

岩溶充水矿床系统的信息反馈及治理对策问题**

崔光中 朱远峰 覃小群 (地矿部岩溶地质研究所)

岩溶充水矿床的评价和治理历来是个难题,根本的原因在于岩溶水系统的结构特点是由复杂的岩溶含水介质所决定,故人们对它的输入(补给条件)和输出(排泄方式和量)的转化,对它的调蓄功能难以掌握,以致一些岩溶大水矿床的水量评价和治理长期存在较大的分歧。

本文就系统论角度,将岩溶充水矿床作为一个可控系统。通过对“系统”输出信息反馈分析,探讨岩溶水系统的输入状态和系统结构的方法,针对“系统”的输出信息,通过对治理岩溶充水矿床(包括解决排泄矛盾)对策的分析,探索建立最优控制的思路。

一、岩溶充水矿床系统的信息反馈

矿山开拓工程一旦开展,岩溶水系统包括内部结构和外部环境关系,便发生变化,大量的人工排水使原有系统的输出(方式和排泄量)急剧变化,也改变天然状态下的结构稳定,其中一个重要现象反映在地下水位降低引起的岩溶塌陷,又引起降水、地表水及浅部第四纪含水层大量向矿坑充水。据长江流域67处塌陷的调查统计,岩溶塌陷引起矿坑排水量的增加一般为2~5倍,这是可控系统中一种典型的正反馈效应(恶性循环),即经输出信息(响应)反馈后,“系统”的输入对输出影响增大,使系统的运动加剧发散。

塌陷加剧排水量不利于矿山开拓,但塌陷本身是输出信息的反馈。通过对塌陷的研究,可以从它的时、空分布状态、规模、强度和周期性等信息,分析岩溶水系统的输入特征(补给条件)和系统结构(岩溶发育规律)。例如湖南煤炭坝煤矿是国内有名的大水矿床,但对补给水源问题长期未得解决,通过近年来对主要充水岩溶层茅口灰岩上覆的岩溶化红层(钙质砂砾岩)远距离的塌陷观测分析,说明东部和北部大范围内的区域性双重结构的底板进水构成较稳定的补给水源。类似的有湖南恩口、斗笠山、桥头河,湖北猴子洞,江西云庄、涌山、鸣山、桥头丘煤矿,湖南水口山锑铅矿,湖北铜录山、叶花香新桥铜矿,大广山铁矿,江西花亭锰矿等等,最远塌陷点延长达30km(桥头河),单个矿区塌陷点可达5800个(恩口)。大量的塌陷所提供的反馈信息,使人们对“岩溶水系统”的认识大大深化。

二、信息反馈及系统识别

虽然矿山排水属人工系统,但输出信息反馈加剧输入信息是受自然规律支配,而非人工设计的控制系统。但当人们根据自控系统的能控性和能观测性,对这些自然界和人工造成的系统输出、入信息的传递、转换进行分析研究,就可以逐步将这个未知的“黑箱”打开。

利用暴雨资料反求岩溶补给区。

美国德莱斯(S. J. Dries 1983),根据密苏里州东南部两个岩溶大泉在历次暴雨期进行流量观测结果,采用反褶积法求得岩溶水系统的核函数(特征函数——瞬时单位过程线),利用已求得的特征函数重现输出信息,根据不同单位线的计算误差,判断补给区的位置和范围。其精度与示踪实测所圈出补给区比较,误差仅为2.6~6.06%。

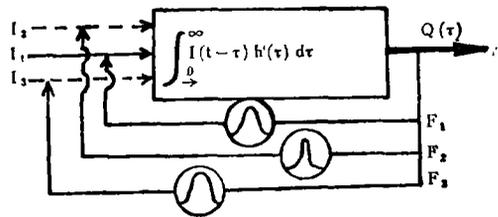


图1 岩溶水系统反馈求特征函数示意图

I_1 、 I_2 、 I_3 ——孤立暴雨(脉冲)的输入量, I_1 为用示踪方法确定的, I_2 、 I_3 为假定。 $Q(\tau)$ ——由输入的暴雨(脉冲)引起系统的响应(输出的洪水波)。 F_1 、 F_2 、 F_3 ——由 I 、 Q 反褶积求脉冲响应(瞬时单位过程线)函数、 $h(\tau)$ 过程。

值得指出的,核函数是反映线性系统输入与输出信息交换的特征函数,德莱斯针对岩溶泉水对降雨有快速反应,采用多年观测的典型暴雨(孤立场雨)资料作为输入脉冲,将每场雨产生的泉水洪峰作为输出响应,由于所研究的泉域面积大且暴雨的非均匀分布,产生输入信息的差别,用反褶积方法可求出不同的单位线。这就有可能通过多次识别,选择出实测和计算误差最小的单位线(核函数)从而达到判别补给区和范围的目的。

利用场雨和连雨资料反求岩溶水系统中的快速流与慢速流郭纯清等⁽²⁾吸取法国帕洛克(H. Paloc)在Hortus试验场建立关于大气降水经过包气带垂直入

渗入入饱水带排泄的单元块模型的思路,即认为当有效降水进入包气带和饱水带两个亚系统时,各有一个滞后时间(t_a, t_o),它体现岩溶水运移转换的一个综合性参数。分别导出岩溶水系统中快速流(管洞介质)和慢速流(裂隙介质)两个子系统流量和水位的数学模型。

