

给水管网压力监测点的优化布置

郭思元^{1,2}, 刘遂庆², 陈 嵘³

(1. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 厦门水务规划设计研究有限公司, 福建 厦门 361009; 3. 西安建筑科技大学设计院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 以厦门市给水管网压力监测点的布置为例, 根据给水管网压力监测系统的实际运行数据, 综合利用变量相关系数和变量标准差等信息, 建立了管网压力监测系统信息量的优化模型, 并采用残差、信息损失比率及逐步回归方法, 确定了给水管网压力监测点的优化布置方案。

关键词: 给水管网; 水压监测点; 优化布置; 逐步回归方法

中图分类号: TU991.33 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2004)12-0082-03

Optimization Arrangement for Pressure Monitoring Points of Water Distribution Network

GUO Si-yuan^{1,2}, LIU Sui-qing¹, CHEN Rong²

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Xiamen City Water Affairs Planning and Design Co. Ltd., Xiamen 361009, China; 3. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: By taking the arrangement for pressure monitoring points of water distribution network in Xiamen for example, the optimization model for information content of pressure monitoring system was set up by integrated utilization of correlative variable coefficient and variable standard deviation based on the system's actual running data; and the optimization arrangement scheme was determined for pressure monitoring points of water distribution network by using residual, information loss ratio, and stepwise regression method.

Key words: water distribution network; water pressure monitoring point; optimization arrangement; stepwise regression method

城市给水管网压力监测系统是给水管网优化调度的重要基础, 给水管网压力监测点的设置是一个多目标决策问题, 包括确定监测点的数目和位置两项内容, 其数目与投资费用有关, 而一定数目的压力监测点应通过位置的合理设置最大程度地采集反映管网压力分布状态实时变化的信息。目前国内对给水管网水压监测点分布位置的研究方法有敏感性分析、聚类分析等^[1,2], 但都要在管网信息完全的基础上进行。笔者在压力监测系统运行数据的基础上,

采用回归分析方法, 并以厦门市给水管网压力监测点分布调整方案为例, 建立了一种针对管网信息不完全的压力监测点布置进行优化调整的方法。

1 数学模型

设给水管网压力监测系统由 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 等 n 个压力监测点组成, 管网压力监测系统每隔 15 min 巡测管网压力变化信息。设在 $t = [t_1, t_2, \dots, t_k]$ 中第 i 个压力监测点 x_i 采集的压力数据为 $P_{ii} = [p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ik}]$, $p_{in} > 0$, 则压力监测点 x_i 采集的管

网压力变化信息量 I_i 的优化数学模型为:

$$I_i = \max f(P_{ii}) \tag{1}$$

根据信息理论,其中:

$$f(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ik}) = - \sum_{k=1}^k P_{ik} \log P_{ik} \tag{2}$$

式中压力值 p_{ii} 的标准差 δ_i 为:

$$\delta_i = \frac{n \sum_{i=1}^n P_{ii}^2 - (\sum_{i=1}^n P_{ii})^2}{n(n-1)} \tag{3}$$

管网压力监测点采集管网压力的实时变化信息,管网压力监测系统采集的管网压力变化总信息量(I)的优化数学模型为:

$$I = \max \sum_{i=1}^n (I_i) \tag{4}$$

式中压力监测点 x_i 和 x_j 采集的信息量 I_i 和 I_j 之间的相关系数 r_{ij} 为:

$$r_{ij} = \frac{n \sum_{i,j=1}^n I_i I_j - \sum_{i,j=1}^n I_i I_j}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n I_i^2 - (\sum_{i=1}^n I_i)^2} \sqrt{n \sum_{j=1}^n I_j^2 - (\sum_{j=1}^n I_j)^2}} \tag{5}$$

根据信息理论, I_i 和 I_j 之间的相关系数越小,其包含的信息总量也就越大。

2 应用实例

厦门本岛内共有 17 个水压监测点,为了解这些压力监测点的分布是否合理,是否可通过调整其中几个压力监测点的位置来获得更多的管网压力信息,以及如何评估调整方案的信息量变化程度而进行了研究。

取 2003 年 1 月 17 个水压监测点的 2 880 组实测数据,剔除其中因破管、仪表故障、停电等造成的伪数据后对剩余 1 790 组进行计算分析,对 17 个水压监测点的 1 790 组数据求相关系数矩阵,如表 1 所示。

