

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

牙髓病根管治療微小機器人之發展：

Z軸致動器及速換工具座之設計製造

Design and Manufacture of Z Axial Actuator & Quick
Change Tool Assembly for An Endodontic Micro Robot

研究生：周柏宇

指導教授：洪錫源 教授

中華民國九十六年七月

牙髓病根管治療微小機器人之發展：

Z 軸致動器及速換工具座之設計製造

Development of Z Actuator & Quick Change Tool Assembly
for an Endodontic Micro Robot

研究生：周柏宇

Student : Po-Yu Chou

指導教授：洪錫源

Advisor : Shane Y. Hong



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

in

Mechanical Engineering

July 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

牙髓病根管治療微小機器人之發展： Z 軸致動器及速換工具座之設計製造

學生：周柏宇

指導教授：洪錫源

國立交通大學機械工程學系（研究所）碩士班

摘要

儘管根管治療發展歷史已經經過許多年，技術上仍然是要依靠人來作治療。然而治療成功率卻不高。因此，洪錫源教授在美國哥倫比亞大學時擔任“Advanced Endodontic Technology Development”計畫的主持人，目的在於結合電腦科技和先進工程來改善根管治療中每一步驟的品質。目標是能夠發展一套電腦輔助的治療系統和能夠自動執行根管治療的微型智能機器人來克服在傳統治療過程中遭遇到的問題，增加治療的可預測性和效率。此計劃打算以創新的方法，包括非破壞預先診斷、自動化處方、智慧鑽孔和新根管填充材料等等來確保高品質的根管治療。

本研究依據計劃書中所規範的設計需求以及初始概念設計完成此根管治療微小機器人的設計。設計中的固定基座提供牙齒內根管及 X 光定位辨識功能，且可固定機器人於牙齒上。而控制位移與速度的五軸致動器則能提供未來牙醫儀具治療動作的控制。本論文以機構創新的方式，設計、製造及測試能提供治療過程中更換動力器械的固定座，以及能帶動工具固定座的 Z 軸致動器。配合另一學生論文的基座及 XY 軸致動器設計，完成牙髓病根管治療微小機器人之發展。

Development of Z Actuator & Quick Change Tool Assembly
for an Endodontic Micro Robot

Student: Po-Yu Chou

Advisor: Shane Y. Hong

Department of Mechanical Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

Although the technology of endodontic therapy had developed for many years, it is still operated by hands. Therefore, Dr. Shane Y. Hong serves as a principal investigator of the project, Advanced Endodontic Technology Development. The purpose is combine computer technology and engineering advancements to improve every step in endodontic therapy. The goal are developing a computer aided treating system ,and an intelligent miniature robot which can execute endodontic treatment automatically to overcome the problems encountered in traditional treatment and increase the predictability and efficiency. This project intends to ensure high quality with innovative methods including non-destructive diagnosis, automatic prescription, intelligent drilling and new root canal filling material.

The thesis accomplishes the design of the miniature Robot for Endodontic Therapy according to the need and initial conceptual design of this project. The fixture not only provides the orientation of geometric shape of root canal in teethes, but is able to be fixed on teethes easily. And 5 actuators controlling drills are able to provide the function of controlling required displacement and speed in the future. After tested, actuators can drive the toolholder. And toolholder provides the function of tool changing and toolholder changing.

致謝

在交大兩年時光內完成論文，首先要感謝指導教授洪錫源教授，不時與學生討論研究並給予許多關心與幫助，使得學生能夠順利畢業。同時也感謝交通大學機械系口試委員鄭璧瑩教授與徐文祥教授對於論文的指導與建議，使得論文更加完善。

在兩年多的日子裡也感謝同為實驗室成員的每一位，不管在研究上或是生活上都給予我很大的幫助。感謝振祐，能夠和你一起合作共同為研究努力，不管是研究討論或是相處都很愉快。感謝士芸、哲良幫助我做研究，在研究之餘也帶給我許多生活的樂趣。感謝學長姐岳儒、家進、勇潮、靜翔，學弟們逢城、建誠、子傑、重延、育生，謝謝你們在這段時間內給予的歡笑與快樂。

感謝加工廠老闆陳福地先生，感謝你盡心盡力幫學生作設計加工，讓我能夠在時間內完成並做完試驗。

感謝我的家人們，在我在外求學的時光裡總是給予我很大的支持與鼓勵，也時時給我關心與建議。感謝你們的栽培，讓我能夠順利地完成學業。感謝女友欣欣，謝謝妳專程到新竹陪伴我，感謝妳對我的照顧，感謝妳的支持。

目錄

| | |
|--|-----|
| 摘要 | i |
| Abstract | ii |
| 致謝 | iii |
| 目錄 | iv |
| 表目錄 | vi |
| 圖目錄 | vii |
| 一、緒論 | 1 |
| 1.1 研究背景 | 1 |
| 1.1.1 根管治療 | 1 |
| 1.1.2 目前技術與缺失 | 3 |
| 1.2 研究動機 | 4 |
| 1.3 設計目標 | 4 |
| 1.4 設計方向 | 5 |
| 二、先進根管治療計劃及文獻回顧 | 6 |
| 2.1 先進根管治療計劃 | 6 |
| 2.2 根管治療器械 | 8 |
| 2.3 文獻回顧 | 10 |
| 2.3.1 快速更換刀具(Quick-change tooling) | 10 |
| 2.3.2 影像處理 | 12 |
| 三、微小機器人設計 | 19 |
| 3.1 機器人概念設計及設計流程 | 19 |
| 3.2 固定基座設計 | 22 |
| 3.2.1 固定基座設計需求 | 22 |
| 3.2.2 構想設計 | 23 |
| 3.3 X、Y軸向致動器設計 | 27 |
| 3.3.1 設計需求 | 27 |
| 3.3.2 構想設計 | 28 |
| 四、Z軸向致動器設計、製作與試驗 | 39 |
| 4.1 前言 | 39 |
| 4.2 設計需求 | 40 |

| | |
|------------------------|----|
| 4.3 構想與設計 | 40 |
| 4.4 Z軸向致動器之試驗 | 46 |
| 4.4.1 試驗平台設計 | 47 |
| 4.4.2 試驗步驟 | 51 |
| 4.4.3 試驗結果與討論 | 51 |
| 4.5 結論 | 52 |
| 五、工具固定座設計、製作與試驗 | 53 |
| 5.1 前言 | 53 |
| 5.2 設計需求 | 56 |
| 5.3 固定座設計圖 | 56 |
| 5.4 器械之速換設計 | 57 |
| 5.5 軸承與密封設計 | 59 |
| 5.5.1 設計需求 | 62 |
| 5.5.2 構想設計 | 62 |
| 5.6 動力與Housing設計 | 64 |
| 5.6.1 設計需求 | 67 |
| 5.6.2 構想設計 | 67 |
| 5.7 固定座之速換設計 | 71 |
| 5.7.1 設計需求 | 71 |
| 5.7.2 構想設計 | 71 |
| 5.8 設計結合 | 73 |
| 5.9 速換設計試驗結果與討論 | 77 |
| 六、結論與建議 | 80 |
| 6.1 結論 | 80 |
| 6.2 建議 | 81 |



表目錄

| | |
|---------------------|----|
| 表 1 牙科用印模材之種類..... | 24 |
| 表 2 SEAL類型選用範圍..... | 37 |
| 表 3 氣壓馬達種類..... | 65 |



圖目錄

| | |
|---|----|
| 圖 1.1 牙齒構造..... | 2 |
| 圖 1.2 根管治療過程..... | 3 |
| 圖 1.3 顯微鏡下的牙齒..... | 4 |
| 圖 2.1 預計之根管治療過程..... | 7 |
| 圖 2.2 進入準備的器械..... | 9 |
| 圖 2.3 FISSURE BURS基本資料..... | 9 |
| 圖 2.4 根管準備的器械..... | 11 |
| 圖 2.5 不同部位的器械示意圖..... | 11 |
| 圖 2.6 FOUR COORDINATE SYSTEMS IN 3-D ROOT CANAL MODELING | 13 |
| 圖 2.7 GEOMETRIC RECTIFICATION OF 2-D IMAGE..... | 13 |
| 圖 2.8 利用A、O、B三個金屬球所建立的世界座標系..... | 15 |
| 圖 2.9 影像座標與世界座標關係圖..... | 15 |
| 圖 2.10 不同角度的兩張投影片圖元位置圖..... | 16 |
| 圖 2.11 2D影像利用參考原點建立的根管模型..... | 16 |
| 圖 2.12 金屬球排列位置..... | 18 |
| 圖 2.13 參考固定基座置於口腔示意圖..... | 18 |
| 圖 3.1 微型機器人概念設計全貌..... | 20 |
| 圖 3.2 微型機器人概念設計右透視圖..... | 20 |
| 圖 3.3 微型機器人概念設計上透視圖..... | 21 |
| 圖 3.4 設計流程圖..... | 21 |
| 圖 3.5 上下頷牙列..... | 23 |
| 圖 3.6 FIXTURE概念設計..... | 23 |
| 圖 3.7 藻膠ANCHOR成型實體圖..... | 25 |
| 圖 3.8 固定基座..... | 25 |
| 圖 3.9 固定基座前視圖..... | 26 |
| 圖 3.10 單動缸(上)與複動缸(下)..... | 27 |
| 圖 3.11 油壓缸蓋壁厚..... | 30 |
| 圖 3.12 Y軸向致動器外觀設計圖..... | 33 |
| 圖 3.13 Y軸向致動器剖視圖..... | 33 |

| | |
|----------------------------|----|
| 圖 3.14 Y軸向致動器油壓管路設計 | 34 |
| 圖 3.15 X軸向致動器設計圖 | 34 |
| 圖 3.16 X軸向致動器剖視圖 | 35 |
| 圖 3.17 X軸向致動器油壓管路設計圖 | 35 |
| 圖 3.18 唇口式密封 | 35 |
| 圖 3.19 曲折式墊料 | 36 |
| 圖 3.20 活塞設計 | 36 |
| 圖 3.21 封蓋組件 | 36 |
| 圖 3.22 封蓋組件元件 | 37 |
| 圖 3.23 活塞極限位置 | 38 |
| 圖 4.1 機器人油壓系統示意圖 | 39 |
| 圖 4.2 鋼帶與半圓滑軌 | 41 |
| 圖 4.3 Z軸致動器 | 42 |
| 圖 4.4 Z軸致動器分解圖 | 43 |
| 圖 4.5 利用楔形塊張緊鋼帶示意圖 | 43 |
| 圖 4.6 Z軸致動器後透視圖 | 44 |
| 圖 4.7 Z軸缸體 | 44 |
| 圖 4.8 Z軸前蓋 | 45 |
| 圖 4.9 上端Z軸後蓋 | 45 |
| 圖 4.10 鋼帶座 | 45 |
| 圖 4.11 活塞 | 46 |
| 圖 4.12 鋼帶 | 46 |
| 圖 4.13 會發生液壓油洩露處 | 47 |
| 圖 4.14 主動缸外觀圖 | 47 |
| 圖 4.16 試驗平臺設計 | 48 |
| 圖 4.17 試驗平臺設計側視 | 48 |
| 圖 4.18 主動缸零件圖 | 49 |
| 圖 4.19 主動缸組裝圖 | 49 |
| 圖 4.20 被動缸零件圖 | 50 |
| 圖 4.21 被動缸組裝圖 | 50 |
| 圖 4.22 試驗平台完成圖 | 51 |
| 圖 4.23 氣泡 | 52 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 圖 4.24 洩漏情形 | 52 |
| 圖 5.1 專利 1 | 54 |
| 圖 5.2 專利 2 | 55 |
| 圖 5.3 專利 3 | 55 |
| 圖 5.4 固定座設計圖 | 56 |
| 圖 5.5 工具固定座 | 57 |
| 圖 5.6 配件 | 58 |
| 圖 5.7 鑽針夾 | 58 |
| 圖 5.8 錐面套筒 | 58 |
| 圖 5.9 彈簧 | 59 |
| 圖 5.10 滾珠軸承 | 59 |
| 圖 5.11 護罩、非接觸密封、接觸密封 | 61 |
| 圖 5.12 高速手機之小型滾珠軸承剖面 | 61 |
| 圖 5.13 高速手機轉子實品 | 61 |
| 圖 5.14 軸承設計 | 63 |
| 圖 5.15 滾珠 | 63 |
| 圖 5.16 密封設計 | 63 |
| 圖 5.17 密封 | 65 |
| 圖 5.18 氣壓馬達性能圖 | 65 |
| 圖 5.19 TI-MAX X SERIES 高速手機 | 68 |
| 圖 5.20 TI-MAX X SERIES 高速手機型錄 | 68 |
| 圖 5.21 葉片設計 | 70 |
| 圖 5.22 下HOUSING | 70 |
| 圖 5.23 葉片與套筒 | 70 |
| 圖 5.24 鋼帶座 | 71 |
| 圖 5.25 插銷與插銷孔 | 72 |
| 圖 5.26 速換設計操作順序 | 72 |
| 圖 5.27 速換設計 | 73 |
| 圖 5.28 Y BLOCK與FIXTURE固定右視 | 74 |
| 圖 5.29 Y BLOCK與FIXTURE固定 | 74 |
| 圖 5.30 致動器結合設計圖 | 75 |
| 圖 5.31 Z軸致動器與工具固定座之結合圖 | 75 |



| | |
|--------------------------------|----|
| 圖 5.32 Z軸致動器與工具固定座之結合圖 2 | 76 |
| 圖 5.33 結合圖 1 | 76 |
| 圖 5.34 結合圖 2 | 77 |
| 圖 5.35 速換設計試驗元件 | 77 |
| 圖 5.36 速換設計試驗元件組合圖 | 78 |
| 圖 5.37 工具固定座與Z軸致動器結合圖 | 78 |
| 圖 5.38 壓板鉤與鋼帶座 | 79 |



一、緒論

1.1 研究背景

根管治療的目的主要是為了移除牙齒根管中受感染的組織並且將它密封以避免再受到感染。每年有超過 140 萬顆牙齒需要接受治療。根管治療的費用昂貴、治療時間也長，但容易發生人為失誤。在治療過程中相當仰賴需經幾年訓練的醫師臨床技術。因而，一般牙醫師的成功率低於百分之七十，而根管治療專科醫師則低於百分之九十。

儘管根管治療歷史已經經過許多年，技術上仍然是要依靠人來作治療。因此，洪錫源教授在美國哥倫比亞大學時主持“Advanced Endodontic Technology Development”計畫，目的在於結合電腦科技和先進工程來改善根管治療中各步驟的品質，並發展一套電腦輔助的治療系統和能夠自動執行根管治療的微型智能機器人來克服在傳統治療過程中遭遇到的問題，增加治療的可預測性和效率。此計劃中利用創新的方法，包括非破壞預先診斷、自動化處方、智慧鑽孔和新根管填充材料等等來確保高品質的根管治療。

1.1.1 根管治療

根管治療又稱牙髓病治療或齒內治療(即俗稱之“抽神經”)，是牙科醫療中諸多細分科之一，顧名思義就是抽除牙齒的神經。隨著醫療技術的進步和新型器械的發明，根管治療術中和術後的疼痛已經大幅降低，且有相當高的治療成功率和牙齒保存率。

牙齒構造如圖 1.1，每顆牙齒內部都是中空的，就是所謂的「牙髓腔」，裡面有神經、血管、淋巴管等組織。牙髓外圍的硬組織保護層遭受到細菌破壞時，就會有漏洞，這時候細菌就會藉由這個漏洞跑進去侵犯牙髓，造成牙齒內的神經及血管受到破壞。如果此時還不加以處理，最終會導致牙髓的壞死、腐敗，細菌和毒素還會從牙根的尖端跑到牙齒周圍的骨頭，並且造成更嚴重的病變如囊腫，蜂窩性組織炎，骨髓炎。

