

计量小区(DMA)夜间最小流量解析方法 探讨与案例研究

郝志萍¹, 侯煜², 崔昌³

(1. 中州大学, 郑州 450000; 2. 郑州自来水投资控股有限公司, 郑州 450007; 3. 河南工业大学, 郑州 450007)

摘要: 通过对给水管网实测计量小区(DMA)的夜间流量数据进行解析, 可以及时获得近似的真实漏损数值。利用大频率、高精度的夜间实测流量数据进行分析, 发现夜间不同时段 DMA 流量近似满足正态分布, 其最小值近似接近真实漏损。根据某案例凌晨 2:00-4:00 夜间最小流量数据, 采用置信水平 95.5%、置信区间($\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma$)进行了分析。结果表明, 利用 $\mu - 2\sigma$ 表征剔除异常值后的 DMA 最小流量, 可以消除实测数据的误差和干扰影响, 来得出小区的真实漏损水量。这种方法可减少对用户夜间用水估计产生的误差, 也可便利地通过流量设备进行现场计量, 从而快速评估 DMA 的夜间漏失水平

关键词: DMA; 给水管网; 真实漏损; 夜间最小流量; 置信区间; 案例研究; 数据分析

中图分类号: TU991.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0124-04

Analysis Method and Case Study for the Minimum Night Flow in the District Metered Area of the Water Distribution System

HAO Zhi ping¹, HOU Yu kun², CUI Chang³

(1. Zhongzhou University, Zhengzhou 450000, China; 2. Zhengzhou Water Supply Corporation, Zhengzhou 450007, China; 3. Henan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: The analysis of the night minimum flow data in the Districted Metered Area (DMA) of the water distribution system can characterize the real loss of DMA. The high frequency and high accuracy measured night flow data were analyzed, which indicated that the night flow data of DMA at different time periods are in normal distribution and the lowest night flow data is close to the real loss of DMA. In this study, the minimum night flow data from 2 to 4 AM in the early morning were analyzed based on the confidence level of 95.5% and confidence interval of $(\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma)$. The results showed that the minimum night flow of DMA after removing the abnormal values characterized by $\mu - 2\sigma$ can eliminate the effects of error and interference of measured data, and therefore obtain the real loss of DMA. This method can lower the evaluation error of night water demand, and facilitate the in situ meter flow measurement to assess the DMA leakage level quickly.

Key words: District Metered Area; water distribution system; real loss; minimum night flow; confidence interval; case study; data analysis

1 研究背景及意义

随着城市的快速发展和给水管网的延伸, 给水管网漏损控制愈来愈引起重视。造成管网真实漏损的原因有很多, 例如管体管接口、阀门、管道等漏水, 若不及时查出真实漏损, 长期带隐患运行的管道很可能酿成更大的事故。作为供水行业的工作者, 应不断地把降低管网真实漏损率作为检验管理水平的一项主要指标, 促使企业管理工作的改进。

我国在 2002 年颁布了《城市给水管网漏损控制及评定标准》^[1], 明确提出了漏损率控制的指标; 国际水协(IWA)漏损控制专责小组(Water Loss Task Force)总结出了一系列有关漏损控制的理念、方法、流程与评价指标, 包括其推荐的水量平衡表及其各组分构成^[2]、给水管网计量分区(District Metered Area, 简称 DMA)的划分与管理^[3]、真实漏损控制策略及无收益水量的绩效指标等^[4]。

DMA 通常由直径 100~400 mm 的干管下游的支管道

收稿日期: 2012-11-15 修回日期: 2013-07-24 网络出版时间: 2013-07-28

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1310.021.html>

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项课题“南水北调受水区饮用水安全保障技术研究与综合示范”(2012ZX07404-004)

作者简介: 郝志萍(1975-), 女, 河南郑州人, 讲师, 硕士, 主要从事计算机应用方面研究。E-mail: haozhip@126.com

及其用户组成,是配水管网供水分区内离散的水力区块,可用于监测管网系统的流量压力,便于优先选择漏损控制工作的重点区域。自从 Lambert^[5] 提出将漏损分为表观漏损和真实漏损后, DMA 作为管网漏损控制的重要手段与工具,越来越引起相关研究重视。

