以形成熔岩瀑布。熔岩自火山口溢出地面，往往形成舌状体叫熔岩流。熔岩的类型可按  $\text{SiO}_2$  的含量百分比分为酸性熔岩(含  $\text{SiO}_2 > 65\%$ )，中性熔岩(含  $\text{SiO}_2 65\% \sim 52\%$ )和基性熔岩(含  $\text{SiO}_2 < 52\%$ )。酸性熔岩的特征是温度较低，粘性较大，含气体较多，不易流动，冷凝较快，如流纹岩，是由酸性熔岩凝固而成的。基性熔岩的特征是温度比较高，粘性比较小，易于流动，含气体也较少，冷凝比较慢。如玄武岩，是由基性熔岩凝固而成的。中性熔岩的性质介于二者之间，凝固后多形成安山岩。(3) 固体产物。火山喷出的固体物质叫火山碎屑

物质。来源有二：一为火山通道中的凝固岩浆岩和通道四周的围岩；二为液体物质喷射到空中冷却凝固的产物，有些甚至降落到地面时尚未完全硬化，这些在天空凝固的较大块体，从拳头般大小到几吨重，称为火山弹，状如面包、纺锤，常有流纹和裂隙甚至旋扭的痕迹。细小的火山碎屑叫火山灰。火山灰喷射到高空可以被风吹送到很远的地方，但大部分仍落在火山附近，与其它火山碎屑物质堆积起来，形成很厚的一层，如火山集块岩、火山角砾岩和凝灰岩等。

3. 火山喷发方式 火山喷发有二种形式：一种是裂隙式喷发；另一种是中心式喷发。（1）裂隙式喷发——岩浆沿着地壳上的巨大裂缝溢出地表称为裂隙式喷发。这种火山现在只有在冰岛可见，故也称冰岛型火山。这种火山的火山口不是圆形，而是长数十公里的裂隙或火山口沿裂隙成串珠状分布。这种裂隙式喷发在我国地质时代活动很广泛。例如二迭纪时期的玄武质熔岩（峨眉山玄武岩）几乎覆盖了我国西南三省交界的广大区域。第三纪玄武质熔岩喷出也覆盖了我国东北的南部和河北张家口以北广大地区。张家口以北的汉诺坝玄武岩覆盖面积 1000 多平方公里，厚度 300 米。世界上最大的熔岩被可达五十万平方公里的面积，如印度德干高原的玄武岩高原。裂隙式喷发主要形成熔岩流和熔岩被。（2）中心式喷发——岩浆由喉管状通道到达地面的火山称为中心式喷发，这是现代火山活动的最主要形式。这可能是现代地壳已大大加厚，岩浆只能沿裂隙交叉处喷发的缘故。按喷发状况又可分为以下三种：宁静式——又叫夏威夷型，火山爆发时，只有大量熔岩自火山口宁静地涌出，无爆炸现象。熔岩为粘性小、易流动、不易冷却凝固的基性熔岩，形成的火山锥坡度平缓，通常为  $3^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ，盾形火山锥。熔岩表面呈波状，山顶平坦，有一个陷落的大火山口，如夏威夷火山。爆发式——亦称培雷型。这类火山爆发时产生非常猛烈的爆炸现象，喷出的熔岩粘性大，不易流动、含气体多，冷凝快的酸性熔岩，有时岩浆上升未到达地表，在火山口或火山喉管中就凝固了，从而封闭了岩浆涌出的通道，阻塞了岩浆和气体的喷出。当地下岩浆压力增大时，冲破“塞子”，因而发生猛烈爆炸。爆炸时大量气体、火山灰、火山渣和火山弹喷射出来。如培雷火山在 1902 年 12 月 16 日爆发时，高热的气体和火山灰从火山锥旁边的裂隙中射出，形成的烟云高达 30000 米以上，热气经过其旁的圣皮埃尔城到达海中，使海水沸腾了，城中 26000 居民全部遇难。这次爆发没有熔岩溢出来，随后，熔岩在火山喉管中很快凝固成塞子，并被气体顶出，高达 400 米。这类火山喷出熔岩多为酸性熔岩，火山锥多为陡峭的碎屑火山锥。中间式——这类火山性质介于前二者之间，有时喷发亦很猛烈，喷出的熔岩、气体和碎屑亦相当多，火山锥多属于较陡的层状火山锥。大多数的火山属这类型，如维苏威火山、斯创博里火山、墨西哥的帕里库廷火山等。一般说来，岩浆的酸度愈高，气体含量愈大，则其爆炸性也愈强。

