

地下水运移模型

朱学明 编著
中国地质工业出版社

MODELING OF

TRANSPORT IN

SUBSURFACE FLOW

地下水运移模型

朱学愚 谢春红 著

中国建筑工业出版社

全书共八章。包括多孔介质中的水分、溶质、热量的运移描述,地下水流问题的模型,解地下水流问题的边界元法,非饱和带水运动理论和计算方法,含水层中溶质运移的数学模型和求解方法,含水层中热量运移的数学模型和数值方法,滨海含水层中的海水入侵计算,裂隙介质中的水流和溶质运移问题等。书前列有主要符号与量纲,书末附有参考文献、内容索引及主要名词解释。

本书可供农田水利、给水排水、供水水文地质、岩土工程等方面的专业技术人员参考。也可作为与地下水有关专业的高年级大学生和研究生的参考用书。

地 下 水 运 移 模 型

朱学愚 谢春红 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 20¹/₄ 字数: 491千字

1990年9月第一版 1990年9月第一次印刷

印数: 1—1,420册 定价: 30.00元

ISBN7-112-01092-6/P·5

(6164)

序

本书是南京大学朱学愚和谢春红两位不同专业作者长期合作研究的结晶，它总结了80年代以来地下水运移方面的研究成果，特别是国家自然科学基金资助的研究课题“水文地质学的边界单元法”的成果，同时吸收了80年代国际上地下水运移领域中的最新研究成果而写的一本学术专著。

作者用简明的语言系统地论述了地下含水介质中的水分、溶质、热量的运移问题。把水头场、溶质浓度场和温度场统一起来。从物理概念开始，论述了数学模型的建立、简单的解析解、数值计算的方法，直至具体的算例。读者通过对每一个问题的阅读理解可得到较全面的概念。

作者在以下几方面作了努力，力求使本书具有特色。如：（一）在专业理论跨度方面，虽因篇幅所限，但力求阐明横向的有关专业知识、基本原理与概念，从而使本书几乎涉及与地下水运动有关的各个学术领域。不仅论述了孔隙介质中的物质运移，也论述了裂隙介质中的物质运移问题；不仅讨论饱和带的地下水运动，也讨论了非饱和带的地下水运动；不仅考虑了不可混溶的流体模型，也考虑了可混溶的流体模型；在计算方法上不仅讨论了解析解，也讨论了有限元解和边界元解。（二）内容新颖。地下水运移问题是当前国际上地下水水文学学术界关注的焦点之一，也引起应用数学和流体力学学者的重视。因而有关这方面的论文日益增多，近年来不少国际学术会议都以此作为中心议题。研究地下水运移问题的方法主要是建立和求解数学模型，这自然地成为本书的中心内容。作者查阅了许多国外资料文献，利用本人亲自参加有关国际学术讨论会的有利条件，并引进了一些较为新颖的概念和方法，如井流问题的边界元法，考虑化学反应时的污染物运移，裂隙介质中的水流与溶质运移问题、海水入侵的弥散模型、分裂算子法等。这些属于在国内已有的文献中很少介绍过的新内容。（三）力求本书简明、实用、便于阅读使用。本书不作纯理论论述及数学推导，而着眼于怎样应用数学模型化的原理和方法解决实际的工程勘察问题。对于每一问题几乎都附有数学模型和数值算例，许多算例是作者自己多年研究的成果，有的工程实例是作者在数学结合生产过程中为生产单位解决难题的实际资料，因此具有实用和参考的意义。（四）深入浅出。本书内容有一定的深度和难度，要求读者具有一定的基础知识，两位著者运用从事教学三十多年的经验，特别是近年来为高年级学生和研究生开设与本书稿内容相关的专业课程，以及为从事生产实际的工程技术人员进行专题讲课，积累了丰富的经验，对讲稿再三提炼，尽量避免使用难懂的数学符号的语言，用水文地质工作者和大学生们容易接受的方式表达和阐述，使全书文字简炼，概念明确，表达清楚。

两位著者为编好本书付出了巨大精力，编写过程中曾多次易稿，以充实和突出中心议题，光从确定书名一点就可看出著者用心良苦，最初在确定选题约稿时定名为“地下含水介质中的物质运移”，以后考虑到更确切地反映书已成为现在内容，改名为“地下水运移问题的数学模型和数值方法”，但这一书名太长，在最后定稿时，最后定为《地下水运移模

型》。

本书著者朱学愚同志,浙江省临海市人,他是新中国培养的第一批水文地质工程地质专业大学毕业生,自1954年于南京大学毕业以来长期从事水文地质学领域的教学和科学研究工作,现为南京大学地球科学系副教授。30多年来他为水文地质工程地质专业的大学生和硕士研究生讲授“地下水动力学”、“地下水资源评价和管理”、“水文地质学的边界元法”、“多孔介质中的物质运移”、“专门水文地质学”等课程,长期的教学和科研实践,朱学愚同志在水文地质学领域有较广博的学识,有一定的知名度。被聘任为《中国大百科全书·水文科学卷》中的地下水水文学学科的副主编以及《中国大百科全书·地质学卷》中的水文地质学学科的副主编。

