

地下水文学

叶水庭 施鑫源 赵庆生 编著

河海大学水文系

一九八八年八月

本书阐述地下水的形成、运动、动态与预报、含水层参数的计算、地下水资源评价与保护、地下水规划与管理等内容。在取材上，既注重基本理论的系统叙述，也注意汲取国内外的新成果与新资料，可作为高等院校的陆地水文、农田水利和水文地质专业的教材，也可供广大水利工作者和水文地质工作者参考。

全书共分六章。其中第三章、第四章和第六章由叶水庭编写；第一章由赵庆生编写；第二章由施鑫源编写；第五章由施鑫源和赵庆生两人合编。绪论由叶水庭主笔。

基本符号注脚说明

A ——过水断面积，同渠道断面有关的系数。

A_r ——平均相对误差

a ——压力传导系数，经验指数

a_0 ——统计常数

a_i ——回归系数 ($i = 1, 2, \dots, m$)

B ——含水层断面宽度，渠道水面宽，越流因素

B_t ——拐点斜率

b ——渠道底部宽度，经验指数

C ——常数

d ——含水层颗粒的平均粒径

D ——井距，地下水滞后排水经验常数

D' ——同滞后排水有关的常数

$D(\alpha)$ —— D 函数

E ——各种蒸发量

E_c ——水汽凝结量

E_p ——降雨蒸发量

E_w ——水面蒸发量

E_s ——落水蒸发量

E_s ——陆面蒸发量，垂向压缩模量

E_w ——水的体积压缩系数

E_s' ——含水层固体骨架的垂向压缩模量

E_r ——水位的相对误差，贝塞尔函数的自变量

ΔE ——蒸发与凝结水量之差值

e ——自然数

$$\exp = e^x$$

F ——区域的面积，方差比

$F(x)$ —— F 函数

f ——灌溉面积

G ——地热增温级

$G(x)$ —— G 函数

g ——重力加速度

H ——地下水水头（水位）或河渠水位，水循环深度

H_s ——月作物需水量

h ——潜水含水层厚度，水层高度，压力水头，地温常温带深度

h_c ——含水层平均厚度

h_0 ——抽水井动水位

h ——潜水含水层平均厚度

ΔH ——地下水或河渠水位变化值，等值线间距

Δh ——潜水位变化值，水头损失

h_t ——淡水中井水面至海平面的高度

h_x ——毛细上升高度，月开采量

h_s ——咸水中井水面至海平面的高度

I ——水力坡度，降雨强度

I_p ——土层的入渗能力

i ——号序

j ——号序

$K_0(\frac{r}{B})$ ——零阶第二类修正的贝塞尔函数

K ——渗透系数

K' 、 K'' ——上复、下卧弱透水层的渗透系数

k ——经验系数，自变量个数

K_x, K_y, K_z ——沿 x, y, z 方向的渗透系数

K_c ——紊流运动时的渗透系数

i, r ——裂隙率

K_K ——岩溶率

$\frac{K'}{m'} - \frac{K''}{m''}$ ——越流系数

l ——距离，

L ——距离，

M ——承压含水层厚度

$M_{(n)}$ —— M 函数

m ——与土层透水性有关的系数，自变量个数

m_1 ——拐点的斜率

m' ——上复弱透水层厚度，

m'' ——下卧弱透水层厚度，

N ——计算系列长度，资料个数

n ——布井数目，孔隙度，经验指数。

P ——降雨量，大气压力，水压力

Q ——地表或地下水流流量，单井出水量，剩余平方和

Q_0 ——干旱早期开始时的地下径流量

Q' ——干忧出水量

Q_f ——河川基流量

q ——地下水单宽流量

R ——影响半径，相关系数

R_d ——土层吸水率

R_e ——相对误差, 留诺数

R_s ——次降雨对地下水的补给量

R_s ——次降雨产生地表径流量

R_s ——引用补给半径

γ_s ——每小时降雨补给地下水的量

γ_s ——每小时降雨产生地表径流量

γ ——某点到抽水井中心的距离

γ_K ——方网格引用半径

S ——释水系数

s ——抽水降深, 剩余标准离差

S_t ——拐点降深

S_s ——储存率

$S(z)$ ——误差余函数

T ——导水系数

t ——时间, 水位削减值

t_B ——常温带的水温

u ——回归平方和

u ——井函数自变量

u_1 ——拐点的井函数自变量

V ——水或岩(土)体积, 渗透速度

V_K ——月地下水开采量

