

绪 论

一、工程地质及水文地质在水利水电工程建设中的作用和任务

工程地质学及水文地质学是从地质学发展起来的 two 门新兴学科。工程地质学主要是研究与工程建设有关的地质问题的学科；水文地质学主要是研究地下水的学科。这两门学科都是以地质学为基础，而且互相关联、相互渗透，并各有特色。下面分别简要介绍一下它们在水利水电工程建设方面的作用和任务。

水利水电工程是国民经济建设中的重要组成部分，具有广泛的经济、社会和环境效益。如工农业的供水、灌溉、防洪、发电、航运、林业、渔业、畜牧业、旅游业及改善环境等。

工程地质在修建水工建筑物当中的作用和任务如下：

- (1) 勘察建筑地区的工程地质条件，为选点、规划、设计及施工提供工程地质资料，作为工程的依据。
- (2) 根据工程地质条件论证、评价并选定最优的建筑地点或线路方案。
- (3) 预测在工程修建时及建成后的工程管理运行中，可能发生的工程地质问题，提出防治不良的工程地质条件的措施。

生产实践证明：工程地质在工程建设中的作用，已不仅仅是完成为建筑物的修建提供必要的地质资料，而且贯穿在整个工程建设的规划、设计、施工及管理运行的全部过程之中。工程地质工作质量的好坏，直接或间接地关系着工程建筑的安全可靠性、技术可能性及经济合理性。历史经验表明：工程建筑，特别是水工建筑，不怕工程地质条件复杂，也不怕工程地质问题繁多，就怕对工程地质条件的勘察研究不重视和不充分，这样会给工程建筑带来严重的后果。

我国从 1949 年以来，已建成坝高 15m 以上的大坝水库 12000 余座。由于党和政府非常重视工程地质工作，因此，直接由于地质问题而产生的垮坝事故极为罕见。然而，由于对工程地质条件研究不够，或对工程地质问题处理不当，因而造成的水库或坝基漏水、水库淤积及边岸滑塌、隧洞塌方等工程事故还是屡见不鲜。

水文地质工作的主要任务是调查研究以下要素：

- (1) 地下水的形成、埋藏、分布、运动以及循环转化的规律。
- (2) 地下水的物理、化学性质，成分，以及水质的变化规律。
- (3) 解决合理开发、利用、管理地下水资源，以及有效地消除地下水的危害等实际问题。

水文地质工作，不仅要配合上述工程地质工作，提供有关水文地质条件方面的资料，而且还要在农田灌溉、抗旱、防涝、治碱，以及环境保护工作等方面，起先决和主导作用。

据有关部门估算，我国的水资源总量为 27210 亿 m^3 ，其中地下水资源为 7718 亿 m^3

(约占 1/4 强)。但水资源的分布是极不均匀的,如干旱少雨的北方地区,土地资源十分丰富,而水资源十分贫乏。水土资源的组合也极不均衡,尤以海河、辽河、淮河流域最为突出。这三个流域的耕地面积占全国耕地总数的 33.2%,而水资源却只占全国水资源总数的 7.4%,每亩耕地平均占有水资源量,只有全国平均数的 14%~33%。因而缺水十分严重,所以有的地区仍然是“十年九旱,靠天吃饭”又如我国南方地区,虽然降雨量和地表径流量比较丰沛,但分布也极不均匀,特别是云、桂、黔等省,石灰岩广泛分布,喀斯特(岩溶)十分发育。“一场大雨千弄涝,天晴三日万山焦”,“修塘不蓄水,筑坝不拦洪”,大量的地表水漏至地下,因而地表水缺水现象也很严重。农田灌溉是“旬日不雨,即成旱象”,“米如珍珠水如油”。这些民间谚语都说明,在我国无论是北方地区,还是南方地区,水利工程建设不仅需要开发利用地表水,而且需要开采、利用地下水资源。这就需要进行大量的水文地质工作。

1949年以后,我国对淮河、黄河、海河、黑龙江、辽河、珠江及长江等江河,进行了综合治理和流域性的开发利用,兴建了一大批大、中、小型水利工程。据统计:全国已建成的水库库容在 10 万 m^3 以上的水库达 86400 座,万亩以上的灌区达 6000 处,初步控制了洪水灾害,并发展了灌溉、水电、航运、水产、旅游等事业。此外,在开采地下水方面,为寻找地下水资源,开展了全国性的水文地质普查工作,并用汇泉、打井、截潜流等多种型式开采地下水资源,对我国的社会主义建设事业起了巨大的作用。为实现祖国社会主义的四个现代化,为完成党中央提出的国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标,同时也为我国的水利水电建设事业以及工程、水文地质科学的进一步发展,展现了无限广阔的前景。

二、本课程的主要内容及教学要求

本课程是水利水电工程系有关专业的一门技术基础课,根据水利部的“教学大纲”,本课程的基本教学要求是通过三个教学环节:讲课、实习实验课及作业和地质教学实习,掌握工程地质及水文地质的基本知识;学会分析水工建筑物的工程地质条件和问题的基本方法;能阅读和分析水工建筑中常用的地质图件和资料,为今后学习农水及水工等专业课打下基础。

以上教学内容可概括为三个组成部分:

(1) 地质学基础部分。地球的基本知识:主要介绍地球的形态、表面特征,及地球的分层构造。岩石是地壳的基本物质,通过造岩矿物的引入和肉眼鉴定,认识与区别三大类岩石:火成岩、沉积岩及变质岩的特征地质构造;应用地壳运动的理论,阐述当今地球表层(地壳)仍然是在不断地运动和发展着的;自然(物理)地质作用,主要介绍与水利水电工程密切相关的几种自然地质作用,如风化、河流地质作用、喀斯特(岩溶)、滑坡及崩塌、泥石流及地震等。

(2) 水文地质部分。地下水概述,主要阐述自然界水的循环规律,地下水的生成和类型,岩石的水理性质,含水层及隔水层,地下水的埋藏和贮存规律,地下水的物理性质及化学成分,以及水质分析和评价标准(饮用和灌溉用水等)。地下水运动,介绍线性及非线性的渗透定律,地下水完整井稳定流运动方程中的应用;地下水资源评价,主要介绍地下水水质评价的原则。地下水开发管理,主要介绍地下水资源特征,我国开发地下水中的

