

苏联平板玻璃工业近况

国家建筑材料工业总局技术情报标准所

一九七八年

苏联平板玻璃工业近况

苏联建材工业部全苏建材工业经济和科学技术情报所一九七七年出版的《情报评述》介绍了苏联平板玻璃工业的近况。现将所谈到的问题综合为以下三个方面。

一、苏联平板玻璃工业近况及发展措施

苏联1919年开始研究玻璃，同年10月建立了玻璃陶瓷实验站。两年后，改组为国家硅酸盐实验研究院。玻璃工业的发展和恢复是在前几个五年计划期间。1930年，从国家硅酸盐实验研究院中分出并成立了专门的玻璃科学研究院。1933年底建立了生产汽车用安全玻璃工厂。1935年恢复和建立了建筑和技术玻璃厂。

第二次世界大战德国法西斯入侵，使18个玻璃厂中的10个遭到了完全或部分的破坏，55%的窗玻璃以及全部钢化和磨光玻璃的生产遭到损失。

战后玻璃工业逐渐得到了恢复，1949年恢复到战前水平，玻璃产量逐年提高。表中列出的是1960~1976年平板玻璃的产量。

(按2毫米厚度计算，单位：百万米²)

1960年	1965年	1970年	1971年	1972年	1973年
182	259	341	353	369	383
1974年	1975年	1976年	1980年预计		
389	407	408.8	430		

(按实际厚度计算，单位：百万米²)

1960年	1970年	1975年	1976年
147.2	231.4	268.9	267.0

近十多年来，苏联生产的各种厚度的玻璃中，2毫米的玻璃比重下降了许多，而3毫米以上的玻璃比重却相应提高。下表为苏联各种厚度的玻璃产量占总产量的百分比：

	1960年	1970年	1975年	1976年
2.0~2.5毫米	63.3	38.3	35.3	35.1
3毫米	31.5	42.2	42.9	43.2
4毫米	2.0	8.5	14.3	16.8
5~6毫米	3.0	6.8	6.1	3.4
温室玻璃	0.4	1.2	1.2	1.5

苏联制成一吨产品的标准燃料消耗具有逐渐下降的趋势，下表列出的是1960~1975年的平均消耗标准：(单位：公斤)

1960年	1970年	1975年	1976年
744	579	539	540

据苏联建材工业部情报所统计的33个平板玻璃工厂中，有槽引上系统40个，无槽引上系统10个，浮法玻璃工厂一个。

1971~1976年，苏联有槽和无槽引上机台数自294台（总板宽为625.7米）增至326台（总板宽为718.5米）。表中为各种板宽的引上机台数：

板宽（米）	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	3.0
台数	7	22	186	1	77	33

玻璃带的平均宽度1970年为2.13米，1975、1976年均为2.2米。

目前，有100多台板宽为1.6~2.0米的引上机已经陈旧，将用板宽为2.5~3.0米的新机取代。

苏联平板玻璃熔窑由于采用高温熔化，强化玻璃液熔制过程的许多措施，池窑1平方米熔化面积的平均熔化量逐渐提高。表中为苏联全国平均熔化量（单位：公斤）：

	1960年	1970年	1975年	1976年
熔化部：	—	869	898	916
至成型部通路边部	574	621	634	639
至引上室桥砖	—	426	435	439

苏联有槽法引上速度波动在78.5~109米/小时，无槽法引上速度波动在98.5~140米/小时的范围之内（均折为2毫米厚度计算）。表中为1960~1976年的拉引速度（折为2毫米计算）：

	1960年	1970年	1975年	1976年
综合平均拉引速度	84.0	89.5	93.5	95.3

其中：

有槽：	—	—	90.3	91.0
无槽：	—	—	115.9	116.0

苏联的池窑寿命随着耐火材料质量的提高和采用合理砌筑方法，已从1970年的全国平均寿命为27个月，提高至1976年的35.5个月。

此外，苏联正大量采用集装箱包装、运输窗玻璃和橱窗玻璃。装入集装箱的玻璃占总产量的百分比如下：

1970年为26%，1975年为43.3%，1976年为44.8%。

而且，采用集装箱包装、运输玻璃的总量还有发展的趋势。

下表列出的是玻璃的品级率(%)：

	1960年	1970年	1975年	1976年
一级品	73.4	84.6	84.6	84.1
二级品	23.3	15.4	15.4	15.9
三级品	3.3	—	—	—

在成型工艺方面，目前尽管平板玻璃生产的方法正在蓬勃发展，但是在苏联，近十年采用垂直引上法生产的玻璃仍在各种方法成型的窗玻璃中居主要地位。而且，在第十个五年计划期间（1976~1980年），提高窗玻璃产量和改善产品质量主要不是依靠建新厂和采用新的成型工艺，而是通过在有槽和无槽系统冷修期间对其进行改造来实现。

苏刊认为，挖掘窗玻璃生产效率的最主要潜力，在于使所有引上机的引上速度都达到先进工厂的指标。目前，垂直引上系统的生产率还远没有达到设计能力。例如：无槽引上系统的生产率