朱学愚同志在“地下水资源评价”、“地下水水质、水量模型和数值计算”、“地下水管理模型”、“水文地质边界元法”、“地下水动力学”等方面作过深入研究,在理论基础和解决实际问题方面都有较高水平,多年来他写有不少著作,有的已被教育委员会或有的学校指定为主要教科书。他的主要著作有《地下水资源评价》(1987年11月南京大学出版社,与钱孝星、刘新仁合写),《地下水动力学》(1979年7月地质出版社,与薛禹群合写),《地下水动力学原理》(1986年12月,地质出版社,与薛禹群、贾贵廷等合写)。此外有影响的专著《水文地质学》(1985年1月,科学出版社)和《农业水文学》(1984年5月,农业出版社),朱学愚均是编写组的成员。朱学愚同志写有大量论文分别在水文地质、工程勘察、渗流力学等方面的全国性学术会议上宣读,发表在一些有影响的学术刊物上的论文有20多篇。其科研成果“中国东部若干城市和矿山的地下水资源评价和水量计算”获得1988年国家教委科技进步奖二等奖。近年来,他曾多次参加有关国际学术会议,在国外发表论文多篇。

本书另一著者谢春红同志,江苏省金坛县人,1957年毕业于南京大学数学系。现任南京大学数学系教授。在偏微分方程和应用数学等学术领域有相当高的造诣。尤其在利用偏微分方程及数值解法解决水文地质实际问题方面成绩卓著,是我国较为知名的应用数学家。他和南京大学水文地质教授薛禹群共同编著的《水文地质学的数值法》(1980年9月,煤炭工业出版社)是我国最早的一本论述水文地质学领域的数值计算著作,在国内同行中有较大影响。谢春红同志学识丰富,研究成果累累。他写的论文发表在全国性学术刊物上的有数十篇。其科研成果“地下水资源评价和水位预报方法研究”曾获1979年江苏科技成果一等奖。近年来谢春红与薛禹群、朱学愚等合作,在国外发表学术论文多篇。他于1989年春出席在联邦德国召开的《国际地下水中污染物运移》的学术讨论会,在会上宣读论文得到好评。

中国建筑工业出版社

石 振 华

1990.1.11

符号和量纲^①

符 号	代 表 意 义	量 纲
A	①面 积	$[L^2]$
	②咸、淡水界面附近某一区域	$[L^2]$
$[A]$	渗透矩阵	
A°	三角形单元的面积	$[L^2]$
A_s	固体颗粒的总表面积	$[L^2]$
A_s	边界在 M_0 点所张的立体角的弧度	
A_{ij}	①用Laplace变换的边界元法解非稳定井流时的系数	
	②矩阵 $[A]$ 的元素	
a	①导压系数	$[LT^{-1}]$
	②含水层中咸水部分的底板高度	$[L]$
a_i	数值反演时的参数值	
a_i, a_j, a_m	有限元计算时的单元形状参数	
a_1, a_2, a_3	特征矢量	
B	越流因素	$[L]$
B_1	上部弱透水层的越流因素	$[L]$
B_2	下部弱透水层的越流因素	$[L]$
$[B]$	有限元计算形成的系数矩阵	
B_{ij}	①用Laplace变换的边界元法解非稳定井流时的系数	
	②矩阵 $[B]$ 的元素	
b	①孔隙承压含水层的厚度	$[L]$
	②裂隙的张开度, 即间隙的大小	$[L]$
	③咸、淡水界面的高度	$[L]$
b_1	①上覆弱透水层的厚度	$[L]$
	②含水层贮能计算时, 上部水平界面的高度	$[L]$
b_2	①下伏弱透水层的厚度	$[L]$
	②含水层贮能计算时, 下部水平界面的高度	$[L]$
b_i, b_j, b_m	有限元计算时的形状参数	
C	①中 心 点	
	②积分常数	
	③溶质浓度	$[ML^{-3}]$
	④容 水 度	$[L^{-1}]$
$\bar{C}$	浓度 C 的象函数	
$C(\theta)$	作为含水率 θ 函数的容水度	$[L^{-1}]$
C_1, C_2	积分常数	
C_{ij}	用Laplace变换的边界元法解非稳定井流时的系数	
C_{e0}^M	以 M_0 点为圆心 e 为半径的圆, 或以 M_0 点为球心 e 为半径的球	
C_R	相对浓度, 即 C/C_0	无量纲
C_i^{k+1}	质点 i 在 $k+1$ 时刻的浓度	$[ML^{-3}]$
C_j^k	x 坐标为 $i\Delta x$, k 时刻的质点的浓度	$[ML^{-3}]$
C_j	第 j 号水井的面积	$[L^2]$

