

直升机气动力手册

第一册

国防工业出版社

直升机气动力手册

第一册

《7210任务》办公室 编

国防工业出版社

内 容 提 要

《直升机气动力手册》第一册的内容包括：名词术语和符号；座标轴系及其转换；常用公式和数据；名词术语的中、英、俄对照。

本手册主要供从事直升机气动力工作的人员使用，也可供直升机其它专业的工作人员参考。

直升机气动力手册

第 一 册

《7210任务》办公室 编

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092¹/₁₆ 印张 3 65千字

1978年5月第一版 1978年5月第一次印刷 印数：0,001—3,500册

统一书号：N15034·1622 定价：0.37元

前 言

建国以来，在毛主席革命路线的指引下，我国航空事业有了很大发展。直升机也由仿制进入自行研制阶段。从事直升机方面的研究、设计、试验和教学队伍已基本形成。通过多年来的实践，同志们深切感到，有必要编写一部较系统的、符合我国情况的直升机气动力手册，供有关同志参考、使用。在上级领导的关怀与帮助下，经过各有关厂、所和院校共同努力，《直升机气动力手册》将分册出版。我们希望，这部手册在试用过程中能不断得到修改、充实和提高，逐步达到完善。这项工作，对于直升机的设计、生产及使用，对于建立我国的航空气动力体系，都是十分有益的。

《直升机气动力手册》，主要是汇集国内现用的直升机气动力计算报告和研究成果，吸收一些确有实用价值的国外资料，整理编写而成的。而本手册中的第一册直升机气动力的名词术语、符号和座标轴系，则是经过各有关单位反复研究、商讨确定的。

《直升机气动力手册》共分六册。第一册：名词符号、座标轴系、常用数据；第二册：直升机性能计算；第三册：直升机平衡计算；第四册：直升机操纵性、稳定性计算；第五册：直升机桨叶气动载荷；第六册：风洞吹风大纲。

本手册主要供从事直升机气动力工作的人员使用，也可供直升机其它专业的工作人员参考。

由于我们政治与业务水平有限，经验不足，因此在这部手册中一定会存在一些错误和缺点。我们殷切期望从事直升机气动力方面工作的广大工人、技术人员和教学人员，及时把批评和建议告诉我们，以便修改、提高。

《7210任务》办公室

目 录

第一章 名词术语和符号	3
1. 空气动力学基础	6
2. 直升机和有关部分名称	6
3. 直升机有关部件的几何参数	7
4. 速度及相对速度	8
5. 气动力和力矩	9
6. 基本运动参数	10
7. 直升机总体参数	11
8. 性能参数	12
9. 操纵、稳定性分析	13
10. 附表	15
汉语拼音字母表	15
常用角注对照表	15
第二章 座标轴系及其转换	17
1. 桨叶剖面轴系及其相互关系	17
2. 旋翼轴系及其相互关系	18
3. 直升机轴系及其相互关系	21
4. 直升机机体轴系至桨叶剖面构造轴系的转换	23
第三章 常用公式和数据	26
1. 中外气动导数对照和换算	26
2. 正弦、余弦乘积化成倍角	30
3. 付氏级数乘积的系数	31
4. 量 D, R, R^4, R^6 和 πR^2	34
5. 量 $n, \Omega, \Omega^2, \Omega^3$	35
6. 标准大气	36
第四章 名词术语的中、英、俄对照	40
1. 空气动力学基础	40
2. 直升机、发动机和有关部分名称	40
3. 直升机有关部件的几何参数	42
4. 速度及相对速度	43
5. 气动力和力矩	44
6. 基本运动参数	45
7. 直升机总体参数	47
8. 性能参数	47
9. 操纵、稳定性分析	48