4. 火山构造 主要包括破火山口构造、火山通道构造及火山有关的环状、辐射状断裂构造等。（1）破火山口构造——破火山口为火山的负向地形，形状多为圆形或近似圆形。大多数的破火山口是由陷塌产生的。伴随破火山口的构造常有放射状断裂和环状断裂。破火山口规模较大，大者直径可达 10 公里。（2）火山通道构造——为岩浆、聚集的热气和火山碎屑物质经由喷出地表的通道。常为一定的管状熔岩（岩颈）所占据，或为火山角砾岩、熔岩角砾岩、凝灰岩所充填。由于火山通道中常形成铁、铜、金、铀等矿床，因

此研究火山通道的形态、岩石及构造等具有很大的实际意义。南非的金伯利有许多古岩浆通道，盛产钻石，人们称这种地质构造为金伯利岩筒。(3) 断裂构造——火山通道常受先成的断裂构造控制，因为火山活动后期，岩浆喷发殆尽，残余岩浆又冷却收缩，体积变小，压力也降低，岩浆库因而空虚，失去对其顶部和周围岩石的支持能力，火山顶部和周围岩层就向中心倾倒，同时形成环境中心的环状断裂。(4) 火山锥——火山爆发物质在火山口附近堆积成的圆锥状山地，是中心式喷发的一种重要的特征。依其组成物质和形态，可分为以下几种类型：盾形火山锥——由基性熔岩组成，坡度平缓，状如盾牌；穹状火山锥——由中酸性、酸性熔岩组成，形状似穹丘；岩碴火山锥——由火山碎屑物质组成，坡度较陡；混合火山锥或层状火山锥，由火山碎屑物和熔岩交替堆迭而成，是火山锥的主要类型；寄生火山锥——在原火山锥的山坡上出现许多更小的火山锥。埃特纳火山共有 300 多个寄生火山锥。

