

绪 论

我国煤炭资源丰富，储量和产量均居世界前列。近年来随着国民经济的发展和综合国力的提高，石油、天然气、水力、核电等其他能源有了较大发展，但是煤炭仍然是我国的主要能源，预计在今后相当长的一段时期内这种状况不会有根本性改变。进入 21 世纪，要求我国煤炭工业深化改革，尽快摆脱粗放经营的旧模式，步入低投入、高产出、高效益的良性循环轨道。煤炭工业的发展依赖煤炭科学技术的进步，其中包括煤矿地质工程技术的进步，加强煤矿地质的理论研究和发 展煤矿地质工程技术，对促进煤炭科学技术的进步有十分重要的意义。煤炭行业的工程技术人员（包括采矿、测量、建井、环保等非地质类专业的工程技术人员）掌握扎实的地质理论基础知识，在生产实践中不断深化对煤矿建设、生产中地质规律的认识是十分必要的。

一、煤矿地质学的研究对象

地质学的研究对象主要是地球。地球包括固态地球及其表层的水圈、生物圈和外部的 大气圈。固态地球分为外部的地壳、中间的地幔和内部的地核三个圈层。目前主要研究固 态地球外部的地壳和地幔的上部。概括地讲，地质学是研究固态地球外层部分的物质组成、 构造形态、发展演化以及矿产资源的形成和分布规律等内容的自然科学。

煤矿地质学的研究对象主要是煤矿建设、生产过程中出现的各种地质问题，包括煤层 赋存、地质构造、水文地质、工程地质、瓦斯地质、煤尘等方面的情况。煤矿地质学运用 地质学的基础理论，查明影响煤矿建设、生产的各种地质因素及其规律性，研究相应的处 理方案和措施，保证煤炭资源的正常开采与合理利用。

二、煤矿地质学的研究内容

随着生产的发展与科学技术的进步，地质学的研究领域日渐扩大，针对研究内容的不同，划分出越来越多的分支学科，当今的地质学实际上已经发展成为一系列既互有区别又 互有联系的学科体系。

煤矿地质学作为地质学的一个分支学科，基本上属于矿产地质学的范畴，其重要特点 之一是研究内容有很强的综合性，即研究范围广泛，不仅涉及地质学的基础理论，而且涉 及到地质学的许多应用分枝。

煤矿地质学主要研究内容包括：

(1) 矿物学、岩石学 研究岩石圈的物质成分、形成机理、时空分布特征和变化规律。 重点研究与煤矿产有关的造岩矿物和沉积岩。

(2) 构造地质学 研究构造运动和构造运动引起的岩石圈的构造变动及其发展演化规 律。重点研究与煤矿产关系密切的节理、断层、褶皱的形态特征、力学性质、发展规律及 其对煤矿产的破坏与控制作用。

(3) 古生物学、地史学 研究生物起源、发展、演化的规律和地球形成、发展、演变 的历史。重点研究含煤地层中有代表性的动物、植物化石，含煤地层在地质历史时期中的

形成过程与演变规律。

(4) 煤田地质与勘探 研究煤的物质组成、性质、分类,成煤作用,聚煤环境,含煤地层与煤田的时空分布特征;研究煤田地质勘探与矿井地质勘探的技术手段与勘探方法。

(5) 水文地质学 研究地下水的赋存状态和分布规律。重点研究矿井水的来源、特征、涌水量变化规律与防治水措施。

(6) 瓦斯地质学 研究煤层瓦斯的形成机理、赋存状态和分布特征。重点研究煤层瓦斯含量变化规律及其控制因素。

(7) 矿井地质学 研究矿井地质编录、矿井地质制图、矿井地质报告及说明书的编制、矿井储量管理等。

近年来,越来越多的信息技术引入地质学的研究领域,逐步形成一些地质学与信息学相结合的地质信息技术分支学科,如遥感地质学、数学地质、应用地球物理学等。地质信息技术已在煤矿地质工作中逐步得到推广应用,成为煤矿地质学的重要研究内容,并且很可能成为学科发展的新的生长点。煤矿地质信息技术丰富和增强了解决煤矿地质问题的手段和能力,提高了煤矿地质预测预报的精度和可靠性。尽管煤矿地质信息技术目前还不够完善,但其强大的生命力和广阔的应用前景是不容置疑的,预计煤矿地质学今后将进一步朝信息化方向发展。

三、煤矿地质学的任务

煤矿地质学的任务是研究从矿井基本建设开始直至开采结束为止全过程中的所有地质现象,找出其规律,解决煤矿建设、生产中出现的各种地质问题。

煤矿地质学的主要任务如下:

(1) 研究煤矿地质规律 根据地质勘探部门提供的原始地质资料和煤矿建设生产中揭露出来的地质现象,研究矿区煤系地层、地质构造、煤层和煤质的变化规律,查明影响煤矿建设、生产的各种地质因素。

(2) 矿井地质工作 进行矿井地质勘探、地质观察、地质编录和综合分析,提交煤矿建设、生产各阶段所需的地质资料,处理采掘工作中的地质问题。

(3) 矿井储量管理 计算和核实矿井储量,测定和统计储量动态,分析储量损失,编制矿井储量表,为提高矿井储量级别和扩大矿井储量提供依据,为生产正常接替、资源合理利用服务。

(4) 水文地质调查 地面与井下相结合,开展矿区水文地质调查。查明矿井水的来源、涌水通道、涌水量大小及其影响因素与变化规律,研究和制定防治水措施与方案,同时为煤矿生产、生活寻找和提供优质水源。

(5) 地质灾害预测预报 对危及煤矿建设生产的各种地质灾害,如瓦斯突出、水害、热害、煤尘、崩塌、滑坡等,查明其形成机理,对各类地质灾害的分布范围、突发时间及危害程度进行预测预报,提出防范措施与治理方案。

(6) 环境地质调查 开展矿区(井)环境地质调查工作,查明污染矿区(井)环境的地质因素及其危害程度,研究环境地质的治理措施,配合环保部门提出矿区(井)环境保护方案。

(7) 矿产资源综合利用 调查研究煤系地层中伴生矿产资源的性质、特征、储量、分布规律和利用价值,为化废为宝、综合利用、保护环境、提高煤矿经济效益提供依据。

自然界的地质现象是十分复杂的，不同的煤矿区（井）之间其地质规律既有共同性，又有特殊性。煤矿地质工作方法应该遵循实践—理论—再实践的原则，在深入地下坑井调查研究、系统全面积累原始资料的基础上，经过去粗取精、去伪存真、由表及里、由此及彼地整理归纳和综合分析，最后上升为理论认识。并且，要运用这些理论去指导生产实践，使其在实践中得到检验、充实、完善和发展。只有使理论认识逐步深化，才能更深刻、更客观地反映煤矿区（井）的地质规律。

总之，煤矿地质学是随着煤矿建设生产、煤炭资源开发利用而逐步形成与发展起来的，相信煤炭科学技术的日益进步将促进煤矿地质学进一步发展和完善，为中国煤炭工业的腾飞发挥越来越大的作用。

