

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S2.011

# 供水厂节水优化现状调查与分析

徐勇鹏<sup>1,2</sup>, 王冬<sup>2</sup>, 王媛<sup>2</sup>, 姜金鑫<sup>2</sup>

(1. 城市水资源开发利用(北方)国家工程研究中心, 黑龙江哈尔滨 150090;

2. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 黑龙江哈尔滨 150090)

**摘要:**通过对中东部地区的52个常规工艺处理厂自用水消耗情况的调查,分析总结了不同地域城市供水厂工艺单元的类型特点;研究水厂絮凝池、沉淀池的池型及排泥工况对水厂自用水耗水率及排泥水含固率的影响;研究水厂滤池池型及反冲洗工况对自用水耗水率和反冲洗效果的影响;分析了现阶段城市供水厂建有自用水废水回用工艺的比例及工艺特点。

**关键词:**城市供水厂;自用水;耗水率;工艺单元类型

**中图分类号:**TU991 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2013)S2-0045-04

## Investigation and Analysis on Saving Optimization at Waterworks

Xu Yongpeng<sup>1,2</sup>, Wang Dong<sup>2</sup>, Wang Yuan<sup>2</sup>, Jiang Jinxin<sup>2</sup>

(1. National Engineering Research Center of Urban Water Resources, Harbin 150090, China;

2. School of Municipal and Environment Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

**Abstract:** This paper investigate the plant water of 52 different conventional processed water plant in the eastern and central regions, and analyse the characteristics of water plants in different areas; survey the influence of the pond of waterworks flocculation, sedimentation tanks on the water consumption rate and the solids containing in the sludge; besides, research the influence of the type of waterworks filter pool and backwash conditions on the consumption rate of water and backwash effect; also, it analyse the rate of water plants which have had this water reuse process at this time.

**Key words:** water treatment works; water consumption; water consumption rate; process unit types

节约用水已成为当前经济和社会发展的一项紧迫任务。城市供水厂作为制水企业,对水资源短缺的体会更为深刻,更加了解节水的重要性。城市供水厂的生产废水主要来源于絮凝、沉淀和过滤等工艺单元的运行过程中。各个工艺单元,包括运行控制参数、池体构造、自用水消耗方式以及设备等差异,均会对城市供水厂自用水消耗产生影响。

文中对我国中东部地区部分城市供水厂自用水消耗情况实地调研,调查地点涉及到东北、黄河中下游、江浙、广东等11个省份和直辖市的52个供水厂,对城市供水厂的自用水构成及特征进行分析总结,确定自用水消耗工艺的耗水率现状。采用文献[1]的调查方法进行调研。

### 1 城市水厂原水水质现状分析

由表1可知,水温随地域的南移不断升高,东北地区常年处于低温环境,这就要针对其低温低浊水进行考虑。pH值全国范围内保持一致,基本维持在7~8之间。浊度随地域的不同表现出很大的差异,可是江浙地区原水浊度最大,与其原水来源于长江水有关。其他地区全年平均浊度均低

于20 NTU,属低浊度水。

表1 水质状况统计表

指标	地区			
	东北	黄河中下游地区	江浙	广东
水温/°C	11.0	17.1	18.9	22.7
pH	7.5	7.7	7.8	7.1
浊度/NTU	13.0	18.5	52.9	16.0

针对低浊水的处理,通常加大絮凝剂、助凝剂的投加量<sup>[2]</sup>,以期获得较好的混凝效果。这必然会引起药量的增加,继而增加制水成本。

### 2 供水厂主要工艺单元节水现状分析

#### 2.1 絮凝池节水现状分析

在统计3个地区的水厂中,隔板/折板絮凝池有17个,占调查水厂总数的54.8%;机械絮凝池有5个,占调查水厂总数的16.2%;网格絮凝池9个,占调查水厂总数的29%。隔

收稿日期:2013-09-30

基金项目:国家科技重大专项课题(2012ZX07408001);哈尔滨工业大学校基金资助(HIT. 2003. 40);黑龙江省科技攻关项目(GB07C20202)

