

# 供水管网流量数据统计分析用于漏损定位研究

杜建军<sup>1</sup>, 胡诗苑<sup>2</sup>, 高金良<sup>2</sup>, 张鑫<sup>3</sup>, 杨浩<sup>2</sup>

(1. 哈密托实水利水电勘测设计有限责任公司, 新疆哈密 839000; 2. 哈尔滨工业大学环境学院, 黑龙江哈尔滨 150090; 3. 黑龙江工程学院土木与建筑工程学院, 黑龙江哈尔滨 150050)

**摘要:** 漏损问题是当今社会的热点问题,为了使漏损定位更加快速、科学,对供水管网流量数据进行了统计分析。通过供水管网中的流量监测点,能够得到大量的流量数据,以此为基础,分别研究了 $t$ 检验分析法和均值差分析法应用在漏损定位中的可行性与准确性,并对这两种方法进行从无漏点到单漏点、从无漏点到多漏点、从少漏点到多漏点等多种情况的比较分析,为水司进行供水管网漏损管理提供新思路。结果表明,两种方法均能较为准确地定位漏损,其中均值差分析法定位漏损时干扰较少, $t$ 检验分析则能够充分利用每个数据。

**关键词:** 供水管网; 漏损定位; 流量数据; 均值差分析;  $t$ 检验分析

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)19-0046-04

## Leakage Location through Flow Data of Water Supply Network

DU Jian-jun<sup>1</sup>, HU Shi-yuan<sup>2</sup>, GAO Jin-liang<sup>2</sup>, ZHANG Xin<sup>3</sup>, YANG Hao<sup>2</sup>

(1. Hami Tuoshi Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Co. Ltd., Hami 839000, China; 2. School of Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 3. College of Civil and Architectural Engineering, Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China)

**Abstract:** The leakage problem of water supply network is hot in modern society. In order to locate leakage more quickly and scientifically, the flow data of water supply network were analyzed. A large amount of flow data can be obtained through the flow monitoring points in water supply network. On this basis, the application of mean difference test and student's  $t$  test in leakage location was introduced, and the two methods were compared from no leakage to single leakage, no leakage to multiple leakages, and few leakages to multiple leakages. The results showed that both methods could locate the leakage accurately, and the mean difference test had less interference when locating the leakage. The student's  $t$  test could make full use of each data.

**Key words:** water supply network; leakage location; flow data; mean difference test; student's  $t$  test

目前供水企业多使用管网建模分区计量、管网探漏等手段进行漏损定位<sup>[1-2]</sup>,但是上述手段通常

因为方案设计、设备采购等流程导致周期长、进展缓慢,不太适合在漏损控制初期实施。随着信息化技

术的发展,管网中已安装一些流量监测点,并通过监测点积累了大量的流量数据,这些数据一般仅用来考评水司经济效益或作为日常调度的依据,之后便闲置在数据库中,较少采用,不能充分地挖掘流量数据背后的价值。通过对这些流量数据进行分析定位漏损,不仅能够减少漏损定位所需时间,还能水司提供以分区为核心控制漏损的决策支持。

管网中的漏损通常是由无到有、由少到多,为了适应这种不断新增漏损的动态变化,笔者提出两种利用监测点流量数据定位新增漏损的方法,即  $t$  检验分析法和均值差分析法。通过使用算例管网分别对  $t$  检验分析和均值差分析定位新增漏损的原理及方法进行研究,探究这两种方法在漏损定位中的准确性;并在无漏点到单漏点、无漏点到多漏点、少漏点到多漏点等多种情况下,对  $t$  检验分析法和均值差分析法定位新增漏损结果进行比较,旨在为水司进行供水管网漏损管理提供新思路。

## 1 基础原理

### 1.1 $F$ 检验原理

$F$  检验常称作联合假设检验,通过比较两组数据的方差,判断流量数据组间的方差是否齐性,来确定是否适合直接进行后续统计分析,用于  $t$  检验之前。 $F$  检验对应的零假设为:两组样本方差相等。在  $F$  检验中,当显著因子  $\alpha = 0.05$  时,若  $P \geq 0.05$ ,对应数据组方差齐性,适合进行相关处理分析;当  $P < 0.05$  时,对应数据组间的方差不齐性,需要经过处理后才能进行相关分析。

