

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.19.007

北方某水厂蓝藻低温暴发期原水污染特征分析及去除

宋学峰, 吴越强, 付红丽, 姚孟迪
(大庆油田水务公司, 黑龙江 大庆 163000)

摘要: 北方某水源地于2015年9月17日—10月22日持续发生蓝藻水华,水质分析检测结果表明,蓝藻暴发期原水呈现低温、高藻、高浊、高有机物(COD_{Mn})的特点,通过对自然条件、库区生态环境进行分析,结果表明水体富营养化是蓝藻暴发的主要原因。水厂通过采取优化预氧化、强化混凝、调整各工艺段的运行参数、适度降低运行负荷等综合运行措施,有效保证了出厂水水质达到国标要求,实现了安全平稳度过蓝藻水华期。

关键词: 蓝藻水华; 原水污染; 水体富营养化

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)19-0046-04

Characteristic Analysis of Raw Water Pollution and Its Removal during Low Temperature Outbreak of Cyanobacteria in a Water Plant in North China

SONG Xue-feng, WU Yue-qiang, FU Hong-li, YAO Meng-di
(Daqing Oilfield Water Co. Ltd., Daqing 163000, China)

Abstract: Cyanobacteria bloom took place in a water source in the north from September 17 to October 22, 2015. By analyzing and monitoring the water quality, it was shown that the raw water had the characteristics of low temperature, high algae concentration, high turbidity and high organic (COD_{Mn}) concentration during cyanobacteria outbreak period. Natural condition and ecological environment of the reservoir area were analyzed. It was found that water eutrophication was the main cause of cyanobacteria outbreak. By adopting the measures of optimizing preoxidation process, enhancing coagulation, adjusting the operational parameters of each section and reducing running load moderately, effluent quality of the water plant could always meet the requirements of the national standard, and the water plant passed the cyanobacteria bloom period safely and smoothly.

Key words: cyanobacteria bloom; raw water pollution; water eutrophication

2015年我国北方某水源地发生了蓝藻水华,为此,分析了其产生原因,并采取了相应的应对措施。

1 蓝藻暴发期原水污染特征及成因分析

1.1 水库水环境基本情况

北方某水厂水源地龙虎泡水库是利用天然泡沼建成的蓄水水库,面积 110 km^2 ,兴利最高水位为 138.60 m ,相应库容为 $4.02 \times 10^8\text{ m}^3$,平均水深 4.0

m 。该水库是某江水与平原泡沼的混合水,通过 144.6 km 引水明渠,每年定期引水保持水库库容。

1.2 2015年蓝藻暴发基本情况

近年来由于地面径流、过度捕捞、人为破坏等原因,水库原水污染日益严重。2015年9月17日,蓝藻暴发,在北方秋季出现蓝藻暴发未见报道过。库区目视大量蓝藻富集于取水口处,检测表层水面藻

类聚集处藻密度达到了 10^{14} cells/L, 水体呈现绿油漆状, 腥臭味很大。蓝藻暴发至 10 月 22 日结束, 历时 35 d 左右, 同时, 类似于地震后余震一样, 暴发日呈现最高峰, 而后 9 月 21 日、10 月 1 日、10 月 10 日, 又出现 3 次高峰值。每次高峰期持续 2~3 d 左右, 藻密度均达到 10^8 cells/L 以上。

1.3 原水水质污染特征

暴发期间, 对水源地原水水质进行了密切监测。依照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 要求进行水质全项分析。从检测结果看, 强相关指标包括藻密度、浊度、臭味、 COD_{Mn} 、总磷、总氮等几项污染物指标(见图 1), 各指标含量与藻密度含量呈正相关, 较暴发前明显升高。藻密度平均值为 5.83×10^7 cells/L, 是暴发前的 5.9 倍, 最大值高达 3.37×10^8 cells/L, 藻密度处于高峰值时, 水体呈灰绿色, 有腥臭味; 浊度平均值为 60.9 NTU, 较暴发前的 45.1 NTU 升高了 35%, 而且这期间变化幅度较大, 最小值为 37 NTU, 最大值达到 119 NTU; COD_{Mn} 平均值为 7.42 mg/L, 较暴发前的 6.14 mg/L 升高了 21%, 最低值为 6.48 mg/L, 最高达 9.8 mg/L; 总磷平均值为 0.22 mg/L, 较暴发前的 0.19 mg/L 升高了 15.8%; 总氮平均值为 1.52 mg/L, 较暴发前的 0.50 mg/L 升高了 204%。可以看出, COD_{Mn} 、总氮、总磷分别超出《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) III 类水质标准限值 1.63、4.4、1.52 倍, 氮、磷单项指标已经达到了劣 V 类水质标准限值。

