

三层滤料滤池

杨文进 乐丽孙 编

中国建筑工程工业出版社



三层滤料滤池

(第二版)

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国建筑工业出版社

《三层滤料滤池》一书，自1977年出版以来，该种技术已有很大的发展，此次修订，在理论和实践方面都作了详细的补充，文字通俗易懂，十分实用。其主要内容包括：三层滤料滤池的构造和设备，过滤，反冲洗，设计、施工、运行管理注意事项，以及测定方法等。

本书供从事给水处理的、教学、科研、设计、施工以及水厂管理人员（包括工人）参考。

三层滤料滤池

（第二版）

杨文进 乐丽孙 编

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷（北京阜外南礼士路）

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：5 字数：110千字

1984年12月第二版 1984年12月第二次印刷

印数：5,181—11,080册 定价：0.55元

统一书号：15040·4687

前 言

中国建筑工业出版社于1977年出版的《三层滤料滤池》一书，是由湖北省黄石市自来水公司和湖北给水排水设计院共同编写的。当时，主要取材于黄石水厂三层滤料滤池的设计、施工和运转实践。

嗣后，国内投入运转的三层滤料滤池日见增多，有关此种滤池的科学研究工作也有了进展。因此，编者在总结现有技术成果的基础上，对原书作了修订。修订本中，增加了第一章和第六章。对原书的内容，经过改写和补充纳入第二章至第五章，在这四章中增加了过滤和反冲洗理论、低温水过滤、过滤运行方式、辅助冲洗、附属设备及其它池型等。本书侧重于阐述三层滤料的过滤技术，以期对该项技术的采用有所裨益。

在本书编写过程中，得到魏建忠、杨必宽同志的大力支持和鼓励，并对书中部分内容作过审阅。朱士龙同志提供了宝贵意见。张海襄同志为本书提供了大量测定数据。岳继忠、沈月明、董祥龙、邹光义、郑正仁、江运通、郑子根、陈炳襄同志也为本书提供了很多资料。在此一并向他们表示衷心感谢！

书中错误之处，敬希读者批评指正。

杨文进 乐丽孙

一九八四年二月于武汉

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 三层滤料滤池的发展简史	3
第三节 三层滤料滤池的效益	6
一、滤池新建费用	6
二、滤池改建费用	7
三、日常运行费用	7
四、滤后水质	8
第二章 构造和附属设备	9
第一节 滤池面积、格数和深度	9
一、滤池面积	9
二、滤池格数	9
三、滤池深度	10
第二节 滤床	10
一、滤料的选择	11
二、滤料粒径	17
三、层间混杂	19
四、滤料厚度	21
五、滤床实例	23
六、轻质滤料的流失	24
第三节 承托层	27
第四节 配水系统	29
一、配水系统的作用及类型	29
二、大阻力配水系统	32
三、小阻力配水系统	34
第五节 冲洗排水槽和集水渠	38

一、冲洗排水槽	38
二、集水渠	40
第六节 附属设备	40
一、管、槽	40
二、防涡网格	41
三、其它设施	42
第七节 供给反冲洗用水的设施	42
一、水泵	42
二、水箱(水塔、水柜)	43
第八节 三层滤料滤池的其它池型	44
第三章 过滤	46
第一节 过滤理论	46
一、过滤机理	46
二、数学模式	49
第二节 预处理	51
第三节 运行方式	53
一、恒压过滤	53
二、恒速过滤	53
三、降速过滤	53
第四节 滤速	54
第五节 过滤周期	55
第六节 滤前水浊度和滤后水浊度	57
一、滤前水和滤后水浊度的频率分布	57
二、滤前水浊度对滤后水浊度的影响	59
三、过滤周期开始和终止时的滤后水浊度	60
第七节 去除细菌和浮游生物的效果	61
一、去除细菌的效果	61
二、去除浮游生物的效果	64
第八节 截泥能力	66

