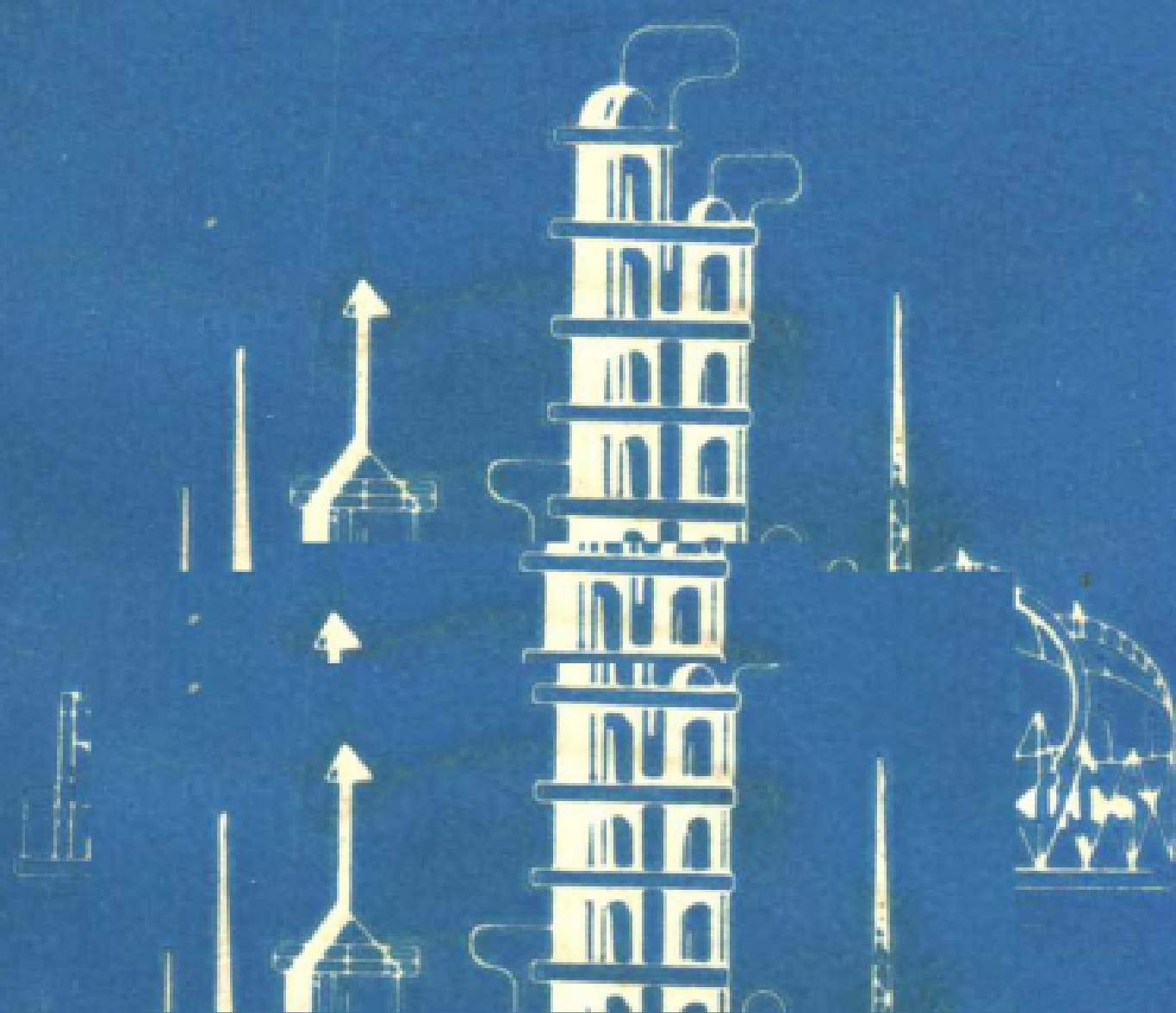


石油化工用泵

第七分册

—— 低温泵、高温泵与高速泵 ——



兰州石油机械研究所

石 油 化 工 用 泵

第 七 分 册

——低温泵、高温泵与高速泵——

甘 肃 工 业 大 学
兰州石油机械研究所 合 编

1 9 7 4 兰 州

石油化工用泵

第七分册

——低温泵、高温泵与高速泵——

甘肃工业大学
兰州石油机械研究所合编

1974 兰州

内 容 提 要

本书是《石油化工用泵》参考资料中的一个分册。资料主要介绍国外石油化工用泵的发展概况、结构特点及工业应用。

本书包括“低温泵”、“高温泵”与“高速泵”三部分，主要叙述低温泵与高温泵的特殊问题、结构特点；介绍日本日机装株式会社制造的高速泵的工作原理、结构特点与性能范围。书中提供了一些国外的结构图表。

本书可供从事石油化工用泵的工人、技术人员及高等院校师生参考。

石 油 化 工 用 泵

第 七 分 册

——低温泵、高温泵与高速泵——

•

兰州石油机械研究所出版
(兰州市七里河区敦煌路125号)

兰州市东方红印刷厂印刷

•

开本787×1092毫米 $\frac{1}{16}$ ·印张 $5\frac{7}{8}$ ·字数12.5万字

1974年1月出版 定价：0.50元

前 言

石油化学工业，是五十年代迅速发展起来的新兴工业，它在国民经济中占有十分重要的地位。预计七十年代仍将继续获得迅速发展。在国外，它的发展速度超过了工业平均发展速度。

石油化学工业的迅速发展，对石油化工用泵提出了新的更高的要求。例如，要求泵能够长期连续运转，并且安全可靠；一旦发生故障，要能很快排除；制造成本和运转费用要低。为了满足这些要求，欧美各国都很重视石油化工用泵的试验研究工作。近年来，国外的石油化工用泵正向着大型化、高速化、特殊化和自动化方向发展。如流量为每小时6000立方米、功率为1900马力的大型屏蔽泵；转速为每分钟24700转的高速泵；压力为每平方厘米4500公斤的高压计量泵等特殊用泵相继出现。

我国的石油化工用泵的生产，在毛主席的无产阶级革命路线指引下，从无到有，发展迅速，很多产品已有了具有我国自己特点的系列。但是，目前有的产品技术水平较低，有些特殊用泵仍还是空白，因此，还不能满足我国石油化学工业发展的需要。

为了促进我国石油化工用泵的发展，努力赶上和超过世界先进水平，我们遵照毛主席关于“**洋为中用**”的教导，组织有关单位搜集了国外有关文献，并编译了《石油化工用泵》参考资料，供从事这方面工作的工人、工程技术人员和高等院校师生参考。

资料包括“离心泵的特性换算与抗汽蚀途径”、“泵轴的密封装置”、“耐腐蚀泵”、“计量泵”、“屏蔽泵”、“高粘度泵”和“低温泵、高温泵与高速泵”等分册，并将陆续出版。其中除“耐腐蚀泵”结合我国材料资源情况，介绍了一些我国材料试验数据和选用原则外，其余分册均为国外资料。

资料中的“离心泵的特性换算”部分和“高粘度泵”分册由华东石油学院顾永泉同志编写，“泵轴的密封装置”分册由北京化工学院化机教研室编写，其余分册均由甘肃工业大学水机教研室和兰州石油机械研究所编写。在编写过程中，我们曾得到兰州化工机械研究所顾兆元同志、兰州石油化工机器厂工人大学郑正平同志以及有关院校同志的协助，特在此致谢。

由于我们搜集到的资料有限，加上编写时间仓促，缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

兰州石油机械研究所

目 录

前 言

低温泵

一、概述	(1)
二、低温泵的一些特殊问题	(3)
(一) 液化气的特点	(3)
(二) 低温泵的汽蚀问题	(6)
(三) 低温泵的材料	(8)
三、低温泵的结构	(12)
(一) 结构特点	(12)
(二) 轴承	(13)
(三) 轴封装置	(14)
(四) 典型结构	(21)
四、低温泵的安装和运转	(29)
(一) 安装	(29)
(二) 保冷	(30)
(三) 除湿	(30)
(四) 预冷	(31)
(五) 起动	(31)
(六) 付泵	(31)
参考文献	(32)

高温泵

一、高温液体	(33)
(一) 高温液体的分类	(33)
(二) 热媒液体的特点和种类	(33)
(三) 热媒液体的用途、选择及使用范围	(34)
二、高温泵的结构特点	(36)
(一) 泵的热膨胀	(36)
(二) 泵的壳体	(36)

(三) 泵的支承.....	(40)
(四) 泵的材料.....	(41)
三、高温泵的密封	(41)
(一) 密封垫片.....	(41)
(二) 填料.....	(42)
(三) 机械密封.....	(42)
四、高温泵的结构举例	(49)
(一) 有机溶剂泵.....	(49)
(二) 熔融盐泵.....	(50)
(三) 熔融金属泵.....	(52)
(四) 其它高温用泵.....	(54)
参考文献	(56)

