

中华人民共和国国家标准

GB / T 14497—1993

地下水资源管理模型工作要求

Requirements for the work of groundwater resources management model

1 总则

1.1 本规范规定了地下水资源管理模型勘查工作、建立地下水资源管理模型及其管理期内的监测工作和成果报告编制的基本要求。

1.2 本规范适用于城市、大中型工矿基地及农田灌溉区的地下水资源管理模型工作。

1.3 建立地下水资源管理模型的目的。

1.3.1 为地下水合理开发利用提供优化方案，在经济技术可行和合理条件下，以取得良好的经济效益、社会效益和生态效益。在宏观上为国土整治和开发、城市规划、工农业生产发展和产业结构的调整提供科学依据。

1.3.2 为地下水资源、地质环境和生态环境的保护、地下水资源管理和开发利用监督工作以及有关经济技术政策的评价提供科学依据。

1.4 地下水资源管理模型工作任务

1.4.1 在充分收集和利用已有水文地质资料的基础上，补充必要的水文地质工作，查明管理区含水层系统的结构和边界条件，建立水文地质概念模型和地下水模拟模型(包括水量模型和水质模型)，进行不同开采方案的预测和预报。

1.4.2 综合调查和分析管理区的地下水资源和地表水资源的分布、开发利用及供需状况、生态环境、社会经济及其发展规划等问题。针对存在的主要问题，在地下水模拟模型的基础上，选择地下水资源管理目标和约束条件，建立地下水资源管理模型，并运用系统工程方法寻求地下水资源开发的优化方案。

1.4.3 对所提出的地下水开发的优化方案进行综合评价，做出最佳决策。

1.4.4 在地下水资源管理模型运行中，必须不断校正和完善地下水资源管理模型。

1.5 地下水资源管理模型工作基本原则

1.5.1 地下水资源管理模型工作是在已有的地下水资源评价工作基础上进行的，在工作中应充分利用已有的地下水勘察和开采利用过程中的工作成果和监测资料。

1.5.2 在工作中应坚持运用系统工程方法部署勘查工作，指导地下水资源管理模型的建立和综合评价工作。

1.5.3 在工作中，一方面应查明自然条件；另一方面应重视研究人为因素对地下水资源开发利用和地质环境的制约和影响，以探求综合因素影响下开发地下水资源的优化方案。

1.5.4 适当补充必要的勘探和试验工作，应重点加强地下水和地表水的长期观测以及由开采地下水引起的环境地质问题的监测工作。

1.5.5 对区域性工作，可采取点面结合、区域管理模型与重点地区管理模型相结合的方法。

1.5.6 应重视水资源综合利用、地下水与地表水联合开发、污水资源化和建立节水型社会等重要对策的研究。

1.5.7 工作重点应是地下水供水为主的缺水城市、工矿基地、开发研究程度较高以及因地下水开发引起的地质环境和生态环境急待治理和控制的地区。

1.5.8 地下水资源管理模型工作应与管理区有关规划部门的工作密切配合，以充分发挥工作成果的经济效益和社会效益。

2 引用标准

DZ44 城镇及工矿供水水文地质勘查规范

DZ55 城市环境水文地质工作规范

3 设计书编制和审批

3.1 开展地下水资源管理模型工作，必须有明确的目的和任务，立项依据要充分。编制设计前应综合分析管理区已有的地质、水文地质和社会经济情况等资料。现有资料不足时，应进行必要的现场踏勘和调查。设计的编制应遵照合理运用综合的勘查研究手段与方法并注重经济效益的原则。

3.2 设计书分为总体设计书和单项设计书。

3.2.1 总体设计书是项目的总体工作方案，其具体内容一般包括：工作目的和任务、工作区研究程度、自然地理和经济地理概况、地质和水文地质条件、水资源和开发利用现状及主要环境地质问题、水文地质概念模型、模拟模型和管理模型的初步设想、各项工作部署和依据、工作量和工作方法、工作间限和进度安排、经济预算、组织编制和分工以及预期成果。总体设计书应附有必要的图件：水文地质图(含

水文地质剖面图)、地下水开发利用现状图和工程布置图等。

3.2.2 单项设计书是对专业性强、实物工作量大、投资多和周期较长的专项工作所编制的工作设计。

3.2.3 对于跨年度的项目,应在总体设计和单项设计的指导下编制年度实施计划。

3.3 国家级项目、部级项目、局级项目及其他项目应分别按勘查和科研主管部门的有关程序进行设计书的审批。

4 资料收集和补充勘查工作的基本要求

4.1 基本原则

4.1.1 资料收集和补充勘查工作的主要目的是查明管理区水文地质条件;为建立地下水资源管理模型提供依据,满足水文地质条件概化及模型化过程所需的各种资料。

4.1.2 应在综合分析已有水文地质勘查成果的基础上,按照建立地下水水量管理模型、水质管理模型和综合管理模型工作任务的要求,开展专门性的调查研究,必要时辅以适当的补充勘查工作,包括完善地下水动态监测系统。

4.1.3 工作范围应根据城镇、工矿基地、农(牧)业建设和发展的总体规划,结合水文地质条件和建立模型的任务来确定,并应尽量包括完整的水文地质单元。

4.1.4 工作精度应满足不同目的地下水资源管理的要求。一般城市及大中型工矿基地的地下水资源管理模型,要求具有详查、勘探阶段以上勘查精度;对农田灌溉区区域性地下水资源管理,可根据管理区内具体情况允许有刁;同的勘查精度,并可适当降低勘查精度要求。

4.1.5 必须遵循地下水与环境的统一性,管理内容上的综合性、勘查工程布置上的针对性及最优化原则,以提高模型的正确性。

4.1.5.1 在工作中要求查明地下水形成、分布和赋存条件,及与环境的相互关系。

4.1.5.2 在工作中必须查明大气降水、地表水、包气带水和地下水之间质与量的转化关系。

4.1.5.3 应进行管理区内水资源开发利用状况的调查,以及与水资源开发有关的社会、经济、环境生态问题的调查。

4.1.5.4 勘查工作的内容、勘查工程的控制程度与布置方案,应考虑地下水模拟模型、管理模型的特点与要求,以提高勘查资料的利用率,同时应充分利用模型技术识别水文地质条件和指导勘查工作。

