

低温应用工程

——低温在制造 机械 农业 国防等
工程上的应用

李文彬 主编

兵器工业出版社

低温应用工程

——低温在制造、机械、农业、
国防等工程上的应用

主 编 李文彬

副主编 王春武 陈肖熊

关路秋 刘孝慈

兵器工业出版社

(京)新登字049号

内 容 简 介

低温应用工程是把低温技术应用在各个技术领域的一种工艺方法。它是综合科学的新前沿,为解决当今高技术领域中的一些难题提供了新的途径,将对我国工业、农业、国防产生重要影响。

本书是作者十余年来从事低温应用工程研究工作的初步小结,论述了综合是现代科学技术发展的总趋势,并重点介绍了低温技术在多个技术领域应用的机理、特点、工艺参数及控制方法,将几十项成果奉献给广大读者。

本书适合于从事低温应用技术的机械、制造、农业、国防工业的科技工作者阅读,也可作大学低温应用技术有关专业的选修教材。

低 温 应 用 工 程

——低温在制造、机械、农业、
国防等工程上的应用

主 编 李文彬

副主编 王春武 陈肖熊

关路秋 刘孝慈

*

兵器工业出版社出版发行

(北京市海淀区车道沟10号)

各地新华书店经销

北京通县向阳印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 16.625 字数: 407千字

1992年6月第1版 1992年6月第1次印刷

印数: 1-1000 定价: 12.80元

ISBN 7-80038-413-6/TB·19

前 言

低温应用工程是近十余年来才发展起来的一项综合应用技术。早在三千多年前，人类就开始掌握和应用低温技术，并为工农业生产及人们生活服务。

美国人斯科特(R. B. Scott)著的《低温工程》出版于1959年。该书介绍了低温技术的基本原理和部分关键设备的结构及测量仪表的使用方法。其主要内容是如何获得低温的制冷技术，未能将其应用领域作进一步的扩展。1986年，英国牛津大学工程科学系的汉兹(B. A. Hands)主编的《低温工程》，从理论上作了说明。1981年12月，日本冈本定次等著的《机械工厂和低温利用》一书出版，揭示了低温技术在机械加工中的应用。随后，国外大量的文献资料报导了低温技术在工业、农业、医药卫生、国防、航天技术等方面的应用研究。

“低温应用工程”是1986年被列为原兵器工业部重点课题，到目前为止，有8项成果通过部级鉴定，经国际联机检索(ESA系统、DIALOG系统、ORBIT系统)认定“国际首创”或“国内首创、国外未见报导”的结论。课题名称如下：

- (1)电子冷冻切削加工技术
- (2)电子冷冻铸造技术
- (3)低温刀具系统
- (4)热作低温模具系统
- (5)深冷纯冰膜冷砂造型技术
- (6)低温轴承
- (7)低温系统抗胶合能力的试验研究
- (8)便携式冷热器

当今世界被称为“四化”世界，即经济国际一体化，科技世界网络化，产业结构跨国化，金融流通国际化。目前，我国科学技术的发展正处在一个十分重要的转变阶段。这个转变是从邓小平同志提出“科学技术是第一生产力”的方针之后开始的。党的“十三大”明确提出把科技放在经济发展战略的首位。科学技术进入经济发展的主战场已经是刻不容缓的了。

随着科学技术革命的兴起，高技术产业不断产生，传统产业相对饱和，促使我们的经济建设向新的产业转化。这是由于传统产业消耗大量的能源和原材料，带来了严重的环境污染，从而制约着它的发展。由于新兴的高技术产业的开发，对机械产品质量和功能提出了更高的要求。一批机电结合带智能的高、精、尖新产品已经问世，促进了对传统制造工艺的改造和更新；人类要求对生存环境的改善和治理，也促进了无污染工业像雨后春笋一样蓬勃地发展。本书所介绍的内容，正是这种新技术的一部分。

李文彬教授提供了写作大纲、科研成果资料和部分国内外资料，并参与了部分章节的编写及最后审阅工作。李战、刘兴焕、董书田编写第一、二、五、六章；陈肖熊编写第三章；关路秋编写第四、第九至十五章；王春武编写第七章；刘孝慈、陈艳华编写第八章。王玉珍主任药师参与了有关医药民品等部分章节的编写及审定工作。

