

城镇给排水工程设计案例专栏

胡翔. 大型水厂改造的集约化设计理念与应用[J]. 净水技术, 2021, 40(1):116-120.

HU X. Design concept and application of integrated upgrading and reconstruction of large water treatment plant[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(1):116-120.



扫我试试?

大型水厂改造的集约化设计理念与应用

胡 翔

(深圳市水务<集团>有限公司, 广东深圳 518033)

摘 要 城市供水系统的建设相对于其经济发展水平存在滞后性, 水量及水质要求日益增长, 提升城市供水基础设施水平成为必然选择。城市化的快速发展, 一方面让郊区变成中心城区, 另一方面也极大限制了水厂改扩建的潜力。以城市中心城区某大型水厂原址改扩建为案例, 基于集约化设计理念和维持生产要求: 一方面通过采用高效池型、叠建组合式设计以及优化单体设计来最大化土地利用; 另一方面通过分步施工方案实现边生产边改造, 并维持一定制水规模的目标。改扩建将使水厂吨水用地指标从 $0.127 \text{ (m}^2 \cdot \text{d)}/\text{m}^3$ 降至 $0.094 \text{ (m}^2 \cdot \text{d)}/\text{m}^3$, 该案例具备中心城区老水厂改造的几种典型约束条件, 对于类似工程, 其设计理念具有一定借鉴意义。

关键词 改扩建 集约化设计 维持生产 节地

中图分类号: TU991 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2021)01-0116-05

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2021.01.019

Design Concept and Application of Integrated Upgrading and Reconstruction of Large Water Treatment Plant

HU Xiang

(Shenzhen Water <Group> Co., Ltd., Shenzhen 518033, China)

Abstract Water supply system of city often lags behind its economic development level, but the increasing demand of quantity and quality of water will make it an inevitable choice to improve the level of urban water supply infrastructure. Rapid development of urbanization on the one hand makes suburbs become the downtown city, but on the other hand, it also greatly limits the potential of water plant reconstruction and expansion. Taking the reconstruction and expansion of the original site of a large-scale water plant in city center as an example, based on the concept of integrated design and the requirements of maintaining production. On the one hand, land utilization is maximized through the adoption of high-efficiency pools, stacking and combination design, optimization of single-unit design. On the other hand, the goal of reconstructing while producing and maintaining a certain scale of water production is achieved through step-by-step construction scheme. Reconstruction and expansion will reduce the land use index per ton of water from $0.127 \text{ (m}^2 \cdot \text{d)}/\text{m}^3$ to $0.094 \text{ (m}^2 \cdot \text{d)}/\text{m}^3$, the case has several typical constraints for the reconstruction of old water treatment plant in central urban area, which can be used for reference for similar projects.

Keywords reconstruction and expansion integrated design maintaining production land saving

随着城市经济的高速发展以及人民生活水平的

快速提高, 城市供水系统面临更多的压力和更高的要求: 水质达标和提升、节能降耗和减排、运行安全与可靠等^[1]。根据 2019 年住房和城乡建设部水质专项调查统计结果, 全国城市和城镇共有公共供水

[收稿日期] 2020-07-09

[作者简介] 胡翔(1978—), 男, 硕士, 主要从事市政给排水基础设施运营及建设工作, E-mail: 33242144@qq.com。

厂 4 457 个,其中,在 2 714 个地表水厂中,具有深度处理工艺的仅为 2%^[2]。一方面水厂工艺流程日益复杂,已扩展出预处理、强化常规处理、深度处理、膜处理和回收水及污泥处理,相应构筑物的种类和数量也不断增加,用地需求持续攀升^[3]。另一方面,城市化快速推进和生态红线控制,使得大中城市的城区用地日趋紧张,且城市发展的历史原因,许多拟改扩建的水厂往往位于城区甚至中心城区,导致普遍存在建设用地不足、周边可征土地少,甚至无地可征的现象。因此,在现有常规处理工艺的基础上,为全面提升水质及满足减排要求,集约化设计是突破这种局面的必要手段。

