

附件 2

# 《芬顿氧化法废水处理工程技术规范 (征求意见稿)》编制说明

《芬顿氧化法废水处理工程技术规范》编制组  
2019 年 5 月

项目名称：芬顿氧化法废水处理工程技术规范

项目统一编号：2016-51

项目承担单位：中国环境保护产业协会

标准主要起草单位：中国环境保护产业协会、清华大学、江门市新会区新绿环保实业发展总公司、安乐工程有限公司

编制组主要成员：刘媛，周律，尚光旭，辛怡颖，王焕升，白昱，董宏宇，甄卓文，王雅昌，陈海明

标准所技术管理负责人：姚芝茂

部科技与财务司投资与技术指导处项目管理人：吕奔，岳子明

## 目 次

1 任务来源.....	26
2 规范制定必要性 .....	26
3 主要工作过程 .....	26
4 国内外相关标准研究 .....	27
5 同类工程现状调研.....	28
6 主要技术内容及说明.....	37
7 标准实施的环境效益及技术经济分析 .....	45
8 标准实施建议 .....	47

## 1 任务来源

根据原环保部《关于开展 2016 年度国家环境保护标准项目实施工作的通知》（环办科技函〔2016〕633 号）下达的编制《芬顿氧化法废水处理工程技术规范》（项目统一编号：2016-51）的任务，中国环境保护产业协会作为主编单位承担了该规范的研究及编制工作，参编单位有清华大学、江门市新会区新绿环保实业发展总公司、安乐工程有限公司。

## 2 规范制定必要性

芬顿氧化法作为废水深度处理及可改善水质可生化性的预处理工艺，在我国已得到广泛应用。在实践中，发现国内现有的芬顿氧化工程存在对废水的成分、污染物性质及浓度针对性、适应性较差，对芬顿氧化法设备各个环节的目标要求、水力条件、反应效果理解上随意性、主观性较大，工程设计的偏差大，部分设施实际运行难以达到预期效果等诸多问题。因缺乏芬顿氧化法工艺的设计指导标准，具体的技术要求细节并没有明确，工艺设计主要参考实际工程经验，工程质量参差不齐影响水污染治理效果。制定本标准对芬顿氧化法废水处理工程设计、施工、验收等进行规范十分必要和及时。

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国水污染防治法》和其他有关法律法规，规范芬顿氧化法废水处理工程的设计、施工、验收和运行管理，制定本标准，对芬顿氧化法设计、施工、验收和运行管理提出相关要求。

## 3 主要工作过程

2016 年 1 月，根据原环保部下发的年度标准制修订项目计划任务，主编单位成立了标准编制组，并组织编制组成员认真学习《国家环境保护标准制修订工作管理办法》，编制组以国家相关法律法规、规章、政策和规定，以及环保部标准制修订计划为依据，开展本标准的编制工作。

2016 年 1 月开始，编制组对芬顿氧化技术做了广泛调研，了解和掌握了国家环境保护和

芬顿氧化技术发展的相关政策，完成了前期资料收集。

2016年7月~2017年1月，编制组编制完成了《芬顿氧化法废水处理工程技术规范》开题报告及初稿。

2017年2月17日，原环境保护部科技标准司在北京组织专家召开了标准开题论证会。开题论证会上，专家组认为开题报告内容全面、条理清晰、编制目标明确、规范编制的技术路线和工作方案可行，通过了规范开题论证。

2017年2月~2018年9月，编制组编制完成《芬顿氧化法废水处理工程技术规范》（征求意见稿）及其编制说明。

2018年11月，《芬顿氧化法废水处理工程技术规范》（征求意见稿）及其编制说明上报科技司后，2019年1月23日，科技与财务司组织召开了《芬顿氧化法废水处理工程技术规范》（征求意见稿）技术审查会。经专家评议、讨论，并采取专家组记名投票表决方式，一致通过技术审查，并提出以下建议：1、进一步完善第4章技术要求；2、进一步完善标准文本及编制说明。建议完善后履行征求意见稿报送手续。

2019年2月至4月，编制组又按征求意见稿技术审查会上专家意见进一步修改完善了征求意见稿文件。

## 4 国内外相关标准研究

国内外芬顿氧化法废水处理技术工程应用主要针对各类工业废水的深度处理。

由于国外国家层面的工程技术标准缺乏，现有的技术规范多为各自企业内部依照工程经验制定的。在美国等发达国家，芬顿氧化技术多被用于酚类、甲醛、苯系物（BTEX）、农药等工业废水的深度处理、生化预处理或应急处理，但缺乏相关技术标准对芬顿氧化法的工程设计、参数选择等进行指导和规范。

在我国，《染料工业废水治理工程技术规范》（HJ 2036-2013）将使用过氧化氢作为氧化剂的化学氧化法作为染料工业废水综合废水的三级处理方法之一，但未对工程设计、参数选择等提出指导和建议；《制浆造纸废水治理工程技术规范》（HJ 2011-2012）和《制革及毛皮加工废水治理工程技术规范》（HJ 2003-2010）采用芬顿氧化法作为废水深度处理的推荐方法之一，指出了芬顿氧化包括反应、中和、混凝沉淀或气浮单元，对芬顿反应的过程和投药方

式做出了简要叙述，对工程设计和应用具有一定的指导意义。《屠宰及肉类加工废水治理技术规范》(HJ 2004-2010)中指出，当混凝沉淀或气浮处理出水达不到目标时，可以采用芬顿氧化法处理，芬顿氧化法试剂通过实验确定。2011年原环保部发布了《废水混凝与絮凝处理工程技术规范》(HJ 2006-2010)，能够对芬顿氧化法的混凝沉淀单元给予详细的指导。总体而言，发布的规范中涉及芬顿氧化工艺的内容，但并未将芬顿氧化工艺作为主体提出应用工艺的标准化技术要求。

## 5 同类工程现状调研

编制组对芬顿氧化技术做了广泛调研，以了解和掌握国家环境保护和芬顿氧化技术发展的相关政策。通过统计年鉴、行业公报等资料，收集、调查研究国内外芬顿氧化法的发展状况、工艺设计条件、技术政策、运行管理要求。同时有针对性地对筛选出的典型企业进行实地调研，结合企业生产、排污状况，对三个具有代表性的、不同废水来源的典型案例进行了实地考察。筛选的典型案件中，废水来源分别为工业园区废水（同时包括工业废水及生活污水）、工业废水及垃圾渗滤液，具有一定的代表性。

