

绪 论

1.1 地质学与工程地质学

地质学是一门关于地球的科学,其研究对象主要是固体地球的上层,主要包括以下几方面内容。

- (1) 研究组成地球的物质,矿物学、岩石学、地球化学等分支学科承担这方面的研究。
- (2) 阐明地壳及地球的构造特征,即研究岩石或岩石组合的空间分布。相关的分支学科有构造地质学、区域地质学和地球物理学等。
- (3) 研究地球的历史以及栖居在地质时期的生物及其演变。研究这方面问题的有古生物学、地史学和岩相古地理学等。
- (4) 地质学的研究方法和手段,如同位素地质学、数学地质学及遥感地质学等。
- (5) 研究、应用地质学,以解决资源探寻、环境地质分析和工程防灾问题。

从应用来说,地质学对人类社会担负着重大使命,主要包括以下两方面:一是以地质学理论和方法指导人们寻找各种矿产资源,这是矿床学、煤田地质学、石油地质学、铀矿地质学等学科研究的主要内容;二是运用地质学理论和方法研究地质环境,查明地质灾害发生的规律和防治对策,以确保工程建设安全、经济和正常运行。

广义地讲,工程地质学(Geotechnical Engineering)是研究地质环境及其保护和利用的科学;狭义地讲,工程地质学是研究人类工程活动与地质环境相互关系的一门科学。

1.2 工程地质学的主要任务和研究方法

工程地质学在工程建设和国防建设中的应用非常广泛,由于它在工程建设中占有重要地位,从而早在20世纪30年代就获得迅速发展而成为一门独立的学科。中国工程地质学的发展始于新中国成立初期。经过60多年的努力,该学科不仅能适应国内建设的需要,而且开始走向世界,建立了具有中国特色的学科体系。纵观各种规模和类型的工程,其工程地质研究的基本任务,可以归结为以下三方面。

(1) 区域稳定性研究与评价,是指由内力地质作用引起的断裂活动——地震对工程建设地区稳定性的影响;

(2) 地基稳定性研究与评价,是指地基的牢固、坚实性;

(3) 环境影响评价,是指对人类工程活动对环境造成的影响进行评估。

具体来说,工程地质学的基本任务就是依据工程地质条件进行工程选址(选线)和场地评价。

工程地质学的具体任务如下:

(1) 评价工程地质条件,阐明兴建、运行地上和地下建筑工程的有利和不利因素,选定建筑场地和适宜的建筑物形式,保证规划、设计、施工、使用和维修顺利进行;

(2) 从地质条件与工程建筑相互作用的角度出发,论证和预测有关地质问题发生的可能性、规模和发展趋势;

(3) 提出改善、防治或利用有关工程地质条件的措施,以及加固岩土体和防治地下水的方案;

(4) 研究岩体、土体的分类和分区及其区域性特点;

(5) 研究人类工程活动与地质环境之间的相互作用和影响。

运用工程地质学在工程规划、设计以及解决各类工程建筑物的具体问题时,必须展开详细的工程地质勘察工作。工程地质勘察的目的是取得有关建筑场地工程地质条件的基本资料并进行工程地质论证。

工程地质学的研究对象是复杂的地质体,所以其研究方法应是地质分析法与力学分析法、工程类比法与试验法等的密切结合,即通常所说的定性分析与定量分析相结合的综合研究方法。要查明建筑区工程地质条件的形成和发展,以及它在工程建筑物作用下的发展变化,首先必须以地质学和自然历史的观点分析、研究周围其他自然因素和条件,并了解这些自然因素和条件在历史过程中对它的影响和制约程度,这样才有可能认识它形成的原因,预测其发展变化趋势。这就是地质分析法,它是工程地质学的基本研究方法,也是进一步定量分析、评价的基础。对工程建筑物的设计和运用要求来说,只有定性的论证是不够的,还应对一些工程地质问题进行定量预测和评价,即在阐明主要工程地质问题形成机制的基础上,建立模型进行计算和预测,如地基稳定性分析、地面沉降量计算、地震液化可能性计算等。当地质条件十分复杂时,还应根据条件类似地区已有的资料对研究区的问题进行定量预测,即采用类比法进行评价。采用定量分析方法论证地质问题时,须采用试验测试方法,即通过室内或野外现场试验,取得所需要岩土的物理性质、水理性质及力学性质数据。对地质现象的发展速度进行长期观测也是常用的试验方法。综合应用上述定性分析与定量分析方法,才能取得可靠的结论对可能发生的工程地质问题制定出合理的防治对策。

