

中國科學院冶金陶瓷研究所專刊

乙 種 第 6 號

高壓蒸汽鍋爐用水柱計玻璃試製研究報告

賴 其 芳 李 家 治 童 祐 嵩

中國科學院冶金陶瓷研究所編輯
中 國 科 學 院 出 版

中國科學院冶金陶瓷研究所專刊

乙種 第6號

高壓蒸汽鍋爐用水柱計玻璃試製研究報告

賴其芳 李家治 童祐嵩

中國科學院冶金陶瓷研究所編輯

中國科學院出版

1954年 北京

中國科學院冶金陶瓷研究所

專刊編輯委員會

主任委員 周 仁

副主任委員 周行健

委 員 汪厚基 李世瓊

李 林 張福康

高壓蒸汽鍋爐用水柱計玻璃 試製研究報告

中國科學院冶金陶瓷研究所編輯

中國科學院出版

北京(七)文津街3號

藝文書局鑄字印刷廠印刷

上海嘉善路113號

新華書店發行

(書)54031 1954年9月第一版

自然: 055 1954年9月第一次印刷

(冊)0001-1,660 開本: 787×1092 $\frac{1}{16}$

字數: 20,000 印張: 1 $\frac{1}{8}$

定價: 3,500 元

目 錄

一、引言	1
二、試驗經過簡述	2
I 玻璃之熔製	2
1. 氧化物成分的確定	2
2. 原料的選用和成分的配方	3
3. 熔製試驗總結	5
II 玻璃之淬火	7
1. 淬火原理	7
2. 淬火試驗概況	10
3. 淬火試驗總結	11
三、玻璃的物理性能	16
I 軟化點	16
II 熱膨脹係數	16
III 折射率	17
IV 抗折破裂係數	17
V 撞擊試驗	17
VI 耐溫度急變性能	18
四、結語	18

高壓蒸汽鍋爐用水柱計 玻璃試製研究報告

中國科學院冶金陶瓷研究所

一、引言

某電力公司鑒於他們所用的高壓蒸汽鍋爐水柱計玻璃(又稱水表玻璃)的存量不多,同時又因這種玻璃有許多較高的要求,國內市場一時尚無從購買,爲了不使這種玻璃的供應中斷,乃將這項任務委託我所審業組代爲研究試製。

我所在訂立 1953 年計劃時,爲着慎重的選擇研究題目和更好的訂立研究計劃,乃派工作人員到該公司進行數次的調查研究,知道這種玻璃是淬火玻璃,國內很少工廠能生產這種玻璃(當時尚不知道東北某些玻璃工廠能生產這類類似的玻璃),覺得科學部門應爲工廠解決這些具體困難。水柱計對鍋爐的操作很是重要,所以解決了這問題對該公司的生產任務上也會起一定的作用,同時玻璃淬火是近代玻璃技術中的新發展,玻璃經過淬火後即具有許多新的優良的特點。它除了用作蒸汽鍋爐的水柱計玻璃外,在其它方面的應用也相當廣,如用作建築玻璃,安全玻璃等。但我們對於玻璃的淬火研究却非常少,所以除了爲解決製造這種高壓鍋爐用水柱計玻璃的具體問題外,也可以在玻璃淬火的 研究方面作個開端。因此經過反覆討論後,我們就把這項任務列在 1953 年的研究計劃中。

當工作剛開始時,由於我們對玻璃淬火這方面的資料掌握得很少。英美雜誌雖有這一類資料,但大多屬於專利性質非常不全面具體,蘇聯的雜誌由於我們收藏不多,也未能有系統地查得資料,以供進行研究的參考。所以在工作進行時是覺得有些困難。但經過工作同志不斷的努力,這些問題都逐一的解決,順利地完成了這項任務。

我們送到該公司正式試用的水柱計玻璃已經使用了 5 個月。情況尚良好,而且在繼續使用中。

二、試驗經過簡述

接受這項任務之後，我們把整個研究計劃分作兩方面：一方面解決玻璃的熔製問題，包括擬定料方，選用原料，控制熔製情況等；另一方面解決淬火問題，包括掌握該水表玻璃應用時應力的負載情況（應力分佈），玻璃淬火的理論，設計淬火設備，淬火過程的探尋，並試製成品以供該公司試用等。

