

飞行力学手册

第一册

〔苏〕C. A. 高尔巴钦科、Э. М. 马卡绍夫 合编
Ю. Ф. 波鲁什金、Л. В. 舍夫切里

常伯浚、滕衣虹、关世义、于风仙 译

关世义、常伯浚 校

国防工业出版社

1974

内 容 简 介

本书是一本工程手册。书中系统而简要地提供了初步研究中叙述和解决各种飞行力学问题所必要的知识。其内容包括：最重要的物理常数，行星的轨道和特性，天体力学基础，地球大气特性，飞行力学中的坐标系，作为常质量或变质量刚体的飞行器运动方程组，作用于飞行器的力和力矩，特殊情况下的直线、平面和空间运动方程的解以及其它参考资料。大部分材料都用表格、图线和公式汇编的形式表示。

本书可供从事飞行力学和相近专业的科学工作者及工程技术人员使用，而且对于高等学校的学生也是有益的。

Механика Полета

С. А. Горбатенко, Э. М. Макашов,

Ю. Ф. Полушкин, Л. В. Шефтель

Издательство «Машиностроение»

Москва 1969

*

飞行力学手册

第 一 册

〔苏〕С. А. 高尔巴钦科等 编

常伯浚、滕衣虹、关世义、于凤仙 译

关世义、常伯浚 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张14 291 千字

1974年12月第一版 1974年12月第一次印刷 印数：0,001—5,000册

统一书号：15034·1346 定价：1.45元

译 者 的 话

为适应我国航空和宇宙航行科学技术蓬勃发展的需要，遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，我们翻译了这本《飞行力学手册》。全书共两册。

本书介绍了飞行器初步设计和研究中常用的飞行力学知识，其中对于飞行力学中的坐标系，飞行器的运动方程以及作用于飞行器上的力和力矩作了较详细地叙述；同时还介绍了天体力学的基本知识以及两种地球大气模型等等。大部分材料均用表格、图线、公式汇编的形式表示。因此，本书便于从事飞行力学和有关专业的工程人员参考和使用。翻译时，将原书不适用的地方，作了一些删节；凡经我们发现的错误、遗漏的地方，均作了补正。另外，我们还将原书的附录Ⅱ改为“坐标系名称中俄对照表”，以便读者查对。但由于水平所限，时间较紧，书中一定还有许多错误和不当之处，恳请读者随时批评指正。

赵震炎、庄逢甘、肖业伦等同志曾仔细审阅了全部手稿，并提出了许多宝贵意见；另外，书中的天文学和天体力学部分曾得到北京天文馆有关同志的热情帮助。在此，谨向这些同志表示衷心的感谢！

译 者

前 言

随着飞行器和现代飞行力学的发展，愈来愈感到缺少一本使用方便、叙述紧凑的飞行力学工程手册。

目前，由于缺少此种手册，工程人员选择和整理所需的资料成为一个很困难的过程。此外，还由于在内容及研究的深度方面，所用的限制和假设条件以及数值的符号等的不同，也时常使资料的应用遇到很大的困难。同时应当指出，许多重要的研究成果分散在期刊和文集里面，使广大读者不易看到。

本手册包括初步研究中为解决大多数飞行力学问题所必需的知识。

第一章提供了最重要的物理常数和单位换算表；

第二章援引了关于太阳系行星轨道的简要知识并提供了地球大气模型（CA-64 和CIRA 1965）；

第三章叙述了飞行力学所用的座标系以及它们之间的变换公式。在飞行力学中，明确地描述和适当地表示所用的座标系具有很大的意义，所以要用国家标准详细地加以规定[●]。但是，近来随着飞行力学中新的科学技术方向的出现（除了古典的近地飞行力学和天体力学外，出现了火箭动力学，天文动力学，导引，导航和自动控制问题等），大大增加了所

● 苏联曾于1941年用全苏标准对飞行力学中的座标系作过规定（见ГОСТ 1075-41）。其它国家也有类似的规定。——译者

用坐标系的数量。因此，旧的标准已不能满足飞行力学的新问题的要求。作者提出了自己的分类体系和关于坐标系的描述，其中尽可能考虑到已形成的传统和现行的标准。本手册对所有坐标系均采用十进位的分类方法，这样，可对坐标系制定一套简便的编码符号。新的分类方法需要规定新的名称。例如，与原点位于地球中心和太阳中心的地心和日心坐标系类似，将原点位于飞行器质心的坐标系称为飞行器中心坐标系；

