

# 依山而建的分阶梯节能型水厂设计实例

陈艳丽

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要:** 针对依山而建的水厂,结合高落差地形与分期规模建设,采用组团化分阶梯建设方式,免建中间提升泵房和吸水井,利用清水池余压经母管直接增压供水,叠合出集约化排泥水综合构筑物,合理统一或划分构筑物近远期规模,发挥出近期投资的经济效益。该工程免建深度处理的中间提升,节省土建、设备投资约450万元,同时每年可节省运行电耗 $62.5 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ;清水池直接经母管连至供水泵房,最大可利用水头为8 m,每年可节电 $38.5 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。实际运行表明,系统处理效果良好,出厂水水质优于国家标准,达到了系统运行稳定可靠和节能减排的双重目标。

**关键词:** 直接增压; 阶梯地形; 集约设计; 水头损失; 土地集约

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)08-0072-04

## A Case Project of Step Topography Energy-saving Drinking Water Plant at the Edge of a Mountain

CHEN Yan-li

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Optimized design of a stage-scale constructed drinking water plant was introduced with high fall at the edge of a mountain. The method of grouping step construction was adopted, boosting pumping station and inlet well were avoided. The application of residual pressure of clear water pool directly increased the water supply through the parent pipe. Thus, the comprehensive structure of intensive sludge and water discharge was superimposed. The short-term and long-term scale of the structure were reasonably unified or divided. As a result, the economic benefits of the short-term investment could be exerted. The intermediate lifting facilities of advanced treatment were avoided in this project, which contributed the reduction of investments for construction and equipment by 4.5 million yuan. And meanwhile, the operating costs were saved by  $62.5 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$  per year. Through the direct connection of the clear water tank to the water supply pump room via the master pipe, the maximum available water head could reach 8 m. As a result, the annual power saved was  $38.5 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ . The results showed that the treatment effect of the process was excellent. The quality of finished water was more favorable than *Standards for Drinking Water Quality*. It has achieved the double goals of stable operation, energy saving and emission reduction.

**Key words:** directly-exerting pressure boost; step topography; intensive design; head loss; land saving

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07501001); 上海市科委“科技创新行动计划”(16DZ0503500)

## 1 工程概况

### 1.1 工程背景

新建P水厂近期规模为 $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,设计总规模为 $30.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,近期原水为外域引水。水厂选址在山头上,按远期规模征用土地约 $11.05 \text{ hm}^2$ 。近期工程为常规处理和排泥水处理工程,并预留远期预处理和深度处理用地。

### 1.2 工艺选择

引水的水库原水基本为Ⅱ类水源,水质较好,故近期采用常规处理可使出水水质满足国家标准。远期原水水源尚未确定,为适应其水质变化并考虑远期水质提升,预留深度处理接口。

## 2 资源节约的现代化工艺设计

### 2.1 构筑物土建规模的近远期衔接

依据常规工艺和土建设计,近期工程的加药间、排泥水处理系统综合车间等建(构)筑物土建按 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 总规模一次建成,设备按近期 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 配置。但远期工程实施时间较长,则部分建(构)筑物长期处于待设备扩建状态,近期工程投资效益受到影响。为避免这种情况,除了分步实施的建(构)筑物,近期工程采取以下措施衔接远期:

① 供水泵房:经分析,按 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模(土建、设备均为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )设计,并通过适当放大进出水管道口径、远期更换水泵设备以满足 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 供水规模。

② 加氯间、加药间:为了尽可能减少近期工程投资,使投资最大效益化,一方面将加氯间、加药间合建为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模综合加药间,另一方面,近期单设综合加药间,远期经适当改造,并另建加氯或加药间,以适应 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模,在最大程度地满足生产要求的同时,又灵活配置生产设备,节省近期工程投资。

