

地下水观测计划的管理

(世界气象组织业务水文报告 NO. 31)



水利部水文司
1992

PDG

世界气象组织

业务水文学报告 NO. 31

地下水观测计划的管理

WMO—NO. 705

世界气象组织秘书处

瑞士日内瓦 1989

前 言

地下水是世界上大部分人口的主要供水来源,在许多情况下,它是唯一的水源。

对地下水资源的评估、合理开发和管理,需要全面了解地下环境和决定地下水发生、运动和出水量的水文地质过程。

地下水位和水质的时间和空间变化,可提供地下水库理化特性有价值的信息。为此,对地下水位进行系统的测量,以及为确定水质定期从井中采集水样,长期以来已是许多国家的日常工作,并把它当作国家水文局职责的一部分。然而,将地下水观测计划作为面向管理的信息系统的一部分,倒是比较新颖的。

认识到在这个新方向上指导地下水观测计划的规划和实施的需要,世界气象组织水文学委员会把地下水观测管理的技术报告编写工作,委托给其地下水方面的报告员 Y. Bachmat 博士(以色列)。

在水文委员会第七届会议(1984)上通过的这份报告,是世界气象组织地下水领域中首次公开的出版物。希望它能对所有涉及地下水观测计划的规划、设计和实施提供有益的指导。

我谨代表世界气象组织感谢 Y. Bachmat 博士为编写这份报告付出的努力。

秘书长 G. O. P. Obasi

3/10/85

目 录

前 言

第一章 与地下水有关的观测目的和范围	1
§ 1.1 地下水的管理问题	1
§ 1.2 信息在管理中的作用	2
§ 1.3 地下水管理所需的水文信息	8
§ 1.4 信息产生过程	10
§ 1.5 与地下水有关的观测	13
§ 1.6 数据的价值	13
§ 1.7 小结	15
第二章 地下水观测计划	17
§ 2.1 定义和目的	17
§ 2.2 组成和联系	17
§ 2.3 计划应在什么时候开始?	18
§ 2.4 计划的管理	19
§ 2.5 有关的专业范围	19
第三章 地下水观测计划的规划	20
§ 3.1 规划问题	20
§ 3.2 规划过程的结构	20
§ 3.3 指导原则	21
第四章 可行性研究	22
§ 4.1 数据需求的调查	22
§ 4.2 现有数据和计划的清单	26
§ 4.3 问题识别和提出	27
§ 4.4 备选决策方案检验表	28
§ 4.5 设计方案和可行性测试	29

§ 4.6 可行性报告·····	29
第五章 初步设计·····	31
§ 5.1 初步设计过程·····	31
§ 5.2 地下水观测站网分类·····	32
§ 5.3 地下水观测站网的类型·····	34
§ 5.4 基本站网的初步设计·····	35
§ 5.4.1 站网要素·····	35
§ 5.4.2 一般指南·····	36
§ 5.4.3 输入和输出·····	38
§ 5.4.4 设计准则·····	39
§ 5.4.5 有关的误差和误差的尺度·····	41
§ 5.4.6 站网设计过程的几个步骤·····	48
§ 5.4.7 站网设计的策略和方法·····	51
§ 5.4.8 正式站网设计方法的例题·····	54
§ 5.5 初步设计报告·····	60
第六章 详细设计·····	63
§ 6.1 概述·····	63
§ 6.2 基本站网的详细设计·····	63
§ 6.2.1 观测点的选择·····	63
§ 6.2.2 观测频次·····	67
§ 6.2.3 观测井的设计·····	69
§ 6.2.4 观测井的建设·····	72
§ 6.3 站网的运行·····	74
§ 6.3.1 观测方法·····	74
§ 6.3.2 仪器和设备·····	75
§ 6.3.3 观测步骤·····	79
§ 6.4 维护·····	81
§ 6.4.1 站网的维护·····	81
§ 6.4.2 仪器和设备的维护·····	83

第七章 地下水观测计划的监督和控制	85
§ 7.1 计划执行的控制.....	85
§ 7.2 对站网的监督.....	86
§ 7.3 更新计划.....	87
§ 7.4 更新站网.....	88
第八章 计划的行政管理	89
§ 8.1 机构设置.....	89
§ 8.2 职责.....	89
§ 8.3 地下水观测的行政管理.....	91
附录 概率和统计的一些概念	94
参考文献.....	104

