

# 《工业废水电化学处理技术规范 第1部分：总则》国家标准编制说明

## 1 任务来源及简要编制过程

### 1.1 任务来源

根据国标委发【2023】10号《国家标准化管理委员会关于下达2023年第一批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》的要求，制定推荐性国家标准《工业废水电化学处理技术规范 第1部分：总则》，计划编号为20230319-T-606按照制修订计划，本标准应于2024年9月完成制定工作。

本标准由南京华工创新环境研究院有限公司、中海油天津化工研究设计院有限公司等共同起草。本标准由全国化学标准化技术委员会（SAC/TC 63）归口，由全国化学标准化技术委员会水处理剂分技术委员会（SAC/TC63/SC5）执行。

### 1.2 标准简要编制过程

#### 1.2.1 制定标准调研阶段

为了按计划完成本标准的制定工作，使本标准的技术指标要求先进、合理，测定方法科学、准确、易于实施，并能充分体现该产品工艺水平的先进性，从而鼓励企业改进和提高其技术水平，适应国内及国际市场的要求，修订任务下达后，起草单位成立调研工作小组，先后赴全国各地代表性企业调研。深入了解了化学原料和化学制品制、造纸和纸制品、石油炼制和加工以及精细化工等多家代表性的工业企业的废水产生量、废水水质特性、废水处置方式及处置成本等重要信息；详细了解了废水处理设施的工艺路线、处理能力及运行状况等信息；并深入了解典型工业企业的用水量标准及水量指标，探究相关企业废水深度处理及回用的工艺路线。先后赴江苏、辽宁、山东、上海、浙江、福建、安徽、宁夏、内蒙古、重庆等省市开展化工废水以及垃圾渗滤液的预处理和深度处理的情况进行调研，考察电化学处理技术的可行性与应用前景。共调研石油炼化、精细化工及其他企业50余家。

在制定过程中对收集到的情况进行了分析和研究，根据我国电化学处理技术处理废污水的技术水分和实际处理现状，编写了《工业废水电化学处理技术规范 第1部分：总则》标准草案讨论稿。

#### 1.2.2 标准工作方案会阶段

2023年5月：标准工作组在召开《工业废水电化学处理技术规范 第1部分：总则》国家标准编制项目研讨会，对标准框架内容进行逐一研讨。参会单位包括江苏省各大高校和环保集团专家，梳理了标准框架，并对标准进行讨论和修改。

2023年10月，全国化学标准化技术委员会水处理剂分会在安徽省合肥市召开了《工业废水电化学处理技术规范 第1部分：总则》方案会，出席会议的有分会秘书处、标准起草单位、科研院所、大专院校及生产厂家等共计74家单位的105位代表。会议对制标方案及标准框架进行了认真细致的讨论，根据专家意见对标准草案初稿进行修改完善，形成了标准讨论稿。

#### 1.2.3 征求意见阶段

### ① 广泛征求意见

在起草阶段工作基础上，起草小组提出标准草案征求意见稿及编制说明，经归口单位修改后，于 2024 年 月，在 网址广泛征求意见。

### ② 意见的反馈与处理

发送征求意见稿的单位数 个，收到征求意见稿后回函单位数 个，收到征求意见稿后回函并有建议或意见的单位数 个，没有回函的单位数 个。对收到的意见全部进行处理，处理意见详见意见汇总处理表。

## 1.2.4 标准审查阶段

2023 年 10 月：标准工作组参加了全国化学标准化技术委员会水处理剂分会年会暨标准审查会，对标准的内容进行审查。参会单位包括全国各大高校和相关领域企业或集团的专家，对标准框架和内容进行了研讨，并重新梳理了框架和内容。