4.2 建立模型需要查明的区域水文地质条件

4.2.1 查明区域水文地质条件的主要目的是建立正确的水文地质概念模型；提供区域水均衡背景资料。

4.2.2 区域地质背景调查的主要内容包括：地层、岩性、构造、第四纪地质及地貌特征。

4.2.3 区域水文地质背景调查的主要内容包括：地下水的补给、迳流、储存和排泄条件；水动力、水化学特征及富水性变化规律。

4.2.4 区域水均衡研究的主要内容：

- a. 大气降水和蒸发的时空分布特征及降水入渗条件；
- b. 河流的流速、流量、含砂(泥)量、河床淤积速度，地表水的水位、水质、蓄水量及其渗漏补给地下水量；
- c. 区域土壤、植被、农作物的基本特征，包气带水的运移特征及其水质特征；
- d. 大气降水、地表水、包气带水与地下水的相互转化特征及其水均衡要素。

4.3 亨理区水文地质资料的收集与勘查工作要求

4.3.1 查明管理区含水层(目的层)系统的结构及其内部水量分配条件，具体内容包括：

- a. 含水层系统的埋藏分布条件；
- b. 地下水类型(潜水、承压水)及其时空分布特征；
- c. 含水层系统的主要水文地质参数(导水系数、渗透系数、贮水系数、单位涌水量等)及其非均质性分区；
- d. 管理区不同时期(枯、平、丰水期)、不同开采条件下地下水水头的分布特征及其动态规律。

4.3.2 查明管理区含水层系统的边界及其与外部的水量交换条件。

4.3.2.1 查明管理区含水层系统裸露区的入渗条件。

- a. 裸露区的位置与分布范围；
- b. 地形地貌条件及包气带的地质、水文地质特征；
- c. 裸露区入渗系数与单位面积入渗强度。

4.3.2.2 查明管理区含水层系统垂向水量交换条件。

- a. 含水层系统垂向水量交换地段的位置与分布范围；
- b. 垂向水量交换的方式(天窗、越流等)；
- c. 垂向水量交换条件(水头差、渗透系数、越流系数)及强度。

4.3.2.3 查明管理区含水层系统侧向水量交换条件。

- a. 侧向边界的地质类型(含水层尖灭、岩相变化、断层、地下水分水岭及地表

水体边界等)；

b. 各类边界的分布位置；

c. 各类边界的水力性质(隔水、定水头、变水头、定流量、变流量)及其水位、流量的时空特征与动态规律。

4.3.3 查明管理区地下水在不同时期(枯、平、丰水期)和不同开采条件下的渗透水流状态，在岩溶地区要注意是否存在管道流和非连续流。

4.3.4 查明管理区地下水的补给、迳流、贮存和排泄特征。

4.3.5 查明管理区地下水在天然状态和开采条件下的水均衡条件。

4.4 管理区地下水水质及其污染调查

4.4.1 地下水水化学背景的调查内容：

a. 地下水水化学类型及其时空变化；

b. 地下水中各化学组分的背景值；

c. 天然因素控制的不良水质的分布范围、成因及其与环境生态的相互关系。

4.4.2 地下水污染调查。

4.4.2.1 地下水污染现状及其危害程度。

a. 地下水的污染源及水中主要污染质的分布、运移、扩散规律、污染程度和污染范围；

b. 地下水对人体健康、工农业生产及环境生态的危害。

4.4.2.2 地下水开采(包括疏干排水)对水质的影响及其水质的时空变化过程。

4.4.2.3 地下水水质的污染和环境生态的相互关系：

a. 大气圈和水圈环境质量的恶化对地下水水质的影响；

b. 工业、生活污水的排放及农业污灌对地下水水质的污染，包括各类污水的排放量、污染渗漏量、污水的水质及其处理和综合利用状况；

c. 包气带环境质量的恶化对地下水水质的影响。

4.4.2.4 含水层的自净作用及其环境容量。

4.5 管理区水资源开发利用状况的调查

4.5.1 人口、城市规模与布局及其发展规划。

4.5.2 工业、农业生产现状及其发展规划。

4.5.3 主要水资源问题，包括：供水水源的类型及其利用数量和开发过程；目前生活与工农业的需水量和短缺水量；未来的需水量预测及其供水规划；水资源管理状况及存在问题。

4.6 与地下水开发有关的环境生态问题的调查

4.6.1 地下水位降落漏斗的形成过程及其发展趋势。

4.6.2 过量开采(或疏干排水)地下水对水井出水量、泉水流量、含水层贮存量、地下水水质等方面的影响后果。

4.6.3 不合理开采地下水对环境生态的破坏作用

4.6.3.1 区域地下水位下降所导致的植被退化、土壤沙漠化、农作物减产以及水质恶化对人体健康的影响。

4.6.3.2 不合理开采地下水所导致的海水入侵、地面沉降、地面塌陷和开裂等有害环境地质作用的规模及发展过程。

4.6.4 地面环境生态变化对地下水水质、水量的影响，如地面蓄水工程的修建对地下水补给条件的改善和导致的土地次生盐渍化等问题。

4.7 工作精度要求

4.7.1 勘查工程的控制程度，一般情况下要求已知地下水位控制点不得少于模型节点总数的 10%~5%，其分布应该满足对各参数分区、主要边界、强烈面状入渗区以及污染条件的控制。

4.7.2 观测时间系列的长度，对于分布参数模型一般要求有一个水文年以上的地下水动态观测系列料；对于集中参数模型，一般要求不得少于一个小气象周期的观测资料；对于北方岩溶泉域等一些滞后特征明显的含水层系统，一般要求大于最大的滞后时间，并要求有超前的气象观测资料。

4.7.3 参数分区必须以水文地质分区为基础，并应根据勘查工作提供的综合信息，进行岩性、地质构造、水动力、水化学、水温等特征的综合映证。

4.7.4 地下水开采量(或疏干排水量和回灌量)的调查统计，应尽可能与地下水水位、水质的观测同步。一般情况下，一年中至少有一次同步统计资料。

4.7.5 当管理区内的开采井数量很多时，可按开采状况(如常年昼夜开采井、季节或日内间歇性开采井等)和出水量大小进行分类，在每一类水井中，选出 1/5~1/3 的代表性水井作为水量统计井。

