


卓越工程师教育培养计划配套教材

飞行技术系列

# 民航运输机 飞行性能与计划



丁兴国 陈昌荣 主编

吴建华 主审

清华大学出版社

卓越工程师教育培养计划配套教材

飞行技术系列



# 民航运输机 飞行性能与计划

丁兴国 陈昌荣 主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书介绍以涡轮风扇发动机为动力的大型民航运输机的飞行性能与飞行计划。按飞行剖面分别介绍起飞、爬升、巡航、下降、进近和着陆性能,介绍载重平衡对飞行性能的影响及飞行计划制定方法。力求使读者掌握三方面能力:会运用运动学及力矩平衡原理分析飞行性能;理解飞行剖面各段飞行性能的定义和民航规定;能使用飞机性能手册的图表确定飞行性能。

本书是为飞行技术专业编写的本科教材,也可供航空公司从事飞行性能和签派工作的技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

民航运输机飞行性能与计划/丁兴国,陈昌荣主编.--北京:清华大学出版社,2012.12

(卓越工程师教育培养计划配套教材·飞行技术系列)

ISBN 978-7-302-30461-6

I. ①民… II. ①丁… ②陈… III. ①民用飞机—飞行品质—高等学校—教材 ②民用飞机—飞行计划—高等学校—教材 IV. ①V271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 250296 号

责任编辑:庄红权 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:王淑云

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:12.75 字 数:304 千字

版 次:2012 年 12 月第 1 版 印 次:2012 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:28.00 元

产品编号:046422-01

# 卓越工程师教育培养计划配套教材

## 总编委会名单

主任：丁晓东 汪 泓

副主任：陈力华 鲁嘉华

委员：(按姓氏笔画为序)

丁兴国	王岩松	王裕明	叶永青	刘晓民
匡江红	余 粟	吴训成	张子厚	张莉萍
李 毅	陆肖元	陈因达	徐宝钢	徐新成
徐滕岗	程武山	谢东来	魏 建	

# 卓越工程师教育培养计划配套教材

## ——飞行技术系列子编委会名单

主任：汪 泓 丁兴国 郝建平

副主任：谢东来 陈力华 魏 建

委员：(按姓氏笔画为序)

卫国林 马银才 王秉良 王惠民 史健勇

石丽娜 匡江红 吴 忠 陆惠忠 范海翔

郝 勇 徐宝钢 贾慈力 隋成城 鲁嘉华



我国“十二五”发展规划的重点建设目标之一,是根据国民经济发展对民航业的要求,不断扩充与优化配置航线和飞机等资源。在民航业持续快速发展的同时,必然会使飞行专业技术人才高度匮乏。在《中国民用航空发展第十一个五年规划》中,中国民用航空局对未来20年全行业人才需求进行了预计分析,其中,“十二五”期间需增加飞行员16500人。因此,飞行技术人才的培养是推动民航发展的关键。

与其他本科专业相比,飞行技术专业的学生除了学习掌握飞行原理、飞机系统、航空动力装置、航空气象、空中领航、机载设备、仪表飞行程序设计、空中交通管制等飞行技术的专业知识外,还需具备一定的管理能力和较高的英语水平。并且,飞行技术专业人才的培养多采用学历教育与职业教育同步实施的模式,要求同时取得学历学位证书和职业技能证书(飞行驾驶执照)后,才有资格担任民航运输机副驾驶员。

飞行技术人才培养具有专业性强、培养难度大和成本高的特点。伴随着大型民用运输机的生产与发展,必然要求提高飞行员的学历层次。国内设置飞行技术本科专业的高等院校仅有中国民航飞行学院、中国民航大学、北京航空航天大学、南京航空航天大学、上海工程技术大学等几所。而且,培养学士学位飞行技术人才的历史仅二十多年,尽管积累了一定的培养经验,但适用的专业教材相对较少。