高速泵

一、概述	(57)
二、高速泵的特点	(57)
(一) 高速泵的一般特点.....	(57)
(二) 高速泵与多级离心泵的比较.....	(58)
(三) 高速泵与往复泵的比较.....	(59)
三、高速泵的结构	(60)
(一) 泵的结构.....	(60)
(二) 增速器的结构.....	(60)
四、高速泵的工作原理和特性	(64)
(一) 一般离心泵提高扬程的方法及存在的问题.....	(64)
(二) 高速泵的工作原理.....	(65)
(三) 高速泵的工作特性.....	(66)
(四) 高速泵的流量——扬程特性.....	(67)
五、高速泵的性能范围	(68)
六、高速泵的密封装置及调节系统	(70)
(一) 机械密封的特点.....	(70)
(二) 机械密封的型式.....	(74)
(三) 密封调节系统.....	(75)
七、高速泵的材料	(83)
(一) 泵的材料.....	(83)
(二) 增速器的材料.....	(83)
参考文献	(84)

低 温 泵

一、概 述

很早以前，就使用离心泵抽送液化气体，但是，低温范围最大限度到 -100°C 。近年来，由于低温技术的迅速发展，冷冻机、冷藏设备、冷冻车、空气或气体的液化分离装置的应用范围日益扩大，以及以液化石油气体为燃料的各种石油化学工业的发展，都要使用很多的低温泵。特别是液化天然气的出现，使低温范围下降到 -162°C ，为低温泵的发展和应用开辟了新的领域。今后，随着宇宙工业和超导电工业的发展，低温泵的应用范围将有新的发展。目前，低温泵主要用于以下几方面：

1. 在石油化学工业中，抽送各种液态烃（最低温度达 -104°C ）。
2. 在空气或气体的深冷分离装置中，抽送液态氧、液态氮、液态氩等（最低温度达 -196°C ）。
3. 液化天然气的输送和贮存（最低温度达 -162°C ）。
4. 在钢铁工业、原子能工业、宇宙工业中、用于抽送液态氧、液态氢等（最低温度达 -253°C ）。
5. 其它方面。

近年来，低温泵发展很快，种类和结构形式也很多。其发展趋势是：

1. **高速** 如为高压容器压送液化气用的小型泵，运转转数已超过10000转/分。
2. **低温** 在火箭燃料、原子能工业中，制造重水用的抽送液态氢的低温泵，运转温度大约为 -252.7°C 。
3. **大容量** 1969年日本制造的6级立式液态乙烯泵，扬程250米，流量3米³/分，原动机功率为110瓩。

国内石油化工用低温泵尚处试制阶段，技术上还未完全过关。现在大连耐酸泵厂，上海水泵厂等单位正在着手进行低温泵的试制，预计不久即可生产出性能良好的国产低温泵。

国内外一些低温泵的技术数据见表1

随着温度的降低，在低温泵上出现了一些新的特殊问题，人们正在不断地从材料、结构、使用等方面着手解决这些问题：

1. **材料方面** 如材料的低温脆性，超低温下的材料变形，材料的相对线性收缩等。
2. **结构方面** 如泵的类型，密封结构，轴承等。
3. **使用方面** 如保冷、除湿，隔冷等。

随着液化气的广泛应用，低温泵将与高温泵一样，正在被人们熟悉和掌握，而得到进一步发展。目前液化低温技术的应用范围、液化气的沸点和使用的材料情况如表2所

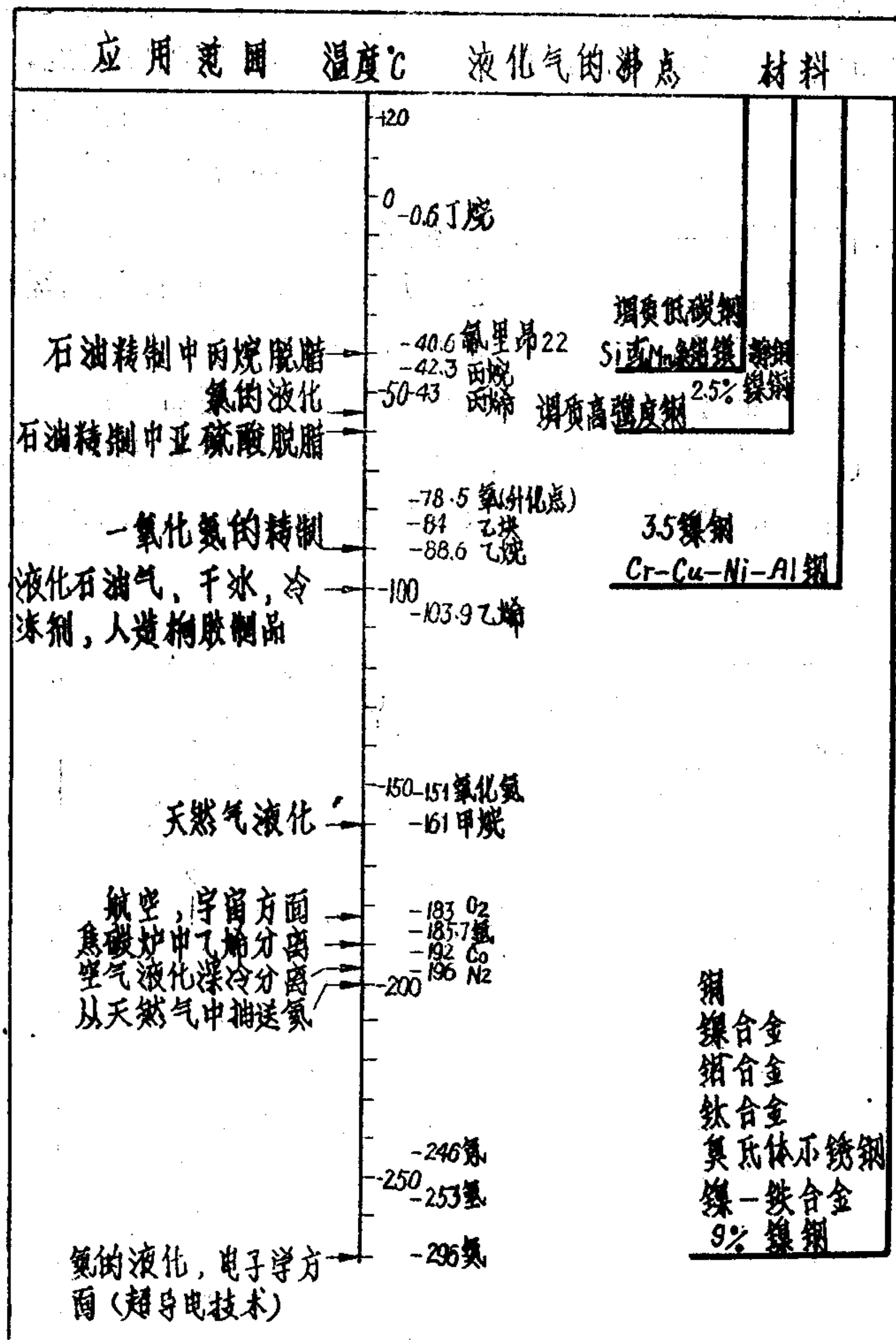
表1

国内外低温泵产品情况

国别	制造厂	结构形式	温度 (°C)	扬程 (米)	流量	吸入压力 (公斤/厘米 ²)	介质	备注
日本	新井制作所	多级立式离心泵	-104	250	3米 ³ /分		液态乙稀	1969年生产
日本	荏原制作所	立式离心泵	-162	60	0.833米 ³ /分		液化天然气	1969年生产
西德	鲁尔公司	四级离心泵	-200以上	1400	80米 ³ /小时			
西德	KSB公司	立式单级离心泵	-14~-103	<162	6-26米 ³ /小时		液态烃	兰化303厂用
中国	杭州制氧机厂	立式单级离心泵	-179	3	15米 ³ /小时	1.2	液态氧	
中国	上海水泵厂	卧式单级离心泵	-30	30	14.4米 ³ /小时		液态烃	上海高桥化工厂用
中国	大连耐酸泵厂	立式单级离心泵	-14~-103	<162	3.5~26米 ³ /小时		液态烃	试制中

示〔2〕

表 2 液化低温技术的应用范围，液化气的沸点和使用的材料情况



二、低温泵的一些特殊问题

(一) 液化气的特点

泵抽送的低温液体是指液化气。在设计低温泵时不仅要考虑到低温对泵机械元件的影响是重要的，而且还要考虑到液化气体的特性对泵性能上的影响是个关键问题，即是说低温泵的特点主要是由液化气的特点决定的。因此，必须了解液化气的性质及其对泵的影响。把各种液化气作为液体看待时，和通常的液体（例如常温清水）不同，它有以下几个特点：

