

噴气发动机装配

Л. К. 尼柯連柯 著
В. И. 索柯洛夫



國防工業出版社

噴气发动机装配

Л. К. 尼柯連柯 著
В. И. 索柯洛夫
馮紹周 王祖濤 譯

15



國防工業出版社

內 容 簡 介

本書講述航空渦輪噴氣發動機的裝配過程以及裝配工藝過程和裝配車間的設計原則。

本書可作為航空中等技術學校在講授“航空發動機裝配”課程時的教科書。

Л. К. Николёнок В. И. Соколов
СБОРКА РЕАКТИВНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ

Государственное издательство
оборонной промышленности
Москва—1956

本書系根據蘇聯國防工業出版社
一九五六年俄文版譯出

噴 氣 發 動 機 裝 配

〔蘇〕尼柯連柯 索柯洛夫 著
馮紹周 王祖濤 譯

*

國防·業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

850×1168 1/32 • 91/8 印張 • 228,000 字

一九五八年九月第一版

一九五八年九月北京第一次印刷

印數: 1—1,100 册 定價: (10) 1.70 元

目 录

序 言	6
第一章 装配方法	7
§ 1. 基本概念	7
发动机零件和組合件的分类	7
装配工作在整个工艺过程中的配置	10
装配的工艺过程及其組成部分	11
装配工作按零件互换性原則的分类	14
装配的組織形式	16
§ 2. 装配时所使用的工具、夹具和設備	19
工 具	20
測量工具和技术檢驗用具	32
夹 具	33
装配中使用的設備	41
§ 3. 装配工序	45
固定不可拆开联结的装配	45
不可拆开的螺紋結合件的装配	50
可拆开的螺紋联结件的装配	54
螺紋联结零件的鎖紧	62
安装边联结件的装配	63
錐形联结件的装配	64
套齿联结零件的装配	66
安装滚动軸承	67
滑动軸承	71
齿輪傳动的装配	72
第二章 发动机組合件的装配	77
§ 1. 决定装配工艺过程的各种发动机結構系統	77
§ 2. 发动机零件和組合件的洗滌	81
§ 3. 零件的打印	90
§ 4. 发动机进气部分主要組合件的装配	93
离心式压缩机轉子的装配	93

轴向式压缩机轉子的装配.....	99
带导流器的压缩机匣的装配.....	106
空气进气組合件的装配.....	108
§ 5. 发动机受热部分主要組合件的装配.....	110
渦輪轉子的装配.....	110
燃气收集器、导向器及其内外环的装配.....	118
燃烧室的结构及其安装.....	126
尾噴筒的装配.....	129
轴向式压缩机发动机机座和鼓筒的装配.....	132
§ 6. 傳动机构及附件傳动組合件的装配.....	133
装离心式压缩机的发动机傳动机匣的組合件装配和总装配.....	137
装轴向式压缩机的发动机傳动机构及傳动組合件的装配.....	144
傳动机匣和傳动盒的齿輪齿牙間的嚙合和側面間隙的調整.....	147
§ 7. 发动机主要軸承組合件的装配.....	150
离心式压缩机发动机主要軸承組合件的装配.....	150
轴向式压缩机发动机主要軸承組合件的装配.....	155
§ 8. 滑油系統附件的檢查試驗和装配.....	158
滑油泵的装配.....	161
滑油滤的装配.....	164
減压活門的装配.....	165
滑油噴咀的装配.....	168
油气分离器的装配.....	168
§ 9. 燃油系統附件的装配和檢查試驗.....	169
燃油泵的装配.....	169
燃油滤的装配.....	173
燃油分布器的装配.....	176
油門操縱开关和加速活門的装配.....	176
漏油活門的装配.....	178
工作噴咀和起動噴咀的装配和試驗.....	179
§ 10. 发动机联接部分的液压試驗和气压試驗.....	185
第三章 零件和組合件的平衡	190
§ 1. 轉子平衡的基本知識.....	190
离心力的作用.....	190
零件和組合件不平衡的原因.....	195

