

黑化砂与清洗再生砂过滤效果研究

郭雪松 施 周 邱振华 罗岳平 汤光明 何小路

提要 通过对新砂、前期过滤中由水中铁、锰等黑化材料结垢形成的黑化砂以及黑化砂分别经酸、碱清洗而成的再生砂作为滤料的过滤效果研究表明:黑化砂、酸洗砂、碱洗砂在滤后水质及过滤水头损失方面与新砂相差不大,可以作为滤料在生产中应用,并可节省运行成本。但在使用黑化滤料时,可适当降低反冲洗强度以避免跑砂延长初滤水时间以保证出水水质。

关键词 过滤 滤料 水处理 黑化砂 再生砂

在以地表水为水源的一些水厂,石英砂滤料使用1~2年后,其表面会逐渐形成一层主要成分为锰、硅、镁、铝、铁等元素的黑垢而成为黑化砂^[1~2]。由于担心滤料黑化对水质产生不良影响,水厂一般用新砂替换黑化砂,这样,缩短了滤砂的使用周期,大大增加了制水成本和运行管理工作量。

目前,国内已有研究探讨了对黑化砂进行清洗再生的可行性^[1~2],而本文将探讨新砂、黑化砂、酸洗和碱洗再生砂的过滤性能及出水水质。

1 试验装置和方法

试验过滤装置见图1。有机玻璃滤筒内径180 mm,原水为水厂经聚合氯化铝混凝及经平流沉淀后的出水,滤料水头损失通过滤筒旁侧测压管测定。

过滤时,进水水头由溢流管控制,采用等速过滤方式运行,滤速由出水调节阀控制,并根据《室外给水设计规范》(GBJ 13 - 86)采用8 m/h。

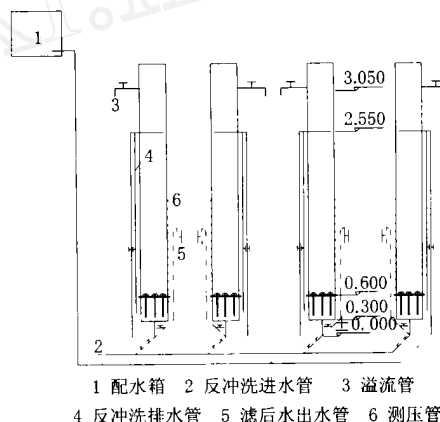


图1 过滤装置示意

试验中黑化砂采用由水厂滤池中刚换出的新鲜黑化砂,新砂和黑化砂均来自同一个砂厂。试验中所采用的黑化砂及新砂滤料经筛分后粒径范围均为0.6~1.25 mm, K_{80} 分别为1.42和1.52;酸洗砂和碱洗砂分别由上述筛分后的黑化砂经3%的HCl及

三个分区的供水控制方式采用了恒压变流量方式,系统根据压力测定值自动调节水泵转速及开启台数。变频器与各水泵电动机的配置采用一对一的形式,每台水泵的电机均可单独调速运行,水泵电机之间可不必进行工频、变频状态的切换。

3.2 系统与BA接口

航运大厦内部设有一套完整的对建筑物内部各类设备进行监视、控制、测量的建筑设备自动化系统,通过监控中心就可对设备的运行做到集中监控和管理,智能化程度很高,对于变频供水系统的监控也是必不可少的。为此,在地下3层及29层机房处

设置了直接数字控制器(DDC)。DDC将变频系统的监测点,其中包括数字量及模拟量,通过现场总线接口将信号传输至监控中心,构成了楼宇自控(BA)系统。采样信号包括了水泵出水口的压力、流量值,每台水泵电机的运行、故障状态,电机的转速、电流等。上述参数在监控中心终端屏幕上得以显示,使变频系统的运行管理方便安全。