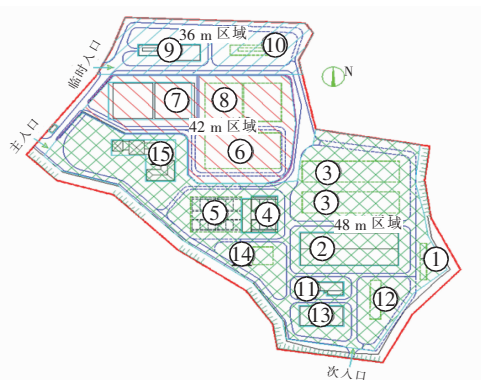
### 2.2 分阶梯的高程划分与不规则的平面布局

考虑到工艺流程及厂区地形条件,高程上分阶梯布置,以充分利用山地高程,节约能耗,并尽量减少厂区土石方开挖量。有的项目将水厂、取水泵站按阶梯布置<sup>[1]</sup>,P水厂则将各工艺单元进行细化阶梯布置。

一般,预臭氧接触池水头损失约 $1.0 \text{ m}$ ( $1 \text{ m} \approx 10 \text{ kPa}$ ),常规处理工艺的水头损失约 $3 \sim 4 \text{ m}$ ,臭氧活性炭工艺的水头损失约 $3 \text{ m}$ ,在常规处理工艺与臭氧活性炭工艺之间往往需要中间提升约 $6 \sim 7 \text{ m}$ 。

利用从高到低的合适地形,经合理布置,总体流程可避免中间提升泵站,形成重力流全流程,免建中间提升泵站即可节省能耗、减少用地、降低投资,又可管理简便、运行可靠。有的新建水厂,采取加大一次提升高程而避免中间提升<sup>[2]</sup>。本工程具有较大的地形差,完全可以利用阶梯布置,实现免建中间提升。

根据所在地形标高并结合所采用处理工艺流程、土石方平衡计算,最终将厂区地形分为3个台阶,并设置挡土墙和排水沟。水处理构筑物按流程从高到低、自东南至西北(北)分为3个区块,即48 m地块:布置配水井预臭氧池(预留)、沉淀池、砂滤池、加药间、排泥水处理系统综合车间;42 m地块:布置深度处理综合池(预留)、清水池;36 m地块:布置供水泵房、配电间。平面布置见图1。



①预臭氧池(远期) ②絮凝平流沉淀池 ③絮凝平流沉淀池(远期)  
④均质滤料滤池 ⑤均质滤料滤池(远期)  
⑥深度处理综合池(远期) ⑦清水池 ⑧清水池(远期)  
⑨供水泵房和配电间 ⑩供水泵房(远期) ⑪综合加药间  
⑫加药间(远期) ⑬排泥水处理系统综合车间  
⑭臭氧车间(远期) ⑮综合办公楼

图1 总平面布置

Fig. 1 General layout

厂区南、东南区域为48 m标高,厂区东侧从中部48 m标高向北至36 m标高。中部为42 m标高,在GAC综合池东、西两侧分别设置台阶,连接42、48 m,供人员通行。

水厂主入口设置在厂区西南侧、综合办公区域,自厂外道路46.5 m进入厂区47~48 m标高,向南(沿围墙)设置环厂主道路。厂区南部设置次入口,方便水厂药剂、污泥车辆出入。由于该区域为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的老水厂,在新水厂建成运行之前,仍要正常生产供水,故近期工程综合办公楼及主入口实施前,需要在供水泵房西侧设置临时出入口,向南、东以及北部均贯通。

厂区沿西侧大门向南、东、再向北到现状采石场处,厂区内 48 m 标高低于厂外标高(50 ~ 68 m)。因此,开山后,在厂区侧形成自然挡土墙,沿此挡土墙内、外两侧分别设置排水沟,厂区内排水沟接入厂内雨水管道。挡土墙外侧,将区域雨水向远离厂区引流至现状排洪沟,包括厂区南部 1 条冲击沟的引流。另外,在 42 m 与 48 m、42 m 与 36 m 之间也有挡土墙、排水沟,并将对厂区施工有影响的山地围墙爆破,在近期完成。

### 2.3 直接增压的节能型二级泵房

供水泵房放弃常规的  $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  土建、近期工程配置  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  设备的做法,而是按  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模土建和设备设计,通过近期适当放大一档进出水管道口径、远期再更换水泵的方法可达到  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模。P 水厂清水池与供水泵房可利用 6 m 地形差。设吸水母管直接引自清水池出水,采用 DN2 000 钢管直埋,并设自动排气阀(附带手动排气阀)。

