

FA 工业自动化设备设计基础

By: Duyeslin

目录

绪论

- 一 目的
- 二 设备结构划分
- 三 设备模块划分
- 四 设备元器件
- 五 图纸
- 六 软件

第一章 基于工程实践的工程制图基础

- 第一节 工程图纸基本要求
- 第二节 制作工程图纸
 - 清晰的视图
 - 完整的尺寸
 - 合理的公差
 - 适当的材料
 - 正确的工艺要求
 - 完整的文档管理内容及工件信息
- 附 1 图纸中常用英文单词
- 附 2 尺寸链解算方法

第二章 常用的自动化元器件及选型基础

- 第一节 气动系统元器件选型及应用
 - 气动系统基本元器件
 - 气动元器件选型及应用
- 第二节 油压缓冲器选型计算
- 第三节 电力驱动元器件及相关执行机构配件选型及应用
 - 伺服电机+减速机+滚珠丝杠机构的选型基础
 - 步进电机+凸轮分割器圆盘分度机构的选型基础
- 第四节 常用传感器介绍
- 附 常用自动化元器件英文单词

第三章 自动化部件结构设计基础

- 第一节 零件的典型工艺性结构设计
- 第二节 常用的气动机构模块设计
 - 气缸配直线轴承
 - 气缸配直线导轨
 - 气缸在快速夹具中的应用
 - 气缸在步进送料系统中的应用
 - 气缸驱动齿轮齿条将直线运动转换为旋转运动
- 第三节 常用的电动机构模块设计
 - 步进电机驱动滚珠丝杠+直线导轨的直线运动机构
 - 步进电机驱动同步带+直线导轨的直线运动机构
 - 步进电机驱动齿轮齿条的直线运动机构
 - 倍速链基础知识

- 第四节 产品工装夹具设计
 - 圆柱形产品的定位
 - 异形产品的定位夹紧设计
- 第四章 设备整体设计思路及方法
 - 第一节 设备设计的一般过程
 - 第二节 设备设计的思考方法和决策过程
 - 设备的功能模块划分和布局基础
 - 设备模块设计思路和方法
 - 设备方案失效模式分析方法
 - 附： 设备设计术语英文单词
- 第五章 项目管理基础
 - 第一节 项目管理的基本内容
 - 第二节 项目管理方法和过程
 - 项目工作分解
 - 项目时间管理

绪 论

一 目的

随着科学技术的发展以及人们对于产品品质的更高追求,越来越多的企业和工厂都期望使用大量的自动化设备和装置来取代工人繁冗无味的重复劳动,实现产品的全部或者部分制造过程的自动化以消除因为人为因素导致的产品质量的不稳定性,这就是我们通常所说的“工厂自动化”(Factory Automation,简称:FA)。

本文以及后续系列篇幅介绍的就是为了实现工厂自动化而做的工业自动化设备的设计基础知识。本系列文章主要面对的对象是:有志于投身机械设计行业的,具有基本机电知识的大学生、应届毕业生以及毕业3年以内的初级设计师(助理设计师)。所以本系列文章的主要宗旨是:让在校大学生明白学习的方向,让应届毕业生能迅速地把学校学到的理论知识正确地应用到设计实践中来,让助理设计师发现自己的不足之处。本系列文章不会解释设计方法学的问题,凡涉及到设计方法学的问题,烦请诸位自己查阅相关资料。比如:自顶向下设计、优化设计等。所以,在接下来的讲解中,本人会尽量使用简洁、系列的方式,通俗的语言列举我们所要表达的内容,尽量做到不罗嗦、不重复,尽量减小诸位的阅读强度、节约大家的时间。所以,我们的口号是“**理论联系实际**”。好了,以下咱们开始进入工厂自动化设备的天地中。

注意:本文中所说的自动化设备主要是大量使用了现代自动化元器件以及自动化控制系统的各类设备,与传统的纯机械机构组成的设备有一定的区别。但是,也不可盲目的崇拜自动化元器件和现代控制技术的能力,传统的机械机构仍然是机械的主要组成部分;与现代自动化器件组成的结构模块相比较,传统的机械机构具有非常明显的简洁、高效的优点;所以,在设备设计过程中,只有合理地运用机构和自动化元器件、现代控制技术才有可能设计出完美的自动化设备。由于机械机构学在18世纪已经发展成熟,而且在大学的《机械原理》课程中有清晰的阐述,所以,本文会尽量少的提到机械原理,涉及到的机械原理相关知识请各位自己去翻资料。但是,请各位一定要记住:**机械原理是一切设备设计的理论基础!切勿忽视!**但凡由本人面试的工程师,如果机械原理知识不扎实,一概不予录用。

声明:本系列篇章中讲述的都是一般工程应用知识,如有特殊应用场合,则请参阅相关专著并结合实际应用场合进行分析、计算和设计。倾向于理论研究者则完全不必在此耗费时间和心血。

以下介绍依据设备设计过程进行

二 设备结构划分

在工厂自动化的设备中,主要有三大类:物流类、制造类、检测类。物流类

设备或者装置主要是为了解决产品原材料、半成品、成品在工厂内部各工序之间的输送、包装等问题。比如：各种输送线、转送小车等。制造类设备主要是为了实现产品原材料到成品或半成品之间各个工序的加工制造过程。比如：各类专用机床等。检测类设备主要是为了控制产品质量而进行设计制造的离线或在线品质监控装置。比如：各类尺寸、外观以及内部质量检测设备或装置等。

为了便于讲解，我们把自动化设备划分为的五大部分：上料、操作、卸料、控制系统、人机界面。

上料 上料部分实际上包括三大功能模块：上料模块、排列模块和分料模块（或者合流模块）。在工厂生产实际中，各种各样的原料加载衍生了各种类型的上料机构或上料装置。我们在工程实际中常用的上料方式主要有：振动盘上料、漏斗型料仓上料、料盘上料以及弹匣式料仓上料。在上料过程中，根据产品的外形规格还需要对产品进行整列，这就是排列模块的工作。而从上料模块到排列模块出来的产品都是一个挨一个的，这就需要有分料模块来将即将取走的工件从整列队列中分离出来，这是分料模块的活。如果是装配类设备，还需要有多种材料上料，那么，我们需要将各种原材料按照装配顺序进给，所以，我们也需要有合理的合流装置。

操作 我们把任何设备对产品进行的任何加工、装配、检测等工作都称为操作。

卸料 卸料就是将本设备加工制造完成的产品按照要求从设备中取出放到指定位置。

控制系统 控制系统包含硬件系统和软件系统。硬件系统指的是：由处理器（PLC、工业控制计算机、单片机等中央处理单元器件）、继电器、传感器以及各类管线等组成的各种电路。软件系统指的是：为了让设备正常运转而设计的软件。

人机界面 为了让设备能够且易于操作而设计的装置：按钮、触摸屏、显示器等。

三 设备模块划分

通过以上的划分，我们对设备已经有了一个大致的印象。接下来，我们应该去探索一下设备的内部了。

任何自动化设备都是由各种各样的机构组成，所以，我们现在来说说在工厂自动化过程中，我们需要常常用到的机构以及驱动系统。在现代工业自动化设计理论以及实践中都前所未有的强调模块化设计，不论是机械设计还是控制设计。这也是由现代工厂产品生产和自动化产品的发展所决定的。模块化设计的优点在于：提高设计效率（易于实现并行设计）、柔性好、便于生产（易于实现批量生产）、降低成本、便于调试、维护等方面。

通常的机械功能模块都有两大部分：驱动系统和执行机构。

在工厂自动化设备中，我们常用的驱动系统主要有：电机驱动系统（异步电机驱动系统、伺服电机驱动系统、步进电机驱动系统、直线电机驱动系统等）、液压驱动系统、气动驱动系统。

常用的执行机构主要有：齿轮机构（包括蜗轮蜗杆机构、齿轮齿条机构）、连杆机构（包括曲柄滑块机构）、凸轮机构、带传动系统（包括：平皮带传动、V带传动、同步带传动）、链传动系统（包括滚子链、倍速链等）、丝杠导轨系统等。

另外，根据设备需要和运动方式的不同，有一个非常重要的概念需要强调：间歇机构。间歇机构指的是为实现间歇运动而设计制作的机构。比如：分度盘（实际上是凸轮机构的一种）、槽轮机构、棘轮机构以及由软硬件结合而形成的步进间歇系统、伺服间歇系统等。

四 设备元器件

我们把设备中采购进来的可以直接装配的部件称为标准件，采购原材料需要自己工厂进行加工的部件称为加工件。

以下我们根据部件不同的性质，将标准件分为电动配件、气动配件、液压配件、机械配件、控制配件五大部分进行列举：

电动配件 电动配件包含各种电机及其附件。三相异步电机、单相电机、直流电机、步进电机及驱动器、伺服电机及驱动器、直线电机及驱动器等。

气动配件 气动配件包含各种气缸及其附件。直线气缸、旋转气缸、气爪、气囊、多行程气缸、真空吸盘、气动接头、换向阀、节流阀、磁性开关、浮动接头、过滤器、油雾器、减压阀、气压表、负压表、单向阀、比例阀等。

液压配件 液压配件包含各种液压缸及其附件。液压缸、换向阀、节流阀、浮动接头、过滤器、减压阀、压力表、单向阀、比例阀、溢流阀、伺服阀等。

机械配件 机械配件主要包含各种执行元器件。联轴器、减速机、缓冲器、稳速器、滚动轴承、直线轴承、滚珠丝杠、直线导轨、皮带及带轮、链及链轮、齿轮齿条等。

控制配件 控制配件包含控制系统各种硬件。PLC、工业计算机、单片机、板卡、继电器、接触器、滤波器、开关电源、传感器、各种管线等。

另外，有一款元器件比较特殊，现也列举一下：气液增压缸。气液增压缸是以气动系统控制液压系统来获得较大驱动力的办法，类似于以弱电系统控制强电系统。其在工厂自动化设备中的应用也是比较广泛的，诸如：在一些冲压设备和装配设备中都有应用。现在各网站论坛上也都有很多介绍，其应用选型非常简单。诸位可以查找相关资料了解一下。

五 图纸

图纸是设计与加工、装配进行沟通的语言，其重要性不言而喻。图纸包括机械图纸和电气图纸。机械图纸还包含装配图和零件图，电气图纸包括电气原理图和接线图。

六 软件

目前，自动化设备领域常用的设计软件有：CAXA、Auto CAD、Solidworks、Pro/Engineer、Unigraphics、CATIA、Solid Edge、Protel、VB、VC、Lab View 等。机械设计领域内的软件使用原理大抵相似，所以，诸位只需选择其中一种熟悉其操作即可。软件只是一门工具，其使用也是熟能生巧的事，只要在实际工作中使用一段时间自然就熟练了，诸位大可不必去花大量精力去研究，以免舍本逐末。

以上内容是对于工厂自动化设备及其系统、模块、器件等进行了列举，目的在于让诸位对设备及设备的内容有一个初步了解，明确自己需要掌握的相关知识。只有具备了对这一系列知识的深刻理解和元器件的了解才有可能真正踏入工业自动化设备设计的大门。

设备设计制造是一个综合→分析→综合的过程：整体布局设计→模块设计→部件设计→加工→装配。所以，以上介绍是自整体到部件的顺序。基于人的学习过程是从局部到整体的顺序，后续的篇幅顺序则是：图纸→部件→整机。所以，本文的阅读顺序是：如果从学习的角度，需要从头到尾按篇幅介绍顺序阅读；如果从设计实践的角度，则应该从最后一章看起，以篇幅相反的顺序阅读。

需要提醒诸位的是：请重视基础原理。机械设计是非常庞大的系统知识的综合运用，所以，请诸位努力掌握好材料学、理论力学、材料力学、机电传动系统、液压气压传动、机械原理、机械设计、公差配合、机械制造工艺基础、人机工程学等相关学科知识。人的精力是有限的，知识是无限的。所以，需要把有限的精力放在钻研最重要的知识中去。所以，以下章节中所提到的大部分的元器件诸位不必都去研究它的工作原理，明白其功能、使用方法、掌握正确选型即可。需要了解工作原理的地方，文中自会阐释清楚。需要告诫诸位的是：在工程实践中任何原理原则不是万能的，切不可生搬硬套，搞教条主义，必须要具体问题具体分析，灵活运用基本原理解决实际问题始终是工程师的工作准则。

本系列篇章力求尽量地使用国家标准给诸位介绍相关知识。但是，在工厂管理和生产实践中会有一些不尽相符的地方，所以，在制图的章节中会使用到一些企业标准，请诸位谅解。本系列篇章中所引用的相关学科基础理论和基础知识都直接使用而不注明出处，敬请谅解！

注意：除特殊说明外，本系列篇幅中所使用的长度单位为：毫米（mm）；质量单位为：千克（kg）；力单位为：牛（N）；重力加速度为： 10m/s^2 ；其他单位为国际单位制单位。

再次重申：本文所有的叙述都是从工程实践的角度出发，阐述基础的、普遍的工程应用知识和经验，面向的对象是初级设计师。作为参考资料，本人的根本想法是希望能够借助这些文字阐述出来一种工厂自动化设备设计的思路和思考方法；让初级设计师能够通过这些描述的东西找到一些将书本知识应用到工程实践中的办法，而不至于因为缺乏经验而茫然不知所措。因为，一个设计师的成长和他的作品成熟最重要的是要靠正确的设计方法和思维方式，而不是靠书本上的资料来决定。当然，书本带给我们的前人的经验积累也是非常重要，关键的问题是要善于吸取这些经验，然后形成自己的设计经验体系和思维方式，这才是最重要的。这也是本人的初衷，所以，希望接下来的这些文字和图片能够对一些人有用，本人也就不胜欣慰了。

当然，由于本人知识水平以及经验阅历的限制，在接下来的各章节中出现的各种疏漏之处，热忱地欢迎各位批评、指正。

杜林 2013年3月 于中国深圳

第一章 基于工程实践的工程制图

首先，请诸位注意：本文讲解的是制作一份信息完整、适合制造加工的工程图纸思维过程，而非机械制图的基础教程。目的在于纠正一些初级设计师常见的制图错误。所以，制图的基本知识：画法几何学、机械图学以及各种特征的简化表示法等基础知识请查阅相关资料，本文概不赘述。本文中所使用的图框格式和标题栏为工厂应用之一种，非国标格式。

工程图纸就是设计师、工程师、制造加工人员和装配人员进行沟通的语言，它包括：装配图和零件图以及相关辅助的工艺说明或者设计要求文档。

装配图纸反应的是本装配图内的组件的性状、装配工艺要求和使用信息；零件图纸反应的是你的零件的所有信息和部分设计信息，其中包括：零件材料、形状、精度、表面质量、防腐蚀状况、硬度、制造工艺以及使用工况等。根据优秀的图纸制作出来的零件才能保证设计需求和装配调试过程的顺利进行。所以，一份标准合格的图纸对于设计师和设备来说都是至关重要的：对于设计师来说，它是反应设计师水准和素质的一张名片；对于设备来说，它将关系到设备是否能顺利运行，是否能让客户和操作者满意的根本。

制作工程图是机械设计环节的最后一个过程，所以，任何工程图都离不开装配要求。任何离开装配而做的所谓工程图都是没有意义的，所以制作任何零部件图纸都需要着眼于设备或者模块的整体设计和装配需求。

第一节 工程图纸基本要求

在介绍以下内容之前，先说说对图纸的基本要求：

首先，要求图纸视图相对于图纸幅面大小比例合理，采取合理的视图布局、合理的视图比例、合理的主视图方向、合理的投影视图和辅助视图布置。

其次，要求尺寸标注清晰、有条理，尺寸线不得直接交叉犹如蜘蛛网。

再次，要求技术要求表达清楚，不得使用模棱两可的语句和文字。

最后，要求所有标题栏项目填写完整，特别是工件的重要信息，如：数量、版本、热处理、表面处理、材料等。

一份合格的、标准的、清晰的图纸应该能让加工制造人员在不咨询的情况下能完全领会作图者的想法和设计者的思路。如果加工制作人员在加工过程中老是需要向绘图员或者设计师咨询相关信息，那就表明这份图纸存在着非常严重的问题。所以，对于工程图纸最基本的总体要求就是要能够非常清晰、明白无误地传达出图纸中零部件的所有信息。

第二节 制作工程图纸

一份标准的工程图纸应该能够清楚明晰的表达出下列内容：清晰的视图、完整的尺寸、合理的公差、适当的材料、正确的工艺要求和完整的文档管理内容。

清晰的视图

- 1: 用尽量少的视图表示出工件的所有特征，不要出现冗余视图。
- 2: 主视图包含最多的工件特征信息，凸显“主”字。
- 3: 尽量少用虚线，多用剖视图表达特征，把零件所有的特征都表达清楚。
- 4: 形状、结构异常复杂的工件要配有轴测图，方便加工人员理解图纸。
- 5: 可以选择使用适当的文字说明配合工程技术人员理解图纸。

如以下示例：

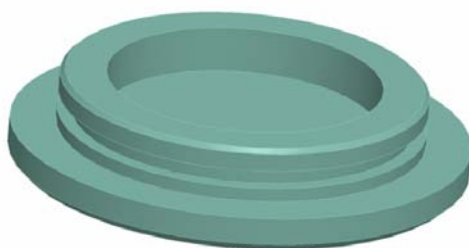


图 1.2-1

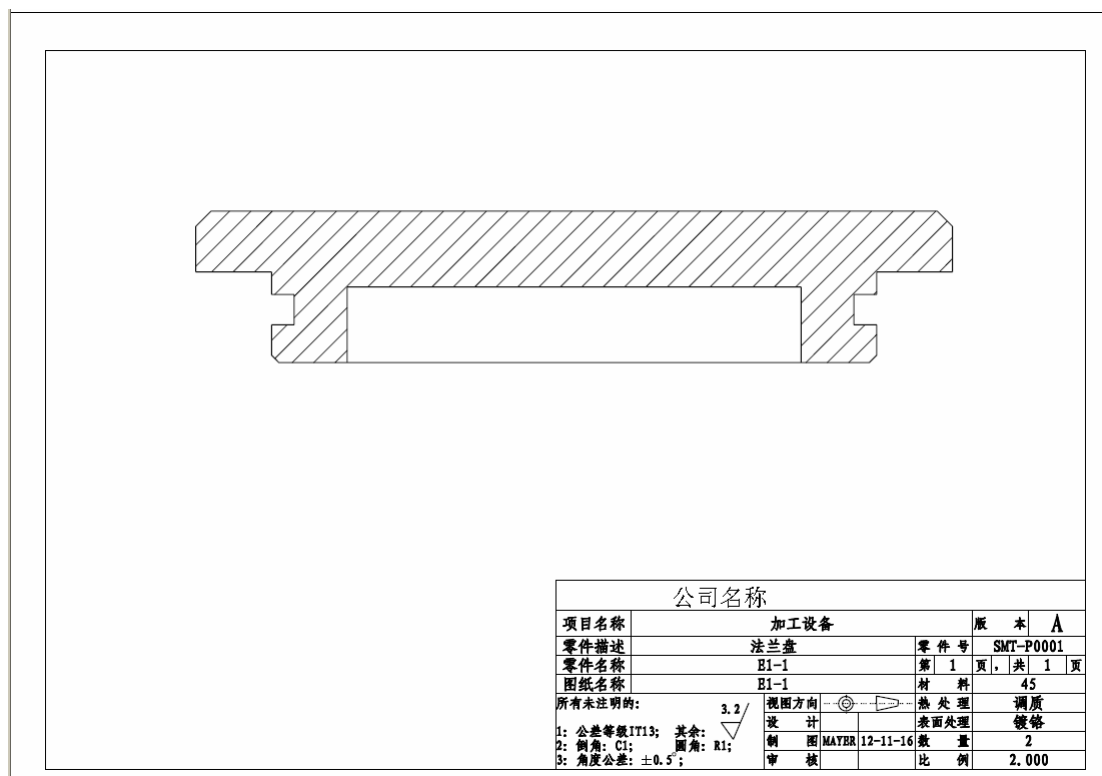


图 1.2-2

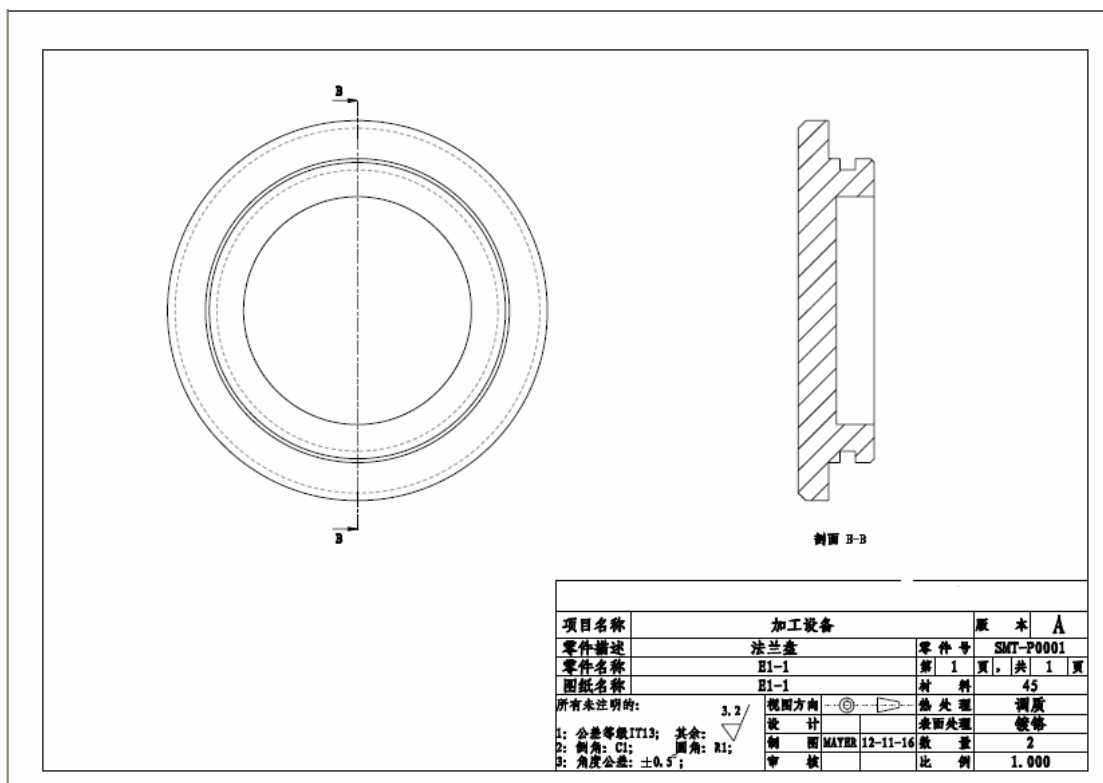


图 1.2-3

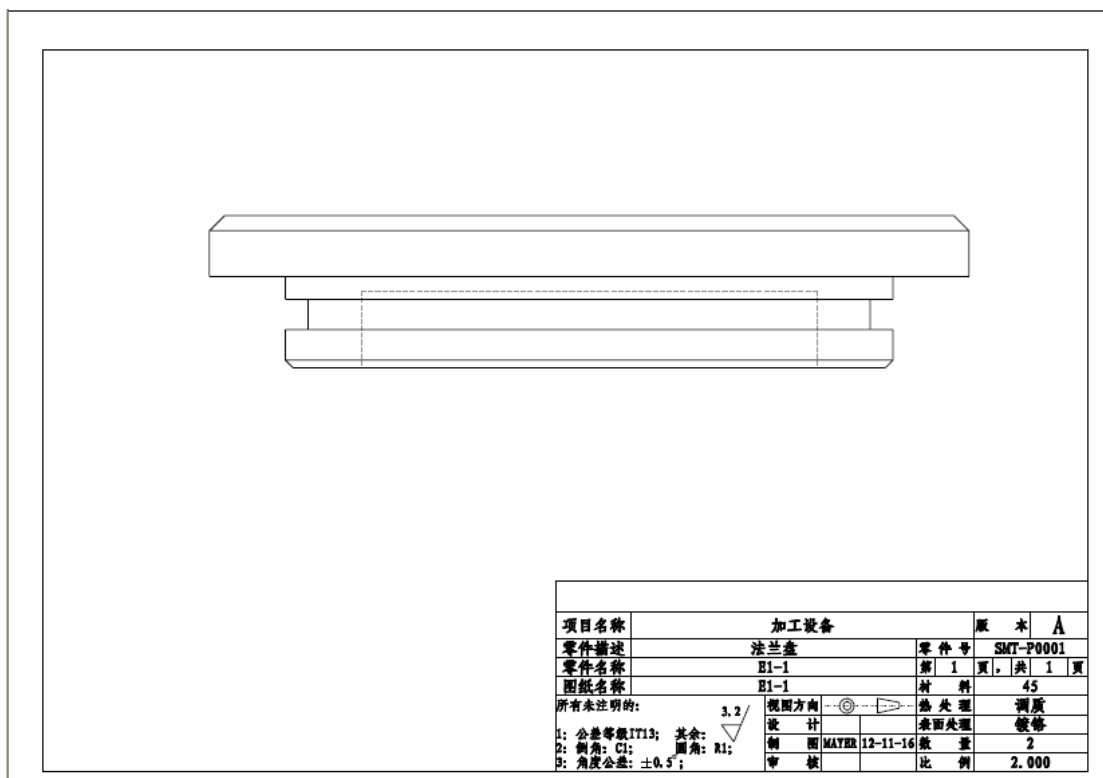


图 1.2-4

如上面图片所示，图 1.2-1 的工件的视图摆放如图 1.2-2 就非常清晰了，没有冗余视图，使用了剖面图，视图清楚。图 1.2-3 的主视图是冗余视图，图 1.2-4

的视图使用了虚线，没有使用剖面图而导致视图不清楚。所以，我们理应选择图 1.2-2 的处理方法。

完整的尺寸

- 1: 不能漏标尺寸，漏标尺寸则加工人员无法按照图纸加工零件。
- 2: 不能多标尺寸，多标尺寸同样让加工人员无法加工出需要的零件。
- 3: 尺寸基准选择符合设计基准。
- 4: 关联尺寸标注正确。
- 5: 尺寸链合理。

如以下示例：

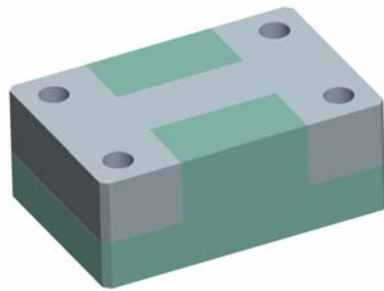


图 1.2-5

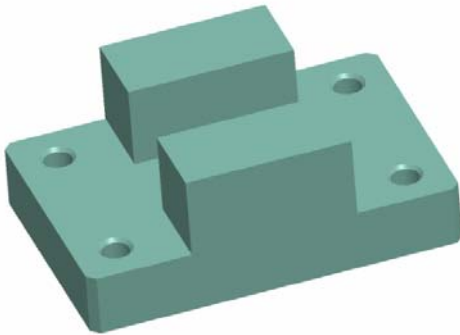


图 1.2-6

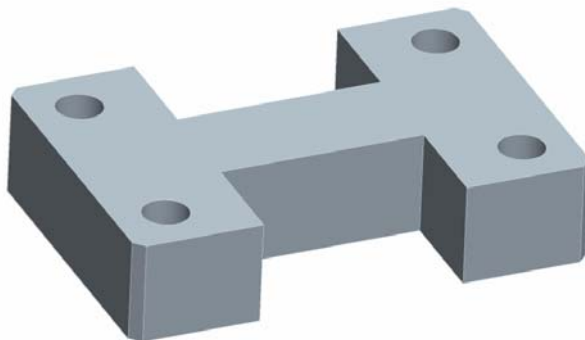


图 1.2-7

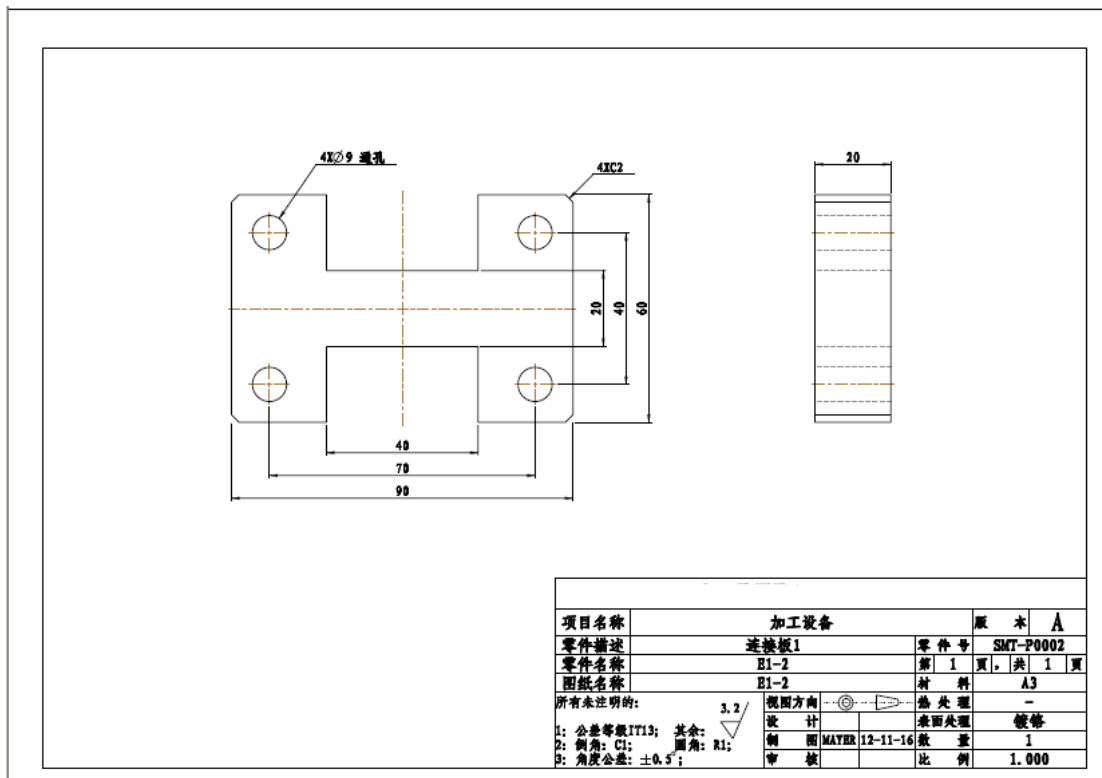


图 1.2-8

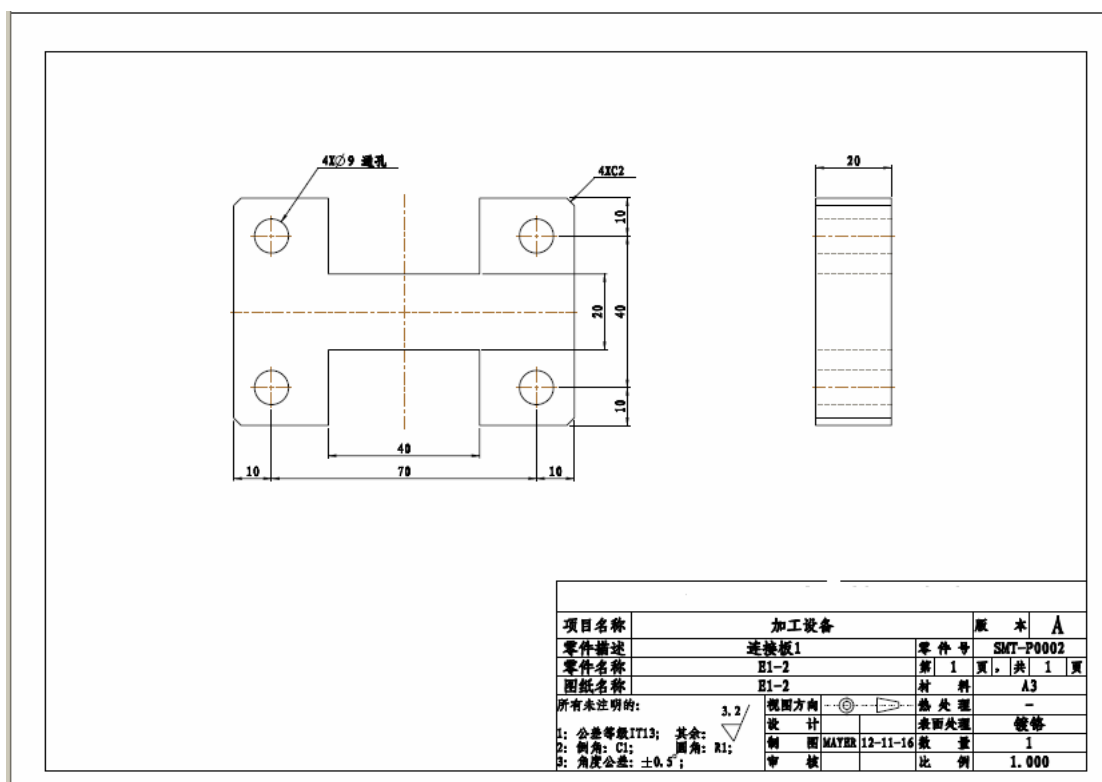


图 1.2-9

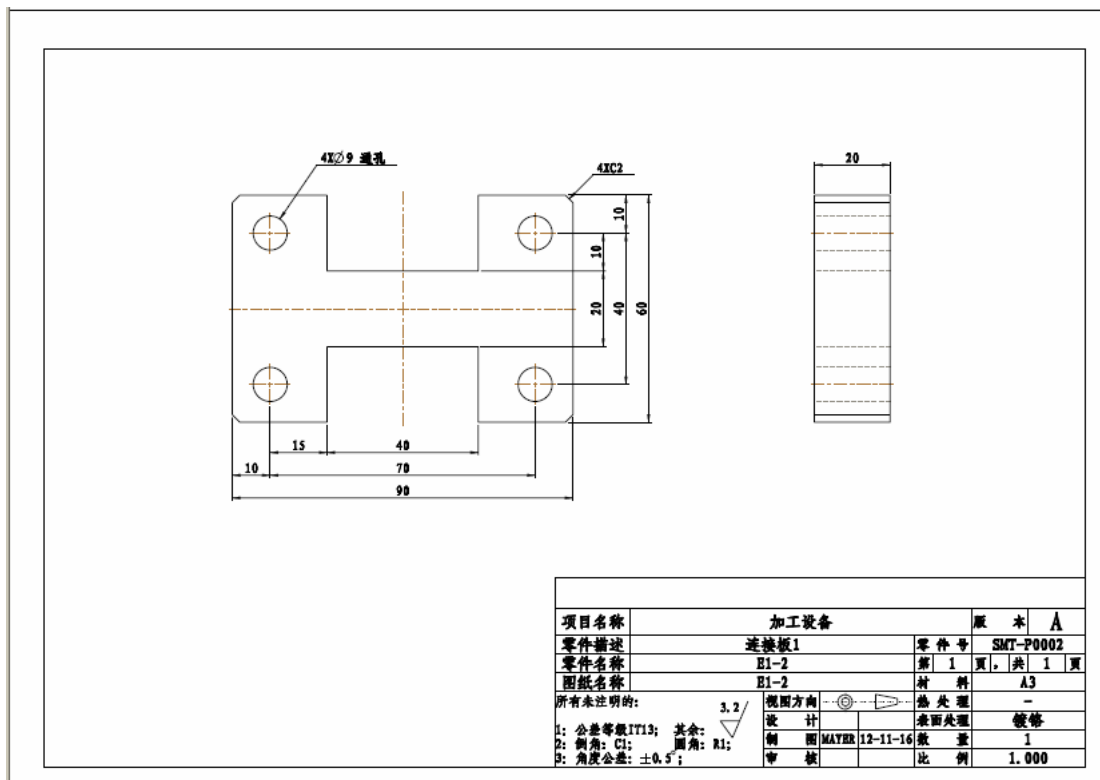


图 1.2-10

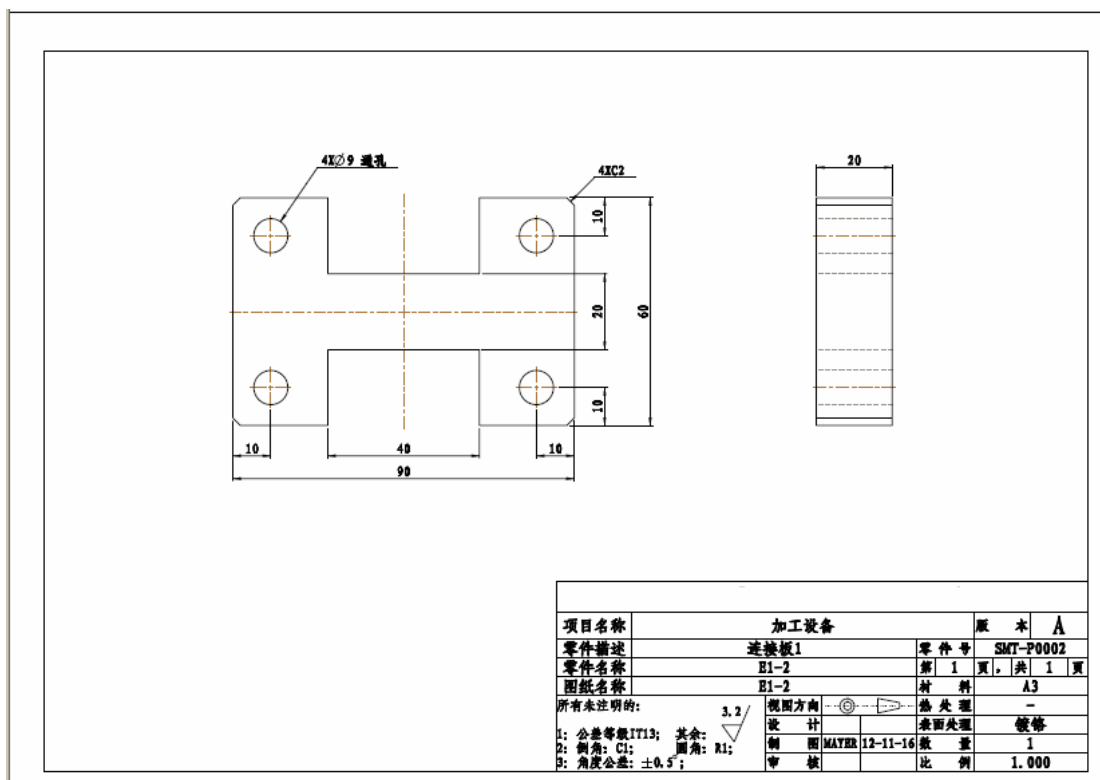


图 1.2-11

如上面图片所示，图 1.2-8 中的标注尺寸完整、尺寸基准正确、尺寸链合理、关联特征尺寸合理。图 1.2-9 中的尺寸链不合理；图 1.2-10 中的槽特征基准选择

错误；图 1.2-11 中孔的关联尺寸不合理。所以，我们只有选择图 1.2-8 中的标注方法才能得到我们想要的工件。

注意：所有的零件图的标注和工艺要求都离不开装配图！如上面的例子，如果离开图 1.2-5,单独看以上的几张零件图，就无所谓对错了，因为按照其中任意一张图纸都可以加工出来一件类似的工件。

在这里，我们重点解释一下图 1.2-11 中的错误问题，因为这个问题是较少在教材中提到的。诸位通过比较可以发现图 1.2-11 中的标注与图 1.2-8 中的孔距标注不一样，这里的孔距就是我们所谓的“关联尺寸”（或者“相关尺寸”）。在实际工程应用中，我们把零件的同一组特征或者有参照关系的特征的尺寸称为“关联尺寸”，它们之间必须有定位尺寸直接关联。诸位再看图 1.2-5 中，4 个 $\Phi 9$ 的通孔是为了与图 1.2-6 中的零件进行螺纹连接用的，所以它们之间的距离必须直接通过纵横两个尺寸进行标注。这实际上也是尺寸链的问题和检验的问题。我们看加工这个工件的工序：首先，是下料，即将一块钢板外形加工到 $90 \times 60 \times 20$ ；然后，铣槽 40×20 ；最后，加工四个 $\Phi 9$ 通孔。下面，我们看图 1.2-8 中外形尺寸与孔的定位尺寸中的封闭环是：孔与边的距离；而在图 1.2-11 中这个封闭环被更换成了孔与孔之间的距离。而在实际的工件加工完成后，质检部门检测的是图纸标注的尺寸，而封闭环是不进行检验的。所以，这样导致的最终结果就是根据图 1.2-11 加工出来的工件孔距最终的偏差与图 1.2-6 中工件的孔距偏差之差值可能大于孔 $\Phi 9$ 与螺栓 M8 的外径偏差（其具体公差尺寸，请大家根据未注线性尺寸公差及图纸标题栏中规定之公差等级进行核对），而使两工件不能顺利连接。这也是我们的工艺不允许象图 1.2-11 中这样标注关联尺寸的根本原因所在。而以上错误则是应届毕业生和初级设计师（助理设计师）由于缺乏工程实践而经常出现的，请诸位务必谨记！！这也是我们一直强调的“着眼于装配图做零件图”的原因，因为离开装配图去做零件图的话，就不存在关联尺寸这个概念了。

显然，工程图中的尺寸（包括公差）是由四个方面的因素决定的：零部件功能因素、加工技术因素、检验检测因素、装配条件和技术因素。任何一个尺寸都与这四个因素密切相关，切切不可大意！

在本环节中，提到的一个重要概念：**尺寸链**，请诸位务必理解透彻其本身意义以及由它所引申出来的一系列概念的意义。因为尺寸链本身关系到在设备中各相关零件的公差分配（即精度要求）、装配方法（互换性）以及加工工艺。尺寸链包含：封闭环、增环、减环等内容。其基础理论请诸位查阅《机械制造工艺基础》相关章节内容。在本章末尾部分，给出了两个解算尺寸链的范例，供诸位参考阅读。

合理的公差

所谓合理的公差,即在需要公差的地方我们都要有公差约束以保证加工的准确性;不需要公差的地方我们不得随意标注公差以降低加工难度、节约加工成本;标注公差时要根据工程实际需要进行尺寸链计算来确定各工件间的公差合理分配。很多人认为工件加工精度越高,设备的精度就越高,实际上不是这回事。设备的整体精度除与工件精度有关以外,还与装配技术有关、与生产批量有关,希