① 量纲 M 代表质量, L 代表长度, T 代表时间, τ 代表温度。

续表

符 号	代 表 意 义	量 纲
c	①水交换系数 ②咸、淡水界面附近淡水层的顶板高度 ③热 容 量 ④待定常数	$[T^{-1}]$ $[L]$ $[ML^{-1}T^{-2}\tau^{-1}]$
c_o	贮能含水层的热容量	$[ML^{-1}T^{-2}\tau^{-1}]$
c_e	顶底板隔水层的热容量	$[ML^{-1}T^{-2}\tau^{-1}]$
c_s	固体骨架的热容量	$[ML^{-1}T^{-2}\tau^{-1}]$
c_w	水的热容量	$[ML^{-1}T^{-2}\tau^{-1}]$
c_d	比热容(比热)	$[L^2T^{-2}\tau^{-1}]$
c_m	摩尔热容	
c_i, c_j, c_m	有限元计算时的单元形状参数	
$c_{m,n}$	m, n 网格的热容量	$[ML^{-1}T^{-2}\tau^{-1}]$
c_{mS}	固体骨架的比热	$[L^2T^{-2}\tau^{-1}]$
c_{wL}	液体水的比热	$[L^2T^{-2}\tau^{-1}]$
c_{wG}	水汽的比热	$[L^2T^{-2}\tau^{-1}]$
c_{oG}	干燥空气的比热	$[L^2T^{-2}\tau^{-1}]$
c_{aS}	吸附溶质的比热	$[L^2T^{-2}\tau^{-1}]$
c_{aL}	溶解溶质的比热	$[L^2T^{-2}\tau^{-1}]$
$c(t)$	求特征值时的计算参数	
D	①二维渗流区域(不包括水井所占面积) ②非饱和带水分扩散系数 ③水动力弥散系数	$[L^2T^{-1}]$ $[L^2T^{-1}]$
$D(\theta)$	作为含水率 θ 的函数的非饱和带的水分扩散系数	$[L^2T^{-1}]$
D^*	分子扩散系数	$[L^2T^{-1}]$
D'	有效扩散系数	$[L^2T^{-1}]$
D_h	机械弥散系数	$[L^2T^{-1}]$
D_H	水力直径	$[L]$
D_L	纵向弥散系数	$[L^2T^{-1}]$
D_T	横向弥散系数	$[L^2T^{-1}]$
D_{ij}	用Laplace变换的边界元法解非稳定井流时的系数	
D_{wL}	水在液相中的扩散性	$[L^2T^{-1}]$
D_{wG}	水汽在气相中的扩散性	$[L^2T^{-1}]$
D_{oG}	干燥空气在气相中的扩散性	$[L^2T^{-1}]$
D_{aL}	溶质在液相中的扩散性	$[L^2T^{-1}]$
d	①潜水面的深度 ②抽水井过滤器上端距顶板的距离	$[L]$ $[L]$
d'	观测孔过滤器上端距顶板的距离	$[L]$
d_c	某一浓度 C 在裂隙中的最大贯穿距离	$[L]$
E	①拟合时的评价函数 ②每条裂隙与该组主方向夹角余弦的平方和 ③弹性模量	$[ML^{-1}T^{-2}]$
$[E]$	系数矩阵	
$E(H)$	H 的泛函	
$E(m)$	模数为 m 的第二类完全椭圆积分	
E_{ij}	矩阵 $[E]$ 的元素	
$-E_i(-u)$	指数积分	