I 玻璃之熔製

我們研究目的是為解決該公司的水柱計玻璃問題。所以我們即決定參考該公司原來所用的水柱計玻璃（係美貨，以後簡稱來樣水柱計玻璃）的成分。在取樣分析後，知道它是一種低鹼的硼砂玻璃，鹼金屬氧化物的含量僅在 4% 左右。我們估計這樣低的含鹼量在熔製時是會遇到一些困難的。後來在多次的熔製試驗中，果然證實了我們這種估計。玻璃的黏度非常大，熔製溫度相當高。坩堝內的溫度雖然提高到 1500°C 左右，熔製時間連續達 20 小時以上，但最後的玻璃成品還有一些氣泡和砂。又因為玻璃的黏度大，成形不易，結果成品又含有大量的條紋。由於玻璃有這許多缺陷，我們首先考慮準備減低 SiO_2 和增加 Na_2O 的含量來解決，但是我們知道對鹼金屬氧化物的含量不能提得太高，否則會影響它在淬火時的性能（這在後面有較詳細的討論）。我們又試驗過在粉料中加入少量的螢石粉（氟化鈣）來增加熔融玻璃的流動性，使氣泡在澄清階段中容易去除。但因為成分中 CaO 的含量極少，螢石粉在整個粉料中只佔 0.62%，它對氣泡的去除並沒有發生顯著的作用。於是我們又從增加澄清劑這方面着手，經過了多次的熔製試驗，我們終於得到了二個比較滿意的料方，它們的 As_2O_3 含量已從來樣水柱計玻璃的分析成分的 0.16 增加到 1.2%。但畢竟因為玻璃的黏度很大，以致氣泡不易澄清；熔製的溫度高，坩堝侵蝕較顯著，以致玻璃起砂；熔製玻璃用的坩堝容量不夠，成形困難，而發生條紋。所以一直到最後我們的成品還或多或少有一些缺陷。

1. 氧化物成分的確定

我們首先將該公司原用的水柱計玻璃一塊加以分析，其成分見表 1 來樣水柱計玻璃甲，後來在測定另一塊原用水柱計玻璃的膨脹係數時，發現其膨脹係數相當高，與原分析很不相稱，於是再取樣分析，才發現該公司原用的水柱計玻璃的成分並不是每塊都相同。第二次分析的結果列為表 1 中的來樣水柱計玻

璃乙。

表1. 來樣水柱計玻璃的分析成分

玻璃編號	% 氧化物										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	BaO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	As ₂ O ₃	Sb ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	總數
來樣水柱計玻璃甲	72.99	3.75	14.01	3.06	0.45	2.91	0.77	0.16	1.52	0.09	99.71
來樣水柱計玻璃乙	76.59	6.05	8.12	0.18	0.61	6.25		0.30	1.34	0.21	99.65

我們參考了上表的分析成分，同時結合水柱計玻璃的性能要求，如膨脹係數應低，透光度應較好，強度應較大，經過多次在熔製試驗中的改進，最後得到兩個氧化物的料方（即玻璃的氧化物成分），編號為水柱 011 號及水柱 013 號。

表2. 水柱 011 號玻璃及水柱 013 號玻璃的氧化物成分

玻璃編號	% 氧化物								總數
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	As ₂ O ₃	Sb ₂ O ₃	
水柱 011 號	72.30	3.50	14.50	3.00	3.00	1.00	1.20	1.50	100.00
水柱 013 號	72.30	3.00	14.00	3.00	4.00	1.00	1.20	1.50	100.00

這兩種成分主要的不同是水柱 013 號比水柱 011 號多 1% 的 Na₂O，同時少 0.5% 的 Al₂O₃ 與 0.5% 的 B₂O₃，這點成分的相差對玻璃熔製的改善並不顯著，但對玻璃的淬火性能則影響很大。由於水柱 013 號的耐溫度急變性能較差，它就不能以和水柱 011 號相同的情況來進行淬火處理，而必須把加熱溫度降低或者把急冷強度減弱，這樣一來玻璃在淬火後的強度也就較小了。所以我們認為水柱 013 號既在促進熔製，改進玻璃缺陷方面成效不大，而在淬火性能方面又這樣不如水柱 011 號，因此我們就決定採用水柱 011 號，作為我們製造水柱計玻璃的氧化物成分。

