

飞机和直升机结构 元件设计

[苏联] B. H. 达林 著



国防工业出版社

飞机和直升机結構元件設計

〔苏联〕B. II. 达林著

文 杰 譯

國防工業出版社

1964

內容簡介

本書介紹了保證航空結構元件的重量最小和成本最低的設計方法(例如,材料和毛坯型式的選擇,元件外形和截面及其連接方法的選擇等等)。本書根據蘇聯國內外實踐的經驗總結,討論了提高零件強度和持久強度極限的結構方法和工藝方法;也討論了零件連接型式,某些組合件的設計步驟和密封型式等等。

本書可供航空院校的教師、高年級學生及工程技術人員參考,並可作為課程設計和畢業設計的指導書。

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ

[蘇聯] В. Н. Далин

ОБОРОНГІЗ 1962

飛機和直升機結構元件設計

國防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 971 號

新華書店北京發行所發行 各地新華書店經售

國防工業出版社印刷廠印裝

850×1168 1/32 印張 2 9/16 63 千字

1964 年 6 月第一版 1964 年 6 月第一次印刷 印數: 0,001—2,100 冊

統一書號: 15034·764 定價: (科六)0.42 元

目 录

引言.....	5
I. 零件設計和部件設計的联系.....	8
II. 保证飞机和直升机結構零件重量最輕和成本最低的方法.....	9
1. 材料的选择.....	10
2. 关于毛坯选择的建議.....	13
3. 由鑄造毛坯制成的零件的設計.....	13
4. 焊接組合件的設計.....	15
5. 深腐蝕加工零件的設計.....	16
6. 零件截面和外形的选择.....	20
7. 結構零件的等强度性.....	21
8. 結構零件的截面形状.....	21
9. 构件參于工作状态时对力綫的考虑.....	22
10. 截面刚度的变化.....	22
III. 影响零件疲劳强度的結構因素和工艺因素.....	23
1. 結構措施.....	25
2. 强化工艺法.....	35
3. 切削加工.....	38
4. 噴丸处理.....	39
5. 滾压加工.....	41
6. 液体拋光.....	42
7. 化学热处理.....	42
8. 热处理.....	44
9. 腐蝕影响和吸附活性介质的影响.....	46
10. 鍍层的影响.....	46
11. 零件材料表面层状态对持久强度极限值影响的一般評定方法.....	49

12. 零件尺寸对持久强度极限的影响.....	50
IV. 零件連接的型式.....	51
1. 鑄接.....	53
2. 螺栓連接.....	57
3. 元件的胶接.....	60
4. 胶接組合件的設計.....	60
5. 具有蜂窩金屬填料的的多层結構.....	61
V. 軸承組合件的設計步驟.....	64
1. 滚动軸承配合的選擇.....	69
2. 軸承組合件的密封裝置.....	69
3. 潤滑剂的用途.....	71
VI. 組合件的密封.....	72
1. 平移運動副的密封.....	73
2. 旋轉連接处的密封裝置.....	76
3. 固定接头(連接)的密封.....	78
VII. 补偿器.....	78
VIII. 关于設計操纵拉杆的一些介紹.....	80
IX. 倒角和圓根.....	81
参考文献.....	82

引 言

“飞机和直升机结构元件設計”課程讲述合理設計航空结构元件的某些原則和具体举例。

实际上不可能对于設計各种类型的飞机和直升机的任何零件,都提供单独的建議。而只能根据一般原則,采取对具体設計的机种最有利的解决方案。

在設計飞机和直升机的结构过程中,必然会遇到一些相互矛盾的要求,这些要求是从經濟性、使用性和飞行安全性等方面所提出的。設計师的技巧就在于分析这些相互矛盾的要求,找出对所設計零件的最有利和最合理的结构解决方案。

飞机和直升机像任何机器一样,是由各个零件——结构元件装配起来的。

在机械零件課程中讲述許多技术部門所共有的最一般的零件。这在很大程度上減輕了专业課程的任务。专业課只是研究該技术领域零件設計的特点、零件工作条件的特点、承力型式、所采用的材料、制造方法、計算方法等等。

由各个零件装配成设备不是一下子完成的,而是順序地由单个零件——结构元件装配起来的。根据装配工艺过程,由零件装配成組合件,組合件装配成更复杂的組合件或大組合件,大組合件装配成部件等等。这个順序在图紙的分类編号里得到反映。設計师的职责不仅要熟练地設計零件或組合件,而且也要善于正确地进行图紙編号。为此,需要通曉图紙的分类編号和图紙与装配工艺过程的关系。設計产品的所有图紙均須进行編号。