第一章 与地下水有关的观测目的和范围

§ 1.1 地下水的管理问题

通常,地下水和含水层是构成区域水资源系统的一个重要组成部分(子系统),见图 1。此系统与其环境之间的联系,能被利用使多方受益,或也能造成损失。地下水可以作为不同用途的可靠水源,地下水位能用来调节泉流,以及用来控制含水层和相邻地表水体(如河流、湖泊和海洋)之间水和溶解质的交换。含水层也可作为调节供水的地下蓄水水库。另一方面,地下水的过量开采,将导致地面沉降、沿海含水层的海水、泉流量的减少或枯竭以及污染物的聚积。化学物品的使用,在含水层外露部位上废物的堆积和管道或水池中污水的泄漏,都会长期恶化水质。

所有这些以及其他许多与人有关的现象,说明需要控制地下水和含水层。完成这项工作的方法,可以是物理上的(如修建和运行开采和补给地下水的设施)、法律上的(地下水开采和补给、废物处理工厂的位置和运转,可能影响地下水或被地下水影响的经济和工程系统的位置和运转等的法规和许可证)、经济上的(各种有关地下水工程的资金分配、不同取水水位的相应价格和税收等)、组织上的(机构间的职责划分、决策层和决策步骤等)、教育上的(提高知识和国民意识)等等。这都需要各利益集团、专业人员和决策者的共同努力。

如果没有一套严格规定和按时执行决策过程的管理机构和管理方法体制,就不可能期望对地下水子系统的有效控制。管理过程示意图如图 2。管理概念由以下前提构成:

