

技术总结

# 台风导致的水库原水水质突变及其应对措施

周正协<sup>1</sup>, 何建荣<sup>1</sup>, 虞静静<sup>1</sup>, 刘志刚<sup>1,2</sup>, 陈卫<sup>2</sup>

(1. 宁波市自来水有限公司, 浙江 宁波 315041; 2. 河海大学 环境学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 以宁波市某净水厂为例,研究了因台风导致的水库原水水质突变的过程,发现由台风引发的暴雨主要对水库原水的浊度、色度、氨氮、COD<sub>Mn</sub>、铁、锰、微生物指标等产生影响,其中浊度是水质控制的重点;在强降雨开始对原水水质产生影响之后的36 h是水质控制的重点时间段,强化混凝是控制出厂水各项指标稳定达标的關鍵。

**关键词:** 水库原水; 水质突变; 浊度; 强化混凝

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)15-0035-05

## Reservoir Raw Water Quality Mutation Caused by Typhoon and Its Response Measures

ZHOU Zheng-xie<sup>1</sup>, HE Jian-rong<sup>1</sup>, YU Jing-jing<sup>1</sup>, LIU Zhi-gang<sup>1,2</sup>, CHEN Wei<sup>2</sup>

(1. Ningbo Water Supply Co. Ltd., Ningbo 315041, China; 2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Taking a water treatment plant in Ningbo City as an example, the process of reservoir raw water quality mutation caused by the typhoon was investigated. It was found that the rainstorm caused by typhoons mainly affected the turbidity, chromaticity, ammonia nitrogen, COD<sub>Mn</sub>, iron, manganese and microbial indexes of the raw water, and turbidity was a key index to be controlled. 36 hours after heavy rainfall began to affect raw water quality was the key period for water quality controlling. Enhanced coagulation was the key step for all the indexes to stably meet the standard in the water treatment plant.

**Key words:** reservoir raw water; water quality mutation; turbidity; enhanced coagulation

宁波市某净水厂的设计规模为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,采用常规处理工艺,取自水库的原水水质优良,基本可达到地表水Ⅱ类水质标准;采用的药剂包括液体聚合氯化铝(PACl)、熟石灰和次氯酸钠。自2010年投产以来,运行情况良好,出水水质满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)的要求;在原水水质正常的情况下,水厂执行浙江省现代化水厂出厂水标准,其中浊度限值为0.1 NTU, COD<sub>Mn</sub>限值为

2.0 mg/L, pH值控制范围为7.0~8.5。

受地理位置的影响,该水厂原水水质呈季节性变化,在夏季受台风、暴雨等影响原水经常呈现高浊度的特点,在冬季受温度影响原水呈现低温低浊的特点。相比于冬季低温低浊水持续时间长、影响程度小的特点,夏季台风引发的暴雨对原水水质的影响呈现时间短、水质波动大、影响程度大的特点。该水厂自投入运行以来,已经历过多次因台风而导致

的原水水质突变的情况,笔者总结了水厂在应对原水水质突变时的实践经验,以供同行参考和借鉴。

## 1 水质突变情况分析

### 1.1 常规原水水质

宁波市每年的6月—10月是台风多发季节,常规情况下的水库原水水质如表1所示。可以看出,在6月—10月,原水水温呈现逐月升高的趋势;原水色度较低,大部分时间低于检测限;除去受暴雨的

影响,原水浊度大部分时间在2 NTU左右;相比于其他月份,原水pH值总体偏低,这可能与夏季雨水较多有关;原水氨氮大部分时间低于检测限,最高为0.25 mg/L,始终低于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)限值;原水COD<sub>Mn</sub>大部分时间低于水厂内控标准限值;原水铁、锰浓度变化规律类似,在受到夏季暴雨影响时均会有所升高。总体来看,在未受台风影响时,原水水质较好。

表1 净水厂6月—10月的原水水质

Tab.1 Raw water quality of water treatment plant from June to October

项目	水温/℃	色度/度	浊度/NTU	pH值	氨氮/ (mg·L <sup>-1</sup> )	COD <sub>Mn</sub> / (mg·L <sup>-1</sup> )	铁/ (mg·L <sup>-1</sup> )	锰/ (mg·L <sup>-1</sup> )
6月	13.0~20.0	<5	1.25~2.10	6.5~6.7	<0.02~0.25	0.4~1.8	<0.05	<0.05
7月	19.0~24.0	<5	0.95~1.94	6.5~6.7	<0.02~0.05	0.8~2.1	<0.05~0.10	<0.05~0.08
8月	22.5~24.5	<5	1.13~8.54	6.5~6.8	<0.02~0.05	0.7~2.2	<0.05~0.27	<0.05~0.28
9月	22.5~24.5	<5~10	1.07~19.30	6.5~6.9	<0.02~0.15	0.8~1.9	<0.05~0.65	<0.05~0.19
10月	21.0~23.0	<5	0.51~4.06	6.6~6.9	<0.02~0.06	0.7~1.7	<0.05~0.16	<0.05~0.27

