

多变的地球

石工 著



P183

SG

多变的地球

石工著

TW28/105



地质出版社

001567

多变的地球

石工著

地质部书刊编辑室编辑

责任编辑：柴凤璧 李德方

地质出版社出版

（北京西四）

地质印刷厂印刷

（北京安德路47号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经营

开本：850×1168¹/₃₂ 印张：4³/₄ 字数：124,000

1981年9月北京第一版·1981年9月北京第一次印刷

印数1—4,280册·定价0.70元

统一书号：13038·新5

目 录

第一章 太阳系中唯一适于人类生存的行星	1
还是我们的地球好.....	1
不可缺少的大气.....	8
大气圈的来历.....	8
地球上的水.....	12
生命的疆界.....	13
来自地球内部的消息.....	15
石头里面的学问.....	22
第二章 一部不断变化的历史	28
“万卷书”.....	28
记录在地壳中的时间.....	29
地质年代.....	32
在三峡的石壁上.....	34
江河湖海的纪录.....	40
岩浆写下的篇章.....	43
变得模糊了的记载.....	43
力在地壳中留下的图象.....	49
历史在继续编写.....	54
第三章 地球还在活动	58
你觉得地在动吗?.....	58
地震——地壳运动的激烈表现.....	62
地震是怎样发生的.....	67
地壳为什么会运动.....	70
地壳运动和岩浆的活动.....	73
岩浆是怎样跑到地面上来的.....	77

大有影响的火山活动.....	81
一个活动性还很强的行星.....	88
第四章 外力对地球面貌的改造.....	92
岩石破坏的开端.....	92
风和大地.....	99
流水的作用.....	105
地下面的水.....	113
湖泊及其作用.....	119
在海洋里发生的事情.....	126
冰川和冰期.....	136
生命的力量.....	143

第一章 太阳系中唯一

适于人类生存的行星

还是我们的地球好

从前，无论是中国人还是外国人，都以为“天上”比地下好，那里是“神仙世界”、是“天堂”，产生过“嫦娥奔月”这样的美丽幻想。后来科学兴起，渐渐知道这些不过是神话或者迷信，但又认为象火星这样的天体上，存在着比我们高级得多的生物，在一个幻想故事中，十几个“火星人”就把英伦三岛征服了。1829年，纽约有家报纸更煞有介事地宣称：有人在一架新造的望远镜中看到，月球上有象蝙蝠那样的人飞来飞去。

现在人已登上了月球，并正通过发射出去的探测器对太阳系里的行星进行访问，我们对周围的世界了解得多了，再回过头来看地球，人们发现，还是我们的地球好。

“举头望明月，低头思故乡”，当你在宇宙太空中去遨游的时候，肯定会对地球这个人类的故乡倍加思念，因为至少是在太阳系内再也找不到第二个象地球这样适于人类生存的行星。在更远的星系中可能有，但目前还没有发现。

在太阳系中，木星、土星、天王星、海王星、冥王星与地球的物质组成情况大不相同，体积大，密度小，它们距离太阳远，表面温度低，如木星低到 -138°C ，土星低到 -176°C ，其他三个更低，因此，一向被认为是人类无法生存的地方。

靠近地球的火星、金星、水星的物质组成情况与地球有类似之处，火星上还有一点大气，但非常稀薄，表面的大气压不到地面大气压的百分之一，而且百分之九十几是二氧化碳，氧气不到

百分之零点一，这样成分的大气是不能容许人类生存的。

火星上虽然有一点点水，但大部分冻结在它的两极，大气中水蒸汽含量比地球的大气少得多。火星上气温变化很大，有一个探测器在它着陆的地方测得24小时内最高气温为 -31°C ，最低 -86°C 。这里的气候是不宜于人的。截至目前为止，不仅没有什么“火星”人，也没有发现其他有生命的东西，据推测，火星上局部地区可能有容许生命存在的条件，但即使有，也只能是微生物。

水星、金星条件更差，都没有人类可以生存的环境。水星上的大气，几等于零，由氢、氦和氩组成，其压力也几等于零，小于一个大气压的五千亿分之一；由于没有大气起保暖的作用，所以这里的温度变化很大，朝阳的一面，在赤道的中午可达 327°C 以上，背阴的一面则可低到接近 -163°C 。金星上的大气不少，表面的大气压力比地面约高一百倍，但大气中二氧化碳占去了百分之九十七，而且温度很高，使金星表面的温度达到 477°C ，水分都大量蒸发，形成浓厚的云层。

离我们最近的月球，没有大气，没有水，是个又冷又热，没有生命的世界。

地球的自转和公转所具有的特点也是适于人类生存的重要条件。地球一方面以每秒465米的速度（赤道上）绕地轴自转，造成24小时内白天黑夜交替，使我们可以日出而作，日入而息；同时又以每秒将近30公里的速度围绕太阳公转，并且始终在地轴与公转的轨道平面间保持 66.5° 的角度，使地球上能有一年四季的变化，可以春种秋收。总的来说，温度高低相差较小，而且从南极到北极都有机会受到阳光的照射，加上距离太阳的远近适宜，温度也很适于生命的活动，这些条件多是其他行星所没有的。

地球的近邻金星，自转一次需要相当地球自转的243次即地球上243天的时间，而公转一次却只要相当于225天的时间，因而金星的一天比金星的一年还略长一点，这就造成了一面长期对着太阳，另一面长期是黑夜；水星上的一年约等于它的一天半，自转一次要相当地球上58.6天的时间，公转一次则相当于88天。

海王星上有一年四季的变化，但距离太阳太远了，公转一次需要的时间约为地球的164.8倍，一个季度就等于地球上的四十一年。

还有的行星如木星，自转所围绕的轴和公转轨道的轴面接近平行，分不出四季。太阳系内和地球转动情况相近的行星只有火星，但是它公转一次所需的时间要比地球长将近两倍。

比来比去，还是地球现在这样的转动情况最适合我们的需要。假使转动的规律发生了变化，地球上秩序就大乱了，幸而各个星球自从形成之后就各按自己的规律运行，只是速度的快慢、倾斜的角度等小有变化。这些微小的变化在短暂的时间里不易觉察，但长期积累起来，也可以产生很大的影响。

一切过程都有始有终，地球现在这种状况也不是永恒的，在很长的历史时期内，地球上并不那么适于人类的生存，现在具有的这种环境，是它发展变化到一定阶段才出现的。这些变化目前仍在继续进行。我们是生活在一个多变的地球上，会不会有一天地球变得不适于人类居住了呢？会有这一天，但在相当长一段时间内，这种情况是不会发生的。当前我们最现实最重要的任务是充分了解地球上发生的各种变化的规律，自觉地遵守和运用，使人类的活动不致破坏我们赖以生存的这种环境，并尽可能使它向着更加有利于人类的方向变化。

不可缺少的大气

地球上的大气总共约重5000万亿吨，较地球质量的百万分之一还略少一点，但是它的重要性是不能用数字来衡量的，假使没有大气，不仅是人，地球上的一切生物都无法存在。大气占据的空间，比地球的固体部分还要大得多，形成一个很厚的包裹着地球的大气圈。不过，几乎全部大气圈的质量都集中在80公里高度以下的这个较小的范围内，主要是十几公里的高度以下这一带，愈高愈稀薄，大气的压力也愈小。高层大气的上部边界是不明确的，因为它稀薄的程度比人造真空还要“空”，但确实还有气体

的微粒存在，它们已不是成为气体分子出现，而是原子及原子再分裂而产生的粒子在那里活动，成分也与高度在100公里左右以下的大气大不相同。在此以下的大气，虽然有稠密与稀薄的差别，但都是以氮和氧的分子为主，并含有适量的二氧化碳，成分大体一致，这就是我们周围的空气。到1000公里上下的高度，变成以氧为主；再往上到2400公里上下的高度，变成以氮为主；再往上，大气的成分主要是氢。

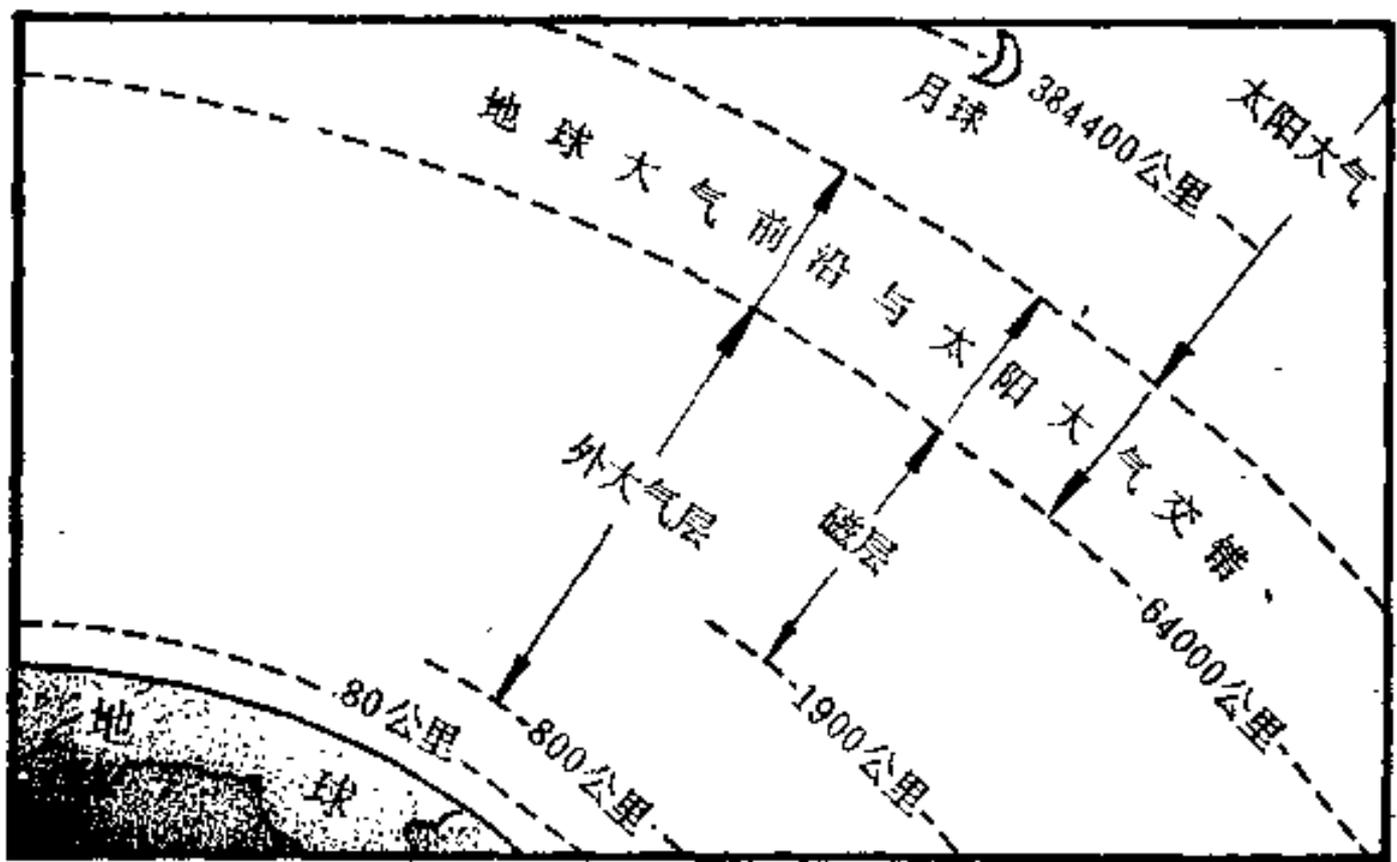


图1

与人类生活直接有密切联系的是高度在十几公里以内的这部分低层大气，我们看到的蔚蓝色的，有时是其他颜色的天空，就是这部分大气存在的表现，从宇宙空间看来，它仿佛是一条轻盈的蓝色软纱飘浮在地球的表面。蓝色是清澈稠密的空气散射阳光的结果，烟尘、水汽的增多可以影响散射而改变天空的颜色，站在很高的山上可以看到紫色的天空，即因空气稀薄到了变为散射紫光的程度，如果飞越这个十几公里厚的稠密的大气层，我们看到的更是黑洞洞的天空，星星不再是那样晶莹可爱，而是发出刺目的光芒。

地球上能够有宜人的气候，是由于这些稠密大气有隔热、保暖作用，月球上就是因为没有大气，所以受到阳光照射时可以热到 127°C ，而在没有阳光照射时又可降低到 -183°C 。在高山上，空气稀薄，稠密的大气层在这里被戳了一个窟窿，隔热、保温的作用差了，其他地方的热还会流动到这里散失出去，因此，地球上出现很多高山的时候，气候就会变冷。

高于海平面10—12公里以内（在两极还可低至8公里，在赤道上还可高至16公里）的这部分大气，称为对流层。在这一层内，愈高愈冷，平均每升高一公里，温度大约要降低 6.5°C 左右；位置不同气温还有差别，空气受冷热不同的影响而不停地对流。大气圈全部质量有将近90%集中在对流层里，大气圈里几乎全部的水分也都集中在对流层里。对我们影响很大的风霜雨露等天气变化，都是在这一层里发生的。

不同高度大气中的水汽含量

高度 (公里)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
水汽含量百分比	1.3	1.0	0.69	0.49	0.37	0.27	0.15	0.09	0.05

对流层之上是平流层，它的上界约在高于海面50公里一带，大气在这里主要表现为水平方向运动。在平流层里，由于氧气，特别是臭氧的增加，吸收了更多的太阳辐射能，所以温度随着高度的增加而增加，到50公里的高度，温度升高到 0°C 左右，直到55公里的高度，超过了臭氧层，这才又开始下降。臭氧是太阳的紫外线在80—100公里的高度对氧起作用而产生的，臭氧有毒，在靠近地面的空气中极少，主要分布在高出地面15—35公里一带，这就是臭氧层。在高度25公里左右臭氧的浓度最大。实际上，在这个臭氧层里臭氧的含量并不多，只占空气的四百万分之一。但是这个臭氧层的存在却是事关重要，假使没有它的阻挡，就会有过多的紫外线到达地面，将把地球上的生命都杀死。

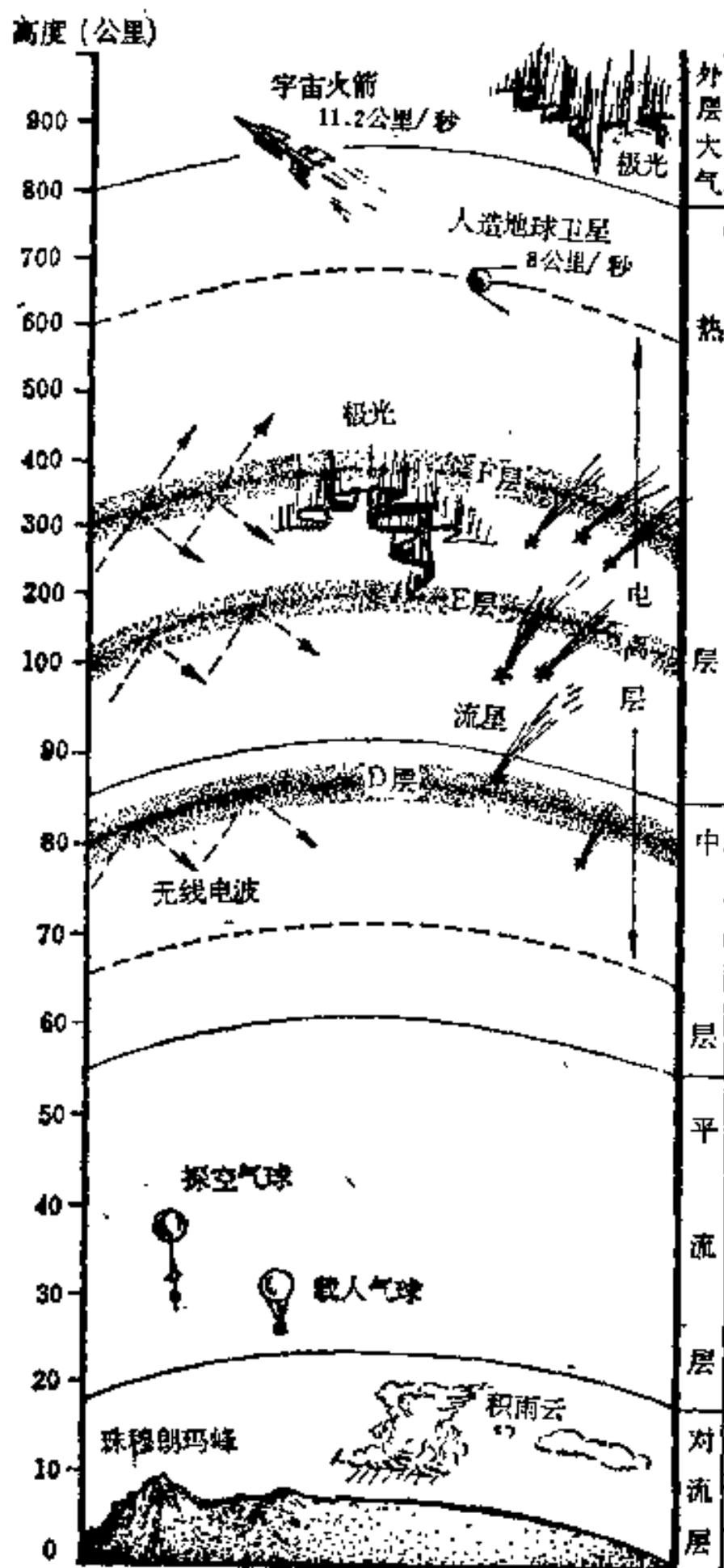


图 2

作用愈强烈，不过到了很高的地方因空气太稀薄，产生不出多少离子和电子。在高于海面65公里到650—1000公里之间这一带离子和电子比较多，形成了电离层。电离层能反射无线电波，如果没

到了平流层之上，直至80—100公里左右的高度，大气很稀薄了，但成分还和地面的空气相近，这里的大气被称为中层大气或中间层，它的气温又是随着高度的增加而降低，到它的边界，即大约80公里的高度，降到只有 -90°C ，再往上去，温度又大幅度升高，到500公里高处达到 1000°C ，因而这一层被称为热层。温度上升得这样高是吸收了强烈的太阳辐射能的结果。

平流层以外的大气，因太阳辐射等作用，气体分子有分裂成为原子并发生电离成为离子和电子的，其实在低层大气中也不是一点没有，只是很少罢了。愈高这种

有它就不能听广播或看电视了。

在电离层之外，是受着地球磁场控制的质子和电子等粒子组成的磁层，这里的物质极为稀薄，而且愈高愈稀薄。在3200公里的高空每立方厘米中有几千个粒子，

到32000公里的高空便只有几个粒子了，这些粒子有从大气中分离出来的，也有从宇宙空间中俘获过来的。磁层的存在使太阳辐射出来的高能带电粒子流偏转方向，起着阻挡它的作用，同时也受到太阳风的影响，面对太阳的那一侧，磁层顶被太阳风压缩，但离地面仍有64000公里远，而顺风的一侧，则被太阳风吹出一个长达

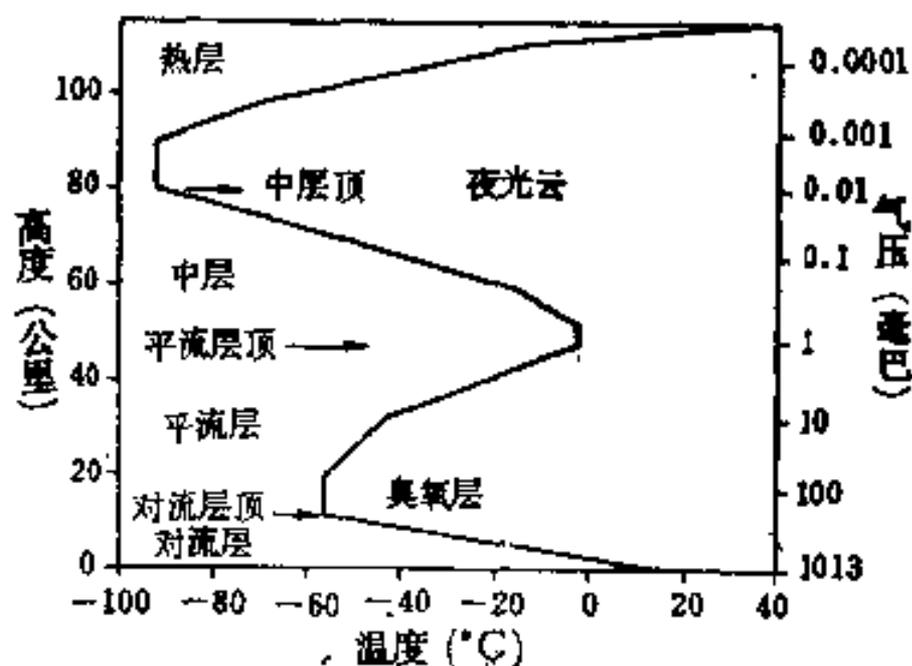


图 3

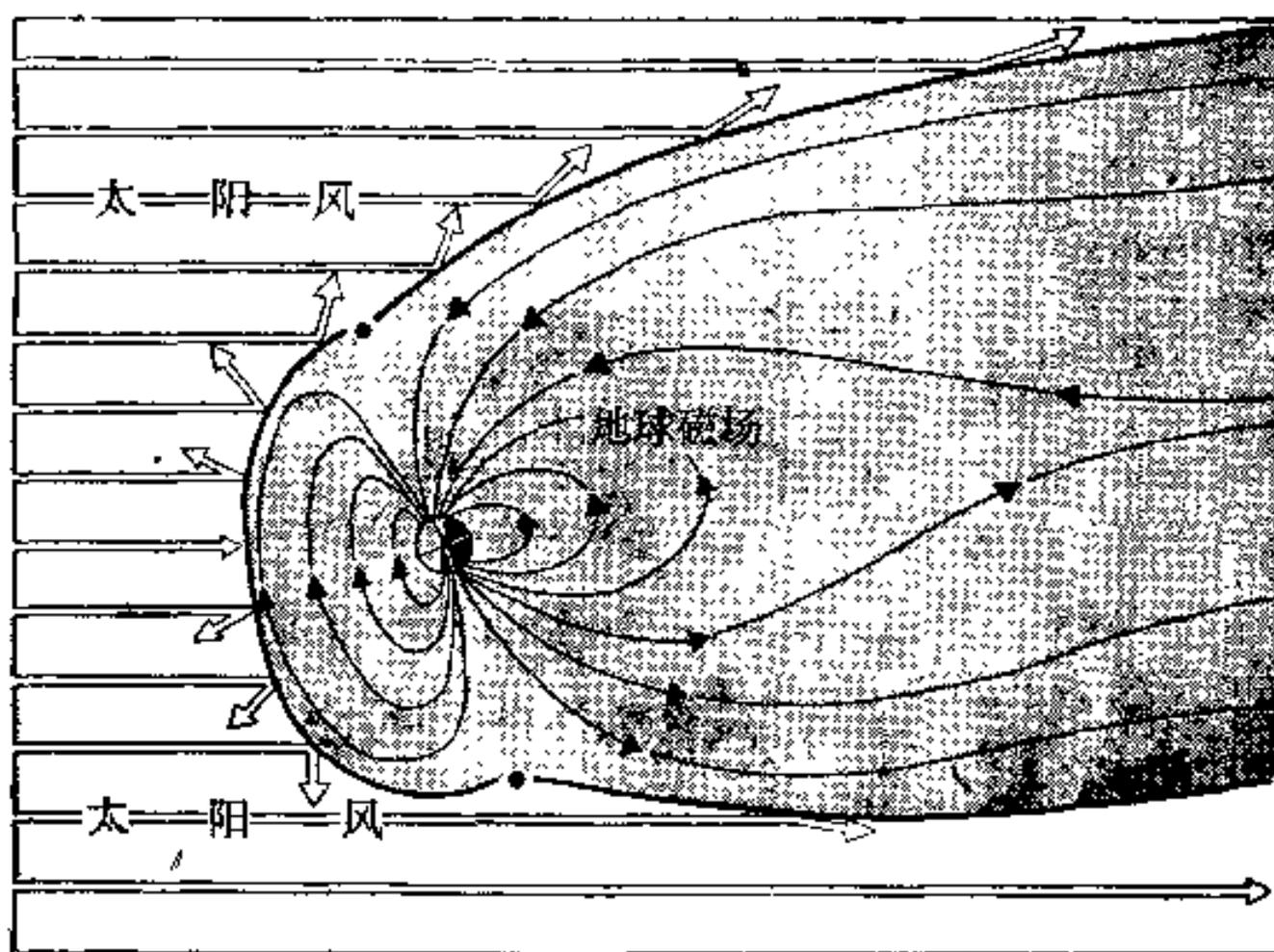


图 4

一、两百万公里的尾巴。亏得有磁层挡住了太阳风，否则大量带电粒子冲到地面，地球上的有机体将被破坏，生命都无法存在了。

整个大气圈看起来空明无物，其实在宇宙空间中比起来它还是很实在的。现在测得，在1600公里的高处，大气的密度只有海平面上空气密度的千万亿分之一（ 10^{-15} ），然而这个密度比外层空间物质的密度还要大10亿（ 10^9 ）倍，彗星是比较明亮的星，组成它的“头”、“尾”的物质密度只有地面空气的十亿亿分之一（ 10^{-17} ）。因此，在宇宙中，大气圈是地球真正的外壳，是保护我们不受冲击的万里长城。假使没有大气，向地球坠落的陨石早已把地面冲击得百孔千疮了，由于大气的阻挡，它们相互摩擦，产生高热，使大部陨石在一百多公里的高空就化为灰烬和气体，只有极少数到达地面，所以1976年3月8日我国吉林省坠落的陨石雨，极为罕见。据观测，这个大陨石在进入大气圈后，表面上产生了大约 $3,500^{\circ}\text{C}$ 的高温，周围的空气甚至高达 20000°C ，因而使陨石看起来像一个光彩夺目的火球，并在高空爆裂，分崩离析，坠落如雨。四十多年前，李四光同志曾经指出：“人们都以为我们住在地球的表面，实际上我们并非住在地面，却住在地中，我们的头上还有一层空气压着我们，包着我们”。“我们住在气壳底下，正和许多海洋生物住在海底，亦或蚯蚓之类住在土中相似”。事情正是如此，深海里的鱼不能在浅海里生存，浅海里的鱼也不能进入深海底，因静水压力不同。人到几千米的高山上呼吸困难，是因为气压太低了，到表面气压不到地面百分之一的火星或将近一百个大气压的金星，更是无法在其中生存的。

大气圈的来历

地球上为什么会存在现在这样的大气圈呢？这与地球形成及演化的许多特点分不开。

关于地球及太阳的系起源，尚在探索之中。有的说它是由一团炽热的星云冷凝而成；也有的说它是由冷的固体的宇宙尘埃聚集而成，但不管怎样，“浑沌初开，乾坤始奠，轻清者上升为天，

重浊者下沉为地”，这个古老的认识，在今天看来也还是有意义的。或者是稀薄的星云在凝结出地球的固体部分后，剩下了气体；或者是固体的宇宙尘埃聚集成地球后，再从中析出气体。有一点现在看来可以肯定，即火山活动时，喷出大量气体，证明从地球内部析出气体的作用确实存在。总之，是经过了一个逐渐分离的过程，把“天”和“地”划分出来了，或者说大气圈形成了。

“轻清者上升”，大气分离出来以后，为什么没有一直上升扩散到宇宙空间中去，却在地球周围形成一个圈层呢？是扩散了的，但没有都跑掉，这亏得有地球的引力把它拉住，由于存在地球的引力，在地面发射宇宙火箭，需要达到每秒11.2公里的速度，才能脱离地球。空气虽轻，运动的速度也很快，但在常温下，氧分子的平均速度不过每秒0.5公里，重量小的氢分子运动得更快一些，也不过每秒两公里，因此，一般的情况下，是不会散失到宇宙中去的。在高空的大气中，由于从宇宙中来的那些射线的作用，有些轻的元素如氢和氦的粒子可以被激发产生很高的速度逃离地球，这种作用，现在也还有发生，但其量极微，同时地球也从宇宙中俘获一些物质，增加着大气的质量，如陨石就是一种，这些陨石有许多成分化为气体，加入到大气圈中。因此，现阶段大气质量的多少，没有发生明显的变化。

大气圈外边的磁层抵挡了太阳风，对大气圈保存现状也有重要作用，否则，这种速度达每秒几百公里，有时甚至是一两千公里的高能粒子流冲入低层的大气，很可能扫掉大气中某些成分，引起我们想象不到的变化。

月球是产生大气的，但它的质量小，表面重力只有地球的六分之一，达到每秒2.38公里的速度就可和它脱离，所以没有形成大气圈。水星的表面重力只有地球的三分之一多一点儿，脱离速度是每秒4.2公里，所以也没有大气圈。火星的表面引力和水星相近，但表面温度低，气体分子运动得慢一些，所以还能保存一部分大气，但是非常稀薄。木星、土星、天王星、海王星这些行

星的质量和表面重力比地球大，大气保存下来不成问题，因此，都有大气圈，但这些大气的成分却又不适合人类的需要，为什么呢？

组成宇宙的物质中，以氢、氦、氮、碳和氧等元素为最多，形成太阳系各行星的星云，成分应该是大致相同的，但木星等行星质量、重力都大，能够把其中氢、氦这样轻的元素也牢牢吸住，并大量保存下来，所以现在的大气中还是氢和氦占优势，只是在地球这样的重力作用条件下，既能使许多大气保存下来，又能让氢和氦大量跑掉，剩下的氮、碳和氧相对地增多了，因而能逐渐演变成现在这样的成分。

金星的质量和表面重力都和地球极为相近，可是没有形成地球这样的以氮和氧为主的大气，而是以二氧化碳为主。一个重大的差别在于地球上的碳大量埋藏到地下去了，而金星上的碳则向大气中跑，和氧化合成二氧化碳。地球上的碳也是容易与氧化合的，在地球形成的初期，二氧化碳也曾在大气中占优势，但是后来由于复杂的化学的和生物的作用，大量的二氧化碳溶解在水里和海洋中的钙、镁等元素化合起来形成碳酸盐，在海底沉淀堆积，变成的岩石，主要是石灰岩；还有许多被生物吸收，再变成煤炭和石油也埋藏到地下去了，大气中的二氧化碳含量减少下来，从百分之几十减少到今天只含万分之四点六。按重量计算，地球上的碳，99%以上埋藏在地下，只有0.17%以二氧化碳的形式溶解在水里并且存在于大气中，而存在于大气中的仅占这些二氧化碳的3.65%。如果埋藏在地下的碳有万分之一变成二氧化碳进入大气，也会使现有大气中的二氧化碳含量增加一倍以上。地球的大气圈并不是从来就适于人类生存的，而是地球发展到一定阶段时的情况。约在三亿五千万年前，地球的大气圈才演化成具有现在这样的成分；约在一亿多年前，地球上的气温才接近现在的状况，其间的冷暖变化还很多。

今天，我们正处在地球所经历的一个特别有利于人类生存的阶段，这阶段还将持续很久。当然还会变化，就是目前，小的变

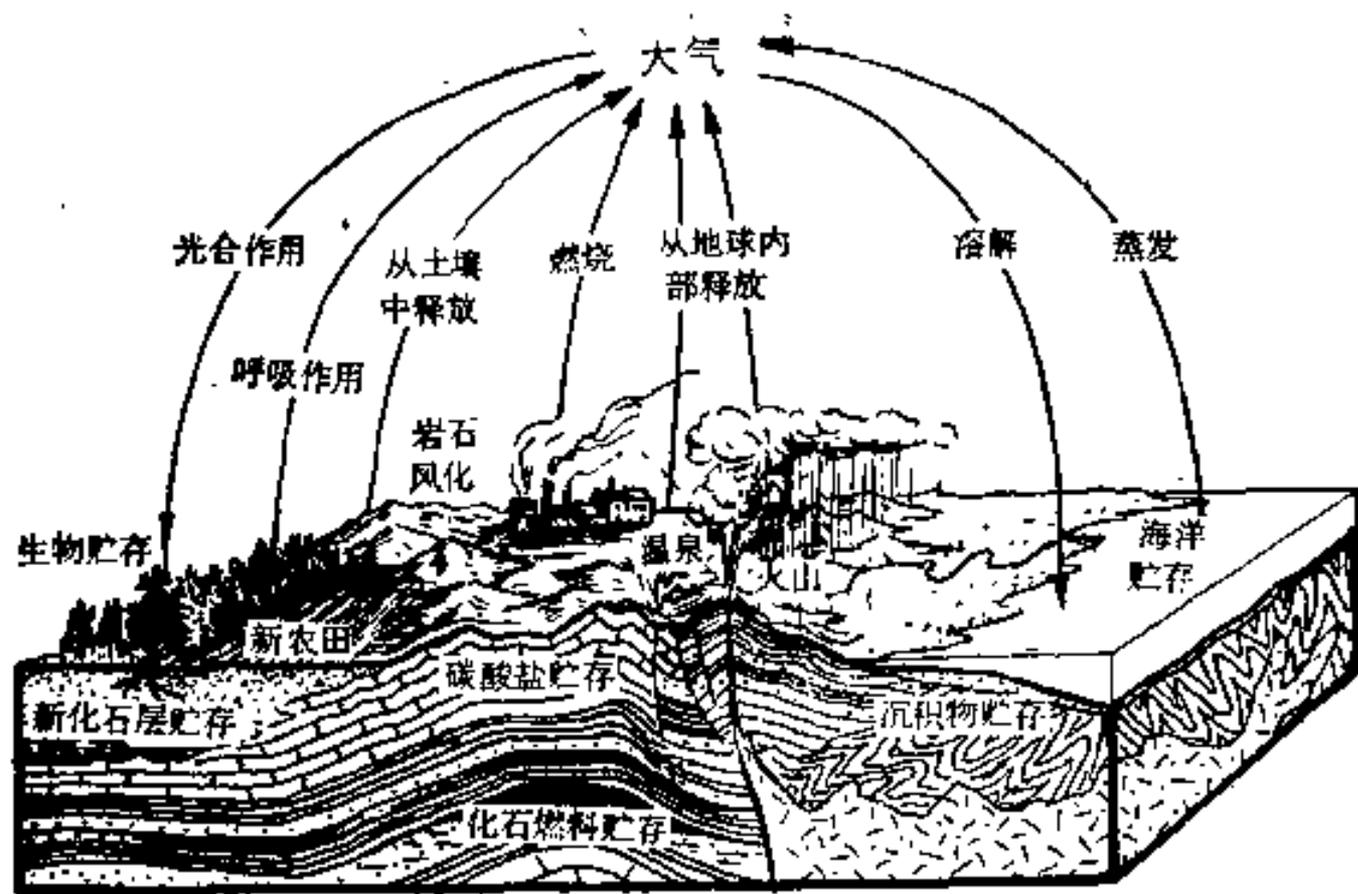


图 5 地球上CO₂的转换

化也从未停止过，譬如，由于人类大量燃烧煤炭、石油这些燃料，自工业革命以来，大气中二氧化碳的浓度，已增加了13%，照目前使用燃料的趋势，到下个世纪还将增加得更多。大气中二氧化碳增加，有阻挡地面热量散失的作用，因此，不少人担心会造成气温升高的后果。但是另一方面，人类活动使大气中的粉尘增加，有阻挡阳光使气温降低的作用。自然界中火山活动喷出大

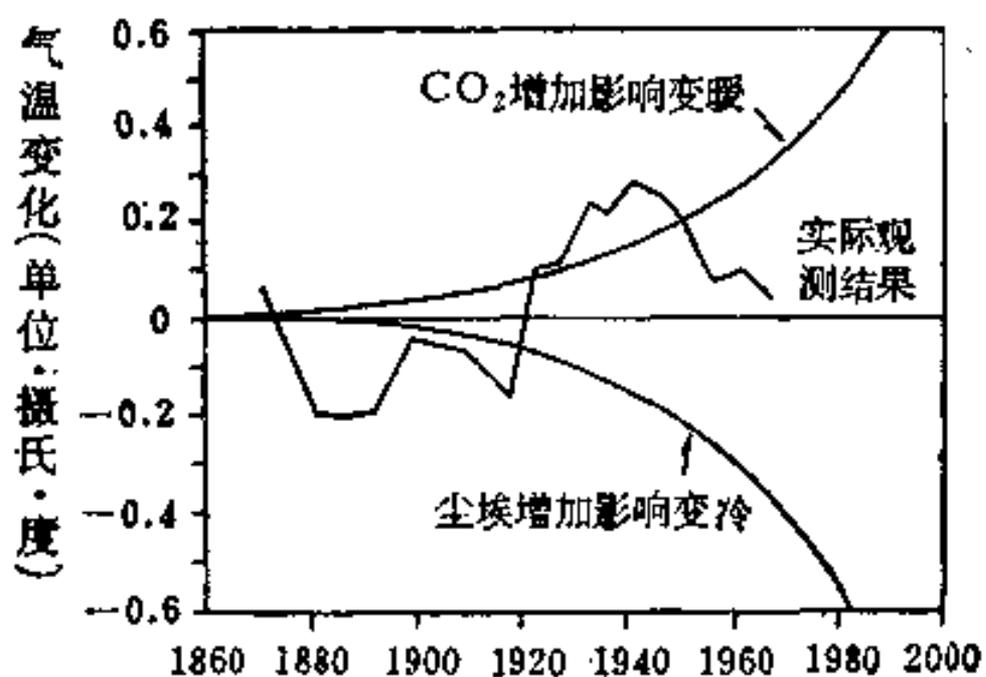


图 6 近百年来地球上气温的变化
(据北半球观测材料)

量水汽、二氧化碳和尘埃，也在使大气发生变化，影响气候的变迁。因此，近百年来观测到的北半球气温变化是时冷时热，并未一直上升或下降，而由于原来大气中二氧化碳含量很微，即使增加一倍，其绝对量也不大，但确实应该探索这类影响地球上环境变化的规律，因为只有在人类的活动中遵守和运用这些规律，才有可能使地球这个良好的环境更长期地保持下去并得到改善。

地球上的水

没有水就不可能有生命。地球上有水，而且很多。这些水以不同的形式存在于地面附近几公里内，构成了地球的水圈，并大量以液体的状态分布于地面，这是地球能够成为人类摇篮的一个重要条件。

不要以为水成为液体出现是十分平常，是理所当然的事。要是把别的星球上的情况拿来一比，就可看到，地球上能有这样多液态的水是十分可贵的。

前面说到在太阳系中，水星、月球上都没有水。金星上的水因温度太高都化为蒸汽了；火星上的水并不少于地球，因温度太低，大部分以冰和冰冻霜的方式冻结起来了。火星以外的行星温度更低，一般认为是难以存在液态水的（特殊情况，如木星由于本身发热，也可能存在液态水）譬如著名的土星光环，现在查明是许多冰块组成的。

地球与众不同，百分之九十几的水是液态，只有2.15%常年成冰雪状态，主要分布在南极，还有北极以及一些高山之巅。

地球上的水绝大部分蓄积在海洋里，其体积达到十三亿六千万立方公里，剩下的分布在陆地上的液态水就很少了，总共不到百分之一，其中大部分埋在地下，陆地范围内的江河湖泊里的淡水，不到地球上水的总量的万分之一，但其绝对数量仍是不少的，达到十几万立方公里。

存在于大气圈中的水汽，只占地球上水的总量的十万分之一，但它的重要性是不能用百分比来衡量的，它不时凝结成雨雪

降下，又从地面水的蒸发得到补充，实际上是个液态水的中转站，又是咸水的天然淡化工厂。这个中转站对人类的生存关系极为重大，每年约有 4.46×10^{14} 吨水经过蒸发进入大气，同时，约有相等数量的水汽经过凝结成为淡水回到地上，其中降落在陆地上的约占五分之一，是我们食用之源。

地球上水的存在状况，是可以改变的，而且它从来就变化着，现在地球上的这个水圈就是长期发展变化的结果。

地球上的水与大气有着类似的来源，可能有的水是在地球形成时，从原始的星云中分离出来的，更肯定的是有许多水是在地球形成后，从地下逐渐析出，火山喷出大量的水汽就是证据。这种从星球的固体部分分离出水的作用，现在不仅在地球上，在月球上也已观测到，1971年3月7日，从月球内喷出了一股水蒸汽，持续14小时，笼罩了25平方公里的面积，不过其量甚微，如凝结成水，总重量才1.5公斤。在地球上，从地下喷出水汽的规模至今还很大，如1976年2月13日阿拉斯加奥古斯丁火山爆发，一次喷出的水蒸汽总重量达到五百万公斤，这当然对地球的水圈的发展会有重要的影响。有的计算结果表明，在地下70—2900公里以内所含的水分，就比地球水圈现有的重量要大十四倍。因此，这种作用绝不可低估。

在地球形成之初，海洋里的水是比较少的，由于水不断从地球内部分离出来，地面温度降低，大气中的水蒸汽大量凝结降落，海洋里的水才逐渐多起来。海水的成分也经历着复杂的变化，开头溶解的酸类物质比较多，经过长期演变才成为今天这种含食盐较多的咸水。水圈具有现阶段这种状况，也是一种暂时的相对的稳定，由于自然原因而产生的变化，目前仍在进行，现在人类的活动也在产生愈来愈大的影响，通过我们的努力使地球的水圈变得更加有利于人类，是有可能的。

生命的疆界

地球是一个有生命存在的星球，但并非到处都有生命在活

动。“天空任鸟飞”是不确切的，鸟儿，一般只能在几百米高的空中飞行，雄健的兀鹰只能飞上喜马拉雅山，要达到更高的高度也不行了。绿色植物生长的最高限度约在 6200 米，虽然在 33000 米的高空曾发现细菌的孢子和白霉菌，但它们并没有活跃的代谢作用。

“海阔凭鱼跃”也是不确切的。海水每深 10 米就要增加一个大气压。在深海海底，静水压力比地面上大气压力要大几百倍至一千倍以上。此外，在几十米的深度，大部分光线已被吸收，到 1700 米以下，更没有任何光线存在。在这种环境里，一般鱼类是无法生存的；虽然有个别特殊的鱼类和生物，可以让海水渗入它们的体内以保持体内外压力的平衡，能够在这里生存。

陆地上的生命活动主要是在地面上，在地下的土壤、岩石里，也有生命的存在，一克土壤中可以有几亿至几十亿个微生物。蚯蚓、田鼠等都是常见的地下住户，但一般活动范围仅限于地下十几米以内；在地下两、三千米处的地下水中也曾发现微生物，但这就不是一般的情况了。

大气与海面和陆地表面相接触的地带，才是最适于生命繁殖的场所。其中也有生命的禁区，有些地方如沙漠中缺水，生物便很稀少；有的水域，如死海，因为盐分过多，一升水中含盐将近一斤，生物也就很难在其中生存，水上也就没有水鸟来觅食，呈现出一片死寂的景象，但是这些禁区对人类来说，都是可以突破的。“上穷碧落下黄泉”，人类还正在扩大生命活动的领域，但总起来说，生物的分布还是限于地球表面附近，它们构成地球的一个特殊的圈层，被称为生物圈。

生物圈也可以说是水圈的特殊存在形式，在生物体中所含水分常占其体重四分之三以上，它又是地球上各种元素的重要转运站，特别是碳、氢、氮、氧四种元素更是大量在生物圈里进进出出，通过生物的生长、活动和死亡，使大气、岩石、土壤和水中的成分发生交替改变。例如，现在每年约有 150 亿吨碳从大气中转移到树木中去，这些树木在一定条件下被掩埋，又可以变成煤

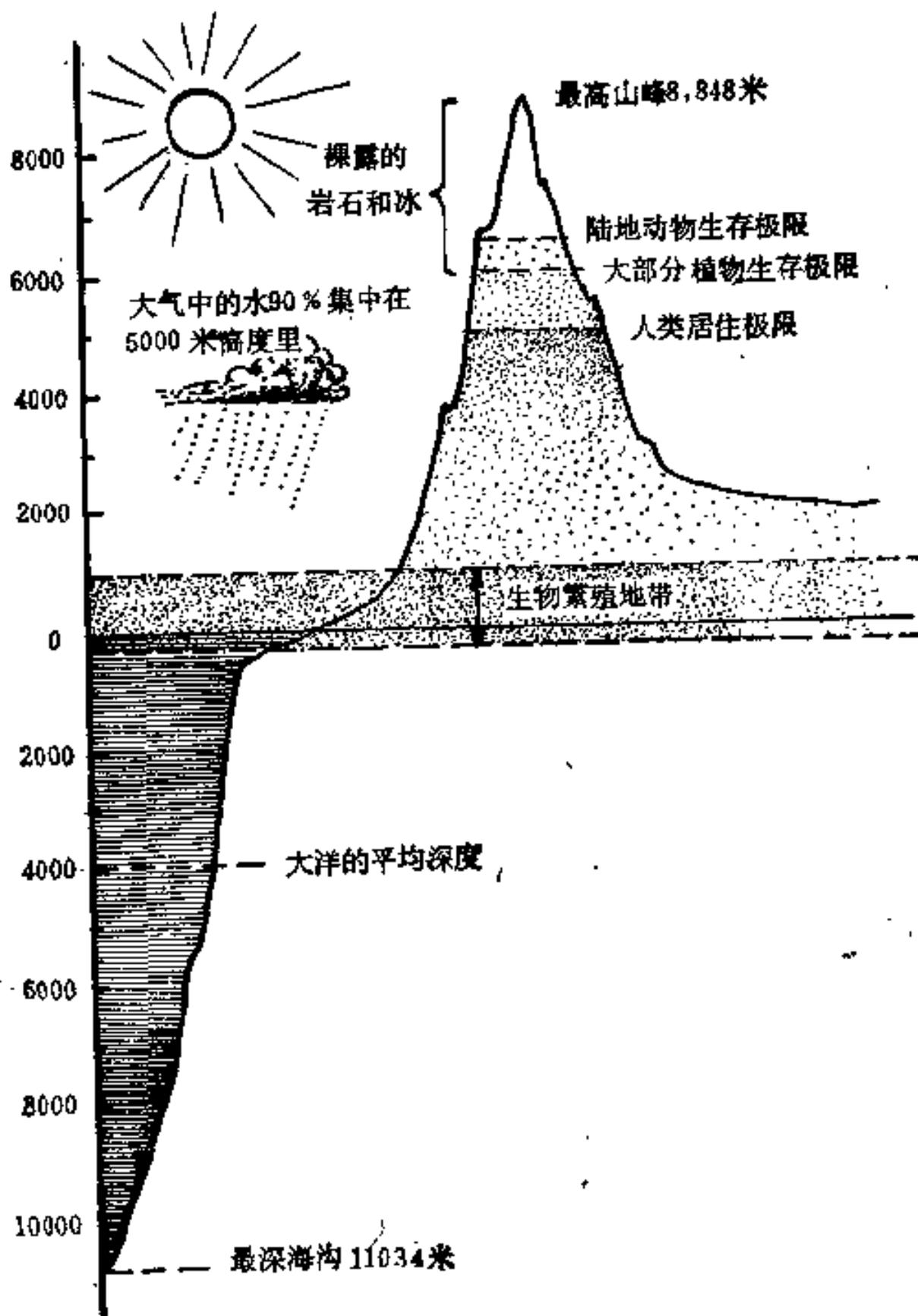


图 7

炭，目前每年约形成含碳量达三亿吨的泥炭。那些巨厚的石灰岩和大铁矿的形成，常常也有生物的作用。

生物圈在地球上从无到有，从小到大不断发展变化，已经产生了而且正在产生着愈来愈重要的影响。

来自地球内部的消息

在一个很长时期内，人们仅仅能够根据地面所见到的情况来

推测地下的情况。目前人们借着钻机的威力，能够钻探到地下万米左右的地方，而地球的半径却只有6300多公里！不要吃惊，即使钻机钻得再深一些，钻孔仍然比不上西瓜上的一个针孔大。

要了解地下深处的情况，就像在黑夜中摸索一样。在这摸索的过程中，人们发现地震可以帮助我们了解地下的情况。半个多世纪以前，俄国地震学家哥利津曾经这样说过：“我们可以认为地震是一盏灯，它在一个很短的时间内是点燃着的，照明着地球的内部，可以看到在那里发生了什么。这盏灯的光线还是暗淡的，但无疑地，它将愈来愈明亮”。地震是怎样成了一盏灯的呢？这是地震时产生的地震波所起的作用。

在地震的时候，人们会感到好像在摇篮中摇晃，头晕目眩，大地像波浪一样起伏。

发生地震的直接原因是由于地下某处的岩石发生了破裂。这时候，从发生破裂的地方，传出了阵阵的波动，这便是地震波。地震波传到地面，立即像在水中投了一块石子一般，还会再激起阵阵波动，它是一种只能沿地面传播的地震波，称为面波。

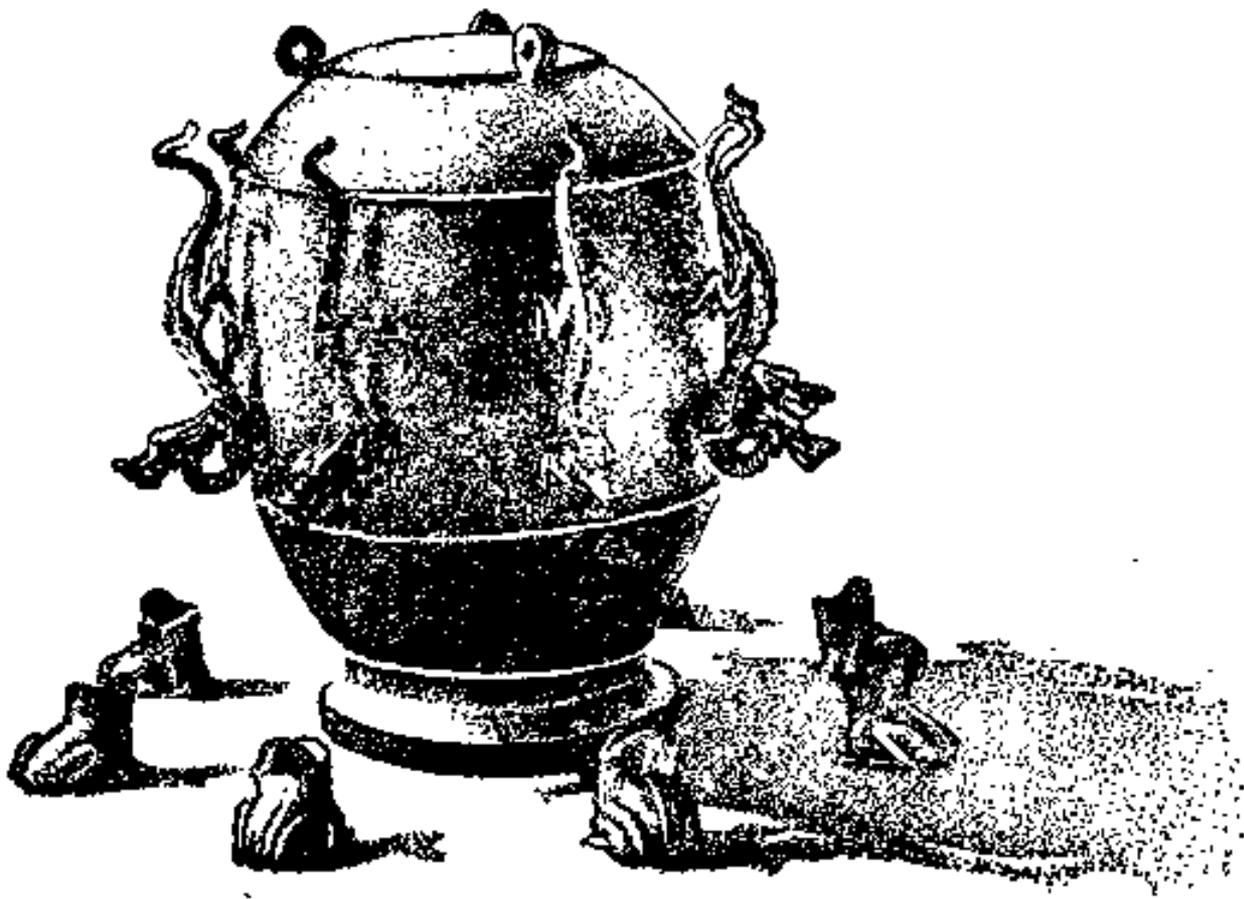


图 8

光凭我们的感觉对地震波是认识不清的。最早用仪器来侦察地震波活动的是我国汉朝的科学家张衡，他制造出一种“地动仪”，能够指示出地震和地震的方向，但是对于地震波传播的详细情况还是不能够侦察出来。

