

井水量计算的理论与实践

施 普 德

地 质 出 版 社

井水量计算的理论与实践

施普德 编著

地 质 出 版 社

井水量计算的理论与实践
施普德编著

国家地质总局书刊编辑室编辑
地质出版社出版
地质印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1977年2月北京第一版·1977年2月北京第一次印刷
印数1—9,200册·定价1.40元
统一书号: 15038·新165

前 言

建国二十多年来，尤其是无产阶级文化大革命以来，我国从事水文地质工作的广大职工，在毛主席革命路线指引下，为工业、农业和国防供水及排水，作了大量的勘察工作，积累了丰富的经验。

无论是供水还是排水，经常遇到和集水井（供水井或排水井）有关的水文地质计算问题。研究地下水流向集水井的辐射流动，可以采用稳定流的方法，也可以采用非稳定流的方法。这两种方法的不同点是：按照稳定流的理论，把含水层近似看作不可压缩的刚性体，当抽水量和补给量达到平衡时，辐射流场中的任意点水头基本上不随时间而变化。非稳定流的理论则认为含水层是可压缩的弹性体，随着抽水引起的水压下降，含水层能释放出部分贮存的水，因而，不但在潜水中抽水是个逐渐疏干含水层的过程，而且，在承压水中抽水也是个不断消耗贮存水的过程，故随着抽水时间的延续，辐射流场中的任意点水头总是不断地变化，地下水始终处于不稳定流动状态。

我们认为，地下水稳定流理论的主要缺陷在于，它所反映的只是地下水运动过程中所达到的一种相对平衡状态，而地下水的实际运动状态却总是在不断变化，因而，稳定流理论有一定的应用范围。而非稳定流理论所试图描述的是地下水运动状态的整个发展过程，其主要优点是包括了时间这个变量，显然非稳定流理论在一定程度上克服了稳定流理论的某些局限性。

但是，稳定流理论仍然有很大的实用价值，这是因为，相对稳定流是地下水运动过程中客观存在的。而且，当地下水处于极其缓慢的非稳定流动时，在有限时间段内，也可近似看作是相对稳定流。目前在水文地质勘察工作中，虽然已经运用非稳定流方

法进行计算，但积累的经验毕竟较少。而稳定流方法在长期实践应用中获得许多经验和教训，如果很好加以总结，对指导今后的工作仍然是有益的。

作者根据我国（主要是广东）水文地质勘察实践和科学研究中积累的经验，以及本人在实际工作和理论学习中的一些体会，以毛主席哲学思想为指导，初步总结了应用稳定流方法计算集水井水量的一些理论与实践问题，希望起到抛砖引玉的作用。由于水平所限，书中的缺点和错误在所难免，欢迎读者批评指正。

本书是在广东省地质局的领导和帮助下编写的，初稿写成后，经武汉地质学院等单位审查，提出了宝贵的修改意见；本书的插图是由季平、洪本蕙、朱玉英等同志清绘的；书中引用了许多兄弟单位的经验和资料，在此均深表谢意。

施 普 德

1976年1月

目 录

第一章 绪 论

第一节 辐射流稳定状态的变化规律.....	1
一、不稳定流向稳定流的转化过程	4
二、影响稳定状态的主要因素	6
(一) 地下水补给来源对稳定状态的影响	6
(二) 含水层的渗透性能对稳定状态的影响	6
(三) 潮汐对稳定状态的影响	6
(四) 勘探试验方法和钻井结构对稳定状态的影响	8
三、水流稳定状态历时曲线的类型	9
(一) 拐点型历时曲线	9
(二) 反向型历时曲线	9
(三) 升降型历时曲线	10
(四) 变动型历时曲线	12
(五) 波浪型历时曲线	13
四、关于抽水稳定程度问题	13
(一) 关于抽水稳定要求问题	13
(二) 关于抽水稳定标准问题	14
(三) 关于抽水稳定时间问题	16
第二节 辐射流的流动特征	19
一、不同流动状态的渗透定律	19
二、判定辐射流动状态的方法	20
(一) 单位流量法	22
(二) 流态指数法	23
(三) 双对数直角坐标法	26
三、井壁附近的水流特征	28
(一) 地下水流动状态的改变	28
(二) 井管水流阻力的增加	28
(三) 井壁附近含水层内水流阻力的增加	30

