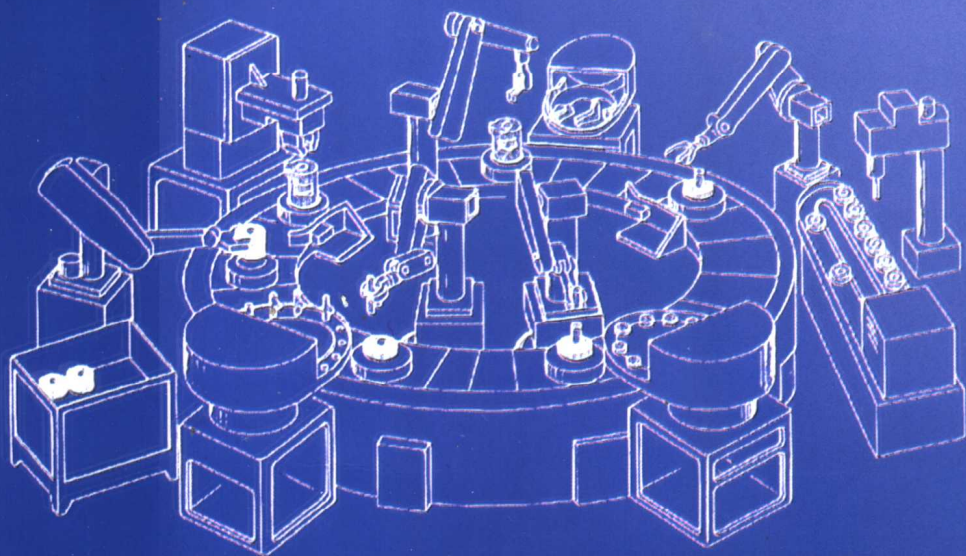




北京市高等教育精品教材立项项目

装配自动化

刘德忠 费仁元 (德)Stefan Hesse 主编



北京市高等教育精品教材立项项目

装 配 自 动 化

主 编 刘德忠 费仁元 (德) Stefan Hesse
参 编 岳素平 李士良 高学金
主 审 俞圣梅

机械工业出版社

本书系统地介绍了装配自动化的基础知识, 装配自动化系统硬件及柔性装配自动化的概念。体现了传统制造技术与 IT 技术的融合, 突出机器人在自动化装配技术的应用。同时提出了适合自动化装配的机械结构设计、评价标准。本书共九章: 第一章为装配技术基础; 第二、三、四、五章讲授自动化装配机的结构形式、组成部分及自动化装配中的物流系统; 第六、七、八章讲授装配机器人及以机器人为核心组成的装配工作站和装配系统。其中第七章微机器人及微装配技术反映了这一领域的最新成果。第九章讲述装配系统的可靠性指标及监控方法。除理论知识外, 本书还收入了大量生产中应用的实例, 以适应先进制造对装配技术的要求。

本书为机械制造及自动化专业的教材及相关专业的选修课教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

装配自动化/刘德忠等主编. —北京: 机械工业出版社, 2003. 7

北京市高等教育精品教材立项项目

ISBN 7-111-12042-6

I. 装... II. 刘... III. 装配(机械)—自动化—高等学校—教材
IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 030181 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王世刚 邓海平 版式设计: 霍永明 责任校对: 李秋荣

封面设计: 饶微 责任印制: 路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·18.25 印张·362 千字

定价: 24.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

序

本书是装配自动化的导论。装配技术的发展过程是由手工装配到圆台式自动装配机、自动装配线装配,最后是柔性自动化装配。在许多情况下,从技术经济的观点来看,混合式装配系统是最佳选择。在这种装配系统中既包含自动装配,又包含手工装配,因为自动化装配像加工一样要求人的智慧和经验。

装配自动化之所以成为必然的趋势,原因是不仅通过它可以降低成本、提高质量与可靠性,而且对于有些包含微小零件的产品,由于手工装配无法胜任,只能采用自动装配,即采用适当的技术取代人手的操作。另外一个原因是,那些只允许在洁净空间内进行装配的精密产品所占的比例越来越多。装配自动化的发展水平包含各个不同的历史阶段。

发展装配自动化技术需要解决零件的整理、传送、抓取和装配,以及计算机辅助制订装配计划。当然零件的性能和尺寸必须非常稳定一致。

本书是一本实践性教材,其目的在于,一方面向读者介绍完成一定的装配任务需要的技术方案和设备结构,以及如何构筑装配设备的硬件系统;另一方面作为研究生产活动开展教学活动的教材向读者概括地讲述相关的基础知识和技术。

