

# 浮法玻璃工艺流程介绍



曹萍

中国凯盛国际工程公司



# 平板玻璃

---

- 平板玻璃生产工艺
  - 有槽垂直引上法
  - 无槽垂直引上法
  - 平拉法
  - 浮法
- 上世纪五十年代最先发明浮法玻璃的是英国Pilkington兄弟，美国Pittsburgh平板玻璃公司于1975年在Pilkington的基础上，又研制出了宽流槽浮法技术。
- 中国于1981年成功研制出了世界第三种浮法玻璃工艺技术—中国“洛阳浮法”（现称“中国浮法”）。



## 浮法工艺流程

---

- 原料和配合料
- 玻璃的熔制与熔窑
- 玻璃的成型与锡槽
- 玻璃的退火与退火窑
- 冷端设备
- 公用工程

# 原料和配合料



## 浮法工艺流程—原料和配合料

---

- 浮法玻璃是钠—钙—硅系玻璃，其化学成分中主要氧化物为氧化硅、氧化钠和氧化钙，此外还有氧化铝、氧化镁以及微量的氧化钾。
- 原料车间的主要职责是制备出质量合乎要求的配合料
- 原料系统组成
  - 电子秤系统
  - 原料车间自动控制系统

## 浮法工艺流程—原料和配合料

### ■ 电子秤系统

本系统由机械和电气二部分组成，实现对玻璃原料配料各工序的自动控制。

机械部分包括：承重和传力机构（称量斗，架），给排料设备（电磁振动给料机），助流装置（振打器）；

电气部分包括：工控机、PLC（可编程控制器）、称量显示器、称重传感器和控制箱盘等。



## 浮法工艺流程—原料和配合料

- 电子秤系统

典型的配置：

称重传感器采用TEDEA或TOLEDO传感器，称量控制仪表选用TOLEDO公司的PANTHER仪表，此仪表具有现场总线功能，与PLC之间通过现场总线通讯。上位机选用DELL工控机或研华工控机，选用美国ROCKWELL公司的SLC-500系列PLC。控制软件使用美国Intellution公司的工控软件Fix32或iFix，在Win2000或WinNT系统下，对整个配料过程进行实时监控。



## 浮法工艺流程—原料和配合料

- 原料车间自动控制系统  
包括斗式提升机、电磁振动给料机、皮带机、振动料斗、每台称的上下给料机、振打器、卸料门、除尘器等。
- 整个工艺过程采用计算机集中管理，实现人机对话，并可在计算机屏幕及模拟屏上动态显示配料状态，设备运行情况，打印配料报告、生产报告、报警表等。





# 玻璃的熔制与熔窑



## 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

---

- 玻璃的熔制过程

玻璃的熔制就是将配合料经过高温加热形成均质的并符合成形要求的玻璃液的过程。

玻璃熔制的过程大致可分五个阶段：硅酸盐形成、玻璃形成、澄清、均化、冷却。



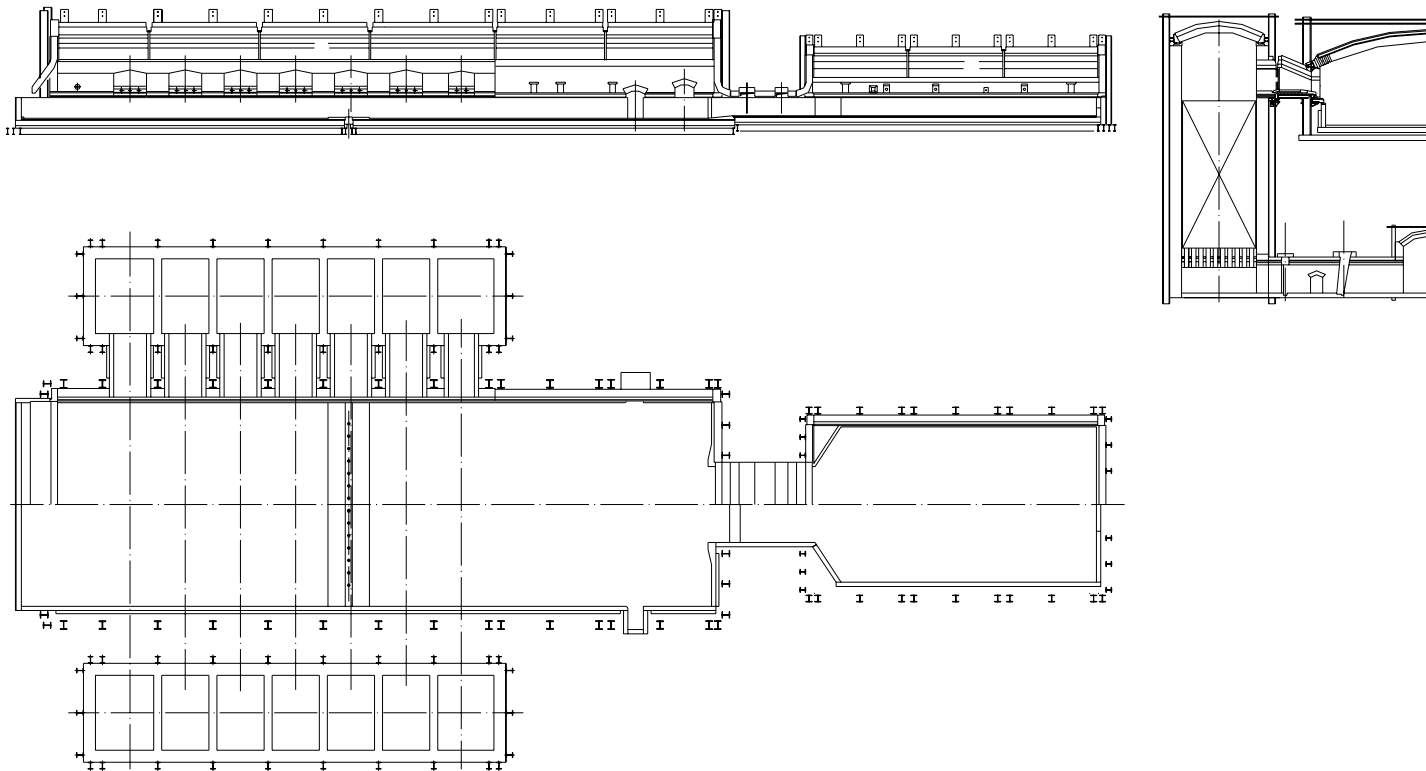
## 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

---

- 熔窑就是把玻璃配合料变成均质的玻璃液过程中各个阶段连续进行的反应池。
- 熔窑以天然气为燃料，每对小炉的天然气与助燃空气定值比例调节。窑压通过总烟道旋转闸板联锁控制。
- 配合料在熔窑内经过一系列的物理化学反应，经约1600℃的高温熔化、澄清、搅拌及冷却后形成合格的玻璃液通过流液道流入锡槽。

# 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

- 浮法玻璃熔窑的结构就其功能可分为：熔化部、卡脖、冷却部、燃烧系统及辅助设施。





## 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

- 投料机

原料车间制备好的配合料经皮带机送到窑头料仓上面的可逆皮带机上。窑头料仓下设一台(一台双铲)斜毯式投料机,将料堆推入熔窑。投料机与玻璃液面计联锁,自动控制玻璃液面高度,液面高度波动 $\leq \pm 0.2\text{mm}$ ,投料机的料层厚度和推送速度可以通过交流变频调节。



