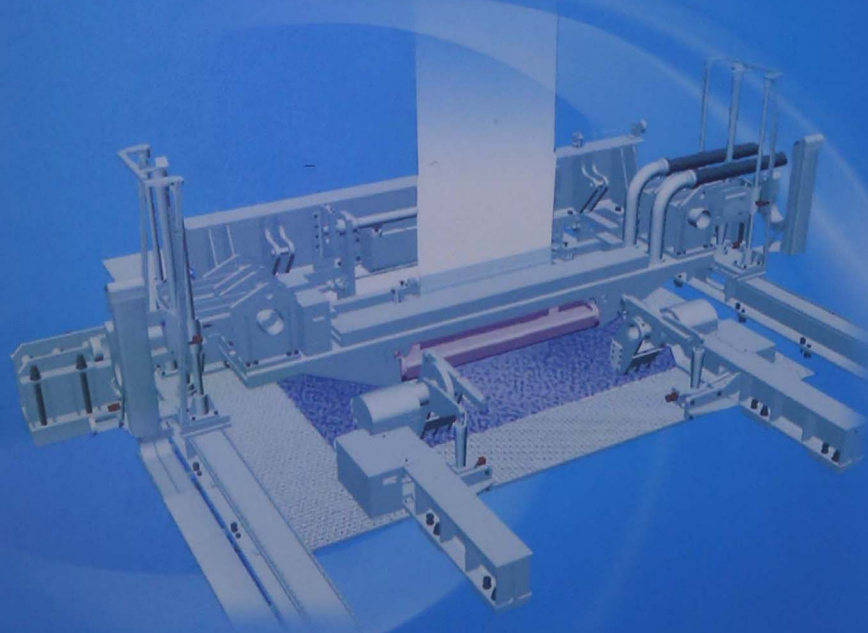



# 热镀锌 设备与工艺

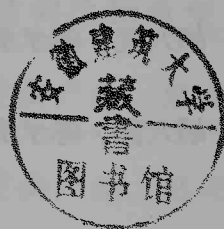
李九岭 胡八虎 陈永朋 著



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

# 热镀锌设备与工艺

李九岭 胡八虎 陈永朋 著



北京  
冶金工业出版社  
2014

## 内 容 提 要

本书重点介绍了带钢连续热镀锌设备及相关工艺。对带钢热镀锌生产工序中的设备组成、设备工作原理、设备的工艺操作要点、设备的维护保养、设备的安全保护、易损件的更换等问题作了详细介绍,也对新厂设计,机组小修、中修、大修进行了专门论述。

全书共分七篇二十二章,主要内容包括带钢连续热镀锌线的分类与发展、带钢热镀锌线的建设与管理、原料准备、开卷、焊接装置、活套、张力辊、纠偏辊、脱脂、改善可镀性预处理、退火工艺、卧式退火炉、立式退火炉、锌锅、气刀、锌层合金化与小锌花处理、镀后冷却、光整、拉矫、化学处理、质量检查、收卷等,书末还附有换算、速算表。

本书适用于带钢连续热镀锌生产厂工程技术人员、工长和工人阅读,也可供设备制造厂技术人员、镀锌生产部门管理人员、专业设计人员、研究人员及有关院校师生们参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

热镀锌设备与工艺/李九岭,胡八虎,陈永朋著. —北京:  
冶金工业出版社, 2014. 10

ISBN 978-7-5024-6672-5

I. ①热… II. ①李… ②胡… ③陈… III. ①热浸镀锌—  
电镀设备 ②热浸镀锌—生产工艺 IV. ①TQ153. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 220920 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmip.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 于昕蕾 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6672-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷  
2014 年 10 月第 1 版,2014 年 10 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 32.75 印张; 792 千字; 510 页