Steven^[6] 等提出了一个检测真实漏损的方法,即通过对 DMA 进口连续、高分辨率的流量测量数据进行统计分析,得出不同 DMA 的漏损程度,针对漏损严重区域优先进行漏损控制。Jankovic, Bojana^[7] 等为了确定流量计位置及监测时间步长,提出了在线监测和爆管检测背景下用水量数据收集和处理方法,分析了用水量不确定性的传播以及对计算流量的影响,认为流量计应安装在流量变化较大的管段上。Pearson^[8] 等比较漏损活动的边际成本和边际效益,总结了所提出的计算漏损经济水平的方法,包括全面压力管理的优化、爆管修复时间的优化、暗漏的觉察定位和修复的经济介入策略。

国内也有越来越多的供水企业关注国际水协会(IWA)的策略并尝试着进行应用,或在亚洲开发行、世界银行项目中引入该策略指导管网漏损控制工作^[9]。但总体来讲,还处在技术引进阶段。张志明在上海宝山^[10]、王光辉在铜陵^[11]、卢汉清在宁波^[12]、凌文翠在北京^[13] 分别基于实践经验和国际水协的策略进行了 DMA 划分的案例研究,做出了有益的尝试;徐强^[14] 分析了水力水质模型在划分 DMA 过程中起到的作用。但在 DMA 管理方面,尤其是运用收集的水量数据进行漏损水平判别方面,还缺少深入的研究。

2 净夜间流量(NNF)的获取方法

在管网漏损控制过程中,分析 DMA 夜间水量数据对于探知真实漏损具有重要意义。通常 DMA 的用水的变化呈现驼峰曲线形状,见图 1。

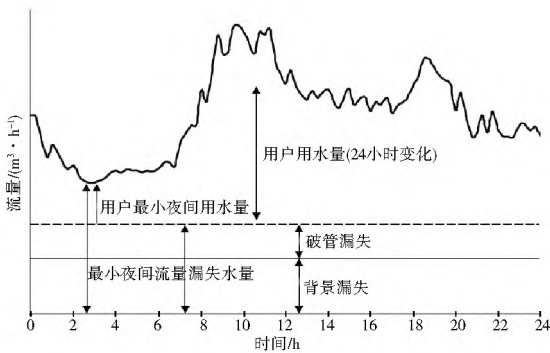


图1 DMA小区每天水量变化图

Fig. 1 Variation of everyday water demand of DMA

从图1可看出,夜间最小流量(MNF)并不等于漏损水量,其间存在用户夜间用水量的差额。理论上,根据夜间最小流量减去用户夜间用水就可以得到的净夜间流量(NNF),这个值近似等于夜间真实漏损水量。要准确得到用户夜间用水量存在一定困难。有三种方法可以选择:方法之一是发动大量人员夜间抄表得出实际夜间平均用水量;方法二是根据用户夜间用水的“定额”(或者参考其他地区已知的用水数据)进行简单核算,这样明显存在估算的误差;方法三基于 Steven^[6] 提出的实测流量检测法,采用数据统计方法得出夜

间净流量,即近似的漏损水量。在供水压力恒定的情况下,真实漏损与用户用水的差异在于真实漏损是相对恒定的,而用户用水是随机变化的。因此通过对夜间实际记录的流量数据的“解析”,将真实漏损从夜间流量中区分出来,就摒弃了人为主观的定额“估算”问题,用客观的数据说明真实漏损的量值。

但是,在夜间流量采集过程中,由于某一短暂瞬间, DMA 小区基本无用户用水情况发生属于小概率事件,获取得到并不容易,而且要消除水表计量、信号干扰、数据波动等的影响。

本文在 Steven^[6] 提出的方法基础上,采用大频率、高精度地采集夜间水量数据(数据采集可短至 1 min/次),通过数理统计方法对数据进行处理。这样在某一短暂瞬间, DMA 小区基本无用户用水情况发生,在消除压力影响的情况下,得到的夜间最小流量即近似等于漏失水量。根据这一方法获得的一组夜间最小流量数据呈现正态分布,见图 2。

