

中国民用航空飞行学院
CIVIL AVIATION FLIGHT UNIVERSITY OF CHINA

飞行训练系列教材

主 编 ● 关立欣

副主编 ● 犹 轶 王永根 杜 春 汤继强

直升机飞行指南

ZHISHENGJI FEIXING ZHINAN



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

013071371

V323.1-62
04

中国民用航空飞行学院飞行训练系列教材

总序

南航—朱如器—用机直① 出—关① 二—直① 1

直升机飞行指南

主 编 关立欣
 副主编 犹 轶 王永根
 杜 春 汤继强



西南交通大学出版社
· 成 都 ·



V323.1-62
04

178170810

图书在版编目(CIP)数据

直升机飞行指南 / 关立欣主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2013.6

ISBN 978-7-5643-2298-4

I. ①直… II. ①关… III. ①直升机—驾驶术—指南
IV. ①V323.1—62

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第081587号

南航飞行学院直

关立欣 主编

关立欣 主编

中国民用航空飞行学院飞行训练系列教材

直升机飞行指南

主 编 关立欣

责任编辑	牛 君
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段111号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	210 mm × 285 mm
印 张	13
字 数	388千字
版 次	2013年6月第1版
印 次	2013年6月第1次
书 号	ISBN 978-7-5643-2298-4
定 价	60.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

总序

自改革开放以来，在党中央、国务院的正确领导下，顺应国家经济社会全面发展的大潮，中国民航持续快速健康发展，规模、质量和效益都跃上了一个新台阶。作为向中国民航运输航空和通用航空输送飞行等各类航空专业人才的主力院校，为保证飞行训练教学内容的先进性、准确性和全面性，中国民航飞行学院决定在原有的飞行训练教材基础上，结合数十年的飞行教学经验和当前最新的航空理论知识，编写该套《飞行训练系列教材》。

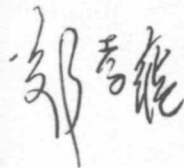
《飞行训练系列教材》是飞行教学质量管理体系的基础，是统一飞行标准、抓好飞行教学、提高教学质量的重中之重。因此，学院为本系列教材挑选的编者都是民航飞行训练及安全管理领域具有丰富教学和实践经验的一流专家。同时，经过编委会多次召开会议，审定教材的大纲，落实教材的主要知识点，本系列教材的编写充分考虑了教学内容的先进性和成熟性之间的协调关系，确保教材既能够反映飞行训练领域的前沿信息，又能使学生掌握基础的核心知识和成熟稳定的飞行技能。

在本系列教材的编写过程中，我们得到了民航局飞行标准司、民航西南地区管理局、民航四川安全监管管理局的大力支持，在此深表感谢！

尽管通过反复讨论修改，但因实际水平和其他客观条件限制，本系列教材难免存在疏漏和值得商榷之处，敬请各位读者批评指正。

编委
2013年2月

中国民航飞行学院
飞行训练系列教材编委会主任



前言

《直升机飞行指南》是一本面向准备考取私用、商用飞行员或飞行教员执照的直升机级别等级申请人的飞行技术指南。持证的飞行教员也可以将这本指南当作一本重要的教辅材料，因为其详细阐述了空气动力学、飞行操纵、系统、性能、飞行机动、应急和航空决策等内容。天气、导航、无线电导航和通信、飞行情报出版物的使用以及规章等内容可参阅其他教材。

本指南符合民航局确立的飞行员训练和考核标准。考虑到教学方法、飞行程序和机动飞行执行方法多种多样，空气动力理论和原则的解释也各有不同，本指南选择性地采用了部分直升机的飞行方法和概念，讨论和解释最常用的方法和原则。对于关键动作使用了“必须”或类似词语。

现行的飞行人员训练和考试材料以及航空人员执照等级专业知识和法规可从飞行标准司网站 (<http://pilots.caac.gov.cn>) 上获得。

在编写本书的过程中，我们参阅了大量国内外直升机飞行训练的相关资料，在此对这些资料的原著者表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中错漏和不妥之处在所难免，恳请广大读者和同行批评指正。有关本指南的建议请联系中国民航飞行学院飞行训练标准处。

