

1. 神话与科学 ——地磁学与现代空间物理学

中国古代有些十分神奇的神话故事都和人们对浩瀚的宇宙空间的认识、设想有关系。人们想象着天上有天宫、有玉皇、有王母娘娘的蟠桃会，嫦娥奔月的故事更有凡人登月的奇想等等。

古希腊的神话也有这方面的记载。太阳神阿波罗驾着太阳车东升西落。希腊人还给天上每个星座赋予一个奇妙的神话故事……宇宙太空对地球人类是那么神秘莫测，引起一代又一代人的探索 and 追求。

没有人类的对宇宙空间诗一样的梦想和追求，就没有现代的空间科学。今天，人类已经进入宇宙航行的时代。登月已不是神话和梦想，而是举世瞩目的事实。天上虽然没有玉皇大帝的凌霄宝殿，但是人们在太空建立了星际空间飞行站。人类在宇宙太空长期生活、繁衍后代的时代已经不是久远的事情了。

宇宙空间对于人类已不是可望而不可及的，因此摆在人类面前的重要问题是探索与弄清地球之外的宇宙空间究竟是什么样的？这就产生了空间科学。

现代空间科学包括极广泛的研究内容。研究对象一般是在地球电离层以外的整个宇宙空间和星体。在近地空间，人们研究电离层的结构和运动过程。电离层之外是磁层，人们就要研讨磁层的结构和变化过程。磁层之外是行星际空间，也就是对整个太阳系范围内的空间和行星、星体都作为研究的对象。行星际之外的空间叫星际空间——太阳系以外的宇宙空间和各类星体。这是一个广阔无垠的研究领域。

今天，人类又带着现代神话向未来的空间科学领域迈进。

2. 上穷碧落下黄泉 ——地磁与空间物理学的研究领域

空间物理学是空间科学的一部分，它及其相关的地磁科学的研究领域，可以用一句话“上穷碧落下黄泉”来概括。

空间物理学的研究范围，可以广义地从电离层向下延伸到地表面以上的大气空间，并由这个大气空间一直到宇宙深处的星际空间，可以说是上穷碧落了。地磁科学要研究地球内部的内源磁场的特征与演化，地球电磁发电机，地核波等等，也就是从地球表面一直深入到地核，同样可以说是下穷黄泉了。所以地磁与空间科学是一个涉及面非常广的科学。

这样，以地球表面作为原点，向上的空间方面研究的边界是无穷大；向下对地球的研究边界就是一个地球半径（6370 公里）。在这里，扼要地介绍一下地磁与空间科学要研究什么内容：

地面之上是大气层，要研究大气物理，大气层之上是电离层，要研究电离层物理，再上面是磁层，研究的是磁层物理，磁层之外是行星际空间，再外面是星际空间。因此，相应地要研究行星际空间物理和星际空间物理。

地面向下首先是地壳，在这一层深度上由于地壳的不均匀性，会引起地磁场的局部磁性异常区或磁性异常带。人们使用电、磁感应原理制作的地磁

仪器，可以探查地质结构和勘探具有磁性的矿物与岩体。地壳下面是地幔，地幔下面是地核。在地幔和地核边界上的物理过程可能是产生地磁场的源。因此，在这方面提出各种“发电机理论”。因为要解释地磁场存在于全部数十亿年的地质历史时期，这就要说明地核内部一定不断地有电流补充，而支持地磁场的存在。也就是说，地核必须自己产生电，是一台“自激发电机”。尽管几十年来对“发电机”理论尚有不同的意见和见解，但是的确使这一理论发展到一个新的认识阶段。由于现代科学技术水平还很难取得反映地核内部运动状态和物理过程的精确资料，所以现在的地磁起源理论研究距离能够完全解释各种现象还有相当的距离。为此，还须要人们继续进行探索和研究。唐朝诗人白居易有一句诗：“上穷碧落下黄泉，两处茫茫皆不见”。的确地磁与空间科学研究的对象是茫茫不见的星际空间和地核。但是，凭着人类的智慧、科学技术的发展进步，一定能够变不见为可见。

3. 地球 ——像一颗杏子

地球的形状基本上是稍有一些椭圆度的球形体。在地球的北极，地球表面稍有凸出，而在南极又稍稍凹入一些。可以说地球大致像一颗杏子，呈一端微凸，另一端微凹的形状。

地球的内部是什么样子的呢？根据地质学和地球物理学的研究发现：

地球平均半径为 6370 公里，有一个外壳，称为地壳，是由许多层岩石组成的固体地壳。地壳又可分为大陆地壳和大洋地壳。大陆地壳平均厚度约为 33 公里左右，自地表而下可分为沉积壳层、花岗岩质壳层和玄武岩质壳层，在高山地区地壳变厚，在青藏高原地区地壳厚度达到 70 公里之多！是世界上最厚的地壳区。在平原地区，地壳一般只有 30 公里左右的厚度。在大洋，地壳变薄，一般约有 10 余公里厚，而且在大洋地壳中没有花岗岩质的壳层。在此，再顺便提一句，现代流行的板块构造说将地壳底部软流圈以上的地幔顶部与地壳合称为岩石圈。

地球地壳下面直到地心的物质分别称为地幔和地核。地幔一般从地壳底部到 2900 公里的深度处。地幔又可分为上地幔和下地幔。一般以 400 公里深度处分界。在上地幔中 75 公里至 250 公里深度上还有一层软流层，该层由二辉橄榄岩组成，它以部分熔融和地震波纵波的低传播速度为其特征。

在地球内部，2900 公里深度以下至地心的物质称为地核。大多数人推测地核主要是由以铁元素为主的铁镍合金组成的。也有人认为，地核为液态的金属核。最近又有一种说法，将地核分为外地核（由 2900 公里深度到 4980 公里深度）和内地核（由 4980 公里深度到地心）；在外地核为超导态熔融态物质，而在内地核为金属态物质。总之人们对地核、地幔以及地壳的认识是在逐步深化。但是分为壳、幔、核三个部分的认识还是非常一致的。

通过以上的讨论，我们可以说地球从外表看像是一颗杏子。从内部结构看，也很像一颗杏子；外表有皮（地壳），中间有肉（地幔），中心是个核（地核）。

4. 地球发电机 ——地磁场起源

地磁场是怎样形成的？这是个至今未解决之谜。就磁场的产生而言，只能有两种情况：一种是磁性物质，如天然磁铁或人造磁铁等形成的磁场，另一种是通电导线周围会存在磁场。

地壳是由花岗岩、辉绿岩、玄武岩组成的薄而硬的外壳。厚度为 50—70 公里，地壳的构造很不均匀，地磁场中的局部磁异常和区域异常的现象都产生在地壳中。然而，地壳所带有的磁性绝不能是地球磁场的真正起源。

地幔的外部半径约为 6300 公里，内半径约为 3500 公里，地幔由一些比地壳岩石更致密的物质组成的，其中包括硅、铁、锰、钠等金属地幔物质处于可塑状态并且被加热到 2000—3000℃，已经超过了磁性物质的临界温度。任何磁性物质在高温的地幔中都会变成非磁性物质。所以，地幔不可能产生地球磁场。

地球内部有个半径约为 3500 公里的地核。地核由铁镍成分的熔融金属组成，里面的温度高达 4000—5000℃。地核有很强的导电性，因此里面可能产生电流。今天的科学家们正是用在地球内部循环的电流作用来解释地磁场产生的机制的。这就是地球发电机理论。

地球发电机理论认为，在地球的液态金属核里由于存在温度差异，产生物质的对流运动。当液态金属物质运动时，便会产生电流。在旋转核里对流运动具有能形成电流的孤立封闭的涡流形式。从这种理论看来，地球磁场形成的机制与产生电流的动力机制相似。

但是问题不那么简单，地球发电机理论也存在很多不足之处，为了激发地核里的电流，必须有原始磁场，而原始磁场的性质却不得而知；地核的导电性被想象得很强，实际上是否如此，还不清楚；地球的“动力机”应当是孤立系统，即应当自己克服产生电流时必须会出现的阻力；地壳和地幔（占地球体积的 80%）被排除在发电机理论研究范围之外等；问题仍须认真解决。

5. 吉尔伯特医生的实验 ——地磁学的初步研究

1600 年伦敦出版了科学家、宫廷医生吉尔伯特的名著《论磁石，磁体和大磁铁——地球》，对地磁的成因做了理论上的阐述。这是第一部有关地磁的科学著作。吉尔伯特在书中总结了自己多年的研究成果，提出一个大胆正确的结论：地球是一块大磁铁。

在吉尔伯特之前，1269 年法国的彼得·佩里格林就已经对磁性做了初步切实的分析研究，他指出磁体具有两个极，即南极和北极。这种概念沿用至今。他还第一个告诉人们如何通过子午线汇交的方法找到天然磁石的两极位置。1544 年纽伦堡的乔治·哈特曼测量了许多地方的磁偏角，并发现了磁倾现象。

为了弄清地球是大磁体的宝贵本质和这个球体奇特的力量，吉尔伯特从众所周知的磁石磁铁，磁体以及地球最靠近人们的部分开始研究，然后通过对各种磁体进行实物试验来继续这种研究，从而第一次深入地探测地球的内部。在吉尔伯特以前，人们曾以为磁针所指的方向依赖于北极星的吸引力。吉尔伯特把磁针偏倾的现象解释为地球本身是一个大磁石，磁针只不过表现

出地球的这种作用。他用天然磁铁做成一个小的地球模型，在这个球面上一个小磁针就有磁倾现象，并且在球面不同的点上，倾角的大小与地面上所观测的大致相同。他指出我们必须从地球内部去寻找地磁的原因，因为一个磁针是在一个大磁化球的磁场中发生作用的。（见图 3）

吉尔伯特首先提出磁场是磁化物体作用圈的概念。他认为，组成地壳和上地幔的岩石具有相当强的磁化能力，因此造成地球磁场的是地球物质的磁性。这就是地磁场的铁磁假说。此外，他还发现物体的磁化强度在物体加温到赤热程度时就会消失。

吉尔伯特曾断言，地球的磁极与地理极几乎一致。磁偏角的大小取决于大陆和海洋的位置。海洋是非磁性的，大陆则可能由磁性物质形成。当然，现在看来，他的有些结论还下得过于粗浅。但是，这说明地磁学已经作为一门独立的学科迈出了坚实的第一步。

6．保护地球的屏障 ——磁层

磁层这个概念最早是在 1931 年由查普曼（Chapman）提出来的，他根据地磁记录到的磁暴形态与太阳活动的关系，提出太阳表面经常喷射出由正负带电粒子组成的高速中性微粒流。当微粒流靠近地球时受地球磁场的影响，在微粒流表面感应而产生电流，它的作用一方面屏蔽磁场，使之不能进入微粒流，另一方面使微粒流外部磁场增强。当微粒流向前推进时，表面开始弯曲，离地球较远的地方受阻力比较大，离地球较远的地方阻力比较小，逐渐形成一个被地磁场充满的空穴。空穴的边界条件是微粒流的动压与空穴内的磁压相等。

实际上太阳表面连续不断地喷发出带电粒子的微粒流。比尔曼（Bierman）从慧星尾迹的空间分布上，观测到这一事实，并把这种微粒流叫作太阳风。这样，地球周围的磁性空穴不再是磁暴时的暂时现象，而是一个持续稳定的区域了。

1964 年 1 月 21 日发射的美国卫星装有磁力仪，明显观测到地球磁场终止的区域正好与太阳风相接。地磁场本身的界限第一次得到证实。这个由地磁场起控制作用的空穴就叫作磁层。磁层与太阳风的交界处称为磁层顶。

磁层的形状像一个巨大的慧星。慧星状的头部与磁层向阳一侧被压部分相一致，磁层也像慧星一样被太阳风吹出一个长长的磁尾，形成一个外形近似于向阳端为半球形的长圆柱体的空间范围。在日地联线上磁层顶离地心约 10 个地球半径，在背阳面有一条很长的尾巴，它近似为半径是 20 个地球半径的圆柱，长度达好几百个地球半径。

磁层明显阻挡了太阳风微粒流直接扫向地球。如果地球没有磁层这层保护屏障，太阳风微粒流直接扫向地球，会燃尽大气层，烧干海洋和地球所有水。地球将会变成干涸的星球，就像我们所见到的月球表面一样，任何生命将不能在地球上存在。

7．仪器出毛病了吗 ——地球辐射带的发现

地球辐射带的发现是空间探测初期最重要的成果之一。早在本世纪初期，挪威地球物理学家 C. Storm 为了探求极光产生的原因，通过复杂的数学计算，求解带电粒子在地磁场作用下运动轨迹时，就得到两个重要结论：(1) 带电粒子偏离赤道，折向两极；(2) 从理论上，带电粒子在地球附近可以有許多轨道，但也存在着带电粒子不能穿过的禁区，而且不同能量不同方向的粒子，其禁区的位置不同。许多实验证明了这种禁区的存在。1947 年阿尔文从理论上指出，带电粒子可以通过散射的方式进入到禁区。尽管如此，在发射人造卫星以前，既没有人能直接证实被俘获的带电粒子，也没有人否定它们的存在。

1958 年 2 月美国发射的探险者 1 号，携带着盖格计数器测量宇宙辐射的强度。测量时发现：只要卫星在 600 公里以下遥测信号显示的宇宙辐射强度和预想的差不多；但是，在 800 公里以上辐射显著增大，以致计数管达到饱和，使遥测系统不能真实地显示计数管的计数情况。然而，若按设计要求，要使探险者 1 号所带计数管处于饱和状态，必须所测的辐射强度比预计的宇宙射线强大 15000 倍！那么造成上述现象的原因是什么呢？美国物理学家范阿伦首先提出解释，他认为在 800 公里以上高度可能粒子辐射通量很大，以致造成计数器饱和，使探测器失灵，而这些粒子当它们到达地球附近时被地磁场俘获，长久地关闭在地球上空某区域里形成辐射带。地球处在这种粒子辐射强度很高的环状辐射带包围之中。同年 7 月，俄国学者的探测结果证实了地球辐射带的存在。范阿伦根据几个卫星的探测结果，绘制了第一幅地球辐射带图，该图描绘的是子午面内的计数率等值线。这些等值线对称地分布在地磁轴周围，其中有两个特别强的辐射区域，计数率高达每秒 10^6 次以上；靠近地球呈卵球形状的区域，叫内辐射带；远离地球呈新月形的区域，叫外辐射带。地球辐射带只存在于一定磁纬地区上空，南北磁极和高纬地区上空不存在。

8. 观测空间现象的“萤光屏” ——电离层

电离层是一个环绕地球的带电粒子层，是含有相当浓度的自由电子和离子的电离化区域。这个区域的高度一般为离地面 60 公里到 1000 公里。电离层介质是由电子、正离子、负离子和中性粒子组成的气体混合物。这种含有带电粒子的气体浸在地磁场中，带电粒子的运动必然受到地磁场的约束，而且电离层的电子浓度等随着高度而变化。所以电离层介质又是非均匀的磁离子介质。

电离层在观测空间现象中占有非常重要的地位。地球空间中发生的各种物理现象都是要通过电离层来影响地面的。在发生太阳耀斑期间，太阳辐射出大量的紫外线和 X 射线。它们穿过电离层到达下面空间，使下面空间电高度突然增加。无线电短波受到强烈的吸收，致使短波通信中断。这种现象被称为“短波消失”现象。在太阳的局部地区发生扰动时，抛出大量的带电粒子和等离子体“云”。它们穿过磁层边界进入磁层和电离层，使电离层受到很大的骚扰。这时电离层的异常变化称为电离层暴。在暴期内，电离层变得极不稳定，无线电通信受到严重干扰与破坏，甚至会破坏输电网，给国民经济，人民生命安全造成极大的危害。

极区常见的极光主要发生在电离层的这一高度上。后面有专题介绍极光。

磁层中的各种等离子体波向地球传播时，必然会遇到电离层，引起电离层的电场、电子浓度和电子运动速度的各种变化。可以用非相干散射雷达观测电离层的电场和电子运动状态来观测磁层中的各种低频等离子体波。

电离层各个分区的电子浓度可以用电离层垂直测高仪等仪器进行测量，得到所需的数据与资料等。

9. 空中的信使

——电离层与无线电通讯

1901年12月12日意大利电机学家、无线电报发明者马可尼初次完成横越大西洋的无线电发报和收报的试验。1902年美国电气工程师肯内利和英国物理学家赫维赛就立即解释，认为发射出去的无线电波能够返回地面是由于距地面约100公里高度存在导电层的缘故。1925年3月，英国物理学家阿普尔顿用频率变换的方法观测到发射出去的电波与其反射回波之间的干涉，首次直接证实了电离层的存在；同年9月，美国布赖特和图夫用垂直向上发射无线电脉冲的方法也接收到来自大气层的回波。1926年首次提出了电离层的名称。电离层的发现就和无线电波结下了不解之缘。

无线电通讯是利用电磁波通过各种不同媒质传播的过程。电波从天线发出后可以沿着不同路径传播到接收点。一般有地波传播方式、天波传播方式，还有一些其他的传播方式。无线电通讯主要是使用高频与中频高端和甚高频低端的电磁波，经电离层反射送到地面接收点的天波传播方式。所以电离层传播电波的条件好坏对无线电通讯全部工作有很大影响。

电离层扰动现象主要是“电离层突然骚扰”和“电离层暴”。电离层突然骚扰只有在地球的向日面能观测到。形成原因主要是太阳耀斑期间，辐射大量紫外线和X射线。它们穿过电离层，短波受到强烈吸收，导致短波通信中断。电离层暴是与极光和磁暴有关的不规则现象。在太阳局部地区发生骚扰时，抛出大量的带电粒子和等离子体“云”，它们穿过磁层边界进入大气层。这时磁层和电离层都受到很大骚扰。地球磁场发生强烈变化——磁暴，与此类似，此时电离层的异常叫电离层暴。在电离层暴期间，电离层变得极不稳定。无线电通讯经常受到严重破坏，甚至破坏输电网，给国民经济、人身安全造成极大危害。电离层暴在几分钟内就可以发展起来，持续时间可达几天至一个月，恢复正常需经几天时间。

电离层的不规则骚扰也是可以预报的。电离层骚扰预报是一项很重要的工作。要综合天文台、地磁台、电离层观测台的有关资料才能对电离层环境做出准确预报。

10. 为什么地磁场会发生变化

——空间电流

地球磁场主要分为两部分：一是起源于地球内部，称为主磁场，另一部分为变化磁场。变化磁场主要由空间电流体系产生的。

地球空间的电流体系由下面几种高空电流体系组成：（1）由太阳风和地球磁场相互作用产生的磁层顶电流系。它主要分布在地球向阳面磁层顶界面上，其效果是使太阳风和地磁场畸变，不互相叠加。（2）由磁尾中性片上的

跨尾电流与其在磁层尾部磁层顶上的闭合电流组成的磁尾电流体系。磁尾电流是磁尾磁场结构的形成原因。(3) 对称赤道环电流体系。它主要分布在距地球 2.5 万公里至 3.2 万公里的赤道面上, 围绕地球成环状。磁暴发生时, 环电流大大增强, 它可以使地面水平磁场分量减少 1% 左右。环电流增强是磁暴的主要特征之一。(4) 1 区场向电流系。这种电流系和磁层亚暴有密切的联系。亚暴时磁尾物理状态发生突然变化, 使等离子体片中跨尾电流在靠近地球处减弱或瓦解。原来通过跨尾电流闭合的磁层顶电流改路沿磁力线由极光椭圆带极向边界的黎明部分流入电离层, 通过电离层中的导电层以后, 在黄昏部分沿磁力线流出电离层, 形成一个电流回路。(5) 由部分环电流和 2 区场向电流, 以及极区电离层电流组成的部分环电流系。这种电流系也是和磁层亚暴有关的。亚暴时磁尾储存的能量得到释放, 一部分可能产生 1 区场向电流系, 另一部分还可以激发部分环电流系。此时场向电流流入电离层的位置大致对应, 但比 1 区纬度略低一些, 而且场向电流方向与 1 区场向电流正好相反, 这种场向电流不是由磁层顶电流闭合, 而是由部分环电流闭合的, 这种电流体系对中低纬地区有较大的影响。

(6) 电离层发电机电流系。它是地磁场平静太阳日变化 S_{ϕ} 产生的主要原因, 是太阳潮汐风发电机在电离层产生的电流。这种电流系基本上以赤道为对称分布的。北半球为一个逆时针方向的电流涡, 南半球为一个顺时针方向的电流涡, 电流涡的中心约在磁纬 30° 左右地方时正午处。

上述空间电流体系都可能造成地磁场的扰动, 所以, 往往从地磁场的变化磁场的观测分析中研究空间电流体系, 从而研究磁层电离层中的各种物理现象。

11. 谁持彩练当空舞 ——瑰丽的极光现象

每当夜幕降临的时候, 在地球高纬度地区经常可以看到天空中出现变化不定的光亮色彩, 好像天上正在表演多彩的灯火晚会。它们忽而是朦朦胧胧的微弱绿光; 忽而是明亮的红色光弧充满了天空; 有时又像激光舞台上的射线在晃动闪耀; 有时又如光柱划破天空; 忽然天空中飘动着一条明亮的光带, 光带扶摇摆动, 仿佛空中有位仙女正拿着巨大的彩绸轻歌曼舞; 忽然一片呈黄白色光辉的巨大光幕自天空徐徐向下垂落, 光幕慢慢地游动, 一会儿折叠起来, 一会儿又展开, 像魔术师一样不断地变换着; 有时会在天顶上闪现黎明的曙光, 温柔的光辉弥漫着整个天空, 给天空披上了一层淡淡的浅紫色轻纱, 透过神秘的轻纱还可以看到星星在眨着眼睛。

瑰丽的极光现象是在高纬度地区夜空出现的离奇而美丽的自然现象, 它是唯一能用肉眼看见的高空物理现象。现在, 在我国最北的漠河地区就能看到极光。

色彩美丽的极光早就引起人们的注意, 我国对极光有最丰富、最完整的历史记录。据史书记载, 相传黄帝时代就有过“大电光绕北斗枢星”的描述, 这可能就是属于极光现象。在我国史书中, 多以天裂, 天开, 天开眼, 赤气, 赤白云气等称谓极光。在古罗马的神话中, 人们把极光比作极地区域的神明。英文中源于拉丁语的奥罗拉(极光)一词, 就是罗马神话中驱散星斗的曙光女神的名字。居住在北极圈内的爱斯基摩人把极光看作是引导驱者灵魂走向

天堂的火炬，而芬兰的拉普人则说极光是捐躯沙场的亡灵，至今仍在空中浴血奋战……

极光的下界高度为 100 公里左右，上界高度在 150 公里至 250 公里，主要分布在南北地磁纬度 65° — 70° 地区。这个地区又称极光带。但是低纬度地区在特定条件下有时也能看到极光。

目前普遍认为，极光是由太阳上喷发出的带电粒子（包括电子和质子）在地磁场磁力线的引导下进入地球高层大气并与那里的原子和分子相互作用产生的一种发光现象。地球磁层虽然对太阳风有屏蔽作用，但不是绝对的。在磁层头部的闭合磁力线和磁尾开放磁力线的交界处，有一条狭长通道，称为极隙区。在这个区域内，磁场强度接近于零，属于 Y 形中性区，太阳风中的某些粒子可以从这个通道直达极区的极光高度，白天极光主要是进入这个区域的带电粒子引起的。除极隙区外，在磁尾也存在着磁场强度几乎为零的区域。磁尾有一个中性片，它将由北半球进入地球的磁力线与南半球向外发出的磁力线分开。当太阳风状态改变引起中性片位形变化时，可能在磁尾储存能量或者爆发式地释放能量，从而产生磁层亚暴，亚暴时磁尾产生的高能粒子可以注入同步轨道形成环电流，也可以注入极区高层大气形成夜间极光。

12. 人类生存环境的重要信息 ——空间天气预报

太阳是地球上光和热的来源，也是地球空间一切影响的根源。太阳—空间—地球，成为一条生命链，也是一条重要的环境链，每个环节的变化对人类的生活动及日常生活会产生很大的影响。

太阳除了不停地发射出均匀的光热辐射外，在它的外层大气中还经常发生一些持续时间长短各异的事件。例如在光球中常常出现黑子和光斑，色球中出现日珥、谱斑和 H_2 耀斑，日冕中出现高能耀斑发射，日冕凝聚区，日冕瞬变等现象。这些现象集中在太阳活动区内。活动区以黑子群为主要标志。各种现象中以太阳耀斑对地球的影响最大。耀斑是发生在太阳大气层非常小的区域中的非常巨大的能量突然释放现象。耀斑发生时，抛射出大量高能粒子，还有各种波长的电磁辐射增强或爆发，往往会产生诸如磁暴、极光、电离层突然骚扰等地球物理效应，严重地污染日地空间环境。其他事件也会引起某些地球物理效应。

太阳活动事件会引起地球空间环境变化，进而会影响地面和空间技术系统。太阳质子耀斑事件发生时，会发射出大量能量为 10 兆电子伏以上的高能质子，对人造卫星、宇宙飞船以及其中的仪器设备具有一定的损伤作用，对宇宙航行员的健康甚至生命造成严重威胁。在大耀斑时高纬地区和极区飞行的飞机容易受到太阳高能粒子的袭击。

带电粒子与卫星表面作用，还会使卫星表面充电。卫星在轨道上，受电子、质子的撞击以及太阳光照射会引起材料产生光电子发射和二次电子发射。因为电子质量小，速度快，入射到卫星表面的电子比带正电的粒子多，因此卫星在空间一般会获得负电位。在磁层亚暴期间卫星能被充电到几十千伏的负电位。这会造成卫星表面不等量充电，引起表面之间放电，对卫星工作产生严重危害。大的放电可能击穿卫星表面，产生强电磁脉冲干扰仪器工

作，甚至引起仪器失灵。

磁暴和电离层暴会严重破坏依靠 F_2 层反射的地面无线电通讯和地面与人造卫星或飞船之间的空间通讯。民航飞机在通过极区时的高频通讯、航海方向的甚低频通讯，甚至远距离的有线通讯也会受到磁暴等因素的严重影响。1971年一次太阳爆发时，一架飞机由于通讯故障坠毁在阿拉斯加，造成一百多人的死亡。

电力传输和管道运输因地磁干扰产生的电磁感应会造成重大事故。1974年一次磁暴使美国北部输电系统发生变压器烧毁事件。长的绝缘管道在某处破裂时，地磁干扰的感应效应会在破裂处放电，从而使该处的管道因感应而腐蚀成小孔。

地磁干扰会使地球物理勘探中的磁测结果有很大误差。国外报道，进行深井电磁测量的石油工作人员发现，由于磁暴干扰，高灵敏度的电气仪表失灵。

此外，水文气象预报，医学和生命科学等方面也都报道和日地空间环境的扰动有密切的关系。

正是由于上述原因，太阳活动及其地球物理效应的预报研究工作越来越受到人们的重视，在美国，国家海洋与大气管理局所属的空间环境实验室设立了一个空间环境服务中心，它实际上是美国的太阳活动预报中心。该中心每天根据全国各地和国外一些天文台、地球物理观测台站以及人造卫星和宇宙飞船上测出并发来的各种观测资料进行综合分析判断，然后作出每天太阳活动和地球物理现象的预报，并用电报、电话、广播和邮寄等方式发布给各使用部门。

俄罗斯在莫斯科建立了一个以地磁、电离层、无线电波传播研究所为中心的预报中心，根据各天文台、地磁台、电离层站观测资料以及国外有关资料，进行地磁和电离层干扰的每月、5天和12小时的预报。法国、英国、日本、澳大利亚，以及像印度这样的发展中国家也都做了大量日地物理预报。

我国自1969年开始，北京天文台，云南天文台和紫金山天文台分别开展了太阳活动预报的研究，并且进行预报结果的联合发布。中国科学院地球物理研究所早在50年代就开展了磁暴研究工作。在70年代初期开始了地球磁情预报。

13. 能量来自太阳 ——地球光和热的供应站

太阳是所有天体中同我们人类居住的地球关系最密切的天体。它是太阳系的中心天体，太阳系里的九大行星和其他天体都围绕它运动。太阳是个巨大的辐射源，在它的中心区域，核反应产生的能量时刻不停地向外发射，从而供给了地球光和热，维持着我们人类和各种生物的生存和发展。

地球表面除了原子能、地热、火山爆发和月球引起的潮汐能外，几乎全部能量都直接或间接地同太阳有关。比如，我们今天使用的主要能源——煤和石油，就是远古时代的植物和动物的遗骸埋在地下经历漫长的地质变迁受到物理化学作用形成的。而植物和动物的生长又都离不开太阳，所以煤和石油实际上就是远古时代贮存在地下的太阳能。

水力、风力等动力也明显同太阳有关。不难设想，一旦太阳停止向地球

供给能量，那么地面上的温度将会很快降到接近绝对零度，这时地面上的运动停止了，生命活动没有了，从天空到地面，除了闪烁的繁星外，整个世界一片漆黑、死气沉沉；如果太阳投射到地球上的能量减少一半，整个地面的温度便会降到零摄氏度以下，这时江河、湖海都会冻结，地球成了一个冰冻的世界。相反，如果太阳投射到地球上的能量增加二、三倍，江河、海洋里的水便会全部蒸发，地面上现有的生命无法生存。即使太阳现今的辐射稍微改变一点，也会对地球上的生命造成影响。正是由于太阳能量的产生和发射基本上保持目前这样的平衡状态，地面的平均温度才得以保持在 15℃ 左右，形成人类和绝大部分生物生存的条件。因此，自古以来，太阳就受到人们的无比崇敬。

太阳的连续辐射包括眼睛能看见的光波和可见光以外的电磁辐射（如射线，x 射线，紫外线和射电波）以及连续的太阳微粒流（太阳风）。正是这些太阳辐射造成了一定的地球环境。比如，紫外线是造成电离层和臭氧层的主要来源；太阳风与地磁场相互作用形成地球磁层。

当然，当太阳上某些区域出现不稳定时，会引起一系列地球物理现象。例如，太阳上发生大耀斑时，会引起地球磁层和电离层的扰动，形成磁暴、电离层暴、极光等现象，导致短波无线电通讯骚扰和中断，甚至对航天和其他国民经济部门造成严重影响。

14．中国人为地磁学的 产生和发展做出了巨大贡献

中国是世界上最早发现磁石和地磁现象的国家，指南针是我国古代四大发明之一，中国是地磁学的发源地。

我国在战国时期（公元前 475 年—221 年）就已发现天然磁石的吸铁性和指极性。公元前一百多年的西汉初期，刘安著的《淮南子》已有磁石“引针”、“召铁”的文字记载，这是世界上最早记述磁石吸铁现象的文字。公元 1 世纪，东汉王充在《论衡》中明确指出磁勺的勺柄指南。事实上，司南勺是世界上最早使用天然磁石制成的指南仪器，是利用地球磁性指示方向的一种器具，它是指南针的前身。这说明中国人早在公元 83 年就注意到地磁场的方向性，虽然当时并没有把这一现象当作一种科学现象，而只是当作一种神秘现象。我们把这种“勺柄指南”的可多次重复的现象作为地磁学的萌芽。

1044 年，北宋曾公亮编著的《武经总要》有关于使用指南鱼和利用地磁场制作指南鱼的记载，这是世界上关于利用地磁场进行人工磁化的最早文字记载。

北宋著名科学家沈括（1032—1096 年）于 1088 年在他的《梦溪笔谈》中明确指出地磁场有偏角，这说明中国人最先发现磁偏角。实际上这可视为地磁学的开始。

我国把指南针首次用于航海约在 838 ~ 1099 年之间。北宋宣和元年（1119 年）朱彧著《萍州可谈》中有“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针”的记载。这本书是我国使用指南针航海的最早文字记载。

到了明朝，著名航海家郑和先后七次下西洋，每次都带指南针测定方位，从 1405 年到 1433 年先后到达印度洋、波斯湾和阿拉伯海，最远曾到达非洲东海岸。郑和下西洋比哥伦布发现美洲大陆要早半个多世纪。

1600 年英国人吉尔伯特 (W. Gilbert) 的《论磁体》是地磁学的第一本专著。1839 年德国数学家高斯 (J. C. Gauss) 提出了著名的地磁场高斯理论，它标志着现代地磁学的开始。1940 年查普曼 (S. Chapman) 和巴特尔 (J. Bartels) 合著《地磁学》是地磁学的第一部巨著，被誉为地磁学的经典著作。

新中国成立以前，我国地磁学的发展是缓慢的，与世界水平有明显差距。解放以后，在赵九章和陈宗器等著名科学家的指导和关怀下，我国的地磁学有了蓬勃发展。特别是 80 年代以后，我国地磁学界与世界各国开展了广泛的国际合作研究，促进了我国地磁学的发展。

目前，我国已建成由 30 多个地磁台组成的中国地磁台网。我国不仅进行陆地磁测，而且还进行航空、海洋和卫星磁测，并定期出版中国地磁图。我国在地球磁场、长期变化，磁异常、变化磁场、空间电磁环境等方面，作了大量研究工作，取得一批具有国际水平的科研成果。我国的古地磁学和考古地磁学研究、磁测深和电磁测深研究也异常活跃，为探索岩石层结构和演化、为研究地球内部的电性结构起了重要作用。我国在震磁关系研究和南极考察等领域也取得了许多进展。

近年来，一批具有坚实数理基础、掌握计算机和现代实验技术的青年学者参加地磁学研究，这预示着我国地磁学将有更快更大的发展。

15. 指南针与地磁学 ——地磁场的观测

北宋时，沈括所著《梦溪笔谈》中就有关于指南针的详细介绍：“方家以磁石磨针锋，则能指南”。古代指南针就已成为航海、地理、地质探查的重要工具。

地球像是一个极大的磁石，地球的磁北极吸引着磁针的南极，而地球的磁南极吸引磁针的北极。德国数学家高斯，在 1838 年运用球谐分析方法阐明了地球的磁性绝大部分来源于地球内部。这就为地磁学的发展奠定了理论基础。

地球周围的空间有地磁场起着作用，在地球内部一定深度内地磁场同样在起着作用。通常磁场强度的单位是以“奥斯特”来表示的。一个奥斯特是指一个单位磁极在磁场中受到一个达因力的磁场强度。地磁场的强度一般比较弱，最大不超过 0.6 奥斯特。因此在实际的地磁测量工作中常用 nt 作为磁场强度的单位。而 1nt 是十万分之一奥斯特。

地磁场强度以 F 来表示。它表示地磁场强度 F 是个有方向的量。它可以分解为北向、东向和垂直向下的三个分量，并用 X 、 Y 、 Z 来分别表示；地磁场强度在水平面上的投影为 H ，而 H 和正北方向的夹角为 D ，被称为地磁偏角；地磁场强度 F 与水平面夹角为 I ，称为地磁倾角。 X 、 Y 、 Z 、 H 、 D 和 I ，加上地磁场总强度 F ，统称地磁七大要素。这些要素之间的关系在图上可以看得很清楚；同时它们也可以通过以下的公式来表达其间的相互关系：

$$H^2 = X^2 + Y^2$$

$$Y = H \sin D$$

$$Z = H \tan I$$

因此，如果知道了其中三个独立的要素，便可以推算出其余的四个。通

常地磁测量的磁变仪上经常记录到的是 H, D, Z 三个分量, 其他分量就可以通过上述公式计算出来。

但是, 你想过没有, 你利用一个小的指南针如何测量这七个要素呢? 或者通过测量某几个要素, 再通过公式计算出其他几个要素?