▽作者通讯处:200002 上海市汉口路151号
华东建筑设计研究院有限公司
电话:(021)63217420-554
收稿日期:2003-3-31

3 %的 NaOH 清洗再生而得^[1]。所有滤料及承托层厚度分别为 700 mm 和 150 mm,其中承托层粒径范围 2~5 mm。每一滤筒采用 3 只长柄滤头配水,冲洗采用单一的水反冲洗,长柄滤头是为以后气水反冲洗试验而设。

铁、锰等金属离子的检测水样用塑料瓶盛装加硝酸保存,采用 AA320CRT 型原子吸收分光光度计测定;浊度测定采用 W G Z - 200 型浊度仪;滤料的密度测定参考文献[1]。

2 结果与讨论

用扫描电镜对新砂及黑化滤料表面的物质成分分析结果见表 1 和表 2。可以看出,新滤料表面物质主要元素是硅。发生黑化后,滤料的表面物质的成分变得复杂,各元素所占的比例显著改变,锰、铁、铝所占比例大大提高,锰成为黑化滤料表面附着物的主要元素。滤料黑化主要是由于待滤水中铁、锰、铝等在石英砂滤料表面富集所致^[1]。值得注意的是,在黑化滤料表面物质组成的电镜分析中没有检

表 1 石英砂表面物质的组成成分及含量

元素	内标比率	光较正系数	原子数/ %	质量分数/ %	质量方差/ %
铁	0.000 1	1.219	0.00	0.01	±0.12
锰	0.003 3	1.246	0.16	0.41	±0.12
钾	0.000 0	1.406	0.00	0.00	±0.00
硅	0.492 3	1.216	46.20	59.87	±0.27
铝	0.001 9	1.380	0.21	0.26	±0.04
氧	0.104 1	3.788	53.43	39.45	±0.48
总计			100.0	100.0	

表 2 黑化石英砂表面物质的组成成分及含量

元素	内标比率	光较正系数	原子数/ %	质量分数/ %	质量方差/ %
锌	0.047 8	1.184	2.57	5.66	±0.52
铁	0.086 5	1.102	5.05	9.53	±0.35
锰	0.244 9	1.131	15.23	28.25	±0.47
钛	0.005 4	1.098	0.36	0.59	±0.06
钙	0.015 1	1.089	1.22	1.65	±0.10
钾	0.017 4	1.161	1.53	2.02	±0.09
硫	0.002 3	1.517	0.32	0.35	±0.04
磷	0.003 1	1.863	0.56	0.58	±0.04
硅	0.076 2	1.903	15.29	14.50	±0.14
铝	0.064 2	2.112	14.87	13.55	±0.13
镁	0.000 9	2.830	0.30	0.25	±0.04
氧	0.077 2	2.987	42.70	23.07	±0.25
总计			100.00	100.00	

测出碳元素,表明滤料中碳元素含量很少或没有,由于碳元素是构成有机物或微生物的主要元素,由此推断黑化滤料表面几乎没有含碳有机物或微生物。

为考察铁、锰富集对过滤水质的影响,本试验选择铁、锰离子及浊度为水质指标来考察上述 4 种滤料工作周期中的水质变化;同时对过滤周期中的出水水样进行多指标水质分析以评价其对水质的影响。滤料黑化对过滤水力性状的影响主要通过水头损失变化及反冲洗膨胀率来评估。所测数据在试验装置经试运行 30 天以后测定。

2.1 过滤效果

过滤时 4 种滤料水头损失随时间的变化情况见图 2。从图 2 中可以看出:新砂、黑化砂、酸洗砂和碱洗砂 4 种滤料的水头损失随过滤时间而增加,各滤料水头损失变化在过滤 32 h 左右时出现折点:在 32 h 以内,水头损失随过滤时间的变化可以用直线关系描述,这与文献报道的等速过滤水头损失变化规律相似^[3];32 h 后,各滤料的水头损失随过滤时间的变化的斜率增大,表明水头损失增加变快,这可能是由于表层滤料截污率已接近饱和并形成表面过滤的缘故。4 种滤料的清洁滤料(初始)水头损失依次为 11 cm,13 cm,10 cm,11 cm,相差无几。正常过滤时,黑化砂的水头相对稍大一些,但各滤料间水头损失相差不大,其中过滤 24 h 时,黑化砂水头损失比其他三种滤料大 8~12 cm;过滤 64 h 时各滤料水头损失以黑化砂最大、碱洗砂最小,但二者之间相差 < 28 cm。试验结果说明滤料黑化对过滤水头损失的影响不大,再生滤料与新砂基本相同。过滤超过 66 h 后,各滤柱相继出现负压,过滤中止。