## 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

---

- 燃烧控制系统

熔窑天然气为燃料(柴油为备用燃料)。每对小炉天然气设有流量计及调节阀以实行流量定值自动控制，以达到熔窑温度的稳定。每对小炉天然气流量与每对小炉助燃空气量实现自动比例调节，以确保燃料的充分燃烧。



## 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

---

- 熔窑助燃风系统

每对小炉的助燃风风管上设有流量计和调节阀以实现与每对小炉天然气（柴油）量的自动比例调节。

助燃风采用交流变频调节，以达到节能降耗的目的。



## 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

---

- 窑炉的冷却系统

为了保证和延长熔窑使用寿命，对熔窑的某些部位要进行必要的冷却。熔窑冷却系统分为风冷和水冷系统。



### ■ 窑炉的稀释风系统

为了使浮法玻璃的生产获得优质高产，稳定流槽口玻璃液的温度是相当重要的。

生产实践表明，进入锡槽的玻璃液温度的高低和波动情况直接影响到玻璃的成形质量。因此，在保证熔窑的熔化温度制度的前提下，必须在熔窑冷却部设置温度调节系统，也称“温度微调系统”。该系统风量采用变频调速来调节，稀释风总量由总管上的流量计计量。



## 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

---

- 窑炉的天然气燃烧系统

为熔窑提供玻璃生产所必需的稳定可靠、性能优异的燃烧条件，并能按照现代优质玻璃生产所需要的窑内空间热负荷要求，合理分配天然气流量并控制火焰分布状况。



## 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

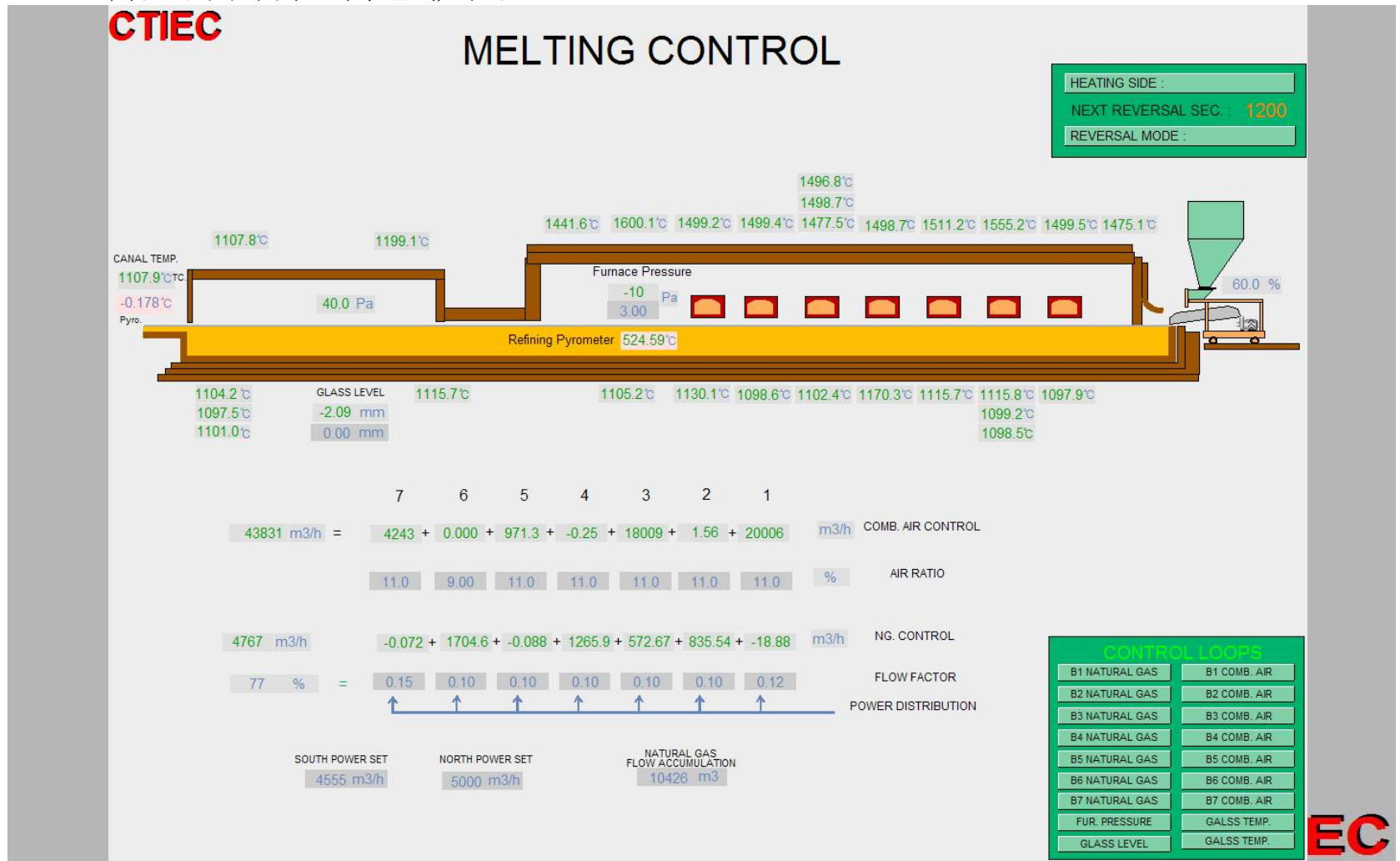
---

- 熔窑自动控制及检测

为保证熔窑热工制度的稳定, 达到延长熔窑使用寿命及节能降耗的目的, 在熔窑主要设置以下控制及检测系统。

# 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

- 熔窑自动控制总貌图。





## 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

---

- 玻璃液面自动控制

鉴于浮法玻璃生产的连续性，要求投料机在单位时间内的投料量与成形的玻璃液量相匹配，使两者处于平衡状态，才能保证玻璃液稳定在统一水平上。生产中是根据玻璃液面升降变化来调整投料量的。

