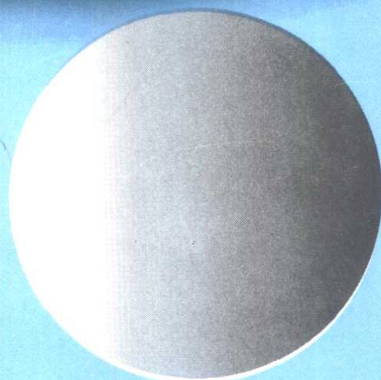


中国地质大学“211工程”  
建设重点资助教材

# 地下水动力学

陈崇希 林 敏



中国地质大学出版社

中国地质大学“211工程”建设重点资助教材

# 地下水动力学

陈崇希 林 敏

中国地质大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地下水动力学/陈崇希, 林敏. —武汉: 中国地质大学出版社, 1999. 10  
ISBN 7-5625-1391-0

I. 地…  
II. ①陈…②林…  
III. 动力学-地下水-教材  
IV. P64

地下水动力学

陈崇希 林敏

---

责任编辑: 贾晓青

责任校对: 杨 霖

---

出版发行: 中国地质大学出版社 (武汉市洪山区鲁磨路 31 号) 邮编: 430074

电话: (027) 87482760 传真: 87481537 E-mail: cbo@cug.edu.cn

经 销: 湖北省新华书店

---

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16

字数: 500 千字 印张: 19.5 插页: 1

版次: 1999 年 10 月第 1 版

印次: 1999 年 10 月第 1 次印刷

印刷: 湖北省地质图印刷厂

印数: 1—1 000 册

---

ISBN 7-5625-1391-0/P·506

定价: 26.00 元

---

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

# 前 言

地下水动力学是地下水文学与水资源、环境工程、水文地质与工程地质等专业的一门十分重要的专业基础课，近二三十年来，随着国民经济的发展，特别是电子计算机的广泛使用而得到很大的发展。就其研究内容来说，地下水动力学涉及饱和的与非饱和的地下水运动规律的研究，单一均匀流体和多种流体（后者又分为不同流体间可溶混的和不可溶混的）运动的研究；依解决问题的方法，可分为解析法、数值模拟法和物理模拟法。我们将上述有关内容和研究方法，根据当前教学需要，组合成五个方面的教材：①单一均匀流体饱和流动的解析方法（含物理模拟方法简介），目前仍称为《地下水动力学》，实际上是“狭义”的地下水动力学；②均匀流体饱和流动数值（模拟）方法，这部分除了具体解决均匀流体饱和流动问题之外，还重点介绍数值模拟技术的基本原理，这部分已有相应的教材《地下水流动问题数值方法》（陈崇希、唐仲华，中国地质大学出版社，1990、1994）；③饱和溶质运移问题（含解析法和数值法），它涉及地下水水质问题，这部分也有相应的教材《地下水溶质运移理论及模型》（陈崇希、李国敏，中国地质大学出版社，1996）；④地下水非饱和流动及其溶质运移理论；⑤地下水优化管理。

考虑到国民经济发展和学科发展及教材建设的需要，我们将地下水动力学分成上述五个部分的系列教材。至于不同学校、不同专业，可依其特点和需要，选择某些教材作为大学本科的必修课或选修课，某些作为研究生的学位课或选修课等，也可根据专业的要求和学时数，对本教材的具体章节作适当的取舍。