表 1 相关系数矩阵

Tab. 1 Matrix of correlation coefficient

项目	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}
	海滨	湖光	湖里	外运	海山	林德	莲坂	汽车	一中	海峡	水产	水运	海味	海洋	前埔	五中	仙岳
海滨	1.000																
湖光	0.106	1.000															
湖里	0.258	0.922	1.000														
外运	0.453	0.680	0.865	1.000													
海山	0.352	0.841	0.943	0.953	1.000												
林德	0.096	0.738	0.691	0.552	0.679	1.000											
莲坂	0.110	0.887	0.827	0.667	0.828	0.747	1.000										
汽车	0.274	0.330	0.473	0.579	0.529	0.275	0.338	1.000									
一中	0.522	0.436	0.690	0.944	0.826	0.369	0.437	0.575	1.000								
海峡	0.285	0.263	0.394	0.529	0.475	0.225	0.273	0.302	0.546	1.000							
水产	0.340	0.874	0.960	0.934	0.978	0.674	0.809	0.501	0.797	0.452	1.000						
水运	0.503	0.533	0.760	0.968	0.879	0.438	0.521	0.573	0.982	0.546	0.860	1.000					
海味	0.435	0.069	0.334	0.646	0.485	0.093	0.105	0.415	0.768	0.414	0.425	0.726	1.000				
海洋	0.276	-0.229	-0.022	0.256	0.104	-0.140	-0.180	0.195	0.409	0.212	0.047	0.351	0.611	1.000			
前埔	0.043	0.396	0.364	0.263	0.349	0.314	0.392	0.126	0.174	0.106	0.352	0.212	0.010	-0.096	1.000		
五中	0.288	0.019	0.173	0.346	0.245	0.034	0.049	0.310	0.414	0.226	0.211	0.397	0.499	0.334	-0.012	1.000	
仙岳	0.034	0.794	0.706	0.474	0.626	0.592	0.714	0.183	0.256	0.161	0.656	0.342	-0.036	-0.238	0.321	-0.043	1.000

根据相关系数将 17 个变量 $x_i (i=1, 2, 3, \dots, 17)$ 分为下列 4 类:

- ① $r > 0.9$, 为高度强相关变量:
 $[x_2, x_3], [x_3, x_5], [x_3, x_{11}], [x_4, x_5], [x_4, x_9], [x_4, x_{11}], [x_4, x_{12}], [x_5, x_{11}], [x_9, x_{12}]$
- ② $0.8 < r < 0.9$, 为强相关变量:
 $[x_2, x_5], [x_2, x_7], [x_2, x_{11}], [x_3, x_4], [x_3, x_7], [x_5, x_9], [x_5, x_7], [x_5, x_{12}], [x_7, x_{11}], [x_{11}, x_{12}]$

- ③ $0.4 < r < 0.8$, 为中度相关变量:其他
- ④ $r > 0.4$, 为弱相关变量:其他

显然,高度强相关变量与强相关变量应优先考虑调整。

对各变量的标准差结果见表 2。对于标准差较大的测压点,其个性特征就越明显,因而包含的信息量也越大。因此,在同等条件下可优先考虑调整标准差较小的测压点。

表2 各测压点数据的标准差

Tab.2 Standard deviation of pressure data in each measurement point

项目	海滨	湖光	湖里	外运	海山	林德	莲坂	汽车	一中
标准差	0.018 4	0.009 9	0.001 4	0.019 8	0.014 1	0.019 8	0.019 8	0.021 2	0.024 7
项目	海峡	水产	水运	海味	海洋	前埔	五中	仙岳	
标准差	0.021 9	0.010 6	0.024 7	0.042 4	0.053 0	0.067 9	0.019 8	0.029 0	

综合上述两项指标,可以考虑调整的压力监测点有:

湖光(x_2)、湖里(x_3)、外运(x_4)、海山(x_5)、莲坂(x_7)、一中(x_9)、水产(x_{11})、水运(x_{12})。

使用 SPSS 统计软件,采用逐步回归法可得上述各压力监测点的最优回归方程如下:

$$x_2 = -0.36 + 0.231x_3 + 0.34x_6 - 0.204x_7 + 0.954x_{11} + 0.39x_{13} - 0.542x_{16}$$

$$x_3 = -0.026 + 0.349x_2 - 0.129x_7 + 0.814x_{11}$$

$$x_4 = 0.038 + 0.266x_5 + 0.337x_9 + 0.169x_{11} + 0.254x_{12}$$

$$x_5 = 0.011 + 0.096x_3 + 0.290x_4 + 0.093x_7 + 0.189x_6 + 0.355x_{12}$$

$$x_7 = 0.096 - 0.312x_2 - 0.163x_3 + 0.733x_5 + 0.974x_6 + 0.082x_{14} - 0.378x_{13}$$

$$x_9 = -0.008 + 0.250x_4 - 0.034x_6 + 0.207x_8 + 0.526x_{12} + 0.078x_{16} - 0.046x_{17}$$

$$x_{11} = 0.021 + 0.218x_2 + 0.129x_3 + 0.132x_5 + 0.499x_{12} - 0.018x_{14}$$

$$x_{12} = 0.014 - 0.036x_1 + 0.122x_4 + 0.256x_8 + 0.244x_9 + 0.178x_{11} + 0.130x_{13} + 0.122x_{16}$$

以第3个压力监测点为例,采用上述方程对测压点的数据进行拟合,并与实际数据比较(如表3所示)。表3表明回归拟合效果较好。综合上述分析,可考虑对测压点 x_3 、 x_4 、 x_9 进行调整。

表3 测压点数据的拟合结果

Tab.3 Fitted effect of pressure data

实际数据				拟合数据	误差
湖光(x_2)	莲坂(x_7)	水产(x_{11})	湖里(x_3)	湖里(x_3)	(%)
0.423 00	0.363 00	0.354 00	0.363 00	0.362 96	0.012
0.407 00	0.343 00	0.364 00	0.368 00	0.368 09	0.025
0.394 00	0.351 00	0.335 00	0.339 00	0.338 92	0.024
0.366 00	0.292 00	0.344 00	0.344 00	0.344 08	0.024
0.390 00	0.349 00	0.339 00	0.341 00	0.341 03	0.010

上述3个压力监测点回归方程的剩余方差为:
 $\sigma_3^2 = 0.004\ 867^2$, $\sigma_4^2 = 0.002\ 1^2$, $\sigma_9^2 =$

$$0.005\ 079^2$$

定义信息损失比率:

$$\delta_i = \frac{\sigma_i^2}{\gamma_2} \times 100\% \quad i = 3、4、9 \tag{3}$$

其中 σ_i^2 为剩余方差, γ_i 为第*i*站压力平均值,计算出减少上述3个压力监测点后,原有的管网压力监测系统的信息量损失比例分别为:

$$\delta_3 = 1.37\%, \delta_4 = 0.57\%, \delta_9 = 0.58\%$$

平均信息量损失为:
$$\delta = \frac{\delta_3 + \delta_4 + \delta_9}{3} = 0.84\%$$

根据上述分析,我们认为如果取消 x_3 、 x_4 、 x_9 压力监测点,剩余的14个压力监测点提供的管网压力信息量仍可保留原有17个压力监测点提供的管网压力信息量的99%。因此可以重新调整 x_3 、 x_4 、 x_9 压力监测点在管网中的分布位置,确定重新调整的位置可参照有关压力监测点分布的方法^[1,2]。显然,调整后的方案在不增加压力监测点设备的基础上,获得了更多的管网压力分布信息量,达到了优化调整的目的。

3 结语

给水管网压力监测点的选址在管网信息不完全时只能靠经验确定分布位置,难于达到综合“最优”的目的。运用回归分析的方法,可以通过对实际运行压力数据的分析,确定调整方案,逐步改进,获得优化布置方案。该方法虽然不能绝对保证获得最优分布的位置,但可以获得比凭经验进行定位分布更加满意的结果。该方法简单可行,容易掌握,计算结果令人满意。

参考文献:

[1] 张宏伟,张丽,梁建文. 给水管网压力监测点的布置方法[J]. 中国给水排水,2003,19(3):52-55.

[2] 王训俭,王增义. 论给水管网压力监测点的选择[J]. 中国给水排水,1989,5(3):9-12.

电话:(0592)5907566
E-mail:gordon_phd@sina.com
收稿日期:2004-06-15