### 1.2 水质突变时的原水水质

自投入运行以来,水厂原水水质多次受到台风引发的暴雨影响,选取3次受台风影响较大的原水水质数据进行说明,如表2所示。

表2 水质突变情况下的原水水质

Tab.2 Raw water quality in the case of water quality mutation

项目	“海葵”台风 (2012年8月)	“菲特”台风 (2013年10月)	“莫兰蒂”台风 (2016年9月)
色度/度	20/13	25/16	30/16
浊度/NTU	207/50	220/43	165/21
氨氮/ (mg·L <sup>-1</sup> )	0.50/0.30	0.70/0.34	1.15/0.13
COD <sub>Mn</sub> / (mg·L <sup>-1</sup> )	5.3/2.4	4.1/2.3	3.4/2.2
铁/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.50/0.59	0.85/0.43	1.96/0.21
锰/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.69/0.43	0.92/0.50	0.99/0.10
菌落总数/ (CFU·mL <sup>-1</sup> )	150/68	350/165	200/46
总大肠菌群/ (CFU·100 mL <sup>-1</sup> )	5 000/805	5 000/1 487	650/182
耐热大肠菌群/ (CFU·100 mL <sup>-1</sup> )	880/226	500/126	500/95

注:斜杠前后的数据分别为最大值和平均值。

表2列出了这3次台风引发的强降雨对原水水质影响较大的指标,即色度、浊度、氨氮、COD<sub>Mn</sub>、铁、锰、微生物。其中,色度最大值达到30度,出现在“莫兰蒂”台风期间;受台风强度不同的影响,浊度最大值变化范围较大,最大值为220 NTU,出现在

“菲特”台风期间;氨氮、COD<sub>Mn</sub>最大值分别达到了1.15、5.3 mg/L,与台风强度大小未呈现明显相关性;铁、锰最大值分别达到了1.96、0.99 mg/L,铁和锰浓度的剧烈变化主要与水体冲刷土壤进入水库有关;微生物指标变化明显,菌落总数最大值为350 CFU/mL,总大肠菌群和耐热大肠菌群最大值分别为5 000、880 CFU/100 mL,微生物指标的变化与污染物随水流进入水库有关。

### 1.3 “海葵”台风期间的出厂水水质

“海葵”台风是该水厂经历的第1次台风,当时强降雨导致水库原水水质突变,浊度高达207 NTU。数据分析发现,出厂水色度、氨氮、COD<sub>Mn</sub>、铁、锰、微生物等指标都比较容易控制在内控标准范围内,其中,色度<5度,氨氮<0.5 mg/L, COD<sub>Mn</sub><2.0 mg/L,铁<0.1 mg/L,锰<0.05 mg/L,菌落总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群均未检出;但是,出厂水浊度出现了剧烈波动,受台风影响较大的120 h之内的浊度变化曲线如图1所示(注:横坐标零点代表原水浊度突变前的第1个正常值,数据记录频次为3 h一次)。从原水浊度变化曲线可以看出,原水浊度在这120 h内发生了剧烈的变化,从起始的1.46 NTU骤升至第12小时的207 NTU,这期间浊度经历了两次大的波动,第1次出现在3~6 h之间,浊度从24.6 NTU升高到107 NTU,增幅达到82.4 NTU,第2次出现在6~9 h之间,浊度从107 NTU升高到168 NTU,增幅达到61 NTU;浊度在达到最高值之后

小范围波动持续了 15 h,期间浊度平均值在 175 NTU 左右;之后的 63 h 浊度变化幅度趋于平缓,变化幅度平均在 15 NTU 左右,浊度平均值在 97 NTU 左右;在最后的 30 h 浊度逐步平稳降低至 35 NTU 左右。

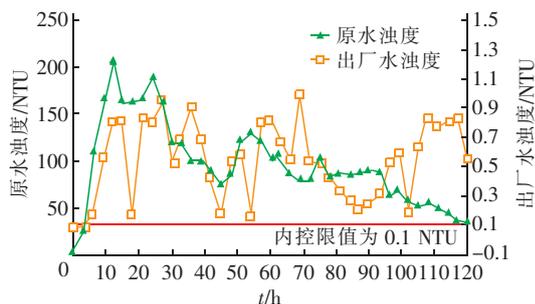


图1 “海葵”台风期间原水与出厂水浊度

Fig. 1 Turbidity of raw water and effluent during period of Typhoon Haikui

从图 1 中的出厂水浊度变化曲线可以看出,在这 120 h 内 41 次的取样检测中,满足内控标准的仅两次,其余均超出内控标准,最大值(0.98 NTU)逼近国家饮用水标准限值(1.0 NTU);同时可以看出,出厂水浊度除波动剧烈外无规律可循,例如,出厂水浊度最大值 0.98 NTU 出现时,原水浊度在 80 NTU 左右;原水浊度高达 200 NTU 左右时,出厂水浊度在 0.8 NTU 左右;原水浊度为 35 NTU 左右时,出厂水浊度有的可以控制在 0.5 NTU 左右,有的则在 0.8 NTU 左右。