4 种滤料对浊度的去除情况见图 3。可以看出,当进水浊度在 2.2~11 NTU 范围内变化时,经 4 种

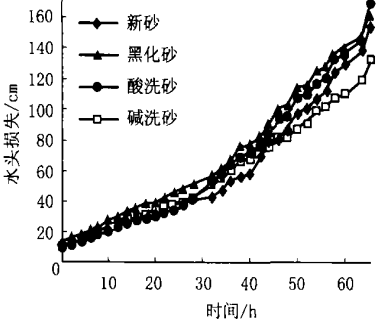


图 2 过滤水头损失随时间变化曲线

滤料过滤后的出水浊度除酸洗砂有一个点为 0.53 NTU 外,其余均在 0.5 NTU 以下,而且运行很稳定,在运行 66 h 后无穿透现象。

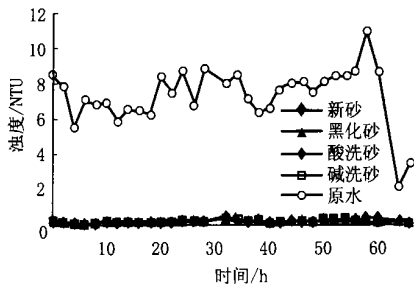


图3 滤后水浊度变化曲线

过滤对铁、锰的去除情况分别见图4和图5。从图4可以看出,当过滤进水铁离子浓度在 0.035 ~ 0.192 mg/L 范围波动时,运行 24 h 以内出水铁含量在 0.016 mg/L 以下,且出水浓度稳定,各滤料对铁的去除效果相差不多;当过滤超过 24 h 后,出水中铁浓度出现一些波动,浓度稍有上升,但所试 4 种滤料的出水铁含量都在 0.045 mg/L 以下,满足《生活饮用水卫生标准》(GB5749 - 85) 中铁离子浓度要求,过滤运行 66 h 内没有穿透现象,新砂、黑化砂、酸洗砂、碱洗砂滤料过滤 24 h 的平均去除率分别为 90.3 %, 90.9 %, 92.3 %, 89.7 %。

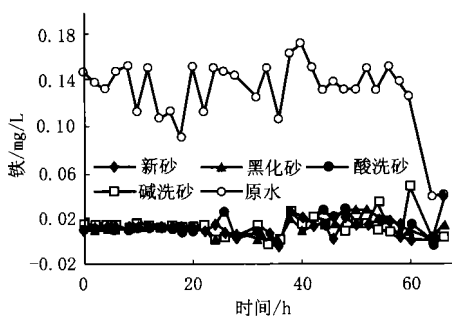


图4 滤后水铁含量比较

4 种滤料去除锰情况的比较(见图5)表明,当进水中锰的浓度在 0.039 ~ 0.053 mg/L 范围变化时,新砂、黑化砂、酸洗砂、碱洗砂滤料对锰的 24 h 过滤平均去除率分别为 21 %, 12.3 %, 27.5 %, 13.7 %, 总体上低于对铁的去除率。虽去除率在各滤料间存在差异,但出水中锰浓度能控制在 0.053 mg/L 以下,没有超过《生活饮用水卫生标准》(GB5749 - 85) 中的 0.1 mg/L 的现象。黑化砂前期过滤出水锰含量有时稍高于原水,可能是由于黑化砂表面黑化物