续表

符 号	代 表 意 义	量 纲
$E(\theta)$	θ 的泛函	
E_0	水面蒸发强度	$[LT^{-1}]$
E_s	土面蒸发强度	$[LT^{-1}]$
E_{11}	直接Green函数边界元法解非稳定井流的系数	
$E(x-\xi, t)$	点源溶质运移的基本解	
e	①孔 隙 比 ②粗 糙 度	无 量 纲 $[L]$
e_z	z 轴方向的单位矢量	
$erf(x)$	x 的误差函数	
$erfc(x)$	x 的余误差函数	
F	①内摩阻力 ②自由面的方程 ③边 界 项 ④单位体积颗粒表面的吸附量 ⑤物质面方程 ⑥边界曲线或曲面方程	$[MLT^{-2}]$ $[ML^{-2}]$
$F(\alpha)$	函数 $f(x)$ 的Fourier变换的象函数	
$F(p)$	函数 $f(t)$ 的Laplace变换的象函数	
F_{11}	直接Green函数边界元法解非稳定井流时的系数	
f	吸附平衡函数	$[ML^{-2}]$
f_1	已 知 项	
G	①Green函数 ②重 量	$[MLT^{-2}]$
G_{11}	直接Green函数边界元法解非稳定井流时的系数	
g	重力加速度	$[LT^{-2}]$
H	①水 头 ②多孔介质的焓 ③阶跃函数	$[L]$ $[ML^{-1}T^{-2}]$
$H^{(1)}$	非均质区 I 的水头	$[L]$
$H^{(2)}$	非均质区 II 的水头	$[L]$
$\bar{H}$	水头 H 的象函数	
$\hat{H}$	时段的水头的平均值	$[L]$
$H_s(x, y)$	在 (x, y) 点水头的稳态解	$[L]$
H_1	①上部相邻含水层的水头 ②第一类边界上的水头	$[L]$ $[L]$
H_2	下部相邻含水层的水头	$[L]$
H_0	初始时刻的水头	$[L]$
H_b	边界上的水头	$[L]$
H_c	①咸水的水头 ②单位固相体积的含热量	$[L]$ $[ML^{-1}T^{-2}]$
H_f	①淡水的水头 ②裂隙中的水头, 即裂隙水头	$[L]$ $[L]$
H^*	参考水头, 即化为淡水的水头	$[L]$
$\bar{H}_s$	咸水的平均水头	$[L]$
$\bar{H}_f$	淡水的平均水头	$[L]$
H_{s1}	第一类边界上的咸水水头	$[L]$

续表

符 号	代 表 意 义	量 纲
H_{f1}	第一类边界上的淡水水头	$[L]$
H_p	孔隙水头	$[L]$
H_L	单位液相体积的含热量	$[ML^{-1}T^{-2}]$
H_G	单位气相体积的含热量	$[ML^{-1}T^{-2}]$
h	①自由面问题的初始水头 ②潜水含水层的厚度 ③压水试验时观测孔的压强水头 ④某一微小的数值	$[L]$ $[L]$ $[L]$
h_c	毛细管水头	$[L]$
h_0	压水试验时主压水段的压强水头	$[L]$
h	潜水含水层的平均厚度	$[L]$
I	①水力坡度 ②由于热传导和机械弥散引起的热通量	无量纲 $[MT^{-3}]$
I_r	单位时间通过单位表面积的热能	$[MT^{-3}]$
I_x, I_y, I_z	水力坡度沿三个坐标轴的分量	无量纲
I_o	由于热机械弥散引起的热通量	$[MT^{-3}]$
I_p	由于热传导引起的热通量	$[MT^{-3}]$
$I_0(x)$	零阶第一类Bessel函数	
$I_1(x)$	一阶第一类Bessel函数	
I_j^i	以 M_i 点为基本点时, 沿单元 M, M_{j+1} 上的积分	
I_k^k	双重介质模型有限元解的一项积分值	
i	①边界元计算时的基本点编号 ②有限元计算时的单元节点编号 ③沿 x 轴方向的步长数	
i	x 轴方向的单位矢量	
J	总质量通量	$[ML^{-2}T^{-1}]$
J_c	①通量密度 ②溶质对流的通量密度	$[ML^{-2}T^{-1}]$ $[ML^{-2}T^{-1}]$
J_d	扩散通量	$[ML^{-2}T^{-1}]$
J_h	由于机械弥散引起的质量通量	$[ML^{-2}T^{-1}]$
J_w	单位时间通过单位面积的水的质量	$[ML^{-2}T^{-1}]$
J_b	通过边界的溶质通量	$[ML^{-2}T^{-1}]$
J_a	单位时间通过单位面积的干燥空气的质量	$[ML^{-2}T^{-1}]$
J_s	单位时间通过单位面积的溶质质量	$[ML^{-2}T^{-1}]$
J_a	α 组分扩散的质量通量	$[ML^{-2}T^{-1}]$
j	①边界元计算中的动点的编号 ②沿 y 轴方向的步长数 ③三角形单元节点编号 ④抽水井的编号	
j	y 轴方向的单位矢量	
K	渗透系数, 也称水力传导系数	$[LT^{-1}]$
$\overline{K}$	渗透系数张量	
K_x, K_y, K_z	渗透系数张量的主值	$[LT^{-1}]$
K_1	①上覆弱透水层的渗透系数 ②吸附参数	$[LT^{-1}]$
K_2	①下伏弱透水层的渗透系数	$[LT^{-1}]$

