

# 地下水稳定流理论与水资源评价问题讨论\*

陈鸿吟

(贵州地质工程勘察院, 贵阳, 550008)

**〔摘 要〕** 本文作者认为作为相对性的稳定流理论仍然具有强大的生命力, 特别是在评价、开发地下水资源的领域中还有广阔的应用前景。本文引进了一个“临界流量”新词语, 在抽水可作为划分稳定流与非稳定流的大致界限, 这对保证成井的稳定供水以及进行块段疏干都具有实用意义。

**〔关键词〕** 地下水运动; 稳定流; 非稳定流; 临界流量

**〔中图分类号〕** P641.2 **〔文献标识码〕** A **〔文章编号〕** 1000 - 5943 (2000) 01 - 0054 - 03

近 20 年来, 由于社会发展及基础理论、应用技术的渗入, 水文地质学有了巨大的变化, 但也出现了某些争论, 其中以稳定流与非稳定流的争论对立表现得最突出。本文从资源评价观点来进行研究和说明。

## 1 争论的发端

先从具体的井流理论研究中发生的分歧开始。假定承压含水层为均质、等厚, 呈水平无限延伸, 无垂向越流补给, 初始水头为定值, 有一完整井进行定流量抽水, 运动状态符合 Darcy 定律。

(1) 1857 年 Dupuit 建立的方程

用势函数表达如下:

$$\begin{aligned} &= k m h \\ &= \frac{Q}{2} \ln r + c \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

式中  $k$  - 渗透系数  $m$  - 含水层厚度  $h$  - 观测井水头  $Q$  - 抽水定流量  $r$  - 观测井至抽水井距离  $c$  - 待定参数

该方程表明, 主井定流量抽水延续至某一时刻以后, 降落漏斗固定, 在此范围内水头降低不再发生变化而构成稳定流。

Dupuit 井流方程被广泛应用达一百余年之久, 至今对地下水的勘探和开发仍然有深刻的影响。

(2) 1935 年 Theis 建立的方程

对任一观测井, 用降深表达如下:

$$\begin{aligned} S &= \frac{Q}{4 T} W(u) \dots\dots\dots (2) \\ \text{井函数 } W(u) &= \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \\ &= \frac{r^2 \mu}{4 T t} \end{aligned}$$

\* 收稿日期: 1998 - 09 - 13

作者简介: 陈鸿吟 (1936 - ), 男, 四川崇州市人, 贵州地质工程勘察院高级工程师, 长期从事水文地质, 工程地质、环境地质工作。



$$u = \frac{r^2}{4Tt}$$

式中  $T$ —导水系数  $T = km$   $\mu$ —储水系数  $t$ —抽水延续时间 其它符号同前

该方程表明，主井定流量抽水，降落漏斗一直在向外围扩展，观测井水头一直在下降而构成非稳定流。

(3) 1935 年美国 Theis 和 1857 年法国的 Dupuit 所建立的井流方程发生了矛盾，实质上也就是公开揭露了非稳定流和稳定流的分歧。然而分别作为两者理论基础的 1933 年 Boussinesq 奠定的非稳定的二阶线性非齐次偏微方程和 1886 年 Forchheimer 奠定的稳定的二阶线性齐次偏微分方程（也称 Laplace 方程）却是世界公认的。Theis 方程与 Dupuit 方程的分歧是客观存在，但是被某些学者夸大了。

## 2 争论的评述

(1) 从立论的条件分析，当然 Theis 方程是正确的，因为无补给的定流量抽水只能消耗含水层的储量，也就不能构成稳定流。而承认这个结果，那么单井抽水及相应的资源评价将无意义。实际工作也很少有人直接用 Theis 方程作单井供水的资源评价，通常仅用来求得有关参数。

(2) 实际上某些承压水井抽水确存在相对稳定。降落漏斗扩展到一定范围后形成补给量与抽水量的平衡，而此客观情况与立论的假定条件不符合，但有深刻的实际意义，它肯定了该井地下资源的可利用性。目前广泛存在的单井供水及相应的资源评价，就是建立在这个事实基础上的。

(3) 现就此问题进行具体的评述

如果在抽水主井的某径向方向上布置观测井 1 和观测井 2，至主井距离分别为  $r_1$  和  $r_2$ ，当进行主井定流量抽水并延续一段时间以后，观测井 1 和观测井 2 的水头降低分别用  $S_1$  和  $S_2$  表示。

