

三层滤料滤池

湖北省黄石市自来水公司

湖北给水排水设计院

中国建筑工程出版社

三 层 滤 料 滤 池

湖北省黄石市自来水公司

湖北给水排水设计院

中国建筑工程出版社

本书主要内容包括：三层滤料滤池的构造、过滤、冲洗、设计计算、备料施工及运行管理等。

供从事给水工程设计、运行管理人员及工农兵学员和教师参考。

三层滤料滤池
湖北省黄石市自来水公司
湖北给水排水设计院

*

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

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：25/8 字数：51千字
1977年6月第一版 1977年6月第一次印刷
印数：1—5,480册 定价：0.21元
统一书号：15040·3366

毛主席语录

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。

要认真总结经验。

社会主义革命和社会主义建设，必须坚持群众路线，放手发动群众，大搞群众运动。

前 言

三层滤料滤池又称混合滤料滤池，由于它的滤速相当于普通快滤池的三倍，也称为高速滤池。近年来，不少自来水厂在沉淀池或澄清池中加上了蜂窝斜管或斜板，以挖掘生产潜力，从而沉淀池或澄清池的产水量提高了，迫切要求滤池提高滤速。因此，三层滤料滤池在给水处理方面，无论是新建或改建，都具有积极意义。湖北省黄石市自来水公司和湖北给水排水设计院党委，组织干部、工人和技术人员三结合小组，于1975年将黄石水厂的一个22.6平方米的普通快滤池改建为三层滤料滤池，经过一年多的生产运转及观察测定，滤速可提高到30~35米/时，水质符合国家标准，效果良好。

在该池的改建、运行观察和本书编写过程中，始终坚持了开门办科研和三结合现场设计方向，充分发挥了工人阶级主力军的作用。

为进一步总结提高和促进三层滤料高速过滤技术的发展，现将我们的初步体会编写成册。本书主要取材于黄石水厂三层滤料滤池的设计、施工及运转实践，其主要内容包括：三层滤料滤池的构造、过滤、冲洗、设计计算、备料施工及运行管理等，可供从事给水工程设计、运行管理人员及工农兵学员和教师参考。

由于我们的水平所限，有些问题尚待进一步探讨，书中错误难免，欢迎广大读者批评指正。

湖北省黄石市自来水公司
湖北给水排水设计院

目 录

一、三层滤料滤池的构造	1
(一) 滤床	1
(二) 承托层	12
(三) 配水系统	13
(四) 冲洗排水槽	22
(五) 滤池深度	23
(六) 管道及其他	23
二、过滤	25
(一) 滤速	25
(二) 过滤周期	26
(三) 滤后水浊度	27
(四) 截泥能力	34
(五) 过滤水头损失	37
三、冲洗	46
(一) 冲洗的技术要求	46
(二) 滤层流化的冲洗强度	47
(三) 膨胀率和水温的关系	47
(四) 冲洗排水浊度和冲洗时间	50
(五) 冲洗水量比	51
(六) 冲洗水头损失	54
(七) 冲洗效果	58
四、三层滤料滤池的设计、施工和运行管理的注意事项	60
(一) 设计注意事项	60
(二) 备料和施工的注意事项	64
(三) 运行管理的注意事项	66

一、三层滤料滤池的构造

滤池一般是由滤床、承托层、配水系统以及滤前水和滤后水管道、冲洗排水槽、冲洗系统组成。

滤池的工作包括过滤、冲洗和成熟三个阶段。过滤时，滤前水通过滤床，水中杂质如悬浮物、胶体物质、细菌等等被截留在滤料孔隙中。滤后水经承托层、配水系统进入清水池。冲洗时，冲洗用水经配水系统分配到整个滤池面积上，利用水的反冲流速，使滤料呈悬浮状态，并且互相摩擦，滤料中的积泥被清洗出来，随水流经冲洗排水渠道排走。滤床恢复洁净状态后，再进行过滤。单层滤料滤池开始过滤时，最初5分钟的滤后水由于水质较差要经初滤水管排掉，或者降低初滤的滤速，这个阶段称为成熟阶段。

(一) 滤 床

滤床是滤池的主要部分，是滤池质量好坏的关键。一个好的滤床，应该是截泥容量大、滤床厚度能被充分利用、过滤起始水头损失小和防止悬浮物穿透的能力强。满足了上述要求，就能够收到滤速大、过滤周期长和滤后水质好的效果。

滤床常用的有单层和双层两种。普通快滤池的滤床，一般采用一层粒径不均匀的石英砂。这样的滤床，在冲洗后，粒径小的石英砂在上部，粒径大的石英砂在下部，形成了上部细、下部粗的滤床；过滤时，悬浮物被截留在滤床的上

