

东北地区城市净水厂耗水率现状调查与特征分析

徐勇鹏^{1,2} 崔福义^{1,2} 姜金鑫¹

(1 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090; 2 哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室, 哈尔滨 150090)

摘要 收集东北地区 16 座净水厂自用水消耗的资料, 分析了水厂絮凝池、沉淀池等的排泥工况对水厂自用水耗水率及排泥水含固率的影响, 以及水厂滤池反冲洗工况对自用水耗水率和反冲洗效果的影响。基于数据分析, 对东北地区典型水厂自用水耗水率现状进行综合评价。调查结果表明, 东北地区的水厂耗水率受水源水质、处理规模、处理工艺(新建或改造)和运行管理等条件的影响, 自用水的节约潜力在于优化运行参数以适应季节变化和水量负荷的变化, 以及改造滤池反冲洗方式。

关键词 净水厂 自用水 耗水率 综合评价

Investigation of water consumption rate of water treatment plants in the Northeast China

Xu Yongpeng^{1,2}, Cui Fuyi^{1,2}, Jiang Jinxin¹

(1. Municipal and Environmental Engineering College, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Based on the collection of self water consumption of 16 water treatment plants in the Northeast China, this paper studied the impacts of sludge discharge operation of flocculation tank, sedimentation tank on water treatment plants self water consumption rate and sludge drainage solid content, and the impacts of back-washing operation of filter tank on self water consumption and back-washing effects. Based on data analysis, the current self water consumption rate of typical water treatment plant in the Northeast China was evaluated comprehensively. The results showed: self water consumption rate of water treatment plant in the Northeast China is affected by water resource water quality, water production scale, treating process (newly constructed or upgraded), and operation and management, and so on; water-saving potential in self water consumption lies in operation parameter optimization, so which could adopt to the change of seasons and water production load, and the upgrade of filter tank back-washing.

Keywords: Water treatment plant; Self water consumption; Water consumption rate; Comprehensive evaluation

0 引言

城市净水厂在为城市生产和生活提供需水的同时, 自身又是耗水大户。在水资源短缺的背景下, 探

讨净水厂节水的措施与途径是十分必要的。

城市净水厂水处理系统由不同的工艺单元组成, 其消耗的自用水量 and 方式一般也不相同, 具有各自的特征。为了探讨降低水厂自用水耗水率的有效途径, 有必要对城市净水厂各个工艺单元进行深入调查, 并在此基础上, 对城市净水厂的自用水构成及

国家科技支撑计划项目(2006BAB17B02); 国家自然科学基金创新研究群体(50821002)。

特征进行分析。

本文涉及对我国东北地区部分城市净水厂自用水消耗情况的实地调研,这些水厂在东北地区具有一定代表性,调查结果对了解和掌握东北地区净水厂的自用水情况有参考价值。

1 调查概况

1.1 调研水厂的地点分布

调研水厂分布在东北 3 个省份黑龙江、吉林和辽宁,选择了 10 个地点的 16 座净水厂作为调查对象。选择的地点分布如图 1 所示,黑龙江省 3 座城市:哈尔滨、尚志和七台河;吉林 3 座城市:长春、吉林和梅河口;辽宁 4 座城市:沈阳、大连、本溪和鞍山。调研水厂平均分布在东北平原地区大、中、小不同规模的城市中;黑龙江北部是大小兴安岭的山脉地区,没有作为调研区域。



图 1 调研水厂城市分布

1.2 调研水厂的水量分布

此次调查根据水厂实际生产水量分为 3 个区间段,每个区间的水厂分布见表 1,实际供水量范围为 1 万~42 万 m^3/d 。

表 1 调研对象的生产水量区间分布

水量 $Q/\text{万 m}^3/\text{d}$	$Q \leq 5$	$10 \geq Q > 5$	$Q > 10$
数量/座	5	5	6

1.3 调查内容与方法

通过对东北地区的 16 座常规工艺净水厂的自用水消耗情况的调研,旨在①研究水厂絮凝池、沉淀池等排泥工况对水厂自用水耗水率及排泥水含固率的影响,以及研究水厂滤池反冲洗工况对自用水耗

水率和反冲洗效果的影响;②基于数据分析,对东北地区典型水厂自用水耗水率现状进行综合评价;③结合水源水质、处理规模、处理工艺(新建或改造)和运行管理等条件,综合分析在东北地区影响净水厂自用水耗水率的主要因素,自用水的节约潜力和控制措施。

