

TGV 快速砂滤池的工艺特点及对传统滤池工艺的启发

田茹^{1,2} 姚恒帆²

1. 四川大学建筑与环境学院; 2. 成都市自来水有限责任公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i2.6563

[摘要] 西南地区某水厂过滤工艺采用法国 OTV 公司专利技术 TGV 快速砂滤池。与国内大多数水厂使用的滤池相比, TGV 快速砂滤池具有快速高效、结构紧凑、基建费用低、便于管理等特点。本文以此水厂为例, 系统介绍 TGV 快速砂滤池全流程工艺。通过对比 TGV 快速砂滤池各项设计参数与现行国家标准及行业规范, 以期在传统滤池的升级改造与新建水厂的设计提供借鉴和参考。

[关键词] TGV 快速砂滤池; 渐缩式配水; 深床过滤; 三段式反冲洗

The process characteristics of TGV fast sand filter and its inspiration for traditional filter technology

Tian Ru^{1,2} Yao Hengfan²

1. School of Architecture and Environment, Sichuan University;

2. Chengdu Municipal Water Supply Co., Ltd

[Abstract] The filtration process of a certain water plant in the southwest region adopts the patented technology TGV fast sand filter tank from French OTV company. Compared with most filters used in domestic water plants, TGV fast sand filter has the characteristics of fast and efficient, compact structure, low infrastructure cost, and easy management. This article takes this water plant as an example to systematically introduce the entire process technology of TGV rapid sand filter. By comparing the design parameters of TGV rapid sand filter with current national standards and industry norms, the aim is to provide reference and guidance for the upgrading and renovation of traditional filters and the design of new water plants.

[Key words] TGV fast sand filter; Gradually shrinking water distribution; Deep bed filtration; Three stage backwashing

引言

在常规自来水处理工艺中, 滤池是最关键的工艺环节, 目前常见的滤池有普通快滤池、移动罩滤池、V 型滤池等, 他们的各项设计参数, 基本遵照国家规范或设计标准。TGV 快速砂滤池属 OTV 公司专利技术, 多项设计参数与国家规范及设计标准存在较大差异, 在国内的应用并不多见, 有关其设计、运行的研究也甚少。西南地区某水厂是我国第一次引进法国 OTV 滤池专利技术 TGV 快速砂滤池并成功投入实际生产运行的水厂, 本文以该水厂 TGV 快速砂滤池为例, 系统介绍其工艺特点, 并结合运行经验, 阐明其设计参数偏离国家规范/设计标准的原因, 以期对传统滤池的升级改造与新建水厂的设计提出启发。

1 TGV 快速砂滤池工艺特点

西南地区某水厂设计日供水能力 40 万 m³, 分两条生产线, 单线日供水 20 万 m³。净水工艺采用常规混凝沉淀、过滤消毒工艺。

该水厂工艺流程紧凑, 停留时间短, 原水从进厂到滤后, 停留时间少于 1 小时。作为去除悬浮物的最后一道工艺流程,

高速的水流冲击对滤池性能提出高要求。TGV 快速砂滤池在工艺上主要采用渐缩式梯形配水渠实现均匀配水、粗粒径石英砂滤料进行深层截污、恒液位过滤控制、三段式气水联合反冲洗等技术措施。TGV 快速砂滤池模型如图 1。

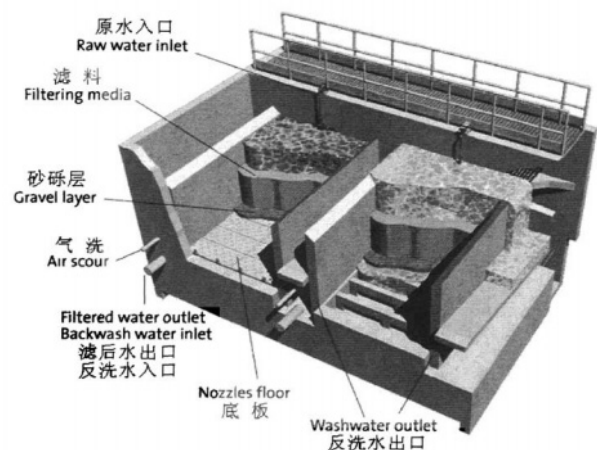


图 1 TGV 快速砂滤池模型^[1]

