

系统聚类分析用于供水管道漏损控制的研究

马力辉¹, 崔建国², 刘遂庆¹, 信昆仑¹

(1. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 太原理工大学环境科学与工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 城市供水管道漏损控制是一项复杂的系统工程, 所以有必要对城市供水管道做系统的分析和把握, 从而能在实践中更好地对漏损进行管理与控制。应用多元统计方法中的系统聚类分析方法, 通过计算机程序绘制了“聚类树”, 对某市的供水管道进行聚类分析, 并得到了该市的“现状供水管道漏损信息聚类总平面图”。该方法改变了供水企业被动式的漏损管理模式, 可对管道漏损做到及早预防、分时分区治理。

关键词: 供水管道; 漏损控制; 聚类分析; 专家评分

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2006)23-0009-05

Study on Application of System Clustering Analysis in Leakage Control of Water Supply Pipelines

MA Li-hui¹, CUI Jian-guo², LIU Sui-qing¹, XIN Kun-lun¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Leakage control of urban water supply pipelines involves a complicated system engineering. A comprehensive analysis is necessary for the assurance of divisional leakage management and control. Through system clustering method of Multivariate Statistical Analysis, the “clustering tree” of a practical water distribution network was plotted on the computer for simulation. An “ichnography on leakage information of water supply pipelines” was obtained. The new method concluded in the analyses allows enterprises to become active in management, pre-treatment and time/area organization of leakage problems for water supply pipelines.

Key words: water supply pipelines; leakage control; clustering analysis; expert grading

我国供水管网的漏损问题突出, 近十几年来漏损率总体呈上升趋势, 由1992年的7.89%上升到2002年的16.71%^[1], 而建设部制定的规范要求漏损率低于12%^[2], 所以如何有效地控制供水管道漏损, 是一个亟待解决的问题。

面对供水管网漏损控制这一技术难题, 各国专

家和学者从不同方面进行了研究^[3~11], 并取得了一定成果。但是漏损控制是一项复杂的系统工程, 应结合设计、施工、运行等方面整体考虑, 单纯考虑某一方面往往不能获得最佳的经济效果。为此, 应用多元统计方法中的系统聚类分析方法对城市供水管道进行聚类分析, 通过绘制“现状供水管道漏损信

息聚类总平面图”来实现供水管道漏损隐患的分类统计,以便使管理者、专业人员能够更加清楚地认识和把握现有供水管网,为更加合理地管理和控制管网漏损提供依据。

1 漏损因素分析及量化

导致城市供水管道漏损的原因较多,不同地区、不同材质的管道漏损会有不同的主要诱导因素,为此需先对各影响因素(包括定性因素)进行量化。具体的方法可分为两类:一类是根据已有的资料对相应因素进行量化;另一类是采用专家打分的方法将相应因素量化。

1.1 管材质量

管道材质低劣、耐压性差是管道爆裂的内在因素。根据经验,在相同条件下各种管道按易裂可能性由大到小排序为:镀锌管、铸铁管、石棉水泥管、延性铁管、钢筋混凝土管、钢管。根据对我国部分城市各种管材漏损(爆管、折管、口漏等)的统计分析^[12],灰口铸铁管、钢管、预应力钢筋混凝土管、球磨铸铁管、石棉水泥管、镀锌管、黑铁管、塑料管的单位管长事故率分别为 0.55、0.59、0.54、0.14、1.72、1.06、1.57、4.68 次/km,据此可以将管材指标量化。

1.2 土质条件

土壤的性质是影响管道漏损的重要因素,主要体现为对管道的腐蚀性、沉降性和冻胀性。在进行聚类分析时,对于这些难于量化的定性指标采用专家评分的方法,将每一指标下的分类指标量化。具体做法是:对每一指标根据确定的分类类目,征集和咨询现场专家、高校及科研单位学者的意见,对各个分类指标进行评分^[13,14]。

具体量化过程为:首先根据《地基基础设计规范》将地基分为 4 类^[15],即碎石土、砂土、粘性土和人工填土地基(由于研究对象为城市供水管道,很少出现岩石地基,故对岩石地基未予考虑),然后请该领域的专家根据其在生产实践和科研中的亲身体会,就这四个分类指标对供水管道漏损影响的大小进行评价,给出每个分类指标的量化分值;最后对不同的专家评分结果进行汇总及处理,从而得到碎石土、砂土、粘性土、人工填土地基的评分值(见表 1)。