第一章 地球

矿产是人类赖以生存和发展的重要资源，它赋存于地壳（地球表面的一层薄壳）之中。地壳中各种矿产资源的形成都与地球表面以及地球内部的地质作用有关。地质作用的能源既有来自地球内部的能源，也有来自地球外部的太阳能及宇宙能。在系统学习煤矿地质学的主要内容之前，应了解有关地球的知识。

第一节 地球概况

一、宇宙和地球

地球处于广袤无垠的宇宙之中，是太阳系的一个行星，而太阳又是银河系中的一颗普通恒星，宇宙则是由许许多多像银河系甚至更庞大的星系团所组成。因此，要正确认识地球就应首先了解宇宙中的天体。

（一）宇宙中的天体

宇宙是指我们周围的物质世界。“宇”是空间的概念，“宙”是时间的概念。宇宙在空间上是无边无际的，它没有形状，没有中心，在任何一个方向上都没有终点；宇宙在时间上是无始无终的，因为时间是伴随物质的运动和变化而产生的概念。宇宙空间包罗万象，大至地球、太阳系、银河系、总星系，小至分子、原子、基本粒子，举凡一切客观存在，皆包含于宇宙之中。

宇宙空间充满着形形色色的物质，它们处在不断的运动和变化之中。随着科学技术的发展，人类对宇宙的认识范围不断扩大，目前我们所观测到的宇宙范围称为总星系，半径约 100 多亿光年。总星系内的星体并不是均匀分布的，一群一群的恒星组成旋涡状、椭圆状、透镜状以及其它不规则形状，称为星系。总星系中约有十亿个星系。星系有大有小，小的由几万个恒星组成，大的由上千亿个恒星组成。星系与星系之间的平均距离约为 1.6 亿光年。太阳所在的星系叫银河系，银河系以外的星系叫河外星系。

（二）银河系

银河系是一个巨型旋涡状星系，正面呈旋涡形，侧面呈扁饼形。银河系大约包含 1 500 多亿颗恒星，除此以外，还有星云等星际物质和各种射线。银河系的直径约 10 万光年，是太阳系直径的 8 000 万倍，中心厚度约 0.66 万光年。太阳距银河系中心约 27 700 光年。

银河系的主要成员是恒星。恒星是由炽热气体组成的能自己发光的球状天体。维持恒星辐射的能量来自氢的热核反应。夜空中所见的点点繁星绝大多数是恒星。太阳在银河系中是一颗中等恒星。恒星的大小、质量、密度、发光强度、表面温度等有着很大的差异。银河系中有些恒星体积比月球还小，亮度只是太阳亮度的几十万分之一，密度却比太阳大几十万倍；有些恒星体积比太阳大 100 亿倍，亮度也比太阳大几十万倍，而密度却只有太阳的几亿分之一；有的恒星表面温度高达几万度，而有的恒星表面温度只有几千度。

银河系中除恒星外，还有很多星云。星云是由气体和尘埃物质组成的呈云雾状外表的天体。同恒星相比，星云具有质量大，体积大、密度小的特点。星云有各种形状，有的大星云直径为太阳系的 26 300 倍，而密度却只有太阳的几十分之一到几百分之一。星云有发光的亮星云和不发光的暗星云。

在恒星和星云等星体之间的广阔空间并非虚空无物，而是充满着星际物质。它是由星际尘埃（直径 $0.3\sim 3\mu\text{m}$ ）和星际气体（主要有 Ca、Na、K、Ti、Fe、H 等元素）组成，密度很小，只有地面大气的万亿亿分之一。近年来在星际空间还发现了各种复杂的有机分子，如氰基、氨、甲醛、甲醇等，说明宇宙中并不只是单纯的无机世界，这对观测研究生命起源问题有重要意义。星际物质能吸收可见光和 X 射线，但不吸收红外线和无线电波。

宇宙射线是来自宇宙的高能粒子，主要是质子（氢原子核），占射线的 87% 其次为 α 粒子（氦原子核），占 12%；还有少量其它原子核、电子和高能粒子（如 X 射线、 γ 射线等）。宇宙射线的能量一般小于 10^{17}eV 。宇宙射线的带电粒子传播到地球时与大气层的原子相互碰撞使能量大大削弱，减至约 10^{10}eV ，并使大气电离产生新的粒子。

（三）太阳系

太阳系是银河系的一个普通成员。太阳是太阳系的中心天体，它的质量巨大，能发出强烈的光和热。围绕太阳旋转的是一个行星体系（图 1—1）。此外，还有许多小行星、彗星、陨星等小天体。太阳系目前以冥王星轨道为边界，直径为 $11.8\times 10^9\text{km}$ 。在太阳系的九大行星中以木星最大，水星最小（图 1—2）。

太阳系中主要成员的特征如下：

1. 太阳

太阳是离地球最近的一颗恒星，它与地球之间的平均距离为 $1.5\times 10^8\text{km}$ （这个距离称为 1 个天文单位），光从太阳发出传播到地球需时 8 分 16 秒。太阳的直径为 $1.39\times 10^6\text{km}$ ，约为地球直径的 109 倍；体积约为地球体积的 130 万倍；质量是该系各行星系总质量的 150 倍，是地球质量的 33.3 万倍，占太阳系总质量的 99.86%；平均密度是地球平均密度的 $1/4$ ；太阳表面的重力加速度为地球表面重力加速度的 27.9 倍。

根据对太阳的光谱分析，得知太阳大气中有 73 种元素，其中以氢、氦为最多，氢占太阳总质量的 71%，氦占 26.5%，氧、碳、氮、氖等气体约占 2%，镁、镍、硅、硫、铁、钙等约占 0.4% 以上，其余 60 多种元素不足 0.1%。太阳是个炽热的气体球，我们能直接观测到的是太阳的大气层。它从内向外分为光球、色球和日冕三层。人们看到的太阳圆轮为光球层，色球、日冕只有在日全蚀时用特殊仪器才能观测到。光球层通常被称为太阳表面。太阳表面的平均温度约为 $6\ 000\text{K}$ ，它中