# 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

- 玻璃液面自动控制示意图



CTIEC



## 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

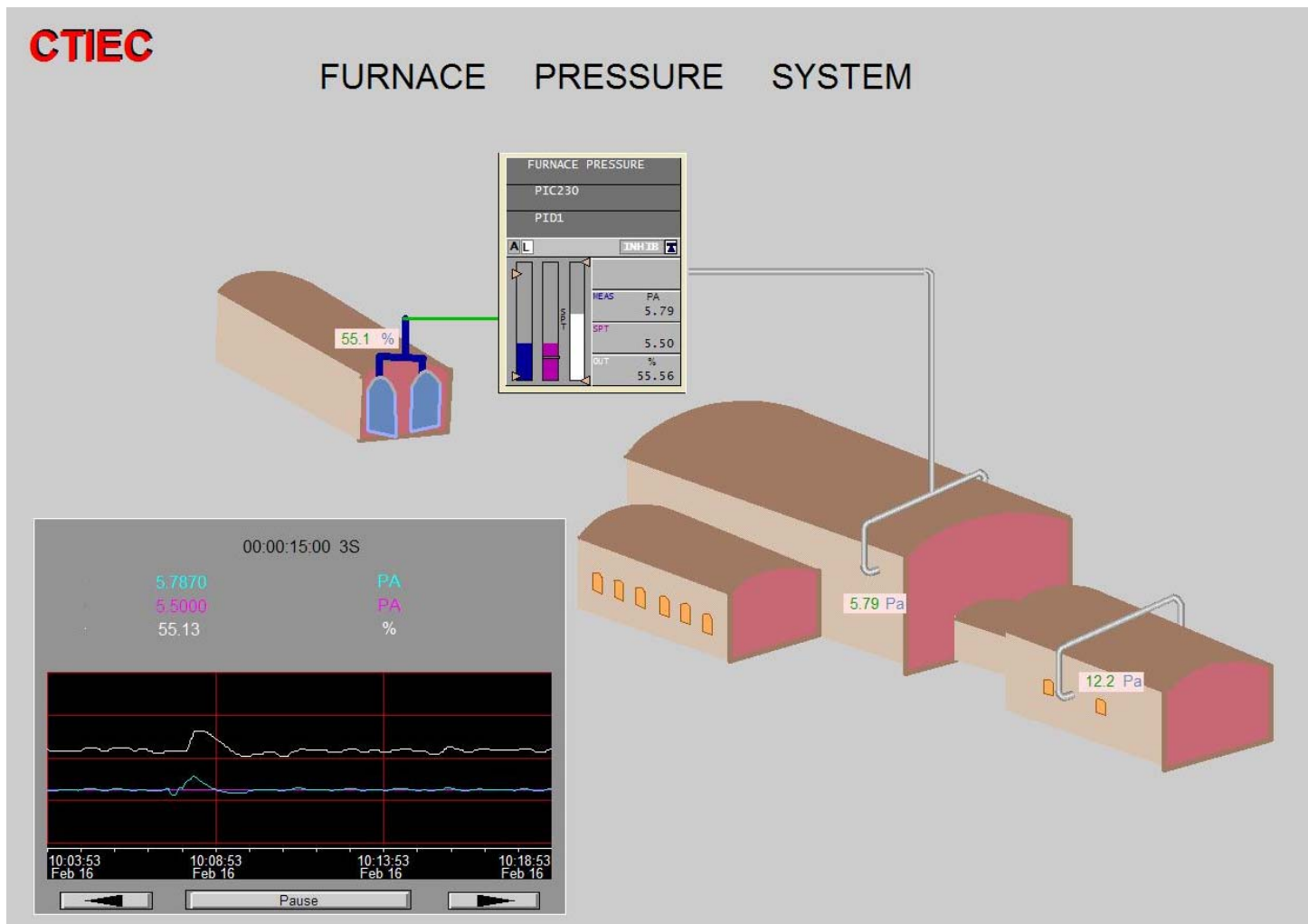
---

- 窑压自动控制及检测系统

在生产运行中，熔窑中各部位气体介质压力分布情况的变化，对窑内温度制度和气氛制度的影响很大，甚至影响到冷却部玻璃液的温度。为此，保持窑内压力制度的相对稳定是正常生产的需要，这也是玻璃熔窑压力检测和自动调节的目的。

# 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

- 窑压自动控制及检测系统示意图







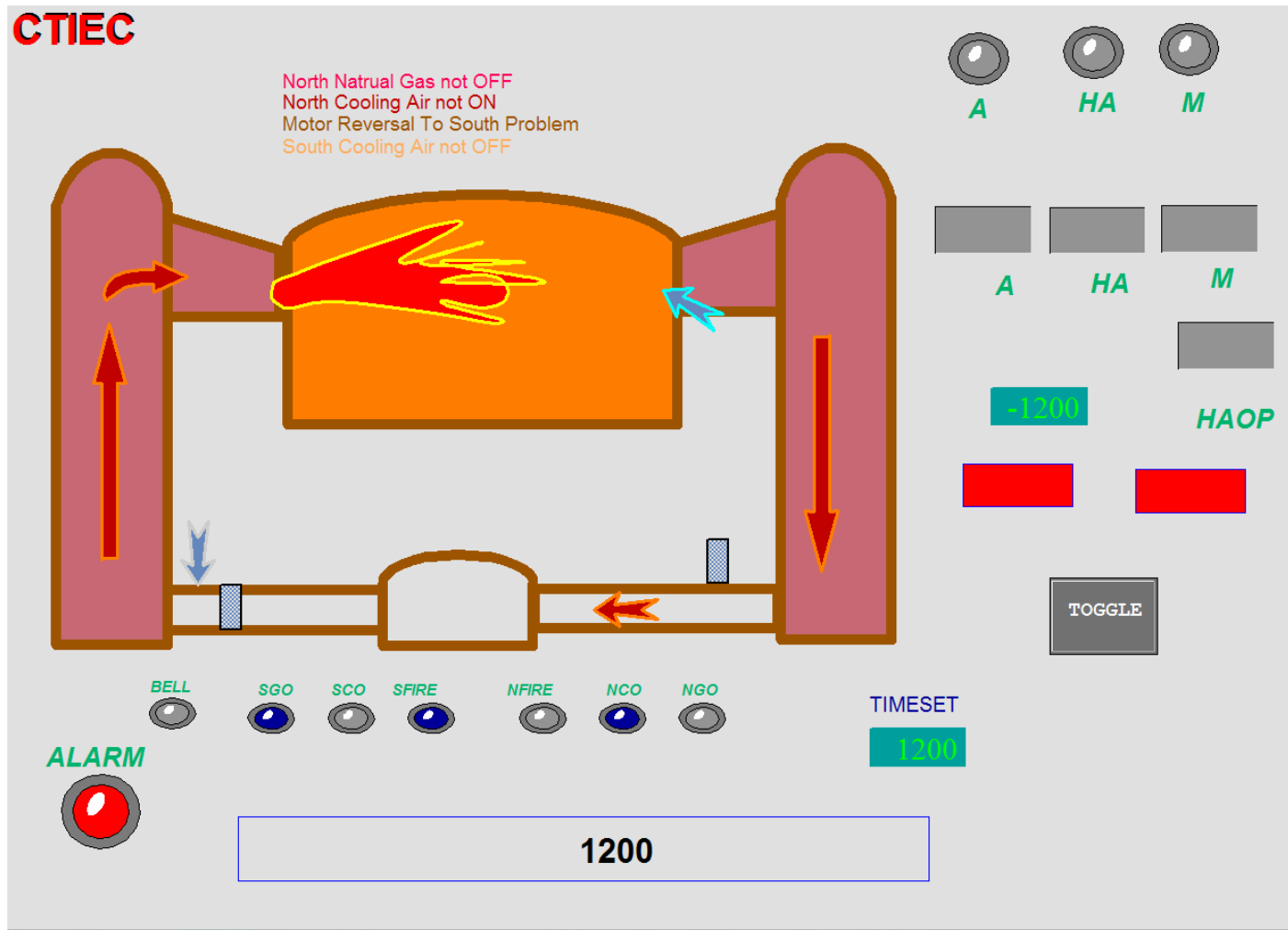
## 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

- 熔窑火焰换向系统

为提高熔化温度和节约能源，熔窑的助燃空气需经过预热后才进入窑内，熔窑每隔20分钟换向一次，改变空气和烟气的流动方向，室温的助燃空气在蓄热室格子体里被加热到1100℃以上进入窑内，而走烟气的格子体不断吸收高温废气中的热量提高自身温度，积蓄热量供换火后加热助燃空气。