表 1 土质条件对管道漏损影响的量化表
Tab. 1 Quantified influence of soil condition upon pipelines leakage

土质条件	碎石土	砂土	粘性土	人工填土
分值	5.5	5	7	8

1.3 接口质量

接口漏水是造成供水管道漏水的重要原因之一。采用类似于土质条件的专家打分法将接口形式量化,结果见表 2。

表 2 接口形式对管道漏损影响的量化表
Tab. 2 Quantified influence of joint modes upon pipelines leakage

接口形式	承插式 (橡胶)	承插式 (石棉水泥)	法兰式	焊接
分值	6	8	5	3

1.4 埋深及荷载

如管道埋深过浅,则过大的动荷载很容易引起接口或管段漏水甚至爆裂。由于埋深属于静载,而路面荷载属于动载,故需分别进行量化。管道的埋深是一个相对稳定的数值,可由竣工交验的技术资料获得,取其均值作为埋深量化指标值;对于管道承受的路面荷载,采用专家打分的方法将其量化(见表 3)。

表 3 路面荷载对管道漏损影响的量化表
Tab. 3 Quantified influence of road load upon pipelines leakage

分类指标	路面荷载				
	绿地或广场	快速路	主干路	次干路	支路
分值	0	7	5	4	3

1.5 管网的运行压力

地形状况、系统供水方式、运行调度方案等不同则管网运行压力也存在差异,当运行压力过高时爆管的几率就会增加。

由于供水水压时刻都在变化,所以选择管网的最高日最高时水压作为其量化指标值。

1.6 管道腐蚀

管道腐蚀与其采用的防腐措施及外界环境有关,应用专家打分的方法对影响管道腐蚀的指标进行量化,结果见表 4。

表 4 腐蚀对管道漏损影响的量化表
Tab. 4 Quantified influence of corrosion upon pipelines leakage

分类指标	腐蚀		
	沥青防腐	水泥衬砌防腐	地下水水位
分值	3	4	7

另外,温度也是影响管道漏损的重要因素,但笔者所探讨的问题是通过系统聚类分析得到城市供水管道漏损的系统分类信息,而对于某一个城市而言

其温度相当于恒量,故不能作为分类指标。

2 系统聚类分析方法

分类是自然科学的重要研究内容之一,合理的科学的分类应能反映某类事物的最基本特征及同别类事物的区别。根据分类对象不同,聚类分析可分为两类:一类是根据变量(指标或特征)对样本或样品进行分类,即 Q 型聚类分析;另一类是根据变量在各标本上的观测值对变量进行分类,即 R 型聚类分析。笔者采用的聚类分析方法属于 Q 型。

由于对复杂系统运用距离平方和法进行分群可能会出现反转现象^[16],而离差平方和法则能将最短距离法、最长距离法、中间距离法、重心法、类平均法、可变尺度法、可变法七种聚类分析方法统一起来^[17],故选用离差平方和法对供水管道进行聚类分析。