2. 原料的選用和成分的配方

在原料選擇方面，我們曾盡量試用過一些不同的原料以減少玻璃成品的缺陷。

根據多次的熔製試驗，我們對原料的選用得出下列意見：

(1) 當石英砂的分量為 100 時，硝酸鹽的用量如果是 5，熔製的玻璃即有大量的小氣泡。硝酸鹽的用量如果是 3 左右，則比較滿意。如不用硝酸鹽時，玻璃內就含有很多小氣泡。至於硝酸鹽的選擇，因為硝酸鈉很易受潮，所以一般均採用硝酸鉀，但當在水柱 015 號及 016 號內，由於我們是以長石引入全數的

氧化鉀，因此就採用了硝酸鉍，它的分量各為 2.65 及 2.54 (當砂是 100 時)。

(2) 我們試以長石粉引入 K_2O ，從 10 公斤容量的坩堝熔製出來的玻璃比用硝酸鉀引入 K_2O 在同樣情況下熔製出來的玻璃缺陷少得多。因此我們又得到編號為水柱 015 及 016 號的兩種玻璃，它們的氧化物成分各相同於水柱 013 及 011 號，只不過其中的氧化鉀均由長石粉引入。水柱 015 號及水柱 016 號因為只在 10 公斤容量坩堝中熔製過，所以未能做大型水柱計玻璃，只做了另一種小型的水柱計玻璃塊。水柱 015 號及水柱 016 號的配方，以後有機會準備再在 80 公斤容量的大坩堝中作熔製試驗。相信其性能與水柱 011 號和水柱 013 號的相同，而熔製出來的玻璃性狀較好 (即較少砂，氣泡等缺陷)。

(3) 氧化鉍除一小部分用硝酸鉍引入外，其餘大部分都用碳酸鉍，但在水柱 011 號及水柱 013 號都用碳酸鉍。

(4) 氧化鋁的引入，在水柱 015 號與水柱 016 號料方中一小部分是用長石粉，其餘大部分都用氫氧化鋁作原料。而在水柱 011 號及水柱 013 號則都用氫氧化鋁。

(5) 氧化砷與氧化銻分別用白砷及銻白粉引入。

(6) 二氧化矽則主要由石英砂引入。

(7) 在熔製時也加入 20—25% 成分相同的玻璃碎料。

在所用的全部原料中除石英砂是取用 40 至 80 目之間的顆粒外，其餘都沒有篩過。其成分分析列表如下：

表 3. 熔製試驗所用原料的分析成分

該原料所含的氧化物的百分數	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	As ₂ O ₃	Sb ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	BaO	CaO
石 英 砂	99.70		0.21					0.03		0.06
氫 氧 化 鋁			64.33							
長 石 粉	6.54		19.35	1.37	13.40			0.18		0.55
硼 砂		36.63		16.40						
硼 酸		56.40								
碳 酸 鉍									77.54	
硝 酸 鉍									58.18	
硝 酸 鉀					46.38					
白 砷						98.35				
氧 化 銻							97.57			

根據水柱 011 號及水柱 013 號的氧化物成分，用上述原料熔製，其配方計算結果如下：

表 4. 水柱 011 號玻璃及水柱 013 號玻璃的配方

原 料 玻璃編號	石英砂	氫氧化鋁	硼砂	硼酸	硝酸鉀	碳酸鉀	白砒	氧化鎂
水柱 011 號	100.00	7.47	25.22	19.07	2.98	5.32	1.68	2.12
水柱 013 號	100.00	6.43	33.67	12.30	2.98	5.32	1.68	2.12

以長石粉引入全部的 K_2O ，它的氧化物成分相當於水柱 011 號的是水柱 016 號，相當於水柱 013 號的是水柱 015 號，其配方如下：

表 5. 水柱 015 號玻璃及水柱 016 號玻璃的配方

原 料 玻璃編號	石英砂	氫氧化鋁	長石粉	硼砂	硼酸	碳酸鉀	硝酸鉀	白砒	氧化鎂
水柱 015 號	100.00	1.98	17.28	32.93	16.89	3.98	2.65	1.88	2.37
水柱 016 號	100.00	4.73	11.03	27.04	20.45	3.81	2.54	1.80	2.28

