

中国科学技术大学建校初期
著名科学家教学史料丛编

侯建国 主编

钱学森

『火箭技术概论』手稿及讲义

$$M dv = -w dM$$

M 为瞬时质量, w 为喷气速度

$$-\frac{dM}{M} = \frac{dv}{w}$$

$$V/w = \ln \frac{M_0}{M}$$

或是写作

$$M^0/M = e^{V/w}$$

这即是奥尔朗大斯基

(J. Ackeret)

如果 w 是相对于火箭的喷气速度, 而火箭本身相对于发射点的速度为 V , 则在相对于发射点的坐标中, 喷气速度 w' 为

$$w' = \frac{-w + V}{1 - \frac{wV}{c^2}}$$

其中 c 为光速。 M 为静质量, 动质量为 M' , $M' = \frac{M}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$

从而能量守恒定律要求 $d\left(\frac{Mc^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}\right) = \frac{dm \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{w'^2}{c^2}}}$

而动量守恒定律要求 $d\left(\frac{MV}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}\right) = \frac{dm \cdot w'}{\sqrt{1 - \frac{w'^2}{c^2}}}$

我们利用 w' 的公式, 得到 $1 - \frac{w'^2}{c^2} = 1 - \frac{(\frac{wV}{c} - \frac{V}{c})^2}{(1 - \frac{wV}{c^2})^2} = \frac{1 - 2\frac{wV}{c} + \frac{V^2}{c^2}}{(1 - \frac{wV}{c^2})^2}$

因此 $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{w'^2}{c^2}}} = \frac{(1 - \frac{wV}{c^2})}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}}}$, 故以上两个守恒定律可写作

$$\frac{dM}{(1 - \frac{V^2}{c^2})^{3/2}} + M \frac{V dV}{(1 - \frac{V^2}{c^2})^{5/2}} = \frac{(1 - \frac{wV}{c^2})}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}}} dm$$

$$\frac{V dM}{(1 - \frac{V^2}{c^2})^{3/2}} + \frac{M \cdot dV}{(1 - \frac{V^2}{c^2})^{5/2}} + \frac{V dV}{(1 - \frac{V^2}{c^2})^{3/2}} = \frac{(1 - \frac{wV}{c^2})}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \sqrt{1 - \frac{w^2}{c^2}}} dm$$

消去 dm , 即得

$$V dM + M dV \left(\frac{1}{1 - \frac{V^2}{c^2}} \right) = \frac{-w + V}{1 - \frac{wV}{c^2}} \left\{ dV + M \frac{dV}{V} - \frac{V^2}{c^2} \right\}$$

$$dM \left(\frac{c}{1 - \frac{V^2}{c^2}} + \frac{1}{V} \right) = d\left(\frac{V}{c}\right)$$

钱学森 『火箭技术概论』手稿及讲义

侯建国 主编

中国科学技术大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钱学森“火箭技术概论”手稿及讲义·钱学森与中国科学技术大学/侯建国主编. —影印本. —合肥:中国科学技术大学出版社, 2008. 6
(中国科学技术大学建校初期著名科学家教学史料丛编)
ISBN 978-7-312-02001-8

I. 钱… II. 侯… III. ①火箭—高等学校—教材 ②钱学森 (1911~)—学术思想—文集 ③中国科学技术大学—史料 IV. V 475.1 K 826.16-53 G 649.285.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 064923 号

责任编辑 高哲峰

书籍设计  敬人书籍设计 吕敬人+陶雷

出版发行	中国科学技术大学出版社
地 址	安徽省合肥市金寨路 96 号 邮政编码 230026
网 址	http://press.ustc.edu.cn
印 刷	北京雅昌彩色印刷有限公司
经 销	全国新华书店
开 本	889mm × 1194mm 1/16
印 张	22 + 10.5
字 数	454 千 + 217 千
版 次	2008 年 6 月第 1 版
印 次	2008 年 6 月第 1 次印刷
定 价	468.00 元 (全二册)

