

工程实例

# 典型自来水厂制水能力挖潜评估研究与实践

张超<sup>1</sup>, 黄天寅<sup>1</sup>, 袁祥<sup>2</sup>, 王旭东<sup>2</sup>

(1. 苏州科技大学 环境科学与工程学院, 江苏 苏州 215000; 2. 苏州高新区自来水有限公司, 江苏 苏州 215000)

**摘要:** 南方某水厂设计产水规模为  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 因用地条件所限, 已不具备原地扩建可能, 为应对逐年增长的城市用水需求, 对该水厂制水能力进行了深入评估, 挖掘现有水处理构筑物潜力, 充分利用设计冗余, 并结合实际实施局部改造, 达到水量提升的目标。实践证明, 该厂产水量可以提高至  $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 改造后水质稳定达标。根据该案例总结出一套针对常规工艺水厂的产能评估与挖潜的方法, 为缓解自来水供需矛盾提供了新的思路。

**关键词:** 自来水厂; 产能评估; 设计冗余; 挖潜改造

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)10-0083-05

## Research and Practice on Renovation and Evaluation of the Water Production Capacity in a Typical Waterworks

ZHANG Chao<sup>1</sup>, HUANG Tian-yin<sup>1</sup>, YUAN Xiang<sup>2</sup>, WANG Xu-dong<sup>2</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215000, China; 2. Suzhou High-tech Zone Water Supply Co. Ltd., Suzhou 215000, China)

**Abstract:** Due to land use limits, it's impossible for a waterworks with production capacity of  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  in southern China to expand onsite. In order to cope with the growing urban water demand, the water production capacity of the waterworks was evaluated in depth to explore the potential of the water treatment structures, make full use of the redundancy of design, reconstruct the structures combined with the actual condition, and achieve the goal of increasing water treatment capacity. The practice result showed that the water production capacity of the plant could increase to  $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  with stable effluent quality after the reformation. According to the case, a set of evaluation and innovation methods for increasing production capacity of traditional processes were summarized, which could provide a new way to alleviate the contradiction between water supply and demand.

**Key words:** waterworks; production capacity evaluation; redundancy of design; innovation and reformation

随着经济的快速发展和城镇人口的不断增加, 自来水供需矛盾日趋凸显<sup>[1]</sup>, 而部分自来水厂周边建设用地十分紧张, 有可能遭遇扩建水厂无地可用、新建水厂不够经济的尴尬局面。另一方面, 水厂构筑物设计参数应按原水水质最不利情况确定, 其在

正常原水条件下的处理规模普遍要高于设计规模, 这为扩容改造和超负荷运行留出一定空间。为缓解自来水供需矛盾, 充分挖掘水厂潜力, 提高土地利用效率, 有必要探索出一套适用于传统工艺自来水厂制水能力评估的方法, 在确保水质的前提下, 评估产

能上限,进行局部改造,并从安全角度出发,有针对性地制订应急预案,达到扩容增产的目的。

### 1 水厂概况

南方某水厂设计规模为  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,前段采用常规处理工艺<sup>[2]</sup>,即混凝、沉淀、砂滤和氯消毒;后段深度处理采用  $\text{O}_3 - \text{BAC}$  组合工艺,其为目前多数水厂升级改造所采用。整个工艺流程见图 1。该水厂供水量预计未来将以每年 6% 的速度增长,2019 年将达到  $16.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

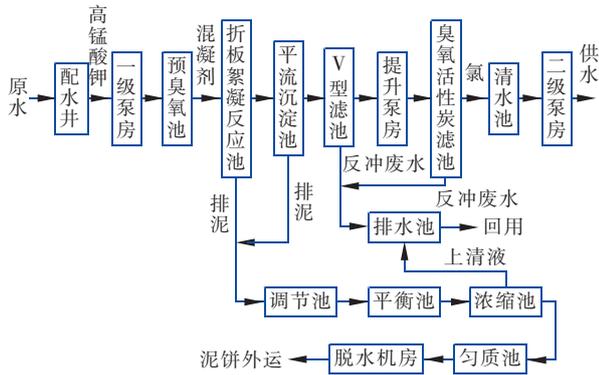


图 1 某水厂工艺流程

Fig. 1 Flow chart of water treatment process

由于没有远期扩建用地,而增产迫在眉睫,经过对原设计图纸的研究,判断其基本具备增产条件,并将产水量目标暂定为  $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。现拟通过评估分析,复核系统产水能力,进行局部改造,在确保出水水质的前提下,平稳度过供水高峰。

