

火箭动力学

И.柯依、И.尤敏鲍卡尔特著



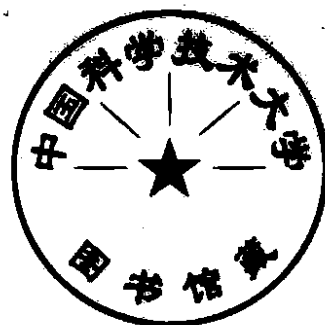
国防工业出版社

火箭动力学

И. 柯依、И. 尤敷鲍卡尔特著

王正维、舒立译

浦发、吴裕祥、张本良校



科学出版社

出版者的話

本書原名为 Kooy J.M.J. & Uytendogaart J.W.H: "Ballistics of The Future"。俄譯本改現名，由А.Н.Русашова翻譯，物理数学科学博士、教授 А. А. Космодемьянский 校閱。中譯本系依1950年国防工业出版社俄文版翻譯的。俄譯本是節譯的，刪除了原書許多与火箭无直接关系的章节；中譯本又經本社稍刪了一部分，但原書的主要內容都保留下來了。由于原書出版較早，內容难免有陈旧的地方，但鑒于国内这方面的書籍出版很少，所以翻譯出版供有关人員參考。本書譯稿曾由我社請曹立凡教授校閱，特表示感謝。

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

850×1168^{1/32}·10^{5/8} 印張·261 千字

1959 年 2 月 第一版

1959 年 2 月 第一次印刷

印数: 10,001—2,500 册 定价: (11) 2.00 元

NO. 2328 統一書号 15034·291

目 录

俄譯本序	7
第一章 作为質点的彈丸	9
§1 引言	9
§2 彈丸在真空中均匀的重力場內的运动	9
§3 考虑空气阻力时計算彈道的一般方法	15
§4 当 $k_1 f(v) = a + cv^n$ 时基本方程的积分	17
§5 当 $k_1 f(v) = cv^n$ 时基本方程的积分	19
§6 在空气阻力和 v^2 成正比的情况下基本方程的积分	20
§7 空气阻力和 v^3 成正比的情形	22
§8 空气阻力和 v^4 成正比的情形	23
§9 空气阻力和 v^5 成正比的情形	25
§10 用潤格-庫塔法来积分彈丸的运动方程	26
§11 彈丸的 [順从性]	28
§12 彈道的分段法	30
§13 科賴奧来加速度	31
§14 在真空中考虑地球旋轉时的彈丸运动	33
§15 在阻力介質中考虑地球旋轉的彈丸运动	36
§16 重力場的不均性及地球表面的曲率	41
§17 質点在有心力場內的运动	41
§18 初速值不同时彈丸在真空中的彈道	51
§19 不考虑地球的旋轉, 在地球表面上真空中运动的彈丸彈道	52
§20 考虑地球旋轉, 在真空中运动的彈丸彈道	54
§21 考虑到地球的球状、空气阻力、重力随高度的变化、离心 力和地球旋轉等的彈丸彈道	56
§22 風的影响	59
§23 对科賴奧来力以及对与重力場和离心力場随高度变化有关 之諸力的比較評价	61
§24 考虑到地球表面曲率、地球旋轉、空气阻力和風的影响等 的彈丸运动	62

第二章 重力陀螺理論	65
§1 問題的一般解法	65
§2 正規進動	72
§3 假正規進動	74
第三章 作為剛體的彈丸	77
§1 引言	77
§2 浦桑效應	77
§3 馬格努斯效應	77
§4 陀螺效應	78
§5 作用於彈丸的力和力矩	85
§6 座標系及轉換式	86
§7 重心運動方程式	89
§8 彈丸繞其重心的轉動	90
§9 運動的各種不同情況	91
§10 運動微分方程的積分	92
§11 馬格努斯力矩、摩擦力矩和減震力矩	96
補充	98
第四章 在地球附近運動的火箭動力學	101
§1 引言	101
§2 火箭推力	101
§3 在真空中沒有重力時的火箭運動	102
§4 在真空中不受重力作用時火箭的等加速運動	105
§5 在阻力介質中火箭的等加速運動	105
§6 在均勻重力場內火箭的等加速直綫運動	107
§7 噴氣式飛機的上升	110
§8 噴氣式飛機以定沖角 α 沿赤道的飛行（考慮地球旋轉和設 它為球形）	112
§9 不考慮地球旋轉時火箭在真空中的垂直上升	115
§10 不考慮地球曲率時火箭在真空中的彈道	119
§11 在推力沿彈道切綫方向作用時不考慮空氣阻力和地球曲率 的火箭彈道	121
§12 轉變為等速圓周運動的火箭圍繞地球的加速圓周運動	126
§13 火箭沿水平定向器作等加速運動	130