1. 它在常温常压下是气体
2. 在高压或低温下变为饱和液体

这就是说，要把气体变为液体，保持温度不变需要加压到该温度下液体的饱和蒸气压力；如果在常压下则必须降低温度。在工业上使气体变为液体，可通过压缩、低温、压缩低温相结合的三种途径来实现。根据液化气温度和蒸气压力的关系，在常温下使气体液化需要很高的压力，这种高压液化气的设备，因高压强度问题，使结构很笨重，且增加了结构破坏的可能性。所以，一般不采用单纯压缩使之液化的方法。当用量大或输送距离长时，由于容器重量的限制等原因，多在常压低温下使用。如液化天然气（ -162°C ）、油船输送的乙烯（ -104°C ）、丙烷（ -44°C ）、氨（ -33°C ）等。另一方面，在工艺装置及其管线中，通常也在一定压力和温度下使用，如乙烯装置中的甲烷（30公斤/厘米²， -100°C ）、乙烷（20公斤/厘米²， -30°C ）。

低温泵抽送的液化气通常是处于饱和状态的液体（或者有微量的过冷度），因作为过饱和状态的液化气的使用是不经济的。液化气的饱和状态和温度与压力有关，各种液化气的饱和蒸气压力和温度的关系如图1所示^[1]。因此，在输送液化气的场合，应该考

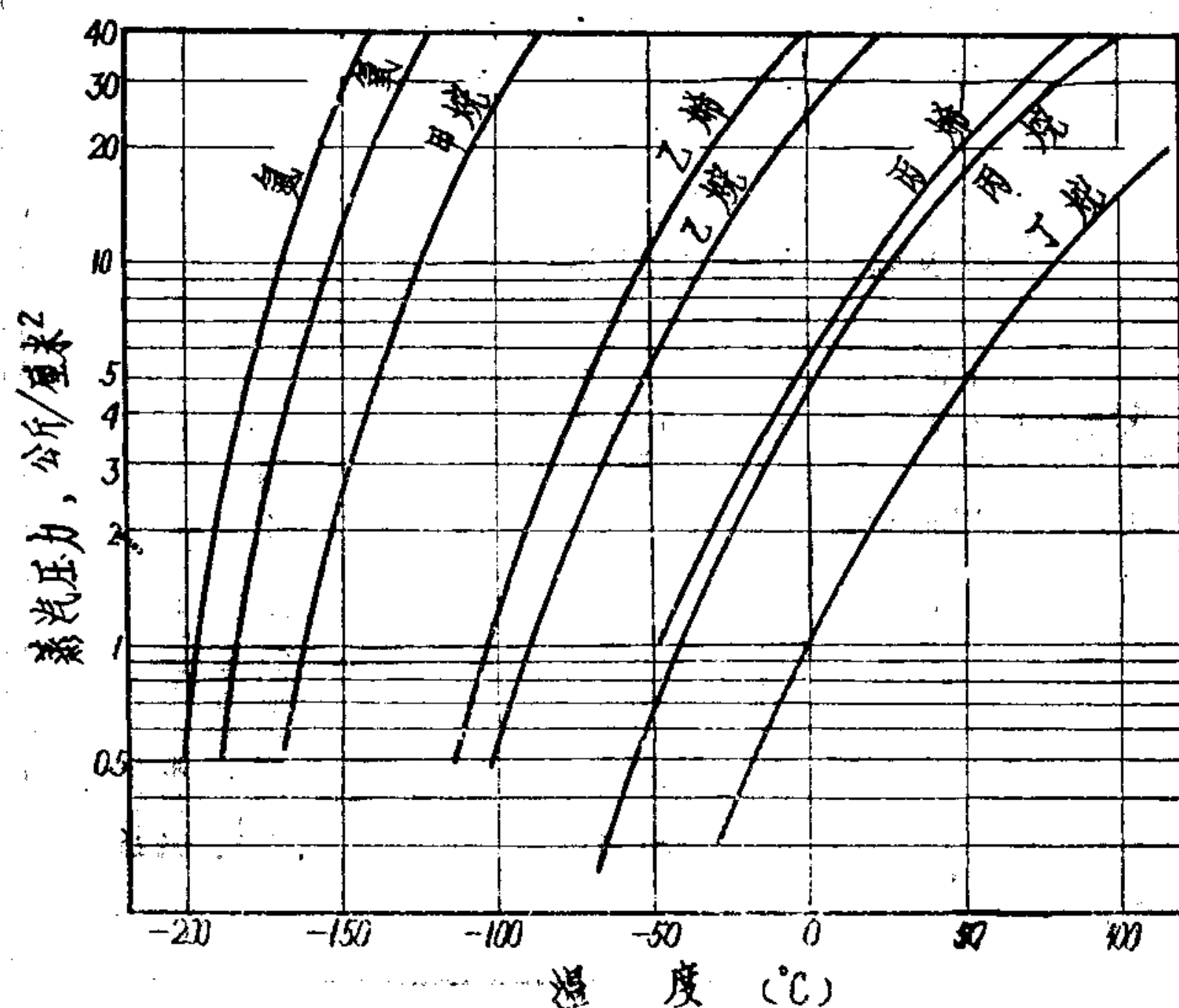


图1 各种液化气的温度和饱和蒸气压力的关系

虑到随温度的上升蒸汽压的上升率增大（见图1）、比重减小（见图2）、比热增大（见图3）、蒸发潜热减小（见图4）^[8]。也就是要将吸入管进行充分保冷，不能使吸入侧贮罐内的温度发生变化，在吸入管段不设起节流效果那样的装置（球形阀、节流孔、小网格以及过滤器都是不利的）。

由于低温泵抽送的是近于饱和状态的液化气，所以当温度不变时，因某种原因泵内的局部压力下降，或者当泵的压力不变时，由外部的热量传入或泵内因某种原因的发热，或者当降压升温同时发生时，都可使液化气气化、产生气体。这对于泵内用液体润滑的磨擦件如密封、轴承、密封环等是不利的，容易引起烧损现象。此外，泵内产生气体多时会引起泵的性能下降以至于使泵不能正常工作。所以，在低温泵上应设法不使泵内产生气体，以及要设法排除可能产生的气体。

