



# 自动化机构设计 工程师速成宝典

## 实战篇



柯武龙◎编著

一线自动化  
工程师的  
经验分享

快速提升  
复合技能的  
技术快餐

智能制造  
技术技能  
人才的法宝

增值服务

赠送一年网站VIP会员  
免费下载海量设计案例

[www.combolink.cn](http://www.combolink.cn)



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 自动化机构设计 工程师速成宝典

## 实战篇

柯武龙 编著



作为《自动化机构设计工程师速成宝典 入门篇》的姊妹篇，本书从企业自动化项目的开展和实践出发，着重梳理了自动化机构设计相关的流程、方法、技巧和经验等，主要包括自动化设备的制作剖析、标准机/件的选用、常见的机构传动方式、自动化设备的设计方法和技巧等内容。在如今国家高度定位智能制造，促进自动化大发展和机器换人的时代，本书将填补国内在自动化机构设计方面职场新人教育培训上的空白，能满足读者转行、转岗的知识和技能提升需求。

本书适合新入职的工科毕业生、企业一线技术员、技能人员，以及有志于从事自动化行业工作的社会青年等阅读。

★ 增值服务：选用本书，赠送 [www.combolink.cn](http://www.combolink.cn) 网站一年 VIP 会员，可免费下载设计案例。

## 图书在版编目（CIP）数据

自动化机构设计工程师速成宝典. 实战篇/柯武龙编著. —北京：机械工业出版社，2018. 1

ISBN 978-7-111-58707-1

I. ①自… II. ①柯… III. ①自动化—机构综合 IV. ①TH112

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 307701 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：何月秋 责任编辑：何月秋 雷云辉

责任校对：郑 婕 封面设计：马精明

责任印制：李 飞

北京利丰雅高长城印刷有限公司印刷

2018 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 22 印张 · 495 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-58707-1

定价：98.00 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

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线：010-68326294

机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

010-88379203

金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

编辑热线：010-88379879

教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面无防伪标均为盗版



# 序

## PREFACE

2013年4月，德国在汉诺威工业博览会上首次提出“工业4.0”战略，其后迅速在全球引起研讨热潮。紧接着，美国发布了《加速美国先进制造业》，日本提出了《日本机器人新战略》，我国也发布了《中国制造2025》。一场全球性的工业变革正在酝酿，世界工业发展将逐步迈向以物联网、移动互联网、大数据、云计算等新兴技术为主要特征的新阶段。

在这样的背景下，国内制造业迎来了特别的时代，国家发布智能制造发展战略，地方政府纷纷出台激励和补贴政策，企业也在积极推行自动化改造，“机器换人”正在许多企业如火如荼地开展。但是，我国的传统制造业比重较大，无论管理水平还是技术能力都有待提高，在推进自动化的过程中存在诸多困难、误区。例如，有的企业没有建立自动化技术和设备管理维护团队，就盲目导入自动化，结果发现设备很难开动起来；有的企业生产的产品附加价值低，或者生产要求并不严苛，用普通非标自动化设备即可完成生产，却非要去采购国外昂贵的高精尖设备；有些媒体对工业机器人的夸大宣传，导致部分企业片面地认为使用了工业机器人就等于自动化了……

工业4.0愿景很美好但还很遥远，更像是一个概念性的事物。当前绝大部分企业应该从务实进取的角度出发，一方面紧跟制造业趋势，阶段性地规划和实施自动化技术改造，争取尽快全面实现工业3.0（自动化生产）；另一方面要着力于多层次专业人才培养和技术团队建设，这是企业推行自动化以及升级智能制造水平的前提和根本。

企业大量从业人员都是从企业内部成长起来的，机器换人的落地和推行，也必然会吸引其他行业或社会人员转行转岗于自动化。那么，要避免行业技术群体的良莠不齐，就必须依靠教育培训来加强员工的知识储备和能力。然而，我国在自动化机构设计方面起步较晚，市面上也很难找到一本接地气的实用培训教材；学校传统理论和企业应用之间出现了认知上的沟壑，学校培养的学生也很难在企业刚入职就可以上手——学校和企业之间需要一座连接的知识桥梁，而本书正是这样一本为入职者架起的一座迈入企业大门，顺利上岗工作的成功之桥。