### 5.1 芬顿氧化法的机理及特点

英国化学家芬顿(H.J.H.Fenton)于1894年发现 $\text{Fe}^{2+}$ 和过氧化氢形成的混合液体有很强的氧化性，能够快速氧化有机物，处理难降解有机废水效果很好。1964年，国际上首次将芬顿试剂应用于处理环境污染物，利用芬顿试剂处理烷基苯和苯酚废水。此后，芬顿氧化技术得到了广泛的关注和研究，不断出现改进的芬顿氧化技术及与其他废水处理技术联用的方法。芬顿氧化技术主要通过自由基氧化和絮凝这两个过程处理废水。过氧化氢被 $\text{Fe}^{2+}$ 催化分解生成羟基自由基( $\cdot\text{OH}$ )，并引发产生更多的其他自由基，可对有机污染物进行彻底的氧化分解。羟基自由基具有较高的电负性或电子亲和能，比其他氧化剂具有更高的氧化电极电位( $E=2.80\text{eV}$ )，能够夺取有机物分子中的H原子，生成游离自由基 $\text{R}\cdot$ 。 $\text{R}\cdot$ 降解为小分子有机物或者发生裂变降解为无害物，继而转化成 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ 等无机物。同时，芬顿试剂在处理有机工业废水时会产生铁水配合物，起到絮凝剂的作用。

羟基自由基是芬顿氧化法的核心，在氧化降解有机物时具有以下特点：

(1) 羟基自由基是高级氧化过程中的中间产物，可诱发链反应，对难降解物质特别适用；

- (2) 能无选择地与废水中的大部分污染物反应，将其彻底氧化为  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  或盐；
- (3) 羟基自由基氧化是物理化学过程，其生成易于控制，并且反应条件温和，易得到应用。

芬顿氧化技术在废水处理中表现出以下特点：

- (1) pH 值对芬顿试剂反应的影响较大；
- (2) 过氧化氢投加量和  $\text{Fe}^{2+}$  投加量对羟基自由基的产生具有重要影响。

因此选择适宜芬顿反应的条件对废水处理的效果具有重大影响。

## 5.2 芬顿氧化法应用现状

在废水处理工程中，芬顿氧化法可用于生物处理前的预处理，也可用于深度处理，可作为一个独立单元来氧化降解废水，也可与其他技术相互结合处理废水。比如和生物法、活性炭吸附法、混凝沉淀法等结合，以达到较好的处理效果。作为一种高级氧化技术，芬顿氧化技术近年来引起普遍关注，被应用到废水处理领域特别是造纸、皮革、印染等难降解工业废水处理领域。

处理废水时，芬顿氧化法的改进技术能够克服单独使用芬顿氧化技术反应时间较长、成本高、对成分复杂的高浓度有机废水降解效果不理想等问题。这类技术有些通过增强芬顿氧化过程中羟基自由基的产生或减少羟基自由基的淬灭来提高废水处理能力，如光-芬顿氧化法、UV-芬顿氧化法、电-芬顿氧化法、超声波-芬顿氧化法等；有些是加快絮凝过程，提高水处理效果，如吸附-芬顿氧化法，混凝-芬顿氧化法等；此外还有生物法-芬顿氧化法联用技术等。

### 5.2.1 芬顿氧化技术应用于制浆造纸废水处理

造纸工业是我国国民经济的重要产业之一。造纸工业面临的资源压力、环保压力很大，污染防治任务十分艰巨。2008 年，为加快企业应用清洁生产技术改造传统工艺的步伐，原环保部颁布了《制浆造纸工业水污染物排放标准》(GB 3544-2008)，增加了氮、磷、色度等污染物控制项目，将可吸附有机卤化物(AOX)调整为控制指标，排水量和排放浓度进一步降低。现有的“一级物化+二级生化”处理技术已经不能达到新标准 COD 排放浓度的要求，促使制浆造纸企业纷纷增设废水深度处理工段。

2012 年，原环保部《制浆造纸废水治理工程技术规范》(HJ 2011-2012)将芬顿氧化技术

作为废水三级处理推荐技术之一，芬顿氧化技术在制浆造纸企业废水处理中已有大量应用。其中既有利于生化处理预处理工艺的情况，也有用于废水深度处理的情况。

甘肃省某造纸企业废水采用流化床-芬顿工艺进行处理，芬顿氧化法作为生物处理的深度处理工艺，出水水质达到了《制浆造纸工业水污染物排放标准》(GB 3544-2008)中各指标的浓度限值。废水经生化系统、二沉池、混凝反应池处理后，进入深度处理系统。系统日处理能力为 2000 t/d，废水经深度处理后  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  由 400 mg/L 降到 80 mg/L 以下。广西某蔗渣制浆企业采用芬顿氧化法作为制浆中段废水的深度处理工艺，出水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  达到 60 mg/L。

山东潍坊某污水处理厂进水中造纸废水约占 60%，进水色度平均值为 163 倍， $\text{COD}_{\text{Cr}}$  均值为 412mg/L， $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{Cr}}$  比值约为 0.114，处理规模约为 12 万 t/d。通过将原工艺中预曝气池改造为芬顿反应池，再利用现有的絮凝池、混凝池和初沉池，将芬顿氧化法作为预处理工艺使用，上清液进入后续氧化沟处理。通过芬顿氧化法预处理， $\text{COD}_{\text{Cr}}$  和色度均值分别降至 153.13mg/L 和 51.90 倍，去除率分别达 61.95%和 69.05%；全工艺出水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  均值和色度分别为 41.19mg/L 和 22.52 倍，总去除率分别达 89.54%和 86.54%。

### 5.2.2 芬顿氧化技术应用于垃圾渗滤液处理

垃圾渗滤液是一种成分复杂的高浓度有机废水，主要来源于降水、生物降解水和垃圾本身的内含水，其水质水量受填埋场填埋期、气候、降水等因素影响较大。若对其处理不当，会污染地下水、地表水和土壤，严重危害生态环境和人体健康。

湖南省某县一生活垃圾填埋场采用两级 A/O-芬顿-BAF 工艺处理垃圾渗滤液，芬顿氧化法作为 BAF 的预处理工艺以提高废水的可生化性。经芬顿氧化法处理后，废水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  达到 150 mg/L，同时可生化性大大提高，最终出水水质达到了《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889-2008)要求。浙江某垃圾填埋场采用两级芬顿-BAF 工艺作为垃圾渗滤液深度处理工艺，最终达标排放。

安徽省当涂县某垃圾渗滤液污水处理站升级改造后采用芬顿-BAF 工艺作为垃圾渗滤液深度处理工艺，进水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  约为 800mg/L~1000mg/L，经处理，芬顿段出水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  约为 150~180 mg/L，BAF 段出水  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  约为 55mg/L~80mg/L，出水稳定达标。

