

低温低浊水处理技术中水处理剂的最佳选择

李冬梅^{1,2} 金同轨²

TU991 A

(1. 广东工业大学建设学院水工艺及建筑设备研究所 广东广州 510643

2. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院 陕西西安 710055)

摘要 在低温低浊水($T < 10^{\circ}\text{C}$, $C_0 < 10\text{NTU}$)处理中,采用常规强化处理流程的处理效果不理想。该文采用微絮凝—深床直接过滤工艺技术,投加不同的水处理剂,比较了各种水处理剂对低温低浊水的处理效果,讨论了处理机理,对水处理剂的最佳选择提出了建议。

关键词 低温低浊水 微絮凝—深床直接过滤 水处理剂

Optimum Selection of Water Treatment Chemicals for Low Temperature and Low Turbidity Water

Li Dongmei^{1,2} Jin Tonggui²

(1. Research Institute of Water Technology & Architectural Equipment, School of Construction, Guangdong Technology University, Guangzhou 510643, China; 2. School of Environmental & Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract For low temperature ($T < 10^{\circ}\text{C}$) and low turbidity ($C_0 < 10\text{NTU}$) water, treatment efficiency of Qujiang water plant is unsatisfied by conventional enhanced treatment technology. Micro-flocculation/deep bed direct filtration technology was carried out with different types of water treatment chemicals according to the temperature and turbidity of raw water. Water treatment efficiencies and mechanisms were compared and some recommendations for selecting water treatment chemicals were suggested.

Keywords low temperature and low turbidity water micro-flocculation/deep bed direct filtration water treatment chemicals

低温低浊水难净化的问题一直是水处理界关注的问题。西安市曲江水厂每年大约有5个月的时间原水的温度低于 10°C ,浊度在 10NTU 以下,给水处理工作带来了较大的困难。国内外不少水处理工作者^[1~4]采用常规强化处理流程对低温低浊水进行处理,使出水水质得到了改善,但投药量与污泥体积都大大增加了。作者在结合前人处理经验的基础上,对曲江水厂低温、低浊原水采用直接过滤工艺中的微絮凝技术,进行试验研究。

1 试验装置

试验装置的工艺流程图见图1。

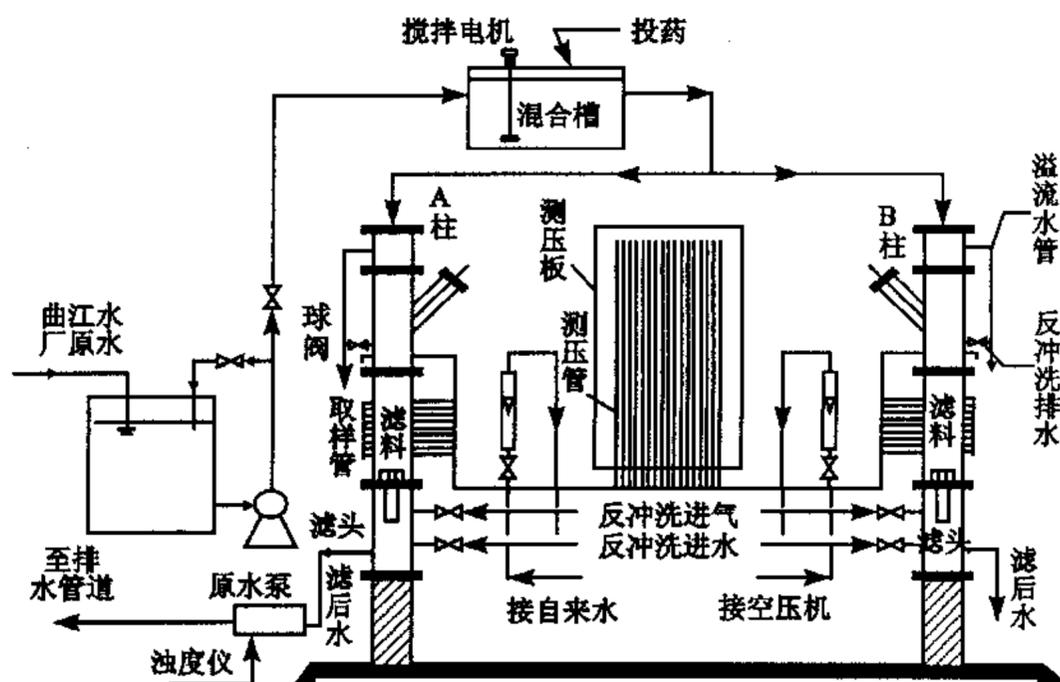


图1 试验装置工艺流程图

2 试验用原水及水处理剂

试验原水为西安市黑河水库水。在每年的 11 月至来年的 3 月底,浊度低于 10NTU, pH 为 6.5~7.5, 水温为 3~10℃, 有机物及其它各种成分的含量都在国家标准所规定的范围之内。