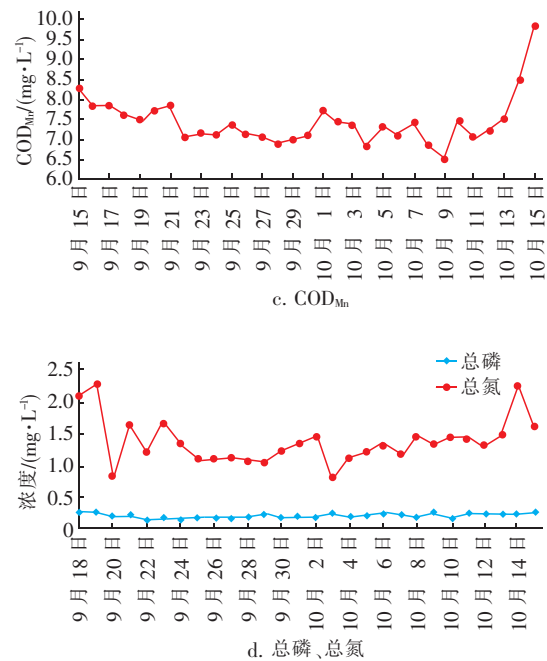
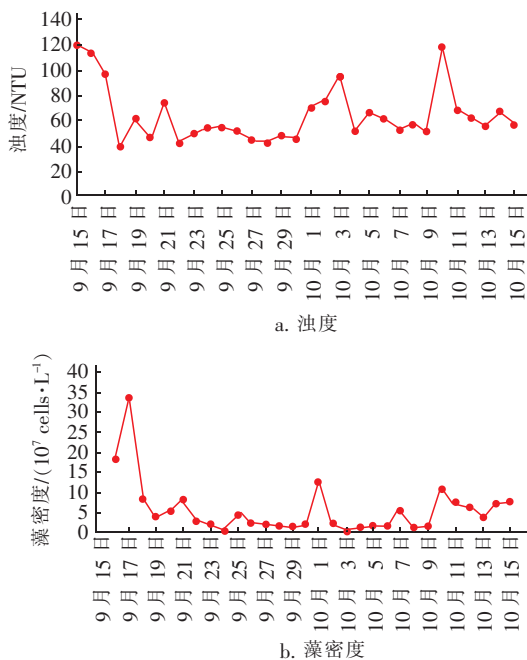


图1 原水污染物浓度曲线

Fig. 1 Pollutants concentration curve of raw water

除污染物含量高之外, 另一个显著特点为低温。此次蓝藻暴发发生在北方 9 月下旬—10 月下旬, 此时该地区的室外温度已经在 $5 \sim 17^\circ\text{C}$, 库区水温平均值只有 12.4°C 。

1.4 对水处理工艺的影响

水厂工艺包括常规处理工艺及深度处理工艺, 实行分质供水。常规工艺流程为原水—预处理—加药—混凝沉淀—石英砂过滤—消毒, 处理后水一部分作为工业用水, 另一部分未经消毒作为深度工艺原水。深度工艺流程为砂滤池出水—臭氧—活性炭过滤—超滤膜过滤—二氧化氯消毒, 出水作为居民生活用水。

藻暴发期间, 原水水质恶化, 由藻“贡献”的浊度、 COD_{Mn} 及臭味不同于一般意义的高浊水、高有机污染水, 处理难度很大。原因主要是藻细胞中含有气囊, 致使藻质轻, 漂浮于水面, 且藻类一般带负电, 导致混凝效果差, “矾花”细碎, 难于沉淀。在藻暴发高峰期, 笔者可见水厂斜板沉淀池内水体浑浊, 监测出水浊度由暴发前的 1 NTU 升至最高 29 NTU, 部分藻类未被裹挟在絮体中而浮于沉淀池水面上, 随着出水进入石英砂滤池。在滤池内, 被截留的藻类黏附在滤料表面, 阻塞滤层, 导致滤速下降, 截留能力下降, 部分尺寸更小的藻穿透滤池进入深度处理

工艺,滤池出水浊度由暴发前的0.25 NTU 升至最高3 NTU。砂滤后出水污染物去除全部依靠臭氧氧化、活性炭滤池和超滤工艺,导致超出设计负荷,超滤膜一定程度被污染,严重影响供水安全。

