

风对发射飞行器 的影响

国防工业出版社

风对发射飞行器的影响

〔美〕 E.D. 盖斯勒等 编

成楚之 译 张炳暄 校



国防工业出版社

内 容 简 介

本书围绕着风对发射飞行器的各种影响作了比较系统的叙述,包括了风场、结构载荷、控制导引等方面的知识。以“土星 V”为例推荐了飞行器各个研制阶段所采用的研究方法和程序,给出了一个比较明确的概念,其中以结构载荷为重点。可供从事飞行器研究的总体、结构、控制、飞行试验等方面的有关工程技术人员、教师、学生作参考。

WIND EFFECTS ON LAUNCH VEHICLES

E. D. Geissler

The Advisory Group for Aerospace
Research and Development of NATO

1970

*

风对发射飞行器的影响

〔美〕 E. D. 盖斯勒等 编

成楚之 译 张炳暄 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

*

850×1168¹/₃₂ 印张 10 255 千字

1976年7月第一版 1976年7月第一次印刷 印数: 0,001—2,500 册

统一书号: 15034·1496 定价: 1.25 元

目 录

第一章 引论	7
1-1 概述	7
1-2 外形选择	12
1-3 “土星族”发射飞行器	16
1-3-1 “土星”级的介绍	16
1-3-2 “土星”的导引和控制系统	23
参考文献	30
第二章 风场	31
2-1 引言	31
2-2 地面风 (150 米以下)	33
2-2-1 测量	33
2-2-2 气象学	34
2-2-3 风剖面	39
2-2-4 风的切变 突风和紊流	41
2-3 飞行风 (150 米~80 公里)	42
2-3-1 测量	42
2-3-2 气象学	44
2-3-3 紊流 (小尺度运动)	48
2-3-4 射向和横越射向 (纵向和横向) 风速剖面	52
2-3-5 综合风剖面	55
2-3-6 风场的统计表示法	65
2-4 发射前的风速监视	66
2-4-1 地面风	66
2-4-2 飞行风	67
2-5 风的全球分布	67

2-6 标准大气和参考大气	68
符号	69
参考文献	73
第三章 空气动力学方面的考虑	76
3-1 引言	76
3-2 在发射台上时起飞前的载荷	78
3-2-1 定常风下的载荷计算	79
3-2-2 非定常风下的载荷估算	86
3-2-3 地面风载和发射运用	88
3-3 飞行载荷	90
3-3-1 定常状态的空气动力学	90
3-3-2 非定常载荷	111
符号	116
参考文献	117
第四章 航空结构设计中的结构概念	122
4-1 引言	122
4-2 刚体飞行载荷	124
4-2-1 轴向力	127
4-2-2 弯矩	128
4-2-3 法向剪力	131
4-3 发射前和发射时的载荷	131
4-4 飞行中弹性体和推进剂的影响	133
4-4-1 飞行器的模态和自然频率	134
4-4-2 飞行器对飞行风的响应	145
4-4-3 推进剂动力学	160
4-4-4 纵向运动的影响	168
4-4-5 扭转与横向模态的耦合	176
4-5 飞行器结构设计	170
符号	176
参考文献	178

第五章 导引和控制 180

5-1 引言 180

5-1-1 风对导引对象的影响 181

5-1-2 风对控制对象的影响 182

5-2 导引的概念 186

5-3 常规的控制设计 188

5-3-1 刚体飞行器模型 188

5-3-2 包括结构弯曲和燃料晃动动力学影响的飞行器模型 193

5-3-3 控制系统的选择 195

5-4 新的控制概念 208

5-4-1 新的载荷减轻系统 208

5-4-2 最恶劣风的确定 215

5-4-3 随机方法 216

符号 219

参考文献 220

第六章 飞行中风与飞行器的相互作用的分析方法 222

6-1 引言 222

6-2 确定的飞行器的动力学分析 223

6-2-1 刚体方程 223

6-2-2 方向余弦和欧拉角 224

6-2-3 力和力矩 227

6-2-4 控制方程和发动机的伺服系统 230

6-2-5 弹性体方程 231

6-2-6 简化的运动方程 233

6-3 飞行器动力学的统计分析 237

6-3-1 一般的统计概念 237

6-3-2 功率谱分析 242

6-3-3 非平稳统计方法 244

6-4 计算方面的考虑 252

符号 253

参考文献 255

第七章 飞行器对大气扰动的响应	256
7-1 引言	256
7-2 估算响应的参数	256
7-3 分析基础	262
7-3-1 刚体	262
7-3-2 弹性体	268
7-3-3 推进剂晃动	274
7-4 风的特性对响应的影响	279
7-4-1 单独风剖面	279
7-4-2 飞行器对风的全体之响应	280
7-4-3 对综合剖面的响应	297
7-4-4 使用风场统计的响应	300
7-4-5 方法比较	304
7-5 飞行器模型的改善	310
7-5-1 风的浸透性	310
7-5-2 气动弹性	316
符号	317
参考文献	320