第三节 岩溶水辐射流的运动形式与流动状态33

第二章 涌水量理论方程在实践中的应用

第一节 裘布依涌水量方程的推导与应用 43

一、方程的假设条件 43

二、方程的推导..... 43

(一) 潜水井涌水量方程 43

(二) 承压井涌水量方程 45

(三) 承压潜水井涌水量方程 46

三、方程的各种形式 47

四、方程的应用问题 47

第二节 非均质含水层的涌水量方程..... 49

一、层状构造潜水井涌水量方程..... 49

(一) 双层结构..... 49

(二) 多层结构 50

二、层状构造承压井涌水量方程..... 51

第三节 椭圆形补给边界涌水量方程..... 52

一、方程的推导..... 52

(一) 潜水井..... 53

(二) 承压井..... 56

二、椭圆与圆形补给边界的涌水量方程对比 56

第四节 边界附近的集水井涌水量计算方法..... 57

一、边界的类型..... 57

二、边界附近集水井涌水量方程的推导原理 59

(一) 势的叠加原理..... 59

(二) 映射方法 61

三、隔水边界附近的集水井涌水量方程 64

(一) 直线边界 64

(二) 正交边界 71

(三) 斜交边界 77

(四) 平行隔水边界 78

(五) 三面隔水边界..... 79

第五节 混合流涌水量方程..... 80

一、混合流涌水量方程的推导	81
(一) 潜水井	81
(二) 承压井混合流涌水量方程的推导	82
二、混合流涌水量方程的应用	84
(一) 按井的水力性质	85
(二) 按井的边界条件	85
(三) 按井的类型	86
(四) 排水方案	87

第三章 涌水量计算参数的确定方法

第一节 地下水位及降深值的确定方法	91
一、影响地下水位变化的因素及校正方法	91
(一) 大气压力对地下水位的影响	92
(二) 潮汐对地下水位的影响	92
(三) 大气降水对地下水位的影响	96
二、确定静水位的图解法和计算法	97
(一) 图解法	97
(二) 计算法	97
三、确定动水位的计算公式	104
(一) 确定潜水动水位的计算公式	105
(二) 确定承压水动水位的计算公式	107
四、水跃值的确定方法	108
(一) 水跃值的变化规律	109
(二) 水跃值计算公式	114
(三) 水跃值的减小与消除方法	116
第二节 含水层厚度及有效厚度的确定	117
一、裂隙含水层厚度的确定方法	118
(一) 岩石裂隙的测量及岩心采取率的统计	118
(二) 钻进过程中水位及冲洗液消耗量的观测	118
(三) 简易分段注水试验	118
二、岩溶含水层厚度的确定方法	120
(一) 地下岩溶现象的观测	120
(二) 岩溶含水层厚度的确定	121
三、计算潜水含水层厚度的公式	124

