

第1章 总论

一、环境地质学研究的对象、内容、 发展历史与研究方法

环境地质学属地球科学，是应用地质学和地理学原理，合理利用地质资源，改善人类生存环境的一门学科。是一门介于地质学、地理学与环境科学之间的科学。

人类生存于地球上，生命活动及生活发展与地球关系至为密切，地球科学是研究地球发展变化自然规律与人类生存发展活动相关的科学。

地球是几个圈层组成的开放体系：大气圈、水圈、生物圈、岩石圈及地幔、地核等。各圈层结构、活动规律与效应各有特征，但亦互为动力，彼此制约，是不能截然分开的相关体系。例如地幔活动影响到海陆分布与变化，气候的差异又影响到生物及人类的生活。人类社会的发展对大气圈、水圈、生物圈以及岩石圈也形成巨大影响，当代的地球科学研究反映着开放体系以及圈层的相互影响。

人类生存依赖自然界。基本的需求是新鲜的空气、洁净的淡水，利用土地获取食物，开发矿产及生物资源供人类的各种需求。但人类生存活动也带给自然界消极的影响，使地球面临着接近人类生活生态极限承载的危险；保护人类免遭太阳有害辐射的臭氧层正在变薄，在南极上空已形成巨大空洞；严重的土壤侵蚀引起肥力下降，粮食生产潜力减小；大面积毁林引起了荒漠化过程，加剧了生物种类的消失，削弱了大气圈自净能力；海洋动物被滥捕而锐减，海洋遭受污染而将达到其所承受的极限；有害废物排放加剧了对陆地、海洋与大气的污染，引起了全球性的健康问题；环境恶化严重地破坏了全球生态平衡。20世纪后期人口激增，贫穷、饥饿、疾病和文盲同样威胁到人类社会。资源、环境、生存发展是当代面临的严峻挑

战，处理人与地球之间的和谐关系是地球科学的使命和发展机遇。增强人类依存地球的意识 合理开发利用自然资源 将是促进人类生存环境持续发展的重要途径。

地质学研究地球的上部层（即地壳及上地幔），研究组成地壳的物质，地壳的地质构造以及地球的历史。环境地质学是应用地质学和地理学（自然地理学与人文地理学）的原理，从地质演变过程，分析地质环境、合理利用地质资源、防治地质灾害，使人类有一适宜的可持续发展的生存环境。

环境地质学是 20 世纪 60 年代才发展起来的年轻学科，但环境地质思想出现得很早，我国古代就用矿物作为治病的药物，明代李时珍已将矿物药物归纳为 253 种 其中就有赤铁矿、磁铁矿、黄铁矿、雄黄、滑石、蛇纹石、明矾石、钟乳石、芒硝、硼砂等等。在医书《素问·异法方宜论》中 研究了地质地理环境、矿物与人类健康的关系。书中指出，各地的地理环境、地形、水文、气候条件的不同，各地居民有着不同的生活习惯和不同的健康状况。中国古代许多治理山河的工程，例如开凿大运河，修筑长城，兴建钱塘江大海堤等，都涉及到环境地质。我国 50 年代以来，大规模的经济建设、资源开发工作中，也有许多涉及环境地质的领域。例如，黄河治理所兴建的一系列水利工程，黄土高原水土流失的治理，长江三峡大坝工程的许多前期研究，“南水北调”工程的各种勘测研究，以及各种地下水资源的开发，地震、滑坡、泥石流等自然灾害的防治等等。可以说 50 年代以来 我国资源开发与建设工作中，进行了大量有关环境地质的工作，积累了丰富的经验及理论材料。但当时还没有环境地质学这一术语。

1964 年美国 J. E. Hackett 首先提出环境地质学术语，他认为环境地质学是运用地质学原理，改善人类的生存环境，有效地利用矿产资源。到 1969 年美国的 P. H. Moser 给出环境地质学定义：“环境地质学是水文地质学、工程地质学、地球物理学及有关学科的原理，研究人类周围环境，更有效地利用天然资源的一门学科”。至此，环境地质学逐趋成熟，成为协调人类活动与自然环境与资源的关系，合理利用自然资源，防治自然灾害，保护自然环境，在人类生产生活活动中不可缺少的具有重要作用的一门学科。

最近 20 年来，环境地质学已有长足的发展。其研究内容已扩展为自然资源的开发、区域环境保护、自然灾害的防治（主要有地震、滑坡泥石流、洪水、风暴、海啸、火山喷发等）、废弃物处理、军事活动的地质学研究，以及医学环境地质问题，环境法规等等。在国外及我国，环境地质学已发展成为同国家建设与国民生活中密切相关，不可缺少的科学。

环境地质学的研究方法，除了地质学基本的研究方法，野外观察、实验、室内分析模拟等以外，更强调将地质演变与周围环境（大气、水圈、生物圈、人类活动）的联系，综合分析，查明自然环境对地质过程的影响，预测其演变趋势及研究防