科学家利用一根石英丝悬挂小磁针制造了磁变仪这样的仪器。测地磁偏角的磁变仪简称 D 磁变仪, 可以测量磁偏角的相对变化。测地磁场水平强度的磁变仪是 H 磁变仪, 可以测水平磁场强度的相对变化。测地磁场垂直强度相对变化的磁变仪叫 Z 磁变仪。此外, 还有一些仪器用来进行地磁场某些分量的绝对观测, 把地磁场在某时某刻地磁场强度记录下来。如光泵、核旋仪、磁通门磁力仪等就是这种仪器。通过这些仪器观测所得到的地磁场七要素的数据, 可以帮助我们了解地磁场是如何变化的, 它们的变化又是由什么引起的, 这些变化对人类活动、星体演化都会产生什么影响, 这就产生了地磁学。

16. 地磁场的构成 ——地磁学的基础

地磁场所占的空间是非常大的, 从地核一直到磁层边界。地磁场是一个弱磁场, 在地球表面地磁场的平均强度为 $0.5 \times 10^{-4} \text{T}$ (特斯拉)。在地磁学中, 特斯拉这个单位太大, 通常使用纳诺特斯拉 (简称纳特) 为单位, $1 \text{nT} = 10^{-9} \text{T}$ 。

地磁场是矢量场, 要描述某一地点的地磁场需要三个独立的分量, 这些分量叫作地磁要素, 地磁七要素是磁偏角 (D) (它是磁子午面与地理子午面之间的夹角, 向东偏为正, 向西偏为负)、磁倾角 (I) (按规定, 地磁场向下倾为正, 向上仰为负)、总强度 (T)、水平强度 (H)、垂直强度 (Z)、北向强度 (X)、东向强度 (Y)。

地磁场是由内源场和外源场组成的。内源场包括地核场和岩石层场, 地核场又叫主磁场, 它是由偶极子磁场 (约占地磁场的 90%) 和非偶极子磁场组成的。非偶极子磁场又叫世界磁异常, 其中东亚大陆磁异常 (又叫蒙古磁异常)、非洲磁异常和北美磁异常是最具特色的世界磁异常。目前, 多数学者认为主磁场是由导电液核内的地球发电机过程产生的。

地磁场随时间的缓慢变化叫作地磁场长期变化。近代地磁长期变化的两个基本特征是: 偶极子磁矩约以每年减少 0.05% 的速率衰减, 非偶极子磁场以年 0.2% 的速度沿纬圈向西漂移。

外源场又叫变化磁场, 是叠加在主磁场之上的各种短期的地磁变化。变化磁场的顺序与主磁场相比是很弱的, 一般只占千分之一到百分之一左右。变化磁场的主要部分起源于固体地球外部的各种电流体系, 它的次要部分是由高空电流体系的时间变化, 在地球内部产生的感应电流而引起的感应场。按其成因, 变化磁场可分为平静变化和干扰变化两大类。平静变化比较简单, 一般分为太阳静日变化 (Sq) 和太阴日变化 (L)。平静变化起源于电离层中比较稳定的电流体系。干扰变化比较复杂, 类型较多, 它们起源于太阳粒子流在磁层和电离层中形成的各种电流体系, 例如电离层中的赤道电集流和极区电集流, 磁层中的环电流、磁尾电流和磁层顶电流。磁暴和磁脉动是干扰变化的主要研究对象。

17. 怎样测量地磁场

要想知道地磁场的强度和方向,就必须进行地磁测量。地磁测量是地磁学的重要组成部分,是地磁学研究工作的基础。地磁测量可分为陆地磁测、海洋磁测、航空磁测和卫星磁测。陆地磁测是利用磁力仪在陆地上进行的地磁测量。中国境内最早的地磁测量是1683年在北京进行的磁偏角测量。1867年我国有了地磁三要素的测量资料。19世纪中期以后,俄国、法国、日本、德国和瑞典等国先后在我国进行磁偏角、磁倾角和水平强度的地磁测量。第一次有中国人参加的地磁测量是1922-1923年沿长江各主要城市进行的。第一次由中国人独立进行地磁测量是在1938-1943年进行的。解放前,中央研究院物理研究所,中央地质调查所和陆地测量总局在东南沿海、长江沿岸、海南和西南地区共测618点次地磁测量。

解放以后,中国科学院地球物理研究所先后于1950、1960、1970、1980和1990年前后,进行全国地磁测量。其中,1969—1972年全国地磁测量是空前的,共测1882个地磁测点。

中国科学院地球物理研究所在西藏军区的配合下,于1964—1965年在青藏高原进行地磁测量。中国科学院地球物理研究所于1966—1968年参加了著名的珠穆朗玛峰综合科学考察,对珠峰地区的地磁场进行详细测量,并在珠峰6565米高度处进行地磁三分量绝对测量,这是迄今为止世界最高地点的地磁数据。中国科学院于1975—1977年在青藏高原进行综合地球物理考察,再次进行了大范围地磁测量,取得了更加丰富的地磁数据。

中国科学院地球物理研究所于1985—1986年中国第二次南极考察期间,在我国南极长城站附近进行了地磁测量,这是我国首次在南极地区进行地磁测量。1992—1993年中国第九次南极考察期间,在我国南极中山站地区进行地磁测量。1991年与海军航海保证部合作,首次在南沙和西沙群岛进行地磁测量。

海洋磁测是利用船只携带磁力仪在海洋进行的地磁测量。1900年以后,美国的“伽利略号”和“卡纳基号”无磁性船先后进行海洋磁测。苏联于1956年建成“曙光号”无磁性船,在太平洋、印度洋和大西洋进行了大规模海洋磁测。美国和苏联的无磁性船曾先后在我国海域进行过海洋磁测,苏联“曙光号”无磁性船,于1958年访问上海。

60年代以后,地矿部、石油部、中国科学院和国家海洋局,利用拖曳式船用质子旋进磁力仪,在渤海、黄海、东海和南海海域进行地磁总强度测量。80年代以后,我国不仅开展近海海洋磁测,而且开展远洋海洋磁测。1984—1985年中国首次南极考察期间,国家海洋局“向阳红十号”科学考察船在太平洋和南极附近海域进行总强度测量。地矿部“海洋四号”考察船于1986年首航太平洋进行远洋磁测,并于1990—1991年中国第七次南极考察期间,也进行了总强度测量。1992年刘光鼎院士主编的中国海区及邻域地质地球物理系列图是我国三十年来海洋磁测的总结。

航空磁测是用飞机携带磁力仪在空中进行地磁测量,我国的航空磁测始于1953年,使用磁通门磁力仪、质子旋进磁力仪和光泵磁力仪测量地磁总强度。我国不仅在大陆上空进行航空磁测,而且在邻近海域上空进行航空磁测。地矿部航空物探总队于1980年前后编绘出版1/100万的中国航空磁力异常Ta图,并于1989年出版1/400万的中国及毗邻海域航空磁力异常图。地矿

部航空物探遥感中心正在开展大比例尺(以 1/5 万为主)的高精度航空磁测,并将利用航空梯度磁力仪测量总强度梯度。

卫星磁测是把磁力仪放在人造地球卫星上进行地磁测量。苏联 1958 年 5 月 15 日发射的“人造地球卫星—3 号”进行了人类历史上第一次卫星磁测。美国于 1965—1969 年先后发射的“极区轨道地球物理观测站”系列卫星,首次真正完成了全球范围地磁总强度测量。美国于 1979 年 10 月 30 日发射的“地磁卫星”首次完成高精度地磁三分量绝对测量。我国的卫星磁测始于 1971 年,“实践 1 号”科学试验卫星携带磁通门磁力仪测量地磁总强度。

18. 欢迎大家参观地磁台

地磁台是观测和记录地磁场及其随时间变化的场所,它设在远离城市和没有人为电磁干扰的地方。仪器室(观测室和记录室)要用非磁性或弱磁性材料建造,并保证一定的温度和湿度条件,地磁台分为永久地磁台和临时地磁台两类,前者可为地磁研究提供长期、连续、可靠的地磁数据,后者是为研究某些特殊课题而专门设置的。

世界上最早的地磁台是 1652—1670 年设在英国伦敦的地磁台(只有磁偏角记录)。目前,已有二百多个地磁台遍于世界各地。

中国最早的地磁台是沙俄于 1870 年建立的北京地磁台(1870—1882 年)。上海佘山地磁台是世界著名的地磁台,于 1984 年荣获日本国际地球观测百年金质纪念章。法国人于 1874 年在上海徐家汇建立地磁台,1908 年迁至蓁葭浜,1933 年迁至现在的佘山。英国人于 1884 年建立香港地磁台(1983 年停止工作)。德国人于 1899 年建立青岛地磁台(1958 年停止工作)。日本人于 1915 年建立台湾仓坪地磁台。

新中国成立以后,在陈宗器先生的倡议和指导下,中国科学院地球物理研究所先后建成北京台(1957 年)、长春台(1957 年)、拉萨台(1957 年)、广州台(1958 年)、武汉台(1959 年)、兰州台(1959 年)和乌鲁木齐台(1978 年),共七个标准地磁台。上述七个地磁台于 1984 年荣获日本国际地球观测百年银质纪念章。我国大陆佘山等八个地磁台和台湾仓坪地磁台于 1984 年被世界数据中心 A 确认为世界主要地磁台。

1966 年邢台大地震以后,中国科学院和国家地震局先后建成二十多个地磁台,这些台站主要用于震磁现象的观测和研究。

中国科学院地球物理研究所于 1990 年建成漠河地磁台,于 1991 年建立北京地磁中心台,海南三亚地磁台正在建设中。另外,于 1986 年建成南极长城站地磁台,于 1991 年建成南极中山站地磁台。由我国部分地磁台和其他有关国家地磁台构成的东亚地磁台链,将为地磁及近地空间电磁环境研究提供新的地磁数据。

地磁台站工作者长期在地磁台工作,在台站建设和地磁数据处理方面做出贡献。国家地震局地球物理研究所高级工程师周锦屏同志于 1993 年荣获国际地磁与高空物理协会(IAGA)颁发的“长期服务奖”,他是荣获该奖的第一位中国学者。

19. 如何表示地磁场的分布

人们用地磁图表示地磁场及其长期变化的分布。地磁图分为观测地磁图 and 理论地磁图，前者是根据各个测点的归算地磁数据，人工或计算机绘制的地磁图，后者是根据地磁场模型编绘的。

地磁图的编绘主要涉及以下三个方面的问题：第一，地磁数据的取得，大量的、均匀分布的、高精度的地磁数据是编绘地磁图的基础。第二，数据归算方法，如何从地磁测量数据中消除各种变化场的影响，这是编绘地磁图的关键。第三，地磁场模型的建立，如何建立合理的地磁场模型，已成为地磁学研究的重要课题。

解放以前，我国曾编绘 1915 年磁偏角地磁图；1936 年磁偏角、水平强度和垂直强度地磁图；编绘 1909—1915 年，1915—1920 年，1920—1930 年，1930—1936 年的磁偏角长期变化图；1908—1917 年，1917—1922 年，1922—1936 年的水平强度长期变化图；1908—1922 年，1922—1936 年的垂直强度长期变化图。编绘 1945 年地磁图。这些地磁图只表示我国中部和东部地区地磁场的时空分布，并非全国地磁图。

新中国成立以后，中国科学院地球物理研究所先后编绘出版 1950 年，1960 年，1970 年，1980 年和 1990 年中国地磁图，以及 1965 年青藏高原地磁图、1990 年中国海区及邻近海域地磁偏角图。

地磁图编绘已由人工手绘发展到用计算机自动绘图，已由根据实测地磁数据编绘地磁图发展到根据地磁场模型编绘地磁图。

地磁图在地球物理学、空间科学、地球物理勘探、地球深部研究、地震预报、地质构造和通讯导航等许多重大理论问题和实际应用中有广泛的应用。

20．如何计算地磁场模型

地磁场模型就是用数学方法表示地磁场和地磁场长期变化的空间分布。根据表示范围的大小，地磁场模型可分为全球模型和区域模型。

计算地磁场全球模型的常用方法是球谐分析方法，即地磁场的球谐模型。另外，可用放在地球中心和某一深度的若干个磁偶极子表示地磁场的全球分布，并用偶极子参数的时间变化表示地磁场长期变化，这就是地磁场的偶极子模型。还可用位于地球内部一定深度的若干个电流环产生的磁场表示地磁场的全球分布，这就是地磁场的电流环模型。

计算地磁场区域模型的方法是多种多样的，常用的数学方法是多项式（包括泰勒多项式、马克劳林多项式、勒让德多项式）方法、矩谐分析方法、柱谐分析方法和球冠谐和分析方法。另外，也可以计算区域地磁场的偶极子模型和电流环模型。中国科学院地球物理研究所的研究人员，提出用曲面样条函数方法计算地磁场的区域模型。

如何选择合适的计算地磁场模型的数学方法？我们提出以下判据：（1）物理的合理性：计算方法是否满足地磁场位势理论的要求。（2）计算的稳定性：用最小二乘法求解时是否稳定。（3）级数的收敛性：级数收敛的快慢程度。（4）计算值的准确性：地磁场模型是否能较好地表示地磁场的分布。（5）功能的多样性：地磁场模型是否能表示地磁场的三维结构。（6）使用的方便性：使用地磁场模型是否简便。

根据上述判据，我们认为球谐分析方法是计算地磁场全球模型的好方

法；泰勒多项式方法和球冠谐和分析方法是计算地磁场区域模型的两种好方法。

21．中国及东亚地磁场模型

中国科学院地球物理研究所使用泰勒多项式方法、曲面样条函数方法、矩谐分析方法和球冠谐和分析方法，计算各个年代的中国地磁场模型。

使用泰勒多项式方法，计算 1950、1960、1970、1980 和 1990 年中国地磁场模型，并计算 1950—1955、1955—1960、1960—1965、1965—1970、1970—1975、1975—1980、1980—1985、1985—1990 年地磁场长期变化模型。另外，还使用矩谐分析方法和球冠谐和分析方法，分别计算了中国地磁场的矩谐模型和冠谐模型。

根据上述各个年代的中国地磁场模型，用计算机绘制相应年代的中国正常磁场图和长期变化图，并研究地磁场及其长期变化的时空变化规律。

中国学者对泰勒多项式方法进行了深入研究，提出“展开原点位置的选择与对地磁场的拟合效果无关”的论点，并提出确定地磁场模型最大阶数的判据，为地磁场模型的计算做出了贡献。

东亚地磁场的时空变化受东亚大陆磁异常的控制。东亚大陆磁异常的中心位于中蒙边界，我国位于它的南半部，原苏联和蒙古位于它的北半部。在 90 年代以前，中苏各方只有利用各自的地磁测量资料，研究东亚地磁场的南半部和北半部的分布。

1990—1993 年在国家自然科学基金委员会的支持下，中国科学院地球物理研究所与俄罗斯科学院地磁电离层和电波传播研究所开展了“东亚地磁场及其长期变化”的国际合作研究，在世界上首次同时利用中国、原苏联和蒙古的 250 个地磁复测点和 40 多个地磁台的三分量地磁资料，使用泰勒多项式方法、勒让德多项式方法和球冠谐和分析方法，分别计算东亚地磁场模型，并研究东亚地磁场的时空变化规律，为正确认识东亚地磁场的全貌，奠定了坚实的基础。

22．你知道中国地磁场的分布吗

我国幅员辽阔，地磁场变化很大。各个地磁要素的地理分布都遵循一定的规律，其中地磁总强度、垂直强度、水平强度和磁倾角的空间变化比较简单，等值线基本与纬度线平行，均以南北方向的变化为主。

磁赤道通过我国的南沙群岛（约 10°N ），所以在我国南海海域的南部（例如曾母暗沙群岛），磁倾角和垂直强度都是负的，而在磁赤道以北的广大地区，磁倾角和垂直强度都是正的。

地磁总强度由我国南海海域的 40000 纳特，向北逐渐增加到黑龙江流域的 59000 纳特，地磁场的强度由南向北逐渐增大。

垂直强度在我国的最南端约为 -8000 纳特，在磁赤道经过的南沙地区变为零，而后往北又逐渐增大，在漠河地区可达 56000 纳特。

磁倾角的分布与垂直强度类似，在我国南海海域的南部，磁倾角是负的，在磁赤道经过的地方，磁倾角为零；由磁赤道往北，磁倾角逐渐增大，在漠河地区磁倾角为 70° 。

磁偏角的地理分布较为复杂，零偏线（又叫无偏线）从我国的中部和西南地区以及南海海域穿过。在我国大陆的东部和东南地区，磁偏角是负的（即偏西），在我国的西北地区以及南海海域的南部，磁偏角是正的（即偏东）。磁偏角不仅随经度变化，而且随纬度变化，磁偏角的数值由西北地区的 5° 逐渐变为黑龙江流域的 -12° 。

23．你知道地磁场的全球分布特征吗

根据国际地磁参考场（英文缩写为 IGRF）就可以知道地磁场及其长期变化在全球的分布。国际地磁参考场的理论基础是著名的高斯理论。利用全球分布的各种地磁数据（包括陆地磁测、海洋磁测、航空磁测、卫星磁测和地磁台），用球谐分析方法计算地磁场的全球模型。

自 1839 年高斯理论问世以来，世界许多学者作过地磁场的球谐分析。但在 20 世纪 60 年代以前，由于缺乏国际间的合作，因而未能建立被世界各国学者所公认的全球模型。

1968 年国际地磁与高空物理协会（英文缩写为 IAGA）公布了第一代国际地磁参考场（IGRF 1965）。随后 IAGA 于 1975 年、1981 年、1985 年、1987 年和 1991 年又计算出第 2 代至第 6 代国际地磁参考场。

根据国际地磁参考场，可以计算 1945—1995 年间任意时间、任意地点、任意高度的地磁场，还可以计算地磁场的梯度、研究磁异常、探索震磁关系。为便于使用，IAGA 还编绘出版各个年代的世界地磁图包括主磁场图和长期变化图。

24．地磁场的三维结构 ——新的研究成果

人们比较熟悉地磁场在地球表面的分布，但不大清楚地磁场在高空的分布（高空磁场），人们更不清楚地磁场梯度（垂直梯度和水平梯度）的三维结构。

怎样才能了解地磁场的三维结构？有两条途径：第一，利用火箭和卫星直接探测不同高度地磁场的分布；第二，使用计算方法，根据地面地磁场的分布，计算某一高度的高空磁场。

50 年代，中国科学院地球物理研究所使用美国人 A. J. Zmuda 提出的方法，根据地面地磁场及其水平梯度，计算某一高度的高空磁场。70 年代以后，利用地磁场的球谐模型，计算某一高度的高空磁场。80 年代，我们不仅计算不同高度的高空磁场，而且计算地磁场的梯度（垂直梯度和水平梯度），研究地磁场梯度的三维结构，并可以编绘出我国第一套地磁场梯度分布图。

25．地理极、磁极和地磁极是一回事吗

地理极是指地球自转轴与地球表面的两个交点。我国著名冰川学家秦大河研究员步行到达南极点，这是中国人第一次到达南极点。中国首次远征北极点科学考察队员于 1995 年 5 月 6 日北京时间上午 10 时 55 分，沿西经 70 度胜利到达北极点，这是中国人首次到达北极点。

磁极 (magnetic pole) 又叫倾角极 (dip pole) 是指地面两个特殊的点, 在这两个点上地磁水平强度为零, 磁倾角为 90 度。如何确定磁极的地理位置? 第一种方法是计算方法, 根据各个年代的地磁场球谐模型, 计算北磁极和南磁极的位置。例如: 1960 年北磁极位于 74.9°N , 101.0°W , 南磁极位于 67.1°S , 142.7°E 。1970 年北磁极位于 76.2°N , 101.0°W , 南磁极位于 66.0°S , 139.1°E 。1980 年北磁极位于 78.2°N , 102.9°W , 南磁极位于 65.6°S , 139.4°E 。第二种方法是测量方法, 在磁极附近作小范围的地磁测量, 以确定磁极的位置。1831 年首次测定了北磁极的位置 (70.1°N , 96.8°W)。1975 年北磁极的实测位置是 76.2°N , 100.6°W 。1841 年首次测定南磁极的位置 (75.0°S , 153.7°E), 1975 年南磁极的位置是在阿德利 (Adelie) 大陆以外 100 公里的地方。

地磁极是指放在地球中心的中心磁偶极子的磁轴与地球表面的两个交点 (英文名为 geomagnetic pole)。地磁南极和地磁北极的地理位置是根据地磁场球谐模型的前三个系数计算出来的。以地磁北极为例, 1829 年位于 78.3°N , 295.3°E ; 1935 年位于 78.6°N , 290.2°E ; 1955 年位于 78.3°N , 291.0°E ; 1965 年位于 78.6°N , 290.2°E ; 1980 年位于 78.8°N , 289.1°E ; 1990 年位于 79.1°N , 288.9°E 。

为清楚起见, 我们给出 1975 年地理南极、磁南极和地磁南极的位置。地磁南极距地理南极 1280 公里, 地磁南极距南磁极 1350 公里。

26. 卫星磁测 ——一种新方法

90 年代以前, 共有 13 颗装有磁力仪的卫星进行卫星磁测。最早的卫星磁测是由苏联在 1958 年发射的人造卫星 3 号和美国 1959 年发射的先锋 3 号进行的。第一颗极区轨道磁测卫星是美国的 1963—38C, 但这颗卫星没有数据记录系统, 所以它得不到全球范围的地磁数据。第一颗有数据记录系统的磁测卫星是苏联的宇宙 26 号, 但它是低倾角轨道, 因而限制了它的使用。

第一次真正的全球卫星磁测是由美国的 POGO 卫星完成的。POGO 卫星是极地轨道地球物理观测站的英文缩写, 是由三颗卫星 OGO—2, 4, 6 组成的, 它们分别于 1965 年、1967 年和 1969 年发射。POGO 卫星使用铷光泵磁力仪测量地磁场总强度, 测量精度为 2 纳特。OGO—2 和 4 的采样间隔为 0.5 秒, OGO—6 的采样间隔为 0.288 秒。为了减少卫星磁场的干扰, 磁力仪探头安装在一根 6 米长的杆头上, 这样卫星磁场的影响小于 1 纳特。POGO 卫星磁测数据的标准误差为 5.63 纳特。

POGO 卫星在研究地磁场和世界磁异常中起过巨大作用。但是 POGO 卫星也有不足之处, 一是 POGO 卫星只能测量地磁场的总强度, 不能测量地磁场的方向; 二是 POGO 卫星轨道太高了 (400—1510 公里), 只能研究岩石层磁异常的大尺度特征。

美国于 1979 年 10 月 30 日发射的 MAGSAT 卫星 (地磁卫星), 是世界上第一颗进行全球范围的, 高精度矢量磁测卫星, 不仅测量地磁场的强度, 而且测量地磁场的方向。

MAGSAT 卫星轨道倾角为 96.7° , 远地点为 561 公里, 近地点为 352 公里, 绕地球一圈为 96 分钟, 该卫星包括两个舱: 仪器舱和座舱。仪器舱里安装有

姿态确定系统和传递系统；座舱里有四组太阳配电板及附属的能量系统、姿态控制系统、遥测系统和两个磁带记录器。

MAGSAT 卫星用磁通门磁力仪测量地磁场的三个分量（北向分量、东向分量和垂直分量），测量精度为 3 纳特，每秒采集 16 个矢量数据。用铯光泵磁力仪测量地磁场的总强度，测量精度为 1.5 纳特，每秒钟采集 8 个数据。MAGSAT 卫星不仅记录地磁场数据，而且记录卫星轨道、卫星姿态等数据。

MAGSAT 卫星数据是迄今为止研究岩石层磁异常最理想的卫星数据，其特点是：（1）精度高，它是磁测精度最高的一颗卫星。（2）数据全，不仅有地磁场的标量值，而且有地磁场的矢量值，便于进行理论计算。（3）轨道低，卫星轨道平均高度为 400 公里，便于研究岩石层磁异常的分布特征。正因如此，美国学者以及英国、法国、日本等国学者，利用 MAGSAT 卫星数据作了大量研究工作，取得了丰硕的研究成果，为地磁学的发展做出了巨大贡献。

27．一种新信息 ——卫星磁异常

卫星观测到的磁场是由以下 5 部分磁场组成的；（1）主磁场（或叫地核场），它是由地核内电流产生的。（2）磁层场，它是由磁层电流体系产生的。（3）电离层场，它是由电离层电流体系产生的。（4）感应场，它是由磁层和电离层电流的时间变化，在地球内部产生的感应电流产生的。（5）岩石层场，它是由地球内岩石层的磁性物质产生的磁场（岩石层场又叫岩石层磁异常）。

为了从卫星磁测数据中提取岩石层磁异常，就必须消除主磁场、磁层场、电离层场和感应场的影响，只有这样才能获得岩石层卫星磁异常。

到目前为止，还没有一个可靠的磁层场和电离层场模型，所以要提取可靠的卫星磁异常是十分困难的。

卫星磁异常研究在我国是一个新的研究领域。1985—1987 年根据中国科学院与英国皇家学会的合作研究协议，中国科学院地球物理研究所与英国地质调查局开展了地磁合作研究，我国得到了美国的 MAGSAT 卫星磁测数据，在国家自然科学基金委员会的资助下，在我国首次开展了卫星磁异常研究。

（1）卫星磁测数据处理

数据处理要解决的问题是如何提取卫星磁异常，主要包括以下内容（或步骤）：

- 选取地磁活动平静期间的卫星数据

- 删除高噪声的卫星数据

- 选取某一高度范围内的卫星数据

- 主磁场改正

- 磁层场和感应场改正

- 电离层场改正

（2）卫星磁异常图编绘

卫星磁异常图是研究卫星磁异常的关键图件。根据编图范围，卫星磁异常图可分为全球卫星磁异常图和区域卫星磁异常图；根据编图内容，可分为卫星标量磁异常图和卫星矢量磁异常图；根据编图方法，可分为卫星观测磁异常图和卫星理论磁异常图。

把研究地区分成小方格网（如 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的网格），把落在每个小方块内的卫星磁异常进行平均，根据这些网格平均值，用计算机绘制卫星磁异常图。我们把根据卫星观测数据编制的磁异常图叫作卫星观测磁异常图。

（3）卫星磁异常的理论模型

为了研究卫星磁异常的三维结构，可以计算卫星磁异常的球谐模型、冠谐模型和等效源模型。根据这些理论模型，可以绘制相应的卫星理论磁异常图。

（4）卫星磁异常的地质地球物理解释

卫星磁异常是研究岩石层磁性结构和横向不均匀性的重要手段。卫星磁异常的分布特征与大尺度地质构造特征有密切关系。一般情况下，地盾、地台和消减带是正异常；海洋盆地、海底平原是负异常；缝合线、裂谷、褶皱带和不同年龄地质构造区域的边界呈线性磁异常特征。大陆岩石层的磁化强度一般高于大洋岩石层的磁化强度。

卫星磁异常的地质地球物理解释是一件十分困难的工作。要结合其他地球物理数据（如地热、重力等）和地质数据（如地质构造、地层年代等），对卫星磁异常进行综合分析研究，只有这样，才能对卫星磁异常作出较为科学的解释。

28．中国的古地磁学研究发展史

古地磁学是一门新兴的介于地球物理学和地质学之间的一门边缘学科，是地磁学的主要分支学科。古地磁学专门研究地质时期地磁场的方向和强度，以及它们的演变历史。

中国科学院地球物理研究所于 1952 ~ 1955 年开展了古地磁工作。1958 年在张文佑和王子昌先生的指导下，中国科学院地球物理研究所和地质研究所、北京大学、地矿部地质力学研究所联合进行古地磁学研究，创建了我国第一批古地磁实验室，开展华南中新世红层的古地磁对比研究，以及震旦系、中新世火山岩的古地磁学研究。张文佑先生于 1959 年发表了《中国岩石的一些古地磁研究》，王子昌先生于 1960 年发表了《应用中国岩石天然剩余磁性研究古地磁极位置的初步结果》，这是我国最早的古地磁学论文。

1972 年以后，由于测示仪器精度和灵敏度的提高，古地磁实验室进一步自动化，中国的古地磁学研究不论在广度上还是在深度上都有了很大的进展。不仅进行磁性地层学研究，而且对我国第四纪黄土、钻孔岩芯、近海沉积物等进行古地磁学研究。

我国的古地磁学研究人员在磁性大地构造学和磁性地层学方面作了大量测定和研究工作，取得了丰硕成果。1975 ~ 1977 年中国科学院地球物理研究所参加了青藏高原综合地球物理考察，在雅鲁藏布江两侧进行了古地磁采样，对印度板块与欧亚板块的碰撞和缝合历史进行古地磁学研究。1983 ~ 1985 年中国科学院地球物理研究所等单位，对攀西裂谷进行了古地磁学研究。另外，中国科学院等单位还对中朝地块东北部在晚古生代的板块运动，南极大陆及东北亚地区的构造演化历史，以及中国东部地区的磁性地层作了大量的研究工作。1994 ~ 1997 年中国科学院、高等院校和地矿部等单位共同开展“中国显生宙古地磁极移曲线的建立与板块运动的研究”，这是我国国家自然科学基金委员会的八五期间的重点研究课题。

中国科学院、高等院校、地矿部、国家地震局、国家海洋局和石油部的

古地磁研究单位，在岩石磁学、环境磁学、地磁场古强度，特别是在地磁场极性倒转的研究中取得许多重要研究成果。

我国的古地磁学工作者曾与英国、加拿大、法国、日本和美国等许多国家进行国际合作研究，对我国一些主要构造单元的白垩系、二叠系—三叠系界线、洛川黄土剖面以及各个地质时期的岩石作了古地磁学专题研究，并取得了重要研究成果。

我国的古地磁学研究在短短的四十多年里取得了迅速发展。目前，全国已有二十多个古地磁研究机构，有一百余名专业研究人员。古地磁研究成果为深入研究中国地区的地层、为正确认识中国板块构造格局、为探讨地球及地磁场的起因和演化历史，提供了重要的古地磁学依据。同时，古地磁研究成果对今后的地质调查和油气矿产资源的开发利用也有重要的指导意义。

29．古代砖头瓦片的用途 ——谈考古磁学

当你使用指南针时可曾想过，为什么这磁针总是指南向北的呢？记得古代欧洲人曾说“磁针指向北极星”，“磁针的尾巴被北极星拖住了”，等等。果真如此吗？……原来，这磁针具有固定指向性的奥秘并不在天外星体，而在地球本身。

早在数百年前人们就已清楚地认识到地球具有磁场，或者说，地球就像块大磁铁。正是在这“磁铁”的磁场作用下，磁针才总是指向南北。可是，这磁针指的方向是正南正北吗？从来就没变过？地球已有 45 亿多年的历史了，那么地球的磁场又有多长的历史呢？它的过去和现在是一样的吗？……为了回答这一系列问题，就必须观察这个地球磁场的现状、追踪它的过去，从而了解它的基本性质和变化规律。

实际上，自两千多年前我们的祖先发现磁石（东汉之前称“慈石”）并于战国末期制造出司南、指南鱼、指南针等之后，人类通过长期观察，特别是由近 400 年间对地球磁场进行直接观测的结果中深知，指南针所指方向不但不是准确的南北，而且也不完全水平。这就是现代地磁学中用磁偏角和磁倾角所表示的某一时刻、地球上某一点的地球磁场方向与地理北和水平面之间的夹角；此外这个地球磁场的方向和大小因地而异，随时在变。利用现代科学技术手段已获得了许多有关当代地球磁场方向和强度的信息，特别是从 19 世纪 30 年代开始人们对地球磁场一直进行着系统的观测，对当代地球磁场的基本性质和它随时间和空间变化的一些规律性有了比较清晰的认识。例如，地球磁场的绝大部分是偶极子场，类似有两个磁极的磁针所产生的磁场，其余的非偶极部分最多占 12% 左右。用图 10 绘出的简化模型可近似地描述地球的磁场：地球的中心有一磁铁，一般情况下，这磁铁的轴线与地球的自转轴之间有一夹角（ θ ）；相对于地球自转轴与地面的两个交点—南北地理极（S，N）来说，地心处的磁铁是地极朝南，磁铁轴线的延长线与地球表面的两个交点（ S_m ， N_m ）称为地磁极；实际观测的磁倾角值为 $\pm 90^\circ$ 的两点称为磁极。观测结果表明，地球表面上任意一点的磁场强度及磁偏角、磁倾角等时时在变，南北地磁极的位置当然相应地在变。一般情况下，两地磁极始终是在各自的地理极周围“游荡”，因此，长期平均下来，地磁极与地理极

的位置是重合的。

但是，仅仅根据这一百多年的资料来确定地球磁场的变化规律显然是不可能的。那么，到哪里去发掘这个磁场千变万化的历史记录呢？说来令人难以置信，大自然中“存储”这种记录的“化石”俯拾即是。

远在 18 世纪末叶人们在地质考察过程中就发现了岩石对罗盘指针有影响：在山的南北两麓磁针竟指示了不同的极性。后来又发现就在同一座山的同一侧，磁针指示随地点的变化也很快。这些事实说明岩石具有相当强的磁性。这就是第一批引起人们注意的古磁现象。不过，当时认为这些岩石的磁化是雷击的效果。到了 19 世纪中叶，由于测量仪器改进，灵敏度提高，发现了未被雷击过的火成岩也具有磁性。从此，岩石具有磁性就被作为一个普遍现象加以研究了。例如，对一些现代火山熔岩流的天然磁性进行研究时发现，熔岩是沿着当时当地的地球磁场方向均匀磁化的。若将熔岩标本在实验室内烧红退掉原有的磁性，再使其冷却充磁，这些标本就获得平行于实验室内磁场方向的剩余磁性。这说明，熔岩的天然剩磁（NRM, Natural Remanent Magnetization）与地球磁场平行的方向是在熔岩冷却过程中获得的。随后对各类岩石进行研究的结果表明，自然界中的各类岩石都是在它们的生成过程中被地球磁场磁化的：火成岩是在岩浆冷却过程中沿着所在地区当时的地球磁场方向磁化获得所谓的热剩磁（TRM, Thermal RM）；沉积岩则是风化了了的岩石碎屑，在江河湖海的水体中沉淀的过程中，受到地球磁场的作用而顺着地磁场方向排列，使沉积岩获得碎屑剩磁（Detrital RM）；沉积后受到生物扰动等又重新排列，则获得沉积后剩磁（Post DRM）；岩石在其形成或后期改造的化学反应过程中所获得的是化学剩磁（Chemical RM）；长时间裸露在地磁场中的各类岩石还会获得所谓的粘滞剩磁（Viscous RM），等等。其中，记录人类历史时期地球磁场变化的还有更多独特的一组标本，那就是人类的劳动和生活遗留下来的砖、瓦、陶器以及窑、灶烧土等。这些由粘土制作的器件有些是在成型焙烧后的冷却过程中获得稳定热剩磁的，而另一些砌墙铺地用的夯土，虽未经焙烧却也能在夯击过程中获得剩磁。

