

V226-62
1001

起落架设计手册

作者

诺曼·斯·柯里

Norman S. Currey



1982 · 1

613187

关于作者

诺曼·斯·柯里于1947年毕业于英格兰德·哈维兰航空技术学校。他在来加拿大的多伦多Avro飞机公司作为喷气式客机、CF-100和“箭式”飞机的设计工程师之前，曾在哈维兰作过二年应力分析工程师。1959年，柯里先生进入了洛克希德—乔治亚公司，在这里他现在是一位预研设计部的主管工程师。在洛克希德他完成了C-130、C-141、C-5A和“喷气星”飞机的设计工作和许多预研项目，以及生产型飞机的改型工作。他是一位英国荣誉（Chartered）工程师和皇家航空学会会员。

出版说明

起落架设计是航空工程中一个十分重要的领域，随着航空工业的飞速发展，起落架设计技术也发展很快，但到目前为止，尚未见到一本比较系统和完善的起落架设计技术参考书。

《起落架设计手册》的作者是美国诺曼·斯·柯里(Norman S. Currey)先生，他于1982年从设计者的观点编写了该手册，论述了起落架的设计原理，编写了计算说明，并将重点放在图、表；这些图和表展示了很多现代的从小型到大型飞机的起落架的总体布局；该手册还对起落架很有影响的机场作了精辟的研究。

该手册是飞机设计、生产、使用、研究部门的广大工程技术人员理想的工具书。全书共分十六章和十六个附录，内容极为丰富；并对起落架新的要求作了系统的阐述。

本书是由王裕昌、孙书田、汤吉晨、孙建华、马保林、秦国兴、杨太来、王仲燕、何 涇、田丁栓、蒋祖国、王 强、张忠民、陈启顺、王根元、陈昭灼、董庚寿、张克荣、王 记等翻译校对，最后由顾伟豪高级工程师、王俊杨高级工程师和诸德培教授审定，由聂世芳、张永河负责编辑出版。

序 言

起落架设计是航空工程中似乎特别缺乏文字指导的一个领域。在某种程度上，这个缺陷多半可归咎于二次世界大战以前设计的不成熟状态，因为那时只有简单的缓冲器。当五十年代设计变得稍稍完善一些时，H·G·康韦编著了“起落架设计”一书（查普曼—霍尔有限公司，1958年），该书作为一本有用的“学生的圣经”已经使用许多年了。

由于起落架设计的进一步完善，已为现在出版讨论最新技术的新课本提供了条件。本书企图用来实现这种要求，并从设计者的观点作了编写；大部分设计原理附有简单的计算加以说明，并将重点放在图表上。书中的图表示从很多现代最小到最大的起落架的总体布局。而其它的一些图，则表示从密封装置和螺纹尺寸到完整的系统的细节。另外一个特点是用范围很广的一章对机场作了研究。

起落架设计几乎包括全部工程学科，而且不断出现新的进展。因此不可避免地本书或许将过份强调某些方面而牺牲其它部分，而且所讨论的某些问题将由于新的发展而过时。例如，在写本书的时候，对起落架正在制定新的要求，以及新的材料正在不断出现。

注意到这些情况，作者写成本书以作为起落架设计的工具。认识到在某些情况下，本书还必须用附加的或新的资料作补充。

本书未给出总的参考文献目录，而是把它们放在各章之末，和有时包含在文章内部，方便地提供了各种各样的参考资料，以便读者在需要时可非常详细的探索问题。在某些地方，例如对于“初步设计”这一章就没有给出参考资料，因为作者不知该推荐些什么。在这些章节，文章反映了作者的意见，尽管这是以多年经验为基础的，但它们完全有可能不同于由其它起落架设计师可能选用的方法——虽然多半仅限于局部的细节而非一般的项目。