這時就必須予以根管治療手術刮除。

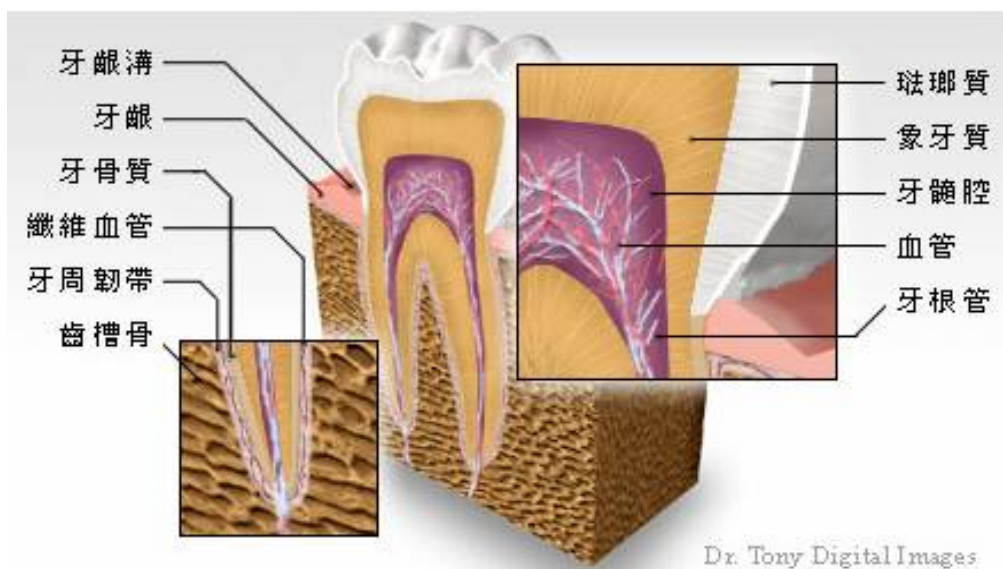


圖 1.1 牙齒構造

所謂根管治療就是將有病變的牙髓腔打開，並且利用各種器械及藥物將發炎或是已經壞死的牙髓完全清除乾淨，最後才利用不具刺激性或能與周圍骨組織相容的材質(馬來膠)將整個牙髓腔緊密地封填起來，以確保細菌不再感染和牙齒周圍組織不再發炎。之後，就可以放心將牙齒填補或作後續的假牙，挽救齒髓組織讓已受感染或壞死的牙齒能夠繼續留存於口腔中，維持咬合功能，以避免被拔除的宿命。所以，一個完整的「根管治療」的步驟是很複雜也很精密的。

完整的根管治療(Endodontic therapy, root canal treatment)包含三個步驟(圖 1.2)：

(1)進入準備(Access preparation)：

這個階段就是要以高速旋轉的鑽頭來打開一個暢通無阻的通道到達牙髓腔和根管的根尖，且將發炎壞死的牙髓組織徹底的清除乾淨。

(2)根管準備(Root canal preparation)：

在此階段中，主要用銼針或電動器械將根管加以擴大修形成上粗下細的椎狀，再將根管壁內的發炎組織及細菌清除乾淨，並以大量藥水沖洗，將一些殘餘在死角的組織及細菌徹底溶解消滅。

(3)根管充填(Root canal filling)：

治療根管後，將馬來膠注入根管覆蓋原本被器械清除的地方，直到與齒冠同高。

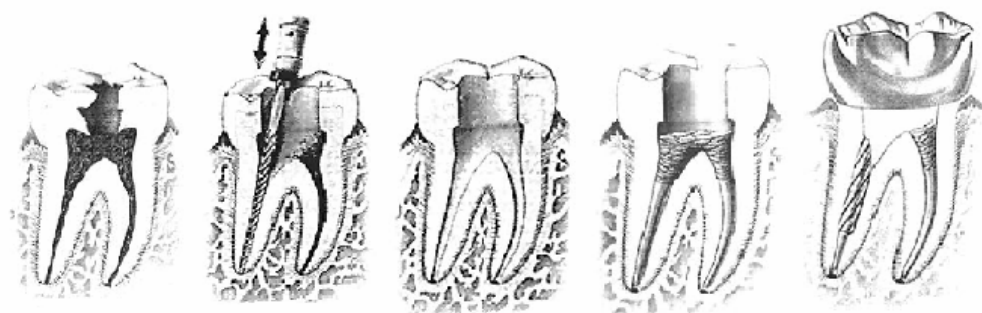


圖 1.2 根管治療過程

1.1.2 目前技術與缺失

根管治療的過程是相當耗時的，且在臨床上容易發生人為的失誤。治療過程相當依賴臨床醫師的技術和經驗，病患每個部位的牙齒，如白齒、前白齒、門牙等等，牙齒表面形狀、內部解剖狀況，和根管位置都不太一樣。

牙齒內的根管深埋在牙床骨內，部份甚至比頭髮還細，因此做根管治療之前必須先照 X 光片，以確定根管位置所在。即此如此，牙醫師施行根管治療，難度仍極高，探鑽的過程甚至還可能發生牙根穿孔或根管銼針斷裂卡住的情形。目前有顯微鏡輔助根管治療，大幅減少了上述的情形。顯微鏡在根管治療上的應用，分為手術及非手術兩方面。除了在一般的根管治療幫助鑽通鈣化根管、尋找遺漏根管、移除斷裂銼針器械外，也在牙根周圍手術提供很大的助益。

牙根周圍手術通常是用來治療一般根管治療失敗的牙齒之方法。切開牙齦處，進入牙床骨中的牙根，切除牙根尖、逆向清潔修形根管及填補，以阻斷牙根內的感染，得到牙根周圍手術的成功。傳統的方法，往往有讓醫師有看得不夠清楚的遺憾，使用牙髓病專用手術顯微鏡後，大大開展了牙醫師在根管治療與手術時的視野，如圖 1.3。看得清楚，才是完成困難的工作的首要條件，當然，執行顯微鏡根管治療的醫師，必需經過嚴格的專科訓練。另外還有牙科專用操作型立體顯微鏡，利用光纖將微細的牙齒根管放大，可以大幅增加根管治療在診斷與治療方面的成功率；熱塑式馬來膠根管充填器，可以應付更複雜的根管型態；顯微根尖手術設備，提升在顯微根管手術方面的成功率等。



圖 1.3 顯微鏡下的牙齒

然而目前雖然有顯微鏡或牙醫用的內診鏡藉由放大牙齒外形或內部的根管形狀來增強可視度，但仍需靠臨床牙醫師的技術和調整來確認根管的角度和方向。因此，臨床上根管治療的成功率不高，醫師花費相當多的時間在重新治療上，即使有重新治療，成功率仍然無法保證。不僅醫師耗費精神，病患也耗費相當多的時間和金錢。

1.2 研究動機



為了改善人為操作下的手術缺失，目前此“Advanced Endodontic Technology Development”計劃已經完成了完整治療的規劃，接下來就是完成微型智慧根管治療機器人的開發。本研究將其中的 Z 軸致動器與工具固定座作細部設計與製造。為了治療根管方便及縮短時間，工具固定座將有能快速更換所需器械的設計。

1.3 設計目標

在計畫中根管治療精密機器人的最終目的即是用在人體上幫助牙醫師做根管治療，並且解決目前手術高失敗率的問題。能夠提升手術的效率以及可靠性。

微小機器人在設計部分分成：固定裝置、致動器、工具固定座三個部份。固定裝置的目標在於能夠提供根管診斷定位以及 X 光辨識功能、使機器很穩固地固定在牙齒上和方便拆卸。致動器的目標在能夠精確控

制行程速度並且提供作用力。工具固定座則能夠更換鑽針和更換其他不同用途固定座的功能。

1.4 設計方向

設計的方向將強調簡單組裝與簡單操作。市面上已經有許多根管治療用的氣動器械，並且擁有良好的設計與性能。然而，市面上的產品體積對於微型機器人來說，體積還過於龐大，不適合放入口腔中做治療。因此設計方向將以市面上所販售的器械產品與其專利設計為基礎，並改良體積過大的缺點，設計出外型上更小型、操作上能符合人體工學且能夠幫助根管治療的產品。



二、先進根管治療計劃及文獻回顧

2.1 先進根管治療計劃

由於科學和工程上的發展和進步，許多傳統的舊技術已經藉由電腦科技發展為由人來操作機器的新技術。一樣地，根管治療技術也將經由電腦科技結合機器人，由人為治療轉變為機器人治療。在許多專家學者，不論是根管治療臨床醫師、機械與電機工程師、牙齒材料專家等等的研究與合作之下，發展出一套先進牙髓病根管治療的過程。此先進牙髓根管治療計畫包含：

- (1)發展一套利用二維 X 光和內視鏡影像來建立三維牙齒模型的方法，能夠完整地確定牙齒內部的解剖結構。
- (2)發展一套藉由三維牙齒模型來完成的自動處方系統，進而用於電腦輔助的治療過程。
- (3)為了確保治療品質，設計製造出一個藉由智慧控制來自己定位的小型、精密且多功能的微形鑽孔機，兼具線上監測治療過程的能力。
- (4)發展一個新的，且附有高壓噴嘴或真空吸引的清除碎屑工具。
- (5)發展新的根管充填材料。

先進牙髓病根管治療的過程如圖 2.1，牙齒在經過 X 光照射出牙齒 X 光片後，二維的 X 光片經電腦三維建模，會將牙齒內部構造如牙髓腔位置、根管位置、長度與外形等等顯示在螢幕上。依照牙齒內部構造，根管治療程式將決定各個器械的使用順序、精確地確定控制參數，並決定器械的治療起始點和方向、器械加工的路徑、器械加工的停止點；切削參數包括轉速、進給速度。最後模擬治療完的三維牙齒模型。

在符合臨床醫師的需求前，電腦自動處方程式經過最佳化後，將可以把牙齒結構的移除量最小化、避免傳統治療中所會發生的問題。然而，若自動鑽孔的安排不如預期，電腦程式允許臨床醫師做修改和重新測試，確保治療過程能夠完美。此先進的根管治療新科技將提供安全、精確、有效率、可信任及不昂貴的療程，直接有益於病人。

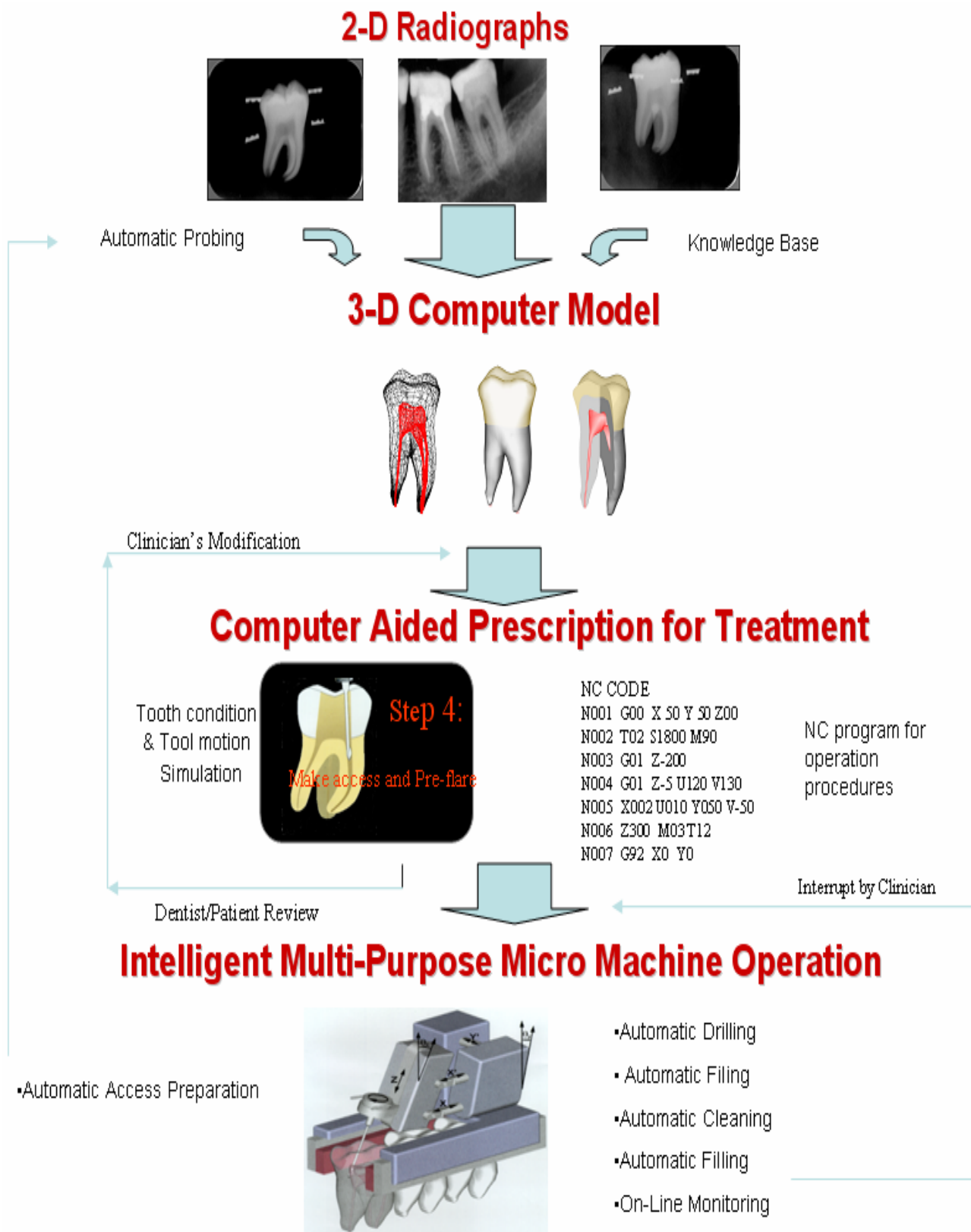


圖 2.1 預計之根管治療過程

微型智慧機器人欲達成的目標為：(1)減少對臨床醫師技術的依賴；(2)減少人為失誤；(3)提供精確診斷與治療方法。

微型智慧機器人將具有以下的设计特色：

- 微小的位置與方位調整，以確保工具在精確的位置上開始。
- 自動進給及行程控制，以確保工具能終止於需要的根管深度。
- 內建微型感測器，來監視偵測與鑽孔過程。
- 具鑽穿感測與控制，以防止根管被穿孔。
- 使用可撓曲的鑽頭或挫刀，來清洗造形彎曲的根管。
- 能夠使用噴嘴來清洗、吹除或吸除根管碎片或組織。

2.2 根管治療器械

手術性根管治療，即當感染的細菌蔓延到根尖孔外的牙根，而無法將感染源透過傳統的根管治療消除時，可借由翻瓣手術將牙根尖暴露、切除、逆充填及根尖病灶刮除、將已發炎的組織及感染源從根尖牙周組織移除，同時避免新的感染產生。此外，當牙齒再次出現病變及症狀，就必須再度進行治療。必須移除牙齒根管內外如牙冠、釘柱及舊有的充填物，所以根管再治療比第一次根管治療更花時間，技術及難度也更高，有時就必須考慮以手術方式來進行。

因此新式根管治療設備在近幾年快速誕生，例如鎳鈦旋轉器械，利用超彈性的鎳鈦器械應付複雜、細小、或彎曲的根管。鎳鈦器械為一種記憶合金，為單晶材料，約由 1:1 的鎳與鈦所組成，並有 Austenite 與 Martensite 兩種結晶相。當遭受外力時，會在此兩種結晶相中變化，不產生形變。

(1) 進入準備(Access preparation)的器械

這個階段就是要以高速旋轉的鑽頭來打開一個暢通無阻的通道到達牙髓腔和根管，以幫助下一步驟的治療。如圖 2.2，為根管治療第一個步驟依不同用途的六種不同器械，分別是：Fissure burs, round burs, safe end fissure burs, tapered diamond burs, round diamond burs, metal cutting burs。所使用的材料為鑽石和碳化鎢合金。

在電腦自動化挑選合適的器械來做治療前，必須先建立器械的基本資料，如圖 2.3 為 Fissure burs 的基本資料。當電腦挑選編號(ID)11 的器械時，就代表使用直徑為 0.9mm，長度為 19mm，使用轉速為 7500rpm，進給速度為每轉 0.02mm 的 fissure bur。電腦只要挑選不同編號的器械，加上編排使用順序，即可做手術規劃。

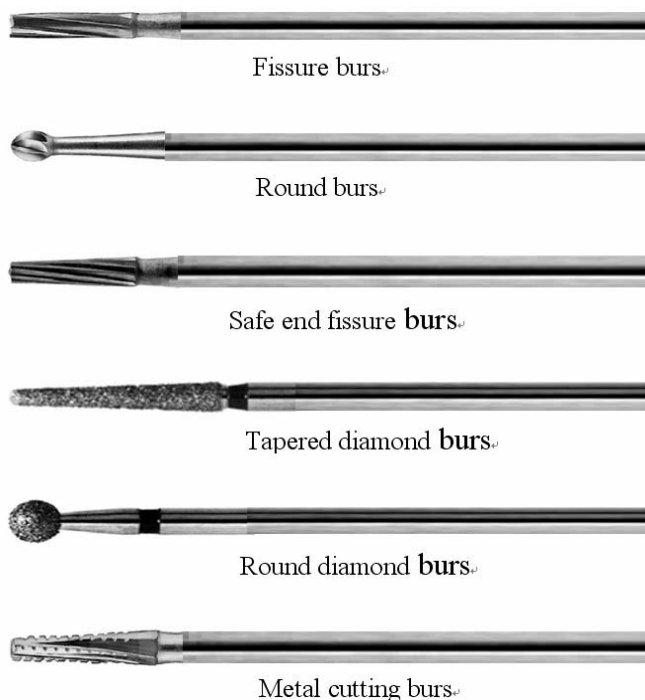


圖 2.2 進入準備的器械

| Fissure Burs Geometry and Process Database | | | | | | | |
|--|---------------|-------|-------------|-------------|----------------|-------------|----------|
| Database Name: FISSUREBURS | | | | | | | |
| ID | Diameter (mm) | Taper | Length (mm) | Speed (RPM) | Feed (mm/Rev.) | Name | ISO size |
| 11 | 0.9 | 0 | 19 | 7500 | 0.02 | fissure bur | 556 |
| 12 | 1.0 | 0 | 19 | 7500 | 0.02 | fissure bur | 557 |
| 13 | 1.2 | 0 | 19 | 7500 | 0.02 | Fissure bur | 558 |