只达到了设计能力的84.6%，因此，潜力还很大。

为了进一步挖掘潜力，提高玻璃熔窑的生产率，改善玻璃液的均匀性，主要采取的措施是：

- 1.改善原料的质量，原料应经过选矿场选矿和玻璃厂原料车间制备；
- 2.采用自动循环式或电子计算机控制计量和搅拌设备，在一些工厂内采用苛化混合料，以此来提高混合料的质量；
- 3.采用转子式混合料加料器和完善池窑加料室的结构；
- 4.将玻璃的最大熔化温度提高到1590℃，并相应地增高熔化带的温度；
- 5.在玻璃液中采用挡砖，将其置于池窑的熔化部和冷却部之间；
- 6.完善烧天然气和液体燃料的小炉结构；
- 7.必要时，在池窑的熔化部采用补充电加热；
- 8.池窑进行隔热；
- 9.在池窑的冷却部进行玻璃液搅拌(在玻璃液的挡砖之后)；
- 10.建池窑时，耐火材料要采用合理的配置方法；
- 11.进一步完善池窑热风 and 物料平衡的自动控制及其它措施。

为提高玻璃成型系统生产率和改善玻璃质量，采取的措施是：

- 1.在有槽和无槽引上系统增设引上机；
- 2.用宽板机(2.5~3.0米)取代窄板机(1.6~2.0米)；
- 3.拆除已经陈旧的引上机；
- 4.将无槽引上速度提高至130米/小时，有槽引上速度提高至110米/小时；
- 5.在宽机上广泛地掌握薄玻璃的生产(2~3毫米)；
- 6.改进有槽和无槽系统引上室结构；
- 7.掌握新型的玻璃拉引法(玻璃带薄层拉引法、对辊拉引法和其它)；
- 8.引上室里吹热风；
- 9.在成型通路中进行玻璃液的机械搅拌；
- 10.扩大生产和采用集装箱，用于包装和运输玻璃。

二、提高池窑生产能力和改善玻璃液质量

近二十年来，苏联平板玻璃工业在强化玻璃熔制过程、提高玻璃池窑生产能力所采取的主要措施是：不断改善原料和混合料的质量；完善混合料加料工艺；提高玻璃的熔化温度，以及池窑各部位实现自动化。

苏联的萨拉托夫斯基、勃尔斯基、萨拉瓦特斯基等工厂平板玻璃窑加热部每平方米玻璃液的熔化量达到1500~1800公斤/天。根据另一些统计资料报道，苏联池窑熔化部的熔化量在1970年平均为869公斤/天，1975年为898公斤/天，1976年为916公斤/天。

1.玻璃的化学成分

玻璃液的成型性能取决于玻璃本身的化学成分。目前苏联玻璃研究院正在进行改善玻璃液

的成型性能的工作，企图通过改变化学成分的方法，来改善玻璃液的成型性能，进而提高池窑的生产能力。下面是苏联实行的几种不同成型工艺所采用的玻璃化学成分：

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
有槽法	72.1	1.7	0.1	6.6	4.2	14.8	—	0.5
无槽法	72.4	1.7	0.1	8.2	3.5	13.7	—	0.4
浮法	73.0	1.0	0.08	8.6	3.6	13.4	—	0.32

2. 完善混合料的加料工艺

目前玻璃工业使用有四种混合料和碎玻璃的加料方式：

- ① 碎玻璃从薄层加料机的边部料仓加入，混合料从加料机的中部料仓加入；
- ② 将碎玻璃和混合料分层送入加料机料仓，然后以不均匀混合的状态进入池窑；
- ③ 将碎玻璃与混合料用搅拌器混合在一起，然后以混合状态进入池窑；
- ④ 将混合料加在碎玻璃层上。

经研究证明，玻璃的熔化速度在其它条件相同时，一是与碎玻璃颗粒度有关，二是碎玻璃与混合料混合进入池窑，还是单独进入池窑，也影响着熔化速度。尘状碎玻璃颗粒在与混合料混合在一起时，会减慢熔化速度，将碎玻璃块颗粒度增至30~50毫米，可以改善熔化过程，但熔化时间比将混合料加在碎玻璃层上熔化的时间要长。

在混合料中存有小颗粒玻璃碎块时，碱先与玻璃碎块相互作用，然后与砂子相互作用。因此，一部分碱消耗在碎玻璃的熔化上，而使易熔硅酸钠的生成可能减少。这样，就减慢了砂子颗粒在熔液中的熔化过程，使玻璃熔制过程加长。加大碎玻璃的颗粒度，可以减少消耗在碎玻璃上的碱量，但是在碎玻璃与混合料混合状态下，碎玻璃比混合料熔化得快，熔化的玻璃液会蒙住混合料的颗粒，阻碍混合料的熔化。

在池窑中混合料的熔化主要是靠上部的热辐射和热对流来进行的，底层的混合料主要靠玻璃液的热对流来熔化，传给混合料的热量底部要比上部少。

基于上述因素，如果把混合料加在碎玻璃层上，那么，碎玻璃就会很快地在温度稍低的底层熔化，而混合料的下部处在比碎玻璃所在的温度层温度高一些的熔化层里，上部的混合料接受热辐射和热对流传导的热量。在其它条件相同的情况下，这种状态可以加快混合料的熔化过程，制取更为均一的玻璃液。也就是说，第四种加料方式比前三种具有很大的优越性。因为它既防止了碎玻璃和混合料混合状态下出现的使碎玻璃熔化后蒙住混合料颗粒的现象，同时，又使碎玻璃和混合料的熔化速度趋于均匀。而且，将碎玻璃和混合料搅拌，首先要破碎碎玻璃，这就使搅拌过程复杂化，难于控制，并且降低搅拌器的生产能力，加速其磨损。这样做既无益处，又使玻璃熔化受影响，因此，不宜使碎玻璃和混合料处于混合状态加入池窑，而应将混合料加在碎玻璃层上，碎玻璃块度不应超过50×50毫米。为适应这种加料方式，推荐一种转子式混合料加料机：