30．考古磁学的发展与主要研究成果

地球物理学中地磁学科的一个分支——古磁学（Paleomagnetism）就是以各类岩石为对象，通过测定其剩余磁化方向与强度探讨整个地质历史时期地球磁场的变化规律及其应用；而以人类活动遗留下来的各类古物为主要标本，研究近数万年间地球磁场方向和强度长期变化（即周期为数十至数千年的变化）的部分，专称考古磁学。

19 世纪末，G. Folgerhaiter 继续前人的工作，对火山岩的磁性进行测量。同时，又对砖和陶器的剩余磁性进行了研究，从此开创了考古磁学的历史。他认为，如果砖或陶罐在炉窑内的摆放位置为已知，那么在冷却时这些烧制品所获得的剩余磁性就能提供当时当地的地球磁场方向的记录。即使罐的放置方位在出炉前后难以保持一致，但它若是坐底而烧，那么磁化方向相对于罐底的水平面之间的夹角就应该是当时当地的磁倾角值的记录。

这些记录能经历上千上万年不失真吗？或者说，这些磁性是否能保持稳定、给出古代地球磁场的真实记录呢？Folgerhaiter 对这个剩磁稳定性问题也进行了仔细的研究。他由罗马城墙上不同部位抽取的烧砖标本测得的各砖

块磁化方向相互之间是离散的，而用两千年前烧制的花瓶测得的倾角值相对于瓶底却是一致的。由此他认为这些烧砖和花瓶在烧制时获得的磁化方向应该是保持基本未变。又如，1904 年，David 对公元前 1 世纪罗马教堂铺地石板 and 直接从采石场搜集的标本进行对比测量也得到了相同的结论。特别是 1925 年 Chevallier 对意大利 Entna 山从公元前 394 年至公元 1911 年期间的 11 个熔岩流近两千块标本进行的测试研究，在他所得到的地球磁场方向变化的数据中，公元 12 世纪以来的结果与已有地磁台站的记录相比，角度偏离不超过 1° 。这一工作在古磁学发展史中掀开了新的一页。

法国学者 E. Thellier 等人从 1937 年开始利用古建筑的烧砖及烧土对古代地球磁场强度和方向进行了大量测定和细致的研究工作：他们对烧土的磁学性质进行了深入的研究，发展了采样方法、测试仪器以及交变与加热清洗次生磁性的退磁技术，等等，大战前后共花费 20 多年的时间总结出著名的逐步热退磁法，有力地促进了古代地球磁场强度（简称古强度）测定工作的迅速发展，并与 Neel 一起发展了有关烧土及火山岩的热剩磁理论，为现代考古磁学的发展奠定了基础。

到了本世纪 50 年代中期，考古磁学工作已为研究近两千年间地球磁场方向和强度的变化积累了大量可靠的基础数据。特别是 1540 年以来人们对地球磁场进行观测取得的直接记录，证实了运用考古磁学方法得到的数据完全可靠。近数十年来，英（Aitken 等人）、苏（
等人）、美国（Du Bois 等人）、日（Hirooka 等人）、澳（Barbetti 等人）、保（Kovacheva 等人）等国的许多学者在南北半球各大洲采样，对近数万年间地球磁场方向和强度的变化进行了细致的研究。中国悠久的古代文明为考古磁学研究提供了得天独厚的优越条件。我国的考古磁学工作者（魏青云等人）先后在四大古文化区（黄河流域、长江流域、珠江流域及辽河流域）开展工作，取得了举世瞩目的成果。

随着现代测试技术的飞速进步，古磁测量仪器设备逐步更新，加之测试方法及理论分析水平的提高，考古磁学研究的内容更加丰富，水平亦大为提高。

首先，测试设备的更新拓宽了适用标本的范围。特别是高灵敏度超导岩石磁力仪的问世，使磁性极弱的陶瓷标本亦能给出可靠的数据，各种类型的标本（砖、瓦、陶片、窑灶烧土等）所给出的数据可互相补充、印证，这不仅提高了考古磁学数据的可信度，而且也使考古磁学研究可能取得年代连续的基础数据。

其次，测定古强度和古方向的技术与数据处理方法等日趋完善。例如，测定古强度的方法，除著名的 Thellier 逐步热退磁法之外，监测标本因加热而发生化学变化的 J. Shaw 方法也得到了广泛应用；Aitken 等对烧结物在窑中及实验室内冷却时间的明显差异可能引起大强度测定值的误差，进行了周密的实验研究，找到了应予校正的误差范围；等等。

另外，近年来的考古磁学研究加强了对考古标本的岩石学和磁性矿物学性质的监测，为正确判断数据的可靠性提供了依据。

综合古磁研究结果及现代观测资料，分析地球磁场的时空分布特征，地球磁场的基本性质及其在近万年间的变化可归纳如下：

（1）地球磁场主要为偶极场

偶极子的中心偏离地心约 450 公里；

偶极轴偏离地球自转轴。由古磁研究结果得知，地球磁场的极性在整个地质历史时期平均相隔数十万至数千万年即发生一次极性倒转，占时数万至数十万年，或者侧转不成功只是磁极漂移，其时磁轴偏离自转轴的角度大于 40° 。但在极性稳定期间，偶极轴偏离地球自转轴的角度一般不超过 20° ，目前的偏离角为 11.5° ，而长期（千年以上）平均的偶极轴与地球自转轴基本重合；

偶极矩基本稳定。

（2）地球磁场的非偶部分具有明显的长期变化

自 1835 年以来，以每年 $0.1—0.6^{\circ}$ 的速度向西和向北漂移，而古代地磁场既有西向的也有东向的漂移。

（3）地球磁场的方向和强度随时间的变化有非周期性的，也有周期性的。周期的长短不一，短至数秒、长达数千年或更长。

全球的考古磁学研究结果表明，地球磁场的方向和强度在近万余年间经历了明显的变化。若以地心偶极场的地磁极位置而论，中国、欧、美等各国数据给出的磁极移动曲线表明，地磁极有时慢速漂移，有时快速、大跨度地移动，或南北向、或东西向。至于地球磁场强度的变化以偶极矩而论，在近万年间的变化幅度高达 70%。公元前 4000 年左右的低峰之前为一弱高峰，而公元零年前后则为一跨时两千年左右的强高峰，此后的下降趋势保持至今。近 2000 年间偶极矩减少的速度约为每年 0.05%。

31．近几千年地磁场的变化 ——考古磁学研究的科学意义与应用前景

如上所述，地球磁场的基本性质之一就是它具有长期变化，这正是考古磁学研究的主要内容。实质上，地球磁场的产生及其变化是与地球本身的形成和演变密切相关的，确切地说，是地核内部物质运动及其状态变化最直接的反映。所以，研究地球磁场的长期变化对于了解地核内部发生的各种过程的性质、特征，产生长期变化的机理等等，无疑具有重要的科学意义。特别是因为这些变化中有一部分与其他地球物理现象（如地球自转速度的变化、重力场的变化等等）相关，因此，深入地研究地球磁场的长期变化规律及其产生的物理机制，进而探讨地球磁场的起源及其变化规律，为解决地球本身的起源这个重大科学问题提供磁学方面的依据，是一个具有根本性意义的研究方向。

当今，在世界各国分别取得区域性数据之后，考古磁学研究的全球性日趋突出。对世界各地的结果进行综合对比分析，不仅可以讨论有关地球磁场的西向漂移、磁极移动等问题，更重要的是为当代的前沿课题——全球变化研究提供磁学方面的基础依据。事实上，地球磁场是人类赖以生存的地球所处环境的大背景，地球上的一切，包括人类本身，都处于地球的磁场之中，时刻受到它的作用；各类运动过程，包括

太阳和月亮对于一个弹性的地球施加引潮力将使它的表面或内部发生形变。这种形变将产生两种影响：其一是直接的形变，这在地球表面，可以用应变仪观测出来。其二是发生在地球内部，内部的形变将附带地产生物质的重新分配，因而将要改变地球原来的重力场。地球固体潮的变化伴随着一系列的地球物理现象，这些现象主要有：

海洋潮汐
重力变化
地面倾斜
地面变形
经纬度变化
地球自转速度的变化等

这些现象都很微弱，例如重力固体潮的变化幅度最大约 200 微伽 (1×10^{-9} 伽)，地面倾斜的幅度约为 20 毫秒。因此，对它们进行观测和分析都比较困难。

随着观测技术和计算技术的发展，固体潮的观测和分析也获得了迅速的发展。这些观测技术主要有：

(1) 精度为几个微伽的重力仪，如 GS—15 重力仪、Lacoste—Romberg 重力仪和超导重力仪等；

(2) 精度为 1 毫秒的石英水平摆倾斜仪和井下摆倾斜仪；

(3) 精度为 $10^{-5} \sim 10^{-9}$ 的石英伸缩仪和激光伸缩仪。

这样，地球的固体潮可以观测出来。而对给定的地球模型，可以从理论上计算出它们在月亮和太阳作用下的潮汐变形以及它所伴随的相应的理论固体潮值。将固体潮的观测值与不同地球模型的理论值进行比较，可以选择最接近于实际地球的地球模型，以研究地球形状和地球内部构造。

通过实际观测还发现，固体潮除与地球内部构造有关外，生命过程在内，都是在地球磁场的参与下进行着。因此，全球环境的任何变化无不受到地球磁场的方向和强度变化的调控。例如，太阳的各种辐射、带电粒子流等穿过地球的磁层、电离层对地球的作用受到地球磁场的约束；全球的气候变化与地球磁场强度的变化呈明显的相关关系；磁极的移动更是直接影响地球的电磁环境以及太阳与地球的电磁相互作用等，从而改变地球的生态环境。由此可见，考古磁学对近数万年间地球磁场变化规律的探讨将为全球变化的研究提供必要的背景信息。考古磁学研究是全人类最为关注的全球变化研究中不可缺少的一部分。

另外，考古磁学方法作为考古断代的一种手段，对不明年代的古物所携带的剩磁方向和强度进行测定，与相应的长期变化曲线进行对比分析即可提出磁法断代的结果，供古物考证参考。

32. 地球的固体潮

——海潮的兄弟

在月亮和太阳的作用下，海水每天两次的周期性涨落称为海洋潮汐。海洋潮汐现象非常明显，极易察觉。19 世纪末，英国人达尔文 (Darvin) 分析了当时积累的海潮观测资料，采用海潮观测数据与平衡潮的理论值进行比较的方法，得出观测值比理论值小 $1/3$ 左右的结果，为了解释这种现象，只能认为地球的固体表面也发生与海水类似的周期性涨落，其涨落幅度约为海水涨落幅度的三分之一。后来，就把地球整体在月亮和太阳作用下的变形称为固体潮。还具有区域性的特点。这些区域特点与海潮结构、地壳和上地幔的区域特点以及地壳的构造运动有关。因此，观测和分析固体潮在地面上的空间分布特点，就可以研究海潮的结构、地壳与上地幔构造以及构造运动。

33．大海的脉搏 ——海洋潮汐

海洋浩瀚无际，我国唐朝诗人白居易以“海漫漫，直下无底傍无边”的诗句来描绘那茫茫的大海。海面时而上涨，时而下落，其涨落周期约为半天或一天；就像我们的脉搏，一蹦一跳，海水每天有规律地涨落运动就像是大海的脉搏一样，这种海水的涨落现象便是海洋潮汐。

在海洋潮汐现象中，海面的上升叫涨潮，海面的下降叫落潮，涨潮和落潮互相交替。涨潮转变为落潮时，水位最高，称高潮；落潮转变为涨潮时，水位最低，称低潮。涨潮和落潮，高潮和低潮，都是周期性地来临，其周期是12时25分。因此一般地说，一天有两次涨潮和两次落潮，两次高潮和两次低潮。

潮汐是怎样引起的呢？潮汐纯属引力效应，就是月亮和太阳引潮力的共同作用下形成的。

地球中心所受太阳引力，无论大小或方向，都是整个地球的平均值。同这个平均值相比较，各处所受太阳引力都有一个差值，这个差值是地球变形和潮汐发生的直接原因，称引潮力。这样，各处所受太阳引力可以分解为两个分力，即平均引力和引潮力。平均引力使地球环绕太阳公转，引潮力使地球发生潮汐变形。

引潮力之所以会使地球发生变形，是因为引潮力本身亦因地点而不同。众所周知，大小相等，方向相同的多数力，只能使一个物体平行移动，而大小不同或方向不同的多数力，或者大小和方向都不同的多数力，会使一个物体变形。

通过日地中心的直线同地球表面相交的两点叫垂点，即正垂点和反垂点。正垂点是地球上距离太阳最近的一点；反垂点是地球上距离太阳最远的一点。用地球的上下方向来说，正反垂点的引潮力都是正向的，随着对正反垂点的距离的增加，引潮力的方向先由上逐渐变为水平，再由水平逐渐变成向下。两垂点的引潮力向上，中间的引潮力向下，这也正是地球必然由正球体变成长球体的原因。

由于太阳对地球上不同部分的差别吸引，地球在同太阳一起环绕日地共同质心公转的同时，由正球体变成长球体。同理，由于月球对地球不同部分的差别吸引，地球在同月球一起环绕月地共同质心公转的同时，也由一正球体变成长球体。

地球上的岩石具有很高的刚性，而海水则是可以流动的。因此，地球由正球体变成长球体主要表现为：在正反两垂点的周围，形成两个水位特高的地区，称潮汐隆起，其中的一个始终朝向月球（或太阳），另一个始终背向月球（或太阳）。

两个潮汐隆起虽然存在于地面上，却跟着天上的月球（或太阳）运行。从一个特定地点看起来，随着月球（或太阳）的东升和西落，海面周期性地发生涨潮和落潮。

在地球上产生引潮力的天体，主要是月球和太阳。太阳造成的潮汐叫太阳潮；月球造成的潮汐叫太阴潮。太阳和月球对地球表面的引潮力，与各自的质量成正比，与各自距离的立方成反比。

太阳的质量是月球的 2600 万倍；日地距离是月地距离的 390 倍。质量的对比使太阳引潮力是月球的 2600 万倍。距离的对比使月球引潮力是太阳的 390^3 倍，即 5900 万倍；二者的综合结果使太阳和月球的引潮力之比为 1 2.2。就是说，太阳潮比月球潮更加重要。因此，海洋潮汐主要是太阳潮；太阳潮只能在一定程度上影响潮汐的高低和发生的时间。当月球和太阳与地球在同一直线时，由于它们引潮力方向一致，所以会拧成一股绳，引潮力合在一起，造成海水涨得最高，落得也最低，潮差最大，使地球产生大潮（一般在阴历每月的初一和十五）。当月球与太阳的位置正好与地球相垂直成直角时，它们的引潮力就分为两个方向，地球上只能产生小潮，海水涨得不高，落得也不低，潮差最小（一般在阴历每月的初八和二十三）。

34．太平洋有多大年龄 ——海底扩张

在今天，几乎大多数的科学家都认为在 2 亿多年前，所有的大陆都联在一起，而经过四处漂移才成了今天这个样子。而且知道大陆的年龄要比大洋底的年龄老的多。可在海底扩张学说提出之前，人们对太平洋年龄的认识可不是这样。本来嘛，同在地球之上，大陆与大洋应具有相同的年龄，怎么会有很大差距呢？这是一场发生在 50 年代末 60 年代初的有关地球科学理论的重大变革，才彻底扭转了人们的认识。

在美国，有两个地质学家叫赫斯（Hess）和迪茨（Dietz）。在长期工作的认识中，他们以地幔对流学说为基础，大胆地提出了一个新的学说——海底扩张学说。他们认为，大洋中脊（海底山脊）所在部位是地幔物质上升的通道，这些地幔物质经过冷凝之后，就形成了大洋底。洋底在不断上涌的地幔物质推动下，向大洋中脊的两侧逐渐地扩张、推移。速度是每年几厘米。这就是海底扩张学说的主要精髓，你知道吗，这个扩张的速度是和我们指甲生长的速度差不多的！

那么，大洋地壳是在什么地方消失了呢？原来当洋壳扩张到大洋边缘时就会向下俯冲又返回地幔，这个边缘返回的部位就是海沟。由于洋底就这样不断地生长着又不断地消亡着，因而大洋的洋底年龄都很年轻，至今还没有发现老于中生代的沉积层。因而产生了一个奇怪并又有趣的现象；这就是太平洋的海水年龄要老于太平洋洋底的地壳年龄。

在海底扩张学说提出之后的几年中，海底磁异常及地磁场倒转方面的研究有了重大进展及突破。它们都证明了海底是在扩张运动着，而且至今不停。1975 年开始的“海洋钻探国际阶段”为海底扩张学说提供了有利的证据。钻探结果与磁异常预测的年龄是那么一致，而且表明，随着距大洋中脊的距离的增大，大洋地壳的年龄也在有规律地增加。现在人们终于可以得到一幅大洋洋底年龄图了。皮特曼（W. C. Pitman）在 1974 年发表了它。

现在我们可以知道太平洋有多大了。它最老的年龄是侏罗系沉积，位于马里亚纳海沟以东。其他的各个大洋最老的年龄也不超过 1.7 亿年，这与大陆地壳最老 38 亿年的年龄相比，相差是何等悬殊！因而我们可以说，太平洋，准确说是太平洋洋底地壳是十分年轻的，不老于 1.7 亿年。它的更老一些的洋底，已经又重新返回到地幔，也就是又消失在深海沟之下了。

35. 娘家与婆家 ——冈瓦纳与亚洲大陆

今天，亚洲大陆是地表七大陆之冠，其实它形成时只有西伯利亚这一片，远不像现在那么大。由于冈瓦纳大陆上不断地有陆块裂离出来并拚贴到亚洲上，才使后者长大成今天的模样。打个比方，冈瓦纳是个多子多孙的大家族，其家族成员后来却成了亚洲家族的一员。加入亚氏家族可能经过不同的渠道，如：（1）先出去独立生活一段时间，与亚氏家庭的子女一通婚即成为该家族的成员。（2）成立小家庭后不马上加入亚氏大家庭，而是有一定规模后（可能已三代或四代同堂了）再加入亚氏大家庭。（3）几个小家庭先在一起组成一个既脱离冈氏又非亚氏的大家庭（可称次大陆），然后再加入亚氏家族。现在很多人认为除欧亚（北）和冈瓦纳（南）大陆外还有第三个大陆，叫（西）太平洋古陆。如果它的一部分来自冈瓦纳，那就可能属这种性质的。（4）其他形式，如已订婚但未过门的“毛脚媳妇”或“毛脚女婿”，住在亚氏宅院的房客尚待户口迁入等等。

通过古生物区系，特殊的沉积层、岩石和矿产，古地磁，地球化学背景等多方面的研究及其与西澳大利亚的对比（该区是东冈瓦纳的残块），现在我们已经可以这样说：中国这 960 万平方公里的大地，在大地构造上可分为若干微大陆或地块，除了东北的大、小兴安岭地区外，几乎都是冈氏家族出身的，只是脱离它的时间早晚不同罢了。

扬子微大陆和塔里木微大陆可能中元古代时已从冈瓦纳上裂离出来，晚之古代时其周缘地区可能发生过碰撞事件，称晋宁运动。震旦—寒武纪（笼统地说，整个早古生代）的特征沉积物（如冰碛物，含磷沉积等）和生物组合（如三叶虫）是一样，说明它们当时相连并构成一个西延经克什米尔、阿富汗至伊朗的次大陆。准噶尔地块和哈萨克南部地区（楚河地块）可能也曾属这个次大陆。当时它离西澳大利亚较远，可能在后者的西面。华北微大陆（包括柴达木）和缅（甸）泰（国）马（来西亚）微大陆（包括云南的保山—腾冲）可能寒武纪初从冈瓦纳上裂离出来，它们的三叶虫与扬子不一样，但与澳大利亚较接近，说明更靠近后者。华北缺志留—泥盆系而缅泰马志留—泥盆系发育甚好，说明这两个不是一块。南海地块（海南岛南部和南海的大部分地区）的三叶虫、富铁矿、磷矿等与西澳大利亚几乎完全一样，说明它当时还是西澳大陆的一部分。

早古生代末期，华北微大陆周缘和塔里木微大陆北缘都经历过重大的碰撞和撞生事件，称加里东运动。中国南方该期运动也有反映。印支运动在冈瓦纳的裂离和亚洲的增生中可能具有决定性的意义。它使缅泰马、印支（主体在中南半岛）、南海、浙闽等微大陆或地块与华夏—扬子（这两者是晋宁期拚合的）微大陆拚合在一起，它们又与华北拚合在一起，加上塔里木—藏北（这两者也是印支期拚合的）微大陆，可叫东南亚次大陆，也有人叫古中国地块群。它们与西伯利亚焊接在一起形成亚洲的雏形，恐怕是侏罗纪或侏罗—白垩纪的事。

印支运动后，冈瓦纳的裂离和亚洲的增生过程仍在进行。在西藏地区，藏北微大陆原可能是印度次大陆（当然它也是冈氏家族的成员）的一部分，侏罗纪和白垩纪相继发生裂解，沿裂解带出现海槽和洋壳。白垩纪末到第三纪初，洋盆或海槽闭合，印度次大陆与亚洲碰撞并向亚洲大陆下俯冲。这个

过程持续至今仍在进行，因而印度次大陆具两重性，地理上它是亚洲大陆的，大地构造上仍属于印度板块而不是欧亚板块。亚洲大陆东部，因东海地块等的拼贴使亚洲大陆在侏罗—白垩纪时发生向东的增生。有人把它解释为西太平洋古陆与亚洲大陆的碰撞。（西）太平洋古陆是美国斯坦福大学的一个教授提出来的，认为它解体成大大小小的块子（美国人称构造—地层地体）拼贴到了环太平洋地区的大陆边缘上。不过，也有的人认为北美大陆西部边缘地区的增生地体来自美洲大陆本身，只是从南美大陆边缘上被撕扯下来以来向北漂移了，然后拼贴到了北美大陆的边缘，因此跟太平洋古陆没什么关系（这句话的伏笔是：可能没有什么太平洋古陆）。

总的看，晚元古代以来亚氏家庭在不断地壮大发展，至白垩纪时已成为全球最大的陆地家族。不过，它也并不是“只进不出”。新生代时日本海和台湾海峡的形成，使日本列岛和台湾岛脱离了亚洲大陆。堪察加半岛和马来半岛随鄂霍次克海和泰国湾的进一步发育也可能使它们脱离亚洲大陆。此外，还有那么多岛国，像菲律宾、印度尼西亚、巴布亚新几内亚等。这说明亚洲大陆白垩纪时的面积要比现在还大，亚氏家族曾是那样积极地“搜罗人才”，到了白垩纪后似乎人才过剩了，于是有人要出来另闯世界。问题是：从亚氏家庭出来的人，将会找一个什么样的婆家呢？是独立生活不顺心先暂回娘家去，还是再回到冈氏家族去（与澳大利亚拼合），或者，另外找一个婆家（比方说，远嫁美国即与北美大陆发生碰撞拼合）？对着地图，想想看，好吗？

36．地球的黑白魔方 ——地球的大地构造

人们常把足球比作一个黑白魔方，它在绿茵场上的转动使多少人如痴如醉。你可曾想过：地球也能比作一个黑白魔方吗？确实，因视角不同、侧重的方面不同，大地构造学派林立，地壳构造的基本单元只有两种：稳定区和活动区。不同的是：足球的黑、白块是固定的，转的是球；而地球的黑、白块是在转的，而且在三维空间上转，是一个真正的地质魔方。也正因如此，不同大地构造学派会对同一区域（比如中国）描绘出不同的图案。

把理性带入大地构造研究的地槽—地台学说，认为地台是稳定区，地槽是活动区。黄汲清教授按这一思想，最先划出了华北、扬子和塔里木这三大稳定块，围着这些稳定区的地槽经多旋回的回返而成为褶皱带。陈国达教授认为，地台可发生活化而重新变成活动区，不过已不是地槽了，它叫地洼，在中—新生代尤其发育。地槽也不是天生的，张文佑教授提出震旦纪时有一个古中国地台，因块断作用而解体，沿断裂有岩浆发育，成为古生代的地槽，而华北、扬子、塔里木三块则是该古中国地台解体后的残块。地台中最刚性最稳定的部分叫地盾（音译为克拉通），因为很少接受沉积而认为长期处于被剥蚀的状态，也称高（位）克拉通；相应地，大洋盆地就是低克拉通。前寒武纪的情况还略有不同。马杏垣教授用了一些新名词来描述，如萌地槽（台）、雏地槽（台）、原地槽（台）等等。不管叫什么，反正是稳定区与活动区这黑白两块在来回转，而且还转得自圆其说，滴水不漏，所以至今仍有不少人感到它挺好。

李四光教授是另辟蹊径的。他把褶皱断裂带（活动区）及夹持在其间的

地块、盾地等（稳定区）称为一个构造体系；因为它是一定构造应力场的产物，因而其空间展布具明确的方向性。换言之，他把地槽—地台学说划分的各级构造单元按一定的空间展布重新组合了。如湖北境内的大洪山褶皱带，成了淮阳山字型的西翼；原称的淮阳地盾是该山字型的脊柱，而黄陵地块是它西翼反射弧的砥柱。东亚大陆边缘的北北东向的新华夏系，由一系列主要是古老地层组成的隆起区和中—新生代的沉陷区（地洼区）间互排列构成。这样，尽管还是黑、白两块，但构造单元的名称变了，它们之间的组合或配置关系也变了，像从魔方的这一面转到了那一面，什么都变得面目全非了。

板块构造初期认为板内是只传递应力而不发生形变的，因而是稳定区，板块边界则是活动区。据应力状况边界可分为三种：（1）拉张的，即大洋中脊，因地幔物质的涌出而洋底向两侧扩张；（2）挤压的或会聚的，即活动大陆边缘，洋壳通过贝尼奥夫带而消减掉；（3）剪切的，如美国西部的圣安德列斯断裂，是全球著名的地震带。这种认识对于解释地质构造远较大洋区复杂的大陆内部构造显得还不满意。因此，张文佑教授把板块理解为岩石圈断裂围限的断块，底面是软流圈；它可划为大小不等的地壳断块（以地壳断裂为边界、莫霍面为底界），相应地，一个地壳断块由若干个更次级的基底断块（以基底断裂为边界、康拉德面为底界）组成。因而，板内的应力积聚和释放，主要通过这些次级断裂发生。他称之为断块构造。“断块”这个词的构成，有点类似“动静”和“东西”这样的词，反映了一种朴素的对立统一观，即：“断”是相对活动区，而“块”是相对稳定区。

尽管有人试着把板块学说与以往的认识调和起来，但最终不得不承认难以做到此点。比如，地质力学中有个著名的“南岭纬向构造系”，但却很难说清楚它的板块构造意义。与地槽—地台的关系也不一样，不能简单地把地台改为古板块或微板块，把地槽改为洋盆或弧前深海沟。比如，原先把淮阳地盾当成一个古老的稳定地块；现在看是一个与陆内俯冲有关的印支期碰撞造山带，大陆地壳与大陆地壳不但在那里碰撞，而且可以俯冲到几十公里深处，当然是一个活动带了。再如，原先都认为灰岩是地台上的，浅水的，但现在发现有深海的灰岩，也有的灰岩尽管是浅水的，但却发育在大洋盆地里的海山上。因此，从地槽—地台到板块学说，不是构造单元换个名称再重新排列一下，而是对岩石圈演化认识的一个飞跃。魔方又转了一面，图案已完全变了。

板块学说的最革命之处是引入了活动论。以前的见解，都认为这些构造单元是生于斯长于斯埋于斯的，只是形状变化罢了（如地槽变成褶皱带，平面宽度缩小了）。板块学说却不同。现在的一条宽几十公里的缝合线，可能代表了一个原来宽达好几千公里的洋，只不过这个洋已经消失了，而它另一侧的大陆则必须经过几千公里的漂移才能与这一侧的大陆碰撞并焊合成一个统一的大陆（假定这一侧的大陆是相对不动的）。初看起来地球表面的大陆要一跑几千公里是乱了套，实际上，古地磁的测量已证实了这种漂移是存在的。按着这一活动论的思想，我们可以重新认识中国的地质构造和地球表面各大陆的演化史。

地中海这一名词对谁都不陌生，知道它在欧洲与非洲之间。非洲克拉通，及南美、印度和西澳克拉通曾是冈瓦纳大陆的组成部分。冈瓦纳也称南大陆（相对欧亚大陆而言），以晚古生代冰碛物及上覆的含煤地层为特征，因含冈瓦纳植物群而得名。1893年，徐士在其不朽巨著《地球的面貌》一书中提出：“冈瓦纳大陆的北界是中生代的宽阔海相沉积带，……用特提斯来叙述它”。这样，特提斯就成了一个分开冈瓦纳和欧亚大陆的重要地质和地文单位。因其特殊的地理位置，有时也被通俗地称为古地中海。板块学说把地中海称为威尔逊旋回的第五阶段，即残留洋盆阶段；那么，特提斯或古地中海，应是分隔冈瓦纳和欧亚大陆的大洋。

100年来，有那么多志士仁人为特提斯的研究贡献了他们的智慧和心血，在大大丰富特提斯宝库的同时也在特提斯一词之前加上了不少定语。按时间来分，有新（生代）特提斯、中（生代）特提斯、古特提斯（晚古生代的，相当于古大西洋时期）等，以后又出现了原特提斯（相当于原古大西洋时期）；按地理位置分，有北特提斯、南特提斯等；也有把与洋盆相通的大量浅海（陆表海域）也叫特提斯的，如扬子特提斯、华南特提斯等。对云南西部地区的详细研究认为有两大阶段：泥盆纪—三叠纪的古特提斯和侏罗纪（也可能从三叠纪最晚期）开始的新特提斯，分别与海西—印支和阿尔卑斯这两大旋回对应。

70年代开始的青藏高原大规模综合考察，厘定了班公湖—丁青和雅鲁藏布江两条缝合线，它们是新特提斯洋壳消减后的残迹。向东，在缅甸西部、印度尼西亚和菲律宾，都可找到该时期的缝合线。我国广东兴宁—梅县至福建永定—漳平一线的次深—深海相的下侏罗统，产特提斯型的菊石生物群，可能代表了新特提斯伸进大陆内并向北变浅变窄的一个楔形海槽。最近，还有人提出福建泉州的超基性岩和堆积杂岩是岛弧—不成熟边缘海内形成的蛇绿岩套。

古特提斯的情况比较复杂。像云南西部，有人认为有五条甚至六条缝合线，但有人认为一条也没有（在缅甸）。即使同意发育过洋盆的，对古特提斯是一个开阔的大洋，还是一个短命的陆内小洋盆，也有不同认识。通过这几年来的工作，对藏东—云南地区，因发现了冰海相含砾板岩、冈瓦纳生物群等而相信这里发育过古特提斯且是一个开阔的多岛洋。缝合线有两条，西支（古特提斯主洋盆）在碧土—昌宁—孟连，东支在江达—金沙江—墨江。这里有发育极好的（甚至可以说是世界上其他地方罕见的）深海放射虫硅质岩、大陆边缘沉积、海山或洋岛沉积等，使你感到古地中海是那样博大开阔，海水是那样清澈蔚蓝，真是让人留恋忘返，必欲下海劈波斩浪而后快。

有趣的是在中国东北的那丹哈达岭（完达山）也发现了既不同于西伯利亚也不同于华北而具明显冈瓦纳色彩的石炭—二叠纪生物组合，其原来的生活环境大概是古特提斯中的海山，后来被拚贴到亚洲的东北边缘。在日本，有人相信黑濑川地体原属于冈瓦纳。这样，就会出现一个问题，中国的两广和东南沿海地区原来与古特提斯是什么关系？

对广西的认识还比较统一，认为晚古生代—三叠纪的深海是古特提斯的一部分。海南岛就复杂了。东方县的杂砾岩就是一例，有人理解为冈瓦纳相沉积，有人则极力反对。东南沿海地区，以往习惯于用太平洋板块的向西俯冲来解释中生代以来的地质演化。其实，太平洋板块（更确切地说是菲律宾板块）的影响，可能是晚白垩纪以后甚至是第三纪以后才有的。浙闽中部地

区，可能存在一条早三叠世时向东倾的被动大陆边缘，它可能向西连桂西、滇中、川西的向外倾的被动大陆边缘（其外即是古特提斯域），因而古特提斯从这里通过是完全可能的，只是因为南海、台湾海峡等的拉开，有些记录在陆地上已经找不到了，即使在陆地上的，也可能因强烈的燕山运动而被破坏或改造了。

关于原特提斯，中国地质学家们现在争论的不是缝合线在哪里，而是用不用这一术语。有人认为：古特提斯之前（泥盆纪和早石炭世）是泛大陆发育阶段，因此早古生代的洋壳与特提斯没什么关系，不应称原特提斯。另一种观点则认为：震旦纪—早古生代时冈瓦纳（南）大陆与欧亚（北）大陆显然是被大洋分隔的，因而三叶虫等生物群明显不一样，这个大洋仍符合“特提斯”的定义，可称原特提斯，并认为古特提斯与原特提斯之间有继承关系。

总之，地中海是令人神往的，古地中海是令地质学家神往的。已经有那么多人扑入了古地中海的怀抱，而且一旦扑入，便全身心地投入，而不再想到“回头是岸”。中国的古地中海也许是最神奇最富有魅力的宝地了，不仅因为它的海浪、沙滩、浴场、风光，而且还因为有着大片的处女海，等待着我们去探索，去开发。真正的游泳爱好者，应该到中国的古地中海去搏击风浪、一显身手！

38. 残页装订的书册 ——造山带地层学浅释

大家都知道中国有本《红楼梦》，又名《石头记》，是用文字写的一本小说，不是用石头写的，讲的也不是石头。如果是用石头写的讲的是一个大面积的石头的话，那就是真正的石头记了。谁能读懂这本石头记？

古生物学家们根据化石（它们是石化了的生物遗体或遗迹）把岩石分成若干不同的时代，再根据生物由简单到复杂、由低等到高等的进化规律区分出这些时代的先后顺序。经过几百年持久不懈的努力，形成了一门叫做古生物地层学的学科。对没有化石的地层，主要用放射性同位素的方法直接测定岩石（或矿物）的年龄。再加上其他的方法，人们有可能把四十多亿年来的岩石记录编成一部地球的史书。按经典地层学的原则，在一个相对稳定而开阔地区的地层应该是：（1）时间序列（纵向）上是连续的，且老的在下，新的在上，换言之，这本史书是由连续的书页订起来的；（2）空间（横向）上是可以追溯和对比的，尽管可能因沉积环境变化而生物化石的门类不同。

因下列原因，这部史书常是残缺不全的：（1）地质记录被深埋在地下或水下，暂时还看不到；（2）由于岩浆的侵吞、后期剥蚀等，地质记录未保存；（3）因大规模的推覆、走滑等地质记录被移位了。（3）不同于（2），（2）是指某些书页被烧掉了或毁坏了，（3）是指某些书页被撕掉了；就撕下来的页而言（哪怕只是半页），它们还相对完好，字迹清楚可读。于是，就引出了下列问题：这些撕下来的页（残页）到哪里去了？从不同书上撕下来的残页可能凑到一起订成一本书吗？如果成了书，怎么读才能读懂？