选择的水处理剂有: 无机混凝剂 AS [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$]、PAC [$\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$]、AS+CP、PAC+CP。CP 为阳离子高分子絮凝剂包括有: F4240SH = CP₁ (中阳离子型, 分子量为 600~800 万)、T-3450 = CP₂ (中阳离子型, 分子量为 1000~1200 万)、T-3010 = CP₃ (弱阳离子型, 分子量为 1000~1200 万)。

3 试验仪器

直流精密搅拌器(深圳); 自吸式清水泵(广东); 浊度仪(上海自来水公司); 流量计(上海); 加药泵(日本); ζ 电位仪(日本); 空压机(意大利)等。

4 试验方法

采用微絮凝过滤方法。原水由自吸式清水泵吸至微絮凝槽, 加药后, 经过 4~8min 的混合—絮凝后直接送入滤柱入口。微絮凝槽共分六格, 第一格进水停留时间为 1.5min, 最后一格为 0.7min。投药顺序: AS、PAC 投在第一或第二格, CP 加在第五或第六格。试验中混合阶段微絮凝槽中搅拌桨转速分别为: 投加 AS、PAC 的槽为 600~700r. p. m, 投加 CP 的槽为 400~500r. p. m, 絮凝阶段为 100~200r. p. m。AS 与 PAC 溶液配制浓度为 10%, 配制后当日使用; 由于 CP 易水解, 均为当日或隔日配制, 配制浓度为 0.5~1.0%。实验采用的石英砂滤料粒径 d_{10} 分别为 0.93mm、1.35mm。以下分别称为“细砂”和“粗砂”, 滤床深度 L 与滤料粒径 d_{10} 的比值为 1000。

5 控制标准

采用下向流等速变水头过滤, 滤速为 6.5~8.5 m/h, 水头损失最大值设定为 150cm, 出水浊度穿透

标准设定为 1NTU, 与国内的新规范一致^[5]。

6 试验分析及结果

6.1 当水温 $T < 4^\circ\text{C}$, $C_0 < 4\text{NTU}$ 时:

投加 AS, 浊度去除率较低。有时 AS 投加量增高, 出水浊度反而上升。改用 PAC 时, 出水浊度低于 1NTU 只能维持很短时间(约四小时), 滤池很快穿透; 而采用 CP 作主混凝剂或助凝剂, 出水水质得到明显改善, 过滤周期长达近三十小时。(见表 1、图 2)。这是因为: (1) 低温时, 浊质粒子热运动减慢, 水的粘度提高, 颗粒碰撞机会减少, 混凝迟缓。AS 在低温状况下, 水解速度降低, 水解不完全, 增加投药量后, 水中 pH 值不断降低, 更不利于 AS 水解。同时, 矾花结构变松散、粒径变小, 造成滤池很快穿透。(2) 低温时, 混凝颗粒水化作用增强, 絮状物粘附强度降低, 不利于产生密实的、较大粒径的混凝絮状物。浊度低时, 水中胶体微粒浓度很小, 分散相的面积 S 较小, 若 $[\text{Al}^{3+}]/S$ 的比值较大, 就形成最易溶解的产物—羟基络合物。由于该络合物的空间网格没有交联的键, 因而容易被破坏。当密度小且结构松散的絮体进入滤池过滤时, 随着过滤的进行, 滤层孔隙率不断降低, 水流剪切力逐渐增大, 已截留的浊质粒子会较快发生剥离而进入滤层下部流出滤池。而 PAC 虽然受温度影响相对较少, 但在低温低浊状态下, 因其产生的絮体粒径小而不能被滤层有效截留^[2], 所以处理效果也不够理想。