現在讓我們来討論一下工作图如何編号,为此,引用如下的定

义:

1. 所謂零件是指不采用装配工序而制造的产品。

2. 所謂組合件是指产品組成部分的可卸和不可卸的连接件。組合件可分为簡單組合件和复杂組合件。簡單組合件是个別零件工艺上主要用相同方法(例如焊接和鉚接等等)連接起的組合件;复杂組合件是某些簡單組合件和个别零件連接成的組合件。在大多数情况下,組合件是由同一种功用的零件連接而成的。

3. 不同功用的組合件和零件的連接称为大組合件。

大組合件、組合件和零件連接組成部件,而各部件連接組成整架飞机(或直升机)。

上述的定义在一定程度上是已知的,但对正确地进行图紙编号又是必要的。例如,实际上就不可能划定組合件和大組合件之間的明显的界限。

把飞机分类和分組的典型方法(对直升机也一样)在設計師手册中已經給出。但是这种划分不能认为一成不变。它随着直升机和飞机的生产工艺的改变而改变,且在每个单位由标准化小組来加以修正。

生产时要提供如下图紙:用于模綫車間的理論图;用于装配車間的大組合件和組合件的装配图;用于机械加工、鑄造和其他車間的零件图。所有这些图都是根据生产图紙的要求完成的。在零件图上零件按比例 $M1:1$ 繪制出。对于大尺寸的零件,要选择合适的比例,且按 $M1:1$ 的比例繪出所必要的断面、放大部位、剖面、或矢向視图。当零件几何尺寸很小的部分需要机械加工的情况下,則把这个部分以合适的比例单独地繪出。

对于几何形状极为簡單且由半成品制成的零件,不必单独繪制零件图,而只要在装配图上标明制造該零件所必需的尺寸。这种零件称为“无图零件”。

在所有图的右上角都有一个图标,在此图标中注上表面加工,

热处理和表面处理的必要说明。如果必须作补充说明，那末把它写在附注里，并在图标里相应说明名称的左边一栏中写上：“参阅附注”。如果在完成工艺过程中不需要任何说明，那末在图标里相应说明名称的左边一栏中画一横线。

装配图要附保证指定生产单位需要的零件、标准件和成品的明细表。而且在紧固的标准件清单上，首先注出所有的螺栓，而后注出螺帽、垫圈和开口销。标准件和半成品用相应的代号标明，代号包括标准件的名称、主要几何尺寸和所用的材料。

在图纸右下角的标题栏中，注出图上所画零件、装配组合件或大组合件必要的说明。

在零件图、组合件图和大组合件图上，还要注出制造某零件或装配组合件和大组合件所必需的几何尺寸，配合和公差，以及断面、视图和其他说明。在以后的装配和其他工作情况下如果需要在图上注出该零件、组合件或大组合件与固定在其上面的一些零件连接，那末这些零件用假想线画出，而安装尺寸应当注明是“参考尺寸”。

I. 零件設計和部件設計的联系

假若不很好地研究所設計零件与其連接零件之間的关系，不很好地研究所設計零件所有的組合件和大組合件的結構，不明确这些組合件和大組合件的用途及其在整个飞机或直升机結構中的作用情况，要想合理地設計零件，即使是設計很小的零件，也是永远不可能做到的。零件設計与組合件、大組合件和部件的設計总是密切地交織在一起的。有时，在設計个别零件时，发现有必要改变組合件甚至大組合件的結構，以便改善其整个結構及使用特性。

現在我們討論一下合理設計結構零件的一些基本的总則：

1. 在設計零件时必须考虑經濟要求，即应当用先进的方法来制造零件，而且这种方法所产生的廢料要最少。承受疲劳载荷零件應該具有最大的工作寿命。

2. 在設計零件时，必須考虑滿足对该型飞机或直升机所提出的气动力要求。这个要求不仅是对直接构成飞机(或直升机)和升力螺旋桨桨叶外表面的零件提出的，而且对其他很多内部零件也有这一要求。例如，为了防止可能形成的导致增加阻力和减少升力的廢气流(在升力螺旋桨上)对发动机隔艙和直升机机身的密封裝置，以及桨叶尾段相互連接处的密封裝置要提出要求。

3. 設計零件时必须合理地利用其結構的可用容积。例如，从联动和强度的观点来讲，起落架减震支柱杆的长度、管徑和管壁厚度都很大。为了起动发动机和制动起落架輪，机上必須装有压缩空气瓶。利用起落架空心杆的内部空間作为压缩空气的貯存器，从而减少了压缩空气瓶及其固定用零件的重量，使裝置更为紧凑。