不平衡的种类及其消除方法.....	195
§ 2. 平衡机和夹具	200
平衡机的种类及其适用范围.....	200
双槓平衡架和滾輪平衡架.....	201
簡易平衡机.....	202
电气平衡机.....	212
渦輪轉子和压縮机轉子的平衡.....	219
第四章 发动机总装配	224
§ 1. 装配車間的装配組織.....	224
§ 2. 帶离心式压縮机的发动机的装配	225
§ 3. 帶軸向式压縮机的噴气式发动机的装配	248
第五章 发动机的再装配	255
§ 1. 发动机的分解及其故障檢驗	255
分解和故障檢驗的一般条件.....	255
装离心式压縮机的发动机的分解.....	257
装軸向式压縮机的发动机的分解.....	262
分解后发动机零件和組合件的洗滌.....	266
零件故障的檢驗和排除.....	266
§ 2. 离心式和軸向式发动机在檢驗試車前的总装配和油封.....	270
第六章 工艺过程和装配車間的設計	273
§ 1. 装配工艺过程的設計	273
装配工艺設計的一般概念.....	273
装配工艺卡片.....	274
工夹具、設備和材料清單.....	276
§ 2. 装配車間設計的基本知識	278
原始数据.....	278
装配車間人員編制的計算.....	279
装配車間面积的計算.....	284
車間工艺布置图.....	285
装配車間厂房的工艺要求.....	286
参考文献	288

序 言

本書根据苏联航空工业部发动机制造中等技术学校学生念的“噴气发动机装配”課程的教学大綱写成。

在本書第一章中說明了装配工艺过程的基本概念，装配的主要工序和操作，以及进行装配工序时所使用的工具、夹具和设备。

第二章中說明噴气发动机主要組合件的装配工艺过程。

第三章中从理論和实际方面对轉子的平衡問題作了基本的說明。

第四章中叙述噴气发动机总装配的工艺过程。

第五章中叙述工厂試車后噴气发动机的再装配。

第六章說明装配車間和装配工艺过程的设计基础。

書中所述及的最重要的装配过程和装配工作与是否在装配車間，或是在部件車間的装配工段中进行无关。

在編写噴气发动机的装配說明时，作者利用了自己多年来生产和教学工作中的經驗，同时也利用了若干参考書籍。

因为写作一本良好的噴气发动机装配課程的教科書是一件非常复杂和困难的任务，所以在本書第一版时，显然会存在某些缺点，所以作者衷心欢迎对改进本書所提出的所有建議和意見。

作者对工程师Φ·T·布拉格，K·Г·皮留柯夫，B·B·郭斯且夫以及莫斯科航空发动机制造中等技术学校学科委员会委員們所給予的許多宝貴意見表示感謝。

第一章 装配方法

§ 1. 基本概念

发动机零件和組合件的分类

現代航空渦輪噴气发动机都由上千种零件构成。发动机的每一种零件在工作时都有一定的作用。

从装配的观点來說，发动机的全部零件可以分为下列几大类：

- 1) 发动机的主要零件（渦輪叶片、渦輪軸、渦輪盤、壓縮机叶輪等）。
- 2) 緊固零件（螺帽、螺栓、滑銷、螺椿等）。
- 3) 鎖緊零件（彈簧墊圈、鎖片、环形鎖扣、開口銷等）。
- 4) 封严零件（紙墊、橡胶墊、鉛墊圈、夾銅石棉墊、封严帽等）。

此外，在装配发动机时还使用下列材料：石棉繩、人造纖維或絲綫、各种封严用的油膏、油漆、絕緣帶等。

发动机的每一种零件都有一份圖紙，圖紙上規定了零件的名称、件号以及在一台发动机上装用的数量。

为了在装配时易于識別起見，工厂設計科除了零件圖紙外还編制一种零件目录，这种零件目录是整台发动机所有零件的目录。在目录里列有零件的件号、全名、在一台发动机上装用的数量、本零件装在何种組合件上及其数量。