经过反冲洗摩擦后重新进入了水体,加大了出水中锰的含量。对比图4与图5,发现各滤料出水铁的含量较低且稳定(过滤时间 < 32 h),锰的浓度则较高且波动较大,反之亦然。

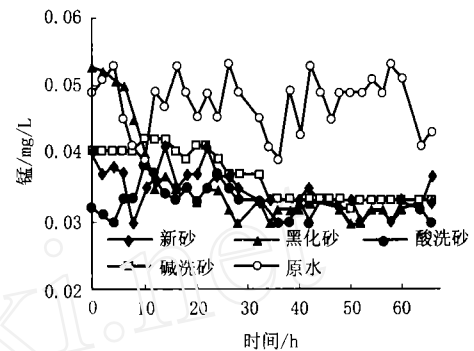


图5 滤后水锰含量比较

值得注意的是黑化砂对水中铁、锰的去除没有特别的促进作用,也没有明显的负面影响,说明黑化砂上的黑垢不同于处理含铁、锰地下水时在滤料表面所形成的膜^[4~5],后者对铁、锰的去除具有催化促进作用。另外,电镜分析推断黑化滤料表面几乎没有含碳有机物或微生物,因此,黑化滤料对铁、锰的去除主要是物理化学作用而非微生物作用。

总之,在过滤过程中,黑化砂及其再生砂对浊度、铁、锰的去除与新砂基本相同;试验装置运行 8 个月以后对过滤出水水质按《生活饮用水卫生标准》(GB5749 - 85) 检测色度、总硬度、铁、锰、铜、锌、挥发酚类、溶解总固体、砷、汞、镉、六价铬、氨氮、阴离子合成洗涤剂、铅等指标,结果表明:虽然各滤料滤后水水质有一些细小的差别,但都达到要求,因此,滤砂黑化后可按正常使用周期继续使用而不必提前换砂。黑化砂经酸、碱再生后可重新使用。

2.2 初滤水水质

4 个滤筒在相同反冲洗强度 ($28.0 \pm 0.1 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$) 下冲洗 8 min 后,立即过滤(滤速为 8 m/h),同时开始取样进行初滤水测定。初滤水浊度随初滤时间的变化关系见图6。从图6可以看出,除黑化砂外其它滤砂的出水浊度在 11 min 后达到 1 NTU 以下,黑化砂较其它砂达到 1 NTU 以下所需时间略长,约在 15 min 后出水浊度达到 1 NTU,这可能是

黑化砂表面经冲洗摩擦后部分脱落物进入了水体而加大了出水浊度的缘故。故在实际生产运行中,随着砂的黑化,要适当延长初滤水的排放时间,以保证出水水质。

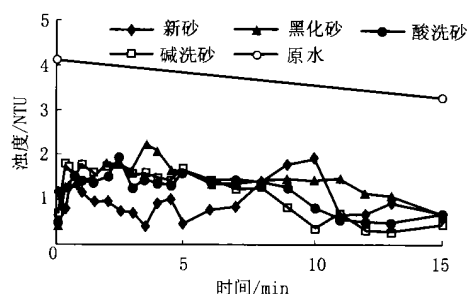


图6 初滤水浊度随时间变化曲线

图7为4种滤料初滤水中锰浓度随时间的变化情况。可以看出,黑化砂初滤水锰含量最高,碱洗砂锰含量次之,而酸洗砂最低,经初滤15 min后,各滤砂出水浓度相差无几,试验中所试4种滤料的初滤水锰含量都在0.05 mg/L以下,低于《生活饮用水卫生标准》(GB5749-85)的0.1 mg/L的规定值。而黑化砂中锰的浓度在2~7 min时超过进水浓度,这可能是由于吸附于黑化物中的锰在反冲后重新进入了水中的缘故。