本书编者结合多年企业的工作实践，为自动化机构设计人员编写了本书，作为高等院校机械或自动化相关专业学习的补充。本书具有非常强的针对性和实战性，也可作为企业员工或社会人员业余加强从业技能的“技术快餐”，帮助我们的行业新兵迅速融入企业，更好更快地在技术工作中成长和提升。

师傅领进门，修行在个人，在此，衷心希望本书把大家领入成功的大门。

重庆大学教授、博导、国家级突出贡献专家 刘飞

# 前言

## PREFACE

在制造企业从事自动化技术及相关工作多年，本人一直想编写一套兼具理论和实战的培训教材，与自动化行业技术新兵（技术员、应届毕业生、初学者等）分享我在工厂自动化领域的一些见闻和感悟。拖了多年后，在机械工业出版社的鼓励和支持下，《自动化机构设计工程师速成宝典》（分入门篇和实战篇）终于得以出版。严格来说，本套书籍不属于传统的理论教材，更像是技术笔记或从业博文性质的文章合辑，具有以下三个特点：

1. 风格大众化。语言通俗易懂——口语化，论述避虚就实——轻量化，淡化理论知识的研讨和减少之乎者也的论调，如非必要的场合，也尽量回避晦涩的理论推导及公式计算。

2. 内容实战化。抓住制造业技术群体普遍“工作忙碌、渴望快速提升技能”的痛点，直接从企业运作和工作实践出发，从常见的自动化机构设计案例的立体图、流程图、方案做法等方面阐述自动化机构的设计制作，图文并茂，一目了然。

3. 技术社区支持。成立于2007年的自动化生产技术门户——康博连接网（[www.combolink.cn](http://www.combolink.cn)），目前聚拢了行业内数千名从业工程师和技术人员，也收录了大量实际工作中常见的项目案例（图样、方案和视频等），广大读者在工作和学习之余，可利用碎片化时间访问社区，与我们的技术同行进行各种学习交流。

由于自动化机构设计行当的非标性和实战性，学校专业课程和传统理论教材难以满足从业人员“简单、速成、实用”的潜在需求，因此作为“技术快餐”，本套书籍是一个极佳的补充！“入门篇”为行业新人介绍自动化职业应知必会的常识和基本观念，“实战篇”着重梳理机构设计相关的流程、方法、技巧和经验等，两者相辅相成，缺一不可，共同构成广大读者设计入门的速成宝典。特别适合工科机械设计及其自动化类本科、专科或高职类毕业生、有志于转岗从事自动化工作的社会青年、企业从事自动化机构设计的初级技术人员等作为课余或业余的参考读物，可帮助读者快速掌握自动化机构设计的要点和技能。

在本书的编著过程中，本人参阅和借鉴了大量的工作和网络资料，由于素材缺乏版权或作者信息，未能一一列明出处，在此深表歉意；我们真诚恭候您的诉求和建议，并且将在修订版结合您的建议加以完善。

本套书籍的编著和出版，离不开众多前辈和师友们多年来对本人的帮助和教诲，同时也得到了机械工业出版社的大力支持，在此一并表示感谢！

鉴于笔者水平有限，书中错误在所难免，欢迎广大读者批评指正。读者可以加入柯工-学友群（QQ群号：202033998）与笔者进行交流。

编者  
于东莞

# 目录

## CONTENTS

序

前言

第1章 自动化设备的制作剖析 .....	1
1.1 自动化设备的功能模块 .....	1
1.1.1 供料机构 .....	2
1.1.2 上料机构 .....	23
1.1.3 移料机构 .....	38
1.1.4 工艺机构 .....	59
1.1.5 收料机构 .....	74
1.1.6 其他机构 .....	78
1.2 自动化设备的制作指标 .....	95
1.2.1 产能 .....	95
1.2.2 品质 .....	97
1.2.3 成本 .....	98
1.2.4 交期 .....	101
1.2.5 其他 .....	104
1.3 如何制作自动化设备 .....	110
1.3.1 项目的评估 .....	111
1.3.2 方案的制定 .....	112
1.3.3 机构的设计 .....	115
1.3.4 工程图样和表单的制作 .....	117
1.3.5 组装和调试 .....	124
1.3.6 设备的导入和验收 .....	128
第2章 标准机/件的选用 .....	133
2.1 标准机/件的设计意义及要点 .....	133
2.2 气动元件的选用 .....	134
2.2.1 气动元件简介 .....	134
2.2.2 气缸及其配件的选用 .....	136
2.2.3 真空发生器及其配件的选用 .....	162
2.2.4 气动元件选型的建议 .....	179