4.7.6 当地下水露头以大面积的沼泽形式出现时，应对沼泽面积、沼泽的蒸发与蒸腾强度进行观测统计。

4.7.7 对主要的侧向边界和垂向面状水量交换区、除应有一定的勘查工程控制外，同时应提出水均衡的论证。其勘查工程或监测控制点，应分别不少于该边界的垂向水量交换区节点数的 20%。

4.7.8 作为水质模型模拟因子的常规元素或指标(如硬度、矿化度等)，必须与污染质密切相关，有较好的稳定性，并能反映污染趋势。

4.7.9 弥散系数的确定，应根据水文地质条件并考虑经济效益，选择野外试验、室内实验或经验对照值。野外试验场的选择、室内实验条件的确定，均应考虑其代表性。

4.7.10 各项补充勘查工作(包括水文地质测绘、物探、钻探、试验、水样、土样和岩样采集与分析鉴定、地下水动态监测等)的具体技术要求，可参照 DZ44 执行。

4.7.11 对污水水质、包气带环境质量的观测要求，应按环境保护部门有关规范进行。

4.7.12 当地表水和地下水存在水力联系时，应在区内河流(水渠)的流入或流出段；支流进入主流处；河(渠)的严重渗漏段；地下水大量渗出段等处，设立地表水流的水位、流量、水质动态监测站。此外，尚要求对暂时性表流、集水池进行必要的监测。

4.7.13 当地下水大面积接收降水的垂向入渗补给时，应尽可能建立包气带水均衡试验场，以实测入渗量与降水强度、包气带岩性、潜水埋藏深度等条件之间的关系。

4.7.14 对区域性水资源规划阶段和农灌区的地下水资源管理模型，可适当降低建立模型的条件与勘查工作的精度要求。

5 水资源管理模型的建立

5.1 管理区水文地质条件的概化

5.1.1 管理区水文地质条件的概化必须符合地区的实际水文地质条件，严禁失真。

5.1.2 含水层系统结构的概化应根据含水层的类型、岩性、厚度、导水系数(渗透系数)等将内部结构概化为均质、非均质各向同性或各向异性的含水层。

5.1.3 侧向边界条件可概化为第一类边界条件，第二类边界条件和第三类边界条件。垂向边界条件可概化为有水量交换的边界条件和无水量交换的边界条件。

5.1.4 水动力条件的概化应根据地下水流状态将区内地下水流概化为稳定或非稳定流，一维流，二维平面流或剖面流，三维流等。

5.1.5 源汇项的概化应根据区内开采井的特点将其概化为点井、面积井或大井；根据区内降雨、蒸发、上下含水层的顶托或下渗补给以及各类地表水的渗入补给特点及分布特征，可将其概化为单元入渗补给强度或单元蒸发强度。

5.1.6 水化学条件的概化应包括以下内容：

a. 根据管理区内地下水中污染质的现状及其对工农业生活用水的危害程度，开采利用地下水后水质恶化的时空变化特点以及当前对有关污染质的水文地球化学过程的研究程度，确定进入管理模型的模拟因子；

b. 按照污染质与地下水的可溶混程度,将污染质概化为不可溶混物质和可溶混物质(简称“溶质”);

c. 确定流体的均质性及溶质浓度变化对流体的密度、粘度、温度和溶质运移的影响状况;

d. 根据地下水流速的大小将水动力弥散的机理概化为分子扩散或对流弥散;

e. 分析含水层内部结构特征及弥散实验结果,判断水头和浓度在三维方向上的变化情况,并将溶质运移状态概化为一维流,二维流或三维流。

5.2 地下水系统的模型化

5.2.1 模型的种类及其使用要求。

5.2.1.1 目前常用的地下水系统模拟模型:

a. 数学模型,又可进一步分为分布参数模型和集中参数模型;

b. 物理模型,又可进一步分为连续电模拟模型和离散型电模拟模型。

5.2.1.2 模型的使用要求:

a. 分布参数模型具有偏微分方程的形式,它常用有限差分或有限单元数值法求解,该模型可用来精确评价地下水资源和逐点预报系统内的地下水位或溶质浓度;

b. 集中参数模型(包括区域水均衡模型、回归模型和时间序列模型等),通常用在规划阶段,可用于评价地下水的区域资源和预报区内地下水的平均水位值;

c. 集中参数模型和分布参数模型均可作为约束条件进入管理模型;

d. 数学模型的建立应能表征系统的本质特征而且内容简洁,易于实现。

5.2.2 模型的识别与检验

5.2.2.1 系统模型化的过程称模型识别。模型建立后必须通过对地下水系统模型的输入和输出结果的分析,校正已建立的数学模型和边界条件的正确性,并对模型进行参数识别,使计算所得数据与实际观测数据有最好的拟合。

5.2.2.2 对于降深小的地区,要求水位拟合小于 0.5m 的绝对误差结点必须占已知水位结点的 70%以上;对于降深较大的地区(大于 5m)要求水位拟合小于 10%的相对误差结点必须占已知水位结点的 70%以上。

5.2.2.3 水质浓度的拟合精度应视进入模型的模拟因子的现代分析误差精度而定。一般情况下,拟合的绝对误差值应控制在分析误差精度以内。满足水质浓度误差精度要求的结点应占已知水质浓度结点的 50%以上。

5.2.2.4 对水文地质条件复杂的地区,地下水水位和水质浓度的拟合精度均可适当降低。

5.2.2.5 经过识别后的模型一般还要进行模型检验,看其是否正确地描述了地下

水系统的本质特征。检验过程必须用已识别的参数，通过对地下水系统模型的输入和输出，使计算结果所得数据与实际观测数据有最好的拟合。

5.2.2.6 经过识别和检验后的模型才可用于地下水资源的预报。用于预报的模型边界必须与识别模型的边界一致；边界上水位、水量及溶质浓度和通量的状况应随着预报时段的推进而下推；预报时段（丰水、平水、枯水期）的选择必须有对应性，即用已知年度枯水期（或丰水期）的地下水位或溶质浓度的资料预报未来年份枯水期（或丰水期）的地下水动态。