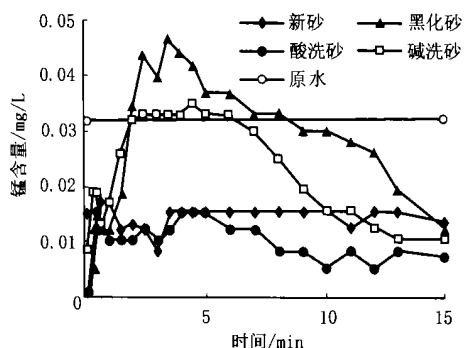


图7 初滤水锰含量比较

初滤水中铁的变化规律几种滤料基本相同:初滤15 min后,其值均低于0.02 mg/L。

2.3 反冲洗比较

滤柱运行24 h后,进行反冲洗6 min。由于滤筒边壁的影响,滤料要在较高的冲洗强度下才能产生相对运动,故试验中采用的反冲洗强度为 $28.0 \pm 0.1 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。实测的各滤料的膨胀率与密度关系见表3。

从表3可以看出:当滤料的级配相近时,密度对滤料的膨胀率影响很大。在相同冲洗条件下,黑化砂密度仅比新砂略小(是新砂的98%),但其膨胀率却是新砂的1.38倍。由此可见,滤料黑化后,其密度变小,若不调整反冲洗强度,则很容易造成跑砂。在水厂的实际运行中,也确实存在滤料黑化后的跑砂现象。

表3 4种滤料密度及其膨胀率

项目	新砂	黑化砂	酸洗砂	碱洗砂
密度/ g/cm^3	2.63	2.58	2.62	2.62
膨胀率/%	32.55	44.83	38.78	37.95

图8是反冲洗出水的浊度变化情况。可以看出,反冲洗6 min后,所试4种滤料冲洗出水浊度在10 NTU左右,差别不大。

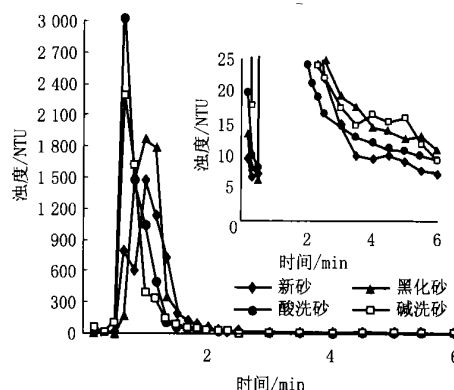


图8 反冲洗出水浊度变化曲线

反冲洗出水的铁、锰含量情况见图9和图10。可以看出,4种滤砂反冲洗出水铁、锰含量的变化规律与浊度变化规律基本相似,即在0.5~2 min间存在一个峰值。峰值的出现主要是由于吸附或截留在各滤料表面的铁、锰被重新洗脱下来的缘故。在6 min时铁的含量在0.155 mg/L以下;除黑化砂外,反冲洗出水锰含量在0.079 mg/L以下,黑化砂反冲洗出水锰含量为0.264 mg/L,但如前所述,过滤时,通过适当延长初滤水排放时间可以使出水降到0.1 mg/L以下。

2.4 经济分析

以长沙第五水厂为例,新砂的购置费用为128元/t,加上换砂的人工及运输等费用,换砂总费用约为165元/t。若滤料密度为 $2.63 \text{ g}/\text{cm}^3$,滤层高700 mm,孔隙率取0.42,则每t滤料相当的过滤面积为