在回答这些问题前，先要说明造山带概念的变化。地槽学说认为造山带是褶皱带，地槽内的巨厚沉积因地槽回返而强烈褶皱，隆起成山。这个过程基本是原地的，尽管地层的排列次序因构造变动而有不同程度的颠倒，经典地层学的原则还是适用的。现代地质学认为造山带是洋壳消减和陆—陆碰撞

的产物。当洋壳俯冲于陆壳之下时，大陆的边缘部分会向相反的方向仰冲，仰冲出去的部分就成了从大陆这本大书上撕下的残页。大洋可宽达几千公里，洋壳俯冲时，洋盆中相对轻和高的部分，如海山和陆隆上的沉积物、洋岛和大陆残块等，会被刮削下来而增生（或拼贴）到大陆上。这些增生楔也是残页，而且可能是从好几本小书上撕下来的残页。即使是洋壳，也可能通过不同的方式而保存在地壳浅部，这就是蛇绿岩套，是从洋盆这本大书上撕下的残页。地史期间的洋盆常常经过了不止一次的洋壳消减才最终消失，残页的情况就更复杂了。洋盆闭合后，其后的大陆可能因惯性而俯冲于前方的大陆之下，也可能两个大陆间出现对冲、互冲、走滑错移等情况，导致这两本书上都有书页被撕下。

这就是造山带。它们常是构造的大杂烩或大拼盘，原先被大洋分隔的两个或几个大陆及其边缘（包括被动的和活动的大陆边缘）的地质记录，洋壳及其洋盆内的海山、陆隆、洋岛、陆岛等的地质记录，都因造山作用而被杂乱地拼凑在一起了。如果把造山带也比作一本史书的话，那它是由从几本甚至几十本书上撕下来的残页（每本书上撕下的页数不等）订成的。

经典地层学不能读懂这本书，因为纵向上，造山带内两个相邻的岩片形成时间可能差“千秋万代”，横向上，造山带内时代相同的地层原来可能相隔“千山万水”。这样，就出现了一门新的学科：造山带地层学。它是动力地质学和历史地质学交叉产生的边缘科学构造地层学的一个分支。如果说，经典地层学给出了稳定地块区地质演化的时间坐标轴的话，那么，造山带地层学则要为造山过程给出时代依据，要为造山带内部构造的划分提供证词。

造山带地层学是在正确识别造山带构造面貌的基础上，采用多学科协同研究而后进行综合分析的方法。传统的古生物地层学仍是造山带地层研究的有效手段之一，且其领域更扩大、内容也更丰富更深入了。洋盆内主要是深海的或远洋的沉积物，主要依据放射虫、有孔虫等微体化石来确定时代。大陆坡上常有滑塌现象和再建造再沉积过程发生，因而滑塌块子里的和再沉积的化石，即不能指示这套地层的真正时代，也不能说明沉积环境。两个大陆原先相隔数千公里，古纬度、古气候、古地理条件可能相差甚大，造成底栖的海洋生物和陆地生物有不同的组合，因而在造山带进行古生物学研究时，不但要据化石确定它所产出的岩片的时代，而且要据生物组合确定其古生物地理区系，这样才能结合古地磁学古生态学等方面的资料重建当时的沉积—构造格局。洋岛或海山的生物组合情况较复杂，它可能因邻近某一大陆而与它属同一古生物地理区系，也可能因地方性分子较发育而表现出有别于大洋两侧的大陆的生物组合面貌。洋盆内的浮游生物尽管不具明显的地方性，但一旦有洋流（暖流或寒流）发育，洋流内的温度、沉积地球化学环境、PH值和Eh值等可能有别于周围的水体，因而也可能出现不同的浮游生物组合，使情况变得更加复杂。

中国不但是世界上造山带发育最多的国家之一，而且造山带类型多样，各具特色。只有充分掌握了造山带地层学的理论和方法，才能去读并逐步读懂这一本又一本的残页装订的书册。当然，这是件难事，唯其难，才更显得有趣和令人激动。朋友，你不想试试读一本这样的书吗？

青藏高原，名副其实的世界屋脊，地球第三极，那里不但整体海拔高度在 4000 米以上，而且有一系列高于 6000 米的冰山雪峰，云遮雾罩，难见真容，被虔诚的善男信女们视为神山而顶礼膜拜。滇藏交界处的梅丽雪山就是这样一座神山，1991 年 1 月，中日登山队的全体队员（17 名）在此罹难；之后数次搜索，竟未发现任何遗体遗物，使她更显得神秘莫测。

与地形上的高耸相应的是该区地壳可厚达 80 公里（一般为 33 公里）。莫霍面与地形呈镜像对称的现象称为山有山根。山根是地壳均衡作用的结果，像一艘船那样，船体越高，吃水必越深。关于青藏高原隆起和地壳增厚的机制，有许多假说，至今仍是众说纷坛，莫衷一是。

1924 年，阿尔冈提出青藏高原的隆起是印度地盾插到西藏下面的结果。1956 年，张文佑考察了格尔木—拉萨路线，认为印度和西伯利亚这南、北两块地盾的相向运动使青藏地区受到挤压而隆起，是一种扇形的山体。

板块构造诞生伊始，就提出印度板块消减于欧亚板块之下而造成雅鲁藏布缝合线和喜马拉雅山。青藏高原的研究成了打开地球动力学宝库的金钥匙，引起了探险家、拓荒者的兴趣。甘塞尔就是有传奇色彩的一位。他赶了一群羊进藏，壮志饥餐羊肉，笑谈渴饮羊血。羊群换来了印度板块消减于欧亚板块之下的证据，他也真是潇洒地在西藏走了一回。1973 年，鲍威尔提出印度大陆向青藏之下俯冲，导致双陆壳结构而使地壳增厚。由于各种手段的地球物理测深都不能证明该区有超叠的两个大陆地壳，这一假说很快被放弃了。

之后一度流行常承法的印度板块在显生宙内多期叠瓦状俯冲、自北向南相继形成若干缝合线与山脉、构成青藏高原的骨架构造的观点。尽管这可能提供了板块运动的一个典型实例，但对解释青藏高原的形成却未必成功，因为加里东期、海西期或印支期的山脉恐怕早已夷平了。进一步的研究还发现：藏南和印度—缅甸交界区的新特提斯洋壳的消减发生在晚白垩—古新世（洋壳消失的残留海域可延至始新世），而青藏高原的隆起是新第三纪后发生的，似乎与洋壳的消减没有直接的联系。

80 年代里，出发点开始转向陆内俯冲和陆—陆碰撞。由于大规模多学科的科学考察的开展和资料的积累，加上卫星遥感、物理模拟、计算机模拟等手段的应用，这一时期思想更为活跃，观点也趋于多样，可谓百花齐放。主要的观点有：（1）以马托埃为代表的滑脱—推覆说：陆内俯冲期间的壳—幔拆离导致一系列薄皮拆离冲断楔的堆叠（地壳堆叠楔），造成地壳增厚和上浮。（2）塔朋尼尔提出印度板块的楔入在青藏地区引起了多幕的褶皱和逆冲而使地壳缩短加厚，其侧向应变是大规模的走滑活动，造成多幕的挤出和构造逸脱（滑移线场理论）。（3）李廷栋认为青藏高原的隆起和地壳变厚是不同构造层的冲断和叠覆所致。（4）曾融生、邓万明等提出双向俯冲说：印度和塔里木分别在其南、北两侧向青藏高原之下俯冲，且可俯冲到岩石圈深度。（5）以摩根为代表的岩石圈“嵌入”说：青藏周围（主要是印度）冷的刚性岩石圈与青藏热的塑性岩石圈碰撞时，前者“嵌入”（或加入）到后者中，后者的质量增大，厚度随之增加。此外，还有道冲—推覆说，扇形褶皱和双边逆掩说等。这一阶段里古生物古气候的研究说明青藏地区晚近时期经历了两次重要的隆升：第一次自中新世中期或晚期始，在上新世达高潮，上新世末隆升停止，形成高原区，那时青藏高原的海拔高度为 2000—2500 米；第二

次自中新世始，持续至今。怎样利用地质学的这些成果来修正和完善自己的模式，使之向客观真理再迈进一步，是各种观点都面临的问题。

90 年代里，对这一论题的研究更为精细。精确的测量表明：现在隆升速度最快的地方不在珠穆朗玛峰，而在巴基斯坦北部。换言之，若干万年后，珠峰恐怕不能再雄踞世界第一高峰的宝座。在南北方向上，隆升的速度、幅度和机制也有差异。如崔军文等将青藏高原自南向北分三个带：（1）喜马拉雅带，以多层次的拆离、冲断、岩石叠覆及岩石部分熔融为隆升机制，以急剧隆升为特点；（2）冈底斯—念青唐古拉带：以深源岩石底辟侵位及热隆扩展为主要隆升机制，以相对薄的地壳和地幔为特点；（3）昆仑—可可西里—唐古拉带：以重力滑动和重力流动（或重力扩展）引起的岩石圈垂向扩展为主要隆升机制，以缓慢、均衡的隆升为特点。他们还预言，随俯冲带向印度前陆迁移，（1）将出现（2）的特点；相应地，（2）将出现（3）的特点。他们把这一地球动力学模式称为岩石圈深层扩展说，强调沿不同深度的物性界面发生拆离。

今天，青藏高原隆起之谜并未最终解开，但可以肯定不是神的意愿的结果。人们已经欣喜地看到：在这 1/4 的世纪里，科学工作者和拜佛朝圣者的脚印在青藏高原这块令这两种人都心驰神往的大地上，编织了多么色彩斑斓的一道又一道的经纬，而前者的脚印，不管道路何等曲折，攀登何等艰辛，最终将通向自由王国。

40．神话与现实 ——大陆裂谷

裂谷是地球表面的裂缝或谷地。发育在大陆上的，就是大陆裂谷，地貌上常表现为窄长条状的断陷盆地即地堑。最著名的是莱茵地堑，位于德国（英文中的 graben 一词是德文外来语）。这种裂缝一般较深，下地壳和地幔的物质通过它而到达地表（岩浆喷溢的通道）。

世界上最有名的现代大陆裂谷在非洲，称东非大裂谷。本世纪初就有个叫格里高利的英国人在那里研究，30 年代时已形成因东非高原的拱形隆起造成引张应力场、控制边界正断层活动进而控制裂谷发育的观点。板块学说诞生后，东非裂谷被当成威尔逊旋回的第一阶段，大陆裂谷被设想成大陆板块漂移的原始轴线。就是说，今天非洲是一大块，上面有东非裂谷这条缝，这条缝会越裂越深，越张越大，非洲就会变成两块；新生的洋壳在裂谷中出现以后（像红海那样），洋底扩张会使这两块作反向的漂移，于是在这两者间出现一个洋盆并越来越宽，甚至宽达几千公里（像大西洋那样）。这个过程需要几十万甚至几百万年，但绝不是神话，因为大西洋就是这样形成的。许多地质事实，像特征的沉积物和生物群落尤其是陆生生物群落在非洲与南美洲是一样的；南美洲的东海岸与非洲的西海岸可以很好地吻合（不信你可以找个地图剪下来试试），而且把两者拼合后南美洲与非洲大陆上的线性延伸的岩墙群也可以连到一起，说明这两者原本是一个超级大陆（冈瓦纳），后来才分裂并形成今天这种海陆分布的。现在地幔通过大西洋中脊而溢出，大洋中脊的原始面貌就是东非大裂谷这样的大陆裂谷。非洲大陆分裂后海陆的演化没有停止，最终结果是两种基本可能：（1）这两块之间的洋盆闭合了，这两块也重新拼合到一起；（2）这两块分别拼合到了别的大陆上，如东非可

能拼合到亚洲大陆上而西非拼合到了南美洲大陆上。地史期间(2)的情况更为多见。这也不是神话,如前述的冈瓦纳,中元古代以来一直就在裂解,分裂出来的块子逐步向北漂移并拼贴到西伯利亚克拉通上,于是有了今天的亚洲大陆。印巴次大陆拼合到亚洲大陆上只是最近几十万年内的事,就像“昨天”发生的一样,所以原来的面貌还比较清楚。

在世界地图上你可以看到一系列裂谷,尤以南北向延伸的为多。东非大裂谷,南起莫桑鼻给海峡,呈锯齿状转折延至吉布提后连红海裂谷,再接地中海东岸的死海裂谷。在欧洲,法国有萨翁、洛纳地堑,向北为德国的莱茵地堑,经赫逊洼陷,接沿斯堪的纳维亚半岛西海岸的北海裂谷系,直达斯匹茨堡根岛。我国大陆东部的辽河盆地—渤海、汾河—渭河地堑及冲绳海槽、台湾海峡等都是裂谷构造,地貌特征十分明显;华北平原是一个被掩埋了的复杂地堑系(即为多个地堑和地垒相间排列的构造格局,其“昨天”的面貌就像今天美国西部的盆岭省)。在西半球,南美洲西部安第斯山脉中的裂谷和美国西部的盆岭省、格兰德河裂谷,也是这种全球规模的近南北向延伸的大陆裂谷系;加拿大西部哥伦比亚高原上的溢流玄武岩,也认为与大陆裂谷作用有关。

对裂谷形成的通俗解释是:地球内部因热能的不断积累而变热并要向外释放热量;即,地球内部因热而膨胀,而表部的冷的固体地壳相应是收缩的,这就像胖子穿了太小的衣服必然要把小衣服绷破一样,且必然会在衣服的接缝处先破。地球表面因为有许多断裂(它们是循向一定方向发育的,如南北向)。一旦裂谷作用发生,这些先存的断裂易再活动而成为岩浆侵入或火山喷溢的通道。

地史期间曾多次发生过大陆裂谷作用,而且常常没有形成很宽的洋盆裂谷活动就停止了,因此没有大规模的洋壳消减和陆—陆(弧)碰撞发生。尽管没有“五马分尸”,毕竟“皮开肉绽”了,因而裂谷活动夭折后仍留下了“伤疤”,地质学家就靠这些“伤疤”来恢复当时裂谷发育的时间和空间特征。不过,古裂谷的地貌形态和地球物理特征已经不保存了,识别古裂谷主要依据特征的地质记录,如火山岩的双峰态特征(只有基性岩和酸性岩两个端员,没有安山岩),沉积岩剖面上具有下细上粗的二元结构(“上粗”是快速沉降和急剧堆积的结果)等。裂谷内常发育有丰富的矿产,如前述的北海裂谷系就是著名的大油田,已成为海洋石油勘探的热点。我国西南部的攀枝花—西昌地区也因裂谷作用而形成若干著名的大矿床,如与岩浆岩有关的钒钛磁铁矿、与蒸发岩有关的青盐矿等,成为具重要经济价值的聚宝盆。因此大陆裂谷研究除理论意义外也有重要的现实意义。

41. 撞击地球的不速之客 ——流星

夏夜,当你仰望星空,也许会看到流星拖曳着光亮的尾巴划破天穹。诗人郭沫若曾把它比作牛郎织女的灯笼,实际上它是闯入地球大气圈的小行星、慧星等,可统称为地外物体。由于高速飞行时的摩擦生热引起燃烧、溶融,大部分地外物体成了你看到的流星而未能落到地表;有幸落到地表的就是陨石。你能想象这些不速之客到达地表时会与地球发生怎样剧烈的碰撞吗?

碰撞留下的遗迹之一是撞击坑。最大的一个位于加勒比海，直径 225 公里，推测撞击体直径 10—20 公里，质量约 1×10^{16} 公斤（因它相当于地球的内核部分，故密度大）。有人统计，40 万年有一个直径大于 1 公里的地外物体撞击，10—100 百万年有一个直径大于 10 公里的地外物体撞击。因此，这是地球表面经常的、正常的灾变事件。

原子弹爆炸时强大的冲击波可造成核冬天效应（产生黑暗的冬天）。地外物体撞击时产生的能量和冲击波都比原子弹爆炸强得多，对大气圈、水圈、生物圈会产生巨大的影响。其效应与核爆炸的冬天效应相似，包括：因 CO_2 和烟尘使光合作用抑制，地表降温、冰盖扩大、新冰期产生，因酸雨而使大陆侵蚀增强、沉积速度增大，此外，因撞击而诱发深断裂活动，包括岩浆侵入、火山喷发、深部无机成因的气体上升；它还导致地球的磁极倒转，宇宙线通量增大等。这种恶化的环境必然导致生物的大量灭绝。之后，由于温室效应，地表增温，冰川消退，海面上升，光合作用增强，新的生物门类会在合适的气候环境中生存和繁衍。这样，就完成了—正常—异常—正常的古气候旋回。

欧阳自远教授认为第四纪内有三次大的不速之客闯入地球的天文—地质事件。最重要的一次在第三纪与第四纪之交。证据是：南极有撞击坑，中国黄土中有地外物质的微球粒。它导致北半球高纬度地区发育大陆冰盖并扩展，冰筏南移；冰期与间冰期气候变化幅度增大，湖泊广布；上新世的三趾马等动物大量减少，第四纪哺乳动物群（象、真马、真牛等）出现。这次灾变带来的最重要后果是出现了直立人，有了早期的旧石器文化。这次灾变也造成地球磁场极性倒转（高斯正向期变为松山反向期）。刘东生教授提出将高斯—松山极性时界线（距今 2.48 百万年）作为第四纪的下限（原定为 1.64 百万年），是“顺天意、合民心”的举措。另外两次撞击，一次在早更新世（距今约 1.3 百万年，在非洲的科特迪瓦（象牙海岸）有玻璃陨石和撞击坑；另一次在早更新世与中更新世之交（距今约 0.7 百万年），与古地磁的松山—布容极性时界线吻合，在亚洲（包括黄土高原）和澳大利亚已发现微玻璃陨石和地外物质的微球粒。

其实，以生物物种的大量灭绝为标志的灾变事件在地史期间屡见不鲜。最令人注目的是中生代末的恐龙（它一度是地球的主人）等大型爬行类全部灭绝，无一幸存，新生代则代之以哺乳动物的兴起和繁盛。1980 年，阿尔瓦雷斯等人最先发现在白垩系—第三系界线的粘土中有特别高的铱（Ir）含量，且它有全球的普遍性，灾变事件与铱异常联系了起来。之后，在第三系—第四系、二叠系—三叠系、泥盆系—石炭系、寒武系—奥陶系等界线的粘土层中都发现了铱异常，它们都与不同程度的生物灭绝和新物种出现的事件有关。在我国云南梅树村剖面上还发现了震旦系—寒武系界线粘土中的铱异常，寒武系地层内小壳动物化石保存完好。对铱异常，普遍认为是地外物体带来的，因为地球上这种元素的丰度太低，也找不出能使之突然富集的原因。

除第四纪冰川外，地史期间的早元古代、晚元古代、晚古生代都发育过冰川，局部地区还有奥陶纪冰川。米兰科维奇用日地几何学的动力学因素来解释，撞击论者则用巨大地外物体撞击地球引起的冬天效应来解释。

地球的早期阶段还没有这么厚的大气圈，必然会有更多这样的不速之客闯入地表，但因缺乏直接的可靠依据，对其撞击效应假设的成分颇多。有人

认为地球早期是冷的，因撞击而 CO_2 含量逐渐升高，最终导致有机碳和生命出现。有人认为早期地球是超活动的，因外来物质加入“泛玄武岩洋”内才使原始陆壳（硅铝层）分异出来。有人认为今天的金星表面颇多撞击坑，可能有点像地球的早期阶段。看来，解决这个问题需要宇宙地球化学家、天体物理学家和地质学家的共同努力。

由于撞击体只是地外物体原来的内核，贵金属含量高，因而造成撞击坑周围地区贵金属异常，如南极。加拿大有个肖德伯利铜镍矿，成环状，与区域构造格格不入。1972年在加拿大开第24届国际地质大会时，有人说它是地外物体撞击成因的，听者嗤之以鼻。十年后，真有人（而且越来越多）相信它是上帝，不管他有意还是无意，送给人类的礼物。如果能发现一个这样的金镍矿床（在地核内金的丰度相对要高），岂不更要感谢上帝他老人家么？

42．引力、离心力、重力

苹果熟了从树上落到地上，而不会飞上天去。人离开地面需要乘坐飞机或火箭，而不能随意跳上天去。飞机或火箭损坏也会堕落回地面。这些都是地球对地面上任何物体都有吸引力的结果。地球的质量很巨大，约有60万吨。因此，地球的引力很大，以致万物都因地球强大的引力而附着在地球表面上，如果有一深井，物体也会被引力作用吸落入井底。然而，地球还在不停地自转着，所以对地球表面的物体除了有引力作用外，还有离心力的作用。重力就是地球质量在地面上形成的引力与地球自转所产生的离心力的合力。因此，重力的方向基本上是指向地心方向的；重力的大小，一般用重力加速度（代表符号为 g ）的数值大小来表示，其单位是 cm/s^2 。

43．重力的计量单位

重力的计算单位是伽（Gal），在数值上，1Gal等于 1cm/秒^2 。采用“伽”是为了纪念在1590年最初测定重力加速度的意大利人伽利略（G. Galileo, 1564—1642）。在实际计量应用中采用“伽”的千分之一的“毫伽”（mGal）或“伽”的百万分之一的“微伽”（ μGal ）作为计量单位。

在国际单位制中，对重力的单位以 1m/s^2 的百万分之一（即 10^{-6} ）为—国际重力单位，即Gravity Unit。简写成 $g.u.$ 。这样

$$1\text{m/s}^2 = 10^6 g.u.$$

$$1\text{Gal} = 10^{-2}\text{m/s}^2 = 10^4 g.u.$$

$$1\text{mGal} = 10^{-5}\text{m/s}^2 = 10 g.u.$$

$$1\mu\text{Gal} = 10^{-8}\text{m/s}^2 = 10^{-2} g.u.$$

44．变化不定的重力 ——地球重力场

如果问一列车货物有多重，人们可以说出一个准确的数值。但是，是否想到过，当这列火车从北极附近开往赤道地区，或者从平原开到高

山地区时，它的重量会变化吗？事实上在地球上各个不同的位置，重力是不会一样的。因此，同一物体的重量在不同地点也会发生改变。在 1911 年 4 月非洲商人哈桑在北欧挪威购买了 12000 吨鱼，运到北非利比亚首府蒙罗维亚后，鱼没有少，重量却变为 11530 吨，轻了 470 吨！这显然是重力减小造成的。噢！原来如此！

由于地球从西向东自转，在赤道处地表面距地球旋转轴最远，因而赤道附近的速度最大，从而离心力也最大，并且正好与引力方向相反，使得赤道处的重力较小。在两极，地球自转离心力等于零，极点重力即等于地球的引力，所以比赤道处的重力大。这样，由于离心力的影响，在地球表面随着地理纬度的增高，重力值变大。同时，地球是一个椭圆形球体，其扁率为 $1/298.25$ ，赤道处的地球半径比极半径长约 21.4 公里，因此也使得重力由赤道向两极处逐渐变大。总的说来，从赤道移到两极，重力值增加约 5186 毫伽（ $1\text{毫伽} = 10^{-5}\text{米/秒}^2$ ），也就是说，同一物体在赤道上比在两极轻一些。同样道理，把带摆锤的钟从极地移向赤道，重力的减小将使摆锤的摆动变缓，钟就走的慢了。如把钟从北纬 49° 移到 0° 的赤道上，钟每天将慢 148 秒！

45．重力是如何测量出来的 ——绝对重力测量与绝对重力仪

重力的测量，自从伽利略利用物体自由下落方法粗略测定以后，开始逐渐地发展起来。在 17 世纪至 19 世纪时，采用了比较精确、比较方便的摆来测定重力值。随着理论与技术的发展，观测仪器的改进，重力观测的精度不断提高。自 1898 年至 1904 年间，在德国的波茨坦，居能（F. Kuhnén）和富特凡格勒（Ph. Furfwangler）利用五个可倒摆仪器，花费了七年时间细微地观测和考虑到各种影响因素，结果得出该地的一个测点的重力数值（即重力加速度）为：

$$g_{\text{波}} = 981.274 \pm 0.003\text{cm/s}^2$$

这种直接测量地面重力值 g 的方法称为绝对重力测量。波茨坦的这个 g 值曾被公认为全球重力测量的基本点数值，并且以此值为起始值，建立了波茨坦重力系统。

在现代，绝对重力测量普遍采用自由落体或上抛下落的方法，用激光精密测定下落距离的长度值，用高稳定性石英晶体振荡器记录时间信号，从而计算出相当精确的 g 值。目前世界上最具先进水平的是法国巴黎国际测量局的萨库马（A. Sakuma）的绝对重力仪，该重力仪已在法国塞弗尔观测了 10 余年，其测量精度接近于 0.001 mGal （ $1\mu\text{Gal}$ ）。

中国计量科学院研制的下落式绝对重力仪，至今已发展到小型可移式绝对重力仪，测量精度已提高到 $\pm 6\mu\text{Gal}$ 。达到世界先进水平。

经过了几十年的绝对重力测量与研究，许多国家先后都发现原来的波茨坦系统存在着一个 $+13$ 至 $+14\text{ mGal}$ 的系统误差。因此，在 1971 年决定以塞弗尔的测量结果代替原波茨坦系统作为全球重力起算点，取名为“1971 年国际标准重力网”，代号为“ISGN—71”，其基准值为

$$G_{\text{ISGN-71}} = 980925949 \pm 5.4\mu\text{Gal}$$

这个值比原波茨坦系统的准确度提高了 2—3 个数量级。而由“ISGN—

71 ” 推得波茨坦点的新值为：

$$g_{\text{波新}} = 981260.19 \pm 0.017 \text{ mGal}$$

此值比旧值减小约 14mGal。

虽然现代绝对重力仪已发展到可移式类型，但其体型仍很大（仪器全高 1 米多），重量大（250 公斤左右），附属设备多（激光装置、真空系统、电子控制记录与计算系统），观测条件要求高，需要电源，因此这类型仪器不适宜作野外大量观测之用。

46．相对重力测量与相对重力仪

有一种重力测量仪器是利用悬挂重物的弹簧，随不同地点重力值的变化而伸缩的原理制成的弹簧式重力仪。这种仪器可以测出两个测点之间的重力差异，测得的重力值称为相对重力值。当联测已知 g 值的重力点后，可以推算出各测点的 g 值。这种方法称为相对重力测量方法。这种弹簧式的重力仪称为相对重力仪。

这种相对重力仪具有体型小（一般仅有 20 至 40 厘米高）、重量轻（几公斤）、精度高（几微伽）和观测与携带方便的特点。因此，相对重力测量方法得到了普遍的应用（特别是在野外工作），取得了很大数量（数百万个）的重力数据，测量区域遍布全中国和全世界的陆地区域。这不仅推动了重力学科的进一步深入发展，也促进了地球科学研究，工程勘探等国民经济建设工作的进步。

47．“透视”地壳的结构， “诊断”地壳的不均匀性 ——地学层析成像技术

地学层析成像（Geological Computer Tomography）技术是用医学 X 线 CT（Computer Tomography）的理论对地下进行测量和探查的方法的总称。

70 年代发展起来的医学 CT 是本世纪重要科技发明之一。医学 CT 利用人体内脏对 X 射线吸收强度的差异来诊断人体内脏的病变。图 16 . a 给出医学 CT 中 x 线发射及接收装置与被诊断的目标体的相对位置。在 80 年代，CT 技术被引进地学领域，地学工作者利用这一技术对地球的地壳部分的不均匀性进行“透视诊断”。

地壳是由岩石组成的，岩石本身具有许多物理性质。例如：岩石的密度；岩石的弹性波速度；岩石的磁化程度；岩石的导电性等等。不同类型的岩石、含不同矿物成份的岩石、不同地质年代形成的岩石都会具有不同的物理性质。了解和认识组成地壳岩石的物理性质，对于认识地球，认识地壳结构，认识矿产资源的分布是极为重要的。

地学层析成像技术就是根据地壳岩石对某种传播媒介会表现出相应的物理性质这一特点来观测地壳岩石结构的。由于地学层析成像利用了岩石的物理性质，在地学研究领域中属地球物理研究范畴。根据传播媒介的不同，地学层析成像分为：地震层析成像（Seismic Tomography）；电磁波层析成像（Electromagnetic Tomography）和电阻率层析成像（Resistivity Tomography）。其中地震层析成像得到最深入的研究。另外，根据调查目的

的不同，地学层析成像有不同的调查尺度。例如有利用天然地震观测台站观测到的地震记录调查整个地壳甚至上地幔结构的大尺度的全球层析成像；还有利用人工激发弹性波或人工发射电场的方式，在电子计算机上对接收到的信息进行处理，从而调查地下精细结构的小尺度层析成像。对于人工源方式，不仅可以在地表面进行激发和接收，还可以在井中或坑道中进行激发和接收，尽可能实现对目标体的多方位观测图 16 . b 示意了以人工源地震层析成像为例的野外观测方式。

地学层析成像与医学 x 线 CT 的主要区别在于：其一，x 射线为直线，其射线路径是已知的；而地学层析成像中传播媒介的传播路径是未知的。其二，医学 CT 可以对目标体做到全方位观测，而地学层析成像中对地下的某一个目标区不可能做到全方位观测。为了使地学层析成像方法有效地用于地下调查，在 80 年代，研究工作的主要着眼点在于根据计算机的数字模拟和物理模型的实验模拟来研究和解决地下结构的识别问题。90 年代起，研究工作开始进入实用阶段。已有大量文献记载了地学层析成像技术在实际调查中的尝试。今后，地学层析成像技术的研究将会得到更大的发展。

48 . 地球的“编历” ——地层学对地球史的研究

人类的历史是认识人类社会现在与未来的明镜，历史研究中最重要的是社会的编年史。

自然科学研究中，研究任何问题都要找到一个度量它的尺度。地球科学亦如此。实际上，地球科学的本质任务就是了解地球与地壳的发展历史，也就是在科学研究的基础上建立一套地球 46 亿年来的历法。

18 世纪，现代地质学兴起，魏纳用岩相分析方法，将今论古的推理方法，给岩石的先后顺序排列了一个剖面，尽管粗略和有一些错误，但其基本的工作方法一直延续至今，已发展为以岩性的先后顺序对地层形成时间进行编历的岩性地层学方法。

郝顿等批判地继承了魏纳的观点，认为生物演化系列和地层系列统一起来，才能揭开地球的真实历史。研究中他发现，灭绝生物越是和现代生物差别大，躯体构造越简单，它所处的地层年代越古老；越是和现存生物相拟的生物化石，它所处的地层年代越新。这样，就找到了“化石”这个科学尺度，这就是生物地层学的萌芽。现代古生物地层学，微体古生物地层学已将寒武纪以来的地层划分得相当详细，成为地层史研究最可靠、最完备的资料。前寒武纪地层的古生物地层研究也取得了相当的进展。生物地层学已成为地质学中最基本最辉煌的学科。但是，本世纪 60 年代以来兴起的对现代沉积的研究证明，生物地层学在很大程度上是古生态地层学，并不一定能反映地层形成的先后顺序，有时是穿时的。

随着同位素化学的发展，分析矿物、岩石中放射性同位素序列（如铀、钾（40）、铷（87），及钍、钷、镱）可以了解矿物、岩石的绝对年龄。其优点是放射性衰变不受温度、压力、化学反应等外界条件的影响。但是，放射性同位素绝对含量影响其测量精度，其放射性周期对测量的准确度有极大的影响，这就好像用极大的尺子或极小的尺子都无法量准中间尺度的实体一样，再加上其他一些因素，它的应用也受到了一些很大的限制。

地球物理学的古地磁学也同样可以用于研究地球史。现已发展成为古地磁地层学。古地磁对海底扩张说的瓦因—马修斯模型已促成了伟大的板块学说。其年代地层意义只有在全球地层对比计划之后才得到重视。地球磁极频繁的改变不仅记录在大洋中脊向两侧扩张的磁条带上，而且还体现在纵向的剖面中，以剩磁的形式记录在地层中，这就为地层恢复沉积年代打下了物理基础，就可以以磁性反转的规律为地球的发展编一套历法，这就是以古地磁反转为依据描述地层的古地磁地层学。

地球物理学对地球编历的最大贡献就是随现代石油工业而发展起来的旋回地层学和层序地层学，它认为控制地层沉积型式的是全球海平面变化、沉积物供应及气候。这些因素在各种尺度上具有周期性（用不同的尺子丈量都可能得到周期的结果）。这些地层型式和周期被记录在地层中，通过地震、测井、岩心、露头就可以识别出这些反应各时期特征的物理量，即可以用以地球物理勘探，又可以进行地球的编历研究。

当然，还有一些方法能用以研究地球的发展历史。但是，从上面的各种方法我们已经可以清楚地看到，每找到记录在地层中的一种特征量，就有一种对地球编历的方法（如美国科学家正是从月球在各个时代受小行星撞击大小、次数来给月球编历的）。这些方法各有特点，各从地球发展的不同侧面反映了地球发展的历史，它们相互结合，取长补短，才能从全面的观点认识地球，了解地球。

也许，读者能从一个新的角度给出一个新的认识地球发展与演化史的特征量。

49. 从“千层饼”到“七巧板” ——层序地层学核心

占陆地表面占岩石总分布面积的 75% 的沉积岩与人类的日常活动密切相关。同时，还含石油、煤炭等能源及沉积成因的铁、锰、铝等矿产，对沉积岩的研究非常重要。沉积岩石学的研究也是地质学里最古老最重要的内容。

地球物理学以其对地下的透视能力已彻底地改变了沉积岩石学的基本假设和研究思路，在地质学领域引起了“不亚于板块学说的地学革命”。沉积学研究的最基本问题之一是研究不同地区沉积岩的形成时间，以便于进行区域甚或全球的对比，研究其内在的规律。以岩性为依据的理论认为，不同地区岩性类似应该为同一时代形成的地层，而以地质时代的古生物为依据的古生物学研究方法，假定相同古生物的地层应为同一时代的地层。这些理论建立在看似合理但从无实际检验的假设之上，即沉积地层的生成像普降大雪一样，是一层一层叠合起来的“千层饼”。虽然在对比中漏洞百出，但一直持续到本世纪 70 年代，只有在石油工业的需要大大地促进了反射地震勘探之后，这种情况才得到改变。

地震勘探能在地面的每一点得到其地下的各个沉积界面，很多这样的地面点连起来就得到了好像把大地切开一样的一个剖面。以 P. R. Vail 以及 EXXON 公司的伙伴们透过这种剖面看到了地层沉积的实质，创立了地震地层学（1975）和层序地层学（1987）。其基本精髓就是突破了地层千层饼的基本假设，认为地层是由不同时代地层按特定的方式拼合起来的“七巧板”，

其规律的控制因素就是沉积时水平面（相对地球中心）的高低、水底随地球运动的升降及远处通过水流等作用搬运沉积物的多少。这样，通过这种方式的研究我们可以精确地预测什么地方分布什么岩性及有什么样的矿产，地质历史上有什么样的地质事件，全球地层对比也就有了一个合理的标志，等等。