2.3 电动机的选用	180
2.3.1 电动机的基本常识	180
2.3.2 伺服电动机	190
2.3.3 步进电动机（特殊的感应电动机）	201
2.3.4 直驱电动机	207
2.3.5 电动机应用案例	209
2.4 凸轮分割器的选用	210
2.4.1 应用掠影	210
2.4.2 设计相关	211
2.4.3 选型计算	221
2.5 其他标准件的选用	226
2.5.1 轴系标准件	226
2.5.2 导引标准件	238
2.5.3 紧固标准件	251
师傅教导	258
<b>第3章 常见的机构传动方式</b>	<b>259</b>
3.1 螺旋传动	260
3.1.1 基本认识	260
3.1.2 滚珠丝杠选型设计	262
3.2 带传动	275
3.2.1 基本认识	276
3.2.2 同步带选型设计	280
3.3 链传动	289
3.3.1 基本认识	289
3.3.2 链传动选型设计	292
3.4 齿轮传动	299
师傅教导	305
<b>第4章 自动化设备的设计方法和技巧</b>	<b>306</b>
4.1 非标机构设计的思路是怎么炼成的	306
4.1.1 非标机构设计的定制性	306
4.1.2 非标机构设计的实战流程	307
4.1.3 非标机构设计的思路和技巧	310
4.1.4 非标机构设计构思案例	313
4.2 如何做好非标设备的细节设计	317
4.2.1 细节设计的意义	317



4.2.2 细节设计的类别 .....	317
4.2.3 细节设计的案例 .....	318
4.3 如何设计出美观的设备 .....	327
4.3.1 基本认识 .....	327
4.3.2 如何设计 .....	329
4.4 问题机构剖析 .....	339
师傅教导 .....	343



# 第 1 章 CHAPTER 1

## 自动化设备的制作剖析

所谓自动化设备，指的是在无人干预的情况下，能按既定的程序或指令自动运行的机器或装置，它包括标准设备和非标准设备（以下简称非标设备），如图 1-1 所示。从设备原理和构成来看，标准设备和非标设备没有什么本质区别，但是在具体的设计工作中，两者的定位和功能是不太一样的，机构设计人员需要对这点有清晰的认识。

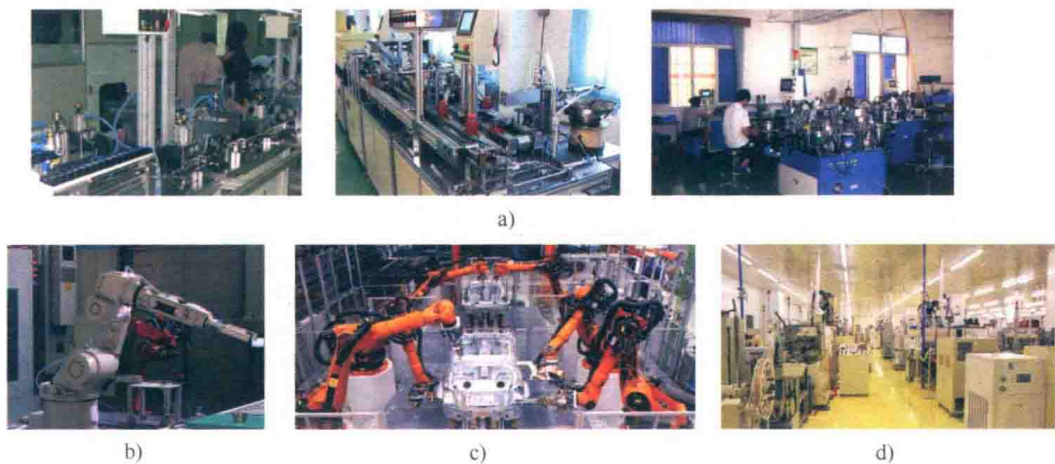


图 1-1 工厂常见的自动化设备

a) 非标设备 b) 工业机器人工作站 c) 工业机器人流水线 d) 自动化设备（标准设备/非标设备）

一般来说，企业实际应用的设备，几乎都是非标设备，每次设计和制作，都要依据不同客户的喜好、产品工艺、品质要求、现场条件等量身定制。标准设备则为通用的，甚至不同行业都可以兼容应用，经过厂商不断地标准化和模块化后，相对成熟和稳定。多数情况下，标准设备是作为功能模块/组件整合到非标设备中去的，俗称集成应用/设计。例如：工业机器人本体是一个标准设备，但不能独立使用，需要为其制作“周边设备”配合作业，然后才能作为非标设备正常工作。

