

臭氧催化氧化池臭氧防腐研究与施工技术

文 / 沈继兵 中铁十五局集团第一工程有限公司

摘要: 随着生活污水和工业污水中成分越来越复杂,高级氧化工艺成为污水处理工艺的必要措施。其中臭氧催化氧化技术因其能高效降解污染物,降解彻底且没有二次污染,在污水处理工艺中已被广泛应用。但是污水处理的臭氧催化氧化池防腐问题一直是困扰设计和施工的难题之一,本文通过实验和工程实践相结合,选择合适的材料解决这个问题。

关键词: 臭氧催化氧化池; 臭氧防腐; 材料选定实验; 施工技术

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.04.114

引言

以往在污水处理行业内有很多臭氧催化氧化水池的防腐方法,如传统的有机材料:玻璃钢、氟碳等,还有增加混凝土保护层厚度及提高混凝土的强度。但是不能从根本上解决问题。所以找到一种新型的无机材料作为臭氧催化氧化水池抗臭氧腐蚀的材料,是污水处理行业不少专业人士长期努力的目标。

本文以曲堤水质净化厂臭氧催化氧化池内防腐为例,针对臭氧防腐的特点,详细论述了以往施工中臭氧催化氧化水池防腐存在的问题,防腐的要求,材料选择、实验,再到整个施工过程的关键技术和控制要点,为今后臭氧防腐施工提供参考。

一、工程概况

济南市济阳区曲堤水质净化厂位于曲堤镇济北生命科技产业园东北角,设计规模为2万m³/d。污水处理采用“预处理+水解酸化+AAO+深度处理”的主体工艺,其中深度处理采用“磁混凝沉淀池+V型滤池+臭氧催化氧化池+接触消毒池”工艺。

二、污水处理臭氧催化氧化水池防腐

(一) 污水处理臭氧催化氧化水池防腐的问题

起初采用传统的有机材料玻璃钢、玻璃鳞片防腐涂料、氟碳涂料等。在实际工程应用中发现这些涂层易脱落,有的也在较短年限内发生损坏,甚至由于脱落的涂层材料覆盖在催化剂上,影响臭氧催化氧化系统的运行,例如玻璃钢受腐蚀后脱落,其玻璃布和残余树脂会大面积覆盖在催化剂上,造成催化剂不能使用。由于当时没有找到更好的防腐材料和施工方案,行业内又普遍采取了不在污水臭氧催化氧化水池内壁做防腐,而采用增加保护层厚度和提高混凝土强度的做法,但在实际工程中,系统运行后仍发现臭氧催化氧化水池结构有损坏情况,有的还很严重。研究认为混凝土保护层厚度增加后反而易导致混凝土开裂,污水中的臭氧通过裂缝渗入混凝土内部,加速腐蚀钢筋,腐蚀后的钢筋产生的铁锈体积膨胀造成混凝土裂缝扩张,甚至剥落,严重时会发生混凝土水池的结构性风险,致使污水渗漏到地下土壤和地表水中,造成更大的生态污染。

(二) 相关防腐的选择要求

1. 相关规范要求

目前,关于臭氧催化氧化池的防腐,我们可以参照

的规范主要有《工业建筑防腐蚀设计标准》^[1]、《室外排水设计标准》^[2]以及《室外给水设计标准》^[3]。尽管前两者并未直接涉及臭氧催化氧化水池的防腐内容,但《室外给水设计标准》对臭氧处理设施中可能与臭氧接触的材料提出了明确要求。该标准强调,所有可能与臭氧接触的材料必须能够耐受其腐蚀,以保证设施的持久运行和减少维护。目前已知可耐受臭氧腐蚀的材料包括316L不锈钢、玻璃、特定的合成橡胶、聚四氟乙烯以及混凝土。

特别是针对混凝土结构,考虑到设计和施工中可能出现的裂缝问题,标准建议,除了可以通过提高钢筋混凝土其防裂防渗性能外,还可在混凝土表面涂装耐臭氧腐蚀的涂层,以进一步保护其免受臭氧的侵蚀。

此外,《污水臭氧催化氧化深度处理技术规程》^[4]也为臭氧催化氧化接触池的防腐提供了具体的指导。它明确规定了涂料防腐和混凝土自防腐的相关要求,包括涂料的选择、混凝土保护层的厚度、裂缝的控制以及混凝土材料的耐久性等。