1.3 工程地质条件和工程地质问题

为了保证地基稳定可靠,必须全面研究地基及其周围地质环境的有关工程条件,以及当建筑物建成后某些地质条件可能诱发的工程地质问题。

1.3.1 工程地质条件

工程地质条件是指与人类活动有关的各种地质要素的综合,是一个综合概念,主要包括以下六个方面。

1. 地形地貌

地形地貌对建筑场地和线路的选择有直接影响。

(1) 地形是地表起伏和地物的总称,地形起伏的大势一般称为地势。中国地形剖面图如图 1-1 所示。

(2) 地貌是地球表面的各种面貌,由不同的地质条件造就,是各种内、外力作用的结果。根据成因,地貌可分为喀斯特地貌、冰川地貌、风蚀地貌、丹霞地貌等,如图 1-2 所示。

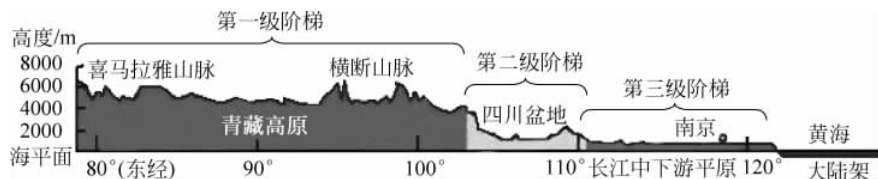


图 1-1 中国地形剖面图(沿北纬 32°)



图 1-2 几种常见的地貌

(a) 丹霞地貌; (b) 喀斯特地貌; (c) 冰川地貌

2. 地层岩性

地层岩性是最基本的工程地质因素,包括地层的成因、时代、岩性、产状、成岩作用特点、变质程度、风化特征、软弱夹层和接触带以及物理力学性质等。岩性的优劣关系到工程的安全经济。

3. 地质构造

地质构造也是工程地质工作研究的基本对象,包括褶皱、断层、裂隙构造的分布和特征。地质构造,特别是形成时代新、规模大的优势断裂,对地震等灾害具有控制作用,因而对建筑物的安全稳定、沉降变形等具有重要意义。几种典型的地质构造如图 1-3 所示。

按照成因,裂隙又可以分为构造裂隙和非构造裂隙;根据两侧岩块的位移方向,断层又可分为正断层、逆断层和平推断层。

4. 水文地质条件

水文地质条件是重要的工程地质因素,包括地下水的成因、埋藏、分布、动态和化学成分等,直接影响岩土的稳定性的。

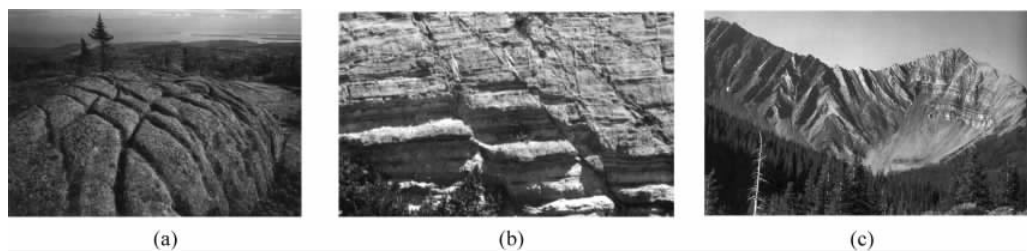


图 1-3 地质构造

(a) 裂隙构造; (b) 断层; (c) 褶皱

5. 不良地质作用

不良地质作用是现代地表地质作用的反映,与建筑区地形、气候、岩性、构造、地下水和地表水作用密切相关,主要包括滑坡、崩塌、岩溶、泥石流、河流侵蚀、荒漠化与地陷等,对评价建筑物的稳定性和预测工程地质条件的变化意义重大。常见的不良地质作用如图 1-4 所示。

