

ZONGHE WUTAN ZHAOSHUI JISHU

# 综合物探找水技术

刘春华 张联洲 武佳枚 樊冰 编著  
田野 杜文贞 王松岳 张保祥



黄河水利出版社

# 综合物探找水技术

刘春华 张联洲 武佳枚 樊冰 编著  
田野 杜文贞 王松岳 张保祥

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

## 内 容 提 要

本书以直流电阻率法找水技术为重点,简要阐述了相关地质、水文地质基本知识,全面、系统地论述了各种物探找水方法的基础理论、基本原理、野外工作方法和资料解释方法,提出了物探找水的工作方法及合理工作程序,给出了应用实例,对物探找水技术的发展历程、优缺点以及今后的发展方向进行了评述,具有较强的系统性、理论性和实践性。全书体现了物探找水技术的最新进展,是从事找水技术人员的专业书籍,也可作为大专院校和科研单位的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

综合物探找水技术/刘春华等编著. —郑州:黄河水利出版社,2016. 5

ISBN 978 - 7 - 5509 - 1426 - 1

I. ①综… II. ①刘… III. ①地球物理勘探 - 应用 - 找水 IV. ①P641. 75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 103884 号

组稿编辑:李洪良 电话:0371-66026352 邮箱:hongliang0013@163.com

---

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclcs@126.com

承印单位:河南承创印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:11

字数:255 千字

印数:1—2 000

版次:2016 年 5 月第 1 版

印次:2016 年 5 月第 1 次印刷

---

定价:50.00 元

## 前 言

随着经济社会的持续发展,面对着人类居住区的广泛分布以及用水需求的复杂多样性,始终存在着不计其数的缺水地区及用水特别困苦的状况,存在着不断要求增加供水、改善供水质量的需求与愿望。因而,寻找地下水的工作必定是一个有趣的、动态的、持久的社会需要。

物探找水选井工作,是一门涉及普通地质学、构造地质学、地层学、水文地质学、地下水动力学、物理学等多学科、综合性较强的应用技术。地质体的复杂性、构造裂隙发育的不均一性和地质体本身一些不可预见因素的客观存在,使得找水工作充满了挑战和风险。因而,找水工作者的责任,是根据自身的专业知识和经验,对打井定位提供不同程度的技术咨询和服务,在说明打井定位理由的同时,恰如其分地阐明可能存在的风险,从而提供一种专业判断,以便能更好地做出工程决断。

地球物理勘探,简称物探,是用物理方法来探查地壳浅层岩石构造与寻找地下水资源的一种手段。电阻率法、激电法和瞬变电磁法等属于电法勘探,它是利用地下各类岩层、构造在富水的情况下所表现出来的电性差异,达到电测找水的目的,其解释基本上是一种间接判断,解释结果在许多情况下具有多解性,解释结果应充分结合地质及水文地质条件分析,才能做出更为正确的判断。核磁共振找水技术开创了地球物理方法直接找水的先河,亦是当今唯一可以用于直接找水的物探方法。该技术方法还很不成熟,装备又较为昂贵笨重,加之探测深度浅,广泛应用于找水工作还不现实。放射性氦气法找水技术主要用于勘查隐伏含水构造,因受地形、覆盖层厚度等因素影响较大,应用范围受到较大限制。电阻率法找水技术具有理论完善、野外工作方法成熟、装备简单、易于资料解释、应用效果好等特点,多年来一直是应用最为普遍的物探找水方法,亦是本书重点论述的找水方法。综合物探找水工作方法及合理程序的确定,是物探找水工作的一个重要方面,应在找水工作中引起高度重视。

本书的作者长期在山东省水利科学研究院从事相关技术工作,具有较深厚的理论研究水平和较丰富的实践经验。本书系统、全面、简洁地论述了物探找水方面的技术与方法,以及找水方面的专业知识和经验积累,是从事找水技术人员的专业书籍,也可作为大专院校和科研单位的参考用书。限于作者水平,书中疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2015 年 10 月

# 目 录

## 前 言

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 第一章 绪 论 .....              | (1)  |
| 第一节 岩石、地层与岩性 .....         | (1)  |
| 第二节 地下水赋存空间与特点 .....       | (12) |
| 第三节 地下水的物理与化学性质 .....      | (14) |
| 第四节 岩石的物理性质 .....          | (18) |
| 第五节 综合物探找水技术发展综述 .....     | (21) |
| 第二章 电法找水基础知识 .....         | (24) |
| 第一节 电法勘探概述 .....           | (24) |
| 第二节 电阻率与各种因素的关系 .....      | (27) |
| 第三节 视电阻率的概念 .....          | (30) |
| 第三章 电阻率法找水的方法原理 .....      | (32) |
| 第一节 电阻率法找水的基本原理 .....      | (32) |
| 第二节 电测深法的方法原理 .....        | (34) |
| 第三节 电剖面法的方法原理 .....        | (37) |
| 第四章 电阻率法找水的技术方法 .....      | (40) |
| 第一节 电测深法的技术方法 .....        | (40) |
| 第二节 联合剖面法的技术方法 .....       | (46) |
| 第三节 对称四极剖面法的技术方法 .....     | (48) |
| 第四节 常用技术方法的视电阻率计算公式 .....  | (50) |
| 第五章 电阻率法山丘区基岩找水的应用 .....   | (52) |
| 第一节 山丘区基岩找水的工作程序 .....     | (52) |
| 第二节 富水曲线类型及解释电阻率范围 .....   | (53) |
| 第三节 影响电测效果的地电条件分析 .....    | (56) |
| 第四节 电测找水应用实例 .....         | (57) |
| 第六章 电阻率法平原区松散层找水的应用 .....  | (61) |
| 第一节 平原区松散层找水的工作程序 .....    | (61) |
| 第二节 松散地层浅层淡水找水方法 .....     | (61) |
| 第三节 黄泛平原深层淡水电测曲线解释方法 ..... | (67) |
| 第七章 激发极化法基岩找水技术 .....      | (71) |
| 第一节 激电法测试参数的选择 .....       | (71) |
| 第二节 激电法的野外工作方法 .....       | (72) |
| 第三节 激电法的资料整理和解释 .....      | (74) |

