

供水管道漏损安全预测方法

段焕丰 俞国平

(同济大学国家污染控制与资源化研究重点实验室,上海 200092)

摘要 为解决供水行业中供水管道漏损安全性问题,本文建立了供水管道漏损安全预测模型,并引入了遗传算法对其求解。该方法为供水管道质量监测提供了实用技术支持。

关键词 供水管道;漏损安全性;预测模型;质量监测

0 引言

供水管道特别是经使用一段时间后的管道,很容易因各种情况发生漏损的质量问题。建立精确的供水管道漏损预测模型,将为管道质量监测提供技术支持。

1 预测模型的建立

1.1 常用模型

引起管道漏损的因素很多,有人为的因素,也有外界的因素^[1]。一般来说,这些因素主要包括:管道材质问题;管道接口质量问题;管道防腐程度;承受物理压力大小;温度变化幅度;土质沉降及其荷载;施工质量影响等等。如果将些影响因素作为自变量,而将管道漏损事件作为因变量,则这些自变量与因变量之间都存在着相关性(可能是线性关系,也可能是非线性关系)。在实际工作中,应用文献[1]中的预测模型可以发现其偏差较大,这主要就是因其预测模型的线性化引起的。

文献[1]中的自变量与因变量之间的相关性分析模型如式(1):

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}} \quad (1)$$

式中: x_i 为第 x 种导致漏损原因变量第 i 年导致漏损事件的记录值; $\bar{x}$ 为第 x 种可导致漏损原因变量 n 年导致漏损事件的年平均值; y_i 为第 i 年管道发生漏损事件的记录值; $\bar{y}$ 为 n 年管道发生漏损事件的年平均值; r_{xy} 为相关系数,其值在 $-1 \sim 1$ 之间。

式(1)中,相关系数 r_{xy} 绝对值的大小反映出两

变量间相关性的程度,其绝对值越大,两变量间的相关性越好,正负号则表示因变量 y 随着自变量 x 的增减变化,即变化方向是否一致。

文献中[1]中以管道运行压力、埋深和管径为主要原因变量,给出的简单预测模型如式(2):

$$T = \beta_0 + \beta_1 p + \beta_2 H + \beta_3 D \quad (2)$$

式中: p 为管道运行压力; H 为管道埋深; D 为管径; T 为管道投入使用后首次产生漏损时间; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ 为回归系数。

在实践预测过程中,发现模型(2)的精度较低,甚至不准确。因此,笔者对此进行了分析并得出更为精确的模型。

1.2 改进模型

经多次实践预测,发现文献[1]中对原因因素与事件之间的相关性研究出现了偏差。经过国内大量的管道漏损实例发现,该事件不仅与管道运行压力、管道埋深和管径以及材质之间有明显相关,它与管道的防腐情况相关程度也很高,而且对于特别的一些地区,与温度的相关性甚至超过了其他的因素。

另外,在预测模型(2)中,仅仅假设原因变量与事件之间是简单的完全线性的关系。笔者对此对每个原因变量都作了细致研究分析,发现它们之间的关系较为复杂。所以,模型本身存在了缺陷。现提出新的模型如式(3)所示:

$$T = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i R_i^{\alpha_i} \quad (3)$$

式中: $\beta_i (i = 1 \dots m)$ 为回归系数; m 为原因变量(自变量)个数; $R_i (i = 1, 2 \dots m)$ 为各个原因变量; $\alpha_i (i = 1, 2 \dots m)$ 为指数系数。