一、截油量	66
二、含泥量	68
三、各滤料层的浊度剩余率	68
第九节 过滤水头损失	69
一、过滤起始水头损失	70
二、过滤水力梯度	73
第十节 低温水的过滤效果	75
第四章 反冲洗	78
第一节 概述	78
第二节 反冲洗强度	79
一、最佳反冲洗强度的推算	79
二、实用反冲洗强度	86
第三节 滤床膨胀率	87
第四节 反冲洗排水浊度和反冲洗历时	91
第五节 反冲洗耗水率	93
第六节 反冲洗水头损失	95
一、配水系统反冲洗水头损失	97
二、承托层反冲洗水头损失	98
三、滤床反冲洗水头损失	101
第七节 反冲洗效果	102
一、残余含泥量	102
二、过滤起始水头损失	103
三、其它	103
第八节 辅助冲洗	104
一、表面辅助冲洗	104
二、空气辅助冲洗	105
第五章 设计、施工和运行管理注意事项	106
第一节 设计注意事项	106
第二节 计算实例	107

第三节 施工注意事项	113
一、备料	113
二、反冲洗排水槽的安装	114
三、配水系统的安装	115
四、承托层的铺装	116
五、滤料的铺装	117
第四节 运行注意事项	119
一、过滤	120
二、反冲洗	122
第六章 测定方法	125
第一节 滤料的测定	125
一、比重	125
二、孔隙率	127
三、滤料级配	127
四、机械强度	130
五、盐酸可溶率	132
六、灼烧减重	132
七、莫氏硬度	133
八、滤料刮除量	133
第二节 滤池的测定	134
一、滤速	134
二、水头损失	137
三、反冲洗强度	138
四、膨胀率	139
五、配水均匀度	141
六、滤床含泥量	142
七、承托层平整度	144
附录 通用标准筛号	145
参考文献	147

第一章 绪 论

第一节 概 述

水的过滤处理就是使滤前水进入滤池中，通过迁移机理和附着机理的作用，将水中杂质截留于滤床中，从而使水得到澄清。过滤是水处理中的一个重要处理工艺，也是城市水厂澄清水的最后手段。

在水的过滤处理中，较常见的滤池是单层石英砂滤料普通快滤池。单层滤料通过水流反冲洗的水力分级以后，粒径小的滤料在上层，愈往下层，粒径愈大。滤料粒径愈小，滤料颗粒间的孔隙尺寸就愈小，比表面积（单位体积滤床内的滤料颗粒表面积）就愈大。在下向流过滤过程中，水中大部分杂质被上层滤料所截留，中下层滤料起的作用很小。

三层滤料在很大程度上克服了上述单层滤料的缺点。三层滤料上层为粒径大的轻质滤料，中层为中等粒径的石英砂，下层为粒径小的重质滤料。这种滤床的滤料具有反粒度的特点。上部粗滤料层的孔隙尺寸大，截泥容量也大，能够去除水中的大部分杂质。下部细滤料的比表面积大，孔隙尺寸小，能够进一步去除水中细水的剩余杂质，起到精滤的作用。因此，当水由上向下过滤时，开始浊度高，通过的滤料平均孔隙尺寸大，随着浊度的降低，平均孔隙尺寸也愈来愈小。所以，此种滤床的滤后水浊度低，水质好，过滤周期长，并且可以作高速过滤，其过滤性能比之单层滤料有显著

优越性。

由于三层滤料滤床的石英砂粒径比双层滤料的石英砂粒径小，且石英砂层之下还有一层更细的重质滤料，所以在其它条件相同，甚至滤速高一些的情况下，三层滤料滤池的滤后水的水质比双层滤料滤池的水质为好。

当然，三层滤料只是比双层滤料更接近于“反粒度”，但仍然不是理想的反粒度。就三层滤料的每一层而言，在反冲洗以后，每层有各自的水力分级，仍然是上细下粗。对于没有层间混杂而截然分层的三层滤料滤池而言，其反冲洗以后的水力分级情况，如图1-1所示。但各层的平均粒径是上粗下细的，上层粒径约为下层粒径的二倍，所以就滤床整体而言，仍然是“反粒度”。图1-1中虚线所示的为“反粒度”结构。