1.1 渐缩式梯形配水渠实现均匀配水

TGV 快速砂滤池的配水渠为宽度沿程逐渐缩窄的 T 型渠道，渠道起端宽度为 2.38 m，末端宽度为 1.20 m，将沉后水分配至各组滤池中。配水渠上均匀分布四个进水闸门，正常运行时闸门全开，闸门内侧有挡水孔板，使得内侧水位较配水渠水位下降约 0.022 m。闸门内侧为方形渠道，渠道两侧分别由堰板控制渠道内水位高度，沉后水经翻堰进入两侧配水室，并通过长方形配水孔进行布水。

经水力学计算^[2]，该渐缩式配水渠配水均匀度超过 80%，表明各格滤池配水较均匀，各滤格制水负荷得到均衡，因此能保证滤池最大的处理能力，也能消除高负荷冲击带来的杂质穿透风险。

1.2 粗粒径石英砂滤料进行深层截污

周超^[3]对不同滤料对水中颗粒物的截留效果进行了研究，结果表明，均质滤料应对滤速变化的能力最强，采用“大粒径、渗滤层”的级配滤料截污效果最好。

TGV 快速砂滤池采用均质石英砂滤料，正常滤速为 17.6 m/h，滤料层厚度达 1500mm，滤料有效粒径 $d_{10}=1.35\pm 0.05$ mm。滤料粒径较常规滤料粗，滤料间隙较大，伴随着高滤速，颗粒物更易迁移至深层滤床，使整个滤床都参与颗粒物的过滤去除，在整个过滤周期中出水浊度普遍低于 0.1 NTU。滤池的过滤效率、滤后水的清洁度都高于常规滤池。

1.3 恒液位过滤控制

传统滤池普遍需进行超高设计，而 TGV 快速砂滤池不设超高。TGV 快速砂滤池采用恒液位控制，滤池在运行过程中始终保持 0.85 m 的恒液位。具体控制逻辑为通过滤池上安装的液位计监测到的液位值与目标值 0.85 m 之间的差异量，来进行滤池出水调节阀的开度的调整，从而达到恒液位控制的目的。

TGV 快速砂滤池在运行过程中，若出现水头损失增大，即

使出水调节阀开度调至 100%仍不能保持 0.85 m 的控制水位时，滤池水位升高至 0.95 m 的堰板高度，即溢流至废水渠，若要避免高水位引起的高负荷对滤池造成水压冲击，须对滤池进行反冲洗。

1.4 三段式气水联合反冲洗

当不间断过滤时间达 24 小时、滤层水头损失达 2 m 或者运行人员在特殊情况下实施强制反冲洗时，TGV 快速砂滤池就可以进行反冲洗。TGV 快速砂滤池采取三段式气水联合反冲洗模式，整个冲洗过程涉及到单气冲、气水联合冲洗和单水冲三个阶段。与常规水洗工艺相比，减少了反冲洗水量，提高了冲洗效率。

在两次反冲洗之间，TGV 快速砂滤池还可设置微型反冲洗。当滤池进水流量或浊度的突然变化、维护操作、改变加药量或原水中溶解氧浓度较高时，导致水头损失急剧升高且滤池出现溢流、单池滤后水浊度过高、滤池状态恶化，此时可对滤池进行微型反冲洗以快速有效地改善和恢复滤池的处理能力。具体的实施方式为保持滤池进水阀开启，关闭滤水阀，启动反洗水泵，通过高速的水流，对滤池进行快速反冲洗，反冲洗废水直接从滤池上方溢流排入反冲洗水回收水池。微型反冲洗持续时间 3 min，可以有效缓解滤池的运行负荷，延长滤池的运行周期，同时缓和用水高峰期反洗水量不足的矛盾。

2 TGV 快速砂滤池设计参数与国家标准/设计规范对比及分析

TGV 快速砂滤池是 OTV 公司的专利技术，该滤池的处理负荷为国内常规滤池的 2 倍甚至 3 倍，最高滤速甚至可达 20 m³/h 以上，而目前对它的应用和研究甚少。通过与国家标准/设计规范的对比，发现 TGV 快速砂滤池滤料参数、滤速、反冲洗强度等多项参数与国家标准/设计规范均有较大差异。

