

高等教育“十一五”国家级规划教材

Materials Forming Equipment
and Automation

材料成形 装备及自动化

第2版

樊自田 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

·通高等教育“十一五”国家级规划教材

材料成形装备及自动化

第2版

主 编 樊自田
参 编 莫健华 陈柏金 叶春生
周龙早 蒋文明 吕书林
吴和保
主 审 吴浚效 华 林 张俊德



机械工业出版社

本书共9章,介绍了成形装备在材料成形加工中的作用及工业生产自动化与智能化的含义、金属液态成形装备及自动化、金属塑性成形装备及自动化、金属焊接成形设备及自动化、高分子材料成型设备及自动化、增材制造装备及系统、陶瓷和玻璃等其他重要的材料成形装备、工业炉及其控制、材料加工中的环境保护装备。

本书是在普通高等教育“十一五”国家级规划教材《材料成形装备及自动化》的基础上修订而成的,可供高等院校材料成形及控制工程专业本科生、材料加工工程专业研究生使用,也可供机械大类和材料大类专业学生及从事相关专业生产与科学研究工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形装备及自动化/樊自田主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2018.8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-60236-1

I. ①材… II. ①樊… III. ①工程材料-成型装置-高等学校-教材②工程材料-成型-自动化-高等学校-教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第190889号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:丁昕祯 责任编辑:丁昕祯 安桂芳

责任校对:刘志文 封面设计:马精明

责任印制:张博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2018年9月第2版第1次印刷

184mm×260mm·27印张·716千字

标准书号:ISBN 978-7-111-60236-1

定价:69.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书的第1版于2006年出版，至今已有十余年，2006年被选定为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，编者认为它是较能体现“材料成型及控制工程”专业主要知识特点的课程教材，知识内容宽泛，在主体介绍金属材料成形（液态成形、塑性成形、焊接成形）装备及自动化特点的同时，还介绍了非金属材料成形（陶瓷、玻璃等）装备及控制系统，以及现代材料成形装备新发展（增材制造、半固态成形、绿色材料成形），符合当今对大学生宽知识面、多适应性的时代要求。

经过十多年的技术进步，材料成形装备及自动化又有了新的发展，智能化被确定为更高的发展目标，绿色材料及绿色成形制造技术更受重视，“快速成形”演变成为“增材制造”或“3D打印”。因此，本书的修订必须有所改进、完善及发展，以适应时代的快速进步。

编者在十多年的教学实践积累与装备知识更新的基础上，修改完善了本书的知识内容，更正了第1版中的错误，统一了章节编写结构，增加了装备智能化的知识介绍，使书中的章节结构更加合理，知识层次更加分明，更加与时俱进。

本书（第2版）由华中科技大学樊自田教授担任主编，六位华中科技大学教授（副教授）、一位武汉工程大学教授参加了编写工作。具体的编写分工为：第1~2章，樊自田教授；第3章，华中科技大学陈柏金教授；第4章，华中科技大学周龙早副教授；第5章，华中科技大学叶春生副教授；第6章，华中科技大学莫健华教授；第7章，华中科技大学蒋文明副教授；第8章，华中科技大学吕书林副教授；第9章，武汉工程大学吴和保教授。全书由樊自田教授最终审定。

由于涉及的内容繁多，加之编者水平有限，书中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

第1版前言

装备是整个工业和国民经济的基础,工业的自动化与信息化又是现代工业与国民经济发展的必然趋势。材料成形装备及自动化的进展是材料成形工业技术发展的主要标志,全面了解并掌握材料成形装备及自动化方面的知识是对当代“材料成形及控制工程”专业大学生的必然要求。

经过数十年的发展,原铸造、锻压、焊接、热处理等专业已自成体系,相对较为独立。这些专业又分成形工艺、成形材料、成形装备等研究方向,且以讲授金属材料的热加工成形内容为主,专业学习的知识面较窄。新的“材料成型及控制工程”专业的知识内容覆盖了原铸造、锻压、焊接、热处理等专业,还包括塑料、陶瓷、玻璃等材料的成形及过程控制的内容。其中,“成形装备及自动化”课程是本专业的核心课程之一,内容包含了原来的“铸造机械化”“锻压设备”“焊接设备及自动化”“热处理工业炉”“塑料成形机械”“陶瓷工业机械设备”“玻璃加工机械”等课程内容。以往的教材已无法满足新专业对教学内容的要求,针对此,编写了本书,以满足专业合并改造后材料成型及控制工程专业更宽广的知识教学与人才培养需求。

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,编写的指导思想是:以讲述材料成形装备的结构和原理为主体,以讲述装备的控制与自动化为重点。内容既包括传统材料成形加工方法(铸造、锻压、焊接等)的装备及自动化的内容,又包括高分子材料(塑料、橡胶等)及其他材料(陶瓷、玻璃等)的成形装备与控制,还介绍了材料加工成形领域的最新研究与应用成果,如“材料的快速成形装备控制”“半固态金属成形装备”等现代先进材料成形加工技术的内容。鉴于21世纪对环境保护、绿色加工成形技术的重视与发展,书中还介绍了“材料成形加工中的环境保护装备”,符合材料成形加工及制造行业绿色可持续发展的时代要求。

在编写方法上,编者力争反映材料成形装备及自动化的共性知识,使金属材料、高分子材料、陶瓷材料等的加工成形设备融为一体,促进专业的融合及其知识面的拓宽。重点或详细介绍各材料成形装备及方法中的主要设备和自动化程度较高的新型设备,而对其中的次要设备或较旧的设备只做简要介绍或不做介绍。

本书由华中科技大学樊自田教授担任主编,华中科技大学莫健华教授担任副主编。编写分工为:第1章、第7~9章,樊自田教授;第2章,华中科技大学万里副教授、樊自田教授;第3章,华中科技大学陈柏金副教授;第4章,华中科技大学姜幼卿副教授;第5章,华中科技大学叶春生副教授;第6章,莫健华教授。本书由清华大学吴浚效教授、武汉理工大学华林教授、华中科技大学张俊德教授任主审。主审分工为:第1~2章、第9章,吴浚效教授;第3~6章,华林教授;第7~8章,张俊德教授。