4. 必須这样設計零件，使其橫截面的形状从抵抗作用在零件

上面的一些基本力强度来看为最有利。零件的形状与其连接零件的连接应该尽可能简单,而它们的制造、安装和装配应该符合成批生产的条件。

所讨论的合理设计结构零件的某些总则包含着一系列的矛盾。例如,为了减小大组合件的外形尺寸,会使零件的结构形状复杂化,同时又要求零件形状尽量简单等等。因此在设计时务必要创造性地利用和采用这些原则,寻找最成功的和最有利的解决方案。

在研究飞机和直升机的结构时,此原则是批判地分析结构方案的基本出发点之一。

II. 保证飞机和直升机结构零件重量 最轻和成本最低的方法

为了制造零件首先必须选择零件的材料。材料应具有:

- 1) 高的强度和小的比重;
- 2) 尽可能低的成本和材料加工时可能使用廉价的先进加工过程(轧制、冲压、压制、铸造、焊接等等);
- 3) 在温度、时间和空气的湿度作用下,材料的机械性能和重量不变;
- 4) 必要的疲劳强度和韧性;
- 5) 必要时能借助材料表面的特殊加工改善其强度性能的可能性;
- 6) 尽可能大的抗蚀性,或者借助在生产中已经掌握的专门表面处理来保护材料不受腐蚀的可能性。

在某些情况下,必须考虑零件修理的可能性和所选用材料的贮备情况。

1. 材料的选择

选择大组合件的结构零件某种材料可以影响到大组合件的重量。但是对于某一结构来讲，确定某种材料的重量利益总不是轻而易举的事情，而且不可能定出材料重量利益的某种通用准则，使此准则适用于设计时可能遇到的任何情况。

零件受载(拉伸、压缩和扭转等)不同情况下，零件重量利益的准则也不同。当零件处在受拉伸或者纯压缩(没有总体和局部的丧失稳定性的现象)工作状态时，受载很大零件的材料重量利益问题最容易解决。

结构零件的重量和强度是相互联系的。因此比较材料应同时考虑这两个因素的特性。为了保证进行这种比较，可采用材料单位强度的概念。材料的单位强度就是指材料的强度与它的比重之比。

假定某结构零件受作用力 P 拉伸，此时我们要按重量利益来比较两种材料。

第一种材料零件的重量为

$$G_1 = F_1 \gamma_1 l,$$

式中 F ——零件的横截面积；

l ——零件的长度；

γ ——材料的比重。

第二种材料零件的重量为

$$G_2 = F_2 \gamma_2 l.$$

在这两种情况下由结构要求确定的长度 l 相同。

如果 $G_1 = G_2$ ，或者 $F_1 \gamma_1 l = F_2 \gamma_2 l$ ，则第二种材料按重量利益来讲是和第一种材料相等；如果 $G_1 > G_2$ ，或者 $F_1 \gamma_1 l > F_2 \gamma_2 l$ ，则第二种材料的重量利益大于第一种材料。

采用第一种材料时，计算载荷可写为

$$P = F_1 \sigma_1,$$

式中 σ_1 ——第一种材料的計算应力。

采用第二种材料时，計算载荷可写为

$$P = F_2 \sigma_2.$$

如果这两种材料的重量利益相等，则

$$\frac{F_1 \sigma_1}{F_1 \gamma_1 l} = \frac{F_2 \sigma_2}{F_2 \gamma_2 l}.$$

由此，可得两种材料重量利益相等的条件为

$$\frac{\sigma_1}{\gamma_1} = \frac{\sigma_2}{\gamma_2}.$$

第二种材料重量利益較大的条件为

$$\frac{\sigma_1}{\gamma_1} < \frac{\sigma_2}{\gamma_2}.$$

零件受純压縮(沒有失去稳定性)时，重量利益的准則仍然相同。对于受拉伸或简单压縮(沒有失去稳定性)的任何截面形状的零件，借助判断准則 $\frac{\sigma}{\gamma}$ 按重量利益来比較材料都是正确的，而仅受到一个条件的限制，即零件长度 l 不变。