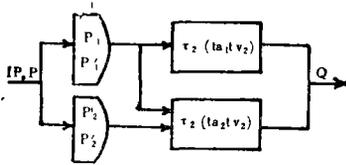


图2 岩溶水系统快速与慢速流子系统图方框
(据郭纯青)

$$Q(t) = f(A, IP(t), P_1(t), P_1, P_1', P_2, P_2', t_{a1}, t_{a2}, t_{o1}, t_{o2}, t)$$

$$\text{并有 } P > P_1', IP > P_1, P_1 \geq P_1' > P_2', P_1 \geq IP_1 > P_2$$

四种输入(约束)状态。

其中 τ_1, τ_2 ——分别为管洞介质快速流及裂隙介质慢速流的子系统代号;

IP_1, P ——连续降雨及一次降雨时有效雨量(M);

t_{a1}, t_{a2} ——快速及慢速流子系统包气带的时间滞后常数(天);

t_{o1}, t_{o2} ——两个子系统饱水带的时间滞后常数(天);

P_1, P_2 ——连续降雨时快速及慢速流子系统的门槛雨强(米);

P_1', P_2' ——一次降雨(场雨)时两个子系统的门槛雨强(米);

A ——降雨补给面积(M^2)

这类模型尽管仍属较粗糙的集中参数模型,但在计算机模拟调参数时,如充分利用已有多种信息,仍能较好地重现峰丛山区岩溶水的排泄动态特征。它有两个值得注意之点,首先在输入信息上,不但使用场雨(暴)资料,而且还将连续降雨作为不同信息都用上,这就大大丰富了输入信息量、增加对系统识别的能力。其次是这种方法考虑到“系统”内的状态变量,(快慢速流系统中的包气带和饱水带的时间滞后常数 t_a, t_o),作为综合的水文地质参数反求,这样有助于深入的了解“系统”的结构。

三、某些复杂岩溶充水矿床系统的评价问题

复杂的岩溶水系统的结构,往往相伴着多样和多

变的补给条件和排泄方式。要进行简化的局部性水量评价不大可能,甚至经过大量的地质勘探和矿山开拓,已对“系统”结构有了较详细的了解的矿山还必须将“系统”有效地概化为模型,用系统分析进行定量描述,才能正确作出评价。焦作矿区的水量评价一直是个难题,多年来矿山排水不断增加,“系统”的总输出已达 $7 \sim 9$ 米³/秒,整个区域地下水位呈现三个阶段式的下降,说明矿山水系统处于不断调整的补与排的“动平衡”状态。当矿区水位继续强制性的下降,是否能出现更大流量的新平衡,这个“系统”的输出(相对稳定的)极限流量到底有多大?显然有不同的意见(11或 $15 \sim 25$ 米³/秒),这是由于对“系统”的输入量的潜力的判断有较大的分歧,对矿区补给区范围(从2300, 1700到1300公里²)有不同认识。有人*提出对“系统”采用“量出为入”的原则来评价矿区天然资源的补给量,在补给条件一时未能搞清的情况下,这是一种值得重视的探索性意见。所以说值得重视,因为对焦作矿区矿山总排水量有多大,还缺乏精确测定,按各生产矿的水泵房实际排水量的累加有 $9 \sim 10$ 米³/秒,但据实测只有 $4 \sim 5$ 米³/秒的流出量,(出境水量)加上工农业用水也只有 7.7 米³/秒,是否有 $1 \sim 2$ 个流量成为回归水(反馈量)重返矿井?“系统”是否有其他被遗漏观测的输出信息?作为“大系统”的输出总信息,必须在输出方式、输出强度及变化、输出反馈量等方面都有总体的控制。

另一方面,所以认为有值得探索的问题,是因为仅研究矿区目前的排泄量(“系统”的输出),而不进一步研究补给条件及其可能变化,显然是不能解决上述所提到“系统”的潜力问题。从方框图3可提供方向性的意见。

对焦作这样具有半开放性边界条件的矿区,有必要研究下列问题,才能作出全面的供排水量评价。随着水位降低:

- (1) 山区及山前两侧分水岭是否可能迁移(特别是沿着东西向构造带)(τ_1^2)?
- (2) 山前两侧冲洪积扇反补给的可能(τ_2^2);
- (3) 河流入渗量和侧向补给的变化(R_2);
- (4) 直接补给区(有直接水力联系的山区)调蓄能力的变化(τ_1^1);
- (5) 矿区水源的重分配及主要通道的变化($\tau_2 - \tau_1$)($\tau_2 - \tau_1$)。

