



玻璃加工技术丛书
BOLI JIAGONG JISHU CONGSHU

BOLI
LENGJIAGONG
JISHU

玻璃

冷加工技术

高鹤 编著



化学工业出版社

014006097

TQ171.6

14



玻璃加工技术丛书
BOLI JIAGONG JISHU CONGSHU

BOLI
LENGJIAGONG
JISHU

玻璃

冷加工技术

高鹤 编著



TQ171.6

14



化学工业出版社

·北京·



北航

C1692947

014006097

图书在版编目 (CIP) 数据

玻璃冷加工技术/高鹤编著. —北京: 化学工业出版社,
2013. 6

(玻璃加工技术丛书)

ISBN 978-7-122-17249-5

I. ①玻… II. ①高… III. ①玻璃-冷加工 IV. ①TQ171.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 091566 号

著者 高鹤《玻璃冷加工技术》: 高鹤

《玻璃强化及热加工技术》: 李超

《玻璃熔窑》: 李超

《玻璃深加工》: 李超

责任编辑: 常青 吴昊

装帧设计: 韩飞

责任校对: 边涛

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

710mm×1000mm 1/16 印张 15 字数 282 千字 2013 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

玻璃加工技术丛书

编写人员

主 编：刘志海

《玻璃冷加工技术》：高 鹤

《玻璃强化及热加工技术》：李 超

《玻璃镀膜技术》：宋秋芝

《玻璃复合及组件技术》：李 超、高 鹤

丛书前言



玻璃是应用广泛的透明材料，玻璃经过各种工艺加工以后，其光学、热学、电学、力学及化学的性能改变，可以制得具有某设定值的太阳光反射率、透射率；辐射热的反射率、透射率；热传导率；表面电阻；机械强度；晶莹高雅的颜色或图案。因此加工玻璃制品具有隔热、控光、导电、隔声、防结露、防辐射、减反射、安全、美观舒适的功能。

随着我国国民经济的迅速发展和城乡居民生活水平的不断提高，对加工玻璃的数量和质量的要求也不断提高。进入 21 世纪，玻璃精细加工行业发展迅猛。玻璃的加工过程，常是运用热学、化学、电子学、磁学、分子动力学、离子迁移学的处理过程，更多时是运用多种工艺方法共同处理的过程。也就是说，玻璃加工行业已从简单的生产，发展为各学科、各技术相互渗透与交融的高新技术产业。在新的形势面前，为了使广大的生产、科研、使用者能够充分了解玻璃加工技术的发展，掌握其产品性能、生产工艺、检测手段和使用方法，我们在参考国内外有关玻璃深加工方面文献的基础上，并结合玻璃加工技术实践经验，组织编著了这套玻璃加工技术丛书，以飨读者。

本套丛书按照玻璃加工工艺及专业分为四册，即《玻璃冷加工技术》、《玻璃强化及热加工技术》、《玻璃镀膜技术》和《玻璃复合及组件技术》。本套丛书在编写过程中，力求做到既介绍玻璃加工基础知识，又联系生产实际，希望能为从事玻璃加工研究、开发设计、生产、施工、管理、监理等广大同仁提供一些帮助。

由于我们学识水平所限，难免在丛书的整体结构方面，各分册具体技术的阐述方面存在这样和那样的问题及不足，敬请有识之士批评、指正。

借此丛书出版之际，谨向所有关心我们的老领导、老前辈以及同事、朋友表示深切的谢意！

刘志海
2013 年 5 月



玻璃是一种传统建筑材料，随着人们生活水平的提高和审美观念的不断改变，单纯的平板玻璃已经不能满足需求，各类加工玻璃应运而生。加工玻璃是以平板玻璃为基础，经过不同的加工或者处理方法，使其具有节能、环保、安全、装饰等新的功能或形状的二次加工制品。

玻璃冷加工是在常温下，通过研磨、抛光、磨边、切割、钻孔、磨砂、喷砂、刻花等机械方法，以改变玻璃及玻璃制品外形和表面状态。近年来，玻璃冷加工技术发展迅速，产品品种日益增多，包括喷砂或磨砂玻璃、喷花玻璃、雕刻玻璃、彩绘玻璃、蒙砂玻璃以及蚀刻玻璃等越来越多地出现在人们生活当中。