在飞行技术专业的学科建设中,上海工程技术大学飞行学院和航空运输学院秉承服务国家和地区经济建设的宗旨,坚持教学和科研相结合、理论和实践相结合。2010年,上海工程技术大学飞行技术专业被列为教育部卓越工程师教育培养计划的试点专业,上海工程技术大学被列为教育部卓越工程师教育培养计划的示范单位。为满足飞行技术专业卓越工程师教育的需要,上海工程技术大学从事飞行技术专业教学和研究的骨干教师以及航空公司的业务骨干合作编写了“卓越计划”飞行技术专业系列教材。

“卓越计划”飞行技术专业系列教材共20本,分别为《运输机飞行仿真技术及应用》、《飞机系统》、《飞机空气动力学》、《飞机飞行力学》、《航空动力装置》、《空中领航》、《航空气象》、《仪表飞行程序设计原理》、《航空机载电子设备》、《空中交通管理基础》、《飞行运营管理》、《民用航空法概论》、《飞行人因工程》、《机组资源管理》、《民航运输机飞行性能与计划》、《陆空通话》、《飞行专业英语(阅读)》、《飞行专业英语(听力)》、《飞行基础英语(一)》、《飞行基础英语(二)》等。

系列教材以理论和实践相结合作为编写的理念和原则,具有基础性、系统性、应用性等



特点。在借鉴国内外相关文献资料的基础上,坚持加强基础理论,对基本概念、基础知识和基本技能进行详细阐述,能满足飞行技术专业卓越工程师教育培养的教学目标和要求。同时,强调理论联系实际,体现“面向工业界、面向世界、面向未来”的工程教育理念,实践上海工程技术大学建设现代化特色大学的办学思想,凸显飞行技术的专业特色。

系列教材在编写过程中,参阅了大量的中外文参考书籍和文献资料,吸收和借鉴了现有部分教材的优势,参考了航空运输企业的相关材料,在此,对国内外有关作者和企业一并表示衷心的感谢。

受编者水平和时间所限,书中难免有错误和疏漏之处,敬请读者提出宝贵意见,不足之处还请同行不吝赐教。

上海工程技术大学 汪泓

2012年1月



本书是为民航飞行技术专业本科学员编写的飞行性能教材,内容衔接飞行原理课程和飞行计划课程。全书共分七章。第1章是学习飞行性能所需要的基础知识,主要介绍高亚声速民航运输机的气动性能特点、涡轮风扇发动机的推力特点、民航运输机飞行高度范围内的大气特性。第2章为起飞性能,介绍最大起飞重量和起飞速度的确定方法、一台发动机失效后的中断起飞和继续起飞、起飞性能的优化、减推力起飞和污染跑道上的起飞。第3章为爬升和下降性能,介绍民航运输机爬升和下降的性能参数、标准程序和常用方式。第4章为巡航性能,介绍最佳巡航速度和巡航高度的确定方法、一台发动机失效后的飘降、巡航经济性分析。第5章为着陆性能,介绍着陆距离和最大着陆重量的确定方法。第6章为载重与平衡,介绍飞机重量和重心位置对飞行性能的影响、装载配平单的填写。第7章为飞行计划的制定,介绍飞行计划的基本概念、手工制定飞行计划方法以及计算机飞行计划实例。

本书从以下三方面来编写:

(1) 介绍民航运输机飞行运动学和力学分析方法。把飞机简化为一个可控的质点,应用牛顿运动定律  $F=ma$  对飞行剖面的各阶段作运动学分析,包括起飞性能、爬升性能、巡航性能、下降性能、进近和着陆性能;把飞机简化为纵向和横向杠杆,根据力和力矩平衡来分析重心位置对稳定性和操纵性的影响。

(2) 介绍由飞机性能手册确定飞行性能的图表方法。本书的飞行性能图表方法基于 B737-800 飞机性能手册。随着计算机的应用,航空公司的飞行性能分析和飞行计划制定主要由计算机软件完成,飞行员已很少需要作烦琐的手工计算和查图表,但学习飞机性能手册的图表方法仍是必要的,它有助于理解航空公司的计算机飞行计划是如何做出的。