|      |                             |       |
|------|-----------------------------|-------|
| 第四节  | 影响激电法找水效果的因素分析 .....        | (75)  |
| 第五节  | 激电法找水效果及应用实例 .....          | (76)  |
| 第六节  | 激电法基岩找水机制的探讨 .....          | (79)  |
| 第八章  | 瞬变电磁法基岩找水技术 .....           | (81)  |
| 第一节  | 瞬变电磁法的理论基础 .....            | (81)  |
| 第二节  | 瞬变电磁法的找水工作方法 .....          | (86)  |
| 第三节  | 瞬变电磁法的资料解释分析方法 .....        | (89)  |
| 第四节  | 瞬变电磁法找水应用实例分析 .....         | (93)  |
| 第五节  | 瞬变电磁法常用仪器介绍 .....           | (98)  |
| 第九章  | 核磁共振找水技术 .....              | (101) |
| 第一节  | 核磁共振法找水的基本原理 .....          | (101) |
| 第二节  | 核磁共振法的找水工作方法 .....          | (107) |
| 第三节  | 核磁共振法找水应用实例 .....           | (109) |
| 第四节  | JLMRS - I 型核磁共振检测仪 .....    | (112) |
| 第十章  | 双频激电法找水技术 .....             | (114) |
| 第一节  | 双频激电法的基本原理 .....            | (114) |
| 第二节  | 双频激电法的工作方法 .....            | (115) |
| 第三节  | 双频激电法的资料整理和解释 .....         | (121) |
| 第四节  | 双频激电法的干扰因素分析 .....          | (125) |
| 第五节  | 双频激电法找水应用实例 .....           | (127) |
| 第六节  | 双频激电法仪器简介 .....             | (130) |
| 第十一章 | 放射性氦气法找水技术 .....            | (136) |
| 第一节  | 放射性氦气法找水的原理 .....           | (136) |
| 第二节  | 野外测试工作方法 .....              | (138) |
| 第三节  | 资料整理与分析方法 .....             | (140) |
| 第十二章 | 直流电法勘探的仪器装备 .....           | (143) |
| 第一节  | 直流电阻率法仪器 .....              | (143) |
| 第二节  | CTE - 1 型智能直流电法仪的使用方法 ..... | (146) |
| 第三节  | 直流激发极化法仪 .....              | (148) |
| 第四节  | CTE - 2 型智能激发极化仪的使用方法 ..... | (150) |
| 第五节  | 电法勘探的其他装备 .....             | (151) |
| 第十三章 | 综合物探找水的工作方法 .....           | (153) |
| 第一节  | 物探找水的水文地质基础 .....           | (153) |
| 第二节  | 地下水的地质 - 地球物理分类 .....       | (162) |
| 第三节  | 地下水的地质 - 地球物理特征 .....       | (164) |
| 第四节  | 综合物探找水的合理工作程序 .....         | (166) |
| 第五节  | 提高成井率的综合措施 .....            | (168) |
| 参考文献 | .....                       | (169) |

# 第一章 绪 论

## 第一节 岩石、地层与岩性

### 一、矿物与岩石

矿物是指地壳及地球内层的化学元素通过各种地质作用形成的、在一定地质条件和物理化学条件下相对稳定的自然元素单质或化合物。例如,自然金(Au)、汞(Hg)、石墨(C)和金刚石(C)等矿物是由单质元素形成的,石英( $\text{SiO}_2$ )、方解石( $\text{CaCO}_3$ )等矿物则是由化合物构成的。绝大多数矿物质是化合物,矿物多为固态,仅少数矿物呈液态和气态,是组成矿石和岩石的最基本单位。

目前已发现的矿物总数有3 000多种,但地壳中最常见的主要矿物不过十多种,其中长石、石英、辉石、方解石等矿物组成了各种岩石,而磁铁矿和其他矿物则可通过一定成矿作用形成各种金属和非金属矿床,详见表1-1。

表 1-1 地壳中主要矿物成分含量

| 矿物  | 含量(%) | 矿物   | 含量(%) |
|-----|-------|------|-------|
| 斜长石 | 39    | 橄榄石  | 3.0   |
| 钾长石 | 12    | 方解石  | 1.5   |
| 石英  | 12    | 白云石  | 0.9   |
| 辉石  | 11    | 磁铁矿  | 1.5   |
| 角闪石 | 5     | 石膏   |       |
| 云母  | 5     | 其他矿物 | 4.5   |
| 黏土  | 4.6   |      |       |

岩石是一种矿物或多种矿物的集合体,共分为三大类:岩浆岩、沉积岩和变质岩。岩浆岩又分为侵入岩和喷出岩两大类,侵入岩主要有花岗岩、闪长岩等;喷出岩主要有安山岩、玄武岩、流纹岩等。沉积岩主要有石灰岩、砾岩、砂岩、页岩等。变质岩主要有片麻岩、大理岩、石英岩和板岩等。这三大类岩石可以通过各种成岩作用相互转化,从而形成了地壳物质的循环。

(1) 岩浆岩(火成岩)。就是直接由岩浆形成的岩石,指由地球深处的岩浆侵入地壳内或喷出地表后冷凝而形成的岩石,又可分为侵入岩和喷出岩(火山岩)。

(2) 沉积岩。就是由沉积作用形成的岩石,指暴露在地壳表层的岩石在地球发展过程中遭受各种外力的破坏,破坏产物在原地或者经过搬运沉积下来,再经过复杂的成岩作用而形成的岩石。沉积岩的分类比较复杂,一般可按沉积物质分为母岩风化沉积、火山碎