在新模型(3)中,将因变量与原因变量(自变量)之间的关系定为非线性关系(多元多次关系);而且

将上述所有的原因因素都考虑了进去,这样使得预测模型更加准确。下面将介绍该模型参数的求解方法。

2 模型的求解

2.1 建立目标优化模型

模型(3)中不再是简单的线性关系,而是较为复杂的多元多次关系。所以,在求解模型参数 (α, β) 时较原模型复杂。由于参数的精度对模型的精度有非常大的影响,并且数据信息量相当大,所以,准确地求出模型的参数也是精确预测的关键之一。现建立优化模型如式(4):

$$\begin{aligned} \min F(\alpha, \beta) &= \sum_{i=1}^n |T_i^p - T_i^0| \\ &= \sum_{i=1}^n \left| \left(\beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j R_j^{\alpha_j} \right)^p - T_i^0 \right| \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $F(\alpha, \beta)$ 为优化目标函数; n 为漏损事件记录总数; T_i^0 为漏损事件记录值; T_i^p 为漏损事件预测值;其余符号意义同上。

2.2 优化算法

本文引入遗传算法(GA)对模型进行参数优化求解。遗传算法是一种全局优化方法,其效率和精度都非常高。遗传算法的一般原理主要有:根据待优化的所有参数进行编码形成数值系列的遗传个体群;根据给定的参数取值范围随机生成父代遗传群体;根据群体个体所代表的参数值进行目标函数值计算;按照一定的规则进行群体的适应度评价;进行选择、交叉和变异等遗传操作,得到新的群体进行上述循环操作,直至满足精度要求即找到最优解^[2,3]。

遗传算法的优化模型的计算流程图如图1所示。

3 模型应用

3.1 模拟实例及其优化结果

根据华东某城市供水管道的管理信息系统关于管道漏损的记录信息,其管道基本为灰口铸铁管,由于具体数据的保密性,此文记录数据省略。

鉴于上述混和遗传算法的特点尤其是在计算速率和收敛性上的优越性,本例通过VC++程序语言进行界面编程^[4],将数据信息利用数据库技术进行处理。所以本例优化可以将该城市所有的管道漏

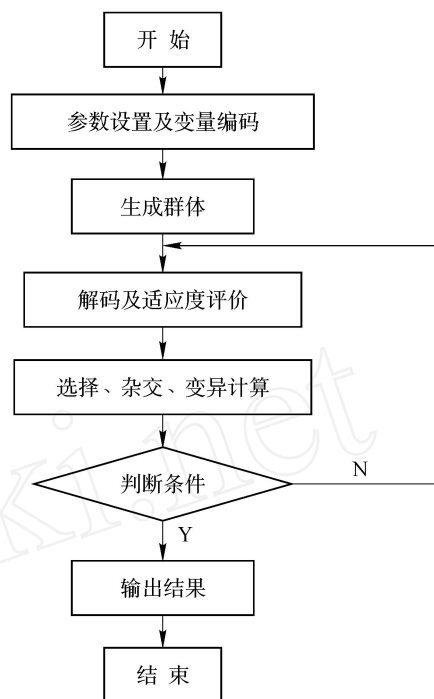


图1 遗传算法计算机流程图

损记录充分利用,也能充分体现出模型应用的普遍性。

在本例中,遗传算法的参数选用方面,计算精度为0.01,编码方式采用浮点数编码,群体规模 n 取200,优秀个体数 s 取30,选择算子采用比例选择方法,交叉杂交算子 pc 取1.0,变异算子 pm 取0.10。

根据上述模型及其优化方法,经过大概迭代300次左右,可以得到如下管道漏损预测模型如式(5):

$$\begin{aligned} T &= 8939.142 - 317.242(\Delta t)^{0.893} \\ &\quad + 1782.125(f)^{1.655} - 0.041(p)^{1.047} \\ &\quad - 981.536(H)^{0.773} - 0.062(D)^{0.992} \end{aligned} \quad (5)$$

式中: T 为管道投入使用后首次产生漏损时间(d); Δt 为平均日温差($^{\circ}\text{C}$); f 为管道防腐检查平均年频率(次/年); p 为管道运行压力(Pa); H 为管道埋深(m); D 为管径(mm)。