(3) 介绍飞行各阶段的飞行性能定义、基本概念和民航有关规定。

学员通过本课程的学习应掌握三方面能力:①学会运用牛顿运动定律及力平衡、力矩平衡概念分析飞行剖面各阶段的飞行性能;②学会运用飞机性能手册的图表方法确定飞行性能,能看懂飞行计划;③在理解的基础上记住飞行各阶段飞行性能的概念、定义和民航有关规定。





<b>第 1 章 基础知识</b> .....	1
1.1 民航运输机飞行性能定义 .....	1
1.1.1 民航运输机的设计性能与飞行性能.....	1
1.1.2 民航运输机的飞行性能研究范围.....	2
1.2 民航运输机气动性能特点 .....	2
1.2.1 飞行马赫数对升力系数 $C_L$ 和阻力系数 $C_D$ 的影响 .....	2
1.2.2 民航运输机的机翼特点.....	4
1.2.3 重力和重心位置对升力系数和阻力系数的影响.....	5
1.2.4 扰流板的作用.....	5
1.3 民航运输机的发动机性能特点 .....	6
1.3.1 涡轮风扇发动机的特点.....	6
1.3.2 发动机性能与大气温度和飞行高度的关系.....	6
1.3.3 发动机性能与飞行速度的关系.....	7
1.3.4 民航运输机的发动机常用工作状态.....	9
1.4 民航运输机飞行高度范围内的大气特性 .....	9
1.4.1 标准大气的物理性质.....	9
1.4.2 高度定义 .....	13
<b>第 2 章 起飞性能</b> .....	19
2.1 起飞过程涉及的重要速度.....	19
2.1.1 起飞过程与起飞剖面 .....	19
2.1.2 最小速度限制 .....	20
2.1.3 最大速度限制 .....	23
2.1.4 起飞操作速度 .....	24
2.1.5 起飞操作速度与限制速度的关系 .....	24
2.2 起飞场道阶段性能.....	25
2.2.1 起飞的三种基本情况 .....	25
2.2.2 地面滑跑距离和滑跑时间分析 .....	26



2.2.3	拉起爬升阶段的水平距离、垂直距离、时间 .....	28
2.2.4	中断起飞性能 .....	29
2.2.5	影响起飞距离的因素 .....	30
2.2.6	道面条件对起飞距离的影响 .....	32
2.2.7	可用起飞距离 .....	35
2.3	起飞航道性能 .....	37
2.3.1	起飞航道阶段的组成 .....	37
2.3.2	起飞航道阶段的爬升性能 .....	38
2.3.3	越障性能 .....	39
2.4	$V_1$ 的选择 .....	40
2.4.1	起飞平衡距离和平衡速度 .....	40
2.4.2	平衡场地法确定起飞决断速度 $V_1$ .....	41
2.4.3	不平衡场地法确定起飞决断速度 $V_1$ .....	42
2.5	最大起飞重量的确定 .....	43
2.5.1	影响最大起飞重量的主要因素 .....	43
2.5.2	最大起飞重量的计算内容 .....	44
2.5.3	最大起飞重量的确定过程 .....	44
2.6	起飞优化 .....	44
2.6.1	可优化的起飞性能参数 .....	44
2.6.2	襟翼位置的选择 .....	45
2.6.3	起飞速度优化 .....	45
2.7	减推力起飞 .....	47
2.7.1	降低额定功率法减推力起飞 .....	47
2.7.2	“假设温度法”减推力起飞 .....	48
2.7.3	减推力起飞对起飞性能的影响 .....	49
2.8	在湿跑道和污染跑道上的起飞性能 .....	50
2.8.1	干跑道、湿跑道、污染跑道的定义 .....	50
2.8.2	滑水现象 .....	51
2.8.3	湿跑道和污染跑道的运行要求 .....	52
2.9	用飞机性能手册的图表确定最大起飞重量和起飞操作速度 .....	52
2.9.1	场地长度限制的最大起飞重量 .....	52
2.9.2	爬升梯度限制的最大起飞重量 .....	54
2.9.3	越障能力限制的最大起飞重量 .....	54
2.9.4	轮胎速度限制的最大起飞重量 .....	57
2.9.5	最大刹车能量限制速度 .....	58
2.9.6	“改进爬升”的最大起飞重量增量和起飞速度增量 .....	59
2.9.7	污染跑道减载量 .....	60
2.9.8	起飞速度 $V_1$ 、 $V_R$ 、 $V_2$ .....	60