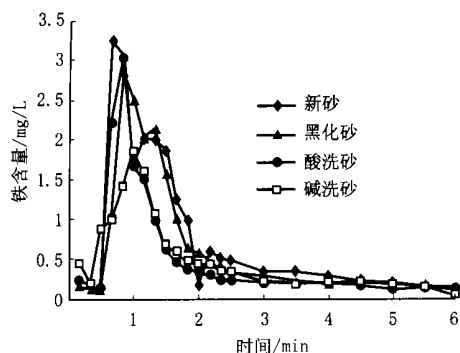


图9 反冲洗水铁含量比较

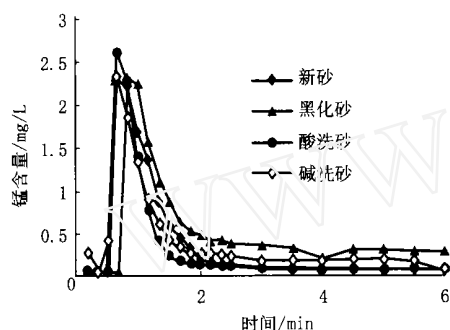


图10 反冲洗水锰含量比较

0.94 m²。根据本试验结果(图6,图7),若按出水浊度为1 NTU控制,则黑化砂比新砂的初滤水时间长5 min;而对铁、锰而言,由于试验期间其初滤水浓度均低于《生活饮用水卫生标准》(GB5749-85),故估算费用时按黑化砂比新砂的初滤水时间长5 min计,这相当于每t黑化滤料多排放初滤水量0.63 m³(滤速8 m/h)。排放的初滤水只经过混凝、沉淀处理,其电耗按0.1 kW·h/m³,单价为0.51元/(kW·h),混凝药剂耗量为18 g/m³,费用3元/kg,故每t黑化滤料每一过滤周期比新砂多排放的初滤水的总成本约为0.066元。若周期按24 h计,则每天每t黑化滤料只多耗用约0.066元,每年每t费用为24元。若按3年换一次砂计,则平均每年的换砂费用为55元左右。假设滤料黑化后再延期使用一年,则每t滤料可节省费用31元。因此,继续使用黑化砂有相当大的经济效益。

由于酸洗、碱洗再生砂试验在实验室完成,目前还没有作清洗的中试试验,故清洗费用暂无法估计,但据报道^[2],石英砂的酸、碱清洗再生费用只占购买新石英砂滤料费用的13.5%。

3 结论

(1) 黑化砂与其酸、碱清洗再生砂对沉淀池出水中浊度、铁、锰去除效果良好,运行8个月后检测了15项水质指标都达到《生活饮用水卫生标准》(GB5749-85)的要求,且与新砂滤料的处理效果相差无几。

(2) 黑化砂与清洗再生砂的水头损失变化规律与新砂相同,但由于黑化砂密度略小于新砂及再生砂(为新砂的98%),故在滤料级配相同、反冲洗强度相等的条件下,其膨胀率增加较大。

(3) 黑化砂表面的黑垢不同于处理含铁、锰地下水时在滤料表面所形成的膜,其没有明显的促进除铁、锰性能,也没有明显的负面影响。

(4) 在生产中继续使用黑化滤料,有较大的经济效益。

综上所述,由于黑化砂与清洗再生砂对过滤的出水水质无明显的不良影响,因此黑化砂及其再生砂均可以在生产中使用,但对黑化砂必须严格监控水质。由于滤料黑化后其密度有所降低,因而会导致反冲洗膨胀率增加较大,造成跑砂。故滤料黑化后可考虑适当降低反冲洗强度,延长反冲洗时间及适当延长初滤水时间,以充分排除冲洗时脱落的黑垢,保证出水水质。延长反冲洗及初滤水时间的措施会加大水厂自用水损耗,对严重缺水地区的水厂实施前应进行论证。

参考文献

- 1 汤光明,等.滤料表面黑化物质的组成及其洗除技术研究.净水技术,2002,21(1):35~37
- 2 田德勇,等.受污染滤料的清洗再生与利用.给水排水,1999,25(1):9~10
- 3 许保玖.给水处理论.北京:中国建筑工业出版社,2000,289~292
- 4 张杰,等.生物固锰除锰技术的确立.给水排水,1996,22(11):5~10
- 5 李圭白,刘超.地下水除铁除锰.北京:中国建筑工业出版社,1989

作者通讯处:410082 长沙岳麓区

湖南大学土木工程学院水工程与科学系

E-mail: zhous@hnu.net.cn

邱振华 罗岳平 汤光明 410015 长沙人民路
长沙市自来水公司

修回日期:2003-6-20

Application of Biological Fluidized Reactor for Wastewater Reuse in Petrol-Chemical Plant Wan Peng et al (47)

