



节能减排丛书



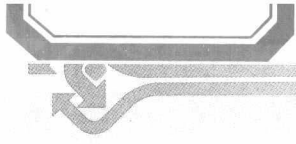
# 电镀工业 节能减排技术

黄启明 陈红雨 隋静 编

3



化学工业出版社



节能减排丛书

41

# 电镀工业 节能减排技术

黄启明 陈红雨 隋静 编



化学工业出版社

· 北京 ·

TQ153  
429P

本书重点介绍了我国电镀工业主要镀种的节能减排技术,包括镀锌、镀铜、镀镍、镀铬及代铬、镀金、镀银、镀锡、镀镉及代镉、镀铅锡合金及代铅、镀仿金、镀黑色镀层。书中还对每一镀种的历史和现状都作了简要的回顾,以便读者对各个镀种的节能减排技术更加了解。此外还简要介绍了常用镀种的废水独立处理及综合利用方法,体现了电镀工业三废处理的发展方向。

本书可供电镀企业工程技术人员、电镀清洁生产技术依托单位有关人员和高等院校相关专业高年级学生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电镀工业节能减排技术/黄启明,陈红雨,隋静编.  
北京:化学工业出版社,2009.12  
(节能减排丛书)  
ISBN 978-7-122-06814-9

I. 电… II. ①黄…②陈…③隋 III. 电镀-化学工业-  
节能-中国 IV. F426.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 182636 号

---

责任编辑:成荣霞

装帧设计:王晓宇

责任校对:宋夏

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张12 $\frac{3}{4}$  字数170千字 2010年1月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究



# 《节能减排丛书》 编委会名单

## 主任

欧新黔（工业和信息化部副部长）

李勇武（中国石油和化学工业协会会长）

## 副主任

王心芳（国家环境产业协会会长）

谢钟毓（国家核电技术有限公司独立董事）

辛国斌（工业和信息化部产业政策司司长）

## 特邀委员

翁史烈（上海交通大学原校长，中国工程院院士）

陈景（昆明贵金属研究所冶金专家，中国工程院院士）

洪定一（中国化工学会秘书长）

## 委员（按姓氏汉语拼音排序）

陈红雨	程迪	方利国	方战强	胡惠仁
贾振航	姜献友	李宏煦	李来胜	李庆祥
李勇武	刘宏喜	罗海章	马学虎	欧新黔
潘正安	任官平	孙忠国	王汝武	王社斌
王文生	王文堂	王心芳	谢钟毓	辛国斌
徐世峰	殷云龙	张红	周永青	



# 序一

改革开放以来，在党中央、国务院的领导下，我国经济建设、政治建设、文化建设、社会建设取得了举世瞩目的成就，人民生活快速步入小康水平。但伴随着经济的快速发展，资源匮乏、环境污染日益凸显，经济发展与资源环境的矛盾日趋尖锐。当前我国正处于工业化和城市化加速发展的阶段，经济总量已居世界前列，对资源的需求进一步增加。与此同时，靠大量消耗资源支撑的粗放经济增长模式使资源约束矛盾更加突出，环境形势十分严峻。各种污染物排放大大超过了环境承载能力，环境压力持续加大。各类生态系统整体功能下降，生态恶化的趋势没有得到有效遏制，水、大气、土壤等污染十分突出，生态破坏范围不断扩大，严重阻碍了经济社会的全面、协调、可持续发展。而这种状况与经济结构不合理、经济增长方式粗放密切相关。加快调整经济结构，转变经济增长方式，搞好节能减排，是实现经济社会全面、协调、可持续发展的迫切要求。

党的十七大提出要建设资源节约型、环境友好型社会，这是全面建设小康社会的基本目标，也是一项带有全局性的战略任务。“十一五”规划提出单位GDP能耗和主要污染物排放总量比“十五”期末分别降低20%左右、10%的约束性指标，这是贯彻科学发展观，构建社会主义和谐社会的重大举措，是建设资源节约型、环境友好型社会的重要任务，是推进经济结构调整、转变经济增长方式的客观要求，也是提高人民生活质量、维护中华民族长远利益的必然选择。实践已经证明并将继续证明，只有坚持节约发展、清洁发展、可持续发展，才能实现国民经济又好又快发展。

近年来，温室气体排放引起的全球气候变暖备受国际社会广泛关注。加强节能减排工作，已经成为各国应对全球气候变化的紧迫任务和重要手段。节能减排蕴含着发展理念、发展道路、发展模式的创新和提升，是应对资源短缺和环境容量有限挑战的必然选择。节能减排工作必须从现在做起，从重点领域、重点行业和企业抓起，把加强技术改造与淘汰落后生产能力结合起来。节能减排的途径主要有三个方面：一是厉行节约；二是调整产品和产业结构；三是大力推广节