### 5.2.3 芬顿氧化技术应用于印染废水处理

印染行业是纺织工业水污染减排的重点环节，印染废水约占纺织工业废水的 70%。在



2015年《环境统计年报》调查统计的41个工业行业、161598家工业企业中，纺织工业废水排放量为18.4亿吨，占全国各行业工业废水总排放量的13.1%，位列全国各行业工业废水排放量的第三位，仅次于造纸及纸制品业、化学原料和化学制品制造业。

纺织印染废水排放的废水中含有纤维原料本身的夹带物，以及加工过程中所用的浆料、油剂、染料和化学助剂等，印染废水具有 $COD_{Cr}$ 变化大，pH值高，废水色度大，水温水量变化大，可生物降解性差等特点。此外，由于浆料、染料及助剂的大量使用，如聚乙烯醇和聚丙烯类浆料不易生物降解、含氯漂白剂污染严重，致使印染加工过程产生的废水污染严重，难降解性强。由于这些特点，传统生物处理工艺无法满足印染废水达标排放的要求，三级深度处理工艺的广泛应用势在必行。

浙江某化工染料公司生产塑料溶剂颜料，其生产废水中含有苯、醇、胺、蒽醌类等难降解有机物。废水采用微电解联合芬顿试剂进行预处理，提高废水可生化性，降低毒性，再运用厌氧和生物接触氧化工艺进行处理。经芬顿氧化预处理后， $COD_{Cr}$ 及色度的去除率达90%以上， $BOD_5/COD_{Cr}$ 比值高于0.3，可生化性明显提高。

辽宁沈阳某污水处理厂采用脉冲水解酸化-芬顿作为印染混合废水的主要处理工艺，进水 $COD_{Cr}$ 浓度为550mg/L，色度为260倍。利用芬顿单元的强氧化剂氧化作用去除大部分 $COD_{Cr}$ 及色度，处理后 $COD_{Cr}$ 排放浓度达到50mg/L以下，色度30倍以下。安徽淮南某印染企业污水处理站采用A/O-芬顿工艺，日处理印染废水6000m<sup>3</sup>，原水pH值为8~9.5， $COD_{Cr}$ 值高达1800mg/L，氨氮值高达400mg/L，SS高达200mg/L，但其水质可生化性差， $BOD_5/COD_{Cr}$ 比值为0.2~0.3。A/O段出水 $COD_{Cr}$ 约为500mg/L，芬顿段出水 $COD_{Cr}$ 稳定于100mg/L以下，达到排入市政管网要求。

#### 5.2.4 芬顿氧化技术应用于其他工业废水处理

芬顿氧化技术在多种化工废水处理领域也有应用。如山东某环保公司将芬顿氧化工艺作为制药废水预处理工艺，处理量达到500t/d；广州某公司采用缩聚-芬顿-A/O生物处理联合工艺处理生产酚醛树脂时产生的酚醛废水， $COD_{Cr}$ 、苯酚及甲醛去除率分别达到92.5%、98.6%、98.7%；秦皇岛某公司采用芬顿氧化法作为预处理工艺处理化工废水，与MBR工艺联用，处理后，达到《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)二级标准；浙江省金华市某电镀厂采用芬顿氧化法作为深度处理工艺处理低浓度含氰电镀废水，经芬顿-混凝处理后，出水总氰浓度

达到 2 mg/L 以下，去除率达到 98%。江苏滨海某精细化工厂采用芬顿氧化法为 UASB 的预处理工艺，处理水量 2000m<sup>3</sup>/d，芬顿段进水 COD<sub>Cr</sub> 达 3500mg/L，药剂投加量为铁粉 500 mg/L，双氧水（27.5%）2000 mg/L，水力停留时间 5h。经过处理，芬顿段出水 COD<sub>Cr</sub> 为 3000 mg/L，总体出水水质达到当地排入市政管网要求。江苏苏州某酒厂将芬顿氧化法作为厌氧-好氧工艺的深度处理工艺，处理水量 2000m<sup>3</sup>/d，芬顿段进水 COD<sub>Cr</sub> 达 300mg/L，药剂投加量为七水合硫酸亚铁溶液（质量分数 20%）25000 mg/L，双氧水（35%）5000 mg/L，水力停留时间 3h。经过处理，芬顿段出水 COD<sub>Cr</sub> 为 60 mg/L，出水水质达到当地排入市政管网要求。

工业园区废水中污染物成分复杂，生化处理很难达到排放标准，需要具有较强污染物去除能力的废水处理技术。芬顿氧化技术在工业园区废水处理领域也有应用。江苏盐城某工业园区废水处理厂采用芬顿-BAF 法作为深度处理工艺，日处理水量 20000 m<sup>3</sup>，芬顿段采用循环式芬顿氧化塔，停留时间约为 43.8min，加药量十二水硫酸亚铁和双氧水溶液体积之比约为 15:1，双氧水投加量约为废水的 0.05%，硫酸投加量为将废水调节至 pH=3~3.5，进水 COD<sub>Cr</sub> 为夏季 100mg/L~120mg/L，冬季为 120mg/L~140mg/L，出水 COD<sub>Cr</sub> 约为 70mg/L~80mg/L，即去除率约为 30%~50%。浙江省萧山市某工业园区污水处理厂采用芬顿氧化法作为 A<sup>2</sup>/O 之后的深度处理工艺，处理对象主要是以印染废水为主的工业废水，进水水量约为 32 万 t/d，芬顿段进水 COD<sub>Cr</sub> 约为 140mg/L~160mg/L，加药量为七水硫酸亚铁 200mg/L，双氧水（30%）投加量约为 100mg/L，硫酸投加量为将废水调节至 pH=4 左右，反应池水力停留时间约为 2h，沉淀池停留时间约为 2h，表面负荷约为 5m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。目前出水 COD<sub>Cr</sub> 约为 30mg/L~40mg/L，即去除率约为 70%~80%。山东滨州某制革工业园区废水处理厂采用芬顿氧化法作为水解酸化-卡鲁塞尔氧化沟的深度处理工艺，日处理水量 6000m<sup>3</sup>~12000m<sup>3</sup>，芬顿段进水 COD<sub>Cr</sub> 约为 100mg/L~180mg/L，加药量为双氧水（27.5%）350mg/L~600mg/L，七水硫酸亚铁（含量 98%）1.0g/L~2.0g/L，水力停留时间为 20min~30min。目前出水 COD<sub>Cr</sub> 约为 30mg/L~45mg/L，满足《制革及毛皮加工工业水污染物排放标准》（GB 30486-2013）。

芬顿氧化法在欧美等发达国家也有很普遍的工程应用。在美国西部，某公司将芬顿氧化法作为木材加工废水的预处理工艺，主要用于去除废水中的苯酚、萘酚、甲酚等有机物，在运行的 4.5 年中，目标物的去除率可稳定在 95%以上。在美国中部，某公司将芬顿氧化法用于飞机涂装、洗机及维护废水的处理，主要用于去除废水中的二氯甲烷、五氯苯酚等有机物，