用 Dupuit 稳定井流方程可表达为：

$$S_1 - S_2 = \frac{Q}{2T} \text{Ln} \frac{r_2}{r_1} \dots\dots\dots (3)$$

而非稳定流的 Theis 方程可用 Jacob 近似式表达，对任意观测井有：

$$S = \frac{Q}{4} \text{Ln} \frac{2.25 Tt}{r^2 \mu}$$

代入  $t$  时观测井 1 和观测井 2 资料经整理后有：

$$S_1 - S_2 = \frac{Q}{2T} \text{Ln} \frac{r_2}{r_1} \dots\dots\dots (3)^*$$

此式与 (3) 为同一形式，这里发生了非稳定井流方程与稳定井流方程的殊途同归的问题，然而争论依然存在，焦点已经具体化了。支持 Theis 方程的学者认为：定流量抽水开始，观测井 1 和观测井 2 水头先后下降，至某一时刻以后产生了同步现象。支持 Dupuit 方程的学者认为：定流量抽水开始，观测井 1 和观测井 2 水头先后下降，至某一时刻以后出现了观测井 1 和观测井 2 的水头降低均为定值，不再发生变化。

这里实际上已明确指出，主井进行定流量抽水时布置两观测井，利用实际观测资料即可进行判别。如果出现观测井的同步下降，则属非稳定流，承压含水层被渐次疏干。如果出现观测井 1、2 水头降低均为定值，则相对应属稳定流，可能已形成抽水量与补给量的平衡，而此时抽水的定流量有保证性，具有供水意义。

(4) 一般的承压水井进行定流量抽水，经常出现的两种情况，当抽水的定流量较小时表现为稳定流，当抽水的定流量较大时，表现为非稳定流。从理论上分析，由小到大逐渐调整这个抽水定流量，必然会出现一个由稳定流向非稳定流转化的“临界流量”，它有着极为重要的理论意义和实际意义，这个“临界流量”是单井水资源评价的极为重要数据，是单井保证供水量的最大极值，也是单井保证疏干量的最小极值。



(5) 就一个单井承压水的抽水评述而言, 稳定流与非稳定流的对立以及水资源评价关系问题, 至此似乎已经解决了。推而广之, 对于某一水文地质单元, 虽然它不严格符合理论假定条件, 但在推理上确具有逻辑论证的相似性。当布置  $n$  个井进行定流量抽水时, 必然存在一个由稳定流向非稳定流转化的“临界总流量”, 它是该水文地质单元内保证供水量的最大极值; 也是该水文地质单元内保证疏干量的最小极值。严格地讲, 这个临界总流量将随季节不同而发生变化, 并具有大至的周期性, 就一个水文年而言, 它不是一个定值, 而是一个变化区间范围。

(6) 对于一个潜水井的定流量抽水而言, 亦可用上述方法进行推行, 其结果也是相似的, 这里就不再重复叙述了。

### 3 结 语

地下水运动理论与资源评价问题的关系, 前者是基础理论学科常具有抽象性; 而后者是工程技术学科常具有实用性。两者既有联系又有区别, 弄清这个问题是十分重要的。

历史的发展是曲折而复杂的, 我们不当苛求于前人, 不当无限夸大稳定流学派与非稳定流学派的分歧。Darcy 对地下水运动理论基础的建立, 其功绩是世界公认的, 同样地稳定流学派的 Dupuit 和 Forchheimer, 非稳定流学派的 Boussinesq 和 Theis 对地下水运动理论的发展, 其功绩也是世界公认的。我们应当继承发展这些理论并具体运用到地下水资源评价中去, 只有这样才能加快水文地质学的突飞猛进变化。

#### 参 考 文 献

- 1 薛禹群等. 1979. 地下水动力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1979.
- 2 杨天行等. 地下水流向井的非稳定运动的原理及计算方法 [M]. 北京: 地质出版社.
- 3 陈崇希. 地下水不稳定井流计算方法 [M]. 北京: 地质出版社, 1983

## Research on Groundwater Steady Flow Theory and Evaluation of Water Resource

CHEN Hong - yin

( Guizhou Trading & Engearing Survey, Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Guiyang, 550008)

#### Abstract

The author thinks relative steady flow theory still has strong power of life and broad spectacle for valuing, developing and using groundwater resource. The paper cite a new word called critical flow. It can be regarded as the approxinmate point for dividing steady flow from unsteady flow then water is pumped. It is significant for assuring wells steadily supplying water and pumping block dry.

**Key words :** grounderwater ; steady flow ; unsteady flow ; critical flow