

И. П. 布拉图欣 著



直升機 设计与构造



國防工業出版社

环境设计



室内设计 设计与构造

第二版

直昇機設計與構造

И. П. 布拉圖欣著

劉謀佶、沈驥等譯



國防工業出版社

出版者的話

本書內容敘述直升機及其各主要部分的設計問題、主要參數和尺寸的選擇及確定方法、重心定位和总体布置的一般方案以及各種总体布置的示例。

此外，本書內容還包括：直升機主要型式的分析、統計數據以及各部分的構造說明。

本書供航空學院學生和從事直升機製造的工程師閱讀。

蘇聯 И. И. Братухин 著 'Проектирование и конструкции вертолетов' (Оборонгиз 1955 年第 1 版)

*

國防工業出版社

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

*

850 × 1168 $\frac{1}{32}$ 12 $\frac{3}{8}$ 印張 258 千字

1959 年 3 月第一版

1959 年 3 月第一版第一次印刷

印數：0,001—2,100 冊 定價：(11) 2.30 元

No 2743

目 录

前言	6
导言	7

上篇 直升机的設計

第一章 直升机設計的一般問題	15
§ 1. 直升机設計的基本任务	15
§ 2. 对直升机的技术要求	17
§ 3. 設計阶段	19
第二章 直升机型式簡述和分析	20
§ 1. 带尾部螺旋桨的單桨式直升机	21
§ 2. 縱列式双桨直升机	25
§ 3. 并列式双桨直升机	28
§ 4. 共軸式双桨直升机	30
§ 5. 交叉式双桨直升机	31
§ 6. 多桨式直升机	32
§ 7. 噴气式直升机	33
§ 8. 复合式直升机	37
§ 9. 垂直起落飞机	43
第三章 直升机草圖設計	45
§ 1. 草圖設計的内容	45
§ 2. 直升机型式的選擇及其根据	46
§ 3. 直升机起飞重量的初步确定	47
§ 4. 直升机主要参数的選擇和确定	57
§ 5. 发动机的選擇	63
§ 6. 單桨式直升机尾部螺旋桨的位置和参数選擇	68
§ 7. 在双桨式或多桨式直升机上升力螺旋桨間 距离的選擇及其相互位置	71
§ 8. 尾翼尺寸的選擇和位置	75
§ 9. 起落架型別的選擇及其位置	77
§ 10. 并列式直升机机翼尺寸的選擇	79

§ 11. 直升机各部件重量的初步确定	80
§ 12. 直升机的总体布置和重心定位	89
§ 13. 各型直升机总体布置举例	98
§ 14. 結束語	125

下篇 直升机各部件的构造与設計

第一章 升力螺旋桨	127
§ 1. 升力螺旋桨的功用	127
§ 2. 对升力螺旋桨的要求	127
§ 3. 升力螺旋桨的类别	129
§ 4. 升力螺旋桨桨叶的数目	130
§ 5. 升力螺旋桨桨叶	131
§ 6. 桨叶的重量布置及受力布置	134
§ 7. 桨叶构造	136
§ 8. 桨叶铰接式升力螺旋桨桨毂	156
§ 9. 万向接头式升力螺旋桨桨毂	201
第二章 尾部螺旋桨 (方向螺旋桨)	206
§ 1. 用途及要求	206
§ 2. 尾部螺旋桨桨叶	206
§ 3. 尾部螺旋桨桨毂	208
第三章 直升机的动力装置	213
§ 1. 动力装置的特点及对它的要求	213
§ 2. 动力装置的位置	214
§ 3. 發動机架	224
§ 4. 發動机的冷却系統	229
§ 5. 燃料系統	237
§ 6. 滑油系統	238
§ 7. 进气与排气系統	243
§ 8. 發動机起動系統	246
§ 9. 發動机的操縱系統	246
第四章 直升机的傳动机构	247
§ 1. 用途和要求	247
§ 2. 傳动机构的工作原理簡圖	248
§ 3. 主減速器或升力螺旋桨減速器	257