在本书的编著过程中，沈阳工业学院王尔林教授对本书进行了多方帮助，谨在此表示衷

心感谢。

由于本书涉及的领域十分广阔，我们的水平有限，书中难免有缺点和错误，请读者批评指正。

编者 1989年8月

目 录

第一篇 总 论

第一章 综合——现代科技发展的总趋势	(1)
§ 1.1 综合是科学的必然	(1)
§ 1.2 学科交叉、渗透是综合的必然结果	(2)
§ 1.3 向“无关”学科交叉、渗透是科学发展的新趋势	(2)
§ 1.4 大趋势——机械工程是各种学科的新集合	(3)
§ 1.5 发展新技术, 搞好新综合	(3)
第二章 低温应用工程发展近况	(4)
§ 2.1 国外低温应用工程发展近况	(4)
§ 2.2 国内低温应用工程发展近况	(8)
§ 2.3 低温应用工程研究的主要内容	(9)
第三章 制冷概论	(13)
§ 3.1 制冷发展近况	(13)
§ 3.2 制冷的工程热力学基础	(14)
§ 3.3 机械制冷技术	(22)
§ 3.4 电子制冷技术	(32)
§ 3.5 化学制冷技术	(39)
§ 3.6 其它制冷方法	(44)
§ 3.7 常用制冷剂及其应用	(52)
§ 3.8 制冷技术应用简述	(56)
第四章 水和冰	(58)
§ 4.1 概述	(58)
§ 4.2 水的特性	(58)
§ 4.3 冰的分类	(60)
§ 4.4 冰的特性	(61)
§ 4.5 液膜冰液	(67)
§ 4.6 冰层脱模剂	(72)
§ 4.7 冰层与热	(73)
§ 4.8 冰的应用	(74)
§ 4.9 冰冻液	(74)
§ 4.10 非晶冰	(76)
§ 4.11 热冰	(77)

第二篇 低温制造工程

第五章 低温铸造	(79)
§ 5.1 国内外冷冻造型发展近况	(79)
§ 5.2 冷冻造型	(82)
§ 5.3 电子冷冻铸型	(91)
§ 5.4 冷冻铸型水分凝缩层的特点.....	(100)
§ 5.5 冷砂造型.....	(106)
第六章 低温压力加工	(125)
§ 6.1 低温热作模具.....	(125)
§ 6.2 低温模具的应用.....	(139)
§ 6.3 低温粉末冶金.....	(140)
第七章 低温处理技术	(143)
§ 7.1 概述.....	(143)
§ 7.2 普通冷处理.....	(144)
§ 7.3 深冷处理设备及应用.....	(148)
§ 7.4 工具钢的深冷处理.....	(151)
§ 7.5 金属材料的正、反处理.....	(158)
§ 7.6 液氮中淬火及反处理简论.....	(159)
第八章 低温切削加工	(165)
§ 8.1 概论.....	(165)
§ 8.2 浇液低温切削加工.....	(169)
§ 8.3 喷低温气体冷冻加工.....	(175)
§ 8.4 低温浸泡冷冻加工.....	(176)
§ 8.5 电子冷冻加工.....	(176)
§ 8.6 机械式制冷加工.....	(182)
§ 8.7 低温刀具系统.....	(187)

第三篇 低温机械工程

第九章 低温机械零件	(211)
§ 9.1 低温轴承.....	(211)
§ 9.2 低温齿轮传动箱.....	(213)
§ 9.3 低温主轴.....	(215)
§ 9.4 低温导轨.....	(215)
§ 9.5 冷装技术.....	(215)
第十章 低温机械	(218)
§ 10.1 低温冷脆技术.....	(218)

§ 10.2 水土冻结工程.....	(220)
§ 10.3 冷藏车.....	(226)

第四篇 低温国防工程

第十一章 低温武器装备	(231)
§ 11.1 低温炮管(枪炮身管的冷却).....	(231)
§ 11.2 冰层军舰.....	(234)
§ 11.3 引信系统的温差发电.....	(236)
第十二章 宇航工程	(238)
§ 12.1 人体速冻与复活技术.....	(238)
§ 12.2 低温推进剂火箭发动机.....	(240)
§ 12.3 低温地面实验站.....	(241)
第十三章 军需用品	(243)
§ 13.1 冬暖夏凉的衣料.....	(243)
§ 13.2 冷热罐头.....	(243)
§ 13.3 摩托车调温安全头盔.....	(244)
§ 13.4 水的冷冻淡化与净化.....	(245)

第五篇 其它低温工程

第十四章 低温农业工程	(246)
§ 14.1 低温生物学概述.....	(246)
§ 14.2 种子的低温处理.....	(247)
§ 14.3 人参的活化处理.....	(248)
第十五章 低温民品工程	(252)
§ 15.1 便携式冷热器.....	(252)
§ 15.2 食品低温贮藏机理.....	(252)
§ 15.3 “嘴巴工业”.....	(256)
主要参考文献	(257)

第一篇 总论

第一章 综合——现代科技发展的总趋势

“分久必合，合久必分”，科学技术正在沿着这条路发展下去。科学技术既要进行宏观研究，也要进行微观研究。他们之间是相比较而独立，相比较而存在。“宏”与“微”的相比性、可分性、独立性、相关性，也可以这样讲：没有宏观研究，也就没有微观研究。在宏观研究中，必然存在着许多微观的东西需要人们去认识、去发现、去攻克，而许多微观的综合就是宏观研究。这正反映着局部与整体、部分与全局间的辩证关系。但是，人们一般愿意研究某一具体现象、具体问题，而忽视其全局、整体、综合来进行研究。从全国所发行的几百种科技期刊来看，其中大部分是对某一具体学科进行研究，而进行综合研究的期刊较少。从机械工程来讲，它本身就是交叉学科的综合，既包括机电一体化问题，又包括机、电、光、流、声等的综合。某一成套工程，它既是各学科的交叉，又会与社会学交叉、渗透，既有工序间管理协调，又有原材料、各种工具、成品的管理、运输和销售服务，更不用说其中的技术问题了。