5.3 地下水资源管理的优化

地下水资源管理的优化要求在地下水系统模型化的基础上，通过建立地下水系统的管理模型来实现。

5.3.1 地下水资源管理模型

5.3.1.1 地下水资源管理模型包括地下水水量管理模型和地下水水质管理模型。

5.3.1.2 建立地下水资源管理模型必须明确下述内容：

a. 管理区范围和管理期；

b. 地下水资源管理目标：一般地下水资源管理模型所要达到的目标有最佳水位降，最优开采量，最优地下水污染质排放量控制以及最少投资等。地下水资源管理模型的目标可以是单目标管理，也可以是多目标管理，管理目标通常用目标函数表达；

c. 地下水资源管理的约束条件：在实现管理目标的过程中，常受到社会、经济、环境和技术条件的约束，通常将这些约束具体化为水均衡约束，水资源约束，需求约束，环境约束和非负值约束。水均衡约束常以水或盐均衡方程或地下水流状态方程，地下水溶质运移方程等作为等式约束条件进入管理模型；

d. 地下水资源管理模型最终由目标函数和约束条件两部分组成，它可以是线性或非线性的规划模型。

5.3.1.3 解决地下水资源管理优化问题的方法有线性规划，非线性规划，动态规划等。线性规划是目前常用的方法之一。

5.3.1.4 线性规划问题的标准型见式(1)：

$$\text{目标函数} \quad \max Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\text{满足于:} \quad \begin{cases} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \\ x_j \geq 0 (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (1)$$

式中： Z ——目标函数值；

c_j ——价值系数 ($j = 1, 2, \dots, n$)；

x_j ——决策变量 ($j = 1, 2, \dots, n$)；

a_{ij} ——约束方程式系数 ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$)；

b_i ——约束方程式右端项, $b_i \geq 0$ ($i = 1, 2, \dots, m$)。

当目标函数为求最小值问题时, 或约束条件为不等式时, 可用数学方法将其化为上述标准型, 见式 (2):

$$\min Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

设 $Z' = -Z$

$$\max Z' = -\sum_{j=1}^n c_j x_j$$

则

(2)

当用矩阵表示时, 上述线性规划问题的标准型表述见式 (3):

目标函数 $\max Z = CX$

满足于:

$$\begin{cases} AX = b \\ X \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

其中: $C = (C_1, C_2, \dots, C_m)$, C 为价值向量:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}, \text{ A 为约束方程组的系数矩阵 (m} \times \text{n 阶),}$$

一般情况下 $m < n$; m, n 为正整数;

$$b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}, \text{ b 为限定向量; 一般情况下 } b_i \geq 0$$

通常, a_{ij} , b_i 和 c_j ($i = 1, 2, \dots, n$) 为已知常数。

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad X \text{ 为未知数向量};$$

上述模型可采用“单纯形”法求解。

5.3.2 地下水水量管理模型

5.3.2.1 地下水水量管理模型的目标函数应根据管理区内欲实现的具体管理目标而定。

a. 当管理目标为满足不断增长的全区及各亚区供水要求的前提下,控制地下水位进一步持续下降时,模型的目标函数可以是求管理区内各结点水位总降深的最小值。此时,方程(2)中的 Z' 表示结点水位的总降深值(L), c_j 为目标函数的价值系数或加权因子, x_j 为某时段第 j 结点水位降深值 (L);

b. 当管理目标为满足地下水位达到最佳状态的前提下,控制地下水开采量时,模型的目标函数可以是求管理区内总开采量的最大值。此时,方程(1)中的 Z 表示管理区内的总开采量, x_j 为某时段第 j 个单元(结点)的开采量;

c. 当管理目标为满足不断增长的城市用水要求的前提下,采用地下水人工加灌措施以控制和改善地下水位的持续下降时,模型的目标函数可以是求管理区内地下水位回升的最大值。此时,方程(1)中 Z 表示管理区内的总水位回升值, x_j 表示由于地下水人工回灌在结点 j 处引起的水位回升值。

5.3.2.2 上述各目标函数要求的约束条件可以归纳为:

a. 均衡约束:以地下水流状态方程作为水均衡约束的等式约束条件;

b. 资源量约束:管理区需水量之和不得大于当地可能供水指标或管理区各结点的回灌水量之和不得大于总回灌量等;

c. 需求约束:区内各亚区开采量要保证区内工农业和生活用水的要求;

d. 环境约束:为防治某些环境地质问题和生态条件的恶化(地面沉降、岩溶塌陷、土壤盐渍化、植被衰亡、沙漠化以及潜水的蒸发消耗等),地下水位埋深必须控制在某一临界深度;

e. 非负值约束。

5.3.3 地下水水质管理模型

5.3.3.1 当管理的主要目标是为了求得管理区地下水污染质排放的控制量时,其

目标函数应是寻求地下水系统所能容纳的污染质的最大值。此时，方程(1)中的 Z 为管理区内地下水系统所能容纳的污染质的最大值(M/T)； x_j 为污水入渗量(L^3/T)与某污染质的最佳排放浓度(M/L^3)之积。

5.3.3.2 约束条件为地下水流系统状态方程和地下水溶质运移的对流—弥散方程约束，各污染质排放浓度不导致地下水污染的约束。

在考虑约束条件时，必须同时考虑各污染质在地下水系统中的净化率。

5.3.4 其他类型的地下水资源管理模型

5.3.4.1 其他类型的地下水资源管理模型可以有：地下水量—地下水水质联合管理模型，地表水—地下水联合管理模型以及经济管理模型等。

5.3.4.2 地下水量—地下水水质联合管理模型和地表水—地下水联合管理模型的表达形式及其目标函数、约束条件等与前几条内容类同，只是管理模型的目标常采用多目标管理形式。

5.3.4.3 经济管理模型从实际出发可以是多种多样的。

当管理模型的主要目标是求管理期内各开采井或溶质截获井在单位时间内总开采费用为最小时，其线性规划方程(4)为：

$$\min Z = \sum_{k=1}^M \sum_{n=1}^N \frac{c_{k,n}}{(1-r)^n} (S_{k,n} + L_k) Q_{k,n} \quad (4)$$