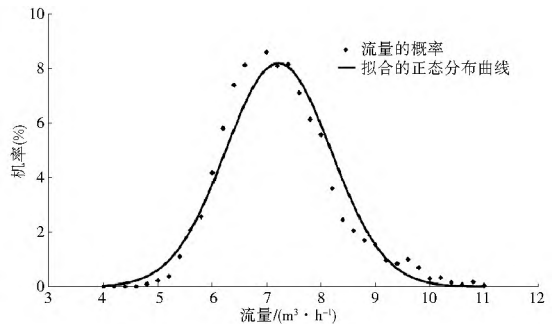


图2 某DMA小区凌晨2:00-4:00流量分布

Fig. 2 Flow distribution between 2 and 4 AM of a DMA

从图2可看出,该DMA小区夜间流量分布近似呈现正态分布(由于属实际工程问题,本文不做严格的正态分布证明)。采用常用的均值减去三倍标准差方法,得出小流量出现概率已经小于0.2%,说明在该流量下用户用水的概率已经非常低了。

3 真实漏损量的解析方法

估计真实漏损量时,采用 DMA 夜间流量解析方法,选取小区凌晨2:00-4:00的流量,通过数据分析筛选得出在无人用水情况下的 DMA 实测流量即近似等于真实漏损量。首先把流量划分为一段一段小的区间,统计该流量段出现的频数,验证此频数分布是否符合正态分布;然后对该数据集“下限”附近的流量分布进行深入分析,看是否可剔除水表计量、信号干扰、数据波动的不利影响,

在凌晨2:00-4:00的时间段内用水量比较稳定,近似服从正态分布,选取正确的置信区间准确估计此时间段流量范围的关键。区间估计的长度决定了该区间估计的精度,长度越长,置信度越高,但精度降低;长度太短置信度太低,与实际数据不符。本文选取了 68.2%~99.74% 之间的 5 个置信度,对应的置信区间分别为 $(\mu - k\delta, \mu + k\delta)$, 其中 k 分别取 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 与实际流量范围对比,找出最佳置信度。再观察数据量的不同是否会影响到置信度的选取,若无影响,选取此置信度,应用于其他小区;若有影响,推断其关联程度,分析根据不同数据量时选取不同的置信度^[15]。

4 案例分析

4.1 DMA 小区的选取

本次选择了中国中部某城市 DMA 小区 (3 000 户, DN200 进水管) 作为研究案例。在管道上安装流量计测量小区的流量变化, 调查了连续 9 d (2012 年 7 月 4 日至 7 月 13 日) 的数据。每隔 1 min 记录流量数据, 共测量出凌晨 2: 00- 4: 00 时段内 1 080 个流量数据。

该 DMA 每天的流量变化规律基本符合人的生活规律: 居民早饭时与晚上回到小区时用水量比较大, 流量出现高峰, 而在凌晨 2: 00- 4: 00 时大部分居民已经休息, 除了部分晚归者以及夜间冲马桶等用水外, 无其他用水。

4.2 DMA 真实漏损的确定

在凌晨 2: 00- 4: 00 水表的流量比较稳定, 在此时间段基本上没有居民用水, 水表流量始终在 $7 \text{ m}^3/\text{h}$ 上下, 说明可能存在管道真实漏损的现象, 见图 3。选用一定值, 而不是所测的流量的最小值, 这样就考虑了除去异常值的情况。通过统计流量数据出现的频数找出真实漏损量大致所在的范围, 见表 1。

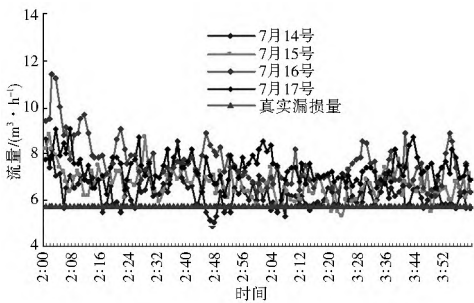


图 3 某小区 4 天中凌晨 2: 00- 4: 00 流量变化图

Fig. 3 Flow variation between 2 and 4 AM on four days of a DMA

表 1 某小区 9 天凌晨 2: 00- 4: 00 流量数据统计

Table 1 Flow statistics between 2 and 4 AM on nine days data of a DMA

流量范围/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	频数	频率
0~ 5.00	4	0.003 7
5.00~ 5.75	41	0.037 96
5.75~ 6.25	132	0.122 22
6.25~ 6.75	225	0.208 33
6.75~ 7.25	224	0.207 41
7.25~ 7.75	210	0.194 44
7.75~ 8.25	149	0.137 96
8.25~ 8.75	51	0.047 22
8.75~ 9.25	29	0.026 85
9.25~ 9.75	9	0.008 33
9.75~ 10.25	3	0.002 78
10.25~ 10.75	1	0.000 925 926
10.75~ 11.25	0	0
11.25~ 11.75	2	0.001 85