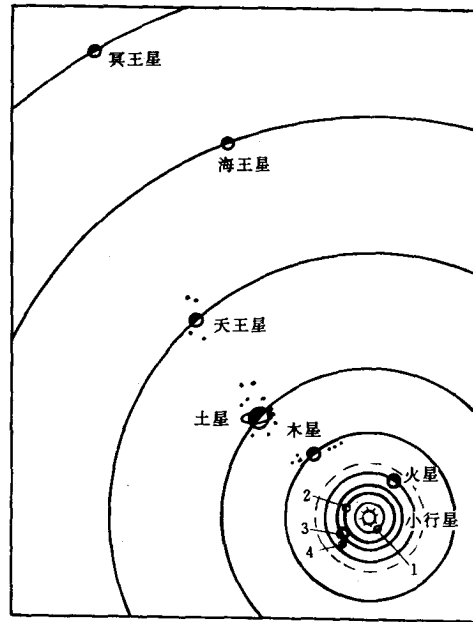


图 1—1 行星围绕太阳旋转示意图

1—水星；2—金星；3—地球；4—月亮

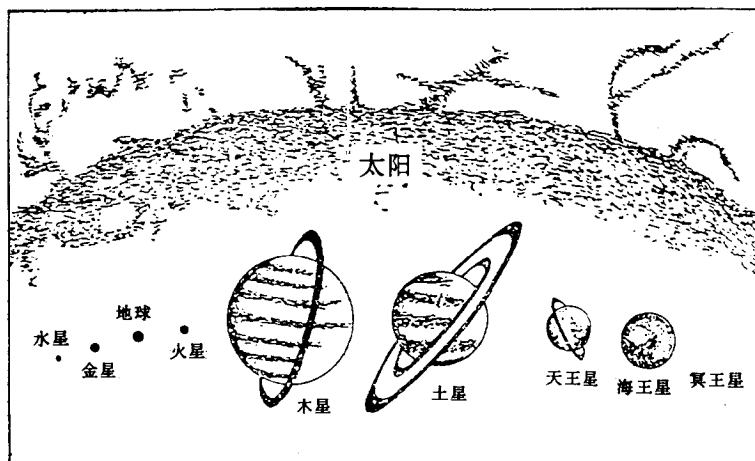


图 1-2 太阳和九大行星大小比较

心的温度高达 $1.5 \times 10^7 \text{K}$ 。所以，太阳上的物质不可能凝固，而是一个炽热的气体球，既没有岩石圈，也没有水圈。太阳的中心压力可达 10^{11}Pa ，太阳内的物质在这样高的温度和压力条件下产生核反应，即由 4 个氢原子聚变为一个氦原子，这是太阳发光发热的能量来源，所以太阳能向周围连续地辐射能量，其中只有 22 亿分之一辐射到地球上，而这些能量却给地球以极大的生命力，并引起各种外力地质作用。

在太阳表面赤道及其附近的光球层中，常可出现黑子，在色球层中常见耀斑。黑子是太阳光球上巨大的旋涡状气流，它的温度比光球表面温度低 $1000 \sim 1500 \text{K}$ ，因此在明亮光球的衬托下它显得阴暗些；当黑子最多时，在黑子群上空色球层中出现温度达 $1.5 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^6 \text{K}$ 的亮点即耀斑。由于地球距太阳较近，太阳辐射中大量的宇宙射线、X 射线等微粒流和表面上的活动变化对地球都有很大影响。大量的微粒流会影响地球高空大气层的物理反应。例如，太阳上突然出现耀斑和黑子大量增多时，会引起地球上空电离层发生变化、地球两极地区出现极光、地球磁场受扰动产生磁暴等，并对气候变化产生影响。

2. 行星

目前已知太阳系有九大行星。按照它们与太阳的距离，由近到远，依次为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星。地球排在第三位，位置适当，温度适宜，还有氧气和水，适于生物生长，成为太阳系中唯一有生命存在的天体。

太阳系的九大行星在空间分布的距离有着高度的规律性；各大行星绕日运行的方向都同太阳的自转方向一致，它们绕日运行的轨道（除冥王星外）都是扁率不大的椭圆，而且轨道平面都和太阳的赤道平面很接近；各大行星除绕日公转外都绕固定的轴自转，除金星外它们的自转方向均相同。例如，地球一方面绕着地轴自西向东作自转，同时又绕太阳公转。地球绕太阳公转时始终是侧着身子（地轴与公转轨道平面斜交，目前其交角为 $66^\circ 34'$ ）在公转轨道上运行。地球公转轨道全程长约 $9.4 \times 10^8 \text{km}$ ，地球约以 30km/s 的平均速度在公转轨道上运行，公转一周需 365 日 5 时 48 分 46 秒。地球自转一周需 23 时 56 分 4 秒。根据长期观测的结果，地球自转速度是不均匀的，一年中秋季稍快而春季稍慢（春、秋季就

北半球而言)。从总的趋势看,地球的自转速度在逐渐变慢,但幅度极小,据过去 2 000a 的观测记录,大约每过 100a,一昼夜要长 0.01s。

各行星的有关物理参数见表 1-1。

表 1-1 九大行星的物理参数

行星	质量		赤道半径		扁率 $\frac{a-c}{a}$	体积与地球比	平均密度 g/cm ³	表面重力加速度与地球比	逃逸速度 km/s
	g	与地球比	km	与地球比					
水星	3.33×10^{26}	0.0554	2 440	0.383	0.0	0.056	5.46	0.37	4.3
金星	4.87×10^{27}	0.815	6 050	0.949	0.0	0.856	5.26	0.88	10.3
地球	5.976×10^{27}	1.000	6 378	1.000	0.0034	1.000	5.52	1.00	11.2
火星	6.421×10^{26}	0.1075	3 395	0.532	0.009	0.150	3.96	0.38	5.0
木星	1.900×10^{30}	317.94	71 400	11.22	0.0648	1.316	1.33	2.64	59.5
土星	5.688×10^{29}	95.18	60 000	9.41	1.108	745.000	0.70	1.15	35.6
天王星	8.742×10^{28}	14.63	25 900	4.06	0.0303	65.200	1.24	1.17	21.4
海王星	1.029×10^{29}	17.22	24 750	3.88	0.0259	57.100	1.66	1.18	23.6
冥王星	1.40×10^{25}	0.0024	1 350	0.212	?	0.009	1.50	0.05	1.2

(数字来源于《中国大百科全书》,1980.12)

根据九大行星的物理性质和化学性质,可将其分为类地行星和类木行星两类,前者包括水星、金星、地球和火星,其特点是距离太阳近、体积和质量都小、平均密度大、表面温度较高、中心有铁核、金属元素含量高、卫星少或无。后者包括木星、土星、天王星和海王星,其特点与前者恰好相反。

3. 卫星

卫星是围绕行星运行而自身不发光的天体。随着空间技术的发展,已发现太阳系的九大行星,除了水星和金星以外,均有卫星绕转。其中,火星有 2 颗,木星有 16 颗,土星有 23 颗,天王星有 15 颗,海王星有 8 颗,冥王星有 1 颗。

月球是地球唯一的天然卫星。它是离地球最近的一个天体,月球中心到地球中心的平均距离为 384 400km。月球绕地球公转的同时还绕自转轴运转,因其自转与公转的周期相同,所以月球朝向地球的一面始终不变。月球的直径为 3 476km;质量约为地球质量的 1/81;平均密度为水的 3.3 倍,只相当于地球密度的 3/5;月面上自由落体的重力加速度为地球表面重力加速度的 1/6。

月球表面没有任何形态的水,完全没有大气,几乎接近真空状态。因此,月球上没有生命,更没有风、云、雨、雪等天气现象,是一个十分寂静的世界,但月球有火山喷发、造山运动和月震等现象。月球表面分布着许多四周高而中间凹的环形山,环形山的特点是内坡陡而外坡平缓。人们认为环形山主要是由流星体、彗星和小行星不断撞击月球表面而形成的;此外,有中央山的大环形山可能是火山喷发而形成的。由于月球上没有大气和水,环形山不易遭受风雨破坏,因而能够得以长期保存下来。