屑沉积和生物遗体沉积。

(3)变质岩。就是经过变质作用形成的岩石,指地壳中原有的岩石受构造运动、岩浆活动或地壳内热流变化等内营力影响,其矿物成分、结构构造发生不同程度的变化而形成的岩石。又可分为正变质岩和副变质岩。

## 二、地层及地质年代

地层是在一定的地史时期中和一定的地质环境下形成的层状岩石。因而,地层具有一定的层位,它可以是沉积岩或是火山岩或是由它们变质而来的变质岩;它是层状岩石,各地层之间以可见的层面为界,也可以岩性、化石及地质年代等划定的界面为界;它与岩石的区别是,它具有时间和空间概念,而岩石没有。例如灰岩,它只是一种岩石的名称,而由灰岩构成的“凤山组”,则是在晚寒武世形成的,分布于华北等地区、有一定厚度的一套岩层,它有明显的生成时间和一定分布空间范围的含义。

### (一)地层的划分和对比

地层的划分,是对某一地区的地层剖面,依据其生成顺序、岩性特征、古生物化石特征等内在规律,将其划分为若干个适当的单位(描述单位或分层单位),并建立这个地区的地层系统的过程。地层的对比,是研究和确定不同地区地层剖面的地层特征及其相互的时间关系的过程。地层划分对比的方法主要有如下几种。

#### 1. 地层层序律法

按岩层形成的原始顺序,先形成的在下、后形成的在上的这种自然规律来判别岩层相对新老关系的方法,称为地层层序律法。

#### 2. 生物地层学法

利用古生物化石划分、对比地层的方法称为生物地层学方法,常用的有以下几种。

##### 1) 标准化石法

在地层中保存的化石,那些地史分布短、演化迅速、地理分布广、数量多、特征明显、仅出自一定层位的古生物种属化石,叫标准化石。利用标准化石来划分、对比地层的方法称为标准化石法。

##### 2) 生物群组合法

在野外常常可以见到多种不同类型的化石出现在同一层或同一个地层系统之中。如果把所有这些生物化石(化石组合)进行综合分析来划分、对比地层,就叫生物群组合法。

##### 3) 孢粉分析法

根据地层中所含孢子或花粉的组合特征来划分、对比地层的方法称为孢粉分析法。它对一些不含大型化石的地层的划分、对比具有重要的意义。由于生物的进化、发展具有阶段性、进步性和不可逆性,因此保存在地层中的化石,在不同时代的不同层位上也就不同。任何一个“种”的化石,只能在某一段地层中存在。另外,同一时期生物界总体面貌具有一致性。这些就是生物地层学方法能够准确地划分、对比地层的依据。

#### 3. 岩石地层学法

在不同时间和不同沉积环境下,形成的岩石往往具有不同特征。根据岩石的岩性特征来划分和对比地层的方法称为岩石地层学法,主要可分以下几种。

### 1) 岩性法

岩性法即利用岩层的不同岩性特征如颜色、粒度、成分、硬度,原生结构构造及风化特征等来划分、对比地层的方法。这种方法只能适用于较小范围内。如华北蓟县和昌平两个地区的上元古界青白口系,按其岩性可划分为三个部分:下部以页岩为主,称“下马岭组”;中部以砂岩为主,称“长龙山组”;上部主要为砂岩、泥灰岩,称“景儿峪组”。

### 2) 标志层法

标志层法即利用岩层中的标志层来划分对比地层的方法。地层剖面中,那些厚度不大、岩性稳定、特征突出,易于识别的岩层称为标志层。如华北地区下寒武统馒头组顶部有一层鲜红色易碎页岩,厚度不大而且稳定,自辽宁经山东、河北直到河南均有出露。所以,这一具有特殊颜色的岩层就可作为划分、对比我国北方下寒武统馒头组顶界的一个很好的标志层。

### 3) 沉积旋迴法

利用岩层中的沉积旋迴的材料来划分、对比地层的方法称为沉积旋迴法。所谓沉积旋迴是指地层的岩性粗细在剖面纵向上出现连续的、有规律的更迭,如由砾岩—砂岩—页岩—灰岩,或出现相反的情况。

### 4. 地层接触关系法

利用地层间的假整合和角度不整合的接触关系来划分、对比地层的方法。假整合和角度不整合面的存在,表明在一定的区域范围内,在一定的地质历史时期中曾有一个明显的沉积间断。新老地层间被一个沉积间断面(剥蚀面)所分开,这是地层中的自然地质界面,因而可利用其来划分、对比地层。

## (二) 地层单位和地质年代表

### 1. 地层单位

由于地层划分的依据不同,也就有多种类型的地层单位,目前国际上一般把地层单位分为岩石地层单位、生物地层单位和年代地层单位三类。这里主要介绍岩石地层单位和年代地层单位。

#### 1) 岩石地层单位

以地层的岩性、岩相特征作为主要依据而划分的地层单位,叫岩石地层单位。这种地层单位主要用来反映一个地区的沉积过程和环境特征,因而只能适用于一定范围。地方性或区域性地层层序主要是由这类单位构成的。它是一般地质工作的基本实用单位。岩石地层单位分为群、组、段、层等四级。

群:是级别比组高一级的最大岩石地层单位。由两个或两个以上经常伴随在一起而又具有某些统一岩石学特点的组联合构成,如石千峰群,但组不一定归并为群。群也可以是一套厚度巨大没有作过深入研究但很可能划分为几个组的岩系。一大套厚度巨大、组分复杂,又因受构造干扰致使原始顺序无法重建时,也可以看作一个特殊的群。群的命名是用地名加“群”,如泰山群。群与群之间有明显的沉积间断或不整合。

组:是岩石地层单位的基本单位,一个“组”具有岩性、岩相和变质程度的一致性。它可以由一种岩石组成,也可以由两种或更多的岩石互层组成。一个组常用地名加“组”来命名,如凤山组、馒头组。