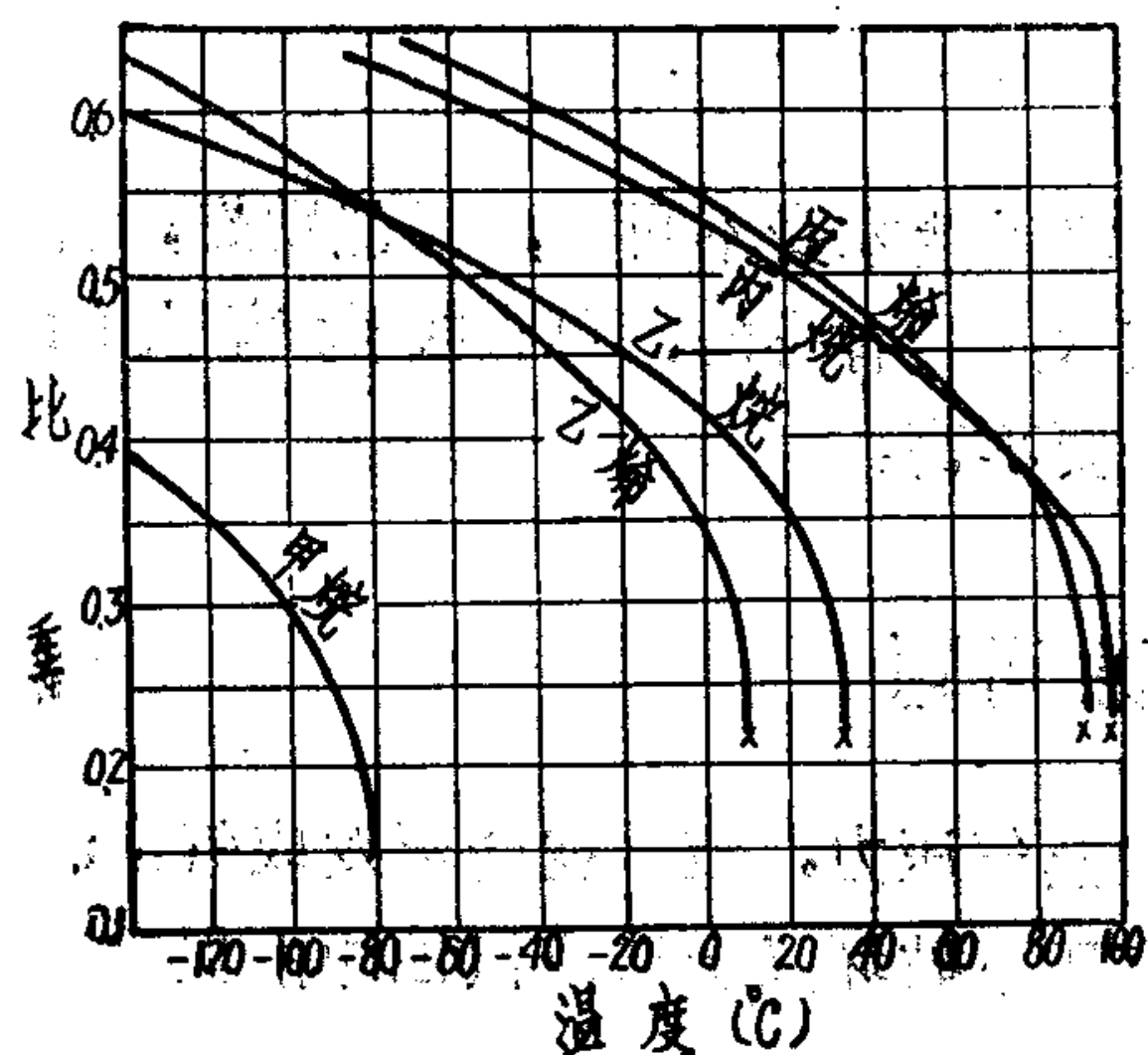


图 2 各种液化气的温度和比重的关系

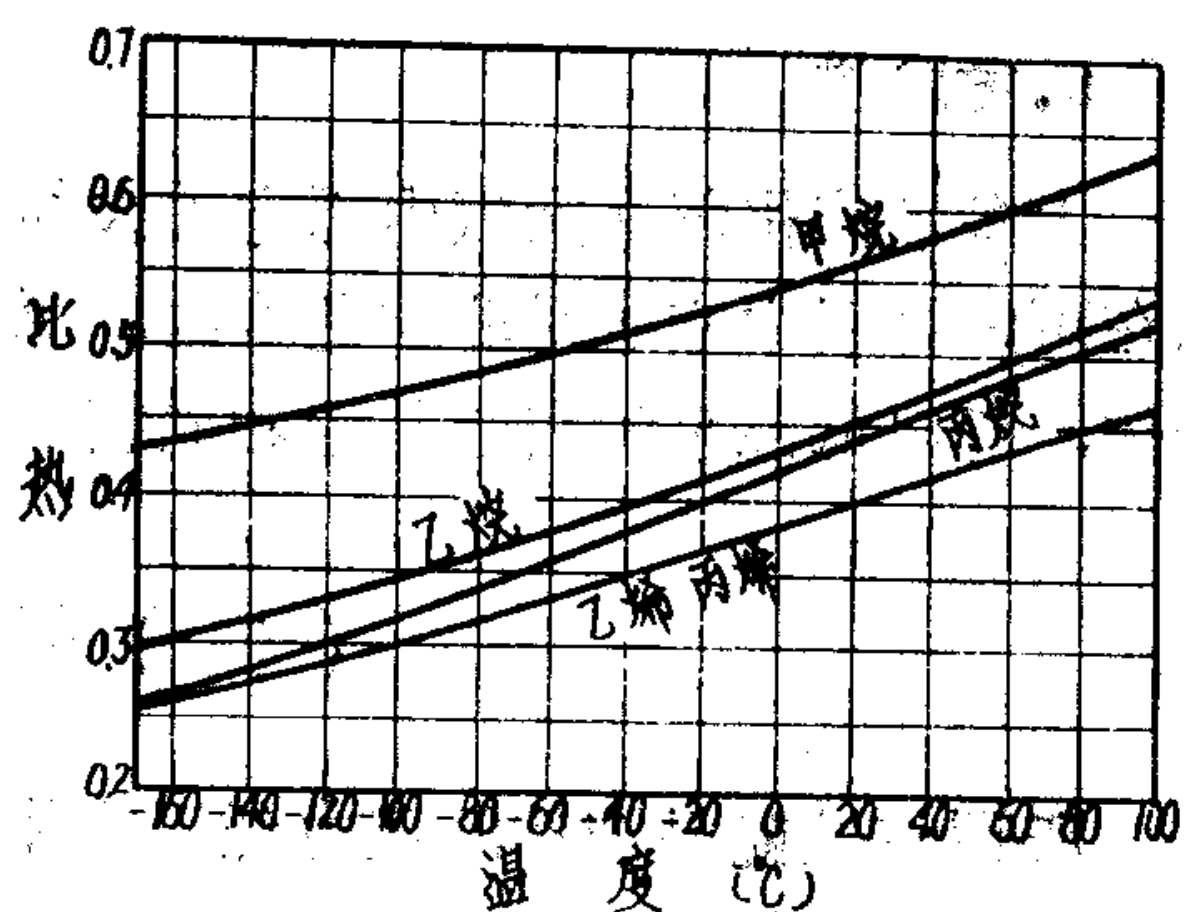


图 3 各种液化气的温度和比热的关系

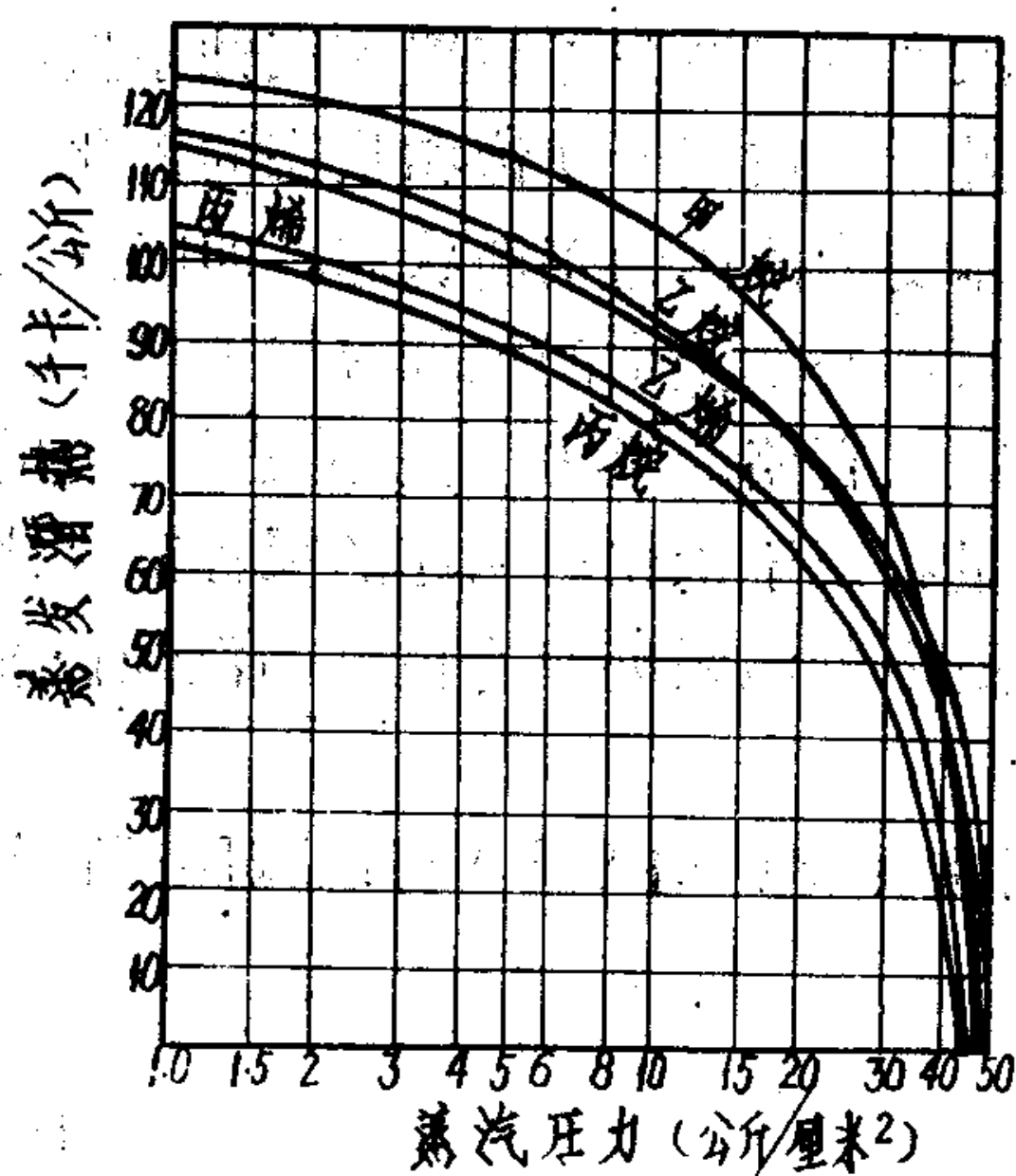


图 4 各种液化气蒸气压力和蒸发潜热的关系

3. 水力学性质

大部份液化气的粘度比水低，在泵内液流的雷诺数比水高。液体的流动情况与水比较没有什么区别，作为液体使用时不发生与水有特别不同的地方，所以仅就水力性能而言，可以用水来做实验。但是，随着状态的变化，如汽蚀和蒸发现象，与水相比，此时热力学方面就有一些性质不同，对每种液体则要具体研究。

