

# 地下水水文学

## Groundwater Hydrology

讲授：肖长来

吉林大学环境与资源学院  
水文水资源系  
2004年9月



### 第11章 裂隙水

#### 提要

要求掌握裂隙水类型的划分、断裂带的水文地质意义，了解裂隙介质及渗流、裂隙水的研究方法（等效多孔介质、双重介质、非连续介质）。



### 第11章 裂隙水

#### 11.1概述

#### 11.2 裂隙水的类型

##### 11.2.1 成岩裂隙水

##### 11.2.2 风化裂隙水

##### 11.2.3 构造裂隙水

#### 11.3 裂隙介质及其渗流

##### 11.3.1 裂隙及裂隙网络

##### 11.3.2 裂隙水流的基本特征

#### 11.4 断裂带的水文地质意义

#### 11.5 裂隙介质的研究方法

##### 11.5.1 等效多孔介质方法

##### 11.5.2 双重介质法

##### 11.5.3 非连续介质方法



### 11.1 概述

坚硬基岩在应力作用下产生各种裂隙，成岩过程中形成成岩裂隙，经历构造变动产生构造裂隙，风化作用可形成风化裂隙。

**裂隙水** (fissure water) 是指赋存并运移于坚硬基岩裂隙中的地下水。通常可分为裂隙潜水和裂隙承压水 (承压裂隙水)。

**孔隙裂隙水** (pore-fissure water) 是指赋存并运移于基岩裂隙与孔隙中的地下水。通常可分为孔隙裂隙潜水和孔隙裂隙承压水



### 11.1 概述

与孔隙水相比，裂隙水表现出更强烈的不均匀性和各向异性：

- (1) 基岩的裂隙率比较低，裂隙在岩层中所能占有的赋存空间很有限；
- (2) 这一有限的空间在岩层中分布很不均匀；
- (3) 裂隙通道在空间上的展布具有明显的方向性；

因此裂隙岩层一般并不形成具有统一水力联系、水量分布均匀的含水层，而通常由部分裂隙在岩层中某些局部范围内连通构成若干带状或脉状裂隙 (veined fissure) 含水系统。



### 11.1 概述

#### 裂隙含水系统



## 11.1 概述

岩层中各裂隙含水系统内部具有统一的水力联系，水位受该系统最低露点控制，各个系统与系统之间没有或仅有微弱的水力联系，各有自己的补给范围。排泄点及动态特征，其水量的大小取决于自身的规模，规模大的系统补给范围广、水量丰富、动态稳；规模小的系统贮存与补给有限，水量小而动态不稳定。

**带状或脉状裂隙含水系统**，一般是由一条或几条大的导水通道为骨干汇同周围的中小裂隙而形成的。这些大的导水通道在空间上的分布往往表现出**随机性**，而且在不同方向上的延展长度存在很大差别，表现出强烈的**不均匀性、各向异性**。



## 11.2 裂隙水的类型

按介质中空隙成因，裂隙水可分成岩裂隙水(Original fissure water)、风化裂隙水(weathering fissure water)和构造裂隙水(structure fissure water)，其空间分布、规模、水流特性存在一定差异。

### 11.2.1 成岩裂隙水

**成岩裂隙**是岩石在成岩过程中受内部应力作用而产生的原生构造。沉积岩固结脱水、岩浆岩冷凝收缩等均产生成岩裂隙。沉积岩及深成岩浆岩的成岩裂隙多为闭合的，含水意义不大。



## 11.2 裂隙水的类型

### 成岩裂隙



## 11.2 裂隙水的类型

陆地喷发的**玄武岩成岩裂隙**最为发育。岩浆冷凝收缩时，由于内部张力作用产生垂直于冷凝面的六方柱状节理及层面节理，该类成岩裂隙大多张开，且密集均匀，连通良好，常构成贮水丰富、导水通畅的层状裂隙含水系统。另外玄武岩喷发时，上部因冷凝作用常形成孔洞发育层，且孔洞之间连通性较好，使玄武岩富水性更强。玄武岩成岩裂隙发育程度因层因地而异；致密块状、裂隙不发育的玄武岩通常构成隔水层。

