

# 航空航天 纺织材料学

刘长明 主编



航空工业出版社

## 序 言

航空航天用的降落伞和个体防护救生装备等，在我国研制和生产已有三十几个春秋。一具降落伞所用纺织材料的品种一般达五十项左右，按其所占重量来说，一具人用降落伞上所用的纺织材料占整具伞总重的80%以上；一件救生服装所用的纺织材料，占救生服装所用材料品种的90%左右。从用量方面可以看出纺织材料与降落伞和个体防护装备关系的密切。

我国航空航天降落伞等产品用的纺织材料经历了由天然纤维到化学纤维的发展过程。为降落伞和个体防护救生装备性能逐步提高提供了物质基础。50年代，我国共研制成功44项纺织材料，主要是棉纤维、蚕丝、苧麻等天然纤维。以天然纤维织物制造的救生伞，最大适用机速仅为400公里/小时。而且用天然纤维织物制造的降落伞重量也很重。当时一具伞兵伞重达17千克，备份伞重为7.5千克，一位伞兵每次跳伞要负重24.5千克。60年代，研制成功锦丝织物达160余项，使降落伞性能大为提高，采用锦丝织物制造的伞兵伞和备份伞总重只有16.2千克。这种材料上的革新，使一位伞兵每次跳伞可少背8.3千克，大大减轻了负重。而用锦丝织物制造的救生伞，最大适用机速可达600公里/小时。70年代末，结合航天产品发展的需要，相继开发了20余种高强锦丝织物，使回收降落伞系统重量减轻15%以上。随着我国空间技术科研工作的发展，要求回收的航天飞行器的种类增多。

在导弹研制中，弹头软回收的末级减速，目前均采用织物降落伞。由于再入弹头的弹道系数不断提高，在弹头试验时，对减速器的设计提出了极其苛刻的要求。降落伞必须适应超音速，高动压的工作条件，并应具有耐高温的能力，面对这些使用要求，必须研制性能优于聚酰胺纤维织物的新型纺织材料。故从性能方面来看，可见纺织材料对航空航天降落伞等产品性能影响之重大。

航空航天降落伞和个体装备及其所用纺织材料在我国的发展史，是一部艰苦曲折的创业史。其所以艰苦曲折：一在于我国降落伞和个体装备原有基础是空白，从零开始；二在于研制和生产降落伞和个体防护装备用的纺织材料在我国没有经验，困难很多。经过三十多年的努力，我国已经能独立设计降落伞和个体防护装备，而其所用的纺织材料已经完全立足于国内，基本能满足航空航天科学技术发展的需要。这种成就是我国航空航天科学技术与纺织科学技术紧密结合之硕果。

航空航天用纺织材料的研究在纺织科技领域中所起的重要作用突出表现在两个方面：一是对纺织材料成份、组织结构以及加工工艺与性能间关系的研究，促进了材料的合理使用和新型纺织材料的研制；二是对新型纺织材料的深入研究，促进了纺织材料的测试技术与新型试验设备的发展。

三十多年来，从事航空航天纺织技术工作的领导者、工程技术人员和工人，在党和政府的领导下，为发展航空航天用纺织材料贡献了智慧、付出了劳动，备尝了失误的痛苦和成功的喜悦。我们有责任总结这方面的经验，同时展示航空航天技术的发展对纺织材料新的要求，以推动纺织材料科学技术的进一步发展。因此，我们编写这本《航空航天纺织材

科学》。愿以本书献给航空航天和纺织界的领导者，献给航空航天降落伞和个体防护装备的创业者和研制者，献给行将参加这一专业中来的一代又一代新的研制者，献给纺织界的专业技术人员以及一切关心本专业的朋友们，愿本书能促进航空航天纺织事业的发展，赶超世界先进水平。

