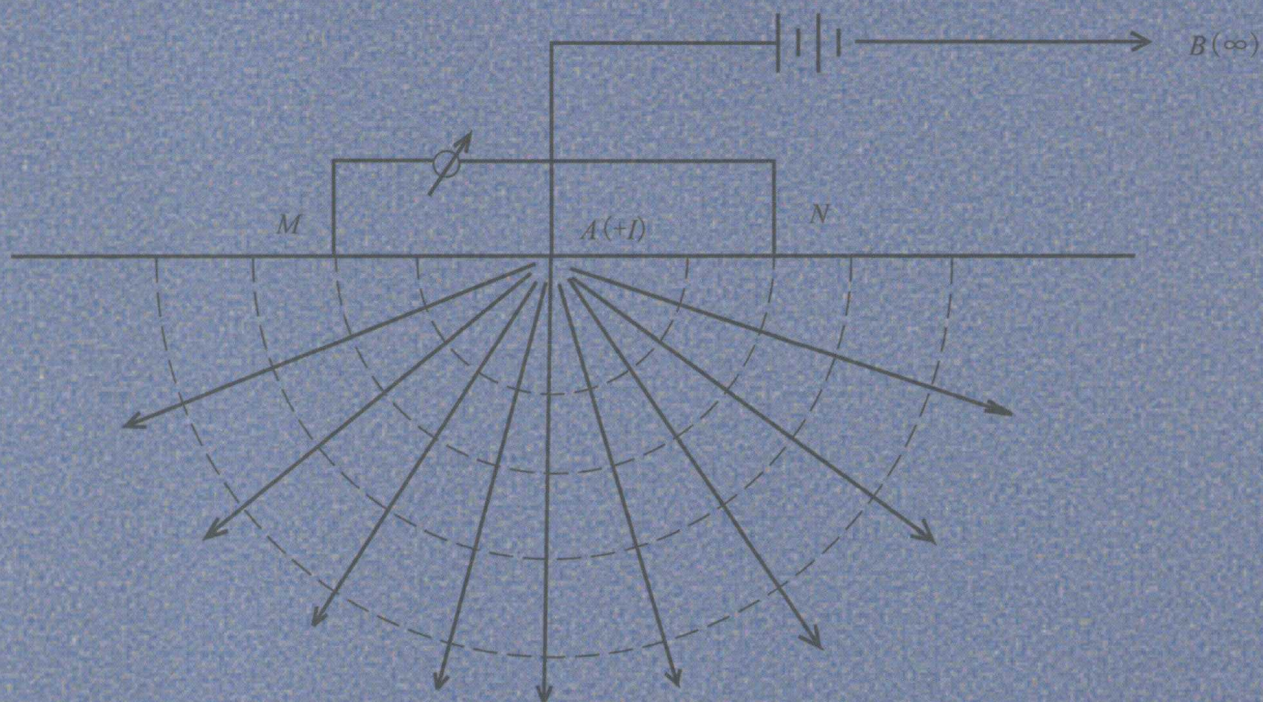


石家庄经济学院学术著作出版基金资助

地下水资源 电法勘探新技术

刘国辉 张献民 贾学民 田悦新 著



地震出版社

石家庄经济学院学术著作出版基金资助

地下水资源电法勘探新技术

刘国辉 张献民 贾学民 田悦新 著

地震出版社

图书在版编目(CIP)数据

地下水资源电法勘探新技术/刘国辉, 张献民, 贾学民, 田悦新著.
—北京: 地震出版社, 2007. 8

ISBN 978-7-5028-3141-7

I. 地… II. ①刘…②张…③贾…④…田 III. 地下水资源—
水文地质勘探: 电法勘探 IV. P641. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 092165 号

地震版 XT200600224

地下水资源电法勘探新技术

刘国辉 张献民 贾学民 田悦新 著

责任编辑: 张友联

责任校对: 张晓梅

出版发行: **地震出版社**

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京市顺义富各庄福利印刷厂印刷厂

版(印)次: 2007 年 8 月第一版 2007 年 8 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 307 千字

印张: 12

印数: 0001~1000

书号: ISBN 978-7-5028-3141-7/P·1330 (3830)

定价: 35.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

前 言

我国北方多属于干旱、半干旱季风气候区。由于地表水资源不足,赋存于地下的第四系松散堆积物中的孔隙水、基岩裂隙水和岩溶水,尤其是容易开采和补给的浅层地下水,便成为主要供水源。随着经济建设的发展,现有地下水资源难以满足需求的矛盾越来越突出。大力寻找和合理开发地下水资源,不仅是发展农业所必需,而且对工业,城市供水,各种基本建设以及保护生态环境都有着十分重要的意义。