美国檀香山以玄武岩裂隙水为供水水源，钻孔总涌水量为 $7.5\text{m}^3/\text{s}$ ，水量十分丰富（夏威夷群岛）。

**岩脉及侵入岩接触带**，张开裂隙发育，常形成近乎垂直的带状裂隙含水系统。熔岩流冷凝时，形成喷气孔道。熔岩空洞或管道（直径可达 $\text{nm}$ ），往往水量可观。海南岛琼山县一钻孔深 $26\text{m}$ ，打到一宽 $8\text{m}$ 、高 $6.8\text{m}$ 的岩溶孔道，出水 $1700\text{t}/0.17\text{m}$ 。



## 11.2 裂隙水的类型

### 11.2.2 风化裂隙水

地表岩石在温度变化和水、空气、生物等风化营力作用下形成**风化裂隙**。常在成岩、构造裂隙的基础上进一步发育，形成密集均匀、无明显方向性、连通良好的裂隙网络。风化营力决定着风化裂隙层呈壳状包裹于地表，厚 $n\sim n \times 10\text{m}$ ，未风化的母岩构成隔水底板，一般为潜水含水系统，局部可为承压水。

风化裂隙的发育受岩性、气候及地形的控制，其影响因素有：

- (1) **岩性**：多种矿物组成的粗粒结晶岩，风化裂隙往往发育；而单一稳定矿物岩石不易风化；泥质岩石虽易风化，但裂隙易被土质充填。
- (2) **气候**：干燥而温差大的地区，有利于形成导水的风化裂隙；湿热气候区以化学风化为主，往往下部半风化带较富水。
- (3) **地形**：较平缓，剥蚀及堆积作用弱的地区，有利于风化壳的发育与保存；如汇水条件好，可形成较好的风化裂隙含水层。通常情况下，风化壳规模相当有限，水量亦有限。



## 11.2 裂隙水的类型

### 风化裂隙水



## 11.2 裂隙水的类型

水流切割及人工开挖可形成卸荷裂隙，透水性增强。

**风化裂隙的特点及其水文地质意义：**

- (1) 裂隙延伸短而弯曲，裂隙面曲折而不光滑，分支较多；
- (2) 裂隙分布较密集，无固定方向，呈不规则网状相互连接；
- (3) 裂隙发育程度向深处逐渐减弱，深度一般在10-50m不等；
- (4) 风化带上部裂隙发育，岩石破碎，但裂隙多被泥质充填；
- (5) 一般是导水的，但导水能力不强；条件适宜时形成层状含水带，富水性一般；花岗岩、片麻岩中往往发育风化裂隙。



