

活性炭吸附在水处理中的两种应用

活性炭的吸附是水中污染物质在活性炭表面富集或浓缩的过程。活性炭吸附法在水处理领域有多种应用模式，现主要介绍其两种应用形式：①搅拌吸附+沉淀、②吸附塔滤床+再生-循环吸附。

国内活性炭污水吸附净化技术主要以活性炭吸附滤池、活性炭吸附塔两种型式为主。无论活性炭吸附滤池法和活性炭吸附塔均以颗粒状煤质活性炭为装填滤料；活性炭吸附塔的吸附工艺又可分为并联和多级串联吸附两种模式，或固定床和移动床吸附模式。

粉末活性炭也是污水净化前期处理的有效滤料之一。



一、前言：吸附特性

那些偶极矩小而极化率又大的物质利于活性炭吸附。因此，活性炭吸附对不同物质存在明显差异。

吸附过程是污染物分子被吸附到固体表面的过程，分子的自由能会降低，因此，吸附过程是放热过程，所放出的热称为该污染物在此固体表面上的吸附热。

活性炭容易吸附的有机物

芳香族溶剂类；苯、甲苯、硝基苯等；氯化芳香烃；多氯联苯、氯苯、氯萘酚与氯酚类；多核芳香烃类；苯比芘等；除虫剂和除莠剂等农药；DDT、艾氏剂、氯丹、六六六、七氯等；氯化非芳香烃类；四氯化碳、氯烷基醚、六氯丁二烯等；高分子量烃类；染料、汽油、胺类、腐殖质等。

活性炭不容易吸附的有机物

醇类；低分子量酮、酸和醛；糖类和淀粉；极高分子量或胶体有机物；低分子量脂肪类。

二、几个设计注意要点

活性炭吸附池无试验资料时可按正常情况下的参数设计。

空床接触时间为 20~30min。炭层厚度为 3~4m。下向流的空床流速为 7~12m/h。炭层最终水头损失为 0.4~1.0m。

常温下经常冲洗时，水冲洗强度为 11—13L/(m³·s)，历时 10—15min，膨胀 15%—20%，定期大流量冲洗时，水冲洗强度为 15—18L/(m³·s)，历时 8—12min，膨胀率为 25%—35%。活性炭再生

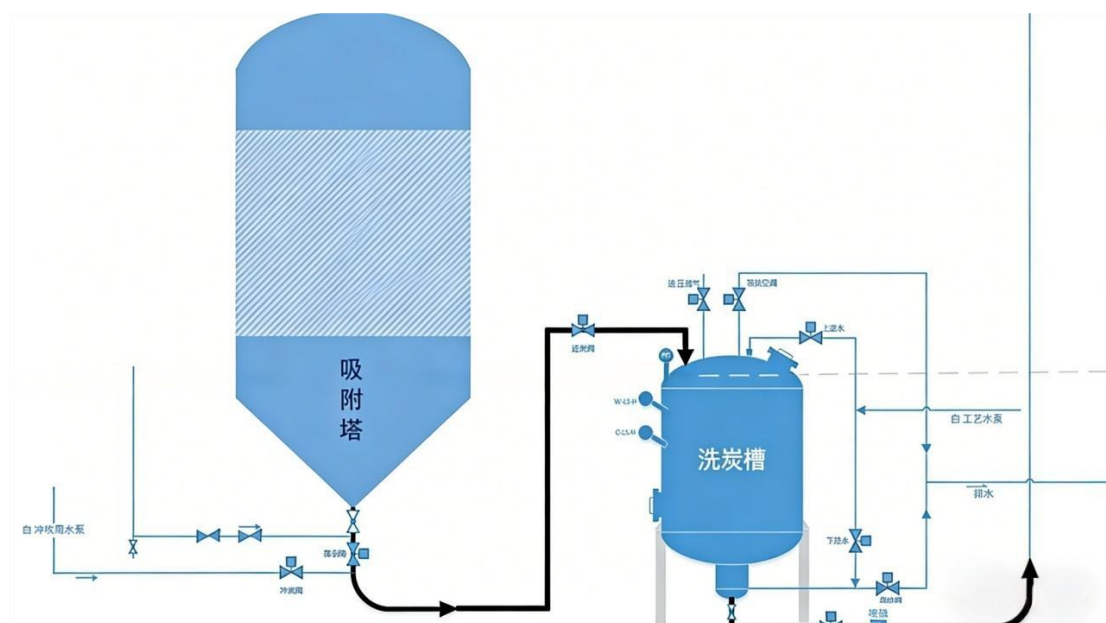
周期由处理后出水水质是否超过水质目标值确定，经常性冲洗周期宜为 3—5d。冲洗水可用砂滤水或炭滤水，冲洗水浊度宜小于 5NTU。

