

· 管网设计与运行 ·

供水管网漏失检测技术现状与进展

舒诗湖¹ 何文杰^{1,2} 赵 明¹ 高金良¹ 袁一星¹ 赵洪宾¹

(1 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090; 2 天津自来水集团有限公司, 天津 300040)

摘要 针对供水管网漏失检测主要依靠仪器、缺乏系统方法的现状, 综述了国内外管网漏失检测仪器设备及主要技术的发展, 重点介绍了基于供水管网水力模型校核的漏失检测新技术的原理及其应用。认为必须运用系统工程方法解决大规模供水管网漏失检测这个难题。

关键词 供水管网 漏失检测 模型校核

Current application and recent development of leakage detection technologies in water supply networks

Shu Shihu¹, He Wenjie^{1,2}, Zhao Ming¹, Gao Jinliang¹, Yuan Yixing¹, Zhao Hongbin¹

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Tianjin Waterworks Group Co., Ltd., Tianjin 300040, China)

Abstract: Based on reviewing of equipments and technologies for leakage detection in water supply networks both nationwide and worldwide, it is undoubted that the current leakage detection mainly relied on equipments while few systematic methods were developed or applied. Due to these, a new leakage detection technology based on water supply network system model calibration was presented in this article. Conclusion was proposed that systematic methods were quite necessary to detect leakage in large-scale water supply network, which had become more demanding in applications.

Keywords: Water supply networks; Leakage detection; Model calibration

我国 20 世纪 90 年代前建成的输配水系统管材多数不达标,特别是 60~70 年代建造的城市供水管网,水压普遍低于 0.2 MPa,而在 80 年代以后,随着工业的发展、人口的增长,许多供水单位在原来管网的条件下,将出厂水压提高到 0.4~0.6 MPa,这使旧管网的漏失现象日趋严重,加之多数供水企业未采取有效的管道保护措施,管网运行不合理,导致陈旧的管网不堪重负,漏损严重。不仅严重浪费经过净化的优质水资源,也浪费了电能等重要能源,而且使管网水质通过漏损点受到外源污染,导致饮用

水卫生安全隐患。随着全球水资源日益不足、供水生产成本日渐高涨以及能源紧缺不断加剧,世界各国都把给水管网的漏失问题作为一项重要的课题来研究,这已成为全世界供水科学技术的重要组成部分,国际水协(IWA)召开的每届国际会议上都将漏失问题列为一个重要专题来探讨。发达国家非常重视漏失及其控制的研究工作,很早就开展了漏失检测技术及设备的研究和开发工作,并成立了相关学术研究机构。例如英国水研究中心(WRC)发表专题报告来论述漏失控制的内容、方法和对策;美国供水协会(AWWA)在 1976 年成立了漏失检测和计量委员会;日本水道协会(JWWA)对漏失问题进行了长期研究和实践,并取得了较好的漏失控制效果。

国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAJ08B03);黑龙江省自然科学基金重点项目(ZJ G0503)。

近年来,发展中国家也很重视管网漏失及其控制工作,并结合管网的实际情况对漏失控制进行了研究。

1 检漏仪器的发展

常用的漏失检测设备主要有:听漏棒、听漏饼、电子放大听漏仪、噪声自动记录仪和相关仪等。目前自来水公司主要采用电子放大听漏仪,其次为听漏棒,再次为听漏饼。相关仪已开始应用或正计划应用,以后将作为检漏的主要工具。在管道资料齐全的情况下,使用相关仪检测漏失具有快速准确的优势。但是,由于相关仪也是依靠漏水声音传播特点测出漏点与探测点之间的距离,因此检测工作也受管道中其他干扰噪音的影响。为了更加准确地测出漏水点,一般测试中应该反复测试几个管段得到多组数据,以便验证测试结果的可靠性。如果多个测试结果相近,说明测出的漏点范围可信度较高;如果测出的结果相差甚远,则应慎重对待。多探头相关仪是一种技术含量较高的检漏设备,使用简便,能把逐段相关检漏发展成大面积相关检漏,同时降低了检漏人员的工作强度,对管网漏损控制起到了积极的作用。与普通相关仪相比,多探头相关仪在计算机的使用中存在弱点,如果操作者使用不当或操作错误可能会破坏系统中的文件,另一方面也应注意防止计算机病毒的侵袭^[1]。