由於水柱 016 號的氧化物成分與水柱 011 號相同，即性能相同，但熔製時情況較好，所以我們最後選用的水柱計玻璃的配方是水柱 016 號。

3. 熔製試驗總結

熔製試驗是分兩個階段進行的，首先是在 10 公斤容量的坩堝中進行初步熔製，等到能夠熔製出較滿意的配方後，再在 80 公斤容量的坩堝中進行擴大試驗。在這種試驗中，除了確定玻璃的熔製情況和操作性能外，並試製一些成品，我們送到該公司實際試用的成品也就是在這種熔爐中熔製的。

(1) 初步熔製試驗 初步熔製試驗是在 10 公斤容量的普通坩堝中進行的。這種坩堝是放在一隻以煤為燃料的五坩堝式小型熔爐中的。爐內最高溫度曾達 1600°C ，坩堝內最高溫度可以達到 1500°C 左右。熔爐溫度是用鉑銻熱電偶測量的，而坩堝內的溫度是用光學測溫儀測量的。

因為客觀條件的限制，經常的熔製溫度只能是 1450°C 到 1500°C ，這樣的熔製溫度對水柱計玻璃是不夠的，所以它的熔製時間須經常加長到 20 小時左右（從加料完畢至開始操作時）。根據玻璃製品所帶缺陷的比較，這樣熔製出來的玻璃，不如溫度高時間較短所熔製出來的玻璃。

我們也曾試行加長熔製時間，其中最長的曾達 40 小時左右，但根據我們的經驗，熔製時間超過 20 小時以上即沒有明顯的作用。

(2) 擴大熔製試驗 這次熔製是在以柴油為燃料的二坩堝式大型熔爐中進行的。坩堝容量為 80 公斤左右。爐內最高溫度可達 1550°C ，坩堝內最高溫度可達 1500°C 。

玻璃的熔製溫度約為 1450°C 左右。熔製時間與初步試驗相同。因為坩堝容量較大，油爐溫度較穩定，所以玻璃製品在缺陷方面就有些改進。

玻璃的操作溫度在 1350°C — 1400°C 之間。在 1350°C 以下操作，玻璃的黏度即嫌太大，同時有析晶現象。因此開始操作時的成品中所含的砂和條紋往往比後來操作的成品中所含的要少得多。所以我們有時在操作過程中，如發現玻璃中砂粒很多，這時溫度往往已降低到 1350°C 以下，就停止操作，重新蓋坩堝，使溫度重新上升到 1400°C 以上時，再行操作。這樣可以得到缺陷較少的成品。當然，如果擔任玻璃製作的人員充足，可以盡快將一坩堝的玻璃熔料做完，而溫度不致降低到 1350°C 以下，就無此問題。

新坩堝在未加料前要預先燒結，這時的燒結溫度宜在 1450°C 以上，時間也須維持 10 小時以上。在舊料作完，新料加入前，我們也盡量做到以上兩點。我們的經驗是：這個預先燒結過程如果進行得足夠，而且燒結溫度比玻璃的熔製溫度高一些，則玻璃熔體對坩堝的侵蝕減少，因此對坩堝砂的問題的解決是有幫助的。

在粉料加入前，先加一層同成分的玻璃碎料，待其全部熔解後再加第一次料，全部粉料常分 3 到 4 次加完。當全部粉料加完後，即將溫度逐漸提高到 1450°C 左右，一直俟玻璃已全部熔化和澄清完畢，即行敞開坩堝蓋冷卻到操作溫度，以便進行操作。

(3) 成形烘煉及加工 我們試製的水柱計玻璃是在手壓模子中成形的。方法簡陋，故成形時廢品很多。而且玻璃成品中大多數條紋是因這種簡單的成形法引起的。希望將來生產部門結合實際情況加以改進。