编 委 会

主 编

侯建国

副主编

朱 滨

委 员

(按姓氏笔画排序)

丁世有	王伯懿	尹协远	孔祥言	白以龙	朱 滨
伍小平	杜善义	杨基明	吴有生	何世平	张培强
侯建国	顾吉环	钱永刚	徐建中	黄吉虎	喻显果
童秉纲 雷见辉 蔡有智					

出版说明

今年是中国科学技术大学（以下简称科大）建校50周年。钱学森教授是最早提出由中国科学院创办一所新型大学、培养新型建设人才的倡议者之一，也是科大的创办人之一，曾参与科大办学方针、人才培养、学科专业设置等重要决策的讨论和制定。他亲自创建了力学和力学工程系（1961年5月更名近代力学系），并长期担任系主任。他还在1961年秋为1958、1959级学生讲授“火箭技术概论”，时隔40多年，当时聆听这门课程的同学们对此仍念念不忘。

幸运的是，在上级筹划建立钱学森图书馆期间，钱先生家人在清理家中浩如烟海的资料时，发现了当年讲课的“手稿”和“讲义”。鉴于“手稿”和“讲义”与科大的特殊关系，学校的老师和领导希望整理出版这些珍贵的历史资料。为此，特别成立了以常务副校长侯建国院士为主编的编委会。为出好这部书，编委会广泛征集相关资料，并组织这两届同学进行了座谈。

本书分正副册出版，正册含“手稿”和“讲义”。“手稿”是钱学森先生手书的讲课纲要。“讲义”是当年雷见辉和喻显果两位助教根据课堂笔记进行整理，经钱先生审阅后铅印而成。此后，作者对“讲义”进一步修改、完善，定名为《星际航行概论》，1963年2月由科学出版社正式出版，不久又作了第二次印刷。与“手稿”和后来出版的《星际航行概论》相比，“讲义”有一个特点，就是各章后面附有一定的习题。《星际航行概论》出版后在当时引起强烈的反响，一些热心的读者还提出了若干有益的意见和建议。作者曾安排在1966年左右出第二版，对内容作进一步充实和提高，包括采纳读者提出的某些有价值的建议，并适当增加部分章节。已经明确的是要增加《人造仪器卫星的技术实现》一章，其主要内容包括测地卫星、通讯卫星、预警卫星、气象卫星、导航卫星、侦察卫星等。由于众所周知的原因，这一目标未能实现。

在对“手稿”和“讲义”进行编辑出版的过程中，由编委会相关成员对“手稿”和“讲义”分别作了注释和勘误，以脚注的形式印在相关页面。限于当时的印刷条件，1961年印制的“讲义”中应配置插图的位置留了空白，这次影印出版，为方便阅读，配上了《星际航行概论》书中的相关插图。作为“手稿”附录，还收集了当年听课学生尹协远和吴永礼两位同学的部分课堂笔记、习题和作业，其目的，一方面是为了弥补手稿部分缺失的遗憾，另一方面是为了表明当时学生记笔记做习题的认真程度。书后还附录了根据听课学生座谈会整理而成的《中国科大1958、1959级近代力学系校友座谈回忆》一文。副册为《钱学森与中国科学技术大

学》，主要汇集钱学森参与科大建校建系及教学活动的有关资料，与科大校系领导和有关人员的通信，对技术科学、近代力学的有关论述，校友及当年听课学生的回忆文章等。

钱学森为发展我国的教育事业，培养现代科技人才，可谓呕心沥血，采取了各种切实有效的办学形式。在科大任职期间，除积极参加全校性的工作外，对近代力学系的教学工作更是安排得井然有序，亲自撰写系和专业的介绍，出面邀请、聘用任课教师。他还在化学物理系主讲“物理力学”，招收和指导研究生。

