

· 专论与综述 ·

地下水环境监测系统的设计

黄满红, 顾国维

(同济大学环境工程学院, 上海 200092)

摘要:介绍了地下水环境监测的现状、特点和设计地下水环境监测系统的目的,详细阐述了地下水环境监测系统的站位布设、采样频率和时间分配、监测项目,以及地下水采样井的布设。

关键词:地下水;环境监测系统;设计;统计优化法

中图分类号:X84 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-2009(2003)01-0013-03

The Design about Environmental Monitoring System of Underground Water

HUANG Man-hong, GU Guo-wei

(Environmental Engineering School, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The state of environmental monitoring of underground water and the design of environmental monitoring system were introduced. The site location, sample frequency and time, monitoring items and the location of monitoring well were discussed.

Key words: Underground water; Environmental monitoring system; Design; Statistic optimization

地下水是水资源的重要组成部分。近年来,一方面多种形式的人类活动使各种污染物增加和扩散,铺设不渗水或半渗水的路面又使自然地下水的补给速度降低,从而导致地下水中污染物的集中^[1];另一方面,随着工农业的发展和人民生活水平的提高,需水量不断增加,地下水严重超采。因此,加强地下水的管理和保护,重视地下水环境监测系统的设计具有重要意义。

1 地下水环境监测的现状

1974年,美国安全饮水法令与资源保护和恢复法令引起了人们对地下水环境监测的关注,促使环境监测机构开展地下水监测。Everett和Kazmann对地下水监测站网的设计做了一些研究工作,并初步将GIS系统应用于地下水监测系统^[2]。1985年,美国已建成2000多个地下水水质观测点,26个州开展了城市地下水污染的监测工作。1998年,EPA的春季地下水水质监测报告中,31个州提交了监测数据^[3]。德国Karlsruhe市也于1993年建成地下水监测网。

在我国,地质、水利、环保部门都开展了地下水

监测工作。地质部门于20世纪中叶在全国组织了地质普查和图件绘编工作,为供水、环境地质、工业、农业的基本建设提供了技术支持,20世纪80年代开始实施城市地下水要素的动态监测。水利部门于20世纪60年代开展地下水动态监测,对地下水水位、水量、水质和水温等要素全面监测,经过多年努力,已建成布局较合理、完善的地下水监测井网,至2000年,共布设地下水监测井12223眼,其中基本监测井10222眼,重点监测井1851眼,专用井942眼,开采井30眼。环保部门也开展了省控、市控地下水井点的例行环境监测,有的地区还开展了监督性监测、污染事故仲裁监测等。城市卫生填埋场有一套针对渗滤液的监测网点。

2 地下水环境监测的特点

地下水按埋藏条件可分为上层滞水、潜水和承压水,按贮存介质可分为孔隙水、裂隙水和岩溶水。地下水监测的特点是:水层埋于地下,必须通过专

收稿日期:2002-10-28;修订日期:2002-12-06

作者简介:黄满红(1978—),女,湖南双峰人,在读硕士生,研究方向:水污染控制。

设的观测井或现有水井采样; 地下水流动缓慢, 受污染的含水层水质变化滞后期长; 污染物在地下水层的扩散情况与水文、地质条件密切相关; 深层地下水与空气隔绝, 采样时应保证样品不与空气接触^[4]。河流的主要空间坐标是长度, 宽度与深度在水质变化上所起的作用较小。由于地下水流动缓慢, 流程很难预测, 要预先指定其主要空间坐标很困难, 而设立地下水水质监测站的成本又较高, 因此, 地下水监测常常依靠数学模型帮助说明和内插结果^[5]。开展地下水监测前, 应详细调查水文、地质情况, 正确布设地下水水质监测井, 确定监测深度和监测时间, 选择适当的监测设备和监测方法。

3 地下水环境监测系统的设计

3.1 目的

设计地下水监测系统的根本目的是以最少的费用获取空间和时间上有代表性的水质参数的信息, 在一定费用、人力和物力条件的约束下寻求完成监测任务的最合理监测点位布设和采样时间分配^[4]。根据地下水监测的特点, Loaiciga 等^[6]认为, 监测系统设计的目的就是提出能代表监测目标的数学模型, 并寻求目标函数的最优化。

建立最优地下水水质监测系统应考虑两个主要目标。一个目标是在统计学意义上描述区域地下水水质特征, 寻找特殊区域的典型水质类型, 预测该区水质的短期和长期发展趋势; 另一个目标是监测主要污染因子, 圈定各污染因子的范围和等值线, 寻找可能的污染源^[7]。一般采用标准统计技术实现第 1 个目标, 采用地质统计学方法、模拟法或方差减少法实现第 2 个目标。