标准设备，可通过向专业厂商采购来获得，不需要自己进行繁琐或重复的设计，只要熟悉产品和选型应用即可；而企业定制性质的非标设备，种类庞杂多变，不太容易掌握，是学习设计的重点，也是本书论述的主要对象。

非标设备的机构设计，由于涉及的内容比较繁杂，同时没有固定的套路、模式，对于初学者而言，不太容易入门、上手。本书对相关知识点进行了梳理和总结，建议读者朋友们以之为指引线索，结合大量案例演练，不断进行拓展学习。

### 1.1 自动化设备的功能模块

非标设备虽然很难理论化，但通过对大量案例的分析可以发现，在设计和制作

上,非标设备还是有一定原则、技巧和规律的。一般来说,根据不同的功能实现,非标设备可以拆分成若干个模块(机构组合),例如供料机构、上料机构、移料机构、收料机构、工艺机构、标准机/件、辅助机构等,如图1-2所示。各个机构既是独立的单元,相互之间也有紧密的联系,如何进行机构的布局 and 细化,是设计工作的重要内容。需要特别强调的是,单纯就机构设计本身而言,没有什么本质差别,换言之,很多场合的机构即便应用不同也可以“长成”一模一样,之所以要细致地划分各个功能模块,是为了让读者朋友们更清晰、更完整地认识自动化设备。

所谓机构,指的是由两个或两个以上构件通过活动连接形成的构件系统,也可理解为传递动力、转换运动或实现某个特定动作而由若干零件(包括加工件、标准机/件、其他配件)组成的机械装置,如图1-3所示。自动化机构的设计,难度往往不在机构本身,而是体现在具体项目的条件和约束方面,如客户要求太严苛,作业工艺复杂,产品结构不合理等。经过多年的发展,各行业都积累了大量前人摸索和改良的成熟机构、模块,设计时如能善于运用,将会提高效率和准确率,反之则费时费力不讨好。



### 1.1.1 供料机构

生产制造总是从物料的供应开始的,然后经过一系列工艺,最终得到预期的产品。非标设备的设计与制作也是一样的,除了需要考虑必要的生产工艺外,还需要重点研究产品加工过程中的一系列物料供应和输送问题。物料能否实现自动供给,往往是一个项目可否实施自动化的前提,对应的机构设计也是设计工作的技术重点和难点之一。

能够实现物料整列(整理排列)和定向,并连续性供给到设备的机构,我们称之为供料机构(如果是机构或装置的组合,则称为供料系统)。

#### 1. 决定因素

具体到特定的项目,供料机构应该怎么来设计,主要取决于以下四个方面。

(1) 产品结构 如果产品的结构设计贯彻了自动供料的思维,具备面向装配自动化的外形和特征,则能大幅提高实现自动化的可行性和成功率;反之,可能会造成诸多无谓的困难或浪费。从便于整列和定向的供料角度来说,产品结构设计要考虑的重点是方