零件圖紙和零件目录既为編制装配工艺規程所需要，也为直接的装配工作所必需。

在装配車間里應該經常保存有发动机的全套零件圖紙和零件目录。

从航空噴气发动机的結構系統可以看出，发动机的零件按組合構成組合件。例如，壓縮机轉子由下列許多零件組成：即壓縮机机輪、前后导風輪、前后軸、承力螺樁和螺帽。整个这一組零件以一定形式互相联結、用承力螺樁和螺帽固定，构成壓縮机轉子組合件。也有某些复杂的組合件是由几个簡單的組合件和零件构成的。例如，燃燒室由燃燒室外套、火焰筒、燃燒室頸、联焰管、封严圈及緊固零件等构成。燃燒室本身是組合件，而燃燒室外套和火焰筒也是組合件，不过后两种組合件装在燃燒室組合件內。这里必須指出，燃燒室是装配組合件，而装在燃燒室里的火焰筒和外套則是焊接組合件。

装在发动机里的各种組合件可以分成下列几大类：即机械組合件、焊接組合件和装配組合件。

机械組合件 由若干个零件組成，这些零件必須一起进行机械加工。这种組合件的例子有：壓縮机匣、中軸承机匣、燃气收集器壳体等。

焊接組合件 由若干个零件用焊接接合的方法組成，例如燃燒室外套、火焰筒等。

装配組合件 由零件、焊接組合件和机械組合件組成，并直接由装配工在部件車間的装配工段里或在装配車間里装配而成。

所有机械、焊接和装配組合件都有組合件图。图上应标明配合零件之間的紧度和間隙值，以及用什么方法来联接。在很多情況下，在組合件图紙上尚須标明檢查这些組合件装配可靠性的补充特殊要求。例如在装有金屬零件的燃油軟管組合件图上就标明了該軟管組合件应以煤油作200大气压和为时五分鐘的气密性試驗，并不应有漏油的要求。

为了便于按組合件图紙进行工作，尚須有組合件目录。此目录是所有組合件的清冊，上面标注有組合件的件号、全名、組合件的类别說明（机械、焊接或装配組合件）、装在一个发动机上該組合件的数量、該組合件在发动机上或在其它更复杂組合件上

的位置等等。

工艺人員有了零件图、組合件图和零件及組合件目录之后，就可以編制組合件的装配工艺規程，装配工即按此工艺規程进行装配。

在发动机总装配时尙須有发动机的总图。通常，噴气发动机的总图有好几个投影面。在总图上标明了发动机总装配时必须保持的主要間隙和紧度，并注有总装配发动机用的零件和組合件的件号。

在編制发动机的总装配工艺規程时，工艺人員首先应具备总图和組合件图。除了图紙外，对每一种結構尙須有一般的和特殊的技术条件。

整个发动机可以分解为許多复杂的装配組合件和零件。而复杂的装配組合件又可分解为許多較简单的装配、机械和焊接組合件和零件。要将整个发动机加以全部分解是不可能的，这是因为有很多零件已組合成为焊接組合件和机械組合件，不毀坏就不能拆开。

除了零件和組合件外，在发动机上尙有若干附件。附件也是发动机上的組合件，但它是用来完成某一特定的任务，以便满足发动机正常工作的需要，例如燃油泵、起动油泵、压力調节器、起动机、发电机等。

附件和整个发动机一样，也可分解成为机械、焊接和装配組合件及零件。

有运动机构的附件是以带有軟軸的專門傳动杆与发动机的主要机构相联，并通过傳动杆将发动机的运动傳給附件，如燃油泵、起动机、发电机等。

附件可以互換，譬如燃油泵、油門开关等附件都可以从这台发动机上拆下装到同一型別的另一台发动机上而不会引起不良后果。

在发动机上装有許多附件，其中只有一部分在主要发动机工

厂制造，其余大部分都在专门化的附件工厂中制造。

每一种附件都要有图纸，包括零件图、组合件图、总图以及技术条件等。

装配工作在整个工艺过程中的配置

装配工作是喷气发动机整个生产工艺过程中一个不可分割的部分。

现代喷气发动机的生产趋向于按部件生产的原则建立专业车间。每一个这样的车间生产发动机的一种或几种部件，或者组合件。发动机的部件或组合件的零件和机械、焊接、装配组合件制造的整个工艺过程都在车间内部完成。

