



纤维束过滤技术的发展与应用

刘凡清¹ 葛培玉² 赵新峰³ 李耀光² 郝占华⁴

(同济大学环境科学与工程学院 2.上海凡清环境工程有限公司 3.泰安自来水公司 4.东北电力设计院)

【摘要】笔者基于多年的纤维束过滤技术研究和实践经验,综合性地介绍了纤维过滤技术的诞生和发展历程,阐述了纤维束过滤技术的特点与性能,分析了纤维过滤技术的应用前景。

【关键词】纤维束 过滤 技术

1. 纤维过滤技术的诞生与发展

砂滤是历史最悠久的水过滤技术,距今约有 200 年历史。无论是城市供水还是工业给水几乎所有水处理场合都离不开砂滤技术。砂滤技术的发展主要集中在滤池(滤器)的结构形式上,对提高过滤效率贡献不明显。减小滤料尺寸可增大滤料的比表面积从而提高过滤效率。但是,减小滤料尺寸同时会增大滤层过滤的水头损失,同时会增大滤料在反冲洗操作及过滤操作时流失的机会。因此,进一步提高砂滤技术及其它颗粒状滤料过滤技术的过滤效率已受到不可超越的限制。

纤维滤料是指纤维状的过滤材料。像天然纤维,如棉花、蚕丝、动物毛发等,人工合成纤维,如丙纶、涤纶、腈纶、锦纶、玻璃纤维等。纤维滤料和颗粒状滤料相比,具有过滤水头损失小、滤料不易流失的特点,可以突破颗粒状滤料尺寸的限制。滤毡、缠绕滤芯是最早出现的纤维过滤介质,这种过滤介质由于难清洗再生,只能用于小水量的特殊场合,无法用于大规模水处理场合。

从二十世纪八十年代初开始,瑞典、日本、中国、前苏联等国家开始研究可清洗再生的纤维过滤技术。日本尤尼奇卡公司和中国清华大学研究开发的纤维球过滤器,即用短纤维制成纤维球,装填在过滤器内。其主要缺点是:纤维容易脱落 清洗不干净。瑞典人研究一种刷形纤维过滤器,即用纤维长丝制成纤维束,将一端挂在多孔管上,另一端悬空或部分悬挂在载体上,流体自纤维束悬空端进入滤层,从多孔管一端流出。其主要缺点为工作时和清洗时滤层密度相同,保证清洗效果就不能很好地保证过滤效果。

2. 纤维束过滤技术的发展

我国纤维束过滤技术开始于 1985 年,从研究到工程实践已近二十年,根据密度调节方式可分为囊调节式纤维束过滤器、机械调节式纤维束过滤器、水力调节式纤维束过滤器等。

囊调节式纤维束过滤器是采用设置在滤层内部经特殊设计的囊体来调解纤维滤层密度的方法。该方法具有滤层压缩度可调性强,密度节较均匀等特点,为提高过滤精度、增大截污容量提供了保障。主要缺点:增加了操作步骤,需定期更换囊体。



机械调节式纤维束过滤器是采用机械传动装置来调节纤维滤层密度的方法。该方法由于纤维滤料的特性，会造成施力点附近的纤维滤料过度压缩，远离施力点的纤维滤料难被压缩的现象，对保障过滤精度和截污容量不利，且容易损伤纤维滤料和机械装置。

水力调节式纤维束过滤器是借助过滤水流压缩纤维滤层，借助反洗水流放松纤维滤层的方法。该方法不需外动力和操作即可调节纤维滤层的密度，具有操作简单、维护量小等特点。主要缺点：纤维滤层压缩程度不足，影响过滤精度。

应用较多的是囊调节式纤维束过滤器和水力调节式纤维束过滤器。经过近二十年的研究开发和实践，目前主推第二代纤维束过滤器 - 自助力式纤维束过滤器。它是在水力调节式基础上改进而成，克服了原纤维滤层压缩程度不足的缺点。

第二代纤维束过滤器所采取的技术措施：

- 采用专用的纤维材料；
- 纤维束经特殊处理，具有高吸附性高洗脱性均衡结构；
- 采用新的清洗方法及装置，强化清洗效果；
- 采用特殊设计的滤层密度调节装置，强调滤速、阻力、截污容量、过滤精度的协调均衡。