§1.1 综合是科学的必然

不同时期有不同的交叉学科的综合，而每一次综合都推动科学技术向新的层次迈进。就拿现代日本山崎制作所研制的供刀具内部冷却切削实验用全自动机床(24h无人看管)来讲吧，它从普通机床发展到微机自控机床，再发展到柔性制造系统，就包含机械技术的进步。其中，除计算机自控技术外，它还包括机械手系统、检控检测系统、刀具库系统、刀具磨损补偿和自动换刀系统、原材料输入及成品输出系统、机械故障报警及维修诊断系统等。除此之外，它还采用了低温冷刀系统、低温主轴系统、低温导轨系统等。由此可见，综合是科技发展的必然。随着各门学科向纵深方向发展，必然带来新的综合。例如，磁力工程的进展，带来了磁力悬浮轴承、磁力悬浮齿轮、磁力皮带、磁流体密封技术等等。由于磁力工程在机械工程上的应用，使过去无法得到解决的一些技术问题，今天能迅速得到突破，从而又促进了机械工程在新的层次上不断向前迈进。所以我们讲综合是科学发展的必然趋势。

人造卫星系统更是在大范围内科学技术的综合。它除了生命保障系统、发射系统、自控定位检测系统等等而外，还采用了许多不被人们所熟悉的新技术。其中，有由形状记忆合金组成的天线系统，有由3万块左右包括4种耐高温材料组成的耐热瓦系统及各种敏感元件等等，而加工这些设备和材料又必须采用新式的加工工艺和机械设备。由此不难看出，现代某一工程系统都是各门学科的综合。

§1.2 学科交叉、渗透是综合的必然结果

世界上所有机械产品都是学科交叉、渗透、综合的结果。现在要找一种产品完全是机械式的或是其它什么式的单一技术产品是不大可能的。现代科学的发展向“两极”分化。一方面是越分越细，越研究越深入。例如，有些由原来的某一学科中又脱胎出一些新的学科分支；有些在学科间的交叉地带发展自己，产生许多新的学科门类，如极限科学、紊乱科学；有些将某一学科的基本原理应用在新的研究领域，从而产生新的学科，等等。这些在人类科学发展史上是屡见不鲜的。另一方面，又有人把包罗万象的学科进行几种或大部分地综合，从而产生许多新的研究领域，如环境学等。从某种意义上讲，机械工程就是各种工程技术科学的综合。例如，低温工程，它既可以用于机械工程上，也可以用于医疗机械和生物工程上。由于它是刚从制冷技术脱胎而出的新技术，研究的范围更宽广，但往往被人们所忽视，而在美、英、日、苏等国正在大力开发其应用领域。早在第二次世界大战期间，一位名叫乔弗雷·帕克里特的英国人就发明了“冰层军舰”，能够抵挡住德国战舰上的鱼雷和炸弹的袭击。关于冰的学问正在走向科学研究的殿堂。用“帕克里特”冰建造的长60英尺、宽30英尺“冰舰”，在数月的航行中，在接近 16°C 的海水中不被融化，这是人类第一次应用人造热冰的一个胜利。

任何一台机械设备都是学科交叉、渗透、综合的结果。要想制造出一台高质量的产品，没有把各有关学科最新成就融合于该产品上是完全不可能的。从某种意义上讲，一种新技术在单一研究中可能是成功的，但把它融合于新产品中往往又产生许多新问题，需要研究，需要解决。这样，既促进了原有技术的发展，又使该技术在应用中得到深化，两者间是不能互代的，故综合研究也是科学的必然。

§1.3 向“无关”学科交叉、渗透是科学发展的新趋势

在现代科技革命浪潮中，科学的方法论已渗透于社会经济、社会生活各个领域。不同的学科存在不存在共同点呢，有无相关性呢？“协同论”就回答了这一问题。它是以研究完全不同的学科间存在着的共同特征为目的的一门横断学科。

生命科学(生物工程)与机械工程从表面上看本来是无关的学科，搞机械工程的人决不会去接触生命科学，而科学技术发展到今天，人类要实现宇宙航行，就把这两种互不相关的学科紧密地联系起来了。

人们知道，生命是依靠化学反应而存在的。在接近绝对零度(即 -273.15°C)时，化学反应停止，生命就可以永远保存，这就为将来远距离宇宙探索航行提供了新途径。

近几年来，人类发现，在自然界中，许多动物都具有在低温下保存生命的本领，并出现了冷藏人，减慢生命成长步伐。1986年，一支登山队在阿尔卑斯山将冷藏了69年的法国士兵菲立普复活了，从而使生命无限期延长下去的理想得以实现。但一般来讲，人无特异功能的话是会冻死的，而菲立普为什么未冻死反而复活了呢？关键在于速冻。因为人体血液内大部分是水，缓冻会使生物体内细胞液体结成冰块而死亡。1967年，美国进行的人体冷藏是首先把人体的血抽出另外冷冻，人体内换成人造高分子的血进行速冻，就可避免冰块形成。这