部，一般只能利用滤床厚度的三分之一，而不能充分利用滤床的整个厚度。双层滤料滤池的滤床，上层是无烟煤，下层是石英砂。由于双层滤床的无烟煤和石英砂粒径都比单层滤床的石英砂粒径大，所以双层滤床比单层滤床的截泥能力强，滤速高；但双层滤床下部石英砂的粒径比较大，若滤速过大，悬浮物易穿透滤床，使滤后水的浊度升高，因而使双层滤床滤速的提高也受到了一定限制。

普通快滤池的滤速一般为8~12米/时，双层滤料滤池的滤速可提高至12~16米/时。

三层滤料滤床，也称为反粒度滤床，一般由无烟煤、石英砂和石榴石组成；大粒径、小比重的滤料在上层，中粒径、中比重的滤料在中间，小粒径、大比重的滤料在下部。这样的滤床，三种滤料的平均粒径由上而下逐渐变小，滤床的截泥能力可以得到充分发挥，所以过滤周期长，而且对于滤前水浊度高和浊度波动大的水源适应性也比较强；下部小粒径滤料的表面积大，防止穿透的能力强，在高速过滤的情况下，可以有效地防止悬浮物的穿透，保证了滤后水水质。因此，三层滤料滤池的优点能在保证滤后水水质的前提下，大幅度地提高滤池的过滤能力；对于新建自来水厂，可以减少用地和节省投资；对于老水厂挖掘设备潜力，也是有效的方法。

目前，三层滤料有两种类型。第一类，上层为无烟煤，中层为石英砂，下层为大比重的矿石，使用效果较好。第二类，上层为比重小的无烟煤，中层为比重大的无烟煤，下层为石英砂，使用效果较差。第一类三层滤料，由于下层大比重滤料的粒径小，对高速过滤滤后水的水质更能保证，因此它的使用范围比第二类广泛。本书内容都是指第一类三层滤

料。

1. 滤料的选择

三层滤料 滤床要求 所用材料 必须具有良好的化学稳定性、足够的机械强度和为避免三种不同粒径的滤料混杂所必需的比重要求。

(1) 大比重滤料

大比重滤料有石榴石、磁铁矿和钛铁矿等。此外，还可按上述技术要求，因地制宜地选用其他种类的材料。

石榴石的化学性质稳定，莫氏硬度^①达到6.5~7.5，适宜做滤料。三层滤料中的石榴石多数指的是铁铝石榴石，它的比重为4.2。

磁铁矿和钛铁矿的比重为4.7~4.8，莫氏硬度在6左右。磁铁矿的主要成分为 Fe_3O_4 ，化学性质稳定。表1是湖北大冶磁铁矿的分析结果。

取粒径为0.25~8毫米的磁铁矿2公斤，置于4升水中，经常振动，分析浸泡了不同时间后的水样，结果见表2。浸泡水中，总硫含量有所增高，但在大量的滤后水中，这种增量则很微小。

① 莫氏硬度共分十级，并以相应的物质作为等级标准：

硬 度 值	代 表 性 物 质	硬 度 值	代 表 性 物 质
1	滑 石	6	长 石
2	石 膏	7	石 英
3	方 解 石	8	黄 玉
4	萤石（氟石）	9	金 刚 砂
5	磷 灰 石	10	金 刚 钻

湖北大冶铁矿的化学组成

表 1

成	分	合 量 (%)
总	铁	61.10
铜		0.68
硫		2.64
氧 化 低 铁		28.20
二 氧 化 硅		6.48

湖北大冶铁矿用水浸泡后的水质分析结果

表 2

含 量 (毫克/升)	项 目	氟化物 (F ⁻)	铁 (Fe ⁺⁺⁺)	铅 (Pb ⁺⁺)	砷 (As ⁺⁺⁺)	铜 (Cu ⁺⁺)	锌 (Zn ⁺⁺)	总硫 化物 (S=)
浸泡天数								
1		0.1	0.15	0	0	0	0.04	8.8
2		0.2	0.10	0	0	0	0.04	10.0
5		0.3	微量	0	0	0	0	12.0
15		0.3	0.18	0	0	0	0	12.8
30		0.8	0.20	0	0	0	0	14.0