现在侦察地震波是使用地震仪。

早期的地震仪是这样工作的：仪器的座子紧紧贴着地面，座子上有一个会转动的圆筒，上面裹着纸。座子上装着一个支架，伸出一根横臂，在臂的一端用细钢丝悬着一个带有尖针的铅球，针端和圆筒的纸面正好接触。

圆筒转动起来，针尖便在纸上留下痕迹。如果大地是平稳的，纸面上留下的是一条直线；如果发生了地震，圆筒跟着震动，针尖在纸上留下了一条曲曲折折的线，这便是地震波传播情况的记录。

现在更灵敏的地震仪也制造出来了，这种仪器不是直接用机械把地震波记录下来，而是让震动的机械在两块强力的磁铁之间运动，产生电流。再根据电流记录下地震波的传播。

使用这种仪器，可以把震动产生的电流放大，因此，即使是极轻微的震动也可以记录下来。

地震波传播情况的记录，象一条奇怪的电码。图 9 上是“电文”的一段。靠最右边的是面波的记录，面波跑得最慢。纵波跑得最快，首先被记录下来，随后追踪而去的是横波。

记录地震波传播情况的曲线，可以说明许多问题。如果曲线的起伏很大，说明震动强烈；相反地，如果震动轻微，则曲线的起伏也变得和缓。

在纵波、横波、表面波的记录之间，有时会有一段比较平缓的空隙，这表明地震波是来自远方的；当纵波来到并被记录下来以后，停了一会儿，横波才赶到，又停了一会儿，面波才姗姗来迟。

要是地震发生在近处，这些间隙就不明显了。

纵波的传播方向与振动方向一致，传播时，只要求物体体积

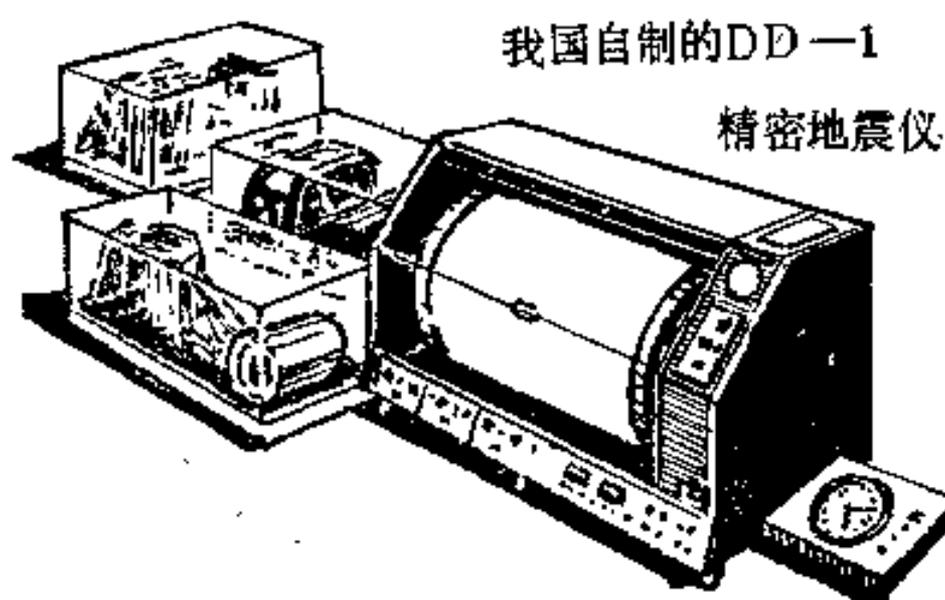
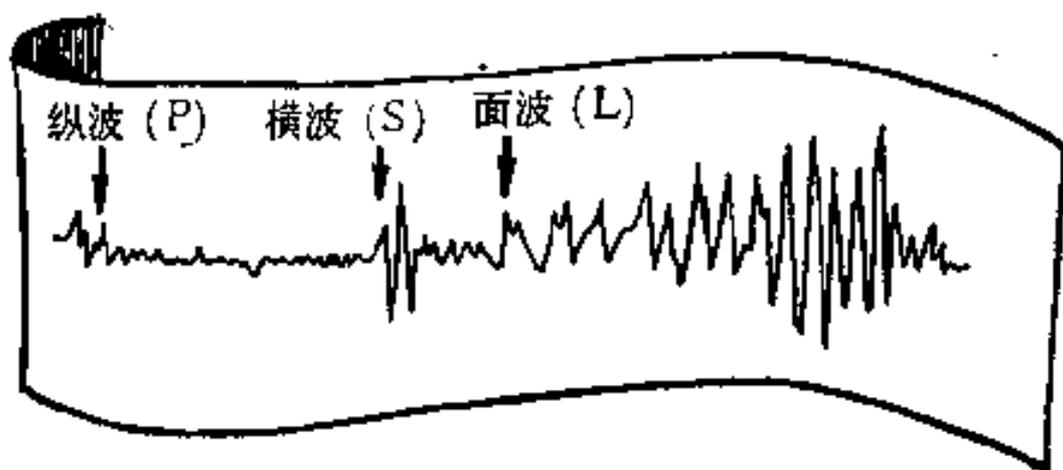


图 9

大小发生变化，形状不变，因此，在固体、液体、气体中都能传播；横波的传播方向与振动方向垂直，传播时，要求物体形状发生变化，体积不变，因此，没有形状可变的液体、气体就不能传播它。

地震波传播速度的变化，跟它在什么样的物质中传播有关。地震波在不同的物质中传播时，还会因物质性质的差异而发生折射、反射等情况。因此，它可以在地球内部旅行一番后，又回到地面为我们所接收，并记下它在地下的行程。这个记录是今天了解地球内部情况的主要依据。

图10表示地震波向地球中心传播时，速度的变化情况。我们看到开始速度不断增加，到地下2900公里的地方，纵波的速度突然跌落下来。横波呢？陡然不见了。

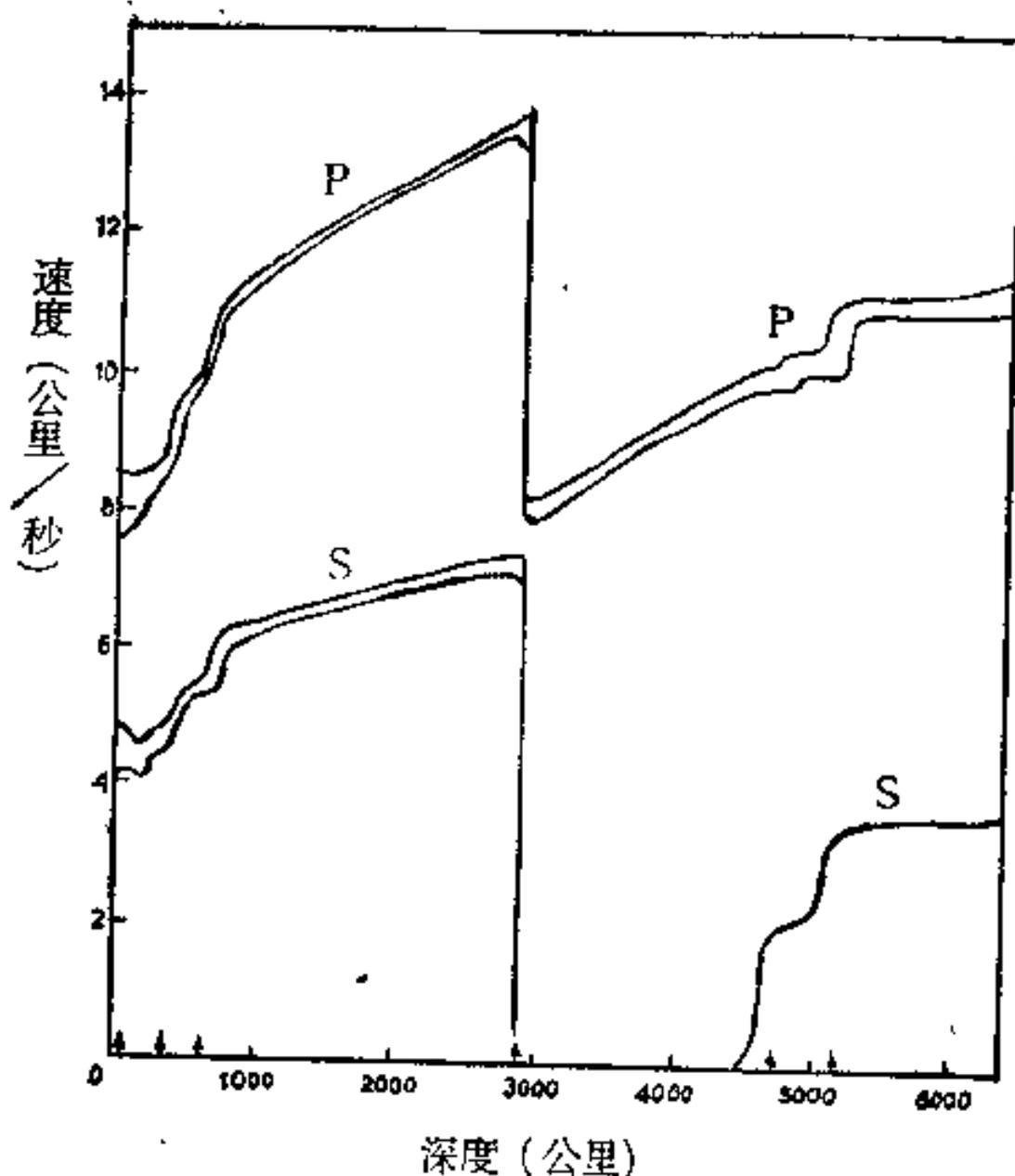


图 10

在其它深度上，也有着速度的变化，不过没有这么显著。

显然，在地下2900公里以下的地方，物质状况和地球其他部分有很大的区别，这部分被叫作“地核”。

1909年，南斯拉夫地震学家莫霍洛维奇研究了发生在库尔帕河谷的地震记录，发现纵波在地下50公里一带速度突然增大。进一步的研究得知，这种在地下几十公里深处地震波传播速度突然加快的变化，是全球性的现象，不过深度不一，大陆的这一带常为三、四十公里，海洋底下一般则不到十公里。在这个速度突然变化的界面以上算是地壳。地壳和地核之间称为地幔。

地核的半径约为3470公里，组成地核的物质，密度很大，愈靠近中心愈紧密，最重达每立方厘米十六、七克，即比铅或水银都重，最轻也将近每立方厘米十克，超过了钢铁。因此，它的

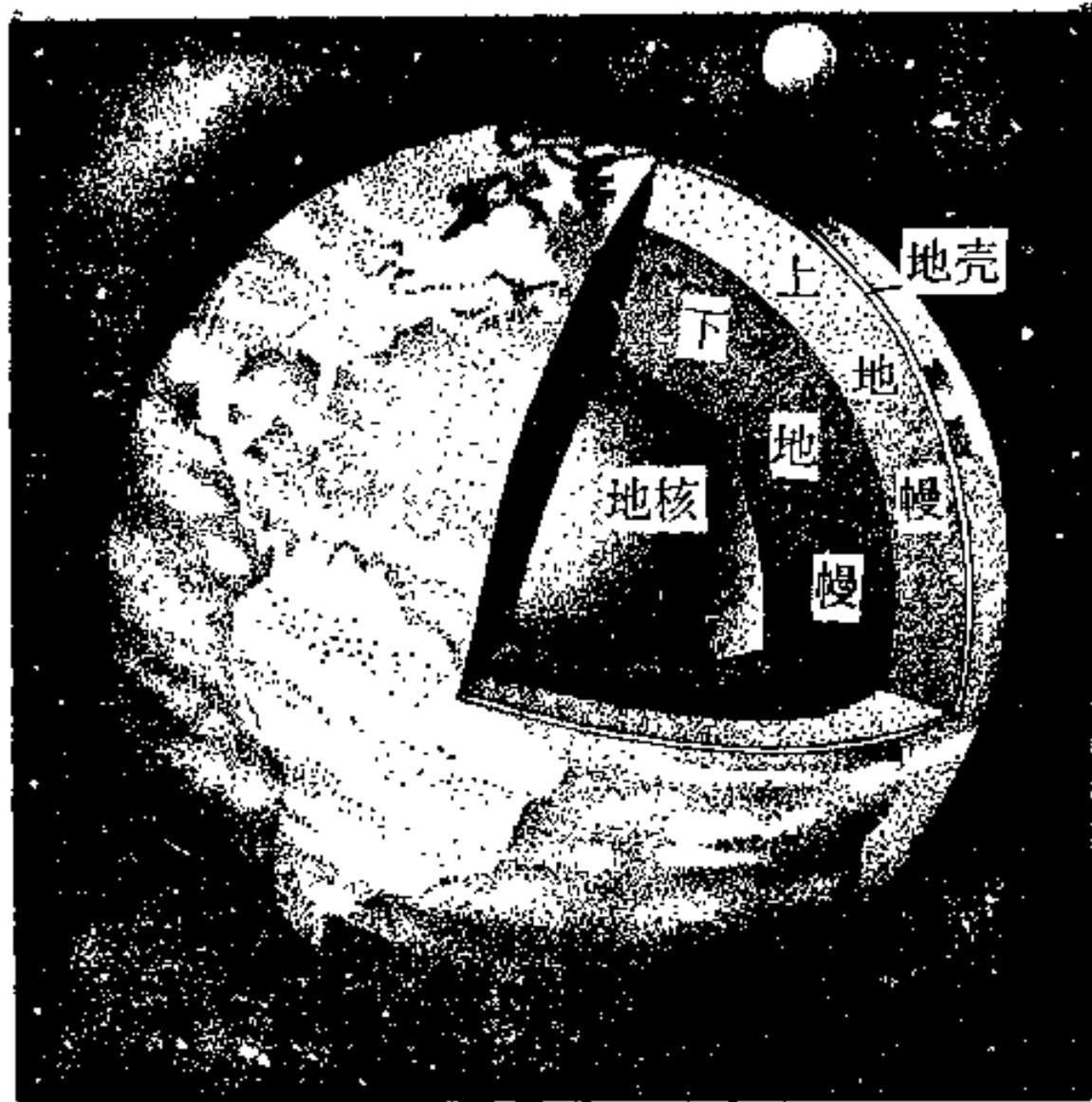


图 11

体积虽仅占地球总体积的16.2%，而质量则要占到31.5%。这里的物质为什么这样重？人们从一些陨石含铁和镍90%以上得到启示，设想地核也是铁、镍组成的。但铁、镍的密度也没有这样大，因此，设想那里压力很大，使地核处于特殊紧密的状态。在地下，越深的地方压力越大，最深处达到三百多万个大气压。

组成地核的物质表现出液态的性质，但在里面很可能还有一个半径约为一千二、三百公里的内核存在。这里的温度很高，约在2000—5000°C之间。

地幔包在地核外面，有人认为它象帐幔似的屏障着地核，所以给它取了地幔之名，其实很难产生这样的联想，这个帐幔的厚度将近2900公里，它的体积约占地球总体积的82.3%，质量也占到67.8%之多。组成它的物质明显地表现出是固体的性质，只是可能具有一定的可塑性。这些物质的化学成分可能以硅酸盐为

主，和地面上某些岩石相近，很深的地方还不大清楚。地幔的上部边缘一带，含有很多镁，成分与橄榄岩大致相当，被称为橄榄岩层。地幔的底部边界约在地下2900公里的深处，上部边界很不规则。

地幔里的温度比地核低，但仍是很高的，约在1000—2000°C之间。这种温度已能使岩石熔化了，但这里压力很大，从上部将近一万个大气压增到底部的一百多万个大气压。压力增大，物质的熔点就要升高。实验证明，在稍大于两万大气压时，温度需要升高到80°C以上，冰才会熔化。因此，地幔中的物质可以具有一些塑性，但没有熔成液体；可能局部处于熔融状态，但不是整个为岩浆所充填。位于地幔上部的边缘的橄榄岩层则更表现出坚硬的岩石性质，和地壳共同构成了一个被称为岩石圈的圈层，总厚度在一百公里上下，其下是具有一些塑性的部分，称为软流圈。在不久前的模拟试验中，人们看到金刚石在每平方厘米一百七十七万公斤的强大压力下，竟可以变得象黄油一样流动，证明这种设想是能够成立的。

地壳这个名称，是十九世纪时，人们以为地球里面全是熔融物质，表层坚硬如壳，因而叫起来的。现在我们知道，地球里面并非充满着液态的岩浆，而且在地壳之下的橄榄岩层也是坚硬的岩石，所以原先人们叫惯了的地壳这个概念早已失去了意义。不

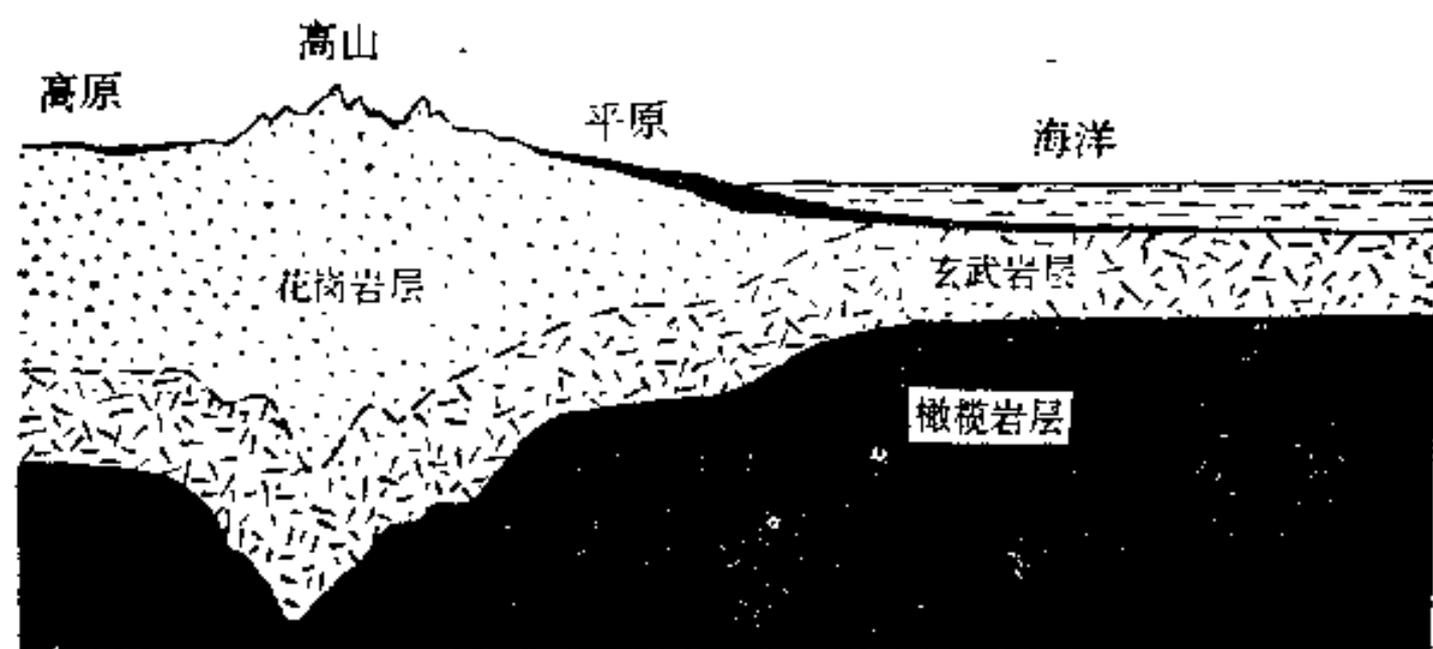


图 12

过组成地壳的岩石的化学成分和物理性质与橄榄岩层仍有很多不同之处，所以仍能把它划分出来，并沿用了地壳这个名字。

总的说来，构成地壳的岩石比橄榄岩轻，而镁的含量又较橄榄岩大大减少，它们常以玄武岩和花岗岩来代表，都是很坚硬的岩石。玄武岩构成地壳的底层，花岗岩层分布在它的上面构成大陆的主体；在大洋底下，一般缺少花岗岩层，所以这里的地壳比较薄。花岗岩层的密度约为 $2.6\sim 2.7$ 克/厘米³，要比玄武岩层（密度约为 $2.8\sim 3.0$ 克/厘米³）轻一点，因此，较轻的大陆块体居于玄武岩层之上，颇有一点象是冰山浮在水上的样子。地壳是不均一的，各部分各有特点。

石头里面的学问

岩石构成的地壳，虽只有地球质量的0.7%，体积（不包括大气圈）的1.4%，然而它对我们人类来说，还是非常庞大的，因为这些岩石的体积有一千五百亿亿立方米左右，质量则有四千三百亿亿吨之多。今天，我们仅能直接观察到这个庞大的岩石王国极小的一部分，被我们开发利用的部分更是寥寥无几了。地质学研究的范围很广，题目可以很大，可是落到实处，都得从研究地壳里的岩石着手。

这个岩石的王国同时也是一个矿物的王国。岩石是矿物组成的，在岩石中经常看到的有二十多种矿物，其中以长石、石英、辉石、角闪石、云母、橄榄石、方解石、磁铁矿和粘土矿物为最多，占去地壳中岩石总质量的百分之九十几。

矿物是由一种或两种以上的化学元素组成的，其中又以氧、硅、铝、钙、钾、钠、镁、钛等元素为最多，它们占去了地壳总重量的百分之九十九；主要是氧，它要占到46.6%，如以原子的个数计算，则要占到62.55%，如按氧原子所占空间计算，更要占去地壳总体积的93.77%。它们在地壳中大多化合为硅酸盐的形态产出。

在一般的语言中，矿物和岩石常被笼统地叫做石头，在地质

学中则各有严密的概念。通常给非金属矿物命名的时候，称为什么“石”不称为“岩”；在给岩石命名的时候，称为“岩”不称为“石”。矿物是天然产出的化合物或单质，具有一定的化学成分和物理性质。岩石是矿物的集合体，它的化学成分不确定，只有个大致的范围，物理性质也只是大致相同。

绝大多数矿物内部的原子是按一定秩序有规律地排列组合起来的，这种作用称为结晶，经过结晶形成的有秩序的组合称为晶体结构，具有晶体结构的矿物称为结晶质矿物，有时晶体结构的特点在矿物的外形上也有比较清楚的反映，表现为具有一定的几何形态，叫做形成了晶体，在更常见的情况下，没有能形成晶体，外形不规则，这时称为晶粒。

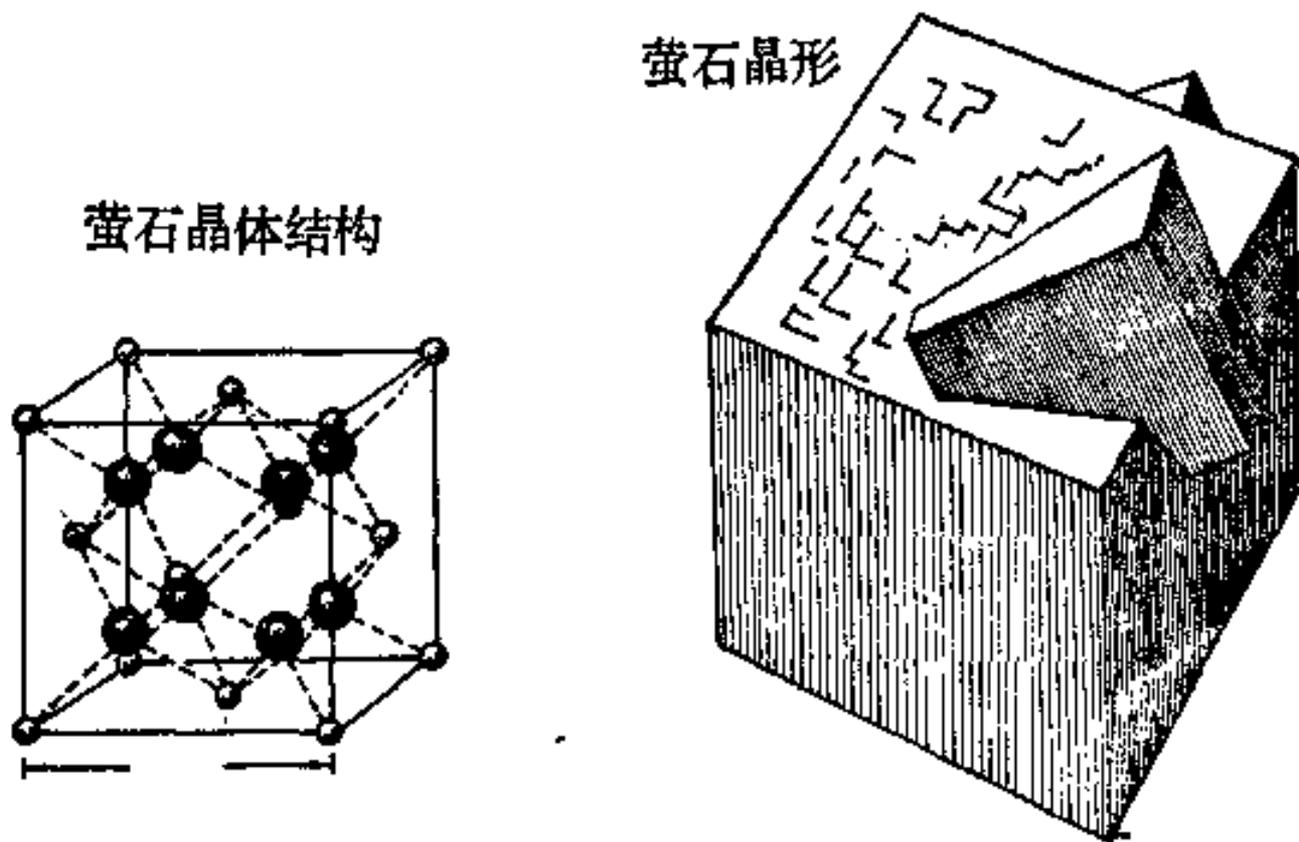
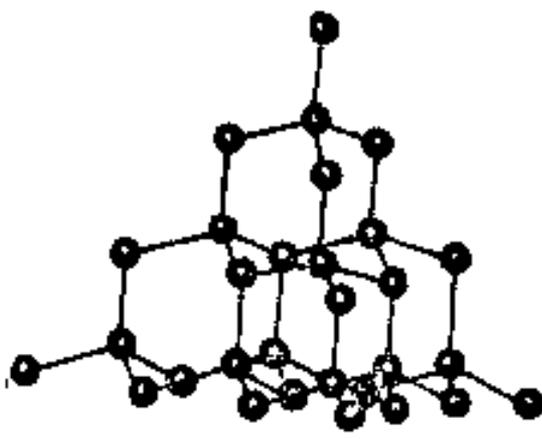
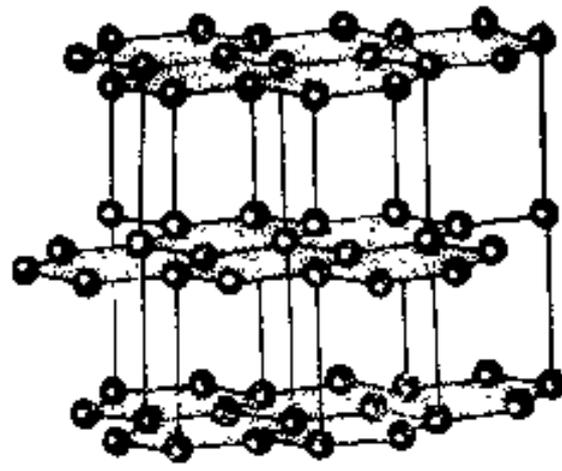


图 13

在化学成分相同的时候，由于矿物内部原子的排列组合情况不同，表现出来的物理、化学性质都可以相差很远，成为不同的矿物。结晶的和没结晶的不一样，象结晶的二氧化硅形成石英，外形完整的石英结晶是水晶；没结晶的二氧化硅则形成了打火用的燧石或美丽的玛瑙等。晶体结构不同，矿物的性质也不一样，象金刚石和石墨都是结晶的碳，由于在金刚石中，碳原子的排列



金刚石的晶体结构



石墨的晶体结构

图 14

组合是每个碳原子都位于四个碳原子中央，它们之间的距离都是1.54埃(A°)①，结合得很稳定，所以成为最硬的矿物，在外形上也很规则，有棱有角，形体美观；石墨里的碳原子则是成层地排列，同一层中的碳原子相距较近，距离为1.42埃；不同层次之间相邻的碳原子也有联系，但相距较远，有3.40埃，层与层结合不紧密，因此，石墨性质和金刚石大不相同，是最软的矿物之一，没棱没角，成片状。

九十二种元素以不同的组合形成了两千多种矿物，这是我们已经认识到的，还有些没被人们认识的矿物正在陆续发现。解放后，我国地质工作者就发现了几十种。

矿物的种类很多，但有用的只是一小部分。在一般的情况下，是以硅酸盐矿物为主组成岩石，没有确定的化学成分和内部结构，如果有用的成分含量很多，可供我们利用这就叫做矿石，矿石和岩石之间并无截然分开的界限，当我们利用矿石的技术水平提高以后，一些有用成分含量少的岩石也会成为矿石了。如现在含铜量仅千分之五的石头已大量作为铜矿石使用，预计到2000年，含铜量仅千分之三的石頭也可以拿来冶炼。但是在上世纪末，一般含铜量要达到百分之五以上才被认为是矿石。矿物可以

①埃(A°)长度单位 1埃=0.0000001厘米(一亿分之一厘米)

按照它们的化学成分分为硅酸盐、碳酸盐、氧化物、硫化物、氢氧化物等类别，岩石不能这样简单地按化学成分来分类，还必须重视它的成因，外貌和矿物组成等特征。

岩浆岩、沉积岩和变质岩是按成因不同划分出来的类别。

岩浆岩或称火成岩，一般认为是高热的岩浆冷凝而成，有的也可能还有其他原因。地壳中数这类岩石为最多，要占去地壳总

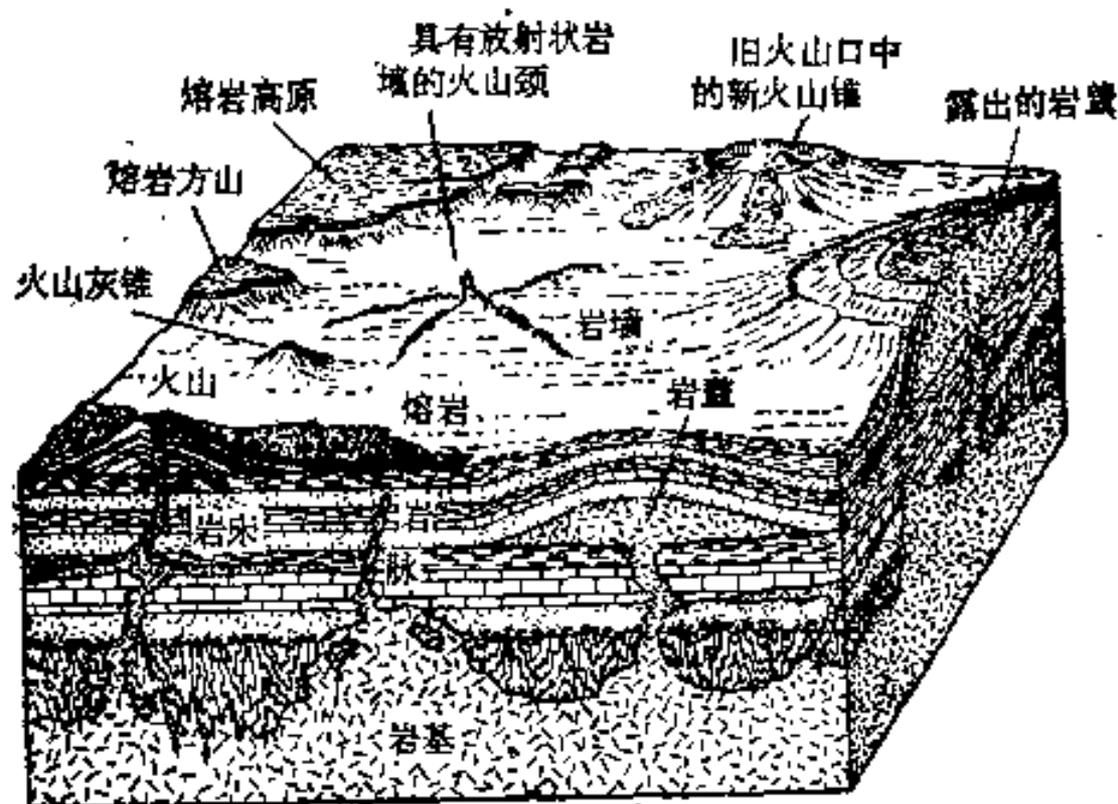


图 15 岩浆岩产状

重量三分之二左右。在大陆这边，岩浆冲出地面的较少，更多的时候，是封闭在地壳中冷凝而成，花岗岩是常见的一种。大洋下面的情况则不同，构成洋底的岩石主要是岩浆从地下喷出后冷凝而成的玄武岩。在这些玄武岩的上面一般都盖有松散沉积物，但这些沉积物很多仍是火山喷出来的碎屑。由火山碎屑物堆积而成的岩石，仍属岩浆岩这个大家族，但它常有成层的构造，这又是沉积岩才有的一种特点。在给自然界事物划分类别的时候，这种交错不清的情况是常会遇到的，地质学的领域中也是如此。

沉积岩是泥沙土石等碎屑物和从水中沉淀出来的矿物质以及生物的遗体在地面上低洼的场所堆积起来，逐渐形成的。这些物质通常是流水带来的，天长日久，压得很紧密，加上溶解在水中

的矿物质在其中起胶结作用，还有来自地球内部的热的影响，这些松散的沉积物硬化成为岩石。由于不同时期搬运来的沉积物，在成分、粗细、软硬以及颜色等方面往往存在这种或那种差异，有时还会出现没有什么东西搬来堆积的间歇，因而由这些沉积物形成的岩石可以分出层次，在地质学中叫做层理。沉积岩一般是在水下堆积而成的，但风吹来的砂土和火山喷出的物质，也可以在陆地上堆积起来形成有层理的岩石，不过为量很少罢了。

沉积岩分布在地壳上部，深度有限。它在地壳总重量中占有的百分比很低，不到百分之八，但掩盖的面积很广，陆地的表面约有四分之三是沉积岩分布的区域。目前人类从地下开采的矿产，大部分是从沉积岩中取得的，如以产值计算，要占到百分之七十；如按体积计算，这个百分比还要高，因为从沉积岩中取得的主要是石油、煤炭和天然气，这些东西都是比重小，体积大的矿产。除了这些矿产，沉积岩中其他种类的矿产还不少，它们都是在形成沉积岩的这种环境中形成的。

岩浆岩中的矿产也很多，许多金属和非金属矿是在岩浆活动和冷凝的过程中逐渐形成的。

岩浆在形成以后，又受到高温高压作用，有时还有外来成分加入等，就会改变了原来的物质组成，这种作用被称为变质作用，因此而造成具有新特点的岩石，称为变质岩。经过变质作用使一些有用的矿物成分富集起来，成为矿产，世界上大部分铁矿就是形成于变质岩中。

一定的矿产总是与一定的岩石相联系，要找寻矿产，就必须了解岩石。

研究地球的现状，必须研究这些岩石构成的地壳，研究地球的历史，更离不开这些岩石。

每一块岩石都有它自己的历史，在岩石的身上记录着它的种种经历。

岩石是给地质学提供事实材料的泉源。学习地质学就得和石

头打交道，石头里面大有学问，当你用地质学的知识武装起来以后，就能够在那些默默无言的顽石身上，了解到亿万年前沧桑变迁的往事。这些石头还是人类生存发展所必不可少的物质基础。特别是现代化的生产，离开了取自石头里的原料和燃料，是无法进行的。石头很值得我们研究。

第二章 一部不断变化的历史

“万卷书”

我国山东省临朐县山旺这个地方，分布着一种薄层的岩石，重重叠叠，颜色黑白相间，层次分明。它们平卧在山野里，从侧面望去，宛如一叠叠书页横铺在地上，于是有了“万卷书”之名。为什么会有这“万卷书”出现？原来在大约一千一、二百万年以前，这里是一个水平如镜的湖泊，气候温暖，生机勃勃，湖里鱼游蛙泳，水草丰美，一种形体微小的硅藻，繁殖得特别茂盛，



图 16 山旺硅藻土岩层

这些硅藻不断地生生死死，大量硅藻的遗体和泥沙一起在水底堆积下来。夏天，硅藻死亡少，而且由于天气热，死后容易氧化分解，不易保存下来，加上此时雨多水涨，流水带来的泥沙却比较多；冬天的情况则相反，水枯泥沙减少，死亡的硅藻、凋落的树叶等有机物质却大大增多，寒冷的气候，宁静的湖水都有利于有机质在沉积物中保存下来。有

机物的特点是含碳，沉积物中碳多了，颜色就要变暗。因此，在“万卷书”中，冬季形成的岩石色暗，夏季形成的色浅，层次特别分明而且分得细，也就比较薄，看起来就很象书页了。

岩石本身的特点，可以告诉我们它的身世，夹在岩石中的化石，还能告诉我们更多的事情。这些化石是埋在泥沙中的生物遗骸变来的，通常，那里水下环境比较安静，缺少氧气，并有泥沙及时将死亡的生物掩埋起来，使之不易受到破坏和迅速腐烂分解，而是被渗透进去的矿物质逐渐充填加固或替换，变成岩石的一部分，保存了原来的外形乃至内部构造。当初，堆积“万卷书”的湖泊里特别安静，死亡的生物又很多，形成了大量化石。这些化石形成后，没有经受过剧烈的变动，岩层比较平缓，基本上保持了形成时的状态，这都是环境稳定的证明，还有利于化石的保存。所以，今天在“万卷书”里能找到丰富而又相当完整的化石，真是花鸟虫鱼都有，形象栩栩如生。

不仅是“万卷书”这样的岩层，所有的沉积岩都是地质历史的记录，其中的化石使我们可以知道当时有哪些生物。根据这些生物生活的习性，可以判断当时是什么样的地理环境。按照生物是从低级向高级演化的规律，我们还可以将不同的岩层中所含的生物化石拿来比较，确定岩层形成时间的早晚。因此，人们常常喜欢把这些岩层比喻为地球的史册，这样的“史册”在许多地方都可看到，何止万卷！我们要了解地球的历史，整理这些散在各处的“万卷书”是最基本的工作。

记录在地壳中的时间

地球的“史册”是时间留下的记录。每一层沉积岩都代表着一段时间。时间越长，形成的岩层越厚，但也受到其他因素的影响，譬如不同的河流中夹带的泥沙多少是不一样的，我国浑浊的黄河水中，泥沙的平均含量比南美的亚马孙河要高四十几倍；不同的环境，泥沙沉降的快慢也不一样，进入鄱阳湖的泥沙沉积下来的，还不到百分之十。而沉积在洞庭湖里的泥沙却超过了百分



图 17 沉积岩

之九十，洪水和枯水季节不一样，发大水的年分和平常年分也不一样。五十年代中，测得洞庭湖平均每年泥沙淤积在湖底的厚度是三厘米，大水年分则要增加到四厘米以上。一些统计结果表明，堆积造成一米厚的沉积岩所需的沉积物，需要三千年到一万年或更短更长，出入很大。不过由于地球历史是这样漫长，一千年也不过象是人生中的一瞬间而已，即使是这样粗略地衡量它所经过的时间，也是有意义的，但是时间尺度的过于粗略总是一个很大的缺陷。

1896年，铀的放射性被发现了。1903年，人们认识了放射性元素会自行分裂，产生新的元素，称为衰变现象。人们还发现，衰变是以稳定的速度进行的，不受外界条件的变化影响，譬如原子量为238的铀，总是在衰变时产生出一定数量的氦和原子量为206的铅（铅的一种同位素），大致每过45亿年便把原有的铀变掉一半。1905年，物理学家建议利用岩石中存在的这种变化来测定它的年龄，因为只要岩石中含有放射性元素，并测出这个元素和它衰变产生的新元素的含量，便可以根据它们的比例关系，算出岩

石形成后经过了多长时间。1907年，第一次用铀和铅之比算出某些矿物的年龄取得成功。此后，应用愈来愈广，使用的方法也愈多了。具有放射性的钾和它产生的氩，铷和它产生的锶等等都被用来计算。自此，人们不仅能知道岩层形成时间相对的早晚，而且得知它们形成以来究竟经历了多长的时间，也就是我们所说的绝对年龄。已经推算出地球的年龄是四十几亿年。过去仅估计为几百万、几千万年，最多的估计是几亿年，现在的认识大大接近了地球历史发展的真实。但是，由于技术条件的限制以及某些需要测定的物质在岩石中保存得不那么好等原因，现在达到的精确度是很不够的，如用铀——铅、铷——锶就无法测定年龄在一百万年以内的岩石。因此，人们正在继续寻求更精确的方法。四十年代以后，发现地球上的碳也有极少的一点点具有放射性，这是来自宇宙的某些射线的中子撞击了大气中的氮原子造成的，它的原子量是14，比普通的碳略重一点。这种具有放射性的碳即碳¹⁴以每5710±30年变掉一半的速度衰变，又变成氮。由于宇宙射线的作用是经常的，碳¹⁴得以不断产生，并补充衰变的消耗，因而得以始终在大气中保持着一定的含量。这种物质又很快会同大气中的氧结合，变成二氧化碳。由于植物在光合作用下吸收了大气中一部分二氧化碳，动物吃了植物或者动物又吃了动物，生物界经过这种循环，使动物体内都含有微量的放射性碳的原子，它们按稳定的速度衰变着。生物活着的时候，体内的放射性碳一面因衰变而减少，一面又吸收补充大体平衡。生物死后，不能补充了，只有衰减消耗，碳¹⁴越来越少，直到完全消失为止。人们测出了死亡生物体内碳¹⁴的含量，这个生物已经死了多少时间也就能知道了。其精确度达到几千几百乃至几十年的程度，可惜只能用于测定距今六、七万年以内死亡的生物。时间过长，这些生物遗体中的碳¹⁴就会衰变得过于稀少甚至消失得无法测定了，但这也启示我们，在岩层中确有可能找到精确的时间的尺子。

六十年代初，人们根据珊瑚表壁上被称为“生长线”的细微横纹，查出它生长了多少天，这一发现对我们也是个很大鼓舞。

木在生长过程中，由于一年中季节的变化，生长情况不同，在树干中留下了年轮。现在人们发现，珊瑚在发育的时候，还会因昼夜的变化而留下“日轮”，每天增加一条生长线，并且随季节变化而粗细不同，因此，它们同时组成了“年轮”。这样不仅可以查出珊瑚生长了多少天，而且能知道那时一年是多少天。研究了保存在沉积岩层中的珊瑚化石，我们发现，在四、五亿年前，一年竟有四百一、二十天，以后天数逐渐减少，变到现在成了三百六十五天。这一事实说明地球自转的速度总的趋势在变慢，天文观测也看出了这个趋势，证明珊瑚化石保存的记录可靠。人们还发现，不止是珊瑚，别的一些生物体上，如蚌壳上也有类似的时间记录。在地球的那些巨厚的岩层中，各种各样的时间的脚印无疑还是很多的。

既然时间无处不在，与空间的变化不可分离，我们一定能找到更多的度量时间的尺子，更精确地认识到地球所经历的岁月。

地质年代

随着时间的流逝，新岩层逐渐形成。当然，就一个地区来说，沉积作用总是有停歇的时候，但从全球来看，无论这里或那里总会有沉积岩在形成，写下了一部在时间上先后相继的历史。曾经有人把地球上的沉积岩层按形成的早晚顺序累积起来，算出它们的总厚度大约是一百六十公里，这些沉积而成的岩层以及其他成因的成层岩石，按时间顺序分别形成的组合称为地层。许多不成层的岩体穿插在这些地层中间，它们也各自表示着时间上的不同，记述着自己的身世，经过一百多年的研究，我们已初步整理出一部地球的编年史，不过其中仍有不少模糊不清、残缺不全的部分。

人们把地球漫长的历史划分为五个大的阶段：太古代、元古代、古生代、中生代、新生代。代下面分为纪，纪下面分为世，世下面再分为期。代、纪、世、期是表示时间划分的单位；在这

段时间内形成的地层相应地称为界、系、统、阶。

当初，划分地质时代的时候，主要考虑的是生物演化的阶段性和地壳运动及沉积作用在不同时期的特点。生物的显著变异和强烈的造山运动，常作为进入一个新时期的标志。那时，用放射性元素产生的同位素来测定岩石年龄的方法还未出现，因而不能具体计算出某个地质时代究竟有多长的时间。现在人们把寒武纪及其以后的大约六亿年间，划分成十二个纪，对以前的近四十亿年，却划分得很粗，笼统地称为前寒武纪。那时生命从无到有，还处于萌芽状态，化石很少。经过长期剧烈的变动，各种岩石，大都改变了原来的结构组织乃至成分，成为变质岩，要恢复当时的历史面貌确实很困难。目前世界上已知的铁、锰、铬、铜、铀、镍等矿产的百分之六、七十以上都是在前寒武纪地层中发现的，这也说明研究前寒武纪的重要性。我国的前寒武纪后期地层中，尚保存着未变质的沉积岩，有的地方厚度还达到几千米乃至一万米以上，这是别的国家所没有的。通过对这些岩层的研究，使我们了解到这个时期许多特有的历史情况。人们据此划分出震旦纪或称震旦亚界这个地质时期；在古印度的语言中“震旦”是我们中国的别称，意思是“太阳出来的地方”。

地质时代中各纪，不少是以最先划分出这个时代地层的地区名称或其他特点，命名的，如“寒武”、“奥陶”、“志留”、“泥盆”、“侏罗”、“白垩”等。石炭纪这个名称反映了当时有大量煤炭形成。各代的命名，表示着生物在进化，所以有古生、中生、新生之名；但六十年代以来，电子显微镜帮助我们吧直径在一微米即千分之一毫米以下的细菌化石也找出来了；非洲南部等地的新发现，把生命在地球上出现的时间上推到三十几亿年前。可见太古代也是有生命的，我们对地球的历史的认识也正在逐步加深。

下面是一个简化了的地质年代表。现有的年代表有多种数字各有不同，出入不少，不过大体上还是一致的。经过实际应用，还会得到改进。

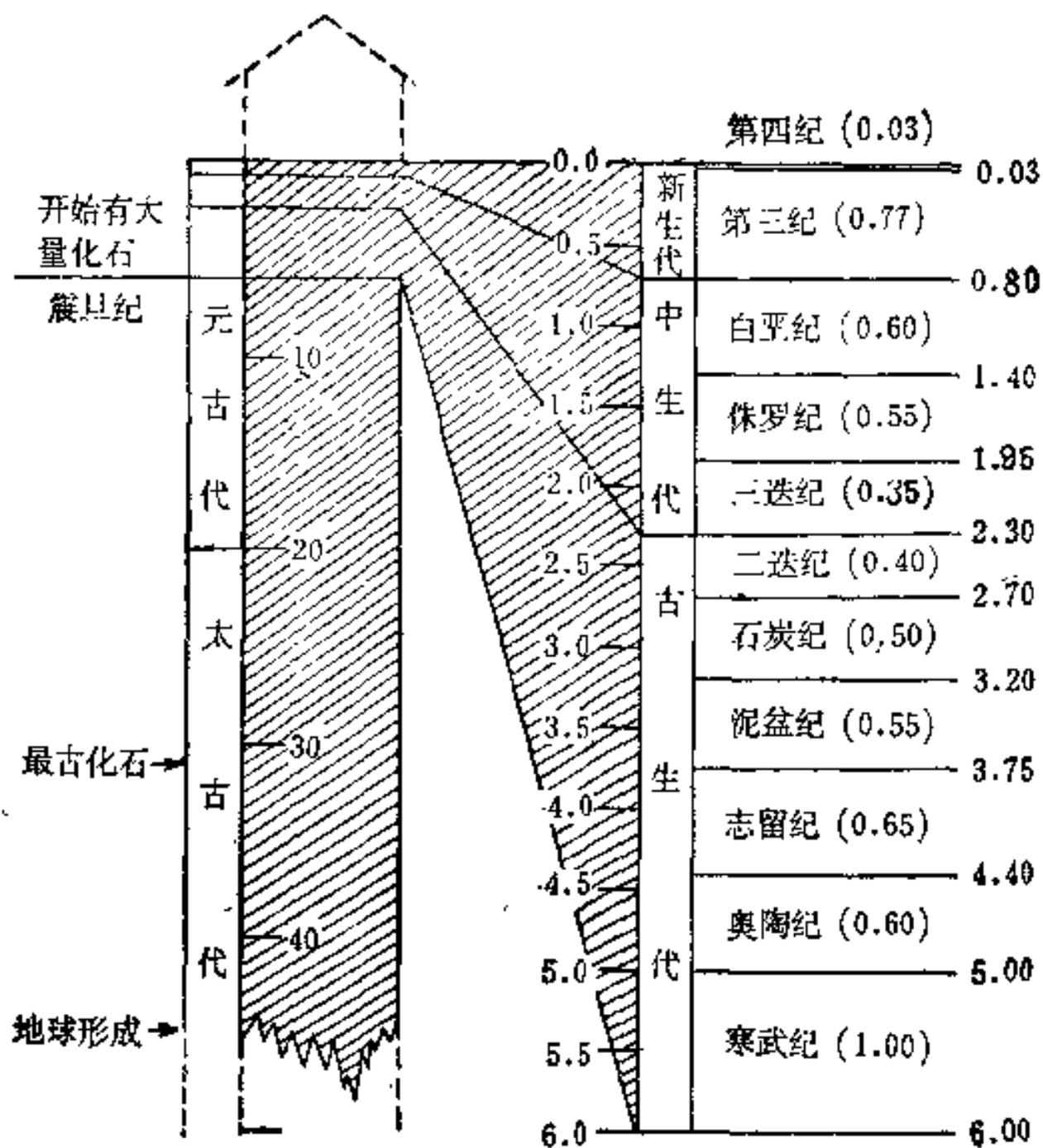


图 18 表中数字无括弧者为距今年数,有括弧者为地质时代长短年数,均以亿年为单位

在三峡的石壁上

“朝辞白帝彩云间，千里江陵一日还。两岸猿声啼不住，轻舟已过万重山”。在水流湍急，两岸连山的长江三峡里，诗人听见了猿声，画家望见了神女，而地质学家则在夹峙大江两岸的石壁上，看到了近九亿年那样漫长的地质历史。这里保存着从震旦纪到第四纪形成的沉积岩，其间只有少数时代的地层缺失。保存下来的地层总厚度达到一万多米。长江象一把利刃从中把它们切开，使我们看到了一个世界罕见的宏伟的地质剖面。现在让我们