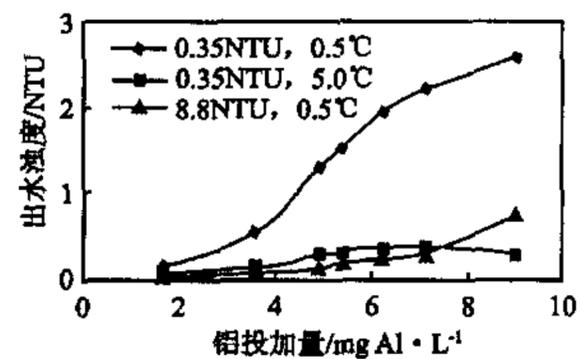


图 2 温度和原水浊度对滤出水浊度的影响

表 1 在粒径 $d_{10} = 0.93\text{mm}$, 层厚 $L = 930\text{mm}$ 滤池中, 各种水处理剂的低温低浊水处理效果

混凝剂种类	原水浊度 C_0/NTU	原水水温 $t/^\circ\text{C}$	投药量 $\text{AlT}/(\text{mg} \cdot \text{l}^{-1})$	平均滤速 $v/(\text{m} \cdot \text{h}^{-1})$	出水浊度 C_e/NTU		初期水头损失 h_0/cm	终期水头损失 h_t/cm	过滤周期 T/min	ζ 电位 (mV)
					最小值	均值				
AS	2.8~3.3	2.9~4.3	6	6.8	1.12	-	14	-	-	-42.6
PAC	2.8~3.3	2.9~4.3	6	6.8	0.8	0.93	18.7	25.9	255	-40.2
AS+CP3	2.8~3.3	2.9~4.3	6+0.04	6.8	0.57	0.89	18.5	73.3	780	-29.3
AS+CP2	2.8~3.3	2.9~4.3	6+0.04	6.8	0.3	0.76	21.7	98.7	1180	-25.6
PAC+CP2	2.8~3.3	2.9~4.3	6+0.04	6.8	0.15	0.57	26.7	126.3	1760	-18.8
CP1	2.8~3.3	2.9~4.3	0.2	6.8	0.08	0.41	29.4	129.7	1140	-33.4
CP3	2.8~3.3	2.9~4.3	0.2	6.8	0.23	0.72	21.0	93.7	1040	-34.6

CP 的使用可防浊度在期终水头损失到达前穿透,投加 CP 作为主混凝剂或助凝剂,能使滤后水质显著改善。这是因为^[6~7]:首先,AS、PAC 投入后,CP 的应用增加了絮体结合强度;其次,使用 CP 时,有更强的微粒与滤料颗粒之间及微粒与微粒之间键力作用,这更强的键力使得很少发生脱附现象。作者经过近两年的实验研究表明:以 CP 代替 AS 为主混凝剂或以 CP 作为助凝剂时,它可兼起架桥和电性中和两种作用。正确选用 CP 可在三方面改进直接过滤效果:(1)增加滤层内絮体的沉积速率;(2)增加絮体在滤层内的穿透深度;(3)使水头损失最小并防止过早堵塞。

6.2 当水温为 $4.5^{\circ}\text{C} < T < 10^{\circ}\text{C}$, $C_0 < 10\text{NTU}$ 时

从表 2 可知:当温度 $T > 4.5^{\circ}\text{C}$ 时,只投加 AS 时,过滤周期较短,投加 AS 粗砂过滤时,出水浊度低于 1NTU 只能维持几个小时,水头损失也较低,这说明滤层中截留的浊质量相对较少,滤床的截污能力未得到充分发挥。而投加 PAC 时,过滤周期延长。增加 PAC 的投加量时,能获得 1NTU 以下的出水达六十多小时。两者的水处理效果存在明显的差异。这是因为:首先,两种混凝剂产生的表面结构各不相同^[8],加入 AS 在混凝过程中形成的初始微粒呈绒毛状蓬松多孔絮状结构,似乎稍加外力就会松散脱落,而加入 PAC 时,所形成的矾花可明显见

到大块胶粒的重迭,絮体微粒则呈球状链束聚集致密的结构。其次,两者在水中有不同的水解形态,其絮凝作用机理也不同^[9]:AS 进入水中后发生水解,生成单体、低聚物或 AS 初级凝聚微粒,与此同时,将发生它们在颗粒表面的吸附过程。当 PAC 投入水中后,有一种高电荷 Al_{13} 即 $[\text{Al}_{13}\text{AlO}_4(\text{OH})_{10}]^{7+}$ 聚合物生成,可显著地缩短其水解/吸附动力学反应时间。同时,它还拥有较大的体面比和更高的电荷,因而可提供更迅速更有效的电中和/吸附脱稳作用及粘结架桥作用。不过,PAC 在本性上仍是多核羟基络合物的中间产物,相对氢氧化物沉淀是羟基不饱和的,它们与颗粒物的吸附实际是表面络合配位作用,表面羟基将会适当补充其未饱和位,吸附在表面后也仍会从溶液中吸取羟基,继续其水解沉淀过程直至饱和成为氢氧化物沉淀凝胶,与颗粒物一起生成絮团。因此 PAC 凝聚絮凝机理实际是表面络合及表面沉淀过程。这两种不同的作用机理产生了不同的絮体结构及不同的颗粒表面物化性质。结构较密实,吸附性能较强的 PAC 絮体更易被去除。增加 PAC 的投量,水处理效果有显著的提高(见表 2),这是由于冬季胶体颗粒的 ζ 电位是夏季的 1.5~1.6 倍,平均在 -40mV 左右,这较高的 ζ 电位值导致胶体颗粒之间的排斥势能较大,因此低温低浊水的处理往往要加大混凝剂量,以降低胶体颗粒的 ζ 电位。