1.5 蓝藻暴发成因分析

1.5.1 气候因素

侯丽娜在《蓝藻的发展和治理中》提出,藻暴发从表现现象上看是瞬时的“暴发”,但其本质是藻类生物量在水体中逐渐增加的一个缓慢过程。适宜的温度和光照为藻类的繁殖提供了优越的环境条件,当环境条件更适合某单一藻类,加之水中含有丰富的营养物质时,此藻便会成为优势种而异常繁殖,导致暴发。经镜检,本次藻类暴发属蓝藻暴发,蓝藻比例为100%。蓝藻属种为水华束丝藻,该藻属于耐低温藻属,适宜温度为 $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$,且在 5°C 条件下都能存活,因此出现在低温期暴发的现象。

1.5.2 水环境因素

该库区周边环境及生态环境恶劣。经实地踏勘,水源地保护区内有5个村屯,耕地 366.7 hm^2 ,养殖场5家,取水口周边建成大型旅游区,农作物施加的化肥、农药以及动物排泄物和生活污水等污染物通过地表径流流入或直接排入库区。同时库区堤岸浅滩水生植物极少,几乎没有任何沉水、挺水和浮水植物生长。鱼类种类单一,尤其以蓝藻为食的鱼类捕捞殆尽,造成水中生物链严重破坏,生态失衡,水体自净能力差。依据监测数据测算,该库区营养状态指数为66.33(中度富营养指数范围为60~70),属中度富营养。同时该库区库容大、用水量少,库区水体置换缓慢,年更新水量约 $1.5 \times 10^8\text{ m}^3$,水体全部置换需近3年时间。水体循环流动性差,库区沉积较厚,易于藻类大量繁殖。取水口位于下风口,通过风力作用,更易使藻类聚集。

分析上述原因,得出库区生态环境差、水体富营养化是导致蓝藻暴发的根本原因。

2 蓝藻暴发期水厂应对措施

以该库区为水源地水厂,距离水源地28 km,原水通过管道输送至水厂。

蓝藻暴发期,本着分段强化、总控合格的宗旨采取相应措施,确保水厂安全平稳运行。

2.1 强化预氧化,改善混凝效果

① 在取水口区域启动备用的高锰酸钾-粉末活性炭联合预处理工艺^[1]。利用高锰酸钾的氧化

性杀藻,利用粉炭的吸附作用吸附藻释放出的有机物,去除臭味。同时发挥长距离输水优势,提供充足的反应时间。依据原水水质调控投加量,高锰酸钾投量为 $2 \sim 3\text{ mg/L}$,粉末活性炭投量为 $5 \sim 15\text{ mg/L}$ 。

② 在水厂补加高锰酸钾助凝,同时提高混凝剂投加量。通过两者协同作用,发挥药剂的网捕及还原产物——二氧化锰的增重作用,增加絮凝体的密实性,使其更易于沉淀^[2-3]。提高混凝剂——聚合氯化铝(有效铝含量10%)投加量,药剂投量控制在 $85 \sim 120\text{ mg/L}$ 。根据原水藻含量调控高锰酸钾预氧化剂投量($1.0 \sim 3.0\text{ mg/L}$)。

③ 将深度处理工艺的臭氧投加量提升至 $1.6 \sim 2.5\text{ mg/L}$,进一步氧化有机物,去除臭味。充分利用超滤膜的屏障作用,进一步去除藻、浊度及大分子有机物^[4]。

2.2 优化调整工艺参数

密切监视工艺单元运行状态,调整运行参数。沉淀池排泥周期由未暴发前的24~48 h调整为8~24 h,藻高峰期根据水质情况不定期排泥;滤池冲洗周期由原来的48~72 h调整为8~24 h,藻高峰期根据水质情况不定期反冲洗;活性炭滤池根据污染物截留量及时反冲洗,反冲洗周期为24~48 h;超滤工艺段根据水质及时调整超滤膜化学清洗方法及周期,CEB化学清洗周期由原来的7 d缩短至4 d,同时调整CEB清洗方法,及时恢复超滤膜过滤能力。

2.3 强化管理等辅助措施

在取水口前方安装两道固体浮子式橡胶围栏并定期清理,阻隔了部分藻类进入取水口;在取水八字口处设置5个高压水枪,喷射面积可覆盖20 m半径范围,通过喷淋带有漂白粉药剂的药剂液,起到驱散聚集藻类及杀灭部分藻类的作用;在取水口处设置2台水泵,抽取高浓度富集表层水。通过上述措施,一定程度上减少了取用的原水中的藻含量。