作者简介:徐勇鹏(1976-),女,博士,副教授,主要从事水处理方向研究。

板/折板絮凝池占有的比例较大,两者个数之和大约占到调查水厂总数的 70%,而机械絮凝池所占比例最小,网格絮凝池所占比例居中,且多分布于东北地区。

从调查结果中可以看出,隔板絮凝池主要应用于水量大于 50 m<sup>3</sup>/d 的大、中型水厂,隔板絮凝池的耗水率一般在 0.2%~0.3%之间。隔板絮凝池有多年运行经验,在水量变动不大的情况下絮凝效果有保证。

折板絮凝池是在隔板絮凝池的基础上发展起来的,由于其在流动中形成众多的小漩涡,颗粒碰撞效果得到提高<sup>[3]</sup>。在对全国不同地域水厂调查结果中可以看出,折板絮凝池应用广泛并且具有较好的絮凝效果。从耗水率方面看,隔板/折板絮凝池平均耗水率为 0.045%~0.26%,较机械絮凝池耗水率(0.1~0.72),有较好的节水效果。

隔板、折板絮凝池在不同地区的分布及耗水率情况如表 2 所示,东北地区隔板、折板絮凝池的耗水率一般为 0.03%~0.13%,江浙小于 0.1%,广东为 0.06%~0.26%。可是东北吉林的 2 个水厂絮凝池耗水为 0.6%~0.8%,这与东北地处我国北方水浊度低水温也较低有一定的关系。低温低浊条件下,絮凝剂投加量较大,沉淀排泥周期短,所以排泥水量较大。

机械絮凝池可随水质、水量的变化而随时改变转速,用以保证絮凝效果,适合任何规模的水厂。但是机械絮凝池需要机械设备,这也增加了机械维修工作。如表 2 所示,该池型平均的耗水率为 0.1%~0.72%,浙江地区一水厂絮凝池耗水率达到 1.13%,这与其絮凝池排泥方式有关。该厂絮凝

池排泥为机械排泥,导致排泥水量偏大。东北地区机械絮凝池耗水率相对于隔板/折板絮凝池较高,这与其工艺设备有一定关系。

网格絮凝池效果好,絮凝时间短,水头损失小,可是大量实际工程中发现网格絮凝池的末端存在积泥现象,少数水厂还发现网格上滋生藻类,出现堵塞网眼现象<sup>[4]</sup>。因此,网格絮凝池耗水率明显高于其他池型。例如东北地区,网格絮凝池耗水率约为 0.45%~0.75%,明显高于同地区其他池型耗水率。从表 2 可以看出机械和网格絮凝池主要应用于东北地区的城市供水厂,这和北方地区冬天气温较低,故需将水厂置于室内,室内环境要求工艺单元的占地面积要小,这正是网格絮凝池的优势所在。进一步分析具体数据,可以得出东北地区的网格絮凝池耗水率一般大于 0.4%,介于 0.45%~0.75%之间。而南方地区的网格絮凝池的耗水率小于 0.2%,昆山两水厂的网格絮凝池的耗水率仅为 0.02%。崔福义<sup>[5]</sup>基于微涡流理论改进的网格絮凝池对南方地区的低浊高藻原水具有较好的适应性,与传统絮凝池相比,沉后水浊度降低了约 0.1~0.2 NTU,同时对 CODMn 和藻类也有较高的去除率。

絮凝池的排泥方式主要有机械排泥、穿孔管排泥、重力排泥。文中只采用了穿孔管作为其典型的排泥方式,这是因为在絮凝池排泥条件下,90%以上的排泥方式都采用穿孔管排泥,只有一小部分采用重力排泥,采用穿孔管排泥的耗水率低于采用重力方式排泥的耗水率。

表 2 地区池型及耗水率统计表

耗水率/%	东北	黄河中下游地区	广东	池体数量/平均耗水率%
隔板折板絮凝池	5/0.03~0.13	3/—	9/0.06~0.26	17/0.045~0.26
机械絮凝池	4/0.2~0.3	—/—	1/—	5/0.1~0.72
网格絮凝池	7/0.3~0.75	—/—	2/—	9/0.45~0.75

注:约 90%的絮凝池采用排泥管进行。

## 2.2 沉淀池节水现状分析

由表 3 可知,在众多水厂中,沉淀池主要以平流和斜管/斜板沉淀池为主。澄清池、高密度沉淀池在东南沿海经济比较发达地区应用较为广泛。斜管沉淀池多应用在东北地区,这些地区冬季气温较低,需要将净水工艺安置在室内,又由于斜管沉淀池占地面积小所以该池型比较适合北方寒冷地区。不同池型地域分布及耗水率如表 4 所示。文中主要就平流和斜管/斜板沉淀池进行论述分析。