§ 4. 發动机减速器 (直升机用的)	272
§ 5. 中間减速器	274
§ 6. 尾部螺旋桨减速器	279
§ 7. 离合器	279
§ 8. 升力螺旋桨掣动器	284
§ 9. 軸、联軸节和支承	285
§ 10. 减速器架和支座	291
第五章 直升机的操縱系統	292
§ 1. 概述	292
§ 2. 对直升机操縱系統的要求	293
§ 3. 自动傾斜器	294
§ 4. 各型直升机的操縱系統	317
§ 5. 升力螺旋桨总桨距操縱系統	328
§ 6. 水平安定面的操縱系統	334
§ 7. 駕駛杆减荷机构	335
§ 8. 操縱綫系中的减振器	336
§ 9. 助力操縱系統	337
§ 10. 直升机操縱系統內的稳定裝置	338
§ 11. 操縱系統中某些构件的构造	338
§ 12. 操縱系統設計簡介	341
第六章 直升机起落架	344
§ 1. 用途和要求	344
§ 2. 起落架的型式和构造	345
§ 3. 直升机起落架的减震器	351
第七章 直升机的机身	353
§ 1. 用途和要求	353
§ 2. 机身构造	354
§ 3. 駕駛員和乘客的座艙	357
§ 4. 直升机上的液压絞車裝置	365
附录	367
参考文献	369

前 言

本書为高等航空学校同类課程的教学参考書。

在本書上篇中，概述和分析了直升机的各种型式，并探討了直升机設計的一般問題。在下篇中，叙述直升机各主要部分的設計，并系統地闡明其构造。在結構上与飞机相似的某些部分一概不叙述(如尾翼、机翼)，或只扼要地說明它在直升机上应用的特点(如机身、起落架、动力装置、操縱傳动件、設備等)。有关这些部分的构造說明，可在已出版的普通飞机的文献中找到。

本書供航空学院学生和从事直升飞机制造的工程师閱讀。

在編写本書的过程中，特别是在繪制圖表方面，作者曾得到工程师 E. H. 茹瑞茨基、E. H. 謝米諾夫和技术員 A. B. 柯罗列娃很大的帮助，謹致謝忱。

导 言

直升机为重于空气的飞行器。这种飞行器的英文名称是 helicopter(геликоптер)，該詞起源于希腊文“gelicos”和“pteron”二字，它們表示“旋轉的机翼”之意。直升机俄文的名称是“Вертолёт”，这是根据該种飞行器的主要特点——“垂直飞行”而得名的。

直升机能够从原地垂直起飞，着陆时也不用滑跑。它能在空中悬停，亦能作前进运动。直升机可以完成各种飞行，即以从零直到某一最大速度向任意方向飞行。直升机起飞和降落时都不需要机場，它是无机場飞行器的代表。直升机的升力由升力螺旋桨产生。将升力螺旋桨傾斜也可以产生前进运动所需的拉力。直升机的升力螺旋桨由發動机通过机械傳动系統（傳动装置）带动或直接由噴气發動机带动。

直升机按結構型式可分为非常多的种类，按用途和大小来分也有許多种类，但上述特殊的飞行性能却是共有的。

由于这些特有的飞行性能，直升机近年来無論在民用上或軍用上，都获得了广泛的应用。

創造直升机的理想很早就有了，但它的实现却很困难。在技术史上很少能找到像直升机那样的从产生創造理想起到变为现实要經過这样漫长的岁月的事例。早在文艺复兴时期，著名的艺术家和力学家列奥那多·达·芬奇就曾有過制造直升机的願望。在1473年他繪制的带空气螺旋桨的飞行器草圖一直被保存下来。在1739年，偉大的俄罗斯学者罗蒙諾索夫，与达·芬奇无关，独立提出了創造直升机的理想，并且制成了世界上第一架真正的直升机模型，从而肯定了利用空气螺旋桨实现垂直飞行的可能性。在

8

罗蒙諾索夫进行这项工作后，过了四十年，在法国才出现了直升机的模型。在十九世纪末和二十世纪初，出现了大量直升机模型设计方案。当时也曾多次尝试制造载人的直升机，但几乎全都沒有成功。这是因为那时直升机空气动力学的发展水平还很低，航空发动机制造、航空材料和生产工艺等方面也不能满足直升机制造对它们提出的要求。只有当航空工业随着飞机的发展而建立起来以及航空科学和技术向前发展之后，才有可能最终地解决直升机的問題。