能减排技术。国家节能减排手段主要包括运用经济手段、法律手段、行政手段，建立健全节能减排的体制和机制；企业要在节能减排的体制机制的保证和作用下，综合运用管理手段和技术手段，达到节能减排目的。

为推动党和国家节能减排政策的落实，化学工业出版社组织编写了这套《节能减排丛书》，对高耗能、高排放行业的实用节能减排技术进行了系统阐述，拓宽了节能减排的思路，为企业节能减排提供具体的技术指导，有助于企业加快技术创新和技术进步，实现清洁生产，从而最终实现经济社会的全面、协调、可持续发展。

节能减排是一项长期的、艰巨的重大任务，需要全社会的共同努力和支持，应该成为国家、企事业单位和每个公民的自觉行为。我们要坚持不懈，时刻不忘节能减排工作，为我们、也为子孙后代永远保护好人类共有的美好家园。

歐新黔

2008年7月



## 序二

石油和化学工业作为为人类提供物质消费的重要基础产业，为世界经济发展做出了巨大的贡献，并在世界经济贸易中占有十分重要的地位。石油和化学工业在世界范围的投资、贸易和生产要素配置，使全球日益形成相互依存、彼此互补的完整产业链，构造出利益互补和生产者与消费者共赢的世界石油化工大格局。就我国来说，石油和化学工业是国民经济的重要支柱产业，为我国的经济发展做出了巨大贡献。

对石油和化学工业来说，石油、天然气、煤炭等能源既是燃料、动力，又是生产用的原材料。石油和化学工业是能源消耗和废弃物产生的大户，每年能源消费量约占全国消费量的17%，废水、废气和固体废物排放量分别占全国工业“三废”排放的21.9%、11%和8.4%。因此，节能减排是石油和化学工业可持续发展的必由之路。“十一五”及未来期间，我国的石油和化学工业将获得新的发展机遇，但资源和环境的压力也更大。石油和化学工业要坚决贯彻“节能优先、效率为本、煤为基础、多元发展、优化结构、保护环境、立足国内、对外开放”的32字方针，以保证国民经济和社会发展的需求。“十一五”也对石油和化学工业的发展提出了明确的目标：单位生产总值能源消耗降低20%、单位工业增加值用水量降低30%、工业固体废物综合利用率提高到60%、主要污染物排放总量减少10%。这就要求我们做到以下四点：一是全行业要把思想认识统一到中央的决策和部署上来，真正把节能减排工作作为行业和企业的第一等大事来抓。二是要摸清能源消耗和污染排放的具体情况，制订切实可行的行业节能减排的工作方案。三是要找准工作的切入点，例如技术进步、人才培养、经验推广等。四是要借鉴国外经验，更好地发挥节能减排的市场作用。

通过技术进步实现节能减排是当前工作的关键。研究分析显示，技术进步对节能贡献率达到40%~60%。要提高能源利用效率，缩小与国际先进水平的差距，必须依靠科技进步，不断增强自主创新能力。要通过节能技术进步，推进以企业为主体的自主创新体系和创新型行业的建设。同时，要按照走新型工业化道

路的要求，大力开发和推广节能减排的先进实用技术，重点是能源节约和替代技术、能量梯级利用技术、延长产业链和相关产业链接技术等。化学工业出版社组织编写这套《节能减排丛书》，正是为了贯彻国家节能减排政策，指导企业进行节能减排技术改造。这套丛书立足于通过技术进步实现节能减排，详细介绍了相关行业已经成熟的节能减排技术，充分展现了符合现代发展理念的节能减排新技术，借鉴了许多国外的节能应用实例，必将为众多企业的节能减排工作提供广阔的视野和具体的技术指导。这套丛书涉及石化、冶金、交通、电力、轻工等多个行业，其中有炼油、烧碱、硫酸、化肥、炭黑、电石等多个分册涉及石化行业。这套丛书的出版，必将有助于企业加快技术创新和技术进步的步伐。

节能减排工作需要全社会付出努力，并成为全社会的自觉行动。化学工业出版社组织编写的这套《节能减排丛书》，就是这种努力的一部分；为本丛书撰稿的专家学者以无私奉献的精神，付出了辛勤劳动，也是这种努力的一部分。出版社与作者值得尊敬的这些努力，必将有效促进节能减排先进技术的开发推广，进而推进石油和化学工业节能减排目标的更快、更好实现。