就平流沉淀池耗水率而言,江浙地区要高于广东地区,这与其原水来源有密切关系。江浙地区原水主要来源于长江水,水中浊度较高,排泥周期较短,耗水率较高;广东地区原水主要取自珠江,珠江水质相对长江水而言,水质较好,故耗水率低。

表 3 沉淀池形式统计表

沉淀池形式	平流	斜管/斜板	澄清池	高密度沉淀池
数量/个	22	20	1	3
比例/%	47.8	43.5	2.2	6.5
耗水率/%	>2.0	<2.0	—	<1.0

表 4 沉淀池型地域分布及耗水率统计表

耗水率/%	地区			
	东北	黄河中下游地区	江浙	广东
平流沉淀池	1/—	3/—	7/1.17~3.0	9/1.4~2.12
斜板斜管沉淀池	15/0.5~1.82	—/—	1/0.2~1.5	3/0.2~1.5

调查中,哈尔滨水厂存在斜管、斜板沉淀池耗水率较大的现象,这是因为其采用重力排泥作为沉淀池排泥方式,故排泥时间较长。陶辉等<sup>[6]</sup>对吸泥机运行方式进行优化,采用沉淀池前段(0~50 m)运行速度为 0.83 m/min,沉淀池后段(50~100 m)运行速度为 2.5 m/min 的方式,每天沉淀池的排泥水量减少至原来的 13%。周华等<sup>[7]</sup>通过优化排泥工况,使沉淀池排泥耗水率可控制在 0.7%左右。

高密度沉淀池是得利满公司研制的一种新型沉淀池,其占地面积小,沉淀效果好,沉淀池出水浊度一般都低于 2 NTU<sup>[8]</sup>。在抗冲击性上和水质适应性上比机械搅拌澄清池表现更为突出。

浙江嘉兴水厂高密度沉淀池的耗水率仅为 0.6%,在节

约水资源基础上减少了混凝剂的药耗,使该池型在节约能源和降低原材料消耗方面效益显著。许嘉炯、芮旻等<sup>[9]</sup>的半生产性试验,验证高密度沉淀池上升流速可达 6 mm/s,超过了斜管沉淀池和机械加速澄清池。出水浊度均在 0.7 NTU 左右变化。浊度的降低保障了滤后出水的安全,并且影响到了后续滤池过滤周期与反冲洗耗水率。高密度沉淀池排泥浓度可达 3% 以上,远高于平流沉淀池 0.6%~1% 的平均排泥浓度,故排泥水量仅相当于平流沉淀池的 10%~30%。但是从表 4 中的数据可以看出,平流沉淀池和斜管沉淀池仍是比较常见的 2 种沉淀池。

沉淀池的排泥方式是除了沉淀池的池型外,影响沉淀池耗水率的一个重要因素。不同池型以及排泥方式的耗水率如表 5 所示。

表 5 沉淀排泥水耗水率

池型	排泥方式	排泥耗水率/%
平流沉淀池	机械	1.5~2.5
斜管沉淀池	机械	0.5~1.5
	重力	1.5~3.0

大、中型水厂沉淀池一般都采用机械排泥,耗水率一般

在 0.5%~2.5%。进一步分析可知机械排泥耗水率在 0.5%~1.5%,而重力排泥耗水率在 1.5%~3.0%。由此可见,不同的排泥方式对于耗水率来说是一个重要的影响因素。如吉林省长春、吉林等地区采用斜管沉淀池、重力排泥方式其耗水率在 2.0%~3.0% 之间,而在黑龙江尚志地区采用斜管沉淀池、机械排泥方式其耗水率在 1% 左右。这是因为重力排泥方式下,排泥时间较长,所以其耗水率大于机械排泥。

### 2.3 滤池节水现状分析

在统计的 52 个水厂中,V 型滤池有 23 个,占调查水厂总数的 44.2%;普通快滤池有 16 个,占调查水厂总数的 30.8%;双阀滤池有 4 个,占调查水厂总数的 7.7%,普通快滤池和双阀滤池的个数总和占到总滤池个数的 38.5%;虹吸滤池有 2 个,占调查水厂总数的 3.8%;无阀滤池有 2 个,占调查水厂总数的 3.8%;翻板滤池有 5 个,占调查水厂总数的 9.6%。不同滤池的池型在不同地区的分布如表 6 所示。