由于涉及的内容繁多,加之编者水平有限,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

编者

目 录

第2版前言

第1版前言

第1章 绪论 1

1.1 材料的分类及其成形装备概述 1

1.1.1 材料的分类 1

1.1.2 材料的成形方法及装备概述 2

1.2 成形装备在材料成形加工中的作用 5

1.3 工业生产自动化与智能化的含义 6

1.3.1 工业生产过程 6

1.3.2 工业生产自动化内容 7

1.3.3 工业生产智能化内容 8

1.4 本课程的知识基础及教学目标 11

思考题 11

第2章 金属液态成形装备及自动化 ... 12

2.1 概述 12

2.2 金属熔化及浇注装备 13

2.2.1 冲天炉熔化 14

2.2.2 电炉熔化 18

2.2.3 自动浇注装备 19

2.3 砂处理装备及自动检测系统 24

2.3.1 砂处理装备概述 24

2.3.2 旧砂处理装备 24

2.3.3 混砂装备 26

2.3.4 砂处理系统的自动检测/监测 32

2.4 造型设备及自动化生产线 33

2.4.1 黏土砂用造型装备 33

2.4.2 树脂砂(水玻璃砂)振动 紧实台 48

2.4.3 造型生产线 49

2.5 制芯设备及自动控制系统 52

2.5.1 热芯盒射芯机 53

2.5.2 冷芯盒射芯机 55

2.5.3 壳芯机 57

2.6 铸件落砂与清理装备及自动化 59

2.6.1 铸件落砂 59

2.6.2 铸件清理 61

2.7 特种铸造装备及自动化 65

2.7.1 压力铸造装备及自动化 65

2.7.2 低压铸造装备及自动化 76

2.8 消失模精密铸造装备及生产线 79

2.8.1 泡沫塑料模样的成形装备 79

2.8.2 造型装备及生产线 81

2.9 半固态铸造成形装备及生产线 84

2.9.1 半固态浆料的制备装备 84

2.9.2 半固态铸造成形装备 85

2.9.3 半固态铸造的其他装备 86

2.9.4 半固态铸造生产线及自动化 87

2.10 典型铸造工业机器人及无人工厂 89

2.10.1 典型铸造工业机器人 89

2.10.2 铸造无人工厂简介 91

思考题 93

第3章 金属塑性成形装备及自动化 ... 95

3.1 概述 95

3.1.1 金属塑性成形装备在现代工业中的 地位 95

3.1.2 金属塑性成形装备的发展趋势 95

3.1.3 金属塑性成形装备的分类 97

3.2 曲柄压力机 97

3.2.1 曲柄压力机工作原理及组成 98

3.2.2 曲柄滑块机构的工作特性 99

3.2.3 通用曲柄压力机 103

3.3 液压机 112

3.3.1 液压机的组成与工作原理 112

3.3.2 液压机本体结构 116

3.3.3 液压系统 122

3.4 螺旋压力机 125

3.4.1 工作原理 125

3.4.2 力能特性 126

3.4.3 基本参数与特点 127

3.4.4 摩擦螺旋压力机 129

3.4.5 液压螺旋压力机 130

3.4.6 离合器式螺旋压力机 131

3.4.7 电动螺旋压力机 132

3.5 伺服压力机 133

3.5.1 伺服压力机工作原理 133

3.5.2 伺服压力机传动结构 134

3.5.3 伺服压力机特点 137

3.5.4 伺服压力机控制系统 138

3.6 其他塑性成形装备	140	5.1.3 高分子材料加工成型设备的 特点	242
3.6.1 数控电液锻锤	140	5.2 塑料注射机	244
3.6.2 数控板料折弯机	142	5.2.1 塑料注射机的基本原理	244
3.6.3 数控转塔压力机	147	5.2.2 注射部分主要性能参数	246
3.6.4 精冲压力机	152	5.2.3 合模力性能参数	251
3.6.5 多工位压力机	156	5.2.4 注射工艺控制流程	254
3.6.6 板料渐进成形机	160	5.2.5 注射机的电气控制系统	257
3.7 塑性加工柔性系统及其数字化工厂 ..	163	5.3 其他高分子材料成型设备	263
3.7.1 板材加工柔性系统	164	5.3.1 橡胶成型设备及自动化	263
3.7.2 数字化工厂	168	5.3.2 压制成型设备及自动化	267
思考题	170	5.3.3 压延成型设备及自动化	270
第4章 金属焊接成形设备及 自动化	171	5.3.4 板材成型设备及自动化	270
4.1 概述	171	5.3.5 成型装备的发展趋势	271
4.1.1 焊接的定义及其分类	171	思考题	272
4.1.2 金属焊接成形设备的发展趋势 ..	171	第6章 增材制造装备及系统	273
4.2 电弧焊设备及自动化	172	6.1 概论	273
4.2.1 电弧静特性和弧焊电源基本 特性	172	6.1.1 引言	273
4.2.2 埋弧焊设备	175	6.1.2 增材制造基本原理	273
4.2.3 熔化极氩弧焊设备	180	6.1.3 分类及发展	274
4.2.4 CO ₂ 气体保护电弧焊设备	185	6.1.4 典型应用	278
4.2.5 钨极氩弧焊设备	188	6.2 三维模型与数据处理	279
4.2.6 等离子弧焊设备	193	6.2.1 概述	279
4.3 电阻焊装备及自动化	198	6.2.2 正向工程三维建模	281
4.3.1 概述	198	6.2.3 逆向工程三维建模	282
4.3.2 电阻焊机的基本结构	199	6.2.4 数据处理	293
4.3.3 点焊装备	206	6.3 液态树脂光固化成形装备	297
4.3.4 缝焊装备	209	6.3.1 概述	297
4.3.5 对焊装备	212	6.3.2 光固化成形原理	297
4.4 激光焊接设备	216	6.3.3 光固化成形系统	298
4.4.1 概述	216	6.3.4 光固化成形工艺	300
4.4.2 激光器的结构	218	6.3.5 典型应用	307
4.4.3 固体激光焊接机	218	6.4 粉末选择性激光烧结 (SLS)/熔融 成形 (SLM) 装备	308
4.4.4 气体激光焊接机	224	6.4.1 概述	308
4.5 焊接机器人	229	6.4.2 工作原理	309
4.5.1 概述	229	6.4.3 SLS 成形系统	310
4.5.2 点焊机器人	230	6.4.4 SLM 成形系统	311
4.5.3 弧焊机器人	234	6.4.5 成形工艺	311
4.5.4 焊接机器人的应用	237	6.5 熔丝沉积成形装备	313
思考题	239	6.5.1 概述	313
第5章 高分子材料成型设备及 自动化	241	6.5.2 FDM 成形技术工作原理	314
5.1 概述	241	6.5.3 工业级设备及控制系统	315
5.1.1 高分子材料的加工性能	241	6.5.4 典型应用	316
5.1.2 高分子材料成型方法分类	242	6.6 微滴喷射成形装备	317
		6.6.1 概述	317