根据人们对从月球表面各处带回来的岩石、土壤的分析,发现其成分与地球表层的玄武岩相似,其中所含的主要元素有: O、Si、Fe、Al、Ca、Mg、Ti、Na、K、Mn、C、N 等。

月球离地球很近，在月球引力作用下，地球表面的物质会发生潮汐现象，如海水的潮汐现象。

4. 小行星

在火星和木星之间存在着大批小行星，现已发现 5 000 颗以上，其中编号命名的有 2 900 多颗。在未发现小行星之前，根据行星轨道经验公式推算，在火星与木星之间应有一颗行星存在，后在 1801 年终于发现了第一颗小行星——谷神星，直径约为 1 000km，是最大的小行星。根据推算，有几万颗小行星存在。小行星的直径大部分在 60~70km 以下，小的只有几百米，有的小行星虽然比卫星还小，但由于它们以太阳为中心公转，因此，应归于行星中，也有人称其为“准行星”。研究小行星，有助于探索太阳系的起源和发展。

5. 陨星

在太阳系中还有许多比小行星更小的绕太阳运行的大群流星体，当它们接近地球时，如被地球的引力俘获并吸向地球，便形成陨星。由于其运动速度很大（每秒几十千米），与空气分子发生激烈的摩擦生热而燃烧发光。冲进大气层的陨星大部分被烧毁变成气体和尘埃，但也有少数较大的陨星没有完全燃烧，其残余部分降落到地面上而成为陨石。有时，陨星冲进大气层燃烧一段时间后，可先在高空爆炸，其碎块象“石雨”似的降落到地面上，形成陨石雨，如我国吉林市 1976 年 3 月 8 日出现的一次世界罕见的陨石雨现象。这次陨石雨落到地面的陨石，已收集到 100 多块，总重达 2 700kg 以上。其中超过 100kg 的有三块，最大的一块重达 1 770kg，为目前世界上最大的一块石陨石。

目前虽然可以向月球发射载人飞船，有航天飞机飞向太空，但是迄今人类能够从太阳系直接获得的物质，主要还是陨石。研究陨石无论对于探索太阳系，还是地球的成分、起源和演化都有十分重要的意义。

从目前人们收集的陨石看，种类很多，按其成分可分为石陨石、铁陨石、石铁陨石三大类。石陨石的主要成分是硅酸盐类矿物，接近玄武岩的成分；铁陨石的主要成分是铁和镍；石铁陨石的主要成分是自然铁和硅酸盐矿物。这三类陨石中，石陨石最多，但个体较小；铁陨石较少，但个体较大，如我国新疆地区的一块铁陨石重约 30t；石铁陨石最少。

据分析，陨石中含量最多的元素是 Fe、S、Si、Co、Ni、Ca、O 等，与组成地球的成分相似。另外，对澳大利亚的一颗陨石的 analysis 发现，有 18 种氨基酸和其它有机物，这给研究宇宙生命起源提供了宝贵的资料。

6. 彗星

彗星是在扁长轨道上绕太阳运行的一种质量较小的呈云雾状外貌的天体。其特征是有一条明亮的长尾，越接近太阳尾巴越长，而且总是背向太阳（图 1-3）。彗星由彗头和彗尾构成，彗头又可分为彗核和彗发。一般认为彗核由冰和夹杂的细尘粒组成，很明亮；彗发是彗核外层的明亮的云雾状包层，由彗核产生的气体和尘埃组成，其成分为气体、金属蒸汽的原子、分子及固体尘粒；彗尾形似扫帚状，由气体离子、原子和分子组成。彗星接近太阳时，太阳加热作用使彗核表面的冰升华为气体，向外膨胀，同时带出微尘，形成彗发。彗发中的气体和微尘被太阳风排斥，在背向太阳的一

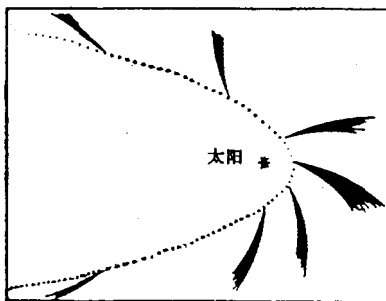


图 1-3 彗星接近太阳时彗尾的变化

向外膨胀，同时带出微尘，形成彗发。彗发中的气体和微尘被太阳风排斥，在背向太阳的一

面形成一条很长的彗尾。彗尾的长度为 $2 \times 10^8 \sim 3 \times 10^8 \text{km}$ ，直径为 $5 \times 10^4 \sim 25 \times 10^4 \text{km}$ 。组成彗星的物质很稀薄，彗发的密度只有地面大气密度的 $1 / (2 \times 10^{16})$ 。

太阳系中的彗星很多，平均每年新发现 6 颗，现已发现绕太阳运行的彗星有 1600 多颗。彗星的运行轨道与行星有很大不同，有的为偏心率很大的椭圆形，有的为抛物线形。彗星的运行周期长短不一，著名的哈雷彗星的运行周期是 76a，上次出现于 1985~1986 年。

彗星的成分与类木行星相似，基本由氢和氮组成，近年来新发现有甲基氰 (CH_3CN) 和氰化氢 (HCN) 两种分子，这在太阳系中是没有的，只是银河系的稠密星云中才有，因此认为彗星是来自太阳系以外的天体。研究彗星的成分对了解太阳系形成的早期阶段有一定的意义。

综上所述，宇宙中的天体运动情况是错综复杂的，然而又是有规律的，它们之间相互制约、相互联系地运动和发展着。

从太阳系到银河系乃至目前人类所能观测到的总星系可以看出，地球在宇宙中的地位的确是非常渺小的，宛如沧海一粟。然而正是地球具备生命形成和发展的优越的自然条件，产生了人类，能够探索宇宙的奥秘。在目前的宇宙空间中，尚未发现存在生命的其它天体，因此说地球在宇宙中是既普通又特殊的天体。

二、地球的形状和大小

关于地球的形状和大小，人们的认识经历了一个由圆球体到二轴椭球体，到三轴椭球体，又到梨状体的不断深化的过程。很长时间以来，地球一直被认为是球状体，当最早使用较精确的三角测量法对地球的形状进行研究时，发现通过极点的半径与赤道半径相差 21km，认识到地球不是一个理想的球体，而是沿旋转轴被压扁。后来，牛顿从理论上证明，在引力作用下，地球沿旋转轴方向受挤压力作用，使其具有椭球或旋转椭球体的形状。牛顿的这一理论和计算，被后来在各国完成的经线或纬线弧的测量所证实；同时这些测量还表明，地球不仅沿两极方向被压扁，而且沿赤道也有某种程度的被压扁，最大和最小赤道半径长度相差 213m，也就是说，地球不是两轴的，而是三轴的椭球体。根据卫星轨道分析发现，地球也并非标准的旋转椭球体，而是一个梨状体，北极凸出约 10m，南极凹进约 30m，中纬度在北半球凹进，在南半球凸出（图 1-4）。

实际的地球表面崎岖不平，为了便于测算，以平均海面通过大陆延伸所形成的封闭曲面作为参考面，此参考面称为大地水准面。地球的形状和大小通常就是指大地水准面的形状和大小。大地水准面是一个等位面，其上的重力方向处处都与该表面垂直，这样就可以

