

仪表制造工艺学

В. П. 叶菲莫夫 著
А. Б. 雅 兴

国防工业出版社

仪表制造工艺学

A.B. 雅 兴、B. II. 叶菲莫夫 著

楊錦华、刘玉堂、孙荣科 譯

韓錫勳、秦光俠、孙荣科 校



国防工业出版社

本書是根据莫斯科包伍曼工学院講授仪表制造工艺課程的教学大綱編写而成。書內敘述了仪表制造工艺过程的设计及一般仪表零件制造工艺的基本問題，主要是敘述了一些理論性的問題。

本書可作为高等技术学校仪表制造系和机器制造專业的教材。此外，对于工厂、企业中有关的工程技术人员来講，也是一本有用的参考書。

А.Б.Яхин и В.П.Ефимов
ТЕХНОЛОГИЯ
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
Государственное
Издательство Оборонной Промышленности
Москва 1955

本書系根据苏联国防工业出版社
一九五五年俄文版譯出

仪表制造工艺学

[苏] А.Б.雅 兴、В.П.葉菲莫夫 著
楊錦华 刘玉堂 孙荣科 譯
韓錫勳 秦光俠 孙荣科 校

*

国防工业出版社 出版

北京市書刊出版业营业許可証出字第 074 号
北京五三六工厂印刷 新华書店发行

*

850×1168 耗 1/32 • 11 13/16 印張 • 插頁 1 • 309,000 字

一九五七年五月第一版

一九五七年五月北京第一次印刷

印数：1—6,000 冊 定价：(10) 2.00 元

前 言

仪表制造工艺学是研究仪表生产工艺过程的一門科学。

现在被称为机器制造工艺学、仪表制造工艺学等这些課程是在第一个五年計劃初期才开始設立的。在第一个五年計劃以前，高等工业学校的教學計劃中只包括金屬工艺学概論和研究金屬个别加工方法（鑄、鍛、切削等）的一些課程。

那时由于机器制造业和仪表制造业的发展，对于如何合理地制造机器和仪表的問題要求得到全面的解决，因而也就要求創設有关的課程。索克罗夫斯基（А. П. Соколовский）在1932年所提出的叫法“机器制造工艺学”很好地反映了这門課程的实質，类似于此，又開設了“机床制造工艺学”、“汽車拖拉机制造工艺学”、“仪表制造工艺学”等課程。

仪表制造工艺教程（当时不是这样叫的）这門課首先于1930年在莫斯科包伍曼工学院开始講授，后来列宁格勒精密机械学与光学学院也開講了这門課程。在发展的开始阶段，这門課的內容是按雅兴（А. Б. Яхин）所写的“精密工业生产中工艺过程的設計原理”一書（国家机械与冶金工业出版社1934年版）来取材的。1940年国防工业出版社出版了同一著者——雅兴所写的“精密仪表制造工艺学”这本教材，而在1949年又在雅兴的主編下集体写出了这种教材，名称仍是“精密仪表制造工艺学”。

近年来，除去仪表制造工艺的一般性課程外，还創設了研究不同仪表制造部門的专业課程。反映这些課程的有关課本与教材計有：格夫里洛夫（А. Н. Гаврилов）的“航空仪表制造工艺学”，維得米得斯基（А. М. Ведмидский）的“測量仪表的制造工艺学”，耶夫捷夫（Ф. Е. Евтеев）和朱可夫（В. А. Жуков）的“无綫电产品工艺学”等。

有些学者在机器制造工艺方面的著作对于仪表制造工艺这门科学的創建曾发生了很大的影响，这些学者是：巴拉克兴（В.С. Балакшин），卡歇林（А. И. Каширин），可万（В. М. Кован），索克罗夫斯基（А. П. Соболевский）等等。在仪表制造工艺方面，茲納明斯基（А. П. Знаменский）在列宁格勒精密机械学与光学学院曾进行了非常有价值的研究。

仪表制造工艺学这门课程的发展，和其它类似的课程一样，起初主要是系統整理实际材料及建立某些一般性的原理。但很快地就感到，为了解决与机器和仪表的制造工艺有关的问题，必须要有一系列的理論依据和計算方法。于是这也就对从事机器与仪表制造工艺方面作研究工作的学者們提出了相应的任务。

仪表制造工艺学这门课的基本使命是使学生能学会分析工艺过程，并根据数学、力学、金属工艺学、材料力学、机械原理以及其它课程（这些课程乃是培养一个工程师的理論基础）方面的知識，能对所采用的决定給以理論上的依据。