6.6.2 3D 打印工作原理	319	8.5 炉温检测及控制系统	394
6.6.3 3D 打印成形系统	321	8.5.1 常用的测温方法	394
6.7 薄材叠层成形装备	325	8.5.2 温度检测系统组成	395
6.7.1 概述	325	8.5.3 炉温自动控制系统举例	395
6.7.2 工作原理	326	思考题	398
6.7.3 控制系统	327	第9章 材料成形加工中的环境保护	
6.7.4 LOM 成形设备	330	装备	399
思考题	331	9.1 环境保护的意义及国家的环境	
第7章 其他重要的材料成形装备	332	保护法	399
7.1 陶瓷成形装备	332	9.1.1 可持续发展与绿色制造	399
7.1.1 陶瓷技术装备概述	332	9.1.2 国家的环境保护法简介	399
7.1.2 陶瓷原料生产加工装备	333	9.1.3 材料加工中的环保设备概述	400
7.1.3 成形机械装备	338	9.2 除尘装备	401
7.1.4 施釉与装饰机械装备	346	9.2.1 粉尘的危害及其最高容许浓度	401
7.2 玻璃成形装备	348	9.2.2 除尘设备	401
7.2.1 玻璃制品生产的工艺过程	348	9.3 噪声及振动控制装备	403
7.2.2 玻璃成型的主要装备	349	9.3.1 噪声的危害及其允许等级	403
7.2.3 玻璃制品的冷加工装备	353	9.3.2 噪声控制	403
7.3 粉末材料成形装备	356	9.3.3 压力加工设备的隔振装置	404
7.3.1 粉末冶金加工工艺过程简介	356	9.4 废气净化装备	405
7.3.2 粉末材料注射成形装备	358	9.4.1 废气的最高容许浓度及其净化	
7.3.3 粉末材料挤压成形装备	359	方法	405
7.3.4 烧结及气体保护装备	360	9.4.2 冲天炉喷淋式烟气净化装置	406
思考题	363	9.4.3 消失模铸造 (EPC) 废气净化	
第8章 工业炉及其控制	364	装置	406
8.1 工业炉	364	9.5 污水处理设备	407
8.1.1 热能的产生与热交换概述	364	9.5.1 污水的排放标准及处理方法	407
8.1.2 工业炉的种类及特点	365	9.5.2 污水处理工艺流程	408
8.1.3 工业炉的基本要求及其主要		9.5.3 水玻璃砂污水处理设备	409
组成	365	9.5.4 压铸铝合金铸件清洗污水处理	
8.2 热处理工业炉	366	设备	410
8.2.1 热处理工艺概述	366	9.6 旧砂再生回用设备	411
8.2.2 连续淬火热处理炉	367	9.6.1 旧砂回用与旧砂再生	411
8.2.3 可控气氛热处理炉	369	9.6.2 旧砂再生的方法及选择	411
8.2.4 真空热处理炉	376	9.6.3 典型再生设备的结构原理及使用	
8.3 热处理自动生产线	381	特点	412
8.3.1 盐浴炉及其热处理生产线	381	9.6.4 再生砂的后处理	413
8.3.2 可控气氛推杆炉生产线	384	9.6.5 典型的旧砂干法再生系统	414
8.3.3 钢板弹簧热处理生产线	385	9.6.6 典型的旧砂湿法再生系统	415
8.4 其他工业用炉	389	9.6.7 典型的旧砂热法再生系统	417
8.4.1 多用途箱式电阻炉	389	思考题	418
8.4.2 室式锻造加热炉	390	参考文献	419
8.4.3 干燥炉	392		

第1章

绪论

材料成形装备与材料种类、成形方法密切相关，不同材料具有不同性能特征，产生了不同的成形工艺方法及装备。随着技术的进步，对材料成形装备的控制，已由人工控制向机械化、自动化、智能化迈进。本章从概述材料的分类、成形方法及装备种类入手，重点阐述成形装备在材料成形加工中的作用、工业生产自动化与智能化的含义，最后简述了本课程的知识基础及教学目标等。

1.1 材料的分类及其成形装备概述

1.1.1 材料的分类

材料通常是指可以用来制造有用的构件、器件或其他物品的物质。根据化学组成和显微结构特点，材料分为金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料等种类，复合材料是由前三者相互构成的。材料的分类及组成关系如图 1-1 所示。

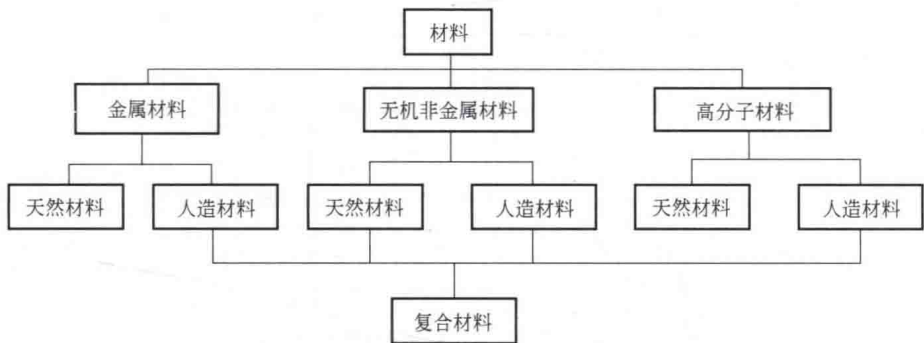


图 1-1 材料的分类及组成关系

金属材料包括钢铁、铜合金、铝合金、镁合金等。高分子材料包括塑料、树脂、橡胶等。无机非金属材料几乎包括除金属材料、高分子材料以外的所有材料，主要有陶瓷、玻璃、胶凝材料（水泥、石灰和石膏等）、混凝土、耐火材料、天然矿物材料等。

复合材料是指由两个或两个以上独立的物理相，包括黏结材料（基体）和粒料、纤维或片状材料所组成的一种固体产物。复合材料的组成为两大部分：基体与增强材料。其中，基体是构成复合材料连续相的单一材料（如玻璃钢中的树脂），增强材料是复合材料中不构成连续相的材料（如玻璃钢中的玻璃纤维）。复合材料根据其基体材料的不同，又可分为聚合物基复合材料（如树脂基复合材料）、金属基复合材料、无机非金属基复合材料（如陶瓷基复合材料）三种。

