



Cases of CNC Machinery Equipment

“数控一代”

案例集 (山东卷)

中国机械工程学会
山东机械工程学会

编著



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

Cases of CNC
Machinery
Equipment

“数控一代” 案例集 (山东卷)

中国机械工程学会
山东机械工程学会

编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

“数控一代”案例集. 山东卷 / 中国机械工程学会,
山东机械工程学会编著. —北京: 中国科学技术出版社,
2015.6

ISBN 978-7-5046-6892-9

I. ①数… II. ①中… ②山… III. ①机械工业—技
术革新—案例—山东省 IV. ①F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 113690 号

策划编辑	吕建华 赵 晖
责任编辑	赵 晖 郭秋霞
版式设计	中文天地
责任校对	何士如
责任印制	张建农

出 版	中国科学技术出版社
发 行	科学普及出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街16号
邮 编	100081
发行电话	010-62173865
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	410千字
印 张	17.25
版 次	2015年6月第1版
印 次	2015年6月第1次印刷
印 刷	北京市凯鑫彩色印刷有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-6892-9/F·794
定 价	86.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

编写组织机构

指导委员会

主 任：邵新宇
副主任：宋天虎 林江海
委 员：罗 平 夏玉海

编写委员会

主 任：宋天虎 林江海
副主任：夏玉海 何 华 王 玲
委 员：张承瑞 昃向博 魏修亭 成 巍 单忠德 张光先
周满山 赵玉刚 陈声环 白玉庆 康凤明 王伟修
邱玉良 姚继滨 王守仁 张 波 滕 瑶 秦浩杰
王旭东 高义新 张恭运 景光成 宋修财 高 玲
和瑞林 王建斌 王向宏 刘澍滋 张建群 孙京伟
赵传祥 林凤岩 杨铁军 张 东 李海青
陈 江 郑梦娇 缪 云 顾梦元 钟永刚 刘永华

总 序

实施“中国制造 2025”，加快我们国家从制造大国迈向制造强国，要以科技创新为主要驱动力，以加快新一代信息技术与制造业深度融合为主线，以推进智能制造为主攻方向。

智能制造——数字化网络化智能化制造是新一轮工业革命的核心技术，是世界各国全力争夺的技术制高点，为中国制造业结构优化和转变发展方式提供了历史性机遇，成为中国制造业“创新驱动、由大到强”的主攻方向。

制造业创新发展的内涵包括三个层面：一是产品创新；二是生产技术创新；三是产业模式创新。在这三个层面上，智能制造——数字化网络化智能化制造都是制造业创新发展的主要途径：第一，数字化网络化智能化是实现机械产品创新的共性使能技术，使机械产品向“数控一代”和“智能一代”发展，从根本上提高产品功能、性能和市场竞争力；第二，数字化网络化智能化也是生产技术创新的共性使能技术，将革命性地提升制造业的设计、生产和管理水平；第三，数字化网络化智能化还是产业模式创新的共性使能技术，将大大促进服务型制造业和生产性服务业的发展，深刻地变革制造业的生产模式和产业形态。

机械产品的数控化和智能化创新具有鲜明的特征、本质的规律，这种颠覆性共性使能技术可以普遍运用于各种机械产品创新，引起机械产品的全面升级换代，这也是“数控一代”和“智能一代”机械产品这样一个概念产生的缘由和根据。

2011 年年初，18 位院士联名提出了关于实施数控一代机械产品创新工程（简称“数控一代”）的建议，中央领导同志高度重视、亲切关怀，科技部、工业和信

息化部、中国工程院联合启动了数控一代机械产品创新应用示范工程，其战略目标是：在机械行业全面推广应用数控技术，在10年时间内，实现各行各业各类各种机械产品的全面创新，使中国的机械产品总体升级为“数控一代”，同时也为中国机械产品进一步升级为“智能一代”奠定基础。

4年来，全国工业战线的同志们团结奋斗，用产学研政协同创新，数控一代机械产品创新应用示范工程进步巨大、成就卓著，在全面推进智能制造这个主攻方向上取得了重大突破。

中国机械工程学会是实施数控一代机械产品创新应用示范工程的一支重要推动力量。4年来，学会发挥人才优势和组织优势，动员和组织学会系统包括各省区市机械工程学会和各专业分会的同志们广泛参与，着重于推动数控一代工程在各行各业各区域各企业的立地和落实，为企业产品创新助力、为产业技术进步服务。在这个过程中，学会重视发现典型、总结经验，形成了《“数控一代”案例集》。