为满足玻璃加工生产技术的需要，笔者在参考了玻璃冷加工技术最新成果及发展状况文献资料并结合实践经验的基础上，编写了本书。

本书按照技术原理、生产工艺及设备、产品质量、标准检测的主线，系统介绍了玻璃的清洗、切割及钻孔、研磨及抛光、雕刻、贴膜与涂膜、化学蚀刻、丝网印刷、彩绘与镶嵌等玻璃冷加工技术，以期对玻璃冷加工从业人员提供一些帮助。

本书在编写中，得到同事、朋友及家人的大力支持，他们是马军、刘世民、王彦彩、王立坤、冀杉、刘笑阳、付一轩等，在此一并致以衷心的感谢！

鉴于玻璃冷加工行业还在不断发展变化，加之笔者学识有限，实践经验不足，难免在某些问题的界定、分类以及表述等方面存在疏漏和不妥之处，敬请有识之士不吝赐教，给予批评指正。

编者

2013年6月

目 录

CONTENTS

第 1 章	玻璃冷加工基本知识	1
	1.1 玻璃冷加工概述	1
	1.1.1 玻璃冷加工的概念	1
	1.1.2 玻璃冷加工的缺陷及影响因素	1
	1.1.3 玻璃冷加工技术的发展趋势	1
	1.2 玻璃的表面张力	2
	1.2.1 玻璃表面张力的物理与工艺意义	2
	1.2.2 玻璃表面张力与组成、温度的关系	3
	1.2.3 玻璃的润湿性及影响因素	6
	1.3 玻璃的表面性质	9
	1.3.1 玻璃的表面组成与表面结构	9
	1.3.2 玻璃表面的离子交换	10
	1.3.3 玻璃的表面吸附	11
	1.4 玻璃的力学性能	11
	1.4.1 玻璃的机械强度	12
	1.4.2 玻璃的弹性	18
	1.4.3 玻璃的硬度与脆性	21
	1.4.4 玻璃的密度	23
	1.5 玻璃的化学稳定性	26
	1.5.1 玻璃的侵蚀机理	27
	1.5.2 影响玻璃化学稳定性的因素	30
	1.5.3 玻璃的生物发霉	33
	1.5.4 金属蒸气对玻璃的侵蚀	34

2.1	玻璃表面清洁度的检验	35
2.1.1	玻璃表面与液体的接触角法	35
2.1.2	呵痕试验法	36
2.1.3	玻璃表面的静摩擦系数法	36
2.2	玻璃的清洗方法	36
2.2.1	擦洗玻璃	37
2.2.2	浸洗玻璃	37
2.2.3	酸洗玻璃	37
2.2.4	碱液清洗玻璃	38
2.2.5	蒸汽脱脂清洗玻璃	38
2.2.6	喷射清洗玻璃	39
2.2.7	超声清洗玻璃	39
2.2.8	加热清洗玻璃	39
2.2.9	辐照清洗玻璃	40
2.2.10	放电清洗玻璃	40
2.2.11	剥去喷涂层清洗玻璃	41
2.3	清洗程序	41
2.4	清洁表面的保持	42
2.5	玻璃洗涤设备	42
2.5.1	玻璃清洗机的组成与工作原理	42
2.5.2	玻璃清洗机的类型	42
2.5.3	玻璃清洗机的基本技术要求	45
2.5.4	玻璃清洗机的设备性能要求	46
2.5.5	玻璃清洗机操作规程	47

3.1	切割	50
3.1.1	机械切割	50
3.1.2	火焰切割	57
3.1.3	水刀切割	60
3.1.4	激光切割	65

玻璃的研磨及抛光技术

3.1.5	玻璃切割过程中的质量问题与应对措施	69
3.1.6	异形玻璃的切割	70
3.2	钻孔	72
3.2.1	玻璃钻孔的主要方法	72
3.2.2	玻璃钻孔机	75
3.2.3	玻璃钻孔机的操作与维护	80

4.1	研磨	82
4.1.1	研磨的分类	82
4.1.2	玻璃机械研磨机理	82
4.1.3	研磨材料	85
4.1.4	影响玻璃机械研磨过程的主要因素	85
4.2	抛光	88
4.2.1	抛光的分类	89
4.2.2	玻璃的抛光机理	90
4.2.3	机械抛光	90
4.2.4	酸抛光	94
4.2.5	化学抛光	96
4.2.6	新型抛光技术	98
4.3	磨边	99
4.3.1	玻璃磨边的方法	99
4.3.2	玻璃磨边设备	99
4.3.3	磨边产品的质量问题与解决方法	113