样,如有一天,冷藏人要复活的话,首先把血冰解冻,然后把人解冻换血,就成为不增长年龄的活人了。这一切不靠学科交叉、渗透是不可能实现的。

再拿磁力工程与医学的交叉、渗透来讲,人们已经知道,磁场可以治病,可进行磁疗,并发明了各种磁性鞋、磁性腰带、磁背心、磁枕、磁水杯、磁针等,同时也可做成定向药物。人体那里有病就把药物靠磁载体带到那个部位,并且定在那里。据研究发现,药量的60%以上可固定在病灶部位,既可提高疗效,又可降低药物对无病机体的副作用。磁载体是靠外磁场将药物固定在病灶位置的,待病好以后,去掉外磁场,磁载体即可排出体外。这就打破了有病药物跑遍全身的规矩,同时各种磁疗机械也产生了,磁性膏药也将问世。从这里也说明,两种不相关的学科也有相关性。

试问,磁力工程与农业也有交叉、渗透性吗?答曰:有。磁针是将中国传统医学理论与现代的电磁理论相结合的产物。从磁疗发展到穴磁疗法,它们对治疗骨质增生、癫痫、神经性疼痛等有显著疗效。最近研究证明,把磁针插入植物周围的土壤中,就能产生0.005~0.008T的磁场。它能改变土壤的酸性,促进肥料的吸收和有机物的分解,使植物能更好地生长。由此可见,学科间相互借鉴、互为所用的重要性。这就是学科交叉,这就是学科间的渗透,这就是综合。从这里,我们可以悟出向“无关”学科交叉、渗透是科学发展的新趋势的味道来。

§1.4 大趋势——机械工程是各种学科的新集合

产品要更新换代,采用新技术(装备新产品)淘汰老产品、生产新产品是大势所趋。人们都知道,国外所谓80年代的新产品,无非是用各学科的最新成就去改造老产品的结果,而且大都是积木式的,改起来也容易。现在,我国科学技术有了很大进步,有些技术是我国独创的,如果我们用这些技术来改造老一代机电产品,就能够迅速地创造出新产品。例如,低温刀具系统、冷冻加工技术、冷冻永磁吸盘等,如果将它们装在机床上并加以改进融合,就可以制造出新一代的新式机床来。

机电产品必须系列化和组化,在更新换代时,仅更换某一功能组件,就能制造出新的产品。这样就可加速更新换代的进程,省财、省力。现在,我国某些单位搞新产品时,往往从头到尾地研究、制造功能组件,未标准化、系列化,这必然导致新产品研制周期长、投资大、质量差。我们要搞各学科在机电产品上的新集合。

§1.5 发展新技术,搞好新综合

现在,人们已经知道冰在机械工程上有许多新用途。世界各国,有的正在研究冰层导轨技术、冰层运输技术、冰层轴承、冰层齿轮技术,有的正在研究冰层的力学性质、冰层结构、人造复合冰、热冰、复膜冰、冰与其它物质的结合、结合界面力学等等,这无疑将推动其应用面的扩展。现在,国外出现的所谓自冷罐头、低温医疗技术等,其中大都经过冰来完成的。因此,这种新趋势是否会带来摩擦学的新动向呢?是否会带来机器中滑动摩擦面新的研究趋势呢?我们一定要掌握广博的知识,以便在新的层次上进行综合。

第二章 低温应用工程发展近况

§2.1 国外低温应用工程发展近况

低温应用工程是近10余年来才提出和发展起来的一项覆盖面很广的综合技术。在50年代以前,低温仅在为数不多的几个实验室里作为揭示物性的手段。50年代末,液氧、液氢作为火箭燃料先后成为现实。美国斯科特著的《低温工程》出版于1959年。该书介绍了低温技术的基本原理和部分关键低温设备的结构及测量仪表的使用方法。其主要内容是如何得到低温的制冷技术,未能将其应用领域作进一步扩展。1986年,英国牛津大学工程科学系的汉兹主编的《低温工程》,从理论上作了说明。1981年12月,日本冈本定次等著《机械工厂和低温利用》一书出版,揭示了低温技术在机械加工中的应用。随后,国外有大量的文献资料报导了低温技术在工业、农业、医药卫生、国防、航天技术等领域的应用研究,取得了一批新的成果。

低温应用工程,从它诞生之日起就受到全世界各国科学家的关注。许多国家不惜重金对它进行开发研究。远的不说,就说超导研究吧,它不过只有70多年的历史。在电子技术中,超导电子技术是大有作为的,对于它的研究和应用,各国已付出重大的代价。这个代价就是超导体目前还离不开低温这个条件。在空间技术中,需要在地面建立宇宙模拟设备,而低温制冷是宇宙模拟设备的基本组成部分,它提供温度77K以下的冷屏,同时获得无油超高真空。在空间遥感技术中,其仪器也要用半导体小型制冷器。从这里不难看出它在技术领域中的地位。