来巡视一番，看看怎样去阅读这记载在岩层里的地质历史。

广义的长江三峡，包括从白帝城到南津关长约二百公里的地段。其中真正是重岩迭嶂，遮天蔽日，非常陡峭狭窄的峡谷则不过长约89公里。构成这些峡谷的岩石主要是石灰岩。

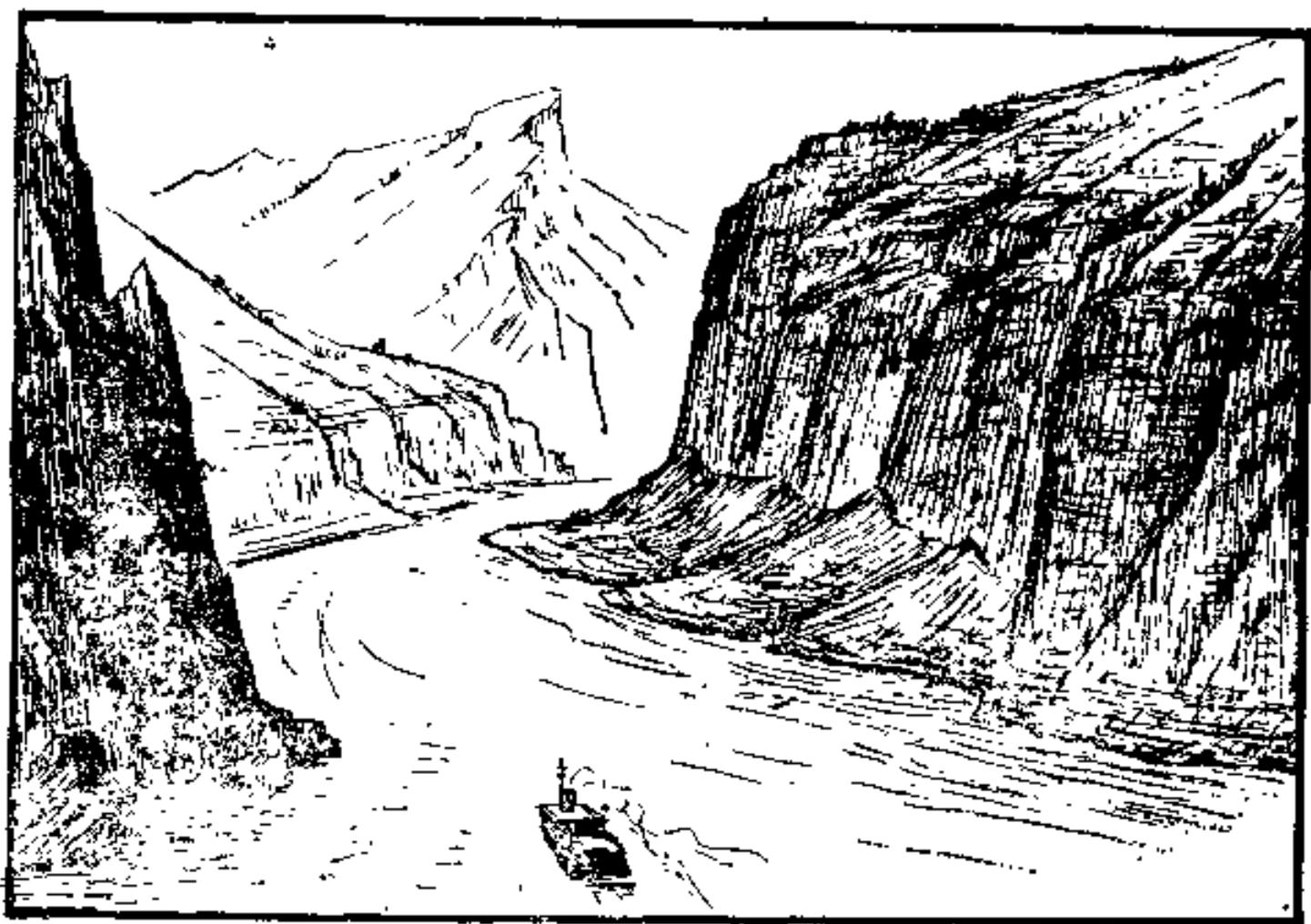


图 19

在瞿塘峡、巫峡和兵书宝剑峡，这些地方的石灰岩都是三叠纪形成的；寒武纪时形成的石灰岩构成了牛肝马肺峡和黄猫峡，灯影峡则是震旦系石灰岩被江水冲刷的结果。

石灰岩是溶解在水中的碳硫钙沉淀后造成的。它常形成于离岸比较远的海、湖中间，温热的浅海易于产生碳酸钙的沉淀，生物对石灰岩的形成也有重要的作用，它们可以通过自己的活动引起环境的改变，例如，通过光合作用使海水中的二氧化碳减少，创造使碳酸钙沉淀的条件，或者把钙质吸收到自己的骨骼、介壳之中，这些生物死后，遗骸沉在海底，成为造成石灰岩的物质来源。

碳酸钙成为方解石矿物，有时含镁，还可形成白云石矿物。方解石和白云石常组合在一起，大多是以方解石为主，形成石灰岩

或白云质石灰岩，如果以白云石为主，就形成白云岩或石灰质白云岩。总之，都是碳酸盐矿物构成的岩石，在三峡这里，它们常夹杂在一起产出。寒武纪时，形成的白云岩较多。

石灰岩等由碳酸盐构成的岩石，在沉积岩的总体积或总重量中要占到大约四分之一，三峡地区也大致如此，在一万多米厚的沉积岩中，石灰岩和白云岩的厚度有三千多米。它们的出现，告诉我们当初三峡地区曾长期为水淹没并且可能离岸较远，这些岩层里有许多海洋生物化石更证明它们是在海里形成的。今天高耸入云的巫山十二峰，原本是在汪洋大海的海底。

在三峡地区，还有许多砂岩和页岩。

主要由直径在两毫米以下的砂粒胶结而成的砂岩，形成于离岸较近的水中。流水把这些砂粒搬来后，由于颗粒较大，不能搬到更远的地方，于是就沉降下来了。在海边或湖里都可以有砂岩造成。

由极细微的粘土颗粒构成的岩石是页岩。这些粘土颗粒的直径大多比千分之一毫米还小，如此细小的微粒可以悬浮在水中，被搬到比较远的地方。所以页岩常在浅海或宁静的湖泊中形成。由于组成页岩的物质很细，经过压紧胶结，有的还可以沿层面剥离如页片，因此，得了页岩之名。“万卷书”也是页岩的一种。

三峡地区的砂岩和页岩很多，共有五、六千米厚，其中约有百分之九十是在侏罗纪以后堆积的。

地球上的沉积岩中约有一半是页岩，五分之一是砂岩，三峡的页岩显得少一点，是局部地区的特殊性。

页岩很软，易被破坏，因此，在这些砂、页岩分布的地区，地势就比较低缓，河谷比较开阔，村落田园增多，从秭归到著名的香溪一带，就是这种情况。在那高峻的峡谷里间或也有少量页岩出露，这里较易为江水侵蚀，使两岸连绵不断的石壁稍稍打开一个缺口，狭窄的兵书宝剑峡和牛肝马肺峡之间有较大开阔的新滩出现，就是这个原因。由于页岩受到破坏，盖在它上面的石灰岩便失去了巩固的基础，1797年，一次强烈的地震在这里引起了

巨大的山崩，崩塌下来的岩石堵塞到江中，造成了险滩。

三峡还有一种为量不多但意义重大的沉积岩——砾岩，主要由砾石胶结而成的岩石。

当我们在河边和海滨漫步的时候，可以见到许多大大小小表面比较圆滑的石块，这些石块是岩石碎裂后的产物，本来是有棱有角的，现在失去了棱角。是它们经过流水的搬运，互相碰撞，受到磨损的结果。在地质学中把这些直径在两毫米以上，磨去了棱角的石块称为砾石。还保存着棱角的石块称为角砾。砾石磨得愈圆，说明它被搬运的距离愈长。由于砾石的块头比较大，不能搬运到离岸较远的地方，所以，总是堆

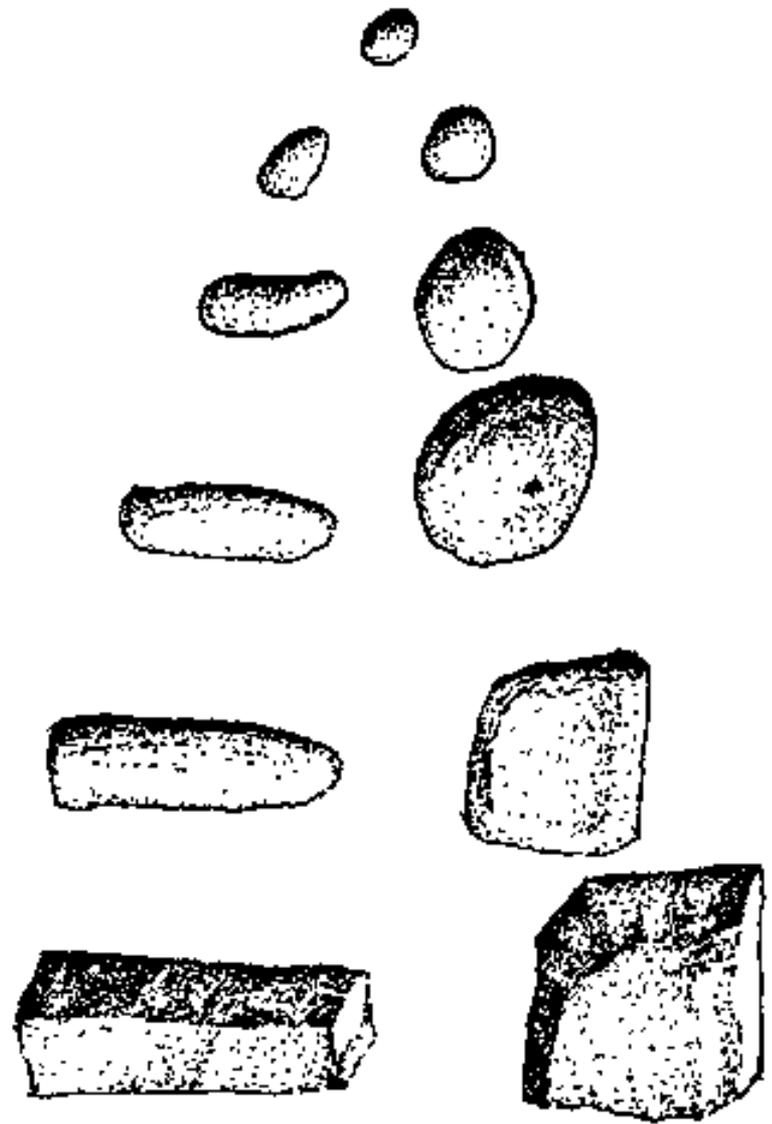


图 20 砾石的形成过程

积在河里和海边等地。因此，砾岩的出现，就告诉我们这里曾经是河流经过的地方或海、湖之滨。如果其中含有角砾，或者是主要由角砾构成的角砾岩，更说明离角砾的来源很近。

当地层中出现砾岩的时候，表示这里离岸还很近；或者是刚被水淹，或者是水快要退掉了，也就是发生了水域扩大或缩小的现象，其原因是这里的地壳在下沉或上升。

从砾岩、砂岩、页岩到石灰岩，我们看到了组成物质从粗到细的序列，也看到了地壳不断下沉的过程，沉降物的搬运距离从近到远。如果顺序相反，则表明地壳上升。

当地壳处于稳定下降的过程时，搬到海里的泥沙总是不能把

海填满，于是不断沉积，形成许多在时间上连续不断，在空间上平行一致的沉积岩，这种岩层之间的接触关系被称为整合。

如果上下两层岩石之间缺少某个地质时代的岩层，这证明其间曾一度升出水面，沉积作用停止了，没有岩层继续形成，原先形成的一部分岩层也可以因出露水面受到破坏而缺失，造成了地层在时间顺序上不连续的情况。这种现象称为不整合。在这种沧桑变迁的过程中，有时地壳的运动表现得很缓慢很平稳，在升起为陆的前后，堆积起来的岩层都是近于水平状态展布的，不容易看出它们之间是不连续的。许多不整合，则可以从上下地层之间不是平行一致，而是斜交的，被我们辨认出来。这是地壳发生

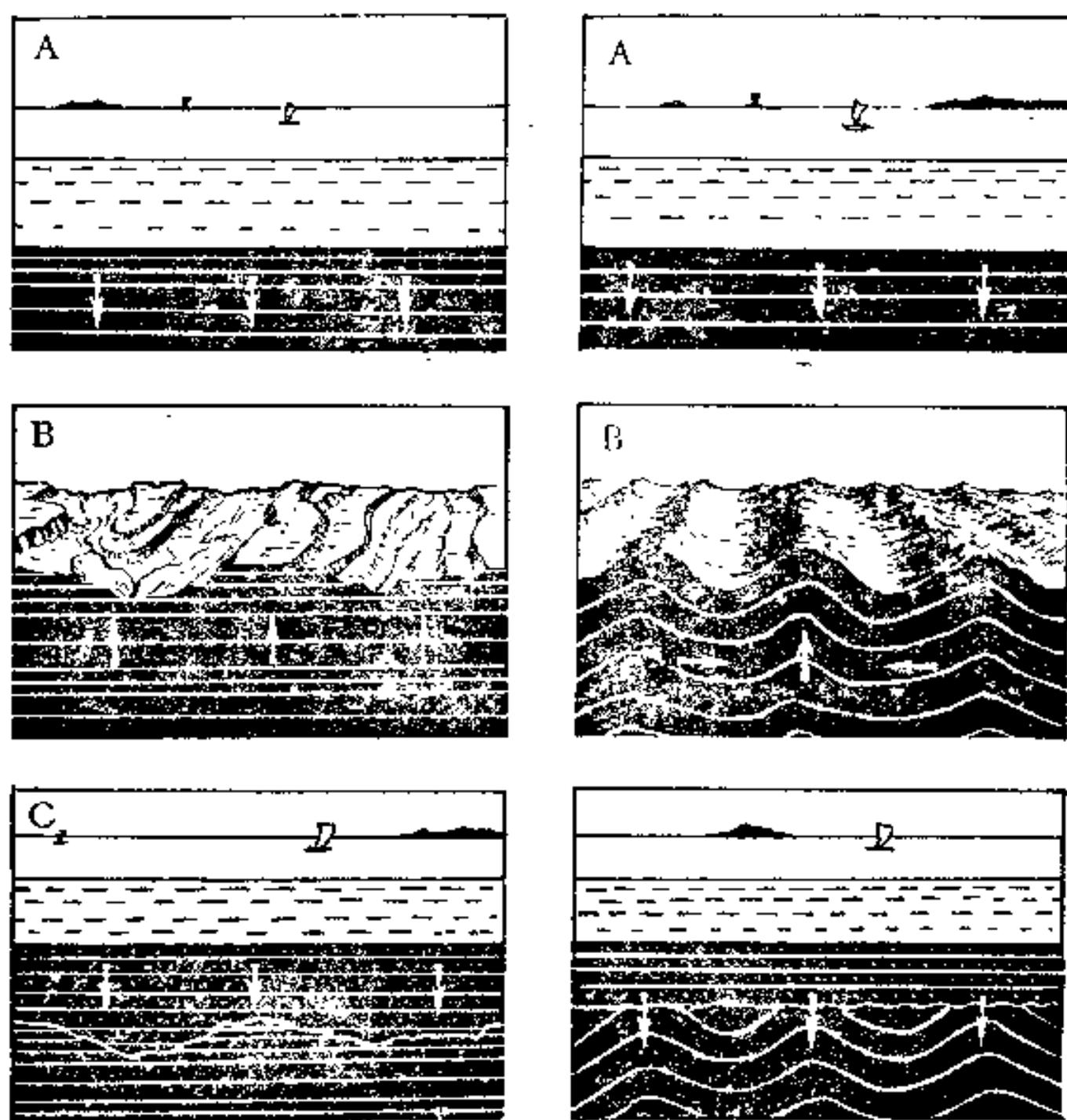


图 21、22 形成不整合的两种过程

了强烈运动的记录。这时，地层受到挤压变得弯弯曲曲，并隆起升高，常形成高大绵亘的山脉，故一般称为造山运动，露在地表的部分常受到剥蚀。在强烈的地壳运动告一段落以后，地壳发生下降的运动，又被水淹没，再度接受沉积，新的沉积物所形成的岩层是水平的，就是水平的新沉积物复盖在弯曲的老沉积物上面，所以新老岩层成了斜交的关系。

在三峡一带的地层中，新老岩层斜交的这种不整合三次出现，一次在震旦系和位于它下面的古老变质岩及花岗岩之间，还有两次在侏罗系和第三系，第三系和第四系之间，说明了这里经历了三次强烈的造山运动。从震旦系到侏罗系，没有岩层斜交的不整合，但存在着沉积的多次不连续，并表现出沉积物从粗到细又从细到粗的变化，告诉我们地壳虽然没有发生造山运动，但一直不是静止的，有过多从桑田到沧海，又从沧海到桑田的变迁。

在震旦系的底部有一层砾岩，往上逐渐变为砂岩、页岩和石灰岩。这些砾岩中所含砾石，看得出是古老的变质岩和花岗岩碎裂搬运后再沉积的产物，说明这里在震旦纪以前的时期，造山运动强烈，岩石发生变质，岩浆也大规模侵入，以后相对说来比较稳定，但在经过长期剥蚀，地面变得比较平坦后，又开始缓慢地下沉。震旦纪时，这里开头还是大陆的一部分，以后逐渐变成了浩瀚的海洋，其间地壳时升时降，有时还高出了海面，但直到三叠纪时，这一带基本上还是保持着海洋的性质。三叠纪末，本区地壳运动强烈，海水退却，以后就变成了大陆上的湖泊。在白垩纪末期，又一次强烈的造山运动形成了今天的巍巍群山。在局部的低洼地区中，沉积了很厚的第三纪砂岩。自此以后地壳继续上升，第四纪以来就升高了约一千米，而长江的侵蚀作用则在不断把峡谷下切。一面不断上升，一面不断下切，这两种作用结合在一起，于是出现了举世无双的三峡，并在它的石壁上揭示这部沧桑变迁的历史。1924年，李四光和他年轻的助手赵亚曾来到这里考察，首次给这部石壁上的历史作了系统的整理，以后，又经过许多地质工作者的努力，使得这样一个具有世界典型意义的地质

剖面得以确立，它也是地质学这本大书中的一幅精彩的画图。

江河湖海的纪录

从三峡地区厚约一万多米的沉积岩身上，我们看到了这里长期被水淹没的历史。进一步仔细研究，还可以发现，在三叠纪以前和侏罗纪以后，这里虽然都为水淹没，但是情况却很不相同。三叠纪以前，这里是海洋的一部分，后来升起为陆，到侏罗纪以后，这里的地势又下降了，并有水聚积，但这水是淡水湖的性质。地质学中把在海洋环境中形成的沉积岩层叫做海相地层或海相沉积。在大陆上的湖泊江河或其他低洼地段中形成的沉积岩层，则被称为陆相地层或陆相沉积。在三峡地区，侏罗纪以后形成的地层都是陆相地层，从震旦纪到三叠纪时形成的地层，除了震旦系底部二百多米厚的砾岩和砂岩是陆相外，其余全是海相地层。

我们怎么认出这些岩层是在海里还是在湖里生成的呢？

是这些岩层自己告诉我们的。这些岩层就是地质历史上的江河湖海的记录，不仅记下了这里曾经是湖泊还是海洋，而且能记下当时气候的冷暖干湿，生物的兴衰更替，江河的奔流，波浪的翻滚。夹在这些岩层中的生物化石最能说明问题。因为一定的生物只能生活在特定的生存环境中，譬如珊瑚，要求水温不低于 20° ，水深不超过80米，水中含盐量在2.7%左右，还要求海水清澈，海底不是泥砂而是岩石。因此，在岩层中找到了珊瑚化石，不仅可以确知这里是海相沉积，而且可以推知当时的其他许多情况。这类能够说明当时地理环境的生物化石颇不少见，大量生物是只能在海里生存的，它们在地层中的出现，指示着当时海洋分布的范围。而淡水生物以及陆地上仅有的动植物化石在地层中出现，也能够说明当时大陆上是什么样的情景。在三峡震旦系石灰岩中，含有许多仅在海洋里才能生存的藻类。寒武、奥陶系里含有大量只生活在海里的三叶虫化石。石炭二叠系地层中很丰富的有孔虫化石也是生长在海里的。但在侏罗系以后的地层中，海洋生物的

化石没有了，只有淡水中的生物化石。这些化石不仅说明环境的变化，而且也是表示时间先后的重要标志。

在自然界中，海陆的界限有时是不能截然分开的，譬如河流入海处及内陆的盐湖等地方，海里的和大陆上的生物化石都可能保存下来。

有些地层没有化石，人们要了解当时的环境就困难一些，但在岩石的身上还或多或少地存在着这种或那种其他的地质历史记录。

当你登上颐和园中的万寿山，来到挂着“湖山真意”匾额的建筑物附近时，可以看到不少砂岩，它们的身上，有着因组成物质的粗细和颜色深浅不同而表现出来的条纹，这是砂岩的层理。一般的情况下，层理是平行的，因为它们在形成时，大体上是沿水平面展布。但是在有的砂岩里，我们看到了层理是斜交的，这种现象告诉我们，它们在堆积的时候，水面动荡不定，水流还在不时改变着流量、速度和方向，因而使堆积下来的泥沙表面倾斜，先堆积的和后堆积的还不一致，所以形成了这种相互交错的层理，它们的出现表明这里是水流激荡的江河及湖海之滨。这些岩层是当时在这些地方的沙洲、沙坝或沙丘之类的泥沙堆积物。

有些砂岩的层面上，可以看到波浪般起伏的痕迹，称为波痕，事实上也确实是波浪造成的。波痕的出现，说明当时的水很

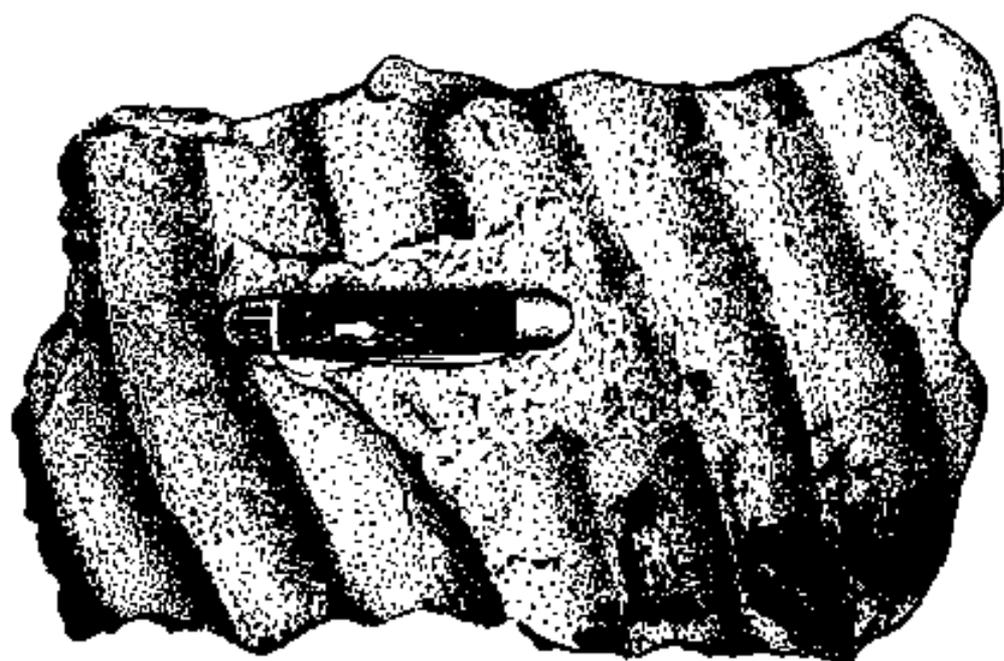


图 28 波痕

浅，因而水面的波浪翻滚，能够掀动水底的泥沙，使泥沙翻起又坠落，堆成了一个波状起伏的表面。今天，在洪水退却后的河滩上或湖边，以及落潮后的沙质的海滩上，还可以见到这种现象。如果能不受破坏地被新沉积的泥沙掩埋并变成了岩石，这些波痕就可以长期保存下来，成为这里曾经是湖水粼粼或流水滔滔的历史见证。风吹泥沙也能造成类似波痕的形象，但比较低缓而不规则。在三峡地区，志留系和泥盆系的砂岩层面上，都可看到明显的波痕。

在波浪的影响下，河床中的扁平砾石可以被水流带动而按一定方向排列，这种现象也可以在砾岩中保存下来，指示出当时水流的方向。

淤积的泥沙出露水面还很柔软的时候，雨滴或冰雹打在这种泥沙的表面上就会造成小坑，动物在上面行动也可以留下痕迹；假使进一步干燥，还会因收缩而龟裂，天旱时的河边，不难见到这种情景。这些痕迹，如果被新的沉积物及时掩埋，也有可能保存在岩层层面上。它们都是沉积物曾经短暂出露水面的证据。

一、沉积物的颜色，通常能反映气候的冷暖，红色、黄色意味着炎热，黑色表示比较温凉。因为在温度较高的条件下，自然界中的铁易氧化成铁锈，即三氧化二铁，并呈现红色，常存在于沉积岩的胶结物中，将这些岩石染成了红色。在低温的条件下，铁的化合物是暗色的，特别是许多有机物中的炭能够在岩石中大量保存下来，因此，黑色的岩层出现，常常是找到煤或石油的好兆头，这些煤和石油实际上就是含碳特别多的岩石。

三峡在第三纪时期，形成了厚达两千米以上的红色砂岩，说明当时气候炎热，在此以后又经历了很冷的时期，在一些地方发现了冰川堆积物，这些堆积物的粘土中夹杂了许多大小悬殊的砾石，大块的直径可达一、二十厘米，小的只有一、二厘米，这叫做分选性不好，泥石流的堆积也常有这种特点。一般说来，在海洋里的沉积物分选性都比较好，大陆上的山洪、河流堆积则要差些，象冰川这样搬动了很大的砾石更为少见，这些经过冰川搬运

的砾石，往往还在表面保存着刻划较深的细长条纹，这是在冰块的重压下互相碰撞又和地下的岩石摩擦造成的。在震旦纪底部找到一层经过冰川作用形成的砾岩，告诉我们当时有过冰川活动。

仅仅用岩石的这些外部特征来推测形成时的气候冷暖，总有点失之太粗，现在人们已开始探寻到一些更具体的记录。近年来发现，当气温增加时，一种原子量为18的氧的同位素的含量就要增加，有人计算每升高1 C°，氧¹⁸的含量增加0.69%。温度降低，氧¹⁸的含量也随之降低，这些氧¹⁸被生物吸收到体内固定下来，因此，测定各个不同时期的化石中氧¹⁸和氧¹⁶的比值，便能够比较具体地得知当时的气温究竟有多少度。

沉积岩中保存下来的地质历史记录是特别丰富的，用今天还在进行的泥沙经过搬运堆积形成岩石的过程来对比，是帮助我们读懂这些记录的好办法。在这里我们没有把沉积岩中保存的历史记录一一讲到，也不可能都讲到，需要的是掌握并找到更多的方法，去读懂这些江河湖海中留下的丰富的记录。

岩浆写下的篇章

如果说沉积岩层好似地球的史册，那么岩浆的活动可谓留在这史册中的惊人之笔。它穿插在地层之中，常随着造山运动的发生而加强活动，成为地壳运动强烈的标志之一。

1783年冰岛火山爆发，喷出的熔岩掩盖了四、五百平方公里的面积，使人们大吃一惊，然而这和地质历史上岩浆活动的规模比起来，就微不足道了。有的地方如印度的德干高原，从白垩纪到等三纪早期，喷出的熔岩覆盖的面积至少有六十五万平方公里，即超过冰岛一千多倍！还有更多的岩浆侵入到地下凝结起来，构成了地壳的躯体，大山的脊骨。在三峡也可以看到，岩浆凝成的花岗岩是构成这里的地壳的重要材料，它们由于深藏地下，出露地面的比较少，但在宜昌和香溪之间长江以北的地区中，花岗岩形成的低山丘陵，也约有四百多平方公里的面积，这仅是埋藏在地下的巨大花岗岩体被揭露出来的一小部分，它深深

扎根于地下，和古老变质岩构成了地壳的基础。这些花岗岩穿插在变质岩中，虽然这些岩浆岩不是成层产出，还是可以根据它在地层中的产状来推测它的形成时代。被它穿过的地层一定比它古老，掩埋它的地层总是比它年轻。不过这个时间范围太大了，现在用岩石中的放射性元素产生的同位素来测定它的年龄，初步解决了这个问题。三峡花岗岩的年龄为七亿到十亿四千万年。

火山喷出物造成的岩石，情况不同，常常也成层展布，具有沉积岩的某些特点。有些就是这些喷出物落到水里沉积而成的，可以说就是沉积岩。但同时保持着自己的特殊性，譬如组成这些岩石的火山碎屑物质，没有在搬运过程中受到碰撞磨损，还保持着不规则的外形，有的棱角还很尖锐。不少碎屑是没有结晶的玻璃质，还有些存在着火山喷出物特有的气孔，所以仍可以把它和一般的沉积岩区别开来。这些火山岩的存在表示着从前有过火山活动，由于它们是夹在地层中间的，所以，根据它上下地层的时代，也就不难判断出发生这些火山活动的时期。

每一种岩浆岩都有它自己的历史，并具有自己的特点，这些特点告诉我们它所经历的一些事情。

岩浆岩的种类很多，目前已被划分出来的就有一千多种，远比沉积岩复杂，但使它具有多种类型的基本因素则不过两个，一是形成这些岩石的岩浆的化学性质，二是岩浆在凝结成岩石时所处的环境。抓住了这两点，也能够从岩浆岩身上了解到许多地质历史的记录。

岩浆岩通常按照所含二氧化硅的多少分为酸性、中性、基性、超基性四类。酸性含二氧化硅在65%以上，中性在65~52%之间，基性为52~45%，低于45%的称为超基性岩。此外还有些岩浆岩含钠和钾比较多，称为碱性岩。

岩浆岩中约有三分之二是基性的，玄武岩就是最主要的基性岩，三分之一属于中、酸性；超基性岩很少，但它被认为可能是来自地幔的物质，并与铬、镍、钴和金刚石等重要矿产有关，不可忽视。碱性岩也很少，但其中常有某些稀有元素和放射性元素的

矿产，所以仍值得注意。

有的岩浆岩化学成分大致相同，但外貌和物质组成却有很大差别。如都是酸性岩，却有花岗岩和流纹岩等区别。

花岗岩里的矿物结晶充分，颗粒较粗，而且大小比较均匀，浅色的长石、石英衬出黑色的云母、角闪石、显得斑斑点点格外分明。流纹岩则不同，岩石里的矿物没有充分结晶，有许多还是没有结晶的玻璃质，其间也有些块头较大的碎屑，显得十分突出；岩石的外貌不是斑斑点点，而是有许多因组成物质不同、颜色深浅不一而显示出来的条纹，这些条纹弯来扭去，看起来给人以一种流动的感觉，被称为流纹构造，流纹岩也因此得名。

以上这些差异，是因形成时的环境各不相同。

花岗岩是岩浆在地下深处凝结而成的，属于深成岩一类。在地下深处，散热很慢，岩浆慢慢冷凝，有条件也有时间使岩浆里面的矿物质按一定规律有秩序地排列组合起来，使结晶比较充分，形成较大的晶粒，有时还有晶体产生。流纹岩是火山喷出的熔岩凝结而成的。在地面散热快，冷凝迅速，许多物质来不及结晶或不能充分结晶，甚至还在流动的状态中就被固定下来了。因而具备了现在我们看到的那些特点，象这种火山喷出物形成的岩浆岩，被称为喷出岩或火山岩。

深成岩形成于很深的地方，喷出岩形成于地表。岩浆在地面之下，但又未到达形成花岗岩的深度，在这种情况下凝结而成的岩石，被称为浅成岩；组成这类岩石的矿物都已结晶，但颗粒很细，一些被称为斑晶的粗大晶粒或晶体夹杂相间。

因此，各类岩浆所具有的特点，都能在一定程度上告诉我们地质历史上发生过的一些事情。虽然不如沉积岩记载得那样丰富。

西湖旁边宝石山上熔岩凝成的流纹岩和由火山碎屑物质构成的凝灰岩，使我们看到，今天的青山绿水在几千万年前，曾经是一片岩浆迸发，烈焰纷飞景象；登上井冈山的天险——黄洋界，脚下那波涛起伏似的花岗岩形成的山岳和丘陵，更使我们看

到了三、四亿年前，这里地下深处的情景，一片炽热的岩浆在此翻腾。如果你有机会登上峨眉山的最高峰，那里构成金顶的玄武岩也将告诉你，今日的高山之巅，原来是两亿多年前火山喷出的熔岩洪流凝结而成的一个巨大玄武岩高原的残余。这种玄武岩在川滇黔三省广泛分布，被它所掩盖的面积至今尚有两万多平方公里，分布的范围达到五十多万平方公里，告诉我们，当时火山活动的规模是多么大！

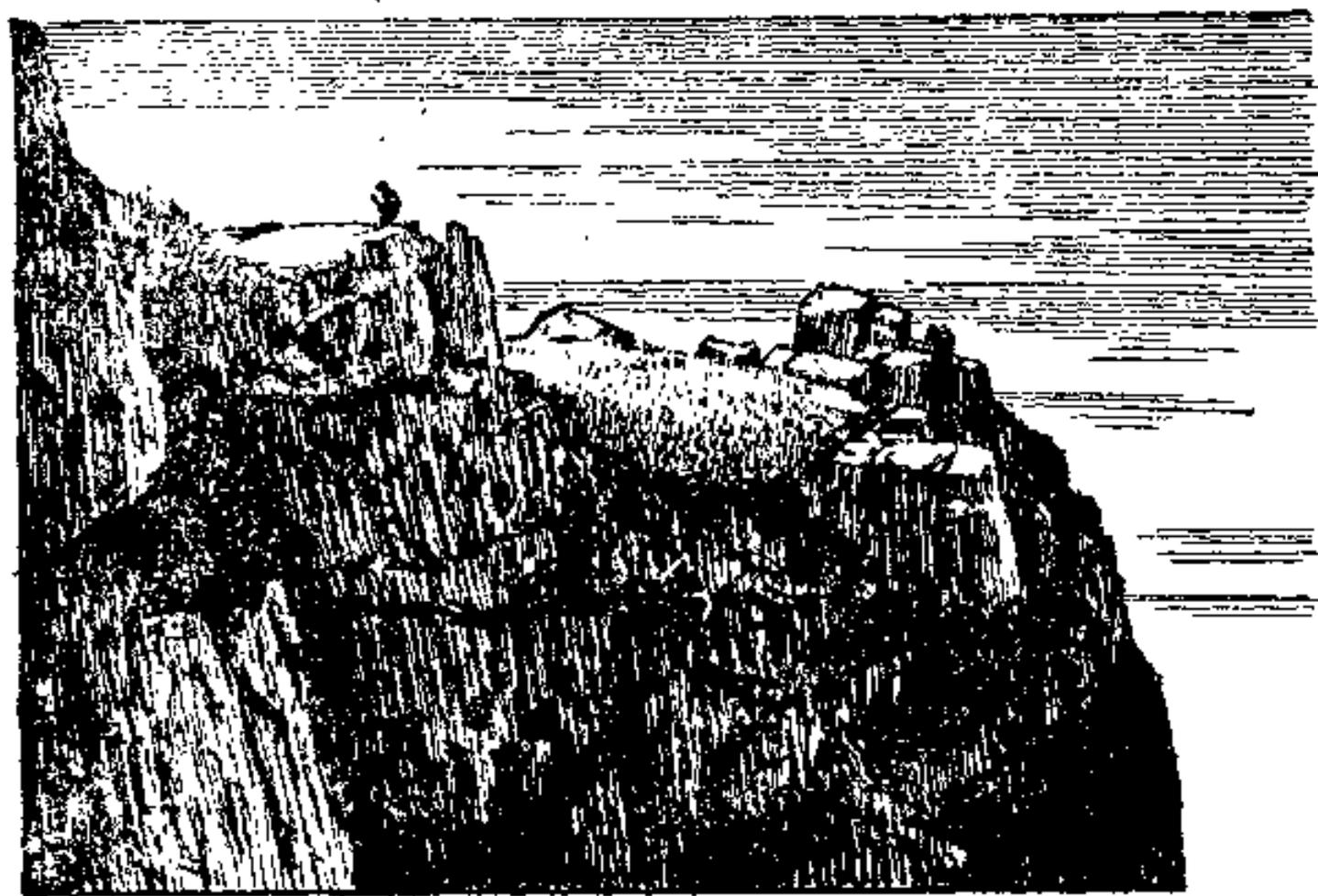


图 24 峨眉山金顶

岩浆的活动是我们已经观察到的客观存在的事实，但是为什么会有岩浆活动，它又是怎样活动的？还有花岗岩究竟是怎样形成的？由于花岗岩形成于亿万年前地下深处，所以无法验证，因此，岩浆冷凝而成的说法一直有人怀疑。一些人认为是其他岩石在地下的高温高压条件下经过复杂的化学、物理变化，逐渐转变而成。我国一些地质工作者已在华南一带找到相当的根据，并探索出一定的规律，但以此概括全部花岗岩也不可能。看来这个争论了一百多年的问题还要争论下去。在岩浆留下的篇章中，有

许多问题还在等待我们去解决。

变得模糊了的记载

变质岩是岩石形成后再经变质而成的。如果原来是沉积岩，保存的历史记录被变掉了，如果原来是岩浆岩，也失去了它本身具有的特点。有些变质岩还经过不止一次的改变，是从变质岩变来的变质岩，那就更难得知它原来是什么面貌了。

地壳中的温度升高，压力加大，有时还有外来的物质加入到原有的岩石中去，这就是使岩石发生变质的原因。

地壳的强烈运动，岩浆的侵入，都可以使部分地壳的某一温度、压力升高。在这些作用的影响下，岩石里的矿物得到机会调整自己的内部结构，重新结晶。象石灰岩中的方解石经过重结晶，颗粒变粗，而且大小匀称，结合紧密，成了更加坚固美观的大理岩，著名的建筑材料汉白玉是纯净的石灰岩变成的大理岩，含有一些杂质的石灰岩则变成了具有各种色彩和花纹的大理岩，也是名贵的石材。

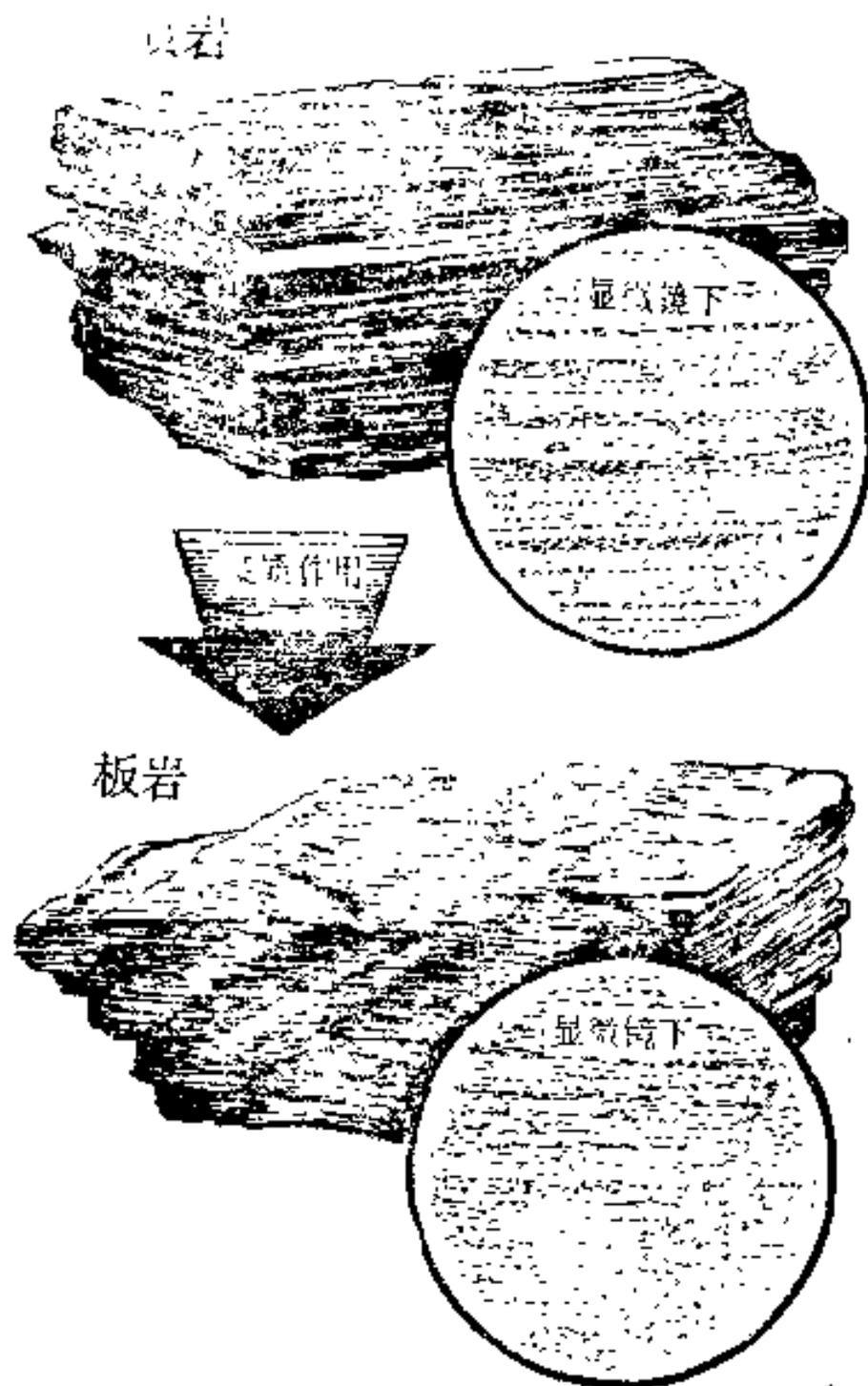


图 25

如果不仅是温度和压力的作用，还有外来物质加进来，使岩

石改变了化学成分，则不仅造成岩石内部结构的改变，还会使化学成分与矿物组成都改变。岩浆中分离出来的气体和液体都能起到这种作用，但这仅限于岩石与岩浆接触的边界部分，一般范围较小。

在没有外来物质加入的情况下，变质岩中有时也会有新的矿物产生，这是在原有的物质基础上，不同的矿物相互作用重新组合的结果。

总的说来，不管怎样变化，总是在原有岩石的基础上进行的。因此，什么样的岩石变化成什么样的变质岩是有线索可寻的，譬如石灰岩常变为大理岩，砂岩常变为质地更加紧密、坚固的石英岩，页岩常变为可以层层剥落易碎的千枚岩，有的泥质页岩还能变成比较坚硬可以开成石板的板岩。不过它们都是变质程度不太深的产物，如果变质作用很强烈，这时产生的变质岩和原来岩石之间的关系就不那么清楚了。片岩和片麻岩就是变质作用强烈的变质岩。

在片岩里有许多片状、板状和柱状的矿物，按一定方向平行排列，使岩石具有薄片状的构造，称为片理。这是它们在重新组合形成时受到强大压力的结果。在片麻岩里，则不仅有片状矿物的平行排列，还有许多比较粗的晶粒，这是变质很深的表现。地壳中的变质岩约有78%是这种变质很深的片麻岩。片岩也要占到18%左右，它们大多是很古老的岩石，我们在三峡看到这种岩石被覆盖在震旦系之下。世界上的前寒武纪的地层主要是由它们组成的，我国至今还保存有沉积岩组成的震旦系则是世上罕见的例外了。这些古老的岩石代表了几十亿年的时间，但留下来的地质历史记录却很很少很少。它们有许多是从沉积岩变来的，如果能够辨认出它们未变质前的面貌，那么许多历史情况就可以知道了。可惜现在我们还不那么清楚，这好似几经毁坏的古代典籍，变得凌乱残缺，字迹模糊，读起来不容易了，如何读懂它们是现在正在进行的一项重要的工作。

力在地壳中留下的图象

北京中山公园的一个夜晚，当最后一批游人也已离去，社稷坛西门却热闹起来。一位身材魁梧的老人，忙着指挥他的助手调整灯光，安排摄影机，给砌在那台阶上的一块大理岩拍照。他们从不同的角度拍了好些镜头，非常仔细。

这块石头为什么值得如此重视？特别是当人们得知这位老人就是著名的地质学家李四光时，更不免要对这块石头投下好奇的眼光。仔细观察一下，便可发现这块大理岩的层面确有特点，上面有许多裂纹，都是按一定角度交叉的，组成了一个菱形的格子，联缀如网。用李四光创立的地质力学的眼光来看，这种现象是再清楚不过的一幅力的图象，是大理岩受到一定方向的压力的产物。在这种菱形格子状的构造中，那些锐角（有时也可以是钝



图 26 铺在北京中山公园社稷坛西门台阶的大理岩层面上的节理纹

角)所指的方向通常就是当初所受压力的方向。力的作用在一块岩石上有表现,在地壳中也存在。李四光在杭州附近发现,地下存在许多断裂,它们也是有规则地排列组合在一起的。比一块石头上的裂纹来,规模就大得多了,但也是岩石受力后的产物。

在社稷坛西门这块大理石上的断裂,看得出裂纹,但看不到被断裂分开的两部分之间有明显的位移,这种裂纹在地质学中称为节理;在杭州附近地下找到的那些断裂,断裂面两边的断块有明显的相对位移,这在地质学中称为断层。还有另外一种情况,岩石表面上看不出裂纹,但内部的质点已沿一定方向的平面发生了轻微的移动,用力敲打它便会沿这个平面劈开,可以说是一种潜在的断裂,在地质学中被称为劈理。断裂的程度有强有弱,规模

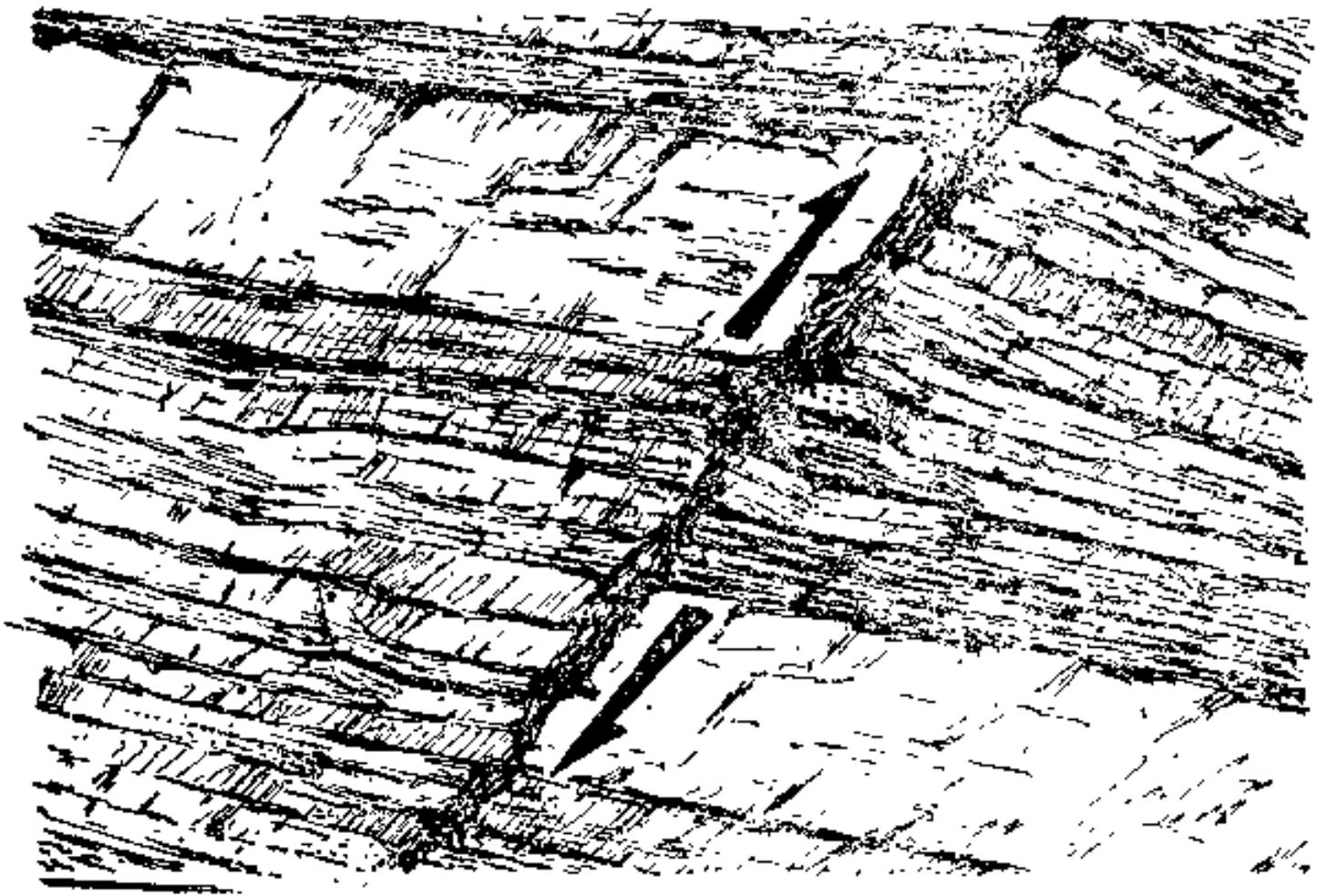


图 27 断层

有大有小,小到在一块岩石上有那么多的节理,大到一条断层长达几百几千公里;切割的深度直至截过了地壳,沿断裂面错动的距离,达到了几十公里。

断裂是作用于岩石的力增大到岩石承受不了时产生的破裂。

岩石并不是只要受力就会破裂，在一定范围内，岩石具有弹性，受力时，形态有所改变，外力解除后，就能恢复原状。在长期的缓慢的力的作用下，温度比较高，还有存在于岩石中的水分影响等因素，地下的岩石表现出具有一定的塑性，改变形状但并不破裂，外力解除后，也不恢复原状，本来平直的岩层变得弯弯曲曲，造成了地质学中所谓的褶皱。