4. 腐蚀性和浸蚀性

大多数液化气都直接或间接的有腐蚀性，如氨对铜直接有腐蚀性。液氧、液氮和液态烃本身虽然没有腐蚀性，但是，其中含有硫成分时，会引起腐蚀裂纹。另外，氯和氯化氢等本身虽然也没有腐蚀性，但是，漏到外面和大气中的水份接触则引起激烈的腐蚀。液化气的浸蚀性都比水小，所以由于汽蚀引起的浸蚀破坏比水轻，这是设计泵的一个有利因素。

5. 危险性

大多数液化气在大气中都有着火的危险。另外，氧虽然本身不可燃，但能助燃，所以在可燃物质中它也是非常危险的。至于氯气、光气本身是有毒的，可直接危害人的身体，所以低温泵的密封装置和联接的地方比一般泵要求高。

(二) 低温泵的汽蚀问题

所谓汽蚀就是液体的压力低于液体温度下的饱和蒸气压力，液体就会蒸发成气泡，气泡充塞了叶轮流道则会使泵的性能下降，气泡在高压下破坏又会造成汽蚀冲击现象。

1. 低温泵汽蚀问题的特点

低温泵通常从球形容器或塔的底部抽吸，在抽吸过程中液面是变化的。如从船上抽吸时，最后的液面下到船底。液面下降减少了装置的汽蚀余量，影响泵的汽蚀性能。另外，低温泵抽送的工作介质是处于（或近于）饱和状态的液化气，这就是说，在吸入液面上是处于液体变为气体、气体变为液体的平衡状态。即吸入液面的汽蚀余量为零。所以，装置汽蚀余量主要是由在泵中心线上面的液面高度（倒灌高度）提供的。装置的汽蚀余量，就等于倒灌高度减掉吸入管路的阻力损失和泵进口处的速度头。这样液面高度变化会直接影响装置的汽蚀余量。至于液化气引起的浸蚀破坏比水轻这是有利的，但是低温泵忌讳在泵内产生气体，所以低温泵亦应有良好的汽蚀性能、来适应不同的工作条件达到可靠的运转工作。

输送液化气场合的有效气蚀余量（NPSH）可以按图5所示 H_s 求出之^{〔8〕}。

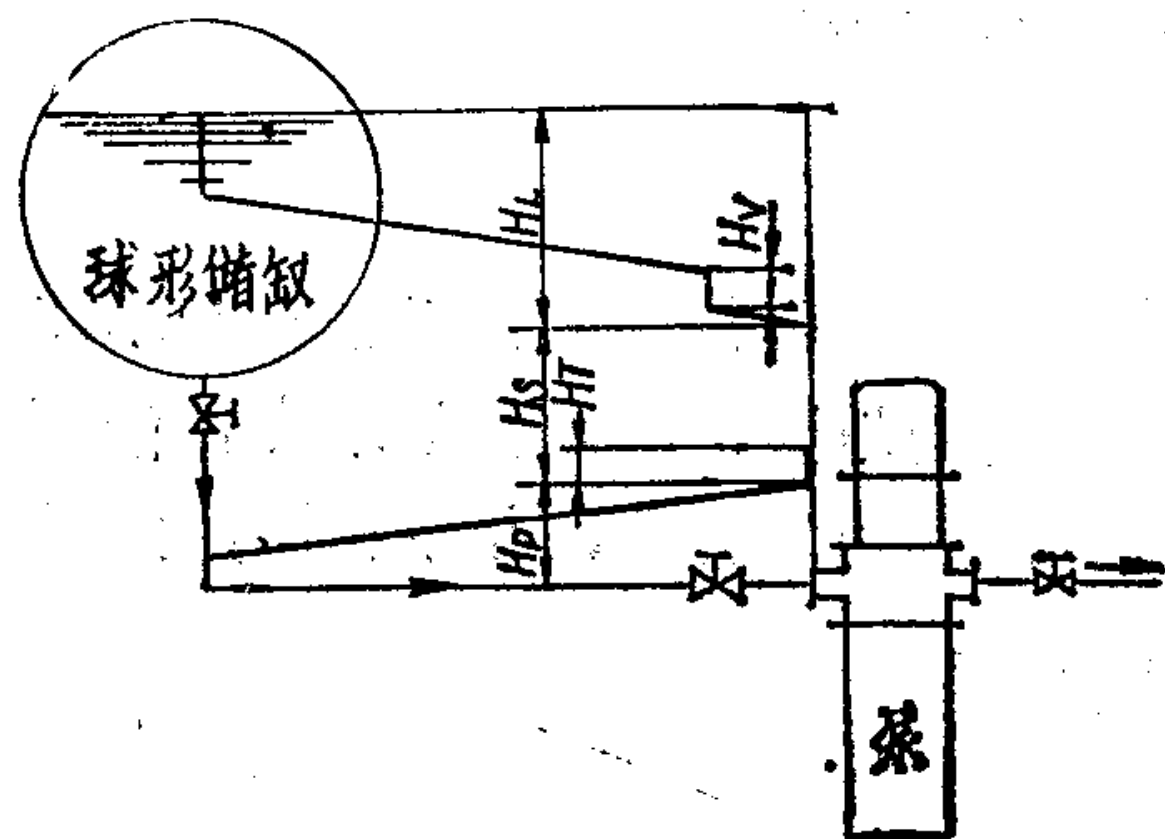


图5 NPSH计算图

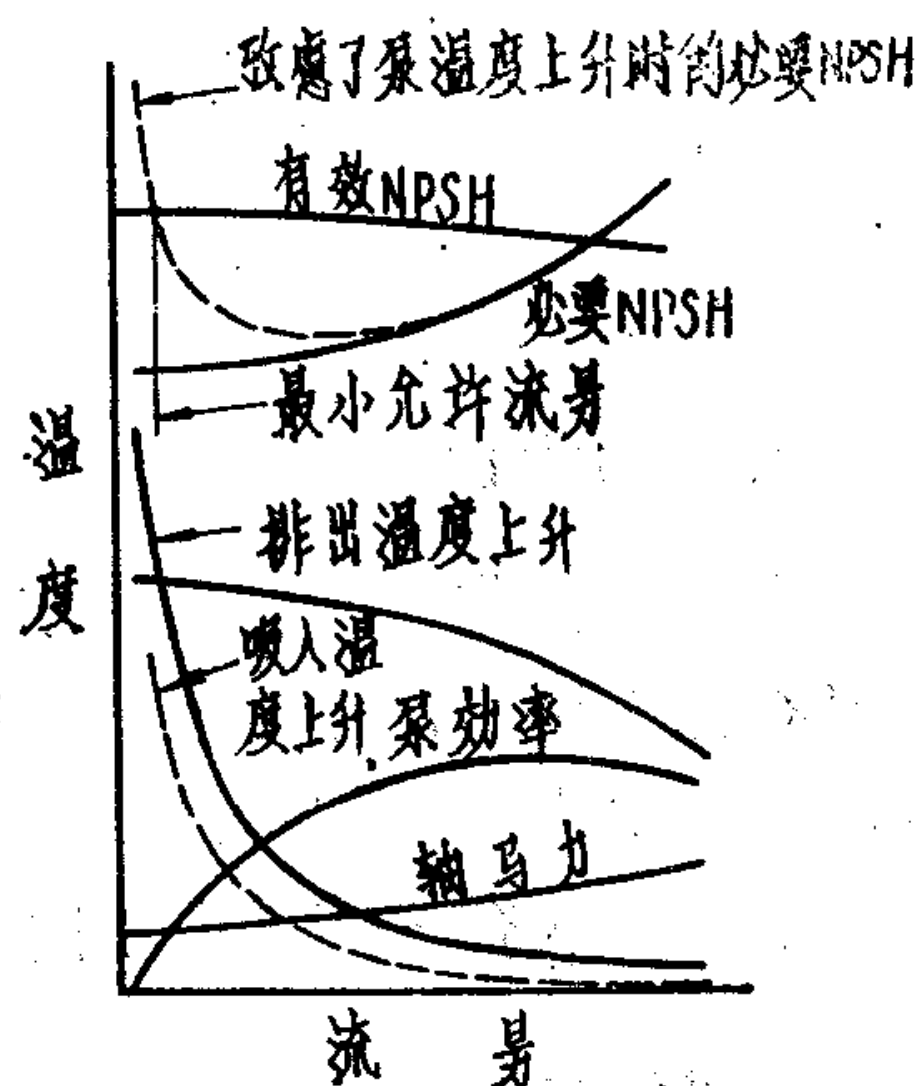


图6 温度上升与NPSH的关系

H_L 表示吸入管、伐、过滤器等的阻力损失压头。 H_v 是当液体通过吸入管从周围吸收了热量使液温上升时饱和蒸汽压上升所需的分压头。对常温以上的泵没有考虑的必要时。例如甲烷在30个大气压的液温是 -96.6°C ，但当吸入管保冷不好，如果在泵吸入接