转子式加料机是由带轮子的台车构成的，该台车可以沿轨道离开或接近池窑窑头的加料室8，在台车上装有接料斗1，接料斗上装有转子2，接料斗内装碎玻璃，在转子转动时，碎玻璃进入倾斜的金属板3上，沿金属板滑入玻璃液面，形成碎玻璃层。混合料从料仓4中凭借转子6的转动，投到碎玻璃层7上(形似横向的坩)，在转子6转动时，其突出部分拨动碎玻璃层，将碎玻璃和混合料向前移动，然后再加上一批新料。传动装置9借助于棘轮装置带动转子6转动，水

冷装置5保护转子6不被烧坏。沿池窑宽度可并排安装两台加料机。

窑头加料室8的端墙和底部要防止热损失，并且不使玻璃液处于动态。处于玻璃液内的加料室墙壁要求垂直而无突起。

加料机的工作时间应保证不少于95%，并防止靠近墙体的玻璃液面冷却。加料机是自动调节的，以保证池窑中玻璃液面保持精确度在 ± 0.2 毫米之内。

加料室宽度应为池窑宽度的80%左右。碎玻璃和混合料流的宽度最大可接近加料室的宽度，而最小不少于其宽度的90%。混合料边部和池窑砌体之间，应有400~500毫米宽的距离，不使其相互直接接触。因为这样会使砌体很快损坏。

目前，苏联已有十个平板玻璃厂使用这种转子式加料机。这些工厂是：勃尔斯基工厂、萨拉托夫斯基工厂、萨拉瓦特斯基工厂、戈麦利斯基工厂、康斯坦丁诺夫斯基工厂、“十月革命节”工厂、利西昌斯基工厂等。苏联彼尔姆斯基机器制造厂生产这种加料机。

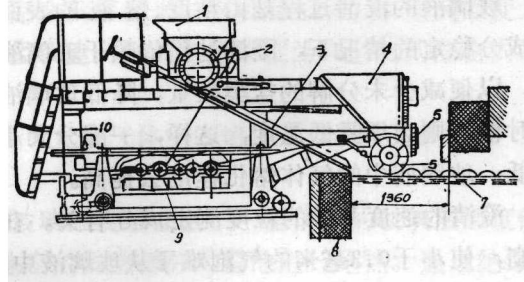


图 1

3. 采用颗粒和粒状苛化混合料的玻璃熔制

熔化过程分为五个阶段：硅酸盐的生成、玻璃生成、澄清、均化和冷却。

硅酸盐生成过程 一般的钠、钙玻璃在温度为 300°C 时开始，到 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ 结束。这一过程占整个熔化玻璃过程30%的时间。因此，加快这一过程，对提高熔窑生产率意义极大。当温度提高 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 时，这一生成过程的速度可以加快一倍。

混合料中的碳酸镁可以加快这一生成过程，并能促使在很低的温度下生成液相。混合料中含有水分，也会加快苏打和混和料的其它组分相互作用的过程。合适的含水量为5%左右。

将苛化混合料中的部分苏打用液体钠代替，也可以加快硅酸盐生成的过程。因为液体钠比苏打具有更强的反应能力，并能和混合料的其它组分紧密接触。

粒化混合料比颗粒料加热快，因为它的导热性能高。

硫酸钠对玻璃的熔化过程也有好的影响，合适的硫酸钠含量应占氧化钠总量的5~15%，碳的含量依熔化的氧化—还原条件而定，一般为硫化物的6~8%。

玻璃生成过程 一般温度为 $1150\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 。为加快这一生成过程，在现代化池窑中池窑上部结构温度保持为 1590°C ，玻璃液温度比该温度低 $50\sim 75^{\circ}\text{C}$ 。

玻璃生成的速度与熔液温度成正比例，与砂子颗粒度、熔液的粘度和表面张力成反比例关系。

对熔液进行搅拌，可以加速玻璃的生成过程。搅拌可采取鼓泡、在熔液中加入火和采用机械搅拌等方法。

硫酸钠可以加快砂子熔化的过程，因为总是浮在玻璃液表面的硫化物可以与砂子相互作用。而如果混合料中没有硫酸钠或者熔化是在很强的还原气氛中进行，则可能在玻璃液的表面层聚集起方石英(白色松散的杂质)。

这一过程约为硅酸盐生成过程的90%的时间。减少这段时间，是熔化玻璃的迫切问题。

澄清过程 一般玻璃液的澄清过程在1400~1500℃。而现在，正极力把澄清温度提高到1550~1600℃。这样，就可以缩短这一过程所需时间。玻璃粘度在澄清时为5~10泊，熔化温度越高，产生二次气泡的可能性就越小。

玻璃液的澄清过程是由粘度、熔液的表面张力和玻璃液中气体的饱和程度决定的。在熔液化学成分稳定的情况下，澄清过程依赖于玻璃液的温度。在澄清开始的阶段，要求保持最高的温度，以便减少未分解的盐类数量，降低玻璃液的气体饱和量和减少其粘度。而在澄清过程快结束的时候，则必须降低温度，这样，一部分大小接近于极限的气泡可以熔化在玻璃液中，因为温度降低，玻璃液中的气体熔化程度会提高。

澄清的速度与砂的粒度测定成分有关。在玻璃生成过程中，小的砂粒比大的熔化快，使粘度提高，使小于0.3毫米的气泡难于从玻璃液中析出来。

澄清和冷却最好在薄层中进行。这种薄层在沿深度的温度最小梯度下，不会产生逆向热流。在采用高质量耐火材料砌筑窑池澄清部的情况下，这样做是可能的。耐火材料应能在玻璃液的侵蚀下稳定，在与玻璃液接触时不产生气泡。