V_n ——孔隙体积

V_s ——裂隙体积

V_R ——岩溶空隙体积

- V_r ——岩(土)持水体积
 v ——流速
 W ——土样重量, 垂向补给量, 日高峰用水总量
 W_e ——地下水可利用量
 W_r ——土层体积田间持水率
 W_s ——土层体积含水量
 W_n ——土层体积饱和含水量
 W_m ——总田间持水量
 ω_n ——重量饱和含水量
 ω_n ——重量田间持水率
 W_s ——重量土层含水量
 W_e ——土壤雨前含水量
 $W(u)$ ——承压含水层井函数
 $W(u, \frac{\gamma}{\beta})$ ——越流井函数
 $W(u_n, u_n, \frac{\gamma}{D})$ ——潜水含水层井函数
 ΔW ——土层含水量的变化量
 x ——函数自变量
 平面位置横坐标
 y ——函数因变量
 y ——平面位置纵坐标
 z ——某点到基准面的高程
 z ——空间位置的垂直坐标
 Z ——余误差函数的自变量
 α ——出水量减少系数, 降雨入渗补给系数, 截距, 衰减经验系

数, 经验常数, 垂向压缩系数, 回归经验的显著水平值

β ——体积压缩系数, 斜率

Δ ——地下水埋深

Δ_{m-s} ——地下水停止蒸发埋深

γ_s ——土的比重(克/厘米³)

γ_w ——水的比重(克/厘米³)

δ ——土的干比重(克/厘米³)

σ ——均方差

ε ——降雨入渗补给强度(米/日), 越流渗透强度

η ——单位削减出水量减少系数

η ——机井密度(Km²/眼)

λ ——同毛细上升高度有关的系数

μ ——给水度

μ_e ——弹性给水度或储存系数

ν ——地下水运动粘滞系数

ρ ——水的密度

ρ_s ——咸水的比重

ρ_f ——淡水的比重

φ ——势函数离差平方和

补——补给

消——消耗

开——开采

次——次降雨

年——年或年平均

月——月或月平均

旬——旬或旬平均

入——入流

出——出流

上——上游

下——下游

干——干土样

湿——湿土样

弹——弹性水量

旱——旱季

雨——雨季

径——径流

河——河水入渗补给

调——调节

农——农业

工——工业

越——越流补给

地下水水文学目录

基本符号和注脚说明

绪 论

1-1

第一章 地下水的储存

1-1

第一节 自然界的水分循环与地下水的形成

1-1

一、自然界的水分循环

1-1

二、自然界水分循环的起源与演化

1-3

三、水分循环的基本原理—水量平衡

1-7

四、地下水的成因类型

1-10

第二节 地下水的赋存

1-11

一、岩(土)中的空隙: 孔隙、裂隙、溶隙

1-11

二、水在岩(土)中的赋存形态

1-15

三、岩(土)的水理性质

1-18

四、含水层

1-20

第三节 地下水的物理性质和化学成分

1-27

一、地下水的物理性质

1-27

二、地下水的化学成分

1-30

三、地下水的化学成分分类

1-36

第四节 地下水的基本类型

1-38

一、潜水

1-39

二、承压水

1-48

第五节 孔隙水

1-56

一、洪积物中的孔隙水

1-56

二、冲积物中的孔隙水

1-58

第六节 裂隙水: 特点: 分布不均, 水可矿化, 不连续

1-60

1. 岩体各向异性

一、风化裂隙水	1—60
二、成岩裂隙水	1—61
三、构造裂隙水	1—62
第七节 岩溶水	1—64
一、岩溶水的垂直分带	1—65
二、岩溶水的水平分带	1—66
三、岩溶水的基本特征	1—68

第二章 地下水运动 2—1

第一节 渗流理论	2—1
一、达西定律	2—2
二、渗透系数	2—7
第二节 潜水非稳定流运动的基本微分方程	2—8
第三节 承压水非稳定流运动的基本微分方程	2—10
一、渗透的连续方程	2—10
二、承压水非稳定流运动的基本微分方程	2—12
第四节 地下水的稳定运动	2—18
一、均质岩层中的地下水稳定运动	2—19
二、非均质岩层中地下水稳定运动	2—26
第五节 地下水向井的稳定流运动	2—31
一、地下水向潜水完整井的运动	2—32
二、地下水向承压水完整井的运动	2—34
三、地下水向非完整井的运动	2—36
四、干扰井	2—39
第六节 地下水向井的非稳定流运动	2—43