只有某几个工艺过程在另外的车间里进行（锻、铸和热处理）。

所以，根据部件生产的原则组织车间时装配工作并不象从前那样集中在一个地方进行，而是较均匀地分散在许多个车间内进行。

下面以空气涡轮喷气发动机燃气涡轮转子的生产为例来说明装配工作的这种分布情况。

空气涡轮喷气发动机燃气涡轮的各种零件按部件生产的原则在专业的车间内进行生产。

涡轮轴是机械组合件，它的装配在这个车间的机械工段里进行，而装配好的轴发给同一车间的专门装配工段，在那里进行整个涡轮的装配。最后装配好的燃气涡轮送入工厂的装配车间，在该车间内将涡轮装上发动机。

还可以举发动机其他组合件为例。例如，压缩机转子和燃气收集器的装配是按部件生产的原则在专业的车间内进行，而在装配车间里这些组合件只是作为一个成品配件装上发动机。

所以，可以说，装配工作是在下列各处进行的：

- 1) 在专业性车间的机械工段或焊接工段里；

2) 在专业性車間的專門装配工段里;

3) 在工厂的装配車間里。

为了使发动机在試車台上經過热試車后能仔細地檢查各个零件的情况, 每一台发动机都需經過分解, 故障檢查和第二次装配。发动机的第二次装配是在:

4) 再装配車間或装配車間的再装配工段中进行。

組織部件車間的做法, 使在工厂装配車間內几乎全部不进行修配工作, 这就有可能使装配的清洁显著地提高。

装配的工艺过程及其組成部分

所謂装配的工艺过程, 就是装配組合件和整个发动机时所必須的装配工作的程序。

有了經過仔細思考过的、并在實踐中經過考驗的装配工艺規程和必需的工艺装备(設備、夹具、仪表和工具)通常就能确保装配的質量优等, 因此也就能保證了发动机工作的可靠性。

由于对航空噴气发动机的装配質量有着高度的要求, 所以就要求在装配的任何一个环节上严格遵守工艺紀律。

装配工序是装配工艺过程的主要部分。装配工序是在装配一个組合件或整个发动机时, 不变更設備, 在一个工地, 由一个或若干个工人完成的工作的总和。

由工艺人員将每一个装配工序編成工艺卡片, 在卡片上写明被装配的組合件的件号和名称, 装配工序的編号和装配工作的說明, 說明中附有被装配組合件的插图或簡图, 图上标明装在該組合件上的各个零件的件号。

在工序装配卡片上还标明在何种設備上进行装配, 并应使用何种夹具、工具及仪表。

所以, 装配工序是由一个工人或一个小組在一定的工作地上所进行的一系列活动所构成的。

工序的組成部分, 为实现一定目的的一組活动, 叫做步驟

(Прием)。步驟又可分为主要的和輔助的。

主要步驟用以完成該工序的主要工艺目的，例如：“装上垫片”、“装上垫圈”、“擰紧螺帽”和“鎖住螺帽”等。

輔助步驟用以完成輔助性的活动，例如：将組合件装上支架、車子或取下組合件等。

步驟由最简单的部分組成，这些部分表現为工人的不間断的一次性动作。这种由工人进行的基本的、一次性不間断的动作叫做劳动操作。可以举下面的例子：

将組合件装上装配架这一步驟由下列工人的动作組成：а) 取組合件，б) 将組合件拿近装配架，в) 将組合件装上架子。

不更換工作工具的生产工序的一部分叫做工道 (ПЕРХОД)。在許多情況下，一个工道里可能就是一个步驟，这样对工道与步驟來說就是一回事了。

工厂中装配工作的整个工艺过程可以分为下列若干主要类别：

1. 机械組合件的装配工序。通常机械組合件的装配要求装配工序和机械加工工序（用机床以冷加工金属）密切配合。所以这种装配工作在机械車間内进行，或在按部件生产原則組織的专业化車間的装配工段中进行。

在装配机械組合件时，允許用手工或机械化修配工序。

2. 焊接組合件的装配工序。与完成各种焊接工序（需要專門的焊接設備）密切相关。該工序在鉗焊或焊接車間内进行，也可在部件車間内进行。在进行此类装配工序时允許修配零件。