另外一个重要使命是使学生能熟悉制造仪表基本零件和装配仪表的典型工艺过程，熟悉先进的生产經驗、定額标准和参考材料等。当然，所有上列这些问题，当学生在作工艺实习和课程設計而进行設計工艺过程和所用的工艺装备因而获得初步經驗之同时能够更好的熟悉。

在理論奠基方面和計算方面，首先須要解决的是精确度問題。沒有理論依据和計算方法这方面的知識来解决这种問題，就是最有經驗的工艺师也会发生錯誤，結果不是造成廢品，便是使工艺过程不必要地复杂化和提高产品成本。所以在仪表制造工艺学这门课程中，对精确度問題应給以很大的注意。

莫斯科包伍曼工学院在講授仪表制造工艺学这门课时，不但对仪表制造系的各个专业都講述了設計工艺过程的一般問題和制造仪表一般零件的工艺，而且对每个专业还講述了仪表制造相应部門的特种零件的制造和組合件的装配問題。

本書主要是由技术科学博士雅兴教授写的，只有第四章和第

五章的一部分是技术科学碩士叶菲莫夫講師所写。

此外，維得米得斯基还参加了本書仪表装配部分的編写工作和馬太林 (А. А. Маталин) 参加了表面質量部分的編写工作。

索伯列夫 (Н. П. Соболев) 教授和斯大林奖金获得者技术科学碩士塔拉索夫 (С. В. Тарасов) 在看閱本書原稿时曾提出了不少的宝貴意見，著者仅在此表示謝意。

对于本書的批評和有关缺点的指責請寄到莫斯科，И-51，彼得罗夫卡大街 24 号国防工业出版社 (Москва И-51, Петровка, 24, Оборонгиз)。

目 录

前 言	6
緒 論	1
1. 关于工艺过程及其設計的一般概念	1
2. 结构的工艺性	4
第一章 設計工艺过程的基本原则	
1. 产品质量	8
概 說	8
加工精确度和公差	10
加工精确度的評定方法	12
加工精确度的基本指标	12
2. 劳动生产率	16
技术标定概說	16
劳动生产率与工序构成的关系	19
多机床看管	22
3. 成 本	24
一般計算方法	24
最合理方案之選擇	26
4. 工艺过程的自动化	29
概 說	29
自动化裝置	31
自动化的各階段	35
第二章 零件制造工艺学的一般問題	
1. 毛坯制取方法的选择	36
2. 机械加工 (概說)	45
达到精确度的方法	45
工序的数目及其順序	46
3. 机械加工中毛坯的安装	48
定 位	48
定位精确度	51
計算定位誤差的一般方法	53

定位誤差的計算示例	57
基準尺寸的計算	67
毛坯的夾緊	69
夾具夾緊裝置的構成系統及對其要求	69
關於毛坯夾緊所引起的加工誤差	72
夾具設計的技术經濟原則	73
4. 加工	76
加工余量和中間尺寸	76
加工余量的概念及其計算方法	76
中間尺寸的計算	79
加工過程的精確度	82
規律性誤差	83
誤差和尺寸的散布	88
表面質量	93
產生表面粗糙度的基本原因	93
決定表面光潔度的主要工艺因素	97
5. 調整的精確度	101
概說	101
計算方法	105
6. 表面塗鍍層的選擇	109
金屬鍍層	110
鋼零件的鍍層	110
有色金屬零件的鍍層	112
化學處理	113
表面塗漆	114

第三章 軸和衬套的制造工艺

1. 軸	115
一般要求	115
軸的制造工艺过程的基本方案	116
光加工	119
根据普通車削原理对軸的加工精確度之分析	123
縱切自动車床加工精確度之分析	142
2. 衬套	150
基本要求	150

工艺过程的基本方案和工序顺序要领	151
毛坯的安装方法	156
孔的加工	162
孔的光加工	166
偏心轴及衬套的加工	170

第四章 齿輪制造工艺

1. 概 說	174
在仪表制造业中对齿輪的基本要求	174
仪表制造业中所使用的齿輪之基本类型	177
2. 带套齿輪的制造工艺	179
工艺过程的分类	179
制造齿圈的方法	180
齿圈光加工的方法	196
磨 齿	196
齿輪的研磨	199
剃 齿	201
阿氏铣切法	204
齿輪的低光	204
齿輪的磨配	206
3. 其他类型外啮合正齿輪的制造工艺要领	207
联轴齿輪	207
片状齿輪	211
連身齿輪	212
复杂形状的齿輪	213
扇形齿輪	214
4. 用螺旋铣刀铣齿的精确度之分析	216
齿形精确度	216
铣刀的不精确度	216
机床不精确度	228
铣刀在机床上安装的不精确度	232
切削过程中产生的变形、温度的变形和铣刀的磨损	233
齿圈同侧齿形的位置或基节的精确度	234
齿圈对齿輪旋轉中心的位置之精确度	235
異侧齿形相对位置的精确度或齿厚的正确性	240