望诸位明白这一点。比如我们通常见到的普通车床、铣床等的主轴零部件公差等级也都是在普通范围内，而并非想当然的高精度，其高精度保持与其进行批量生产和成熟的装配技术有很大关系。

在这里我们所说的公差，包含：尺寸公差、形状公差、位置公差。其基本概念和基础理论请参阅《公差合理选用与正确标注》、《机械精度设计与检测基础》。在这里我们要强调的是：装配。装配即组装与配合。在大多数应届生或者助理设计师的印象中配合即是轴与孔（狭义的轴孔概念）的配合，原因在于机械设计制造中这类配合是最多的。另外，学校的教材所讲的也是这类配合（广义的轴孔概念）。所以，本人不再在这方面絮絮叨叨的说太多。只是再解释两个概念：基轴制、基孔制。基轴制即在设计过程中以轴为基准的配合方式，比如：轴承外圈和轴承座内孔的配合。基孔制即在设计过程中以孔为基准的配合方式，比如：轴承内圈和轴的配合。

另外，再强调一点：基于加工工艺的原因（加工轴时，刀具在工件外表面进行操作；加工孔时，刀具在工件内表面进行操作），通常状况下在轴与孔的配合中，轴的公差选择比孔的公差高一级。比如：在轴承与轴的过渡配合中，轴承内圈公差等级为 H7，则轴的精度等级选择 k6。

需要公差的地方：

在工程实践应用中有很大一部分是除轴与孔之外的配合方式。所以，我们说凡是有配合的地方都需要公差。另外，在大批量的生产中，我们为了保持工件的一致性，也需要一定的公差约束。为了帮助大家理解配合的概念，我们在回到上面的装配图 1.2-5 中去，请诸位看清楚，上图中的两个 40X20 的槽和凸台的装配即是配合之一种。那么，由此，我们可以清楚得出结论，这个地方是需要公差约束的。所以，请看以下的工程图：

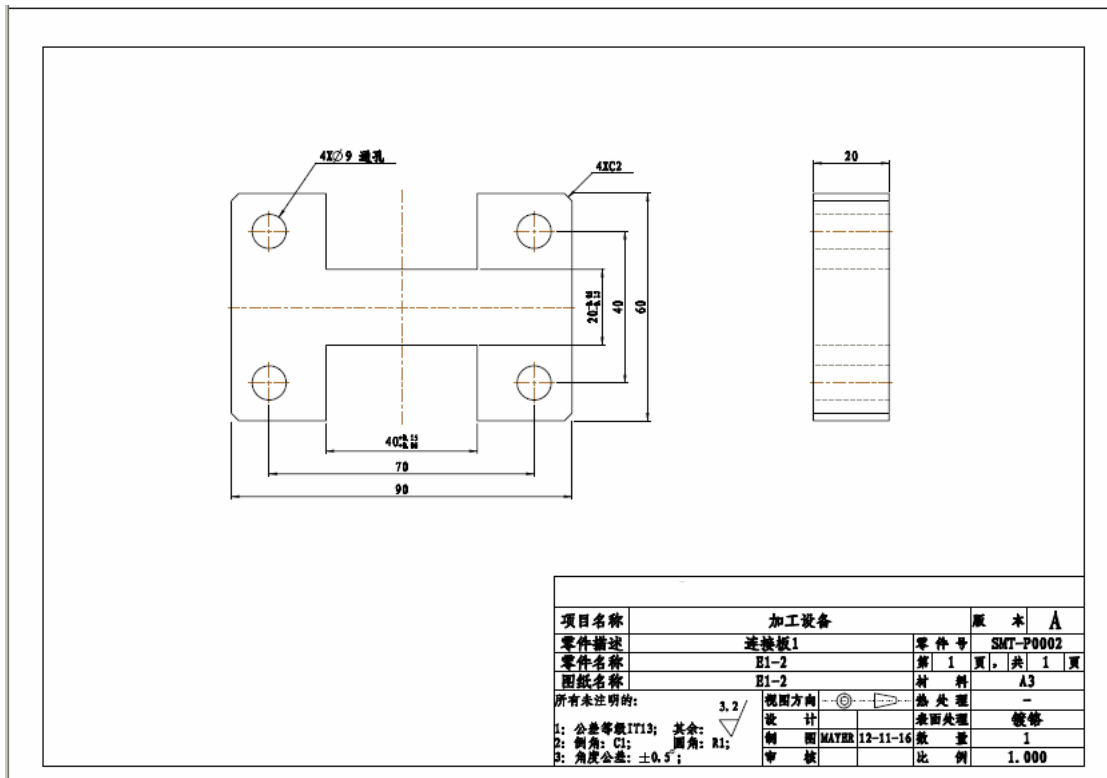


图 1.2-12

(注意：此图中的公差 40 (+0.15/+0.05) 和 20 (-0.05/-0.15))

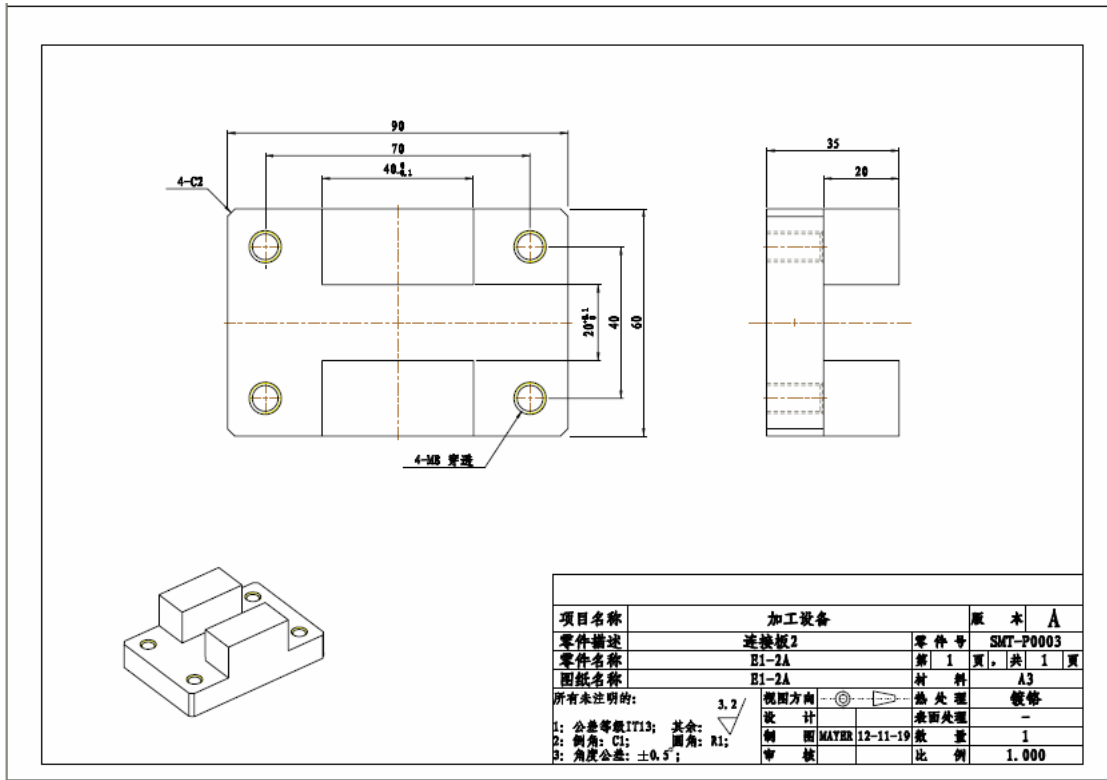


图 1.2-13

(注意：此图中的公差 40 (0/-0.1) 和 20 (+0.1/0))

请诸位注意比较图 1.2-12 和图 1.2-13 中的公差。另外，在工程实际应用中，象这样的精度要求不高的配合的地方也可以在图纸上注明“与 XXXX 工件上的 XXX 尺寸配做，间隙配合/过渡配合/过盈配合”。而如果是高精度的机构或者组件中的工件则需要根据设计的结构和装配互换方式、加工工艺进行尺寸链解算和公差分配。

顺便说一下，在加工制造过程中有一种现象值得引起注意：通常加工人员加工出来的轴的尺寸较容易向公差范围内偏大的方向移动；孔的尺寸则相反，容易向公差范围内偏小的方向移动。这是由于加工人员担心“过切削”的心理导致的结果，也就是说，加工人员通常会有这样一种心态：轴如果大一点还可以再补加工一次，如果小了就没有办法挽救了；孔如果小一点也还可以补加工一次，如果大了零件也可能就报废了。所以，加工人员在这种心态支配下，通常就以最小极限尺寸为目标加工孔，以最大极限尺寸为目标加工轴。当然，在数控机床上加工出来的工件则不存在这个问题。

请诸位注意图 1.2-13 中右视图内的两个尺寸所构成的尺寸链。为什么我们选择的是凸台的高度尺寸 20 进行标注，而不是底座的高度尺寸（15）进行标注？提醒一下：这也是关联尺寸的问题。

另外，我们给诸位提一提形位公差的问题。形位公差也是机械设计制造中非常重要的内容，形位公差选择、使用不合理同样会导致工件的加工、装配和使用的一系列问题。在实际工程应用中，我们除了要理解 14 种形位公差的基本意义

以外，还得要理解形位公差选择的三大重要原则：最大实体原则、包容原则、独立原则。还有一个重要的问题是复合基准和多重基准的选用以及多基准的使用顺序。这方面内容请诸位参阅《公差的合理选用与正确标注》，这里面有非常详尽的论述，勿需本人置喙。

这里需要专门提到的是本人见到很多初级设计师常犯的两个错误：1：把选择轴线（或者中线）作为基准的基准符号直接摆在轴线上，请诸位注意；2：在同一要素上给出的形状公差值大于位置公差值。切忌！切忌！！

在这里，再提一下一般公差的问题。所谓一般公差，指在车间通常加工条件下能达到或保证的公差。在国标中，一般公差有三类：线性公差、倒圆半径和倒圆高度公差和角度尺寸公差。他们分别有四个、两个、四个等级，国家标准中规定了具体的尺寸极限偏差值和标注方法，请诸位查询 GB/T 1804-2000。

适当的材料

所谓适当的材料，就是根据工件的实际设计使用状况和材料的工艺性能选择合适的材料进行工件加工。常用的工程材料性能和规格请诸位自己翻阅相关资料。需要特别指出的是：请诸位要善于运用型材，适当的使用型材可以降低制造成本。另外，一定要对常用材料的各种性能了如指掌，注意，我们说的各种性能是包括以下面：强度、韧性、刚度、可加工性、热处理性、导电性、导热性、焊接性等。比如：曾经有人使用 POM 塑料设计了一个零件，其中有一个方形孔，当人家问到怎么加工这个方形孔的时候，他告诉别人：线切割。这种错误实在不是一个专业的机械设计师应该犯的。

下面，提出一些常用材料，请诸位务必打开《工程材料》或者咨询材料供应商仔细熟悉其性能以在以后工作中熟练使用。

机架用材料：

焊接机架常用型材：热轧槽钢、冷拉方管、热轧工字钢

装配机架常用型材：铝型材

铸造机架常用材料：HT200、HT250、球墨铸铁

普通工件用材料：

普通板件常用材料：A3(Q235A)、45、AL6061（铝）、AL5052(铝)

轴用材料：45、40Cr、SUS304（06Cr19Ni10）

夹具模具常用材料：D2（Cr12Mo1v1）、T10、Cr12、H13、60Si2Mn

耐热材料：环氧树脂、氧化铝

防腐蚀环境用不锈钢：SUS316(18Cr12Ni2.5Mo)

可淬火不锈钢：440C

常用工程塑料：ABS、PMMA(有机玻璃)、POM（赛钢）、PP、PU（聚氨酯）、电木

正确的工艺要求

当工件具有特殊工艺要求时，请诸位在图纸中明确提出并选择正确的相关工

艺。我们常说的工艺要求通常包含以下内容：工件的表面处理、热处理以及各种特殊的加工工艺，譬如：线切割、电火花、化学腐蚀等。

完整的文档管理内容及工件信息

文档管理内容及工件信息是指为了方便企业对于设计文件进行管理而对图纸的标题栏等图纸中的文字类容进行的企业标准设计项目和零部件的制作信息。诸位在做图纸的时候请将这些项目都整理清楚、填写完整以方便企业管理、项目追踪和零件制作。

通常，一份清晰完整的图纸标题栏和文字说明应包含以下内容：

项目名称：本图纸隶属于哪个项目下；

项目代号：由公司或者项目组制定的本图纸所隶属于的项目代码；

零件名称：本图纸所表示的零部件的名称，通常，这个名称会指示出本零件的大致功用；

零件代号：根据企业标准确定出来的本图纸中的零部件代号，通常，这个代号在本企业中是属于唯一的，它为了方便图纸制作完成以后的所有工作中的相关人员的联系和项目管理；

材料：明确给出制作本图纸所示零部件的材料及其牌号；

数量：明确给出制作本图纸所示零部件的数量；

热处理：明确指出本图纸所示零部件的热处理方法；

表面处理：明确指出本图纸所示零部件的表面防腐蚀处理方法；

技术要求：明确指出本图纸中所示的零部件所需要达到的各项技术指标。

设计、制图、审核人员的签字及日期；

图幅比例：通常，目前多数图纸都是由计算机制作而后打印出来的，其中大多数尺寸与实际比例并不一致。所以，应该让零件制作人员知道不可根据图纸上的距离自己测量工件尺寸，如有遗漏尺寸则应咨询设计、制图人员；

版本代号：依照企业标准给出本图纸所示零部件的版本代号及修改内容；

投影方法：由于目前国内外的技术交流越来越多，而各国使用的图纸投影方法并不一致，所以，诸位有必要在自己的图纸中清晰地指出本图纸的投影方法。目前，国际上流行的工程图纸投影方法主要有两种：第一视图投影法和第三视图投影法。

现在，我们总结一下制作工程图的过程：

首先，布置视图。

然后，标注尺寸。

然后，标注公差。

然后，根据工件工况条件和材料性能选择合适的材料。

然后，确定工件的工艺要求，填写相关参数。

然后，撰写技术要求。

然后，填写标题栏

最后审核图纸。

附 1：图纸中常用英文单词

由于近年来随着开放的深入，国内外的交流越来越多，特别是在自动化领域，更不乏出口或者为外资企业设计制造设备的企业，那么从事自动化设备设计行业工作的人员不可避免的需要同英文图纸打交道。所以，为方便大家阅读英文图纸，现将工程图纸中会常用到得专业词汇罗列如下，以供参考。

Turning 车削	Tolerance 公差
Milling 铣削	Roughness 粗糙度
Grinding 磨削	Flatness 平面度
Lapping 研磨	Straightness 直线度
Boring 镗削	Roundness 圆度
Drilling 钻孔	Cylindricity 圆柱度
Tapping 攻牙	Profile of line 线轮廓度
Welding 焊接	Profile of surface 面轮廓度
Adhesive bonding 粘结	Perpendicularity 垂直度
Polishing 抛光	Angularity 斜度
Wire EDM 线切割	Parallelism 平行度
Electric sparkle 电火花加工	Position 位置度
Spindle 主轴	Concentricity 同轴度
Micrometer 千分尺	Circular runout 圆跳动
Caliper 卡尺	Total runout 全跳动
Lower allowance 下偏差	Clearance fit 间隙配合
Upper allowance 上偏差	Transition fit 过渡配合
Interference fit 过盈配合	Anodizing 阳极氧化
Clear oxide 发白	Painting 喷漆
Black oxide 发黑	Sandblasting 喷砂
Chrome plating 镀铬	Knurling 滚花
Zinc plating 镀锌	Chamfer 倒角
Nickel plating 镀镍	Deburr 去毛刺
Hardening 淬火	Normalizing 正火
Quench 水淬火	Ageing 老化处理
Tempering 回火	Age hardening 失效硬化
Annealing 退火	Carburizing 渗碳
Heat treatment 热处理	Spline 花键
Surface finish 表面处理	Technique requirement 技术要求
Level bubble 水平仪	
Gradienter 水平仪	求
Torque 扭矩	Curvature 曲率
	Inertia 惯量

附 2：尺寸链的解算方法

尺寸链的计算就是指计算封闭环和组成环的基本尺寸及其极限偏差。在设计计算中通常是：已知封闭环的基本尺寸和极限偏差和各组成环的基本尺寸，求各组成环的极限偏差和公差。其目的是根据设计总体要求来确定各组成环的上、下偏差，也就是解决公差的分配问题。正确地运用尺寸链知识，能够合理地确定零部件相关尺寸的公差和极限偏差，以最经济的方法达到一定的技术要求和装配精度。尺寸链的计算根据装配方法和生产批量的不同也具有相应的几种不同方法：完全互换法、大数互换法、分组互换法、修配补偿法等。本节类容介绍完全互换法和大数互换法供诸位参考，通常这两类是应用最多的，它们分别适应小批量和中等批量的生产方法。

本节类容涉及到的概念和公式较多，以下解释几个本节会用到得概念。公式则边使用边解释，以便于诸位阅读。

封闭环：指尺寸链中通过已有尺寸间接得到的尺寸；

组成环：指尺寸链中直接标注出来的已有尺寸；

增环：指尺寸链中随着封闭环的尺寸增大而增大的组成环；

减环：指尺寸链中随着封闭环的尺寸增大而减小的组成环；

完全互换法：装配时，全部产品的组成环都不需要进行挑选或者改变其大小和位置，装入后即可达到封闭环的公差要求。此法不考虑实际尺寸的分布情况，从尺寸链各环的极限值出发进行计算，能够保证产品的完全互换性，所以也称作极值法。

大数互换法：装配时，绝大多数产品的组成环不需要挑选或者改变其大小和位置，装入后即可达到封闭环的公差要求。此法假定各环都趋向正态分布，置信概率为 99.73%，所以此法也称作概率法。采用此法设计计算时，应采取适当的工艺措施以排除个别产品超出公差范围。

尺寸链解算基本步骤：

- 1、画出尺寸链图；
- 2、根据尺寸链图确定出封闭环和增环、减环；
- 3、根据计算公式进行各环值的计算；
- 4、校核计算结果；

下面，请看示例：

如图 1.3-1 所示，轴上装有 4 个零件：2 个垫片、1 个皮带轮、1 个轴用弹性挡圈。已知： $d_1=42\text{mm}$ ， $d_2= d_5=5\text{mm}$ ， $d_3=30\text{mm}$ ， $d_4= 2_{-0.05}^0\text{mm}$ 。要求装配完成后 $d_0= 0_{+0.05}^{+0.2}$ 。求各组成环的公差、轴 d_1 的极限偏差。

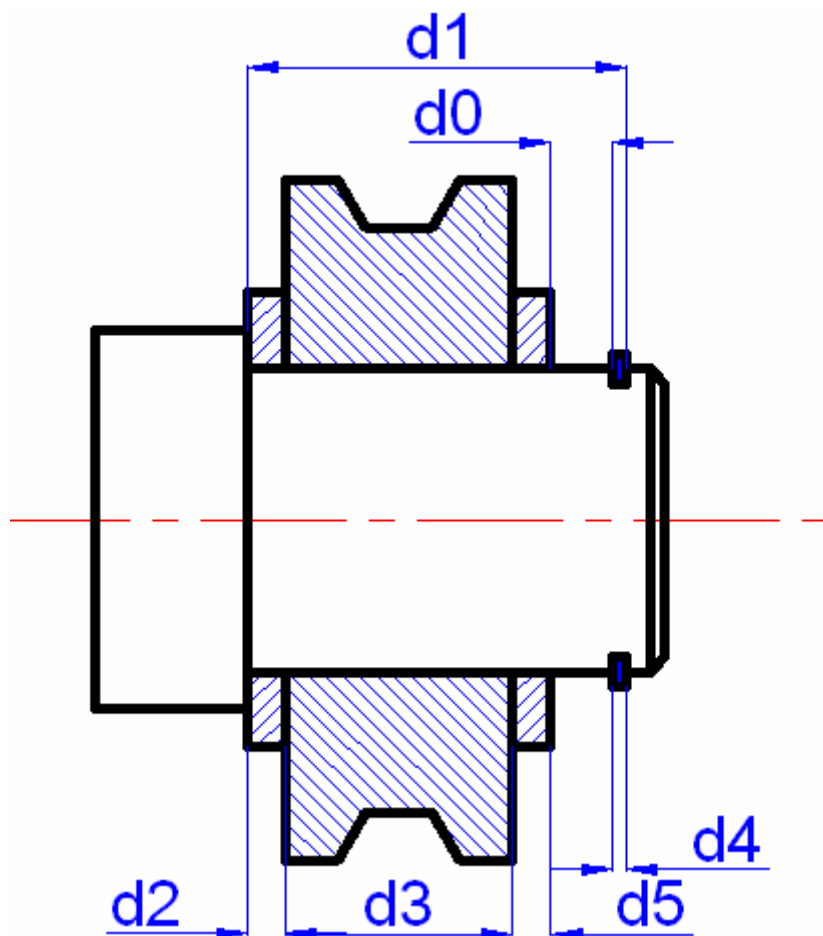


图 1.3-1

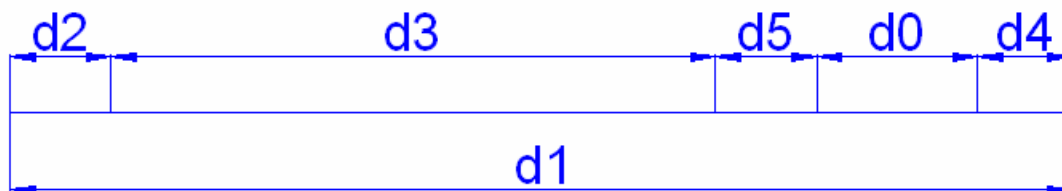


图 1.3-2

完全互换法（极值法）计算：

- 1、画尺寸链图，如图 1.3-2；
- 2、确定封闭环、增环、减环。显然，封闭环为 d_0 ，增环为 d_1 ，减环为 d_2 ， d_3 ， d_4 ， d_5 。

封闭环尺寸为： $d_0 = 0^{+0.2}_{+0.05}$

- 3、计算各组成环的公差等级系数 α_{av}

显然， $T_0 = 0.1\text{mm}$ ， $T_4 = 0.02\text{mm}$ (轴用弹性挡圈的标准件公差)

$$\alpha_{av} = \frac{T_0}{\sum_{i=1}^m i_i}$$

α_{av} ——各组成环的平均公差等级系数；

i_i ——第 i 个组成环的公差单位；

T_i ——第 i 个组成环的上下偏差之差值；

基本尺寸与公差单位表

尺寸分段	1--3	>3--6	>6-10	>10--18	>18--30	>30--50	>50-80
$i/\mu\text{m}$	0.54	0.73	0.9	1.08	1.31	1.56	1.86
尺寸分段	>80-120	>120--180	>180-250	>250-315	>315--400	>400--500	
$i/\mu\text{m}$	2.17	2.52	2.9	3.23	3.54	3.86	

查询基本尺寸与公差单位表，计算公差等级系数：

$$\therefore \alpha_{av} = \frac{(0.15 - 0.02) \times 1000}{1.31 + 0.73 + 1.56 + 0.73} \approx 30$$

注意：上式中的 1000，来源于 mm 与 μm 之间的单位换算系数。

标准公差计算公式表

公差等级	标准公差	基本尺寸 (mm)	
		$D \leq 500$	$D > 500 - 3150$
0	IT0	$0.5 + 0.012D$	$1.414i$
1	IT1	$0.8 + 0.02D$	$2i$
2	IT2	$(IT1) (IT5/IT1)^{0.25}$	
3	IT3	$(IT1) (IT5/IT1)^{0.5}$	
4	IT4	$(IT1) (IT5/IT1)^{0.75}$	
5	IT5	$7i$	
6	IT6	$10i$	
7	IT7	$16i$	
8	IT8	$25i$	
9	IT9	$40i$	
10	IT10	$64i$	
11	IT11	$100i$	
12	IT12	$160i$	
13	IT13	$250i$	

14	IT14	400i
15	IT15	640i
16	IT16	1000i
17	IT17	1600i
18	IT18	2500i

所以，根据标准公差计算公式表，待确定组成环的公差等级可以选择为 IT8(T=25i)。所以，可以得到：

$$T_1 = 25 \times 1.56 / 1000 = 0.039 \text{ mm}$$

$$T_2 = T_5 = 25 \times 0.73 / 1000 = 0.018 \text{ mm}$$

$$T_3 = 25 \times 1.31 / 1000 = 0.033 \text{ mm}$$

$$\sum_{i=1}^5 T_i = 0.128 \text{ mm} < 0.15 \text{ mm} = T_0$$

所以，符合设计需要。

4、计算各组成环的极限偏差

根据单向体内原则，各组成环（轴 **d1** 除外）的极限偏差可定为：

$$d_2 = d_5 = 5_{-0.018}^0$$

$$d_3 = 30_{-0.033}^0$$

$$d_4 = 2_{-0.02}^0$$

所以，各环中间偏差 $\Delta_i = (ES_i + EI_i) / 2$

ES_i ——第 i 个组成环的极限上偏差；

EI_i ——第 i 个组成环的极限下偏差；

$$\Delta_0 = 0.075$$

$$\Delta_2 = \Delta_5 = -0.009$$

$$\Delta_3 = -0.0165$$

$$\Delta_4 = -0.01$$

$$\therefore \Delta_1 = 0.075 + (-0.009 - 0.0165 - 0.01 - 0.009) = 0.0305$$

$$\therefore ES_1 = \Delta_1 + T_1 / 2 = 0.0305 + 0.0195 = 0.05$$

$$EI_1 = \Delta_1 - T_1 / 2 = 0.0305 - 0.0195 = 0.01$$

所以，可以得到 **d1=42^{+0.05}_{+0.01} mm**。

大数互换法（概率法）计算：

本计算方法，第一、二步与完全互换法完全相同，此处略。

3: 计算各组成环的公差等级系数 α_{av}

显然， $T_0=0.1\text{mm}$ ， $T_4=0.02\text{mm}$ (轴用弹性挡圈的标准件公差)

$$\alpha_{av} = \frac{T_0}{\sqrt{\sum_{i=1}^m i_i^2}}$$

α_{av} ——各组成环的平均公差等级系数；

i_i ——第 i 个组成环的公差单位；

T_i ——第 i 个组成环的上下偏差之差值；

$$\therefore \alpha_{av} = \sqrt{(150^2 - 20^2)/(1.56^2 + 0.73^2 + 1.31^2 + 0.73^2)} \approx 65$$

所以，选取公差等级 IT10 级 ($T=64i$)。

$$T_1 = 64 \times 1.56 / 1000 = 0.0998 \text{ mm}$$

$$T_2 = T_5 = 64 \times 0.73 / 1000 = 0.048 \text{ mm}$$

$$T_3 = 64 \times 1.31 / 1000 = 0.084 \text{ mm}$$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^5 T_i^2} = 0.14\text{mm} < 0.15\text{mm} = T_0$$

4: 计算各组成环的极限偏差

根据单向体内原则，各组成环（轴 **d1** 除外）的极限偏差可定为：

$$d_2 = d_5 = 5_{-0.048}^0$$

$$d_3 = 30_{-0.084}^0$$

$$d_4 = 2_{-0.02}^0$$

所以，各环中间偏差 $\Delta_i = (ES_i + EI_i) / 2$

ES_i ——第 i 个组成环的极限上偏差；

EI_i ——第 i 个组成环的极限下偏差；

$$\Delta 0 = 0.075$$

$$\Delta 2 = \Delta 5 = -0.024$$

$$\Delta 3 = -0.042$$

$$\Delta 4 = -0.01$$

$$\therefore \Delta 1 = 0.075 + (-0.024 - 0.042 - 0.01 - 0.024) = -0.025$$

$$\therefore ES_1 = \Delta_1 + T_1 / 2 = -0.025 + 0.0998 = 0.075$$

$$EI_1 = \Delta_1 - T_1 / 2 = -0.025 - 0.0998 = -0.125$$

所以，可以得到 $d1 = 42_{-0.125}^{+0.075} \text{ mm}$ 。

诸位可以看到：本例中 $\Delta 1$ 出现了负值，所以，在条件允许的情况下可以提高一个公差等级进行计算。

本节类容详细介绍了直线尺寸链的解算方法，请诸位仔细阅读以便于在将来的实际工作中可以根据具体情况解算尺寸链，合理的赋予各尺寸公差，而不是盲目地提高零件公差等级而导致加工难度加大，成本提高。当然了，我们并不是要求所有的公差都通过尺寸链解算得出来，这对于机械设计来说也是不现实的；但是，建议对于所设计的设备非常重要的零部件而且精度要求又很严格的地方的公差通过解算得出来，以防止给出的精度富裕，提高加工成本和难度。

顺便说一句，在工程实践中通常还有这样的一种状况，就是当工厂在制作只有一套零件的非标件时，加工人员通常会忽视图纸给定的公差要求，而是采用配合加工的办法——即以一件为基准，加工另一件的配合尺寸——来满足装配要求以降低加工难度。这种状况的结果是设备运行正常则没有问题，如果其中一个零件出现损坏，则其他与之配合的零件都必须换掉。如果配合零件不多，成套替换成本较低、技术难度较小，通常也可使用这种方法来降低加工难度和成本。

第二章 常用的自动化元器件及选型基础

前面，我们介绍了工程图的制作及相关的基础知识储备。现在，我们开始介绍常用的自动化元器件的基本知识。本文的重点在于各种常用自动化部件的选型计算方法和基础应用知识，所以，其中涉及到得相关理论知识不做重点阐述。在各种驱动元件和执行元件的选型中会有相当一部分的力学知识的应用，所以，在阅读本章前，请诸位做好相关知识的储备。由于液压系统一般应用于大负载的场合且其控制回路相对复杂，初级设计师较少涉及到，其具体理论和应用知识请查阅《液压传动系统》一书，其器件选型思路与气动系统元器件选型大致相似，所以本文不做介绍。

第一节 气动系统元器件选型及应用

气动系统基本元器件

在现代工业自动化设备中，气动元器件得到了广泛的运用。需要声明的是：本文的主要面对对象是初级工程师及以下资质人员，所以，本节内容着重介绍普通的气动回路和气动系统元器件的基本知识和选型应用方法，突出的是“常用”二字，关于特殊的气动系统应用请参考专门的资料或者咨询气动产品供应商。

首先，我们来了解一下气动驱动系统的基本组成部件。

气源：气动系统的气源为纯净的压缩空气。所以，我们常用的气源部件主要包括：空气压缩机、过滤器、减压阀、压力表、油雾器等器件。空气压缩机主要是产生压缩空气（工作介质）；过滤器主要是过滤压缩空气中的杂质，主要是水，所以过滤器一般有手动排水和自动排水两种；减压阀主要是为了调节气动回路的压力，是压力恒定，维持气动系统的稳定性；压力表是气压的指示仪器，它的单位通常有两种：帕斯卡（Pa）、100 kpa（Bar），面向欧美的压力表也会有磅/平方英寸（Psi）；油雾器的主要作用是雾化气动元器件的润滑油。

气缸：气缸是主要的气动驱动元件之一，它有多种类型。根据作用方式可分为：单作用气缸和双作用气缸。单作用气缸是指气缸的活塞杆的某一个方向的运动由压缩空气驱动，而另一个相反方向的运动由弹簧驱动复位。双作用气缸是指气缸活塞杆的两个方向的运动都由压缩空气驱动。气缸根据其运动方式可以分为三类：直线运动气缸、旋转气缸和气爪。直线运动气缸驱动执行机构做直线往复运动；旋转气缸驱动执行机构做旋转往复运动；气爪驱动执行机构做开合运动，主要用于工件或者产品的抓取、夹持等方面。根据气缸的使用工况环境区分，可分为：普通气缸、防水气缸、洁净气缸。普通气缸适用于一般的工作环境；防水气缸适用于具有一定程度的水雾和湿度环境下；洁净气缸主要应用于洁净室内

(Clean Room) 的工作环境中。

节流阀：节流阀主要功能是调节气流大小，控制气动驱动元件的速度。通常分为：进气节流阀和出气节流阀两种。进气节流阀直接调节供气管的气流大小，出气节流阀通过调节排气管的气流大小达到控制气动驱动元件的速度，因而具有比进气节流控制更稳定的特点。

电磁换向阀：气缸的往复运动、真空吸盘的吸取和放置动作都由电磁换向阀来控制。电磁换向阀的动作由控制系统直接输出电信号进行驱动，所以，电磁换向阀实际上属于气动系统的控制元件。我们常用的电磁换向阀通常有：两位四通电磁阀、三位四通电磁阀、两位五通电磁阀、三位五通电磁阀。在这里，请诸位区分“位”和“通”这两个概念：位，是指阀芯的工作位置，两位即两个工作位置；通，是指阀体内部通过阀芯的运动而形成的气流通路。

磁性开关：磁性开关是一种检测气缸活塞位置的传感器。气缸活塞位置如果通过磁性开关检测，则要求选用带磁性的气缸活塞，否则无效。

真空吸盘：真空吸盘是一种应用真空原理抓取产品的塑料元件。

真空发生器：真空发生器的主要功能是产生一定程度的真空。

负压表：负压表是检测气路真空程度的仪表，它通常作为一种传感器使用。

快换接头：直接插拔式的气管接头。

气管：通常，气管规格都是以气管外径来区分的。我们常用的气管规格有： $\Phi 4$ ， $\Phi 6$ ， $\Phi 8$ ， $\Phi 10$ ， $\Phi 12$ 。

附：气动系统中常用单位的换算

$1 \text{ psi} = 6.895 \text{ Kpa} = 0.06895 \text{ bar} = 0.0703 \text{ atm}$ (标准大气压)

在一般工程应用中可以将千克力/平方厘米和 bar 等值对待。

气动元器件选型及应用

声明：本节内容所有的计算过程中气动回路的压力供应按照 6bar 进行。本节内容中所采用的气动元件样本为 FESTO 气动产品。

一 空气压缩机通常是由工厂配备，所以，这里不介绍其选型计算。

二 空气过滤组合件的选型及计算方法

空气过滤组合件常用的主要包含以下四种种元件：空气过滤器、减压阀、油

雾器、压力表。通常，供应商会根据其产品使用状况将这四种元件集成配置成一个组件以方便客户选择使用。所以，在选择此组合件的时候，我们只需要关注两个问题即可：本组件的流量和过滤器的排水方式。在工程实践中，空气流量的计算单位为：升/分钟（L/min）。所以，我们只要保证此组件供气的所有回路中最大耗气时刻的气体流量小于本组件的额定供气流量，并根据工厂实际使用需要选择适当的排水方式（手动排水或自动排水）即可。最大耗气时刻气体消耗量即在耗气量最大的时候所有气动元件工作的耗气量。

气体流量计算公式： $Q = A \times V / 1000$

Q: 气体流量，单位：L/min

A: 缸体截面积，单位： cm^2

V: 活塞运动速度，cm/min

三 气缸的选型及计算方法

气缸的选型主要有三个参数需要关注，其中一个结构参数：即选用什么型式的气缸的问题；另外两个数据参数：即缸径和行程。

经过前面的了解我们知道气缸的作用方式有两种：一种是单作用气缸，一种是双作用气缸。所以，根据实际使用状况选择：如果回程复位没有负载，则可以选择单作用气缸；否则，选择双作用气缸。因为任何气缸供应商提供的气缸产品都有多种外形结构，它们对应了不同的制造工艺和成本，所以，应根据实际机械结构设计使用的需要选择不同型式的气缸。

气缸缸径：指气缸缸体的内径。

气缸行程：指气缸活塞移动的最大距离。

请看下面的示例：

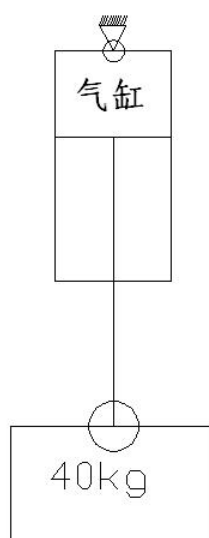


图 2.1-1

图 2.1-1 中显示的负载是 40kg，设定提升行程是 90mm。所以，根据图中的气缸安装方式其回程推力应大于 40kgf。而在实际工程应用中，气缸的效率大约是 85%，所以，而我们再乘以一个安全系数 S_p ，则实际要求的推力为： $F = (F_l \times S_p) / 0.85$

F_l : 负载；

S_p : 气动产品安全系数 1.25，此参数是一个工程经验值，根据各种应用场合不同可以适当做一些调整，无量纲常量；

气缸作用力的计算公式： $F = A \times P$

A: 压缩空气作用于活塞的运动方向的面积，单位： cm^2 ；

P: 气路供气压强，单位： kgf/cm^2 ；

F: 气缸作用力，单位： kgf ；

根据以上公式，可以得到： $A = F / P$

$$A = 58.8 / 6 = 9.8 \text{ cm}^2$$

根据图示的安装方式，可以知道，气缸的回程方向为负载提升方向，所以，其气体作用于活塞的面积为： $A = 3.14 \times (D/2)^2 - 3.14 \times (d/2)^2$

D: 气缸缸径，单位： cm ；

d: 气缸活塞杆直径，单位： cm ；

所以，我们假设选择标准气缸 DNC 系列，则根据 FESTO 的样本可以选择气缸缸径为：40mm。

校验气缸：

由 FESTO 样本知道，DNC 系列气缸中 40mm 缸径的活塞杆直径为 $\Phi 16$ ，所以，实际回程时气体作用面积为： $A = 3.14 \times (D/2)^2 - 3.14 \times (d/2)^2$

$$A = 10.56 \text{ cm}^2 > 9.8 \text{ cm}^2$$

所以，缸径选择合适。

根据要求，提升行程 90mm，则选取气缸标准行程为 100mm。气缸两端或者单端加限位调整装置，调整到需要行程即可。

注意：通常普通气缸的行程都会有 $\pm 1\text{mm}$ 的误差，所以在需要精确定位的时候，需要选择气缸行程大于需要行程而在定位处加设限位装置。

那么，现在气缸的主要参数确定完毕。接下来看看气缸的辅助参数。

如果，需要选择直接检测气缸活塞的位置，则需要选择带磁性的活塞。

如果，在结构设计时允许外设缓冲装置则可以选择不带气动缓冲的气缸，否则选择带有气动缓冲的气缸。以使气缸平稳停下。至于外设缓冲器的选择计算，我们将在后面模块设计中给诸位介绍。

剩下最后一个参数确定，即气管规格。40mm 缸径气缸我们通常配管规格选择 6mm 气管。

至此，气缸选择完毕：DNC-40-100-P-A。

四 节流阀选择

为了气缸运行更趋于平稳状态，我们选择排气节流型节流阀。根据气缸气接口螺纹（G1/4）和选定的气缸规格选择节流阀型号即可。

五 电磁换向阀选择

电磁换向阀的选择是很多初级工程师迷惑不解的问题。以下我们介绍五种工业自动化设备中使用最为广泛的电磁换向阀动作过程及相应过程中电磁阀的输出对于气缸动作的影响。请诸位认真阅读并结合工作实践仔细思考何种工作条件该选择何种电磁换向阀。

两位阀：

单线圈两位五通电磁换向阀：即电磁换向阀阀芯只有两个工作位置，换向阀的一端有电磁线圈进行控制电磁阀动作。此线圈得电动作，失电复位。即阀芯在线圈通电时移向靠近线圈的位置，线圈断电时移向远离线圈的位置。即线圈断电后阀芯复位，气缸也复位。

双线圈两位五通电磁换向阀：即电磁换向阀阀芯只有两个工作位置，换向阀两端都有电磁线圈进行控制电磁阀动作。A 线圈通电且 B 线圈断电，阀芯移向靠近 A 线圈位置；B 线圈通电且 A 线圈断电，阀芯移向靠近 B 线圈位置。此款双线圈电磁阀的特点即意味着当设备异常断电时，气缸不会动作。

三位阀：

三位五通中封式电磁换向阀：即电磁换向阀阀芯有三个工作位置，换向阀两端都有电磁线圈进行控制电磁阀动作。A 线圈通电且 B 线圈断电，阀芯移向靠近 A 线圈位置；B 线圈通电且 A 线圈断电，阀芯移向靠近 B 线圈位置。两端同时断电，则电磁阀阀芯回到中间位置，两个气管都不形成回路，即气缸两个腔体完全封闭，不供气，不排气，气缸活塞保持位置不动。

三位五通中压式电磁换向阀：即电磁换向阀阀芯有三个工作位置，换向阀两端都有电磁线圈进行控制电磁阀动作。A 线圈通电且 B 线圈断电，阀芯移向靠近 A 线圈位置；B 线圈通电且 A 线圈断电，阀芯移向靠近 B 线圈位置。两端同时断电，则电磁阀阀芯回到中间位置，两个气管同时供气，即气缸两个腔体同时供气，气缸活塞向有活塞杆一端缓慢移动。

三位五通中泄式电磁换向阀：即电磁换向阀阀芯有三个工作位置，换向阀两端都有电磁线圈进行控制电磁阀动作。A 线圈通电且 B 线圈断电，阀芯移向靠近 A 线圈位置；B 线圈通电且 A 线圈断电，阀芯移向靠近 B 线圈位置。两端同时断电，则电磁阀阀芯回到中间位置，两个气管同时排气，即气缸两个腔体同时排气，气缸活塞可通过任何外力随意移动，气缸为不受控状态。

以上五种电磁换向阀的不同特点决定了我们的不同选择。所以，在图 2.1-1 中，出于安全考虑，我们为了防止负载提升至上面工位时异常断电导致的负载突然下落，应该选择双线圈两位五通电磁阀。

磁性开关：磁性开关的选择比较简单，任何气动产品供应商都会在气缸的页面明确告诉使用者什么气缸适合哪些类型的磁性开关。用户只需根据自己的使用情况和控制系统状态选择不同输出电压、输出制式以及磁性开关信号线引出方式选择一款即可。

真空吸盘、真空发生器、负压表：这套元器件实现的功能主要是真空吸取产品，而选型规则十分简单：只要选择的真空吸盘产生的吸力大于负载 \times 安全系数，另外选择配套流量的真空发生器和负压表即可。这些在任何供应商的样本中都有详细描述，本人在这里也就不唠叨了。