问题等。

(3) 工程地质部分。坝的工程地质研究，主要介绍坝的设计和施工中出现的各种地质问题；边坡的工程地质研究，主要介绍在水工建筑中对坝址、坝型选择的重要意义；渠道的工程地质研究，渠道包括渠系建筑物在水利水电工程中的应用，渠道选线应注意的工程地质问题；隧洞的工程地质研究，隧洞在水利水电工程中的应用和作用；水库的工程地质研究，包括水库的渗漏、浸没、环境地质问题，如地面沉降，地裂缝，地面塌陷，海水入侵等；以及地下水污染，洪水灾害，以及环境地质的研究现状等。水利水电工程地质勘察，主要介绍勘察的目的与任务，勘察设计阶段的划分和勘察程序，工程地质测绘、勘探、试验及长期观测工作的基本内容。

这三个部分是相互关联并逐步联系专业实际的，在教与学过程中应运用辩证唯物主义观点和方法，理论联系实际，地质联系工程，由浅入深，循序渐进。本课程是一门实践性比较强的技术基础课，除讲课听课外，还要进行地质实习及实验课，课外做定作业和看教学录像，才能不断巩固所学内容。此外，在暑期还要进行野外地质实习，以扩大地质实际知识，增强工程地质及水文地质勘察概念。

三、本课程的特点和学习要求

本课程是一门实践性很强的课程，所以除课堂教学外，室内试验、野外教学实习及电化教学（幻灯、录像）等，是本课程的重要教学环节。尤其是野外教学实习，在本课程中占有特殊重要的地位，与其说是野外教学实习，不如称其为“现场教学”更为恰当因为它不只是印证、巩固、加深课堂教学内容的问题，而是还有相当多的内容是课堂无法讲授或学生在课堂上无法掌握的知识内容，而这些知识又是必须由教师在野外现场讲解、引导、观察、分析和实际操作才能学到手的。野外教学实习是培养学生独立观察、思考、分析和实际操作能力的一个重要环节。如果缺少和削弱了这个重要的实践性教学环节，那么水文地质及工程地质教学是不完整的。所以在教与学的过程中，以及在制定教学计划、教学大纲时，对野外教学实习均应给予足够的重视。

第一章 地球的基本知识

在广阔无限的宇宙中，地球是太阳系的一个行星，而太阳又是银河系中无数恒星之一，宇宙则是由很多个像银河系甚至更庞大的恒星集团组成的。

太阳系以太阳为中心，周围有九大行星携带着自己的卫星环绕着太阳旋转，此外还有许多小行星、彗星等小天体环绕太阳转动，由这些天体组成太阳系，如图 1-1 所示。太阳系的范围很大，其直径约为 120 亿 km，光从这一端到达另一端需 11h。

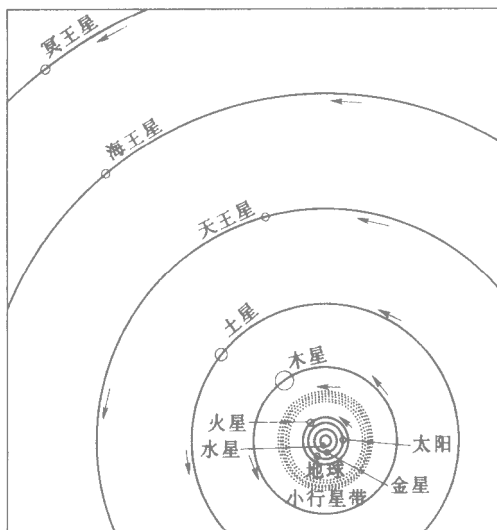


图 1-1 太阳系构造示意图

太阳是离地球最近的一颗恒星，它离地球平均约为 14960 万 km(这个距离叫 1 个天文单位)，光从太阳出发只需 8min16s 就可到达地球。太阳并不是宇宙的中心。

在晴朗的夜空，可以看到一条斜贯整个天空的白色条带，俗称“天河”，这就是银河系。银河系是一个庞大的恒星集团，它包括太阳，估计有 1300 亿颗以上的恒星，此外还有许多由气体、星际物质组成的星云。

银河系里的恒星都绕银河系中心转动，但各部分运动速度是不同的，太阳及其附近的恒星绕银河系中心运动的速度约 230km/s，太阳绕银心运行一周约需 2 亿年。

银河系里的恒星绕银心转动就相当于银河系的自转。银河系不但自转，还携带着集团的成员以 200km/s 以上的速度朝着麒麟星座的方向运行着。

宇宙中的天体都在不停地运动着。月球自转同时又绕地球公转，地球自转同时又绕太阳公转，太阳自转同时又绕银河中心公转，银河系自转同时又绕别的东西公转……。宇宙间的天体运动情况是错综复杂的，但有一定的规律性，它们之间相互制约、相互联系地运动着和发展着。

第一节 地球的一般特征

一、地球的形状和大小

地球是一个绕着地轴高速旋转的球体，它的表面形态并不是理想的球形，而是椭圆形，即为赤道部分略为膨大，两极略为收缩的扁球形。它的数据如下：

赤道半径 (a): 6378.137km;

极半径 (b): 6356.752km;

平均半径 $\left[\frac{(2a+b)}{3}\right]$: 6371km;

地球扁度 $\left(\frac{a-b}{a}\right)$: $\frac{1}{298.3}$;

赤道圆周长: 40076.6km;

表面积: 5.1亿 km^2 ;

质量: $5.98 \times 10^{19} \text{t}$;

平均密度: 5.517g/cm^3 ;

体积: $108 \times 10^{10} \text{km}^3$.

二、地球的物理性质

地球的主要物理性质包括: 地球的密度、压力、重力、地热、磁性、电性、放射性和弹性等。现将地球的主要物理性质简述如下。

(一) 地球的密度和压力

据计算, 地球的平均密度为 5.517g/cm^3 , 而实际测得地壳物质的平均密度为 $2.7 \sim 2.9 \text{g/cm}^3$ 。因此, 可以推测地球内部深处物质的密度是随深度递增的。根据地震资料可知, 地球内部物质的密度确实是随着深度的增加而逐渐增加的, 并且分别在深度 984km、2898km 和 5125km 的地方作跳跃式增加。这表明地球内部物质是不均匀的, 而地核的物质可能处于高密度状态。

地球内部的压力受上覆物质质量的影响, 随着深度的增加而递增。它的变化情况为, 自地表到地深处约 33km 处是随深度增加而均匀增加的; 从 33km 到 984km 深度范围内压力从 $9000 \times 10^5 \text{Pa}$ 很快增加到 $38.2 \times 10^9 \text{Pa}$; 然后随着深度的增加又缓慢地增加, 在 2898km 深度可增加至 $136 \times 10^9 \text{Pa}$; 最后向着地心作缓慢的递增, 地心压力可达 $360 \times 10^9 \text{Pa}$ 。