作为后续铬还原法-混凝沉淀工艺的预处理工艺，对目标物的去除率可达到 95%以上。在美国阿拉巴马州南部，某公司将芬顿氧化法用于苯酚废水的处理，处理后苯酚含量可降到 0.2 mg/L 以下，达到当地的纳管标准。

## 5.3 工程案例

### 5.3.1 某垃圾渗滤液深度处理工程

该垃圾渗滤液深度处理工程涉及的废水来源于广东省江门市新会区西坑垃圾填埋场排出的垃圾渗滤液，经处理达到《生活垃圾渗滤液污染控制标准》(GB 16889-2008) 规定的水污染物排放浓度限值后直接排放。

#### 5.3.1.1 水质水量

水量：日均处理量为 80m<sup>3</sup>。

水质：COD<sub>Cr</sub> 1800 mg/L，BOD<sub>5</sub> 270 mg/L，SS 50 mg/L，总氮 80 mg/L，氨氮 30 mg/L，总磷 1.3 mg/L，色度 500 倍。

#### 5.3.1.2 工艺流程

详细工艺流程如图 1 所示。



图 1 某垃圾渗滤液深度处理工程工艺流程

#### 5.3.1.3 工艺说明

(1) 水解酸化池：垃圾渗滤液经集水井收集后进入水解酸化池，以提高废水可生化性。

(2) 厌氧沉淀池：对水解酸化池出水进行泥水分离，经沉淀后的上清液自流进入好氧池进一步处理，沉淀污泥抽至污泥池脱水。

(3) 好氧池：通过好氧微生物的吸附、吸收和降解等作用进一步降低废水中有机物浓度，出水在竖流沉淀池中进行固液分离。

(4) 芬顿氧化池：经好氧活性污泥法处理后的出水进入芬顿氧化池，利用芬顿试剂的氧化作用，将大部分不能被生物处理系统降解的大分子有机物和色度氧化分解为小分子有机物。

(5) 混凝池：经芬顿氧化后，部分污染物形成悬浮物，经混凝-沉淀工序将这一部分悬浮物去除，出水进入缺氧池，污泥抽至污泥池脱水处理。

(6) 缺氧池：后续好氧生物接触氧化池混合液按 200%比例回流至缺氧池。在缺氧环境下，反硝化菌利用废水中有机物对氮氧化物进行反硝化，以去除氮氧化物并进一步降低有机物浓度。

(7) 生物接触氧化池+MBR：利用膜组件的高效截留性能进行固液分离，200%的混合液回流至缺氧池进行反硝化脱氮，出水进入清水池。

(8) 处理系统中剩余的生物污泥和化学污泥经泥渣脱水系统脱水后送垃圾填埋场填埋。主要工艺单元设计参数见表 1。

表 1 某垃圾渗滤液深度处理工程主要工艺单元设计参数

单元名称	构筑物尺寸 (长×宽×高) m	工艺参数		
		有效水深 (m)	HRT (h)	其他
好氧池	6.5×3.5×5.5	5.1	24	有效容积 115 m <sup>3</sup> ，COD 容积负荷 1.4 kgCOD/(m <sup>3</sup> ·d)
竖流沉淀池	3.5×3.5×5.5	4.9	2.5	表面负荷 0.8 m <sup>3</sup> / (m <sup>2</sup> ·h)
芬顿氧化池	6.7×3.5×5.5	3.0	5.0	有效容积 60 m <sup>3</sup>
凝聚反应 斜板沉淀池	6.7×3.5×4.9	4.5	1.5	表面负荷 0.8 m <sup>3</sup> / (m <sup>2</sup> ·h)
缺氧硝化池	5.0×3.5×4.9	4.4	24	有效容积 80 m <sup>3</sup>
生物接触氧化池	5.0×3.5×4.9	4.4	24	有效容积 80 m <sup>3</sup>

#### 5.3.1.4 运行情况

工程投运以来系统运行稳定，废水经处理后达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889-2008)规定的水污染物排放浓度限值。

### 5.3.2 某生活垃圾二级转运站废水处理工程

废水来源于某生活垃圾二级转运站经营过程中的渗滤液、场地设施及设备和车辆的冲洗水、除尘除臭净化废水和转运站员工日常生活过程中的生活污水等。

#### 5.3.2.1 水质水量

水量：3 m<sup>3</sup>/h，每日运行 16 h~20 h。

水质：COD<sub>Cr</sub> 7500 mg/L~15000 mg/L，BOD<sub>5</sub> 3500 mg/L~6000 mg/L，SS 200 mg/L~400mg/L，氨氮 80 mg/L~120 mg/L。

#### 5.3.2.2 工艺流程

具体工艺流程如图 2 所示。



图 2 某生活垃圾二级转运站废水处理工程工艺流程

### 5.3.2.3 工艺说明

(1) 升流式厌氧污泥床反应器 (UASB): 废水经调节池调节水量、均匀水质后, 由提升泵抽送至 UASB 池, 利用厌氧微生物的酸化和发酵作用, 使高浓度有机废水中的污染物浓度得到大幅降低。

(2) 厌氧沉淀池: 经厌氧发酵处理后的出水自流进入厌氧沉淀池。UASB 出水中随水流夹带的一部分厌氧污泥经厌氧沉淀池分离后循环至 UASB 池, 以维持厌氧污泥浓度, 并减轻对后续好氧生化处理系统的冲击。

(3) 缺氧硝化池: 厌氧沉淀池出水自流进入缺氧硝化池。后续生物接触氧化+MBR 池混合液按照 200%比例回流至缺氧池, 利用水下推流搅拌机将来水和回流液充分混合。在缺氧环境下, 反硝化菌利用废水中有机基质对氮氧化物进行反硝化, 去除废水中的氮氧化物, 同时降低有机物浓度。

(4) 生物接触氧化池+膜生物反应器 (MBR): 通过好氧微生物的吸附、吸收和降解作用, 将废水中小分子有机物大部分分解。利用膜分离组件的高效截留性能进行固液分离。膜组件可以有效地将硝化菌截留在生物反应器内, 使硝化反应得以顺利进行, 有效去除氨氮; 同时可以对大分子有机物进行有效截留。

(5) 氧化反应池: MBR 出水进入芬顿氧化池, 此时废水中残留的有机物基本为生化处理系统难以降解的有机物, 且浓度不高, 采用芬顿试剂氧化可以将绝大部分残余有机物去除。