电法勘探是进行地下水资源调查的最主要手段之一,长期以来在探测水资源方面发挥了重要作用。但应该指出的是,目前常规的电法勘探方法在解决水资源勘测方面还存在许多问题:①在山区含水构造探测中,地形异常往往歪曲甚至淹没含有价值的地电信息,尽管可采用诸如:比值法、地形校正法等来压制地形干扰,但这些都是近似的,而且须注意应用条件,这已由张献民等(1991)作了研究。因此,必须研究新的采集系统,以大幅度降低或消除地形影响,有效提取地下水异常信息。②导水系数、单位涌水量等水文参数是衡量地下水情况的重要指标,长期以来,在确定这些参数时,要进行抽水试验,耗费大量资金。因此,有必要系统地研究电性参数与水文地质参数的相关模型,用电法勘探来解决水文地质参数,以代替抽水试验。③激发极化法作为电法勘探的一个重要分支,由于不受或少受地形影响,且可充分利用时间特性,因此,受到地球物理工作者的普遍重视。20世纪50年代中期 Vacquier (瓦克尔,美国)等便开始对含水岩石的激发极化现象及用来勘查地下水的可行性,进行了理论和试验研究。自20世纪70年代初以来,我国也开展了有关方面的大量研究和试验。陕西省第一物探队提出了以观测极化率和激发比为主的综合参数法(1974),中国地质大学李金铭教授等提出了偏离度参数法等。这些参数中,哪个参数更有效,应用条件如何,尚缺乏系统研究,须建立激电参数—水文地质模型和寻找新的电性参数。④将已知井的含水状况及其井旁电阻率测深数据作为指导未知区的水资源勘探的重要信息,有效地利用这些信息,可减少打干孔,提高成井率。但目前仍处于定性对比分析阶段,须建立有关模型。⑤高密度电法可以实现探测剖面电阻率的快速、密集、大信息量采集,并在现场可进行实测数据实时处理,使其和地震勘探的野外工作方式类似,一次可完成纵横二维勘探过程,观测精度较高,数据采集可靠,获得地质信息丰富。因此需开展有关找水方面的试验,研究其勘探水资源的效果及有关的技术。⑥在地电流较强地区,干扰信号给数据解释带来了困难,特别是在严重贫水地区,地下水的信号比较微弱,有效的滤掉干扰信号是提高找水效果的关键。因而有必要对大量实测数据进行波谱分析,建立干扰信号滤波器。⑦复杂的野外条件,解析理论难以适应,须引入数值计算加以解决,有

限单元法占用内存量大,数据准备繁杂,运算时间长,难以实现数据实时处理。因此须研究边界单元法的一系列技术,克服有限单元法的不足,提高数据处理的精度及效率。⑧目前常规的方法均属于间接找水方法,这些方法不同程度上存在着资料解释的多解性。有必要引进和推广核磁共振直接找水新技术(潘玉玲等,1992),研究适合我国水文地质条件下的工作技术方法。⑨随着人们对地下水需求的不断增加,地下水的开采利用必将由浅层水向深层水转移,现有大多数传导类电法勘探方法的探测深度受到了限制,有必要研究适中勘探深度的可控源音频大地电磁法在找水中的应用,以适应深层水资源和地热田资源的开发利用。

上述大部分课题的研究,20世纪90年代中期得到了河北省自然科学基金的资助,自“河北水资源电法勘探高新技术的研究”(编号:494053,张献民、刘国辉等,1994)立项以来,经课题组全体成员努力攻关,取得了一大批相关成果,提出了新型的电法勘探野外观测系统,及反映地下含水量的新电性参数,建立了复杂条件下的正反演数学模型,并编制出相应的软件。鉴于目前对地下水开发利用的日益增长的趋势,迫切需要一些地下水资源勘查的新技术和新方法,但至今还未见有关这方面新成果较全面的专著,为此,在总结我们多年来有关科研成果的基础上,吸收和借鉴了国内外的相关研究成果,编撰成本书。

本书的主要内容包括:地下水的地质特征,水文地质参数自动预测系统,井位自动预测系统,新型电法勘探的数据采集系统,激电时间特性——水文地质模型,高密电阻率法及其在水资源勘探中的应用技术,数值模拟技术,数字滤波技术,电测深数据正反演交互解释系统,地下水核磁共振勘查新技术和电磁勘探新技术等11个方面,本书可作为有关本科专业高年级学生和研究生专业课程的参考教材,也可作为从事水文物探工作的科技工作者的参考书。

本书为石家庄经济学院学术著作出版基金资助专著,并得到我国著名地球物理学家吴功建和朱英先生的指导和鼓励,石家庄经济学院有关领导和老师对我们的研究工作和撰写给予了极大的支持和帮助。在准备出版的过程中,黄宁、贾静、王天意、陈超和马彦超等同学协助进行了文字的收录与图件的清绘工作;得到了石家庄经济学院科研处的有关领导和同志们的大力支持;地震出版社的张友联同志作了细致的审校编辑,为成书付出了辛勤的劳动,在此一并表示深切的谢意!书中一定还有许多不妥或错误之处,期待读者对本书不吝赐教指正。