具体设计见图 2。

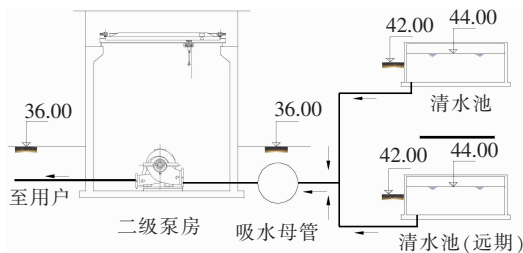


图2 母管式直接增压的供水泵房

Fig. 2 Directly-exerting pressure boost in pumping station

供水泵房时变化系数为 1.4,泵房内共设 4 个泵位,近期安装卧式离心泵 4 台(3 用 1 备),单泵流量为  $1\,400 \sim 2\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程为 24 m。远期则更换水泵。

### 2.4 叠合集约型排泥水处理系统综合车间

叠合式、组团式、合建式等综合池型是现代化水厂集约设计的重要方面。除了絮凝沉淀池下叠清水池<sup>[3]</sup>,排泥水各处理设施也可采取叠合、合建等集约化设计<sup>[4]</sup>。

为节约土地资源、减少开山,在满足排泥水处理工艺要求的前提下,将各个单体合理地叠合集约化建设,即排泥水处理系统综合车间,包括回用水池、排泥水调节池、浓缩池、平衡池、脱水机房及其加药、配电等附属设施,见图 3。

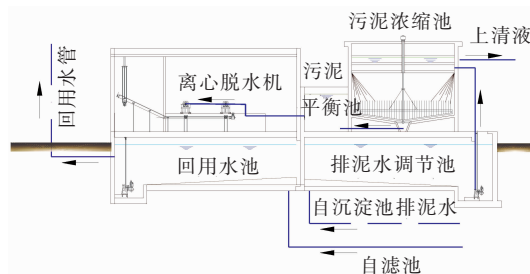


图3 叠合集约化排泥水综合车间

Fig. 3 Intensive structure of sludge treatment workshop

① 回用水池:叠建于脱水车间和泥库下,分二格,可独立运行。

② 排泥水调节池:叠建于浓缩池下,按二组沉淀池同时排泥运行考虑,容积约  $1\,750 \text{ m}^3$ ,分二格,经提升至浓缩池。

③ 浓缩池:共设置 2 座,叠建于排泥水调节池之上,固体负荷为  $30 \text{ kgTDS}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。浓缩池上部设置斜板,底部设置中心传动刮泥机,通过慢速搅拌提高浓缩效果。

④ 平衡池:共 2 座,总有效容量约  $350 \text{ m}^3$ ,设潜水搅拌机。

⑤ 脱水机房:近期内设离心脱水机 2 套,单台负荷为  $1\,000 \text{ kg}/\text{d}$ ,并设 PAM 储存、制备及加注设备 1 套。根据原水泥量情况不同,离心脱水机每天运行 6 ~ 20 h。

### 2.5 近期单设的综合加药间

为节约近期投资,又考虑到远期  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模扩建工程有可能时间较长且原水来源尚未落实,综合分析后确定近期加药间按  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模设计更经济合理,且将所有药剂都设置在一起。

① 混凝剂间:根据原水浊度及供货运输情况,混凝剂采用碱式氯化铝固体,最大加注量为  $15 \text{ mg}/\text{L}$ ,加注浓度为 10%,加注点 2 个。

② 助凝剂间:考虑原水低浊,以助凝剂强化混凝。采用 PAM 一体化配制设备,最大加注量为  $0.2 \text{ mg}/\text{L}$ 。加注点 4 个。

③ 加氯间:设有氯库、加氯间、增压泵房、中和室等。近期常规处理工艺时,需预加氯,最大加注量为  $3 \text{ mg}/\text{L}$ ,后加氯最大加注量为  $2 \text{ mg}/\text{L}$ 。