续表

符 号	代 表 意 义	量 纲
K_a	②吸附参数	
$\bar{K}$	垂向平均渗透系数	$[LT^{-1}]$
$K(\theta)$	作为含水率 θ 的函数的渗透系数	$[LT^{-1}]$
K_r	径向的渗透系数	$[LT^{-1}]$
K_z	垂向的渗透系数	$[LT^{-1}]$
K_f	①淡水含水层的渗透系数	$[LT^{-1}]$
	②分布系数	无量纲
K_n	咸水含水层的渗透系数	$[LT^{-1}]$
K_T	热交换系数	$[ML^{-1}T^{-1}\tau^{-1}]$
K_d	①分布系数 ②吸附参数	无量纲
K_{ij}	直接Green函数边界元法解非稳定井流时的系数	
K_x^*	在 x 方向的裂隙渗透系数	$[LT^{-1}]$
K_y^*	在 y 方向的裂隙渗透系数	$[LT^{-1}]$
$K(m)$	模数为 m 的第一类完全椭圆积分	
$K_0(x)$	零阶的第二类虚宗量Bessel函数	
$K_1(x)$	一阶的第二类虚宗量Bessel函数	
k	①时间段号	
	②渗透率	$[L^2]$
$\hat{k}$	z 轴方向的单位矢量	
$\tilde{k}_t$	化学反应速率	
k_{rw}	水的相对渗透率	无量纲
k_{rgw}	空气的相对渗透率	无量纲
L	①隔水底板的深度	$[L]$
	② z 方向的节点总数减 1	
	③压水段的长度	$[L]$
	④算 子	
$L(H)$	对 H 运算的算子	
L_1, L_2, L_3	算 子	
$\bar{L}$	算 子	
L_d	对淡水的算子	
L_e	对咸水的算子	
L_{ij}	边界元计算时, $(\frac{\partial H}{\partial n})_j$ 的系数	
L_{mg}	水汽的潜热	$[L^2T^{-1}]$
l	①化合价	
	②沿 z 轴方向的步长数	
	③抽水孔过滤器下端距顶板的距离	$[L]$
l'	观测孔过滤器下端距顶板的距离	$[L]$
M	①动 点	
	②非均质区分界线上的节点数	
	③比 面	$[L^{-1}]$
	④质 量	$[M]$
	⑤溶质的质量	$[M]$
	⑥边界单元节点和面积剖分节点的总数	
	⑦ y 方向节点总数减 1	
	⑧裂隙含水层的厚度	$[L]$

续表

符 号	代 表 意 义	量 纲
M	⑨张量的分量数目	
M_0	固定点, 也称基本点	
M_j	①第 j 号动点 ②第 j 号井的井中心	
m	①椭圆积分的模数 ②Gauss求积时的Gauss点数目 ③单元节点编号 ④化 合 价 ⑤咸水的质量	$[M]$
(m)	迭代次数	
m_1	椭圆积分的余模数	
N	①边界元剖分时的边界节点总数 ②有限元剖分时的未知节点总数 ③有限差分时的 x 方向节点数减 1 ④ P 点周围的节点总数 ⑤张量的秩 ⑥吸附参数	
N_1	第一类边界节点的数目	
N_2	第二类边界节点的数目	
N_1, N_2, N_m	三角形单元的形函数, 即基函数	
$N(z;)$	一维插值函数	
$N(x)$	标准正态分布函数	
N_L	内节点和第二类边界节点总数	
n	①孔隙度, 也称孔隙率 ②边界的外法线方向	无 量 纲
$\bar{n}$	①边界外法线方向的单位矢量 ②沿咸、淡水界面的单位法向分量	
n_o	自由孔隙率	无 量 纲
n_p	双重介质的孔隙率	无 量 纲
n_f	双重介质的裂隙率	无 量 纲
n_1, n_2	阳离子的化合价	
n_e	有效孔隙度	无 量 纲
n_x	法线方向 n 与 x 轴夹角的余弦	
n_y	法线方向 n 与 y 轴夹角的余弦	
n_z	法线方向 n 与 z 轴夹角的余弦	
P	①数 学 点 ②某一节点 ③压 力	$[MLT^{-2}]$
$\frac{P}{P}$	二秩张量	
$[P]$	某一方阵	
P_e	Peclet数	无 量 纲
P_{ij}	方阵 $[P]$ 的元素	
p	①压 强 ②Laplace变换参数	$[ML^{-1}T^{-2}]$
p_c	毛管压强	$[ML^{-1}T^{-2}]$
p_w	水的压强	$[ML^{-1}T^{-2}]$