直升机气动力手册

第一册

《7210任务》办公室 编

国防工业出版社

内 容 提 要

《直升机气动力手册》第一册的内容包括：名词术语和符号；座标轴系及其转换；常用公式和数据；名词术语的中、英、俄对照。

本手册主要供从事直升机气动力工作的人员使用，也可供直升机其它专业的工作人员参考。

直升机气动力手册

第 一 册

《7210任务》办公室 编

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

787×1092¹/₁₆ 印张 3 65千字

1978年5月第一版 1978年5月第一次印刷 印数：0,001— 3,500册

统一书号：N15034·1622 定价：0.37元

前 言

建国以来，在毛主席革命路线的指引下，我国航空事业有了很大发展。直升机也由仿制进入自行研制阶段。从事直升机方面的研究、设计、试验和教学的队伍已基本形成。通过多年来的实践，同志们深切感到，有必要编写一部较系统的、符合我国情况的直升机气动力手册，供有关同志参考、使用。在上级领导的关怀与帮助下，经过各有关厂、所和院校共同努力，《直升机气动力手册》将分册出版。我们希望，这部手册在试用过程中能不断得到修改、充实和提高，逐步达到完善。这项工作，对于直升机的设计、生产及使用，对于建立我国的航空气动力体系，都是十分有益的。

《直升机气动力手册》，主要是汇集国内现用的直升机气动力计算报告和研究成果，吸收一些确有实用价值的国外资料，整理编写而成的。而本手册中的第一册直升机气动力的名词术语、符号和座标轴系，则是经过各有关单位反复研究、商讨确定的。

《直升机气动力手册》共分六册。第一册：名词符号、座标轴系、常用数据；第二册：直升机性能计算；第三册：直升机平衡计算；第四册：直升机操纵性、稳定性计算；第五册：直升机桨叶气动载荷；第六册：风洞吹风大纲。

本手册主要供从事直升机气动力工作的人员使用，也可供直升机其它专业的工作人员参考。

由于我们政治与业务水平有限，经验不足，因此在这部手册中一定会存在一些错误和缺点。我们殷切期望从事直升机气动力方面工作的广大工人、技术人员和教学人员，及时把批评和建议告诉我们，以便修改、提高。

《7210任务》办公室

目 录

第一章 名词术语和符号	5
1. 空气动力学基础	6
2. 直升机和有关部分名称	6
3. 直升机有关部件的几何参数	7
4. 速度及相对速度	8
5. 气动力和力矩	9
6. 基本运动参数	10
7. 直升机总体参数	11
8. 性能参数	12
9. 操纵、稳定性分析	13
10. 附表	15
汉语拼音字母表	15
常用角注对照表	15
第二章 座标轴系及其转换	17
1. 桨叶剖面轴系及其相互关系	17
2. 旋翼轴系及其相互关系	18
3. 直升机轴系及其相互关系	21
4. 直升机机体轴系至桨叶剖面构造轴系的转换	23
第三章 常用公式和数据	26
1. 中外气动导数对照和换算	26
2. 正弦、余弦乘积化成倍角	30
3. 付氏级数乘积的系数	31
4. 量 D, R, R^4, R^6 和 πR^2	34
5. 量 $n, \Omega, \Omega^2, \Omega^3$	35
6. 标准大气	36
第四章 名词术语的中、英、俄对照	40
1. 空气动力学基础	40
2. 直升机、发动机和有关部分名称	40
3. 直升机有关部件的几何参数	42
4. 速度及相对速度	43
5. 气动力和力矩	44
6. 基本运动参数	45
7. 直升机总体参数	47
8. 性能参数	47
9. 操纵、稳定性分析	48

第一章 名词术语和符号

本章列出在直升机空气动力学中常用的名词术语和符号。其中有些给以定义或说明。在直升机空气动力学中用到的空气动力学基础的名词术语和符号，可参阅普通飞机《航空空气动力手册》第一册。