§14 考虑空气阻力时作等加速运动的火箭的垂直上升	131
§15 考虑空气阻力、风的影响、地球旋转、地球表面曲率和 g 随高度变化时火箭的运动	136
§16 考虑地球旋转、地球表面曲率、风的影响和 g 随高度变化时冲角一定的喷气式飞机的运动	143
§17 用迴轉自动駕駛仪控制的火箭运动	146
§18 测定自动駕駛仪基本参数的分析方法	155
第五章 在星际間运动的火箭动力学	161
§1 引言	161
§2 在地球附近的火箭运动	162
§3 常数(彈道諸元)变换法	170
§4 当推力的大小和方向都随時間变化时,地球附近的火箭运动	181
§5 常数变换法在前一节問題中的应用	183
§6 在地球、太阳和月亮的引力作用下的火箭运动	190
§7 彈道諸元变换法在前一节問題中的应用	193
§8 火箭沿給定彈道的运动	197
§9 火箭在真空中的控制	201
§10 用火箭飞向月球	203
§11 火箭环绕月球的运动	210
§12 不定系数法	215
补充	217
第六章 V-1 飞航式导彈	220
§1 概論	220
§2 火箭發动机	221
§3 V-1 飞航式导彈的起动力	224
§4 罗盘	237
§5 自动駕駛仪	229
第七章 V-2 远程火箭	236
§1 V-2 的结构概述	236
§2 火箭發动机	241
§3 透平泵装置	246
§4 关于某些气門的說明	247
§5 火箭發动机的热力学	252

§6 远程火箭燃料的化学	278
§7 伺服电动机和舵	287
§8 自动控制	294
§9 V-2 火箭的發射	299
§10 飞行中的 V-2 火箭	306
§11 火箭的有效作用系数	313
§12 流速和燃料重量与火箭重量之比对 V-2 水平射程的影响	323
§13 远程火箭的设计	326

火 箭 动 力 学

И. 柯依、И. 尤敷鲍卡尔特著

王正维、舒立译

浦发、吴裕祥、张本良校



国防工业出版社

出版者的話

本書原名为 Kooy J.M.J. & Uytendogaart J.W.H: "Ballistics of The Future"。俄譯本改現名，由А.Н.Русашова翻譯，物理数学科学博士、教授 А. А. Космодемьянский 校閱。中譯本系依1950年国防工业出版社俄文版翻譯的。俄譯本是節譯的，刪除了原書許多与火箭无直接关系的章节；中譯本又經本社稍刪了一部分，但原書的主要內容都保留下來了。由于原書出版較早，內容难免有陈旧的地方，但鑒于国内这方面的書籍出版很少，所以翻譯出版供有关人員參考。本書譯稿曾由我社請曹立凡教授校閱，特表示感謝。

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

850×1168¹/₃₂·10⁵/₈ 印張·261 千字

1959 年 2 月 第一版

1959 年 2 月 第一次印刷

印数: 10,001--2,500 册 定价: (11) 2.00 元

NO. 2328 統一書号 15034·291

目 录

俄譯本序	7
第一章 作为質点的彈丸	9
§1 引言	9
§2 彈丸在真空中均匀的重力場內的运动	9
§3 考虑空气阻力时計算彈道的一般方法	15
§4 当 $k_1 f(v) = a + cv^n$ 时基本方程的积分	17
§5 当 $k_1 f(v) = cv^n$ 时基本方程的积分	19
§6 在空气阻力和 v^2 成正比的情况下基本方程的积分	20
§7 空气阻力和 v^3 成正比的情形	22
§8 空气阻力和 v^4 成正比的情形	23
§9 空气阻力和 v^5 成正比的情形	25
§10 用潤格-庫塔法来积分彈丸的运动方程	26
§11 彈丸的 [順从性]	28
§12 彈道的分段法	30
§13 科賴奧来加速度	31
§14 在真空中考虑地球旋轉时的彈丸运动	33
§15 在阻力介質中考虑地球旋轉的彈丸运动	36
§16 重力場的不均性及地球表面的曲率	41
§17 質点在有心力場內的运动	41
§18 初速值不同时彈丸在真空中的彈道	51
§19 不考虑地球的旋轉, 在地球表面上真空中运动的彈丸彈道	52
§20 考虑地球旋轉, 在真空中运动的彈丸彈道	54
§21 考虑到地球的球状、空气阻力、重力随高度的变化、离心 力和地球旋轉等的彈丸彈道	56
§22 風的影响	59
§23 对科賴奧来力以及对与重力場和离心力場随高度变化有关 之諸力的比較評价	61
§24 考虑到地球表面曲率、地球旋轉、空气阻力和風的影响等 的彈丸运动	62