<b>第 3 章 爬升和下降性能</b> .....	67
3.1 标准爬升和下降方式 .....	67
3.1.1 飞行剖面图中的标准爬升和下降阶段 .....	67
3.1.2 标准爬升方式 .....	67
3.1.3 标准下降方式 .....	68
3.2 爬升性能 .....	69
3.2.1 爬升受力分析 .....	69
3.2.2 影响爬升性能的因素 .....	71
3.2.3 爬升管理 .....	71
3.2.4 爬升性能计算 .....	72
3.2.5 爬升方式 .....	73
3.2.6 客舱高度的上升 .....	74
3.3 下降性能 .....	75
3.3.1 下降梯度和下降率 .....	75
3.3.2 影响下降性能的因素 .....	76
3.3.3 下降方式 .....	77
3.3.4 下降性能计算 .....	79
3.4 用飞机性能手册的图表确定爬升和下降性能 .....	79
3.4.1 爬升性能 .....	79
3.4.2 下降性能 .....	81
<b>第 4 章 巡航性能</b> .....	85
4.1 巡航性能分析公式 .....	85
4.1.1 航程基本公式 .....	85
4.1.2 最大航程高度与重量的关系 .....	86
4.1.3 风和大气温度对巡航性能的影响 .....	87
4.2 巡航速度和巡航高度 .....	88
4.2.1 巡航速度的选择 .....	88
4.2.2 巡航高度的优化 .....	89
4.2.3 阶梯爬升巡航 .....	91
4.3 经济巡航 .....	92
4.3.1 直接营运成本与马赫数的关系 .....	92
4.3.2 经济马赫数与成本指数的关系 .....	93
4.3.3 经济马赫数与航程的关系 .....	93
4.4 一台发动机失效后飘降 .....	94
4.4.1 飘降过程 .....	94
4.4.2 飘降总航迹与净航迹 .....	95
4.4.3 一台发动机失效后在航线上的越障 .....	95



4.4.4	巡航时发动机失效的应对方法	96
4.5	巡航中发生客舱增压系统故障后的飞行剖面	97
4.5.1	客舱氧气系统特点和供氧规定	97
4.5.2	客舱氧气系统对飞行剖面的限制	97
4.6	用飞机性能手册的图表确定巡航性能	98
4.6.1	用图表确定最佳巡航高度	98
4.6.2	用图表确定巡航所需时间和所需燃油量	100
4.6.3	用图表确定一台发动机失效后的飘降性能	104
4.6.4	用图表确定空中等待性能	105
<b>第5章</b>	<b>着陆性能</b>	<b>110</b>
5.1	进近	110
5.1.1	进近过程	110
5.1.2	进近速度	111
5.2	复飞	111
5.2.1	复飞的原因	111
5.2.2	复飞梯度要求	112
5.3	着陆距离分析	113
5.3.1	着陆过程	113
5.3.2	着陆过程的地面减速滑跑段距离	114
5.4	FAR 和 CCAR 对着陆距离的规定	114
5.4.1	FAR 可用着陆距离	114
5.4.2	FAR 审定时的实际着陆距离	115
5.4.3	FAR 所需着陆距离	115
5.4.4	CCAR 对着陆距离的规定	116
5.5	影响着陆距离的主要因素	117
5.5.1	影响着陆安全的因素	117
5.5.2	进场速度和高度偏差的影响	117
5.5.3	制动系统使用情况的影响	118
5.5.4	着陆减速制动系统的启动	120
5.5.5	湿跑道和污染跑道上的着陆问题	120
5.5.6	实际着陆距离的简易计算方法	121
5.6	刹车过热	122
5.6.1	刹车热能的产生	122
5.6.2	刹车温度变化特征	123
5.6.3	刹车过热的危害	123
5.6.4	刹车过热的预防	123
5.7	用飞机性能手册的图表确定着陆性能	124
5.7.1	着陆场地长度限制的最大着陆重量	124