均化过程 其温度介于澄清和冷却之间。

玻璃液的冷却过程 为提高玻璃液的化学和热均匀性，最好在成型之前进行玻璃液的搅拌。在现代化熔窑中，均化和冷却过程所用面积约占玻璃液总面积的70%。

4. 高温熔制玻璃

目前，苏联和其它许多国家的实践证明，为提高玻璃窑的生产能力和改善玻璃液质量而提高熔制玻璃温度在技术和经济等方面都是适宜的。当前国外玻璃工业发达的国家里，平板玻璃窑气体空间墙体的最高温度保持在1600℃。苏联玻璃工业在重建的平板玻璃窑内，也计划达到1600℃这一最高温度，也就是说，气体空间墙体的工作温度接近1590℃。如果达不到这一温度，则希望工作温度不低于1550℃。现在苏联正在生产的平板玻璃窑最高温度范围是1550~1580℃，并有依靠冷修期进行改造，使之提高的倾向。

通过对玻璃形成过程的调查(采用制取平板玻璃的混合料，温度范围是1400~1700℃)，得出如下玻璃形成所需时间的平均值：

温度(℃)	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700
熔化混合料							
所需时间(分)	53.7	36.4	20.9	10.0	4.0	2.4	1.6

从表中可以看出，在将温度从1550℃提高至1600℃时，玻璃形成过程的速度增长最快，在这个范围内，将温度提高50℃，使玻璃形成过程所需时间减少了1.5倍。这是因为当温度接近1600℃时，石英剧烈地转变为密度为2300公斤/米³的中间液相，因而加速了SiO₂与周围熔液的相互作用速度。当熔液温度高于1600℃时，玻璃形成过程的速度改变程度不大，这表明，玻璃熔制过程的温度高于1600℃是不适宜的。

澄清和均化过程的速度，按一般规律，与粘度和玻璃液的表面张力有关。玻璃液澄清和均化速度的提高，可采用减小粘度和表面张力的方法来实现。粘度和表面张力是随温度提高而减小的，可见，提高玻璃液温度可以加快澄清和均化的速度。

因考虑到砌筑窑池和窑的气体空间墙体耐火材料的材质，将玻璃液的温度在澄清阶段提高至1600℃以上并不合适。

应很好地根据池窑气体空间墙体的温度来确定最高熔制温度。如果确定的熔制温度范围是1570~1590℃，那么，玻璃液面的温度在好的情况下低于上述温度50℃。

靠采用高温熔化来挖掘池窑的生产潜力并没有完全发挥出来。有可能在气体空间温度为1580℃的熔窑内将玻璃液的温度再提高50℃，而在未经改建，气体空间温度为1550℃的池窑内，将玻璃液温度提高75~100℃。

目前采用砌筑玻璃熔窑的高质量、现代化耐火材料可允许气体空间墙体工作温度达到1650℃，这一温度接近于最大许可温度。

现在，苏联国家玻璃研究院正在进行提高熔制玻璃温度最高区——澄清部的玻璃液温度的工作。采用的方法是在气体部分进行电辅助加热，在池窑的加热部分对窑池进行绝热。通过绝缘，可将玻璃液温度提高20~30℃，并节约3~4%的燃料。

电辅助加热的工业性实验在萨拉托夫斯基和萨拉瓦特斯基工厂进行。热绝缘实验在戈麦利斯基和里沃夫斯基工厂进行。

苏联和其它国家实践的统计数字证明，主要是通过提高熔化温度而达到的玻璃液单位产量的增长，能使单位热耗降低。据苏联国家玻璃研究院调查，其国内垂直引上系统所使用的池窑，沿其熔化部长度的气体空间砌体的平均温度提高10℃，单位生产能力的平均增长率为4%。

温度的提高，对玻璃液的均化过程影响很大。刚熔化的熔液化学均一性不好，其中贯穿有许多石英颗粒的剩余杂质和其它一些大小为10毫微米的难熔氧化物。在这些氧化物周围构成了化学成分和性能不相同的环形熔化带。提高温度可使微小的石英剩余物熔化加速，这些剩余物在大小为1毫微米时，就会破坏玻璃液的工艺均匀性。

苏联的池窑在转为高温作业之后，玻璃的工艺均一性有了明显的提高。勃尔斯基工厂池窑生产时的温度达到1570℃，成型的玻璃质量很好。池窑加热部一平方米的生产能力达到了1500公斤/天。

为提高产量，应合理地将玻璃熔窑转成高温熔制制度。在按比例地提高熔化部全长度走向的温度和热耗的情况下，池窑上部结构砌体的最大温度应为1590℃。

混合料和熔化泡界线的位置，应成为熔化部内必须的热强度的判据。熔化部长度超过池窑加热部长度的60%，会造成混合料下熔液温度的降低和减少玻璃产量，并使玻璃的化学均一性下降。靠提高温度来提高产量，要求池窑扩大冷却能力。冷却部面积不够，可采用在熔化部和冷却部之间的玻璃液内安装耐玻璃液侵蚀的挡砖和减小冷却部窑池深度等方法来补偿。在玻璃液内安装挡砖，可以提高池窑内的最大温度而不增加冷却部面积。