圖 2.3 Fissure burs 基本資料

(2)根管準備(Root canal preparation)的器械

根管治療第二個步驟所使用的器械如圖 2.4，包含：Gates-Glidden drill, Peeso reamer, K-files/K-reamers 和 鎳鈦 rotary files。

圖 2.5 為根管治療不同步驟所會用到的器械。分成三個部位：(a) 是牙冠到牙髓腔的部份，(b)是牙髓腔到牙根管，(c)是牙根管到牙根尖。

2.3 文獻回顧

2.3.1 快速更換刀具(Quick-change tooling)

在根管治療的三個步驟中，為了要擁有高治療成功率，過程中就必須使用適合的牙髓病器械，並且適當地使用。因此對於根管治療成功率來說，在診斷之後，如何選擇正確的牙髓病器械是最重要的部份。在治療過程中，經常需要更換不同的器械，也因此快速更換刀具在縮短療程上具有相當的重要性。而且不僅僅是只能更換刀具，在機器人的使用上也更具彈性、更具有多項功能。

快速更換(Quick-change)在一加工機上具有非常重要的角色。加工所需總加工時間包含切削時間及非加工。前者所有程序可以透過最佳化，包含刀具進給速度、轉速來減少。後者，譬如裝配、調校和拆卸等等非加工時間，就只能靠快速更換工具來節省時間 [1]。

雖然許多快速更換刀具藉由氣壓、液壓、真空或電子的方式而具有自動更換刀具(Automatic tool changer)功能，擁有許多好處，譬如能減少人為意外的發生、較不需要保養、一般也較乾淨、安全。但相較於手動方式來得昂貴，對於許多應用來說也比較不實用，而且在動力中斷時也可能有安全上的疑慮[2]。在一般車床加工過程中，若是有快速更換刀具的功能，與傳統工具相較下，工具機時間花費在金屬切削-加工的部份，更能增加 9%。另外更能節省裝配和更換刀具時間。當需要更換的刀具越多、機器越忙碌，就更需要快速更換。不僅僅是節省時間，更是節省金錢。雖然相較於傳統工具，快速更換工具更加昂貴，但公司採用快速更換後，在更換刀具上能節省 50%的時間，勞工成本每星期可節省 400 美金，生產率可增加 25%。結合勞工成本支出、增加的生產率和增加的工作時間，長期來說快速更換刀具成本還較傳統刀具低[3]。

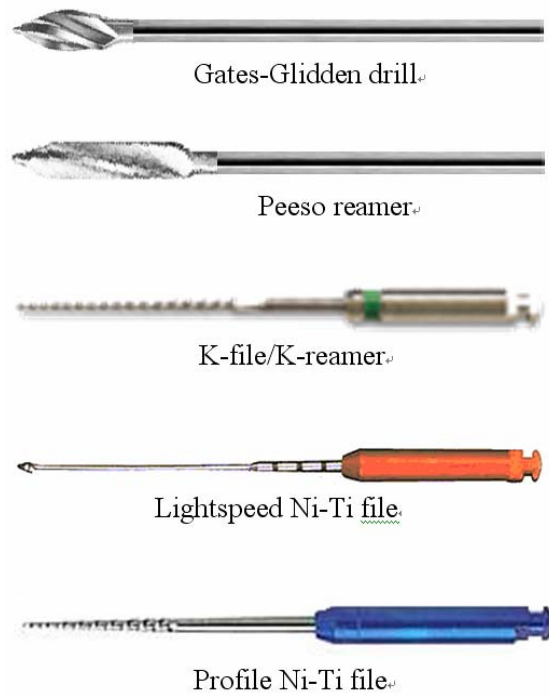


圖 2.4 根管準備的器械

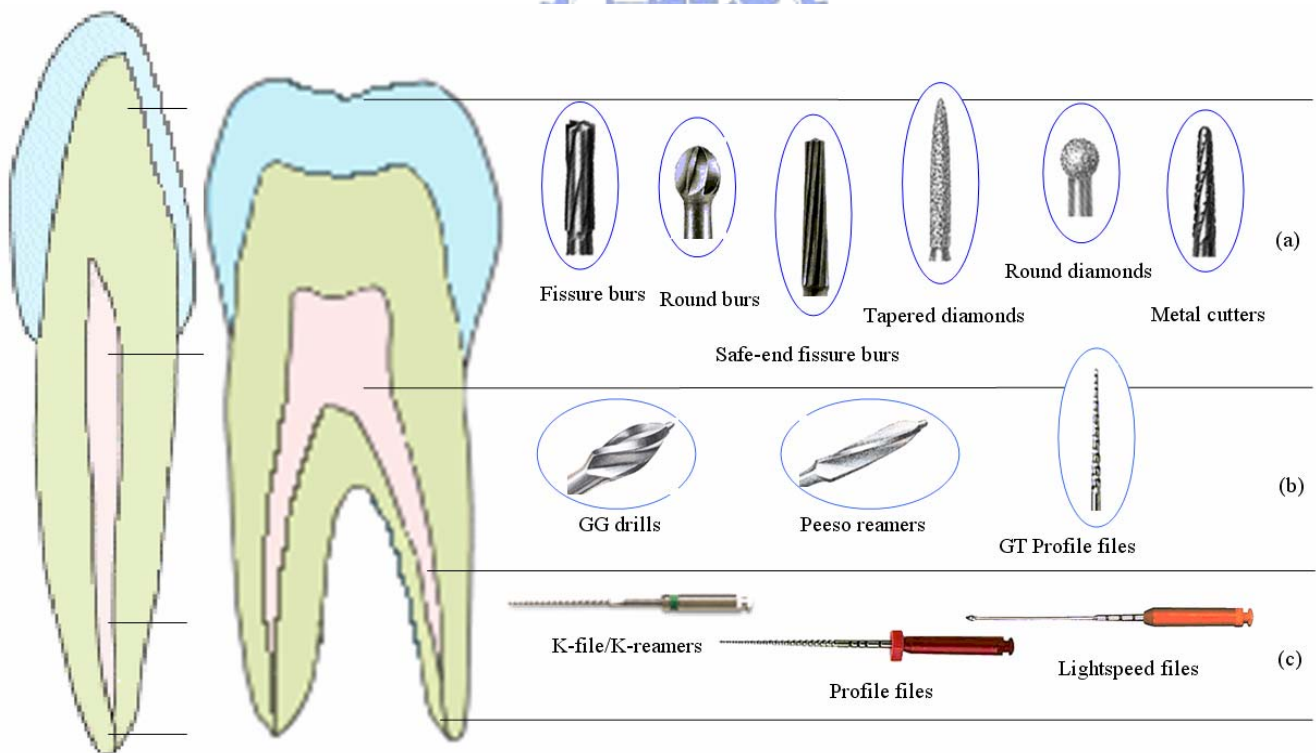


圖 2.5 不同部位的器械示意圖

在剛性(Rigidity)上，快速更換刀具通常都使用多個部份來做連結，甚至比一個部份構成的實心工具來的更安全、更強壯。在連結的部份像是阻尼器(Damper)般能夠減少震動的傳遞[4][5]。

選擇使用快速更換(Quick-change)的原因：(1)節省待機時間裝配、更換和校準工具；(2)降低勞工成本；(3)增加生產率；(4)增加工作時間；(5)擁有精確度與剛度；(6)工具組可模組化。

2.3.2 影像處理

建立三維空間的根管路徑以及讓機器人依照實際根管路徑做治療，建立一組世界座標當作機器人與根管相對參考依據是非常重要的步驟[6]。文獻中也說明了如何利用三顆高密度的精密球體作影像辨別、定位，以及說明精密球體的材質、尺寸大小和在參考固定基座上的配置。

在進行牙齒 X 光攝影的時候，影像辨識處理在這個步驟扮演了很重要的角色。而辨識圓的位置、形狀比起辨識其他幾何圖形要來的容易[7]。另一方面在 X 光攝影的要求下，為了使圓球可以清楚的辨識出來，圓球的材料偏向於密度較高、透光率較低的金屬球。以及為求計算精準，金屬球的精度要求要高。在 X 光攝影下金屬圓球呈現 2D 的影像亦即圓形的幾何圖形，由圖 2.6 可以瞭解在一個攝影的過程中包含了四個座標系統：2D 圖元座標系統、2D 影像尺寸座標系統、世界座標系統以及 X 光投射座標系統。

圖 2.7 中，X 光通過鋼珠球 A 投影在與 X 光源呈現 Θ 角的影片上，可以藉由光源與投影片角度的關係整理出兩個座標轉換方程式：[2-1] 為理想影像與真實投影影像角度的座標關係式；[2-2] 為 X 光投射座標與影像尺寸座標系統的座標關係式。另外在鋼珠尺寸比例判別問題上，由[2-3]方程式可以獲得解決。

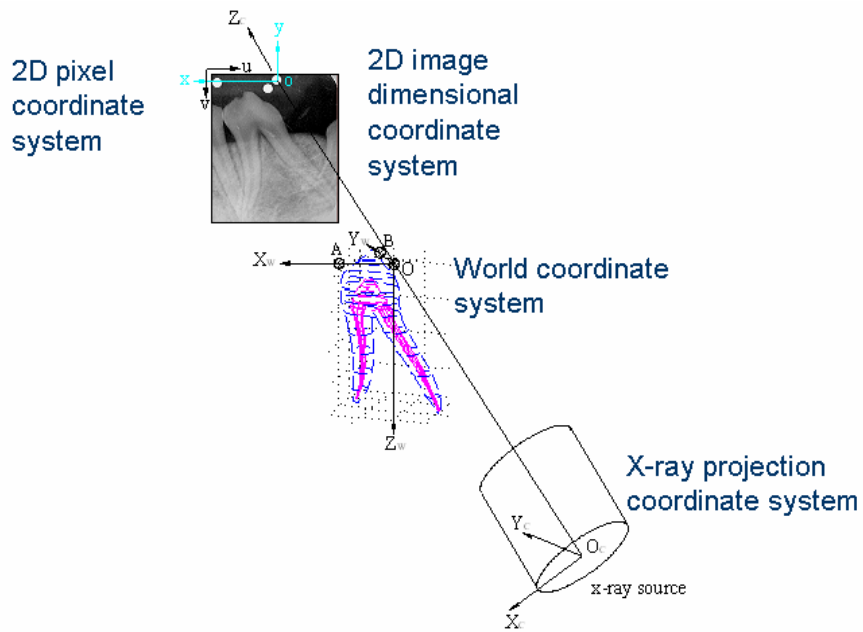


圖 2.6 Four Coordinate Systems in 3-D Root Canal Modeling

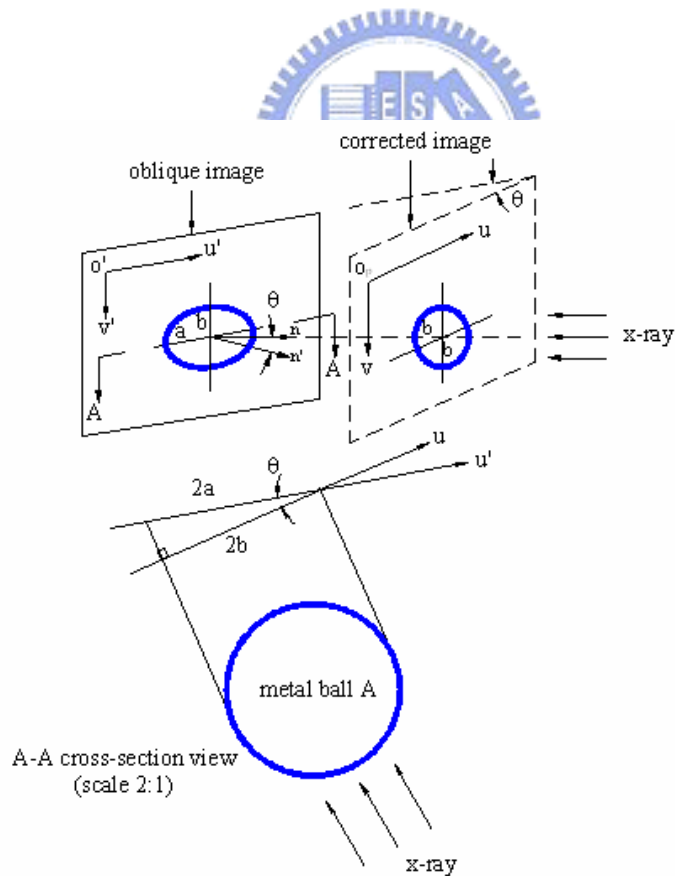


圖 2.7 Geometric Rectification of 2-D Image

Oblique transformation :

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u^s \\ v^s \\ 1 \end{bmatrix} = R_A \cdot \begin{bmatrix} u^s \\ v^s \\ 1 \end{bmatrix} \quad [2-1]$$

Rotational transformation :

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} = S \cdot \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} \quad [2-2]$$

Metal Ball and Dimensional Calibration :

$$scale = \frac{d_b}{2b} (mm / pixel) \quad [2-3]$$

d_b : 鋼珠真實尺寸大小。

b : 鋼珠的投影尺寸大小。

Scale : 用來判別根管在真實空間中的實際尺寸大小。

藉由以上所述的相關方程式，將其整理計算後可以得到四個座標系統轉換方程：2D 圖元座標系統、2D 影像尺寸座標系統、世界座標系統以及 X 光投射座標系統[6]。

圖 2.8 為齒列上的微小機器人初步概念設計與三顆金屬球的座標建立示意圖。金屬球在攝影前的準備中，置放於 Fixture 上，三顆金屬球 (A、O、B) 排列成直角，AO 構成一長邊與齒列並排，BO 構成短邊橫跨齒列與長邊 AO 互成垂直。定義 AO 為 X 方向、BO 為 Y 方向，藉由 AO、BO 兩邊垂直的建立延伸出 Z 方向建立一個世界座標系統。

X 光束透過 Fixture 投射在投影片上的座標位置關係如圖 2.9 所示，利用金屬球原點 O 的中心位置與投影片中原點 O' 的位置結合。由於三顆金屬球長邊與短邊的排列位置較容易判別出代表性的線段 AO 與線段 BO 的投影長度，與真實長度比較可以求出投影片與光源的角度位置 [2-4] [2-5][2-6]，其中最主要的目的在於利用 X 光的攝影判別 AOB 的空間關係。