作者
丁亥年壬寅月春节

目 录

第一章 地下水的地质特征	(1)
第一节 基本概念	(1)
一、含水层	(1)
二、水理性质	(2)
三、含水构造	(2)
四、地下水类型	(3)
第二节 地下水的地质环境	(4)
一、山前洪积扇环境	(4)
二、河谷平原冲积层环境	(4)
三、湖泊盆地湖积层环境	(5)
四、基岩山区裂隙环境	(5)
五、碳酸盐类岩溶环境	(5)
第三节 地下水的富集	(6)
一、松散沉积物地质环境中的地下水富集	(6)
二、基岩山区裂隙-断裂构造环境	(8)
三、碳酸盐类岩层地下水富集的地质环境	(9)
第二章 水文地质参数自动预测系统	(10)
第一节 基本原理	(10)
第二节 相关分析模型	(11)
第三节 软件系统设计	(13)
一、电阻率测深数据正反演交互解释	(13)
二、水文参数预测	(15)
三、未知区预测数据图像处理	(16)
第四节 应用实例——滦河冲积扇东部供水水文地质调查	(17)
第三章 井位自动预测系统	(26)
第一节 互相关分析	(26)
第二节 自相关分析	(28)
第三节 自相关函数与互相关函数的相关系数	(28)
第四节 程序设计	(31)
第五节 应用实例	(32)
一、张家口地区某林场水源勘探	(32)
二、张家口康保县某村水源勘查	(34)

第四章 数据采集系统	(36)
第一节 固定点电源电阻率法数据采集系统	(36)
一、装置形式	(36)
二、异常特征	(37)
三、地电体中心埋深确定方法	(39)
四、应用实例	(44)
第二节 纯异常数据采集系统	(45)
一、装置形式	(45)
二、异常特征	(47)
三、应用实例	(49)
第五章 激电时间特性——水文地质模型	(51)
第一节 激电参数与不同水文地质条件的相关性	(51)
一、极化率参数	(51)
二、半衰时参数	(51)
三、偏离度参数	(53)
第二节 含水因素参数	(56)
第三节 应用实例	(57)
第六章 高密度电阻率法及其在水资源勘探中的应用技术	(60)
第一节 高密度电阻率法的原理	(60)
第二节 高密度电阻率法资料处理方法	(62)
一、比值参数及其换算	(62)
二、统计处理方法	(63)
第三节 高密度电阻率法在水资源勘探中的应用	(64)
第七章 数值模拟技术	(67)
第一节 点源二维含水构造边界元法数值模拟技术	(67)
一、二维边值问题的形成	(67)
二、波数的选择与加权系数的确定	(68)
三、复杂地电条件下电阻率异常的计算	(72)
第二节 三维含水构造边界元法数值模拟技术	(79)
一、水平地形三维电场问题	(79)
二、三维地形上点电源电场问题	(83)
第八章 数字滤波技术	(87)
第一节 异常特征与数字滤波	(87)
一、异常的特征	(87)

二、数字滤波	(88)
第二节 拟合函数滤波	(89)
一、基本原理	(89)
二、滤波方法	(90)
第三节 相关滤波	(91)
一、基本原理	(92)
二、滤波方法	(92)
第九章 电测深数据正反演交互解释系统	(96)
第一节 原始数据的采集	(96)
第二节 归化采样值的计算	(97)
第三节 电阻率测深数据反演计算	(97)
第四节 电阻率测深的正演计算	(98)
第五节 电测深图像处理	(98)
第六节 电阻率测深解释精度分析	(99)
第七节 激发极化测深数据解释	(100)
第八节 水文地质断面 CAD 绘图系统	(103)
一、配置 AutoCAD	(103)
二、Autolisp 的安装	(103)
三、自动绘图的 Autolisp 程序设计	(104)
四、用 HATCH 进行岩性填充	(104)
第十章 核磁共振勘探技术	(106)
第一节 核磁共振技术	(106)
一、原子核的自旋与磁矩	(106)
二、核磁共振现象	(107)
三、磁矩在磁场中的运动	(109)
第二节 地下水核磁共振勘探原理	(116)
一、基本原理	(116)
二、在地磁场和交变磁场作用下地下含水层的 NMR 响应	(117)
第三节 核磁共振找水仪与野外工作方法	(123)
一、核磁共振找水仪	(123)
二、野外工作方法	(125)
第四节 影响 NMR 找水信号的主要因素	(131)
一、导电性对 NMR 信号影响的特点	(132)
二、地磁场强度和倾角变化对 NMR 信号的影响	(138)
三、含水岩石类型对 NMR 信号的影响	(138)
四、电磁噪声对 NMR 信号的影响	(140)
五、人为技术因素对 NMR 信号的影响	(140)

第五节 NMR 信号的预处理和反演解释	(141)
一、NMR 信号的预处理	(142)
二、NMR 信号的反演解释	(143)
三、地面 NMR 找水方法的成果图	(146)
第六节 地面核磁共振找水方法的应用	(147)
一、地面 NMR 方法探查岩溶水实例	(147)
二、用地面 NMR 方法探查基岩裂隙水	(149)
三、地面核磁共振方法探查孔隙水	(150)
 第十一章 可控源音频大地电磁测深	(152)
第一节 电磁场的基本理论	(153)
一、电磁场的麦克斯韦方程组	(153)
二、电磁场的边界和初始条件	(154)
三、电磁场的波动方程	(154)
四、均匀半空间地面水平电偶极子源的电磁场	(155)
五、均匀分层介质时的场公式	(157)
六、平面谐波电磁波	(158)
第二节 CSAMT 方法的原理	(162)
一、基本原理	(162)
二、视电阻率公式	(162)
三、视相位公式	(164)
第三节 CSAMT 法仪器与野外工作方法	(165)
一、CSAMT 法仪器	(165)
二、野外工作方法	(165)
第四节 CSAMT 资料的处理与解释	(169)
一、CSAMT 资料的处理	(169)
二、CSAMT 资料的解释	(174)
第五节 CSAMT 法找水应用	(179)
一、寻找基岩水	(180)
二、圈定第四纪含水层	(181)
 参考文献	(182)

