

实用喷射技术

辛承梁 编著



北京科学技术出版社

实用喷射技术

辛承梁 编著

北京科学技术出版社

（京）新登字207号

实用喷射技术

辛承梁 编著

*

北京科学技术出版社出版

（北京西直门南大街16号）

邮政编码 100035

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

三河市科教印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 6.875印张 154千字

1993年5月第一版 1993年5月第一次印刷

印数1—2000册

ISBN7-5304-1299-X/T·279

定价：5.20元

内 容 简 介

喷射技术已从一项古老的发明发展成为当代高新技术，现在被广泛应用于工业、交通、国防、农林、医疗以及人们的日常生活之中。本书共有10章，分别介绍喷气、喷水、喷雾、喷砂、喷浆、破碎、切割、清洗、造型及控制等100项实例。本书集实用技术与科学普及知识为一体，结构严谨，图文并茂，通俗易懂。

本书适合于大专院校及中等专业学校师生、科技人员及有关工厂企业的职工、干部参考。

前 言

喷射技术是一门古老的技术，也是当今普遍推广的实用技术，有的还是现代高新技术，如火箭技术、高压水射流切割技术等。根据喷射技术在国民经济和日常生活中的应用，本书分十章编写：喷气、喷水、喷雾、喷砂、喷浆、破碎、切割、清洗、造型及控制等，共包括100项实例。

本书在编写过程中，作者将推广现代技术同普及科学知识相结合，力求信息量大，可读性强，读者面广。全书内容涉及喷射技术的发展情况，工作原理，主要技术性能、参数，使用条件，优缺点或经济效益及国内外研究动向，并且以介绍国内情况为主。各章之后附有参考文献，著译者多为该项技术的专家。如有需要深入了解者，可查阅参考文献，进行详细研究。

本书的另一个特点是图文并茂，不仅可作为大学生、研究生、科技工作者全面了解喷射技术开发应用的参考读物，而且能够使领导干部和经营管理人员开拓视野。一般读者也可从中得到许多有益的知识。

实用喷射技术是一个庞大的家族。射流基本原理的内在联系，是形成本书的理论依据。为了反映射流的共性、各个领域的特点及单位换算，书后增设了附录部分。

限于作者从事的专业范围和水平，书中难免有不当之处，热诚欢迎批评指正。

作 者

1992年10月于北京

目 录

第一章 喷气	(1)
1.1 开发太空,造福人民.....	(1)
1.2 火箭飞行	(2)
1.3 航天飞机和空天飞机	(5)
1.4 气垫船	(7)
1.5 气垫导轨和气垫车台	(8)
1.6 气浮轴承	(11)
1.7 燃烧装置烧咀	(13)
1.8 氧气顶吹炼钢与吹氩搅拌钢包	(16)
1.9 扑灭油井大火的新装置	(18)
1.10 喷射式厨房排烟柜	(19)
参考文献.....	(21)
第二章 喷水	(22)
2.1 自由射流式水轮机	(22)
2.2 射流泵	(24)
2.3 高压水射流反冲推进	(26)
2.4 喷水灭火	(28)
2.5 矿山采掘机械喷水钻头	(30)
2.6 铸钢件水射流清砂	(31)
2.7 喷灌	(33)
2.8 高压水射流消除隐患	(35)
2.9 高压水射流破碎制浆	(37)

2.10 医用水射流清洗及无针注射	(40)
参考文献	(41)
第三章 喷雾	(42)
3.1 雾化法制造金属粉末	(42)
3.2 热喷涂	(45)
3.3 液体燃烧喷咀	(46)
3.4 汽车化油器和喷油器	(49)
3.5 油雾润滑	(51)
3.6 喷雾降温风扇	(53)
3.7 水射流除尘风机	(55)
3.8 文丘里除尘器	(57)
3.9 航空喷撒	(59)
3.10 各种各样的喷雾机具	(60)
参考文献	(62)
第四章 喷砂	(63)
4.1 固体干粉灭火	(63)
4.2 喷砂机械加工	(64)
4.3 喷砂除锈	(67)
4.4 喷丸、抛丸清理	(68)
4.5 喷冰清洗表面	(70)
4.6 粉末喷涂	(72)
4.7 高压水射流喷砂处理钎具表面	(75)
4.8 气体循环型流动粒子热处理炉	(76)
4.9 袋式除尘器喷吹清灰技术	(78)
4.10 能使皮肤细嫩的仪器	(80)
参考文献	(80)
第五章 喷浆	(82)