(二) 地球的重力

地球表面的重力是指地面处所受的地心引力和该处的地球自转离心力的合力。地心引力与物体质量成正比, 与距地心距离的平方成反比。地球赤道半径大于两极半径, 引力在两极比赤道大, 离心力在两极接近于零, 而赤道最大。但离心力值在重力值中所占的比例极小 (仅为 $1/300$), 因此, 地球的重力随纬度增加而增大。根据重力与纬度关系所计算出的各地重力值, 叫做正常重力值。由于各地岩石种类与构造不一样, 用重力仪测定的重力值与正常重力值常不符合, 这种偏差称为重力异常。重力异常表明地下有密度较大的金属矿物或者有密度较小的石油、岩盐等物质分布, 通过重力异常调查, 可以研究地壳构造与寻找地下矿产。

(三) 地球的磁性

地球具有磁性, 好像是一个巨大的磁体, 也有两极, 但地磁场的南北极与地理的南北极的位置不重合。同时地磁极的位置也在不断改变, 1970 年测出磁北极在北纬 76° 、西经 101° , 磁南极在南纬 66° 、东经 140° 。而地磁指午线与地理指午线间有一夹角, 叫做磁偏

角。磁针只有在地磁赤道附近才是水平的，磁针越移向磁两极，倾斜程度越大。在磁极区，磁针直立，磁针与水平面的夹角称磁倾角，地球某一点所受的磁力大小称为该点磁场强度。磁偏角、磁倾角、磁场强度叫地磁三要素。根据地磁在地球上的分布规律，可以计算出某地地磁三要素的正常值，实测数值与正常值不一致的现象叫地磁异常。地磁异常是地下有磁性矿床或地质构造发生变化的标志。因此，可以利用地磁异常勘测磁性矿床和地质构造情况。

组成地壳的矿物、岩石所具有的磁性也是地球磁性的一部分。许多岩石由于含有磁性矿物，它们能在地磁场作用下磁化而显磁性。因此，研究不同地质时期的岩石的剩余磁性，有助于了解古代地壳的变化情况和地球磁场的变化。近代土壤学，通过研究成土母质和土壤矿物的磁学性质，用来了解成土过程的特点，进行土壤诊断。还可利用磁场影响土壤结构，以及使用磁化水进行灌溉。

（四）地球的电性

地球具有较弱的自然电流，称为大地电流。有自然电流分布的地段为自然电场。这种自然电场可由局部金属矿体同水溶液相互作用而产生，分布范围较小；分布范围较广阔的区域性自然电场，可能与大气圈的电离作用或电磁场有关。大地电流是一种不稳定电流，其强度和方向在时间上有周期性变化，自低纬度向高纬度，电流强度逐渐增大。电流的主要方向在赤道及两极近东西向，在中纬度则与子午线约成 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 角。它的强度和方向还与地下深处的地质构造情况有关，当有金属矿体时，则其附近电流强度增大，方向也会出现变化，物探中采用的电法勘探就是以此为依据的。

（五）地热

地球表面受太阳辐射热的影响而温度变化很大，在 $-70\sim 70^{\circ}\text{C}$ 之间。温度随季节、纬度高度和海陆分布情况而有所差异。这种温度变化只影响地表不深的地方，平均约为 15m 再往深处 20~25m 的地段，由于太阳辐射热影响不到，且保持当地常年平均温度，因此叫常温层。

钻探资料表明，常温层以下地层温度随深度的增加而有规律地增加，增加情况各地不同。地温每升高 1°C 而往下增加的深度叫地温增加级。地温增加级一般平均为 33m，例如在亚洲大致为 40m（我国大庆为 20m，房山为 50m）。但地温也并非每加深 33m 就升高 1°C ，因为地内深处的物质密度、压力和状态各不相同，故温度增加到一定深度时，越深升温越慢，推测地心温度不会超过 $2000\sim 5000^{\circ}\text{C}$ 。

地热的来源，除地表来自太阳辐射外，主要来自地球内部。地球内部热源，主要是由放射性元素蜕变释放出来的，其次是重力能、化学反应能、结晶能和地球转动能等。

地球是一个庞大的热库，地热能是最廉价的能源之一，对它的开发利用已成为地质科学和综合科学技术之间的一个新领域。

地球除上述性质外，还有放射性、地球的弹性等。

第二节 地球的构造

地球的构造是指地球的组成物质在空间分布和彼此间的关系。地球物质的成分和分布

是不均匀的，具有层圈构造。地球固体表面以上的各层圈为外部构造，地球固体表面以下的各层圈为内部构造。

一、地球的外部构造

地球的外部构造包括自地表以上的大气圈、水圈和生物圈。现将各圈的特征简述如下

(一) 大气圈

大气圈是由包围在地球最外面的气态物质所组成的层圈。这一层圈的分布在地面往上至少高达 2000~3000km 的范围。此圈自下向上又分为对流层、平流层、电离层和扩散层，大气圈中的主要成分为氮、氧、氩、碳、氩和氢等元素。大气的总质量约为 $513 \times 10^{13} \text{t}$ ，虽然约为地球的百万分之一，但对地面的物理情况和生活环境却有决定性的影响。大气的结构、成分和性质主要随着高度而变化。起初不同的分子渐渐地分解成原子，以后这些原子又受到太阳辐射粒子的作用而发生电离，变成离子和电子，所以大气可分为中性大气和电离大气。在约 500km 以上的高空，中性大气已经很少，主要是离子和电子，它们的运动由地球空间的磁场和太阳风决定。大气分布极不均匀，受地球引力作用，约有 79% 的质量集中在平均厚度 11km 范围内的对流层中。在对流层中，温度、湿度和压力等分布很不均匀，故气体常发生强烈的对流，产生风、云、雨、雪等，从而调节和促进水圈的循环。

(二) 水圈

水圈由地球表层分布于海洋和陆地上的水和冰所构成。水的总体积约为 14 亿 km^3 ，其中海洋水占总体积的 98.1%，陆地水只占 1.9%。可见，水在地表分布是很不均匀的，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，尚含有各种盐类。例如，海水含盐度高，平均为 35%，以氯化物（如 NaCl 、 MgCl 等）为主；陆地水含盐度低，平均小于 1%，以碳酸盐（如 $\text{Ca} [\text{HCO}_3]$ ）为主。水受太阳热的影响，可不停地循环。由于水的循环，形成了外力地质作用的动力，它们在运动过程中可不断产生动能，对地球表面进行改造。