玻璃成形後，即送入烘煉爐中烘煉。烘煉溫度為 580°C 。因為這種玻璃以後仍須進行淬火，所以對烘煉的要求不高，只要它能經受磨光加工的操作就行了。

玻璃條的磨光加工是委託一個車磨玻璃的工廠進行的。因為這種水柱計玻

玻璃條在使月時對於尺寸的規格，尤其厚度是否均勻要求很嚴格，所以在磨光加工時應該特別注意。

本來在研究工作計劃中還準備做一次 80 公斤容量坩堝的生產試驗，其目的是：（1）掌握一般的生產情況。（2）了解水柱 015 號與水柱 016 號的玻璃配方中的情況，是否玻璃製品的缺陷確比水柱 011 號與水柱 013 號的較少些。但後來我們按節約原則，把這個試驗略去，準備待將來在推廣過程中再行試驗。

II 玻璃之淬火

1. 淬火原理

我們所要試製的水柱計玻璃，因為是用於高壓蒸汽鍋爐，所以應該具有較高的強度和耐溫度急變性能。雖然一般說來，玻璃的強度已經不小。但就高壓鍋爐水柱計的應用來說還嫌不足，所以須用淬火玻璃。

因為玻璃的抗壓強度和抗剪強度比較它的抗張強度大得多，就是說玻璃的碎裂往往是因為它在受負載時產生的張應力超過了它的抗張強度。因此一般所謂玻璃的強度就是指它的抗張強度。

曾經有人作過試驗，將玻璃的表面用氫氟酸腐蝕後，它的強度就有顯著的增加。再進一步的試驗證明這個強度的增加並不是由於一層強度很高的物質被塗到玻璃表面上去，而是氫氟酸將實際強度顯得特別低的玻璃表面層腐蝕去掉，露出了強度較高的內層。但腐蝕以後不久，玻璃強度又逐漸減低下去。這就是說玻璃表面的強度常比它內部的強度小得多；玻璃物體的最終整個碎裂往往由於它的表面先產生損裂現象發展而成的。這可以用微裂紋假說 (flaw hypothesis) 來解釋的。這個假說的基本內容是：玻璃物質的真正強度固然只有一個一定的數值；但玻璃物質內部及其表面帶有許多微裂紋，在玻璃表面的微裂紋對於玻璃的實際強度尤其有不利的影響；而玻璃表面與外界的接觸更促進着表面新的微裂紋的產生。

淬火玻璃之所以具有比通常玻璃高得多的實際強度，是因為玻璃在經過淬火處理以後，它本身就具有一種分佈均勻的應力狀態。我們稱它為永久應力，以與由於溫度差的存在或受機械負荷而產生的暫時性應力相區別。這個應力狀態是玻璃的表面受着壓應力，內部受着張應力。既然玻璃內部的抗張強度很大，這個內部張應力的存在就不會使玻璃的使用強度減低；而玻璃表面的抗張強度

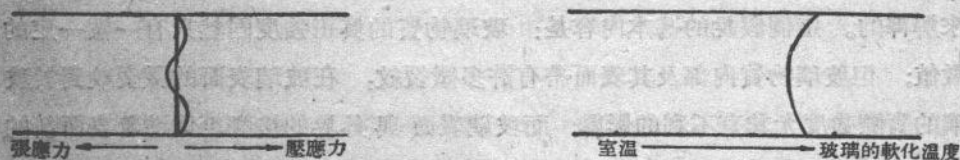
原來很小，這個表面壓應力的存在就等於實際上增加了它的抗張強度。這是因為當玻璃以後使用時，實際負荷使玻璃表面產生的張應力被這個原來已經存在的壓應力抵消了一部分的緣故；而且因為玻璃表面存在有相當大的壓應力，微裂紋的繼續生成和發展就受到了限制。

這就是為什麼淬火玻璃由於它的表面有着壓應力的存在，它的實際強度就大大提高了的原因。

所謂玻璃的淬火，就是將玻璃物體加熱到接近它的軟化溫度，然後再突然使它冷卻的一種熱處理過程。當一塊玻璃受熱的時候，一定因為外層先受熱，內部後受熱而產生一個沿着它的厚度方向的溫度差。外層與內部的溫度不同，其熱膨脹也就不同，這就產生了暫時應力：外層所受的是壓應力，內部所受的是張應力。這時沿着玻璃物體的厚度，溫度和應力分佈的情況用下面的圖來表示：