2. 防腐材料选择

综合以上规范,污水处理臭氧催化氧化池做防腐的必要性有以下几点:

考虑到污水处理臭氧催化氧化工艺的特殊性,尤其是臭氧的高添加量,以及臭氧易溶于水的特性,如果不对水池进行防腐处理,臭氧携带的污水必然会腐蚀混凝土池中的钢筋,进而威胁到整个设施的安全性和耐久性。

因此,对于污水臭氧催化氧化池的防腐材料,我们有以下要求:首先,材料本身必须能够耐受高浓度的臭氧腐蚀,这意味着它应该是无机材料,且不含有机成分;其次,为了解决施工中可能出现的微小裂缝问题,防腐材料最好具有自修复功能;最后,该材料还应具有高抗渗性能,以防止含有臭氧的污水渗透到混凝土结构内部。

综合以上因素,本次研究选择了澎内传水泥基渗透结晶材料作为臭氧催化氧化水池的防腐材料。

采用澎内传水泥基渗透结晶涂料来做臭氧催化氧化池的防腐总体上优于传统有机防腐方案。拿玻璃钢举例,以前玻璃钢多用于臭氧水池的防腐,工艺一般为三布五油。

表 1 材料类比

| 防腐材料种类 | 工艺 | 造价（元 / 平米） | 优缺点 |
|---------|-----------------------|------------|-----------------------------------|
| 水泥基渗透结晶 | 刮涂、喷涂施工 | 130 | 与结构同寿命，可长久保护混凝土结构 |
| 玻璃钢 | 三层玻璃纤维布和五层环氧树脂交替涂覆和压制 | 280 | 易损坏、脱落，脱落的材料覆盖在催化剂上，影响臭氧催化氧化系统的运行 |

(三) 澎内传水泥基渗透结晶材料

澎内传水泥基渗透结晶材料由波特兰水泥、特别选制的石英砂和多种活性化学物质组成。相比较澎内传水泥基渗透结晶材料作为臭氧催化氧化水池防腐材料有以下优势：

1. 该材料为原装进口水泥基渗透结晶无机材料，20世纪末进入中国，已经有约1500个工程项目案例。

2. 澎内传水泥基渗透结晶材料能自修复混凝土0.4mm以下裂缝。

3. 澎内传水泥基渗透结晶材料有很强的抗渗能力，可以阻止污水携带有害物质侵蚀混凝土内部腐蚀钢筋和混凝土。其相对渗透系数可以达到 10×10^{-12} mm/s以下，可承受静水压力高达2MPa。

4. 该材料可以抗硫酸盐、可提高混凝土抗冻融性能、大幅降低混凝土氯离子渗透和碳化反应，提高混凝土的耐久性和使用寿命。

5. 澎内传水泥基渗透结晶材料与结构同寿命，可长久保护混凝土结构。

三、防腐材料的耐高浓度臭氧腐蚀实验

(一) 实验方案

实验主设备为316L不锈钢材质，从试块投放口将涂有防腐涂层或添加有防腐外加剂的实验试块放入管道内。给实验设备中注入自来水，实验前从取样阀取自来水样检测COD初始值。根据需求确定实验样件的每次浸泡腐蚀时间为6-8小时，实验期间向水中添加臭氧，含量约40-50mg/L，实验中循环泵保持循环运转，臭氧有效含量超过25mg/L。实验开始后每一小时从取样口取一次水样，然后在化验室做所取水样COD的检测。实验结束，关闭设备。回收处理实验用水，将实验样件取出观察试块表面有无变化。

所取水样经检测后，对比COD的数值变化，以此来判断实验样件是否能耐受此浓度臭氧对其的腐蚀。如果防腐材料含有可被臭氧氧化溶解的物质，该物质会经臭氧氧化溶解后导致COD数值的增加。如果每次所取水样的COD数值增大较小（甚至减小）或平稳无变化，证明样件耐此浓度臭氧腐蚀性能越好，表明该产品用于防腐时对混凝土防护效果越好。