本书的特色，在内容上十分讲究其系统性、科学性和严密性，概念上力求准确性。我国50年代地下水动力学主要以苏联卡明斯基（Г. Н. Каменский）《地下水动力学原理》为主要参考书。那时误把裘布依（J. Dupuit）稳定井流刻画成水平方向无限延伸含水层中引入“影响半径”的模式，这种模式在我国沿用了二十来年。虽然笔者在60年代已对稳定井流的“影响半径”提出疑问和分析<sup>①</sup>，70年代对裘布依方程对应的模型提出见解<sup>②</sup>，但直至80年代初我们才收集到裘布依的原著。经过考证之后，本教材在概念上严格区分裘布依稳定井流、齐姆（A. Thiem）稳定井流与泰斯（C. V. Theis）不稳定井流之间基本条件（模型）的差别，以免导致概念上的混乱和地下水资源评价上的失误。“平均布井法”和前苏联普洛特尼柯夫（Н. И. Плотников）等提出的“单位静储量法”等地下水资源评价方法都是在上述错误概念（模型）的基础上提出的，在我国影响很深，后果严重。由于自然界很少具备圆岛模型或者相近的条件，因此，对于改正了的裘布依稳定井流系统（圆岛模型），本书仅用二三个学时介绍单个完整井流问题，而不涉及其井群干扰、边界附近井流等问题。本教材直接介绍客观普遍

① 陈崇希（1966），《地下水动力学》（函授教材），北京地质学院。  
② 陈崇希（1974），《地下水不稳定流计算》，山东地质局第一地质队印。

存在的不稳定井流问题，其解析解  $s(t)$ ，当  $t \rightarrow \infty$  时，若  $s \rightarrow \infty$  则说明此条件不可能存在稳定井流；若  $s \rightarrow s_{\max}$ （有限值），则其极限就是稳定井流的解，因此，无需辟出几章专门讨论（裘布依）稳定井流问题。这样不仅节约了大量的篇幅，更主要的是避免了某些理论上的不严密性。本教材较系统地介绍了井流问题，凡是水文地质勘探、预测经常遇到，而其理论又比较成熟的内容，基本上都选人。其中包括无越流和越流含水系统的井流，几种潜水井流和二元结构含水系统的井流，各向异性含水系统的井流及非完整井流等，并介绍了源汇理论及其应用。

本教材把重点放在基本概念、原理的阐明，模型和建模基本条件的准确描述和应用上。在分析的方法上尽力深入浅出，便于读者自学。

本教材附有复习思考题，以帮助读者深入理解有关原理和方法，初步学会灵活应用。

与教材配套出版的有实验及习题单行本，它是多年教学实践的总结，由靳孟贵、陈刚执笔编写。

限于笔者的水平，不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

作者

于中国地质大学（武汉）

1998年10月



CUGP

责任编辑: 贾晓青  
封面设计: 田剑云

ISBN 7-5625-1391-0



9 787562 513919 >

定价: 26.00元



# 目 录

绪 言 .....	(1)
第一章 地下水运动的基本概念与基本定律 .....	(3)
§ 1.1 地下水运动的基本概念 .....	(3)
一、渗流与典型体元 .....	(3)
二、渗流的运动要素 .....	(4)
(一) 孔(空)隙平均流速(地下水实际流速)与渗透流速(达西流速) .....	(4)
(二) 压强、水头和水力坡度 .....	(5)
§ 1.2 渗流基本定律 .....	(7)
一、线性渗流定律及渗透系数 .....	(7)
(一) 达西实验(稳定流) .....	(7)
(二) 不稳定条件下渗流实验 .....	(8)
(三) 渗透系数(水力传导系数) .....	(9)
(四) 线性定律的适用条件 .....	(10)
二、非线性渗流定律 .....	(12)
三、各向异性岩层中地下水的运动规律 .....	(12)
(一) 岩层按透水性分类 .....	(12)
(二) 各向异性介质中地下水流的达西定律 .....	(13)
§ 1.3 地下水通过非均质岩层突变界面的折射现象 .....	(15)
§ 1.4 流网 .....	(17)
一、各向同性岩层地下水的流网特征 .....	(17)
二、各向异性岩层地下水的流网特征 .....	(17)
复习思考题 .....	(19)
第二章 地下水运动的基本微分方程及定解条件 .....	(20)
§ 2.1 渗流连续性方程 .....	(20)
§ 2.2 水和多孔介质的压缩性 .....	(21)
一、地下水弹性储存的概念 .....	(21)
二、水的压缩方程 .....	(22)
三、多孔介质(岩土)的压缩方程 .....	(23)
§ 2.3 渗流基本微分方程 .....	(24)
§ 2.4 潜水流动的布西涅斯克微分方程 .....	(28)