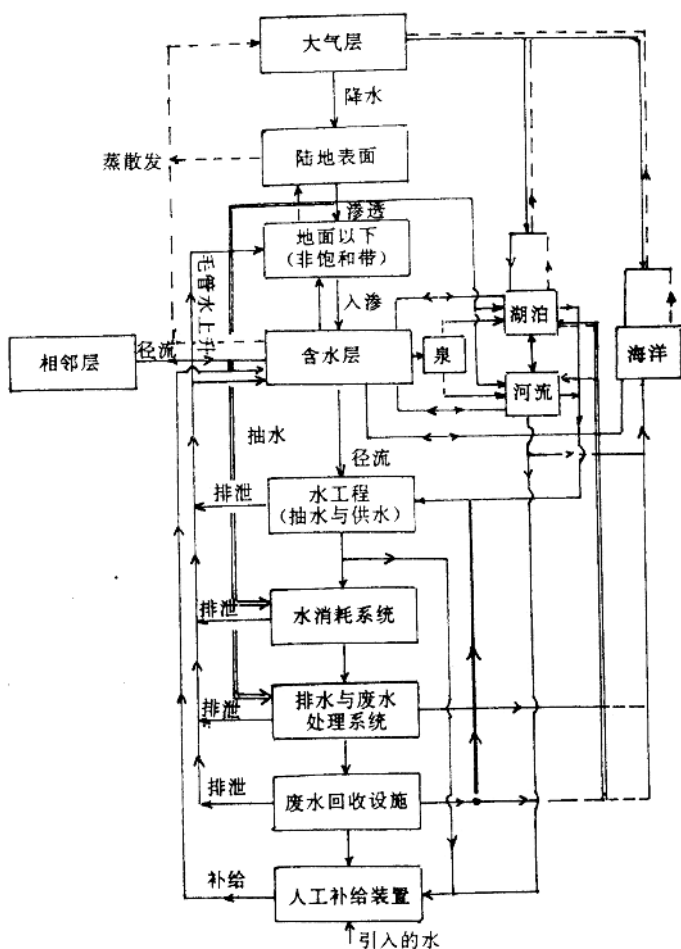


图 1 水系统的概念图

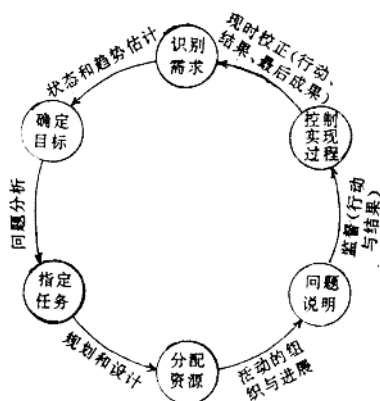


图 2 管理过程示意图

- a. 有作决策的决策者
- b. 决策能影响行动
- c. 行动能影响结果
- d. 按达到预期目标的效果,对结果进行评价和排序。

这些前提的实现,面临严重的困难,因为决策和结果之间的实际联系未知,没有一个客观的、唯一的测定效果的方法,并无法决定效果与决策的准确关系。

尽管如此,由于决策仍然在做出和行动仍然在采取的这一事实,因此,提高管理唯一途径是采用定量的模型来帮助预测其结果,并以多少有点合理的方法作出决策。但是,这会引出另一些问题:是否仅靠这些模型就足以保证比直觉更能改善决策质量?如果不是这样,该做些什么能使情况更好一些呢?,这里,信息能起一定的作用。

§ 1.2 信息在管理中的作用

按照现在的和预期的不同用户的要求,考虑一个地下水含水层系统,用一个状态变量集来表示它的特征。这些变量可以包括地下水

位或压力水头、地下水中各种溶解质的浓度、泉水流量和水质、地下水温等等。每个变量可同时在空间 $\underline{x}$ 和时间 $\underline{t}$ 上变化。

以符号 $\underline{S}$ 表示上述变量的全集,并用 $\underline{S}(\underline{x},\underline{t})$ 表示给定空间域 X 和给定时程 T 内任一时刻、空点的状态。同样,用 $\underline{D}(\underline{x},\underline{t})$ 表示与地下水系统有关的要求的集合。这些要求可以包括欲求的抽水速率、抽出水中欲求的溶解质流体的浓度和状态变量期望值。假定地下水——含水层系统在一定程度上满足这些要求,则能大大有利于整个用户群体。

考虑系统与周围环境的实际和预期的联系(图1),并注意到施加于个人选择自由的一些约束条件,系统管理员(决策者)可确定一个他能控制的变量(或他能采取行动)的容许空间。这包括抽水和补给的速率、地下水提取和补给设施的地点等。记这些行动变量的整体为 $\underline{a}$,用 $\underline{a}(\underline{x},\underline{t})$ 表示系统的控制输入。假定有一种收益的货币度量 U ,它取决于控制输入、系统状态和可利用资源^[7],即

$$U = U(\underline{a}(\underline{x},\underline{t}),\underline{S}(\underline{x},\underline{t}),\underline{D}(\underline{x},\underline{t}),\underline{\beta},\underline{r},\underline{X},\underline{T},\underline{S},\underline{A},\underline{R}) \quad (1)$$

式中, $\underline{\beta}$ 为货币参量集, $\underline{A},\underline{S},\underline{R}$ 分别是行动、状态和资源的可行域。

按照上述前提,实际行动集 $\underline{a}$ 和地下水——含水层系统状态 $\underline{S}$,是以下列因果关系集相互联系的(一个状态变量对应一个关系):

$$f(\underline{S}_0,\underline{S},\underline{a},\underline{e},\underline{\alpha},\underline{b}) = 0 \quad (2)$$

式中: $\underline{S}_0 = \underline{S}(\underline{x},0)$,即系统的现时或初始状态

$\underline{e}$ = 不可控的外部输入变量集,可以是本质上随机变量(如降雨),也可以是外部可控的变量集(如灌溉强度、地表水体的水位等)

$\underline{\alpha}$ = 系统的几何和物理参量集(如面积、深度、孔隙率、河道弯曲度、渗透率、弥散率)

$\underline{b}$ = 边界条件集

决策集 $\underline{d}$ 和实际行动集 $\underline{a}$ 之间亦有关系,即

$$\underline{a} = \underline{g}(\underline{d}) \quad (3)$$

联合(1)——(3),得到

$$\left. \begin{aligned} U &= U(\underline{J}, \underline{d}) \\ \underline{J} &= \{ \underline{f}, \underline{g}, \underline{S_0}, \underline{e}, \underline{b}, \underline{\alpha}, \underline{\beta}, \underline{D}, \underline{X}, \underline{T}, \underline{A}, \underline{S}, \underline{R}, \underline{r} \} \end{aligned} \right\} \quad (4a)$$