5.1	喷射混凝土	(82)
5.2	高压喷射注浆法	(84)
5.3	高压喷射搅拌法	(86)
5.4	三重管喷射注浆防渗止漏	(89)
5.5	注浆法掘进井筒	(90)
5.6	注浆加固围岩及堵水	(92)
5.7	机器人抹灰	(93)
5.8	浆液循环磨料射流	(94)
5.9	高压水射流喷浆除锈	(96)
5.10	高压无气喷涂	(98)
	参考文献	(101)
第六章	破碎	(102)
6.1	水力采煤	(102)
6.2	水射流钻孔采矿	(104)
6.3	高压脉冲水射流——水炮	(106)
6.4	高水压破岩——水爆	(108)
6.5	高压水冲毛	(110)
6.6	注水软化, 注水防灾	(111)
6.7	加长喷嘴钻井钻头	(113)
6.8	水射流岩石钻机	(115)
6.9	反坦克穿甲弹	(117)
6.10	脉冲水射流粉碎胆结石与尿道结石	(119)
	参考文献	(121)
第七章	切割	(123)
7.1	高压水/磨料射流切割	(123)
7.2	高压水/磨料射流切割机床	(125)
7.3	高压水射流复合材料切割装置	(127)

7.4	高压水射流切削混凝土	(129)
7.5	高压水射流切割花岗岩深槽	(130)
7.6	磨料射流切割深槽技术拆除核设施	(132)
7.7	高压水射流切割石棉水泥制品	(134)
7.8	用空化水射流快速切割	(136)
7.9	高压水射流裁剪服装和鞋料	(138)
7.10	水射流手术刀切除肝脏	(140)
	参考文献	(143)

第八章 清洗..... (145)

8.1	船舶清洗	(145)
8.2	高压水射流清洗石化工艺设备	(146)
8.3	铁路货车转向架水射流清洗流水线	(148)
8.4	水射流清洗矿车	(150)
8.5	水射流清洗核反应堆的放射性残物	(151)
8.6	水射流清洗超高压架线绝缘子	(154)
8.7	建筑物外墙清洗	(155)
8.8	小型多用清洗机	(156)
8.9	水基清洗	(159)
8.10	空化射流清洗	(160)
	参考文献	(162)

第九章 造型..... (164)

9.1	水射流奇葩	(164)
9.2	非圆截面射流的奇妙变化	(165)
9.3	从鲇鱼喷水到韵味效果电影	(166)
9.4	空气幕	(168)
9.5	水幕	(171)
9.6	“巧妙的液体”——电变流液	(172)

9.7	注射成型法	(173)
9.8	磨料水射流加工锥孔	(176)
9.9	雕刻 绘画 印刷	(178)
9.10	美发 美容 化妆	(179)
	参考文献	(181)
第十章	控制	(182)
10.1	无梭纺织	(182)
10.2	水射流切槽定向爆破	(184)
10.3	水射流地下穿送钢丝绳	(186)
10.4	复喷	(188)
10.5	全射流式水射流喷灌机	(190)
10.6	科学灌溉	(192)
10.7	压缩空气压差式料位计	(193)
10.8	高压食品	(194)
10.9	十二生肖“水力钟”	(195)
10.10	超声波加湿器与人工气候环境	(196)
	参考文献	(198)
附录		(200)
1.	单位换算表	(200)
2.	射流结构	(203)
3.	在不同压力下射流功率与喷嘴直径的 关系	(204)
4.	粒度概观图	(205)
5.	常见标准筛制	(206)
综合参考文献		(209)

第一章 喷 气

1.1 开发太空，造福人民

火药是我国古代的四大发明之一，到了宋代已经广泛应用于军事方面，出现了用火药作动力的火药箭，即“火箭”。火药箭的飞行原理和现代火箭完全相同。

勤劳智慧的中国人首先将火药箭应用于飞行方面。根据记载，明代有一个官吏名叫万虎，在公元1500年前后做了一次大胆的火箭飞行实验。他先制成两个大风箏，并排固定在一把椅子上，然后在风箏的骨架上绑了47支火药箭。万虎坐在椅子上，点燃47支火药箭。一声轰鸣万虎消失在火焰和烟雾中。

万虎的实验虽然失败了，但是这种勇敢的首创精神是永远值得称道的。他设想靠47支大火药箭的推力拔地而起，再借风箏的浮力在空中滑翔，这种天才的构思具有划时代的意义。

美国火箭学家赫伯特·基姆在其名著《火箭与喷气》中称万虎为“试图利用火箭作为交通工具的第一人”。为了表彰万虎的业绩，美国科学家还用他的名字为月球上的一座环形山命名。前苏联火箭学家费奥多西耶夫说：“中国人不仅是火箭的发明者，而且也是首先企图利用固体燃料火箭将人载到空中去的幻想者。”^[1]

现代中国航天事业遵循“开发太空，造福人民”的宗旨，

优先发展应用卫星。自1970年以来，我国共有6个型号的长征系列运载火箭研制成功并投入使用。截止1990年底，已成功地进行了28次航天发射。将30颗自行研制的卫星和2颗国外卫星送入预定轨道。