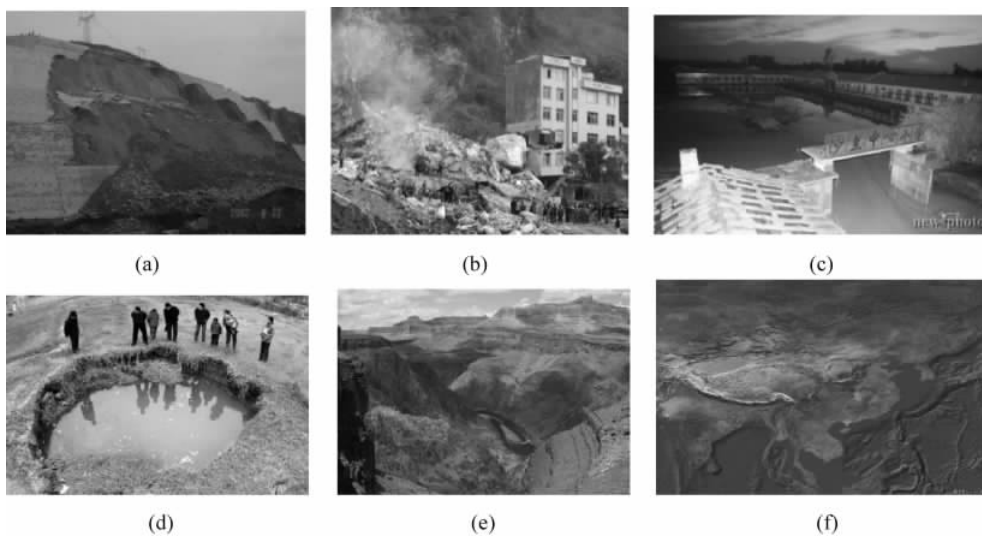


图 1-4 几种常见的不良地质作用

(a) 滑坡; (b) 崩塌; (c) 泥石流; (d) 地陷; (e) 河流侵蚀; (f) 荒漠化

6. 天然建筑材料

天然建筑材料包括土料、砂砾石、石料等,应就地取材,因地制宜。

1.3.2 工程地质问题

已有的工程地质条件在工程建设和运行期间会产生一些新的变化和发展,对工程建筑安全造成影响的地质问题称为工程地质问题。由于工程地质条件复杂多变,不同类型的工程对工程地质条件的要求又不尽相同,所以工程地质问题是多种多样的。就土木工程而言,主要的工程地质问题包括地基稳定性问题、斜坡稳定性问题、洞室围岩稳定性问题以及区域

稳定性问题,现分述如下。

1. 地基稳定性问题

地基稳定性问题是工业与民用建筑工程常遇到的主要工程地质问题,它包括强度和变形两个方面。此外,岩溶、土洞等不良地质作用和现象都会影响地基稳定。例如,上海“莲花河畔景苑”在建楼房因地基稳定性问题整体倒塌,如图 1-5 所示。铁路、公路等工程建筑则会遇到路基稳定性问题。



图 1-5 上海“莲花河畔景苑”在建楼房整体倒塌

2. 斜坡稳定性问题

自然界的天然斜坡是长期地表地质作用达到相对协调、平衡的产物,人类工程活动尤其是道路工程须开挖和填筑人工边坡(路堑、路堤、堤坝、基坑等),斜坡稳定对防止地质灾害发生及保证地基稳定十分重要。斜坡地层岩性和地质构造特征是影响其稳定性的物质基础,风化作用、地应力、地震、地表水和地下水等对斜坡软弱结构面的作用往往会破坏斜坡稳定,而地形地貌和气候条件是影响其稳定性的重要因素。图 1-6 为铁路岩石崩塌滑坡事故的图片。