(一) 用两次抽水资料计算潜水层厚度的公式·····	124
(二) 用三次以上抽水资料计算潜水含水层厚度的公式·····	125
四、含水层有效厚度的计算方法·····	127
第三节 影响半径的确定方法·····	129
一、根据群孔抽水试验测定影响半径的方法·····	130
(一) 作图法·····	131
(二) 方程式法·····	131
二、影响半径的理论计算公式及其在实践中的应用·····	135
(一) 潜水井计算公式·····	135
(二) 承压井计算公式·····	136
(三) 理论计算公式的应用条件·····	136
三、影响半径的经验计算公式及其在实践中的应用·····	140
(一) 主要公式·····	140
(二) 存在问题·····	140
(三) 校核方法·····	144
第四节 根据抽水试验资料确定渗透系数的方法·····	145
一、裘布依渗透系数计算公式在实践中的应用·····	146
(一) 裘布依渗透系数计算公式·····	146
(二) 裘布依理论公式与实践矛盾的分析·····	148
二、非均质含水层渗透系数的确定方法·····	156
(一) 层状非均质含水层渗透系数的确定方法·····	156
(二) 裂隙或岩溶非均质含水层渗透系数的确定方法·····	159
(三) 非均质含水层平均渗透系数的计算方法·····	161
三、根据混合抽水试验计算分层渗透系数的方法·····	163
(一) 混合抽水试验方法·····	163
(二) 混合抽水试验的计算原理·····	164
(三) 隔离良好的多层含水层的分层渗透系数计算方法·····	166
(四) 隔水层不稳定的多层含水层的分层渗透系数计算方法·····	173

第四章 涌水量曲线方程

第一节 潜水井涌水量曲线方程·····	175
一、潜水井涌水量曲线方程的一般形式·····	175
二、潜水井最大涌水量计算公式·····	177
(一) 齐姆推导的公式·····	177

(二) 作者推导的公式	179
(三) 非均质含水层造成的偏离情况	180
第二节 承压井涌水量曲线方程	181
一、直线型涌水量曲线方程	183
二、抛物线型涌水量曲线方程	188
三、指数型涌水量曲线方程	192
四、对数型涌水量曲线方程	196
第三节 承压潜水井涌水量曲线方程	199
一、层流运动承压潜水井涌水量曲线方程	200
二、非线性流承压潜水井涌水量曲线方程	201
第四节 关于涌水量曲线方程“反常”类型问题的讨论	203
一、由于井壁附近含水层导水性能的变化而引起的“反常” 类型	203
二、由于区域静水位的变化而引起的“反常”类型	204
三、由于含水层有效厚度的变化而引起的“反常”类型	206
第五节 涌水量曲线方程类型的相互转化	208
一、方程类型相互转化的原因与规律	208
(一) 由于井壁附近地下水流态的变化而引起的类型转化	208
(二) 由于井壁附近含水层导水性能的变化而引起的类型转化	217
(三) 由于地下水流稳定状态的变化而引起的类型转化	218
二、研究方程类型相互转化的实际意义	221
第六节 涌水量曲线方程类型的判定和参数的确定方法	222
一、涌水量曲线方程类型的判断方法	222
(一) 图解法	222
(二) 差分法	222
(三) 曲度法	227
二、涌水量方程参数的确定方法	227
(一) 作图选点法	227
(二) 均衡误差法	229
(三) 最小二乘法	232
(四) 矩阵法	234
三、关于涌水量曲线方程式的选用问题	237
第七节 关于涌水量曲线方程精度问题	239

一、关于降深次数对涌水量曲线方程精度的影响问题	239
二、关于水位降深间距对涌水量曲线方程精度的影响问题	241
三、关于最大水位降深允许推算范围问题	242

第五章 井的结构对涌水量计算的影响

第一节 井径对涌水量计算的影响	244
一、影响涌水量与井径关系的主要因素	244
(一) 地下水流动状态的影响	244
(二) 含水层导水性能的影响	246
(三) 水位降深的影响	248
二、涌水量与井径经验曲线方程的类型	251
(一) 曲线方程的类型	251
(二) 曲线方程类型的相互转化	255
三、计算“大井”涌水量的方法	260
(一) 联合双对数坐标图解法	263
(二) “大井”涌水量增大系数法	265
(三) “大井”涌水量曲线方程法	269
(四) 相关比拟法	272
第二节 滤水管的类型与长度对涌水量的影响	273
一、滤水管下置与否对涌水量的影响	273
二、滤水管的类型对涌水量的影响	273
(一) 钢筋骨架滤水管	274
(二) 缠丝及包网滤水管	275
(三) 水泥砾石滤水管	276
三、滤水管的孔隙率对涌水量的影响	277
(一) 穿孔滤水管孔隙率的计算	277
(二) 包网和缠丝骨架滤水管孔隙率的计算	278
四、滤水管的安装位置对涌水量的影响	279
五、滤水管的长度对涌水量的影响	282
(一) 涌水量与滤水管长度的关系	282
(二) 滤水管有效长度的测定和计算方法	286
第三节 填砾层对涌水量的影响	290
一、填砾的作用	290
二、填砾规格对涌水量的影响	291