(2) 石英砂

天然石英砂和人工破碎的石英砂都可使用。不同产地的石英砂比重略有差异，但一般都在2.65左右。

(3) 无烟煤

无烟煤用于双层滤料滤池已有不少经验，用于三层滤料滤池也被证明是可行的。要尽可能选用机械强度高、化学性质稳定、比重适当的无烟煤。

无烟煤的机械强度用破碎率和磨损率表示，测定方法如下：

取破碎后的无烟煤，用孔径为1.2毫米和0.5毫米标准筛过筛；洗净煤粉，置于105°C烘箱中烘干；再用孔径为1.0毫

米和0.5毫米标准筛过筛，取100克0.5~1.0毫米煤样，置于盛水150毫升的广口瓶中，盖好瓶盖，放在振动机上振动24小时（振动机行程为135毫米，频率为120次/分），取出煤样，洗去煤粉，烘干，用孔径为0.5毫米和0.25毫米标准筛过筛，称重。

$$\text{破碎率}(\%) = \frac{G_1}{G} \times 100$$

$$\text{磨损率}(\%) = \frac{G_2}{G} \times 100$$

式中 G_1 ——0.25~0.5毫米的煤重（克）；

G_2 ——小于0.25毫米的煤重（克）；

G ——煤样总重（100克）。

破碎率加磨损率小于或等于5%时方可用作滤料。

无烟煤的比重，因产地不同而有所不同，如山西阳泉、河南焦作的为1.4~1.5，山西晋城的为1.6，北京门头沟的为1.8~1.9。三层滤料所用的无烟煤其比重一般为1.4~1.6。

无烟煤颗粒形状以多面体为佳，片状和针状无烟煤过滤效果差、容易流失、损耗率大。

此外，还可因地制宜地选用比重在1.4~1.6、化学性质稳定、不致增加水中毒物的其他材料来代替无烟煤。比重小于1.6，有利于同石英砂的分层清晰，但比重太小冲洗时容易流失。根据资料介绍，人工合成的氢化无烟煤比重为1.4~1.7可以代替无烟煤使用。有的地方也用比重1.4~1.6的矿渣作滤料。这都有待在代用中摸索经验。

2. 滤料的粒径

分层清楚的滤床，起始水头损失小，过滤周期长。滤床

的分层情况，与不同比重的滤料粒径及其之间的相互关系有关，因此三层滤料滤池滤料的粒径应当注意选择。

无烟煤粒径大，有利于截泥和下层滤料的利用；磁铁矿粒径小，可防止悬浮物的穿透；但两者粒径相差过大，又易于混杂，增加水头损失。石英砂来源广泛，其粒径应尽量适应上述两种滤料条件，以不混杂为限。

各地无烟煤和石英砂的比重不一定完全相同。磁铁矿中往往夹杂有大理石等比重较小的杂质。在选择滤料级配以及去除杂质数量方面，可以借助有机玻璃模型试验确定，从而做到比重和粒径符合要求、分层比较清楚。

大比重滤料粒径范围的下限可选用0.18~0.25毫米，过小容易与石英砂混杂，增加过滤起始水头损失；过大在高滤速下，容易造成悬浮物穿透，难以保证滤后水的水质。大比重滤料的上限粒径不宜大于0.5毫米，因为粒径达0.5毫米的磁铁矿需要的冲洗强度比较高，如水温为22.5℃，冲洗强度达到14升/米²·秒时才能流化。如果粒径再大就更不容易流化。

无烟煤下限粒径以0.8~1.0毫米为佳，过大会加重下层滤料的负担，增大穿透的可能性；过小则下层滤料的截泥能力得不到充分发挥。无烟煤最大粒径一般采用1.68~2.0毫米，过大就会与石英砂发生混杂，增加水头损失。

石英砂粒径一般根据上下两种滤料的条件确定，要求无明显混杂。黄石水厂三层滤料滤池的无烟煤、石英砂和磁铁矿滤料粒径分别为0.8~2.0毫米、0.5~0.8毫米和0.25~0.5毫米，分层比较清楚。有些地方的经验认为，无烟煤、石英砂和石榴石（比重4.2）三层滤料的粒径分别为0.84~1.68毫米、0.42~0.84毫米和0.18~0.42毫米时，混杂情况

也不严重。

在无烟煤和石英砂交界处，无烟煤最大粒径与石英砂最小粒径的理想粒径比，可用等速沉降原理来确定。轻物质的大颗粒与重物质的小颗粒可具有相同的沉降速度。实践证明，粒径比小于3时不混杂，3~4时略有混杂，大于4时混杂比较严重。因此，石英砂和磁铁矿交界处，石英砂最大粒径与磁铁矿最小粒径比，最好不大于4。