基于南方城区某水厂改扩建工程的实践和设计经验,总结水厂集约化改造的设计理念和相关集约布置技术,为诸多类似水厂改扩建提供一定借鉴。

1 工程背景

某水厂始建于 1961 年,是当地第一座自来水厂。随着城市快速发展,水厂历经了多次改扩建,供水能力由最初的 0.25 万 m^3/d 增加到现在的 35 万 m^3/d 。主要采用“网格反应池+斜管沉淀池+砂滤池”的工艺流程,其中,砂滤池分为“双阀滤池”(22 万 m^3/d)和“V 型滤池”(13 万 m^3/d)2 种池型。水厂主要生产设施位于厂区中部和中北部,现状平面布置见如图 1 所示。目前,水厂制水能力已基本达到现有生产设施的极限,所在行政区长期存在供水缺口,主要依靠相邻行政区水厂的转供,且水厂现有的常规工艺流程,在城市对水质越来越高要求的今天,已面临越来越多的压力,应用新工艺和更有水质保障的流程是必然选择。

水厂现状占地约 51 000 m^2 ,本次改扩建规模为 60 万 m^3/d ,制水采用“预氧化+高效沉淀+臭氧接触+上向流活性炭过滤+砂滤”的工艺流程,生产废水处理采用“分质回收+浓缩/预浓缩”方式,污泥处理采用“离心脱水+低温干化(预留)”方式。水厂所处位置空间受限较大,东侧毗邻水库,西侧大门出口即为市政道路,南侧紧靠公园的高边坡区域,北侧则和一宾馆相邻,可见周边可供利用土地资源十分紧张,基本难以通过向外大规模扩张用地方式完成改扩建(仅通过积极争取在水厂北边新征了约 5 600 m^2 的土地)。因此,向现有土地挖潜、往内改造扩能是水厂唯一的出路。

水厂是所在行政区唯一的主力水厂,最高日供水量在 33 万 m^3/d 左右。即使考虑到通过管网互联互通尽量增加转供水,水厂在改造期间的供水量也不能低于 30 万 m^3/d ,否则就会影响水厂服务区域内的正常用水。

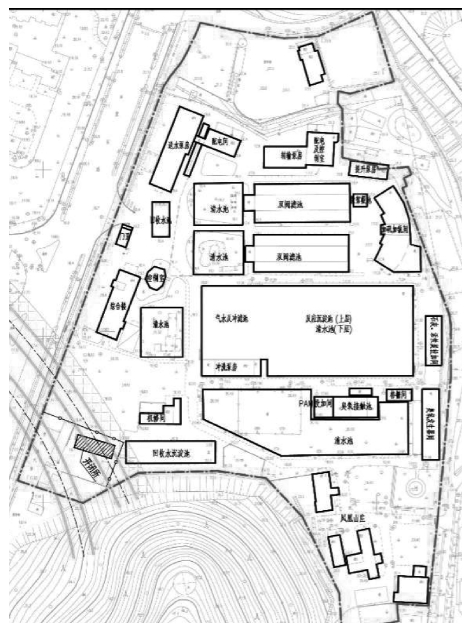


图 1 水厂现状平面布置示意图

Fig. 1 Existing Layout of Water Plant

2 用地现状与改造思路

在水厂现状用地中,生产相关用地约 44 500 m^2 ,南部一块非生产性用地约 6 500 m^2 ,即改扩建前,35 万 m^3/d 规模水厂的吨水用地指标为 0.127 ($\text{m}^2 \cdot \text{d}$)/ m^3 。而本市中心城区其他主力水厂的吨水用地指标一般在 0.22~0.45 ($\text{m}^2 \cdot \text{d}$)/ m^3 ,表明该水厂现状用地及布局也是较为紧张和集约的。考虑到水厂现有设施普遍较老旧,厂区平面布局几经改造较凌乱,地下管线也难以厘清,本着土地利用最大化和建设标杆水厂的原则,经研究决定,采用将水厂现状设施全部拆除再重建的方式。