调查内容有 4 个部分,分别是:

(1) 自用水消耗的基本情况。包括净水厂水源资料、设计规模、实际生产规模以及水厂自用水情况,如絮凝池排泥水量、沉淀池排泥水量、滤池反冲洗水量和总自用水量等参数。

(2) 水源水质情况。由于东北地区的季节特性变化比较明显,因此,需要收集不同季度的水源水质参数,主要有:水温($^{\circ}\text{C}$)、pH、浊度(NTU)、高锰酸盐指数(mg/L)、氨氮(mg/L)等指标,特殊水质需要分析特殊指标。

(3) 工艺形式和运行情况。涉及自用水消耗的单元工艺设计参数和运行参数。絮凝池的参数有絮凝池形式、尺寸、絮凝时间、排泥方式、排泥周期、排泥时间、排泥水量、排泥水浊度等;沉淀池的参数有沉淀池形式、尺寸、沉淀停留时间、排泥方式、排泥时间、排泥水量和排泥水浊度等;滤池的参数有滤池形式、尺寸、滤料名称、滤料粒径、滤层厚度、反冲洗方式、反冲洗周期和反冲洗时间、反冲洗强度、反冲洗水量等。

(4) 排放水处理情况。是否建有絮凝池、沉淀池和滤池排放水的回收处理工艺。

1.4 调研水厂的基本数据

调研的 16 座水厂都是以地表水作为水源的常规处理水厂,其中以水库水为水源的水厂有 6 座,以江河水为水源的水厂有 10 座。详细资料见表 2。

涉及净水厂自用水的絮凝、沉淀和过滤工艺的基本情况如下:

絮凝池形式的分布状况。絮凝池有机械、网格、折板/隔板等形式,其中采取机械絮凝池的水厂有 4 座,设计水量均在 10 万 m^3/d 以上。采取网格絮凝池的水厂有 7 座,其中 5 座水厂在黑龙江地区,并且设计水量在 10 万 m^3/d 以下。采取折板/隔板絮凝池的水厂有 5 家,主要分布在辽宁省,设计水量在 10 万 m^3/d 以上。

表2 调 研 水 厂 的 基 本 资 料

序号	设计水量/ 万 m ³ /d	生产水量/ 万 m ³ /d	生产率/ %	水源	絮凝池型	排泥方式	沉淀池型	排泥方式	滤池池型	冲洗方式	絮凝池排水量/ m ³ /d	沉淀池排水量/ m ³ /d	滤池排水量/ m ³ /d	絮凝池耗水率/ %	沉淀池耗水率/ %	滤池耗水率/ %	总耗水率/ %
1	45	42	93.33	水库水	机械		斜管	重力	翻板	气水	0	13 500	6 400	0.00	3.21	1.54	4.75
2	10	7	70.00	水库水	网格	穿孔管	斜管	穿孔管	无阀	水冲	200	1 600	4 800	0.29	2.29	6.86	9.43
3	10	4	40.00	水库水	网格	穿孔管	斜管	穿孔管	V 型	气水	200	200	1 000	0.50	0.50	2.50	3.50
4	3	2.2	73.33	河水	网格	重力	斜管	机械	普快	水冲	70	300	1 000	0.32	1.36	4.55	6.23
5	5	2	40.00	河水	网格	穿孔管	斜管	机械	普快	水冲	150	300	1 000	0.75	1.50	5.00	7.25
6	2	1	50.00	河水	网格	穿孔管	斜管	机械	普快	水冲	70	100	400	0.70	1.00	4.00	5.70
7	30	18	60.00	水库水	机械	重力	平流斜管	重力	虹吸	水冲	500	4 000	10 000	0.28	2.00	5.56	7.83
8	12	7	58.33	江水	折板隔板	穿孔管	斜板	重力	V 型	气水	550	2 500	600	0.79	3.57	0.86	5.21
9	10	10	100.00	江水	网格	重力	斜板	重力	V 型	气水	600	2 500	560	0.60	2.50	0.56	3.66
10	10	5	100.00	水库水	机械	穿孔管	斜管	机械	V 型	气水	100	300	1 200	0.20	0.60	2.40	3.20
11	40	40	100.00	河水	折板		斜管	重力	V 型	气水	0	5 000	10 000	0.00	1.25	2.50	3.75
12	40	30	75.00	水库水	折板	穿孔管	斜管	重力	V 型	气水	100	9 000	3 600	0.03	3.00	1.20	4.23
13	20	15	75.00	河水	折板	穿孔管	平流	穿孔管	普快	气水	200	2 660	3 200	0.13	1.77	2.13	4.04
14	15	11	73.33	河水	网格	穿孔管	斜板	机械	普快	气水	200	2 000	4 000	0.18	1.82	3.64	5.64
15	10	8	80.00	河水	机械	重力	斜板	机械	V 型	气水	200	500	2 000	0.25	0.63	2.50	3.38
16	10	7	70.00	河水	隔板		斜管	机械	普快	水冲	0	700	3 400	0.00	1.00	4.86	5.86