98.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

# 序



热镀锌产品作为防腐镀层产品，在我国建筑、家电、汽车等领域，应用的广度和深度不断扩大，是国民经济建设中常用的、基础的、节能环保的循环经

济用材。

三十多年来，我国从整机引进带钢连续热镀锌生产线，到消化、吸收国外先进技术独立设计生产线，我国的涂镀装备国产化进程已发生了质的飞跃。相继建设的带钢连续热镀锌生产线，从一条发展为现在的500多条；技术和成套设备从完全依赖进口，发展为拥有完全自主知识产权；从事热镀锌生产及其研究、开发、制造相关行业的人数，从不足百人发展到几十万人，热镀锌板生产已成为我国钢铁深加工的重要产业。然而，目前国内外都缺乏关于带钢连续热镀锌设备的专著，广大读者都迫切希望系统地了解这方面的相关知识。本书作者长期工作在不同装备水平的带钢连续热镀锌生产第一线，在为企业的生产和操作解决一系列技术难题的同时，积累了丰富的理论和实践经验。应广大读者要求，作者撰写了这本系统介绍带钢热镀锌生产设备的专著。这是一本热镀锌设备与热镀锌工艺密切结合的好书，对从事热镀锌生产、设备制造、设备操作与维护、新技术开发以及从事热镀锌技术研究的广大工作者极具参考价值。

十多年来，在李九岭教授的关心和指导下，黄石山力科技发展有限公司开发了新一代气刀、大型退火炉、四辊光整机、立式电解脱脂、耐指纹等热镀锌关键设备，完善和改进了带钢连续热镀锌、热镀锌铝锌、连续退火、连续彩色涂层等成套装备；建立了集带钢连续热镀锌、彩涂、中低牌号电工钢脱碳退火等实习培训和涂镀生产线专用高温合金设备制造与检测为一体的两大基地；形成了围绕涂镀板装备这一领域的技术研发、设计、制造、成套、安装、调试、中试、培训与备品备件供应的企业技术中心和工程技术研究中心，成为我国从事涂镀装备行业最早的公司之一。该公司还拥有二十多项发明、实用新型专利和

II <<<<<<< 序

多项重大科技成果，先后为国内外建设了一百多套成套生产装备，为我国涂镀层装备本地化、国产化作出了贡献。

尽管我国带钢连续热镀锌生产与装备取得了重大技术进步，但是在汽车板等高附加值产品开发方面，在大型、高速、稳定的成套装备方面，与国际先进水平相比依然存在差距。相信《热镀锌设备与工艺》的出版发行，将会推动我国带钢连续热镀锌生产与装备制造更上一层楼。

黄石山力科技发展有限公司 马国和

2014年3月

# 前 言



近十年来，我国带钢连续热镀锌产业发展迅速，从1979年一条生产线，发展到现在500多条生产线，已超过了全世界拥有量的一半以上。与此同时，新工艺、新装备的发展也日新月异，但迄今为止，还没有一本专门介绍带钢连续热镀锌设备的书籍，我们经过多年构思，把长期在带钢连续热镀锌生产岗位上积累的实践经验和研究成果写成此书，以满足广大读者的需求。

目前我国热镀锌板的生产能力已经大大超过了市场需求，市场竞争相当激烈，竞争的焦点是质量和成本，而影响质量和成本的决定因素是生产设备，因此一条生产线要想具备市场竞争力，就必须从建设初期的设备选型抓起。带钢连续热镀锌是一门专业生产技术，设备种类繁多，功能多样复杂，要想生产出哪一个等级的产品，就必须配置相应水平的装备。由此，只有对热镀锌设备有深入的了解，进行合理的设备选型，才能为产品提高竞争力打下坚实基础。此外，要想更好地管理设备，使用设备，减少设备故障，提高设备运行作业率，还必须了解设备结构与工作原理，清楚操作使用要点与维修保养方法，合理安排热镀锌设备的小修、中修与大修，使设备发挥出最大效能，这样才能在残酷的市场竞争中立于不败之地。作者就是基于上述原因撰写了此书，真诚地奉献给广大读者。

在本书撰写过程中，武钢方泽民教授、夏安享教授、于志行教授、张凤泉教授、张雨泉教授、官贵良教授、严肃教授、汪磊川教授、张晶高工、张战果高工、赵朝武高工、胡小煌高工，河北冶金研究院陈冬教授，西安中威张焕拥教授、王迪辉教授，西安大洋张政敏教授，西重所李清教授，武汉宝焊胡斌教授，北京星和众工汪为健教授、贾永君教授，无锡东和薄板杨湘教授，上海精祥陈照东高工，北京京杰锐思许雷高工，佛山瑞众李敬海高工，攀华集团许秀飞教授，武汉同合热工张太富高工，江苏东茂合金孙士华高工，钢铁研究总院张启富教授，中冶南方工程技术有限公司肖白教授、郑剑辉教授、梁芳教授、周末高工、石祥高工、沈胜杰高工，中冶赛迪工程技术有限公司游先政教授，