管处液温上升到 -95°C 的话,这时的饱和蒸汽压力就成为30.64大气压,于是与贮罐内的蒸汽压力的差是0.64个大气压。

泵所消耗的能量中,水力损失和机械损失的大部分变成了热,使液体温度上升,限制了泵的流量,泵的效率就变低,因此只会使液体的温度上升率增大。温度上升值按下式计算:〔8〕

$$\Delta t = \frac{H}{427} \left(\frac{1}{E} - 1 \right) \frac{1}{S}$$

式中: H—泵的总扬程;
E—运转中泵的效率;
S—液体比热。

设流入泵吸入接管中的液体温度为 T_s ,温度上升后排出的流量为 Q ,由磨损圈间隙及推力平衡装置(平衡孔、平衡板等)出来的逆流量为 q ,流量 q 是温度上升 Δt 后被吸入一级叶轮吸入侧的流量。吸入一级叶轮的液温 T 可按下式计算:

$$T = T_s + \frac{\Delta t \times q}{Q + q}$$

温度上升 $T - T_s$ 时,仅由蒸汽压力上升的分压头(图5, H_7)与泵的必要NPSH增高的结果是一样的。图6是温度上升与NPSH的关系,由泵的特性曲线来表示。考虑泵温度上升时的NPSH曲线和有效NPSH(H_s)曲线二者相交点的流量就称为最小允许流量。

2. 改善低温泵汽蚀性能的途径

泵产生汽蚀有外因也有内因,而且是外因通过内因而起作用的。外因就是装置的汽蚀余量,它是由装置提供的在泵进口处超过汽化压力的能量;内因就是泵的汽蚀余量,它是泵本身提供的在泵进口处超过汽化压力的能量。泵的汽蚀余量标志泵本身的抗汽蚀性能的好坏。在一定流量条件下,如果装置的汽蚀余量小于泵的汽蚀余量,泵就产生汽蚀。所以,改善泵的汽蚀性能主要从提高装置的汽蚀余量和减小泵的汽蚀余量两方面考虑。因为内因起决定作用,所以主要考虑减小泵本身的汽蚀余量,提高泵本身的汽蚀性能。提高装置汽蚀余量的方法是:

(1) 采用立式泵,把第一级叶轮按在底部。

(2) 降低泵的安装高程,在陆地上用时可把泵安在地面以下,在船上可在船底设沉箱把泵安在沉箱里。

(3) 提高吸入容器的高度或增加吸入液面的压力。

(4) 加强吸入容器和吸入管线的保冷,以防止周围热量传入,增加液化气的温度,而提高液化气的蒸气压力,减少装置的汽蚀余量。

提高装置的汽蚀余量往往是不经济的,所以根本的措施是提高泵的汽蚀性能,以减小泵的汽蚀余量,在低温泵上采用的主要方法是:

(1) 根据要求的汽蚀性能采用特殊设计的叶轮。为改善泵进口处的流动情况,即使此转数很低(小于20)的叶轮也采用进口扭曲的叶片。

(2) 在第一级叶轮前装诱导轮。诱导轮是一种轴流式叶轮。诱导轮在初生的汽蚀

情况下运转（扬程—流量曲线下降在3%以内）。诱导轮本身的汽蚀性能可以设计的很高，通过诱导轮的液体增加了能量，保证液流在泵叶轮内不会汽蚀，因为液化气对汽蚀的影响比水小，不容易引起浸蚀破坏，所以在低温泵上使用诱导轮是很合适的。

（3）采用超汽蚀的第一级叶轮。实践证明使用超汽蚀叶轮能广泛地适应不同液流的情况，它是最近发展起来的新技术。

3. 汽蚀性能换算

液化气和水的蒸气压力不同，由于在蒸气压力高的液体中由汽蚀产生的气泡占的体积小，因而使泵的性能下降小。考虑到这个因素，泵抽送水时泵的汽蚀余量（NPSH）和抽送液化气时泵的汽蚀余量不同。图7是美国水力学会给出的修正系数曲线^[7]。

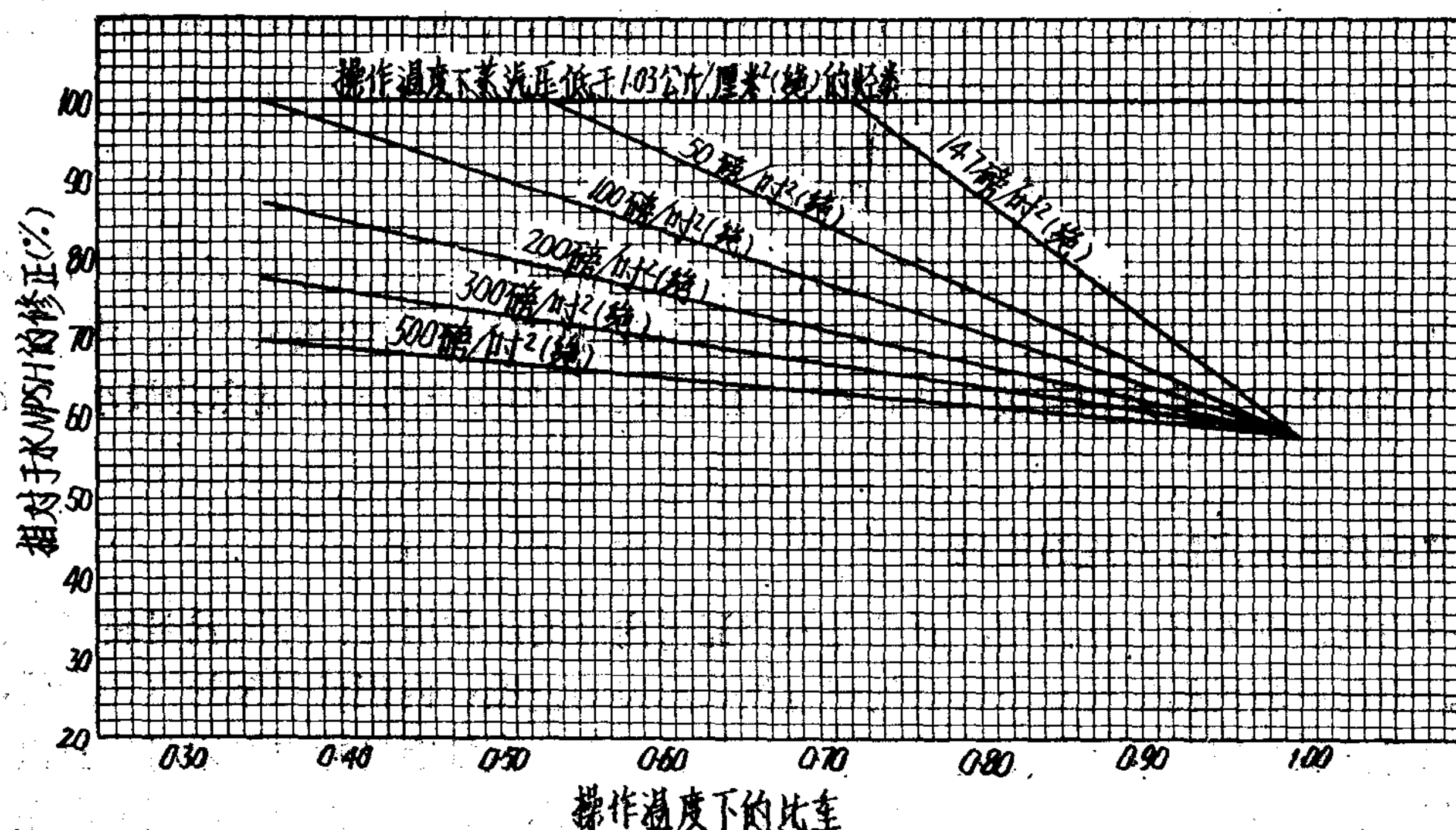


图 7 液态烃汽蚀余量（NPSH）的换算图

（三）低温泵的材料

材料在低温下的机械、物理性能会发生变化，特别是低温脆性问题，必须予以足够的注意，这就要求选择合适的材料，采用合理的设计和加工方法。

1. 低温下材料的性能

（1）金属材料。随着温度的下降，材料的静机械强度（拉伸强度、屈服点、硬度等）逐渐增加，而韧性（延伸率，断面收缩率）具有下降的趋势。唯有冲击值在某一温度下（延性—脆性的转变温度）急剧地减小，这就叫低温脆性。脆性破坏的外观特征是破坏发生在与主应力方向垂直的地方，厚度方向的塑性变形很小，破坏断面呈劈裂状。