为什么在地质学发展了几百年后才有这样看似简单的认识呢？原因之一是人们看问题的角度和工业需要不同。面对数公里乃至数百公里大的沉积层，靠视力是无法发现其较为隐蔽的七巧板结构的，地震勘探给出了地下结构的图像，正像卫星照片可以看到地面肉眼无法识别的大结构一样。但是，也只有带着创意精神的科学家才能突破传统的羁绊，有所发现有所造就。另外，一个学科的前进往往得益于其它学科的成果，因此，学科交插与综合就显得尤为重要。还有，工业的需要是推动科学发展的最重大力量，正是石油工业对勘探越来越复杂的“隐蔽”油气藏的需要，才促进了对地层的认识从“千层饼”发展到“七巧板”。

50. 千米井下的“物理实验” ——地球物理测井

人类社会离不开矿物资源与能源，地下地层的物理性质就在探查、开采与利用它们的过程中占据重要地位。为了开采这些资源，了解地下地层的物理性质，钻了很多从几十米到上万米的井，将经特别制作的（大小合适，耐高温、高压，防水）测量设备通过电缆放入井中，通过电缆的移动在沿井的各个位置做“物理实验”，取得物理参数，这就是井下的“物理实验”，也就是地球物理学科中具有极大综合性的学科——矿场地球物理，常称做地球物理测井或简称测井。

井下的物理实验与实验室的物理实验不同之处在于前者受井条件的限制，测量部分与观察、记录部分通过电缆相连。这样，仪器也就分为地面记录、控制部分、井下探头部分和电缆。地面部分从1927年测井技术诞生以来，已发展为记录数字化、控制程序化（即由计算机程序控制复杂的测量过程）；电缆发展为多芯电缆，并进一步向光缆发展；原则上，除受到技术条件的限制外，地面的所有物理实验都可拿到井底去，为了完成各种勘探和工程的需要，设计了很多别具匠心的测量探头，为了提高测量的效率，使用将几种方法一起测量的组合探头。

测量得到沿井各个深度点物理性质，将其记录在数字磁带或计算机硬磁盘上。这些物理参数主要有地层电阻率参数，声学参数，电化学参数，磁性参数，自然放射性参数，不同放射性源场中的放射性响应参数等等。

得到的这些参数大多要经过计算机数字处理才可满足各种需要。

地球物理测井在石油工业中显的最为重要。利用各种岩石物理性质的不同，可以确定潜在的含油气地层位置、厚度、含油能力（孔隙的大小）、渗透性（流体的流动能力），利用油气与孔隙中水电阻率在电性、密度、对核幅射响应等的不同，可以确定地层中含油气量的相对量和绝对量。开采中利用它确定产层的确切位置，监视生产过程中油气产层的变化，制定、调整最合理的开采计划。

测井在煤田的勘探与开采设计中也同样重要。它帮助发现煤层，确定煤层的厚度、结构，划分煤的等级，计算煤中碳、灰（灰分）、水的含量，计

算分析煤顶底板的弹性参数，以便于设计合理的开采巷道和支护方案。研究煤系地层（煤层及其有关的地层）的含水特性，便于设计合理的排水方案，等等。

测井在水文工程中应用前景很大。可以借助它确定产水层的位置，水量的大小，水的矿化度（含盐情况）等。

在找金、银等其他矿产中，测井工作同样意义重大。

所有上述的应用都离不开测井对地质的研究，即测井地质的研究。通过测量地层的物理参数及其沿井剖面的演变规律，可以研究地层的产状、岩性、岩相，并最终确定沉积环境与相。还可以通过对比等研究确定地层的构造发育情况。通过与其他地球物理资料和地质资料的配合，可以将其应用领域大大地扩大。

测井经过近一个世纪的发展，已经形成了颇具特色的高技术综合学科。许多精巧的思路能为我们提供极为有益的启迪。如国家“七五”攻关的“核子秤”重大成果，其实就是一个密度测井仪拿到地面上来，只不过后者是五六十年代就已广泛在测井领域应用普及而已！这样的例子还有很多。由此我们可以见到知识面的重要性。

也许，地球物理测井的一种方法（有多达五六十种方法）、一种设计思想能给你一个暗示，使你完成一个具有重大意义的发明革新。也许，你将为地球物理测井家族增加更富有革新性的新成员。

51. “油源”用于预测，“热” 着重勘探，“艺术”分析开采 ——石油、天然气生成与地球物理勘探

低等浮游动物死亡后随细粒的沉积物（如泥质）在水底还原的环境下保留下来，形成富含有机质的沉积物。之后，生物机体分解，生成以甲烷气为主的“湿气”型天然气，这是生气的第一阶段。生成的气以一些浅层天然气藏、水气化合物、“陆架泡沫状泥岩气”（澳大利亚科学家在浅海大陆架新发现的一种潜在能源）形式存在。之后，随细粒岩石的下沉、压实，岩石中的有机质转化为干络根，这是成油的主要物质，再受到地层进一步下沉造成的温度、压力的联合作用，干络根逐渐释放出各种官能团，这就是石油，这一阶段也有少量的天然气生成。随着埋深的进一步加大，干络根的各种官能团已释放完毕，苯环也进一步紧缩，生油能力已经枯竭，到达干络根裂解，生成“干气”型天然气的阶段，剩余的仅是一些沥青残渣。

有机质生成油气后膨胀的体积将冲破细粒生油岩的微孔隙，到达临近的孔隙岩石（如砂岩、裂隙石灰岩等），从生油岩到临近岩石的油气移动称为油气的初次运移。在孔隙岩石中它将处于一个新的水动力学系统中，会移动到低势能区以保持稳定性，这个运移称为二次运移。低势能区最典型常见的是在背斜轴部由不渗透的“盖层”和其下的储层组成的构造含油气“圈闭”。

地球物理勘探对深深地埋在地下的油气发现发挥着重要作用。按系統工程的观点，油气勘探可以分为着重点不同但又互相联系着的三个阶段：盆地分析与评价，圈闭勘探与储集体勘探。

在盆地勘探阶段，主要是搞清基底的结构与性质，盆地主要生油岩的分布、生油能力、生油史、运移史；盆地的构造样式，可能的储集体等。这些

要靠重力、磁力数据、地震测线、野猫井数据与各种分析测试数据，经正演、盆地模拟综合分析确定。

在圈闭勘探阶段，主要是靠地震测网数据和测井数据，但以地震数据为主。70 年代以前的勘探方法主要是靠地震反射资料作出各时代地层的等高线，在等高线围成的高点周围就是可能的含油圈闭。随着市场的要求与技术的发展，隐蔽的地层圈闭越来越重要，现在，要靠沉积环境与相分析研究地层圈闭，这样就发展了地震与地球物理测井资料分析相与环境的技术。

在储集体研究阶段，主要解决的是油藏描述与油藏动态监测问题。主要依靠三维地震与测井的相互综合，研究储油岩的微相、动力学参数等。

以上三个阶段都要进行多学科的综合研究，充分利用成油理论、圈闭理论、采油工程理论并利用现代的计算技术与计算机图形图像强大的交互能力进行有效的地球物理分析。

52 . 认识和了解埋藏在地下的 石油、天然气储集层 ——油储地球物理

石油、天然气在地下高温、高压的环境下储存在岩石的孔隙中。储集石油和天然气的岩层或岩体叫做油气储层或油气储集体。石油、天然气大多储存在石灰岩和砂岩中，因为石灰岩中大大小小的溶洞和砂岩中岩石颗粒间的孔隙都是储存石油和天然气的良好场所。油储地球物理是用动态或静态的方法研究和调查这些储存石油和天然气的多孔质砂岩及石灰岩的物理性质，从而有效地开采石油和天然气的一门学问。

埋藏在地下的坚硬的岩石具有许多物理性质，我们把它称之为“岩石物性”。石油、天然气的储集层或储集体也具有许多物理性质，我们把它称之为“储层物性”。例如：储集层岩石的孔隙度；这些孔隙中充填的流体的渗透性；孔隙中流体的饱和度；储集层所在位置的地层压力和地层温度等等。储层物性的这些差异直接或间接地反映在地震勘探的地震波形的记录中（地震勘探是地球物理勘探方法之一，是石油、天然气勘探中最常用且最有效的地球物理勘探方法）。除此之外，储层物性的差异还反映在地球物理测井数据中（地球物理测井也是地球物理勘探方法之一，是一种在石油井及天然气井中，沿井壁进行岩性检测，并由记录仪器将检测数据记录下来的勘探方法）。

油储地球物理的研究内容是根据地球物理测井数据与地震勘探所得波形记录的对比结果，以测井数据为点，用定量的方法描述储油层或储油体在地下分布的几何形态以及储层物性。同时，还要在实验室内，进行高温高压环境下岩石物性和储层物性的模拟和检测。在勘探工作与实验工作相互结合验证的过程中，不断地加深对含油气层的认识和了解。

油储地球物理的研究工作要求定量程度高，因此，需要进行大量的数据分析和处理工作。研究人员必须具备良好的数学、物理基础。而且能够熟练地利用电子计算机进行各种数据分析和处理。

油储地球物理从 80 年代初期在石油地球物理勘探领域得到蓬勃发展。有大量文献记载了油储地球物理的研究成果。这些研究成果使人们越来越客观地认识了埋藏在地下的石油、天然气是如何分布的。目前，国内外都十分关注油储地球物理的研究。油储地球物理已经是一门广泛地应用于生产实践的

应用基础性的科学研究。

53. 地下洞穴能不能发现 ——微重力探查技术

微重力探查技术是专门以小型的地下洞穴（几米到几十米大小），地下的建筑物（矿山坑道、大建筑物基础、古代陵墓等）作为探测的对象的新兴技术。

80年代初，世界上研制出一种新型的重力测量仪器，可以测量几个微伽的重力变化。1微伽是百万分之一伽，1伽是重力加速度 g 的千分之一。因此，这种新的重力测量仪被称为“微伽重力仪”。

由于有了可以测量微伽级的重力仪器，使得“微重力探查理论和微重力探查技术”相应的应运而生，应用微重力探查的理论、方法、技术和微重力仪就可以将以前探查不出来或探查不清楚的地下洞穴（小型的）、溶洞、地下矿坑、巷道、铁道、桥梁、建筑物下面的隐伏洞穴都可以进行探查，找出其位置、大小。特别是建筑物下面的洞穴，矿坑巷道是最危险的因素，一方面地下的洞穴可以受地下水影响而逐渐扩大，使地面土层承载不了上面建筑物的重量，而使地面塌陷，造成建筑物倒塌，铁路桥梁沉陷，水库水坝开裂等事故和重大人员伤亡事件。因此，应用微重力探查技术探测这些隐伏的危险地下因素成为老城市、老建筑物的当务之急。例如波兰古都克拉科夫市，地下采矿多年，矿坑巷道极多，给旧城改建造成很大麻烦。为此，该市在改建地区普遍作了微重力探查工作。探查出矿坑巷道和洞穴的位置；以便新建建筑基础避开危险地区，或采用回填水泥充塞洞孔以加固地基。这些工作取得了很显著的效果，在该城市形成了一套探查的制度。

再有，应用微重力探查技术还可以探查古代的皇帝的陵墓。一般，皇帝们的墓都埋在几米到十几米深的地下，有较大的墓室——地下宫殿。这正好可以用微重力仪器探测。中国科学院地球物理研究所的微重力专家在北京明十三陵的茂陵地区作微重力探查。十分清楚地探查出茂陵的地下宫殿（主墓）的位置，大小规模，供有关部门挖掘时的参考。青海省岩盐很多，有一段铁路铺设地区路基下面的岩盐溶化，形成大小许多洞穴，对铁道交通造成很大的威胁。经过微重力探查，找出许多铁道路基下面的溶洞，及时地解决了危险的因素。

这些实例一方面说明微重力探查方法具有很明显的实际应用效果与价值，另一方面也表明微重力探查理论、方法、技术有更广阔的应用前景，处于方兴未艾的发展时期。

54. 发电、供热的新能源 ——地热

我们居住的地球是一个巨大的热源体，地球的内部具有高温，其热源是由于放射性同位素的热核反应而造成的。如果我们把地球比作一个鸡蛋的话，它的皮壳温度（地壳及岩石圈）为 1700°F ，蛋清部分就是地幔，温度可达 5000°F ，蛋黄是地核，中心温度为 7600°F 。原来地球的内部是如此的炽热。我们把地球的热能划分一下，就可以得到这样5种不同类型的地热能。

这些能量，可以被用来发电、供热和作其他方面的应用。自从 1904 年意大利在拉德瑞罗建立起世界第一座地热发电试验装置以来，今天世界上已有许多国家有了地热电站。地热能发电有许多优点，比如：可以多次利用，一个地热电站的可利用时间要比火力电站等长得得多得多。同时它又有利于环境保护，不会像火力发电那样污染环境；它占地面积小，一个地热电站占地面积要远远小于火力发电站或其他电站。因此，地热能与风能等其他能源共同被列为“新能源”之列。在能源危机日益迫近的今天，这种污染少、低消耗、价格低廉的能源已成为未来世纪能源家族中的后起之秀。

除了发电，地热能还有许多其他用途，比如用于建立绿色温室来养花种菜，世界上有许多国家的鲜花都产自地热供暖的温室之中。在冰岛，地热被用于房屋采暖供热，甚至在街道路面下也铺设地热管道，这样对于一年中有很长冬季的冰岛来说，即便是大雪纷飞，也不会因积雪而阻碍交通。那里的居民有 75% 是靠地热供暖的呢！我国的地热采暖也有了很大发展。1991 年的数字表明地热供暖达 190 万米^2 。经济效益虽不明显，但有明显的社会效益。

除了发电之外，地热能还可以用于养殖业和农业。如粮食烘干，水产养殖，烟草加工等方面，当然还可以用于体育设施中如游泳池等。但在我国地热能的最普遍的用途恐怕就是用于医疗目的温泉浴了。在我国，已知的温泉有 3000 多处，有很多被用作建立疗养院或浴室。

最近一个阶段，一种叫做地热泵的产品逐渐得到应用。它不仅用于采暖，而且作为制冷的能源，节约了大量的电力。目前已在越来越多的国家受到欢迎，并被日益广泛地用于日常生活之中。

55. 从荷兰风车谈起 ——风能的利用

提到荷兰，人们马上就会想到郁金香和那星罗棋布的风车，它们在榨油、造纸、排水、粮食加工等行业中发挥着巨大的作用，至今当人们看到它，仍然可以想到堂·吉珂德时代那风车滚滚的情形。然而，你知道吗？风车是风能利用的最早的形式之一。

风是空气流动所产生的一种自然现象。尽管人人都熟悉它，但很少有人知道它巨大的能源。据有人统计，仅仅中国的风能，理论上就达 32 亿千瓦，这是一个多么惊人的数量啊！由于它是一种可再生的清洁的资源，因而在能源危机的今天，越来越受到人类社会的重视。风能，也作为新能源的一种，正逐渐为人们所利用。

荷兰是世界上使用风能较多的国家之一。我国早在 14 世纪就有了风能利用的记载。目前，风能主要用于风力发电、采暖和部分航行交通方面。风力发电，即利用风力的作用带动发电机。从丹麦 1908 年问世风力发电机至今，许多国家都开始这方面研究。到 1991 年底，已达到 221 万千瓦装机容量的水平。在弥补能源不足方面，做出了很大贡献。我国近些年来开发了小型风力发电项目，对解决农村、边远山区的电力问题起了十分重要的作用。

风能还可以用于采暖，由它产生的机械能再进一步转化为热能，这就是采暖的思路与过程。一般说来，这个过程可以通过风力发电得到的电能转变为热能而得到，也可以是直接从机械能转为热能。

风能是一种清洁的能源，不污染，而且风能发电价格还在不断下降，将是一种价格低廉的新能源。当然，风能资源分布是很不均一的，而且受地形条件影响很大，因而风能的利用不能一概而论，要具体情况具体分析。但在能源紧张的今天，风能，作为一种新型的可利用能源，无疑有着广泛的发展前景，也会越来越进一步走入我们的日常生活之中。

56．小姐为您报天气 ——天气预报

每天晚上新闻联播节目之后，就是一位小姐为您报天气了。间或，是一位先生来尽小姐的职责。小姐们在中国地图上纵谈天下大势，告诉您明后两天从天山到东海，从兴安岭到海南岛的天气，哪里刮风，哪里下雨，哪里阳光普照，哪里天色阴霾。到了夏天，她还会告诉您有没有台风从海上来光顾，渔民们要不要进港避风雨。小姐们道来潇洒自如，每天内容花样翻新，令观众叹为观止，令当年诸葛孔明祭东风的神机妙算望尘莫及。

您当然会问，小姐不可能每天邀游四方，她怎么能知道全国各地前两天是什么天气，又怎么算出未来两天的变化呢？

其实，这一切都是当代气象科学和高技术巧妙结合的产物。作出这些天气分析和预报的是一个庞大的系统工程，而操纵这一工程的是众多的科学家，小姐则是代表他们和公众见面的。

要做出未来的天气预报，首先要搜集世界各地的气象资料。这些资料，有的是遍布全球的气象台站用科学仪器测出来的，有的是气象卫星从天上测出来的，有的是装在船上的气象仪器观测出来的，还有用飞机、火箭、高空气球、海上漂浮气象站等先进工具观测出来的。这些资料通过复杂的通讯线路传到国家气象中心。

气象中心的科学家应用科学方法整理这些资料，得出对当前天气情况的分析。再应用现代气象学知识，用电子计算机算出未来两天的预报。

最后一步就是制作小姐在电视机里播送的天气预报。应用现代三维动画技术和图像输出系统，通过声像设备，制成由小姐主持的天气预报节目。

因此，当我们收听小姐声情并茂的天气预报节目时，我们享受的是现代气象科学和高科技的成果，是广大气象科学家的辛勤劳动。

天气预报节目正在不断改进。除了提高预报水平外，还在广播词的文学性上作了很多改进，使您在收听节目时得到艺术享受。现在，除了天气预报外，还增加了年、月、旬天气总结，节气、减灾和农事知识。因此，这位小姐还充当了一位科普教员和农事顾问。

57．机器预报天气 ——新的系统工程

机器能预报天气吗？答曰：能。现代天气预报就是电子计算机做出来的。又答曰：不能。机器自己不会预报天气，是人指挥它把天气预报算出来的。我们这里说的机器，不是一般意义下的机器，而是电子计算机。人们用机器制作产品，只要把原材料送入机器，开动机器之后产品就出来了。因此，同一性能的机器，不同的人可以造出大致相同的产品。用电子计算机做天气预

报就不同了。每天送入机器的原材料不同，它是当时和前一时期的气象资料。机器每次输出的产品也不同，是未来几天或几月的天气预报。一般的机器按固定的流程运转，因而每次输出大致相同的产品。而用机器做预报时，不同操作者设计不同的工艺流程，做出的天气预报也不同。

机器就像一个大算盘，仅仅是一个计算工具，做预报应该怎样计算需要负责做预报的人来设计。因此，应用电子计算机制作天气预报是一个专门的科学门类。

应用电子计算机做预报，首先需要对气象资料进行处理。所有的资料进入机器后，还不能直接用来计算预报。资料大多是气象台站上的。这些台站设在城市或村镇上，它们之间的距离，有远有近，不便于进行计算。科学家设计了若干种数学方法，可以从气象台站上的值求出地图上规整的方格中或经纬度上的值，这些数值就是做预报计算的初始资料。这些资料一般是某日某时刻的气压、温度、湿度、风等的计算值。

做预报需要有一定的方法，这些方法是科学家多年的科研成果。做预报时可选定其中之一进行计算。这些方法表示大气运动的物理规律。例如，在制作一至两天的预报时，需要用到表示大气运动的微分方程式，表示空气中热量变化的热力学方程式。这些方程太复杂，无法直接求解，又需要一定的数学方法，把求解微分方程的运算变成简单的代数运算。经过这种代数运算，可以算出下一时刻的预报。这个预报的时限很短，只有二十多分钟。下一时刻的预报值将被看作是一个新的初始时刻，因而又可以重复上述运算求出下下时刻的预报。如此一步步算下去，就可以算出未来二十四小时和四十八小时的预报。这些预报的计算极其繁复，需要编制规模宏大的计算机程序，其中某些常用的数学计算可以调用计算机程序库中的现成程序。

预报结果算出来以后，可以根据需要通过计算机绘制各种预报图和打印预报表格。

实际上，从资料的输入到预报结果的输出全部是在计算机上完成的，因此天气预报是由一个庞大的计算机网络系统做出来的。

除了每天电视上播送的一至两天的短期预报外，现在已经可以在计算机上算出一至两周的中期预报。做这种预报需要更复杂的微分方程，更长的计算时间，更庞大的计算机网络系统。

设在英国的欧洲中期数值天气预报中心首先在世界上实现了逐日制作中期天气预报的工作。我国国家气象中心现已建成了中期天气预报业务系统，使我国成为世界上少数几个可以制作中期数值天气预报的国家之一。要每天制作一周左右的预报，不仅要解决气象问题，而且要解决相当多的工程技术问题。我国的中期数值天气预报业务系统包括一个多功能计算机网络系统，一套专用计算机程序，一个专用资料库和一套图形显示输出系统，同时还需要用于资料和产品的收集和发送的庞大的通讯网。这个系统耗资巨大，建成后占用了一座大楼。

因此，用电子计算机制作天气预报的工作是一个庞大的系统工程。您要问，用这样庞大的系统工程做预报多久才能完工呢？这个问题是不用担心的。计算机计算速度很快，每秒钟可以计算几百万次、几千万次甚至几亿、几十亿次。在国家气象中心，七天的预报一个半小时就算出来了。

两周以上以至一年、数年的预报是否能用电子计算机制作呢？原则上讲是能够做的。但是，目前还不能像中期天气预报那样进行常规的业务预报，

而是在科学家的实验室里进行试验。因为做更长的预报需要更多门类和更大数量的资料，需要更加复杂的数学方程式，需要容量更大、速度更快的计算机，需要更加复杂的通讯网，而这些目前都还不完全具备，因此也就无法建造一个更为庞大的系统工程了。

58. 下暴雨了 ——是不是灾害

“下暴雨了！快把粮食盖上！”大雨倾盆，人们呼叫着奔向麦垛。当大家七手八脚把麦垛盖好时，雨停了，天晴了。

刚才下的是暴雨吗？是也不是。在气象学上，暴雨是指在短时间内出现的大量降水。刚才的一幕时间很短，符合暴雨的第一个特点。但是这样的雨能算大量降水吗？那可不一定。所谓大量降水应该有个量的标准。按气象学的规定，24小时降水超过50毫米定为暴雨，超过100毫米定为大暴雨，超过200毫米定为特大暴雨。我国幅员辽阔，南北东西气候差异很大。夏天在南方24小时下50毫米的雨是常有的事。但是在西北地区，这样的雨很少见，一旦发生，它的影响就相当于南方100毫米以上的大暴雨了。因此，在实际应用中，各地气象台也不全遵循上面所说的统一的规定。

24小时这个时段的规定有时显得太长了些，难以表述短时间的暴雨。因此又有各种各样五花八门的暴雨。比如说，1971年7月1日，山西太原梅桐沟5分钟降水达到53.1毫米。1975年8月5日，河南林庄1小时降雨189.5毫米。1977年8月1日夜至2日凌晨陕西榆林8小时降水超过1000毫米。

暴雨最大可以达到多少呢？1967年10月17日，台湾新寮庄24小时降水达到1672毫米，这是我国有资料记载的最大暴雨。世界记录在案的最大暴雨是24小时降水1870毫米，发生在南印度洋的留尼汪岛。

暴雨常常造成严重的灾害。产生灾害的暴雨往往是由好几场暴雨引起的。1963年8月上旬，河北省太行山东麓地区出现了有气象记录以来的特大洪水，淹没了大量农田，冲坏了京广铁路。这次洪水是由连续5场暴雨产生的，降雨历时一个星期，总共降水1329毫米。8月4日漳县降雨十分集中，24小时降水达到865毫米。1975年8月4日—8日，河南省南部淮河上游的丘陵地区发生大洪涝，引起水库垮坝，造成生命财产的重大损失。这次洪涝是3场暴雨引起的，5天总降水量达到1631毫米。京广铁路以西经板桥水库、石漫滩水库到方城一带24小时最大降水量为1005毫米，6小时最大降水量为685毫米，1小时最大降水量为189.5毫米。1991年5-7月，在江淮流域发生了严重的暴雨洪涝，造成直接经济损失600亿元。

人们常说暴雨是一种气象灾害，其实这句话是不十分公正的。暴雨有时也有功。每年登陆我国的台风带来大量降水，给东南沿海的农业立下汗马功劳。因此，虽然台风的风雨也造成灾害，但它的功绩是不可磨灭的。特别是当台风进入内陆，由于地面摩擦，脾气变得温顺之后，风力减小，它的大量降水灌溉万顷良田，造福人民。因此，东南沿海的农民，有一种“台风来了怕台风，不来台风想台风”的特殊心态。

暴雨是怎样产生的呢？原来，在暴雨发生之前，空气非常潮湿，在深厚的积雨云中空气垂直上升很快，湿空气在上升过程中发生凝结，形成大量降水。如果云层上下风速差别不大，湿空气就不易扩散到别处去，因而在一处

形成集中降水。如果湿空气在上升过程中途经山地等陡峭地形，上升还将加快，因而雨势也就更加猛烈。

暴雨能不能预报呢？它在一定程度上是可以预报的。科学家们研究了暴雨发生的条件，写出了描写暴雨过程的微分方程式，通过电子计算机进行计算，可以做出暴雨的 12 小时、24 小时、48 小时预报。目前，这种数学物理方法的预报还不能达到要求的精度和满足需要。因此又产生了大量资料统计方法，这些方法中溶入了气象预报员的多年经验，因而取得了较好的效果。如果我们想知道当时本地和周围地区云雨的情况，并且估计未来几小时的情况，我们可以动用雷达这种先进的科学仪器。雷达的屏幕上显示着五彩缤纷的美丽图案，科学工作者可以从中看出当时的云雨情况，并且估计未来云雨的动向。

59．海洋，生命的摇篮 ——趣味海洋科学

青少年朋友，你们见过大海吗？不管你们见过还是没有见过，一定会对它种种猜测和美妙的想象。海洋是生命的摇篮。可以说，没有海洋就没有生命。从单细胞生命到人类，经历了漫长的、悠久的历史。海洋到底什么样？海洋，当它狂怒咆哮时，白浪滔天，景观壮丽；当它平静时，静谧湛蓝，深邃莫测。海洋，自古以来就以它特有的魅力和莫测强烈地吸引着人们去探索它、开发它、利用它。很早以前，生活在海边的人们，看到海水极目无边，就以为整个陆地是悬浮在海里的，下面被鳌鱼、大鲸、巨象之类的动物支撑着。在我国，至今也流传着哪咤闹海和孙悟空大闹东海龙宫的神话故事，这充分反映了古代人们想象海洋和征服海洋的强烈愿望。

为什么要了解海洋？了解和认识它的目的就在于要保护它、开发它、运用它，让它更好地服务于人类。由于海洋占地球表面的三分之二。因此，海洋科学是地球科学的重要支柱。海洋不仅像一个母亲孕育了地球上的生命，它还以极其丰富的物产、舒适的环境养育了人类。海洋是人类赖以生存的大宝库。海洋是一个巨大的空调器，它使地球上的气温得以调节；没有它，夏季地球犹如火盆，冬季则似冰窟，地球上的恶劣气温就会占优势。海洋是陆地水的源泉；没有它大陆就会变成没有生命的沙漠。海洋是生存在地球上人类交通联系的“无轨火车”，是巨大的食物库，也是垃圾倾倒场，更蕴藏着丰富的矿藏。海洋，美化和净化着人类生活的环境。海洋正敞开它那无比博大的胸怀，等待人类去拥抱它！

60．神秘的海洋 ——古代人们对海洋神奇的想象

早在狩猎时期的我们的祖先，就以鱼贝为生，还将贝壳磨制穿孔作为耳环和项链来美化生活。北京周口店的“山顶洞人”所残余的火烧灰烬中，就有贝壳的遗存。至于海洋最早的记载，在流传至今的上古神话里，就有精卫填海的动人传说。春秋时期，我国第一位教育家、思想家、政治家孔夫子所编纂的我国第一部诗歌总集——《诗经》，收录了公元前 11 世纪至 6 世纪的作品，它向我们展现了 3000 年以前上古时代人们对海洋的认识。诗中不仅

有了古代人们食用海藻的记载，而且也出现了“海”的专有名词——“南海”。据分析，这“南海”实际是现在的东海。特别是“沔(mi n)被流水，朝宗于海”的诗句，写出荡荡的流水都向大海奔去，揭示了百川归海的规律。

庄子是战国时代的哲学家、寓言家。现存有他的作品 33 篇，其中《秋水》、《逍遥游》、《外物》等名篇，都以极其丰富的想象力生动地描述了气势磅礴、仪态万方的海洋。我们所熟知的“望洋兴叹”、“鹏程万里”即出自其中。在《秋水》中写到：“秋水时至，百川灌河，泾流之大，两舫(sì)渚(zh)崖之间不辨牛马，……顺流而东行，至于北海，东面而视，不见水端……于是焉，河伯始旋其面目，望洋向若而叹。”“河伯”为黄河之神；“若”系海神之名；“望洋”原为“望羊”，抬头看的样子。这段话的大体意思是，在秋汛季节，各条满满的小河都流入黄河之中。这时细雨蒙蒙、苍水茫茫，以至视线模糊，辨不清水边的牛和马。河伯顺着浪滔滚滚的流水向东奔去，及至到了北海抬头看去，但见海水浩淼，不见尽头，海神“若”远比自己大得多，于是一扫自鸣得意的劲头。“望洋兴叹”的千古名句便因此形成。

在庄子的笔下，不仅有了北海、东海、南海等专用名词，且明确地指出，东海即是今天的浙江一带沿海。他指出，“天下之水，莫大于海”，且“春秋不变，水旱不知”和“不可为量数”，意思是，天然生成的海，没有比它再大的了，其水量之大无法估计，永不枯竭。海中之鲲——鱼，击起白波如山；鹏程万里的海鸟，由于改吃牛羊猪肉而会饿死。海风从北海一直蓬蓬刮到南海，等等。从海洋的规模和数量写到海洋生物，写到气象，表现了对海洋更深入一步的认识，与当今人们对海洋的调查和了解有多么惊人的相似！

在宇宙神话里，早期美索不达米亚人认为，“地”和“天”是由两个水所支撑的平扁圆盘。不久，“天”又被描述为坐落在围绕“地”周围海洋中的半球形拱托物，甚至在天穹之上也有水。古埃及人则把宇宙基本看作是一个长方形的盒子。“地”是盒子的底，并且多少有点凹陷。“地”的上方的“天”则由坐落在地的 4 个角上的 4 个山顶支撑着……

随着人类文明的进步，对地球和海洋的认识也逐步深化。

公元前 2000 年前后，希腊人侵占了地中海东部并在那儿定居下来。他们的农业、商业和航海业均相当发达。发展到公元前五六世纪，涌现出一大批希腊最早的“科学家”，就是当时的自然哲学家。希腊的第一位自然哲学家，就是与中国孔夫子同处鼎盛时期的泰勒斯。像古老的创世神话一样，泰勒斯的“宇宙论”认为，水是宇宙的本源，世界万物都起源于水。他认为地球是漂浮在水上的圆盘，而天空则是由稀薄的水汽形成的盖子。综观自然世界，他的这种解释是不无道理的。其后的自然哲学家还生动地描写说，浮在空气中的扁平的大地，如同叶子漂浮在空气中一样。另一位自然哲学家色诺芬尼则注意到陆地和海洋在过去曾经互换过位置，并且将来还会再次发生这样的变化。后来化石的出现，有力地证明了这一点。杰出的思想家和哲学家亚里士多德已推测地球是圆的。

除上述外，世界各国、各部落与海洋紧密地联系在一起的神话和幻想里，传说着海洋里有会吃人的喷火的龙，有能弄翻大船的巨大章鱼精、女水妖和海牛。当然也有月光下在海水中哺乳幼儿的美人鱼和追慕陆上船子的“海的女儿”。

由于技术的不发达和调查的有限，古代人们对海洋和被它所包围的陆地，作着种种想象和推测。但其中一些朴素而有哲理的认识，对于后来了解

海洋和海上探险，具有很重要的启迪作用。

61. 航海帝国 ——古代中国的航海事业

我国是一个有着悠久的航海传统的国家。可以说，在相当长历史时期内，我国的航海事业是处于世界领先地位的。现在越来越多的考古和调查研究表明，我国在公元前 6000 年居住在山东龙山的先人就曾乘筏驾舟渡渤海，沿黄河北岸到达朝鲜半岛南端，然后借海流漂到日本，以至北美洲的两岸。另外一支力量，我国东南沿海的先民，凭着当时的航海技术与海流到达拉丁美洲墨西哥北部和南美的秘鲁。3000 年前，古代人开始用木板造船，作为海上交通工具。据《竹书纪年》所载，夏朝人即“东狩于海，获大鱼”。而商朝的相土，由于与海外诸部落有经常的联系，在海外干的事业很红火，为后人所传颂。相土可谓我国有文字记载的第一位航海人物。

1761 年，法国汉学家金勒依据我国唐代姚思廉所编《梁书》记载，著文提出，中国慧深和尚在哥伦布之前 1000 年即公元 499 年，就到达了美洲的墨西哥。中国学者邓拓等依据与《梁书》同时的《南史》支持了这种观点。这从《梁书》所记载和近年在美国加利福尼亚和墨西哥等地沿岸所出土的文物中，都找到了两地人的相似的风情、生活习俗和至今相似的物具。如墨西哥出土的三角陶瓷、玉石、月宫中的玉兔、冶金术、造纸术等等，均与中国文物有惊人的相似之处。在生活习俗上，中国殷人崇拜虎神，古代人视玉石为珍宝，而秘鲁人同样崇拜虎神，墨西哥人同样重玉石。

中国古人之所以能远涉万里到达太平洋的彼岸，与当时的造船业和航海技术是分不开的。也可以设想，在几千年前能漂洋数万里，自然是经历了千种风险，万般苦难的，也是九死一生的。

如果说，中国古人首先到达美洲还没有作最后的定论的话，那么公元 399—412 年 7 月的 13 年间，法显和尚曾两次渡海出国求经。第一次是他于公元 399 年由长安出发，从陆路到印度，归来却是涉印度洋，跨南海、东海，穿台湾海峡，经黄海，由青州牢山（今青岛崂山）回国的。在回到祖国时，同行的 9 人中，仅剩法显一人。在第二次回归途中，由于淡水快用光，竟用海水煮饭。遇上狂风恶浪，他由于携带比丘佛像而险些被扔进大海。他宁肯让大家把自己抛进大海，也要保护好比丘佛像。最终在他的精心保护下，把佛像带回来。法显是我国第一个留学天竺（印度）的僧人。两次出访，他不仅带回大量佛经，而且先后 10 余年，经历 30 余国，开辟了通往天竺的水陆交通。他所写的《佛国记》（又名《法显记》），也为我国的中外交通史以及南亚诸国的佛教史提供了重要史料。

