

# 修订《供水水文地质勘察规范》补充 地下水数值法计算技术规定

韩再生

(中国地质调查局, 北京 100812)

**摘要:** 在修订国家标准《供水水文地质勘察规范》中补充地下水资源数值法计算技术规定。本文提出了应用数值法进行地下水资源计算中的资料、水文地质条件的概化、数值模型的建立、地下水预报、地下水均衡计算和应提交的成果等技术要求, 以满足供水水文地质勘察和地下水资源评价的需要。

**关键词:** 供水; 勘察; 数值法; 地下水资源评价

中图分类号: P641.2

文献标识码: A

**Abstract:** For revising the national standard 《Hydrogeologic exploration specifications of water supply》 technical requirement for numerical method of groundwater resources evaluation is supplemented. Data required for calculation, epitomizing of hydrogeologic conditions, set up of numerical model, groundwater prediction, water balance calculation and necessary technical data are all provided to fulfill the needs of groundwater resources exploration and evaluation.

**Key words:** water supply; exploration; numerical method; groundwater resources evaluation

《供水水文地质勘察规范》是由一份编制较早、影响较大的强制性国家标准1976年~1978年原冶金工业部会同全国有关水文地质勘察单位共同编制了全国通用勘察规范 TJ27-78, 1987年~1988年对其进行了第一次修订, 成为现行国家标准 GBJ27-88。二十多年来, 这份规范对做好供水水文地质勘察, 合理地评价、开发和保护地下水资源起到了统一指导作用, 促进了我国地下水水源地的勘察和利用, 在水文地质勘察的理论和技术的发展中具有广泛的影响, 在水文地质同行中具有较高的权威。据初步统计, 全国各水文地质勘察单位依照这份规范进行的供水水文地质勘察项目超过600项, 其中大部分勘察成果已提交作为水源地建设的依据, 建成的地下水水源地已在我国的经济建设和资源保护中产生了显著的经济效益和社会效益。

随着科学技术的进步和社会主义市场经济的建立, 供水水文地质勘察工作在不断发展。在勘察实践中遇到了新的问题, 积累了新的经验, 这份国家标准已不能完全满足勘察生产的需要。为此, 建设部已经将强制性国家标准《供水水文地质勘察规范》GBJ27-88列入修订计划, 修订组已经开始工作。作为修订组成员之一, 笔者建议在国家标准中补充地下水资源数值法计算的技术规定, 以适应科学技术发展的要求, 满足当前供水水文地质勘察中地下水资源评价的迫切需要。

在地下水资源计算中应用数值法是从70年代出现, 并在国内外逐渐发展、成熟起来的。目前, 在供水水文地质勘察中数值法已成为重要方法。随着电子计算机的普及, 该方法在地下水资源评价中的应用日益广泛。现行的《供水水文地质勘察规范》GBJ27-88中没有对数值法计算作出具体的技术规定。笔者收集并分析了国内外的十几份数值法计算软件和应用成果。其中包括: 美国地质调查局<sup>[2]</sup>的标准有限差分程序“MODFLOW-96”, 德国卡塞尔大学<sup>[1]</sup>的“PM 有限差分程序”, 中国地质大学的“渗流计算程序”和“三维有限单元地下水计算程序”, 长春地质学院<sup>[4]</sup>的“地下水水量水质数值模拟及管理程序”, 西安地质学院的“不规则网格有限差分程序”, 以及建设部综合勘察研究设计院<sup>[3]</sup>、兵器工业勘察研究院等单位编制的计算程序及其在供水水文地质勘察中的应用成果<sup>[5]</sup>。在此基础上进行了系统的归纳与总结, 提出了补充《供水水文地质勘察规范》有关内容的方案。

在地下水资源评价中应用的数值方法主要有: 有限差分法 (Finite Difference Method)、有限单元法 (Finite Element Method)、边界元法 (Boundary Ele-