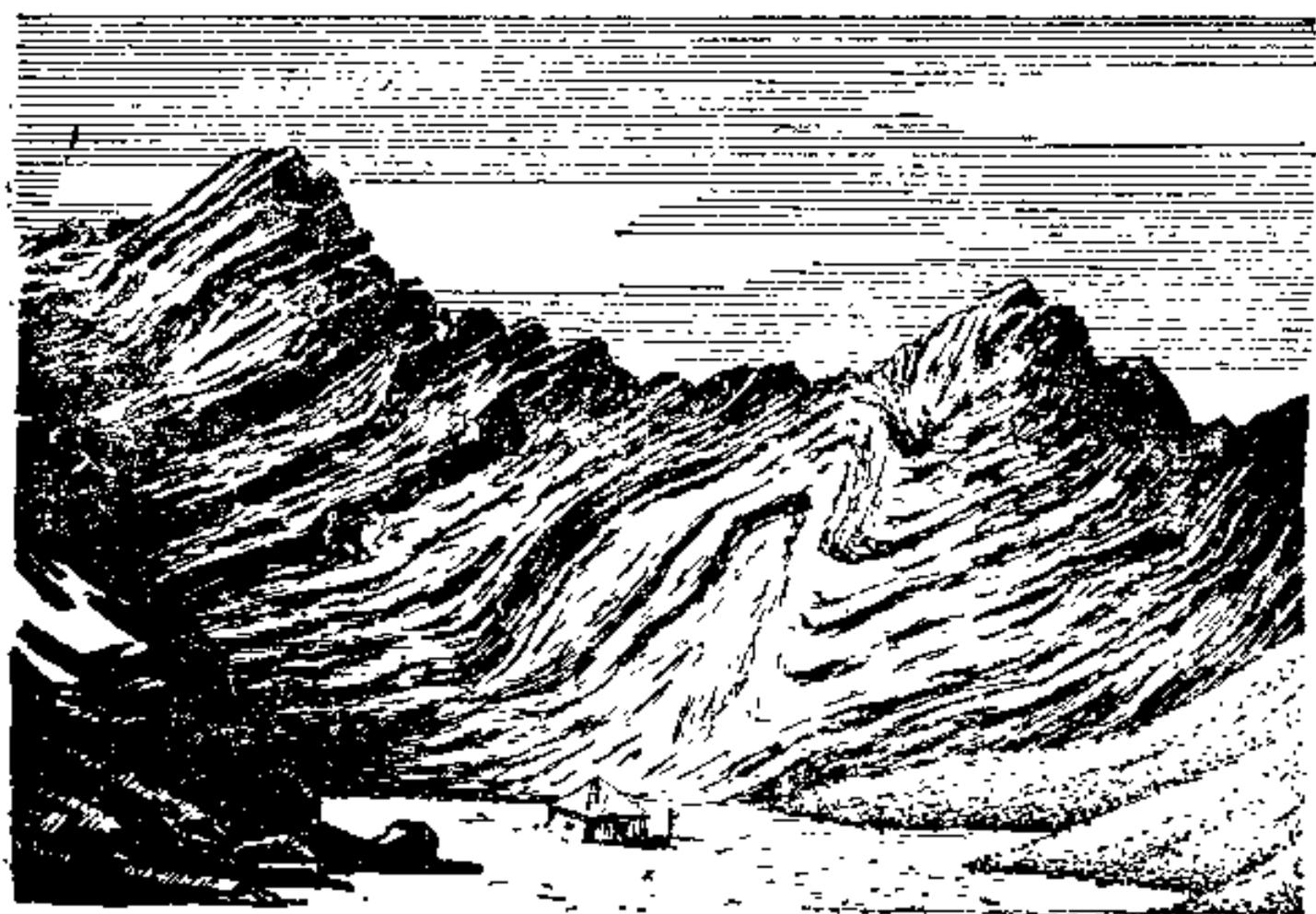


图 28 褶皱

在褶皱中隆起的部分被称为背斜，下凹的部分被称为向斜，但是，它们的形态变化多端，仅仅根据表面的认识，有时并不正确；在背斜中，老岩层居中，新岩层位于两侧，向斜则正相反，这才是识别它们的最可靠的标准。

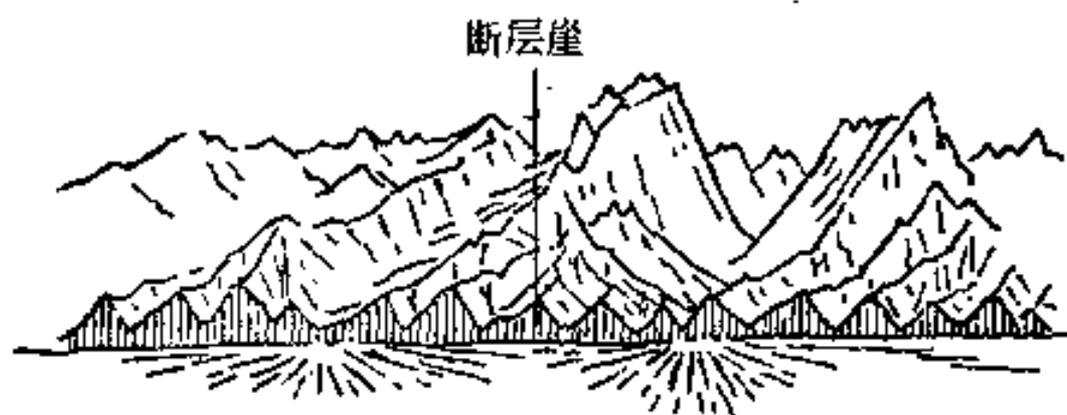
断裂和褶皱是地质构造最基本的形态，都是岩层原先在空间中展布状况发生了改变的结果，这种改变被称为构造变动。断裂和褶皱是地质构造最基本的两种形态，它们和劈理以及变质岩中的片理，都是力在地壳中留下的形象和踪迹，李四光把它们总称为构造形迹。

力的作用方式和大小以及岩石的力学性质不同，是生产复杂多样的构造形迹的基本原因。譬如拉力总是造成断裂，压力则造成各种类型的断裂和褶皱，象大理岩这样硬而脆的岩石较易断裂，大理岩的前身质地比较软的石灰岩则较易形成褶皱。

规模不大而且裸露在地表的断裂和褶皱，我们能够一目了然地认出。在陡峭的山崖上，有时在一块石头上也可以看到。至于那些规模巨大的断裂和褶皱，我们只能在地面上看到一鳞半爪，有时，因受到了破坏并被泥沙掩埋，在地面看不清楚或看不完全，但只要我们仔细调查这些岩层出露在地表的部分，弄清其先后顺序，就能够把分散的现象联系起来，把隐蔽的现象揭示出来，得到完整的认识。用钻探的方法从地下取出岩心，用飞机拍下视野广阔的照片；用地球物理的方法测得反映地下情况的信息，这些都可以帮助我们判断并识别隐藏在地下的断裂、褶皱等地质构造。

查明岩层在不同地点的倾斜情况及倾斜角度是认识断裂和褶皱最基本的工作。这就需要用地质罗盘仔细地测量。许多重大地质构造问题的解决，都是从这些细小的基本工作开始的。

查明地质构造就可以发现，原来地面上的山川起伏，种种形象的出现，受着地质构造的影响或者说是受到它的控制。



由华阴南望华山

图 29

在陕西省南部，我们看到，云横秦岭，华山壁立，在这些巍峨的高山北边，是平坦的八百里秦川。地势为什么会这样一落千

丈？用地质的眼光来剖视，便可发现那里的高山与低地之间存在着巨大的断裂，秦岭这边升高了，渭河那边则下降成为槽形的凹地，流水带来泥沙把它充填，造出了平川沃野，“周原膴膴，萁茶如飴”，诗人形容这里的土地肥沃得使苦菜也变甜了，周人的祖先选择这里进行开垦，使它成了文明的摇篮。原来在地质构造与自然面貌和人类文明之间，竟是密切相关。

我们还可以看到，在太行山脉与华北平原之间，也是有断裂把它们分割，一边上升一边下降，加上河流带来泥沙淤积的作用，这才形成了今天的地理面貌。



图 30

地球表面上高低起伏的形象，受到地质构造的控制，而地质构造是力在地壳中发生作用的结果。因此，地球表面的形象，在一定程度上也是力在地壳中留下的图象。

由于地壳各部分的质地不均一，有软有硬，有薄有厚。在同样的力的作用下，也会产生不同的形象，而这些力的作用在地壳中已发生了多次。因此，地球的表面形象显得杂乱无章，但如能抓住力的作用这个因素来分析，就可以把那些有着共同发生和发展过程的地质构造找寻出来，看到它们之间的联系。李四光开创了这方面的研究工作，并首先发现，那些看起来各不相同的，地壳中的构造，也是互相关连的，有着共同发生和发展过程的断裂、褶皱等构造形迹及其间坚硬的地块或岩块，按一定规律组合起来成为构造体系。

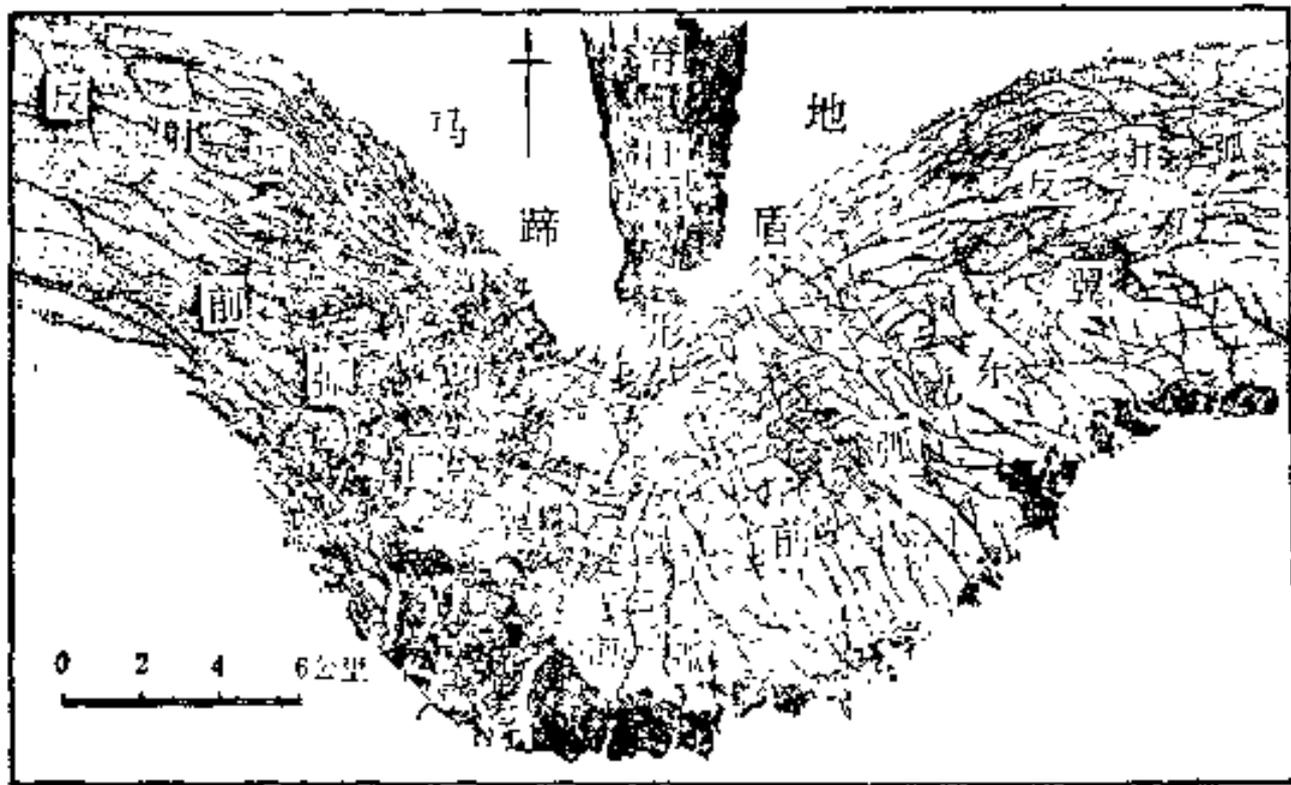


图 31 山字形构造—构造体系的一种类型

在广大的地域内存在着构造体系，在一块石头上也有时看得出构造体系的存在，社稷坛西门那块大理岩上的菱形格子状的构造，就是构造体系的一种型式。不论规模大小，它们都是一幅力在地壳中留下的图象。由于地球还在活动，这些图象并非固定不变的。阳光、大气、水和生物的作用也在把地球表面的形象加以改变，旧岩层在不断破坏，新岩层在不断形成，在我们面前，是一部还在继续编写的地质历史。

历史在继续编写

“白浪茫茫与海连，平沙浩浩四无边，朝来暮去淘不住，遂令东海变桑田”。这是唐人白居易(772—864年)写下的诗篇，一千多年过去了，在那大海之滨，海浪还在不倦地淘沙；无尽的江流始终在把大陆上的泥沙送进海里。工作是有成效的，就在这一千多年以来，长江、黄河、海河等河流入海的地方，陆地都在向海洋推进。“扬州郭里见潮生”。唐朝中叶以前，扬州还可以见到潮水，那时的淮安也还需要修筑堤坝来防御海潮，现在都远离大海了。在宋朝还是长江口的一个小小沙洲“惠安沙”，今天已成为大陆上重要的棉花产区南通县。秦始皇曾经坐海船到了杭州并系

舟西湖的传说也许不可信。但长江三角洲在向海中扩张，则是用七十年代卫星拍摄的照片与四十年代末测制的地图相比较得到证明的事实，从1947—1952年间，黄河三角洲向海中伸展的距离更达到了二十五公里。“莫问桑田事，但看桑落洲，数家新住处，昔日大江流。”（晚唐，胡玢）在江心，在河边，也可以看到类似的变化。1860年一只沙船在黄埔江与苏州河汇合处沉没，以后更多的泥沙在这里淤积，终于淤成了一块出露水面的泥滩，这就是今天黄浦公园这块地皮的来历。

现代的统计告诉我们，一年中全世界约有183亿吨物质以悬浮的状态被河水带进海里；以溶解状态带进海里的物质还有39亿吨，等于一年搬掉一座周围总长几十公里高达一公里的大山。

这些河水搬运的物质来源于地壳的隆起部分。有这样的统计，地球上的大陆每年因受到剥蚀而平均降低0.03毫米，这个剥蚀的速度在各地快慢不一：格陵兰由于冰川的刨刮使大量岩屑落下，达到了每年9—37毫米的速度。喜马拉雅山地区有每年平均剥蚀0.2毫米的记录，而美国科罗拉多大峡谷，河流下切的速度是每年0.7毫米。这些数字似乎都微乎其微，然而要知道地质历史中的一年还不及人生的一秒，日积月累，如果总是这样剥蚀而不加高，喜马拉雅山不用五千万年就会夷平，然而，世界上如今是山脉众多，高原广大，这是地壳在不断此起彼伏，许多山地高原是上升部分，有的地方上升速度超过了剥蚀的速度，象青藏高原近几百万年来地势并未因受到剥蚀而降低，反而是在不断升高。

在裸露的山崖上，在荒凉的戈壁滩里，我们可以清楚地看到岩石在怎样被破坏。1911年2月18日帕米尔一次山崩就塌落了七十亿吨岩石，这一刹那间发生的规模巨大的破坏，其实是岩石早已在分崩离析，长期发展的必然结果。自然界中，使岩石破坏的作用到处都在昼夜不停地进行。这些岩石破坏后的产物，有许多被搬离了原地。恼人的风沙，浑浊的河流，就是风和水在那里忙碌地把它们搬运，运到低洼的地方，主要是海洋里填塞起来，再

形成新的沉积岩层。有过这样的估计：三千到一万年可沉积一米，不同的地方速度不同，象在黄河、海河这些含有很多泥沙的河流入口处，堆积的速度是很快的。在某些特殊情况下，这种新岩层的形成速度更是惊人，比如在西沙群岛，观测到小小的珊瑚虫在一百年中使礁石“长”高了一尺，即达到了一年约 8 毫米的速度，在印度洋的马尔代夫群岛，珊瑚礁的生长速度更达到了一年二十几毫米。



图 32 卡特迈火山爆发

1912年6月6日，北美阿拉斯加半岛上的卡特迈火山大爆发，喷出的碎屑物达到二百亿立方米左右，超过全世界河流一年所搬运泥沙的总体积，这些碎屑物落在火山附近，堆积厚度将近一

米，落在—百六十公里外的—个岛上，还堆得有二十几厘米厚。

在三峡的新滩上，有—层分布不广，厚约几米并很不规则的砾岩，掩盖在其他岩层之上，在这些砾石中，曾发现了人类文明出现以后才有的瓦砾和瓷片，证明形成的年代不久。我国现在找到的最古老的陶器历史只有六、七千年。看来是—带从石灰岩大山中流出的地下水所含的丰富钙质把长江边上的砾石胶结成了砾岩。这种砾岩有的地方厚度有达到20米的，可见，在局部地区新岩层的形成可以是多么迅速！

自然发展的事实，雄辩地说明了恩格斯的科学论断：全部地质学是—个被否定了的否定系列，是旧岩层不断毁坏和新岩层不断形成的系列（《反杜林论》第134页，人民出版社，第1版）。

在地球上使旧岩层不断破坏和新岩层不断形成的作用是地质作用。来自地球内部和来自太阳的能，是使这些作用得以进行的根本动力。

水、大气和生物的地质作用，常称为外力地质作用，它们主要是从太阳得来的动力。太阳也直接对岩石的破坏与形成产生影响，这些外力作用的形式多样，如按岩石的破坏和形成过程可归纳为风化、剥蚀、搬运、沉积和硬结成岩五种作用。

地壳的运动和地震，以及岩浆的活动，还有由于地壳运动和岩浆活动引起的变质作用，统称为内力地质作用。它们主要从地球内部得到能量。

实际上，内、外力地质作用是不可分割的，没有地壳的隆起和下陷，也就没有地方受到剥蚀或接受沉积。火山喷出的气体和水汽是大气圈和水圈的重要物质来源，而潮汐的摩擦也影响着地壳的运动。就是在这种内、外力地质作用交织的情况下，地壳的面貌不断改造和发展。

第三章 地球还在活动

你觉得地在动吗？

你觉得地在动吗？平时大概不觉得。“大地者，至大、至厚、至静不可动摇之物也”。这是人们缺少地质知识时的看法。

现在地质学告诉我们，大地从来没有安静过。地球内部那些具有塑性的物质和由坚硬岩石构成的外部圈层，都在不停地活动，火山爆发与强烈地震的发生，使我们直接感受到这些活动的存在，平时如果细心观察，那些比较微小缓和的变动也是能够发现的，因为这些变动日积月累，是可以在地面上明显地表现出来的。

在渤海北部，河北省昌黎县东边，有人考证，两千多年前，曾有一座名叫碣石的山丘屹立在海滨，是观赏海景的好地方，秦皇汉武都曾登临游览。它本是和陆地相连的，位于海岸之上，但后来海水漫上了陆地，使它变成了孤悬海中的一块堆礁石，后来更完全为大海所吞没。这件事现在有不同的看法，还有值得进一步研究之处，但海水会在一些时候向大陆侵入，的确可以是事实。

海水淹没陆地，会不会是海洋里水量增多海面升高的结果呢？是的，是有这个因素。从全球的情况来看，一万七千年以来，由于原来面积很大的冰川逐渐消融，海面是在升高，最初，平均每百年就要升高一米，但这个速度到距今六千年前即已大大放慢，降到每百年十厘米左右。因此，仅仅用海水水量增加来解释那些发生在海边的显著变化是不够的。特别是当一些地方出现海面升高，海水漫上大陆的情况时，另一些地方却又有海面降低，海水退出大陆的现象，例如，辽东半岛上的碧流河畔，在今天已

远离大海。在海拔57米和110米高的地方，发现过海浪冲蚀造成的洞穴，表明不久前，海水到过这里。这就更说明不是海面本身高低变化的影响，而是地壳在下降或上升，下降的时候，海水侵入大陆，显出海面升高；上升时，海水退却，显出海面下降。

有许多事实证明地壳是在时升时降地运动着的，前面我们曾经谈到过华北平原在下降，太行山在上升，这是有根据才说的。在华北平原钻井，许多地方都可以碰到一层红土，它们是在一、二百万年前的陆地表面上形成的，本来高于海平面，可是现在却埋在比海平面低得多的地方，有力地证明这里的地壳下沉了，只是由于黄河、海河这些河流带来大量的泥沙充填，今天才未沉沦为海。而太行山呢，早在九百多年前，宋代的沈括就已发现这里的山崖上有螺蚌壳和卵石，它们就是地壳隆起的证据。不仅太行山，今天我国许多高山都在上升，从前的河滩变成今天河流两侧地势很高的山崖是常见的现象，“高岸为谷，深谷为陵。”两三千多年前诗人就有记

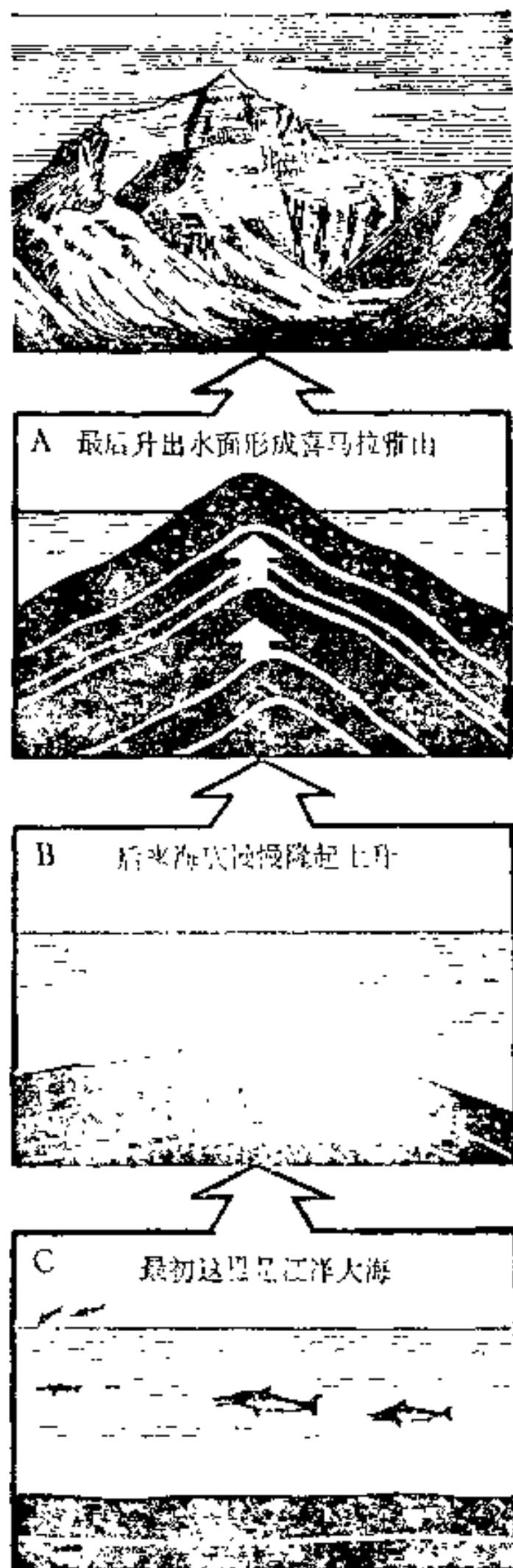


图 33 喜马拉雅山的形成

述了。

地壳上升的运动在喜马拉雅山表现得特别突出，自第三纪末，这里的地壳剧烈隆起，终于从一个狭长的海变为今天绵亘的大山，至今还在上升；据我国科学家研究，平均每年上升10毫米以上。这是地球历史上最近的一次造山运动，对我国这个地区影响特别大，不仅新造成了许多年轻的山，还使许多早已形成的山岳再次上升加高，这是我国的山既多且高的一个重要原因。

地壳上升下降的运动，在世界上许多地方都有明显的表现。号称低地国的荷兰，是著名的下降地区，这使它的四分之一领土低于海平面，下降的速度达到一年两、三毫米。在黑海东部的苏呼米湾还发现过整整一座沉入海底的古希腊城市。北欧的芬兰、瑞典、挪威是著名的上升地区，芬兰、瑞典之间的波的尼亚湾正变得愈来愈浅，1602年在那里修建的一个能容巨舶的海港，建成后，不到一百年就因地势升高海水下落不能使用了。这一带有过一百年升高一两米的记录。不过即使一百年升高两米，一年也不过两厘米，仅凭人的感觉器官是无法及时察觉的。正如古希腊学者亚里士多德所说：“地球的变化同我们短暂的生命相比，是很缓慢的，因此，简直注意不到它的变化。”不错，作为个人，生命是短暂的，但就整个人类来说，所经历的时间还是很长的。靠着世代积累的观察材料，这些变化仍有可能被发现，特别是在我们有了地质学的知识以后，更可以根据地层中保存的大量材料来认识地壳运动的存在。现在，依靠精密仪器的测量，地面起伏的微小变化也能及时测出来了。测量的结果使我们不仅能察觉地壳的升降幅度，而且证实了地壳还存在着大规模的水平方向的运动。

地壳的升降，通过在海岸、河谷等地方表现出来的变动，还较易为我们所认识，而水平方向的运动，则更难找到可以识别的天然标志。大陆漂移说的提出者魏格纳比较早地注意到地壳在发生水平方向的运动，首先是从大西洋两岸轮廓极为相似得到启发；设想欧洲、非洲和美洲原来是连接在一起的大陆，而将几次

测量的结果作比较，则发现北美的格陵兰岛和欧洲的距离正在一年年扩大，也是有力的根据。

在人们注意到地壳的水平运动并进行大量观测以后，找到的证据越来越多了。人造地球卫星拍摄的照片使我们清楚地看到红海和亚丁湾两侧的海岸也是极其相似的，简直可以吻合起来，测量的结果告诉我们，红海正以每年一点五厘米的速度加宽。

一些研究结果还认为，日本正在向亚洲大陆靠近，达到了每年十八厘米的速度，而印巴次大陆据说则在向亚洲大陆挤过来，向青藏高原之下俯冲。

美洲大陆还在向西移，大西洋还在扩大。

不仅是地壳，整个儿岩石圈都被认为在那里大规模地“搬家”，一些很深的断裂把岩石圈分割成若干被称为“板块”的块体，它们“浮”在比较重并具有塑性的物质之上，这些“板块”之间，由于发生位移而裂开、挤压或碰撞。是否确实存在这样一幅图景还值得研究和有待验证，但在今天的地球上和地球的历史发展过程中，看来确实存在着大规模的水平运动。许多山脉都是地壳发生剧烈褶皱才隆起成山的，而这些褶皱的产生，主要是受到水平方向挤压的结果。有点象我们用手平推桌布，桌



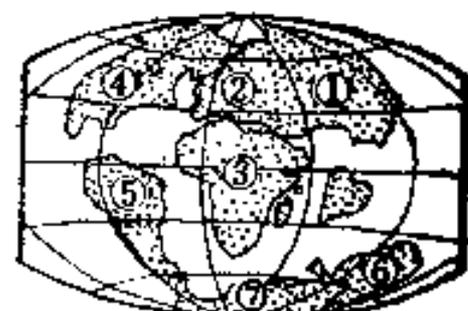
2.25亿年前



2亿年前



1.35亿年前



6.500万年前



目前

图 34 大陆漂移

布，桌

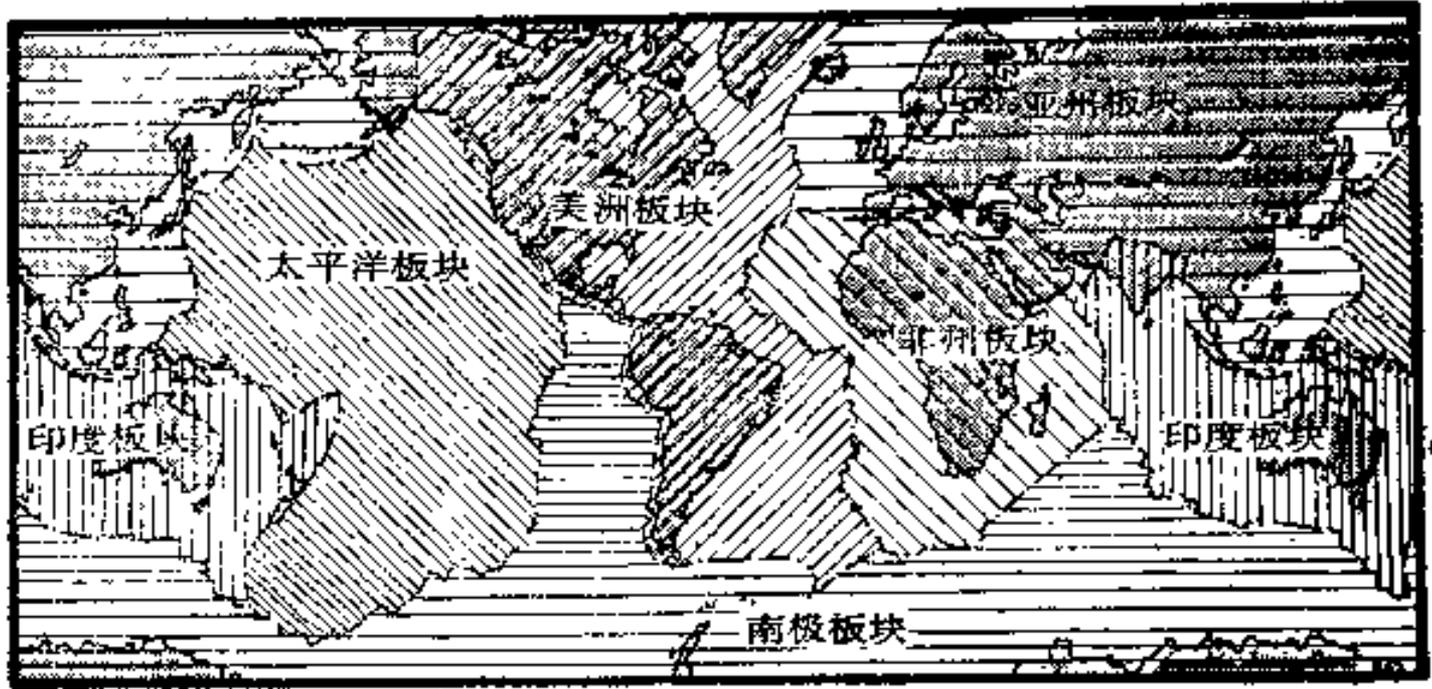


图 35

布就会皱起一样。

大地经常都在运动，这不仅在今天有人们的现实感觉可以证明，更有大量保存在地层中的沧桑变迁记录作为依据。没有地壳的升降就没有地面上凸出的部分作为提供沉积物的来源，也没有下凹的洼地作为接受沉积物的场所，而这些沉积物变成的岩石，如果不因地壳运动而升起，我们在地面也无从看到。因此这表面上似乎静止不动的大地本身，就是地壳在不断运动的见证。

“运动是物质存在的方式。无论何时何地，都没有也不可能有没有运动的物质。”地质学的事实为恩格斯这段名言作了生动的注释。

地震——地壳运动的激烈表现

1975年2月4日19时36分，海城发生大地震。当时有几位正在营口县城附近的药王山上值班的同志，透过朦胧的夜色，亲眼看到海城的房屋和土地突然腾起又忽地落下，剧烈的震动扬起大量尘土，使本来还依稀可见的城市刹时间变成一团漆黑。在强烈地震发生的时候，大地颠簸震晃，犹如波涛汹涌，起伏不已，然而瞬息即逝，大地又归于平静。仓猝之间能看清这种运动过程的人确实为数不多，事后留下的痕迹就更少了。但实际上，还是有

许多记录,在地壳中保存下来了。虽然肉眼能直接看出的比较少,但如用仪器观测比较,则可得到大量的资料。

一切运动都是和某种位置移动相联系的,地壳运动就是地壳



图 36 唐山市地震后的破坏情况

发生了位置的移动。通常用铅直方向和水平方向的位置变化来概括表示,这些变化经常都在进行,不过在变化微小缓和的时候,并不造成大地的震动,象京津唐地区,在唐山大地震以前,有的地方早就在上升,有的地方在下降,并且有水平方向的运动。唐山、滦县和乐亭一带是上升得比较快的地区,有多快呢?一年上升五毫米是近二十多年来的最高记录;天津附近算下降得快的了,已测得的最快速度是一年下降四毫米,在几条断层两侧布置仪器进行长期测量所得结果表明,通过北京八宝山的这条断层附近的地壳,在水平方向的位置移动幅度最大,不到六年的时间内,移动了将近九毫米。但是拿这些变化和唐山大地震时发生的变化一比,就显得微乎其微了,在唐山,我们可用眼睛直接看出地震时出现在地面的断裂错动,垂直方向的错动使原来平坦的道路变得坎坷不平,许多地方上下错动距离达六、七十厘米,水平方向的错距更大,达到一百二十厘米甚至有二百五十厘米的记录,使林荫道旁原来排列成一行的树木被断裂错开成为不连续的两行,表现得很清楚。

然而唐山大地震所出现的水平或垂直方向的位置移动,都不



图 37 唐山地震树行被水平错开

算突出的。也是1976年2月4日，危地马拉发生大地震，使这个国家的北部至少向西推进一米以上，有的地方断裂两侧的水平错距达到三米多。不过这仍然算不上是很大的。1906年美国旧金山大地震，水平错距最大处达到六点四米，而1855年新西兰一次大地震中，更创造了水平位移十二点二米的记录。地震时，地壳中的水平运动不仅可以由于断裂经过的房屋、篱笆开裂，埋藏地下的管道错断表现出来，而且也可以从原先水平的桥面被挤压成拱形，以及搁置在桥墩上的桥身被推出和坠落找到清楚的证明。

1891年，日本浓尾平原发生的一次大地震中，本来平坦的原



图 38 1946年秘鲁安第斯山地震时出现的断层岩

野，在一刹那间由于地壳断裂升降，形成了一个六米高的大台阶。1946年发生在秘鲁的一次大地震也在安第斯山上造成一个高三米多的断层崖。这种断层两侧垂直错动幅度最大的一次，可能要算1899年阿拉斯加大地震所创的十四点一米的记录。大地震时，由于地壳在垂直方向运动而产生的现象，如原来被海水常年淹没的海底出露水面，岛屿升高，以及大面积地势降低等都不是罕见的。

地震时，地壳清楚地表现出它在运动，而且是达到了激烈的程度，几十厘米、几百厘米的位置移动，在不到一秒钟最多几秒钟的时间内就完成了。这与那些一年才挪动几毫米的变化相比，是何等的迅速！

并不是所有的地震中都会有这样大的变动，但地震的发生总是由于那里的地壳运动比平时加强了，位置移动的幅度比平时突然加大，在地壳中产生了新的断裂，更多的时候是沿着原来就有的断裂面再次发生了快速的错动。

断裂面两侧缓慢地位移，经过长期积累，表现出来的变动

也可以很大。但这时并不一定造成地震，北京附近的八宝山断层，平时表现出活动性比较强，水平位移的幅度比许多地方大，但是强烈的地震并未在这里发生；宁夏贺兰山脚下石嘴山附近有一段长城，被还在活动的断层错断，四百年中错开了一点三米，



图 39 宁夏贺兰山脚下的长城水平错动了1.3米

但城墙并未倒塌；美国西部有一条长约一千公里的圣安德烈斯断层，自一亿三千五百万年前以来，一直在活动，水平方向移动的幅度达到了五百六十公里，在断层分布的地带发生过的强烈地震也很多，但有的地段平时表现出活动性比较强，位置移动幅度比别处大，反而并无强烈的地震发生，可能由于能量在平时分散地释放了，没有大量集中起来。当然，这并不是说这种平时断层活动性强的地方就安全，从大范围来看，地震常常就是发生在平时地壳运动强烈的地方。

世界上有两个地震最多的地带：（一）环太平洋一带和（二）从印度尼西亚经缅甸至我国横断山脉、喜马拉雅山地区，越过帕米尔高原、中亚细亚到地中海及其附近一带，都是现在地球上地壳运动最强烈的地带。地壳在这些地方受到强有力的挤压，地质

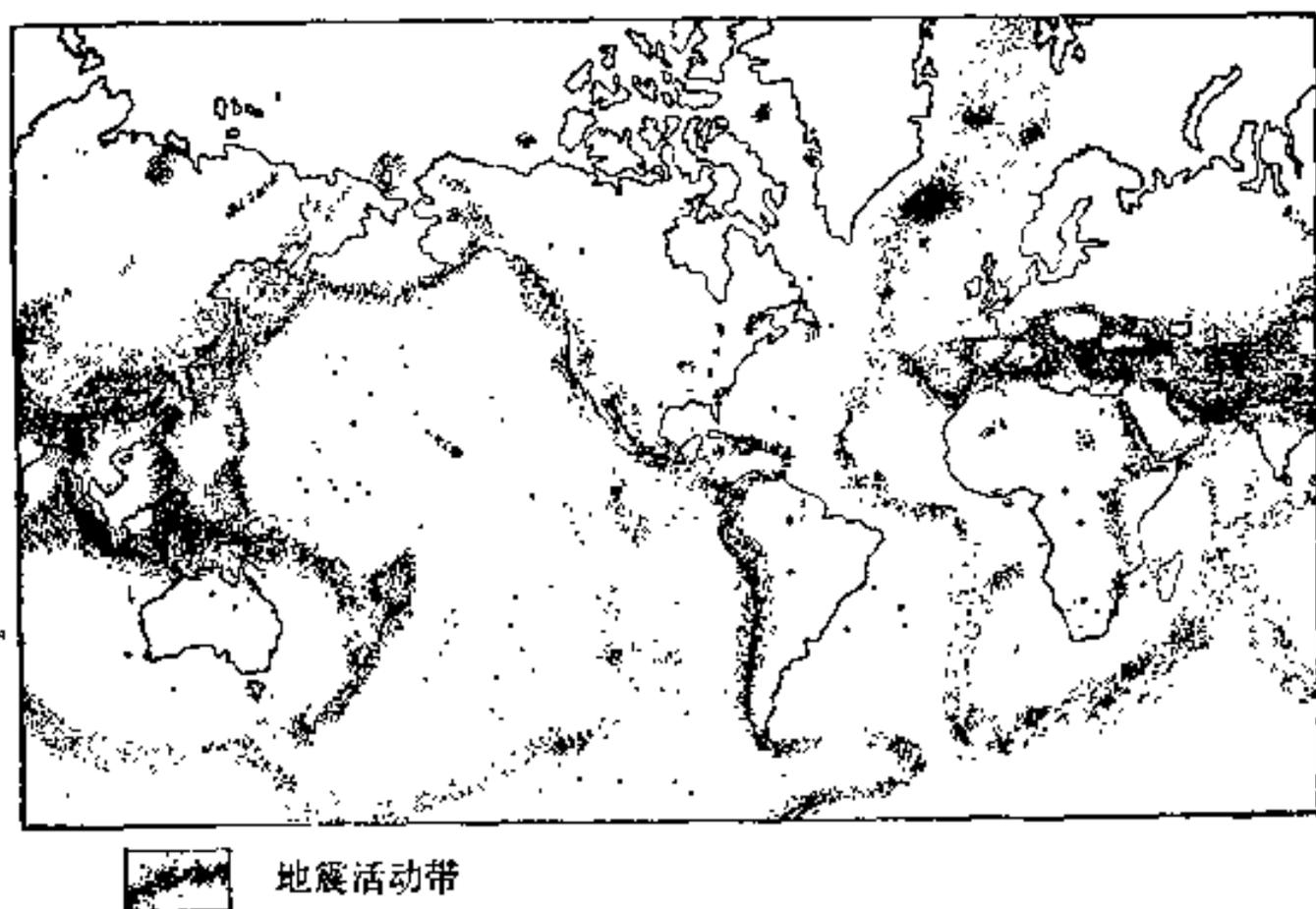


图 40

历史上最近的一次造山运动发生在这里，至今还未完全停歇，许多年轻的山脉还在上升。在地壳中那些巨大断裂还在不断张开的地带，地壳的活动性也相当强，也有许多地震发生，但在这种条件下发生的地震都比较小，只形成一些弱震带。

在地壳运动强烈的地带里，并不是到处都会发生强烈地震，地壳的组成情况是很复杂的，在地震活动很多的区域内也可以有相对比较稳定的地方。什么地方会发生强烈地震，是有规律的，问题是地震发生的规律我们还没有充分掌握。我们只在一定程度上能预知什么地方将要发生地震，而地震预报的初步成功，也验证了我们的认识有一部分是正确的。

地震是怎样发生的

地震是怎样发生的？现在还说不清楚。但是正如李四光同志生前所说，不管发生地震的根本原因是什么，其直接原因总是由于地下岩石受到力的作用，发生破裂。因而绝大多数地震发生在岩石圈内。岩石硬，有固定的形状，所以受力后会破裂；要是象

软泥那样具有塑性，怎么受力变形也不会破裂；如果象水一样是液体，“抽刀断水水更流”，更无所谓破裂。地震集中发生在岩石圈里，不是偶然的。那么，也还有少量地震发生在地下几百公里、最深达七百二十公里的地方。这里的物质被认为已具有塑性，该怎样解释呢？这的确是个难题，新出现的板块构造学说，认为这是由于岩石构成的板块俯冲到了这样深的地方；世界上的深源地震发生在太平洋周围有深海沟的地带这一事实，提供了一定的根据，因为按照板块学说的论证，这种地方正是板块边沿向下俯冲的部位。

地下的岩石为什么会破裂呢？

有些岩石可以被水溶解，当地下水在其中活动，造成溶洞，并且把溶洞扩大到洞顶支持不住时，就会崩裂塌陷，产生地震。这类地震规模不大，影响很小，在地震中微不足道。

火山爆发，对周围的岩石进行了猛烈的冲击，甚至在地壳中炸开缺口，这时产生的地震，有比较强烈的，但总的说来，为量也不多。

百分之九十几的地震是地下的岩石发生断裂错动造成的。在强烈地震发生的时候，我们已经看到了许多地壳中的断裂错动现象。地下最初发生断裂错动的处所，是地震时震动的发源地，即震源。地面上正对着震源的地方被称为震中；震中附近的地区一般破坏得最严重，如果把这个范围勾划出来，也常是狭长的形状，且与地下原有的断层走向一致；据中国科学院地质研究所统计，我国大地震的震中百分之八十以上位于在地下原来就有断层的地带，这些都说明地震的发生与地下的断层活动有关。

两侧的地盘还在不断发生位置移动的断层称为活动断层，断层常不是单个地存在，而是与许多断层组成断裂带出现。经验告诉我们，在活动断裂带的两端和转折的部位，还有两条以上断层交叉的地方，比较容易破裂，许多地震在这种地方发生。

绝大多数地震的产生是由于地壳中发生了断裂错动，那么又为什么会发生断裂错动呢？这得有足够的力量施加到岩石身上，

使岩石承受不住才会断裂。人们曾拿一种大理岩作过试验，当每平方厘米面积上的压力加大到一千三百公斤时，还抗得住，而且形状没有明显改变，可是力量一旦超过这个极限，这种大理岩马上就被破坏了，我们可以想象。在地壳中的力也是要加大到超过那里的岩石所能承受的极限，才会破裂。因此，地震的发生需要一个岩石受力的过程，就象弯弓射箭似的，拉开了弓，箭才射得出去，拉得越满，蓄积的能量越多，射得也越远。在地下，如果岩石抵抗外力的能力较强，需要较长的时间积累很大的能量才会破裂，而一旦破裂，产生的地震就很强烈。相反，如果岩石抵抗外力的能力太弱了，太容易破裂，那么能量就积累不起来，产生不了大地震或不能造成地震，前面谈到的有些断层平时活动性表现得很强，却并无强烈地震在此发生，便有这个原因。另一方面，如果那里的地壳特别坚实，抵抗外力的能力过于强了，地壳中没有那样大的力量使它破裂，也不会有地震发生，所以地震总是集中在一些特定的地带出现。而在一次强烈地震发

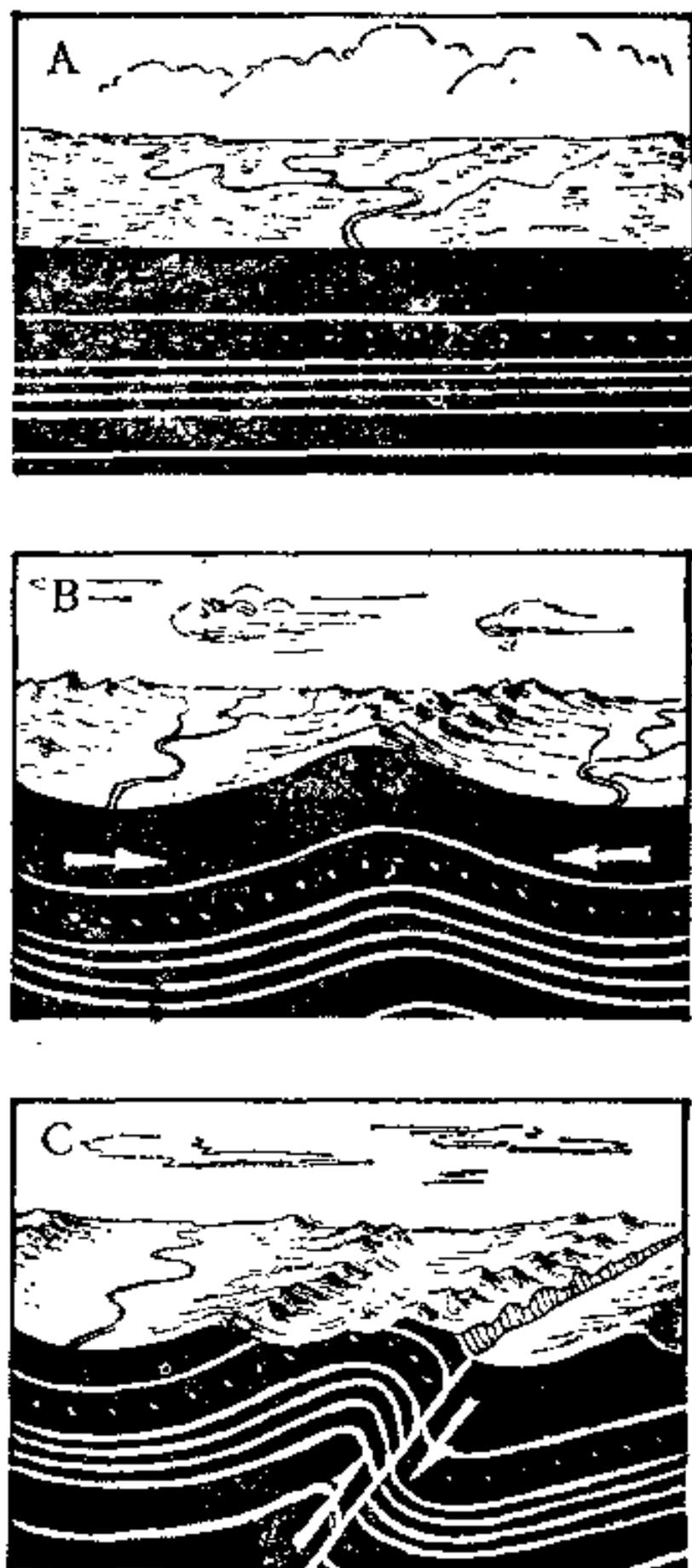


图 40

生以后，一般要经过相当长的时间积累能量，才会再在这一带发生另一次强烈地震，因此，地震实际上并不是突然发生的，也有它的孕育过程。当能量积累到临近使岩石破裂的极限时，在将要发生地震的地区，就会出现多种不寻常的自然现象，成为地震预兆。

使地壳中的岩石发生断裂错动需要有力量，这个力从哪里来呢？地壳运动特别是水平方向的挤压、拉张等作用，能够产生出这些力。可是地壳为什么会运动，是什么力量在使它运动呢？

地壳为什么会运动

在十九世纪时，许多人相信地壳运动是由于地球冷却收缩而产生的。他们认为地球是由一团高热的稀薄物质凝聚而成的。据此人们设想地球表面首先冷却，结成了一个坚硬的外壳，当里面的物质继续冷却，体积缩小时，已经硬结的外壳就变得过于宽大，不能适应了，因而随着内部的冷缩而产生许多褶皱以作到里外一致，有点象苹果干了后就会发皱。因为地球还在冷却，所以地壳运动不已。

但是，如果地球真是这样收缩的话，那么地壳某些部分大面积上升的现象就无法解释。特别是在放射性元素会自行分裂放出能量的作用被发现以后，地球一直在冷却这种观点也发生了动摇。因为地球里面有不少放射性元素，他们可以给地球加热。后来，主张地球是一团低温的稀薄物质聚集而成的地球起源假说也出现了，按照这种假说，地球是由冷变热的。而地壳冷缩说，到本世纪初就逐渐不受重视了。但是收缩说的出现，曾经给宗教迷信以重大打击，因而还是应该肯定它在历史上的进步作用的，至于地球某些部分在收缩，也是有可能的。据一些科学家对阿尔卑斯山的研究，认为大约两亿年以来，这里的地球半径已缩短了两公里左右。收缩不一定由于冷却，地球内部物质状态的改变，密度的增加，大量岩浆从地下喷出等因素，都可以引起收缩现象的产生。就是冷却这一因素也不能完全否定，在一定条件下，冷却也

有可能成为某个局部发生运动的主要原因。

主张地球因变热或引力变小而膨胀，致使地壳发生运动的假说，在冷缩说失势之后，一度为不少人所相信，他们用东非大裂谷和大西洋的出现，作为地球膨胀裂开的证明，但是膨胀说，无法解释地壳中大量存在的褶皱现象为什么能够产生，近年来的某些科学考察成果，也对地球在膨胀的设想提出了否定的证据。

一些人注意到组成地壳的物质比地幔里的物质要轻，构成大陆的岩石又比它下面的要轻，大陆好象冰山浮在水上。当自然界所发生的变化，打破了原来的平衡状态，于是重新调整，导致地壳运动的发生。这种作用在一定条件下是存在的，譬如北欧的芬兰、瑞典和挪威等地近一万多年来上升很快，就与这里原先有很厚的冰层覆盖，后来由于气候变暖，冰川消融，地壳受到的压力减轻有关。据认为，那些大山受到自然力的破坏，破坏后的产物被搬到别处去堆积的作用，也能够引起类似的变化。但是这些作用只能在一定范围内产生，影响有限，特别是对那些地壳中大量存在的褶皱现象，仍无法解释。

1912年出现的大陆漂移说，强调了地壳运动以水平方向的运动为主，这个假说设想大陆原是一整块，后来由于地球自转所产生的离心力以及太阳、月亮的引潮力等力量的影响而分裂，并向不同方向漂移，移动时，大陆前沿受到阻滞摩擦，发生褶皱，形成高山。地球为什么会具有今天的表面形象，可以得到一些言之成理的解释。但是在大陆中心为什么也会出现造山运动，就说不清楚。特别是大陆之下的物质也是岩石，它们之间粘结紧密，物理学的规律不允许大陆产生这样大规模的漂移，而地球自转产生的离心力能否有这样大的影响也是个疑问。因此，大陆漂移说的提出者魏格纳承认“不论过去和现在，形成大陆漂移的动力问题一直是处于游移不定的状态中”。只好说，似乎应该把外来的宇宙因素看作是第一推动力。

我国科学家李四光注意到，在地球自转速度发生变化的时候，地球自转产生的离心力的大小也在发生变化，同时还会产生

一种惯性力。他认为由于地球已自转了几十亿年，如果自转速度不变，地球的外形和它的表层结构，早已适应，仅仅是自转的作用，不会引起大规模的地壳运动，而自转速度发生变化时所产生的这些影响，则能够推动地壳发生大规模的运动。这时大陆不是在漂移，但可以发生少许的滑动，由于地壳中各层次之间运动的快慢不一，相互摩擦推挤，使地壳产生了许多褶皱和断裂，组成了构造体系，在地面上表现为复杂的但又有规律可寻的山脉、凹地种种形象。在地球漫长的历史过程中，地球自转速度变化的情况是经常发生的，在短时间内，变化非常微小，因此，有些人怀疑能否产生这样大的影响。不过从长期来看，变化的幅度是很大的，有可能推动地壳发生大规模运动。

