

附件 3

电解锰行业污染防治可行技术指南 编制说明

（征求意见稿）

环 境 保 护 部

项目名称：电解锰行业污染防治可行技术指南

项目统一编号：2012-ZN-003

编制单位及成员：

中国环境科学研究院 李旭华、周长波、王璠、白艳英、尹洁、于秀玲、裴倩倩、李梓、方刚、党春阁

项目管理负责单位及负责人：中国环境科学研究院 郭可昕

技术处项目负责人：许丹宇

目 录

目 录	I
1 任务来源	1
2 任务背景	1
2.1 电解锰行业背景介绍	1
2.2 指南制订的必要性	2
2.2.1 完善国家环境技术管理体系的需要	2
2.2.2 构建全防全控的环境防范体系和高效的行业污染治理体系的需要	2
2.2.3 指南编制意义	3
3 指南编制的原则和技术依据	3
3.1 编制原则	3
3.2 编制依据	4
3.2.1 国家环境保护的相关法律、法规	4
3.2.2 国家电解锰工业的产业政策与规划	4
3.2.3 电解锰行业相关标准、规范和管理办法	5
3.3 技术路线	5
4 主要工作过程	7
5 国内外相关环境技术管理研究概况	7
5.1 欧盟环境技术管理体系	7
5.2 美国环境技术管理体系	8
5.3 我国环境技术管理体系工作进展	9
6 调研情况及备选技术介绍	10
6.1 电解锰生产工艺现状	10
6.1.1 电解锰企业资源能源消耗水平	13
6.1.2 电解锰企业污染物排放情况	13
6.2 主要生产工艺及污染防治备选技术	17
7 可行技术的确定	19
7.1 可行技术的确定原则	19
7.2 评估方法与筛选过程	20
7.2.1 评估过程概述	21
7.2.2 评价指标的建立	21
7.2.3 权重确定方法	27
7.2.4 综合评估方法选择	28

7.3 可行技术评估结果.....	30
7.4 污染防治可行技术.....	31
8 指南实施后效益估算.....	33
8.1 经济效益.....	33
8.2 环境效益.....	33
8.3 社会效益.....	33
9 指南实施后建议.....	33

1 任务来源

为推动电解锰行业节能降耗和污染减排，提高行业整体污染防治技术水平，解决制约行业可持续发展的资源环境约束，建立全防全控的防范体系和高效的行业污染治理体系，保护人体健康和生态环境，根据《国家环境技术管理体系建设规划》，2008年环境保护部组织制定污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术指南、环境工程技术规范等系列技术指导文件。《电解锰行业污染防治可行技术指南》是环保部组织制定的污染防治可行技术指南(以下简称“指南”)系列指导文件中的一部分，由中国环境科学研究院承担编制工作。

2 任务背景

2.1 电解锰行业背景介绍

电解锰是我国黑色冶金领域的第二大行业，随着现代工业的发展，锰的用途越来越广，锰及锰合金在有色冶金、电子技术、化学工业、环境保护、食品卫生、航天工业等各个领域的应用呈急速扩大之势。近年来，我国电解锰行业发展迅速。截至“十一五”末期，我国金属锰行业产能达230万t，较“十五”末增长了1倍多，产量由56.64万t增加至138.2万t，增长2.4倍，产能与产量分别占世界的98%与96%。“十二五”电解锰产业整体发展将“上大下小”，产能在10万或20万t的企业增加，而产能小于5000t的生产企业将逐渐淘汰。未来5年，我国金属锰产量将增长至300万t。我国已成为世界最大的电解锰生产国、消费国和出口国。

然而，伴随着产业规模的迅速扩张和快速发展，行业准入门槛低、产能过剩、产业集中度低，行业整体技术水平偏低、污染严重等问题也在逐渐显现。长期以来，许多电解锰企业在环保方面重视不足，甚至很多行之有效的环保措施得不到实施，电解生产过程中产生的气、液、固体排放物对环境造成很大的污染，有些企业也经常因为环保问题被限令停产。

根据行业平均水平统计，电解锰产品的t直流电耗达到6000千瓦时，效率在75%以下；资源利用率在80%以下；生产过程中产生10余种污染物，其中每生产1t电解锰，需要排放8~10t废渣。在一些电解锰企业聚集的地区如“锰三角”(贵州、湖南、重庆三省交界)地区，电解锰行业的高速发展曾引发一些触目惊心的生态环境问题。目前，电解锰行业污染防治技术主要以末端治理技术为主，

以降低污染物排放强度。这样的治理路线，污染治理成本高，治理后产生大量锰渣和高浓度废水，无法有效解决生产过程中产生的环境污染问题，更不能大幅削减污染物产生量。

2.2 指南制订的必要性

2.2.1 完善国家环境技术管理体系的需要

构建国家环境技术管理体系是贯彻落实《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》和国家环保总局《关于增强环境科技创新能力的若干意见》的重要措施，《国家环境技术管理体系建设规划》的制定，开启了我国环境保护工作从行政管理保护环境到综合运用法律、经济、技术和必要的行政办法解决环境问题的转变，技术评估和环境技术指导文件的编制是环境技术管理体系建设的重要内容之一，其目的是增强环保技术管理的科学性、系统性和规范性，为环境管理、标准制（修）订和实施、技术评估、环境执法和监督提供可靠的技术依据，促进环境可行创新，引导环保产业发展。

我国的环境技术管理体系包括环境技术支持体系、环境技术评价制度及环境技术示范推广机制三部分，其中环境技术支持体系是环境技术管理体系的核心，而污染防治可行技术指南又是环境技术支持体系的重要内容之一。因此，可行技术指南的制定对完善国家环境技术管理体系尤为重要。

2.2.2 构建全防全控的环境防范体系和高效的行业污染治理体系的需要

党中央、国务院高度重视环境保护，从“三个转变”到“建设生态文明”，提出了一系列重大的战略思想和战略举措，这些战略思想与举措的提出使我国的环境保护工作发生了历史性转变，新时期的环保工作总目标转向探索源头控制、全方位防范、以环境优化经济增长的中国特色社会主义环保新道路。《电解锰行业污染防治可行技术指南》的制定与实施，是全面贯彻落实科学发展观，实现“三个转变”和“建设生态文明”等重大战略思想的具体举措，也是探索环保新道路的具体实践，不仅能落实源头控制的治本举措，促进资源的可持续利用，也体现了全方位预防和全过程控制的重要思想，对于全面提升制浆造纸行业可持续发展水平、污染预防和环境保护的科技含量，突破行业环境瓶颈，转变发展方式和引导绿色生产、绿色消费，最终建立高效的行业污染治理体系有重要的作用。

2.2.3 指南编制意义

(1) 电解锰行业的可持续发展必须对环境进行综合防治。污染综合防治技术，实际上是生产全过程中清洁生产及污染物末端治理技术的合理整合，即通过先进可行的节能技术和降耗技术，使企业达到减污、增效的目的，也就是说使企业达到生产工艺的合理配置和资源的合理利用。可行技术是通过对比电解锰企业污染综合防治技术的筛选、评估得到的。

(2) 实现节能减排目标。对污染防治技术管理提出更高要求，深入落实“十二五”国务院批发的《节能减排综合性工作方案》目标，加强污染防治技术管理是实现节能减排目标的重要支撑，污染防治可行技术指南的编制是加强污染防治技术管理的重要内容。

(3) 循环经济的主要特征是废物的减量化、资源化和无害化。资源节约和有效利用，以减少资源投入，实现废物减量化，对废物进行综合利用达到资源化和循环利用。电解锰生产给环境带来的污染相当严重，筛选和评估对污染物减排和治理技术对实现电解锰行业可持续发展，加快循环经济发展，实现总量控制目标和污染物消减目标，消除和减轻环境污染局面都具有重要意义。

(4) 促进行业先进污染防治技术的推广应用和发展。通过技术筛选和评估，淘汰落后的生产工艺和污染防治技术，鼓励采用污染防治可行技术，使先进的污染防治技术得以广泛地推广应用。

编制本指南的主要目的是帮助企业选择合理的污染防治技术，为电解锰行业全面提升环境保护水平、实现节能减排目标提供技术支撑，为环境技术管理体系的进一步完善提供技术保障。因此，制订电解锰行业污染防治可行技术指南意义重大，不仅是我国环境技术管理体系的重要组成部分，也是指导企业和环保部门合理选择技术的重要依据。

3 指南编制的原则和技术依据

3.1 编制原则

针对本指南的定位，在可行技术确定的过程中应遵循如下原则：

(1) 立足我国实际，与国际接轨

充分借鉴发达国家污染防治管理体系的成功经验，并结合我国实际情况，编

制适合我国国情的电解锰行业污染防治可行技术指南。

(2) 科学性与实用性相结合

总结我国电解锰主导工艺路线，分析产污的主要环节及污染物排放节点，分析电解锰主要污染物及特征污染物，总结在生产中得到应用的先进污染治理技术以及尚处在工业化试验阶段的污染治理新技术，筛选确定不同条件下的电解锰污染防治可行技术，使指南具有较强的科学性、指导性和可操作性。