第一章 地下水的地质特征

第一节 基本概念

一、含水层

在松散沉积物和岩石中赋含地下水的层位叫含水层。松散沉积物和基岩的空隙性是地下水存在的先决条件。而空隙的形状、大小、多少和贯通性及分布状况如何，对含水层位起到决定性作用。

1. 孔隙

指颗粒或颗粒集合体之间的空隙，它是松散沉积物的主要且普遍的特征。有时也在未胶结好的沉积岩石中。孔隙的特点是多孔性、相互贯通、分布均匀且紧密，因此且有较均匀的含水性及较好的含水能力。衡量孔隙发育程度的指标称为孔隙度，它是用孔隙体积与包括孔隙在内的松散沉积物的总体积之比：

$$n = \frac{V_a}{V} \times 100\% \quad (1-1-1)$$

式中， n 为孔隙度； V_a 为孔隙体积； V 为松散沉积物总体积。

2. 裂隙

一般指坚硬岩石或可塑性粘土所具有的裂缝。它的一个显著特征就是不均匀性，它影响到基岩地区地下水的埋藏分布与循环运动。裂隙一般又分为风化裂隙，成岩裂隙和构造裂隙。而且这三种不同类型裂隙可以相互重叠，且有成岩裂隙的岩石，可以因再次受到构造活动时，产生构造裂隙。而在岩石风化时产生风化裂隙叠加在成岩裂隙与构造裂隙之上。裂隙率是岩石或粘土单位面积上裂隙所占的面积（长度与宽度之积）之比。

$$K_l = \frac{\sum a \cdot b}{S} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

式中， K_l 为裂隙率，是评价裂隙发育程度的指标； a 、 b 为裂隙的长和宽； S 为单位面积。

3. 溶隙

可溶岩石被水溶蚀而产生的空隙叫溶隙，或叫喀斯特。可溶岩石一般指灰岩、白云岩、石膏、盐层等。产生溶隙必须具备几个条件，即岩石的可溶性、透水性、运动着的具有侵蚀性的水。溶隙率是评价溶隙发育程度的参数。溶隙率一般通过钻孔所获取的岩石来测定。若可溶岩厚度为 H ，溶隙总高度为 h ，则溶隙率 K_k 为：

$$K_k = \frac{h}{H} \times 100\% \quad (1-1-3)$$

松散沉积物和岩石要有使水能自然流入与流出的空隙，要有一个起相对隔水作用的界面，即使含水层水体不致于流失的构造环境；还要有一个足够的补给水来源，这样才能形成含水层。

二、水理性质

在松散沉积物和岩石裂隙中地下水的赋存与运动的性质称为水理性质，一般表现为容水性、透水性、给水性、毛细性和持水性。

1. 容水性

松散沉积物与岩石有容纳一定数量水的性能，称作容水性。

2. 给水性

在重力作用下，饱水松散沉积岩和岩石能够自然流出一定数量水的性能，称为给水性。

3. 透水性

松散沉积物与岩石允许在重力作用下，水通过其本身的能力，称为透水性。

4. 毛细性

松散沉积物和岩石能够产生水毛细现象的性质，称为毛细性。

5. 持水性

在重力作用下，松散沉积物和岩石能够保持一定水量的性能，称为岩石的持水性。

三、含水构造

含水构造主要有两大类型即潜水含水构造和承压含水构造。当然还可以再分为山前型、河谷型、平原型、褶皱型、断裂型和侵入接触型等。

1. 潜水构造

分布于松散沉积物中的属于浅部的含水构造，叫潜水构造。地下水在重力作用下由高水位流向低水位，而不受静水压力的自由水面称为潜水面。潜水具有以下特点：

(1) 潜水具有自由水面即潜水面。

(2) 潜水的补给区与其分布区相一致。

(3) 潜水面的形状基本上受地形控制。

(4) 潜水面上如有局部隔水层分布，则可形成上层滞水。

(5) 潜水往往在地形较低处以泉的形式喷出，或向河流运动成为地表水，还可能在流动中以蒸发作用而扩散到大气中去。

2. 承压水构造

赋存承压水的地质环境为承压水构造。承压水与潜水不同之处在于承压水具有上下隔水

层，尤其是上隔水层要连续稳定覆盖才行。承压水构造可分为两大类即向斜盆地型和单斜型。承压水具有以下特点：

- (1) 承压水无自由水面而有水压。
- (2) 承压水与补给区分布不一致。
- (3) 承压水可以有向下和向上不同方向的运动。
- (4) 承压水主要受构造控制、受地形影响小。