第二章 重力陀螺理論	65
§1 問題的一般解法	65
§2 正規進動	72
§3 假正規進動	74
第三章 作為剛體的彈丸	77
§1 引言	77
§2 浦桑效應	77
§3 馬格努斯效應	77
§4 陀螺效應	78
§5 作用於彈丸的力和力矩	85
§6 座標系及轉換式	86
§7 重心運動方程式	89
§8 彈丸繞其重心的轉動	90
§9 運動的各種不同情況	91
§10 運動微分方程的積分	92
§11 馬格努斯力矩、摩擦力矩和減震力矩	96
補充	98
第四章 在地球附近運動的火箭動力學	101
§1 引言	101
§2 火箭推力	101
§3 在真空中沒有重力時的火箭運動	102
§4 在真空中不受重力作用時火箭的等加速運動	105
§5 在阻力介質中火箭的等加速運動	105
§6 在均勻重力場內火箭的等加速直綫運動	107
§7 噴氣式飛機的上升	110
§8 噴氣式飛機以定沖角 α 沿赤道的飛行（考慮地球旋轉和設 它為球形）	112
§9 不考慮地球旋轉時火箭在真空中的垂直上升	115
§10 不考慮地球曲率時火箭在真空中的彈道	119
§11 在推力沿彈道切綫方向作用時不考慮空氣阻力和地球曲率 的火箭彈道	121
§12 轉變為等速圓周運動的火箭圍繞地球的加速圓周運動	126
§13 火箭沿水平定向器作等加速運動	130

§14 考虑空气阻力时作等加速运动的火箭的垂直上升	131
§15 考虑空气阻力、风的影响、地球旋转、地球表面曲率和 g 随高度变化时火箭的运动	136
§16 考虑地球旋转、地球表面曲率、风的影响和 g 随高度变化时冲角一定的喷气式飞机的运动	143
§17 用迴轉自动駕駛仪控制的火箭运动	146
§18 测定自动駕駛仪基本参数的分析方法	155
第五章 在星际間运动的火箭动力学	161
§1 引言	161
§2 在地球附近的火箭运动	162
§3 常数(彈道諸元)变换法	170
§4 当推力的大小和方向都随時間变化时,地球附近的火箭运动	181
§5 常数变换法在前一节問題中的应用	183
§6 在地球、太阳和月亮的引力作用下的火箭运动	190
§7 彈道諸元变换法在前一节問題中的应用	193
§8 火箭沿給定彈道的运动	197
§9 火箭在真空中的控制	201
§10 用火箭飞向月球	203
§11 火箭环绕月球的运动	210
§12 不定系数法	215
补充	217
第六章 V-1 飞航式导彈	220
§1 概論	220
§2 火箭發动机	221
§3 V-1 飞航式导彈的起动力	224
§4 罗盘	237
§5 自动駕駛仪	229
第七章 V-2 远程火箭	236
§1 V-2 的结构概述	236
§2 火箭發动机	241
§3 透平泵装置	246
§4 关于某些气門的說明	247
§5 火箭發动机的热力学	252

§6 远程火箭燃料的化学	278
§7 伺服电动机和舵	287
§8 自动控制	294
§9 V-2 火箭的發射	299
§10 飞行中的 V-2 火箭	306
§11 火箭的有效作用系数	313
§12 流速和燃料重量与火箭重量之比对 V-2 水平射程的影响	323
§13 远程火箭的设计	326

俄譯本序

俄国学者和工程师在創建理論和研究用火箭發动机进行飞行問題这一方面是具有主导作用的。卓越的学者康士坦丁·埃杜阿尔道維奇·齐奥可夫斯基破天荒第一次地、科学地論証了火箭發动机和火箭实际应用的可能性；Ф. А. 桑杰尔早在二十年以前就創造了液体燃料的火箭發动机；Ю. В. 剛得拉丘科在研究火箭飞行問題时曾經提出了一系列深奥的想法。