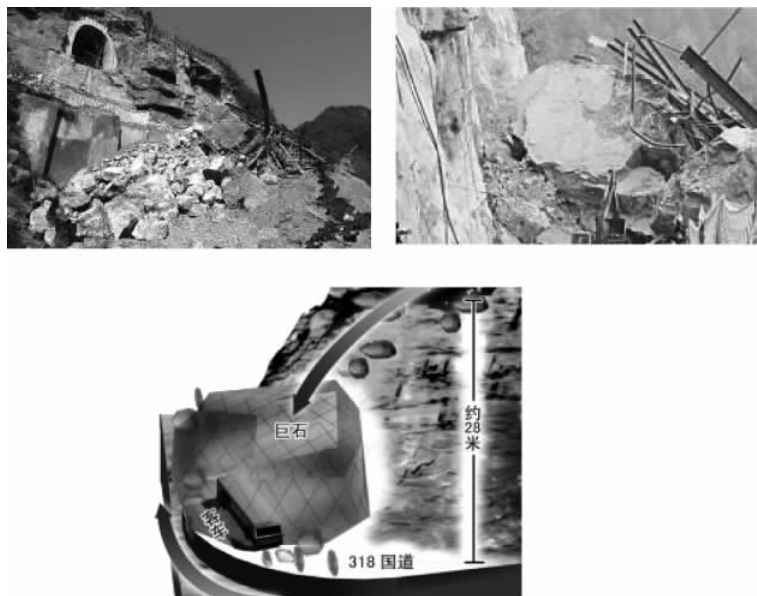


图 1-6 宜万铁路巴东隧道口岩石崩塌事故

3. 洞室围岩稳定性问题

地下洞室被包围于岩土体介质(围岩)中,如在洞室开挖和建设过程中破坏了地下岩体原始平衡条件,便会出现一系列不稳定现象,常见的有围岩塌方(见图 1-7)、地下水涌水等。一般在工程建设规划和选址时,要进行区域稳定性评价,研究地质体在地质历史中的受力状况和变形过程,做好山体稳定性评价,研究岩体结构特性,预测岩体变形破坏规律,进行岩体稳定性评价以及考虑建筑物和岩体围岩稳定所必需的工作。



图 1-7 2011 年 4 月 20 日甘肃兰新铁路隧道塌方

4. 区域稳定性问题

自 1976 年唐山地震以来,地震、震陷和液化以及活断层对工程稳定性的影响越来越引起土木工程界的注意。对于大型水电工程、地下工程以及建筑群密布的城市地区,区域稳定性问题是首先须进行论证的问题。图 1-8 为全球地震分布图。

土木工程专业学生学习本课程的基本要求如下:

- (1) 系统学习和掌握工程地质基础知识和理论;
- (2) 了解工程地质勘察的基本内容和工作方法;能正确提出勘察任务及要求,并运用勘察数据和资料进行设计与施工;
- (3) 依据工程地质勘察成果进行一般的工程地质问题分析并采取处理措施。