### 2 扩容评估步骤

评估流程见图 2。

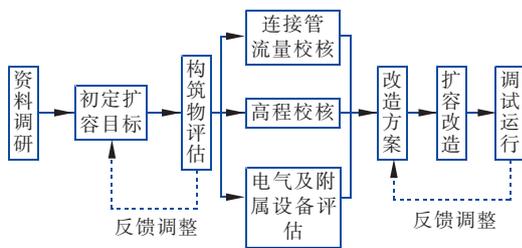


图 2 评估流程

Fig. 2 Flow chart of evaluation

增产评估工作通过前期对设计图纸、运行现状等资料的调研,初步确定扩容目标,并对核心构筑物开展评估工作,分析产能不足的构筑物是否具备改造条件,还需从系统角度出发,对增产后构筑物连接管流量进行校核,计算水面高程,并复核电气设备

其他附属设备匹配情况;根据评估结果实施扩容改造,分批开展调试运行工作,实现增产目标。

### 3 处理构筑物评估

#### 3.1 取水泵房

取水泵房现有 5 台离心泵,日常运行一般为 2 用 3 备,供水高峰可将任意 3 台泵并联运行,根据水泵及管道特性曲线预计并联后流量为  $7500 \text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程为 315 kPa,流量及净扬程可以满足高峰供水生产需求。

#### 3.2 折板混凝反应池

折板反应池分两组,单组尺寸 ( $L \times B \times H$ ) 为  $16.0 \text{ m} \times 18.4 \text{ m} \times 4.9 \text{ m}$ ,内部划分为 4 个区域:相对折板区(一)、相对折板区(二)、平行折板区、平行直板区,折板角度为  $120^\circ$ ,板间净距为  $0.3 \sim 0.4 \text{ m}$ 。控制混凝效果有 3 个重要指标:混凝时间  $T$ 、反映颗粒碰撞速率的速度梯度  $G$  及  $GT$  值,延长  $T$  值有助于提高混凝效果,速度梯度  $G$  则表征了水流紊动程度, $GT$  值相当于单位体积水中颗粒的碰撞总次数;折板反应池混凝时间宜控制在  $12 \sim 20 \text{ min}$ , $G$  值为  $20 \sim 70 \text{ s}^{-1}$ , $GT$  值为  $10^4 \sim 10^5$ <sup>[3]</sup>。

当进水流量为  $7500 \text{ m}^3/\text{h}$  时,对各段折板上述指标进行计算,结果如表 1 所示。

表 1 混凝反应参数

Tab. 1 Parameters of coagulation reaction

| 项目    | $T/\text{s}$ | $G/\text{s}^{-1}$ | $GT$      | 流速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ |
|-------|--------------|-------------------|-----------|--------------------------------------|
| 相对折板一 | 318          | 56.16             | 17 858.88 | 0.42                                 |
| 相对折板二 | 237          | 50.61             | 11 994.57 | 0.34                                 |
| 平行折板  | 188          | 30.78             | 5 798.95  | 0.23                                 |
| 平行直板  | 174          | 11.13             | 1 936.62  | 0.14                                 |

计算结果显示,供水高峰期原水在各段反应时间逐渐减少,水流紊动程度降低,反应总时间为  $15.29 \text{ min}$ ,平均  $G$  值为  $37.17 \text{ s}^{-1}$ , $GT$  值为 40 748;复核各段水流速度,除第一段流速略高外,其余段均低于设计规范限值,总体来看折板反应池满足增产后混凝反应条件,可将提高混凝剂投加单耗作为强化混凝手段。

#### 3.3 平流沉淀池

平流沉淀池与折板混凝反应池合建,通过穿孔花墙分隔,分为两组,每组池平面尺寸 ( $L \times B$ ) 为  $128 \text{ m} \times 18.8 \text{ m}$ ,设计水深为  $3.5 \text{ m}$ ,每组池出水堰为  $16.5 \text{ m}$ ,指形堰 9 根,尺寸 ( $L \times B$ ) 为  $10 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 。

根据浅池理论,悬浮颗粒在理想沉淀池中的去

除率只与其表面负荷有关。评估计算将平流沉淀池的表面负荷作为核心参数,并结合水平流速及停留时间进行校核;表面负荷在数值上与截留沉降速度相等,可从常见原水特性和处理方法对应的悬浮物颗粒沉降速度来对平流沉淀池表面负荷大小进行取值(见表2),并据此计算。