一、低温制造工程

第二次世界大战后,低温切削得到很大发展。从1953年至1966年,国外曾在实验室将低温技术应用于机械加工,获得一定成功。主要是用冷冻液(气)喷浇工件。冷却方法采用液氮、液态二氧化碳等,使切削性能得到改善,但因实现困难未被推广。正如日本川口寅之辅教授所说:“利用低温脆性的切削法,在实际应用上还存在一些难以解决的问题,所以把实验室里能做到的事,实际应用于生产实践中,还是十分困难的。”1959年,益子等教授对低温切削效果在理论上首次作了明确解释,阐明了材质的低温脆性、难加工材料的加工、刀具寿命延长等理论问题,并从实验中得到证实,随后对冷刀技术进行开发研究。1982年,美国用冷冻液和干冰对热塑性材料进行冷冻加工获得成功,但未能解决工艺复杂的应用推广问题。

1986年初,苏联《社会主义工业报》所载《用冷冻法固定零件》一文中说,机床工早就知道,固定质脆、形状复杂的扁平零件困难很大。瑞士专家提出用冷冻固定零件。无论是非常小的零件,还是比较大的零件,新型固定系统都可以把它们冷冻到一个专门的支座上,十分简便地固定住,以便在机床上加工。该系统可以固定宽50mm以下,长达370mm的零件。使用这种方法不产生变形和机械损伤。

零件冰冻和解冻时间,根据水温、环境、被固定零件的厚度,从20s到2min。为实现这种固定方法,制造了专门的电子控制系统和连接在普通自来水管路上的水调节机组。这就是电

子冷冻切削加工方法。

目前,电子冷冻方法已应用于各个领域。半导体温差电制冷是电子技术和半导体技术的边缘学科,是半导体敏感技术的一个门类,同时也是人工制冷技术的一个分支。电子冷冻技术使用的就是半导体热电偶。

半导体制冷也叫温差电制冷。人们把它简称为电堆、冷堆、热泵或电子冷冻。

电子冷冻在军事上有重要应用。由于它具有制冷、制热和温差发电等功能,目前它正向两极分化:一方面制造微型电堆,用于军事工业;另一方面是大型化,用于工业和民品开发。目前,制冷器结构级联更多的级,可取得更低的温度。其中一、二级不需真空绝热,在空气、干氮和其它惰性气氛中工作即可,而三级以上的冷堆,需用真空绝热。使用六级冷堆的制冷温度可达 $-150\sim-195^{\circ}\text{C}$ 。大型一级冷堆(400×300)产冷量为 525W ,在 300K 热端温度下(热端温度 $T_h=27^{\circ}\text{C}$),冷端所能达到的最低温度可达 $255\text{K}(T_c=-48^{\circ}\text{C})$ 。

1981年,日本山崎制作所研制的供刀具内部冷却切削实验用全自动机床(24h无人看管),其中就采用了低温刀具系统。1986年10月,日本《机械技术》杂志介绍了具有电子冷却装置的高速主轴,由此可以看出低温加工技术逐步走向实用化。

冷冻加工在解决航天技术中有重要应用。例如,由弹性合金制成的振动筒的加工技术,其尺寸形状为 $\phi 18\times 45$,壁厚仅 0.07mm ,要求圆柱度和表面粗糙度都很高,是不可能用现有方法加工出来的,只能靠冰冻膨胀装夹及低温加工技术才能得到解决。

冷冻铸造始于20世纪70年代后期,冷冻造型是用 -196°C 的液态氮作为冷却介质。冻结型砂中的水分,使砂粒间的水膜相互冻结在一起,从而形成一个坚硬的冷冻砂型。冷冻造型法又称“Effset”法造型,是1977年由英国W. H. Booth公司铸造厂发明并协同BOC公司共同开发起来的一种造型方法。它是用液态二氧化碳或液氮吹入型砂中进行冻结,曾浇铸出重 30kg 的铸件。还用冷冻造型法浇注过球墨铸铁、铸钢、铝、铜等铸件。铸件质量好,尺寸精确,造型和浇注时无烟气和其它有毒气体放出。英国已建成了一条冷冻造型自动生产线。它是把脱箱后的铸型型腔表面朝上,再置于铝板上,送入冷冻通道中,当冷冻到所需温度时进行组装、浇注。这种方法适于浇注 100kg 以下的铸件,其生产率为 15箱/h (通过冷冻通道时间未计算在内)。自从此法问世以来,它就引起了不少国家铸造业的极大关注。虽然目前冷冻造型法的报导文章还不多,但从美国、英国、西德、苏联和日本的有关资料来看,这些国家已经做了不少理论和实验研究,确定了冷冻造型的一些主要参数,并准备采用此法进行生产。日本是把铸型浸渍在液氮中冷冻,而工业技术院名古屋研究所采用压入液氮法。1979年,日本通产省拨出5亿日元的预算来开展冷冻铸造的研究,随后开展了“冷砂”的研究工作。苏联也开展了真空冷冻造型的研究。