齿向的正确性	242
5. 用圆盘齿轮铣刀铣切时铣切过程精确度的分析	244
齿形精确度	244
铣刀的不精确度	244
铣刀刃磨的不精确度	247
铣刀对齿轮安装位置的不精确度	247
机床的不精确度	251
因切削力而产生的变形、温度的变形和铣刀的磨损	252
基节的精确度	252
周节的精确度	253
齿厚的精确度	254
齿向的精确度	256
6. 其他种齿轮制造工艺要领	256
蜗 轮	256
直齿伞齿轮	258
内啮合齿轮	261
齿 条	261
非圆齿轮	263

第五章 其他通用零件的制造工艺

1. 螺钉与螺帽	267
概 说	267
标准型的紧固螺钉和螺帽	270
螺 钉	270
螺 帽	272
其他紧固零件	274
精密螺旋机构的零件	277
工艺过程的基本阶段	277
在螺纹车床上切削螺纹的精确度分析	283
牙型的精确度	283
螺距的精确度	289
直径的精确度	296
2. 凸 轮	297
凸轮尺	297
盘形凸轮	303

劈 錐	310
3. 彈 簧	317
柱形螺旋壓力彈簧	318
主要要求	318
制造工艺要領	318
精確度	321
盤 簧	322
制造工艺要領	322
精確度分析	327
4. 刻度盤	329
工艺过程的基本要求及各工序	329
在刻度机上刻标綫的精確度	330
5. 鈹 件	332
精確位置孔的制取方法	332
按鉗模鉗孔时精確度的分析	335
6. 壳 体	339
基本要求及工艺过程的各工序	339
在組合机床上加工时孔位置精確度的分析	343
第六章 装配工艺的一般原理	
1. 基本概念和定义	349
仪表的結構单元与装配单元	349
装配前零件的准备	350
装配的基本工序和种类	351
装配的工时 (劳动量)	352
2. 永久結合 (联接) 方法的概述	353
压力装配	354
焊 接	355
鉗 焊	357
鉚接和翻口結合	357
塑造結合	358
胶 合	360
3. 平 衡	361
附 录	364

緒 論

1. 关于工艺过程及其設計的一般概念

直接用于改变生产对象状态的一部分生产过程，称为工艺过程。仪表制造工艺过程由两个主要部分组成：零件的制造和装配。

工艺过程又分成若干工序。

工序是指在同一工作地，对于某一固定的零件或装配单位（有时是对由若干零件或装配单位合成的一组）所連續完成的一段工艺过程。工序本身又包括一个或几个工步。

工步为工序的一部分，是指用同一工具（或同一組工具），在加工用量不改变或有規律地改变——如在車床上車端面时，切削速度不断改变——下，加工同一表面（或一組表面）的过程。

动作是指工人为了了一定的目的所进行的一次基本动作。

在所有現代化的企業中，工艺过程都是以設計方法确定的。

編制工艺过程的原始資料为工作图、技术条件、生产大綱和生产准备工作的日程等。

为了編制工艺計劃，工艺員必須掌握下列有关的參考資料和定額标准資料，例如：設備性能数据、切削用量、工具的标准和規格、加工余量和工序余量的定額标准、技术經濟核算和技术定額的原始数据等。