将池窑转为具有高单位生产能力的高温熔制玻璃制度，要改变和完善池窑的各个部件的结构，实现对燃料、物料和空气制度的自动控制。今后进一步发展和完善高温熔制制度的方向是：直接在熔液内加强热交换和物质交换，例如，在火焰加热的同时，对玻璃液采用电加热，在熔液中燃烧火焰、鼓泡或者采用机械搅拌器等方法。

5. 强化玻璃熔化过程

实践证明，将混合料加在碎玻璃层上(采用转子式加料机)呈横向垅状的方法，是提高玻璃熔

窑生产能力的一条途径。

池窑的生产能力还与沿池窑长度的温度分布和混合料以及熔化泡沫在玻璃液面上的分布位置有关。下图是生产能力为500吨/天左右，带电辅助加热的池窑玻璃液面图解和上部结构温度的标准曲线：

为保证沿池窑长度温度分配曲线，给各小炉输送的气体量应如下（不考虑接通电加热的电极）：

小 炉	第 1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号
气体量 (%)	16	20	19	20	16	9

在接通电加热电极的情况下，送入第3和第4号小炉的气体量要减少，使之能保持所需的温度。

在气体燃料加热的情况下，从池窑下部传导给混合料的热量为15~20%，其余的热量是从上部传导的。而在气体和电加热的情况下，从下部传导的热量则显著增长，使混合料的熔化过程加速。

混合料下面的玻璃液温度，在气体燃料加热的情况下，依靠火焰和窑顶部传导给熔化泡区域的玻璃液的热量和一部分传导给净液面区域的玻璃液的热量来保持。

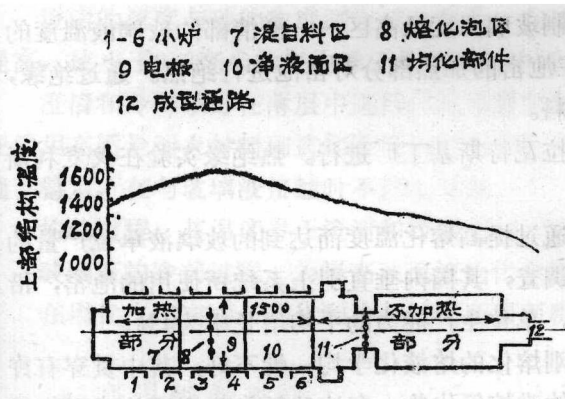


图 2

混合料、熔化泡和玻璃液的净液面，其吸热情况各不相同。未被熔液盖上的、刚刚加入的混合料具有最强的受热作用能力。吸热最少的是浓度大的熔化泡区域，它具有半透明的反射表面。如果把混合料吸收的热量作为一个单位，那么，传导到熔化泡区域和净液面区域的热量只有这个数量的40~45%。

还有可能在提高池窑加热部的热强度条件下，强化玻璃的熔制过程。在苏联的平板玻璃窑内，热强度为420~500千瓦/米²。国外具有强制熔化制度的高温熔窑内的热强度达到670~1050千瓦/米²。要将先进厂达到的玻璃液的冷却量从1250公斤/米²提高至2000~2500公斤/米²，就必须将池窑的热功率提高至710~840千瓦/米²。通过实行一些措施，而首先是提高气体消耗量，是能够达到这一要求的。这必然会导至池窑气体空间和玻璃液温度的上升，同时，使燃料的单位消耗下降。

如上所述，现代的耐火材料可以允许将池窑的气体空间温度提至1650℃。应特别注意的是提高熔化和澄清部玻璃液的温度和改善熔液中的热交换和物质交换。将玻璃液温度提至1500~1600℃，最能有效地影响池窑的生产能力。

辅助电加热电极安置在软化点区域内，电极输入的热量可达总热耗的10~15%（考虑到电加热有效系数在气体燃料加热有效系数是25~30%时，应为80~85%）。尽管采用电加热所得到的单位热量比天然气的单位热量要贵，但由于使用电加热能提高池窑的生产能力和改善玻璃质量，因此，仍是可行的。电加热时，从玻璃液中析出热，并将这些热量从下部传递给游浮的混合料是十分有效的。

将气体低位输入小炉，可使火焰接近混合料和玻璃液面。这样，就可以改善对混合料和玻璃液面的传热状况，更均匀地沿小炉截面分配气体，消除喷出口上部结构和窑顶的锐火焰，并能提

高靠近窑池部分的热强度。这种方法已在萨拉托夫斯基、萨拉瓦特斯基、库尔洛夫斯基、“十月革命节”等工厂采用，情况很好。

沿池窑长度的热强度不均匀，在小炉火焰下部为最强，在靠近窑池的区域和小炉之间则要小20~40%。

从底部输入气体能提高小炉之间的热强度，增加火焰对玻璃液面的覆盖面积，节约燃料。在现代化玻璃熔窑内，还可以通过减小小炉之间的隔墙至1100毫米的方法，来达到火焰对玻璃液面更为充分的覆盖。

在低位输入气体和采用按扇状方式安装的边部通风管的情况下，将小炉喷出口的宽度增至2200毫米，并且减小隔墙尺寸，能将池窑玻璃液面的火焰覆盖程度提高到70~75%。这种结构已被广泛采用。

靠使用重油和气体加热来提高火焰亮度，能将热效率提高到使用纯气体火焰的1.5倍（在总耗热量中补充一定比例的重油）。

为提高玻璃熔窑的热强度，要适当地加强最高温区小炉的氧气喷吹。氧气是锡槽的保护性气体氮制作过程中的副产品。这一试验计划在勃尔斯基工厂进行。

具有强热流的池窑应很好地密封，以防止空气透过不严实的砌体和防止用于冷却窑池墙壁的空气侵入。气体燃料必须在具有适合的空气过剩量的情况下燃烧，相当于1.08~1.12。强化熔化过程，还可以通过将苛化混合料颗粒在投入池窑前，利用废气余热加温至500℃的方法来实现。