确定名词术语和符号的基本原则：

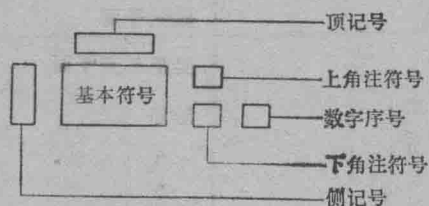
(1) 传统性。例如：采用迎角而不用冲角或攻角；采用实度而不用充填系数。

(2) 简明性。例如：采用锥体轴而不用假想轴。

(3) 国际通用性。例如：采用桨叶挥舞角 β ，最大平飞速度 V_{max} ，旋翼拉力系数 C_T ，旋翼功率系数 m_K 。

本手册规定的名词术语和符号与第三机械工业部部颁标准“航空技术量符号”的有关直升机部分是一致的。名词术语符号的编制总则完全参照部标的规定。

航空技术量（简称技术量）符号系由基本符号和辅助符号组成（见下图）。辅助符号包括上、下角注符号、数字序号、顶记号和侧记号。辅助符号可根据需要选用。



基本符号：表示技术量的名称。

下角注符号：表示技术量的特征和条件。

上角注符号：表示技术量的补充特征或某些特殊概念。

数字序号：表示同一特征技术量的不同顺序号。一般用阿拉伯数字表示。

顶记号：表示技术量的峰值、平均值、幅值、相对值和矢量等含义。

侧记号：表示技术量的总和、增量等含义。

角注符号除采用国际惯用符号外，一律采用小写印刷体汉语拼音字母表示。下角注符号用1~3个字母。上角注符号用1~2个字母或特殊记号。尽量少用上角注。

角注符号的字母取用基本原则可参阅部标《航空技术量符号编制总则》，这里从略。

1. 空气动力学基础 参阅普通飞机《航空空气动力手册》第一册。
2. 直升机和有关部分名称

名 称	符 号	备 注	名 称	符 号	备 注
垂直起落飞机			垂直铰, 阻力铰		
旋翼飞行器			轴向铰, 变距铰		
旋翼机			自动倾斜器		
直升机, 直升飞机		表示两名词可以并用	桨毂		
单旋翼机械驱动式直升机			周期变距		
单旋翼喷气驱动式直升机			机身		
共轴式双旋翼直升机			机翼		
横列式双旋翼直升机			水平尾面		
纵列式双旋翼直升机			垂直尾面		
交叉式双旋翼直升机			尾梁		
复合式直升机			斜梁		
组合式直升机			尾撑		
动力装置		包括发动机及有关系统	构造旋转平面	S-S	来自英文: Shaft plane
发动机			叶尖平面	D-D	来自英文: Disk plane
活塞式发动机			操纵平面	C-C	来自英文: Control plane
涡轮轴发动机			桨距不变平面	E-E	来自英文: Equivalent plane
喷气式发动机			悬停		
螺旋桨			平飞		
定距螺旋桨			前飞		
变距螺旋桨			后飞		
旋翼, 升桨			侧飞		
尾桨			垂直上升		
涵道尾桨			垂直下降		
桨叶			爬升		
前行桨叶			自转下滑		
后行桨叶			风车状态		
水平铰, 挥舞铰			地面效应, 地效		

3. 直升机有关部件的几何参数

(1) 桨叶剖面, 翼型

名 称	符 号	备 注
桨叶宽度, 弦长	b	
叶根弦长	b_0	$\bar{r} = 0$ 处
叶尖弦长	b_1	$\bar{r} = 1$ 处
翼型厚度	c	
相对厚度	\bar{c}	$\bar{c} = c/b$
翼型弯度	f	
相对弯度	\bar{f}	$\bar{f} = f/b$
桨叶剖面半径	r	
桨叶剖面相对半径	\bar{r}	$\bar{r} = r/R$
桨叶剖面相对宽度	\bar{b}	$\bar{b} = b/R$
桨叶剖面安装角	φ	见图1-1
叶根安装角	φ_0	$\bar{r} = 0$ 处
叶尖安装角	φ_1	$\bar{r} = 1$ 处

(2) 旋翼, 升桨(见图1-2)