《“数控一代”案例集》总结了典型机械产品数控化创新的丰硕成果，展示了各行业各区域各企业实施创新驱动发展战略的宝贵经验，覆盖面广、代表性强，对于实现中国机械产品的全面创新升级有着重要的借鉴与促进作用。

衷心祝愿《“数控一代”案例集》持续推出、越办越好，助百花齐放、引万马奔腾，为数控一代机械产品创新应用示范工程的成功、为“中国制造2025”的胜利、为实现中国制造由大变强的历史跨越做出重要贡献。

周济

2015年4月10日

前言

山东是机械装备制造业大省，业已形成门类齐全、规模较大的产业体系。其中重型汽车、轻型卡车、大型锻压设备、工程机械、农业机械、石油机械、金切机床、木工机械、电工电器等行业规模居全国前列。2014 年全省机械工业 10317 家规模以上企业完成主营业务收入 30989.76 亿元，突破 3 万亿大关，比上年增长 12.98%；主营业务收入占全省工业的比重为 21.6%。机械工业总产值、主营业务收入、利税总额、利润总额等主要指标居全国各省、区、市第二位，是山东省支柱产业之一。但同时，山东省机械装备制造业存在着企业自主创新能力不够强，产业结构不尽合理，中低端产品产能过剩，关键基础材料、核心基础零部件（元器件）、先进基础工艺和产业技术基础水平不高等共性问题，机械产品的数字化网络化智能化程度与国际先进水平相比尚有一定差距。为此，亟需抓住新一代信息技术与制造业深度融合的战略机遇，促进山东省机械装备制造产业的战略转型。

实施数控一代机械产品创新应用示范工程，应用数字化网络化智能化技术，提高机械产品的自主创新能力和产品附加值，是山东省装备制造产业转型升级的重要抓手和有效途径。在数控一代机械产品创新应用示范工程系列活动的推动下，用数字化技术改造提升传统装备或创新研发新一代数控装备已成为很多企业的自觉行为。示范工程的推进极大地促进了企业产品的升级换代，取得了一系列令人瞩目的成绩，企业的核心竞争力得到提高，有些技术和成果已经引起了国际同行的高度关注。《“数控一代”案例集（山东卷）》收录了山东省装备制造企业近年来在数字化技术应用中的典型案例，这其中包括了纺织机械、金属加工机械、数控

系统及自动化装备、矿山机械、电工电器、轻工机械、建材机械、木工机械、食品机械、测试设备、基础件制造装备、能源装备等诸多行业特色显著的“数控一代”产品示范应用，体现了山东装备制造企业近年来在数字化装备和智能制造领域的发展和进步。可以说，本书正是山东省从实处着眼推动智能转型的执行力之具体体现。

在经济发展新常态下，数字化网络化智能化将是推动我国制造业转型升级的重要引擎。山东省机械装备制造业企业通过实施“数控一代机械产品创新应用示范工程”，抓住我国由制造大国迈向制造强国的历史机遇，一定能够实现新的发展，为实施“中国制造 2025”、实现“制造强国”这一宏伟目标做出新的贡献。

《“数控一代”案例集（山东卷）》编委会

2014 年 4 月

目录

CONTENTS

纺织机械

-  **案例 1** 筒子纱数字化自动染色成套技术与装备研究 / 1
-  **案例 2** 数控纺织机械成套设备的研发 / 11

金属加工机械

-  **案例 3** 轮胎模具专用数控加工技术及成套装备 / 17
-  **案例 4** 罗茨鼓风机叶轮加工成套技术与装备研究 / 25
-  **案例 5** 数控板料开卷矫平剪切生产线及新型数控直驱机床研发 / 37
-  **案例 6** 大型零件数字化加工技术与装备 / 47
-  **案例 7** 智能化油缸加工生产线 / 57
-  **案例 8** 汽车纵梁柔性制造数字化车间 / 67
-  **案例 9** 数控铣车复合齿轮加工专用机床 / 75

数控系统及自动化装备

-  **10** 基于工业以太网总线 PAC 系统的研发及应用 / 83
-  **11** 快速高效数控全自动冲压生产线 / 91
-  **12** 工程机械抛喷丸数控关键技术与应用 / 97
-  **13** 数控冲压自动化生产线系统 / 105
-  **14** 高强度钢板热冲压成形自动化生产成套装备 / 115
-  **15** 数控化子午轮胎面缠绕成套技术与装备 / 123