地球自转的速度为什么会变化呢？因素很多，据认为，整个地球的收缩和重物质向地球中心聚集，能使它的自转速度加快，大陆块体和下面物质之间的摩擦以及潮汐的作用等都可以使转速变慢，但实际情况究竟是怎样的呢？还需要进一步探索和验证。

认为地球岩石圈以内具有塑性的物质，由于冷热、轻重不均发生对流，因而带动了地壳运动，这种假说，早在1928年就出现了。六十年代的板块学说，把它拿来作为使板块发生运动的动力。并且认为，由于对流时，物质从下向上的运动，使部分来自地幔的物质挤进了地壳的某些裂缝中，将它撑开，逐渐扩大成为地面上的巨大凹地，今天的大洋就是这样形成的；另一方面由于地幔物质从上边流回深部，带动那些早些时候形成的洋底向下俯冲到地幔中逐渐消亡，这个设想现在已得到相当程度的证实。在三个大洋中间都有被称为洋中脊的绵亘高峻的海底山岭，据认为，这就是地幔物质溢出来的地方，现在这里还有不少火山活动，这里的岩石也最年轻。在洋中脊的两侧，岩石的年龄随距离的加远而增长，表明海底是从这里生长并向两侧扩张。大洋底下最老的岩石也没有超过一亿九千万年的，比大陆上的岩石有三、四十亿的年龄小得多，这说明洋底确是后来形成的。

但是地幔的物质是不是存在着这样的运动，现在还没有实际

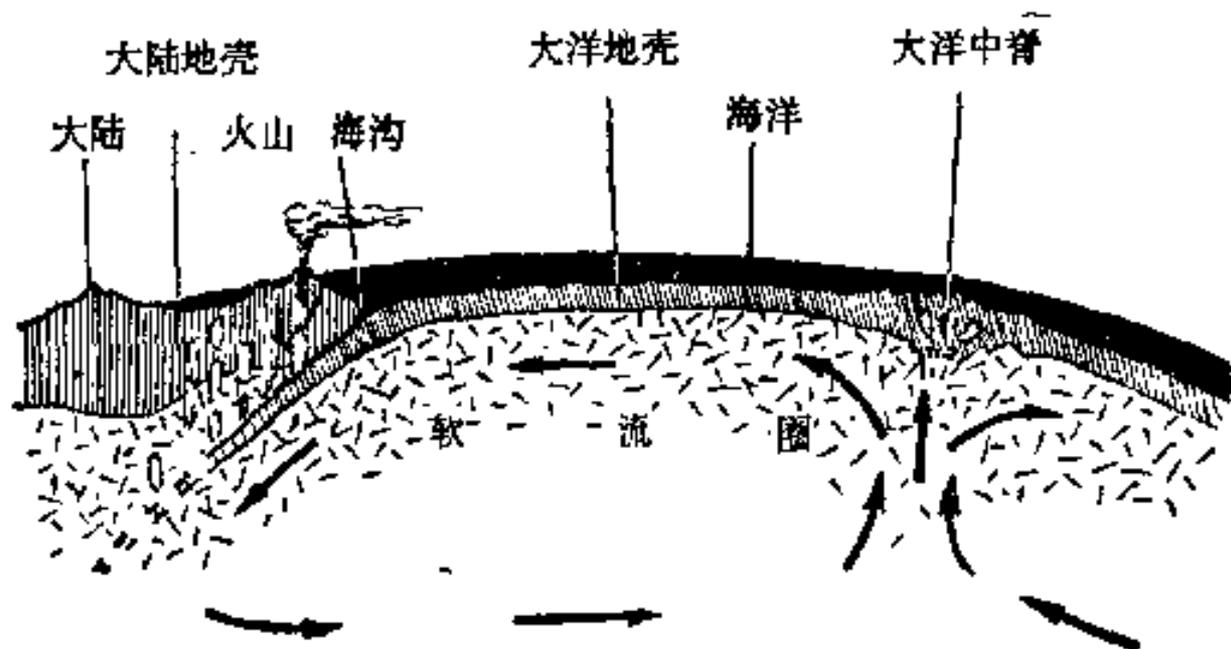


图 42 地幔对流

的证明，只是一种设想，而板块为什么会象今天这样运动，用地幔物质对流作不出完备的解释。也有人开始注意地球自转速度的变化和重力的作用，想从这里找到推动板块的动力。关于地壳究竟在怎样运动又为什么会运动的问题，要得到比较圆满的答案还差得很远。过去出现的各种假说有些虽有它无法克服的弱点，但仍或多或少有它的根据，还应该注意吸取它的合理成分；有些虽然比较言之成理，但仍有未能解决的问题，特别是缺乏实际的检验。这与我们今天对地球内部的观测仍然受到很大限制，材料掌握得很不充分有关。对地球深部情况的研究，是当前地质学研究中的一个薄弱环节，也是很值得我们探讨的一个问题。

地壳运动和岩浆的活动

1960年5月22日，智利发生了一次特大的地震。震后四十八小时，位于震中东南一百五十公里外的普耶韦火山猛烈喷发起来了，火山喷出的烟云冲到了六千多米的高空中，在火山西北边一条十四公里长的断裂上，从二十八个喷口中流出了炽热的熔岩，活动持续了几个星期。智利是一个多地震也是多火山的国家，据历史的记载，这里的火山多次在地震之后加强了活动。

大地震可以引起某些火山的活动；火山的爆发，还必定造成地震，虽然一般是比较小的。地震和火山活动的地理分布，更表

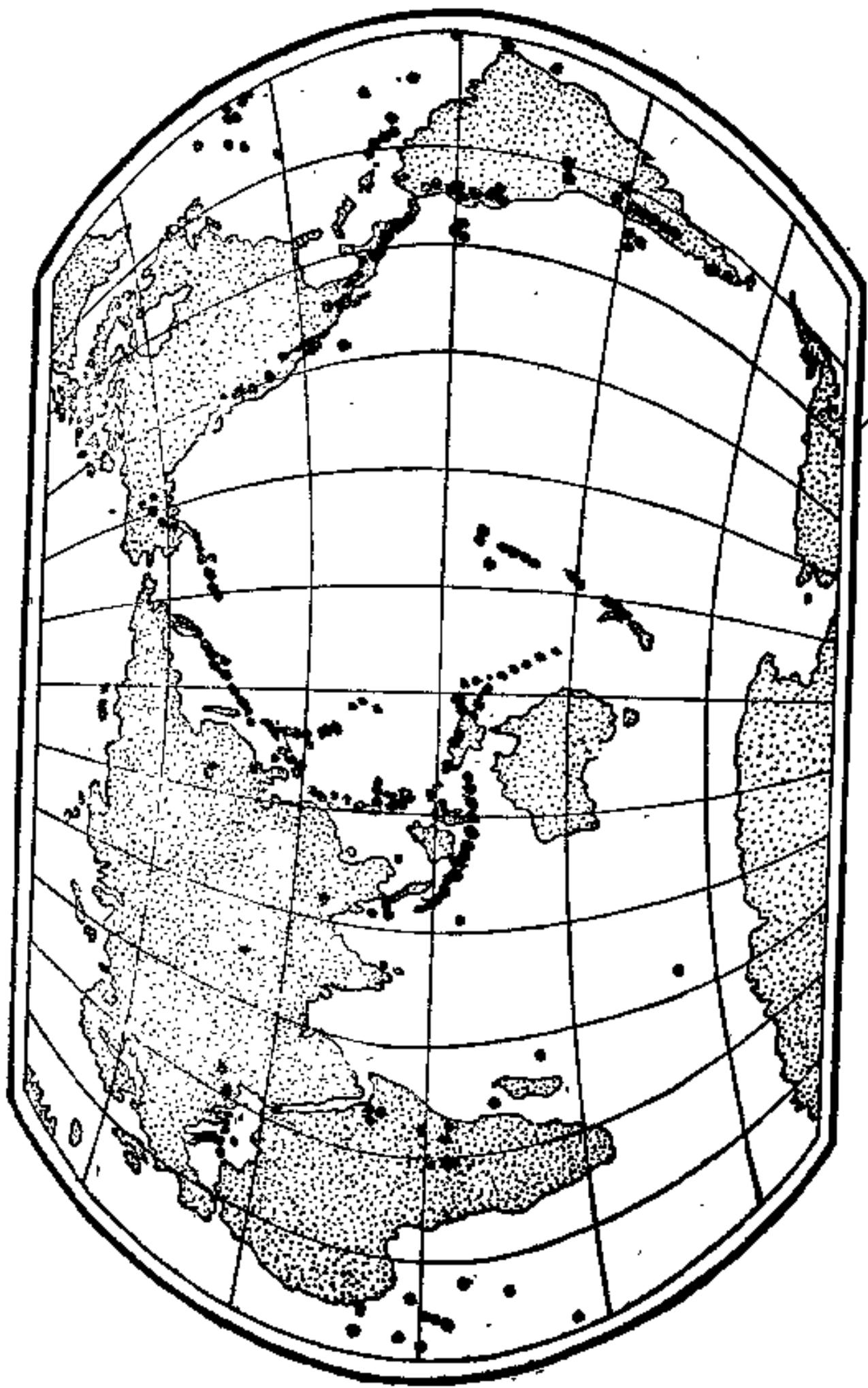


图 43 世界活火山分布图

现出相当的一致性。地球上的两大地震带，同时也是两大火山带，今天的火山活动大部分发生在这里。在那些弱震带上，也分布着不少的还在活动的火山。

因为地震大多发生在地壳运动强烈并有许多断裂的地方，而强烈的地壳运动是促成岩浆活动的重要因素。断裂的存在为岩浆向地面运移提供了方便，所以这种地方也正是有利于火山喷发的场所。

火山喷发时，我们看到的那些冲天而起的烟云是从岩浆中分离出来的气体、水汽以及火山灰渣组成的，这些火山灰渣是火山爆发时堵塞岩浆出口的岩石炸碎而成的。在地上流布的熔岩，是岩浆中的气体和水汽大量分离出去以后剩余的部分。熔岩冷却后，成为固体的岩石，而在这冷却的过程中，仍有不少残存的气体和水汽继续分离出去，所以，这类岩石中常有许多气孔，说明着它的特殊来历。

火山喷出的熔岩，经历了漫长的行程，到达地面时仍有一千度左右的高温，这说明地下确实是很热的。在几十公里深的地方，在地幔里面，温度足以使岩石熔融，因此，以往人们曾推测地壳之下全是岩浆。现在的探测结果表明，情况不是这样。岩浆仅仅出现在地下某些有限的处所。前面曾经谈过，这是地下压力特别强大的缘故。那么，如果什么地方压力减轻了，地幔里的高热物质，就有可能转化为液态的岩浆。地壳强烈上升和产生断裂变动，都可以使地下的压力减轻，使这里出现岩浆的活动。那些断裂的存在，还方便了岩浆向上运移和喷发。

一般来说，地壳运动强烈，而且在地下有着断裂的地方，既容易发生地震，又有利于岩浆向地面冲出，因而它们常出现在相近的地方。但大的地震带和火山带固然有一致的地方，产生火山活动及地震的具体地点常不一致，而且在地壳运动强烈并有断裂分布的地方，虽然地震常常是很多的，但不一定有火山在活动，地震和火山活动的分布，从大范围来看，有许多一致之处；但如进行比较细致的观察，便可发现，地震震源和火山的位置常不在

同一地方，而且有相当的距离。因为地震和火山活动的产生除了有相同的原因，还有各自要求的特殊条件，譬如从印度尼西亚到地中海这个地震带中间，地震强烈，但现今还在活动的火山很少。可能与这里的地壳很厚有关，虽然其中有许多断裂，但岩浆钻进去后未能到达地面，而是在里面凝结，便没有火山喷发。可能由于这些岩浆活动，使这些地壳中的断裂得到修补，并变得比原来更坚固，更难见到火山喷发了。但在某种地方，在地壳还没变得很牢固的时候，岩浆还是有可能冲出的。象我国西藏，现在看不到火山喷发了，过去火山活动还是很多很强烈的。有的火山虽早就不活动了，但是还保留着相当完整的火山特有的外形，现在出露地面的温泉还很多，有的地方还有高热的蒸汽从地下喷出，特别是地震波的传播情况还告诉我们，这里地下几十公里的地方，部分处于熔融状态，更说明，虽然地面上不见火山喷发，地下还是有岩浆在那里活动。因此，从本质上来看，地壳运动、地震和岩浆活动在这虽也还是相关的，它们与引起岩石内部物质组成情况发生改变的变质作用也是相关的。地壳运动和岩浆的活



图 44 羌塘高原1951年5月喷发的卡尔达西火山群的一个火山锥体

动都能产生出强大的压力和很多热能，岩浆活动还会带来许多新的成分加入到和它接触的岩石中去，这些都是产生变质作用的条件。变质岩的出现就说明这里有过强烈的地壳运动或岩浆活动。今天强烈的地壳运动和岩浆活动都还在进行，因此，这些变质作用也应该继续产生，不过由于这种改变的过程很长，而且是在地下的岩石里面进行的，在地面上不容易看见。但在地震时，出现的断层两侧以及火山口周围，有时还能看到由于断裂错动，岩石搓碎，内部组织结构发生改变，以及与岩浆接触所造成的变质现象。可以想象，在地下的岩石中这类变化会是很多的。地壳运动、地震、岩浆活动和变质作用的存在，都是地球还在活动的表现。

岩浆是怎样跑到地面上来的

寒冷的冰岛是个著名的火山之国，这里火山喷发的规模特别大。常常在一条断裂上的许多火山口中同时涌出大量熔岩。1783年6月开始的喷发活动，是最著名的一回，持续了两年之久，流出的熔岩体积达一百二十五亿立方米之多。这个岛上百分之二十的居民。百分之八十的羊和一半以上的牛马，因而死亡。火山喷发在冰岛是寻常事，据统计，平均约五年就有一次，这些喷发都以喷出熔岩为主，岛上许多土地被熔岩掩盖了，没有高大的树木，有的地方真是寸草不生。

为什么冰岛火山活动如此之多，而且有那样多的熔岩涌出？它们来自地下很深的地方，是怎样走过了这漫长的艰难旅程？

经过调查，人们发现冰岛正好位于大西洋中间一条巨大断裂带上，地壳在这里裂开，裂缝很深，一直通到了地幔。裂缝两侧的地壳各自西东，向不同的方向运动，产生很大的张力，使裂缝不断扩大，地幔里的物质由此运移上来，挤进裂缝中间，结成新的地壳并继续裂开。据认为，今天的大西洋就是这样演变而成的，现在这种作用还在进行。

地幔里的物质为什么要向上而不是向下运移呢？常识告诉我



图 45 熔岩流

们，在地面上，苹果是要向下坠落的，这是重力的作用；地幔物质向上运移并不违反这个原理，这里面也有重力的作用，但这是在地球里面，地球里面愈深，物质密度愈大，那些向上运动的物质比深处的物质密度小，当压力减小成为岩浆的时候，更要膨胀起来，变得更轻，轻者上浮，因而能向上运移。除此之外，地幔里的物质如果确实是因冷热不均在那里对流，当然也会有作用。地壳运动在地壳中产生的挤压力，也可以把岩浆挤上来。

岩浆中的气体和水，是火山喷发的重要动力，因为灼热的岩浆本来是不能容纳它们的，只是因地下深处的压力强大才勉强混在一起，这有点象汽水中的碳酸气，是在压力加大的情况下，溶到水里去的，如压力减轻，它们就会分离出来，体积迅速膨胀，产生出向地面冲击的力量。而当岩浆在火山底下的地壳中不断聚集的时候，由于一部分物质逐渐凝结成岩石分离出来，剩下的岩浆中，气体和水的含量百分比愈来愈高，冲击力量也愈来愈大，当大到足以从地壳中冲开一条出路的时候，大量岩浆沿着这个通道涌向地面，这时压力急剧减轻，气体和水汽迅速分离，体积骤然

扩张，犹如炸药爆炸，这样火山爆发了。如果通道堵塞很紧，不容易突破，这就要求岩浆在地下用比较长的时间聚集，蓄积更大的能量，而一旦爆发，就非常猛烈；但是也有这种情况，即岩浆仅仅运移到接近地面的场所而终究未能冲出，在地下慢慢冷凝。如果通道比较通畅，岩浆较易喷出，那么，这里的火山活动就比较频繁，但也比较“温和”，没有爆炸发生，只是熔岩宁静地如泉涌出，冰岛的火山就有这样喷发的。1963年11月，一位科学家在飞机上观察了冰岛南边一座海底火山喷发的全过程，看到了大海沸腾，烟云弥漫，火光烛天的情景。但并未听到通常人们认为火山爆发时应该有的轰鸣爆炸之声，因而事后他说，好象看了一部无声电影。

冰岛火山喷发比较宁静，可能与这里地壳中的裂缝受到两侧拖曳的力量而裂开有关，很重要的一个原因则是由于这里的熔岩是含二氧化硅较少的玄武岩熔浆，容易流动，没有把喷发的通道堵得很死。那些猛烈的爆发，则是在熔岩中含二氧化硅较多，熔岩又比较粘滞的条件下产生的。熔岩愈粘滞，堵塞在通道里愈不易冲开，爆发也愈加猛烈，这时那些熔岩大多炸成碎屑抛上天空，以液态流出的就比较少，甚至没有。爆发愈猛烈碎屑粉尘愈多，它们在各种火山喷出物总量中所占百分比也愈高，因此，有的人用这些数值来作为划分火山喷发强弱的标准。

在冰岛这种位于大洋中间的地方，地壳缺少花岗岩层，岩浆冲上来的阻碍较少，并没有花岗岩与它混杂，熔岩多玄武岩的成分，出现比较“温和”的喷发。在大陆上，包括大陆边缘部分，岩浆冲出地面要经过花岗岩层，阻力大，而且会有许多花岗岩成分加入进来，二氧化硅增多，变得粘滞，所以这些地方的火山喷发大多比较猛烈。

现在地球上还在活动的火山，象冰岛那样喷发的就很少了，但在地质历史上则发生过多，而且规模还要大，留下了成千上万平方公里的熔岩掩盖的地面。这种喷发方式被称为裂罅式喷发。

如今大多数火山是从单独的火山口中喷出来的，称为中心式

喷发。喷出的碎屑物和熔岩在火山口周围堆积起来，即为火山。火山的山形与喷出物有关，喷出的碎屑常成圆锥形；熔岩则常成圆丘形，如果是易流动的熔岩，丘形低缓如盾牌覆盖地面；熔岩粘滞则多聚在火山口周围，丘形突起如穹窿。也有因刚刚喷发不久就停止，或由于爆炸过于猛烈将山头炸掉，可以仅在地上留下个大坑而无山形。

由于火山的喷发需要有岩浆在地下聚集的过程，所以总是有间歇的时候。间歇期有长有短，有的火山长达几十年、几千年才喷发一次。在间歇期间可以表现出某些还在活动的痕迹，如喷出气体、水汽，有的从表面看来毫无动静，但实际上却正在酝酿另一次巨大的喷发。目前用现代化的仪器探测是能发现的，预测火山爆发已经比较有把握了。这些还会喷发但长时期没有活动的火山，人们常称为休眠火山，它们和那些还在经常活动的火山都属于活火山一类。人们把那些不可能再活动的火山称为死火山。有些死火山的外形虽已受到不同程度的破坏，但火山特有的内部构造还能保存下来。古老的火山，外形和内部构造都已消失，



图 46 非洲乞力马扎罗火山（死火山）

当初究竟是在什么地方喷发也搞不清楚了，但从保存在地层中的火山喷出物身上，还可以了解到过去火山活动的存在。据目前的了解，在地质历史的早期，地球上的火山活动比现在要强烈得多。

大有影响的火山活动

早在三千四百多年以前，地中海东部的克里特岛及其附近的散托临群岛上，曾经出现过当时欧州最发达的文化；克里特岛上的克诺索斯城，人口达到了十万之多，在当时的世界上也是少有的。这个灿烂的文化被称为米诺斯文化，它比著名的希腊罗马文化还要古老，可是后来却突然在历史上消失了，为什么呢？没有文字的记载留下，有的历史学家推测，很可能是外来敌人入侵的结果。近年来，经过实地考察得知，毁坏米诺斯文化的，不是来自人间，而是散托临群岛中的塞拉岛上的火山爆发。这次爆发约发生在公元前一千四百多年，爆发时，产生的地震和海啸严重地破坏了包括克里特岛在内的这些岛屿上的城市田园，大量坠落的火山灰渣更把许多已经残破的城镇和耕地掩埋，加重了灾难。在当时生产力水平的限制下，人们无力在如此严重的自然灾害打击后恢复昔日的繁荣。这个古老的文化就这样在历史上销声匿迹了。这次火山爆发被认为是人类史上最大的火山爆发。

能给人类造成灾害的火山爆发是经常发生的，据统计，自1500年以来，世界上因火山灾害而死亡的人数，超过了二十五万人，和其他自然灾害造成的死亡数字比较起来，算是较小的，因为这种灾害所影响的范围，终究仅仅限于火山附近。

火山喷发时，总是有地震发生，但大多不是那么强烈，部分特别猛烈的爆发才会同时造成比较严重的地震灾害；至于引起海啸，机会就更少了。火山灾害主要是由它的喷出物造成的。那些温度高达一千度左右的熔岩流经之处，毁坏房屋，淹没田园，冷却后，便在地面上结成一片坚硬的石壳，虽然经过许多年以后，表面也可以有土壤形成，但在短期内是无法长庄稼的。我国黑龙

江省五大连地附近有一片面积约六十五平方公里的熔岩，是两百五十多年以前喷出的，至今仍大部裸露，只能生长些小草和灌木。

在地球的历史上，熔岩喷出掩盖地面的规模曾经很大，但现在规模小了。近四百多年来，全世界火山喷出物的总量中，按体积计算，约有六分之一是熔岩。冰岛的火山喷发熔岩是最多的，但象1783年那样，有史以来也是仅见。在平时的喷发活动中，流出的熔岩掩盖几平方公里的面积，已经算是多的了。



图 47 火山灰掩盖房屋

火山喷出的碎屑物质约为熔岩的五倍，它们和气体以及水汽组成高热的火山烟云，可以冲上几千甚至几万米的高空，散布到几百、几千公里以外，掩盖的面积远比熔岩广大，坠落得比较多的时候，就会毁损庄稼，破坏耕地，掩埋房屋，壅塞河流，阻碍交通，以及其他多种灾害。在火山的各种破坏作用中，数这些烟云带来的损失最大。特别是有时候，这些火山烟云由于受到阻塞不能冲天而起，而是向低处俯冲，这时温度常达几百度，并含有许多碎屑物质及有害气体，在高速前进的气流冲击下，所过之处

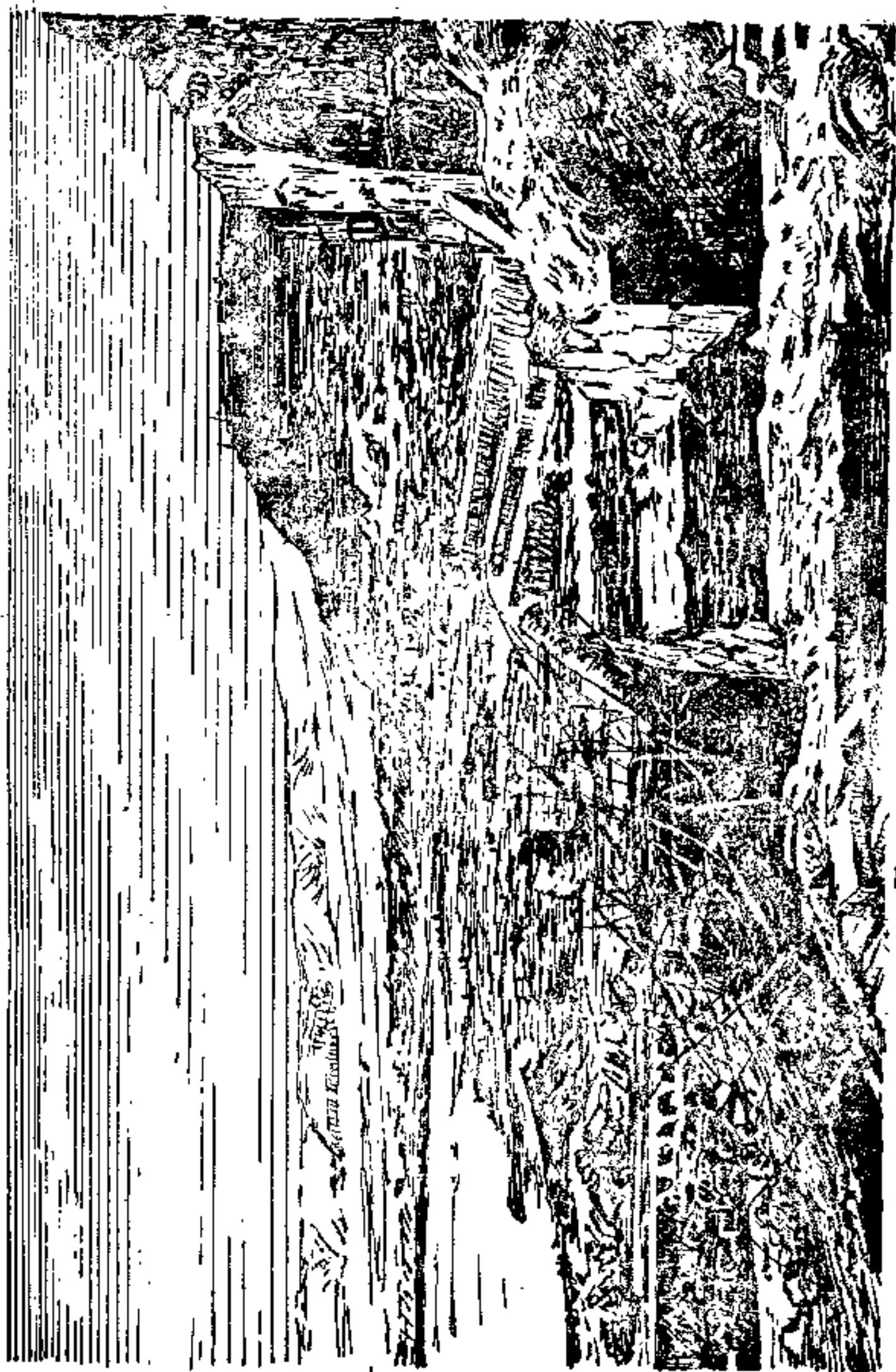


图 48 圣皮尔城受火山破坏情景

更要受到一场浩劫。马丁尼克岛上的圣皮尔城，就是这样毁灭的，全城近三万人除一名关在地下室的囚犯外，无一幸免。

火山喷出的水汽在高空凝结，以及大量火山灰进入大气等作用，常招致雷电的发生和暴雨的降落，雨水挟带和冲刷火山灰渣形成泥石流从火山上奔腾而下，多次淹没田园、房屋甚至整个城市。意大利维苏威火山在公元79年爆发时，毁灭了两座古罗马城市和一个小镇，主要就是由于泥石流的作用。有的火山不喷发时，山顶经常积雪，喷发时，冰雪融化也会形成泥石流。在火山活动造成的重大灾害中，以这种泥石流和向下俯冲的火山烟云造成灾害的次数为最多。

在火山喷出的气态物质中，除水蒸汽外，以碳酸气为最多，还有不少有毒的气体，这是火山爆发时，致生命于死亡的一个重要原因。在火山爆发停止后，很长一段时期内，这些气体和水汽还可以继续从喷气孔中喷出或逸散，有时碳酸气或其他有害气体，在地面上低洼的场所如洞穴、沟谷中聚集起来，生物误入其中就会死亡。如爪哇岛上有一个死火山口中充满了浓密的碳酸气，老虎进到里面很快就倒毙，鸟儿从这里飞过也会死亡坠落。我国云南腾冲的火山地区中也有出现类似现象的沟谷洼地，被称为扯雀塘和醉鸟井，多火山的日本也有这种“鸟地狱”。

火山活动给我们造成了许多危害，但也有带来好处的一面。在火山喷出物中含量最多的火山灰，颗粒细微并含有许多植物生长所需的成分，使土壤的肥力增加，象印度尼西亚、古巴、中美洲和日本一些地区土地特别肥沃，都与此有关，所以尽管存在火山活动的危险，人们还是争着去开垦火山附近的土地，就有这个原因。如维苏威火山附近的山坡上，多次经受到火山爆发的损害，但还是一次又一次地重新布满了绿色的葡萄园。有些地区的人们还特地到火山附近，把火山灰采出，运来作为肥田之用。火山灰还是天然的水泥。古罗马的建筑那么宏伟，就与使用了这种天然水泥有关，今天人们也还在把火山灰的岩石粉碎后作为水泥原料。这种水泥，抗水性能特好。

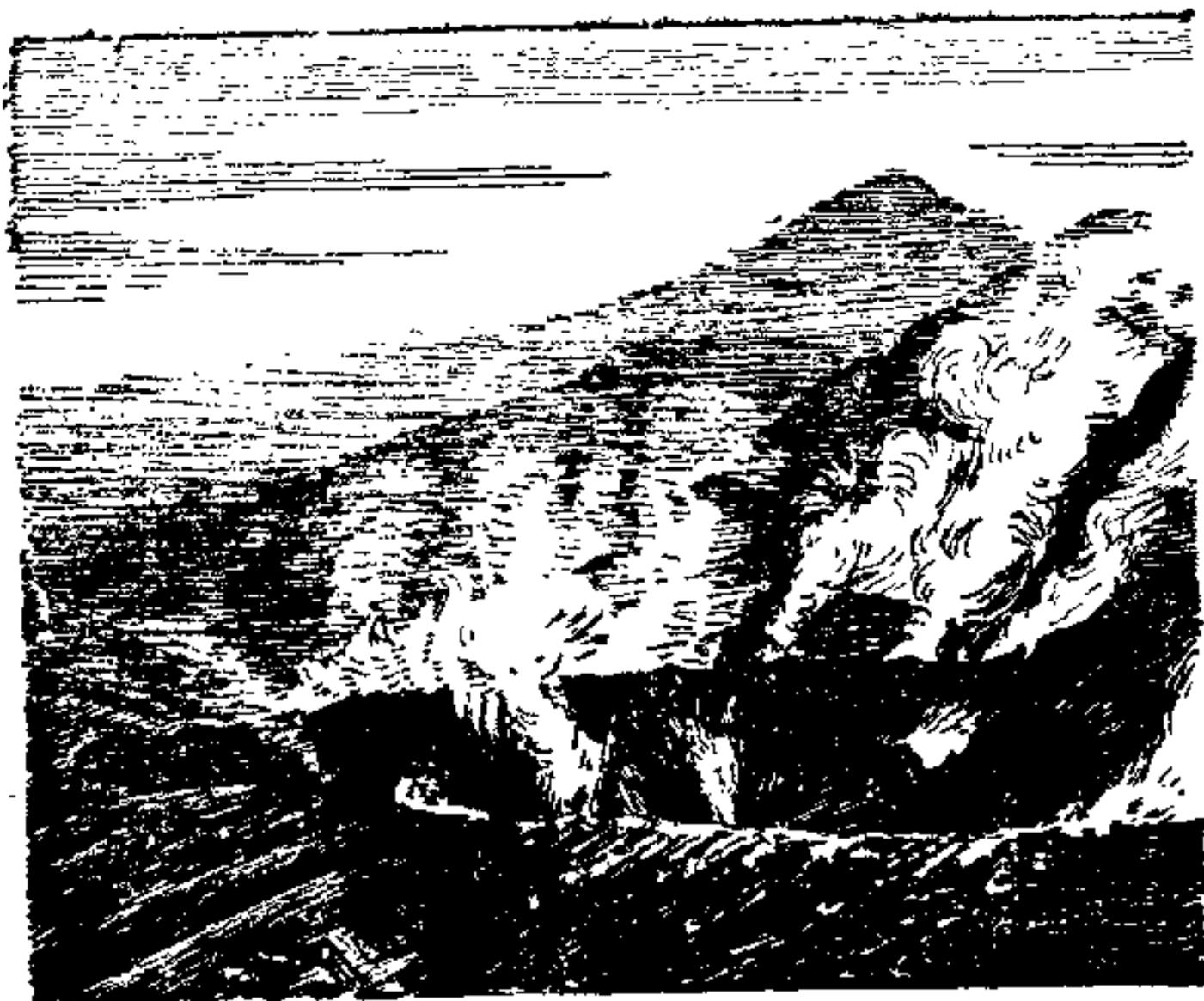


图 49 我国台湾省大屯火山区的喷气孔

火山喷出的气体有许多是有用的，突出的如硫磺，这些硫磺蒸汽在火山口及喷气孔附近的岩石上不断凝聚，成为还在“生长”的矿产。墨西哥盛产硫磺，有许多就是火山提供的。我国台湾省这种硫磺矿也很多。云南省的人民早就用人工方法来收集这些蒸汽喷出的硫磺。在《徐霞客游记》中曾记述当地的人民将沙子堆起来盖住喷气孔，并引来冷水给沙堆降温，使地下喷出的硫磺在沙中凝聚起来，被称为“酿黄”。

如果能把火山喷出的气体充分搜集利用，将是一笔巨大的财富，还有许多硼酸、卤砂、盐酸、氟酸等重要的化工原料。阿拉斯加有个火山，爆发后的一段时期内，从附近的山谷里喷出气体和水汽，一年中喷出的盐酸就有一百二十五万吨、氟酸二十五万吨。

火山喷出的熔岩也有用处，有些熔岩因为含气体多，冷却时，形成许多空洞，因而可以浮在水上，拿来造混凝土，质坚体轻，是很好的建筑材料。还有玄武岩加热后，可以再熔融为容易流

动的液体，浇铸成各种形状的器材，抽成纤维或展布成纸一样薄，这些东西具有耐火、防水、耐酸碱、抗压、耐磨等多种特点，在工业中很有用处。

火山活动给我们提供的最大资源，是储藏在火山地区的热能。地球内部蕴藏的热能是极其巨大的。有的科学家估计，地下热能的能量，需以 10^{38} 尔格来计算，即比地球上已知化石燃料所拥有的全部能量还大一万万倍以上。但这些地下热能大部埋藏很深，无法利用。只有火山地区的岩浆到达接近地面，同时把大量的

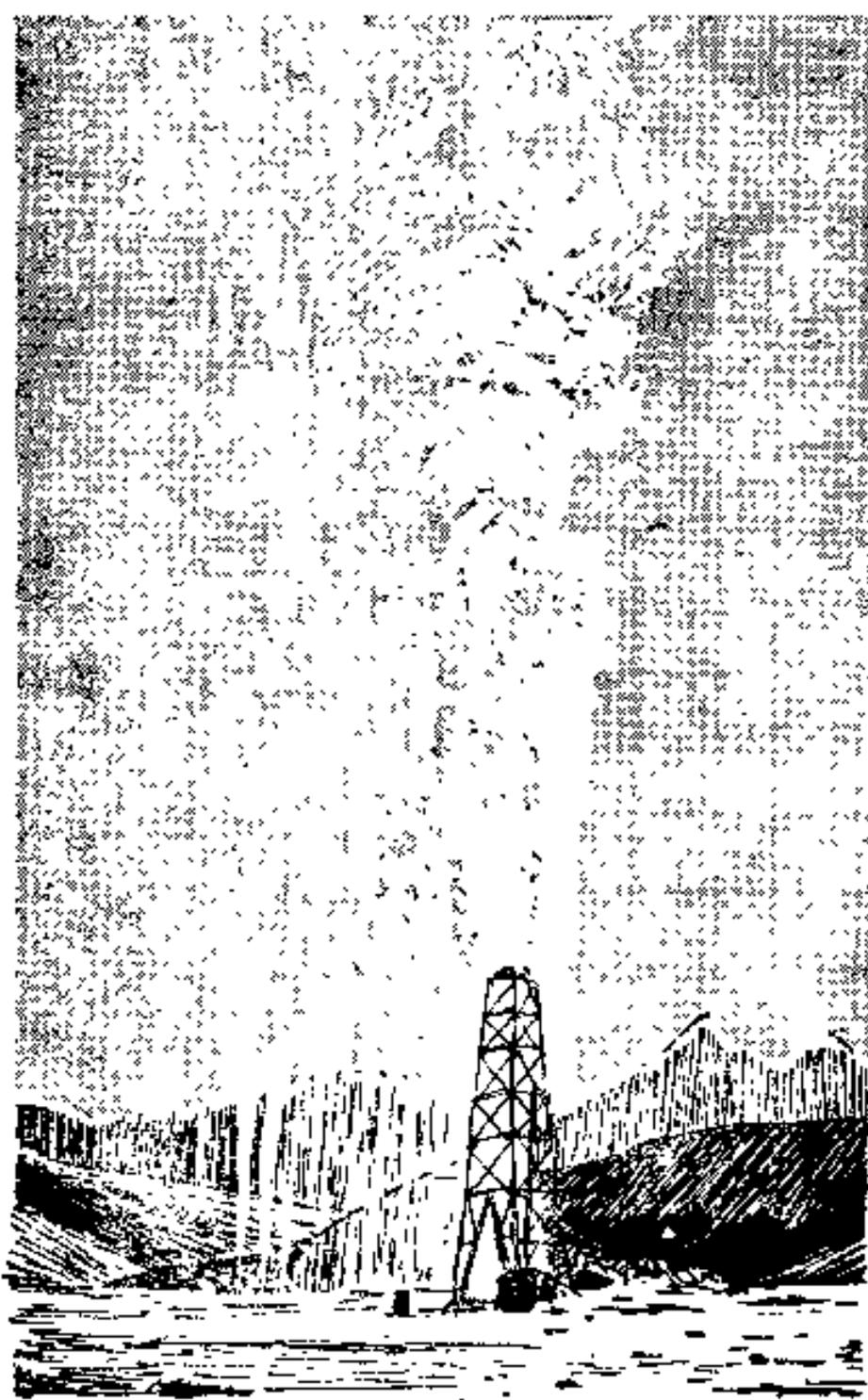


图 50 羊八井地热气站

的热能带到这里，造成火山附近地温比别处高，将地下水加热，直至成为蒸汽。有的天然涌出，一般埋藏得比较浅，我们引来发电、供暖，比较方便。过去曾有一种认识，以为地下到处都是每深一百米，温度就要升高三度，这样在地下三千米深的地方就有九十度，打井下去应该能得到热水了，但实践的结果表明，并不是随便什么地方打了这样深的井就能得到热水，各处的情况差异很大。许多地区在地下五十五公里的深度以内，温度是按每一百

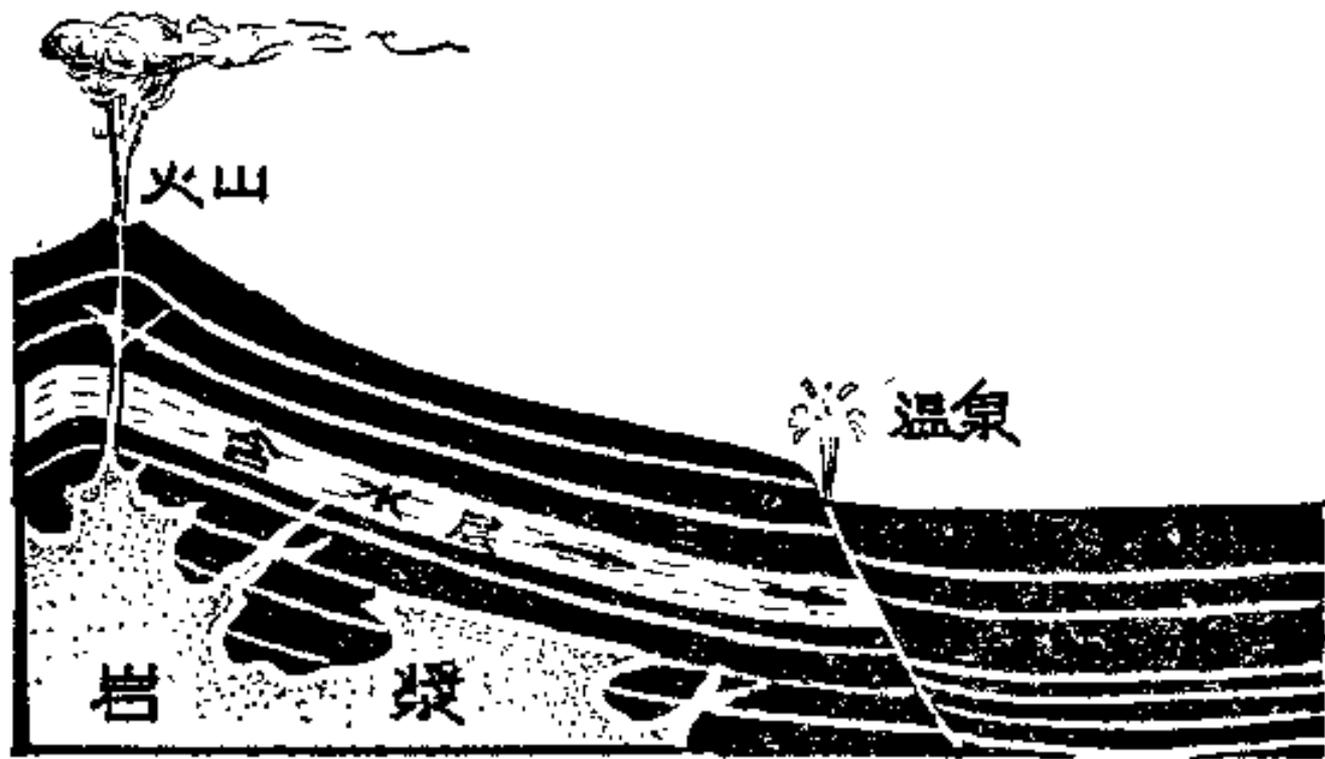


图 51 温泉的形成

米升高一点五度在增长；而在火山地区的某些地方，钻到几百米甚至几十米的深处就能得到高热的蒸汽。没有火山活动的地区，不少地方也有地下热水、热汽，但不如火山附近的多而热，往往埋藏得也比较深一些。因此，今天已经开发和正在开发的地热资源，大多在有过火山活动的地区。一位意大利火山学家估计，仅仅是火山地区的天然蒸汽蕴藏的热能，也比地球上所有的化石燃料的能量大两千倍。自从1913年在意大利利用地热发电试验成功以来，现在技术上已基本过关。虽然基本建设的投资比火力发电高一些，但运转费用很低，整个发电成本仍低于火电。目前许多国家都在积极开发利用地下热能，到下一个世纪很可能成为一种重要的能源。

火山喷发前，岩浆在地下大量集中并迅速向上运移。夏威夷岛的火山喷发前，曾观测到每天上升一点五公里的速度，这时，火山地区的温度很快升高，用红外线摄影可以清楚地显示出来。甚至有时人的感官也能察觉土地在变热，这时地面的形态以及其它地球物理性质也会发生与平时不同的变化，地震活动也常加强，岩浆中的气体也会有一部分逸散出来，增加它们在大气中的含量。运用现代化的观测仪器都能比较有效地观察到这些变化。

预报火山的爆发可以说是比较有把握的，我们已有可能作到预防火山灾害，同时发展它有利的一面。但是火山活动还通过它对整个自然界的影响而间接地对我们发生影响，其中有许多情况至今还是模糊不清的，也捉摸不准它们的规律，值得我们认真探索。

火山活动对大气的影晌比较明显，火山爆发使大量火山灰进入大气，有时还可以高达平流层，长久悬浮空中。大气中这些固体微粒增加，对太阳的辐射起了阻挡作用，因而会导致气温降低，对大气反射无线电波的作用也有影响。

火山喷出的气体增加着大气圈的质量和改变着大气的成分，虽然其量甚微，但若干亿万年的积累，显然也不能低估其影响。由于这些气体中主要是二氧化碳，而大气中二氧化碳的增加有减少地面热量散失的作用，因此，又有人认为：火山喷发有助于气温升高。但这是一个复杂的问题，因为火山活动无疑对大气、对气候的变化是有影响的。

火山活动也是地球上水的来源之一。从长期来看，其作用也不可低估。有人认为地球上的水可能主要就是火山喷发出来的。

事实上，火山活动也可以看作是地球的圈层分化还在进行的表现，最轻的一部分上升进入大气圈，较重的进入水圈，剩下更重的东西，增加到岩石圈中间去了。从这个观点来看，火山活动的意义很大，不是一般的影响，因为如果没有这种活动，地球也不会出现今天这种适于人类生存的环境。因此，认识火山活动的规律，是非常重要的。

一个活动性还很强的行星

今天的地球上，有许多高山蜿蜒分布，表明地壳曾经受到强有力的挤压，发生过剧烈的褶皱；我们还可以从那些亿万年前喷出的，面积广大的熔岩身上，看出那时火山活动规模的巨大；密布在地壳中的许许多多断裂，说明大地发生过多少强烈的震动；代表了地球近四十亿年历史的变质岩，更证明地壳经历了多么复杂的动荡和变化。总之，种种迹象表明，过去地球的活动性，比

今天强得多。这就难怪人们曾经相信地球是由一团炽热的稀薄物质冷凝而成；地球由于不断散失热量变冷，地壳越结越厚，活动性越来越弱。但是地球里的放射性元素一直产生着热能的事实，动摇了地球在从热变冷的这种看法，还出现了由冷变热的推测。地球的初始阶段究竟是冷是热，还是个谜，但地球已经经历过一个温度很高、活动性很强的时期。从保存下来的地质历史记录来看，今天确实处在地壳运动比较缓和的时期，火山喷发的规模已远远不及从前巨大。但我们也要看到，人类所经历的时间不过是地球一生中短暂的一瞬。这短时间里的变动，当然不能和几十亿年的变动规模相比，实际上今天地球的活动性仍是相当强的。把它和太阳系中其他行星以及月球比较，便很清楚。这些天体的活动性看来也曾是很强的，但现在已变得衰微了。譬如月球，在三十八亿到三十二亿年前，是火山活动的极盛时期。从月球内部喷溢出来的玄武岩熔浆，掩盖了月面的五分之一，可是后来不仅没有这样大规模的火山活动了，即象地球今天这样的火山活动也早已不见了。现在月球里面大部温度低于月岩的熔点，月心的温度不过一千五百度，只是局部处于熔融状态，更不可能产生火山喷发。在月面出现一点微小的喷气活动已是罕见的了。目前月球上虽然还有“月震”发生，但其能量极小，初步探测的结果表明，一年中，月震释放的能量还不及同时期地震释放能量的十亿分之一。火星的活动性看来也曾经很强，那里有一个被认为是太阳系中最大的火山，山体的直径长达五六百公里，高出周围地面二十六公里上下，但它是在两亿年前出现的，最近的活动最晚也在一百万年前，现在没有观测到火星上火山的活动。火星上的“星震”至少是不强烈的，1976年在火星上着陆的一个探测器，没有得到这种记录。

在地球上火山爆发和地震显示的力量给了我们以深刻的印象，但它们究竟有多大呢？1935年，地震学家里克特用地震时地面波动幅度的大小来表示地震大小的方法，以距震中一百公里处的标准地震仪所记录的最大振幅（以微米为单位）的常用对数为这个地震的震级，由于记录震动的地点，使用的仪器以及计算的方

法不同和存在着误差，同一地震，不同地震台测算的震级常不能完全一致，但终究使我们对地震的大小有了比较具体的概念。根据震级可以算出地震时通过地震波释放出的能量，在高一级和低一级地震间，能量相差约三十倍。目前世界上已经记录到的地震，还没有超过9级的，而一个8级地震通过地震波释放出来的能量就有 6.3×10^{23} 尔格之多，这相当七百八十多颗在广岛爆炸的原子弹所产生的能量。近年来，有的研究认为，里克特提出的测定震级的方法，在发生地震的断裂长度，超过一百公里时，不能充分反映出地震的大小，如1960年产生智利大地震的断裂长达七百多公里，按其实际放出的能量据称应定为9.5级，而现在一般才定为8.5级，当然，究竟怎样测定才最准确，现在并未最后解决，但地震时确实释放出了很大的能量。我们还应当注意到，地震时具有的能量只有一小部分是**通过地震波的形式释放出来的**，还有大量的能转化为热能和使地壳断裂位移的机械能，因此，如果真的在地下同时爆炸七百多个广岛原子弹，并产生不出一个8级地震，1971年11月6日，美国在阿留申群岛进行的一次相当二百五十颗广岛原子弹（ 2×10^{29} 尔格）的地下核爆炸，产生的地震效应，仅及一个7级地震（ 2×10^{22} 尔格）。

尽管测定的数字还可能有出入，但通过地震波释放的能量只是地震全部能量的一小部分是无疑的。据统计，在地球上平均一年中发生8级以上地震一次，7.0—7.9级地震十八次，其他具有破坏性地震九百多次，较小的地震更是数以万计。有的年份地震活动强些，有些时候缓和一些，一年中通过地震释放出的全部能量约 $10^{25} \sim 10^{27}$ 尔格。由此可见地球内部蕴藏的能量是多么巨大。据研究，一年中火山爆发所具有的能量和地震释放出的能量差不多。公元前一千四百多年，塞拉岛上火山爆发的能量估计是 10^{27} 尔格。1815年，印度尼西亚松巴哇岛上坦博纳火山的大爆发也有 8.4×10^{26} 尔格，都比最大的地震通过地震波释放出的能量还多。

据认为，现在地壳在水平方向位移和上升下降等运动所具有的能量还超过了火山活动或地震。地下深处的变质作用据信也正

在进行。

因此，我们的地球的活动性，确实还相当强。那么维持这些活动所需的巨大能量是从哪里来的呢。

地球里的放射性元素是一个重要的能源。它们不断衰变所产生的热量，由于地球的岩石圈导热能力差，在地球历史上，这些热量散失掉的可能没有新产生的多，这是一些人认为地球曾从冷变热的重要依据。不过地球里面究竟有多少放射性元素，由于很深的地方情况不清，只好用陨石来推测。有一种球粒陨石，据认为，和地球的成分相近，据此计算的结果，推断目前地球内放射性元素产生的热和散失的热，接近平衡，既没有变热，也未变冷。新近的探测结果表明，地球的体积也没有多少变化，近四亿年地球半径长短的变化不超过万分之零点八，因此，以地球现在这样的活动状况看来，还可以维持相当长的一个时期。

地球形成虽已有四十几亿年，但是组成地球的重物质向中心聚集、较轻的物质向上运移的作用看来还在进行，这也是使地球具有活动性的一个重要因素。地壳的运动和岩浆的活动在许多方面还直接受到重力作用的影响，而在地球内部的物质受到压缩的情况下，还可以转换成热能，成为热能的一个来源。

地球自转速度的变化，也是使地球具有活动性的重要原因。现已观测到近几亿年来，地球自转速度总的说来是在变慢，这是事实，由于变慢而减小的动能，有很大一部分消耗在地球内部，转化成热能，有人计算，超过了地球中放射性元素所产生的热量。

地球内部某些成分发生化学变化，也放出热能。

虽然对地球内部不能进行直接观察，许多情况只能出于推测，但总还是有些在地面上可以观察到的事实作为推测的依据。今天我们对宇宙的探测也大大前进了，因此，已可以有把握地说，我们的地球是一个在太阳系中活动性最强的行星。这种活动性固然有给我们带来不利的一方面，但同时也是使地球上出现适于人类生存的环境所不可缺少的。为什么地球独具这样的特点，很值得研究，是一个还没有解决的课题。

第四章 外力对地球面貌的改造

岩石破坏的开端

我国山西省大同云岗石窟，建于一千五百多年以前，“凿石开山，因岩结构，真容巨壮，世法所稀。山堂水殿，烟寺相望，”是世界古代艺术宝库中的瑰宝。然而曾日月之几何，山堂虽在，水殿已无，变化不小。石窟中的雕像也大多变得轮廓模糊，表面坑坑洼洼，甚至失去原来的形状，有的还崩裂塌落，岌岌可危。解放后，想了许多办法去维修。那些在许多地方都可见到的古代石碑，也总是随着岁月的消逝而变得碑文不清。