本次新征的 560 m^2 用地,加上厂内的非生产性用地 6 500 m^2 ,实际仅有 12 000 m^2 用地能用于改扩建。以本次改扩建的规模来说,这些用地是远远不够的,即改扩建完成后,60 万 m^3/d 规模水厂吨水用地指标仅为 0.094 ($\text{m}^2 \cdot \text{d}$)/ m^3 。不但远远低于现状的用地指标,而且一般传统的工艺形式也无法实现如此低的用地指标,加上还要保证水厂在施工期间必须有 30 万 m^3/d 的制水能力,因此,必须另寻他径。

经过多次深入现场分析、讨论,以及不同方案的比较,最终形成了较为一致的总体改造思路,归纳起来为以下几点:

(1)多采用集约、高效的工艺形式;

(2)借鉴地下空间开发经验,突破平面向空间要规模;

(3)以高效集约化布置为基础,结合水厂主要生产设施位于厂区中部和中北部的现状布局,以及30万 m^3/d 保供规模的硬性要求,分阶段通过“拆工艺单体、建工艺流程”的“拆、建、拆、建”模式^[4]来实现既定的保供目标。

3 集约化布置设施及设计特点

3.1 节地池型选择

(1)沉淀池选用处理效率高、占地面积小的高密度沉淀池,与同规模的平流沉淀池相比,可以节省60%~70%的用地面积。

(2)活性炭滤池选用上向流炭滤池,与下向流炭滤池相比,上向流滤速大,池体占地面积相对较小。同时,上向流炭滤池仅需气冲洗,还可节约反冲洗泵房所需面积,总的来说,上向流炭滤池可以节地30%以上。

3.2 单体组合设计

将部分功能相近或体量较小的单体组合在一起,各单体紧凑布置,单体间利用过水连渠及孔洞或者尽可能短的明敷管道连通^[5],可以大大缩短构筑物之间的距离,提高土地利用效率。例如炭砂双侧滤池即是一种组合式布置,中间管廊共用,既节约用地,也方便管理。

(1)结合水厂南部区域地形,将V型滤池的反冲洗泵房、鼓风机房和加药间进行组合布置,同时,与新建的高效沉淀池贴临(图2)。在满足相关规范

要求,且不影响进、出通道及管线布置的前提下,尽量组合布置,既整齐美观,又节约用地。

(2)考虑到污泥处理构筑物数量多、关系密切,且单座体量小,设计将浓缩池、平衡池、进料泵房、回收水池组合为污泥处理单元,即污泥处理单元成为一系列相关构筑物组合成的大构筑物,不仅节省占地,也降低了整体单元的工程量。

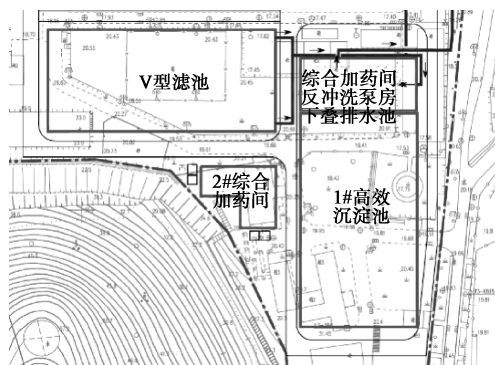


图2 部分设施组合集约化布置示意图

Fig. 2 Schematic Diagram of Integrated Layout of Some Facilities Combination

3.3 构筑物叠建设计

(1)清水池占地面积较大,设计将其部分叠建于活性炭滤池和V型滤池下(图3)。在保证水力流程衔接顺畅的条件下,可以节约用地,并通过合理设置人孔以方便人员进出、出水阀门并设置排水泵以方便放空等措施,将叠建构筑物对水厂运营管理的影响降至最低。