活性炭吸附罐无试验资料时可按正常情况下的参数设计。接触时间为 20——35min。吸附罐的最小高度与直径之比可为 2: 1，罐径为 1—4m，最小炭层厚度为 3m，宜为 4.5—6m。升流式水力负荷为 2.5—6.8L/(m³·s)，降流式水力负荷为 2.0—3.3L/(m³·s)。操作压力每 0.3m 炭层 7kPa。

一般颗粒活性炭的平均粒径以 0.8—1.7mm 较好，既有良好的水力性能又能减少吸附区高度。

为防止冲洗时活性炭流失，压力滤池的活性炭层上设置不锈钢丝网，下面设不锈钢格栅和卵石承托层。

固定床一般为 2—3 个串联使用，但不宜多于 4 个，运行时依次顺序再生。水量大时，可将几组串联池并联运行。进水有机物浓度较低但处理水量较大时，可多个固定床并联使用，但活性炭利用率降低。钢制固定床的直径不宜超过 1.6—2.0m。



粉末与颗粒活性炭的比较

表 14-3

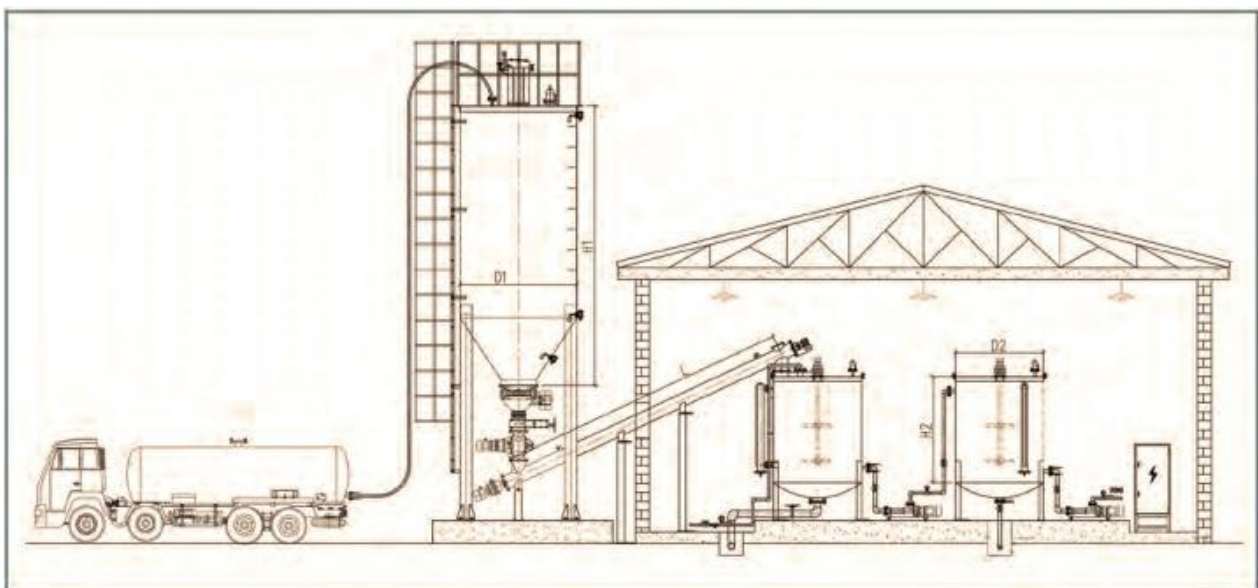
项 目	粉 末 炭	粒 状 炭
吸附量	较小，随投加量增大	较大而稳定
适用情况	1. 适于短期、季节性的应急措施； 2. 适用于建造粒状炭吸附装置有困难的情况或老水厂改造； 3. 适用于远期建设粒状炭滤池时的近期过渡措施	1. 适于长期； 2. 适用于有建设场地； 3. 适用于出水水质要求较高时
运行管理与安全	1. 使用较为简单； 2. 在滤池前投加时易出现穿透； 3. 粉末炭使用有防爆要求	运行管理复杂，尤其与臭氧联用时，还需增加臭氧和氧气系统设施的管理
作业环境与劳动强度	1. 手工拆包的作业环境较差，劳动强度较大； 2. 当采用负压和封闭系统输送，作业时较好	1. 好； 2. 炭滤池再生取炭与加炭时劳动强度大
工程造价	基建及设备投资较少	基建与设备投资大
占地面积	占地少，有时可利用原有加药间场地与设备	连同反冲洗设施占地多
运行费用	一次使用，用后废弃，一般不再生，所以处理费用较贵	定期再生，炭损耗少，处理费用较低
对环境的影响	粉末炭对污染负荷变动的适应性差，吸附能力未被充分利用，污泥处置困难	定期反冲洗水须作处置