(3) 以国家环保技术政策为依据

在污染物治理、清洁生产、发展循环经济和节能减排实施中，国家制订了一系列技术政策，是制订污染防治可行技术指南的重要指导。

(4) 确保所推荐的污染防治技术的先进性

本指南编制过程中在专家组成、清洁生产技术筛选、污染治理技术筛选、技术调查、文件审查方面严格按照可行技术指南编制管理办法及编制要求开展工作。

3.2 编制依据

本指南在编制过程中参考了如下法律、法规、相关政策、标准等文件，具体包括：

3.2.1 国家环境保护的相关法律、法规

- | | |
|------------------------|------------|
| ◆ 《中华人民共和国环境保护法》 | 1989年12月 |
| ◆ 《中华人民共和国环境影响评价法》 | 2002年10月 |
| ◆ 《中华人民共和国大气污染防治法》 | 2000年4月 |
| ◆ 《中华人民共和国水污染防治法》 | 2008年6月修订 |
| ◆ 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》 | 2004年12月修订 |
| ◆ 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》 | 1996年10月 |
| ◆ 《中华人民共和国清洁生产促进法》 | 2012年3月修订 |
| ◆ 《中华人民共和国循环经济促进法》 | 2008年8月 |
| ◆ 《中华人民共和国节约能源法》 | 2007年10月修订 |

3.2.2 国家电解锰工业的产业政策与规划

- ◆ 《产业结构调整指导目录（2005年本）》（国发[2005]40号）2005年12月

- ◆ 《国务院关于加快发展循环经济的若干意见》（国发[2005]22号）2005年7月
- ◆ 《全国生态环境保护纲要》（国发[2000]38号）2000年11月
- ◆ 《电解金属锰企业行业准入条件》（2008年修订）

3.2.3 电解锰行业相关标准、规范和管理办法

- ◆ 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）
- ◆ 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）
- ◆ 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）
- ◆ 《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2001）
- ◆ 《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599-2001）
- ◆ 《清洁生产标准 电解锰行业》（HJ/T 357-2007）
- ◆ 《电解锰行业污染防治技术政策》环发[2010]150号

3.3 技术路线

主要研究路线为：编制工作计划及编制大纲—国内外资料调研—典型电解锰企业污染防治技术现场考察和书面调研—召开座谈研讨会—调研数据、资料汇总和分析—编制指南初稿—经反复论证提出指南征求意见稿。具体工作步骤为：

（1）国外相关研究成果和资料调研

编制组首先收集整理国内外有关清洁生产的信息，尤其是国内权威部门颁布的有关清洁生产方面的法律法规、标准、要求等；调研、分析了发达国家（欧盟、美国）标准体系及有关污染防治最佳可行技术参考文件；对国内外电解锰行业生产状况进行了查新，检索，国内外电解锰行业已有的研究成果、实测数据、公开报道、刊登的论文、资料等，得到了目前国际电解锰行业生产的基本情况。

（2）典型企业调研

编制组先后到产业比较集中地区和有代表性的电解锰生产企业进行现场和书面调研，与企业技术、生产人员沟通，内容包括了生产工艺、设备装备水平、生产管理水平和排污环节等，认真查阅了生产运行记录，包括生产能耗、物耗等各项生产技术指标和生产管理情况，从编制本标准的需求出发，全面、系统地了解电解锰生产的各个环节。

（3）专家咨询

为掌握更多的电解锰企业实施清洁生产审核的一手资料，多次向有清洁生产

审核资质的咨询机构和技术专家、审核师了解审核过程，查阅了多家电解锰生产企业清洁生产审核报告和污染整治规划报告，同时向业内专家、大专院校以及企业一线工程技术人员进行了咨询。

(4) 对资料调研、现场调研、专家会议结果进行综合评价分析，依靠系统科学的分析方法筛选确定电解锰行业污染防治可行技术并提出了可行技术的适用对象、适用条件及其污染物排放水平。

(5) 对指南初稿进行反复论证后提出最终研究报告。

本项目技术路线如下图：

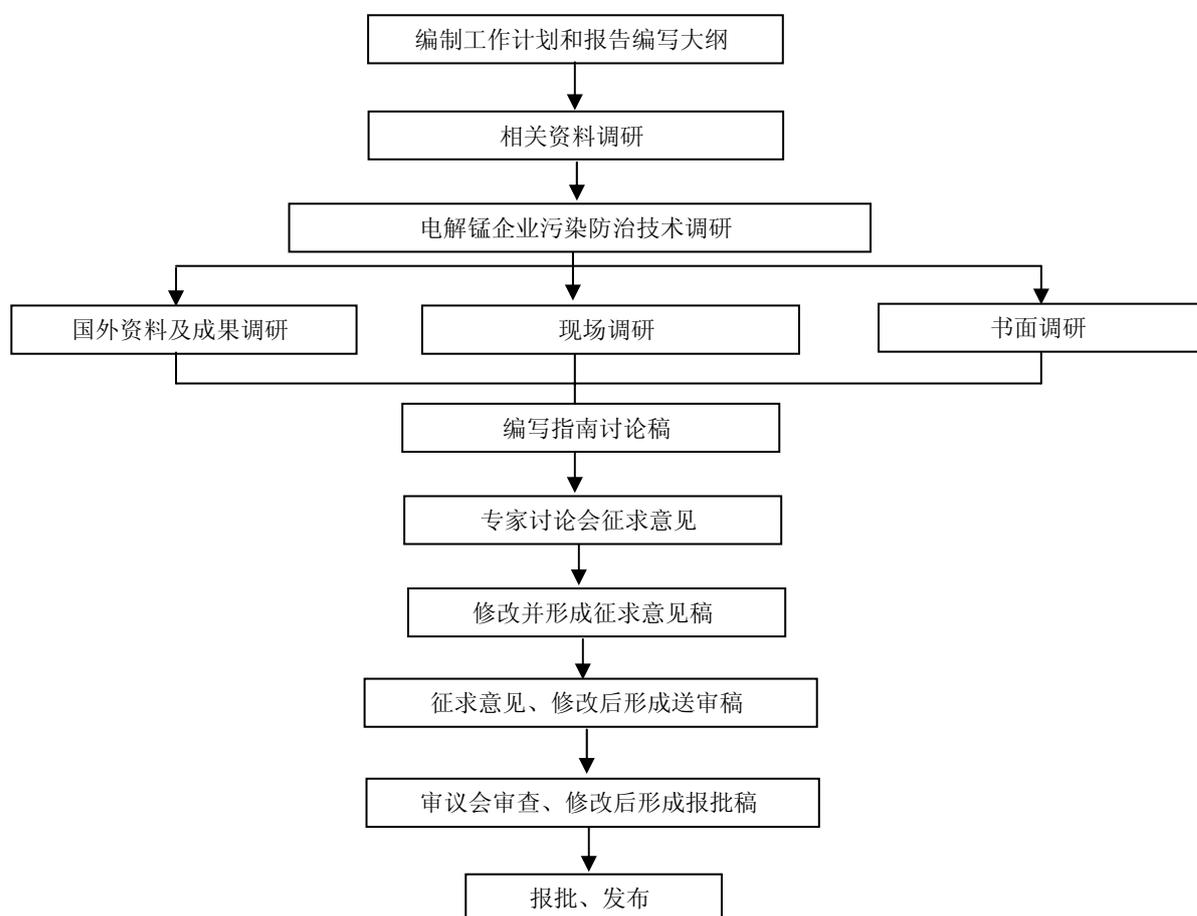


图 3-1 指南编制工作流程图

4 主要工作过程

(1) 项目实施初期(2009年),课题组收集了国内外有关指南编制的资料;检索了国内外最新发布的相关技术指南,对有关的内容进行翻译学习,消化吸收;对编制的指南结构及内容进行了研究,确定了指南编写大纲,为电解锰行业污染可行技术指南的编制提供了基础。

(2) 2009年8月,课题组对广西的中信大锰、桂林大锰、汇元锰业进行了现场调研和座谈会讨论。

(3) 2009年12月对重庆的武陵锰业、天雄锰业,贵州三和锰业、汇丰锰业等12家企业进行了现场蹲点调研获得上千个现场生产工艺数据,为行业清洁生产评估奠定数据基础。

(4) 2010年10月,课题组赴广西自治区调研了21家电解锰企业的生产技术和污染防治技术,其中包括中信大锰等国内大型的电解锰企业。

(5) 2010年11月,课题组赴重庆市秀山县、贵州省松桃县及湖南省花垣县调研了“锰三角”地区42家电解锰企业的生产技术和污染防治技术。

(6) 2012年3月,在北京组织召开了电解锰行业污染防治可行技术指南初稿专家研讨会。邀请有关行业、环保专家及环境管理和企业代表等专家,讨论了《电解锰行业污染防治可行技术指南》初稿和可行技术企业调查表。

(7) 2012年6月,项目完成开题,重点讨论了《电解锰行业污染防治可行技术指南》初稿,并汇报了项目进展情况,分析了下一步工作需要解决的问题和解决方案,明确了近期工作时间节点,提出了完善后续工作计划、保证工作进度要求。

(8) 2012年7~8月,召开多次专家讨论会,对指南初稿和编制说明进一步讨论,提出修改意见。在此基础上形成征求意见稿。

5 国内外相关环境技术管理研究概况

5.1 欧盟环境技术管理体系

自上世纪九十年代,欧美发达国家发生了环境战略重大转变,总结三十多年来实行污染控制战略的经验和教训,先后提出了污染预防战略。欧盟于1993年颁布了综合污染预防与控制(IPPC)指令,指令中提出预防或减少污染物排放