當玻璃體繼續受熱，到進入軟化範圍，接近軟化溫度的時候，玻璃的黏度已經大大減小，它的質點已經能夠互相發生流動。由於這個流動，加熱時本來應該生成的暫時應力逐漸被消除，這時玻璃本身於是不受什麼應力，用圖表示在下面：



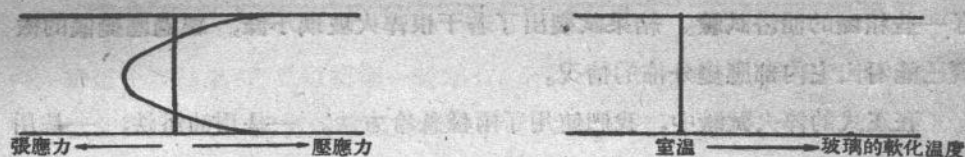
當玻璃體已經均勻地被加熱到接近軟化點的某個溫度時，就進行急冷處理了。急冷時，玻璃表面的溫度很快地降低到它的應變溫度以下（在應變溫度以下，玻璃的黏度極大，已不能發生質點流動），這樣大的溫度急變使表面產生很大的收縮；可是這時玻璃內部的溫度還是很高，收縮很少，因此使得玻璃表面不能盡量收縮而受着一個很大的張應力。相反地，內部受着壓應力。假使玻璃

所加熱到的溫度不夠高，以致不能產生質點流動的話，它就往往經受不了這樣大的張應力而破碎，這也就是玻璃體的加熱溫度要接近軟化點的理由。這時玻璃表面既是從軟化點附近的溫度急冷下來，一部分因急冷（溫度差的存在）而產生的暫時應力被質點流動所消除，結果所呈現的暫時應力比相當於這時溫度差所應該產生的較小，用圖表示如下：



因為冷卻時，玻璃表面有張應力，以致容易破碎，所以在進行玻璃淬火的急速冷卻過程時要特別注意。

玻璃從接近軟化點的溫度急速冷卻時，既然暫時應力被質點流動消除了一部分，而這時內外是有溫度差的；那麼當玻璃繼續冷卻至全部達到室溫，內外沒有溫度差別時，未被質點流動所能去除的暫時應力固然隨溫度差的消失而消失，但必然會產生出一種與在急冷時曾被去除的暫時應力大小相同，但方向相反的永久應力。即玻璃表面受着很大的壓應力，內部受着張應力，如下圖所示：



前面說過，玻璃經過淬火後在表面產生的這樣一個很大的壓應力使它的實際強度大大增加了。玻璃的加熱溫度愈高（因此急冷時產生的溫度差，暫時應力愈大；以及黏度愈小，此暫時應力被質點流動除去得也愈大），急冷得愈快愈均勻，那麼表面產生的壓應力就愈大，愈均勻，玻璃的實際強度增加得也愈大。

一般地說，玻璃的強度可以因淬火增高3倍到6倍，最高可達8倍。

由於玻璃強度的增加，它的耐溫度急變性能也隨之增加，因為玻璃在受到溫度急變時發生破裂正是由於這時它內部所產生的暫時應力超過了它的強度的緣故。自然，某個玻璃器皿的耐溫度急變性能還與它的厚度，玻璃的膨脹係數，楊氏彈性係數和導熱性有密切的關係。

淬火玻璃還有另外一個重要的特性，就是它固然因強度的增加，不易破碎，可是一旦破碎就分裂成許多稜邊鈍圓的小塊，交錯勾結，不易飛散，因此減少了對於人們的傷害。淬火程度愈大，碎塊體積愈小。所以淬火玻璃又可以作為安全玻璃，使用在經常受震動的汽車，火車及工廠的窗戶上。

淬火玻璃外層及內層的應變分佈，像因負重而產生應力與應變的普通玻璃一樣，作用如同非均質性結晶，發生複折射現象，可以用應變儀來觀察，其情況見圖 1。但用普通的偏光應變儀只能看出淬火玻璃內部應變分佈的情況是否均勻，但不能測定它的數值。