2008年7月





# 前言

改革开放以来，随着世界制造业生产基地向我国的转移，我国电镀厂的规模和数量突飞猛进，电镀设备和技术日新月异，电镀工艺和镀种层出不穷。目前，电镀工业已经成为现代工业中不可缺少的重要组成部分。但是，电镀由于自身的特性会产生三废问题，其中电镀废水含有多种重金属离子和其他有毒物质，是一种危害较大的污染源。电镀废水如果不经处理任其排出，将会造成水域、土壤和食物链长久的污染和破坏，必定会对生态环境及人类健康产生广泛而深远的危害，必将对我国甚至全世界的可持续发展构成威胁，我国对此已经付出了沉重的资源和环境代价，电镀工业的发展受到巨大压力。因此，实现节能减排目标面临的形势十分严峻。为了有效地控制电镀企业对环境的污染，使我国的社会和经济可持续发展，对电镀企业实施清洁生产和节能减排势在必行。电镀企业应该义无反顾地采用先进的生产工艺和先进的漂洗工艺，减少废水和有毒有害污染物的产生量；提倡资源回收和水的回用；处理的废水必须达到国家规定的排放标准。电镀企业在实施清洁生产和节能减排过程中，必须考虑的是原有生产工艺哪些需要改造？有哪些节能减排工艺可供选择？选用这些节能减排工艺后其废水怎样处理？能否回用？能否达标排放？试图回答这些问题正是编写本书的目的。

本书重点介绍了我国电镀工业主要镀种的节能减排技术，包括镀锌、镀铜、镀镍、镀铬及代铬、镀金、镀银、镀锡、镀镉及代镉、镀铅锡合金及代铅、镀仿金、镀黑色镀层。电镀过程的前、后处理过程的节能减排技术集中在一章中介绍。全书对每一镀种的历史和现状都作了简要的回顾，以便读者对各个镀种的节能减排技术更加了解。书中的工艺配方是编者根据多年的经验选择的，目的是给读者提供更完整的原始数据和原理。书中还简要介绍了常用镀种的废水独立处理及综

合利用方法，体现了电镀工业三废处理的发展方向，希望能起到抛砖引玉的作用。

本书引用了大量的参考文献，在此特向所有的作者表示感谢。最后，衷心感谢化学工业出版社的领导和责任编辑，他们为本书的出版付出了辛勤的劳动。

由于编者水平有限，加上时间仓促，书中的疏漏和不足在所难免，敬请读者和专家批评指正。

**编者**

**2009年9月于广州**



# 目录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 电镀工业发展概况 .....	1
1.2 电镀工业节能减排状况 .....	3
<b>第 2 章 电镀锌节能减排技术</b> .....	8
2.1 电镀锌概述 .....	8
2.2 电镀锌节能减排工艺 .....	11
2.2.1 碱性无氰镀锌 .....	11
2.2.2 酸性镀锌 .....	17
2.3 电镀锌废水处理及综合利用 .....	23
2.3.1 离子交换法处理氯化钾镀锌废水 .....	23
2.3.2 化学沉淀法处理碱性无氰镀锌废水 .....	24
2.3.3 含锌废渣的利用 .....	25
<b>第 3 章 电镀铜节能减排技术</b> .....	26
3.1 电镀铜概述 .....	26
3.2 电镀铜节能减排工艺 .....	28
3.2.1 酸性硫酸盐镀铜 .....	28
3.2.2 碱性无氰镀铜 .....	33
3.3 电镀铜废水处理及综合利用 .....	44
3.3.1 离子交换法 .....	45
3.3.2 化学沉淀法 .....	46
3.3.3 电化学法 .....	46
<b>第 4 章 电镀镍节能减排技术</b> .....	48
4.1 电镀镍概述 .....	48
4.2 电镀镍节能减排工艺 .....	51
4.2.1 电镀光亮镍 .....	51