风对发射飞行器的影响

〔美〕 E. D. 盖斯勒等 编

成楚之 译 张炳暄 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书围绕着风对发射飞行器的各种影响作了比较系统的叙述,包括了风场、结构载荷、控制导引等方面的知识。以“土星 V”为例推荐了飞行器各个研制阶段所采用的研究方法和程序,给出了一个比较明确的概念,其中以结构载荷为重点。可供从事飞行器研究的总体、结构、控制、飞行试验等方面的有关工程技术人员、教师、学生作参考。

WIND EFFECTS ON LAUNCH VEHICLES

E. D. Geissler

The Advisory Group for Aerospace
Research and Development of NATO

1970

*

风对发射飞行器的影响

〔美〕E. D. 盖斯勒等 编

成楚之 译 张炳暄 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

*

850×1168¹/₃₂ 印张10 255千字

1976年7月第一版 1976年7月第一次印刷 印数: 0,001—2,500册

统一书号: 15034·1496 定价: 1.25元

目 录

第一章 引论	7
1-1 概述	7
1-2 外形选择	12
1-3 “土星族”发射飞行器	16
1-3-1 “土星”级的介绍	16
1-3-2 “土星”的导引和控制系统	23
参考文献	30
第二章 风场	31
2-1 引言	31
2-2 地面风 (150 米以下)	33
2-2-1 测量	33
2-2-2 气象学	34
2-2-3 风剖面	39
2-2-4 风的切变 突风和紊流	41
2-3 飞行风 (150 米~80 公里)	42
2-3-1 测量	42
2-3-2 气象学	44
2-3-3 紊流 (小尺度运动)	48
2-3-4 射向和横越射向 (纵向和横向) 风速剖面	52
2-3-5 综合风剖面	55
2-3-6 风场的统计表示法	65
2-4 发射前的风速监视	66
2-4-1 地面风	66
2-4-2 飞行风	67
2-5 风的全球分布	67

2-6 标准大气和参考大气	68
符号	69
参考文献	73
第三章 空气动力学方面的考虑	76
3-1 引言	76
3-2 在发射台上时起飞前的载荷	78
3-2-1 定常风下的载荷计算	79
3-2-2 非定常风下的载荷估算	86
3-2-3 地面风载和发射运用	88
3-3 飞行载荷	90
3-3-1 定常状态的空气动力学	90
3-3-2 非定常载荷	111
符号	116
参考文献	117
第四章 航空结构设计中的结构概念	122
4-1 引言	122
4-2 刚体飞行载荷	124
4-2-1 轴向力	127
4-2-2 弯矩	128
4-2-3 法向剪力	131
4-3 发射前和发射时的载荷	131
4-4 飞行中弹性体和推进剂的影响	133
4-4-1 飞行器的模态和自然频率	134
4-4-2 飞行器对飞行风的响应	145
4-4-3 推进剂动力学	160
4-4-4 纵向运动的影响	168
4-4-5 扭转与横向模态的耦合	176
4-5 飞行器结构设计	170
符号	176
参考文献	178

第五章 导引和控制	180
5-1 引言	180
5-1-1 风对导引对象的影响	181
5-1-2 风对控制对象的影响	182
5-2 导引的概念	186
5-3 常规的控制设计	188
5-3-1 刚体飞行器模型	188
5-3-2 包括结构弯曲和燃料晃动动力学影响的飞行器模型	193
5-3-3 控制系统的选择	195
5-4 新的控制概念	208
5-4-1 新的载荷减轻系统	208
5-4-2 最恶劣风的确定	215
5-4-3 随机方法	216
符号	219
参考文献	220
第六章 飞行中风与飞行器的相互作用的分析方法	222
6-1 引言	222
6-2 确定的飞行器的动力学分析	223
6-2-1 刚体方程	223
6-2-2 方向余弦和欧拉角	224
6-2-3 力和力矩	227
6-2-4 控制方程和发动机的伺服系统	230
6-2-5 弹性体方程	231
6-2-6 简化的运动方程	233
6-3 飞行器动力学的统计分析	237
6-3-1 一般的统计概念	237
6-3-2 功率谱分析	242
6-3-3 非平稳统计方法	244
6-4 计算方面的考虑	252
符号	253
参考文献	255

第七章 飞行器对大气扰动的响应	256
7-1 引言	256
7-2 估算响应的参数	256
7-3 分析基础	262
7-3-1 刚体	262
7-3-2 弹性体	268
7-3-3 推进剂晃动	274
7-4 风的特性对响应的影响	279
7-4-1 单独风剖面	279
7-4-2 飞行器对风的全体之响应	280
7-4-3 对综合剖面的响应	297
7-4-4 使用风场统计的响应	300
7-4-5 方法比较	304
7-5 飞行器模型的改善	310
7-5-1 风的浸透性	310
7-5-2 气动弹性	316
符号	317
参考文献	320

第一章 引 论

作者: E. D. Geissler(编者) G. F. McDonough

W. D. Murphree J. C. Blair

1-1 概 述

由于风对发射飞行器的影响是马绍尔宇宙飞行中心 (Marshall Space Flight Center) 特别是航空-宇宙航行动力学实验室的一个主要研究课题, 所以编者建议北大西洋条约组织航空研究与发展咨询组 (AGARD) 的流体力学小组对这个问题写个专著。原稿是在 1967 年 6 月写成的。所包括的全部材料几乎都在各种场合曾以短篇和单篇形式发表过。这个课题对于设计发射飞行器的关系是很大的, 但广泛地研讨这个课题并不现实。有关这个问题的主要论文, 我们可以从参考文献〔1〕、〔2〕和〔3〕中获得一个简要的介绍。

这个专著主要是给从事有关风对发射飞行器影响这个领域内工作的技术人员写的。本书试图介绍下述内容: (1) 一些方法和结果, 用来尽量详细地说明凡是风会影响到空间飞行器设计的那些课题之间的关系; (2) 叙述从初步设计到运用分析的实用研究方法; (3) 以数值结果来说明特定现象的定量重要性的景象。

理想的是, 所有这些应以这样的形式来介绍, 即应能够广泛而容易地应用于所有型式的发射飞行器, 不管所给外形具有什么样的设计特征尺寸。但某些现象以及这些现象的相互关系上的重点及其意义随其基本飞行器参数的变化会发生相当的差异。作者在研制各种尺寸和型式的导弹与飞行器方面有很长的历史, 但对这种研究仍很令人入胜。然而, 准备这个专著所需的努力将大大地超过了能用的时间和资料。

这个专著，主要集中研究大型发射飞行器上风的影响，以“土星族”飞行器为代表。数值例子大多数取自“土星 V”飞行器的研究，“土星 V”飞行器可以说是已设计过的最大型的飞行器了。所叙述的方法是很一般的，但是对特定范围内需要作多少分析以及要考虑的一些临界条件的性质都随飞行器的型式不同而有所变化。在文章中提出了这些变化的几个例子，但是并不能够使这方面具有十分的完整性。这些研究（并非只为了方便）的某些论断是可以作出的，风的影响的重要性一般随飞行器尺寸的增加而增加，因此，对最大型飞行器的结构载荷和控制问题就需要作最有力的分析。通过对大型飞行器上所用方法和一些基本考虑的透彻了解，相对说来就可很容易地将它套用到小型飞行器上。另一方面，这里所陈述的方法还对未来的更大尺寸或更特异设计的发射飞行器也提供了一些有希望的解决途径。对于具有高加速度的小型飞行器，风与结构载荷的关系可能不大，但是最重要的问题是风可能会影响到击中目标，特别是当地面目标是需要高精度打击时，在这种情况下，就需要有特别的导引技术，以预期风为基础制作风修正线路置于惯性制导中或置于目标导引装置中，在整个路途中用一个简单的偏压来修正。此类问题不包括在本文中。设计用来对付运动目标的导弹就必须具有很高的横向机动性，因而，风载荷对于结构设计就成了没有意义的因素。

这个专著包括七章，每一章由不同的作者或写作小组编写。当然不如单一作者那样一致和具有内在联系。但每一章相对其他各章都可以单独阅读。

在引论这一章的结尾，有一节专门叙述了“土星族”飞行器，为阅读方便起见，在本章末编辑了一些有意义的数据和特性，列出了一些供更进一步参考的文献。这一节是由 W. Murphree 和 J. Blair 写的。