第二节 油压缓冲器的选型计算

鉴于诸多初级设计师不知道怎样通过计算的方式选择油压缓冲器，而且大学教材也没有关于这方面的内容，所以，在此为大家做一个简单介绍。缓冲器是设备中使用非常广泛的一种器件，诸位有必要了解其计算选型方法。实际上，缓冲器的使用场合很多，但是在工业自动化设备中，其主要使用场合还是配合气缸使用。所以，将缓冲器的知识放在气缸内容后面介绍，以方便大家查阅。特别是现代工厂自动化设备中气缸使用日益广泛的基础上，缓冲器已经成为一种常用的标准器件，本节内容也主要介绍在气功作为驱动力的冲击情况下，怎样对缓冲器的选型进行计算分析。

缓冲器的计算方法根据冲击类型的不同而略有不同（主要是计算公式），为了方便大家在工程中使用，免去做受力分析的过程，节约时间，将在下面给出几种不同冲击方式下的计算公式，以供参考。为了方便总结和使用，我们将冲击方式划分为以下几种：水平冲击、垂直冲击、倾斜冲击、摆动冲击和旋转冲击。

水平冲击：

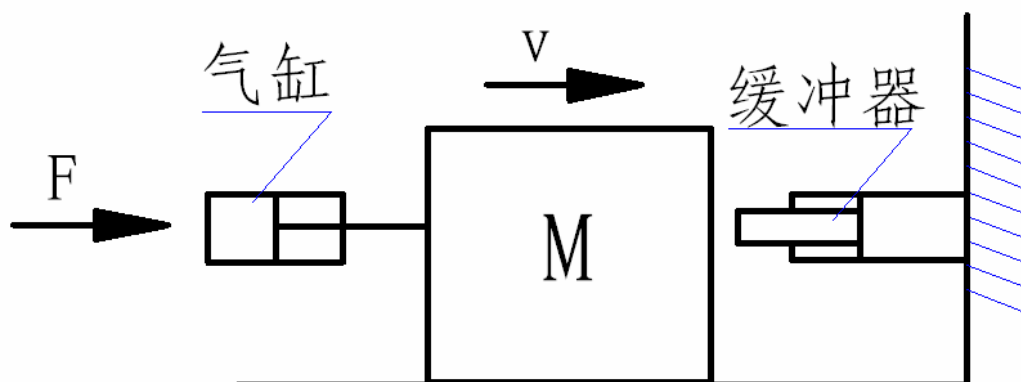


图 2.1-2

如图 2.1-2 所示，当由气缸驱动物体向右冲击时，能量计算公式如下：

$$\text{动能: } E_1 = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2$$

$$\text{推力当量动能: } E_2 = F \cdot S$$

$$\text{缓冲器吸收能量: } E = E_1 + E_2$$

$$\text{冲击物当量质量: } M_e = \frac{2 \cdot E}{v^2}$$

$$\text{每分钟吸收能量: } E_t = E \cdot n$$

S——缓冲器吸收能量的行程；

n——动作频率，即每分钟冲击的动作次数；

垂直冲击:

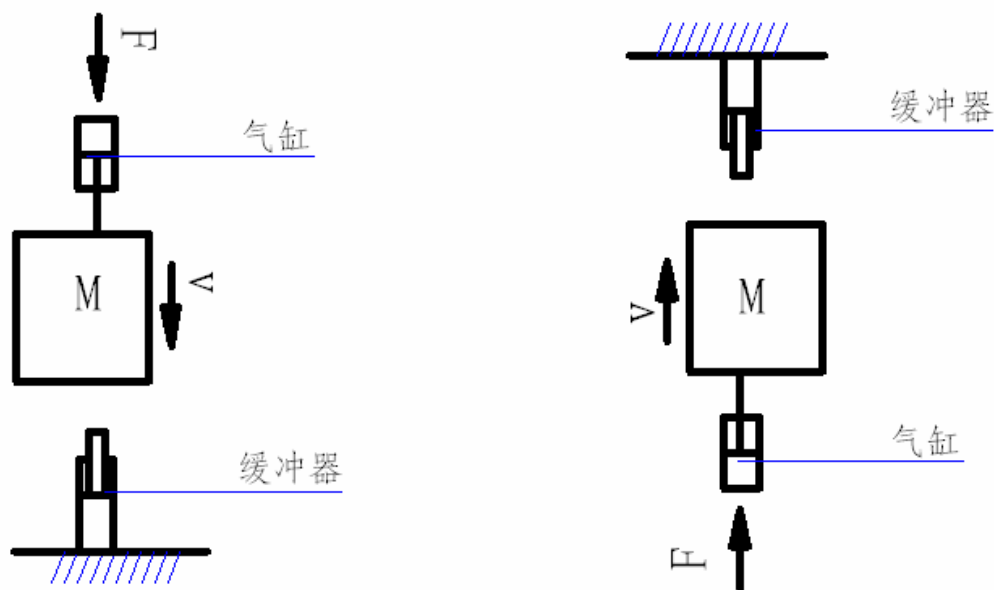


图 2.1-3

如图 2.1-3 所示, 在垂直方向由于重力作用的问题, 所以, 这两种方向的受力不同, 公式略有差异:

缓冲器向上:

$$\text{动能: } E_1 = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2$$

$$\text{推力当量动能: } E_2 = (M \cdot g + F) \cdot S$$

$$\text{缓冲器吸收能量: } E = E_1 + E_2$$

$$\text{冲击物当量质量: } M_e = \frac{2 \cdot E}{v^2}$$

$$\text{每分钟吸收能量: } E_t = E \cdot n$$

缓冲器向下:

$$\text{动能: } E_1 = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2$$

$$\text{推力当量动能: } E_2 = (F - M \cdot g) \cdot S$$

$$\text{缓冲器吸收能量: } E = E_1 + E_2$$

$$\text{冲击物当量质量: } M_e = \frac{2 \cdot E}{v^2}$$

$$\text{每分钟吸收能量: } E_t = E \cdot n$$

下面，我们举例说明其计算方法（由于各厂家制造的缓冲器规格型号及性能并不一致，本例采用 CKD 的样本性能参数做介绍）：

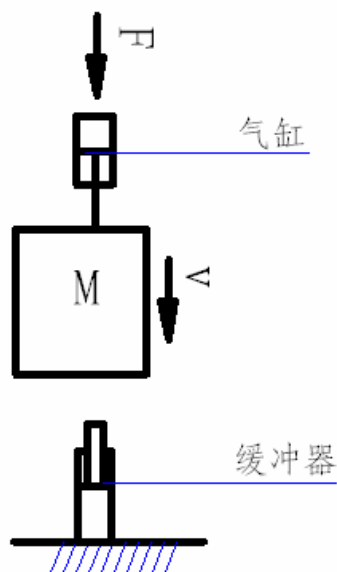


图 2.1-4

冲击方式如图 2.1-4

重物质量：M=15 kg

冲击速度：v=1.5 m/s

气缸推力：F=240 N

动作频率：n=10 次/min

复位时间：t=2 s

$$\text{动能：} \quad E_1 = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 = \frac{1}{2} \times 15 \times 1.5^2 = 16.875J$$

根据上式中计算得到的动能和临时行程选择表选定临时行程 S' ：

显然， $S' = 0.03$ ；

注意：选择缓冲器时所说的冲击速度指的是物体撞击缓冲器之前的瞬时速度，并非气缸的平均速度（气缸行程/时间）。通常，在使用气缸驱动时，冲击速度采用平均速度的 1.5-2 倍。

临时行程选择表

动能 E_1 (J)	0.3-1.1	0.8-3	1.8-7	5-21	17-32	30-60
临时行程 S' (m)	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05

$$\text{当量动能：} \quad E_2 = (M \cdot g + F) \cdot S = (15 \times 10 + 240) \times 0.03 = 11.7J$$

$$\text{缓冲器吸收总能量：} \quad E = E_1 + E_2 = 16.875 + 11.7 = 28.575J$$

根据能量比选择缓冲器孔口型式：

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{11.7}{16.875} = 0.693$$

选择多孔孔板型；临时选择型号 FCK-H-3；

孔口型式选择表

孔口型式	单孔孔板	多孔不规则孔板	多孔孔板
能量比	0.1-5	1-5	0.1-2
冲击速度 (m/s)	0.3-1	0.5-2	0.7-3

根据临时选择的型号行程校核吸收能量：

$$E_2 = (M \cdot g + F) \cdot S = (15 \times 10 + 240) \times 0.016 = 6.24J$$

$$E = E_1 + E_2 = 16.875 + 6.24 = 23.115J$$

每分钟吸收能量：

$$E_t = E \cdot n = 23.115 \times 10 = 231.15J$$

计算当量质量：

$$M_e = \frac{2 \cdot E}{v^2} = \frac{2 \times 23.115}{1.5^2} = 20.55kg$$

对比样本参数中 FCK-H-3 的以上各项校验参数，合格。即所选型号满足实际使用需求。

第三节 电力驱动元器件及相关执行机构配件选型及应用

本节内容所谓电气驱动元器件主要指三种常用类型电机：三相异步电机、步进电机和伺服电机；所谓执行机构配件主要指：减速机、分割器、同步带、齿轮齿条、滚珠丝杠、直线导轨等常用自动化配件。因为学校教材采取分开讲解驱动原件和执行原件的模式而使大家不易于理解和应用（当然，这也是理论知识教学的需要）。所以，本文本着理论联系实际的原则将这些元器件揉和在一起进行讲解，通过实例和工程实际应用的方式向诸位介绍怎样选择这些常用的配件。本节内容会使用到几个重要概念：功率、扭矩、角速度、角加速度、惯量、矩频特性、分辨率，请诸位注意。

首先，向诸位阐述一下几个概念在工程实际应用中的作用，作为对教材纯粹解释概念的补充。

惯量：诸位在《理论力学》中看到的都是转动惯量这个词，这里所说的惯量是超越转动惯量的范畴。惯量是惯性的一种定量表示，它对伺服系统的定位精度、稳定性和动态特性都有很大的影响。众所周知， $\text{扭矩} = \text{惯量} \times \text{角加速度}$ 。对于初级设计师来说：它在工程应用中的意义主要是驱动系统能否在规定的时间内正常启动或者在指定位置能否精确刹车（精确定位），负载惯量越小，系统就越容易控制，这就是负载与驱动系统之间的惯量匹配。惯量匹配在步进驱动和伺服驱动系统的选择中是非常重要的一个指标！惯量大，则系统的响应速度慢，会使系统的固有频率下降，容易产生谐振。所以，在工程实践中，大家应尽量考虑将负载惯量设计得比较小。当然，大惯量对于解决系统低速爬行现象有一定好处，也需要综合考虑。

伺服电机和步进电机的区别：这个问题是困扰许多工程师的问题，而且它也是经常被作为一个面试题出现在工程师的面前。二者在电机原理、启动方法、启动特性、过载特性、制动、控制方法、输出特性方面的区别请翻阅相关资料。这里主要是阐述二者在实际应用中的差别。**控制方式的区别：**步进电机是开环控制，但是我们也可以通过外置传感器构成半闭环或者闭环控制方式；伺服电机是闭环控制（实际上是半闭环），通过编码器实时反馈负载位移及速度参数。所以，我们在实际使用中，如果是较少位移点的控制也可以使用步进电机加传感器的方式取代伺服电机。**矩频特性（转矩特性）：**通常，步进电机获得额定转矩的转速在 300-400r/min 左右；伺服电机则高的多，基本都是在额定转速范围能获得额定转矩。所以，在实际使用中，如果驱动高速机构则通常选择伺服电机。**过载特性：**步进电机基本不能过载，过载则出现丢步；伺服电机具有短时大过载能力。在实际使用中就意味着：如果出现过载，步进电机丢步，只要给定的脉冲发完，则步进电机不再转动，执行机构停在过载的位置；伺服电机则一直发脉冲直至克服过载，执行机构到达指定位置，或者损坏机构元器件，执行机构停在过载位置。**选型参数：**步进电机选型需要确定扭矩、惯量、转速、步距角；伺服电机选型需要确定功率、扭矩、惯量、转速、分辨率。

伺服电机+减速机+滚珠丝杠机构的选型基础

在现代工厂自动化设备中，由伺服电机驱动滚珠丝杠机构应用非常广泛。所以，诸位有必要非常熟练地掌握其相关元件的选型方法。在工程实践中，有两种常用的使用方式：垂直方向驱动负载和水平方向驱动负载。由于在两种不同的方向使用时，负载重力对于扭矩的影响差异大，所以，我们在下面对两种使用方法进行分开介绍。

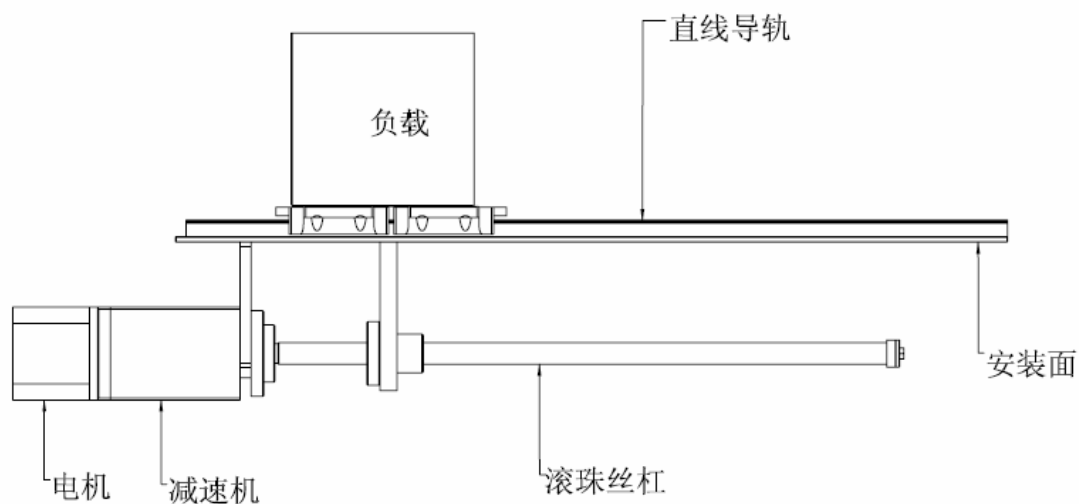


图 2.2-1

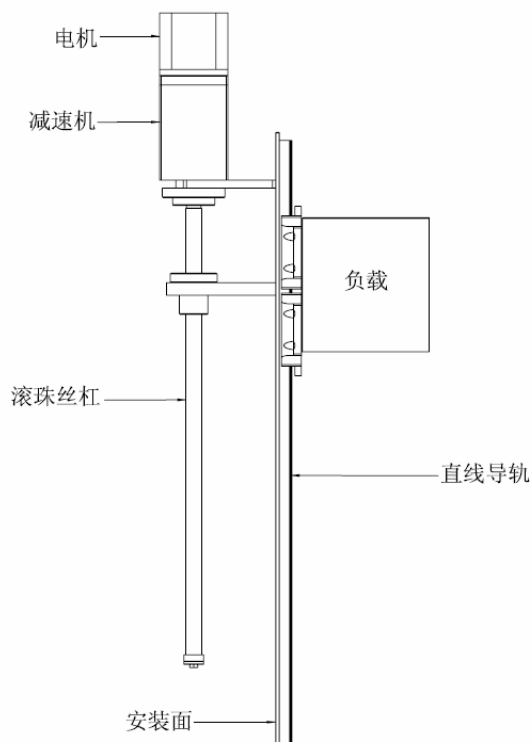


图 2.2-2

使用工况:

工作台质量	$m_1=80\text{kg}$	重复定位精度	$\pm 0.1\text{mm}$
行程长度	$l_s=1000\text{mm}$	匀速运行时最低速度	$V_{\max}=400\text{mm/s}$
驱动马达	AC 伺服马达		
加速时间	$t_1=0.15\text{s}$	减速时间	$t_3=0.15\text{s}$
减速机	$i=2$		
无效行程	0.15mm	直线导轨的摩擦系数	$\mu=0.003$ (滚动)
定位精度	$\pm 0.3\text{mm}/1000\text{mm}$	导向面的阻力	$f=15\text{N}$ (空载时)
(从单方向进行定位)			

需要选型确定的内容:

滚珠丝杠直径
 导程
 精度
 轴向间隙 (予压)
 滚珠丝杠支撑方式
 驱动马达

水平方向使用时的选型计算方法 (图 2.2-1):

导程精度的选择:

所谓导程精度,是指在单位导程内滚珠丝杠的定位精度。通常,滚珠丝杠的导程精度是规定的 300mm 的精度。

为了得出定位精度 $\pm 0.1\text{mm}/1000\text{mm}$:

$$\frac{\pm 0.1}{1000} = \frac{\pm 0.03}{300}$$

导程精度必须选择 $\pm 0.09\text{mm}/300\text{mm}$ 以上。

所以滚珠丝杠的精度等级选择如下。

C6 (运行距离误差: $\pm 0.023\text{mm}/300\text{mm}$)

因精度等级 C6 既有轧制滚珠丝杠,又有精密滚珠丝杠,在此首先选择价格低廉的轧制滚珠丝杠。

轴向间隙 (予压) 的选择:

为了满足 0.15mm 无效行程的要求,必须选择轴向间隙在 0.15mm 以下的滚珠丝杠。

因此,从满足轴向间隙 0.15mm 以下的轧制滚珠丝杠里选择轴径 32mm 以下的滚珠丝杠。

从上所述,选择丝杠轴之间在 32mm 以下、精度等级 C6 的轧制滚珠丝杠。

导程选择:

因为减速机的减速比为 $i=2$, 所以, 假设选择驱动马达的额定转速 3000r/min 、最高速度 400mm/s 时, 滚珠丝杠导程如下。

$$\frac{400 \times 60 \times 2}{3000} = 16 \text{ mm}$$

因此, 必须选择 16mm 或 16mm 以上的导程。

滚珠丝杠的支撑方式选择:

因行程是很长的 1000mm , 最高速度是 400mm/s 属中速使用, 故丝杠轴的支撑方法可选择固定-支撑或固定-固定的方式。

但是, 固定-固定的方式结构比较复杂, 且部件精度和组装精度要求高。

因此, 在此例中滚珠丝杠的支撑方法选择固定-支撑的方式。

轴向负荷的计算:

根据本例的参数要求:

加速度

$$a = \frac{V_{\max}}{t_1} = 2.67 \text{ m/s}^2$$

工作行程加速时

$$Fa_1 = \mu \cdot (m_1 + m_2) g + f + (m_1 + m_2) \cdot a = 231 \text{ N}$$

工作行程等速时

$$Fa_2 = \mu \cdot (m_1 + m_2) g + f = 17.4 \text{ N}$$

工作行程减速时

$$Fa_3 = \mu \cdot (m_1 + m_2) g + f - (m_1 + m_2) \cdot \alpha = -196.2 \text{ N}$$

返程加速时

$$Fa_4 = -\mu \cdot (m_1 + m_2) g - f - (m_1 + m_2) \cdot \alpha = -231 \text{ N}$$

返程等速时

$$Fa_5 = -\mu \cdot (m_1 + m_2) g - f = -17.4 \text{ N}$$

返程减速时

$$Fa_6 = -\mu \cdot (m_1 + m_2) g - f + (m_1 + m_2) \cdot \alpha = 196.2 \text{ N}$$

作为在滚珠丝杠上的最大轴向负荷如下所述:

$$Fa_{\max} = Fa_1 = 231 \text{ N}$$

因此, 如果使用 20mm 丝杠轴直径、 20mm 导程 (最小沟槽谷径 17.5mm) 没问题, 那么使用直径 30mm 的丝杠轴也应该符合条件。所以, 对于丝杠轴的弯曲载荷和容许压缩拉伸负荷的以下计算, 是假定 20mm 的丝杠轴直径和 20mm 的导程。

丝杠的弯曲载荷计算:

与安装方法相关的系数 $\eta_2 = 20$

为考虑弯曲因素，螺母和轴承间的安装方法按固定—固定方式。

安装间距 $\ell_a = 1100 \text{ mm}$ (推算：约为行程+丝杠螺母的长度)

丝杠轴沟槽谷径 $d_1 = 17.5 \text{ mm}$

$$P_1 = \eta_2 \cdot \frac{d_1^4}{\ell_a^2} \times 10^4 = 20 \times \frac{17.5^4}{1100^2} \times 10^4 = 15500 \text{ N}$$

滚珠丝杠的容许拉伸压缩负荷：

$$P_2 = 116 \times d_1^2 = 116 \times 17.5^2 = 35500 \text{ N}$$

最大轴向不得大于计算所得的弯曲载荷和容易拉伸压缩负荷。因此，满足这些条件的滚珠丝杠在使用上没有问题。

设计容许转速的探讨：

设计最高转速：

因为减速比为： $i=2$ ，所以，等效最高转速： $V_{1\max}=2 V_{\max}=800 \text{ mm/s}$

丝杠轴直径：20mm；导程：20mm

最大速度 $V_{1\max}=800 \text{ mm/s}$

导程 $Ph=20 \text{ mm}$

$$N_{\max} = \frac{V_{1\max} \times 60}{Ph} = 2400 \text{ r/min}$$

丝杠轴直径：20mm；导程：40mm

最大速度 $V_{\max}=800 \text{ mm/s}$

导程 $Ph=40 \text{ mm}$

$$N_{\max} = \frac{V_{1\max} \times 60}{Ph} = 1200 \text{ r/min}$$

丝杠轴直径：30mm；导程：60mm

最大速度 $V_{1\max}=800 \text{ mm/s}$

导程 $Ph=60 \text{ mm}$

$$N_{\max} = \frac{V_{1\max} \times 60}{Ph} = 800 \text{ r/min}$$

由丝杠轴的危险速度所决定的容许转速

与安装方法相关的系数 $\lambda_2 = 15.1$

为考虑危险速度，螺母—轴承间的安装方法按固定—支撑。

安装间距 $\ell_b = 1100 \text{ mm}$ (推算)

丝杠轴直径：20mm； 导程：20mm 和 40mm

丝杠轴沟槽谷径 $d_1=26.4\text{mm}$

$$N_1 = \lambda_2 \times \frac{d_1}{\ell_b^2} 10^7 = 15.1 \times \frac{17.5}{1100^2} \times 10^7 = 2180 \text{ min}^{-1}$$

丝杠轴直径：30mm； 导程：60mm

丝杠轴沟槽谷径 $d_1=26.4\text{mm}$

$$N_1 = \lambda_2 \times \frac{d_1}{\ell_b^2} 10^7 = 15.1 \times \frac{26.4}{1100^2} \times 10^7 = 3294 \text{ min}^{-1}$$

由 DN 值所决定的容许转速

丝杠轴直径：20mm； 导程：20mm 和 40mm（大导程滚珠丝杠）

钢球中心直径 $D=20.75\text{mm}$

$$N_2 = \frac{70000}{D} = \frac{70000}{20.75} = 3370 \text{ min}^{-1}$$

丝杠轴直径：30mm； 导程：60mm（大导程滚珠丝杠）

钢球中心直径 $D=31.25\text{mm}$

$$N_2 = \frac{70000}{D} = \frac{70000}{31.25} = 2240 \text{ min}^{-1}$$

由上述可见，当滚珠丝杠的丝杠轴直径为 20mm、导程为 20mm 时，丝杠轴的最高转速超过了危险转速。相反，当一组丝杠轴直径为 20mm、导程为 40mm 以及另一组丝杠直径为 30mm、导程为 60mm 时，能满足危险速度和 DN 值。

因此，选择丝杠轴直径为 20mm、导程为 40mm 的丝杠。

从单方向进行定位时，轴向间隙(予压)不影响定位精度，所以不需要对轴向间隙进行探讨。

以下部分进入电机的选型计算过程，因为这个过程对于大多数初级设计师来说是比较模糊的，所以，本人在此以黑体字标识各计算项目的标题，请诸位注意！

电机转速的选择：

根据前面的计算：当选择丝杠轴直径为 20mm，导程为 40mm 的丝杠时，设计最高转速 1200r/min 即可以达到指定的速度要求，而其危险转速为 2180r/min，所以，我们选择电机转速应该为：

$$n=1500\text{r/min.}$$

旋转扭矩的计算：

由外部负荷引起的摩擦扭矩

摩擦扭矩如下：

$$T_1 = \frac{Fa \cdot Ph}{2\pi \cdot \eta} = \frac{17.4 \times 40}{2 \times \pi \times 0.9} = 123.14 N \cdot mm$$

由滚珠丝杠予压引起的扭矩

对滚珠丝杠没有施加予压。

加速时所需的扭矩

惯量：

每单位长度的丝杠轴惯量为：

$1.23 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{cm}^2 / \text{mm}$ (根据选定的型号查参数表), 则丝杠轴全长1200mm (行程+螺母长度+轴端) 的惯量如下：

$$J_s = 1.23 \times 10^{-3} \times 1200 = 1.48 \text{kg} \cdot \text{cm}^2 = 1.48 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

在这里, 计算丝杠轴的惯量也可以自己使用圆柱体绕自身中心线旋转的转动惯量计算公式：

$$J = mr^2$$

J: 转动惯量, 单位: $\text{kg} \cdot \text{cm}^2$;

m: 丝杠轴质量, 单位: kg;

r: 丝杠半径, 单位: cm;

作用于减速机输出端的总体惯量为：

丝杠上的负载惯量计算公式为：

$$J = m \left(\frac{Ph}{2\pi} \right)^2$$

J: 丝杠负载惯量, 单位: $\text{kg} \cdot \text{cm}^2$;

m: 丝杠负载质量, 单位: kg;

Ph: 丝杠导程, 单位: cm;

此公式是《理论力学》教材上没有的, 所以, 请诸位谨记! 另外, 为方便诸位记忆, 在此顺便说一下: 使用皮带驱动和齿轮驱动系统的负载惯量计算方法, 与丝杠系统负载惯量计算类似。

$$J = m \left(\frac{A}{2\pi} \right)^2$$

J: 负载惯量, 单位: $\text{kg} \cdot \text{cm}^2$;

m: 负载质量, 所有被驱动的直线运动部件的质量总和, 单位: kg;

A: 皮带主动轮转一圈或者齿轮转一圈负载的行程, 单位: cm;

$$\begin{aligned} J &= m_1 \left(\frac{Ph}{2 \times \pi} \right)^2 \times 10^{-6} + J_s \\ &= 80 \left(\frac{40}{2 \times \pi} \right)^2 \times 10^{-6} + 1.48 \times 10^{-4} \\ &= 3.39 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

请诸位注意: 以上惯量计算公式中的长度单位都是cm, 因为工程上的惯例是惯量单位使用 $\text{kg} \cdot \text{cm}^2$ 。但也有部分资料上的单位是采用国际单位制的: $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ 。所以, 诸位在选择元器件的时候要注意看清楚供应商提供的资料上的惯量单位并自己进行换算。

角加速度:

根据以上的危险速度计算, 选择电机转速为1500r/min. 因为减速比为2, 所以, 减速机输出转速为750r/min

$$\alpha = \frac{2\pi \cdot Nm}{60 \cdot t_1} = \frac{2\pi \times 750}{60 \times 0.15} = 525 \text{ rad} / \text{s}^2$$

根据上述, 加速所需要的扭矩如下:

$$T_2 = (J + J_m) \times \alpha = (3.39 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-3}) \times 525 = 2.305 \text{ N} \cdot \text{m} = 2.305 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

因此, 所需扭矩如下:

加速时

$$T_k = T_1 + T_2 = 123.14 + 2.305 \times 10^3 = 2428.14 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

等速时

$$T_t = T_1 = 123.14 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

减速时

$$T_g = T_1 - T_2 = 120 - 2.305 \times 10^3 = -2181.86 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

所以, 需要的最大扭矩为: 2.43Nm。

折算到电机轴上的最大扭矩和转动惯量:

请诸位注意, 转动惯量通过减速机的折算方法:

$$J_A = J_B / i^2$$

J_A : 折算到电机轴的转动惯量;

J_B : 减速机输出轴端的负载转动惯量;

i : 减速比;

所以, 在本示例中: $J_A = 3.39 \times 10^{-3} / 2^2 = 8.475 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

所以, 折算到电机端的最大扭矩为: $T_A = 2.43 / 2 = 1.215 \text{ Nm}$

扭矩有效值:

扭矩有效值实际上是各阶段扭矩综合后的一个指标, 在工程实际应用中可以等同于额定扭矩, 所以, 它是我们选择电机的一个重要参数, 我们根据扭矩的有效值来选择电机的额定扭矩。

$$T_R = \sqrt{\frac{T_{ac1}^2 \cdot t_1 + T_{av1}^2 \cdot t_2 + T_{de1}^2 \cdot t_3 + T_{ac2}^2 \cdot t_4 + T_{av2}^2 \cdot t_5 + T_{de2}^2 \cdot t_6 + T_s^2 \cdot t_7}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7}}$$

T_R : 扭矩有效值;

T_{ac1} : 往程加速扭矩;

T_{av1} : 往程匀速扭矩;

T_{de1} : 往程减速扭矩;

T_{ac2} : 返程加速扭矩;

T_{av2} : 返程匀速扭矩;

T_{de2} : 返程减速扭矩;

T_s : 停止保持扭矩;

$t_1 - t_7$: 各作用区间时对应的时间;

计算 (略)

需要注意的是, 通常在工程实践中要求电机的输出扭矩在计算得到的负载扭矩基础上乘以一个适当的安全系数 S_a 。如无特殊要求, 大家的惯例是:

$$1.5 \leq S_a \leq 2。$$

另外, 在转动惯量中, 还需要加上减速机的惯量。由于本例中没有选用减速机样本, 所以, 略去此项。

通常, 在中低速系统中选择伺服电机进行惯量匹配时, 要求负载惯量小于

电机转子惯量的 3-5 倍；在高速系统中，要求负载惯量小于或等于电机转子惯量。交直流伺服电机略有区别，具体系数请参考供应商提供的样本。

定位精度对电机分辨率的要求：

根据通常随着马达的标准角度测试仪的分辨率（1000p/rev；1500p/rev），AC 伺服马达每转 1 周的最小分辨率如下所示。

1000 p/rev（无倍增）

1500 p/rev（无倍增）

2000 p/rev（双倍增）

3000 p/rev（双倍增）

4000 p/rev（4 倍增）

6000 p/rev（4 倍增）

而本例选择了减速比为 2 的减速机，实际上，相当于双倍增的分辨率。而通常为了实现工程实践中所要求的定位精度，我们通常要求进给系统的最小进给量大于定位精度一个数量级。所以，我们需要的最小进给量为：0.02-0.03mm/脉冲。为了满足选择条件中的最小进给量 0.02mm/脉冲，应符合如下。

导程 20mm—2000 p/rev

30mm—3000 p/rev

40mm—4000 p/rev

60mm—6000 p/rev

80mm—8000 p/rev

由此，大家可以了解，对于分辨率的解析，对于选择步进电机的步距角也是具有相当重要的意义。步进电机步距角跟电机和细分驱动器相关。目前所有的步进电机供应商提供的样本都包含有驱动器的细分技术说明。

电机功率：

电机功率的计算公式：

$$P = \frac{Tn}{9550}$$

P：功率，单位：kW；

T：转矩，单位：Nm；

n：转速，单位：r/min；

诸位可能有注意到，在本例中没有关于使用寿命的解说，主要是由于各供应商提供的产品使用寿命有相当差异的缘故；另外，通常滚珠丝杠的使用寿命规定为滚珠丝杠的回转次数，所以，使用寿命的分析也是比较简单的，是请诸位自己找一份样本结合实际的工况条件动手分析。

至此，本例解说完毕。

竖直方向使用时的选型计算方法（图 2.2-2）:

导程精度的选择:

所谓导程精度,是指在单位导程内滚珠丝杠的定位精度。通常,滚珠丝杠的导程精度是规定的 300mm 的精度。

为了得出定位精度 $\pm 0.1\text{mm}/1000\text{mm}$:

$$\frac{\pm 0.1}{1000} = \frac{\pm 0.03}{300}$$

导程精度必须选择 $\pm 0.09\text{mm}/300\text{mm}$ 以上。

所以滚珠丝杠的精度等级选择如下。

C6 (运行距离误差: $\pm 0.023\text{mm}/300\text{mm}$)

因精度等级 C6 既有轧制滚珠丝杠,又有精密滚珠丝杠,在此首先选择价格低廉的轧制滚珠丝杠。

轴向间隙(予压)的选择:

尽管要求无效行程在 0.15mm 以下,因为是竖直方向使用,轴向负荷始终作用于一个方向(竖直向下),不论轴向间隙多大,使用时也不成为无效行程,即不会造成返程间隙。因此,轴向间隙(予压)不会有问题,所以选择价格低廉的轧制滚珠丝杠。请诸位注意:此处是与水平方向使用时的第一个不同之处。

导程选择:

因为减速机的减速比为 $i=2$,所以,假设选择驱动马达的额定转速 3000r/min、最高速度 400mm/s 时,滚珠丝杠导程如下。

$$\frac{400 \times 60 \times 2}{3000} = 16\text{mm}$$

因此,必须选择 16mm 或 16mm 以上的导程。

滚珠丝杠的支撑方式选择:

因行程是很长的 1000mm,最高速度是 400mm/s 属中速使用,故丝杠轴的支撑方法可选择固定-支撑或固定-固定的方式。

但是,固定-固定的方式结构比较复杂,且部件精度和组装精度要求高。

因此,在此例中滚珠丝杠的支撑方法选择固定-支撑的方式。

上升加速时

$$F_{a_1} = m_1 \cdot g + f + m_1 \cdot a = 1028.6\text{N}$$

上升等速时

$$F_{a_2} = m_1 g + f = 815\text{N}$$

上升减速时

$$F_{a_3} = m_1 \cdot g + f - m_1 \cdot a = 591.4\text{N}$$

下降加速时

$$F_{a_4} = m_1 g - f - m_1 \cdot a = 561.4\text{N}$$

下降等速时

$$Fa_5 = m_1 \cdot g - f = 785N$$

下降减速时

$$Fa_6 = m_1 \cdot g + m_1 \cdot \alpha = 998.6N$$

作用在滚珠丝杠上的最大轴向负荷如下所示：

$$Fa_{max} = Fa_1 = 1028.6N$$

请诸位注意：此处是与水平方向使用时的第二个不同之处。

以下各步骤与水平使用时计算方法一致，所以略去。

另外，需要强调一下的是：诸位在设计更高精度的滚珠丝杠传动系统的时候，通常还需要考虑定位精度的问题。以上示例中由于定位精度都比较低，所选择的导程精度都远大于定位精度，所以在其他几个方面的讨论都省略掉了。实际上，在我们工程实践中设计使用高精磨削导轨的时候还需要在定位精度方面讨论以下几个方面的问题：（以上面水平方向使用的示例解释）

定位精度的探索

导程精度的影响：

“导程精度与轴向间隙(予压)的选择”项中，选择了精度等级C6。

C6（运行距离误差：± 0.023mm/300mm）

轴向间隙(予压)的影响：

轴向间隙主要考虑的是丝杠在回城时，由于丝杠与螺母之间本身的间隙造成的误差。

在本例中，从一个方向进行定位时，轴向间隙(予压)不影响定位精度，所以不需要探讨。

换句话说，如果是需要在两个方向进行定位时就需要讨论这个轴向间隙，如果选择的丝杠轴向间隙大于某个值（这个值根据总的精度误差决定）时，就需要对导轨进行预压或者换轴向间隙小的滚珠丝杠。

轴向刚性的影响：

本例中，因负荷方向不发生变化，所以不需要根据轴向刚性来探讨定位精度。

而实际上在大负载、双方向、高精度的定位系统中有必要全面考虑轴向刚性给系统带来的定位误差影响。对于滚珠丝杠传动系统来说：

$$\frac{1}{K} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i}$$

K：丝杠传动系统的轴向刚性，单位：N/μm；

K_i ：丝杠传动系统中各相关部分的刚性，例如：丝杠轴、丝杠螺母、支撑轴承、螺母座、支撑轴承座等相关部件。单位：N/μm；

而在实际使用中，整个系统的刚性跟系统结构设计有直接的关系，如有无预

压、安装方式等。对于滚珠丝杠来说，各供应商应该提供各种结构的刚性曲线或者计算公式，诸位只需要按照其选择或者计算就可以了。

因发热而引起热变形的计算：

假设在使用中，温度上升 5°C 。

因温度上升而引起的定位误差如下。

$$\begin{aligned}\Delta l &= \rho \times \Delta t \times \ell \\ &= 12 \times 10^{-6} \times 5 \times 1000 \\ &= 0.06\text{mm}\end{aligned}$$

Δl ：温升定位误差；

ρ ：丝杠轴的温度影响系数（热膨胀系数），根据材质和成型工艺不同而有区别，具体请向供应商咨询；

ℓ ：丝杠行程；

由此可见，发热对于精度影响的程度。所以，在要求高精度定位场合时，必须采取对策防止温度上升。比如：尽可能减少预压量、控制转速、选择合适的润滑剂、对丝杠轴外部进行冷却等措施。

运行中因结构形位公差引起的误差的计算：

根据结构假设垂直度公差在 $\pm 10''$ 以下，因垂直度公差而引起的定位误差为：

$$\begin{aligned}\Delta \alpha &= \ell \times \sin \theta \\ &= 150 \times \sin(\pm 10'') \\ &= \pm 0.007\text{mm}\end{aligned}$$

由以上叙述可知：系统的定位误差主要由以上几部分误差组成，其值为各误差值之和。

关于直线导轨的选型问题

通常，依据工程使用的惯例，直线导轨如果与滚珠丝杠配合使用则其规格应与滚珠丝杠的外径相近似。譬如：滚珠丝杠的公称直径为 20mm ，则选择 20 规格的直线导轨。而滑块数量通常是依据载荷状态或者设计师的经验选择。所以，本节类容不介绍直线导轨的计算问题，如果诸位有兴趣，可以自行翻阅供应商提供的样本目录。需要注意的是：在选择直线导轨的精度等级的时候，请根据自身使用状况选用能够满足工程实际要求的导轨即可，不要无谓地提高精度等级加大制造装配难度和制造成本。下面，介绍一下其中相对重要的几个基本的概念。

基本静额定负荷：直线导轨在静止或者运动过程中如果承受过大的负载或者承受很大的冲击负载时，会导致导轨滚珠滑道的接触面和滚珠产生局部的永久的塑性变形，当这种变形量超过一定限度后，将会影响到直线导轨运行精度和平稳

性。基本静额定负荷就是容许这种变形量的极限负荷。国际通用的定义是：在负载的方向和大小不变的情况下，受到最大应力的接触面处，钢珠与滑道的永久变形量为钢珠直径万分之一的静止载荷。所以，这个参数对于直线导轨来说是非常重要的，我们在使用过程中必须保证施加给直线导轨的最大静止载荷在允许范围内。通常，为了考虑其使用寿命和安全性，我们在使用时需要有一个安全系数来保证其正常使用的安全性和使用寿命，特别是在有冲击载荷时，这个安全系数更要取得相对较大。普通的运行状态下通常取安全系数 $1.5 \leq S \leq 3$ ，在有冲击载荷的时候通常 $3 \leq S \leq 5$ 。

基本动额定负荷：在直线导轨的负荷大小和方向不变的情况下，直线导轨的额定寿命为 50km 时的最大负载。由定义可以知道，这个参数主要是为了计算和保证直线导轨的使用寿命的。这里我们给出滚珠直线导轨的额定寿命计算公式：

$$L = 50 \cdot \left(\frac{f_h \cdot f_t \cdot f_c \cdot C}{f_w \cdot P_c} \right)^3$$

L：额定寿命，km；

f_h ：直线导轨硬度系数；

f_t ：直线导轨温度系数；

f_c ：直线导轨接触系数；

f_w ：直线导轨负荷系数；

C：直线导轨的基本动额定负荷；

P_c ：直线导轨的实际负载；

以上介绍滚珠丝杠传动系统选型计算完毕。

除此之外，利用同步带和齿轮齿条驱动负载直线运动的机构元器件选型计算与伺服电机基本类似，唯一的区别：是同步带需要根据负载功率计算同步带的容量，齿轮齿条机构需要根据负载功率计算模数。其计算方法与大学教材《机械设计》中讲解的一致。关于具体元器件的负载能力、使用寿命等方面的参数，诸位在使用过程中咨询相应的供应商即可。在此，无须赘述。需要强调的是：如果在实际使用中由伺服或者步进电机驱动则需要根据我们前面给出的惯量公式和扭矩公式进行相应的计算选择合适的启动扭矩。

步进电机+凸轮分割器圆盘分度机构的选型基础

间歇运动是工业自动化设备为了最大的解决生产效率问题、实现多工位工艺并行而采取的一种送料方法，通常也称为步进运动。它主要有两种结构方式：直线间歇输送和圆盘间歇输送。能实现间歇运动的机构我们通常也称为分度机构或者间歇运动机构，这类机构非常多而且也非常成熟，譬如：曲柄连杆机构、凸轮机构、槽轮机构、棘轮机构等。在现代工厂自动化设备中，由步进电机/交流电机+离合器/伺服电机等驱动原件配凸轮分割器（indexer）的圆盘分度机构是应用最为广泛的并行工艺处理机构之一。这类机构可以非常轻松的实现停歇及多工位的操作，特别是在装配、检测、焊接等工艺处理中得到了普遍应用。当然，也有一些分度盘在精度及时间要求不高的场合直接由步进电机驱动的。

凸轮分割器，也习惯称间歇分割器。凸轮分割器是实现间歇运动的机构，具有分度精度高、运转平稳、传递扭矩大、定位时自锁、结构紧凑、体积小、噪音低、高速性能好、寿命长等显著特点，是替代槽轮机构、棘轮机构、不完全齿轮机构、气动控制机构等传统机构的理想产品。广泛应用于制药机械、食品包装机械、压力机自动送料机构、玻璃机械、陶瓷机械、烟草机械、灌装机械、印刷机械、电子机械、加工中心自动换刀装置等需要把连续运转转化为步进动作的各种自动化机械上。我们通常使用到的分割器工位数有：2、3、4、6、8、10、12、16、20、24、32、36 等。目前，国内外本产品做得比较好的有：台湾谭子（Tan Tzu）、美国 Camco、德国 Weiss 等厂家。

凸轮分割器原理图：



图 2.2-3

另外，需要强调的是：凸轮分割器也可应用于直线步进运动中进行步进驱动的控制。因为在很多初级工程师的认知中：只要一提到分割器、分度机构就认为是圆盘式的分度机构，实际不然。