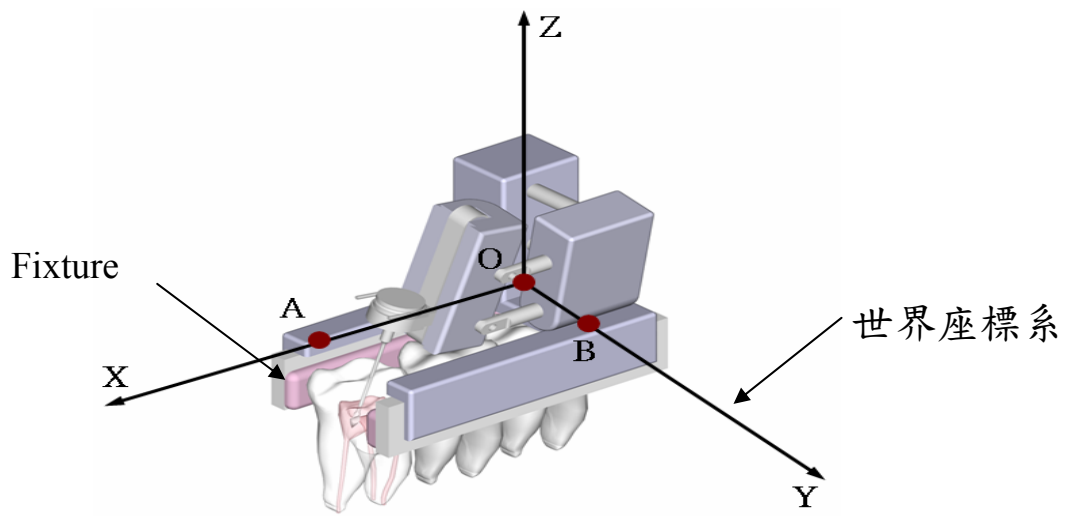


圖 2.8 利用 A、O、B 三個金屬球所建立的世界座標系

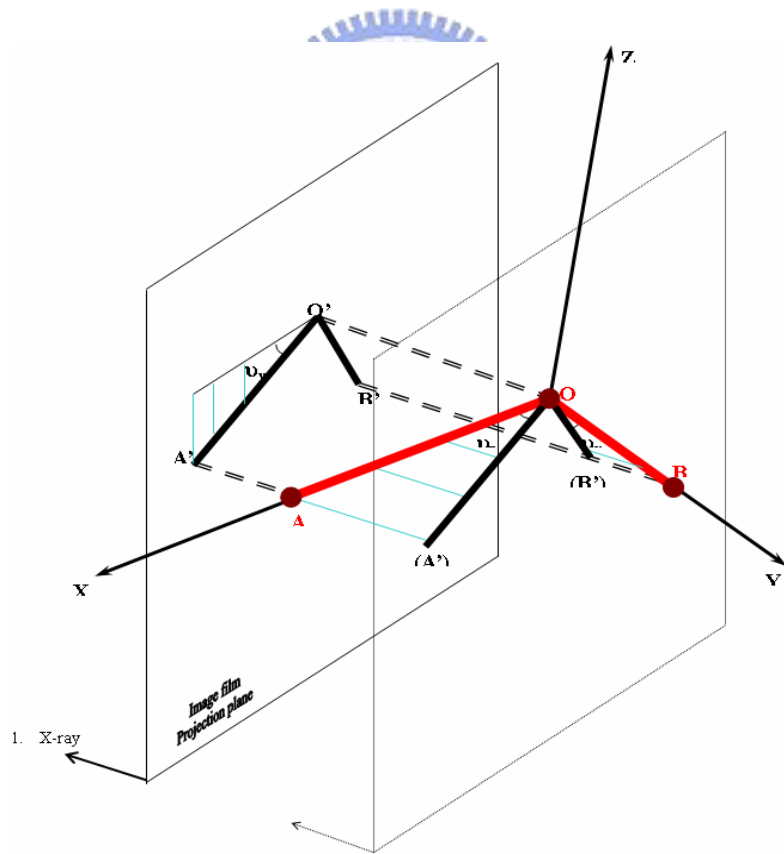


圖 2.9 影像座標與世界座標關係圖

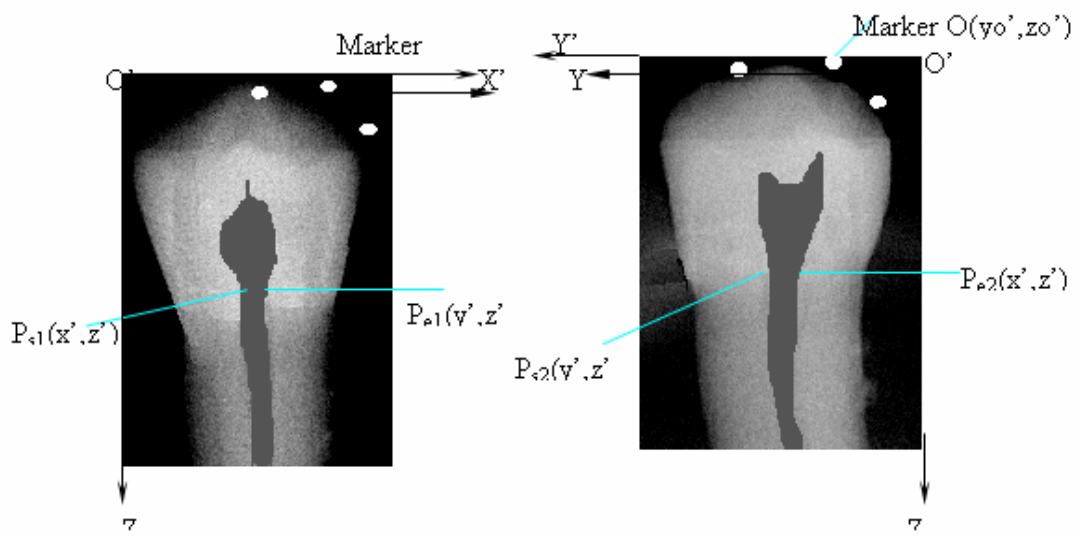


圖 2.10 不同角度的兩張投影片圖元位置圖

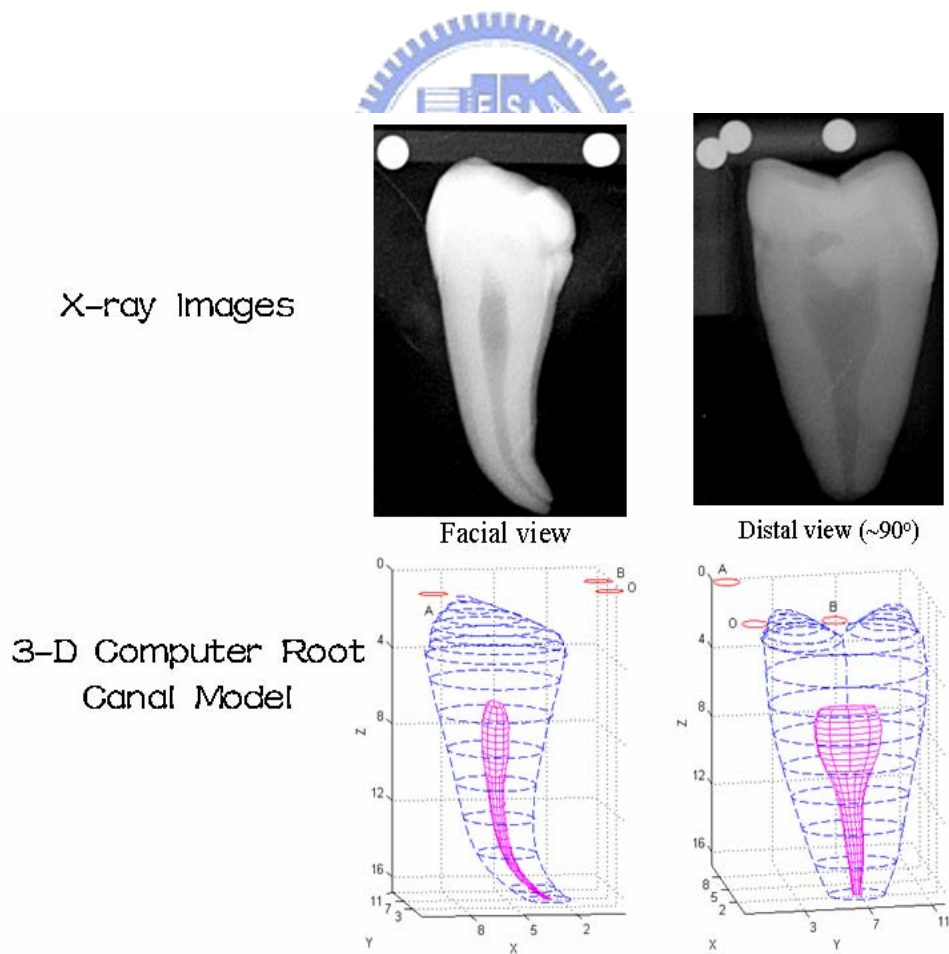


圖 2.11 2D 影像利用參考原點建立的根管模型

$$\tan \theta_x = \frac{A'O'_y}{A'O'_x} = \frac{Ya'-Yo'}{Xa'-Xo'} \quad [2-4]$$

$$\cos \theta_y = \frac{\overline{A'O'}}{\overline{AO}} = \frac{\sqrt{(Xa'-Xo')^2 + (Ya'-Yo')^2}}{\overline{AO}} \quad [2-5]$$

$$\cos \theta_z = \frac{\overline{O'B'}}{\overline{OB}} = \frac{\sqrt{(Xb'-Xo')^2 + (Yb'-Yo')^2}}{\overline{OB}} \quad [2-6]$$

利用 AOB 座標系中原點 O 與 O' 的相同位置逐一收集每一個根管的圖元尺寸，如圖 2.10 所示。蒐集兩張投影片根管的左右點位置，配合兩張投影片座標系的轉換我們可以得到圖 2.11 的根管模型。此根管模型空間位置依照金屬球 AOB 配置在參考固定座標系與微機器座標系轉換即可以針對治療進行動作。

從[6]在影像判別的建議中，我們可以得知金屬球在基座設計上的角色扮演重要性，另外在金屬球的配置上需依照長短邊構成直角的放置(約 2:1)以清楚判別空間位置及建立世界座標，在金屬球尺寸的要求上，為了使影像較為清晰判別，金屬球尺寸大小為 1/4 英吋左右，並且在製作過程中精度要求較嚴格。圖 2.12, 2.13 為參考點置於 Fixture 示範模型以及放置口腔內拍攝準備示意圖。

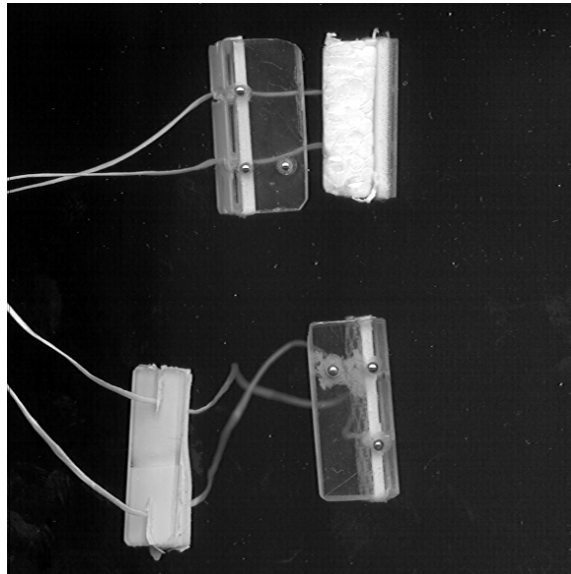


圖 2.12 金屬球排列位置

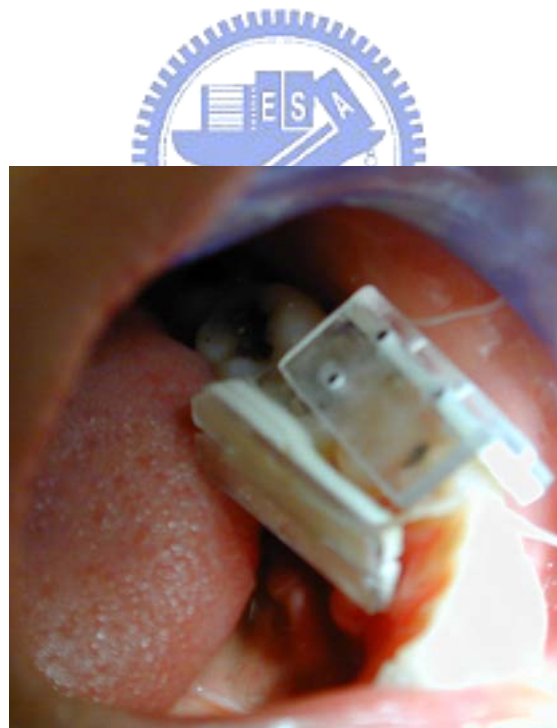


圖 2.13 參考固定基座置於口腔示意圖

三、微小機器人設計

3.1 機器人概念設計及設計流程

為了提供根管治療過程中工具的精確定位和修正方位，在“Advanced Endodontic Technology Development”計畫中初步設計了微型智能機器人，如圖 3.1。機器人藉著固定基座穩固地沈坐在牙齒上，另有三個微型致動器控制工具固定座的活動。計畫中也制定了機器人在作動上定量的設計需求，其具有五個自由度：

- (1) X 軸(沿著齒列)具有 5mm 行程。
- (2) Y 軸(橫過齒列)具有 4mm 行程。
- (3) Z 軸(垂直於齒面，工具前進的方向)具有 15mm 行程。
- (4) 在 X-Z 平面上，具有 $\pm 12^\circ$ 調整角。
- (5) 在 Y-Z 平面上，具有 $\pm 12^\circ$ 調整角。

由微型機器人之概念設計透視圖(圖 3.2,3.3)可看到器械的起始定位與治療中的移動藉由五軸的液壓缸(hydraulic cylinder)配合液壓系統來控制。所有的控制系統皆放置在口腔外，僅藉由液壓控制管路來控制液壓缸。X 軸向致動器(X block)與 Y 軸向致動器(Y block)中各具有兩個液壓缸，Z 軸向致動器(Z block)具有一個液壓缸且活塞連結上一條鋼帶來帶動工具固定座。當液壓油經管路加壓流入一邊的腔室後就能夠使活塞移動，進而讓活塞桿移動，調整器械加工位置或侵入角度。為了工具治療上的需求，此機器人必須進行旋轉、進給和往復運動，且配合著感測器的使用能夠有位置控制、偵測根管、牙髓腔位置形狀和監測器械治療過程的功能。另外，微型機器人的尺寸大小必須能夠放置在病人的口腔中且穩固地沈坐在牙齒上。工具轉軸必須有旋轉動力來驅動工具並做治療。而且機器人應該能夠提供大於 500 克的推力來侵入瑯瑯質(牙冠)和象牙質。另外，基於安全上的考量，液壓系統中所使用的液壓油將會是食品級的蔬菜油。