表 2 深层条件下,各种水处理剂的低温低浊水处理效果

混凝剂种类	原水浊度 C_0/NTU	原水水温 $t/^{\circ}\text{C}$	投加量 $D_1 + D_2/(\text{mg}/\text{l})$	平均滤速 $v/(\text{m}/\text{h})$	出水浊度 C_e/NTU		初期水头损失 h_0/cm	终期水头损失 h_1/cm	过滤周期 T/min	层厚/粒径 $L(\text{mm})/d_{10}(\text{mm})$
					最小值	均值				
AS	6.2~8.3	4.3~6.0	8.1	8.0	0.75	0.86	14.7	35.6	630	930/0.93
PAC	6.2~8.3	4.3~6.0	6.2	8.0	0.38	0.78	38.7	89.2	880	930/0.93
CP ₂	6.2~8.3	4.3~6.0	0.2	8.0	0.08	0.39	58.2	135.2	1180	1350/1.35
PAC+CP ₁	3.2~4.8	4.3~6.0	4.2+0.043	8.1	0.1	0.3	54.4	126.9	1510	1350/1.35
AS+CP ₁	3.2~4.8	4.3~6.0	7.47+0.047	8.1	0.28	0.55	54.8	101.2	1230	1350/1.35
AS	3.9~4.5	6.8~8.5	7.3	8.0	0.35	0.76	28.7	64.6	1160	930/0.93
AS	3.9~4.5	6.8~8.5	7.3	8.0	0.58	0.91	19.7	42.3	480	1350/1.35
PAC	2.9~3.5	6.8~8.5	4.2	8.0	0.1	0.47	69.8	128.8	2520	1350/1.35
PAC	2.9~3.5	6.8~8.5	8.6	8.0	0.03	0.34	73.0	158.7	3750	1350/1.35
PAC+CP ₁	2.3~2.6	5.9~7.8	2.2+0.012	8.0	0.17	0.36	48.7	152.1	3655	930/0.93
PAC+CP ₁	2.3~2.6	5.9~7.8	4.2+0.012	8.0	0.07	0.39	53.0	156.6	5420	1350/1.35
AS+CP ₁	5.8~6.2	8.1~9.9	7.63+0.011	7.8	0.11	0.49	39.8	139.7	2120	930/0.93
AS+CP ₁	5.8~6.2	8.1~9.9	7.47+0.047	8.1	0.13	0.58	48.8	155.2	3680	1350/1.35
CP ₁	4.0~4.4	6.8~9.2	0.17	8.0	0.05	0.34	43.2	145.2	3120	1350/1.35
CP ₃	4.0~4.4	6.8~9.2	0.21	7.9	0.08	0.42	36.8	148.5	3562	1350/1.35

当投加微量 CP 作助凝剂时,可获得优质的出水及较长的过滤周期(过滤后出水浊度连续九十小时处于 1NTU 以下),而且,可减少主混凝剂的投量。粗砂过滤时,水头损失增长速度合适,截留浊质(常用“比沉积量 σ ”表示,比沉积量即单位体积滤层截留的浊质量)能深入滤层过滤(见图 3),出水浊度与水头损失几乎同时达到限值(见表 1、2),达到最佳过滤条件。这是因为^[7,10],CP 的加入能明显缩短滤池成熟期,同时降低其过滤曲线的峰值;此外,它还能改变微粒及滤料颗粒表面的物化性质,使石英砂颗粒表面电荷较快降低或变号,使形成的初始絮粒与砂粒之间的斥力减弱,更有利于吸附架桥,微粒更易于被滤料颗粒表面粘附。当再增加 CP 投加量时,絮粒的正电性会较高,被截留后砂粒的表面电荷就会变号,此时,高岭土微粒和石英砂表面电荷均为正,其作用力又变为斥力,水中絮凝体微粒易于渗入滤床深处。由于滤床下部石英砂表面电荷仍为负电荷,可继续捕捉高岭土絮体微粒,滤床的截污能力得到充分发挥。但这时滤料颗粒表面易粘附高分子聚合物,不易冲洗干净,因此 CP 的投量必须恰当。

