

涂布复合技术

[第二版]

李路海 主编

李路海 谭绍勍 谢宜风 等 编著

全面介绍涂布复合技术，涵盖最新技术及应用

经典图书再版，业内一致好评
专家学者多年专业经营和教学心得梳理后的倾心之作
多家优秀企业一线专家实践经验的精心总结
专业科研院所权威专家研究成果的全新展示



文化发展出版社
Cultural Development Press

涂布复合系列图书

涂布复合技术

[第二版]

李路海 主编

李路海 谭绍勍 谢宜风 等 编著



文化发展出版社
Cultural Development Press

图书在版编目 (CIP) 数据

涂布复合技术 (第二版) / 李路海主编. —北京: 文化发展出版社, 2016. 6

ISBN 978-7-5142-1329-4

I. 涂… II. 李… III. 表面涂覆 IV. TB43

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第113863号

涂布复合技术(第二版)

主 编: 李路海

编 著: 李路海 谭绍劼 谢宜凤 张建明 王德胜 屠志明 何君勇 徐 征 陈鸿奇
杨峥雄 廖支援 薛志成 莫黎昕 辛智青 李 修 高 波 方 一 李玉彪
刘 杰 王丽坤 李建平 栗淑梅 关敬党 贾志梅 李引锋 习大润 李 征

总 策 划: 张宇华

责任编辑: 李 毅

责任校对: 岳智勇

责任印制: 孙晶莹

责任设计: 侯 铮

出版发行: 文化发展出版社 (北京市翠微路2号 邮编: 100036)

网 址: www.wenhua fazhan.com www.printhome.com www.keyin.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盛华达印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

字 数: 608千字

印 张: 32

彩 插: 2

印 次: 2016年11月第2版 2016年11月第5次印刷

定 价: 128.00元

I S B N : 978-7-5142-1329-4

◆ 如发现任何质量问题请与我社发行部联系。发行部电话: 010-88275710

前言

PREFACE

涂布复合技术一书，自2011年7月第一次出版以来，受到了广大读者的热烈欢迎，曾在亚马逊同类科技书目中进入热销前十名，第一版多次重印，仍不能满足读者要求。其间，热心读者本着科学态度，提出了许多修改建议和要求。四年来，伴随涂布复合技术进步，确有内容需要更新、完善和补充。为此，在出版社的建议下，结合读者要求，组织了修订再版工作。

全书在原来十九章的基础上，针对超过半数章节进行修改，补充完善了一系列内容。第一章涂布工艺概述内容更加完整，第二章增加了部分颜料和表面活性剂内容，第三章全面修改，第四章局部调整，第五、六、十、十三、十八章进行了不同程度补充，第十二章大幅修改。

参与第一版与第二版改版编著的人员，全部来自生产、科研、管理和教学一线，书中内容，来自编著人员多年来生产实践、科学研究、企业管理及实际应用的心得，同时参考了大量同行的工作成果。

第一版分章次编著人员为：第一章中国乐凯集团公司原总工谢宜凤；第二、三、四、九、十五、十六、十七、十八、十九章谭绍劭、李路海；第五、六、七、八章张建明、李玉彪、刘杰、王丽坤；第十章何君勇、李路海；第十一章王德胜、李路海；第十二章李路海、徐征；第十三、十四章屠志明、李路海。中科院化学所贾志梅，北京印刷学院唐小君、赵文、杜鹏、吕越、胡旭伟等参与了资料收集与制图工作。李路海统筹全书，修改编著。

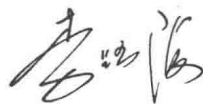
第二版分章次新增编著人员为：第二章中国乐凯集团公司李建平；第三章颇尔公司廖支援；第四、十八章中国乐凯集团公司李建平、栗淑梅；第五、六、十章广东欧格陈鸿奇、杭州天祺杨峥雄；第十二章北京印刷学院莫黎昕、李修、高波、辛智青、方一、深圳善营关敬党、广东欧格陈鸿奇；第十三章陕西北人薛志成、李引锋、习大润、李征。徐永健等对第一版文字提出了修改建议。李路海统筹全书，修改编著。