编者
2013年2月

本书中英美制单位与国际单位的换算关系

1	直升机的速度	1
1.1	1 ft=0.304 8 m	1
1.2	1 m=3.281 ft	2
1.3	1 mile=1.609 km	2
1.4	1 n mile (nautical mile) =1.852 km	2
1.5	1 kn [*] =1 n mile (nautical mile) /h=1.852 km/h	2
2	1 lb=0.454 kg	3
2.1	1 kg=2.205 lb	3
2.2	1 gal (美) =3.785 L=3.785 × 10 ⁻³ m ³	4
2.3	1 qt=1.136 5 L	5
2.4	1 inHg=33.86 hPa	6
2.5	760 mmHg =29.92 inHg =14.7 lbf/in ² (psi)=1 013.25 hPa	6
2.6	1 lbf · ft=1.356 N · m	7
2.7	1 马力 (hp) =745.7 W	8
2.8	1 [米制]马力=735.5 W	9
2.9	1 磅力	9
2.10	1 磅力	10
2.11	1 磅力	11
2.12	1 磅力	11
2.13	1 磅力	12
2.14	1 磅力	12
2.15	1 磅力	12
2.16	1 磅力	12
2.17	1 磅力	13
2.18	1 磅力	13
2.19	1 磅力	14
2.20	1 磅力	14
3	飞行空气动力学	15
3.1	3.1 有动力	15
3.2	3.2 无动力	15
3.2.1	3.2.1 升力	16
3.2.2	3.2.2 阻力	16
3.2.3	3.2.3 推力	17
3.2.4	3.2.4 升力与阻力的比值(升阻比)	17
3.2.5	3.2.5 推力	18

* 国标规定为 kn, 航空界习惯写为 kt。

目 录

1 直升机介绍	1
1.1 主旋翼系统	1
1.1.1 全铰接旋翼系统	2
1.1.2 半刚性旋翼系统	2
1.1.3 刚性旋翼系统	2
1.2 反扭矩系统	2
1.2.1 尾桨	2
1.2.2 涵道尾桨	3
1.2.3 无尾桨系统 (NOTAR®)	3
1.3 起落架	4
1.4 动力装置	4
1.5 飞行操纵装置	5
2 空气动力学概述	6
2.1 翼型	6
2.1.1 相对气流	7
2.1.2 桨叶角	8
2.1.3 迎角	8
2.2 升力	9
2.2.1 马格努斯效应	9
2.2.2 伯努利原理	10
2.2.3 牛顿第三运动定律	11
2.3 重力	11
2.4 拉力	12
2.5 阻力	12
2.5.1 翼型阻力	12
2.5.2 诱导阻力	13
2.5.3 寄生阻力	13
2.5.4 总阻力	14
3 飞行空气动力学	15
3.1 有动力飞行	15
3.2 悬停飞行	15
3.2.1 横向飘移	16
3.2.2 钟摆效应	16
3.2.3 旋翼锥体	17
3.2.4 科里奥利效应 (角动量守恒定律)	17
3.2.5 地面效应	18
3.2.6 陀螺进动效应	19

3.3	垂直飞行状态	20
3.4	前飞状态	21
3.4.1	过渡升力	21
3.4.2	诱导气流	22
3.4.3	横向流效应	23
3.4.4	升力不对称	23
3.5	侧飞	25
3.6	倒飞	25
3.7	转弯飞行	26
3.8	自转	26
3.8.1	自转(垂直飞行状态)	27
3.8.2	自转(前飞状态)	29
4	直升机的飞行操纵装置	30
4.1	桨距杆	30
4.2	油门操纵装置	31
4.2.1	桨距杆和油门联动	31
4.2.2	机械或电气联动装置(电子调速器)	31
4.3	驾驶杆	32
4.4	反扭矩脚踏	33
4.4.1	航向控制	33
5	直升机系统	35
5.1	发动机	35
5.1.1	往复式发动机	35
5.1.2	涡轮动力发动机	36
5.1.2.1	压气机	37
5.1.2.2	燃烧室	37
5.1.2.3	涡轮	37
5.2	传动系统	38
5.2.1	主旋翼传动装置	38
5.2.2	尾桨驱动系统	39
5.2.3	离合器	39
5.2.3.1	离心式离合器	39
5.2.3.2	皮带驱动式离合器	40
5.2.4	单向离合器	40
5.3	主旋翼系统	40
5.3.1	全铰接式旋翼系统	40
5.3.2	半刚性旋翼系统	41
5.3.3	刚性旋翼系统	42
5.3.4	组合式旋翼系统	42
5.3.5	自动倾斜器装置	42
5.4	燃油系统	43
5.4.1	燃油供给系统	43