治措施，这些主要是运用地理学的原理及方法。这里提出二种有用的方法。

1. 区域对比及区域模式的研究

环境演变是长期的，难以在短时期内重现，而不同区域的自然演变及受人类活动影响的演变，具有各自演变的模式及阶段。人们可以借助已被研究了解的区域，得到不同类型区域发展演化的过程、规律、模式 作为研究区域的参考与依据。

2. 地理信息系统技术应用

地理信息系统 Geographic Information System 简称 GIS)是综合处理分析空间数据的计算机系统，是按照地理坐标系统组织的数据所表示的空间信息，所以地理信息系统又称空间信息系统，它的特点是研究处理空间实体，通过对空间实体的空间位置与空间关系来进行的。它用于一个区域内各项环境资源现象过程的分析管理，具有区域内环境资源信息资源共享、综合分析、辅助决策等特点，成为环境资源综合评价、规划、管理、决策的现代技术手段。有人将这一技术看作静态的、纯地理学的 其实这是一种误解。GIS 适用于具有空间分布特点的地球科学 社会现象有关学科 它在整个地球科学中 包括环境地质学在内 有非常广阔的应用前景。

最近又提出了“数字地球”的新概念。这是一种能贮存巨量的地理信息，能对地球及其各部分进行高分辨、全方位、多角度描述的技术与方法，也可以说它是遥感技术，地理信息系统技术的更高层次的发展。陆地资源卫星每两星期对整个地球表面完成一次扫描 近 20 年来已收集了巨量的地球环境资源信息，而目前被利用的仅是很小一部分，巨量的地理信息还只是贮存着。数字地球技术将从地球整体、到某一区域、到某一特定要素 进行全方位分析、使用 为系统地使用巨量地理信息成为可能。它利用高度发达的计算机技术，能够贮存超大规模的地理信息，模拟地球上复杂的自然现象。数字地球具有极高的分辨率，能分辨地表 1 m 大小的物体。它能够通过利用地理信息系统与卫星遥感图像，分析地表地形、土壤、大气、降水等信息 以监控地形、气候、植被等环境变化 并据以制定相应对策。因此，“数字地球”技术的兴起 将为人们对地球环境的研究提供无与伦比的新技术。

二、21 世纪议程与地球科学

1992年 6 月在巴西里约热内卢召开的联合国“环境与发展”大会，占全球人

□ 98% 以上的世界各国首脑聚会，共商“地球环境、资源与人类持续发展”的大事。提出了“人类要生存 地球要拯救 环境与发展必须协调”的口号 使人类认识到地球资源是有限的 人类只有一个地球 必须善待地球。制定了《21世纪议程》(21 Agende, 21 世纪政府、工业界和全社会的议程)，全面规划指导人类正确处理与地球的关系，规范人类的生息发展活动，必须制约于地球环境与资源能够“容忍”的范围内。协调人类与自然的关系以期达到“既满足当代人需要，又不危害后代人满足自身需要能力发展的持续性发展”。《议程》的要点与地球科学的使命是吻合的，顺理成章地被接受为地球科学发展进步的纲领。

《议程》的中心议题与基本目标是，使人类获得持续生存的方式，当前问题在于世界人口急剧增长，每年近一亿的新生人口，给地球生态系统带来巨大的冲击与不堪负担的重压。出路在于协调人类生活和生产的整体水平和方式，并使其与地球的承载力相适应。“人口与地球承载力的关系”是地理学研究的传统课题，今后更需要从新的认识水平加强这方面的内容。

《议程》提出了许多与地球科学密切相关的内容，如：

(1) 自然资源的合理利用。地球的资源潜力是有限度的，因此要合理开发，贯彻保护非再生资源与持续利用的战略，这将是地球科学着重研究的课题。它主要涉及：①淡水资源保护，水资源的承载力分析，水资源合理利用，防止污染及污水处理等。地球科学研究应按地球圈层学科的划分，将降水、地表水、地下水的自然过程，水循环、水资源与淡水管理等进行一体化研究。陆地资源合理利用 陆地资源有限制地开发利用将是《议程》重要内容之一 包括平原、山地、荒漠等各类生态环境，地表土壤发育，地貌过程，岩石圈结构，地球内动力，矿产的形成分布等。中国是多山的国家，山地环境资源的合理开发利用至关重要。山岳是由各类斜坡构成的，是物质不稳定、生态差异变化迅速的地区。根据山地环境的特点，了解其环境演变过程规律，合理规划利用，使其与人类社会经济活动协调发展。 能源，合理利用非再生能源——煤、石油、天然气 减少其燃烧利用中造成的环境污染。同时，加强开发可再生的对环境无害的能源系统——太阳能、风能、水能、潮汐能、波浪能等。研究这些地球自然环境要素的新技术，必将成为地球科学应用发展的新增长点。 森林、草地、湿地资源，具有涵养水土，调节气候，抑制沙漠化，保持生物多样性等的作用，是地球科学的传统研究内容。在当前对《议程》研究中，宜从人类生存发展存在的自然危机的新高度，进行研讨并给出协调发展规划。