在此次研究中,离差平方和法的实现流程如图 1 所示。

3 实例考核

某市地形西北高、东南低,其管网布置见图 2。

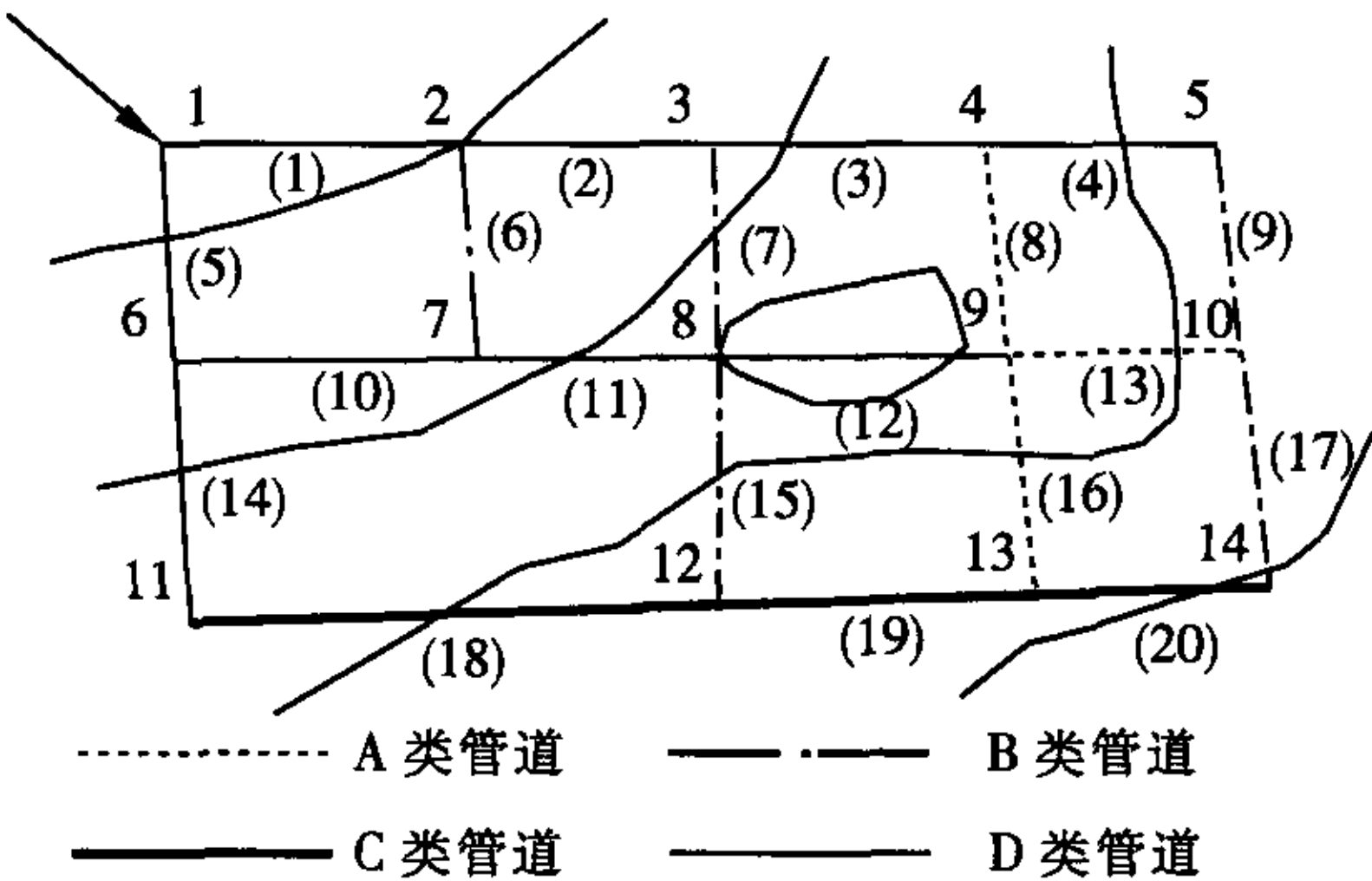


图 2 现状供水管道及其漏损信息聚类分析结果
Fig. 2 Ichnography about water supply pipelines and its leakage information

根据前文所述的方法,对该市供水管道的各漏损因素进行量化,结果见表 5。

表 5 各管段的量化指标
Tab. 5 Quantified indexes of pipelines

管段	管材/ (次· km ⁻¹)	埋深/ m	水压/ kPa	土质	接口	荷载	防腐
1	0.55	1.72	331.73	5.5	8	5	4
2	0.55	1.70	314.58	5	8	5	4
3	0.55	1.70	296.94	5	8	5	4
4	0.55	1.73	278.52	5	8	5	4
5	0.55	1.71	331.93	5.5	8	5	4
6	0.14	1.62	316.15	5	7	6	3
7	0.14	1.63	316.15	5	7	4	3
8	0.14	1.64	295.96	7	7	4	3
9	0.14	1.64	261.37	5	7	4	3
10	0.55	1.70	316.34	5.5	8	5	4
11	0.55	1.69	307.92	5	8	5	4
12	0.55	1.73	315.17	7	8	5	3
13	0.14	1.72	278.81	7	7	5	3
14	0.55	1.71	314.87	5.5	8	5	4
15	0.14	1.73	299.29	5	7	4	3
16	0.14	1.70	276.85	7	7	4	3
17	0.14	1.67	244.41	5	7	4	3
18	0.55	2.00	289.20	5	8	7	4
19	0.55	2.04	260.97	5	8	7	4
20	0.55	2.08	242.45	5	8	7	4