5.4.2	发动机燃油控制系统	44
5.4.2.1	活塞发动机	44
5.4.2.2	涡轮发动机	46
5.5	电气系统	46
5.6	液压系统	48
5.7	增稳系统	49
5.8	自动驾驶仪	49
5.9	环境控制系统	50
5.10	防冰系统	50
6	飞行操纵手册	51
6.1	扉页	51
6.2	基本信息	52
6.3	运行限制	52
6.3.1	空速限制	52
6.3.2	高度限制	53
6.3.3	旋翼转速限制	53
6.3.4	动力装置限制	53
6.3.5	重量与载荷分布	54
6.3.6	飞行限制	54
6.3.7	标牌	55
6.4	应急程序	55
6.5	正常程序	56
6.6	性能	56
6.7	重量与平衡	57
6.8	航空器系统描述	57
6.9	地面操作、勤务和维护	57
6.10	补充材料	57
6.11	安全和运行提示	57
7	重量与平衡	58
7.1	重量	58
7.1.1	重量限制	59
7.1.2	确定空重	59
7.2	平衡	59
7.2.1	重心 (CG)	59
7.2.1.1	前重心限制	60
7.2.1.2	后重心限制	60
7.2.2	横向平衡	61
7.3	重量与平衡计算	61
7.4	重量与平衡方法	63
7.4.1	计算方法	63
7.4.2	装载图表法	64
7.4.3	混合法	67

7.4.4	计算横向重心	69
8	性能	71
8.1	影响性能的因素	71
8.1.1	密度高度	71
8.1.1.1	大气压力	72
8.1.1.2	海拔	72
8.1.1.3	温度	72
8.1.1.4	湿度	72
8.1.1.5	高密度高度和低密度高度条件	72
8.1.2	重量	73
8.1.3	风	74
8.2	性能图表	74
8.2.1	悬停性能	74
8.2.2	起飞性能	76
8.2.3	爬升性能	77
9	基本飞行机动	79
9.1	飞行前	79
9.1.1	最低设备清单 (MEL) 和有故障保留的运行	79
9.2	发动机起动和旋翼接合	80
9.2.1	旋翼安全注意事项	80
9.2.2	直升机内和周边的安全	81
9.2.2.1	停机坪服务人员和航空器勤务人员	81
9.2.2.2	航空器勤务	81
9.2.2.3	外挂载荷索具操作人员	82
9.2.2.4	在飞行操纵位置上的飞行员	82
9.2.2.5	外挂载荷吊装人员	82
9.2.2.6	乘客	82
9.3	垂直起飞至悬停	83
9.3.1	技巧	83
9.3.2	常见错误	84
9.4	悬停	84
9.4.1	技巧	84
9.4.2	常见错误	85
9.5	悬停转弯	85
9.5.1	技巧	85
9.5.2	常见错误	86
9.6	悬停-前飞	86
9.6.1	技巧	87
9.6.2	常见错误	87
9.7	悬停-侧飞	87
9.7.1	技巧	88
9.7.2	常见错误	88

9.8	悬停-后飞	89
9.8.1	技巧	89
9.8.2	常见错误	89
9.9	滑行	89
9.9.1	悬停滑行	89
9.9.2	空中滑行	90
9.9.2.1	技巧	90
9.9.2.2	常见错误	91
9.9.3	地面滑行	91
9.9.3.1	技巧	91
9.9.3.2	常见错误	91
9.10	自悬停状态正常起飞	92
9.10.1	技巧	92
9.10.2	常见错误	92
9.11	自地面正常起飞	93
9.11.1	技巧	93
9.11.2	常见错误	93
9.11.3	侧风起飞注意事项	93
9.12	平直飞行	94
9.12.1	技巧	95
9.12.2	常见错误	95
9.13	转弯	96
9.13.1	技巧	96
9.13.2	内侧滑	96
9.13.3	外侧滑	97
9.13.4	常见错误	97
9.14	正常爬升	98
9.14.1	技巧	98
9.14.2	常见错误	98
9.15	正常下降	98
9.15.1	技巧	98
9.15.2	常见错误	99
9.16	使用地面参照物的机动飞行	99
9.16.1	矩形航线	99
9.16.2	S形转弯	101
9.16.3	绕特定点转弯	102
9.16.4	使用地面参照物机动期间的常见错误	103
9.17	起落航线	103
9.18	进近	104
9.18.1	正常进近至悬停	104
9.18.1.1	技巧	104
9.18.1.2	常见错误	105
9.18.2	正常进近至道面	105