(2) 大气与海洋的利用。大气与海洋是流动的，贯通全球的自然环境，也是全球共同的资源，海洋巨大的水体是生命的摇篮，风雨的故乡，是人类生存发展最大的潜在资源宝库——食物、土地、能源、矿藏。1982年通过并于1994年

11 月起实施的海洋法，规定了划归沿岸国管辖的海域面积达 $1.3 \times 10^8 \text{ km}^2$ 与全球陆地面积相近 ($1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$)。按国际海洋法，在 200 n mile 专属经济区内，如果丧失一个具有人类居住条件的岛屿，就会丧失 $43 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的管辖海域，丧失 $43 \times 10^4 \text{ km}^2$ 海域内海洋资源的所有权。因此，在 21 世纪 海洋意识、海洋国土意识就非常重要。人类活动引起气候变暖，海平面上升，后者促使风暴潮、灾害天气频繁发生，海岸低地沉溺等一系列问题。世界海洋捕捞量已接近其最高限度—— $1 \times 10^8 \text{ t}$ 。公海倾废、油船泻溢、河流排污、大气携运污染物于海洋等等均已相当严重 将使海洋失去容纳与稀释能力 必然危及大气及降水更新 进一步又反馈给人类。海洋及大气是全球贯通的，与人类生存息息相关。 21 世纪是海洋科学世纪已成为发达国家与学术界的共识。

(3) 与人类居住环境有关的生存质量的改善与管理。主要是城镇、乡村的人口膨胀 供水、居住的条件与质量 废物废水的处理 能源交通条件 以及医疗、教育等服务设施。中国现代化的建设过程，已反映出城镇迅猛发展过程，全国城市总数由 1949 年的 168 个增加到 1993 年底的 570 个 城市人口已占全国人口的 32.7%。其国民生产总值占全国的 59% 利税总额占 77.7%。经济发展快，城市发展变快，现代化、国际化成了中国城市化的新一轮目标。我国的地球科学有个优点 即重视野外实践 将近 50 年来 研究工作主要在边远区域 青藏高原、戈壁沙漠等 但对城市、人口密集区域的研究却相当薄弱 城市、人口密集的区域（也是中国经济发达的区域）成为地质学家、地理学家遗忘的角落。《21 世纪议程》提出了全球范围城乡地区环境与发展战略，为地球科学在城镇与乡村的自然、社会经济及信息等方面的研究提供了目标与纲领。

对化学品的利用、生活废弃物的管理也是人口增长、工业发展、废弃物积聚引起的环境污染与疾病问题的一大原因。发展中国家 80% 的疾病与 1/3 的死亡是由于食物、水和空气的污染造成的。经济上的发展带来的效益常被社会环境质量的下降而抵消。对发展中国家，尤其要注意对生活废弃物的管理，减少废物对环境的污染。这是开发资源，发展经济必须注意到的环境效益问题，它包括了社会重视、技术处理及法规管理等项措施。地球科学应从地球开放体系的角度加以重视，并提出处理废物的正确途径，避免扩散与再污染。

以上阐述可以看到，《议程》为当代地球科学的发展提供了良好的条件与难得的机遇。在这中间 环境地质学可找到自己应有的地位 可以说，《议程》提出的许多重大的纲领性措施，为环境地质学发挥作用提供了广阔的领域。

三、地球的演化

1. 宇宙中的地球

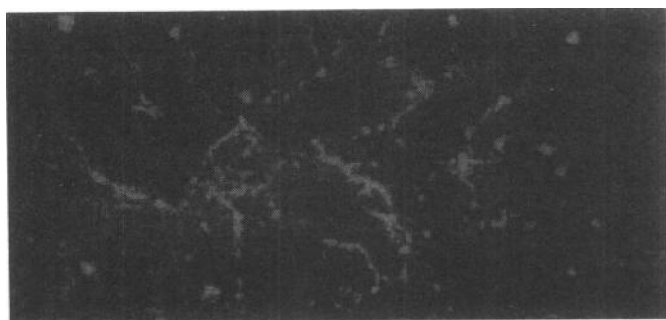
地球是宇宙中的一员。早期的地球是一片带状的星云，在这巨大带状内大量的物质生成并被猛烈地抛开，而穿过一个不断增大的空间。这巨大星云带的年龄，通过推算宇宙明显地开始扩张时间，或通过元素的产生和不同类型星体演化速率的对比研究，多数学者认为是 150~200 亿年。

星云在不断扩大，其物质在空间的分布是不均匀的。由于重力作用使得局部物质结集，其中有的汇聚到一定的体积与硬度，而结聚体内部的原子释放核能，其能量被隔离包含在结聚体深部，这就形成原始的星体。星体是在演化的，它们的光度在逐渐变化下降，表明其核燃料在燃烧，不断丧失能量和质量。最终，星体将衰败，冷却成黑的小矮星，或者由于质量增加爆发成超新星。星体早期的质量取决于燃烧的速度，有的星体在几十亿年前就已烧尽消亡，有的还正由星云残体及老星体碎片构成 经历了 100~200 亿年仍停留在早期的阶段。