北京工业大学刘德忠博士倡议共同编写这本书在中国出版。我们进行了富有成效的合作。在此我向刘德忠教授及中国机械工业出版社表示衷心的感谢。

工学博士 (habil.) Stefan Hesse
2003年2月4日于德国普劳恩市

前 言

制造业对于一个国家现代化建设具有不可替代的重要地位和作用。

装配是整个生产系统的一个主要的组成部分，也是机械制造过程的最后环节。装配对产品的成本和生产效率也有重要影响。作为最后的生产阶段，还必须在交货时间、批量大小、质量控制、产品更新换代等方面最大限度地适应不断变化的市场要求。

研究和新的装配技术，大幅度提高装配质量和装配生产效率是机械制造工程的一项重要任务。现代工业生产中迫切需要解决的一个重要问题就是实现装配过程的自动化。自动化装配的重要目的是提高生产效率、降低装配成本、稳定与改善产品质量、减轻劳动强度以及取代特殊条件下的人工装配劳动。

各发达国家都十分重视装配技术以及装配组织管理的研究。为了保证装配质量，许多著名生产厂家都建立了一套严格有效的技术、管理措施。自动化装配技术的研究在发达国家受到十分重视并取得了巨大成就。自动化装配技术已获得广泛应用，装配自动化水平也有了很大提高。

近20年来，随着科学与技术的迅速发展，特别是计算机科学与技术的迅速发展和广泛应用，国外在发展自动化方面也进入了一个新的时期，出现了许多新的工具和软件。自动化装配开始向柔性化发展，进入中小批量生产领域。

中国的装配技术水平与发达国家相比还存在较大差距。一方面表现在装配工作的机械化、自动化的程度与水平上；另一方面表现在装配工作的组织管理、质量保证以及装配工艺性等基础研究方面。目前各种机械产品的装配工作几乎都是人工完成的。像汽车、拖拉机这样一些大量生产的产品，装配都在移动流水线上进行，只是部分装配工作实现了机械化。在一些中外合资的制造业，例如汽车、电子工业部分实现了自动化装配。

当前机械产品质量差的问题也十分突出。根据国家技术监督局公布的数字，装配质量不合格占不合格机床的11.3%。由于装配质量差，导致装配出的机床油水渗漏、噪声超标、精度低、寿命短、可靠性差等质量问题也相当严重。

国内从事装配理论和装配技术研究的人员较少，装配自动化方面的理论文章和实验研究的结果也不多见。在新产品的设计和老产品的重新设计中，很少考虑到适宜自动化装配，特别是机器人装配的结构工艺性，目前这方面还没有制定相应的标准。

国家自然科学基金委员会1994年发布的《自然科学学科发展战略调研报告》提出以

下研究方向及奋斗目标:

- 1) 大力开展装配理论,特别是自动化装配的理论和实验研究;
- 2) 大力开展产品及零件的装配工艺性的研究,以及合理配合间隙或过盈量的确定和控制方法的研究;
- 3) 大力开展装配生产的组织与管理的研究;
- 4) 注意开发新的装配工艺和技术;
- 5) 在工业部门广泛推行便于装配的设计准则。

这些对于当前提高装配质量和效率、降低装配成本有着十分重要的意义,并为今后实现装配自动化奠定必要的基础。

本书共九章。第一章介绍了装配工作的组织形式,装配中的联接方法以及如何通过对装配任务的分析确定装配流程和装配工艺。第二章和第三章分别介绍了自动装配机的结构形式及构成自动装配机的部件。第四章讲述联接各个装配工位的方法及所用的设备。第五章零件的准备,包括给料系统和零件储仓。第六章是关于装配机器人及以机器人为中心构成的装配工作站。第七章微机器人与微装配介绍了近年来发展起来的微机器人技术及其在微机械和微系统中的应用。第八章说明了从装配工位经过装配间、装配站、装配中心直至装配系统的集成过程。第九章关于自动化装配设备的可靠性及监控方法。

本书各章由下列人员编写:第一章、第二章、第三章、第四章刘德忠、Stefan Hesse;第五章费仁元、Stefan Hesse;第六章 Stefan Hesse、李士良;第七章岳素平、刘德忠;第八章、第九章 Stefan Hesse、费仁元、高学金。北京机床研究所俞圣梅教授对全书作了详细的审核。北京市教委和北京工业大学的各级领导对本书的编写给予极大支持,使本书得以入选北京市教委精品教材建设项目。本书的编写也得到 Jürgen Hesselbach 教授和 Heinrich Geiger 博士的支持和鼓励,在此谨向他们表示衷心的感谢!