5.7.2	复飞爬升梯度限制的最大着陆重量	126
5.7.3	快速过站的最大着陆重量限制	128
<b>第 6 章</b>	<b>载重与平衡</b>	<b>133</b>
6.1	重量对飞行性能的影响	133
6.1.1	重量的基本概念	133
6.1.2	飞机运行重量的基本组成	135
6.1.3	结构强度对飞机重量的限制	136
6.1.4	运营条件对飞机重量的限制	137
6.1.5	重量过大对飞行性能的影响	137
6.2	重心位置对飞行性能的影响	138
6.2.1	确定重心的基本原理	138
6.2.2	用平均空气动力弦表示飞机重心	139
6.2.3	飞机的重心位置与飞机平衡	140
6.2.4	重心移动对飞行性能的影响	141
6.2.5	保证飞机重量和重心位置在合理范围的措施	142
6.3	确定飞机重心的图解方法	143
6.3.1	装载平衡图	143
6.3.2	装载平衡图上的指数	144
6.3.3	重心包线	145
6.4	装载单与平衡图的填写范例	146
6.4.1	装载单填写	146
6.4.2	平衡图的计算填写	149
<b>第 7 章</b>	<b>飞行计划的制定</b>	<b>154</b>
7.1	飞行剖面	154
7.1.1	国际航线的飞行剖面	154
7.1.2	国内航线的飞行剖面	155
7.2	CCAR 关于备降机场和燃油量的规定	156
7.2.1	起飞备降机场	156
7.2.2	国际航线目的地备降机场	156
7.2.3	国内航线目的地备降机场	157
7.2.4	国际航线燃油量要求	157
7.2.5	国内航线燃油量要求	157
7.3	飞行计划的内容和制定方法	158
7.3.1	制定飞行计划的原因和目的	158
7.3.2	飞行计划的主要内容	158
7.3.3	飞行计划的计算方法	158
7.4	二次放行	159



7.4.1	国际航线应急燃油规定·····	159
7.4.2	二次放行的基本思想·····	159
7.4.3	二次放行的计算与应用·····	160
7.5	双发飞机延程飞行·····	162
7.5.1	双发飞机延程飞行的发展历程·····	162
7.5.2	波音双发飞机延程飞行现状·····	163
7.5.3	双发飞机延程飞行的批准条件·····	166
7.5.4	双发飞机延程飞行计划的制定·····	167
7.6	航空公司计算机制定的飞行计划实例·····	168
7.7	飞行计划手工制定算例·····	170
7.7.1	学习手工制定飞行计划的目的·····	170
7.7.2	供手工制定飞行计划的资料·····	171
7.7.3	填写飞行计划表格前预先填写的表单·····	173
7.7.4	填写飞行计划表格·····	176
	缩写词·····	183
	参考文献·····	187

# 基础知识

## 本章关键词

飞行性能(flight performance)

飞行剖面(flight profile)

机场气压高度(airport pressure altitude)

海拔高度(elevation)

国际标准大气

(International Standard Atmosphere, ISA)

翼尖小翼(winglet)

临界马赫数(critical Mach number)

超临界翼型(supercritical airfoil)

单位推力耗油率

(thrust specific fuel consumption)

民航运输机的飞行性能是指飞机完成一个特定飞行任务的安全性和经济性。分析飞行性能需要知道飞机设计性能、飞机气动特性、发动机特性、大气状态、机场条件、航空公司业务和航空法规。根据飞行剖面,飞行性能分为起飞性能、爬升性能、巡航性能、下降性能、进近和着陆性能。