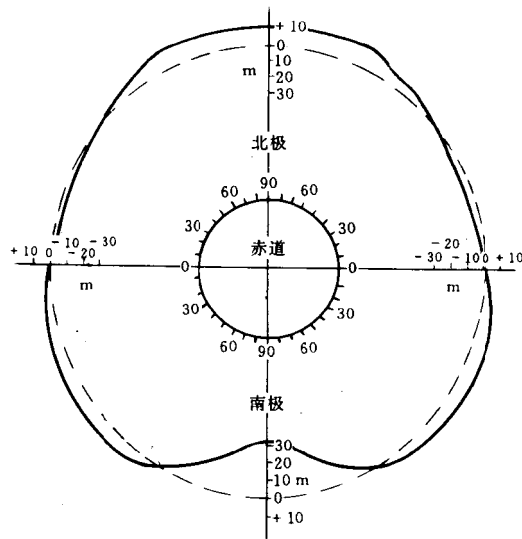


图 1-4 大地水准面（实线）与旋转椭球面（虚线）的关系示意图

引入重力的概念，结合大地测量对地球的形状和大小进行研究。目前利用人造卫星轨道变化作校正，已经可以相当精确地求得地球的各种数据。表 1—2 为 1975 年第十六届国际大地测量和地球物理学学会 (IUGG) 决议采用的根据人造卫星观测及卫星轨道变化推算的地球形状数据。

表 1—2 地球形状参数

赤道半径(a)	6 378.140km	子午线周长	40 008.08km
两极半径(c)	6 356.779km	表面积	$5.1007 \times 10^8 \text{km}^2$
平均半径(a^2c) ^{1/3}	6 371.0	体积	$1.0832 \times 10^{12} \text{km}^3$
扁率($d = \frac{a-c}{a}$ (赤道半径))	1/298.275	地球质量(M)	$(5.9742 \pm 0.0006) \times 10^{24} \text{kg}$
赤道周长	40 075.24km	万有引力常数(G)	$(6.672 \pm 0.004) \times 10^{-4} \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

(据 IUGG, 1975)

三、地球的表面特征

地球的表面积大约为 5.1 亿 km^2 ，分为陆地和海洋两大部分(图 1—5)。陆地面积约为 1.48 亿 km^2 ，约占地球表面积的 29%。海洋面积约为 3.62 亿 km^2 ，约占地球表面积的 71%。海陆面积之比约为 2.5 : 1，它们在地球表面分布极不均匀，65% 以上的陆地分布在北半球。地球表面形态最明显的特征是高低起伏不平。大陆的平均海拔高度为 0.88km，最高处为珠穆朗玛峰，海拔 8 848.13m，最低点为死海，达 -397m；海洋底的平均深度为 3.7km，最深处为太平洋马里亚纳群岛东侧的马里亚纳海沟，深达 11 033m。以平均海平面为标准，地球表面上的高度统计有两组数值分布最广泛：一组在海拔 0~1 000m 之间，占地球总面积的 20.8%；一组在海平面以下，其中又以 4 000~5 000m 深的海盆面积最广，占地球总面积的 22.6% (图 1—5a)。

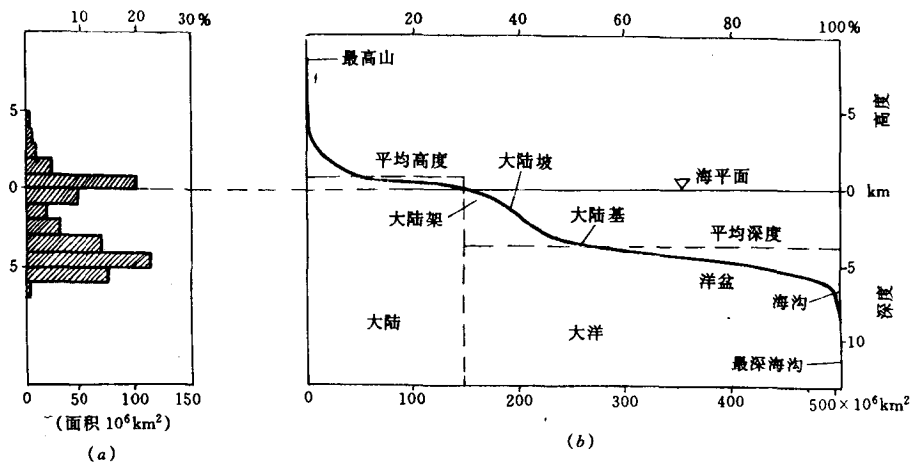


图 1—5 地表各高程间的面积分配

(a) 直方图; (b) 高深曲线

（一）陆地的表面形态

按照高程和起伏特征，陆地表面可分为山地、丘陵、平原、高原、盆地和洼地等地形。

1. 山地

山地是指地形起伏较大，海拔高程大于 500m，相对高程在 200m 以上的地区。其中，海拔在 500~1 000m 的称为低山；1 000~3 500m 的称为中山；大于 3 500m 的称为高山；呈线状分布的山地称为山脉，如欧洲的阿尔卑斯山脉，亚洲的喜马拉雅山脉等。

2. 丘陵

丘陵是指介于山地和平原之间的高低不平、连绵不断的低矮浑圆的小山丘地形。一般高程在海拔 500m 以下，相对高差多在数十米，最大高差不超过 200m。如我国的川中丘陵、东南丘陵。

3. 平原

平原是指面积较大、地势平坦或略有起伏的地区。其内部相对高差一般不超过数十米。世界上最大的平原是亚马孙平原，面积达 560 万 km²。我国有华北平原、松辽平原、长江中下游平原等。

4. 高原

海拔高程在 600m 以上，表面较为平坦或略有起伏的广阔地区称为高原。世界上著名的高原有伊朗高原、埃塞俄比亚高原、巴西高原及我国的蒙古高原、青藏高原等。其中，青藏高原是世界上最高的高原，海拔 4 000m 以上；巴西高原是最大的高原，面积达 500 万 km² 以上。

5. 盆地

盆地是指四周为高原或山地，中央为低平的平原或丘陵地区，因其外形似盆而得名。如我国的四川盆地，柴达木盆地等。

6. 洼地

陆地上高程在海平面以下的地区称为洼地。新疆的鲁克沁洼地低于黄海平均海水面 155m，是我国陆地的最低处。

（二）海底的表面形态

海底地形和大陆地形一样复杂多样，而且在规模上更庞大，外貌上更为奇观。既有比大陆更广泛、更平坦的平原，也有更险峻、更宏伟的山脉和深陡的峡谷。但因海底不象大陆那样长期经受着各种外力的破坏，而是受以沉积作用为主的改造，故总体上看仍比大陆表面简单些。

根据海底地形的基本特征，可将其分为大陆边缘、海岭、海沟、深海盆地等地形单元。

1. 大陆边缘

大陆边缘是大陆与大洋盆地之间的连接地带，占海底总面积的 1/5 左右。它包括大陆架、大陆坡和大陆基，但大陆基实际上是大陆坡和大洋盆地的过渡地带。大陆架是大陆边缘的主要地形单元（图 1-6）。