沉淀池形式的分布状况。由调研数据可知, 14 座水厂采取斜管/斜板式沉淀池, 1 座水厂采取平流沉淀池, 还有 1 座水厂采用前段平流后面接斜管形式的沉淀池。沉淀池排泥方式主要是穿孔管排泥和机械刮泥的重力排泥。

滤池形式的分布状况。滤池形式相对较多, 有翻板滤池、无阀滤池、普通快滤池、虹吸滤池和 V 型滤池等 5 种形式。其中建有普通快滤池的水厂有 6 座, 建有 V 型滤池的水厂有 7 座。反冲洗方式也有单水反冲洗、气水反冲洗等形式, 采用单水反冲洗的水厂有 6 座, 气水反冲洗的水厂有 10 座。

2 分析与讨论

2.1 絮凝池自用水耗水情况

如表 2 调查结果所示, 絮凝池的池型影响絮凝池的排泥耗水率, 在统计的 16 座净水厂中机械絮凝池有 4 座, 网格絮凝池有 7 座, 隔板絮凝池有 2 座, 折板絮凝池有 3 座, 排泥水量从 0 到 600 m³/d, 絮凝池自用水的耗水量占每天产水量的比率(即耗水率)为 0~0.79%。其统计结果见表 3。

表 3 絮凝池池型对耗水率的影响

絮凝池形式	机械	网格	隔板	折板
数量/座	4	7	2	3
耗水率/%	0~0.28	0.18~0.75	0.79	0~0.13
占总自用水量的比例/%	0~7.41	3.03~16.39	15	0~4.45

机械絮凝池可随水质、水量的变化而随时改变转速以保证絮凝效果, 它适用于大、中型水厂。从表 2 和表 3 中可以看出建有机絮凝池的水厂, 设计水量都在 10 万 m³/d 以上, 耗水率在 4 种絮凝池中相对较低, 在 0~0.28% 的范围内, 占总自用水量的 0~7.41%。

网格絮凝池的耗水率为 0.18%~0.75%, 占总自用水量的 3.03%~16.39%, 耗水情况在 4 种絮凝池中居中。

隔板絮凝池是应用历史较长、目前仍常应用的一种水力搅拌絮凝池。它适用于大、中型水厂, 这是由于水量过小时, 隔板间距过于狭窄不便施工和维修。调查的 2 座建有隔板絮凝池的水厂设计水量都在 10 万 m³/d 以上。从表 3 中可以看出隔板絮凝池的耗水率较高为 0.79%, 占总自用水量的 15%, 是

4 种絮凝池中耗水率较高的一种。

折板絮凝池是在隔板絮凝池的基础上发展起来的,目前已经得到广泛的应用。表 3 中显示 3 座折板絮凝池的耗水率都较低,在 0~ 0. 13% 范围内,占总自用水量的 0~ 4. 45%,属于比较节省排泥水的絮凝池。

除了絮凝池的池型,絮凝池的排泥方式也是影响其耗水率的一个重要因素。絮凝池的排泥方式主要有穿孔管排泥、重力排泥、机械排泥,还有很多水厂絮凝池不排泥。本次调查的 16 座水厂采用穿孔管排泥的有 9 座,重力排泥的有 4 座,还有 3 座不排泥,见表 4。分析数据可知,穿孔管排泥方式的絮凝池耗水率为 0. 03% ~ 0. 79%, 占总自用水量的 0. 007% ~ 7. 41%。属于耗水率较高的排泥方式;重力排泥的耗水率在 0. 25% ~ 0. 60%, 占总自用水量的 0. 07% ~ 16. 39%。