使用多元统计分析软件包中的系统聚类分析程序对表 5 中的数据进行计算,离差平方和分类谱系见图 3,聚类分析过程及结果分别见表 6 和图 2。

图 1 离差平方和法的系统聚类分析流程

Fig. 1 Analysis flow chart of system clustering of sum of squares of deviations

对于已形成的每个点群(在文中是指管道集合),先计算出它的重心,再得到点群中所有各点到重心的距离平方和,然后计算离差平方和增量矩阵(用新点群的离差平方和减去原来点群的离差平方和即为离差平方和增量),将离差平方和增量最小的两个点群合并在一起,直到所有对象(样本)都合并为一类为止。

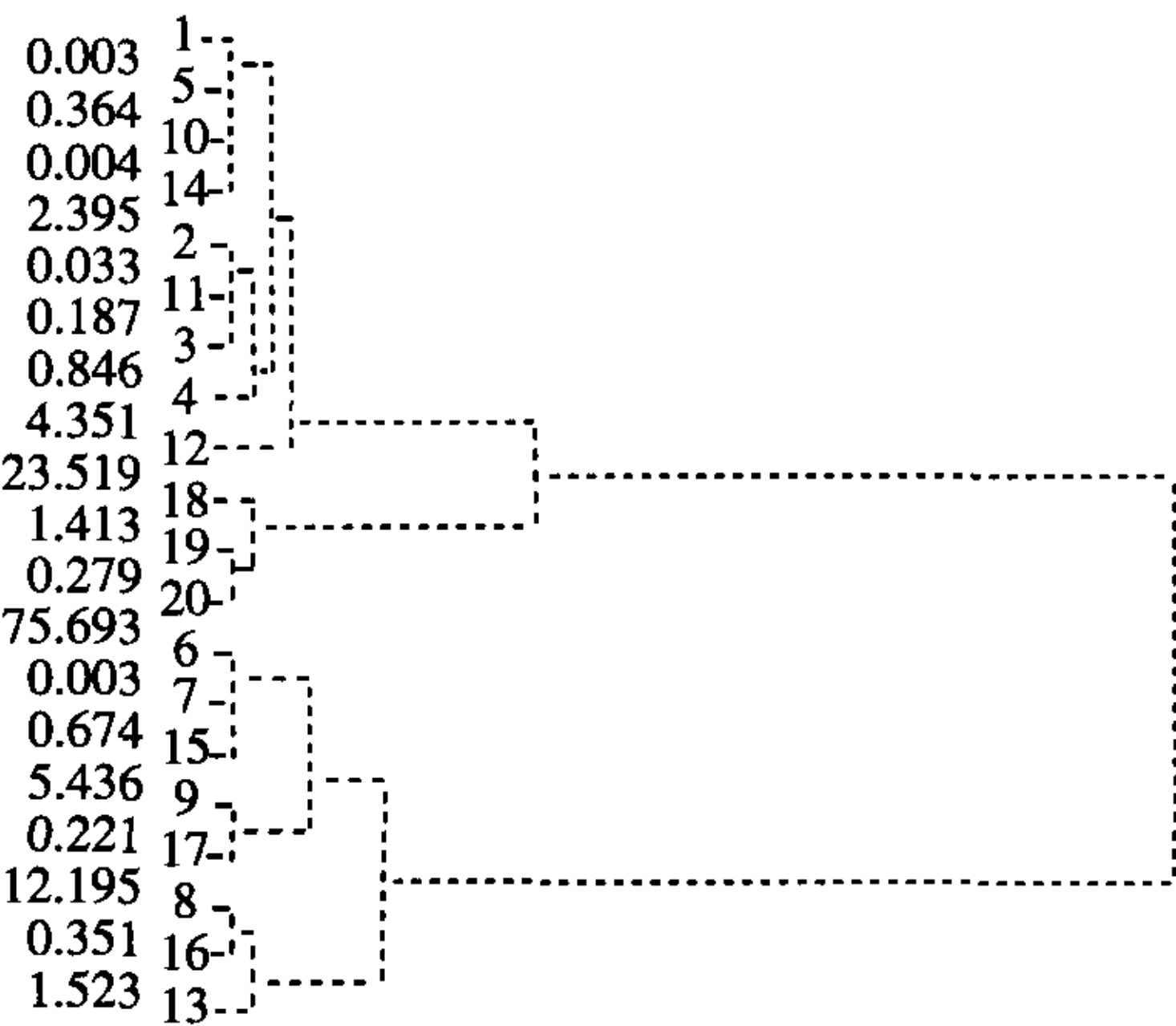


图 3 离差平方和分类谱系图

Fig. 3 Classified pedigree chart of sum of squares of deviations

表 6 系统聚类分析过程

Tab. 6 Analytic process of system clustering

聚类顺序	ΔE_{pq}	聚类项	聚类项
1	0.282 6E-02	6	7
2	0.285 2E-02	1	5
3	0.429 8E-02	10	14
4	0.330 9E-01	2	11
5	0.187	2	3
6	0.221	9	17
7	0.279	19	20
8	0.351	8	16
9	0.364	1	10
10	0.674	6	15
11	0.846	2	4
12	1.413	18	19
13	1.523	8	13
14	2.395	1	2
15	4.351	1	12
16	5.436	6	9
17	12.195	6	8
18	23.519	1	18
19	75.693	1	6

根据聚类分析结果,按 $\Delta E_{pq}=6.00$ 的水平可以将该市的供水管道分为 A、B、C、D 四类,其中 A 类管道包括 8、13、16 管段;B 类管道包括 6、7、9、15、17 管段;C 类管道包括 18、19、20 管段;D 类管道包括 1、2、3、4、5、10、11、12、14 管段(12 管段的地势较低、土质条件差、管内水压较高,故也归为此类)。