编著过程中，参考了同行的大量文献和成果，标注不全不当之处，敬请指正。

感谢出版社编辑校对的严谨作风，感谢全体参编人员的科学态度。限于作者水平，内容不妥不当之处，欢迎提出宝贵意见。

第二版的编写出版，受到了北京市教委科研和学科建设经费的支持。

北京印刷学院



2016年9月于北京

目录

CONTENTS

第一篇 涂布工艺及涂布液

第1章 / 涂布工艺概述 / 2

第一节 引言 / 2

第二节 涂布方法 / 3

第三节 涂布工艺的新进展 / 12

第四节 涂布设备及其配套系统 / 20

第2章 / 涂布液主要成分及其混合分散 / 30

第一节 涂布液的基本性能 / 31

第二节 涂布液用颜料 / 33

第三节 涂布液胶黏剂 / 49

第四节 涂布液添加剂 / 55

第五节 卤化银涂布液 / 63

第3章 / 涂布液过滤 / 69

第一节 过滤原理与分类 / 69

第二节 过滤材料 / 71

第三节 过滤装置 / 75

第四节 过滤在涂布液制备中的应用 / 82

第五节 过滤器应用实例 / 83

第 4 章 / 消泡与脱气 / 87

第一节 消泡剂消泡 / 88

第二节 机械消泡 / 92

第三节 卤化银涂布液的消泡 / 95

第二篇 涂布装置及应用

第 5 章 / 干燥系统 / 104

第一节 热风干燥 / 105

第二节 热风干燥系统的基本构成 / 112

第三节 微波干燥 / 121

第四节 红外干燥 / 127

第五节 涂布干燥废气处理技术 / 130

第 6 章 / 涂布机驱动及速度和张力控制系统 / 141

第一节 速度控制 / 141

第二节 张力控制 / 152

第三节 人机界面 / 168

第四节 共直流母线传动节能技术 / 169

第 7 章 / 涂布机纠偏 / 171

第一节 卷材偏移产生原因及其危害 / 171

第二节 调偏装置的设计 / 172

第三节 调偏装置安装布置 / 173

第 8 章 / 空气的除尘净化与调节 / 176

第一节 洁净等级标准 / 176

第二节 洁净室设计原则及其构成 / 177

第三节 洁净室风量确定 / 179

第四节 洁净室的气流组织 / 180

第五节 净化空调系统的特点 / 181

第六节 应用实例 / 181

第 9 章 / 彩色感光材料涂布技术 / 186

第一节 浸涂原理 / 186

第二节 坡流涂布 / 189

第三节 条缝涂布或挤压涂布 / 215

第四节 落帘涂布 / 222

第 10 章 / 喷墨打印介质及其涂布生产 / 237

第一节 喷墨打印介质基本结构 / 237

第二节 喷墨打印介质的性能要求和分类 / 239

第三节 喷墨打印介质原材料 / 250

第四节 喷墨介质生产工序和涂布方式 / 254

第 11 章 / 磁记录材料涂布生产 / 264

- 第一节 磁浆的制备 / 265
- 第二节 常用磁浆涂布方式 / 273
- 第三节 涂层干燥 / 277
- 第四节 反转辊涂布中易出现的表观质量问题及解决方法 / 280

第 12 章 / 电子薄膜涂布制备技术 / 284

- 第一节 落帘涂布制备电子薄膜 / 284
- 第二节 多功能复合涂布技术 / 297
- 第三节 其他电子薄膜制备技术 / 311
- 第四节 涂布薄膜电子产品后处理技术 / 324
- 第五节 薄膜电子器件涂布应用实例 / 328

第三篇 复合技术及应用

第 13 章 / 复合技术概述 / 363

- 第一节 常见复合工艺 / 363
- 第二节 复合过程胶黏理论基础 / 368
- 第三节 基材表面特性及其与黏结性能的关系 / 373
- 第四节 胶黏剂的涂布工艺 / 379
- 第五节 胶黏剂的干燥 / 397
- 第六节 张力控制 / 402
- 第七节 熟化 / 405
- 第八节 复合产品质量控制 / 406

第 14 章 / 涂塑复合技术 / 422

- 第一节 涂塑技术及其应用 / 422
- 第二节 涂塑照相纸基构成及其特点 / 426
- 第三节 涂塑照相纸基原材料 / 427
- 第四节 涂塑照相纸基生产 / 430
- 第五节 涂塑纸常见弊病及质量控制 / 440