(三) 生物圈

生物圈是由地表各种生物构成的。它们在生活活动、新陈代谢及死后遗体分解出各种气体和有机酸等过程中，可与地表的物质直接或间接地发生各种物理、化学的作用，从而改造地表物质。

二、地球的内部构造

地球内部也具有层圈构造，包括地壳、地幔和地核等三个主要层圈，如图 1-2 所示。

对于地球内部，目前人们能够直接获得资料进行观察的深度是很小的，最深的钻孔也没超过 15km。分圈的依据主要是地震法。地震法是利用地震波（纵波与横波）在地内传播速度的变化，从而间接地分析了解地内物质分布情况（见图 1-3）。地震波在地内的传播速度是随深度而增加的，并在数处做跳跃式的变化；此外，横波不能通过地心根据地震波在地内传播速

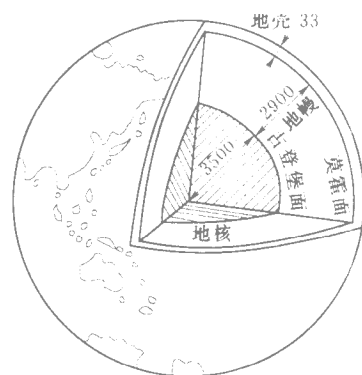


图 1-2 地球的内部构造（单位：km）

度的变化，发现有两处极明显的分界面，叫地震分界面。第一地震分界面（又叫莫霍面），是在平均深度 33km 处；第二地震分界面（又叫古登卜面），是在地深 2898km 处，见表 1-1。

表 1-1 地球内部层圈构造及有关数据

分 层	深度(半径) (km)	纵波(P)速度 (km/s)	横波(S)速度 (km/s)	密 度 (g/cm ³)	压 力 (Pa)
地壳(大陆)	海平面(6371)	5.5 6.8	3.2 3.6	2.7 2.8 2.9	
莫霍分界面	33(6338)				9.11925×10^8
地 幔	70 } 低速度带 250 }	7.9~8.1	4.4	3.32	
	413(5958)	8.97		3.64	1.41855×10^{10}
	720(最深地震)				2.735775×10^{10}
	984(5387)	11.42 13.64	7.3	4.64 5.56	3.85035×10^{10}
古登卜面	2898(3473)				1.386126×10^{11}
地 核	外部地核	速度降低 8.10 9.7	通不过	9.71	
	过渡层	4703(1668)	10.31	11.76	3.222135×10^{11}
	内部地核	5125(1246) 6371(中心)	11.23	? ?	约 14 约 16

现将地壳、地幔和地核（依据地震波在地内的传播速度区分）三个主要层圈（见图 1-3）的特征简述如下。

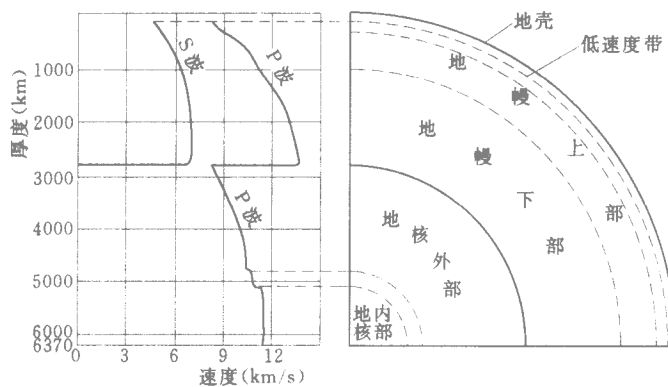


图 1-3 地球各层地震波传播速度

（一）地壳

地壳是地球上部的一个层圈，厚度很不均匀，主要是由硅、铝、氧化物组成。呈结晶质固体岩石，密度 $2.7 \sim 2.9 \text{ g/cm}^3$ 。各种地质作用（如构造运动、岩浆作用、变质作用等）就发生在这里。但是地质作用和矿产的形成，在一定程度上还要受地壳以下物质的影响，特别是上地幔的影响。地壳占地球总质量的 1.5%。

(二)地幔

自地壳下限 33km 到 2898km 的层圈称为地幔，它占地球总质量的 66%。根据地震波传播速度的特征，又分为上地幔和下地幔两部分。

上地幔内地震波传播速度是不均匀的，从莫霍面到 50km 深处，地震波传播速度较快，这一地段是由结晶质固体岩石组成的，与地壳连接在一起构成地球的岩石圈。自 70~250km 深处地震波传播速度较慢，为低速带，这一带的物质可能呈熔融状，称为软流层。玄武岩质岩浆可能来源此带。250~984km 深处地震波传播速度较快，但变化很不均匀。上地幔的物质成分主要为镁铁硅酸盐，物质呈结晶质固体，塑性增大。物质的平均密度为 3.8g/cm^3 ，温度为 $1200\sim 1500^\circ\text{C}$ ，压力达到 $3.8\times 10^{10}\text{Pa}$ 。

下地幔中地震波传播速度平缓地增加。物质成分除硅酸盐外，金属氧化物、硫化物等，特别是铁、镍成分明显增加。物质的平均密度为 5.6g/cm^3 ，温度 $1500\sim 2000^\circ\text{C}$ ，压力可达 $1.4\times 10^{11}\text{Pa}$ ，物质呈非结晶质固体，塑性很大。

(三)地核

地核是自第二地震面分界面到地心的部分，占地球总质量的 32.5%。根据地震波的传播速度特征又分为外部地核、过渡层和内部地核三层。外部地核是液态，从 2898km 以下，纵波速度突然下降，横波消失，其深达 4703km 深处；此带往下到 5125km 深处，为过渡层；由此层到地心为内部地核，是固态。物质密度可达 13g/cm^3 ，温度为 $2000\sim 5000^\circ\text{C}$ ，压力可达 $3.6\times 10^{11}\text{Pa}$ 。关于地核的物质成分目前说法不一，一般认为主要是由铁、镍组成，还含有少量的硅、硫等元素。

第三节 地壳及地质作用

地壳是地球最上面的一个固态层圈，以莫霍面为下限，地壳厚度很不均匀，最厚的大陆地壳（我国的青藏高原）厚度在 65km 以上，最薄的海洋地壳厚度仅有 5km。

一、地壳的表面形态

地壳表面高低起伏变化很大，基本上分为陆地和海洋两大部分。陆地面积为 1.49 亿 km^2 ，占地壳表面积的 29.2%；海洋面积约为 3.61 亿 km^2 ，占地壳表面积的 70.8%。海陆分布是不均匀的，陆地主要集中在北半球，占北半球总面积的 39%，而南半球陆地面积只占 19%。陆地最高点是在我国西藏的珠穆朗玛峰，海拔高度为 8848.13m；海洋最深处在太平洋西部的马里亚纳群岛附近的海沟，深达 11033m。