本书包括两方面内容：一方面介绍了航空航天降落伞、个体防护装备和纺织材料基本知识；另一方面以降落伞、个体防护装备等各类产品为专题，论述纺织材料的发展，使读者既能获得基本知识，又能预见航空航天纺织材料的未来。

本书得到航空航天工业部、纺织工业部的热心支持，由上海纺织工业局、航空救生装备公司、四川阆中绸厂、重庆纺织工业研究所、航空航天工业部五〇八所、国防科工委五〇七所、中国人民解放军后勤部军需装备研究所、航空航天工业部国营第五一三厂、五二〇厂和五一〇厂等有关专业工程师、高级工程师和教授参与编写。

由于我们水平有限，编写经验不足，本书如有错误、遗漏和不足之处，望读者给予批评指正。

## 《航空航天纺织材料学》

编辑委员会

## 本书编写有关人员

主 编：刘长明

副主编：缪鸿达、邓 笙

编 委：李维仁、丁瑞甫、王家楫、

林华宝、徐锡元、邓 笙、

缪鸿达、刘长明

撰稿人：贾司光、曹俊周、马衍富、

高立美、房瑞华、刘法江、

沈丽碧、黄碧霞、黄 爱、

陈雪君、肖祖强、石延瑞、

丁瑞甫、徐锡元、叶静华、

朱梁成、童纪仁、潘颂文、

惠吟秋

# 目 录

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| 序 言 .....                     | ( I )   |
| 第一编 降落伞、个体防护装备和纺织材料基本知识 ..... | ( 1 )   |
| 第一章 降落伞和个体防护装备等发展概况 .....     | ( 3 )   |
| 第一节 飞行器与降落伞、个体防护装备发展简史 .....  | ( 3 )   |
| 第二节 降落伞概述 .....               | ( 5 )   |
| 第三节 个体防护装备概述 .....            | ( 9 )   |
| 第四节 飞机拦阻装置、空靶及气球等概述 .....     | ( 24 )  |
| 第二章 纺织纤维基本性能 .....            | ( 31 )  |
| 第一节 纺织纤维 .....                | ( 31 )  |
| 第二节 纺织纤维的分类 .....             | ( 32 )  |
| 第三节 纺织纤维主要性能指标 .....          | ( 35 )  |
| 第四节 航空航天用主要纺织纤维性能 .....       | ( 44 )  |
| 第五节 纺织纤维的性能与分子结构的关系 .....     | ( 61 )  |
| 第六节 航空航天用主要纺织纤维的鉴别 .....      | ( 68 )  |
| 第三章 纺纱纺丝概论 .....              | ( 75 )  |
| 第一节 棉纺 .....                  | ( 76 )  |
| 第二节 纺丝 .....                  | ( 84 )  |
| 第三节 缫丝 .....                  | ( 115 ) |
| 第四节 捻线 .....                  | ( 124 ) |
| 第四章 织物概论 .....                | ( 134 ) |
| 第一节 绸布 .....                  | ( 143 ) |

|     |                                |       |
|-----|--------------------------------|-------|
| 第二节 | 带子 .....                       | (153) |
| 第三节 | 绳子 .....                       | (164) |
| 第四节 | 航空材料对织物的特殊要求·· .....           | (170) |
| 第五节 | 特种工业用纺织品品名及品号的规定 .....         | (173) |
| 第五章 | 炼染整概论 .....                    | (175) |
| 第一节 | 绸布绳带线的煮练 .....                 | (176) |
| 第二节 | 绸布绳带线的染色和印花 .....              | (183) |
| 第三节 | 整理 .....                       | (196) |
| 第六章 | 纺织材料性能试验 .....                 | (207) |
| 第一节 | 纺织材料试验室的试验条件 .....             | (207) |
| 第二节 | 试验油样与试验次数 .....                | (214) |
| 第三节 | 常规性能试验 .....                   | (219) |
| 第四节 | 专项性能试验 .....                   | (246) |
| 第七章 | 纺织材料外观质量 .....                 | (263) |
| 第一节 | 外观质量检查及其目的意义 .....             | (263) |
| 第二节 | 特种纺织材料疵点说明 .....               | (263) |
| 第三节 | 绸布外观质量与降落伞和救生服装质量的<br>关系 ..... | (279) |
| 第四节 | 带子外观质量与降落伞和救生服装质量的<br>关系 ..... | (281) |
| 第五节 | 绳子外观质量对降落伞和救生服装质量的<br>关系 ..... | (281) |
| 第六节 | 纺织材料外观质量检查的条件与设备 .....         | (282) |
| 第八章 | 纺织材料的保管和贮存 .....               | (284) |
| 第一节 | 保管和贮存的意义 .....                 | (284) |
| 第二节 | 霉变 .....                       | (285) |
| 第三节 | 老化 .....                       | (289) |