3.2 模型检验

以该市某主要的管线发生管道漏水为实例对上述模型进行检验。投入使用时间:1979年6月8日;漏水发现时间:1996年1月19日。该区日平均温差为7.82 $^{\circ}\text{C}$,该管道系统平均防腐检查周期为5年。
(下转第52页)

```
CHis_querySet.m_strFilter = m_query;
// m_query 为在数据库中查询记录的条件
CHis_querySet.Requery();
while (! CHis_querySet.IsEOF())
{
    ...
    CHis_querySet.MoveNext();
}
CHis_querySet.Close();
```

同样,对其他的功能也建立相应的基于 CRecordSet 的子类。

6 用户界面

考虑到操作员水平的多层次,采用 VC++ 的视图标签属性页,用户界面尽量简洁、灵活,易于操作。菜单项的管理能进行电表档案管理、操作员权限管理,设置项能进行时段、初始值、电价设置。视图显示属性页的每个标签页对应实时显示、历史查询、电费查询、用电分析、负荷曲线和打印报表功能。

7 系统的特点

1) 实用性与先进性相结合

本系统开发的目标首先考虑实用性,要促进管

理水平上等级,出效率。由于系统一旦投运,往往就需要长期使用,因此在强调实用性的同时,要考虑到系统的先进性。

2) 实时性与安全性相结合

系统定时采集多功能数字电表的电能信息,并存入实时数据库管理系统中,能实时显示用户的用电信息。设计的历史数据库容量大,保证存贮的数据安全、不丢失。

3) 效率性与可靠性相结合

采用了微型计算机控制和数据库管理系统,能够对用户的用电信息进行集中和动态的监测管理,提高了效率。此外,微机数据采集和运算速度快,剪度高,保证系统的可靠性。

该系统设计完成后已在现场试运行,证明运行效果良好。

参考文献

- [1] 黄伟,付银秀,王鲁杨. 电能计量技术[M]. 北京:中国电力出版社,2004
- [2] David J. Kruglinski Scot Wingo. Visual C++ 6.0 技术内幕[M]. 北京:北京希望电子出版社,1999
- [3] 夏帮贵,郭胜. SQL Server 数据库开发入门与范例解析[M]. 北京:机械工业出版社,2004
- [4] 白树忠,南新志. 变电站综合自动化实时数据库管理系统的研究与开发[J]. 电力系统及其自动化学报,Vol. 14 No. 3 Jun 2002

(上接第4页)

年,即频率为 0.2 次/年,管道直径:DN800,埋深情况:1.55m,管道压力 20.6kPa。将上述资料代入式(5),则预计管道安全使用时间 T 为:

$$T = 4476.41 \text{ (d)}$$

实际安全使用时间 T_0 为:

$$T_0 = \text{漏损日期} - \text{投入使用日期} = 1999 \text{ 年 } 6 \text{ 月 } 28 \text{ 日} - 1987 \text{ 年 } 3 \text{ 月 } 26 \text{ 日} = 4475 \text{ (d)}$$

其误差为: $\Delta T = |4475 - 4476.41| = 1.41 \text{ (d)}$

3.3 结果分析与讨论

由上述检验结果,可以看出,该模型精度很高,完全能够满足供水行业管理模式的要求。但是,该模型没有考虑到材质的影响,而是对不同材质的管道需要建立不同的模型进行预测;并且像施工质量等这类无法定性定量的不定因素也没有考虑进去,只要在施工中严格把握,其影响基本不大。所以,本文所考虑的诸多因素的模型仍然具有较高的实

用性。

4 结束语

对供水管道漏损安全性的预测对供水行业具有很重要的经济意义。其预测的准确性直接影响整个供水系统的安全性,同时也是管道实时监测的理论基础。所以本文提出的预测模型具有重要的实践意义。

参考文献

- [1] 张宏伟,牛志广,陈超等. 供水管道漏损预测模型研究[J]. 中国给水排水,2001,17(6) 7~9
- [2] 金菊良,丁晶. 遗传算法及其在水科学中的应用[M]. 成都:四川大学出版社,2000
- [3] 周明,孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京:国防工业出版社,1999
- [4] 王育坚. Visual C++ 面向对象编程教程[M]. 北京:清华大学出版社,2003