玻璃雕刻技术

5.1	人工雕刻	116
5.1.1	人工雕刻工艺流程	116
5.1.2	人工雕刻主要工具	117
5.2	自动雕刻	122
5.2.1	自动雕刻分类	122
5.2.2	精细自动雕刻	123

5.2.3	车刻	124
5.3	喷砂雕刻	125
5.3.1	喷砂的基本原理	126
5.3.2	喷砂雕刻的方法	126
5.3.3	喷砂雕刻底版的制作	128
5.3.4	玻璃喷砂机	129
5.4	激光雕刻	131
5.4.1	玻璃表面激光雕刻	131
5.4.2	激光玻璃内雕技术	136
5.5	玻璃等离子弧雕刻	139
5.5.1	工作原理	139
5.5.2	工艺流程	140

第 6 章

玻璃贴膜与涂膜技术 142

6.1	玻璃贴膜技术	142
6.1.1	贴膜玻璃	142
6.1.2	贴膜玻璃用膜	145
6.1.3	建筑玻璃膜粘贴工艺	150
6.1.4	汽车玻璃膜粘贴工艺	152
6.2	玻璃涂膜技术	157
6.2.1	涂膜玻璃	157
6.2.2	玻璃隔热涂料	160
6.2.3	玻璃涂膜工艺	162

第 7 章

玻璃化学蚀刻技术 167

7.1	化学蚀刻的机理及影响因素	167
7.1.1	化学蚀刻的机理	167
7.1.2	影响化学蚀刻的主要因素	168
7.2	蒙砂	169
7.2.1	蒙砂玻璃工艺流程	169
7.2.2	蒙砂剂的配制	170
7.2.3	蒙砂工艺方法	172
7.2.4	蒙砂工艺制度及影响因素	174
7.2.5	蒙砂过程的注意事项	176

7.2.6	玻璃蒙砂设备	177
7.2.7	蒙砂玻璃应用	179
7.3	冰雕	180
7.3.1	冰雕玻璃的生产工艺	180
7.3.2	冰雕液的配制与维护	182
7.3.3	生产注意事项	182
7.4	冰花	182
7.4.1	物理冰花	183
7.4.2	化学冰花	185

第 **8** 章 **玻璃丝网印刷技术** 186

8.1	丝网印刷玻璃概念	186
8.1.1	丝网印刷玻璃定义	186
8.1.2	丝网印刷玻璃工艺原理	186
8.1.3	丝网印刷工艺特点	187
8.2	印刷网版的制作	188
8.2.1	印刷网版制作方法分类	188
8.2.2	丝网的选择	189
8.2.3	网框的选择	192
8.2.4	感光材料的选择	193
8.2.5	绷网	194
8.2.6	感光胶的涂布	196
8.2.7	晒版	200
8.2.8	显影	200
8.2.9	干燥	201
8.2.10	印前检查	201
8.3	丝网印刷玻璃生产技术	202
8.3.1	丝网印刷前准备	202
8.3.2	印刷前注意事项	202
8.3.3	丝网印刷过程	203
8.3.4	丝网印刷中的控制要点	204
8.3.5	丝网印刷的生产方式	206
8.3.6	丝网印刷玻璃的烧结	208
8.4	丝网印刷玻璃常见问题及处理方法	209

第 9 章

8.4.1	制版问题及处理方法	209
8.4.2	丝网印刷问题及处理方法	211

玻璃彩绘与镶嵌技术 217

9.1	玻璃彩绘技术	217
9.1.1	彩绘玻璃定义与分类	217
9.1.2	传统彩绘玻璃的制作	218
9.1.3	UV 玻璃喷绘机	219
9.2	玻璃镶嵌技术	223
9.2.1	镶嵌玻璃的定义与分类	223
9.2.2	镶嵌玻璃的制作	223
9.2.3	镶嵌玻璃的质量要求与检测	224
9.2.4	镶嵌玻璃的贮存注意事项	227

参考文献 228

第 1 章

玻璃冷加工基本知识

1.1 玻璃冷加工概述

1.1.1 玻璃冷加工的概念

在常温下,通过机械等方法来改变玻璃及玻璃制品的外形和表面状态的过程,称为玻璃的冷加工。冷加工的基本方法有:研磨、抛光、磨边、切割、钻孔、磨砂、喷砂、刻花、砂雕、切削、洗涤、干燥、彩绘、蚀刻、丝网印刷、贴膜和涂膜等。