中国目前已成为世界空间强国之一，其中卫星回收、一箭多星、卫星测控、高能低温燃料火箭、地球静止卫星发射技术已居于世界先进行列。“长征3号”火箭总长48.8m多，最长的尾截达18.3m多。它已先后七访长空，均获成功。1990年，“长征3号”在西昌卫星发射中心把“亚洲一号”卫星送上天，标志着中国航天事业“冲出亚洲，走向世界”。

目前我国运载能力最大的新型火箭是“长征2号E”运载火箭，俗称长征2号捆绑式火箭或长二捆火箭。它全长49.7m，起飞重量460t，发动机推力600t，运载能力近地轨道9.2t。它已将美国休斯公司为澳大利亚制造的第二代通信卫星送入离地面200km到1050km的椭圆形轨道，这颗卫星加上面级重量共计7659kg。

中国航天事业的发展引起了世界各国的关注。英国《卫报》载文称：中国的空间计划正处于蓬勃发展的势头。

中国宇航学会在“九一海内外华人航天科技研讨会”上指出，2000年前后，中国航天事业的重点是发展应用卫星和卫星应用。同时，还要瞄准国际航天技术的发展趋势，开展载人航天技术的跟踪研究。

1.2 火箭飞行^[2]

中国是火箭的故乡。早在宋初(公元962年)，当时士兵出身的唐福就制造了世界上第一枚火药火箭——“飞火之箭”。

后来，直到18世纪末叶，我国的火箭技术才开始逐步传到国外。在经历了一段漫长的发展过程之后，美国人戈达德在1926年3月16日成功地把一枚液体燃料火箭送入高空，世界上第一枚液体燃料火箭诞生了。

二次大战期间，德国为了进行侵略战争，曾在极度保密的情况下，积极研制火箭。1942年10月3日V-2液体燃料火箭首次飞行试验成功，揭开了火箭技术发展史上的一个新阶段。现代的运载火箭和导弹武器是在V-2火箭的基础上发展起来的。1980年5月18日至21日，中国向南太平洋海域发射运载火箭获得圆满成功。

火箭能够推动自身通过真空吗？这件事一度并不总是为人们所明白。1920年1月13日《纽约时报》的一篇社论中有这样一段话：“当人们考虑把多级运载火箭作为到月球上去的旅行工具的时候，开始产生了怀疑，……。因为火箭离开地球大气，真正开始漫长的旅行以后，它既不能利用自身存留的燃料的燃烧得到加速，也不能利用它保持原有速度，……。那位享有Clark学院的“讲座”并得到Smithson研究所赞助的Goddard教授，仍然不懂作用和反作用的关系，他也不知道火箭需要有真空以外的某种东西给它以反作用——但愿我们这样说是荒谬的。诚然，他似乎仅是缺乏中等学校里每天都提到的那些知识”[3]。

一般飞机不能脱离地球。这首先是由于飞机所使用的发动机离不开地球大气层中的氧气。没有氧气，飞机所带的燃料就无法燃烧，发动机也就不能产生推动飞机前进的力量。其次，飞机所能达到的速度也不能满足要求。根据计算，一个空间飞行器要想脱离地球，它的飞行速度就起码要达到第一宇宙速度—— 7.9km/s 才行，而飞机飞行速度的最高记录

只有1km/s.另外,飞机的升限也不够,最高记录为36.24 km。所以,要利用飞机达到脱离地球的目的是根本不可能的。

因此,为了摆脱地球引力的束缚,飞向宇宙空间,就必须寻找一种新型的空间运载器。这种空间运载器就是运载火箭。运载火箭使用的火箭发动机不同于其它各种动力装置,因为它消耗的燃料和氧化剂都是由火箭自身携带的,完全不依赖于大气层。这样,火箭发动机就具有了一种先天的优越性,它不仅能够在大气层里工作,而且还可以在真空中长时间地运行。

火箭方程式可以写为

$$V_n = V_e \ln \frac{M_0}{M_k} = I_{sp} g_0 \ln \frac{M_0}{M_k}$$

式中, M_0 为装满推进剂时运载火箭的全重,即在起飞前瞬间的质量; M_k 是运载火箭燃尽推进剂后的质量; V_n 是运载火箭在关闭发动机时的理想速度; V_e 是火箭发动机喷出高温气体的流速或称有效排气速度,其值等于 $I_{sp} g_0$; I_{sp} 是发动机的真空比推力。

所谓发动机真空比推力,就是发动机在高空中每秒消耗1kg推进剂产生的推力,其数值的大小与所使用的推进剂性能和发动机完善性有关。火箭飞行时所用的燃料,一般称为推进剂。有固体推进剂和液体推进剂两种。