日本、美国在 20 世纪 80 年代中期还开发了地质雷达,利用无线电波对漏水情况进行检测,并用图像显示漏水点周围的情况,实现漏水点的精确定位。目前,地质雷达系统已进入实用化阶段,并引起各产业界的注意及期待。但地质雷达也存在某些不足,即其所呈现于屏幕的图形信息必须要接受过特殊训练并经有实际经验的工程人员解析,这一问题目前已在积极研讨中,预计将在不久后得到解决^[2]。

现有检漏设备主要通过漏失信号的采集,特征信号的提取、处理、参数拟合等方法进行漏失检测和控制,但漏失信号受环境噪声、管道传声特性和监测点位置、埋设状况影响很大,并且一般不能保证信号真实地反映漏失情况,因此通常检测精度不是很高,只靠仪器设备还不能很好的解决大规模管网漏失检测这个难题。

2 检漏技术的发展

1997 年, IWA 成立了 Water Loss Task Force (WLTF)。WLTF 由全世界 15 个国家 70 多位代

表组成,主要从事供水管网水量管理、漏失控制和压力管理的工作。WLTF 在大量管网属性(管材、管龄等)数据和爆管事故统计数据的基础上,提出了一系列使不同组分漏失最小化的工作指标和管理方法^[3],其中在 DMA (District Meter Area) 小区使用分步测试法 (Step Testing) 结合最小夜流量法 MNF (Minimum Night Flow) 检测管段漏失是一种比较有效的方法^[4],见图 1。但是,这需要安装一定数量的流量计和关闭测试管段支管的阀门逐条管段进行测试,比较费时费力。

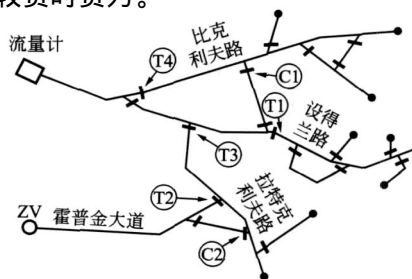


图 1 最小夜流量检漏法示意

AWWA 提出了用水审核法 (Water Audit Methodology), 并编制了相应的软件。2003 年 AWWA 漏失控制委员会重新修订了 IWA/ AWWA 用水审核法的指导手册。用水审核法告诉我们不同种类的漏失量以及水厂的损失有多大,使水厂对漏失作出重要评估和设置合理的漏失控制目标,并且它有一套合理的运行参数评估管网平均压力^[5]。然而,用水审核法只是从管理层面提出一系列宏观的漏失控制手段,依赖于统计数据的准确性。

近年来,基于水力瞬变反问题分析的漏失检测技术得到很大发展。伍悦滨等人^[6]提出了基于水力瞬变分析的漏失数值模拟理论框架,指出该问题实质就是求解系统辨识反问题进行参数识别。首先设定漏失系数为系统待识别参数,并给出激励、响应以及二者间的传递模式。然后建立反问题分析模型,应用特征线法计算雅可比矩阵,运用 Newton-Raphson 算法最小化压力测量值与计算值之间的偏差,求解模型。并通过算例管网阐明了数值模拟的具体步骤。基于水力瞬变反问题分析的漏失检测的理论研究很多,但是几乎没有在实际管网中得到应用的报道。原因主要在于瞬变流产生的波在管网中是不断衰减的,很难获得准确的瞬变流数据。

3 利用管网水力模型进行漏失检测的研究进展

利用管网水力模型进行漏失检测一直是建模工作者努力的方向。2006年吴正易和 Sage^[7] 提出基于供水管网水力模型校核的漏失检测新技术,并在英国某城市得到应用。模型校核是基于自然进化和基因遗传原理的模型参数优化技术,通过在一定范围内自动调整式(1)中三个模型参数,采用遗传算法自动搜索和评价各种方案,使模型模拟值和实测数据的误差最小,通过优化计算获得较好的模型参数^[8]。

$$\mathbf{f} = (f_i, m_{j,t}, s_{k,t}) \quad (1)$$

$$\text{Min } F(\mathbf{f}) \quad (2)$$

式中 f_i ——第 i 组管道的粗糙系数或调整系数;