的技术措施应基于最佳可行技术（BAT）。1996年，欧盟在综合污染防治（IPPC）指令 96/61/CE 中提出了建立污染防治最佳可行技术（BAT）的要求，并由欧盟委员会工作小组和各成员国共同起草 BAT 参考文件，从 1999 年开始用于新建设施，到 2002 年，欧盟的 BAT 体系已经基本建立完成，并在各行各业建立起相应的 BAT 参考文件，开始发挥其指导作用。期间，各成员国也相继以 BAT 参考文件为基础，构建起符合各自具体国情的 BAT 体系，到 2007 年，大约有 60000 个环保设施采用 BAT 技术。其他欧洲国家也开始建立各国的 BAT 体系。从 2002 年起，俄罗斯新的环境法规已经采用 BAT。保加利亚在 2003 年采纳了 IPPC 指令，确定了 BAT 的指导地位。

欧盟 BAT 参考文件包含了能源、金属加工制造、矿石、化工、废物管理、纺织、造纸和食品工业等部门。

综上所述，发达国家十分重视技术指南、技术评价等环境技术管理对环境保护和污染治理达标的重要作用，而且成功地制定和运用了以污染防治最佳可行技术（BAT）和技术评价为核心的环境技术管理体系，环境技术管理已成为国家环境管理的一个重要方面，在环境污染治理和实现环境保护目标上发挥了重要作用。

5.2 美国环境技术管理体系

美国于 20 世纪 70 年代就开展了系统的技术管理工作，并通过立法加以明确。美国环保局针对现有污染源、常规污染物、非常规污染物和新污染源，要求企业分别采用现行最佳控制技术（BPT）、最佳常规污染物控制技术（BCT）、污染防治最佳可行技术（BAT）和最佳示范技术（BADT），并以控制技术为依据制定颁布了 53 个行业的工业废水和城市污水排放限值指南和标准。美国的技术管理体系已成为贯彻《清洁水法》和《清洁空气法》最重要的政策和措施之一。

美国环保局以“现有最佳企业平均表现水平”来决定 BPT 技术，其是现有企业在经济上能承受的最低控制水平。而 BCT 是在同时考虑能源、环境、经济和其他成本的条件下，现有的能够使其向环境中排放的污染物量达到最少的可行技术。对常规污染物来讲，BCT 与 BPT 相比，更多地强调了经济代价和环境效益二者之间的“合理性”。根据 BCT 确定的排放限值比 BPT 排放限值要严一些，给出的达标时间相对长一些。

BAT 是针对现有污染源有毒物质和非常规污染物提出的，与 BPT 确定的排放限值比较，BAT 排放限值要严得多。现有最佳示范技术（BADT）是经示范证实并已经实践验证过的最佳可用技术、工艺、方法和其他措施。BADT 适用于新排放源，是强制其执行技术，处理标准高于现有的排放源。

5.3 我国环境技术管理体系工作进展

我国环境保护事业经过 30 多年的发展，目前已经建立起相对完善的环境管理政策、法规体系、环境标准体系，实施了一系列环境管理制度。

为适应环境管理的需要，在上世纪 90 年代初，国家环保局开始对环境技术进行管理。首先集中在对现有治理技术的筛选上，“七五”期间汇编了《1990 年国家科技成果重点推广计划》环境保护项目目录。使技术成果的筛选规范化，加速环境科技成果转化，1991 年成立了国家环境保护局最佳实用技术评审委员会和环境保护最佳实用技术推广办公室（筹），并于 1995 年 5 月正式成立“国家环境保护局最佳实用技术推广办公室”。1992-2003 年间，全国各省市环保局和国务院各部门、行业协会共推荐了 2418 项环境保护实用技术。通过专家评审和筛选，共选出 1024 项国家重点环境保护实用技术进行推广。

“八五”期间，随着国家科技攻关重点的调整，技术管理重点放在了污染防治技术的开发上，国家环保局组织了“八五”国家环保科技攻关研究，针对重点、难点污染防治技术开展了科技攻关。“八五”攻关要求达到工业性示范工程的高要求，同时要求研究治理工艺、装置设备和新产品相结合的成套技术。

“九五”期间，国家环保总局开始制订污染防治技术政策，对污染防治工作发挥了重要的指导作用，极大地促进了相关领域环保治理技术及产业的发展。

“十五”期间，我国环境技术管理工作有了新的发展。在此期间，国家环保总局开始组织实施了系列环境污染防治技术管理工作，先后发布了印染行业废水、危险废物、燃煤二氧化硫、柴油车、摩托车、制革毛皮工业等 15 余项污染防治技术政策；制订了医疗废物集中焚烧处置工程技术规范、医疗废物高温蒸汽集中处理工程技术规范、火电厂烟气脱硫工程技术规范等 12 项技术规范；制(修)订了 90 多项环境保护产品技术要求和 70 多项环境标志产品技术要求。综上所述，我国在环境技术管理方面已经开展了大量工作，主要集中在最佳实用技术的筛选和发布，制定技术政策、工程技术规范和技术要求等。

截止 2013 年 10 月底已经发布了污染防治技术政策 39 项，污染防治最佳可行技术指南 11 项。

国内目前关于电解锰行业的一些政策法规、指导意见，具体包括：国家发改委 2008 年发布的《电解金属锰行业准入条件》，对企业布局及规模和外部条件要求，工艺和装备，能源消耗，资源综合利用，环境保护，安全生产与职业危害，监督管理等方面进行了规定。国家发改委 2005 年发布《产业结构调整指导目录（2005 年，国发[2005]40 号）》、2007 年国家环保部发布的《清洁生产标准 电解金属锰行业》以及 2010 年发布的《电解锰行业污染防治技术政策》等，在规范电解锰行业方面都做出了相应的规定。

6 调研情况及备选技术介绍

调研对象选取时，主要考虑被调研企业所处位置、工艺技术水平、资源消耗情况、能源消耗情况、污染物产排情况以及污染控制技术措施等因素。选取的调研企业主要集中在电解锰企业较为集中的锰三角地区（湖南、贵州、重庆三省交界），广西壮族自治区以及全国生产能力较大的企业湖北的宏信电解锰有限公司和宁夏天元电解锰有限公司。共调研 65 家电解锰厂家，约占当年电解锰企业总数的 33%，调研产量约占全国电解锰产量 45%以上（按照调研当年产量），收集数据 7000 余个、信息 3500 余条。

调研采取现场考察、座谈、发调查表相结合的方式，内容涵盖电解锰行业的企业基本信息，生产工艺流程，生产工段主要产生污染物工序的主要设备情况，产污节点，资源能源消耗情况，废气、废水、工业固体废物、噪声的产生情况，企业内部污染物治理情况，企业的节能减排措施，企业环保概况等信息。

下面将根据调研结果，介绍电解锰生产工艺的污染现状和技术应用情况。

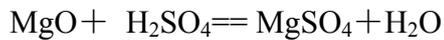
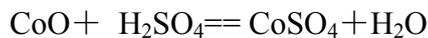
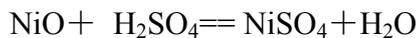
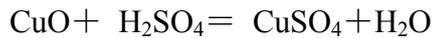
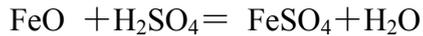
6.1 电解锰生产工艺现状

目前，我国电解锰生产工艺主要采用美国矿山局于 1935 年提出的湿法冶金工艺，原料主要是菱锰矿（主要成分是碳酸锰，品味 14%~20%）。自 1956 年我国建立第一个电解锰厂以来，主体工艺未做大的改动，，但部分生产工艺参数有所调整，资源消耗水平在不断下降。如每生产 1t 电解锰，配料过程二氧化锰投加量由最初的 700kg 下降到 300kg，电解过程的直流电耗由最初的 8000 度下

降到 6800 度。

电解锰生产工艺主要包括以下工序：粉碎、酸浸、化合、净化、压滤、电解、钝化、水洗、烘干、剥离等（见图 6-1）。

在浸出氧化工序， MnCO_3 矿粉浸出主要的化学式为：



在电解工序， Mn^{2+} 电解沉积主要的化学式为：



在电解锰硫化、电解工序加入氨，主要是形成 $\text{MnSO}_4\text{-(NH}_4)_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 缓冲溶液体系，从而在有限的范围内维持溶液较高的 pH 值，使锰电解与析氧反应的竞争中更有利于锰电解反应发生，同时增加 Mn^{2+} 离子稳定性，防止氧化。

该工艺在生产工艺过程中产生大量废水和固体废物，环境污染严重。据统计每生产 1 t 电解锰，约排放 3m^3 废水，其中含 Cr^{6+} 、 Mn^{2+} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等有害成分，悬浮物较多，色度大重；而矿石酸浸后固液分离会产生大量的锰渣，达 6~10t /t 产品。锰渣中含有锰、可溶性盐类及其他固态矿物成分，其中含硫酸盐、氨氮、硒、锰离子的浓度极高，现属一般工业固体废物（II 类）。另外，粉碎、化合、酸浸、电解、干燥等工序还会产生工业粉尘、有毒废气（包括酸雾、氨气等）。可见，我国电解锰生产 50 多年的飞速发展，也带来严重的环境污染。