9.18.2.1	技巧	106
9.18.2.2	常见错误	106
9.18.3	侧风进近	106
9.19	复飞	106
9.20	着陆后和离机	106
9.21	降噪程序	107
10	高级机动飞行	108
10.1	勘察程序	108
10.1.1	高勘察	108
10.1.2	低空勘察	108
10.1.3	地面勘察	109
10.2	最大性能起飞	109
10.2.1	实施技巧	109
10.2.2	常见错误	110
10.3	滑跑起飞	110
10.3.1	技巧	111
10.3.2	常见错误	111
10.4	快速减速(快停)	111
10.4.1	技巧	112
10.4.2	常见错误	112
10.5	高进近至悬停	113
10.5.1	技巧	113
10.5.2	常见错误	113
10.6	低下滑线进近和滑跑着陆	114
10.6.1	技巧	114
10.6.2	常见错误	115
10.7	斜坡起降	115
10.7.1	斜坡着陆	115
10.7.1.1	技巧	115
10.7.1.2	常见错误	116
10.7.2	斜坡起飞	116
10.7.2.1	技巧	116
10.7.2.2	常见错误	117
10.8	限制区域运行	117
10.8.1	进近	117
10.8.2	起飞	118
10.8.3	常见错误	118
10.9	山顶尖峰和山脊运行	118
10.9.1	进近着陆	119
10.9.2	起飞	119
10.9.3	常见错误	120

11 直升机的紧急情况	121
11.1 自转	121
11.1.1 直线自转	122
11.1.1.1 技巧	122
11.1.1.2 常见错误	123
11.1.2 自转练习的功率恢复	123
11.1.2.1 技巧	123
11.1.2.2 常见错误	123
11.1.3 自转转弯	124
11.1.3.1 技巧	124
11.1.4 悬停中功率失效	124
11.1.4.1 技巧	124
11.1.4.2 常见错误	125
11.2 高度-速度图表	125
11.2.1 重量与密度高度的影响	126
11.3 涡环(带功率下沉)	127
11.4 后行桨叶失速	128
11.5 地面共振	128
11.6 动态翻滚	129
11.6.1 临界条件	129
11.6.2 驾驶杆配平	130
11.6.3 正常起飞和着陆	130
11.6.4 斜坡起飞和着陆	130
11.6.5 桨距的使用	131
11.6.6 预防措施	132
11.7 低过载条件和旋翼主轴碰撞	132
11.8 旋翼转速低和桨叶失速	133
11.9 改出低旋翼转速	133
11.10 系统失效	134
11.10.1 反扭矩系统失效	134
11.10.1.1 着陆——左脚蹬卡阻	134
11.10.1.2 着陆——脚蹬中立位或右脚蹬卡阻	135
11.10.2 尾桨丧失效应(LTE)	135
11.10.3 主旋翼桨盘涡流干扰区($285^{\circ} \sim 315^{\circ}$)	135
11.10.4 风标稳定性区域($120^{\circ} \sim 240^{\circ}$)	136
11.10.5 尾桨涡环状态($210^{\circ} \sim 330^{\circ}$)	137
11.10.5.1 高空尾桨失效	137
11.10.5.2 降低尾桨失效几率	137
11.10.5.3 改出技巧	138
11.10.6 主驱动轴失效	138
11.10.7 液压失效	138
11.10.8 调速器失效	139
11.10.9 非正常振动	139

11.10.9.1	低频振动	139
11.10.9.2	中频或高频振动	139
11.10.9.3	轨迹和平衡	139
11.11	改航备降	139
11.12	迷航程序	140
11.13	应急设备和救生装备	141
12	使用姿态仪表飞行	142
12.1	飞行仪表	142
12.1.1	空速管-静压仪表	142
12.1.1.1	空速表	143
12.1.1.2	高度表	143
12.1.2	升降速度表	144
12.1.2.1	仪表检查	144
12.1.2.2	系统误差	144
12.1.3	陀螺仪表	145
12.1.3.1	地平仪	145
12.1.3.2	航向仪	146
12.1.3.3	转弯仪	146
12.1.3.4	仪表检查	147
12.1.4	磁罗盘	147
12.1.4.1	罗盘误差	148
12.1.4.2	磁偏角	148
12.2	仪表飞行	149
12.2.1	仪表交叉检查	149
12.2.2	仪表认读	150
12.2.3	航空器操纵	150
12.2.4	直线平飞	150
12.2.4.1	俯仰控制	151
12.2.4.2	坡度控制	152
12.2.4.3	直线平飞中的常见错误	154
12.2.4.4	直线平飞中的功率控制	154
12.2.4.5	水平直线飞行空速改变中的常见错误	156
12.2.5	直线爬升(恒定空速和恒定爬升率)	156
12.2.5.1	进入	156
12.2.5.2	改平	158
12.2.6	直线下降(恒定空速和恒定下降率)	158
12.2.6.1	进入	158
12.2.6.2	改平	158
12.2.6.3	直线爬升和下降中的常见错误	159
12.2.7	转弯	159
12.2.7.1	转向预定航向	160
12.2.7.2	计时转弯	160