收稿日期: 1999-08-17

作者简介: 韩再生 (1948), 男 (汉族), 河北行唐人, 博士, 教授级高级工程师。

ment Method) 和特征线法 (Method of Characteristics)。数值法能够描述形状不规则的区域以及含水层的非均质、各向异性和复杂的边界条件,能够处理河流入渗、大气降水入渗等垂向补给、各种抽水、排水、溶质交换和蒸发在时空分布上的变化,能够解决其它计算方法不易处理的复杂问题。随着计算机的普及,数值法已成为地下水资源评价中的主要方法之一。

地下水水量和水质的数值模拟方法适宜于工程控制程度较高的大、中型集中供水水源地,在供水水文地质勘察的地下水资源评价中应用。采用数值方法进行地下水资源计算,所依据的资料,对计算区水文地质条件的概化、数值模型的建立以及地下水模拟、预报等,必须满足相应的技术要求,其成果才能达到相应的可信程度,提供利用。为此,需要在《供水水文地质勘察规范》国家标准中补充对数值法应用较为具体的规定。在标准修订条文及其说明中可以下列内容为基础,补充应用数值法进行地下水资源计算中的资料要求、水文地质条件的概化、数值模型的建立、地下水预报、地下水均衡计算和应提交的成果等项技术规定。

## 1 资料的基本要求

(1) 应查明或基本查明计算区水文地质条件,掌握主要含水层的空间分布、岩性结构特征、含水层(隔水层)的顶、底板标高(厚度)、地下水类型、导水性、储水性、边界条件、与相邻含水层的水力联系、地下水现状开采量和地下水的补给、迳流、排泄条件。

(2) 进行地下水水量模拟,应通过室内试验、抽水试验和其他野外试验求得渗透系数、导水系数、给水度、弹性释水系数、蒸发系数、弱渗透层的越流系数、地表水体和含水层的水量交换参数、降水入渗系数等水文地质参数,作为水量模型识别计算的初始估计值。抽水试验成果尤为重要,其资料应符合相应勘察阶段的要求。

(3) 进行地下水水质模拟,应掌握计算区地下水水质在空间、时间的分布和变化资料。应通过室内弥散试验和利用放射性同位素或其它示踪剂进行的野外试验,求得纵向弥散度、横向弥散度、含水层的有效孔隙度等水文地质参数,作为水质模型识别计算的初始估计值。

(4) 计算区的地下水动态监测孔的数量、监测频

率和监测资料系列长度应能控制区域地下水水位和水质的变化规律。地下水水位(水头)、水质的动态观测资料应满足相应的勘察阶段的要求。

(5) 计算区内地下水水位(水头)或水质的空间分布和动态变化应有足够的控制资料,关键部位应有地下水动态观测孔。地下水动态观测孔的分布配置,应保证对各参数分区和主要补给、排泄边界的控制。观测孔的布设应满足相应勘察阶段的要求。

(6) 应掌握计算区内地下水开采量、降水量、泉水流量、溶质(污染物质)交换量和其它源汇项的时空分布和变化规律。地下水开采量应以实测资料为主,推测资料的依据必须予以论证。对计算区内的河流应掌握历年地表水水文资料,并对其进行必要的分析。

## 2 水文地质条件的概化

(1) 计算区的水文地质条件必须经过系统概括和合理简化。概化应贴近实际,可靠程度应符合计算要求。

(2) 计算区宜以自然边界为计算边界,建议以完整的水文地质单元作为计算区。在计算区仅为水文地质单元一部分的情况下,应注意处理好水文地质单元内水资源的分配以及计算区边界上的水量和溶质交换问题。

(3) 根据计算区含水层的类型、结构、岩性、厚度、导水特征等,将其概化为潜水或承压水、均质或非均质、各向同性或各向异性、单层、双层或多层含水层。对含水层的水文地质特征可分区予以概化。

(4) 对于岩溶含水系统,应论证其水流状态是否在达西定律的适用范围之内。对不同流态的地下水系统,应采用适合其特征的相应模型。

(5) 根据地下水流状态和资料条件,可以将地下水流概化为稳定流或非稳定流,一维流、二维平面流或剖面流、准三维流或三维流。

(6) 根据含水层、隔水层的分布、地质构造和边界上地下水流特征、地下水与地表水的水力联系,可以将计算区边界概化为给定地下水水位(水头)的一类边界、给定侧向迳流量的二类边界和给定地下水侧向流量与水位关系的三类边界。