表2 表面负荷参考值

Tab.2 Reference values of surface load

| 原水特性和处理方法  | 沉降速度/<br>( $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 表面负荷/<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ) |
|--|--|---|
| 用混凝剂处理有色水或<br>$\text{SS} \leq 250 \text{ mg/L}$ 的浑浊水 | 0.35 ~ 0.45                                  | 1.26 ~ 1.62   |
| 用混凝剂处理 $\text{SS} > 250 \text{ mg/L}$ 的浑浊水           | 0.50 ~ 0.60                                  | 1.80 ~ 2.16   |
| 用混凝剂处理高浊水  | 0.30 ~ 0.35                                  | 1.08 ~ 1.26   |
| 不用混凝剂处理<br>(自然沉淀)                                    | 0.12 ~ 0.15                                  | 0.43 ~ 0.54   |

该厂原水使用聚合氯化铝处理,2015年—2017年原水浊度为0.7~75.0 NTU,平均为32 NTU,表面负荷参考区间为1.26~1.62  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,沉淀池设计表面负荷为1.30  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,扩容目标为1.56  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,设计值处于下限位置,这为应对供水高峰留出了调整空间。

计算供水高峰期( $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )沉淀时间为1.93 h,水平流速为18.5 mm/s,符合设计规范关于沉淀时间为1.5~3 h及水平流速为10~25 mm/s的要求。

结合国内相关运行参数,评估认为该水厂沉淀池具备 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的处理能力,强化混凝处理将进一步加强沉淀效果,故暂不进行斜管(斜板)、水平管沉淀等工艺改造。

### 3.4 V型滤池

滤池共10格,单格平面尺寸为13 m×7 m,设计滤速为6~9 m/h,采用均质石英砂滤料,反冲洗全程约为30 min,预计供水高峰期过滤周期降低至24~36 h,每日进行反冲洗的滤格为2~4个左右。

评估按滤速为9 m/h计算,每日反冲洗滤格4个,过滤周期取24 h,则最大处理水量为 $19.49 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,完全满足高峰期处理需要。

### 3.5 深度处理系统

深度处理系统由预臭氧接触池、臭氧活性炭滤池组成,预臭氧池平面尺寸( $L \times B$ )为16 m×5.5 m,分两组,有效水深为6 m,高峰供水臭氧预氧化接

触时间为4.2 min,可以满足预处理接触时间为2~5 min的要求;后臭氧消毒池共两组,单组平面尺寸( $L \times B$ )为16.9 m×6.9 m,有效水深为6 m,臭氧串联三级投加;高峰供水时接触时间由设计值12 min降至10 min,符合设计规范规定的6~15 min接触时间,并在清水池进水管根据仪表反馈补充加氯,确保消毒效果。

活性炭滤池与臭氧消毒池合建,炭滤池分为6格,平面尺寸为7.6 m×13 m( $L \times B$ ),滤料平均厚度为1.95 m,预计供水高峰期反冲洗周期将缩短至5 d,反冲洗总时间约1.5 h;活性炭滤池为避免滤料泄漏,实际运行滤速不宜超过15 m/h,计算高峰供水期滤速为12.9 m/h,此时空床接触时间为9.1 min,可以满足设计要求。

### 3.6 清水池

清水池分为两格,单格尺寸( $L \times B \times H$ )为52 m×52 m×4.3 m,日常运行液位不得低于2.7 m,以确保消防储备水量,3.9 m处设有溢流口。清水池有效调节容积固定在约7 500  $\text{m}^3$ ,调节能力应围绕供、送水流量曲线进行校核;为简化计算模型,一级泵房流量按恒定7 500  $\text{m}^3/\text{h}$ 计算,二级泵房流量曲线参照近3年6月—8月小时流量变化情况进行模拟,供水量为 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。取水与送水小时流量的差值为清水池调节水量,其中蓄水量(数值为正)与蓄水区取用水量(数值为负)累计值任何时刻均不应为负值,具体如图3所示。

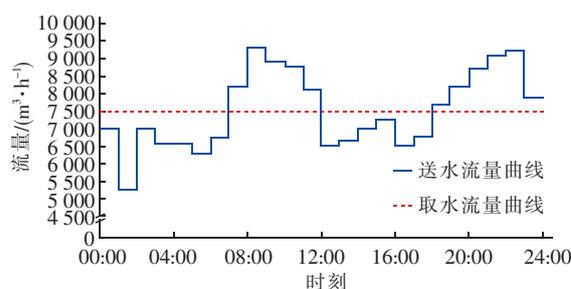


图3 取水(一级泵房)、送水(二级泵房)流量曲线

Fig.3 Flow curves of the first and second pumping station

根据流量变化曲线对调节水量累计值进行计算,结果显示任何时刻清水池水位均未低于2.7 m,表明供水高峰期清水池可以满足生产调蓄的功能需要。

### 3.7 污泥浓缩池

该水厂建有圆形辐流浓缩池2座,直径为16

m。经试验确定其最大固体通量为  $24 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，单日可沉降  $9\,646 \text{ kg}$  干固体，查询历年出现概率在 95% 以上的原水浊度为 34 NTU，混凝剂投加量取  $30 \text{ mg}/\text{L}$ ，计算浓缩池沉降能力所对应处理水量为  $18.81 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，完全可以满足高峰供水污泥处理需求。