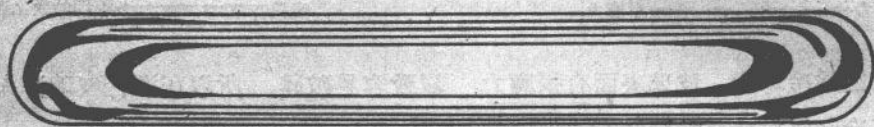


圖 1 淬火玻璃在應變儀下觀察之情況

2. 淬火試驗概況

前面已經說過，關於玻璃淬火的資料我們能夠查閱到的很少。根據文獻所載，為達到淬火時急冷的目的所用的急冷劑大概有用油類，熔融狀態的鹽類等液體浴的方法，也有用壓縮空氣或其他冷卻流體噴射的方法。其中油浴冷卻看來最為簡便，我們為了對淬火過程先有些初步瞭解，所以最初即用普通玻璃作了一些粗糙的油浴試驗。結果試製出了若干根淬火玻璃小條，經過應變儀的檢視已能看出它內部應變分佈的情況。

在正式的淬火試驗中，我們使用了兩種急冷方法。一是用油浴法，一是用壓縮空氣急噴法。前者是將水柱 015 號及水柱 016 號製得的小水柱計玻璃塊共約 400 餘塊進行了油浴淬火試驗。後者是將水柱 011 號及水柱 013 號製得的大型水柱計玻璃條（即我們受委託試製的）共約 80 餘根進行了壓縮空氣淬火試驗。

在壓縮空氣淬火試驗中，因為限於設備，在使玻璃急冷的過程中，壓縮空氣的壓力不能保持一定，是隨時間漸減的，因此其急冷速度是漸減的。我們在以前初步的試驗中發現當玻璃體被加熱到軟化點附近時，即使時間很短，玻璃體還是很容易變形。這個變形的程度與它在受熱時是怎樣被支托的很有關係。所以在設計壓縮空氣淬火設備中，怎樣支托玻璃試條是一個重要的問題。如果將它水平地置放在加熱爐中，為避免過分變形，必須有相當多的支托點，而這樣可能影響到冷噴淬火的均勻性。如果將它垂直懸掛在加熱爐中，則又因為玻

璃試條重達半公斤，不易夾住，尤其在後來冷噴時有因為受震動而掉落的危險。經考慮結果，我們決定採用了水平支放的方法。經數次改進，最後是用相當多的陶瓷坯製的“游碼”(rider)式樣的小支架來支托玻璃條，結果仍微有變形。需要在推廣過程中對玻璃試條支放的辦法加以改進。

3. 淬火試驗總結

(1) 油浴淬火 我們所用的油是自中國石油公司購來的四十號機油。試驗步驟是將小水柱計玻璃塊試樣放在電爐中加熱到 730°C ，這個溫度的決定是既要使它接近玻璃的軟化點，又要防止因溫度太高玻璃塊產生變形。(水柱 015 號及水柱 016 號玻璃的軟化點各為 780°C 及 790°C) 當電爐的溫度計達到此讀數時，再繼續維持約五分鐘，使玻璃塊的內部溫度都均勻地達到 730°C 。然後把玻璃塊自電爐中很快地鉗出投入各種不同溫度的油浴內。如果玻璃的強度不能勝任因急冷而產生的應力，玻璃即自行破碎。破損率見表 6：

表 6. 油浴溫度對於淬火時破損率的影響

破損率 玻璃編號	油溫 $^{\circ}\text{C}$	290	270	250	210	160	30-55	說 明
水柱 015 號		$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{11}{47}$	$\frac{24}{60}$	表中 $\frac{1}{8}$ 表示同樣情況的 8 塊，其中 1 塊在急冷時自行碎裂
水柱 016 號		$\frac{2}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{22}{104}$	

根據上表結果，可見破損率一般為 $\frac{1}{8}$ 至 $\frac{3}{8}$ 或 13—38%。當油溫增高時，破損率就相對地減低，這當然是因為急冷所產生的應力較小的緣故。因為水柱 016 號玻璃的膨脹係數較小，所以它在淬火時的破損率較水柱 015 號玻璃的為低。玻璃中缺陷（如砂、氣泡等）少的破損率也比缺陷多的較低。這些破損率的差別和理論上的推測是符合的。但因我們的電爐溫度控制及油溫控制不很確切，而原來各個玻璃塊所帶有的缺陷在程度上也很不一致，所以從上表實驗結果看，這些破損率的差別是不顯著的。