摘自《给排水设计手册-城镇给水》

三、粉末炭的投加、搅拌吸附-沉淀

通常是以高效沉淀池的模式设计使用，重点是设计吸附时间、炭粉回流分离设备、沉淀分离区结构设备。

浆液调配浓度，常用采用 5% ~10%，配制与混凝剂相似。



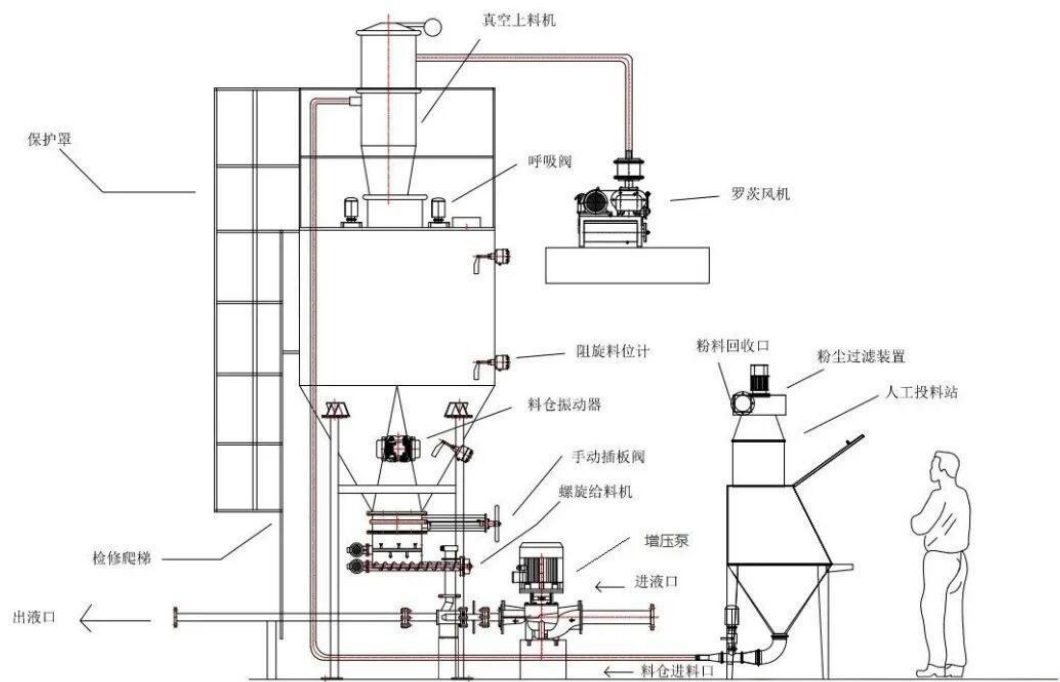
（一）粉末活性炭的投加——料仓储存+湿式投加

1. 有吸尘、回收系统，为封闭式投料搅拌装置，工作环境好；
2. 由 PLC 控制投加过程，自动化程度高；
3. 粉末炭通过专用车输炭吸入贮炭仓，劳动强度小；
4. 需有特种粉炭输送车配套；
5. 贮存料仓一般考虑 3 ~ 7d 的粉炭贮存量，料仓较大，一般设置于室外。