工艺过程填写在有关的技术卡片內（工艺卡片、工艺路綫卡片、工序卡片等等）。

在編制工艺过程时，工序划分的詳細程度以及按划分程度所采用的技术卡片的格式，均取决于生产类型。

在仪表制造业中，也与其他机器制造部門相同，分为三种主要生产类型，即：单件生产、成批生产和大量生产。

单件生产是指一次生产的一种或数种产品，以后不再重制，或虽然重制，但間隔日期并无规定的生产形式。

单件生产的产品多为用途不广的仪表，一般是根据特別訂貨来生产的。在此种类型生产中最好使用可以完成各式各样工作的通用性的設備、夹具和工具。

大量生产是指在每个工作地点上經常反复地进行同一固定工序的方法来完成产品制造的生产形式。

大量生产工厂的产品多为应用广泛、产量很大、已經定型的同类制品（例如：鐘表、照象机等）。

在大量生产的条件下，投入大批費用購置专用的設備、夹具和工具等在經濟上是合算的。由于这种特点就有条件广泛采用最完善的制造方法，从而降低产品成本。

成批生产是指按一定的数量或批次生产产品，并且每隔一定時間，生产对象重复一次。

成批生产中所采用的設備和方法决定于生产規模的大小。当品种繁多，产量不大的时候，成批生产接近于单件生产。而当品种有限，产量較大的时候，則成批生产可以采用适合于大量生产的方法和專門設備。因此，成批生产又可分为小批生产和大批生产两种。

流水作业生产法是一种先进的生产組織方法，采用此种方法时，各个工作地点的排列須符合于加工工序的順序，同时要計算这些工作地点的数量和生产能力，使零件能順利地从前一工序轉入后一工序，不发生待料和积压的現象。

生产改为流水作业后，可以縮短生产周期，改善工艺过程和提高劳动生产率。例如，“量規”工厂采用流水作业以后，千分尺的生产周期縮减了 $\frac{3}{4}$ ，而劳动量則减少了一半。

产品数量大和品种稳定是組織流水作业生产的有利因素。但是，組織流水作业也并不完全局限于大量生产。很多成批生产的

仪表制造厂均曾組織过多品种的流水作业綫，在每道流水作业綫上依次完成定期輪換的各种工艺过程，而且都收到了很好的效果。

上述工厂組織多品种的流水作业綫能够获得成效是因为当選擇在同一流水作业綫上加工的零件时，尽量避免重新調整机床、更換工具等工作之故，在有必要时，还可以将零件构造进行某些修改，以适应这个要求。另一方面，是在于制定工艺过程时，采用了易于快速調整的机床和对于流水綫上所有零件有关工序都适合的夹具。

在設計流水作业生产的工艺过程时，必須保證下述的基本条件，即完成每一个工序的时间一定要等于生产节奏或与之成倍数。所謂节奏就是指前后两个相連的生产对象出产时间的等距离。节奏 τ 用分表示，可按下列公式求出：

$$\tau = \frac{T}{N},$$

式中 T ——一定的工作时间（分）；

N ——在上述一定工作时间内所完成的同一产品的数量。

例如，在一个班次（定为 480 分）内要求加工 160 个零件，此时节奏即等于 $\frac{480}{160} = 3$ 分。工艺过程中每一工序的时间（包括运送时间在內）应该等于 3 分鐘，或为其倍数。

在单件生产中設計工艺过程时，大多只限用工艺路綫卡片。在卡片內列出工序先后的順序并注明加工目的（例如，輪磨前車外圓；車外圓并留加工余量 2 公厘供去掉滲碳層等等），对于每一工序还要注明加工車間、設備和工时定額。

在成批生产中，一般使用工艺卡片，将工艺过程分別按工步編写。

在大批和大量生产条件下，使用工序卡片，每一張卡片按一道工序来編写，此卡片中有較工艺卡片更詳細的說明。作为工序卡片的补充資料，还要采用工序图，此图中所繪制的零件，只具有該工序完成后所应有的形状和尺寸。

2. 結構的工艺性

对产品結構工艺性的要求就是仪表的結構应容易掌握和采用最合理的制造方法。这种要求必須从仪表設計的第一阶段即开始考虑，直到工作图制成为止。

在仪表开始設計时，設計師在許多情況下都可能根据以力学、光学、水力学、气体力学、电工学等的定律为基础的不同作用原理或結合这些原理，拟定出几种不同的設計对象工作原理图的方案。譬如在計算仪器中同一工作既可利用机械原理（凸輪）来完成，也可利用电学原理（电位計）来完成。

在以机械原理为基础的仪表原理图中，为了达到同一目的往往又可以采用各种不同的机构，如：正齒輪或傘齒輪的差动器、平頂或菌形的速度計、螺杆或凸輪等。

如果所有的几种方案，在产品的功用和使用質量上評價相等，則应以結構工艺性为选用原理图的主要标准。

在同一原理图中，个别組合件或零件往往可以采用不同的結構。例如，轉速表的外壳既可由若干簡單零件組合成（其中一部分用冷冲压方法制出，另一部分在自动机床上加工），但也可以采取压力鑄造的方法鑄成一个形状复杂的整体零件。