# 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

## 熔窑火焰换向系统示意图





## 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

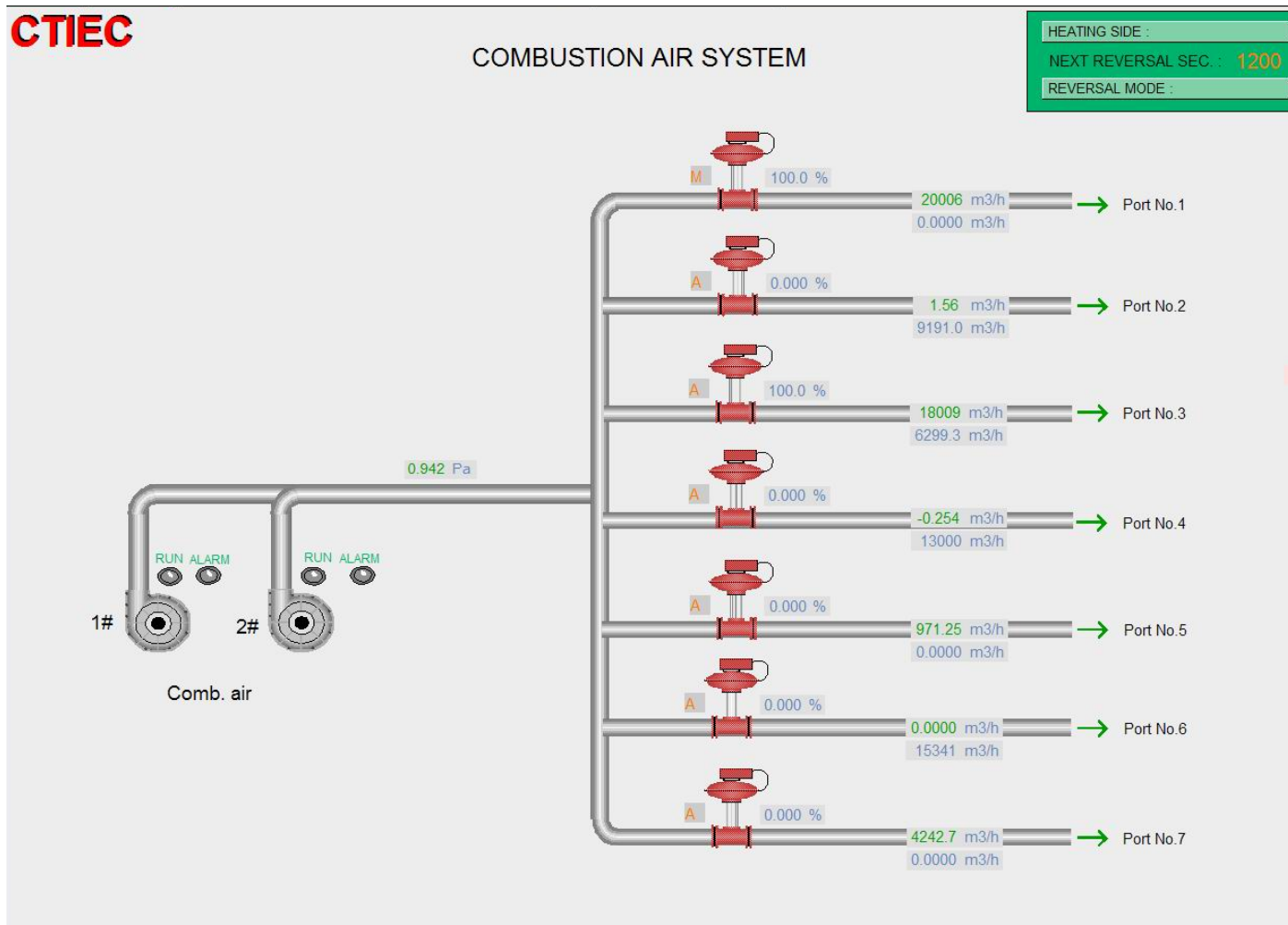
---

- 燃料-风比值控制

按每对小炉设置助燃风流量与燃料流量的比值调节系统，实现合理燃烧。换向期间，该系统与换向程序协调动作。每个小炉的助燃风量定值控制。助燃风机采用交流变频调速方式，调节助燃风总风量。