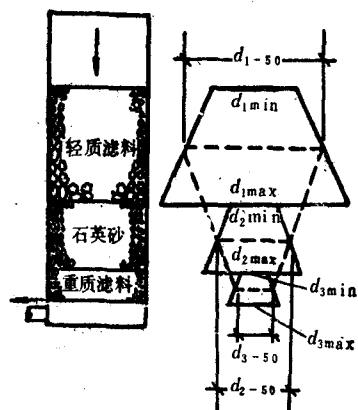


图 1-1 无混杂三层滤料滤床粒径分布

d_{1min} 、 d_{1-50} 、 d_{1max} —轻质滤料最小、平均、最大粒径； d_{2min} 、 d_{2-50} 、 d_{2max} —石英砂最小、平均、最大粒径； d_{3min} 、 d_{3-50} 、 d_{3max} —重质滤料最小、平均、最大粒径

完全理想的“反粒度”滤床应当是滤料粒径与过滤水在滤床中的过滤流经高度成反比。在下向流的滤床中，必须是滤料粒径与比重成反比。这样的滤料只有待于将来由人工合成提供。

三层滤料滤池能够在提供优质滤后水的条件下提高滤速，所以这种滤床特别适用于旧的普通快滤池的改造挖潜，以及新建滤池地皮受限制的场合。由于这种滤床的滤后水质好，所以它也适用于对滤后水质要求高的水厂以及含藻、低温低浊等难处理的原水。在国外^[1]经常用三层滤料滤池做直接过滤，并在混合或絮凝工艺之前或之后，投加聚合物或活性硅酸。此外，在污水的三级处理中，也常应用三层滤料过滤技术去除悬浮固体^[2]。

三层滤料滤池，对设计、备料、施工和运行都有比较严格的技术要求。只有这些要求得到满足，三层滤料的过滤性能才能充分发挥。国内外曾经出现过三层滤料的运行效果不佳的少数例子，其主要原因大都在上述过程的技术质量不符合要求。

第二节 三层滤料滤池的发展简史

三层滤料过滤技术是在双层滤料的基础上发展起来的。六十年代初期，在国外受到水处理技术界的重视。1964年，伦敦大学^[3]介绍了上层煤、中层砂、下层石榴石的三层滤料试验池。由于比重和粒径的配合，经过反冲洗后，各种滤料仍能按原来的次序排列。

六十年代后期至七十年代初期，Rimer^[4]、Tuepker^[5]、友野胜义^[6]、Westerhoff^[7]、长谷川正晴^[8]和Kawam-

ura^[9]相继发表了报告或文章,介绍了三层滤料的小型和中
间试验结果及其优点。长谷川正晴^[6]1972年报告,当时美
国有400处在使用三层滤料滤池。表1-1所示的是美国和加拿
大的三层滤料滤池的情况^[10]。美国的标准滤速为4.9米/时,
而三层滤料滤池的滤速则达到10~15米/时。所以,那里把
三层滤料滤池放在斜管沉淀池之后,作为挖潜改造之用^[11]。

美国、加拿大三层滤料滤池性能

表 1-1

地 点	浊 度 (度)		滤速 (米/时)	过滤周期 (小时)	反冲洗耗 水 率 ^① (%)
	滤前水	滤后水			
利宅那, 萨斯卡通城	0.5	0.1	10	30	2
北卡罗来纳州斯里尔城	1	0.2	12.5	30	2
德克萨斯州帕沙第纳城(工业)	3	0.5	15	40	1
俄勒冈州	3	0.2	7.5	50	1
弗吉尼亚州	1	0.1	10	48	1
加利福尼亚州	10	0.5	12.5	18	2
佛罗里达州	1	0.1	10	80	1
田纳西州诺克斯维市	1	0.2	12.5	60	1
俄勒冈州奥尔班尼市	2	0.2	12.5	20	2
得克萨斯州	4	0.2	7.5	48	2
得克萨斯州巴利斯市	10	0.3	7.5	50	2
俄勒冈州纽波特市	3	0.2	10	20	3
宾夕法尼亚州诺利斯市	6	0.3	10	45	1
米苏里州春田市	1.5	0.2	11.3	24	1
伊利诺州	2	0.3	12.5	15	2
德那威州	2	0.2	10	30	3