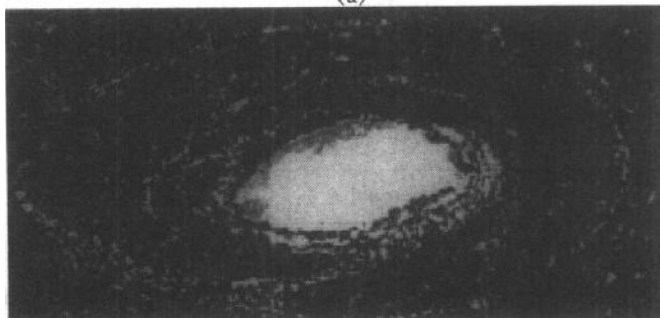
太阳是一个中年星体，处于生成向衰亡的过渡阶段。太阳系形成于 50 亿年前，它是由气体和尘埃物质构成的云状物，由于来自邻近的超新星爆炸产生的震波，使云状物聚集，形成太阳系的雏形（星云），发展早期的太阳是由宇宙中最多的元素（氢）组成的。这巨大的球体受到压缩，增温和密度增大而产生核反应。这样，从一个气体的球体演化为放射光及其它能量的星体。太阳在消耗尽其巨大能量燃料演变为冷却的小矮星，还需要再经历 50 亿年。在原始太阳形成的同时 尘埃围绕太阳运动并各自聚集 遂形成行星（图 1-1）。通过岩石年龄测定法测得，陨石及月球上碎块的年龄约为 46 亿年，因此太阳系形成早于 50 亿年。

太阳系的行星组成，很大程度上取决于距灼热的太阳的距离。距太阳很近处，因温度太高，最初固体物质无法形成，主要是高温的固体物质——金属铁和一些高熔点的矿物，几乎不含水。距太阳稍远，温度渐低，就具有形成行星的条件。行星形成过程中可包含低温物质，包括一些含结晶水的物质（这些物质使地球上有可能具有液态水）。距太阳更远处，温度太低，原始气体中几乎所有的物质，甚至像甲烷和氨这种在地表常温下为气体的物质均可凝结。

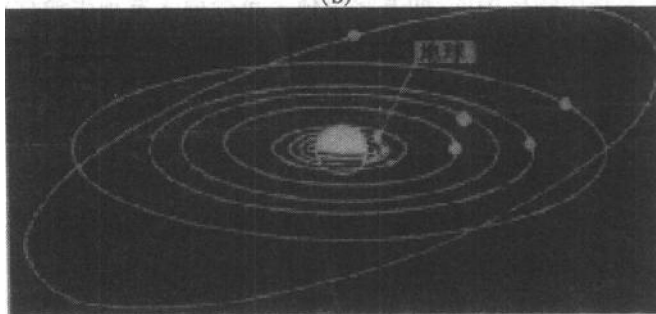
所以，行星是由小块冷凝物质经重力作用相互吸引而集结起来的。大多数发展中的行星的重力场太弱，无法保持气态物质，它们随着早期的太阳流失的物质和能量流而飞逸消失，其中只有质量大的木星和土星例外。它们的质量大到



(a)



(b)



(c)

图 1 太阳系的形成

足以捕获云状体中所有的物质，包括最轻的亦是含量最多的氢元素，结果，氦成为木星与土星最主要的构成物，其比例超过太阳和其它恒星。假使土星的质量增加 **70** 倍，它就可以变成恒星。

太阳系的这些形成过程使各行星的组成互不相同，表 1-1 给出太阳系主要星体的一些基本数据，距太阳较近的行星有较高的金属含量，而距太阳远的行星

表 1-1 太阳系的基本数据

行星	距太阳距离 / 1×10^6 km	质量 /以地球为 1	密度 /水 = 1	赤道直径 /以地球为 1
水星	58	0.055	5.4	0.38
金星	108	0.815	5.2	0.95
地球	150	1	5.5	1.0
火星	228	0.108	3.9	0.53
木星	778	317.9	1.3	11.19
土星	1 427	95.2	0.7	9.41
天王星	2 870	14.6	1.6	4.06
海王星	4 479	17.2	1.65	3.88
冥王星	5 900	0.001 6	1.08	0.23

含较多的冰和气体。假使今后要在行星上开采矿产的话，就要考虑这些差异。行星的化学组成与性质也不同于地球，其成矿过程，矿产与其它资源亦不同于地球，这就需要有别于地球上的一些理论与方法，才能去发现和利用它们。地球上利用的能源主要是生物成因的，而其它星体上至今尚未发现生命存在，即使是金星，它距地球最近，体积、密度与地球相似，但亦与地球有很大差异，它浓密、云状的大气饱含二氧化碳，具有很强的温室效应，其表层的温度能使铅熔化。