因为凸轮分割器本身就是将连续运动转换为步进动作的一种机构，所以，最为广泛的应用方式为：交流电机+凸轮分割器。交流电机驱动则其停歇、工作时间比为定值，而步进电机或者伺服电机则可以做到任意停歇、工作时间比。本节类容为了更为详细的讲解惯量与启动扭矩、功率的关系而选择步进电机+凸轮分割器的配置方法进行讲解。请大家注意：在实际使用中基本不用伺服电机驱动凸轮分割器，因为分割器本身已经具备非常高的定位精度。请看下面示例：

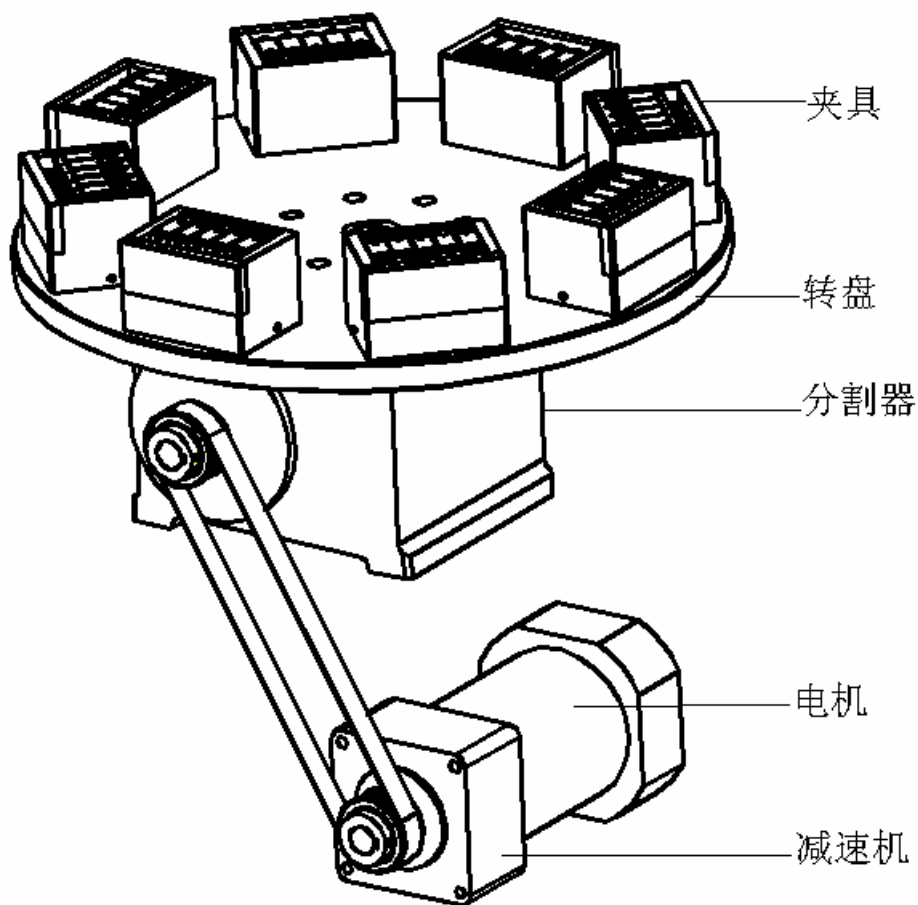


图 2.2-4

使用工况：

工位数：8 工位

转盘质量： $m_d=18$ Kg

转盘半径： $r = 300$ mm

夹具质量： $m_f=5$ Kg

夹具在转盘圆周切线方向的边长为 $A = 120$ mm

夹具在转盘圆周半径方向的边长为 $B = 90 \text{ mm}$

工作时间: $t_s = 1.5 \text{ s}$

转位时间: $t_w = 0.5 \text{ s}$

夹具中心到转盘中心的距离: $l_c = 240 \text{ mm}$

减速机减速比: $i = 20$

减速机惯量: $J_r = 1.5 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

说明: 在本例中以台湾谭子 (TAN TZU) 分割器为例。

加速度计算

通常在工程中, 这种定位方式中加减速时间以定位时间的 25% 为宜。

$$t_a = t_d = t_w / 4 = 0.125 \text{ s}$$

在此处, 为便于计算设为 0.1 s 。

因为, 使用工况为 8 工位工作, 则每工位步进角度为: $\frac{\pi}{4}$

所以, 转盘的匀速转动速度为: $v_a = \frac{\pi}{4} \div 0.4 = 0.625\pi \text{ rad/s}$

即 $v_a = 18.75 \text{ r/m}$

所以, 转盘的加速度为: $a = \frac{v_a}{t_a} = \frac{0.625\pi}{0.1} = 6.25\pi \text{ rad/s}^2$

负载惯量的计算

转盘质量为: $m_d = 18 \text{ Kg}$

所以, 转盘惯量为: $J_d = \frac{m_d r^2}{2} = \frac{18 \times 30^2}{2} = 8100 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 = 0.81 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

夹具质量为: $m_f = 5 \text{ Kg}$

所以, 夹具惯量为:

$$J_f = 8 \times \frac{m_f (A^2 + B^2 + 12l^2)}{12} = 8 \times \frac{5(12^2 + 9^2 + 24^2)}{12} = 2670 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 = 0.267 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

所以, 负载的启动扭矩为: $T_{ls} = (J_f + J_d) \cdot \alpha = 1.067 \times 6.25\pi = 21 \text{ N} \cdot \text{m}$

凸轮分割器的选择

1、选择分割器规格：

首先根据负载的启动扭矩 $T_{ls} = 21N \cdot m$ ，我们可以知道需要凸轮分割器的输出扭矩 $T_{co} \geq T_{ls} \times S = 21 \times 1.5 = 31.5N \cdot m$ （S 为安全系数,此处取 S=1.5）。

根据谭子提供的资料中可以找到 060 型即可满足要求（060 型输出扭矩为 $43.4N \cdot m$ ）。

2、选择分割器型式：

根据实际使用状况选择供应商提供的三种型式中的一种，在本例中我们选择凸缘型。

3、选择分割器工位数：

本例中定位工位数为：8 工位。

4、选择驱动角：

驱动角即是选择分割器的停歇、工作时间比，以便于使用驱动原件连续运转实现分度停歇的目的。本例中由于选用步进电机驱动，所以可以选择任意驱动角。因为步进电机可以随意控制启停状态。为了诸位能明白驱动角的选择方法，我们仍然做一下介绍：

工作时间： $t_s = 1.5 \text{ s}$

转位时间： $t_w = 0.5 \text{ s}$

由于给定的转位、工作时间比为： $t_w / t_s = 0.5 / 1.5 = 1/3$

所以，分割器驱动角为： $\theta = 360^\circ \times \frac{1}{1+3} = 90^\circ$

5、选择凸轮选择方向：

本例中选择右旋。

6、选择输出轴的状态：

本例中由于需要便于安装原位检测元件而选择 S3 型。

所以，综合以上参数对照谭子提供的产品目录，即可得到需要的型号。

电机选择

根据谭子产品目录可以知道，060 型的凸缘型分割器的惯量是：

$$J_c = 1.9 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

所以，负载总惯量为： $J_{co} = J_c + J_d + J_f + J_r \approx 1.069 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

折算到电机轴上的负载总惯量为： $J'_{co} = \frac{J_{co}}{i^2} = \frac{1.069}{20^2} = 26.7 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

电机输出转速： $v_o = v_a \times i = 18.75 \times 20 = 375 r / \min$

电机角加速度为： $\alpha_o = \frac{v_o}{t_a} = \frac{375/60}{0.1} \times 2\pi \approx 392.5 \text{ rad} / s^2$

需要的负载启动转矩为： $T_{os} = J'_{co} \cdot \alpha_o \approx 1.05 N \cdot m$

所以，电机输出扭矩： $T_{ot} = T_{os} \cdot S = 1.05 \times 1.5 = 1.575 N \cdot m$

至此，本例讲解完毕。

通过以上的三个例子，我们应该对于伺服电机、步进电机的选型主要参数计算有了一定的了解。这里，还需要强调的是：由以上示例可以知道——选择电机的扭矩公式为—— $T=J\alpha$ (负载惯量与角加速度的乘积)。单从公式上来看，只要我们的角加速度设置的足够小，则扭矩也是足够小，实则不然。各种电机都有自己最合适的启动时间，如果超出极限的启动时间则会对电机形成堵转，烧毁电机线圈。所以，诸位在实际使用过程中一定要仔细阅读供应商提供的产品资料，根据自己设备的使用工况，做出正确的选择。

请注意：由于减速机对于扭矩和转动惯量都有放大效果，所以，在计算时请诸位注意一定要在同侧进行计算：即要么由电机输出端的折算惯量和角加速度计算扭矩，要么由减速机输出端的折算惯量和角加速度计算扭矩。切记！！

最后，再说一下，因为步进电机和伺服电机都是精密驱动原件，所以，在选择联轴器和减速机时要引起足够的重视：根据系统的精度要求不同，应该选择不同背隙的减速机、步进伺服电机专用的联轴器以减小机械系统导致的误差。

第四节 常用传感器介绍

传感器是工业自动化设备中不可或缺的一种器件，它是设备的机械系统和控制系统连结的纽带。机械系统通过传感器将运动参数以及运行状态反馈给控制系统，控制系统通过传感器反馈的信号和数据发出指令驱动机械系统，其重要性不言而喻。传感器相当于人体的各种感觉器官，设备控制系统需要通过它来确定：机构的位置、产品的有无、以及产品的精度等重要参数以监测和控制设备的使用状态和产品的生产过程。

根据其使用方式，传感器在工业自动化设备中最常见的主要用途有以下几种：检测有无、检测位置、检测外形、检测速度、检测温度等各种物理量。根据其检测方式，工业自动化设备中常用的传感器大约有以下几种：磁性开关、接近开关、光电开关、光纤传感器、光栅、位移传感器、压力传感器、电热偶、激光传感器、编码器等。根据其输出型号类型的不同，传感器大致可以分为三种：开关量输出型、模拟量输出型和数字量输出型。开关量输出的传感器有两种：一种是常开型（NO）、一种是常闭型（NC）。开关量输出的三线制传感器通常有两种输出制式：NPN 和 PNP，即低电平输出和高电平输出。通常，在中国大陆生产使用的控制器的输入输出接口——PLC 接口或者工业控制计算机的输入输出卡接口——接受 NPN 型输出信号。当然，NPN 型和 PNP 型输出也是可以通过继电器相互转换的。

目前，传感器已经形成了一个专门的学科——传感工程学。而在市面上，各个专业的传感器生产厂家开发制造了各种各样的传感器。对于我们普通的机械设计师来说，最重要的不是研究传感器的原理，而是明白其用途就可以。我们在选择传感器的时候通常需要考虑的主要是以下三个问题：（1）检测要求和条件，测量目标物的性状、测量目的、测量的目标值范围、测量频率等；（2）传感器性能，传感器的检测精度、响应速度、输出信号类型等；（3）工况条件，主要是指传感器的使用环境和与其他装置的连接环境等。

下面我们简单介绍一下在工业自动化设备中常用的传感器。

磁性开关：它是气缸用传感器的一个专用称呼，主要应用于检测气缸活塞位置。通常，都由气缸供应商根据客户使用情况配套提供。顾名思义，磁性开关是通过电磁感应来检测目标物，所以，其检测精度相当低。

接近开关：接近开关也是依据电磁感应的原理设计制造的，所以，它只能应用于检测金属目标物，并且不同的金属感应距离略有差距。目前常用的接近开关检测距离大约有如下几种：1mm、2mm、4mm、8mm、12mm 等。接近开关通常有两种：埋入型和非埋入型。所谓埋入型就是指接近开关的感应头不检测其圆周方向的金属目标，只检测其前方的金属目标，即传感器感应头可以不露出金属安装支架；所谓非埋入型就是指接近开关感应头既检测其前方的金属目标也同时会检测其圆周方向的金属目标，即传感器感应头必须露出金属安装支架一段距离且圆周方向一定范围内不得有金属目标物以免引起错误判断。接近开关的检测精度较磁性开关高。接近开关通常用于判断产品有无、工装夹具是否到位等对位置精度要求相对较低的场合。

光电开关：光电检测方法具有精度高、反应快、非接触等优点，而且可测参数多，传感器的结构简单，形式灵活多样，因此，光电式传感器在检测和控制中应用非常广泛。我们通常所说的光电开关大致有三种：一种是反射式光电传感器、

一种是对射式光电传感器、一种是使用反射板反射光束的光电传感器。其中后两种都是通过目标物遮光实现检测的，前一种是通过目标物反射光线来实现检测功能。所以，通常后两种检测距离更远、精度更高。由于光电传感器具有相当高的检测精度，所以，通常用于检测产品或者机械手等工件的精确位置以及步进、伺服系统的反馈装置中。

光纤传感器：光纤传感器也是一种应用光电信号转换的检测元件，相比较于光电开关而言，它通常能检测更小的目标物、检测距离更远、精度更高。所以，光纤传感器通常应用于更为精准的检测场合和步进、伺服系统的定位反馈装置中。

光栅：光栅也是一种利用光电信号的传感器。光栅检测区域大，所以通常也称区域传感器。光栅通常最主要的应用领域是设备之间的互锁和安全作用，特别是应用于对人的保护上比较多。

位移传感器：顾名思义，即是检测目标物位置变化的传感器。

压力传感器：压力传感器用于检测目标物所施加的或者承受的拉力或者压力。

电热偶：电热偶主要是用于检测其周围的环境温度。

激光检测仪：激光检测仪最主要的功能是精确地测量目标物的外形尺寸。

工业照相机：工业照相机在工程上也通常称为 CCD (Charge-coupled Device)，它主要应用于检测目标物的外形和位置。随着目前 CCD 技术的提高，高分辨率的工业相机已经可以应用于精确测量领域。

编码器：按照工作原理编码器可分为增量式和绝对式两类。增量式编码器是将位移转换成周期性的电信号，再把这个电信号转变成计数脉冲，用脉冲的个数表示位移的大小。绝对式编码器的每一个位置对应一个确定的数字码，因此它的示值只与测量的起始和终止位置有关，而与测量的中间过程无关。编码器通常与步进电机或者伺服电机配合使用构成闭环或者半闭环的控制系统。

微动开关：微动开关是一种接触式传感器，目前主要应用于设备之间的连接或者设备的安全防护门状态的检测。

附：常用自动化元器件英文单词

为方便大家阅读英文资料，现将常用自动化元器件的专业英文词汇罗列如下，以供参考。

Air pressure 气压	Pneumatic product 气动产品
Air cylinder 气缸	Regular valve 减压阀
Solenoid valve 电磁阀	Filter 过滤器
Vacuum cupule 真空吸盘	Pressure gauge 压力表
Suction cup 吸盘	Valve bank 阀岛
Throttle valve 节流阀	Bush 直线轴承
Hose 气管	Ball screw 滚珠丝杠
Helix hose 螺旋形气管	Linear rail 直线导轨
Shock absorber 缓冲器	Timing belt 同步带
Reed switch 磁性开关	Pulley 带轮
Single-axis actuator 单轴机械手	Fiber sensor 光纤传感器
SCARA robot 四轴机器人	Light curtain 光栅
Manipulator 机械手	Thermo-couple 电热偶
Fixture 夹具	Load cell 压力传感器
Indexing table 分割器	Displacement sensor 位移传感
Gear rack 齿条	器
Gear 齿轮	Relay 继电器
Ratchet 棘轮	Contactator 接触器
Clutch 离合器	Screw 螺钉
Worm gear 蜗轮	Bolt 螺栓
Cam 凸轮	Bearing 轴承
Coupling 联轴器	Washer 垫圈
Step motor 步进电机	Rivet 铆钉
Induction motor 感应电机	Key 键
Servo motor 伺服电机	Bowl feeder 震盘
Encoder 编码器	Keyway 键槽
Proximity switch 接近开关	
Photo sensor 光电传感器	

第三章 自动化部件结构设计基础

结构设计是在设备方案规划好以后的机构和部件的细化设计工作范围。显然,在这个环节,设计师需要根据设备所加工的产品对所有功能模块和零部件的使用工况有清晰的概念和深刻的理解,并根据这些理解来确定每个零部件的材料、形状、尺寸、精度等内容。随着机械设计理论发展的越来越成熟、自动化设备对效益的要求越来越高,模块化设计和生产已经成为现代工厂自动化设备设计制造的一种趋势。因为模块化设计的接口一致、通用性好、互换性强,作为一个较为独立的功能组件,特别是在系列化设备中,通常都作为标准配件在使用。所以,模块化设计制造已经在设备制造领域得到了广泛的运用。这也是现代设计师必须掌握的一种设计方法。在本书的内容中,我们将讲述一些在工厂自动化设备中常用的工艺性结构设计(实际上也可以理解为广义上的模块化设计)和自动化模块设计基础和分析方法。由于四轴 SCARA 机械手以及六轴机械手已经做为标准件在国内外有很多专业的公司设计制造,我们将其排除在本章内容之外。让诸位能清晰的明白模块化设计的概念和理念并能应用于工程实践中。

第一节 零件的典型工艺性结构设计

应届毕业生或者助理设计师由于缺乏实际经验,通常容易在很多书本上没有提及的地方犯下工艺性设计错误,造成成本增加甚至难以加工、装配的状况,所以,在下面我们将为大家介绍几个教材上没有被提及的、最容易被忽略且具有代表性的工艺性结构设计知识。

1、定位销的应用

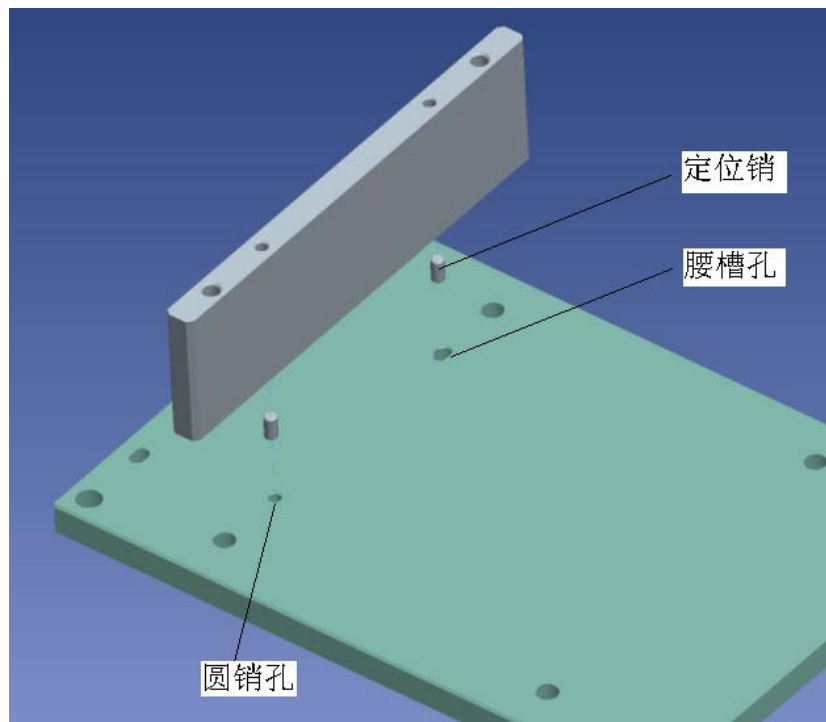


图 3.1-1

如图 3.1-1 所示：当两个工件需要使用定位销连接定位时，其中一件全部为圆销孔，另一件则一个为圆销孔，另一个为腰槽孔。这样做的目的是降低两个定位销孔的孔间距加工精度要求，降低加工成本。通常，定位销与销孔的配合采用过渡配合。在定位精度相对要求不高的情况下，也可以对配合精度要求进行圆整，做成非标精度尺寸。

2、三面正交处的工艺性要求

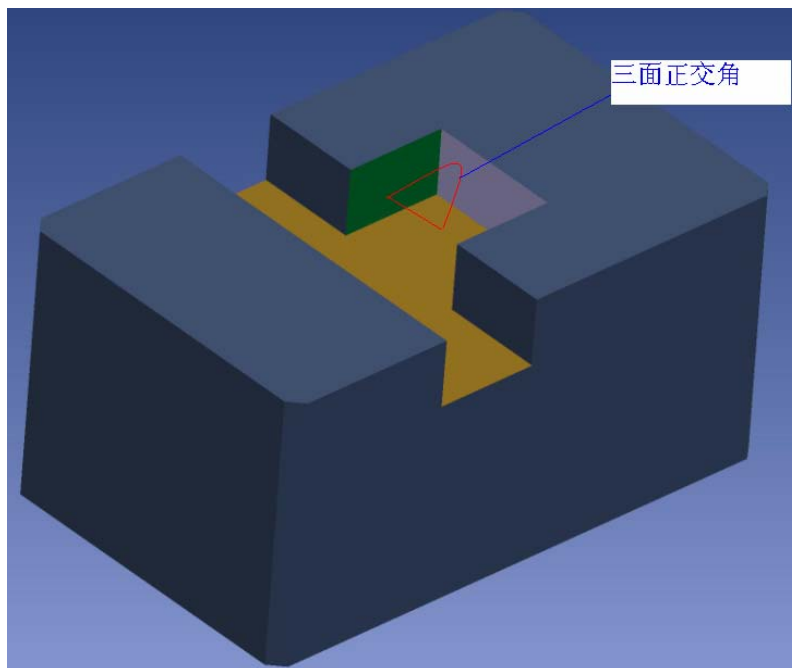


图 3.1-2

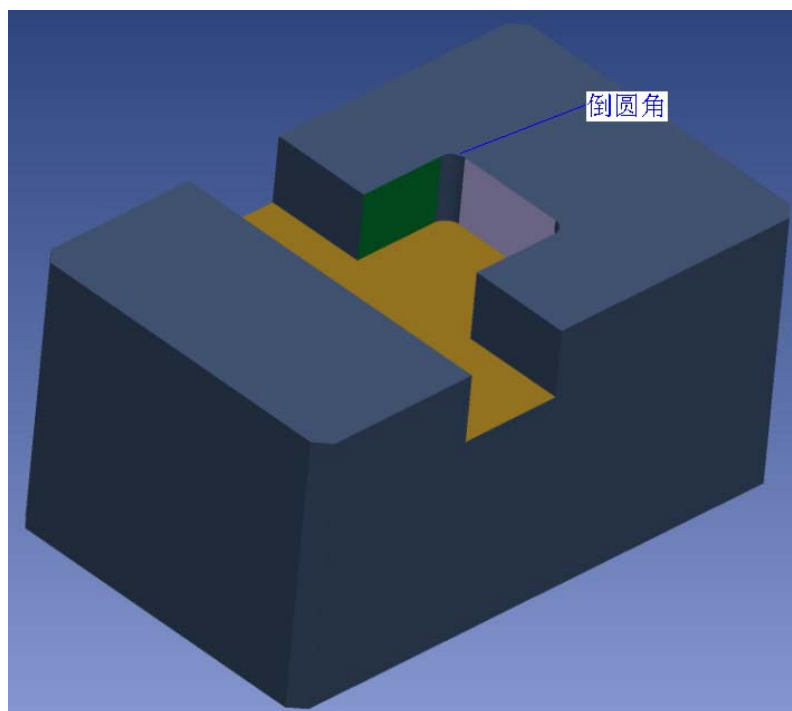


图 3.1-3

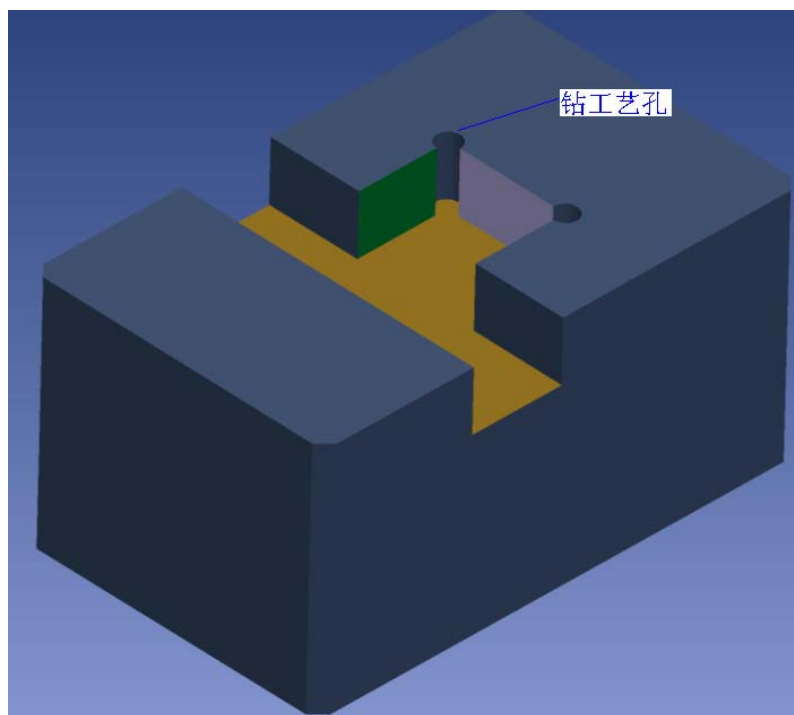


图 3.1-4

从图 3.1-2 中看到三面正交的角是 3 个直角，我们普通的加工方法是加工不出来的，因为我们的铣刀和砂轮都是圆的。而要加工这样的特征，我们只能采用电火花加工，电火花加工需要做专门的铜模，所以显然成本上升；并且，电火花要求材料必须是导电性的，如果是非导电性材料则这种设计的工件就做不出来了。所以，我们通常将这个地方的设计成图 3.1-3 或者 3.1-4 的样子。同样的道理，在设计时，除非有特别的需求，尽量不要将内孔设计成方形。

3、方便拆卸的工艺螺孔

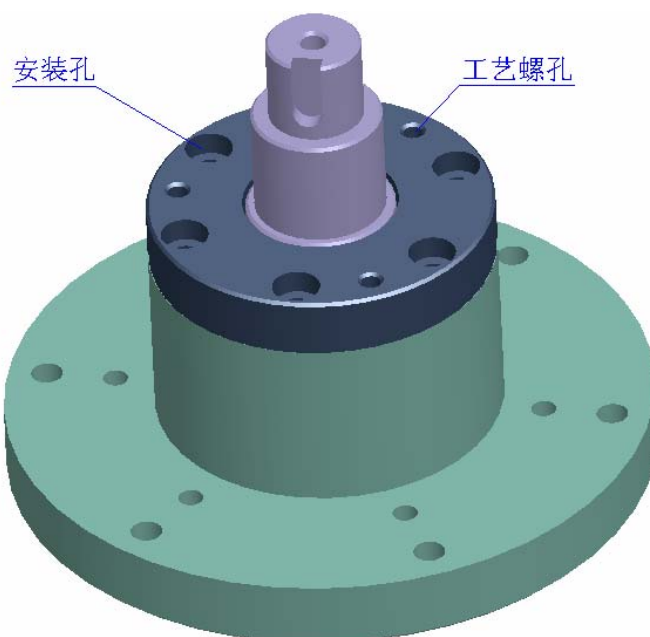


图 3.1-5-1

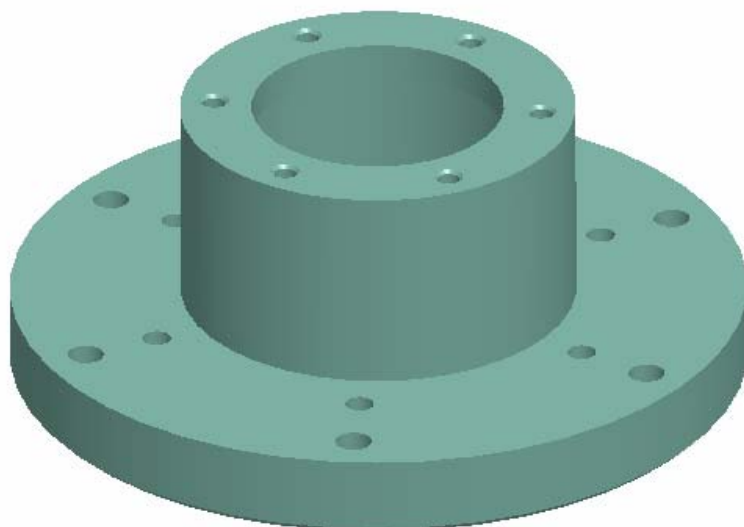


图 3.1-5-2

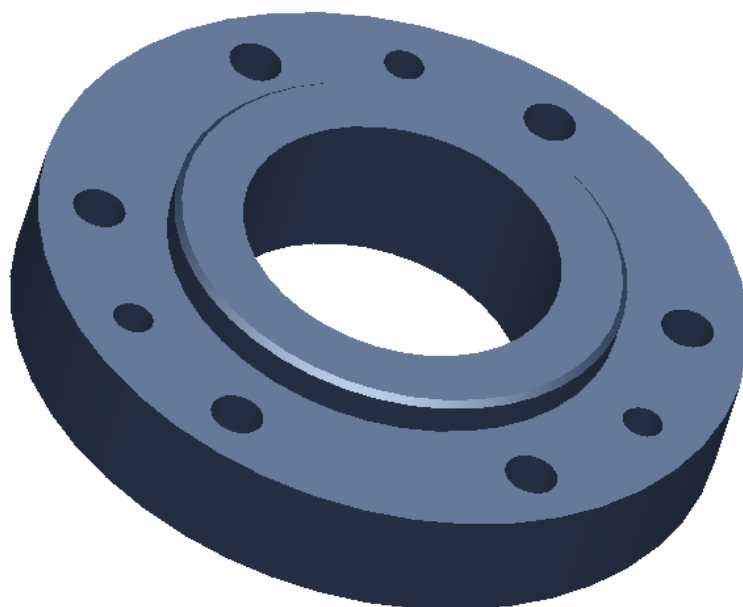


图 3.1-5-3

当轴承端盖的台阶与轴承座的内孔紧配的时候,我们需要增加适当的拆卸工艺螺孔以方便后续的维护。上图中的 3 个工艺螺孔就是出于这方面的考虑。所以,由此可以看出:在做机械零件设计时,我们需要从各个方面的工艺——成型工艺、热处理工艺、装配工艺、人机工程学等——去考虑我们的工件结构和形状。

4、方便调整位置和方向的工艺槽

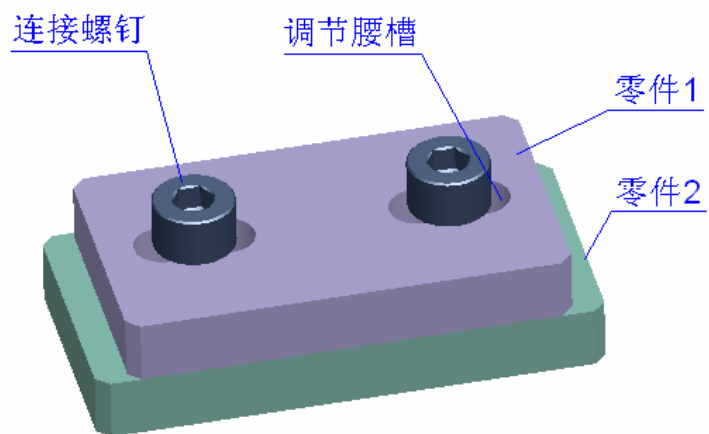


图 3.1-6

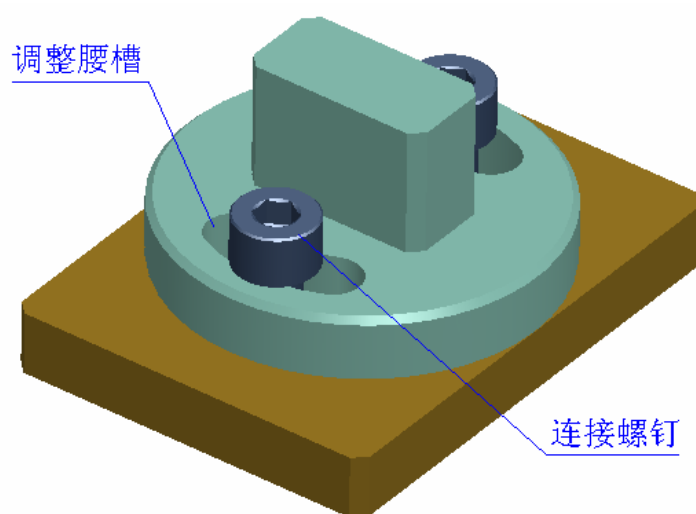


图 3.1-7-1

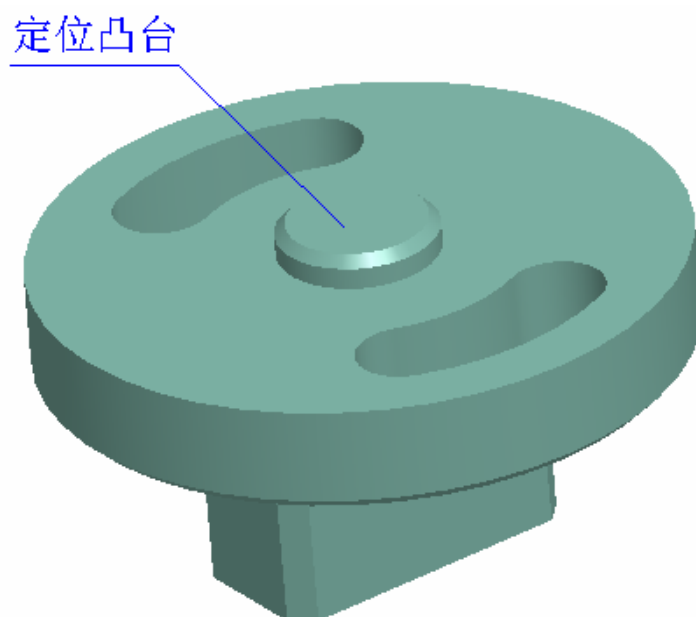


图 3.1-7-2

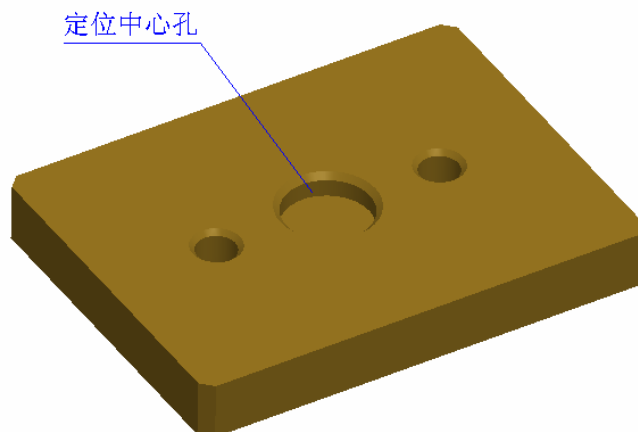


图 3.1-7-3

在很多时候，由于加工方法难以达到实际使用过程中要求的精度，或者装配尺寸链环节过多难以通过加工满足装配精度，我们通常需要在装配的时候通过适当的修配或调整来达到工程实际中的精度要求。如图 3.1-6 所示组件，为了方便调节零件 1 相对于零件 2 的位置，在零件 1 上设计了腰形槽。对于这种小型工件普通调节则这样的设计已经能满足装配需求，若果是重型工件（人力不能移动位置或者难以移动其位置）或者精密调节则需要在零件 2 上设计响应的调节装置来调节零件 1 的位置，通常使用最为广泛的方法是在零件 2 上设计调节螺钉来配合装配需要，如图 3.1-8 所示。图 3.1-7-1 所示的组件是需要调节图 3.1-7-2 所示的零件相对于图 3.1-7-3 所示的零件的方向，所以在其上设计了圆弧形腰槽。通常对于这样的调节为了保持其中心位置不偏移，需要在其中装配定位销或者在其零件本身设计定位凸台，如图 3.1-7-2、3.1-7-3 所示。

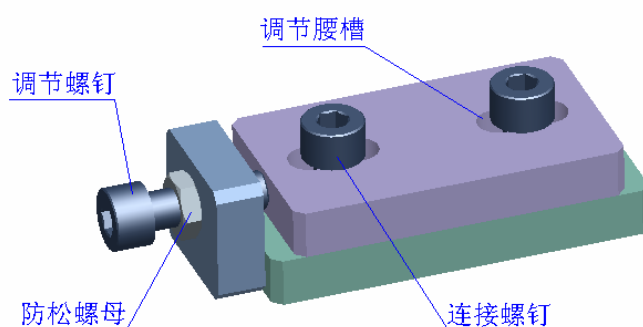


图 3.1-8

以上五个示例分别是在装配、加工、拆卸工艺方面考虑设计的典型工艺结构设计，希望诸位能用心体会其作用。通常，在零件的工艺性方面要求最多的是成型工艺。因为不同的成型技术有自己独特的技术特点和工艺要求，诸位可以多参阅成型技术类典籍。注意：我们这里所说的成型技术包括但不限于铸造成型、轧制成型、冲压成型、锻造成型、焊接成型、切削成型等。以上提到的成型技术对零件的结构都有典型的工艺性要求。一般来说，合适的零件工艺性结构能防止应力集中（特别是需要热处理的工件更加需要注意这个问题）、提高零件性能、寿命，降低成本；反之亦然。

第二节 常用的气动机构模块设计

气缸，作为主要的气动执行元件在现代工厂自动化设备中应用非常成熟、广泛。所以，初级设计师非常有必要对其常用的结构设计进行深入、透彻的了解，以做到在工作实践中得心应手的运用，并且有必要将其常用的结构做成标准模块以节约设计时间、降低制造成本。

气缸配直线轴承

1、使用缓冲器、浮动接头的结构

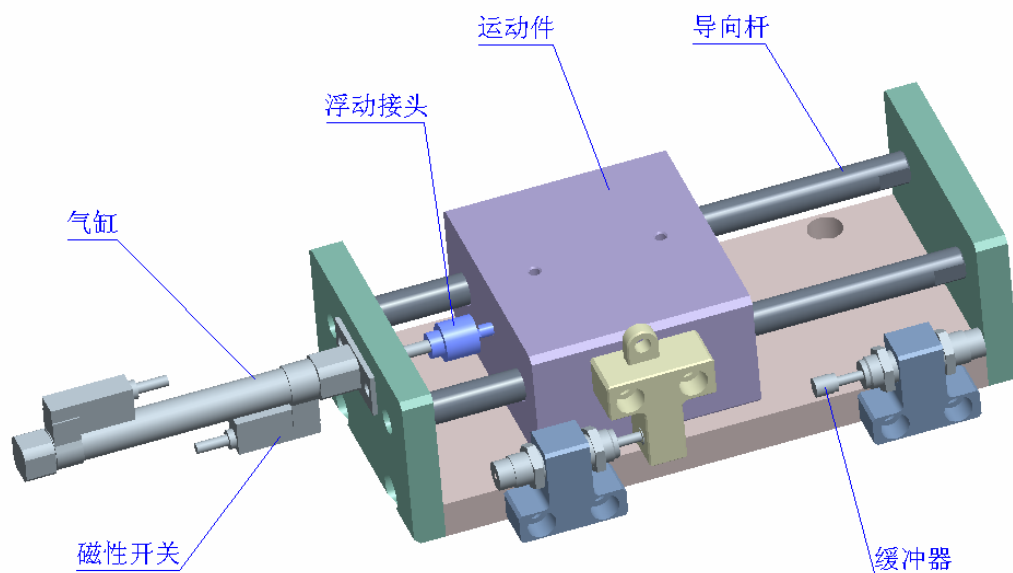


图 3.2-1-1

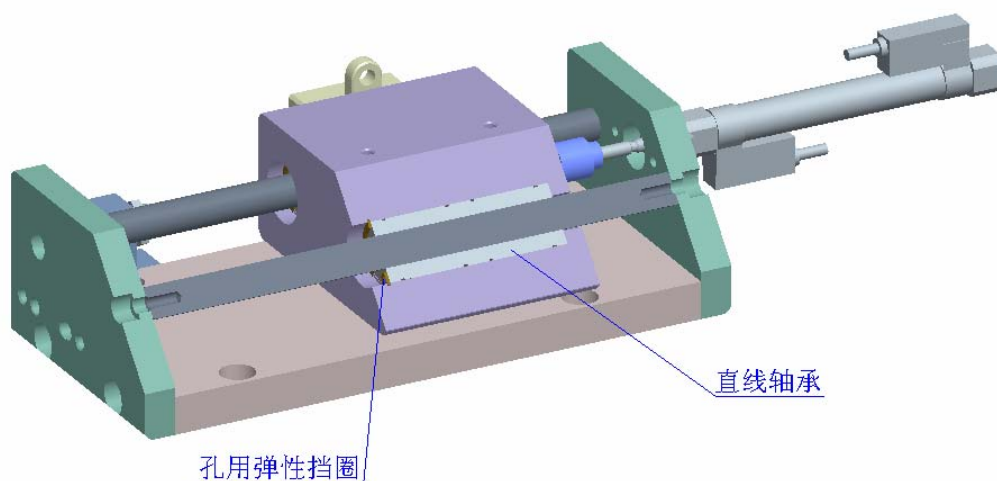


图 3.2-1-2 (剖面图)

图 3.2-1-1 所示的是普通直线气动的经典结构。可以看出，在气缸执行机构中主要的配件：气缸、磁性开关、浮动接头、直线轴承、缓冲器等。在本机构中有以下几点需要注意：

1：浮动接头的运用：由于本机构在往复运动方向属于过约束状态，如果直接将气缸的活塞杆连接在运动件上则会导致运动件运动不顺滑、平稳，甚至卡死。

所以，选择将气缸活塞杆通过浮动接头连接在运动件上。当然，在对于运动件的位置要求不高的情况下，出于成本的考虑，也可以不使用浮动接头，而自制浮动构件连接。

2: 缓冲器的运用：由于压缩空气的速度控制不能向电机一样可以做到软着陆（即通过控制电机的加速度达到缓慢、无冲击的停下），所以，通过缓冲器来控制气缸活塞停止的速度，吸收冲击。当然，另外一种方式就是可以通过选择带气缓冲的气缸来解决这个问题，但通常这种气缸成本较高，所以，一般情况下，在结构空间允许的时候，选择配置外置缓冲器。