矿山机械

-  **16** 数控带式输送机整机设计控制和关键技术研发 / 131

电工电器

-  **17** 数字化焊接电源与相关装备 / 139
-  **18** 电机绕组制造技术与数控成套装备研究 / 147
-  **19** 智能化变电站用系列高压变频器 / 155

轻工机械

-  **案例 20** 数字化全自动行列式制瓶机 / 161
-  **案例 21** 数控高分子材料成套加工技术装备 / 167

建材机械

-  **案例 22** 数控自动化高端墙砖成型与码坯系统 / 175
-  **案例 23** 石材数控磨抛生产线 / 183
-  **案例 24** 数控技术在加气混凝土生产设备上的应用 / 191
-  **案例 25** 门窗幕墙数控加工设备 / 197

木工机械

-  **案例 26** 数控有卡无卡一体木工旋切机 / 203

食品机械

-  **案例 27** 肉类加工数控成套装备研制 / 211
-  **案例 28** 数控自动化油脂及植物蛋白加工技术装备 / 221

测试设备

-  **案例 29** 电液伺服多通道协调加载试验系统 / 229

基础件制造装备

-  **案例 30** 液压传动产品数字化制造应用示范 / 237

能源装备

-  **案例 31** 页岩气工厂化压裂智能装备与控制项目 / 245

-  **案例 32** 半潜式平台 DP3 动力定位系统及其自动化系统 / 251

案例

1

筒子纱数字化自动染色成套技术与装备研究

山东康平纳集团有限公司 / 机械科学研究总院 / 鲁泰纺织股份有限公司

纺织工业是我国传统产业，也是国民经济支柱产业。筒子纱染色是生产高档纺织品、提升产品附加值的纺织产业重要组成部分。通过创新研发筒子纱数字化自动染色工艺、生产流程自动化成套装备、生产全过程自动控制技术等，建成了数字化自动染色生产线和数字化染色车间，实现了筒子纱染色从原纱到成品的全过程数字化、自动化、智能化、清洁化生产。

一、导言

我国是世界上最大的纺织品生产国和出口国，纺织工业是国民经济支柱产业和重要的民生产业。筒子纱染色是生产高档色织、针织面料等众多纺织品、赋予产品功能、提升产品附加值的纺织产业重要组成部分。我国筒子纱染色企业用工近百万，年染纱 1000 多万吨，85% 以上的色织用纱线通过筒子纱染色制造。印染企业废水排放占纺织行业的 70% 以上，是我国工业污水的主要来源之一。

筒子纱染纱品种繁多、染色设备规格多、装备自动化程度低，同时传统筒子纱染色工艺复杂、流程长，基本上靠技术人员和人工操作执行，上述原因造成传统筒子纱染色一次合格率低，通常为 80% 以下，且水耗、能耗、污水排放量高，劳动强度大。因此，人为因素的影响和自动化程度低已成为筒子纱染色行业迈向现代化的重大瓶颈，传统染色生产方式已无法满足时代的需求。

欧洲已进行卧式染色机生产流程的自动化研究，实现了局部自动化，染色一次合格率达到 90% 以上。国内普遍采用的立式染色机仅实现单机自动化，且立式染色机纱笼装纱层数多，纱杆排布密且无规律，染色机规格型号多且跨度大，纱笼需要无碰撞精准吊入吊出立式染色机，实现立式染色机染色全流程自动化的难度更大、控制更复杂。

实现筒子纱高质高效、节能减排降耗生产，减少人为因素影响、降低工人劳动强度，在筒子纱染色行业采取自动化和数字化技术是行业未来发展趋势。但筒子纱染色全过程数字化、自动化的实现存在工艺参数多、反馈控制复杂、纱线自动装卸易受损、染料助剂精准计量输送难、生产线成套装备自动精确控制等系列技术难题。

本项目通过多年的系统技术攻关及应用研究取得了重大突破，围绕数字化自动染色工艺技术、高效数控染色关键设备、生产全过程的中央自动控制系统及自动化染色生产线等方面，创新研发出筒子纱数字化自动染色工艺、生产流程自动化成套装备、生产全过程自动控制技术，建成立式染色机筒子

纱全流程数字化自动染色生产线，实现了筒子纱染色从原纱到成品的全过程数字化自动生产、筒子纱数字化染色车间现场无人化操作，推动了纺织行业数字化、自动化、智能化、清洁化的技术进步。技术路线如图 1 所示。