第二代纤维束过滤器的特点：

- 改善了清洗效果；
- 提高了过滤精度和截污容量；
- 简化操作，减少维护；
- 拓展了适用范围。

3. 纤维束过滤技术的特点与性能：

(1) 纤维束过滤技术的特点

- **微米级滤料**：采用软填料—纤维束作为滤元，其滤料单丝直径可达几十微米甚至几微米，属微米级滤料（砂滤料属毫米级），具有巨大的比表面积（ $d_{50} : 80000\text{m}^2/\text{m}^3$ ，而砂 $d_{1000} : 6000\text{m}^2/\text{m}^3$ ），对水中的颗粒的捕获能力和吸附能力大幅提高。
- **滤层可压缩**：纤维束滤料可压缩性强，堆积密度可调，过滤精度、过滤阻力可根据需要调整。
- **无级变孔隙滤层**：纤维束滤层在特定结构的过滤器内在水流作用下可自动形成沿水流方向滤层孔隙逐渐减小的无级变孔隙层态，无需象颗粒状滤料那样进行人工级配。
- **滤层有序稳定**：纤维束滤元悬挂在过滤器内，耐冲击，不乱层，不流失，可承受高强度清洗，包括大流量气—水联合反冲洗。
- **性能稳定持久**：纤维束滤元清洗时完全放松，且可采用高强度空气擦洗，清洗较彻底，滤层不易板结，性能不衰减，滤料寿命可达十年以上。



(2) 纤维束过滤技术的性能

- ◆ 过滤效率高 (SS 去除率 90 ~ 100%)
- ◆ 适用水质范围宽 (SS10 ~ 1000mg/l)
- ◆ 过滤速度快 (一般为 30m/h)
- ◆ 截污容量 (一般为 5 ~ 10kg/m³)
- ◆ 过滤水头损失小 (初始水头损失 0.01 ~ 0.02MPa)
- ◆ 占地面积小 (砂滤的 1/3 ~ 1/2)
- ◆ 吨水造价低 (低于砂滤)
- ◆ 自耗水率低 (1 ~ 3%)
- ◆ 不需要更换滤元 (滤元寿命不低于 10 年)

4. 纤维束过滤技术的工业应用

研究开发纤维束过滤技术的目的是为了克服以砂滤为代表的颗粒状滤料过滤技术的局限性, 最终替代砂滤用于各种水处理场合。

✧ 工业给水处理:

纤维束过滤技术可以设计制造成各种压力式纤维束过滤器, 也可以用于砂滤器的改造。

压力式纤维束过滤器设计滤速一般为 30m/h, 可代替砂滤用于各种工业给水处理场合, 如锅炉补给水过滤、循环冷却水旁滤、采油注水、其它工业用水、生活用水处理等。

由于纤维束过滤技术较砂滤有突出的特点和优异的性能, 代替砂滤使用在许多方面会给生产带来好处。

例如, 在锅炉补给水处理方面: 纤维束过滤可以最大限度地降低水的浊度 (小于 1FTU 或更低), 同时显著去除水中的铁、大分子有机物, 可为化学除盐工艺创造良好条件, 减少离子交换树脂的污染, 降低再生剂耗量; 纤维束过滤可显著地去除水中胶体硅, 大幅降低除盐水的总硅含量, 从而降低锅炉蒸汽硅含量, 显著减少汽轮机叶片积硅盐, 延长汽轮机大检修周期; 纤维束过滤可以最大限度地降低水的 SDI 值, 有效减轻反渗透膜污染, 延长膜寿命; 纤维束过滤用于活性炭过滤之前, 可减少悬浮物、胶体、大分子有机物对活性炭的微孔堵塞, 延长其寿命。

某电厂纤维束过滤器对水中一些杂质的去除效果见下表:

全铁	亚铁	悬浮物	活硅	胶硅	有机物
66-92.5%	72-80%	80-100%	25-60%	68-80%	32-67%



◇ 自来水厂：

纤维束过滤技术可以设计成各种重力式滤池，如快滤池、V型滤池、虹吸滤池等，也可以用于砂滤池的改造。纤维束滤池的滤速一般 20~25m/h，可代替砂滤池用于自来水厂。