## 1.2.5 标准报批阶段

# 2 目的、意义

## 2.1 我国工业废水处理现状

随着我国工业各行业的迅猛发展，工业废水排放量超过 250 亿吨/年。工业废水种类繁多，成分复杂。例如金属加工和电镀等行业废水含铅、镉、镍和铬等重金属，石油炼制和煤化工等行业废水含芳香烃等污染物，医药、农药和印染等行业废水含有多环芳烃、卤代烃、杂环类化合物等。工业废水中，尤其是医药、农药、染料和精细化工材料、以及中间体生产废水，COD 可高达几万以上，盐分高，污染物质结构稳定、毒性强、可生化性差，处理难度大，处理成本高。这些污染物质未经深度处理而排放到环境，会对生态系统产生持久性破坏，严重危害人类健康和生存。2015 年国务院颁布的《水污染防治行动计划》明确要求多部委联动对包括上述行业在内的十大重点行业进行专项整治，削减污染物排放总量。2021 年国家发改委联合科技部等 9 部委发布《关于推进污水资源化利用的指导意见》，推动实施污水近零排放科技创新试点工程。废水处理提标减排与资源化利用已成为工业行业可持续发展需要首先解决的问题，亟需经济有效的废水处理技术以支撑行业的健康发展，为我国社会和经济和谐发展提供有力保障。电化学处理技术过程清洁，设备占地面积小，反应装置简单，工艺灵活，能量效率高，既能单独处理，又可以和其他技术相结合，具有广阔的工业应用前景。

## 2.2 电化学处理技术在工业水处理中的应用现状

电化学水处理技术是指在特定的电化学反应器内，利用外加电场或电流，通过一系列物理过程、化学反应对废水中的污染物进行分离和降解的方法。近二十年来，国内科研机构对废水处理领域的电化学应用技术进行深入研究开发，同时众多公司在电极材料及电化学设备生产、应用技术开发等方面积极推进，形成了较为完整的电化学技术产业体系。尤其是近年来国内的电极材料及反应器开发都取得了良好的成果，从材料加工方面，其核心装备钛阳极产业已形成规模化，尤其是以宝鸡钛电极产业为代表，其产品完全满足电化学废水处理工程

需求。在众多电化学处理技术中，电气浮和电絮凝已广泛应用于企业及园区污水处理厂，众多环保企业都具备对上述两项技术的工艺设计、设备加工能力。但电化学氧化、电芬顿和电化学还原的工程案例较少，主要问题是其对电极材料性能和工艺设计要求较高。从已报道的工程案例和客户反映的情况来看，不同公司在电极材料、工艺流程、反应器结构和运行参数等方面不尽相同，产生的效果也差异显著。

导致电化学技术相关行业发展缓慢的根本原因在于，目前缺乏专门的、针对性的电化学技术规范，国外亦无成熟的技术规范参考。因此，在当前环境保护和产业发展矛盾较为突出的形势下，极有必要针对电化学技术处理工业废水制定一系列科学的、实用的技术规范。通过规范工艺流程、操作参数和反应器设计及运行参数等，提高系统运行稳定性和安全性，促进电化学技术的应用发展。

### 3 制标原则

本文件在制定过程中，起草单位遵循规范性、科学性、适用性、先进性原则。旨在能适应行业发展要求，提供先进的技术指标和科学准确的检验方法，以达到能完善现有标准体系、引导行业生产、保证产品质量的目的。

#### (1) 规范性原则

本文件根据 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》、GB/T 20000《标准化工作指南》和 GB/T 20001《标准编写规则》等相关规定进行编写。

#### (2) 技术先进性、可操作性和方便性原则

电化学处理技术是一种高效、绿色的高级氧化技术，已在工业废水处理中有一定的应用。该技术利用向废水施加的电流、电压或形成的电场引发一系列化学、物理的反应使工业废水得到净化。

该技术可解决含油、高固含量、高氮、高磷、高 COD、高盐度、难降解有机物和重金属等多种类型废水的高效和深度处理问题，在工业废水处理上展现了独特优势，具备以下优点：①可通过不同的作用原理发挥不同特性（物理、化学）的处理方式，能够处理绝大多数的工业废水；②能量和能源输出仅依靠电力，便于实现自动化控制；③反应条件温和，常温常压即可完成处理；④处理过程清洁，环境友好且无二次污染；⑤占地面积小，处理周期短；⑥易于和其它处理方法相结合，便于综合治理。我国在电化学水处理技术方面的研究并不落后于国外专家同行，甚至在电催化氧化的材料研究和设备结构设计等方面处于领先水平。