2. 早期的地球

早期的地球与今日的地球有很大不同，当时没有大气层和海洋，地表遍布岩石荒漠与陨石坑，与月球表面相似。

地球形成以来一直在变化着，而且早期的变化更为显著。地球也是由重力吸聚了冷凝碎片组成的“尘埃球”演变的。早期富铁的金属物质聚集于核心形成今日的地球的基础。

原始的地球受到加热过程。尘埃汇集的撞击提供了热量，这种热量大部分散射消失于太空，其中一部分进入到正在不断积聚物质的地球内部，随着尘埃球加大，重力导致地核的压力也使地球加热（物质受压升温，比如给自行车轮胎打气，使气筒变热）。另外，地球包含有天然放射性元素，蜕变使地球获得热量。这三种热源，使地球内部升温达到部分熔化。由于铁的密度大，使铁物质移向地球中心部分。随着地球外层的逐渐冷却，轻轻的低密度的矿物结晶分异出来，并浮

到表层，最终使地球分成圈层：富铁的地核，铁镁硅酸盐的地幔，表层薄的钙、钠、钾、镁的地壳(图 1-2) 这过程在 40 亿年前已完成。

人们直接观测研究的主要是地壳，及一小部分被火山活动带至地壳的上地幔物质。地核的组成、物性主要是通过间接的分析研究认知的。通过对恒星的分析以推测整个太阳系星云的原始组成。实验和理论计算，得知云状物中冷凝固体物质及温度条件。根据陨石的来分析来推测地球的组成。近代用地球物理方法(主要是地震波)来探测研究地球内部的构造、组成(表 1-2)。

表 1-2 地球的化学元素

地球中各种元素所占比例/%		地壳中各种元素所占比例/%	
铁	32.4	氧	46.6
氧	29.9	硅	27.7
硅	15.5	铝	8.1
镁	14.5	铁	5.0
硫	2.1	钙	3.6
镍	2.0	钠	2.8
钙	1.6	钾	2.6
铝	1.3	镁	2.1
其它元素	0.7	其它元素	1.5

3. 早期的大气与海洋

早期地球的增温及其分异作用，产生了重要的结果——形成大气层及海洋。许多含结晶水及气体的矿物，在加热熔化时将水和空气释放出来，随着地球表面的冷却，这些水得以汇聚成大洋。地球是太阳系中唯一的具有丰富表层水的星体。重要原因之一是地球与太阳的距离最佳，太阳向地球提供热量，保持地球温暖，而这最佳距离使地球大部分的温度处于 0~100℃ 之间，水能以液态为主存在于地球表面。这对地球演变十分重要，液体水是许多化学物质的最好贮存场所，并使它们彼此易于进行化学反应。

地球早期的大气层中是没有氧气的(游离氧)。早期大气层中主要是氮和二氧化碳。这些气体主要由火山作用释放出来，由氮、二氧化碳及少量甲烷、氨和硫磺等气体构成，没有氧，来自太阳的紫外线能穿透到地表。而现在，来自太阳的紫外线几乎全部被大气最外层中的氧所吸收掉。显然，地球早期的大气由于

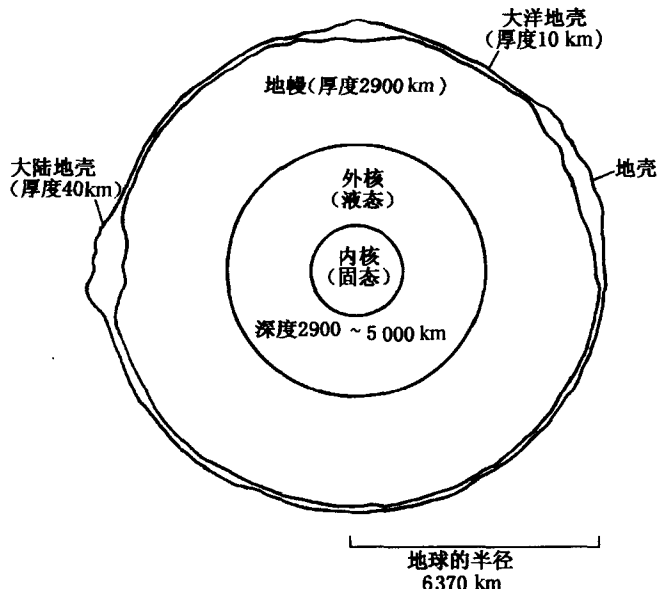


图 1-2 地球的结构

缺乏氧，人类及绝大多数生物无法在这种大气层中生存。大气中氧的产生与积聚依赖于藻类，一种最简单的植物（单细胞的蓝绿藻）大量的出现，改变了大气的组成，现在已在最古老的岩层中，发现了几十亿年前的蓝绿藻化石。这些原始的植物通过光合作用制造食物，利用阳光为能量消耗二氧化碳，将氧气作为副产品释放出来，最终大气层中积累了可维持吸氧生物需要的足够量的氧气。

4. 地球表层的演化

经过早期的分异作用，地球的地壳及大陆、大洋形成，但与现在的地球大不相同。陆地运动，当初的洋底的岩层今日可分布于高山及内陆干燥区，表明地表的演化，海盆可抬升为大陆。从洋底新生的陆块不断拼接组合于陆块，使大陆增生，火山活动形成新的地壳，而今已无大规模火山活动，只是在岩层中留下了地质历史时代的火山遗迹，在漫长的地史时代，高山可被侵蚀削平，而后堆积成岩再度抬升在同一区域可以有几次轮回。