最后还要感谢德国 Vogel 出版社社长 Rainer Brand 博士和 Christine Wunderlich 女士,感谢机械工业出版社的领导和编辑,感谢德国 FESTO 公司 Nagel 先生,感谢他们对这一国际合作项目的大力支持和为此所做出的一切努力。

编 者

2003年2月22日

目 录

序

前言

第一章 装配技术基础	1
第一节 任务及应用范围	1
第二节 组织形式	3
第三节 联接方法	5
第四节 装配任务分析	13
第五节 产品结构的确定	23
第六节 装配流程的确定	24
第七节 装配工艺过程的确定	28
复习与练习	32
第二章 装配机的结构形式	38
第一节 概念与划分	38
第二节 单工位装配机	43
第三节 多工位装配机	45
第四节 各种结构形式的评价与选择	71
复习与练习	74
第三章 自动装配机的部件	75
第一节 运动部件	75
第二节 夹紧和保持单元	91
第三节 定位机构	99
第四节 联接方法	102
第五节 位置误差的补偿设备	117
第六节 联接控制单元	120
第七节 校准单元	123
第八节 组合部件系统	123
第九节 控制	126
复习与练习	138
第四章 联接方法	141
第一节 联接的种类	141

第二节 传送设备	143
第三节 工件托盘	148
第四节 联接料仓	155
复习与练习	156
第五章 零件的准备	158
第一节 给料系统	158
第二节 零件储仓	161
第三节 配料	170
复习与练习	172
第六章 装配机器人	175
第一节 柔性自动化的要求	175
第二节 装配机器人的结构形式	177
第三节 装配机器人的控制	184
第四节 装配机器人的传感器	187
第五节 装配机器人的视觉技术	190
第六节 机器人语言和离线编程	193
复习与练习	208
第七章 微机器人与微装配	210
第一节 微机器人概述	210
第二节 微机器人分类	214
第三节 微驱动器	220
第四节 微定位机构	235
第五节 微小目标的抓取技术	241
第六节 视觉技术	249
第七节 控制系统	255
复习与练习	261
第八章 装配设备	262
第一节 概念上的划分	262
第二节 装配工位	263
第三节 装配间	264

第四节 装配中心	269	第一节 可靠性指标	273
第五节 装配系统	269	第二节 监控系统	278
复习与练习	271	复习与练习	281
第九章 可靠性及可用性	273	参考文献.....	282

第一章

装配技术基础

第一节 任务及应用范围

所谓装配，就是通过搬送、联接、调整、检查等操作把具有一定几何形状的物体组合到一起。

在装配阶段，整个产品生产过程中各个阶段的工艺的和组织的因素都遇到一起了。由于在现代化生产中广泛地使用装配机械，因而装配机械，特别是自动化装配机械得到空前的发展。

装配机械是一种特殊的机械，它区别于通常用于加工的各种机床。装配机械是为特定的产品而设计制造的，具有较高的开发成本。而在使用中只有很少或完全不具有柔性。所以最初的装配机械只是为大批量生产而设计的。自动化的装配系统用于中小批量生产还是近几年的事。这种装配系统一般都由可以自由编程的机器人作为装配机械。除了机器人以外，其他部分也要能够改装和调整。此外还要有具有柔性的外围设备。例如零件储仓，可调的输送设备，联接工具库、抓钳及它们的更换系统。柔性是这样一种系统的特性，这种系统能够适应生产的变化。对于装配系统来说，就是要在同一套设备上同时或者先后装配不同的产品(产品柔性)。柔性装配系统的效率不如高度专用化的装配机械。往复式装配机械可以达到每分钟10~60拍(大多数的节拍时间为2.5~4s)；转盘式装配机械最高可以达到每分钟2000拍。当然所装配的产品很简单，例如：链条等；所执行的装配动作也很简单，例如：铆接、充填等。