式中, $\underline{J}$ 是关系、参量值和变量值的全集, 若已知实际收益函数, 则 $\underline{J}$ 对确定决策集 $d(\underline{x}, \underline{t})$ 的真值是充分和必要的。原则上, 用式 (4a) 可以反求决策集 $\underline{d}$, 从而导出预期的收益, 即

$$\underline{d} = \underline{d}(U, \underline{J}) \quad (4b)$$

因此, 最优决策集 $\underline{d}_{opt}$ 导致最大收益, 即

$$\underline{d}_{opt} = \underline{d}(U_{max}, \underline{J}) \quad (5)$$

由于决策者在决策时对 $\underline{J}$ 和 U 的了解既不完整也不确切, 只能使用估计值和函数 $\hat{U}$ 和 $\hat{J}$ 来获得形式上的最优决策集 $\hat{d}_{opt}$, 即

$$\hat{d}_{opt} = \underline{d}(\hat{U}_{max}, \hat{J}) \quad (6)$$

根据定义 $U_{max} \geq \hat{U}_{max}$, 因而

$$U[\underline{d}_{opt}(\underline{U}_{max}, \underline{J}), \underline{J}] - U[\hat{d}_{opt}(\hat{U}_{max}, \hat{J}), \underline{J}] = I[\hat{d}_{opt}(\hat{I}), \underline{I}] > 0 \quad (7)$$

$\underline{I} = (\underline{J}, U)$ 是关于系统及其性能的未知完整信息, $\hat{I} = (\hat{J}, \hat{U})$ 是决策者所用的不完整估计值。

$\underline{I} - \hat{I}$ 是信息缺口或估计误差, $I[\hat{d}_{opt}(\hat{I}), \underline{I}]$ 是以不完整信息为基础作出的、形式上的最优决策而产生的机遇损失或失去的收益。

值得注意的是, 形式上的最优决策, 因基于任意选择的不完整信息 $\hat{I}$, 而与完整信息 $\underline{I}$ 无关, 这就甚至可能得到负的收益, 见图 3。

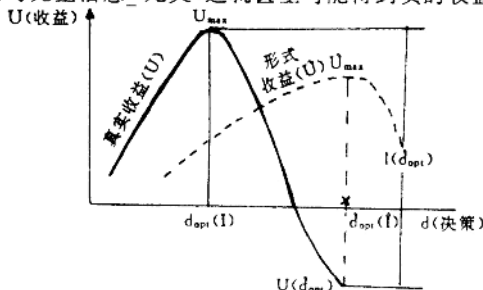


图 3 真实的和形式的收益和损失

要减少在不完整信息基础上所作最优决策的损失,可通过减少信息缺口 $\underline{I} - \hat{I}$ 来实现。信息缺口的某些组成部分,可能是考虑实用上的方便而造成(如有关变量的有意省略、简化的函数形式和易处理的计算算法的选用)。然而,造成信息缺口的主要原因是有关下列各项的不确定性或无知:

- (a) 系统 $(X, \underline{f}, \underline{\alpha}, \underline{b})$ 的配置和性能
- (b) 系统的现时状态 $(\underline{S}_0)$
- (c) 未来状态、行动和资源的可用空间 $(\underline{S}, \underline{A}, \underline{R})$
- (d) 对地下水系统的未来外部物理输入 $(\underline{e})$
- (e) 未来的要求 $(\underline{D})$
- (f) 收益函数 (U) 或损失函数 (l) 和货币参量 $(\underline{\beta})$
- (g) 决策和行动之间的关系 (g)

以上各项都依赖于超越决策者控制或认识之外的自然和人为因素。因此, $\underline{I}$ 对决策者来说,表现为随机量的集合(常称作“自然状态”)。与信息缺口 $\underline{I} - \hat{I}$ 有关的预期损失也是随机的,必须把它转换成能最小化的非随机度量。这种度量的一个例子,是与估计值 $\underline{I}$ 有关的预期损失或风险:

$$R(\hat{I}) = E_{\underline{I}} l[\underline{d}_{\mu}(\hat{I}), \underline{I}] = \int l[\underline{d}_{\mu}(\hat{I}), \underline{I}] f(\underline{I}) d\underline{I} \quad (8)$$