(5) 承压水水头压力是可以计算的。承压水作用于隔水顶板的压力称为承压水的水头压力，其大小等于承压水水位与隔水层顶板标高之差。承压水盆地一般为一个向斜盆地，可划为三个部分，即补给区、承压区及排泄区。补给区与排泄区一般位于盆地边缘部分，其中间为承压区。承压水斜地单斜地层中，其本身相变使含水层尖灭；单斜含水层为构造断裂错开截断或为火山、岩浆岩体隔挡；坚硬岩石的大破碎带和岩浆岩边缘裂隙带上部，为不透水层覆盖等都可形成承压水斜地。

四、地下水类型

按其物理性质可以将地下水划分为：

1. 气态水

气态水和空气一起赋存、运动于未饱和的松散沉积物和岩石空隙中。

2. 结合水

结合水松散沉积物和岩石的颗粒表面都带有电荷、水分子又是偶极体，当水与这些结固体颗粒相遇时，在静电引力下被吸附，在颗粒表面形成一层水膜，这就是结合水，结合水又分为吸着水和薄膜水。在强大分子力作用下，吸着水不受重力影响，不传递静水压力，密度大于1，在 -76°C 以下仍不结冰，不溶解盐类，不导电，只有把吸着水加热到 $105\sim 110^{\circ}\text{C}$ 变为气体时才离开颗粒表面。薄膜水是由于吸附的水膜不断增厚、分子力作用逐渐减弱而形成的。它也不受重力作用和不传递静水压力，但可以由膜厚处向膜薄处运动，粘滞力大且溶解盐类能力低。

3. 毛细水

毛细水在松散沉积物和岩石中的地下水，存在于直径小于1 mm 的孔隙或宽度小于0.25 mm 的裂隙之中的水，往往可以产生毛细水运动，这种地下水称为毛细水。

4. 重力水

重力水充填在松散沉积物和岩石中较大空隙间的液态水。在重力与动水压力下，可以在其空隙间自由流动，又称自由水。它能溶解盐类和传递静水压力。重力水是地下水主要研究的对象。

5. 固态水

固态水以冰的状态形式存在于温度低于 0°C 的松散沉积物及岩石中。

第二节 地下水的地质环境

地下水的地质环境主要有山前洪积扇环境、河谷冲积层环境、湖泊湖积层环境、基岩裂隙环境、碳酸盐类岩溶环境等。

一、山前洪积扇环境

洪积扇是由于洪水作用，在山前地区、山间盆地边缘堆积成扇形的洪积物组成。在水平方向上具有从粗大砾石、卵石和夹杂一些砂或粘土成分的山口带向中间的砂、砾、粘土交替带，再向粘性细土边缘带过渡的特征。山口处被称为洪积扇扇坝，山口处以下散开处被称为洪积扇的扇缘。洪积扇面积从几平方公里到上千平方公里不等。在垂直方向上，洪积扇具有在剖面上相互叠置的倾斜沉积层。洪积扇上游纵向地质剖面是粗碎屑为主的厚层组合，其下游组合为粗粒与细粒相互的间层。洪积扇的沉积物具有大小混杂、磨圆分选差等特点，但是到了洪积扇边缘，沉积物分选性逐渐增高，粒度也愈来愈细。洪积扇上游砂砾石带，透水性好；厚度从数米到数百米，分布面积可达几平方公里至几百平方公里，在这范围内具有良好的蓄水地质体，加上地形坡度大，赋存其中的孔隙水埋藏较深，补给性良好。常常形成洪积扇上游补给—径流带。洪积扇地下水一般水质较好，大多属于矿化度小于 $0.5 \sim 1 \text{ g/L}$ 的重碳酸钙型水，动、静储量较大，水位埋藏深，抽水相对困难。洪积扇中下游粗细沉积物交错过渡带，富水性能低，径流变弱，可产生上部潜水层和下部承压水层。上部潜水由于受到蒸发作用而使水的矿化度增高，一般为 $1 \sim 2 \text{ g/L}$ 的硫酸、重碳酸型或重碳酸、硫酸型水。下部承压水仍保持 $<1 \text{ g/L}$ 低矿化淡水，水质好，水量较大，又可以自流，它往往是工农业生产主要开采的地下水。洪积扇，边缘粘性细土带，含有水量不大的潜水带，由于蒸发作用强烈，潜水矿化度很高，一般 $>3 \text{ g/L}$ 的中等矿化的硫酸、氯化物型或氯化物—硫酸型水。洪积扇地质环境中的水文地质规律，一般为地下水埋藏由深变浅、出水量由大变小；矿化度由低变高，水化学类型由 $\text{HCO}_3 \rightarrow \text{SO}_4 \rightarrow \text{Cl}$ 型水，地下水开采条件由难而易，再转化为不能利用。