向是否便于识别,如图1-4所示;结构是否可避免缠绕,如图1-5、图1-6所示。

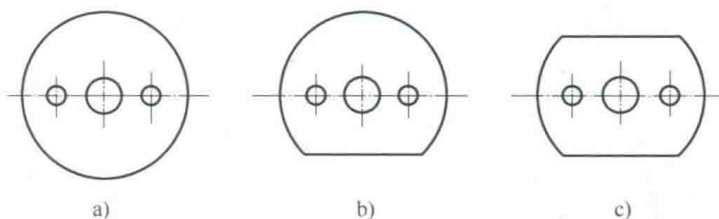


图1-4 垫圈产品结构

a)、b) 方向不便识别 c) 方向便于识别

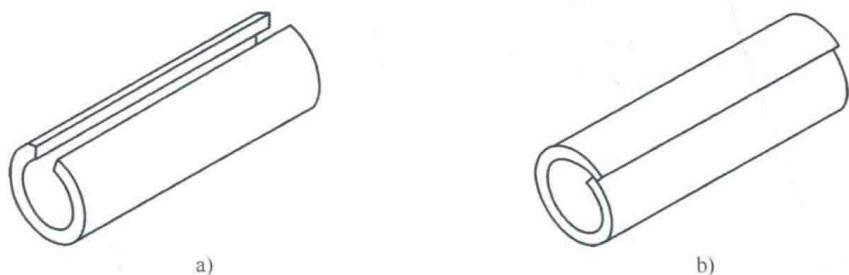


图1-5 滚子销产品结构

a) 易缠绕 b) 不会缠绕

(2) 来料包装 产品装配涉及的物料多种多样,而且可能来自不同的供应商,制造过程必然少不了包装和运输环节。一般来说,固体物料状态有两种:散料(处于杂乱无序的离散状态)和连料(处于规则有序连续状态),这两种状态对应着不同的包装方式,也对应着不同的供料机构,分别如图1-7和图1-8所示。开展项目前,应该有一个评估供应商物料包装方式的环节,确认其是否适

合本公司非标设备实现自动供料(由于连料包装方式相对简单,本书不过多介绍,如无特别说明,本书描述的供料状态基本上指的是散料)。

(3) 基础工艺 能够实现散料整列、定向的基础工艺及其装置一般都很成熟,也有广泛的通用性,从机构设计的角度而言,只要熟练应用即可,并不需要过多地去深度研究。

从原理上看,典型的供料机构实现方式有很多种,如振动式、气压式(分为气吸式和气吹式)、旋转式、往复式等。尽管每个原理在细节应用上多种多样,但基础工艺大同小异,因此只要稍微梳理和总结,是比较容易掌握的。

例如小型的五金件或塑胶件,常用振动盘来供料,就是利用了振动式的基础工艺:电磁铁使料斗产生扭摆振动,物料便沿着螺旋轨道上升,直至出口,如图1-9所示。

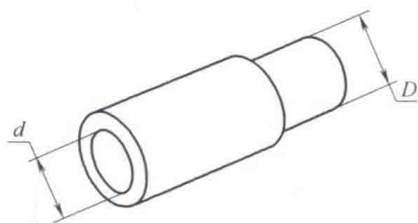


图1-6 车削工件产品结构

(当  $d > D$  时容易缠绕到一起)



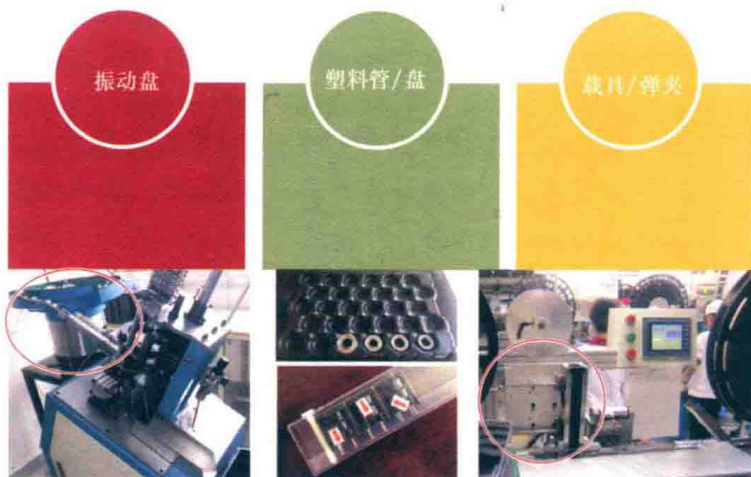


图 1-7 散料的包装方式和供料机构

例如弹簧这类容易缠搅到一起的物料，可用图 1-10 所示的设备来实现供料，它利用了气吹式的基础工艺：弹簧在气体的吹动下，有一定概率从料道排出，进而被输送到作业工位。

图 1-11 和图 1-12 所示分别为旋转式和往复式基础工艺应用的螺钉供应设备。

除非项目要求很特殊，在做供料机构时，原则上以采购和整合现成的供料装置为主，因为无论从成本还是性能来看，自己设计和制作都不占优势。图 1-13 所示是一个弹簧供料机，只需要从供应商处稍微了解一下性能参数，要来装置模型的外形尺寸，便可将其方便快捷地集成设计到设备中去，何乐而不为呢？这里也强调一点，出于工作的需要，既要多了解各类供料装置，也要多留意有哪些供应商，以备不时之需。