第四章中，相应于前章所阐述的坐标系，列出了封闭的飞行器运动方程组，这方程组由质心运动方程、绕质心的运动方程、质量变化方程以及运动学关系式、位置和角度关系式所组成。同时还指明，是在何种坐标系中列出这些方程式，相对于何种坐标系研究运动以及取何种坐标系为惯性参考系；

第五章中列有作用于飞行器上的力和力矩的表达式，这些力和力矩是用空气动力系数表示并在不同坐标系中写出的。本章还列有在不同坐标系中的过载分量的表达式；

第六章用解析法和图解法研究了飞行器质心运动的某些特殊情况，并根据某一参数为零或常数将它们分为直线的、平面的和空间的运动。

书末附录 I 和附录 II 援引了标准大气表 CA-64 (ГОСТ 4401-64) 和国际参考大气 CIRA 1965。

每章末的参考文献目录可供需要时查阅。

书中的量纲主要引用国际单位制(СИ) ГОСТ 9867-61。

目 录

第一章 物理量和量测单位	11
1.1 某些物理常数	11
1.2 国际量测单位制 (CM)	12
1.3 公制和英、美制的关系	13
参考文献	18
第二章 天体轨道和地球大气	19
2.1 天体轨道	21
2.1.1 二体问题、开卜勒定律	21
2.1.2 轨道的类型	21
2.1.3 轨道根数和参数	25
2.2 地球大气	44
2.2.1 CA-64 标准大气	44
2.2.2 大气中的风	48
2.3 计算地球大气中的飞行参数用的一些辅助图线	55
参考文献	58
第三章 坐标系	60
3.1 基本定义和座标变换公式 (一般知识)	62
3.1.1 基本定义	62
3.1.2 坐标系的种类及其变换公式	62
3.1.3 直角坐标系的变换。确定它们之间相互角位置的方法	63
3.2 飞行力学中的坐标系和它们之间的变换公式	83
3.2.1 坐标系的分类	83
3.2.2 行星中心坐标系	84
3.2.3 行星表面坐标系	110
3.2.4 宇宙中心坐标系	134
3.2.5 飞行器牵连坐标系	135
3.2.6 各类坐标系之间的变换公式	166

参考文献	171
第四章 飞行器的运动方程	173
4.1 飞行器的基本运动学关系式	175
4.1.1 某些飞行器中心直角坐标系角速度向量的 投影与欧拉角导数的关系	175
4.1.2 机体坐标系C113的角速度向量 ω_1 的投影与该坐标系的 轴和地球坐标系 C118的轴之间方向余弦导数的关系	181
4.1.3 机体坐标系C113的角速度向量 ω_1 的投影与 罗德里格-哈密尔顿参数的导数的关系	182
4.2 飞行力学中的运动方程	184
4.3 行星中心坐标系中的运动方程	186
4.3.1 日心直角黄道坐标系- I OXYZ (II111) 中的运动方程	186
4.3.2 日心球面黄道坐标系 R, χ^*, μ^* (II121) 中的运动方程	187
4.3.3 地心直角赤道坐标系 $Ox'y'z'$ (II214) 中的运动方程	187
4.3.4 地心球面大圆坐标系 $r, \lambda_{opr}, \varphi_{opr}$ (II224) 中的运动方程	188
4.3.5 地心球面赤道坐标系- I r, φ', λ (II223) 中的运动方程	189
4.4 地面坐标系中的运动方程	191
4.4.1 地面直角水平任意坐标系- I $O_T \xi_0 \eta_0 \zeta_0$ (T112) 中的运动方程	191
4.4.2 地面直角水平起飞坐标系- I $O_T \xi_0 \eta_0 \zeta_0$ (T115) 中的运动方程	191
4.4.3 地面直角水平定向坐标系- I $O \xi \eta \zeta$ (T116) 中的运动方程	195
4.4.4 地面球面水平定向坐标系 r, A, ϵ_1 (T123) 中的运动方程	196
4.4.5 地面圆柱水平定向坐标系 r, A, z (T131) 中的运动方程	196
4.5 飞行器牵连坐标系中的运动方程	197
4.5.1 飞行器中心直角主机体坐标系 $Ox_1y_1z_1$ (C111) 中的运动方程	197
4.5.2 飞行器中心直角垂直对称机体坐标系 $Ox_{12}y_{12}z_{12}$ (C112) 中的运动方程	210
4.5.3 飞行器中心直角垂直对称机体坐标系 $Ox_{1y_1}z_1$ (C113) 中的运动方程	210
4.5.4 飞行器中心直角垂直对称半机体坐标系 $Oxyz$ (C114) 中的运动方程	210
4.5.5 飞行器中心直角垂直速度坐标系 $Ox_0y_0z_0$ (C115) 中的运动方程	213
4.5.6 飞行器中心直角垂直对称速度坐标系 (气流坐标系) $Ox_{\Pi}y_{\Pi}z_{\Pi}$ (C116) 中的运动方程	229