多次实验用的混凝土试块，包括空白样和使用澎内传水泥基渗透结晶材料PNC401涂层或外加剂PNC803的试块，均为同一个（批）试块反复多次实验，中途不做更换。

(二) 实验用混凝土试块制作

澎内传水泥基结晶材料有两种可用于此次实验，一种是涂层材料PNC401，涂层厚度为1mm；一种是外加剂

材料PNC803，制拌混凝土时加在混凝土中，添加使用量为混凝土中水泥用量的0.8-1.2%，或是每立方混凝土添加1公斤。

表 2 用于实验准备的试块和用途

| | C30 | C40 | C30+PA | C40+PA |
|----|-----------------|-----------------|------------|------------|
| 数量 | 3 块 | 3 块 | 2 块 | 2 块 |
| 用途 | 空白样和用于涂刷 PNC401 | 空白样和用于涂刷 PNC401 | 已添加 PNC803 | 已添加 PNC803 |

(三) 几次重要实验的数据展示

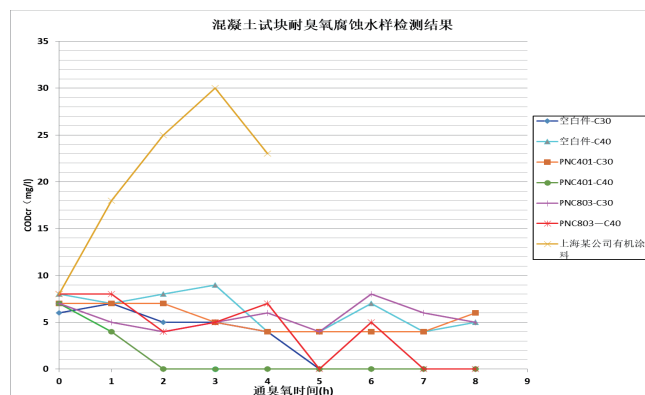


图 1 涂刷 PNC401、掺 PNC803 和空白试块和某知名有机涂料的 8 小时实验数据对比

从图中可以看出，涂刷PNC401和掺加PNC803的混凝土试块与空白试块相比，臭氧催化氧化水中的COD数据接近，而且涂刷PNC401的C40试块数据整体对比空白试块更好。

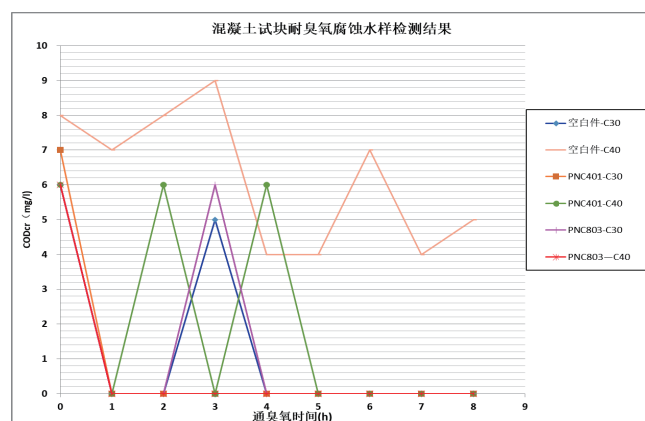


图 2 涂刷 PNC401、掺 PNC803 试块与空白试块的 8 小时实验数据对比

从图中可以看出涂刷了PNC401的C30试块实验数据和掺入PNC803的C40试块实验数据COD值最小，数据优于空白试块C30和C40的数据，测试一个小时后基本没有有机成分转化为COD，可见澎内传水泥基渗透结晶材料耐高浓度臭氧催化氧化的腐蚀能力很强。

(四) 重点选择 C30 各种试块进行实验

从多次实验的结果看，C40空白试块耐臭氧腐蚀性并不比C30好，可能和它外加剂中有机成分高有关。接下来选用C30的各种试块进行实验对比效果。

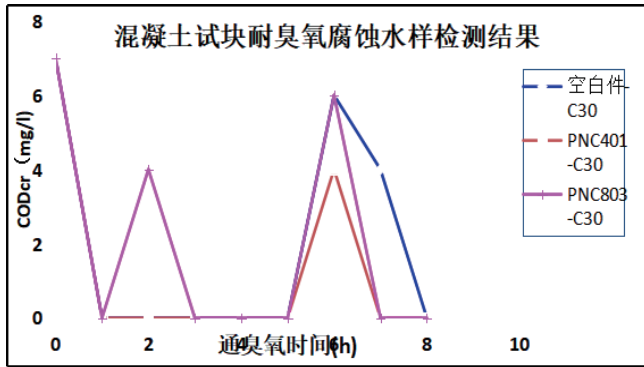


图 3 涂刷 PNC401 和掺 PNC803 的 C30 试块与空白试块的 8 小时实验数据对比

从以上两图中可以看出涂刷了PNC401的C30试块实验数据最好（COD值相对最小，变化稳定），C30空白试块和添加PNC803的C30试块数据接近。表明同样是C30试块，涂刷PNC401材料的试块耐高浓度臭氧腐蚀性能优于空白C30试块。