## 1.1 民航运输机飞行性能定义

### 1.1.1 民航运输机的设计性能与飞行性能

民航运输机的设计性能是在飞机设计时确定的、经过试飞验证并经过适航当局批准的飞机性能,是同一机型的每架飞机都必须满足的最低性能。民航运输机的设计性能指标分为业务载荷和飞行任务剖面两个方面。业务载荷的主要指标是乘客人数、货物重量、货舱容积;飞行任务剖面的主要指标是航程、航速。民航运输机的设计性能指标包括:

(1) 重量和载荷指标:最大滑行重量、最大起飞重量、最大着陆重量、最大无燃油重量、最大燃油容积、额定座位数。

(2) 飞行剖面指标:航程、巡航速度、巡航高度、起飞距离、着陆距离。这些性能数据是在海平面标准大气条件下的数据。

本书中的飞行性能是指民航运输机安全而且经济地完成一次具体航班飞行任务的能力。民航运输机的飞行性能不仅与飞机的设计性能有关,而且与该次航班的气象条件(温度、风)、起飞和着陆机场条件(跑道长度、道面情况、机场气压高度、障碍物)、业务载荷和航



程有关。本书主要论述以涡轮风扇发动机为动力的大型民航运输机的飞行性能。

### 1.1.2 民航运输机的飞行性能研究范围

飞行性能是飞机设计性能、发动机性能、大气状态、机场条件、航空公司业务等的综合，它研究各飞行阶段的飞机气动特性和发动机特性。典型的飞行任务剖面如图 1.1 所示：飞机在滑行道上滑行，在跑道上加速滑跑、离地、起飞，爬升、巡航，在机场附近下降、进近着陆、减速滑跑、停稳。研究飞行性能的目的是确保飞机安全地起飞、安全而且经济地飞行、安全地着陆。在本书中，飞行性能分为起飞性能、爬升性能、巡航性能、下降性能、进近和着陆性能。

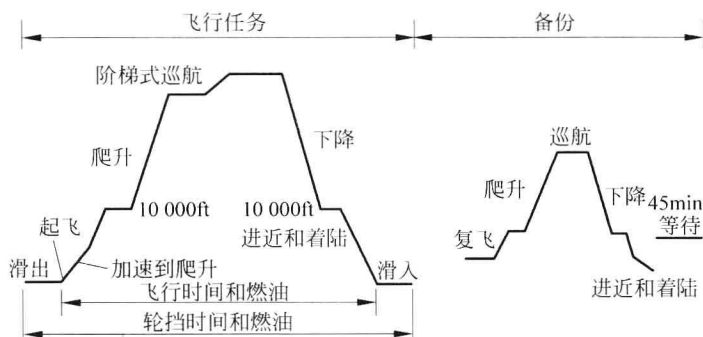


图 1.1 国内航线的飞行剖面①

## 1.2 民航运输机气动性能特点

### 1.2.1 飞行马赫数对升力系数 $C_L$ 和阻力系数 $C_D$ 的影响

#### 1. 飞行马赫数对升力系数 $C_L$ 的影响(迎角不变时)

低速飞行时，升力系数有如下特点：①影响升力系数的主要因素是机翼构型和迎角；②使用扰流板和襟翼可显著改变机翼构型，所以可使升力系数显著改变；③在机翼构型不变的情况下，升力系数先随着迎角的增大而增大，当迎角达到一临界值时升力系数达到最大值，然后升力系数随着迎角的增大而急剧下降，如图 1.2 所示。民航运输机的起飞飞行阶段和进近着陆飞行阶段是低速飞行，但巡航阶段是高速飞行，所以还需要知道高速飞行时的升力系数特点。

从经济性、安全性和舒适性考虑，目前民航运输机的巡航阶段主要以亚声速飞行。为了提高经济性，现代大型民航运输机的巡航速度采用高亚声速。高亚声速飞行性能与低速飞行性能不同：低速飞行时，升力系数和阻力系数可以认为不随飞行速度变化；高亚声速飞