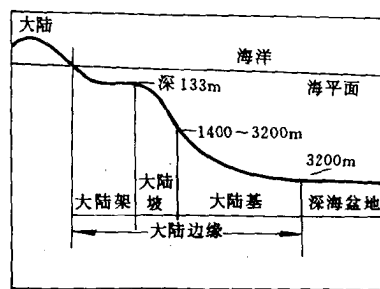


图 1-6 大陆边缘地形示意图

（垂直比例夸大）

1) 大陆架

大陆架是紧靠大陆分布的浅海台地，是大陆在水下的自然延伸部分，其范围是由海岸线向外海延伸，直至海底坡度显著增大的转折处。大陆架部分的海底坡度平缓，一般小于 0.3° ，平均约为 0.1° 。大陆架的水深一般不超过200m，最深可达550m，平均水深130m，平均宽度75km。欧亚大陆的北冰洋沿岸的大陆架最发育，宽达500km以上；印度洋沿岸的大陆架最不发育。我国的大陆架宽度从100km多到500km多不等，水深一般为50m左右，最大水深可达180m。

2) 大陆坡

大陆坡是位于大陆架外缘到深海海底，地形明显变陡的地带。其水深一般不超过2000m，平均坡度为 4.25° 。大陆坡以斯里兰卡附近珊瑚礁岸外缘最陡，其坡度可达 $35^\circ\sim 45^\circ$ ，大陆坡的宽度约为20~100km，平均为20~40km。坡脚的深度为1400~3000m左右。

大陆坡在许多地方被通向深海底的深海“V”形峡谷所切割。这些深海峡谷深达数百米，两壁陡峭，可达 45° 以上。有的峡谷可能是被淹没的河谷。但是，大多数峡谷是由近海底含有大量悬浮碎屑物质，密度较一般海水大的浊流冲蚀而成。

3) 大陆基

大陆基也称为大陆裾，是大陆坡与大洋盆地之间的倾斜坡地。坡度通常为 $5'\sim 35'$ ，多分布于水深2000~3000m的海底，主要由海底滑塌浊流和海流搬运的碎屑物堆积而成。海沟发育的太平洋地区没有这一地形单元，而在海沟不发育的印度洋、大西洋中大陆基则广为分布。

2. 海岭

一般将海底山脉称为海岭。其中，位于大洋中间，常发生地震和地壳运动较强烈的海岭称为洋脊或洋中脊。

洋脊或洋中脊为海底线状隆起地带，呈一系列鱼鳍状山脉，其中部最高，中央部位常有一条巨大的裂谷，称为中央裂谷，谷深可达1~2km，谷宽可达13~48km，如图1-7所示的大西洋洋中脊。太平洋洋中脊因其裂谷不明显而称之为洋隆或洋中隆。洋中脊通常高出海底2~3km，宽度可达1500~2000km。洋中脊在各大洋中均有分布，且相互衔接，全长65000km，占地球表面积近 $1/4$ ，是地球表面最大的“山系”。

3. 海沟

平行于岛弧或沿着大陆边缘呈断续延伸的两壁较陡、狭长的水深大于6000m的深海槽称为海沟。海沟是地球表面最低洼的地区，其长一般在500~4500km，宽40~120km，深度多在6000m以上。全球已知海沟近30条，多发育于太平洋和大西洋；印度洋的海沟不甚发育。海沟多位于大洋盆地的边缘，其两侧边坡中靠近大洋侧的边坡较缓，而靠近大陆侧则较陡（图1-8）。

海沟的一个重要特点是在其靠近大陆的一侧有一条与其平行的隆起地形。若海沟紧靠大陆时，该隆起地形为海岸山脉，二者组成海沟—山弧系；若海沟靠近大陆一侧为海时，该隆起则是呈弧形排列的岛屿，弧顶朝向大洋一侧，称为岛弧，二者组成海沟—岛弧系。海沟—岛弧系是地球表面地震频繁的地带，并有火山分布。

通常将大陆边缘分为两类。一类由大陆架、大陆坡和大陆基组成，这类大陆边缘主要分布于大西洋，称为大西洋型大陆边缘；另一类大陆边缘是由大陆架、大陆坡及海沟组成，

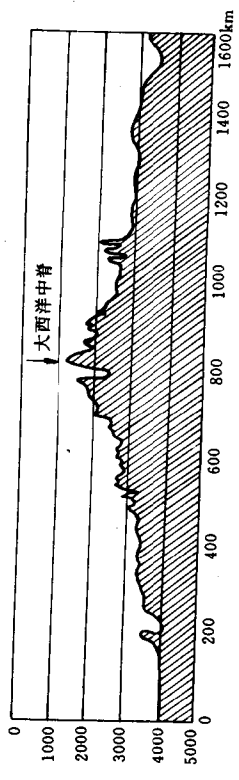


图 1-7 横过大西洋中脊的剖面图

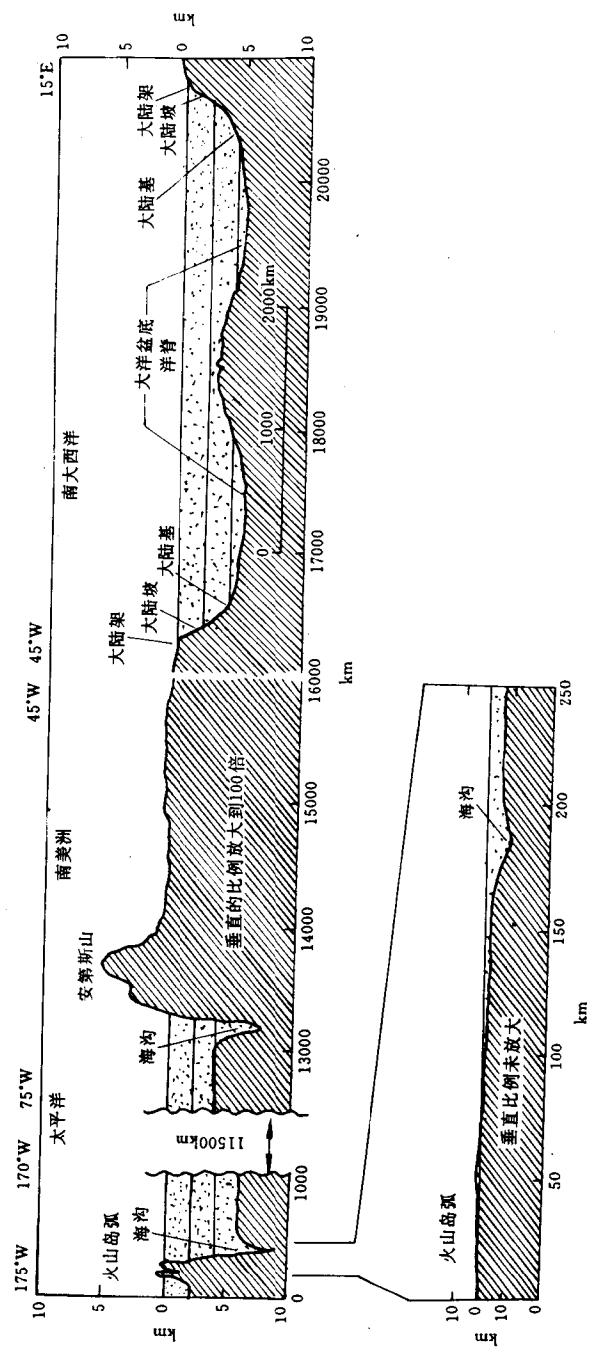


图 1-8 地球表面沿南纬 20°~25°间的地势剖面图
(垂直比例尺放大 100 倍)