#### (3) 技术安全性、可靠性和经济性原则

国内外已发展出一系列电化学水处理技术，并且在工程应用中取得了良好的应用效果，其中，电气浮和电絮凝等技术已有十多年的工程应用历史，技术比较成熟可靠；电化学氧化和电还原等技术虽然工程应用历史较短，但相关设备和技术已具备广泛应用的条件。但与传统水处理技术相比，电化学水处理技术尚缺乏相关技术标准。电化学水处理技术涉及很多创新先进技术，电极材料、工艺流程、反应器结构和运行参数等对废水处理效果、运行稳定性和使用寿命都有不同影响。从工程应用情况和客户反馈的信息来看，不同电化学技术公司的工程状况差异显著，制约了电化学技术在有机废水处理领域的应用推广，亟需制订相关技术标准，规范工艺流程、操作参数和反应器设计及运行参数等，提高系统运行稳定性和安全性，使电化学水处理技术在工业废水处理领域发挥良好作用。本标准旨在通过规范性的技术要求，为电化学水处理反应系统的工程化应用提供可操作性的指导，以提高实际工程应用中的电化学处理技术的安全性，可靠性和经济性。

### 4 国内外标准概况

从全国标准信息公共服务平台、万方数据、IHS Markit Standards Store及之江标准信息平台等国内外标准文献数据库的检索结果来看,未发现与电化学水处理技术相关的国内外标准,本标准属于应用类型的标准。GB/T39308-2020《难降解有机废水深度处理技术规范》中规定的深度处理技术规定的高级氧化法范畴,但是在上述技术规范中,关于电化学处理技术并未详细规范。DB43《重金属废水电化学处理工程技术规范》在电化学处理技术上给出了一定的规范和要求,但仅限于重金属废水;本标准是电化学工业废水处理工程应用更为全面的总结和细化。

## 5 制标依据

本文件的编制以国家环境保护现有法律、法规、标准为主要依据,参考不同种类典型废(污)水处理的技术规范和设计手册,结合国内外电化学处理技术的相关文献以及广泛的实地调研,参照废污水处理相关的运行维护及其安全管理的国家及行业标准,确定本文件的规范要求,总结编制了本文件。

本文件编写参考的法律法规、标准主要有:

GB/T 5750.1	生活饮用水标准检验方法 第一部分:总则
GB/T 534	工业硫酸
GB/T 1616	工业过氧化氢
GB 3096	声环境质量标准
GB/T 3797	电气控制设备
GB/T 4942.2	低压电器外壳防护等级
GB 5085.7	危险废物鉴别标准 通则
GB 5226.1	机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件
GB 6944	危险货物分类和品名编号
GB/T 10531	水处理剂 硫酸亚铁
GB 12268	危险货物品名表
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB/T 12801	生产过程安全卫生要求总则
GB 15603	常用化学危险品贮存通则
GB/T 17514	水处理剂 阴离子和非离子型聚丙烯酰胺
GB 18597	危险废物贮存污染控制标准
GB 18598	危险废物填埋污染控制标准
GB 18599	一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
GB/T 22627	水处理剂 聚氯化铝
GB 50014	室外排水设计规范
GB 50016	建筑设计防火规范
GB/T 50046	工业建筑防腐蚀设计标准
GB 50053	20kV及以下变电所设计规范
GB/T 50087	工业企业噪声控制设计规范
GB 50108	地下工程防水技术规范

GB	50141	给水排水构筑物工程施工及验收规范
GB	50160	石油化工企业设计防火规范
GB	50187	工业企业总平面设计规范
GB	50204	混凝土结构工程施工质量验收规范
GB	50205	钢结构工程施工质量验收规范
GB	50212	建筑防腐蚀工程施工规范
GB	50231	机械设备安装工程施工及验收通用规范
GB	50235	工业金属管道工程施工规范
GB	50268	给水排水管道工程施工及验收规范
GB	50275	风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范
GB	50726	工业设备及管道防腐蚀工程施工规范
GB	50727	工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范
GBZ	1	工业企业设计卫生标准
GBZ	2.1	工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素
GBZ	2.2	工作场所有害因素职业接触限值 第 2 部分：物理因素
AQ	3018	危险化学品储罐区作业安全通则
AQ	3047	化学品作业场所安全警示标志规范
CJJ	60	城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程
CJJ/T	120	城镇排水系统电气与自动化工程技术标准
DB	43	重金属废水电化学深度处理工程技术规范