6. 玻璃液的均化和冷却

用于生产平板玻璃的敞开式池窑，其冷却部为加热部面积的0.8~1.3。强化玻璃液的均化和冷却过程的问题，是与熔制玻璃同样迫切的。

在宽度为4~6米的池窑熔化部和冷却部之间的交接处的玻璃液中采用挡砖（该处温度是1350℃），是强化玻璃液的均化和冷却过程的方法。这种方法，可使熔化玻璃的最高温度提至1570~1580℃，在冷却部不做改变的情况下，提高池窑的生产能力。形状似桥的玻璃液挡砖，可将玻璃液的温度降低30~40℃，消除表面快速流动的玻璃液流，改善玻璃液的均一性，节约燃料。

强力空气冷却的中空锆刚玉挡砖，在壁厚不大于125~150毫米时，可保持整个的池窑使用周期。挡砖应用41号锆刚玉制造。

右图为玻璃液均化装置。

挡砖可以用锆刚玉制成缓慢倾斜的桥状，可以制成用直角管组成的水冷管状或用普通管子制成束状，也可制成将钼片固定在水冷管上的形式，水冷管直径的一半浸在玻璃液中（见

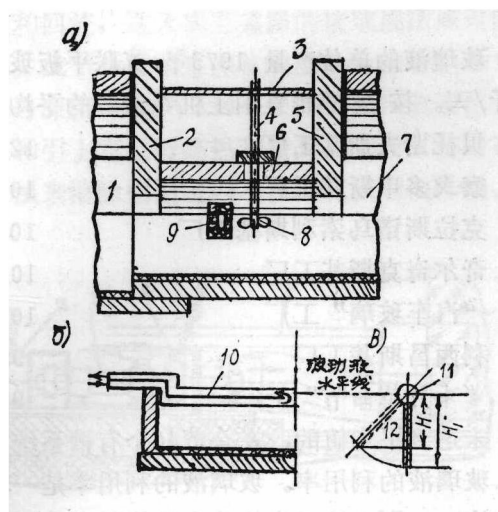


图 3

- a. 带锆刚玉挡砖的均化装置；b. 带冷却管状阻挡物的均化装置；B. 带钼制阻挡物的均化装置
 1. 池窑熔化部 2. 隔墙 3. 操作台 4. 搅拌器的冷却管 5. 隔墙 6. 窑顶 7. 冷却部 8. 搅拌器 9. 锆刚玉挡砖 10. 冷却管状阻挡物 11. 水冷管 12. 钼片

图中B)。挡砖浸入玻璃液的深度为300~400毫米。

由水冷管组成的阻挡物应能在任何时候在窑上装进和取出，其浸入玻璃液的深度应能改变，其材质和容重应能使其浮在玻璃液中。最为普通和可以移动的是用钼制成的阻挡物。它能从窑顶部的交接处的缝中装进和取出。缝在安装完毕后可用板材覆盖上。

计算证明，钼在1500℃时，仍然能保持足够的硬度，并经得住流动玻璃液的压力。钼片的位置可以从H调到H₁(见图中B)。锆刚玉挡砖和冷却管式阻挡物在实践中证明是可行的，使用钼片制阻挡物还需经实践检验。

对玻璃液的冷却作用最大的是冷却管状阻挡物，均化部件前后的温差能达到100~120℃。

带有搅拌器的挡砖能促进玻璃液流的混均，并能提高其化学和热均匀性能。

搅拌器可采用熔融陶瓷耐火材料制造，或采用耐热金属和合金。搅拌器叶片直径为350~550毫米，转速为15转/分钟，

三、改进成型技术，提高玻璃产、质量

苏联平板玻璃工业1976~1980年间，提高玻璃成型系统生产率和改善玻璃质量的主要措施是：在有槽和无槽引上系统增设引上机；玻璃液的单位产量、利用率和引上速度达到苏联先进厂的水平；改进有槽和无槽系统引上室结构；掌握新型的玻璃拉引法以及引上室里吹热风和在成型通路中进行玻璃液的机械搅拌等。

1. 达到最佳指标

玻璃液的单位产量。1975年，苏联平板玻璃熔窑熔化部一平方米玻璃液面的产量为1217~493公斤/天。按全部垂直引上机系统算的平均值为908公斤/天。达到最佳指标的有：

贝托谢夫斯基工厂	1217公斤/天
察戈多申斯基工厂	1093公斤/天
克拉斯诺乌索利斯基工厂	1046公斤/天
奇尔奇克斯基工厂	1037公斤/天
“汽车玻璃”工厂	1030公斤/天
利西昌斯基工厂	994公斤/天
“十月革命节”工厂	994公斤/天

未达到平均值的，在全苏40个有槽系统中有19个，10个无槽系统中有6个。

玻璃液的利用率。玻璃液的利用率是一项综合指标，它可以反映玻璃液的质量（进行成型的玻璃液），引上机工作的稳定性能以及从原料制备到玻璃包装的各个工艺环节中，工艺和生产制度情况的检验。