本章小结

工程地质学是研究地质学应用问题的重要分支学科,防灾是工程地质学的根本任务。

地基岩土的性质是保证地基稳定的基本条件。而建筑场地的地形性质、地下水、物理性质作用等地质环境因素往往对地基稳定性产生重要影响。

工程地质勘察是工程地质学的重要研究方法和技术手段,其目的是查明场地基本工程地质条件,并进行工程地质论证。

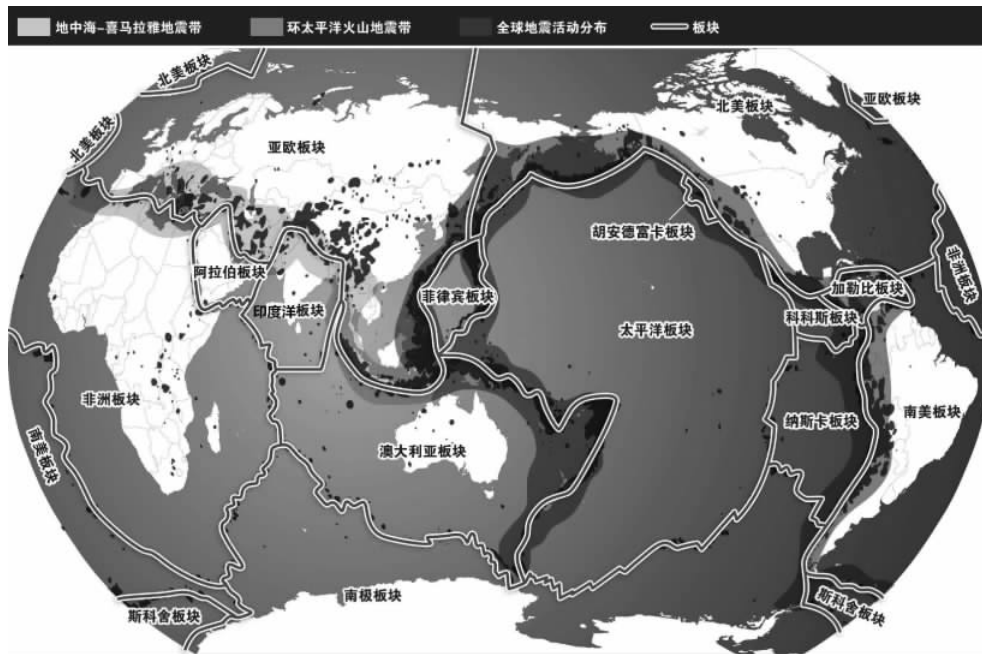


图 1-8 全球地震分布图

思考题

1. 试说明工程地质学与地质学之间的关系。
2. 试说明工程地质学的主要任务和研究方法。
3. 什么是工程地质条件和工程地质问题？它们具体包括哪些因素和内容？
4. 简述工程地质学的学习方法和要求。

矿物与岩石

土木工程与矿物岩石的关系十分密切,几乎所有的工程建设都离不开对岩石工程性质的了解,矿物和岩石是人类从事工程建设的物质基础。影响岩石工程性质的主要因素是组成岩石的矿物成分及其结构、构造特征,因此掌握主要造岩矿物的工程地质性质对鉴别岩石类型以及了解其工程特性有重要的意义。

2.1 地壳与地质作用

地质学是研究地球的一门学科,工程地质学是研究工程建设与地质环境相互关系的学科。以人类目前的技术水平,工程建设涉及的范围只是在地球表层,如世界上最深的矿山——南非兰德矿山,深度为 4117m;世界上最深的钻井——俄罗斯 Odoptu 油田的 OP-11 油井,深度为 12345m。由此可见,人类目前的工程活动都局限于地球内圈层中最上面的一个圈层——地壳。尽管如此,人类大多数工程活动不可能到达地壳深处,仅仅活动在地壳表层。地壳表面起伏不平,有高山、丘陵、平原、湖盆地和海盆地等,这种千差万别、丰富多彩的地球外貌是在各种内、外地质作用下,经过漫长的地质历史发展、演变而成的。

2.1.1 地壳

1. 地球圈层的划分

地球并不是均一的整体,通过记录地震波获得的地球物理资料表明固体地球是由不同圈层构成的。一般的工程建设都局限于地球表层几十米以内,但是对地球各圈层的了解,有助于人们深入认识地球表层的形成和演化,从而更好地为工程建设服务。