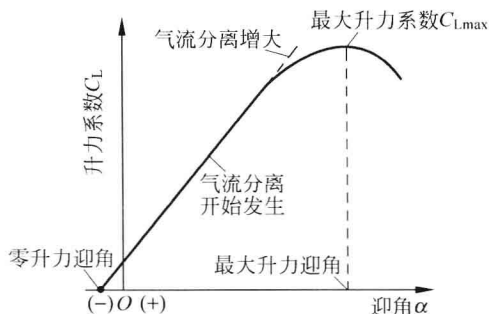


图 1.2 升力系数与迎角的关系

① 1ft=0.3048m。





行时,飞行马赫数成为影响升力系数和阻力系数的一个重要因素,尤其是当飞行马赫数超过临界马赫数之后。

下面简述飞行马赫数对升力系数的影响。由于机翼上表面的气流速度比下表面的大,所以当马赫数增大到一临界值时,机翼上表面首先出现局部超声速区,此时的马赫数就是临界马赫数。如图 1.3 所示,当飞行马赫数小于临界马赫数时,升力系数随马赫数的增大而非常缓慢地增大;飞行马赫数大于临界马赫数时,升力系数先随着马赫数的增大而增大,达到一定值后降低;临近  $Ma=1$  时,升力系数又再次增大,达到  $Ma=1$  后逐渐变小。

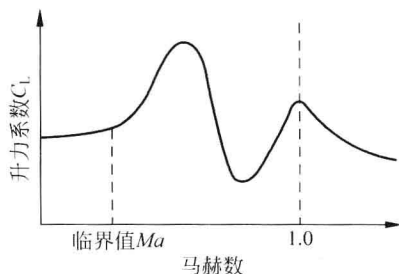


图 1.3 在高亚声速和跨声速阶段,升力系数  $C_L$  随马赫数的变化规律

对高亚声速时的升力系数随飞行马赫数的变化规律解释如下:当飞行马赫数超过临界马赫数时,机翼上表面首先出现局部超声速区,这些局部超声速区的压力迅速减小,引起机翼升力系数的上升。

随着飞行马赫数的增大,机翼上表面的超声速区增大,所以升力系数随着马赫数的增大而增大。但是当飞行马赫数继续增大到某一值时,机翼下表面也出现局部超声速区并随着飞行马赫数的增大而迅速扩大,使机翼下表面的压力迅速减小,导致升力系数随着飞行马赫数的增大而降低。

## 2. 飞行马赫数对阻力系数 $C_D$ 的影响

如图 1.4 所示,在亚声速阶段,当飞行马赫数低于临界马赫数时,阻力系数不随飞行马赫数变化。例如,对于 B777-300 飞机,如果升力系数为  $C_L=0.5$ ,那么当飞行马赫数小于 0.8 时,阻力系数  $C_D$  保持在 0.026 不变。当飞行马赫数超过临界马赫数后,阻力系数随着飞行马赫数的增大而增大。

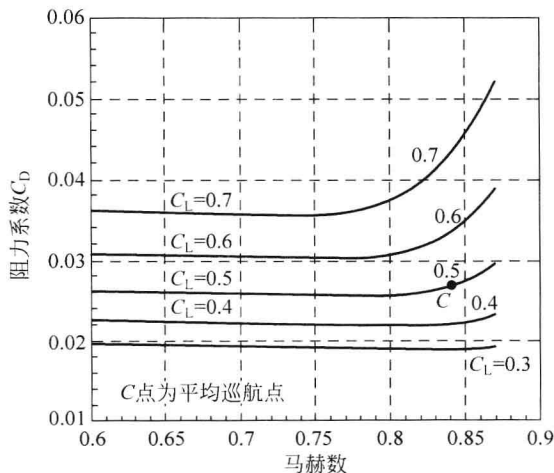


图 1.4 在亚声速阶段 B777-300 飞机的阻力系数  $C_D$  随马赫数的变化规律