1957年10月4日前苏联第一颗人造地球卫星上天,人类终于冲破了地球引力的束缚,实现了长久以来的幻想,开始向宇宙空间进军。1969年7月21日美国“阿波罗号”载人飞船登月,往返时间8天,遨遊太空飞向远离地球38万公里的月球。迈出了人类走向太空的新一步,开创了攀登其他星球的新纪元。

1.3 航天飞机和空天飞机

随着空间技术的不断发展，在运载火箭的家族里又增添了一个新伙伴——航天飞机，并孕育着另一种新飞机——空天飞机。

迄今为止，运载火箭与导弹武器一样，都是一次性使用的运载工具，是所谓“消耗性”火箭。这一特点对应用于军事上的导弹武器来说，无关紧要，但对运载火箭来讲，这种“有去无回”的消耗显然是一个致命的弱点。所以70年代初就提出了制造航天飞机的计划。这是一种可供多次反复使用的火箭发动机推进的飞机，是普通航空飞机和运载火箭的混合体。它既可以在大气层内飞行，也可以在空间飞行；既可以达到飞离地球的轨道速度而把卫星送入轨道，又能在完成任务后返回地球，就像普通飞机那样在机场降落。由此可见，兼有火箭、飞船和飞机三者的性能。美国第一架航天飞机“哥伦比亚号”首次轨道飞行试验，于1981年4月12日至14日按计划完成。并于1982年末正式投入使用^[2]。现在美国已经正式使用航天飞机，把卫星送入轨道。

空天飞机是一种在空间飞行且像普通飞机一样起飞、降落的。为了迎接人类自由往返地球宇宙之日的到来，美、英、德、日正在竞相研制^[4]。

NASP 美国

迄今所花的费用：47400万英镑

预计的全部费用：至少180亿英镑

研究人员：2100人

首次飞行时间：X-30实验飞行器：1993年；空天飞机：

2000年

HOTOL 英国

迄今所花的费用：300万英镑

预计的全部费用：60亿英镑

目前的研制人员：35人

首次飞行时间：2002年

SAENGER 德国

迄今所花的费用：200万英镑

预计的全部费用：约100亿英镑

研究人员：15人

首次飞行时间：超音速飞机搭载、发射小型空天飞机：

2005年

JASP 日本

迄今所花的费用：400万英镑

预计的全部费用：90亿英镑

研究人员：23人

首次飞行时间：HIMES实验飞行器：1994年；空天飞机：2005年

空天飞机将使人类建设宇宙工厂的构想成为现实。

日本大成建设公司的构想是在宇宙工厂里利用无重力的特点生产新材料、半导体和合金等材料。设在大气层外的空中的这个设施里除工厂空间外还有居住空间、能源生成空间和生命维持空间等，各个空间相连结。工厂和居住舱等各设施的底面积为直径4.2m的圆形，由高15m的柱状舱（空间）构成。

美国国家航天局已发表在21世纪初建成“自由”号太空站的计划，日本和加拿大等国决定参加实验空间设施的建设，

日本以支援“自由”号的建设为前提，汇总了这个构想。

航天飞机和空天飞机比翼双飞的日子为期不远了。

1.4 气 垫 船 [5]

气垫船是一种新式交通工具。它不需要道路，可以在沙砾上和草原上以及水面上航行；也可以沿着浅水河流或者在冻土带和北极的雪原上行驶。

气垫船的历史比较悠久。早在1853年，帝俄八级文官建筑师伊凡诺夫就申请过按照他的设计来制造“气浮船”。这是一艘不大的内河船，在船底，由两个人手拉风箱来鼓风。因为两个人的力量根本不可能使船体脱离水面而被拒绝采用。过了许多年，在1934年到1935年，当功率大而重量轻的内燃机出现后，诺奥契尔卡斯克工业学院教授列夫柯夫制成了几艘气垫船。

从形成气垫的方案来看，气垫船可以分成三类。第一类叫做“飞行平台”，它的旋翼放在涵道内，是直升飞机的改进型。第二类是气室式气垫船(图1-1a)。在这种气垫船中产生厚厚的气垫。第三类是喷口式气垫船(图1-1b)。在气垫船周边开有狭窄的喷气缝，强烈的空气流从喷气缝中喷出。为了提高气垫船的经济性，在气垫船周边蒙上软围裙，大大减少了空气的流量。为了使围裙更柔软些，在围裙上切出许多垂直的微小切口。结果形成使气垫船与地面脱离开的“致密的尼龙刷”。“刷子”几乎触及地面，因而可以大大减慢空气的流动，同时能够轻而易举地越过各种不平的地面。计算表明，用这样的气垫时，功率为30~50kW的压气机就能保证升力达到10000N。

1953年，英国设计师柯克里尔设计并制造了长9.15m、