#### IV <<<<<<< 前 言

中冶京诚工程技术有限公司宋加教授、沈志前教授，重钢袁思胜教授，首钢吕军教授，鞍钢李锋教授，唐钢李文田教授，攀钢郭太雄教授，酒钢董世文教授，宝钢钱建成高工，邯钢李守华高工，包钢杨小明高工，山东冠洲集团张昭高工、宋章峰高工，河北霸州胜冶金属刘建朋高工、公茂进高工，黄石山力科技发展有限公司马国和教授、张才富教授、巫嘉谋教授、房振彦教授、何予教授、李巍教授、李学标教授、杨春峰教授、熊应举教授、柯江军高工、汪军民高工、李国楼高工、熊卫国高工、姜波高工，武汉吉瑞化工科技有限公司汪晓林高工等提出了许多宝贵意见，在此一并表示衷心的感谢。

限于作者水平，书中不妥之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

作 者

2014年3月于武汉

# 目 录



## 第一篇 概 论

第一章 带钢连续热镀锌线的分类与发展 .....	3
第一节 按工艺方法分类 .....	3
第二节 按炉型分类 .....	13
第三节 按其他方法分类 .....	18
第四节 带钢热镀锌设备的发展 .....	20
第二章 带钢热镀锌线的建设与管理 .....	26
第一节 建设新线的原则 .....	26
第二节 焊机的选择 .....	31
第三节 脱脂的选择 .....	33
第四节 炉型及锌锅的选择 .....	35
第五节 后处理设备的选择 .....	36
第六节 机组的维护与检修 .....	37
第七节 易损件的更换 .....	46
第八节 机组设备管理 .....	48
第九节 机组安全管理 .....	53

## 第二篇 入 口 段

第三章 原料准备 .....	65
第一节 过跨运输钢卷装置 .....	65
第二节 吊卷工具 .....	69
第三节 候卷鞍座与运卷小车 .....	71
第四章 开卷 .....	74
第一节 开卷机 .....	74
第二节 开卷刀与夹送辊 .....	80
第三节 直头机 .....	82
第四节 带头输送装置 .....	85



第五节 切头剪 .....	86
第六节 上行转向辊与汇合夹送辊 .....	91
<b>第五章 焊接装置 .....</b>	<b>93</b>
第一节 焊机辅助装置 .....	93
第二节 焊机 .....	95
第三节 月牙剪 .....	105
第四节 焊缝强度检测 .....	106
第五节 焊缝跟踪装置 .....	107
<b>第六章 活套 .....</b>	<b>109</b>
第一节 活套的作用 .....	109
第二节 活套的结构 .....	111
<b>第七章 张力辊 .....</b>	<b>119</b>
第一节 张力辊的作用 .....	119
第二节 张力辊工作原理 .....	124
第三节 张力辊结构 .....	126
第四节 张力控制 .....	128
<b>第八章 纠偏辊 .....</b>	<b>132</b>
第一节 影响带钢跑偏的因素 .....	132
第二节 纠偏辊结构 .....	135
第三节 纠偏辊的类型与工作原理 .....	137
第四节 纠偏手动控制 .....	140

### 第三篇 前 处 理

<b>第九章 脱脂 .....</b>	<b>147</b>
第一节 脱脂方法的分类 .....	147
第二节 脱脂设备与工艺 .....	149
第三节 脱脂辊系及传动 .....	160
第四节 循环系统及设备 .....	164
第五节 脱脂辅助系统设备 .....	177
第六节 对脱脂介质的要求 .....	181
<b>第十章 改善可镀性预处理 .....</b>	<b>184</b>
第一节 酸洗 .....	184
第二节 电镀 .....	186