V 型滤池的主要特点是反冲洗方式采用气水反冲洗结合表面扫洗,这样大大节省了水厂的滤池反冲洗水,而且容易实现自动化运行<sup>[10]</sup>。由表 7 可以看出,V 型滤池分布较广,适用于不同规模,不同地域的供水厂。V 型滤池的耗水率较低,耗水率在 1.0%~2.5%。V 型滤池因其优良的性能得到越来越多的应用。

表 6 滤池形式统计表

滤池形式	V 型滤池	普通快滤池	双阀滤池	虹吸滤池	无阀滤池	翻板滤池
数量/个	23.0	16.0	4.0	2.0	2.0	5.0
比例/%	44.2	30.8	7.7	3.8	3.8	9.6

由表 7 可知,在东北地区普通快滤池、双阀滤池占到 46.7%,在广东地区这 2 种滤池比例仅占到 36.7%。黑龙江省尚志地区 3 个水厂普通快滤池采用单独水冲洗其耗水率在 4.0%~5.0%。如果将普通快滤池改造成气水反冲洗,耗水率将会降低,在 2.0%~4.0%,耗水率下降近 1%,广州市深圳地区采用气水联合冲洗,耗水率仅在 1.5%~3.0%。

目前翻板滤池在东南沿海经济比较发达地区许多新建的水厂得到采用,它是在水资源短缺的时代下产生的,其设计理念是节省反冲洗水。在哈尔滨市也建有一座采用翻板滤池的水厂,此水厂为近期新建的水厂,此翻板滤池的耗水率只有 1.54%。

表 7 滤池形式及耗水率统计表

耗水率/%	地区				池体数量/ 平均耗水率%
	东北	江浙	广东		
V 型滤池	7/0.5~2.5	4/0.8~1.6	6/1.4~2.5	17/0.9~2.2	
普通快滤池	7/4~5	4/—	4/1.5~3	15/2.8~4	
双阀滤池					
翻板滤池	1/—	3/—	1/—	5/—	

滤池反冲洗的方式一般为单水反冲、气水反冲以及表面助冲。在调查的 52 个水厂当中,气水反冲洗的水厂有 41 个,所占的比例是 78.8%,单水冲洗的水厂有 11 个,所占的比例是 21.2%。

表 8 中的数据显示,气水反冲洗的耗水率是单独水洗的一半左右。可通过改变冲洗方式来降低滤池耗水率,实现节水效果。在气水反冲方式下,V 型滤池的耗水率最低,其耗水率为 1.0%~3.0%,其次是翻板滤池,耗水率约为 1.45%,改造后的普通快滤池耗水率最高,约为 2.0%~4.0%,但是相对于单独水洗来说,其耗水率得到大大降低。

表 8 过滤反冲洗耗水率

池型	反冲洗方式	反冲洗耗水率/%
普通快滤池	单独水洗	4.0~5.0
	气水反冲洗	2.0~4.0
V 型滤池	气水反冲洗	1.0~3.0
翻板滤池	气水反冲洗	1.45
虹吸滤池	单独水洗	5.0~6.0
无阀滤池	单独水冲	6.0~7.0

### 2.4 供水厂自用水耗水现状分析

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,不同地区的水厂耗水现状还存在如下特点。

2.4.1 耗水率受水源水质的影响 在实际工程运行中,pH 值、碱度等水质因素变化较小,而原水浊度的变化往往是频繁的。所以,考察水质因素对自用水消耗的影响应以原水浊度为研究对象,探究不同浊度条件下对自用水耗水率所造成的影响。所调查地域除江浙地区外,浊度均小于 20 NTU,这

与江浙地区常年以长江水为原水,浊度较高有关。低浊度水需要投加更多的絮凝剂,絮凝剂的增加又会对后续运行方式有一定影响。

2.4.2 耗水率受水源水温的影响 温度作为一个不可控制因素,在不同时期、不同地域的城市供水厂原水上有较大差异,温度对处理系统的影响一般是通过改变混凝剂、助凝剂等的投加来控制,从而改变了排泥水和反冲洗水的情况,间接的对上清液回用造成一定影响。表 1 中可以看到水温随地域南移温度不断升高,东北地区常年处于低温环境。相同地区在不同季度的水温也会有很大差异。徐勇鹏<sup>[1]</sup>在对东北地区进行调研中发现,在第 1 季度和第 4 季度,黑龙江地区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。