在大自然中，岩石比起木材、布帛、纸张等等容易腐朽的材



图 52 云岗石佛的风化

料来，确实可以保存得更长久些，但无论怎样坚固的岩石，在阳光、大气、水和生物等自然力的作用下，都会因产生机械破碎或化学分解而破坏，直至变成砂砾泥土。这种岩石“烂”掉即在原地破坏的现象，在地质学中叫做风化；那些使岩石产生机械破碎的作用，叫做物理风化作用；引起岩石分解破坏的化学变化过程，称为化学风化作用；当这些作用是由生物造成时，称为生物风化作用。

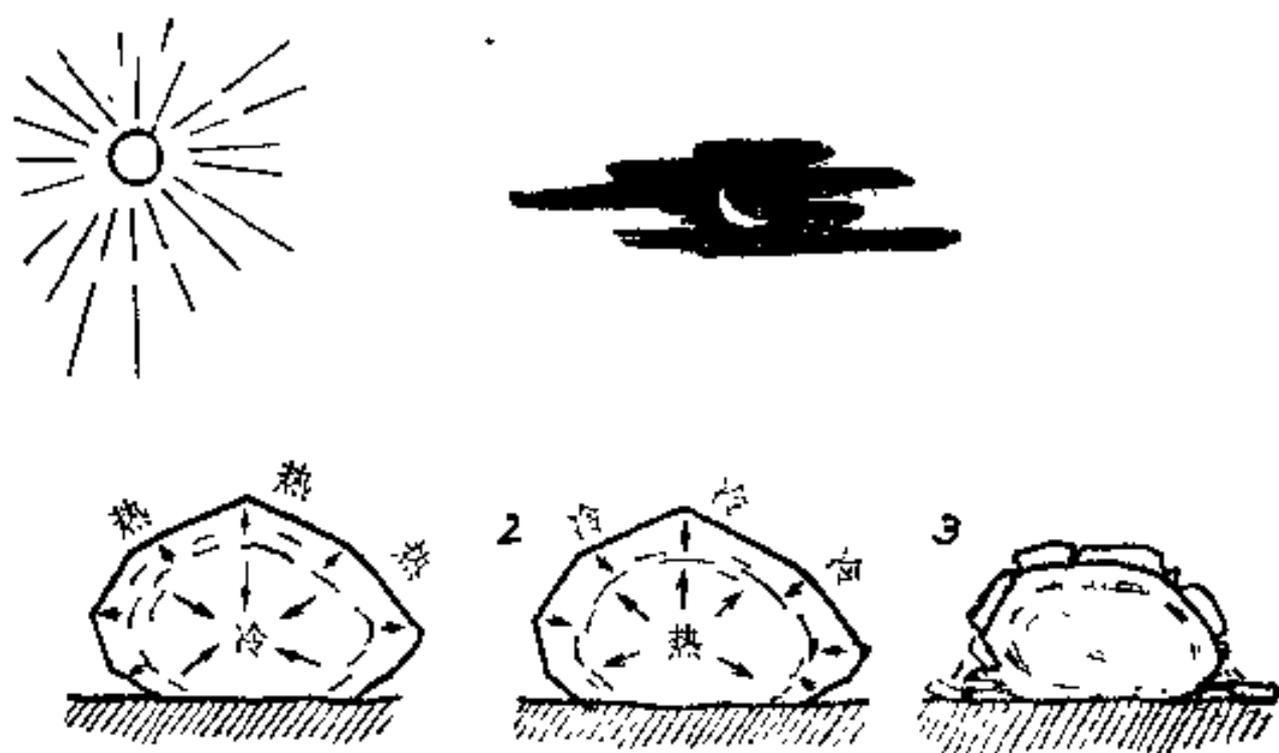


图 53 物理风化作用

冷热的变化，是使岩石风化的一个重要原因。

岩石传热慢，白天有阳光照射的时候，岩石的表层温度升高，体积膨胀。然而内部温度没有怎样升高，体积变化也不大；夜晚，气温降低，岩石表面的热散失很快，体积收缩，里面却仍是老样子。这样在岩石表里之间就出现了胀缩的差别，以致层层剥落。

岩石是由多种矿物组成的，它们在同样的冷热变化中，胀缩程度不一，这也是导致分崩离析的一个原因。

岩石中的矿物如果颜色有深有浅，色深的吸热多，色浅的吸热少，也可以造成胀缩不一。

晒烫了的岩石经受着暴雨的冲刷，冷热的骤然变化，当然更要

使岩石的破坏加速，这和普通的玻璃杯倒进滚开的开水就会炸裂相似。

两千多年前，李冰在四川修水利时，遇到坚硬陡峭的山崖，曾用火柴烧灼岩石，以利施工；汉朝的虞翊在甘肃南部疏浚河道，也曾将堵塞江中的礁石烧得滚烫，再“以水灌之，石皆罅裂”。我国古人对岩石因冷热变化而破裂是早有认识的。

水也是岩石的重要破坏者。它不仅可以在岩石表面起作用，还可以渗入到岩石内部的孔隙裂缝中起作用，将一部分可以溶解的物质溶化带走，同时还和一部分物质发生化学变化，改变岩石原来的矿物组成，例如使长石分解，产生出粘土矿物。由于地壳里组成岩石的矿物中有百分之五十七是长石，因此，这种风化现象几乎是随处可见的。

氧气、二氧化碳和自然界中其他许多物质都可以和岩石中的某些化学成分发生变化，特别是当岩石里有水，温度又比较高的条件下，这些化学变化更为活跃。我国南方多红土，就与那里气候炎热潮湿，岩石风化时氧化作用强烈，致使所含的铁，氧化为呈红色的三氧化二铁有关。

当天气寒冷，滴水成冰的时候，藏在岩石裂缝中的水也会冻结。由于水结成冰时，体积增大十一分之一左右，对周围的岩石产

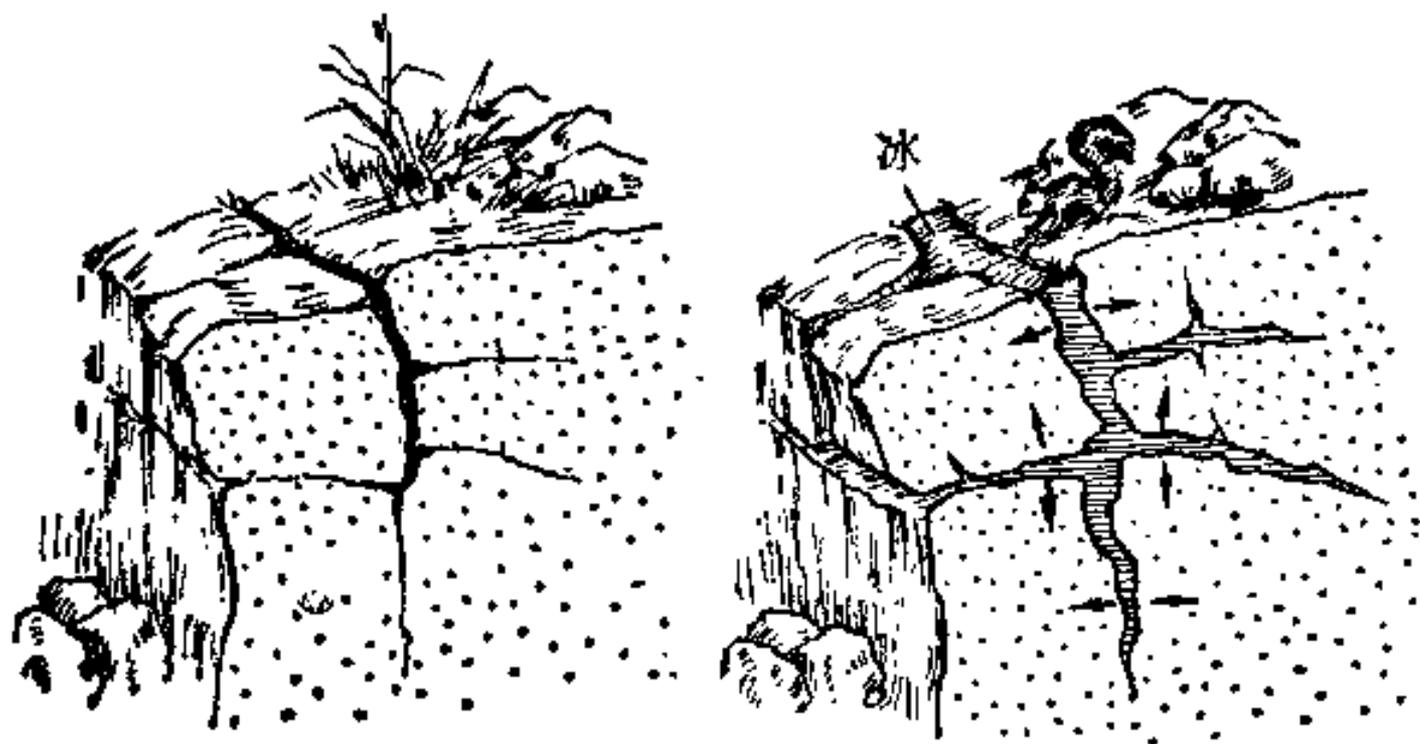


图 54 水劈作用

生每平方厘米约九百六十公斤的压力，就象是给岩石打进一个楔子，会逐渐把岩石胀裂。

树根伸进岩石的裂缝中生长，随着根的不断长大，也起着楔子的作用。植物的根还能分泌出有机酸，腐蚀岩石。苔藓在岩石表面生长就是依靠从岩石中吸取养分。



图 55 植物对岩石的破坏

在大自然中，各种风化作用常是同时存在、交织进行的，但由于不同地方的地质情况及气候条件不同，它们的强弱和效果也都不同。如在干燥而且气温变化急剧的地区，物理风化作用强烈，在潮湿炎热的地区则是化学风化作用比较显著。

岩石的性质不同也影响着风化作用的进行。

由化学性能很稳定并且很坚硬的石英组成的石英砂岩，矿物成分单纯，颜色很浅，胶结紧密，无论冷热的变化或水和生物的作用影响都不大，抵抗风化的能力很强。云岗石窟中有一尊白佛的头，正好是雕刻在这种石英砂岩上，所以，至今眉目清楚，很远就可望见他在那里嫣然微笑，而这尊佛像头部以下则是些抵抗风化能力差一些的岩石构成的，已变得残破不堪了。

由纯净的石灰岩变质而成的洁白的汉白玉，抵抗风化的能力也比较强，所以成为镌刻石碑的上等材料。没有变质的石灰岩易被水溶解，在炎热多雨的南方，风化很快，但在干燥的北方，还能较久地保存。

花岗岩是很坚固的岩石，但由于它是多种矿物颗粒组成，颜色斑斑点点，其中含量最多的矿物长石，又容易风化，因此，它的坚固也是有限度的。在它风化以后，常常破碎成许多砂粒，因为花岗岩中含有许多石英，这些石英颗粒既坚硬又不怕溶解腐蚀，在花岗岩分崩离析后，仍保持原来的特点，成为砂的主要来源。

主要由粘土矿物构成的、质地较软、层薄易碎的页岩，是岩石中最易风化的。掩盖大部分地面的沉积岩中又数页岩为最多，因此，它成为土壤的重要来源。

岩石抵抗风化的能力，决定于它本身的物质组成是些什么矿物，结合是否紧密。一般说来，成分比较单一，石英的含量较多，矿物颗粒较细也较均匀，胶结物是硅质和颜色较浅等因素起着增强岩石抵抗风化能力的作用。但一种岩石要同时具备这些条件是不容易的，所以对各种风化作用都具有很强抵抗力的岩石并不多见。

风化作用的进行还受着其他一些条件的影响。

剧烈的地壳运动在岩石中造成许多断裂，这使本来坚固的岩石也可以变得较易风化。众多的裂缝给水和生物的侵入打开了方便之门。特别是靠近断层两侧一带，岩石带剧烈地搓碎如泥，更会成为风化作用迅速进行的地方。



图 56 球状风化

出露地表的岩石，部位不同，抵抗风化的能力也可以有差别。在岩石有棱角的地方，由于从几个方面受到破坏，往往比别处风化得快，以致棱角首先消失并变得浑圆。这种风化现象称为球形风化。

风化作用有给某些建筑物带来损害的一面，给我们保存古代文物增添了麻烦。但是，总起来说，我们应该感谢风化作用，假使没有这种作用，我们的地球表面将是一个石质的荒漠，没有青山，没有草原，更不会有人类的出现。

岩石风化以后，除了一部分物质溶解于水外，还剩下许多碎屑物质，堆积在原地或被风和水搬运到别处堆积起来，再经过生物的作用，使大量有机质加入进来，这就形成了土壤，是我们衣食之源。砂和砾在工业中的用量很大，如以体积计算，是各种矿物原料中消耗得最多的，按产值计算，在各种矿产中也名列前茅。

地壳表面受到风化作用破坏的部分称为风化壳，实际上，是岩石风化后形成的松散层，它的深度一般只有几米、几十米。有

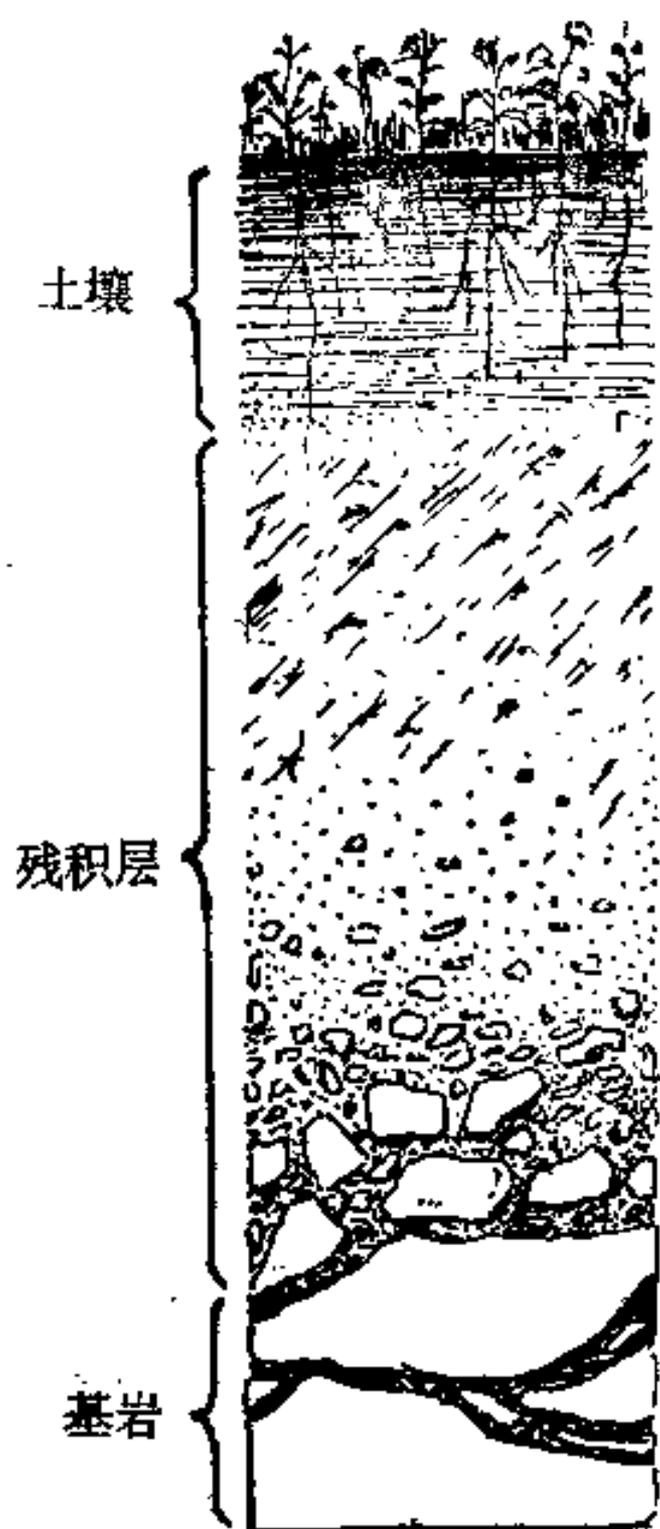


图 57

条件下集中起来。现已发现，那些含铁量高达百分之五、六十可以不经冶炼直接入炉炼钢的铁矿石，大部分是经过风化作用富集起来的，并储存在地质历史上形成古风化壳中。这些古风化壳通常是由于这里地壳沉降，并被泥沙掩埋，因而得以保存下来，其中不仅有铁，还常有粘土矿等其它矿产。

岩石的风化仅仅是旧岩层破坏的开端。那些风化的产物有很大一部分离开了生成它的场所，如此不断破坏，不断搬走，直至大山也被夷平。象徐州附近的平地，就曾经是巍峨的大山，现在

些地方如潮湿炎热的地带，因化学风化作用强烈，可以达到更大的深度，但也不过一、二百米。也有的地方没有风化壳存在，未经风化的基岩直接出露，实际上，这里也在进行着风化作用，不过由于风或水的搬运作用很强，岩石风化产生出一点碎屑，随即被它们搬走了，沙漠中的石漠和陡峭的石山就是这种情况。

作为建筑物的基础，基岩当然比风化层牢固，但许多时候，没有这种条件，这就需要在施工时注意。当然一般的房屋问题还不大，对一些重型建筑物就应该采取措施，特别是在强烈地震发生的时候，基础是松散层的建筑物，破坏的程度显然要严重得多。

在岩石的风化过程中，有许多成分被水溶解带走了，另一些成分便相对地增多，并能在一定

只在原野上剩下些丘陵。

风和大地

1934年5月12日，美国大城市纽约和都首华盛顿等地，突然天昏地昏，日月无光，风暴挟带着尘土以排山倒海之势压了过来。这在场风暴中，美国中部的大草原约有三万万吨土壤被吹走；在东部，则平均在每平方公里面积上坠落了尘土近四十吨；还有些尘土被吹到大西洋中去了。



图 58 尘暴

岩石风化形成的碎屑物质经常被风搬来搬去，颗粒愈细，吹得越高，搬得愈远。人们习惯地按这些碎屑物质的粗细把它们划分为砾、砂、粉砂和粘土四大类；直径在二毫米以上的岩石碎屑称为砾；二至十六分之一毫米的是砂；二百五十六分之一毫米以下的称为粘土，在砂和粘土之间的是粉砂。我国西北的黄土即属于粉砂一类，“黄沙远上白云间”，被唐代诗人描述的这些“黄沙”，看来就是黄土。这些细微的尘土可以被吹起很高，悬浮在大气中，搬运很远才落下。许多人认为我国北方大面积分布的黄

土，就是风从远处搬来的。砂粒也可以被风吹起，但终究要比尘土重些，风力稍有减弱，便会掉落下来，因此，它常常随风力的大小而起落，仿佛在跳跃式地前进。那些粗大的砾石在受到风吹的时候，大多只能在地面上移动。

风沙扑面，是很恼人的。随风前进的砂粒，冲击磨损着它所遇到的东西，所以在风砂强烈的地区，本来明亮的玻璃窗可以被磨成毛玻璃，至于稚嫩的禾苗，更经不起这样的摧残。风沙的侵蚀还有个特点，即离地面愈近磨损的作用愈强，因为离地面愈近，风沙挟带的砂粒愈粗，沙漠地区出现的上粗下细的“石蘑菇”，就反映了这种特点。



图 59 风蚀蘑菇

风沙过处，地面也受到磨损，地面岩石破碎的产物，还大量被带走，因此，在风沙强烈的地方，地面会变得坑坑洼洼。那些块头比较大，没有被风搬走的砾石，也可以因而磨出若干个比较光滑的平面，成为它经受过风沙作用的证据。

风沙的危害是严重的，但并非只要刮风就会把砂土吹走。有一首民歌唱得好：“远看村庄象密林，近观道路绿成荫，大小河川流碧水，风过沙滩不起尘”。对湿润的土地，对有植物覆盖的

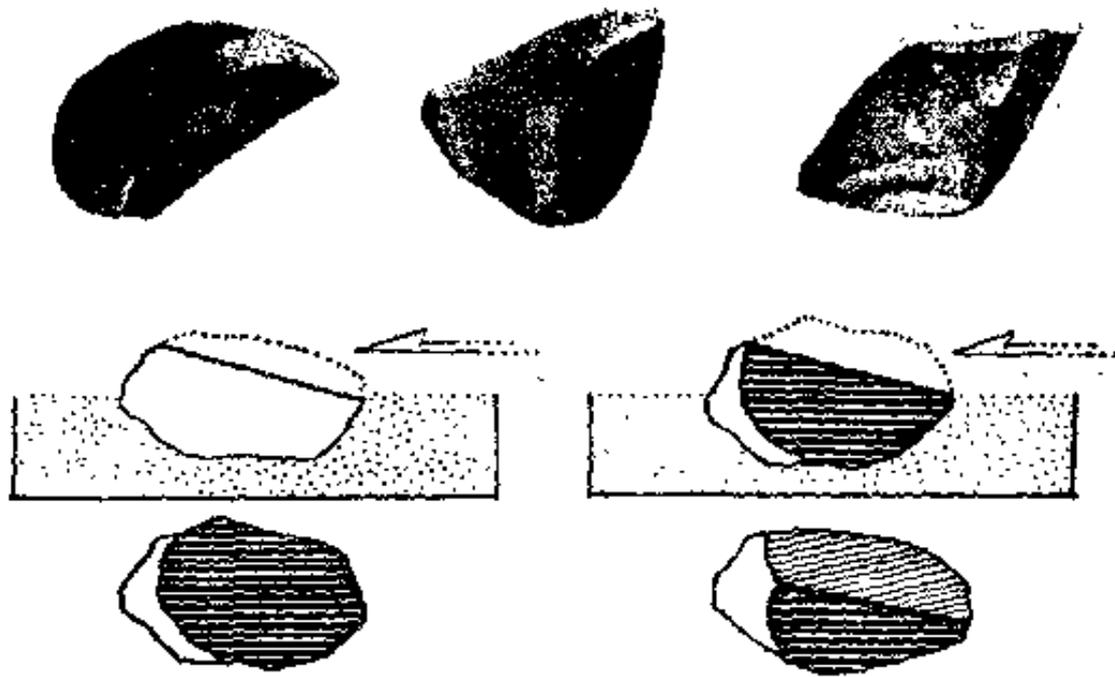


图 60 风砂把卵石磨成风棱石

地面，风是无能为力的。风沙之起，总是由于那里的地面裸露并且非常干燥。所以象沙漠这种极端干旱的不毛之地，就成了风沙活动的巢穴。那么，美国1934年5月那次大风沙怎么会是从草原上刮来的呢？这是因为那片草原已被开垦为耕地，失去了草皮的保护，正在逐渐变成沙漠的原故。

在沙漠地区，“早穿皮袄午穿纱，守着火炉吃西瓜”。气温变化很大，地表岩石的温度变化更大。我国一些沙漠中，夏天中午地面温度可达六十至八十度，夜间则可降至十度以下。这种地方物理风化作用特别强烈。岩石迅速大量崩解破坏，给沙漠的扩张补充“兵员”。

沙漠是逐渐形成的，它的形成过程也是一个不断扩张的过程。今天，许多面积辽阔的沙漠，都是从干涸了的河道，以及湖边海岸的沙滩这些狭小的地方发展起来的。人为的原因破坏地表的植被，使土石裸露，也可以成为沙漠的发端。风把这些地方的砂土吹起，那些细微的尘土落到远处，砂粒随着风力强弱的变化时起时落堆成一个个砂丘，从平面看去常常形如新月，也有多种其他形态。它们连成一片时，颇似大海里起伏的波涛，而且也真的像波涛一样，可以顺着风向移动。虽然前进的速度很缓慢，一

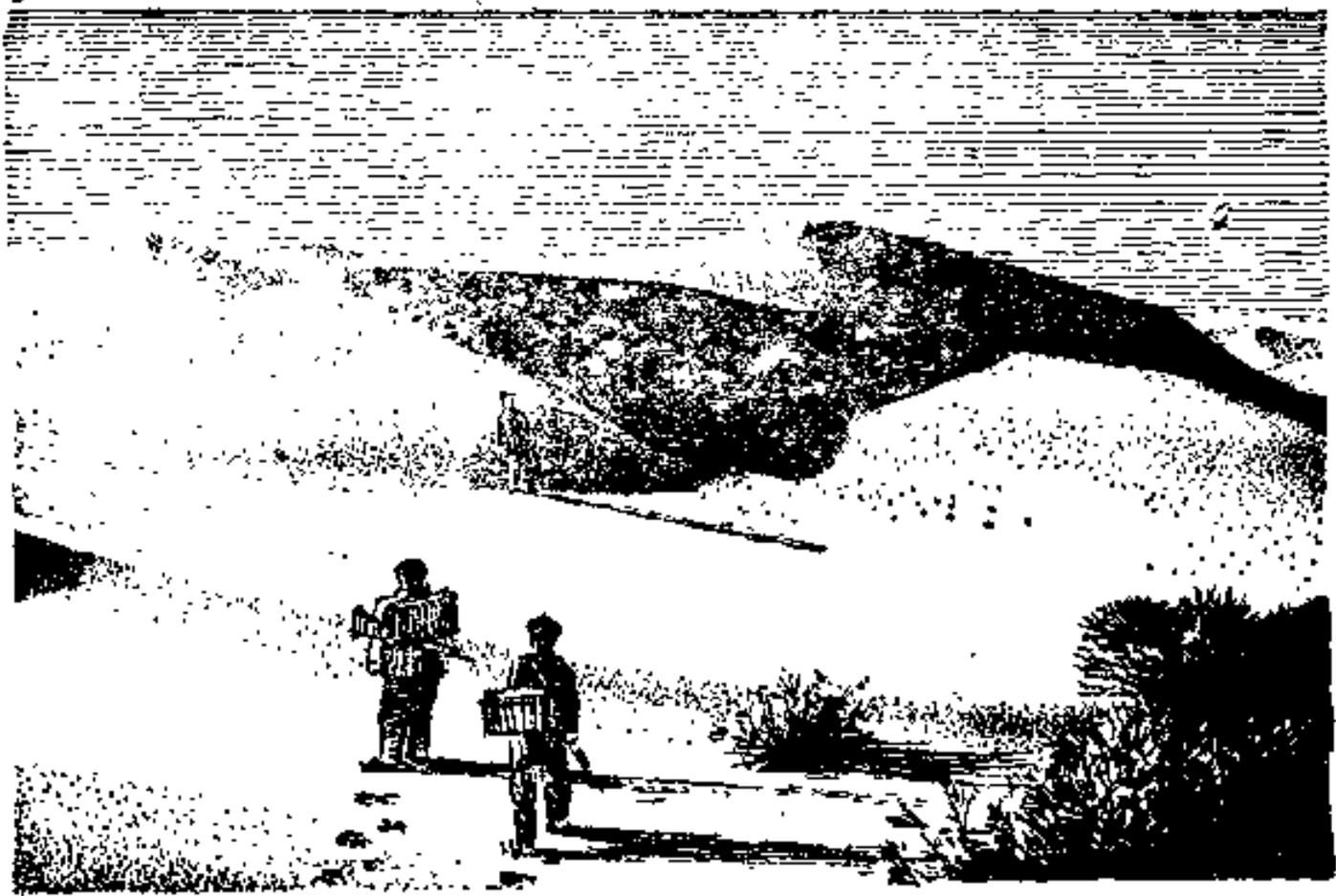


图 61 新月状砂丘

般一年才移动几米，但是如果不能阻拦它的前进，田园村庄都会为之“淹没”，变成一片沙海。也有些地方，风把沙土吹走了，连暂时存在的沙丘也没有保留下来，成为仅仅散布着一些大块砾石的岩石荒漠，这就是所谓的“戈壁”。这里其实没有什么沙，但习惯上仍包括在沙漠之内。地球上这种制造沙漠的作用已进行了若干万年，所以今天沙漠的面积已占陆地面积七分之一，而且至今还在扩张。例如，非洲撒哈拉大沙漠，近五十年来，已吞没了它南边的六十五万平方公里的农田和牧地。南美洲智利北部的沙漠，曾有每年南移五公里的记录。印度西北部的沙漠面积也正在扩大，牧场日益缩小。世界上还有更广大的地区受到风沙的危害。在我国东北、华北和西北地区分布有十几亿亩沙漠，受害的农田和草场各有一亿多亩。如何防治沙漠为害，已成为一个世界性的迫切问题。

防治沙漠为害的科学道理，其实人们早已有所认识，说穿了也并不神秘。有了水有了植物，沙漠就不仅不能扩张，还可以变成良田。要知道，沙漠占据的地方都是有利于形成良田沃野的开阔

平地。在我国这个多山的国家，沙漠的面积比现有的耕地面积还大，多么可惜！

问题在于怎样使沙漠里能有足够的水，生长起繁茂的植物。

在沙漠地区，天上降落下来的水很少。象撒哈拉大沙漠里，年降水量不到五十毫米，有些地方还常年无雨。我国西北、内蒙一些沙漠中，情况类似。干旱是沙漠的特点，也是形成沙漠的条件。但是沙漠的形成并不简单地仅仅由于气候干旱。有些沙漠地区，原来并不象现在这样干旱，甚至本是茂密的丛林。干旱是随着沙漠的出现而发展起来的

如果地面上长满了长林丰草，郁郁葱葱，这里的气候就不会是很干旱的；冷热的变化不会那样大，风的活动能力也将大大地削弱。因为森林增强了土地储水的效能，并不断向大气输送水分。如十五亩阔叶林在一个夏季里蒸腾到空气中的水分，就达两千五百吨以上。林区的空气湿度因而增加，气温则可因水分蒸发时消耗的热量而有所降低。这些条件都有利于空气中的水蒸汽凝结成雨，所以林区的降水量常比其他条件相同的无林区高出百分之十几。



图62 造林防沙

浓密的植物覆盖大地，还使地面的吸热能力加强，热的散失变慢，可以调节气温，而高大的森林更是良好的挡风墙。在森林两侧受到保护的地带，背风面的宽度约为森林高度的二十到二十五倍，迎风面的宽度约为森林高度的三到五倍。在这种地带内，风速要降低百分之三十至六十。经过这样的绿色屏障多次阻滞，再大的狂风也要变成强弩之末了。再加上草木的根系深深扎入地下，将沙土网络联缀，经受得风吹雨打，即使是原来流动的沙丘，也可以固定下来了。

植物，特别是森林，是直接和风沙作斗争的绿色卫士。有了森林便可以保住水土，治住风沙。但是森林和其他植物的生长都离不开水，沙漠正是因为缺水才成为不毛之地，又怎么会有大量植物生长起来呢。

是的，现在的沙漠中确实存在这样的恶性循环，干旱的发展使沙漠扩张，沙漠的扩张又使这里更加干旱，而植物也就愈来愈无立足之地。如何打破这个循环，使之变成气候愈好植物愈茂盛这样一种相得益彰的美好关系呢，人的作用就应该表现在这种地方。我们可以帮助植物在沙漠中站稳脚跟，逐渐繁殖；在沙漠边缘大造森林，建起绿色的万里长城，限制沙漠的扩张，更是能够办到的。

譬如北京的风沙从来是有名的，但经过解放后，大搞植树造林，十五年中植林一百万亩。象潮白河畔二万二千多亩沙滩上，就栽了五百多万株，果然有了效果。1951到1954年春季，平均每三天有一次风沙，1955到1958年降到四天半一次，而1959至1964年间就再降为平均每八天才有一次风沙了，以后在一段时期中，由于北京及其附近地区的森林绿地受到破坏，风沙又多了起来，从正反两方面都说明了植物覆盖地面的状况对风沙的消长很有影响。我国及国外一些沙漠地区，采用封沙育草、植树造林等办法，也收到了效果。在干旱的沙漠中，植物是难以生长的。但人类可以助它们一臂之力，例如把地下引出水来或开凿运河从别处引水来灌溉。但是有些地方，不但地面无水可引，就连地下水也只

能利用到一定程度。有的地区已经发现地下水位降低，加剧了沙漠的扩张。要使大面积沙漠都得到改造，看来还得尽可能发现和利用植物生长的各种条件，和某些植物特别耐干旱的特性。在沙漠中也不是一点水分没有，只是量少，蒸发快。但地下还有湿土，即使在撒哈拉沙漠中，在正常沙层下约半米处，也有足够的水分供那些耐旱的树木生长，问题是沙漠中风大，沙丘不断流动，树木的幼苗常遭掩埋或使树根暴露，不易成长。但是我国有一种著名的固沙灌木梭梭，种子落地后，只要温度湿度适当，两小时就能发芽。它的根比树干长几倍到十几倍，不怕风吹，如果在雨后及时大量播种，那怕蒸发很快，出苗和成活的树木还是会很多的。人可以发挥作用譬如将那些能快速出苗的耐旱植物的种子采集起来，趁雨后用飞机洒播，这就要比自然传种有效得多；近年来，还陆续试制成功了多种土壤保护剂，喷洒以后，在沙土表面形成一种能够让水分渗入却不易蒸发，保护沙土不被风吹走的薄膜，这就更大地帮助了植物在沙漠里生根发芽。在北非利比亚沙漠中的一次试验表明，试验区内有90%的面积固沙成功，树木的成活率达到百分之七十。

但是我们也要看到，人类一方面在科学实验中努力探索改造沙漠的办法，另一方面，由于缺乏科学知识以及社会政治的原因，助长沙漠扩张的人类活动却又未能消除。滥伐树木，不适当地开垦和过度放牧对森林草原的破坏，曾在人类历史上多次留下了制造沙漠的教训，至今仍是导致沙漠扩张的重要原因。但是我们相信进步终将战胜倒退，在全世界都实现共产主义以后，绿色的森林草原和绚烂多彩的良好沃野，也终将代替那些单调的荒凉的沙漠。

流水的作用

处于静止状态的水是柔弱的，有什么东西象一潭死水那样软弱无力呢。可是一旦水流奔泻而下，却又是那样充满活力。洪水暴发，胜似雷霆万钧；平时的潺潺流水也是有力量的，虽然小一

点，细水长流，也能产生巨大的作用。它们是自然界的“愚公”，每天搬山不止，经过流水的冲刷搬运，大山也可以被夷平，搬走的泥沙在海洋湖泊及其他低洼的地方堆积起来，造成万里平原，也造成面积较小的沙洲河坝，总之都是肥沃的土地，提供了人类居住生存的主要场所。据平均计算，全世界的河流一年中，通过溶解作用搬走的物质约有三十九亿吨，而挟带而去的泥沙则达到一百八十多亿吨！世界上河水含沙量最高的黄河，近百余年便在河口附近淤成了面积达两千多平方公里的三角洲。

水往低处流，地势高低相差愈大，水流速度就愈快，力量也愈大。力量的大小也与流量的大小有关，但流速的影响更为强烈。经验告诉我们，流水的动能 = $\frac{1}{2}$ (流量) × (流速)²。有的研究表明，流速增加一倍，流水搬运泥沙的能力将增大(2²)，即64倍，流速增加三倍搬运能力就会增加到(3²)，即729倍，照此类推；总之流速愈高，搬运能力会特别地加强。因此，那些地势高峻的山区高原，流水的冲刷特别厉害，今天世界大陆高度平均每年约被剥蚀掉0.03毫米，在喜马拉雅山区则是这个数字的七倍！

高速流动的水是有很大的冲击力的。当这些水中挟带着许多砂粒时，更似砂轮飞转，使地面受到磨损；水的溶解作用，也破坏着岩石，当地势比海平面高得比较多的时候，流水对地面的冲刷以向下侵蚀为主，这时造成的河谷常比较深、也比较陡窄。河流的这种下蚀作用随着河底愈来愈低而减弱，向两侧侵蚀的作用变得愈来愈占了重要地位，当河底的高度降低到与它所注入的海面或湖面一致时，下蚀作用便会停止。河流向下侵蚀所能达到的极限可以用一个水平面来表示，在地质学中把它称为侵蚀基准面。

在河流的发源处，地面和河底之间，地势陡然降低，此处冲刷强烈，易于冲成沟壑直至发展成为常年有水的河流的一部分，使河流的源头不断上移。正是因为有这种作用的存在，所以河流

能切割大山，穿过峻岭，不断向与水流方向相反的源头以上的地方延伸。著名的长江三峡，就是两条被巫山分开、各自东西的河流，同时向这个分水岭进行向源侵蚀的结果。当源头不断上移到互相汇合时，三峡就被打通了。原来西向流入四川盆地的河流改变了方向，成为东流的大江的上游。分水岭的打通，也可以使一条河流把另一条河流拦腰截断，把另一条河流在此以上的

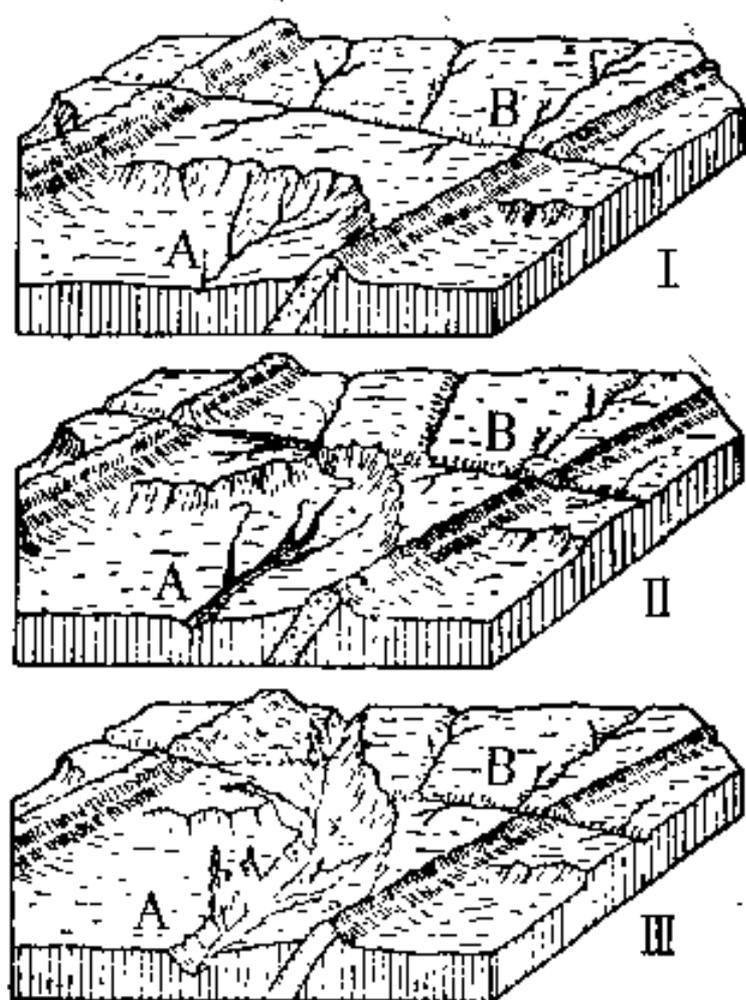


图 63 河流A向源侵蚀袭夺河流B

部分纳入自己的水系，象金沙江，原本是红河的上游，后来被长江用这种办法夺了过去。

当河流在坡度平缓的地方流动时，向两侧侵蚀的作用显得突出了，河谷开拓得很宽，在河流的两岸造成了一块块平地。河谷底部经常有水流过被称为河床的凹槽，可以变得异常弯曲，“江流回似九曲肠，”描述的正是这种地方。这种形容并不夸张，长江中游荆江这一段，这种现象便很显著。这一段的直线距离不过一百八十五公里，由于河流弯来弯去，河道的实际长度达到了四百二十公里。这是由于河流中各处水流速度不一，河岸的不同部位，受到水流的冲击，有强有弱，而且抵抗侵蚀的能力也不一样。因此，笔直的河道是没有的，总是有些弯曲。在有点弯曲的地方，由于流水的惯性及离心力的作用，水流方向不能和河流的弯曲情况完全一致，而是主要向凹岸冲击。人们还观测到在这种拐弯的地方，存在着河水的横向运动，即表层河水从凸岸一侧流向凹岸，而底层河水又从凹岸一侧流回凸岸，使河水螺旋似地推

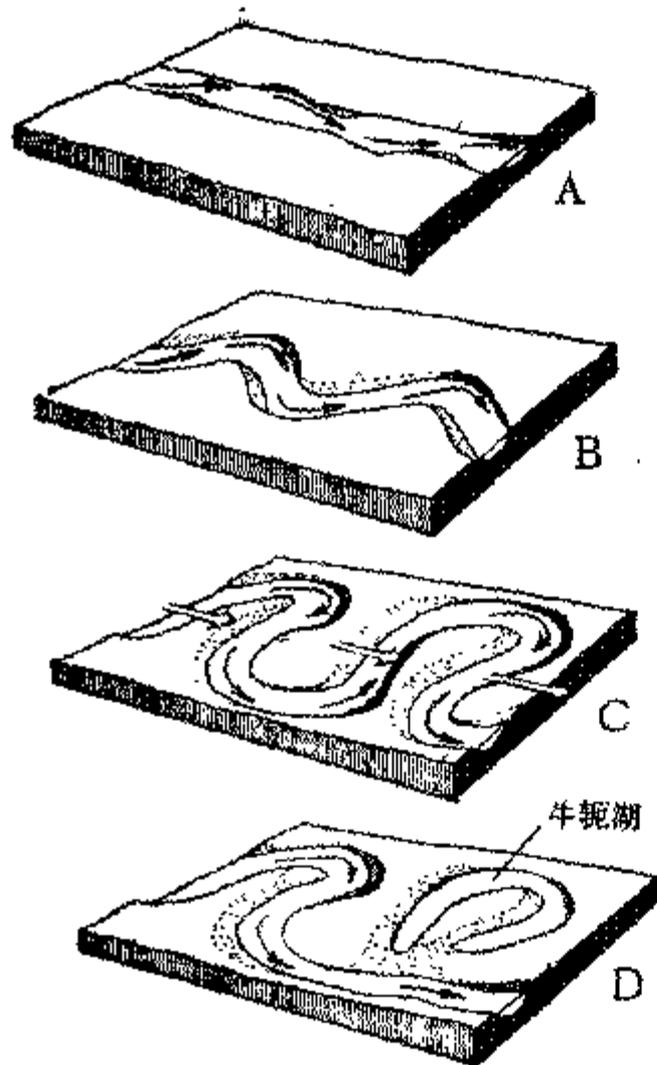


图 64 河曲和牛轭湖的发育过程

向前进，水对凹岸的破坏作用很强，凹岸愈来愈凹，也比较深而且陡；凸岸则水流较慢，水浅坡缓，还可以有泥沙淤积下来，愈来愈凸，河道也就更加弯曲。在平面上，形似被拉得很满的弓，直至弓背的两端非常接近，有时为洪水冲开，水便沿着这个直的新河道流走，原先那个弯曲的河道被废弃了，两端淤塞蓄水，就成为弯弓、牛轭这类形状的湖泊。我们用人工开挖运河的方法也可帮助弯曲的河流取直，这对于便利航运，减少水害都是有作用的。

还可以在废弃的河湾中开拓出耕地。

河流的凸岸可以淤积泥沙，河流中某些水流较缓的场所，也可以淤积出沙洲沙坝。在洪水泛滥的时候，更可以漫上两岸，堆下泥砂砾石，这种场所被称为河漫滩。正是靠了这些作用，河流才开拓出了许多肥沃的平原。

当河水流入湖泊或海洋中时，水流分散滞滞，流速变慢，会使许多泥沙沉降下来，特别是海水里溶有许多氯化钠，它们在水中大量电离产生出的离子，能够使那些长期悬浮在水中的胶体状态的极细微的泥土颗粒受到破坏，使其沉淀出来，因而在河口附近常造成形如扇状的平原，被称为三角洲。

河流并不总是流经固定的地方，由于地壳的运动及流水等外力作用改变了地面形态的影响，河流不时变换着位置。黄河、

永定河的改道是我们所熟悉的，因为这两条河流的变迁实在过于频繁和迅速，所以才为人们亲眼看到。用地质历史的眼光来看，发生过改道的河流就更多了，它们能将泥沙淤积造成广大平原，称为冲积平原。也有小部分平原是被流水侵蚀夷平的，称为準平原，泥沙层比较薄，是它的特点。冲积平原的松散堆积物则比较厚，几百米几千米厚的都有。这样多的泥沙都是河流搬来的，由此可见流水进行了多么宏大的工作。一年之中，被流水搬运的东西比风力所搬走的东西要多一百到三百多倍。

流水冲刷地面，可以带走一些泥沙，一般说来，应该是冲刷的力量越大，带走的泥沙越多。但实际上并不一定，这还取决于地面是什么状况。譬如地面上草木丛生，降雨时，表层的泥土就不致首当其冲，水在地面上的流动，也受到阻滞，无力带走许多泥沙。因此，在森林密布的地方，即使是暴雨倾盆也没有浑浊的山洪流出；在山坡上修造梯田，挖鱼鳞坑、水平沟，造成局部的平缓状态，也能削弱水势，减少冲刷。如果地面没有草木覆盖，地势高峻，土质又很疏松，这时流水的冲刷就特别强烈，我国西北黄土高原，就是这种地区，这是黄河河水的含沙量在世界河流

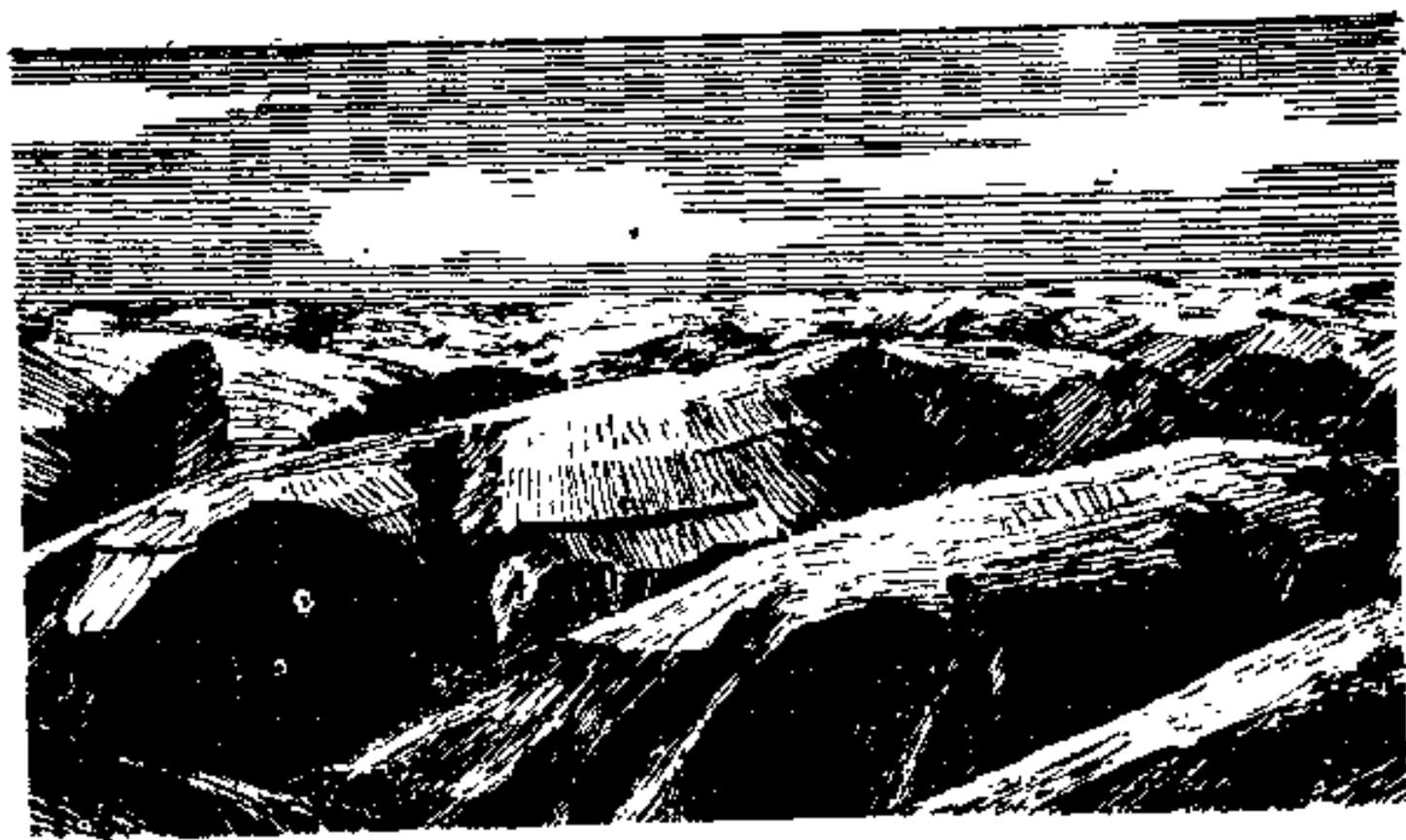


图 65 黄土高原

中居第一位的重要原因。据五十年代初期对多年的观测结果平均计算，黄河在流经河南陕县时，每立方米的河水中含有三十四公斤泥沙。黄河的泥沙几乎全部来自中游的黄土高原，主要是流经甘肃、陕西、山西三省的支流带来的。在水土流失严重的地区，每年被冲走的土壤平均每平方公里达到大约一万吨，地面每年平均要降低一厘米。如以整个黄河中游地区平均计算，每年每平方公里面积上要流失土壤三千七百吨，比全世界土壤流失的平均数大二十六倍。这些被冲走的土壤每吨含氮0.8~1.5公斤，磷1.5公斤，钾20公斤。总算起来损失的肥分大大超过了全国每年施用的化肥数量。

地面的流水一方面在开拓平原，制造沃野；另一方面也有破坏良田的作用。只要我们认识并重视了这些规律，是能够作到趋利避害及化害为利的。譬如，据西北水土保持所1973年测定，林地和草地的土壤冲刷量，仅有那种已经耕种过的土地的冲刷量的几十分之一，以至一百几十分之一。这说明水土是可以保持的。植物对地面的覆盖是能够削弱流水冲刷的。

对流水的活动产生决定性影响的还有地面的高低变化。地面上凸出部分水流活跃，是受剥蚀的地方；下凹的部分则成了接受沉积的场所。地面这种高低起伏，并不是一成不变的。前面已经讲过，地壳经常都在发生水平及垂直方向的运动，以致有的地方隆起，有的地方下沉。河流对这种变化非常敏感。

从北京流向天津的永定河，原来经过北京北边东流入海，可是，后因北京北部地势升高，天津附近一带则降低，水遂转向东南，经天津入海。流向天津的还有好几条河流，都是受到地势升降变化的影响。有人认为，黄河的改道，部分也与地壳运动有关。可以说，地壳运动所造成的地面形态的变化，控制着流水的活动。

在有些地区，河流的侵蚀已经使河底的高度接近侵蚀基准面，主要是向两岸开拓，河流已变得非常弯曲。但是，这时地势如果上升，河底抬高，河水便又重新得到了活力，继续向下侵

蚀，造成深、陡而弯曲的河谷，常称为深切河曲。原来由于河水泛滥而在两岸形成的平地，现在也抬高了，象台阶似地夹峙着河流两岸，称为阶地。今天我们在地面上还能够看到的深切河曲和阶地，都是地球历史近期的产物。它们的存在，说明这里最近还在上升。当然也要注意，有些阶地的形成仅仅由于这里本来就很高，河流不断下切，使原来的河岸相对地显得高了，并没有地壳上升的因素。但在我国地球历史上最近的一次喜马拉雅造山运动的影响很强烈，当前，有许多地势高峻的地方都有地壳上升的作用。既深