4.5.7 飞行器中心直角水平定向坐标系 (地球坐标系) $Ox_g y_g z_g$ (C118) 中的运动方程	235
4.6 有风情况下的飞行器运动方程	242
4.6.1 飞行器中心直角垂直对称机体坐标系 $Ox_{12} y_{12} z_{12}$ (C112) 中的运动方程	243
4.6.2 当轴 Ox_{Π} 与地速向量重合时, 飞行器中心直角垂直对称 速度坐标系 (气流坐标系) $Ox_{\Pi} y_{\Pi} z_{\Pi}$ (C116) 中的 运动方程	247
4.6.3 当轴 Ox_{Π} 与空速向量重合时, 飞行器中心直角垂直 对称速度坐标系 (气流坐标系) $Ox_{\Pi} y_{\Pi} z_{\Pi}$ (C116) 中的运动方程	251
参考文献	254
第五章 作用于飞行器的力和力矩	256
5.1 力和力矩的分类	260
5.2 重力	261
5.2.1 地球引力场模型, 万有引力加速度	261
5.2.2 万有引力力矩	264
5.3 空气动力和力矩	265
5.3.1 某些定义	265
5.3.2 飞行器的迎面阻力系数 c_x	267
5.3.3 飞行器的升力系数 c_y	278
5.3.4 飞行器的侧力系数 c_z	280
5.3.5 飞行器的极曲线	280
5.3.6 飞行器的滚转力矩系数 m_x	288
5.3.7 飞行器的偏航力矩系数 m_y	292
5.3.8 飞行器的俯仰力矩系数 m_z	293
5.3.9 操纵面的铰链力矩	300
5.3.10 飞行器质心位置的改变对气动系数的影响	301
5.4 发动机装置的力和力矩	302
5.4.1. 发动机装置的类型	302
5.4.2. 发动机装置的基本特性	303
5.5 过载	313
参考文献	314
第六章 飞行器运动的某些特殊情况	316

6.1	常质量飞行器的运动 ($m = m_0$)	318
6.1.1	水平直线运动 ($\theta = 0$)	318
6.1.2	铅垂直线运动 ($\theta = 90^\circ$)	318
6.1.3	弹道倾角为零时的平面运动 ($\theta = 0$)	318
6.1.4	弹道倾角为常数和滚转角为零时的平面运动 ($\theta = \theta_0$, $\gamma = 0$)	319
6.1.5	当滚转角为零和纵向过载为常数或法向过载为零时的 平面运动 ($\gamma = 0$, $n_x = n_{x0}$, $n_y = 0$)	343
6.1.6	速度为常值时的空间运动 ($v = v_0$)	343
6.2	当质量排出速度为常数时, 变质量飞行器的运动 (m 为 变量, $u_{\text{ист}}$ 为常量)	372
6.2.1	水平直线运动 ($\theta = 0$)	372
6.2.2	铅垂直线运动 ($\theta = 90^\circ$)	372
6.2.3	铅垂平面内的平面运动	379
6.2.4	当推力倾角的正切随时间线性变化和推力为常数时的 平面运动	379
6.2.5	当推力倾角的正弦随时间线性变化和推力为常数时的 平面运动	392
	参考文献	396
附录 I	标准大气表 CA-64 (ГОСТ 4401-64)	398
附录 II	国际参考大气 CIRA 1965	406
附录 III	座标系名称中俄对照表	432

飞行力学手册

第一册

〔苏〕C. A. 高尔巴钦科、Э. М. 马卡绍夫 合编
Ю. Ф. 波鲁什金、Л. В. 舍夫切里

常伯浚、滕衣虹、关世义、于风仙 译

关世义、常伯浚 校

国防工业出版社

1974

内 容 简 介

本书是一本工程手册。书中系统而简要地提供了初步研究中叙述和解决各种飞行力学问题所必要的知识。其内容包括：最重要的物理常数，行星的轨道和特性，天体力学基础，地球大气特性，飞行力学中的坐标系，作为常质量或变质量刚体的飞行器运动方程组，作用于飞行器的力和力矩，特殊情况下的直线、平面和空间运动方程的解以及其它参考资料。大部分材料都用表格、图线和公式汇编的形式表示。

本书可供从事飞行力学和相近专业的科学工作者及工程技术人员使用，而且对于高等学校的学生也是有益的。

Механика Полета

С. А. Горбатенко, Э. М. Макашов,

Ю. Ф. Полушкин, Л. В. Шефтель

Издательство «Машиностроение»

Москва 1969

★

飞行力学手册

第 一 册

〔苏〕С. А. 高尔巴钦科等 编

常伯浚、滕衣虹、关世义、于凤仙 译

关世义、常伯浚 校

★

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

★

787×1092 1/32 印张14 291千字

1974年12月第一版 1974年12月第一次印刷 印数：0,001—5,000册

统一书号：15034·1346 定价：1.45元

译 者 的 话

为适应我国航空和宇宙航行科学技术蓬勃发展的需要，遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，我们翻译了这本《飞行力学手册》。全书共两册。

本书介绍了飞行器初步设计和研究中常用的飞行力学知识，其中对于飞行力学中的坐标系，飞行器的运动方程以及作用于飞行器上的力和力矩作了较详细地叙述；同时还介绍了天体力学的基本知识以及两种地球大气模型等等。大部分材料均用表格、图线、公式汇编的形式表示。因此，本书便于从事飞行力学和有关专业的工程人员参考和使用。翻译时，将原书不适用的地方，作了一些删节；凡经我们发现的错误、遗漏的地方，均作了补正。另外，我们还将原书的附录Ⅲ改为“坐标系名称中俄对照表”，以便读者查对。但由于水平所限，时间较紧，书中一定还有许多错误和不当之处，恳请读者随时批评指正。

赵震炎、庄逢甘、肖业伦等同志曾仔细审阅了全部手稿，并提出了许多宝贵意见；另外，书中的天文学和天体力学部分曾得到北京天文馆有关同志的热情帮助。在此，谨向这些同志表示衷心的感谢！

译 者

前 言

随着飞行器和现代飞行力学的发展，愈来愈感到缺少一本使用方便、叙述紧凑的飞行力学工程手册。

目前，由于缺少此种手册，工程人员选择和整理所需的资料成为一个很困难的过程。此外，还由于在内容及研究的深度方面，所用的限制和假设条件以及数值的符号等的不同，也时常使资料的应用遇到很大的困难。同时应当指出，许多重要的研究成果分散在期刊和文集里面，使广大读者不易看到。

本手册包括初步研究中为解决大多数飞行力学问题所必需的知识。

第一章提供了最重要的物理常数和单位换算表；

第二章援引了关于太阳系行星轨道的简要知识并提供了地球大气模型（CA-64 和CIRA 1965）；

第三章叙述了飞行力学所用的座标系以及它们之间的变换公式。在飞行力学中，明确地描述和适当地表示所用的座标系具有很大的意义，所以要用国家标准详细地加以规定[●]。但是，近来随着飞行力学中新的科学技术方向的出现（除了古典的近地飞行力学和天体力学外，出现了火箭动力学，天文动力学，导引，导航和自动控制问题等），大大增加了所

● 苏联曾于1941年用全苏标准对飞行力学中的座标系作过规定（见ГОСТ 1075-41）。其它国家也有类似的规定。——译者

用坐标系的数量。因此，旧的标准已不能满足飞行力学的新问题的要求。作者提出了自己的分类体系和关于坐标系的描述，其中尽可能考虑到已形成的传统和现行的标准。本手册对所有坐标系均采用十进位的分类方法，这样，可对坐标系制定一套简便的编码符号。新的分类方法需要规定新的名称。例如，与原点位于地球中心和太阳中心的地心和日心坐标系类似，将原点位于飞行器质心的坐标系称为飞行器中心坐标系；

第四章中，相应于前章所阐述的坐标系，列出了封闭的飞行器运动方程组，这方程组由质心运动方程、绕质心的运动方程、质量变化方程以及运动学关系式、位置和角度关系式所组成。同时还指明，是在何种坐标系中列出这些方程式，相对于何种坐标系研究运动以及取何种坐标系为惯性参考系；