由于电解锰企业污染严重，90 年代初国外电解锰企业纷纷关闭，到目前为止国外仅有南非 MMC 一家电解锰企业。

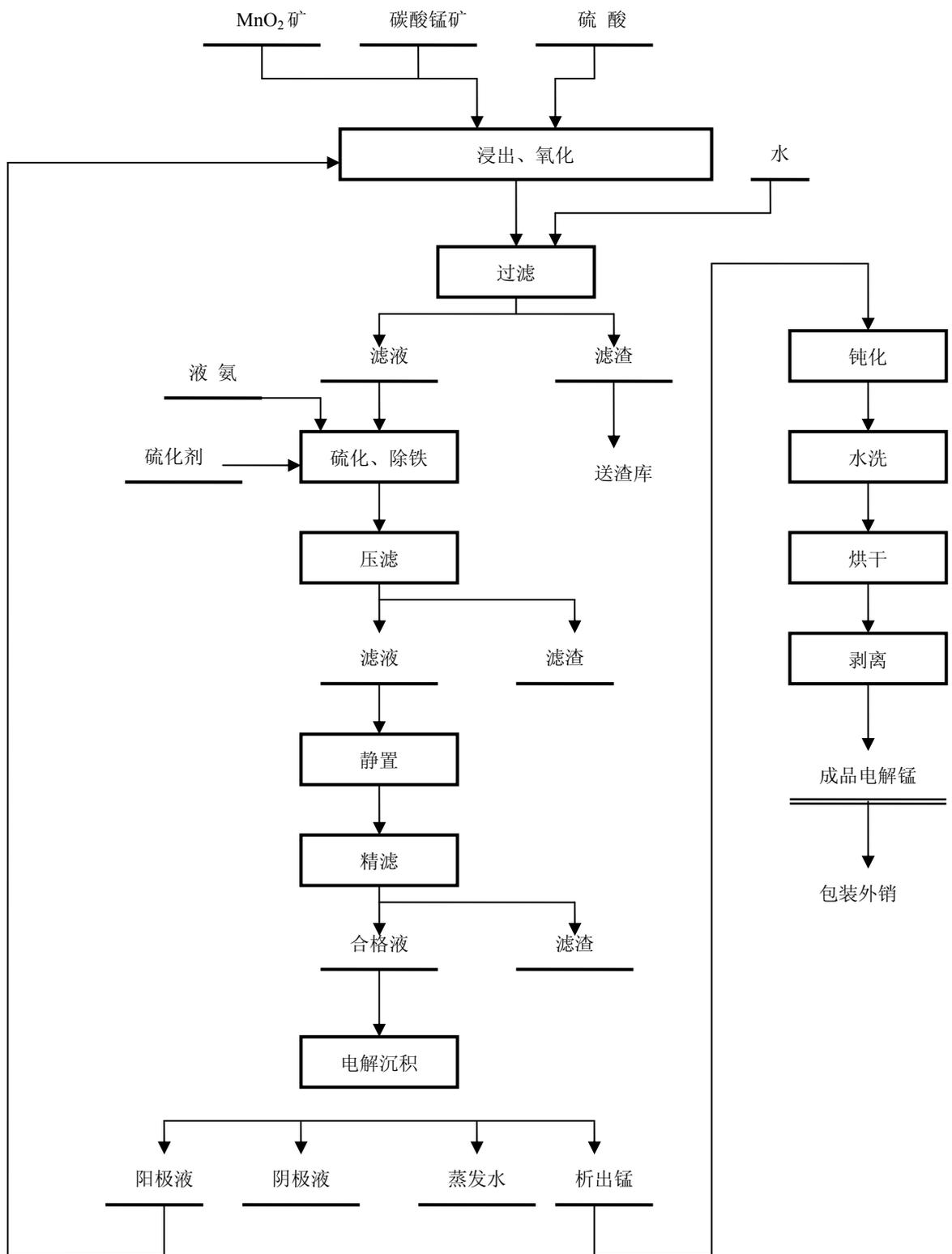


图 6-1 我国电解锰生产工艺流程

6.1.1 电解锰企业资源能源消耗水平

表 6-1 对我国与南非电解锰生产能耗、物耗水平进行了比较。

表 6-1 中国与南非电解锰生产能耗、耗物比较

指标	南非	中国	单位
锰矿石品位	44	16	%
产品纯度	99.9	99.7	%
矿石	2.67	8.68	t/t 锰
H ₂ SO ₄	0.25	1.96	t/t 锰
锰渣	1.67	7.68	t/t 锰
二氧化硒	无	0.8-1.2	kg/t 锰
重铬酸钾	无	0.1-0.3	kg/t 锰
耗水量	0.18	2-4	m ³ /t 锰

我国电解锰行业产生重大污染的主要技术原因是由于该行业清洁生产水平过低，与南非电解锰生产进行比较（表 6-1）可以发现我国电解锰生产过程存在 3 个不清洁：

（1）原料路线不清洁

原料含锰品位低、杂质高。由于近年来我国矿石品位逐年贫化，企业使用含锰 15-16%甚至更低的碳酸锰矿石，耗酸多，渣量大，并导致回收率下降。

（2）生产工艺不清洁

使用以二氧化硒为添加剂的电解工艺和以重铬酸钾作钝化剂的钝化工艺。在工艺过程中引入有毒有害物质，导致含铬含硒废水和废渣的产生。

（3）过程控制不清洁

电解锰企业普遍未采用自动化控制技术，依靠人工操作关键工艺参数难以控制。管理水平不高，劳动人员平均文化程度低，操作方式原始粗放，大量资源被浪费流失并造成严重的环境污染。

6.1.2 电解锰企业污染物排放情况

电解锰行业产生的污染主要有四类：废水、废气、固体废物和噪声。其中工业废水主要有电解钝化过程的极板清洗废水、钝化废水、板框清洗废水、渣库渗

滤液、冷却水等；工业废气主要包括粉尘、有毒废气包括酸雾、氨气等，主要产生于粉碎、化合、酸浸、电解、干燥等工段；固体废物主要包括酸浸产生的锰渣、废水处理产生的铬渣、电解过程产生的阳极泥；噪声主要包括破碎机和制粉机产生的噪声、锰片剥离时敲击产生的噪声、冷却塔的淋水噪声等。其中，对环境和生态危害最大、最主要的污染物是废水和锰渣。

(1) 废水

电解锰企业生产废水主要有两种：一种是含锰废水。压滤过程产生含锰废水，主要来源于压滤板、滤布的清洗以及压滤车间地面冲洗。另一种是含铬含锰废水。钝化处理后的阴极板进入水洗工段需使用自来水、将覆在金属锰表面的电解液和钝化液冲掉。由于钝化过程使用重铬酸钾，所以废水中含铬；同时挟带电解液，所以废水又含锰。对车间地面的冲洗也含有上述主要污染物。上述过程产生的废水最终构成了电解锰企业废水的主要来源。由于含锰含铬废水中污染物浓度高，锰、铬等多种金属离子共存，成分复杂，无法通过简单处理就回用到生产工艺，因此电解锰废水的处理，主要是针对电解工艺钝化过程产生中的含锰含铬废水。

① 废水水量

年产 3 万 t 电解锰的企业，每天产生含锰废水水量约为 30t。由于废水中污染物浓度较低，大部分企业将这部分废水简单沉淀处理后回用于清洗过程以及配制氨水，经过 10 次左右的回用，废水中污染物浓度累积，需集中排放一次，因此实际平均排放量为 3t/d。电解、钝化工段的清洗过程产生大量含铬含锰废水，年产 3 万 t 电解锰企业日排放含铬含锰废水在 300t 左右。

② 废水水质

电解锰废水污染物浓度高，且成分复杂，废水中主要污染物为 Cr^{6+} 、 Mn^{2+} ，此外还有 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、色度、SS 等。电解、钝化工段电解液和钝化液中高浓度的锰铬含量（电解过程使用的合格电解液 Mn^{2+} 浓度为 33~36g/L，电极板出槽过程挟带的阴极液浓度约为 15g/L；钝化过程使用的钝化液为 20 g/L 左右的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液）使得含锰含铬废水中的 Mn^{2+} 浓度高达 2000mg/L， Cr^{6+} 浓度高达 300mg/L。由于电解锰企业生产技术、管理水平的差异，各个企业废水的水质水量情况也不尽相同。项目组在“锰三角”地区选择了多家有代表性的电解锰企业，对其含锰含铬废水（处理前）取样作水质分析，主要指标如表 6-2。错误！未找到引用源。

表 6-2 电解锰废水的主要成分及浓度

名称	浓度 (mg/L)	国家排放标准 (mg/L)
Mn ²⁺	1500~2500	2.0
Cr ⁶⁺	150~350	0.5
Mg ²⁺	2500~3000	无
Ca ²⁺	30~50	无
NH ₃ -N	8000~13000	15
SO ₄ ²⁻	20000~30000	无

从水质分析结果可以看出，电解废水中的主要污染物 Mn²⁺超标 750~1250 倍，Cr⁶⁺超标 300~700 倍，NH₃-N 超标 500~800 倍。

③ 电解锰废水的环境污染

电解锰钝化工艺使用重铬酸钾进行钝化，致使废水中 Cr⁶⁺含量大大超过国家排放标准。此外，排放的废水中还含有大量的锰、氨氮等污染物。大量的废水排放带来了社会不安定因素和严重的环境危害。2005 年以来，国家一直高度关注“锰三角”污染问题，环保部对当地电解锰企业进行了集中综合整治，环境问题得到很大改善。经过整治之后，各个电解锰企业虽然都建立了废水处理设施，但由于电解锰行业废水处理技术存在种种缺陷和不足，企业处理后排放的废水实际上很难达标，且存在明显和严重的二次环境污染。河流水质超标现象时常发生，许多监测断面超标十分严重。

(2) 大气污染物

废气主要来源于矿粉加工过程产生的含尘气体和矿石浸取过程中的硫酸酸雾，粉尘和酸雾对人体和环境均具有危害性。

① 粉尘

近年来，随着全国电解锰企业对大气污染物控制力度不断加强，环保意识不断提升，新投产的除尘器的平均除尘效率在 99%以上，一些电解锰企业装设了布袋或旋风布袋除尘器，也有一些企业对已有除尘设施进行了升级改造，有力地推动了电解锰企业的粉尘治理。