### 1.2 $t$ 检验原理

$t$  检验是用  $t$  分布理论来推论差异发生的概率,以比较平均数的差异是否显著,数据组需满足正态分布。本研究采用双样本独立  $t$  检验作为探索性方法进行流量数据统计分析定位漏损研究,见式(1)。

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2}{n-1}}} \quad (1)$$

式中: $\bar{x}_1$ 、 $\bar{x}_2$  分别为两样本的平均数; $\sigma_{x_1}^2$ 、 $\sigma_{x_2}^2$  分别为两样本的方差; $n$  为成对样本数量。

原假设为两个流量数据组的平均值相等,通过对数据组进行  $t$  检验能够得到对应的  $P$  值。当  $P > 0.05$  时,接受原假设,认为不同漏损工况下管段流量平均值差异无显著意义,即无新增漏点;而  $P \leq 0.05$

时,拒绝原假设,认为不同漏损工况条件下管段流量平均值差异有显著意义,即认为该管段流量平均值变化较大,可能在该管段或其附近存在新增漏点,且  $P$  值越小差异显著的概率越大。

### 1.3 均值差分析原理

均值差分析主要是通过直接比较不同漏损工况下的流量数据平均值的差值而绘图得出结论。由于短时间内管段平均流量不会发生太大变化(未进行改扩建情况下),因而认为平均流量变化超出预期最远的管段(在图中表现为距离均值差拟合趋势线最远),为最有可能的漏点或漏点附近的管段。

## 2 流量数据定位漏损算例分析

为探索均值差分析和  $t$  检验分析处理流量数据定位漏损的可行性与准确性,构建与实际供水管网情况接近的 EPANET 算例管网。以算例管网不同工况下的流量数据为基础,进行具体的计算分析。

### 2.1 算例管网

为使算例管网更贴合实际管网,设置两处水源、3 处水池,全管网共有 92 个节点和 117 个管段。

设置算例管网总模拟时长为 24 h,模拟时间步长为 1 h,水力时间步长为 15 min,并设置 5 种节点用水模式。通过对管网进行反复设置试算,最终得到了能够良好运行且尽可能符合实际供水管网正常运行状态的算例管网,为下一步进行均值差分析和  $t$  检验分析确定漏损提供了保障。

### 2.2 $F$ 检验

首先对各管段所有原漏点-新漏点组合工况下的流量数据进行  $F$  检验,发现几乎所有管段的  $P$  值都大于 0.05,即认为所有组合满足方差齐性标准,可对不同原漏点-新漏点组合工况的流量数据进行深入分析,且其结果在一定程度上具有统计学意义。

### 2.3 $t$ 检验

$t$  检验分析首先需要对原漏点工况和新增漏点工况进行设置。假设算例管网中原漏点工况为无漏点、管段 36(连接管段为 39、40)处设置新增漏点,并设定漏损指数值为 1.18、漏损系数值为 0.8。对原漏点工况为无漏点与新漏点情况为管段 36 单漏点的组合工况进行  $t$  检验,结果如图 1 所示。结果发现,绝大多数管段的  $P > 0.05$ ,即绝大多数管段在原漏损情况为无漏点与新增漏损为管段 36 单漏点组合工况条件下的流量差异无显著意义;仅有少数管段的  $P < 0.05$ ,即无漏点与管段 36 单漏点组合

工况下流量平均值差异有显著意义。

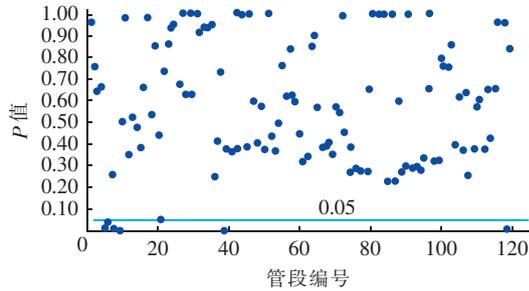


图 1 无漏点与管段 36 单漏点  $t$  检验的  $P$  值分布

Fig. 1  $P$  value of student's  $t$  test between no leakage and single leakage at pipe 36