目 录 表

引言	(1)
第一章 初步设计	(5)
概念	(5)
纵向定位	(5)
横向定位	(18)
滚翻角	(18)
短距起落情况	(20)
俯仰/横滚间隙检查	(20)
设计步骤摘要	(21)
第二章 要求	(24)
缩写词	(24)
工作状态	(26)
布置	(26)
缓冲器	(29)
轮胎类型	(33)
机轮	(36)
刹车装置	(38)
防滑装置	(42)
锁	(42)
收放机构	(45)
驾驶舱要求	(49)
防护措施	(50)
机轮旋转	(51)
转向操纵	(51)
舱门和整流罩	(52)
维护	(52)
强度	(52)
一般要求摘要	(55)
主要的MIL规范摘要 (标题释义)	(57)

第三章 设计应考虑的问题	(59)
漂浮性	(59)
起落架舱	(62)
结构的支撑及传力路线	(71)
刹车	(73)
转向操纵和转弯半径	(74)
使用特性	(75)
牵引	(76)
顶起	(78)
地面安全锁	(78)
上位锁和下位锁	(78)
使用现有的构件	(78)
检查项目	(80)
 第四章 参数分析	 (82)
涉及的因数	(88)
方法	(89)
一些典型分析	(89)
漂浮性对重量和成本的关系	(89)
阻力对重量和成本的关系	(92)
起落架位置对重量和成本的关系	(93)
缓冲支柱行程——载荷系数——重量和成本的关系	(99)
下沉速度	(100)
单动式与双动式缓冲支柱	(100)
地板高度	(102)
侧风定位	(104)
机械限位开关与近程开关	(105)
 第五章 缓冲器设计	 (107)
缓冲器各种类型	(107)
钢盘弹簧	(107)
钢片弹簧	(107)
橡皮	(107)
空气	(110)
油液	(110)
空气—油液 (油—气式)	(110)

行程计算中包括的因数	(115)
起落架载荷系数	(115)
下沉速度	(117)
轮胎效率	(122)
缓冲器效率	(122)
改变效率的影响	(122)
行程计算	(125)
橡皮缓冲器的设计	(126)
液体弹簧缓冲器的设计	(133)
液体弹簧缓冲器的计算	(139)
油气式缓冲器的设计	(147)
初步近似	(152)
缓冲器参数	(153)
双动式缓冲器的计算	(160)
载荷—行程改变所用的活塞阀门	(166)
收缩式缓冲支柱	(166)
卧式缓冲器	(170)
油孔设计	(170)
第六章 轮胎	(174)
轮胎的结构	(174)
轮胎的发展趋势	(178)
轮胎要求	(181)
轮胎选择	(183)
轮胎的膨胀、尺寸和间隙	(185)
回转半径	(188)
温度影响	(188)
离心力影响	(189)
轮胎滚动阻力	(189)
轮胎摩擦力	(192)
侧向力和侧滑角	(193)
侧向变形	(195)
轮胎预转	(195)
轮胎经济性	(195)
滑水现象	(197)
轮胎的保养与维护	(198)
第七章 机轮和刹车装置	(203)

规范要求	(203)
航空标准A5~229	(209)
刹车装置的尺寸	(212)
散热片材料的考虑	(227)
刹车装置的设计	(231)
机轮的设计	(235)
刹车加热和冷却	(236)
停机距离	(244)
应急刹车系统	(249)
刹车操纵踏板	(249)
滑动控制	(250)

第八章 机场应考虑的问题

术语	(258)
漂浮性	(264)
混凝土道面	(266)
沥青(软)道面	(291)
无铺砌道面	(312)
无铺砌机场上的起落架阻力	(326)
下沉量	(335)
纯土质机场上的转弯	(338)
压痕深度、阻力和下沉量的增量	(344)
在纯土质机场上的起飞着陆性能	(344)
跑道粗糙度	(345)
道面开槽	(357)
机轮的独立驱动	(364)

第九章 运动

运动的数学分析	(369)
典型的运动形式	(376)
运动设计细节	(389)
运动的设计指南	(391)