影响低温脆性的因素有机械上的，冶金学上的和金相学上的等。机械上的因素是应变速率、材料的厚度、缺口刻痕几何尖角等造成的高度应力集中。同一种材料随着载荷

与速度的增大，转变温度向高温侧移动。在同一温度下，小的冲击载荷比大的静载荷的破坏危险性大。材料的尺寸、厚度增加时也使转变温度向高温侧移动。冶金学上的因素中影响最大的是材料的化学成分。各种元素对低温脆性的影响大致如表3所示^[3]。图8说明合金对铁素体钢转变温度的一般影响^[4]。

表 3 元素对低温缺口脆性的影响

元 素 名 称		作 用
碳	C	可使转变温度上升
锰	Mn	可使转变温度下降，Mn/C比值越高越好。
硅	Si	普通含量时有好的作用，含量稍多即使铁素体脆化。
磷	P	很敏感地使脆性增加，使转变温度上升。
硫	S	虽然不象磷那样敏感，但属于一种有害的成份。
镍	Ni	是降低转变温度，防止脆化最有效的成分。但含量太少时，则成为碳钢中杂质，不起作用。
铜	Cu	添加0.6~1.5%时和镍有同样的效果。但含量太少时，则成为碳钢中杂质，不起作用。
铬钼钒	CrMoV	在碳素钢中不起作用，即使含少量的钒也是有害的。但是作为特殊钢的成份有好的作用。
砷锡氮	AsSnN	都是有害成份，使转变温度上升。

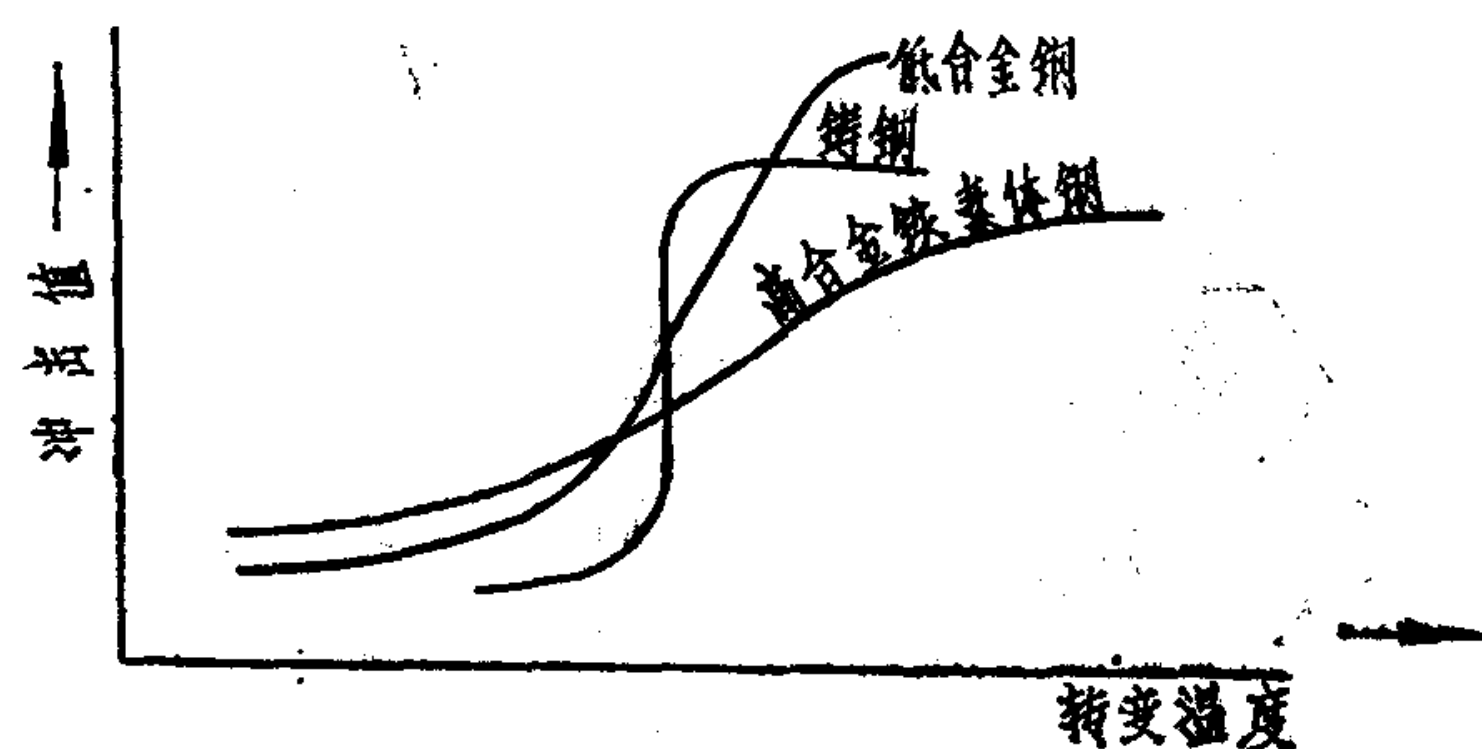


图 8 合金对铁素体钢转变温度的影响

由于炼钢方法不同而产生的影响一般是按沸腾钢、半镇静钢、镇静钢这一顺序，抗冲击性能逐渐变好。热处理的方法也有影响，正火，尤其是淬火一回火比退火好，残余变形小，铁素体粒度小，而且碳化物不易起缺口作用。另外，应变时效、快速时效、疲劳、回火脆性等均可使低温脆性减少。材料在低温下韧性的丧失，通常与材料的晶格结构有关，即和金相学上的因素有关。奥氏体钢和大多数镍、铜、铬的合金，具有面心立方晶格，这些材料在低温下，没显示出明显的缺口韧性损失，没表现出低温脆性。而其它大部份金属如碳素钢、低合金钢、 α -Fe、铬等，具有体心立方晶格。而锰、钛、铌等具有六方晶格，这些材料（除钛之外）都会引起低温脆化。

（2）高分子材料。关于塑料的低温脆性，可以和金属材料一样通过冲击试验来确定。由冲击试验确定的热塑性塑料的冲击强度和温度的关系如图9所示。^[5]

可以用来作为结构材料的玻璃纤维强化塑料，其拉伸强度、弹性系数、强度—重量比，随温度下降而增大（见图10），同时，冲击强度在低温下也增大（见图11）。所以，这种材料作为低温材料显示了非常好的特性。〔2〕