(2)在高效沉淀池下建设单独管道层,将主要生产管线纳入,可以减少管线在总平面上的占地。

(3)对于辅助生产的单元构筑物,设计采用加药间下叠排水池(图4)、平衡池上叠配电间、脱水机房上下层分置离心机和低温干化设备等方式,充分利用竖向空间。

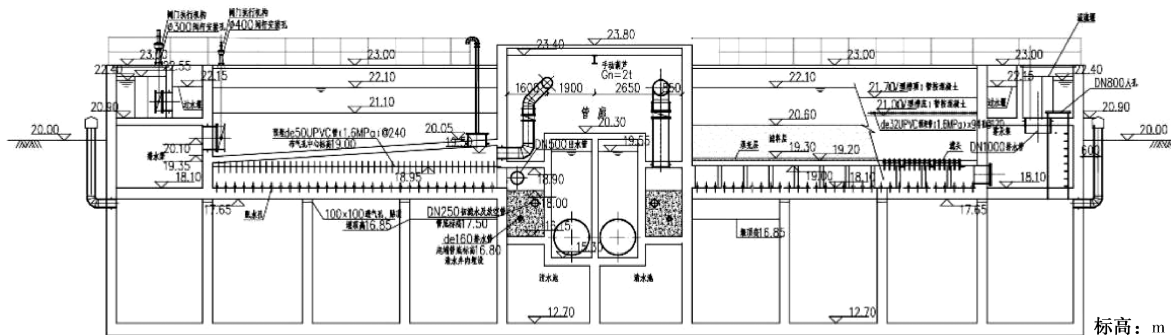


图3 某叠建构筑物(V型滤池下叠清水池)竖向示意图

Fig. 3 Vertical Schematic Diagram of a Overlaid Structure(Containing V-Filter and Clear Water Tank)

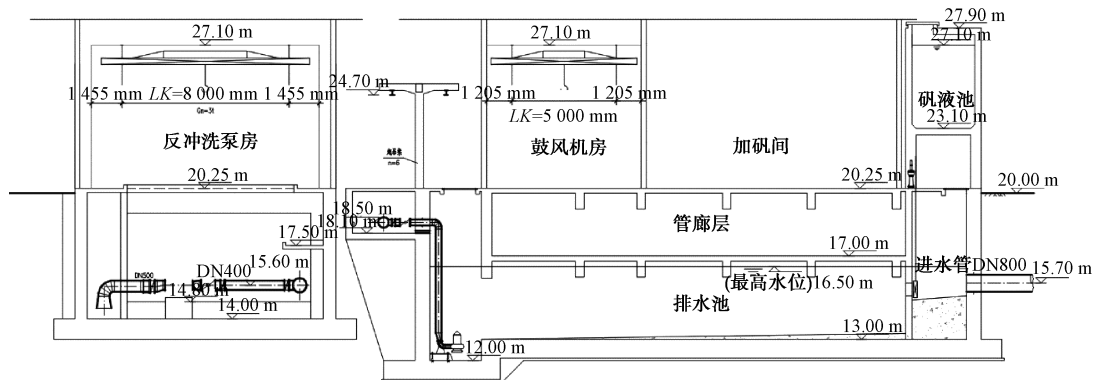


图4 某叠建构物(综合加药间、反冲洗泵房下叠排水池)竖向示意图

Fig. 4 Vertical Schematic Diagram of a Overlaid Structure(Containing Comprehensive Dosing Room, Backwash Pump House and Drainage Basin)

构筑物叠建设计增加了结构的复杂性,也对结构的相关设计提出了较高要求,一般叠建在结构上会采取如下措施来加强工程质量:

(1)采用抗裂纤维混凝土,改善混凝土抗渗透性,提高其早期抗裂性能和抗变形能力,减少渗漏风险;