第十章 锁

下位锁	(394)
上位锁	(405)

作动筒和弹簧机构	(418)
第十一章 转向操纵和侧风定位	(422)
转向系统应考虑的问题	(422)
设计细节	(428)
第十二章 气垫起落装置	(468)
气垫起落系统描述	(468)
气垫起落系统的用途和优点	(469)
气垫起落系统的历史和未来	(474)
设计数据和基本原理	(480)
第十三章 重量	(493)
重量估计方法 1	(494)
重量估计方法 2	(495)
方法比较	(498)
构件重量的初步估算	(499)
重量估算的解析方法	(500)
第十四章 基本数据	(506)
基本数据报告内容	(506)
第十五章 细节设计	(520)
材料选择	(520)
耳片和销	(524)
接头强度	(525)
衬套	(535)
润滑	(535)
光洁度	(535)
密封	(536)
缓冲支柱细节	(540)
千斤顶垫和牵引	(558)
弹簧设计	(559)
电气部分	(573)
操作故障	(573)

检修周期	(574)
其它设计数据	(574)
第十六章 典型起落架	(575)
附录A 单位换算系数	(647)
附录B 其它单位换算系数	(648)
附录C 测量	(649)
附录D 三角公式	(650)
附录E 二次方程解及动力学	(652)
附录F 飞机/起落架特性	(653)
附录G 漂浮性估算数据	(654)
附录H 截面特性	(655)
附录J 简支梁	(658)
附录K 悬臂梁	(662)
附录L 等截面固定梁	(666)
附录M 机尾下沉角度	(670)
附录N 民用飞机轮胎使用图表	(671)
附录P 轻型飞机轮胎使用图表	(675)
附录Q 轮胎选择的数据	(679)
附录R 空白工作单	(700)

图 的 目 录

图 号	标题	页
·		
1-1	布里斯托尔“厘式风筝”1910	(2)
·		
1-2	德·哈维兰DH2	(2)
·		
1-3	波音 247-D	(3)
·		
1-4	洛克希德 C-5 A 飞机主起落架	(4)
1-1	纵向定位的最初几个阶段	(6)
1-2	洛克希德“喷气星”飞机前起落架	(8)
1-3	典型飞机上使用的轮胎	(11)
1-4	C-130 飞机主起落架	(11)
1-5	可供选择的轮胎	(12)
1-6	典型杆系图	(15)

1-7	滚翻角计算	(18)
1-8	滚翻角	(19)
1-9	DHC-5飞机起落架吊舱	(21)
1-10	俯仰和横滚极限图	(22)
1-11	拦阻着陆布置图	(23)
2-1	要求分析框图	(25)
2-2	空军武器装备部DH 2-1起落架布置要求	(27)
2-3	美国海军起落架布置要求	(28)
2-4	缓冲器术语	(29)
2-5	MIL-L-8552 密封螺帽类型	(31)
2-6	BCAR能量吸收情况	(34)
2-7	轮胎类型	(35)
2-8	机轮细节	(37)
2-9	主轮/刹车装置剖面(福克F-28)	(38)
2-10	典型的上位锁/下位锁装配(T-39“刀鞘”教练机)	(43)
2-11	AFSC(美国空军武器装备部)起落架性能要求	(46)
2-12	典型的起落架操作时间	(46)
2-13	波音707飞机主起落架应急放下系统	(47)
2-14	起落架操作图(A-300B)	(48)
2-15	起落架拆卸图(B·Ae·748)	(53)
2-16	牵引和顶起工作(“快帆”飞机)	(54)
3-1	DHC-5漂浮能力	(60)
3-2	机轮布置	(61)
3-3	跑道粗糙度的影响	(61)
3-4	布雷顿—诺曼公司的“岛人”	(63)
3-5	简单的顺序系统	(64)
3-6	起落架放下后关闭舱门的系统	(66)
3-7	典型的轮舱(“喷气星”飞机)	(67)
3-8	向前收起的起落架	(68)
3-9	导轨和滚柱问题	(69)
3-10	正在收起的C-5A起落架	(70)
3-11	BAC111飞机前起落架	(72)
3-12	VC10飞机主起落架	(73)
3-13	刹车冷却的例子	(74)
3-14	典型的空速限制	(76)
3-15	牵引时断开转向	(77)
3-16	典型的顶起数据(洛克希德“喷气星”飞机)	(77)