续表

符 号	代 表 意 义	量 纲
p_0	初始压强	$[ML^{-1}T^{-2}]$
p_p	双重介质中孔隙中的水的压强	$[ML^{-1}T^{-2}]$
p_f	双重介质中裂隙中的水的压强	$[ML^{-1}T^{-2}]$
p_L	液相的压强	$[ML^{-1}T^{-2}]$
p_{wG}	水汽的分压强	$[ML^{-1}T^{-2}]$
p_{a0}	干燥空气的分压强	$[ML^{-1}T^{-2}]$
Q_j	第 j 号井的抽(注)水量	$[L^3T^{-1}]$
Q_j^*	第 j 号井的引用抽水量, 其值为 Q_j/T	$[L]$
Q_h	热 流 量	$[ML^2T^{-3}]$
Q_i	累积入渗量	$[L]$
q	①比 流 量	$[LT^{-1}]$
	②通过第二类边界单位长度的法向流量	$[L^2T^{-1}]$
q_s	比流量矢量	$[LT^{-1}]$
q_x, q_y, q_z	比流量矢量在三个坐标轴上的分量	$[LT^{-1}]$
q_i	入 渗 率	$[LT^{-1}]$
q_b	通过边界上单位长度或单位面积的法向流量	$[L^2T^{-1}]$ 或 $[LT^{-1}]$
q^*	①相对流量	无 量 纲
	②无量纲法向边界流量, 其值为 q/T	无 量 纲
$\bar{q}$	时段的流量平均值	$[LT^{-1}]$ 或 $[L^2T^{-1}]$
q_s	通过第二类边界的海水单位流量	$[L^2T^{-1}]$
q_f	通过第二类边界的淡水单位流量	$[L^2T^{-1}]$
q_x	通过边界的单位流量在 x 轴上的分量	$[L^2T^{-1}]$
q_z	通过边界的单位流量在 z 轴上的分量	$[L^2T^{-1}]$
R	①六面体空间	$[L^3]$
	②热 半 径	$[L]$
	③阻滞系数	
$R(t)$	供水强度	$[LT^{-1}]$
R_{ij}	边界元计算时 H_j 的系数	
REV	表征体元	
R_a	阻滞因子	
r	①径向距离	$[L]$
	②半 径	$[L]$
	③化 合 价	
	④计算参数	
r_0	抽水(或压水)孔半径	$[L]$
r_{0j}	第 j 号井的井半径	$[L]$
r_{ij}	求特征值时的计算参数	
r_{MM_0}	点 M 至点 M_0 的距离	$[L]$
S	贮水系数	无 量 纲
S_w	水的饱和度	无 量 纲
S^*	源、汇项单位时间产生的质量	$[MT^{-1}]$
S_s	贮 水 率	$[L^{-1}]$
S_{w0}	水分含量为田间持水量时的饱和度	无 量 纲
S_{aw}	空气的饱和度	无 量 纲
S_w^*	淡水含水层的贮水率	$[L^{-1}]$
S_s^*	咸水含水层的贮水率	$[L^{-1}]$

续表

符 号	代 表 意 义	量 纲
S_{ap}	孔隙贮水率	$[L^{-1}]$
$S_{a,i}$	裂隙贮水率	$[L^{-1}]$
S_i	裂隙贮水系数	无量纲
S_p	孔隙贮水系数	无量纲
s	①水位降深 ②单位长度裂隙表面积吸附的溶质质量 ③空间区域的曲面和边界曲面 ④平面区域的曲线 ⑤吸附的浓度 ⑥化合价 ⑦沿裂隙的单轴座标	$[L]$ $[ML^{-2}]$ $[ML^{-3}]$
s_i	①第 <i>i</i> 号井的水位降深 ②第 <i>i</i> 号井的井壁边界	$[L]$
s_j	①第 <i>j</i> 号井的水位降深 ②第 <i>j</i> 号井的井壁边界	$[L]$
s_m	水位降深的稳定态解	$[L]$
$s_1(t)$	咸、淡水界面和含水层底板的交线	
$s_2(t)$	咸、淡水界面和含水层顶板的交线	
T	①温 度 ②导水系数	$[T]$ $[L^2T^{-1}]$
T_o	含水层的温度	$[T]$
T_w	隔水层的温度	$[T]$
T_s	固体骨架的温度	$[T]$
T_w	水的温度	$[T]$
$T_{m,n}$	m, n 网格的温度	$[T]$
T_P^i	i 时刻 P 点周围第 m 个节点的温度	$[T]$
T_x^i	在 x 方向的裂隙导水系数	$[L^2T^{-1}]$
T_y^i	在 y 方向的裂隙导水系数	$[L^2T^{-1}]$
t	时 间	$[T]$
t	沿咸、淡水界面的单位切向分量	
$t_{1/2}$	半 衰 期	$[T]$
u	①经代换后的自变量 ②流 速 ③实际平均流速 ④裂隙中的流速 ⑤某一函数 ⑥界面附近的咸水层厚度	$[LT^{-1}]$ $[LT^{-1}]$ $[LT^{-1}]$ $[L]$
$\bar{u}$	裂隙中的平均流速	$[LT^{-1}]$
u	①流速矢量 ②潜水面的平均运动速度	
$\hat{u}$	α 组分的扩散速度矢量	
$u(x)$	咸淡水界面在 x 轴方向上的厚度	$[L]$
V	①体 积 ②多孔介质的总体积	$[L^3]$ $[L^3]$
V_p	多孔介质中的孔隙体积	$[L^3]$
V_s	多孔介质中的固体骨架体积	$[L^3]$