表 1 TGV 快速砂滤池滤料参数与国家标准/设计规范对比^{[4][5]}

滤料参数	TGV 快速砂滤池	国家标准/设计规范 (均匀级配粗砂滤料)
滤料层厚度 (m)	1.5	一般为 1.2~1.5 m 之间
滤料有效粒径 d_{10} (mm)	1.35±0.05	0.9~1.2 mm
滤料层厚度/滤料有效粒径 d_{10}	1111	应大于 1250

TGV 快速砂滤池采用均质石英砂滤料，滤床厚 1500 mm，滤料有效粒径 $d_{10}=1.35\pm 0.05$ mm。 $L/d_{10}=1500/1.35\approx 1111$ 。

与慢滤池的筛除作用不同，快滤池的过滤能力多来自于滤料表面的吸附作用，吸附理论表明，滤料的表面积越大，吸附能力越强。因此单位面积滤层所提供的表面积须不低于某一数值，其数学表达式为：

$$S = \left[\frac{6(1-\varepsilon)}{\psi} \right] \cdot \left(\frac{L}{d_{10}} \right)$$

其中：

S——滤料表面积

ε ——滤层孔隙率

ψ ——滤料球形度

L——滤层厚度

d_{10} ——滤料有效粒径

式中清晰表明， L/d_{10} 越大，滤料表面积越大。《室外给水设计标准 (GB50013-2018)》中规定，“滤料层厚度与有效粒径之比 (L/d_{10})：细砂及双层滤料过滤应大于 1000，粗砂滤料过滤应大于 1250。”

TGV 快速砂滤池， $L/d_{10}\approx 1111$ ，不满足规范要求，原因在于：水厂投运初期，设计滤床厚 2000 mm， $L/d_{10}=2000/1.35\approx 1481>1250$ 。但过厚的滤床致使滤层表面上水深太浅，仅 0.35 m，在过滤过程中出现局部滤料层滤出水不能被及时补充的现象，从而使滤料层内产生负压，并导致进水中的溶解性气体析出，影响过滤效果。后经生产试验，得出滤床厚度在 1500 mm 可满足滤池出水水质要求，便将滤床厚度改为 1500 mm。项目投运近 20 年，滤池平稳运行时，出水浊度一直稳定在 0.1 NTU 及以下，过滤性能良好。在实际工程应用中，滤料参数的选择应综合考虑滤池的最佳运行状况。

表2 TGV快速砂滤池滤速与国家标准/设计规范对比^{[4][5]}

滤速	TGV快速砂滤池	国家标准/设计规范 (均匀级配粗砂滤料)
正常滤速 (m/h)	17.6	6~10
强制滤速 (m/h)	23.5	10~13

TGV快速砂滤池的正常滤速达17.6 m/h, 强制滤速甚至达到23.5 m/h, 约为国家标准/设计规范的2倍, 但在高速运行条件下, 整个过滤周期仍能获得高质量滤后水。滤后水平均浊度在0.1 NTU以下, 低于国内传统滤池滤后水的0.2 NTU, 过滤效果优于国内常用传统滤池。

高速过滤要求滤层具有一定的厚度, 否则杂质颗粒易穿透滤料, 造成滤后水质恶化。结合滤料参数数据, TGV快速砂滤池滤床是深层砂床与粗砂过滤的结合, 可以通过增加过滤介质的厚度和砂粒粒径, 使悬浮颗粒物能迁移至更深的滤床被吸附

去除。其过滤速度、运行时间、滤后水浊度和含污能力等各项性能都远胜于传统快速滤池。

在实际生产中, TGV快速砂滤池的出水浊度呈现季节性差异, 主要表现为夏季出水浊度低, 多低于0.05 NTU, 冬季出水浊度偏高, 多为0.08~0.1 NTU。原因分析为夏季原水浊度较高, 颗粒物粒径较粗, 更易于滤料的吸附去除。而冬季原水浊度低、颗粒物粒径细小, 易随高速水流进入下层滤料, 甚至穿透滤池, 造成浊度升高。因此在冬季, 需增大助凝剂聚丙烯酰胺的用量来强化水的絮凝效果, 以减少细小颗粒进入滤池。