某些玻璃制品在进行工艺加工之前,要对玻璃原片进行切割、磨边、研磨、抛光、钻孔、洗涤、干燥等处理,如钢化玻璃、夹层玻璃等;还有一些玻璃,经洗涤干燥后即进行加工处理,然后再根据使用要求进行切割、磨边、钻孔、洗涤等工序成为最终产品,如玻璃镜;另外还有的装饰玻璃、艺术玻璃(如彩绘、浮雕等),需要特定的工艺加工,这些均属于玻璃的冷加工。

1.1.2 玻璃冷加工的缺陷及影响因素

玻璃在冷加工的各生产过程中,由于加工工艺、机械设备或人为原因,会使玻璃上出现各种不同的缺陷。玻璃加工的缺陷使玻璃的质量大大降低,甚至严重地影响玻璃的进一步成型和加工,或者造成大量的废品。冷加工过程中的缺陷主要是外观缺陷,包括磨伤、划伤、爆边、凹凸、缺角、尺寸偏差等。

不同种类的缺陷,其研究方法也不同,当玻璃中出现某种缺陷后,往往需要通过几种方法的共同研究,才能正确加以判断。在查明产生原因的基础上,及时采取有效的工艺措施来制止缺陷的继续发生。

总之,玻璃冷加工的好坏,玻璃的性质是决定性的因素。而影响冷加工的玻璃的性质有玻璃表面的张力、玻璃的力学性质以及玻璃的化学稳定性等。

1.1.3 玻璃冷加工技术的发展趋势

玻璃冷加工技术的发展趋势主要有以下几个方面。

(1) 产品品种多样化 随着加工技术的进步,玻璃产品的品种日益繁多,包括喷砂或磨砂玻璃、喷花玻璃、雕刻玻璃、彩绘玻璃、蒙砂玻璃、镀膜玻璃以及蚀刻玻璃等越来越多地出现在人们的生活当中。

(2) 加工生产技术的复合性 未来玻璃加工不只是利用单一的技术和方法进行生产,而是利用多种技术综合的方法来生产,这就要求相关的生产企业研究建立系统规范的生产体系。

(3) 新型功能玻璃的生产与加工 在目前玻璃加工技术的基础上,应努力开发新技术,从而有效利用资源,研究具有新型功能(如复合功能、生态智能)的玻璃生产加工技术,这还需要业内人士的进一步研究开发。

1.2 玻璃的表面张力

1.2.1 玻璃表面张力的物理与工艺意义

与其他液体一样,熔融玻璃表面层的质点受到内部质点的作用而趋向于熔体内部,使表面有收缩的趋势,即玻璃液表面分子间存在着作用力,称为表面张力。增加熔体表面面积,相当于将更多质点移到表面,必须对系统作功。为此表面张力的物理意义为:玻璃与另一相接触的相分界面上(一般指空气),在恒温、恒容下增加一个单位表面时所作的功,它的国际单位为 N/m 或 J/m^2 。硅酸盐玻璃的表面张力一般为 $(220\sim 380)\times 10^{-3}\text{N/m}$,比水的表面张力大 3~4 倍,也比熔融的盐类大,而与熔融金属数值接近。

熔融玻璃的表面张力在玻璃制品的生产和加工过程中有着重要的意义,特别是在玻璃的澄清、均化、成形,以及玻璃液与耐火材料相互作用等过程中起着重要的作用。

在熔制过程中,表面张力在一定程度上决定了玻璃液中气泡的长大和排除,在一定条件下,微小气泡在表面张力作用下,可溶解于玻璃液内。在均化时,条纹及节瘤扩散和溶解的速率决定于主体玻璃和条纹表面张力的相对大小。如果条纹的表面张力较小,则条纹力求展开成薄膜状,并包围在玻璃体周围,这样条纹就很快地溶解而消失。相反如果条纹(节瘤)的表面张力较主体玻璃大,条纹(节瘤)力求成球形,不利于扩散和溶解,因而较难消除。