材料还可以根据其性能特征、用途、状态等分类。根据性能特征的不同，可分为结构材料和功能材料，前者以力学性能为主，后者以物理、化学性能为主。根据用途可分为建筑材

料、航空材料、电子材料和半导体材料。根据状态可分为固体材料、液体材料和粉末材料。

1.1.2 材料的成形方法及装备概述

不同的材料应采用不同的成形方法，同一种材料处于不同状态时也有不同的成形方法。

(1) 金属材料成形 对金属材料而言，其成形方法通常分为冷加工、热加工两大类。冷加工成形是指切削加工，如车削、刨削、磨削、铣削、镗削等。热加工成形则有铸造（或液态成形）、锻压（挤压）、焊接、粉末冶金等方法。

由于铸造成形和焊接成形是在液态金属冷却凝固后完成的，故有人将它们称为金属的液态成形；而金属的锻压（挤压）成形是在固态下通过施力使金属材料受力后发生塑性变形而完成的，故又称为金属材料的塑性成形。当金属处于半固态下（即金属的温度处于固相线与液相线之间）时，可采用半固态铸造或液态锻压成形。

金属材料的铸造成形、塑性成形、焊接成形的工艺方法有多种多样，常见的金属材料热加工成形方法特点及主要装备见表 1-1。金属材料成形装备的种类也十分繁多，其主要装备及其自动化将在后面的章节阐述。

表 1-1 常见的金属材料热加工成形方法特点及主要装备

金属材料成形方法			工艺特点、适用场合	主要装备
铸造成形	重力作用下的铸造成形	砂型铸造	用模样和型砂制造砂型的铸造工艺,制造砂型经过:型(芯)砂紧实、起模、下芯、合型、浇注、落砂、清理等过程。根据黏结剂的不同,它又包括黏土砂型铸造、树脂砂型铸造、水玻璃砂型铸造、壳型(覆膜砂型)铸造等。其应用十分广泛,可适用于钢、铁、铜、铝、镁等各类金属及其合金材料的各种尺寸和重量的铸件生产	各类造型机、制芯机、铸型输送机及辅助装备、落砂机、砂处理设备、清理设备等
		金属型铸造	采用金属铸型的铸造工艺,金属型可以重复使用,又称为永久型铸造。金属型铸造的工艺过程及装备较为简单,常用于铜、铝、镁、锌等有色金属及合金的铸件生产	金属型铸造机
		熔模铸造	铸型为蜡模熔失后而形成的中空型壳,又称为失蜡铸造或精密铸造。所得铸件的尺寸精度高、表面粗糙度值低,其工艺过程包括蜡模制造、结壳、脱蜡、焙烧、浇注等。它主要用于高熔点和难切削的铸钢、合金铸钢、合金铸铁等材料的中小精密铸件(如航空航天铸件等)的生产	压蜡机、结壳生产线、焙烧炉等
		消失模铸造	用泡沫塑料模样代替木模或金属型,用无黏结剂干砂、水玻璃砂等型砂进行造型,无须起模,高温金属液浇注到铸型中的模样上,泡沫模样受热汽化、消失而形成铸件。其工艺过程包括铸件模样及其浇冒系统的制造与组合、涂料及干燥、填砂及振动紧实、浇注及落砂等,可用于钢、铁、铜、铝、镁等各类金属及其合金材料的铸件生产	模样成形机、振动紧实台、热干砂冷却系统、真空系统等
	外力作用下的铸造成形	离心铸造	将金属液浇入高速旋转的金属铸型中,使其在离心力的作用下充填铸型、凝固形成铸件。它用于生产空心旋转体铸件很有优势,大量用来生产管筒类铸件(如铁管、铜套、缸套等)	离心铸造机
		压力铸造	在高压(30~70MPa)作用下将液态或半固态金属快速(充填速度为5~100m/s、充型时间为0.05~0.2s)压入金属铸型中,并在压力下凝固获得铸件。压铸的生产率高、易于实现自动化,可生产尺寸精度高、表面粗糙度值低、结构形状复杂的铸件,目前主要用于生产锌、铝、镁等有色金属及合金铸件	冷室压铸机、热室压铸机
		低压铸造	介于金属型铸造与压力铸造之间的一种铸造方法,在低压(0.02~0.07MPa)干燥的气体作用下将金属液注入型腔,并在压力下凝固成形铸件。低压铸造时,铸件无须设置冒口,由浇道兼起补缩作用,铸件的组织性能好,主要用于铝合金铸件的大量生产,也可用于球墨铸铁、铜合金等较大铸件的生产	低压铸造机

(续)