地球的圈层包括外圈层和内圈层。地球的外圈层是指大气圈、水圈和生物圈。

地球内圈层的划分相对外圈层要困难得多,了解地球内部的构造是一个非常困难的问题,对地球内部物质与构造的判断只能依靠间接信息来进行。最重要的间接信息是地震波在地球内部的传播速度,它不仅是划分地球内部圈层的基础,也是判断地球内部物质的密度、温度、熔点、压力等物理性质的重要依据。此外,还可以依靠陨石、地幔岩石学以及高温高压试验等提供的间接信息推断地球内部的物质成分。图 2-1 给出了地震波在地球内部不

同深度处的传播速度。波速的突变面称为波速不连续面或界面。从图 2-2 可以看出,在 33km 和 2900km 处存在两个一级界面。第一个界面叫莫霍洛维奇面,简称莫霍面或 M 面,它是南斯拉夫学者 A·莫霍洛维奇于 1909 年首先发现的。在此界面附近,地震纵波波速 V_P 由 7.6km/s 突然增至 8.1km/s。第二个界面是美国学者古登堡(B. Gutenberg)于 1914 年发现的,称为古登堡面。在此界面处,S 波(横波)消失,P 波(纵波)速度突然由 13.64km/s 下降到 8.1km/s。这两个界面把地球内部分为三个主要圈层——地壳、地幔和地核,如图 2-2 所示。

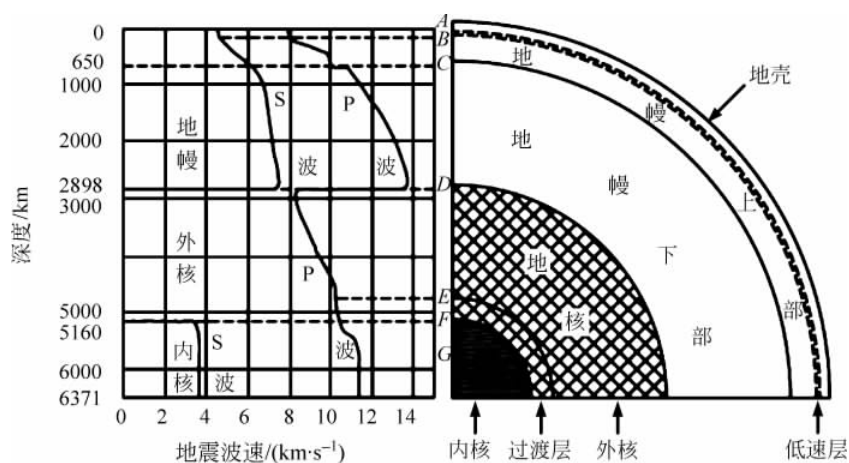


图 2-1 地球内部结构及 P 波和 S 波的速度分布

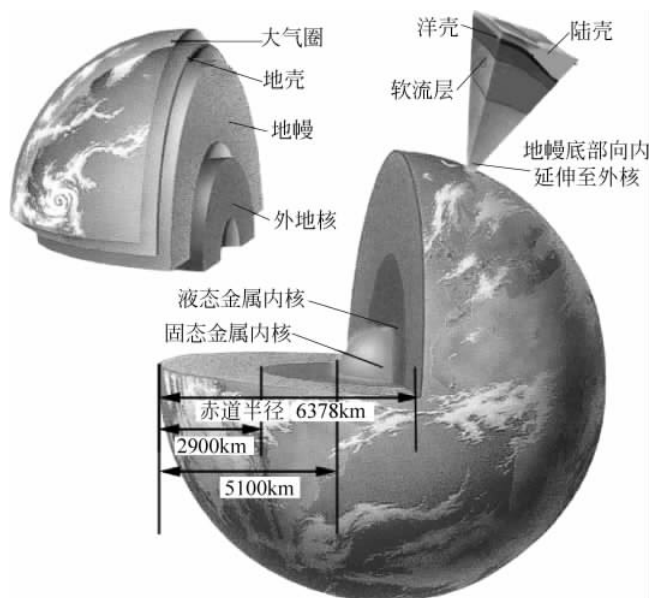


图 2-2 地球内部结构及分界面

1) 大气圈

大气圈是地球的最外圈层,其上界可达 1800km 或更高的空间。自地表到 10~17km

的高空为对流层,所有的风、云、雨等天气现象均发生在这一层,它对地球上生物生长、发育和地貌的变化具有极大的影响。大气圈的主要成分是 N_2 (78%) 和 O_2 (21%), 其次是 Ar (0.93%)、 CO_2 (0.03%) 和水蒸气等。