我国的学者、发明家、工程师和设计师們对于直升机制造事业作出了巨大的贡献。在作为直升机诞生地的我国，制造了许多独特构造的直升机。在现代直升机构造中仍被继续采用的大部构造思想和复杂的組合件的解决方案亦首先出现于我国。例如，著名的俄国发明家罗德金(А. Н. Лодыгин)于1869年在他的电动飞行器设计中首先提出了用改变升力螺旋桨桨距方法来使直升机垂直移动，即提出了变距升力螺旋桨的想法。1870年雷卡切夫(М. А. Рыкачев)院士建议用倾斜升力螺旋桨转轴的方法使直升机作水平飞行。这是现代直升机上所采用的一个基本方法。1908年儒柯夫斯基(Н. Е. Жуковский)教授奠定了升力螺旋桨的理论基础。

尤利也夫(Б. Н. Юрьев)院士在1910~1912年間及此后的研究工作，对直升机的发展起了很大的作用。尤利也夫在1910年所提出的带尾部螺旋桨的单桨直升机型式，现今应用的最为广泛。现在按照这种型式制造直升机的不仅是苏联，而且还有美国、英国和其他国家。目前在各型直升机上毫无例外地被采用的灵巧的操纵机构——自动倾斜器，亦为尤利也夫所发明，并且首先采用在他于1912年所制造的直升机上。有必要提一下俄国设计师索洛金(Н. И. Сорокин)在纵列式双桨直升机方面的研究工作。这种型式的直升机在1913~1914年制成。索洛金提出的纵列式双桨直升机现今仍被广泛地采用。

在直升机方面，获得特别卓越和具有世界意义成就的是第一

架苏联直升机 1-ЭА型 (圖 1)。它是由中央流体动力研究所按照尤利也夫的类型设计的, 并于 1930 年制成。1-ЭА 型是第一架真正能够飞行的直升机。设计师同时又是该架直升机驾驶员的切列姆兴(А. М. Черемухин)教授于 1932 年驾驶这架直升机到达了 605 公尺的高度, 这是当时的世界记录。



复合式直升机 (即除升力螺旋桨外, 还装有可以提高水平飞行速度的固定机翼和拉力螺旋桨的直升机) 早于 1936 年, 在我国,



在本書作者的領導下設計出并制造成，它的原理目前在国外还被認為是新的。

近年来，我国制成了許多首創的、新型构造的直升机。苏联的直升机在土希諾机場举行的航空节檢閱中，作过多次表演（圖2和圖3）。曾参加过1954年在土希諾航空节檢閱时大規模表演的米里（М. Л. Миль）所設計的重型直升机（圖4），已在国民經济各个部門中应用，例如，协助北極中部冰上漂浮科学研究所进行工作等（圖5）。这証明了苏联航空工业在直升机制造方面的成就。同时，在直升机制造方面工作的苏联学者和研究人員，依据儒柯夫斯基和尤利也夫所奠定的直升机理論基础，进行了很多有价值的理論研究和实验工作，为創制构造先进的苏联直升机提供了有力的保証。

世界直升机制造技术的現狀及其發展趨勢的特点是不仅制成了試驗机，而是开始成批生产，特別是近年来生产达到特別巨大的規模。此外目前还制造各种型式的直升机，型式繁多是直升机發展現阶段的特点。虽然巨型直升机有时采用縱列式，但最常用的还是带尾部螺旋桨的單桨式。除上述型式而外，还有并列式。