表 4 絮凝池排泥方式对耗水率的影响

絮凝池排泥方式	穿孔管	重力	不排
数量/ 座	9	4	3
耗水率/ %	0. 03~ 0. 79	0. 25~ 0. 60	0
占总自用水量的比例/ %	0. 007~ 7. 41	0. 07~ 16. 39	0

2. 2 沉淀池自用水耗水情况

如表 2 调查结果所示,沉淀池的排泥方式多采用穿孔管和机械刮泥、泥斗重力排泥,排泥水量从 300 m³/d 到 13 500 m³/d,沉淀池自用水的耗水率为 0. 50% ~ 3. 57%,其结果见表 5。在调查的 16 座水厂中建有平流沉淀池的只有 2 座,其设计水量在 20 万 m³/d 以上,属于大型水厂,其余 14 座都是斜管/斜板沉淀池,原因是东北地区处理工艺要建在室内,斜管沉淀池占地面积小。

表 5 沉淀池耗水情况统计

沉淀池形式	平流	斜管/斜板	斜管/斜板/平流
排泥方式	穿孔管	穿孔管	机械刮泥、重力排泥
数量/ 座	1	2	13
耗水率/ %	1. 77~ 2. 00	0. 50~ 2. 29	0. 60~ 3. 57
占总自用水量的比例/ %	25. 54~ 43. 89	14. 29~ 24. 24	17. 07~ 70. 87

平流沉淀池采用穿孔管排泥,耗水率为 1. 77% ~ 2. 00%, 占总自用水量的 25. 54% ~ 43. 89%;斜管/斜板沉淀池的耗水率为 0. 50% ~ 2. 29%, 占总自用水量的 14. 29% ~ 24. 24%;同样采用穿孔管排泥的平

流和斜管/斜板沉淀池,斜管/斜板沉淀池相对省水。而采用机械刮泥、重力排泥的斜管/斜板沉淀池的耗水率为 0. 60% ~ 3. 57%, 范围比较大, 占总自用水量的 17. 07% ~ 70. 87%, 原因是耗水率与运行工况关系较大。

2. 3 滤池自用水耗水情况

如表 2 调查结果所示,滤池的反冲洗水量从 560 m³/d 到 10 000 m³/d,耗水率为 0. 50% ~ 3. 57%。滤池的统计数据见表 6。

表 6 滤池耗水情况统计

滤池形式	V 型滤池	普通快滤池	虹吸滤池	无阀滤池	翻板滤池
数量/ 座	7	6	1	1	1
耗水率/ %	0. 56~ 2. 50	2. 13~ 5. 0	5. 56	6. 86	1. 54
占总自用水量的比例/ %	15. 30~ 75. 00	52. 81~ 82. 93	70. 92	72. 73	32. 36

翻板滤池耗水率最低,为 1. 54%;翻板滤池是在水资源短缺的时代下产生的,设计理念是节省反冲洗水^[1]。在调查的水厂中,采取翻板滤池的水厂建于 2006 年。

其次是 V 型滤池,耗水率为 0. 56% ~ 2. 50%。由于其气水反冲洗结合表面扫洗,大幅降低了水厂的滤池反冲洗用水量^[2],而且容易实现自动化运行,因此 20 世纪 90 年代后期建设的水厂一般都采用这种池型。近年许多新建的水厂仍然采取这种池型,许多深度处理的臭氧活性炭池也多采用 V 型滤池池型。

普通快滤池的耗水率为 2. 13% ~ 5. 0%。普通快滤池具有易于实现自动化的优点,在 20 世纪 80、90 年代水厂自动化刚刚起步的时候建设比较多,但是由于其大阻力配水系统和单水反冲洗的原因,水厂的反冲洗自用水率较高^[3]。在调研的水厂中有 2 座水厂的普通快滤池采取气水冲洗,其耗水率分别是 2. 13% 和 3. 64%,大大降低了反冲洗自用水的比例,其余 3 座采取单独水冲洗的水厂耗水率为 4% ~ 5%。

虹吸滤池的耗水率是 5. 56%,耗水率最高的是无阀滤池为 6. 86%。虹吸滤池由于其自身水力自动反冲洗的优点,在 20 世纪 80 年代以前采用较多,尤其在小型的水厂或者一些早期建造的大型扩改建