一、承压水完整井的非稳定流运动 2-43

二、越流条件下完整井的非稳定流运动 2-46

三、潜水非稳定流的博尔顿法 2-52

第七节 含水层参数 K 、 T 、 a 、 S 的确定 2-61

一、渗透系数 K 的确定 2-61

二、释水系数 S 、导水系数 T 和导压系数 a 的确定 2-73

第三章 地下水的动态与预报 3-1

第一节 影响地下水动态的基本因素 3-2

一、降水 3-2

二、潜水蒸发 3-3

三、大气压力 3-7

四、地表水 3-8

五、地质因素 3-10

六、人为因素的影响 3-10

第二节 地下水的动态观测 3-10

一、观测井的结构 3-11

二、观测井的类型 3-13

三、地下水动态观测的内容与要求 3-14

第三节 观测站网的布设与资料整编 3-16

一、观测井网的布设原则 3-16

二、站网密度分析 3-17

三、地下水动态资料的整编 3-22

第四节 潜水位预报 3-24

一、降雨量 and 潜水位的相关关系 3-24

二、现时地下水位与前期地下水位及降雨量的相关关系

3-26

三、潜水位的消退预测

3-29

第五节 承压漏斗区的地下水位与开采量的关系

3-30

一、计算模型

3-30

二、算例

3-33

三、开采量不变时的计算模式

3-37

第六节 丘陵山区降雨量与河川基流量相关分析

3-38

一、基流及其分割方法

3-38

二、计算数学模型

3-39

三、数学模型的优选

3-41

第七节 岩溶地区地下水量的估算与预报

3-51

一、岩溶地下水流衰变方程的建立

3-51

二、衰变系数 α 的确定

3-53

三、利用衰变方程计算地下径流总量

3-55

四、降雨入渗补给量的确定

3-56

第四章 含水层参数的确定

4-1

第一节 给水度的直接测试方法

4-1

一、筒测法

4-2

二、包气带剖面含水率法

4-3

三、试坑法

4-7

四、疏干漏斗法

4-9

第二节 利用多元回归分析计算给水度和降雨入渗补给系数

4-11

一、不同条件下的计算模式

4-11

二、各变量的处理与计算	4-15
三、算例	4-17
第三节 优选给水度的水文学方法	4-19
一、计算模型	4-20
二、优选方法	4-25
三、算例及参数的敏感性分析	4-26
第四节 非稳定抽水试验确定承压含水层参数的方法	4-33
一、承压完整井的非稳定流基本方程	4-33
二、配线法	4-35
三、直线法	4-37
四、有越流补给承压含水层参数的确定	4-40
第五节 非稳定抽水试验确定潜水含水层参数的方法	4-43
一、布尔顿法的基本原理	4-43
二、布尔顿法求参数的方法步骤	4-51
三、算例	4-53
第六节 干扰非稳定抽水确定含水层参数的方法	4-59
一、基本原理	4-59
二、参数计算	4-60

第五章 地下水资源评价和保护 5-1

第一节 地下水资源评价	5-1
一、地下水资源分类	5-5
二、补给量、储存量、允许开采量之间的相互关系	5-10
三、允许开采量的组成规律及其扩大开采的途径	5-12
四、地下水资源评价的原则	5-15
五、局部开采区地下水资源评价方法	5-18

六. 区域地下水资源评价方法	5—4 3
第二节 地下水资源保护	5—7 3
一. 地面沉降: 地下水开采	5—7 4
二. 咸水入侵含水层	5—7 9
三. 地下水污染	5—8 3