希望这部书的出版，对后人，特别是科技、教育工作者和青年学生能有所启迪，使钱学森作为人民科学家和教育家的风范、科学精神、海人不倦的气质、高尚的思想品德能发扬光大，代代相传。

编委会

2008年6月

目 次

教学日历表和教员任课表	001
手 稿	005
附录 测验题	083
附录 学生笔记及习题	085
讲 义	095
附 录	335
中国科大 1958、1959 级近代力学系校友座谈回忆	336
编后语	343

教学日历表和教员任课表

钱学森

教授 钱学森。

12~13次课,建议打○和□的时间上课。

11月15日起每周五下午

8:30

8:30-7:00

1961——1962 学年全学年教学日历表

1961.7.20

第一学期 (1961.9.11~1962.2.11)										第二学期 (1962.2.12~8.31)										备注															
星期										星期																									
月份	周次	一	二	三	四	五	六	日	月份	周次	一	二	三	四	五	六	日																		
九月	一	11	12	13	14	15	16	17	二月	一	12	13	14	15	16	17	18																		
月	二	18	19	20	21	22	23	24	月	二	19	20	21	22	23	24	25																		
九月	三	25	26	27	28	29	30	1	二月三月	三	26	27	28	1	2	3	4																		
十月	四	2	3	4	5	6	7	8	三月	四	5	6	7	8	9	10	11																		
月	五	9	10	11	12	13	14	15	月	五	12	13	14	15	16	17	18																		
十月	六	16	17	18	19	20	21	22	月	六	19	20	21	22	23	24	25																		
十一月	七	23	24	25	26	27	28	29	三月四月	七	26	27	28	29	30	31	1																		
十一月	八	30	31	1	2	3	4	5	四月	八	2	3	4	5	6	7	8																		
十二月	九	6	7	8	9	10	11	12	月	九	9	10	11	12	13	14	15																		
十二月	十	13	14	15	16	17	18	19	月	十	16	17	18	19	20	21	22																		
十二月	十一	20	21	22	23	24	25	26	月	十一	23	24	25	26	27	28	29																		
十二月	十二	27	28	29	30	1	2	3	四月五月	十二	30	1	2	3	4	5	6																		
十二月	十三	4	5	6	7	8	9	10	月	十三	7	8	9	10	11	12	13																		
十二月	十四	11	12	13	14	15	16	17	月	十四	14	15	16	17	18	19	20																		
十二月	十五	18	19	20	21	22	23	24	月	十五	21	22	23	24	25	26	27																		
1962年	十六	25	26	27	28	29	30	31	五月六月	十六	28	29	30	31	1	2	3																		
元月	十七	1	2	3	4	5	6	7	月	十七	4	5	6	7	8	9	10																		
元月	十八	8	9	10	11	12	13	14	月	十八	11	12	13	14	15	16	17																		
元月	十九	15	16	17	18	19	20	21	月	十九	18	19	20	21	22	23	24																		
二月	廿	22	23	24	25	26	27	28	六月七月	廿	25	26	27	28	29	30	1																		
二月	廿一	29	30	31	1	2	3	4	月	廿一	2	3	4	5	6	7	8																		
二月	廿二	5	6	7	8	9	10	11	月	廿二	9	10	11	12	13	14	15																		
备注	第一学期从1961年9月11日到1962年1月17日共计18周半(上课15周,科研劳动3周,假日半周——国庆2天,元旦1天)。2.1月18日——20日为机动,1月22日——27日复习考试,1月29日——2月11日放寒假2周(包括春节三天)。												第二学期从1962年2月12日到6月24日共计19周(上课15周,科研劳动3周,春假3天,五一节一天)。2.6月25日——6月30日为机动,7月2日——7日复习考试,7月16日——9月1日放暑假6周另5天。																						
注																																			

教 务 处

钱学森教授为1958、1959级学生讲授“火箭技术概论”的教学日历表,表格上方手写的文字是近代力学系教学管理人员请钱先生确定上课时间,表格中的标记是钱先生选择上课时间所作的记号。