② 酸雾

目前，国内电解锰企业针对电解锰生产工艺化合工段硫酸雾多采用酸雾吸收塔吸收，最终使其达标排放。但也存在一些企业尚未安装酸雾吸收塔或者虽然安装了酸雾吸收塔但并未启用的情况。硫酸雾危害较大，不但会腐蚀生产设备，同时也会对人体造成危害，因此已经引起企业及相关单位的重视。

(3) 固体废物

电解金属锰产生的固体废物主要来源于矿石酸浸后固液分离产生的锰渣和含铬废水处理过程中产生的含铬污泥，还有电解过程产生的阳极泥等。

锰渣产生在压滤环节，是锰矿粉经硫酸浸出后再经固液分离即用压滤机过滤后的产物。单位电解锰产品产生的锰渣量与使用的锰矿石品位有关。我国锰矿资源具有富矿少、贫矿多的特点，目前我国电解锰企业使用的基本都是贫锰矿。根据物料平衡和现有的工艺技术水平，如利用品位 20% 的碳酸锰矿，每生产 1t 电解锰，需要消耗 6t 左右的锰矿石，同时产生 5.5t 左右的锰渣，而利用品位 16% 的碳酸锰矿，每生产 1t 电解锰，需要消耗 8t 左右的锰矿石，同时产生 7.5t 左右的锰渣。当前我国电解锰企业主要使用品位 14~16% 左右的碳酸锰矿。随着电解锰行业的迅猛发展，消耗了大量锰矿资源，目前锰三角地区品位高于 16% 的锰矿石已接近枯竭，企业使用的锰矿石品位逐年下降，单位电解锰产品产生的锰渣也随之急剧增加。

在电解锰行业环境污染中，锰渣没有得到有效处理处置是关键影响因素。锰渣是指在电解锰生产过程中锰矿石经硫酸浸取、压滤后产生的废渣。目前我国电解锰使用的原料主要为菱锰矿（主要成分 $MnCO_3$ ），由于矿石品位低、杂质含量高、生产工艺技术落后，年产 3 万 t 的电解锰厂每年产生的锰渣在 20 万 t 左右。锰渣成分复杂，氨氮、氟化物以及重金属离子含量相对较高，Mn 的含量达 4% 左右。根据分析测试和相关标准，国内将其归为一般工业固体废物（II 类）。

2005 年以前相当一部分企业直接将锰渣任意堆放在山谷中或平地上，甚至直排入水体中。经“锰三角”地区环境污染综合整治后，绝大部分企业都采用了建渣库堆放锰渣的处理方式，但锰渣库选址不科学、建设不规范，安全、防渗等措施普遍达不到《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599-2001）的相关要求。目前我国每年新增 800 多万 t 锰渣，加上历年来积存的 4400 多万 t，数量巨大，在堆放过程中，锰渣中含有的各种污染物极易通过渗滤液等各种途径进入周边环境，对周边地表水、河流底泥、土壤造成严重污染。

2005 年以来，“锰三角”及其周边地区电解锰厂锰渣库垮坝、锰渣溢坝等现象仍时有发生，安全事故不断，导致多起死人伤人事件和严重的环境污染。

(4) 噪声

电解锰企业中各类噪声声源众多，主要噪声源包括颚式破碎机、制粉机（球磨、立磨、雷蒙磨等）、剥离车间敲打声、自然通风冷却塔的淋水噪声等，噪声源的声功率级较大。

2005 年以前，电解锰企业普遍环保意识不强，一味追求生产利润，对生产造成的环境问题置若罔闻。近年来，受到国家政策导向的指引，电解锰企业环保意识逐步增强，对生产产生的各种环境问题比较关注，噪声污染已引起相应的重视，一些污染防治措施陆续上马。

6.2 主要生产工艺及污染防治备选技术

我国是世界上最大的电解锰生产国，主要采用湿法冶金工艺。电解锰生产工艺粗放、设备落后、机械自动化程度较低，导致锰渣中残留大量的可利用锰，对本来品位比较低的国内加工业而言，锰资源浪费严重，加速了我国锰资源的消耗。目前我们所有的电解锰企业在锰粉浸出、压滤工序未对酸浸液中的锰粉进行二段酸浸，也未对其进行有效洗涤。由于我国锰矿品位较低，电解锰行业使用的锰矿品位低，有的甚至低于 10%，导致压滤锰渣产出较高，生产 1t 电解锰产品，锰渣高达 7t 以上。由于压榨中残留了约 30-35%的电解液溶液，其中硫酸锰浓度（以锰计）为 30-36g/L，硫酸铵浓度为 80-120 g/L，导致了较高的锰渣中的锰及硫酸铵损失，分别约占锰渣干重的 1.5-2.0%和 3.5-4.5%；同时，锰渣中有约 1.5-2.0%的碳酸锰在一次酸浸中未转化为硫酸锰，仅压滤工序，锰矿石中的锰约 3.0-4.0%（占总锰量的 18-25%），许多企业甚至达到 4-5%的锰未被利用，资源浪费严重。

国外电解锰行业只有南非 MMC 一家公司，其工艺水平与国内情况类似。该公司于 1985 年由 Nelspruit 和 Krugersdorp 联合组建，电解锰年生产能力 5 万 t，实际年生产量为 4.5~4.7 万 t，是目前世界上生产能力最大的电解锰厂家。主要生产 99.9%高纯度的金属锰，产品质量已经通过了 ISO9001 和 ISO2000 认证。南非与我国电解锰生产工艺对比见表 6-3。

表 6-3 南非与我国电解锰生产工艺对比

类别	中国	MMC
原料	MnCO ₃	MnO ₂
浸出方式	批次式	连续式
压滤方式	板框压滤机/隔膜压滤机	间歇袋式压滤机+浓缩池
净化	MnO ₂ /H ₂ O ₂ /O ₂	O ₂
	滤渣直接填埋	滤渣回制液工序
电解	SeO ₂	SO ₂
	同名极距 70mm	同名极距 100mm
	阴极板表面粗糙	阴极板表面光滑，金属锰沉积厚度大（3mm）
电解后序工段	K ₂ Cr ₂ O ₇ 做钝化剂	不钝化
	钝化、清洗、烘干、剥离	静止、烘干、剥离、清洗

在确定电解锰行业污染防治备选技术时，将其分为两类，一类为工艺过程污染预防技术，即清洁生产技术，见表 6-4；另一类为污染治理技术，即用于末端能够预防或减少污染物排放的实际应用技术，见表 6-5。

表 6-4 电解锰行业清洁生产备选技术

工序	备选技术
备料	负压立磨
	球磨
浸出氧化	空气氧化除铁
压滤	隔膜压滤
	锰粉二段酸浸洗涤一体化
	无硒电解
电解及后序	增强塑料电解槽
	连续抛沥逆洗及自控技术
钝化	无铬钝化

资源化利用

锰渣制砖

铬离子循环利用技术

表 6-5 电解锰行业污染物治理备选技术

工序	备选技术
粉尘收集技术	袋式除尘技术
	旋风+袋式除尘技术
	电除尘技术
酸雾治理技术	水膜除尘技术
	酸雾吸收塔
	文丘里技术
	化学沉淀法
废水治理技术	絮凝沉淀法
	电解法
	铁屑微电解法
固体废物治理技术	还原-中和沉淀法
	一般工业固体废物的综合利用
	一般工业固体废物的堆存
	危险固体废物的处置
噪声治理技术	根治噪声源
	在传播途径上控制噪声
	个人防护

7 可行技术的确定

7.1 可行技术的确定原则

(1) 综合防治原则

从清洁生产和循环经济的理念和指导思想出发,确定电解锰企业环境污染治理应采用源头控制,以防为主,防治结合的原则,实施全过程控制,从源头上减

少污染物产生，从而降低和减轻污染物末端治理对环境造成的压力，提高环境污染防治和管理水平。

（2）全过程管理原则

本指南始终体现全过程控制和管理的原则，规定了从电解锰生产工艺过程（配料、浸出氧化、中和、压滤、电解至成品）到末端治理（废水、废气、固体废物和噪声）全过程控制的污染防治可行技术及其环境管理实践要求，从而实现对环境的高水平整体保护。

（3）因地制宜的原则

我国幅员辽阔，能源资源分布不均，因此在选择可行技术时，一定要紧密结合电解锰企业当地的地域条件和企业具体情况，因地制宜地选择污染防治的可行技术。

（4）节能减排的原则

根据国务院颁布的《国家环境保护“十二五”规划》以及《节能减排综合性工作方案》的指导思想和方针，电解锰行业污染防治可行技术的选择和管理应全面体现节能减排的指导思想和方针，相应的可行技术的选择和管理也应全面体现节能减排的思想。

（5）循环经济的原则

本指南对电解锰生产工艺及污染防治技术都做了描述，并对其环境效果、二次污染、经济成本、综合利用途径等做了详细分析，目的在于通过技术的环境效果和经济分析，确定可行技术，促进产业循环经济发展，提高产业经济效益。

7.2 评估方法与筛选过程

电解锰污染防治可行技术评估系统是一种涉及到技术、经济、环境等多方面问题的复杂系统，是一个多指标评估问题；同时，其技术的多个特征，如技术灵活性、运行稳定性等，是需要由多个指标对其进行评估，才能确定技术方法的好坏，因此电解锰污染防治可行技术评估是一个多指标的综合性评估。