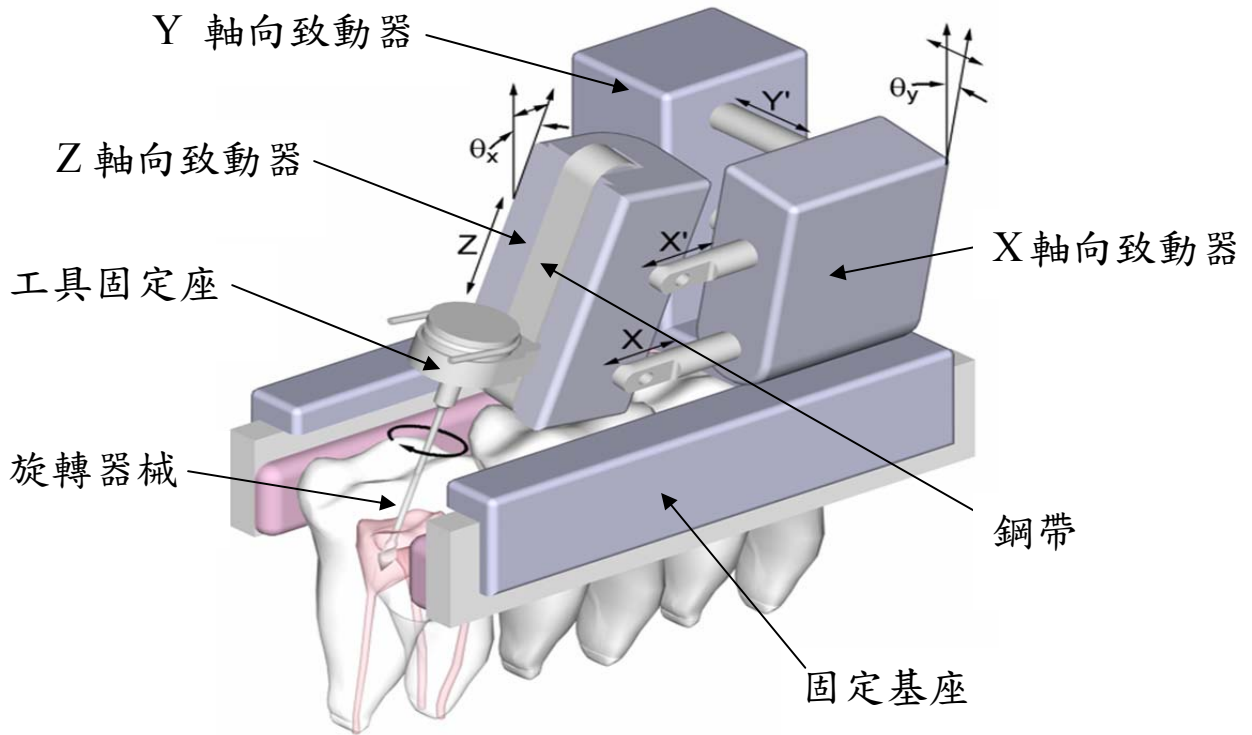


圖 3.1 微型機器人概念設計全貌

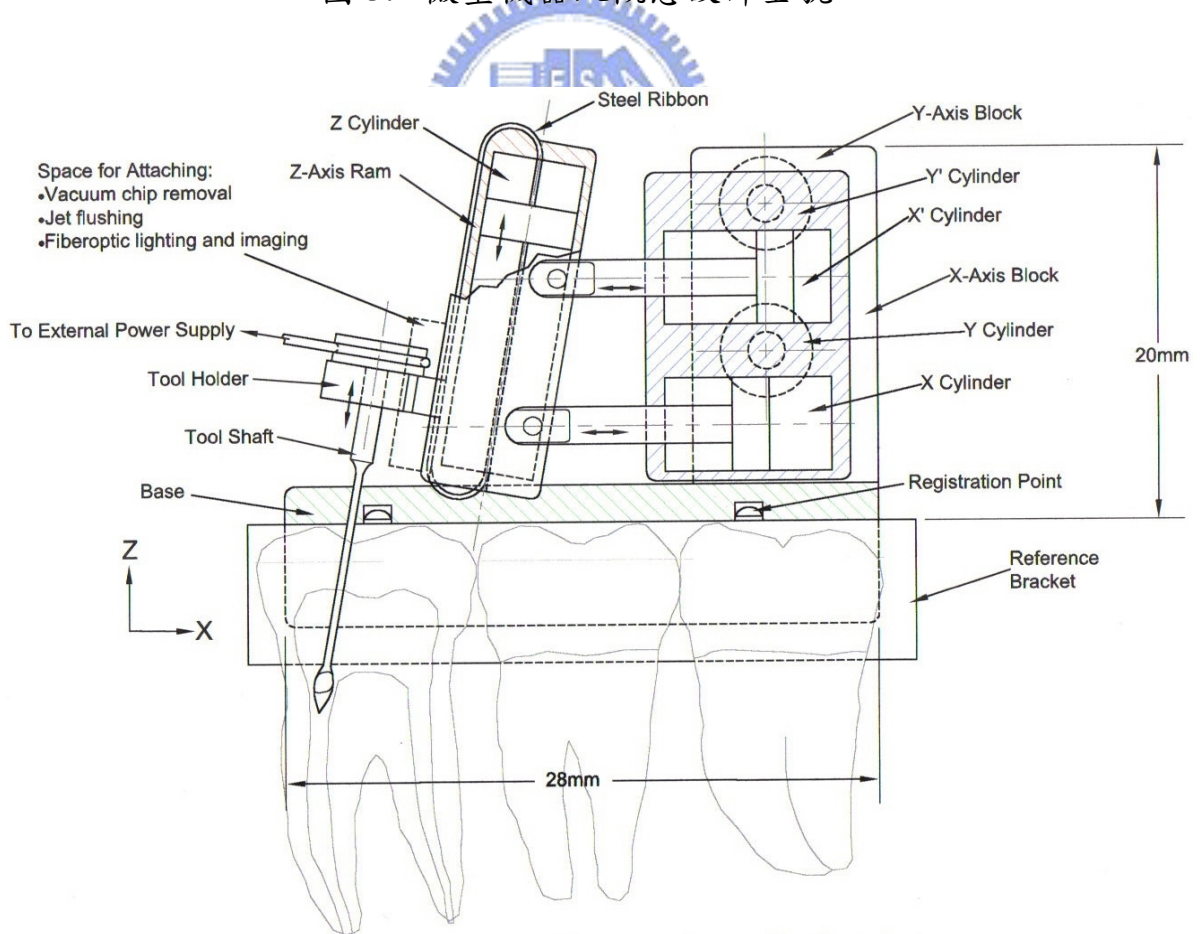


圖 3.2 微型機器人概念設計右透視圖

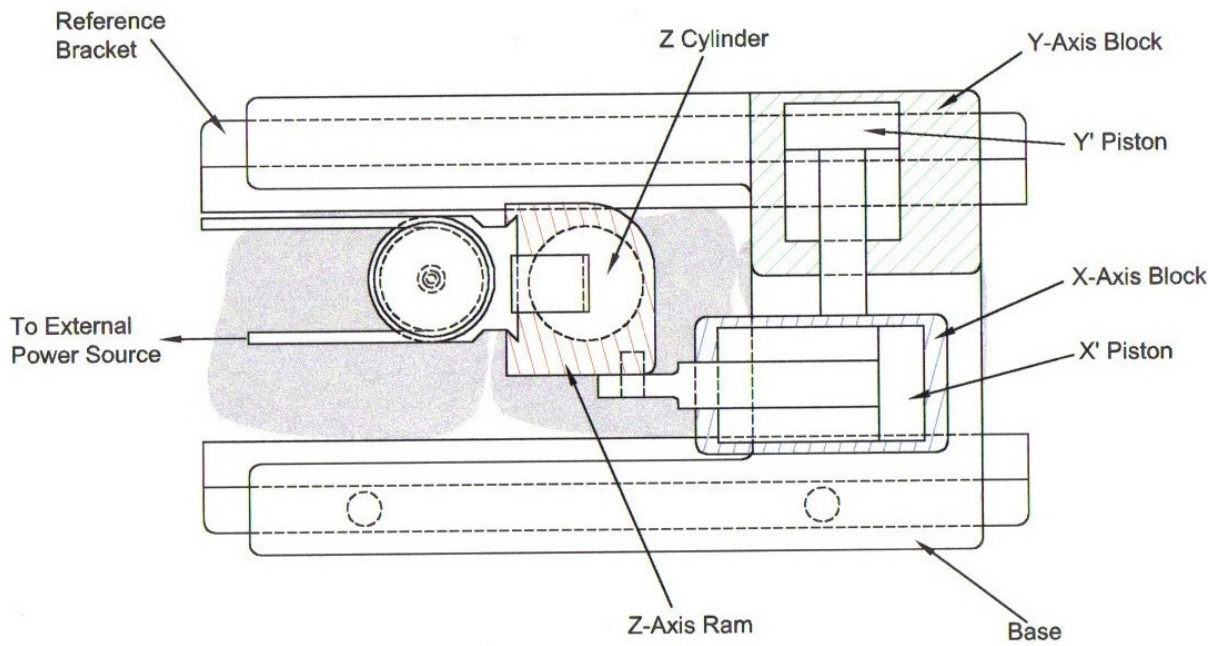


圖 3.3 微型機器人概念設計上透視圖

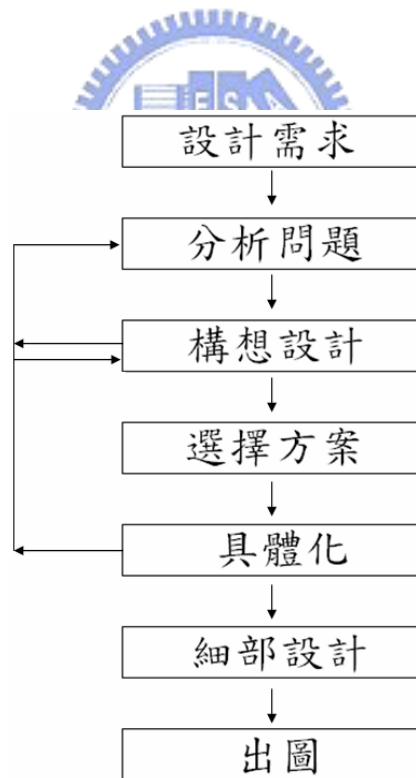


圖 3.4 設計流程圖

在設計前，必須有一套合適的流程來幫助設計。如圖 3.4，一開始首先要對此計劃的設計需求有完整的瞭解。之後為了要瞭解這方面相關的技術，便要開始對這設計問題相關的資料來收集，待收集完成後，分析設計中所需要的元件。接著開始構想不一樣而可行的設計並將草圖畫出做不同的概念設計。在這階段中，需不時地回過頭設計看是否符合當初分析的要點。針對最適合此計劃來選擇適合的方案，如最容易製造或最簡易組裝等等。選擇好之後再將設計具體化，也就是畫出細部的 3D 視圖，看是否有干涉問題或裝配上的問題，若有則需重新修改或構想設計，無誤之後再將設計的工程圖出圖。

3.2 固定基座設計

進行根管治療流程包含四個步驟：第一步驟為 2D 影像辨識與參考座標建立；第二步驟為 3D 根管模型建立；第三步驟為規劃治療程式、第四步驟為全自動化精密機器人治療。在第一步驟中，Fixture 需穩固地固定於牙齒上進行 X 光拍攝，並且建立 2D 影像辨識與參考座標。而在第四步驟中，Fixture 在治療過程中不能讓微小機器人產生任何晃動。

根管治療機器人的固定基座之設計為另一碩士研究生洪振祐所負責的，由於與本論文工作息息相關、相輔相成，以下特將他所負責的工作簡單介紹，以讓根管治療機的內容更完整，便於讀者對本論文的了解。

3.2.1 固定基座設計需求

微小機器人需要固定於牙齒上。基座裝置設計著重在建立一個座標系統，使建構的 3D 模型空間可與微小機器人所在的座標系統相結合。而在 X 光拍攝的過程中，材質的透光性性質會直接影響到辨識的清晰度。而且 3D 模型的建立來自於 X 光攝影 2D 影像處理，因此在固定基座材質的選擇上偏向可透光性高的材質。

另外固定基座設計需抵抗外力，使微小機器人位置不易改變。基座亦需承受鑽針向下鑽削所產生反作用力影響。固定基座的設計要能應付

不同牙齒形狀或齒列不整齊的差異。重複使用性、可透光性、固定性及參考座標建立是固定基座的設計重點。

3.2.2 構想設計

口腔中軟組織的部份不適合 Fixture 發揮其固定功能性，唯一考量就屬口腔中的硬組織—牙齒。然而牙齒並不是一個很平坦的接觸面而且牙齒排列為馬蹄形式，如圖 3.5。Fixture 概念設計中包含三個主要部份：Fixture 主體、擋板設計，功能在於包覆住牙齒、金屬球，提供影像定位以及 XY 方向固定機制(圖 3.6)。

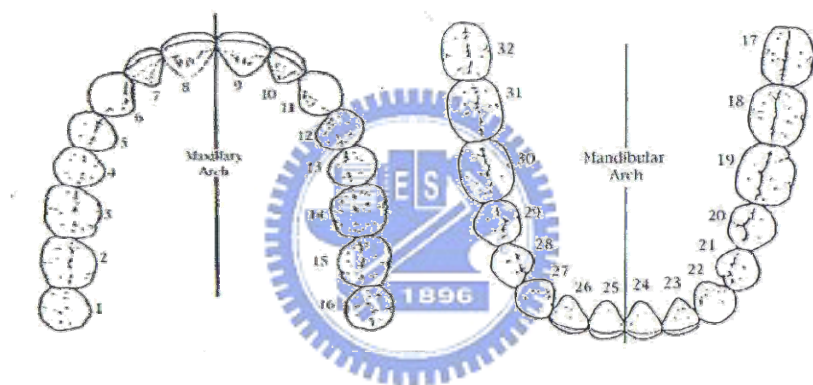


圖 3.5 上下頷牙列

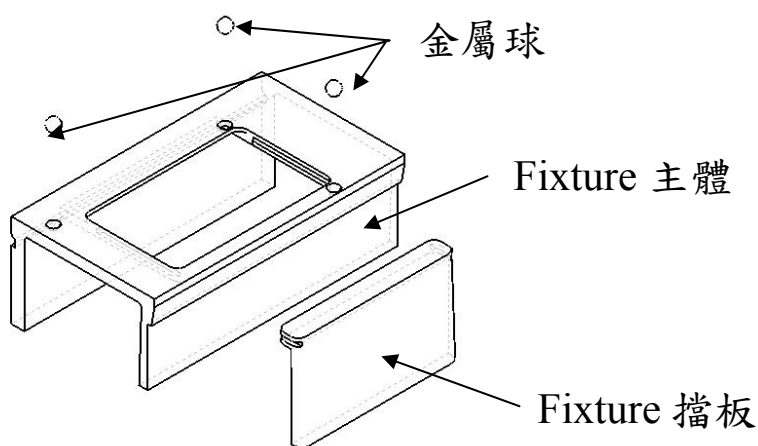


圖 3.6 Fixture 概念設計

Fixture 主體以及擋板包覆於牙齒上並無法有效固定。在觀察牙齒的排列形狀以及牙齒齒形後，欲利用牙齒間的縫隙來做固定。而我們選用拋錨固定(anchor)方式來固定微小機器人。拋錨固定就是使固定器能夠深入縫隙中，藉以抵抗微小機器人治療過程中所產生的向上作用力。針對不同患者的齒形，採取齒模材料來複製患者的牙齒唇面與側面形狀。複製齒型的好處不僅讓牙模能夠緊密貼合牙齒，還可以使用齒隙發揮出拋錨固定的效果。另外，由於是在口腔中作治療，因此材料必須為無毒材質，表 1 為目前牙醫所使用製模材料，皆適用使用於人體。

印模材料可分為彈性印模材及非彈性印模材兩大類：

1. 非彈性印模材料：

目前常使用的非彈性印模材有氧化鋅丁香油酚(Zinc Oxide-Eugenol)及混合材(compound)。氧化鋅丁香油酚流動性非常好，因此較不會造成軟組織的變形。其精確度非常高，硬化之後也不易變形，是製作全口假牙非常好的印模材料。混合材是一種熱塑型材料，遇熱時(45°C)會變軟，室溫下則變硬。其流動性即表面細緻度非常差，因此只是用於初步印模，即需要加壓以增加密閉效果的全口假牙邊緣。

2. 彈性印模材：

水凝膠(Hydrocolloids)包含瓊膠(agar)及藻膠(alginate)兩種。瓊膠的主要成份與作果凍用的洋菜類似。加熱後會變成液體狀，冷卻後成為固體，所以又稱為可逆性水凝膠。使用瓊膠的整套設備昂貴在空氣中脫水容易變形，因此自目前使用上並不普遍。藻膠為牙科最常使用之印模材，藻膠只需將水加入粉劑中調拌均勻，再加入現成的印模托盤內便可印模，操作非常方便。成型速度較快價格上也較便宜，藉由適當的壓力推擠使稍具彈性的模型與牙齒更緊密的貼合住，產生適當的挾持力。但準確度差，太薄及太大的倒凹處易撕裂。

| | | | |
|------|---------------------------|---------|--|
| 牙科印模 | { 非彈性：氧化丁香油酚、混合材、印模用石膏 | { 彈性 | { |
| | | | { 水凝膠：瓊膠、藻膠 橡膠：硫醇(多硫化橡膠)、矽化物(縮合式加成式)、聚乙醌 |

表 1 牙科用印模材之種類

圖 3.7 為利用藻膠所製作出頰側面齒列以及舌側面齒列模型。

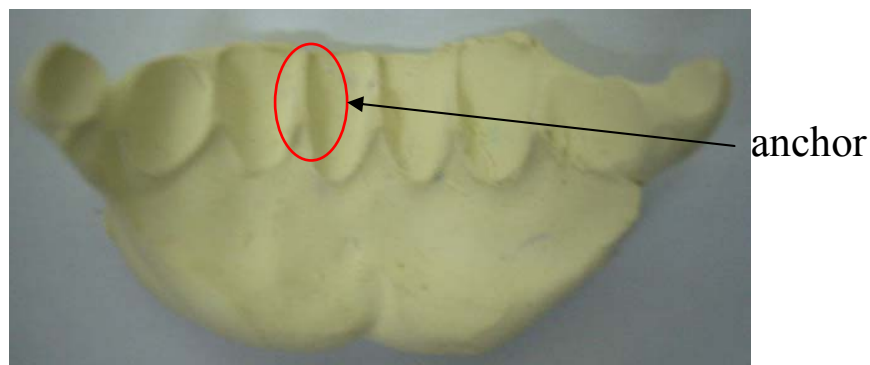


圖 3.7 藻膠 anchor 成型實體圖

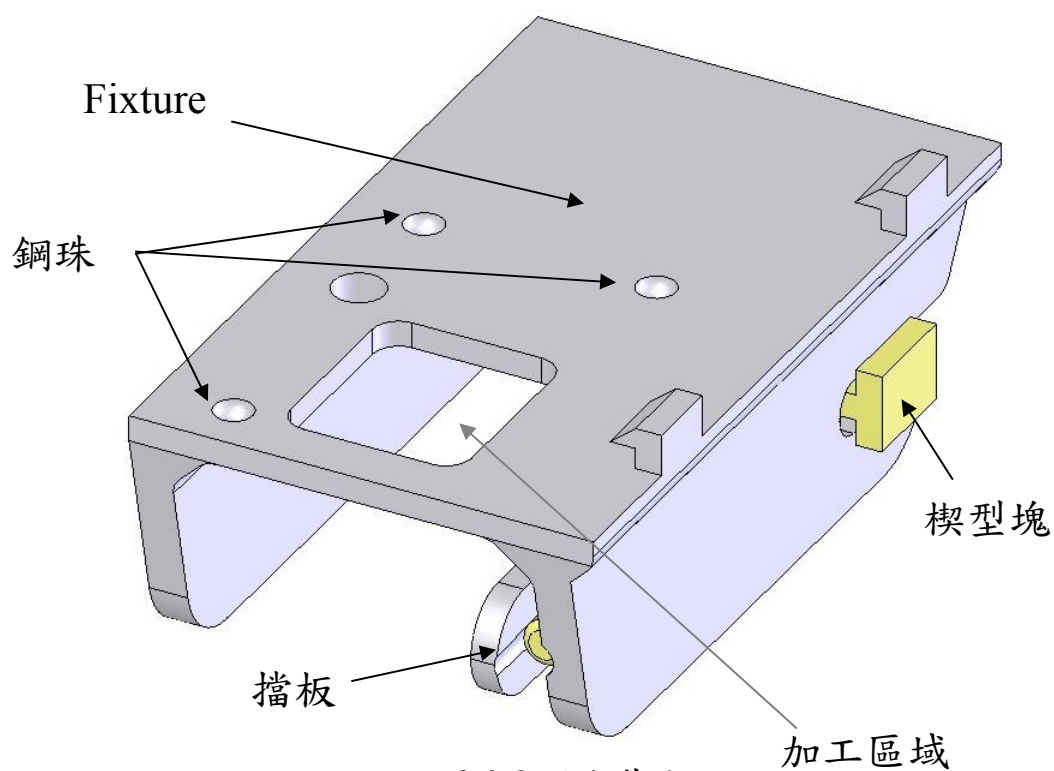


圖 3.8 固定基座

門字型結構中，兩旁利用藻膠來產生突出物防止 fixture 受作用力向上剝離，如圖 3.9,3.8 所示。而為了使藻膠以相同厚度平均貼覆於齒列各部位，在 fixture 設計上增加一個活動擋板，來配合不同寬度或不同曲率的齒列。