D 类管道位于主干道之下,管道材质、接口、防腐均较差,且管内水压较高;C 类管道位于跨城区的快速路之下,且材质、接口、防腐均较差;B 类管道(后期建设)由于采用了球磨铸铁管、柔性接口及沥青防腐,漏损概率相对减小,但水压仍相对较高;A 类管道的材质、水压、荷载、接口、防腐均较好,漏损概率最小,所以应根据漏损聚类分析结果,对该市的供水管道进行有重点、有计划、分时、分区的漏损控制,以有效提高供水企业的效益。

4 结论

城市供水管道漏损控制是一项复杂的系统工程,应用系统聚类分析方法对城市供水管道做系统的分析和把握,可改变供水企业被动式的漏损管理模式,能分区、分时地对城市供水管道进行漏损管理与控制。同时聚类分析的结果可作为城市供水管道改、扩建的依据,使近期效益与远期效益相结合,从而更加科学合理地对供水管道进行设计、施工与管理,实现城市供水管道系统的整体优化。

参考文献:

[1] 中国城镇供水协会. 城市供水行业 2010 年技术进展发展规划及 2020 年远景目标[M]. 北京:中国工业出版社,2005.

[2] CJJ 92—2002,城市供水管网漏损控制及评定标准[S].

[3] Javier Almandoz. Leakage assessment through water distribution network simulation[J]. Journal of Water Resources Planning and Management,2005,131(6):458 - 466.

[4] Mark Stephens, Martin Lambert, Angus Simpson, et al. Field tests for leakage, air pocket, and discrete blockage detection using inverse transient analysis in water distribution pipes[A]. 6th Annual Symposium on Water Distribution Systems Analysis, EWRI Water Congress[C]. Salt Lake City,2004.

[5] Reza Ardakanian, Ali Akbar Ghazali. Pressure-leakage relation in urban water distribution systems[A]. Proceedings of the ASCE International Conference on Pipeline Engineering and Construction [C]. Baltimore, 2003.