本指南通过对电解锰污染防治技术和污染治理技术从技术、经济、环境、资源能源消耗等多个角度进行评价、比对，最终从备选技术中筛选出可行技术。

7.2.1 评估过程概述

评估根据评估对象和评估目的,从不同的侧面选取刻画系统某种特征的评估指标,建立指标体系,并通过一定的数学模型(或算法)将多个评估指标值合成一个整体性的综合评估值。多指标的综合评估的过程,实际上就是系统组成要素之间指标信息交换、流动和组合的过程,是一个集成了主客观信息的复杂过程。综合评估的经典逻辑过程如图 7-1 所示。

综合评估的具体方法有许多,而且各种方法不尽相同,但总体思路是统一的,大致可分为熟悉评估对象、确定评估的指标体系、确定各指标的权重、建立评估的数学模型、评估结果的分析等环节。其中确立指标体系、确定各指标权重、建立评估方法这三个环节是综合评估的关键环节。

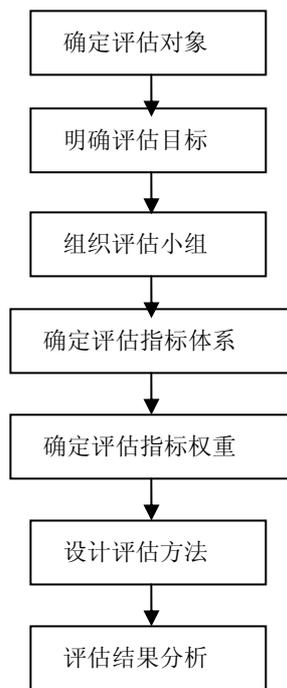


图 7-1 综合评估逻辑过程

7.2.2 评价指标的建立

本指南根据环境技术评估的特点,同时结合电解锰行业特点,建立了电解锰行业清洁生产技术指标和末端治理技术指标两大类指标体系。每个指标体系主要包含目标层、准则层和指标层三个层次,其中,目标层为一级评价指标,反映了电解锰行业污染防治可行技术水平;准则层为二级评价指标,一般为具有普适性

和概括性的指标；指标层中的各项指标在二级评价指标之下，是电解锰行业生产特点的、具体的、可操作的、可验证的若干指标。

7.2.2.1 清洁生产技术指标体系

清洁生产评价指标体系分为：特征效应、资源和能源消耗、环境绩效、经济成本四个方面一级指标，其中特征效应指标分为源头削减、过程减量、末端循环利用三类，不同类清洁生产技术分别选择不同的二级指标。

（1）特征效应指标设计

① 源头削减类

根据清洁生产的分类，源头削减类清洁生产技术主要包括采用无污染、少污染的能源和原材料替代毒性大、污染重的能源和原材料的技术。这类技术涉及的原辅料指生产中主要原料和辅助用料（包括添加剂、催化剂、水等）；能源指维持正常生产所用的动力源（包括电、煤、蒸汽、油等）。据此，源头削减类特征效应指标的二级指标分为原材料改进/替代、辅料改进/替代、能源改进/替代三类。对应的三级指标设置可根据具体技术的特点，从以下方面考虑设置：

- 1) 提高原料品位；
- 2) 提高辅料纯度；
- 3) 清洁燃料的使用；
- 4) 有毒、有害原辅料替代。

② 过程减排类

过程减排类清洁生产技术主要包括采用消耗少、效率高、无污染、少污染的工艺和设备替代消耗高、效率低、产污量大、污染重的工艺和设备的技术。这类技术主要通过技术工艺、设备和过程控制等涉及到生产过程改进的措施，提高资源和能源利用率，实现原辅料和能源消耗节约，达到减少污染物产生的目的。过程减排类特征效应指标的二级指标分为原材料节约、辅料节约、能源节约三类。对应的三级指标设置可根据具体技术的特点，从以下方面考虑设置：

- 1) 提高原料利用效率；
- 2) 提高能源使用效率；
- 3) 减少有毒、有害原辅料使用量。

③ 末端循环类

末端循环利用类主要包括采用回收、循环利用措施回收或循环利用必须排放的污染物的技术。这类技术的重点是废弃物和能源的回收或循环利用。末端循环利用特征效应指标的二级指标分为废弃物循环利用、能源回收利用两类。对应的三级指标设置可根据具体技术的特点，从以下方面考虑设置：

1) 污染物的回收利用或资源化；

2) 能源的回收利用。

(2) 资源和能源消耗指标设计

资源、能源消耗指的是反映技术运行本身需投入的资源和能源。参考清洁生产评价指标和污染防治技术指标，新水消耗、原料消耗、辅料消耗、综合能耗。对应的三级指标设置时，原材料和辅料消耗可结合技术情况，确定对应的原辅料名称；综合能耗可结合具体情况，采用综合电耗、煤耗、气耗的一种或几种。

(3) 环境绩效指标设计

环境绩效指标是反映清洁生产技术输出端的重要参数，是进行技术环境影响比较和评估的基础。从污染物排放的介质来划分，主要考虑向水体、大气、土壤排放的各类污染物。在污染防治技术中设置了水污染物指标、大气污染物指标、固体废物指标、噪声指标，这种设置比较全面，但特色不明显。结合清洁生产技术特点，特征污染物产生量、废水产生量、废气产生量、废渣产生量四类二级指标，强调清洁生产技术对特征污染物的控制效果，减少常规污染物指标，在保证客观反映技术水平的同时，减少评价过程数据的收集量。

特征污染物是除废水、废气、废渣外，所有反映清洁生产技术特征的污染物。对应的三级指标可以是废水方面的 Mn^{2+} 、 Cr^{6+} 、 NH_3-N 、SS 等，也可以是废气方面的颗粒物（TSP、PM）、粉尘、硫酸雾等其他特征大气污染物，特别注意是噪音污染也在此内。

涉及不同行业的清洁生产技术所对应的污染排放的结构和特征差异很大，需要在识别技术关键环境影响的基础上，确定具体的三级指标。

(4) 经济成本指标设计

技术是否经济是制约技术推广应用的重要条件，通常技术成本可分为投资成本、运行维护成本、收益和避免费用三大类。与末端治理技术不同，清洁生产技术的显著特点是在控制污染的同时，创造经济效益，因此在二级指标设置时明确

提出净利润指标。本着反映本质、简化指标的原则，经济成本二级指标设置投资成本、运行成本和净利润三类。

清洁生产评价指标体系框架，可参见表 7-1。

表 7-1 清洁生产评价指标体系指标设置

一级指标	二级指标	三级指标设置原则		
特征效应指标	a 原材料改进/替代	通常采用技术对原辅料所做关键改进的比例为三级指标，如原料品位、燃料燃烧效率利用效率等		
	a 辅料改进/替代			
	a 能源改进/替代			
	b 原材料节约			
	b 辅料节约			
	b 能源节约			
	c 废弃物循环利用			
	c 能源回收利用			
	资源消耗指标		新水消耗	结合技术特点，可增减。
			原料消耗	
辅料消耗				
综合能耗				
环境绩效指标	特征污染物产生量	显著反映技术特征的具体污染物，除常规污染物外，包括重金属、有机物污染物、毒性、噪声、恶臭等		
	废水产生量			
	废气产生量			
	废渣产生量			
	经济成本指标		投资成本	结合技术特点，可增减。
运行成本				
净利润				

7.2.2.2 末端治理可行技术指标体系

末端治理可行技术指标体系主要分资源能源消耗指标、污染排放指标、经济成本指标、技术成本指标可靠性四大方面。

(1) 资源和能源消耗指标

资源能源消耗表征被评估污染治理技术在资源能源消耗方面的指标,包括资源消耗和能源消耗;对应的三级指标设置时,原材料和辅料消耗可结合具体技术,确定对应的原辅料名称;综合能耗可结合具体情况,采用综合电耗、煤耗、气耗的一种或几种。参考表 7-2 构建指标体系。

表 7-2 资源和能源消耗指标

二级指标	三级指标	参考单位	备注
资源消耗指标	新水耗	t/t 产品	新鲜水消耗
	主原料消耗	t/t 产品	指转化为最终产品的主要原料
	辅料、助剂消耗	kg/t 产品	包括各类化学品、助剂、辅助材料
	电耗	kW·h/t 产品	
能源消耗指标	综合能耗	t 标准煤/t 产品	通过能源平衡汇总计算得到
		kJ/t 产品	
	煤耗	t/t 产品	指作为供能燃料的煤耗
	气耗	t/t 产品	

(2) 污染物排放指标

污染物排放指标主要反映生产输出端的物质排放量上,是进一步进行技术环境影响比较和评估的基础。从污染物排放的介质来划分,包括废水、废气和废渣等污染物的排放。主要是根据污染防治技术政策、资源环境保护政策规定以及电解锰行业发展规划选取,用于考核企业对有关政策法规的符合性以及污染防治工作的实施情况,可参考表 7-3。

表 7-3 污染物排放指标

二级指标	三级指标	参考单位	备注
水污染物 指标	废水总量	t/t 产品	可用单位产品排放强度指标或浓度指标分别表示。
	氨氮	kg/t 产品; mg/L	
	SS	kg/t 产品; mg/L	
	其他特征水污染物	kg/t 产品;	如重金属铬离子、锰离子、铅等向水体

		g/t 产品; mg/L	排放的有毒有害物质
大气污染物 指标	酸雾	kg/t 产品; mg/m ³	SO ₂ 和 NO _x 对于绝大多数行业而言是必选指标, 其他指标视行业具体情况而定
	粉尘	kg/t 产品; mg/m ³	
固体废物 指标	废渣	kg/t 产品	需要对固体废物的具体成分、特性进行说明
	危险废物	kg/t 产品	