摩擦力以及 anchor 的作用可以使 fixture 確實發揮出其功能性，此功能性的發揮需要一個外加的挾持力來產生，利用楔型塊的作用原理，將楔型塊前壓之後，使兩側擋板產生作用力擠壓成型藻膠牙模，發揮出亦用摩擦力以及 anchor 方式將 fixture 固定於牙列上的功能性。

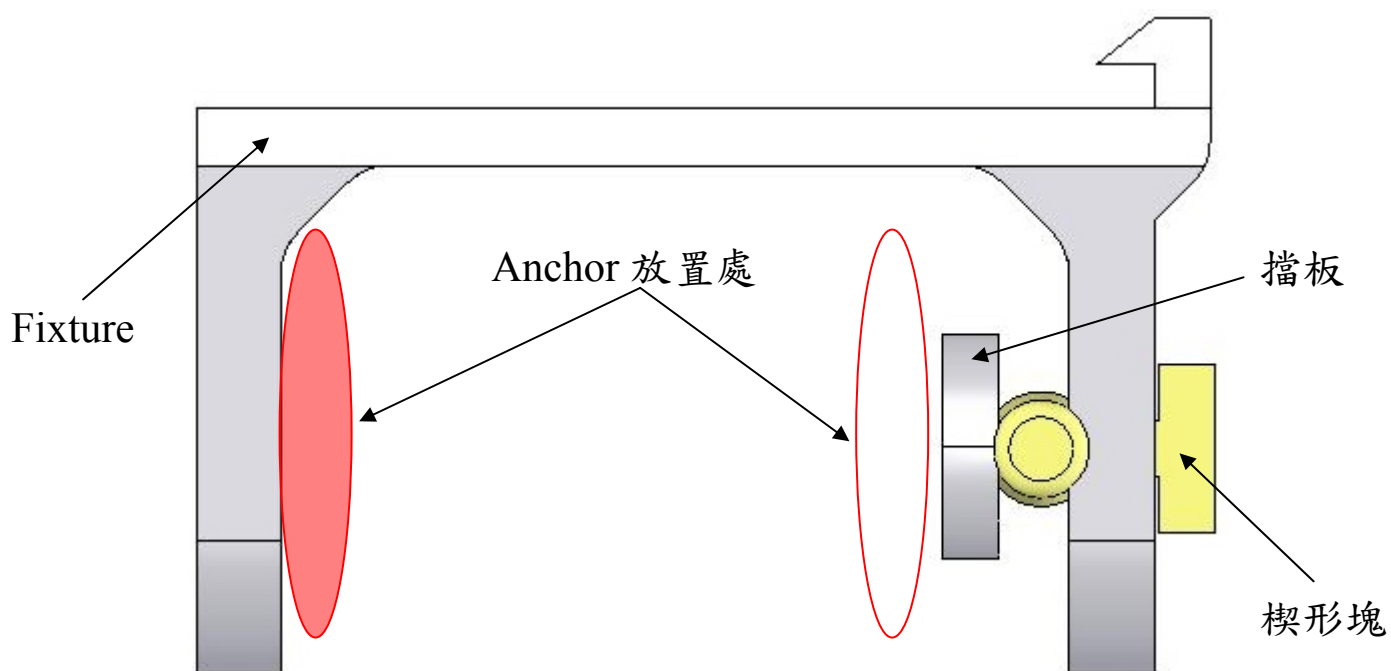


圖 3.9 固定基座前視圖

3.3 X、Y 軸向致動器設計

如同前述固定基座，X、Y 軸向致動器的設計亦為計畫工作夥伴洪振祐所負責的，由於本論文所發展的 Z 軸致動器及速換工具座將裝在 X、Y 軸向致動器上，因此以下將其做一下介紹。

油壓缸是一種能將流體能量轉換為線性的機械力或運動的裝置，通常具有亦可動件在缸內作直線的往復運動；其可動件如活塞、活塞桿、柱塞等。其作用通常是推或拉的直線運動，油壓缸可在行程內作很精確的啟動與停止；此外，油壓缸與其他機械裝置配合，可作擺動或旋轉的動作。油壓缸基本上分為單動型油壓缸與複動型油壓缸(圖 3.10)，複動型是讓液壓油在缸體兩側交互流入、流出後，活塞才能進行往復運動。

3.3.1 設計需求

設計上需精確地控制，使液壓缸(hydraulic cylinder)中的活塞(piston)和活塞桿移動來帶動 Z 軸致動器以及工具固定座(tool holder)，達到治療所需的行程和進給速度。設計將採易於組裝、小體積且精確度高的方向來作設計。而計畫中治療所需的精確度為 0.02mm。

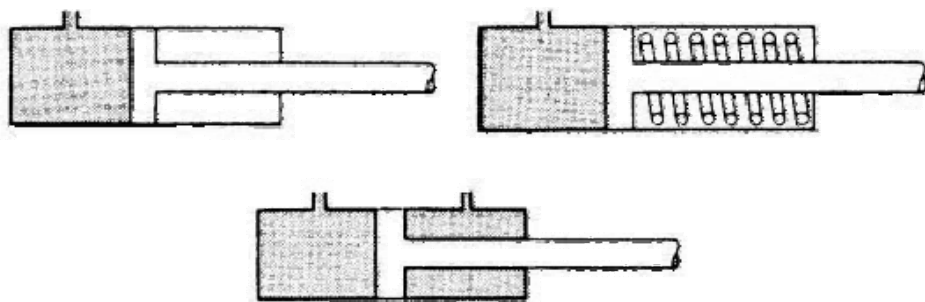


圖 3.10 單動缸(上)與複動缸(下)

3.3.2 構想設計

為了避免材料氧化腐蝕，因此採用的材料為 SUS304 不鏽鋼。實際上一部分不鏽鋼，既有不鏽性，又有耐蝕性。不鏽鋼的不鏽性和耐蝕性是由於其表面上富鉻氧化膜(鈍化膜)的形成。這種不鏽性和耐蝕性是相對的。試驗表明，鋼在大氣、水等弱介質中和硝酸等氧化性介質中，其耐蝕性隨鋼中鉻含水量的增加而提高，當鉻含量達到一定的百分比時，鋼的耐蝕性發生突變，即從易生鏽到不易生鏽，從不耐蝕到耐腐蝕。

不鏽鋼的分類方法很多。按室溫下的組織結構分類，有馬氏體型、奧氏體型、鐵素體和雙相不鏽鋼；按主要化學成分分類，基本上可分為鉻不鏽鋼和鉻鎳不鏽鋼兩大系統；按用途分則有耐硝酸不鏽鋼、耐硫酸不鏽鋼、耐海水不鏽鋼等等，按耐蝕類型分可分為耐點蝕不鏽鋼、耐應力腐蝕不鏽鋼、耐晶間腐蝕不鏽鋼等；按功能特點分類又可分為無磁不鏽鋼、易切削不鏽鋼、低溫不鏽鋼、高強度不鏽鋼等等。

由於不鏽鋼材具有優異的耐蝕性、成型性、相容性以及很寬溫度範圍內的強韌性等系列特點，所以在重工業、輕工業、生活用品行業以及建築裝飾等行業中獲取得廣泛的應用。依加入成分的不同一般區分為 300 系與 400 系兩大類。300 系乃添加鉻、鎳兩種金屬，富展延性，易於焊接與加工，主要用於建築裝潢、車輛零件與醫療器材。400 系僅加入鉻金屬、具高度韌性及優越的耐蝕性，適用於高彎高壓用結構材料之製造。SUS304 具有良好的耐蝕性、耐熱性、低溫強度和機械性能，沖壓彎曲等熱加工性好，無熱處理硬化現象，且無磁性。

1. 缸體基礎計算

由於流體在活塞移動時流動緩慢，在定位時缸體停止流動，流體在此缸體現象為流體靜力學，在力的傳送方式只需考慮直線性、點對點的力學模式，省略流體動力學範疇。

依據草圖設計，缸體內直徑尺寸 5mm，柱塞直徑 2mm，圖 3. 為複動單連桿型油壓缸。參考油壓設計手冊[8][9][10]中， η (負載壓力係數) 為考慮載中作用力、襯墊的滑動阻力、配管及機器壓力損失後決定配管

及機器壓力損失後決定的數值，通常慣性小是 0.6~0.8，慣性大時是 0.25~0.35，在此微機器致動器 η 取 0.6。其連桿前進時(擠壓側)及後退時(牽引側)之推力可計算出兩側缸體壓為：

前進時

$$F_1 = \left\{ \frac{\pi}{4} D^2 P_1 \right\} \eta$$

$$4.9N = \left\{ \frac{\pi}{4} 5^2 P_1 \right\} 0.6$$

$$P_1 = 0.416MPa$$

$$P = 1.248MPa = 183.46psi$$

後退時

$$F_2 = \left\{ \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) P_2 \right\} \eta$$

$$4.9N = \left\{ \frac{\pi}{4} (5^2 - 2^2) P_2 \right\} 0.6$$

$$P_2 = 0.495MPa$$

$$P = 1.485MPa = 218.3psi$$

根據上述所計算出缸體最大壓力來求出剛體相關尺寸，利用承受內壓之薄壁圓柱公式計算：

$$t = \frac{PD}{2\sigma_a}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_B}{S}$$

t ：油壓缸壁厚(mm)； σ_a ：容許抗張應力； p ：使用壓力(缸內壓力)(MPa)； σ_B ：材料抗張強度最低值(MPa)； D ：油壓缸直徑(mm)； S ：安全係數

假設：

$$\sigma_B = 520MPa$$

$$P = 1.5MPa$$

$$S = 5$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_B}{S} = 104MPa$$

$$t = \frac{PD}{2\sigma_a} = \frac{1.5 \times 5}{2 \times 104} = 0.036mm$$

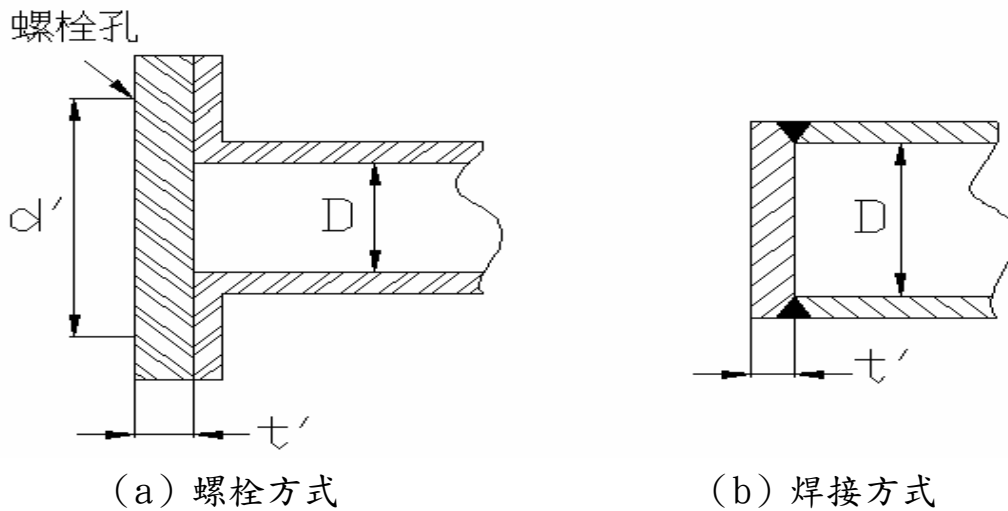


圖 3.11 油壓缸蓋壁厚

2. 缸蓋基礎計算

如圖 3.11 油壓致動器缸蓋壁厚尺寸計算可參考鍋爐蓋規格的計算公式，螺栓孔方式雖較容易拆卸，但考量在組裝、維修不便以及定位精度要求考量層面，結合方式採用焊接方式為第一考量，其計算方式為下：

$$\begin{cases} t' = kd' \sqrt{\frac{CP}{\sigma}} \\ \sigma = \frac{\sigma_B}{S} \end{cases}$$

計算結果：

$$\sigma = \frac{\sigma_B}{S} = \frac{520}{5} = 104 \text{MPa}$$

$$t' = kd' \sqrt{\frac{CP}{\sigma}} = 1 \times 5 \times \sqrt{\frac{0.33 \times 1.5}{104}} = 0.345 \text{mm}$$

2.設計

為了減少累積誤差的產生，Y 軸向致動器在製作設計上與結合基座相連結。致動器主要組件包含 Y 軸向缸體、活塞組件、封蓋組件三個部份(圖 3.12,3.13)。

為減少至少製造成本以及管路設計需求，兩個缸體設計皆為單一封蓋設計，單一封蓋設計為了使活塞桿有較佳的同心度，設計上以軸孔配合方式降低配合誤差的產生。

Y 軸向致動器油壓管路設計如圖 3.14。缸體後側設計一個凹槽使油體在活塞至底時可以有充油的空間。讓活塞可以有作用力向前運作，配合活塞寬度以及油體管徑設計凹槽寬度為 0.5mm。而為了使從口腔中拉出的管路數量減少，將油壓管路設計相鄰近，可以從單一大管路中包覆四條小管。

X 軸向致動器設計包含 X 軸向缸體、活塞組件、封蓋組件三個部份(圖 3.15, 3.16)。圖 3.17 為 X 軸向致動器油壓管路設計。

密封(seal)的功用為防止洩漏。活塞上的密封對於機器人的機械效率、能量損耗有很大的影響。而造成洩漏的原因是密封連接處存在有間隙。液壓油在有壓力差或濃度差下的作用下通過間隙而產生洩漏。而密封通常是使用經硬化的彈性橡膠或塑膠且附有內部支撐用的金屬，可分為接觸式(rubbing seal)、非接觸式(non-rubbing seal)和組合式密封等等。而其中接觸式密封又可分為填塞型、擠壓型、撓曲型、端面形等等密封。非接觸式密封通常使用單道、數道或螺旋狀且極狹小的間隙來減少洩漏。

密封材料包含金屬與非金屬。金屬包含碳鋼、鉻鎳鋼、青銅等等，亦有合金類，如氮化硅、碳化鎢、氧化鋁等等。非金屬包含石墨、橡膠、石棉橡膠、橡膠包覆聚四氟乙烯等等。通常活塞與缸體間選用一軟一硬的材料搭配使用。材料性質必須具有以下幾種條件：

- 具耐磨性，擁有長久的使用壽命。
- 耐腐蝕性，容易腐蝕即容易洩露。
- 具有良好的導熱性。
- 具有高的機械強度，避免彈性變形過大。
- 具有良好的加工性，由於使用條件和加工精度高，加工性高較為有利。

表 2 為決定所使用 seal 的種類。依照微機器人規格，從表中我們適當選取我們所要規格唇口密封。所謂唇口形墊料是因為唇口受壓面呈唇口狀而得名，他是承受壓力後唇口即會展開，並且能隨即與金屬面接觸而具有密封作用的墊料。墊料又分為：