2.4.3 耗水率受构筑物排泥和反冲洗方式的影响 处理系统运行过程中处理效果、水力条件等会受到构筑物及相关设备的影响,继而影响各个工艺单元消耗自用水的情况。相同的工艺流程下,选用不同的池型对耗水率有一定影响。隔板/折板絮凝池耗水率 0.045%~0.26%,明显低于机械絮凝池的 0.1%~0.72%。在选择反冲洗方式上,普通快滤池在反冲洗中,单独水洗的耗水率在 4%~5%,而气水反冲洗的耗水率仅是单独水洗耗水率的一半,约为 2%~4%。

### 3 结 论

对我国中东部 11 个省和直辖市的 52 个城市供水厂自用水主要消耗工艺的调研结果,以及对数据的整理分析可以总结出如下一些规律:混凝排泥水量较小,耗水率最低,排除低温低浊水投药量大的情况,混凝池耗水率一般小于 0.5%;沉淀排泥水量居中,耗水率一般在 0.6%~3%范围内;过滤反冲洗水的水量最多,一般要高于 2.5%。

针对不同地区,耗水率情况具体如下:

东北地区絮凝池多使用网格絮凝池。除吉林部分水厂絮凝池耗水为 0.6%~0.8%,其它地区小于 0.3%。这是因为吉林地区水源位于松花江上游,水质良好,原水浊度低于 2 NTU,又因为吉林地处北方,水温较低,絮凝剂投加量较大,沉淀排泥周期短,排泥水量大,故较之于其他地区,耗水

率较高。斜板斜管沉淀池耗水率在 0.5%~2.0%,且因其占地面积小,在北方多有应用。北方地区一般不使用翻板滤池,其他形式的滤池均有使用。

江浙地区絮凝池多使用隔板/折板絮凝池,耗水率低于 0.1%。多采用平流沉淀池,耗水率约为 1.17%~3%。滤池采用 V 型滤池以及翻版滤池,两者均采用汽水反冲洗,降低耗水率,江浙地区 V 型滤池耗水率最低,在 0.5%~2%。

隔板/折板絮凝池在广东地区较为常见,其耗水率为 0.06%~0.26%。在广东地区约 75%的沉淀池选择平流式沉淀池形式,耗水率为 1.4%~2.12%。V 型滤池和普通快滤池得到广泛使用,由于许多普通快滤池仍采用高速水进行反洗,故其耗水率较高,约为 1.4%~2.5%。

### 参考文献:

- [1] 徐勇鹏,崔福义,姜金鑫. 东北地区城市净水厂耗水率现状调查与特征分析[J]. 给水排水,2010(09):15-20.
- [2] 赵志伟,高晗,崔福义. 低浊度出水条件下给水处理系统优化运行的中试研究[J]. 沈阳大学学报,2006(02):73-76.
- [3] 杨开明,杨小林,谷晋川,等. 折板絮凝池的发展及研究展望[J]. 西华大学学报:自然科学版,2006(04):50-51.
- [4] 颀调云,刘文林. 中小型水厂絮凝池的设计探讨[J]. 给水排水,2006(09):11-14.
- [5] 崔福义,徐勇鹏,赫俊国,等. 南方低浊高藻水的网格絮凝工艺优化[J]. 中国给水排水,2004(02):8-11.
- [6] 陶辉,王毅,韩伟,等. 城镇给水厂节水策略及效益分析[J]. 给水排水,2007(12):9-12.
- [7] 周华,陈卫,孙敏,等. 南京城市给水厂排泥水节水潜力分析[J]. 给水排水,2009(11):18-21.
- [8] Desjardins C, Koudjonou B, Desjardins R. Laboratory Study of Ballasted Flocculation. WaterResearch,2002,36(3):744-754.
- [9] 许嘉炯,郑毓佩,沈裘昌,等. 新型中置式高密度沉淀池的开发与应用[J]. 给水排水,2007,33(2):19-24.
- [10] 陈宇畅,唐三连,邵林广,等. 普通快滤池与 V 型滤池的性能比较[J]. 供水技术,2007(05):41-43.

(编辑 陈移峰)