金属材料成形方法			工艺特点、适用场合	主要装备
铸造成形	外力作用下的铸造成形	挤压铸造	在铸型中浇入一定量的金属液,上型随即向下运动,金属液自下而上充型。其主要特征是压力(2~10MPa)和速度(0.1~0.4m/s)较低,无涡流飞溅,铸件致密无气孔。能铸造出高品质的大平面薄壁件(汽车门、机罩等),多用于铝合金铸件,也可用于钢铁铸件	挤压铸造机
	轧制塑性成形		金属坯料在两个回转轧辊之间受压变形而形成各种产品的成形工艺。轧制过程中,坯料靠摩擦力得以连续从轧辊之间通过而受压变形,结果是其截面减小、长度增加。轧制通常用于生产钢板、型材、管材等,也可直接成形零件毛坯	各类轧机
塑性成形	挤压塑性成形		金属坯料在挤压模内受压被挤出模孔而变形的成形工艺。挤压过程中,坯料的截面依模孔的形状减小,其长度增加。挤压可以获得各种复杂截面的型材或零件,适于低碳钢、非铁金属及合金的加工,也可用于合金钢和难熔合金的成形	各类压力机
	拉拔塑性成形		将金属坯料拉过拉拔模的模孔而变形的成形工艺。拉拔模模孔的截面形状和使用性能对产品有决定性影响。该工艺主要用于制造各类细线材薄壁管等,可以完成低碳钢和大多数非铁金属及其合金的拉拔成形	各类拉拔(或拉力)机
	自由锻成形		金属坯料在上、下砧铁间受冲击力或压力作用而变形的成形工艺。该成形工艺简单,自由度大,无需模具,成本低。常用于成形低碳钢的零件毛坯	各类锻锤
	模锻成形		金属坯料在具有一定形状的锻模模腔内受冲击或压力而变形的成形工艺,主要用于成形低碳钢和重要的受力零件或精锻毛坯,如机器的主轴、重要齿轮、连杆、炮管等	各类锻锤或压力机
	板料冲压成形		金属坯料在冲模之间受压产生分离或变形的成形工艺,广泛用于汽车、电器、仪表及日用品制造工业,如小汽车外壳、仪表盘架等	各类压力机
焊接成形	熔焊	电弧焊	以带有药皮的焊丝为一个电极,以工件为另一个电极,通过短路引燃电弧,在电弧的高温作用下,工件(母材)和焊丝熔化形成熔池,冷却凝固后形成焊缝而实现工件间的连接。根据焊接过程中保护介质的不同,它又可分为焊条电弧焊、气体保护焊、埋弧焊等,其工艺装备简单,主要用于板材的焊接。它适用于低碳钢和低合金的焊接,也适用于有色金属、铸铁、不锈钢等材料的焊接	各类弧焊机
		电渣焊	利用电流通过熔渣时产生的电阻热加热并熔化焊丝和母材来进行焊接的一种熔焊方法,又可分为丝极电渣焊、板极电渣焊、管板电渣焊等。电渣焊时,焊接电源的一极接在焊丝的导电嘴上,另一极接在工件上,焊丝由机头上的送丝机构送入渣池熔化,其凝固后形成焊缝。它可用于锅炉、重型机械、化工等行业的厚大工件的焊接,材质除碳钢、各类合金钢、铸件外,也可用来焊接各种有色金属	电渣焊机
		电子束焊	高速运动的电子撞击工件将动能转化为热能并将焊缝熔化进行熔化焊。该工艺焊接质量好,但成本高,主要用于微电子器件、导弹外壳、核电站锅炉气包、难熔或活性金属等的焊接,广泛用于原子能、航空、航天等技术领域	电子束焊机
		激光焊	利用光学系统将激光束聚焦成微小的光斑,使其能量密度达 $10^{13}\text{W}/\text{cm}^2$,将材料熔化而焊接。它又可分为脉冲激光焊和连续激光焊。该工艺生产率高、无焊接变形、材料不易氧化,但设备系统复杂,常用于薄板和微型电子器件的焊接	激光焊机
		等离子弧焊	利用机械压缩效应、热压缩效应和电磁收缩效应将电弧压缩为细小的等离子体的焊接工艺。等离子弧的温度高、能量密度大、穿透能力强,可一次性熔化较厚的材料,既可用于焊接又可用于切削。该工艺广泛用于国防工业的合金钢、钨、钼、钴、钛等金属的焊接,如钛合金导弹壳体、波纹管等,但等离子弧焊设备系统复杂,气体耗量大等	等离子弧焊机

(续)

金属材料成形方法			工艺特点、适用场合	主要装备
焊接成形	压焊	电阻焊	利用电阻热为热源,并在压力下通过塑性变形和再结晶实现焊接,其过程包括预压、通电加热、压力下冷却结晶等。电阻焊又有点焊和缝焊之分,当采用圆柱电极焊接时即为电阻点焊,电阻缝焊是连续的点焊过程,缝焊用连续转动的盘状电极代替柱状电极。电阻焊主要用于汽车、飞机等薄板的大量生产	电阻点焊机和电阻缝焊机
		摩擦焊	利用工件接触面相对旋转运动中相互摩擦所产生的热使端部达到塑性状态,然后迅速顶锻,完成焊接的一种压焊方法。摩擦焊的优点很多,主要有焊件的尺寸精度高,接头品质好,生产率高,适于异种金属(如铜-不锈钢、铝-铜等)的焊接等。它主要用于汽车、拖拉机工业中批量的杆状零件及圆柄刀具的焊接	摩擦焊机
	钎焊		将表面清洗好的工件以搭接的形式装配在一起,把钎料(熔点比焊件低)放在接头间隙附近或接头间隙中,当工件与钎料被加热到稍高于钎料的熔点温度后,钎料熔化被吸入并充满工件间隙中,液态钎料与工件金属相互扩散溶解,冷却后形成钎焊接头。钎焊又分为硬钎焊和软钎焊。硬钎焊的钎料熔点在 450℃ 以上,接头强度较高,在 200MPa 以上,用于受力较大的钢铁和铜合金构件的焊接及工具、刀具的焊接;软钎焊的钎料熔点在 450℃ 以下,接头强度较低,一般不超过 70MPa,只用于受力不大、工作温度较低的仪表、导电元件、铜合金等的焊接	钎焊设备

(2) 塑料成形 塑料制品的种类很多,其成形装备也多种多样,主要有挤出机、注射机等。

几乎所有的热塑性塑料都可以用挤出成形法加工,挤出成形的产品包括管材、型材、板材、薄膜、中空制品等。另外,挤出机还可用于塑料的混合、造粒、塑化等。

注射成形是将热塑性塑料或热固性塑料加工成制品的重要成形方法之一。注射成形能够加工出外形复杂、尺寸精确和带有嵌件的塑料制品。注射机是注射成形的主要成形设备,其生产效率高、易实现自动化。

(3) 陶瓷材料成形 陶瓷是以黏土为主要原料烧成的多晶、多相(晶相、玻璃相和气相)聚集体制品的统称,它又包括土器、陶器、炆器、瓷器等。陶瓷制造经历了数千年历史,其进步发展的关键之一是成形工艺及装备技术。

陶瓷作为一种重要的结构材料,具有高强度、高硬度、耐高温、耐腐蚀等优点,在传统工业及新兴高新技术领域都有广泛的应用。然而,陶瓷所固有的高强度、高硬度等优点却给陶瓷零件的成形、加工带来了很多困难。因此,研究各种陶瓷零件的成形技术至关重要。

陶瓷成形方法种类繁多,常用的方法有:挤制成形、干压成形、热压铸成形、注浆成形、轧膜成形、等静压成形、热压成形和流延成形等,更多采用压制方法成形。

(4) 玻璃材料成形 玻璃的主要成分是硅酸盐,属于非金属材料。普通玻璃的化学组成是 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$,主要成分是二氧化硅。当混入某些金属氧化物或盐类显现颜色时称为有色玻璃,通过特殊方法可制得钢化玻璃,有时把一些透明的塑料(如聚甲基丙烯酸甲酯)称为有机玻璃。