3: 直线轴承与导向杆的配合公差：通常情况下，选择滚珠直线轴承，由于它们之间需要相对运动，所以，建议导向轴选择 g6 的公差带。

4: 导向杆的表面硬度：由于运动件的频繁往复运动，所以需要导向杆的表面硬度做出要求。通常，建议导向杆表面硬度在 HRC52-56。

2、使用缓冲垫、自制浮动构件的结构

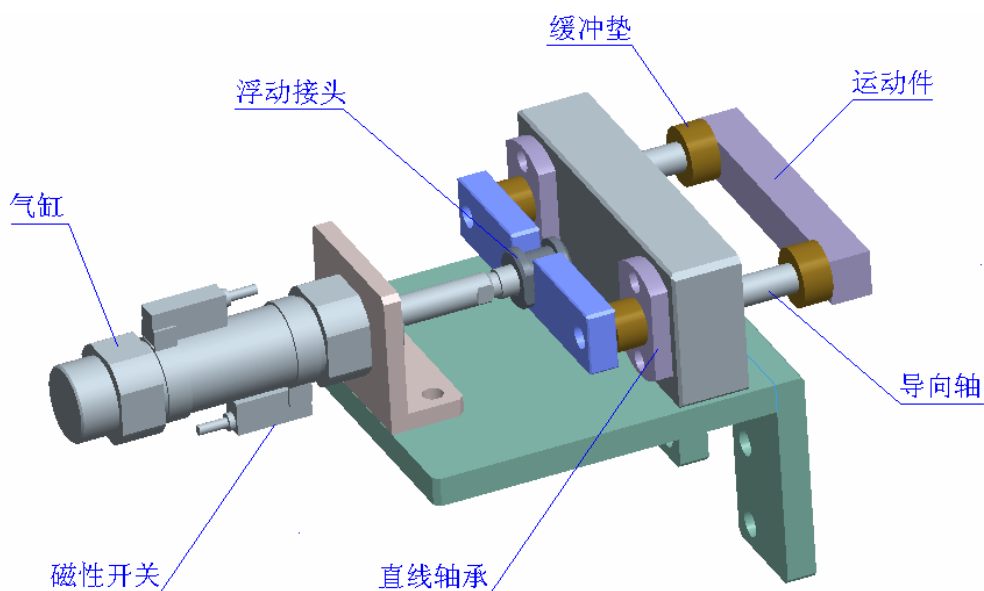


图 3.2-2-1

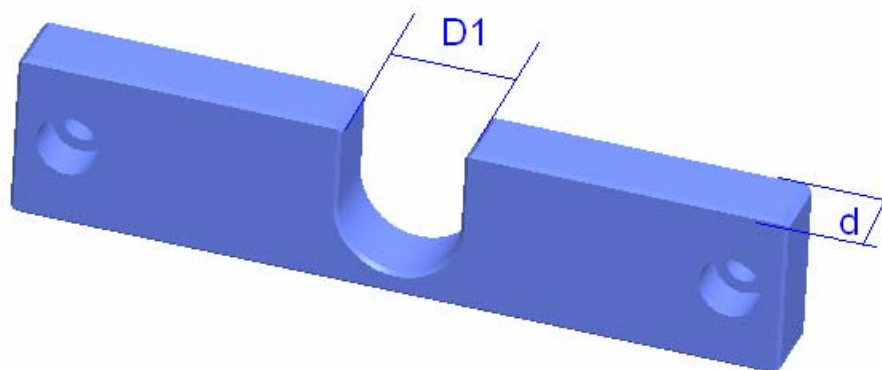


图 3.2-2-2

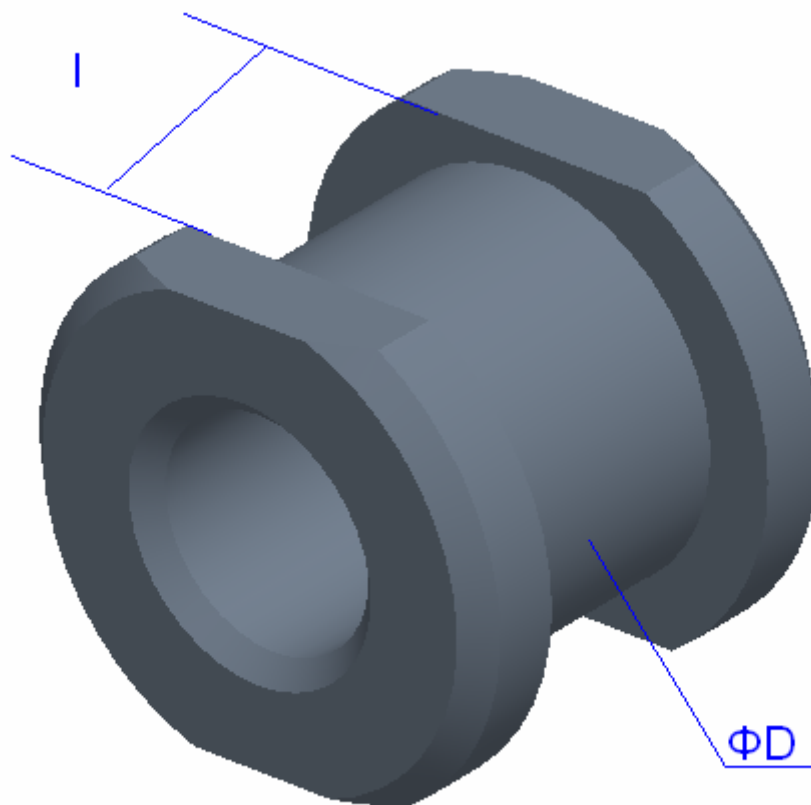


图 3.2-2-3

图 3.2-2-1 所示的结构由图 3.2-1-1 的结构演化而来，可以看出，本例的结构重点有两项不一样：

1：自制浮动接头：由于对运动件运动要求不高，所以，选择了自制浮动接头的方式。其要点在于： $D1=\Phi D+\Delta$ ； $l=d+\Delta l$ 。

2：取消缓冲器，使用橡胶缓冲垫：通常这种使用方式是对于运动件的停止位置要求不高的情况。橡胶缓冲垫的硬度在 HS50-75。

气缸配直线导轨

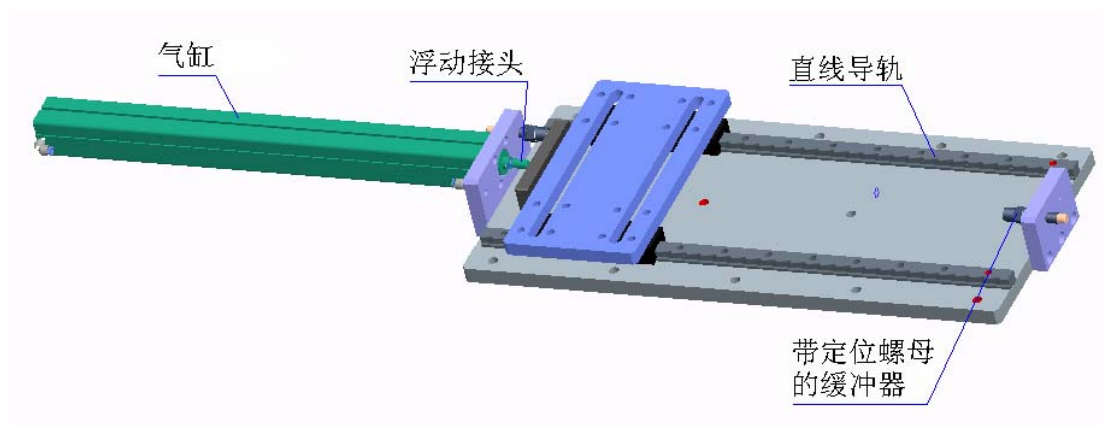


图 3.2-3-1



图 3.3-3-2

同样，气缸配直线导轨的结构方式也是在自动化设备中常用的结构。这里，需要说明一下的是：在图 3.2-3-2 中这种直线导轨的安装方式，在这种双导轨的结构中，在导轨行程不长、对运行精度要求不高的情况下可以通过这种以加工保证导轨平行度的方法进行装配。关于精密设备中有很高精度要求的直线导轨的装配方法我们将在后续章节中予以专门介绍。

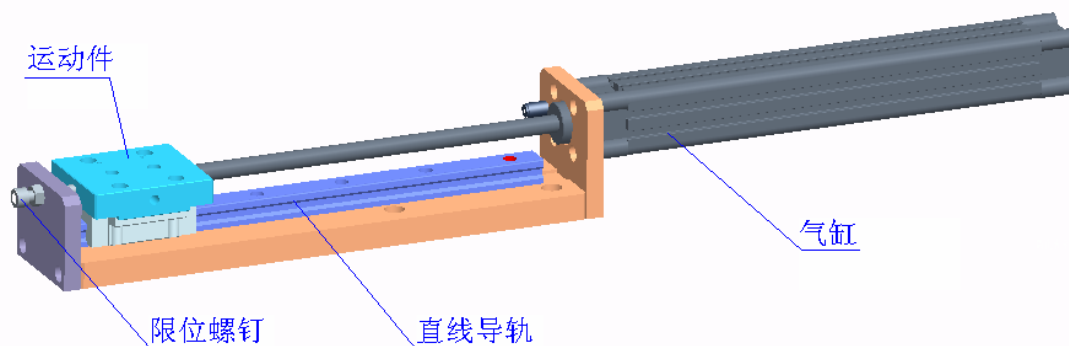


图 3.2-4

如图 3.1-9 所示，当运动部件尺寸较小且对于直线导轨的横向扭矩不大的时候，我们也可以只配置单条直线导轨。单条直线导轨安装就非常简单了，通常的做法是：在安装底座上直接加工一条直线导轨安装槽即可。

气缸在快速夹具中的应用

在现代工厂自动化设备中，夹具始终是设备的一个重要组成部分，其重要作用不言而喻。任何产品的加工、装配都离不开装夹、定位。而气缸则由于其本身的特点和优势——以非常简单的方式实现直线往复运动功能，而且其控制方法非常简单，这也就成为各设计师通常首选其作为自动夹具驱动器件的理由。当然，需要指出：自动夹具的驱动也并不仅由气缸驱动，很多场合也使用液压缸和电机驱动。因此，其在夹具中的使用也就成为其使用领域的重头戏之一。由于其在各种装夹场合的使用非常广泛，结构形式变化多端，现就其最典型的应用——在快速夹具中的使用做一介绍。快速夹具是利用机构的死点进行自锁的夹紧装置，在现代工厂中使用非常广泛。它通常被使用在半自动设备或全自动设备中对被加工产品或者产品的夹具进行夹紧。

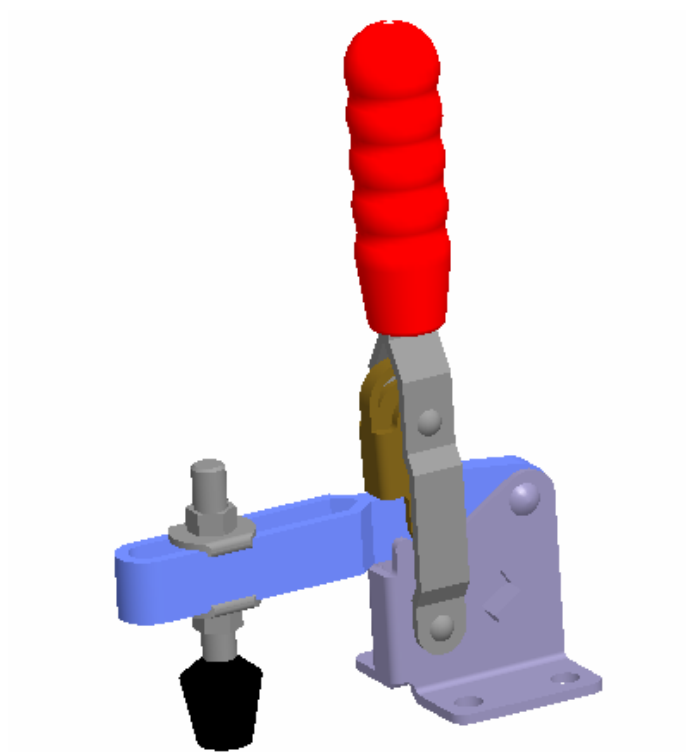


图 3.2-5

图 3.2-5 所示为工装夹具中经典的快速夹具结构形式，此类夹具依靠机构的死点自锁。依照这种机构的设计方式，我们可以很轻松的对此略加演化，加上气缸实现快速夹具的自动夹紧、松开操作。如下图：

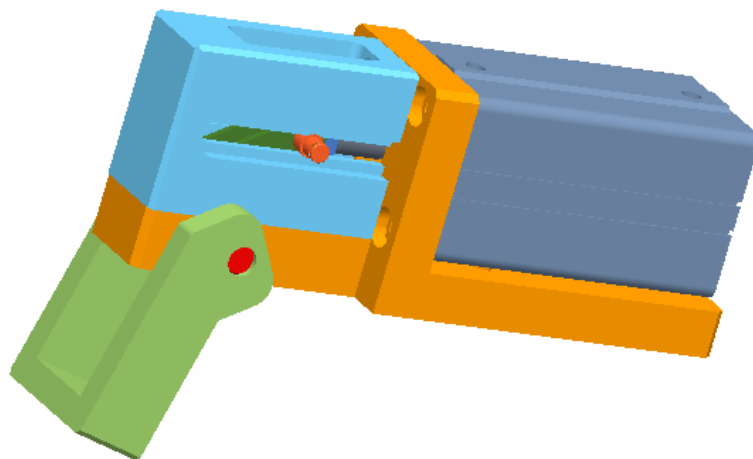


图 3.2-6-1

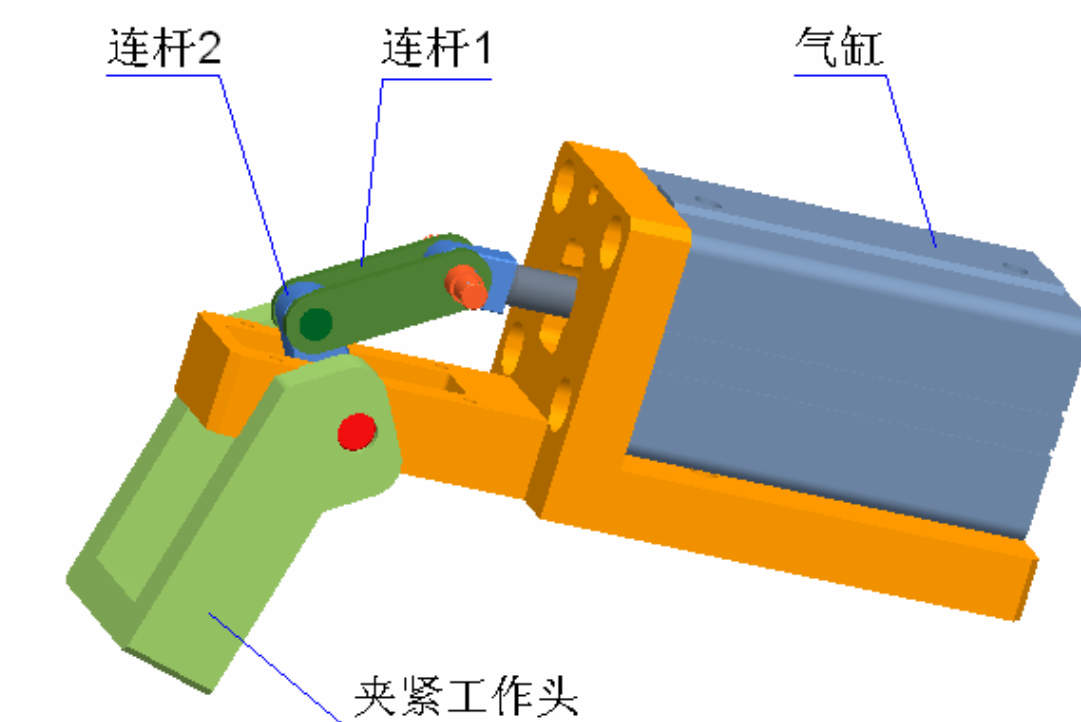


图 3.2-6-2

如图 3.2-6-2 所示结构即依照图 3.2-5 所示的经典快速夹具所演化而来，这也是气缸在快速夹具中使用的典型范例。本例所揭示出来的结构方式还可以通过改变夹紧工作头的机构来实现不同方向的快速夹紧。另外，也可以通过槽凸轮的形锁合结构来实现自动快速夹紧的功能。如图 3.2-6-3 所示，其中，凸轮槽需要根据夹具的实际使用行程进行设计，同样，气缸行程也需根据实际需要选择。请诸位多多揣摩。

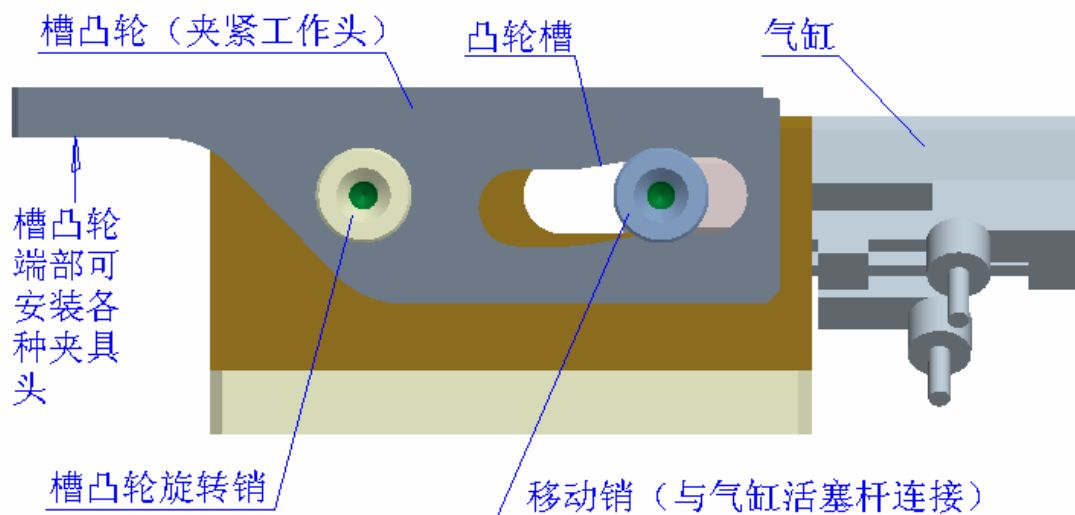


图 3.2-6-3

显然，图 3.2-6-3 所示的机构根据凸轮槽曲线的设计不同，也可以具有自锁功能。设计师最重要的素质就是要能在熟练掌握基本知识、基本机构、基本结构

的前提下做到举一反三，善于将这些基本知识和基本机构进行演化而使其在不同场合能得到适当的运用。请诸位相信：不论多么复杂的设备，都是一些基本机构的叠加和综合运用的结果。比如，我们在图 3.2-6-1 和图 3.2-6-3 中所介绍的两种不同的气缸驱动的夹具也能通过适当的演化而得到几种不同形状和结构的抓手。当然，由于现在大多数气动产品厂商都能生产非常精致的手指气缸（气爪），所以在一般情况下我们不提倡舍易就难的使用直线气缸驱动复杂的机构去抓取产品，但这却是我们锻炼自己思路的一种方式，诸位不妨一试，看看自己能够通过直线气缸设计出来几种不同的气动抓手。

气缸在步进送料系统中的应用

步进送料对于现代自动化设备具有重要的意义，由于产品的加工装配都需要一定的时间，所以大多数设备都采用的是：送料→加工→送料→加工这样的间歇循环工作方式。所以，多数的间歇运动机构都是为这种工作方式服务的。间歇运动机构不可胜数，本节类容只介绍两种典型的由气缸驱动的步进送料模块。

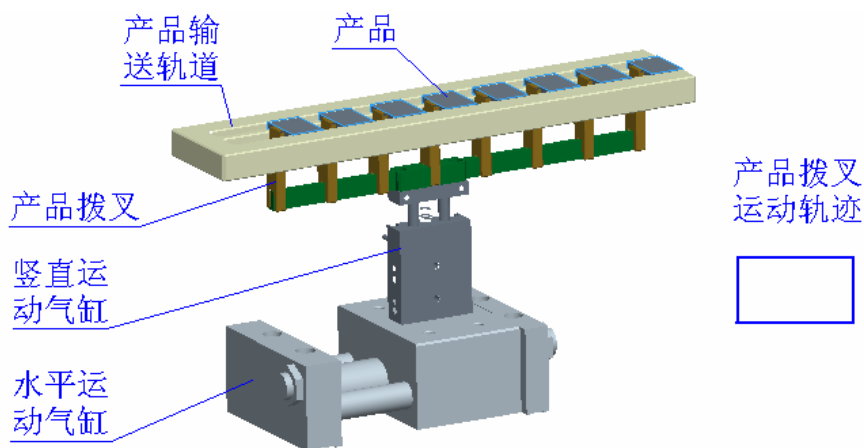


图 3.2-7

显然，本范例的结构非常简单：是由两个直线运动气缸在 XZ 方向的简单叠加，犹如堆积木一样。其运动轨迹为矩形，被输送的产品由此在轨道上被步进输送到每个工作位置。

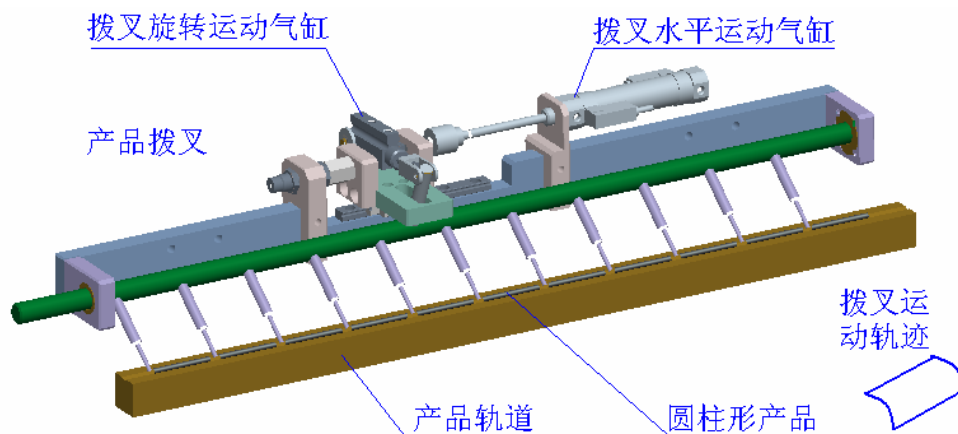


图 3.2-8

图 3.2-8 所示较图 3.2-7 所示范例机构略为复杂，其产品拨叉端部运动轨迹为空间曲线，其机构通过两个直线运动气缸在 XU 方向的叠加驱动产品拨叉形成步进送料机构。

通过以上两个步进送料机构的介绍，显然可以看出：步进送料也可以用于以短行程执行机构实现物料的远距离输送，这也是工厂自动化设备中常用的远距离输送方式。以上介绍的是两种典型的运用气缸进行步进送料的机构。其相对于齿轮连杆机构、连杆机构、槽轮机构、棘轮机构、凸轮机构等各种间歇运动机构来说：具有结构简单、零件少、柔性高（可以通过调节限制气缸行程限位螺钉或者缓冲器限位螺母来调节产品拨叉的行程）的优点。所以，气缸在步进送料方面的应用也是非常广泛的。当然，其相对于其他间歇机构来说也具有诸多不足之处，最为显著的是：因为以上两种步进送料机构都是由两个气缸驱动，气缸动作次数多且是串联运动方式，所以，运动所需的时间长，降低生产效率。

气缸驱动齿轮齿条将直线运动转换为旋转运动

在很多情况下，需要将直线运动转换为旋转运动，考虑到气缸本身的特点，我们可以选择如图 3.2-9 的机构使之设计简单、加工制造方便、控制容易。

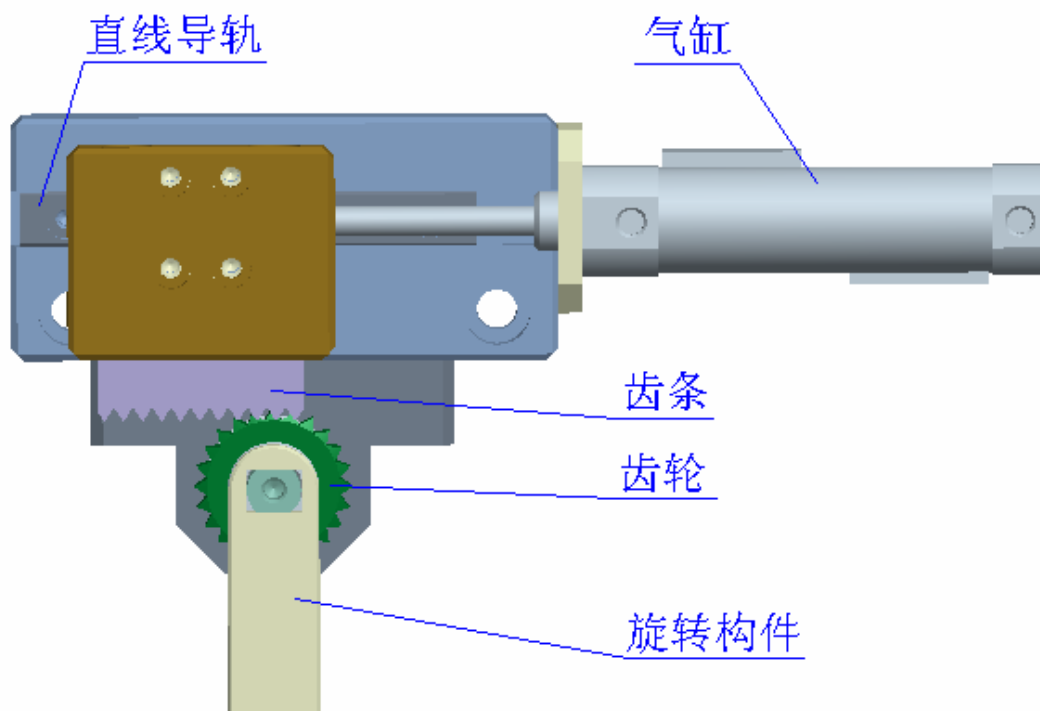


图 3.2-9

以上介绍了常用的普通直线气缸的结构设计模块，以上介绍的气缸结构都是基于单轴方向的运动结构。如果在需要多轴运动的情况，如 XY 方向、YZ 方向、XYZ 方向、XYZU（U 即代表旋转方向）方向等多轴运动，则基本上以上单轴气动单元加上旋转气缸等的简单叠加即可。其余诸如旋转气缸、夹爪气缸等的使用非常简单，则不做一一介绍。气动系统由于其结构简单、容易控制的特点，在现代工厂自动化设备中使用非常广泛，诸位有必要熟练掌握其使用方法和场合。

第三节 常用的电动机构模块设计

电力驱动原件始终是设备的主流动力部件，电力驱动原件实际上应该包含电机和电磁铁，考虑到电磁铁应用场合相对较少且有不少专著阐述其应用，所以本节类容主要讲述电机驱动机构的典型应用。相对于气动液压产品而言，电机具有响应速度快、效率高、动力参数调节控制方便的特点。

从机构学理论来说，只要设计合理电机几乎可以驱动所有的机构执行任何动作。机械技术发展到如今，已经有浩如烟海各类专著和典籍阐述各种机构和结构。鉴于这个原因，本节类容只关注在工厂自动化的工程实践中最为普遍和常用的一些结构和机构，并介绍其在工程实际应用中对于初级设计师来说最容易忽视和最容易出错的问题。

步进电机驱动滚珠丝杠+直线导轨的直线运动机构

滚珠丝杠由于传动效率高、发热小、精度高、易于实现高速运动，所以，被广泛的应用于各种机床、工业设备和精密仪器中。直线导轨又称线轨、滑轨、线性导轨、线性滑轨，用于直线往复运动场合，拥有比直线轴承更高的额定负载，同时各个方向都可以承受一定的扭矩，可在高负载的情况下实现高精度的直线运动。所以，步进电机（或伺服电机）驱动滚珠丝杠+直线导轨的直线运动机构是在各类设备中使用最为广泛的一种精密直线运动机构。诸位务必要将其结构设计方法烂熟于心。下面，我们将介绍其中最为经典的结构和直线导轨的安装调试方法。

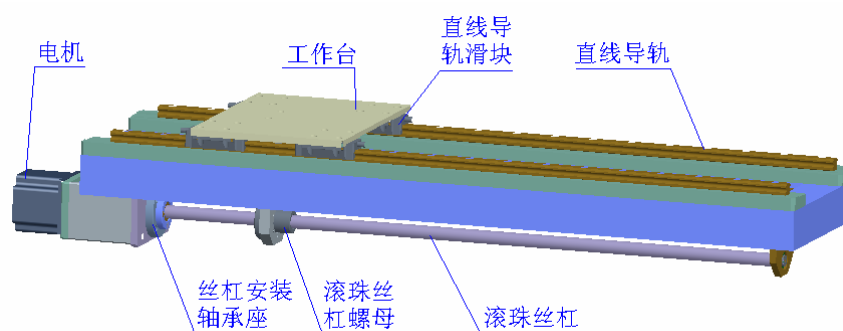


图 3.3-1-1

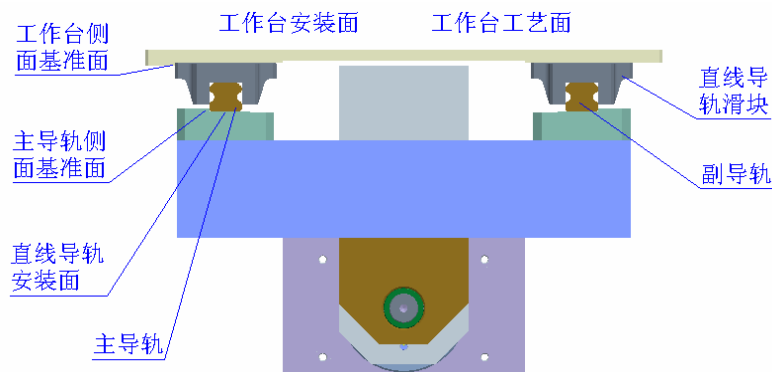


图 3.3-1-2

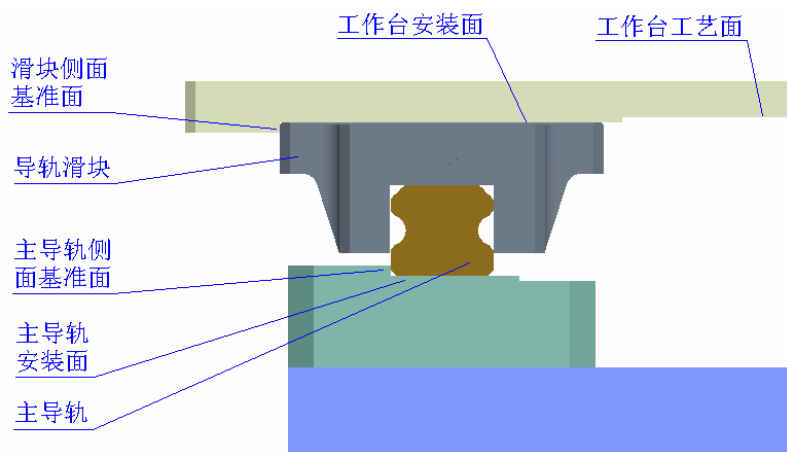


图 3.3-1-3

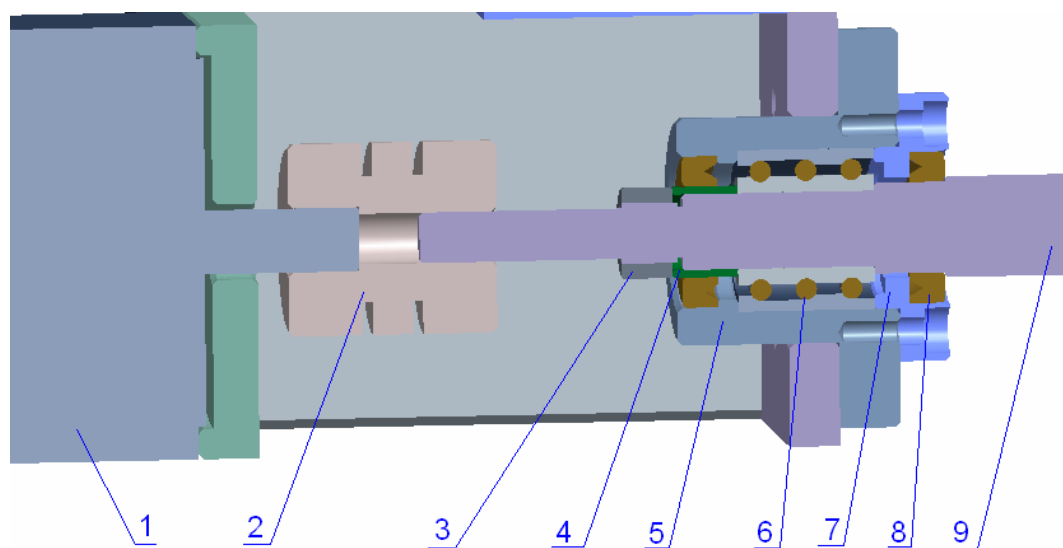


图 3.3-1-4

- | | |
|---------|-----------|
| 1: 电机 | 6: 角接触球轴承 |
| 2: 联轴器 | 7: 轴承端盖 |
| 3: 锁定螺母 | 8: 密封圈 |
| 4: 间隔套 | 9: 滚珠丝杠 |
| 5: 轴承座 | |

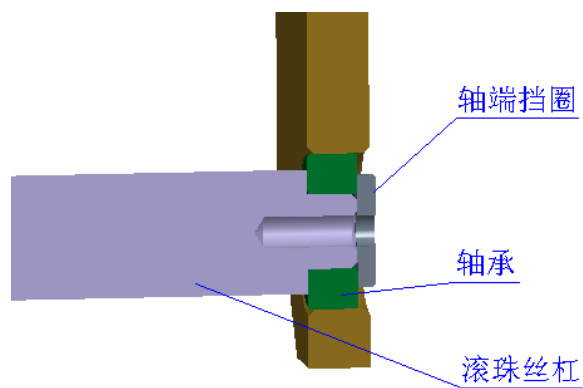


图 3.3-1-5 (滚珠丝杠末端)

上面 5 张图片给出了自动化设备中最为常用的步进电机（或伺服电机）+滚珠丝杠+直线导轨驱动工作台的结构方式。此处所说的最为常用的机构方式指的是：图 3.3-1-3 中直线导轨的安装方式、图 3.3-1-4 中滚珠丝杠的安装方式、图 3.3-1-5 中丝杠导轨末端安装方式。

注意：图 3.3-1-4 中所示的滚珠丝杠的驱动端安装方式中选用的是角接触球轴承，其原因是因为本机构中滚珠丝杠的主要负载为轴向负荷，同时也要求工作台能够高速运行，而角接触球轴承正好是满足这样的条件。角接触球轴承需要相向或相对安装，图中给出的是常用的安装方式，如有特别需要可以查阅相关资料或咨询轴承供应商设计安装方式。图 3.3-1-5 中滚珠丝杠末端安装的轴承可根据实际情况选用深沟球轴承或者调心球轴承。

下面，我们重点描述一下直线导轨的装配方法。

图 3.3-1-3 中所示的结构为工程中最为普遍的要求有高精度和高刚性运行状态的直线导轨的装配方式，其安装步骤如下：

- 1: 使用油石仔细清理干净安装面的毛刺、伤痕、杂物；
- 2: 使用标准直尺检测安装面的平面度，若平面度不符合要求则需要修整安装面或者对安装面进行适度地刮研；
- 3: 打开直线导轨包装，使用清洗油将直线导轨上的防锈油清理干净；
- 4: 将直线导轨轻放在安装座上后，带上装配螺钉（不拧紧装配螺钉）后，将直线导轨与底座上主导轨侧面基准面轻微靠紧。

注意：如果所购买的是非互换性直线导轨，则要求选择基准导轨（通常，供应商会在基准导轨上做好标记）安装在主导轨安装面且有标记线的一侧与主导轨侧面基准面对应；互换性导轨则可以任选一条安装在主导轨安装面。

5: 用虎口台钳锁紧直线导轨，使直线导轨有基准标记的一面与主导轨侧面基准面靠紧；

6: 使用扭力扳手按照规定的力矩按顺序锁紧装配螺钉。

注意：装配螺钉锁紧顺序应为从中间向两端的顺序。

7: 将主导轨（基准导轨）的两个滑块固定在工作台上（注意先使滑块的侧面紧靠滑块侧面基准面后才可以锁紧安装螺钉），将副导轨（从动导轨）及其上的滑块分别临时固定在安装底座上和工作台上。

8: 将千分表吸附在工作台上靠副导轨一侧，千分表的测量端子与副导轨上的滑块接触，从直线导轨的一端向另一端缓慢移动工作台，一边调整副导轨与主导轨之间的平行度，一边按顺序由轻到重的紧固装配螺钉。

9: 重复第 8 步数次，直到调整好副导轨与主导轨之间的平行度并按规定的扭矩锁紧直线导轨为止。

注意：第 7 步到第 9 步为安装副导轨的步骤。通常，如果是批量生产的设备，工厂也使用专用的工装完成这个步骤，则非常节约工时。

10: 使用第 8 步的方法锁紧副导轨上的滑块。

直线导轨的安装是一项非常需要经验和耐心的工作，一旦直线导轨安装不好，则机器运行精度则无从谈起。通常，在设备有振动或者冲击的情况下，直线导轨侧面（双导轨侧）需要设计有止动螺丝，如下图所示。

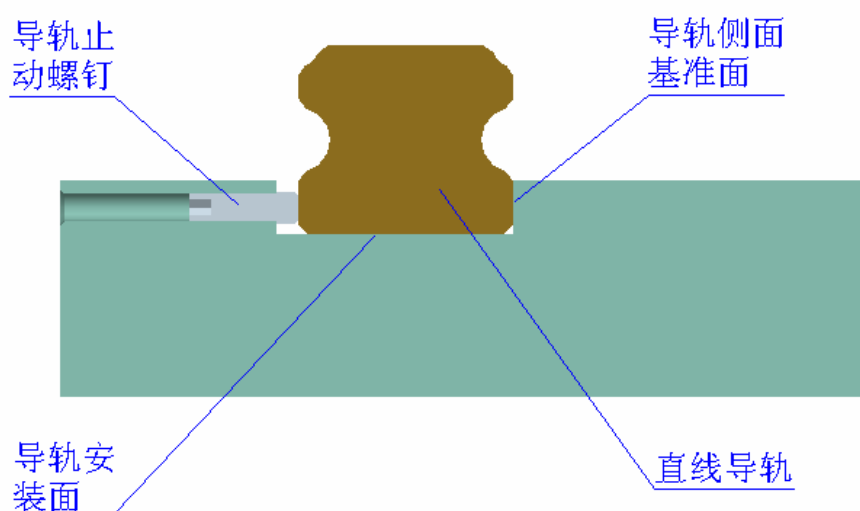


图 3.3-1-6

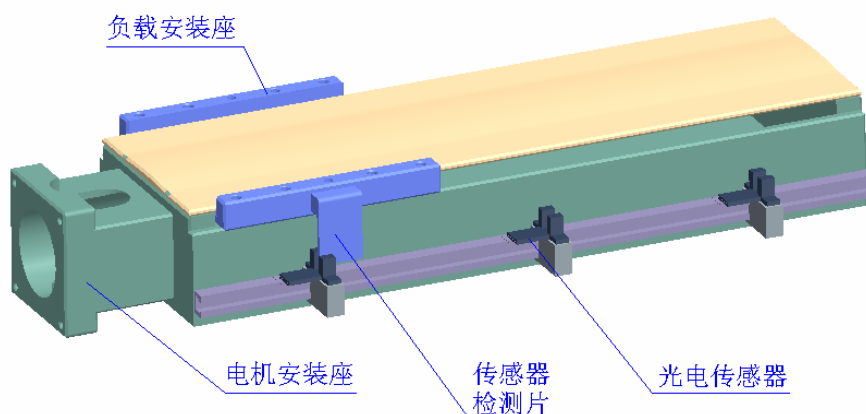


图 3.3-2

现在，市场上有不少厂家将这种滚珠丝杠配直线导轨的机构集成为一个标准组件——单轴机械手（Single Axis Actuator），如图 3.3-2 所示。这样看起来结构紧凑、外形美观，而且由于供应商为大批量的标准化生产，成本低廉。通常，不同的厂家都有不同精度等级的单轴机械手提供，非常适合中小负载的场合使用。现在，越来越多的设计师选择这种标准件代替自己设计制作，一方面可以降低成本，另一方面可以节约时间。通常，这种单轴机械手配有 3 个传感器，它们分别是：两端的极限传感器和中间的原位传感器（初始位置传感器）。所以，可以直接在上面安装步进电机或伺服电机构成开环或半闭环控制系统；如果是高精度使用场合，也可以自己配置磁栅尺或光栅尺构成全闭环系统。

需要注意的是：由于滚珠丝杠的运动是可逆的，所以，滚珠丝杠机构在竖直使用的时候——出于安全的考虑——需要设计防逆转机构或者自动锁紧装置。通常的做法是：1、在滚珠丝杠与电机之间增加蜗轮蜗杆减速机或者超越离合器；2、使用带刹车的电机；3、设计自动锁紧机构，如：电磁锁紧夹具或气动夹具；4、增加负载重力平衡装置。

步进电机驱动同步带+直线导轨的直线运动机构

同步带传动是由一条内周表面设有等间距齿的环形皮带和具有相应齿的带轮所组成，运行时，带齿与带轮的齿槽相啮合传递运动和动力，它是综合了皮带传动、链传动齿轮传动各自优点的新型带传动。由此可见，同步带具有如下的特点：

- (1) 传动准确，工作时无滑动，具有恒定的传动比；
- (2) 传动平稳，具有缓冲、减振能力，噪声低；
- (3) 传动效率高，可达 0.98，节能效果明显；
- (4) 维护保养方便，不需润滑，维护费用低；
- (5) 速比范围大，一般可达 10，线速度可达 50m/s，具有较大的功率传递范围，可达几瓦到几百千瓦；
- (6) 可用于长距离传动，中心距可达 10m 以上。
- (7) 相对于 V 型带传送，预紧力较小，轴和轴承上所受载荷小；