(3) 经济成本指标

经济成本指标是衡量一种技术能否在工业生产中应用的一个重要指标, 技术成本投资和管理维护费用的高低, 以及电解锰生产企业自身的经济实力, 是污染防治面临的主要经济制约条件。事实上, 这一问题正是当前企业在强化环境治理中所遇到的难题, 且直接关系到企业对污染防治技术的可接受能力和选择。经济成本指标主要包括投资成本指标, 运行维护成本指标, 收益和避免费用指标, 可参考表 7-4。

表 7-4 经济成本指标

二级指标	三级指标	备注
投资成本	生产装置费用	指技术主体设备投资费用
	污染控制设备费用	指附加于生产装置主体设备的污染控制设备及其他辅助设备费用
运行维护成本	能源成本	能源成本和原料成本需结合物质、能源消耗物理量及其市场价格核算
	原料及购买服务成本	
收益和避免费用	其他运行维护成本	
	收益	
	避免费用	此类指标需确定基准水平后计算
	其他效益	这类效益往往难以换算为货币量, 可以用描述性的方式加以说明

成本数据收集和计算过程中, 选取的指标需要针对不同行业和技术的特点做

出灵活调整。

避免费用指标是衡量技术效益的一种方法，计算可比较的基准线有多种方法。较为常用的如：

① 以行业平均技术水平为基准，应用技术所节省的资源能源视为技术带来的收益。

② 针对具体的企业生产实例，如通过技术改造、引入可行的技术实现资源能源的节约。可将技术改造前的水平作为基准，新技术采用后获得的效果视为技术效益。

(4) 技术可靠性指标

技术可靠性通常包括技术的有效性、成熟性、普及率、稳定性等指标。

要合理筛选污染防治技术，就必须综合考虑操作难易程度、技术达标率(%)、特征因子处理效率(%)、技术成熟度、现有技术利用改造等技术可靠性指标因素。

① 操作难易程度：企业根据实际情况尽量选择操作相对容易的技术。

② 技术达标率：企业采用污染防治技术之后污染物达到排放标准或接管标准的达标情况。电解锰生产企业应当加强和防治跑、冒、滴、漏等现象，企业应建立监测制度，对所有排污口定时进行监测，确保主要污染物，特别是特征污染物排放符合排放标准或控制标准。

③ 特征因子处理效率：高毒性、高风险的特征污染物处理效率越高，说明该技术越先进。

④ 技术成熟度：企业根据实际情况尽量选取已经成熟的技术。

⑤ 现有技术利用改造率：这是在污染防治技术改造升级中需要考虑的一个重要因素。

7.2.3 权重确定方法

本指南采用 AHP 和德尔菲法来确定权重。参考《环境技术评估方法》，权重确定方法应结合行业的实际情况和特点来决定，见表 7-5 列举了几种权重方法的优缺点对比。

表 7-5 权重确定方法对比表

方法名称	优点	缺点
德尔菲法 (delphi)	1) 集中了众多专家的意见; 2) 综合意见具有一定的客观性。	1) 过程比较复杂, 花费时间较长; 2) 通过打分直接给出了各指标权重

		而难以保持权重的合理性;
		3) 带有较强个人的主观性, 其评价结果主观性比较强, 多人评价时结果难以收敛。
层次分析法	<p>1) 综合考虑评价指标体系中各层因素的重要程度, 而使各指标权重趋于合理;</p> <p>2) 把人们依靠主观经验来判断的定性问题量化, 既有效地吸收了定性分析的结果, 又发挥了定量分析的优势;</p> <p>3) 既包含主观的逻辑判断和分析, 又依靠客观的精确计算和推演, 从而使决策过程具有很强的条理性和科学性, 能处理许多传统的最优化技术无法着手的实际问题, 应用范围广。</p> <p>除了含有层次分析法优点外, 还有优点:</p>	<p>1) 当同一层次的指标很多时, 容易使决策者做出了矛盾和混乱的判断, 使判断矩阵出现严重的不一致现象;</p> <p>2) 要检验判断矩阵的一致性;</p> <p>3) 需要计算矩阵的特征值, 计算工作量大。</p>
属性层次模型	<p>1) 不需要检验判断矩阵的一致性, 适用性广</p> <p>2) 计算工作量小, 计算复杂度</p>	<p>1) 当同一层次的指标很多时, 容易使决策者作出了矛盾和混乱的判断。</p>
熵值法	具有较强的数学理论依据, 真正做到了符合客观实际	<p>1) 需要一定量的数据;</p> <p>2) 只适用于指标层的构权, 而不适用于中间层的构权;</p> <p>3) 没有考虑决策人的意向, 缺乏针对性。</p>

7.2.4 综合评估方法选择

结合电解锰行业实际情况, 我们采用多指标综合评价法和属性综合评价法对环境技术进行综合评价。

7.2.4.1 多指标综合评价方法

采用多指标综合评价法对清洁生产技术进行评价, 建立不同类清洁生产技术的评价指标, 通过指标与对照值的定量化比较, 给出各项指标得分, 最后综合计算各项指标得分, 给出综合指数, 根据指数大小评判该技术是否是清洁生产技术。

采用多指标综合评价法进行评价时, 全面反映清洁生产技术基本特征和属性的指标体系的建立、指标量化和指标赋权是主要内容。

清洁生产技术评价指标的设计着重评价技术与传统对应技术的比较, 单项指

标评价指数 T_i 是指标值 (I_i) 与对照值 (I_{i0}) 的比较。评价指数 T_i 以 1 为基准值, 数值越小, 表明与传统技术相比更清洁。

(1) 单项评价指数 (T_{ij}) 计算

特征效应指标 C_1 类指标的评价指数 (T_{1i}) 采用插值法计算, $C_2 \sim C_4$ 类指标的评价指数 ($T_{2i} \sim T_{4i}$) 用比值法计算。其计算公式为:

$$T_{ij} = \begin{cases} 1 - (I_{ij} - I_{ij_0}) & (i=1) \\ I_{ij}/I_{ij_0} & (i=2\sim 4, C_{ij} \text{ 为正向指标}) \\ I_{ij_0}/I_{ij} & (i=2\sim 4, C_{ij} \text{ 为逆向指标}) \end{cases} \quad (0 \leq T_{ij} \leq 1.5)$$

正向指标: 该指标的数值越低越符合清洁生产要求, 如水耗、能耗;

逆向指标: 该指标的数值越高越符合清洁生产要求, 如净利润。

单项评价指数 T_{ij} 一般在 1.0 左右, 但当指标值 (I_i) 与对照值 (I_{i0}) 差异较大时, 计算得到的 T_{ij} 值就会偏大, 对其他单项评价指数产生较大干扰。为了消除这种不合理影响, 对此类情况进行修正, 当 $T_{ij} \geq 1.5$ 时, T_{ij} 值为 1.5。

(2) 清洁生产技术评价综合指数 (CPT) 计算

清洁生产技术评价综合指数 (CPT) 由各单项指标的评价指数与对应的权重乘积累加获得。其计算公式如下:

$$CPT = \sum_{j=1}^m T_{ij} \times W_{ij}$$

其中: T_{ij} —单项指标的评价指数, $j=1, 2, \dots, m$

W_{ij} —单项指标对应的权重, $\sum_{j=1}^m W_{ij} = 1$

(3) 清洁生产技术评价标准

综合指数 (CPT) $\leq CPT^{\ominus}$, 即可认为该技术为清洁生产技术。

判据的制订的依据, 与传统技术相比, 技术特性指标至少有一项取得 5% 及以上的改进效果, 其余指标保持不变, 此条件下的综合指数 $CPT^{\ominus} = 100 - 5\% \times 28 = 98.6$ 。

7.2.4.2 属性综合评价方法

属性综合评价法用属性测度确定研究对象属于哪一个级别并给出评分。采用置信度准则, 为等级的判别提供了一个稳定准确的方法。

通常，将评价级别分为 5 类（或级），A 代表“好”，B 代表“稍好”，C 代表“一般”，D 代表“稍差”，E 代表“差”。把上面的每一类（或级）都看成一个属性集。这些属性集合是可比较的。可以认为，好的程度越高越好，或越高越“强”。因此，对这些属性集可建立“强”序。当属性集 O 比属性集 P“强”时，可记为 O>P。因而有 {好}>{稍好}>{一般}>{稍差}>{差}。由上可知，评价集是有序的。环境技术评价也是有序的。这种有序性质，将最终决定我们的评价方法。

一个研究对象属于某个级别类的程度可以用一个数来表示。有 5 个级别类，则有 5 个数。为了规范化，要求这 5 个数之和为 1。把表示研究对象属于每个级别类程度的数值称为属性测度。在模糊数学中，把表示研究对象属于某个级别类的程度的数值称为隶属度，但它不要求 5 个隶属度加在一起为 1。隶属度是一种不规范的度量。

7.3 可行技术评估结果

本指南中提供的备选技术，均由电解锰企业采用的现行技术中筛选产生，是目前国内电解锰企业在生产实践中已有使用，技术成熟可靠，治理效果显著，受到业界的认可和推崇，占主导地位的工艺和技术；推荐的可行技术，是由备选技术中筛选产生，是在资源消耗、能源消耗、污染物排放、经济成本等方面综合评定后确定的可行技术。