(一) 填砾形状	291
(二) 填砾的粒径	292
三、填砾厚度对涌水量的影响	293
四、填砾层的结构对涌水量的影响	294
五、井内填砾对涌水量的影响	295
第四节 不完整井对涌水量计算的影响	297
一、计算不完整井涌水量的经验公式	297
二、计算不完整井涌水量的理论公式	299
(一) 承压不完整井涌水量计算公式	303
(二) 潜水不完整井涌水量计算公式	305
第五节 井型对涌水量计算的影响	307
一、大口井的涌水量计算	307
(一) 井壁进水完整井	307
(二) 井底进水不完整井	308
(三) 井壁井底同时进水的完整井	309
二、吊管井的涌水量计算	311
三、真空井的涌水量计算	313
(一) 真空井的类型	313
(二) 涌水量的计算	314
四、辐射井的涌水量计算	314
(一) 集取地下水的辐射井涌水量计算	316
(二) 集取河床渗透水的辐射井涌水量计算	316
五、分段取水井的涌水量计算	317
(一) 分段取水井的布设	317
(二) 分段取水井涌水量的计算	319

第六章 干涉井群的水力学计算方法

第一节 水力削减法的计算原理	324
一、水流叠加原理	324
二、井群相互干涉原理	327
(一) 钻井的间距和数量对井群干涉程度的影响	330
(二) 水位降深对井群干涉程度的影响	331
(三) 地下水的补给条件对井群干涉程度的影响	334
三、涌水量函数关系不变原理	336

第二节 关于涌水量减少系数计算方法问题.....	338
一、关于涌水量减少系数计算公式的推导 原理 问题.....	338
二、关于多井干涉涌水量减少系数的计算方法问题.....	341
三、关于涌水量方程为曲线关系时的涌水量减少系数的计算 方法问题.....	342
四、关于涌水量减少系数的计算精度问题	343
第三节 供水井群的干涉水量计算	346
一、根据两个干涉孔的单孔抽水资料计算	346
(一) 试验资料依据	346
(二) 两孔同时抽水时的干涉水量计算	347
(三) 干涉井群的计算	349
二、根据群孔抽水资料计 算.....	353
三、根据多孔抽水资料计 算.....	356
第四节 排水井群水量计算的疏干效率叠加法	360
一、计算原理.....	360
二、应用效果.....	361

第七章 供水井可采水量的评价

第一节 评价可采水量的实测 方法.....	368
一、开采试验法.....	369
(一) 实抽法	369
(二) 逐级抽水法	370
(三) 多次抽降法	371
二、断面流量法.....	372
(一) 补给宽度法	372
(二) 补给半径法	373
(三) 影响半径法	374
三、泉流 量消 耗 法.....	375
四、疏干试验法.....	376
第二节 评价可采水量的相关类比方法	377
一、水文 地质 比拟 法.....	378
二、降落漏斗法.....	378
三、相关分析法.....	379