公元前 3 世纪秦始皇统一中国，建都咸阳。他集中了全国的造船力量，为了巩固霸业，曾五次巡行全国，当时也能造大型海船。每次巡游，总是侍从队伍浩浩荡荡，乘着大船大规模航海。第五次巡游中，船队从现镇江附近北上，沿海五六百海里，到达芒果港（今烟台附近），航海盛况是对当时的造船业和航海能力的一次大检阅。秦始皇为到东海求长生不老之药，曾东到山东的成山角，这是我国东部的“天尽头”。求长生不老之药，是为永统霸业，这是秦始皇很看重的大事。他自己求药不成，还派遣方士徐福率领船队，带着 3000 童男童女去海外访三神山。徐福船队从今崂山出发，冒险渡海，未

寻着仙药，却东渡到了日本。

汉朝，是我国封建社会早期的兴盛期。随着社会经济的繁荣，已能造楼船了，“高十余丈，旌旗加其上，甚壮”。西汉时候，全国造船中心已达数十处，遍布中国的北、南、西、东方，标志着当时的国家造船体系的形成。当时的帆船，船帆不仅可以转动适应风向，而且可随风力的强弱来增减风帆数。看，多么进步的造船技术！加之当时先进的航海技术，所以当时皇家船队能够在波涛汹涌的印度洋上航行，远达斯里兰卡等国。这样西汉开辟的欧亚大陆的丝绸之路，由于航海事业的发达，东西方的贸易商能在斯里兰卡会合开展丝绸交易，这样，一条连结东西方的海上丝绸之路，在汉以后也发展起来。

中国封建社会中期的盛世——唐朝，已能普遍制造远洋巨舶，并装备起一支支远洋船队，使中国的造船业居于世界的前列。陆上、海上交通的发达，使唐与各国的贸易和文化交流广泛开展，因而也促成了唐朝的繁荣盛世。

62. 海上航行的“眼睛” ——中国发明的指南针

指南针，实际就是指向针，不要说在古代，即使当今航海、航空、勘察、探险，都离不开它。所以叫它“眼睛”。

我国晋朝的法显和尚远赴印度、斯里兰卡，在他写的《佛国记》中记载，那时一只海船大约可乘 200 人。到了盛唐时期，一只大海船竟能乘坐六七百人，长达 20 丈。当时的中国海上贸易和友好往来，东起泉州，南起广州，远至波斯湾。那时在波斯湾各口岸的船只，大部分是中国的。但是在当时海上航行，白天靠太阳，夜晚靠星星识辨方向。阴雨天怎么办？由于在这种情况下看不见太阳和北极星，不知有多少海难发生，船毁人亡，使大量的金银财宝长期埋在海底。到了南宋，我国古代人便将过去的罗盘和指南结合在一起，形成“针盘”，也就是现在所说的指南针，用于海上航行，从此海船长了“眼睛”。

这指南针可不是一朝一夕或哪一个人一下子发明出来的。研制它有一个渐进过程。早在 2000 多年前的春秋战国时期，古代人就发现了磁铁，知道它能吸铁。当时的古书曾记载：“上有慈石，下有铜金。”真实记录了通过磁（慈石）现象发现铁矿（铜金）的道理。秦始皇统一中国后，在陕西咸阳营造阿房宫，当时的建筑师即在阿房宫中用磁铁造了一个磁石门。如谁想带铁器进宫行刺，只要经过磁石门，就立即被吸住。多么智慧的建筑！

中国最早的指南针，当推“司南”了。司南也就是指南的意思。它是战国时代人们用磁铁造成，用来指示方向的工具。其形状与现在的指南针完全不一样，呈勺状，很像现在的汤匙。司南是世界上最早的指南针。当时的人们上山采玉就带上它，以防迷路。

历史前进到宋朝，我国的科学技术取得了辉煌成就。如毕升发明活字版等等也是在这一时期。北宋初年，人们又创制了“指南鱼”，并把它用于军事。据当时的《武经总要》记载，它是用一块薄薄的钢片做成的，呈鱼状。钢片经人工磁化后方显磁性，才具指南作用。这说明宋人就已具很丰富的磁性知识了。指南鱼比司南方便和更灵敏、准确了。人们总是在不断改进指示方向的工具。不久，人们根据人工磁化原理，便拿钢针在磁石上磨，使钢针

具有了磁性，变成磁针。这便是指南针了。当时著名的科学家沈括在他的《梦溪笔谈》中，详细地介绍了指南针的4种用法：水浮法、指甲旋定法、碗唇旋定法、缕悬法。这是当时世界上指南针使用方法的最早记录。当今航空和航海所使用的罗盘，就是以水浮磁针作为基本装置的。

指南针很快被用来航行指方向。北宋《萍州可谈》一书就记载了在海船上阴雨天看指南针的情况。南宋时，指南针和罗盘已被结合在一起了。中国不仅最早发明了指南针，而是最早将指南针用于航海事业的国家。

指南针的发明不仅推动了此后我国元明两代的航海事业和经济的迅速发展，并且在十二三世纪也传到了阿拉伯和欧洲各国。在地理大发现时期，欧洲各国航海探险家，开辟新航路，发现美洲、澳洲等一块块陆地，完成环球航行等等，均是指南针起了重要作用。

63．地理大发现的先导者 ——马可·波罗

公元1279年，忽必烈完成了非凡的征服事业，南宋统一中国。在统一霸业的前几年，他非常友善地接待了前来拜访他的威尼斯商人一行——马可·波罗及其父、叔3人，时值公元1275年。启程时是1271年，当时马可·波罗17岁。忽必烈非常赏识马可·波罗敏锐的洞察力和聪明才干。在建立元朝之后，委以重任，允许他到中国各地游览和考察，足迹远至云南、大理。还晋升高职，使马可·波罗作为忽必烈的宠臣——大使，出访缅甸和南洋，使马可·波罗成为欧洲人中广泛游历东方的第一人。

为了表示元朝与波斯帝国的友好，忽必烈答应波斯国王的求亲，决定将阔阔真远公主嫁与他，并委任马可·波罗父子作为向导。在中国居留17年之久的马可·波罗，思乡心切，欣然应允，于1292年从当时世界上最大的海港——泉州港扬帆出发，沿着海上丝绸之路驶向目的地。元世祖忽必烈非常关心这次远航，叮嘱准备工作要万无一失。出嫁的船队由13艘4桅大帆船组成，其中有5只极其宏大豪华。船只载满了必要的所有物品，仅食物就够千人吃上两年。在经历18个月的东海、南海和印度洋的航程后，终于到达目的地。马可·波罗一家3人继续西行，于1295年的冬天回到阔别20余年的故乡威尼斯，成为当时的传奇人物。

马可·波罗，是一位探险家和洲际旅行家，约于1254年生于威尼斯，出身于富裕的威尼斯商人之家。当他在孩童时期，其父亲、叔父便肩负贸易使命出使东方了。所以，马可·波罗要了解东方世界、要海上探险是受了其父辈的熏陶和影响。在完成洲际旅行——欧洲之行之后，正是由于他的丰富的航海经验和才干，于1298年发生的威尼斯和热那亚的海战中，他有能力出资装备一艘战舰，并亲任舰长指挥战斗。但遗憾，威尼斯舰队战败，他被俘，投入热那亚阴森潮湿的大狱中。在狱中，马可·波罗向狱友——一位比萨作家详细口述了他旅行中的故事和东方见闻，由这位作家笔录成书。这便是充满传奇色彩和被认为离奇不可信的《马可·波罗游记》，又名《东方闻见录》。书中，将东方以及那里的中国、日本，描绘成遍地黄金、珠宝成堆的世界。马可·波罗描绘的东方世界对掠夺财富的欧洲统治者产生了极大诱惑力；当然，他的《闻见录》的重要贡献在于，极大地改变了欧洲人的世界地理概念，大开了人们的知识眼界。《马可·波罗游记》是13—14世纪欧洲人认识东方

世界的最有价值的文献，并且整整影响了几代人对东方的了解。

1451年出生的哥伦布，就是受了马可·波罗艰苦跋涉到东方的鼓舞，他矢志要从西方达到向东方的目的。哥伦布视《马可·波罗游记》为至宝，1492年启航西行时，他手头必备的物品中便有这本书。他对这本拉丁文版的书，作了许多潦草而热情的注释。

正是在《马可·波罗游记》的影响下，哥伦布义无反顾地驾着帆船驶向大西洋彼岸，终于引发了地理大发现。其间一系列航海探险活动的成功，大大地推动了人类社会的进步。

64．世界大航海家、朴素的海洋学的先驱

——郑和

郑和以他卓越的才能和英勇无畏的献身精神，领导了七次下西洋的壮举，在15世纪初期的人类文明发展史上写下了光辉的一页。郑和下西洋比哥伦布领先87年，他开了世界大航海时代的先河，是世界大航行时代当之无愧的先行者。

郑和，云南昆阳（今并入晋宁）人，回族，姓马，初名三保，俗称三宝。世称马哈只。哈只，系伊斯兰教门中对到麦加朝圣过的人的尊称，其意为巡礼之人。11岁时，郑和在明军与元军的战斗中，被掳至北平，在燕王朱棣部队中服役，任内宫太监。在一次战役中，郑和以其卓越的胆略建立战功，倍受朱棣恩宠，遂赐姓郑，名改为和，并且提升为内官监太监。时年1404年，郑和约34岁。

郑和少年时就有大志，勤奋好学。特别是随侍在朱棣身边的一二十年间，他接受了较高的教育，因而知识渊博；又因随军转辗塞内外，知兵习战，屡经艰辛和磨炼，造就了郑和的非凡才干。他具有卓越的军事才能。在七下西洋中，曾指挥过三次较大的战役，均彻底获胜，从而不仅保证了下西洋的顺利进行，而且安定了东南亚的局面，大大提高了明朝的威望。正因郑和懂军事、有智略，所以明成祖授予他“钦差总兵太监”的军衔，让他统帅27000多人的官兵多次下西洋。郑和是杰出的外交家。从朱棣即位初期（1403年），郑和就担当了奉使海外的重任，郑和也就开始转向了航海事业。此后的两年间，多次访问邻近的海外国家，如日本、暹罗等，为以后的七下西洋作了思想、技术、物质的准备。在多次下西洋的过程中，郑和为实现明朝的海外政策，把大部分的精力用于亚非各国中的广泛而繁重的外交活动中，发展中国与亚非诸国之间的友好关系，调节平息亚非各国、各部落之间的矛盾，表现了非凡的才干。在成功的外交上，郑和善于通过宗教信仰来联络情感，每到之处即宣传伊斯兰教，并尊重当地的宗教。每达到一地，郑和即令随船医生给当地百姓治病防病，消除瘟疫。这很受欢迎。郑和是一位建筑工程专家。不仅在国内设计并建造至今闻名的寺、塔，如南京的大报恩寺、琉璃宝塔，而且在国外不少国家建筑中国式的城池、寺塔、殿宇。如马六甲的三宝城、泰国的三宝寺塔，均是郑和的建筑遗迹。同时，郑和也将国外的精美建筑和雕刻艺术引进国内。郑和也是杰出的外贸专家，他把外国需要的金、银、铜、铁、磁器、樟脑、丝绸装船出口，中国的青花磁器最受爪哇国（现印度尼西亚）喜爱。贸易集散点就是连接欧、亚、非三大洲的忽鲁谟斯。该地是中世纪著名的国际贸易中心。郑和以此为根据地，同各国商贾进行贸易。郑和也

把帝王统治者和百姓需要的香料、珠宝、药材等等，植物方面如海棠、沉香、五谷树、婆罗树等引进国内，随船队也大量引进西亚出产的青蓝颜料，即“回青”。青蓝是烧制青花磁器的重要彩料，它的引进，促进了明朝陶磁业的繁荣。但随着郑和的逝去，船队的停航，“回青”输入减少，中国青花瓷器产品也因之锐减。又如至今仍很珍贵的食品燕窝，也是郑和船队引进的。

中国古文化的传播者郑和向西洋诸国包括称臣国家和部落颁发和宣传明王朝的历法等典章礼仪，让他们尊重和执行中国的规章制度。还向他们赠送图书，如《古今列女传》等，也赠予了度量衡，如铜尺、木尺，斗、升，秤、“天平”等。将中国先进的科学知识和生产技术传播给西洋诸国，进一步提高了他们的文明程度，反之，也促进了明朝经济繁荣，增强了国力。

综上所述，郑和是一位具有多种才干，品质超群的了不起的人物。正是这样一位全才，才能使他完成艰苦卓绝、令人惊叹的远航伟业。他的所有才智均集中在以他为统帅的伟大的航海壮举中，所以，郑和最主要的是一位航海家。

自 1403 年起，做了两年的航海实验和准备后，自 1405 年起，他便率庞大的船队开始了轰轰烈烈的航海生涯，至 1433 年，共有 7 次，长达 28 年。一般来讲，每次船队组成，大、中、小型各种功用船只在 200 艘左右。其中大型船舶，长 44 丈余、阔 18 丈，号称宝船，一般由南京宝船厂建造，福建也是建造宝船的基地。各船均有分工，如宝船、战座船、粮船、水船等等。所谓水船，是专运淡水用的，这是当时中外任何船队都不曾做到的。所率人员一般均达 27000 多，绝大多数是海军官兵。

为完成下西洋的多重使命，郑和充分发挥了自己的组织和科学管理才干。他的庞大队伍有严格和明确的分工和职能。其中有领导人员、辅佐人员、技术人员、庶务人员和武装部队。其中技术人员是由负责测天文气象的、随船医护人员、舵工、水手、火长（即船师）等十几种技术工种。做到物质供应和服务条件尽量完备。郑和船队能在太平洋、印度洋劈波斩浪纵横驰骋近 30 年，仅有上述技术、物质准备还是不够的。郑和使团在实践中建立和积累了丰富的天文航海技术和海洋科学知识，保证了船队每航必胜。首先，郑和使团在很好地总结和运用我国传统的航海技术，即天文航海技术（即依靠日月星辰来导航）基础上，结合使用指南针，这样一来，不仅克服了这两项技术各自的不足，而且大大提高了航行方向的精确度。因为天文航海技术，虽较易确定船舶位置，但在阴、黑天时，没有了日月星辰，便无法导航；而指南针，不管晴天、阴雨天，均能指示方向，但它不能准确定位。为此，两者结合使用，避免了各自的缺点而更发扬了优点，从而推动了航海技术的进步。

《郑和航海图》（20 幅）便是这一成果的结晶，代表着 15 世纪初利用天文导航的世界先进水平。其次，郑和继承和总结了一套有创见性的地文航海技术。船队依据航海图，利用指南针、测深仪、计程仪、记录沿途各地的里程、水深、海底地质等，以此导航，确保船队沿正确的航线，驶达目的港。第三，在远航的调查中，随着对海洋认识的加深，积累和获得了必要的海洋科学知识。如他们能从日月星辰出没和位移，从风向、天色、云雾、气温的变化，来预测海洋气象变化的趋势，进而预防风暴的袭击。又如，他们还注意海流和潮汐流向的逆顺，并作记录；对危险航段的海况、地质都作记录。更为可贵的是，船队还能依据水的颜色和海洋生物的分布来确定航路。他们还完整地记述了南洋一国对抹香鲸的龙涎香采集和制成的全过程。尽管郑和使团关

于海洋科学知识还是很局部的甚至很朴素的，但难能可贵，郑和可谓一位中国古代海洋学家。

郑和下西洋是 15 世纪人类历史发展大转折时代初期最伟大的事件之一。他的航海生涯 30 年，最大的远洋航行有 7 次，往返于太平洋、印度洋、阿拉伯海之间，经历 30 国，最远涉足南非好望角附近。他开辟了贯通欧亚非的航路，繁荣了贸易，传播了文化和友谊。他将中国的航海事业发展到了巅峰，在世界也居领先地位。郑和是全世界都应当纪念和推崇的航海家。

65．美洲大陆的发现者 ——哥伦布

哥伦布，意大利人（？），1451 年出生。他是织布工的儿子。

青少年时代的哥伦布，对神秘的大海就心驰神往，十分崇拜马可·波罗。他相信希腊地理学家的推测，地球是圆的。他简单地认为，东方各国就在大西洋彼岸。他渴望到马可·波罗所描述的充满财富的世界。因而不折不挠的毅力和顽强精神，先后多次对意大利、葡萄牙、西班牙三国的君王做动员说服工作，以期实现他航海探险的计划，最终征得西班牙费迪南德国王和伊沙贝拉王后支持并签订协议。哥伦布携带了三份国书，其中一份便是西班牙国王致中国皇帝“大汗”的。1492 年 8 月 3 日拂晓，指挥着 3 艘帆船带领 120 人（大都是囚犯）驶离西班牙的帕洛斯港。一个多月后，他们发现了马尾藻海。紧接着就发现了他们发现的第一块陆地——海岛。哥伦布命名此岛为“圣萨尔瓦多”，这就是现在美洲加勒比海的巴哈马群岛的华特林岛。探险队以为这就是印度，并把当地居民称作印第安人。1492 年 10 月 27 日，船队进入今古巴的奥连特省海域。哥伦布得知这里盛产黄金，便以为到了中国。急忙组织使团，携带礼物，准备觐见中国“大汗”，败兴而归。其实，中国还远着呢。历经艰难险阻之后，于 1493 年 3 月 15 日，哥伦布返回了西班牙。发现陆地的消息传遍整个欧洲，哥伦布由此而闻名天下。

哥伦布是优秀的航海家，他踌躇满志，要实现环球航行的愿望。为此，他以后曾几次循着原路横渡大西洋，到达西印度群岛。他先后到了北美的几个地方，途经圣多明格、特立尼达、洪都拉斯。第 3 次探险于 1498 年 8 月 5 日第一次踏上南美大陆——恩西纳达·阿库阿港。在第 4 次探险时，曾在巴拿马运河区的一个港口停泊，这里虽距太平洋仅几十公里，但哥伦布没有到达，他的环球计划可谓功亏一篑。1504 年 9 月 12 日哥伦布离开海地岛，拼搏 56 天，于 11 月 7 日终于回到西班牙。历时 12 年，4 次航海探险，完成了哥伦布在航海史上的卓越贡献——沟通了大西洋与欧洲的航道；发现了当时欧洲人所不知道的一块陆地——美洲。遗憾的是，直到 1506 年哥伦布去世的时候，还以为他所到的地方已是亚洲的边缘地区而不是美洲大陆！他给西印度群岛名称的命名就是明证。

至于谁首先发现美洲大陆，在海洋史界众说纷坛。以美国拉格斯大学语言人类学家塞蒂玛为代表的一些专家，依据 1939 年在墨西哥东海岸发现的巨石头像推断，可能是在哥伦布之前 2000 年非洲黑人到过美洲大陆。

中美学者依据在美国加利福尼亚州沿海发现的石锚，推算约为 3000 年前沉于海底，并且认定这些石锚，乃是古代中国海船航行到美国留下的遗物。据 3000 年前的推算，当时正是我国历史上周武王伐纣的年代。为此可能是中

国殷人首先发现美洲大陆。这在世界上最古老的地理志——中国的《山海经》里也可找到蛛丝马迹。

到底谁先到达美洲大陆，随着考古证据的增多，必将会得出公正的结论。

66．第一个看到太平洋东端的欧洲人

——巴尔波

继哥伦布发现美洲大陆之后，发现海洋、探索新航路的环球航海事业日益活跃。为躲避债务而出海远征美洲巴拿马的西班牙人巴尔波，作为欧洲人意外地于 1513 年 9 月 25 日首先发现了“大南海”——太平洋。

巴尔波，于 1475 年出生于西班牙。他是一个多灾多难的人，一心想发财，但总是负债累累。为避开债主另谋生路，他于 1500 年前往北美洲，在海地想重振家业。结果又陷入债务之中，不得不转移而流落南美洲的北部沿海地区。巴尔波是个很狡猾的家伙，他在一个移民点上，阴谋篡夺了领导权，并假惺惺地与当地印第安人“交朋友”。去酋长家里作客，对主人家中的闪闪发光的黄金和珠宝，垂涎三尺。对这个贪婪无比的西班牙殖民主义者，印第安酋长很有戒备心。为摆脱这些人，他告诉巴尔波等人，群山那边遍地是黄金和珠宝，你们要想得到的话，就请到那边去寻找吧！经过两年的准备后，巴尔波带领 92 人的探险队向南进发。旅途十分艰辛，穿密林，越高山，还受到印第安人的袭击。战斗和疾病使一些人员先后死去，剩下 66 人。1513 年 9 月 25 日，他们到达“赤裸之峰”的山脚下，不少人累得再也不想走动，只有巴尔波带着他的猎狗向山上爬去。一到山顶，向远处望去，巴尔波看到的并不是黄金珠宝，而是一望无际的大海。由于他所处的巴拿马地峡是东西走向，大西洋在地峡北端，所以他把发现的海洋称为“大南海”。巴尔波是第一个看到这个大洋的西班牙人。尽管精疲力尽，但他很激动，双膝跪下，感谢上帝指引他有了这个新“发现”。为了邀功受赏，巴尔波写信给西班牙国王斐迪南，报告他的“发现”。但由于权力之争，信刚到西班牙，巴尔波就被砍头示众。巴尔波所发现的“大南海”，由环球探险家麦哲伦改名为“太平洋”。因麦哲伦 1519 年从南美东岸向南寻找穿过大陆的水道时，开始遇上风暴，过了海峡（麦哲伦海峡），眼前一片寂静的海洋，故而把它称为“太平洋”。事实上，太平洋并不太平。

67．地球是圆的伟大证实者

——麦哲伦

麦哲伦，于 1480 年出生于葡萄牙。由于被诬告叛国罪而被开除军队。麦哲伦忍受不了这种痛苦的遭遇，于是参加了西班牙军队。受哥伦布的影响和启发，麦哲伦向西班牙国王建议从大西洋向西可以到达东印度群岛。于是麦哲伦受命率领一支探险队于 1519 年 8 月 10 日从西班牙乘 5 艘船远征。船只横跨大西洋一直到达南美的东海岸。麦哲伦企图找一条穿过大陆的海道，继续前进。当航行到南美最南端时，找到了通道，麦哲伦命名为“万圣海峡”。后来人们为纪念麦哲伦而改名为“麦哲伦海峡”。在太平洋上横渡 98 天尚未见到陆地，麦哲伦试图测水深，放下近半英里的绳子，仍未探到海底。海洋烟波浩淼，空旷寂静，船员们陷入饥饿和绝望的困境。正当他们面临死亡之际，1521 年 3 月 6 日，终于到达了关岛，从而吃上了食物，喝上了淡水。带着新的希望又航行到菲律宾。因与当地土著人发生恶战，麦哲伦被害。他的

随从在卡诺率领下，乘着最后的一艘船——维多利亚号，继续西行横过印度洋，绕过好望角，于 1522 年 9 月 8 日终于回到了西班牙。用了 3 年时间完成环球一周的海上探险活动。出发时 5 条船 265 名水手。归来时仅剩一条船 18 名幸存者。麦哲伦的环球探险是航海史上的第一次，他还证明了人类赖以生存的大地确是圆的，地球被一片汪洋所包围，其实是一个海而不是 7 个海。

68. 人类最后发现的大洋

——北冰洋

新航路的发现和环球航行的成功，打破了世界的界限，以前彼此隔绝的东西半球联系到了一起。从此东西方贸易、文化交流日渐加强，当然伴随而来的是西欧殖民主义者向美洲、亚洲财富的掠夺。为此中世纪航海大发现的壮烈活动并未停止。西方列强，一直不断地派出探险队前往北极探险。1585 年英国探险家戴维斯首先到达世界第一大岛——格陵兰。这个大岛大部分都在北极圈内，所以可以说，戴维斯首先到达北极圈。戴维斯在格陵兰和加拿大之间的水道上向北航行，但走到北纬 72° 时，就被座座冰山档了回来。那么戴维斯所到达的这个水道，即为纪念这位探险北极的先驱而命名为戴维斯海峡。

到北极考察的冒险壮举前赴后继，许多探险家在航行的途中被冰雪所吞没，被凶猛的海兽所吃掉。但这都未压倒人们了解地球、打通航道的意志和雄心。在北极探险中，失败最为惨烈和轰动的便是英国海军上尉富兰克林的探险队了。

少年的富兰克林，非常爱听大人讲述那些充满惊险和神奇色彩的海上探险故事，为那些传奇式的英雄人物所倾倒。海上探险引起他的无比兴趣。在英国皇家海军服役的长期岁月中，除了训练和作战外，海上探险几乎是他唯一的爱好。曾两次去北极考察，积累了丰富的探险经验。1836 年，当他得知英国皇家地理学会要求海军部组织一支探险队，对推测中的西北航道作一次最后的探索时，心头非常激动。在他 2 次申请并在一些有势力朋友的帮助下，终于实现了愿望，海军部答应了他的请求。富兰克林激动不已，情不自禁地流下热泪。1845 年 5 月 26 日富兰克林率 128 名队员，指挥着 2 艘探险船驶离泰晤士河，踏上北极的征程。人们期待着他成功的好消息。但 12 个月过去了，两年过去了，始终无有他们的消息。不祥之兆降临，富兰克林探险队失踪了！英国海军部派出 3 支规模较大的搜寻队搜寻，曾悬赏一万英镑奖励发现这支探险队踪迹的人。直到 1854 年 10 月才从加拿大一个名叫约翰·雷的人那里得到探险队 30 个队员早在几年前死在大鱼河的消息。但证据不足。尤其富兰克林的夫人想到丈夫的命运悲痛欲绝，她决心将丈夫的下落弄个水落石出。她的坚贞不渝的精神感动了海军部。海军部给予积极支持，最终派出狐狸号探险船，在富兰克林探险队失踪 12 年之后出海了。时年 1857 年 7 月 1 日。经过艰难的探索，于 1859 年 5 月搜索队在威廉岛终于从一堆圆锥形石堆内发现一个重新封了口的马口铁罐头。撬开一看，里面竟是一份完好无损的航海记录，共有两份报告。上面明确写着“约翰·富兰克林先生已于 1847 年 6 月 11 日死去。”搜寻队长麦克林托克，含着激动的泪水读完探险勇士留下的这份最后的报告。人们很清楚，富兰克林试图通过威廉岛西面的维多利亚海峡，但由于碰到巨大的浮冰被困而死去。其他队员在长期的饥寒折磨中，也相继捐躯。探险搜寻队通过历时两年又两个月的搜寻活动，于 1859 年 9 月胜利地返回英国。他们的发现轰动一时，被誉为历史上最伟大的

一次搜寻失踪探险队的活动。不仅搜寻这位英雄的队长，富兰克林本人同样被皇家地理学会授予金质奖章。富兰克林北极之行虽然失败，但他的英雄行为和献身精神始终鼓舞着后来探索海洋、开发海洋的人们。

地理大发现时期的航海探险已过去 300 年，但人们对北极仍然了解甚少。科学家们几百年来一直在争论：北极到底是陆地还是海洋。

1861 年在挪威首都奥斯陆附近诞生了一位男婴，他便是后来成为著名海洋学家、探险家的南森。在求学时代，南森对人们争论不休的北极之谜产生浓厚的兴趣。他热爱海洋并立志探险。他在大学毕业之后到一家自然博物馆工作，就带着他感兴趣的问题搜集和研究北极有关资料。之后，他初步断定，北极是海洋而不是陆地。这个推断到底对不对，南森决心亲自带一支探险队去证实。北极探险的成功不是侥幸得来的。当南森下定决心后，他就开始了爬冰卧雪的意志和毅力上的磨练，成为人类史上第一个用雪橇穿越格陵兰的勇士。南森坚信北极是海不是陆地并且有一股海流从西伯利亚东海岸穿过北极，流向格陵兰，他制造了一艘适合北极冰海航行的船底呈半圆形的考察船。这样，一旦船被冰包围，就会被冰挤到冰面上而不会挤碎。南森给此船命名为“前进号”。从船的命名也充分体现南森北极探险的雄心壮志。他力排众人的指责和反对，并赢得了挪威政府所给予的资金支持，于 1893 年 6 月 24 日，带领 12 名队员从奥斯陆扬帆起航。按原来设计的航路前进，一路与暴风雪为伍，与黑暗为伴，并坚持不懈地考察冰块漂移方向，依据太阳和星辰的方位测定船随冰块飘落的方向，发现船随冰漂流的方向与风向不一致，总是右偏于风向 20—40°。当“前进号”考察船再也不能随冰漂流时，南森与另一伙伴便徒步前进。1895 年 4 月 8 日，当他们步履艰难地距北极还差 400 公里时，出现在他们面前的却是一片开阔的水域。他们比前人多向北极推进了 315 公里。1896 年 6 月 17 日正当南森在冰海雪原度过了漫长的冬季之后，准备开始新的旅行时，英国政府派来寻找南森的探险队，在他们的协助下，于 1896 年 8 月 13 日回到阔别 3 年多的故乡。

南森虽然没有到达北极点，但他却是世界上第一个证实北极不是陆地而是海洋的人，是第一个验证北冰洋存在着由东向西流动的极地海流的人，也是当时北极探险中离极点最近的人。他还有很多发现和发明。南森北极探险结束了，那条“前进号”考察船至今仍陈列在奥斯陆博物馆内。这是南森不朽业绩的证明。在 27 年后，南森由于多方面的功绩，荣获诺贝尔和平奖。直到 1930 年去世前，他始终关注着海洋科学研究的发展。

1909 年，雄心勃勃然而又富有探险经验的美国探险家彼亚利从哥伦比亚角向极心进发，第一个到达了地轴的北极。至此完全证实北极地区没有陆地，而是地球上最小而又最后被发现的一个洋——北冰洋。北极终年冰雪覆盖，风暴肆虐。在北极点附近，每年近 6 个月的黑夜。另外半年，半夜里太阳也在地平线上转，称为“白夜”。

69．人类最后发现的大陆 ——南极大陆

古希腊人约在 2000 年前不但确认地球是圆的，而且认为地球有南、北极，赤道位于两极中间，赤道以南有陆地，只是中间隔着一条热得使人无法忍受的赤道。在麦哲伦经过现在的麦哲伦海峡以后，一些地理学家想到古希

腊人对赤道以南陆地的猜测，并承先启后开始对南极的航海探险。1578 年英国航海家弗朗西斯·德雷克，作为麦哲伦后第二位环球航行的人，他发现南美洲以南火地岛南面是茫茫大海。1840 年 1 月 19 日由杜蒙·杜维尔率领的法国探险队发现了南极大陆。与此同时，美国人查尔斯·威尔克斯也声明发现了南极大陆。至此，人类终于确认了南极大陆。之后人们又开始了艰苦卓绝的南极点的征服。1909 年，英国海军军官、探险家斯科特宣布进行到达南极点的探险。然而他的探险队却遭到了种种厄运。恶劣的天气使他们的行进极其艰难，加之所带狗不多，不得不自己拉着雪橇前进，以至大大地拖迟了他们的行期，当他们于 1912 年 1 月 17 日到达南极点时，发现挪威探险家阿蒙森已在那里留了标记。他们返回的途中，仍然是很恶劣的天气，以至斯科特及其 4 位同伴全部冻死在冰雪之中。8 个月后，人们发现了他们的遗体和其旁的一个大袋子。袋中装着 15 公斤冰河岸石的标本，是企图运回基地进行研究用的。他们的执著精神、献身精神，真是感天地、泣鬼神。

阿蒙森，于 1872 年 7 月 16 日出生于挪威奥斯湾入口处的一个小岛上。他的父亲是个船主兼造船主，有着丰富的航海经验，给小阿蒙森以浓郁的熏陶。他立志长大后一定要当一名水手。当他参加了庆祝南森第一个徒步穿越格陵兰岛的盛大集会后，他又当众宣布：我要到北极去。后来他最终中断医学当了水手。正当精心为去北极做准备时，一次偶然的机会使他加入了由比利时主办的南极探险队。为了取得南极探险的资格——专家和领航员资格，他去海洋学校学习有关科学知识。一年之后又获得了海军中尉证书。为巩固所学航海知识和具有过硬本领，他又两次出海实习。1897 年 8 月 16 日“别列热卡号”南极考察船扬帆出航。除了船长、大副之外，阿蒙森名列第三。其他均是挪威水手。经过半年航行方驶进南极水域。在合恩角附近，飓风在数千公里海面上横行无忌，以至水手落水不能搭救。绕过南设得兰群岛以后，便是冰山林立，考察船被冰山环绕，船员们觉得好像掉进深深的井底。当 1898 年 3 月探险队完全被封冻在冰海之中时，就只好就地过冬了。一路上阿蒙森负担着绘制海岸线地图的工作。停下来，他与船医便猎捕海豹，储在冰库内以备长期困境之用。船长禁止食海豹肉，阿蒙森却暗暗经常食用，为此他精神十足，全然没有那些船员们的意志消沉、神色沮丧之状。当然献身极地探险事业的壮志，也是他力量所在的重要源泉。到了 6 月南极最冷的日子，疾病开始蔓延，有的人死去。船长终于同意让船员吃海豹肉，拯救了余下来的 30 名船员的性命。漫漫长冬，队员们情绪越来越坏。只有阿蒙森一个人顽强地工作，他始终充满信念并迎着困难上。1899 年 2 月初，冰山开始移动，大片海水露出，船队立刻起航，船员如释重负的心情，难以用语言形容。夏天，他们回到了阔别 2 年之久的祖国。这是阿蒙森首次登上南极，他登上了罗斯冰障，经历了南极极地长夜的考验，收集了使科学家为之耳目一新的气象和地理方面的珍贵资料，更积累了狗拉雪橇极地跋涉的经验。一句话更坚定了他征服南北极的决心。当时他才 27 岁。

南极归来不久，阿蒙森着手北磁极位移的研究，并试图打开大西洋通向太平洋的通道。在南森的帮助和指导下，他做好充分的物质和知识、技术的准备，作为指挥于 1903 年 6 月 17 日起航。在北极，他与爱斯基摩人交朋友，懂得如何使用爱斯基摩狗。他喜爱这种狗的耐力和忠诚，这不仅使他北极探险顺利，而且为第二次南极探险打下坚实的基础。阿蒙森于 1904 年首先发现北磁极，并在那里居住 23 个月。1906 年 8 月 30 日，阿蒙森通过了白令海峡，

又完成此次探险的第二个重任——打通西北通道的任务，借助北冰洋将大西洋与太平洋连接起来。

至此，阿蒙森成为世界上罕见的南北极两极探险家。北极极点已被发现，那么征服南极极点的雄伟目标又在鼓舞着他。就在英国探险家斯科特前往南极的途中，阿蒙森也宣布了他到达南极点的消息。于 1911 年初到达南极大陆，直等到南极夏季到来，10 月向南极极点进发，终于在 12 月 14 日登上南极极点，仅用 55 天。斯科特却用 64 天。阿蒙森的成功在于以丰富的经验做了周密的准备。他用 52 只狗分别拉装有各种必需品的雪橇。然后一路上把衰弱的狗杀掉饲喂其余的狗。这样节约了所带食粮。当他们 1912 年 1 月 21 日安全返回基地时，所带的狗只剩几只，而粮食尚余不少。