2) 水圈

水圈由地球表层分布于海洋和陆地上的水和冰构成。水的总体积约为 $1.4 \times 10^9 \text{ km}^3$, 其中海洋水占总体积的 96.5%, 陆地水只占 3.5%。可见,水在地表的分布很不均匀,主要集中在海洋。水圈中各部分水的成分和物理性质有所不同,其成分除作为主体的水外,还含有各种盐类。例如,海水含盐度高,平均为 35%,以氯化物(如 $NaCl$ 、 $MgCl_2$ 等)为主;陆地水含盐度低,平均小于 1%,以碳酸盐(如 $Ca(HCO_3)_2$) 为主。水在太阳辐射和重力作用下以蒸发、降水、径流等方式进行着周而复始的运动即水循环。水循环过程中不断产生动能,可促进各种地质地貌的发育,并对土和岩石的工程性质产生极为重要的影响。

3) 生物圈

地球生物存在于水圈、大气圈下层和地壳表层之中。生物富集的化学元素主要是 H、O、C、N、Ca、K、Si、Mg、P、S、Al 等。生物圈的质量很小,据估计相当于大气圈质量的 1/300,水圈质量的 1/7000 或上部岩石圈质量的 1/1000000。但是,生物圈对于改变地球的地理环境起着非常重要的作用。生物所产生的物质是人类的重要财富。

4) 地壳

地壳是莫霍面以上的部分,由固体岩石组成,厚度变化很大。大洋地壳较薄,仅有 5~10km; 大陆地壳的平均厚度是 35km,在造山带和西藏高原,其厚度达 50~70km; 整个地壳平均厚度为 16km。地壳分为上、下两层,上层为花岗岩层,又称为硅铝层,是富含硅的岩浆岩; 下层为玄武岩层,又称为硅镁层,是富含铁、镁的岩浆岩,如大洋地壳广泛分布的玄武岩物质。地壳与地球半径相比仅为 1/400,是地球表层极薄的一层硬壳,只有地球体积的 0.8%。

5) 地幔

地幔是介于莫霍面与古登堡面之间的部分,厚度约为 2800km。根据地震波的变化情况,以地下 1000km 激增带为界面,又可把地幔分为上、下两层。上地幔为莫霍面至地下 1000km 处,厚度为 900km,主要由超基性岩组成,平均密度为 3.5 g/cm^3 ,温度达 1200~2000℃,压力达 0.4GPa。下地幔为地下 1000km 至古登堡面处,厚度为 1900km,主要成分为硅酸盐、金属氧化物和硫化物,铁、镍含量增加,平均密度为 5.1 g/cm^3 ,温度达 2000~2700℃,压力达 150GPa。

6) 地核

自古登堡面至地心的部分称为地核。地核又分为内核、过渡层和外核,厚度为 3471km。地核主要是由含铁和镍很高且成分很复杂的液体和固体物质组成,密度约为 13.0 g/cm^3 ,温度达 3500~4000℃,中心压力达 360GPa。

2. 地壳

1) 地壳的表面形态

地球表面明显地分为海洋和大陆两部分,海洋面积占地球表面面积的 70.8%。大陆平均高出海平面 0.86km,海底平均低于海平面 3.9km。地壳表面起伏不平,有高山、丘陵、平原、湖盆地和海盆地等。世界最高的山峰为珠穆朗玛峰,高 8844.43m; 最深的海沟为马里