在玻璃成形过程中,浮法平板玻璃是基于玻璃的表面张力作用,从而获得了可与磨光玻璃表面相媲美的优质玻璃。另外,玻璃液的表面张力还影响到玻璃液对金属表面的附着作用,这使得在玻璃与金属材料和其他材料封接时也有重要的作用。玻璃制品生产中的人工挑料或吹小泡及滴料供料时,都要借助表面张力,使之达到一定形状。比如拉制玻璃管、玻璃棒、玻璃丝时,正是由于表面张力的作用才能获得正确的圆柱形。另外玻璃制品的烘口、火抛光也是借助表面张力的

作用才能实现。

但是，表面张力有时对某些玻璃制品的生产也会带来不利影响。例如在生产压花玻璃及用模具压制的玻璃制品时，其表面图案往往因表面张力作用使尖锐的棱角变圆，清晰度变差。在生产玻璃薄膜和玻璃纤维时，必须很好地克服表面张力的作用。在生产平板玻璃，特别是薄玻璃进行拉制时，需要用拉边克服因表面张力所引起的收缩。

1.2.2 玻璃表面张力与组成、温度的关系

如前所述，表面张力是由于排列在表面层（或相界面）的质点受力不均衡引起的，故这个力场相差越大，表面张力越大，因此凡是影响熔体质点间相互作用力（分子键结合力）的因素，都将直接影响表面张力的大小。主要包括玻璃的组成、温度等。

(1) 与组成的关系 对于硅酸盐熔体，随着组成的变化，特别是 O/Si 比值的变化，其复合阴离子团的大小、形态和作用力矩 e/r 大小也发生变化（ e 是阴离子团所带的电荷， r 是阴离子团的半径）。一般来说 O/Si 越小，熔体中复合阴离子团越大， e/r 值变小，相互作用力越小，因此，这些复合阴离子团就部分地被排挤到熔体表面层，使表面张力降低。一价金属阳离子以断网为主，它的加入能使复合阴离子团离解，由于复合阴离子团的 r 减小使 e/r 值增大，相互间作用力增加，表面张力增大。如图 1-1 所示。

从图 1-1 可以看出，在不同温度下，随着 Na_2O 含量增多，表面张力 σ 增大。但对于 $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 系统，随着离子半径的增加，这种作用依次减小。其顺序为：

$$\sigma_{\text{Li}_2\text{O}-\text{SiO}_2} > \sigma_{\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2} > \sigma_{\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2} > \sigma_{\text{Cs}_2\text{O}-\text{SiO}_2}$$

到 K_2O 时已经起到降低表面张力的作用，如图 1-2 所示。

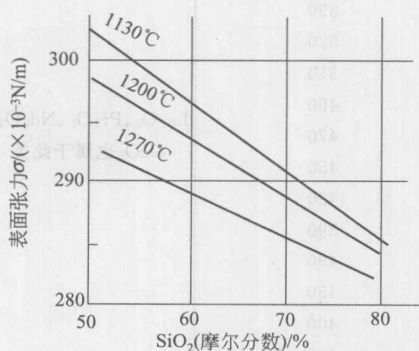


图 1-1 $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 系统熔体成分对表面张力的影响

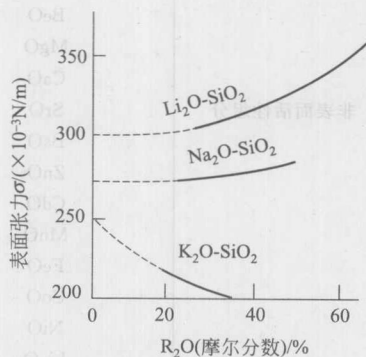


图 1-2 1300°C $\text{R}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 系统表面张力与成分的关系

各种氧化物对玻璃的表面张力的影响是不同的，Al₂O₃、CaO、MgO等增加表面张力，引入大量的K₂O、PbO、B₂O₃、Sb₂O₃等氧化物则起显著地降低效应，而Cr₂O₃、V₂O₅、MoO₃、WO₃等氧化物，即使引入量较少，也可剧烈的降低表面张力。例如，在锂硅酸盐玻璃中引入33%的K₂O可能使表面张力从317×10⁻³N/m降到212×10⁻³N/m，往同样玻璃中只要引入7%的V₂O₅时，表面张力就降到100×10⁻³N/m。

一般能使熔体表面张力剧烈降低的物质称为表面活性物质。表面活性物质与非表面活性物质对多元硅酸盐系统表面张力影响的程度有很大的差别。表1-1是当玻璃熔体与空气为界面时，各种组分对表面张力的影响。