(2)加强变形缝处的防渗漏构造设计,选用高强度耐久、质量可靠的变形缝止水材料;

(3)加强止水带周围混凝土浇注的质量控制。

3.4 V型滤池设计

(1)将砂滤池中每格进水溢流堰进行归并,统一设于滤池进水渠末端,并在溢流堰后设1根排水总管直通下部排水渠道(图5)。该设计既能避免进水渠末端死水,又便于下部渠道的施工及运行检修。

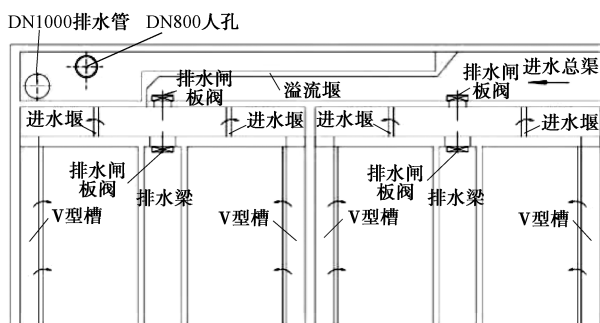


图5 V型砂滤池进水及溢流集约化布置示意图

Fig. 5 Schematic Diagram of Integrated Layout of Inlet and Overflow of V-Shaped Sand-Filter

(2)简化每格砂滤池进水布置,因溢流堰归并布置,每格滤池进水闸门后的布置由传统的堰前堰后2条分渠优化为1条通渠,进水堰两侧翻水后分

别进入两侧的V型槽(图5)。在保证过滤面积的前提下,通过有效缩短进水渠宽度来节省占地。

(3)优化管廊布置,管廊与池体在结构上“一体化”处理,每格滤池清水井与滤池共壁。同时,优化管线排布,初滤水管及放空管在清水井内埋设穿越。排水沟遇出水井时,通过在井内埋设排水管形式穿越(图6)。

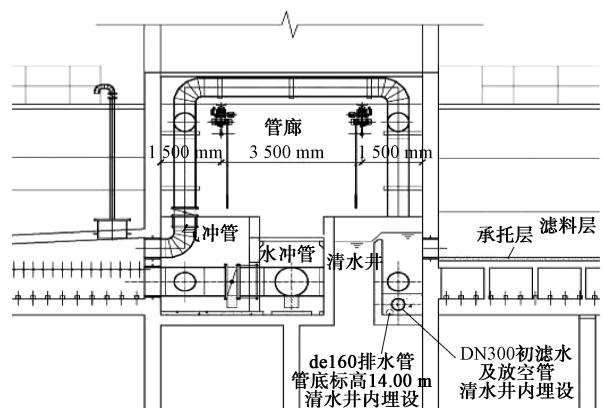


图6 滤池管廊集约化布置示意图

Fig. 6 Schematic Diagram of Integrated Layout of Pipe Gallery of Filter

4 供水保障与分阶段、分区施工

供水保障是本改扩建工程在实施过程中必须要满足的硬约束条件,因此,在设计策划阶段,需基本明确施工方案并确保可实施性,同时,即可明确整体的平面布局。

基于“拆工艺、建流程”的原则,本例通过“拆建-拆建”方式形成“两阶段”的分步施工方案:第一阶段,拆除南区对供水生产影响不大的设施,建造30万 m^3/d 规模的常规处理,以及在北侧新增用地上

建造配水提升井及新设的原水管,建成后给予调试稳定并投产运行,形成一条新的供水保障生产线;第二阶段,拆除北区现状所有生产设施,建造 30 万 m^3/d 规模的常规处理、60 万 m^3/d 规模的深度处理以及 60 万 m^3/d 规模的污泥处理,最终完成整个水厂的拆除重建。

由图 7 可知,“两阶段”有较清晰的施工界面。第一阶段,施工聚焦在南侧和新增用地区域,待施工完毕、相关设施投产运行后,南侧和新增用地区域新建生产设施交由水厂运维,从而新增 30 万 m^3/d 规模的常规制水能力;第二阶段,施工区域转移至厂区的中北部,在相关区域进行施工直至完成改扩建。