式中： M ——为抽水井或溶质截获井的总数；

N ——抽水的总次数；

$c_{k,n}$ ——为 k 抽水井在第 n 次抽水时单位抽水扬程、单位开采量的抽水费用(元/ L^4)；

r ——管理期内的利率；

$s_{k,n}$ ——在第 n 次抽水期末， k 抽水井中的平均抽水降深(L)；

L_k —— k 抽水井的初始抽水扬程(L)；

$Q_{k,n}$ ——在第 n 次抽水时， k 抽水井的平均开采量(L^3/T)。

上述方程的约束条件可以是最小需水量约束；最大允许水位降深约束或为了控制溶质运移，在各抽水井或截获井中抽水时的平均速度约束和非负值约束等。

5.3.5 地下水资源政策评价和水分配模型

建立地下水政策评价和水分配模型可采用专家系统(ES)，它是目前常用的有效方法之一。

5.3.5.1 为了对一个地区的地下水资源进行成功的政策评价，就必须使模型尽量

全面、合理的综合专家的知识，包括认真听取各方面专家、学者、政府部门及决策者的管理意图和收集各有关部门历年的研究成果和统计数据等。

5.3.5.2 建立地下水政策评价和水分配模型需收集的信息和数据包括：

- a. 管理区范围、边界条件和管理期；
- b. 管理区各种水资源(降水、地表水、工业重复用水、资源化的污染水和区外引进水等)量及水资源特点；
- c. 管理区水资源开发现状及预测；
- d. 管理区水资源供水和需水现状及预测；
- e. 管理区存在的主要水资源问题分析，包括水资源供需差额，环境生态恶化，水资源管理水平和水价政策的调剂；
- f. 管理区供水方案与开源节流的措施及其投入产出和经济效益的评价等。

5.3.5.3 确立管理区地下水政策评价和水分配模型研究的目标，明确实现目标所需要的约束。

当解决管理区水分配问题时，其目标序的确立可在保证生活用水、工业用水、农业用水和生态环境用水等目标中排出优先序。

实现目标所需要的约束包括可供资源总量的约束，需求量约束，防止水质恶化的约束，投资额的约束以及工作技术可行性的约束等。

5.3.5.4 评价管理区政策分析结果并排出优先序。当解决管理区供水问题并采用开源节流措施时，可在新建或扩建地下水水源地，修建水库，引进外来水源，提高工业用水重复率，发展污灌和节约农业用水等措施中排出优先序。

在考虑优先序的排列时，应综合考虑管理区水资源水量、水质、投资、技术可行性和经济效益等多方面因素后进行排序。

5.4 模型灵敏性论证

5.4.1 在求得优化管理模型后，还必须求得在保持模型最优解不变的条件下，目标函数的价值系数和约束条件的右端项常数值的最大变动范围，其寻求过程即称灵敏性的论证。

5.4.2 在保持模型最优解稳定的前提下，可用灵敏度分析法求模型目标函数的价值系数和约束条件右端项系数的变化范围。

5.4.2.1 目标函数中勺的变化范围的确定。

若目标函数中的第 r 个价值系数 C_r 变化 ΔC_r ，那么检验优化模型是否达到最优的检验数 σ_j 为：

$$\sigma_j' = \sigma_j - \Delta c_r \cdot \bar{a}_{rj}$$

若要求原最优解不变，则需满足：

$$\sigma_j' \leq 0$$

则 Δc_r 的可变化范围见 (5) 式：

$$\max_j \left(\frac{\sigma_j}{a_{rj}} \left| \bar{a}_{rj} \right\rangle 0 \right) \leq \Delta c_r \leq \min_j \left(\frac{\sigma_j}{a_{rj}} \left| \bar{a}_{rj} \right\rangle 0 \right) \quad (5)$$

式中， $\bar{a}_{rj}$ 为初等变换后基变量 x_r 所在行的各项系数值 ($j = 1, 2, \dots, n$)。

5.4.2.1 约束条件中限定量 b_i 变化范围的确定。

若第 r 个约束条件的 b ，变化 Δb_r ，其他条件不变时：

$$b_i = \bar{b}_i + \bar{a}_{ir} \cdot \Delta b_r$$

当要求最优解时，则有：

$$b_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

则 Δb_r 的可变化范围见 (6) 式：

$$\max_i \left(\frac{-\bar{b}_i}{\bar{a}_{ir}} \left| \bar{a}_{ir} \right\rangle 0 \right) \leq \Delta b_r \leq \min_i \left(\frac{-\bar{b}_i}{\bar{a}_{ir}} \left| \bar{a}_{ir} \right\rangle 0 \right) \quad (6)$$

式中： $\bar{a}_{ir}$ 为初等变换后基变量 x_r 中所在列的各项系数值 ($i = 1, 2, \dots, m$)。

5.4.3 灵敏度论证结果可用表格和图解方法表示。

5.4.4 根据灵敏度论证的结果判定地下水管理模型最优解的稳定范围。

a. 根据灵敏度论证结果，求出在保证优化管理模型最优结果稳定的前提下，其目标函数各价值系数的上、下限值和约束条件右端项系数变化的上、下限值；

b. 判定地下水管理模型的可靠程度。

5.5 地下水资源管理优化方案的评价

5.5.1 通过地下水资源管理模型的运转，可得出若干个不同管理期，不同开采、回灌工程布局条件下的地下水开发利用的优化方案。

5.5.2 对各优化方案必须从技术上的可行性、经济上的合理性、生态环境平衡，近期开发利用和远期规划相结合等方面进行综合分析和评价并排出执行方案时的优先序。

5.5.3 提出合理开发利用地下水的结论性意见，包括管理范围，管理期的选定，地下水开采或人工回灌方案的确定以及污水排放工程的设计等。

5.5.4 在选择供水方案时，应以枯水年份做评价时段；反之，在选择疏干方案时应以丰水年份做评价年份。

5.6 地下水资源管理模型的修正

随着地下水资源管理模型的运转，管理区的社会、经济和自然条件以及人为作用等均在不断的发生变化，因此，地下水资源管理模型必须随着时间的推进做定期的修正，以保证模型的精确性和可靠性。