正是由于同步带具有上述这些特点，所以在工厂自动化设备中得到了广泛的运用。显然，同步带具有三种主要应用方式：(1) 传递旋转运动；(2) 拖动工作台或者机械手做直线往复运动；(3) 传输产品时做输送带使用。

由于在圆周运动的传动中，同步带的使用结构与普通皮带相似，勿需我们做太多的说明；上述第二种与第三种应用都属于直线运动应用，下面，我们要关注的是同步带在直线运动场合的使用方法。当然，在直线运动场合中，它相对于滚珠丝杠来说最大的缺点就是传动精度相对较低；但是，它相对于滚珠丝杠来说，也具有安装精度要求低，减震性能好、成本低廉的明显优势。图 3.3-3 所示为同步带直线往复运动机构的典型结构。

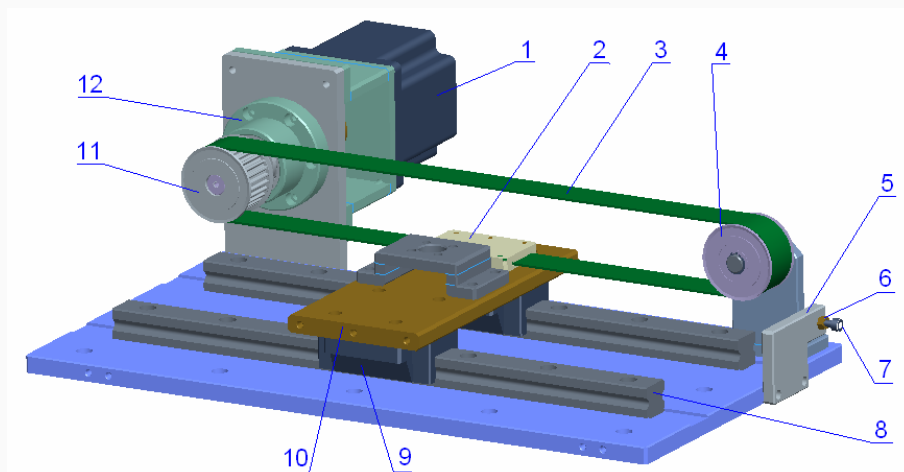


图 3.3-3

- | | |
|---------------|------------|
| 1: 驱动电机 | 7: 张紧螺钉 |
| 2: 同步带齿形压板 | 8: 直线导轨 |
| 3: 同步带 | 9: 直线导轨滑块 |
| 4: 同步带惰轮(从动轮) | 10: 工作台 |
| 5: 同步带张紧板 | 11: 同步带主动轮 |
| 6: 张紧螺钉防松螺母 | 12: 主动轮轴承座 |

注意：上图中同步带从动轮为惰轮，带轮中转配有轴承。使用惰轮做从动轮的优点是支撑座结构简单，节约加工成本和装配成本。

同步带的选型计算方法与普通皮带相似，各参数根据供应商提供的样本目录确定。其主要计算参数也就是皮带能够传递的功率容量。

安装同步带时需要注意：安装同步带时，必须先将带轮的中心距缩短，装好同步带后，再使中心距复位。张紧时张紧力适中就好，勿需过度张紧。

关于皮带结构的设计问题，这里顺便说一下：在使用平皮带的时候，通常需要将带轮设计成中间大，两头小的鼓型，这样才能防止皮带跑偏。

步进电机驱动齿轮齿条的直线运动机构

齿轮齿条机构也是一种在工业上广泛使用的将旋转运动转换为直线运动的机构，它具有高精度、高负荷、高刚性、高速度等特点。所以，通常各类机床以及需要快速精确定位的设备中使用，最为典型的应用就是龙门铣床中的主轴移动机构。所以，诸位也非常有必要详细了解其设计使用方法。

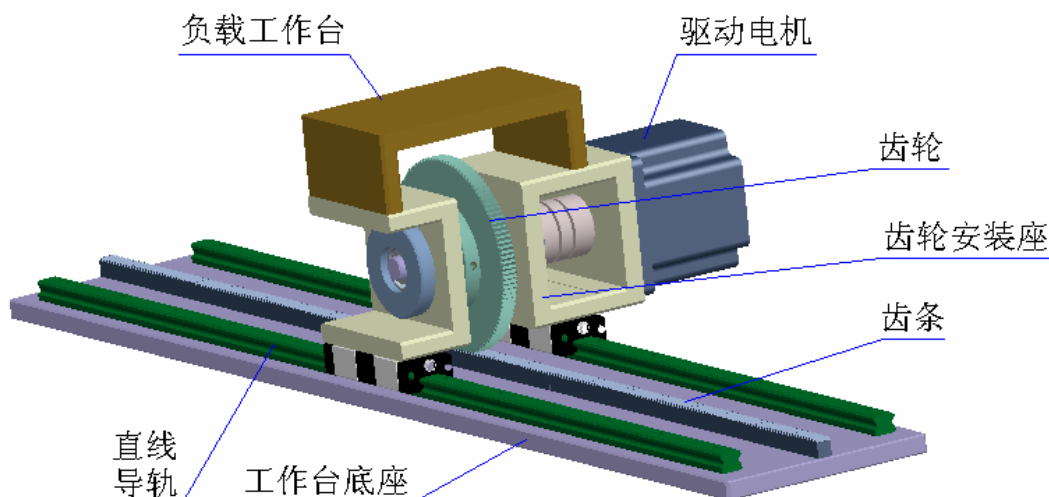


图 3.3-4

如图 3.3-4 所示，这是齿轮齿条在工厂自动化设备中常用的结构，图中负载工作台和工作台底座可以互换，即也可以用图中所示的负载工作台作为工作台底座固定不动而让图中所示的工作台底座做负载工作台在齿轮的驱动下做直线往复运动。需要注意的是：当选择不同工作台作为负载工作台时，在计算负载惯量时需要计算的负载质量的部件选择要正确。

我们把图 3.3-4 中所示的机构略加变化即可形成图 3.3-5 所示的机构。

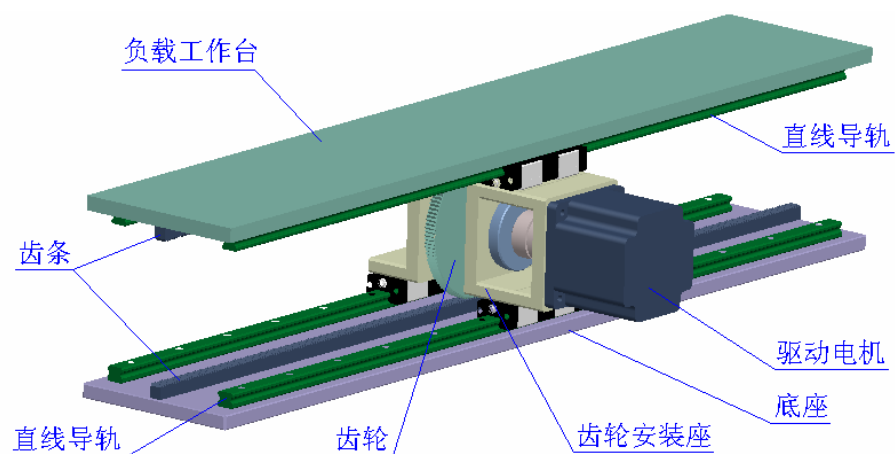


图 3.3-5

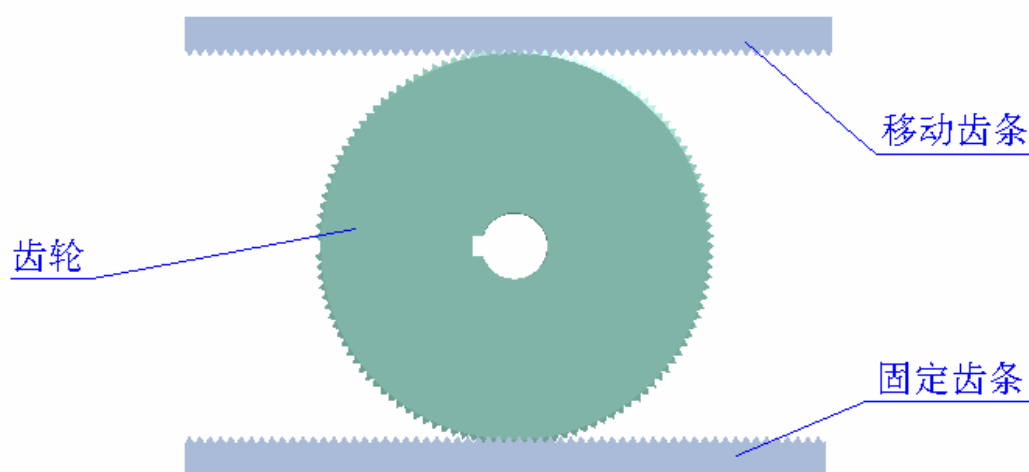


图 3.3-6

图 3.3-6 所示为图 3.3-5 的传动机构简图，由图 3.3-6 可以看出：这是一个行程放大机构，移动齿条的行程是齿轮行程的两倍。如果将图 3.3-6 中所所示的机构再做进一步的变换可以得到如图 3.3-7 中所示的机构简图。

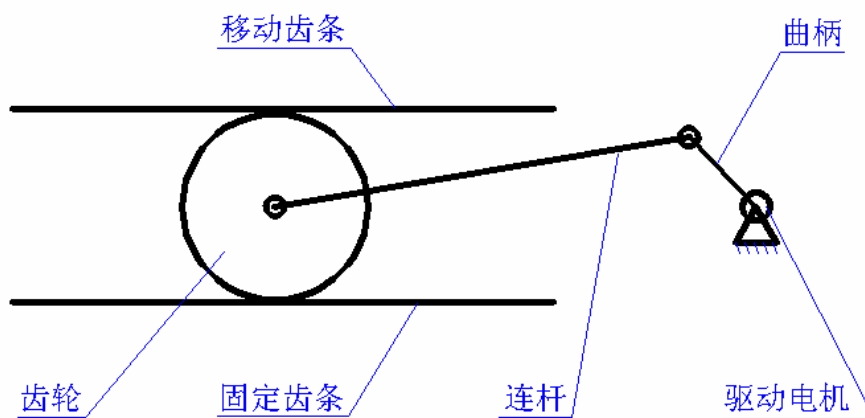


图 3.3-7

如图 3.3-7 所示, 由 3.3-6 变换之后的机构中移动齿条的行程是曲柄长度的 4 倍。

上面介绍了自动化设备中常用的电机驱动原件: 滚珠丝杠、同步带和齿轮齿条常用的结构方式。请诸位注意: 我们提到的是“常用”二字, 在实际使用过程中, 应该根据设备自身的功能、结构、工况等具体工程环境在常用结构的基础上进行变化和创新设计, 切不可拘泥于任何书本上见到的现成的东西。灵活运用、随机应变是一个机械设计师基本素质, 也只有这样设计出来的设备才是最适合自己使用工况的设备、最合理的设备。

倍速链基础知识

接下来我们简略地介绍一下在现代工厂自动化流水线中广泛使用的一种输送链——倍速链。在自动化流水线中使用的物料输送主要有两种: 皮带输送和链输送。而皮带和普通的滚子链在各类教材中都有详尽的解说, 在这里我们只是简单的介绍一下教材中没有提到的而工厂中广泛使用的倍速链。倍速链通常也被称为: 自由节拍输送链、差速链、差动连, 工程上较为普遍的叫法是倍速链。如图 3.3-8 所示为实物图, 图 3.3-9 所示为结构图。



图 3.3-8

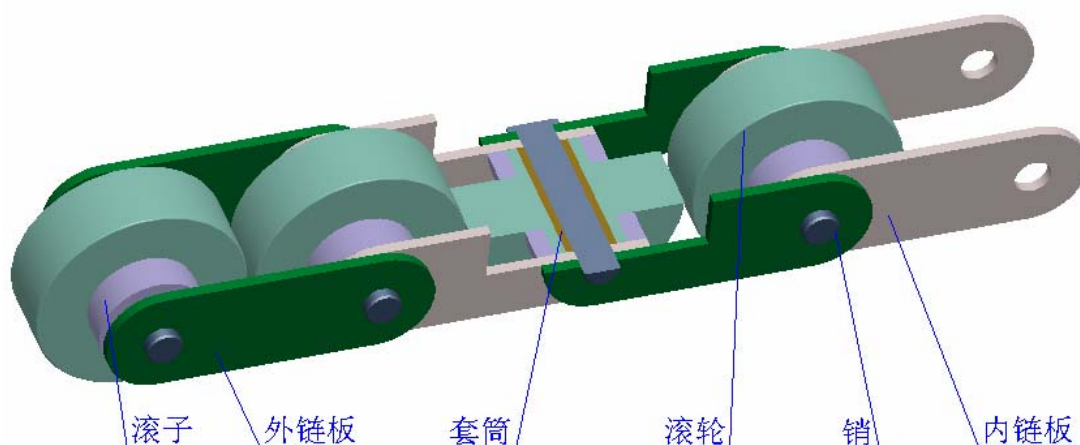


图 3.3-9

下面我们介绍一下其具体结构, 诸位只需要有一个大致的了解就可以, 只要在实际使用中有这么一个东西就好了。因为, 现在市场上有很多链传动供应商都

能提供倍速链线，而且因为其专业设计生产这类产品，所以他们能做得非常精美而且价格便宜。所以，诸位如果不是在链条制造企业做流水线体设计，大可不必花费精力钻研。我们在这里做介绍的目的也只是对学校教材的内容做的一点补充而已，让诸位对其特性有一个了解，知道在什么时候需要使用这个产品。

由图 3.3-9 中可以看出，倍速链结构与普通的滚子链结构类似，其主要结构件有 6 种：外链板、内链板、销、套筒、滚子、滚轮。

通常，滚子和滚轮都是由工程塑料制作而成的。当然，重载或者有特殊要求的时候除外。

在连接上：销与外链板采取过盈配合方式；销与内链板为间隙配合；销与套筒采用间隙配合方式；套筒与滚轮之间也采用间隙配合方式，以使它们之间能够相对转动；滚轮与滚子之间也采用间隙配合方式，以使它们之间能够相对转动，降低工作时相互之间的磨损；

在实际使用时：通常倍速链滚子由专用的铝型材支撑，而滚轮上面则放产品或者工装夹具，在各工位可以配置阻挡装置挡停并定位工装夹具或者产品而链则可以连续运行。而现在工厂通常使用的阻挡装置都是一款专门为流水线设计的阻挡气缸，如图 3.3-10 所示。

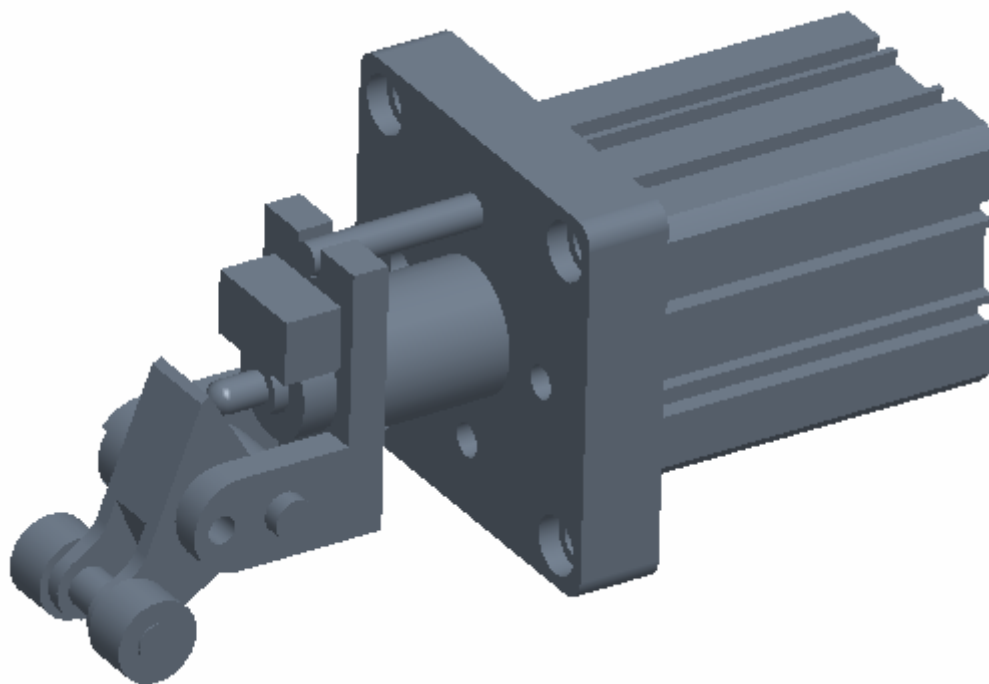


图 3.3-10

倍速链输送具有以下优点：

1：链条以低速运行，而被输送的产品或者工装夹具能获得成倍于链条速度的移动速度（通常，倍速链设计增速为：产品移动速度为链条速度的 2.5—3 倍），提高输送效率。

2：因为倍速链滚轮与被输送产品之间为滚动摩擦，所以，倍速链可以以恒定速度连续运行而被输送产品可以在任意位置停止而不损坏链条。所以，我们可以采用三相异步交流电机驱动，控制简单、成本低廉。这些正是流水线生产所期

望的。

3: 因为滚轮通常由塑料制作, 所以, 运行平稳、噪音低、耐磨损。

正是基于其具有以上三大优点, 所以, 在工厂流水线中使用非常广泛。流水线的工作方式和原理也是工厂自动化设备设计的重要参照。所以, 有机会的话, 诸位可以多看看各种不同产品的流水线, 仔细揣摩其中的道理。

第四节 产品工装夹具设计

本节内容，我们讲述产品工装夹具的设计。任何产品要在设备中进行各种加工都必须满足这样一个基本条件：设备、工作机构、夹具、产品之间具有正确的位置关系。由此，可以看出：工装夹具的作用就是找到并保持这种关系。所以，工装夹具在设备设计中是至关重要的一环。这也是我们把工装夹具设计单独拿到这里作为一个模块设计的环节的原因。当然，工装夹具本身是机械方向的一门专业课程，我们在这里不可能详细阐述这么庞大的内容体系。在这里，我们主要想描述几种典型产品在工业自动化设备设计中的装夹方法，希望诸位能通过这些示例琢磨出一些自己的心得体会。关于工装夹具设计的详细地理论知识请诸位参阅《工装设计》一书。

通常在工业自动化设备领域，工装夹具应该包含有两种：一种是作为自动化设备内部组件的产品夹具；一种是设备生产装配过程中的专用装配工装夹具。我们说的工业自动化设备中的工装夹具实际上包含有两个方面的内容：定位和夹紧。定位是指能够给工件一个合适的位置和要求的方向。夹紧指的是能将工件固定在夹具上，在设备运行或者操作过程中不得有任何不被允许的位置变动。

说到定位，就必须有几个概念需要提起：定位基准、定位方法、定位精度。其中，定位方法的基本原则就是我们通常说到六点定位原理；定位基准则需要根据产品的性状合理地选择；定位精度则是根据设备对于产品的加工要求确定。

通常，产品的定位基准一旦确定，产品的其他位置也就随之确定。而为了减小定位误差，我们选择的定位基准通常是优先考虑工序基准，这就是我们常说得基准重合原则。

所谓六点定位原则指的是我们在定位任何一个产品的时候，使用六个简化的支撑点限制工件在三维空间的六个自由度。工件的六个自由度指的是：X、Y、Z三个方向的平移自由度和 X、Y、Z 三个方向的回转自由度。那么，通俗地说：这个六点定位原则就是要求工装夹具能够将产品完全约束，不能过约束，也不能欠约束。

那么，要确定定位精度，首先必须要分析清楚定位误差。我们必须清楚地知道定位误差来源才能确定定位精度。通常定位误差来自于两个方面：基准不重合误差和基准位移误差。基准不重合误差就是我们前面提到的定位基准与工序基准不一致导致的定位误差；基准位移误差就是工装夹具限制产品自由度的限位面与我们选择的产品的定位基准面之间在产品被加工方向上的最大变动量。

另外，工装夹具作为自动化设备中的部件，必须具有足够的强度和刚度以保证其对于产品的定位精度和重复精度。所以，定位部件的材料硬度通常要求大于产品材料硬度；但是，通常为了实现对产品的保护，我们在夹紧装置中使用的限位部件材料硬度被要求低于产品的材料硬度。当然，还是老生常谈，在工程实践中任何原理原则不是万能的，必须要具体问题具体分析，灵活运用基本原理解决实际问题工程师的工作准则。

在工厂自动化设备中，产品夹具中的夹紧装置通常非常简单，使用的最多的是如图 3.2-6-1 中所示的快速夹系列产品。在这里我们将不做过多赘述。

下面，我们来看看工业自动化设备中的常见形状产品的定位方法。

圆柱形产品的定位

通常，圆柱形产品的定位方法有以下几种：V形块定位、弹性夹头定位、三爪卡盘定位、锥度顶针等。显然，这几种定位方式中，产品的定位基准都是圆柱的轴线。

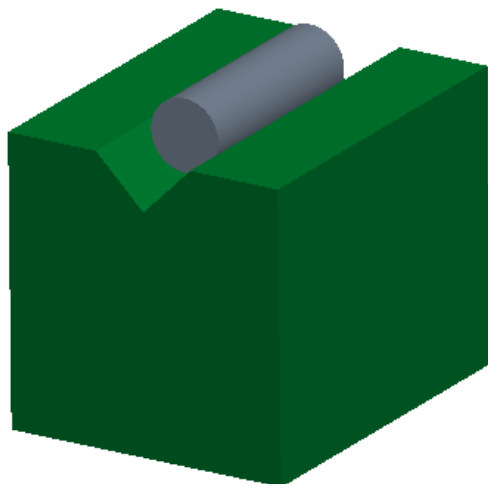


图 4.2-1

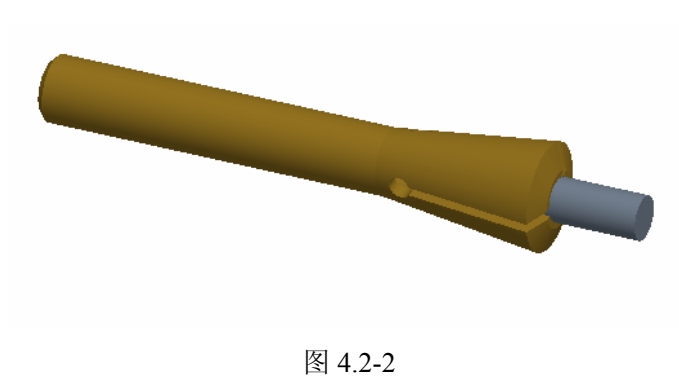


图 4.2-2

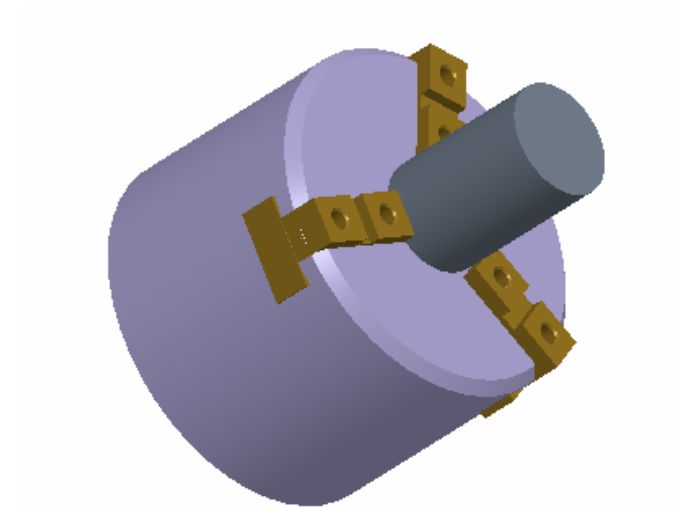


图 4.2-3

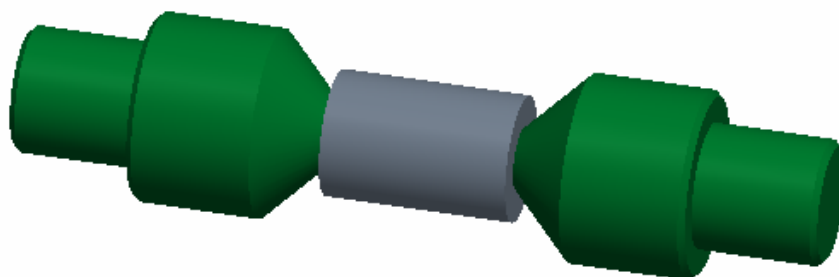


图 4.2-4

上面 4 张图片中显示的是在夹具设计中所通用的圆柱形产品的定位方式。实际上，在工程实践中，我们所遇到的不总是这样的教材中的样本，这就是我们需要使用这样的通用办法和基本原理去解决实际生产中的问题。前面说了夹具定位通常也包含定向的问题，请看下图：

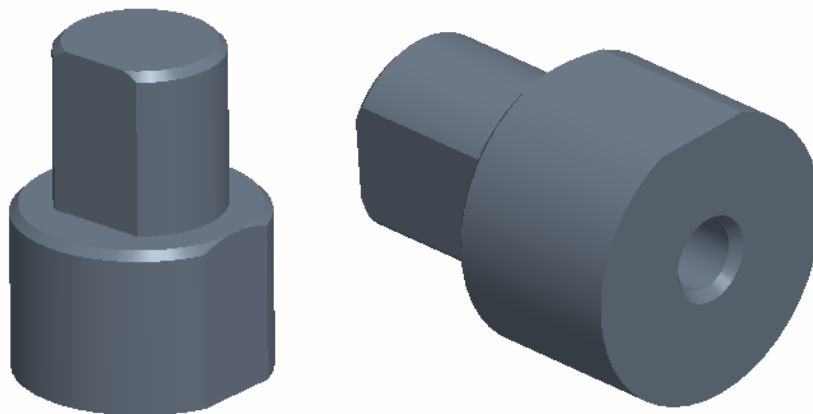


图 4.2-5

如图 4.2-5 所示的产品具有非常明显的方向性，那么我们的定位装置则要求能够定向防错。也就是说产品只有唯一正确的方向才能被放进夹具内，以保证加工的正确性。那么我们的夹具定位设计就应该如下图所示：

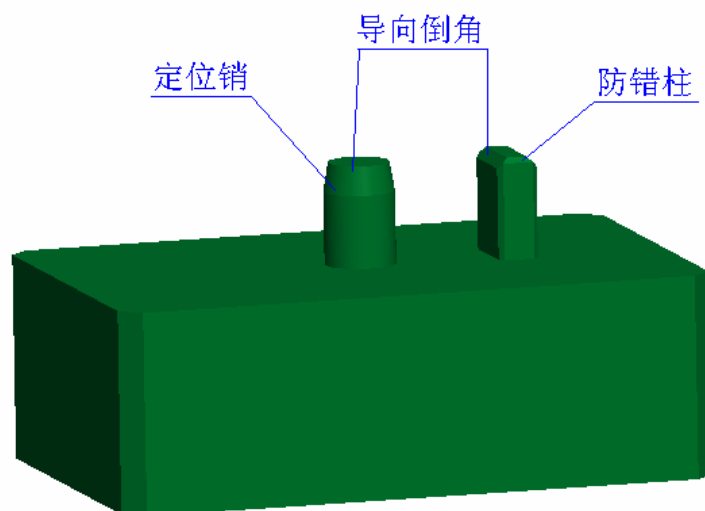


图 4.2-6

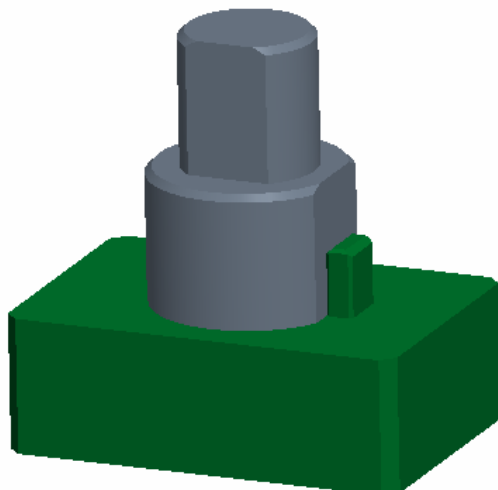


图 4.2-7

注意图 4.2-6 中，夹具定位装置都有明显的导向倒角，这就是为了方便自动化设备中的产品自动放入而专门设计的。

在这里，提到了一个概念：防错设计（Error-Proofing Design）。顾名思义，所谓防错设计就是使用硬件或软件上的技术手段识别自动化设备中在运行过程中人为的或者设备自身的错误，防止由这些失误导致的严重后果。对于工装夹具设计来说，其意义就是善于利用产品本身的外形特点合理设计夹具中的定位定向装置，使产品只能以唯一被要求的正确的姿态进入工装夹具内并被正确定位夹紧。

通过上面的示例，我们可以清晰地看出：规则的产品很容易通过六点定位原则设计定位装置。所以，在这里我们不再重复列举其他规则形状的产品定位设计，如有需要，诸位可以去查阅相关专著。

异形产品的定位夹紧设计

异形产品的工装夹具设计最难点的地方在于找出合适的定位基准，而且，我们在设计异形产品的定位装置的时候通常需要定位原件仿形加工——即定位原件的限位面形状完全复制产品的定位面形状。当然，随着自动化生产要求日益强烈，现在越来越多的异形产品在设计之初已经考虑到自动化生产的定位要求，会设计专用的定位基准面。如下图所示：

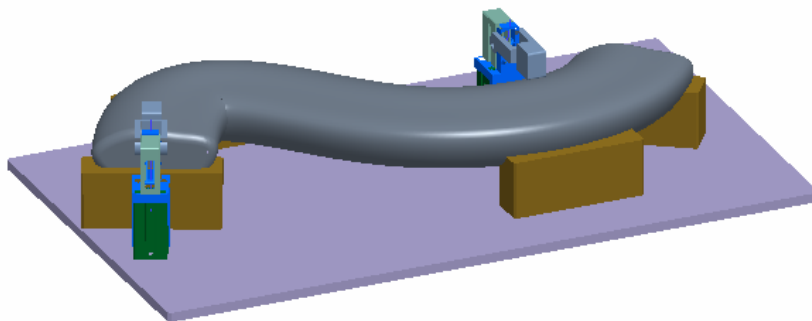


图 4.2-8

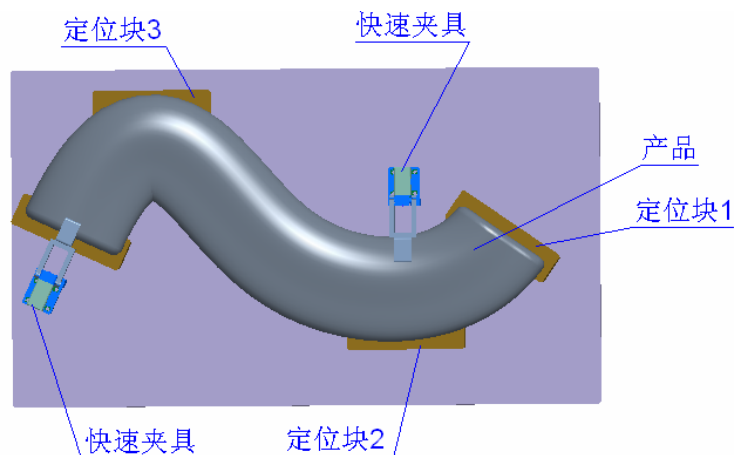


图 4.2-9

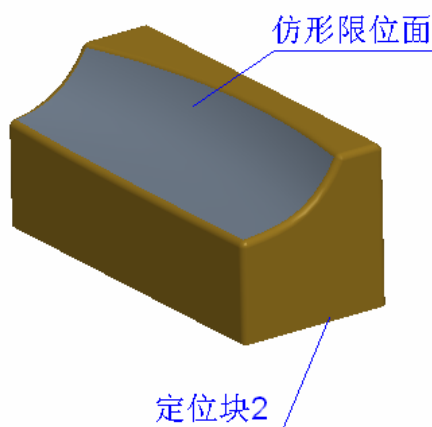


图 4.2-10

上面 3 幅图片中所描述的就是异形产品定位装置设计的普遍做法。实际上，这种定位方法属于过约束定位，定位精度不高。通常应用于产品本身对于定位加工精度要求不高的场合。事实上，这种异形产品本身也不会有太多的精度。当然，适当地减小定位限位面可以提高定位精度。

在本章内容里，我们简单的对工厂自动化设备中常见的自动化机构和结构做了描述，希望能对诸位有用。我们看任何资料都是重在理解其中传递出来的思路，所以，我相信任何资料都不在于信息的多少，而是在于是否准确地传递出了一种正确的思维方式和方法。在机械设计领域，只有实践才能做好。只有做的东西足够多，才有可能积累足够的经验。当你的经验积累丰富以后会发现我们在设备中使用的绝大部分机构和结构都可以在前人的作品中找到，这是因为机械机构的发展早在 18 世纪就已经趋于成熟的缘故。目前，所有的企业都要求设计师具有创新思维，而创新最重要的基础就是熟悉。只有实践越多，对机械设计领域的知识越熟悉，才越有可能做创新设计。

第四章 设备整体设计思路及方法

通常，我们把人们为了将自己头脑中的设想实现而做的数据和资料整理、制作的这个过程的活动称为设计。往大了说，设计是人们改造、改变这个世界的基础；往小了说，设计是我们改变日常生活中任一环节的基础。机械设计只是设计这个概念中的一部分内容，但是，这部分内容包含了大量的信息数据和知识，特别是设计设备，更需要设计师拥有大量的相关知识储备。在这个行当待上一段时间，就会感受得到做机械设计师就需要一生不断的学习，不可懈怠！对于大多数做机械设计的人来说，成长成为一名合格的机械设计师需要经过模仿、改造、创造的成长过程，当然，天才是不在这个范围内的。要想成为能够驾驭整体设备设计的设计师，都需要经过一个漫长的磨练过程：熟悉各种常规的成型工艺（对特殊的加工工艺有所了解）、制作合格的工程图、设计零件、设计组件直至设计设备。所以，在前面章节中我们不厌其烦地讲述这些基础知识，只有这些基础知识储备足够并具有相当地大局观、空间感和审美观的设计师才可以做好设备设计。实际上，设备设计应该是贯穿提出问题到设备制作完成交付使用的每个阶段和环节，而并非直到图纸制作完成就截止了。

现代的工业自动化设备大多数都是综合应用了光、机、电、气、液产品的大型系统，所以，普遍的做法是由配备了各方面专业人才的项目组来实现工业自动化设备设计制造的。所以，并行设计、项目管理等问题也就随之出现。下面，我们将讲述在设备设计过程中思维过程。在这里必须声明：我们接下来要讲述的是一般企业中的自动化设备设计过程和方法，而非做纯理论研究或阐述。讲到的内容和某些设计方法理论和管理理论书籍中的知识有差异，请勿穷根究底，具体实施情况应根据各企业的相关工作流程和规定操作。

第一节 设备设计的一般过程

首先，我们简单地看一下自动化设备从设想提出到顺利运行的一般过程和步骤：

提出问题→对项目进行可行性研究→制订计划→制作整体方案→制订模块方案→对方案进行可行性探讨→优化方案→制定计划→根据方案制作零件图和设计软件→制作装配图→制作清单→图纸审核→工件加工和配件采购→装配→调试→试运行→投入生产→申请知识产权保护

在具体叙述之前，先纠正一个观念。在以往的惯例中，我们通常说“设计师绘制装配图，然后再这个装配图的基础上由助理设计师拆画零件图”，这就是我们通常所说的“自顶向下设计方法”。我想这个是一个误区：因为装配图实际上只是指示装配作业人员工作的一份工艺性图纸，它是建立在各个零件的和外形基础上的。所以，正确的说法应该是：设计师规划方案图，然后再在这个方案图的基础上绘制零件图。方案是设计师对于一台（套）设备的整体规划，为本设备进行的任何模块或工件设计都必须以满足这个规划好的方案为目的。特别是现在3D设计软件的广泛使用，对传统的设计方法有一些影响，这个请诸位注意。

为了便于大家理解我们即将讲述的一些列内容,我们以一个实际例子来贯穿本章的所有内容配合阐述如何设计自动化设备。

一、提出问题

任何工业自动化设备的目的都是为了对某一种或一系列产品做加工。所以,我们的第一步工作是拿到需要加工的产品,明确需要设备完成的工作和需要处理的工艺。请看下图:

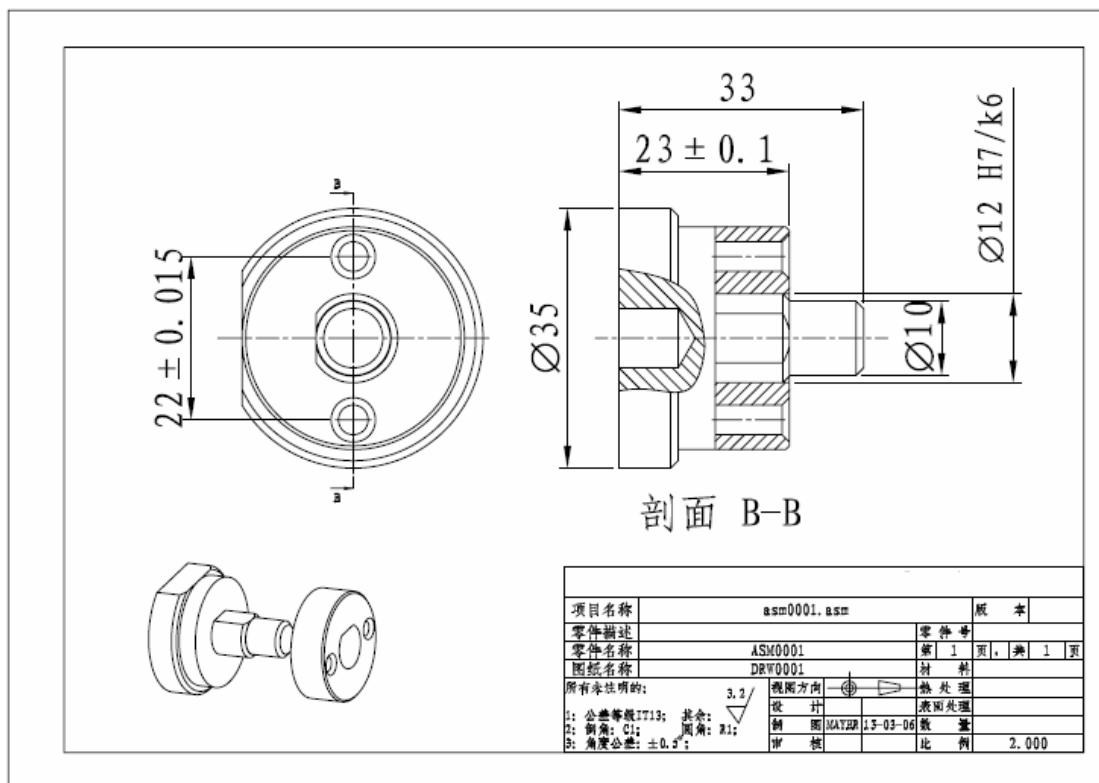


图 4.1-1

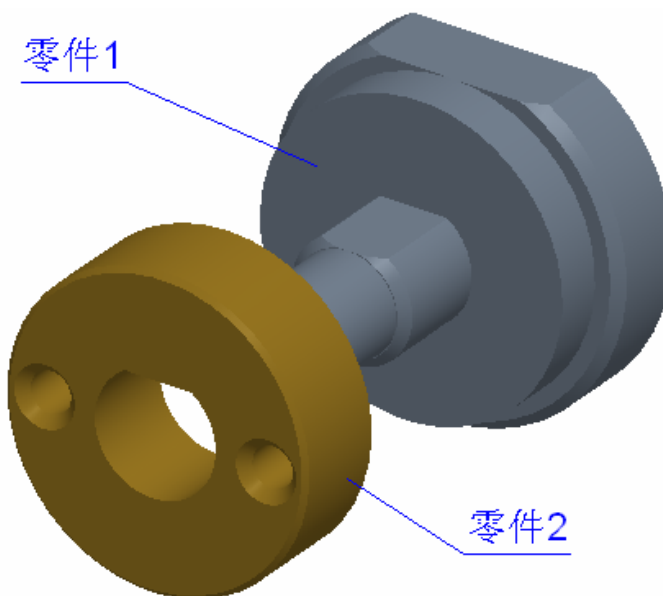


图 4.1-2

如图 4.1-1 和图 4.1-2 所示为两个工件的装配图。现已知条件如下：

1：零件 1 为一阶梯轴，材料为 SUS304，装配面（ $\Phi 12k6$ 圆周面）表面粗糙度为精磨至 0.8。

2：零件 2 为一轴套，材料为 SUS304。

3：两零件为过渡配合，为了确认两零件配合达到要求，测试其装配压力应在 15-35N 之间为宜。

4：装配完成后需要保证装配尺寸 23 ± 0.1 。

5：设备要能自动分选出装配不合格产品并且区分不合格品的种类，即是属于配合精度不合格还是装配高度不合格。

6：要求设备的生产效率是 10 件/分钟。

7：要求设备能够对于生产过程进行控制，即能够随时监控设备的工作状态并且能做出各种统计数据 and 报表。譬如，生产数量统计、生产效率统计、合格品统计、合格率统计等等。

8：设备将来的使用环境为普通工厂车间：温度为 $10-40^{\circ}\text{C}$ ，空气相对湿度为 15%-95%，噪音要求低于 90dB，工厂可提供的电源为三相交流电压 380V、单相交流电压 220V、频率 50Hz。

以上的已知条件就是产品的工艺性能和对设备性能的基本要求。实际上，这就是对于项目的任务提出的要求。

二、对项目可行性进行研究

对于任何企业来说，都认真考虑和研判每一个项目的风险性，因为企业是以盈利为目的，必须在项目开始之前对项目的风险由一个准确的评估，尽量避免因此导致的亏损。所以，对于项目的可行性研究就变得非常重要了。那么，项目可行性研究究竟是探讨的什么内容呢？通常，有以下几个方面：1、基于客户提出的问题，本公司是否有足够的技术力量去解决；2、客户给出的产品是否适合使用自动化设备进行加工；3、以目前市场的技术背景是否能达到客户产品要求中指定的加工精度；4、依据本公司制订的技术方案能否对客户的生产有相当的助益，即生产效率是否提高、生产成本降低、设备成本多长时间可以回收等。如果对以上几个问题经过仔细研究以后得到的答案都是肯定的，那么，说明这个项目是可以实行的。