# 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

## ■ 燃料-风比值控制示意图





## 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

---

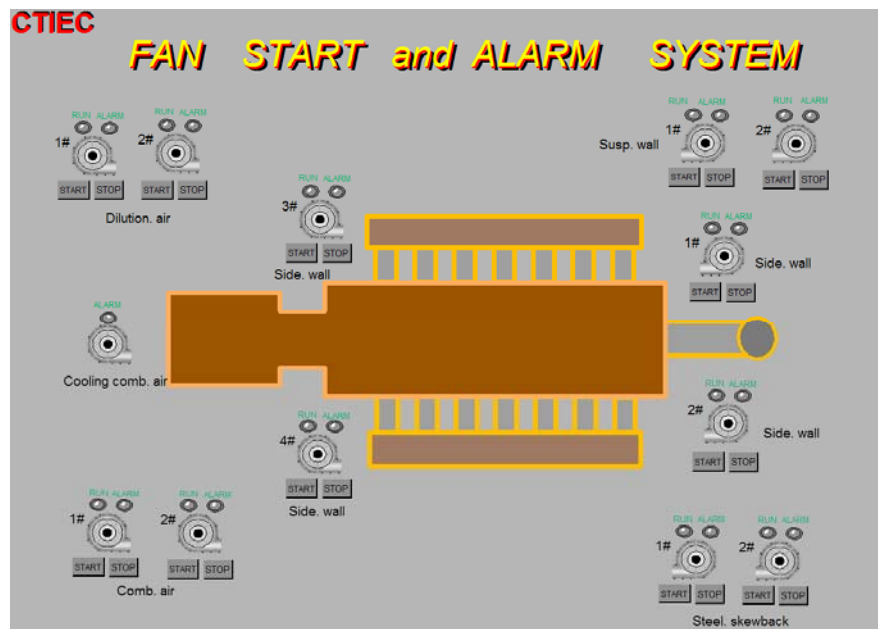
- 燃料流量定值控制

每对小炉设燃料流量定值自动控制，两侧燃料流量可采用不同的分配比和设定值，并随换火时切换，保持控制的稳定性。

# 浮法工艺流程—玻璃的熔制与熔窑

## ■ 检测及故障报警

为全面掌握熔窑工作状况,在熔窑有关部位设置温度、压力、流量等检测,并对有关设备如风机、搅拌器、水包等设置故障报警。所有检测和故障报警信号均进入控制系统。





浮法工艺流程

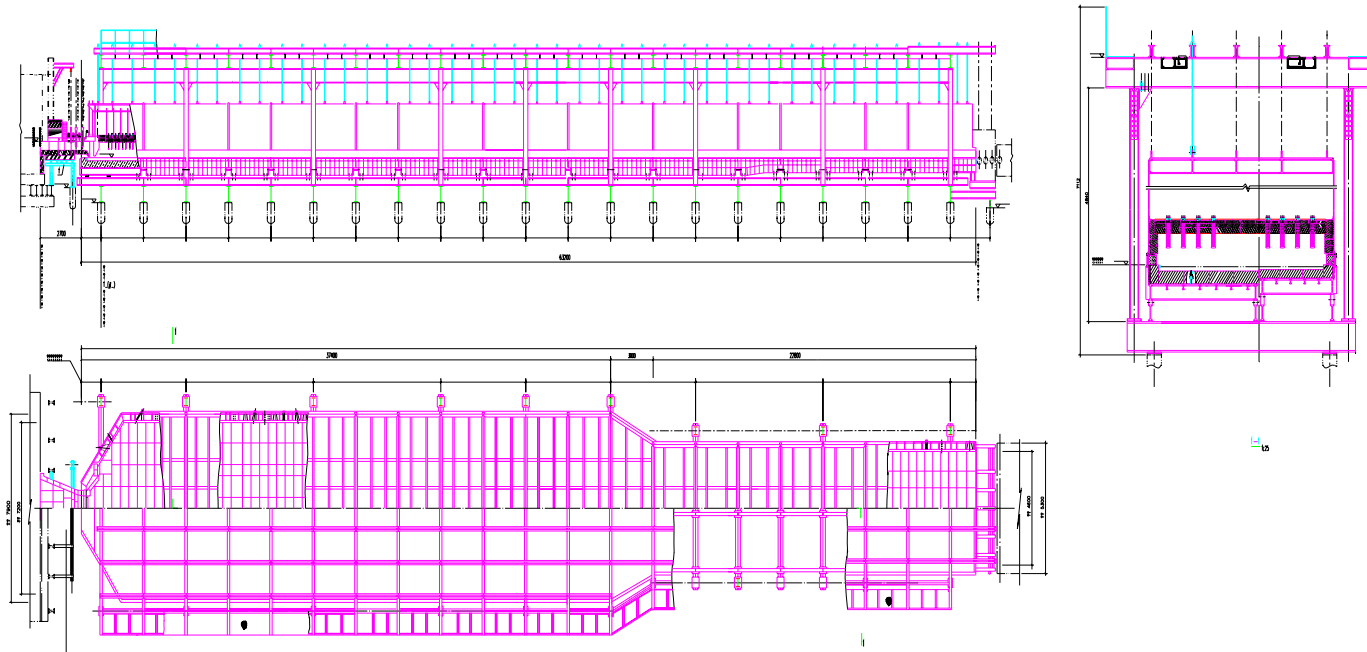
---

# 玻璃的锡槽工艺

# 浮法工艺流程—玻璃的锡槽工艺

## ■ 锡槽工艺

锡槽是浮法玻璃生产最关键的热工设备，因为由熔融的玻璃液成形为表面平整、光滑、质量高的玻璃是通过锡槽来实现的。







## 浮法工艺流程—玻璃的锡槽工艺

- 浮法玻璃成形工艺的原理是熔融的玻璃靠重力在熔化的锡液上摊平，直到达到需要的厚度和宽度。熔窑中熔化好的玻璃液在1100℃左右的温度下，沿流液道流入锡槽。
- 玻璃带成形时的作用力有两种，即表面张力和自身重力，表面张力阻止玻璃无限摊开，自身重力则促使玻璃液摊开。当表面张力和自身重力平衡时，漂浮在锡液面上的玻璃带就获得了自然厚度



# 浮法工艺流程—玻璃的锡槽工艺

- 锡液电加热

锡槽不能采用普通燃料加热，而只能用电加热，以免锡液氧化。为了有效地控制锡槽内温度，减少横向温差，在锡槽内设有电加热，采用三相硅碳棒作为电加热元件，硅碳棒的表面负荷较大，便于集中布置，可调性强，且其发热段具有高密度涂层，使用寿命长。在锡槽内共分成X个电加热区，分区进行温度控制。



## 浮法工艺流程—玻璃的锡槽工艺

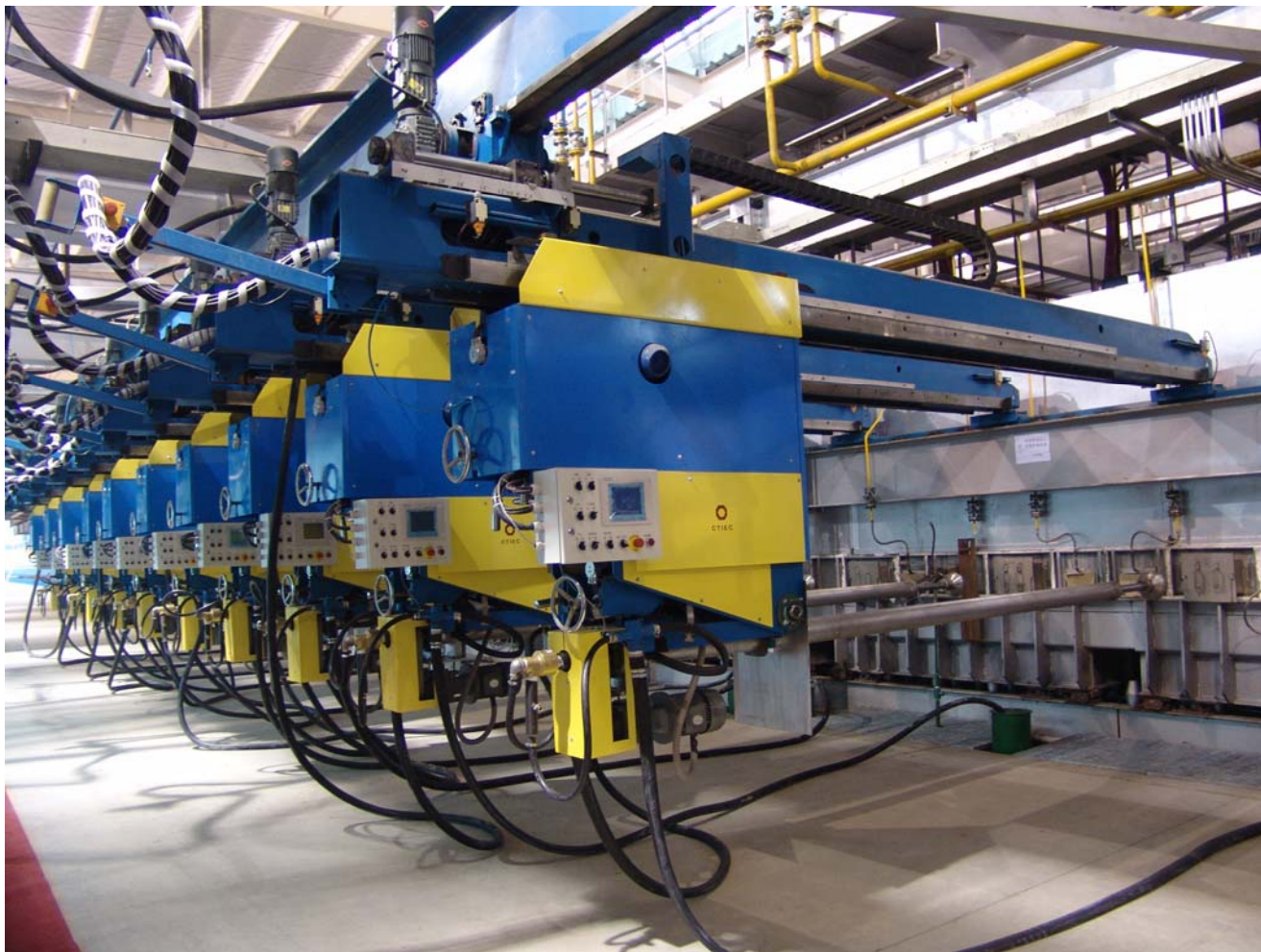
- 全自动吊挂式拉边机

拉边机起着节流、拉薄、积厚和控制玻璃板走向的重要作用。依靠拉边机最前端的拉边轮牵引浮在锡液面上的玻璃带前进，并通过调节拉边轮的线速度及水平偏角、平面倾角等，达到控制玻璃带以及稳定玻璃板宽度的目的。