从表 1 可以看出, 9 d 凌晨 2: 00- 4: 00 的 1 080 个数据

中, 范围在 $(0 \sim 5.00 \text{ m}^3/\text{h})$ 的流量数据仅占 4 个, 概率还占不到 0.5%, 属于小概率事件, 将其视为异常值。在范围 $(5.00 \sim 5.75 \text{ m}^3/\text{h})$ 的流量数据占到了 41 个, 该段流量数据多次出现, 且在整个流量分布中处于最低区间, 可认为该小区的真实漏损量在 $(5.00 \sim 5.75 \text{ m}^3/\text{h})$ 这个范围内比较可信。此段的流量数据分布见图 4, 从图中可以看出中间高, 两边低, 近似服从正态分布。下面根据真实漏损量的范围, 考察置信度的选择。

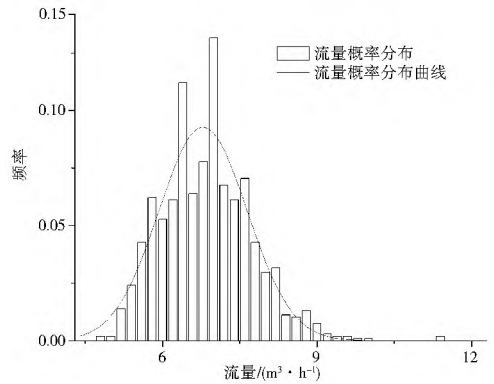


图 4 某小区的流量频率分布图和正态拟合曲线

Fig. 4 Flow frequency and normal distribution fitting curve of a DMA

从测量的流量数据中可以算出其平均值 μ 为 $6.854 444 \text{ m}^3/\text{h}$, 方差为 $0.874 417$ 。前已论述, 小区的真实漏损在范围 $(5.00 \sim 5.75 \text{ m}^3/\text{h})$ 内, 因此分别采用不同置信度时计算小区的流量范围 (见表 2), 所得的真实漏损量在 $(5.00 \sim 5.75 \text{ m}^3/\text{h})$ 范围内, 说明此置信度选择正确。为了证实置信度的选择是否与数据量有关, 本次还从该 DMA 小区 9 天中的任意抽出 3 天, 分析真实漏损量, 选取正确的置信度, 与全部数据所得的置信度相比较。

置信水平分别选取 68.3%、86.64%、95.5%、98.76%、99.74% 对应的置信区间分别为 $(\mu - k\sigma, \mu + k\sigma)$, 其中 k 分别取 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 统计期望值 1~3 个标准差的范围。

通过表 2 和置信度的选择的分析, 可以得出无论是在整个样本还是某一天, 采用 95.5% 的置信度, $(\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma)$ 的置信区间来分析凌晨 2: 00- 4: 00 的流量数据是最佳的, 因为无论采用全体样本, 还是采用其余的流量数据分析, $\mu - 2\sigma$ 的流量数据都在范围 $(5.00 \sim 5.75)$ 间。说明采集的数据量的多少对统计小区凌晨 2: 00- 4: 00 的流量数据及小区真实漏损量影响不大, 故关于小区凌晨 2: 00- 4: 00 的流量数据采用置信度 95.5% 来分析较可信, 可消除低值的异常数据波动影响。若采用 $\mu - 3\sigma$ 的数据, 出现计算的流量值在实测中不存在的现象, 故不予采纳。

通过上述对某小区 9 d 的流量数据分析可以得出小区的真实漏损量为 $5.330 634 \text{ m}^3/\text{h}$, 即真实漏损量在 5.33 t/h , 每天的真实漏损量多达 127.92 t 。

4.3 用置信度 95.5% 检验另一 DMA 小区

从图 4 可以看出在凌晨 2: 00- 4: 00 时间段, 另一 DMA 小区的流量大致围绕着 $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 上下浮动, 其频率分布图如下图所示近似满足正态分布。这样得出用置信度 95.5% 来分析此流量数据完全适用。

