

垃圾渗滤液管道结垢物研究

彭乾, 曹宇煌, 严磊

维尔利环保科技集团股份有限公司, 江苏 常州

收稿日期: 2022年6月13日; 录用日期: 2022年7月7日; 发布日期: 2022年7月14日

摘要

采用SEM、EPS、XRD检测方法对深圳某垃圾渗滤液处理厂厌氧罐及管道结垢物的形态及成分展开了研究。结垢物主要由碳酸盐组成, 含少量的硅酸盐及硫酸盐, 分析了厌氧罐及管道结垢的原因及结垢的影响因素, 提出了针对性的防治结垢的措施, 对未来的除垢研究提供数据支持。

关键词

垃圾渗滤液, 厌氧罐, 管道, 结垢, 碳酸盐

Research on Scale in Landfill Leachate Pipeline

Qian Peng, Yuhuang Cao, Lei Yan

WELLE Environmental Group, Changzhou Jiangsu

Received: Jun. 13th, 2022; accepted: Jul. 7th, 2022; published: Jul. 14th, 2022

Abstract

SEM, EPS, and XRD were used to study the morphology and composition of sediment scaling from the anaerobic tanks and pipelines in a leachate treatment plant in Shenzhen. The scale formation was mainly composed of carbonate, containing a small amount of silicate and sulfate. The causes and influencing factors of scale formation in anaerobic tank and pipeline were analyzed. The targeted measures to prevent and control scale formation were put forward, and providing data support for future scale removal research.

Keywords

Landfill Leachate, Anaerobic Tank, Pipeline, Scale, Carbonate

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

城市垃圾经填埋或者焚烧处理产生的渗滤液是一种危害较大的高浓度有机废水[1], 目前主要采用“厌氧 + MBR 膜工艺”处理废水达标后进行排放[2], 其中厌氧工艺是废水处理中的关键工艺[3]。在厌氧处理过程中, 由于渗滤液原液含细菌、有机物、多种盐离子等杂质[4], 在进行生化反应时的厌氧罐壁、罐底及运输的管道中极易结垢[5][6]。管道结垢使管道直径缩小, 进而导致流通截面积变小, 最终会导致造成压力损失、排量减小及管道堵塞[7], 可能会造成破坏性事故, 存在安全隐患, 因此做好除垢工作是十分重要的。

本研究选取了深圳某垃圾渗滤液处理厂的管路及厌氧罐的结垢物为研究对象, 采用扫描电子显微镜(SEM)、X 光微区分析(EDS)及粉末 X 射线衍射仪(XRD)检测不同位置的垢样, 并重点从原子及元素角度上分析及解释结垢原因, 为后续垃圾渗滤液管道除垢提供依据。

2. 材料与方法

2.1. 水样及结垢物

水样及结垢物样品均取自深圳某垃圾渗滤液处理厂。其中水样为厂区厌氧出水, 3 个结垢样品分别为厌氧管道壁垢及厌氧罐底垢。

2.2. 垢样 SEM、EDS、XRD、XPS 检测

委托杭州某检测公司对垢样进行扫描电子显微镜(SEM)、X 光微区分析(EDS)及粉末 X 射线衍射仪(XRD)检测。

2.3. 分析方法

垢样总硬度检测采用国标法 GB7477-87 EDTA 滴定法, 所用试剂为 EDTA 二钠标准溶液(10 mmol/L)、缓冲溶液(pH 10); 垢样的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量采用国标法 GB7476-87 EDTA 滴定法, 所用试剂为 EDTA 二钠标准溶液(10 mmol/L)、氢氧化钠溶液(2 mol/L); 垢样的 HCO_3^- 含量采用“MQuant”碱度测试盒进行测量; 垢样的 SiO_3^{2-} 含量采用“HACH”2429600-CN 试剂盒进行测量; 垢样的 SO_4^{2-} 含量采用“HACH”TNT865-CN 试剂盒进行测量; 使用“HACH”试剂盒的样品数据结果由“HACH”DR3900 测量得出。

3. 结果与分析

3.1. 水样及垢样分析

现场取样厌氧水样及结垢物样品, 其中结垢物分别命名为垢 A、垢 B、垢 C(图 1)。其中垢 A、垢 B 为管壁垢, 背面为圆弧形, 垢 C 为罐底垢, 较垢 A、B 更厚一些, 三个垢样表面都具有晶状物。