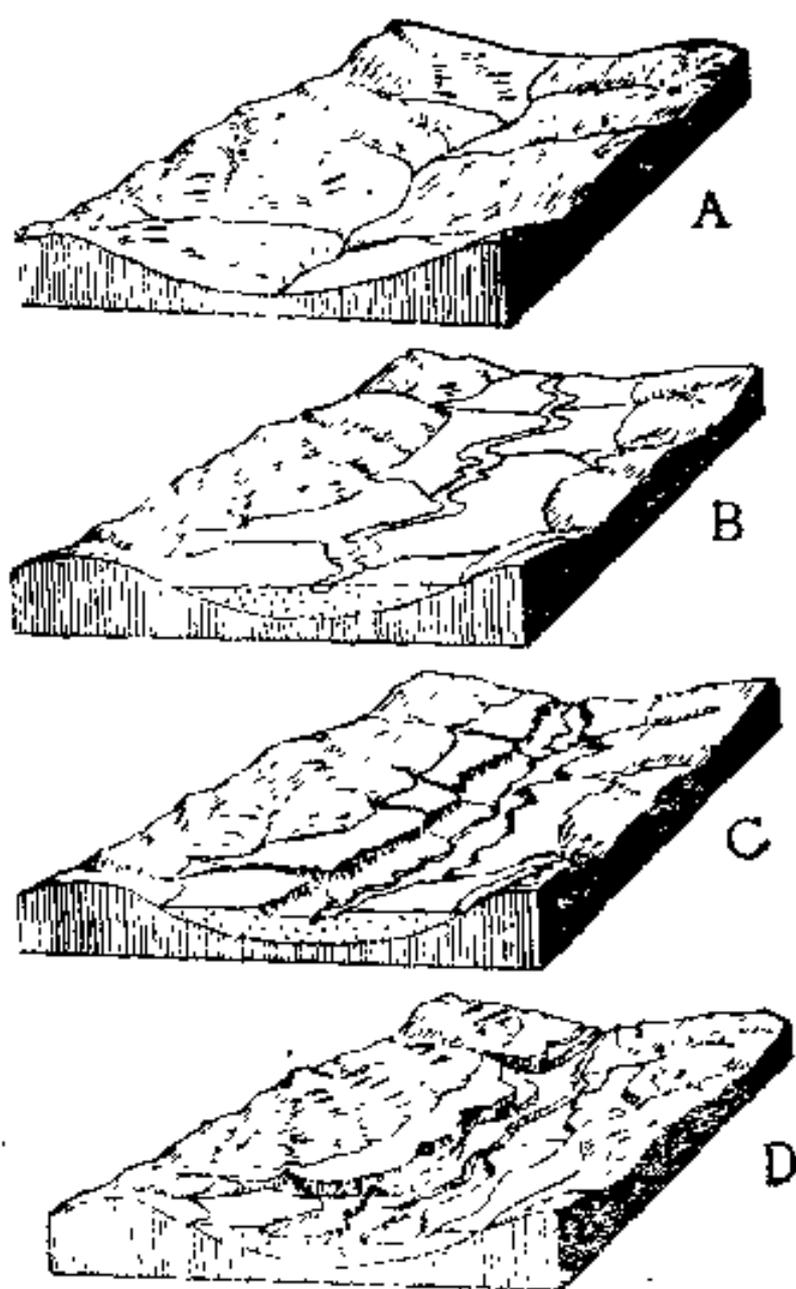


图 66 河流阶地发育过程

且陡的峡谷的出现，也是地壳上升的证明。因为地壳不断上升，河底总是高出侵蚀基准面比较多，总是向下侵蚀，而向两岸开拓则有限，这就造成了峡谷地形。不过也有些峡谷可能仅仅是因为原来的地势就很高，但这只会在河流发育的初期出现。经过河流的长期作用，接近侵蚀基准面时，河流总是要向两岸侵蚀，本来陡峭狭窄的河谷也就不能保持原状，变得开阔起来。

在峡谷地区，水流湍急，河道狭窄，便于筑坝拦截，是建设水电站的好地方。由于河谷底部岩石软硬不一以及发生断裂错动等情况，在软硬岩石分界处及断层上下错动的部位，可以出现高低悬殊的陡坎，河水在这里跌落成为瀑布，也有很大的力量。总之，一条河流发源处与入海处的高低相差愈大，蕴藏的能量也愈



图 67 金沙江虎跳峡

大，当然还要看水量的多少。我国由于近期经受了强烈的造山运动，形成了许多高原山岳，地势起落变化很大，对我们有不利的一面，但是也有好处，提供了巨大的水力资源就是其一。据调查，我国河流拥有的水力资源达到六亿八千万千瓦，占世界水力资源总和的七分之一以上，但绝大部分还没有利用，是一笔急待



图 68

开发的巨大财富。今天，应当让这些有着无穷潜力的河水，为实现我们的四个现代化作出更多的贡献。

地 下 面 的 水

长江大河，浩浩荡荡。在地面上流动的水，滔滔不绝，显得很壮观。其实河流中的水不仅和大海比起来要望洋兴叹，就连埋藏在地下水也要比河水多六千倍以上。

在地下，一小部分水以气体状态存在于土壤的孔隙之中，还有一小部分水是液态，但被吸附在土粒的周围，有的贮存在土壤

的毛细管里面，它们并不能象水一样流动。我们平常取用的地下水，是那些在土壤岩石的孔隙和裂隙中能够流来流去的水；这些水是地下水中的主要部分，要占到总量的百分之九十九以上。

水在地下的孔隙裂隙中流动，受到许多阻滞，当然比地面水的流动要慢得多，一般一昼夜只能流几米至几十米，而且也不那么“自由”。靠近地面的地下水，受到重力的作用，和地面水一样，向低处流，但由于还受到毛细管作用的影响，它的水面和地面水不同，不是一个平面，而是随地形的起伏而有所起伏，这个水面被称为潜水面，这种地下水被称为潜水。当我们打井穿过了潜水面，就象给盛满水的碗打开一个缺口，水从这里流了出来，如果是天然的沟谷截过了潜水面，就会有泉水涌出。

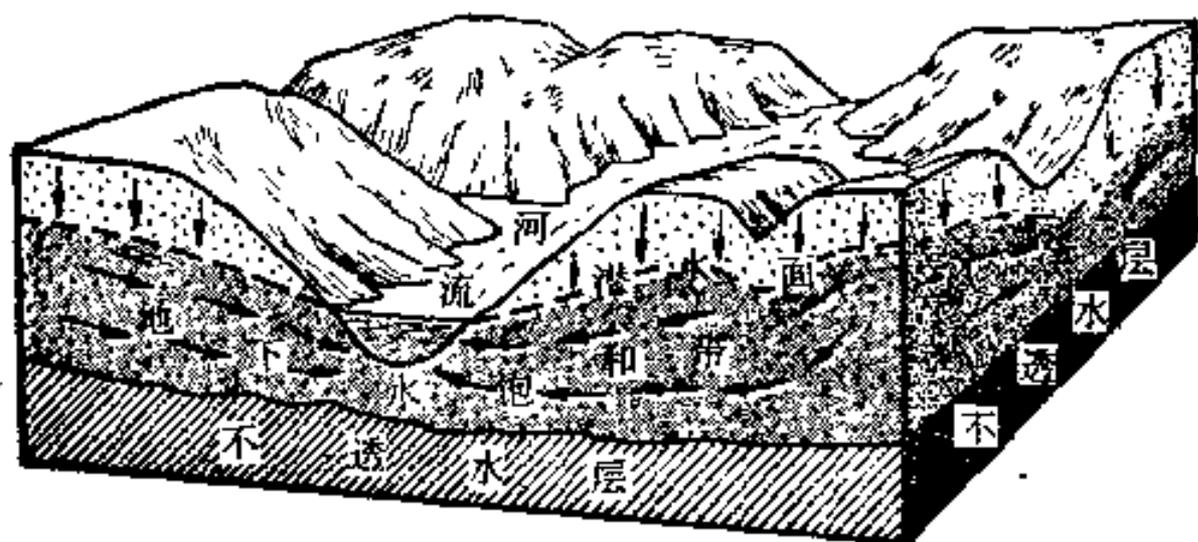


图 69

既然是重力的作用使潜水向低处流，为什么它不一直向下渗透，却在靠近地面一带贮存呢？这是因为地下的岩石并不全都是能够透水的，那些孔隙比较大也比较多的岩石，如砂岩以及松散的沙土层，透水性好；还有些岩石内部孔隙很少、很小，都不容易让水渗透，在地下起着隔水的作用。粘土、页岩以及不少岩浆岩和变质岩都是这类不透水的岩石，不过需要注意，当它们由于受到力的作用，产生出许多断裂的时候，也可以变得能够透水。总之，在地下，总是既有透水的岩层，又有不透水的岩层。它们层层相迭，交替出现，从而组合成了许多可以贮存地下水的“水

库”。潜水是位于最上层的地下水，在它的上面，没有不透水层掩盖，埋藏较浅，取用比较方便，但天气干旱，地面缺水的时候，它也会大量减少，不能稳定地供应。

有些地下水是贮存在两个不透水层夹住的透水层中间的，有点象水进了自来水管，称为层间水或承压水，因为这里的地下水不仅受到重力作用的影响，还象自来水一样，受到高水头压力的影响。自来水的水塔很高，所以能使自来水升上楼房供使用；层间水也有它的“水塔”，这就是那些透水的岩层出露地面的部分。地下水主要是靠地面的雨水、河水、湖水渗入补给的，大气中的水蒸汽也可以进入到土壤的孔隙中凝结，成为一个来源。

层间水的埋藏较深，要钻透盖在上面的不透水层才能得到水，



图 70

但水量比较充足和稳定，而且打井的地方如果比地下水的补给地区低得多，这些地下水还会自己涌出，就像自来水能升上楼房似的。在我国北方许多山前平原打深井，常能得到这种自流水。

水在地下的活动，也能对岩石造成破坏，其特点是溶解的作用显著。

石灰岩和白云岩都是碳酸盐矿物构成的。含有碳酸的水比一般的水能更多地溶解这类岩石。地下水中的碳酸含量比较高，因为地下的压力大。在这种条件下，二氧化碳能较多地溶解于水，汽水、啤酒中含有许多碳酸气，就是加压的结果。因此，在石灰、岩等可溶岩石中，地下水可以溶出许多洞穴，并扩展到彼此连通。

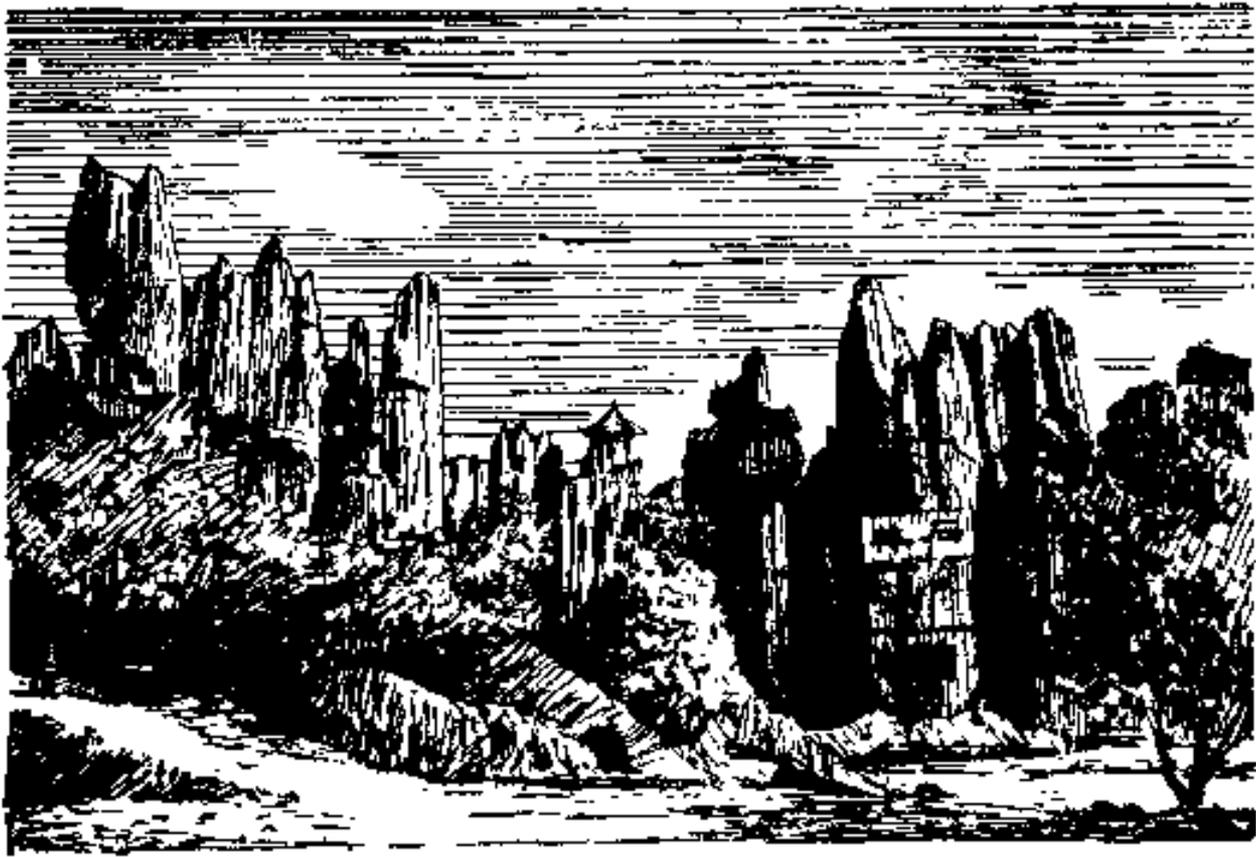


图 71

这时，水在其中就像河湖一样，甚至可以行船。

石灰岩、白云岩本来质地紧密，水是不容易渗入的，但由于地壳运动影响产生裂缝以后，水就乘隙而入，将裂缝溶蚀成为巨大的沟壑洞穴，把地面分割成一座座孤峰壁立，宛如丛林密布的

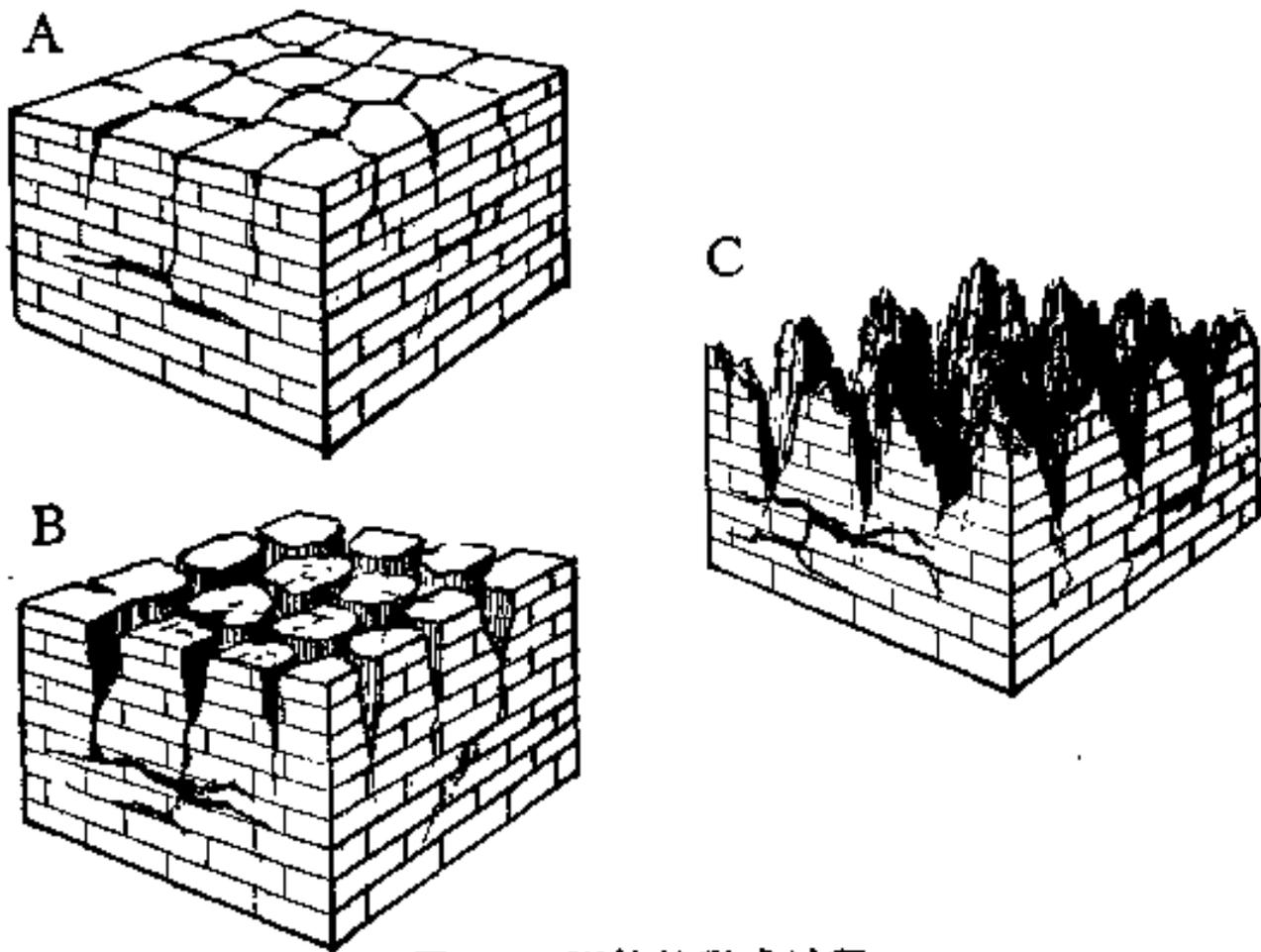


图 72 石林的形成过程

石林，在云南路南可以看到这种峰林。著名的桂林山水也是这样造成的，是规模更为宏伟的石林。仔细研究起来这些千奇百怪的地面形态其实也是有规律的，常常要受到断裂分布情况的控制。

向水平方向发育的溶洞，也总是沿着断裂发育，并受控于地下水活动所能达到的高度。在超过地下水位的高处，不应该有这种溶洞，但是，有的地方却存在，这是因为溶洞形成后，地势升高了，也可能是地下水位降低了。总之，水在地下活动的条件并不是始终如一的，也是在经常地变化着。



图 73

贮藏在这些溶洞中的地下水，水量往往很大，流动的速度也比较快，和地面水的流动相似，是重要的水源，甚至可以用来发电。但由于这种地下水中溶解的碳酸钙很多，用它来烧锅炉容易形成水垢；水从洞穴的顶上和四壁渗出时，这些碳酸钙也要随着沉淀下来。因为水从岩石内部的孔隙和裂隙中流出后，受到的压力减轻，有点象汽水瓶子开了盖，碳酸气要跑掉不少，溶解碳酸钙的能力也降低了；还有水分蒸发的影响，水中的碳酸钙便有一部分沉淀下来，在洞穴中聚集成下垂的石钟乳和上翘的石笋，它们的形象千变万化，非常奇特，容易使人产生各种联想。在古代常被附会上许多神话和迷信，把这种洞穴看作是仙人的洞府，其实

不过是地下水活动的产物。

这些溶洞的存在，有使地面水漏掉，造成地面缺水的问题。但是当我们了解溶洞的分布和地下水的活动情况后，则又可以使溶洞成为可资利用的水库。溶洞的存在对地面上兴建铁路、厂房等工程是个威胁，需要事先了解，区别情况采取对策。另一方面，有些溶洞也可以用来作地下的厂房、仓库和冷藏库以及防空洞。有些溶洞中还有地下水搬来堆积的矿产，总之，只要我们了解它，就有可能避开它的不利影响，发挥其有利于人的因素。

地下水不仅通过溶解的作用对岩石进行破坏，还可引起山坡上的岩石土层大面积滑动崩塌。因为水渗入岩石以后，岩石的重量增加了。沿斜坡下滑的动力加大，同时由于水的润湿，滑动时受到的摩擦阻力减小，而地下水本身也在受重力作用向下运动。这些因素都推动山坡上的岩石土层向下滑动，造成对我们的危害。如解放初期，抚顺西露天矿区，岩石滑动的问题一度曾很严重，滑落下来的岩石象小山一样，把矿区分隔成两半，使几百万吨煤无法开采。对此，我们可以采用开凿输水巷道，宣泄地下水，并在滑动的裂缝中灌注水泥等措施，制止滑动。

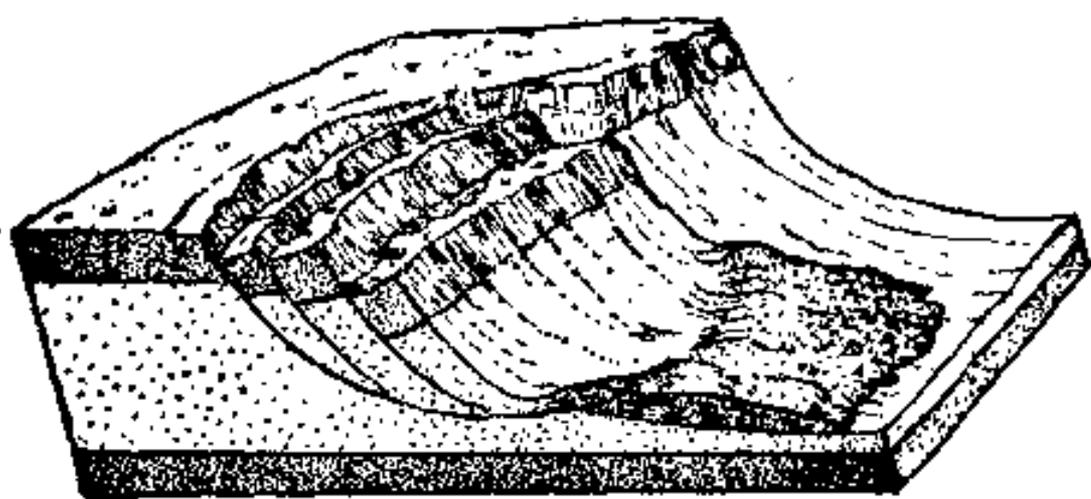


图 74 滑坡现象

有些水库在蓄水以后，地震频繁，据认为，也与水渗入地下促使那里原已有的断层发生滑动有关。虽然大多不很强烈，但也是值得注意的课题。

在黄土地区，由于地下水的浸润，将黄土中一部分可溶物质

带走，可以造成地面局部沉陷。许多地区因地下水大量被抽出使用，因而有大面积的地面沉降现象发生，特别是在城市地区，由于近年来工业及生活用水量激增，许多水取之于地下，地面沉降的问题尤为严重。象日本东京在六十年代中，曾达到一年下沉二十四厘米的速度，现在限制了地下水的使用，下沉的速度才减慢了。怎样才能最充分地利用地下水而又不致产生不利于人的副作用，是当前普遍关心的问题。因为随着生产的现代化，对淡水的需要量愈来愈大，而地球上的淡水除了那些长期冻结的冰川，绝大部分储藏在地下，尤其是在缺少地面水的干旱地区，更要依靠地下水。在沙漠中，哪里有了井泉，那里就能够出现绿洲。

值得注意的是，在干旱地区，地面的水分蒸发很快，地下水的水面如果离地面很近，土壤中的毛细管就会象毛巾吸水一样，使地下水不断上升到地面，这些地下水把地下的盐碱类物质也带上了。水分蒸发以后，这些盐碱物质在土壤中留了下来。日积月累，便造成了土壤盐碱化，在这种地方灌溉过量，不仅浪费了水，还会因水大量渗入地下，使地下水的水面升高，导致土地盐碱化，这样的教训是不少的。因此，对于水在地下的活动规律需要认真研究。

湖泊及其作用

“欲把西湖比西子，淡妆浓抹也相宜”。湖泊是美丽的，哪里有了湖泊，那里的景色就平添生趣。然而湖泊的作用远非仅供观赏游憩，使人心旷神怡而已。湖泊是天然的水库，和江河连通在一起的湖泊，能够调节水量，可以蓄洪防涝，灌溉抗旱。我国长江水量远远大于黄河，然而水患较黄河为轻，长江中下游有一连串的湖泊，是一个重要原因。象1954年7月发生特大洪水时，洞庭湖及江汉平原上的众多湖泊，蓄洪五百二十亿立方米，约占这个月流向汉口的洪水总量的四分之一。此时赣江等五条大河注入鄱阳湖的最大流量达到每秒四万五千八百立方米，而经过鄱阳湖的拦蓄，进入长江的相应的最大流量降到每秒二万二千四百立方米，

即减少了将近一半。在雨少天旱的时候，湖泊里蓄积的水则又可补给江河，维持航运，发电及灌溉等。

湖泊还是气候冷暖的调节器，因为湖水能够大量吸收太阳辐射热，降低气温，天冷气温低时又把热量缓缓放出；一立方厘米的水降温一度散发的热量，足以使三千一百多立方厘米的空气升温一度。在炎热的季节，昼夜交替之际，由于湖面和湖岸上的温度差异较大，还会引起空气的流动，产生习习湖风，更有明显的降温作用。湖水的蒸发，增加着空气的湿度，也有利于气候的改善。

湖泊又是一个聚宝盆，流水从四面八方把泥沙带来湖滨淤积，造成肥沃的土地，今天不少良田沃野，就是湖泊演变而成。流水还带来了许多盐分和养料，使湖泊成为生命活跃的场所，是人们获取鱼、虾、菱、藕等水产品的宝库。特别是在气候比较潮湿的条件下，更有利于生物的大量繁殖，那些喜湿的植物，在湖底、湖滨繁茂生长，湖中还有大量水草和其它生物在活动、生长，死后填塞湖底，积年累月，便会使湖泊越来越小，直至被填满。这种作用称为沼泽化。除了湖泊可以演变成沼泽以外，其它地面很潮湿的场所，也可形成沼泽。大量生物遗体在湖沼中堆积，和泥沙混在一起形成淤泥。由于这些生物遗体在水下与空气隔绝，缺少氧气，其中的碳没有充分氧化成二氧化碳逸走，因而淤泥中含碳较多。当它的含碳量多到可以作为燃料时，就成为泥炭。泥炭疏松多孔，富含水分和腐植质，以及一些尚未分解的植物残体，因此，还是很好的肥料。我们今天使用的煤炭，就是过去的泥炭在地下经过天然的压紧和加热作用，水分逐渐失掉，含炭量增加而变成的。许多煤矿所在地，在地球历史上曾经是湖泊。这种造煤的作用，现在也并未停止。解放后，在疏浚北京的北海和杭州的西湖时，都挖出了大量含有机质很多的淤泥，西湖中的淤泥一般含可燃物质一半以上，抵得上劣质的煤炭了。红军长征经过的草地，就是沼泽地，那里埋藏有大量的泥炭，并且在继续形成。

埋藏在湖底的生物遗体，不仅可以变成煤，在一定的条件

下，还可以变成石油、天然气和油页岩。我国有些油田，就是在地球历史上的湖泊中形成的。至于在湖泊中造成的天然气，现在也不难观察到。在非洲扎伊尔和卢旺达之间的基伍湖，曾经发现在二百七十五米的深度以下，储藏有五百七十亿立方米的天然气，据研究就是堆积在湖底的生物尸体分解而成的。把湖底的淤泥拿来干馏，常常也可以得到天然气。

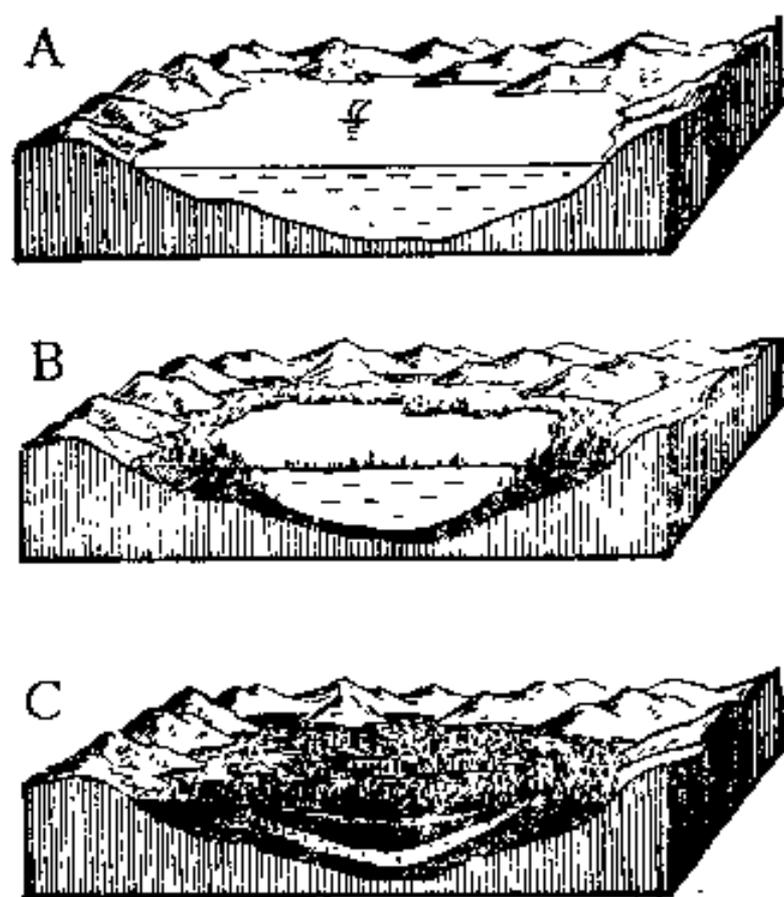


图 75 湖泊沼泽化

有些干旱地区的湖泊，没有宣泄湖水的出口，流水带来的盐分有进无出，湖水经过蒸发，盐分的浓度一天天增加，许多内陆咸湖就是这样形成的。这类湖泊中的湖水有的比海水还咸。如中东约旦河谷南端的死海，是陆上地最低的湖泊，当地气候非常炎热干旱，湖水的含盐度比普通海水高了七、八倍，它的比重比人体的比重还大，人可以躺在湖面上。据估计湖中共溶有盐类物质四百多亿吨，是化工原料的宝库。在这样咸的水里，生物难以生存，湖中没有鱼虾。就连那爱吃鱼的水鸟也不来了，一片死寂的情景，故名死海。一般的咸水湖的盐分没有这样高的浓度，生物还是比较多的，可兼收渔盐之利。

湖里盐分过多自会聚集在湖底，成为矿层。今天许多埋藏地下的岩盐、石膏、硼砂、芒硝、钾盐、泻盐、明矾、苏打等矿藏，有不少都是由地球历史上的咸湖形成的。那时的环境肯定是炎热干燥的。由于各种盐类的溶解度不一样，所以它们总是先后有规律地分离出来，聚集成矿，一般是碳酸盐先结晶沉淀，硫酸盐次

之，氯化物和硼酸盐最晚。在现代咸湖中，这种作用也正在进行。象柴达木盆地的许多盐湖中，经常有大量食盐以及钾盐等氯化物结晶出来。在内蒙古草原上有二百多个含碳酸盐的天然碱湖，而西藏高原上还有盛产硼酸钠的硼砂湖。有时在湖泊中还可以形成铁、锰、铝等矿藏。在湖泊中堆积起来的粘土、硅藻土往往有更为重要的价值。

在地球历史上有过许多湖泊形成、发展和消亡。留下那独具特色的湖相地层，表明这里曾经有湖泊存在。

今天的每一个湖泊也都有各自的历史，而且在继续演变。

湖泊是陆地上低凹而常年贮水的地方。

地势低凹是形成湖泊的基础，而地壳的局部升降，是产生这种洼地的基本原因，上面提到的死海就是大陆上最低的洼地，也是地壳断裂下陷的产物。从这里经红海向南到东非，是一个大断裂带，其间一些蓄水的低洼地成了卢多夫湖、基伍湖、坦喀尼喀湖、尼亚萨湖等一长串形状狭长的湖泊，表示着断裂的走向。我国的滇池、洱海、青海、微山湖、独山湖、运城盐池等湖泊，也是地壳断裂带沉降的产物。贝加尔湖，即苏武牧羊所到的北海，两条大断裂截过它的东西两岸，中间最深处低于湖面1621米，因此，它的面积虽不到洞庭湖的十倍，而蓄水量则达到洞庭湖的一千倍以上。洞庭湖原先蓄水也比较多。它的前身是地跨湘鄂的云梦泽，当时的面积接近于今天的两湖平原，达四、五万平方公里，这个大湖的出现，也是地壳断裂下降的结果，湖盆是中间沉降的部分，后来由于长江、汉水、湘江等许多河流带来的泥沙淤积，大部分水域淤成了陆地。今天的洞庭湖及江汉平原上数以千计的湖群，都不过是这个古代大湖的残余。这种淤积的作用还在继续进行之中，而且速度很快，如洞庭湖，在1937年洪水时期的面积约为四千七百平方公里，现在发洪水时的面积也不过四千平方公里左右，比1937年缩小了约八分之一。

由于洪水带来的泥沙在各处淤积的程度不同等等，也可以造成地面的高低不平，低处仍可蓄水成湖；河流改道时，使原来河

床的某些部分封闭堵塞，也能成为湖泊。在河道特别弯曲的地方，就容易脱离出来成为弓形的湖泊。江汉平原上，这类湖泊很多。整个大湖的面积缩小了，但湖泊的个数比古代反而多了。

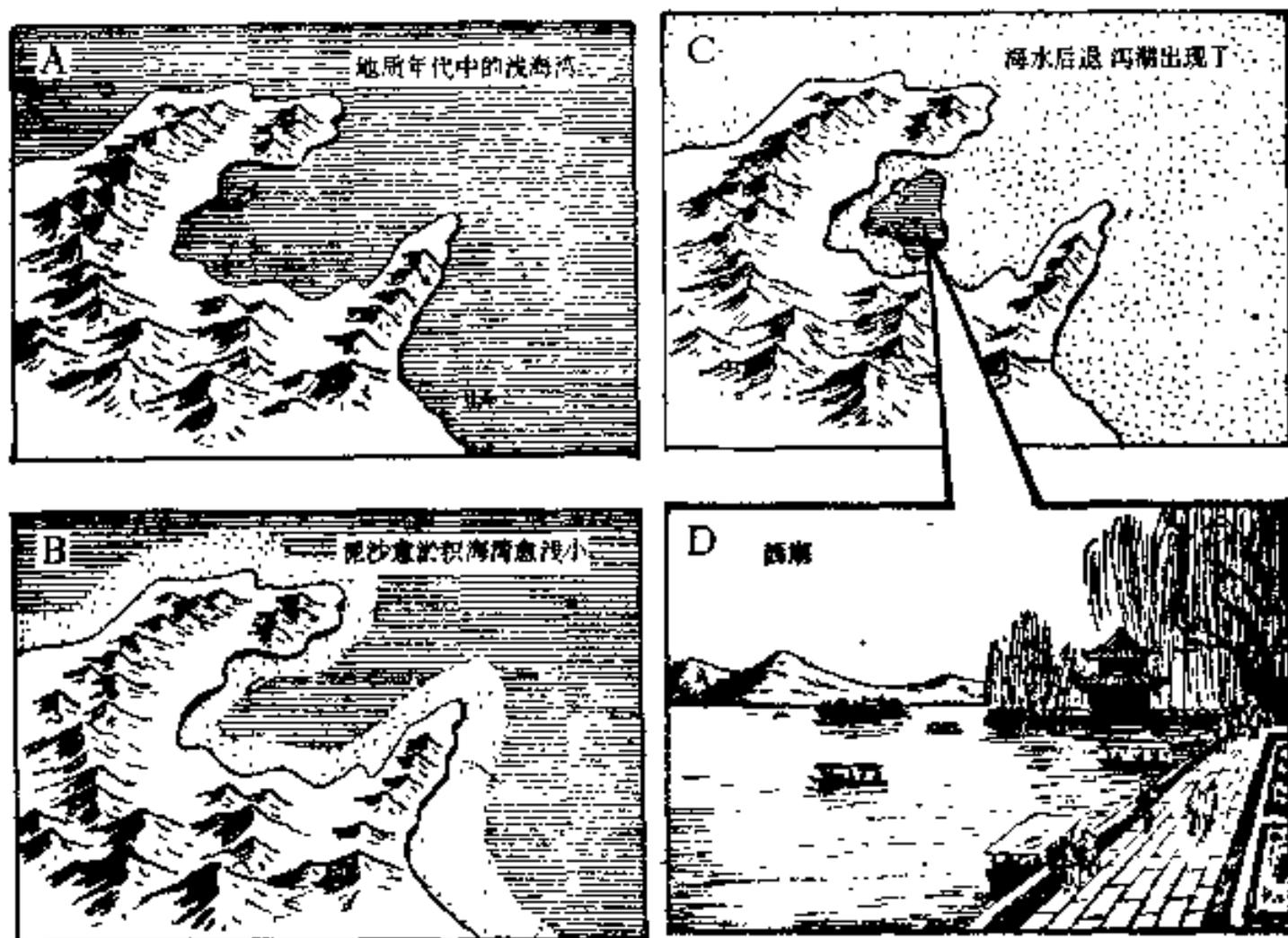


图 76

当河流挟带着泥沙注入海里的的时候，在海边堆积起沙咀、沙洲，它们不断发展扩大，直到封闭原来的海湾使之与大海脱离，这时就成为湖泊，著名的西湖、太湖都是这样形成的。

山崩堵塞河流，可以造成湖泊，不过这种天然堆成的大坝，一般是为时不久就崩塌了，湖泊随之消失，但也有长期保存下来的，1911年，帕米尔高原上的巨大山崩，在穆尔加布河上堆成了一座高六、七百米，宽约八公里的大坝，形成一个面积约为五十平方公里的湖泊；1933年，我国四川西北部迭溪地震山崩，堵塞岷江，造成了三个湖泊，有两个至今犹存。

火山喷出的熔岩堵塞河流，也有造成湖泊的。黑龙江省德都老黑山、火烧山，两座火山在1720年的活动，流出的熔岩截过河



图 77 长白山主峰白头山顶的天池是一个火山口湖

流，形成了五大连池。黑龙江南部的镜泊湖则是早先喷出的熔岩阻拦牡丹江而成的。熔岩形成的台地突入到河道中间，把湖水水面抬高，成为瀑布倾泻而下，落差达十二米，宽四十米以上，奔腾澎湃，水的动力很大。

火山喷发停止以后，火山口中蓄水，也成为湖泊。有的火山口很低很平，和普通湖泊差不多，只是形状往往比较圆；多数火山口湖则常踞于山巅，景色壮丽奇特，长白山的“天池”，就是这样的火山口湖。降雨是火山口湖水的重要来源，而火山在停止喷发后，有时也会喷出水汽或其他成分补充到湖水中去，使这里的湖水具有特殊的性质；印度尼西亚爪哇岛东端有一个火山口湖，火山口喷出的三氧化硫，竟使每一公升湖水中硫酸的含量达到五十一克。智利的皮阿斯火山口内，则在湖水之下贮存着整整一层硫磺。印度尼西亚弗罗里斯岛上三个紧靠着的火山口湖，一个贮存清水，一个溶有许多来自火山的铁盐，另一个则不断得到火山喷出的硫和硫化物蒸汽，因而分别呈现出兰、红、绿的色彩。成为湖泊中的奇观。当然，象这些现象毕竟是少见的。

天山上也有个“天池”，但不是火山的遗迹，而是冰川造成的。冰川挟带着大量砂砾泥土，冰川消融的时候，这些东西就堆积下来，堵塞山谷，阻滞流水，造成湖泊。冰川的活动还能把本来比较平坦的地面刨刮得坑坑洼洼，加上冰川带来的泥沙砾石在各处不均匀地堆积，更使地面变得起伏不平，这就造成了大量低凹的洼地，蓄水后，就是湖泊，而消融的冰雪，正好成为湖水的来源。因此，地质历史上的近期在有过冰川活动而原来地势又比较平坦的地方，湖泊常常特别多，被称“千湖之国”的芬兰，就是这种地方。其实，那里何止千湖，大大小小的湖泊总计在五万个以上，占全国总面积的9%。瑞典、加拿大北部和我国西藏高原上的湖泊众多，也都是冰川作用的结果。

可以使地面出现洼地的自然力，还有风，长年吹拂的风能在沙漠中吹出深坑，有水就可以成湖，我国甘肃省的居延海和敦煌的月牙湖，就是这种风成湖。

地下水活动造成的溶洞，扩大到洞顶塌陷出露地面，这时，便成了面积通常不很大，但水源很难枯竭的湖泊，常被称为“龙潭”。我国云南、广西、贵州等地不少。

湖泊在它的发育过程中，受到地面上河流、生物和气候等影响，同时，地壳的运动也有重要的影响，此外，还有人的作用。筑坝修水库这种人工建造湖泊的速度，常常比自然形成湖泊的速度还要快；围湖造田等措施使湖泊消失，工业排出的污水和废物使湖泊污染成为“死湖”，对我们都是很不利。地球上的湖泊虽仅占陆地面积的1.8%，但其重要性是很大的。我们应当十分爱护湖泊。解放后，我们对许多湖泊进行了治理并兴建了不少人工湖。1950到1958年，全国新修的主要水库就有十三个，库容量达一百八十亿立方米。五十年代初，用蓄洪垦殖的办法治理洞庭湖等湖泊，兴修了大量的工程，使湖滨的蓄洪垦殖区在大水年份能蓄洪，一般年份能耕种。但值得注意的是，近年来一些地方片面扩大围湖造田，使我国本来为量不多的湖泊大面积缩减。如著名的洞庭湖，近二十多年来，平均每年湖面要缩小八十八点六平方公里；江汉平原上的湖泊，1959年前后，在中水位时，总面积约有一千二百三十八万亩，到1972年只剩下四百六十七万亩，即减少了63.4%。云南一些有名的湖泊面积也在缩小，有的湖泊已经消失。产生了种种不良影响，我们应该认识到湖泊的作用，按照它的演变规律，维护湖泊，改造湖泊，使它向着更加有利于我们的方向发展。

在海洋里发生的事情

“万川归大海”，海洋是河流和它所带来的各种物质的归宿，是造成新的岩层和矿产的主要场所；在河流入海的地方，坡度平缓，加上时有潮流倒灌阻滞，流速剧减，搬运能力大大减弱，泥沙纷纷下坠，粗重者先沉降，轻细者还可以搬到离岸较远的地方再落下，这样有秩序地在海边堆积起来。

离岸很远的深海里，河流搬来的泥沙不能到达，沉积物少，

但还是有一些，主要是火山喷上高空再坠落到海中的碎屑和海洋生物的遗骸，也有少量从海水中沉淀出来的物质，它们组成多种软泥，在深海的海底上展布，一般厚度不大，平均不过三、四百米左右。

河水中有许多细微的泥沙是以悬浮的胶体状态搬运的，流速的减慢，不足以使之沉淀，然而，因为海水溶有氯化钠等电解质，产生出了许多离子，能够破坏胶体的稳定性，于是这些细微的泥沙也沉淀出来了，因此，在河流入海的地方常有大量泥沙堆积，往往成扇状向海中扩展，造成三角洲。

溶解在河水中的矿物质不断进入海里，增加着海水的盐分，现在海水平均含盐量达到千分之三十五，据认为，主要就是河流长期搬来盐分的结果。从理论上说，海洋存在的时间愈久，含盐量应愈高，因此，曾有人据此推算地球的年龄。不过影响海水含盐量的因素很多，所以这个推算的结果并不准确。在海洋中，风中带来的尘土和火山喷出物的坠落，特别是海底火山的喷发，都在给海水增加成分。溶解在海水中的某些成分，又可以因沉淀到海底而减少，譬如大量的碳酸盐从海水中沉淀变成岩石，今天，海水中碳酸盐的含量就变少了，不到海水中所含盐分的千分之六，而在地质历史上曾经是很多的。

在一定的条件下，例如经过生物的吸收或海洋中的化学作用，溶解在海水中的物质，也可以有一部分沉淀下来；在那种由于沙嘴、沙坝的堆积而围成的泻湖里面，海水可以

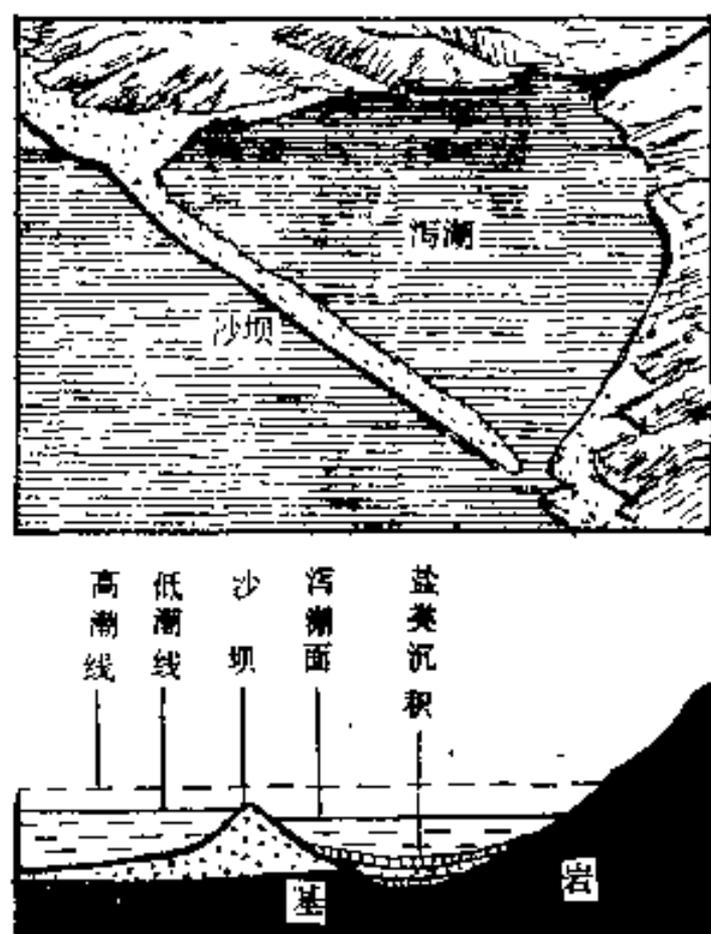


图 78

流进，但不易流出。如果这里气候干旱，又没有别的水源，泻湖中的盐分就因水分不断蒸发而浓度愈来愈高，直至发生沉淀。今天，地层中许多盐类矿藏就是这样形成的。这种咸化泻湖在今天的海洋中也有。

在海水中几乎地球上所有的元素都有，虽然只有氯和钠的含量能达到百分之一，别的元素百分比却很低，象一公升海水里只含有铀0.003毫克，但由于海水的总体积有十三亿六千万立方公里。总算起来，铀的含量仍然是非常庞大的。现在不仅从海水中提取氯、钠、溴、碘、镁、钾等元素，而且，从海水中提取铀、锂等元素的试验也已取得成功。在海水中铀的蕴藏量比它在陆地上已经查明的储量要大四千多倍，其他好些元素也是海里比陆地上多。

近年来，还发现大洋底上堆积有一层球状团块，含锰百分之十几至三十几，还有铁、钴、铜、镍、钛、锌等三十多种金属称为锰结核，单个锰结核有豌豆到土豆那样大，也有比这还大的，在三大洋中它们的总储量达到三亿吨以上。这些金属如果能提炼出来，有的比大陆上已知储量还要多。象太平洋中的锰结核就拥有四千亿吨锰，164亿吨镍，88亿吨铜，58亿吨钴，都大大超过了陆地上过去已探明的储藏量，如大陆上已知钴的储量按最高估



图 79 大洋底的锰结核

计也才有四百多万吨。深海底的一些凹地中，现在还发现了许多富含金属的软泥，如在非洲安哥拉附近水深两千四百五十米的海底上发现的多金属软泥中，铜的含量达到百分之十二（目前含铜量仅百分之零点五的矿也在大量使用）。当前的问题在于我们能不能大量廉价地把它们采取出来。

海洋可供生命活动的空间约比陆地大三百倍，在海洋里有的是水，而且温度适宜。深海的温度最低也是经常保持在零度上下。热带海面的温度也不过三十度左右，特别是浅海地区，阳光、空气充足，生物更为繁盛，在海洋中生存的植物每年通过光合作用固定下来的碳，最高估计有一千三百多亿吨，按这个数字，比陆地上的植物一年中固定的碳要大好几倍，这些生物死亡

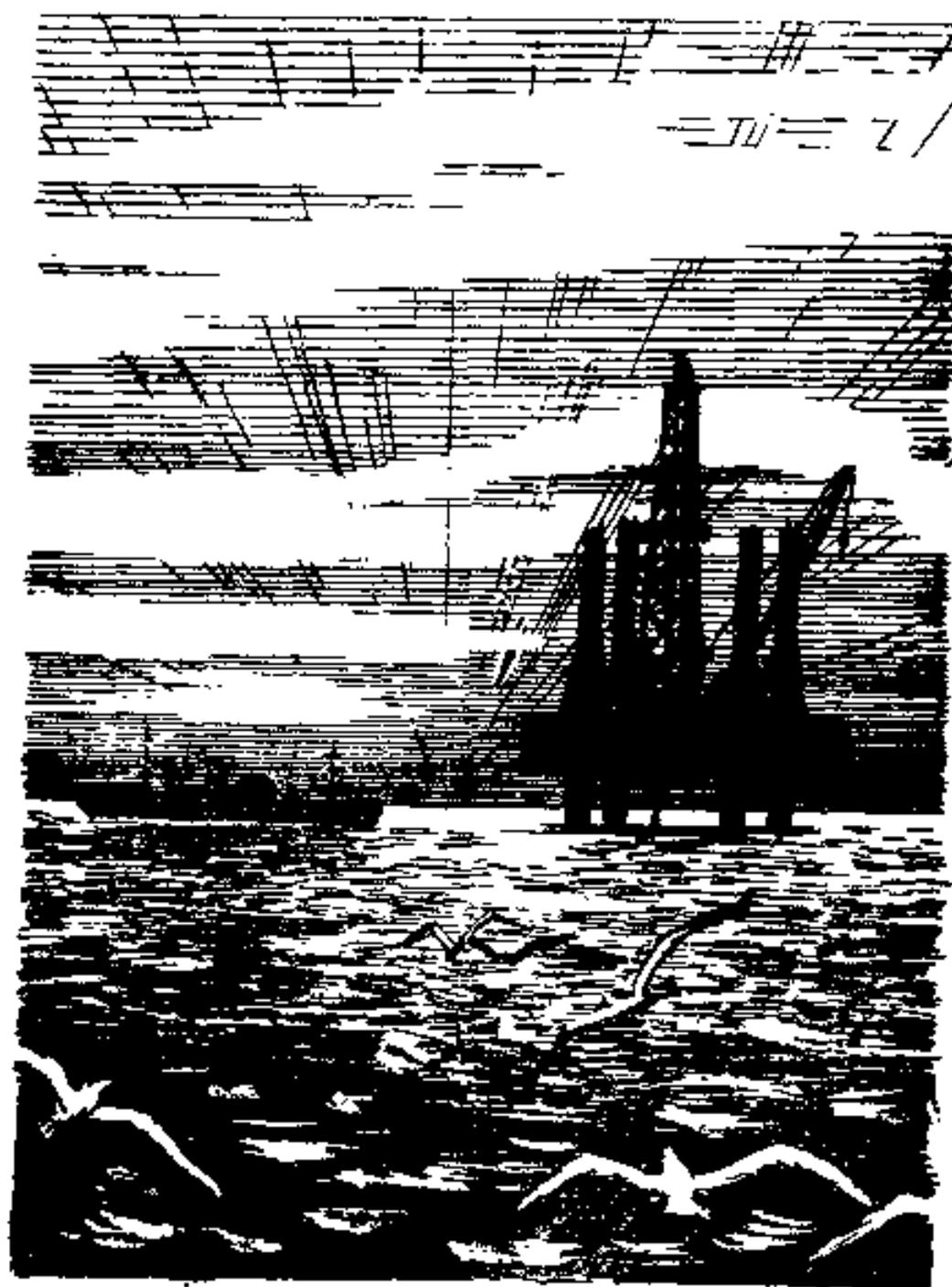


图 80 浅海采油

后堆积在海底，是形成石油和天然气的好原料。近一、二十年来，在许多浅海地区发现了油气田。到1976年为止，已探明的海底石油储量，占世界石油总储量的四分之一，产量也激增，1973年，美国海底石油产量比二十年前增长了三百多倍。现在还发现，不仅是浅海地区，在深海底下的地层中也藏有石油。从长远来看，海底石油的储藏量，要远远超过大陆。