中国科学技术大学教员任课表

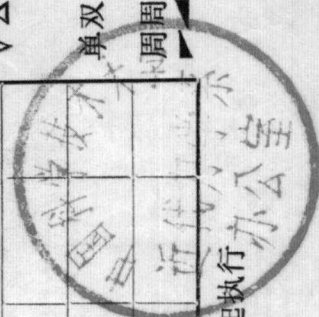
19 61 — 19 62 学年第 1 学期

教研室、组 _____
 姓名 钱学森 先生

担	系、	专业	年 级	班 组	课	程
	本系 1, 2, 3 系	三、四	165 班	火箭技术概论		
任	教授 钱学森：自动化所 火箭技术概论					

时间 星期	第一节	第二节	第三节	第四节	第五节	第六节	第七节	第八节
1		8:55-9:45 ✓	9:45-10:35 ✓	10:35-11:25 ✓				
2								
3								
4								
5								
6								

符号：
 讲 习 题 课
 课 课 课
 V Δ
 单 双
 周 周



自 1961 年 9 月 11 日起执行

钱学森教授为 1958、1959 级学生讲授“火箭技术概论”的教员任课表

手
稿

钱氏原

“手稿”包括目录（也是教学计划安排）两页，正文74页，此外还有当年油印的测试题两页附后。目录中列入的第三讲《火箭发动机的类型及其发展现况》，在手稿正文中阙如。第五讲《星际航道的问题》，在手稿正文中缺首页。这些将用当年学生的课堂笔记做补充（见085~091页），以便读者对当年授课内容的全貌有所了解。正文第九讲《星际航行中的通讯》在目录中未作反映。目录中第十三讲《运载火箭的回收》属于原计划可能要多讲一次的内容，这次没有讲授，后来列入《星际航行概论》一书中的第十四章。所以包括《星际航行中的通讯》在内，实际共作了十三讲。

为了便于读者的阅读和理解，整理时作了一些简单的注释，考虑到手稿是讲课内容的纲要，有些地方文字非常简略，除了更正一些笔误外，对特别简略的部分做了一些解释和补充说明。

火箭技术概论

每周讲一次，每次三小时，共讲十三次。~~(准备讲一次)~~

从星际航行的角度来介绍火箭技术，尤其着重讲与姓名第一、第二、第三专业有关的部分；目的是为这三个专业的学生在进入专业课学习时有一个较全面的理解，能体会到自己专业在整个事业中的位置。

第一讲，星际航行与宇宙航行：太阳系及太阳系外飞行的速度要求；看奥尔洛夫斯基公式。恒星及恒星间飞行的速度要求；相对论解；阿克莱公式。

第二讲，火箭发动机原理：流体力学的动量定理；推力公式；一维气体流动；比冲；比冲计算程序。火箭发动机的试车。

第三讲，火箭发动机的类型及其发展现状：双基药的固体发动机。液氧酒精 V-2 发动机；液氧煤油发动机；液氧液氢发动机。

固体发动机的现代化。高能燃料问题。固液型发动机。发动机的研究。

第四讲，原子火箭及电火箭发动机：原子火箭发动机原理，及其存在的主要研究课题。电火箭发动机原理，“最优比冲”。

原子火箭发动机与电火箭发动机的比较；氢火箭发动机。

分工。火箭的结构比。发射场的布置。

卫星所需运载火箭动力的估计

第五讲, 星际航行的轨道问题: 从地面起飞, 从卫星轨道起飞。

第五讲, 轨道的变移过程. 实际航行的轨道问题: 变方法. 两个行星间^的轨道, 同平面的^的不同平面. 轨道变移的一般理论.