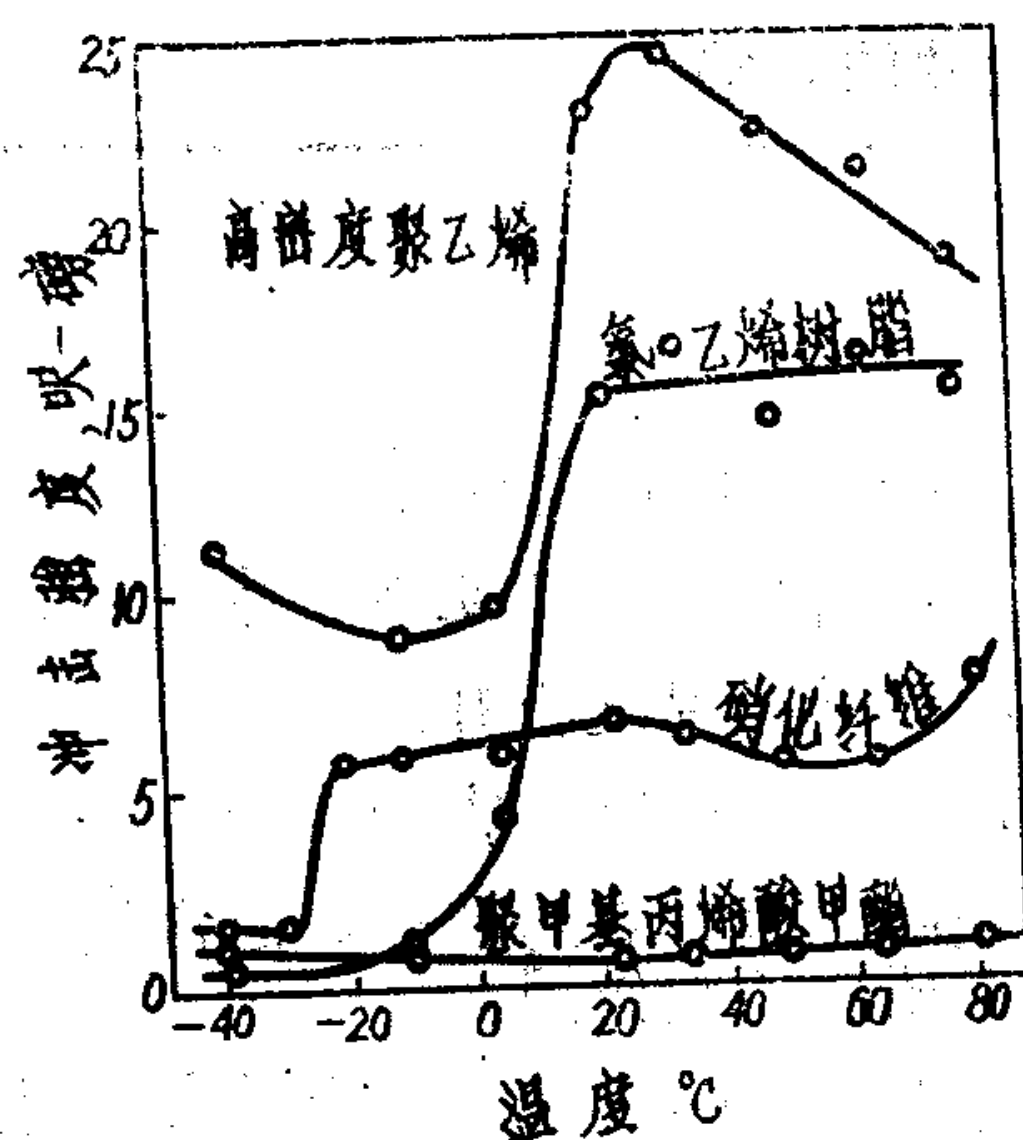


图9 热塑性塑料的冲击强度的温度特性

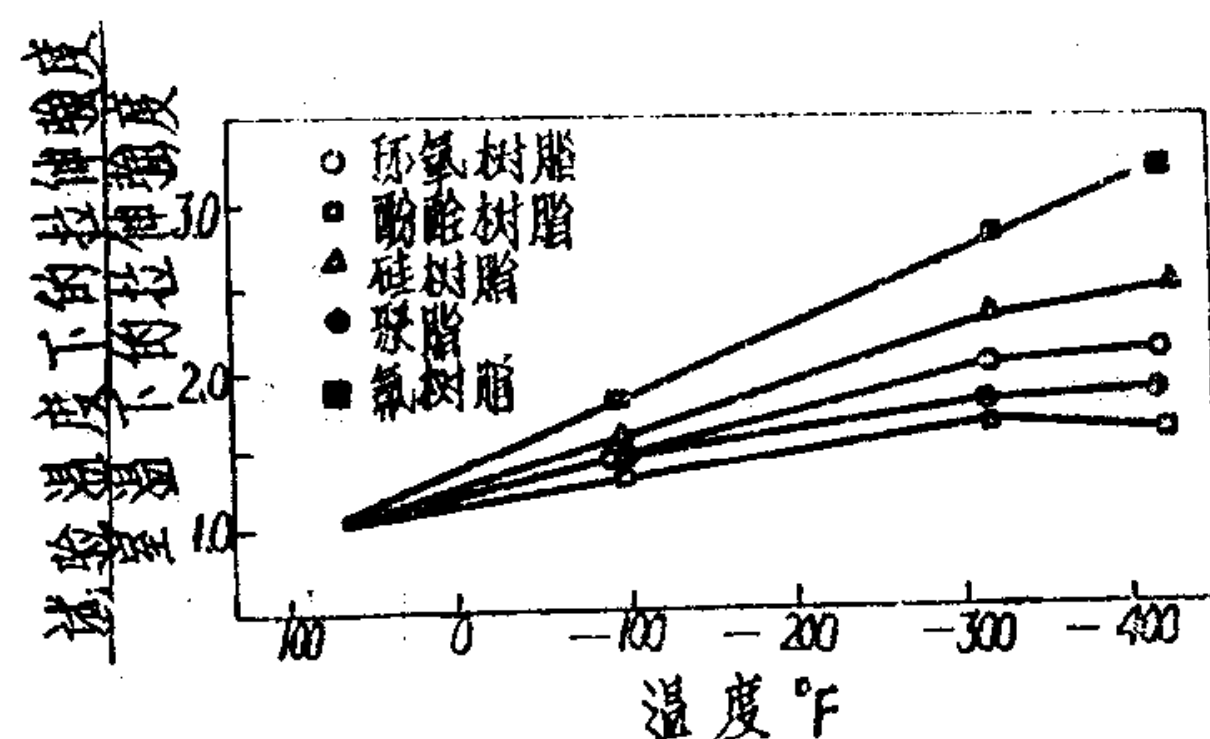


图10 玻璃纤维强化塑料和氟树脂在低温下的拉伸强度

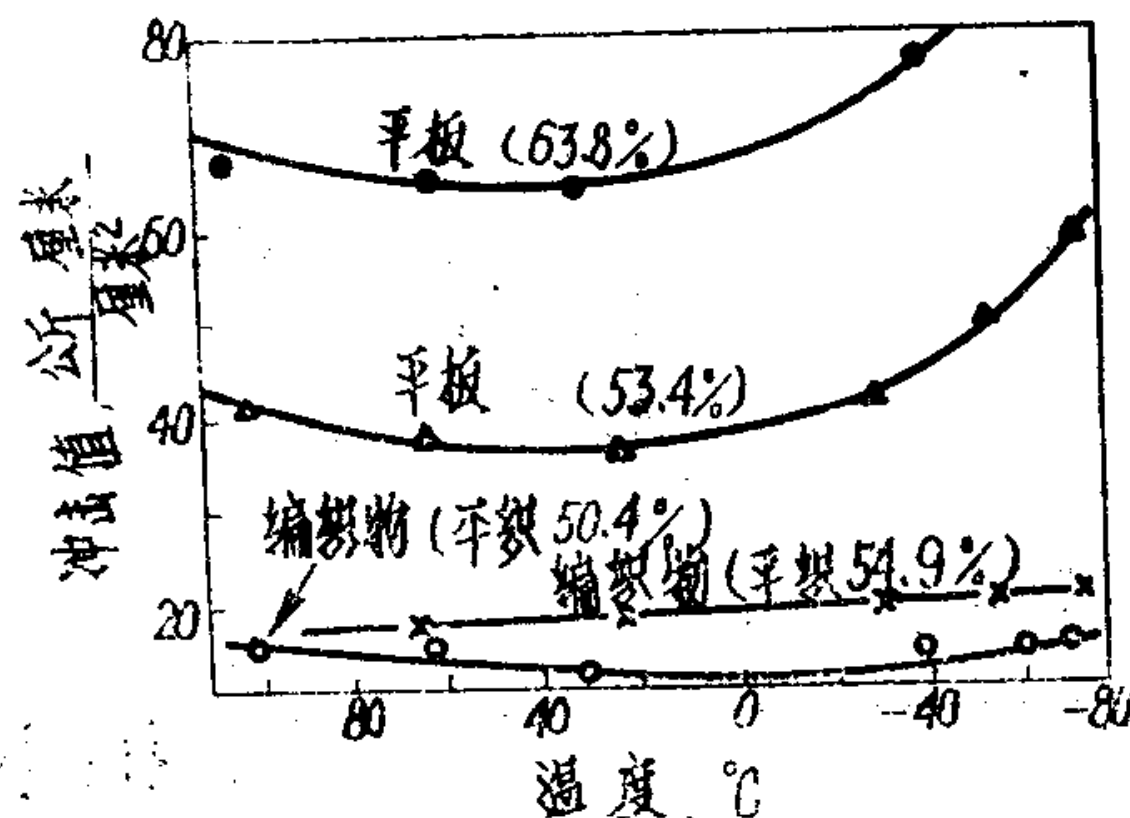


图11 温度对玻璃强化聚脂冲击值（U缺口却贝试验）的影响

在静密封中经常使用氟树脂，聚四氟乙烯等，最近也在试用弹性材料。有的文献指出，如在室温下进行了充分的压缩变形，即使使用在脆化点温度下也是很可靠的。作为特殊用途的粘结剂使用的酚醛树脂、环氧树脂等，在 -253°C 以下使用时，粘结强度并不下降。

使用于机械密封的垫圈“O”形环和“V”形环的低温脆断温度（失去弹性的温度）：丁腈橡胶是 -60°C ，氯丁橡胶是 -65°C ，硅橡胶是 -80°C ，氟橡胶是 -45°C ，聚四氟乙烯是 -79°C ，因此这种垫圈所组成的机械密封其使用界限是 -70°C 。〔8〕

（3）其它脆性材料。像玻璃、铸铁、轴承钢这类在常温下发生脆性破坏的材料，由于使用的地方有限制，必须充分考虑其特性后才能使用。