4.2.2	电镀多层镍 .....	54
4.3	电镀镍废水处理及综合利用 .....	57
4.3.1	离子交换法 .....	57
4.3.2	反渗透法 .....	60
4.3.3	电渗析法 .....	61
4.3.4	中和沉淀法 .....	62
<b>第5章</b>	<b>电镀铬节能减排技术 .....</b>	<b>64</b>
5.1	电镀铬概述 .....	64
5.2	电镀铬节能减排工艺 .....	68
5.2.1	三价铬镀铬 .....	68
5.2.2	代铬镀层 .....	73
5.3	电镀铬废水处理及综合利用 .....	77
5.3.1	离子交换法 .....	78
5.3.2	电解法 .....	83
5.3.3	生物法 .....	85
5.3.4	含铬废渣的综合利用 .....	86
<b>第6章</b>	<b>电镀金节能减排技术 .....</b>	<b>89</b>
6.1	电镀金概述 .....	89
6.2	电镀金节能减排工艺 .....	92
6.2.1	亚硫酸盐镀金工艺 .....	94
6.2.2	脉冲镀金工艺 .....	96
6.3	电镀金废水处理及综合利用 .....	97
6.3.1	离子交换法 .....	97
6.3.2	双氧水还原法 .....	98
<b>第7章</b>	<b>电镀银节能减排技术 .....</b>	<b>99</b>
7.1	电镀银概述 .....	99
7.2	电镀银节能减排工艺 .....	101
7.2.1	常见无氰镀银工艺 .....	101
7.2.2	脉冲镀银工艺 .....	104
7.3	电镀银废水处理及综合利用 .....	104
7.3.1	减压薄膜蒸发法 .....	104

7.3.2	电解法	105
7.3.3	化学法	105
<b>第8章</b>	<b>电镀其他常见金属及合金节能减排技术</b>	<b>107</b>
8.1	电镀锡	107
8.1.1	电镀锡概述	107
8.1.2	电镀锡节能减排工艺	109
8.2	电镀锡-铅合金及代铅电镀	113
8.2.1	电镀锡-铅合金概述	113
8.2.2	代铅电镀节能减排工艺	114
8.3	电镀镉及代镉电镀	117
8.3.1	电镀镉概述	117
8.3.2	代镉电镀节能减排工艺	119
8.4	电镀仿金	122
8.4.1	电镀仿金概述	122
8.4.2	电镀仿金节能减排工艺	124
8.5	电镀黑色镀层	127
8.5.1	电镀黑色镀层概述	127
8.5.2	电镀黑色镀层节能减排工艺	128
<b>第9章</b>	<b>电镀前处理和后处理节能减排技术</b>	<b>133</b>
9.1	电镀前处理节能减排技术	133
9.1.1	电镀前处理概述	133
9.1.2	除油脱脂节能减排技术	135
9.1.3	酸洗活化节能减排技术	138
9.2	电镀后处理节能减排技术	140
9.2.1	镀锌层钝化概述	140
9.2.2	镀锌层钝化节能减排技术	142
<b>第10章</b>	<b>电镀三废治理技术</b>	<b>149</b>
10.1	电镀废水治理技术	149
10.1.1	电镀废水处理方法简介	151
10.1.2	电镀废水常用化学治理技术	158
10.2	电镀废气治理技术	162

10.2.1 无机废气治理技术 .....	162
10.2.2 有机废气治理技术 .....	166
10.3 电镀混合污泥治理技术 .....	169
<b>附录 1 电镀污染物排放标准</b> .....	<b>171</b>
<b>附录 2 电镀行业清洁生产标准</b> .....	<b>178</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>182</b>

# 第1章

## 绪论

---

### 1.1 电镀工业发展概况

电池被发明后不久，人们就发现了电解和电沉积现象，因此，电镀技术是在电池被发明以后才出现的技术。电镀的最早报道是1800年由意大利 Brugnattelli 提出的镀银研究。1805年，他又提出了电镀金技术。但是，最早的镀银专利直到1840年才出现，英国的 G. Elkington 和 H. Elkington 提出的氰化镀银工艺，被认为是电镀工业的开始。同年，Jacobi 从酸性溶液中电铸铜制造俄罗斯币，从而获得了第一个镀铜溶液专利。1843年，Boitger 研制了第一种实用的电镀镍配方。1908年，E. C. Broadwell 发明了由硫酸锌和羰二磺酸锌组成的镀锌液，获得了第一个镀锌专利。1915年，实现了用酸性硫酸锌对钢带进行镀锌。1921年，W. Blum 提出了氰化物电镀锌配方。1923~1924年，Frink 和 Eldridgo 提出了电镀铬的工业方法，从而使电镀工业逐步发展成为完整的工业体系。

电镀在我国的最早应用，约在公元1858年。我国电镀工业的发展大致分为两个阶段：1949年以前和1949年之后。1949年以前，我国的电镀工业发展缓慢，几乎所有的电镀技术都由外国传入，电镀企业主要集中在少数沿海城市，只能为个别行业和一些日用品服务。新中国成立之后，电镀工业迅速地发展起来。在大型的汽车制造厂、船舶制造厂、无线电电子工厂、飞机及仪表制造厂、导弹和卫星制造厂内都设有电镀车间，并且还新建了很多专业电镀厂。