圖3 卡莫夫（Н. И. Камо́в）設計的直升机，在1948年航空节檢閱时，正在作在載重汽車上降落的表演。



圖4 米里設計的直升機，正參加航空節檢閱。

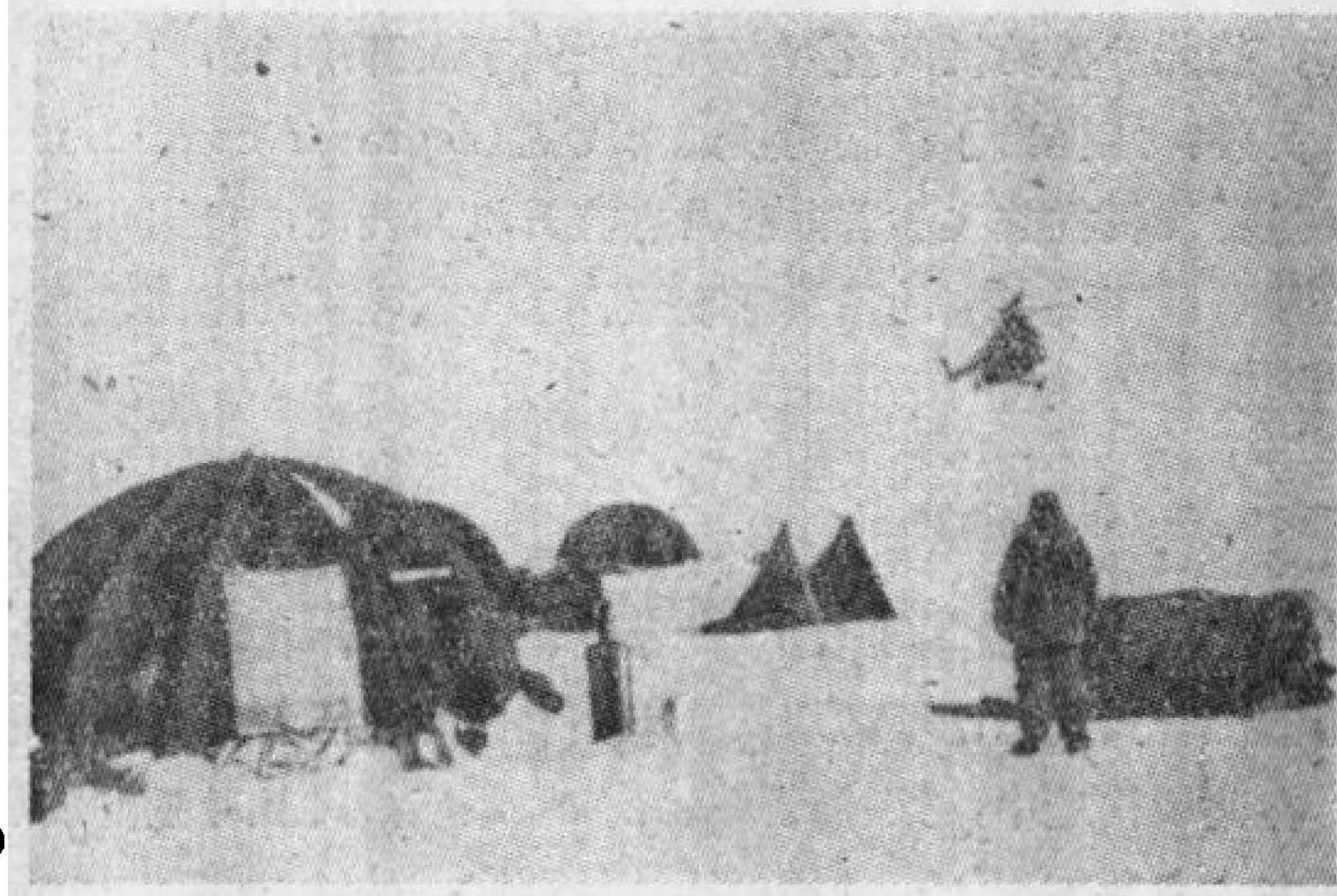


圖5 米里設計的直升機，在北極地帶的“北極-4號”漂浮站上。

共軸式和交叉式。如果說在1946年以前基本上是制造飛行重量約為2200公斤的三座和四座直升機，那麼現在已經在試制30~40座直升機，而且計劃趨向制造更重型的直升機。同時也正在向雙發動機或多發動機的直升機過渡。10座和20座的直升機目前已經

大批生产。重型直升机主要用作运输和登陆工具。

虽然带尾部螺旋桨的单桨式直升机，在其发展途径上，还没有达到尺寸极限，但是设计升力螺旋桨为机械带动的大型单桨式直升机所遇到的困难促使我们采用双桨式或多桨式直升机。除了提高载重量的问题外，还产生了增加巡航速度和航程的问题。

因此，有必要提一下在直升机上同时装置固定机翼和拉力螺旋桨的做法。采用固定机翼和升力螺旋桨配合使用可以提高直升机的性能。有可能使这种复合式直升机的最大速度达到400~450公里/小时，而一般直升机由于气流分离的限制，最大速度仅为250~300公里/小时。