表 2 不同样本的各个置信区间流量范围

Table 2 Flow ranges of different samples with different confidence intervals		m ³ /h		
	全体样本	7月15号	7月19号	7月21号
μ	6.854 444	6.675 5	7.088 5	6.709 5
δ	0.874 417	0.643 731	0.787 056	0.543 36
$\mu \pm \delta$	(5.980 027, 7.728 861)	(6.031 769, 7.319 231)	(6.301 444, 7.875 556)	(6.166 14, 7.252 86)
$\mu \pm 1.5\delta$	(5.542 82, 8.166 070)	(5.709 903 5, 7.641 096 5)	(5.907 916, 8.269 084)	(5.894 46, 7.524 54)
$\mu \pm 2\delta$	(5.105 61, 8.603 278)	(5.388 038, 7.962 962)	(5.514 388, 8.662 612)	(5.622 78, 7.796 22)
$\mu \pm 2.5\delta$	(4.668 402, 9.040 487)	(5.066 172 5, 8.284 827 5)	(5.120 86, 9.056 14)	(5.351 1, 8.067 9)
$\mu \pm 3\delta$	(4.231 193, 9.477 70)	(4.744 307, 8.606 693)	(4.727 332, 9.449 668)	(5.079 42, 8.339 58)

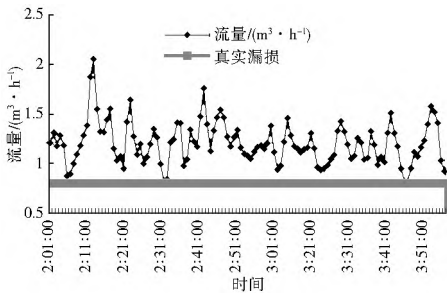


图 5 另一 DMA 小区凌晨 2: 00- 4: 00 点的流量变化图

Fig. 5 Flow variation between 2 and 4 AM of another DMA

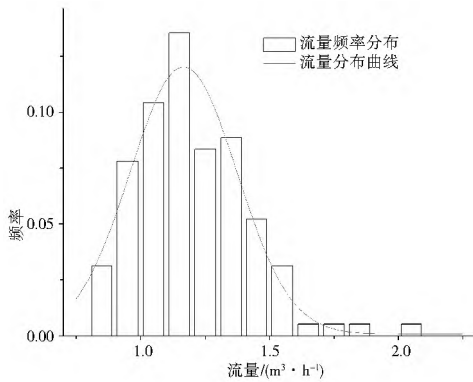


图 6 另一小区凌晨 2: 00- 4: 00 的流量频率分布图和拟合正态曲线

Fig. 6 Flow frequency between 2 and 4 AM and normal distribution fitting curve of another DM A

另一小区流量的平均值 $\mu = 1.203\ 494\ \text{m}^3/\text{h}$, $\delta = 0.213\ 326$, 那么该小区的真实漏损约为 $\mu - 2\delta = 0.776\ 442\ \text{m}^3/\text{h}$ 。每天的真实漏损量达 18.6 t。

5 结论

为了节约水资源,避免小区管网漏损逐步恶化,需及时分析小区真实漏损量,进而通过流量监控预警实施主动的漏损控制策略。通过对 DMA 小区进口安装流量计,大频率高精度地采集、分析凌晨 2: 00- 4: 00 的夜间流量数据,采用置信度 95.5%、置信区间为 $(\mu - 2\delta, \mu + 2\delta)$ 的方法,可近似得出 DMA 夜间真实漏损水量。其中 $\mu - 2\delta$ 为此时间段的谷值,表示摒弃用户用水水量干扰下的近似真实漏损水量,并消除了异常的低值流量数据波动的影响,在工程中具有实际应用价值。通过软硬件结合模式和统计分析方法,可科学地得出小区真实漏损量,从而为小区实时检漏干预和管网改造提供了技术支持。本文提出的方法为 DMA 漏损监控

工程问题的解决做出了积极的尝试。

参考文献(References):