第二讲
控制问题
卫星
轨道的
制导；从
卫星上起飞
的控制
问题；
远程控制

再讲，再入问题：再入空气层的航迹分析。空气动力加热，防热设计，烧蚀及发汗冷却。星际航行的气动力问题及强度问题。

第九讲 太空环境及对人的影响：超重及失重，辐射对人的作用；空间宇宙线；宇宙线的强度变化；宇宙线辐射区。

并进一步讲，星际飞船的设计问题：人对生活环境的需要，密封舱，生活生活资料的生产系统。

第十讲，星际飞船的能源问题：星际飞船能源的要求；能源；
能的多种转变系统，系统设计。

(第十三讲, 运载火箭的回收: ^{降低率}回收方法; 有翼回收方法。飞机和火箭的联合发射系统。)

中心力场的质点运动。两个行星间的航迹，航迹的分解；航行时间及火箭动力的关系。

第一讲

提綱

1) 我们祖先早就有飞到天上去的理想。嫦娥奔月。

火箭是我们的劳动人民在约 1100 年左右的南宋时代发明的。

到了十八世纪英国人侵入印度的时，印度军队用了火箭武器给入侵军队很大的打击。

英国人从而开始火箭武器的制造，William Congreve (1772-1814) 的火箭的射程约 2.3-2.8 公里，重十几公斤至二十几公斤。以后火炮代替了。

Константин Э. Циолковский (1857-1935) 奠定了火箭技术及星际航行的理论基础。

Robert H. Goddard (在 1910 年以后) 开始了火箭研究及试射。

现代火箭的开创者现在 V-2 火箭，带涡轮泵，总重 12.98 吨，推力 27.2 吨，头 1 吨。

苏联的成就。

美国情况：……；“宇宙神”+“半人马座”；“土星”
(约 4 吨重卫星)

② 现代科学与星际航行。

2) 太阳系的描述

3) 宇宙速度，公式的推导

4) Циолковский 公式的推导

5) 宇宙航行——恒星世界

6) 速度必需接近光速。Ackeret 公式的推导

7) 喷气速度 w 也必需接近光速。

习题 1.1 从地球表面上发射一个打中太阳的探测器，最小的速度要求是什么？

习题 1.2 如果 $w=0.05c$ ，达到 $V=0.8c$ 的质量比是什么？a) 用 Ackeret 公式，b) 用 Циолковский 公式

II 苏联卫星、宇宙火箭和宇宙飞船一览表

名 称	发 射 时 间	重 量	说 明
第一个人造地球卫星	1957.10.4	83.6公斤	世界上第一个人造地球卫星
第二个“人造地球卫星”	1957.11.3	508.3公斤	带有小狗“莱伊卡”，地球上的生物第一次飞入宇宙
第三个“人造地球卫星”	1958.5.15	1327公斤	世界上第一个人造太阳系行星
第一个宇宙火箭	1959.1.2	1472公斤	世界上第一个到达月球表面的火箭
第二个宇宙火箭	1959.9.12	1511公斤	世界上第一次揭开了月球背面的秘密
第三个宇宙火箭	1959.10.4	1553公斤	世界上第一个宇宙飞船
第一个卫星式飞船	1960.5.15	4540公斤	带有小狗“松鼠”和“小鼠”，在世界上第一次实现了生物完成宇宙飞行后重返地面的试验
第二个卫星式飞船	1960.8.19	4600公斤	
三个卫星式飞船	1960.12.1	4563公斤	
四个“人造地球卫星”	1961.2.4	6483公斤	人造重型地球卫星
金星发射的宇宙火箭	1961.2.12	行星站重量643.5公斤	世界上第一个考察太阳系行星的火箭
四个卫星式飞船	1961.3.9	4700公斤	带有试验生物，当天重返地面
五个卫星式飞船	1961.3.25	4695公斤	带有试验生物，当天重返地面
第一个载人的卫星式飞船	1961.4.12	4725公斤	世界上第一个载人的宇宙飞船

1961.8.6

1961.9.13

1961.9.17

第二个

太平洋火箭
第一
第二

- 2 -

这颗火箭将把新的物种在12000公里以上的高度进行试验的试验利用48。

加加林
李 花