(7) 对与含水层有水力联系的河流和其它地表水体,宜建立河流-含水层耦合模型,根据实际情况概化处理地表水体与含水层间的水量交换。当存在较大的地表水体和厚大的含水层,采用平面二维模型

对其进行概化时,只有切割了含水层的常年性河流或地表水体才可概化为第一类边界。未完全切穿含水层的河流,只有经论证符合条件时,才可概化为第一类边界。

(8) 三维模型和准三维模型可以较好地模拟地表水体与含水层的水量交换,描述地下水在空间的状况。在具备相应资料的条件下,宜采用三维地下水模型。

(9) 对垂向交换水量,包括:降水入渗、蒸发、灌溉入渗、地表水体入渗(排泄)和越流补给(排泄)等,应根据实际情况采用适当方法概化处理。对于潜水蒸发强度随潜水位埋深而产生的变化,可以建立受潜水极限蒸发埋深约束的潜水蒸发子模型,与含水层渗流模型耦合。对地表水入渗的概化,应根据地表的汇水条件,在水均衡的制约下,对地表入渗系数和补给强度加以概化,必要时可以建立地表水入渗的子模型。

(10) 水质模型应选择较为稳定的溶质或特征指标作为模拟因子。模拟因子应与污染物质密切相关,能够反映污染的性质与程序。

(11) 对水质模型的溶质交换项,包括:污染物质的渗入和排出、沉淀、溶解,地层的吸附等,可以建立相应的子模型,对其进行模拟。

### 3 数值模型的建立

(1) 对计算区进行剖分,网格的大小应与勘查阶段及观测资料相适应,关键部分可加密网格。特别是对于地下水水质模型,网格剖分不能过于稀疏。

(2) 水文地质参数可根据含水层特征分区给出初始估计值,在模型的识别过程中,可对分区进行调整,但应与其水文地质特征相符。

(3) 利用多孔或群孔抽水试验资料或地下水动态观测资料反求水文地质参数,即解逆问题,有直接解法和间接解法两类。

(4) 鉴于目前逆问题的直接解法在数值计算中稳定性差,宜采用间接解法通过拟合-校正方法反求水文地质参数,识别和检验数值模型。

(5) 识别和检验是建立数值模型的两个阶段,必须利用相互独立的不同时间段的资料分别进行。

(6) 在模型识别中,原则上不同水文地质参数分区中和第一类边界上均应有控制观测井的实测地下水水位(水头)、水质浓度资料,作为拟合的依据。

(7) 利用非稳定流资料识别模型,实际观测值与

模拟计算值的地下水位变化  $h-t$  曲线或地下水溶质浓度变化  $C-t$  曲线的趋势应一致。可以采用使得水位或浓度拟合均方差等目标函数达到最小,作为判断标准。

(8) 对于水量模型,一般情况下,控制观测井地下水水位的实际观测值与模拟计算值的拟合误差应小于拟合计算期间内水位变化值的10%。水位变化值较小( $<5\text{m}$ )的情况下,水位拟合误差一般应小于0.5m。

(9) 对于水质模型,根据不同的模拟因子的分析误差精度,一般情况下,水质浓度的拟合的绝对误差值应控制在分析误差精度以内。

(10) 利用稳定流资料识别模型,模拟流场与实测流场、模拟浓度场与实测浓度场的形态应一致,地下水的流向或溶质运移方向应相同。

(11) 必须检验已经识别的数学模型的正确性。应正演数值模型,利用与识别模型不同的地下水观测资料,检验模型的正确性。检验标准与(7)~(10)相同。

### 4 地下水预报

(1) 只有经过识别与检验的地下水数值模型才允许用于地下水水位和水质的预报。

(2) 地下水预报是为评价目标服务的。对地下水水源地的开采,可给定一个或几个供选择的开采方案;对地下水环境的治理,可给定治理方案;对发展趋势的预测,应设定地下水开采量、污染源的未来分布。