(6) 中和反应池: 经芬顿氧化后的出水自流进入中和反应池, 定量投加复合碱, 将废水 pH 值调节至 7.0~8.0 范围内。

(7) 混凝反应池: 定量投加聚合氯化铝 (PAC) 和聚丙烯酰胺 (PAM), 药剂在水力搅拌作用下与废水充分混合, 形成矾花。

(8) 斜板沉淀池: 混凝反应池出水进入斜板沉淀池, 在重力作用下实现固液分离, 澄清出水进入清水池, 污泥排往污泥浓缩池。

(9) 系统中剩余的生物污泥和化学污泥经浓缩调配后由污泥泵抽至厢式压滤机压滤脱

水后，送往垃圾填埋场填埋。

主要工艺单元设计参数见表 2。

表 2 某生活垃圾二级转运站废水处理工程主要工艺单元设计参数

单元名称	主要构筑物尺寸 (长×宽×高) m	工艺参数		
		有效水深 (m)	HRT (h)	其他
调节池	4.7×4.5×3.5	3.0	20	有效容积 65 m <sup>3</sup>
UASB 池	7.4×4.5×6.5	6.0	60	有效容积 180 m <sup>3</sup> ，COD 容积负荷 3.0 kgCOD/(m <sup>3</sup> ·d)
厌氧沉淀池	2.4×2.4×6.5	5.7	6.0	表面负荷 0.52 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h)
缺氧硝化池	4.8×2.4×6.5	5.5	20	有效容积 60 m <sup>3</sup>
生物接触氧化 +MBR 池	6.6×5.6×5.5	5.2	60	有效容积 180 m <sup>3</sup> ，COD 容积负荷 0.57 kgCOD/(m <sup>3</sup> ·d)
芬顿氧化池	每格 1.15×1.15×3.5 (6 格)	3.0	6.0	有效容积 20 m <sup>3</sup>
混凝反应池	每格 0.7×0.7×3.5 (3 格)	3.0	1.0	有效容积 20 m <sup>3</sup>
斜板沉淀池	每格 2.5×1.7×5.5 (3 格)	4.5	3.0	表面负荷 1.1 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h)

#### 5.3.2.4 运行情况

工程投运以来系统运行稳定，废水经处理后达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889-2008)规定的水污染物排放浓度限值。

### 5.4 芬顿氧化法应用评价

根据上述应用现状可知，目前芬顿氧化法多用于工业废水的预处理或深度处理之中，也有将芬顿氧化法作为主要处理单元使用的案例。总体而言，芬顿氧化法存在以下优势：

- 1) 应用灵活，对于水质和水量要求较少；
- 2) 出水稳定，抗冲击负荷能力较强；
- 3) 对难降解有机物处理效果较好；
- 4) 构筑物较为简单，建设成本较低。

但是，根据文献和现场调研，芬顿氧化法在实际工程应用中还存在以下限制：

- 1) 消耗药剂量大，产生污泥量大，药剂成本和污泥处理成本较高；
- 2) 双氧水、硫酸等药剂属于强酸、强氧化的危险化学品，对运输、储存和调制要求较高，企业和废水处理厂在药剂管理方面投入成本较大。
- 3) 反应装置（构筑物）附近可能形成絮状漂浮物散入空气中，且有较强的刺激性气味，

导致工作环境较差。

因此，随着我国水环境管理和水污染控制要求的提高，鉴于芬顿氧化法的优势，芬顿氧化法在我国有着较为广阔的应用前景，可以在不同工业行业废水处理、工业园区废水处理，甚至城市污水深度处理中应用。

## 6 主要技术内容及说明

### 6.1 本标准的结构及内容编排

按《国家环境保护标准制修订工作管理办法》及《环境工程技术规范制订技术导则》要求，参考国家近年发布的一系列污染治理工艺类工程技术规范等标准的结构和内容编排，确定本标准的结构和内容编排。

本标准共包括 13 个部分，包括前言、适用范围、规范性引用文件、术语和定义、污染物与污染负荷、总体要求、工艺设计、主要工艺设备与材料、检测与过程控制、主要辅助工程、劳动安全与职业卫生、施工与验收、运行与维护。

### 6.2 前言

依照《国家环境保护标准制修订工作管理办法》、《环境工程技术规范制订技术导则》、《标准化工作导则》(GB/T 1.1) 要求编写。

前言说明了制订标准的目的，并简述了标准的主要内容和标准的管理。

### 6.3 适用范围

在适用范围中，明确了本标准适用的主体与对象。本标准适用于采用芬顿氧化法的难降解有机废水处理工程的设计、施工、验收、运行与维护，可作为芬顿氧化法废水处理工程设计、施工、验收及建成后运行与维护的依据。这里所指的难降解有机废水，通常是指  $BOD_5$  与  $COD_{Cr}$  的比值小于 0.3 的废水。

本标准适用于传统均相芬顿氧化工艺的设计、施工、验收、运行管理。近些年出现了芬顿相关变形技术，如电芬顿、光芬顿等，但多处于研究或小规模应用阶段，因此，本标准不涉及这些芬顿变形技术。

### 6.4 规范性引用文件

根据标准技术内容的需要，本标准引用了密切相关的现行的国家标准、行业标准以及相

关国家法规政策作为本标准的延伸技术规定，引用文件的管理规定和技术要求视为本标准的一部分。

引用的现行污染物排放（控制）标准是制定本标准的法律依据，其中有关条文是本标准的技术基础，引用此类文件将使本标准更具合法性和权威性。同时，本标准还引用了有关建设项目涉及的配套工程和工程施工、安装、调试、验收规范等方面的标准。

## 6.5 术语和定义

本标准规定了芬顿氧化法废水处理工程技术规范所涉及的术语及定义。根据本标准的技术内容，给出了芬顿试剂、芬顿氧化、调酸池、催化剂混合池、氧化反应池、中和池等 6 个术语的定义。

## 6.6 污染物与污染负荷

根据《环境工程技术规范制订技术导则》要求，本标准规定了芬顿氧化法设计水质水量的要求，并推荐当废水水质水量不符合工艺适用条件时采取的技术措施。

### 6.6.1 关于一般规定的说明

（1）在实际废水处理工程中，芬顿氧化法可以用于生物处理前的预处理，也可用作深度处理工艺，可以作为一个独立的单元来氧化处理废水，也可以与其他技术联合处理废水。芬顿氧化法对于色度和难降解有机物具有良好的去除效果，可作为生化反应的预处理和生化出水的深度处理工艺。当芬顿氧化法作为深度处理工艺时，主要利用芬顿试剂的强氧化性及混凝作用，氧化去除生化处理难以去除的有机物；当芬顿氧化法作为生化处理的预处理工艺时，利用芬顿反应破坏难生物降解有机物的分子结构，将其转化为易于生物降解的较小分子，提高废水的可生化性。