三种滤料粒径选定后，可采用透明滤管进行反冲试验，观察滤料分层情况，若不理想，可以调整石英砂的粒径。

3. 滤床的厚度

根据一些资料介绍，三层滤料滤床总厚度有60厘米、75厘米和90厘米等多种，采用75厘米的较多，采用60厘米的较少。

三层滤料滤床中，各层滤料的厚度所占滤床总厚度的百分数，一般说，大比重滤料约占5~10%，石英砂约占25~35%，小比重滤料约占60~67%。黄石水厂三层滤料滤床厚度原为75厘米，其中，磁铁矿厚度占9%，石英砂厚度占31%，无烟煤厚度占60%。开始运行时为了保证煤粉刮净，将煤层多刮去3厘米，所以煤层厚度成为42厘米。

4. 滤床组成实例

黄石水厂改建的三层滤料滤池，面积为 $4.75 \times 4.75 = 22.6$ 平方米。滤床总厚度为72厘米，其中无烟煤层为42厘米，石英砂层为23厘米，磁铁矿层为7厘米。滤池构造详见图1。

黄石水厂三层滤料滤池滤床的滤料规格及厚度见表3和图2。

滤池投产初期和使用一年以后，分别对滤床各个深度滤

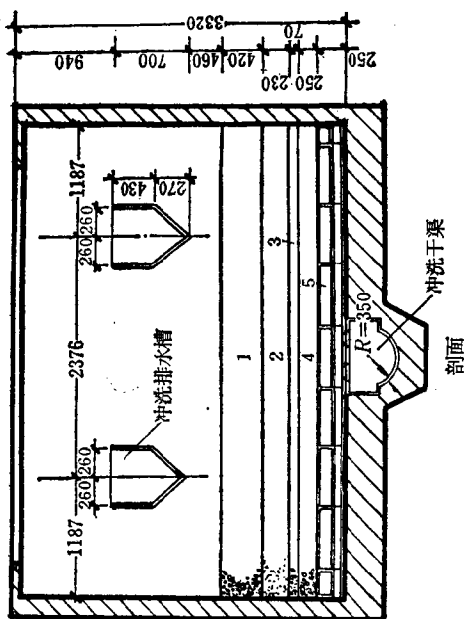
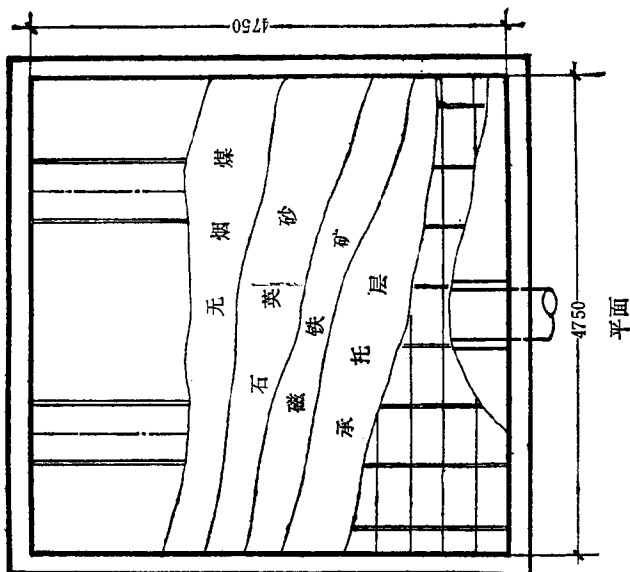


图 1 黄石水厂三层滤料滤池

1—无烟煤滤层，粒径为0.8~2毫米，厚度为42厘米；2—石英砂滤层，粒径为0.5~0.8毫米，厚度为23厘米；3—磁铁矿滤层，粒径为0.25~0.8毫米，厚度为7厘米；4—承托层，其中磁铁矿承托层粒径为1~2毫米的厚度为7厘米、粒径为2~4毫米的厚度为6厘米、粒径为4~8毫米的为6厘米，砾石承托层粒径为8~16毫米厚度为6厘米；

5—滤砖



黄石水厂三层滤料滤床的滤料规格及厚度

表 3

滤料名称		无烟煤	石英砂	磁铁矿
产地		河南焦作	湖北嘉鱼	湖北大冶
滤料粒径 (毫米)	$d_{\text{最大}}$	2.0	0.8	0.5
	$d_{\text{最小}}$	0.8	0.5	0.25
	d_{10}	0.85	0.52	0.26
	d_{50}	1.2	0.66	0.36
	d_{80}	1.49	0.75	0.44
K_{80}		1.75	1.45	1.69
沉降速度(厘米/秒)		6.38	7.11	7.56
比重		1.50	2.64	4.76
孔隙率(%)		43.14	46.90	48.30
厚度(厘米)		42	23	7