典型方案：采用AB公司的SLC500系列的PLC系统，Powerflex70系列的变频器，通过触摸屏PV600来实现在线参数调整。

# 浮法工艺流程—玻璃的锡槽工艺

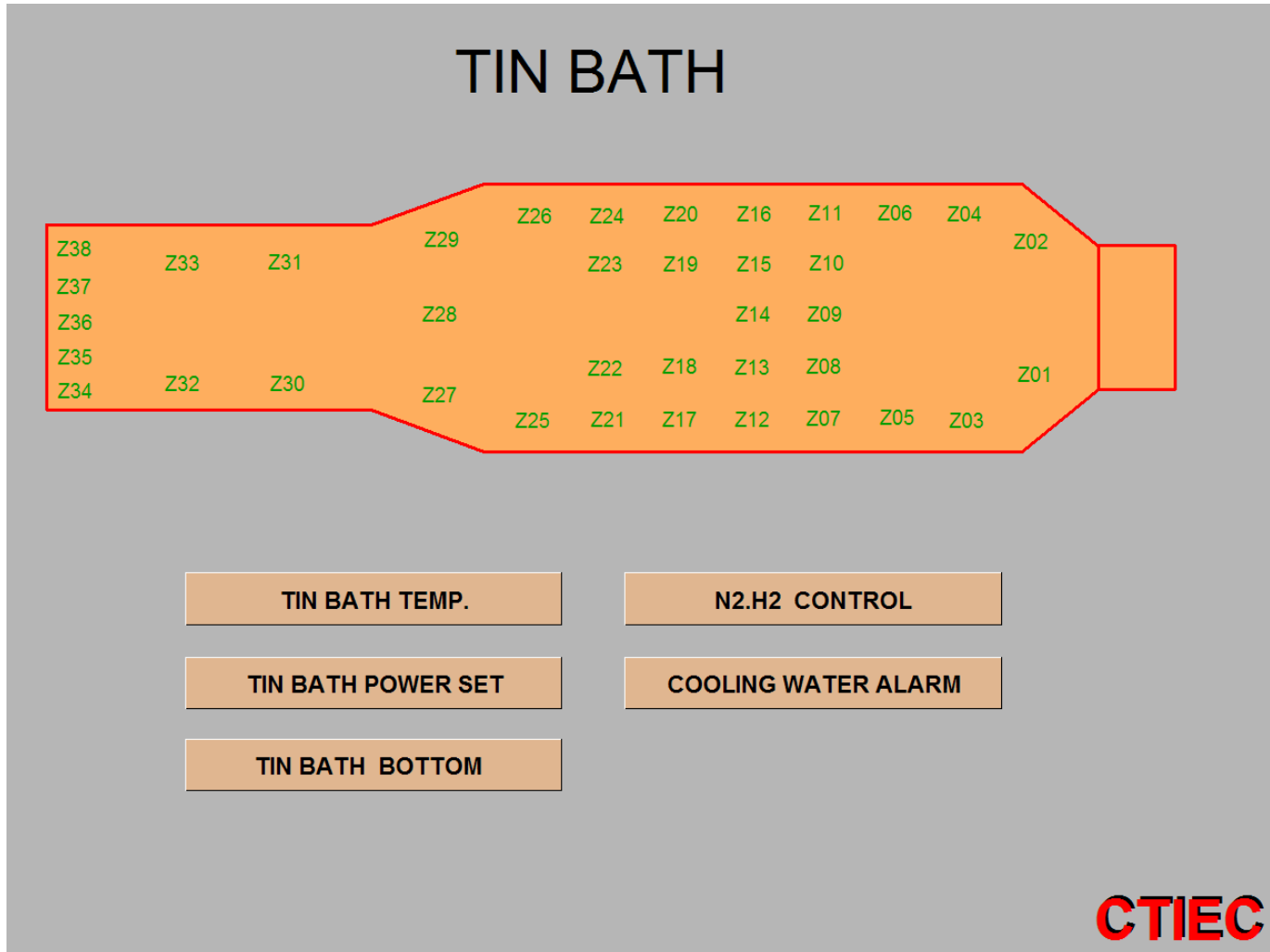
- 拉边机现场实物图



中国凯盛国际工程公司

# 浮法工艺流程—玻璃的锡槽工艺

- 锡槽自动控制系统





# 浮法工艺流程—玻璃的锡槽工艺

- 锡槽温度控制

为了有效地控制锡槽内温度，减少横向温差，锡槽各区设温度自动控制，电加热元件采用三相硅碳棒。按工艺要求对锡槽电加热进行分区，分区进行电加热控制，各区均设有测温热电偶，部分重要区域采用红外测温，其信号进入DCS系统，经运算处理输出控制信号，控制感性调功系统通过调节锡槽温度，各区均可在DCS系统上进行控制。

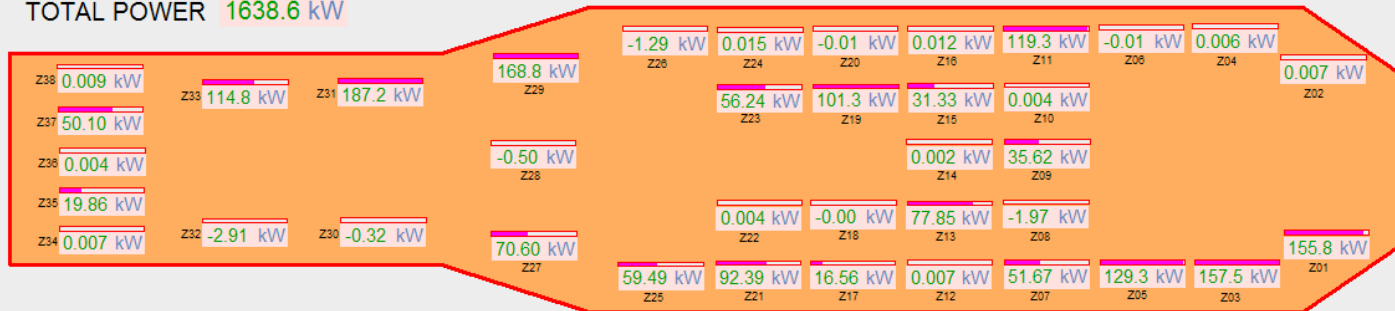
# 浮法工艺流程—玻璃的锡槽工艺

## ■ 锡槽功率控制示意图

CTIEC

### TIN BATH POWER CONTROL

TOTAL POWER 1638.6 kW



POWER SET-POINT





# 浮法工艺流程—玻璃的锡槽工艺

- 板宽流量自动控制系统

锡槽板宽流量控制系统一般采用“成像法”进行控制。该系统由安装在流道出口端锡槽墙上的两台可调节观测位置的高温电视摄像机对锡槽中两边玻璃边部进行成像，并在监视器上显示，监视器上设定的板宽给定线与实际玻璃两边线进行比较，有偏差时，计算机发出信号驱动伺服电机使流道闸板上升或下降，构成玻璃板宽自动调节系统。