Abstract : Since the biological fluidized reactor was adopted , the COD level of the effluent discharged from the advanced bio-membrane treatment facility treating both the trade and domestic wastewaters from a petro-chemical plant in Fushun City decreased obviously. Then the effluent was used to refilled into the circulated cooling water system. According to the operating data of this facility an appropriate process including the technological scheme and operating parameters suitable for chemical wastewater reuse for circulated cooling water system has been obtained. The effluent from this process is good enough to meet the requirement of industrial wastewater reuse with evidential social , environmental and economical profits.

Dyestuff Wastewater Treatment by Combined Photo-Catalytic and Biochemical Processes Xie Yifei et al (52)

Abstract : The photo-catalytic (PC) and biochemical (B) degradations of two brilliant red dyestuffs namely active X- 3B and cationic 5GN were researched experimentally and it has been founded that X- 3B can be easily decolorized by PC but not by B , and the 5GN acts contrary. So the synthetic wastewater prepared by both dyestuffs will be treated by composite processes in sequence of PC and B. The biochemical treatability of the synthetic wastewater can be improved by PC process along with the removal of biologically non-degradable pollutants and then the enhanced B degradation will exert. The overall results of this composite process are much better than that of single PC or B process. Decolorizing and COD removal up to 94 % and 94.09 % respectively have been obtained.

Development of Ecological Sanitary Water Discharge System Song Xutong (61)

Abstract : So called ecological sanitary water discharge (ESWD) system aims for a closed circulation of water resource and nutrients in the human social and economical activities. This circulation must be run in safety , economical and reliable conditions for the ultimate target of sustainable development. The concepts related to increase the water utilization and protect the restricted water resource are very noticeable. The feasibility of ESWD has been stated theoretically , technically and economically by practical ways. However , some problems come down to the conjunction of ESWD with the existing sewer system in urban area with high population density are still researchable. In this paper the recent developments of ESWD home and abroad are presented and compared , and our countermeasures are proposed.

Application of Frequency Controlled Water Supply System in the Hangyun International Financial Building in Shanghai Chen Ning (73)

Abstract : The distinguishing features of frequency controlled (FC) water supply system in the Hangyun international financial building in Shanghai are presented and the application of FC with combined series and parallel water supplying lines for super-high building are discussed. Also the control and monitoring measures of FC in building automation are presented briefly.

Filtrating Performance Evaluation on Natural and Regenerated Blacken Sand Guo Xuesong et al (76)

Abstract : The filtrating performances of four filtrating media , namely the fresh natural sand , blacken sand with Fe and Mn coat dyed at the pre-filtration of raw water , acid-washed sand and alkali-washed sand are compared. The results show that no evident difference was observed in output water quality and head loss of the filtration bed , and the performances of the treated three seem same as the fresh. So all of them could be reused to cut down the operating expenses. However , the authors suggest that using blacken media is preferable to reduce the backwashing intensity to prevent sand losses and to extend the preliminary filtration time for best output water quality.

Study on Polystyrene Filtration Media He Shaohua et al (81)

Abstract : The performances of polystyrene filtration media in different operations such as the direct filtration , the re-flocculation filtration and the powdered activated carbon (PAC) filtration are researched experimentally. The results show that in case that cationic polymer T3010 was added , filtration layer with grain size of 1.25 ~ 2.5 mm and depth of 1 000 mm could be convenient for direct filtration , and it is also suitable for re-flocculation and PAC filtrations.

Design of Sprinkling Fire Control System in Residential House Zhu Ming (100)

Abstract : The special characters of fire accident in dwelling houses were discussed , which indicating that the location to install the sprinkling fire control system would not be arbitrarily. The suitable water supplying schemes and nozzles for proper choice for dwelling house sprinkling system are presented. Also the calculation of the service area and sprinkling duration , the required water head of the nozzles and the installation attentions in design and construction of sprinkling system are indicated in this paper.