玻璃主要分为平板玻璃和深加工玻璃。平板玻璃主要有三种成形方法:引上法平板玻璃(分有槽、无槽两种)、平拉法平板玻璃和浮法玻璃。由于浮法玻璃具有厚度均匀、上下表面平整平行,再加上劳动生产率高及利于管理等方面的优点,浮法玻璃正成为玻璃制造方式的主流。深加工玻璃是为达到生产生活中的各种需求,人们对普通平板玻璃进行深加工处理。

玻璃材料的成形是熔融玻璃转变为固有几何形状的过程。玻璃成形的方法有很多，主要有压制法、吹制法、拉制法、延压法、浇注法等。玻璃制品广泛用于建筑、日用、医疗、化学、电子、仪表、核工程等领域。

(5) 粉末材料成形 许多材料都可以以粉末形式出现，如金属粉末、陶瓷粉末、高分子聚合物粉末等。粉末材料通常可采用压制烧结成形（如粉末冶金）和粉末注射成形等。

粉末冶金是一种制造金属粉末，并以金属粉末（有时也添加少量非金属粉末）为原料，经过混合、成形和烧结，制造出材料或制品的成形方法。它能制造出用传统的熔铸和加工方法无法制成、具有独特性能的材料或制品。粉末冶金的生产工艺与陶瓷的生产工艺在形式上相似，故粉末冶金又称为金属陶瓷法。

粉末注射成形（Powder Injection Molding, PIM）是一种采用黏结剂固结金属粉末、陶瓷粉末、复合材料、金属间化合物的一种特殊成形方法。它是在传统粉末冶金技术的基础上，结合塑料工业的注射成形技术而发展起来的一种近净成形（Near-Shaped）技术。目前，极有发展前景的粉末注射成形有金属粉末的注射成形（Metal Powder Injection Molding, MIM）和陶瓷粉末的注射成形（Ceramic Injection Molding, CIM）。

(6) 材料的快速成形 快速成形（Rapid Prototyping, RP）技术的发明和出现，给材料的加工成形注入了全新的概念。它基于“离散/堆积”的成形思想，集数控技术、CAD/CAM 技术、激光技术、新材料和新工艺技术等于一身，以极高的加工柔性，可以成形几乎所有种类的材料（树脂、金属、塑料、陶瓷、石蜡等）。

快速成形技术彻底摆脱了传统的“去除”加工法，而采用全新的“增长”加工法，将复杂的三维加工分解成简单的二维加工的组合。它不需采用传统的加工机床和工装模具，只要传统加工方法的 10%~30% 的工时和 20%~35% 的成本，就能直接制造出产品样品或模具。它已成为现代材料加工与先进制造技术中的一项支柱技术，是实现并行工程（Concurrent Engineering）不可缺少的手段。

近年来，快速成形技术发展极为迅速，又被称为“增材制造”“3D 打印”等。它给予了更多的知识含义，应用也更加广泛。快速成形方法有很多种，其中，运用最为广泛的有：液态树脂光固化成形（Stereo Lithography Apparatus, SLA）、分层物体制造（Laminated Object Manufacturing, LOM）、选择性激光烧结（Selective Laser Sintering, SLS）、熔丝沉积制造（Fused Deposition Modeling, FDM）、3D 打印（3D Print, 3DP）等五种（详见第 6 章概述）。

总之，材料的成形装备与材料的成形方法是相互对应的，通常不同的成形方法具有相应的成形装备，而成形工艺方法与其成形装备是密不可分的。

1.2 成形装备在材料成形加工中的作用

社会生产力和科学技术的进步可归结为人类不断创造工具以延伸自身的能力，从而把劳动解放出来从事更富创造性的工作。从原始人类的工具到导致工业革命的各种动力机械装备，直至今今天各种现代的运载工具、精密加工机器和大规模施工装备等，都是在力和功率、速度和距离、强度和精度等方面延伸了人的体力。这种机械化的过程极大地提高了劳动生产率，创造了巨大的社会财富，并导致极其深刻的社会变革。

因此，材料成形加工过程中采用的装备（即现代工具）在现代材料成形加工中具有不可替代的重要作用。实现高度的自动化在经济方面和社会方面也将获得很大的效益，这些作用和效益主要表现在以下几个方面：

1) **大大提高了生产率,降低了工人的劳动强度。**以现代压铸机为例,每小时可压铸60~180次,最高可达500次,可实现自动化、半自动化生产,故在生产率大大提高的同时,工人的劳动强度大大降低。除自动化的单机生产外,计算机控制的全自动生产加工流水线、装备线等,能自动完成从原材料的输送与准备、多工序的成形加工、零件处理直至产品库存等众多工部,同时完成产品质量的在线检测与控制,生产现场的工人少,操作人员只需在控制室内监视生产过程。

2) **提高了产品质量与精度,降低了原材料消耗。**机械化、自动化生产可避免人力生产中的人为因素(如疲劳、情绪等)影响,保障产品的质量与精度,大大降低原材料的消耗。例如:精密模锻成形零件的尺寸精度和表面质量要大大优于自由锻成形的零件,前者的尺寸精度通常为IT7~IT8,表面粗糙度值 $Ra = 3.2 \sim 0.8 \mu\text{m}$,而后的尺寸精度通常为IT11~IT12,表面粗糙度值 $Ra = 12.5 \sim 6.3 \mu\text{m}$;在原材料的利用率方面,精密模锻成形工艺也要远高于自由锻成形工艺。

3) **缩短了产品设计至实际投产时间。**以往新产品研制的周期长,费用高,修改困难。快速成形(RP)技术及装备的出现,使得新产品的设计、(原型)评价、修改、制造等过程形成了一个整体的闭环系统,大大缩短了新产品的研制时间和开发费用。RP技术可以在较短的时间内(数小时或数天)将设计图样或CAD模型制成RP实体零件原型,设计人员可根据零件原型对设计方案进行评定、分析、模拟试验、生产可行性评估,并能迅速取得用户对设计方案的反馈信息,通过CAD对设计方案做修改和再验证。用RP装备制作的零件原型还可直接用于产品装配试验或做某些特殊的功能试验。新产品的快速研制与定型,也大大缩短了产品大规模生产的时间。

4) **减少制品的库存。**实现生产管理的装备与自动化,可通过各个管理子系统及时、准确地处理大量数据,对器件、设备、人力、技术资料进行组织、协调,保证在规定的时间内、人力和消耗限额内完成生产任务,生产的制品也可及时地输出,因此可大大减少生产制品的库存量。