(一) 单相关	382
(二) 复相关	385
第三节 评价可采水量的均衡方法	387
一、均衡条件的建立和变化	389
二、地下水天然径流量的测定方法	390
三、河流渗漏补给量的测定方法	393
(一) 河流水文测流法	393
(二) 平行岸边断面法	394
(三) 洪水渗漏补给量的计算	395
四、大气降水渗入量的测定方法	396
(一) 降水渗入系数的经验数值	397
(二) 根据河流流量曲线确定降水渗入系数	397
(三) 根据地下水长期观测资料确定降水渗入系数	398
(四) 根据降水量和地表水流量确定降水渗入系数	400
五、地下水静储量可动用部分的测定方法	403
(一) 地下水静储量的动用问题	403
(二) 地下水静储量可动用部分的计算	404
(三) 给水度的确定方法	406
第四节 地面塌陷与水质咸化的防治	409
一、地面塌陷的形成与防治	409
(一) 减少塌陷的途径	410
(二) 预测塌陷的方法	413
(三) 塌陷的处理	415
二、防止水质咸化的措施	416
(一) 海水入侵的原因及防治	417
(二) 悬浮淡水体的稳定条件及防止变咸的措施	419
(三) 防止淡水层和咸水层间连通混合的措施	424

第一章 绪 论

我们在论述集水井水量计算的理论与实践之前，首先讨论一下有关集水井的辐射流动规律问题。

第一节 辐射流稳定状态的变化规律

本书是以稳定流方法探讨地下水的辐射流问题的，因此对辐射流稳定状态的涵义和变化规律，就有进一步加以阐明和研究的必要。

应当指出，稳定流是相对的。毛主席教导我们说：“无论什么事物的运动都采取两种状态，相对地静止的状态和显著地变动的状态。”在地下水运动的总过程中，稳定流只是在有限的时间段内的一种暂时的平衡现象，这种平衡总是要向新的不平衡发展；而且，所谓的“稳定”本身，也不是绝对的“稳定”，在抽水达到稳定以后，地下水位和流量，因受各种自然和人为因素的影响，并不是一个绝对的不变值，而仍然在一定的范围内波动。

基于这一观点，我们可以发现，不但抽水量较小的短期抽水试验，有相对的稳定阶段存在，就是抽水量很大的长期抽水或矿区疏干，也可以找到相对的稳定段。

例如，广东荔枝沟水源地 ZK501 勘探生产井在枯水期进行了历时 730 个小时（1969 年 3 月 25 日至 4 月 25 日）的连续抽水试验。试验井位于海陆交替相三角洲的中部，为砂及砂砾石承压含水层，地下水受北部广大山区丰富的岩溶水补给。