续表

符 号	代 表 意 义	量 纲
V_w	多孔介质中的水的体积	$[L^3]$
v	①渗透速度 ②相对渗透速度	$[LT^{-1}]$
$\mathbf{v}$	渗透速度矢量	
v_w	含水层中的渗透速度	$[LT^{-1}]$
v_x	咸水运动在 x 轴方向的分速度	$[LT^{-1}]$
v_y	咸水运动在 y 轴方向的分速度	$[LT^{-1}]$
v_z	咸水运动在 z 轴方向的分速度	$[LT^{-1}]$
v_x'	淡水运动在 x 轴方向的分速度	$[LT^{-1}]$
v_y'	淡水运动在 y 轴方向的分速度	$[LT^{-1}]$
v_z'	淡水运动在 z 轴方向的分速度	$[LT^{-1}]$
v_x''	物质面在 x 轴方向的移动分速度	$[LT^{-1}]$
v_y''	物质面在 y 轴方向的移动分速度	$[LT^{-1}]$
v_z''	物质面在 z 轴方向的移动分速度	$[LT^{-1}]$
W	①单位时间、单位面积上的垂向入渗量或排泄量 ②源汇项 ③裂隙的横向宽度	$[LT^{-1}]$ $[L]$
$W(x, t)$	实际补给强度	$[LT^{-1}]$
$W(x, t)$	无量纲补给强度	无量纲
$W(u)$	Theis水井函数	
$W(u, \beta)$	越流井函数	
w	含水量	无量纲
w_i	α 组分的质量百分数	无量纲
w_i	高斯积分的加权值	
X	咸水质量为 m 时 x 轴方向位置	$[L]$
x	① x 轴方向的座标 ②压水孔和观测孔沿裂隙倾向的距离	$[L]$ $[L]$
x^*	①变换后的 x 座标 ②无量纲的 x 距离	$[L]$ 无量纲
$\bar{x}_i$	移动质点 i 在 k 时刻的位置	$[L]$
y	y 轴方向的座标	$[L]$
z	z 轴方向的座标	$[L]$
α	①多孔介质的体积压缩系数 ②弥散度 ③Courant数 ④裂隙的倾角 ⑤咸、淡水界面的倾角 ⑥无压水水迁移系数 ⑦Fourier变换参数 ⑧新座标轴和老座标轴之间的夹角	$[M^{-1}LT^{-1}]$ $[L]$ 无量纲 $[M^{-1}LT^{-1}]$
α'	考虑到固体运动时的压缩系数	$[M^{-1}LT^{-1}]$
α_s	固体骨架的体积压缩系数	$[M^{-1}LT^{-1}]$
α_p	孔隙的体积压缩系数	$[M^{-1}LT^{-1}]$
α_L	纵向弥散度	$[L]$
α_T	横向弥散度	
α_1	x 轴和 x_1 轴的夹角	

续表

符 号	代 表 意 义	量 纲
α_1, α_2	二维Fourier变换参数	
$\alpha(\delta)$	直径为 δ 至 $\delta + d\delta$ 之间的孔隙占总孔隙的比率	无 量 纲
α_{M_0}	边界在 M_0 点所张的角度的弧度	
β	①自由面和 x 轴正向的夹角 ②流体的体积压缩系数 ③校正系数 ④Green函数法边界元解的边界夹角的参数	$[M^{-1}LT^2]$
Γ	计算区域的边界	
Γ_1	第一类边界	
Γ_2	第二类边界	
Γ_0	圆 C_0^H 的圆周	
Γ_D	不同非均质区的分界线	
Γ_{11}	流入边界	
Γ_{11}	流出边界	
$\Gamma(1)$	Gamma函数	
$\Gamma(n)$	Gamma函数	
γ	重 度	$[ML^{-1}T^{-2}]$
γ_d	干 重 度	$[ML^{-1}T^{-2}]$
γ_f	淡水的重度	$[ML^{-1}T^{-2}]$
γ_e	咸水的重度	$[ML^{-1}T^{-2}]$
ΔV_p	表征体元的孔隙体积	$[L^3]$
Δz	位 移	$[L]$
Δt	时间段、时间步长	$[T]$
Δx	x 轴方向的空间步长	$[L]$
Δy	y 轴方向的空间步长	$[L]$
Δz	z 轴方向的空间步长	$[L]$
δ	多孔介质中的孔隙直径	$[L]$
$\delta(x)$	Dirac Delta函数	
$\delta_{m,k}$	Kronecker Delta函数	
$\delta(x-x_i, y-y_i)$	二维Dirac Delta函数	
ε	①迭代误差 ②误 差 项 ③含水层贮能效率 ④咸水的相对密度 ⑤水迁移系数 ⑥源、汇项	无 量 纲 $[M^{-1}L^3T^{-1}]$
$e(x, y)$	入渗补给项, 等于 $-W/T$	$[L^{-1}]$
e_s	咸水计算误差项	
e_f	淡水计算误差项	
ξ	①Lagrange座标 ②对数正态分布参数	
η	①局部座标系的纵座标 ②某一函数值 ③Lagrange座标 ④潜水含水层隔水底板的高度 ⑤变换后的 y 方向座标	$[L]$ $[L]$ $[L]$