4-1	漂浮性评定方法	(82)
4-2	漂浮性与轮胎载前之间的关系	(83)
4-3	轮胎接地面积数据	(84)
4-4	最小的轮胎间距 (一机轮上有两个轮胎)	(85)
4-5	最小的轮胎间距 (梁在机轮之间)	(86)
4-6	起落架类型	(87)
4-7	车架类型	(88)
4-8	漂浮性与轮胎压力的关系	(91)
4-9	随着漂浮性提高而引起的重量增加	(92)
4-10	起落架吊舱的各种形式	(93)
4-11	上单翼——柔性起落架问题	(94)
4-12	协同号C-160	(94)
4-13	N262 “军舰鸟”	(95)
4-14	“福克” F-27	(95)
4-15	并列连结吊在翼下的两台发动机	(96)
4-16	收藏在机翼吊舱内的起落架	(96)
4-17	“鹞式”飞机	(96)
4-18	B-52 飞机起落架	(97)
4-19	洛克希德C-141飞机主起落架	(96)
4-20	单动式与双动式缓冲支柱	(101)
4-21	地板高度与机身长度的关系	(102)
4-22	C-5A飞机下蹲的地板高度	(103)
4-23	C-5A飞机侧风着陆及侧风消失	(105)
5-1	缓冲器效率	(108)
5-2	典型的橡皮缓冲支柱	(109)
5-3	橡皮缓冲器详图 (“双水獭”飞机)	(111)
5-4	DHC “双水獭”飞机主起落架	(112)
5-5	“道蒂”公司液体弹簧	(113)
5-6	油气式缓冲器	(114)
5-7	支柱载荷变化	(114)
5-8	油液支柱组件 (“空中指挥官”)	(116)
5-9	摇臂式悬挂和三角形结构	(118)
5-10	典型起落架载荷系数	(119)
5-11	下沉速度概率	(120)
5-12	触地距离随着陆技术的变化	(121)
5-13	轮胎载荷——压缩量曲线	(123)
5-14	缓冲器载荷——压缩行程曲线	(124)

5-15	利尔喷气机24和25前起落架缓冲支柱组件.....	(127)
5-16	利尔喷气机24和25主起落架缓冲支柱组件.....	(128)
5-17	橡皮减震盘.....	(129)
5-18	橡皮减震盘.....	(130)
5-19	可能的空气弹簧的应用.....	(131)
5-20	“凡莱斯屯”空气弹簧.....	(132)
5-21	典型的空气弹簧特性.....	(134)
5-22	充氮的和标准的液体弹簧的比较.....	(135)
5-23	液体弹簧液体的可压缩性.....	(136)
5-24	液体弹簧的构造.....	(137)
5-25	液体弹簧的工作.....	(138)
5-26	布里曼的密封原理.....	(140)
5-27	“道蒂”的密封原理.....	(140)
5-28	典型的液体弹簧密封.....	(141)
5-29	有差动柱塞的液体弹簧.....	(141)
5-30	欧利维斯头.....	(142)
5-31	标准泰勒液体弹簧.....	(143)
5-32	泰勒“液体缓冲器”液体弹簧.....	(144)
5-33	油气式缓冲器类型.....	(148)
5-34	缓冲支柱静态伸展.....	(149)
5-35	派珀切罗基飞机前起落架油液支柱.....	(150)
5-36	油气式缓冲支柱工作.....	(151)
5-37	派珀PA-28-235切罗基飞机主起落架油液支柱.....	(153)
5-38	道蒂单动油气式缓冲器.....	(154)
5-39	双动式缓冲器.....	(157)
5-40	载荷——行程曲线, 单动式缓冲支柱.....	(159)
5-41	前起落架双动式缓冲支柱.....	(162)
5-42	双动式和单动式支柱的比较.....	(165)
5-43	缓冲器行程和能量的比较.....	(167)
5-44	用双动式支柱降低前起落架刹车反力.....	(168)
5-45	洛克韦尔(OV-10A)的活塞阀门.....	(169)
5-46	用泵压收缩.....	(170)
5-47	用串联作动筒收缩.....	(171)
5-48	简单油孔设计.....	(172)
6-1	轮胎构造.....	(175)
6-2	径向轮胎.....	(175)
6-3	轮胎剖面.....	(175)