一、裘布依假定 .....	(29)
二、布西涅斯克微分方程 .....	(29)
§ 2.5 定解条件及数学模型 .....	(31)
一、定解条件 .....	(31)
(一) 边界条件 .....	(31)
(二) 初始条件 .....	(33)
二、数学模型及其解法 .....	(33)
复习思考题 .....	(34)
<b>第三章 地下水向河渠的运动 .....</b>	<b>(35)</b>
§ 3.1 均质含水层中地下水向河渠的运动 .....	(35)
一、承压含水层中地下水向河渠一维稳定运动 .....	(35)
二、无入渗潜水含水层中地下水向河渠二维稳定运动 .....	(36)
(一) 隔水底板水平的潜水运动 .....	(36)
(二) 隔水底板倾斜的潜水运动 .....	(38)
三、无入渗潜水含水层中地下水向河渠三维稳定运动 .....	(39)
(一) 平面上流线呈辐射状的潜水运动 .....	(39)
(二) 渗流断面复杂变化的潜水运动 .....	(40)
四、均匀稳定入渗的潜水向河渠二维稳定运动 .....	(40)
(一) 流量方程 .....	(40)
(二) 水头线(浸润曲线)方程 .....	(43)
(三) 地下分水岭位置的确定 .....	(43)
(四) 入渗强度( $W$ )的计算 .....	(44)
五、承压含水层中地下水向河渠一维不稳定运动 .....	(45)
(一) 定流量沟(渠)流 .....	(45)
(二) 定降深沟(渠)流 .....	(46)
§ 3.2 非均质含水层中地下水向河渠的运动 .....	(48)
一、分段法 .....	(48)
(一) 分段法求解水平层状非均质含水层中地下水稳定运动问题 .....	(48)
(二) 分段法求解透水性沿流向突变的非均质含水层中地下水稳定运动问题 .....	(49)
(三) 分段法小结 .....	(50)
二、等效厚度法 .....	(51)
三、吉林斯基势函数法 .....	(52)
(一) 原理 .....	(53)



(二) 算例 .....	(55)
四、直接积分法 .....	(55)
(一) 渗透系数呈线性变化的含水层中的地下水运动 .....	(56)
(二) 渗透系数变化复杂的含水层中的地下水运动 .....	(56)
复习思考题 .....	(57)
<b>第四章 裘布依稳定井流 .....</b>	<b>(59)</b>
§ 4.1 裘布依稳定井流的基本方程 .....	(59)
一、裘布依稳定潜水井流 .....	(59)
二、裘布依稳定潜水井流基本方程的讨论 .....	(61)
(一) 水跃及裘布依漏斗曲线方程的误差 .....	(61)
(二) 裘布依稳定潜水稳定井流涌水量方程的正确性 .....	(62)
三、裘布依稳定承压井流 .....	(64)
§ 4.2 齐姆模型与裘布依模型的区别 .....	(66)
复习思考题 .....	(69)
<b>第五章 无越流含水层中的完整井流 .....</b>	<b>(70)</b>
§ 5.1 无限含水层中单个定流量井流 .....	(70)
一、基本方程 .....	(70)
二、泰斯公式的讨论 .....	(77)
§ 5.2 井群干扰 .....	(84)
一、点井渗流叠加法 .....	(84)
二、面井法 .....	(87)
(一) 矩形开采地段 .....	(87)
(二) 圆形开采地段 .....	(90)
(三) 面井-点井井群干扰 .....	(96)
(四) 开采区内抽水井中水位降深的计算 .....	(96)
§ 5.3 直线边界附近的井流——反映法 .....	(98)
一、半无限含水层 .....	(98)
(一) 直线隔水边界附近的井流 .....	(98)
(二) 直线定水头边界附近的井流 .....	(99)
二、扇形含水层 .....	(101)
三、带状含水层 .....	(102)
(一) 两条平行的直线隔水边界 .....	(103)
(二) 两条平行的定水头边界 .....	(104)
(三) 一条定水头边界平行于一条隔水边界 .....	(104)