- [1] CJJ 92-2002, 城市给水管网漏损控制及评定标准[S]. (CJJ 92-2002, Urban Water Loss Control and Assessment Standard in Water Distribution System[S]. (in Chinese))
- [2] Malcolm Farley, Gary Wyeth. (侯煜堃, 王莹, 许月霞, 等译.) 无收益水量管理手册[K]. 上海: 同济大学出版社, 2010. (Malcolm Farley, Gary Wyeth. (HOU Yur kun, WANG Ying ying, XU Yue xia, et al Tanslate). The Non Revenue Water Management Handbook[K]. Shanghai: Tongji University Publication House, 2010. (in Chinese))
- [3] John Morrison, Stephen Tooms, Dewi Rogers. District Metered Areas Guidance Notes[R]. The DMA Team of the Water Loss Task Force, IWA, 2007.
- [4] Thornton. J. Water Loss Control Manual[M]. McGraw Hill Press, 2002.
- [5] Lambert A. Assessing Non Revenue Water and Its Components: A Practical Approach[J]. Water, 2003, (8).
- [6] Steven G. Buchberger, Gayatri Nadimpali. Leak Estimation in Wwater Ddistribution System by Statistical Analysis of Flow Reading[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2004, 130(4): 321-329.
- [7] Jankovic Nisic B., Maskimovic C., Butler D. et al. Use of Flow Meters for Managing Water Supply Networks[J]. Water Resources Planning and Management, 2004, 130: 171-179.
- [8] D. Pearson, S W Trow. Calculating the Economic Levels of Leakage[A]. Proceedings of Leakage Conference 2005, Halifax, Canada.
- [9] 侯煜堃, 赵春会, 许月霞. 新疆第四期城市基础设施改善项目: 供水管网漏损控制水量平衡与绩效评估咨询报告[R]. 亚洲开发银行, 2012. (HOU Yur kun, ZHAO Chur hui, XU Yue xia. Urban Infrastructure Improvement Project in Xinjiang: Water Loss Control Assessment Consultant Report[R]. Asian Development Bank, 2012. (in Chinese))
- [10] 张志明. 供水管网漏损控制分区装表计量技术和应用[J]. 城镇供水, 2006, (4). (ZHANG Zhiming. Water Supply Networks Zone Meter Measurement Technology and Application [J]. Urban Water Supply, 2006, (4). (in Chinese))
- [11] 王光辉, 韩伟, 魏道联. DMA 分区管理在首创水务公司供水管网中的应用[J]. 给水排水, 2010, (4): 111-114. (WANG Guang hui, HAN Wei, WEI Dao lian. The Application on DMA Management in Capital Water Company Pipe Systems [J]. Chinese Water and Waster Water Engineering, 2010, (4): 111-114. (in Chinese))

(下转第 195 页)

全国统一测强换算公式修正后最小值为 56.7 MPa, 超声回弹法强度推定值均满足设计要求。

3.4 结果分析

(1) 回弹数据采用全国统一测强曲线计算混凝土强度换算值, 误差较大。特别是混凝土龄期、环境温度等必要条件不满足时, 不宜采用单一方法评定混凝土强度, 应尽量制定专用测强曲线或地区测强曲线。

(2) 钻芯法是专用钻机从结构上钻取圆柱体混凝土芯样, 据其抗压强度评定混凝土质量的微破损现场检测方法, 适用于混凝土强度等级 C10 以上的结构, 是直观、可靠、准确的检测方法, 被较多国家采用。本工程桥梁混凝土在结构中处于复杂的应力和约束状态, 其强度不可能与取出芯样的强度完全一致。取芯会对结构造成一定程度的破坏, 芯样位置、数量受到一定的限制, 不能很好地反映混凝土的匀质性。因此, 本次钻芯检测强度只用作修正系数的计算, 仅凭芯样强度单一指标难以对结构混凝土质量做出准确评定。

(3) 影响混凝土表面硬度、内部密实度和匀质性的因素主要有水泥品种、粗骨料品种及粒径、细骨料用量、外加剂类型、混凝土龄期、碳化、测距、测试面等。经多家研究机构采集大量数据计算、统计分析后, 对上述影响因素进行了修正, 得出了超声回弹法的全国统一测强换算经验公式和铁道部统一测强换算经验公式, 具有较高的可靠性和适用性。现场混凝土的原材料、配合比、施工条件等不可能与基准曲线制定条件完全一致, 应用经验公式前必须进行适用性验证。