二、河谷平原冲积层环境

河流上游山区河谷冲积层大多为砂砾漫滩型的单层构造，冲积层分布窄小而厚度不大，全部由粗砂砾组成。地下水埋藏于砂砾层中，透水性强，水质好，地下水储量随河水变化而变化，呈现不稳定性。河流中游丘陵半山区河谷冲积层具有双层结构特点，地下水主要分布在下层砂、砾层中，水量大且水质好；上层细粒物质综合层含地下水水量小，且具相对隔水性。河流下游平原冲积层中沉积物厚度巨大，一般具有双层结构。其上部绝大部分是近代冲积物，组成很宽广的河漫滩和阶地。河漫滩面积较大，地下水动、静储量都比较大，水位变化稳定，地面水埋藏浅，水质好。阶地含地下水主要受含水层岩性控制，比较复杂，要具体分析。河流冲积平原下部，在近代冲积层以下是较老的沉积，地下水分布也较复杂。因此，河谷平原冲积层具有不同时期和不同成因的砂砾夹粘土沉积，常连接成一个巨大的砂夹粘土—砂砾质含水层，形成水量丰富的水质较好且可供大量开采的地下水盆地。

三、湖泊盆地湖积层环境

湖泊岸边波浪冲刷作用地带，常形成狭带状的砂或砂砾沉积，称为滨岸砂—砂砾沉积。地下水埋藏深度1~10 m，其中可具有无压潜水。地下水量一般不大，矿化度不高，小于0.5~1.0 g/L， HCO_3-Cl 、Na型水。湖心沉积带以细粘淤泥质粘土为主，夹有少数薄层细、中砂透镜体。地下水水量小且有淤泥味，含 Fe^{3+} 高，使用价值不大。滨湖三角洲带通常是砂砾与粘土互层沉积，砂或砂砾层中常含有较丰富的地下水，含承压水层，有时承压地下水水量较大。

四、基岩山区裂隙环境

裂隙是各种岩石的一种显著的构造特征。有的裂隙能存水，有的裂隙不能存水；有的裂隙可导水，有的裂隙不导水，其水文地质环境较为复杂多变。依据不同成因可将裂隙划分为四大类型：成岩裂隙、构造应力裂隙、成岩构造裂隙和后生裂隙，每个大类又分为若干类型。成岩裂隙的发育大小都与岩性有关，它们的分布受岩性控制，多沿一定方向发展，形式比较单一，大多以张性裂隙为主，在有利的构造和地形条件下，往往形成富水性较大的储水构造。节理是岩石破坏的形式之一，因受力不同分为张节理和扭节理。节理发育与岩性有关。脆性岩石节理较稀，主要受岩性控制，延伸大且张开程度好，柔性岩石节理较密，细而短，主要受构造控制。褶皱构造控制下的节理密集带会呈规律性产出：在向斜或背斜的轴部、褶皱翼部的转折端、褶皱枢纽的倾末端、背斜、向斜的交替部位。断裂是地下水运移和富集的主要场所。断裂富水大小和部位主要由断裂本身破碎带的结构构造和成分、断裂两侧次级构造的性质和规模及带内裂隙发育程度与范围、断裂两盘岩性组合特征和地下水补给区的相对位置、断裂组合关系与其活动性所控制。侵入体接触带，包括侵入体之间和侵入体与其他岩体之间，也是地下水运动和富集的场所。地下水富集程度主要受侵入体接触带裂隙生成发育条件控制。沿断裂侵入的火成岩脉周围也是地下水富集的地方，还有沿接触带侵入的火成岩脉周围亦是如此。风化裂隙是地下水富集的地方。据风化裂隙发育程度和对原岩结构的破坏程度，可分为全风化带、半风化带和弱风化带。很多资料表明，虽然全风化带风化裂隙发育，但是裂隙间土状充填物较多，富水性较差；弱风化带裂隙少，富水性差。只有半风化带裂隙发育，充填少，是地下水的富集地带。基岩山区裂隙水按其埋藏条件可分为裂隙潜水和裂隙承压水两种。裂隙潜水分布于坚硬岩层浅部即区域性发育的构造成岩裂隙、风化裂隙和节理带中，具有完整的渗透水流和一致的自由水面，富水性较稳定，一般水质为重硫酸钙型淡水。裂隙承压水可分带状承压水和层状承压水。带状承压水上游补给区受季节性控制，裂隙水以调节储量为主，下游隔水界面附近排泄区为裂隙水的富水区，一般可有较大水量。层状裂隙水分布于半胶结粗粒碎屑岩层和节理，裂隙发育的脆性岩层中，往往含水层与隔水层互层交替，裂隙层状水具有承压水盆地的性质。一般浅部裂隙发育，径流条件好，水交替多，水量较丰富，水质好，属重碳酸钙型淡水。深度裂隙减少，地下水运动差，水量减少，水质也转变为硫酸型或氯化物型。

五、碳酸盐类岩溶环境

是指地下水对碳酸盐类的以溶蚀为主的地质环境。赋存于溶蚀后产物中的地下水叫岩溶

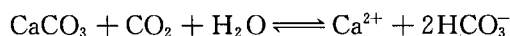
水或喀斯特水。控制岩溶发育的主要因素有岩性条件。岩石成分、岩石的原生裂隙与孔隙、岩石的结构、地质构造条件（压性断裂、张性断裂、扭性断裂、构造线方向与岩溶发育方向的一致性、不同成因裂隙展布与同一岩体中岩溶发育空间分布的一致性）、水动力条件等。