（二）粉末活性炭的投加——自动拆包-真空吸料+湿式投加

1. 粉炭为小包装，拆包后通过真空吸料进入粉炭投加系统；
2. 其投加系统同为湿投方式；
3. 料仓较小，可置于室内；
4. 室内需设置粉炭贮存场地；



(三) 加注方式：可采用重力或压力加注，以采用压力加注较多。压力加注时需采用耐磨损、不易堵塞的加注泵，如螺杆泵、膜片泵、水射泵等。

四、颗粒炭的滤床-循环吸附再生

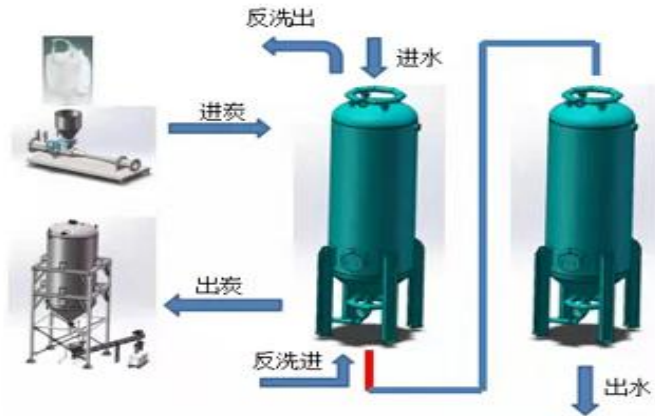
颗粒活性炭（granular active carbon，GAC）所应用的吸附塔主要有固定床、移动床、流动床 3 种形式

（一）固定床

- 1、进液压力可控制在相对低的数值，即可克服整个床层的阻力
- 2、可采用较大的流量设计和操作值
- 3、可采取回洗/反冲洗操作系统
- 4、高度较低
- 5、操作人数少

6、吸附器内部检查容易。

➤ 固定床



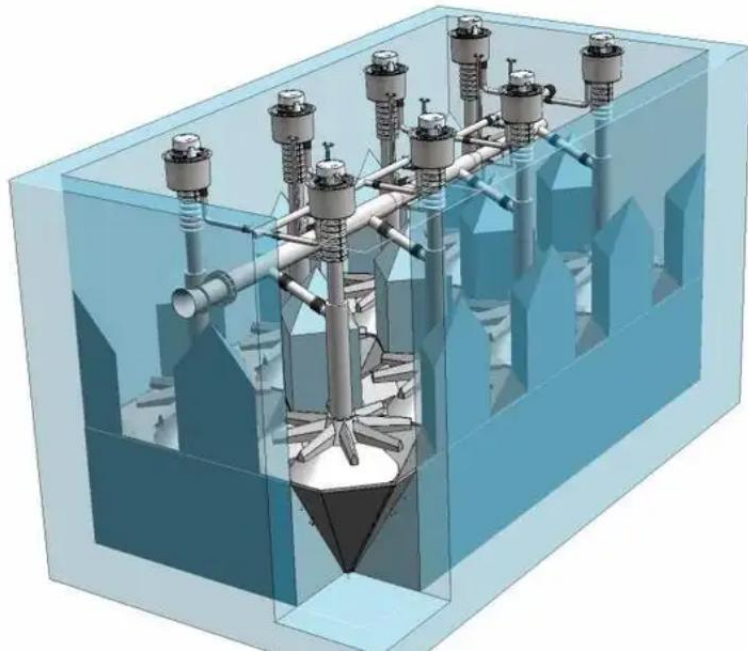
(二) 移动床

- 1、能够将出液质量精确控制到设定要求值/出水质量稳定
- 2、待处理料液由下而上流经活性炭床
- 3、局部排出最脏的活性炭；
- 4、活性炭的用量可达最小化；
- 5、吸附效率高
- 6、设备投资较少，占地面积小。