全苏有槽系统玻璃液的利用率为0.59~0.87，平均指标为0.72。

在40个有槽引上系统中，19个系统玻璃液利用率高于0.8，其余的等于或低于0.8。在10个无槽引上系统中，除里沃夫工厂的一个系统外，其它系统都低于0.8。

所有垂直引上系统都达到0.8左右的利用系数，是提高窗玻璃产量的一个很大的潜力。

目前，苏联定规格玻璃数量增多，这会引引起在切裁时玻璃损耗量增大。这种损耗占工厂产品切裁量的10~15%。

玻璃的拉引速度。

下面是苏联几个先进工厂的年平均拉引速度（按2毫米厚度计算），单位：米/小时。

(有槽)	察戈多申斯基工厂	104~106
	图隆斯基工厂	103
	米谢朗斯基工厂	102
	马格尼托戈尔斯基工厂	101
	贝托谢夫斯基工厂	97
(无槽)	托克马克斯基工厂	126

先进工厂和其它工厂的引上速度相差25~30%。因此，提高引上速度，使所有工厂都达到先进厂的标准，也是提高玻璃产量的一个很大的潜力。

此外，延长炉令对提高产量影响也很大。苏联有槽和无槽系统的平均炉令在第九个五年计划期间(1971~1975)，从27个月提高到31个月。勃尔斯基工厂巴涅维日斯基工厂的炉令达到五年多。

2.改善玻璃质量

垂直引上玻璃最主要的缺陷是波筋。这些缺陷造成的主要原因是由于成型过程中玻璃液的化学和热不均匀性以及成型后引上室对流气流造成玻璃带冷却不均匀所致。要制取优质玻璃，首先要供给成型通路以化学和热均匀性好的玻璃液，保证其在成型之前均一性不变化。

有槽引上玻璃表面质量还与槽口的平整度、槽砖耐火材料与玻璃液的相互作用，失透玻璃在槽口的聚集等方面有关。在成型通路里，玻璃液有直流和回流，进入成型通路的玻璃液比成型的玻璃多0.7~1.2倍。直流和回流量沿深度是大体相同的。成型为玻璃带的玻璃液最大部分是来自流动于深度为150~300毫米的玻璃液直流层，少部分来自深度为350~450毫米和表面玻璃液层。

要改善槽口玻璃液的热均匀性，必须对成型通路和引上室进行绝热和密封。槽砖、桥砖和端墙之间空间要隔热。同时，采取向引上室吹热风的方法来消除引上室内不良的气流对流作用。

严格地控制玻璃的化学成分、成型的热工制度、制备高质量的槽砖和定期切断玻璃带（消除失透玻璃）是制取高质量玻璃的必需条件。有槽和无槽引上玻璃质量的改善，可以通过向引上室内吹热风 and 进行成型前的玻璃液搅拌等方法来实现。

吹热风装置由带罩的轴流式通风机构成（装在引上室内），叶轮安装在长轴上，由直流电机带动运转。电机安装在引上室外，并可在1500~2000转/分的范围内变换速度。

吸入的空气与环状燃烧嘴产生的废气和引上室气体混和在一起，温度为400~450℃，吹送至

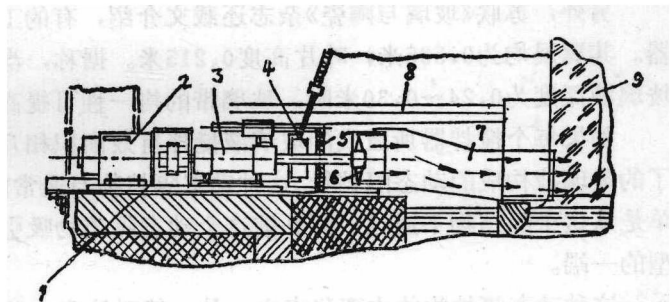


图 4

向上引室内吹热风用空气再循环装置安装图

- 1.设备的支撑框；2.电机；3.轴承体；4.室外空气以及入管；5.环状燃烧嘴；6.轴式通风机；7.导向喷管；8.冷却装置；9.玻璃带

玻璃带和水冷管之间。吹入的空气消除了引上室内形成的对流气流，使玻璃带更均匀地冷却，可减少成型过程中出现的波纹。

苏联和其他国家使用空气再循环装置的结果都不错。苏联戈麦利斯基工厂，巴涅维日斯基工厂和康斯坦丁诺夫斯基玻璃厂使用的效果很好，波纹减少了5~8度。

在苏联，鼓泡技术一般是包装玻璃工厂使用，而平板玻璃工厂采用机械搅拌器进行均化（在挡砖之后的位置）。在成型通路内搅拌玻璃液的效果也很好。机械搅拌器要装在引上室前的成型通路内。成型通路深400~500毫米，在这种成型通路内没有回流玻璃液。因此，搅拌器深置于通路深度的四分之三。在有槽和无槽引上系统中，搅拌器可以放置在玻璃液直流层不到一半的深度内，只搅拌直流玻璃液。同时搅拌直流和回流玻璃液是不许可的，否则会因为直流和回流玻璃液化学和热均匀性不同而破坏玻璃液成型时的均一性。

目前，苏联正在有槽引上系统的成型通路中进行玻璃液搅拌实验。现在问题所在：在各个引上机前都安装搅拌器看来是没有必要的，但在处于同一个十字内的一组引上机前装一个搅拌器效果却不好。据分析，这大概是由于搅拌后玻璃液分为几条液流（按机数）并且与未均化的玻璃液混合的缘故。