（2）由于工业废水的复杂性，在有试验条件时，芬顿氧化法对污染物的去除率应依据不同水质由试验确定。

### 6.6.2 关于一般要求的说明

对于工业废水处理，大多数企业都是根据市场的需求决定生产量，废水波动性较大，因此应根据实际调查和测定的排放量水质进行设计。

现有企业的新建和改扩建废水处理工程，要根据实际生产中水质水量的排放规律来确定工程设计水量、水质和变化系数；新建企业的废水处理工程，应根据企业的生产工艺、产品



产量及环保部门出示的环境影响评价报告书，并应对同行业进行市场调研分析等予以确定，或参考同类产品生产企业废水处理的相关数据确定。由于企业所处地域、水资源条件等外界因素不同，废水水量会有较大变化，应按最高日最高时废水量设计。设计出水应根据出水排放地点的不同，满足相应的排放要求。

工业园区合建的处理设施的设计水质水量，要考虑所需处理的企业废水的排放规律以及整体规划与中近期规划等因素，确定分期工程的设计水量、水质。

### 6.6.3 芬顿氧化法进水应符合的条件及相应预处理措施的说明

(1) 某些废水在加酸调整 pH 值至小于 4.0 后，会产生有毒和有害气体。炼油、石化、制药、印染（硫化染料）、制革（毛皮浸灰脱毛）等行业废水中含有大量硫离子，在加酸后有大量硫化氢有毒气体产生。这需要在 pH 值调整工序前采取化学沉淀（如硫化铁沉淀）和化学氧化（锰催化氧化）的方法将游离硫离子去除。金银的湿法提取、化学纤维的生产、炼焦、合成氨、电镀和煤气生产等行业排放废水中含有氰离子，在加酸后有氢氰酸剧毒气体产生。这需要在 pH 值调整工序前采取化学氧化（次氯酸钠氧化）的方法将氰离子去除。

(2) 芬顿氧化法对于进水固体悬浮物（SS）的要求较为严格。芬顿氧化利用  $\text{Fe}^{2+}$  催化分解过氧化氢，生成羟基自由基（ $\cdot\text{OH}$ ），并引发链式反应产生更多的其他自由基，来对有机污染物进行彻底的降解。若进水中固体悬浮物含量较高，会大量吸附催化剂  $\text{Fe}^{2+}$ ，影响过氧化氢分解生成羟基自由基（ $\cdot\text{OH}$ ），对自由基链反应的发生有阻碍作用，造成处理效果的严重降低。芬顿氧化法适用于  $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{Cr}}$  值较低的废水，若  $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{Cr}}$  值高于 0.3 时，可以考虑先采用生物处理法进行处理，以减少芬顿试剂的投加量。因此芬顿氧化法进水中若含有较高的 SS，需要通过混凝沉淀、过滤等前处理措施去除固体悬浮物。在条件允许时，可通过试验确定来水中悬浮物对芬顿氧化效果的影响。

(3) 若芬顿氧化法的进水中含有影响芬顿氧化反应的离子或污染物时（如氧化还原反应或络合反应等），会造成羟基自由基的淬灭或亚铁离子的消耗，无法有效催化过氧化氢生成羟基自由基，从而降低芬顿氧化的效率。因此进水中  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、油类等影响芬顿氧化反应的污染物浓度应根据实际测定数据和试验结果确定允许值，或通过增加药剂投加量以保证芬顿氧化法的处理效果。

#### 6.6.4 关于设置调节设施的说明

由于芬顿氧化法是利用芬顿试剂产生的氧化性自由基与有机污染物之间的氧化还原反应达到去除污染物的目的，因此对废水的水质水量波动敏感。当水量突然增大或污染物浓度突然升高时，会由于药剂投加量不足导致污染物去除率降低。因此进入芬顿氧化工艺的废水水质水量宜保持稳定，当进水水质、水量波动较大时，应设置调节设施。通常芬顿氧化法用于生化处理的预处理时，需要设置调节设施；用于深度处理时，由于芬顿氧化法之前的工艺单元已完成水质水量调节，可不设调节设施。

### 6.7 总体要求

在总体要求中，本标准提出了以下基本要求：

(1) 芬顿氧化法建设规模由设计水量确定。一般而言芬顿氧化工艺适用于各种规模的废水处理，处理水量从几十吨每天到几万吨每天不等。

(2) 对采用芬顿氧化法废水处理工艺的污废水处理厂做出了具体的规定，内容涉及厂址选择、总体布置、总图设计、防洪标准、建筑物的防火设计、堆放污泥、药品的贮存场，并在废水处理厂设计、建设、运行过程中应重视职业卫生和劳动安全等。对采用芬顿氧化法废水处理工艺的污废水处理厂的在线监测系统安装、验收和运行等做出了具体的规定。

(3) 对芬顿氧化法系统构成做出了规定。

(4) 对芬顿氧化法建设运行过程中防止二次污染做出了规定。

### 6.8 工艺设计

#### 6.8.1 一般规定

一般规定中，对以下部分进行了规范：

(1) 芬顿氧化法包括调酸、催化剂混合、氧化反应、中和、固液分离系统以及污泥处理系统。芬顿氧化反应中，pH 值调节药剂和芬顿试剂需要按顺序依次投加，待一种药剂混合完全后再投加下一种药剂，不宜在同一反应池中同时投加几种药剂。首先对废水 pH 值进行调节，芬顿氧化反应的最佳 pH 值为 3.0~4.0。继而在催化剂混合池中投加硫酸亚铁作为催化剂，混合均匀后进入氧化反应池并投加氧化剂过氧化氢进行氧化反应。芬顿氧化反应结束后进入中和池，投加氢氧化钠溶液或氢氧化钙溶液调节 pH 值至 7.0~8.0。完成中和反应的废水进入混凝沉淀或气浮池，沉淀或气浮完成后的澄清废水为芬顿氧化法的出水。

(2) 由于工业废水水质复杂多样，芬顿氧化法的工艺参数宜根据进水水质、水量及排放标准通过试验确定。

(3) 芬顿氧化法的运行方式推荐采用连续式，在废水水量较小时，可以采取间歇模式运行。根据国家产业园区化的要求，小型工业企业的废水宜集中进行处理，因此不鼓励间歇模式运行的小型芬顿氧化工艺。

(4) 由于芬顿氧化反应过程中，投加氧化剂过氧化氢可能发生分解产生气泡，与污染物形成泡沫或浮渣，因此氧化反应池、中和池宜设置水喷淋或消泡剂喷淋，混凝沉淀或气浮池宜设置撇渣设施。