|            |                           |              |
|------------|---------------------------|--------------|
| 第四节        | 贮存期限 .....                | (292)        |
| 第五节        | 结语 .....                  | (297)        |
| <b>第二编</b> | <b>降落伞用纺织材料专论 .....</b>   | <b>(299)</b> |
| 第九章        | 航空航天降落伞用纺织材料 .....        | (301)        |
| 第一节        | 降落伞用特纺材料的发展概况 .....       | (301)        |
| 第二节        | 特种纺织材料在降落伞上的应用 .....      | (308)        |
| 第三节        | 纺织材料几个主要指标与降落伞性能的关系 ..... | (310)        |
| 第四节        | 织物组织结构对材料性能和使用的影响 .....   | (316)        |
| 第十章        | 救生伞与纺织材料 .....            | (320)        |
| 第一节        | 救生伞的使用条件 .....            | (320)        |
| 第二节        | 救生伞对纺织材料的要求 .....         | (321)        |
| 第三节        | 救生伞用特纺材料的现状 .....         | (342)        |
| 第四节        | 救生伞用纺织材料展望 .....          | (346)        |
| 第十一章       | 伞兵伞与纺织材料 .....            | (361)        |
| 第一节        | 伞兵伞及其纺织材料之发展 .....        | (361)        |
| 第二节        | 伞兵伞的特点及其对纺织材料的要求 .....    | (362)        |
| 第三节        | 伞兵伞及纺织材料的改进 .....         | (366)        |
| 第四节        | 我国伞兵伞及其纺织材料发展水平 .....     | (371)        |
| 第五节        | 伞兵伞及其纺织材料展望 .....         | (375)        |
| 第十二章       | 运动伞与纺织材料 .....            | (378)        |
| 第一节        | 运动伞及其纺织材料之发展 .....        | (378)        |
| 第二节        | 运动伞的特点及其对纺织材料的要求 .....    | (380)        |
| 第三节        | 运动伞及其纺织材料的改进 .....        | (387)        |
| 第四节        | 我国运动伞及其纺织材料发展水平 .....     | (403)        |
| 第五节        | 运动伞与其纺织材料之展望 .....        | (406)        |
| 第十三章       | 飞机阻力伞与纺织材料 .....          | (409)        |