## 6 标准主要内容的说明

### 6.1 适用范围

本文件规定了电化学技术处理工业废水的总体要求、选用原则、处理效率要求、预处理要求和方法、通用流程、后处理要求、环境保护要求、安全性要求。

本文件适用于电化学技术工业废水预处理和深度处理。

### 6.2 术语与定义

**工业废水 industrial wastewater:** 自定义为“工业生产过程或废物（气、固、液）处置过程产生、且该过程不具有进一步利用价值的水或液”。

**工业废水电化学处理技术 electrochemical treating technology for industrial wastewater:** 自定义为“在特定的电化学反应器内，利用外加电场或电流，通过一系列物理过程、化学反应完成工业废水中污染物分离和去除的技术”。

**电气浮处理技术 electrocoagulation treating technology:** 自定义为“在施加电流的作用下，废水中分散的胶体颗粒和细小污染物受微电场的作用形成电泳，定向移动聚集成大絮体，利用阳极产生氧气和阴极产生氢气的气浮作用，将废水中细小颗粒污染物和油类从水中分离的过程”。

**电絮凝处理技术 advanced treatment treating technology:** 自定义为“在施加电流的作用下，可溶性阳极（Fe或Al）表面溶出 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ ，经水解、凝聚后生成多形态聚铝或

聚铁絮凝剂，将水中悬浮物、胶体和微污染物絮凝分离的过程”。

电化学氧化处理技术 **electrochemical oxidation treating technology**: 自定义为“在施加电流的作用下，污染物在阳极表面失去电子或被生成的活性氧化物种氧化降解的过程”。

电芬顿处理技术 **electro-fenton treating technology**: 自定义为“在芬顿氧化的基础上，通过电化学调控阴、阳极反应全部或部分生成芬顿反应所需的亚铁离子和双氧水产生羟基自由基的过程”。

电化学还原处理技术 **electrochemical reduction treating technology**: 自定义为“在施加电流的作用下，污染物在阴极表面直接得到电子或原子态的氢还原的过程”。

### 6.3 选择依据

电化学处理技术选择与污染物种类、浓度、电解质等相关水质条件有关。

悬浮物浓度（SS）：可采用电絮凝处理技术或电气浮处理技术去除，电絮凝处理技术适宜去除颗粒粒径在 100 nm~0.1 mm 之间的 SS，电气浮处理技术适宜去除颗粒粒径在 10 nm~1 μm 之间的 SS。

油类：可采用电絮凝处理技术或电气浮处理技术去除，电絮凝处理技术适宜去除浓度在 10000mg/L（以 COD 计）以下的油类，电气浮处理技术适宜去除浓度在 1000mg/L（以 COD 计）以下的油类。

化学需氧量（COD）：可采用电化学氧化处理技术、电芬顿处理技术去除，电化学氧化处理技术适宜去除浓度在 100 mg/L~100000 mg/L 的 COD，电芬顿处理技术适宜去除浓度在 10 mg/L~5000 mg/L 的 COD。

氨氮（NH<sub>3</sub>-N）：可采用电化学析氯氧化去除，氨氮浓度不得高于 500 mg/L；硝态氮可采用电化学还原处理技术去除，硝态氮浓度不得高于 800 mg/L；有机氮可采用电化学氧化转化为氨氮，再通过电化学析氯氧化去除，有机氮浓度不得高于 100 mg/L。

总磷（TP）：有机磷稳定性好，可采用电化学活化过硫酸盐分解，再通过电絮凝处理技术去除，有机磷浓度不得高于 50 mg/L；无机磷可采用电絮凝处理技术去除，无机磷浓度不得高于 20 mg/L。

重金属：可采用电絮凝、电化学还原、电化学氧化和电芬顿去除，电絮凝适宜去除浓度在 500 mg/L 以下的重金属，电化学还原适宜去除浓度在 2000 mg/L 以下的重金属。电化学氧化和电芬顿适宜用于络合态的重金属去除，适宜浓度在 100 mg/L 以下。

根据废水的情况和实际需求，电化学技术可以组合使用，以达到去除目的。

### 6.4 处理效率要求

电气浮处理技术：去除 SS 时去除率可达到 90%以上，去除油类时去除率可达到 95%。

电絮凝处理技术：去除 SS 时去除率可达到 85%以上，去除油类时去除率可达到 95%，去除无机磷时去除率可达到 95%，去除重金属时去除率可达到 95%。

电化学氧化处理技术：去除 COD 时预处理设计去除率 60%以上，深度处理设计去除率 70%以上，去除氨氮时设计去除率 90%以上，转化有机氮时转化率可达 95%以上，去除重金属时去除率可达到 95%以上。