① 指一个工作周期的反冲洗水量与过滤水量之比, 后同。

美国一般把三层滤料称为混合滤料。这是因为, 混合滤
料的三种滤料相互混杂较重。在混合滤料滤床中, 各层大部
分滤料分别为: 上层无烟煤, 中层石英砂, 下层石榴石, 但

是每一层的各个水平面上都是三种滤料同时存在。

我国的三层滤料滤池的试验研究工作是七十年代初开始的。1973年至1974年，中国给水排水中南设计院分别在汉口堤角水厂和武汉肉类联合加工厂给水站，做了混合滤料的模型试验和 11.6米^2 滤池生产性试验。滤料为无烟煤、石英砂和磁铁矿。滤料级配接近于国外的混合滤料，滤床的层间混杂较重。试验结果表明，虽然混合滤料滤床的滤速可高至20米/时以上，滤后水浊度较低，但滤床的过滤起始水头损失较大，过滤周期较短。

1974年至1975年，中国给水排水中南设计院在上述混合滤料试验结果的基础上，与黄石市自来水公司合作，进行了三层滤料试验，并且在黄石水厂建成了我国第一座三层滤料滤池。在此三层滤料滤池中，磁铁矿粒径被加大到 $0.25\sim 0.5$ 毫米，并且控制了三种滤料的粒径合格率，刮除了三层滤料的轻质杂物，因而三层滤料滤床的分层清楚程度有显著提高，除两个分界面处各有几厘米厚的混杂层以外，其它各个深度处的滤料都接近于单一滤料。对于这种滤床的滤料，名为三层滤料是适宜的。黄石水厂的三层滤料滤池投产至今，一直没有翻修，在9年的正常运行中，平均滤速为 $30\sim 35$ 米/时，过滤周期为 $15\sim 16$ 小时，滤后水浊度为 0.7 度^[12~14]。

在上述第一座三层滤料滤池投产运行以后，黄石水厂、蚌埠二水厂和黄石凉亭山水厂^[14~15]以及成都一水厂、连云港海州水厂、黄石电厂、沙市西区水厂、蚌埠一水厂等又先后建成三层滤料过滤的水厂（站）多座。上述水厂的三层滤料粒径级配大都与第一座滤池相近似。这些厂的水温有低至 0°C ，有高至 32°C 。水源包括长江、淮河以及清水河（来自都江堰）等。其中黄石电厂为压力滤池，滤后水送至离子交

换器。国内三层滤料滤池的概况如表1-2所示。

大量的试验和运行测定资料一致表明，在表1-2的运行滤速之下，略有层间混杂的三层滤料滤池的过滤性能优于混合滤料滤池。国外混合滤料滤池的运行滤速较低，此种滤池在表1-2的滤速之下过滤是不经济的。

国内三层滤料滤池概况

表 1-2

水厂名称	旧池改造 或新建	投产 年份	滤池单 池面积 (米 ²)	滤池 格数	水 源	水 温 (°C)	运行 滤速 (米/时)	过滤水量 (米 ³ /日)
黄石水厂	旧池改造	1975、 1977	22.6	2	长江，电 厂冷却水	20~32	30~35	34000
蚌埠二水厂	旧池改造	1977	22.5	1	淮 河	4~20	20~32	13000
成都一水厂	旧池改造	1977	28.0	4	清 水 河	2~28	22 ^①	60000 ^①
黄石凉亭山 水厂	新 建	1979	28.0	6	长 江	7~30	18 ^①	70000 ^①
黄石电厂	压力滤 池改造	1979、 1982	3.1	2	长江，电 厂冷却水	20~32	20~30	
连云港海州 水厂	旧池改造	1980、 1981	15.0	6	蓄 薇 河	低温为0	25	55000
沙市西区水 厂	新 建	1982	19.2	3	长 江	7~30	18 ^①	31000
蚌埠一水厂	新 建	1982	26.4	3	淮 河	4~20	21 ^①	40000