四、矩形含水层	(105)
§ 5.4 变流量井流	(105)
§ 5.5 无限含水层中单个定降深井流	(106)
§ 5.6 无限含水层中地下水承压-无压井流	(109)
一、基本方程	(110)
二、计算方法	(112)
复习思考题	(114)
<b>第六章 无越流含水层中完整井的井流试验</b>	(116)
§ 6.1 定流量抽(注)水试验	(116)
一、标准曲线对比法	(116)
(一) 原理	(116)
(二) 步骤	(117)
二、直线图解法	(120)
(一) 原理	(120)
(二) 步骤	(121)
§ 6.2 水位恢复试验	(122)
一、水位恢复试验的基本原理及其应用	(122)
二、水位回升值 $s'$ 的近似式及其应用	(123)
三、最高水位回升法	(124)
§ 6.3 边界附近定流量井流试验	(126)
一、计算含水层参数	(126)
(一) 特定条件直线图解法	(126)
(二) 特定条件下标准曲线法	(128)
(三) 实例	(129)
二、近似确定直线边界的位置	(135)
(一) 抽水试验	(135)
(二) 水位恢复试验	(137)
§ 6.4 多主井和阶梯流量井流试验	(139)
一、同时开泵的多主井井流试验	(139)
(一) 直线图解法	(139)
(二) 特定条件标准曲线法	(140)
二、不同时开泵的多主井井流试验和阶梯流量井流试验	(140)
§ 6.5 定降深井流试验	(143)
一、试算法	(143)

二、标准曲线对比法·····	(143)
三、直线图解法·····	(145)
§ 6.6 瞬时抽(注)水法·····	(148)
§ 6.7 确定井损系数和井孔有效半径的井流试验·····	(148)
一、概述·····	(151)
二、阶梯流量井流试验·····	(155)
三、多次定流量井流试验·····	(160)
四、水位恢复试验·····	(162)
复习思考题·····	(164)
<b>第七章 无越流潜水含水层中的完整井流</b> ·····	(166)
§ 7.1 概述·····	(166)
§ 7.2 考虑滞后给水的分析方法——博尔顿法·····	(166)
一、理论·····	(167)
二、抽水试验确定含水层参数·····	(169)
(一) 标准曲线的绘制·····	(169)
(二) 标准曲线的使用方法·····	(172)
三、滞后指数·····	(174)
四、实例·····	(175)
(一) 标准曲线对比法·····	(175)
(二) 直线图解法·····	(176)
§ 7.3 二元结构的含水系统·····	(177)
§ 7.4 考虑流速垂直分量和弹性储量的分析方法——纽曼法·····	(179)
一、理论·····	(179)
(一) 假定条件及定解问题的建立·····	(180)
(二) 降深方程·····	(180)
(三) 纽曼解的特点·····	(182)
二、井流试验·····	(187)
(一) 抽水试验·····	(187)
(二) 恢复试验法·····	(193)
(三) 降深-距离标准曲线对比法适用性的分析·····	(194)
(四) 雅可布修正法的应用·····	(194)
三、实例·····	(195)
(一) 技术资料·····	(195)
(二) 标准曲线对比法·····	(195)

