

航空自动控制设备装配工艺学

方佩敏等 编

北 京 航 空 学 院

1964.3

目 錄

第一章 緒論

- § 1. 装配工艺学研究的对象..... 1
- § 2. 装配工艺的重要性、特点及发展方向..... 1
- § 3. 装配工艺学的发展..... 3
- § 4. 学习装配工艺学的目的与方法..... 3

第二章 装配工藝規程設計

- § 1. 概 述..... 4
- § 2. 装配元件系统与装配工艺系统图..... 5
- § 3. 装配工序的设计..... 9
- § 4. 结构的装配工艺性..... 12

第三章 裝配尺寸鏈

- § 1. 概 述..... 14
- § 2. 完全互換法..... 17
- § 3. 部分互換法..... 24
- § 4. 分组互換法..... 27
- § 5. 补偿法..... 29

第四章 連接方法

- § 1. 公盈连接 (压合)..... 33
- § 2. 变形连接 (铆接)..... 36
- § 3. 应用固紧零件来连接..... 36
- § 4. 胶合、钎焊、熔焊..... 42

第五章 旋轉支承系統的裝配

- § 1. 概 述..... 49
- § 2. 对支承系统的要求及影响因素..... 50
- § 3. 滑动支承系统的装配..... 54

第六章 航空減速器裝配

- § 1. 概 述..... 63
- § 2. 对减速器的要求..... 66
- § 3. 齿轮组件的装配..... 67
- § 4. 减速器本体的加工..... 67

§ 5.	总装调整	68
§ 6.	减速器的试验	72
第七章 气动液压元件装配工艺		
§ 1.	概 述	75
§ 2.	无密封连接物的活动连接部件的装配	77
§ 3.	具有弹性密封物的活动连接部件的装配	84
第八章 导磁体和导电元件装配		
§ 1.	导磁体概述	89
§ 2.	导磁体的热处理	90
§ 3.	迭片的绝缘处理	92
§ 4.	铁心的装配	95
§ 5.	铁心装配精度分析	97
§ 6.	换向器制造概述	98
§ 7.	换向片和绝缘片的制造	100
§ 8.	换向器初装和压力	101
§ 9.	塑料换向器的塑压	102
§ 10.	换向器的机械加工、耳环挂锡、检验和超速试验	104
§ 11.	其他导电元件的制造	105
第九章 繞綫体与电位計制造工艺		
§ 1.	概 述	108
§ 2.	骨架制造	108
§ 3.	绕线	109
§ 4.	绕线体的检验	116
§ 5.	绕线体的浸渍工艺	118
§ 6.	线绕式电位计制造	120
第十章 靜平衡与动平衡		
§ 1.	概 述	122
§ 2.	靜平衡原理及方法	123
§ 3.	靜平衡的夹具及设备	126
§ 4.	靜平衡工序	127
§ 5.	动平衡理论	128
§ 6.	动平衡方法及设备	131
第十一章 电机装配		
§ 1.	电机装配的典型工艺路线	135
§ 2.	对支承系统的要求及其影响	138
§ 3.	对电磁系统的要求及其影响	139

§ 4.	影响电动机工作性能的因素及试验	141
§ 5.	影响同步器性能的因素及试验	142
第十二章 陀螺仪表的装配与调整		
§ 1.	概 述	145
§ 2.	航空陀螺地平仪的调整	147
§ 3.	航空陀螺方向仪的调整	153
§ 4.	航空陀螺转弯指示器的调整	157
§ 5.	浮子式陀螺仪的装配与调整	160
第十三章 电气仪表的装配与调整		
§ 1.	概 述	166
§ 2.	传感器的装配与调整	167
§ 3.	指示器的装配	170
§ 4.	指示器的调整	172
第十四章 膜盒式仪表装配与调整		
§ 1.	概 述	181
§ 2.	轴组合装配	182
§ 3.	机构架组合件装配	185
§ 4.	机构的装配与调整	186
§ 5.	机构的调整	188
§ 6.	膜盒仪表的总装配	193
第十五章 产品试验		
§ 1.	概 述	195
§ 2.	典型的试验方法	196

第一章 緒 論

§ 1 裝配工藝學* 研究的對象

產品的整個生產過程包括四個階段，即毛坯製造、零件製造、產品裝配及試驗。通過產品裝配階段把合格的零件裝成合乎全部技術要求的產品；試驗是最後一個階段，它鑑定產品是否合乎出厂的要求。

研究產品裝配、試驗過程中普遍的具有共性的工藝問題、研究裝配工藝的一般規律的科學稱為“裝配工藝學”。裝配工藝學是航空自動控制零件製造工藝學的繼續。

航空儀表與自動器種類繁多、原理、結構又各不相同；但是都是由一定的元件組成的。如敏感元件、變換元件、執行元件或指示元件。對於不同的儀表或自動器來說，同類元件在結構上有相似之點，因此在裝配工藝上也有共同之處。如遠距離壓力表傳感器、陀螺方向儀、電動自動駕駛儀舵機中均有電位計元件，上述電位計雖然用途、形式、精度要求都不相同，但在結構上仍有相似之處，因而在裝配上也就有共同點。

此外，從裝配工藝的觀點來看，各種元件儘管它在結構上有很大的差別，但總是按一定的程序，通過各種裝配工序（基本工序與輔助工序）來完成的。因此，掌握各種裝配工序、掌握各工序的程序的安排，就容易了解各種元件的裝配；掌握各種元件的裝配後也容易了解各種儀表的裝配。

裝配工藝學研究的主要問題有：

- 1) 保證產品精度的裝配方法的計算；
- 2) 制定產品裝配工藝程序的一般方法；
- 3) 產品裝配的基本裝配工序；
- 4) 典型元件的裝配；
- 5) 典型儀表的裝配；
- 6) 產品的試驗；
- 7) 結構的裝配工藝性分析。

§ 2 裝配工藝的重要性、特點及發展方向

1. 航空與火箭技術的發展，使儀表和自動控制系統得到極其廣泛的使用。飛機和導彈上所配備的儀表、自動器如此之多，其價值可以與機體和發動機相比。根據資料報導，空——空型導彈的檢驗儀表和自動操縱儀表生產價值占總價值的78%，地——地型導彈占55%。在儀表生產過程中裝配工作的勞動量占有很大的比重，約占总勞動量的30~60%，因此裝配工作在整个生產中占有重要地位。

*航空自動控制裝配工藝學簡稱裝配工藝學，下同

装配工作的重要性不仅表现在它的劳动量大（影响产品成本），并且在装配过程中它最后地决定了产品的精度及可靠性。

2. 装配工艺的特点

仪表装配工艺与其它工艺相比较具有很多特点，这些特点有：

1) 产品的品种多、精度高、结构复杂；

仪表工厂往往虽然仅生产某种类型的仪表（或自动器），但一种仪表也有数十种不同的型号。这些仪表往往有不同的原理、结构、精度要求及生产量；并且有花样繁多的装配工序。不仅包括机械的、电气的连接与安装，往往还有磁的、电子的、光学的元件的装配与调整。这样，使得生产和生产组织工作十分复杂。

2) 在装配中不仅要保证几何参数精度（如装配尺寸精度）；还要求保证物理参数精度，（如电阻磁感应密度等）。

3) 手工劳动及自然过程比重大；

由于结构复杂、尺寸小、批量不大及调整工序多等原因，到目前为止装配工作仍有大部分工作是手工操作，机械化与自动化程度较低。

在装配过程中自然过程的比重较大，如干燥、聚合、运转等工作。由于这些工序工时较长，增加了生产周期。

4) 文明生产程度要求高；

文明生产不仅是指生产的环境有较高的清洁程度，同时还要求工作环境应有一定的温度及湿度。文明生产还具体的反映在装配工艺过程上、生产组织上、运输保管及具体的操作上。

要求严格的文明生产是满足产品质量所必需的，因为文明生产对产品质量有重大的影响。如装配车间的温度变化会引起测量与装配误差，湿度过大会使零件生锈，又如尘土的落入会引起摩擦力矩的增加，甚至使仪表卡死。这些都影响产品的精度。

3. 装配工艺的发展方向

仪表或自动器的发展促使装配工艺的发展，产品精度的提高促使装配技术、测试技术的提高，也要求装配工艺装备的精度提高，并促使应用新的装配工艺。同时，新的工艺装备及新的工艺方法的出现反过来又促进结构的发展。例如铝合金零件的软钎焊是十分困难的，但超声钎焊问世后铝合金的软钎焊就变得较为简单了；铝零件的连接可以用软钎焊来代替硬钎焊或其它连接。在高强度胶及胶接工艺发展后，在很多结构上又可以用胶合来代替铆合或压合，使结构变得更轻巧。这样相互促进、相辅相成使生产获得发展。

装配工艺今后的发展方向是：

1) 改进结构工艺性；

2) 进一步的提高零件的制造精度、提高工艺装备精度，减少生产误差使增加互换性程度的百分比；

3) 使装配工序逐步机械化与自动化；

4) 提高检验及测量的精度，提高测量技术；

5) 加强有关保证产品精度方面的理论分析及计算问题的研究，这种计算作为设计产品（制订组合件及零件公差）及选择装配方法的基础；

6) 保证在最经济的条件下，尽可能采用新工艺方法；

7) 改善生产组织。

§ 3 装配工艺学的发展

航空自动控制装配工艺学与其它工艺学一样,这门学科的建立是来自生产实践,是由总结归纳生产实践的经验及进行科学研究、分析发展而成的。生产的发展使工艺学获得发展,工艺学的发展反过来又指导和促进生产。

航空自动控制设备的制造历史很短,仅几十年,但由于航空事业的发展使这部分获得相应的发展。随着生产的发展,工艺中的问题也增多,因此在航空自动控制设备工艺学中分成两部分:零件制造工艺学及装配工艺学。

装配工艺学是一门新兴的科学,在理论上还没有完全成熟,但近年来有较大的发展,工艺的论文集及装配工艺的书籍也有较多的增加。在目前关于保证产品几何精度方面的理论已比较成熟,在物理精度方面也开始进行了研究;在制订装配工艺程序及提高装配生产率(装配工序机械化)方面已有一定的成就,正逐步形成完整的装配工艺的基础理论。

装配工艺学的发展方向之一是继续总结归纳装配生产中的工艺问题,并加以分析研究。装配工艺学的发展方向之二是进行科学理论上的研究。其中主要的问题有装配物理性能保证的问题、物理互换性的问题、装配误差分析与计算问题、合理地制定装配工艺程序的问题、提高装配生产率及保证经济性的问题等。

这二方面的问题应结合起来进行研究。

§ 4 学习装配工艺学的目的与方法

学习装配工艺学的目的是在了解装配工艺的一般基础问题,了解各种连接方法、了解各种典型元件及产品装配的一般规律后,掌握产品结构与装配工艺的关系,为产品(工艺性良好的产品)设计打下基础。

产品要求一定的精度,这要求有一定精度的零件及组合件来保证(零件的加工及组合件装配有一定生产误差)。如何来合理的制订有关零件及组合件的公差,使得既满足产品精度要求,而又不使生产时发生困难或引起生产成本的剧增,则必需要求设计者对生产过程:对生产中可能产生那些误差、误差的大小及误差对产品精度影响的程度等有全面的了解。换一句话说这要求设计者掌握工艺。

本课程分两大部分:装配工艺的基础理论及典型元件及产品的装配工艺。

学习第二部分时应与第一部分结合起来,并且与产品的结构结合起来,了解产品的技术要求,分析在装配工艺中如何保证,这样才能获得良好的效果。

装配工艺学是一门专业课,它与许多前修课有密切的联系,如:仪表与自动器的原理与结构、零件制造工艺学、公差技术测量等。

第二章 装配工艺规程设计

§ 1 概 述

装配工艺规程的设计是生产准备工作的第一步，它是装配工作中的指导性文件，指导着生产准备工作和装配工作的顺利进行。

1. 装配工艺规程的设计步骤

装配工艺规程的设计步骤如下：

- 1) 分析、消化原始资料。按产品图、说明书研究产品及组合件的结构，同时分析它们的技术条件；
- 2) 根据产品结构画产品装配元件系统图，并根据产品技术条件与装配元件系统图绘制装配工艺系统图，以确定组合件及产品的装配程序；
- 3) 划分装配工序；
- 4) 进行几何尺寸精度及物理量精度的计算，确定采用的装配方法，调整方法；同时确定试验及检查的方法；
- 5) 选择通用设备、工夹具、量具、辅助材料，并提出专用设备及工夹具的要求；
- 6) 确定装配、调整工人等级，计算工时定额；
- 7) 填写工艺文件。

2. 装配工艺规程设计的要求

装配工艺规程要保证产品的全部技术要求，并且有最短的装配周期及最低的装配成本。具体来说在设计时尽可能满足下列要求：

- 1) 利用国内外的科学成就和经验，革新者的创造及发明；
- 2) 工艺规程能保证严格的工艺纪律，在任何环节上能保证产品的质量；
- 3) 在选择工艺装备时尽可能机械化与自动化以减少工人的手工劳动，并且应保证工人的操作安全及劳动保护；
- 4) 用最经济的方法来装配产品；
- 5) 尽可能利用先进的生产组织形式——流水线生产。

3. 原始资料

原始资料是设计装配工艺规程的依据。原始资料可以分三类：基本原始资料、指导性原始资料及辅助原始资料。

基本原始资料包括：年产量，整套产品图、技术条件和技术说明书等。

整套产品图包括零件图、组合件装配图、产品总装图、安装图或布线图、零件明细表、包装图等。

在装配图中应有产品各部分的足够的视图与剖面，以便于分析了解各零件在产品中的作用、相对位置、和它们相互之间的连接情况；装配尺寸——在装配时要求保证的尺寸及装配尺寸精度；调整零件及补偿方法；装配时需要满足的技术要求及装配中注意事项；进入组合

件或产品装配的零件及组合件明细表。

指导性的资料：这种资料是工厂或有关部局规定的或较全面性的材料，包括工厂的标准、材料定额、工具、夹具、设备资料和说明书、技术定额、规范等。

辅助性资料：各种不同的参考资料，包括学校、研究机关、工厂中的科研资料，各种有关产品的生产图册，参数书籍及国内外先进技术成就资料等。

在设计产品时，除了绘制出产品图及所有零件图外，还必需将产品划分成若干个组合件并绘制组合件装配图。绘制组合件装配图的目的是将复杂的产品划分成若干组合件后可以更清楚地表示零件之间的装配关系；在组合件装配图中可以更具具体地提出组合件的技术要求。如装配尺寸精度（轴向、径向间隙及装配后两零件之间的同心度或垂直度等）、装配连接强度等。

§ 2 装配元件系统与装配工艺系统图

在分析、消化原始资料后，绘制装配元件系统图（有的产品图中设计师已绘制这种图，并附在产品图中）。装配元件系统图表示了产品与装配元件的关系。

装配元件是指可以独立进行的装配的元件，它可以是零件或组合件。零件是最基本的装配元件，由一毛坯加工而成，不经连接工序。组合件由二或二上零件（或较低级的组件）经装配而成。

装配元件系统图表示了产品与装配元件之间的关系。它不仅反映某一组装配元件由那些组合件及零件组成，并且也反映了大致的装配程序及结构的复杂程度。

装配元件系统图有各种画法，如图2—1所示。由图中可以看出零件是最基本的装配元件，由零件直接装配的组合件称为第一级组合件，由第一级组合件进行装配而成的组合件称为第二级组合件，余类推，最后装成产品。

从装配的观点来看，可以单独进行装配的元件数较多结构工艺性好，它可以有条件进行平行生产，使装配周期缩短；第一级、第二级组合件最好能以一种连接即能成为一个装配元件，这可以有条件将产品中各装配元件按连接方法分类在不同的工作地进行装配，以提高设备生产率（如钎焊工作地、绕线工作地等），因此要求划分足够的装配元件（在产品图中有

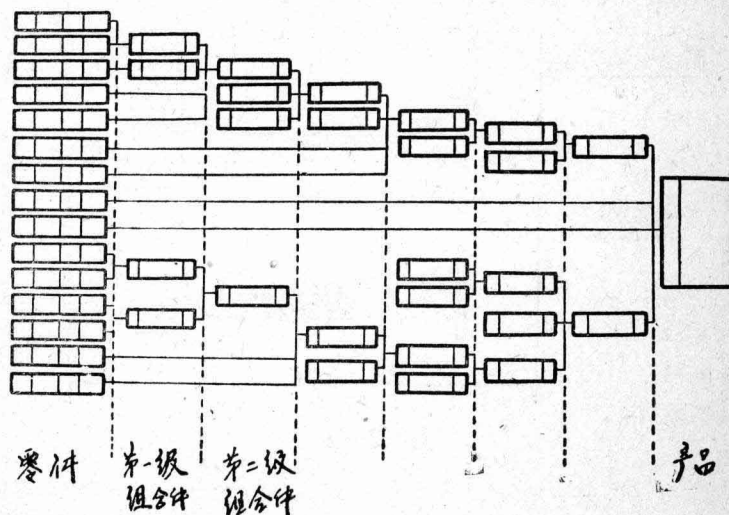


图2—1a 装配元件系统图

足够的组合件装配图），以满足装配生产的需要。

装配工艺系统图是根据装配元件系统图绘制的。把装配元件按装配的程序排列，并注上必要的说明及注解而成。装配工艺系统图也有多种画法，这里介绍一种“结点”法。

每经过一次连接便形成一个“结点”，各个结点按连接次序排列即形成结点式装配工艺系统图。例如图 2—2 所示是电气仪表活动系统组合件，图 2—3 是它的装配元件系统图，图 2—4 是它的装配工艺系统图。

在图中可以看出：每经过一次连接有一个结点，把非连接的装配工作（如去磁、检验、调整等工作）以注解的形式注在装配线上，表示这些工作在装配过程的位置；在装配中所需的辅助材料（如易熔合金等）也注于结点附近。

图 2—3 及 2—4 相比较可以看出它们之间的差别。由于装配工艺系统图反映了装配程序，所以它是装配工艺规程设计的基础。

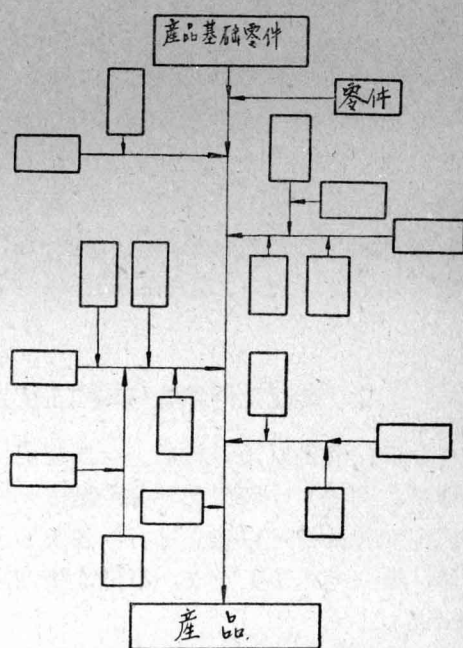


图 2—1b 装配元件系统图

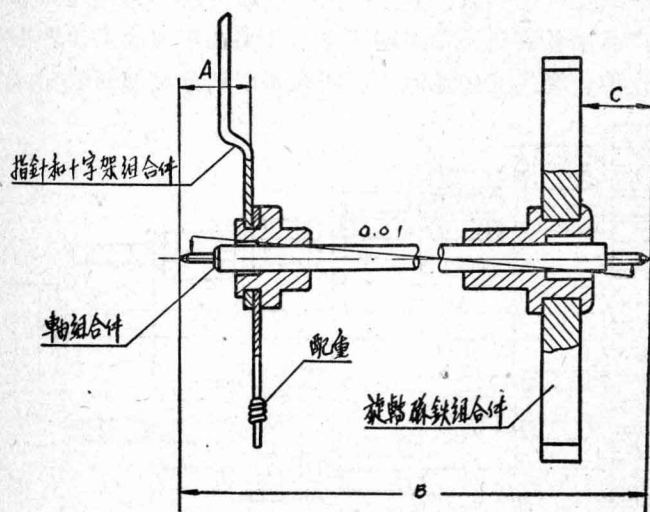
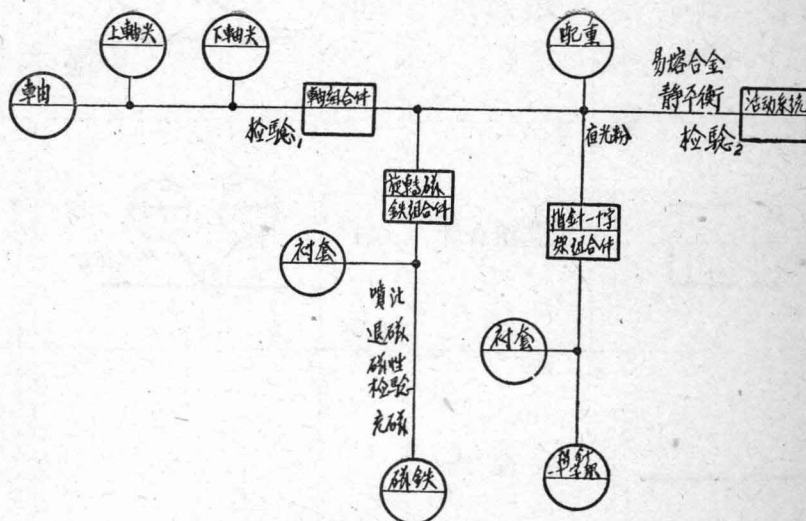
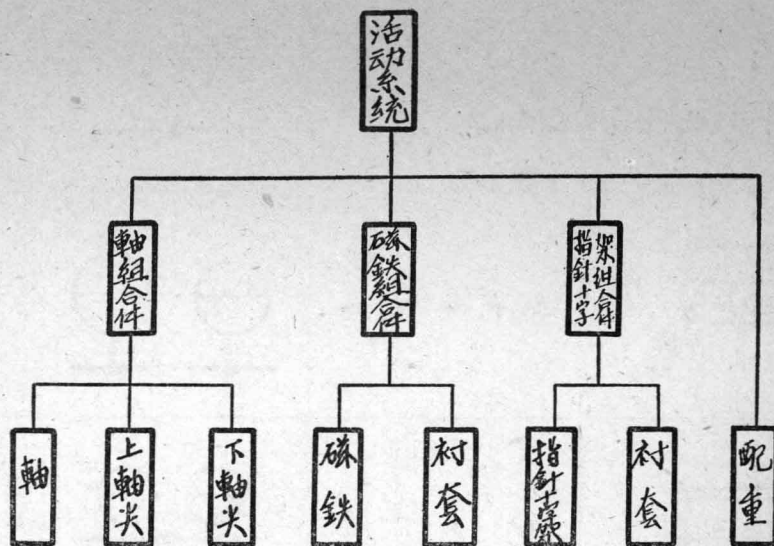


图 2—2

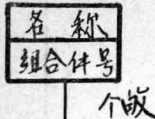
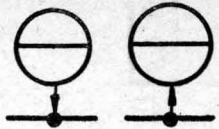
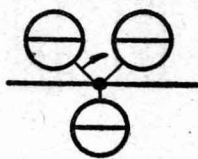
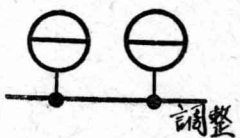
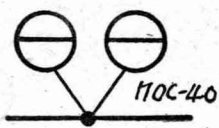


检验:

1. 同心度;
2. 装配尺寸; 连接强度; 静平衡; 外观。

装配工艺系统图的符号如表 2—1 所示。

表 2—1

1		零 件	7		连 接
2		组 合 件	8		装上与拆下
3		产 品	9		装配顺序 (按箭头)
4		工艺零件	10		非连接工作 的位置
5		工艺组合件	11		辅助材料
6		装 配 线			

对于复杂的产品可以先绘制总装的装配工艺系统图，然后再绘制组合件装配工艺系统图。在绘制装配工艺系统图时，应考虑装配顺序的合理性，并且应特别注意非连接工作及辅助工作的安排，这些工作易被忽视，但对产品质量有重大影响。如装配过程中的时效处理以消除装配应力，装配后的运转工序以保证间隙的精度等。

在装配过程中对调整、检验工序安排应按下列原则：

- 1) 能单独进行调整的组合件应立刻进行调整。
- 2) 经过调整的组合件必须进行检验合格后才进入下一级装配, 每一个组合件装配之后必须安排检验工序。

§ 3 装配工序的设计

装配工序

由一个(或一组)工人在一个工作地上连续地完成装配工作的一部分称为装配工序。

装配工序由若干装配工步组成。

装配工步

以一种工夹具完成的装配工作称为装配工步。

在绘制装配工艺系统图后, 进行装配工序的设计。装配工序设计包括两部分: 划分装配工序(把装配工艺系统图划分成若干个间隔, 每个间隔为一个装配工序); 每一个装配工序进一步划分若干装配工步。

工序的划分可按集中原则或分散原则。工序的划分按集中原则时, 则一个工序中有较多个结点或多种装配工作; 在按分散原则时, 则一个工序中结点较少或只有一种装配工作。

工序划分(按集中或分散)的原则是取决于产量、结构的特点而定。在单件(或试制)时按集中原则, 在成批或大量生产时按分散原则, 随着批量的增加, 分散性也愈大。

在成批生产的情况下, 一般按下列原则来划分:

- 1) 装配级数低的(第一级、第二级), 以一种装配工作或结点即划为一装配工序, 装配级数较高的组合件, 可以有较多个结点为一个装配工序(因为复杂的组合件不宜多人装配);
- 2) 每一个装配工序中不要有很多的夹具, 装配夹具过多使增加装拆的辅助时间;
- 3) 用较大的设备或专用设备时应单独列一工序;
- 4) 简单的装配工作不要与复杂的装配工作合一工序, 使合理的安排人力;
- 5) 自然过程、外车间工作应单独列出, 如干燥、时效工序及表面处理工序;
- 6) 各工序的时间尽可能接近或互成倍数, 在流水线生产时应加以严格的计算, 各工序等于节律或节律的倍数;
- 7) 检验工作一般单独列一工序。

工序划分后进行工序设计。

工序设计包括: 划分工步、确定各工步内容; 画工序草图; 选择通用设备, 提出专用设备; 提出辅助材料; 确定工人专业及工人等级; 估计或计算工时定额; 写工艺文件。

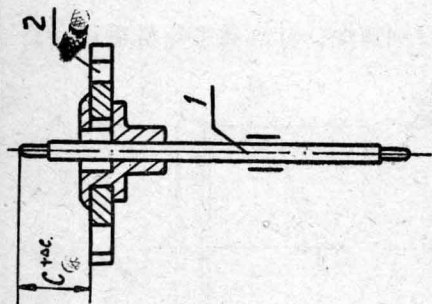
将组合件及产品的各工序按顺序排列编写成组合件及产品的装配工艺路线单(工艺过程卡片)。在装配工艺路线单中除包括装配车间的装配工序外, 还包括外车间的工序。装配工艺路线单上注明主要设备、在何车间进行, 以便组织生产调度。

每一个工序写成装配工序单(装配工序卡片)。各工步内容应填写得简洁、明确、具体, 并要求通俗易懂。

工序图表示装配零件之间的关系, 或装配零件与工夹具之间的相对位置。为了使工序图清晰起见, 可以简化(去掉某些不必要的线条)。图中应表示出装配尺寸, 与装配夹具接触的基准(用符号)。

装配工艺路线单及装配工艺卡片见表 2—2 及 2—3。

表 2-3



片卡工序配装

装配工序卡片										组配件号	
名称		活动系统		车间		工序		1		1	
装配零件(组配件)		号数量		装配零件号		数量		共		页	
1. 轴组配件		1									
2. 磁铁组配件		1									
辅助材料		牌 号		消耗量(个)		辅助材料		牌 号		消耗量(个)	
汽油		B-70		1 克							
工 步		说 明		设 备		夹 具		工 具		代 号	
1.	轴组配件 1 及磁铁组配件 2 用汽油清洗, 用压缩空气吹干			工 作 台		汽 油 缸		刷 子、 锯 子			
2.	将轴组配件 1 装在压合夹具上, 压入磁铁组配件 2					夹 具 1					
3.	取下组配件, 加力矩为 20 克—厘米时检查组配件的连接强度, 并检查尺寸 C					夹 具 2		样 板			
4.	将组配件装在箱子内					箱 子					
检验											
1. 装配尺寸 C+4C								样 板			
2. 连接强度 20 克—厘米						夹 具 2					
3. 轴尖表面有无擦伤								放 大 镜			

§ 4 結構的裝配工藝性

所谓结构的装配工艺性是指产品结构可以用最经济的装配工艺过程来装配产品，保证产品质量的可能性。

在设计产品及设计装配工艺规程时要进行结构工艺性分析。结构的工艺性分析包括零件结构工艺性及装配工艺性。在这里我们仅讨论结构的装配工艺性。

结构的装配工艺性对装配工艺过程有重大的影响，因为产品的装配程序、装配生产周期、装配工艺过程的复杂程度主要取决于结构。

从装配的观点出发，满足下述条件时装配工艺性好。

1) 互换性程度高：

在组合件装配时要求零件能达到互换，在总装配时要求组合件能达到互换，同时不仅要几何参数达到互换，并且要求物理量达到互换。在产品中可以用互换性程度系数来表示，即有互换性的零件总数与产品全部零件数之比，用百分数表示。系数愈高工艺性愈好。

2) 装配元件数多

可以单独进行装配的元件（组合件）多，则同时进行装配的可能性大，装配周期短、人力容易安排。装配元件多少可以用分散性系数表示，以组合件总数与全部零件数之比，用百分数表示，系数愈大愈分散。

3) 装配的零件或组合件统一程度高：

装配的零件或组合件统一程度高不仅使相同的零件数增加，减少零件的品种；并且装配时也可采用生产率较高的装配夹具。

4) 减少装配的零件数目，直接减少装配劳动量；

5) 用调整来代替修配，用分组互换来代替选配，以提高装配生产率。

例如，浮子式油量表的浮筒有两种结构。一种是由金属板料（冲压、弯曲）零件经过钎焊而成，如图 2—5 所示；另一种是由整体泡沫塑料制成，如图 2—6 所示。

图 2—5 所示的结构要有较多的冲压件钎焊而成，需要冲模，且钎焊后不易检查有无漏气。图 2—6 所示的结构由整块泡沫塑料制成，不仅加工方便，装配时也较钎焊的简单，且可靠性好。

例如，密封仪表壳有两种不同的结构，如图 2—7 所示。图 a 是用腻子来密封，图 b 是用橡皮垫圈来密封。

a 图的结构在涂腻子时容易弄脏玻璃表面，需要仔细清洗；并且腻子涂好后要经过一个

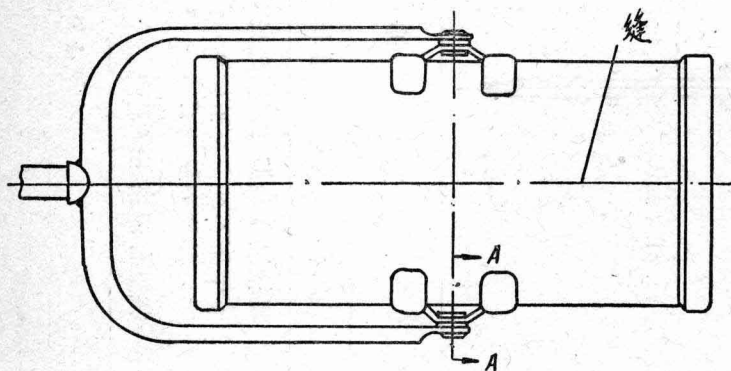


图 2—5

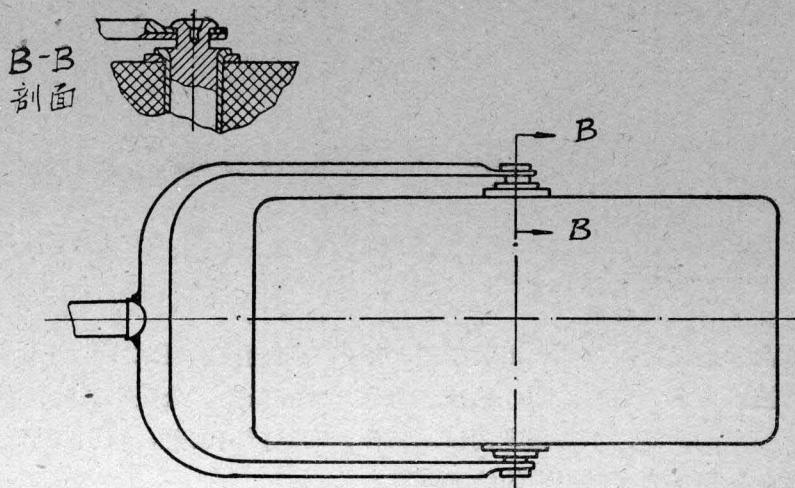


图 2-6

较长的干燥时间。万一在使用过程中玻璃碎了更换时也较麻烦，而 *b* 结构则没有上述缺点。

例如图 2-8 所示的两个带零件插座。*a* 图采用螺钉连接及铆钉连接，*b* 图采用塑料压制（镶嵌件）的方法把零件连接在一起。可以在两个图中清楚的比较出：*b* 图零件数少，并且也不需在装配车间进行装配。

由上述例子可以看出在不同的结构（满足相同的技术要求）条件下，装配工艺过程不同，使装配周期及成本也不同，设计时必须考虑这一点。

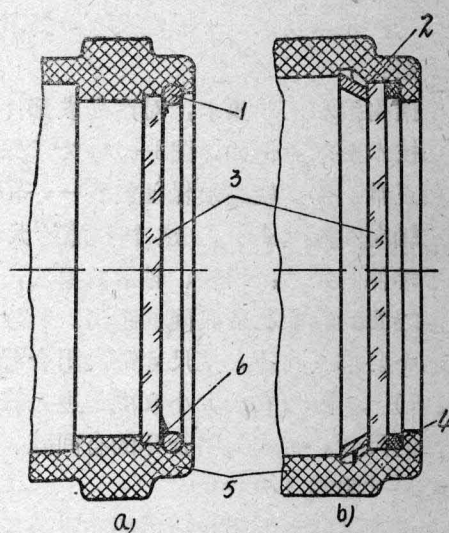


图 2-7

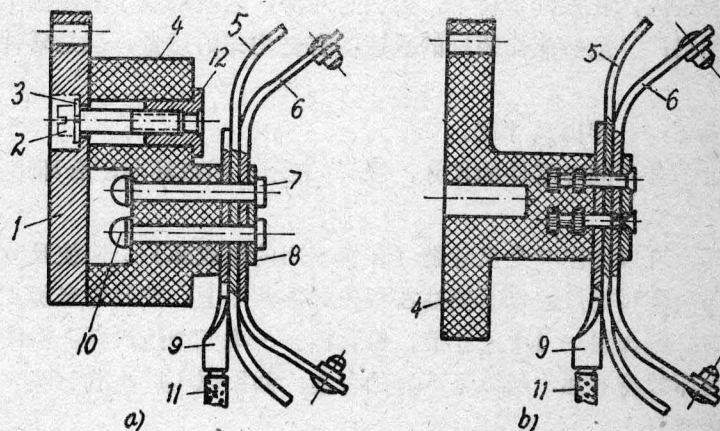


图 2-8