第二章“风场”由 J. Scoggins 担任编写，对风场特性给出了一个相当精炼的和定量的叙述，以足够的例子说明可用的统计

材料的类型，并且给了某些数量概念。然后，更详细地讨论了用在“土星”研制工作中的综合设计剖面。对风场的其他表示法和风的数据的用法也作了简要的介绍。

在这一章的编写中受到了很大限制，要求篇幅不要太大。有一些实质性的研究工作是在这个实验室及其他地方作的，这涉及到对地面风、较大高度上的风和急流层的详细结构的较好理解，有关这个问题在这里只是触及到了而已。此外对极高空(80公里)上风的现象和大气组成的探测方面的一些当前努力，由于它们对目前的“土星”飞行器的设计作用很小而略去了。

第三章“空气动力学方面的考虑”，是由 T. Reed (非定常流情况) 和 E. Linsley (定常流情况) 编写的。这一章的内容，首先讨论地面风问题，这是一个“难点”，目前对于这个问题还没有充分了解到允许对大型发射飞行器作出实用的和可靠的工程解的程度。在这一节中的正文宁可指出目前认识 and 实际工作上的缺陷，而不讨论许多尚未成功的理论求解方法。

此外，很粗略地叙述了飞行中的非定常流现象，尽管这方面是一个广泛的题目，而且可以很容易地扩写成比这个专著更大的篇幅。但我们认为这样简短的叙述是恰当的，因为实际经验表明：用准定常空气动力学作简单的处理对大部分情况是够用了，因为不管是控制系统的主动阻尼或者弹性弹体振动的结构阻尼作用，都胜过所研讨的这种外形的非定常气动力现象。这种倾向不是对所有外形必定如此，特别是对于具有较大翼面和安定面的外形就不是这样。在这方面已经有了大量的理论计算和实验工作可以更好地了解非定常空气动力学，所列的几篇参考文献已经对此作了说明。

定常空气动力学的讨论不仅概述了教科书上的材料，而且提供了对有关的其他因素的看法。讨论时尽量给出空气动力学不同领域内的一些实用观点和方法，即使某些观点只是间接与风有关。

第四章“飞行器设计的结构概念”是由 V. Verderame 和

G. McDonough 编写的, 开头列出了确定载荷所需要的某些基本关系, 然后讨论了后面进行飞行器对风的响应的动力学分析所需的几个结构动力学因素, 它包括飞行器结构的基本弯曲特性和推进剂动力学, 对后者只作了些很概要的叙述, 因为在最近发表的文献中已经作了很好地描述, 又因为它与前者比较是不太重要的, 大量的讨论集中于描述飞行器结构的动力学模态、频率和阻尼的一些方法和结果上。在估计结构载荷时, 这些特性代表着控制系统的很重要的输入, 而到目前为止, 这是在文献中很少提及的。有关一般飞行器结构设计观点的一节, 特别对控制工程师和空气动力学家是有用的, 同时还可能对不熟悉大型空间飞行器设计的设计者有意义。

偏重于解释性的章节到第四章为止, 第五章“导引和控制”, 是 J. Lovingood 和 J. Blair 写的, 问题的中心是讨论风对导引对象和控制对象的影响, 然后较详细地讨论控制系统的合理综合, 使在给定飞行器结构上的结构载荷最小。这个情况或许是很典型的, 因为外来的限制, 如进度表、制造周期等要求在研制周期的初期就要把结构的设计冻结起来, 而控制系统允许有较大的变化, 它是将要进行最佳化的主要部件。对导引方面叙述得比较简短些是基于这样的事实, 即风对控制系统的影响比风对导引系统的影响要显著得多, 导引系统只是在第二级飞行时才有作用, 这时, 对“土星”飞行器来说, 大气影响差不多是可以略去的, 此外, 由空间飞行器导引系统所产生的载荷与控制力一般是很小的。第五章的重点是观点和一般关系式, 而不是数值结果, 数值结果在后面的第七章中会有更详细的叙述。

超越于使用在目前发射飞行器上的系统的新控制概念的讨论也十分简短, 因为这个课题的大量研究是由马绍尔宇宙飞行中心和其他地方作的, 可能不适合这本专著的内容, 同时也已经有不少公开的文献了。毫无疑问, 新的控制概念代表着下一代发射器上必然会出现的一些重要变化。完成这项艰巨的弹上计算的基本工具