(5) 由于芬顿氧化法中使用的浓硫酸、稀硫酸、过氧化氢等药剂具有强氧化性或腐蚀性，因此易造成设备的损耗，易损设备如计量泵等宜采用 1 用 1 备。

(6) 对芬顿氧化工艺中产生污泥处理的要求。若污泥属于危险废物，宜对污泥单独浓缩、单独脱水，经集中收集后转移至有相应资质的危废处理单位处置，不可与非危险废物的其他污泥混合处理。危废的转移运输严格按照国家对危废管理的要求实施。

(7) 由于工业废水水质多样，可根据废水水质调整工艺单元组成。例如，若废水 pH 较低或硫酸亚铁投加量较大，在投加催化剂硫酸亚铁后，可将废水 pH 调整至 3.0~4.0，满足芬顿氧化的要求，则可不设调酸单元（池）。

### 6.8.2 调酸

(1) 对废水 pH 值进行调节，芬顿氧化反应的最佳 pH 值为 3.0~4.0。pH 值过低不利于羟基自由基 ( $\cdot\text{OH}$ ) 的形成，影响芬顿反应效率；若废水 pH 值过高，如为碱性时，过氧化氢分解为  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{O}_2$  且  $\text{Fe}^{2+}$  以氢氧化物形态析出，芬顿试剂失效。因此在芬顿氧化反应过程中需严格控制 pH 值。大多数情况下进水 pH 值高于此范围，因此投加浓硫酸或稀硫酸作为 pH 值调节药剂。

由于废水的性质不同，以及硫酸亚铁投加量的不同，氧化反应池中的 pH 值会发生变化，因此需要根据氧化反应池的 pH 值适度调整酸的投加量。

(2) 为保证所投加药剂与废水的有效混合，水力停留时间应不少于 2 min，同时需要通过水力搅拌或机械搅拌的方式促进药剂的混合，在设计水量较小的情况下，应考虑选择合适的停留时间以确保药剂投加池的操作空间。

(3) 芬顿工艺氧化反应池宜控制 pH 值在 3.0~4.0 范围内，因此需要安装 pH 值在线监测装置，并与药剂投加设备耦合，以随时掌握和调控反应池中的 pH 值，保证反应环境处在最适范围内。

### 6.8.3 催化剂混合

(1) 硫酸亚铁作为催化剂与氧化剂过氧化氢构成芬顿试剂，在合适的 pH 值条件下，在催化剂混合池中加入所需的催化剂硫酸亚铁溶液。为保证所投加药剂与废水的有效混合，水力停留时间应不少于 2 min，同时需要通过水力搅拌或机械搅拌的方式促进药剂的混合。

(2) 投加药剂时，若药剂投加量过小则无法达到预期处理效果，若投加量过大则造成药剂浪费，因此宜采用计量泵定量投加。

(3) 考虑到硫酸亚铁的溶解度，硫酸亚铁溶液的质量百分浓度宜小于 30%。

#### 6.8.4 氧化反应

(1) 在氧化反应池中投加过氧化氢，作为氧化剂。药剂投加完毕后芬顿氧化反应开始。氧化反应池的池型可采用完全混合式或者塔式。

(2) 完全混合式氧化反应池可采用方形、圆形池体，完全混合式氧化反应池应当不少于 2 段，以保证混合反应的均匀，避免短流等情况的出现。

(3) 氧化反应池的主要设计参数为水力停留时间 (HRT)，氧化反应池池体有效容积可按下式计算：

$$V = Q \cdot T \quad (1)$$

式中：

V——池体有效容积， $m^3$ ；

Q——设计流量， $m^3/h$

T——水力停留时间，h。

(4) 氧化反应池有效面积可按下式计算：

$$F = \frac{V}{H} \quad (2)$$

式中：

F——池体有效面积， $m^2$ ；

V——池体有效容积， $m^3$ ；

H——池体有效水深，m，宜为 2.5 m~4.0 m。

(5) 芬顿氧化反应的处理效果与进水水质及组成相关，因此需要结合具体水质，通过试验来确定氧化反应池的停留时间。一般预处理时水力停留时间 2.0 h~8.0 h，不高于 12 h；深度处理时水力停留时间 0.5 h~6 h，不高于 8.0 h。

(6) 在氧化反应过程中需采用水力搅拌、机械搅拌或空气搅拌等方法保持废水与药剂的良好混合状态。

#### 6.8.5 中和

(1) 芬顿氧化反应结束后进入中和池，投加氢氧化钠溶液或氢氧化钙溶液调节 pH 值至 7.0~8.0，一方面使  $\text{Fe}^{2+}$  以氢氧化物沉淀的形式从水中析出，另一方面促使剩余的过氧化氢氧化剂分解，芬顿氧化反应终止。

(2) 氧化反应池、中和池未采用空气搅拌时，由于废水中未参与反应的过氧化氢在中和池中分解，产生微小的气泡，不利于后续的絮凝沉淀过程。因此应设空气搅拌脱气池，如利用鼓风机进行鼓风搅拌，脱去残留的少量气体，其水力停留时间不宜小于 15 min。

#### 6.8.6 固液分离

完成中和反应的废水进入固液分离系统，由于亚铁盐的存在，使得芬顿反应除通过氧化作用去除有机物之外，还具有混凝反应作用。在固液分离系统中，可以根据水质要求适量投加 PAC 等混凝剂或 PAM 等絮凝剂以提高混凝作用效率。

芬顿沉淀（气浮）池的设计参照 HJ 2006、HJ 2007 执行。该单元中混合方式可选择管式混合器混合、水泵混合和机械混合，由于经中和反应后，亚铁盐以氢氧化物形式析出，废水中存在絮状物，因此推荐此阶段混合方式选用机械混合。

#### 6.8.7 药剂投配

##### 6.8.7.1 一般规定

芬顿氧化法的药剂投配系统包括药剂的储存、调制、提升、储液、计量和投加。药剂投加通常采用液体投加方式。药剂在溶解池中溶解配制成一定浓度的溶液后存入溶液池，然后计量投加至对应的反应池中进行混合。

##### 6.8.7.2 药剂调制

(1) 药剂溶解的方式通常采用水力或机械搅拌的方式。

(2) 溶解池的容积与所配制溶液的使用浓度、每日调制次数、药剂的投加量及处理水量有关。溶液的使用浓度需根据反应所需药剂剂量合理确定，一般硫酸亚铁、氢氧化钠或氢氧化钙的质量百分浓度宜小于 30%，过氧化氢质量百分浓度通常为 30%。

(3) 使用的硫酸溶液的调制需要考虑其腐蚀性及溶解过程中的放热，使用专用设备调

制。

#### 6.8.7.3 药液投加、加药设施和药库

(1) 从溶解池到溶液池，可采用重力投加或设置药剂提升设备。可选择耐腐蚀的离心泵或水射器。

(2) 由于芬顿氧化法对药剂的投加剂量要求严格，因此建议采用计量泵进行投加。并且设置自动控制装置，自动调整加药量。计量泵的选择应满足耐腐蚀的要求，根据最大投药量计算计量泵规格。