对于大批量生产(年产量100万以上)来说，专用的装配机械是合算的。工件长度可以大于100mm，质量可以超过50g。典型的装配对象如电器产品、开关、钟表、圆珠笔、打印机墨盒、剃须刀、刷子等。它们需要各种不同的装配过程。图1-1中列出了最重要的装配方法以及它们之间的关系。

从创造产品价值的角度来考虑，装配过程可以按时间分为两部分：主装配和辅装配。联接本身作为主装配只占35%~55%的时间。所有其他功能，例如给料，均属于辅装配。设计装配方案必须尽可能压缩这部分时间。按照它们的时间比例关系可以定义一个有效

2 装配自动化

系数：

$$\eta = \frac{PM}{PM + SM} \times 100\%$$

式中 PM ——主装配时间；

SM ——辅装配时间。

在所有联接方法中，螺纹联接占最大比例。

——螺纹联接 68%；

——铆接 16.5%；

——压接 10.5%；

——销接 1.6%；

——弹性涨入 1.3%；

——粘接 1%；

——其他 1.1%。

以上是机械制造和车辆制造行业的平均值。各个不同的行业所采用的各种联接方法的比例不尽相同。装配机械的各种不同的结构形式都是针对一定的装配范围设计的。它们的定位精度、装配速度和抗干扰性受到格外重视。物流通道对于工件参数波动的“免疫力”起到非常重要的作用。在自动化装配过程中，大多数的故障是由工件流的干扰引起的。

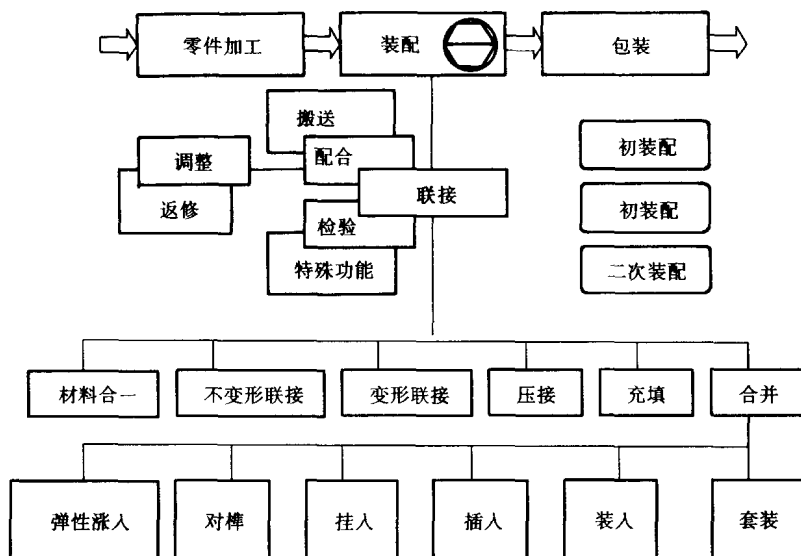


图 1-1 装配中的联接方法框图

自动化装配机械，尤其是经济的和具有一定柔性的自动化装配机械被冠以高技术产品。按其不同的结构方式常被称为“柔性特种机械”或“柔性节拍通道”。圆形回转台式自动化装配机由于其较高的运转速度和可控的加速度而倍受青睐。环台式装配机械，无论是环内操作还是环外操作，或二者兼备的结构都是很实用的结构方式。

现代技术的发展使得人们能够为复杂的装配功能找到解决的方法。尽管如此，全自动化的装配至今仍然只是在有限的范围是现实的和经济的。由于装配机械比零件制造机械具有更强的针对性，因而装配机械的采用更需要深思熟虑，需要做大量的准备工作，不能简单片面地追求自动化。而应本着实用可靠而又能适应产品的发展的原则，采用适当的自动化程度，应用现代的计划方法和控制手段。

第二节 组织形式

组织形式也就是为装配工作规定工艺方面的组织条件。与零件制造不同，装配有其特殊性，在一个零件被装配时还可能进行与此平行的加工。装配工作可以是手工的、机械化的和自动进行的。由于工艺的因素和出于成本的考虑，某些产品采取混合装配方式。例如装配机械（特别是机器人）和装配工人同在一条装配线上配合工作。在人和机械之间有各种不同的分工方式（图 1-2）。