3.2. 垢样及原水水质检测

原水水质及 3 个垢样各离子含量如下表 1 所示。

结果显示, 3 个垢样中 Ca^{2+} 浓度都极高, 判断钙盐是引起各部位结垢的主要原因。除此以外, 厌氧罐底垢物中的钙盐、镁盐、硅酸盐均比管道垢中的少, 推测是由于管道间水流动频率较快、温度较高,

因此引起结垢的频率也比罐底要高。由于有硅酸盐的存在，因此推测垢样表面存在的少量晶状结晶物判断为硅酸盐。

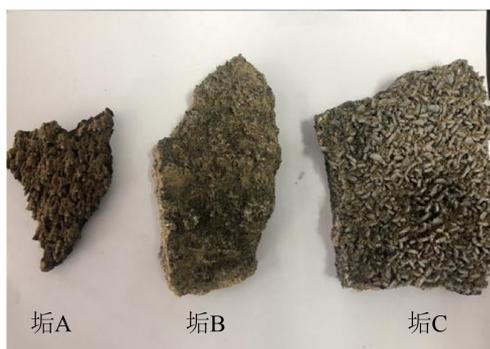


Figure 1. Morphology of scale samples

图 1. 结垢物外观

Table 1. Ion content of scale and water sample

表 1. 垢样及原水离子含量表

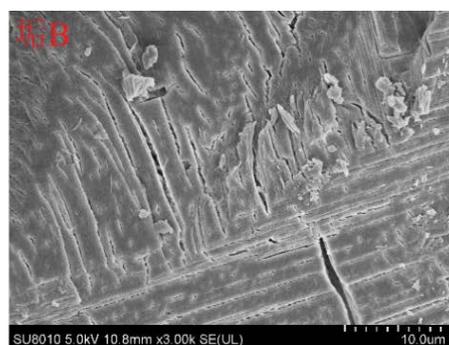
样品	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	SiO ₃ ²⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)
垢 A (管道垢)	30,000	6000	450	102	-
垢 B (管道垢)	28,000	4800	330	90	-
垢 C (厌氧罐底垢)	26,000	3600	210	88	-
原水	360	312	600	500	366

注：“-”代表未检出。

原水中 HCO₃⁻ 含量较高，厌氧反应过程中碱度生成量较大，高温下 HCO₃⁻ 转化为 CO₃²⁻，与 Ca²⁺、Mg²⁺ 发生反应，因此导致碳酸盐结垢产生。

3.3. 垢样 SEM 检测

垢样经 SEM 检测结果如下图 2 所示，垢 A、垢 B 结垢于管壁，由于管道表面光滑且呈圆筒状因此垢样表面也较光滑，而垢 C 存在于厌氧罐底部，由于厌氧过程内循环及底部污泥的存在，导致垢 C 较垢 A、垢 B 更厚且表面不光滑。