二、低温宇航及国防工程

第二次世界大战中,由于战争主要在苏联寒带进行,冰天雪地,严寒异常,因而带动了寒带武器装备的新进展。人类摸索出了在冰天雪地的严寒气候条件下作战的新规律,如军需物质的运输,炮弹对冰层的相互作用等。这期间,前面已经提到,一位名叫乔弗雷·帕克里特的英国人,就发明了冰层军舰。

战争的结束,人类对冰的研究开始淡薄。进入20世纪70年代,人造卫星上天,人类开始考虑遨游太空的问题。以多少光年,甚至多少百亿光年的宇宙旅程与人类仅 $60\sim 100$ 年计的寿命,相差“十万八千里”。如何实现宇宙航行,科学家们相继提出了各种延长人类寿命的方

案，但最长也不过百年，到不了目的地就死于旅途飞船上了。又有人设计在飞船上采用人类生命接力棒法，“子子孙孙是无穷尽的”，当到达另一宇宙天体，不知是多少亿万代子孙了。这样，飞船就得是一个小社会，造成生物演生圈。这是人类不希望的。

人们知道，生命是依靠化学反应而生存的，在接近绝对零度(-273.15°C)时，化学反应停止，生命就可以永远保留。人类已经发现许多动物都具有在低温下保存生命的本领。西德科学家从一处两亿年前干涸的古海底层中挖出了一些晶体，把它们放入营养液中，结果培养出40种微生物，大都是从未见过的。“封冻”了两亿年的生命苏醒了。法国用28尾淡水鱼进行冰封实验，两个月后，经升温，结果只有三尾死亡，其余均复活了。后来，人类终于认识到低温的威力，也是使人类不增寿的技术。人体速冻保存及复活技术应运而生了，能否实现将看美国1967年速冻的15具冷藏人的情况。近来，低温生物学得到迅速发展，利用寒冷的稳定效应来延缓生命进程，其技术关键是速冻、融解和恢复。研究表明：冷冻和融解受到脱水作用、冷冻速度的影响。冷冻速度慢，则外部结冰，排水多，留下高浓度盐，使水分子形成冰晶膨胀。当以 100000°C/s 速度冷却时，使其快于水分子生成冰晶的形成速度，生成玻璃体。美国加州奥克兰市“人体冰冻保存公司”的方法是：先把躯体冷却到接近冰点，然后抽出血液，注入人造血液及甘油以防止血液凝固，周围堆放冰块，将躯体再降温至 -79°C ，然后套上隔热袋，放入不锈钢容器，接着在容器四周注入液氮，温度再降至 -195°C 下加以封存，等待将来复活。1986年，在阿尔卑斯山发现了一具冷藏69年的冷藏人复活了。最近，世界各国都在研究人体速冻的一些技术问题，因而又回过头来研究冰，研究冰的特性，出现了热冰等等。我想，利用人类的聪明才智，在不久的将来，人类将会实现宇宙航行，低温增寿技术一定能实现。

最近20多年，低温电子学得到迅速发展。在很低温度下，某些物质具有与正常环境温度下完全不同的物理性质。需要低温制冷的电子学装置主要有以下几种：①红外探测器；②量子放大器；③参数放大器；④激光器等。它们对小型制冷器的共同要求是体积小、重量轻、可靠性高、寿命长、功耗低、降温快、振动小、维护和使用简便等。通常工作温度范围是 $77\sim 42\text{K}$ ，其探测率大大提高。

空间技术的发展也离不开低温技术的应用。人们都知道，人造卫星和宇宙飞船的发射离不开火箭，液氧在化学火箭中可以用作氧化剂，液氢不仅是化学火箭的重要燃料，也是核动力火箭以及未来的太阳能火箭中的推进剂工质，而液氮则可以用来预冷和清洗低温推进剂火箭等。

卫星和飞船长时间在大气层外的宇宙空间运行，那里是一个深低温(约 3K)、高真空($7.5\times 10^{-9}\sim 7.5\times 10^{-13}\text{Pa}$)的环境，易出现冷焊、分子污染以及金属机械性能的变化等。人们必须在地面上对卫星和飞船进行高空环境模拟试验。这一切都离不开现代低温应用工程。

在军事工业及电子元件生产中，也大量应用低温技术，如航空用雷达微波部件的温度控制、红外传感器的冷却、反射镜的冷却、光学显微镜的冷却、人造卫星标准周波发振、微波部件的温度控制、空间公馆、搭载用冷藏车、自动零接点装置，等等。

军品生产大部分依赖于普通机械制造业的进步和发展。一些新的加工方法和途径都可以应用到军品生产上来，而有些产品就分不清是军品和民品。例如，冷热鞋、冷热手套、冷热帽、冷热衣、冷热枕、冷热被、冷热杯等，严寒的冬季，战士站岗放哨离不开它，酷热的夏天战士也能用它。如有冷热罐头就可以取消炊事班，每个家庭也都能尝到优质菜肴了。

三、低温机械工程

英国在奥斯港开展了冰冻混凝土码头的研究工作(即用刨花、锯末加水冷冻,形成比重极轻的浮动码头,并已投入使用),在北部海岸正在着手研制建造冷冻层钻井平台,用以开发海底石油;美国在着手研究无轮冰层汽车、零件的冰冷处理、低温处理及反处理。