6 管理期内的监测工作

6.1 地下水资源管理期内的监测工作

监测工作是整个地下水资源管理工作不可缺少的组成部分；在地下水资源管理方案中必须包括有监测工作的设计内容：必须在管理方案实施时逐步地建立和完善监测网。

6.2 管理期内监测工作的目的和任务

- a. 监测管理模型运转中的地下水开采动态；
- b. 监测与地下水有关环境地质作用发生和发展的状况；
- c. 监测各种防治地下水开采动态恶化和有害环境地质作用发生与发展的工程、技术措施的效果；
- d. 根据所获得的监测资料，及时修正已有地下水资源管理模型，对地下水开采动态和有害环境地质作用做出新的预报并提出补充防治措施。

6.3 监测项目

6.3.1 地下水开采动态和开采效益的监测项目

6.3.1.1 地下水水位和水量的监测项目。包括各种取水工程和排水工程中的地下水水位、取水量或排水量；自流井和泉水涌出地面以上高度和流量；整个管理区和各个集中开采水源地的地下水开采总量。

6.3.1.2 地下水水质监测项目。一般情况下应包括水质简分析项目，三氮、汞、铬、酚、氰、砷、镉、化学耗氧量、生物耗氧量以及细菌和大肠杆菌等。此外，根据污染源的不同特点，尚应增加相应有毒微量元素、放射性元素以及某些特殊组分的监测项目。

6.3.1.3 地下水开采效益的调查与统计项目。一般包括水井的提水深度和扬程，单位能耗(每抽出 1m^3 地下水所消耗的能量)和总的能耗量：地下水、地表水及其它

再生水源的单位成本和水价；年度内开泵的各类水井数量，因各种原因报废、吊泵水井数量。统计或收集管理区内万元产值的耗水量、水的重复使用率、水质处理费用以及因缺水或水质不良所造成的经济损失等数据。

6.3.2 地下水人工调蓄的监测项目

6.3.2.1 地下水人工回灌的监测项目。一般应包括回灌时间、回灌量、回灌压力；注水井的回扬时间和回扬水量；地面回灌工程的淤积速度；回灌水源；回扬水以及回灌后的地下水水质；回灌费用、回灌区的地下水开采成本。

6.3.2.2 地下水库监测项目。包括地下水库的蓄水标高和贮存水量，地下水库区取水工程的取水量及水库的年供水量，地下水库的补充水源水质和抽出水水质。

6.3.3 有害环境地质作用的监测项目

6.3.3.1 地面沉降的监测项目。一般应包括地面沉降观测标(即地面水准点)和分层沉降观测标的沉降量(包括年沉降量、累计沉降量、年平均沉降速度)，年内的主要沉降时间，沉降漏斗范围、面积、扩展速度，漏斗中心位置和沉降量。

6.3.3.2 地面塌陷的监测项目。一般应包括塌陷点出现的时间、位置；塌陷坑的数目、形状、规模、深度、排列方向；塌陷坑内扰动的岩石名称；塌陷坑涌水、涌沙(泥)、吸水和积水状况。

当管理区内出现与地下水开采有关的地裂缝时，亦应对出现时间、走向、平面形状、宽度、深度、裂缝两侧地面水平和垂直位移距离等现象进行监测。

6.3.3.3 海水入侵(包括内陆劣质地下水体入侵)及其防治设施工作状况的监测项目。主要监测项目包括沿岸地区抽水井、注水井、专门监测井的水位、抽水或注水量及水质。并应在综合分析上述监测资料的基础上确定出海水入侵距离、范围、面积、速度、地下水咸化程度以及防止海水入侵工程的有效性。

6.3.3.4 有害环境地质作用危害性的调查。包括地面沉降、塌陷和开裂等有害环境地质作用对城市建筑物、道路、下水道等市政设施工程和农田、灌渠、抽水井所造成的破坏情况和经济损失；对突发性的塌陷与地裂作用应统计出人员伤亡状况。

对海水入侵作用所造成的危害，一般应观测由于地下水水质恶化而使沿岸地下水源地和开采水井废弃的情况，所减少的淡水开采量，咸化水水质处理费用，使用咸化水给工、农业生产带来的物质经济损失和环境生态后果。

6.3.4 与地下水资源有关环境、生态条件的监测项目

6.3.4.1 与地下水水量、水质形成有关地表水、污水、包气带环境质量、森林—植被覆盖率和地面入渗条件变化情况等方面的监测项目同本要求 4.2.4，4.4.2.3，4.7.11 条规定。

6.3.4.2 与地下水开发和水质有关环境生态条件的监测项目应包括：盐渍化、沼泽化、沙漠化面积的增减情况和变化速度；与地下水位升降或水质变化有关地面植被、农作物长势及产量、质量的增减与变化情况；与水质有关地方病的种类、发病人数、发病率及危害程度。

6.4 监测网的布置

6.4.1 监测工作布置的总体要求

6.4.1.1 凡是为地下水分布参数模型提供数据的观测点，一般应布置呈网状，其范围应覆盖整个管理区。

6.4.1.2 如为集中参数模型提供数据的观测点，则可布置呈监测线或分散监测点的形式。

6.4.1.3 监测线或监测点尽可能具有完成多种监测项目的功能。

6.4.1.4 管理区的垂向上存在多个含水层时，必须布置分层的地下水监测网。

6.4.1.5 监测点应保持相对稳定。

6.4.2 地下水位监测网的布置要求

6.4.2.1 水位监测网应能控制管理区内和边界上的水头分布特征和有害环境地质作用分布地段的地下水位变化规律。

6.4.2.2 当管理区内的地下水流场形态基本保持天然状态时，水位监测线的方向应与地下水主要流向一致，并应穿过主要开采区和补给、排泄区。

6.4.2.3 在已形成地下水位降落漏斗的地区，为控制水位下降漏斗的形态，主要的监测线应沿着漏斗发展的不同方向布置。

6.4.2.4 水位监测线应垂直于地下水人工补给工程与防止海水入侵工程布置。

6.4.2.5 水位监测点的密度，应随地下水水力坡度的加大而加密。在地下水位下降漏斗的中心附近；地下水补排边界附近；有害环境地质作用已发生和可能发生地段应加密水位监测点。在地下水流模型的主要参数区，至少应有一个水位监测点。