6-4	典型飞机的轮胎寿命	(176)
6-5	轮胎寿命	(176)
6-6	轮胎充气压力与轮胎磨损的关系曲线	(177)
6-7	轮胎发展趋向	(179)
6-8	齿痕胎面轮胎	(180)
6-9	高温喷流对轮胎损坏的影响	(181)
6-10	轮胎额定载荷和压力	(182)
6-11	起落架载荷	(183)
6-12	轮胎选择	(184)
6-13	轮胎尺寸	(186)
6-14	轮胎间隙	(187)
6-15	刹车热传入轮胎	(189)
6-16	载荷/速度/时间曲线	(190)
6-17	在中断起飞时轮缘热量的升高	(190)
6-18	轮胎摩擦力随向前速度的变化	(191)
6-19	刹车时的实测摩擦系数	(192)
6-20	轮胎侧滑	(193)
6-21	侧向力系数随偏航角的变化	(194)
6-22	共轴旋转的机轮	(194)
6-23	侧向力系数随转弯半径的变化	(194)
6-24	轮胎经济性实例	(196)
6-25	轮胎费用/飞机着陆数 (1963年美元和轮胎寿命价值)	(196)
6-26	滑水现象前轮胎与跑道的分界面	(198)
6-27	滑水现象后轮胎与跑道的分界面	(198)
6-28	轮胎的保养	(200)
7-1	军用飞机刹车能力要求 (2图之1)	(204)
7-1	军用飞机刹车能力要求 (2图之2)	(207)
7-2	民用飞机刹车能量计算	(208)
7-3	典型刹车装置剖视图	(208)
7-4	民用飞机刹车能力要求	(210)
7-5	刹车装置的拆/装B·Ae·748飞机	(210)
7-6	机轮和刹车部件汇集	(211)
7-7	机轮	(212)
7-8	估算的刹车组件重量与刹车能量的关系曲线	(215)
7-9	估算的刹车组件重量与刹车能量的关系曲线	(216)
7-10	估算的散热片容量与刹车组件重量的关系曲线	(217)
7-11	估算的散热片容量与刹车组件重量的关系曲线	(218)