第五章中列有作用于飞行器上的力和力矩的表达式，这些力和力矩是用空气动力系数表示并在不同坐标系中写出的。本章还列有在不同坐标系中的过载分量的表达式；

第六章用解析法和图解法研究了飞行器质心运动的某些特殊情况，并根据某一参数为零或常数将它们分为直线的、平面的和空间的运动。

书末附录 I 和附录 II 援引了标准大气表 CA-64 (ГОСТ 4401-64) 和国际参考大气 CIRA 1965。

每章末的参考文献目录可供需要时查阅。

书中的量纲主要引用国际单位制(СИ) ГОСТ 9867-61。

目 录

第一章 物理量和量测单位	11
1.1 某些物理常数	11
1.2 国际量测单位制 (CM)	12
1.3 公制和英、美制的关系	13
参考文献	18
第二章 天体轨道和地球大气	19
2.1 天体轨道	21
2.1.1 二体问题、开卜勒定律	21
2.1.2 轨道的类型	21
2.1.3 轨道根数和参数	25
2.2 地球大气	44
2.2.1 CA-64 标准大气	44
2.2.2 大气中的风	48
2.3 计算地球大气中的飞行参数用的一些辅助图线	55
参考文献	58
第三章 坐标系	60
3.1 基本定义和座标变换公式 (一般知识)	62
3.1.1 基本定义	62
3.1.2 坐标系的种类及其变换公式	62
3.1.3 直角坐标系的变换。确定它们之间相互角位置的方法	63
3.2 飞行力学中的坐标系和它们之间的变换公式	83
3.2.1 坐标系的分类	83
3.2.2 行星中心坐标系	84
3.2.3 行星表面坐标系	110
3.2.4 宇宙中心坐标系	134
3.2.5 飞行器牵连坐标系	135
3.2.6 各类坐标系之间的变换公式	166

参考文献	171
第四章 飞行器的运动方程	173
4.1 飞行器的基本运动学关系式	175
4.1.1 某些飞行器中心直角坐标系角速度向量的 投影与欧拉角导数的关系	175
4.1.2 机体坐标系C113的角速度向量 ω_1 的投影与该坐标系的 轴和地球坐标系 C118的轴之间方向余弦导数的关系	181
4.1.3 机体坐标系C113的角速度向量 ω_1 的投影与 罗德里格-哈密尔顿参数的导数的关系	182
4.2 飞行力学中的运动方程	184
4.3 行星中心坐标系中的运动方程	186
4.3.1 日心直角黄道坐标系- I OXYZ (II111) 中的运动方程	186
4.3.2 日心球面黄道坐标系 R, χ^*, μ^* (II121) 中的运动方程	187
4.3.3 地心直角赤道坐标系 $Ox'y'z'$ (II214) 中的运动方程	187
4.3.4 地心球面大圆坐标系 $r, \lambda_{opr}, \varphi_{opr}$ (II224) 中的运动方程	188
4.3.5 地心球面赤道坐标系- I r, φ', λ (II223) 中的运动方程	189
4.4 地面坐标系中的运动方程	191
4.4.1 地面直角水平任意坐标系- I $O_T \bar{\xi}_0 \bar{\eta}_0 \bar{\zeta}_0$ (T112) 中的运动方程	191
4.4.2 地面直角水平起飞坐标系- I $O_T \xi_0 \eta_0 \zeta_0$ (T115) 中的运动方程	191
4.4.3 地面直角水平定向坐标系- I $O \xi \eta \zeta$ (T116) 中的运动方程	195
4.4.4 地面球面水平定向坐标系 r, A, ϵ_1 (T123) 中的运动方程	196
4.4.5 地面圆柱水平定向坐标系 r, A, z (T131) 中的运动方程	196
4.5 飞行器牵连坐标系中的运动方程	197
4.5.1 飞行器中心直角主机体坐标系 $Ox_1y_1z_1$ (C111) 中的运动方程	197
4.5.2 飞行器中心直角垂直对称机体坐标系 $Ox_{12}y_{12}z_{12}$ (C112) 中的运动方程	210
4.5.3 飞行器中心直角垂直对称机体坐标系 $Ox_{1y_1}z_1$ (C113) 中的运动方程	210
4.5.4 飞行器中心直角垂直对称半机体坐标系 $Oxyz$ (C114) 中的运动方程	210
4.5.5 飞行器中心直角垂直速度坐标系 $Ox_0y_0z_0$ (C115) 中的运动方程	213
4.5.6 飞行器中心直角垂直对称速度坐标系 (气流坐标系) $Ox_{\Pi}y_{\Pi}z_{\Pi}$ (C116) 中的运动方程	229