6.4.3 地下水水质监测网的布置要求

6.4.3.1 水质监测网应以能控制管理区内地下水化学类型、污染程度、主要污染质和水质模型模拟因子浓度的变化规律和边界上溶质成分的流入和流出量为主要布置原则。

6.4.3.2 水质监测线应沿着地下水流方向或水化学类型、污染程度、溶质浓度变化的最大方向布置。主要的水质监测线必须通过主要污染源、地下水位降落漏斗中心和地下水的主要补给和排泄边界。

6.4.3.3 对于可能构成地下水污染源的地表水体、污水处理场、排污渠道、工业

及生活垃圾堆放场、污水灌溉区等地段均应布置监测点或辅助监测线。

6.4.3.4 水质监测点的密度应以能控制水质模拟因子浓度的分布规律为主要原则。但在每一个水化学类型分区、污染程度分区中至少应有一个监测点。在重污染区和溶质浓度急剧变化地段应适当加密水质监测点。

6.4.3.5 当已掌握管理区内的水质变化规律后，可适当减少水质全分析项目，只需对常规离子和当地的污染质成分进行监测。

6.4.4 地下水水量监测网和地表水监测网的布置要求同本规程 4.7.5，4.7.6，4.7.12 条规定。

6.4.5 有害环境地质作用监测网的布置要求

6.4.5.1 主要的地面沉降监测线应沿着沉降漏斗的长轴方向和横穿可能的沉降地带布置，在垂直方向上可布置少量辅助监测线。沉降监测线除地面沉降观测标(即地面水准点)外，尚应布置少量基岩观测标；当垂向上存在多个开采含水层和软土层时，还须布置少量的分层沉降观测标。

6.4.5.2 地面塌陷(或地裂缝)监测点，由地面位移(水平和垂直位移)监测点和地应力监测点组成。位移监测点应分别布置在主要塌陷漏斗的中心和边缘以及地裂缝的两侧和起止点。地应力监测线一般应沿着区域地应力最大变化方向或垂直于地面塌陷带和地裂带布置。在可能产生地面塌陷和开裂的地区，只需垂直基底岩溶发育带、活动地质构造线、松散盖层厚度与岩性变化界线、地下水等水位线等塌陷、地裂诱发条件变化方向布置 1~2 条位移和地应力观测线即可。

6.4.5.3 在主要的有害地质作用监测线上，应布置能够控制地下水位变化的水位观测井。

6.4.6 水位、水质动态监测井的选择

6.4.6.1 为消除间歇性抽水对观测结果的影响，应尽量选用非开采井和选用常年昼夜连续抽水井作为地下水位监测井；选用常年开采井作为地下水质监测井。

6.4.6.2 尽可能把建立管理模型时的地下水动态观测井保留下来继续使用。

6.4.6.3 在选择地表水水质监测点时，应特别注意水质成分随河段位置与水面位置变化的特点，因此取样点必须准确的固定在河段和水面的某一位置上，而且该取样点的水质成分对于整个河段的河水具有代表性。

6.5 监测的频率、次数和时间

6.5.1 地下水水位监测要求

6.5.1.1 一般情况下可每隔五日观测一次地下水水位。在地下水水位缓慢而匀速变化的非补给期，可间隔十日进行一次观测。水位观测的日期应统一为逢五和逢十的

日期。

6.5.1.2 雨季时期的岩溶水位监测点、洪水期的岸边地下水位观测点应每一至二日进行一次水位观测。

6.5.1.3 每年的丰水期和枯水期应进行两次全管理区的地下水位统测。当有困难时，至少进行一次枯水期的水位统测。统测水位的水井数目至少应大于常年水位监测井数的一倍。

6.5.2 地下水水量监测要求

6.5.2.1 城市及工矿企业供水井的开采量(包括各种地下工程的排水量)最好每月进行一次统计，至少应在年内地下水开采的高峰和低谷时期各进行一次统计，并同时记录开泵时数、能耗量和管理区内的抽水井数目。

6.5.2.2 灌溉机井应在每次灌溉期内进行 1~2 次开采量统计，并同时记录开泵时数、天数、浇地亩数、能耗量和管理区内的抽水井数。

6.5.3 地下水水质监测要求

6.5.3.1 一般要求在每年的丰水期和枯水期各取一次水质分析水样。严重污染区适当增加取样次数，滨海水源地尚应每月进行 1~2 次矿化度和氯离子含量检测。

6.5.3.2 用于进行地下水人工回灌的水源，应每十至十五日采取一次水质分析水样；回灌区的地下水要求每月或每一季度采取一次水质分析水样。

6.5.4 地下水人工调蓄的监测要求

6.5.4.1 各种人工回灌入渗工程的注入水量、水头压力(或水层厚度)应每日进行记录。对于地面入渗工程，尚需观测当地的蒸发量、降水量、气温和回灌水源温度。

6.5.4.2 常年人工回灌区的地下水位应每五日观测一次；间歇性回灌地区的地下水位在进行人工回灌期间应每一至二日观测一次。

6.5.4.3 补给水源的含砂(泥)量清水期每月测定一次；洪水期每五至十日测定一次，入渗池(渠)底的泥砂淤积厚度每年进行 1~2 次测量。

6.5.5 有害环境地质作用的监测要求

6.5.5.1 地面正在沉降的地区，应在每年地下水的高、中、低水位期分别对沉降观测标进行一次水准测量，可能沉降的地区只需在每年低水位期进行一次测量。

6.5.5.2 对于突发性的地面塌陷与开裂现象，应及时进行测量；对于逐渐发展的塌陷与地裂现象可在每年易发时期后进行一次测量。

6.5.6 地表水的监测要求

地表水的水位、流量的监测工作，一般应按国家水文观测部门制定的有关规范进行，但必须有与地下水水位、水质同步监测的数据。

6.5.7 环境、生态条件的监测要求

6.5.7.1 包气带污染质含量和可溶盐含量一般要求在每年的丰水期与枯水期各测定一次，至少应在污染质或含盐量最大时测定一次。

6.5.7.2 包气带含水量的观测，雨季应每一至五日观测一次，旱季可每五至十五日观测一次。

6.5.7.3 污水停滞场与途经地带的入渗量，应根据污水排放量的变化，具体确定监测次数。但至少应在每年排污量最大、中等和最小时各观测一次。

6.5.7.4 有关污水排放量、污水成分、大气成分、降水成分及酸度、地表植被覆盖率、土壤盐碱化、沙漠化、与水源有关地方病发病率等环境、生态条件监测工作，一般应委托环保、气象、农林、卫生部门负责进行。