7-12	散热片尺寸与轮胎——机轮轮缘直径的关系曲线.....	(219)
7-13	散热片尺寸与轮胎——机轮轮缘直径的关系曲线.....	(220)
7-14	飞机机轮组件重量.....	(222)
7-15	主轮的拆/装 (B·Ae·748)	(223)
7-16	前轮的分解 (B·Ae·748)	(224)
7-17	机轮尺寸.....	(225)
7-18	机轮尺寸的说明.....	(226)
7-19	不同散热片材料的重量——容量比较.....	(227)
7-20	刹停次数与每磅动能的关系曲线.....	(228)
7-21	现代金属铍刹车装置.....	(229)
7-22	散热片材料的比较.....	(230)
7-23	碳 (GY4000) 刹车装置.....	(231)
7-24	典型的刹车圆盘温度.....	(232)
7-25	刹车装置 (DHC-6双水獭飞机)	(233)
7-26	机轮中的临界应力区.....	(235)
7-27	比热与温度的关系曲线.....	(236)
7-28	刹车温度任务剖面.....	(237)
7-29	刹车温度谱.....	(238)
7-30	强迫空气冷却试验.....	(239)
7-31	邓禄普公司风扇冷却系统.....	(240)
7-32	邓禄普公司风扇冷却效率.....	(240)
7-33	邓禄普公司为协和号飞机设计的刹车冷却装置.....	(241)
7-34	典型的刹车传感器装置.....	(242)
7-35	温度传感器.....	(244)
7-36	滑动控制系统.....	(251)
7-37	对于不同的滑动控制系统停机距离与 μ 的关系曲线.....	(252)
7-38	刹车控制系统部件.....	(253)
7-39	典型的刹车控制系统示意图.....	(254)
7-40	主起落架刹车系统 (L-100)	(255)
7-41	液压系统双水獭飞机.....	(256)
8-1	道面类型.....	(258)
8-2	联邦航空局规定的临界区.....	(259)
8-3	机场指标与加利福尼亚承载比的相关性.....	(262)
8-4	作战机场的示例.....	(263)
8-5	漂浮性趋势.....	(265)
8-6	单元建造指标法.....	(267)
8-7	由于混凝土板内部的载荷对混凝土道面内力矩 M_n 的影响图.....	(268)

8-8	单轮载荷的PCA设计图线	(270)
8-9	双轮载荷的PCA设计图线	(271)
8-10	双串列式起落架的PCA设计图线	(272)
8-11	装有高压轮胎的大*单轮载荷的PCA设计图线	(273)
8-12	装有高压轮胎的大双轮载荷的PCA设计图线	(274)
8-13	土壤分类法的相互关系	(275)
8-14	C-141飞机在316000磅时要求的混凝土厚度	(276)
8-15	典型飞机要求的混凝土厚度	(277)
8-16	硬道面设计曲线(单轮起落架)	(277)
8-17	硬道面设计曲线(双轮起落架)	(278)
8-18	硬道面设计曲线(双轮串列式起落架)	(278)
8-19	硬道面设计曲线(B-747-100)	(279)
8-20	按通行循环数的计算的道面设计寿命	(280)
8-21	美国海军硬道面设计曲线,单轮起落架载荷	(281)
8-22	硬道面的载荷分类号,相对刚度半径的值	(283)
8-23	硬道面的载荷分类号设计图线(单块混凝土道面)	(283)
8-24	硬道面的载荷分类号设计图线(全部设置传力件的道面)	(283)
8-25	双轮起落架的当量单轮载荷和减缩系数的确定—硬道面	(284)
8-26	双轮串列式机轮起落架的当量单轮载荷和减缩系数的确定—硬道面	(284)
8-27	当量单轮载荷(双轮起落架在刚性道面上)	(285)
8-28	当量单*轮载荷(双轮串列式机轮起落架在刚性道面上)	(286)
8-29	载荷分类号图线	(286)
8-30	载荷分类号和载荷分类号/载荷分类组方法的比较	(288)
8-31	当量单轮载荷估算曲线(刚性道面:双轮起落架)	(289)
8-32	当量单轮载荷估算曲线(刚性道面:双轮串列式机轮起落架)	(290)
8-33	依据载荷、轮胎压力和接触面积确定载荷分类号	(292)
8-34	三叉戟3B的载荷分类号/载荷分类组	(293)
8-35	典型的软道面	(294)
8-36	沥青铺设道面厚度设计图线(临界区、轮胎充气 压力100磅/英寸 ²)	(295)
8-37	沥青铺设道面厚度设计图线(临界区,轮胎充气 压力200磅/英寸 ²)	(296)
8-38	软道面厚度图线(沥青铺设,轮胎充气压力100磅/英寸 ²)	(297)
8-39	软道面厚度图线(沥青铺设,轮胎充气压力200磅/英寸 ²)	(298)

* 正文图中有大字,此处原文似有误——译注

* 原文为Wing1似有误——译注