➤ 移动床



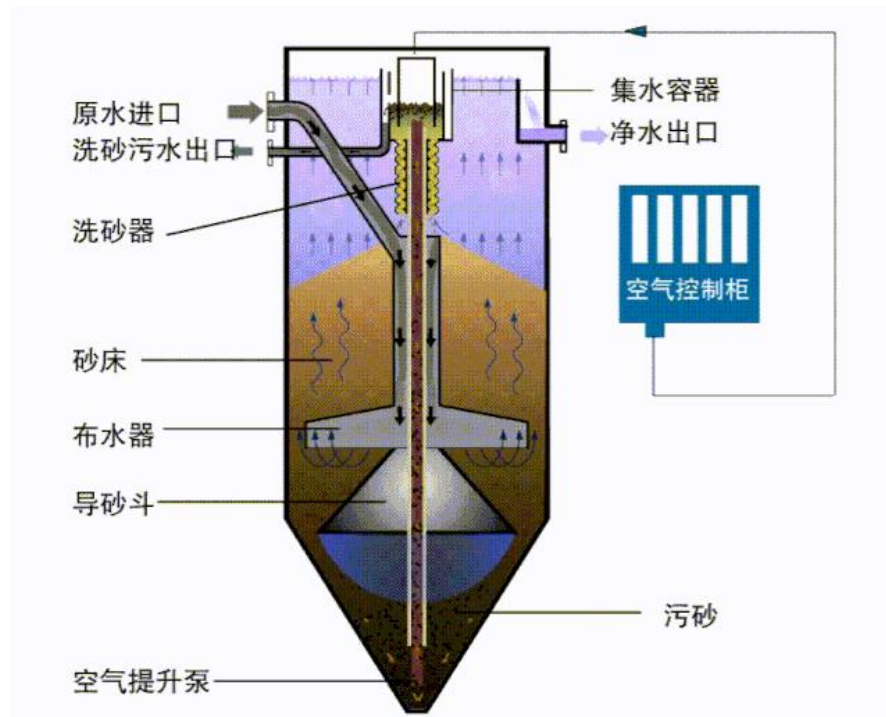
（三）流动床



水路：待处理的污水通过进水管进入活性炭(砂)滤池系统，再经过布水器使得污水均匀分布于整个炭(砂)层，污水向上流动，经过砂床的自然过滤\吸附，将污染物去除，出水经滤池顶部进入出水渠排出。

炭(砂)路：炭粒从导料锥底部经过提料管提升至洗砂器中，在提料的过程中，中心管内气水的剧烈扰动使得炭粒上的污染物脱落。附带污染物的炭粒经过洗砂器内的迷宫结构进行清洗，此外，上升的逆流清水进行再次清洗，清洗后的滤料散落在沙层顶部，开始下一轮循环。

