

西安市垃圾渗滤液处理 工艺设计及运行中的关键问题

演讲人：张兴兴



目录

CONCENTS

1

概况

2

工艺设计要点

3

运行要点

4

渗滤液臭气治理





概況

1





概况—垃圾填埋场

西安市江村沟垃圾填埋场是利用天然沟壑两端筑坝形成库区，属山谷型填埋场，采取分层卫生填埋工艺。填埋场距市中心16.5公里，工程总占地1081亩，总容量4900万m³，设计使用年限50年，1994年6月正式投入使用。江村沟垃圾填埋场的建成使用极大的缓解了西安市城市生活垃圾处置问题，基本上解决了数十年来西安市垃圾围城的问题，为西安市环境卫生的改善做出了巨大贡献，是西安市唯一的生活垃圾处理场，也是全国最大的生活垃圾卫生填埋场之一。

随着国家实施西部大开发战略力度的加大和西安市社会经济的快速发展，江村沟垃圾填埋场自1994年6月正式投入使用以来，生活垃圾日处理量从最初1260吨已猛增至10000吨以上，2020年2月24日，江村沟垃圾填埋场正式封场。

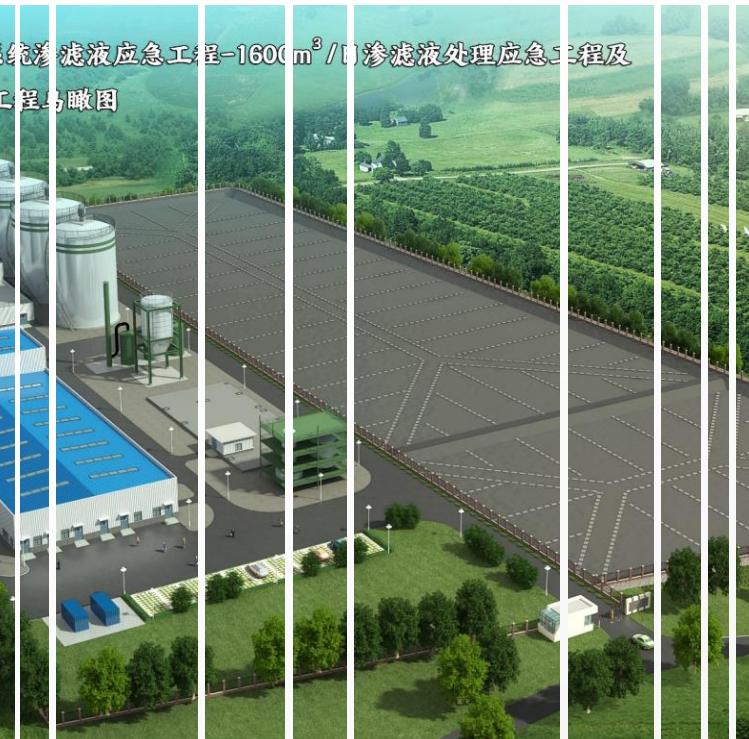


概况—渗滤液—厂

西安市江村沟垃圾渗滤液处理厂一期工程是 2002 年西安市政府为提高城市生活垃圾无害化处理水平投资建设的，处理能力为500吨/天。厂址位于垃圾场坝体下方，总占地 9.37 亩。采用“调节池-氨吹脱-厌氧池-SBR池-清水池”工艺处理。由于垃圾渗沥液成分复杂，设计工艺存在不足，渗沥液处理后出水不能达到现行的《生活垃圾填埋污染控制标准》（GB16889-2008）中表二的排放标准，必须对其进行改造。

2010年3月按西安市政府相关会议要求移交给西安水务集团运行管理，并由水务集团负责改扩建工程，该工程2012年4月建成试运行，占地32.87亩，总建筑面积3338 m²，扩建完成后，设计最大处理能力达到1200吨/天。

处理工艺采用“UASB（厌氧）+外置MBR（膜生物处理）+DTNF（碟管式纳滤膜）/ DTRO（碟管式反渗透膜）”。出水满足《生活垃圾填埋场污染物控制标准GB16889-2008》标准要求，通过市政污水管道进入西安市第三污水处理厂。



统一渗滤液应急工程-1600m³/d渗滤液处理应急工程及
工程鸟瞰图

概况—渗滤液三厂

随着江村沟垃圾填埋场日均渗滤液产生量逐年增加，江村沟垃圾填埋场下游共有两座渗滤液处理厂，分别是江村沟垃圾渗滤液处理一厂（设计规模1200m³/d，2011年底建成投入运行）和江村沟垃圾渗滤液处理二厂（设计规模1600m³/d，2017年底建成投入运行）。两厂合计处理能力约2400m³/d左右。根据相关测算，两厂仍满足不了渗滤液处理的需求量，根据相关文件和要求，新建1600m³/d的渗滤液处理应急工程，项目在2019年2月开始实施，采用租赁设备购买服务的模式运行，由维尔利环保科技集团股份有限公司全资子公司西安维尔利环境服务有限公司负责西安市生活垃圾末端处理系统1600m³/d渗滤液处理设应急工程边界范围内的与工艺设备相关的所有配套工程建设和运行服务。项目占地16000m²，建筑面积4187m²，项目投资1.05亿元。