|            |                            |       |
|------------|----------------------------|-------|
| 第一节        | 阻力伞及其纺织材料的发展 .....         | (409) |
| 第二节        | 阻力伞用纺织材料的要求 .....          | (415) |
| 第三节        | 阻力伞用纺织材料的展望 .....          | (421) |
| 第十四章       | 航弹伞、投物伞与纺织材料 .....         | (423) |
| 第一节        | 航弹伞与纺织材料 .....             | (423) |
| 第二节        | 投物伞与纺织材料 .....             | (428) |
| 第十五章       | 航天器回收降落伞与纺织材料 .....        | (435) |
| 第一节        | 航天器用的降落伞发展概况 .....         | (435) |
| 第二节        | 航天器回收降落伞纺织材料及其发展 .....     | (437) |
| 第三节        | 航天器回收伞的特点及其对纺织材料的要求 .....  | (441) |
| 第四节        | 纺织材料在火箭导弹等航天器上应用 .....     | (446) |
| 第五节        | 新型特纺材料的研究及展望 .....         | (459) |
| <b>第三编</b> | <b>个体防护装备用纺织材料专论</b> ..... | (473) |
| 第十六章       | 个体防护装备用纺织材料 .....          | (475) |
| 第一节        | 个体防护装备用纺织材料的发展 .....       | (475) |
| 第二节        | 个体防护装备对纺织材料性能的要求 .....     | (478) |
| 第三节        | 纺织材料性能与使用性能的关系 .....       | (482) |
| 第十七章       | 抗荷服与纺织材料 .....             | (515) |
| 第一节        | 过载的防护 .....                | (515) |
| 第二节        | 抗荷服用料的演变过程 .....           | (519) |
| 第三节        | 抗荷服对纺织材料技术性能要求 .....       | (524) |
| 第四节        | 织物的应力-应变特性在抗荷服上的应用 .....   | (528) |
| 第五节        | 抗荷服纺织材料的发展 .....           | (533) |
| 第十八章       | 代偿服与纺织材料 .....             | (535) |
| 第一节        | 代偿服用纺织材料的发展 .....          | (536) |
| 第二节        | 代偿服的特性及其对纺织材料的要求 .....     | (540) |

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| 第三节 代偿服用纺织材料的展望 .....                  | (545) |
| 第十九章 抗浸服透汽不透水布的研制 .....                | (547) |
| 第一节 防寒抗浸服的发展过程 .....                   | (547) |
| 第二节 防水透汽的原理 .....                      | (550) |
| 第三节 透汽不透水布的技术要求与选材 .....               | (551) |
| 第四节 织物的组织结构 .....                      | (554) |
| 第五节 染色工艺 .....                         | (556) |
| 第六节 防水整理工艺 .....                       | (558) |
| 第七节 国产抗浸服透汽不透水布标准 .....                | (561) |
| 第八节 抗浸服试验项目 .....                      | (563) |
| 第九节 抗浸服材料的展望 .....                     | (565) |
| 第二十章 个人防护救生装备与涂胶布 .....                | (568) |
| 第一节 涂胶布在个体防护救生装备上应用概况 ..               | (568) |
| 第二节 涂胶布种类和结构 .....                     | (572) |
| 第三节 橡胶和织物 .....                        | (574) |
| 第四节 胶布加工过程简介及其技术要求 .....               | (587) |
| 第五节 涂胶布制品成型工艺 .....                    | (595) |
| 第六节 个人防护救生装备用涂胶布展望 .....               | (607) |
| 第二十一章 宇航服与纺织材料 .....                   | (625) |
| 第一节 概述 .....                           | (625) |
| 第二节 宇航服的总体设计要求 .....                   | (628) |
| 第三节 宇航服本体各层次结构的设计特点及其所<br>用的纺织材料 ..... | (629) |
| 第四节 宇航服热舒适性的评价方法 .....                 | (642) |
| 第五节 对宇航服所用材料的分析 .....                  | (648) |
| 第六节 宇航服的演变及展望 .....                    | (653) |
| 第四编 其它航空装备用纺织材料专论 .....                | (663) |