## 2 原水水质突变应对实践

经历过“海葵”台风之后,水厂认识到自身存在的问题与不足,及时组织技术人员研究原水水质突变过程及其应对措施,找出了“海葵”台风期间浊度控制不理想的主要原因:一是缺乏对台风引发的强降雨影响原水水质规律的认识;二是缺乏对高浊度原水与加药量之间关系的认识;三是对加药设备的性能了解不够充分;四是水质预警机制不完善。

### 2.1 原水水质突变时浊度变化规律

有效应对台风天气导致的原水水质突变过程,首先需要充分认识原水水质突变规律。为此,水厂对“海葵”“菲特”“莫兰蒂”这三次台风期间的原水浊度变化规律进行了对比分析,结果见图 2(注:横坐标零点代表原水浊度突变前的第 1 个正常值,数据记录频次为 3 h 一次)。可以看出,三次台风引发的原水浊度突变整体均呈现出先急剧升高后急剧降

低而后缓慢降低的规律,浊度的第 1 个峰值出现在第 12~15 小时;根据台风引发的强降雨情况的不同,“海葵”和“菲特”台风期间均出现了第 2 个浊度峰值,分别在第 24 小时(188.7 NTU)和第 30 小时(220 NTU)。浊度处于高值的时间段与降雨强度及持续时间有关,“海葵”“菲特”和“莫兰蒂”台风中浊度 >100 NTU 分别持续了 36、45 和 18 h 左右。原水浊度经过先急剧增加后急剧减小的阶段后,会缓慢降至低值(35 NTU 左右),所需时间同样与降雨强度有关,总结 3 次台风期间的浊度变化规律,这一时间段在 70~100 h 之间,即台风对原水浊度的影响会在 3~4 d 后明显降低。

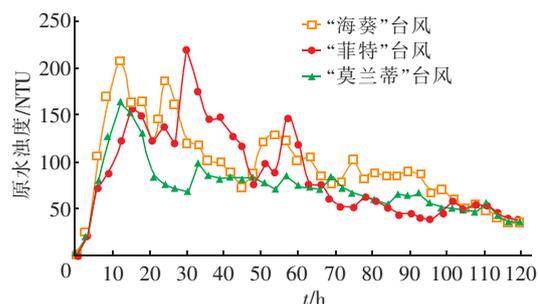


图2 三次台风期间原水浊度变化情况

Fig. 2 Change of turbidity of raw water during three typhoons

### 2.2 高浊度原水的混凝规律

在了解原水浊度突变规律后,开展了针对高浊度原水的混凝试验。取水库上游土壤,采用淋溶装置模拟雨水冲刷土壤进入水库原水的过程,得到 7 种不同的高浊度原水水样,分别为 10~20、20~30、30~50、50~75、75~100、100~150、150~200 NTU。分别对这 7 种水样进行混凝沉淀试验,混凝剂采用 PACl,并根据具体情况投加石灰乳溶液以强化混凝效果,发现可以通过合理调整混凝剂与石灰的投加量来实现对高浊度原水的控制,并得到适用于不同浊度区间的 PACl 与石灰投加量:当原水浊度为 10~20、20~30、30~50、50~75、75~100、100~150、150~200 NTU 时,PACl 投加量分别为 20~25、23~28、26~32、30~35、32~38、36~42、40~50 mg/L。同时试验结果表明,石灰投加量随原水浊度、混凝剂投加量的变化而变化,但变化幅度较小,石灰投加量与原水 pH 值密切相关,原水 pH 值变化 0.1,石灰投加量会出现较大变化。试验过程中原水 pH 值稳定在 6.8 左右,石灰投加量整体变化不大,在 3.5~3.8 mg/L 之间。

另外,水厂在每次经历台风引发的水质突变后,都会对原水浊度与混凝剂投加量之间的关系进行分析,图3为2016年“莫兰蒂”台风期间原水浊度与混凝剂投加量之间的关系曲线,可以看出,混凝剂投加量随原水浊度的增加而不断增加,用多项式可以较好地拟合两者之间的关系,相关系数为0.9704。