将  $P < 0.05$  的管段及  $P$  值作图, 见图 2。可知, 无漏点与管段 36 单漏点组合工况条件下, 管段 9 的  $P$  值最小, 管段 39 次之, 认为管段 9 原漏点流量数据与新漏点流量数据差异显著的概率最大, 管段 39 次之, 而管段 39 与漏点管段 36 直接相连, 因而能够通过流量数据进行  $t$  检验所得的  $P$  值大小来对漏损管段进行搜索, 且准确性较高。

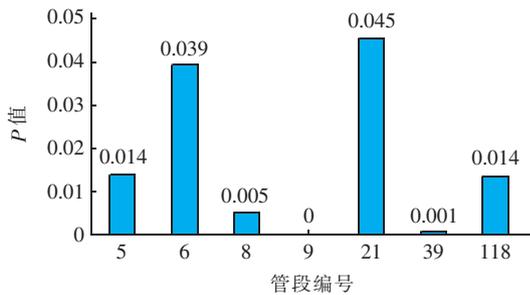


图 2 无漏点与管段 36 单漏点  $t$  检验中  $P < 0.05$  的管段

Fig. 2 Pipes with  $P < 0.05$  of student's  $t$  test between no leakage and single leakage at pipe 36

表 1 各工况条件下漏点位置

Tab. 1 Leakage position under various working conditions

工况	0	1	2	3	4	5	6	7	8
漏点编号	无	157	115	157	157、205	157、205、217、103	157、205、217、103、141	103、115、121、141、157、205、217、229、267	157、205、217、103、141、115、121、229、267

对 9 种漏点工况设置 8 种原漏点 - 新漏点组合工况见表 2, 包括从无漏点到单漏点、从无漏点到多漏点、从少漏点到多漏点等情况, 各组合条件下新增漏点管段的连接管段编号见表 3。取漏损指数值为 1.18、漏损系数值为 0.8, 并分别进行  $t$  检验分析和均值差分析, 结果见表 2。其中标下划线的管段为新增漏损管段或与新增漏损管段直接相连的管段。

以工况组合 0 - 1 为例, 即原漏点情况为无漏点、新增漏点情况为管段 157 单漏点。同时由表 3

## 2.4 均值差分析

均值差分析首先需要对原漏点情况和新增漏点情况进行设置, 假设算例管网中原漏点情况为无漏点、管段 14 (连接管段为 17、11、13) 处设置新增漏点, 且设定漏损指数值为 1.18、漏损系数值为 0.8, 通过计算得出各管段在原漏点为无漏点与新增漏点为管段 14 单漏点组合工况下的流量均值差, 结果如图 3 所示。图 3 中, 蓝色实线为均值差拟合趋势线, 可以看出管段 21 与均值差拟合趋势线距离最远, 其次为管段 17, 而管段 17 与设置漏点管段 14 直接相连, 因此通过按均值差的大小顺序在管段附近的范围内搜索, 能够较快地得到漏损管段。

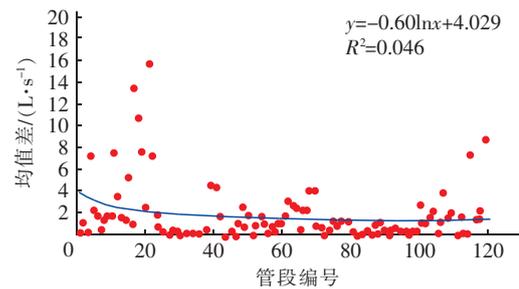


图 3 无漏点与管段 14 单漏点流量数据均值差分布

Fig. 3 Mean difference distribution of no leakage and single leakage at pipe 14

## 2.5 $t$ 检验分析与均值差分析对比

通过 2.3 节和 2.4 节可以看出,  $t$  检验分析和均值差分析在流量数据定位漏损时均能大致定位出漏损或漏损附近的管段, 为了比较  $t$  检验分析和均值差分析在定位不同漏损情况时的准确性, 对算例管网设置 9 种基本漏损工况, 见表 1。