### 3.8 送水泵房

模拟高峰期供水曲线如图 3 所示，预计最大小时流量达  $9\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ ，送水泵房 2#、4#、5# 三台泵并联可满足输水需求，泵口压力约  $0.37 \text{ MPa}$ ，比扩容提量之前稍高。

## 4 构筑物连接管流量复核

除了单独对水处理构筑物进行评估及计算复核外，还应对其连接管进行供水高峰期流量校核，构筑物连接管内流速如表 3 所示。

表 3 构筑物连接管流速

Tab. 3 Velocity of linking pipe between structures

| 位置              | 连接管                 | 流速/<br>( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 允许流速/<br>( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) |
|-----------------|---------------------|---|---|
| 一级泵站 - 预臭氧池     | 1 500 mm            | 1.18                                      | 1 ~ 1.2                                     |
| 预臭氧池 - 折板絮凝沉淀池  | 1 400 mm            | 1.35                                      | 1 ~ 1.5                                     |
| 折板絮凝沉淀池 - V 型滤池 | 1 500 mm × 2 000 mm | 0.29                                      | —   |
| V 型滤池 - 臭氧活性炭滤池 | 1 400 mm            | 1.35                                      | 1 ~ 1.5                                     |
| 臭氧活性炭滤池 - 清水池   | 1 400 mm            | 1.33                                      | 1 ~ 1.5                                     |

经计算，供水高峰期间各构筑物连接管流速均可满足设计要求。

## 5 高程复核

供水高峰期间，一级泵房调整为 3 台泵同时运行，扬程发生变化，为防止发生溢水事故，需对主要构筑物水面高程（见表 4）进行复核。

表 4 构筑物水面高程

Tab. 4 Elevation of water level in structures m

| 构筑物     | 水面高程 |
|---------|------|
| 预臭氧池    | 9.35 |
| 折板絮凝反应池 | 7.60 |
| 沉淀池     | 7.20 |
| V 型滤池   | 6.50 |
| 臭氧活性炭滤池 | 6.75 |

将复核结果与构筑物顶板或池壁上边缘标高对照，折板絮凝反应池超高  $0.15 \text{ m}$ ，平流沉淀池超高

$0.2 \text{ m}$ 。从安全角度考虑，建议调试运行后确定是否需进行加高处理。复核后续构筑物高度，均不存在满溢风险。

## 6 电气及其他附属设备

该水厂采用两路  $10 \text{ kV}$  电源供电，一用一备，厂内装机容量为  $3\,610 \text{ kW}$ ，因不增加新的用电设备，原有负荷等级及供配电系统不做调整。

深度处理提升泵房现有 4 台  $75 \text{ kW}$  提升泵，两用两备，变频运行，供水高峰期改为 3 用 1 备，需对水泵变频回路进行改造，增加旁路运行回路，当变频器发生故障时，可手动将水泵切换至工频回路运行。

经核算，平流沉淀池出水堰溢流率经核算未超过  $300 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{d})$  的限值，指形堰的安装高度根据高程计算需要进行微调。

加药设备方面，药剂投加需求有所上升，需对现有有矾、液氯、高锰酸钾、PAM 等药剂储存与投加设备进行复核计算并做相应更换。

## 7 应急预案

为确保供水水质安全，应对原水突发性污染事件，该水厂制订了切实有效的应急预案。在原水取水厂安装了高锰酸钾与粉末活性炭应急投加装置，二者联用可有效去除有机污染物<sup>[4]</sup>，这也是目前水厂广泛采用的应急处理方法；此外，供水管网已与本市 S 水厂共同制订了区域应急供水联动方案，一旦原水突然发生恶化，取水厂将启动紧急减产应急预案，降低取水水量，投加高锰酸钾及粉末活性炭，并采取强化混凝措施；与此同时，由 S 水厂通过联通管网向该水厂服务片区进行清水应急转供，确保出厂水水质合格，用户端水量充足。