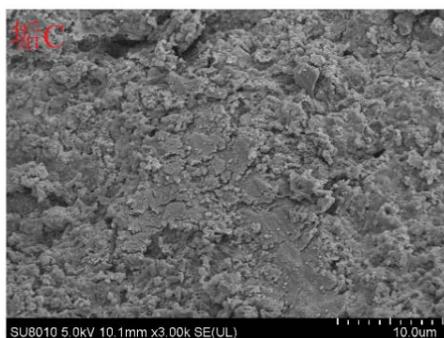


Figure 2. SEM detection of scale samples
图 2. 垢样 SEM 检测

3.4. 垢样 EDS 检测

3 个垢样的 EDS 检测结果分别如下图 3 所示，而各垢样的元素含量经整理结果如下表 2 所示。

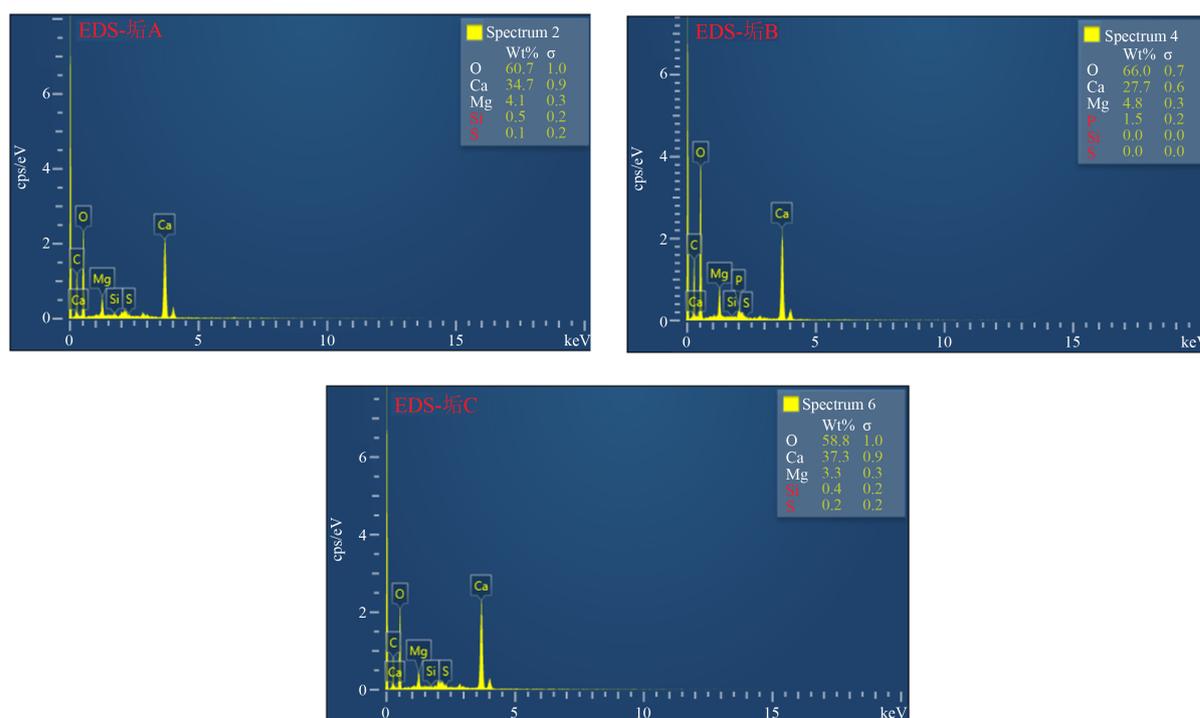


Figure 3. EDS detection of scale samples
图 3. 垢样 EDS 检测

Table 2. Element content of scale sample
表 2. 垢样元素含量

	O	Ca	Mg	Si	S	P
垢 A	60.6%	34.7%	4.1%	0.5%	0.1%	-
垢 B	65.3%	27.7%	4.8%	0.4%	0.3%	1.5%
垢 C	58.4%	37.7%	3.3%	0.2%	0.4%	-

注：“-”代表元素未检出。

经 EDS 结果分析可知, 虽然 3 个垢样的结垢位置不同, 但是组成元素大致相同, 除去 O 元素, Ca 元素都占了剩余元素的 80% 以上分析认为, 钙广泛来源于厨房中贝壳类、垃圾焚烧厂的灰渣等, 因此判断垢样大部分为钙盐组成、小部分为镁盐、硅酸盐。其中垢样 B (管壁垢) 检测出少量的 P 元素, 因此推测其含有少量的磷酸钙及磷酸镁(均难溶于水)成分。