冰,特别是热冰,可用于修筑各种工程填筑物——堤、坝、码头、路基等。在军事上,冰和雪被广泛用来修筑防蔽工事——防护障垒、反坦克障碍物、隐蔽体和其它筑成工事。美国曾用海冰修建漂浮的平台,作浮动的飞机场。北极圈的爱斯基摩人用沼泽地冻成的冰块盖房,冬暖夏凉。这种冰块不易融化,如果用它来建造抗洪冰坝,可就地取材,等洪水一退又可自行销毁——融化,省工省事,不留任何痕迹。国外在流砂施工中,用冷冻法紧固流砂,防止塌方,在修路,挖地基,挖战壕中应用,可大大节省工时,缩短工期。

天然气的液化,对于贮存、输送和使用均具有明显的优越性。随着低温应用工程的进步,液化技术定会得到飞速发展。

由于低温技术的进步,各种蓄冷材料开始问世,已研制成各种高于室温条件下不化成液体、具有一定强度和一定形状的固态蓄冷材料及各种在低温下仍有柔软性的粘稠状新材料。

低温轴承、低温减速器、低温(冰层)导轨等一批新的结构设计已开始装备新产品。低温粉碎新技术解决了废钢铁、废塑料、废橡胶、植物花瓣等的粉碎问题,又带来气味、噪声、粉尘的下降,出现了“无污染工业”。

四、低温医疗工程

低温生物学是研究生物组织细胞在低温下生存特性的科学。人的血液、皮肤、各种组织器官、疫苗等在低温下长期储存的方法及机理的研究,人体冻伤机理研究等,需提供制冷装置及其特殊的制冷技术。

美国的人体冷冻公司,把人的躯体或人体的部分器官放入 -195°C 的液氮里保存。使其处于“冬眠”状态,有朝一日再重新解冻,让其复活。这是人类向死亡挑战的尖端研究。它汇集了人类最先进的科学成就。1987年,加州大学冷冻保存研究家西科尔用爱犬作低温冷冻及解冻复活试验获得成功,全美冷冻技术协会会长叶普拉姆宣告:“冷冻保存技术解决了人类最难解决的问题——死亡!”为一些绝症患者等医学昌明复活治疗成为可能。由此可见,低温技术与生命科学的联系越来越密切了。低温医学在实践中得到了进一步的发展。人们利用低温对生物细胞的两种完全相反的作用,发展了一系列先进的低温医疗设备(用以破坏病灶细胞)和低温贮藏设备(用以长期保存生物体)。

所谓低温治疗,主要就是利用低温杀死病灶细胞,使肌体康复。冷冻本身并不能杀死细胞,但由于冷冻温度、速率改变着细胞中溶液的浓度,使细菌生成环境改变而死亡,由此产生了一系列低温医疗机械。苏联已将冷冻外科应用于临床治疗上,并使人工制冷温度达到 -273.18°C 以下。电子冰箱、电子冷冻枪、电子低温制冷器、电子恒温箱、冷热针、冷冻切片、冷刀、降温帽以及冷疗、低温止血、冷冻医疗、冷冻手术摘除白内障、培育试管婴儿等均已应用于临床。

国际上,在制冷学会中已成立C₁专业委员会,其中包括:冷冻医疗、低温生物学、小型制冷器械等。现在, -100°C 以上的冷冻治疗机、 -100°C 以下的冷冻治疗机、治疗癌肿瘤的低溫超导装置均已问世。

五、低温的其它工程

在农业上，低温应用工程已用于种子的低温处理技术、活鱼冷冻保鲜复活技术、动植物原种的保存技术、蔬菜的低温栽培技术、冷冻并储存和运输畜精液等。

在科研仪器上，低温应用工程已用于零点仪、露点仪、冷阱、石英振荡器的频率稳定、标准黑体放射源、标准电器(电容、电感、电阻、电池等)的定标量测，以及增加某些重要电子设备的可靠性，实现恒温要求等。

真空扩散泵的冷阱、化工冶金工业气氛含水量测量，石油工业的凝固点、浊点分析和测量，半导体材料工艺的硅外延生长及控制工艺，航空电器的地面模拟试验，印刷工业定温烘板，照片及X光底片的定温显影，气象中的湿度露点的测定，公害分析用的电子除湿器，电子和化工材料低温恒温的物理试验、例行试验等等，无一不与低温技术有关。

这里特别值得一提的是便携式冷热器(袋、箱、杯)——手提式电冰箱。它同时具有冷冻、加热两种功能，可以算得上是一种万能冷袋，可作成冷袋、冷枕、急救保存袋(断手、器官的保存等)，又可作冷饮或作冰箱用。

总之，可以这样讲，低温应用工程已覆盖所有工程领域，正在走向各种应用技术，随着时间的推移，它将发挥愈来愈大的作用。

§2.2 国内低温应用工程发展近况

冷冻技术具有悠久的历史。我国是世界上最早应用冷冻技术的国家之一，早在3000多年前，就懂得建造冰窖，贮存蓄冷。公元前11世纪编成的《诗经》中已有关于采集、贮存和使用天然冰的记载。公元240年秦朝曾修造过一座冰柱宫殿。到了唐代，冰镇饮料已相当普遍。《齐民要术》中记载有冰雪拌种或将种子浸水后再使其结冰，进行冷冻处理，增强抗寒性，改良种子，提高质量。