名 称	符 号	备 注
旋翼半径	R	
旋翼直径	D	$D = 2R$
桨盘面积	πR^2	
桨叶几何扭度	$\Delta\varphi$	$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_0$ $\Delta\varphi < 0$ 称负扭转
桨叶根梢比	η_{ye}	$\eta_{ye} = b_0/b_1$
桨叶方位角	ψ	
桨叶片数	k	
旋翼实度	σ	$\sigma = k \int_0^R bdr / \pi R^2$
桨距	φ_T	桨叶特征剖面 $\bar{r} = 0.7$ 处的安装角
由于操纵引起的桨距改变量	$\theta_0, \theta_1, \theta_2$	$\Delta\theta = \theta_0 + \theta_1 \cos\psi + \theta_2 \sin\psi$
叶端损失系数	α	
水平铰外伸量	l_{pj}	水平铰轴线离桨毂中心的距离
垂直铰外伸量	l_{cj}	垂直铰轴线离桨毂中心的距离
偏置量	e	
旋翼轴前倾角	δ_{sj}	旋翼旋转轴与机身地板垂线间夹角, 前倾为正

(3) 尾桨, 机身, 水平尾面, 机翼

尾桨, 机身, 水平尾面, 机翼的几何参数分别加下角注()_{wj}, ()_{sb}, ()_{pw}, ()_{yi}。

例如:

名 称	符 号	备 注
尾桨桨心至桨毂中心的纵向距离	l_{wj}	
机身横截面积	S_{sb}	
水平尾面面积	S_{pw}	
水平尾面安装角	φ_{pw}	
机翼安装角	φ_{yi}	

4. 速度及相对速度

名 称	符 号	备 注
旋翼角速度	Ω	弧度/秒
直升机飞行速度 及其相对值	V_0 \bar{V}_0	米/秒或公里/小时 $\bar{V}_0 = V_0 / \Omega R$
直升机水平速度 及其相对值	V_x \bar{V}_x	
直升机垂直速度 及其相对值	V_y \bar{V}_y	
旋翼平面处的平均气流速度 及其相对值	V_1 \bar{V}_1	
诱导速度 及其相对值	v \bar{v}	
桨盘平面处轴向诱导速度 及其相对值	v_1 \bar{v}_1	
飞行状态特性系数, 前进比	μ_s μ_E	见图 1-3; $\mu_s = \frac{V_0 \cos \alpha_s}{\Omega R}$ $\mu_E = \frac{V_0 \cos \alpha_E}{\Omega R}$ 在大多数情况下: $\mu_s \approx \mu_E \approx \mu$
轴向来流系数, 流入比	λ_1 λ_0 λ_E	$\lambda_1 = \frac{V_0 \sin \alpha_s - v_1}{\Omega R}$ $\lambda_0 = \frac{V_0 \sin \alpha_s}{\Omega R}$ $\lambda_E = \frac{V_0 \sin \alpha_E - v_1}{\Omega R}$
流向翼型的气流合速度 及其相对值	W \bar{W}	见图 1-4
流向翼型的周向气流分速度 及其相对值	W_x \bar{W}_x	
流向翼型的轴向气流分速度 及其相对值	W_y \bar{W}_y	
翼型的挥舞速度 及其相对值	v_β \bar{v}_β	$v_\beta = r \cdot \frac{d\beta}{dt}$

5. 气动力和力矩

(1) 翼型的气动力和力矩

名 称	符 号	备 注
翼型迎角	α_*	以气动弦为基准
几何迎角	α	以几何弦为基准
		$\alpha_* = \alpha + (-\alpha_0)$
零升迎角	α_0	$c_y = 0$ 时气流与几何弦间的夹角, 通常为负值
翼型来流角	β_*	以上见图 1-5
翼型升力系数	c_y	$c_y = dY / \frac{1}{2} \rho W^2 b dr$
翼型阻力系数	c_x	$c_x = dX / \frac{1}{2} \rho W^2 b dr$
翼型升力线斜率	c_y^a, a_{∞}	$c_y^a = dc_y / da$
翼型环量	Γ	
单位长度桨叶质量	$\frac{dm_{y_0}}{dr}$	