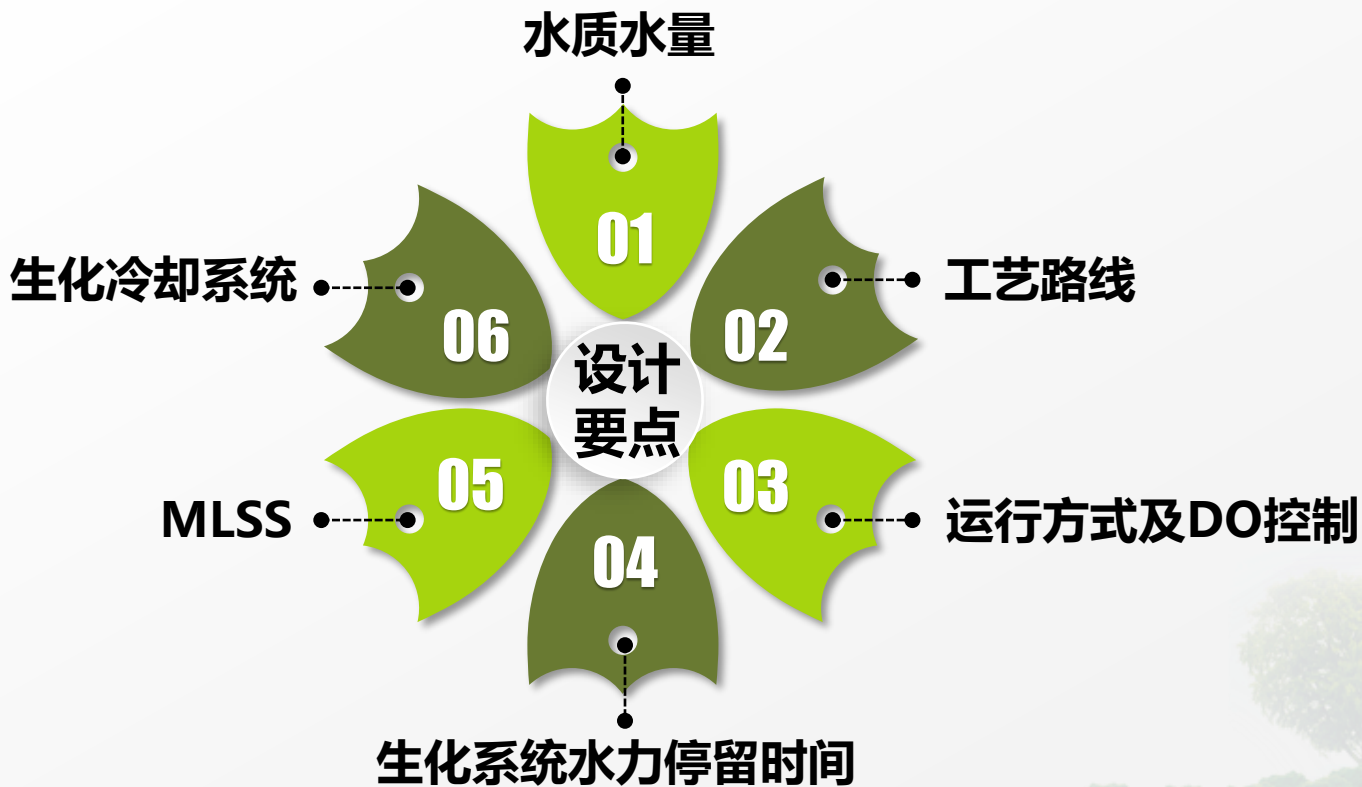


工艺设计要点

2



工艺设计要点



工艺设计要点—水质水量

主要进出水水质指标

| 指标 | COD (mg/L) | BOD (mg/L) | TN (mg/L) | NH ₃ -N (mg/L) | SS (mg/L) | pH |
|----|------------|------------|-----------|---------------------------|-----------|-------|
| 进水 | 20000 | 8000 | 3000 | 2500 | 2000 | 6 ~ 9 |
| 出水 | 100 | 30 | 40 | 25 | 30 | |

渗滤液经收集后汇入调节池，调节池对有机污染物有一定的降解作用，COD变化范围为16000 ~ 24000mg/L。结合渗滤液实际水质监测值、调节池降解作用及受雨季影响等因素，最终确定设计进水水质，出水水质满足《生活垃圾填埋场污染物控制标准》GB16889-2008 表 2 标准。