5. 我国的火山群 我国境内目前已发现的火山锥约 660 座。(1) 大同火山群。山西省北部大同盆地东部的一群更新世火山，它分布在东经  $113^{\circ}33' \sim 114^{\circ}00'$ ，北纬  $39^{\circ}55' \sim 40^{\circ}08'$ ，大约 700 平方公里的范围内，共有火山锥 22 座，其中黑山最高，比高约 150 米，可见多次喷发和喷发旋回现象。(2) 大屯火山群。位于台湾省台北市以北，基隆市以西，淡水港以东的地区，由 16 座火山锥组成，其中大屯山最高，海拔 1081 米。它们分布于南北长 23 公里，东西宽 27 公里的地区内。火山为上新世晚期——更新世喷出，岩性以角闪石安山岩、辉石安山岩为主，伴有少量玄武岩。火山分布地区多温泉，并有天然蒸汽喷出，产硫磺，是我国最大的一个自然硫矿床产地。(3) 五大连池火山群。是黑龙江德都县北部的第四纪火山群，分布面积约 600 平方公里，位于东经  $126^{\circ}00' \sim 126^{\circ}25'$ ，北纬  $48^{\circ}30' \sim 48^{\circ}50'$  之间，共有 14 座火山锥。其中 12 座是晚更新世形成的，老黑山、火烧山形成于 1719—1721 年（清康熙五十九年 6~7 月间）。老黑山最高，比高 250 米。1719~1721 年火山喷发的熔岩流分布面积达 65 平方公里，一部分流入石龙河，形成五个串珠状的堰塞湖，即头池、二池、三池、四池、五池，合称五大连池。火山喷发物除熔岩外，还有浮石、火山弹、火山砾等。五大连池火山群是一个宏大的理想的天然火山博物馆。这里还有火山矿泉水，有强心、利尿、消炎、镇痛和镇静的作用。尤其是对于胃及十二指肠溃疡、慢性肝炎、慢性肾炎、缺铁性贫血病和皮肤病具有显著疗效，也是最好的疗养胜地。这里火山熔岩流千姿百态，如麻花状熔岩、翻花状熔岩、爬虫状熔岩、趾状熔岩、鳞状熔岩、绳状熔岩、熔岩瀑布……。火山地貌也非常典型，有天池、石林、石海、仙女洞、熔岩隧道等 100 多种火山奇景。(4) 腾冲火山群。云南腾冲附近的新生代火山群，位于腾冲周围 30 公里内，有八个火山群。其中有明显的火山口的火山锥达 20 座。上新世以来，本区有过五期火山活动，少数火山为第四纪玄武岩质火山喷出物组成。火山锥中以打鹰山最高，比高 100 米，火山附近热温泉群达 79 处，沸泉水温达  $96.6^{\circ}\text{C}$ ，沸泉周围生成大量磺矾，每年交售给国家一万多斤。汽泉有 20 多处，治疗风湿性关节炎、腰痛、高血压等症，有效率达 93%。喷泉的高压水汽达 145 吨，可建数万千瓦的地热发电站。

(5) 卡尔达西火山群。分布在新疆于田县南部昆仑山中——大型山间盆地中的现代火山群。卡尔达西是维吾尔语，意思是着了火的石头。目前已

发现火山锥共五处，还有一些穹窿状熔岩丘。展布范围达 200 平方公里。熔岩流曾把克里雅河上游二条支流阻塞，形成两个火山壅塞湖。2 号火山锥的顶部存在复式锥现象，反映了历史上曾两度猛烈活动。1 号火山锥为 1951 年 5 月 27 日爆发时堆成，锥体高 145 米，锥顶海拔高约 4900 米，锥体底座直径 642 米，具圆筒状火山口，深 56 米。

6. 火山类型 根据火山活动状况可分为：(1) 活火山——在人类历史期间还经常作周期性喷发的火山。其喷发周期，可以是几百年，也可以只隔几十年。全世界只有 500 座活火山。例如位于美国西部喀斯喀特山脉中圣海伦斯火山，海拔 2949.5 米，自 1400 年以来，共 7 次喷发；从 1857 年以来，这座火山一直处于休眠状态。在沉眠了 123 年之后，突然在 1980 年 3 月 27 日，5 月 18 日、25 日，6 月 12 日，7 月 22 日多次大爆发。1982 年又活动喷发几次。爆发时发生五级地震。火山喷出口有 0.80 公里宽，蒸汽和火山灰直升 18288 米，泥浆以每小时 80.465 公里速度倾泻，火山灰造成华盛顿等六个州处于瘫痪。降落灰尘有 60 万吨，殃及六个州，火山周围 25 公里的树木失火。(2) 死火山——在人类历史的记载中没有喷发过的火山，也就是长期以来未复活过的火山。全世界共有 2000 多座死火山。(3) 休眠火山——有史以来曾经有过活动但长期以来处于静止状态的火山。

地震地震是由于地球的不断运动，使地壳内部产生一种推动岩石的巨大力量，这种作用在岩石单位面积上的力，叫做地应力。地壳中的岩层在地应力的长期作用下，会发生倾斜和弯曲。当积累起来的地应力超过岩层所能承受的限度时，岩层会发生断裂或错位，使长期积累起来的能量急剧地释放出来，并以地震波的形式向四周传播，使地面发生震动，成为地震。