在机械传动的直升机上采用燃气涡轮发动机，一定能提高直升机的重量效率和可靠性。在复合式直升机上安装燃气涡轮发动机还能提高最大速度。现在装燃气涡轮发动机的轻型直升机已经制成，装此种发动机的重型直升机正处于设计阶段。

另外，还提出了创制垂直起落飞机（вертолет-самолет）的问题。这种飞机在起飞和着陆时具有直升机的性能，但到空中后能够变成普通飞机，它的最大速度接近于现代飞机的速度。这种飞行器能有效地在特殊的方面使用。

在直升机构造方面，很多精力应用于创制可靠的和工作时间长久的重要部件上。例如，重型直升机不可避免地要采用大直径的升力螺旋桨，这就提出了新的桨叶设计问题。在小型直升机上采用的混合式构造已不适用，只有金属桨叶才能满足新的要求。

在桨毂构造中，桨叶铰接固定采用最广，并且对垂直铰链的减振在大多数情况下都是用液压减振器实现的。

在直升机上，已成功地开始应用其他型式的升力螺旋桨，如用万向接头连接的升力螺旋桨。

为了驾驶轻便和消除驾驶杆的振动起见，在操纵系统中采用了液压助力系统和弹簧，人为地使驾驶杆上的力造成必要的梯度。为了提高稳定性和操纵性，在直升机操纵系统中还采用了助

力桨叶和稳定杆，并且已开始应用自动駕駛仪。

噴气技术的发展亦反映到直升机制造上。近年来已經出現了噴气直升机。此种直升机沿着两个方向發展：一是将噴气式發动机装在升力螺旋桨桨叶的尖端，目前在这种直升机上所采用的是單位燃料消耗量大的冲压脉动式發动机。对于中等燃料消耗量的重型直升机正在研究在桨叶尖端上装置渦輪噴气式發动机的可能性。另一方向是压縮机式噴气直升机，在这种直升机的机身中装有带压縮机的动力装置，将压縮空气送到安装在升力螺旋桨桨叶端的噴口。从噴口噴出的气流产生反作用力，反作用力使升力螺旋桨轉动。在多数情况下，压縮空气在进入噴口前在特种燃燒室中利用燃料的燃燒进行补充加热。

噴气式直升机上沒有傳动机构，因此它的重量效率比机械傳动的直升机高。它的缺点是燃料消耗量非常大。当然，对于压縮机式或在桨叶尖端安装渦輪噴气式發动机的直升机，这个缺点小一些。

將發动机安装在桨叶尖端的噴气式直升机可用于短途飞行。按照这种型式也可以制成大型的，并有相当远的航程。

上篇 直升机的設計

第一章 直升机設計的一般問題

§1 直升机設計的基本任务

直升机的設計工作是一項創造性的工程劳动，在完成設計的过程中，需要解决有关航空技术各方面的許多复杂問題。

从直升机的实質来看，它作为飞行状态范围很广的一种飞行器，在构造上不可能是簡單的；它有大量复杂的机械附件。目前，直升机的构造型式很多，但到現在实践还没有指出哪些构造型式最成功。作为直升机設計根据的已制成的直升机的統計資料还很有限（某些构造型式的直升机至今总共只不过有一两种原型机）。如果再加上很多有关的直升机空气动力学、飞行动力学及动荷强度的問題还处于研究阶段，那么就很明显，直升机的設計过程确实是非常复杂，要求設計师們要有大胆的創造精神并广泛地进行設計調查研究工作。

直升机設計的基本任务是正确地选择直升机的型式、發动机、傳动机构类型、升力螺旋桨的参数和其他各部件的尺寸，以保証达到給定的飞行性能。

一架好的直升机的主要标志之一是使用中的可靠性。因此，在設計时，靜荷和动荷强度問題應該特別注意。必須尽量避免不能容許的振动并保証摩擦部分的正常磨損。設計时还須考虑到消除試飞当中可能出現的各种振动的方法。

設計好的直升机应具有特定的飞行性能，即垂直起飞、悬停和以給定速度平飞。此时，必須注意直升机在垂直飞行状态下对