3.2 站位布设

地下水监测井点的布设必须以同一类型的水文地质单元为基础, 重点突出含水层, 考虑城市污染段的泄漏源, 反映地下水污染的变化趋势。具体原则是: 布井前根据水文、地质部门调查的监测区地下水类型和水文地质单元的分区情况, 掌握区内的含、隔水层划分, 再详细调查现有监测井的成井资料(包括井管结构、地层岩性、成井深度、层位、抽水实验等), 从中选择适合监测层位的水井作为观测井点, 以保证监测资料的代表性和可比性。一般宜突出城市主要供水层, 因为该供水层常为居民生活饮用水层, 与人体健康息息相关, 而潜水层埋藏浅, 受污染影响较大。经验证明, 主要供水层的布

孔数应不少于 5 眼, 而一般含水层只需布设 3 眼, 已能了解地下水质的平面分布状况^[8]。在布点时, 还应结合地下水的开采量、流速、水位等动态信息, 以及地层饱气带的岩性、结构、毛细性质等因素, 确定污染泄漏的范围。城市地下水动态面可划分为补给、污染、排泄 3 个带, 布点时应重点突出污染带(对于潜水, 污染带指易受污染的浅层地下水富水带; 对于承压水, 污染带一般以城市地下水降落漏斗的中心为界), 补给带和排泄带仅作一般控制^[9]。

上述这种经验与模拟相结合的地下水监测点布设多为定性布点, 带有一定的盲目性, 控制性和代表性不强。因此, 科学布点优选很重要, 它是使监测工作走向标准化、规范化的基础^[10]。目前常用的有统计优化法^[4], 该方法综合考虑了各个监测井的污染物检出概率、检出浓度、各种污染物对健康影响的权值、受影响的人口数等因素, 在总监测经费的约束条件下, 探求达到高效监测所需的井位数及位置分布, 适用于具有足够多监测井并已积累了多年监测数据的区域重新调整、优化监测点位, 确定必需的监测井位数及位置。

优化模型的目标函数 A_{\max} 是检出概率、标准化组分浓度、健康与生态影响权值、接触人口数 4 个因素与决策变量的乘积函数。检出概率 (P_{ij}) 指污染物 j 在 i 井的检出概率, 数值上近似等于污染物 j 在 i 或 i 附近井点检测到的频率; 标准化组分浓度 (\bar{X}_{ij}/M_j) 中, \bar{X}_{ij} 指检出的平均浓度, M_j 指污染物 j 的水质标准浓度; 健康与生态影响权值 (W_j) 可按 j 污染物的健康和生态影响大小指定; 接触人口数 (N_i) 可以根据水源井位所服务的人口数确定, 人口密度大的地区 N_i 值较大, 该模型 N_i 值等于井 i 供水的人口数。上列 4 项因素的积称为信息系数, 假定信息系数可以采用线性插值法求得。决策变量 (y_{ij}) 表示在井 i 是否要监测污染物 j , 若监测, 则 $y_{ij} = 1$, 若不监测, 则 $y_{ij} = 0$ 。

按约束条件, 使目标函数 A 达到最大。约束条件包括费用约束和采样约束, 费用约束指监测规划的总费用应在可能获取的总经费额度范围内, 采样约束指根据样本估计总体均值的置信区间。

在显著性水平 α 的条件下,

$$n = [(u_{\alpha/2})^2 \cdot V(\bar{X}_{ij})] / E_j^2 \quad (j = 1 \dots n)$$

式中: n ——需要监测 j 污染物的井点总数;

$u_{\alpha/2}$ ——标准正态偏差(当 $\alpha = 0.05$ 时, $u_{\alpha/2} = 1.96$, 当 $\alpha = 0.10$ 时, $u_{\alpha/2} = 1.64$)

645) ;

$V(\bar{X}_{ij})$ ——全监测网各井点测定的污染物 j 的平均值 \bar{X}_{ij} 的方差, (mg/L)²;

E_j ——污染物 j 的最大允许监测误差, mg/L。

按照以上条件可得出:

$$A_{\max} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij} \cdot \bar{X}_{ij} \cdot W_j \cdot N_i \cdot y_{ij} / M_j$$

约束条件 1:
$$\sum_{i=1}^m y_{ij} (u_{j/2})^2 \cdot S_j^2 / E_j^2 \quad (j = 1 \dots n)$$

约束条件 2:
$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_j \cdot y_{ij} \leq B$$