段:是比“组”低一级的地层单位,是组的再分,代表组内具有明显岩性特征的一段地层。段可用地名加“段”命名,也可以用岩石名称加“段”来命名,如石灰岩段等。

层:最小的岩石地层单位。指组内或段内的一个明显的特殊单位层。通常对能起标志层作用的层才起专名。

## 2) 年代地层单位

年代地层单位主要是以地层形成的地质年代为依据而划分的地层单位。年代地层单位和地质年代表中的年代单位有严格的对应关系。年代地层单位的级别,由大到小依次分为宇、界、系、统、阶、时间带等六个不同等级。其中,宇、界、系、统是全世界可以作为对比的统一标准,称为国际性地层单位;阶和时间带一般只适合使用于某一个大区域内,故又称为大区域性地层单位。

宇——最大的年代地层单位。根据生物是稀少、低级还是丰富、高级,把整个地层划分成三个宇:太古宇、元古宇、显生宇。

界——宇中所划分的次一级地层单位。如显生宇内由老至新划分为古生界、中生界和新生界。界主要是根据生物演化的巨大阶段来划分的。

系——界内所划分的次一级地层单位。如古生界从下到上依次为寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系和二叠系。

统——系内进一步划分的地层单位。一个系可分为几个统,如二叠系下统和二叠系上统。

阶——统内进一步划分的地层单位。一个统可以分为几个阶,如我国上寒武统自下而上分为固山阶、长山阶和凤山阶。

时间带——在年代地层单位中级别最低的一个正式单位。是根据生物属、种的延限带建立起来的地层带。延限带是指任一生物分类单位在其整个延续范围之内所代表的地层。

## 2. 地质年代单位和地质年代表

### 1) 地质年代单位

不同等级的年代地层单位所对应的地质年代称为地质年代单位。由于同一岩石地层单位的时限在各地不一致,变动较大,其地质年代单位一般笼统地称为“时”“时代”或“时期”。地层单位和地质年代单位的分类及对应关系见表 1-2。

表 1-2 地层单位和地质年代单位的分类及对应关系

| 地层单位分类 | 使用范围  | 地层划分单位                              | 地质年代单位                       |
|--------|-------|-------------------------------------|------------------------------|
| 年代地层单位 | 国际性的  | 宇<br>界<br>系<br>统<br>(统)<br>阶<br>时间带 | 宙<br>代<br>纪<br>世<br>(世)<br>期 |
|        | 大区域性的 |                                     |                              |
| 岩石地层单位 | 地方性的  | 群<br>组<br>段<br>层                    | 时(时代,时期)                     |

## 2) 地质年代表

地质年代表是综合了世界的地层划分、对比和生物发展阶段的研究,结合同位素地质年龄资料编制而成的,见表 1-3。

表 1-3 地质年代表

| 地质时代(地层系统及代号)               |                             |                        |                        |                        | 同位素年龄值<br>(百万年)        | 构造阶段<br>(及构造运动)         |             | 生物界               |        |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------|-------------------|--------|
| 宙<br>(宇)                    | 代<br>(界)                    | 纪(系)                   |                        | 世(统)                   |                        | 植物                      | 动物          |                   |        |
| 显生宙<br>(宇PH)                | 新生代<br>(界K <sub>z</sub> )   | 第四纪(系)Q                |                        | 全新世(统Q <sub>h</sub> )  | 0.01                   | 新阿尔卑斯构造阶段<br>(喜马拉雅构造阶段) | 被子植物繁盛      | 出现人类<br>哺乳动物与鸟类繁盛 |        |
|                             |                             |                        |                        | 更新世(统Q <sub>n</sub> )  |                        |                         |             |                   | 2.5    |
|                             |                             | 第三纪<br>(系R)            | 新第三纪(系)N               | 上新世(统N <sub>2</sub> )  | 23                     |                         |             |                   |        |
|                             |                             |                        |                        | 中新世(统N <sub>1</sub> )  |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             |                        |                        | 渐新世(统E <sub>3</sub> )  |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             | 老第三纪(系)E               | 始新世(统E <sub>2</sub> )  | 65                     |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             |                        | 古新世(统E <sub>1</sub> )  |                        |                        |                         |             |                   |        |
|                             | 中生代<br>(界M <sub>z</sub> )   |                        | 白垩纪(系)K                |                        | 晚白垩世(统K <sub>2</sub> ) | 135                     | 老阿尔卑斯构造阶段   | 燕山构造阶段            | 裸子植物繁盛 |
|                             |                             | 早白垩世(统K <sub>1</sub> ) |                        |                        |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             | 侏罗纪(系)J                | 晚侏罗世(统J <sub>3</sub> ) | 205                    |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             |                        | 中侏罗世(统J <sub>2</sub> ) |                        |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             |                        | 早侏罗世(统J <sub>1</sub> ) |                        |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             | 三叠纪(系)T                | 晚三叠世(统T <sub>3</sub> ) | 250                    | 印支构造阶段                 |                         |             |                   |        |
|                             |                             |                        | 中三叠世(统T <sub>2</sub> ) |                        |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             |                        | 早三叠世(统T <sub>1</sub> ) |                        |                        |                         |             |                   |        |
|                             | 晚古生代<br>(界P <sub>z2</sub> ) | 二叠纪(系)P                |                        | 晚二叠世(统P <sub>2</sub> ) | 290                    | (海西)华力西构造阶段             | 蕨类及原始裸子植物繁盛 | 两栖动物繁盛            |        |
|                             |                             |                        |                        | 早二叠世(统P <sub>1</sub> ) |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             | 石炭纪(系)C                | 晚石炭世(统C <sub>2</sub> ) | 355                    |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             |                        | 早石炭世(统C <sub>1</sub> ) |                        |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             | 泥盆纪(系)D                | 晚泥盆世(统D <sub>3</sub> ) | 410                    |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             |                        | 中泥盆世(统D <sub>2</sub> ) |                        |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             |                        | 早泥盆世(统D <sub>1</sub> ) |                        |                        |                         |             |                   |        |
|                             | 早古生代<br>(界P <sub>z1</sub> ) | 志留纪(系)S                |                        | 晚志留世(统S <sub>3</sub> ) | 439                    | 加里东构造阶段                 | 裸蕨植物繁盛      | 海生无脊椎动物繁盛         |        |
|                             |                             |                        |                        | 中志留世(统S <sub>2</sub> ) |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             |                        |                        | 早志留世(统S <sub>1</sub> ) |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             | 奥陶纪(系)O                | 晚奥陶世(统O <sub>3</sub> ) | 510                    |                        |                         |             |                   |        |
| 中奥陶世(统O <sub>2</sub> )      |                             |                        |                        |                        |                        |                         |             |                   |        |
| 早奥陶世(统O <sub>1</sub> )      |                             |                        |                        |                        |                        |                         |             |                   |        |
| 寒武纪(系)C                     |                             | 晚寒武世(统C <sub>3</sub> ) | 570                    |                        |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             | 中寒武世(统C <sub>2</sub> ) |                        |                        |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             | 早寒武世(统C <sub>1</sub> ) |                        |                        |                        |                         |             |                   |        |
| 元古宙<br>(宇PT)                | 新元古代<br>(界Pt <sub>3</sub> ) | 震旦纪(系)Z                |                        | 晚震旦世(统Z <sub>2</sub> ) | 700                    | 晋宁运动                    | 原核生物        | 裸露无脊椎动物出现         |        |
|                             |                             |                        |                        | 早震旦世(统Z <sub>1</sub> ) | 800                    |                         |             |                   |        |
|                             |                             | 青白口纪(系)Qb              | 1 000                  |                        |                        |                         |             |                   |        |
|                             | 中元古代<br>(界Pt <sub>2</sub> ) | 蓟县纪(系)Jx               |                        | 1 800                  |                        |                         |             |                   |        |
|                             |                             | 长城纪(系)Che              |                        |                        |                        |                         |             |                   |        |
| 古元古代<br>(界Pt <sub>1</sub> ) | 渾沱纪(系)Ht                    | 2 500                  |                        |                        |                        |                         |             |                   |        |
| 未名                          |                             |                        |                        |                        |                        |                         |             |                   |        |
| 太古宙<br>(宇AR)                | 新太古代<br>(界Ar <sub>2</sub> ) |                        |                        | 3 100                  | 阜平运动                   |                         |             |                   |        |
|                             | 中太古代<br>(界Ar <sub>1</sub> ) |                        |                        |                        |                        |                         |             |                   |        |
| 冥古宙<br>(宇HD)                |                             |                        |                        | 3 850                  |                        | 生命现象开始出现                |             |                   |        |
|                             |                             |                        |                        |                        | 4 600                  | 地球形成                    |             |                   |        |