对于其他形式的载荷，也可以用类似的方法来确定两种材料的重量利益的条件。

下面确定材料单位强度的主要公式。

当零件的材料受載时，其单位强度由下式确定：

拉伸时，用 $\frac{\sigma_b}{\gamma}$ ；

压縮时，用 $\frac{\sigma_{сж}}{\gamma}$ ；

剪切时，用 $\frac{\tau_{ср}}{\gamma}$ ；

弯曲时，用 $\frac{\sigma_n}{\gamma}$ ；

扭轉時，用 $\frac{\tau_{xp}}{\gamma}$ ；

縱向彎曲時，用 $\frac{E^{\frac{1}{2}}}{\gamma}$ 。

利用某公式時，必須考慮橫截面的幾何相似條件和失去穩定性的可能性。

借助重量利益準則選擇材料時，必須力求使得該重量利益準則的正確性符合實際條件；採用重量利益準則時，如果不考慮推導它時所根據的先決條件，那末可能得到完全不正確的結果。

在某些情況下，最正確的是根據橫截面的比較計算來解決材料的選擇問題。

緣條截面足夠大的雙緣條梁可作為由於輕率地採用重量利益準則而可能會導致不正確結果的一個實例。將抗拉強度相差很大大梁緣條的兩種材料按重量利益準則 $\left(\frac{\sigma}{\gamma}\right)$ 進行比較，我們必將得到不符合實際情況的結果，這是由於一種材料做成的緣條截面重心之間的距離與另一種材料做成的緣條截面重心之間的距離相差很大的緣故。因此， $\frac{\sigma}{\gamma}$ 準則不可能是正確的。

即使在合理設計受力型式的結構中，還會有一些受載很小的零件，這時假如按其常用計算應力給定它們的尺寸，那末這些尺寸，就會顯得太小，從它們的工藝觀點以及在生產和使用過程中可能出現的偶然載荷和沖擊的觀點來看，這樣小的尺寸是不允許的。例如，在構架式翼肋中，有些撐杆常常承受很小的載荷。這種撐杆的尺寸通常由結構條件決定。如果承受拉伸的撐杆採用硬鋁材料，並根據作用力以及該材料的計算應力和按結構條件所確定的尺寸來決定撐杆的壁厚，那末壁厚可能太小（例如，0.3 毫米），以致在製造和使用過程中，撐杆的給定形狀，甚至完整性都易遭到破壞。在這種情況下，為使杆壁具有實際上可以允許的厚度，應當採

用比重尽可能小的材料(例如鎂合金),同时要注意材料对零件制造工艺和装配有影响的特点。

2. 关于毛坯选择的建議

对于解决合理选择毛坯的問題,不可能将毛坯設計方面的詳細指示一一加以介紹,但是可以推荐下列几点建議:

1. 在强度要求滿足的情况下,尽量采用鑄造毛坯。
2. 不仅对长尺寸的零件应采用等截面和变截面的压制型材,而且对所有其它零件,假若利用压制型材制造的利用系数比用其他方法制造要高时,也应采用等截面和变截面的压制型材。
3. 当設計使用中受到相当大的不变載荷、交变載荷和冲击載荷的零件时,以及在設計切削加工时要产生很多廢料的形状不复杂的零件时,应采用热冲压毛坯。

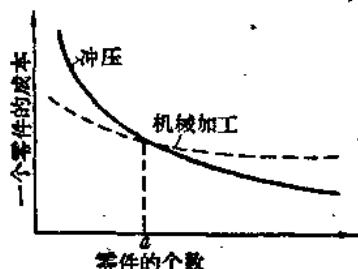


图 1

零件經濟性的主要准則就是零件的成本。零件的成本在頗大程度上取决于一批零件的数量。

图 1 所示是用各种方法制造的零件的成本比較曲綫。

由图中曲綫可以看出,从一批零件的数量为“ a ”开始,用冲压毛坯制造的零件成本低于用机械加工方法由棒材制造的零件成本。

3. 由鑄造毛坯制成的零件的設計

如果知道零件的鑄造方法,从而能够对零件的工艺要求进行考虑,在这种情况下零件的结构型式才可能是正确的。

选择鑄造方法决定于生产規模、零件的外廓尺寸、形状以及对零件精度、表面光洁度和材料强度提出的要求。

与其他制造方法比較，用鑄造毛坯制造不規則曲綫的零件是最經濟的方法。

此外，鑄件的整体性能保证零件有較高的剛性和总的結構强度，而用精密鑄造法制成的鑄造毛坯有很高的精度（4級和5級）和表面光潔度（5級和6級）。但是采用精密鑄造法在工艺装备制造上需要相当高的費用，所以应当进行經濟核算。