第三节 预氧化 .....	187
---------------	-----

## 第四篇 退火热处理

第十一章 退火工艺 .....	191
第一节 退火炉能力计算 .....	191
第二节 带钢退火工艺 .....	194
第三节 带钢退火工艺的实施 .....	201
第十二章 卧式退火炉 .....	208
第一节 卧式退火炉组成 .....	208
第二节 炉体结构及附属设施 .....	215
第三节 卧式炉辊系及传动 .....	219
第四节 卧式炉气氛控制 .....	222
第十三章 立式退火炉 .....	225
第一节 应用立式退火炉的意义 .....	225
第二节 立式炉预热段 .....	226
第三节 加热段与均热段 .....	230
第四节 冷却段 .....	238
第五节 退火炉出口区 .....	242
第六节 炉体结构 .....	249
第七节 辊系及传动 .....	254
第八节 退火炉冷却附属设施 .....	264
第九节 退火炉技术参数控制 .....	271
第十节 退火炉数学模型的应用 .....	286
第十一节 退火炉能源介质供给 .....	290

## 第五篇 镀层处理

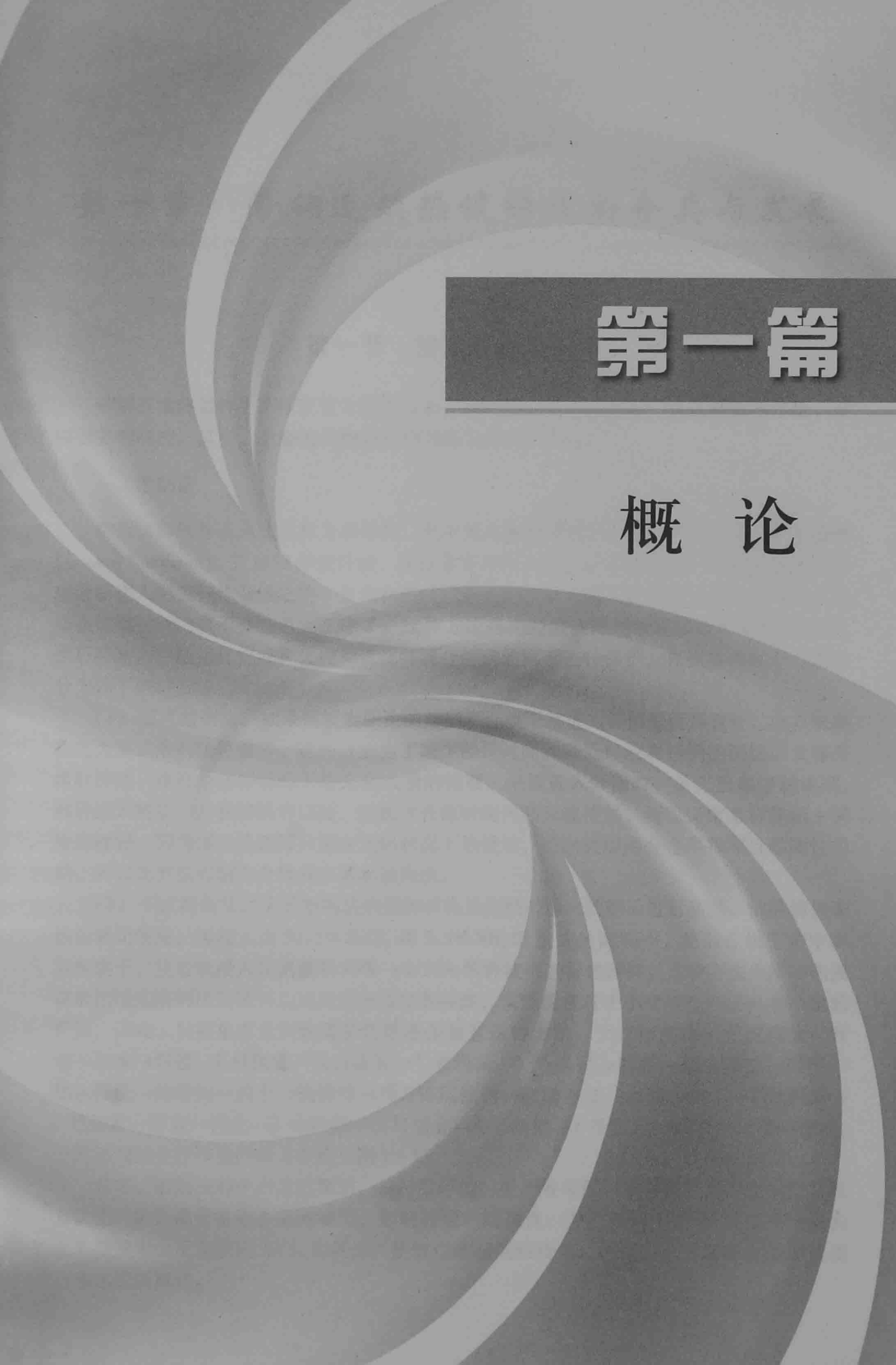
第十四章 锌锅 .....	303
第一节 铁锌锅 .....	303
第二节 陶瓷锌锅 .....	308
第三节 多位锌锅的布置与结构 .....	316
第四节 锌锅三辊六臂 .....	318
第五节 锌液面稳定装置 .....	324
第六节 炉鼻内锌液面除渣装置 .....	327
第七节 热镀锌工艺 .....	329