前古生代(AnPz)又称前寒武纪(Anc),指的是寒武纪以前的地史时期,也就是指距现在6亿年以前的地史时期。前古生代的生物界与古生代相比,显得十分的原始、低级和贫乏,以水生的菌藻类为主。只是到了这个地史阶段的末期,才出现低级的海生无脊椎动物。前古生代形成的地层叫前古生界(前寒武系)。由于受到多次的地壳运动和岩浆活动的影响,前古生界均受到程度不同的变质作用。震旦纪(Z)是一个特殊的地史阶段,“震旦”是古印度对中国的称呼,是德国地质学家李希霍芬把这个词引进到地层学中的。震旦纪时的一个突出点是出现了冰川活动,说明在震旦纪中期,地球上曾出现了现在已知的地史上第一次大冰期。并且,在大冰期之后,气候转变为干热,从而形成了膏盐沉积。到了震旦纪末期,由于地壳运动的影响,华南许多地区普遍上升,发生海退。

早古生代包括寒武纪、奥陶纪和志留纪,开始于距今6亿年,结束于距今4亿年,历时约2亿年。早古生代海侵广泛,海生生物空前繁盛,海相地层广泛分布。晚古生代包括泥盆纪、石炭纪和二叠纪,开始于距今4亿年,结束于距今约2.5亿年,历时约1.5亿年。晚古生代是地球上陆地面积不断扩大的时期,因此这个地史时期中陆生生物空前的发展和繁盛,陆相沉积大量形成,煤系地层广泛发育。在南半球,冰川活动遍及冈瓦纳古陆。

中生代包括三叠纪、侏罗纪和白垩纪,开始于距今2.5亿年,结束于距今0.65亿年,历时约1.85亿年。中生代是裸子植物、爬行动物及菊石类大发展时期,因而分别被称为“裸子植物的时代”“爬行动物的时代”和“菊石的时代”。三叠纪时生物界发生了显著的进化和发展,裸子植物和爬行动物迅速发展和繁盛起来而取代了蕨类植物和两栖类,特别是爬行动物中的恐龙类,在三叠纪中期出现以后,很快遍布世界各地;晚三叠世时,原始哺乳动物出现了。侏罗纪的生物界是由脊椎动物、植物、淡水和海生无脊椎动物等组成的,其最突出的特征是恐龙类、菊石类和裸子植物的极度繁盛,显现出了典型的中生代生物群面貌;晚侏罗世时,鸟类出现了,这是生物进化史上一个很重要的事件。白垩纪时,生物界又经历了一次迅速的演化和发展。裸子植物逐渐衰退,在早白垩世晚期被子植物开始出现,至晚白垩世时取代裸子植物而占据了植物界的主要地位。爬行动物达到极盛,使得白垩纪与侏罗纪一起构成了爬行动物极盛的时代,至白垩纪末,恐龙类绝灭了,只有少数类别的爬行动物延续到新生代。