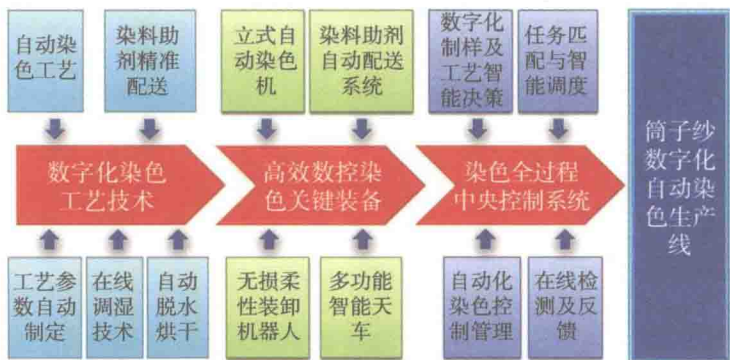


图 1 数字化自动染色总体技术路线

二、主要研究内容

本项目的研究内容包括筒子纱数字化自动染色工艺技术、筒子纱数字化自动染色成套装备和筒子纱数字化染色生产全过程中央控制系统的研发，在成功完成上述三方面的研究后，建立起筒子纱数字化自动染色生产线。

1. 筒子纱数字化自动染色工艺技术的开发

传统染色工艺是基于人工操作而制定，部分工艺参数需现场确定、参数精准度低，无法满足数字化自动染色需求。为实现筒子纱自动化染色，需研发与之匹配的数字化自动染色工艺。本项目研究出染色各流程适于中央控制的数字化自动染色工艺技术，建立了筒子纱染色工艺参数自动化控制的数学模型，开发出全过程百万组工艺数据库，实现了工艺参数精准制定与自动生成，为筒子纱全流程数字化自动染色提供了重要的工艺基础。

(1) 适于筒子纱数字化自动染色的工艺参数匹配与制定技术。传统的筒子纱制样、生产工艺参数制定依赖人工经验制定，打样偏差大、部分参数现场凭工人经验设定，纱线受环境影响重量波动 2% ~ 4%，染料助剂计量和烘干工艺制定基准偏差大。研究了人工打样配方与仪器标准校样配方的数值比对拟合，建立出多元制样配方自动调整数学模型，开发出数字化制样软件管理模块。研究了筒子纱染色生产过程中纱线与染料助剂、液位、脱水、烘干等参数间的关系，研发了集纱线调湿和称量为一体的纱线回潮控制技术，研究出染色工艺参数的自动匹配与制定技术，实现打样过程和批量生产过程的工艺参数精确制定。

(2) 创新开发出筒子纱数字化自动染色工艺。在自动化染色工艺研究过程中，通过研究纱卷密度、厚度、穿透纱线染液的流速、流向、染液黏度、染缸压力、水头损失、最低液量时纱卷裸露高度等多个参数对自动化低液量染色质量稳定性的影响规律，建立了基于水头损失的数字化少水染色液位控制模型（图 2），研究出液位、流量、压差对匀染性的影响关系，

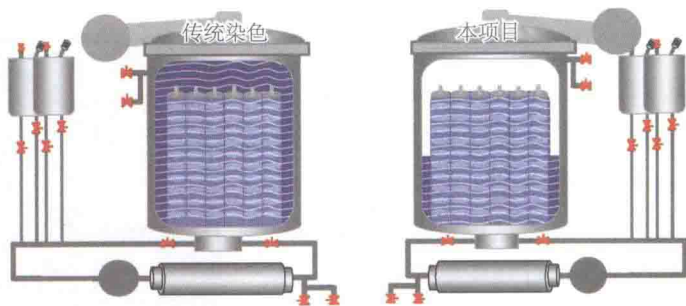


图 2 少水染色液位控制模型

优化了自动化染色工艺参数,创新开发出数字化低水位半缸染色工艺,实现了染色平均节水 27%,工艺时间缩短 10% ~ 25%,有效降低了层纱间的色差及色牢度差异。

(3) 创建筒子纱数字化自动染色工艺数据库。随着消费者对纺织品颜色的色相、纯度和亮度要求的提高,染色花色品种呈几何倍数增加,准确制定染色工艺成为制约筒子纱染色的技术瓶颈。本项目统计分析了上百万个筒子纱染色的工艺流程及参数,研究了纱线种类、染料种类、染色浴比、染液温度等材料、工艺参数对染色质量的影响规律,通过染色工艺标准化及染色助剂与配方智能匹配,研究了各种纱卷的脱水、烘干工艺,建立起全流程的百万组工艺数据库,实现工艺方案精准快速确定。