第八节	热镀铝锌硅合金工艺 .....	337
第九节	锌锅中锌液的检测 .....	349
第十节	镀锅中铝锌硅液的检测 .....	352
<b>第十五章</b>	<b>气刀 .....</b>	<b>358</b>
第一节	气刀系统设备组成 .....	358
第二节	气刀结构与工作原理 .....	361
第三节	锌层厚度控制 .....	369
第四节	锌层厚度测量与闭环控制 .....	374
第五节	气刀的使用与维护 .....	382
<b>第十六章</b>	<b>锌层合金化与小锌花处理 .....</b>	<b>384</b>
第一节	镀锌层合金化处理 .....	384
第二节	锌花结构 .....	389
第三节	小锌花处理 .....	391
<b>第十七章</b>	<b>镀后冷却 .....</b>	<b>397</b>
第一节	镀后冷却工艺 .....	397
第二节	冷却塔结构 .....	401
第三节	冷却塔设备组成 .....	403
第四节	冷却塔上行和下行冷却装置 .....	407
第五节	水淬槽及循环系统 .....	409
第六节	冷却塔辊系及其传动 .....	412
第七节	冷却塔辅助设备 .....	415
<b>第六篇 镀后处理</b>		
<b>第十八章</b>	<b>光整 .....</b>	<b>419</b>
第一节	光整的意义 .....	419
第二节	光整机结构 .....	422
第三节	光整液循环系统 .....	430
第四节	光整机轧制控制模式 .....	432
第五节	光整机操作控制 .....	435
<b>第十九章</b>	<b>拉矫 .....</b>	<b>440</b>
第一节	拉矫作用与形式 .....	440
第二节	矫直机工作原理 .....	442
第三节	拉矫机结构 .....	445

第四节	拉矫机操作控制 .....	448
第二十章	化学处理 .....	452
第一节	涂油处理 .....	452
第二节	钝化处理 .....	455
第三节	耐指纹处理 .....	460
第四节	钝化及耐指纹涂液循环系统 .....	465

## 第七篇 出口段

第二十一章	质量检查 .....	469
第一节	表面质量检查台 .....	469
第二节	频闪仪装置 .....	471
第三节	热镀锌板表面缺陷分类 .....	472
第二十二章	收卷 .....	485
第一节	分卷剪 .....	485
第二节	卷取机 .....	488
第三节	卷取边控装置 .....	497
第四节	皮带助卷器 .....	499
第五节	卸卷小车 .....	501
第六节	鞍座与电子秤 .....	502
附录	.....	504
附表 1	热镀锌机组易损件化学成分表 .....	504
附表 2	锌层厚度 - 锌层重量换算表 .....	505
附表 3	机组生产率速算表 .....	505
附表 4	保护气体露点和水分含量关系表 .....	506
附表 5	有关金属及氧化物氧化、还原平衡常数表 .....	508
参考文献	.....	510