12.2.7.3	30°坡度转弯	161
12.2.7.4	爬升和下降转弯	161
12.2.7.5	使用磁罗盘转弯	161
12.2.7.6	转弯中的常见错误	162
12.2.8	不正常状态	162
12.2.8.1	不正常状态改出中的常见错误	162
12.3	紧急情况	163
12.3.1	自转	163
12.3.1.1	自转中的常见错误	163
12.3.2	伺服器失效	164
12.4	仪表起飞	164
12.4.1	仪表起飞中的常见错误	164
13	夜间运行	165
13.1	夜间飞行生理学	165
13.1.1	飞行中的视觉	165
13.1.2	眼睛	166
13.1.3	视锥细胞	167
13.1.4	视杆细胞	167
13.1.5	夜间视力	168
13.1.6	夜间扫视	168
13.1.7	航空器灯光	168
13.1.8	错觉	168
13.1.8.1	自动运动	169
13.1.8.2	夜间近视	169
13.1.8.3	假地平线	169
13.1.8.4	着陆错觉	170
13.2	夜间飞行	170
13.2.1	飞行前	170
13.2.2	发动机起动和旋翼啮合	170
13.2.3	滑行技巧	171
13.2.4	起飞	171
13.2.5	航路程序	171
13.2.6	夜间避免相撞	171
13.2.7	进近着陆	173
14	航空决策	174
14.1	航空决策训练的起源	175
14.2	决策过程	175
14.2.1	明确问题	175
14.2.2	选择行动方案	175
14.2.3	执行决策并评估结果	176
14.3	风险管理	177
14.3.1	评估风险	177

14.4	影响决策的因素	178
14.4.1	飞行员自我评估	178
14.4.2	识别危险态度	178
14.4.3	压力管理	180
14.4.4	利用资源	180
14.4.4.1	内部资源	180
14.4.4.2	外部资源	181
14.4.5	工作负荷管理	181
14.4.6	情景意识	182
14.4.6.1	保持情景意识的障碍	182
14.4.6.2	运行陷阱	182
附录		183
参考文献		189

1 直升机介绍

虽然直升机的大小和形状差别很大，但是大多数直升机的主要组成部分是一样的。这些组成部分包括容纳机组和载荷^①的机舱、用以容纳或安装不同组件的机身、动力装置或发动机、负责在发动机和主旋翼之间传递功率的传动装置，以及提供气动力以支持直升机飞行的主旋翼。此外，为了防止直升机由于主旋翼扭矩^②而旋转，必须要有某种形式的反扭矩系统。最后是起落架，可以是滑橇、机轮、滑雪板或浮筒。本章对这些组件进行介绍（图 1.1）。

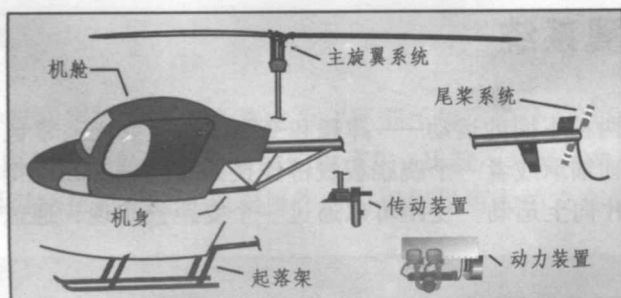
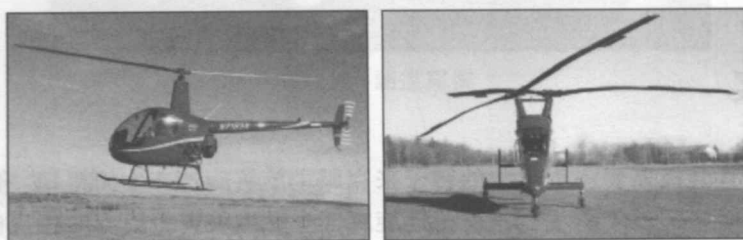


图 1.1 直升机的主要组成部分

1.1 主旋翼系统

直升机上可以有单套主旋翼或双旋翼系统。对于通常的双旋翼系统，旋翼的旋转方向是相反的，以抵消彼此的扭矩，消除机身旋转的趋势（图 1.2）。



(a) 单旋翼系统

(b) 双旋翼系统

图 1.2 直升机的主旋翼系统

① 载荷——该术语用于旅客、行李和货物。

② 扭矩——在具有单主旋翼系统的直升机上，直升机机体在主旋翼系统相反方向上的旋转趋势。