陆地地形按其起伏高度又分为山地、丘陵、高原、平原和盆地。

海底并不是平坦的，地形也有起伏变化，而且有的地方地形相当复杂。按海水深度和地形特点，海底地形可分为海岸带（滨海带）、浅海带（陆棚或大陆架）、半深海带（大陆坡）、深海带（洋床或洋盆）和深海沟、海岭等（见图 1-4）。

二、地壳的结构

根据地壳组成物质的差异，将地壳分为两层（见图 1-5）。

(一)花岗岩质层

花岗岩质层在地壳上部呈不连续分布，厚度为 0~22km。其在陆地上较厚，在海洋

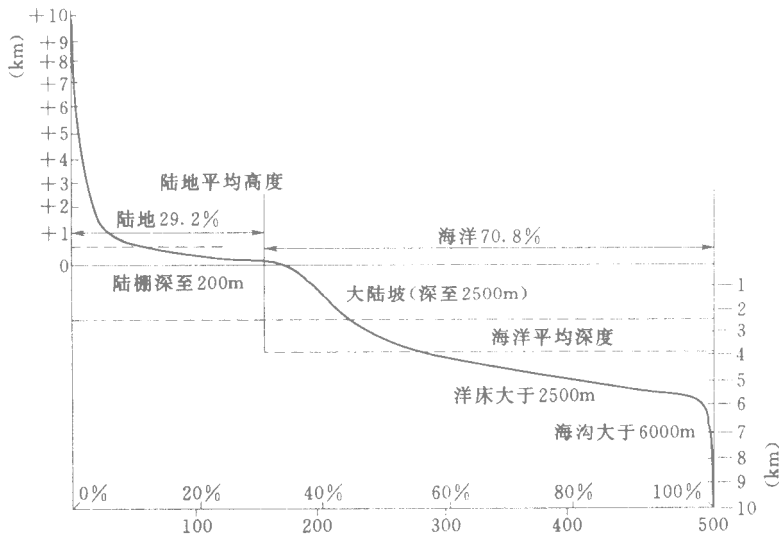


图 1-4 海洋分带图

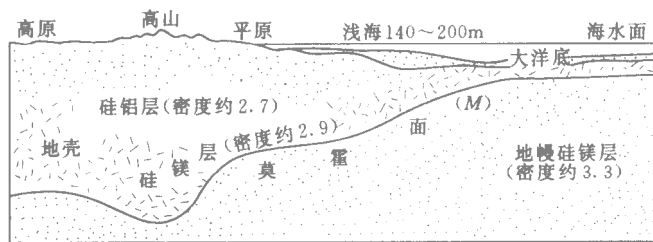


图 1-5 地壳结构示意图

较薄或缺失。化学成分以硅、铝为主，故又称硅铝层。密度较小，平均为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ ，压力小，放射性高。

(二) 玄武岩质层

玄武岩质层是花岗岩质层下面连续分布的一层，以莫霍面为下限，深达 $20\sim 80\text{km}$ ，各地不等，平均深 33km 。化学成分除硅、铝外，铁、镁相对增多，故称为硅镁层。密度较大，约为 $2.9\text{g}/\text{cm}^3$ ，压力可达 $9.11925\times 10^8\text{Pa}$ ，温度在 1000 以上。

地壳的物质，不仅在垂直方向上有显著差异，而且在水平方向上，陆地和海洋地区也有很大的差异，即陆地上层有很厚的花岗岩质层，而海洋区则主要是玄武岩质层，在太平洋底和某些内陆海底只有硅镁层而没有硅铝层。因此，地壳又可分为大陆地壳和海洋地壳两种类型。

地壳的总厚度在高山和高原区最大可达 $50\sim 60\text{km}$ ，天山南部甚至厚达 80 多 km ；平原地区多为 $35\sim 40\text{km}$ ，大洋地区最薄，一般只有 $4\sim 7\text{km}$ 。其总的规律是：地表越高的地区地壳越厚，特别是其中的硅铝层越厚。其高出的部分多出来的质量通过增加地壳厚度和减少地幔厚度抵消。在地表低部地区则正好与此相反。因此，在某一深度以上，上覆

岩石对地幔的压力处处相等，处于一种均衡状态。地质学家称之为“地壳均衡原理”。对高原及褶皱山区重力测量的结果发现，这些地区不仅未因高出一般地区而使重力值增高，反而普遍较低，证明山是有“根”的，而且“根”的密度不大，主要是硅铝层，所以才出现这种情况，当重力尚未完全均衡代偿时，就出现重力负异常。

三、地壳的物质成分

组成地壳的固体物质在地质学中称为岩石，地壳是由岩石组成的。例如，花岗岩是组成地壳的种岩石，岩石又是由矿物组成的，花岗岩就是由石英、长石等矿物组成的。矿物是由各种化学元素组成的化合物，例如石英是由硅和氧这两种元素组成的；长石是由硅、铝、氧、钾、钙元素组成的。可见，组成地壳最基本的物质是化学元素。因此，研究地壳的物质就要研究它的化学元素、矿物和岩石以及它们之间的联系。

地壳中含有周期表中所有的元素。元素在地壳中的分布情况可用它在地壳中的平均质量百分比（克拉克值）来表示。地壳中主要化学元素的克拉克值，见表 1-2。

从表 1-2 中可知，组成地壳最主要的 9 种化学元素占了地壳总质量的 98.13%，其余 90 多种元素只占 1.87%。可见，元素在地壳中分布是很不均匀的。工业上重要的金属元素除铁、铝外，其他如铜、铅、锌、锡、钼等在地壳中含量很低，但他们在自然界各种地质作用条件下，可以相对富集，当元素在局部地区富集，其含量达到工业要求时，就成为矿产。但有的元素，如铀、钍、镭、镓等，不易富集，呈分散状态存在于岩石和矿物中，称为分散元素。

表 1-3 地壳上部平均化学成分含量

化学成分	质量百分比 (%)	化学成分	质量百分比 (%)
SiO ₂	59.87	Na ₂ O	2.39
Al ₂ O ₃	15.02	H ₂ O	1.86
Fe ₂ O ₃	5.98	TiO ₂	0.72
FeO		CO ₂	0.52
CaO	4.79	P ₂ O ₅	0.26
MgO	4.06		
K ₂ O	2.93		