$m_{j,t}$ ——第 j 组节点在 t 时间的用水量调整系数;

$s_{k,t}$ ——元件 k (管道、阀门和水泵) 在时间 t 时的运行状态;

$F(\mathbf{f})$ ——误差目标函数。

为了把水力模型校核的方法应用于管网漏失检测,将节点流量分为典型流量和调节流量(漏失量),典型流量等于基准流量(24 h 平均流量或最高时流量)乘以时变化系数,典型流量可以通过水表或流量计测量。节点总流量见式(3),漏失量见式(4)。

$$Q_j(t) = Q_j^b \times pat(t) \times m_{j,t} \quad (3)$$

$$Q_j^l(t) = Q_j(t) - Q_j^b(t) \times pat(t) \quad (4)$$

式中 $Q_j(t)$ ——节点 j 在 t 时间的总流量;

Q_j^b ——节点 j 的基准流量;

$pat(t)$ —— t 时间内的流量变化系数;

$m_{j,t}$ ——节点 j 在 t 时间的用水量调整系数;

$Q_j^l(t)$ ——节点 j 的调节流量,也就是漏失量。

当某节点存在大的漏损时,模型校核后该节点的用水量调整系数 $m_{j,t}$ 值一般比其他无漏损的节点大很多。通过评价用水量调整系数可以有效找出存在大的漏损的节点,并在管网图上显示出来(见图2)。然后可以利用相关仪等漏失检测设备在这些节点附近进行漏失探测,大大缩小了探测的地理范围,节约了时间。

该方法对管网水力模型的精度要求很高,要求输入模型的管网拓扑结构和管道属性等数据以及监测点实测数据足够准确,管网中监测点数量和位置的合理性也非常重要。

4 结论

城市供水管网系统是一个复杂而又庞大的系



图2 基于供水管网水力模型校核的漏失检测结果

统,管网漏损的因素很多,管网漏损检测与控制是一项系统工程,仅靠仪器设备难以解决。因此必须运用系统工程方法,进行学科交叉,利用先进的理念和技术,强大的科研队伍,先进的管理制度,全方位的开展城市供水管网系统漏损控制技术的研究。供水管网的漏失及其控制问题是一个复杂而非常有意义的研究课题。供水行业仍然需要进行大量的研究工作,使其日臻完善。

参考文献

- 1 李永刚. 多探头相关仪的特点与应用. 中国给水排水, 2007, 23 (2): 106 ~ 108
- 2 王继华, 彭振斌, 关键锋. 供水管网检漏技术现状及发展趋势. 桂林工学院学报, 2004, 24 (4): 456 ~ 460
- 3 Pilcher R, Hamilton S, Chapman H, et al. Leakage location & repair guidance notes version 1. Water Loss Task Force, IWA. 2007, (3): 12 ~ 18
- 4 Morrison J, Tooms S, Rogers D. DMA management guidance notes version 1. Water Loss Task Force, IWA. 2007, (2): 25 ~ 36
- 5 Lewis J M, Fanner P V. Experience of using the IWA/ AWWA water audit methodology in salt lake city public utilities public utilities department. Conference Proceedings of Leakage. Halifax, Canada, 2005
- 6 伍悦滨, 刘天顺. 基于瞬变反问题分析的给水管网漏失数值模拟. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37 (11): 1 483 ~ 1 485
- 7 Wu Z Y, Sage P. Water loss detection via genetic algorithm optimization-based model calibration. ASCE 8th Annual International Symposium on Water Distribution Systems Analysis, Cincinnati, Ohio, 2006. 27 ~ 30
- 8 Wu Z Y, Walski T, Mankowski R, et al. Calibrating water distribution model via genetic algorithms, Proceedings of the AWWA IMTech Conference, Kansas City, MI, 2006. 16 ~ 19

☎电话: (0451) 86284615

E-mail: ssh314 @126.com

收稿日期: 2007 - 12 - 17