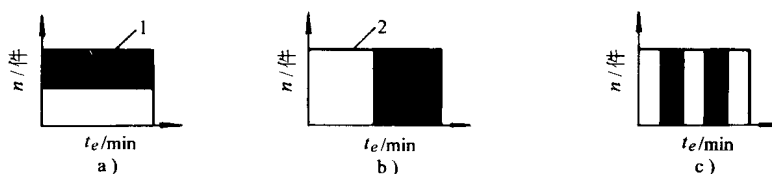


图 1-2 混合装配系统中的工作分工

a) 按工作量划分 b) 按工作内容划分 c) 多次按工作内容划分

n —单位时间的产量 t_e —为了装配产品的一个单元所需要的时间

1—人工完成的部分 2—机器完成的部分

对于变种批量生产，人具有更大的灵活性。例如：初装配自动化进行，终装配由于根据用户的特定要求有不同的变种更适合人工进行。这种组织形式对于那些原来完全是手工装配，后来逐步实现自动化的装配作业来说是一种典型的组织形式。在这些基础上我们可以对组织形式定义：

组织形式是一种如何在工艺方面组织实施一种装配作业的种类和方式。

组织形式可以具体化为以下几个方面：

1) 空间排列；

- 2) 物流之间的时间关系;
- 3) 工作分工的范围和种类;
- 4) 在装配过程中装配对象的运动状态。

按照这一观点,典型的装配组织形式可以分为下列几种:

单工位装配

全部装配工作都在一个固定的工位完成,基础件和配合件都不需要传输。

固定工位顺序装配

几个装配单元位置固定相邻设置,在每个工位上都完成全部装配工作。这样安排的优点是,当一个工位出了故障不影响整个装配工作。

固定工位流水装配

与固定工位顺序装配的区别在于装配过程没有时间间歇,但装配单元的位置不发生变化。

装配车间

集中在一个车间的装配工作,只适用于特殊的装配方法,例如焊接、压接等。

巢式装配

几个装配单元沿圆周设置,没有确定的装配顺序,装配流程的方向也可能发生变化。

非时间联系的顺序装配

几个装配单元按工艺流程设置,在装配过程中相互之间不存在固定的时间联系。

移动的顺序装配

装配工位是按装配工序设置的,它们之间有一定的时间联系,但可以有时间间歇,是一种顺序有间断的装配。

移动的流水装配

装配工位是按装配操作的顺序设置的,它们之间有确定的时间联系而且没有时间间歇。装配单元的传输需要适当的链式传输机构。

如果要求较高的装配效率或因产品比较复杂单工位难以实现,就需要施行流水装配,装配任务被分配给几个相互链接的装配工位。典型的方式是圆形回转台式装配机和节拍式装配通道。在自动化生产的计划阶段,就应该选定产品的装配组织方式。

流水作业概念已经于1924年由经济制造专业委员会定义为“在局部范围内按照一定的时间顺序不间断地向前移动的作业过程”。后来又基于工艺方面的考虑做了如下的补充:“在生产过程中人既不是持续不断地也不是被迫地随着工艺流程工作的”。

此外,从空间的角度来考虑,也就是各个装配工位如何相互耦合。最常用的是一种线式结构,当然也存在其他的可能性。其中,开式结构装配线的起点和终点是分开的。闭式结构则相反,而且闭式结构所能容纳的装配工位也是有限的。根据装配工艺的需要

也可以采取一种混合结构（图 1-3）。

随着装配机器人的发展出现了一些新的组织方式。原先的一些只能由熟练装配工实施的装配工作现在完全可以由机器人来实现。例如由移动式机器人所执行的固定工位装配。装配工人和装配机器人共同工作的装配线发挥了强大的威力。由此而产生的具有柔性的装配系统中在大批量生产中也得使用（图 1-4）。