(4) 品质要求 不同产品/物料有不同的品质要求，对应的供料方式或机构也是不同的。图 1-14 所示 mini-USB 产品的铁壳，外观表面有镀镍和镀锡两种，前者可用振动盘来实现供料，后者若也采用振动盘供料则容易被刷伤，所以一般改为连料的包装方式（铁壳与铁壳用料带连接，卷盘包装）。

如图 1-15 所示，现在要求做一个插端子机，就需要首先确认物料的状态，对品质要求较高的场合常采用连料（料带连接），反之散料更适合低成本模式（散针，袋装）。

总体来说，自动供料机包含了整列定向和连续供给两个重要的层面，前者取决于产品结构和基础工艺，而连续供给则往往可以通过非标机构实现，一般思维如图 1-16 所示。

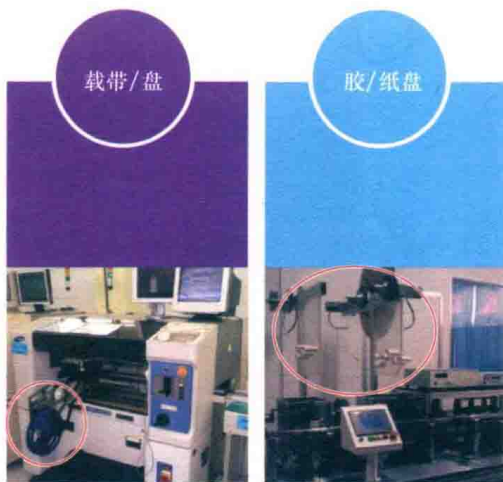


图 1-8 连料的包装方式和供料机构



图 1-9 小型散料的标准供料设备——振动盘

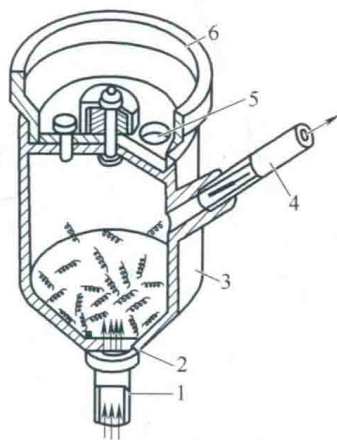
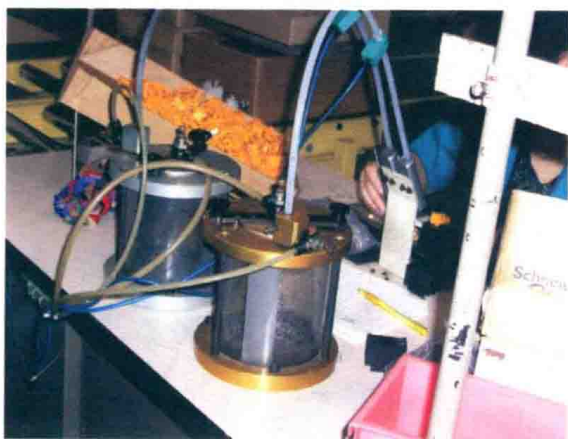