# 第一篇

## 概 论



# 第一章 带钢连续热镀锌线的分类与发展

## 第一节 按工艺方法分类

带钢连续热镀锌生产按工艺方法可分为：溶剂法、森吉米尔法、改良森吉米尔法、全辐射美钢联法。其中，全辐射美钢联法是目前主流生产方法。

### 一、溶剂法

溶剂法即线外退火法也称为惠林法，此法是美国惠林钢铁公司工程师柯克-诺尔特曼 (Cook - Norteman) 于 1953 年设计的，所以常常称作柯克-诺尔特曼法。此方法就是在冷轧带钢进入热镀锌作业线之前，首先在连续式退火炉或罩式退火炉中进行再结晶退火，这样在热镀锌线内就不存在退火工序了。这种方法是先经酸洗把钢板表面的氧化铁皮清除，然后再涂上一层氯化锌或氯化铵和氯化锌混合组成的溶剂进行保护，根据溶剂烘干与否又分为以下两种方法。

(1) 湿式溶剂法。如果钢板表面涂的溶剂不经烘干就进入锌液进行热镀锌，此方法即称之为湿式溶剂法热镀锌。这种方法为了减少浸锌时间和降低锌液对锌锅的浸蚀以及容易捞取锌渣，往往是在锌锅的下部充有大量的铅液。钢板进入锌锅时，首先接触熔融溶剂，然后进入铅层，只在锌锅出口处，钢板才在短时间内和锌液接触，所以又常常称作铅-锌法热镀锌。因为湿法热镀锌只能在无铅状况下热镀锌，所以镀层的合金层很厚且黏附性很差，所以此方法目前在全世界已基本被淘汰。

(2) 干式溶剂法。干式溶剂法热镀锌首先是把经过退火的钢板进行酸洗，清除钢板表面的氧化铁皮，再浸入由 50.5%  $ZnCl_2$  和 5.5%  $NH_4Cl$  组成的溶剂中，然后在烘干炉中将溶剂烘干，接着就浸入含铝量 0.10% ~ 0.12% 的锌液中进行热镀锌。这种方法生产的热镀锌板比湿式溶剂法热镀锌的成品质量有显著提高，直到现在对于小规模生产还具有一定的价值。因此，目前东南亚少数国家仍然还保留有这种方法。干式溶剂法工艺流程为：开卷→切头→焊接→1号张紧→入口活套→1号纠偏→2号张紧→脱脂→热水漂洗→酸洗→热水漂洗→涂溶剂→烘干→热镀锌→气刀锌层控制→高塔冷却→水洗→烘干→2号纠偏→3号张紧→矫直→钝化→3号纠偏→出口活套→4号纠偏→4号张紧→涂油→分卷→卷取。干式溶剂法生产作业线设备流程见图 1-1。

总之，溶剂法的生产工艺繁琐，易污染环境，生产效率低，成本高，更为主要的是此方法生产的产品常常带有溶剂缺陷，影响镀层的耐蚀性。并且锌锅中的 Al 常常和钢板表面的溶剂发生反应生成  $AlCl_3$  而耗掉，使镀层的黏附性变差。因而，此方法在发展中被森吉米尔法所取代。