5) **改善操作环境,实现安全和清洁生产。**随着环境保护和安全生产的意识不断加强,环保和清洁生产工艺与装备大量采用。除尘设备、降噪设备的使用,使得工人的操作环境及劳动条件大为改善;生产废料(废渣、废气、废水等)的再生回用(或无害处理),大大减少了生产资源浪费和对环境的污染,符合绿色可持续发展的时代要求。

1.3 工业自动化与智能化的含义

从材料成形加工的生产过程看,自动化是一种把复杂的机械、电子和以计算机为基础的系统应用于生产操作和控制中,在较少人工操作与干预下生产可以自动进行的技术。在自动化生产中应用的系统一般由以下部分组成:①自动机床;②物料自动搬运系统;③自动装配机;④流水生产线;⑤信号检测数据采集系统;⑥计算机过程控制系统;⑦为支持制造活动用来收集数据、进行规划和做出决策的计算机控制系统。

因此,一般认为,工业自动化是指将多台设备(或多个工序)组合成有机的联合体,用各种控制装置和执行机构进行控制,协调各台设备(或各工序)的动作,校正误差、检验质量,使生产全过程按照人们的要求自动实现,并尽量减少人为的操作与干预。

1.3.1 工业生产过程

工业生产是原料在体力劳动、脑力劳动、机械装备、特殊工具的综合作用下,成为市场

上有价值的商品的变化过程，这个变化过程又称为“生产过程”。生产是一步一步进行的，每一个步骤称为“生产工序”。尽管工业生产的产品品种繁多、大小悬殊、用途不一、形状各异，但就生产方式来划分，一般可分为大批量生产和多品种中小批量生产两种类型；就生产工艺而言，又可分为冷加工、热加工及特殊工艺。从整个生产过程来看，无论哪种方式或工艺的生产，都可以分为表 1-2 所列的三大环节、八个主要过程。

表 1-2 生产过程中的三大环节及八个主要过程

环节	主要过程	功能作用
设计	设计过程	产品设计、工装模具设计、专用加工设备设计等
制造	生产准备过程	原材料准备、采购及外协加工委托计划等
	工艺准备过程	工艺图样准备、加工设备选择、工装模具制造等
	加工过程	冷加工(各种切削加工)、热加工(铸、锻、焊等)、各类生产线等
	检验试验过程	加工过程中工艺参数的自动检测、加工后产品的性能检测等
	装备过程	零件供给、产品装备与输送等
	辅助生产过程	产品的后续处理、废旧料回用、设备检修维护等
管理	生产管理过程	原材料(工具、配件等)管理、生产调度、人事管理、企业规划等

1.3.2 工业生产自动化内容

从生产过程的三大环节、八个主要过程来看，目前工业生产自动化的主要内容如下：

(1) **设计过程** 在采用 CAD (计算机辅助设计) 技术之前，机械 (或材料加工) 工业的设计人员占技术人员的 10%~15%，设计工作 50%~60% 的工作量是制图与其他一些重复性劳动，且设计多凭经验设计，工作量大，周期长，设计图样修改不便，设计的安全系数通常较大。随着计算机技术的广泛采用，设计过程中可应用计算机辅助进行产品设计、性能分析、模拟试验等，进一步的发展是将 CAD 技术、CAE (计算机辅助工程) 技术和 CAM (计算机辅助制造) 技术等结合起来，实现 CAD/CAE/CAM 一体化，从而大大缩短了设计过程，提高了设计的准确性与可靠性，设计方案与图样的修改和保存也非常便利，设计过程的发展趋势是设计自动化。

(2) **生产准备过程** 该过程包括：①根据公司企业销售和市场信息部门提出的产品订货订单，考虑生产纲领、本厂设备及库存情况，②编制材料、刀具、元器件、专用设备等需用、采购、外协加工委托计划，③必要时，甚至包括专用生产基地厂房的建设等任务。在这些工作中相应地采用各种自动化技术与手段可提高效益、减少差错。

(3) **工艺准备过程** 该过程包括：①根据设计图样、技术装备水平及产品批量等因素，选择加工设备；②确定加工工艺及技术要求；③设计零件制造、产品装配的工艺过程，编制材料明细栏；④确定工装模具、量具等的设计制造，准备外协加工件的验收方法及手段。在这些工作中，有些已经实现了相当程度的自动化，如工艺过程模拟及自动设计方面。

(4) **加工过程** 自动化的加工过程包括：从大批量生产中采用各种高效专用机床、组合机床、自动化生产线，到多品种、小批量生产中采用的数控机床、组合机床，直至近年来采用的成组技术和柔性加工系统。各种类型的调节器、控制器，特别是计算机、微型机的大量应用，加快了加工过程自动化速度。

(5) **检验试验过程** 在自动化单机、自动线等的工作过程中，出于保证产品质量、提高精度和为操作者提供安全保护等目的，往往需要进行自动测试。各种传感器的出现，使原材料、毛坯、零部件等的性能、外形尺寸、特征，加工和装配的工位状况，设备工作状况，材料、零件的传送情况，产品性能等的检测试验都成为可能。各种各样的放大器、转换器、传送器显示记录装置促进了自动检测技术的发展，使得机械及材料加工工业的检测技术，由

过去的离线、被动、单参数、接触式逐步转向使用计算机的在线、主动、多参数、非接触式快速检测。

(6) 装备过程 装配作业自动化包括零件供给、装配作业、装配成品、运送等方面的自动化。从装配作业看,方向是研制高生产率的数控装配机、自动装配线、装配机器人;从整个生产过程来看,是如何将装配作业与CAM、零件后处理和自动化立体仓库相连接。

(7) 辅助生产过程 该过程包括毛坯、原材料、工件、刀具、工夹具、废料等的处理、搬运、抓取、中间存贮、检修等,由于该过程的时间占生产时间的95%以上,费用占30%~40%,因此研制各种自动化物流装置得到世界各国普遍重视。各种悬挂输送、自动小车输送、高架立体仓库、机械手和工业机器人已广泛应用于各个领域。

(8) 生产管理过程 生产管理过程包括车间或工厂的各种原材料、工具、存货的管理,生产调度,中长期规划,生产作业计划,产品订货与销售,市场预测与分析,财务管理,工资计算,人事管理等。生产管理自动化就是利用计算机技术按照订货或任务要求,通过各个管理子系统及时、准确地处理大量数据,对器件、设备、人力、技术资料进行组织、协调,保证在规定的时间内、人力和消耗限额(包括能源、资金、器材等)内完成生产任务。