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 第二十二章 空靶与纺织材料 .....                | (665) |
| 第一节 空靶与纺织材料之发展 .....               | (665) |
| 第二节 空靶的特点及其对纺织材料的要求 .....          | (666) |
| 第三节 空靶用主要纺织材料的开发 .....             | (671) |
| 第四节 空靶及其纺织材料之展望 .....              | (682) |
| 第二十三章 拦阻网与纺织材料 .....               | (685) |
| 第一节 拦阻网的特点及其对纺织材料的要求 .....         | (685) |
| 第二节 对现有国产拦阻网纺织材料分析 .....           | (685) |
| 第三节 拦阻网用纺织材料展望 .....               | (686) |
| 第二十四章 飞机套罩与纺织材料 .....              | (693) |
| 第一节 飞机套罩及其纺织材料之发展 .....            | (693) |
| 第二节 飞机套罩的特点及其对纺织材料的要求 .....        | (694) |
| 第三节 飞机套罩维纶材料的开发应用 .....            | (695) |
| 第二十五章 飞机座舱固定带、座椅安全带与纺织材料 .....     | (712) |
| 第一节 飞机座舱固定带的特点及其对纺织材料的要求 .....     | (712) |
| 第二节 飞机座舱玻璃软固定带的开发 .....            | (713) |
| 第三节 座椅安全带之特点及其对纺织材料要求 .....        | (717) |
| 附录: .....                          | (723) |
| 一、航空航天用纺织材料机械物理性能表 .....           | (725) |
| 二、航天用研制中的纺织材料机械物理性能表 .....         | (752) |
| 三、国内外航空航天纺织材料用主要计量单位对照与换算关系表 ..... | (756) |
| 四、合成纤维主要品种学名与商品名对照表 .....          | (758) |
| 五、新型纺织材料试制工作程序 .....               | (760) |

# **第 一 篇**

## **降落伞、个体防护装备 和纺织材料基本知识**

1911

1911

1911

# 第一章 降落伞和个体防护装备等发展概况

综观世界航空航天发展史，降落伞与个体防护装备在航空航天事业中的发展是随着飞行器向高空高速发展而不断得到进步。

## 第一节 飞行器与降落伞、个体防护装备发展简史

人类进入空间的理想很早就有。我国古代的神话故事，如“嫦娥奔月”、“大闹天宫”等就是这一类幻想。风筝，孔明灯、竹蜻蜓、木飞鸟、降落伞和火箭等都是我国古代劳动人民设计和制造的各种航空器。

在西方，古代的航空发展大约比我国落后几百年以至上千年。比如气球的前身一烟囊，类似我国的小球灯（即孔明灯），其发明比我国迟一千年。火箭的发明，在我国唐朝就开始了。降落伞的应用，据《史记》记载，公元前2000多年虞舜就曾用过。中国古代劳动人民在航空方面取得的这些辉煌成就，到了近代却未得到进一步发展。其原因是众所周知的。

1783年第一个热气球腾空，带的是鸡、鸭、羊等，升空仅达450米。此后1875年将近一百年时间内，气球升空数以百计，有的气球带人升空至8,000余米，其间曾发生不少事

故，有因寒冷而冻伤，有因缺氧而丧失意识，如1875年，三个法国人由气球吊篮上升至8 000多米，因缺氧二人死亡，幸存一人。这个时间个人防护装备主要是皮帽、羊皮衣和皮靴，连指手套、氧气枕。

1903年12月17日，美国莱特兄弟发明的飞机试飞成功。试飞最远只260米，在空中持续约一分钟。到1912年，飞机续航时间已为13小时17分，速度为200公里/时；1913年飞机升限已达6 150米。这十年中，飞行员主要遇到寒冷、气流、低气压，风雨等问题。飞行员的保护装备仍是皮帽、皮衣、皮靴、皮手套、围巾、防风镜等。1911年，俄国发明家Г.Е.柯捷里尼可夫发明了航空包式降落伞，揭开了救生装备发展史的序幕。

1914~1918年，第一次世界大战期间，飞机用作侦察、轰炸等军事用途。到1919年，飞机速度为220公里/时，升限为8 000米，航程440公里。这期间产生了很多航空医学问题，除寒冷、气流、低气压外，还产生了空晕、通讯、飞机失事跳伞等问题。已经开始有电加热服、电加热靴、电加热手套，滤光镜、救生衣、氧气面罩，安全带和降落伞等装备。

