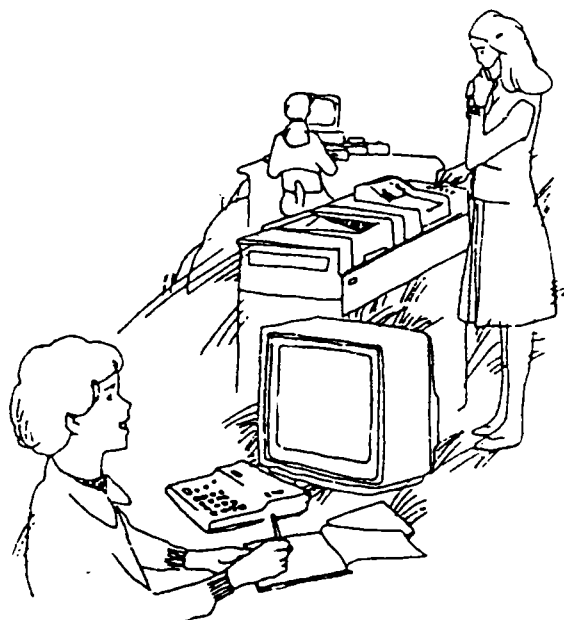




利用计算机 控制系统优 化水泵运行

□ 长沙市自来水公司/邱振华 罗岳平编译

用于供水生产的能耗往往在地区总能耗中占有很大比例。1992年,匹兹堡市用于泵水的电力消耗高达330万美元,几乎占整个城市用电总量的25%。为了降低能耗,匹兹堡市供水部门在提高配水系统运行效率的同时,积极开展优化水泵运行的研究,以期实现节能生产。

降低水泵入配水系统的能耗在生产上将是不可能的。一些学者用控制理论探讨这个问题,有的单位还进行过优化水泵开停的实践。但到目前为止,人们尚未设计出控制配水系统高效运行的合适软件,需要加强这方面的研究。

生活与工业用水量的日变化幅度大,如果出现用水量突然增加的情况如消防用水,则用水量变化更为复杂。一个优化水泵运行的理想控制系统应具有良好的灵活性,能及时对用水量的日、星期、年度变化作出反应,这要求软件系统根据用水量迅速生成开停泵计划表。

大多数自来水公司都未配备监测水系统运行状态的装置,这给实现水泵运行适时控制带来困难。根据生产现状,匹兹堡供水部门设计了一套用于选择水泵工作状态的软件,以便于实现水泵运行的适时控制。

1 匹兹堡市供水系统概况

匹兹堡市供水系统包括1个源水泵站、1套净水设备、10个配水泵站、7个水库、8个水池。一个典型的配水泵站拥有几台水泵,通过单独或同时启用,将水泵入水库、水池或直接输入配水系统。在匹兹堡市,这样的水泵共43台。

净水设备的机泵流量为 $1.57 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$,源水设计流量 $3.785 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,但实际只利用了65%。源水经处理和消毒后,贮于一个滤后水库内,由2个泵站从中取水并将水逐级输入配水系统。由操作控制中心调度各远程泵的运行。

2 系统参数的设置

2.1 数据预处理

收集整理供水生产中积累的数据并将其输入控制系统。本系统利用的数据包括:(1)各水泵的工作曲线;(2)系统内各水库和水池的容量;(3)电力价目表;(4)水泵在一年调试期内的运行记录(主要是开泵台数、开泵时间和流速、运行时间);(5)一年调试期内各水库和水池水位的小时记录;(6)每个泵站的月电耗情况。

对上述数据进行处理时,必须保证数据准确可靠,不能将有疑议的数据纳入分析。

2.2 需水量估计

获得配水系统中各子系统需水量信息是进行优化选择的重要条件。根据需要,对几个用水区的用水量进行了估测。将每个用水区的用水量定义为一个结点,其值通过质量平衡分析获得。

计算表明,各区用水量变化很大且不连续,难以作为优化选择提供指导,应用时需对原始数据进行技术处理后输入软件。

2.3 水泵运行成本计算

水泵电耗取决于水流量和水头压力。以水头流量为基础,计算保持一定水流所需的电能,并据此估测水泵在一段时间内的运行成本。由于水泵只在需要时开启,因而水流和能耗关系是间断式的。为方便计算,本系统采用Zessler和Shamir建立的二次函数关系式,分别核算各泵站的用电量。

2.4 利用过去的记录数据计算成本

根据泵速、系统水头压力和效率计算电耗。由于用电管理部门每月收费包括泵站内照明及其他用电,计算电耗与实际电耗总有出入,如果两者相差在10%以内,则认为是可接受的。

以过去的记录为基础,计算了各泵站的电耗。结果发现,各泵站的计算电耗与实际支付电费相差

不超过 10%，这表明所采用的计算方法是合理的。

2.5 水泵运行成本的优化分析

以收集到的水泵工作曲线、每个配水区的用水模式、电耗结构等资料为基础，建立控制水泵运行的优化模型。利用这个模型，根据用水量变化和水库贮水能力调节水泵运行，使其效率达到最高，从而降低运行成本。

$$\text{最低运行成本} = \sum_{j=1}^{JT} \left[\sum_{N=1}^{NT} U_j(N) \times P(X_j(N) + W_j \times \max NP(X_j(N)) \right] \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{式中 } X_{\min j}(N) \leq X_j(N) \leq X_{\max j}(N) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$X_{\min i}(N) \leq V_i(N) \leq V_{\max i}(N) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$V_i(N+1)(N+1) = F[V_i(N), X(N), D(N)] \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$V_i(1) = V_i(\text{初始}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$V_i(NT+1) = V_i(\text{最终})$$