V 型墊料：指具有 V 字型剖面的墊料，從低壓至高壓的範圍均能適用。

適用於嚴苛的作業條件或偏心運動的場合，使用壽命較長。

U 型墊料：指具有 U 字型剖面的墊料，但不全是呈 U 狀，有時候是呈 Y 字型剖面，故又稱為 Y 型填料。

L 型墊料：指呈 L 狀的墊料，能適用於中壓乃至於高壓之油壓缸的活塞墊料上。

J 型墊料：指呈 J 狀的墊料，凸緣部具有墊圈的作用。適用於較為低或中壓油壓設備之往復運動或迴轉運動的軸封上面。

接觸式密封中，活塞可能使用的密封方式為 O 形環(O-ring)，但 O-ring 有啟動摩擦阻力大的問題，在間隙不均勻時更有可能因受力發生扭曲的缺點。因此 O-ring 不適合使用，而唇口密封為可能的使用方式。其一方式為將活塞邊緣加工到很薄，利用薄片邊緣來當作密封，當液壓油壓力產生時會將薄片稍稍彎曲使邊緣抵在缸壁上，達到密封的目的。其二為使用兩圓凹形薄片組合成活塞，亦利用薄片邊緣來當作密封，如圖 3.18。另一方式為將天然橡膠附著在活塞上，經過硫化作用使硫原子與橡膠分子鍵結後，使橡膠變硬，再經加工後使橡膠形狀變圓，即可成為密封。