在大海之滨，河流除了带来普通的泥沙，还带来金刚石、金红石、独居石、锆石、锡石、铁砂等许多耐磨难溶的矿砂。在近海地区的海底下还常有煤、硫磺、磷等多种矿藏。

海边上的那些普通的沙子也是很有用的。建造一平方米的房屋，大约要用半吨多砂，需要量是很大的。据1972年的统计，海滨砂砾的产值相当同一时期海盐产值的百分之六十。



图 81 海蚀穴

海浪的冲击对某些滨海地区的影响可以很强烈。美国东海岸圣地亚哥附近的海岸峭壁，每年因海浪冲击垮落，后退将近一米。但这种破坏的规模，从全球来看并不算大。据估计，一年中地球上被破坏的海岸总量不过四千万立方米，即仅及河流带进海中的泥沙总量的四百分之一。而且对一个地区来说，这种破坏也不是无止境的。由于海浪的破坏，原来陡峭的海岸可

以冲蚀出一段微微倾斜的海滩，这时海浪冲来，就会与它发生摩擦，把能量分散地消耗在这个平缓的斜坡上，等海浪拍击海岸，它的力量早已成了强弩之末，也就不能造成多大破坏了。

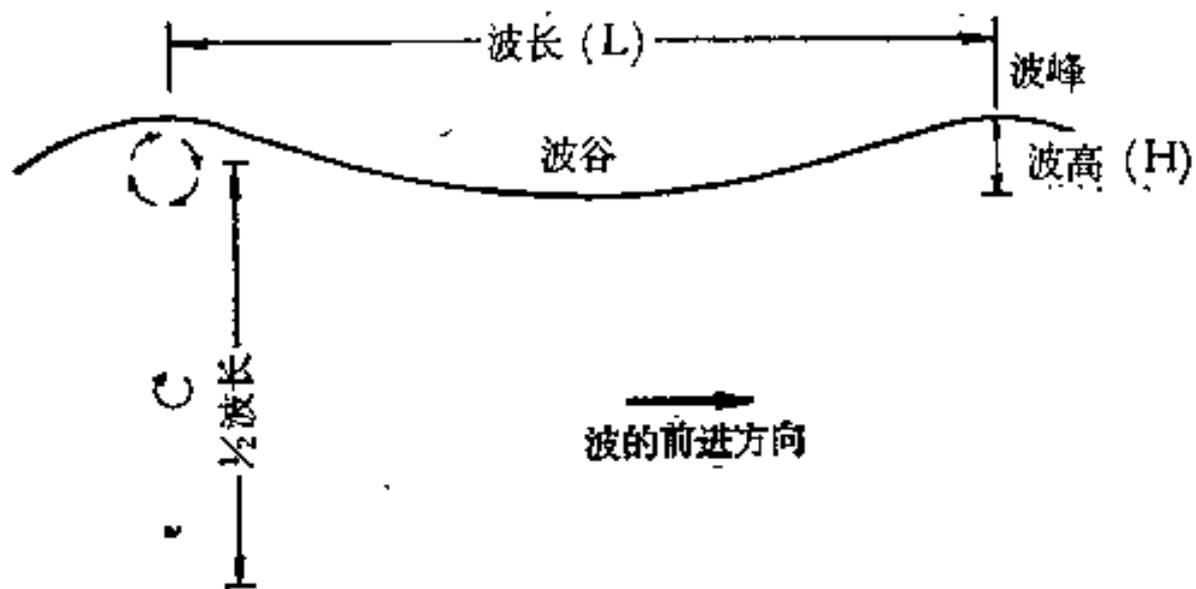


图 82

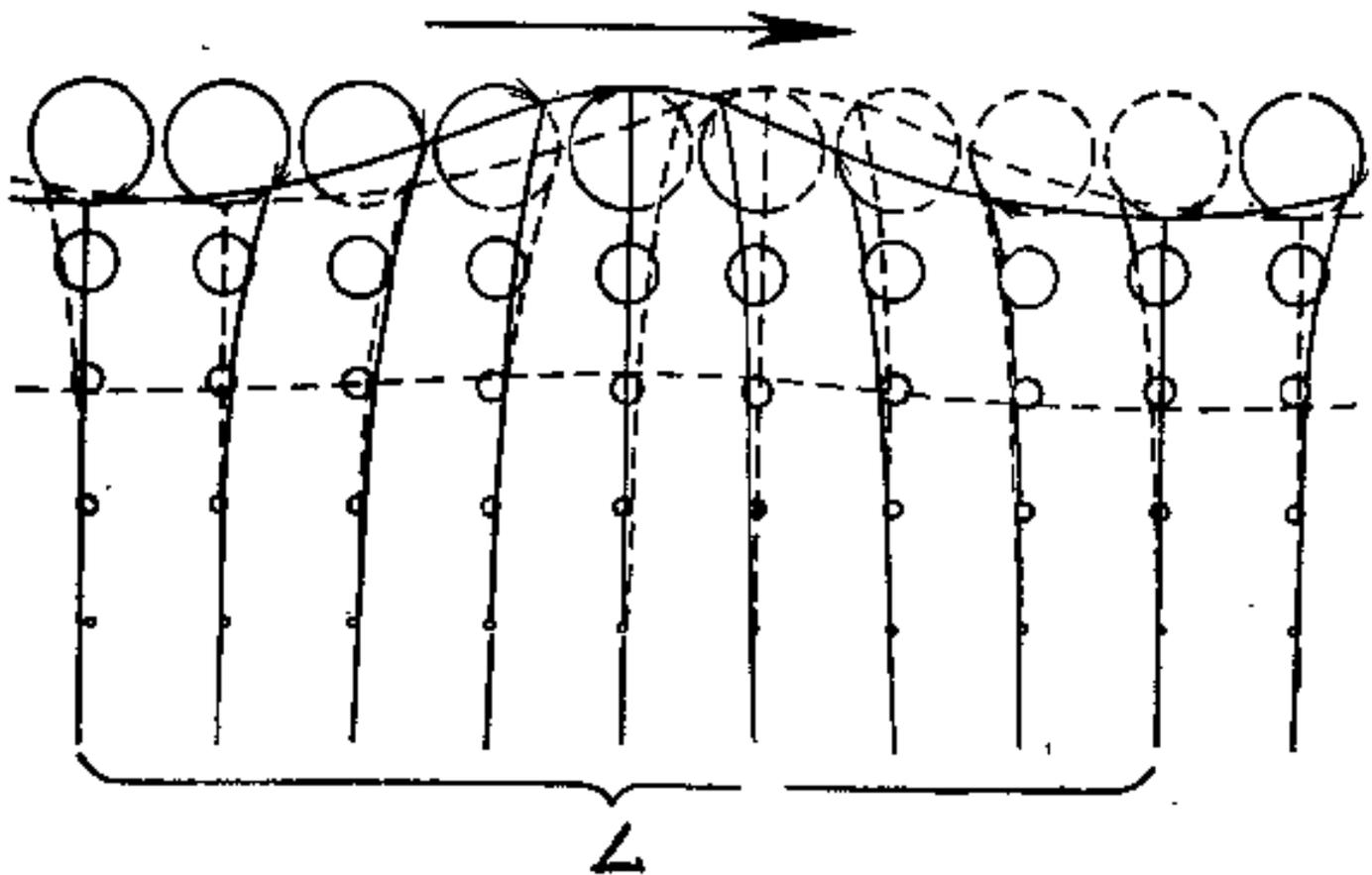


图 83

波浪是海水经常发生的运动，风是造成波浪的基本动力。有时海面上无风也会起浪，那是别处的波浪传了过来，被称为涌浪；海中的火山爆发或者发生强烈地震，也都会使海水扰动，产生波浪。如果这时海底形还发生了急剧的升降，更会形成一种被称为海啸的特别长的大浪，有些海啸的波长可以达到一百公里以上。海洋里的火山活动和地震都很多，不过能造成海啸的，则没有那么多。地震海啸是在深海沟附近发生强烈地震时才会产生的，

而那些深海底下的火山喷发，由于海洋中每深十米，每平方厘米面积上的压力便要增加一公斤，在几千米深处就是几百公斤，这样大的压力，使火山喷出物难以上升到海面，这时不仅没有海啸发生，甚至连异常的波浪也看不见。

火山活动和地震以及强大的风暴等作用，有时还能把平时搅动不到的海底泥沙翻腾起来，形成一种挟带有大量泥沙的浑浊水团在清澈的海水中运动，常称为浊流。由于它的出现，能使本来到不了的深海底下的较粗的碎屑物质，也能沉积一些泥沙。浊流的活动还能磨蚀那些很深的海底，改变海底的形态。

波浪运动的特点是尽管是波浪滔天，前浪推后浪，浪头滚滚接连不断，其实水的质点还是原地兜圈子。这有点象风吹麦浪此起彼伏，看起来似乎在随风前进，实质上麦子仍长在原处。当然，在海洋中，水的质点离开了原来所在的地方，这种运动也是大量存在的，潮汐、海流就是它的表现形式。潮汐是海水受到月亮和太阳，特别是月亮的引力，还有地球自转的影响而产生的周

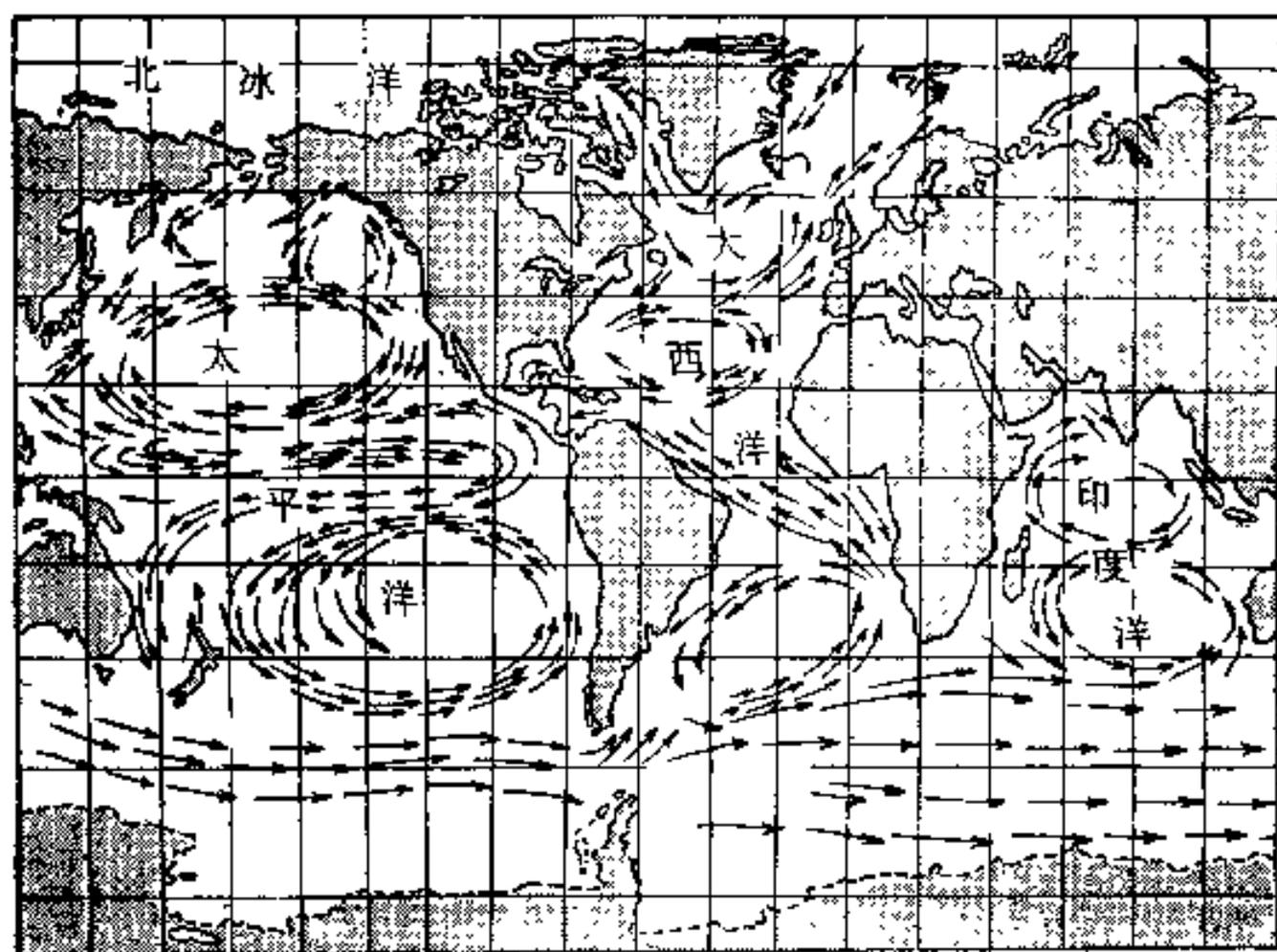


图 84 世界主要洋流分布图

期性涨落运动。上涨时，向陆地涌去，然后，又下落退出。海流则是海水按一定路线在水平方向的流动，常常是长驱万里，规模很大。象从菲律宾东北的海流经我国台湾省附近，向东北进入东海，再折向日本的这股海流，宽近两百公里，涉及的深度平均有四百米左右，它的流量约为全世界所有河流流量的二十倍。海流的形成由于风持续地按一定方向吹拂海面，也有海水密度不一，海面高低差异以及地球自转等影响，是海洋中一种宏伟壮丽的现象。

波浪、潮汐、海流各有自己的特点，但又是密切联系的。许多时候，还是同时出现，在海边，我们就可以很容易地看到潮汐和波浪都在那里起作用。

波浪、潮汐和海流的能量都是很大的，有人计算过，地球上涨潮落潮这样一个循环中所蕴藏的能量就足以发电八万亿度。海流的能量也可以与潮汐相当。波浪的威力更为许多人所目睹。但是它们所能产生的影响，还是要受到环境的限制。象波浪的作用就只限于海水的表层，愈向深处去，它的影响愈微弱，因此，当海面风浪很大时，潜水艇钻到水下一定的深度便安稳了；在大于波长二分之一的深度，波浪已无力扰动那里的泥沙，一般在水深超过二百米的地方便不受波浪的影响了。潮水在经过狭窄的通道时，流速加快到每秒好几米，搬运能力也加强了，并能影响到较深的地方，把海底的泥沙搬走。至于海流，虽然规模很大，但流速较慢，常常是每秒不到一米，搬运能力很弱，对海底的影响并不大。

海水的活动只是对较浅的海底起破坏作用，将它们削低铲平。而在水深的地方，则只是把带来的泥沙堆积起来，把海底垫高填平。二百米的深度通常就是这个破坏与建设的分界线。经过长期的作用，总是能在大陆边缘造成一段平缓的海底，其坡度仅十分之一度左右，即每延伸一公里，高度才降低大约一点五米。这个紧靠着大陆而坡度平缓的海底，就叫做“大陆架”，边界外坡度陡然增加，地势发生转折；它的宽度没有一定，平均宽约六十

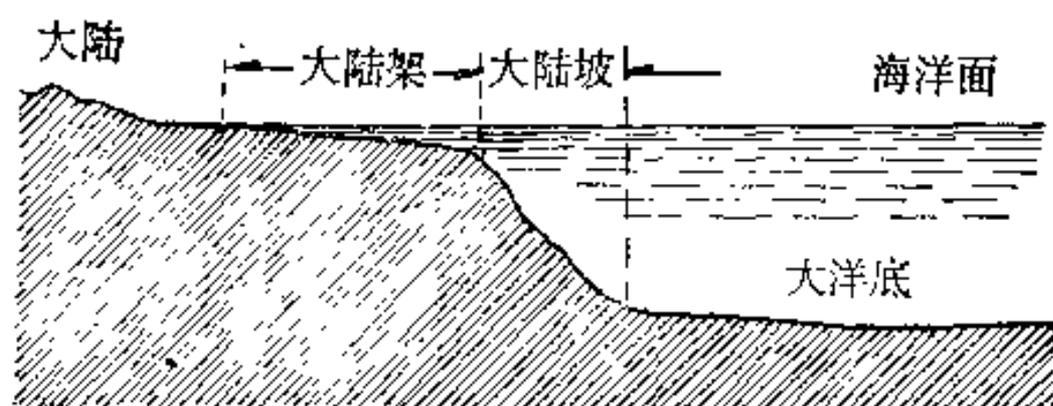
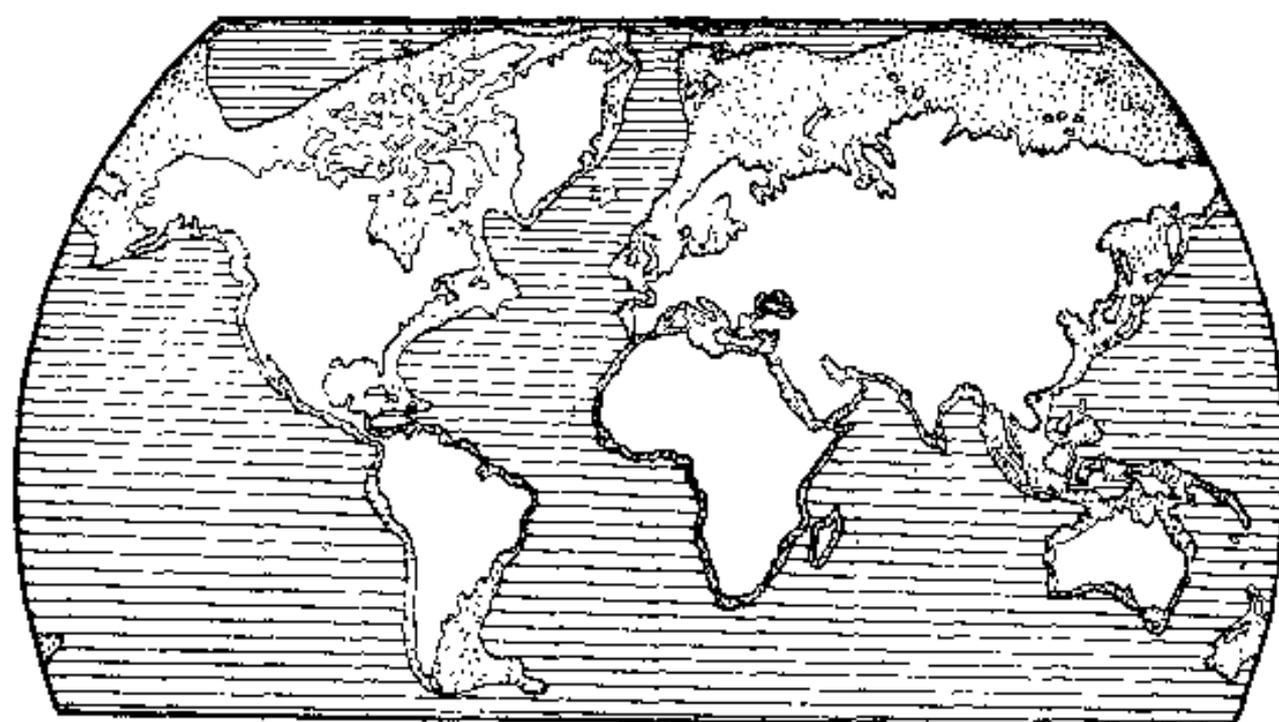


图 85

五公里，但宽达几百乃至上千公里的也有。地球上大陆架的总面积约占海洋总面积的百分之七点六，目前国际上公认大陆架是沿海国家领土的自然延伸，大陆架资源归沿海国所有。现在已发现的海底油田绝大部分是在大陆架的范围内；捕捞的海产品，百分之八十以上是从大陆架上的浅海中获得的；在这里还埋藏着许多和大陆上一样的矿藏，如煤、铁、硫、盐和有色金属等，因此，其重要性一点也不减于陆地上的领土。

大陆架实际上本来是大陆的一部分，虽然现在从表面来看属于海洋的范围，但它的地质结构和大陆是一致的，而和那种大洋



表示大陆架

图 86 大陆架分布图

底下的地壳截然不同；大洋地壳是由年龄不超过两亿年的玄武岩层构成的，大陆上的地壳则不仅有玄武岩，还有相当厚的花岗岩以及沉积岩，岩石的年龄有达到三十几亿年的，显然各有各的历史。用地质历史的眼光来看，大陆架不过是被水淹没了的大陆，由于河水带来的泥沙充填；或者是这里的地壳上升；或者是海水水量减少，整个海平面下降，都可以使它重新出露水面。当然，情况相反，也可以使它再次沦为沧海。此外，如果海底确在扩张，大洋盆地的容积发生变化，当然也会有影响。所谓沧海桑田的变迁，主要就是在这种地带进行的。

大陆架的边缘，是一个斜坡，称为大陆坡。大陆坡的坡度平均约为 4.3° ，底部水深增至三、四千米，面积占海洋总面积的百分之十五点三，可谓地球表面特大的斜坡。大陆地壳和大洋地壳的分界就在这个斜坡的底部。

在大陆坡之外，是深邃的大洋盆地，平均水深超过了四千米。其间还有深度超过五、六千米，或最深达到一万一千多米的狭长的海沟；有突起海底之上，相对高度达到几千米的水下山脉，以及多种形态的隆起和凹陷。说大洋是个盆地，这是就总体概括而言，并不象一个盆那样简单。大洋盆地是海水的主要贮存所，在这里还没有找到过曾经上升为陆的证据。地球的表面为什么会这样巨大的凹地？过去曾有人设想，这是由于地球冷却收缩而凹陷；也有人设想为受到陨石的冲击；还有人设想是地球在转动过程中，将表层的一部分物质甩出去形成月球，留下了太平洋这个缺口，并导致了地壳的开裂，形成了其他的大洋。这些假说多少有一些事实作为依据，在启发人们的思考上，有它的作用，但许多事实也在对它们进行否定。我们已经知道，地球并不是一直在冷却收缩，月球也不是从地球上飞出去的，而陨石看来也难以对地球产生这样的影响。六十年代以来出现的地幔物质上升，挤到地壳的裂缝中将它撑开，形成洋底的假说，似乎比较合理地解释了今天大洋的起源。但地幔物质这种运动还只能是一种设想，许多观点也还有待验证。海洋是一个尚待征服的世界，是

地质学正待开拓的新领域。我们不认识的事物还多得很，对前人的那些设想我们不必过于相信，也不要一概视为谬误。如陨石冲击地面造成海洋一说，在地球形成之初，如果有过一段没有大气圈的时期，陨石未必不能产生重大影响。我们所应该作的是努力探索，用实践来检验。对于这个地球上最大的聚宝盆，我们已经揭开了盖住它的帷幕的一角，但它究竟是怎样形成和发展的，还是一个谜；它所拥有的资源，究竟丰富到什么程度，也缺乏充分的了解。仅仅在一、二十年前，地质学研究的对象，还限于以大陆这部分地壳为主，对大洋底下的地质变化和造矿作用，还很少认识。这个对人类来说不可缺少的海洋，在怎样演变发展呢？里边究竟有些什么宝藏呢？至今也还在急待我们去探索。在海洋里面，地质学是大有用武之地的。

冰川和冰期

现在有些人正在研究把南极的冰山拖到北半球来用。

地球上的水很多，但将近百分之九十八是咸的，我们需要的是淡水。

地球上的淡水百分之八十左右一年到头都冻结成冰雪状态，这些冰雪约有百分之九十贮存在南极，那里是地球上最大的淡水库。

常年冻结是因为那里的气温低，两极是这种地方，一些高山之巅也是如此。雪片落下来，越堆越多，越压越紧。那些六角形，晶形美丽的雪花，在严寒的环境里，在压力和阳光的作用下，稍稍融化随即又凝结压紧，形成了珍珠似的粒雪，雪片不断坠落堆积，粒雪不断形成，下层的粒雪，不断受到逐渐增加重压，终于成了半透明到透明的冰层。这就叫做冰川冰，它比普通冰略微轻一点，而且有多种色彩，压得最紧密的冰川冰常呈现淡淡的天兰色。

在南极大陆上，冰雪满山遍野，填坑塞谷，几乎把整个大陆都掩埋起来结成了一个巨大的冰盖，平均厚度达一千七百米左

右，最厚的地方超过了四千米。北极的格陵兰岛上，百分之八十四的面积为冰层覆盖，平均厚度约为一千五百米，这种漫掩大陆的冰层，在地质学中名为大陆冰川。叫做冰川是因为它能流动，有点儿象河川似的。

固体的冰为什么也会流动？这是因为位于底层的冰在持久的沉重的压力作用下，变得有了塑性，能够因重力的影响而向低处流动。这种塑性流动的速度当然极其缓慢，无法与河水的流速相比。南极大陆上，有的冰川一年才前进十几米。但这种流动确实是存在的。那些飘浮在水上的冰山，就是两极的大陆冰川流到海里来的。



图 87 冰川

大面积掩盖地面的大陆冰川，其实并不具有河川的形象，那种在两极地区以外出现在高山上的山岳冰川，在山谷间流动，逶迤蜿蜒，倒有点河流的样子。山愈高，空气愈稀薄，也愈冷。大约高度每增加一百米，气温就要降低半度左右。所以到了一定高度，就可以终年积雪，这个高度就叫做雪线。但是山高不一定就能积雪，还得要下雪多，而且有贮存场所。只有具备了适于积雪贮

存的洼地，才能成为冰川的发源地。冰川从这里流出后，沿着山谷向低处推进，速度也很慢，一年前进几米、几十米、一百多米的都有；在有些地势陡峭的地方可以流得比较快，喜马拉雅山中个别大冰川，曾有一年前进七百到一千三百米的纪录。气候寒冷，并且冰源也很丰富时，冰川可以流到比较远的地方，反之则要后退收缩，象我国西北的高山上的现代冰川，最长的不过三十多公里，而过去曾长达一百公里以上，说明过去这里的气候更为寒冷。

冰川在前进的时候，虽然缓慢但非常有力，简直象一个巨大的堆土机在刨刮地面，它所经过的山谷底部因而变得开阔平坦，形如U字，和冰川接触的岩石表面变得比较平滑并留下擦痕；一些凸出地面的基岩，或被铲平或被改变形态，面对冰流的一侧被磨得平缓光滑，另一侧则显得陡峭粗糙，望去如绵羊伏地，逐得



图 88 基岩冰溜面上的条痕

了“羊背石”之名；由于冰川的活动和冰雪的作用，那个贮存冰雪成为冰川之源的高山洼地，即所谓“冰斗”，也会逐渐扩大和加深，并向与冰川流向相反的方向开拓。在这些U形谷和冰斗日益扩展以后，夹在它们之间残留的峰峦就格外突出尖锐了，常如兽之角，如鱼之鳍，于是被命名为角峰、鳍脊。以上种种特殊的地



图 89 苏格兰格连内威斯的典型羊背石

面形象，都是那夹杂着沙石的冰块象锋利的刀刃似的对地面作了一番雕琢的结果，这是水和风都无能为力的。

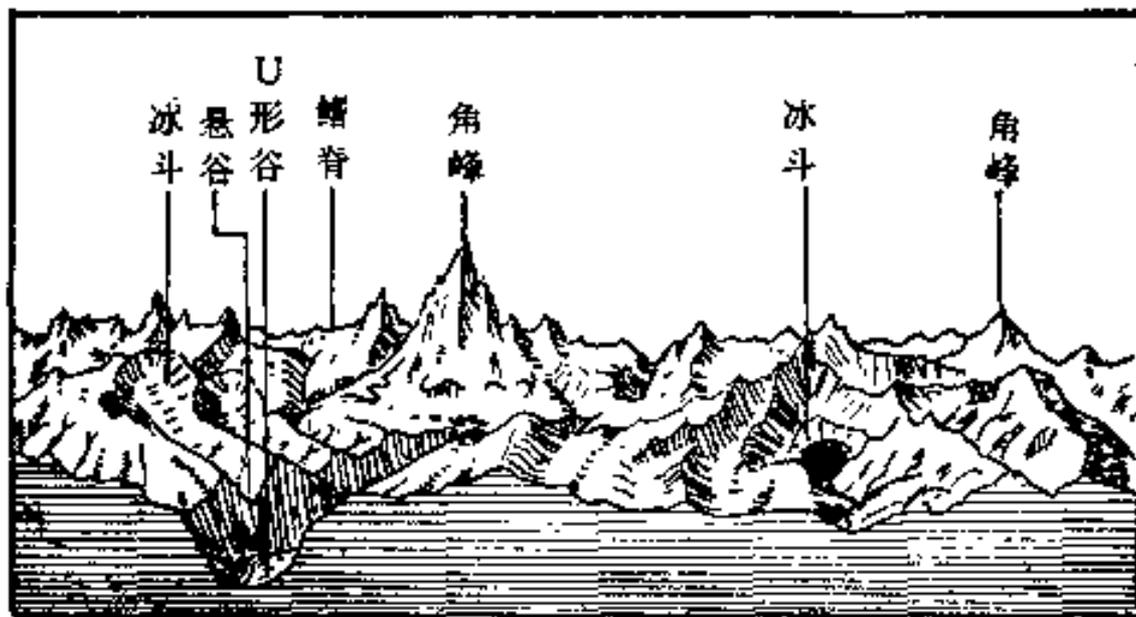


图 90

冰川的流速慢，但河流搬不动的大石块，它却能搬走。这种经过冰川搬运的大石块，叫做冰川漂砾。

大石块能被搬走，小小的砾石和泥沙更是不在话下，因为它



图 91 新疆贡格尔山下的巨大冰川漂砾 (眼球状片磨岩)

们原本就是冰结在冰里或是躺在冰层的表面上被带走的，不象河流能按照它们的粗细轻重加以分选，更不存在滚动摩擦，仍能大致保持原来的轮廓，但互相碰撞磨损是有的。经过冰川搬运的砾石，常会磨出一两个光滑的平面，平面上有时还会被较硬的砂砾

刻划出一些方向杂乱的条纹。那些位于底层的砂石，受到的压力很大，还要和地面接触碾磨，更会碎裂乃至成为粉末。



图 92 北京八宝山附近的冰川条痕砾石

冰川流动到气温较高的低处，和离两极较远的地方就会融化，所以，冰川的前进是有限度的；地球上的气候变暖，更可以

促使冰川缩短流程，这时它所载运的东西就会在它融化的地方堆积起来，粗的细的都堆在一起，看不出什么层理。但也有些冰川的堆积物不仅有层理而且很清楚，这是冰川融化后的冰水带来的；这种冰水在冰川的表面、两侧，并通过冰川中的裂隙渗入到冰川底

部，汇成冰水河流，其作用与流水无异。沉积物也具有层理，不过其中总还是有些东西保留着冰川搬运的特色，可以和河流的沉积物区别开来。

当地球上的气候变暖，冰川规模缩小以后，就会有一些原来为冰川覆盖的地面露了出来。由于冰川在各处的作用程度不一，地面抵抗冰川破坏的能力也不尽相同，因此，有些地面被刨刮得高高低低、坑坑洼洼，消融了的冰雪正好蓄进洼地，成为湖泊。在与冰川相连接，而且没有出水口的冰川湖中，从冰川中流来的冰水，可以不断地把冰川中的细微岩粉带来，沉积成层次格外清楚，格外细密的层理。因为夏日冰雪消融的速度快，水量大，搬来的岩粉较多，也较粗，冬天则相反。从粗到细，再从细到粗，粗细相间，一年一组。一位瑞典地质学家在斯德哥尔摩附近的一处冰川纹泥中数出了一万五千零七十九组，也就是说一万五千多年前，这里的冰川就开始消融了，表明地球上的气候最晚在那个时候已经转暖。

现在据多方面的考察得知，约在两万到一万四千年前，那时，地球上的气候比今天冷，冰川的面积要比今天大两倍多。由于海洋上蒸发的水分大量降落并冻结在冰川里去了，海洋里的水量减少，使当时的海平面大约比今天低一百三十米左右，象日本和爪哇、苏门答腊等岛屿都是和亚洲大陆相连的。这种气候寒冷，冰川广布的时期称为“冰期”，两个冰期之间比较温暖的时期叫做“间冰期”，但这都是相对比较而言，冰期究竟广布到什么程度便算进入了冰期，并无明确的绝对标准，从长期来看，一个冰期中，冰川的规模也时大时小，如十二万年前开始的最近的这次冰期中，就有过多次冷暖变迁。这个冰期被认为结束于一万七千到一万四千年前，此时冰川开始大规模消融，海面迅速升高，达到每百年升高一米的速度。到了距今五千年前后才接近现在的水位，并减缓了消融的速度，变为一百年升高十几厘米。直到本世纪仍略有上升，如太平洋的水位，在1900年到1964年间升高了六厘米。当然，影响海面高低变化的因素还很多，但结合到



图 93 北半球更新世冰川（白色部分）分布范围

这一时期地球上冰川的面积也在缩小这一事实，可以确信地球现阶段是处于冰期之后，是比较温暖的时期，如果说冰期的来临意

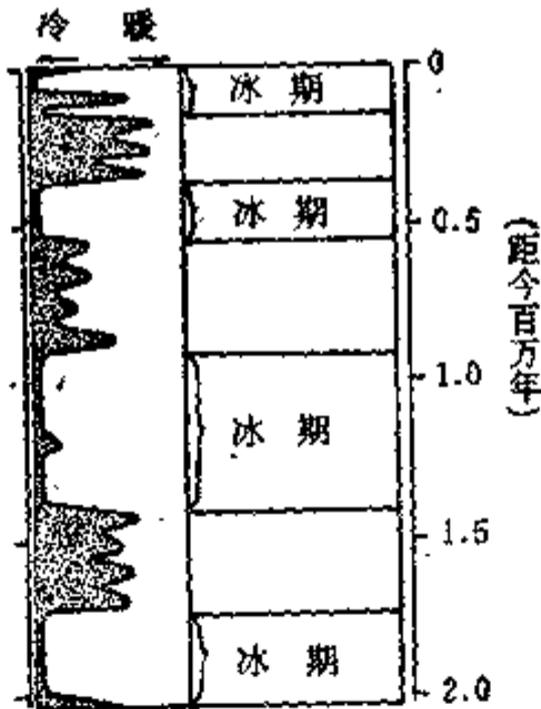


图 94 海水温度的变化

味着地球进入了它的严冬季节，那么今天的地球正已迎来了它的春天。

在第四纪这个时期中，冰期与间冰期反复交替出现，总称为第四纪冰期。这样的情况，在地球历史上并不常见，仅在6—7亿年前，即震旦纪后期和2—3亿年前，即石炭、二叠纪之间发生过；而石炭——二叠纪的冰川遗迹主要还是分布在南半球。较

小的冰期还有一些，但总的说来，还是温暖炎热的时候多。

地球上为什么会出现冰期？说法很多，有人认为这是由于强烈的造山运动发生后，地面上出现了许多高峻的山峰，这里空气稀薄，地面的热量容易从这里散失到太空中去，能引起地球上的气温降低，并提供了许多形成冰川的场所。还有人设想，这是地球随着太阳系运转，当进入到含有许多宇宙尘埃的空间中时，太阳辐射到地面的热受到尘埃的阻挡而减少，致使地球上的气温降低，冰期来临。有的研究结果提出，地球自转轴位置或者轨道的变化，以及火山喷出大量碎屑物长期悬浮空中，都可以使地球从太阳那里得到的热量减少。如果太阳本身发出的热量有变化，在热量减少的时候，当然，也会引起地球上的气温降低。能够影响地球冷暖的因素是很多的，但究竟是怎样造成了大规模的冰川活动呢？可以说，仍是一个谜。揭开这个谜有很重要的意义，冰川的消长，对人类是很有影响的。譬如，假使地球上的冰川都消融了，那么许多常年封冻的土地都能得到利用，但另一方面海洋水位就会再升高六、七十米，世界上许多大城市和肥沃的田野都要被淹没；即使部分消融升高十几米，影响的范围也是不小的。而冰川规模的缩小或扩大，还会对地球上的气候发生影响，也会引起自然环境的改变。如果我们能够对地球上气候变迁、冰川消长的规律有所了解，就有可能用自己的活动去影响气候，使之向着有利于人的方向发展。早在十八世纪，法国的进步学者布封就曾提出“人，操纵着总因，改变着温度，就可以同时一面消灭于他有害的东西，一面化育一切于他有利的东西”。有了现代化的科学技术和强大的生产力，人类的活动更可以对地球上的气候产生影响。如果我们不了解自然规律，也就无法控制自然界。现在地球上的气候变化对人类活动产生什么影响，也是地质学应该认真探讨的一个重要问题。

生命的力量

自从生命在地球上出现以后，它就成了改变地球面貌的一支重要力量。

生命，如果仅就它的个体来看，即使是鲸和大象也微不足道。然而，把生物界作为一个整体来看，它们遍布全球，繁衍不息，其力量实足以移山填海；而那些小到肉眼难以辨认的生物，它们个体虽小，繁殖特快，生长迅速，总量反而最多。在海洋中，有些只有百分之几到千分之几毫米的藻类，在条件适合的时候，一天之内可以繁殖几万亿个，比它小的细菌，更可以繁殖几万万亿个。如果我们再考虑到地球上的生命已绵延了三十几亿年的时间，对生物的作用更不能低估。

地球上的生物，通过它们的生命活动，直至它们的尸体，都对旧岩层进行着破坏，也进行着新岩层的建设。

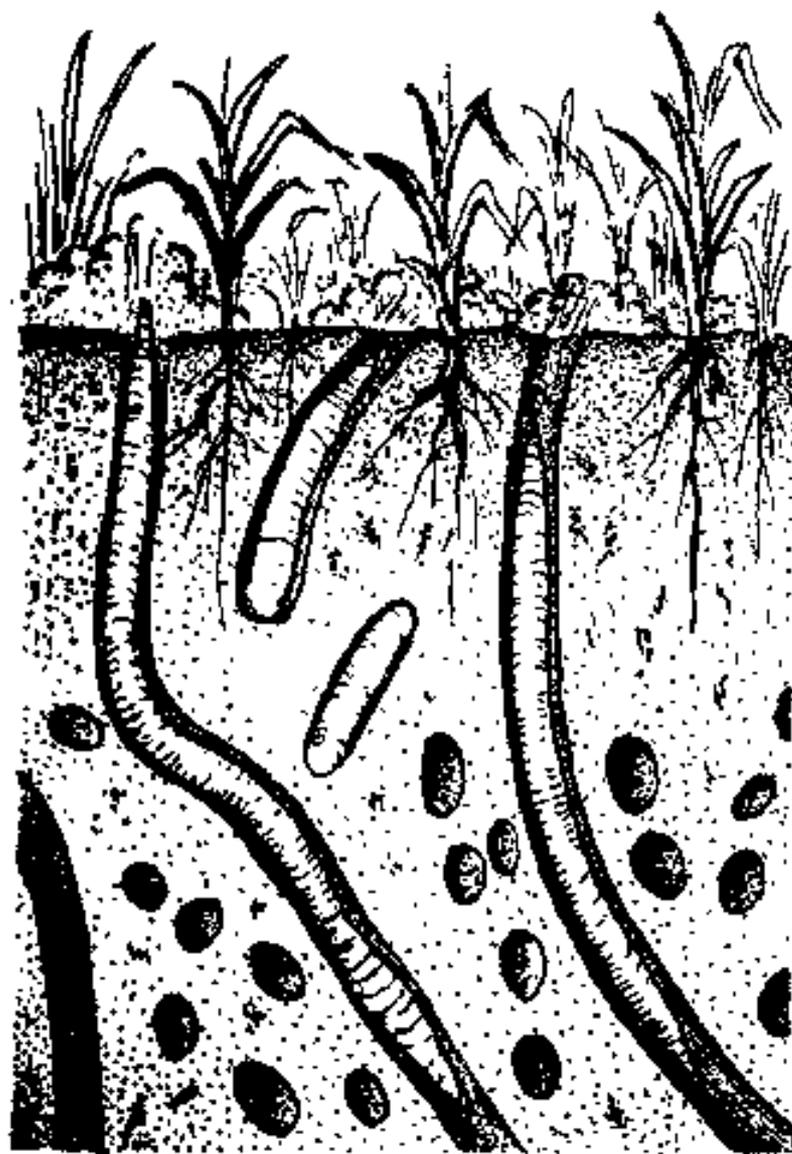


图 95 蚯蚓翻动泥土

在海边的石壁上，常常可以找到吸附在岩石表面的生物，它们以岩石为“食料”，有的还能在石头中穿洞；意大利那不勒斯塞拉比斯古庙残留的三根石柱上，就保留着海生动物对之起过破坏作用的痕迹，有力地证明了这一带曾经下沉，石柱曾经没入水中。1938年，在里海边的敖得萨整修防波堤时，发现每平方米面积上聚积的生物重达四十公斤。蚯蚓翻动泥土的作用也是常见的现象，一万条

蚯蚓的活动可以抵得上一匹马耕地。植物的生长也能对岩石进行破坏。

生物的尸体，给组成地壳的物质添加了极有价值的内容。那些在工业上很有用的石灰岩，有许多是生物的甲壳、骨骼堆积出来

的。微小的珊瑚虫就是石灰岩的积极建造者，它吸收了海水中的石灰质再分泌出来建成自己的“寓所”，经过无数珊瑚虫的工作造出了丛林般的珊瑚树，引来了许多海洋生物到这个“水下森林”中居住。尽管海上的风浪在不断给它以冲击，一些珊瑚树被打碎了，但正好用来填充

这“森林”中的空隙，那些居住在“森林”中的海洋生物死后，也把它们的身躯留了下来；珊瑚虫继续顽强地生长下去，终于造成了以珊瑚为主的礁石，屹立在大海之中。不仅是珊瑚虫，许多海洋中的生物对岩石及矿产的形成都能起作用。有的也能吸收溶解海水中的石灰质，再使它沉淀下来。一些铁、锰、磷等矿产的形成还有细菌的参加。在现代的湖泊中，我们

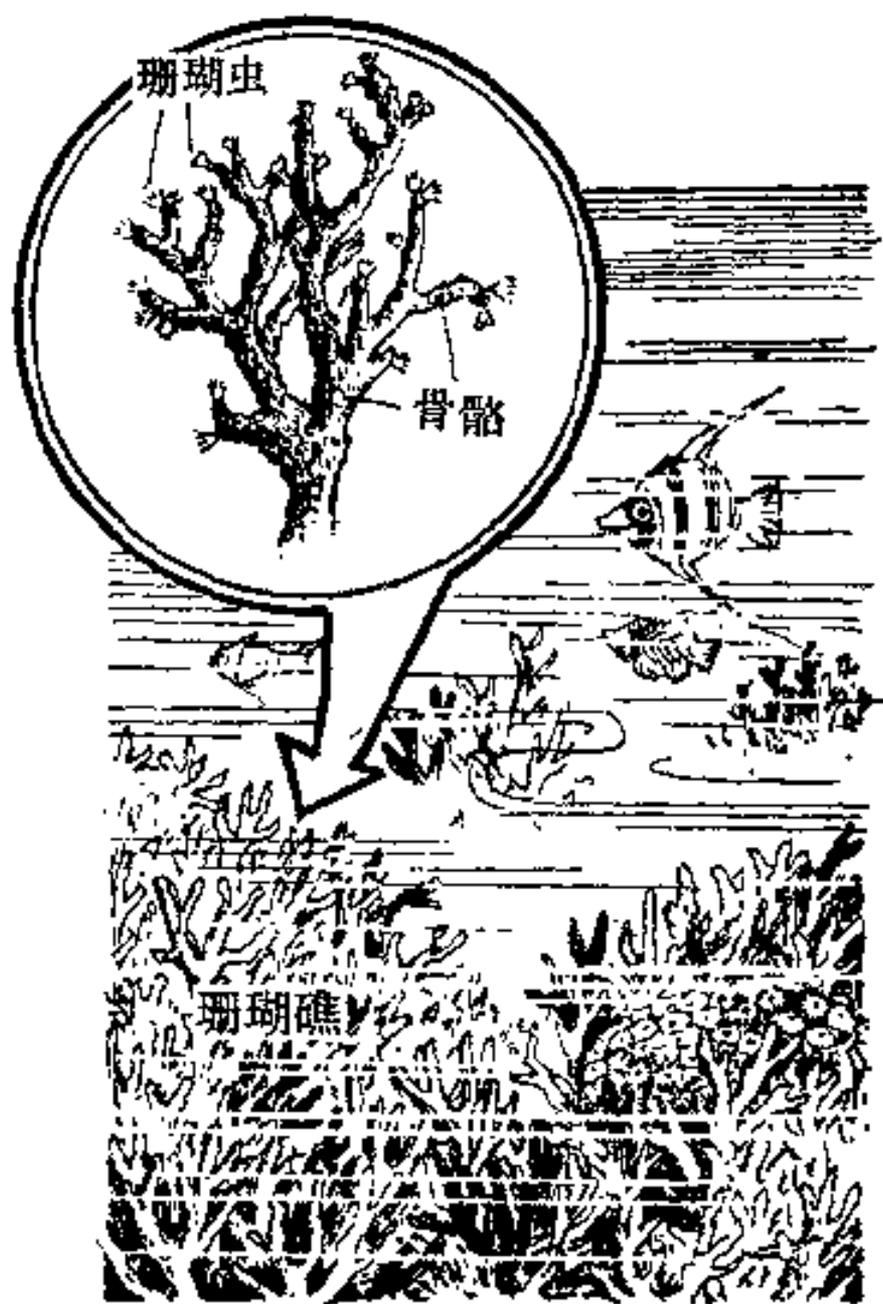


图 96 珊瑚虫造礁

有时还可以观察到那种“吃”铁的细菌，它们的集合体是褐黄色象棉花似的东西，能把分散的含铁矿物集中起来，使它们沉淀，从而获得自己赖以生存的能量。在有的铜矿山中，用“吃”铜的细菌来回收矿坑废水中的铜，已取得成功。

煤炭、石油和天然气等的形成，也有细菌的作用。它们把生物的尸体分解，使它留下碳及碳氢化合物等成分，形成了这些矿产。1882年3、4月间，美国东北部的大海中，由于水温突然变

化，大量鱼类死亡，死鱼在相当大的范围内堆积了将近两米厚。1978年1月14日，日本横滨南部海中发生的一次6.5级地震也造成了约十万条鱼的死亡。在地质历史上这种环境的突然改变，导致生物大量死亡的事件是很多的。其实平时生物也有大量死亡，只是没有引起人们注意罢了。在海洋中大量存在的并不是鱼类，而是那些肉眼难以看见的浮游生物。它们悄悄地生长，默默地死去，用自己微小然而众多的躯体提供了形成石油的主要物质来源。

假使没有生命的作用，地球将远不是今天的样子。荒凉、死寂、单调、地质变化也要简单许多。人们在月球上已看到了这种情景。

人是自然的一部分，也是生物界的一部分。人的出现使生命的作用空前地增强。没有哪一种生物能象人这样迅速地改造着地球的面貌，甚至许多其他强大的自然力也比不上。随着现代化的程度愈来愈高，人对地质所起的作用也愈来愈显著了。

现在人类在一年的时间里从地下挖掘出来的煤，比十九世纪头五十年间煤产量的总和翻了一番还要多；至于石油，本世纪七十年代任何一年的产量，都比一百年前的年产量大一百倍以上。各种矿石的开发都是数以万吨计了。高山可以削平，平地掏出大坑，象我国著名的大冶铁山，原高二百七十米，到1973年，在九十年间被削低了二百四十米。

人们还拦截江河，兴修大批人造湖泊；填塞海洋，开拓了大片土地。截至1975年为止，全世界坝高超过一百米，库容超过十亿立方米的大水库已建立了一百六十座，较小的水库更是数以万计。在荷兰，八百年来，人们抗拒了海水淹没的威胁，围海造田夺得土地占到全国土地总面积的四分之一。本世纪二十年代以来，填塞须德海的计划逐渐实现，目前接近完成，已经开拓出了十五万多公顷土地，剩下一部分原来的海，正在变成一个淡水湖。何需鬼斧神工，人类自有改造大地之能力。

然而，生命的作用，特别是人的作用，有对我们有利的方面，也有对我们不利的方面，或者从当前来看有利，从长远来看则不利。对这些问题缺乏认识，就不免要招来大自然的惩罚。在人类历史

上，由于这方面的盲目性，已经产生了许多恶果。现在如果还认识不清或认识片面，将会带来更加严重的后果。例如，本来地球上的森林是很多很多的，哥伦布发现新大陆的时候，美洲的松鼠可以从大西洋沿岸的树上攀越跳跃直到太平洋岸，不需下地，欧洲及我国北部也曾经有过这样的景象。然而由于人类对森林的砍伐和焚烧，地球上森林面积日蹙。例如工业发达最早的英国，在十八世纪中叶以前，即因使用木柴作燃料把森林砍伐殆尽，“蜀山兀，阿房出”，我国的森林也经历了多次浩劫。世界上许多地区因而风沙水旱等自然灾害增多，气候变坏；耕作的不得法，还使许多土地肥沃的古代文明摇篮变得荒凉贫瘠。由于人类的这些活动，每年地表被剥蚀掉的岩石、土壤的体积增长了两倍至一倍半。

兴修水库一般说来，是有利的事情，但考虑得不周全也会产生不良后果。尼罗河上的阿斯旺水坝建成后，下游的三角洲得不到河水泛滥带来的肥分。东地中海的沙丁鱼也因河流带来的食料减少而减产。

现代化的工业生产创造了巨大的财富，可是大量燃烧煤炭和石油，使大气中的二氧化碳日益增加。近年来正在以每年增加百分之零点二的速度递增。每年全世界工厂向大气排放的二氧化碳也达到一亿五千万吨以上，由于人类活动而进入海洋的石油达到大约一千万吨，其他排入江河湖海的污水，更数以千亿吨计。地球的大气正在受到毒化，水圈也正在受到污染，这已为人们所普遍关心。如何正确运用人类自己的力量促进其它有益于人的生命活动，克服不利影响，把地球这个人类赖以生存的环境不仅保护好，而且改造得更加美好，是人类当前面临的重大问题。问题的解决要求我们正确认识、遵守和运用自然变化的客观规律，克服在改造自然中的盲目性、片面性。这就需要有包括地质学在内的科学武装。在现今的条件下，一些地区由于有了科学的指导，正使恶化的环境开始有了改善，受到破坏的森林草原得到培育复兴，科学能够使生命的力量向前有利于人的方面发展。

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 多变的地球

作者 =

页数 = 1 4 7

S S 号 = 0

出版日期 =

V s s 号 = 6 1 8 9 2 3 9 1

封面
书名
版权
目录
正文