从表 2 还可看出,温度对于低温低浊水的处理效果影响最大。在 $T=6^{\circ}\text{C}$ 以上时,各种水处理剂的处理效果良好,此时原水中浊质粒子的 ζ 电位降低,

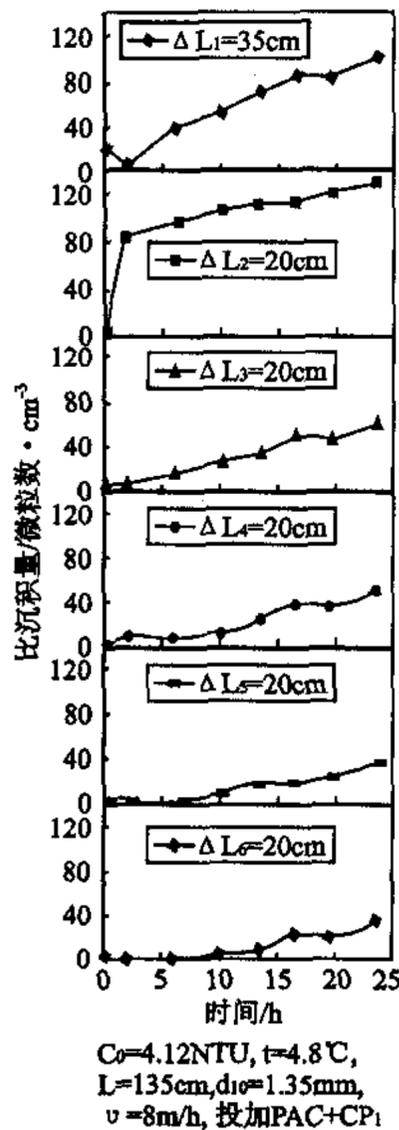


图 3 比沉积量沿滤层深度随时间的变化规律

采用不同药剂的微絮凝直接过滤的效果均比水温 $T \leq 6^{\circ}\text{C}$ 时有显著提高。

7 结论

(1)低温低浊水的处理,宜采用直接过滤微絮凝技术及投加水溶性 CP 作主混凝剂或助凝剂,投加 CP 作助凝剂时,还可节省主混凝剂的用量。投加 CP 时,宜采用粗砂过滤。

(2)当水温 $T < 4^{\circ}\text{C}$ 、 $C_0 < 4\text{NTU}$ 时,不宜单独采用 AS、PAC 作水处理剂;当水温为 $4.5^{\circ}\text{C} < T < 10^{\circ}\text{C}$ 、 $C_0 < 10\text{NTU}$ 时,如单独采用 AS,适宜细砂过滤。

(3)各种水处理剂对低温低浊水的处理效果受温度的影响最大,为尽可能经济、有效地进行水质处理,应根据原水温度及浊度具体分析,采用合适的水处理剂。

参考文献

- 1 乐林生,周云. 上海市长江水源净水厂的优化处理工艺研究[J]. 中国给水排水, 2001, 12(1): 35
- 2 J. K. Morris, W. R. Knocke, Temperature Effects on the Use of Metal-Ion Coagulants for Water Treatment[J]. JAWWA, 1984, 76(3): 74
- 3 高志强. 长江水系低温低浊水混凝沉淀技术[J]. 给水排水, 1993, 2: 16
- 4 J. Haarhoff, John L. Cleasby. Comparing Aluminum and Iron Coagulants for In-line Filtration of Cold Water[J]. Jour. AWWA, 1988, 80(4): 168
- 5 中华人民共和国卫生部. 生活饮用水水质卫生规范, (卫法监发[2001]161号), 2001: 6
- 6 Polyelectrolyte Selection for Direct Filtration[J]. JAWWA, 1979, 71(6): 338~342
- 7 N. Narkis et al. The mechanism of flocculation with aluminium salts in combination with polymeric flocculants as flocculant aids [J]. Water Supply, 1991, 9(5): 37~44
- 8 Bottro. J. Y. et al. Flocculation of Silica Colloids with Hydroxyaluminum Polycations, Relation between Floc Structure and Aggregation Mechanisms[J]. Langmuir, 1990, 6: 596
- 9 汤鸿霄, 梁兆坤. 聚合氯化铝与传统混凝剂的凝聚-絮凝行为差异[J]. 环境化学, 1997, 16(6): 497
- 10 Hunter R J, Alexander A E. Surface Properties and Flow Behavior of Kaolinite - Part: Flow of Kaolinite Sols through a Silica Column. Journal Colloid Sci[J], 1963, 18(3): 846