工艺设计要点—水质水量

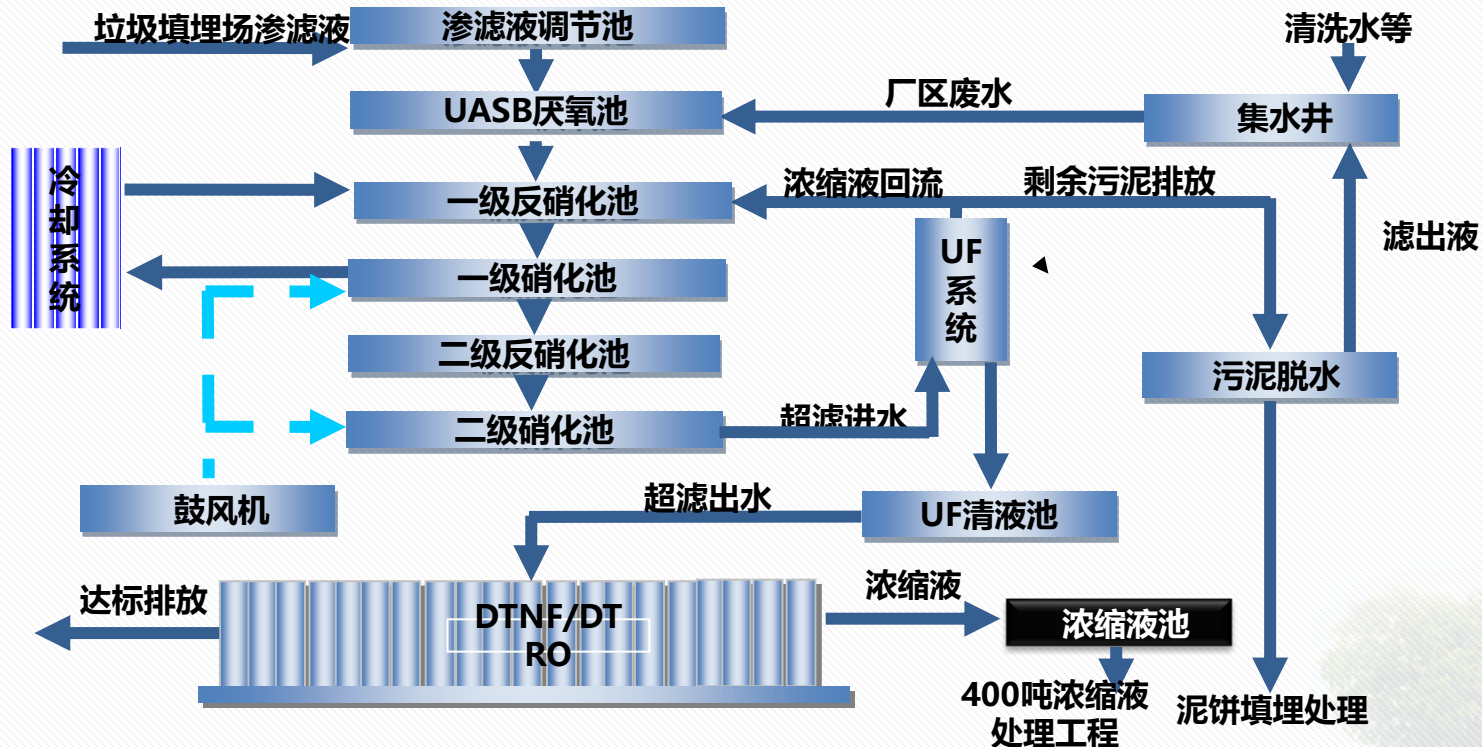
封场后水质、水量变化

| 指标 | COD (mg/L) | BOD (mg/L) | TN (mg/L) | NH ₃ -N (mg/L) | SS (mg/L) | 日均排放量 (m ³ /d) |
|-----|---|------------|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|
| 封场前 | 20000 | 12000 | 3000 | 2500 | 2000 | 2800 ~ 4500 |
| 封场后 | 4500 | 2200 | 3000 | 2500 | 1000 | 1200 |
| 备注 | 1、封场前日均排放量随着季节、垃圾填埋量变化而变化。 2、封场后日均排放量两个月降至1200m ³ /d。 | | | | | |

填埋场封场前后水质、水量变化很大。江村沟填埋场于2020年2月24日开始封场，水量突降，在未封场之前，渗滤液大部分来自表层渗滤液，封场后，渗滤液来源于底层渗滤液及部分雨水混合物，各项指标均有很大变化。