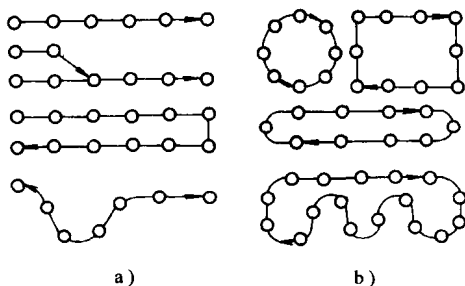


图 1-3 装配工位空间排列的基本方式

a) 开式结构 b) 闭式结构

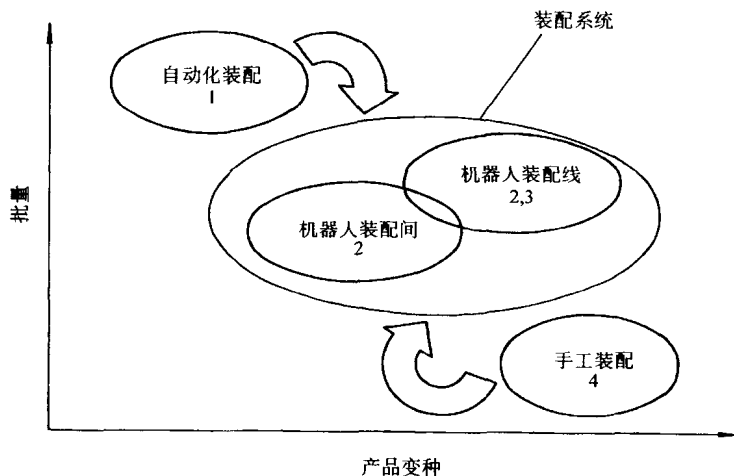


图 1-4 装配自动化的发展方向

1—专用化的自动化装配机械 2—有一定柔性的装配系统（可移动的多用机器人）

3—使用若干台机器人的装配线 4—高度柔性的装配系统

第三节 联接方法

在设计人员设计产品时联接方式就被确定了。由于可以采用的联接结构很多，所以

联接方式也必然是多样的。对于那些结构复杂的产品，越来越多的各种不同的联接方法被采用。各种不同的联接方法还可以结合使用，例如：点焊+粘结、贯穿+粘结。贯穿又包括各种不同的方法变种，例如：贯穿联接、扭接等，适用于那些容易变形的联接材料以及覆盖板料等，当然板料的厚度必须限定在一定的范围。

通过联接产生一种结合，其结果是使被联接件的自由度减少。

各种联接方法的使用因行业而异。机械制造和车辆制造行业比精密仪表行业更多地使用螺纹联接，螺纹联接是一种通过压紧实现的联接，因为被联接件是通过螺钉被相互紧紧地压在一起的（图 1-5a）。由此产生一对摩擦副。为了能够从数量上精确地控制联接力，必须对有关的因素加以控制。螺纹联接也存在各种不同的形式，按螺钉头部的不同形状可以分为 4 种：

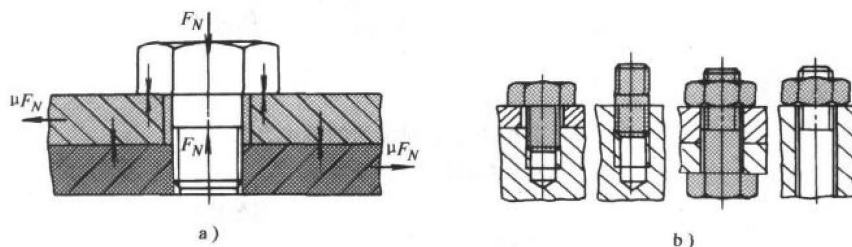


图 1-5 螺纹联接

a) 螺纹联接的受力状况 b) 螺纹联接的基本类型

- 1) 螺钉拧入被联接件，靠螺钉头部压紧；
- 2) 螺钉一端栽入被联接件；
- 3) 螺钉插入被联接件，螺母在另一端拧紧；
- 4) 螺母联接。

紧固力矩必须控制在一个严格的公差范围

$$M_v = M_{vnom} \pm T_v$$

其下限由必需的预紧力确定

$$M_{vmin} = f(F_v)$$

其上限受螺钉材料的强度限制

$$M_{vmax} = f(\sigma_b)$$

式中 F_v ——必需的预紧力 (N)；

M_{vmin} ——名义紧固力矩 (N·cm)；

M_{vmax} ——最大紧固力矩 (N·cm)；

T_v ——紧固力矩的公差 (N·cm)；

σ_b ——螺钉材料的抗拉强度 (N/cm²)。

除螺钉联接以外，最常用的当数并接（套装、插入、推入和挂接）。所要求的联接动作取决于两个被联接件的耦合面的形状和位置。对于这种联接方式，被联接件之间的接触力起着重要的作用，因为它们在联接的瞬间形成一定的力矩（图 1-6）。