3.5. 垢样 XRD 检测

3 个垢样的 EDS 检测结果分别如下图 4 所示。

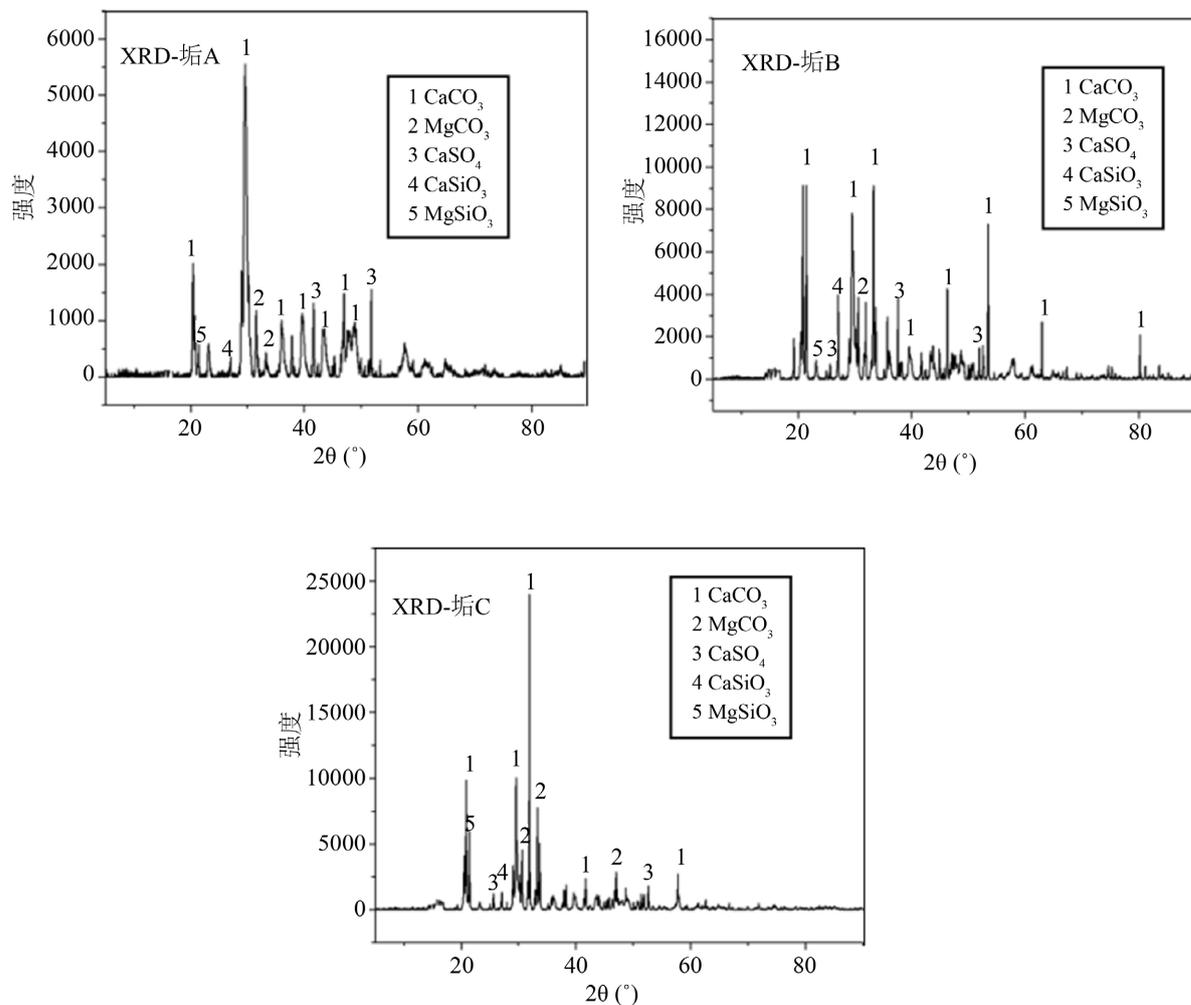


Figure 4. XRD detection of scale sample

图 4. 垢样 XRD 检测

经 XRD 图谱分析, 3 个垢样中均含有 CaCO_3 、 MgCO_3 、 CaSO_4 、 CaSiO_3 和 MgSiO_3 成分, 其中 CaCO_3 的响应强度最大, 即 CaCO_3 是构成垢样的主要成分, XRD 图谱的分析结果与 EDS 结果一致, 进一步更深层的剖析了垢样的具体组成成分, 可以更针对性的解决现场的除垢问题。

4. 总结与讨论

深圳某垃圾渗滤液处理厂厌氧罐及管道结垢物分析结论如下:

1) 厌氧罐及管道中结垢成分主要为碳酸盐(碳酸钙、碳酸镁)以及少量的硅酸盐(硅酸钙、硅酸镁)和硫酸盐(硫酸钙);

2) 厌氧反应过程中碱度生成量较大, 高温下 HCO_3^- 转化为 CO_3^{2-} , 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 发生反应, 导致碳酸盐结垢产生;