目前，已可重建地球表面大部分地区的地质演变历史，也能从岩石及化石来了解该区域岩石的形成，及已成为化石的生物，当时的生态环境——古地理环境。在一个区域内古老的岩石被新的岩石所覆盖，或被各种地质作用所破坏改变，从这些构造特征中，可以分辨出这区域的地质演变，了解地质事件——造山

运动等。

5. 地球上生命的演化

生命的起源主要是生命科学研究的课题，但目前，地质学者也参与这一研究。地质学从岩石的“记录”中探索生命现象及生命存在的环境条件，当然目前仅是在探索的阶段。岩石记录向我们展示了不同时期出现的植物和动物群落。最古老的生物因为没有坚硬的骨骼、牙齿之类的硬体，而在岩石中几乎没有留下任何痕迹。当氧在地球的大气中稳定存在后，大约在 10 亿年前出现了多细胞的吸氧生物，至 6 亿年前，地表已广泛分布着有壳的海生动物。

随着生物的硬体部分——外壳、骨骼、牙齿等在岩石中保存增多，人们对那时期的生物状况及其进化，逐渐有较多的了解。大约在 5 亿年前发现有脊椎动物的证据，到 4 亿年前出现早期的陆生植物，3 亿年前出现昆虫。随后，爬行动物和两栖动物登上陆地，约在 2 亿年前恐龙出现并达到鼎盛，最早的哺乳动物大体在这时期出现。约在 1.5 亿年前，鸟类的发展，热血动物盘旋空中，至 1 亿年前，哺乳动物和鸟类已很旺盛，并在地表安居下来。

人类的出现是在地球最近时期，最原始的人类化石在 400 万年前，现代智人在 50 万年前才出现。50 万年是地球历史中很短暂的瞬间。而人类的文明仅一二千年，甚至只是最近的一二百年的时间。但是人类的文明已经对地球产生了巨大的影响，影响的程度已远远超过人类占据地球时间的比例。随着人口增加，人类对地球的影响将更大。环境地质学，也可以说是研究人类对地球（地表）环境的影响，取其利避其害，使人类的社会活动更适应于地质环境的演化过程。

四、人口、资源与自然环境

当前，人类面临着人口、资源与环境的三大问题，而其中人口问题是关键。随着世界人口的迅速增长，带来了资源问题及环境问题，跟着产生一系列社会经济问题。由此，在研究环境、资源时，必须与人口问题相联系，必须从人口增长的角度来审查评价资源及环境。

1. 人口增长对资源环境的影响

人口迅速增长带来最明显的问题是粮食不足。最近 20~30 年来，世界粮食生产（包括发展中国家）总的形势是良好的，这是由于农田面积的增加，高产种子

的培育及化肥、农药的使用，但随着人口增长，人均农田量下降了，从而增加了对农业用地的压力，使土地退化，环境质量下降，一些地区（例如非洲）人均粮食产量的下降。按 1986—1988 与 1976—1978 年比较，非洲粮食的总产量增加 23%，但因人口增长速度超过农业增长，非洲人均粮食产量反而下降 8%。由于地区分配不平衡，非洲南撒哈拉地区缺粮问题仍相当严重。

土地是一种可更新资源，人们可以改进耕作方式，应用科学技术，在短时期内改变土地状况，增加粮食收成或增加牲畜。另一类资源是不可再生的——矿产、燃料等。当这些资源消耗尽，就得找替代物。随着人口快速增加，人类需要的矿产、燃料、材料的需要量也将随之增加，这会使这些资源的市场价格上涨，促使人们加速开采。但这些资源的总量是有限的，因此，人口增加越快，资源消耗的速度也越快，最终这些资源将枯竭得越快。

人口增长对环境影响最主要的是自然系统的破坏（disruption of natural systems）。在自然界各要素是保持相互平衡的，构成自然系统，当系统中某一因素变化时，相应地会产生补偿性变化，在一个较小的系统中，产生系统的破坏，经过较短的时期，各因素的反馈补偿，将恢复系统原状，系统的破坏迹象将消失，例如，海岸带系统中，风暴造成海滩侵蚀，风暴过后海滩将调整复原，海滩植被亦将恢复。但规模大的自然系统的破坏，则将是永久的，不可逆的。例如，人类活动造成的温室气体的排放，可以改变大气的功能，破坏了阻挡紫外线的臭氧层，同时促进整个大气层的保温功能，其结果是地面气温上升，特别是高纬度地区增温明显，促使目前的生态系统破坏，环境改观。而这种变化不可能在几十年、短时期内复原。