从抽水井单位涌水量历时曲线的变化（图 1-1）来看，有如下规律：

第一，由于试验期间受区域水位下降的影响，从总的趋势来

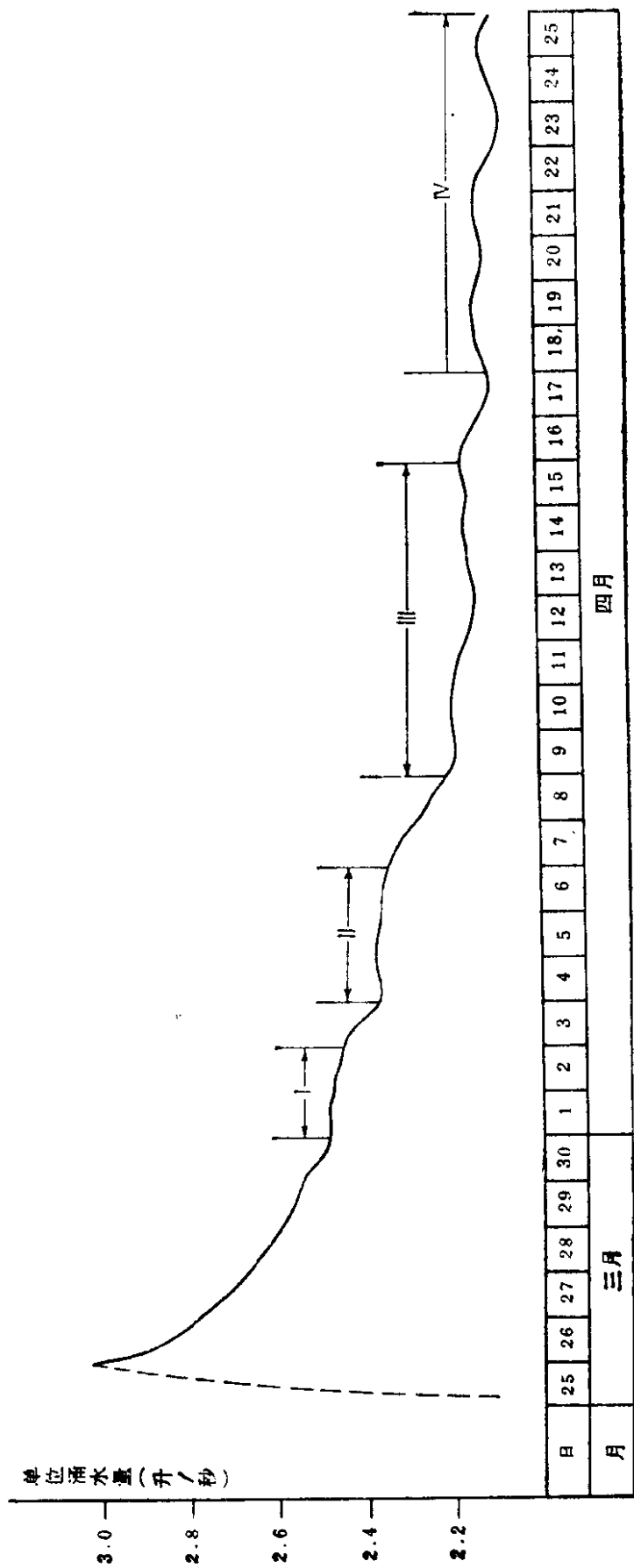


图 1-1 ZK501 井单位涌水量历时曲线图

看，单位涌水量随抽水时间的延续而逐渐减小，说明地下水流处于不稳定状态；

第二，单位涌水量历时曲线呈阶梯状系统下降，说明地下水流在不稳定状态中存在着相对稳定状态；

第三，单位涌水量历时曲线中的每一个相对稳定段，单位涌水量也在一定范围内波动，而单位涌水量在阶梯状系统下降过程中，各相对稳定段的延续时间越来越长，单位涌水量的减小幅度也越来越小。

据广东几个隐伏岩溶类型矿区在开采过程中长期排水的检验，矿坑每疏干一个水平中段，仅在初期其涌水量与周围的水位降低、降落漏斗呈不稳定状态。但经过一段时间，矿坑涌水量与周围的水位降低及其相应的降落漏斗随季节均在一定范围内变动，即地下水处于相对稳定流动状态。

例如，从曲塘矿区长期排水资料来看（图1-2），自1962年至1967年，先后连续对+50米，0米，-40米标高中段进行开拓疏干，并在坑道内施工疏干放水钻孔。在这段时间内，矿坑涌水量逐年显著系统地增加，动水位也逐年显著系统地下降，呈不稳定状态。1968年以后，各疏干工程已基本完成，虽然矿坑涌水量和各观测孔动水位也有变化，但是与1968年以前对比有以下不同的特点：

第一，涌水量与动水位不再出现显著的系统增加与系统下降现象；

第二，涌水量与动水位主要受降雨量的影响呈现季节性变化，在一定幅度内上下波动；

第三，在旱季以较为稳定的地下径流补给的时期，涌水量与动水位变化不大，基本上处于稳定状态；雨季由于降水补给强度的不同，涌水量与动水位变化较大，但是不同年份雨季的平均涌水量与动水位的数值相差不大。

上述事例表明，地下水在长期抽（排）水过程中，只要涌（排）水量、地下水位降低及进水范围基本固定，在地下水补给来源较