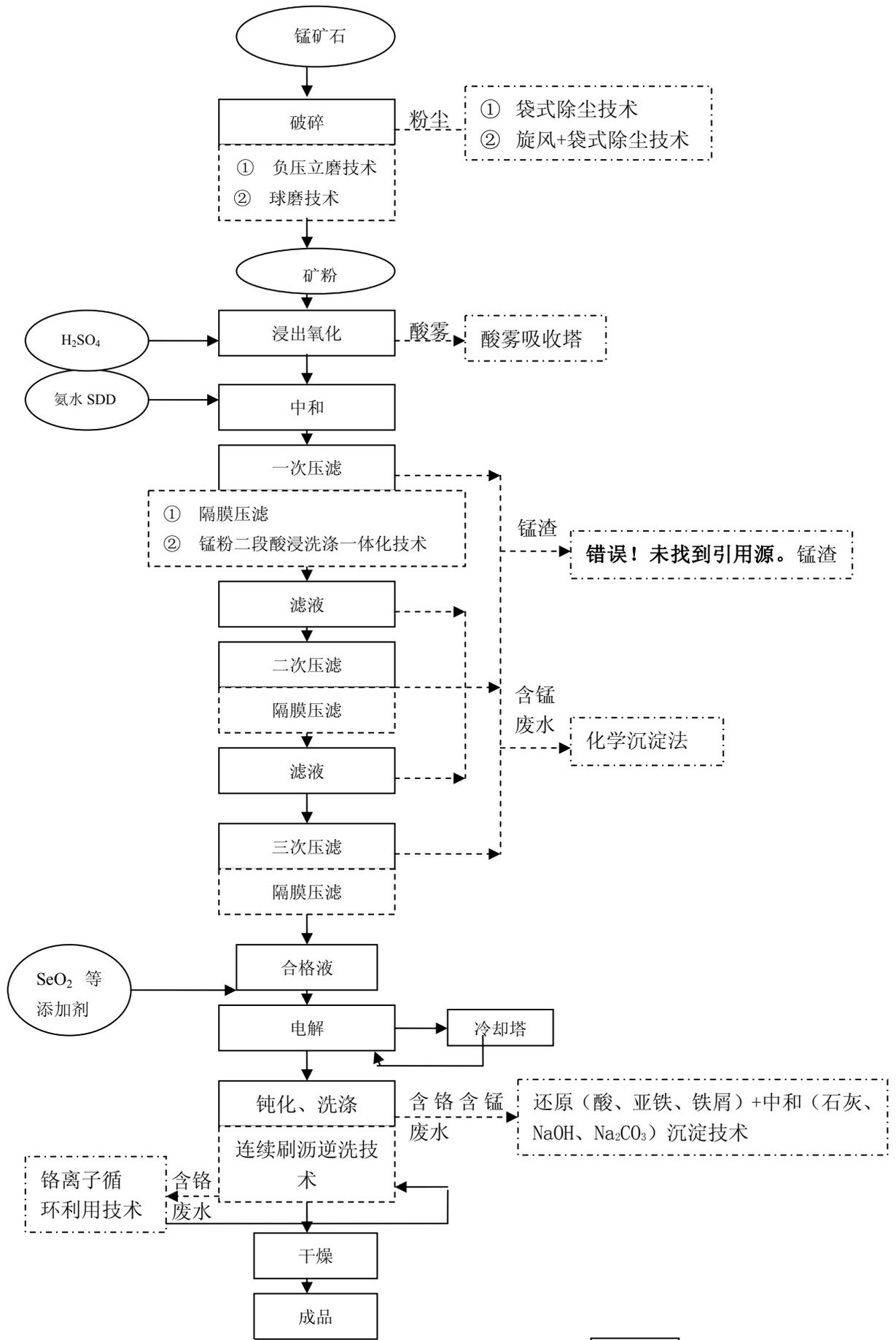
表 7-6 电解锰污染防治可行技术筛选表

技术类别	优点	缺点	适用范围
负压立磨技术	磨粉效率高、能耗低	仪器价格较高，不适合小型电解锰企业	适用于品位 10%~17% 的锰矿
球磨技术	安装简单、粉碎效率高	仪器体积较大，研磨体与机器的磨擦损耗较大	适用于品位 10%~17% 的锰矿
隔膜压滤技术	可将回收率提高至 92%，减小废水产生量	母液中金属锰残留率 2%	适用于各种电解锰企业压滤工段
锰粉二段酸浸洗涤一体化技术	大幅度降低清水用量，提高浸出速率	成本较高	适用于各种电解锰企业
空气氧化除铁	无需添加二氧化锰粉，降低锰矿冶炼成本	能耗稍高	适用于各种电解锰企业浸出液除铁工艺过程
增强塑料电解槽	节电性能突出	寿命较短，易老化后导致渗漏	适用于各种电解锰企业电解工段
连续刷沥逆洗技术	降低废水排放量，节能，自动化生产，节省劳动力	成本稍高	适用于各种电解锰企业
铬离子循环利用	实现电解锰废水中	不能消除 Cr ³⁺	适用于各种电解锰企业含铬废

用技术	Cr ⁶⁺ 的回收利用		水的治理
锰渣制砖资源化利用技术	有效减少锰渣浸出毒性, 强度、吸水率、抗冻性等均符合建材标准	成本略高于普通砖	适合于各种电解锰企业的锰渣废弃物
化学沉淀法技术	实现含锰废水中锰离子达标排放	废水处理量有限	适合于各种电解锰企业含锰废水的治理
铁屑微电解技术	有效除去废水中金属离子	成本高, 工艺条件苛刻	适合于各种电解锰企业废水的治理
还原-中和沉淀技术	实现电解锰废水中铬锰离子达标排放	工艺流程长	适合于各种电解锰企业含铬含锰废水的治理
絮凝沉淀技术	实现废水中锰离子达标排放	絮凝剂选择要求高	适合于各种电解锰企业废水的治理
碱液吸收技术	能耗低, 净化效率高, 适用范围广	需要及时补充碱液防止酸性气体处理不完全产生二次污染	适用于电解锰企业化合车间酸雾的治理
文丘里技术	除尘效率高	能耗大	多用于化工行业除尘, 电解锰行业应用较少
袋式除尘技术	粉尘排放浓度可控制在 30 mg/m ³ 以下	运行维护工作量大	适用于电解锰制粉车间粒径 0.5 μm 以下粉尘的收集
旋风+袋式除尘技术	粉尘排放浓度可控制在 20 mg/m ³ 以下	治理成本略高于袋式除尘器	适用于电解锰制粉车间较大粒径粉尘的收集
电除尘技术	除尘效率可达 90 % 以上	占地面积大, 后期维护费用高	适用于比电阻在 10 ⁴ ~10 ⁹ Ω 范围内的粉尘治理
水膜除尘技术	结构简单, 水耗小	实际应用中发现有带水现象	不适合对粉尘湿度要求严格的电解锰企业

7.4 污染防治可行技术

污染防治可行技术自本项目技术中产生。电解锰行业污染防治可行技术组合图见图 7-2。



图例:
 ———> 物料走向 (Material flow)
 ○ 物料 (Material)
 - - - -> 污染排放 (Pollution discharge)
 [] 生产工序 (Production process)
 [] 清洁生产技术 (Clean production technology)
 [] 污染治理技术 (Pollution control technology)

图 7-2 电解锰行业污染防治可行技术组合图

8 指南实施后效益估算

8.1 经济效益

指南提出的电解锰行业清洁生产技术和末端治理技术在指导电解锰企业技术升级换代和污染防治方面大大提高了资金利用的有效性,避免了企业在生产技术和末端治理技术方面投资的盲目性,为企业带来可观的经济效益。

如项目评估的电解锰行业可行技术在全行业推广,则年回收资源及节约污染治理费用总价值 17.96 亿元。

8.2 环境效益

(1) 成果推广可有效控制电解锰行业对水体的污染,减少水污染物的产生量,降低污染对环境危害程度。成果应用将对经济发展,生态环境保护、自然资源利用率等社会需求提供有利支撑。

(2) 将有利于提升我国电解锰行业水污染综合控制技术和清洁生产技术的水平,促进行业水污染减排,减轻其水污染物对水环境的负荷,为实现我国水环境综合管理的战略性转变提供切实可行的技术支持,实现水环境质量的根本性改善。

如项目评估的电解锰行业可行技术在全行业推广,则年减排废水 270.1 万 t,减排锰渣 400 万 t,减排 Mn、 $K_2Cr_2O_7$ 和 NH_3-N 分别为 17.0 万 t、3747t 和 6.6 万 t。

8.3 社会效益

从源头防止重大污染事件的发生,为地区的社会稳定、经济水平提高奠定基础,提高“锰三角”地区就业率、维护民族团结和社会稳定,促进构建和谐社会。实现从重经济增长轻环境保护,转变为环境保护和经济增长并重,使环境保护成为调整经济结构、转变经济增长方式的重要手段。

9 指南实施后建议

(1) 本指南配合已颁布的《电解锰行业污染防治技术政策》和《清洁生产标准 电解锰行业》使用。本指南制订目的是帮助企业选择合理的污染防治技术,

为电解锰行业全面提升环境保护水平、实现节能减排目的提供技术支撑。

(2) 本指南确定的可行技术仅为现阶段推荐的可行技术，应用中在鼓励采用指南推荐的可行技术的同时，也应鼓励引进国外先进的污染防治技术以及应用国内自主研发的成熟、可靠的新技术，并应根据国内电解锰污染防治水平的提高适时修订指南中推荐的可行技术。

(3) 本指南所提供的各类可行技术，均是在达到相关运行条件等情况下适用于电解锰的清洁生产和污染治理技术，各主管部门、企业在运用本指南时，还需结合当地经济、自然资源、技术装备水平等实际条件，统筹规划，慎重选择工艺组合，以期达到污染减排的最佳效果。