工艺设计要点—工艺路线

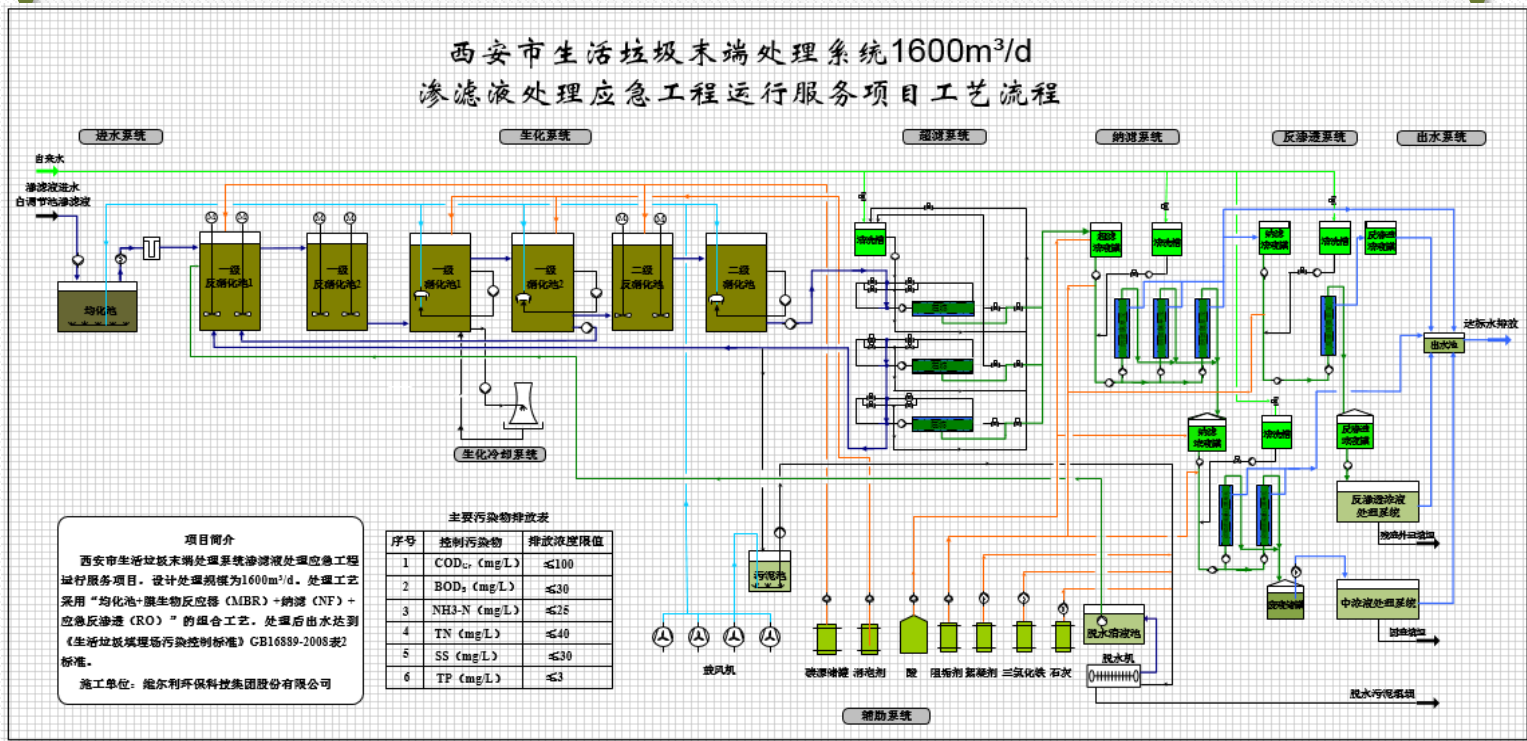
渗滤液一厂工艺流程图



渗滤液一厂调节池容积3.8万立方米，工艺路线采用厌氧+外置 MBR+ 碟管式膜系统（DTRO /DTNF 并联运行）。

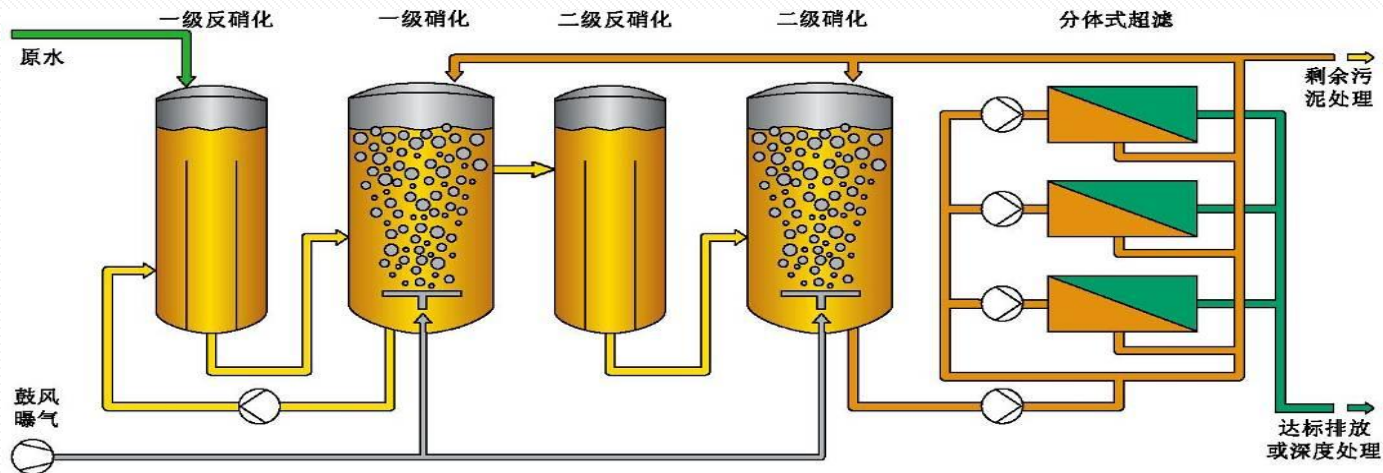
工艺设计要点—工艺路线

渗滤液三厂工艺流程图



渗滤液三厂调节池容积15万立方米，结合实际工况和国内外先进工程案例，采用了符合西安市应急工程现状处理工艺，即“均化池+两级A/O+超滤 (UF)+纳滤 (NF)+反渗透 (RO)”的组合工艺，其中反渗透 (配一套)。纳滤浓缩液处理采用“浓液减量化+中浓液处理”工艺处理，反渗透浓液采用“RO浓液减量化”工艺处理。

工艺设计要点—运行方式及DO控制



两个工程生化段均采用两级A/O的方式，在运行过程中，缺氧段保持溶氧在 0.4mg/L 以下，在一级好氧段，采用“阶梯式”曝气，在一级好氧前段溶氧保持在 $0.5 \sim 1\text{mg/L}$ ，后段溶氧保证在 $2 \sim 4\text{mg/L}$ 。

工艺设计要点—生化系统水力停留时间

两个工程生化系统设计均为串联形式的硝化池（罐）体。硝化池（罐）内曝气采用专用设备射流鼓风曝气，通过高活性的好氧微生物作用，污水中的大部分有机污染物在硝化罐内得到降解，同时氨氮在硝化微生物作用下氧化为硝酸盐。硝化罐至前置反硝化罐设有污泥回流，硝氮回流至反硝化罐内在缺氧环境中还原成氮气排出，达到生物脱氮的目的。一厂生化系统设计采用了UASB+两级A/O的方式，生化池停留时间为6天，抗冲击符合能力差；三厂在反硝化的设计过程中，强化其反硝化功能，对反硝化的停留时间做了针对性的加长，设计生化停留时间为10天，抗冲击负荷能力强。在相同进水水质情况下，生化系统出水COD基本接近，三厂出水氨氮和总氮指标优于一厂。



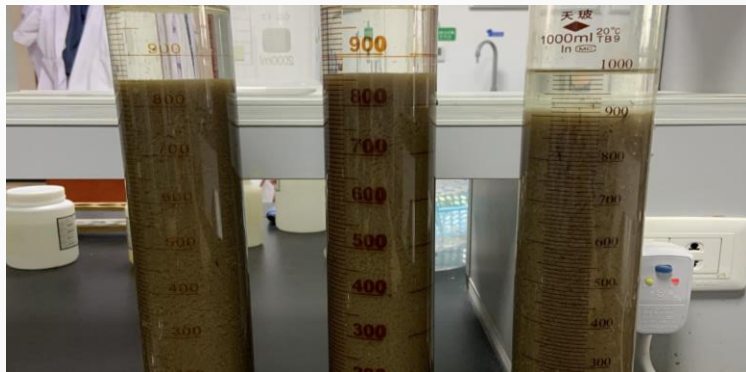
一厂生化池



三厂生化罐

工艺设计要点—MLSS

与传统生化处理工艺相比，微生物菌体通过高效超滤系统从出水中分离，确保大于20nm 的颗粒物、微生物和与 COD 相关的悬浮物安全地截留在系统内。两个工程均采用外置管式超滤膜进行泥水分离，与普通的MBR 相比，生化池中能保持更高的活性污泥浓度，因此在生化反应器中的污泥浓度可以达15~30g/L，增强了系统对水质变化的耐冲击负荷。



污水处理SV30



渗滤液处理SV30

工艺设计要点

—生化冷却系统

夏季高温主要对生化反应器影响较大，当反应器温度高于 38 摄氏度时，好氧微生物活动性变差，因此膜生化反应器设有配套的冷却系统，当反应器内反应温度过高时，板式换热器+冷却塔换热组合启动对生化进行冷却。由于硝化、反硝化微生物对温度较为敏感，外置式膜生化反应工艺高度集成化、采用密闭式池体且污泥浓度维持在较高的水平，由于机械—热能转化以及高负荷生物反应放热使反应器温度能够维持在 30℃以上，适宜硝化、反硝化微生物的快速增殖。

冷却塔



板式换热器





运行要点

3



运行要点



温度



泡沫问题



结垢问题



射流曝气气水不均问题



运行要点

—温度

渗滤液处理各工艺单元,温度对处理效果起着至关重要的作用。一般污水处理厂夏季好运行,而渗滤液厂冬季好运行.夏季由于机械能和生物能的影响,温度会达到40度以上,根据多年的运行经验,生化池冷却系统设计尤为重要,反应器温度维持在 $32 \sim 36^{\circ}\text{C}$ 为最佳运行温度。(设想:生化池设计敞开式的,节能、产生的气体容易溢出,可自然消除部分生物泡沫)