表1-1中，第I类组成氧化物包括SiO₂、TiO₂、ZrO₂等，对表面张力符合加和性法则，可用下式计算：

$$\sigma = \frac{\sum \bar{\sigma}_i a_i}{\sum a_i} \quad (1-1)$$

式中 σ ——玻璃的表面张力；
 $\bar{\sigma}_i$ ——各种氧化物组分的平均表面张力因数（常数，表1-1）；
 a_i ——每一种氧化物的摩尔分数。

表 1-1 组成氧化物对玻璃表面张力的影响

类别	组分	组分的平均表面张力因数 $\bar{\sigma}_i$ (1300℃时)/×10 ⁻³	备注
I. 非表面活性组分	SiO ₂	290	La ₂ O ₃ 、Pr ₂ O ₅ 、Nd ₂ O ₃ 、 GeO ₂ 也属于此类
	TiO ₂	250	
	ZrO ₂	350	
	SnO ₂	350	
	Al ₂ O ₃	380	
	BeO	390	
	MgO	520	
	CaO	510	
	SrO	490	
	BaO	470	
	ZnO	450	
	CdO	430	
	MnO	390	
	FeO	490	
	CoO	430	
	NiO	400	
	Li ₂ O	450	
	Na ₂ O	290	
CaF ₂	420		

续表

类别	组分	组分的平均表面张力因数 $\bar{\sigma}_i(1300^\circ\text{C时})/\times 10^{-3}$	备注
II. 中间性质的组分	K_2O 、 Rb_2O 、 Cs_2O 、 PbO 、 B_2O_3 、 Sb_2O_3 、 P_2O_5 、	可变的,数值小, 可能为负值	Na_3AlF_6 、 Na_2SiF_6 也能显著降低表面张力
III. 难熔而表面活性强的组分	As_2O_3 、 V_2O_5 、 WO_3 、 MoO_3 、 CrO_3 (Cr_2O_3)、 SO_3	可变的,并且是负值	这种组分能使玻璃的 σ 降低20%~30%或更多

如果组成氧化物为质量百分数计算时,则可用表1-2所给出的表面张力因数计算。

表1-2 不同温度下的表面张力因数

组分	表面张力因数/ $\times 10^{-3}$			
	900 $^\circ\text{C}$	1200 $^\circ\text{C}$	1300 $^\circ\text{C}$	1400 $^\circ\text{C}$
SiO_2	340	325	324.5	324
B_2O_3	80	23	—	-23
Al_2O_3	620	598	591.5	585
Fe_2O_3	450	450	—	440
CaO	480	492	492	492
MgO	660	577	563	549
BaO	370	370	—	380
Na_2O	150	127	124	122
K_2O	10	0.0	—	-75

第II类和第III类组成氧化物对熔体的表面张力影响,不符合加和法则。这时熔体的表面张力是组分的复合函数,因为这两类组分氧化物为表面活性物质,它们总是趋于自动聚集在表面(这现象为吸附)以降低体系的表面能,从而使表面层与熔体内的组成不均一。

(2) 与温度的关系 从表面张力的概念可知,温度升高,质点热运动增加,体积膨胀,相互作用力松弛,因此,液-气界面上的质点在界面两侧所受的力场差异也随之减少,即表面张力降低,因此表面张力与温度的关系几乎成直线。在高温时,玻璃的表面张力受温度变化的影响不大,一般温度每增加100 $^\circ\text{C}$,表面张力约减少 $(4\sim 10)\times 10^{-3}\text{N/m}$ 。当玻璃温度降到接近其软化温度范围时,其表面张力会显著增加,这是因为此时体积突然收缩,质点间

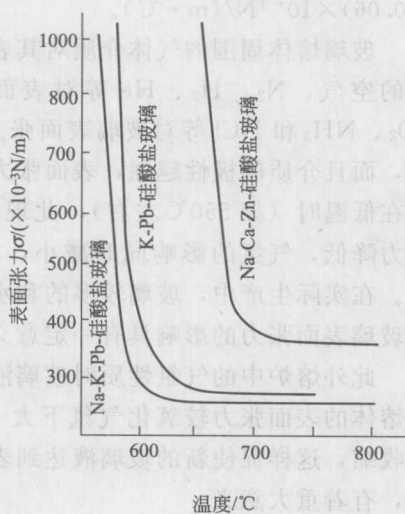


图1-3 三种玻璃的表面张力与温度的关系