续表

符 号	代 表 意 义	量 纲
θ	①权 因 子 ②二矢量的夹角或流线的倾角 ③角 度 ④含 水 率 ⑤线性插值的权重 ⑥上风因子 ⑦边界的夹角	无 量 纲
θ_0	残留含水率	无 量 纲
θ_s	饱和含水率	无 量 纲
θ_S	固体所占的相对体积	无 量 纲
θ_L	液相所占的相对体积	无 量 纲
θ_G	气相所占的相对体积	无 量 纲
θ_{w0}	田间持水量	无 量 纲
$\theta_0(z)$	初始时刻的含水率	无 量 纲
λ	①计算越流并流时的无量纲参数 ②张量的主值或特征值 ③交换系数 ④放射性衰变系数 ⑤热动力弥散系数	无 量 纲 [MLT ⁻³ T ⁻¹]
$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	三个特征根	
λ_0	热传导系数	[MLT ⁻³ T ⁻¹]
λ_p	多孔介质的热传导系数	[MLT ⁻³ T ⁻¹]
λ_o	热机械弥散系数	[MLT ⁻³ T ⁻¹]
λ_s	固体骨架的热传导系数	[MLT ⁻³ T ⁻¹]
λ_w	水的热传导系数	[MLT ⁻³ T ⁻¹]
λ_{so}	含水层的热传导系数	[MLT ⁻³ T ⁻¹]
λ_{soo}	隔水层的热传导系数	[MLT ⁻³ T ⁻¹]
λ_{ooo}	含水层的热机械弥散系数	[MLT ⁻³ T ⁻¹]
$\lambda_{m,n}$	m, n网格的热弥散系数	[MLT ⁻³ T ⁻¹]
μ	①动力粘滞系数 ②给 水 度	[ML ⁻¹ T ⁻¹] 无 量 纲
μ_t	瞬时给水度	无 量 纲
μ_f	裂隙的给水度	无 量 纲
μ_p	孔隙的给水度	无 量 纲
ν	运动粘滞系数	[L ² T ⁻¹]
ξ	①局部坐标系的横座标 ②Lagrange座标 ③自由面的高程	[L] [L]
$\xi(x, t)$	在x点上t时刻的自由面高程	[L]
ξ_p	P点的基函数	
ξ_m	m点的基函数	
π	圆 周 率	无 量 纲
ρ	密 度	[ML ⁻³]
ρ_s	土颗粒的密度	[ML ⁻³]
ρ_p	孔隙中水的密度	[ML ⁻³]
ρ_f	裂隙中水的密度	[ML ⁻³]

续表

符 号	代 表 意 义	量 纲
ρ_b	固体骨架的容积密度	$[ML^{-3}]$
ρ_{ms}	固相骨架的密度	$[ML^{-3}]$
ρ_{wL}	液相水的密度	$[ML^{-3}]$
ρ_{wG}	气相水汽的密度	$[ML^{-3}]$
ρ_{dG}	气相干燥空气的密度	$[ML^{-3}]$
ρ_{sL}	单位固相体积所吸附的溶质质量	$[ML^{-3}]$
ρ_{sL}	单位液相体积所溶解的溶质质量	$[ML^{-3}]$
σ	对数正态分布参数	
σ_{ik}	界面张力	$[ML^{-1}T^{-2}]$
τ	①时 间	$[T]$
	②弯 曲 度	无量纲
τ_{yx}	切 应 力	$[ML^{-1}T^{-2}]$
Φ	速 度 势	$[L^2T^{-1}]$
Φ	权 函 数	
φ	①势 函 数	
	②总 势 能	$[ML^{-1}T^{-2}]$
$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$	已知温度	$[T]$
$\varphi(x)$	某一已知函数	
x_i	Gauss积分点	
ψ	①矢量 $\vec{M}_0$ 和 M 点外法线方向之间的夹角	
	②负压水头	$[L]$
	③井壁温度	$[T]$
	④流 函 数	
ψ_g	重 力 势	$[ML^{-1}T^{-2}]$
ψ_p	压 力 势	$[ML^{-1}T^{-2}]$
ψ_m	基 质 势	$[ML^{-1}T^{-2}]$
ψ_s	溶 质 势	$[ML^{-1}T^{-2}]$
ψ_T	温 度 势	$[ML^{-1}T^{-2}]$
Ω	渗流区域, 计算区域	
Ω_p	以节点 p 为公共顶点的三角形组成的多边形群块	
∂A	区域 A 的边界	
Δ	Laplace算子	
∇	梯度算子	