① 设计数据

前几年，三层滤料中的重质滤料加工比较困难。现在湖北鄂城已有单位正式对外供应磁铁矿滤料和承托层材料的成品，这就为三层滤料过滤技术的发展提供了有利条件。

第三节 三层滤料滤池的效益

一、滤池新建费用

黄石市新建凉亭山水厂三层滤料滤池的设计规模为

70000米³/日,设计滤速为18米/时;湘潭市新建板塘水厂单层石英砂滤池的设计规模为60000米³/日,设计滤速为8米/时。两者都为双阀滤池,都用三角槽配水,地基条件也相近,而且都是中国给水排水中南设计院同一设计小组于1980年设计的。按武汉市1980年单价对这两种滤池的建造费用作了比较,费用只包括滤池本身,而不包括反冲洗泵房、管廊、反冲洗干管、滤后水干管、滤池以上建筑物(如控制室、化验室等)。按产水量1米³/日计算,凉亭山水厂滤池造价为3.3元,板塘水厂为6元,亦即三层滤料滤池的新建费用比单层石英砂滤池低45%。沙市西区水厂新建三层滤料滤池面积为72米²,设计滤速为18米/时时,设计水量为31000米³/日,总造价14.27万元,1米³/日产水量的造价为4.6元。

二、滤池改建费用

黄石水厂二号普通快滤池面积为22.6米²,滤速为10米/时,改建为三层滤料滤池的总费用为24340元。改建后滤速为30米/时。每增加产水量1米³/日的改建费用为2.25元,比板塘水厂新建单层石英砂滤池本身费用降低了62.5%。其它低水温地区,改建后的增加滤速如果按10米/时计算,则改建费用比新建普通快滤池低25%。此外,改建滤池还可以省去新建管廊、控制室以及征用土地等费用。

三、日常运行费用

经过国内几个水厂的长期运行和测定的结果,三层滤料滤池的反冲洗耗水率为0.68~2.8%,平均为1.24%。

单层滤料的普通快滤池反冲洗耗水率,根据下述参数计算:反冲洗强度13.5升/米²·秒、反冲洗历时5分钟、每天冲洗一次、实际过滤周期为23.5小时^[16],从而算得反冲洗耗水率为1.72%。而实际上普通快滤池运行的数据均大于

1.72%。按上述1.24%与1.72%的反冲洗耗水率计算，则三层滤料滤池节约反冲洗用水28%。

美国^[7]对比资料说明，混合滤料滤池反冲洗耗水率为1~1.5%，普通快滤池为1.5~3.5%，即混合滤料滤池节约反冲洗用水30%。

四、滤后水质

国内三层滤料滤池的生产实际和测定资料表明，在不加助滤剂的条件下，当运行滤速为20~35米/时以及滤前水平均浊度为13度时，滤后水的平均浊度为0.8度。这种优质滤后水是我国现行单层滤料滤池（设计滤速8~12米/时）所不易提供的。

黄石电厂单层滤料压力滤池改建为三层滤料滤池后，滤速提高到25米/时，滤后水浊度降低到0.5度以下，总铁含量降至0.01~0.06毫克/升，使得其后续工艺离子交换器中运行条件得到改善，并且不再积泥。

第二章 构造和附属设备

第一节 滤池面积、格数和深度

三层滤料滤池一般采用普通快滤池或双阀滤池的形式。

一、滤池面积

三层滤料滤池的运行滤速虽可高至 30 米/时，但设计滤速应低于此数。国内现有三层滤料滤池的设计滤速一般采用 18~20 米/时，与单层石英砂滤料滤池设计滤速为 8~12 米/时^[17]相比较，三层滤料滤池采用的上述设计滤速，在生产运行中是偏于安全的。

设计滤速确定以后，可根据设计水量，按下式算出滤池总面积 F ：

$$F = \frac{Q}{v} \quad (2-1)$$

式中 F ——滤池总面积，米²；

Q ——设计水量，米³/时；

v ——设计滤速，米/时。

二、滤池格数

滤池的格数要通过技术经济比较来确定。滤池数目多些，校核强制滤速就小些，从而有利于保证滤后水质，但滤池数目太多，会造成反冲洗频繁的麻烦，并且，单池面积愈大，则单位面积滤池的造价就愈低。滤池总面积与滤池格数的关系是：小于 30 米²——2 格，30~50 米²——3 格，100