对于本例，因为我们是脱离企业背景单独说明设备设计过程，所以，我们对于其可行性研究只讨论以下的两个问题：

1：首先，我们看本例中给出的产品是否适合使用自动化设备进行加工。显然，本例中对产品的主要操作为四大部分：上料、装配、检测、卸料。那么，本产品适合使用自动上料吗？如果不适合自动上料，使用人工上料可以达到指定的上料速度而不影响生产效率吗？显然，本例给出的两个零件都是属于小五金件，完全可以使用设备自动上料。本产品的装配工作适合自动化设备操作吗？根据提出的要求和对产品的分析知道，本产品实际上是一个轻压力装配，可以有多种压装方法实现对本产品的自动装配过程。本产品的检测有两个部分：检测装配压力和装配高度。其中，压力检测范围是 15-35N，显然依据市场现有的压力检测技术是可以做到的，所以，这个问题也是可以解决。装配高度检测精度是 $\pm 0.1\text{mm}$ ，目前普遍的尺寸检测技术甚至可以达到千分之五毫米以下的检测精度，所以这个

问题在目前的技术背景下也是可以解决的。现在，剩下最后一个问题，就是产品加工完成后是否可以自动卸料，毫无疑问，这个问题是可以解决的。任何设备的卸料系统基本上都是设备中最为简单的一个环节。

2: 本例中提出的生产要求是否可以通过自动化设备实现。所谓的生产要求应该包括生产效率、设备的特殊要求、使用环境等几大主要内容。本例中要求的生产效率是 10 件/分钟，即每 6 秒生产一件产品。那么，我们知道对于并行工艺来说，要求每道工序时间加上产品输送时间都必须低于 6 秒。我们假设产品输送时间为 1 秒，那么，设备在生产过程中的其他每道工序时间要求低于 5 秒，即上料时间、装配时间、检测时间、卸料时间都必须小于 5 秒。显然，依照现有的技术是完全可以达到的。实际上，这种产品装配检测工作 6 秒时间对于工业自动化设备来说是一个非常低的生产效率，在这里，我们为了解说的目的，故意将速度放慢。本例中对于设备的特殊要求也只有第 7 点所说的过程控制环节，其实，这些要求都是对于工厂自动化设备的普遍要求，所以，以目前的技术背景也是完全可以实现的。第 8 点中所说的设备使用环境也是中国工厂的普通车间环境，所以，也是没有问题的。

三、制订项目计划

这个阶段的项目计划是一个粗略的计划，其主要内容包括：大致日程规划和粗略的成本估算以及项目组人员任务分配。实际上，这三大内容也是项目管理的主要内容。这个阶段的日程规划需要留出足够的时间余量以供项目方案设计过程中的调整，其时间可以以周为单位。本阶段的成本估算主要是依据经验估计出设备主要部件或者模块的成本再乘以一个经验的系数以供企业制作财务预算做参考。但是，这个阶段在对于项目组人员任务分配方案中应该做得非常明确，不能含糊其辞、模棱两可。项目负责人应该基于对本项目负所有责任的出发点分配任务，而且，一旦任务分配明确以后必须全程跟踪，不可撒手不管。

四、制作设备整体方案

我们开始任何一台设备的方案设计时都必须是这样考虑：首先，根据产品的工艺功能，将设备分成几个功能模块。那么在本例中，我们显然可以将设备分成以下几个功能模块：机架及安全装置模块、零件 1 上料模块、零件 2 上料模块、产品输送模块、装配及装配压力检测模块、装配高度检测模块、不合格品分选模块、合格品卸料模块、控制系统模块。然后，根据设备的功能模块进行设备的整体布局设计：各个模块应该如何布置、采用何种产品传输方式。最后，根据要求的生产效率确定各个模块的工作节拍。

五、制作功能模块方案

接下来我们的工作进入到对各个功能模块的方案规划中。每个功能模块在规定的工作节拍下采用何种机构、确定各功能模块的主要构件规格、确定各功能模块主要结构、分析各功能模块的安全性、分析各功能模块的失效模式。最后，分析各功能模块的工作性能是否满足客户对于设备的性能需求。

六、优化方案并进行失效模式分析

在这个时候，我们的设备方案雏形已经形成。现在，需要项目组成员坐在一起探讨这套方案的可行性。首先，确定整体方案设计是否可行；然后，确定各功能模块方案是否可行；最后，根据集体讨论的结果对方案进行修改和优化、完善。

七、制定项目计划

当我们的设备方案制作完成以后，我们就需要根据这个完善的项目方案制定项目后续实施计划，这个计划实际上是对第三步中初步拟定的计划的一个精细化和准确化。在这个阶段，必须对项目日程进行精密的安排，日程时间必须以天为单位。但是，也需要对项目时间留出充分而恰当的余量。因为设计本身就是一项未知的工作，我们必须要以实物来验证设计的正确性，所以，任何项目在没有实物验证之前都可能存在许多未知的错误。那么，我们就需要有时间余量来对这些错误进行修正。

八、制作零件图和设计软件

本阶段是设计过程中工作量最大的环节。我们所说的制作零件图实际上是包含有各功能模块中所有细节结构设计和零件的设计。这时，我们主要考虑各模块装配工艺性、控制用管线的布置路线、零件的受力状况、使用寿命、零件结构工艺性、零件的形状与模块内各部件的协调性以及零件的美观。

设备方案制作完成以后，控制系统也开始进入设计阶段。控制系统设计包括硬件系统设计和软件设计。

九、制作装配图

装配图是装配作业人员的作业指导书，所以，在装配图中必须明确、清晰地表达出装配要求、主要的装配参数和装配方法。

十、制作清单

这里的清单指的是所有设备中用到的材料清单：标准件采购清单和加工件清单。

十一、审核图纸、工件加工和配件采购、装配、调试、试运行、投入生产、申请知识产权保护。

以上，是工业自动化设备设计制造的一般过程和项目管理流程。

第二节 设备设计的思考方法和决策过程

现在，我们要进入到工业自动化设备设计最为核心的、主要的阶段。这个阶段主要讨论一台设备从一个想法到实物出现的各个阶段我们应该如何思考问题、提出解决问题的方法和如何从中选择出最佳的方法。

设备的功能模块划分和布局基础

一、划分设备功能模块

前面我们说了通常设备功能模块的划分是根据设备加工产品的工序或者工艺动作来进行的。也就是说划分功能模块的一般原则就是产品的工艺动作，应该每个功能模块实现一个或数个工艺动作。仍然看图 4.1-1 的例子。在本例中我们将这台设备划分为 9 个功能模块：机架及安全装置模块、零件 1 上料模块、零件 2 上料模块、产品输送模块、装配及装配压力检测模块、装配高度检测模块、不合格品分选模块、合格品卸料模块、控制系统模块。其中装配及装配压力检测模块就是实现了两个工艺动作：将两个零件装配在一起、检测零件的装配压力。

好了，现在我们的第一步工作顺利完成。那么，这么多个功能模块，我们要如何进行布局呢？

二、设备布局基础

1: 基本布局方式 通常，我们工业生产流程是依据产品的工艺流程决定的，也就是说我们必须依照产品的工艺流程一步一步的设计工序，这是一个串行过程；但是，我们为了提高生产效率又想使这些所有的工序进行并行工作，那么我们就把这些所有的工序动作安装产品工艺流程集成在一起，让多个产品依据进入设备的先后顺序可以同时被加工，这就是流水线的原理。实际上，我们任何一台现代工厂自动化设备基本上都是一个小型的流水线。显然，明白了这个原理以后，布局对于我们来说就变得简单多了。换句话说，流水线原理实际上就是我们的设备布局理论基础。通常的流水线布局方式也就大约 4 种：直线式、U 型式、上下式、转盘式。不论是那种布局方式，它们的布局核心都是围绕产品的流程进行——也就是围绕产品的传输路线进行布局设计。

直线式的布局方式中，产品的传输装置通常是输送带或者输送链。如图 4.2-1 所示。

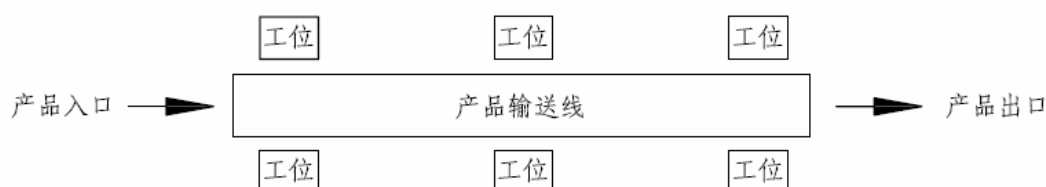


图 4.2-1

U 型式的步进方式中，产品的输送装置通常是输送链或者输送带。如图 4.2-2

所示。

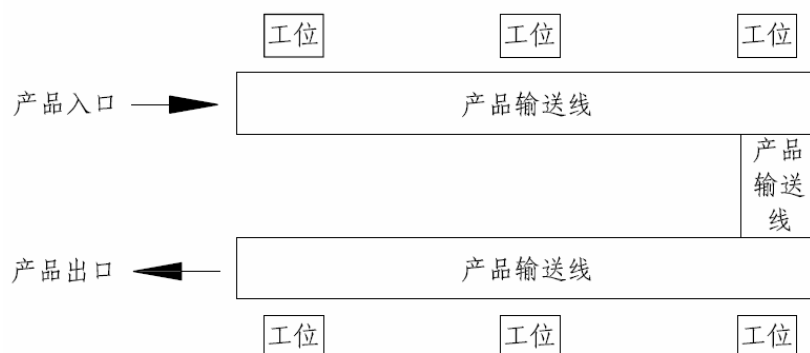


图 4.2-2

可以看出，U 型式的布局相较于直线式的优点在于产品的进出在同一个方向，更方便自动或半自动线中让同一个操作人员进行产品的上下料操作。如果对 U 型式布局方式略加变更就可构成一个封闭式的产品循环输送带，这样的布局方式就适合随行夹具的使用。如图 4.2-3 所示。



图 4.2-3

在这里，我们引入了随行夹具的概念，在这里做一个简单的介绍：所谓随行夹具就是跟随产品在输送系统中随着产品的流程推进而一步一步前进的工装夹具，随行夹具通常是需要循环使用的。随行夹具主要是在自动生产线、加工中心、柔性制造系统等自动化生产中，用于外形不太规则、不便于自动定位、夹紧和运送的工件。工件在随行夹具上安装定位后，由运送装置把随行夹具运送到各个工位上。

上下式的布局方式主要就是为了充分利用空间并且便于使用随行夹具对产品进行输送、定位的一种常用布局方法。在本布局方式中，通常上层输送线是用作工作层，下层输送线是用作随行夹具返回层。如图 4.2-4 所示。

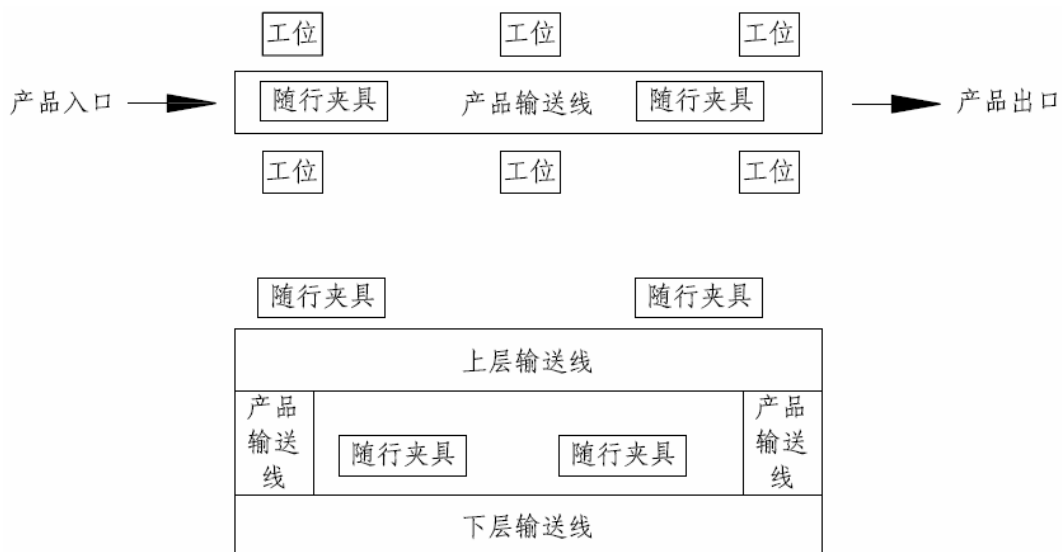


图 4.2-4

那么，最后一种布局方式是圆盘式，通常，这种布局方式也是使用随行夹具对产品进行输送和定位。这种布局方式相较于其他布局方式具有结构更加紧凑、随行夹具使用数量少、传动机构简单、定位容易且定位精度高等优点。但是，由于这种布局方式是基于圆盘回转的基础上，所以，不可能做得很大，即能实现的工序动作不会太多。所以，通常这种布局方式主要应用于单机设备中和小型生产线或者作为生产线的局部布局使用。如图 4.2-5 所示。

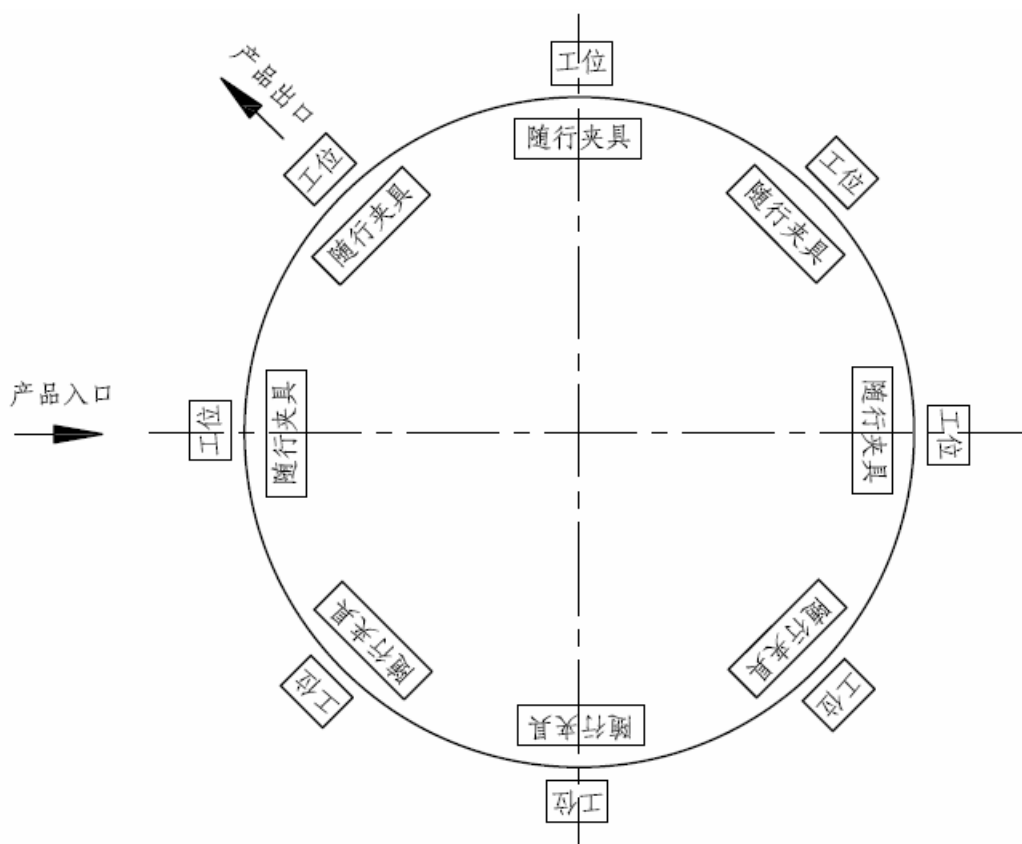


图 4.2-5

以上，我们介绍了设备的常用布局方式，那么，我们在本例中究竟选择哪种布局方式比较合理呢？又该如何去选择呢？

2: 布局方式的选择思考方法 要选择布局方式，我们首先要弄清我们的设备中有多少个工序工位。显然，在本例中，根据我们前面划分好的功能模块可以看出一共有：零件 1 上料模块、零件 2 上料模块、装配及装配压力检测模块、装配高度检测模块、不合格品分选模块、合格品卸料模块等 6 个功能模块是属于工序工位。但是，事实上，请诸位考虑：不合格品分选模块和合格品卸料模块实际上说的是一个功能——卸料。并且不合格品和合格品不会属于同一个产品，它们一定会有先后顺序，即以串行方式出现。所以，这样的话，我们就可以把这两个功能模块合并成一个。当我们要这样计划并做方案的时候，就必须思考，这两个功能模块合并成一个的话，我们的机构是否可以实现这两个功能：即当产品运行到卸料工位时，合并后的卸料功能模块是否可以将不合格品从随行夹具中卸下并放到不合格品的盒子里去，并且也可以将合格品从随行夹具中卸下放进合格品的卸料位置上去。答案是肯定的，只要我们的卸料功能模块能走三个位置就可以了。显然，能走三个位置的自动化机构非常多。所以，结论是我们可以把这两个功能模块合并在一起，即是将这两个工艺工序合并成一个。如下图所示。

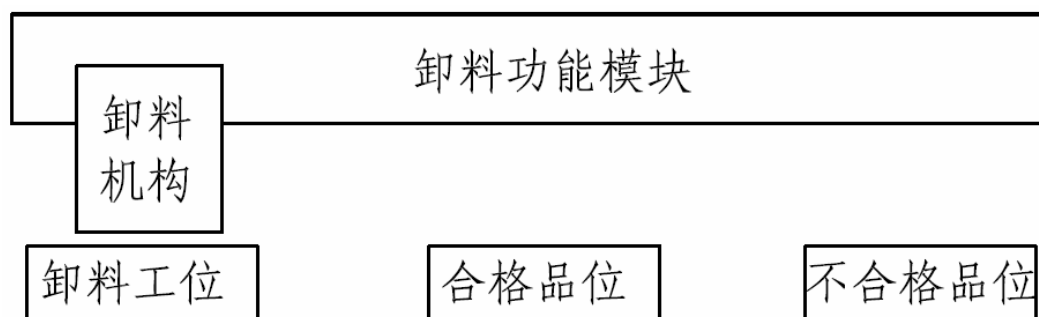


图 4.2-6

那么，经过合并之后，我们的工序工位就只剩下 5 个了。

前面我们说了布局的核心是产品的输送方式，所以，第二步的工作时要确定我们需要那种类型的输送装置。我们知道，以上介绍的几种布局方式中，可以分为两类：一种是直接输送类，另一种是使用随行夹具输送类。那么，在本例中如何确定我们需要那种输送装置呢？换句话说，我们就是在输送过程中是否需要随行夹具呢？确定这个问题，我们需要从产品的外形、定位方式（或装夹方式）、定位精度等几个方面去考虑。首先，我们回头去看图 4.1-1 可以知道，本产品中两个零件都是规则外形——圆形。所以，从这个角度看，是否使用随行夹具对产品定位不影响。其次，我们看定位方式。通常，圆柱形产品我们使用的定位方式有三种：一种是 V 槽定位，一种是仿形定位，一种是定位销或者定位凸台定位。或者是几种定位方式综合运用。由于本例中产品有定位定向要求，所以，我们初步选定仿形定位。最后，我们看定位精度。显然，本例中产品装配要求过渡配合，定位精度要求非常高。所以，综合以上几点，我们选择使用随行夹具定位方式输送产品。

现在，我们再来看综合条件以后的布局方式选择结果。在这里，首先要提醒的是：因为我们在产品输送方式上选择了使用随行夹具的方式，而随行夹具又是循环使用的，那么有一个问题——如果我们的产品因为各种设备故障的原因没有被卸料系统取走的话，随行夹具在进行下一个循环时就不能继续上料（因为继续上料很可能损坏产品或者随行夹具，这都是不允许的）。所以，我们设备的控制系统必须在随行夹具进入下一个循环之前要采取相应的措施：首先，检测随行夹具上是否有产品没有被取走；如果有，设备报警提示操作人员进行操作，或者我们在上料工位之前增加一个补充卸料装置。显然，设备出现故障的概率很小，如果因此小概率事件而增加机构对设备制造成本来说是不合算的。所以，最为普遍的做法是报警通知操作人员，如果是特殊设备或者有特殊要求的产品则另当别论。因此，我们必须在卸料工位之后增加一个随行夹具状态检测工序——检测随行夹具上的产品是否被卸料机构取走。所以，实际上我们的设备工序模块又变成6个，就是说我们需要6个工序工位。

那么，很显然，综合以上的讨论，我们可以看出：6个工序工位并且要求高精度、使用随行夹具输送产品的布局方式，我们应该选择圆盘回转式的布局方式。根据这个宗旨以及产品的工艺流程，我们画设备布局草图，如图4.2-7。

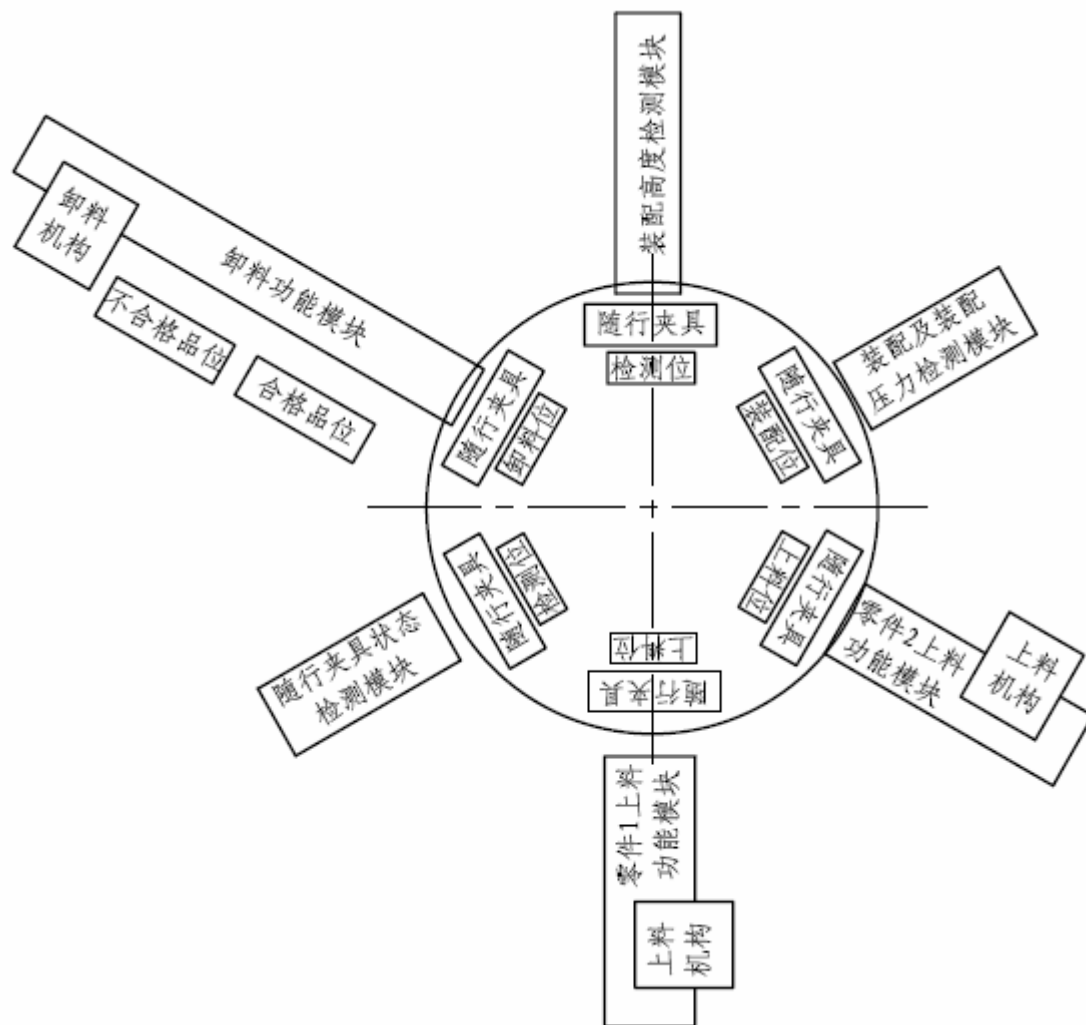


图 4.2-7

3: 各功能模块的工作时间确定 在并行工序设计中，设备的工作节拍由耗时最多的工序决定。在工业自动化设备或者工厂生产流水线上，产品传输系统传

输产品的时间必须单独计算。也就是说，我们本例要求的工作节拍是 6 秒/件，实际上，我们在这 6 秒钟内扣除产品传输的时间——在这里就是转盘转动一个工位的时间——之后剩余的时间，才是我们的 6 个功能模块所能利用的工作时间。

通常，利用步进电机+6 工位以上凸轮分割器驱动的转盘转动时间在 0.2-0.5 秒之间。在这里，因为本例要求的时间较为充裕，初步设定转盘旋转工位时间为 0.5 秒。另外，各功能模块的机构复位时间也初步设定为 0.5 秒。所以，我们的功能模块可以利用的工作时间初步确定为 5 秒。

到这里，我们的设计初步方案已然清晰可见。所以，我们得赶紧抓紧时间进行下一步工作。

设备模块设计思路和方法

在我们具有初步设计方案之后，接下来的工作就是设计设备的功能模块方案。因为，通常我们的设备工序是并行设计的，所以，我们的功能模块设计也可以是并行进行的模块化设计流程以节约时间。那么，在这个时候项目负责人可以按照项目计划开始将接下来的工作分配给相关成员通过分工合作的形式实施。目前的计算机辅助设计技术已经达到一个前所未有的高峰，各大软件几乎都有产品数据管理系统——PDM(Product Data Management, 产品数据管理)或 PLM (Product Life Management, 产品生命周期管理)系统。这种系统的问世在很大程度上解决了传统并行设计过程中容易因为项目组成员之间信息交换不及时所造成的重复工作或者无效工作引起的资源浪费。

需要指出的是：CAD(计算机辅助设计)和人工智能技术发展固然能是设计工作强调大大降低，但是计算机是永远不可能完全承担所有的设计实施任务的。之所以叫做 CAD 而不是 CD，就是计算机在整个设计过程中所扮演的永远都是一个辅助角色，真正有创造性的设计永远都是由人来完成的。所以，这也是在一开始的绪论中我就给诸位强调：设计软件只是一种设计过程中使用的工具，其使用是一个熟能生巧的过程，不必将主要精力放在研究软件上面；真正应该着力的地方永远是整个设备系统所包含的知识。

言归正传，在进行功能模块设计之前，项目负责人还需要做一件事情来确保并行设计工作的有效性。诸位知道：计算机文件管理系统通常是以文件名来区分不同的文件。在同一个文件夹下，如果文件名相同则后进入的文件覆盖先进入的文件。而通常目前的 PDM 系统几乎都是将所有的文件信息存放在同一个数据库平台内，所以，在项目开始实施之前，必须给每个项目组成员明确各个功能模块的命名原则，防止重名文件的产生。

在本阶段，项目组需要完成的工作内容是：确定各功能模块的机构和主要结构及其运行方式、确定主要构件的规格、确定功能模块的主要技术参数和总体尺寸。机构学在 18 世纪末就已经发展成熟，现在我们所使用的机构基本都可以从各种相关著作中找到，所以实际上，我们的机构设计问题本质上说几乎是机构的选择问题。我们要想知道在什么地方选择什么机构的通常方法和步骤是：首先，要分析清楚实现某个功能的动作流程和轨迹要求——即什么样的动作顺序和动作组合可以达到这个功能所要求的运动轨迹；其次，要明白有多少机构可以实现这些要求的动作和运动轨迹；最后，综合各种客观条件选择出一种最适合的机构。所以，我们可以知道，其实机构设计是一个综合→分析→综合的思维过程的表达。

看到这里，有人不免要问：那不就意味着这个阶段——确定主要构件的规格、确定功能模块的主要技术参数和总体尺寸——计算量非常大？事实上，对于初级设计师来说确实是这样，但是对于有丰富经验的设计师来说，情况就不太一样：通常，具有丰富经验的设计师不需要任何构件都去计算或者实验取得数据；大多数的构件参数基本都可以通过他们的经验数据取得，只有一些极为重要的构件和涉及到安全的构件需要计算或实验取得准确数据。所以，对于机械设计师来说，经验积累是非常重要的。需要强调的是：机械设计工程是一门非常严谨的工程技术，任何时刻我们都不允许出现不确定的因素。比如：这个可能是这样，那个也许能实现等等。机械设计师必须确保自己的每一项工作都是符合工程实践的，不确定的东西一定要通过计算或者实验得到确定的验证结论，能或不能一定要区分的非常明确。工程实践中，功能模块可以多人合作并行设计，但是在这里我们只能逐个介绍。

首先，我们看零件 1 上料功能模块的设计思路和过程。通常，思考上料功能模块需要考虑三个问题：1、这种产品是否适合自动上料方式上料？如果不适合自动上料则需要手动上料；2、如果该产品适合自动上料，那应该采用哪种上料方法进给产品？3、采用什么机构将产品从进给装置中取出并放到输送产品的随行夹具上？

所谓自动上料，就是设备能够对产品进行定向、排列、分料的操作。要判定一个产品是否适合自动上料，首先需要设计师对于各种常用的自动送料方法和装置有一定程度的了解。只有熟悉，才能知道是否适合，否则无从谈起。通常，在工业自动化设备中主要的自动上料方法和装置大约有以下几种：振动盘、直线振动送料器、弹匣式送料、料盘式送料、螺旋式送料器、各种漏斗送料器、往复式送料器、空气式送料器、气泡式送料器等。而其中前五种是被工厂自动化设备普遍使用的，所以需要非常熟悉其使用方法和使用场合。关于这方面知识的专著，推荐大家翻阅《自动机械供输装置图集》（台湾版，赖耿阳编著，复汉出版社有限公司出版），这里面对于工业中常见的各种自动送料装置、产品的自动整列、分料、合流等有非常详尽的叙述，图文并茂，非常实用。下面，我们简单介绍一下常用的几种送料方法：

振动盘 如果没有从事过工厂自动化设备设计工作或者在相关工厂车间有过实践经验的可能会对此较为陌生。它主要是通过电磁振动或者偏心电机振动料盘而使工件进行定向排列和输送的一种自动化装置，其振动频率通常可根据不同产品进行调节。目前，已经有超声振动盘问世，它的驱动力是超声波。它主要应用于一些质量较轻的小型工件的自动输送，特别是在电子产品行业和小五金件加工行业得到了广泛的运用。由于一次向震盘料盘中放入很多产品，其振动会让产品相互之间有碰撞，如果对产品外观有要求或脆性较高的产品通常不能使用这种送料方式。其产品图如下：



图 4.2-8 (此图片来源于网络)

直线振动器 直线振动器是振动盘的一种引申产品，它的主要功能是将震盘定向排列好的产品做定向输送。所以，直线振动器通常是配合振动盘使用的。需要说明的是：因为直线振动器的动作通常是持续的，即是连续送料，而且产品出口处于动态。所以，我们在使用自动化机构抓取产品时需要对产品有一个二次定位动作，将产品从动态转移到静态位置，然后才能有机械手准确地抓取产品，如下图。

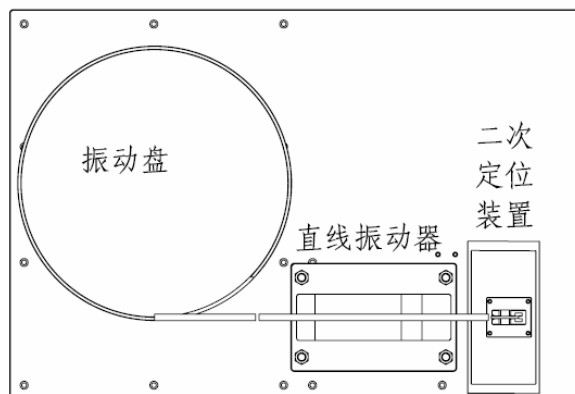


图 4.2-9

弹匣式送料装置 顾名思义，这种上料装置就像是一个手枪的弹匣，将产品一个一个对方在里面，也有叫做堆栈式送料的。因为，这样一个弹匣的产品容量毕竟有限，所以为了能使生产连续，通常，这种上料方式会伴随着转盘或者其他弹匣换位装置和自动化推料机构。这种上料装置在半导体行业中的 IC 框架输送、有规则上下表面的产品输送应用比较普遍。与振动盘上料相比：其机构较为复杂，但是不需要担心对产品表面的损伤，能对较大产品进行自动化上料和进给。

料盘式上料方法 这种方法就是将产品按规则放在料盘里面，通过自动化机械手臂在盘中取料。随着 CCD 技术的广泛应用，目前，即使不规则的产品摆放也可以通过工业相机定位由机械手准确抓取。这种方法主要应用于不可使用震盘上料、难以堆叠、产品本身柔软、易纠缠或不易分料的产品上料。

通过对几种上料方式的了解，我们很容易地可以确定本例中的产品比较适合使用弹匣式上料方式。如下图所示。

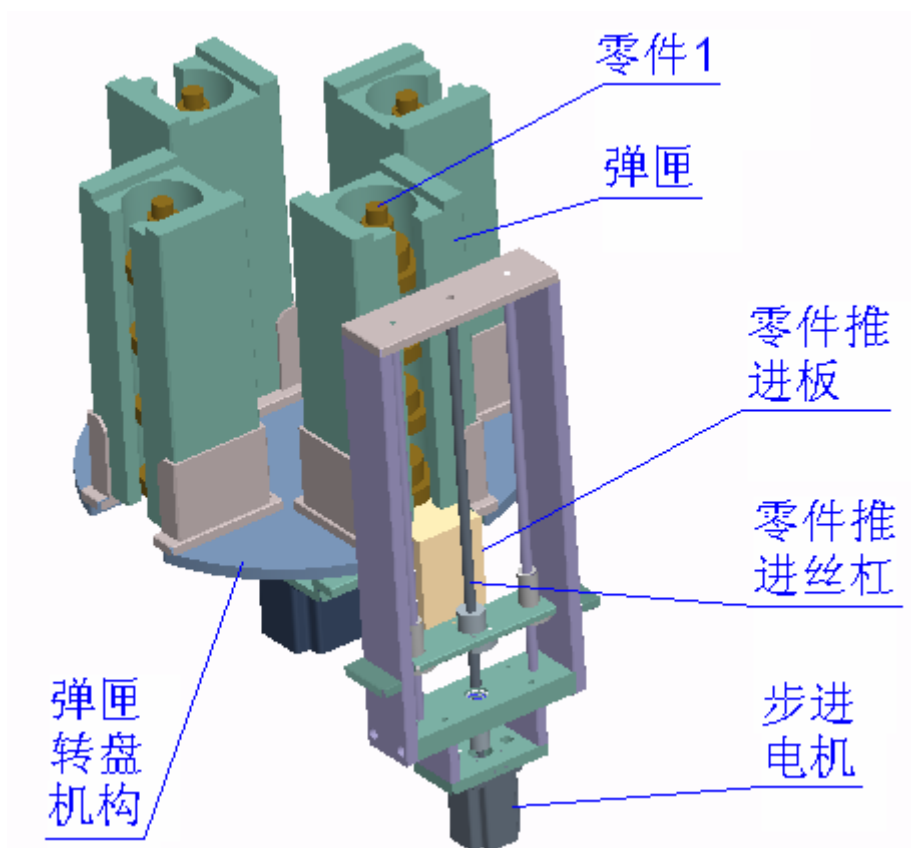


图 4.2-9

上料装置原理：本上料转盘上装有 4 个弹匣（根据实际弹匣容量和弹匣上料间隔以及转盘容量适当设置弹匣数量），当弹匣转盘机构将装有产品的弹匣送到零件推进机构工位时，零件推进机构就将最上面的一个产品推进到指定的等待位置，等待取料机构来将最上面的这个产品取走放到产品的随行夹具上面。取走这个产品以后，零件推进机构又将弹匣中最上面的产品推进到指定位置，一直循环，直到这个弹匣中的所有产品被取走，弹匣转盘机构送下一个弹匣进来。当剩下最后一个弹匣中有产品时，设备报警提示操作人员将空弹匣取走，装上装有产品的弹匣。

当我们选择好了送料方式以后，就意味着产品已经在一个指定的位置等待着了，这时，我们只需要设计一套机构将在这个等待位的产品转移到随行夹具中去，我们的上料过程就算完成了。那么，接下来我们需要解决的问题是如何将弹匣中的产品转移到随行夹具中去，或者说采用什么机构来实现这个功能。实际上，这个问题的本质是：将产品从一个点转移到另一个点，并且产品的运动轨迹需要满足的条件是抓取产品的初始阶段和放置产品的阶段需要有一段直线升降行程，这段直线行程的作用是能够顺利将产品从弹匣中取出而且也能够顺利地将产品放进随行夹具中。显然，这段直线行程还有长度要求，是多少呢？看产品的图纸可以知道，至少需要 23mm。也就是说，直线升起 23mm 之后，产品才能脱离弹匣的定位约束而在空中以任意轨迹运动。可以看出，我们需要的产品转移机构轨迹应该具有如下图所示的约束条件：

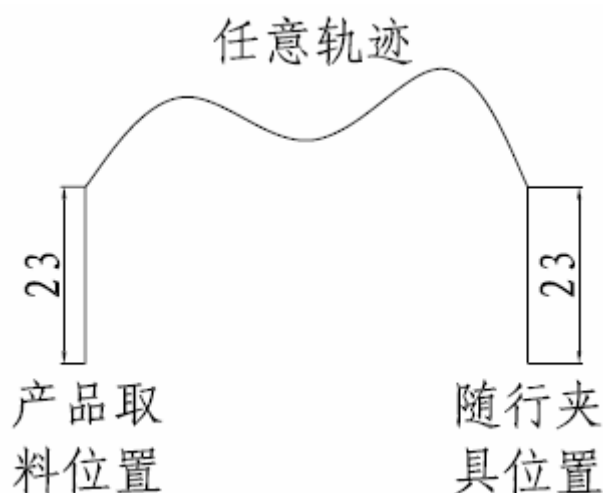


图 4.2-10

那么，在我们常见的或者常用的机构中，满足这个条件的大约有这么几种：1、组合凸轮机构；2、SCARA 四轴机械手；3、XZ 方向的直线组合机构。我们该从哪些方法来考虑机构的选择呢？首先，得从实现功能来看，哪种机构能够更好的实现设备要求的功能，或者说哪种机构能够较好的执行需求的动作；其次，得从设计成本考虑。关于第一点也有几个要求：满足运动轨迹要求、满足精度要求、满足工作节拍要求、机构简单、制造容易、传动链少、便于控制。我们一个个来分析这几个要求。

1、满足轨迹要求：本例中的轨迹要求即如图 4.2-10 所示的约束条件；显然，上述的 3 种机构都是可以实现这个运动轨迹的。

2、满足精度要求：本例中的精度要求有两个地方——弹匣的精度和随行夹具的定位精度。显然，本例中的定位精度主要是指产品的水平位置定位精度，因为竖直方向的定位精度对于本例中的产品上料出于次要地位。弹匣对于产品只是一个粗略的定位，其定位精度大约可以初步定为 0.1-0.5mm 之间；随行夹具的定位为精确定位，其定位精度大约在 0.02-0.05 之间；但是，在产品放入随行夹具的过程中，由于随行夹具具有一定的导向能力，所以，对转移机构的精度要求可以适当降低至 0.05-0.1mm 之间。也就是说，我们要求的机构定位精度介于 0.05-0.1mm 之间。上述三种机构都具有这个能力。关于定位精度的确定方法，我们将在产品输送模块中加以说明。

3、满足工作节拍要求：实际上，这就是要求满足生产效率要求。当然，但就机构速度来说，最快的是凸轮组合机构，SCARA 四轴机械手次之，最慢的是 XZ 直线组合机构，它的动作步骤数量不如 SCARA 机械手多但是它是串行动作，最耗时间。

4、机构简单：显然，上述 3 中机构中从企业的角度出发来说最简单的是一—SCARA 四轴机械手。因为这整个装置都是一个标准件，只需要找供应商买一套就好；其次，是 XZ 方向的直线组合机构。因为这套机构只是两个直线运动装置的简单串联叠加，而直线运动装置在自动化设备领域已经是标准模块了，所以，设计制造也是最为简单的；最后，是凸轮组合机构。因为我们知道目前为止，基本上凸轮机构都必须靠企业自己设计去解决专门的轨迹问题，而且凸轮的加工难度大、装配要求高，所以，这个对于企业的设计来说是最为复杂的。

5、传动链少：显然，上述 3 种机构传动链最少的是凸轮组合机构；XZ 直线

组合机构次之；最后是 SCARA 四轴机械手机构。

6、便于控制：上述 3 中机构中最便于控制的是凸轮组合机构，因为它只需要一个电机驱动就可以了；其次，是 XZ 直线组合机构，使用两个气缸的直线运动模块只需要几句顺序控制语句进行输入输出控制就可以；最复杂的是 SCARA 四轴机械手。

7、设计制造成本：显然，成本最低的是 XZ 直线组合机构；凸轮组合机构次之；SCARA 四轴机械手最贵，而且与前两种机构的差距非常大。

所以，综合以上几点考虑，在本例中我们最好的办法是选择 XZ 直线运动组合机构执行这个动作。当然，如果我们的使用条件改变的话，结果也是不一样的。比如，如果我们的模块工作节拍时间只有 1 秒或者更少的话，那么首先淘汰掉的就是 XZ 直线组合机构。所以，在做任何事情的时候都需要具体问题具体分析，这就是世易时移，变法宜矣。产品转移机构方案如下图所示。