电芬顿处理技术：去除 COD 时预处理设计去除率 60%以上，深度处理设计去除率 70%以上，去除氨氮时设计去除率 90%以上。

电化学还原处理技术：去除硝态氮时设计去除率 90%以上，电化学还原处理技术去除重金属时设计去除率 90%以上。

6.5 预调节方法

电导率：电化学单元均需保证废水的电导率在 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  以上，或可溶性盐分浓度在 1500 mg/L 以上。

pH 值：电气浮处理技术要求 pH 控制在 6.5-7.5,电絮凝处理技术要求 pH 控制在 7.5-9.0,电化学氧化处理技术、电芬顿处理技术、电化学还原处理技术要求 pH 控制在 3.0-9.0。

悬浮物：电化学氧化、电芬顿、电化学还原要求  $\text{SS}<1000\text{ mg/L}$ ，采用多孔电极时需将 SS 值调节至 200 mg/L 以下。

6.6 预调节方法

电导率或盐分：可采用硫酸钠或氯化钠进行调节,使用氯化钠时要注意氯代产物的生成。

pH 值：可采用稀硫酸、稀盐酸、氢氧化钠、氢氧化钙等进行调节。

SS：可通过格栅、沉淀或沉砂池去除。

6.7 通用流程

工艺流程主要包括预调节、电化学单元反应和后处理单元。基本工艺流程示意图见图 1。

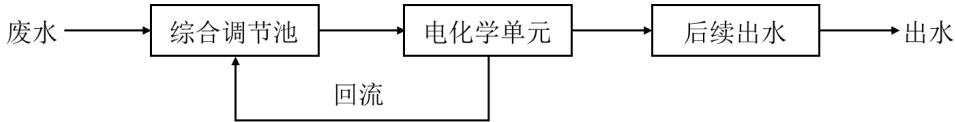


图 1 电化学单元通用工艺流程图

电化学单元宜采用连续运行方式，为保证反应充分，处理过程中要辅以搅拌。当处理水量较小时，可采用序批式。

电化学单元处理工业废水时会在废水表面形成浮渣，需及时清除，以免附着在电极表面阻碍反应。

电化学单元发生故障时，废水应进入应急事故水池或缓存池。

6.8 后处理单元

后处理单元用于进一步去除废水中的污染物，满足出水或回用条件。

进入后处理单元之前，应去除处理过程中产生的浮渣以及消除残留 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{O}_3$ 或 $\cdot\text{O}_2$ 等可能对后续处理工艺产生影响的物质。