新生代包括第三纪和第四纪,开始于距今0.65亿年,是现代生物形成和人类出现和进化发展的时代,也是现代地貌逐渐形成的时代。新生代地史的基本特征,是在燕山运动后,我国现代地貌的轮廓已基本形成。我国第三系分布广泛,以陆相沉积为主,海相分布局部,地貌特征基本上和中生代相似,大型隆起(山脉)与大型盆地交替排列,盆地内不但第三系普遍发育,而且含石油、煤等重要矿产。第三纪中后期强烈的喜马拉雅运动,不但使喜马拉雅、台湾省等地区褶皱上升,海水退出,而且伴有基性岩浆喷发活动和岩浆侵入。第四纪的地壳运动以升降作用为主,我国西部地区,山脉与盆地差异升降关系,促使喜马拉雅山、昆仑山、天山高耸入云,青藏高原跃居为世界屋脊,珠穆朗玛峰成为世界第一高峰,盆地长期下降,第四纪大面积覆盖。东部地区,大型拗陷带第四纪时继续下降,因此第四纪广泛分布,并在近海地区有短期海相沉积。

### 三、第四系地层

#### (一) 第四系地层的分期

第四系地层为新生代第四纪形成的地层,是离我们最近的一个地质年代。第四系地层一般未胶结,呈松散状态,沉积类型多样。在这一阶段,生物界的总貌与现代已很接近,出现了古人猿和现代人类。第四纪分为更新世(Qp)和全新世(Qh)两个时期,相应的地层便称为第四系,以及更新统和全新统,详见表 1-4。

表 1-4 新生代分期及特征

| 代<br>(界)                 | 纪<br>(系)                | 世(统)          |                            | 距今年龄<br>(百万年) | 生物                 | 构造阶段                       |
|--------------------------|-------------------------|---------------|----------------------------|---------------|--------------------|----------------------------|
| 新<br>生<br>代<br>(界)<br>Kz | 第<br>四<br>纪<br>(系)<br>Q | 全新世<br>(统) Qh |                            | 0.01 至今       | 现代人类               | 喜<br>马<br>拉<br>雅<br>运<br>动 |
|                          |                         | 更新世(统)<br>Qp  | 晚更新世(统)<br>Qp <sub>3</sub> | 0.13 ~ 0.01   | 古猿、现代植物、草原<br>面积扩大 |                            |
|                          |                         |               | 中更新世(统)<br>Qp <sub>2</sub> | 0.80 ~ 0.13   |                    |                            |
|                          |                         |               | 早更新世(统)<br>Qp <sub>1</sub> | 2.60 ~ 0.80   |                    |                            |
|                          |                         | 新近纪(系) N      |                            | 23.30 ~ 2.60  | 哺乳动物、被子植物          |                            |
|                          | 古近纪(系) E                |               | 65.00 ~ 23.30              |               |                    |                            |

#### (二) 第四系地层的分类

从岩性成因来讲,第四系松散地层可认为是未固结的松散岩石,应归于沉积岩类,但其与固结的沉积岩类在岩性上又有着较大不同,常常又被作为特别的对象来加以区分与研究。

第四系地层的岩性较为复杂,根据岩石的成分可分为碎屑沉积物、化学或生物化学沉积物、火山喷出物、人工堆积物等种类。碎屑沉积物是陆地上分布最广、最为常见的沉积物,亦是通常意义上所讲的第四系地层。

按沉积物的粒径,第四系地层一般分为砾、砂、粉砂和黏土 4 类。通常情况下,地层由砾石、砂、粉砂等不同的成分构成,其命名可依据不同粒径成分的含量来命名,采用二元命名法或三元命名法,如砾质砂、含砾砂、砂土、砂质黏土等。

黄土是广泛分布的第四系松散地层,呈浅黄色或棕黄色,主要由粉砂组成,富含钙质,疏松多孔,不显宏观层理,垂直节理发育,具有很强的湿陷性。

#### (三) 第四系地层的分布

第四系地层是陆地上分布最广、最为常见的岩石,主要有残积物、坡积物、洪积物、冲积物、冰碛物、冰水堆积物和风积物等,其主要种类、成因、分布以及地貌类型等见表 1-5。

表 1-5 第四系地层沉积物的类型与分布

| 成因类型  | 主要地质作用      | 地层岩性特征                                                                                          | 分布位置          | 地貌形态             |
|-------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------|
| 残积物   | 物理、化学风化     | 角砾与碎岩屑、极细砂、黏土混杂,基本上未经搬运而堆积于原地;从基岩到残积物渐变过渡,一般上细下粗,碎屑具棱角,排列无规则,无层理,厚度因地而异                         | 山脊、平缓山坡、夷平面等处 |                  |
| 坡积物   | 坡面片流的长期搬运   | 以细颗粒为主,常混有碎石;分选性和磨圆度极差;岩性取决于坡面上段基岩岩性及残积层的发育程度;具有与坡面大致平行的模糊层理                                    | 山坡和山麓         | 坡积锥、坡积裙          |
| 洪积物   | 间歇性洪水的搬运    | 呈扇形,扇顶部与沟口相接,碎石粗大,磨圆度差;扇中部堆积卵石、碎石、角砾、圆砾及砂和亚砂土;扇尾部颗粒变细,常由细砂、粉砂、黏土构成;扇的边缘地带有时有淤泥;顺原始地形坡度常见倾斜的斜交层理 | 山麓沟口及平原支流沟口   | 冲积锥、洪积扇、洪积裙、山麓平原 |
| 冲积物   | 长期性洪水沿河流的搬运 | 地层主要由沙砾石组成,磨圆度、分选性好;分为河床相和河漫滩相,前者砾石多呈扁平状,长轴与流水方向一致,后者以细砂、极细砂土、亚砂土为主,层理呈韵律变化,偶夹细砾石透镜体和杂土         | 河谷地带、古河道      | 阶地、河漫滩、冲积平原、三角洲  |
| 冰碛物   | 冰川搬运        | 地层一般为大小悬殊的岩块和黏性土混合物,泥粒、漂砾粒径可达数十至数百米,无层理,无磨圆,排列杂乱,磨光面具擦痕                                         | 山间谷地、山麓平原     | 冰碛垄、冰川平原及鼓丘等     |
| 冰水堆积物 | 冰水搬运        | 地层多为细砾和粗砂,层理清晰,韵律变化,常与冰碛物相互间杂;受冰川挤压会有复杂的构造变形;在冰水湖泊中,会形成层理明显的韵律层                                 | 冰川外缘、谷地、平原、湖泊 | 冰水堆积扇、冰水阶地等      |
| 风积物   | 风力吹扬、漂移     | 地层岩性多为砂、细砂、亚砂土、粉砂、黏粒,分选性好,层理不明显,颗粒有明显碎裂、磨蚀痕迹                                                    | 干旱半干旱区、河谷、山坡等 | 各类沙漠、黄土地貌        |