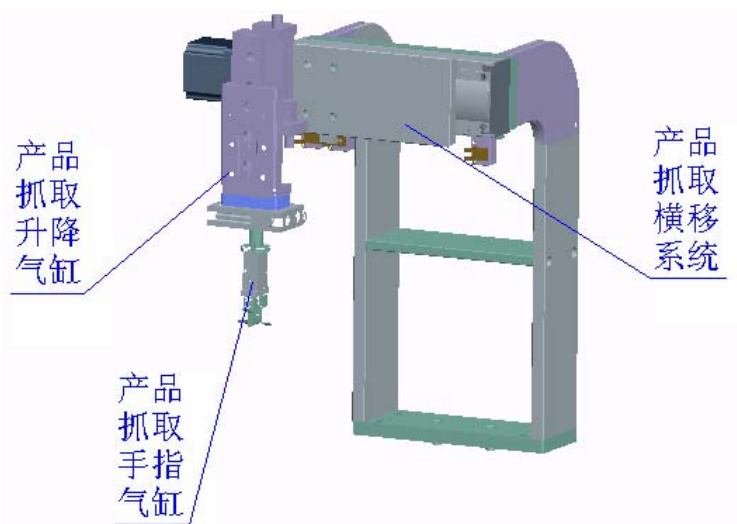


图 4.2-11

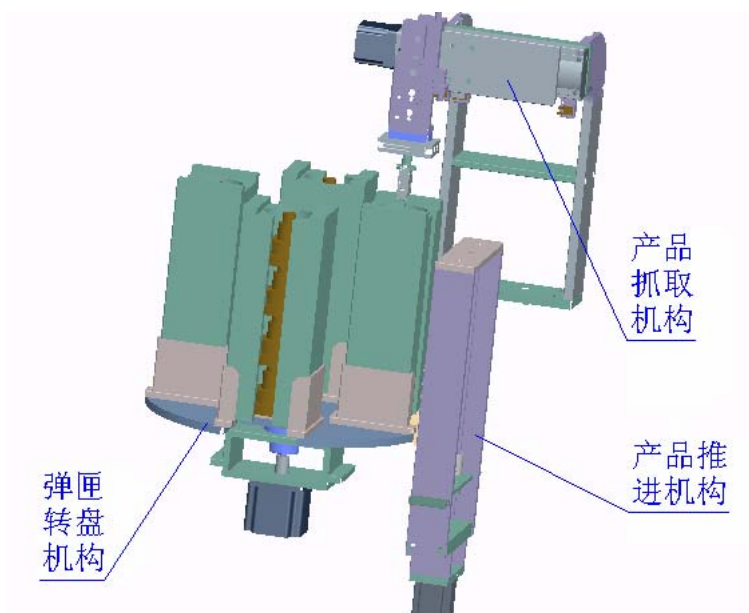


图 4.2-12

图 4.2-12 中所示是零件 1 上料模块整体方案的大致结构。到这里，我们的零件 1 上料模块方案设计已经基本完成。接下来要解决的问题是：确定主要构件的规格。只有确定好这个问题了，我们才能确定本功能模块的大致空间尺寸和外形，我们将来才能根据这些参数做零部件设计和成本预算。那么，本功能模块的主要构件参数包含：弹匣转盘机构电机规格、弹匣转盘的弹匣容量、弹匣转盘尺寸、产品推进机构电机规格、产品推进丝杆规格、产品抓取升降气缸规格、产品抓取横移机构规格。确定这些主要构件的规格参数需要一些简单的计算，如果是有丰富经验的设计师几乎完全可以凭经验确定。

现在，对本模块方案的设计我们下一步工作就是：验算工作节拍。

根据图 4.2-12 的总体方案所示，可以清楚地知道本模块的三个单元——弹匣转盘机构、产品推进机构、产品抓取机构——的运动逻辑顺序非常简单：弹匣转盘机构与产品推进机构构成一个串行动作链，然后与产品抓取机构行成并行运行块。其工作节拍图如下：

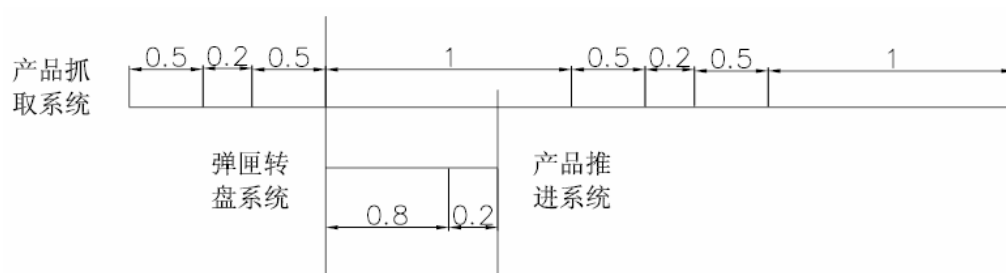


图 4.2-13

图 4.2-13 中的时间单位为秒。实际上，弹匣转盘系统并不是每个动作循环都转动，图示只是为了方便大家明白即使如此，弹匣转盘系统与产品推进系统组成的串行动作链也不会影响工作节拍。所以，可以很清楚的看出：产品抓取系统的时间就是本功能模块的工作时间。产品抓取系统在每个动作循环中都有 8 个基本动作：产品手指下移→手指抓取→产品手指上移→产品手指横移→产品手指下移→手指张开→产品手指上移→产品手指横移。时间分布如上图所示，共计 4.4 秒。8 个工作，每个动作加上延时时间 50ms，即总共需要时间 4.8 秒，满足要求。

到这里，我们还剩下最后一个问题没有解决：就是产品抓取横移系统的驱动及执行原件没有确定。因为实现这个动作有两种方法：一种是使用气缸驱动，一种是使用电机驱动。这里我们只需要考虑两个问题就可以：是否满足时间要求？谁的成本较低？我们给定的这个动作时间是 1 秒，行程初步定为 150mm。显然，气缸和电机都可以达到这个速度要求，而气缸的成本比电机低且控制容易，毫无疑问，我们应该选择气缸驱动方式。

至此，零件 1 上料功能模块方案设计完成。

零件 2 的上料功能模块设计方法和思路与零件 1 上料功能模块设计完全一样，在此不予赘述。

产品传输功能模块的方案设计分析 前面我们已经说过，产品传输功能模块是整个设备的核心，其余所有的功能模块都是围绕它进行设计的。在图 4.2-7 中所示的设备整体方案草图中已经非常明白的指出：本设备的产品传输方式为转盘传输方式。那么，常见的实现这种圆盘间歇运动的机构种类也是满多：槽轮机构、棘轮机构、蜗轮蜗杆机构、凸轮分割器、伺服电机直接驱动转盘实现间歇运动的

方法等。

设计这类的间歇运动机构首要考虑的问题就是满足给定的歇停工作时间比。本例中的歇停工作时间比是： $0.5/5.5=1/11$ 。那么，接下来的机构选择分析方法和考虑要点请参考零件 1 上料功能模块的分析。综合设计、制造、成本等方面因素考虑，我们在这里选择交流电机+减速机+离合器+分割器的驱动方法设计转盘驱动方案。

装配及装配压力检测模块方案设计分析 本模块的方案设计中，需要重点考虑的是两个问题：选择什么样的装配机构实现动作、选择什么方式检测装配压力。要知道选择什么装配机构的问题，首先必须分析清楚这个模块的动作步骤。那么，这个装配需要些什么动作，这些动作顺序又是怎样的呢？显然，要完成这两个零件的装配工作，需要这样的一些步骤：抓取零件 2→将零件 2 转移到零件 1 的上方→将零件 2 压入到零件 1（在这个过程中检测装配压力）→松开零件 2→机构复位。看到这里，再结合题目要求的压力要求（15-35N）和功能模块的动作节拍时间要求，我们可以很轻松地得出一个结论：我们需要的实际上是一个简单的抓取机械手，所以，机构简图如图 4.2-14。在这里，就不赘述如何分析各单元结构了，诸位如有兴趣，可以具体研究其机构方式。简单地说一下分析方法：首先，本功能模块由 3 个动作单元组成——手指横移单元、手指升降单元、零件 2 抓取单元；手指横移单元是一种长行程的直线往复运动单元，这种机构通常三种——气缸往复运动机构、滚珠丝杠往复运动机构、同步带往复运动机构；手指升降单元是一种短行程的直线往复运动单元，除前面所说的三种机构之外，通常还有另外两种——曲柄滑块机构、凸轮机构，但是请注意此处根据转盘随行夹具设计位置高低不同，对机构的位置要求也不一样；零件 2 抓取单元通常最简洁的方式是使用手指气缸，当然，也可使用连杆机构或者齿轮齿条机构实现这个动作，但是需要结合成本和效率综合考虑这个问题。

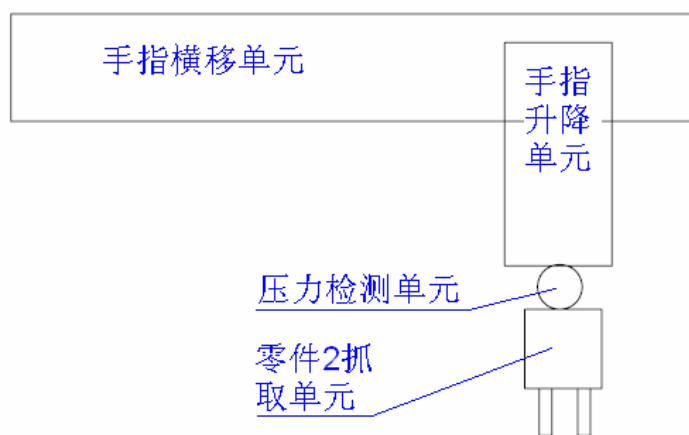


图 4.2-14

那么，接下来要考虑的就是采用什么样的方式来检测装配压力的问题了。通常，我们检测压力使用的最多的还是使用压力传感器，其安装位置如图 4.2-14 所示。但是，在本例中，我们可以看到，其要求的压力检测范围属于粗糙等级的要求。所以，对于这种检测精度要求不高的压力检测，在工程上通常也会采用弹簧检测的方法。其检测原理如图 4.2-15。

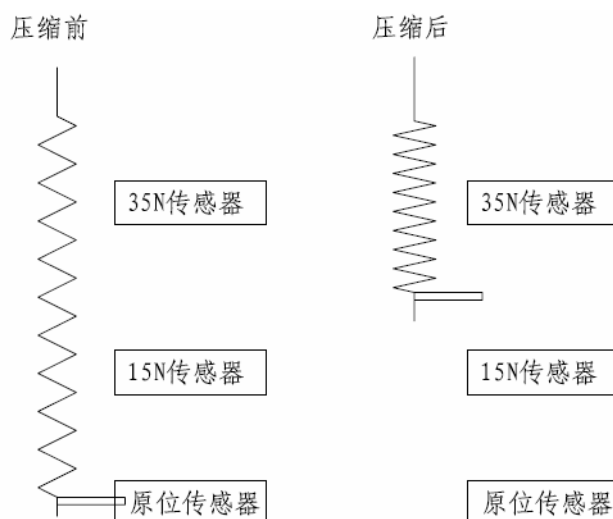


图 4.2-15

由图 4.2-15 可以很清楚的知道:这种压力检测是基于弹簧弹性胡克定律的基础上设计的,通过测定弹簧的压缩行程来判断装配压力是否符合装配要求。可以看出,使用这种检测方法的话,具有很大的成本优势。当然,这种方法的机构与使用压力传感器的方法相比较,机械结构较为复杂,正所谓“鱼与熊掌不可兼得”。

装配高度功能检测模块方案设计分析 我们知道检测装配高度在本例中实际上是检测零件 2 的上表面位置。我们知道目前通常的应用于这种检测某个面的高度位置的方法大概有这么几种:使用音圈电机检测高度、使用激光传感器检测高度、使用光纤传感器检测高度等。前面两种的工程应用都非常简单,只需要直接将标准检测元件安装在一套上下机构上即可。下面我们通过一个原理草图了解下使用光纤传感器检测高度的方法。如图 4.2-16。

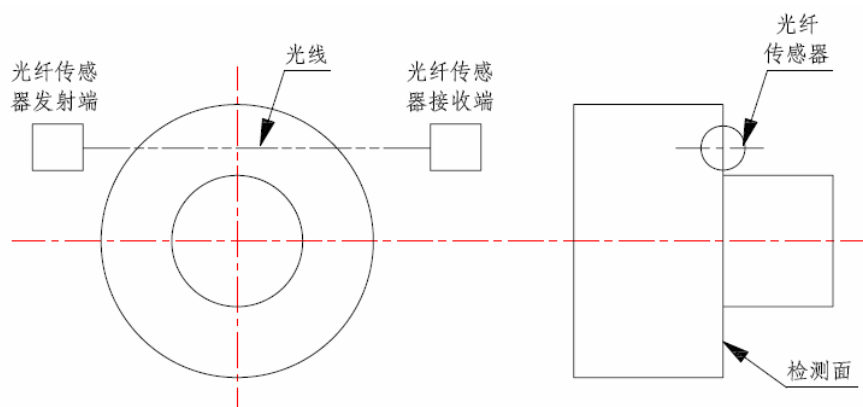


图 4.2-16

显然,如图 4.2-16 所示的这种检测某一表面位置的方法最大的问题也仍然是难以达到高精度的检测,它主要受到两个方面的约束:这种检测方式实际上是一种利用传感器与产品之间的空间临界交叉状态;这种方式对于传感器的安装要求极高——要求光纤与检测面平行,否则导致误判断。我们在这里列出这种方法的目的是要告诉大家,通过图 4.2-15 和图 4.2-16 我们可以知道通过灵活使用传感器可以简化一些范围内的各种检测手段、降低设备成本。

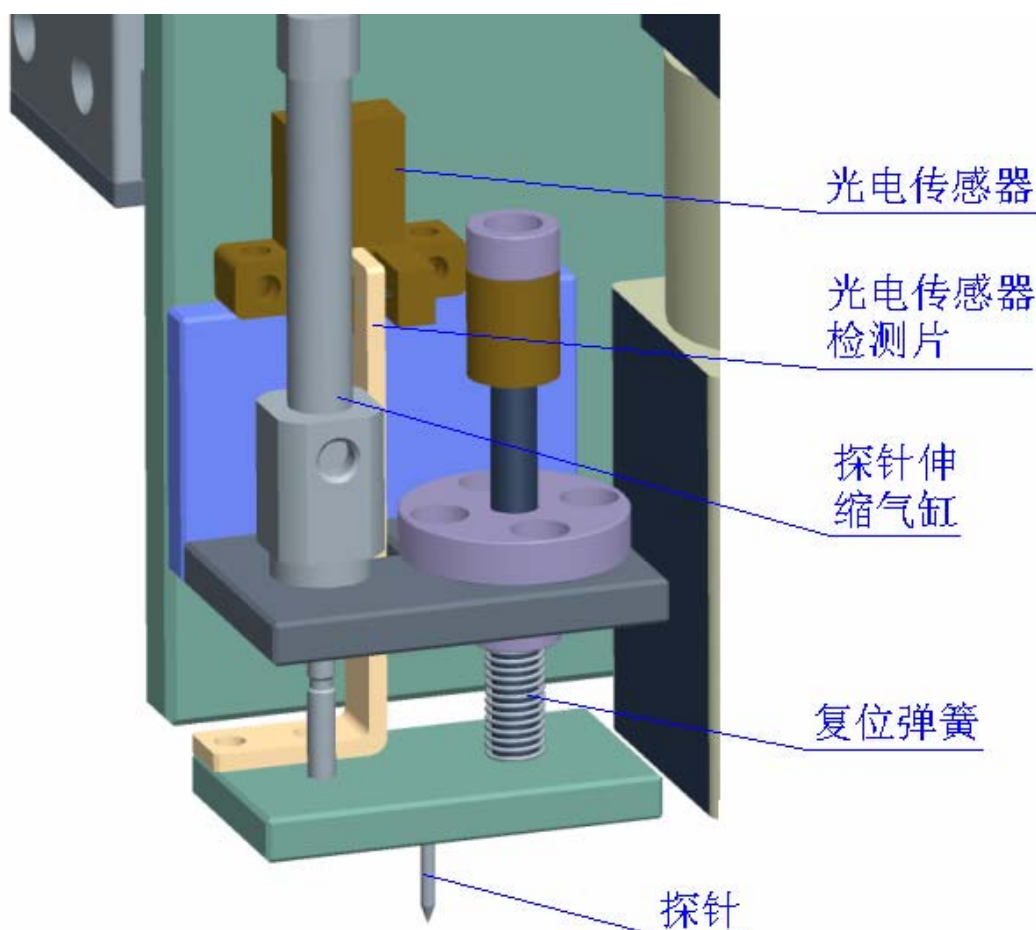


图 4.2-17

如图 4.2-17 所示是某设备使用的高度检测模块，其检测精度可以达到 0.02mm。本模块由伺服电机+滚珠丝杠的精密直线运动机构驱动。其工作原理是：本模块运动到检测位置的上方时，气缸驱动探针向下移动（气缸采用三位五通中泄式电磁阀控制，诸位可以仔细想想此处选用这种电磁换向阀的原因）；当气缸上安装的磁性开关检测到气缸活塞移动到下方时，伺服电机驱动本检测模块整体向下运动去接触被检测面；直到光电传感器检测到光电传感器检测片的瞬间，CPU 记录此时伺服电机编码器的数据；同样的步骤，去检测第二个位置的高度；然后 CPU 通过两次记录的编码器数据差值来判断被检测物的高度值。可以看出，这是一种比较检测方法，就是说这种检测需要一个基准点或者参考点。

那么，本模块方案分析就到这里，剩下的问题由诸位自己思考。

本设备功能模块方案设计思路分析到这里已经是基本没有别的难题了，接下来的两个功能模块都比较简单，读者可以自行分析思考，本人就不在这里唠叨了。

接下来需要强调的这个问题非常重要：**设备的安全设计**。我们在这里所讲的安全包含有两个方面的内容：一、设备对人身安全的保护；二、设备对产品和设备自身的安全保护。设备的安全措施通常因设备个体的不同而有不同方面的内容，在这里，我们列举一些普遍的安全内容和措施供诸位参考。

1: 防止运动部件伤人 运动部件需要与人的活动区域隔离开来。这里的运动部件包括但不限于所有的驱动原件和被驱动原件驱动具有位移和速度的任何

零部件。如果有些部件因为自身特点的原因不能隔离或者密封的，则需要有检测原件和软件组成的安全防护措施。比如：我们设备设计上通常使用防护罩把链条罩住；我们通常使用光栅防止人体进入到设备工作区域等这些都是对人身安全的保护措施。

2: 防止强电伤人 设备的动力线缆要设计合理，设计控制系统时，强电弱电要分开布置，任何设备都必须接地良好、具有过热、漏电保护等等。

3: 防止高温伤人 对于加热部件要有良好的隔热措施和散热装置。

4: 防止有毒有害液体、气体泄漏 对有毒有害气体一定要进行废气处理然后安全排放，且有毒有害气体容器及管路密封性必须经过检测；对于有毒有害液体要有妥善的回收处理装置；设备需要有防泄漏检测装置，能够自动检测这类液体、气体的泄漏状况。

5: 设备要有防错装置设计 所有的设备都必须能够防止因为操作人员的错误操作而导致的危险，必须有良好的互锁装置和安全装置，即设备能自动判断不符合操作规程的操作——任何错误操作都不被允许。

6: 设备中有交叉工作空间的机构要有良好的互锁设计 当设备中有交叉或者重合工作空间的机构时，互锁装置必须设计良好有效，严格保证机构按照先后顺序进行工作，避免撞车。

7: 设备对于所生产的产品必须保护良好 设备在任何生产环节都不允许对产品由任何形式的损伤、损坏、改变产品性能等。比如，质软的产品要注意保护不得被划伤；脆性大的产品不得被造成残缺；电子产品需要防静电等等。

设备方案失效模式分析方法

失效模式分析（FMEA, Failure Mode and Effect Analysis）是属于质量管理的范畴，它起源于上世纪 50 年代的美国，刚开始时被运用于飞机制造行业的故障评估。实际上，它在工业自动化设备设计制造领域包含有以下几方面的内容：设计失效模式分析（DFMEA, Design Failure Mode and Effect Analysis）和过程失效模式分析（PFMEA, Design Failure Mode and Effect Analysis）。我们在这里粗略地介绍一下 DFMEA，供诸位了解参考。

首先，必须说明的是做 DFMEA 的成员必须是项目组的全体成员。这点非常重要，因为任何一台设备都必须从各个角度去考虑其安全性、可行性、可靠性、零件的可加工性、可装配性、可维护性等各方面的问题。而项目组的成员刚好可以从各自的专业角度出发，共同提出问题、分析问题、解决问题。我们做失效模式分析的最终目的是为了要解决潜在的问题（Potential Problem），不是为了分析而分析，也不是为了做文件而分析。所以，我们大可不必如某些 FMEA 教程所写的那样非要详细到每个零件的分析上面。比如，我们的企业每天都在制造设备，我们就完全没有必要在“某个板上要钻几个孔”这样的问题上纠缠。而是要善于从设备这个庞大的系统中找出主要的问题并解决它。不论是质量管理、项目管理、企业管理都是一样，一定要根据自己企业的实际状况做相应的调整，而不是照着管理教程生搬硬套，搞本本主义、教条主义。解决问题、提高效率、降低成本才是管理的根本目的，千万不要做舍本逐末的事情。

FMEA 的主要方法是通过对设备失效严重度（S）、发生率（O）和探测度（D）进行评价，计算出 RPN 值（风险优先度， $RPN=O \times D \times S$ ）。

严重度 S 是评估可能的失效模式对于设备的影响，10 为最严重，1 为没有影响；发生率 O 是特定的失效原因和机理多长时间发生一次以及发生的几率，如果为 10，则表示几乎肯定要发生，如果为 1，则表示基本不发生。探测度 D 是评估设备故障检测失效模式的几率，如果为 10 表示不能检测，如果为 1 则表示可以被有效的探测到。RPN 最坏的情况是 1000，最好的情况是 1。根据 RPN 值的高低确定项目，推荐出负责的方案以及完成日期，这些推荐方案的最终目的是降低一个或多个等级。对一些严重问题虽然 RPN 值较小但同样考虑拯救方案，如：一个可能的失效模式影响具有风险等级 9 或 10；一个可能的失效模式/原因事件发生以及严重程度很高。

首先，我们需要列出所有的失效模式。如下表：

后果	评定准则：后果的严重度	S
无警告的严重危害	这是一种非常严重的失效形式，它是在没有任何失效预兆的情况下影响到安全或不符合政府的法规。	10
有警告的严重危害	这是一种非常严重的失效形式，是在具有失效预兆的前提下所发生的，影响到安全和/或不符合政府的法规。	9
很高	设备不能运行（丧失基本功能）	8
高	设备可运行，但性能下降，客户非常不满意	7
中等	设备可运行，但操作维护不方便，客户不满意	6
低	设备可运行，但操作维护不太方便，客户有些不满意	5
很低	大多数客户（75%以上）能感觉到有缺陷。	4
轻微	50%的客户能感觉到有缺陷。	3
很轻微	有辨识能力的客户（25%以下）能感觉到有缺陷。	2
无	无可辨别的后果	1

失效发生可能性	可能的失效率	频度
很高：持续性失效	$\geq 10\%$	10
	$\geq 5\%$	9
高：经常性失效	$\geq 2\%$	8
	$\geq 1\%$	7
中等：偶然性失效	$\geq 0.5\%$	6
	$\geq 0.2\%$	5
	$\geq 0.1\%$	4
低：相对很少发生的失效	$\geq 0.05\%$	3
	$\geq 0.01\%$	2

极低：失效不太可能发生	≤ 0.010	1
探测度	准则：设计控制可能探测出来的可能性	D
绝对不肯定	设计控制将不能和/或不可能找出潜在的起因/机理及后续的失效模式，或根本没有设计控制	10
很极少	设计控制只有很极少的机会能找出潜在的起因/机理及后续的失效模式	9
极少	设计控制只有极少的机会能找出潜在的起因/机理及后续的失效模式	8
很少	设计控制有很少的机会能找出潜在的起因/机理及后续的失效模式	7
少	设计控制有较少的机会能找出潜在的起因/机理及后续的失效模式	6
中等	设计控制有中等的机会能找出潜在的起因/机理及后续的失效模式	5
中上	设计控制有中上多的机会能找出潜在的起因/机理及后续的失效模式	4
多	设计控制有较多的机会能找出潜在的起因/机理及后续的失效模式	3
很多	设计控制有很多的机会能找出潜在的起因/机理及后续的失效模式	2
几乎肯定	设计控制几乎肯定能找出潜在的起因/机理及后续的失效模式	1

注意：我们在上表中所提到的客户并不局限于企业的客户——设备的使用者，而是我们所分析的这个环节的以后环节的使用者、操作者。比如，我们做设计失效模式分析，那么我们这里说的客户指的是图纸的使用者——加工人员、装配人员、操作人员。

通常，在严重度、频度、探测度中，我们评估出来的任何一项达到 9 分（含）以上则需要完全更改设计概念；介于 2-8 分之间（含）则建议改进设计；在 1 分时则不需做任何修改。

前面说了，FMEA 分析的为了解决问题，也就是说，我们分析得出结论以后，还必须给出建议的改进、改善措施。并且要有各措施的责任人、预计完成日期等项目。

以上介绍的就是 FMEA 管理方法的核心思想，诸位如果需要做具体研究，则需要查阅相关资料。

接下来的工作就剩下：制定详细项目实施计划、根据方案制作零件图和设计软件、制作装配图、制作清单、图纸审核、工件加工和配件采购、装配、调试工作。

需要提醒诸位的是：越是到后面的工作越是需要仔细，否则，因为后面的工

作失误而导致的损失会将所有前期工作成果都抹掉。

设备的整体设计和布局是设备设计的前期工作，但是，对于机械设计师来说这又是在积累了一定的零部件或者模块设计经验之后才涉入的领域。它要求机械设计师有良好的全局概念，较为坚实的、全面的专业知识基础，较强的综合分析能力、逻辑思维能力，优异的空间想象能力和优秀的组织能力。

附：设备设计术语英文单词

Proposal Design	方案设计	Part Drawing	零件图
Layout Design	布局设计	Assembly Drawing	装配图
Module Design	模块设计	Bill of Material	材料清单 (BOM)
Parallel Design	并行设计	Cost Down	降低成本
Optimizing Design	优化设计	Qualified Part	合格品
Mechanical Design	机械设计	Rejected Part	不合格品
Software Design	软件设计	Confirm	确认
Top-Down Design	自顶向下设计	Check	审核
Error-Proofing Design	防错设计	Approve	批准
Feasibility	可行性	Flow Line	流水线
Plan	计划	Conveyor	传输装置
FMEA	失效模式分析	Orientation	定向
Ergonomic	人机工程学	Location	定位
Human Machine Interface	人机交互界面	Picking	抓取
Schedule	进度表	Sorting	排序
Safeguard	安全防护	Pallet	随行夹具
Cycle Time	生产节拍	Fixture	固定夹具
Technique Process	工艺流程	Gripper	抓取夹具
Sequence	顺序	Feeding	进给
Mechanism	机构	Loading	上料
Structure	结构	Offloading	卸料
System	系统	Machining	加工
Orbit	轨迹	Manufacture	制造
PDM	产品数据管理	Assemble	装配
PLM	产品生命周期管理	Run	运行
3D Drawing	三维图	Dry Run	设备空运行
2D Drawing	二维图	Patent	专利

第五章 项目管理基础

随着改革开放的深入，我们已经逐步融入全球化时代。市场竞争也越来越残酷，因此对企业的管理能力提出了很高的要求，而项目管理（**Project Management, PM**）更是企业管理中最为重要的一环。项目实施环境的复杂性、个人经验的局限性、不确定性因素带来的风险性以及强调分工合作的特点，对确保项目成功构成了极大的挑战。尤其是一些中小企业，通常一个项目的成败决定着整个企业的未来和生死存亡。自上世纪 40 年代出现项目管理这个概念以来，项目管理体系逐渐健全，从理论到方法论到具体的管理工具都趋于成熟。到上世纪 90 年代，项目管理作为一门独立的学科开始出现，项目经理作为一个职业出现。当然，任何一种技术一旦作为一门单独的学科出现，就会有許多冗余的信息夹杂其中。如果作为专业的研究人员，则需要不停的深挖猛掘；如果是为了再企业中实践运用，则需要根据企业自身实际状况删繁就简，制定适合自身的体系。任何一门学科知识，我们学习的目的都是为了能够在工作实践中得到运用。所以，在本章内容中，我们将择项目管理理论中最为核心的适合机械设计制造的内容做一些简单的介绍。我们的目标人群依然是初级设计师。

第一节 项目管理的基本内容

项目管理是基于团队工作的、借助外部资源有效降低成本、提供跨职能部门的解决问题的方法和工作模式。就工厂自动化设备设计制造来说，项目管理通常有这么几个步骤：1、确定项目任务和目标；2、确定阶段性任务和目标；3、周期性地判断实施状况与阶段性目标和最终目标的差距；4、制订纠偏措施和改善方案。也就是说，我们拿到任何一个项目后，首先要做的是弄清楚这个项目团队的任务和要达到的效果，然后将这个终极目标分解成若干阶段性的目标并且适时地做出评价，对于实施过程中出现的误差进行改善，直到最终圆满完成项目任务。实际上，我们可以看出：所谓项目的核心问题就是跟踪项目进度问题。

项目管理既然是一门专门的学科，那显然会涉及到诸多内容，其实，其中最为核心的、基本的、对于工厂自动化设备设计制造有重要意义的主要是以下几个方面：项目团队——团队管理、项目质量——质量管理、项目风险——风险管理、项目流程——流程管理、项目成本——成本管理、项目进度——时间管理、项目文档——文档管理。

项目团队：项目团队才是项目中最为重要的因素，不论什么项目都必须由项目团队中的人员去操作实施。所以，人永远是最重要的，这就是我们通常所说的“以人为本”。一个自动化设备项目组普遍的配备：机械设计师、控制工程师、软件设计师、加工人员、装配人员、采购人员。那么，项目经理或者项目责任人的首要任务就是管理好这个由各职能部门人员组合起来的团队。

项目质量：项目质量指的是本项目是否最终达到了项目初期要求的功能性、可靠性、可操作性、舒适性（人性化功能）目标。

项目风险:在工业自动化设备中的通常风险有功能风险——所设计制造的设备是否能实现功能;部件质量风险——所设计制造的零部件是否可靠、是否有足够的疲劳强度、是否能顺利工作;成本风险——本设备制造费用是否会超出预算;进度风险——本设备能否按时完成。

项目流程:项目流程就是本项目实施过程中各环节的先后顺序。

项目成本:项目成本应该包括硬件成本、软件成本、人力资源成本、管理成本以及其他项目运作成本。

项目进度:项目进度是项目的主要指标是各阶段性目标和最终目标的时间,它的核心就是合理的时间安排和利用。

项目文档:项目文档也是项目实施中非常重要的一环,它应该包含各种管理文件 and 设计文件。

由以上叙述我们可以看出,项目管理是一项非常复杂的工作,因此,对项目经理也就提出了较高的个人要求,要求项目经理具有:勇于承担责任的精神、积极创新精神、实事求是的精神、任劳任怨积极肯干的精神、自信和锲而不舍的精神。需要指出的是:项目经理并不是技术顾问,所以并不是技术高超就可以担任项目经理这个角色。有很多企业选择项目经理时只关注个人的专业技能,忽略了管理能力,结果导致项目失败。但是,项目经理必须对项目技术有非常深入的了解和独到的见解,否则,他就不可能制定出合理的项目计划。项目经理必须要对整个项目的进程和状态有很强的驾驭能力。

第二节 项目管理方法和过程

我们接到一个项目任务通知以后,就意味着本项目开始启动。那么,基于工业自动化设备设计制造的项目管理过程是怎样的呢?怎样实施项目管理呢?这就是我们本节的内容。

通常的工业自动化设备设计制造项目过程应该包含以下步骤:提出问题→对项目进行可行性研究→制订计划→制作整体方案→制订模块方案→对方案进行可行性探讨→优化方案→制定计划→根据方案制作零件图和设计软件→制作装配图→制作清单→图纸审核→工件加工和配件采购→装配→调试→试运行→投入生产→申请知识产权保护。细心的读者可以看到,这个过程实际上是在第四章提到的。那么,结合这个项目过程,我们来看我们的项目管理过程:组建项目团队→对项目进行可行性研究→制定项目计划和阶段性目标→给项目组成员分配任务→评价目标状况→制订改善措施。

为了实施这些项目管理的过程,就产生了相应的管理方法和工具。我们说项目管理的三大核心内容:质量管理、成本管理、时间管理。其中,目前在企业中流行的成熟的质量管理体系主要是:6西格玛质量管理和全面质量管理体系,这是一个非常专业而且庞大的系统,诸位有兴趣可以去翻阅相关著作或者参加专业培训,我个人认为,对于初级设计师来说,暂时没有必要在这方面花费大力气。对于成本管理,也有非常成熟的体系和专著阐述其理论和方法。个人观点:成本管理并不仅仅是考虑如何节约成本,对于设备来说,通常要结合质量和效率综合考虑设备性价比和客户的可接受性。而这些知识的实践性非常强,需要经过一定数量的项目培训和经验积累,所以,我们在此都不做介绍。因为,管理学本身就

是一门实践性非常强的知识，任何理论教学都不可能教出优秀的管理人才出来。跟战争一样，如果没有企业的实践经验，即使书本知识背得再好，考试成绩再高，也只能是纸上谈兵，并没有实际用处。而且，通常没有实践经验的人去研究管理理论都会觉得云遮雾罩，没有着力点。所以，本人并不建议应届生或者几乎没有项目实践经验的初级设计师过于热情地研究管理问题。通常，对于初级设计师来说，最重要的先要学会如何跟踪项目进度，控制项目进度、如何制定项目工期计划、对项目时间进行管理，这是学习项目管理的第一步。我们在本节内容中主要围绕时间管理阐述一些对自动化设备设计领域意义比较重大、而初级设计师又不容易把握的方法。

项目工作分解

项目工作分解（Work Breakdown Structure, WBS）主要是：为各独立单元分配人员(OBS)。进行责任的划分和指派，自上而下将项目目标落实到具体的工作上，并将这些项目交给项目内外的个人或组织去完成，规定这些人员的相应职责；针对各独立单元进行时间、费用和资源(RBS)需要量的估算，提高费用、时间和资源估算的准确性，进而估计项目整体和全过程的费用。单元越小，估算月准确；为计划、预算、进度安排和费用控制奠定共同基础，确定项目进度和成本计量和控制的基准；确定工作内容和工作顺序。

对于自动化设备设计制造来说应该包含这几个方面的工作：设备功能模块划分、项目阶段性目标划分、项目组成员任务划分。项目工作分解结构的合适与否，决定着项目最终能否取得成功，项目组织的核心技术和管理人员参与制定。而项目工作分解主要依据应该是企业的标准或者行业的惯例，其分解内容必须符合企业自身的生产状况；只有这样，才可能得到很好的实施。

项目工作分解应该根据项目组成员各自的能力水平和任务多寡状况有所区别：责任能力越强，层次可以越少；反之就需要分解得细些，层次多一些；对项目进度和成本、质量的控制能力（水平）越高，层次可以越少；反之，就需要分解得细些，层次多一些，因为越细，项目就越容易管理，因而要求的能力就相对低一些。

以第四章中的设备为例：

其功能模块分解为：机械设计模块、控制设计模块、制造加工模块、装配调试模块。如果再向下细分则是：机架及安全装置模块、零件 1 上料模块、零件 2 上料模块、产品输送模块、装配及装配压力检测模块、装配高度检测模块、不合格品分选模块、合格品卸料模块、电气管路模块、控制箱模块、I/O 软件模块、逻辑控制模块、标准件模块、加工件模块、装配模块、调试模块。

其阶段性目标划分为：机械设计阶段、软件设计阶段、制造阶段、装配调试阶段。向下细分至：总体方案设计阶段、模块方案设计阶段、零部件设计阶段、图纸制作阶段、采购加工阶段、控制电路气路设计阶段、软件设计阶段、装配阶段、调试阶段。

项目组成员任务划分：（略）。

以上项目工作分解还可以更加细致，通常，对于项目经理的管理工作来说划分到第二层较为合适。因为，划分到这一层已经可以制订可跟踪的项目进度计划。更加细致的划分应该留给相关项目组成员做，并由他们自己根据工作分解在项目总体进度的安排下计划时间安排。

项目时间管理

一个项目是否能按时完成，就是项目时间管理的好坏问题。在如今这个信息化、高速化的时代，时间就是金钱，效率就是生命，所以，时间对于企业、对于项目是至关重要的。那么，如何进行项目的时间管理呢？本人总结的结论是：项目进度表的可执行性好、可跟踪性强；项目组成员密切跟踪、随时反馈项目进度。能做到这两点，项目进度就基本可控。

要了解项目时间管理的概念和方法，首先就要知道项目的时间管理的内容。项目的时间管理工作主要是：将项目按划分好的阶段排序、制订项目阶段性计划进度表、设计阶段性计划进度控制方法。

当然，在项目开始的时候，通常具有很多不能确定的因素。那么，对于工作开始时还不能完全确定的事项，我们通常是根据经验和分析判断，对这些不确定因素需要的时间作出一定的估计。这些估计前提具有不确定性，可能转化成为项目的风险。通常，但随着项目的开展，不确定性会减少，另外，界定项目近期开展的活动比界定远期要开展的活动可能更容易，所以在不影响大局的情况下，可以将活动界定作为一个过程对待，但对于即将开始的工作，必须细到足够的程度，对于远期的工作，有时甚至可以当作一个包来对待。所以，这样的话，就需要定期地对项目时间表进行更新。

对项目阶段性目标进行排序时，主要考虑的问题是：在该工作可以开始之前，哪些工作必须已经完成？哪些工作只有在该工作完成之后才能开始？哪些工作可以与该工作同时进行？受该工作制约和制约该工作的因素有哪些？排序的目的就是为了安排项目进度，所以排序应该充分列举出该工作的各项关联工作和制约因素、清晰的表达出哪些工作可以串行、哪些工作可以并行。制约其他工作的工作就是这个阶段性目标或者项目目标的关键路径。

指定阶段性目标进度的关键问题就是估计各项工作的工期。那么，我们通常是根据专业人员的历史经验和曾经成功的项目经验类比得到项目的预期工期。显然，项目的总工期等于关键路径上的期望工期之和。通常，我们估计出来的项目工期或者阶段性目标工期应该包含有一定的项目可能项目变更工期，这是由于项目未来不确定性因素所决定的。这些不确定性因素通常包含：疏忽（漏掉活动或者对活动没有足够重视）；和用户之间缺乏沟通和理解；对相关问题的定义模糊或者不准确；在估算时没有进行充分的分析；缺少经验或历史数据的支持；来自外界的压力；人为虚报，以降低风险；对项目团队成员的技能了解不够。那么为了消除或降低这些不确定性因素对于项目进度的影响，我们通常的做法是：协调两个或多个独立的估算结果；采用不同的估算方法，并比较结果；明确阐明所有的假设条件和限制条件；获得对系统进行模拟的充分的信息与时间；与其它类似的项目比较，作出校验；制订检查表方便随时跟踪改善的办法。制订项目进度表的时候需要注意：一定要对项目非常重要、关键的时间点进行重点关注。专业的项目管理人员通常将这些关键时间点称为项目里程碑。作为项目管理的一个工具，Project 软件是微软开发的专门用于项目管理的软件，非常适合于项目进度表的制订。

当项目进度表制订好以后，就需要项目严格按照这个进度表进行，以做到时间可控。实际上，所谓的项目进度控制的关键也就是在于：对项目工期计划实施与计划变动所进行的管理控制工作。所以，其通用办法就是：首先，对影响因素或制约进行控制（事前控制）；对周期性评估中发现的进度偏差采取纠偏措施（事

中控制，不能指望问题会自动消失)；预测最坏结果和最好结果；再做计划、再控制。其实，项目管理的本质也就是：不停地跟踪项目状况、不断地制订改善措施或纠偏措施的循环；简单地说，就是计划→控制→计划→控制……的循环。

作为一名合格的项目负责人，应该能够在任何时候都对项目进度了如指掌；作为一名专项工作负责人，应该能够随时对自己手中的工作进度了如指掌，甚至需要细致到一个零件的程度。

对于初级设计师来说，在成本管理方面，首先需要明白的是在自己的工作中有哪些环节可以控制成本即可。通常，设备成本的降低跟这两个方面有重要关系：巧妙的、合理的机构和结构设计——通常，合理的机构和机构设计可以减少很多的部件，这是控制成本的第一步；合理的零部件精度控制——它指的是根据设备或者模块的具体使用工况和寿命要求，选择合适的部件精度，这也是控制成本的重要一环；

流程管理通常是一种企业标准，对于项目管理来说，通常只要依据企业通用的设备设计制造流程做项目计划即可。

项目风险管理对于初级设计师来说最实用的是学会控制设备的功能风险，也就是说，知道分析设备设计本身存在的潜在的功能缺陷。所以，这个时候研究FMEA就显得非常重要了。

关于项目质量管理，我想对于初级设计师来说最为重要的是了解评价一台设备性能的指标，然后再设计过程中随时通过这些评价并且改进自己的设计，直至设备达到要求。那么，通常评价设备的指标是这个方面：设备能够按照要求加工产品、具有良好的安全性能、具有良好的人机工程设计（装配简单、维护方便、人机界面设计合理）、外观美观和谐。通俗点说就是：制造工人不骂人、装配师傅不骂人、操作工不骂人、修理师傅不骂人。

另外，需要说明一下：项目文档管理对于企业整体的运营、管理具有非常重要的作用，绝不可掉以轻心。对于工业自动化设备设计制造来说，项目文档通常包含：项目任务书、项目信息表、项目计划书、项目进度表、项目变更书、项目评审表、项目问题跟踪处理表、设计资料（设计计算资料、各版本设计图纸、材料清单）、装配技术资料等。

最后，我们简单地阐述一下项目管理的一个基本原则，特别是在许多大中型企业容易违反的这个原则：项目中任何一个专项工作都必须有专门的负责人，而且必须在项目开始之初即明确界定好其权责范围；否则，就会出现最为糟糕的状况——集体负责。学过管理的人都知道，在这个行业的一句经典格言：集体负责即等于集体免责。

我们在这里阐述的是一些自动化设备初级设计师应该快速掌握的、对于自动化设备设计有重要意义的项目管理初步知识，所以，我也希望本文的读者不骂人。