由于人类科学技术进步，人类活动的影响力也在加强，人类活动将产生并加速地表自然系统的永久性变化。而人口增长加速，这种影响力亦将加强。环境污染最能说明这种情况。几户人家的炊烟会对四周空气产生影响，但它对全球的影响完全可忽略不计。现代工业社会，一年中向大气排放 $59 \times 10^8 \text{ t}$ 二氧化碳（1987 年）逐年的累积，其影响则是全球性的永久的。同样，当 5 个人向海洋中抛弃垃圾不会明显地污染整个海洋，而如果是 50 亿人都这么做，问题就严重了。

2. 人口增长的速度与结果

原始人类依食物和水源而居，气候必须适宜于生存，其占有的面积与人口数量大致相适应。早期，人口增长是比较缓慢的，直到 19 世纪 30 年代，世界人口才达到 10 亿，而后社会发展，世界人口快速增加，经过 100 年，至 20 世纪 30 年代，达到 20 亿，即用 100 年的时间人口净增 10 亿，至 1960 年，达 30 亿，即仅 30 年时间人口又增加 10 亿（表 1-3）。目前世界人口已达到 60 亿，而人口增加的

速度还不断在加快。人类已经不只局限在条件理想的区域居住，也可以利用人造环境（取暖、空调设备），在极端的气候条件下舒适地生活。通过现代化的运输工具，将远处的食物、水和各种生活必需品运到有人居住的地方。人类生存的空间不断在扩大着。

表 1-3 世界人口的增长速度

人口数	大致的年代	增加 10 亿人所花费的时间
10 亿	1830 年	50 万年
20 亿	1930 年	100 年
30 亿	1960 年	30 年
40 亿	1975 年	15 年
50 亿	1987 年	12 年

人口增长速度的地区差异性很大，其原因是多方面的，总的趋势是经济发达国家，人口是零增长或负增长（移民因素除外），而发展中国家常常是人口增长迅速的区域。中国是人口众多的发展中国家，是实行计划生育控制人口增长最有成效的国家，受到世界的关注、赞赏。即使世界人口增长保持稳定，在单位时间内人口数量还会不断增加，这就像银行中存款，当年的本金加固定的年利息，构成下一年的本金。同样的，当 100 万人口以每年 5% 的速度增长，第一年将增加 5 000 人，到第 10 年，一年内将增加 77 566 人，其结果是即使人口增长速度不变而人口 / 时间曲线将越来越陡。

目前世界人口平均增长率是每年 1.7%，比 60 年代的 2% 已有所下降。联合国人口规划未来几十年内，人口增长率将继续下降。但是增长率的下降并不等于人口的减少。到 2025 年预计世界人口约 82 亿。1% 的增长率则每年将增加 8 200 万人（表 1-4）。

表 1-4 世界人口增长

	人口数/百万			人口增长速度/%		
	1960 年	1990 年	2025 年	1965—1970	1975—1980	1985—1990
世界	3 019.4	5 292.2	8 466.5	2.06	1.74	1.73
非洲	281.1	647.5	1 581.0	2.63	2.93	3.00
南美洲	146.8	296.8	498.4	2.47	2.27	2.07
亚洲	1 666.8	3 108.5	4 889.5	2.44	1.86	1.85
北美、中美洲	269.5	427.2	594.9	1.64	1.47	1.28
大洋洲	15.8	26.5	39.0	1.97	1.51	1.44

续表

	人口数/百万			人口增长速度/%		
	1960年	1990年	2025年	1965—1970	1975—1980	1985—1990
欧洲	425.1	497.7	512.3	0.67	0.45	0.23
美国	180.7	249.2	300.8	1.08	1.06	0.82
加拿大	17.9	26.5	32.1	1.61	1.04	0.88
英国	52.4	56.9	57.5	0.47	0.04	0.11
中国	657.5	1 135.5	1 492.6	2.61	1.43	1.39
日本	94.1	123.5	128.6	1.07	0.93	0.44
印度	442.3	853.4	1 445.6	2.28	2.08	2.08

据世界资源报告,1992—1993,第346~353页。

3. 地球能养活多少人

地球究竟能养活多少人?这是很难回答的问题,除了统计、计算的困难以外,还有个“养活”的标准问题,是仅仅维持生命的养活,还是按当今发达国家生活标准养活,甚至考虑到今后更高生活水平。同样,技术水平的进展,资源的深度开发,也使可供维持人类的数量大不相同。这里主要从土地承载力总的原则加以讨论。一个区域资源环境对人口的承载量的具体分析,将在以后叙述。

养活人最基本的是食物。世界可耕地面积约 $79 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 即每人约 1.5 hm^2 可耕地面积很大程度上决定于水资源,即降水、灌溉使土地适于耕种,同时有土壤肥力,水土保持,防止土壤退化等等。所以,土地面积及土地质量可作为养活人数量的一个重要标准。另外,亦可依水资源来计算,生产 1 t 玉米需水 $1\ 136 \text{ t}$, 生产 1 t 小麦约需水 $4\ 500 \text{ t}$, 1 t 牛肉需水 $3.4 \times 10^4 \text{ t}$ 。食物是通过一定数量的水获得的。在发达国家粮食生产是以大量能耗为基础的,高度现代化的农业、精细的加工、长途的运输,可以说能源控制了食物的生产。由此,养活人的食物转化为土地、水、能源。