综上所述,工业生产过程自动化所研究的内容主要有两个方面:对上述各个过程,实现不同程度自动化时的各种方法和手段;对上述几个过程或全部过程按照一定的目标和要求(如技术上先进、经济上合理、具体所要求的生产率)联系起来,组成不同规模的自动线、自动化车间或自动化工厂。

从另一种角度看,生产过程所进行的生产活动,实际上由物质流和信息流两个主要部分组成。物质流是指物质的流动和处理,包括原材料、毛坯、工夹具、模具、半成品、成品、废料、能源的流动、处理(加工)、变换。信息流是指信息(包括加工指令、数据、反映生产过程各种状态的资料等)的流动和处理。

实现物质流动和处理的自动化必须有相应的自动化设备,如自动化单机、生产线、装配线以及各种物料搬运系统;实现信息流动和处理的自动化,则必须适时检测、收集信息,然后利用计算机进行自动处理。

1.3.3 工业生产智能化内容

当前,工业革命与技术发展进入了“工业4.0”时代,而“工业4.0”的两大主题是智能工厂与智能生产。

(1) 智能工厂

1) 智能工厂的基本特征。“智能工厂”的概念,最早由美国罗克韦尔自动化有限公司CEO奇思·诺斯布希(Keith Nosbusch)于2009年提出,其核心是工业化和信息化的高度融合。智能工厂是智能工业发展的新方向。

智能工厂是在数字化工厂的基础上,利用物联网的技术和设备监控技术加强信息管理和服 务;未来,将通过大数据与分析平台,将云计算中由大型工业机器产生的数据转化为实时信息(云端智能工厂),并加上绿色智能的手段和智能系统等新兴技术于一体,构建一个高效节能、绿色环保的、环境舒适的人性化工厂。目前智能工厂概念仍众说纷纭,但其基本特征主要有制程管控可视化、系统监管全方位及制造绿色化三个层面。

① 制程管控可视化。由于智能工厂高度的整合性,在产品制程上,包括原料管控及流程,均可直接实时展示于控制者眼前,此外,系统机具的现况也可实时掌握,减少因系统故障造成偏差。而制程中的相关数据均可保留在数据库中,让管理者得以有完整信息进行后续规划,也可以依生产线系统的现况规划机具的维护;可根据信息的整合建立产品制造的智能

组合。

② **系统监管全方位**。通过物联网概念，以传感器做链接使制造设备具有感知能力，系统可进行识别、分析、推理、决策以及控制功能；这类制造装备，可以说是先进制造技术、信息技术和智能技术的深度结合。当然此类系统，绝对不仅只是在 KS (Key System) 内安装一个软件系统而已，主要是透过系统平台累积知识的能力，来建立设备信息及反馈的数据库。从订单开始，到产品制造完成、入库的生产制程信息，都可以在数据库中一目了然，在遇到制程异常的状况时，控制者也可更为迅速反应，以促进更有效的工厂运转与生产。

③ **在制造绿色化方面**，除了在制造上利用环保材料、留意污染等问题，并与上下游厂商间，从资源、材料、设计、制造、废弃物回收再到再利用处理，以形成绿色产品生命周期管理的循环，更可透过绿色 ICT (Information Communication Technology) 的附加值应用，延伸至绿色供应链的协同管理、绿色制程管理与智慧环境监控等，协助上下游厂商与客户之间共同创造符合环保的绿色产品。

2) 智能工厂的技术基础。智能工厂的建设主要基于以下三大技术基础。

① **无线感测器**。无线感测器将是实现智能工厂的重要利器。智慧感测是基本构成要素。仪器仪表的智慧化，主要是以微处理器和人工智能技术的发展与应用为主，包括运用神经网络、遗传演算法、进化计算、混沌控制等智慧技术，使仪器仪表实现高速、高效、多功能、高机动灵活等性能，如专家控制系统 (Expert Control System, ECS)、模糊逻辑控制器 (Fuzzy Logic Controller, FLC) 等都成为智能工厂相关技术的关注焦点。

② **控制系统网络化 (云端智能工厂)**。随着智能工厂制造流程连接的嵌入式设备越来越多，通过云端架构部署控制系统，无疑已是当今最重要的趋势之一。在工业自动化领域，随着应用和服务向云端运算转移，资料和运算位置的主要模式都已经被改变了，由此也给嵌入式设备领域带来颠覆性变革。如随着嵌入式产品和许多工业自动化领域的典型 IT (Information Technology) 元件，如制造执行系统 (Manufacturing Execution System, MES) 和生产计划系统 (Production Planning System, PPS) 的智慧化，以及连线程度日渐提高，云端运算将可提供更完整的系统和服务。一旦完成连线，体系结构、控制方法以及人机协作方法等制造规则，都会因为控制系统网络化而产生变化。此外，由于影像、语音信号等大数据高速率传输对网络频宽的要求，对控制系统网络化，更构成严厉的挑战，而且网络上传递的资讯非常多样化，哪些资料应该先传 (如设备故障信息)，哪些资料可以晚点传 (如电子邮件)，都要靠控制系统的智慧能力，进行适当的判断才能得以实现。

③ **工业通信无线化**。工业无线网络技术是物联网技术领域最活跃的主流发展方向，是影响未来制造业发展的革命性技术，其通过支持设备间的交互与物联，提供低成本、高可靠、高灵活的新一代泛在制造信息系统和环境。随着无线技术日益普及，各家供应商正在提供一系列软硬体技术，协助在产品中增加通信功能。这些技术支援的通信标准包括蓝牙、Wi-Fi、GPS、LTE 以及 WiMax。然而，由于工厂需求不像消费市场一样的标准化，必须适应生产需求，有更多弹性的选择，最热门的技术未必是最好的通信标准和客户需要的技术。

(2) 智能生产

1) 智能生产的概念。**智能生产 (Intelligent Manufacturing, IM)**，也称为智能制造，是一种由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化智能系统，它在制造过程中能进行智能活动，诸如分析、推理、判断、构思和决策等。智能生产是制造业的未来。通过人与智能机器的合作共事，去扩大、延伸和部分取代人类专家在制造过程中的脑力劳动。它把制造自动化的概念更新，扩展到柔性化、智能化和高度集成化。与传统制造相比，智能生产具有自组织和超柔性、自律能力、学习能力和自维护能力、人机一体化、虚拟实现等特征。