6.5.8 有关开发、利用地下水经济效益方面的调查要求。

对于 6.3.1.3 条和 6.3.3.4 条要求监测项目每年应进行一次调查统计，也可直接收集利用有关部门的统计数据。

6.6 监测资料的整理

6.6.1 在一个监测年度结束之后，必须对监测的原始记录和有关调查、统计数据进行检查和校核，确定无误后交主管部门验收后归档保存。

6.6.2 应将每年的地下水及环境地质监测数据规范化，在年度监测工作报告提交之前输入有关地下水资源管理的数据库内。

7 成果报告编写与应用

7.1 成果资料整编与审查

7.1.1 在野外调查、勘探、试验和监测工作中取得的资料，必须及时认真地进行编录整理，应参照有关地质档案质量验收办法执行。对野外勘探、试验和监测资料应做出质量评价。当不符合规定要求时，应根据验收意见进行必要的补充工作。

7.1.2 对于重要的地下水资源管理区，应建立专门的地下水及环境地质监测资料数据库。

7.1.3 必须认真作好实际资料的综合分析和整理工作，对本区已有的工作成果和资料进行深入分析，密切结合管理区的生产实际问题，按工作设计要求，提出工作成果报告。要求工作成果内容针对性强，重点突出，论据充分，结论准确，简明扼要，文字与图表密切配合，力求通俗实用。

7.1.4 工作成果包括最终成果报告、阶段性成果报告、专题研究报告和简要报告等。

7.1.5 最终成果由文字报告、附图和附表组成。

7.1.5.1 文字报告的内容包括：

- a. 前言；
- b. 社会经济概况；
- c. 自然地理概况；
- d. 地质和水文地质条件；
- e. 水资源开发利用现状及主要环境地质问题；
- f. 水资源供需分析；
- g. 水文地质条件概化；
- h. 地下水模拟模型(包括数学模型的建立、求解方法和计算程序框图说明、系统识别、误差分析、模拟成果及其评价)；
- i. 地下水资源管理模型(包括目标函数选择、约束条件的确定、优化方法和结果以及灵敏度分析)；
- j. 优化方案的选择及其综合评价；
- k. 对策和建议；
- l. 结论。

7.1.5.2 成果图件及比例尺可结合管理区的具体条件和工作要求而定。一般可编制实际材料图、地下水资源图(含水文地质剖面图和地表水资源内容)、水资源开发利用和环境地质问题现状图、地下水模拟模型成果系列图、地下水资源管理模型成果系列图以及地下水开发利用和保护规划图。

7.1.5.3 成果报告主要附表包括：

- a. 社会经济状况统计表；
- b. 水文地质试验成果统计表；
- c. 地下水和地表水动态观测资料统计表；
- d. 水资源开发利用现状统计表；
- e. 地下水资源管理模型计算机程序；
- f. 地下水资源管理模型成果表。

7.1.6 简要报告是最终成果报告摘要，供领导和规划决策部门使用。其内容主要包括：前言、水资源及其开发利用现状和供需分析、地下水管理模型优化方案和综合评价、对策和建议以及结论。

7.1.7 年度报告、阶段性成果以及专题研究报告的内容，根据工作任务要求，参照 7.1.5 所列的内容，可适当删减和调整。

7.1.8 监测工作成果包括监测工作报告和监测研究报告。

7.1.8.1 监测工作报告是管理区内阶段性(一般为年度)监测工作总结,其主要内容包括:

a. 管理区概况(包括社会经济、自然地理、地质和水文地质、水资源及其开发利用和管理概况):

b. 监测工作综述(包括监测项目、内容方法、工作量以及监测资料的质量评价等内容):

c. 监测资料综合分析(包括地下水资源管理模型预测成果与实测资料对比、地下水均衡分析、地下水开采与环境地质问题之间关系以及发展趋势的预测分析等内容):

d. 结论。

7.1.8.2 监测研究报告是针对地下水资源管理模型运转中的问题,提交的综合或专门性的监测研究成果,主要包括:

a. 对已有的地下水资源管理模型的预测成果的检验和分析;

b. 对已实施的地下水资源科学管理和防治环境地质问题对策和措施的评价;

c. 管理区水文地质概念模型、地下水资源管理模型及管理决策方案的修正和完善;

d. 地下水资源科学管理和保护对策的补充论证。

7.1.9 成果报告的审查与验证。最终工作成果须经承担单位初审后,报请主管部门(或委托单位)组织审查验收。对于列入科研计划的课题工作成果,应按有关科研成果审查验收的规定进行。

年度报告、阶段性报告以及监测工作报告一般可由承担任务的主持单位(队、总站等)组织审查验收,报送上级主管部门和有关单位。

7.2 成果的应用

7.2.1 在工作进行期间,提交的阶段性成果或专题研究成果中,有关地下水开发利用和保护的对策和建议,应随时以简报形式报送有关部门使用。

7.2.2 报告审查验收后,应及时将成果报告送使用单位和有关行政和规划部门;最终工作成果报告应按《全国地质资料汇交管理办法》的规定汇交。

7.2.3 成果报告中的重要对策和建议宜由提交单位的主管部门以文件形式向有关行政领导部门报送。

7.2.4 提交成果单位应积极参与使用单位落实本工作成果重要对策意见的规划工作。

7.2.5 提交成果单位应对工作成果的应用情况、社会、经济和环境效益进行回访调查，提出回访调查简报，指出工作成果应用存在问题和解决措施，报送有关部门，以进一步提高工作成果的应用效果。

附加说明：

本标准由中华人民共和国地质矿产部提出。

本标准由全国地质矿产标准化技术委员会水文地质工程地质分技术委员会归口。

本标准由地质矿产部水文地质工程地质司和长春地质学院起草。

本标准主要起草人王兆馨、林学钰、余国光、廖资生。