(三) 单对数法.....	(196)
(四) 恢复试验法.....	(198)
<b>复习思考题</b> .....	(199)
<b>第八章 越流系统中的承压完整井流</b> .....	(200)
§ 8.1 第一类越流系统中的定流量井流 .....	(200)
一、基本方程.....	(200)
二、井流试验确定越流系统的参数.....	(217)
(一) 不稳定井流试验.....	(217)
(二) 稳定抽水试验.....	(232)
§ 8.2 第二类越流系统中的定流量井流 .....	(234)
一、基本方程.....	(234)
(一) 定解问题的建立.....	(234)
(二) 定解问题的解.....	(237)
(三) 方程讨论.....	(240)
二、井流试验确定越流系统的参数.....	(241)
(一) 短时间抽水.....	(241)
(二) 长时间抽水.....	(242)
§ 8.3 第一类越流系统中的定降深井流 .....	(242)
一、基本方程.....	(242)
二、井流试验确定越流系统的参数.....	(244)
(一) 不稳定抽(放)水试验.....	(244)
(二) 稳定抽(放)水试验.....	(247)
§ 8.4 第二类越流系统中的定降深井流 .....	(247)
<b>复习思考题</b> .....	(248)
<b>第九章 均质各向异性含水层中的完整井流</b> .....	(249)
§ 9.1 概述 .....	(249)
§ 9.2 基本方程 .....	(250)
一、微分方程和定解条件.....	(250)
二、均质各向异性介质中渗流问题的解法——坐标变换法.....	(251)
三、均质各向异性含水层中定流量井流等降深线的特点.....	(255)
§ 9.3 井流试验 .....	(256)
一、具有等降深曲线资料的情况.....	(257)
二、缺乏等降深曲线资料的情况.....	(257)
(一) 已知主方向.....	(258)

(二) 未知主方向·····	(259)
复习思考题·····	(260)
<b>第十章 承压非完整井流及源汇理论的应用</b> ·····	<b>(261)</b>
§ 10.1 基本方程·····	(261)
一、微分方程和定解条件·····	(261)
二、降深方程·····	(262)
(一) 测压计降深方程·····	(262)
(二) 长时间抽水的降深方程·····	(263)
(三) 稳定状态降深方程·····	(264)
(四) 远离抽水井的降深方程·····	(264)
(五) 观测孔中的平均降深方程·····	(264)
(六) 抽水井中的降深·····	(265)
(七) 无越流含水层中不完整井流的降深方程·····	(265)
三、小结·····	(266)
§ 10.2 源汇理论的应用·····	(267)
一、空间点汇·····	(267)
二、平面点汇·····	(269)
(一) 平面瞬时点汇·····	(269)
(二) 平面连续点汇·····	(270)
三、空间线汇·····	(270)
(一) 空间瞬时线汇·····	(270)
(二) 空间连续线汇·····	(271)
四、半无限空间线汇·····	(272)
五、有限空间线汇·····	(273)
六、抽水早期测压计降深的特点·····	(273)
§ 10.3 井流试验确定含水层参数·····	(275)
一、完整井流法·····	(275)
二、修正非完整性附加水头损失的直线图解法 (用于各向同性含水层)·····	(275)
三、拐点法 (用于各向同性含水层)·····	(276)
四、标准曲线对比法 (用于各向同性含水层)·····	(277)
(一) 用于抽水早期·····	(277)
(二) 用于非淹没式等长滤管的观测孔·····	(277)
五、 $s$ - $\lg r$ 曲线图解法·····	(280)
复习思考题·····	(281)

<b>第十一章 研究地下水运动的物理模拟方法</b> .....	(282)
§ 11.1 砂槽 (渗流槽) 模拟方法 .....	(282)
一、砂槽结构 .....	(282)
二、砂槽模拟的基本原理 .....	(283)
(一) 几何相似 .....	(283)
(二) 动力相似 .....	(283)
(三) 运动相似 .....	(284)
(四) 边界条件一致 .....	(284)
§ 11.2 连续型电模拟方法 .....	(284)
一、连续型电模拟基本原理 .....	(285)
二、电模型设计要求 .....	(285)
三、模型的截取和合理简化 .....	(286)
四、模型试验的材料选择 .....	(287)
五、电模型的装置及工作方法 .....	(287)
§ 11.3 流网计算渗流区的运动要素及渗流量 .....	(288)
<b>附录 I 泰斯公式的博尔兹门变换解法</b> .....	(290)
<b>附录 I 主要符号一览表</b> .....	(293)
<b>主要参考文献</b> .....	(298)