### 3 集约化设计节省的投资和运行能耗

集约化设计节省的投资和能耗如下:

① 免建了深度处理的中间提升,不仅节省了土建、设备投资约 450 万元,也减少了水头损失、省



去了日常运行管理等费用,运行更加简单可靠,相比于通常的采用中间提升(以水泵扬程为 6.5 m 计)做法,仅电费就节省约  $62.5 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h/a}$ ,折合减少标准煤 76.8 t(按规模为  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、日变化系数为 1.3、电机效率为 80% 计)。

② 直接经母管连至供水泵房,最大可利用水头约 8 m,每年可节约用电  $38.5 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ (以平均 4 m 计),折合减少标准煤 47.3 t。

③ 供水泵房仅通过放大进出水管道口径,就可以实现将来更换水泵达  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模的目标,减少了近期工程投资约 300 万元,很好地发挥出近期设施的经济效益。

④ 加氯间、加药间:按  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模建设综合加药间,远期经适当改造可满足  $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  需要,并另建加氯或加药间一座,可节约近期工程投资约 100 万元,并发挥出近期设施的远期效益。

⑤ 将排泥水处理各构筑物合理地叠合、集约组合,形成一座综合排泥水处理构筑物,既节约了土地,又减少了开山费用,可节约土建投资 140 多万元,降低了对青山环境的影响。

⑥ 砂滤池按  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模设计,并统一布置和预留了  $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  规模的扩建接口(反冲洗设施为共用),既节省用地,方便远期施工,又集中布置,有利于运行管理。

#### 4 运行情况

自 2015 年 11 月建成投产以来,水厂处理效果良好,出厂水水质优于国家标准(见表 1)。

表 1 低温期水质指标

Tab. 1 Water quality indexes at low temperature

项 目	原水	出厂水	末梢水
浑浊度/NTU	30.9	0.48	0.45
色度/度	15	5	5
pH 值	7.68	7.62	7.79
氨氮/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0.2		
耗氧量/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	1.96	0.8	0.8
细菌总数/( $\text{CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	$1.32 \times 10^2$	1	2
游离余氯/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	—	0.4	0.1
总余氯/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	—	0.5	0.15

#### 5 结论

① 合理利用水厂山坡地形,在厂区内布置成多个阶梯,全流程重力流,免建中间提升泵房,运行可靠,管理简便,降低了水头损失。

② 供水泵房通过母管直接增压,利用清水池

余压,节约了运行能耗。远期通过更换水泵方式增加供水水量,提高了近期投资效益。

#### 参考文献:

- [1] 周华来,郭路伟,何文源. 广安花园水厂工艺设计特点分析[J]. 中国给水排水,2016,32(8):68-71.  
Zhou Hualai, Guo Luwei, He Wenyuan. Analysis on design characteristics of Guang'an Garden Water Treatment Plant[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(8):68-71(in Chinese).
- [2] 洪景涛,冯钧,王如华. 上海市松江小昆山水厂深度处理水力高程布置研究[J]. 净水技术,2009,28(5):75-78.  
Hong Jingtao, Feng Jun, Wang Ruhua. Hydraulic elevation layout of advanced treatment processes design in Xiaokunshan Water Plant[J]. Water Purification Technology, 2009, 28(5):75-78(in Chinese).
- [3] 唐明启,孙智莉,蔡晓武. 藤桥水厂改扩建工程一体化净水池设计[J]. 中国给水排水,2015,31(14):87-89.  
Tang Mingqi, Sun Zhili, Cai Xiaowu. Design of integrated water purification tank in Tengqiao Waterworks[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(14):87-89(in Chinese).
- [4] 叶新. 水厂处理构筑物组(叠)合及连接设计[J]. 中国给水排水,2014,30(18):36-39.  
Ye Xin. Design of combination and connection of structures in water treatment plants[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(18):36-39(in Chinese).



作者简介:陈艳丽(1964—),女,河南长垣人,硕士,高级工程师,主要从事给水处理理论和技术研究工作。

E-mail:chenyanli@smedi.com

收稿日期:2017-10-25