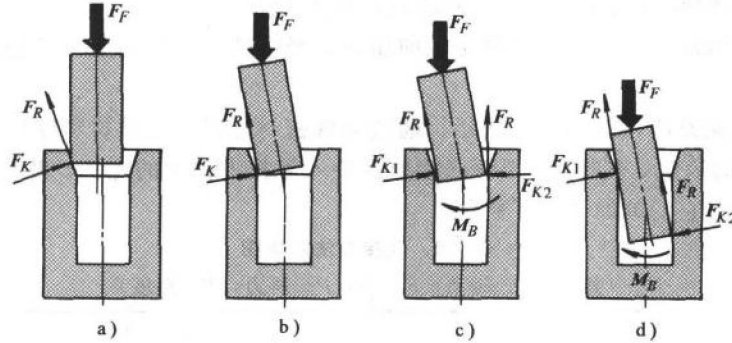


图 1-6 插入联接各阶段的反作用力和反力矩
 a) 定位 b) 一点接触 c) 二点接触 d) 插入过程
 F_F —联接力 F_K —接触力 F_R —摩擦力 M_B —力矩

因为两个被联接件的中心和轴角完全对准是不可能的，必须事先考虑到一定的补偿环节。联接过程所需施加外力 F_F 的大小由接触部分的摩擦因数来确定。各种联接方式的粗略统计见表 1-1。

表 1-1 各种联接方式被使用的频繁程度

●—最经常使用 ○—很少被使用

联接操作分组	联接方式			
	并接		压入	
	F_F / kN 0 0.30~5 7~(10)			
	S_p / mm 0.2 0.02 0			
插入时的转角	间隙		过盈	
	大	小	小	大
无	●	●	●	○
小 ($0^\circ \sim 45^\circ$)	○	●	●	○
大 ($45^\circ \sim 360^\circ$)	○	○	○	○
数倍 ($n \times 360^\circ$)	○	螺纹联接 ●		—

对于装配过程的研究表明, 下列的联接副是经常遇到的:

- 1) 联接副之间有 0.02~0.2mm 的小间隙;
- 2) 联接副之间有小过盈, 装配压力最大到 7kN;
- 3) 联接副之间有小间隙或小过盈, 需要旋入, 但旋转角较小 ($<45^\circ$);
- 4) 在旋入的同时还要施加一定的压力, 最大 7kN。

对配合件施加一定压力, 特别是轴向压力是经常的。70%的压入装配需要压力不超过 5kN。

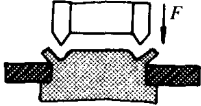
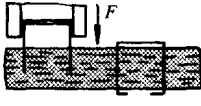
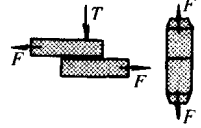
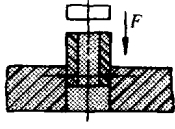
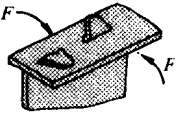
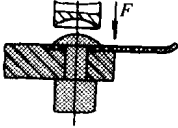
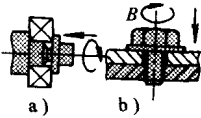
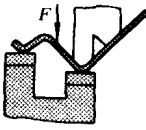
其余的装配方法, 例如: 槽联接、通过涂敷密封材料和粘结材料联接、弹簧卡圈的涨入、齿轮副的装配、楔联接、压缩联接以及旋入等只占很少的比例。表 1-2 中举出了几种联接方法并对它们的原理作了解释。

表 1-2 联接方法示意图

(其中, B —运动, F —力, P —压力, T —温度)

联接方法	原 理	说 明
拆边		形状耦合联接, 把管状零件的边缘折弯
镶嵌, 插入		把小零件嵌入大零件
熔入		铸造大零件时植入小零件
涨入		通过预先的变形嵌入
翻边, 咬接		通过板材的边缘变形形成的联接
填充, 倾注		注入流体或固体材料

(续)

联接方法	原 理	说 明
开槽		配合件插入基础件，挤压露出的配合件端部向外翻
钉夹		用扒钉穿透两个物体并折弯，形成牢固联接
粘结		用粘结剂粘合在一起，有些需要加热
压入		通过端部施加压力把一个零件插入另一个零件
凸缘联接		使一个零件的凸缘插入另一个零件并折弯
铆钉		用铆钉联接
螺纹联接		用螺钉、螺母或其他螺纹联接件联接
焊接		有压焊、熔焊、超声波焊等