3. 組合件和部件装配工序，是在与机械加工和焊接工作相隔絕的情況下进行的，該工序在部件車間專門的装配工段和專門的房間内进行，这种房間要求工作地特別清洁。該工序也有在装配車間内进行的（第一次装配）。

4. 发动机最后装配工序在工厂的装配車間（第一次装配）内进行。

5. 工厂試車后重新装配发动机（二次装配）的工序。又可分为四組：

- 1) 分解发动机；
- 2) 檢驗零件和組合件的故障；
- 3) 排除故障；
- 4) 装配組合件和整个发动机。

所有这四組工序除第三組工序的一部分另外全都在二次装配的装配車間內、或工厂总装配車間的二次装配工段中进行，第三組工序中的部分工序之所以除外是因为在某些情况下，这些工作必須在装配这些組合件的车間內进行。

6. 配套装配工序，这是在发动机从工厂发出前在包装发送車間內进行配套的工作。

7. 有时在装配組合件或附件时尙須进行叫做組合件或附件預先装配的工序，这种装配工序是当零件需要專門选配时，为了保证必要数量的液体或气体通过，或为了保证必需的間隙而規定的。

在預先装配时組合件或附件的装配可以只装能达到檢查目的的結合零件。如檢查結果良好，則分解組合件或附件，将零件打上一定的印記，标明零件已配成組，然后将这些零件加以洗滌，最后作組合件的最終装配。

8. 在某些情况下，已經准备好作組合件装配的零件或組合件由于某种原因不能去作最終装配，这时就应将它們加以封存，并可保持必要的間隙而装配之，但不能使零件受损伤，这种装配叫做假装配。

9. 在装配机械組合件和焊接組合件时允許用手工或在机床上作修配工序。修配工序的意义是：若干尺寸須在某些零件共同加工后才能最終获得。这时，零件总是以組合件的順序號碼打印，这是說明这些零件作了单件的修配，只能用在这个組合件上。修配工序可以在部件車間的机械工段或焊接工段中进行。在

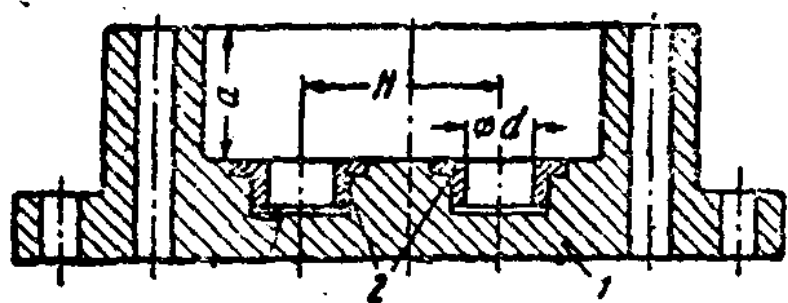


图 1 滑油泵壳体机械组合件

1—壳体；2—衬套

装配車間內这种工序只在极个别的情况下才允許进行。

下面可以举一用机床修配工序制造机械組合件的例子。

图 1 为机械組合件——

滑油泵壳体。該組合件是鋁

質壳体 1，其中装有两个青銅衬套 2。

根据技术条件，在制造滑油泵壳体时，衬套凸肩的端面应与齿輪室的底部齐平，亦即不应比齿輪室的底部凸出或凹进。此外，衬套軸心之間的距离 H 應該保持 0.02 公厘的公差。

在机械組合件里，尺寸 a 和 d （衬套內徑）給有最后加工的余量，当壳体与衬套装配好后，即最終研修到这些尺寸。

如果壳体和衬套在装配以前即加工到最后尺寸，則不論机械加工或者装配都将复杂化。因为这时当机械加工壳体时，凸肩下的鏜孔深度必然要做得十分准确，而衬套上也必須把凸肩厚度做得特別准确，并保持衬套的等壁厚。在装配壳体和衬套时，必須按凸肩下的鏜孔深度和凸肩的厚度进行选配，以便使其尺寸之間的差別达到零。