第四篇 涂布质量控制

第 15 章 / 涂布工序产品检验与控制 / 446

- 第一节 工序物料的检测 / 446
- 第二节 首轴制度与工序状态确认 / 452
- 第三节 半成品检测 / 453

第 16 章 / 涂布均匀性及其评价 / 456

- 第一节 标准偏差变化图 / 456
- 第二节 “JND” 概念在感光胶片生产中的运用 / 459

第 17 章 / 涂布量的控制及涂层厚度测量 / 464

- 第一节 涂布流体的输送方式 / 464
- 第二节 涂布流量的检测方法 / 465
- 第三节 涂层厚度的测量 / 467

第 18 章 / 常见涂布弊病及其处理 / 468

- 第一节 涂布弊病成因及其分类 / 468
- 第二节 条道 / 474
- 第三节 拉丝 / 477
- 第四节 硌印 / 478
- 第五节 发花 / 479
- 第六节 点子 / 480
- 第七节 气泡和砂眼点 / 481
- 第八节 指南针点 / 482
- 第九节 表面张力引起的表观弊病 / 484
- 第十节 磨砂 / 488
- 第十一节 张力线 / 489
- 第十二节 静电斑痕 / 490
- 第十三节 微凹版涂布弊病的因果分析和解决对策 / 491

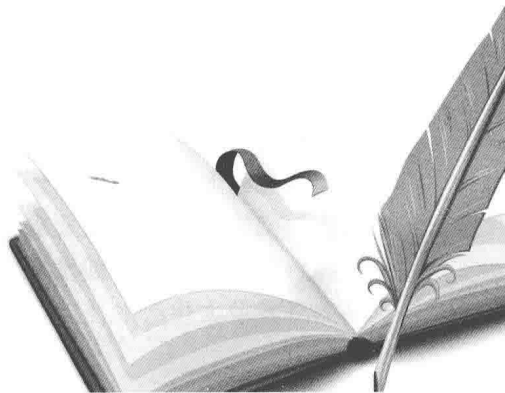
第 19 章 / 涂布表观在线检测装置 / 496

- 第一节 宽幅胶片弊病在线检测系统 / 496
- 第二节 激光扫描弊病检测仪 / 496

第一篇

涂布工艺及涂布液

- 涂布工艺概述
- 涂布液主要成分及其混合分散
- 涂布液过滤
- 消泡与脱气



第1章 涂布工艺概述

第一节 引言



涂布加工技术作为完善材料物化特性和以涂层为特征新产品开发的重要手段,已被广泛应用于轻工造纸、塑料薄膜深加工、信息材料、图像显示器件生产等重要工业领域。众所周知,在造纸过程中对原纸进行涂料处理可以提高纸张的白度、致密性,改善其机械强度及印刷适应性。对高绝缘性和疏水性的高分子薄膜施以特殊的涂层,可以改善其抗静电性能和亲水特性。而在纸基上覆以特殊的涂层就可以开发出无碳复写纸、喷墨打印纸以及各种热敏、光敏记录纸等产品。同样,在 高分子薄膜上施以专门的涂层则可以开发出各类胶带、光学滤光片以及磁记录材料、照相感光材料等产品,图 1-1 列举了涂布工艺技术的主要应用领域。

这类专门加工的涂层厚度,通常为几微米到几十微米。而在平面显示器件中应用的防反射涂层、抗划伤涂层、导电氧化铜涂层的厚度还不到 $1\mu\text{m}$ 。根据性能和应用要求的不同,有的产品涂层为单层,有的涂层为 2~3 层的复层结构,而彩色胶片的涂层结构则多达十几层。

不同产品的性能和涂层结构,必然对涂布工艺技术提出不同的要求。在造纸工业领域,现代造纸设备都有机内涂布机,对抄纸后的原纸进行涂料加工,以全面提高纸张的物理机械特性和印刷适应性,从而生产出高档的印刷纸。这类机内涂布机的主要涂布工艺条件必须与主机抄纸设备的幅度、车速等主要工艺参数相一致。而更多涂层加工类产品的涂布工序是由独立的涂布机来完成的,这样可对设备结构进行专门的设计,使其工艺条件有更大的可调节范围,以满足不同产品对其涂层结构特性的特定要求。