水厂中多使用虹吸滤池,但是虹吸滤池的反冲洗自用水量比较大^[1]。双阀滤池、无阀滤池、移动罩滤池和虹吸滤池属于同一时期的池型,因这些池型设计带有虹吸装置,可以实现水力自动化,在没有电气自动化的条件下,可以大量减少工人的操作强度。但是,这些池型都是单水冲洗,每次冲洗的水量较大,在现在自动化程度较高、水资源紧缺的时代,都应逐步进行升级改造。

2.4 东北地区水厂自用水耗水特点

综合分析以上数据,除了前已讨论的构筑物形式影响耗水率外,结果显示东北地区的水厂耗水现状还存在如下特点。

2.4.1 耗水率受运行负荷的影响

净水厂自用水耗水率与生产水量占设计水量的比例(生产率)关系紧密,在水厂低负荷运行,生产水量与设计水量相差较多的情况下,水厂自用耗水率较大,如果生产水量和设计水量相当,水厂自用耗水率较小。表2中数据显示,生产率高于75%的7座水厂中,耗水率均低于5%。生产率在75%以下的9座水厂中,耗水率高于5%的有8座水厂,3#水厂例外,生产率低于40%,耗水率低于3.5%,原因是沉淀池的排泥周期很长(96 h),因此排泥水量低,导致总的耗水率低。

2.4.2 耗水率受构筑物排泥和反冲洗方式的影响

由于构筑物及相关设备不同,处理系统运行过程中处理效果、水力条件等必然受到影响,从而影响各工艺单元消耗自用水的情况。不同的工艺单元,其处理过程不同,涉及自用水的情况自然不同;对于同一工艺单元,当池型不同时,相应的工艺单元的水力条件、运行状态是有差别的,其自用水一次耗水量、耗水周期也将不同;即使是同一工艺单元的同一池型,当耗水设备不同时,其消耗的自用水在水质、水量上也都不相同。所以,不同工艺设备的城市净水厂之间,其耗水率具有一定的差异。

从图2可见,絮凝池排泥水量最小,耗水率最低,有些水厂的絮凝池不设排泥设施,但絮凝池底部设有和沉淀池联通的孔,排泥水和沉淀池排泥一起排出。除个别水厂之外,沉淀排泥水量居中,耗水率一般为0.5%~3.57%。过滤反冲洗水的水量最多,一般高于2.4%。

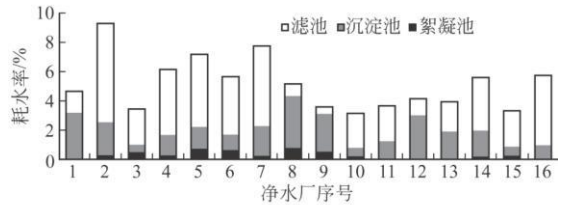


图2 耗水率对比

2.4.3 耗水率受水源水质的影响

天然地表水中,水质成分复杂,原水浊度、pH、碱度和色度等水质指标随时间、空间的变化往往是频繁的。在实际运行中,原水浊度变化频繁,而pH、碱度和色度等的变化相对较小,甚至常年处于稳定状态。所以,考察水质因素对自用水消耗的影响主要是指原水浊度所造成的影响。此外,絮凝剂、助凝剂等药剂的投加改变了原水物理化学特性,使得水质在处理过程中不断变化。同一城市净水厂的不同时期或者不同地域的不同城市净水厂,为保障出水水质达标,都需要根据水质的特性设定处理系统的运行工况,从而使各工艺单元的自用水消耗情况有所不同。

调查结果显示,1#、8#、9#和11#水厂的沉淀池排泥耗水率高于滤池反冲洗耗水率,这个结果和文献^[1,4]中提到的结果存在差异,但是具有合理性:虽然4座水厂的水源都是一、二类水体,但是原水浊度低于2 NTU,地处北方,水温也较低,属于低温低浊水,絮凝剂投加量较大,沉淀排泥周期短,排泥水量大。但是滤池采用了翻板滤池、V型滤池,过滤周期较长,超过40 h,因此滤池反冲洗耗水率低于沉淀池排泥耗水率。