运行要点

— 温度

鼓风机温度问题

现象：渗滤液一厂鼓风机三用一备，每台电机功率160KW，根据年平均数据，每年进入6月分至10月初，鼓风机房室内温度达到40度以上；由于电机在正常工作时间电能除转化为所需要的动能外，一部分转化为热量，电机自身自带的风扇把热量带到空气中，而机房通风条件和室内空间所影响，造成所产生的热量不能及时的排到室外，这样高的环境温度对电机运行会带来不安全因素，可能出现电机高温保护而停机，从而发生一系列故障问题。

方案：鼓风机房安装工业制冷机组。鼓风机房电机局部温度很高，采用1台水冷螺杆机提供冷源，总制冷量410KW，满足鼓风机房的总冷负荷需求，冷却水采用清水池排水及闭式冷却塔补充冷源，效果非常不错，解决了鼓风机房温度高的问题。



运行要点—温度

膜系统温度问题



现象

超滤、反渗透、纳滤膜系统需定期进行化学清洗，在清洗时段，是根据其清洗温度而定效果的，温度大于40度时对膜寿命影响非常大，由于车间排风降温效果差，膜系统清洗过程中机械能大部分转化为热量，而此时的热量无法散出大气中，导致药液升温过快，而膜的要求温度不能过高，因此正常需要清洗4个小时，但在夏季30分钟内就要停止清洗，清洗效果差，对膜寿命有很大影响。

方案

气与气的自身传热能力很差，上下层空气行不成气流循环，热量很难被带走。为此，改变膜车间通风流向，加强车间通风，给膜超滤系统、深度处理系统加装了两台冷水机。采用水冷的方式直接将药液温度进行置换冷却，效果良好。

运行要点

泡沫问题

渗滤液成分非常复杂，其中含有较多的有机物、蛋白质、亲油性物质等，进入硝化阶段会产生大量的泡沫；且在渗滤液处理的硝化阶段，曝气量较大，污泥停留时间较长等原因会产生大量的放线菌，放线菌会引起曝气池的泡沫剧增；生化阶段的污泥浓度在 15g/L 以上，高污泥浓度也会产生大量的生化泡沫。



运行要点

泡沫问题—影响

1 影响处理量的提升

生化池设计的运行水位为7~7.5米，实际运行水位在6米左右，池内实际有1~2.5米的空间被泡沫挤占，有效池容减小，污泥停留时间变短，直接影响处理量的提升。

2 间接影响生化池溶解氧

生化泡沫的抑制需投加消泡剂，其成分大部分为油性物质，化学需氧量COD极高，投加至硝化池后，会消耗大量的溶解氧，生化池的溶解氧下降的速度非常快，造成生化池内部溶解氧的不足，好氧阶段作用不明显，影响正常的工艺运行；同时连续投加消泡剂后，鼓风机风量消耗量进一步加大，耗电量增加，成本增加。

3 增加劳动量及影响感观和周边卫生

为了保持溶解氧尽快恢复，原来采取人工间断投加消泡剂，投加一次消泡剂溶解氧恢复正常水平的时间需要3个小时左右，故在运行中采取间断投加消泡剂是恢复溶解氧的主要手段之一，但泡沫产生的不确定性，24小时采取人工监视泡沫消长情况，劳动强度很大，且在池顶投加，存在有不安全的因素，同时由于泡沫量极大导致部分会溅至池上，影响感观和环境卫生。



运行要点

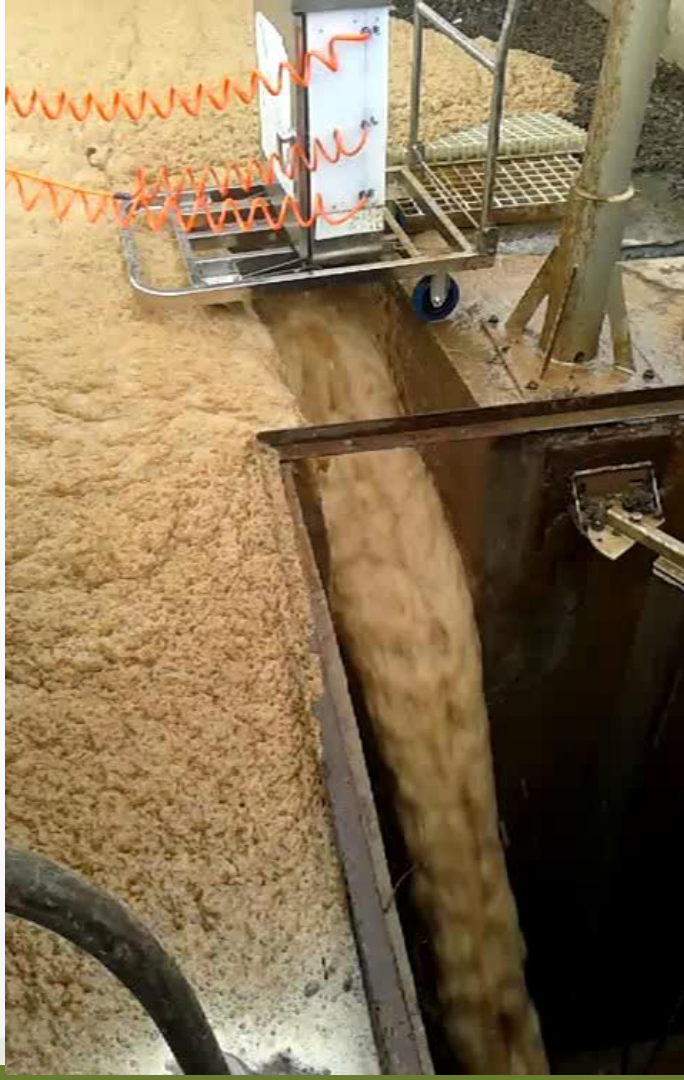
泡沫问题—方案

在线消泡——由于泡沫产生量多少与进水水质和活性污泥运行工况有较大的关系，产生的多少难以确定，产生的时间段难以确定，故设计用加药泵在生化池内加药。在生化池内安装有喷洒管道，采取连续投加消泡剂的方式，通过加药泵在水面上进行喷洒，将其泡沫消除。称为机械在线投加消泡剂系统。