在人类的消费过程中产生大量废弃物,这些废弃物一部分可重新利用或再循环利用,但其中有的则不能再利用,为存放这些不能再利用的废弃物,要寻找适当的地点,隔离这些有害的废弃物,避免与人们接触,这亦需要一定数量的土地及能源材料,凡此种种要合理利用土地,由此产生土地利用规划的工作,以使人们居住生活合理舒适。

地球能养活多少人,一个国家地区的环境资源能养活多少人,这是地理学及

整个地球科学研究的重要课题。查明某一区域自然环境与资源，研究其承载力亦是环境地质学重要的工作内容。

4. 人口资源的不平衡分布

假设，目前地球的环境资源适宜 50 亿人，即全球的承载力是足够的，但对于具体一个国家，一个区域来讲，可能完全不是这样，表现为人口密度过大，资源不足，难以维持。可以说，土地、能源、矿产和淡水...任何一种资源都不是均匀地分布于地表的。同时，世界各地人口的分布亦是不均匀的，美国人口密度为 65 人/km² 中国是 110 人/km² 印度是 239 人/km² 孟加拉是 699 人/km²。就在中国境内人口密度的差异也是十分显著的。

大多数人口最密集的国家都是资源贫乏，往往少数几个国家控制了某种矿物的大部分。石油的不均匀分布最为明显，少数几个富油国供应着全球的石油需求。矿产等其它资源亦多如此。因此，在纯自然的资源环境研究中，掺杂了复杂的政治经济问题，这些在环境地质研究中亦应给予适当的注意。

中国是一个人口众多，资源环境条件复杂，而经济正在迅速发展的发展中国家，这将在自然环境与资源的合理利用中，面临许多新的挑战，是环境地质学发挥作用的良好时机。

参 考 文 献

1. 中国 21 世纪议程北京：中国环境科学出版社，1994
2. 世界资源研究所，张崇贤等译，世界资源报告（1992—1993）北京：中国环境科学出版社，1994
3. 世界资源研究所，叶汝求等译，世界资源报告（1990—1991），北京：中国环境科学出版社，1992
4. 曲格平，中国环境与资源的形势和对策，中国人口、资源与环境，1994，4(3):4~8
5. 解振华，中国的环境问题和环境对策中国人口、资源与环境，1994，4(3):9~12
6. 闵茂中，倪培等，环境地质学，南京：南京大学出版社，1994.1~10
7. Carle W. Montgomery environmental geology. 3rd ed. Wm. C. Brown Publishers, 1992
8. Blaxter K. People food and resources. Cambridge University Press, 1986
9. Keyfitz N. The growing human population. Scientific American 1989, 261(3) :118~26
10. Vu M T. World population projections. The Johns Hopkins University Press, 1985
11. Bates B L, Jackson J A. Glossary of geology. 2nd ed. Salls Church/Virginia; American Geological Institute, 1980
12. 钱学森，谈地理科学的内容及研究方法，见：中国地理学会主编，面向 21 世纪的中国地理学，上海：上海教育出版社，1997.1~15

13. 王颖. 中国海岸科学与海岸地理学的新进展. 见: 中国地理学会主编. 面向 21 世纪的中国地理学. 上海: 上海教育出版社, 1997. 168~182

14. 钟祥浩. 山地研究的一个新方向 —— 山地环境学. 山地研究, 1998, 16(2): 81~84

第 2 章 地壳的构成——矿物与岩石

固体地球的最外圈是地壳，它是地质学最直接的和当前最主要的研究对象。地壳由岩石构成，而岩石由矿物组成，矿物是由各种元素组成的，地壳中的化学元素随着地质作用的变化，不断地进行化合和分解，形成矿物。

一、元素

1. 元素和同位素

地球上所有的天然物质以及大部分的合成物质都是由自然界天然产生的 90 多种化学元素组成的。由同种原子组成的物质称为元素。原子是元素在仍然保持其化学特性条件下所能划分出的最小粒子。每种元素具有固定的原子序数，在元素周期表中分别占有固定的位置。

原子核中质子数和中子数之和就是原子的原子量。同种元素的原子的质子数取决于元素的原子序数，而中子数可以不同，因而同种元素可以具有不同的原子量。具有不同原子量的同种元素的变种，称为同位素。在已知元素中，除 21 种元素外，其余元素都是两种或两种以上同位素的混合物。同位素是通过元素以及原子量来命名的。如碳具有三种天然同位素，其中最为常见的 ^{12}C 它是具有碳原子所共同拥有的 6 个质子之外还具有 6 个中子的同位素。较为罕见的是 ^{13}C 和 ^{14}C 它们除具有 6 个质子外 还分别具有 7 个和 8 个中子。从化学的角度看 它们的表现是相似的 就像人们无法区别糖中所含的 ^{12}C 和 ^{13}C 一样。

但是 有的同位素其原子核不稳定 会自行放射出能量 即具有放射性 这些同位素被称为放射性同位素。而不具有放射性的同位素，称为稳定同位素。天