水对碳酸盐岩石的溶蚀性能，主要是由水中游离的 CO_2 含量大小所决定的，其化学反应式如下：



空气和土壤中的 CO_2 是岩溶不断发育的补给物，只有不断从大气或土壤里补充水中所消耗的 CO_2 的含量，溶蚀作用才能不断进行：

CO_2 (空气和土壤中的)



碳酸盐岩类分布地区的水动力条件极为复杂，它是气候条件、地貌、水文、地质等诸因素复合作用的结果。主要条件是地壳的构造条件和排泄基准的泄水作用。水动力条件不仅控制岩溶的形态特征和发育方向，而且决定发育强度和分布规律。岩溶水在空间上分布具有极强的不均匀性，即所谓“隔墙不打井”。一般岩溶环境中的地下水在褶皱的轴部、断裂破碎带、岩脉和火成岩接触带、各种岩性接触界面中富集。有证据表明，同岩性的可溶岩石的层面也是岩溶富水部位，还有硫化矿床的氧化带内也是岩溶富水部位。

总而言之，地下水有不同的地质环境，而这些不同的地质环境直接控制着地下水的生成、运移和富集的规律，了解与掌握地下水的地质环境，是寻找地下水资源的基础。

第三节 地下水的富集

研究地下水的富集，主要是为了开发利用地下水资源服务的。迄今为止，有经济意义的地下水资源开发深度不能超过 1000 m。一般农业用地下水，包括山区，最深不宜超过 500 m；一般工业用地下水，包括山区，最深不宜超过 1000 m。所以讨论地下水的富集，一般只适宜讨论在地下 10~500 m 左右范围的地下水富集规律才最有实际意义。

依据地下水赋存的地质环境分析，地下水的富集是有一定规律可以遵循的。地下水赋存的地质环境可分为三大类型：一种是松散沉积物地质环境；一种是基岩裂隙构造的地质环境，还有一种是碳酸盐岩层的地质环境。在这三种不同地质环境中，地下水的富集规律又有明显差异。

一、松散沉积物地质环境中的地下水富集

1. 洪积扇的地下水富集

要研究洪积扇的地下水富集规律，必须在洪流的沉积规律和基底构造条件基础上进行实际调查与科学分析。

洪流自山口向平原散流堆积过程中，随着水流流速变缓，流量变小，堆积物质的能量愈来愈小，形成了扇体纵向上的岩相变化的分带性。上游砂砾石带，岩性粒度粗，富水性好，但是潜水埋藏较深，开采不方便。洪积扇边缘属粘性细土带，含水层薄，粒度细，水量小且水质差，实际开采意义不大。在中、下游砂砾、粘土交错带，潜水埋藏浅，承压水溢出地表

可以自流,水量丰富,水质良好,是开采地下水较为有利的富水部位。

基底构造条件主要分为三种类型:一种断裂凹陷型洪积扇,例如内蒙古大青山山前,一种为阶梯状断块型洪积扇,例如东北大兴安岭东坡;还有一种是褶曲凹陷型洪积扇,例如天山南北麓中段和昆仑山西段北坡。断裂凹陷型基底洪积扇的富水部位一般在有粘性土夹层连续出现的地带。阶梯状断块型基底洪积扇的富水部位一般在含水层较厚的洪积或冲积砂砾带的中部。褶曲凹陷型基底洪积扇的富水部位是在构造形成的山前纵向洼地中,这些洼地往往是矿砾层最厚,距补给源最近,形成水质好,动储量丰富的地下水盆地,加之山前背斜的阻挡使地下水水位抬升,水位埋藏浅,便于开采。

2. 河谷平原冲积层的地下水富集

冲积层一般处于较低的位置,沉积物组分上普遍有砂砾或砂层,既有很好的地下水的补给条件又有较好的储存地下水的空间,一般认为只要找到了冲积层也就找到了地下水。对于冲积层富含地下水的条件为有无厚度大、分布广、粒度较粗的砂砾层。

河流上游山区河谷冲积层的富水部位在山区干流与支流交汇的地点,这里冲积层分布宽,砂砾易于堆积,同时补给地下水水源充足。另外山区河流的开阔地段,如袋状或葫芦状谷地,这里的冲积层一般厚度大而分布宽。还有河流急转弯处,这里砂砾堆积较宽,可能有断层存在,则砂砾堆积较厚,同时也可能通过断裂带得到深层地下水的补给,是比较有希望的富水部位。