随着科学技术的不断发展,涂布工艺技术也有了长足的进步。为了适应不同产品的开发及大生产的需求,无论对涂布方法、涂布设备、物料特性,还是涂布

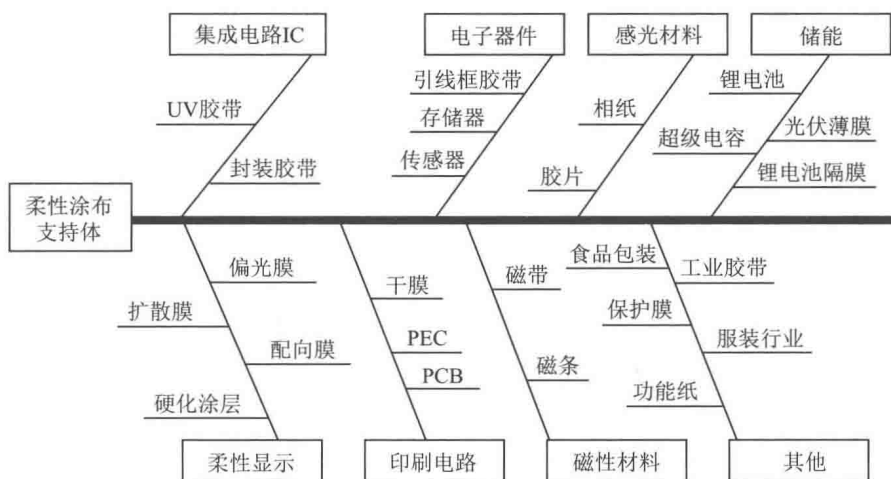


图 1-1 涂布工艺技术的主要应用领域示意图

基础理论都进行了大量的研究。

涂布加工工艺的核心是涂布方法的选择，而目前有上百种不同的涂布方法在工业领域得到实际应用。这充分说明没有一种涂布方法是万能的，只有根据各行业各个产品特性及应用要求各自选择相应的最佳涂布方法。按最终涂布量（或涂层厚度）的控制类型来区分，湿法涂布通常可分为四种类型：

(1) 自计量涂布方式，如浸渍涂布，正向或反向辊涂等。在这些方式中，涂布量取决于涂布液与涂布设备的共同作用所形成的条件，如黏度、车速、间隙、涂布弯月面，以及在不同辊轴的速度比等。

(2) 计量修饰涂布方式，如刮刀、气刀和计量辊涂布等。在这些涂布方式中，是在涂上液膜后再控制其涂布量。

(3) 预计量涂布方式，如条缝涂布、坡流涂布、落帘涂布等。在这些方法中，涂布液是经精确供料计量后被涂布到支持体上的。

(4) 混合涂布方法，如凹版涂布等，即将上述方法混合使用。

本章将集中介绍目前得到比较广泛应用且具有代表性的一些湿法涂布方式，如浸渍涂布、气刀涂布、刮刀涂布、各种辊式涂布、凹版涂布、条缝涂布、坡流挤压涂布、落帘涂布等涂布方法，以及涂布工艺技术的新进展和涂布设备的配套系统。

第二节 涂布方法



一、浸渍涂布法

浸渍涂布法是早期得到较为广泛应用的一种涂布方法，由于其设备结构简单，

易于得到推广应用。早在 19 世纪末, 浸渍涂布和挂杆干燥就用于连续生产照相纸。浸渍涂布方法简单工作原理如图 1-2 所示。

被涂基材 1 绕经涂布辊 3 进入涂布液槽 4 与涂布液 2 接触, 涂料就随着向上拉出而附着于其表面形成涂层。

早在 20 世纪 50 年代, 勃·弗·杰良金 (Б. В. Дерягин) 等人, 曾对浸渍涂布过程液体黏度、表面张力与被涂支持体运动速度等因素对涂布量的影响进行了深入研究, 最后建立了以下关系式:

$$h = K(U\eta)^{\frac{2}{3}}$$

$$k = \frac{0.94\dots}{(1 + \cos\alpha)^{\frac{1}{2}}(\rho g)^{\frac{1}{2}}\sigma^{1/6}}$$

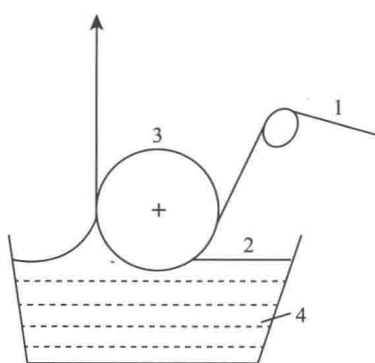
式中 h ——涂层厚度;
 U ——涂布速度;
 η ——涂液黏度;
 ρ ——涂液密度;
 g ——重力加速度;
 σ ——表面张力;