[6] Dewi Rogers, Marco Fantozzi. Leakage—wasting a precious resource[A]. World Water and Environmental Resources Congress[C]. Orlando,2001.

[7] Dewi Rogers, David Duccini. Leakage control—finding a

- new resource from the existing one[A]. World Water & Environmental Resources Congress and Related Symposia[C]. Philadelphia,2003.
- [8] Kalanithy Vairavamoorthy,Jeremy Lumbers. Leakage reduction in water distribution systems:optimal valve control[J]. Journal of Hydraulic Engineering,1998,124(11):1146-1154.
- [9] David Burnell,Julia Race. Water distribution systems analysis:patterns in supply-pipe leakage[A]. Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning & Management [C]. Minneapolis,2000.
- [10] 张宏伟. 供水管道漏损预测模型研究[J]. 中国给水排水,2001,17(6):7-9.
- [11] 赵洪宾. 给水管网漏失预测模型的研究[J]. 给水排水,2001,27(10):94-96.
- [12] 崔玉川. 城市与工业节约用水手册[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [13] EPA. Case Study for a Distribution System Emergency Response Tool [DB/OL]. http://www.epa.gov/safe-water/watersecurity/pubs/casestudy_security_pipeline.pdf,2005-12-01.
- [14] 刘伟韬. 底板突水的专家评分——层次分析预测与评价[J]. 工程勘察,2002,(1):22-25.
- [15] 徐鼎文. 给水排水工程施工[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [16] 方开泰. 聚类分析[M]. 北京:地质出版社,1982.
- [17] 长春地质学院. 多元统计分析方法在地质中的应用[M]. 长春:长春地质学院出版社,1983.

作者简介:马力辉(1977-), 男, 河北石家庄人, 博士研究生, 研究方向为城镇供排水系统优化。

电话:(021)65985869

E-mail:powermlh@163.com

收稿日期:2006-07-20

(上接第8页)

- Water Res,1996,30(2):277-284.
- [7] 李军,王宝贞,聂梅生. 序批式生物膜法脱氮特性研究[J]. 中国给水排水,2004,20(7):1-4.
- [8] Mervyn C Goronszy,Gunnar Demouin,Mark Newland. Aerated nitrification in full-scale activated sludge facilities[J]. Water Sci Technol,1997,35(10):103-110.
- [9] Watanabe Y. Simultaneous nitrification and denitrification in micro-aerobic biofilms[J]. Water Sci Technol,1992,26(3-4):511-522.
- [10] 曹国良,姚萍萍,毛欢庆. SBR处理中药材有机废水工艺研究[J]. 上海环境科学,1996,15(2):18-20.
- [11] 蒋京京,刘峰,陈雷,等. 蚌埠柠檬酸厂综合废水的UASB法处理[J]. 苏州城建环保学院学报,1998,11(3):25-30.
- [12] 刘康怀,席为民,李月中. HCR——一种高效好氧生物技术[J]. 给水排水,2000,26(4):25-28.
- [13] 李亚,张红燕. 处理垃圾渗滤液的新尝试:交替运行式氧化沟(PID)技术[J]. 环境保护,2001,(9):22-23.
- [14] 何圣兵,王宝贞,王琳,等. 厌氧—好氧生物膜处理污水、污泥的研究[J]. 中国给水排水,2002,18(9):39-41.
- [15] 劳善根,胡宏,童永忠. 厌氧滤池、膨胀床和流化床的消化特性[J]. 环境污染与防治,1995,17(2):18-20.
- [16] 张绍园,闫百瑞. 二段淹没式膜生物反应器处理城市污水的研究[J]. 工业用水与废水,2003,36(6):40-42.
- [17] 李军,赵琦,聂梅生,等. 淹没式生物膜法除磷生物膜特性研究[J]. 给水排水,2002,28(4):23-26.
- [18] 白晓慧,王宝贞,李刚. 一体式膜—复合生物反应器处理生活污水的试验研究[J]. 哈尔滨建筑大学学报,1999,32(4):65-68.

作者简介:李军(1964-), 男, 山东淄博人, 博士, 教授、博士生导师, 主要研究方向为污水生物处理技术。

电话:(010)67391726

E-mail:jglijun@bjut.edu.cn

收稿日期:2006-08-01