2.4.4 耗水率受水温的影响

天然地表水易受外部环境的影响,其中,温度就作为一个不可控制因素而存在。不同时期、不同地域的城市净水厂原水水温具有较大的差异,温度对处理系统的影响一般是通过改变絮凝剂、助凝剂等投加量来控制。这改变了排泥水和反冲洗水的情况,间接地对上清液回用也有一定影响。调查的结果显示,第1季度和第4季度时候,黑龙江地区的水厂耗水率普遍高于吉林和辽宁省的水厂,而第2季度和第3季度时的耗水率基本相当。冬季黑龙江地区的水温在0℃左右,而且时间长达半年之久,冬季低温低浊水导致处理难度加大,也导致沉淀池和滤

净水厂污泥脱水机选型及使用设计探讨

杨茂东 林海燕 王 超

(北京市市政工程设计研究总院, 北京 100082)

摘要 针对净水厂排泥水特点, 通过对常用污泥脱水机的工作原理、结构特点分析, 提出脱水机选型及使用设计要点。脱水机选择, 应该以实物试验为基础。一般, 净水厂污泥脱水, 不宜采用带式脱水机, 可选择离心脱水机或板框脱水机。当污泥脱水比较困难, 或对脱水污泥含固率要求比较高时, 宜优先采用板框脱水机。

关键词 净水厂 排泥水 污泥脱水 选型 离心脱水机 板框脱水机

0 前言

我国“十一五”规划纲要中明确提出了节能减排的目标和要求: 单位国内生产总值能耗降低 20% 左右, 主要污染物排放总量减少 10%。节约能源、降低能源消耗、减少污染物排放, 是社会经济可持续发展的前提, 是落实科学发展观的重要举措。研究净水厂排泥水合理、高效处理、安全回用技术, 对减少废水排放、节约能耗, 具有非常重要的意义。为此, 国家开展了一系列课题研究。结合“城市供水厂综合节水关键技术研究及示范(2006BAB17B02)”课题研究, 本文重点论述了净水厂污泥脱水机选型及

使用设计的注意事项。

1 净水厂排泥水污泥特点

污水处理厂污泥处理已有很长的发展历史, 但净水厂污泥处理则是近几十年才开展起来的。净水厂污泥与污水处理厂污泥有很大区别。污水处理厂污泥有机成分约占 75%, 而以江、河为水源的净水厂污泥以泥砂为主; 以湖水为水源的净水厂污泥主要以浮游质、有机物、金属氢氧化物等为主; 以水库为水源的净水厂, 在高藻期污泥有机物含量可升至 49%, 此时泥的性质对净水工艺和脱水机的运行均产生影响。总体来说, 净水厂主要是絮凝污泥^[1], 无

池的运行周期较 2、3 季度短, 耗水率加大。

3 结论

(1) 对于东北地区净水厂, 絮凝排泥水量最小, 耗水率最低; 有些水厂的絮凝池不设排泥设施, 絮凝池底部有和沉淀池连通的孔, 其排泥水和沉淀池的一起排出; 沉淀排泥水量居中, 耗水率一般为 0.5%~3.57%; 过滤反冲洗水的水量最大, 一般大于 2.4%。

(2) 净水厂耗水率受运行负荷的影响较大, 节水的有效措施是优化运行参数来节约低负荷状态下的耗水率。

(3) 耗水率同时受滤池反冲洗方式的影响, 单独水冲洗的滤池耗水率高于气水反冲洗的耗水率, 建议改造滤池反冲洗方式, 采取气水反冲洗是节约自用水的有效途径。

(4) 东北地区的季节特性对耗水率的影响较

大。冬季低温时期, 黑龙江地区的水厂耗水率普遍高于吉林和辽宁两省。

参考文献

- 1 严煦世. 给水工程. 第 4 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999
- 2 安明. 滤池气—水反冲洗技术的节水、节能效益研究. 工业水处理, 2006, (7): 91~93
- 3 陈冬毅, 施志强. 气水反冲洗滤池的优化运行. 中国给水排水, 2001, 17(4): 55~58
- 4 陶辉, 王毅, 韩伟, 等. 城镇给水厂节水策略及效益分析. 给水排水, 2007, 12(33): 9~12

○ 通讯处: 150090 哈尔滨市南岗区黄河路 73 号 哈尔滨工业大学二区市政环境工程学院

电话: 13946110707

E-mail: xuyongpeng123@163.com

收稿日期: 2010-05-17

修回日期: 2010-06-02