(4) 利用钻芯法对超声回弹法强度换算值进行修正, 综合了回弹、超声回弹、钻芯法的优点, 评定结论的可信度较单一的回弹法、钻芯法、超声回弹法更高。

4 结论与建议

(1) 混凝土强度是受多因素综合影响的指标, 其检测评定必须充分考虑不同检测方法的适用性和可靠性, 以及结构物混凝土的材料组成、结构类型和状态、结构环境条件、测试条件等各种因素。采用综合法评定重要结构混凝土的强度是非常必要的。

(2) 回弹法、超声回弹法简单易行、便于操作, 适用于检测工作量较大或构件不宜大量钻芯的情况, 缺点是适用性受限大、计算值误差较大。若结构物所在地无专用测强曲线和地区测强曲线, 采用全国统一测强曲线时须经必要的验证。

(3) 当构件的材料、龄期与测强曲线规定的条件有较大差异时, 应采用同条件立方体试件, 或根据构件测区中钻取的混凝土芯样试件的抗压强度进行修正。

(4) 对已经开通运营的桥梁等重要结构进行混凝土强度检测时, 宜采用回弹、超声、钻芯等三位一体的综合法检测和评定。

参考文献(References):

- [1] 欧阳辉. 超声-回弹综合法测强综述[J]. 桥梁建设, 1999, (4): 77-80. (OUYANG Hui. A Summarized Account of Strength Testing with Combined Ultrasonic and Rebounding Method [J]. Bridge Construction, 1999, (4): 77-80. (in Chinese))
 - [2] 张竞男, 王浩, 乔建东. 超声-回弹-钻芯综合法测强初探[J]. 材料科学与工程学报, 2003, 21(6): 886-889. (ZHANG Jingnan, WANG Hao, QIAO Jiandong. Preliminary Investigation on Strength Testing Method with Combined Ultrasonic rebound and Core drilling Technique [J]. Journal of Materials Science & Engineering, 2003, 21(6): 886-889. (in Chinese))
 - [3] JGJ/T 23-2011, 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程[S]. (JGJ/T 23-2011, Technical Specification for Inspecting of Concrete Compressive Strength by Rebound method [S]. (in Chinese))
 - [4] TB 10426-2010, 铁路工程结构混凝土强度检测规程[S]. (TB 10426-2010, Inspection Specification for Structure Concrete Strength of Railway Engineering [S]. (in Chinese))
 - [5] CECS 02: 2005, 超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程[S]. (CECS 02: 2005, Technical Specification for Detecting Strength of Concrete by Ultrasonic rebound Combined Method [S]. (in Chinese))
 - [6] CECS 03: 2007, 钻芯法检测混凝土强度技术规程[S]. (CECS 03: 2007, Technical Specification for Testing Concrete Strength with Drilled Core [S]. (in Chinese))
-
- [12] 卢汉清, 蒋敏. 宁波慈城区域未计水量的监控与分析[J]. 城镇供水, 2010, (2). (LU Hanqing, JIANG Min. The Supervisory and Analysis on Unaccounted Water in Cicheng District of Ningbo City [J]. Urban Water Supply, 2010, (2). (in Chinese))
 - [13] 凌文翠, 张涛, 强志民. 北京市二环内供水管网 DMA 分区方法及安全性分析[J]. 中国给水排水, 2010, (10): 19-23. (LING Wen cui, ZHANG Tao, QIANG Zhi min. Methodology of DMA Plan and Analysis on Water Security of Second Ring road Water Supply Pipes in Beijing [J]. Chinese Water and Waster Water Engineering, 2010, (10): 19-23. (in Chinese))
 - [14] 徐强, 陈求稳, 刘锐平. 基于管网水力模型的独立计量分区优化[J]. 给水排水, 2008, (3). (XU Qiang, CHEN Qiurwen, LIU Rui ping. Optimisation of DMA Plan and Implementation Based on Water Hydraulic Model [J]. Chinese Water and Waster Water Engineering, 2008, (3). (in Chinese))
 - [15] 王松桂. 概率论与数理统计[M]. 北京: 科学出版社, 2011. (WANG Songgui. Probability Theory and Statistical Analysis [M]. Beijing: Science Publication House, 2011. (in Chinese))

(上接第 127 页)