加强库区监测,值班人员24 h监测库区取水口处“蓝藻带”变化,水体臭味变化,预查天气变化。加密监测频次,库区藻密度监测由原2次/周增至3次/d;各工艺单元浊度、藻密度检测频次由1次/4 h增至1次/2 h;出厂水浊度、pH值、臭味、色度等指标监测频次由原来的4 h缩短至1 h,及时掌握各工艺单元藻去除情况及出厂水藻含量情况。

2.4 适度降低水处理负荷

通过总公司统一调度运行,发挥整个管网多水

源供水的优势,合理调配附近其他水厂补给水量,使该水厂降低运行负荷 5%~20%,保证出水水质。

3 应急措施运行效果及评价

在这次蓝藻期,通过采取强化预氧化、强化混

凝、优化各工艺段的运行参数、适度降低负荷等措施,顺利度过蓝藻暴发期,实现了平稳安全供水。

3.1 主要常规理化指标

各工艺段主要常规理化指标见表 1。

表 1 各工艺段常规水质指标

Tab. 1 Conventional water quality indices of each process section

项 目	浊度/NTU	pH 值	色度/度	COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	藻密度/(cells·L ⁻¹)	嗅和味
沉淀池出水	5.95	—	—	—	4×10 ⁶ ~1×10 ⁷	有
滤池出水	0.91	—	—	—	2×10 ⁵ ~1×10 ⁶	略有
活性炭池出水	0.44	—	—	3.12	1×10 ⁵ 或未检出	无
超滤出水	0.07	—	—	2.56	未检出	无
出厂水	0.09	7.8	8	2.64	未检出	无

3.2 重点污染物指标

各工艺段重点污染物指标见表 2。

表 2 各工艺段重点污染物水质指标

Tab. 2 Water quality index of key pollutants in each process

section

mg·L⁻¹

项 目	原水	石英砂滤后	超滤后	出厂水
锰	0.124	0.106	0.050	0.042
微囊藻毒素	未检出	未检出	未检出	未检出
氯酸盐	<0.05	<0.05	<0.05	0.21
亚氯酸盐	0.09	<0.05	<0.05	0.38
溴酸盐	—	—	—	<0.005(未检出)

3.3 出厂水水质评价

通过优化运行,有效应对了蓝藻暴发,出水水质安全,各项指标达到《生活饮用水水质标准》(GB 5749—2006)106 项标准要求。

4 结论

水体富营养化是该水源地蓝藻暴发的主要原因,加强库区生态治理、提高水体自净能力、改善水质是防止蓝藻暴发的根本方法。通过采取优化预氧化、强化混凝、优化各工艺段的运行参数、适度降低负荷等措施,效果良好,实现了平稳安全度过蓝藻暴发期。

参考文献:

[1] 周云,何义亮. 微污染水源净水技术及工程实例[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
Zhou Yun, He Yiliang. Water Purification Technology and Engineering Example of Micro-polluted Water Source [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003 (in Chinese).
[2] 姜瑞雪,王龙,张丽. 强化混凝在微污染水源水处理中的应用[J]. 水资源保护,2006,22(5):68-70.
Jiang Ruixue, Wang Long, Zhang Li. Application of

enhanced coagulation to treatment of micro-polluted water [J]. Water Resources Protection, 2006, 22(5):68-70 (in Chinese).

[3] 张灵燕,吴波,张芮铭. 强化混凝与优化混凝在常规水处理中的运用[J]. 环境科学导刊,2008,27(1):56-59.

Zhang Lingyan, Wu Bo, Zhang Ruiming. Application of enhanced coagulation and optimized coagulation in conventional water treatment[J]. Environmental Science Survey, 2008, 27(1):56-59 (in Chinese).

[4] 何文杰,李伟光,张晓健,等. 安全饮用水保障技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.

He Wenjie, Li Weiguang, Zhang Xiaojian, et al. Novel Technology for Drinking Water Safety [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006 (in Chinese).



作者简介:宋学峰(1967—),男,黑龙江肇东人,硕士,教授级高级工程师,大庆油田水务公司副经理、总工程师,研究方向为市政给排水技术,承担多项科研课题,曾多次获得市局级科研奖励。

E-mail:sxuef@cnpc.com.cn

收稿日期:2019-07-10