第六章 地下水的规划与管理

第一节 井群干扰出水量的计算	6—1
一. 干扰系数的意义	6—2
二. “十”字型布井干扰抽水试验	6—2
三. 干扰出水量、降深及井距的关系计算	6—3
第二节 布井配泵方案及其经济比较	6—5
一. 合理布井配泵的基本原则	6—1 2
二. 满足最大日开采量 W 的布井方案计算	6—1 2
三. 最优布井方案的选择	6—1 3
第三节 地下水管理的概念与计算模型	6—1 8
一. 地下水管理的目标及标准	6—2 1
二. 地下水的管理范围及区域地下水流系统	6—2 1
三. 管理的计算模型与技术	6—2 2
第四节 灌溉水资源的管理调度方法	6—2 5
一. 灌区的管理目标及标准的确定	6—2 8
二. 地下水位控制标准的分析	6—2 8
三. 合理引灌地表水和开采地下水量调度图的绘制	6—3 1
四. 算例	6—3 3

绪 论

随着人口的增加，近代工农业的发展，人类对水的需求也日益增长，地下水的开发利用，已成为当代人类经济活动的重要方面。由于地下水储存在地下，相对地不易受到工农业的直接污染。又经过土层和含水层的天然过滤作用，水质一般比地表水为好。所以，作为生活用水水源，地下水愈来愈受到重视。在干旱和半干旱区域，地下水是生活用水和工农业供水的主要来源。据不完全统计，到70年代中期，世界一些国家地下水开发量占总用水量的百分比如下：美国—20%，日本—20%；苏联—24%；英国—25%；法国—33%；联邦德国—72%；澳大利亚—16%；荷兰—66%；以色列—67%或75%；阿尔及利亚—67%；塞浦路斯—83%；圭亚那—90%；奥地利—8%；马尔他100%；利比亚和沙特阿拉伯—100%。到79年底，我国北方十七省市已建成灌溉机井230万眼，浇灌着1.7亿亩的耕地，当地耕地面积的三分之一。

生活和生产对地下水的需求，推动了对地下水的勘探和开发，也促进了对地下水的研究。目前，无论是国内还是国外，绝大多数的供水和用水部门，为了解决本部门的供水或排水问题，都有一批工程技术人员，直接或间接地从事地下水的调查、勘探和研究工作。有关的技术报告和学术论文，发表在地质、地理、水利、农业和工业部门的有关杂志上。其数量之多，涉及范围之广，已不是单纯一门地下水学所能概括。就计算模型而论，仅据欧美日本等发达国家的不完全统计，到1983年春为止，就有二百多个。由于对地下水研究内容的扩大和深化，地下水学科内容不断充实和更新，形成新的学科分支，新籍日益增多。但比较综合地介绍地下水的学科主要有，水文地质学、地下水水文学、地下水。

地下水水文学 (Groundwater Hydrology) 是水文学的一个分支, 研究地下水的形成、运动、动态与预报、水量与水质以及开发利用的一门科学。地下水水文学重点阐述地下水水情随时间和空间的变化以及开发利用和计算等水文方面的内容, 而对于地下水的形成等地质环境, 仅作一般的介绍。水文地质学 (Hydrogeology) 则是地质学的一个分支, 它着重研究地下水的形成、分布、运动等地质环境有关的内容。地下水水文学和水文地质学是两门互相联系但各有所侧重的姐妹科学。以地下水命名的书籍, 因作者而异, 其内容和范围, 不同的作者可以相差很大。由于地下水水文学和水文地质学在阐述的内容上有许多共同之处, 有一部地下水工作者认为, 地下水水文学和水文地质学实际是一门科学。

一、地下水文学发展简史

人类开发利用地下水的历史, 可以追溯到四、五千年前。大量考古资料和历史的记载表明, 我国古代凿井技术已达到相当高的水平, 但作为一门学科地下水水文学的发展则要晚得多, 经归纳地下水水文学的发展大致可以分成三个阶段:

(1) 萌芽阶段 从公元前 7 世纪到公元 16 世纪, 长达两千二百多年。在这段时期, 人们只限于对现象的直接观察和描述, 并作一些主观的推测, 缺少科学性。例如古希腊哲学家泰勒斯 (Thales, 640 - 546 B. C) 认为, 地下水是由风把水吹到地下形成的。帕拉图 (Plato, 427 - 347 B. C) 提出, 地下有一个巨大的洞穴, 洞穴中的水就是世界河流的源泉, 河水流入海后, 又由地下的各种通道而流回到洞穴中。

在春秋时代, 我国亦有根据地质、地貌、岩性以及植被等特征判断地下水埋藏深度和水量丰富程度的论述。如《管子·地员篇》写道: