

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

玻璃刮痕消除機之發展

Development Of Fire Polishing Machine



研究生：林 聖 展

指導教授：洪 錫 源 教授

中華民國九十四年七月

玻璃刮痕消除機之發展

Development Of Fire Polishing Machine

研究生：林聖展

Student: Sheng-Chan Lin

指導教授：洪錫源

Advisor: Shane Y Hong

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Mechanical Engineering

July 2005

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十四 年 七月

玻璃刮痕消除機之發展

學生：林聖展

指導教授：洪錫源

國立交通大學機械工程學系 碩士班

摘 要

以一種創新的玻璃刮痕消除技術，利用熱源將玻璃表面加熱軟化至與刮痕深度相同，迫使玻璃表面薄層溶解至液體狀態，使玻璃表層呈現黏性狀態，再藉由冷卻玻璃的期間，玻璃會藉由表面張力的作用自行去填補刮痕，直到玻璃冷卻至室溫，玻璃則會回復到原本的光滑狀態，這個技術，將其稱作為 controlled fire polishing。本文重點將針對玻璃特性的觀察與研究，整合資料，總結成設計功能上的需求，並以連續生產線的觀念，設計出可直接放置於中央工廠操作的第二代玻璃刮痕消除機，如此可更精確的掌握環境影響的因素，並且於機器增加更精密的控制功能，並預留拋光前後熱處理的空間以增加拋光過程成功率。

Development Of Fire Polishing Machine

student: Sheng-Chan Lin

Advisors: Dr. Shane Y Hong

Department of Mechanical Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

A new technique developed in removal of scratches on glasses utilizes flame to heat the surface of the glass and a thin layer, of the same depth of the glass scratches, will melt and appears obvious viscosity. Then, during quenching to the ambient temperature, the scratches will be “fixed” by the surface tension until they are removed and the surface of the glass turns out to be smooth, which is the technique we call “Controlled Fire Polishing”. The thesis integrates the data and information, stressed specifically on the observation and research of glass characteristics, to conclude out functional requirements of a new generation of scratch removal machine with more precise control unit, which can be adjusted to the environmental factors and capable of continuous production operating in the factory. There preserves space on both sides adjacent to the fire polishing area for heat treatment to yield more successful pieces under fire polishing.

誌 謝

兩年的研究所生涯，首先謹向洪錫源教授致上最深的謝意，感謝他對我的耐心指導。也感謝百忙之中撥冗擔任口試委員的交通大學傅武雄教授、陳仁浩教授，於論文內容上的指導，使得本論文更臻圓滿。

其次謝謝機械工程研究所產品及製程發展實驗室的湯岳儒學長，提供我實驗上的幫助；同學國賢、中翰、秉衍、克維、雨軒、麗美，帶給我在研究所多姿多采的生活；學弟妹建庸、勇潮、楠庭、靜翔，謝謝你們與我一起經歷這段歲月，給予我許多協助，使我無論在簡報技巧、實驗方法抑或人際關係上，更臻於成熟。

最後更要謝謝我的父母，感謝您的悉心栽培，讓我在求學過程無後顧之憂。還有感謝女友彥君的支持與鼓勵，有妳才不會讓我覺得孤單。

謹以此論文獻給我的家人及朋友，謝謝你們。

聖展 中華民國九十四年七月

於國立交通大學機械工程學系

目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	ii
誌謝	.....	iii
目錄	.....	iv
表目錄	.....	vi
圖目錄	.....	vii
符號說明	.....	ix
一、	緒論.....	1
1.1	前言.....	1
1.2	背景.....	3
1.3	設計動機.....	8
1.4	設計目標.....	9
1.5	設計方向.....	9
二、	玻璃特性與表面刮痕消除之對策.....	11
2.1	引言.....	11
2.2	玻璃簡介.....	11
2.2.1	玻璃形成方式.....	11
2.2.2	玻璃轉移溫度及轉移域定義.....	11
2.2.3	玻璃的冷卻過程.....	13
2.3	玻璃刮痕消除之對策.....	15
2.3.1	加熱方式.....	16
2.3.2	變形的抑制方法.....	21
2.3.3	玻璃的支持法.....	23
2.3.4	冷卻控制.....	24
2.4	總結.....	25
三、	玻璃刮痕消除機設計.....	26
3.1	引言.....	26
3.2	設計程序.....	26
3.3	機器功能需求.....	27
3.4	構想設計.....	29
3.4.1	機器構想設計.....	29
3.4.2	機器操作方式構想設計.....	33
3.5	具體化設計.....	33

	3.5.1 傳動部份傳動馬達的選擇.....	33
	3.5.2 傳動部份傳動元件的選擇..	37
	3.5.3 架設板設計.....	39
	3.5.4 推進爪設計.....	41
	3.5.5 玻璃輸出架設計.....	43
	3.5.6 機器附加設計.....	44
四	玻璃刮痕消除機之控制電路設計.....	47
4.1	引言.....	47
4.2	機器控制元件.....	47
4.3	人機介面.....	48
4.3.1	控制面板的設計.....	48
4.3.2	控制面板的配置.....	49
4.4	配電箱設計與配置.....	50
4.5	電路設計.....	52
4.6	機器耗電量計算.....	56
4.7	機器完成與規格.....	61
五	玻璃刮痕消除機試驗.....	64
5.1	引言.....	64
5.2	設備與步驟.....	64
5.3	測試參數的選擇.....	65
5.4	機器測試結果.....	66
5.2.1	玻璃拋光測試.....	66
5.2.2	拋光過程機器溫度量測.....	68
六	結論與建議.....	70
參考資料	.....	72

表 目 錄

表 1	量測楊氏係數所使用的 Soda-lime glass 成分.....	22
表 2	紐約地鐵的玻璃窗尺寸.....	28
表 3	機器設計功能特性與傳動機構之比較.....	31
表 4	依馬達運轉模式不同的馬達功能特性比較.....	36
表 5	可選用的RS滾子鏈條標準規格表.....	38
表 6	可選用的RS鏈齒輪標準規格表.....	38
表 7	各元件的最大功率負載值.....	61
表 8	機器規格表.....	63



圖 目 錄

圖 1	美國犯罪頻率排行榜分布佈比例圖	1
圖 2	controlled fire polishing 實行過程	4
圖 3	controlled fire polishing 實行原理	4
圖 4	火焰拋光所使用的氣體流率和火源移動速度所實驗出的結果	5
圖 5	火焰拋光所使用的氣體流率和火源移動速度所實驗出的結果	5
圖 6	火焰拋光所使用的氣體流率和火源移動速度所實驗出的結果	6
圖 7	火焰拋光所使用的氣體流率和火源移動速度所實驗出的結果	6
圖 8	火焰拋光所使用的氣體流率和火源移動速度所實驗出的結果	7
圖 9	火焰拋光所使用的氣體流率和火源移動速度所實驗出的結果	7
圖 10	火焰刷設計及運作圖	8
圖 11	玻璃轉移域之各工作點與黏性係數之關係圖	13
圖 12	玻璃應變點溫度與玻璃體積收縮率變化圖	14
圖 13	玻璃溫度與成型能力的關係	16
圖 14	鈉鈣玻璃(soda-lime glass)在轉移域溫度時與黏性變化的關係	17
圖 15	市面常用的膠合玻璃尺寸	17
圖 16	玻璃之熱膨脹特性曲線	18
圖 17	玻璃溫度在軟化點時的體積變化圖	18
圖 18	一般板玻璃的實際強度分布圖	19
圖 19	鈉鈣玻璃溫度與強度的關係	20
圖 20	使用共振法所測得的鈉鈣玻璃溫度與彈性係數的關係	22
圖 21	玻璃受力過程之應力與應變曲線圖	23
圖 22	玻璃刮痕消除機之工程設計程序圖	27
圖 23	玻璃刮痕消除機構想設計圖	32
圖 24	傳動系統具體化設計圖	39
圖 25	架設板設計圖	40
圖 26	傳動系統與架設板銜接圖	40
圖 27	馬達固定方式圖	41
圖 28	玻璃運作過程上視圖	42
圖 29	推進爪推進玻璃運作過程側視圖	42
圖 30	推進爪與傳動鏈條之組合方式	43
圖 31	玻璃輸出架完成圖	43
圖 32	機器附加設計完成圖	44
圖 33	噴嘴與機器相對位置圖	45
圖 34	拋光過程噴嘴火焰與玻璃的關係圖	45
圖 35	控制面板的功能設計及配置圖	48
圖 36	機器使用者其所需使用空間	50
圖 37	控制板架設於機器的位置	50
圖 38	機器與電路系統整合圖	51
圖 39	實行自動模式的繼電器電路原始狀態	52

圖 40	實行自動模式的繼電器於玻璃放置在機器傳送平臺的電路狀態·····	53
圖 41	實行自動模式的繼電器於玻璃傳送至噴嘴處的電路狀態·····	53
圖 42	實行自動模式的繼電器於玻璃拋光完成的電路狀態·····	54
圖 43	機器電路圖·····	55
圖 44	電路設計流程圖·····	56
圖 45	正弦交流電的三要素·····	57
圖 46	正弦交流電路的瞬時功率·····	59
圖 47	機器完成圖·····	61
圖 48	拋光前的玻璃試片·····	67
圖 49	Well- polished 的玻璃試片·····	67
圖 50	Over-treated 的玻璃試片·····	67
圖 51	Under treated 的玻璃試片·····	68
圖 52	機器於拋光過程各機構之溫度·····	69
圖 53	火焰吹打至玻璃表面所造成的火焰折射現象·····	71



符 號 說 明

T_f	凝固點溫度
T_g	轉移溫度
E	Young's Modulus
α	表面應力
a_0	平均原子間距離
σ_m	理論強度
V_L	馬達可調速範圍
M_L	馬達最大載重
D	齒輪直徑
M_p	齒輪重量
μ	摩擦係數
η	傳送效率
J_G	負載慣性慣量
J_{m1}	傳送及加工物負載慣性慣量
J_{m2}	齒輪的負載慣性慣量
T_L	負載轉矩
U_m	電壓幅值
I_m	電流幅值
ω	正弦交流電的角頻率
ϕ_u	正弦交流電電壓的初相位
ϕ_i	正弦交流電電流的初相位
ϕ	相位差
U	交流電電壓的有效值
I	交流電電流的有效值
P	主動功率
D_g	玻璃與機器轉軸軸心之距離



一、序論

1.1 前言

隨著台灣工業的成長與進步，玻璃產品已充斥在我們的生活之中，玻璃的用途上也愈來愈廣泛，無論從一般的平板玻璃和玻璃容器製品，甚至到高科技的LCD、光纖玻璃、電子線路基版、半導體元件等，都可以體會到玻璃研究的價值。玻璃帶給了我們生活的便利，但在新的玻璃技術發展技術成型以前，已可以發現到玻璃潛在的問題，即是刮痕產生的問題，玻璃的刮痕會造成玻璃表面的不光滑，且也會大大的影響到其強度等性質，玻璃特性極為複雜，就連玻璃製造工廠的生產線對於玻璃的刮痕缺陷也沒有一個合適的解決之道，因此面對玻璃刮痕的消除工作是一項相當嚴謹的挑戰。

《華盛頓觀察》週刊(Washington Observer weekly) 03 年第 45 期 (總第 61 期:12 月 03 日) [7]寫到，蓋洛普民調公司對美國犯罪率排行榜做的的調查顯示(圖 1)，在公共設施上亂寫亂畫的破壞公物罪(Graffiti Vandalism)，是美國 2003 年發生頻率最高的一項犯罪。有 15%的美國人回答說自己或自己的家庭成員有過房屋，汽車或其他物品被這些“塗鴉”藝術家破壞的經歷，其中據調查破壞公物罪的報警率大約只有 70%，因此可以發現勢必有超過兩成的美國民眾有被破壞公物的困擾。其中範圍也包括了在玻璃上做刮痕式的“塗鴉”藝術，更有人在列車的玻璃上使用鑰匙、刀片、砂紙、石頭把玻璃弄得到處是刮痕，其不但使玻璃產生白色的刻痕且使玻璃變的不透明，使人感覺到不舒服。

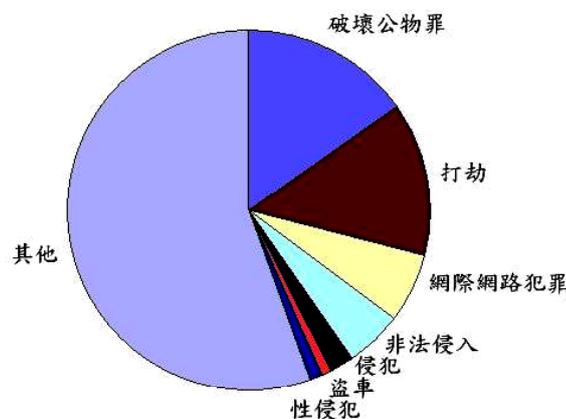


圖 1：美國犯罪頻率排行榜分布比例圖

塗鴉 (Graffiti) 在義大利文的涵義是指亂寫的意思，而塗鴉的複數型態 (Graffiti) 則是指所謂的在牆上做出破壞式塗鴉的圖或畫像。直到了 70 年代初期，一般的罐裝的噴漆可以輕易買到後，在地鐵的火車車箱到街到的牆面，無一倖免的，到處可見各式各樣的塗鴉現象。到了 80 年代，美國紐約地鐵開始整頓塗鴉，共提出了四種整頓方式：(1)購買不鏽鋼車廂。(2)把現有不鏽鋼車廂重新打造，使之能防塗鴉。(3)把現有非不鏽鋼車廂用抗塗鴉的漆重新噴漆。(4)隨時檢查，一發現遭到塗鴉，馬上送廠處理。也因如此，到了 90 年代，塗鴉者無法再藉由地鐵車箱噴漆塗抹來表達不滿、發洩情緒等，因而轉戰了用較堅硬的事物對地鐵的玻璃窗進行塗鴉刮痕。

像在紐約地鐵塗鴉的問題相當的嚴重，固然車子外面都很乾淨沒被用油漆亂噴，但是列車的車窗，卻是慘不忍睹，車窗上到處都是刮痕，這些刮痕都是隨意的塗鴉，無論新舊車都不能倖免。紐約地鐵當局也想整頓，問題是美國的聯邦補助在越來越少的情況下，整頓的經費不足，要保養維護這些車子真的是難上加難，因此很不希望這樣紐約地鐵當局近十年來辛苦抗戰塗鴉就化為烏有了，且也不是只能嘆氣得說沒錢難辦事了。因此勢必要找出其他更有效率且便宜的方法來消除玻璃上的塗鴉刮痕。一般來說，被塗鴉的目標在牆壁上，還可以重新塗上油漆來清除；但一旦刮痕塗鴉在玻璃門窗上時，磨也磨不掉，是永久的損壞，只能藉由替換來解決此問題，其不但相當費時且浪費成本，根據調查發現在 1996 年全美國因為玻璃刮痕的問題，耗費了社會成本就高達了十億美元之多。除此之外，也慢慢地可以發現到，不只在美國紐約地鐵有遭受到玻璃被塗鴉的情形，此問題已經漸漸的擴散到世界各個角落，因此再不有適當的方法去解決，往後所消耗的社會資源將會遠高於往昔，本研究目的的最大課題乃是找尋新技術來解決日與劇增的玻璃刮痕問題。

此外，玻璃上的刮痕不只會造成不雅觀，更會大大的減低了玻璃的強度性質，當玻璃表面上有缺陷 (flaw) 或微細小刮痕等，不論是人為所造成的缺陷；還是空氣中的風沙或小石所造成的微小刮痕，這都會造成當玻璃受力時，在表面缺陷兩端產生的應力集中的現象而大大地降低了玻璃的強度。經實驗發現實用玻璃強度比理論玻璃強度小了 100 倍，這和表面缺陷有很大的關係，因此嘗試去消除玻璃表面的刮痕是相當值得去挑戰的地方。

1.2 背景

在美國哥倫比亞大學博士班學生 JUN 經由實驗，利用乙炔—氧氣和丙烷—氧氣兩種不同的混合性氣體當燃料對玻璃進行刮痕消除的測試，以火源移動的速度、火焰噴嘴口與玻璃的距離、燃燒氣體與氧氣的混合比、混合氣體的流量等四個參數交互做實驗測試，成功的找出了在某些參數範圍內真的可以成功的達到玻璃表面刮痕相除的功效(圖 4 ~ 圖 9)，並且已成功的設計出玻璃刮痕消除機—火燄刷(圖 10)，這是指一種利用創新技術的機器，可將玻璃表面加熱軟化至與刮痕深度相同，迫使玻璃表面薄層溶解至黏性狀態如圖 2 所示，再藉由自然地冷卻玻璃的期間，玻璃會藉由表面張力的作用自行去填補刮痕如圖 3 所示，直到玻璃冷卻至室溫，玻璃則會回復到原本的光滑狀態，這個技術，稱作為 controlled fire polishing。其中將表面受熱熔解的玻璃分成三大部分，第一為主要熱處理區(Essential heat treating zone)；第二為溫度傳入區(Heat flux absorbing zone)；第三為安全區(Safety zone)。第一區的包含範圍需與玻璃表面刮痕的深度相同，於拋光的過程此區的最佳溫度將控制在玻璃的軟化點溫度以上，此時玻璃才具有重新成型的能力；第二區為玻璃因表面受到高溫熔解時熱傳量傳導至內部的區域，此區溫度控制於玻璃軟化溫度以下，使玻璃不具流動能力；第三區的溫度需控制於 300°C 以下，以避免膠合玻璃(Laminated Glass)中心所夾入的聚乙烯丁醛樹脂中間膜(PVB)因高溫而損壞。因此在實行 controlled fire polishing 原理時，必須控制玻璃表面的溫度值，而影響玻璃於加熱過程表面的溫度主要有兩大因素，第一是噴嘴所吹出的火焰溫度，噴嘴的火焰溫度主要是以控制進入噴嘴的混合氣體流量大小以及氣體的混合比例來達成，所以在實行過程，丙烷與氧氣的流量以及混合比例是需要掌握的參數；第二是玻璃與噴嘴相對移動的速度，因兩者彼此相對移動的速度會影響到玻璃經由噴嘴所吹出的火焰過程中所吸收的熱量大小，因此玻璃與火焰的相對速度亦是必須要掌握的參數之一。

controlled fire polishing 處理玻璃過程中就好比一塊冰塊一樣，雖然一開始在冰塊表面上施予一刻痕，但只要將冰塊表面薄層溶化再使之再次結冰，即會恢復原本冰塊平滑表面的模樣。且在操作此機器進行玻璃刮痕消除的同時，並不像一般拋光玻璃所使用的磨削方式會減少玻璃的總體積值，且在處理過程中擁有不會產生廢棄物或使用腐蝕性的化學物質，且還擁有速度快、成本低等優點。

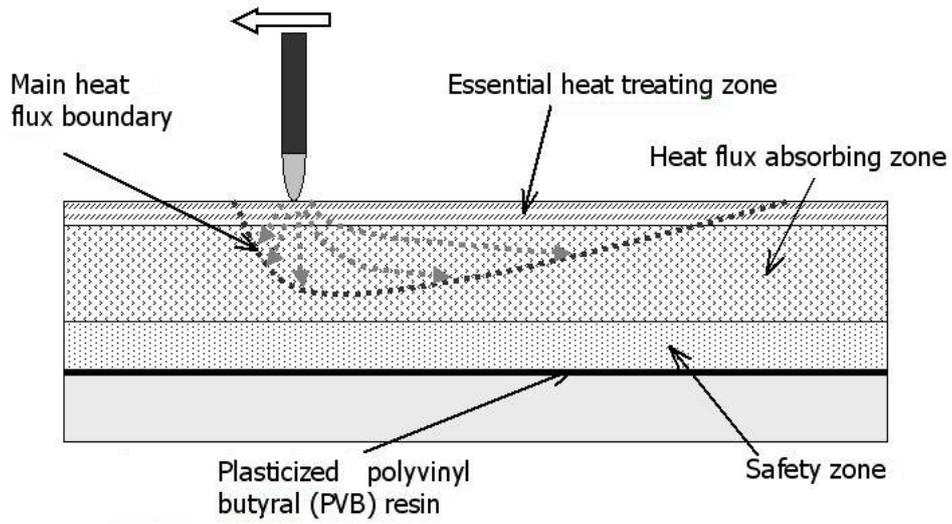


圖 2：controlled fire polishing 實行過程[32]

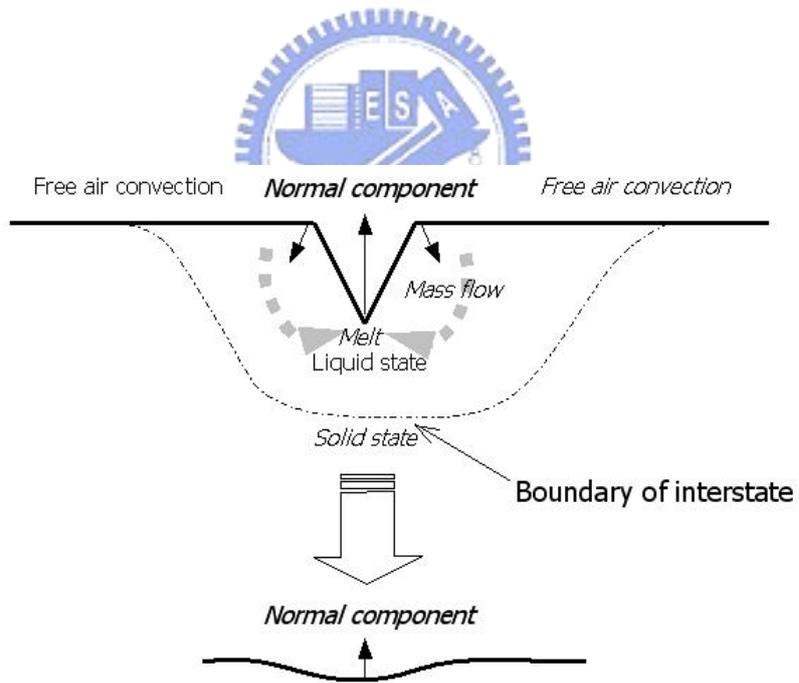


圖 3：controlled fire polishing 實行原理[32]

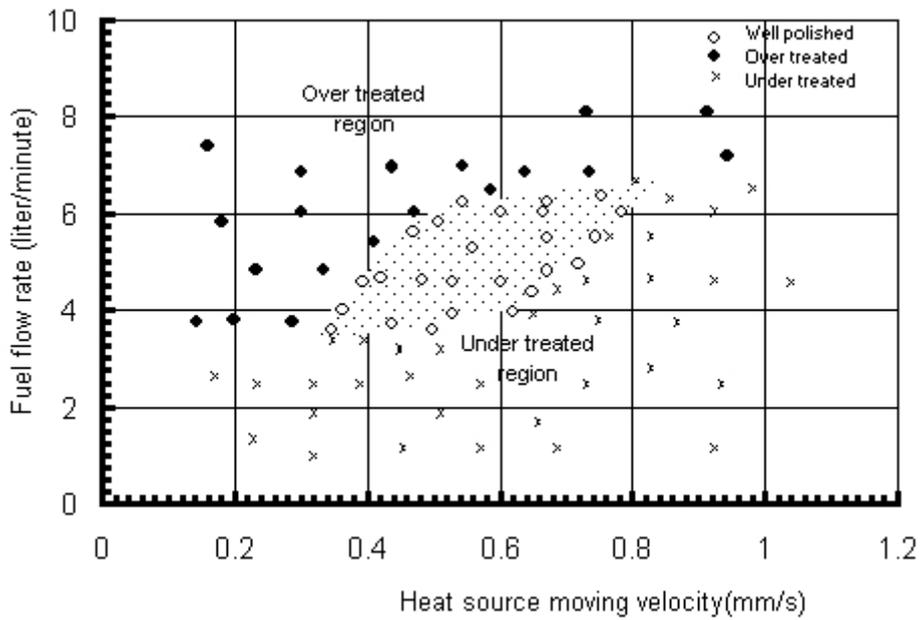


圖 4：火焰拋光所使用的氣體流率和火源移動速度所實驗出的結果
(使用丙烷與氧氣混和比例 1：3.4，噴嘴與玻璃距離 1.3 cm)[32]

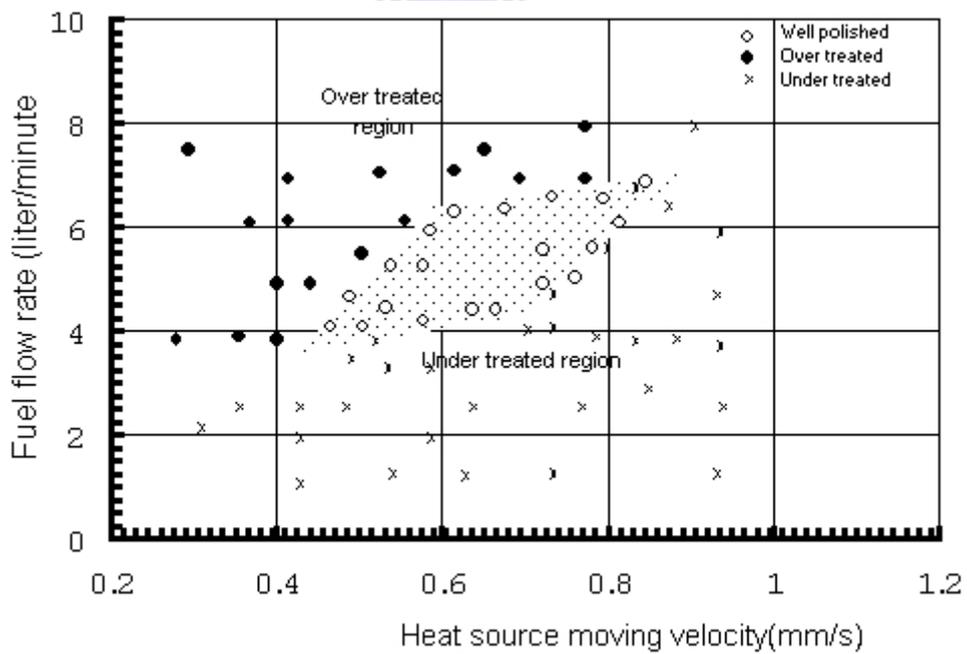


圖 5：火焰拋光所使用的氣體流率和火源移動速度所實驗出的結果
(使用丙烷與氧氣混和比例 1：2.9，噴嘴與玻璃距離 1.1 cm)[32]

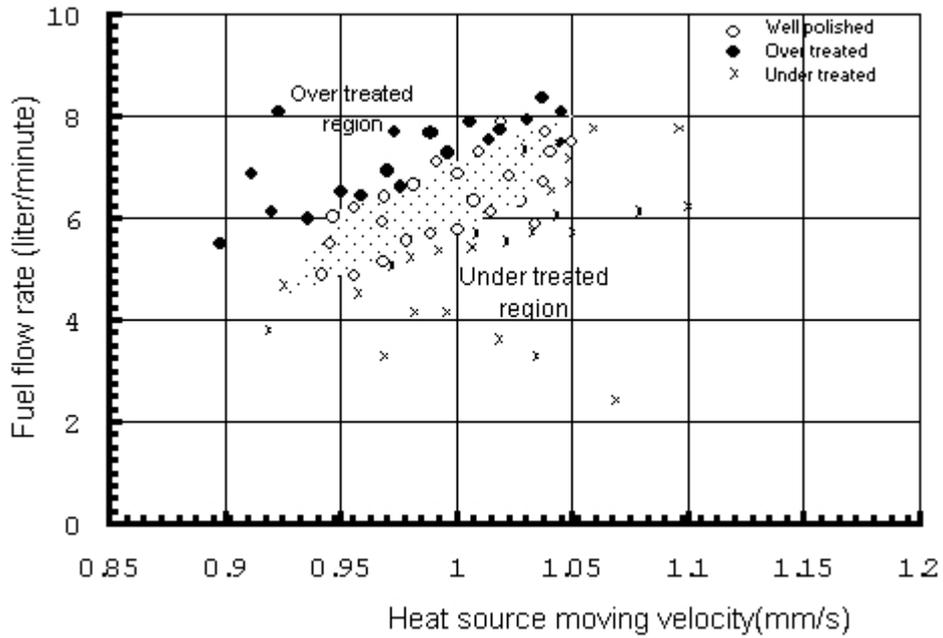


圖 6：火焰拋光所使用的氣體流率和火源移動速度所實驗出的結果
(使用丙烷與氧氣混和比例 1：3.9，噴嘴與玻璃距離 1.0 cm) [32]

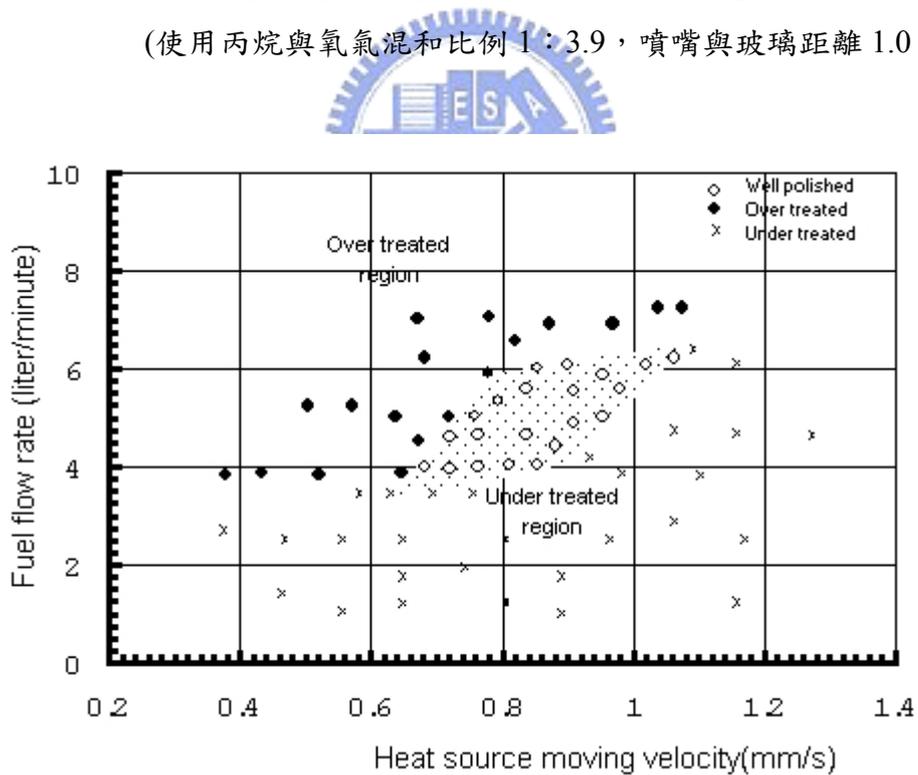


圖 7：火焰拋光所使用的氣體流率和火源移動速度所實驗出的結果
(使用丙烷與氧氣混和比例 1：3.3，噴嘴與玻璃距離 0.9 cm) [32]

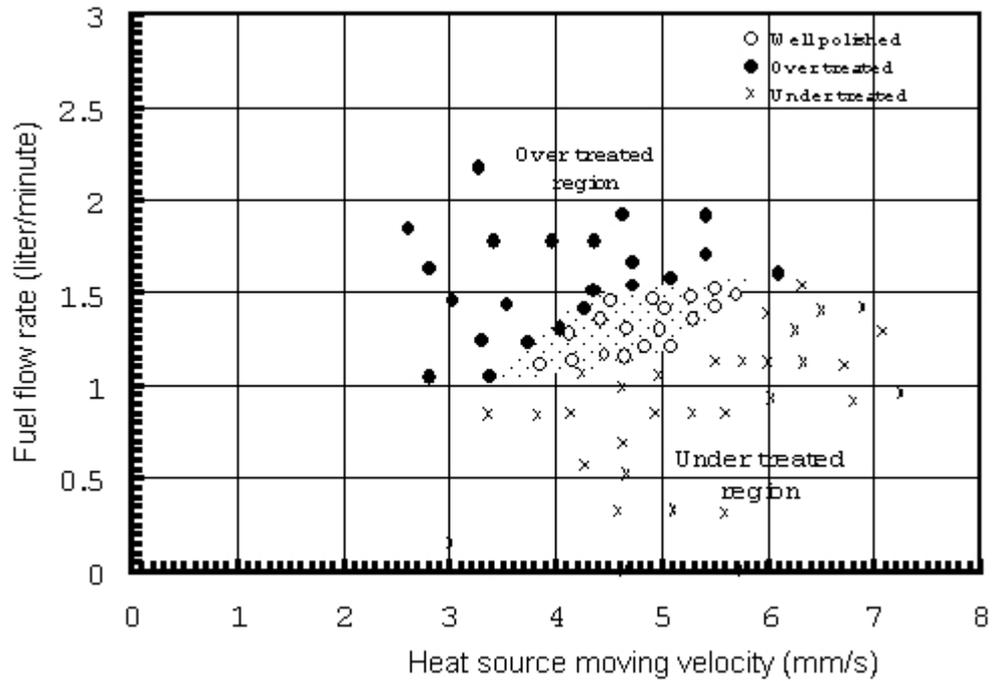


圖 8：火焰拋光所使用的氣體流率和火源移動速度所實驗出的結果
(使用乙炔與氧氣混和比例 1:1.2, 噴嘴與玻璃距離 5.8 cm, 傾斜角 2°) [32]

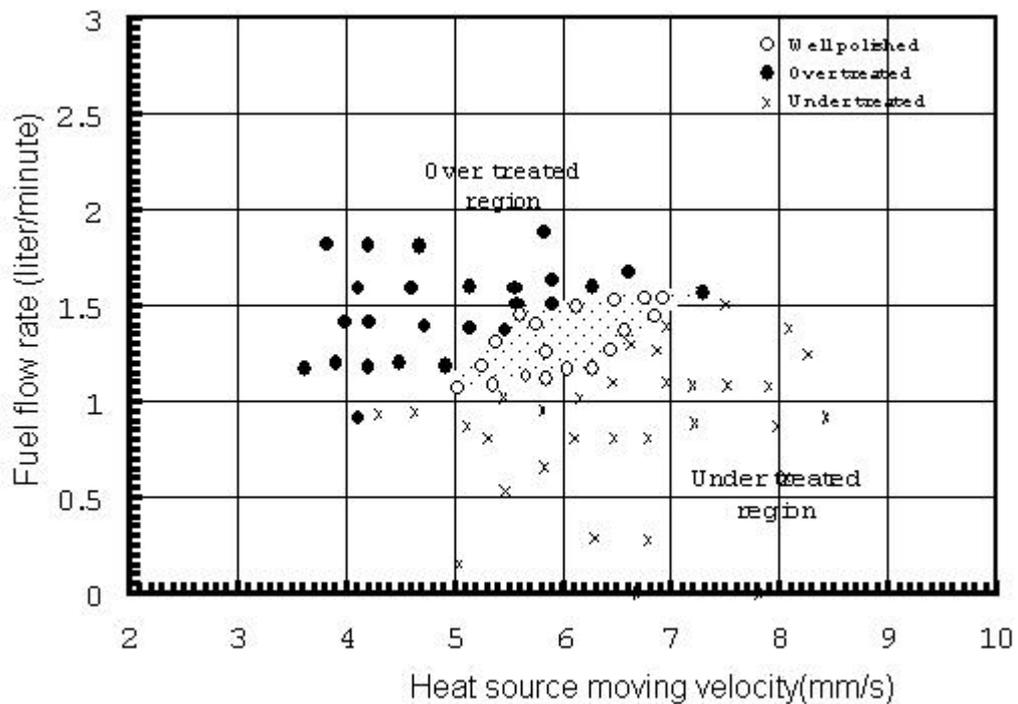


圖 9：火焰拋光所使用的氣體流率和火源移動速度所實驗出的結果
(使用乙炔與氧氣混和比例 1:1.2, 噴嘴與玻璃距離 3.5 cm, 傾斜角 2°) [32]

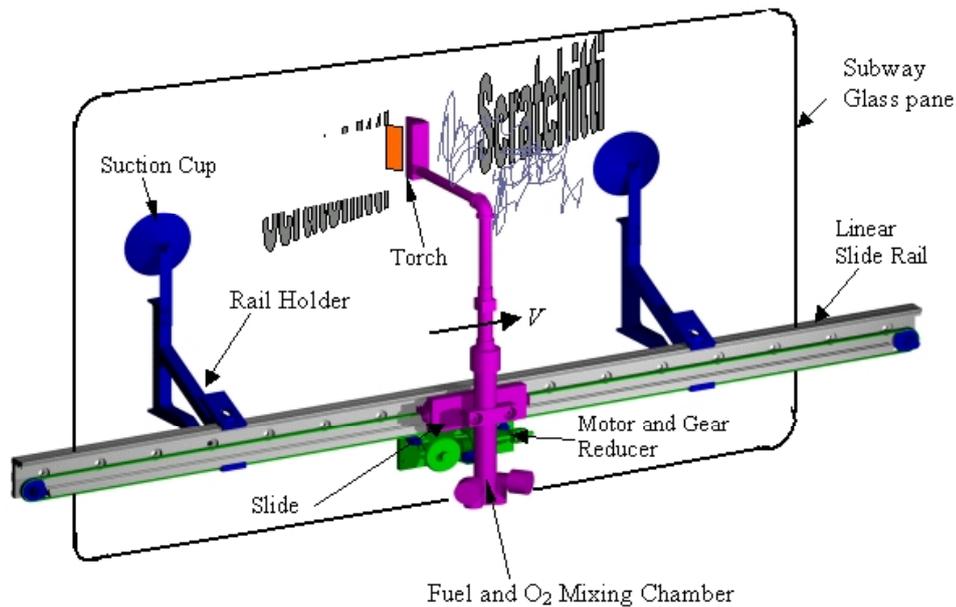


圖 10：火焰刷設計及運作圖[32]

美國哥倫比亞所設計的火焰刷是採攜帶式的方式設計，因此體積較小，且附有吸盤式的設計，方便吸附於玻璃進行刮痕消除。並利用步進馬達來驅動控制噴嘴移動，使火焰所吹出的均勻火源，透過精密的馬達控制移動速度，準確的掌控玻璃表面溫度以及熔化量，有效的對玻璃進行表面刮痕拋光處理。

1.3 設計動機

伴隨著時代的成長，玻璃塗鴉的風氣卻日漸擴大，直到現今玻璃刮痕的問題不但尚未解決，且還更加嚴重。在操作攜帶型玻璃刮痕消除機玻璃進行刮痕消除時，必須精確的控制丙烷與氧氣混合的比例以及流率，使噴嘴所產生穩定且合適的火燄溫度可恰好熔化玻璃表層，再借由表面冷卻的過程完成玻璃刮痕消除，因此在參數的控制是必須要精確掌握的，但攜帶型的火焰刮痕消除機是屬於在室外操作型的機器，如此較不易於掌握環境溫度的因素影響，所以較適用於局部受損的玻璃作修復使用。因此必須要有一新型的玻璃刮痕消除機設計，使之可更準確

並更有效率的進行玻璃刮痕消除的工作。

此外，新型刮痕消除機的設計，還可盡量減少玻璃局部受熱的範圍，使玻璃可保持物理特性的均勻性；並且在玻璃拋光的過程中可避免掉重力因素的影響，以增加拋光的成功率。

1.4 設計目標

攜帶型的玻璃刮痕消除機因攜帶方便，所以較適用於室外且受損面積較小的玻璃進行修補用，但除此之外，還可設計出第二代火燄拋光機，第二代的機器可直接放置於中央工廠操作，如此可精確的掌握環境影響的因素，並且可增加更精密的控制功能以增加玻璃提升拋光的成功率，並且其中控制參數可經由專業人員控制，並保有技術保密的優點。第二代的玻璃刮痕消除機是以連續生產線的觀念，並且可處理較大量且較大面積的玻璃，可更有效率的進行修補受損玻璃，並預留拋光前後熱處理的空間以增加拋光過程的成功率

如此，將來玻璃刮痕消除機可分為攜帶式與固定式兩種機型。攜帶式的傾向於商業外租或外賣機器的模式來經營；而固定式的則屬於收取客戶的受損玻璃進行處理以從中收取利潤的模式來經營，兩種機型皆有其需求，並且使用範圍個別獨立，因此可同時存在。且固定式的機器只要在受損玻璃在非破裂的狀況下皆可透過有效的拋光處理，讓拋光完成的玻璃可以馬上與受損玻璃作替換使用，以降低處理廢棄玻璃以及重新製造玻璃的成本、維護資源等優點。

1.5 設計方向

本設計重點在設計出第二代固定式的玻璃刮痕消除機，並以之前攜帶型的拋光模式為基礎，並改良攜帶型機器只能針對單片玻璃進行刮痕消除加工的不足，發展出可大量進行玻璃刮痕消除的機器設計，在設計的過程，將針對玻璃特性的

觀察與研究，整合資料，總結出玻璃刮痕消除所需要的參數，針對系統參數整合成設計功能上的需求，再從功能的需求中評估機器傳動與支持玻璃的方式，以及改善先前技術只能處理單一玻璃的不便，重新套入機械設計程序，從系統設計到細部零件設計到加工組裝完成，並作測試，以設計出可達到高速拋光目標的玻璃刮痕消除機。



二、玻璃特性與表面刮痕消除之對策

2.1 引言

在設計玻璃刮痕消除機來消除玻璃表面刮痕之前，必須要先對玻璃的特性有所了解，才能妥善的利用玻璃與溫度間的物理變化關係來達到表面刮痕消除的目的。在設計機器前先對玻璃與溫度變化關係做充分的了解，才能有更牢固的基礎理論去設計出最佳適用的玻璃刮痕消除機器，因此，本章節將針對玻璃的特性來探討如何來達到玻璃刮痕消除的理論。

2.2 玻璃簡介

2.2.1 玻璃形成方式



世界上多數的液體只要在冷卻時，降低到達一定的溫度後會有逐漸凝固生成結晶的特性，但某種液體冷卻時，卻逐漸增加黏性而不會凝固，最後也不產生結晶而成堅硬的固體，這種物質若在常溫加熱，又會逐漸而再度成為液體，但又不像結晶物質顯示出一定的熔點，這種非結晶的凝固物即稱為玻璃狀態 (Glassy state)，而具有此狀態的物質，稱為玻璃。

玻璃是藉由加熱原料到超過熔點的高溫而製成，多數商業化玻璃是矽酸鹽、鈉、灰石組成的變化。矽酸鹽通常是用常見的石英砂(SiO_2)，而 Na_2O 和 CaO 用來當做鈉灰(Na_2CO_3)及來姆石(CaCO_3)添加。

2.2.2 玻璃轉移溫度及轉移域定義

一般物質於高溫液體時開始慢慢冷卻，其體積將會隨著溫度的降低而慢慢減少，直至到了物質的凝固點溫度(T_f)，其體積就將急速的減少之，同時固化而變成結晶狀態。當溫度再繼續下降時，體積就將再度繼續隨著溫度的降低而減少，這就是一般之結晶物質因溫度變化而產生體積變化的典型特徵。

但在換作是玻璃的場合時，就不以為然了。起初一樣的，玻璃於高溫液體時慢慢將其冷卻，其體積也將隨著溫度的降低而減少，但到達凝固點溫度時，體積並不會有急速減少的現象產生，反倒是慢慢的增加其黏性，並緩慢的減少體積，直到最後不成結晶質而變成了玻璃狀態。在從液態玻璃開始冷卻至玻璃結晶狀態時，在到達某一點溫度(T_g)以下時，其將會變為硬且脆的狀態，其黏性係數約成 $10^{14.6}$ poise 以上之值，而體積變化率也變小之。具有如此之性質對於溫度之急劇變化之點(T_g)來說，此點即稱之為「轉移點」，對於此時的溫度稱謂「轉移溫度」(Transformation Temperature)。

所謂轉移溫度，係表示在最初使物質狀態變化之溫度的意思而命名之，而現在對此溫度之玻璃狀態變化立場來看，是極為複雜，不能當作簡單之相變化來處理。但若保持玻璃在此轉移溫度以上之某一定之溫度時，可認明其物理性質就隨著時間而變化之，保持十分長時間之一定溫度時其性質及時間也逐漸地近於一定之值，並可以到達其溫度相應之某一平衡值，如此在一定溫度下與時間一起而變化其性質且達到平衡值之這種現象稱為「轉移現象」。表示轉移現象之溫度範圍稱為「轉移域」(Transformation Range)。通常轉移域是指由轉移溫度到軟化溫度這之間的溫度而言。轉移域即是指由轉移溫度到軟化溫度之間而言，一般可定義分為 4 個階段：(圖 11)

(1) 應變點 (Strain Point) :

指玻璃之內部應變在 4 小時能實際除去之溫度。應變點是玻璃之黏性係數具有 $\eta=10^{14.5}$ 之值的溫度。在此溫度以下，在事實上，玻璃是不會引起黏性流動的。

(2) 退火點 (Annealing Point) :

指玻璃之內部應變於 15 分鐘能實際除去的溫度。緩冷點為玻璃之黏性係數保持在 $\eta=10^{13.0}$ 值之溫度也。

(3) 軟化點 (Softening Point) :

在均勻直徑 0.55~0.75 mm 長 23.5 mm 之玻璃纖維上部 10 cm 處，以每分鐘約 5 °C 之溫度加溫時，指以用本身的重量能以每分鐘 1 mm 之速度伸長之溫度，即黏性係數 $\eta=10^{7.6}$ 之溫度。

(4) 作業點 (Working Point)

指適合玻璃成形的溫度，一般來說，即黏性係數 $\eta = 10^4$ 之溫度。

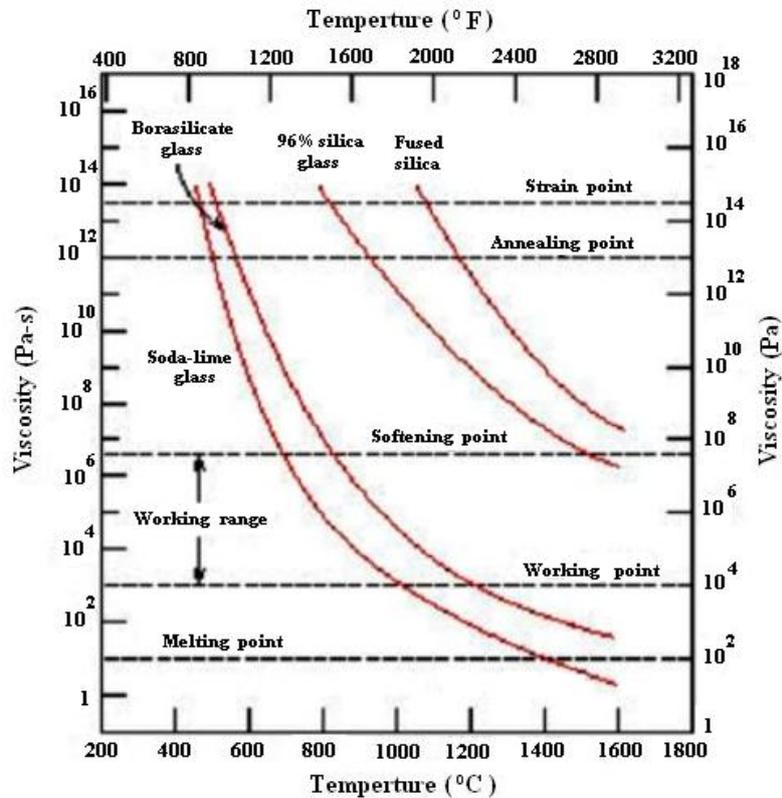


圖 11：玻璃轉移域之各工作點與黏性係數之關係圖[23]

2.2.3 玻璃的冷卻過程

當欲使用火焰刮痕技術來消除玻璃刮痕，不但要能成功移除玻璃表面上的刮痕，但也必須要確保玻璃的強度性質不會受到相當程度的影響，不然，即使成功消除了刮痕，但卻大大降低了玻璃的強度，也會造成不可預測的危險存在。本節將對針對常用玻璃熱處理以及冷卻的方法來做介紹。

玻璃的冷卻方式可分為兩種，其一是以一定的冷卻速度冷卻之，其二是使玻璃保持在一定溫度的方式冷卻之。前者是將玻璃於一定速度冷卻，把玻璃構造凍結於一定的構造溫度，使折射率安定化、一定化。而後者是在一定溫度長時間保持，以除去熱應變，使構造安定化後，再徐徐冷卻，防止應變。目前玻璃退火的過程是由加熱升溫過程、定溫保持過程、定速冷卻過程以及急速冷卻過程組成。

玻璃的緩冷操作是熱處理加工的最後過程。玻璃在成形操作中，受到急速冷卻到常溫，將會有熱的應變產生，而改變玻璃原來的物理性質，如玻璃的折射率，比重或機械性亦會受影響。特別是光學玻璃的折射率變化。

玻璃自高溫冷卻時，其黏度逐漸增大，體積減少達到某程度時即無黏性，玻璃實際上已變成堅硬且脆，此點即為玻璃應變點，這時的溫度稱為應變溫度。如圖 12 所示，比 S 點較高的部份，其膨脹(收縮)率較大，S 點以下則比較小。應變溫度點，隨著玻璃的種類不同而異。今將玻璃自高溫冷卻時，表面首先變冷，而內部溫度下降較遲，玻璃表面先達到 S 點，而成堅脆狀態。若再冷卻時，S 點溫度將逐漸自表面內移，已經到達 S 點以下溫度的表面部份，其收縮率較內部小，因此內部的玻璃收縮時，表面部分已呈現堅脆而收縮率更小，以致難以適應內部收縮，結果玻璃雖已全部固化，但仍有應變狀態存在。換言之即表面部分殘留有壓縮應力，而內部則為擴張應力，此時應力的大小，受通過 S 點的冷卻速度影響，相反的，如果從高溫迅速冷卻時，就有很大的應力殘留，在 S 點的附近較緩冷卻時，應力就變的很小，此外應力的殘留與玻璃厚度亦有相關。一般而言，如果將玻璃冷卻時，若內部冷卻至室溫時，製品內外層沒有溫度差，而沒有膨脹收縮的現象，應力也隨著消失，稱為暫時應變(temporary strain)，另一方面若玻璃成形時，自高溫半熔融的玻璃狀態，急速冷卻而固化，因內外層的膨脹收縮而產生的應力，即使在冷卻至室溫時，也無法完全消失，而能有一部份殘留在玻璃中。這種現象稱為永久應變。

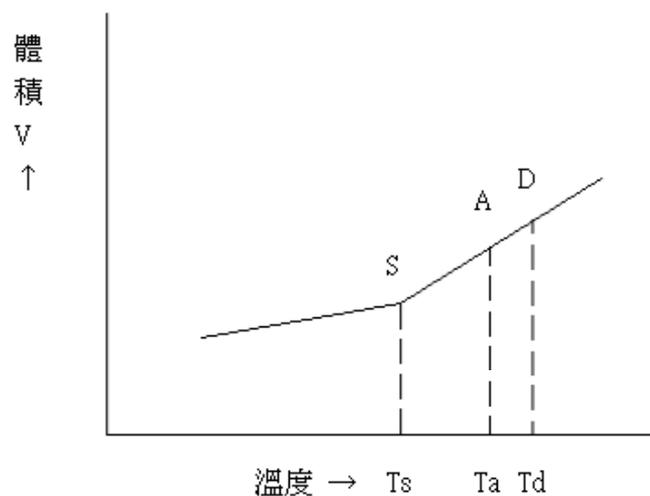


圖 12：玻璃應變點溫度與玻璃體積收縮率變化圖

今欲消除玻璃自高溫冷卻時所產生的熱應力時，必須供玻璃再度加熱至應變點以上。如果超過此點過高時，會有急劇的塑性，而無法保持玻璃的形狀。應力的消除速度，在溫度愈高時愈快，實際上工廠中以 15 分鐘為準，能消除其應力的溫度，稱之為應力消除溫度，或退火溫度 (Annealing temperature)，消除應力的退火溫度如圖中的 A，將溫度升到 D 以上時。玻璃會因自重量而發生塑性變形。退火操作初期時，將溫度提高，一旦所產生的應力消失，在徐徐地將溫度下降，即可達到所需的成形品。這種情形必須慎重地操作，否則就無法成為不具應力狀態的玻璃。在實際上，工廠有個錯誤的想法常認為將溫度充分地提高，然後再冷卻不論如何操作，均可達到退火目的，或將成形的玻璃，盡量地慢慢冷卻，使玻璃的表層與內層，沒有溫度差別，及無應力存在。

2.3 玻璃刮痕消除之對策

由玻璃特性可發現，欲要消除玻璃表面刮痕，必須要將玻璃表面溫度加熱到玻璃轉移溫度以上，使玻璃表面變為黏性，並藉由表面張力以及重力的作用使玻璃自行填平表面刮痕，再藉由冷卻使玻璃固化而完成拋光的效果，不過當玻璃在轉移域溫度這範圍的特性關係是相當複雜的，此過程也將伴隨著在玻璃內部產生應力，稍有不慎，將會導致玻璃爆裂現象，因此設計此拋光機器之前必須先針對所將面臨到的問題，先行評估與分析玻璃固有特性，訂定出對策以作為機器設系的需求。

玻璃隨著提高溫度，玻璃相的變化會伴隨產生黏性的變化，但在相的變化之前玻璃卻是以彈性的變化為主，而其中在黏性和彈性變化交界的過程玻璃則是呈現黏彈性的變化成長，且在此階段玻璃還會伴隨的黏彈性變化的影響產生內應力的現象。因此本章節除了探討到玻璃黏性、彈性、強度與溫度的變化關係外，也將考慮和結構強度較有關者為楊氏係數 (Young's Modulus) 與熱膨脹等玻璃的性質。

從玻璃特性的觀點來考慮玻璃在做火焰拋光熱處理時，可歸類應需注意的四大要點，以下將針對此四大要點以及玻璃特性的影響做詳盡的分析討論：

2.3.1 加熱方式

加熱玻璃的過程是為了迫使玻璃提高黏性，因唯有在黏性的範圍內，玻璃才附有重新成型的能力(圖 13)，但加熱玻璃的方法伴隨著在熱處理的問題，以何種方式加熱玻璃且需要多高的溫度，這是值得以下做探討的。

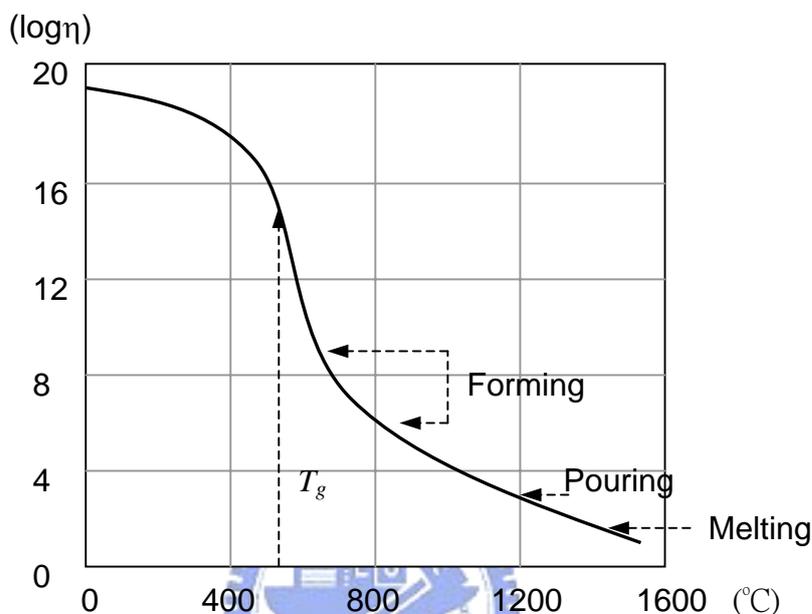


圖 13：玻璃溫度與成型能力的關係[32]

玻璃的黏性是隨溫度而變化，更是支配玻璃之熱處理作業之難度因素之一。玻璃和非晶形材料的固化並不同於結晶結構材料，冷卻時，玻璃會隨著溫度的降低以連續的方式變得愈來愈黏稠，且液體變成固體時，並不像結晶材料一樣具有一個固定的溫度。且當在熱處理過程中控制不當，加工溫度與黏度的影響還會造成玻璃在成型的過程中產生變形與失透的現象。

當玻璃物質被加熱至玻璃轉移溫度以上時，會慢慢開始降低黏性，隨著溫度的增高，黏度愈低，此時的玻璃分子間的凝聚力也伴隨著降低，因此適合成形，本實驗也將利用玻璃此特性，將玻璃表面加熱至高於其玻璃轉移溫度，降低玻璃表面黏度，再藉由玻璃表面的張力以及地心引力的作用，攤平玻璃表面填平刮痕以達到拋光玻璃表面的目的，也因此加熱玻璃的熱源溫度必須要可以使玻璃表面溫度提高至軟化點以上。

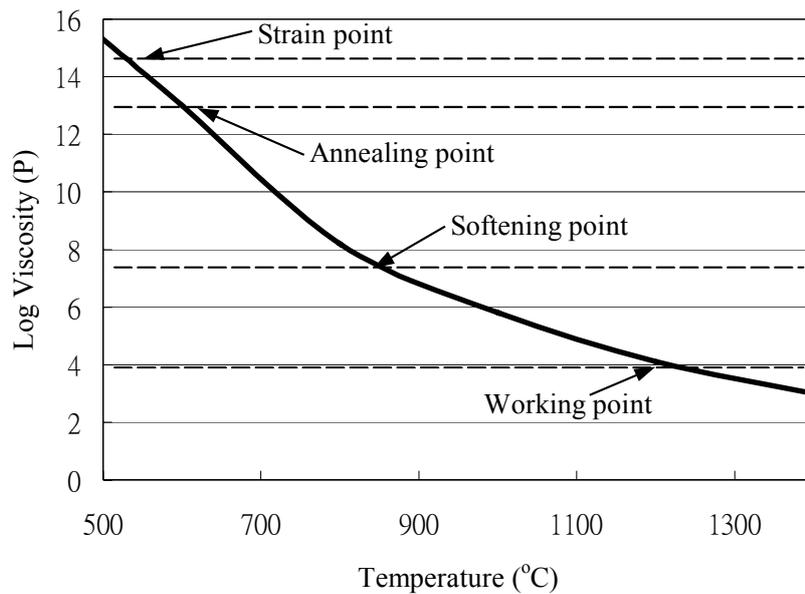


圖 14：鈉鈣玻璃(soda-lime glass)在轉移域溫度時與黏性變化的關係[32]

一般於地鐵玻璃窗常用的玻璃屬於膠合玻璃(Laminated Glass)(圖 15)，膠合玻璃乃是在高溫高壓中利用兩片 soda-lime glass 中間夾入強韌而富熱可塑性的樹脂中間膜 polyvinyl butyral (聚乙烯丁醛樹脂) 所製成的。當玻璃受到破壞性外力撞擊後，如颶風、地震或人為蓄意之破壞等，玻璃的碎片仍緊緊地黏著在夾層的中間膜上，故不致發生像一般單層玻璃因碎片飛散而造成意外的傷亡事件，因此又稱之為安全玻璃。也因如此，針對膠合玻璃拋光過程也增加了更多挑戰性，因膠合玻璃的中間 PVB 夾層只能承受 300°C 以內的溫度，因此拋光加熱的過程就不能使用與玻璃轉移域溫度相近的熱源直接對玻璃持續加熱，以避免溫度傳至中間 PVB 夾層，破壞了玻璃內部的結構。

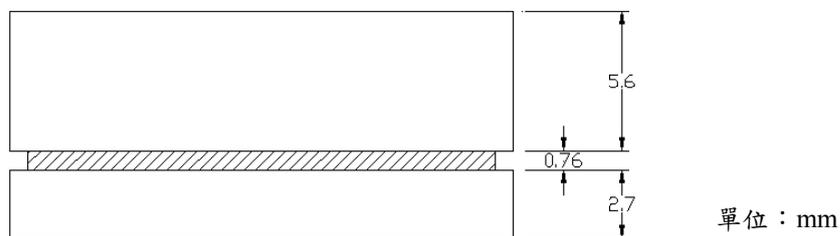


圖 15：市面常用的膠合玻璃尺寸

當在加熱玻璃至黏性範圍的過程，最常見的即是在玻璃熱膨脹或收縮作用時，所導致玻璃發生形變的問題，嚴重時更會使玻璃產生內應力而發生玻璃破

裂，因此玻璃熱膨脹與溫度的特性也是此實驗相當重要的因素，適時掌握玻璃熱膨脹的特性，避免玻璃在拋光的過程中急速膨脹或收縮是控制實驗參數的關鍵。一般來說，體積膨脹率約為線性膨脹率的3倍，而玻璃在0~300℃的溫度範圍下，膨脹率是以線性的方式成長，且直至玻璃轉移溫度以上才會有明顯的非線性變化發生。(圖16)。

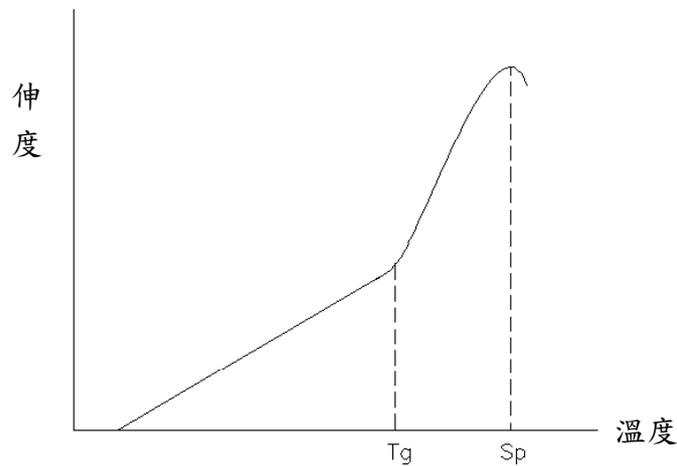


圖 16：玻璃之熱膨脹特性曲線

但當溫度超過了玻璃轉移溫度直至應變點膨脹率則急速增加，直到了軟化點之溫度才停止膨脹現象發生(圖17)。

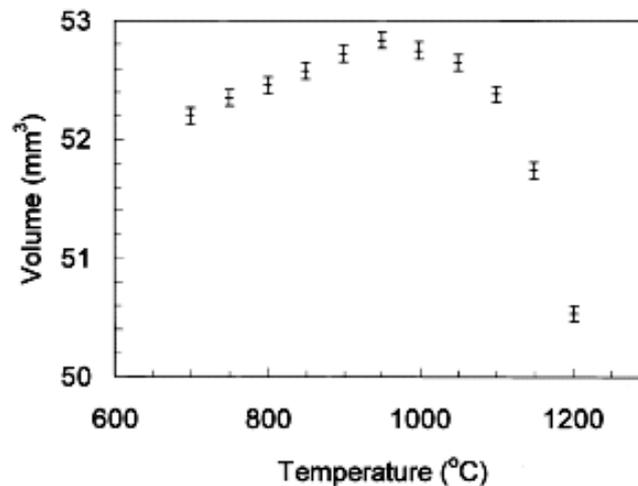


圖 17：玻璃溫度在軟化點時的體積變化圖[27]

在拋光過程中，熱膨脹所帶來的應力衝擊是否可以在不引起爆裂的狀況下成功完成，強度亦是很重要的一環，歸類造成玻璃破碎的最大特徵可分為拉應力作

用和表面缺陷兩大部分。一般來說玻璃所能承受的壓應力值大於拉應力值，所以單所謂破壞強度乃是指拉應力。而在所謂的拉應力不完全是外來的受力，也包括了玻璃在加熱或冷卻過程因玻璃膨脹率的影響所產生的熱應力因素。且玻璃的表面強度與表面的形狀(有無傷痕)、熱處理、化學處理、貯藏條件、測定條件(加重的速度與加重的時間以及大氣)等有很大的變動。因此，在某一條件下測定的強度可套用理論強度的攻勢來推算可以得到：

$$\text{理論玻璃強度 } \sigma_m = \sqrt{\frac{E\alpha}{a_0}} \quad (2-1)$$

帶入一般常溫板玻璃的參數值：

$$E = 7 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\alpha = 3 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}$$

$$a_0 = 2 \times 10^{-8} \text{ kg/cm}^2$$

得到：

$$\text{理論強度應為 } \sigma_m = 1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2 \quad (= 1.4 \times 10^6 \text{ psi})$$

可是經由實驗結果所得到的玻璃實用強度結果卻相當分散的，但結果如圖可看到強度多在 10^3 kg/cm^2 左右(圖 18)，即只有實際強度只不過是理論強度的 1/100 左右。這和玻璃表面形狀分布之欠陷、試片的形狀大小、玻璃纖維的拉長強度、加重速度或時間等無法掌握的因素有著重要的關係。

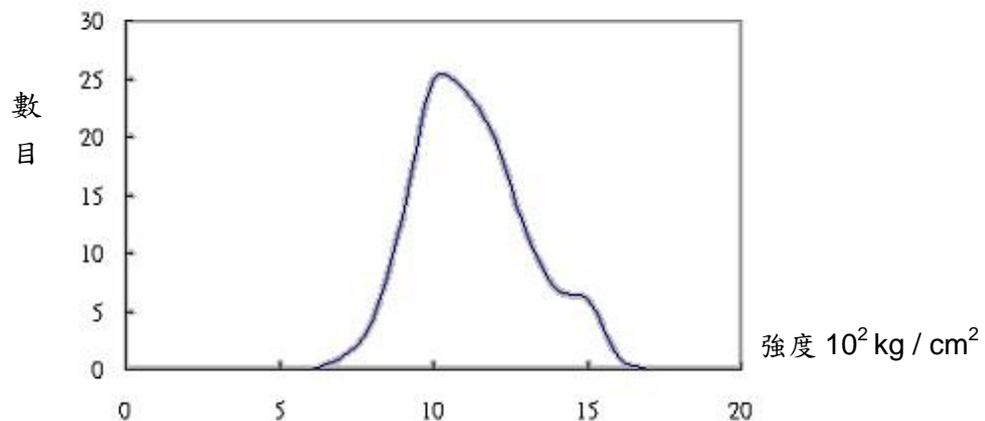


圖 18：一般板玻璃的實際強度分布圖

玻璃在加熱的過程中無法改變的是不斷增加的熱膨脹係數和玻璃的實際強度，而為了避免在加熱玻璃至軟化點的過程因過度膨脹而產生的內應力作用導致玻璃爆裂，唯一可能改變的是，盡可能的減少玻璃加熱過程的瞬間膨脹量，也表示玻璃受熱的區域必須盡可能的減少，使玻璃在受熱的過程只有極小體積的部分發生膨脹，迫使小體積所膨脹產生的應力不足以超過玻璃實用強度而造成破壞的力量，因此所選用的加熱火源部份必須只能瞬間劃過玻璃表面，只使玻璃表面一薄層熔化，而玻璃內部的溫度不至於受到熱源的影響而提高造成玻璃內部也有受熱膨脹的現象產生。不過只有如此，也還是不夠，因為雖然從早期的論文就可以知道，玻璃的機械強度受到玻璃本身溫度的變化所影響(圖 19)，但現今卻發現到，其實強度不只伴隨著玻璃溫度變化的影響，連帶還會隨著加熱時間的長短而有不同的結果，也所以，避免玻璃在熱處理的過程造成破裂，加熱的時間也是一個必須列入考量的因數之一。

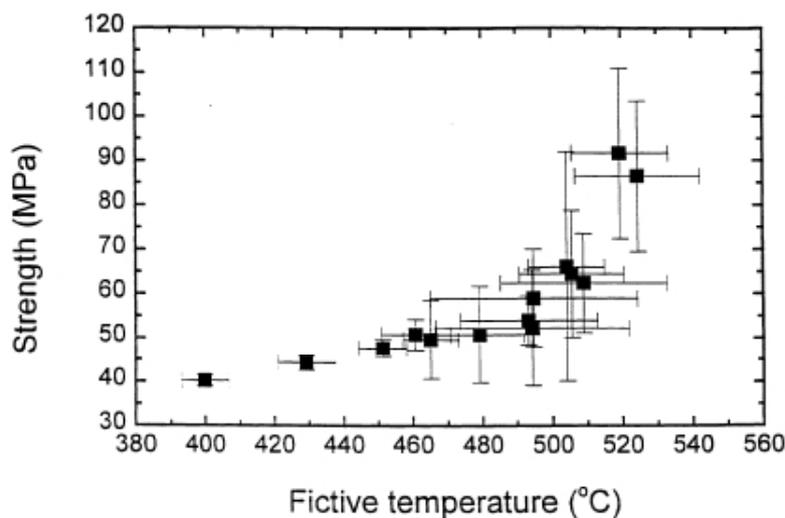


圖 19：鈉鈣玻璃溫度與強度的關係[24]

圖 19 所示玻璃強度實驗所使用的鈉鈣玻璃 (soda-lime glass)，其成份約為 68 wt% SiO_2 ；15 wt% Na_2O ；5 wt % CaO ；4 wt% MgO ；2 wt% Al_2O_3 ；2 wt% BaO ；1 wt% B_2O_3 ；和些許的氧化物。玻璃轉換溫度約為 520 °C。而實驗的過程，為了避免在冷卻的步驟時產生殘留應力而影響到實驗結果，因此實驗溫度必須低於玻璃轉換溫度。(玻璃材料加熱到溫度高於玻璃轉換區域但低於軟化點的溫度再進行冷卻，稱為玻璃回火。此過程會儲存表面殘留壓應力。)

從以上的分析，針對加熱方法的對策，以防止玻璃在加熱過程中所發生的爆裂現象，訂定了下列四大項在加熱過程中的需求對策：

- (1) 加熱的火源必須均勻且加熱的面積也必須愈小愈好。
- (2) 避免過度局部加熱，會造成玻璃局部膨脹而爆裂。
- (3) 火燄溫度必須可以使玻璃表面溫度提高至軟化溫度。
- (4) 加熱速度必須可控制。

綜合上述四點，訂定出火焰必須要能愈細且可涵蓋整片玻璃寬度的範圍。所以在火焰噴嘴的設計與配合上也是一需要挑戰的課題。

2.3.2 變形的抑制方法

在高溫的液狀玻璃，隨著溫度之降低而逐漸增加其黏性，伴隨著非連續的變化，最後在不結晶化變成過冷卻的液體，即玻璃在高溫時為液體；但在常溫下的玻璃，其在破壞之前就按照虎克定律之法則，近似於理想的彈性固體，即玻璃在常溫為固體。這也表示玻璃高溫為黏性物質，常溫為彈性物質。也因此黏性(高溫)及彈性(常溫)之中間溫度域就容易推測有黏彈性之存在，也因為有此複雜的交錯的黏彈性現象，不容易掌握與推測其狀態，所以在這必須特別注意的是，彈性係數和黏性係數是造成玻璃熱處理過程破裂或變形的眾多重要因素之一。

大部分的玻璃，其彈性係數會隨著溫度的提高而降低。很多人測定到軟化點為止的玻璃彈性係數和溫度的關係如圖20所示，此時玻璃的Poisson's ratio，也會隨著溫度的增大最後會慢慢增加至接近液體之最大值0.5。一般的玻璃通常是和金屬同樣隨著溫度之上昇而減少其彈性率，而當玻璃的處於較高溫度的時候其彈性係數會有明顯的變化，一般玻璃在室溫的彈性係數約為 71.6 GPa，當溫度升高為 450–550 °C 時，玻璃的楊氏係數降低至 66.2 - 64.0 GPa，平均約為 65.1 GPa。

如今量測玻璃的楊氏係數大多使用共振法(resonance method)，相對應 ASTM standard C623–92，以上數據所適用的玻璃大小為 75.43 · 14.80 · 3.26 mm，成分如表 1 所示。

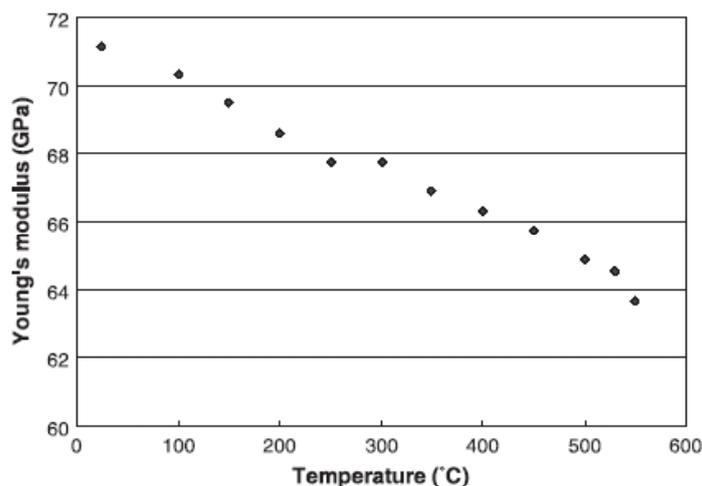


圖 20：使用共振法所測得的鈉鈣玻璃溫度與彈性係數的關係[25]

表 1：量測楊氏係數所使用的 Soda-lime glass 成分

Oxides	Concentration (wt %)	Concentration (mol %)
SiO ₂	71.0	71.4
Na ₂ O	14.7	14.3
CaO	11.8	12.7
Al ₂ O ₃	1.65	0.98
Sr _x O _y	0.27	0.16
BaO	0.23	0.09
MgO	0.07	0.11
K ₂ O	0.01	<0.01
Other	0.27	0.25

變形的抑制是此實驗的成敗關鍵，在此就玻璃的熱處理特性加以特別討論之。玻璃加熱到超過一定溫度時會導致玻璃形似黏性的液體狀，此時的玻璃開始容易受到外界和重力因素的影響而變形，造成冷卻後的玻璃改變了原始的形狀，因此玻璃刮痕消除機的設計應當儘量避免在拋光玻璃表面的過程中直接對玻璃受力，及玻璃在加工的過程需儘量保持水平放置，以避免表成受到重力作用的影響造成變形。

在玻璃受熱的過程不單只要抑制變形，還要抑制玻璃的破裂，因當玻璃加熱過程中受到應力作用後，首先會開始變形，產生所謂的彈性變形，其變形的程度

與所受的應力呈線性的正比關係，即 $\sigma_s = E \cdot \varepsilon$ 。從公式可以知道當玻璃所受到的 σ_s 固定，而當 E 值不斷伴隨著溫度的升高而減少時，應變則將增大，但是卻也不是可以無限制地變形，在經歷彈性變形後，若應變持續的增大，其外型會由彈性變形轉變為非彈性變形，然後達到極限，即所謂的終極拉伸應力 σ_{UTS} ，在此點之後，玻璃便不再均勻受力，還會造成部分的區域受力較集中，加速應變，直到玻璃發生破裂(圖 21)。

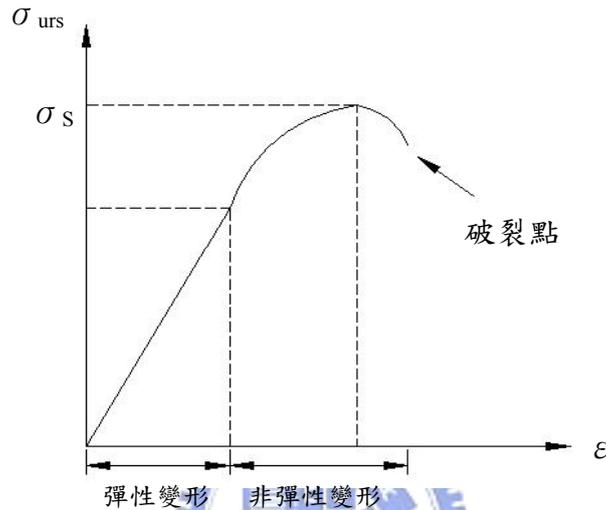


圖 21：玻璃受力過程之應力與應變曲線圖

2.3.3 玻璃的支持法

當實驗進行玻璃刮痕消除處理時，玻璃必須承受住三種應力，第一種應力為內應力，即玻璃本身原本具有的晶粒所導致的應力 σ_I ；第二種應力為外應力，即施加在於玻璃表面的外力 σ_E ；第三種應力為熱應力，即玻璃其因受熱後膨脹係數不同所產生的應力 σ_{TH} 。因此，玻璃所受的總應力 σ_s ，可以用以下公式表示：

$$\sigma_s = \sigma_I + \sigma_E + \sigma_{TH} \quad (2-2)$$

應力 σ_I 和 σ_{TH} 對拋光結果所造成的影響雖然不能完全避免，只能試圖降低其影響成分，可是在施加在於玻璃表面的外力 σ_E 的玻璃影響的部分，卻是可以利用在拋光過程中支持玻璃的方式去完全避免的，支持加熱中的玻璃方法有很多種，但最主要還是要盡量免除掉支持玻璃所造成額外對玻璃施加的參數（如：

外力、溫度 … 等)。因此玻璃刮痕消除機在設計上處理拋光玻璃表面的過程中，玻璃的支持法應當平坦且平穩，並且不會影響到玻璃加熱過程中溫度場的變化，且也要保護玻璃不會在加熱過程受重力的影響變形。

2.3.4 冷卻控制

當玻璃體受熱冷卻時，膨脹量與收縮量之大小由玻璃的熱膨脹係數決定，當玻璃加熱並迅速冷卻下來時，玻璃體收縮聚攏。但玻璃的導熱性很差，所以當外部把對應於高溫下較疏鬆的結構固定下來時，玻璃內部卻繼續收縮，得到較緻密的結構，而造成密度差，而產生了應力。這種由熱負荷所產生的應力可用下式表達，由此公式可以可明確的發現到，玻璃所產生的應力大小與玻璃的熱膨脹係數、彈性係數和冷卻速度 ΔT 成正比。

$$S = \frac{\alpha \cdot \Delta T \cdot E}{2(1 - \mu)} \quad (2-3)$$

其中：

S：應力

α ：熱膨脹係數

E：彈性係數

μ ：泊松比

在玻璃冷卻的過程中，由於表面和內部區域的冷卻速率及熱收縮不同所產生內應力和熱應力會弱化玻璃強度，並可能在不預期的情況下會導致破裂，此現象稱為熱震 (thermal shock)，正常之下，應避免應力產生，可藉由足夠緩慢速率冷卻玻璃材料而達成，此稱為退火處理 (Annealing)；而玻璃材料的強度亦可藉由壓縮殘留表面應力而強化，此稱為回火處理 (tempering)。總合來說，退火即消除或降低內應力；回火即刻意引入表面壓應力，兩者的差別乃在冷卻時間速度的不同，這卻也代表著玻璃會因冷卻的速度不同而會造成兩種不同強度玻璃的情形，也因此玻璃刮痕消除熱處理中，只有能控制冷卻玻璃的速度介於退火與回火處理的臨界中間值區間，才可以滿足不會改變玻璃原本強度的結果，完成玻璃拋光處理。

玻璃在熱處理的過程之所可能發生破裂的現象，可歸類為是溫度或壓力的急遽變化所引起，也可以簡單的用應力的變化來解釋，而冷卻的過程亦是。冷卻過程最大的困難，便也在於冷卻時玻璃產生破裂。因此，將唯有避免玻璃急速冷卻，或嘗試著把冷卻時間拉長，或採分段冷卻的方式，才會有明顯助於防止冷卻過程中玻璃的破裂的跡象產生。

2.4 總結

從 2.3 節的討論可以總結出實行玻璃刮痕消除的對策，針對機器設計的部分就以下條列所示，下章節則將就此對策轉換成機器設計的必要功能需求開始進行設計的工作。

- 第一：機器在傳動玻璃做拋光的過程中，加热的火源溫度必須可使玻璃表面溫度達到軟化點溫度，並且火源必須均勻穩定，並且不同刮痕深度的玻璃必須可以依據不同大小以不同的速度來進行傳送，且速度的要求上必須是相當平穩且均勻的。
- 第二：玻璃刮痕消除機的設計應儘量避免在拋光玻璃表面的過程中直接對玻璃受力，及玻璃在加工的過程需儘量保持水平放置，以避免玻璃表層因軟化受到重力作用的影響造成變形。
- 第三：傳動玻璃的過程時，支持玻璃的部分必須要避免多餘的外力，溫度等參數的影響施加在玻璃上。
- 第四：避免拋光完成後的玻璃在溫度上產生極劇的變化。

三、玻璃刮痕消除機設計

3.1 引言

針對先前所探討的玻璃特性以及玻璃熱處理的相關結果所總結出的對策，已經擬定出機器設計的需求，而本章則是在能滿足這些所訂定的需求條件下來進行機器的設計，本章的重點是放在玻璃刮痕消除機的功能評估以及設計流程。

3.2 設計程序

在設計產生玻璃刮痕消除機的過程之前，必須以需求為基礎，運用傳統的經驗常規法則、科學技術、工程理論等方式，針對需求目標訂定出合適的工程設計程序。工程設計程序是屬於設計者對設計系統結構的一種構思，唯有能在設計機器前，建立一套完善的工程設計程序，可全面性、系統性的考慮產品的研究、設計、製造、組裝、測試、使用等工作，才能確保機器系統的功能的最佳性、以及完整性。

為了使玻璃刮痕消除機的設計可以有次序且有系統的進行，必須先訂定出合適的設計程序來套用。有關系統化設計的研究至今已經有不錯的成效，漸具雛型，綜合眾多學者的設計程序[15][30][31]，大致可整合出四大設計階段套入此玻璃刮痕消除機來實行，每一階段都有著不同的任務。階段一、釐清工作任務；階段二、構想設計；階段三、具體化設計；階段四、細部設計。而在設計新型玻璃刮痕消除機前，也先訂定出的工程設計程序如圖 22 所示，本章節將依循所訂定出的設計程序進行機器的設計工作。

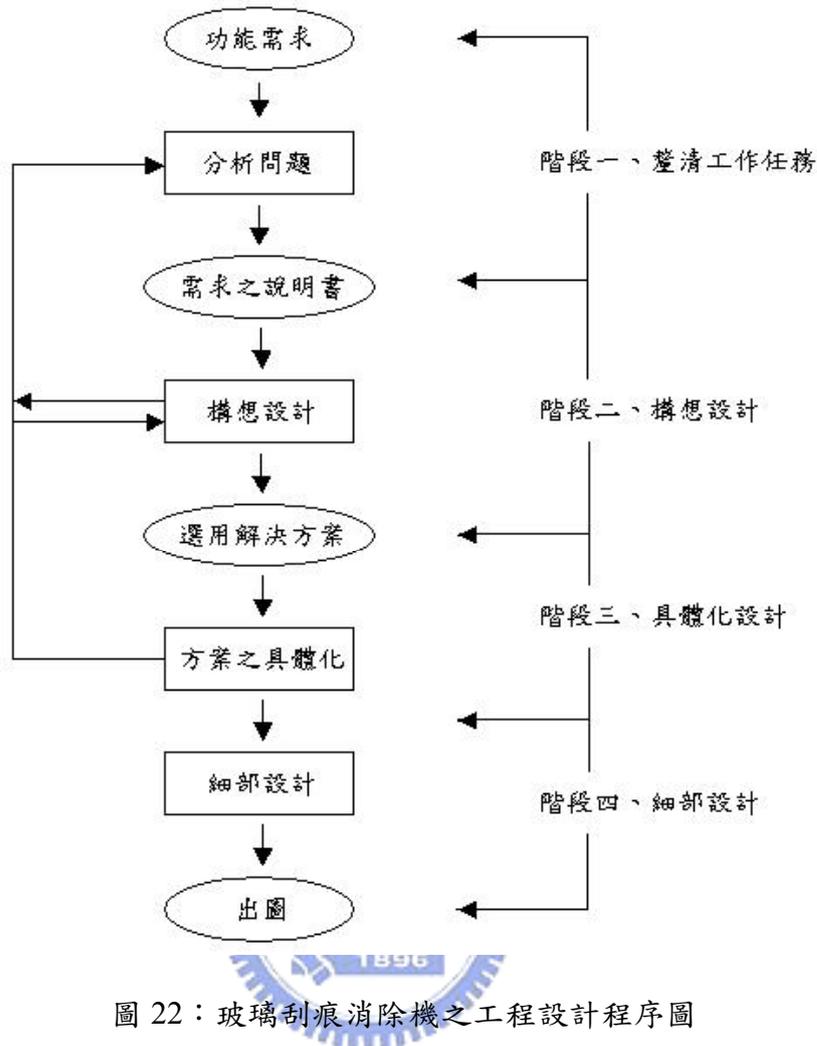


圖 22：玻璃刮痕消除機之工程設計程序圖

3.3 機器功能需求

第二代的玻璃刮痕消除機是以連續生產線的觀念，並且可處理較大量且較大面積的玻璃，因此可以更效率的進行修補受損玻璃乃是機器設計的基本需求，除此，為了可以實行玻璃刮痕消除拋光處理的過程，在第二章也總結出了在機器功能上必須滿足的四大功能需求，可是除此之外，可從表 2 發現到，一臺火車中的玻璃大小並不全部相等，每一臺火車中都夾雜著各種大小尺寸不同的玻璃，也因此所製造出的玻璃刮痕消除機勢必須要可以有彈性調整空間來滿足各式大小的玻璃所使用，或者，可藉由簡易的組裝使其能滿足各式大小的玻璃做拋光，因此機器必須增加可彈性調整的附加功能需求。總合以上等資訊可訂定出機器的規格需求，即是釐清此機器功能設計的主要工作任務，如下所述。

表 2：紐約地鐵的玻璃窗尺寸[32]

<i>Rail Car Type</i>	<i>Window Location</i>	<i>No./Car</i>	<i>Width</i>	<i>Height</i>	<i>Corner Radius</i>	<i>Rad. Location</i>
1 &9 SS 6 dr	Door	12	13.75	31.25	2.5	a,b,c,d
1 &9 SS 6 dr	Corner	2	15	30		
1 &9 SS 6 dr	End	2	18.25	25.75		
1 &9 SS 6 dr	Main-upper	2	52.25	7.63	3	a,b,c,d
1 &9 SS 6 dr	Main-lower	2	53.5	20.13	3	c,d
1 &9 SS 6 dr	Near Sign	2	53.5	17.5	3	c,d
2&3 Red paint	Door		14	24		
2&3 Red paint	End	2	19	24		
2&3 Red paint	Main/Near Sign-upp	10	24	6.75		
2&3 Red paint	Main/Near Sign-lowt	10	24	16.38		
4&5&6 paint slidir	Door	12	14	24	2	a,b,c,d
4&5&6 paint slidir	End	2	19.13	24		
4&5&6 paint slidir	Main/Near Sign-upp	10	25.25	13		
4&5&6 paint slidir	Main/Near Sign-low	10	25.25	13		
7 red paint, 6 dr	Door	12	14	24	1.5	a,b,c,d
7 red paint, 6 dr	End	2	19.25	4.13	2	a,b,c,d
7 red paint, 6 dr	Main-upper edge	4	27.13	7.25	2	a/b
7 red paint, 6 dr	Near Sign-upper	4	27.13	7.25	2	a/b
7 red paint, 6 dr	Main-upper center	2	28	7.25		
7 red paint, 6 dr	Main-lower	4	42	17.25	2	c/d
7 red paint, 6 dr	Near Sign-lower	2	56	17.25	2	c/d
A&C, SS, 8dr	Door	16	13.88	31.25		
A&C, SS, 8dr	End	2	22	20	2.5	a,b,c,d
A&C, SS, 8dr	Main-upper	4	53.25	6.63	1.5	a,b
A&C, SS, 8dr	Main-lower	4	54.25	19.5	2	c,d
A&C, SS, 8dr	Divider	16	12.75	10 30		
A&C, SS, 8dr	Near Sign	2	54.25	17	2	c,d
N&R S S, 8 dr	Door	16	14	26	1.5	a,b,c,d
N&R S S, 8 dr	End	2	19.75	23.88	2	a,b,c,d
N&R S S, 8 dr	Near Sign-upper	2	25.5	7.13	2	a,b
N&R S S, 8 dr	Near Sign-lower	2	25.5	17.38	2	c,d
N&R S S, 8 dr	Main-upper	4	56.13	7.125	2	a,b
N&R S S, 8 dr	Main-lower	4	56.13	17.5	2	c,d
N&R-Type II	Door	16	14	25.75	2	a,b,c,d
N&R-Type II	End	2	12.5	41.5	2	a,b,c,d
N&R- Type II	Near Sign	2	54	21.25	2	c,d
N&R-Type II	Main-Upper	4	54	9.75	2	a,b
N&R- Type II	Main-Lower	4	54	21	2	c,d
N&R-Type III	Door	16	14	31.25	3	a,b,c,d
N&R- Type III	End	2	19.25	35.25	3	a,b,c,d
N&R- Type III	Near Sign	2	56.5	15.5	3	c,d
N&R- Type III	Main-Upper	4	56.5	9.5	3	a,b
N&R-Type III	Main-Lower	4	56.5	19	3	c,d
N&R-Type III	Corner	1	14	31.5	3	a,b,c,d

機器規格需求：

1. 以連續生產線的觀念，設計出可直接放置於中央工廠操作的第二代玻璃刮痕消除機。
2. 機器傳動速度必須相當平穩且均勻，並且可以調整玻璃拋光速度範圍在 0.1 ~ 20 mm/s 之間。
3. 機器火焰溫度至少可使玻璃表面加熱至軟化點溫度以上，且火源必須均勻與穩定。
4. 機器於拋光的過程應避免多餘的外力，溫度等參數的影響施加在玻璃上，以防止玻璃破裂或變形且須避免拋光完成後的玻璃在溫度上產生極劇的變化。
5. 機器必須可配合不同大小的玻璃進行拋光處理。
6. 機器的操作方式只須將玻璃放置於機臺上，機器即可感應玻璃的放置並可自動完成拋光動作，以提高機器拋光效率。
7. 增加丙烷與氧氣氣體自動進氣開關，以省去人為操作的不便與誤差。
8. 噴嘴自動點火設計，以維護機器操作者的安全。
9. 噴嘴火焰熄滅與丙烷氣體外漏警示設計，以避免危險發生。



3.4 構想設計

3.4.1 機器構想設計

在訂定新型玻璃刮痕消除機之規格之前，先考量到欲加工的玻璃尺寸大小，一開始機器的設計為了減少空間，所以先設計可對較小範圍的玻璃進行拋光處理作實驗。新型機器設計定訂在可處理在寬 380 mm ~ 10 mm，長 810 mm ~ 100 mm 大小範圍間的玻璃進行刮痕消除熱處理。

機器設計的最終目標乃是使玻璃能經由表面的熱加工方式來消除其表面的刮痕，加工方式為將玻璃卸下並放於機器機台上，機器即可以自行將玻璃推進至高溫的火焰中進行表面的加熱，再使玻璃緩慢冷卻至室溫，以完成表面刮痕的消除。由以上可大致規劃出機器的設計構想，可確定在整套系統中必須具備完善的傳動系統以及可耐火系統部份。以下就此規格需求，將機器設計分為傳動系統

與耐火系統這兩大部分加以來探討之。

第一：傳動部份之構想設計與對策

機器的基本需求是可以同時實行多片玻璃進行玻璃刮痕的拋光處理，在實用上希望可以用最簡便的方式進行，只須簡單的將玻璃放置機器之中，機器便可自行傳動玻璃至固定且均勻的熱源下進行玻璃表面重新成形的拋光處理，最後再自動傳送完成拋光處理的玻璃進行後續的冷卻直至完成，且玻璃必須可在很平滑的狀態下進行傳動，傳動的可負載重量也必需大於 8 km 以上(玻璃體積寬 380 mm 長 810 mm 厚度 10 mm 的狀況下，重量約 8 km)，並且機器必須可隨著玻璃表面刮痕嚴重性的不同，隨時改變傳動速度，並在加工的過程中，避免所有外加的力量施付於玻璃之上影響結果。從文獻回顧[32]的結果可以發現，可成功消除玻璃刮痕的噴嘴移動可調速度參數範圍至少必須介在 0.1 mm/s ~ 10 mm/s 之間，也代表著所選用的馬達無論在有否裝設減速機的狀態下，其可調速範圍在最高速與最低速之間也必須要有 100 倍以上的調整差距；此外，為了避免玻璃刮痕消除熱處理的過程，重力的影響造成玻璃於表面熔化的過程產生非預期的變形，因此機台設計上是採玻璃以平放的方式做熱處理加工。

傳動機構的種類繁多，通常由齒輪、軸承、皮帶、鏈條、螺桿…等基本元件所組合而成，組成的方式不同，其中的優缺點也各不相同，以玻璃刮痕消除機的功能特性來衡量，傳動方式必須要能循環式的運作，如此才可以符合同時進行大量玻璃加工的特性，並且在運作時傳動裝置可以不斷的將玻璃傳送至火源中進行表面熱處理，也因此，機器的傳動機構也必須考量是否可以承受火焰溫度的直接影響亦或間接影響等問題。除此，傳動方式是否均勻穩定、是否產生滑動跡象、易受潮濕冷熱的影響等，都是須要再加以考慮的環節。最後，所設計出的傳動機構裝置還必須可以配合可順應各式不同大小的玻璃進行刮痕消除處理的設計，表 3 將針對玻璃刮痕消除機的系統特性來衡量選用最適的傳動方式。

根據表 3 的分析結果，可以選定採用鏈條傳動的模式來應用於新型機器的傳動部份較為適合，因鏈條式的傳動不但不會有滑動的現象，且拉力也較履(皮)帶傳動來的大、效率較高等優點。

機器在傳動過程之中，為了避免加熱過程重力對玻璃表面熔融造成流動性的影響，以及確保加熱玻璃的過程中熱傳遞分布和支持玻璃力量的均勻性，設計是採可以平放玻璃於一均勻平面的方式對玻璃做熱處理。因此機器中傳動鏈條的功能變的並不是直接的傳動玻璃運輸，而是間接的在鏈條上裝設推進爪的方式推送玻璃在一均勻的平面上傳動，最重要的是，在傳送玻璃進入火源的推進爪部分是必須要和玻璃一起進入火源中加熱，因此推進爪的設計以及材料的選用也是一大關鍵。

表 3：機器設計功能特性與傳動機構之比較

特性 傳動方式	循環傳動	彈性調整	耐火焰餘溫	效率
履(皮)帶傳動	✓			
鏈條傳動	✓	✓	✓	✓
滾珠螺桿傳動			✓	✓
線性滑軌傳動			✓	✓

第二：機器耐火部份之構想設計與對策

拋光玻璃表面刮痕所需的火焰溫度經過適當的氣體混合比例，最高溫度會到達 2000°C 以上，因此在機器中負責傳動玻璃進入火焰中做表面加工的機器部分必須要具備有耐火或防火的能力特性。且在高溫之環境中還必須可承受應力而不會產生破壞或變形。此外，機器傳動鏈條材料的熔點約在 1150°C，也無法承受在高溫火源中的持續作用，因此在接近火源的鏈條部分必需有防火或隔熱的裝置設計，避免機器受火焰溫度影響而損壞。

市面上常見的防火材料按製品的化學—礦物組成，可分為六類 (1)矽質製品 (2)矽酸鋁質製品 (3)鎂質、鎂鉻質和白雲石質製品 (4)碳質製品 (5)鋯質製品 (6)特殊耐火材料，其可耐火溫度範圍均會隨著其純度改變，但也無法直接在超過 2000°C 的火焰溫度下持續燃燒，因為其可耐火的最高溫度約在 1700°C 上下，所以在設計上，必須要有避開與火焰直接接觸的方式設計。一般而言，1600°C 是玻

玻璃熔解溫度的上限，用於熔解玻璃的溫度也不應過高，足夠即可，就實際操作狀況，使玻璃溶化可成形只需約 800°C~1200°C 溫度，過高的熔解溫度，會導致機器所使用的耐火材料產生問題。基於此種原因，將盡可能控制火源使玻璃表面的溫度不高於 1200°C ~ 1400°C 左右。

機器設計的傳動方式雖然已經選定，但其最大且最須要克服的問題乃是如何避免傳動裝置受到火焰高溫的影響，因此避火方式乃是最需要考量的部分。在機器設計上採用兩種避火方法，第一：直接避開火源；第二：選用可耐高溫的材料。在傳動平面的設計方面採用避開火源的方式設計，而在玻璃推進爪的部分則選用可耐高溫材料的方式來進行機器的設計(圖 23)。

整體構想設計分析，此臺玻璃刮痕消除機的功能是設計可針對大小範圍在寬 380 mm、長 810 mm ~ 100 mm 以內的玻璃做刮痕消除的加工，傳動部分機臺大小約長 2000 mm、寬 900 mm 。

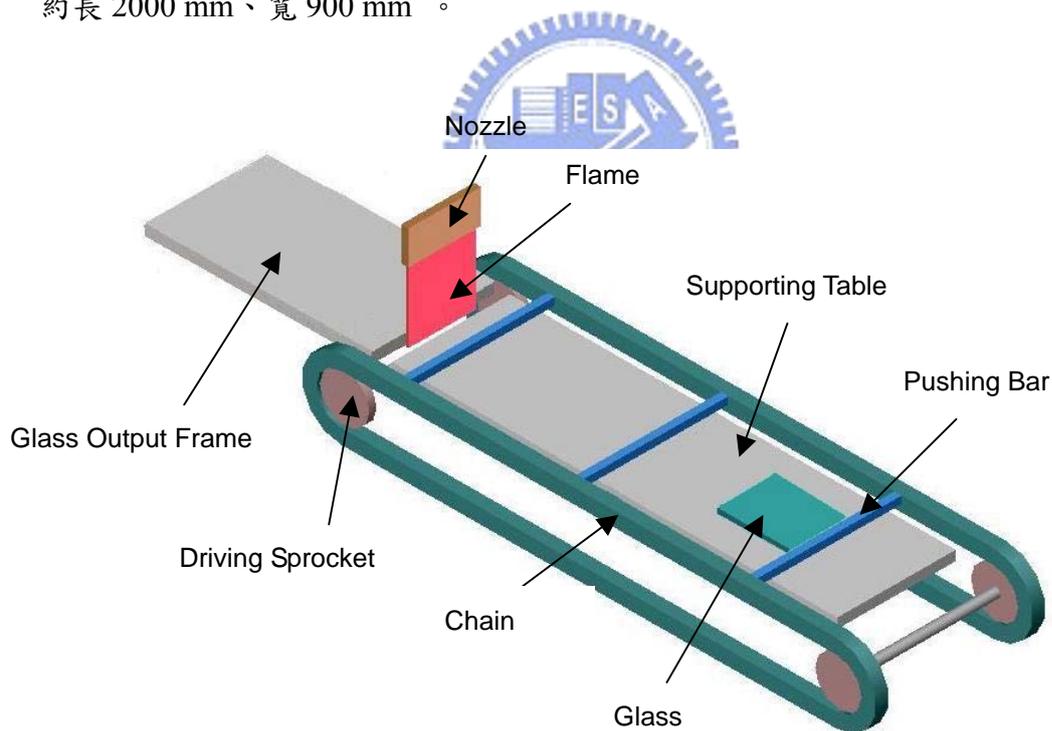


圖 23：玻璃刮痕消除機構想設計圖

3.4.2 機器操作方式構想設計

在設計機器控制電路之前，必須先確定機器在實行玻璃刮痕消除的操作方式，主要可將機器的控制分為兩大部分，(1)手動控制，(2)自動控制。手動控制的目的是在測試機器各單一功能完整性或維修機器時於除錯時使用，以及當機器需要調整參數以及精密的控制參數下操作時可控制。而自動控制的目的則是可滿足以連續拋光玻璃的方式進行修補受損玻璃的操作，以達到可高效率拋光玻璃的目標，另外在自動控制的流程中，還必須注意各控制流程間的順序關係，例如，操作過程時因安全性的考量，必須先點燃丙烷再開啟氧氣系統；或當自動點火裝置發生故障時，必須可以輸出訊號給操作者，避免丙烷不斷的外漏而引發立即的危險。因此在控制流程間必須有完善的順序控制設計，以及需要感測元件與輸出元件的配合。在訂定出機器操作流程後，接下來可將此流程做為機器控制電路的設計標準，其中也包括了整合各元件彼此間的關係。

3.5 具體化設計



在訂定了機器規格需求以及有了機器概念設計方向後，本節將依機器規格目標以及概念設計方向去著手討論以完成機器設計。本節主要將機器分為分為六大部分做討論，分別為機器傳動馬達的選擇計算、傳動部份傳動元件的選擇評估、架設傳動系統結構的架設板設計、傳送玻璃移動的推進爪設計、放置拋光完成玻璃進行冷卻的玻璃輸出架設計以及機器附加功能設計，其中包含了機器腳架、鏈條安全檔板保護系統、噴嘴架設的設計以及丙烷以及氧氣氣體進氣的流量閥及氣體混合元件的裝設設計。

3.5.1 傳動部份傳動馬達的選擇

馬達安裝到機器上後，實際是否能按要求正常動作，以及是否能以理想的效率工作，都將取決於是否正確選擇了最合適的馬達。以下將分析馬達選定流程及馬達的選定計算過程。

1. 決定驅動機構部分：首先決定驅動機構以及大致尺寸，然後再確認驅動時要求的搬送物重量、移動速度等條件。

機器設計採用齒輪鏈條式的方式驅動，總機台大小約長 1200 mm、寬 550 mm。以及其他相關機構規格如下：

- 玻璃刮痕消除機性能需求：

傳送調速度範圍(V_L)： 0.1 ~ 20 mm/s

可傳動載重(M_L)： 至少 30 kg (包括玻璃以及傳動鏈帶和推進爪等)

- 玻璃刮痕消除機預設規格：

齒輪直徑(D)： 10 mm

齒輪重量(M_p)： 1.5 kg

摩擦係數(μ)： 0.3

傳送效率(η)： 0.9



2. 計算轉速、負載：計算機構中馬達驅動軸上的負載轉矩、負載慣性慣量、轉速等數值。

- 計算馬達所使用的轉速範圍：

減速機的轉速(N_G) = $(60 V_L) / (\pi D)$

傳送調速度範圍(V_L)： 0.1 ~ 20 mm/s 帶入

0.1 mm/s 帶入： $(60 * 0.0001) / (\pi * 0.1016) = 0.0188$ r/min

20 mm/s 帶入： $(60 * 0.02) / (\pi * 0.1016) = 3.76$ r/min

得到減速機轉速範圍：0.188 ~ 3.76 r/min

- 計算負載慣性慣量(J_G)：

$$\begin{aligned} \text{齒輪的負載慣性慣量}(J_{m2}) : J_{m2} &= (M_p * D^2) / 8 \\ &= 0.001875 \text{ kg m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{傳送及加工物負載慣性慣量}(J_{m1}) : J_{m1} &= M_L (\pi * D)^2 / (2 \pi)^2 \\ &= 0.0774192 \text{ kg m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{負載慣性慣量 } J_G : J_G = J_{m2} * 4 + J_{m1} = 0.0849192 \text{ kg m}^2$$

- 計算負載轉矩(T_L)：

$$\text{滑動的摩擦力} : F = \mu * M_L = 117.684 \text{ N}$$

$$\text{負載轉矩} : T_L = (FD) / (2 \eta) = 6.642608 \text{ N m}$$

綜合以上計算結果可以得到所需的馬達功能至少為：

$$\text{負載慣性慣量} : J_G = 0.0849192 \text{ kg m}^2 \text{ 以上}$$

$$\text{負載轉矩} : T_L = 6.642608 \text{ N m 以上}$$

$$\text{轉速範圍} : 0.188 \sim 3.76 \text{ r/min}$$

3. 確認所要求的規格：確認驅動部及機器所要求的規格 (停止精度、位置保持、速度範圍、使用電壓、解析度、環境條件等)。

機器使用上不考慮到定位精度上的問題，基本操作上是連續運轉的方式進行玻璃拋光，因此在停止精度與位置保持上並不限定之，但在速度範圍上需滿足可調速範圍在 200 倍差以上，至於使用電壓選擇則以單相 110 VAC 較為方便。

4. 暫時決定馬達：依據計算得到的馬達軸轉速、負載轉矩、負載慣性慣量之數據，從已決定的馬達種類中暫時選出具體的馬達與減速機。

以計算出了機器傳動馬達所需的轉速、負載轉矩、負載慣性慣量等之數據，以下將針對各種馬達的基本運轉模式的特性來探討如何選定合適的馬達與減速機的機種。

由表 4 中的依馬達運轉模式不同的馬達功能特性比較，可依據可否調速的功能可將馬達選擇的種類縮小為無刷馬達組合、AC 調速馬達與步進馬達，在此三大類馬達中要找到滿足所推算出的負載慣性矩以及負載轉矩的馬達並不難，但是調速範圍在最高速與最低速之間至少要有 200 倍以上的差距，在那麼廣的變速範圍的馬達實在少之又少，且加上步進馬達在低速範圍運作的時候，會有明顯的步進現象產生，以及步進馬達的擁有步進角度(step angle)固定，解析角度缺乏彈性的缺點，而此結果將會造成玻璃在拋光的過程有階層的現象而影響到實驗成敗，也因此在此不考慮使用步進馬達。

表 4：依馬達運轉模式不同的馬達功能特性比較

運轉模式	馬達種類	適用範圍	調速功能
定速運轉	感應馬達	適用於單方向連續運轉	不可調速
	可逆馬達	適用於頻繁性正逆運轉	不可調速
	電磁剎車馬達	適用於可保持負載的運轉	不可調速
	轉矩馬達	適用於可變轉矩的運轉	不可調速
調速運轉	無刷馬達組合	適用於可調速的運轉	可調速
	AC 調速馬達	適用於可調速的運轉	可調速
定位運轉	AC 輸入步進馬達組合	適用於高精度定位的運轉	可調速
	DC 輸入步進馬達組合	適用於高精度定位的運轉	可調速
	5 相步進馬達	適用於高精度定位的運轉	可調速
	2 相步進馬達	適用於高精度定位的運轉	可調速

在無刷馬達組合和 AC 調速馬達方面，可找到東方馬達 BX 系列的 AC 伺服馬達，其可藉由數位設定的方式，使速度控制範圍擴大成 3~3000 r/min，調速範圍可到達 1:1000，因此只要再藉由安裝減速比 200 的減速機便可使馬達速度控制範圍降低成在 0.015~15 r/min 以內，也就滿足所需的馬達轉速範圍：0.0188 ~

3.76 r/min 之間。

接下來針對此系列的馬達考慮其負載轉矩以及負載慣性慣量是否滿足需求，可找到到型號 BX5120A-200 的馬達，其容許負載轉矩為 30 Nm ；容許負載慣性慣量為 2.5 kg m² 皆符合需求，且在安全率考量上，容許負載轉矩為 30 Nm 是所估值 6.642608 Nm 的 4.5 倍以上，通常安全率在 1.5~2 以上即可運轉，因此選用此 BX5120A-200 的馬達應相當合適使用。

5. 最終確認、決定馬達：從機械強度、加速時間、減速轉矩等各方面再次確認馬達、減速機的規格是否符合要求，然後最終決定。

綜合以上所述，可確定 BX5120A-200 型的 AC 調速馬達可符合機器的需求，因此選用之作為控制機器傳動運作的馬達。

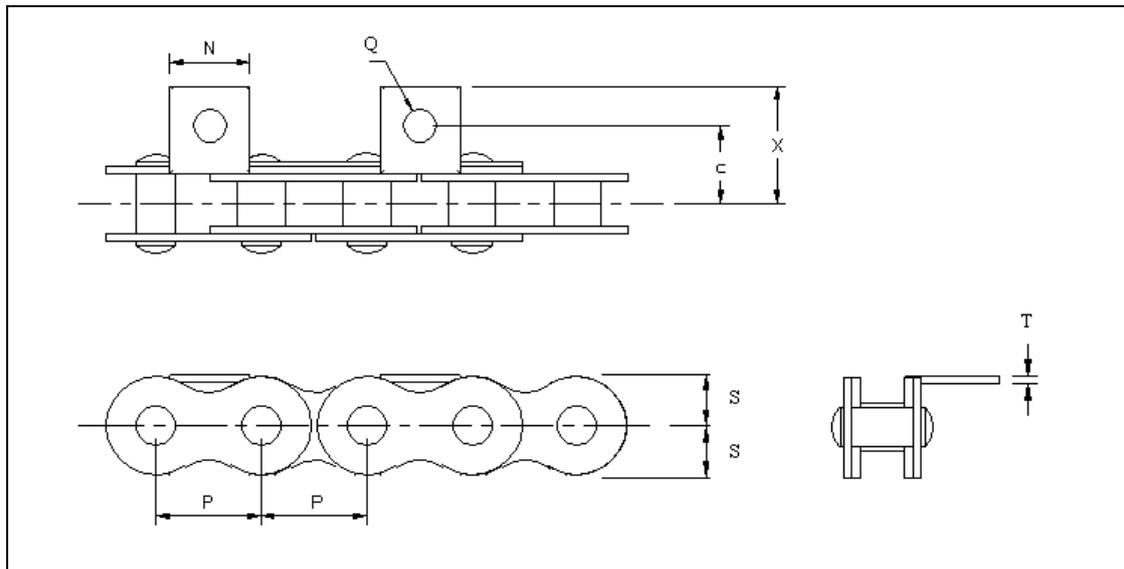
3.5.2 傳動部份傳動元件的選擇



傳動部份的選擇，選用可附加安裝設計的 RS 滾子系列鏈條當傳動的主體(表 5)，再配合相對 RS 滾子鏈條的鏈齒輪(表 6)來帶動鏈條作傳動。且為了可以滿足之前所訂定的鏈條最小傳動速度在 0.1 mm/s 以下的需求，經計算得到相對配合 RS 滾子鏈條的鏈齒輪直徑大小最大不可超過 127mm。此外，機器的大小尺寸會因鏈條與鏈齒輪的選擇而不同，因此在鏈條與鏈齒輪的選擇上，可依據所訂定的拋光玻璃尺寸來選定，也表示機器的尺寸可依據所加工的玻璃尺寸範圍做選擇性的設計。

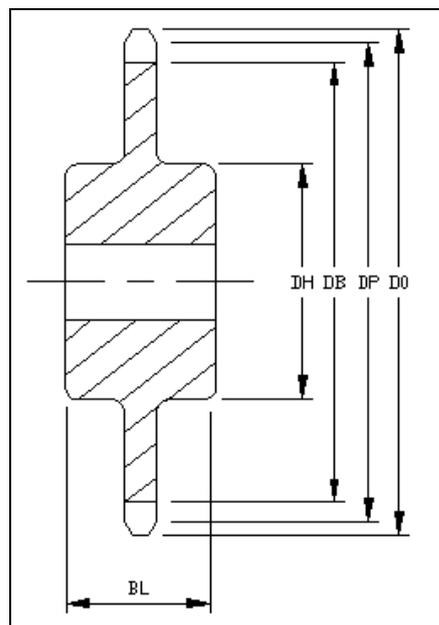
傳動部分則以四根轉軸以及八個齒輪來支持鏈條，使用較多的齒輪，可縮短齒輪與齒輪間的距離，此設計有助於維持鏈條的直線傳動性，不會因推力的影響而彎曲導致改變了傳送速度的均勻性(圖 24)。

表 5：可選用的 RS 滾子鏈條標準規格表



Chain No.	P	C	N	O	S	T	X
RS 40	12.70	12.70	9.5	4.5	8.0	4.0	17.8
RS 50	15.875	15.9	12.7	5.5	10.3	3.2	23.4
RS 60	19.05	19.05	15.9	6.6	11.9	5.4	28.2
RS 80	25.40	25.40	19.1	9.0	15.9	2.0	36.6
RS 100	31.75	31.75	25.4	11.0	19.8	1.5	44.9

表 6：可選用的 RS 鏈齒輪標準規格表



Chain No.	DO	DP	DB	DH	BL
RS 40	116	109.4	101.46	65	32
RS 50	115	106.51	96.05	65	35
RS 60	119	109.71	97.8	70	40
RS 80	118	106.14	89.48	77	45
RS 100	117	102.75	83.70	65	55

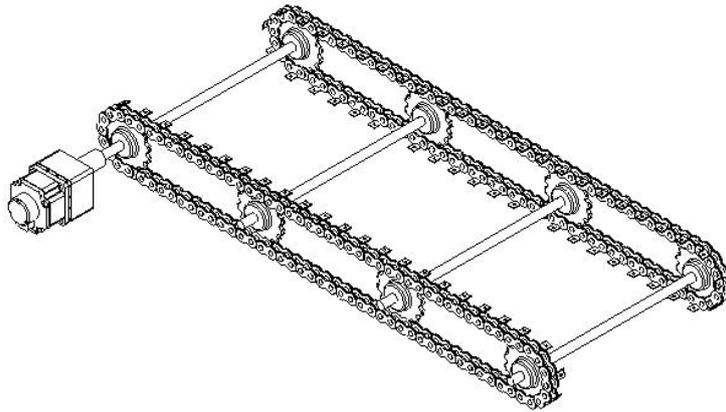


圖 24：傳動系統具體化設計圖

3.5.3 架設板設計

傳動系統部份的雛形已經完成，如何將其固定是設計的重點部份，在固定傳動系統還可分類成 2 大項個別要點需特別注意，第一點、支撐傳動系統與傳動平臺架設板的架設；第二點、馬達的架設。設計時必須要使此兩大要點可維持機器傳動狀態的穩定以及不相互影響到機器傳動，以下將分做討論之。

1. 系統之架設板設計

設計架設板的目的是為了使整個傳動系統有一個穩定的結構可支持，因此架設板的本身也必須兼具平穩及牢固，在設計上是以兩塊鐵板再加上四支固定支架增加其強度而成(圖 25)，且架設板必須可與傳動機構穩定的結合住，因此在架設板與傳動機構之間必須要設計裝設可使其相互結合的零件。

在傳動裝置的轉軸部分可透過軸承來與架設板做結合。另外，玻璃在加工過程所放置的傳動平面在整體系統的設計上必須要滿足水平且牢固，且不會影響到系統的傳動，設計方式是直接將傳動平臺固定於架設板的加強支架上，且在裝上 RS 滾子鏈條時，彼此在空間上也不會有衝突產生即可。簡單來說軸承為固定傳動裝置零件，而將加強支架作為固定傳動平臺的零件，設計重點著重於軸承與加強支架固定於架設板的位置，必須考量到必須安裝於傳動齒輪安裝的位置之外。

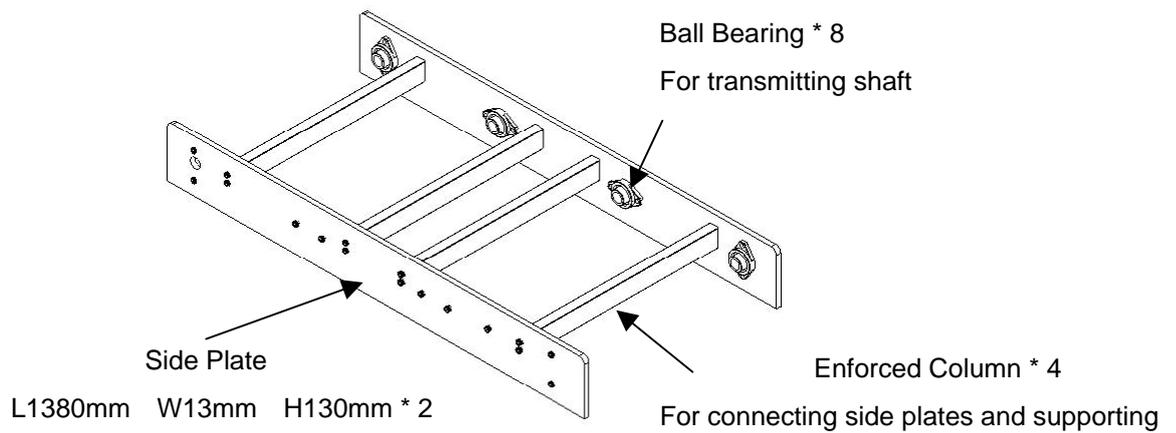


圖 25：架設板設計圖

傳動系統與架設板銜接的設計有兩項重點要考慮，第一為軸承的固定位置，因鏈條在長時間狀態下運作，張力的不斷作用會產生疲勞鬆脫的現象，也因此於尾端的軸承位置必須要設計可調整性，一但鏈條有疲勞或鬆脫現象，隨時可將軸承鬆下調整以繃緊鏈條使機器繼續運作(圖 26)。第二即傳動平臺的設計，為了要避免玻璃在受熱的過程會受到地心引力的影響，因此固定傳動平臺的加強支架在裝設上必須要注意到固定在架設板的位置必須要在同一水平面上。

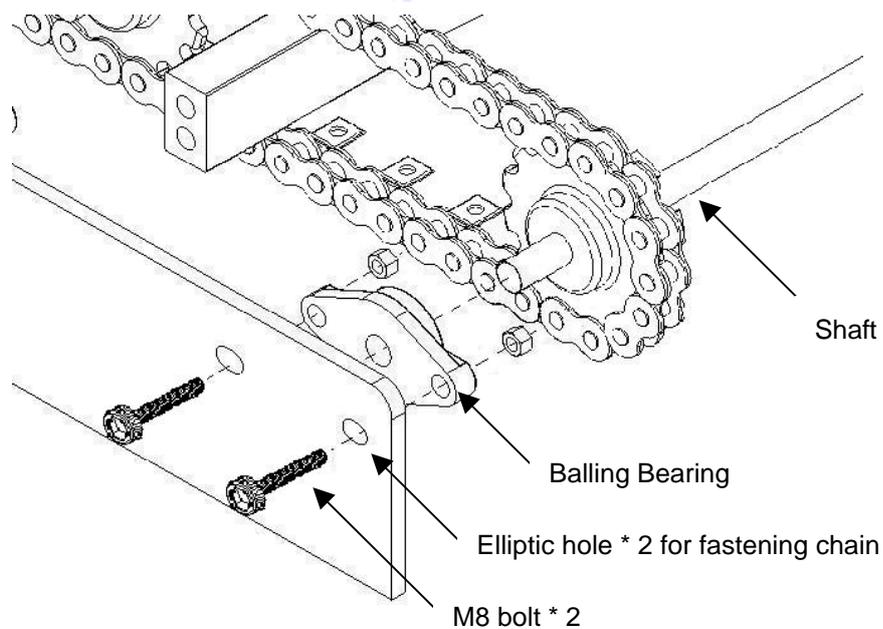


圖 26：傳動系統與架設板銜接圖

2. 馬達之固定設計

馬達就像是一個機器的心臟，馬達與傳動裝置做銜接乃是一傳動系統設計上的一大重點，馬達架設的重點必須穩定牢固的固定在一平穩的環境中，並且馬達出力軸必須與欲傳動的轉軸端在同一同心圓之上，如此才可以達到以最低效能實行最大效率的運作。連接馬達出力軸與轉軸間的零件使用聯軸器，聯軸器為連接傳動系統之傳動端與被動端之間的軸心，作為一傳達動力的重要要素。

文章前述所選用的馬達是可在容許負載扭矩與轉速範圍內動作的，因此在組裝上不需使用齒輪、皮帶、鏈條等的設計去增減轉速或增加扭矩，可直接將聯軸器裝置於馬達出力軸與傳動轉軸之間做銜接，因此重點及需探討如何固定馬達於正確位子上以及牢固的固定住之。圖 27 所示，馬達固定方式是透過設計的馬達固定支架將馬達於架設板上定位，使馬達出力軸與傳動轉軸可透過聯軸器固定在同一同心圓上。

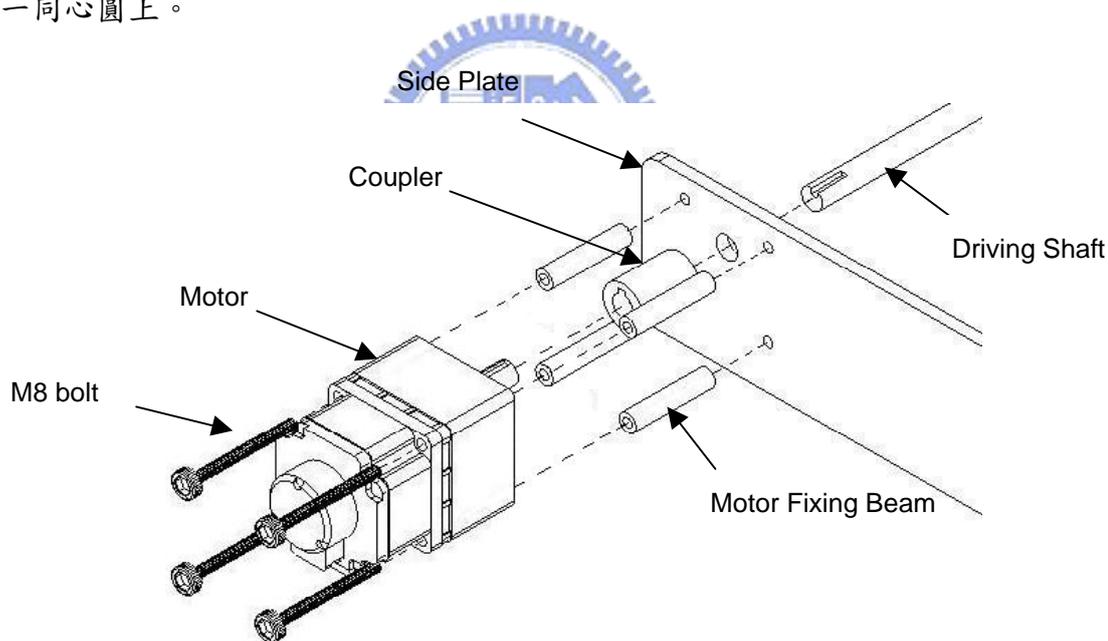


圖 27：馬達固定方式圖

3.5.4 推進爪設計

機器傳動系統部份的設計已完成，但機器中傳動玻璃運動的部分並不是使用

傳動鏈條，而是間接的在鏈條上裝設推進爪的方式推送玻璃在平臺上傳動，在設計推進爪的重點是必須能確保玻璃於傳動過程中，玻璃傳送路線保持與鏈條運動方向平行，以免玻璃在運動的過程中因玻璃運動方向的偏離導致玻璃與鏈條的干涉而造成機器損壞(圖 28)。為了避免此現象發生，在架設板的加強支架上加上了導塊的設計，迫使玻璃放置於傳動平臺的過程中；以及玻璃於動作的過程中會自行定位於導塊之間，其中推進爪的形體設計上也就必須要考慮必須避免與導塊干涉的問題，其相關的配置如圖 29 所示。

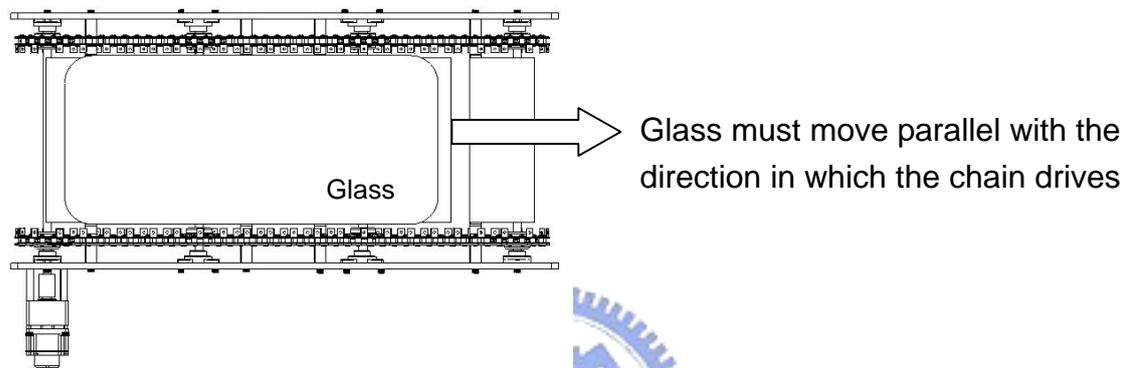


圖 28：玻璃運作過程上視圖

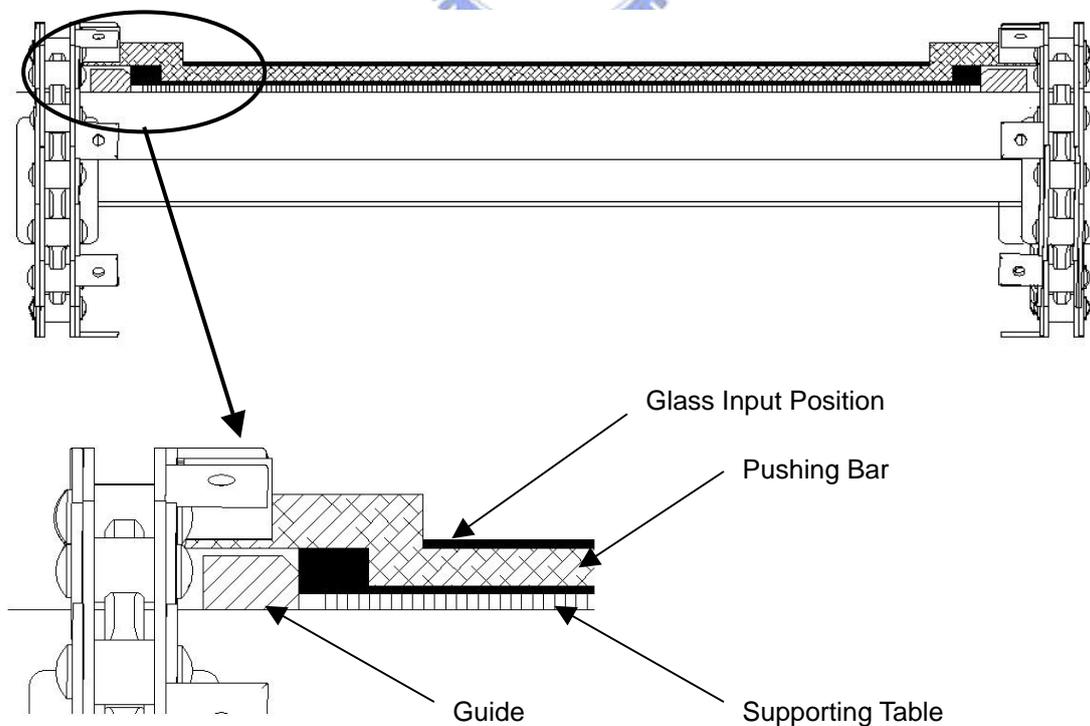


圖 29：推進爪推進玻璃運作過程側視圖

推進爪與傳動鏈條間使用木材材料來作銜接，木材的熱傳導係數較差，如此當推進爪傳動玻璃進入火源中加熱的過程，熱量較不容易借由推進爪回傳至機器傳動部分，以增加機器的安全性以及壽命(圖 30)。

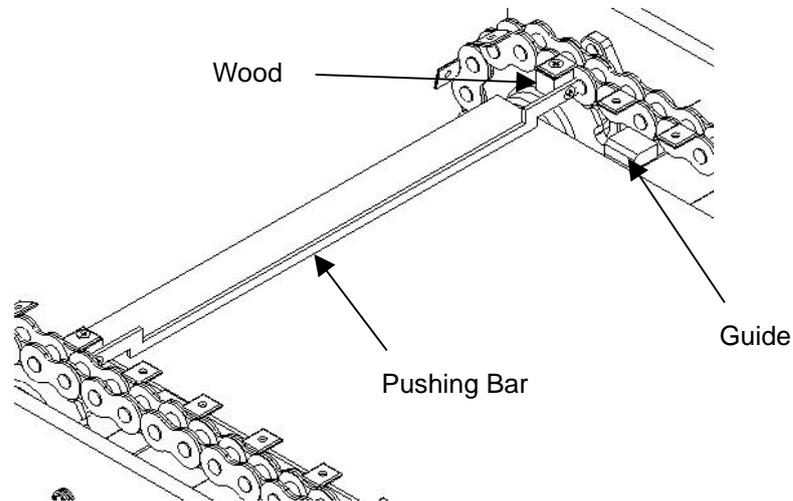


圖 30：推進爪與傳動鏈條之組合方式

3.5.5 玻璃輸出架設計

傳動系統部分的設計不但需可傳動玻璃至噴嘴處進行拋光處理，還需可把拋光完成的玻璃推進至另一處進行冷卻處理，因此在傳動系統的一側，設計了一平臺以銜接拋光完成的玻璃(圖 31)。

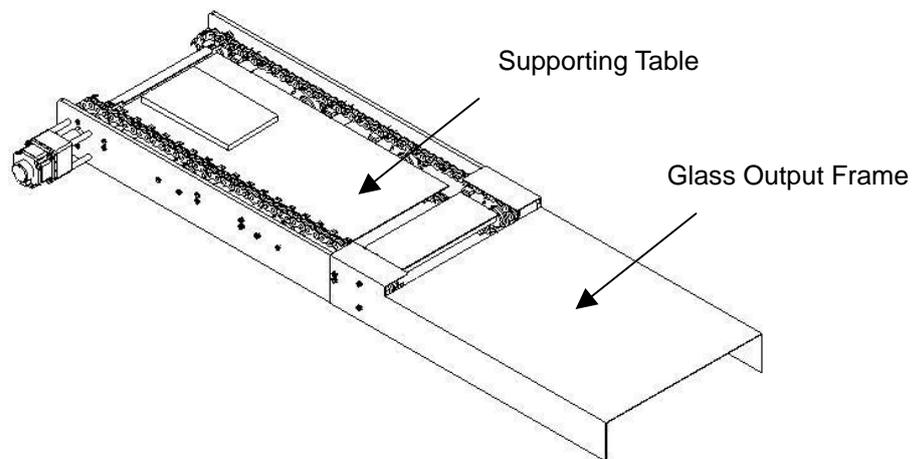


圖 31：玻璃輸出架完成圖

剛拋光完成的玻璃只經由空氣對流進行冷卻，因此玻璃表面勢必還有些許餘溫，此溫度將會造成玻璃尚具有變形的能力，所以接收拋光完成的平臺功能需求上必須平坦且穩定，如此玻璃才可在平臺上進行冷卻階段。其中比較必須注意的部分是平臺的水平高度需與傳送平臺的高度相同，以保持玻璃在拋光的階段可受到均勻的重力影響(圖 33)。

3.5.6 機器附加設計

在機器的所有需求功能性已設計完成後，最後機器還必須增加一些需求功能之外的附加設計(圖 32)：(1)腳架的設計，使機器的可直立起來操作；(2)鏈條部分，必須增加安全檔版，以防止操作人員於放置玻璃的過程發生意外；(3)噴嘴架的設計，使噴嘴可架設於機器之上；(4)丙烷以及氧氣氣體進氣流量閥及氣體混合的裝設。

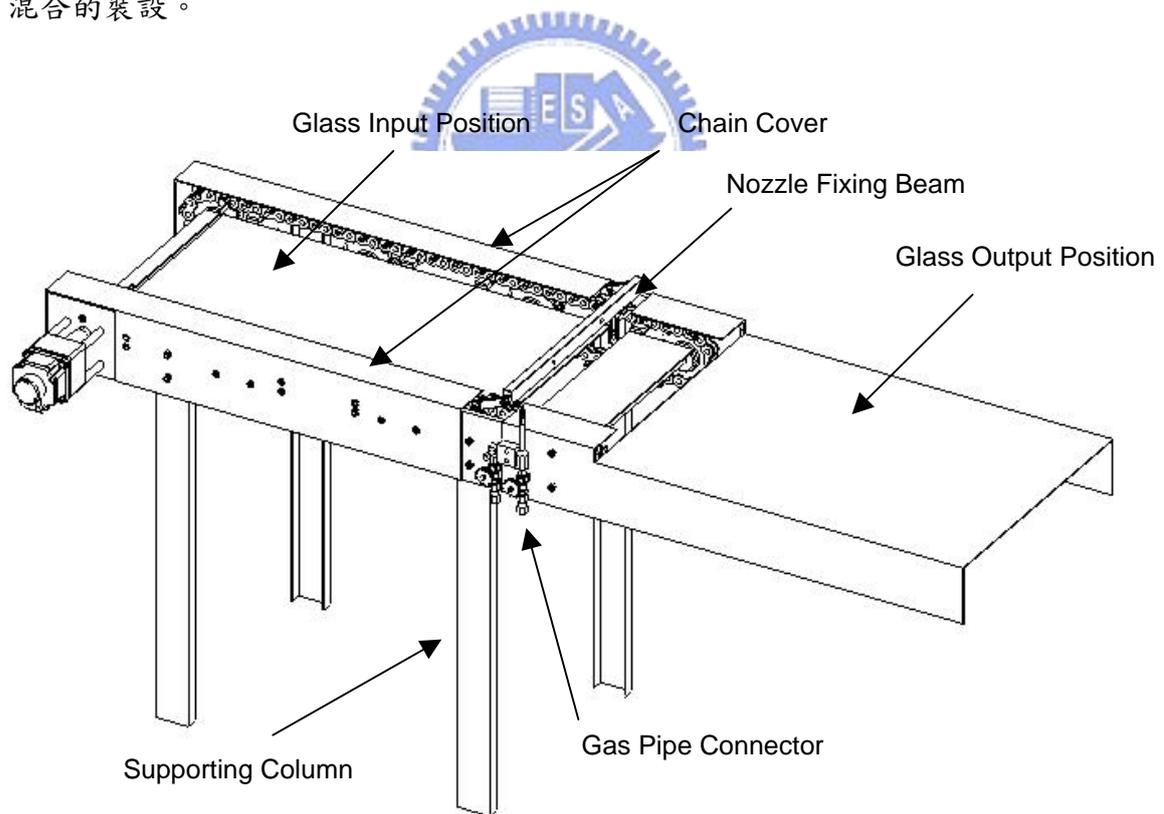


圖 32：機器附加設計完成圖

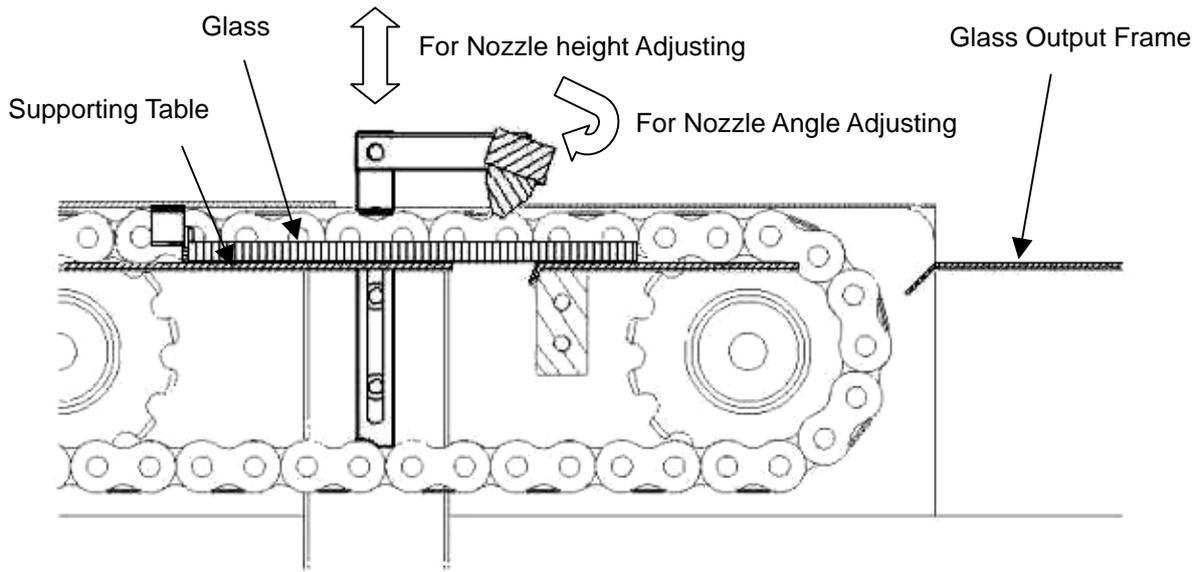


圖 33：噴嘴與機器相對位置圖

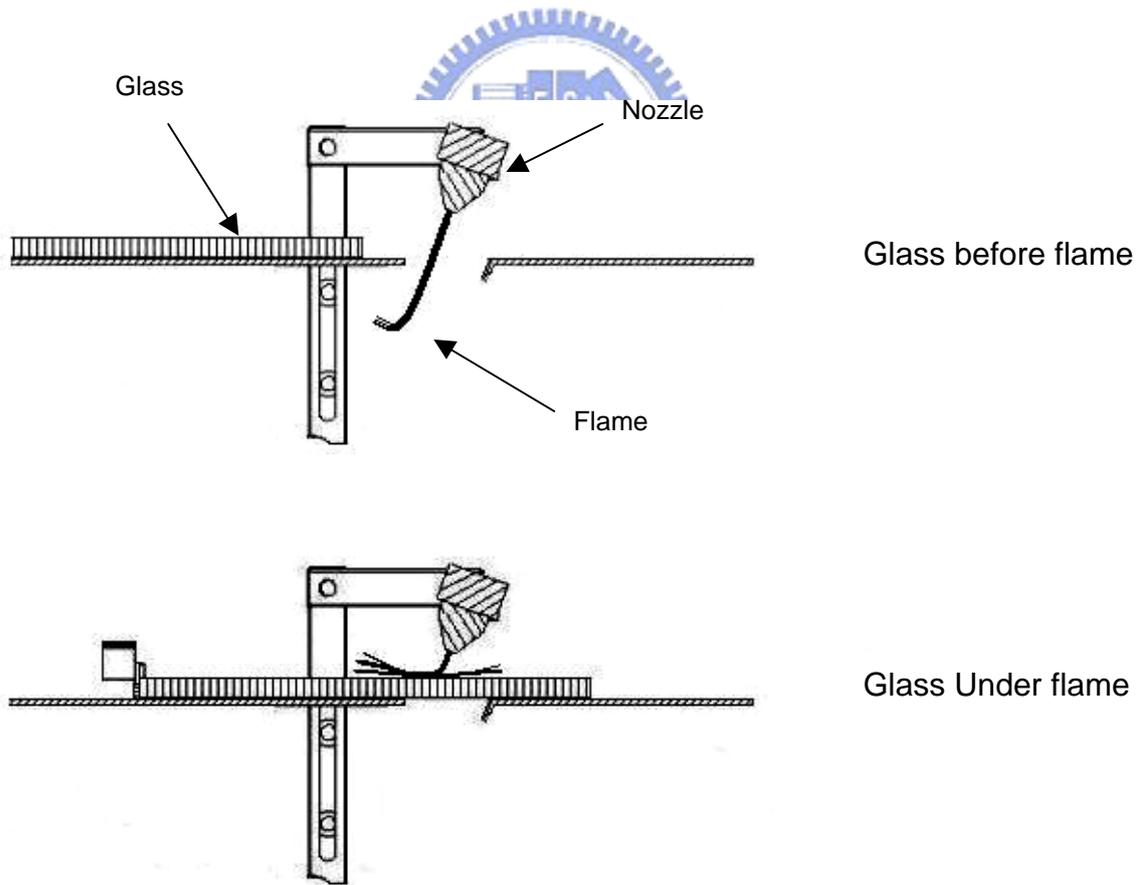


圖 34：拋光過程噴嘴火焰與玻璃的關係圖

機器的動作方式即為放置玻璃於傳送平臺上，馬達轉動帶動固定於鏈條的推進爪推進玻璃移動至噴嘴處加熱，最後再將完成拋光的玻璃推進至玻璃輸出下上冷卻，如圖 32 所示。其中噴嘴架必須設計可對不同的噴嘴皆可架設，因不同的噴嘴有不同的火焰特性，每一噴嘴的火焰形狀以及火焰最高溫度也不盡相同，因此噴嘴架必須可以調整與傳動平臺的高度以及可選轉噴嘴噴射火焰的角度此兩大功能，如此機器才滿足可依照不同的玻璃尺寸更換不同的噴嘴，如圖 33 所示。於拋光過程噴嘴與機器間的關係圖如圖 34 所示。



四、玻璃刮痕消除機之控制電路設計

4.1 引言

機器的設計的部分已完成，但一臺完善的機器唯有機構的部分完成尚嫌不足，還需配合電路控制的部分，因此接續著在此章節要先探討機器的操作流程，進而設計機器的控制電路，完成機電整合的目標，使玻璃刮痕消除機能夠有完善的控制功能及操作介面。

4.2 機器控制元件

當機器在實行拋光玻璃的過程中，基本的控制參數有馬達的運轉、丙烷進氣、氧氣進氣、噴嘴水冷系統等，另外機器為了滿足機電整合的目標，使機器可採自動控制的方式進行拋光處理，因此在機器功能還需增加自動點火的裝置、以及感測元件與輸出元件的配合等，其所包括的相關元件整理如下。

動作元件：馬達、電磁閥、自動點火裝置

感測元件：極限開關、微動開關、溫度開關

輸出元件：蜂鳴器、指示燈、馬達狀態顯示面板

在動作元件部份包含了馬達、電磁閥以及自動點火裝置，馬達於機器的主要功能為驅動鏈條上的推進爪推進玻璃前進；電磁閥於機器的主要功能為控制丙烷、氧氣以及冷卻水開關的閥門，如此當機器設定完丙烷以及氧氣的進氣流量後，方便於固定機器參數的功能；自動點火裝置部份的主要功能為裝設於噴嘴處，當丙烷電磁閥開啟丙烷進氣時可控制噴嘴點火，如此避免人工點火的不便以及確保機器與操作人員的安全。感測元件部份包含了極限開關、微動開關、溫度開關等，極限開關以及微動開關於機器上的主要功能為感測玻璃是否放置於機器上以及控制玻璃停止於機器位置的元件；溫度開關的主要功能為感測噴嘴的點火系統是否正常動作，當溫度開關於自動點火系統動作時若無感測到噴嘴火焰的溫度時即會啟動蜂鳴器與警示燈。機器的輸出元件部份包含了蜂鳴器、指示燈、馬

達狀態顯示面板等，蜂鳴器的主要功能為當自動點火裝置故障無法點燃丙烷氣體時，即會啟動發出聲響以提示操作人員需注意，以避免丙烷外露造成意外發生；指示燈的裝置主要為以亮燈的方式來顯示目前機器的操作狀態，機器於通電時以及丙烷電磁閥開啟時或自動點火系統故障時分別以綠、黃、紅三種不同顏色的燈來表示；馬達狀態顯示面板的主要功能為顯示目前馬達速度、轉向、位移、警示紀錄等。

4.3 人機介面

4.3.1 控制面板的設計

當電路系統完成前，還必須有一套控制面板的設計，此設計是為了讓機器使用者更容易操作，以便來驅動、停止等控制元件。機器主要的控制元件有馬達、丙烷電磁閥、氧氣電磁閥、噴嘴水冷電磁閥、自動點火裝置等，因此控制面板至少必須能附有控制此五項元件的功能；此外，機器的電源開關、緊急開關、手/自動模式切換開關、馬達狀態顯示面板等等亦可一起裝設於控制面板上。有關控制面板的功能設計及配置如圖 35 所示，手/自動模式切換開關為一搖臂開關，其主要功能為切換機器於自動或手動模式，當於自動模式之下只需啟動電源開關便開始可運作；而手動模式的狀態下，則可使用丙烷電磁閥開關、自動點火開關、水冷電磁閥開關、氧氣電磁閥開關等開關獨立控制各元件的運作。有關控制面板的功能如下所述。

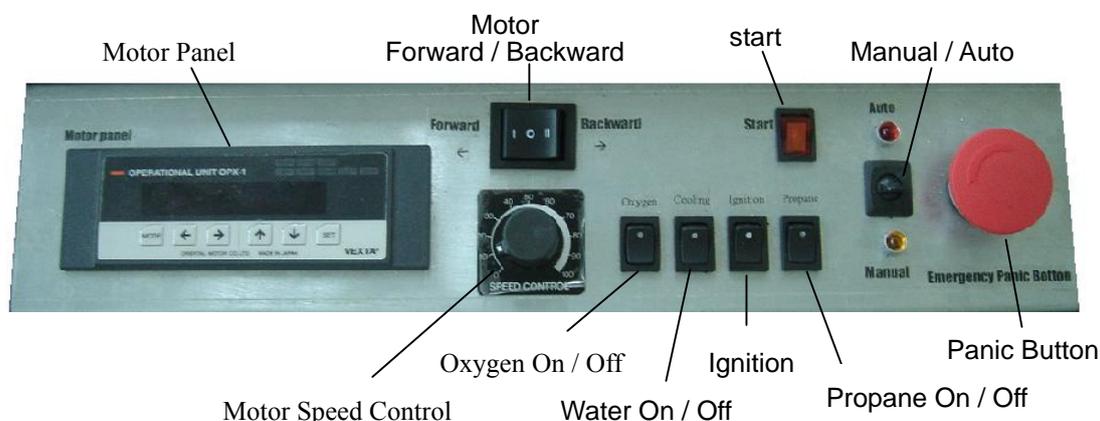


圖 35：控制面板的功能設計及配置圖

- 馬達狀態顯示面板：可顯示目前馬達速度、轉向、位移、警示紀錄
- 馬達控制開關：屬三段式開關。依序為馬達 Forward – Off – Backward
- 馬達速度調整器：以旋轉的方式調整馬達速度。CW–增速；CCW–減速
- 氧氣電磁閥開關：交替式切換開關，控制氧氣電磁閥的開啟與關閉
- 水冷電磁閥開關：交替式切換開關，控制水冷裝置電磁閥的開啟與關閉
- 自動點火開關：復歸式切換開關，控制自動點火裝置的開啟與關閉
- 丙烷電磁閥開關：交替式切換開關，控制丙烷電磁閥的開啟與關閉
- 電源開關：機器需啟動電源開關，手/自動模式下才能動作
- 手/自動模式切換開關：切換機器運作模式為手動或自動
- 自動模式啟動顯示燈：當機器運作模式為自動狀態時會亮起
- 手動模式啟動顯示燈：當機器運作模式為手動狀態時會亮起
- 緊急開關：停止機器一切運作



4.3.2 控制面板的配置

控制面板的裝設要符合機電合一的原則，即是必須將機器的電路配線、配電箱、控制面板整合起來作全盤的考慮，將各部分功能裝設於便於操作之處，且必須考量到操作便利、方便搬運機器，與節省空間等原則。

控制面板的裝設位置應放置於操作者易於找尋且使用的位置，當機器於加工的過程其操作方式如圖 36 所示，圖 36 為機器之上視圖，由圖中表示出機器操作者於使用機器時所需使用到的空間，操作者於使用機器時必須先行放置玻璃於機器的傳送平臺上，且等待玻璃完成拋光後再行於機器的玻璃輸出架上取下玻璃，因此機器操作者只須站於機器的一側進行玻璃的拋光處理，由此可將控制面板一併設計架設於此側，方便於操作者於使用機器上的便利，控制板架設位置如圖 37 所示，控制面板設計放置於機器操作者於使用過程的最右側，如此可方便於機器操作者於放置玻璃時便可啟動機器運作，且緊急開關設計於控制面板的最右邊，如此不但緊急開關的位置最為明顯易於操作者發覺，當緊急狀況不幸發生時操作者可不經思索的分辨緊急開關之位置，以便於停止機器運作。

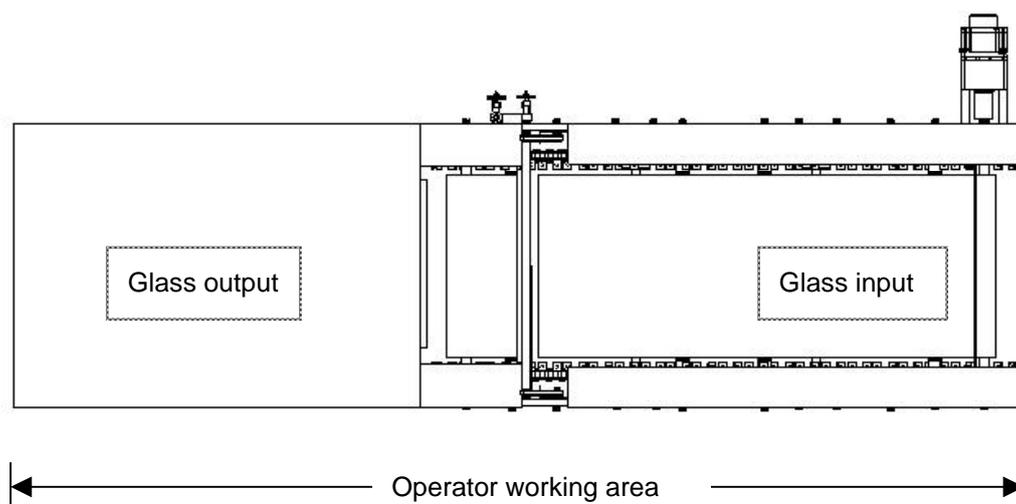


圖 36：機器使用者其所需使用空間

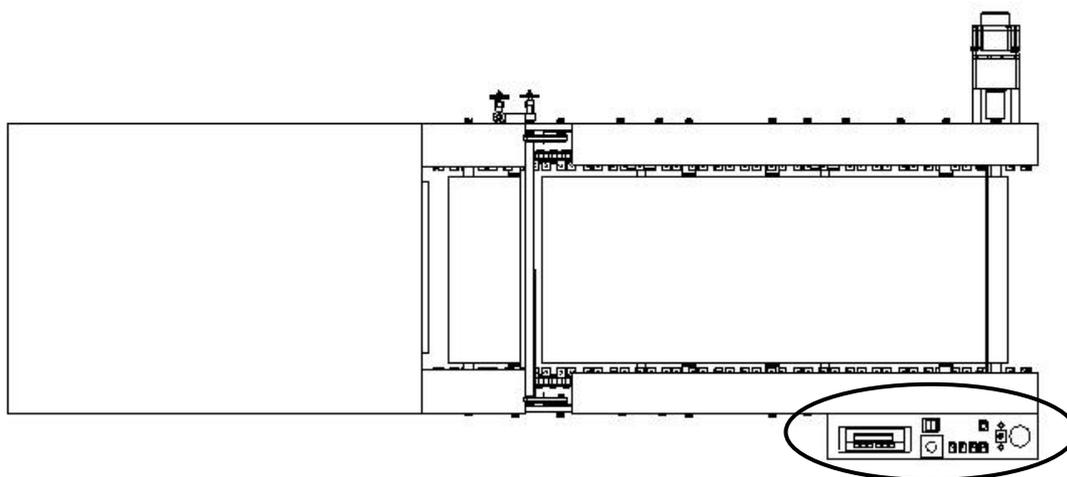


圖 37：控制板架設於機器的位置

4.4 配電箱設計與配置

控制面板的架設是屬於直接裝設於機器上的方式，於面板上的開關線路為了避免曝露於機器之外，因此必須經由軟管牽入機器內部進行配線，在機器的部分亦必須裝設配電箱的設計，使接線可連結至配電箱中統一配線。配電箱的裝設位置須處於機器較為隱密且機器操作員不易接觸到的地方較為安全，如圖 36 所示，可將配電箱的裝設位置訂定於機器操作者於使用機器過程不會接觸到的位

置，因此設計將配電箱裝設於操作者使用空間的另一側，如圖 38 所示。此外設計直接在配電箱上架設機器的三層警示燈，如此當機器操作者於使用機器的過程可以面視警示燈，較容易掌握目前機器的狀態，且如此設計更有便於將警示燈的接線直接牽入配電箱配線，省去了警示燈牽線的麻煩。

控制面板的接線是利用軟管借由機器架設板牽入，再沿著機器內部的加強支架延伸至配電箱一側，再於配電箱內完成電路配線。此外在機器配線箱側邊設計了一個控制箱如圖 38 所示，於控制箱內固定自動點火裝置與水冷電磁閥等控制元件，如此可完成將配電系統、控制元件與控制面板等完全分離，如此機器於製造時能較有系統性以及後在機器往後的維修上較為容易。

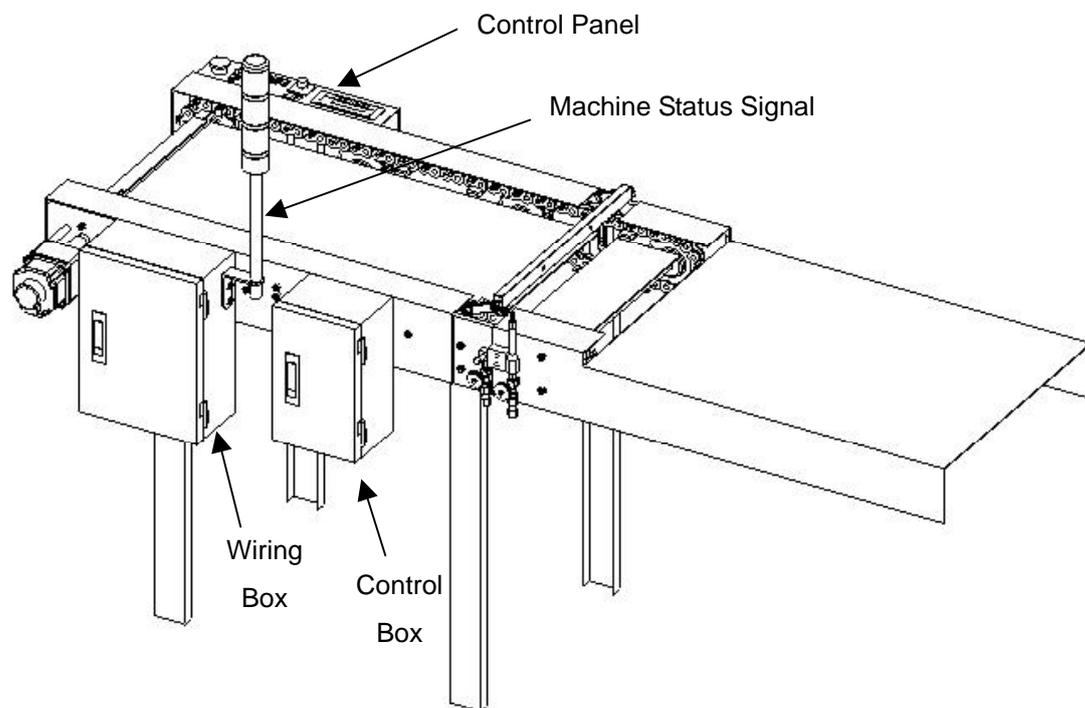


圖 38：機器與電路系統整合圖

4.5 電路設計

在控制電路的接線設計上，必須滿足機器實行拋光過程時的操作方式。在機器動作流程部分主要以分成了手動和自動兩種模式，因此在電路的接線設計上也可分成手/自動兩種模式來探討。一開始在電路設計的過程可將手/自動兩種模式獨立出來做接線設計，等到兩種模式個別完成後，只需利用搖臂開關和繼電器設計一電門切換裝置作手/自動兩種模式間的轉換即可。

在手動模式的配線部分較為直接，只需設計將各控制元件以獨立開關來控制即可；但在自動模式的配線部分就較為繁雜許多，自動模式電路設計的實行構想為在機器的傳送平臺上裝設一微動開關，以此作為一感測元件，用來判斷開啟各控制元件的一個裝置，最後再於機器的玻璃輸出架底端裝設一極限開關，以此用來判斷關閉各控制元件的一個裝置。有了此兩感測裝置的設計，因此當機器處於自動模式狀態下時，只需將玻璃放於機器傳送平臺上即會啟動微動開關，進而開啟馬達、電磁閥、自動點火裝置等控制元件進行動作，而當玻璃於拋光完成後被推進至機器玻璃輸出架上時，玻璃即會觸動到極限開關，使切斷所有控制元件之電源以停止運作，完成一次循環的動作流程。

以上的自動控制動作流程只需使用兩個開關和一個繼電器就能達成，其主要實行原理是利用一個繼電器所形成的記憶電路(或稱自保電路)，圖 39~圖 42 所示為機器自保電路的動作原理，步驟一為機器一開始時的電路狀態，此時傳送平臺上的微動開關處於常開狀態(N/O)，而輸出架上的極限開關則處於常閉狀態(N/C)，其為機器一開始的電路狀態，如圖 39 所示。

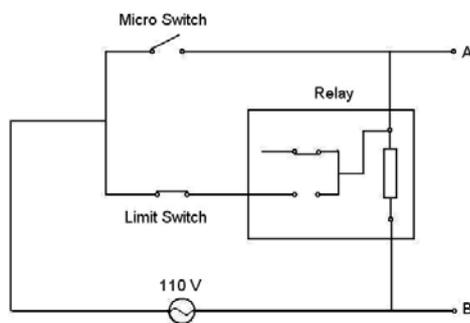


圖 39：實行自動模式的繼電器電路原始狀態

圖 40 為當玻璃放置於機器傳送平臺上時的電路狀態，此時玻璃因重量而啟動了傳送平臺上的微動開關，使得電流可經由微動開關通過繼電器線圈，當繼電器線圈通電後，會激磁驅動內部的電磁鐵以達到切換內部接點的功能，此時的 A、B 點也因此產生 110V 的電位差，可供各元件動作的電量，因此當玻璃放於機器傳送平臺上時，則可啟動丙烷電磁閥、馬達以及自動點火系統開始運作，此過程可使丙烷氣體開啟並點燃，而馬達運轉使得機器推進爪可傳送玻璃前進至噴嘴處。

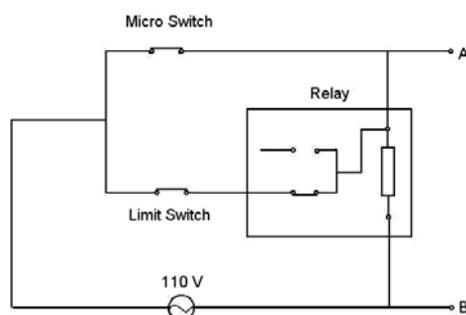


圖 40：實行自動模式的繼電器於玻璃放置在機器傳送平臺的電路狀態

接著再經過限時繼電器的作用，於機器所設定時間內關閉自動點火裝置的動作，並啟動氧氣電磁閥的開關，使丙烷點火後可加入氧氣混合燃燒，接著玻璃被機器推進爪傳送至噴嘴處加熱，所以傳送平臺上的微動開關也因此無重量的施加而回到原來常開的狀態，但此時電流依然可以藉由極限開關處於常閉的狀態繼續供應電流至繼電器而使 A、B 點保持 110V 的電位差，電路狀態如圖 41 所示。此過程可使噴嘴吹出丙烷與氧氣混合的火焰，並停止自動點火運作，而馬達繼續運轉推進玻璃前進。

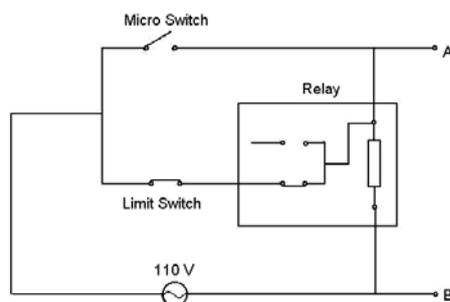


圖 41：實行自動模式的繼電器於玻璃傳送至噴嘴處的電路狀態

最後當拋光完成的玻璃被推進爪傳送至機器玻璃輸出架上時，即觸發了安裝於玻璃輸出架上的極限開關，因此切斷了電流通過極限開關，使繼電器回復到初始的電路狀態，此時 A、B 點也無電位差，因此關閉了丙烷與氧氣電磁閥以及馬達的動作，完成了一次完整的拋光動作，最後的電路狀態如圖 42 所示。此迴路的設計可不斷的循環動作，因此玻璃可連續式的進行拋光，以增進機器對玻璃進行拋光的效率。

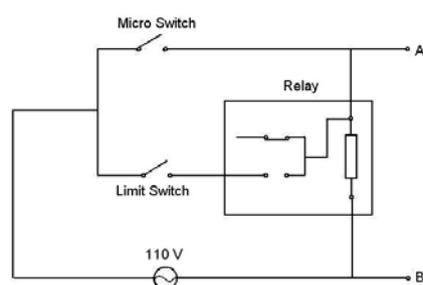


圖 42：實行自動模式的繼電器於玻璃拋光完成的電路狀態

在設計機器電路配線之外，還須加入機器本身與使用者在安全上的考量，因此增加了緊急開關的功能設計，電路上的設計是無論機器處於何種操作模式下皆可直接切換至緊急模式，以便當機器發生問題或故障發生時可關閉機器的電源確保安全。另外，機器於拋光過程所使用的混和氣體是丙烷加氧氣，其中丙烷是屬危險氣體，若控制不當而造成丙烷外漏會造成立即性的危險，因此在電路設計上為在丙烷電磁閥處並聯一黃色警示燈，當丙烷電磁閥被開啟時，機器就會亮起黃色警示燈以提示週遭的人員須謹慎操作。再者，為了防止因人為不當操作去開啟丙烷電磁閥；或機器於自動模式的操作過程因自動點火的故障導致火焰未成功點燃、或機器於拋光過程因火焰的不正常熄滅等等的因素造成丙烷氣體的外漏，因此在噴嘴的部分裝設了溫度開關的設計，借由感測噴嘴表面的溫度來判定噴嘴火焰是否在燃燒中，以防止火焰未點燃或不正常熄滅時丙烷氣體的外漏，電路設計動作為當溫度開關偵測到火焰熄滅時，會啟動紅色緊急燈和蜂鳴器以提示操作人員關閉機器，詳細的電路設計動作流程如圖 44 所示。機器接線電路圖如下所示。

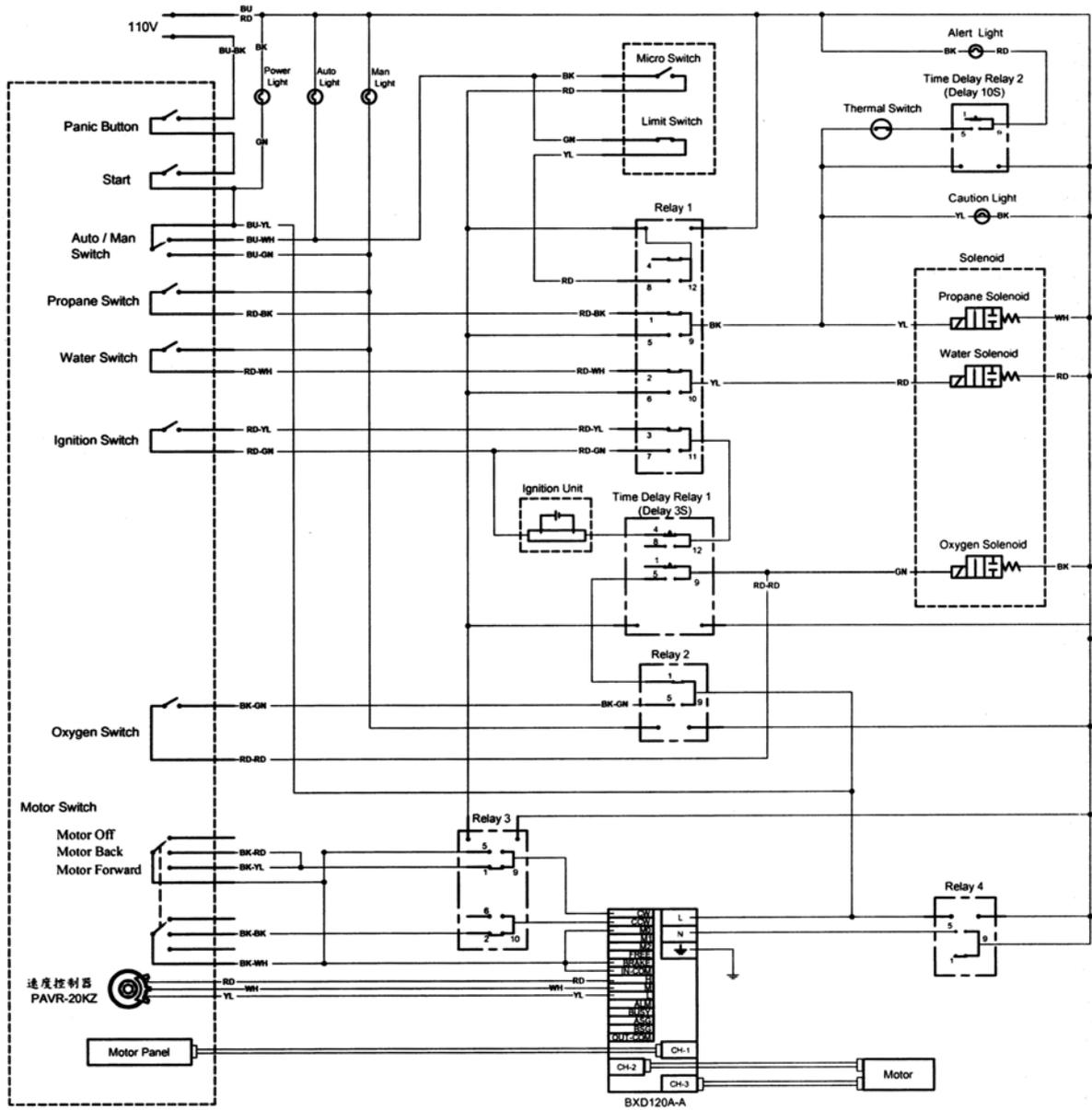
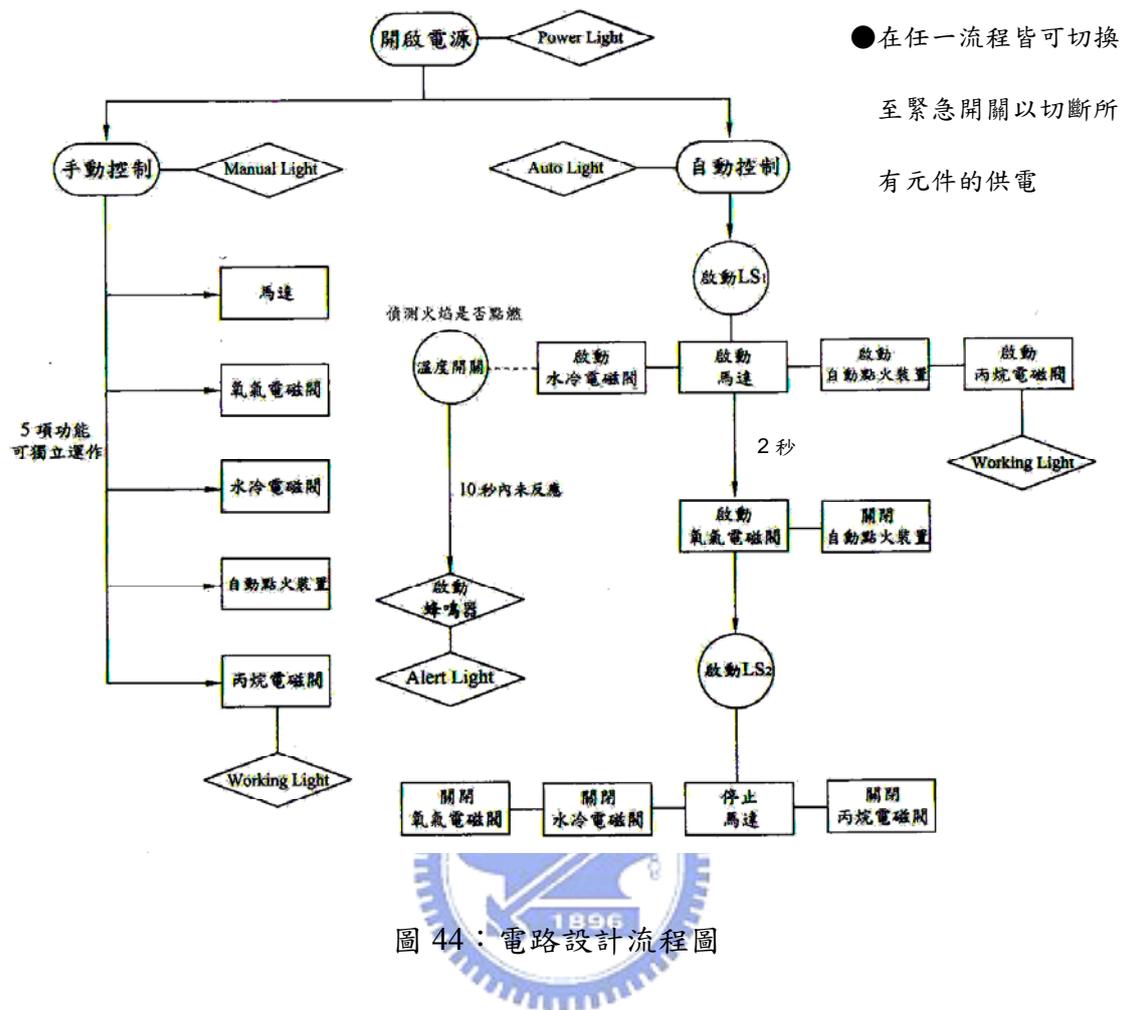


圖 43：機器電路圖



4.6 機器耗電量計算

機器的驅動電壓為 110VAC，屬於正弦交流電，通常正弦交流電瞬時值的一般表達式如下。

$$u = U_m \sin(\omega t + \phi_u)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \phi_i)$$

由上式中可得知每個正弦量(sinusoid)皆包含了三個基本參數，其為區別不同正弦交流電的依據，如圖 45 (a)所示。三的基本參數分別為：

1. 幅值(U_m 、 I_m)：正弦量的瞬時最大值即稱為幅值，如 U_m 、 I_m 即分別表示為電壓和電流的最大值。

2.角頻率(ω):正弦交流電在時間上每經過了一個週期 T 便完成一次循環(2π 弧度),角頻率即表示為單位時間內變化的角度,用 ω 表示,其單位為(ras/s)。

3.初相位(ϕ_u 、 ϕ_i):正弦交流電表達式 $i = I_m \sin(\omega t + \phi_i)$ 中, $(\omega t + \phi_i)$ 表示正弦量變化的角度,稱為該正弦交流電的相位角(phase angle),簡稱相位(phase),單位為弧度,而當 $t=0$ 時的相位稱為初相位,如圖 45 (b)所示, i 的初相位即為 ϕ_i 。

由上所述,幅值、角頻率和初相位是表示一個正弦量的關鍵要素。只要這三個參數被確定,正弦交流電在任一時刻的狀態也就能被表示出。但在交流電路裡經常會遇到兩個正弦量之間的計算問題,其之間的相位差即變成了一個關鍵數值。兩個同頻率正弦量之間相位的差稱為相位差(phase difference),以圖 45 (c)所示波形為例,由圖中可得知 u 和 i 的初相位分別為 ϕ_1 和 ϕ_2 , u 和 i 的相位差為

$$(\omega t + \phi_1) - (\omega t + \phi_2) = \phi_1 - \phi_2 = \phi$$

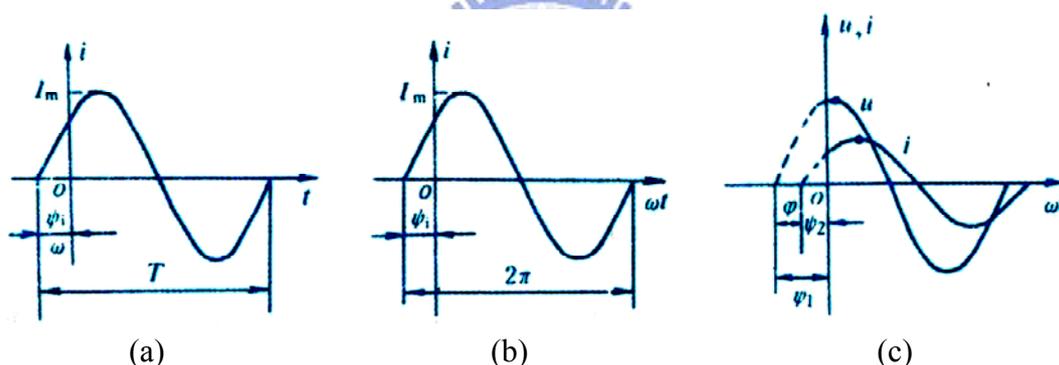


圖 45：正弦交流電的三要素[6]

由於頻率相同,相位差即是兩正弦量的初相位之間的差。相位差反映了兩個同頻率正弦量在時間軸上的相對位置。設 $\phi = \phi_u - \phi_i$, 其中 ϕ_u 與 ϕ_i 分別為正弦量 u 與 i 的初相位。當兩個同頻率正弦量的起點($t=0$)改變時,其的初始相位即跟著改變,但其之間的相位差不變。在研究交流電路的問題時,當遇到多個正弦量之間的關係,為了方便,可以選其中某個正弦量作為參考,稱為參考正弦量。可令參考正弦量的初相位為零,則其他各正弦量的初相位即為該正弦量與參考正弦量之間的電位差。

另外，交流電的有效值是根據電流的熱效應原理來定義的。設有交流電流 i 通過一個電阻 R ，在一個週期內產生的熱量為 Q_a ，若與一個直流電流 I 通過相同電阻 R 在相同時間內產生的熱量 Q_d 相等，則這一直流電流的值就稱為該交流電流的有效值(effective value)。交流電流 i 通過電阻 R 時，在一個週期 T 內產生的熱量為

$$Q_a = \int_0^T i^2 R dt$$

直流電流 I 在相同的時間內通過相同的電阻 R 產生的熱量為

$$Q_d = I^2 RT$$

若兩者相等，即有

$$I^2 RT = \int_0^T i^2 R dt$$

由此得交流電流的有效值為

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (4-1)$$

對於週期電壓則為

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \quad (4-2)$$

由式(4-1)、(4-2)可見，週期量的有效值是在瞬時值的平方在一週期內的平均值再取平方根，因此有效值也稱作均方根值 (root-mean-square value)。

對於正弦交流電流，其

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [I_m \sin(\omega t + \varphi_i)]^2 dt} \\ &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} I_m^2 [1 - \cos 2(\omega t + \varphi_i)] dt} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} I_m \\ &\approx 0.707 I_m \end{aligned}$$

反之

$$I_m = \sqrt{2} I \approx 1.414 I$$

同理可證

$$U_m = \sqrt{2} U \approx 1.414 U$$

由以上結果，在計算機器的負載功率時可假設機器的負載端電壓為

$$u = U_m \sin(\omega t + \phi)$$

負載電流為

$$i = I_m \sin \omega t$$

式中 ϕ 為電壓與電流的相位差。該電路中負載吸收的瞬時功率 (instantaneous power) 為

$$\begin{aligned} p &= ui = U_m \sin(\omega t + \phi) \cdot I_m \sin \omega t \\ &= UI [\cos \phi - \cos(2\omega t + \phi)] \\ &= UI \cos \phi - UI \cos(2\omega t + \phi) \end{aligned}$$

瞬時功率的波形如圖 46 所示。從圖中可以看出，瞬時功率值有正有負，正值表示負載從電源吸收能量，負值表示負載將儲存的能量返還給電源。在給定的時間內正、負兩部分面積差就是負載在這段時間內消耗的電能。

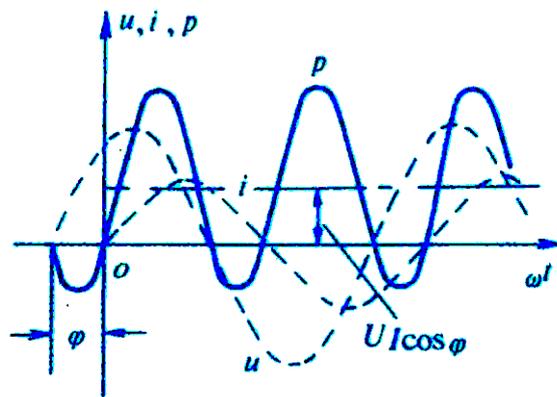


圖 46：正弦交流電路的瞬時功率[6]

在一個週期內，電路所吸收的平均功率稱為主動功率(active power)，即

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt = \frac{1}{T} \int_0^T [UI \cos \phi - UI \cos(2\omega t + \phi)] dt \\ &= UI \cos \phi \end{aligned} \quad (4-3)$$

此代表著主動功率不僅與電壓、電流有效值的乘積有關，而且與電壓、電流的相位差有關。由式(4-3)得出，對於正弦交流電路來說，計算功率比直流電路多了一個 $\cos \phi$ ，此為電壓與電流相位差的餘弦，稱為功率因數 (power factor)，而 ϕ 稱為功率因數角 (power factor angle)。功率因數的大小取決於電路參數。在純電阻的情況下 $\phi = 0$ ， $\cos \phi = 1$ ， $p = UI$ ；在純電感或純電容的情況下，

$|\phi| = \frac{\pi}{2}$ ， $\cos \phi = 0$ ， $p = 0$ ；而在既有耗能元件 (energy dissipative device)，

又有儲能元件的狀況下，則有 $0 < |\varphi| < \pi/2$ ， $0 < \cos \phi < 1$ ， $p < UI$ 。

在機器的電路設計上並無使用到電容、電感等元件，因此可把整個電路視為純電阻電路，在此情況下可不考慮其內部工作的耗能儲能時功率因數角的變化，即

$$P = UI$$

且可以證明，對於任何複雜的正弦交流電路，電路中總主動功率等於各個支路或元件的主動功率之和，即

$$P = \sum_k P_k \quad (4-4)$$

機器的電路設計中連結了許多的元件，相對著當機器運轉的同時也會耗去一定的功率，因此在評估機器所承受的功率的時候，必須先分析機器於操作的過程會承受的最大負載，再討論接入一般 110V 交流電路中負載所吸收的功率，圖 40 列出機器在於最大負載的電路狀態。

由於機器中除了自動點火裝置之外都是選用啟動電壓為 110VAC 的元件，因此機器總電源部份只需通入 110VAC 的電壓即可啟動，當機器於操作過程時所有控制元件皆動作的同時，機器會產生最大的耗電量，因此在推算機器的最大使用功率時，則可以此情況來做討論。

由式(4-4)可得知，對於任何複雜的正弦交流電路，電路中總主動功率等於各個支路或元件的主動功率之和，因此在計算機器的總功率時可將各部元件的最大功率個別求出，最後所加總所得到的值即是此機器的最大功率負載值，如表 7 所示，其中因流過馬達的額定電流值會隨著馬達的轉速以及出力軸扭矩而改變，因此在求馬達的最大功率負載值的過程可直接由馬達說明書查得，不需探討其真正的電流值。由表 7 所得到的資訊可求得機器於操作過程中所會產生的最大功率為 181.83 W。

表 7：各元件的最大功率負載值

元件名	數量	電壓	電流	功率
馬達	1			120
電磁閥 Propane	1	110	0.041	4.5
電磁閥 Water	1	110	0.041	4.5
電磁閥 Oxygen	1	110	0.041	4.5
警示燈	3	110	0.06	19.8
蜂鳴器	1	110	0.07	7.
顯示燈	2	110	0.0033	0.73
Relay	4	110	0.03	13
Timer	2	110	0.027	6
				180.73

4.7 機器規格與操作步驟



機器完成圖如圖 47 所示，以及機器的詳細規格如表 8 所示。



圖 47：機器完成圖

機器操作步驟如下所述。

手動操作	自動操作
(1) 開啟機器總電源開關	(1) 開啟機器總電源開關
↓	↓
(2) 開關切換為 manual 控制	(2) 開關切換為 auto 控制
↓	↓
(3) 啟動機器 start 鍵	(3) 啟動機器 start 鍵
↓	↓
(4) 放置玻璃於機器傳送平台上	(4) 放置玻璃於機器傳送平台上
↓	↓
(5) 按鍵開啟丙烷進氣	(5) 丙烷自動開啟進氣
↓	↓
(6) 按鍵開啟噴嘴點火	(6) 噴嘴自動點火
↓	↓
(7) 按鍵開啟噴嘴水冷系統	(7) 噴嘴水冷系統自動開啟
↓	↓
(8) 按鍵開啟氧氣進氣	(8) 氧氣自動開啟進氣
↓	↓
(9) 按鍵開啟馬達運轉	(9) 馬達自動開始運轉
↓	↓
(10) 推進爪推進玻璃至火焰下進行拋光	(10) 推進爪推進玻璃至火焰下進行拋光
↓	↓
(11) 按鍵關閉噴嘴火焰	(11) 噴嘴火焰自動熄滅
↓	↓
(12) 按鍵關閉水冷系統	(12) 噴嘴水冷系統自動停止
↓	↓
(13) 按鍵停止馬達運轉	(13) 馬達自動停止運轉
↓	↓
(14) 取下玻璃	(14) 取下玻璃

表 8：機器規格表

機器名	玻璃刮痕消除機
功能	拋光玻璃使消除玻璃表面之刮痕
機器尺寸	長 1997 mm、寬 900 mm、高 1355 mm
可處理玻璃尺寸	寬 380 mm ~ 10 mm，長 810 mm ~ 100 mm
輸入電壓	單相 110VAC
輸出功率	181 W
蜂鳴器分貝數	85 DB
水冷管輸入管規格	PU HOSE 5*8 mm
水冷管輸出管規格	PU HOSE 5*8 mm
丙烷管輸入管規格	M16 內牙接頭
氧氣管輸入管規格	M16 逆內牙接頭



五、玻璃刮痕消除機試驗

5.1 引言

玻璃刮痕消除機試驗主要目的為測試機器的運作以及功能動作情形，確保機器功能的完整性以及流暢性，並找尋機器可消除玻璃刮痕的參數。

第二代玻璃刮痕消除機的運作即是利用 controlled fire polishing 原理，機器中的推進爪可經由馬達的控制將玻璃推進至火源處，使玻璃表面受熱熔解使表層具有流動性，再將玻璃推進至機器輸出架上冷卻，使玻璃表面熔化層冷卻過程因表面張力作用自行填補表面受損刮痕，回到原始的狀態。

5.2 設備與步驟

實驗設備：



1. 第二代玻璃刮痕消除機
2. 玻璃試片之尺寸 75 mm x 220 mm x 5 mm，玻璃試片由台灣玻璃股份有限公司提供，試片玻璃為一般門窗常用之平板玻璃 (soda-lime glass)。
3. 砂紙，GRIT：60。作為於玻璃表面刻蝕刮痕時使用。

實驗步驟：

1. 開啟機器電源，測試控制面板各開關以及控制元件是否有正常通電以及動作。其中包含馬達的運轉測試，各電磁閥的動作使否達到等等。
2. 取一片玻璃樣本，將其清除表面油污或其他沈積物，並於玻璃錫面側使用鑽石刀切割數條刮痕。
3. 將玻璃置於玻璃刮痕消除機之傳送平臺上。
4. 開啟馬達開關並調整馬達轉速，馬達轉速可由控制面板中的馬達顯示面板中讀出數據。

5. 由機器控制面板開啟丙烷裝置開關，使噴嘴噴出丙烷氣體，利用機器的進氣調節開關調整丙烷流量與壓力至實驗參數值，其數值可由管線中的丙烷流量計與壓力計讀出。
6. 由機器控制面板啟動自動點火裝置開關，完成噴嘴點火動作。
7. 由機器控制面板開啟水冷裝置開關，使水可流入噴嘴口冷卻噴嘴因丙烷燃燒所產生的高溫。
8. 由機器控制面板開啟氧氣裝置開關，使噴嘴達到丙烷與氧氣混合燃燒的狀態。並利用機器的進氣調節開關調整氧氣流量與壓力至實驗參數值，其數值可由管線中的氧氣流量計與壓力計讀出。
9. 等待玻璃經由機器推進爪推進至火焰處熔化玻璃表面完成後，由機器控制面板關閉氧氣裝置開關，以停止丙烷與氧氣混合燃燒。
10. 關閉丙烷裝置開關，以停止噴嘴吹出火燄。
11. 關閉水冷裝置開關。
12. 取下玻璃，觀察刮痕消除狀況，並紀錄流量與馬達速度等數據。



5.3 測試參數的選擇

找尋機器可消除玻璃刮痕的參數時，須先行設計測試參數，一開始機器的測試參僅改變玻璃的移動速度來探討玻璃刮痕消除的可行性與結果。其餘如丙烷的流量、氧氣的流量、噴嘴架設的高度、噴嘴的傾斜角度、丙烷及氧氣的壓力值以及丙烷與氧氣的混合比例等等都固定，先行不做討論。其固定的參數值如下所示。

丙烷流量計讀數(mm) / 流量(ml/min)	50 / 5045
丙烷壓力(kg/cm ²)	1.5
氧氣流量計讀數(mm) / 流量(ml/min)	83 / 12613
氧氣壓力(kg/cm ²)	1
丙烷氧氣比值	1.5
噴嘴與玻璃距離(mm)	40
噴嘴傾角(°)	65

在調整實驗參數的過程，須特別注意的是從丙烷以及氧氣的流量計所讀到的數值並非有意義的值，還須配合流量計所附的讀數校正表查表才能得到正確讀數；調整馬達轉速時，馬達顯示面板中讀出的數據為馬達的轉速值，若要求得玻璃的傳送速度值，必須透過其之間的關係式(5-1)轉換。表 9 所示，為找尋機器可消除玻璃刮痕的設計參數，其中 D_g 為玻璃放置於機器傳動平臺上時與機器轉軸軸心間之距離。

$$V_L = \pi D_g N_G / 12000 \quad (5-1)$$

5.4 機器測試結果

5.4.1 玻璃拋光測試

玻璃刮痕消除機測試拋光的結果，主要可將拋光完成的玻璃定義為 well-polished、under-treated、over-treated 等三大類。well-polished 的定義為玻璃經由拋光的過程後，表面刮痕會被完全消除，並且恢復原本的清澈透明度且也不會有破裂的現象發生如圖 48 與圖 49 所示。圖 48 為拋光前的玻璃試片、圖 49 為拋光完成的玻璃試片，由圖中可以看出在經由機器拋光前的玻璃試片表面充滿了許多刮痕，此刮痕使得玻璃表面變的模糊不透明，但經由拋光後的玻璃表面刮痕的確可以順利的被清除乾淨，使玻璃回覆到原來的透明狀態，並且沒有發生破裂。

圖 49 所示的玻璃試片其拋光過程的實行參數為丙烷流量 5045ml/min、氧氣流量 12613ml/min、丙烷壓力 1.5kg/cm²、氧氣壓力 1.5kg/cm²、噴嘴與玻璃距離 40mm、噴嘴傾角 65°、玻璃移動速度 1mm/s，所得到的結果。

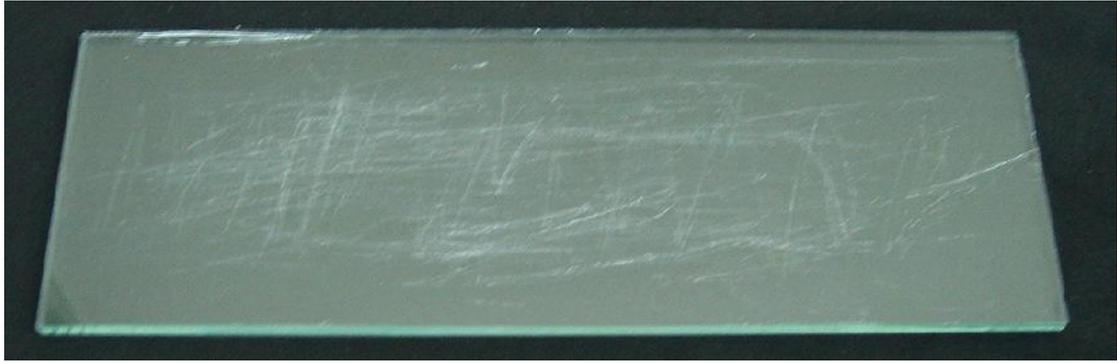


圖 48：拋光前的玻璃試片

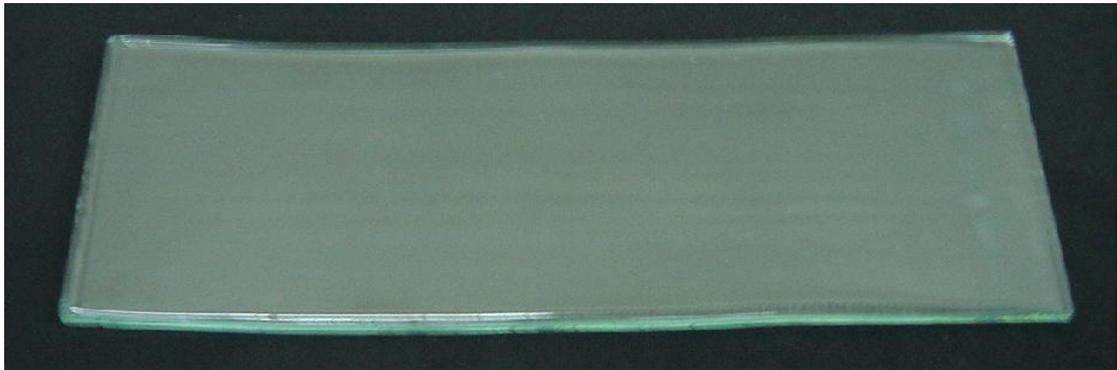


圖 49：Well- polished 的玻璃試片

Over-treated 的定義為玻璃經由拋光的過程時，因火焰溫度過高或玻璃的傳送速度過慢，造成玻璃整片均被熔解，導致整片玻璃變為黏性體狀態而產生變形，如圖 50 的結果所示。此結果是不能被接受與容許的。



圖 50：Over-treated 的玻璃試片

圖 50 所示的玻璃試片其拋光過程的實行參數為丙烷流量 5045ml/min、氧氣流量 12613ml/min、丙烷壓力 1.5kg/cm²、氧氣壓力 1.5kg/cm²、噴嘴與玻璃距離 40mm、噴嘴傾角 65°、玻璃移動速度 0.75 mm/s，所得到的結果。

至於 Under treated 的定義為玻璃經由拋光的過程時，因火焰溫度不夠高或玻璃的傳送速度過快，導致玻璃表面尚未熔解至軟化狀態，因此瞬間的玻璃表層受熱而膨脹產生應力，由於表面和內部區域的熱收縮不同所產生內應力和熱應力會弱化玻璃強度，直到熱應力大於玻璃強度範圍時及發生爆裂現象，此現象稱為熱震 (thermal shock)，如圖 51 的結果所示。此結果也是不能被接受與容許的。



圖 51：Under treated 的玻璃試片

圖 51 所示的玻璃試片其拋光過程的實行參數為丙烷流量 5045ml/min、氧氣流量 12613ml/min、丙烷壓力 1.5kg/cm²、氧氣壓力 1.5kg/cm²、噴嘴與玻璃距離 40mm、噴嘴傾角 65°、玻璃移動速度 1.3 mm/s，所得到的結果。

5.2.2 拋光過程機器溫度量測

因機器於進行拋光玻璃的過程在噴嘴附近的區域會吸收噴嘴火焰產生的熱量，未避免產生的溫度過高造成機器的損壞而降低機器壽命，以及顧及到機器操作者的安全考量，因此特別於拋光過程中也同時量測在機器噴嘴附近的環境溫度。其溫度量測結果如圖 52 所示。

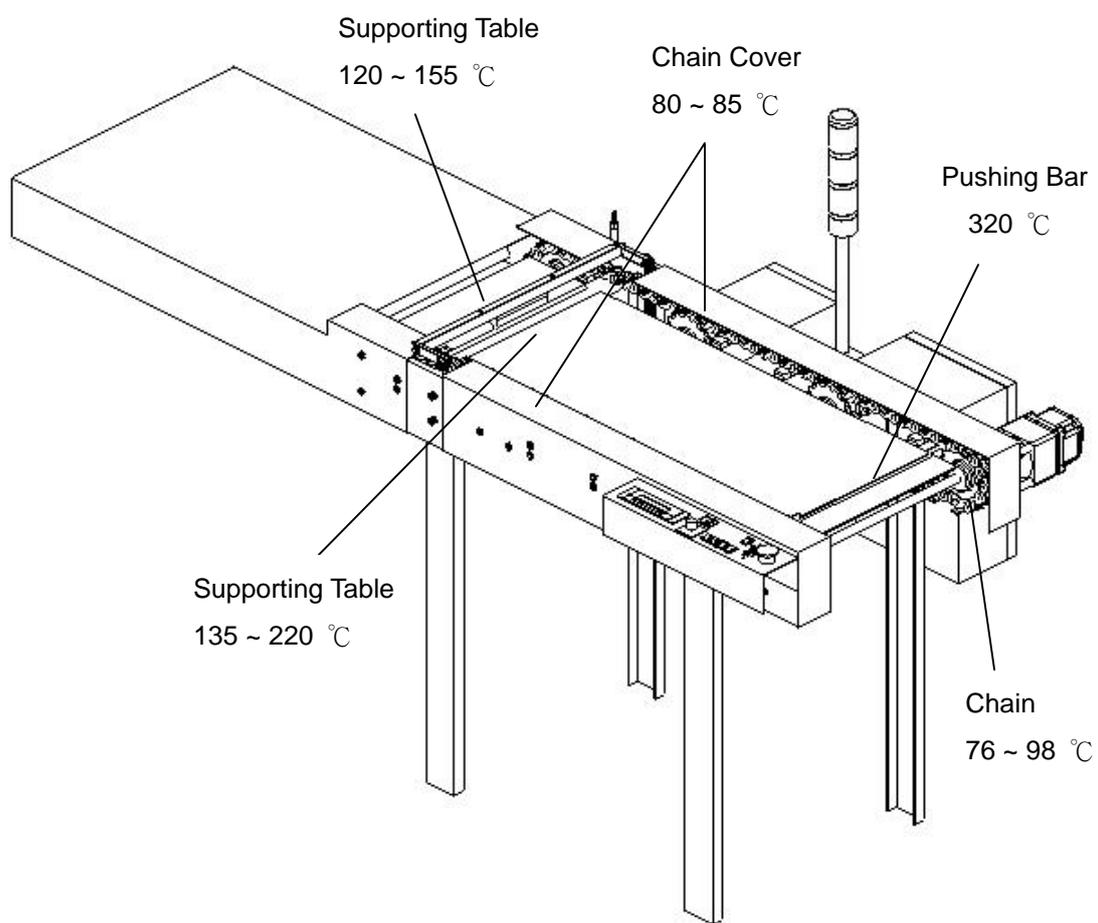


圖 52：機器於拋光過程各機構之溫度

六、結論與建議

玻璃刮痕消除機經由拋光時驗可得到三項結論：

1. 機器經由測試得到當操作參數固定丙烷流量為 5045ml/min、氧氣流量為 12613ml/min、丙烷壓力為 1.5kg/cm²、氧氣壓力為 1.5kg/cm²、噴嘴與玻璃距離為 40mm、噴嘴傾角為 65°，玻璃的移動速度範圍控制在 0.88 ~ 1 mm/s 時，且拋光玻璃尺寸大小寬度小於 100mm 以下，此時皆可能得到 Well-polished 的玻璃試片。
2. 拋光完成的玻璃經由機器推進爪推進至機器輸出架上冷卻的過程，因輸出架的溫度接近於室溫，但剛拋完成的玻璃卻保持在數百度的溫度值，因兩者間的溫差過大，因此在玻璃被傳送至輸出架上後，容易發生破裂現象。
3. 在拋光的過程中，因噴嘴所吹出的火焰溫度高達 2000°C 以上，因此機器週遭的環境溫度也會因此提高，機器推進爪的溫度可高達 320°C，此外於機器側邊的結構也有高達 85°C 的高溫，此現象對於機器操作者是較為不能接受的地方，因此必須設法改進。

由以上結論可以提出以下幾點建議：

1. 玻璃以定速的狀態進行拋光處理，有時會因玻璃本身的熱傳現象或火焰吹打至玻璃所造成的火焰折射現象影響玻璃的表面溫度分布，此現象會造成玻璃部份得到 Well-polished 的結果但部份卻產生 Over-treated 的現象，因此在拋光的過程可以嘗試以變速度的方式進行測試，如此可避免掉後半部玻璃過度加熱所產生的變形現象。或可在機器上增加玻璃溫度感測的設計，如此可藉由量測拋光中的玻璃溫度 feed back 訊號改變馬達運轉速度，以得到更好的拋光玻璃參數。

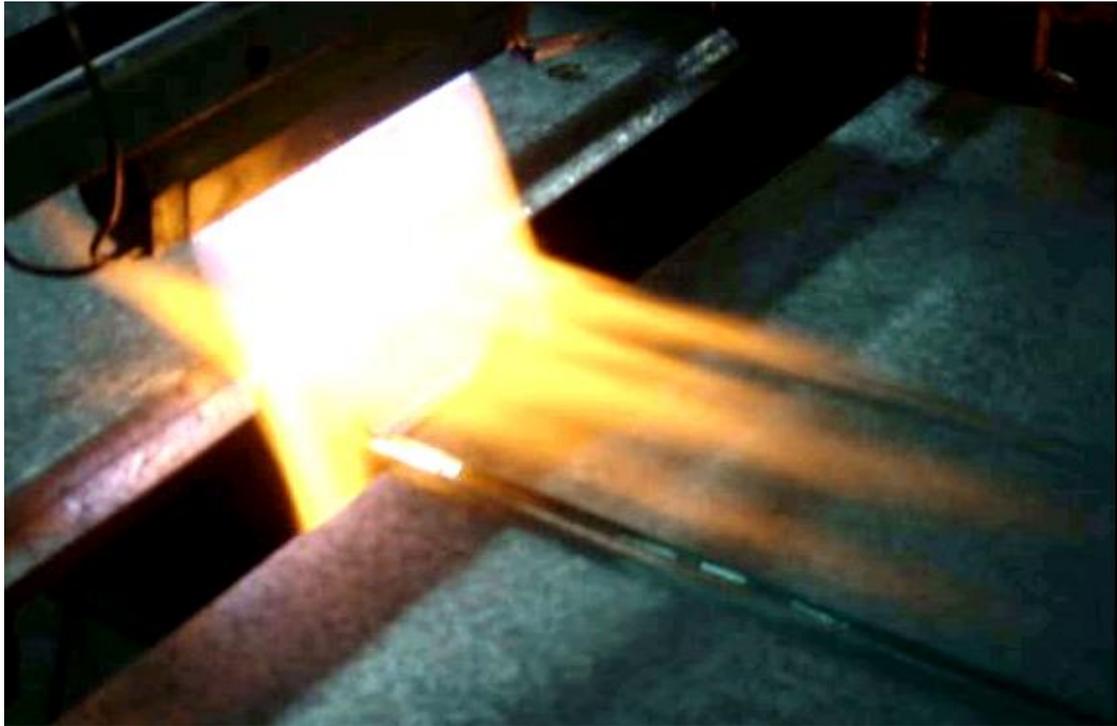


圖 53：火焰吹打至玻璃表面所造成的火焰折射現象

2. 噴嘴火燄所產生的溫度會造成機器的溫度升高，且溫度會高達 320°C ，因此必須設法排除。而在玻璃輸出架的部份，因溫度與拋光完成的玻璃溫差過大，容易造成破裂，因此建議機器可在噴嘴火焰附近處增加排熱設計，且可設計將所排走的熱量傳遞至玻璃輸出架上以提高玻璃輸出架的溫度，如此可在最節省能源的狀態下，達到兩全其美的方法。
3. 可將機器進階提升為電腦控制，並增加多種感應裝置，如機器溫度感測、玻璃溫度感測、噴嘴溫度感測、室溫感測、火焰偵測等等，如此可更精密的控制拋光過程，以提升機器拋光品質與成功率。

參考資料：

- [1] 曾煥華，新玻璃的世界，徐氏基金會，1992。
- [2] 森谷太郎/功刀雅長/成瀨省/田代仁/邱標麟，玻璃製造學，復文，1987。
- [3] 邱關明/黃良釗，玻璃形成學，兵器工業出版社，1987。
- [4] 精密儀器發展中心，玻璃燒結技術，行政院國科會精密儀器發展中心，1988。
- [5] 中國材料科學學會，國立清華大學材料科學工程學系編，國材料科學學會 1996 年度年會論文集/介金屬化合物、鋼鐵技術、耐火材料、其他/第一冊，國材料科學學會，民 85。
- [6] 陳以撒，機電整合，全華，民 90。
- [7] 杜菁琳，「美國民意：美國犯罪率排行榜」，華盛頓觀察週刊，第 03 年第 45 期 總第 61 期 12 月 03 日。
- [8] 曾信裕，「以有限元素法分析玻璃陶瓷在束縛燒結時的應力分佈」，國立清華大學材料科學工程學系，碩士論文，民國 88 年。
- [9] 王興邦，「玻璃微熱壓之成形特性研究」，國立交通大學機械工程系，碩士論文，民國 91 年。
- [10] 蕭安政，「熔解與成型過程中的玻璃行為」，陶業，14:1 民 84.01 頁 36-41，民國 84 年。
- [11] 蕭安政，「玻璃的熔解」，化工技術，6:2 頁 185-188，民國 87.02。
- [12] 張繼文，「火災中窗戶玻璃破裂原因之探討」，現代消防，79 頁 59-66，民國 86 年 9 月。
- [13] 吳宇瀚，「玻璃的相分離行為與應用」，陶業，20:2 頁 16-23，民國 90.04。
- [14] 周智中 雷明遠，「防·耐火材料之研發與利用」，工業材料，98 民 84.02 頁 126-139，民國 84 年。
- [15] 許正和，「工程設計之系統化程序」，機械工業雜誌，第 151 期 第 128 頁

-134 頁，民國 84 年，。

- [16] 陳永姓，「傳動機構簡介」，機械月刊、25:12=293 民 88.12 頁 383-393，民國 88 年。
- [17] 陳永姓，「傳動機構簡介」，機械月刊，25:12=293 民 88.12 頁 383-393，民國 88 年。
- [18] 林政彥，「步進馬達原理及應用」，機械月刊，29:1=330 民 92.01 頁 51-61，民國 92 年。
- [19] 邱勝雄譯，「交流伺服馬達的選用方法與問題對策」，機械月刊，27:9=314 民 90.09 頁 370-381，民國 90 年。
- [20] Ogi, K. (Kyushu Univ); Takeda, N.; Prewo, K.M. , ” Fracture process of thermally shocked discontinuous fibre-reinforced glass matrix composites under tensile loading ” , Journal of Materials Science , v 32, n 23, Dec 1, 1997 , p 6153-6162 .
- [21] Ray, B.C. , ” Thermal shock on interfacial adhesion of thermally conditioned glass fiber/epoxy composites” , Materials Letters , v 58, n 16, June, 2004 , p 2175-2177 .
- [22] Le Bourhis E. ; Metayer, D. , ” Indentation of glass as a function of temperature ” , Journal of Non-Crystalline Solids , v 272, n 1, Jul, 2000 , p 34-38 .
- [23] Shand E. B. , ” Engineering Glass ” , Modern Materials , Vol.6 p.262 , 1968 .
- [24] Varughese, Binoy; Lee, Yong-Keun; Tomozawa, Minoru , ” Effect of fictive temperature on mechanical strength of soda-lime glasses ” , Journal of Non-Crystalline Solids , Volume: 241, Issue: 2-3, November 2, 1998, pp. 134-139 , 1998 .
- [25] Shen, Junwu; Green, David J.; Tressler, Richard E.; Shelleman, David L , ” Stress relaxation of a soda lime silicate glass below the glass transition

- temperature ” , Journal of Non-Crystalline Solids , Volume: 324, Issue: 3, September 1, 2003, pp. 277-288 , 2003 .
- [26] Tomozawa, M.; Lee, Y.-K. , ” Surface fictive temperature of annealed and rate-cooled soda–lime glasses ” , Journal of Non-Crystalline Solids , Volume: 253, Issue: 1-3, August, , pp. 119-125 , 1999 .
- [27] Brink van den, J.P. , ” Thermal expansion coefficient measurements of molten glasses using the sessile drop technique ” , Journal of Non-Crystalline Solids , Volume: 253, Issue: 1-3, August, 1999, pp. 163-169 , 1999 .
- [28] Cernoskova, E.; Cernosek, Z.; Holubova, J.; Frumar, M. , ” Structural relaxation near the glass transition temperature ” , Journal of Non-Crystalline Solids , Volume: 284, Issue: 1-3 , pp. 73-78 , May, 2001 .
- [29] Le Bourhis, E.; Metayer, D. , ” Indentation of glass as a function of temperature ” , Journal of Non-Crystalline Solids , Volume: 272, Issue: 1 , pp. 34-38 , July, 2000 .
- [30] French, M. J. , Conceptual design for engineers , Berlin Springer-Verlag , 1985 .
- [31] Pahl, G. , Engineering design :/a systematic approach , Springer , 1996 .
- [32] Seong-Chan Jun , ” Controlled Fire Polishing For Scratchitti Removal And Glass Resurfacing ” , Columbia University , Ph.D. Thesis , Feb. 2002 .
- [33] Cheuk Yin Paul Leung , ” Scratchitti Removal by Controlled Fire Polishing Using Acetylene” , Columbia University , M.S. Thesis , December, 2002 .
- [34] Taiwan oriental motor co., ltd. , ORIENTAL MOTOR GENERAL CATALOGUE , TAIWAN ORIENTAL MOTOR CO., LTD. , 2004 .