可知, 管段 157 的连接管段为 173、175。对工况组合 0 - 1 进行  $t$  检验分析和均值差分析, 发现两种方法的预测结果中均包含 157 的连接管段 173 (见表 2), 即通过对预测结果进行搜索能够较快且较准确地得到新增漏损管段。

由表 2 可知,  $t$  检验分析和均值差分析均能够对从无漏点到单漏点、从无漏点到多漏点、从少漏点到多漏点的多种工况条件下的新增漏损进行大致定位。均值差分析通过直接对平均值之差进行比较预

测漏损管段,而  $t$  检验分析充分利用每个数据所携带的信息。从表2还可以看出, $t$  检验分析虽然能通过预测的管段找到漏损管段,但预测管段数量较多,

干扰大;而均值差分析不仅能够得到漏损管段或与漏损相连管段,其预测的管段数量也在合理范围内,干扰较  $t$  检验要小。

表2  $t$  检验与均值差分析预测结果

Tab.2 Results of student's  $t$  test and mean difference test

工况组合	新增漏点编号	$t$ 检验预测管段编号	均值差分析预测管段编号
0-1	157	109、107、173、101、123、103	173、123
0-2	115	101、103、107、109、112、113、119...	119、123
0-7	103、115、121、141、157、205、217、229、267	309、215、119、249、101、103、189...	123、125、147、149、153、175、237、241、249、109、173、60、229、329
3-4	205	189、202、204、229、235、317、319	60、183、189、229、321、235、237、206、241
3-5	205、217、103	103、109、319、204、249、101、105、107、111...	123、189、229、321、60、249、251、109、177、237、208
3-8	205、217、103、141、115、121、229、267	103、109、119、123、122、147、319、204、249、271、261、309、215、311、101、105、107、119、120、121...	60、123、179、229、329、335、149、109、173、175、153
4-6	217、103、141	319、237、204、249、103、109、101、105、107...	60、123、171、249、229、330、109、147、151、261、269、251
4-8	217、103、141、115、121、229、267	103、109、119、114、122、123、147、249、271、261、309、215、101、103、109、163、202、203...	60、123、175、243、321、329、335、125、147、149、261、269、249、251

表3 设置漏点管段编号及其相连接的管段编号

Tab.3 Number of leakage pipe and its connected pipes

漏点编号	103	115	121	141	157	205	217	229	267
连接管段编号	109	119、112、114	129、125、123、122	153、149、147	173、175	319、237、204	257、251、249	271、263、261	311、309、215

### 3 结论

通过对流量数据进行均值差分析和  $t$  检验分析均能较为迅速并且准确地对供水管网中的漏损进行定位,且均值差分析定位漏损时干扰较小、准确性较高,但  $t$  检验分析定位能充分利用每个数据所携带的信息。本研究为水司提供了通过离线流量数据统计分析定位漏损的新思路。

### 参考文献:

- [1] 刘锁祥,赵顺萍,曹楠,等. 供水管网漏损控制研究和实践[J]. 中国给水排水,2015,31(10):22-25.  
Liu Suoxiang, Zhao Shunping, Cao Nan, et al. Research and practice of water loss control of water distribution network[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(10): 22-25 (in Chinese).
- [2] 孙国胜,高金良,姚芳,等. 南方某城市供水管网系统三层分区控漏实践[J]. 中国给水排水,2017,33(3):42-45.  
Sun Guosheng, Gao Jinliang, Yao Fang, et al. Leakage

control of three-level partition for water supply network system in a southern city [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(3): 42-45 (in Chinese).



作者简介:杜建军(1963-),男,新疆哈密人,本科,高级工程师,主要从事水利工程设计工作。

E-mail:465808118@qq.com

收稿日期:2019-03-12