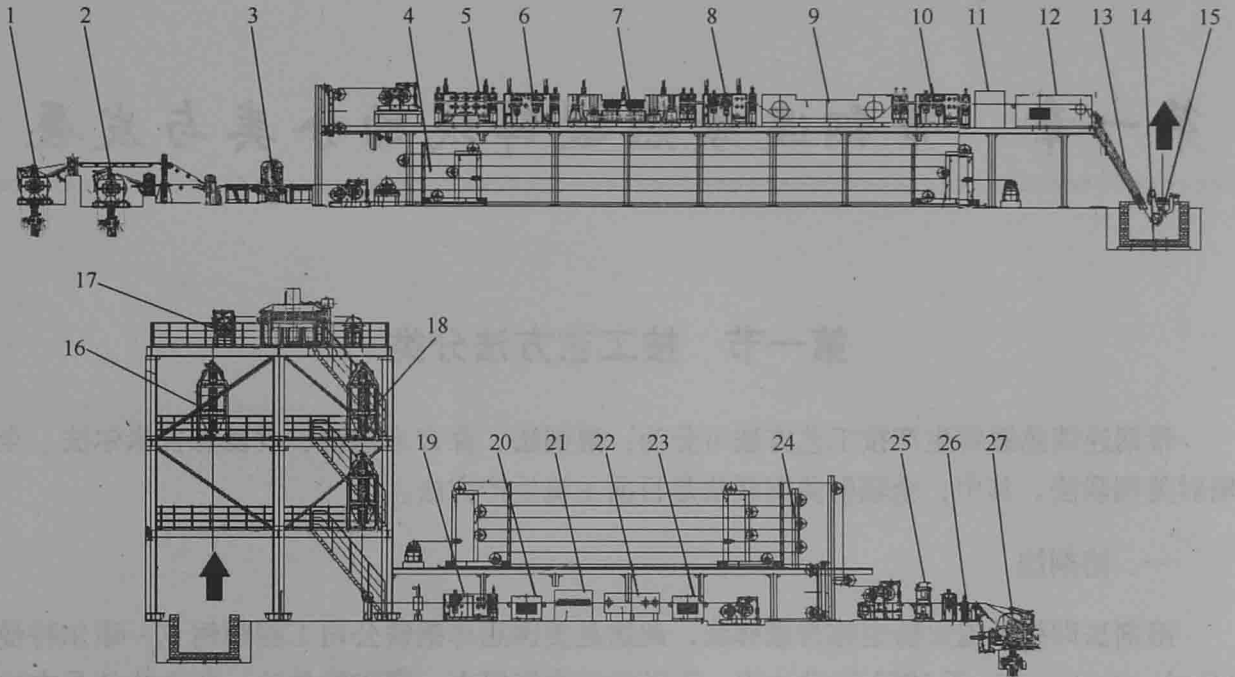


图 1-1 干式溶剂法设备流程

- 1—1号开卷机；2—2号开卷机；3—焊机；4—入口活套；5—碱洗槽；6—碱刷洗槽；  
7—电解除脂槽；8, 19—水洗槽；9—酸洗槽；10—水刷洗槽；11—溶剂槽；12, 20, 23—干燥箱；  
13—炉鼻子；14—锌锅；15—气刀；16—上冷却段；17—塔顶辊；18—下冷却段；21—矫直机；  
22—钝化槽；24—出口活套；25—涂油机；26—分切剪；27—卷取机

## 二、森吉米尔法

森吉米尔法是线内退火、明火加热最早有代表性的一个例子。波兰人森吉米尔首先成功地把退火工艺和热镀锌工艺联合起来，并于1931年在波兰建设了第一条宽度为300mm的带钢连续热镀锌作业线；1933年建设了第二条，宽度为700mm；1934年建设了第三条，宽度为1000mm，机组操作速度为3m/min；1936年美国与法国同时建设了一条同类型机组，宽度为1000mm，机组作业速度为10m/min。后来建设的森吉米尔型带钢连续热镀锌机组的操作速度有很大提高。直到1960年机组作业速度已提高到90m/min。森吉米尔法的线内退火炉主要包括氧化炉、还原炉两个组成部分。带钢在独立的氧化炉中由燃气明火直接加热到450℃左右，此时，可把带钢表面残存的轧制油烧掉，起到净化表面的作用。在独立的还原炉中由分解氨生成的含75% H<sub>2</sub>、25% N<sub>2</sub>的保护气体把带钢表面的氧化铁皮还原为海绵状纯铁，由此形成适合于热镀锌的活性表面。并且通过大约900℃炉温的还原炉，把带钢加热到700~800℃，完成了再结晶退火。经冷却段控制适当的带钢入锌锅温度大约在480℃，最后在不接触空气的情况下直接进入锌液中进行热镀锌。典型森吉米尔法工艺流程为：开卷→切头→焊接→1号张紧→入口活套→1号纠偏→2号张紧→氧化炉加热→还原炉加热→还原炉均热→冷却→热镀锌→气刀锌层控制→高塔冷却→2号纠偏→3号张紧→拉矫→钝化→3号纠偏→出口活套→4号纠偏→4号张紧→涂油→分卷→卷取。森吉米尔法生产作业线设备流程见图1-2。