K ——常数, 与弯月面、涂液表面张力、比重等因素相关。

杰良金 (Дерягин) 等人的研究为浸渍涂布奠定了理论基础。从上述关系式中可以看出, 涂层厚度与涂料的黏度和被涂支持体拉出的速度成正比, 即涂布车速越快、涂液黏度越大, 则涂层越厚。显然, 对特定涂布液料和涂层厚度要求的产品来说, 要通过提高车速来提高生产效率, 无疑受到很大限制。早先照相行业应用浸渍涂布方法时的涂布车速很难超过 20m/min。

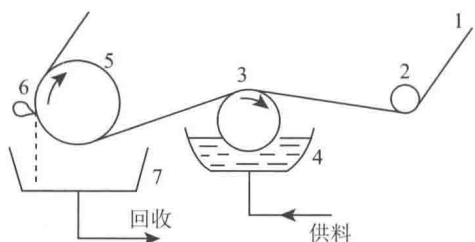
二、气刀涂布法

气刀涂布法的原理如图 1-3 所示。被涂支持体 1 经压纸辊 2 后由涂布辊 3 带上涂料槽 4 中的料液, 经过背辊 5 处由气刀 6 喷射出的气流将过量的涂料吹落在收集槽 7 中。回流的涂料在收集槽中经气液分离后, 可送回涂料槽中循环使用。气刀涂布的涂布质量与气刀喷射气流



1—被涂基材; 2—涂布液;
3—涂布辊; 4—涂布液槽

图 1-2 浸渍涂布工作原理



1—被涂支持体; 2—压纸辊; 3—涂布辊;
4—涂料槽; 5—背辊; 6—气刀; 7—涂料收集槽

图 1-3 气刀涂布工作原理

分布均匀性及稳定性直接有关，即与气刀的结构设计及加工精度密切相关。气刀涂布的涂布量，与气刀射出的气流压力、喷射角度及与原纸之间的距离有关，这些也是实际操作中可适当调控的工艺参数。

气刀涂布的适应范围较广，即在相对宽广的涂料固含量、涂料黏度以及涂布车速下，获得较高的涂层质量。典型的气刀涂布运行参数条件为：

涂料固含量 $<50\%$ ；

涂料黏度 $50\sim 500\text{MPa}\cdot\text{s}$ ；

涂布车速 $30\sim 500\text{m}/\text{min}$ ；

涂布量 $<30\text{g}/\text{m}^2$ 。

气刀涂布被广泛应用于高级美术印刷纸、无碳复写纸、重氮盐纸、压敏记录纸、热敏记录纸、静电复印纸、喷墨打印纸以及涂布板纸等多类产品的工业化生产中。

三、刮刀涂布

刮刀涂布是用专门设置的刮刀除去多余的涂布液，以达到所要求的涂布量。图1-4所示为一种斜角钢片柔性刮刀涂布工作原理图。相对于气刀无接触涂布，这是一种直接接触涂布方法，涂层有较高的平整度，其涂层表面不受被涂支持体原有表面粗糙度的影响。

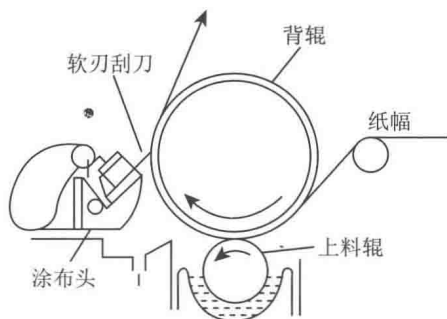


图 1-4 一种斜角钢片柔性刮刀涂布
工作原理

柔性刮刀涂布的车速可以达到 $30\sim 800\text{m}/\text{min}$ ，涂料固含量可高达 $50\%\sim 60\%$ ，黏度也可高达 $1000\text{MPa}\cdot\text{s}$ ，涂布量可在 $6\sim 30\text{g}/\text{m}^2$ 范围内调节，工艺适应范围较广。