称为岩石。组成地壳的岩石有三大类：岩浆岩（火成岩）、沉积岩和变质岩

四、地质作用

（一）地质作用的概念

恩格斯在自然辩证法中指出：整个自然界，从最小的东西到最大的东西，从沙粒到太阳。从原始生物到人，都在不断地运动和变化中。地球自形成以来，一直处于变化之中，今天所看到的地球，只是它的全部运动和发展过程中的个阶段。这种由于自然动力引起地壳的物质成分、构造和地面形态发生运动、变化和发展的各种作用，称为地质作用。地质作用是地壳形成以来极为普遍的自然现象。有的地质作用进行得很快，易于被人察觉，

表 1-2 地壳中主要化学元素克拉克值

元素	克拉克值 (%)	元素	克拉克值 (%)	元素	克拉克值 (%)
O	49.13	Fe	4.20	Mg	2.35
Si	26.00	Ca	3.25	K	2.35
Al	7.45	Na	2.40	H	1.00

地壳中的化学元素除少数呈单质出现外，绝大部分以各种化合物形式出现，其中以含氧的化合物最常见。地壳上部（深约 16km）按氧化物折算的平均化学成分质量百分比，见表 1-3。

表 1-3 表明，地壳中分布最多的是硅和铝的氧化物。它们共占总量的约 75%，其他只占 25%。

矿物在地壳中又形成有规律的集合体，

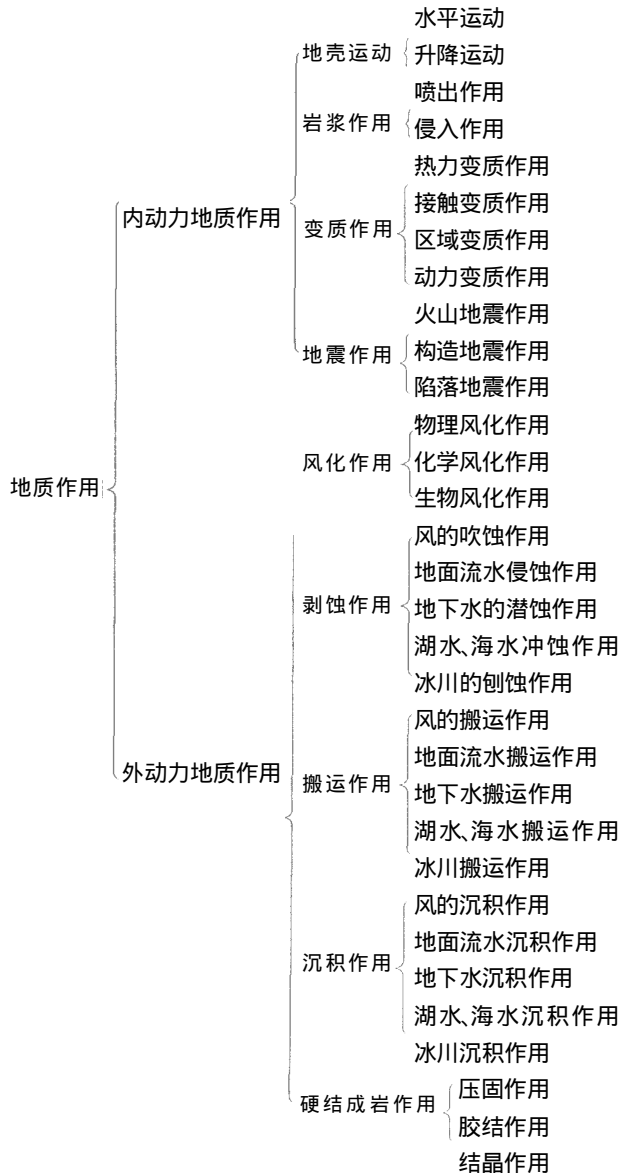
如火山喷发、地震、山崩、泥石流等。但更多的地质作用进行得非常缓慢，例如地壳升降运动，即使在相当剧烈的地区，每年升高也只不过几毫米，但经过长期发展变化，常常使地壳发生巨大的变化。大家熟知的喜马拉雅山地区在几千万年前却是一片汪洋，由于该地区地壳不断地上升，才形成今天这样雄伟的世界屋脊。

（二）地质作用类型

按地质作用动力能的主要来源和发生作用的主要部位，将地质作用分为两大类：内动力地质作用和外动力地质作用。分类如下：

1. 内动力地质作用

内动力地质作用的能量来源于地球本身，主要有地球自转所产生的旋转能，重力作用所形成的重力能，以及放射性元素蜕变产生的热能等。地内能促使地壳物质成分、地壳内



部构造、地表形态发生变化的地质作用称为内动力地质作用（简称内力作用或内生作用），包括地壳运动、岩浆活动、变质作用和地震。

地内物质的机械运动表现为地壳的升降运动及水平运动，这两种运动又可以引起地壳上巨厚岩层的弯曲和破裂，从而改变地壳的构造，形成高山及平原。岩石破裂时释放出巨大能量会引起强烈地震地壳运动的地区，形成地壳的脆弱地带，引起地内灼热岩浆上升活动，爆发火山，形成各种岩浆岩。地壳运动及岩浆活动可使早期形成的岩石发生变质作用，形成变质岩。

2. 外动力地质作用

由地球以外的能源，也就是由太阳辐射能和日月引力能所产生的动力（如风、地面流水、地下水、冰川、湖泊和海洋等），在地壳表部引起的各种地质作用叫做外动力地质作用（简称外力作用或表生作用）。外动力地质作用有风化作用、剥蚀作用、搬运作用、沉积作用和成岩作用等。

太阳辐射热除了直接作用于地壳岩石之外，更主要的是引起大气圈、水圈、生物圈的不断循环和运动。这些常年不断运动着的物质都对地壳产生影响，促使地表的矿物岩石发生变化；并且经过物质的搬运、沉积和硬结成岩，形成各种各样的沉积岩，同时改变了地壳外貌。

复 习 思 考 题

1. 地球有哪些物理性质？
2. 什么是地球层圈构造？
3. 为什么地震波速度变化可作为划分地壳内部层圈构造的主要依据？
4. 地壳结构主要特点是什么？海洋地壳与大陆地壳有何差异？
5. 什么是地质作用？怎样区分内力作用和外力作用？它们各包括哪些内容？
6. 地壳与岩石圈的范畴有何不同？
7. 软流圈有何特点？它对岩石圈有何影响？