约束条件 3: $y_{ij} = 0$ 或 1 (对所有 i 和 j 而言)

式中: C_j ——采集并分析一个样品中 j 污染物的平均费用;

B ——可能获取的总监测经费。

在求解时, 往往为了满足约束条件 2, 而得不到满足其他约束条件的可行解, 在地下水监测中, 也常遇到如何在有限的费用条件下确定监测网内有效的站位数及位置分布的问题。这时, 可对 3 个参数 B 、 E_j 、进行灵敏度分析, 求出一个可行解的空间, 在这个坐标空间内确定一个能够实施的监测规则^[4]。

3.3 采样频率和时间分配

地下水质的变化速度较慢, 可适当减少采样频率。在缺乏历史数据的地区, 可以根据当地的水文、地质特点设定一个采样频率, 然后比较第 1 次和第 2 次监测结果, 调整时间间隔; 在积累了大量历史数据的地区, 可以借鉴地面水监测频率的确定方法^[4]。

通常每个采样期至少采样监测一次。对饮用水源监测点, 要求每个采样期采样监测两次, 时间间隔至少为 10 d; 对有异常情况的井点, 应适当增加采样监测频次^[11]。例如卫生填埋场的渗滤液对地下水层的浸入常常受气候和季节影响, 在特殊时段应适当加大采样频率。

每年应在丰水期和枯水期分别采样测定, 有条件的地区可分 4 个季节采样, 已建立长期观测点的地区可按月采样监测。

3.4 监测项目

根据 GB/T 14848 - 93《地下水质量标准》, 地下水的监测项目主要包括 pH、总硬度、溶解性总固体、铁、挥发性酚类、高锰酸盐指数、氨氮、硝酸盐、

亚硝酸盐、硫酸盐、氯化物、氟化物、铅、镉、锰、汞、砷、铬、总大肠菌群等。

3.5 地下水采样井

地下水采样井底一般应比监测的地下水位至少深 3 m, 井底最好位于地下水层底部。建井时应选用非水溶性材料, 否则会干扰水质分析, 例如镀锌管会影响水样中重金属指标的分析。采用 ABS 和 PVC 塑料井管可以减少水质分析的误差。应避免采用有机粘结剂连接管道, 否则会影响水中有机质分析^[4]。

4 结语

地下水的动态变化是一个比较漫长的过程, 只有通过准确、长期、系统的地下水动态监测, 不断地积累资料, 正确地分析计算, 才能了解其变化规律。进一步完善地下水监测井网, 重视和加强地下水监测资料的分析工作, 对地下水资源的合理开发利用、管理和保护具有重要意义, 可为科学管理地下水资源提供依据。

[参考文献]

- [1] 李红卫, 吕 谋. 城市区域地下水非点源污染监测系统[J]. 青岛建筑工程学院学报, 2000, 21(1): 35 - 39.
- [2] HUDAK P F. 地理信息系统在地下水监测网设计方面的应用, 钟华平译[J]. 世界地质, 1995, 14(2): 77 - 82.
- [3] ANZZOLIN A R, SIEDLECKI M T. The value of ground water monitoring[J]. Ground Water Monitoring & Remediation, winter, 2001, 21(1): 36 - 37.
- [4] 陆雍森. 环境工程手册(环境监测卷)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998. 95 - 97, 183 - 185.
- [5] SANDERS T G, WARD R C, LOFTIS J C, et al. 水质监测站网设计, 金立新, 顾大辛, 陈怀英, 等译[M]. 南京: 河海大学出版社, 1989. 68 - 70.
- [6] LOAICIGA H A, CHARBENEAN R J, EVERETT L G, et al. Review of ground water quality monitoring network design[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1992, 118(1): 11 - 37.
- [7] 仵彦卿. 介绍一种地下水水质监测网最优化方法[J]. 国外地质与勘察, 1993, (1): 39 - 45.
- [8] 成泽宾. 浅议地下水的环境监测管理[J]. 环境监测管理与技术, 1993, 5(2): 4 - 6.
- [9] KEELEY A A, KEELEY J W, RUSSELL H H, et al. Monitored natural attenuation of contaminants in the subsurface: Applications[J]. Ground Water Monitoring & Remediation, summer, 2001, 21(1): 136 - 137.
- [10] 赵万有, 赵剑鸿, 关连徽, 等. 沈阳市地下水监测点优选方法研究[J]. 环境保护科学, 1993, 19(4): 38 - 42.
- [11] 奚旦立, 孙裕生, 刘秀英. 环境监测[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995. 28.