## 11.2 裂隙水的类型

### 11.2.3 构造裂隙水

**构造裂隙**是地壳运动过程中岩石在构造应力作用下产生的，是所有裂隙成因类型中最常见、分布范围最广、与各种水文工程地质问题关系最为密切的类型，为裂隙水研究的主要对象。

**构造裂隙水**具有强烈的非均匀性、各向异性和随机性等。

构造裂隙的张开宽度、延伸长度、密度及导水性等在很大程度上受岩石性质（如岩性、单层厚度、相邻岩层的组合等）的影响。

**塑性岩石**如页岩、泥岩、凝灰岩、千枚岩等中常形成闭合乃至隐蔽的裂隙，其裂隙密度往往很大，但张开性差。延伸不远，缺少“有效裂隙”，多构成相对隔水层。

**脆性岩石**如致密石灰岩、岩浆岩、钙质胶结砂岩等，其构造裂隙一般比较稀疏，但张开性好、延伸远，具有较好的导水性。

沉积岩中裂隙发育情况，与其胶结物成分及颗粒的粒度有一定的关系。钙质胶结呈脆性，泥质、硅质胶结呈塑性。



## 11.2 裂隙水的类型

**构造裂隙的特点**是具有明显而又比较稳定的方向性，这种方向性主要由**构造应力场**控制，不同岩层在同一构造应力下形成的裂隙通常具有相同或相近的方向。按其与地层走向的关系可分为纵裂隙、横裂隙、斜裂隙及层面裂隙、顺层裂隙。

**纵裂隙**的走向与岩层层面一致，其延伸方向往往是岩层导水能力最大的方向。

**横裂隙**一般是张开的，张开程度大但延伸不远。

**斜裂隙**为剪应力形成的，实际上包括两组共轭剪节理。

**层面裂隙**的疏密对其它裂隙的长短、疏密和均匀程度存在较大的影响，其多少取决于岩层的单层厚度，单层越薄，层面裂隙越密集。



## 11.2 裂隙水的类型

### 构造裂隙—柳江



## 11.2 裂隙水的类型

### 构造裂隙—温泉堡水库



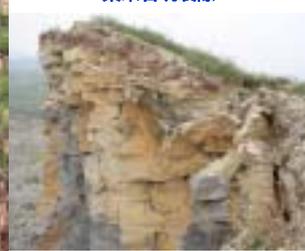
## 11.2 裂隙水的类型

### 构造裂隙

温泉堡水库坝下游右岸



某采石坑裂隙



## 11.2 裂隙水的类型

被充填的构造裂隙—剪切节理 (山海关)



## 11.2 裂隙水的类型

裂隙发育与岩层厚度的关系

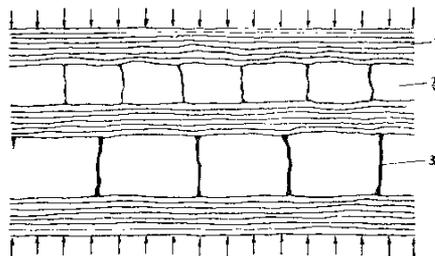


图 6.1 裂隙发育与岩层厚度的关系  
1.粘塑性岩层; 2.弹性岩层; 3.裂隙。



## 11.2 裂隙水的类型

裂隙水富集规律：

应力集中的部位，裂隙往往较发育，岩层透水性也好；

同一裂隙含水层中，背斜轴部常较两翼富水；

倾斜岩层较平缓岩层富水；

夹于塑性岩层中的薄层脆性岩层，往往发育密集而均匀的张开裂隙，易含水；

断层带附近往往格外富水；

裂隙岩层的透水性通常随深度增大而减弱。



## 11.2 裂隙水的类型

裂隙水富集规律：

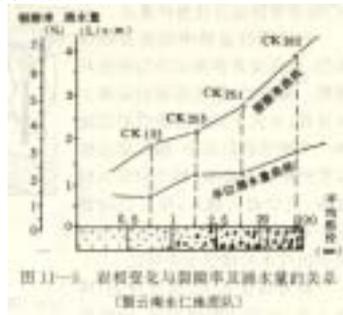


图 11-9 岩层厚度与裂隙中裂隙水量的关系  
(据云南水工地质队)



## 11.3 裂隙介质及其渗流

### 11.3.1 裂隙及裂隙网络

一个独立的裂隙可视为两壁间的一条窄缝，其在自身平面的两个方向上延伸较长，在第三个方向上延伸很短。单个裂隙在平面上延伸有限。不同方向的裂隙相互交切构成导水网络，在一定范围内具有传输地下水的功能。不同规模、不同方向的裂隙通道相互连通构成导水裂隙网络，形成裂隙含水系统。

风化、成岩、构造裂隙网络。



## 11.3 裂隙介质及其渗流

构造裂隙含水系统在空间上构成脉状分布，处于应力集中、岩层有利的部位，其裂隙网络通常由一条或若干条大的导水通道汇同周围中小裂隙形成脉状结构网络。分为三个级别：

(1) 微小裂隙：密集但延伸和张开性都很差（肉眼不易发现），导水能力差，有一定储水能力。

(2) 中裂隙：一般1~n条/m，延伸n~n×10m，野外肉眼可见；

(3) 大裂隙（含断层），数量少，但张开宽度大，延伸远，在导水上主要起控制作用。

裂隙岩石的透水性可采用Hoek and Bray (1981) 公式计算：

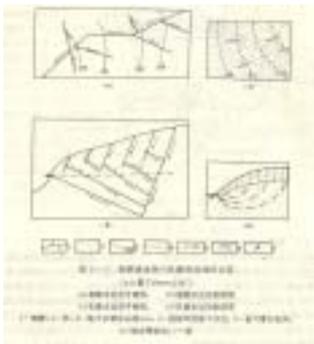
$$K = \frac{\gamma_w e^3}{12s\eta}$$

式中  $\gamma_w$  --- 水的容量 (kN/m<sup>3</sup>)； e ----- 平均节理张开度 (m)；  
s ----- 节理间距 (m)；  $\eta$  --- 水的粘滞系数 (9.8Ns/m<sup>2</sup>)。