(3) 进行地下水预报的外部条件,包括预报期间边界的流量、水位(水头)、溶质浓度、垂向交换的水量和溶质浓度等,应根据预测分时段给出。必要时,可建立相应的统计模型或计算区外围的区域模型计算得出。

(4) 进行地下水预报,应对计算区的大气降水和河川迳流进行水文分析。评价平、枯、丰不同年份的降水量和迳流量,作为地下水预报的基础。

(5) 对于仅具有当年调节能力的含水系统,可根据计算目的,针对不同保证率的特枯、枯水和平水年份,利用水文分析成果,作为地下水预报的外部条件。

(6) 对于具有多年调节能力的含水系统,应根据计算评价任务要求确定地下水预报期。预报期不宜过长或过短,一般可与降水、地表水迳流变化周期相

应。可以采用历史实测降水-水文资料中包括枯水年和特枯年份的系列,或不同保证率年份组合的降水-水文系列进行预报。

(7) 预报时采用的地下水规划开采方案或工程方案应以恰当的形式在模型中得以实现。根据计算目的,可以对给定的方案进行预报;或者对各种可行的开采方案分别进行地下水预报,并对成果进行对比和分析,论证其是否满足给定的技术、经济和环境约束。

(8) 根据需要,可以根据区域水位(水头)预报的成果,在分析同一地区现有开采井井损等资料的基础上,采用合理的计算方法,推算设计开采井的井中水位。

(9) 地下水水流和溶质运移数值模型可以与地下水优化模型或管理模型相耦合,用于地下水的优化开发方案的制订和地下水的动态管理。

## 5 地下水均衡计算

(1) 地下水数值法计算是以地下水均衡为基础的。因而可以且应该利用数值法成果进行地下水均衡计算。

(2) 地下水均衡计算一般应以水文年为均衡期,以完整的水文地质单元为均衡域。计算区仅为水文地质单元一部分的情况下,应采用适当的方法计算边界上的地下水交换量。

(3) 根据经过识别和检验的模型进行地下水均衡计算,应得到计算区内的各项地下水补给量、排泄量以及储存量的变化量,作为评价计算区地下水资源的重要依据。

(4) 根据地下水预报模型进行地下水均衡计算,得到预报期间各项地下水的补给量、排泄量和储存量的变化量,可以作为分析预报成果的依据。

## 6 数值法计算应提交的成果

(1) 地下水数值计算的成果应该由文字部分、图件部分和软件部分组成。

(2) 文字部分应包括:对概念模型的说明、模型源汇项确定和处理方法的说明、初始条件和边界条件确定的说明、模型识别与检验结果的说明、地下水均衡计算成果、预报方案制订的依据和预报结果的论述以及对地下水资源的评价。

(3) 图件部分应包括:水文地质概念模型图、计算区单元剖分图、非均质水文地质参数分区图、初始流场或浓度场图、拟合流场或浓度场图、观测井地下水位(水头)或溶质浓度拟合曲线图、地下水预报的开采或工程方案图、预报流场或浓度场图、地下水预报的水位(水头)曲线或浓度曲线图等。

(4) 软件部分应包括:计算程序及其使用说明、原始数据、数值计算模拟过程和最终成果。提交形式可根据任务要求以各种介质为载体或者进行演示。

### 参 考 文 献

- [1] Kinzelbach, W., Groundwater Modeling——An Introduction with Sample Programs in BASIC, Elsevier science Publishers, Amsterdam, 1986.
- [2] Harbaugh, A. W. and McDonald, M. G., Programmer's Documentation fo MODFLOW-96, An update to the U. S. Geological Survey Modular Finite-Difference Ground-Water Flow Model, U. S. G. S., Open-file Report 96-486, 1996.
- [3] 陈雨孙. 地下水运动与资源评价. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986.
- [4] 林学钰, 侯印伟, 邹立芝, 李生彩, 杨悦所. 地下水水量水质模拟及管理程序集. 长春: 吉林科学技术出版社, 1988.
- [5] 陈崇希, 唐仲华. 地下水流动问题数值方法. 中国地质大学出版社, 1990.