显然，用机械組合件的办法制造滑油泵壳体較用最終成品零件装配成的壳体来得便宜省事。

装配工作按零件互换性原則的分类

在航空发动机的生产实践中，目前施用下列三种装配方法：

- 1) 零件、組合件和附件全部都能互换的装配。
- 2) 用專門选配若干零件和組合件以滿足图紙和技术条件要求的有限制互换的装配（有選擇性的装配）。
- 3) 每个組合件都由按特种图紙或草图或采用修配工序而專門制造的零件装配而成的单独装配。

最完善的是零件、組合件和附件全部都能互換的裝配。

在這種情況下，每個零件的配合表面的製造公差不應超過這個組合件的裝配公差之半，但實際上，這個公差比上面說的還要嚴一些，因為在公差範圍內零件可能有錐度和橢圓度。

在航空發動機的生產中，大量零件、組合件和附件已按全部都能互換的原則進行生產。

緊固零件可以作為例子，這些零件都是完全能互換的。

但是還有若干零件和組合件不能採用全部都能互換的原則，這是由於裝配接合處有嚴格的公差要求或其他原因所造成。

例如某些零件和組合件的裝配要用成組選配的方法來進行，譬如渦輪軸和滾棒軸承的裝配，壓縮機轉子對滾棒和滾珠軸承的裝配。

為了保證軸承對渦輪軸和壓縮機轉子軸的必要配合值，要求按配合處的幾何尺寸選擇軸承，為此，要測量軸和軸承，並選用那些能夠達到必需的裝配配合值的軸承。

在裝配傘齒輪時，要求按着色印記作專門的選配。導向葉片的選配則要求達到葉片間的通道完全一樣。這個要求是為了滿足燃氣流在整個導向器通路上有均勻的流動。在裝配渦輪葉片時，葉片要按重量、鎖根處的活動量選配等等。

在許多情況下，成對地選配零件是獲得最準確配合的較便宜的方法。例如，雖然零件的結合尺寸按2級精度製造，但由於採用選配零件的方法，可獲得1級精度的配合。

假設聯結任意二零件，它們的孔與軸的直徑為60公厘，根據設計上的考慮間隙必須為0.01~0.035公厘。對這個直徑最能達到所要求間隙的配合是滑動配合。在製造這個尺寸的二級滑動配合時，最小的間隙為0，最大的為0.05公厘。將所有製成的零件分成三組，如表1所示，然後將軸與孔在同一組的範圍內相聯結，即可得最小間隙0.013公厘和最大間隙0.034公厘。此二尺寸都能滿足所述的條件。同時，如果按精確度來評定所獲得的配合，則

所得到的比一級精度为高的精确度，因为对滑动配合的一級精度來說，間隙的公差只要求 0.031 公厘，而在上述的配合中已达到 0.021 公厘。所以，利用选配的方法可以不增加零件的制造精确度而达到十分准确的配合。

表 1

(在选择性的装配时将零件分成三組)

組 別	孔，以公厘計		軸，以公厘計		間隙，以公厘計	
	最 小	最 大	最 小	最 大	最 小	最 大
I	60.00	60.01	59.98	59.987	0.013	0.030
II	60.011	60.021	59.988	59.995	0.016	0.033
III	60.022	60.030	59.996	60.00	0.022	0.034

从上述例子中可以看出，在航空发动机的生产中，选配零件的方法在目前是采用最广的。成对选配的零件还要打上专门的印記以避免混乱。

第三种装配方法——单独装配——在航空发动机的修理上有广泛的应用。在这里，每一个組合件在分解、洗滌和故障檢驗后只能由某些零件和組合件装配而成，这些零件和組合件是在原来制造时装配成該組合件的。不允許将这一組合件的零件与另外一个相同名称的組合件的零件互换。此外，修理时可以将修复零件装到組合件上去以代替报废零件（比正規零件的配合尺寸修大了的或修小了的叫做修复零件）。通常，在装配这些零件时将联結配合处进行单独的修配。

装配的組織形式

装配的組織形式可以分为两个主要类别，即綜合装配和分段装配。

綜合装配 綜合装配在生产中經常又叫单組装配，这种装配是：分配給該車間或該装配工段所承担产品的全部装配工作全由同一个装配工或同一个装配小組来完成。