### 11.3 裂隙介质及其渗流

#### 裂隙渗流场与孔隙渗流场的比较



### 11.3 裂隙介质及其渗流

#### 11.3.2 裂隙水流的基本特征

裂隙含水系统通常具有树状或脉状结构，裂隙水具有明显的不均匀性，有时表现出突变性，并孔的出水量相差悬殊。裂隙水流均有两个特征：

(1) 裂隙水流只发生在组成导水网络的各裂隙通道内，通道以外没有水流，流场实际上是不连续的，渗流场的势除了裂隙中的若干点外都是虚拟的；

(2) 水流被限制在迂回曲折的网络中运行，其局部流向与整体流向往往不一致，有时甚至相反。

### 11.4 断裂带的水文地质意义

**断裂带 (Fractured zone)** 是应力集中释放所造成的岩石破裂形变，大的断层构成具有特殊意义的水文地质体。

Fault is a formation or break in the Earth's crust along which one side of the break is pushed up, down or sideways.

断层两盘的岩性及断层力学性质，控制着断层的导水、贮水特征。

**导水断层带**是有特殊水文地质意义的水文地质体，起到贮水空间、集水廊道和导水通道的作用。

### 11.4 断裂带的水文地质意义

板厂峪火山岩中的断裂



### 11.4 断裂带的水文地质意义

- (1) **脆性岩石中的张性断裂**，中央及两侧常具备良好的导水能力。
- (2) **泥质塑性岩层中的张性断裂**，往往导水不良或隔水。
- (3) **塑性岩层中的压性断裂、扭节理**，通常是隔水的。
- (4) **脆性岩层中压性断裂**，中央透水性差，两侧有开张性良好的扭张裂隙，成为导水带。
- (5) **扭性断裂的导水性**介于张性、压性断裂之间。
- (6) **断裂带的复合部位**往往成为地下水的富集地段。

**大断层**可将厚层隔水层切割成块段而错开，这种块段与外界的水力联系微弱，甚至断绝，利于排水不利于供水，这种阻隔作用，使大的断层往往构成地下水含水系统的边界。

### 11.5 裂隙介质的研究方法

#### 11.5.1 等效多孔介质方法

**等效多孔介质 (equivalent porous medium)**方法就是用连续的多孔介质的理论来研究非连续裂隙介质中的问题。

真实的裂隙介质均与虚拟的孔隙介质场所控制下的两个地下水流场在整体上明显不同，但可用后者近似代替前者。

等效时含水系统的补、径、排条件不能改变，等效是两种介质在特定功能上的等效，大范围内导水能力等效是等效多孔介质方法的最常用原则；求解大范围的水量问题也是等效多孔介质方法的主要适用范围。

## 11.5 裂隙介质的研究方法

### 11.5.2 双重介质法

有些岩石存在两种导水能力相差悬殊的空隙空间，其中的大孔隙导水能力较强，小孔隙导水能力低，有一定贮水能力，可分别用两种等效的多孔介质近似代替大、小两种空隙，这种方法称为**双重介质(dual-medium)法**。

两种空隙分别刻画，各有自己独立的参数 ( $K$ 、 $n$ 、 $\mu$ )，但两者间存在水力联系，可以进行水量交换。其**原理**为等效多孔介质法。



## 11.5 裂隙介质的研究方法

### 11.5.3 非连续介质方法

**非连续介质(non-continuous medium)**方法对裂隙网络中每条具有实际导水意义的裂隙进行精确地描述，包括每条裂隙张开宽度、延伸长度、产状、中点坐标，要求作出实测的裂隙网络图。

该方法研究裂隙渗流的一种比较理想的方法，可以准确计算出裂隙网络内任一点的水头，孔隙水压力，渗透速度，流量等。其缺点是对实际资料的要求很高，计算复杂，要求用网络模拟或计算机模拟。

适用于研究区域比较小，工程程度比较高的水文、工程地质问题，求解孔隙水压力、流速为主的问题。