应用纤维束过滤技术不仅可以大幅减少占地面积，同时还可以更好地保证自来水的品质。如沉淀池出水浊度高达 10FTU，过滤出水浊度仍可控制在小于 1FTU。应用该技术还可为饮用水的深度处理创造有利条件。

山东泰市三合自来水厂扩建，采用纤维束滤池，规模：5万吨/日。有关参数如下：

- 滤池过滤面积：97.2m²
- 滤速：20~25m/h
- 处理效果：滤前水浊度：5~10度
- 滤后水浊度：<0.5度
- 运行周期：24小时
- 自耗水率：<1.5%

◇ 循环水处理：

循环冷却水系统采用旁流过滤处理，可控制水中悬浮物的积累，防止系统尤其是换热面污泥沉积。

在循环水旁滤处理场合，用纤维束过滤技术代替砂滤的主要优势：占地面积小；过滤出水水质好且稳定；自耗水量小；滤料寿命长。

目前已在炼油、石化、冶金、电力等多种行业应用。

◇ 污水深度处理回用：

经生物二级处理的污水，水中还含有一些悬浮物（主要是生物絮体），BOD、COD 指标还比较高，须采取进一步深度处理才能使其达到回用要求。

纤维束过滤器（池），不仅过滤速度快、过滤精度高，而且截污容量大，耐高强度气—水反冲洗，滤层不易板结等特点，很适合污水深度处理回用的场合。

在污水深度处理回用场合采用纤维束过滤器（池），可省去沉淀或气浮单元，采取微絮凝过滤工艺，即在二沉池后仅设置纤维束过滤器（池）处理单元。

此工艺可去除 COD 约 50%，BOD 约 60%，处理成本（含折旧）约 0.15 元/吨。

纤维束过滤技术已成功用于油田、石化、电力、冶金、市政等多种污水深度处理回用场合。

5. 应用前景

当前，水污染问题遍及全世界，特别是城市和工业区附近，水体污染尤为严重，即使发达国家也仍然未能完全解决水污染问题。世界面临的另一问题是水资源短缺，这在一定程度上，制约了地区经济的发展。我国人均淡水量为 2545m³，特别是华北、西北和东北地区，已面临严重的缺水困境。根据全国 300



多城市的调查统计,有 180 个城市缺水,40 个城市严重缺水,缺水总量达 $1.3 \times 10^7 \text{m}^3/\text{d}$ 。目前全国城市总用水量为 $850 \times 10^8 \text{m}^3/\text{d}$,现在严重缺水的城市将来会出现水荒,严重影响人民的正常生活和生产。

纤维过滤技术推广应用后,对工业生产领域可提高产品的质量,对自来水行业可提高出厂水的水质(降低浊度、COD 等指标),对污水处理场合可降低出水悬浮物、BOD、COD 等杂质的含量,这样既减少污染物的排放量又有利于污水回用,保护生态环境、污水资源化一举两得。

毫无疑问,用纤维过滤技术代替砂滤技术,对我国进入 21 世纪的经济、社会可持续发展,对改善生态环境和提高生活质量,对解决子孙后代的生存空间,都具有非常积极的作用。

6. 结语

纤维束过滤技术无论在技术指标还是经济指标方面都超越了砂滤技术。而且,随着高分子技术的发展,不断为纤维束过滤技术的发展注入新的动力,因此纤维束过滤技术必将引领深层过滤技术进入新的时代。

目前,纤维束过滤技术虽然已在许多水处理场合开始替代砂滤使用,但占有的市场份额还很小,尚未充分发挥其应有的价值。还有产品开发、应用研究、转化推广等大量工作需要开展,距离全面替代砂滤的目标还有相当长的路要走。

作者简介

刘凡清 同济大学环境科学与工程学院教授

国家级有突出贡献中青年专家、

中国水污染治理技术装备专家团技术专家

[作者通讯处] 200433 同济大学环境科学与工程学院 四平路 1239 号

电话:(021) 51097669 e-mail:shlfq@fqee.com