1939年~1945年 第二次世界大战期间 飞机速度为700公里/时，飞机升限为17 000米，航程达13 000公里。由于飞机飞行高度和续航时间增加，发生了前所未有的问题，如冻伤、缺氧症、减压病、飞行疲劳、视觉障碍和超重、坠入海洋等问题。这时期已出现加压服、加压头盔、保护头盔、氧气面罩、抗荷服、夜航镜、抗浸服、通风服和海上救生衣等装备，还应用了加压舱和弹射座椅。

目前，飞机性能已达到很高的水平。最大水平飞行速

度：涡轮喷气飞机达3 523 公里/时；火箭飞机达7 292 公里/时。动力升限：涡轮喷气飞机达36240米；火箭飞机达95935.99米。航程：涡轮喷气机为20168.78公里。飞机性能的提高产生了大量的航空医学问题，飞行员不得不穿着种类繁多的个体防护装备。

1961年4月12日，人类第一次载人(加加林)宇宙飞船在环绕地球一圈后，乘降落伞安全返回地面，开始了人类宇宙航行的新纪元。1967年7月16日“阿波罗”11号完成了人类第一次登月飞行，有两人登上了月球。1971年8月13日，“阿波罗”15号又登上了月球，两名宇宙航员乘“月球车”在月球上巡行三次，跑了约28公里，收集月球标本77千克。1972年12月10日，“阿波罗”17号再次登上月球，两位宇航员在月球上度过75小时。月球环境十分恶劣，可见宇航员的个体防护装备已达到相当的水平。

1972年，美国尼克松政府批准耗资55亿美元的航天飞机计划，于1981年首次试飞成功，掀开了航天技术新的一页。1986年8月15日，美国里根政府拨款28亿美元，进一步发展航天飞机。航天飞机飞行轨道为300~500公里，停留2-7天。为了防止在30 000米以上高度发生故障，宇航员需要穿能耐高温的密闭式加压服。

## 第二节 降落伞概述

降落伞是由柔性纺织品制成的伞状气动减速器。平时折叠于伞包内，通过连接部件与人体或物体相连。使用时展开以增大人体或物体运动阻力，减低降落速度，稳定运动姿态，达到安全着陆的目的。它可用于航空救生、设备空投、

跳伞运动、空降伞兵、森林救火、飞机着陆减速和高空回收。

## 一、降落伞一般构造

降落伞通常由引导伞、伞衣套、伞主和背带(或捆带)等主要部件组成。引导伞是由伞衣、伞绳组成小而轻的伞,它的作用是将主伞拉出、拉直,使主伞顺利张开。伞衣套是一个筒形的套,它套在主伞衣外面,使主伞衣按一定程序张开并保护主伞衣不被吹乱而损坏。主伞衣是降落伞的主体,由伞衣幅、加强带和伞绳组成。主伞衣展开后即可增大阻力面,起减速和稳定姿态的作用。背带系统由高强度的带子和钩、环等组成,用来捆绑在人体或物体上面,使之与主伞连接。

## 二、种类和用途

降落伞种类繁多,分类方法也不尽相同,按伞衣结构特点分为密织物伞和开缝织物伞两类。密织物伞按伞衣结构形状又分为平面圆形伞、圆锥形伞、底边延伸伞、半球形伞、导向面伞、环形伞、十字形伞和翼伞等;开缝织物伞又分为平面带条伞、锥形带条伞、环缝伞、环帆伞和盘-缝-带伞等。

降落伞按用途分为救生伞、投物伞、飞机阻力伞、航弹伞、伞兵伞、运动伞和回收伞等。

### (一)救生伞

救生伞是在飞机失事时营救飞行员生命的装备。救生伞装在弹射座椅上,在应急弹射和座椅分离后,飞行员乘张满的救生伞安全下降到地面。救生伞与人体的连接采用背带、背带通过肩、腰、裆紧缚在人的躯干上,以分散传递救生伞