在改革开放初期，我国电镀行业通过专业化调整和改组，缩短了与国外先进国家之间的差距，但仍存在一定问题。如在电镀前、

后处理，耐蚀性电镀，防护与装饰性电镀，功能性电镀，电镀用原辅材料与设备，三废处理等方面，与国外的先进技术尚有一定的差距。

改革开放以后，科学技术不断发展，我国的电镀工业最近 20 年来进入了飞速发展的时期，取得了以下成果：

① 基体材料的品种得到丰富与发展，除了通常在钢铁和铜等基体材料上电镀外，还实现了在轻金属（铝、镁及其合金）、锌基合金压铸件及塑料制品上的电镀。

② 发展了在不饱和树脂、玻璃、陶瓷、石膏以及纤维等制品表面的电镀。

③ 根据市场与生产的需求，镀层的种类在不断增加。除了单金属镀层外，还使用和研究合金镀层及复合镀层。

④ 电镀添加剂的开发和应用，使电镀工艺有了非常大的变化，国内生产的电镀添加剂逐步具备与国外同类产品竞争的能力。

⑤ 随着对电镀加工质量要求的不断提高，电镀化工原料及添加剂正朝着高品质、功能型和绿色环保的方向发展。

⑥ 取得了高速电镀与脉冲电镀等新工艺的研究成果。与一般直流电镀相比，脉冲电镀可明显提高镀层质量，降低镀层的孔隙率，提高镀层与基体的结合力，改善镀层在基体表面上的分布状况，提高镀层的耐磨性和其他一些物理力学性能等。当前脉冲电镀主要用于贵金属电镀（特别是镀金）。另外，为了提高电镀质量，一些辅助性设备，如超声波清洗机、振动刷光机、过滤机、无油空气压缩机、大功率脉冲直流电源及干燥机等的应用范围和数量亦逐年扩大。

⑦ 一些工艺参数采用计算机控制的电镀生产线也已经在生产中使用。

改革开放以来，特别是境外厂家转移和私人企业的急剧发展，使我国东南沿海地区的电镀企业猛增。目前，我国电镀工业的规模、产量及产值都已经进入世界电镀大国的行列，电镀工业已成为现代工业中不可缺少的重要组成部分。



## 1.2 电镀工业节能减排状况

改革开放以来,我国电镀厂的规模和数量突飞猛进,电镀设备和技术日新月异,电镀工艺和镀种层出不穷,但是,电镀三废治理仍然严重滞后。我国电镀工业目前存在的节能减排问题及应采取的措施如下。

### (1) 电镀小厂多且管理水平低

由于电镀工业是跨部门的加工行业,长期以来没有一个政府部门专门负责统一管理,以致电镀工业的发展缺少总体的、完整的规划,厂点存在盲目发展、规划不合理、布点过多的现象。除专业电镀厂和少数大厂的电镀、表面处理车间外,大多数电镀企业的规模都很小,专业化程度低,特别是私人小企业,装备水平低。一方面是缺少机械装备,手工操作占比重较大,大多数私人小电镀企业主要是手工操作;另一方面是装备技术水平不高,自动化程度较低、可靠性低,影响产品质量的稳定,过滤机等设备使用寿命较短。除国家重点企业和部分出口产品企业、合资企业外,大部分小企业没有健全的工艺管理体系。

### (2) 电镀污染治理问题严重

电镀工业不但是污染大户,也是资源消耗大户,大量耗用各种贵重金属、能源与水资源,资源利用率很低。电镀行业是著名的耗能大户,电能消耗是其主要生产成本之一。传统的电镀电源存在能耗高、效率低、控制精度低、体积大、笨重等缺陷。工艺过程缺乏科学合理的控制手段,也造成大量的电能损耗。经营粗放,原材料利用率低。例如,镀装饰铬的铬酐利用率仅为15%左右,大部分甚至是绝大部分宝贵的原料流失并变成了污染物。电镀线的平均用水量是国外同类线用水量的10倍以上。

虽然电镀污染在治理设施上有新的进展,但在监管上和技术上仍然存在较多弊端。

① 监测部门或管理部门无法全天候监视电镀污染企业,有些电镀厂家不能自觉地做好治理工作,由于维持运转需要一定费用,或者由于