# 绪 言

流体在多孔介质中的运动称为“渗流”。地下流体包括水、油和气；孔隙岩土、裂隙岩土及孔隙-裂隙岩土属典型的多孔介质。岩溶含水介质是一种相当复杂的或者说是不够典型的多孔介质。研究流体在多孔介质中运动规律及其应用的科学称为多孔介质流体动力学，也称为渗流力学。研究地下水在岩土体中运动的规律及其应用的科学，称为地下水动力学。它研究在水文地质、工程地质与环境地质、农田水利、水利水电工程、岩土工程等专业中所涉及的渗流问题，主要是地下水、气在多孔介质中的流动问题，有的也涉及地下水热迁移问题。

地下水动力学是水文地质学的重要组成部分，它的任务是对地下水的量和质诸方面进行计算，为评价和管理提供科学依据。本课程与经济建设、环境保护息息相关，大体上可归纳为如下几个方面：

(1) 地下水是人类赖以生存的水资源的重要组成部分。本课程研究如何计算、评价、预测地下水的量和质；如何合理、经济地开发地下水，保护地下水资源。

(2) 在人类生产活动中，为克服地下水产生的负面效应，对包括在矿山采矿、建筑施工和防止土壤盐渍化、沼泽化等方面的降低地下水位和土壤改良等问题做出相应的论证。

(3) 在水利水电工程建筑中，涉及坝基渗漏、绕坝渗漏、库区渗漏、库岸地下水壅水以及渠道渗漏等问题的定量研究。

(4) 在环境地质保护与地质灾害防治方面的研究，例如不合理开采地下水导致地下水资源枯竭、泉水消失、海水（咸水）入侵、地面沉降、地面（岩溶）塌陷、土地沙漠化，地下水污染造成水质恶化，甚至引起生态环境蜕化，滑坡中的地下水活动和对核废料地质处置等问题的论证、评价（包括演化趋势的预测和防治措施的论证等）。

学习地下水动力学需要有一定的基础知识和理论，其相关学科包括水文地质学、数学、物理学、水力学以及计算机技术等。

地下水动力学的发展与其他学科一样，与人类的生产、生存密切相关，大体上可以分为几个阶段。

1856年法国水力工程师达西（Henry Darcy）根据在砂柱中水的渗透实验，总结出水在孔隙介质中流动的基本定律，后人为纪念他，称之为达西定律。该定律至今仍是地下水动力学最基本、最重要的定律。

1863年，法国水力工程师裘布依（J. Dupuit）提出圆岛状含水层中心一口完整抽水井条件下的地下水稳定流动的方程。19世纪80年代，福希海默（P. Facheimer）开始研究比较复杂的稳定流动问题。1889年俄国数学和力学家茹可夫斯基（Н. Е. Жуковский）提出稳定渗流的微分方程。1904年，法国水力学家布西涅斯克（J. Boussinesq）导出潜水不稳定流的微分方程。1922年，苏联学者巴夫洛夫斯基（Н. Н. Павловский）在水工建筑物的渗流理论和应用方面做出重要贡献。但这阶段研究主要属于地下水稳定流动问题。

到20世纪20年代，美国已大规模地开采地下水，使得地下水的水位明显地随时间而变化。1935年，美国学者泰斯（C. V. Theis）在数学家的帮助下首次提出地下水向井孔的不稳定流动公式，称为泰斯公式。这是地下水动力学发展的一个新里程碑。泰斯公式的出现，不

仅在理论上，而且在实际应用上为研究地下水流向井孔的运动奠定了基础。从此以后，许多学者例如雅各布 (C. E. Jacob)、汉图什 (M. S. Hantush)、博尔顿 (N. S. Boulton) 和纽曼 (S. P. Neuman) 等，在地下水向井孔不稳定流动问题的研究方面做出了重要的贡献。