为稳定玻璃板宽度，采用板宽流量自动控制系统，通过调节流液道闸板的开度，实现板宽流量自动控制。



# 浮法工艺流程—玻璃的锡槽工艺

## ■ 锡槽监视系统

为监视玻璃带在锡槽内的成形情况以及玻璃带运行及拉边机的工作状况,在锡槽两侧设置工业电视监视系统。

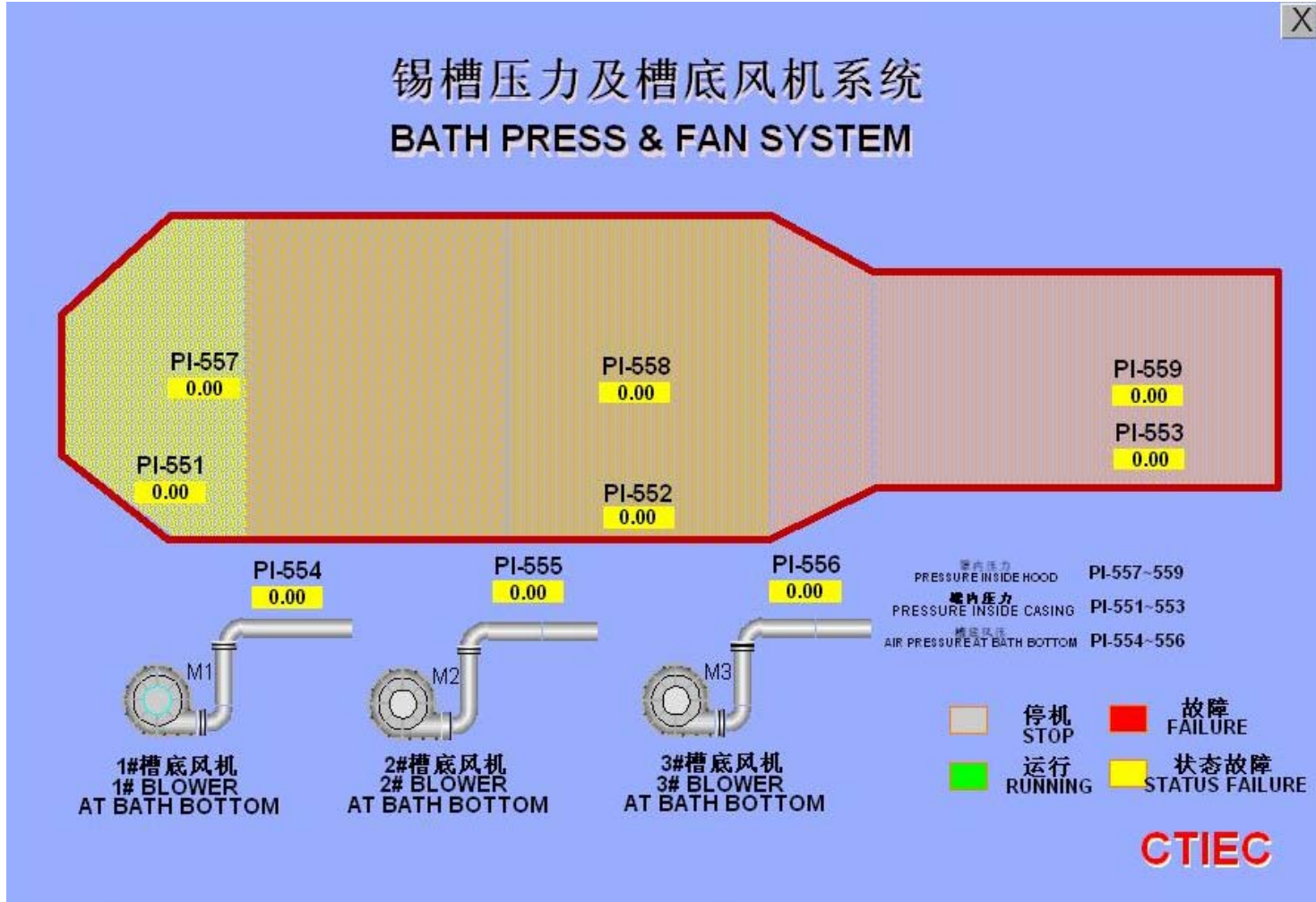
— 锡槽入口、出口等处设红外温度计,用于检测锡槽入口、出口、部分拉边机处的玻璃液和玻璃板温度。

— 锡槽内其余的热工参数,如槽内罩内温度及压力、槽底温度及压力等,均进入DCS,并在流程图等画面上进行动态显示,故障时有明显标志,也可以打印报表。

— 冷却风机运行故障信号、水管断水报警等均进入计算机控制系统系统进行集中监视。

# 浮法工艺流程—玻璃的锡槽工艺

## ■ 锡槽压力及槽底风机系统





# 浮法工艺流程—玻璃的锡槽工艺

- 保护气体控制系统

为加强锡槽的密封，减少锡的氧化，提高玻璃质量，需对锡槽N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>保护气体进行控制，并对其露点、含氢量、含氧量等分别进行检测。N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>保护气体设有压力控制、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>流量比值控制系统。N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>系统所有参数均可进到DCS系统进行控制和监视。



浮法工艺流程

---

# 玻璃的退火窑工艺



# 浮法工艺流程—玻璃的退火窑工艺

- 玻璃退火概述

浮法玻璃生产中，玻璃带出锡槽后的正确冷却是至关重要的。因冷却太快而在厚度方向上产生的温度梯度，或在宽度方向上温度分布不均匀，都会产生很大的内应力而导致次品。

- 玻璃退火的目的

玻璃的退火主要是指将玻璃置于退火窑中经过足够长的时间通过退火温度范围或以缓慢的速度冷却下来，以便不再产生超过允许范围的永久应力和暂时应力，或者说是尽可能使玻璃中产生的热应力减少或消除的过程。

# 浮法工艺流程—玻璃的退火窑工艺

- 退火窑电气控制系统

- 退火窑风机控制系统:

退火窑风机采用高温风机，布置在退火窑顶部。风机控制设置电机控制中心，22kW及以上风机采用软启动控制方式。风机运行及故障信号除在控制中心显示外，还可引至DCS系统上显示其工作状态。

- 退火窑电加热系统

退火窑电加热元件选用高电阻电热合金丝。电加热每区设置一热电偶，当电加热元件表面温度上升到某一设定值时，阻性负载调功器将维持此时的输出，不再继续升温。



## 浮法工艺流程—玻璃的退火窑工艺

- 退火窑控制设置电加热/风冷却、单风冷却和单电加热控制回路。为了克服温度控制系统的纯滞后和大惯性的影响，单风冷却控制和单电加热控制采用规则协调PID控制算法；考虑到同一温度控制过程中，风和电系统对其作用的不同，如关风升温和加电升温、加风升温和关电升温，对温度影响的不同，在电加热/风冷却控制回路中采用规则协调PID控制算法，可极大地提高控制精度。Ret1区和Ret2的温度设置热风控制回路，采用PID控制算法，调节风管上的调节阀开度来控制热风循环温度。

# 浮法工艺流程—玻璃的退火窑工艺

- 退火窑所有热工参数全部进入DCS进行集中显示、报警，其控制方式的实现也均由DCS系统完成。







# 浮法工艺流程—玻璃的退火窑工艺

---

- 退火窑传动及输送辊道

退火窑输送辊道是借助于玻璃带与输送辊道辊面之间的摩擦力把连续玻璃带从锡槽拉引出来，经过渡辊台之后，顺序通过退火窑的各区，由于不同区段的温度控制，使连续玻璃带内应力有控制的逐步降低，从而达到退火的目的，同时把玻璃带连续输送到生产线冷端。