各表达式中 I = 水库序号 ($1, 2, \dots, IT$), J = 泵站序号 ($1, 2, \dots, JT$), N = 时间间隔指数 ($1, 2, \dots, NT$), $D(N) = D_i(N)$ 的向量, $D(N)$ 表示 N 时间内 I 水库所在区的需水量, $F(\cdot)$ = 与维持恒定水流有关的水泵泵水量、水库体积和需水量函数, $U_j(N) = N$ 时间内 J 泵站的单位电费, $U(N) = V_i(N)$ 的向量, $V_i(N)$ 表 N 时刻 I 水库的体积, $W_j N = N$ 时间内 J 泵站的供水电费, $X(N) = X_j(N)$ 的向量, $X_j(N)$ 表 J 泵站在 N 时间内的配水量, 用 $V_i(1)$ 表示水库初始体积 (V_i 初始), $V_i(NT+1)$ 表水库终体积 (V_i 最终)。

3 软件结构

这套命名为 OPWAD 的软件系统采用由菜单驱动模块结构(图 1)。4 个模块分别是(1)系统参

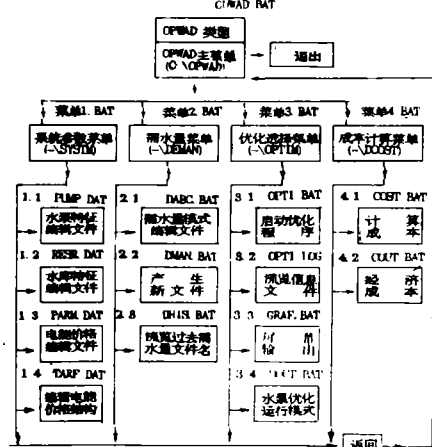


图 1 OPWAD 菜单结构

数模块。包括编辑所有水泵特征、水池、水库水位和贮水能力、电耗情况等的各种文件。调用此模块可对系统各参数进行更新替换。(2)需水量模块。具有生成各泵站需水量文件的功能，也可从键盘输入需水量文件。由于每天的送水量相对稳定，可建立一个模式文件，使用时只作适当修改，简化操作。(3)优化模块。输入系统参数和需水量数据后，系统对水泵运行进行优化选择，其工作流程见图 2。(4)成

本计算模块。此模块非系统运行所必需，但能够在一天或一段时间内对水泵运行成本进行计算，便于与电力部门收费标准比较。

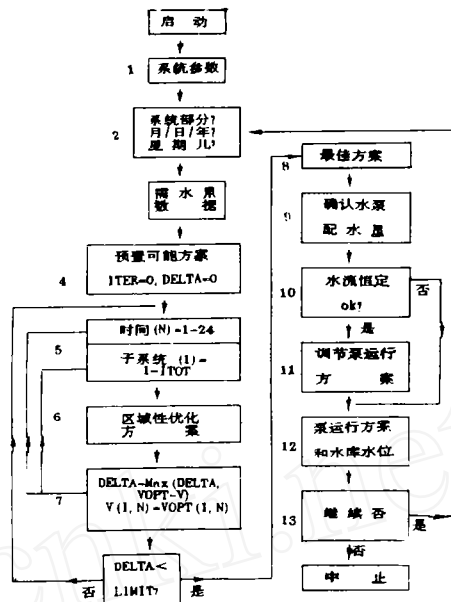


图 2 优化选择流程图

4 软件在生产中的应用

系统设计完成后，在负责匹兹堡市东部供水的 Brilliant 泵站进行了调试。

优化选择以小时为单元，泵站输水量通过屏幕以最适量形式显示。为方便比较，设计图表列举需水量在 24 小时内的变化及优化选择结果。操作人员将上述内容打印出来并以此为依据决定开停泵。

5 系统的经济效益分析

调试结束后，模拟分析了采用本系统可能带来的经济效益。结果表明，优化控制水泵运行后，各泵站可节省电耗 16.6%—27.8%。1989 年，匹兹堡市支付泵水电费 142800 美元，而计算电费只有 113900 美元，电耗成本下降了 20%。

优化控制降低电耗的原因有两个。首先，为了保证足量供水，操作人员尽量使水库水位保持在一个安全深度，这需要在水库水输配出去后立即开泵补充。尽管这种策略能够确保安全供水，但往往导致在高峰期用高价电，增加电费支出。优化水泵运行则在一定程度上节省这种支出，降低所付电费数额。其次，充分发挥了水库的贮水功能。在用电平峰期将水库注满，减少了电费开支。

6 小结

系统软件调试表明，根据电费价目单控制水泵运行，充分利用水池、水库的贮水能力能有效降低水泵运行电耗。从匹兹堡市的实际操作看，计算机优化选择速度快，并能够通过重新预置系统和修改控制方案适应用水量的突然变化。如果能准确预测用水量，则系统产生的经济效益更明显。