第二章 岩石及其工程地质性质

岩石是组成地壳的主要物质成分，也是构成地壳的基本物质单位，它是地壳发展过程中各种地质作用的自然产物。

岩石是在地质作用下产生的、由一种矿物或多种矿物以一定的规律组成的自然集合体。由于地质作用的性质和所处环境不同，不同的岩石的矿物成分、化学成分、结构和构造等内部特征也有所不同。

岩石是建造各种工程结构物（包括水工结构）的地基、环境及天然建筑材料。因此，了解最主要类型岩石的特征和特性，无论对工程设计、施工或地质勘测人员都是十分必要的。

自然界岩石的种类很多，根据成因可分为三大类，即：岩浆岩（火成岩）、沉积岩（水成岩）和变质岩。根据矿物组成将岩石分为单矿岩（主要由一种矿物组成的岩石），复矿岩（由两种或两种以上的矿物组成的岩石）。矿物的成分、性质及其他各种因素的变化，都会对岩石的强度和稳定性发生影响。所以要认识岩石，分析岩石在各种自然条件下的变化，进而评价岩石的工程地质性质，为工程建设服务，就必须先了解矿物的有关知识。

第一节 造 岩 矿 物

一、矿物的概念及类型

矿物是指地壳中的化学元素在地质作用下形成的、具有一定化学成分和物理性质的单质或化合物。自然界中只有少数矿物是以自然元素形式出现的，如金刚石（C）、自然金（Au）、硫磺（S）等。而绝大多数矿物是由两种或两种以上元素组成的化合物，如石英（ SiO_2 ）、方解石（ CaCO_3 ）、石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）等。矿物绝大多数呈固态。固体矿物按其内部构造的不同，分为晶质体和非晶质体两种。晶质体的内部质点（原子、离子、分子）呈有规律的排列，往往具有规则的几何外形，如图 2-1 所示的岩盐构造（但是矿物在岩石中受到许多条件和因素的控制，晶体常呈不规则几何形状）。非晶质体的内部质点的排列则是没有规律的，杂乱无章，因此不具有规则的几何外形，如蛋白石（ $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）、褐铁矿（ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ），非晶质又可分为玻璃质和胶体质两种。地壳中的矿物绝大部分是晶质体。

自然界的矿物按其成因可分为三大类型：

（1）原生矿物。指在成岩或成矿的时期内，从岩浆熔融体中经冷凝固晶过程中所形成的矿物，如石英、正长石等。

（2）次生矿物。指原生矿物遭受化学风化而形成的新矿物，如正长石经过水解作用后形成的高

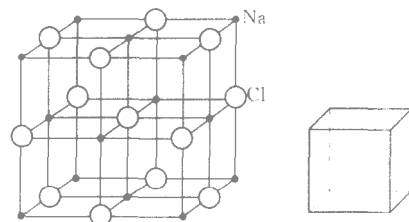


图 2-1 岩盐的内部构造和晶体

岭石。

(3) 变质矿物。指在变质作用过程中形成的矿物，如区域变质的结晶片岩中的蓝晶石和十字石等。

对矿物的全面和详细的研究，是矿物学的内容。我们只介绍其中最主要的造岩矿物目前已发现的矿物在 3000 种以上，但构成岩石的主要成分并对岩石性质起决定性影响的矿物不过 30 多种，它们占岩石成分的 90%。一般把这些矿物称为造岩矿物（见表 2-1），其中又以长石、石英、辉石、角闪石、橄榄石、黑云母、方解石、白云石、高岭土最为重要，它们的含量决定了岩石的名称及主要性质

二、矿物的物理性质及其肉眼鉴定

正确识别和鉴定矿物，对于岩石命名，研究岩石的性质是非常重要的。鉴定矿物的方法很多。需要精确地鉴定矿物时，可以采用光学和化学的分析方法，如吹管分析、差热分析、光谱分析、偏光显微镜分析、电子显微镜扫描等。但这些方法需要较复杂的设备，不宜野外工作。野外工作中一般是采用肉眼鉴定法。

矿物的肉眼鉴定，主要是根据矿物的一些显而易见的物理性质，用肉眼或仅借助于几种简单的工具（如小刀、条痕板、低倍放大镜等）和药品（如稀盐酸），在野外确定矿物的名称。这种鉴定方法简单、方便、迅速，是室内进一步鉴定的基础。

矿物的物理性质，决定于矿物的化学成分和内部构造。由于不同矿物的化学成分或内部构造不同，因而反映出不同的物理性质。所以矿物的物理性质是鉴别矿物的重要依据。

（一）矿物的形态

矿物的形态（或形状），是指矿物的单个晶体外形或集合体的状态。每种矿物一般都具有一定的形态，因而可以帮助识别矿物。常见的晶体（见图 2-2）有：片状（如云母）、板状（如石膏）、柱状（如角闪石）、菱面体（如方解石）和粒状（如白云石）等。集合体的形态主要有：纤维状（如纤维石膏）、钟乳状（如方解石）、鲕状（如赤铁矿）、土状（如高岭土）和块状（如石英）等。

（二）矿物的光学性质

矿物的光学性质是指矿物对自然光的吸收、反射和折射所表现出的各种性质。

1. 颜色

矿物的颜色指矿物对可见光中不同光波选择吸收和反射后映人人眼的颜色。根据成色原因分为：

(1) 自色。由于矿物本身的化学成分中含有带色的元素而呈现的颜色，即矿物本身所固有的颜色，如赤铁矿多呈红色，黄铁矿多呈铜黄色等。

(2) 他色。当矿物中含有杂质时所出现的其他颜色。如石英，一般为无色或白色，含杂质时可呈黄、红、棕、绿等色。一般无鉴定意义。

(3) 假色。矿物内部的某些物理原因所引起的颜色，比如光的干涉、内散射等。

有些矿物粉末的颜色与它呈块状时的颜色不同，且前者一般比较固定，如赤铁矿整块的颜色可呈暗红褐、黑、钢灰等色，但其粉末只是樱红色；黄铁矿的颜色为铜黄色，粉末为黑绿色。这种矿物粉末的颜色称为条痕色，简称为条痕。由于矿物的条痕较固定，所