# 浮法工艺流程—玻璃的退火窑工艺

---

- 退火窑传动的应用要求

退火窑输送辊道的主传动设两个传动站，2个传动站互为备用，工作时一个承受荷载，另一个以低于工作转速5%的速度运转，当工作的传动站出现故障时，另一个传动站自动投入正常运行。

例如：AB公司的Powerflex700控制输送辊道的同步电动机，实现两个传动站的互备互换。

# 浮法工艺流程—玻璃的退火窑工艺

- 退火窑实景



中国凯盛国际工程公司



浮法工艺流程

---

# 熔窑锡槽退火窑控制系统



# 浮法工艺流程—熔窑锡槽退火窑控制系统

- 熔窑、锡槽、退火窑控制系统（DCS）

三大系统又成为热端系统。为了实现浮法玻璃生产过程中的协调操作和科学管理，在生产线的核心部位——成形工段，设置中央控制室，采用分布式控制系统（DCS）对熔窑、锡槽、退火窑进行分散控制，集中监视和管理。为提高检测、控制精度，在一次元件的选择上，选用国内外高水平、高质量产品，以确保检测控制精度。

# 浮法工艺流程—熔窑锡槽退火窑控制系统

## ■ 热端系统组成

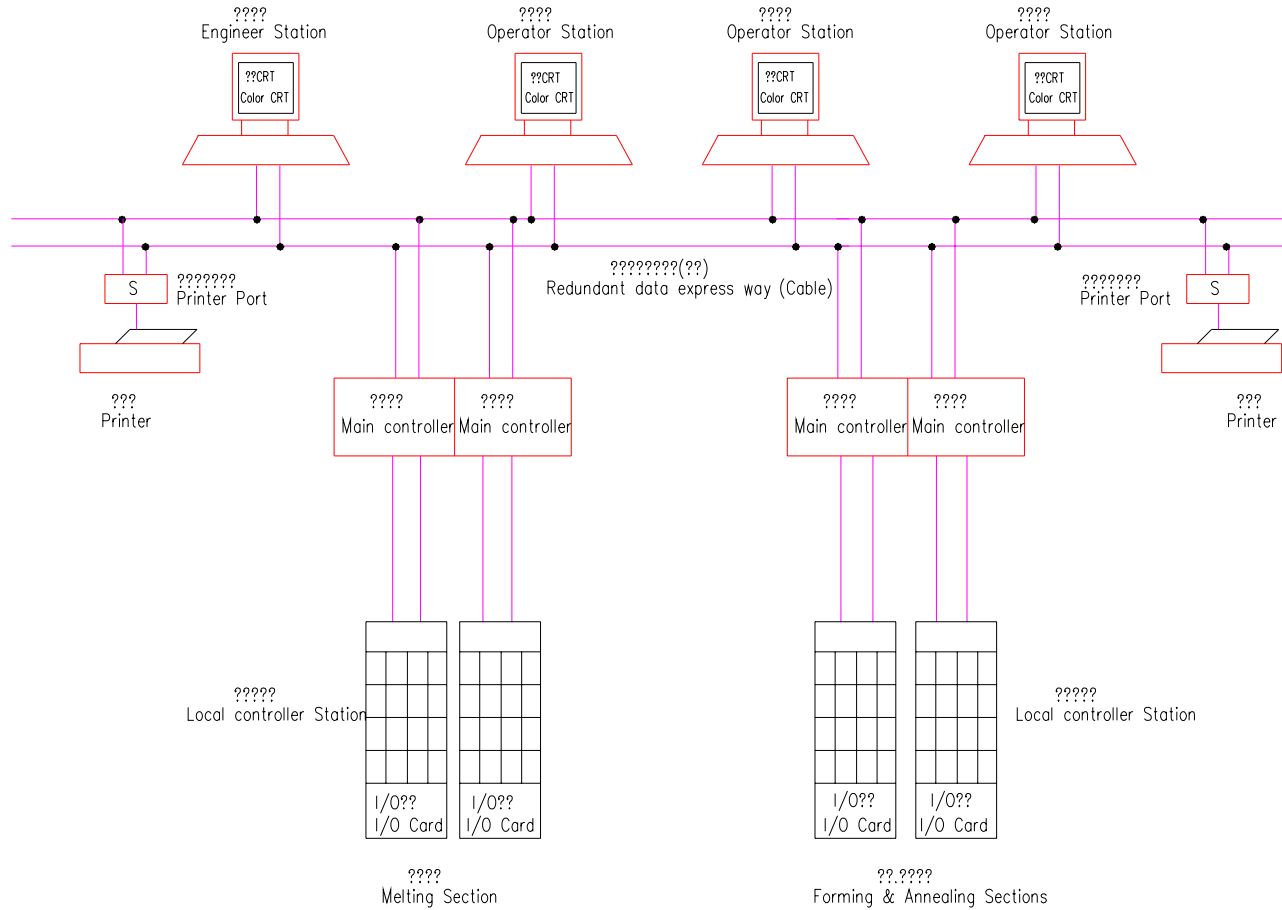
硬件配置主要由操作员站、过程控制站、通讯网络、工程师站等部分组成。

其中操作员站为四台，主要完成参数显示、报警、报表、控制操作等功能；过程控制站熔化、锡退各设置一套，主要作用是进行数据检测、处理控制算法并执行控制操作；工程师站一套可兼作操作员站，主要功能为系统组态、编程、并下装至I/O站。

为保证系统的可靠运行，过程控制站的主控制器、通讯总线及系统电源等均采用冗余配置。

# 浮法工艺流程—熔窑锡槽退火窑控制系统

## ■ 热端系统配置图



DCS???

# 玻璃的冷端工段





## 浮法工艺流程—冷端系统

---

- 冷端系统包括应急系统、质量检验、切割掰板、堆垛包装、成品转运等几部分。



# 浮法工艺流程—冷端系统

---

- 冷端控制系统

浮法玻璃生产线冷端控制系统涵盖从退火窑出口至堆垛机止的控制范围。包括各类在线玻璃切割机、辊道传动、堆垛等单机设备控制以及玻璃的横掰、加速、落板、掰边、纵分、输送、转向及气垫桌的手动和自动控制。



# 浮法工艺流程—冷端系统

- 冷端主控制系统

冷端主控制系统由上位监控(检测、显示和操作互为备用)+ 彩色触摸屏、中央PLC控制器、现场I/O及执行机构三大部分构成。

加速区伺服控制系统，与切割区PLC构成闭环控制系统。

监控与PLC 之间采用网络联结，PLC与现场I/O 及变频器等系统之间采用现场总线方式联结，变频器所有的参数如：速度、电压、电流、加减速时间、运行方式等均可通过网络以数字方式送至PLC控制中心。

主控制系统可与切割系统、堆垛系统、主线控制系统通讯。

上位机可对现场工艺流程进行动态跟踪，并可实现对传动系统、现场检测元件的状态监控和自检功能。



# 浮法工艺流程—冷端系统

---

- 冷端横切纵切系统

应用先进的智能型伺服驱动器，将测长编码器信号直接接入伺服驱动器进行处理，避免了传统的伺服定位模块+高速计数模块方式受PLC程序的扫描周期、PLC的运算能力、高数计数模块和伺服模块的精度匹配等因素对系统的精度、灵敏性和稳定性的影响。



# 浮法工艺流程—冷端系统

---

- 冷端主线PLC控制

冷端主线PLC控制主线的加速分离、主线输送、90°转向等动作和速度信号。