运行要点

泡沫问题—方案



二

离线消泡——将泡沫引流到反硝化池，当泡沫大时，可加消泡剂进行喷洒，将消泡剂用高压空气进行雾化，雾化后的高压乳液有刺破液泡作用，同时，经乳化后，可节省较多的消泡剂。乳化液通过PLC控制喷洒量。用药量可调，可连续、可间断，当泡沫量小时，靠重力流粉碎。

抑制产生

1、增设预处理环节。

渗滤液含有较多的有机物、蛋白质、亲油性物质等，如生化池泡沫极大，最好增设预处理环节（如厌氧系统），渗滤液进入反硝化、硝化阶段前，首先在预处理环节进行沉淀、过滤，会将较多的蛋白质、亲油性物资进行过滤、消解，从而在进入生化运行后其产生的泡沫会大量减少。

2、精细化调控，合理控制污泥龄。

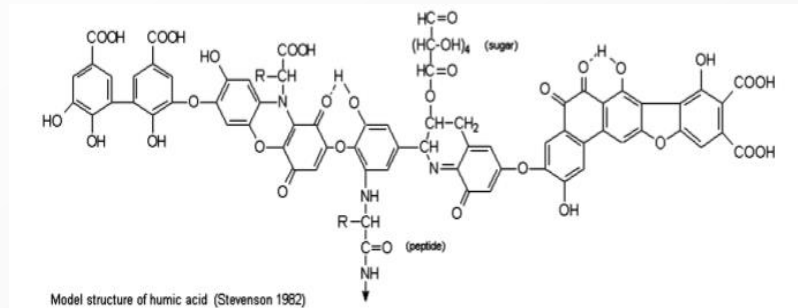
在生化阶段，污泥停留时间较长会产生大量的放线菌，产生极多的泡沫，故需要我们精细化调控，减少泡沫的产生。



运行要点

泡沫问题一方案

运行要点—泡沫问题研究



Stevenson 的 HA 结构模型

- 生化池泡沫高达1 ~ 2.5米,长安大学赵剑强老师研究团队取江村沟生化池泡沫,进行了分析研究.认为生物处理单元出水中剩余的有机物一半以上为腐殖酸。腐殖质是一种广泛存在于水体、土壤中的高分子聚合物,是动、植物残体通过微生物分解、合成的产物。腐殖酸是高分子聚合物,其分子结构十分复杂。近期通过各种分析技术的应用研究,认为腐殖物质可以通过各种机理形成,其核心由4个结构单元组成,即两个木质素单体形成的二聚物、酚-氨基酸复合体、羟基醌和木质素的C6-C3单元。目前应用的腐殖酸分子模型主要有Flaig(1960)的HA模型、Stevenson(1982)的HA模型以及Schnitzer和Khan(1972)的FA模型。在Stevenson(1982)的HA模型中,典型的HA有自由的和结合的酚羟基、醌结构,N和O是桥接单元,羧基互不相同地连接在芳香环上。

运行要点—泡沫问题研究



腐殖物质整体呈黑色，腐殖酸的分子量因土壤类型及腐殖酸组成不同而异。土壤中腐殖酸的相对密度在 1.4~1.6 之间，直径为 1~1000nm。在 pH=2.5 时,有小球体(直径 1.5~2nm)、球聚集体(直径 20~30nm)和低收缩、多孔、不规则球状聚集体；在 pH=2.5 时，厚度为 10~30nm，上面有许多直径 20~100nm 孔的海绵状结构；在 pH≥4.5 时，则为少量直径 20~200nm 收缩多孔的薄片状结构。MBR 外置精滤膜膜孔径大约是 0.1~0.2 μm ，所以，直径比较大的腐殖酸将被截留在 MBR 反应器内，这有利于延长腐殖酸在反应器中的停留时间，促进其降解，但与此同时，反应器内大量腐殖酸的存在却加剧了泡沫的形成，其集聚在反应器溶液表层，减小了反应器的有效容积，影响了反应器正常运行。

MBR 反应器内应尽可能的除去这类物质，而不是采用消极的消泡的方式将其再溶解于反应器内。实验室试验验证生化泡沫主要为反硝化氮气泡沫及少量腐殖酸类有机物（难以生物降解）。



运行要点

结垢问题—现象

垃圾渗滤液成分非常复杂，有机污染物种类众多，其中有难以生物降解的萘、还含有钙、镁等10多种金属离子，渗滤液在输送过程中管道结垢堵塞，导致管道内径变小，降低了管道过水断面，增大了水流阻力，减少了输送量，更严重的是垢物堵塞管道时，压力增加导致管道爆裂现象造成安全事故和经济损失。同时受堵塞影响，其厌氧工艺段回流效果差，导致厌氧段出现问题。