河流中游丘陵半山区河谷冲积层的富水部位,在典型的双层构造中的下层砂、砾层中。上层细粒沉积物含水少且形成相对的隔水层,使下层地下水具有微承压性。在垂直河谷的横剖面上,阶地前缘的地下水量常比后缘大,还有河床改道后形成的古河床砂砾带,往往在颗粒较粗的局部地带富含地下水。河流下游平原冲积层的富水部位在宽广的河漫滩和阶地。平原区的河漫滩开阔平缓,地下水的动、静储量较大,水位稳定,地下水埋藏浅,水质好,大多是良好的供水源地。当漫滩与阶地的接触突变后,也出现富水性的突变。在阶地中,河床相沉积相对富水,而河间洼地沼泽相沉积部位水量与水质都较差。分布宽广的一级阶地常常是富水部位。低阶地富水性是不均匀的,其相对富水部位是支流与干流交汇地段、河流拐弯地段、河谷变宽地段以及古河床的分布地段和阶地前缘。河流下游平原冲积层的富水部位在双层结构的下层中,冲积平原的河漫滩分布宽广,具有广泛的砂砾沉积,与山区半山区的河漫滩不同,是一个富水部位。平原阶地的富水性一般是从后缘到前缘逐渐加大。河流入海口冲积平原的富水部位较难确定。难就难在淡水与咸水层的判别上。因为滨海地带的淡水层虽然可以找到,但一打井就会出现咸水入侵,使水质变坏。这个部位一般不缺地下水,而是缺地下淡水。

3. 湖泊盆地湖积层地下水富集

湖滨岸砂或砂砾带,它是由于湖岸拍浪冲刷作用而形成的狭带状沉积地质体。这个带地下水量不多,但水质较好,矿化度不高。湖心沉积带由于以细粒淤泥质粘土为主,夹少数细、中砂透镜体。这个带地下水量小,又有淤泥味,含 F^{2+} 高,开采价值不大。滨湖三角洲地带由砂或砂砾与粘土互层沉积,在砂和砂砾层中,常含有丰富的地下水。在湖积层与洪积层交错的部位和延伸在湖相含淤泥粘土中的砂层,也是富水的承压含水层。另外还有在湖

积层之下的其他成因的砂砾层也往往是富水部位。

二、基岩山区裂隙-断裂构造环境

基岩山区的地下水类型复杂,包括了所有地下水类型即孔隙水、裂隙水和溶隙水,地下水富集的规律性不明显。这是由赋存地下水的空间——裂隙与断裂构造发育的不均匀性所造成的。基岩中的裂隙有的宽才几毫米,断裂大的宽可达几公里、几十公里。从表面上看,无论裂隙还是断裂都由于不均匀性而产生杂乱无章、无规律可循,但是它们都是在一定的构造应力场作用下产生的,是有其内部分布规律性的。只有认真总结出裂隙与断裂发育的规律性,才能掌握基岩裂隙-断裂构造环境中地下水的富集部位。

1. 成岩裂隙的地下水富集部位

成岩裂隙的生成与发育主要受其岩性控制,都沿一定方向呈层状发育,比较单一。成岩裂隙为张力所致,常组成单一岩性的含水层富水带,在不同方向的富水性也不同,沿裂隙走向强,其他方向则弱。

2. 节理裂隙的地下水富集部位

节理裂隙的发育与岩性有关,脆性岩石中裂隙稀少,但一有就会延伸大,张开程度好;柔性岩石中裂隙较密,细而短且都闭合。最主要的是它常常受构造控制。节理裂隙的富水部位往往在褶皱构造应力集中部位的节理裂隙密集带。更具体的部位是向斜和背斜的轴部、褶皱翼部岩层产状由陡向正常部位的转折端、褶皱枢纽的起伏部位和倾伏端、背斜、向斜错列的交替部位等。它们都是地下水的有利富集部位,还有褶皱构造两翼的区域性节理裂隙带中,岩层倾角很小或近于水平地区和倾斜岩层中的低角度岩层中,陡倾斜岩层分布地区的横截岩层走向的泄水沟谷和横向断裂带中,在其地下径流方向有隔水地质体出现时,也常常形成地下水的富集。

3. 断裂的地下水富集部位

地下水在断裂中的富集规律主要受断裂本身破碎带的结构构造和成分、断裂两侧,次生带内裂隙的发育和次级构造的性质和规模、断裂两盘的岩性组合特征和主要补给区的相对位置、断裂的组合关系和其活动性所控制。断裂分为压性断裂、张性断裂和扭性断裂。压性断裂是岩层经强烈挤压而破裂形成的,一般常起隔水作用,其含水性差。但是在压性断裂两侧低序次裂隙发育带、压性断裂的尖灭端、压性断裂的舒缓波状部位、相近的小型压性断裂之间力偶作用带都有实例说明是很好的富集地下水的地方。张性断裂是岩层受到拉伸应力作用而破裂形成的,因此张性断裂带组分松散、断层、角砾岩呈棱角状且无定向,是较好的地下水富集部位。但是,当张性断裂规模小、延深浅时,含水性就较差。扭性断裂多数情况下隔水或弱含水部位。但是在弧形构造旁边的张扭性断裂中,往往富集地下水。在断裂的组合中,也就是在各种不同方向、不同时期、不同级别、不同类型的断裂交汇处,是地下水的最有利富集部位。在时间上,晚期的断裂或断裂带比早期断裂或断裂带富水性强。在空间上,地下水往往与矿产相伴生,一般是有地下水的地方往往有矿,而有矿的地方常常有地下水。