1. 有关地震的术语 (1) 震源——地壳内部或地幔发生振动的地方叫震源。(2) 震中——震源在地面上的垂直投影叫震中，震中是地面上震动的中心。(3) 震源深度——震中到震源的距离叫震源深度。震源深度一般不等，最大深度可达 700 公里。地震按震源深度可以分为：浅源地震——震源深度为 0~70 公里。大多数地震是发生在离地表 10 公里以内的地壳中。据统计，破坏性大的一些地震，一般多发生在地下 10~20 公里左右深处。全世界浅源地震占 85%。我国地震，大多数为浅源地震。中源地震——震源深度为 70~300 公里，全世界占 12%。深源地震——震源深度超过 300 公里，最深达 720 公里，全世界占 3%。(4) 震中距——地面上任何一个地方到震中的距离，叫震中距。(5) 震域——地面上地震波及到的区域，叫做震域。震域的大小和震源的深浅有关，也和震级的大小有关，一般震源越深，震域越大。(6) 等震线——地面上震动影响相同地点的连线，或地震烈度相等点的连线称为等震线。(7) 震源距——地面上任何一个地方到震源的距离，叫震源距。

2. 地震波 地震引起的颤动，是以弹性波的形式从震源向四面八方传播出去，这种因地震而产生的波动，就叫地震波。可以分为三种：

(1) 纵波——又称 P 波，岩石质点振动的方向与传播方向一致的波，叫纵波。此时物质密度发生变化，但形状不变，故又称压缩波或疏密波。声波就是纵波的一种。地震波中纵波速度最快，因此我们首先感觉到它的到达，这就是上下跳动（颠簸）的现象。它在地壳中的传播速度每秒钟约达 5~6 公里（坚硬岩石）。至于在软岩层（火山灰层、粘土层）中传播的波速降到每秒 2~3 公里。纵波不但在固体中可以传播，而且在液体中也可以传播。(2) 横波——又称 S 波，质点的振动方向与传播方向互相垂直的波，叫横波。在

地壳中，横波的传播速度比纵波慢，每秒钟约 3~4 公里。在大多数岩石中，横波的速度只有纵波的三分之二，所以地震时我们在稍晚一点才感觉它到达。横波传播时，物体体积不变，但形状改变，产生切变方向的变形，故又称切变波。横波只能在固体中传播，液体则不能通过。（3）面波——又称 L 波。沿地球表面传播的波，叫地面波，简称面波。面波包括两种类型：一种是在地面上来回振动；一种则在地面上滚动。它传播的最慢，振动强烈，破坏性很大，地面上出现波状起伏，震后保留这种痕迹。

3. 震级及烈度（1）震级——是表示地震能量大小的量度。它与震源放出的能量（以尔格为单位）有关，能量越大，震级就越大。震级是用地震仪记录地震波测定的。震级每差 0.1 级，能量的大小约差 1.4 倍；每差 0.2 级，能量差 1.4<sup>2</sup> 倍；差 0.3 级，差 1.4<sup>3</sup> 倍；……以此类推，震级相差 1.0 级时，能量相差 1.4<sup>10</sup> 倍，即大约 30 倍。一年中地球上全部地震释放出来的能量约为 10<sup>25</sup> ~ 10<sup>27</sup> 尔格。（2）地震烈度——是指地面及房屋建筑物遭受地震破坏的程度。地震烈度的大小是与震级大小、震源深浅以及该地区的地质构造有关。距离震中越近，烈度越大；距离震中越远，烈度越小。震源的深浅不同，烈度大小也不一样。