图 1-10 气吹式弹簧供料设备和原理

1—气管 2—喷嘴 3—斗体 4—排料滑道 5—投料口 6—上斗

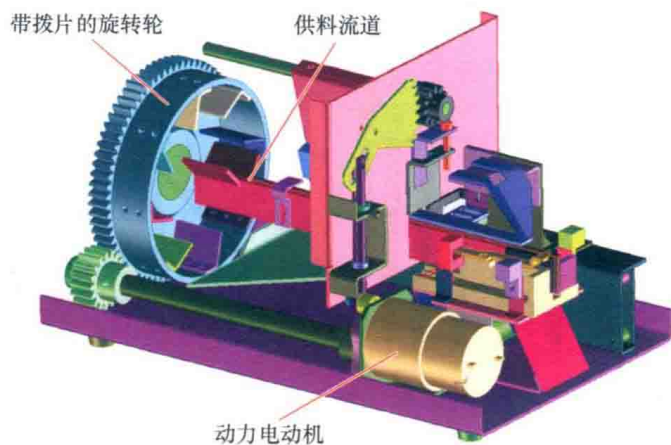


图 1-11 旋转式螺钉供应机

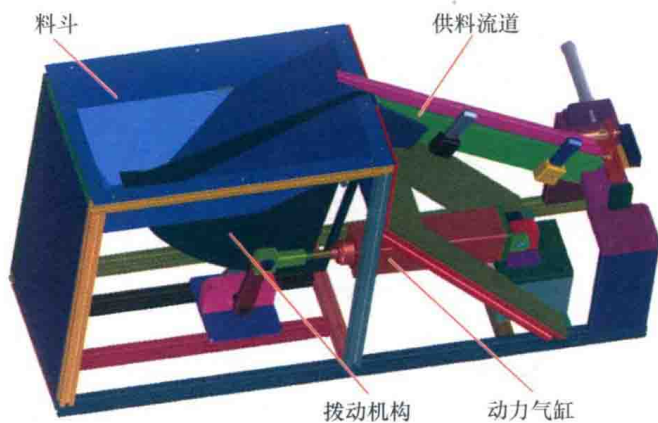


图 1-12 往复式螺钉供应机

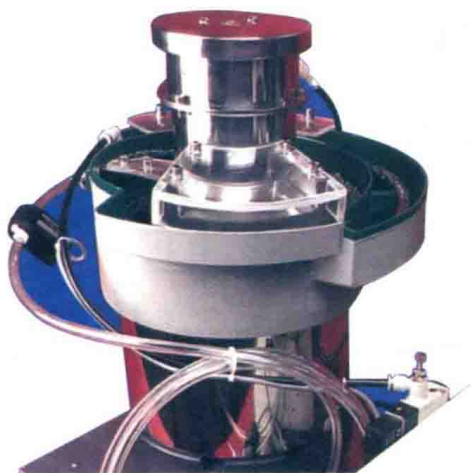
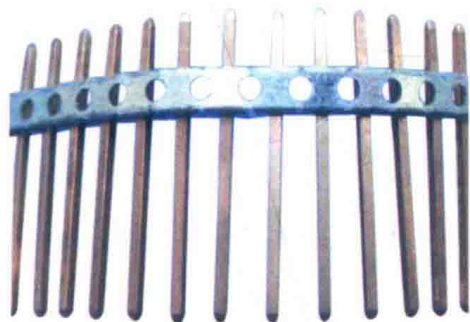


图 1-13 弹簧供料机



图 1-14 产品电镀方式会影响供料方式



a)



b)

图 1-15 不同的物料状态会影响机构设计

a) 连料 b) 散料



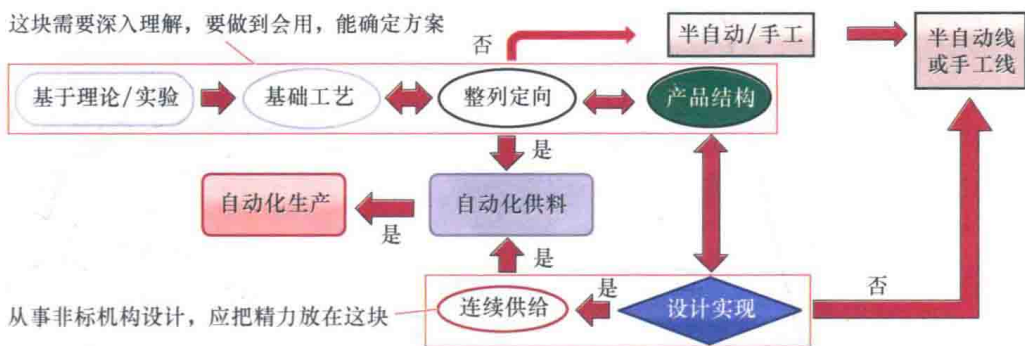


图 1-16 供料系统设计的学习建议

有人说，自动供料环节做得好，几乎就完成了自动化的 90%，不无道理。考虑非标设备总体方案时，最重要的工作之一就是评估产品的物料整列定向、连续供给的技术可行性。电子行业自动化程度较高，与物料包装“规矩”和产品易于供料、上料、移料、收料有很大关系。在实际工作中也会遇到一些棘手的情况，类似图 1-17 所示的这些“没规矩”、不便包装的物料状态就不容易实现自动供料。遇到这种情况时，行业做法多是采用半自动化供料，或借助视觉系统 + 分拣机构间接实现。