(3) 加药间等药剂投加设施应当在位置上尽量靠近投药点，并保持通风良好。

(4) 芬顿试剂等药剂的贮存应当避免阳光直射，并避免长期保存，以免有效成分损失。

(5) 过氧化氢及硫酸的贮存应考虑容器的耐腐蚀性，并满足《常用化学危险品贮存通则》(GB 15603)等相关技术要求。

#### 6.8.7.4 污泥处理

芬顿氧化法的产泥量与药剂的投加量直接相关，药剂的投加量又与来水的  $COD_{Cr}$  值成正比关系；因此来水  $COD_{Cr}$  值越高，芬顿氧化法的产泥量就越大。有条件时需通过试验确定污泥产量。在不具备试验条件时，可通过设计水量、芬顿氧化法去除的 SS、亚铁盐的投加量、混凝阶段混凝剂的投加量和混凝阶段絮凝剂的投加量计算得出。

污泥量无法通过计算获得时，可根据进水  $COD_{Cr}$  进行估算，当芬顿氧化法用于废水深度处理时，污泥产生量一般为处理水量的 5%~15%（以含水率 99%计）；当来水悬浮物浓度较低， $COD_{Cr}$  较低时，取低值；当来水悬浮物浓度较高， $COD_{Cr}$  较高时，取高值。

### 6.9 主要工艺设备与材料

对芬顿氧化法废水处理系统的主要工艺设备与材料进行了规定，并对采用芬顿氧化法废水处理工艺的废水处理厂的设施防腐提出了具体规定。芬顿氧化法中使用的 pH 值调节剂（酸、碱物质，如浓硫酸、氢氧化钠等）、氧化剂（过氧化氢）等具有腐蚀性或强氧化性，因此废水处理工艺的相关设施应当具有耐酸碱和抗氧化腐蚀能力。

### 6.10 检测与过程控制

(1) 规定了采用芬顿氧化法的废水处理工程应配置的检测仪表及控制系统。

(2) 规定了芬顿氧化法废水处理工程运行过程中应进行的过程检测与过程控制系统，

以保证处理设施的正常运行和处理效果。检测项目一般包括：进出水 COD<sub>Cr</sub>、SS、pH 值、水温等，必要时增加色度、油类、氧化还原电位等。

芬顿氧化法是利用芬顿试剂与有机污染物之间的化学反应达到去除有机物的目的，因此较生物处理法而言，进水水质的波动对芬顿氧化法的处理效果影响较大。因此，在废水进入芬顿氧化法时，应尽量保证水质、水量的稳定。在有条件时宜在出水设置 COD<sub>Cr</sub> 在线监测装置，在反应池设置在线 ORP（氧化还原电位）计并与药剂投加设备耦合，以便在进水水质出现波动时，适时调整药剂投加量。

(3) 规定了自动控制系统的配置与基本要求。

### 6.11 主要辅助工程

对采用芬顿氧化法的废水处理厂（站）的供电系统、低压配电、防雷设计要求进行了规定。

### 6.12 劳动安全与职业卫生

对运行过程中的劳动安全及职业卫生要求进行了规定，要求建立安全生产规章制度等。同时对酸、碱、氧化性物质等危险化学品的储存使用等进行了规定。

### 6.13 施工与验收

对施工、工程验收和竣工环境保护验收等提出了明确规定与要求。

### 6.14 运行与维护

对芬顿氧化法废水处理工艺中设施运行、维护与管理、人员的基本要求、水质检验、运行调节等提出了具体的规定。

## 7 标准实施的环境效益及技术经济分析

标准内容体现了芬顿氧化法污染治理的全过程控制，对保证达标排放进而保护环境起到推动作用。本标准工艺有大量的工程实例为佐证，是成熟、可靠、经济、实用的工艺技术，标准实施后可带来以下效益：

(1) 有利于国家相关环保政策的贯彻执行，规范芬顿氧化法的使用，控制环境污染，实现环境效益；

(2) 工艺技术路线与我国当前的经济、技术发展水平相适应，符合使用单位经济承受

能力；

(3) 为芬顿氧化法的工程设计、施工、验收及运行管理等环节提供技术指导，保证工程质量，提高工程运行效益。

本标准实施后，可以大幅提高废水 COD 降解效率，改善出水水质，进一步降低水体污染物对环境的污染，为废水处理厂升级改造达标排放提供技术支持。

为了更好地说明芬顿氧化法的技术经济特点，特将该工艺的应用情况举例说明，如表 3 所示。

表 3 芬顿氧化法应用环境效益案例

江苏北华环保科技有限公司		
序号	内容	参数
1	水量	20000 m <sup>3</sup> /d
2	来源	工业园区
3	工艺流程	水解—好氧—芬顿—曝气生物滤池—出水
4	芬顿单元组成	流化床 2 座，采用平流沉淀池（斜板）
5	COD 去除率	COD 由 120 mg/L 降至 80 mg/L
6	加药量	过氧化氢 0.5‰
		过氧化氢和硫酸亚铁质量比 1: 1.2
7	产泥量	20 t（含水率 60%）
中信环境海门有限公司		
序号	内容	参数
1	水量	8000 m <sup>3</sup> /d
2	来源	工业园区
3	工艺流程	芬顿—水解—好氧—臭氧—出水
4	芬顿单元组成	流化床 2 座，采用平流沉淀池（斜板）
5	COD 去除率	COD 由 400 mg/L 降至 150 mg/L
6	加药量	双氧水 1.2‰
		过氧化氢和硫酸亚铁质量比 1: 1.2
7	产泥量	25 t（含水率 80%）
山东新天鸿水务有限公司		
序号	内容	参数
1	水量	10000m <sup>3</sup> /d
2	来源	皮革类工业园区
3	工艺流程	水解酸化—好氧—芬顿
4	芬顿单元组成	流化床 1 座，采用平流沉淀池（斜板）
5	COD 去除率	COD 由 120 mg/L 降至 30 mg/L



6	加药量	过氧化氢 0.2‰
		硫酸亚铁和过氧化氢质量比 1: 1
7	产泥量	5 t (含水率 65%)

## 8 标准实施建议

本标准属于环境污染治理工程技术规范中的工艺类技术规范，是国家环境标准体系的一个组成部分，为芬顿氧化法及其组合工艺的工业废水处理工程的设计、施工、验收及建成后运行与管理提供技术依据。本标准为首次制订，建议在本标准实施过程中，广泛听取和收集各方面的意见与建议，根据实际应用情况，对本标准进行不断地修订与完善，使其实用性和可操作性与时俱进，不断满足环境管理和环保设施工程建设需要。