## 8 调试运行

该厂为应对供水高峰组织员工培训、开展相关应急演练，进行了周密的准备工作。2018 年 3 月进入为期一周的系统调试运行阶段，分两组逐步加大运行负荷至  $7\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ ，及时调节药剂投加量，重点观察折板絮凝反应池和平流沉淀池的水面高程，与评估计算基本一致，无需进行加高处理；并对各工艺段水质情况进行即时监测，密切注意缩短过滤周期后的砂滤池和活性炭滤池滤料流失情况，并留意其水头损失变化，及时进行工艺调整。系统调试运行对扩容评估进行了实践验证，并积累了重要的运行数据，为迎接供水高峰打下良好的基础。

2018 年 7 月，该地区正式进入季节性供水高

峰,日均供水量为  $15.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,最高日达到  $16.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。以浊度指标为例,22日—27日因强降雨影响,原水浊度有所升高,当月进水平均浊度为 41 NTU,同比上升了 5 NTU(见图4),出水浊度始终稳定在 2 NTU 以下,出水其他各项指标均稳定优于国家标准,达到了评估预期目标。

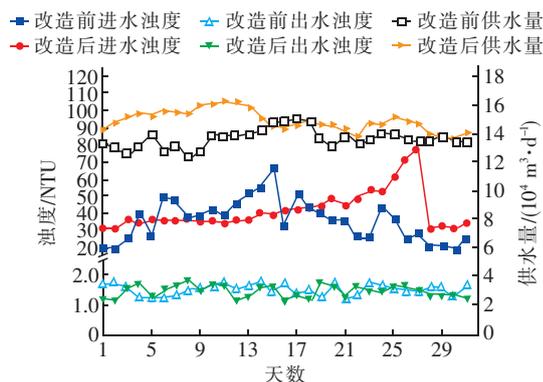


图4 水厂改造前、后供水量与浊度变化

Fig.4 Flow and turbidity before and after renovation

## 9 结论

对该水厂的制水能力评估与挖潜改造的研究、实践表明,使用科学的评估流程与方法,因地制宜采用扩容改造、应急措施等手段,可以达到水量提升目标,出水水质良好。

水厂制水能力评估与挖潜应在确保供水水质的前提下,围绕主要构筑物处理能力进行复核计算,还应从全局角度出发,对构筑物连接管流量、高程、电气及其他附属设备进行全方位的分析校核,在此基础上,据实制订扩容改造方案并实施改造。

改造完毕后的调试运行工作应循序渐进,密切观察各工艺段的水质变化趋势,及时采取必要调控措施,提前制订突发情况应急预案,确保供水安全。

典型自来水厂制水能力评估挖掘出了水厂潜力,提高了土地的利用效率,为缓解自来水供需矛盾提供了新的方法和思路。

## 参考文献:

- [1] 陈荣艳. 城镇水厂挖潜改造技术措施及实践[J]. 供水技术,2017,11(3):44-47.

Chen Rongyan. Main issues and technical measures of potential-digging revamping for existing urban water treatment plant [J]. Water Technology, 2017, 11 (3): 44-47 (in Chinese).

- [2] 赖日明,黄剑明,叶挺进,等. 饮用水处理技术现状及研究进展[J]. 给水排水,2012,38(S1):213-218.

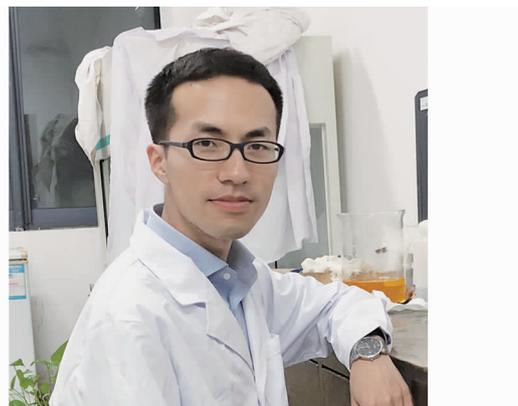
Lai Riming, Huang Jianming, Ye Tingjin, et al. Current status and research progress of drinking water treatment technology [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(S1):213-218 (in Chinese).

- [3] 贺航,蒋博文,马尧. 某市净化水厂絮凝池改造工艺研究[J]. 给水排水,2012,38(S2):117-119.

He Hang, Jiang Bowen, Ma Yao. The study on reformation of flocculation tank in a water plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(S2):117-119 (in Chinese).

- [4] 姜萍萍,郑涵. 高锰酸钾-粉末活性炭工艺在净水厂应急处理中的应用研究[J]. 给水排水,2012,38(S2):129-132.

Jiang Pingping, Zheng Han. Application research of potassium permanganate - powder activated carbon process in emergency treatment of water plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(S2):129-132 (in Chinese).



作者简介:张超(1990-),男,河南新乡人,硕士研究生,主要从事净水技术研究。

E-mail: cat2645335@126.com

收稿日期:2018-11-07