气路：炭粒的上升和清洗过程主要依赖于压缩空气的气提原理，在洗料器的顶部，空气得到释放，通过调节气量的大小，可以调节滤料清洗强度以及反冲洗水量的大小。

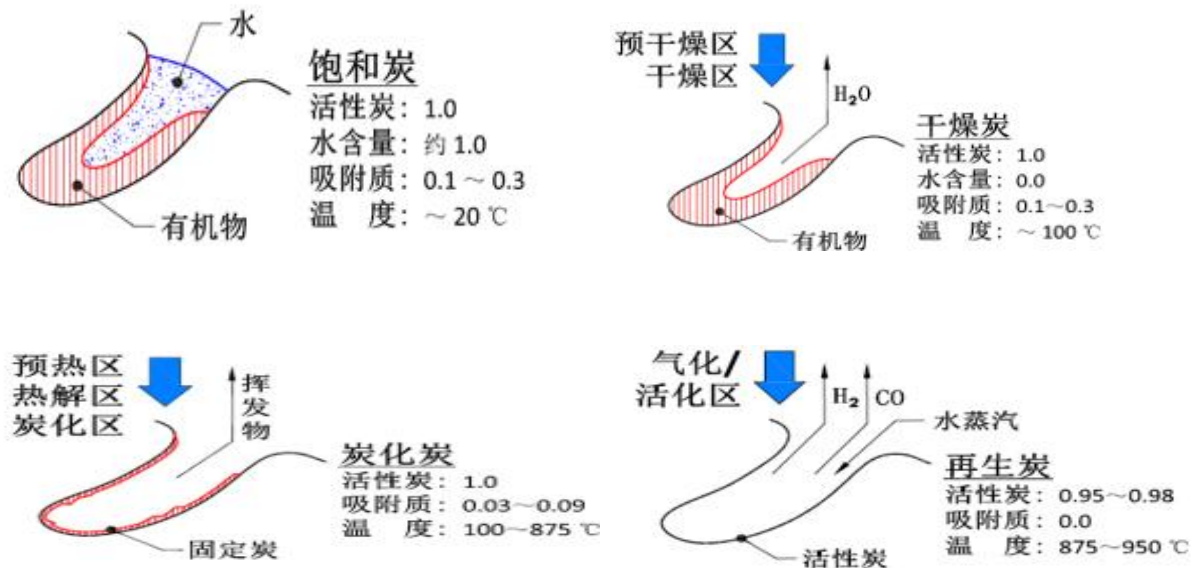


四、热解再生及尾气处理

加热再生法是发展史最长应用最广泛的一种再生方法。加热再生过程是利用饱和活性炭中的吸附质能够在高温下从活性炭孔隙中解析的特点，使吸附质在高温下脱附，从而使活性炭原来被堵塞的孔隙打开，恢复其吸附性能。施加高温后，分子振动能增加，改变其吸附平衡关系，使吸附质分子脱离活性炭表面进入气相。加热再生由于能

够分解多种多样的吸附质而具有通用性，而且再生物底，一直是再生方法的主流。

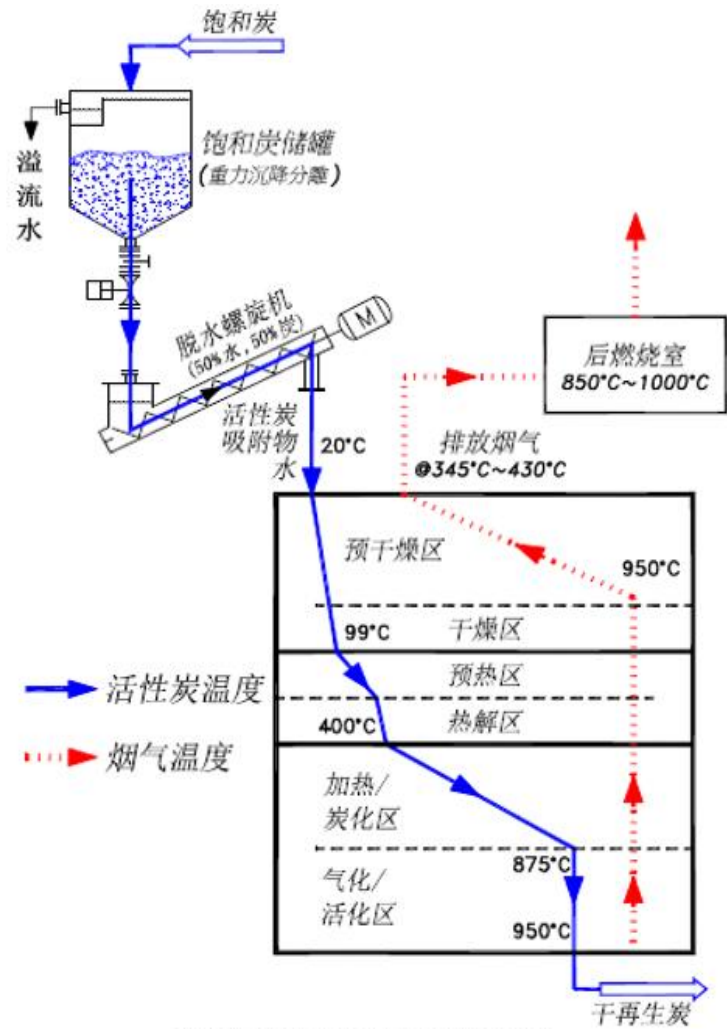
热解过程，炭会不可避免发生炭损耗，不同厂家承诺宣称的在百分之几不等，能源(天然气)消耗和炭损耗是运行成本的重要占比。



再生全过程经过下述 3 个阶段：

- 1、干燥阶段将含水的活性炭/焦加热，使炭粒内吸附水蒸发，部分低沸点有机物也同时挥发。
- 2、炭化阶段活性炭/焦被继续加热升温，不同的有机物随温度升高，分别以挥发、分解、炭化、氧化的形式，从活性焦的基质上消除或转变。
- 3、活化阶段有机物经高温炭化后，有相当部分炭化物残留在活性炭/焦微孔中。此时炭化物用水蒸汽等氧化性气体进行活化反应，使残留炭化物气化成气体，活性微孔得到清理。

活性焦再生系统主要包括以下几个设备：内热式再生炉、冷却机、除尘、脱硫脱硝、洗气塔、自动控制及仪表等。



多膛炉再生温度综观图

(一) 回转窑

通过滚筒的回转运动，带动颗粒或粉状物料在滚筒内做翻转式螺旋线运动，通过炉体加热腔设置的各温区组段，在炉内工艺气氛的作用下完成产品的活化过程。具有物料受热均匀、反应充分、运行平稳、易操作、易维护的特点。