阿蒙森是第一个登上南极极点的英雄。他没有停住脚步，而是把探险事业不断推向前进。于 1926 年率领探险队乘挪威号飞艇首次飞越北极，到达阿拉斯加，成为第一个飞越北极的人。阿蒙森一生热爱极地探险事业，献身探险事业，功绩卓著。1928 年 6 月，为营救意大利探险家，阿蒙森所乘飞艇在北极巴伦支海的上空失事。这位出类拔萃的两极探险家殉葬于他所探寻的北极的冰海中。

70．与人类共同发展两极事业 ——中国人对两极的了解与研究

400 多年来，经过无数探险家、科学家以至各种船队到达南北两极，他们的英勇壮举可歌可泣；他们的辉煌业绩永载史册。通过先烈们的探险和考察，使现在的人们对地球上的南北两极的了解和认识越来越清楚，使我们现在的科学考察和和平开发利用两极日益成为可能。这里除了感谢先辈的荫德，我们还要发扬光大他们的精神，使两极的考察、研究、开发、利用事业更加辉煌。

南极洲，是目前地球上居民最少、污染最轻的大陆。虽然自然条件恶劣，寒冷荒凉，但那里有丰沛的矿产和生物资源。如金银铜铁等矿产资源都有储藏，尤其煤矿最为丰富，已发现世界第一大煤矿就在这里。尤有丰富的淡水资源。在生物资源方面，最令人瞩目的是拥有最大储量的磷虾和活着现代最大的动物——蓝鲸，以及只有南极所特有的海洋居民——企鹅。南极又由于它所处的特殊的地理位置，在科学研究上又有着重要的价值，因而被誉为“打开地球奥秘的金钥匙”和“科学研究的圣地”。美国、苏联、日本、法国、英国、智利、阿根廷、澳大利亚等 20 个国家已在那里建立科学考察站。

在 1980—1984 年间，应别国之邀联合考察，中国已有 30 人登上这“圣地”。第一位上南极的便是青岛的海洋生物学家张坤诚研究员。

1981 年 5 月 11 日，成立中国“国家南极考察委员会”，负责组织和领导极地事业的全面业务。

1984 年 11 月 20 日，中国政府派出了第一支南极考察队，赴南极洲建站和科学考察。1985 年 2 月 20 日在南极洲乔治王岛上胜利建成第一个南极考察基地——中国南极长城站，并有 8 名队员留下越冬、考察。当年建站、当年越冬，这在世界南极考察史上实属罕见。长城站的建成，是中国极地事业迈出的可喜的第一步。1988 年 11 月 20 日，中国政府又派出东南极考察队去东南极建站和科学考察。经过一个月的艰苦奋斗，于 1989 年 2 月 26 日胜利

建成中山站。此站建在南极圈内，为此成为中国深入南极大陆腹地直至南极点的科学考察的中心基地。1989 年建立了中国极地研究所。两次建站、初步的调查研究、训练人才和建立领导学术机构，为全面开展极地研究打下了坚实的基础。

中国已对南极洲、南大洋进行数十次的调查研究，进行了以极地为特点的多学科的考察研究，发表论文著作数百册、部，可谓研究成果极丰。特别令人欣慰和自豪的是，已培养和涌现出一批像秦大河那样的优秀的极地学科学家。广大富于幻想和试图冒险的青少年，在这样丰厚的业绩和英雄人物的鼓舞下，很想领略那种长年冰雪冻透骨，大风吹起人在空中飞的奇异生活，更想与当地特有的居民——企鹅交朋友。努力吧，只要积极创造好条件，相信梦想会成真的。

富饶的南极洲，是全世界人民所共有的。中国人民愿与全世界爱好和平的人们共同研究开发和利用南极做出贡献。

为完成中国人首次考察北冰洋的夙愿，1995 年 3 月 31 日，由民间筹集资金的学术团体——以位梦华为首的 7 人科学考察组开赴北极。经长途跋涉和科学考察于 5 月 6 日到达北极点。7 个科考队员和其他 19 名随员一起将中华人民共和国国旗插到北冰洋。中央电视台的记者将电视台的标志纪念章埋在极点的冰雪中。5 月 16 日他们胜利归来，鲜花和人群欢迎他们。

从电视中看到中国这第一批征服北极的勇士们，不仅喜泪纵流，自豪感油然而生。年轻的海洋科学研究员赵近平，是队中唯一的海洋学者。他像征服南北极的阿蒙森一样，对狗情有独钟，他特地拥抱着狗照了一张相。他深有感触地说，没有狗绝对完不成这次科考任务。狗很骠悍也很机灵忠诚。他说美国科学家以狗为自豪，而我们中国人谁要说他是狗，这人准跟那人干起来。但跟狗打过交道的极地科学家，却夸赞别人像狗一样能干；说自己累得像狗一样精疲力竭。

至此，中国人也完成了第一次征服北冰洋的历史使命。远涉重洋，征服南北极，这是对一个国家国力的考验，科技水平的权衡。同时极地科学是一个崭新的领域，尚有不少空白需要我们去填补。

我们应当加紧现代化建设的速度，增强实力，向极地研究和开发的深度、广度进军！

71. 变幻多姿的海洋容貌（一）

——海洋的形态

人们一提到海洋，很可能想象它是广袤无边，汪洋一片。其实，海洋是千姿百态，美丽动人的。不论从海洋表面上看，还是从海水中看，或是从海洋底部看，海洋的容貌都是变幻多姿的形态。

通过对海洋的探险、调查和科学研究，使人类对海洋的外观、水体大小、海底容貌、资源状况及其运动变化规律有了较深刻的认识，从而一门新兴的系统科学——海洋学诞生了。海洋科学是一门把发生于海洋的所有自然现象作为研究对象的结合性科学。它包括物理学、地质学、化学、环境学、工程学、气象学、生物学等等。为全面系统地介绍海洋科学，我们首先从它的形貌谈起。要说海洋的“模样”，很难一下说清楚。不妨打一个比方，把同一份量的 3 份水体，分别放进圆形、方形、长形的 3 个器皿内，就会发现水随

器皿的形状变化而变化。海洋由于同陆地互为邻居，所以它的形状只能以陆地的形状对照来看了。如欧洲把海洋分割成锯齿状，大西洋则呈“S”形。大的海洋确实难以说的具体样子，只能用大和它与陆地犬牙交错来形容。但是海洋中小的水体是可以说出它的形象的。如中国的渤海湾、美洲的墨西哥湾几乎是三面环陆，一面通向外界，整体轮廓似椭圆形，所以称它为湾。又如连接欧亚两大陆、沟通印度洋和地中海的红海，它多么像一条带状。而地中海则又很像一个低等生物的变形虫。被称为海上通道的海峡，同样形状各异。以环球探险家麦哲伦命名的麦哲伦海峡是连接火地岛与南美大陆的狭窄的通道，而离它不远的南方的德雷克海峡则比它辽阔得多。德雷克海峡，则是地理大发现时期英国航海家德雷克继麦哲伦环球航行后第二个环球航行，于1578年发现火地岛以南依然是茫茫大海，遂以他的名字命名此海峡。在一些岛屿星罗棋布的海域，水体的样子也呈支离破碎样。海洋还由于地震、海底扩张如板块运动等，在不断地变化。这些变化有时很突然，有时相对很慢。例如，随着温室效应的结果，南极洲和北冰洋的巨冰逐渐融化，海平面上升。如果全球总冰量一旦全部融化，海面就会上升约70m，世界上一些邻海大城市都将被淹没。那时海的形状又有了新的大的变化。未来的海平面是否会上升，这取决于人为和自然两方面的因素。

谈到海洋的形态，我们不能光想到那流动着的湛蓝的水体；还要想到海洋，那如玉晶莹透彻、如宝石璀璨夺目的“固体”形象。北冰洋冬季几乎全被2—3米厚的海冰所覆盖，夏季也只在边缘才没有冰冻，流动的海水终年淹没在大冰盖之下。冰盖一旦断裂，巨大冰块飘浮于洋面上形成冰山，其造型或锋利奇异或雄伟壮观，然而对海上交通造成极大危害。如本世纪航海史上最悲惨的一幕便是由英国建造的豪华型巨轮——泰坦尼克号于1912年4月前往纽约的首次航途中，在北大西洋多冰海域与冰山相撞不幸沉入海底，罹难人数多达1503人。南极洲虽是大陆，然而由于它的冰量占世界上总冰量的89%，所以有“世界冰库”之称。受南极洲冰川的影响，南大洋的冰比北冰洋多达5倍。

讲到海洋的容貌，前面讲的是指海水平面上的形状，那么海底是什么样子呢？同陆地一样，海底也有高山、平原、盆地等等，其地形变化甚至要比陆地还复杂。让我们沿着海水由浅到深的介绍一下。靠近陆地的近岸海底，落潮时露出水面，涨潮时被淹没，称之为潮间带区。由此往外，海底坡度平缓，水深通常在200m以内，这一区带叫作大陆架。由大陆架再向外延伸，是一个陡峭的斜坡，就是大陆坡。从这里开始地形急转直下，水深从几百米很快增加到几千米以上，它是大陆架向大洋底过渡的地带。再向外就是世界大洋主体部分——大洋盆地了，也就是大洋底，广阔而较为平坦。在大洋底还有深沟，也有高山。山脉露出水面就是岛屿，如我国的台湾岛即是。

无论是在大西洋还是在太平洋，都有一条纵贯南北的海岭，那就是海底山脉。太平洋海底山脉最高处约为8690m，山峰离水平面只有365m。但是，人们发现大西洋的海岭是在大洋的中央部分，而太平洋的海岭则是在偏向它的西半部，即是靠近亚洲大陆沿岸；同样，太平洋最深的海沟也是在大陆边缘——邻近大陆和岛弧的地方，为什么如此分布？有待未来的人去揭开这个谜。海底世界并不是亘古不变的。常因地壳不稳，出现大断裂带，发生地震，这就造成海底地形的不断变化；或有火山爆发，喷出不少火山岛屿。在太平洋中就有不少类似岛屿。在过去，人们不明白为什么常有海上岛屿上升出来

复又不见的情况，是海洋地质调查打破了人们的神秘感。

海底常会喷出新的岛屿来这是屡见不鲜的。太平洋的中心之地夏威夷岛就是被火山喷铸而成的。至今它的水底尚有一条绵亘几千公里的火山带，群岛上最大的夏威夷岛依然保留着火山口，时有爆发。其火柱高达数十米，奔向大海的熔岩形成 50 多公里的火河，宛如一条“火蛇”逶迤曲折向前边，有时川流不息达数月之久。火山爆发成为这个群岛的一大景观，不少人驱车前往，亲眼目睹这地壳运动的壮丽场面。夏威夷群岛的历史，主要是华侨、日侨与当地波利尼西亚人对它开发和创建的历史。当年，中国革命的先行者孙中山先生为推翻满清统治建立资产阶级民主的新生活而奔波于东南亚与夏威夷之间，所以每当提起以盛产檀香木而改名的首府檀香山时，人们便自然地将它与孙中山的名字联系在一起。

夏威夷群岛是太平洋两岸的必经航空港，是旅游者向往的胜地。这里一年四季温暖如春，繁花似锦，更加金色的沙滩和当地特殊的风情，吸引着世界各地的人。人们特别崇尚岛上居民的冒险精神。风行全世界的冲浪运动正是夏威夷人的独特创造。这里的海浪一般可达 1 米，冬、春季节则高达 4 米以上，运动员可滑行 800 余米以上的距离。这里常举行世界范围的比赛活动，因而被称为世界冲浪运动的中心。

72. 变幻多姿的海洋容貌（二）

——海洋的色彩

谈到海洋的色彩，它可不像人们口头上常说的、诗歌里吟诵的那样，仅是蓝颜色。海是一个色彩斑斓的美丽世界。就海洋的整体来讲，它是蓝色。但随着海洋的深浅、运动、生物状况、物质状况、地理位置、气候变化乃至人为活动的影响，它的颜色是千差万别的，也是在变化着的。

地球上大大小小的海约 60 余个，其中不少的名字就体现了色彩特征。我们首先从大家最熟悉的黄海说起。黄海，顾名思义呈黄色，尤其近古黄河口处。黄河自古以来虽屡次改道，但都是携带大量黄沙最终归入大海。黄海是世界上接受泥沙倾泄量最大的海，泥沙来源就是黄河。红海，地处高温地带，海水中生长着蓝绿色微型藻。这种海藻定期开花，使海水呈红色，所以叫红海。红海中，由于还生长着五彩缤纷的珊瑚，因而更加迷人，所以成为天然的“海洋公园”。白海，地处北极附近，一年中有 200 多天冰雪覆盖，一片银白的世界，所以有白海之称。黑海，被欧亚两区包围，通过狭窄的博斯普鲁斯海峡与地中海相通。为什么叫它黑海呢？黑海其所处地势很低，加之它的水深（平均 1197 米）大于博斯普鲁斯海峡（90 米），所以它与地中海交流很差，以致黑海深层的海水是停滞的。在 200 米水深的水底极其缺氧，因而那种呈臭鸡蛋味的 H_2S 过多。 H_2S 的大量存在使海底呈黑色。特别在风暴天气，刮起的海水也呈黑色，昏天黑地，所以称它黑海很是名副其实的。由于是这种海水，黑海的生物物种也很少，在大洋里数以万计，而在这里仅有 1500 种，比地中海还少，原因是缺氧。这种环境为厌氧细菌所喜欢。可以看出黑海的名字，是综合因素作用所决定的，有地理位置、交流状况、水中污染物质、生物和天气等等。

海洋的颜色随着深浅是有变化的。在数百米以内的海水，当它清澈见底时，阳光下呈翠绿色，碧波粼粼，晶莹透剔。远航在大洋时，即使万里晴空，

海水湛蓝深沉；当黑云压顶，海水一片黑寂，风浪一起又呈灰色。当风暴潮到来时，竟是白浪滔天煞是壮观！海的颜色，不仅有种种不同，也是瞬息万变的。

73．海洋家族中的老大哥 ——大洋

当宇航员在宇宙作环球飞行时，他们发现地球上“水的王国”。一块块陆地就像孤岛一样一个个镶嵌在海面上。是的，海洋要比陆地大得多，占了地球 71% 的面积。说到海洋，一般是指连续而广阔的水体的总称。细分起来，海和洋还是有区别的。洋是水体的主要部分，是地球上最大的水体，它有独立的潮汐和海流系。面积广阔，平均海水最深，个数也少。有太平洋、大西洋、印度洋、北冰洋、南大洋。其中最大的要数太平洋，面积最大、最宽，也最深。它位于亚洲、大洋洲、美洲之间。说它大，如果将全世界陆地面积加在一起，才占它的 $\frac{4}{5}$ ；它的水量，即使长江每年流入太平洋约一万亿立方米，要流整整 70 万年才能把它灌满！它的深度，平均在 4300 米，其最深点——菲律宾附近的马里亚纳海沟，深度约达到 11202 米，是现在我们所知道的世界上海洋最深的地方。如果把世界最高峰——珠穆朗玛峰加上一座泰山放进去，峰顶还露不出水面呢！为什么这个海沟不是在大洋中心，而是在靠近陆地的边缘处，是一个谜。太平洋的名字是由环球航海家麦哲伦给它改的名字。那是他在过麦哲伦海峡之时经历了一场狂风恶浪，一旦过了海峡来到大洋上便侥幸遇上好天气，一片风平浪静，于是他将原来第一个发现它而命之为“大南海”的名字改为太平洋。太平洋并不太平。每年春秋两季从菲律宾以东形成的台风、风暴潮，给沿岸居民生命财产带来巨大损失。在它与印度洋连接的“狂吼咆哮的 40° 带”，更是全世界有名的风浪险恶区，终年刮着强大的西风。有多少探险家、航海家在那里葬身海底。

大西洋是第二大洋，可能因其在欧洲、非洲西侧而得名。它连接了亚、非、欧三大洲，通过它要去北美，捷径便是西北航道。这是一条在大西洋、太平洋之间北部海上通过加拿大群岛的航线。这条航道是由挪威探险家、海洋学家阿蒙森于 1906 年 8 月开辟的。这条航线大大缩短了西欧人到美洲的路程，因不需要绕过好望角，横渡印度洋、太平洋就可到达美洲了。不过由于北冰洋的冰雪障碍，仅在有限的季节，如 6—11 月可以航行。

印度洋是连接亚洲、非洲、大洋洲的交通要道。印度洋是在伟大的航海家郑和七下西洋影响下形成的世界最早的航海中心。

南大洋，是指南纬 60° 以南环绕南极洲的海域。也因常年冰雪不融而称为南冰洋。北冰洋是世界最小的洋。北冰洋除常年冰雪覆盖外，它的半年是白天、半年是黑夜更是新鲜，好像一年就过了一个白天、一个夜晚似的。更为诱人的便是色彩缤纷的北极极光，这大约是越来越多的欧美人去那里旅游观光的主要原因。还有令人极为关注的祖祖辈辈生活在那里的爱斯基摩人，据传说是从亚洲迁移过去的。同是人类，他们硬是在那种冰冷的极端环境下生存，深表同情之余，不禁要问他们是怎样生活下来的。从电视中我们可以看到，人类现代文明也已波及他们那里，如羽绒服、摩托等等。

还要介绍北冰洋一个很突出的特征。那便是 200 米以上的水层中密度层化很明显。原因是，下层由大西洋流来的暖水盐度大，因而密度大，在下层；

上层由于诸多河水的流水，盐度小，密度小，水轻，因而在上层。可想而知，这种层化阻挡了下层大西洋暖流的上升。

74. 复杂的海洋家族成员 ——海、内海、海湾、海峡

谈到海，它比洋小，一般靠近陆地。形状各异、用途不一、种类繁多。全世界大约有 60 多个。从广义上来讲，内海、海湾、海峡等等均属此范畴。

所谓内海，是指四周几乎均被陆地包围，只有一个或几个海峡与外相通。如中国的渤海，可谓典型的内海，它通过渤海海峡与黄海相通。世界上最大的内海大约要算扼欧、亚、非海上交通要冲、与 18 个国家和地区接壤的地中海了。它通过苏伊士运河与红海相通，故而成为西欧、北欧国家通往印度洋的最近的路。在西面，地中海通过直布罗陀海峡与大西洋相通。又如黑海、红海，均属内海。至于海湾，是介于海和洋之间的类型，它的出口比较开阔。如太平洋东北角的阿拉斯加湾、印度洋的孟加拉湾、北美的哈得逊湾。世界上最大的海湾要算位于南、北美之间的墨西哥湾了，海岸线长达 990 公里。还有一些比湾大、比洋小的海，海面更为开阔，如印度洋西北的阿拉伯海，中国的南海，澳大利亚与新西兰之间的塔斯曼海，以及亚美之间的白令海。白令海是以丹麦—俄国航海家白令名字命名的。白令为什么具有丹麦和俄国双重国籍？想必是因为白令出生于丹麦，后为俄国航海效劳之故。白令出身贫困，早年即开始了海上生活。于 1703 年应征参加了俄国海军。当时的国王彼得大帝要他把新征服的西伯利亚绘成地图并要查清西伯利亚是否与美洲相连。他奉命 3 次远征。1725 年他横穿西伯利亚到达远东的堪察加半岛，并第一次把它画在地图上。第二次，于 1728 年他从堪察加半岛出发向北到达北极冰区，未见到土地，因而他断定西伯利亚并不与美洲相连。从堪察加半岛向北方去的海路，就是现在的白令海峡。第三次，他再次从堪察加半岛出发，探查了其附近的海域，即现在的白令海。后来白令患坏血病死于阿留申群岛中的一个小岛上，谓之白令岛。白令海峡、白令海、白令岛，这均是为了纪念这位第一个弄清西伯利亚及其东部沿海地理情况的航海家白令。

所谓海峡，则是指连接两个海或洋的狭海，也称海道。如直布罗陀海峡，将地中海和大西洋沟通。如麦哲伦海峡将太平洋和大西洋连接。海峡，在全世界主要的约有 40 个。其中占很重要位置的是位于马来半岛和大洋洲、印度洋和太平洋的十字路口上的马六甲海峡。它是海运的咽喉要道。然而世界上最长的海峡是非洲东南部和马达加斯加岛之间的莫桑比克海峡。它比马六甲海峡还要长 670 公里。马六甲海域，在郑和下西洋时期已经到达，称之为“麻刺加”，发音颇近似。

不少海是以生活于其中海洋生物来命名的。如马尾藻海、珊瑚海。马尾藻，顾名思义是一种植物，而珊瑚则是海洋动物了。马尾藻海是一个海中之海，位于北大西洋之内。这个海由于生长着黄褐色的马尾藻而明显区别于它周围的大西洋蓝色的海水。此海呈横椭圆形。之所以有马尾藻海这种特殊特征，按动力学分析，与马尾藻海的上层形成一个闭合的环流有关。不知为什么马尾藻海对欧洲鳗和美洲鳗有那么大的吸引力，特别是欧洲鳗要穿越 8000 公里的路程到马尾藻海水下约 500 米处产卵。珊瑚海，在澳大利亚的东北部，是世界上最大的海，著名的海上乐园——大堡礁就在这里。它地处热带，常

年温暖，海水也洁净，透明度高，极利于珊瑚虫的生长。说珊瑚海大，它比世界上最小的内海马尔马拉海大 435 倍。这个小海在亚洲和欧洲中间。海中最大的岛为马尔马拉岛，盛产大理石。马尔马拉即大理石之岛，马尔马拉海也因之得名。

海洋的另一些成员，如大陆架、海岭、海沟、海底火山等，已在前面海底地貌中作过介绍，至于潮汐、海浪、海流、风暴潮、海啸等，留在海洋的运动中予以描述。

75. 太平洋的西邻居 ——得天独厚的海洋大国之一——中国

海洋与陆地的邻界线称为海岸线，全世界长达 70 多万公里。沿海有 100 多个国家，中国是一个得天独厚的国家，早在几千年前即兴渔盐之利、行舟楫之便了，作为古航海帝国，开辟了海上丝绸之路，发明了指南针，有古代最先进的造船业和最繁荣的航海业，曾开世界大航海时代的先河。中国有着悠久的海洋开发史和辉煌的海洋科学和文化成就。

中国辽阔的边缘海与太平洋相连，海岸线长达 18000 多公里，北起中朝交界的鸭绿江口，南至中越交界的北仑河口。6500 多个大小岛屿，像颗颗珍珠镶嵌在万里海疆。大陆沿海有 4 个海，自北而南已护着整个中国的东部（包括东北、华南）陆岸线。闻名于世的内海——渤海，在 4 个海中它最小，中国海上第一座石油钻井从这里临海架起。向南依次为黄海、东海，两海紧紧相邻然而却“泾渭分明”。黄海是中国对虾繁衍生息的乐园。东海则以万顷碧波直接通向太平洋，闻名于世的舟山渔场，在这里隔台湾海峡与我国第一大岛台湾相望。南海，被称为世界第三大海，它接近赤道，椰林婆娑，岛礁密布，是一派美丽的热带风光。

在中国从北到南的海岸线上，河湾繁多、河汊纵横，众多的港口迎海而建，迄今已有 20 余个。渤海之滨的天津，早在明朝即是我国的水津要口，它扼守着我国的北大门。秀丽多姿的青岛，以它那欧、美、日的建筑艺术风格，独领风骚，它像一颗明珠镶嵌在胶州湾畔，是中国著名的海洋城、文化城，世界著名旅游胜地。闻名于世的中国科学院海洋研究所、青岛海洋大学，就坐落在这里的汇泉湾畔。中国第一个海洋博物馆和第一个人工海洋吸引着广大青少年和八方游客。不夜城上海，是世界名港，它位于我国南北海岸线中部，连接着五大洲、四大洋。雄伟的黄埔跨海大桥正在通向上海新的繁荣时代。广州，早在唐朝时就已建港，它是我国通向世界的最大“窗口”；它也肩负着把守我国南大门的神圣使命，有着悠久而光荣的民族斗争史。港口的后起之秀，有现代化建设速度较快的大连港，其所在地大连市是我国造船工业的基地，远洋船员的摇篮——大连海运学院就在这里。它与 100 多个国家和地区建立了文化和贸易联系。秦皇岛港，目前是世界上最大的煤炭输出口岸。湛江港为新兴的石油城——湛江的建设而繁忙。厦门港、宁波港、石臼港，均以最快的建设速度以适应国家发展的需要。真可谓深深一线穿南北，形成一条中国最长的“无轨铁道”，国内外的巨轮大舶在其中穿梭往来。

中国纵跨温、亚热带，接近热带，更有太平洋的物润和调节，生存的自然环境尤为优越。辽阔的近海海域，蕴藏着丰富的生物资源、矿产资源、水化学资源和潮汐能源，使我们祖祖辈辈赖以生存。20 亿亩滩涂上，青虾逐波，

锦鳞戏水，贝类繁盛，藻菜飘曳。水产生在牧化的宏伟目标下使沿海居民忙于耕波耘浪；保护海洋、研究海洋、开发海洋和利用海洋，正在形成全民族意识和行动。可以预示，中国这个海洋大国的下一个全盛时期就要到来，海洋大国将再现辉煌！

76．神奇的海洋运动（一）

——海洋的呼吸——潮汐

海洋是一个运动着的巨大水体，它不但运动，而且形式也多种多样。有明显的、有暗藏的、有温和的、有惊心动魄的、有造成毁灭的，也有可以被利用和造福人类的。潮汐就是海洋运动中最重要的一种，也是最普遍的一种。

沿海居民最熟悉的海洋运动就是潮汐运动。潮汐运动是一种温文尔雅的运动。如果你不仔细观察或不具备潮汐知识，一般是不易发现的。海面按时上涨又按时下落，这一涨一落好像海洋在有节奏地“呼吸”。古人把发生在早上的高潮叫“潮”，发生在晚上的高潮叫“汐”，合起来称谓便叫潮汐。潮汐是怎样形成的呢？古阿拉伯人曾发现红海及阿拉伯海有明显的有规则运动，就认为这是由于海水吸了太阳热产生膨胀所造成的，因为该海域所处地区有如火焰般的酷热。这种朴素的认识不无道理。在公元初的东汉时期，我国唯物论者王充就作出了“潮之兴也，随日盛衰”的科学结论。17世纪，牛顿的“万有引力”学说出现之后，把对潮汐的研究向前推进了一步。牛顿是第一个把潮汐作为力学研究的人。他的研究表明，潮汐的发生主要是由天体引力造成的，而天体中主要是月亮，其次是太阳。之所以说引潮力主要是来自月球，是因为月球对地球的引力比太阳的引力大两倍多。沿海的居民每年都有在阴历八月十五日前后“赶大潮”的习惯，每到这个时期，海水大起大落。到高潮时，海水超出平日的惯例，越过海堤甚至马路，侵犯到城镇机关大门内；在低潮时，海水则将海岸远远甩在后边，裸露出大面积海滩，即平时总浸在水中的海滩。海滩上繁生着大量生物，如蛤子、蛏子、牡蛎等，居民们争相赶海，此时是最丰收的季节。此时海洋之所以形成一年中的最大潮汐现象，是因为此时太阳、月亮和地球同处在一条直线上，月亮转到了距地球最近的位置，引潮力也就达到最大值。月球的引潮力为太阳的两倍，所以可以说引潮力主要是月亮形成的。

潮汐的大小和性质是随着海洋在各地的位置、地形和深浅的不同而变化的。关于潮汐的大小，在大洋处，潮汐现象不明显；在闭塞的海湾，如黑海，几乎没有潮汐现象。受地形的影响，潮汐有时非常大，如在狭窄的海峡，潮汐能掀起漩涡；而在地势陡峭之处，潮汐最大能达十几米。位于加拿大和美国之间的芬地湾潮汐，其平均振幅为14.5m，最高达18m。我国杭州附近的钱塘江海潮，最高也在7—8m，自古以来不少诗人以它为题材赞咏祖国的美好河山。

潮汐还以它运动规则的不同分半日潮、全日潮和长周期潮等几种。掌握潮汐运动的规律对海上运输、船舶入港、渔业生产以及军事等意义非常重大。

77．神奇的海洋运动（二）

——海洋花环的编织者——海浪

海浪，亦称波浪，一般人都能认识它。海浪一般是由风力掀起的。为此，海浪的状况取决于风速、风持续的时间、风作用的远近，以及水深。当微风泛起，海面会波光粼粼、碧波荡漾，一派诗情画意，令人赏心悦目。大风吹过海面，海浪随着海流一次次地连续冲向岸边，浪花舔吻着金色的沙滩，便形成一串串白色的花环。狂风大作，便会巨浪冲天，或如玉山刺空，巍峨壮观；或形成一道白色浪墙，汹涌澎湃，急撞滩礁，顿时浪花四溅，如喷珠撒玉，晶莹璀璨。此谓惊涛骇浪。还有不见浪高，任波浪从产生的地方传播到千百里以外风力很弱的地方，这便是涌浪。以上均为风波，只是程度有所不同。

波浪的形成，还有其他因素。引潮力产生的波浪叫潮波。如每年夏历八月十五日前后的波浪，可谓典型的潮力波。因为此时月亮距地球最近，吸引力也最大，因而形成的波浪比其他月份的十五前后的波浪大。海中地震和火山爆发所产生的波浪叫地震波。

海浪并不总是诗情画意。无风三尺浪，狂风掀巨浪。有时超大型海浪不一定是风力酿成的。如 1958 年，在阿拉斯加的李杜牙湾山崩引起的海浪高达 520 米，比纽约最高的摩天大厦还高 100 多米，可谓世界海浪之最！

78．神奇的海洋运动（三）

——海中“河流”

洋流、湾流、暖流（黑潮）、寒流

所谓洋流，也称海流。它是海洋中各种流的总称，如湾流、赤道流等等。洋流，像海浪一样，其主要驱动力是风，即风生海流。也有因海水中所含物质的多少不同而造成密度不同，会产生不同的海流。还有因温度不同（暖、寒）而造成的海流，等等。海洋中这种流被形象地称为“河流”。

人们可能难以相信海洋中也有“河流”——海流。这是由于海流是在海洋内部进行，不易被人们所察觉的缘故，因为海流长年累月沿着比较固定的线路暗暗地在海里流动着。有各种不同的海流。如潮汐流是由潮汐运动形成的，最大流速每小时约达 20 公里。大洋海流一般则是圆型环流，首尾衔接，循环不息，所以又称大洋环流，这是海洋中最大的“河流”。大洋环流中还有暖流和寒流。大洋暖流是海水自赤道向两极流动，比周围海水温暖；寒流则完全相反。北、南美洲之间的墨西哥暖流（又称湾流），无论在水量上还是在规模上都是最大的，因而被称为世界上最大的暖流。墨西哥湾流早在 16 世纪已被发现，但直到 18 世纪末由美国的一位从事邮政工作的富兰克林凭借水温分布肯定了湾流的走向，并于 1786 年第一次画出了这个“海中河流”的图。富兰克林是如何发现这个湾流的呢？富兰克林是美国历史上一位著名的科学家和政治家。他曾发明避雷针，参加过起草美国《独立宣言》和《美国宪法》。但他对航海的贡献却是在 200 年以后的事。1978 年 9 月，美国科学家从法国国立巴黎图书馆偶然发现富兰克林所绘制的墨西哥湾暖流的两份副本。后来，有人在英国伦敦图书馆也发现了其副本。富兰克林是如何绘制出这份副图的呢？富兰克林从小就热爱海洋，但由于父亲怕失去他而千方百计地阻止他实现航海的愿望。先是让他当了印刷工。后由于富兰克林事业上的成功，于 1737 年被委任为费城邮电局的局长。在检查邮件海上运输时，他发现邮船从北美去伦敦航行时间短，而从伦敦返回时，同样的路程却多了两个

星期的时间。这是什么缘故？于是富兰克林查阅航海日志，走访有经验的船长，发现这一股海流——墨西哥湾暖流造成的。去伦敦时是顺流而下，回来则是逆流而上，所以造成了时间上的差别。富兰克林还亲自航海进行考察验证。于是在 1770 年绘制出了墨西哥湾暖流图。时年他已 64 岁。

现在的研究表明，墨西哥湾暖流，来自于北大西洋中巨大的北赤道流和南赤道流的暖水。不但水量大而且流动很快，它每秒钟输出的水量，为密西西比河流量的 1000 倍。墨西哥湾暖流，使墨西哥湾形成一大渔场。

太平洋也有一暖流，就是黑潮暖流，它是世界第二大暖流。由于海水密度大，水面呈蓝黑色，与它所流经海域的其他水体有明显的不同，故有黑潮暖流之称。这支暖流自北赤道流出，一路经过菲律宾、我国东部、朝鲜、日本，最终到达加拿大西海岸。这支暖流几乎经过了我国大部沿岸，因而深受它的恩惠，对气候的调节、重大渔场的形成、港口的通航都起了良好的作用。如闻名于世的舟山渔场就是处在东海的这股暖流中。另外，秦皇岛地处我国北方，但由于受暖流影响，为终年不冻港。

赤道流，是暖流，它分别从赤道的两侧向南北方向流去。寒流，即来自极地的海流，从两极向赤道方向流去。

79．神奇的海洋运动（四） ——飓风激怒海洋——风暴潮

风暴潮，顾名思义是由强大的风暴掀起的恶浪。这种风暴则是由海洋上的热带和温带气旋等的活动形成的。风暴潮的大小不仅取决于飓风、暴风的速度和走向等，海底的地势和海岸的形状也是影响的重要因素。风暴潮在北半球最容易骚扰袭击的地方是墨西哥湾，美国大西洋沿岸，印度洋的孟加拉湾。中国人感受最深的是，它常携伴着台风从我国东南沿岸登陆。海南岛、广东、福建常受其害。最闻名的风暴潮要算大西洋西海岸靠近英国的北海风暴潮，它主要是由冬季风暴引起的。

80．神奇的海洋运动（五） ——海洋的咆哮——地震与火山造成的海啸

当海底发生火山和地壳断裂时，海洋就像一头雄狮一样愤怒狂哮。那时，除浊浪排空，且伴有天崩地裂的震天声响，大有要将整个地球吞没之势，被波及的沿海居民面临灭顶之灾。这就是发生海啸时的简单概括。海啸，是海洋中一种速度最快、传播最远、衰减最小的海浪运动。所以，大海啸在跨越大洋的距离后还会有巨大的破坏性。在自然灾害中，海啸当列第一。

1960 年 5 月，智利附近海底的地壳发生断裂，引起震惊世界的大海啸。海浪以极快的速度奔向岸边，浪头高达 6 米。这次海啸不仅使智利蒙受巨大灾害，而且还以每小时 640 多公里的速度横扫太平洋，把夏威夷岛的建筑物摧毁，甚至冲击到日本，以 4 米高的海浪把日本海边的大渔船“运丸号”抛到码头上，压塌了一幢民房。由火山引起的海啸，还伴随着冲天火舌，又是另一番壮丽景观。