4. 地震的类型 按地震发生的成因，可分为三大类：（1）构造地震——地壳中任何块体，都受到上覆岩石重量的压力，岩浆向上侵入活动的冲力，以及地幔上部软流圈物质的水平流动、地壳各部分间的相对活动、地壳的局部膨胀和收缩等等所产生的各种力的作用。当岩石中的地应力积累得越多，释放时越发突然，地震也就越强烈。这种由于地球内部力量而产生的构造变动所引起的地震，称为构造地震或断层地震。构造地震分布最广，危害最大，世界上 90% 左右的地震属于构造地震。我国发生的大地震也都是构造地震。（2）火山地震——火山爆发时，由于岩浆冲击岩层和火山口气体爆炸，或由于岩浆大量喷发后，地下岩层压力减小所引起的大地震动，叫做火山地震。火山地震一般小，破坏性少，影响范围小，仅限火山附近地区。火山地震约占地震总数的 7% 左右。（3）陷落地震——在石灰岩等可溶性岩石分布的地区，有时因地下溶洞塌陷，也能引起小范围的地面震动，叫做陷落地震。此外大规模的山崩和滑坡，特大陨石的坠落等也都能引起地震，这种物体突然冲击地面所引起的震动，叫做冲击地震。这类地震仅占地震总数的 3% 左右。

5. 地震的成因 对于地震成因的看法，目前假说甚多，如断层说、相变说、岩浆冲击说和板块说等。（1）断层说——地震是由于地球内部地壳运动聚集的应力作用于地壳中的岩石，当应力逐渐积累、加强并超过了岩石强度时，地下岩石或岩层便产生突然破裂，由于岩石自身的弹性而“弹回”到原来的状态，释放出能量而引起地震。这就是所谓“弹性回跳”引起地震。（2）相变说——地下物质在一定的临界温度和压力下，可以从一种结晶状态突然转变到另一种结晶状态，因而发生体积变化，即物质在相变过程中产生密度的变化，引起体积突变，释放出巨大能量而引起地震。（3）岩浆冲击说——地下岩石导热性不均，部分熔融为岩浆，使体积膨胀，挤压围岩，导致破裂，产生地震。这个学说认为断层是地震的结果而不是地震的成因，而且深源地震并不一定存在断层。（4）板块构造说——地幔物质因冷热不均发生对流，带动板块在水平方向移动。于是有些板块之间发生挤压、碰撞，产生强烈地震。有人认为 1976 年唐山地震是亚欧板块、太平洋板块和印度板块形成一种“钳形力量”的结果。另外，太阳黑子活动、太阳和月亮的引力、极移应力

和地球自转速度的变化等均可能引起地震。

6. 地震的分布规律 (1) 地震的时间分布规律——根据地震的历史记载可以看出, 一个地区的地震活动是有周期性的, 但每个周期的长短是不规则的; 不同地区, 差别更大。有人对贺兰山、六盘山以东, 狼山、阴山、燕山以南, 秦岭、大别山以北, 包括辽宁南部的广大地区所发生的地震进行了研究, 发现有地震活跃期和平静期交替出现的情况。活跃期——地震次数增多, 大地震也多起来了的时期。

平静期——两个活跃期之间是地震平静期。平静期也不是绝对平静, 而是地震少而小。下面是从公元 1000 年到现在的活跃期和平静期:

第一活跃期:

公元 1011 ~ 1076 年左右 (资料记录不全) 66 年

第一平静期: 公元 1077 ~ 1289 年 213 年

第二活跃期: 公元 1290 ~ 1368 年 79 年

第二平静期: 公元 1369 ~ 1483 年 115 年

第三活跃期: 公元 1484 ~ 1730 年 247 年

第三平静期: 公元 1731 ~ 1811 年 81 年

第四活跃期: 公元 1812 ~

(2) 地震的空间分布规律。环太平洋地震带——东带自北美洲的阿拉斯加起, 往东南沿加拿大和美国的西海岸, 到墨西哥、中美洲向东南有一分支, 形成安的列斯地震环, 由中美洲西海岸向南到南美洲西海岸的哥伦比亚、厄瓜多尔、秘鲁和智利, 最后到福克兰群岛和南乔治亚岛。西带自阿留申群岛开始, 途经堪察加半岛、千岛群岛到日本, 在日本中部分成两支, 东支延经马里亚纳群岛, 止于雅浦岛附近; 西支由琉球群岛、我国台湾, 经菲律宾、印度尼西亚, 与另一地震带汇合, 向东越过所罗门群岛, 到萨摩亚群岛后向南转经汤加岛到新西兰以南。这是地球上最主要的地震带, 活动性最强。面积约占世界地震区总面积的一半左右, 集中了全世界约 80% 的浅源地震、90% 的中源地震和几乎全部的深源地震。释放的地震能量约占全球地震能量的 80%。欧亚地震带——亦称阿尔卑斯—喜马拉雅地震带。自大西洋上的亚速尔群岛开始, 向东沿地中海, 经土耳其、高加索、伊朗、阿富汗、喜马拉雅山脉, 至中、印、缅三国边缘地区, 拐成南北向延伸, 后经马来半岛、苏门答腊岛西侧成弧形分布, 于班达海以东的伊里安岛一带, 与环太平洋地震带交汇在一起。在帕米尔高原向东北有一分支, 由中亚经我国新疆、蒙古到外贝加尔一带。这个地震带以浅源地震为主, 有少量中源地震及深源地震。每年的地震约占全世界总数的 15%。释放的能量约占全世界地震能量的 15%。洋脊地震带——包括大西洋中脊、太平洋中隆、印度洋及北冰洋的主要海底山脉地带。其中以大西洋及印度洋中脊地区最明显, 均为浅源地震。大陆裂谷系地震带——包括东非裂谷 (地堑), 红海、亚丁湾、死海裂谷系, 还有德国莱茵地堑等大断裂带, 均为浅源地震。我国是一个多地震的国家之一, 地理位置恰好处于欧亚地震带和环太平洋地震带中间, 地震活动的强度和频度都较高, 基本上属构造地震, 多呈带状分布, 与主要构造线一致。台湾省地震最频繁, 此带属于环太平洋地震带。郟城—庐江地震带, 至北起辽宁省开原、营口, 经渤海, 南过山东郟城、安徽省庐江, 直达湖北省黄梅。华北地震带, 自北起燕山、太行山, 南至汾渭谷地。南北地震带, 至北起贺兰山、六盘山、横越秦岭, 通过甘肃省文县, 沿岷江向南经四川盆地西缘, 直达滇

东地区。总长约 2000 多公里，为一规模巨大的强烈地震带。喜马拉雅—滇西地震带，本区是一个重力异常剧变带，也是一个地壳厚度突变带。地震活动频度高，强度大。1950 年在察隅地区发生 8.5 级地震，是我国近年来最大的一次。天山地震带和祁连山地震带是我国地震强烈活动的地区之一。

7. 地震预报 根据地震分布和地震发生的地球物理和地质条件的研究，以及对各种地震前兆现象的观测，来进行地震预报。例如，根据地球磁场、电场和重力场的变化，来预报将发生地震的地点、强度和时间的。目前，地震预报问题在世界上还没有真正得到解决，还处于探索阶段。（1）地震预报的三要素——预报未来地震的大小、发生的时间和发生的地点，称为地震预报的三要素。（2）地震长期预报——对某地几年至几十年内，甚至百年内可能发生的地震做出预报，叫做地震长期预报。（3）地震中期预报——对某地几个月至几年内可能发生的地震做出预报，叫做地震中期预报。（4）地震短期预报——对某地几天至几十天，甚至于几个月内可能发生的地震做出预报，叫做地震短期预报。（5）临震预报——对某地几小时至几天内可能发生的地震做出预报，叫做临震预报。（6）地震前兆——一次地震，特别是一次强烈地震之前，都会出现一些异常现象。这些与地震的发生有密切联系的异常现象，叫做地震前兆。（7）宏观前兆——人们的感觉器官所能直接察觉的地震前兆，称为宏观前兆。如地下水位的变化，地声、地光、气象异常等。（8）微观前兆——人们的感觉器官不能直接察觉的地震前兆，称为微观前兆。如地应力异常、小震活动、地壳形变、地磁场、重力场、地电流和地温等。