#### 四、岩浆岩地层

岩浆是地壳深部或上地幔产生的高温炽热、黏稠、含有挥发成分的硅酸盐熔融体。由岩浆凝固结而成的岩石,称为岩浆岩,或称为火成岩,又分为侵入岩和喷出岩两个大类。

侵入岩为岩浆在地下不同深度冷凝固结而成的岩石。由于冷凝缓慢,所以岩石中的矿物结晶较好,颗粒较粗,它又分为深成岩和浅成岩两类。

喷出岩包括熔岩和火山碎屑岩(火山碎屑堆积而成的岩石)。由于喷出岩是岩浆在地表冷凝而成的,温度降低很快,所以岩石中的矿物结晶细小,甚至没有结晶,成为玻璃质岩石。

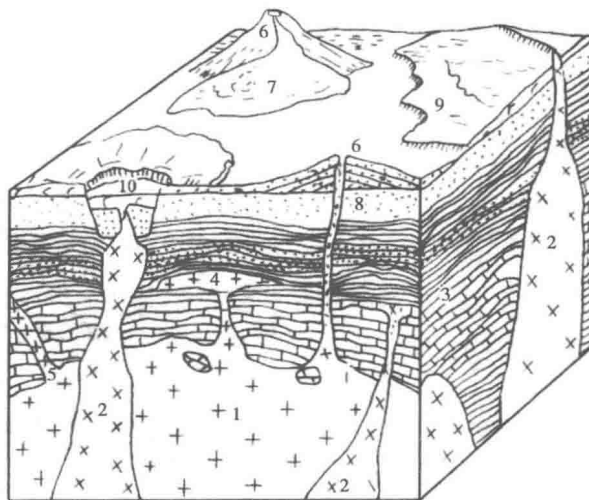
地壳中所有的天然元素都可以在岩浆岩中发现,构成岩浆岩的 10 种主要元素的氧化物为  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{TiO}_2$  等,它们约占岩浆岩总成分的 99%。

岩浆岩的矿物成分能够反映它们的化学成分、生成条件以及成因等变化规律。同时,矿物成分也是岩浆岩分类和命名的主要依据。自然界矿物的种类很多,但组成岩浆岩的常见矿物不过 20 多种,见表 1-6。

表 1-6 岩浆岩中矿物的平均含量

| 矿物名称  | 石英   | 碱性长石 | 斜长石  | 辉石    | 普通角闪石         | 黑云母    |
|-------|------|------|------|-------|---------------|--------|
| 含量(%) | 12.4 | 31.0 | 29.2 | 12.0  | 1.70          | 3.80   |
| 矿物名称  | 白云母  | 橄榄石  | 霞石   | 不透明矿物 | 磷灰石、<br>榍石及其他 | 总计     |
| 含量(%) | 1.4  | 2.6  | 0.3  | 4.1   | 1.5           | 100.00 |

岩浆岩的产状是指岩体的形态、大小及其与围岩的关系。岩浆岩的产状,主要受岩浆的成分、性质、岩浆活动的方式及构造运动的影响,并与岩浆侵入深度有关,如图 1-1 所示。



1—岩基;2—岩株;3—岩床;4—岩盘;5—岩脉;6—火山锥  
7—熔岩流;8—火山颈;9—熔岩被;10—破火山

图 1-1 岩浆岩产状示意图

## 五、沉积岩地层

沉积岩是在地表或地表以下不太深的地方,在常温常压下,由母岩的风化产物或由生物化学作用和某些火山作用所形成的物质,经过搬运、沉积、成岩等地质作用而形成的层状岩石,如砂岩、页岩、石灰岩等。

由于岩浆岩、沉积岩与变质岩是在不同的条件下形成的,其各自的矿物成分、结构不同,所以风化的快慢及程度大不一样。其中,岩浆岩最易风化,其次是变质岩,沉积岩较稳定,一般难以风化。母岩经受风化作用后形成以下三种产物:

(1)碎屑物质,即矿物碎屑和岩石碎屑,是母岩机械破碎的产物,如长石、石英砂、白云母碎片和各种砾石等。

(2)残余物质,母岩在分解过程中形成的不溶物质,如黏土矿物、褐铁矿及铝土矿等。

(3)溶解物质,母岩在化学风化过程中被溶解的成分,如  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Si}^{4+}$  等,常呈真溶液或胶体溶液状态被流水搬运至远离母岩的湖海中。

风化产物除少部分残积在原地外,大部分物质都要在流水、冰川、风和重力等作用下进行搬运和沉积,其中最为常见的为流水和风力,最为直观的搬运物质是碎屑物在水流中的搬运和沉积作用。

如图 1-2 所示,大小混杂的水中碎屑物在搬运过程中发生分散,粒度大的难以搬运,当流速稍有减缓,就会下沉,而粒度小的易于搬运,出现了沿搬运方向的分选现象,碎屑按颗粒大小以砾石、砂、粉砂、黏土的顺序沉积。在图 1-3 中,则是按相对密度发生分异,相对密度大的先沉积,相对密度小的搬运距离大,出现了沿搬运方向按相对密度大小顺序沉积的现象。