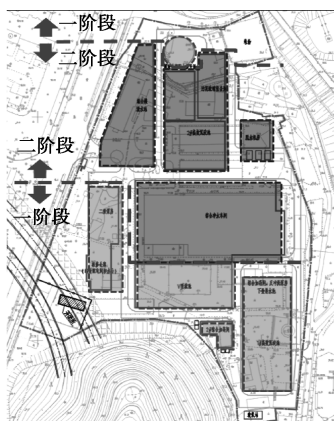


图 7 两阶段施工界面及改造后平面布置示意图

Fig. 7 Schematic Diagram of Two Stage Construction Interface and Layout after Reconstruction

这个方案对施工区和运行区进行了较为彻底的隔离,新、旧构筑物之间基本无相互交叉。工程临时接管工作量小且无须过多保护措施,施工期间水厂的生产管控也较为方便,大大提高了供水生产的安全性,从整体上降低了 30 万 m^3/d 供水保障要求的实施难度。

5 经济分析

水厂通过高度集约化设计,实现了预定的改扩建目标,也在一定程度上增加了投资和运营成本,但分析表明,投资是可接受的。

5.1 吨水投资指标

水厂改扩建第一部分工程费用约为 119 500 万元,其吨水投资指标为 1 991.67 元/t。目前,国内采用全流程、同类型工艺大型水厂的吨水投资指标一般在 1 500~1 700 元/t,工程投资略有偏高,但剔除

有关保护性及不可比的措施费用(合计约 18 500 万元)后的实际吨水投资指标为 1 683.33 元/t,结合不同年代建设费用稍有升高的规律,基本属于正常水平。

5.2 财务评价

以供水行业工程财务评价的通用原则及 2.90 元/t 的分析水价为基础,可得出:本项目的财务内部收益率为 7.55%、财务净现值为 21 211.83 万元(定税前财务基准收益率=6%)、投资回收期(所得税前)为 12.56 年,均达到了行业标准,因此,在财务上是可行的。盈亏平衡分析显示,在供水规模达到 38.58 m^3/d 时就可以达到盈亏平衡,说明本项目也具有相当的抗风险能力。

6 结语

(1)针对水厂原址改扩建的用地难题,通过“拆、建、拆、建”的方式,合理划分、分步实施,最大限度减少对现有生产的影响,并分阶段进行生产和施工的衔接,在维持水厂一定制水规模的同时,可实现规模扩能、水质提升、节能减排和安全可靠等多重建设目标。

(2)基于高效、集约的设计理念,“混凝沉淀”和“深度处理”单元使用了高效池型,并通过优化 V 型滤池设计、清水池叠建于活性炭滤池和 V 型滤池下部、排水池叠建于反冲洗泵房及加药间下部、部分生产辅助设施和污泥处理设施组合布置等措施,尽量减少占地,加之合理的平面布局,集约化布置将每一寸土地的潜力开发到极致。

(3)经济分析表明,水厂高度集约化设计虽然在一定程度上会增加投资和运营成本,但在投资及财务上也是可接受的。

参考文献

- [1] 王如华. 现有城镇水厂技术升级改造面临的主要问题及对策[J]. 净水技术, 2012, 31(4): 4-6.
- [2] 张金松,刘丽君,等. 饮用水深度处理技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [3] 张硕,王如华,王晏,等. 给水厂集约化设计对策[J]. 净水技术, 2014, 33(s1): 17-20.
- [4] 陈艳丽. 大型水厂升级改造理念与工程实践[J]. 给水排水, 2018, 44(4): 13-16.
- [5] 毛峰. 净水厂砂滤池与臭氧活性炭滤池集约化组合的设计[J]. 中国市政工程, 2015, 6(3): 78-79, 85.