若废水达不到进入后处理单元的要求或后处理后仍达不到出水要求，可将废水回流到电化学单元进行强化处理。

后处理单元与电化学单元形成组合工艺，其选择与电化学单元的作用相关，主要有沉淀法、吸附法、生化法和膜过滤法等。图2、图3和图4为三个典型电化学组合工艺。

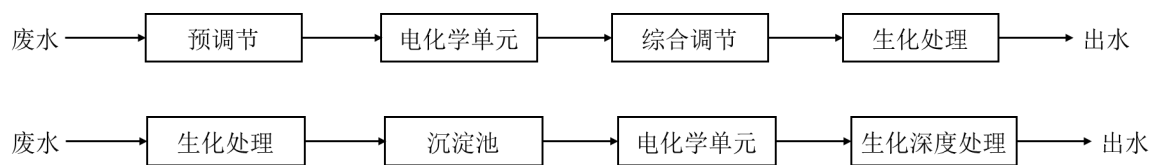


图 2 电化学单元与生物法组合工艺流程图

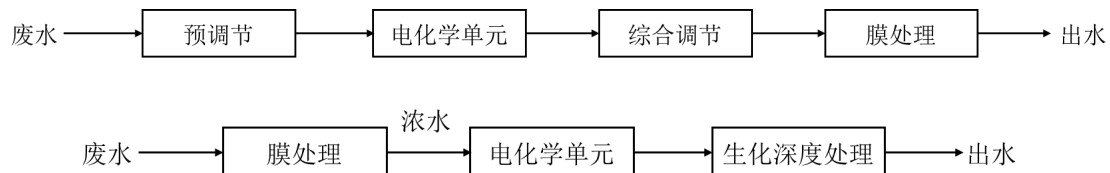


图 3 电化学单元与膜处理法组合工艺流程

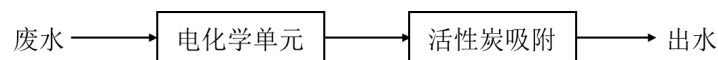


图 4 电化学单元与活性炭吸附法组合工艺流程

## 6.9 安全事项

**工程地点：**应位于污水处理区域内，与生产车间及仓库、储罐等区域保持安全距离，同时尽量远离输送管线或桥架。为消除其他安全隐患，工程地点应与其他水处理构筑物保持一定距离。

工程设施应位于室内，并保持干燥，避免阳光直射。设施周围2米范围内应无其他构筑物。

用电安全：

- 不损伤电线，不乱拉电线，定期进行检修线路，防止线路老化；
- 尽量避免带电操作，带电操作需负责人批准，并采取有效措施后才能进行；
- 进行设备保养时，在接通电源提前告知；
- 在带电设备周围禁止使用钢皮尺或钢卷尺进行测量工作。

气体安全：

- 设施周围需保持良好的通风或配备通风设施；
- 所有电器设备须进行防爆处理，配备消防设备以及安装气体检测设备；
- 必要时安装集气罩收集易燃易爆气体；
- 设施周边严禁明火，明火作业需负责人批准，并采取有效措施后才能进行。

## 6.10 环境保护要求

**废水：**电化学单元清洗过程中产生的废水，应收集至污水处理区，经综合处理后达到GB/T 9923、GB 20425、GB 20426及相关回用标准，或达到GB 8978及相关纳管排放标准的规定。

**废气：**在处理处置过程中产生的废气，应收集至废气处理装置，经处理后达到GB 16297及相关排放标准。

废渣：在处理处置过程中产生的废渣，应按GB 5085.7的规定进行鉴别，并按下列规定处理：

a) 经鉴别属于危险废物，应根据自身条件进行深度无害化处理，或交给有资质的危废处理专业机构进行处理；

b) 经鉴别属于一般固体废物，应按GB 18599的要求进行处理。

## 7 标准属性

本标准为国家标准。

## 8 标准水平分析

本项目制订的标准是工业废水电化学处理技术系列标准，既包含基础通用性的标准内容，也包含引领技术发展的标准内容。电化学水处理技术经过二十多年的发展，已经形成一系列绿色、高效的先进技术，可解决工业废水处理的痛点和难点问题，且电化学水处理技术也已具备深厚的研究基础和广泛的成功应用经验，但电化学水处理技术的应用尚缺乏相关技术标准作为导则和准则。本系列标准正是瞄准这一空白而制定，推动我国重点行业生产废水的处理和回用，减轻环境污染，缓解生态压力，促进重点工业行业长期稳定发展，既符合国家与社会的利益，也符合生态文明建设的要求。本技术规范要求设置合理、实践可行，通过本标准的实施，实现对电化学工业废水处理技术的工艺设计、安装调试及运行管理等过程的规范，可提高技术的可实施性与效率，构建出技术路线科学合理、设备规范高效、运营简单直观、成本低廉的电化学处理技术体系，推动电化学处理技术的应用。技术规范编制团队成员在电化学技术专业领域积累了丰富的经验，总结凝练了电化学处理技术领域大量的设计、试验和应用最新技术成果，为电化学处理系统的工程应用提供针对性的实施准则同时，也广泛地进行了技术拓展和通用性延伸，覆盖电化学处理系统的工艺设计、设备安装、调试与检验、运行与维护等技术要求，为电化学处理技术工程设计人员和企业运营管理员提供有益参考和借鉴。本项目的研究和标准的发布，不仅将成为我国第一项电化学水处理技术专门标准，在国际上也具有先进性。

## 9 贯彻标准的要求和措施建议

建议尽快发布本标准并自发布之日起六个月实施。建议标准实施后组织标准宣贯，使相关单位了解标准内容，促进标准顺利实施。