表3 TGV快速砂滤池反冲洗参数与国家标准/设计规范对比^{[4][5]}

反冲洗过程		TGV快速砂滤池	国家标准/设计规范 (单层粗砂均匀级配滤料)
气冲阶段	气冲强度 (L/s.m ²)	25.38	13~17
	持续时间 (s)	180	60~120
气水同冲阶段	气冲强度 (L/s.m ²)	25.38	13~17
	水冲强度 (L/s.m ³)	5.9	3~4
	持续时间 (s)	480	180~240
水冲阶段	水冲强度 (L/s.m ²)	15.4	4~8
	持续时间 (s)	330	300~480

TGV快速砂滤池的反冲洗强度主要影响滤层的反冲洗膨胀率。去除滤料截留杂质主要依靠水流剪力和滤料颗粒间的摩擦。强度太小, 下层滤料不能悬浮起来, 由滤层截留的杂质不易被水流冲刷走; 强度太大, 颗粒膨胀率过高, 相互摩擦几率变小, 且容易造成滤料流失。TGV高速砂滤池各阶段的反冲洗强度主要是由生产经验和滤池的设备状况确定, 由于滤层较厚, 且为深层过滤, 各滤层均含杂质颗粒, 故各阶段反冲洗强度均高于国家标准/设计规范。

TGV快速砂滤池的反冲洗持续时间根据反洗后水头损失、反洗后各滤层含泥量、反洗尾水浊度和滤后水浊度综合评价。通过生产试验和参数测试, 各阶段设置恰当反冲洗强度和反冲洗时间, 可使水头损失由反洗前的2 m降至0.7 m, 各层含泥量均降至0.05%以下, 反洗尾水浊度降至4 NTU以下, 滤后水浊度保持在0.1 NTU以下。

3 总结与展望

(1) TGV快速砂滤池通过配水渠渐缩, 达到配水均匀的目的。改善滤池进水配水均匀性的方法还有很多, 比如: 采用反向底坡的配水渠; 各格滤池采用不同宽度的配水堰; 适当增大配水堰粗糙率; 各格滤池采用大小不同的闸孔; 配水渠采用中间进水、双向配水等。自来水厂可根据自身实际情况, 采取经济适用且工程量小的方式进行升级改造, 改善滤池配水均匀性。

(2) TGV快速砂滤池的滤料参数、滤速、反冲洗强度等多项参数均超出国家标准/设计规范取值范围, 但运行效果证明, 其具有很好的过滤效果。国内水厂在设计及调试阶段, 也可做大胆创新改进, 不必囿于规范, 理论计算结合生产试验, 摸索出适用于水厂的最佳运行参数。

(3) 由于滤速高, 水力停留时间短, 使得相同供水量条件下, TGV快速砂滤池的构筑物设计更为紧凑, 占地面积更小。在用水需求量大, 且土地资源紧缺的地区, 便可参考此类深层砂床与粗砂过滤相结合的滤池模式, 相同产能的前提下实现土地集约化。

(4) TGV快速砂滤池在普通的三段式气水联合反冲洗之外, 增加了滤池微型反冲洗, 可有效缓解滤池运行负荷, 迅速恢复滤池的处理能力。国内水厂也可以此进行升级改造, 在两次反冲洗周期中间, 适当增加滤池微型反冲洗, 以快速恢复滤池处理能力, 避免其他格滤池长时间以强制滤速过滤导致水质恶化, 同时降低因频繁启动鼓风机和水泵而导致的高能耗。

【参考文献】

- [1]李欣. Filtraflo™ TGV快速砂滤池的应用及改进[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
 - [2]陈金锥, 陈水梯, 谢善斌. V型滤池进水管配水均匀性探讨[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2005(02): 240-243.
 - [3]周超. 深床过滤对水中颗粒物截留效果的实验研究[D]. 西安建筑科技大学, 2014.
 - [4]GB50013-2018, 室外给水设计标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
 - [5]上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司. 给水排水设计手册[M]. 中国建筑工业出版社: 北京, 2016: 623.
- 作者简介: 田茹(1995—), 女, 硕士研究生在读, 主要研究方向是自来水处理净化工艺。
姚恒帆(1995—), 男, 本科生, 主要研究方向是自来水处理净化工艺。