式中, $f(\underline{I})$ 是 $\underline{I}$ 的(先验)概率密度,由决策者在其先验知识的基础上假定。使先验风险 $R(\hat{I})$ 最小,可产生先验最优估计值 $\hat{I}^*$ 和相应的最优决策 $\underline{d}_{\mu}(\hat{I}^*)$ 。

设有一个随机变量集 $\underline{Y}$, 它提供了有关 $\underline{I}$ 的某些信息,并能观测到。令 $\underline{y}(n) = (\underline{y}_1, \underline{y}_2, \dots, \underline{y}_n)$ 是 $\underline{Y}$ 的 n 个独立观测值的样本。决策者能用这些观测值来获得 $\underline{I}$ 的修正(后验)概率密度 $f(\underline{I} / \underline{y}_{(n)})$, 相应的(后验)风险为⁽²⁷⁾:

$$R(\hat{I} / \underline{y}_{(n)}) = \int l[\underline{d}_{\mu}(\hat{I}), \underline{I}] p(\underline{I} / \underline{y}_{(n)}) d\underline{I} \quad (9)$$

现在,我们得到了后验最优估计 $\hat{I}^* / \underline{y}_{(n)}$ 和相应的后验最优决策

$(\underline{d}_{opt}(\underline{I}^* / \underline{y}_{(n)}))$ 。 $\underline{Y} = \underline{y}_{(n)}$ 经观测后的风险减少值是:

$$\Delta R / \underline{y}_{(n)} = R[\underline{d}_{opt}(\underline{I}^*)] - R[\underline{d}_{opt}(\underline{I}^* / \underline{y}_{(n)})] \quad (10)$$

样本容量越大,风险减小也越多。这样,可以得出结论:应用与系统预期状态有关的信息,就可从减小风险方面改进管理决策。显然,不可能知道真实的状态,所得到的信息总是不完整的,并还有随机的机遇损失。然而,在系统的可能状态全部范围内,通过观测对不完整信息进行修正,则仍能减少这种损失的预期值。

数据、信息和管理之间的相互关系,见图4;它表明合理的决策是输入信息的持久响应,这些信息必须不断更新,以减小信息缺口改变所造成的风险。

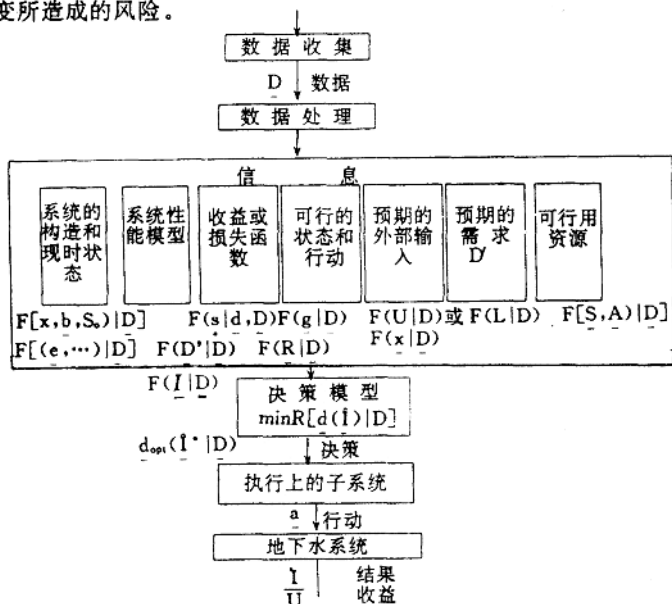


图4 数据、信息和管理之间的关系
(F 表示概率分布)

§ 1.3 地下水管理所需的水文信息

如图 4 所示,与地下水有关的合理决策,是根据几种信息作出的,这些信息是水文的、技术的、经济的和生态的信息等。现在的工作是研究水文信息,并密切注意它与其它几种信息的关系。

水文信息的内容和详细程度,随着各用户在决策过程中的具体要求而变化。这样,制定一个区域性水资源系统长期管理计划所需的水文信息,将在信息范围、详细程度和表现形式上,远远不同于用来选择单一水井的位置和出水能力、或用来判定废水处理工厂选址规模所需的水文信息。然而,对许多用途和用户来说,水文地质信息的某些基本项目常常是需要的。它们是:

(a) 系统的构造

I. 在所考虑的区域内含水层和弱含水层的边界、分区和连接

II. 在所考虑的区域及其边界上的水平衡项目以及地下水水源和出口位置(地面和地下的,自然和人工的、点和面的、现在和将来的)

III. 与水质要求有关的地下水中溶解或悬浮成分的质量平衡项以及相应的水源和出口位置

IV. 如上所述,那些与用户需求有关的或与水量或水质预报有关的任何地方的热平衡项。

上述信息项目的内容和表现形式,必须与它们在决策过程中的用途相符。然而,考虑到要合理做出决策,必不可少的是信息表现形式之一应是数学形式(即数据集及/或公式),包括各种物理分量(含水层、弱含水层、水源及出口等)实际和预期出现的概率分布以及它们在给定坐标系内位置的概率分布。

(b) 系统的现时状态及其趋势

下列变量的现时值和趋势:

I. 指定日期、在所考虑的区域每个含水层的地下水位或压力水头(或水压和/或埋深)

I. 含水层、水源和出口径流中的各种成分浓度
II. 用户感兴趣的、与地下水水质有关的温度和其它参量(如 pH, S. A. R.)

IV. 地下水和外来液体接触面和/或过渡带的位置, 这些外来液体或与地下水不混合(如石油)或与本身近似(如海水)

V. 给定的近期地下水平衡项(补给率、流入量、流出量、泵出量)

VI. 如同上述, 考虑质量平衡项。

这部分信息需要用来检查各类问题和评估其原因。它提供了预测地下水系统未来状态的初始条件。

这些信息必须表示成数学的形式(即公式和数据集)。对每个变量, 根据选定的概率分布, 作出其统计参数(均值和方差)的空间分布。

(c) 系统的未来状态

I. 预测系统未来状态的数学模型, 即

* 作预测下列各项要素用的状态转换方程的闭合系统——地下水头或压力(水流模型), 地下水各种成分的浓度(质量传输模型), 地下水温(传输模型中的 h), 其它水质参量, 地面沉陷(含水层变形模型)。

* 各个模型参量的最佳估计值图和估计误差图(如用方差表示)。

* 估计值的边界条件及其误差。

* 估算各状态变量预测误差概率分布用的数学模型。

* 天然水源的水、水的组成成分和热量、未来补给率的概率分布图。

* 从其它外部水源来的上述各项。

I. 给定初始条件和边界条件下, 系统未来状态的预测, 它是开采和/或补给(按预定规则)的函数, 并受地下水系统状态变量预定规则的限制。

§1.4 信息产生过程

产生前述信息的过程有三个主要步骤:数据采集,基本的(或初步的)数据处理和高级的(或二次的)数据处理。

此过程的流程图见图5。数据采集的第一阶段是收集野外数据。收集到的数据必须做记录和提交,以便作合理性检验。这个阶段称为滤波阶段,产生两个输出:接收的数据,把它放入基本数据文件中;拒收的数据,发现为可疑的或错误的(这些数据转回到前期的校正阶段,或最终放弃)。把数据放入基本数据文件内,完成了数据采集阶段。

产生面向用户的信息过程的第二步,是基本的(或初步的)数据处理。这包括做一些变换(如总计、内插、外延、求平均),从基本数据文件中得出另一些信息。得到两类输出:

(a) 一般感兴趣项(如水位、泵出量、补给量、含盐量)的数据报告(现在的和历史的),它们表现成不同形式(如表格、草图、地图);或是对特殊用户来说,补充了一些统计分析的数据报告。

(b) 模型数据文件的输入数据。这是通过分类、总计、处理和显示基本数据而产生的,其结构适应于地下水系统的一个特定数学模型。

信息产生过程的第三阶段(最后阶段)是高级的(或二次的)数据处理。二次处理即把从模型数据文件中检索的数据,通过地下水系统的数学模型和一适当的算法,转换成供比较选择的决策结果的预测值(模拟),或转换成优先选用的决策(最优化)的建议。

预测地下水水量(如降深、水头、入流、出流、贮量变化)的模型,是一个建立在地下水水量平衡基础上的水流模型。

地下水含盐量或特定成分浓度的预测,还需要基于质量平衡上的质量传输模型。热传输模型可预测温度和热贮量变化,而地面沉降模型可预测陆地表面的变形。本质上,每个模型都是表达为给定(实