(2) 壓縮空氣淬火 設備及其裝置說明：本設備包括兩個主要部分，一是用作玻璃加熱的加熱電爐，一是用來使玻璃急冷的噴氣器。電爐與噴氣器的位置都是固定的，只有用來支放玻璃條的支架可以在軌道上推動，以使玻璃條能在電爐及噴氣器中往返移動。其裝置及操作情況見圖 2 及圖 3。

操作過程：將已經加工定形了的玻璃長條（淬火完畢後就是我們試製成的水

柱計玻璃)藉“游碼”安放在支架上,如圖 2 所示。推動支架,使玻璃條到加熱電爐

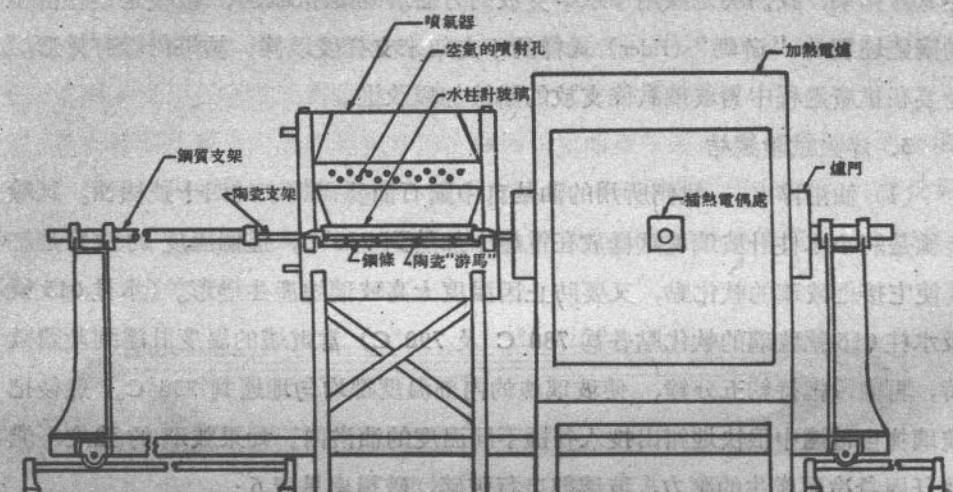


圖 2 玻璃淬火設備 (噴氣器蓋被揭開, 安放好的玻璃正待送入爐中加熱)

中受熱,如圖 3 所示。當玻璃受熱到接近軟化點但不顯著變形的溫度(這個溫度以後稱為加熱溫度),維持 10 至 15 分鐘後,再將支架拖回,使玻璃條回到噴氣器內。這時,就開始用壓縮空氣冷噴。空氣是預先用空氣壓縮機打入容量約 44 立方呎的貯氣筒中。開始冷噴時,筒內壓力為 7 公斤/厘米²。因為噴氣量很大,貯氣筒內不能維持一定的壓力,所以噴氣器上的水銀壓力計的讀數是隨時間而逐漸降低的,也就是說空氣噴射的速度,玻璃急冷的速度是逐漸降低着的。當水銀壓力計的讀數接近於零時,全部淬火過程即行結束。於是重新安放玻璃試條準備進行下一次的淬火。淬過火的玻璃就從支架上取下後,任其自行冷卻。

我們用水柱 011 號及水柱 013 號的玻璃條進行淬火試驗,使用了不同的加熱溫度以及不同的急冷情況以觀察這些因素對於淬火時的破損率及製成的水柱計玻璃的性能有何影響,以決定最適宜的淬火過程的條件:加熱溫度和空氣噴射情況。

不同的玻璃急冷情況是靠空氣噴射在玻璃表面上的速度來決定,而噴射速度則用調節貯氣筒通向噴氣器的凡耳來控制。空氣噴射的強度以安裝在噴氣器上的水銀壓力計的讀數對於時間的變化率來表示如圖 4。共試驗了三種不同的急冷情況甲、乙、丙,其中甲表示空氣噴射速度最快,也就是急冷得最快。乙次之。丙表示空氣噴射最緩和,也就是急冷得最慢。