表 2-1

最主要的造岩矿物及其特征

组别	序号	矿物名称	形态	物理性质				化学性质	其他	
				硬度	颜色	光泽	断口			解理
指甲不能刻划的 玻璃能刻划的	1	滑石 $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$	板状、鳞片状、致密块状	1	白、淡黄绿、黄、灰、绿等	脂肪、珍珠	参差状	显微镜下可见一组解理	有滑感,薄片具挠性	
	2	高岭土 $Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2$	土状	1	白、灰、黄等	暗淡	土状		具粘性,滑感	
	3	石膏 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	晶体为板状、条状,有时成纤维状集合体及燕尾双晶	2	无色透明或白、灰、红	玻璃、丝绸	锯齿状	一组完全	能溶于盐酸中,变略溶于水	具挠性,为泻湖或海湾沉积物
	4	岩盐 NaCl	立方体晶粒	2.5	无色透明或白、灰	玻璃		三组完全	易溶于水	味咸
	5	白云母 $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	晶体为六角板状,但多为叶片状集合体	2.5~3	薄片呈无色透明,集合体呈白、灰	珍珠		一组极完全	抗风化力强	具弹性,易剥成薄片
	6	硬石膏 $CaSO_4$	多为块状及小板状集合体	3	无色透明或白、灰、红	玻璃	粒状	三组完全	水化后变成石膏	具挠性,为泻湖或海湾沉积物
	7	方解石 $CaCO_3$	菱面体、偏三角面体	3	白、灰白,含铁时带褐红色,含锰时带棕黑色	玻璃		三组完全	与稀盐酸剧烈反应,起泡,生成 CO_2	广泛存在于石灰岩中,无色透明者称冰洲石
	8	白云石 $CaMg(CO_3)_2$	常为菱面体块状,晶面常弯曲成鞍状	3.5~4	白、灰或淡黄、淡红等	玻璃		三组完全	粉末与稀盐酸作用,起泡,生成 CO_2 (区别于方解石)	构成广泛存在的白云岩
	9	磷灰石 $(Cl, F)Ca_5(PO_4)_3$	针状六面柱体	5	白、绿、黄、棕褐等	油脂	贝壳状	不完全	加热易溶于稀盐酸和硝酸中	多成砂糖状块体,性脆
	10	正长石 $K(AlSi_3O_8)$	晶体为短柱状,常以板状出现双晶变多面	6	白、灰、淡、红、肉红	玻璃	平坦状	二组完全,互相正交	易风化成高岭土	花岗岩、正长岩、片麻岩、伟晶岩中存在最多
	11	斜长石 $Ca(Al_2Si_2O_8)$ 与 $Na(AlSi_3O_8)$	晶体为短柱状,常以板状出现,晶面及解理面上有条纹	6	白、灰、天蓝等	玻璃	不平坦	二组互相斜交	风化石成高岭土,亦能分解为绿帘石	含 Na 多者产于酸性岩中,含 Ca 多者产于中性、基性岩中
	12	石英 SiO_2	晶体为六方双锥柱状,但多为块状、晶面具晶纹	7	纯者无色透明,含杂质时可呈各种杂色	断口呈油脂、晶面呈玻璃	贝壳状	无	为造岩矿物中最稳定者,故难风化,不怕酸	呈单晶、晶簇、脉状产出或零散分布于岩石中

续表

组别	序号	矿物名称	形态	物理性质			化学性质	其他		
				硬度	颜色	光泽			断口	解理
指甲不能刻划的 深色的	13	绿泥石 $(Mg, Fe)_2Al[AlSi_3O_{10}][OH_6]$	板状片状集合体	1~2	• 暗绿	玻璃	不平坦	一组完全	可由铝硅酸盐在高压下分解而成,也可由角闪石辉石风化而成	薄片具挠性
	14	黑云母 $K(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$	晶体为六角板状,常 见为叶片状集合体	2.5~3	• 黑绿、深棕	• 珍珠		• 一组极完全	在水的作用下会失去弹性变成蛭石片	• 易剥成具弹性的薄片
	15	蛇纹石 $Mg_3(Si_2O_5)_2(OH)_8$	致密块状,常夹纤维状石棉细脉	3~4	• 各种色调的绿色	• 脂肪丝绢	贝壳状	一组完全	由橄榄石、顽火辉石变化而成	• 常与石棉伴生,色彩似蛇纹
	16	黄铜矿 $CuFeS_2$	• 晶体为四面体,但多见致密块状	• 3.5~4	• 铜黄	金属	不平坦	无	能溶于硝酸,析出硫	• 表面常呈现晕彩,条痕绿黑色
	17	褐铁矿 $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$	• 致密块状、钟乳状、结核状或土状,有时呈立方体的黄铁矿假象	1~5.5	• 黄褐或棕褐	无光泽或半金属光泽	土状	无	胶体(非晶质)	含铁矿物风化后的产物
	18	磁铁矿 Fe_3O_4	晶体为八面体,多呈块状出现	5.5~6.5	黑	金属	贝壳状 粒状	无	风化后可变为褐铁矿,但较难风化	• 具强磁性
	19	赤铁矿 Fe_2O_3	致密块状或薄板片状(镜铁矿)	5.5~6	红褐至铁黑	无光泽或半金属光泽	土状	无		• 多呈块状、瓣状、肾状、层状,条痕樱红色
	20	普通辉石 $Ca(Mg, Fe, Al)[(Al, Si)_2O_6]$	• 晶体为八面柱状,在岩石中常呈颗粒状	5~6	黑、褐	玻璃	不平坦	• 二组完全,交角近 87°	受水热作用后可变成绿泥石或蛇纹石	多产于基性火成岩中或单独成辉岩
	21	普通角闪石 $Ca_2Mg(Fe, Fe_2)(Al, Fe)[(Si, Al, OH)_2(OH)_2]$	• 针状长柱体	5~6	黑、黑绿	玻璃丝绢	锯齿状	• 二组完全,交角 56°	受水热作用后变成绿泥石或蛇纹石	多产于中性火成岩中
	22	黄铁矿 FeS_2	• 立方体或五角十二面体晶粒,晶面有条纹	• 6~6.5	• 金黄	金属	不平坦	无	在氧和水的作用下可生成硫酸和褐铁矿	• 常见于火成岩中,条痕为黑色
	23	橄榄石 $(Mg, Fe)_2(SiO_4)$	晶体为八面柱体,常呈粒状集合体	6.5~7	• 淡黄至绿色	玻璃	不平坦	不完全	溶于硫酸时急剧分解析出 SiO_2 之胶体	产于基性火成岩中或单独成橄榄岩
	24	燧石 SiO_2	• 块状、结核状或瘤状	• 7	不一定,一般较淡,灰至黑色	无光泽或脂肪光泽	• 贝壳状	无	为矿物中最稳定者,抗风化力极强	为石英隐晶变种,产于沉积岩中

注 加有“*”记号者,是最主要的鉴定特征。