运行要点—结垢问题

方案

+ 管道设计

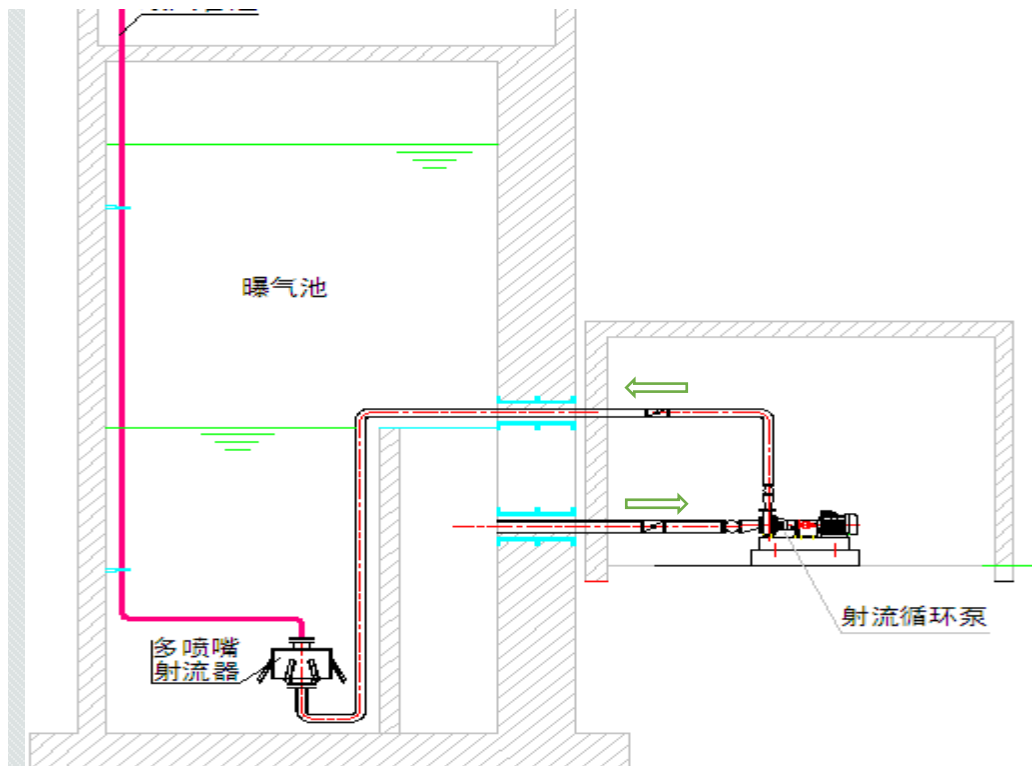
- 1、材质：因PE材质具有造价低、寿命长、耐腐蚀性强、柔韧性好等特点，广泛用于渗滤液输送管道中。
- 2、尺寸：放大设计管径，并且当拐弯较多时，少用90度弯头，尽量多用135度弯头，使渗滤液尽量能够通畅急流。
- 3、铺设方式：由于管道极易结垢，为维修、更换方便，最好将管道铺设为明管道。
- 4、注意事项：管道设计时需设计排出口，当管道内残留渗滤液时，其非常容易结垢，若管道不用时，打开排出口，将多余渗滤液从排出口排出，以防结垢。

+ 结垢处理

渗滤液结出的垢硬度堪比水泥，管道内如果有少量结垢时可以用盐酸清洗，但如果有大量结垢时，有大量泡沫产生，而且酸洗效果不佳，故大量结垢时，直接更换堵塞管道为最快、最经济、效果最好的方法。

运行要点

——射流曝气气水不均问题



现象：

在渗滤液一厂运行中，经常会出现射流曝气气-水配比不均的现象，空气经多喷嘴射流器直接进入射流循环泵管道内部，导致射流循环泵内部进气，电流降低，活性污泥循环量变小，从而整个系统溶解氧低且曝气不均，整个硝化段受到影响。

运行要点——射流曝气气水不均问题



措施

01

加强定期维护保养设备。因设备原因导致曝气气水不均问题，射流曝气泵叶轮磨损、联轴器故障等都会导致泵压力不足，出现气水不均问题。

02

合理控制污泥浓度。当污泥浓度高于25g/L时，射流阻力变大，较多空气进入循环管道内部，射流循环泵电流变小，循环量不足。

03

精细化调控。通过合理调节鼓风机风量与射流循环泵的活性污泥循环流量，使活性污泥和空气进行充分混合，达到配比均匀的目的。

运行要点—渗滤液活性污泥指示微生物种群

生物相指活性污泥中微生物的种类、数量、优势度及其代谢活力等状况的概貌。微生物（主要指原生动物）无论是在提高活性污泥法的处理水水质方面，还是在减少剩余污泥量方面，都已证实是必需的。在污水厂中，微生物的生物相种类非常多的，从各类细菌到原生动物再到后生动物，常见的虫属有：盾纤虫、钟虫、累枝虫、轮虫、线虫、仙女虫等，种类非常多，指示性微生物是钟虫。但在渗滤液活性污泥中，相对而言微生物种类较少且指示性微生物不同。渗滤液常见的虫属有：盖纤虫、钟虫、游仆虫、尾丝虫、肾形虫、内管虫、单镰虫等。其中盖纤虫为正常工艺下最常见的指示性微生物，它的数量、活性指示着出水水质较好。

在渗滤液处理之中，基本上未见过后生动物的出现，常常会看见游离钟虫、游离盖纤虫，其虫属根部挣脱断裂，尾部成为头部，形成游走个体，它形成的原因为其周围的细菌较少，不适应当时环境，形成游走个体，寻找新的地方，重新生长，恢复为固定形态。