虽然由鑄造毛坯制成的零件有很多优点，但由于鑄造有色合金的某些机械性能低于变形合金的性能，所以限制了它的使用范围。

当选择合金时，不仅要從零件的技术要求出发，而且也要考虑合金的工艺性能（鑄造性、切削加工性和焊接性等等）。

被加工表面的形状应保证便于和可能采用高生产率的机械加工方法。

鑄件的結構应能消除在冷却过程中以及在热处理和机械加工时产生扭曲的可能性。正确选择能保证鑄件均匀冷却的截面，采用从厚截面向薄截面的光滑过渡就可以防止扭曲的出現。

选择斜度、圓角半徑、加强筋等应考虑采用規格化的刀具。

在設計鑄件时，特别是对于同种型式的零件，建議采用最少牌号的鑄造合金。采用大量合金在鑄造車間工作中会造成相当大的困难，因为要求設置專門的設備，往往車間的机械部門会将廢料混合起来。

鑄件图的繪制

除了ГОСТ 5292-60所規定的对工作图的一般要求以外，在鑄件图上必須注明下列技术要求：

1) 零件的檢驗組別。为了更仔細地檢驗載荷大的重要零件，在工作图上建議按如下特征注明檢驗組：

第1組——其损坏会造成飞机（或直升机）失事的零件，

第 3 組——其损坏不会造成飞机(或直升机)失事的零件;

2) 用 X 光透視的部位, 必須保证不将零件切开就能透視个别組合件;

3) 供机械試驗用的取样部位;

4) 鑄造斜度;

5) 圓角外半徑(工艺外徑)的数值;

6) 注明全部尺寸, 而不引用模綫样板, 因为由于金屬鑄造的收縮率, 模型工应当制造自己用的样板。

技术要求示例

1. 第一檢驗組零件。

2. 按技术条件驗收。

3. 在示意图上注明 X 光透視的地方。

4. 在示意图上注明供机械試驗用的取样部位。

5. 鑄造斜度为 1° 。

6. 除了特別指出的以外, 非加工面的尺寸誤差均根据标准选取。

7. 圓角外半徑(工艺外徑)为 1 毫米。

4. 焊接組合件的設計

在設計焊接結構时, 必須考虑各种焊接的工艺特点, 正确地选择材料, 特别是各种材料的配合, 正确地設計焊接連接部位, 以保证焊接过程最大程度的自动化, 以及采用标准設備和高质量的焊接方法。設計时必须特別注意設計出的焊接連接結構能采用先进的自动焊过程。

1. 設計时所选择的材料, 在給定的焊接方法下具有最好的焊接性。

2. 应根据结构的用途和形状来选择焊接方法。

3. 为了便于焊接, 檢查焊縫, 减少变形, 以及为了便于接近修

补缺陷，结构应保证把产品最大限度地分解成组合件、板件和部件。

4. 为了焊接和檢驗連接处，焊接結構应便于接近。

5. 为了便于焊接过程的自动化，焊缝应按直线、圆弧和其他規則曲線分布。

6. 在設計焊接結構时，对于等厚度的零件，在一个組合件範圍內最好規定用一种焊缝特性(焊接点的位置、間距、大小、焊缝的宽度和高度)。

7. 在設計时应避免采用单面点焊和滚焊。

8. 在焊接連接件的圖紙上需要根据所采用的符号注出焊接类别和焊缝的主要特性(长、高和焊接点間的距离)。电焊条、焊絲和焊药的牌号不必在图上注出。在由高强度結構鋼制成的焊接組合件上，应当注出在給定的热处理下对焊缝提出的基本要求。

9. 虽然在工业上一直采用着氧乙炔焊(气焊)，但是在設計新結構时采用这种焊按照例是不應該的，因为氧乙炔焊是一种生产率低和昂貴的金属連接方法。小零件或薄材料制成的零件在修理工作时和在外場条件下可采用氧乙炔焊。

5. 深腐蝕加工零件的設計

在热的碱溶液和酸溶液中用腐蝕方法由零件被加工表面去除金属的新过程称为深腐蝕。这种新过程可以用来代替机械加工，并能得到各种壁厚和任何外形尺寸的复杂形状零件的最終型式。在深腐蝕时金属可以从零件的整个表面上腐蝕掉(总体腐蝕)；或者从零件的个别部分腐蝕掉一定的金属(局部腐蝕)；同时也可以按給定外形来腐蝕穿通的孔(穿孔腐蝕)。

用深腐蝕加工零件的新方法局部去掉多余的金属，在設計时可以最大限度地減輕零件的重量，而不降低零件的强度。

各个工艺过程的特点要求增加零件的厚度，例如，零件用带總