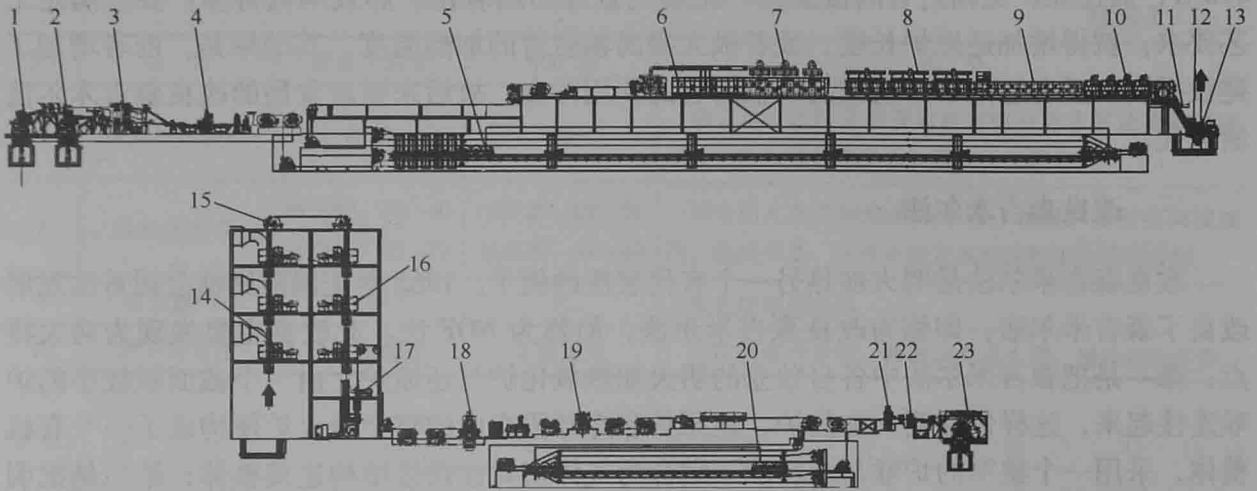


图 1-2 森吉米尔法设备流程

- 1—1号开卷机；2—2号开卷机；3—双层剪切机；4—焊机；5—入口活套；6—预热段；7—氧化性直燃加热段；  
8—辐射管加热段；9—电均热段；10—冷却段；11—炉鼻子；12—锌锅；13—气刀；14—上行冷却段；  
15—塔顶辊；16—下行冷却段；17—水淬槽；18—光整机；19—拉矫机；20—出口活套；  
21—涂油机；22—出口剪；23—卷取机

因为森吉米尔法产量高，热镀锌质量也可以满足建筑及一般用途要求，所以此法在 20 世纪 40 ~ 50 年代曾获得广泛的应用。

森吉米尔法相对溶剂法热镀锌具有以下优点：

(1) 把退火线和热镀锌线联合成一个整体，简化了生产程序，并节约了相应的运输工具。

(2) 不用酸洗除氧化铁皮、涂溶剂防氧化，由此可省去大量腐蚀性介质，大大改善了操作环境，并节约了相应的回收及处理系统，同时避免酸洗损失，提高了钢材成材率。

(3) 带钢高于锌液温度 10 ~ 50℃ 进入锌锅，一般情况下可补偿锌锅的热散失，不用另外加热提高锌液的温度。由此延长了设备寿命，降低了热能消耗。

(4) 锌液中 Al 含量容易控制，镀层的黏附性得到改善。

(5) 减少了锌锅中的底渣和表渣，降低了锌锭消耗。

由于森吉米尔法具有一系列的优点，所以此方法在 20 世纪 40 ~ 60 年代带钢连续热镀锌发展中，一直占着主要地位。据 1972 年统计，全世界共有带钢连续热镀锌作业线 154 条，其中森吉米尔法 73 条，改良森吉米尔法 22 条，全辐射美钢联法 20 条，柯克-诺尔特曼法 11 条，赛拉斯法 10 条，其他方法 18 条。

但是，森吉米尔法在生产实践中也暴露了许多不足之处。因为明火加热炉是氧化性气氛，带钢被加热的同时也生成了较厚的氧化层，很不易在还原炉中还原，影响镀层的黏附性。如果要使氧化层充分还原，需要提高保护气氛中的氢气含量或减慢作业速度，这样就降低了机组产量，增加了高氢气操作的危险性。为了减少带钢在氧化炉中的氧化层厚度，就要限制带钢在氧化炉中的加热温度及停留时间，所以带钢温度在氧化炉中只能提高到 300 ~ 450℃，为了达到钢板的再结晶温度，还要在还原炉中使带钢温度继续升高到 700 ~