(2) 桨叶的气动力和力矩(见图1-6)

名 称	符 号	备 注
桨叶拉力	T_{y_0}	
桨叶旋转阻力	Q_{y_0}	
桨叶挥舞惯性力	F_{β}	
桨叶摆振惯性力	F_{ξ}	
桨叶离心力	F_{ex}	
桨叶哥氏力	F_{g_0}	
桨叶质量矩	M_{y_0}	$M_{y_0} = \int_0^R \frac{dm_{y_0}}{dr} r dr$
桨叶转动惯量	I_{y_0}	$I_{y_0} = \int_0^R \frac{dm_{y_0}}{dr} \cdot r^2 dr$
桨叶质量特性系数	γ_{y_0}	$\gamma_{y_0} = c_y^a \rho b^3 R^4 / 2I_{y_0}$

(3) 旋翼的气动力和力矩(见图1-7)

名 称	符 号	备 注
旋翼拉力 及其系数	T_s C_T	常简写成 T
旋翼后向力 及其系数	H_s C_H	
旋翼侧向力 及其系数	S_s C_s	以上各力及相应的系数为旋翼气动合力沿旋翼构造轴系分解的分量
旋翼扭矩 及其系数	M_K m_K	$m_K = M_K / \left(\frac{1}{2} \rho \pi R^2 (\Omega R)^2 \cdot R \right)$
相对于直升机速度轴的气动力矩 及其系数	M_x, M_y, M_z m_x, m_y, m_z	
相对于直升机机体轴的气动力矩 及其系数	$M_{x_1}, M_{y_1}, M_{z_1}$ $m_{x_1}, m_{y_1}, m_{z_1}$	
旋翼迎角	α_s α_D α_E	以构造旋转平面为基准 以叶尖平面为基准 以桨距不变平面为基准
旋翼下洗角	ε	飞行速度与旋翼尾迹间的夹角
临界升力系数 及其相对值	C_{y1j} \bar{C}_{y1j}	$\bar{C}_{y1j} = C_{y1j} / C_{y\max}$
悬停时旋翼的气动效率	η_0	

6. 基本运动参数

(1) 旋翼, 尾桨, 自动倾斜器

名 称	符 号	备 注
桨叶挥舞角	β	$\beta = a_0 - a_1 \cos \psi - b_1 \sin \psi$ $- a_2 \cos 2\psi - b_2 \sin 2\psi \dots\dots$ $a_0, a_1, b_1, a_2, b_2, \dots$ 挥舞运动系数
旋翼锥度角	a_0	
旋翼锥体后倒角	a_{1S} a_{1E} a_{1C}	叶尖平面相对于 $S-S$ 平面倾倒的角度, 后倒为正 叶尖平面相对于 $E-E$ 平面倾倒的角度, 后倒为正 叶尖平面相对于 $C-C$ 平面倾倒的角度, 后倒为正
旋翼锥体侧倒角	b_{1S} b_{1E} b_{1C}	叶尖平面相对于 $S-S$ 平面侧倒的角度, 向 $\psi = 90^\circ$ 方位侧倒为正 叶尖平面相对于 $E-E$ 平面侧倒的角度, 向 $\psi = 90^\circ$ 方位侧倒为正 叶尖平面相对于 $C-C$ 平面侧倒的角度, 向 $\psi = 90^\circ$ 方位侧倒为正