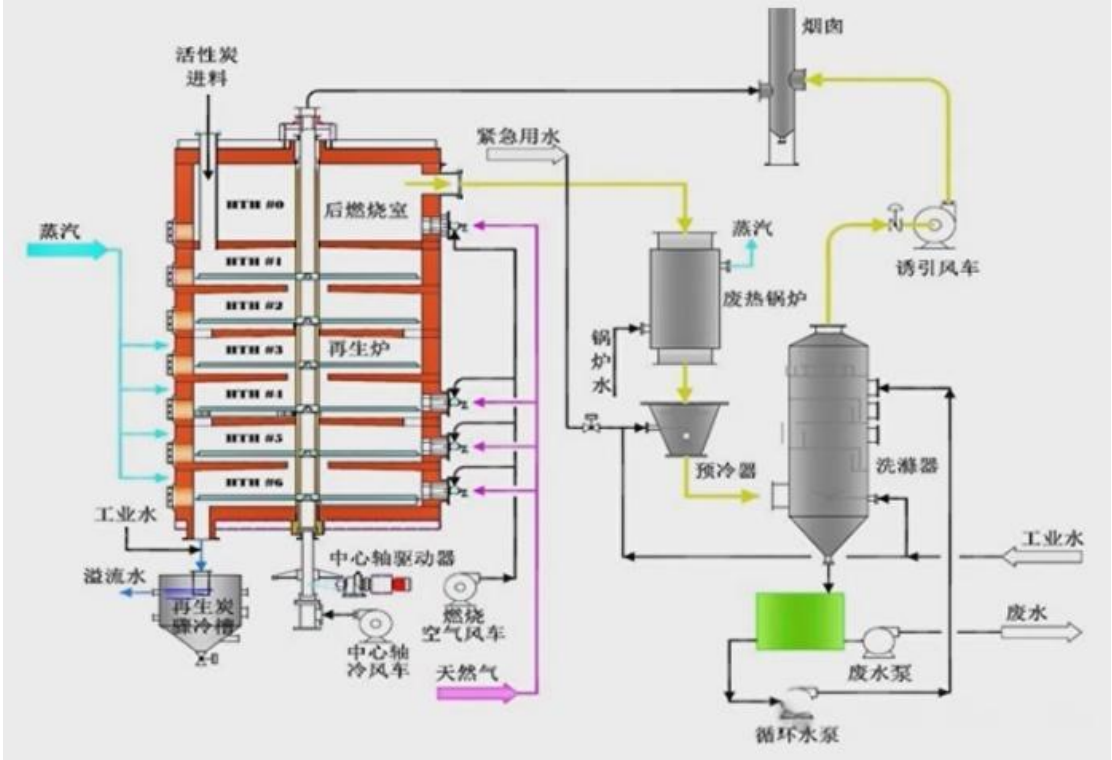


（二）多段耙式炉

多层耙式炉，于 1963 年开发成功，并广泛应用于各国活性炭企业。20 世纪 70 年代初，多层炉是日本再生排水处理用活性炭的王牌设备，当时美国活性炭再生装置几乎都是多层炉。多层炉的特征是稳定而连续的运转，往往能连续地运转 1 年左右。一旦开始运转并达到稳定状态，以后在运转方面几乎就不需再花费劳动力。当然，通常的检查温度与检查燃烧器的燃烧情况等日常的运营管理，仍然是必不可少的。但是，日常几乎不要进行操作阀门及操作燃烧器等调整工作，而且运转的范围也非常广，能在 25%~100% 的负荷范围内稳定地运转。

再生过程中，通过控制回转速度，能够任意地调节物料在炉内的滞留时间，所以，性能可达 100% 地恢复。

多层炉也作为生产活性炭的活化炉使用，因此，可以达到这种效果。但是作为工业化作用，再生的目的首要是控制性能恢复率在一定范围内，使再生系统的经济性能处于最佳状态。



（三）再生尾气处理

再生尾气处理的主要设备有：二次炉、余热锅炉、除尘、脱硫脱硝、洗气塔、排放在线监测设备等，作为成套设备，另做介绍。