图 1-17 “没规矩”、不便包装的物料

当然，不容易 ≠ 不可以，在行业众多技术达人的不断摸索下，过去很多难度很大的领域都慢慢实现了突破。例如弹簧的供料，如图 1-18 所示，最大的问题就是容易缠搅到一起，采用图 1-19 所示的弹簧分离机（利用离心力原理）来辅助作业可以缓解这个问题。

## 2. 基本构成

完整的供料系统（装置），通常包含供料、缓冲和分离等机构。以电子行业为例，典型的自动化供料装置如图 1-20 所示。一般来说，需要用到料仓的情况不多，为设计的可选项，当物料尺寸偏大，振动盘容量有限时，料仓（容积较大）可用于适时补



图 1-18 弹簧供料的难点是容易缠绕到一起



图 1-19 弹簧分离机

给, 避免频繁添料; 振动盘为供料主体装置, 能够对散乱的物料进行自动定向和规则排列, 并通过流道将物料连续性输出, 在电子行业中的应用十分广泛。直振, 也叫直线输送器或平振, 通过振动原理将物料沿直线送进, 相当于一段具有动力的流道, 起缓冲的作用 (振动盘缺料时, 直振能继续供料, 避免设备停机); 分离机构担当的角色, 则是让已有明确方向的连续性物料分成一组或单个, 因为设备的工艺机构, 实施的对象往往是一组或单个产品, 这样首先就需要让进入设备的物料单元化和个体化, 如图 1-21 所示。

(1) 供料装置 最典型的供料装置莫过于振动盘了, 价格方面, 从几千元到几万元不等。振动盘的整列定



图 1-20 典型的自动化供料装置

向能力强大，因此应用十分广泛，如图 1-22 和图 1-23 所示，很多产品都可以通过振动盘来实现自动送料。

由于篇幅所限，本章不过多地探讨装置原理，仅从应用的角度来介绍振动盘。

分离机构作用：物料从振动盘出来后，经过输送带向设备流道连续性输送，分离机构可将其“切”成一组或单个，便于后续定位、送进和工艺的实现

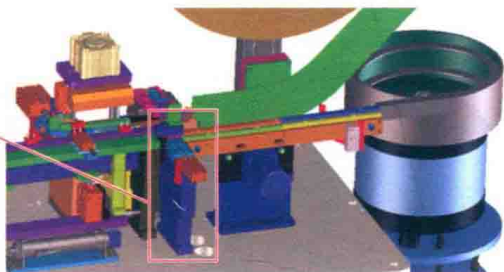


图 1-21 设备上的分离机构

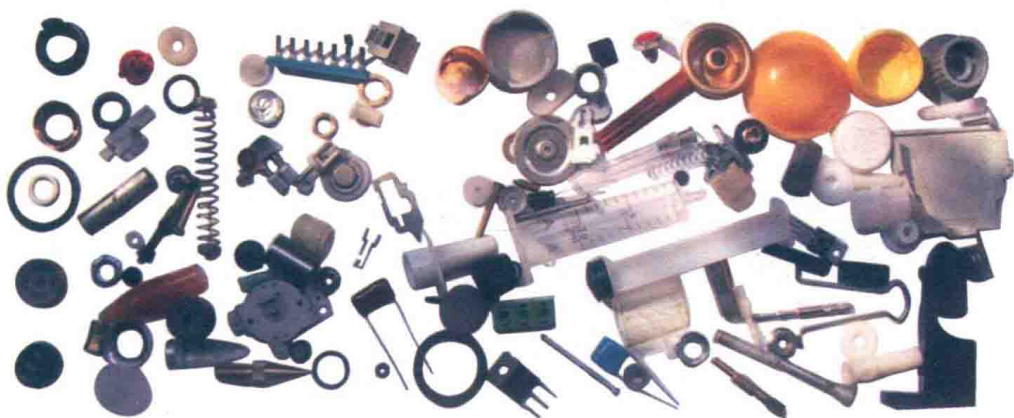


图 1-22 可通过振动盘供应的各类产品/物料



图 1-23 振动盘的应用十分广泛

1) 振动盘的类型。如图 1-24 所示，振动盘是一个特殊的标准设备，由底盘和顶盘构成，其中底盘为标准通用装置（同一规格的底盘可配用不同的顶盘），提供装置