俄国学者和技师的許多研究火箭运动問題的著作非常著名，其中有很多著作都經過了再版^①。

荷兰專家柯依和尤歇鮑卡尔特的這本書在原則上並沒有包含任何新的科学技术方面的發現。实际上，這本書只是对于第二次世界大战末期希特勒德国采用远程火箭射击倫敦这一事实在技术方面做了总结。

但是，对現有的經驗这样进行分类和概括，毫无疑问是有一定好处的，何况在本書的某些章节中还包含有不少的新穎部分。例如本書的第五章在想法上是很有趣味的；作者在这里把天体力学的方法广泛应用到宇宙航行学的各种問題上来。第六章和第七章也很有趣味，因为这两章对德国的两种火箭装置，即V-1飞航式導彈和V-2远程火箭^②有十分詳細的描述和概要的計算。

在翻譯时，对本書已作了某些删略。原書前五章都删节了。前五章包括有向量計算基础、解析力学基础和数字积分法基础。关于这部分科学用俄文出版的資料有很多，因此把这些內容編到这本

① K. Э. 齐奥可夫斯基著：有关火箭技术方面的著作。国防工业出版社，1947年。Ф. А. 桑杰尔著：用火箭装置研究飞行問題。国防工业出版社，1947年。Ю. В. 剛得拉丘科著：征服星际空間。国防工业出版社，1947年。

② V-2在当时可以算远程火箭，現在看来不过是中程火箭。——中譯本編者注

書中显然是不够合适的。但是，研究陀螺理論和火炮彈丸彈道的各章在本書中都保留下来了，因为在这几章中所做的結論作者引証的非常頻繁。因此这几章的編号有所改变。作者所采用的符号也有某些改变。

A. A. 柯斯莫捷米揚斯基

第一章 作为質点的彈丸

§1 引言

彈道学是研究用火炮發射出去的彈丸的运动的科学。彈道学通常分为外彈道学和內彈道学；前者是研究彈丸在飞出炮膛后的运动；而后者則是研究炮膛內所产生的过程。在本書中，我們只討論外彈道学的問題。

作为剛体的炮彈运动，可以把它分成彈丸重心的运动和彈丸圍繞重心的运动。由重心所描繪出来的軌迹，叫作彈丸的彈道，外彈道学基本問題就是确定这个彈道。

因为作用在彈丸上的諸空气动力，是根据彈丸的位置来改变的，所以說，彈丸相对于彈道的位置对于彈道本身的几何形状有很大的影响。因此，在一般的情况下，彈丸重心的运动和它圍繞重心的运动，不能用分析的方法区分开。但在大多数的情况下，可作出簡化假定，即彈丸运动时其縱軸是沿着重心彈道的切綫方向的。由于賦与彈丸以很大的角速度圍繞其縱軸旋轉，所以在实际上这种現象是或多或少地存在着的。（对于空軍炸彈來講，是用尾翼來使縱軸和运动的方向一致）。

若彈丸的縱軸和运动的方向重合，我們說这样的彈丸是“順从的”。在本章內我們假定彈丸是理想地順从的以及和运动方向相反的空气阻力是作用在彈丸上唯一的空气动力。由于这样的簡化，就可以將彈丸看成是一个質点，而彈丸的全部質量和所有的外力，都集中和作用在該質点上。

§2 彈丸在真空中均勻的重力場內的运动

現在我們來討論以初速 v_0 在角 α 下射出的彈丸运动（圖1）。



圖 1

略去空气阻力并假定重力場是均匀的，我們得出水平的和鉛直的分速度为

$$\left. \begin{aligned} v_x &= v_0 \cos \alpha, \\ v_y &= v_0 \sin \alpha - gt, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 g 为重力加速度。

到某一瞬間 t ，在水平方向和鉛直方向上所通过的路程为：

$$\left. \begin{aligned} x &= (v_0 \cos \alpha) t, \\ y &= (v_0 \sin \alpha) t - \frac{1}{2} g t^2. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

由方程 (2) 消去時間 t ，得到彈道方程

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}. \quad (3)$$

因此，彈道是一条抛物綫。

到瞬間

$$t = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

时，抛物綫彈道达到頂点。

将此值代入方程 (2) 中，則求得彈道高为

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}. \quad (4)$$

到瞬間

$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

时，彈丸落到地面。因为水平分速度 $v_0 \cos \alpha$ 是常数，所以水平射程等于

$$s = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}, \quad (5)$$

而彈丸的全飞行時間为