3) 渗沥液总硬度高是造成管道结垢的直接原因, 达到了 2200 mg/L, 为后续结垢提供了条件;

4) 建议定时在管道及厌氧罐使用盐酸进行清洗。

垃圾渗滤液水质复杂, 受季节气候及垃圾来源等因素的影响, 极不稳定, 处理难度大[8], 在进行厌氧处理时极易在管道及厌氧罐中结垢, 导致管道堵塞, 影响出水流量及出水水质, 这是目前废水处理行业常见的一个问题。许多专家学者对此进行了研究, 也提出了一些解决方法, 例如王文婧提出通过补水、控温、控流速及控制废水处理产生的浓缩液倍数等来减缓结垢速度[9]; 任丽梅等研究了渗滤液浓缩液管道中结垢的速度随时间而提高, 且不同材质管道结垢速率不同[10]; 张桂新研究了管道结垢的机理[11]; 王飞翔等研究了管道脱硫剂结垢的成分并做了质谱检测分析, 并提出了相应的除垢方法[12]。目前废水处理工程项目上结垢问题主要通过辅助手段(控温、控流速等)减缓结垢速度, 并通过合理的除垢方法(超声波、酸洗、机械除垢等)来进行处理。

沥液结垢主要是固体颗粒物的沉积作用, 由于垃圾渗滤液中成分复杂, 针对后续以碳酸钙为主要组成部分的结垢物可选用盐酸为主的酸洗剂进行浸泡酸解, 再通过清水冲洗管路即可除去大部分垢样, 而对于不溶于盐酸的垢样, 可选用相对应的清洗剂进行除垢。

如何从根源上降低废水处理管道结垢问题的产生, 提升管道运行及项目处理的稳定性, 实现良好的工业效率和经济效益, 分析认为应从污水的预处理阶段进行严格把控, 通过混凝沉淀等预处理单元尽可能降低出水的硬度与碱度, 减少后续结垢的机会。

参考文献

- [1] 宫兆国, 刘克琼, 肖望松, 王华伟. “预处理 + MBR + NF + RO”工艺处理中晚期垃圾渗滤液的问题与难点[J]. 山东化工, 2020, 49(23): 244-245.
- [2] 刘飞. 垃圾渗滤液处理技术应用实例[J]. 节能与环保, 2021(4): 102-103.
- [3] Liang, Z. and Liu, J.X. (2008) Landfill Leachate Treatment with a Novel Process: Anaerobic Ammonium Oxidation (Anammox) Combined with Soil Infiltration System. *Journal of Hazardous Materials*, **151**, 202-212. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.05.068>
- [4] 姚军强, 吴志跃, 郑晓宇, 刘媛, 董仁杰, 乔玮. 垃圾焚烧厂渗滤液厌氧处理的研究进展[J]. 新能源进展, 2021, 9(2): 143-150.
- [5] 李云, 李佳, 陈弹霓. 填埋场渗滤液导流系统的化学阻塞研究[J]. 广东化工, 2019, 46(6): 142-143.
- [6] Blue, C.R., Giuffre, A., Mergelsberg, S., Han, N., De Yore, J.J. and Dove, P.M. (2017) Chemical and Physical Controls on the Transformation of Amorphous Calcium Carbonate into Crystalline CaCO_3 Polymorphs. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **196**, 179-196. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2016.09.004>
- [7] 汪惠阳. 浅谈垃圾渗滤液输送管道结垢问题[J]. 化学工程与装备, 2012(4): 145-146.
- [8] 吴晓晖, 徐振威. 两级物料膜工艺处理浓缩液工程应用研究[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(7): 191-194.
- [9] 王文婧. 工业循环水管道结垢和腐蚀问题研究[J]. 科技风, 2019(31): 127.
- [10] 任丽梅, 孙巧萍, 韩志明, 段翠九. 渗沥液浓缩液管道结垢特性研究[J]. 环境卫生工程, 2017, 25(5): 61-63.
- [11] 张桂新. 管道结垢原因及常用除垢方法研究[J]. 石化技术, 2020, 27(5): 218-220.
- [12] 王飞翔, 王东, 高海宾, 高凌霄. 管道脱硫剂结垢物机理及除垢研究[J]. 辽宁化工, 2020, 49(10): 1240-1242.