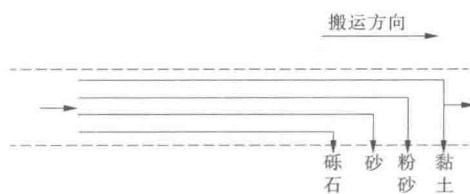


图 1-2 按颗粒大小沉积顺序图

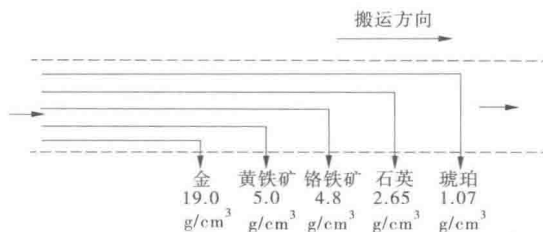


图 1-3 按相对密度大小沉积顺序

沉积物沉积以后,即开始进入形成沉积岩的阶段,而且在形成沉积岩后,在岩石发生风化或变质之前,岩石还会发生一些改造。上述过程可划分为两个阶段,即沉积物的成岩作用和沉积岩的作用。

松散的沉积物转变为致密、固结、坚硬的岩石的作用,称为成岩作用。成岩作用主要包括以下几种:

(1)压固作用。这是一种上覆沉积物的重力和水体的静水压力,使松散沉积物排出水分,孔隙减少,体积缩小,密度加大,进而转变成固结的岩石的作用。

(2)胶结作用。松散的沉积碎屑颗粒,通过粒间孔隙水中的化学沉淀物等胶结物的黏结变为坚硬的岩石,这种作用称为胶结作用。常见的胶结物有碳酸盐质、硅质、铁质、有机质和黏土矿物等,这些大都是由溶解于水中的物质沉淀而成的。

(3)重结晶作用。胶体和化学沉积物质等非晶质,逐渐转变为结晶质或细小晶体;或由于溶解、局部溶解或扩散作用,原始晶体继续生长、加大的现象等,称为重结晶作用,如蛋白石变为玉髓和石英。

沉积岩的后生作用,是指沉积物固结成岩以后至岩石遭受风化或变质作用以前所发

生的一系列变化。发生的原因有温度升高,上覆岩层的压力增大以及深部地下水沿岩石裂隙上升,造成岩石进一步被压固、晶粒变粗和形成后生矿物、结核和缝合线等。常见的后生矿物有石英、自生长石、沸石、绿泥石、绢云母、黄铁矿、白铁矿,以及碳酸盐类等矿物。

## 六、变质岩地层

由地球内力作用引起的使原岩发生转化再造的地质作用,称为变质作用,所形成的岩石称为变质岩。由岩浆岩经变质作用形成的称正变质岩;由沉积岩经变质作用形成的称副变质岩。变质岩在我国分布很广,从前寒武纪至新生代都有变质岩形成,但多数分布在古老的结晶地块和构造带中,我国的山东、河北、山西、内蒙古等地均有大面积出露。

变质作用的因素,主要包括温度、压力以及具化学活动性的流体。温度是引起岩石变质的主要因素。压力作用可分为静压力和定向压力(应力)两种,静压力是由上覆岩石重量引起的,随着深度增加而增大,岩石结构变得致密坚硬;定向压力是由构造运动或岩浆活动引起的侧向挤压力,岩石在定向压力的作用下产生节理、裂隙或形成片理、线理、流劈理构造,发生破碎、形变等。具化学活动性的流体以  $H_2O$ 、 $CO_2$  为主要成分,并包含多种金属和非金属等物质的水溶液,是一种活泼的化学物质。当这些溶液在岩石孔隙中,由于压力差或溶液中活动组分的浓度差而引起流动时,便对周围岩石发生交代作用,产生组分的迁移,形成与原岩性质迥然不同的变质岩石。

## 七、地层的含水条件

一般来讲,石灰岩、砂岩以及多数岩浆岩、变质岩等较为坚硬、脆性的岩石都具有一定的含水条件,而富水程度则主要取决于基岩裂隙的发育程度。黏土层、黏土岩、泥岩和页岩等地层则因透水性差、质地软、易风化,常常构成相对隔水地层。

第四系地层的含水层主要为各类砂层、卵砾石层,透水性主要取决于颗粒大小、分选性以及充填程度,颗粒越大、分选性越好、充填物越少,则富水性越强。

石灰岩地层在我国分布广泛,一般岩溶裂隙发育,富水性强,是重要的含水地层,也是形成较大型水源地的主要地层。奥陶系石灰岩质地较纯,岩溶较发育,尤其在断层、褶曲附近或地下水排泄区岩溶更为发育,存在着大量的溶隙、溶孔、溶洞,是富水性很强的含水层。寒武系石灰岩地层分布广泛,是山丘地区重要的供水含水层,具有岩溶裂隙分布不均一、出水量差别大等特点,往往多数干眼出自该地层,为缺水地区找水打井的重要研究对象。

早第三系、白垩系、侏罗系砂岩分布广泛,具有单层厚度小、层位多、富水性差等特点,单井出水量一般低于  $20\text{ m}^3/\text{h}$ 。二叠系砂岩构造裂隙较为发育,出水量较大。

太古界、燕山期花岗岩、安山岩分布广泛,是砂石山区重要的饮用水含水层,具有成井困难、出水量小、水质优等特点,优质矿泉水大多出自该类地层,所以成井后的经济价值也较高。

太古界片麻岩、片岩均为区域变质岩,分布广泛,具有构造分布复杂、沟通性差、出水量差别大、水质好等特点,亦是生产优质矿泉水的重要地层,除能满足人蓄饮水需求外,出水量大时也可满足部分灌溉需求。