水文地质学和其他学科一样，随着生产不断发展而趋向成熟，使得各类水文地质问题由定性分析向着定量评价方向发展。因此，地下水动力学（或称渗流力学）这门学科也就愈加显得重要。



# 第一章 地下水运动的基本概念与基本定律

## § 1.1 地下水运动的基本概念

### 一、渗流与典型体元

地下水动力学是研究地下水在多孔介质（岩、土体）中运动规律和应用的学科。多孔介质是由固体和空隙两部分组成。水受固体边界的约束，只能在空隙中流动。由于固体边界的几何形状十分复杂，使得空隙中地下水的运动要素（例如流速矢量）的分布变化无常，若从这个微观水平上研究地下水的运动规律，实际上是不可能的，也是没有必要的。

人们研究地下水流动规律，必须从宏观水平上来考察，为此要设计一个假想的流场。这个流场首先不能将水流约束在空隙之中，否则不仅涉及复杂固体表面边界的刻画，而且水流在空间上是不连续的，使得一切基于连续函数的微积分手段都不能利用。因此，我们必须引入一个假想的水流代替真实的地下水流动。这种假想水流是：充满整个多孔介质（包括空隙和固体部分）的连续体；而且这种假想水流的阻力与实际水流在空隙中所受的阻力相同；它的任意一点水头  $H$  和流速矢量  $v$  等要素与实际水流在该点周围一个小范围内的平均值相等。这种假想水流便是宏观水平的地下水流动，我们称之为“渗流”，它所占据的空间称“渗流场”。

如何实现上述设想？这就要引入典型体元 (Representative Elementary Volume) REV 的概念。我们以孔隙率  $n$  为例来阐明。假设  $P$  是多孔介质中一数学点，以  $P$  为形心取一体积  $V$ ，则依孔隙率的定义

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (1-1-1)$$

其中  $V_v$  是  $V$  中的孔隙体积。那么， $V$  究竟取多大才能真正反映渗流场内各物理量的特征呢？该式表明，若  $P$  点位于固体颗粒中心，且  $V$  只取小于或等于颗粒的体积时，则孔隙率  $n = 0$ ；若  $P$  点位于孔隙中心且  $V$  只取小于或等于孔隙的体积，则孔隙率  $n = 1$ 。显然，上述情况都不能刻画多孔介质的孔隙率。当  $V$  取值由一个颗粒或一个孔隙逐渐放大时， $n$  值会因随机划进的颗粒或孔隙体积而产生明显的波动，但随着  $V$  取值再增大， $n$  值波动逐渐减小。当  $V$  取至某个体积时，孔隙率趋于某一平均值  $n$ ，此时的

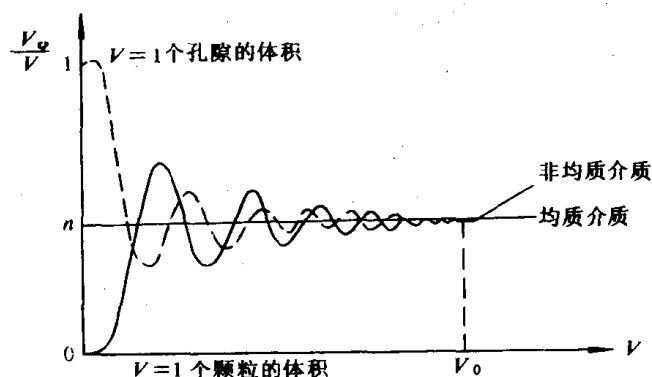


图 1-1-1 典型体元定义

(据 J. 贝尔, 并修改)

$V$  称为典型体元 (REV) 记为  $V_0$  (图 1-1-1)。若再增大  $V$  使其大于  $V_0$ ，则有可能将  $P$  点外围的非均质区也划进来平均，这显然不能表示  $P$  点的孔隙率，此时  $n$  值可能又产生明显的变化。通过