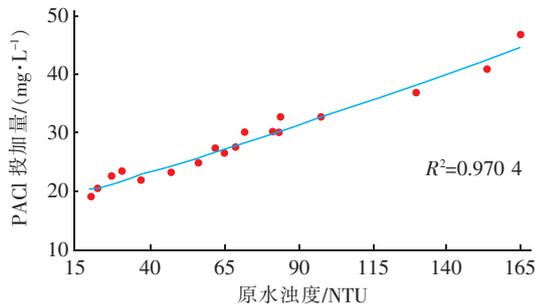


图3 “莫兰蒂”台风期间原水浊度与PACI投加量的关系  
Fig. 3 Relationship between raw water turbidity and PACI dosage during period of Typhoon Meranti

此外,水厂还对两个备选厂家提供的同类PACI进行了对比研究,发现两个厂家的PACI混凝特性并不相同,进一步研究发现是由于PACI的盐基度不同,而盐基度会直接影响到PACI药剂的混凝性能、处理后水质和水处理成本<sup>[1]</sup>。两个厂家的PACI的盐基度分别为66%和47.9%,在处理高浊度原水时高盐基度的PACI效果较好,这与前人的研究结果一致<sup>[1~3]</sup>。

### 2.3 优化调整设备的运行方式

在2012年“海葵”台风期间,生产运行人员在前期通过不断加大PACI的投加量来控制出厂水水质;后期随着原水浊度的不断增加,才认识到在不调整PACI投加浓度(2.32%)的情况下,设备已经不能满足投加要求,这才考虑到调整药剂浓度进行投加,故在实际操作过程中直接投加了原液,由此可见,生产运行人员对加药设备性能的不熟悉也是导致出厂水水质不稳定的一个重要原因。为此,水厂针对可能出现的不同区间的高浊度原水,以实际投加泵的上限400 L/h为基准,给出了投加浓度选择公式:

$$C \geq K \times 10 \times Q / (1000 \times 400) \quad (1)$$

式中:  $C$  为混凝剂投加浓度,%;  $K$  为混凝剂(含量按10%计)投加量,mg/L;  $Q$  为进水流量, $m^3/h$ 。

### 2.4 完善水质预警机制

2012年“海葵”台风期间,水厂发现原水水质突

变会对水质仪表产生影响,导致仪表数据与实际有出入,因此水厂对水质管理内容进行了调整,一是明确在台风期间需要每隔3 h开展一次混凝沉淀试验,结合混凝沉淀结果与以往药剂投加的经验值来确定当次的药剂投加量;二是明确需要对原水、沉淀池出水和出厂水的浊度进行远程数据与现场取样的比对,即在中控室对原水、沉淀水和出厂水浊度进行记录的同时,需要现场取样检测,比对两者之间的差值是否合理;三是在浊度较难控制的时间段(产生影响后的12 h),增加取样检测频次,由原来的每隔4 h取样检测一次调整为每隔2 h取样检测一次。

### 2.5 出厂水浊度的控制效果

水厂在2013年10月受到超强台风“菲特”的影响,2016年9月受到强台风“莫兰蒂”的影响,在采取以上措施并有了一定的经验积累之后,两次台风期间的出厂水浊度都得到了有效控制,见图4。

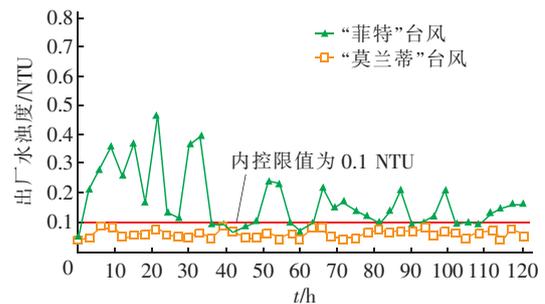


图4 “菲特”和“莫兰蒂”台风期间的出厂水浊度  
Fig. 4 Effluent turbidity during period of Typhoon Fitow and Typhoon Meranti

从图4可以看出,在“菲特”台风期间,出厂水浊度均在0.5 NTU以下;在“莫兰蒂”台风期间,出厂水浊度指标的控制几乎未受影响,稳定在0.1 NTU以下。“菲特”台风期间出厂水浊度未能有效控制在0.1 NTU以下,主要是由于“菲特”台风强度较高,期间原水浊度峰值一度达到220 NTU。

## 3 结论

① 台风带来的强降雨主要影响水库原水的色度、浊度、氨氮、 $COD_{Mn}$ 、铁、锰、微生物指标,其中浊度是较难控制的指标。

② 受台风影响期间,原水浊度的变化呈现一定的规律性,即先急剧升高后急剧降低再缓慢降低,浊度峰值一般出现在浊度开始变化之后的12~15 h,高浊度原水(>100 NTU)持续时间与台风带来的

(下转第43页)