81．庞大的海洋居民

——海洋中的生物

随着地球历史的发展，作为海洋居民的海洋生物的演变与进步，也是地球科学与海洋科学的结合点之一。

海洋是一个色彩缤纷、生意盎然的世界。从波光粼粼的表层到神秘莫测的万丈深渊；从厚冰覆盖的南极大陆到冰山巍巍的北冰洋；从高寒的冰层到高达几百度的海底喷泉，都充满了生命的活力。从微生物、植物到动物，从无脊椎动物到脊椎动物，从资源生物到趣味生物、毒害生物和怪异生物，真是无奇不有，琳琅满目，远比陆地上的丰富得多。海洋是水族的老老家、生物的乐园。海洋中到底有多少生物？都有哪些生物？真是难以计数。根据科学家的调查估算，海洋生物比陆地要多 200 倍，其中海洋微生物约 6 万种；藻类 10 万多种；海洋动物约 16 万余种；鱼类约近两千种，其他还有海兽、海鸟类等等。在本书的海洋生物部份，基本上依从分类学顺序，并结合其主要特征，分别介绍给读者们。

82．海洋中最古老的活生物之一

——细菌

海洋生物中，微生物别看它们小得人眼看不见，但却是一支数以万计、亿计的庞大生力军。假若海洋中没有微生物存在，那么海洋中的一切元素就不能循环。如，微生物将动、植物的尸体分解成供植物可以吸收的营养，植物又是大大小小的海洋动物的食饵，以植物为食的小动物又是大动物的美餐，如此看来，微生物的存在，对于整个海洋生命的活动是多么重要。细菌是微生物中最低等的也是其中的最大的家族。细菌也是迄今人类所发现的最古老的活生物之一。自从它在地球上出现几十亿年以来，一直就是现在的样子，几乎无什么变化。

海洋微生物在海洋中的分布，从水平分布看，离岸越近，数量越多，这是因为越靠近岸食物越丰富。从垂直分布看，数量最多的不是在海面，而是在 5～20 米的水层中；20～25 米以下，数量随深度的增加而减少，接近海底数量又有所增加；海底沉积物中，细菌又大量存在，每一克湿沉积物中就有 100 个，并且还大都是厌氧性或兼性厌氧的细菌。什么是厌氧细菌？这要首先从“好气性微生物”谈起。所谓好气性微生物，就是必须在有空气的环境中才生长繁殖的微生物；厌气性微生物，也叫嫌气性微生物，它们必须在无分子氧的环境中才能繁殖生长。如黑海海底的又臭又黑的海泥，就是由于厌氧细菌在那里生存所造成的。

海洋微生物生活能力极强，本领很大。有的耐高温，达摄氏几百度；有的耐高寒，在—18℃下也生活得很好。

83．耐高温和高寒的微生物

——海藻、细菌、真菌

海洋中的生物对温度是如何要求的呢？在这方面科学家也有新发现。我们知道，陆地上的生物，如果被置于 100℃以上，几乎都不能生存。而海洋中有的生物其生存环境都大大超过了这个温度。70 年代末，美国科学家进行

深海考察，他们在 400 高温的海底热泉喷口附近，惊异地发现生机勃勃的生物群，有各种形状的鱼、白蟹、大蛤、水母、管栖蠕虫等。特别是那些管栖蠕虫的触手长达 4~5 米，很像一根根红色、白色的塑料软管，在海水中不停地摇曳摆动，婀娜多姿、艳丽动人，给黑暗的海底世界增添着生气。就是这美丽的管栖蠕虫，其口周内生长着大量的细菌，两者和平共处，互为生存。这些生物群，堪称目前世界上最耐高温的“居民”。这小小的细菌为何能具如此耐高温的能力，真是吸引人的研究课题。

提到南、北两极的温度是令人“不寒而栗的”。那些大型动物如企鹅、海豹、海象、巨鲸等，均靠了厚厚的皮下脂肪来御寒。一些小生物能否在那里生存呢？在南、北极的雪原和冰川的表面，常又看到许多红色的斑点，它们在洁白的冰雪映衬下，显得格外鲜艳夺目。它们是什么？经过科学家的观察研究得知，这些美丽的斑点是一些聚集的微生物，是它们给冰雪染上了色彩。这些微生物有海藻、真菌和细菌。正像春季是一年四季中人类生活的最美好、最舒适的时期一样，0~2 则是这些生物生存最适应的温度，如果超过 10，它们便不能生长，从这一点来讲，科学家称它们为嗜冷微生物，这些小生物与雪团结合，生活在冰雪界面和冰层的下表层，特别是冰层的含盐空穴中是它们更为活跃的天地。

84. 旖旎飞舞的海火 ——细菌发光

提到生物发光，我们首先想到的便是萤火虫。夜晚，随着萤火虫的飞行，其荧荧之光也跟着在夜空中跳荡，于是好奇的儿童紧紧追逐，非要抓住它看个究竟不可。在自然界，很多生物都发光，知道吗，连人体也发光，是一种淡蓝色的光。那为什么看不见呢？原因是人体发光实在太微弱了，所以不能看见。这种太微弱的发光，被叫作超微发光。要说生物发光，最好的还是海洋生物。到底有多少海洋生物能发光，据了解，除爬行类、哺乳类外，其他各大类动物中约有 800 种能够发光。特别是鱼类，是发光生物最多的，约有 300 种，它们的发光器官比其他发光生物的都复杂和完善。约有 44% 的深海鱼类都发光。关于海洋微生物的发光，仅细菌就有 70 多种，而陆地上只有一种。

海洋发光细菌，有的寄生或腐生在鱼虾身体内及其尸体上，因而使鱼虾身体和海底也发光。有的生活在海水中，其发光可以构成蔚为壮观的场面，被叫作“海火”。这种发光细菌，最喜欢生活于 18~25 的海水中，因而多在热带和温带的海域中见到海火。然而，在冬季甚至海冰中也见到过，足见细菌发光的威力之大。

人们之所以称细菌发光为“海火”，是当成千上万的发光细菌聚集在夜空下，放射出光芒时，海面就像着火一样。特别当海风骤起时，发光随着海面的层层浪花起伏漂荡，远远看上去，犹如一条火舌在海上飞舞。忽而，火舌四起，又构成光芒四射的各种艳丽图案，真是美妙极了，简直就像节日的焰火一般，很令人陶醉。海火对渔业和军事是很重要的。

细菌发光的高效率已得到科学家的证实。1900 年，法国物理学家曾用发光细菌做成细菌灯，照亮了巴黎国际博览会光学宫的大厅，使人们大开眼界。细菌是怎样发光的呢？科学家已弄明白萤火虫和发光细菌都是由体内的发光

器官来发光的，但是还要有萤光素和荧光酶这两种物质和氧。前两种物质是生物体内产生的，如果仅有这两种物质，没有氧气，生物也是不会发光的。300 年前，一位叫罗伯特·波义耳的英国科学家作过一个试验。他把一个瓶子布满细菌，其所发的光竟能照亮整个房间。可是当他抽掉瓶内空气时，细菌停止发光；再送气，细菌又开始发光。以后，人们才弄明白这是氧气在起作用。弄清生物发光的机理，人们从中便得到运用生物光资源的启示。

85．既能吞食石油污染物又能 合成石油的小生物

——放线菌

海上石油开采业日益兴隆，但随之而来的是，环境污染也日益严重。海洋污染后，海洋动植物就会遭受毁灭并殃及人类。我们看到，每当油轮触礁漏油后，由于厚厚的油层隔绝空气而使鱼类中毒死亡；海鸟由于粘粘的油块粘住羽毛而沉于海底；贝类由于内含石油而不能食用；浴场污染，而使游泳者弄一身油污，等等。如何有效地治理这种污染？现在人们越来越倾向运用生物学的方法。微生物首当其冲，充当了“清洁工”的角色。如酵母菌、细菌，“消化”能力很强，它们以石油中的碳作为自己的养料，进行生长；又由于它们繁殖很快，所以“吃”石油的能力很惊人，因而可有效地预防和消除石油污染。目前，已把这种技术成功地运用于船舱废水的处理上。

另一种细菌却能被用来合成石油。加拿大的海洋科学家，从地下盐水层中分离出两种细菌。一种为红色，叫红菌；一种呈透明状，叫晶状菌。这两种菌不仅能生存于高浓度盐水中，而且还能将空气中的二氧化碳吸收后，在体内合成碳氢化合物排出。这两种细菌分裂速度非常快，因此可以用来合成石油。若将这两种细菌放养在海湾里，每年可产生数量可观的石油。

86．地球上最原始的微型藻群 ——蓝藻

蓝藻，一般为蓝绿色，是单细胞植物，属微型藻类。它是藻类中最原始的一群，藻体内没有固定的细胞核。靠了体内的假液泡在水中浮游生活。蓝藻和细菌是地球上出现最早的细胞生物，从距今约 7 亿年一直到 32 亿年之间，发现的植物化石，主要是蓝藻和细菌，并且古蓝藻与现在的形态和结构基本相似，为此，有人把这个时代称作蓝藻和细菌的时代。蓝藻由于演化很慢，所以保留了祖先的特性。蓝藻起源时，地球温度很高，所以，现在的蓝藻依然能耐干旱，并能比其他藻类更耐高温。在盛夏季节，蓝藻繁殖很快，在 40~50℃ 条件下依然旺盛生长。由于蓝藻大量繁殖，耗去大量氧气，从而使鱼类中毒死亡。蓝藻中，海蕨菜、螺旋藻可以食用，非洲乍得国已有数百年的蓝藻的食用史。

蓝藻类中的钝顶螺旋藻，在光学显微镜下观察，一丝丝弯弯曲曲的呈螺旋状，所以叫它螺旋藻是很恰如其分的。只有当它与许多细胞粘连在一起形成绿茸茸的长线状时，肉眼才能看到它。螺旋藻的蛋白质含量高达 50% 左右，高于其他海藻。我国海洋生物学家很想引进并把它养殖在海水环境中，以期开发一种新的养殖品种。但这种藻原是生长在淡水湖泊中的，并需要较

高的碱性培养环境，而海水一般呈弱碱性。于是 80 年代中期，科学家从墨西哥引进原种在南海开始了海水驯化试验。与此同时，我国在青岛也进行着室内人工养殖试验，终于取得成功。现在科学家们已把为这种藻所研制的人工配合饵料用于海珍品鲍等的养殖中，获得了中国科学院的奖励。现在北方的海洋生物学家们，正在探索这种藻在北方越冬问题的研究。如果这个问题解决，那么这种藻的养殖盛况将与海带、紫菜并驾齐驱！届时人们将会像现在食用海带、紫菜一样普遍。以螺旋藻生产的糕点、饮料等等，也会琳琅满目。

87．富含硅钙的藻类 ——甲藻、金藻、硅藻和黄藻

甲藻、金藻、硅藻、黄藻，约有 6000 种，一般藻体呈黄绿色或黄棕色。这些藻类，体壳一般均粘含硅质和钙质，所以体色基本为黄色。藻体内含油和脂肪，所以营浮游生活。甲藻和硅藻是浮游植物的主要成员，是海洋动物直接和间接的饵料，由于它们太小不易被人们发现，因而是海洋牧场中的无名英雄。甲藻是藻类植物中唯一能发光的类群，在国防、航道及渔业上有很大的实用价值。如在渔业上，由于它的发光，引诱了趋光性鱼群，渔民只要看见海火，即可判断有鱼群存在，所以它是渔民的很好的“情报员”。这些藻类还有危害的一面。在温度适宜和大量有机质，如磷、氮等存在情况下，它们会繁殖很快，由于开花使水面呈现红色，这叫赤潮。赤潮形成时，水中大量缺氧，所以鱼类也大批死亡。特别是甲藻，其中不少种类尚有剧毒。

这些藻类，由于含硅质、钙质，沉积海底后便形成化石和某种矿物，因而具有地层鉴定和石油勘探的重要价值。在海底形成石油就是因为这些藻本身含有油或脂肪。特别是硅藻，死亡藻体大量沉积海底，经过旷日持久的变化，形成硅藻土矿，其中 80% 以上的为二氧化硅。硅藻土是现代工业的重要原料，可用作硫酸工业的催化剂载体，建筑磨光，工业用过滤剂和吸附剂，保温材料，作造纸、橡胶、化妆品、火漆和涂料的填充剂。地质古生物学方面，还利用硅藻化石作为研究地史、古地理、古气候的材料。我国硅藻土资源比较丰富，在山东、浙江、陕西、海南岛均有蕴藏。

88．温室效应的缓冲阀 ——海洋生物泵——浮游植物

2040 年夏天，大地像个蒸笼，闷热得叫人透不过气来。人们纷纷奔向清凉世界——海水浴场。然而，当他们来到海滨时却被眼前的场面惊得目瞪口呆：昔日金黄色的沙滩不见了，更衣室也浸泡在海水中……此后的一段日子里，报纸上、电视里又传来一些令人震惊的消息：某某城市被海水倒灌，某某国家连遭暴雨和洪水袭击；某某地区热浪逼人，风沙肆虐……

看到这儿，您也许以为自己是在读一篇幻想小说。然而，上述场景绝非虚构，而是全球变化结果的一个缩影。科学家预言，如果人类的活动不加控制的话，最终将给自身的生存与发展带来灾难。从近百年来的资料预测，地球表面温度将不断升高。到下个世纪中期，中、低纬度的平均温度将升高 2 ~ 4℃，极地区可能升高 4 ~ 8℃。由此将导致极地冰雪融化，海平面上升，某些沿海地区被淹没，部分城市将消失；气候也将更加恶劣，某些多雨地区将

面临更多的洪水，而某些干燥地区将更趋沙漠化。所有这一切，均与温室效应加剧有关，温室效应加剧的主要原因是大气 CO_2 含量的增多，而后者主要是人类活动、特别是工农业生产中石化燃料的大量燃烧造成的。如此看来，生产发展与生存环境之间存在着不可避免的矛盾。人类要进步就必须开发资源发展生产，而保护好环境才能保证长久、美好的未来。人们不禁要问：如何才能做到两全其美呢？

人类发展的文明史告诉我们，人类只有正确认识事物的发展规律，按照自然法则办事，才能与世界融为一体并顺利发展。温室效应的有关问题也不例外，要想正确处理上述矛盾，首先必须正确认识客观规律。近些年来，在国际有关组织的倡导和推动之下，开展了一系列有关全球变化的研究，获得了大量的自然知识。其中一个最重要的方面就是碳循环，而碳循环的一个很关键的环节就在于海洋。

我们知道，海洋占地球表面积的 71% 之多。它是地球上最大的碳库，海水中的碳是大气中总量的 50 倍。海洋不仅是最大的碳贮库，同时也是最大的碳“陷阱”。根据物质不灭定律，进入到大气中的 CO_2 只有通过各种途径的再固定，才能使之不致无限制地增加下去。读者首先想到的固碳途径自然就是森林、庄稼等陆地植被。不错，它们的确是高效的“固碳机”。然而你千万别忽略了另一个看不见的“固碳机”——海洋浮游植物。事实上，后者具有更大的容纳能力。研究表明，海洋浮游植物固碳的总量甚至超过了燃烧石化燃料向大气中排放的 CO_2 的量。这样看来，温室效应不就解决了吗？遗憾的是，海洋浮游植物所固定的碳的绝大部分经过一系列的理化过程又再次形成 CO_2 ，重新返回到大气中，只有少部分进入了海洋“碳陷阱”——深海甚至沉积物中。后者才是海洋的净固碳，正是这一部分对大气 CO_2 含量起到了调节作用。

海洋净固碳的实现需要以下诸过程：浮游植物光合作用吸收 CO_2 形成自身有机碳，将碳由气态转化为固态，即固碳。浮游植物颗粒较小，比重几乎与海水相等，沉降作用不明显。当它们被较大的浮游动物所食并沿着食物链逐级传递时，不断形成较大的颗粒（如粪便、蜕皮、尸体等）并发生沉降。沉降过程中一部分颗粒物质进一步被分解和转化并最后形成 CO_2 ，只有一小部分颗粒能够沉到深海甚至海底。它们在深海或沉积物中的分解极其缓慢，从而长期与大气 CO_2 隔绝。这种由生产、消费、传递、并导致沉降的生物学过程构成的碳从无机到有机、从表层到底层的传递和转移，就好像生物是一个泵，将碳从大气中转移到了海洋中，因而称之为海洋生物泵。

可以说，海洋对大气 CO_2 、进而温室效应的调节，取决于海洋生物泵的运转。据估计，海洋生物泵吸收了人类向大气中释放 CO_2 的一半之多。由于各大洋区的生产力都非常低，看来海洋生物泵的潜力仍非常之大，采取一定的合理措施将会加速这个泵的运转。例如，大多数海区的初级生产力都受氮营养盐的限制，而南大洋则受铁营养盐的限制。有人曾设想向南大洋施放有限的铁肥，并估计了由此可能产生的作用。目前，有关科学家正在进行这方面的考察和探讨，如果能够采取一些切实可行的措施，对海洋生物泵的运转加以促进，则既可提供更多的生物资源，又可缓解温室效应的加剧。否则，本文开头的描述就真正成为科幻影片的镜头了。不过最后还应该请大家记住：我们对海洋生物泵的控制是非常有限的，最根本的措施还在于减少大气

的污染源，只有把握了每一个环节才能保证我们赖以生存的地球有一个美好的环境。

89．对地质学有重要贡献的原生动物 ——有孔虫

无脊椎动物是海洋动物中最庞大的一个世家。这类动物最明显的特点是，没有脊柱，同时它的心脏长在背上，而神经却长在腹面。无脊椎动物中，最低等的要算原生动物了。是动物界最原始的一门。原生动物中的小型者的典型是有孔虫。

有孔虫具有石灰质的外壳，有的学者认为这是它的外骨骼。在有孔虫壳壁上有许多小孔，从这些小孔可以伸出丝状的伪足以捕捉食物。有孔虫的名字便由此而产生。有孔虫，别看它很小，却非常有本领，它既可以漂浮于海水中，也可以栖息于海底。死后，它的遗壳往往堆积成石灰质岩石。有孔虫的主要价值在于它的化石，可以用来鉴定地质历史上地层的时代，对于石油地质研究上也特别重要。在中国近海有孔虫共约有 1000 多种。我国科学家在这有孔虫方面的研究，居世界先进的水平。

90．风暴预测仪——水母 ——仿生学的一个实例

腔肠动物是稍高等的一大类动物。这种动物都有一个内腔，也就是腔肠，水和食饵等可以通过顶端的大孔——口进入腔肠内。口的周围环生着数目不等的触手。体躯和触手上有一种特殊的刺细胞，放射毒素，用以捕食和袭击敌害。水母类是腔肠动物中水面浮游的一种，其形如伞，一般为无色透明，有的呈淡红色、淡蓝色。由于形状各异、体色淡雅，因而名字也很雅致受听。如海月水母、霞水母等等。不少水母也能形成海火，令人赞叹不已。在研究水母发光时，科学家有趣地发现，一种栉水母不仅在受到日光或电光照射后停止发光，而且受到月光照射后也停止发光。如要它再发光，那么它受到多长时间的日照，也要有多长时间的不光照才可以恢复。

水母有一个透明而圆大的躯体，其长长的触手宛如绸带，给人一种飘逸而文静的观感。世界上最大的水母是生活于北方冷水水域的霞水母，它那圆胖的身躯直径可达两米，伸展开的触手竟超过 30m。但最常见的是海月水母。它那圆伞形的钟状体浮在海面，犹如皓月坠入海中，因而有“海月”美名。水母美丽，但几乎所有种类都有毒。其中的黄海峰水母是毒性最大的一种。当人被它的触手蜇伤后，一般在 5 分钟内就死亡。澳大利亚吉亚姆斯·库克大学的罗伯特·哈威克博士，经用 40 种物质对海洋中的剧毒水母进行解毒试验后，发现用厨房内的食醋擦洗被蜇部位，即可解除病痛。这种简单而有效的治水母蜇伤的方法，给各滨海居民和旅游者带来福音。

几乎所有水母都有毒，但海蜇却对人构不成危害——不蜇人。多么不公道的，蜇人的水母往往有一个美丽动听的名字，不蜇人的却起名叫“海蜇”。海蜇是深受喜爱的一种海产品，鲜吃、干吃均清脆爽口。捕获后以明矾和盐渍，压榨除去水分；洗净再以盐渍，即是干品。海蜇的伞部称为海蜇皮，口腕部称为蜇头。海蜇在我国南北方均产，尤以舟山群岛渔场最为丰富。为满

足人们日益增长的需要，山东于 1984 年进行海蜇春季人工育苗试验成功，这为大面积生产海蜇提供了可能。水母具有一种能听到次声波的本领，因此它能预先知道风暴潮的到来而躲避到安全水域。于是人们根据它的构造机制仿造出了“水母式风暴预测仪”，从而可以提前 15 个小时知道风暴的到来。

有一种体躯很像僧人帽子的水母，人们诙谐地称它为“僧帽水母”。还有一种叫帆水母。这两种水母都具有特殊的气室和充气浮囊。这两种器官能使水母的身体漂浮在水面上，还可以起到风帆的作用。水母借助风力漂流在海面上，不需要消耗任何体力。

通过研究海洋生物的构造和机理，同时给科学家一个运用它们以很好的启迪，于是出现了海洋仿生学，这进一步推动了研究、开发和运用海洋资源事业的发展。对水母风帆原理的研究，使海洋科学家设计出了一种能自动漂浮于海洋水面的浮标，从而为水文气象的测定提供了极大方便，也就是说，可以免去人们海上冒险观测的劳动了。从浮标受到启发，于是科学家又准备设计自浮式海上气象站，这无疑是研究水文物理学技术手段上的一大进步。

91．澳洲大堡礁的制造者

——珊瑚

腔肠动物中最美丽的大约要算珊瑚了。它们一般生活在热带、亚热带透明度大的浅海海底岩礁上。珊瑚虫能分泌石灰质的外骨骼。在父辈“寿终正寝”后，其子子孙孙在祖辈骨坟上，分泌繁衍不止，即形成珊瑚礁、珊瑚岛，无怪乎有“建筑大师”之称。我国南海沿岸地处亚热带，水下珊瑚有的似鲜花盛开，色彩斑斓；有的似树如山，蔚为奇观。更有海草相伴，鱼儿穿梭其间，构成美丽的水下公园。澳大利亚的海底大堡礁是闻名于世的“海上公园”，人们可乘着游船潜入水中，领略珊瑚世界的奇异风光。珊瑚的用途，主要在于它的艺术价值：产于深海的硬珊瑚，可以雕琢成戒指、项链；浅海的软珊瑚则用来观赏。我国台湾产的桃色珊瑚，无论储量还是产量，在世界上均名列前茅。

92．比恐龙还要早的节肢动物

——鲎

所谓节肢动物，是指附肢分节的一类动物，如蜈蚣、虾、蟹、蜘蛛等。节肢动物也是动物界种类最多的动物之一。海洋中的剑尾类，身体后端都拖着一条长尾巴，无怪乎称它为剑尾动物。你看鲎（hòu，读猴音）就是如此。鲎的大大的头胸甲，很像一个马蹄形，因而有的又叫它马蹄蟹。它并不是蟹，而与蜘蛛、蝎子有着较近的血缘关系。在海洋动物中，鲎一直是默默无闻，少有人知的。但它早在 4 亿年前就生活在海洋中了。它是海洋中最古老的居民，比恐龙还要早。在漫长的进化过程中，它几乎没有一点改变，这是很难得的，因而科学家称它为“活化石”。鲎还有一个“海底鸳鸯”的美名，这是因为雌雄像鸳鸯一样形影不离，在爱情上忠贞不渝。

然而，科学家对鲎最感兴趣的是它的眼睛。鲎有 4 只眼睛，脑前方有两只小眼，是鲎感受紫外光的视觉器官。在头的两侧还各有一只奇特的大眼睛，每只约由 1000 个小眼组成，这就是复眼。鲎的复眼比蜜蜂、苍蝇等都小得多。由于鲎个头大，便于研究，通过研究发现，鲎的眼睛在海底观察东西时同其

他生物以至人类一样，都有一个侧抑制作用。侧抑制的作用就是略去物体的细部，突出边框，大大加强目标的清晰度，使动物更好地看清外界的景象。正是运用这个原理，人们研制出萤眼电子模型，用来处理航空摄影照片和月球照片，以得到清晰的图像。还研制出一种电视摄像机，如果用它来拍摄水下景物，将为研究海洋提供良好的工具。

93．帮助日本打败沙俄海军 的甲壳动物藤壶 ——仿生学研究的又一对象

什么是甲壳动物？这类动物的突出特点是，胸部的体节与头部愈合形成了头胸部，并在头胸部外面长了一层坚硬的外壳，像体内的骨骼长在体外一样起支撑并多了一层保护的作用。你看螃蟹的模样多么典型。不过从生物进化的角度还是从藤壶谈起。

藤壶是海洋中的附着生物的一种。所谓附着，也就是找个地方定居生存。这原无可非议，但是，它的附着令人生厌，甚至可酿成巨大损失。当你漫步在海边，会看到岩礁上到处都有藤壶，它们甚至麇集在一起，以至将岩石覆盖。它们的繁殖力很强，且其幼仔是自由生活，可以到处漂游。当遇到其他大型甲壳动物或海龟，便在其身上定居。当遇到船体，也可在船壁、船底安家，污损船底，从这个角度上，又叫它为污损生物。问题就出在这里。附着大量藤壶的船只，平均每天前进的阻力要增加 0.25—0.50%，从而大降低航船速度。这在军事上是要贻误战机的。1905 年，沙俄波罗的海舰队在日本海大战中几乎全军覆没。其惨败的重要原因就是藤壶的大量附着，使军舰的航速比日舰的航速减慢。正是吸取这个教训，世界各国对海洋附着生物产生浓厚兴趣，开始研究它。一是想法防止藤壶污着，如防污漆；二是了解藤壶为什么能附着那么牢固。科学家终于发现，藤壶在成熟初期能分泌出一种粘接性能高得惊人的粘液，当它固着在船体上，人们想要除掉它，除非把钢屑也铲下来。目前人们正研究这种粘液的化学构成，以便人工合成超级粘合剂，用以替代医学上的手术缝合线和粘接建筑材料等。

94．受航天科学家宠爱的棘皮动物 ——海胆

棘皮动物，以它们身上的棘刺而得名。这类动物在世界上约有 5900 种，全部生活在海洋里。所以，只要说到棘皮动物，就可以断言它们是海洋动物。棘皮动物的成体，以典型的辐射对称型为特点，加之它的特殊的水管系统和发育特征，使它在动物界中独树一帜。这类动物除海参以外，其他大多数的经济价值尚未被认识。它们在海洋生态学上、医学和科学研究上却越来越具重要地位。到了近代，为探索生物发育的原理，海胆、海星便成了科学家的宠儿。如海胆便是首批入选航天的使者。海胆，身体呈球形或心形，它的壳上辐射出许多长长的刺，长达几厘米，足令来犯者望而生畏。在我国沿海发现有 70 种海胆，很遗憾，仅有紫海胆等几种的卵可以食用。

95．毁灭澳大利亚大堡礁的杀手 ——海星

早在 4000 年以前，海星就出现在古希腊的壁画上了，这或许是由于海星

本身所具有的鲜艳的体色而受到古代人们的重视。海星在古壁画上的出现，提供了人类认识海洋的证明。海星一般呈五星状，其背面为湛蓝色，腹部呈金黄色或桔红色。这鲜明的色彩，很吸引着旅游海滨的人们，以能拣到一只海星为快乐。但海星美丽而不可爱，当拣起时，出于保护自己的本能，它很快地散发出一股臭味，不得不使人遗憾地丢掉它。同时，别看海星无齿、无骨，但却是贪得无厌的肉食动物，破坏力极大。它常以强有力的腕和外翻的胃吞食贝类或珊瑚虫。在北美西海岸，豆海星使长期栖息在那里的贻贝荡然无存，因而是贝类养殖的敌害。而在印度—太平洋沿岸，有一种长棘海星专吃珊瑚虫，吃饱喝足之后，美丽的珊瑚群落只剩下一个环状外壳。世界上已有 10% 的珊瑚环礁被海星毁灭了。闻名于世的澳大利亚珊瑚大堡礁由于海星的严重威胁而使人们深感忧虑；不少生活在珊瑚岛上的渔民和军事设施，不知不觉地陷入海底。但是，在痛恨海星的危害之时，科学家们也得到了意外的发现，即是海星具有相当强的再生能力。当它同别的动物互相残杀或搏斗时，即使身躯裂成一半，它也能再复原成为一个完整的海星。这种断肢再生的能力，不得不令人叹服和惊异，这引起科学家的积极的联想；可否从海星身上提取某种物质，用于提高人类的再生能力。这可贵的设想如能实现，将是对人类医学的重要贡献。我们正期待着这一愿望的实现。

96. 海洋中的高等世家

——脊椎动物

所谓脊椎动物，即是动物体内的一块块脊椎骨已连接成一条脊柱，身体已明显区分为头、躯干、尾部，躯干部分多具有成对的胸鳍、腹鳍。与无脊椎动物相反，其中枢神经已由腹部进化至身体的背侧。这一类生物有鱼类、两栖类、爬行生物和哺乳动物。这每一类之间均有着演化的渊源关系，并且越演化越进步，就是说，一类比一类高级，而哺乳动物可以说是脊椎动物中最高等的一类。

海洋里的水产资源，人们最熟悉的恐怕要算鱼类了。据考古学家报道，早在石器时代，人类的祖先就捕鱼为食。所以，人类捕鱼、食鱼的历史源远流长。在脊椎动物中，鱼类属于低等的。海洋处处都是它们活动的广阔天地。但是，它们最好的繁殖场所，还是在阳光充足、饵料丰富、水温较高的浅海水域。世界上 14 个渔业区、三大著名渔场都分布在这些海域。这些海区的鱼产量要占世界海洋总产量的 80% 以上。

我国浅海渔场的面积广阔，属于世界第一位。世界几大渔场之一、我国第一大渔场——舟山群岛渔场，正处寒暖流交汇的地方，是海洋生物生儿育女的良好场所。我国的四大名产——带鱼、大黄鱼、小黄鱼、乌贼即盛产在这里。

鱼类一般体表有鳞，以鳍游泳，用鳃呼吸。鱼类又分软骨和硬骨两大类。软骨鱼类骨骼全由软骨组成，其中有一个很大的家族——鲨鱼，最为人们熟知。人们对它的经济价值的大小，往往不怎么关心，首先是恐惧它的凶猛噬人。海滨游泳场，年年设置拦鲨网，以防御它的侵袭。因为即使不太大的鲨鱼也能吃尽坠入海中之人的内脏，咬断他的腿。确因它的肉食习性，在海中不分对象地连人也一起吞并入腹，然而，鲨鱼也具有很高的经济价值。它浑身是宝。与燕窝齐名的“鱼翅”，即是用鲨鱼鳍干制而成。肉可食，皮可做革。其他还有“鱼唇”，“明骨”，也都是名贵的珍馐佳肴。鲨鱼中，有 70

种在我国从北到南的海洋中，均有出产，是重要的水产资源。

97．海上旅行家 ——爬行动物海龟

海洋中爬行类动物的成员，比起鱼类的数目来，少得可怜。这类动物是真正的陆生脊椎动物，用肺呼吸。它们是随着陆地的变迁，重又返回生命的摇篮——海洋的怀抱的。

爬行动物中的龟类，其原来的四肢由于适于海洋游泳生活，变为鳍足状，或趾间长蹼。腹背具有七条纵棱的“棱皮龟”，长达二米多，是现存龟鳖动物中最大的一种。以“海洋旅行家”著称的海龟，自破壳而出之日起，便跑向大海开始回游旅行生涯。直到生殖季节才返回它的故乡。海龟相貌平凡，举止缓笨，然而到了繁殖季节也会表现出它的聪明诡谲。海龟上岸产卵后，用鳍挖窝埋好，上面再放些叶草之类；同时，在附近也多挖几个窝，加以伪装，使来偷卵者真假难辨。

当小海龟从蛋壳里孵化出来后，一旦鳍肢能够爬动，就不顾一切地越过岩石、沙滩，急急忙忙向大海奔去，游向它们父母生活的地方。那么小海龟是如何知道海洋的方向的呢？原来海龟的眼睛对蓝、绿光很敏感，而大海也正是这种颜色，所以小海龟一出世不用爸爸妈妈指教，就靠了这种本能便容易地找到大海的方向。蓝光在海水中比别种色的光穿得深且传播得远，所以海龟在水下也很容易辨别游向。海龟对光的强度也很敏感。如果把它们游向大海的一面用黑色幕布遮住而将陆地的一面布置成平坦明亮的地带，它们便会向陆地的一方跑去；如将双眼蒙住，就会因感知不出方向而原地不动。这说明光的强弱，对海龟的行动也是非常重要的。

98．海兽中以乳汁哺育幼儿的哺乳动物 ——蓝鲸和海豚

哺乳动物的最基本特征是胎生，像人一样以奶汁哺育幼儿。海洋中也有这类动物，而且它是海洋中最高等的动物。这类动物有鲸类。鲸类动物的特点是，前肢已呈鳍状，后肢完全退化，体形似鱼，大约为此人们又俗称它为“鲸鱼”的。鲸体表无毛，皮肤下有一层厚的脂肪，以有利于保温和游泳；用肺呼吸，潜入水中可达 45 分钟左右。这类动物又分为长须无齿和长齿无须的两类，前者如长须鲸、蓝鲸等；后者如海豚、抹香鲸、鲸等。鲸类肉可食、脂肪是重要的工业原料，这也就是不少国家滥捕鲸鱼的原因。除鲸以外，海洋哺乳动物尚有一类四肢均变为鳍的海兽，如海狗、海狮、海豹和海象等。几乎所有的海兽都具有重要的经济价值。

鲸类中，蓝鲸是地球上古往今来最大的动物。最大者体长达 33 米，体重 190 吨，相当于 330 头黄牛的体重，皮肤通常为蓝灰色，缀有白色的斑点。蓝鲸体躯庞大足可以跨海吞舟，但它并不在海上称王称霸，而是性情柔和，不伤害人类和其他大型动物。它仅以滤食鳞虾等甲壳动物为生。它一次要吃上几吨的饭才可饱腹，真可谓世界上最大的饭量了。蓝鲸的鼻孔开于头顶，喷起水来，好似美丽的喷泉，撒珠溅玉，煞是壮观。不仅如此，蓝鲸更以它那“舐犊情深”的母子情打动人心。一出世就有七八米之长、二三吨重的幼仔，或紧贴腹部吸吮母鲸的乳汁，或在头背上戏嬉玩耍，既无缺食之忧，也无敌害之怕。母鲸并不溺爱自己的孩子，而是携子周游海底世界，让小鲸见

世面、长本领。

在海洋哺乳动物中，海豚以它的聪明伶俐、酷爱嬉戏、有趣的表演以及乐于助人赢得人们的特别喜爱。作为人类的朋友，自古以来就流传着它的许多可歌可泣的动人事迹。例如把精疲力尽的游泳者推上海岸；主动援救陷于困境的落水者；为报救命之恩登岸为人表演。在很久以前，一只海豚长期为一航船在红海导航，每每使航船平安地绕过密布的暗礁险滩。船长和船员视海豚为最亲密的朋友。一次一酩酊大醉的船员无意开枪将尾随船后的海豚打死。船长知后，立刻决定要将那位船员打死为海豚祭祀，以感海豚的导航之恩。后来全体船员一起跪下为那位船员求饶才免一死。于是人们认为海豚是自发自愿地喜欢与人类交朋友的唯一动物。目前，人们正利用海豚的极强的学习能力，用于海底探险等。