它主要分布于太平洋，称为太平洋型大陆边缘。

4. 深海盆地（大洋盆地）

深海盆地是海洋中另一类大型地形单元，它是介于大陆边缘及洋中脊之间的平坦地带，是海底地形的主体，约占海洋面积的43%，平均深度在海平面以下4000~5000m，深海盆地中主要有三种地形。

1) 深海丘陵

由一些比较低缓的小山丘组成，这些小山丘底宽1000~10000km，高50~1000m，边坡较陡，顶部平缓，呈圆形或椭圆形穹形丘，几乎全部由玄武岩组成。一般认为是由靠近洋脊的海底火山形成的。在太平洋中，这类地形覆盖了80%~85%的洋底，是地球表面分布最广的地形单元。

2) 深海平原

是被来自大陆的沉积物覆盖的靠近大陆边缘的平缓地形。坡度很小，均小于1/1000，广布于大西洋底，是地球表面最平坦的地区。

3 海山

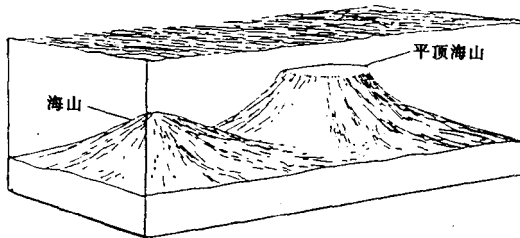


图 1-9 海山和平顶海山

海山是深海底部孤立或比较孤立的隆起地形，相对高度在1000m以上，隐没于水下或露出海面。其中有一类呈锥状者，称为海峰。太平洋上的夏威夷群岛即为一系列海峰，其高出海底5000m以上，其中冒纳开亚火山海拔4205m，高差在9000m以上。海峰大多由火山岩组成。有的海山顶部平坦，称为平顶海山（图1-9）。平顶海山的成因，一般认为是高度在海平面附近

的海山顶部被海浪作用夷平，后来由于区域性沉降没入水下而成。

第二节 地球的圈层构造

目前的研究表明，地球不是均质体。其物质组成的分布呈同心圈层结构，大致以地壳表层为界分为地球的内部圈层和外部圈层。内部圈层和外部圈层又可进一步划分为几个不同的圈层，每个圈层都有自己的物质运动特征和物理、化学性质，对地质作用各有程度不同的、直接或间接的影响。

一、地球内圈的划分及其主要特征

（一）地球内圈的划分

地球内圈即地球内部的圈层。地球内圈直接的观测资料较少，目前，最深的钻孔也仅一万多米。对地球内部构造的研究主要是利用地球物理学和天体物理学的资料，得出较为确切的内部圈层构造模式（表1-3）。表1-3中各参数的得出依据是：

（1）根据地震波的研究将地球内部划分为若干个圈层。

（2）根据重力资料结合地震波研究得出的纵波速度（ V_p ）、横波速度（ V_s ）和深度，可求出各圈的密度分布。

- (3) 根据横波的有无及波速的变化，推断出各圈层的物态（固态、塑性状态和液态）。
- (4) 由波速及介质的弹性参数可求出重力值及压力值。

表 1-3 地球内部圈层和物理数据

圈层			地震波速度 km/s		弹性 $10^{11}N/cm^2$		密度 g/cm^3	压力 $10^{11}Pa$	温度 C	附注	
名称	代号	深度 km	纵波 V_p	横波 V_s	体变 模量	切变 模量					
地壳 (陆壳)	A	A'	0	5.6	3.4	0.44	0.26	2.6	0.000	14	} 岩石圈
			10	6.0	3.6	0.51	0.3	2.7	0.003	180-300	
		A''	60	6.6	3.8	0.68	0.4	2.9	0.01	400-1 000	
			100	7.6	4.2	0.7	0.5	3.0			
地幔	B	B'	33	8.0	4.4	1.17	0.63	3.32	0.019	500-1 100	} 软流圈
			60	8.2	4.6	1.2	0.68	3.34			
		B''	100	7.8	4.2	1.25	0.67	3.4	0.031	700-1 300	
			150	7.7	4.0	1.36	0.64	3.5	0.049	800-1 400	
	C	C'	250	8.2	4.55	1.46	0.7	3.6	0.068	1 000-1 600	
			400	9.0	4.98	1.87	0.92	3.85	0.14	1 200-2 000	
	D	C''	650	10.2	5.65	2.58	1.32	4.1	0.218	1 300-2 250	} 液态
			1 000	11.43	6.35	3.53	1.87	4.6	0.4	1 850-3 000	
		D'	2 000	12.8	6.92	5.11	2.48	5.1	0.87	2 500-3 900	
			2 752	13.63	7.31	6.5	3.0	5.6	1.34	2 800-4 300	
地核	E	D''	2 898	13.32	7.11	6.45	2.96	5.7	1.50	2 850-4 400	
			3 500	8.1	0.0	6.3	0.0	9.7			
	F	E	4 640	8.9	0.0	8.2	0.0	10.4	1.93	3 700-4 700	
			4 900	10.4	2.07	12.2	0.51	12.0	2.98	4 500-5 500	
			4 900	10.4	1.24	12.2	0.2	12.5	3.2	4 700-5 700	
G	F	5 155	11.0	3.6	13.4	2.08	12.7	3.32	4 720-5 720		
		5 500	11.2	3.7	14.0	1.7	12.9	3.5	4 900-5 900		
			6 371	11.3	3.7	14.1	1.3	13.0	3.7	5 000-6 000	

(据成都地质学院《动力地质学原理》，略有修改)

(5) 根据各圈层的密度、波速及其与岩石性质之间的关系，结合陨石和矿物岩石的高温高压实验等，推断各圈层的物质组成。

(6) 根据各圈层的物态推断该处岩石的熔点，再结合已知的地热流数据和岩石导热性推算各圈层的温度。

根据地震波速度的变化特征，可以将地球内部划分出两个最明显，也是最重要的界面，即莫霍面和古滕堡面。根据这两个界面，地球内部划分为地壳、地幔和地核三个一级圈层。

莫霍面是南斯拉夫地球物理学家莫霍罗维契奇于 1909 年首先发现的，是地壳与地幔的分界面。由于地壳的厚度各地不同，所以莫霍面不是一个平坦的界面，而是高低起伏的。在大陆上其深度约为 33km 左右；在大洋底则为 11~12km。地震波在穿过莫霍面时，波速突然增大， V_p 由 6~7km/s 左右突然增至 8km/s。