里沃夫斯基工厂在无槽系统成型通路进行玻璃液的搅拌取得了良好效果。玻璃液搅拌采用陶瓷的螺旋桨式搅拌器。安装位置：自搅拌器中心至挡结瘤桥砖为350~500毫米。加大这个距离将会使搅拌效果减低或消除。叶片翼展为380毫米。搅拌器适宜的旋转频率为12转/分钟。浸入玻璃液深度为200毫米。在宽度为2.5、3、3.5米的通路中，可放两个搅拌器。角畸变在搅拌后，从25~30°减至7~8°，结瘤和“毛筋”消失或锐减。搅拌玻璃液可减小温度落差，沿通路宽度从35~40℃减至15~20℃，沿其深度从35~45℃减至5~10℃。耐火粘土制搅拌器使用寿命为1.5~2个月。

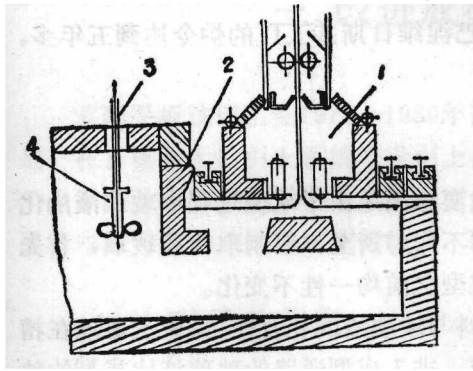


图 5

无槽引上系统成型通路内搅拌器装置图

1. 引上室；
2. 截瘤桥砖；
3. 冷却管；
4. 搅拌器

现在，玻璃研究院正在制造耐热金属和合金的搅拌器，将可提高其使用寿命。

另外，苏联《玻璃与陶瓷》杂志还载文介绍，有的工厂玻璃液机械搅拌使用了四个叶轮式搅拌器。其翼展均为0.535米，叶片高度0.215米。据称，当搅拌器旋转频率为0.15~0.2转/秒，浸入玻璃液深度为0.24~0.30米时，玻璃带的均一性可提高，达到2.2°。

如果每个搅拌器所造成的玻璃液搅拌有效面积相互接触在一起，那么就形成了一个由被均化了的玻璃液构成的动态隔挡物。这种动态隔挡物与通常的静态隔挡物本质的区别在于：成型液流不单是从这个隔挡物下通过，而且被这个动态隔挡物吸引，经过搅拌器的搅拌后，被搅拌器送向成型的一端。

这种动态隔挡物的主要优点之一是，能对池窑内玻璃液的对流造成影响，其方法是改变搅拌器对熔液的搅拌参数，即限制玻璃液表面液流的消耗量。

3. 改进成型工艺

在苏联和其他一些国家里，采用有槽引上工艺生产平板玻璃的比重相当大，有一部分引上机

还是近年新建的，还要使用相当长的时间。而且，垂直引上工艺生产的玻璃要比浮法玻璃便宜，只是质量不如浮法玻璃好。因此，目前提出的改进现有设备和设计新工艺的建议，首先是在于如何改善玻璃质量和提高生产能力。

对辊法就是这些新方法之一。它的关键是：在引上室内装一对可以转动的辊子，来代替有槽垂直引上系统的槽子砖。辊子是由掺有能使辊子表面更耐玻璃液侵蚀的外加剂的粘土熟料制成的。两辊之间形成一个形状类似槽子砖口的缝隙。辊子定时转动，这条由两个辊子对夹形成的缝隙也不断得到更换，消除了有槽系统槽子砖口玻璃的失透现象。因此，采用对辊法可以生产与无槽引上玻璃质量相同的优质玻璃。同时，玻璃成型过程中的厚度易于掌握，兼有有槽和无槽工艺的优点。

该工艺生产的玻璃光畸变很小，开机之后在生产的最初阶段，由槽子口造成的气泡现象也大大减少。因此，采用该工艺可制得高质量的薄玻璃。

采用该工艺的引上速度：2毫米玻璃为100~120米/小时，3毫米为70~75米/小时，5毫米为30~35米/小时。这个速度与苏联好的有槽引上机速度相同。与无槽拉引速度相比，2毫米玻璃拉引速度慢15%，3毫米慢20%，5毫米慢35%。采用该工艺生产2毫米玻璃可以不停机连续生产100~120天，3毫米为70~80天，5毫米为45~50天。对辊法引上机板宽为1.9~2.8米。

工作着的有槽引上系统可以不必将整个系统停下来，就能进行新工艺改革，只需将引上室内稍事改变，并用对辊取代槽子砖即可。当然，这种工艺改革在冷修期间进行更好。

辊子转动的机械装置无一定要求，采用手工进行转动也可以（一般为每昼夜转动一次）。

对辊法成型工艺的优点是可以制取光学性能改善的玻璃，可以延长引上机无间断的工作时间，提高引上速度和将生产能力提高到与无槽系统相同的水平。

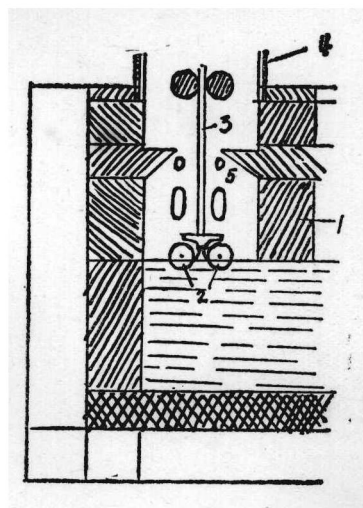


图 6

对辊法成型玻璃引上室装置图

1. 桥砖；2. 成型玻璃用辊子；3. 玻璃带；4 有槽引上机；5. 水冷管

(丁海嘉编写)