注: $d_{\text{最大}}$ 、 $d_{\text{最小}}$ 都是备料用的筛孔径。

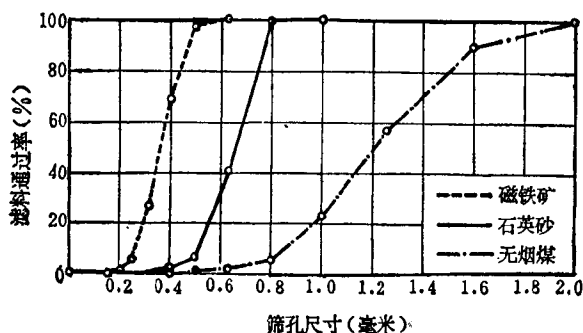


图 2 黄石水厂三层滤料的筛分曲线

料进行了筛分析,自滤床表面起,每5厘米深度,取一个样品作筛分析。取样方法是开挖后用直壁形玻璃杯取出柱形样品。图3是使用一年后三种不同滤料在滤床中的分布。图4

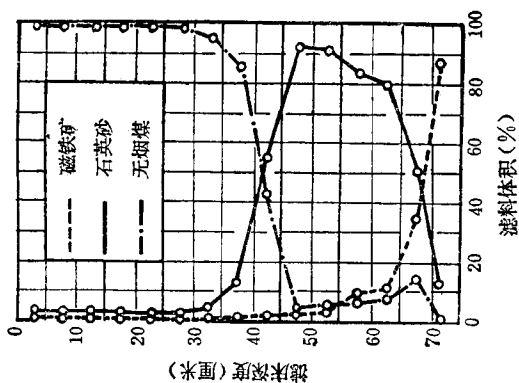


图 3 三种滤料在滤床中的分布

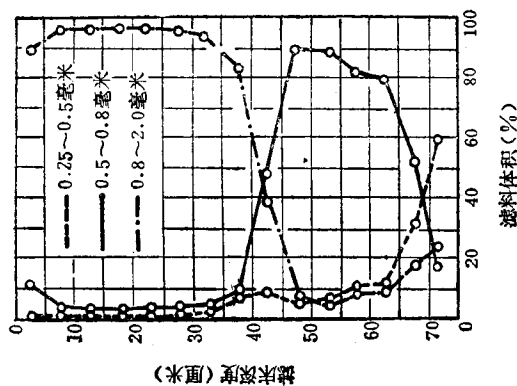


图 4 三种粒径在滤床中的分布

是使用一年后三种粒径范围在滤床中的分布。图中各点是代表每5厘米取样深度的平均深度。

滤池运行一年以后，表面0~5厘米厚无烟煤层中0.8~2.0毫米的粒径所占的百分率，由投产初期的78%增加到88.3%；0.5~0.8毫米的粒径由投产初期的19.4%下降到10.7%；0.5毫米以下的粒径也有减少，这是因为小的颗粒在冲洗过程中被冲洗水带走的缘故。在0.25~0.5毫米磁铁矿滤料层中，0.8~2.0毫米粒径的石英砂所占的百分率略为升高，这是由于1~2毫米承托层的磁铁矿不纯，夹杂少量大理石等，经过一年运行中的多次冲洗，这些大理石上升到磁铁矿滤料层中的缘故。

黄石水厂用电厂冷却水作水源，用硫酸亚铁加氯作混凝剂，经过悬浮澄清池澄清后，进入滤池。通过一年运行，三层滤料颗粒表面包裹着一层黄色含铁物质，此种物质的比重介于无烟煤和石英砂之间，从而使无烟煤的比重略有增高，石英砂和磁铁矿的比重略有降低。三层滤料的比重虽然略有改变，但目前尚未改变三层滤料原来的分层情况；除无烟煤最上5厘米和磁铁矿最下5厘米以外，其他各层的滤料和粒径分布情况，也与投产初期相同。滤床分层清晰程度、起始水头损失、运行滤速和过滤周期等均未发现明显变化。

5. 无烟煤的流失（跑煤）

不少采用无烟煤为滤料的双层滤料滤池，都存在无烟煤流失的问题。在建造黄石水厂的三层滤料滤池和投产运行中，都注意了这个问题。建造时适当地加大了煤面距冲洗排水槽底的高度，运行中力求防止带气冲洗和减少滤层中产生负压。

滤池投产初期，滤料中的少量片状和针状煤粒有随泡沫