古滕堡面是美国地球物理学家古滕堡于 1914 年提出来的，是地幔与地核的分界面，位于地表下约 2 900km 处。地震波穿过此界面时波速突然降低， V_p 由 13.32km/s 突然降至 8.1km/s， V_s 则降为零，表明横波消失。因此可推断古滕堡面以下的地核部分为液态物质。

除上述两个界面外，还有一些次一级的地震界面，它们是进一步划分二级或三级圈层的依据。

(二) 地球内圈的主要特征。

1. 地壳

地壳即 A 层，是地球最外的一个圈层。地壳的厚度变化很大，大洋地壳较薄，平均厚 7km，最厚处约 11km 最薄处不足 2km；大陆地壳较厚，平均厚 35km，最厚处可达 80km，说明地壳下界是起伏不平的，厚的地方已陷入上地幔中。整个地壳平均厚度约 16km，只有地球半径的 1/400，所以说地壳仅仅是地球表面的一层薄壳。

地壳由上、下两层组成（图 1—10），上地壳（即 A'层）叫硅铝层或花岗岩质层，因其与以硅、铝为主的花岗岩质岩石一致。这一层只有大陆壳才有，大洋壳缺少此层，因此呈不连续分布。下地壳（即 A''层）叫硅镁层或玄武岩质层，因其与由硅、镁、铁、铝组成的玄武岩相当。大陆及大洋下面均有此层，呈连续分布，但陆壳硅镁层成分不如洋壳硅镁层均匀，混合有大量变质程度很深的中酸性成分。

地壳表层长期与大气和水接触，遭受各种外力地质作用的改造，形成了一层沉积层，其厚度变化较大，最厚可达 10km，平均厚度 1.8km，局部地区缺失。

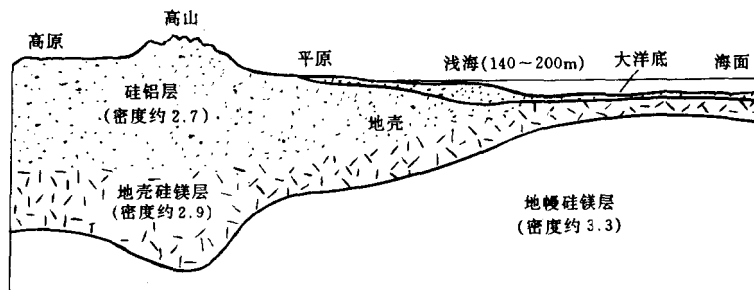


图 1—10 地壳结构示意图

2. 地幔

地球内部位于地壳与地核之间的构造层为地幔，也叫中间层，即 B、C、D 层，介于莫霍面和古滕堡面之间。厚 2 800km 以上，体积约占整个地球的 82.3%，质量占整个地球的 67.8%，是地球的主体部分。根据地震波速度变化特征，将地幔在地下 1 000km 处分为上、下两层。

上地幔（B、C 两层）的平均密度为 3.5g/cm^3 。根据密度、波速以及地质和陨石等资料，上地幔的物质成分基本上相当于含铁、镁很高的超基性岩，称为地幔岩。

上地幔中地震波速度变化较为复杂，表明其物质状态是多变的。深度在 60~400km 范围内，地震波速度下降，在 400km 以下速度又逐渐上升，其中在 100~150km 深处降至最低，形成低速带。低速带的边界不像其它圈层那样清晰，尤其是底界的深度不很确定。一般

认为，低速带是由于该带内温度增高至接近岩石的熔点，但尚未熔融的物态引起的。低速带内有些区域横波不能穿过，表明该区域的温度已达到岩石熔点以上而形成液态区，可能是岩浆发源地。由于低速带塑性较大，为上部固态岩石的活动创造了有利的条件，因此，构造地质学中将低速带称为软流圈，其上由固态岩石组成的地壳和上地幔的 B' 层合称岩石圈。

下地幔（D 层）密度较高，达 $5.1\text{g}/\text{cm}^3$ 以上，深度从 $1\,000\sim 2\,900\text{km}$ ，地震波速度增加较慢，可以认为是压力增加而成分均匀的缘故，其物质成分一般认为仍是以铁镁硅酸盐矿物为主，其化学成分与上地幔无明显差别。

3. 地核

自古滕堡面以下至地心的地球中心部分为地核。其厚度为 $3\,473\text{km}$ ，占地球体积的 16.3% ，占总质量的 $1/3$ 。根据地震波速度变化，可将地核分为外核、过渡层、内核三层。

外核（E 层）平均密度约 $10.5\text{g}/\text{cm}^3$ ，厚度 $1\,742\text{km}$ 。由于纵波速度急剧降低，横波不能通过，证明外核是液态物质，温度超过了岩石的熔点。

过渡层（F 层）厚度只有 515km ，波速变化复杂，并测到速度不大的横波，可能是液态向固态过渡的一个圈层。

内核（G 层）厚 $1\,216\text{km}$ ，平均密度 $12.9\text{g}/\text{cm}^3$ 。测得纵波与横波，从地面接收到的横波是由纵波转换形成的，因此，肯定内核是固体。

二、地球外圈的划分及其主要特征

（一）地球外圈的划分

地球外部圈层是指包围地球表层的地球组成部分。根据其物理性质和状态的差异可分为大气圈、水圈和生物圈，它们包围着地球，各自形成连续完整的外圈层。地球外圈的形成是地球长期演化的结果。大气圈和水圈的形成先于生物圈，尔后才开始有生命的滋生和生物界的发展，而生物圈的形成又对大气、水及地球表层的演变产生巨大的影响。

由于地壳的运动，给地球外圈增添了许多来自地球内部的物质成分；而外圈又在太阳能的作用下对地球表层的面貌不断进行改造。许多重要矿产如煤、石油、岩盐、石膏和大部分的铁、铝等等的形成都与这一过程密切相关。

（二）地球外圈的主要特征

1. 大气圈

大气圈由包围在地球最外部的的气体组成。厚达几万千米，总质量约为 $5.3\times 10^{18}\text{kg}$ ，约为地球总质量的百万分之一。由于受地心引力作用，地球表面大气最稠密，几乎全部大气集中在距地面 100km 以内的高度范围，并且其中 $3/4$ 又集中在 10km 的高度范围内。因此，接近地面的大气密度最大，向外，大气密度逐渐稀薄，最后过渡为星际气体，因而大气圈的上界没有明显的界限。

接近地表的大气压力也最大，随高度的增加大气压力减小。海平面平均气压约为 1.013MPa ，至 20km 高度，大气压力约为地面压力的 $1/10$ 。

大气温度随高度的增加而呈不规则的变化。在距地面约 10km 高度内，温度随高度增加而下降；在 $10\sim 50\text{km}$ 高度内，温度则随高度的增加而增高；在 $50\sim 80\text{km}$ 高度内，温度又随高度的增加而降低，最低可达 -100C ，在 $80\sim 500\text{km}$ 高度内，温度又随高度增加而增高； 500km 高度以外为等温。

大气的成分随高度的不同也发生变化。 100km 以下的大气即通常所谓的空气由 18 种