2. 筒子纱数字化自动染色成套装备的研制

立式染色机纱笼高度比卧式染机高,纱杆排布密且无规律,纱笼需无碰撞精准吊入吊出立式染色机,规格从 30 ~ 5000 kg 跨度大,实现全流程自动化的难度更大、控制更复杂。本项目研究了全自动染色、染料助剂自动配送、纱线无损自动装卸、大吨位纱笼自动转运、筒子纱高效自动脱水烘干等系列技术,研制出染色工艺设备自动化系统、筒子纱自动化转运系统、染料助剂自动计量配送系统等筒子纱数字化自动染色成套装备(图 3),为筒子纱全流程数字化自动染色提供了重要的装备支撑。



图 3 数字化自动染色关键设备

(1) 创新研制出基于中央控制的筒子纱立式自动化染色机。针对筒子纱染色全流程自动化运行的需求,研究了染色机远程控制及安全联锁技术,染色机与染料助剂加料系统、智能装运天车间的信息实时传输控制技术,开发出适合于染色流程自动运行的染色控制技术,研制出筒子纱立式自动化染色机(图 4),解决了纱笼自动精准吊入吊出染缸、染料助剂适时添



图 4 筒子纱立式自动化染色机

加、染色进程实时反馈等技术难题，实现了染色工艺参数的在线检测、反馈和精确执行。

（2）创新研制出粉状助剂精准称量及干式输送系统。染色生产中元明粉、纯碱等粉状助剂用量大，占批次染料助剂总量 70% 左右，存在易吸湿结块、粉状易飞扬，人工搬运困难，液体自动输送影响染色浴比、糊状自动输送易堵塞管路等难题。本项目提出粉状助剂自动称量及干式输送方法，研究了粉状助剂精确控制出料、称重实时检测及补偿、智能装运天车适时输送等关键技术，研制出盐类粉状助剂自动精准称量及其输送系统（图 5）。所开发系统的最大量程 600 kg，精度 ± 0.2 kg，实现了粉状助剂的自动计量、精准输送。

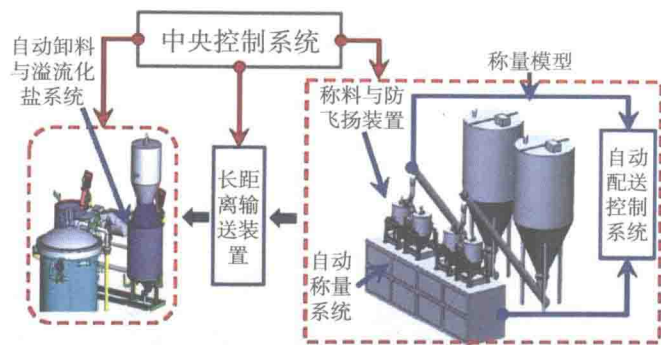


图 5 粉状助剂精准称量及干式输送系统

（3）创新研制出纱卷柔性精定位数控化离心脱水机。目前筒子纱脱水普遍使用单机脱水方式，纱卷脱水变形大，纱卷装卸工位精度差。为实现远程控制的纱卷自动化装卸，分析了系统震动与旋转速度对纱杆精确定位影响规律，创新设计出高速旋转状态下筒子纱随型脱水转桶、柔性防变形纱杆精确定位机构和纱篮双重定位锁紧装置，研制出装卸工位柔性精定位自动离心脱水机，解决了纱篮定位精度低、纱杆易断自动回位等技术难题。采用本项目开发的脱水机，纱卷脱水后变形小、纱线损伤低，棉纱脱水后含水率可达到 45% 以下。

（4）创新研制出筒子纱隧道式数控化微波烘干技术及装备。针对传统热风烘干周期长、纱线易脆化、回潮不均匀、数控化自动化低等问题，本项目提出了筒子纱微波自动连续烘干方法，研究了多馈口腔体的微波场强均匀性分布规律，功率、纱卷排布与速率的自动匹配技术，优化出毛纱、棉纱、天丝等多种筒子纱微波烘干工艺，研制出 CMW 系列筒子纱数控微波烘干机（图 6）。采用微波烘干筒子纱，比热风节能 30% 以上。

（5）创新研制出筒子纱无损柔性装卸技术及系列化机器人。立式染色机纱笼层高，纱杆密布无规律，抓取空间小，人工装卸劳动强度大 $[8 \sim 10 \text{ 吨}/(\text{人} \cdot \text{日})]$ ；由于纱线纤细，在人工装卸时纱卷及纱管盘易损坏，在自动装卸时存在夹持力小易掉纱、夹持力大纱线易损伤等难题。针对上述难题，本项目开展了纱线种类、含水率等与机械手的摩擦夹持规律，自