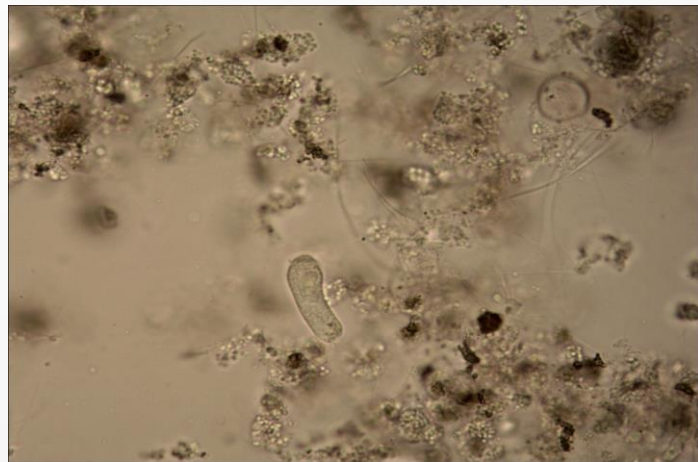


运行要点——渗滤液活性污泥指示微生物种群



盖纤虫

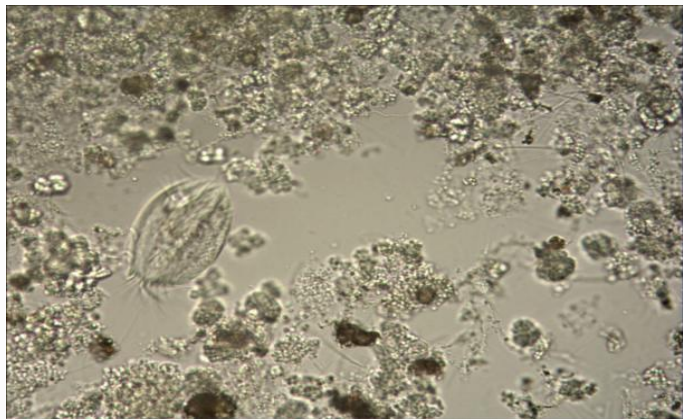
盖纤虫，它作为优势原生动动物时，说明生化效果好，出水水质好



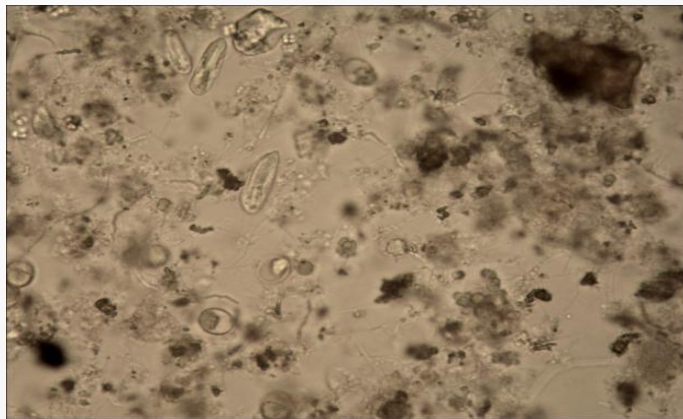
游离盖纤虫

盖纤虫游离，原因为其周围的细菌较少，不适应当时环境，形成游走个体，寻找新的地方，重新生长，恢复为固定形态。

运行要点——渗滤液活性污泥指示微生物种群



游仆虫



尾丝虫

游仆虫，数量多时说明BOD负荷较低；尾丝虫，数量多时说明其NH₃-N负荷较高。



渗滤液臭气治理

4



渗滤液臭气治理



渗滤液是一种成分复杂的高浓度有机废水，由于BOD5和COD浓度高、金属含量较高、水质水量变化大、氨氮的含量较高，微生物营养元素比例失调等特点，使得在处理渗滤液过程中不可避免产生恶臭气体，这些致臭物质按照其化学成分一般可分为四类：第一类是含硫化合物，如硫化氢、甲硫醇、甲基硫醚以及噻吩等；第二类是含氮化合物，如氨、三甲胺、酰胺等；第三类是烃类化合物，如烷烃、烯烃、炔烃以及芳香烃等；第四类是含氧有机物，如醇、醛、酮以及有机酸等，这些污染物具有易挥发、嗅阈值低等特点。渗滤液浓度高产生的臭气浓度相对高，对环境影响非常大，对处理设施如金属材料、设备和管道具有强烈腐蚀性，因此采取除臭措施非常必要。

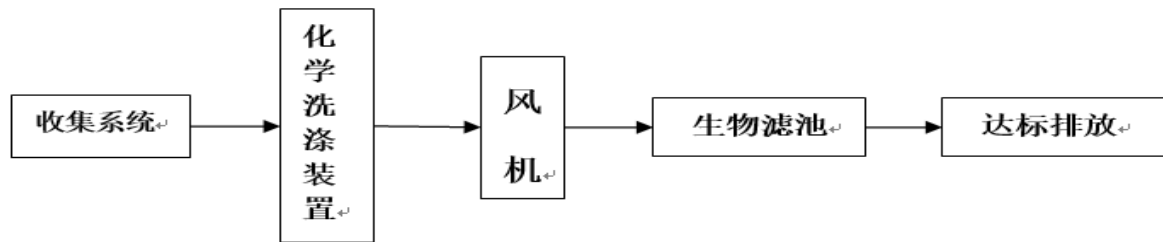
渗滤液臭气治理

—化学洗涤+生物除臭系统



化学洗涤和生物滤池除臭工艺均为目前成熟工艺，应用较多；生物过滤除臭工艺是适用于污染物浓度低、气量大的除臭系统；针对垃圾渗滤液恶臭气体，采用生物滴滤法在恶臭气体浓度比较高的情况下，将影响微生物的成长，不能达到预期的处理效果，难以达到排放标准。故在生物滤池设备前增加化学洗涤设备，有针对性的对酸碱性气体进行处理，降低污染物浓度，使适合生物滤池进口浓度要求，提高系统除臭性能，保证除臭效果。

渗滤液臭气治理 —— 化学洗涤 + 生物除臭系统



恶臭气体收集后经过输送管道被输送至化学洗涤塔，在化学洗涤器中恶臭气体中的 NH_3 和 H_2S 及含硫有机物成分与所添加的化学药剂发生化学反应。化学洗涤器通过准确的pH,ORP控制加药系统运行，维持化学洗涤器中化学反应的完全反应。经化学处理降低污染物质浓度的恶臭气体进入生物滤池除臭设备。经实验分析，化学洗涤只能去除硫化氢和氨气类，对臭气浓度几乎没有处理效果。

在生物滤池中，臭气通过湿润、多孔和充满活性微生物的滤层，利用微生物细胞对恶臭物质的吸附、吸收和降解功能，微生物的细胞个体小、表面积大、吸附性强、代谢类型多样的特点，将恶臭物质吸附后分解成 CO_2 、 H_2O 、 H_2SO_4 、 HNO_3 等简单无机物。经实验分析，臭气只能通过水洗和生物滴滤去除其污染因子，建议水洗时间加长，及时换水，生物处理停留时间延长，方可达标排放。

生物除臭废液产生量大。在生物除臭滤床过滤过程中，由于臭气浓度过大，为臭气治理效果能够达到标准，其用的冲洗水不能再次循环利用，故每日产生的废液在上百吨，产生了二次污染。

渗滤液臭气治理 —— 火炬焚烧



渗滤液调节池收集的臭气中含有大量的烃类化合物、甲烷等可燃烧的气体，化学洗涤成本很高。由于渗滤液臭气各指标浓度极高，其在处理 NH_3 和 H_2S 化学洗涤时需要大量的酸和碱进行中和洗涤，每日运行成本在万元以上，对臭气处理效果差。

为节约成本，提升臭气治理效果，在该项目中采用了火炬焚烧的方式处理臭气，火炬类型为地面封闭式火炬，工作流量范围为 $50 \sim 500 \text{Nm}^3/\text{h}$ ；火炬采用双层隔热筒结构。内层采用陶瓷纤维组块，其将大部分臭气直接燃烧，运行效果较好，除臭效果显著。

谢谢!