名 称	符 号	备 注
桨叶摆振角	ξ	$\xi = e_0 - e_1 \cos \psi - f_1 \sin \psi$ $- e_2 \cos 2\psi - f_2 \sin 2\psi \dots$ $e_0, e_1, f_1, e_2, f_2, \dots$ 摆振运动系数
旋翼转速	n	转/分
尾桨拉力	T_{wj}	
尾桨桨叶挥舞角	β_{wj}	
尾桨锥度角	α_{0wj}	
尾桨转速	n_{wj}	
自动倾斜器后倾角	χ	$\psi = 0^\circ$ 处的自动倾斜器倾角
自动倾斜器纵向操纵角	χ_1	纵向操纵节点处的自动倾斜器倾角
自动倾斜器侧倾角	η	$\psi = 90^\circ$ 处的自动倾斜器倾角
自动倾斜器横向操纵角	η_1	横向操纵节点处的自动倾斜器倾角
挥舞调节系数	K	
构造提前角	δ	
自动倾斜器传动比	i_{zq}	

(2) 全机

名 称	符 号	备 注
俯仰角	θ_s	直升机机体轴 OX_1 与水平面间的夹角
侧滑角	β_s	飞行速度矢 \vec{v}_0 与机体对称面间的夹角
迎 角	α_s	飞行速度矢 \vec{v}_0 在机体对称面上的投影与 OX_1 轴间的夹角
偏航角	ψ_s	机体轴 OX_1 的地面投影与地轴 OX_2 间的夹角
倾侧角	γ_s	机体对称面与通过机体地轴 OX_{1d} 的铅垂平面之间的夹角
航迹角	θ	飞行速度矢 \vec{v}_0 与水平面之间的夹角 $\theta > 0$, 爬升角; $\theta < 0$, 下滑角
速度倾侧角	γ_v	机体对称面与通过速度地轴 OX_{vd} 的铅垂平面之间的夹角

7. 直升机总体参数

名 称	符 号	备 注
全机总重	G	
额定功率	N_{ed}	马 力
马力载荷	q	$q = G/N_{ed}^0$ N_{ed}^0 海平面额定功率
桨盘载荷	p	$p = G/\pi R^2$
飞行性能参数	E	$E = q \sqrt{p}$
空机重量	G_{kj}	包括机体结构重量, 动力装置重量, 特设重量
燃油重量	G_{ry}	
有效载重	G_{yx}	空勤人员, 乘客, 货物等重量
任务载重	G_{rw}	乘客, 货物重量
过载	n	

8. 性能参数

名 称	符 号	备 注
功率传递系数	ζ	
发动机高度特性系数	A	$A = N_{ed}^H / N_{ed}^0$ N_{ed}^H 某高度额定功率
单位耗油率	C_e	
直升机的可用功率 (即发动机出轴功率)	N_{ky}	马 力
直升机的需用功率	N_{xu}	
旋翼的需用功率及其功率系数 (即旋翼扭矩系数)	N_{xu-sj} m_K	
型阻功率 及其系数	N_{xi} m_{Kxi}	
诱导功率 及其系数	N_i m_{Ki}	
废阻功率 及其系数	N_f m_{Kf}	
波阻功率 及其系数	N_b m_{Kb}	
拉力修正系数	k_T	
型阻功率修正系数	k_p	
诱导功率修正系数	J	
静升限, 悬停升限	H_{\perp}	理论静升限 $H_{\perp II}$ 实用静升限 $H_{\perp sy}$
动升限	H_{max}	理论动升限 $H_{max II}$ 实用动升限 $H_{max sy}$
公里耗油量	q_{KM}	
航 程	L	最大航程 L_{max}
小时耗油量	q_h	
续航时间	t	最大续航时间 t_{max}
最大垂直上升率	$V_{\perp max}$	垂直上升时的最大上升速度
最大爬升率	$V_{y max}$	最大斜向爬升速度的垂直分量
最大速度	V_{max}	国际惯用
最小速度	V_{min}	国际惯用
经济速度	V_{jj}	
有利速度	V_{yl}	
巡航速度	V_{xb}	
离地高度	h	
有地效拉力	T_d	
无地效拉力	T_{∞}	
翼型升力临界 M 数	M_{1jy}	
翼型阻力突增临界 M 数	M_{1jx}	
叶尖 M 数	M_1	
垂直吹风增重系数	K_{\perp}	$K_{\perp} = T_s / G$