如图3所示,随着“系统” Q_1 部份的人工输出增

*河南省地矿局水文地质一队等,河南省焦作地区地下水资源评价报告

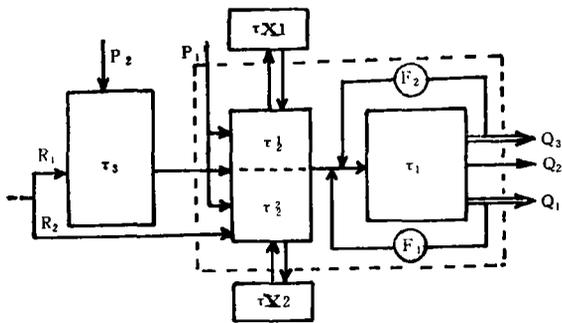


图3 岩溶水系统(焦作)整体均衡示意图

τ_1 ——矿区岩溶水子系统; τ_2^1 ——矿区山前冲积扇含水子系统; τ_2^2 ——直接补给区中奥陶统灰岩(子系统与矿区有直接水力联系); τ_3 ——间接补给区寒武、奥陶纪灰岩子系统; $R_1 R_2$ ——季节性 & 常年性河流入渗补给; $P_1 P_2$ ——降水有效补给; Q_1 ——矿区工农业供水及矿坑抽排水; Q_2 ——矿区岩溶水系统的露头天然(趋于零)排泄; Q_3 ——矿区岩溶水系统侧向潜流排泄; F_1 ——人工抽排水引起“系统”的信息反馈; F_2 ——岩溶水侧向排泄量变化引起的信息反馈; $\tau X_{1,2}$ ——由信息反馈影响直接补给区外围包括山前冲积扇及构造断裂相联系的外系统。

强, 其反馈信息 (F_1 和 F_2) 使直接补给区 (τ_2) 的输入发生变化和重新分配, 也就是对岩溶水系统的输出入功能、结构和环境关系的研究问题。

四、关于岩溶水矿床治理对策问题

对岩溶水矿床评价的目的是为了治理, 使矿产资源能充分合理的开发利用。当岩溶水系统的特性和功能一旦已被掌握, 我们的任务就是要对这个系统进行最优控制。对于岩溶大水矿床, 有一个共性的问题就是如何解决供排水的矛盾, 实质上是水资源合理开发和保护问题。仍以焦作矿区为例, 这个岩溶水(奥陶纪灰岩山前构造断块)系统, 面临的是煤炭要充分开采(将被奥陶灰水威胁的深部大煤和下层煤尽可能开发利用), 生产要安全, 水资源要保护(大疏干后可能破坏调蓄功能)又要能充分利用, 成本要低, 经济效益要大。首先这属于多目标决策问题, 因为存在互相对立的目标同时也涉及到大系统的优化问题。

在考虑建立管理模型, 对岩溶水系统进行最优控制时, 以下几个可能构成多目标函数的约束条件的根本问题必须注意到。

1) 矿区岩溶水系统在不同疏干(降压)水平时最大输出量(指非脉冲性的相对稳定输出); 此时水量来源, 应不大量减少或袭夺相邻地下水系统资源。

2) 矿区岩溶水系统在继续强排水位下降时, 应

保持多年调蓄功能, 不要使蓄水的地下库容全部处于疏干状态。

3) 矿区岩溶水位不断降低时, 反馈信息不会严重产生不良的环境水文地质、工程地质影响。

4) 为求得安全的水位降低值, 采取的有效措施对策: 在直接补给区进水口及强径流带(等水位线低水槽部位)堵截和疏导, 强排与灌浆降压不同治理方法组合, 堵、导、排水的成本和效益又构成前述约束条件的约束。

显然, 每一组约束条件都将构成多个非劣解的集合, 不可能求得单一的绝对最优对策。因此有必要考虑分解处理, 采取多“阶段”最优协调(决策)过程解决。它的最终结果(偏爱解)应该是在最大可能的截取本系统的自然资源基础上, 求得大区域的水资源(地表和地下)的统一合理分配, 并使本矿区的煤水资源都得到充分的利用。

结 语

1. 岩溶地下水系统可视为具有自控功能的系统, 我们要利用“系统”具有可观测性的特点, 尽可能取得“系统”各方面的信息, 通过信息反馈进行系统识别, 深化对岩溶地下水系统的结构和功能的研究(包括对水源的输入、出的传输和转换功能、调蓄功能)将“黑箱”转化为“白箱”。

2. 根据“系统”具有可控性的功能, 要在研究和掌握“系统”的结构、功能和环境的基础上建立“系统”的管理模型, 求得为治理和开发岩溶矿床地下水的最优对策。

3. 系统理论(包括系统论、信息论和控制论)不仅是一种科学技术方法, 而且是科学思维的规律, 以系统论作为指导理论, 将使岩溶矿床水文地质同其他学科一样, 能大大深化和发展, 并逐步形成本学科的现代化体系。

参 考 文 献

- [1] 钱学森等, 系统理论中的科学方法与哲学问题, 1984年清华大学出版。
- [2] 汪应洛编, 系统工程导论, 1982.1. 机械工业出版社。
- [3] S.J. 德莱斯, 用作岩溶大泉补给区指示标志的线性单位——响应函数, 1983·Vol.61 (Journal Hydrology)。
- [4] 郭纯清 时坚 裴建国, 岩溶水快速流与慢速流的模拟, 1985, 中国岩溶, Vol.4.