通过上述试验总体上涂刷澎内传PNC401的效果较好。说明澎内传水泥基渗透结晶材料在催化氧化工艺下耐高浓度臭氧效果较好，在自身不被腐蚀的情况下可以保护混凝土结构中钢筋耐臭氧腐蚀，因为其本身就具备很强的抗渗能力和裂缝自修复能力。

四、臭氧催化氧化池防腐施工

(一) 施工工艺流程

基层检查→清理打磨基层→修补结构缺陷→基层湿润→制浆→刮涂或喷涂涂料→检验→养护→验收

(二) 施工要点

检查基面，找出结构中需要加强的部位，如：结构中的贯穿裂缝、蜂窝麻面、施工缝、螺栓孔等做出标记，贯通的模板对拉螺栓孔洞要在施工前由土建班组负责封堵。混凝土基层平整、牢固，应清除油渍、脱模剂、浮浆、浮灰、起砂、污渍等缺陷和杂物。光滑的混凝土面应打毛处理，并用高压水冲洗干净。

(三) 刮涂、喷涂施工

1. 刮涂施工

用抹子将稠浆刮抹至基面上，刮抹时要反复用力，

确保涂层均匀，厚度一致。

2. 喷涂施工

利用有气喷涂设备直接喷涂，喷涂一遍后约干燥8小时左右再喷涂第二遍。喷涂设备需要有搅拌，能实现边喷涂边搅拌。喷涂作业方式更适合人工不太容易到达的高度或空间狭窄的区域，大面积喷涂时会加大材料的损耗，但可以大大提高施工效率。适用于不适合人工刮涂的空间和水池高处等。

3. 养护

防水施工完成24小时后，开始喷洒雾状的水养护，一般根据环境情况每天喷水2-3次，保持涂刷后的墙面湿润，养护3-5天。如果水分挥发较快，则须在表面覆土工布养护。相对湿度大于85%条件下无须养护。封闭水池可根据实际情况减少养护次数。

(四) 质量控制

1. 按照《建筑与市政工程防水通用规范》^[5]和项目防腐防水设计要求，现场应检验所用材料的品种、规格是否符合要求。

2. 检查涂层平均厚度应不小于1mm，符合《水泥基渗透结晶型防水材料》^[6]标准。

3. 混凝土池壁打磨要全面是关键工序，池壁打磨必须用金属磨片细致全面打磨，不能有未打磨空隙。

4. 涂层应均匀，并与基面黏结牢固，涂层应无开裂、起皮等现象。

5. 采用雨后观察、淋水、蓄水等方法检查有无渗漏现象。

结论

该研究很好的解决了传统臭氧防腐方案的治标不治本和投资大寿命短的问题，也解决了传统有机材料带来的污水处理负担加重的问题，大大延长了臭氧防腐的寿命。

使用澎内传水泥基结晶涂料可以同时兼具防水和防腐功能，比传统的防水加防腐成本低很多，而且效果更好。

通过引进新材料、多种组合式施工工艺等创新技术，解决了相关领域臭氧防腐的施工工艺难题。可作为防臭氧腐蚀一种新型的无机材料在全国推广。

参考文献

[1]GB/T 50046-2018 工业建筑防腐蚀设计标准。
 [2]GB 50014-2021 室外排水设计标准。
 [3]GB 50013-2018 室外给水设计标准。
 [4]T/CECS 1347-2023 污水臭氧催化氧化深度处理技术规程。
 [5]GB 55030-2022 建筑与市政工程防水通用规范。
 [6]GB 18445-2012 水泥基渗透结晶型防水材料。
 作者简介：沈继兵（1987.09.04），男，汉族，山西吕梁，本科，工程师，研究方向：市政工程。