为了保证达到組合件和零件結構工艺性的要求，應該根据各种不同的制造方法拟定若干种結構方案，然后从中选取在工艺性上最合理的一种。

不同的結構方案不但在产品形状上有所区别，而所用的材料有时也不一样。例如，往往有这样情况，当采用冲压結構时，零件可用鋼料制成，而采用压力鑄造的鑄件結構时，另件則須用鋅合金鑄出。

在繪制工作图时，必須将对零件形状和材料的要求全部考虑进去，使之符合既定的制造方法。往往从設計观点来看，在零件形状或材料上的一些“微不足道”的小問題（前者如在零件上有

凹入部分、未設計圓角、斜度方向選擇不當，后者如在合金中具有某種成分），都可能使設計方案不得實現或降低所預定的制造方法的實用價值。

正確的标注尺寸具有非常重要的意義，标注尺寸時應尽可能的与零件的工艺方法相協調。

最后，在图样（或技术条件）上，还必须包括有純工艺性的說明，如热处理方法、最后表面加工質量及表面处理等。

影响結構工艺性的主要因素。生产技术的发展 and 先进加工方法（压力鑄造、塑料模压等）的采用，都与結構本身的改进有着密切的关系。

此外，装配方法对結構工艺性也有很大的影响。特别是在采用流水作業時，有时就需要将产品的結構进行某些更改。将結構更改以后才可以避免需要工人熟練技巧的复杂的調整工作，并且还不妨碍将工序划分成時間相等或成倍数的节奏。

另一个影响产品結構的主要因素是所要求的制造精確度。在結構設計時必須仔細分析和計算机构和組合件的精確度，并确定用何种方法保證在生产中获得必要的精確度。

在生产中往往由于不可能保持过分严格的公差，因而使以前設計出的結構必須加以更改，增添調整补偿等装置。

因此便会产生这样的問題，即要求我們在采用公差严格而結構簡單的零件或公差較松但結構复杂的零件之間考虑究竟哪一种方案的工艺性更好一些。

其次的一个重要因素則是生产規模，因为判断某种加工方法的适合与否，要決定于需要制造的仪表数量，而不应一般地来討論設計工艺性的好坏。对于单件生产工艺性良好的結構，可能完全不适用于成批或大量生产。按照生产規模的大小，同一种仪表，可能有几种不同的結構。

对于制定工艺性良好的設計方案的一般建議。关于采用哪种方法才能够保證結構工艺性的問題，應該針對制品的装配和零件的各种加工方法来加以研究。在本节內只能提出下列一般性

的建議:

1. 采用最短路綫原則(Принцип наикратчайшего пути)。即产品的工作构件及其各个机构的联接所用的零件数量和这些零件所具有的尺寸数量要尽量少。这样作法在大多数情况下(当其他条件相同时)可以减低对个别零件所要求的精确度。

2. 在机构的必要部分上采用补偿装置。这样可以避免对个别零件尺寸规定严格的公差,并可以规定不必在最后加工时耗费很多工时即能保证零件尺寸的公差。

3. 机构、组合件及零件的統一化、規格化和标准化,即在各种制品中使用統一規格的机构、组合件或零件。这样可使同一种零件或组合件的制造数量显著增加,因此虽然在每一生产对象的产量不大的情况下,仍有条件采取大批或大量生产的方法来制造零件或组合件。此外,并能够縮短产品的試制時間。

4. 結構的相似性(Преемственность),即指在新設計的結構中可以采用以前所試制出的其他产品的机构、组合件和零件的程度。結構的相似性可以节省用于設計工艺过程和試制的时间 and 物力(包括制造新的工艺装备和专用设备)。

5. 将复杂的結構划分为个别的装配单元(部件)。在划分装配单元的工作中,必須尽量使每一装配单元在装配时和产品总装配时,不再需要任何(即使是局部的)預先分解。

6. 零件的結構設計必須保证零件能够采用最先进的加工方法——模造、压力鑄造、塑料压制、自动机加工等。

結構工艺性的评价方法 关于评价結構工艺性的优劣,是一个极为复杂的问题。工艺性这一术语是一个相对概念,因为每一新設計的仪表,其工艺性的好坏,或是与現已生产的仪表相比較,或是与几种新的結構方案相比較。此外,生产方法的發展,也导致对結構工艺性的评价,发生相应改变。

在评价各种新仪表結構方案的工艺性时,比較全面的方法是将有关的工艺过程互相加以比較。但由于这种方法很費時間,所以只能选取其中某几种复杂費工和成本較高的组合件或零件进行