1958年，我国开始采用电制冷技术，建立了一批专门的制冷器厂，生产了半导体冷冻切片设备。近年来，一批专业厂生产了一大批新产品，如电子冰箱、冷阱、恒温控制箱等。

冷疗在我国早已开始应用，主要用于冷冻治疗黑痣等。近年来，我国开始对皮肤癌、肝癌等疾病用液氮进行深冷治疗，获得很好疗效。

1984年，我国研制成功的冷热针、白内障摘除器等一批新的医疗器械获得临床应用。随后，冷冻技术在工业上逐步得到推广。近几年研究成功的新技术有：冷冻加工新技术、电子冷刀及低温冷泵冷刀、低温轴承、热冲压低温模具系统、电子冷冻铸造、冷砂造型、便携式冷热器等。

从1972年开始，我国对低温技术进行了初步探索，并应用于机械加工。到1984年，我国基本完成了电子冷冻车削、电子冷冻铣削、电子冷冻磨削、液膜冰液的研究任务。1984年末，以上技术通过部级鉴定。大家一致认为，“冷冻加工新技术”是“机械加工领域中的一项首创”。冷冻加工的实现，使我国有可能放弃传统工艺方法，用液膜冰固定工件代替夹具，用电子冷冻新技术代替传统的液氮等制冷介质，用电源变换实现快速装卸工件和恒温控制等。一些无法加工的材料，特别是航天材料(橡胶件、热塑性件、合成纤维件、脆性材料、极薄件等)找到了一种新的加工方法。无尘、无味，改善环境卫生，零件质量提高，经济效益显著，都具有重要的理论研究价值和实用价值。冷冻加工可应用于各个机械加工领域。

电子冷冻铸造是一种全新方法，解决了一系列难题，从而大大降低了成本，具有普遍应

用价值。接着我们又完成了冷砂造型的研究任务,使冷冻铸造走向实用化。

低温刀具为工件的粗、精加工带来福音。它可把刀体、刀头温度恒定在 -15°C 以下。这种刀具寿命延长,加工精度提高,彻底改变了刀具的冷却条件,节省大量冷却油,改善了环境卫生。经某厂试用受到好评。低温刀具可解决难加工材料60Si2Mn炮弹钢刀具的使用寿命问题。这种刀具结构已商品化,由沈阳环保科学研究所实验厂投产,冷泵用软管连接,使用方便。

低温滑动轴承(冰层润滑)的研究已取得重要进展。在加载条件下,高速旋转的轴颈使轴承始终在 -5°C 条件下工作。这一成果已在全国航空学会动力专业委员会1986年年会上进行交流,并写入会议纪要,刊登在1987年三期《润滑与密封》杂志上,受到专家们的重视。

低温热作模具的研究于1988年6月通过部级鉴定。经实验证明,该技术完全可用于金属型铸造,在结冰状态下浇注,不发生任何问题,为模具的研究开辟了一条新路。

§2.3 低温应用工程研究的主要内容

低温应用工程几乎覆盖了所有应用技术领域,有些项目已被开发,有的正在被开发,但大多数领域是空白。这就需要多方面的人材配合,需要几代人的努力,去开垦新的处女地。其主要内容包括以下几个方面。

一、冷冻机理

制冷与低温技术是指用人工制冷方法,使某一物体或某一空间达到并保持所需要的低温。

从环境温度到123K(-150°C)称普冷区,属于制冷技术研究领域;从123~0K(-273°C)称深冷区,属于低温技术(深冷技术)研究领域。

开展冷冻机理的研究必须区分上述两个阶段。其内容包括:

人造冰层的晶体结构、种类、性质、结晶过程、反溶过程、化学成分及各种添加剂对冰层的影响;

热冰;

冰层的物理性质,如力学性质、传热性质等;

冷冻对金属材料、塑料、非金属材料、复合材料性质的影响;

液膜冰液、冷冻脱模剂等的特性、传热、表面摩擦力与冷冻温度的关系;

冷冻机理、冷阻、冷冻结合力、冷冻参数的选择;

液膜冰液配比、组成、破坏机理;

液膜冰液的物理性质与各种接触表面的关系。

为了开展上述研究,需要有新的试验仪器和可调的低温试验设备,这本身也是科研。我们要研究新的测试手段和新的试验方法,以便满足研究课题的需要。

二、冷源

冷源分电子冷源、物理冷源和化学冷源三类,各有其研究领域。

电子冷源主要指温差电偶对。它在军工、航天领域有重要应用,世界各国都在大力开展这方面的研究工作。其中,6~8级的微型冷堆已经问世,能达到 $-105\sim-195^{\circ}\text{C}$ 的低温,由于军转民的需要,都在大力开拓在民品上的应用。我国目前生产冷堆的单位约十余家,大