柔性刮刀材质为优质弹簧钢，厚度为 $0.3\sim 0.6\text{mm}$ ，宽度为 100mm 左右。刮刀与背辊的接触角及接触压力均可进行调节控制。由于刮刀在高车速下与被涂物料直接接触，因此很容易造成磨损，而必须适时更换。另外，刮刀与涂布物料间易有异物积累，形成涂布条道弊病，因此必须经常保持

刮刀处的清洁。

刮刀涂布的最大优点是表面有良好的平滑度，但随着车速的提高，刮刀对纸的应力增大，运行性能受到限制。薄膜涂布（辊涂）大大减少涂布应力，缺点是涂布量大于 $9\sim 10\text{g}/\text{m}^2$ 时易发生橘皮结构和细小颜料的飞溅。

刮刀涂布从 20 世纪 50 年代到目前为止，经历了半个多世纪的发展，车速从当初的 $200\sim 300\text{m}/\text{min}$ 已升至目前的 $2800\text{m}/\text{min}$ ，涂布幅宽可达 10m 。

四、刮辊涂布

刮辊涂布工作原理如图 1-5 所示, 旋转的金属刮辊将多余的涂料刮下, 以达到所需的涂布量。金属刮辊的直径为 10mm 左右, 由微型电机带动做主动运转, 通常以 10~20r/min 的固定速度旋转, 其旋转既可与被涂物料同一方向, 也可以反向。当刮辊与被涂物料运行呈相反方向时, 更有利于对涂层起整饰作用。

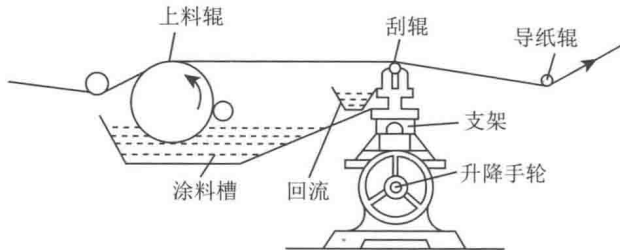


图 1-5 刮辊涂布工作原理

另有一种称为钢丝刮辊, 即在金属刮辊上紧密缠绕直径为 0.1~0.15mm 的不锈钢丝而成, 其工作状态如图 1-6 所示。实际操作中可根据不同涂料特性, 不同涂层量要求及不同车速选用不同直径缠绕的钢丝刮辊。

刮辊涂布的车速适合于低黏度、低涂布量时选用, 其车速范围较广, 可以从每分钟几十米到每分钟上千米。涂布厚度主要取决于绕线顶部之间的空间, 即取决于缠绕不锈钢丝的粗细涂布厚度为 $0.21r$, 此处 r 为绕线直径。但是流体的流变性、涂布片幅速度和张力、刮辊转动的方向和速度都影响平均厚度。

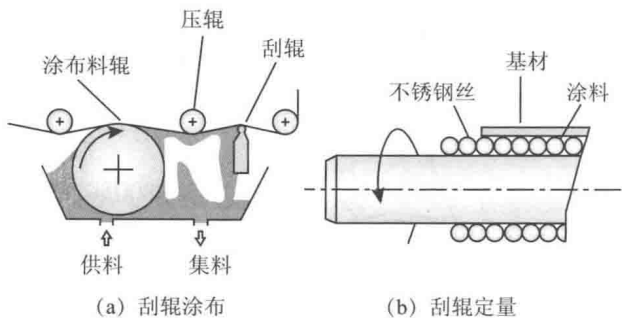


图 1-6 钢丝刮刀辊工作原理

五、辊式涂布

辊式涂布是指至少由涂布辊和计量辊 2 个辊以上组成的自行定量涂布方法。根据不同辊数和组合方法不同, 可以形成几十种不同的辊涂方法。这里简单介绍双辊涂布、三辊涂布及逆转辊涂布三种涂布方法。

双辊涂布工作原理如图 1-7 所示, 涂布辊从涂料槽中带上涂料, 将部分涂料转移给运行至涂布辊和背辊间隙处的被涂基材。被涂基材带走的涂料以及涂层表面状态取决于被涂基材和涂布辊的相对速度、涂布辊与背辊之间的间隙、涂料的黏度和润湿特性等因素。

图 1-8 所示为三辊涂布的一种形式, 涂布辊将涂料从料盘中带到转移辊上, 试读结束, 需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com