圖 3.19 為曲折式墊料設計圖為一種非接觸式密封，為利用雙道凹槽來減少洩漏。活塞設計圖如圖 3.20。

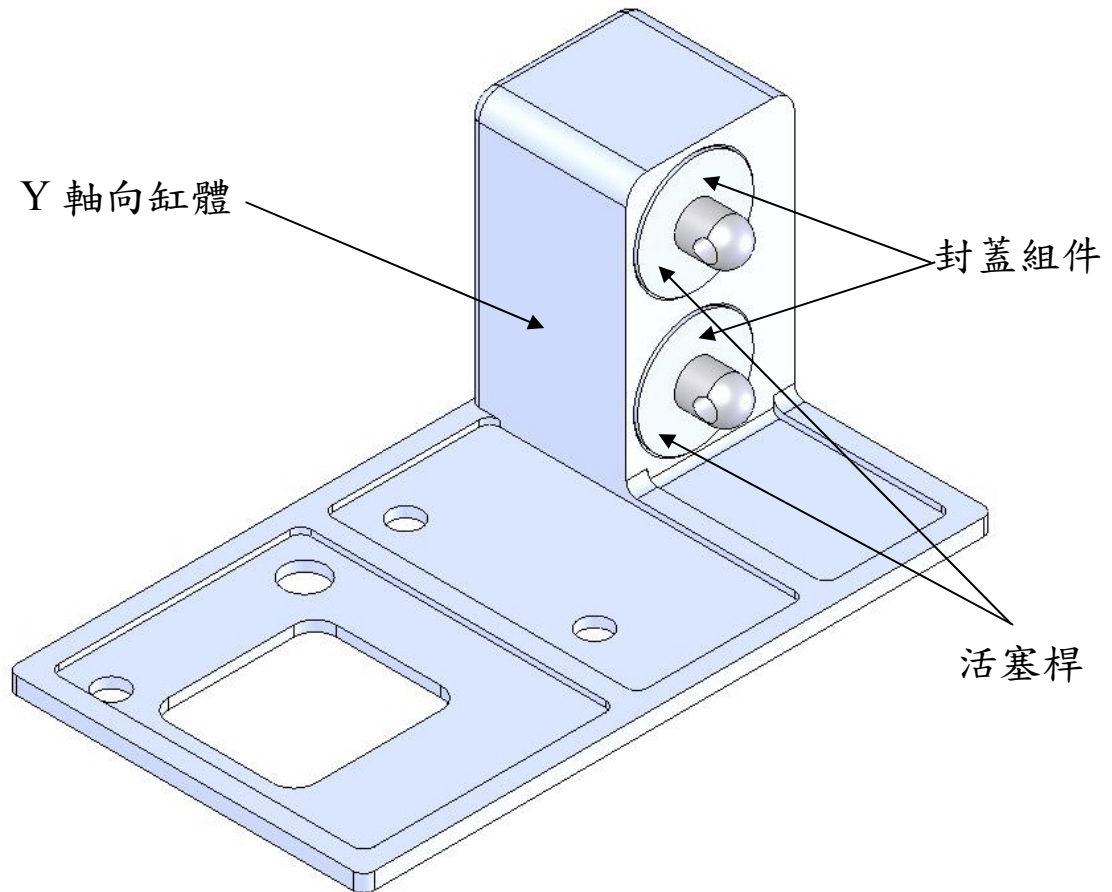


圖 3.12 Y 軸向致動器外觀設計圖

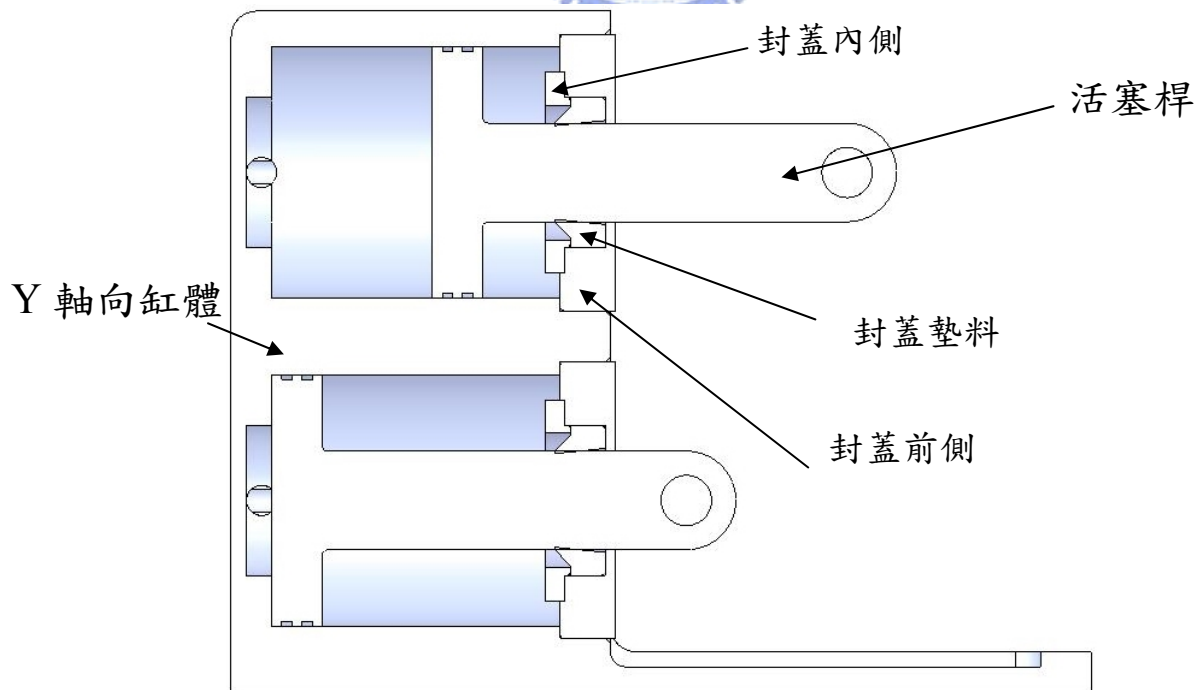


圖 3.13 Y 軸向致動器剖視圖

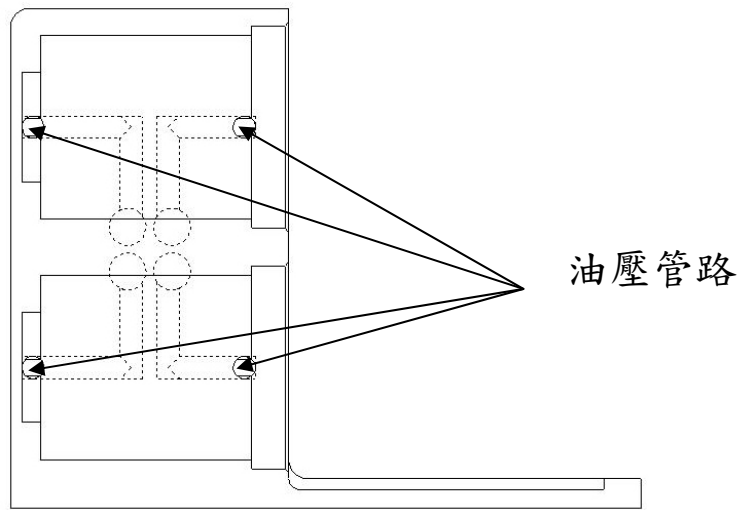


圖 3.14 Y 軸向致動器油壓管路設計

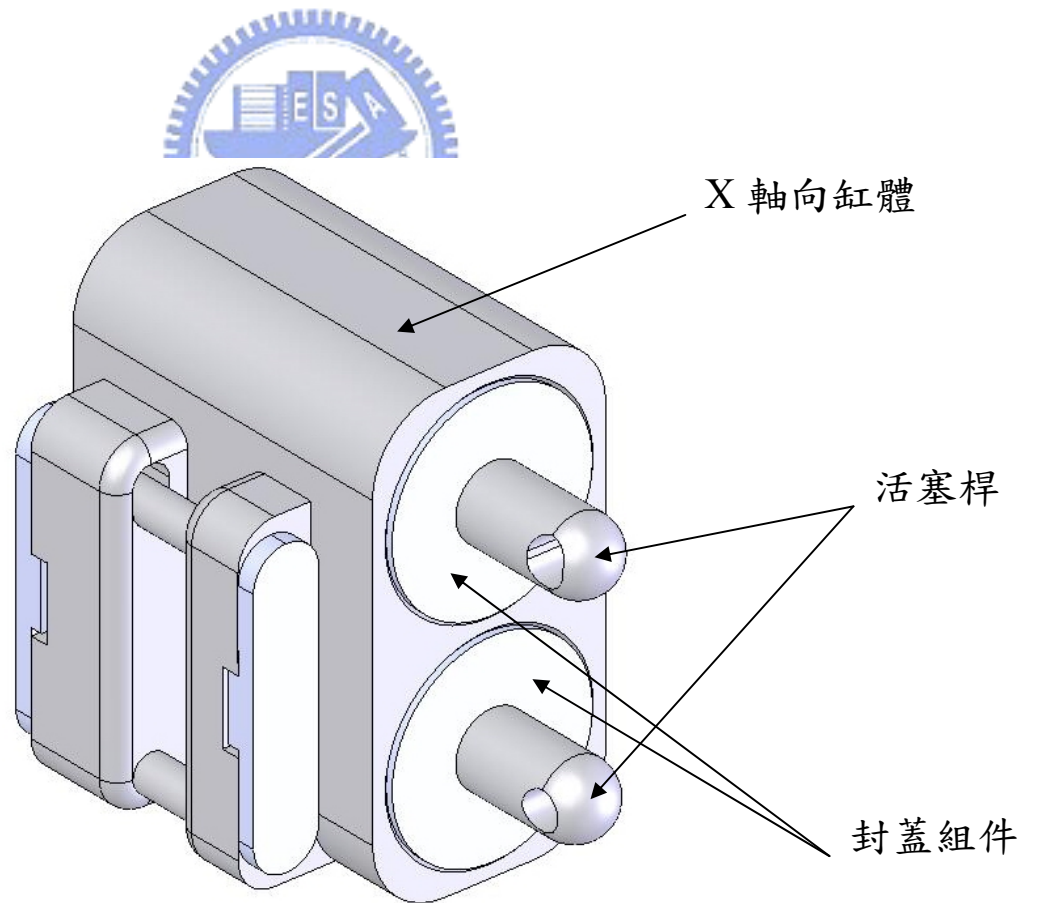


圖 3.15 X 軸向致動器設計圖

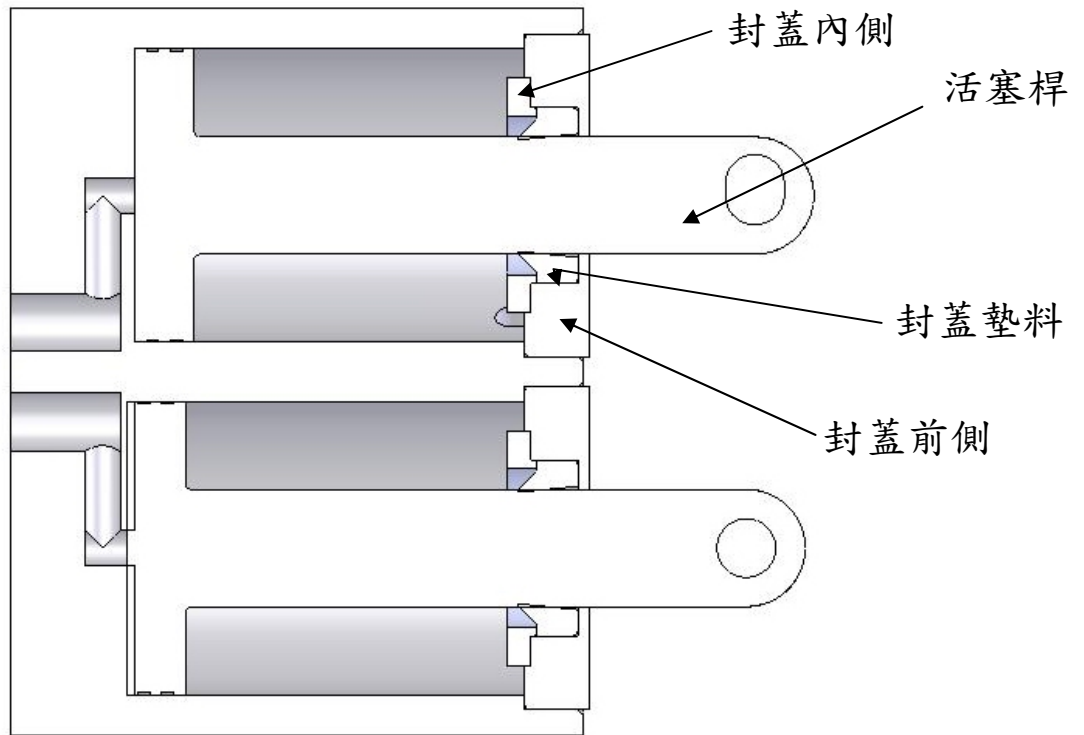


圖 3.16 X 軸向致動器剖視圖

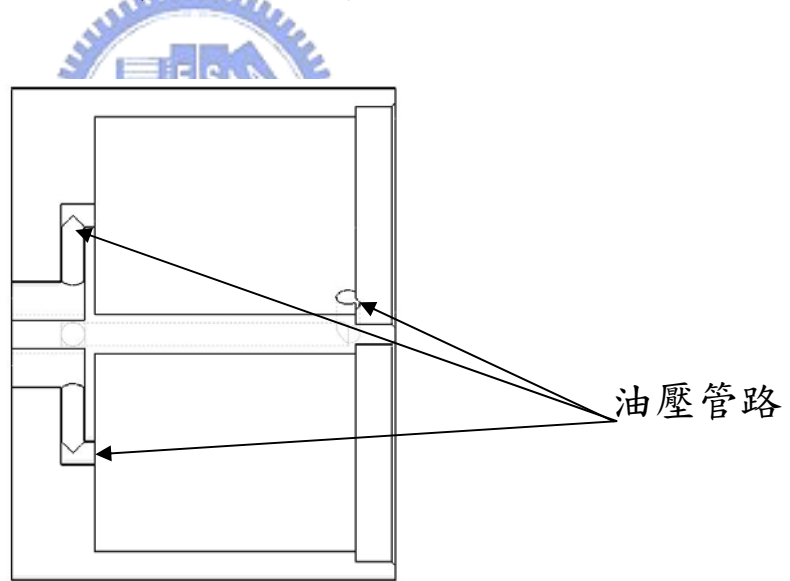


圖 3.17 X 軸向致動器油壓管路設計圖

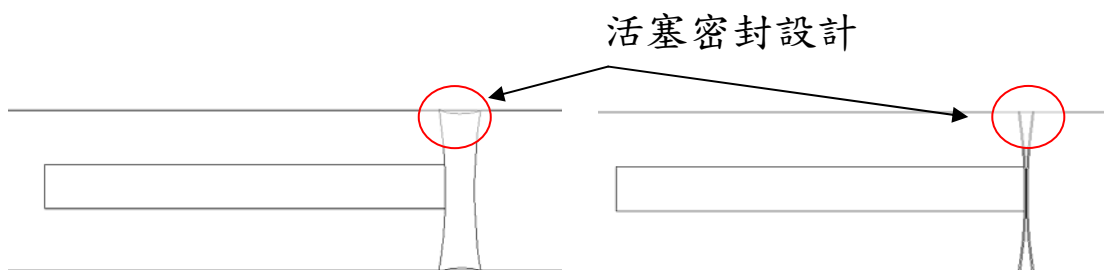


圖 3.18 唇口式密封

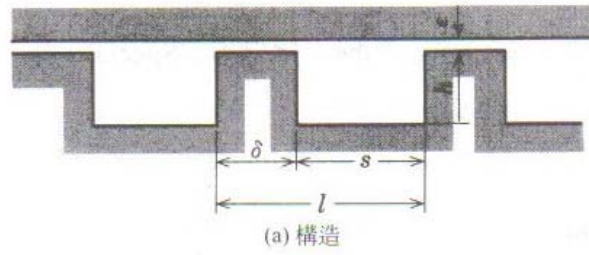


圖 3.19 曲折式墊料

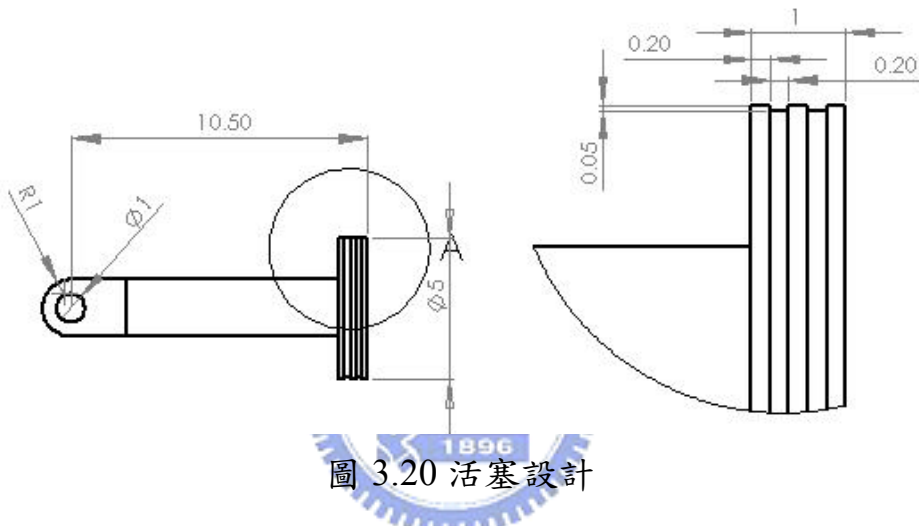


圖 3.20 活塞設計

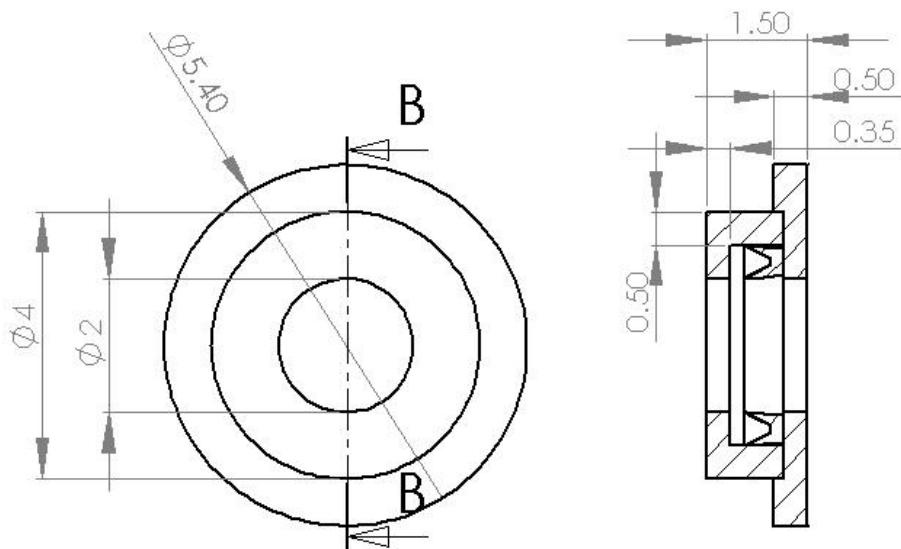


圖 3.21 封蓋組件

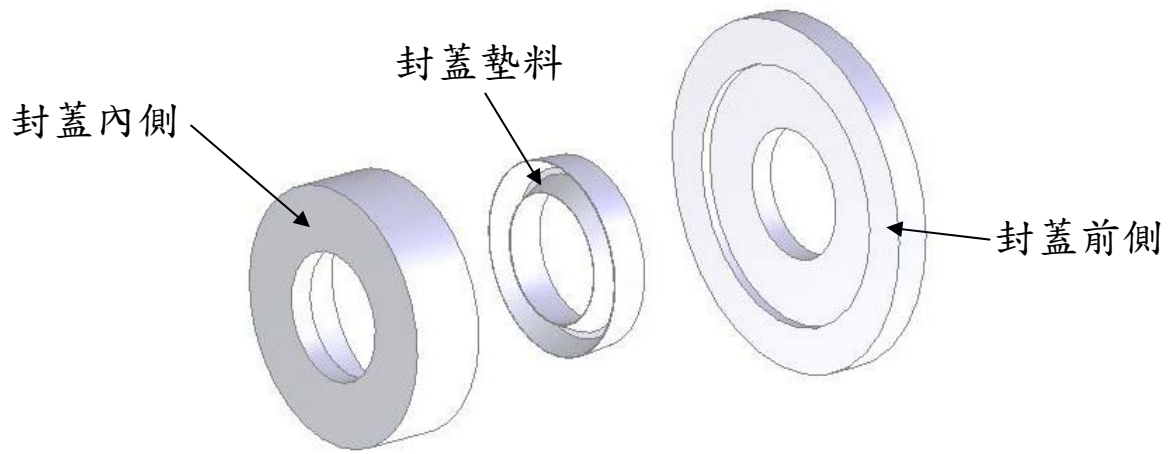


圖 3.22 封蓋組件元件

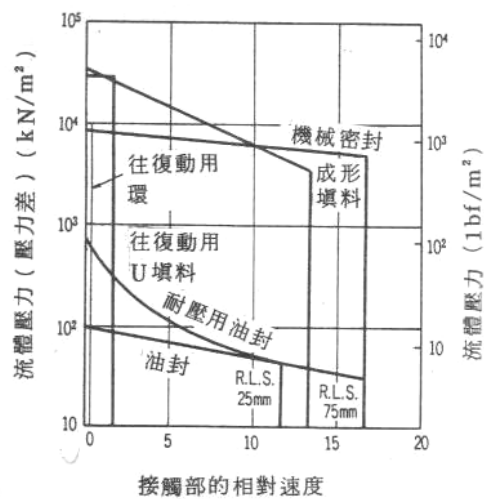
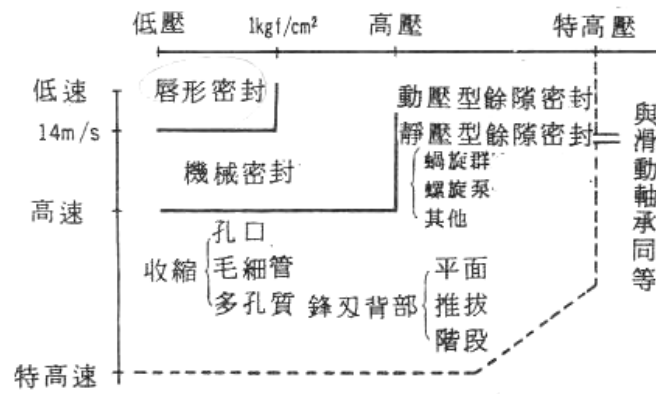


表 2 seal 類型選用範圍

密封設計參考 V 型墊料，由於在油體進入時，油體會先充滿於 seal 內擠壓兩側使油壓桿件達到密封效果。封蓋尺寸及組件名稱見圖 3.21, 3.22。

封蓋設計上外圍尺寸稍小於放置尺寸，可使封蓋於放置區內自由移動，目的為使封蓋在組裝時能夠修正其活塞桿與出口端的同心度使軸向能夠保持平行度。活塞位於極限位置圖 3.23，液壓油由油孔進入封蓋內側與剛體所形成的環狀空間充滿液壓油藉此產生壓力使活塞組件可以有後退的能力。

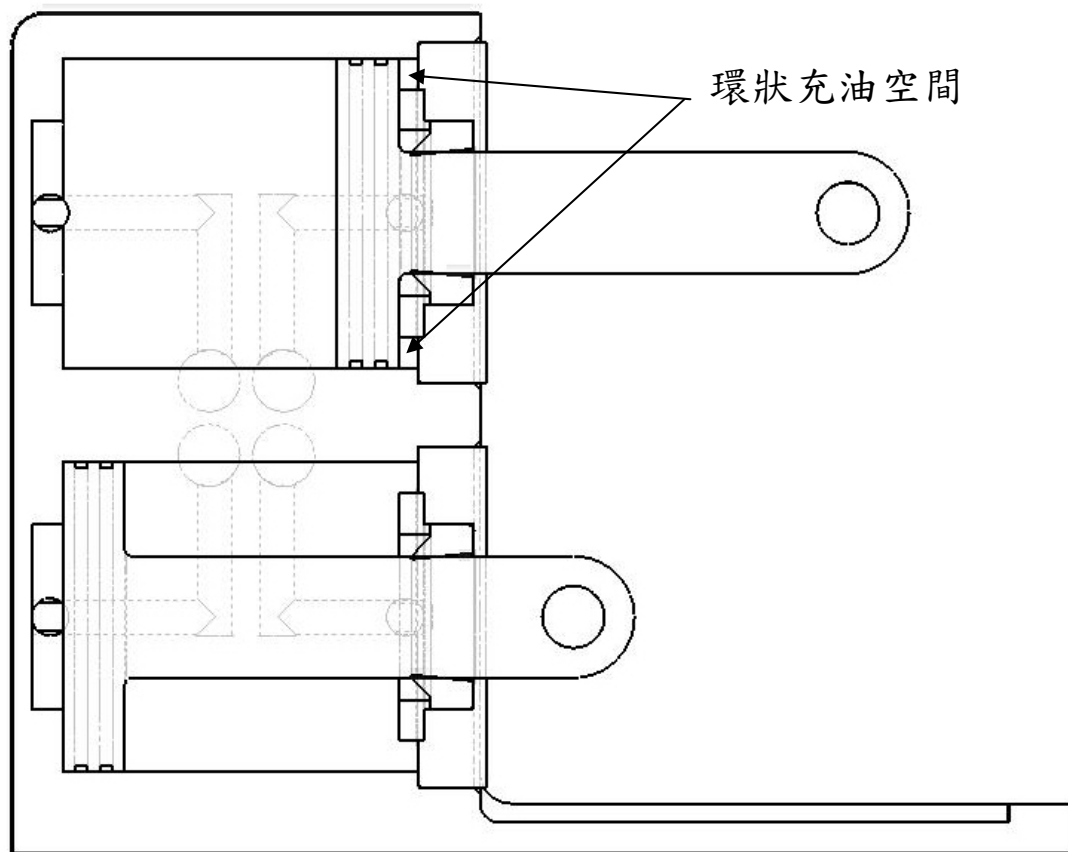


圖 3.23 活塞極限位置

四、Z 軸向致動器設計、製作與試驗

4.1 前言

傳統的油壓控制系統包含油槽、油壓油、幫浦、致動器、各式控制閥、油管、濾油器等等。幫浦為油壓系統的動力來源，將油槽內的液壓油吸入加壓，使得馬達機械能轉換成流體的壓力能。然而這種需要維持泵浦運轉的系統噪音較大，其他元件也佔有空間。更重要的是為了防止液壓油洩漏對人體產生影響，機器人所採用的是食品級的蔬菜油，並不適合用在傳統油壓系統中。因此微小機器人的油壓系統並不像傳統油壓系統中持續有流體流動，而是像圖 4.1。油壓系統中，主動缸與被動缸的管路相連接。只要在控制端控制主動缸活塞位置即可以立即控制被動缸活塞的位置，進而改變負載的位置或速度。



圖 4.1 機器人油壓系統示意圖

4.2 設計需求

Z 軸致動器(z-axis actuator)主要用來控制根管治療器械 Z 方向的作動。由於必須提供 500g 以上的推力來侵入牙冠，然而目前電子式馬達在小型的尺寸下並無法提供足夠的動力，因此 Z 軸致動器所採用的驅動方式跟 X 和 Y 軸致動器一樣，都是使用液壓式驅動。

設計上需精確地控制，使液壓缸中的活塞移動來帶動鋼帶(steel ribbon)上的工具固定座，達到治療所需的行程和進給速度。

4.3 構想與設計

1. 鋼帶基礎計算

如圖 4.2，鋼帶厚度 0.01mm，寬 4mm。上下蓋之半圓滑軌直徑為 2.8mm。而 $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$ 且 $M = \frac{\sigma I}{y}$ ，可得 $\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma}{yE}$ ，

其中曲率半徑 $\rho = 1.4 + y$ 。可求得 y 值和設計鋼帶厚度 $t = 2y$ 。

又 $\sigma = \frac{F}{A}$ ，可得鋼帶最大承受力量 F。不鏽鋼的為 $48 \sim 90 \text{ kg/mm}^2$ ，E 為

$19900 \sim 21000 \text{ kg/mm}^2$ 。設降伏強度 $\sigma = 70$ ，楊式係數 $E = 20000$ 代入式子。

可得 $y = 0.00526 \text{ mm}$ ，設計鋼帶厚度 $t = 2y = 0.0105 \text{ mm} > 0.01 \text{ mm}$ 。因此，鋼帶厚度在受力之後不會降伏。

又 $\sigma = \frac{F}{A}$ ，得鋼帶最大承受力量 $F = 2.94 \text{ kg} > 0.5 \text{ kg}$ 。所以鋼帶可承受之外

力超過 500g。

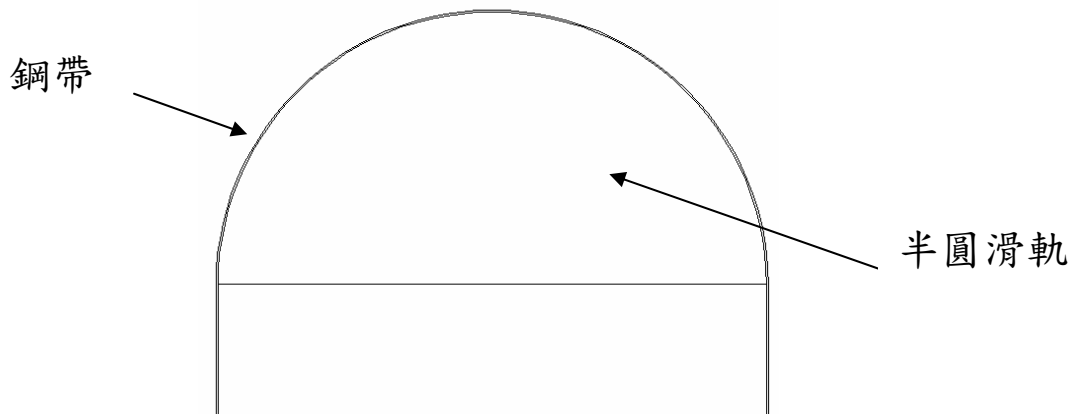


圖 4.2 鋼帶與半圓滑軌

2. 設計

Z 軸致動器包含了缸體、Z 軸前後蓋、半圓滑軌、楔形塊、活塞、鋼帶與鋼帶座(圖 4.3, 4.4)。缸體本身僅具有使活塞滑移的孔與鋼帶座移動所需的鳩尾槽。Z 軸前蓋用來放置半圓滑軌與楔形塊；Z 軸後蓋具有液壓油所需的油路。聯結在活塞上的鋼帶繞過半圓滑軌與鋼帶座連結，而 Z 軸前後蓋間會有密封防止液壓油洩漏。鋼帶座上具有與液壓缸體配合的鳩尾槽以及具速換工具固定座的速換設計。而 Z 軸致動器的組合方式為：將活塞連結上鋼帶後，放入缸體中，使鋼帶穿過上下蓋，再將上下蓋與缸體密合。最後將鋼帶拉緊且與鋼帶座結合，再使用楔形塊使鋼帶張緊。即完成 Z 軸致動器。利用楔形塊張緊鋼帶示意圖如圖 4.5。

為了減少從口腔中拉出的管路數量和體積，所以將油壓缸體所需的油管出入孔設計相鄰，而能使兩孔之管路包覆在同一管路中。圖 4.6 為 Z 軸致動器後透視圖，下方油壓管路經缸體本身的通道延伸到上方後蓋。

缸體一面具有鳩尾槽與鋼帶座配合(圖 4.7)。缸體上端 Z 軸前蓋與後蓋用來防止液壓油洩漏，且後蓋具兩個油壓管路出入孔(圖 4.8,4.9)。

鋼帶座上具有與缸體配合的鳩尾槽，和為了與工具固定座作定位的兩個圓形的插銷。鋼帶座長寬高分別為 7.1mm、0.8mm 與 4mm，如圖 4.10。活塞直徑 5mm，厚度 1.2mm，中間的狹縫寬 0.3mm，長 4mm。活塞採精密的滑動配合和一道寬 0.4mm 的溝槽來防止洩漏，如圖 4.11。鋼帶厚度 0.01mm，寬 4mm(圖 4.12)。

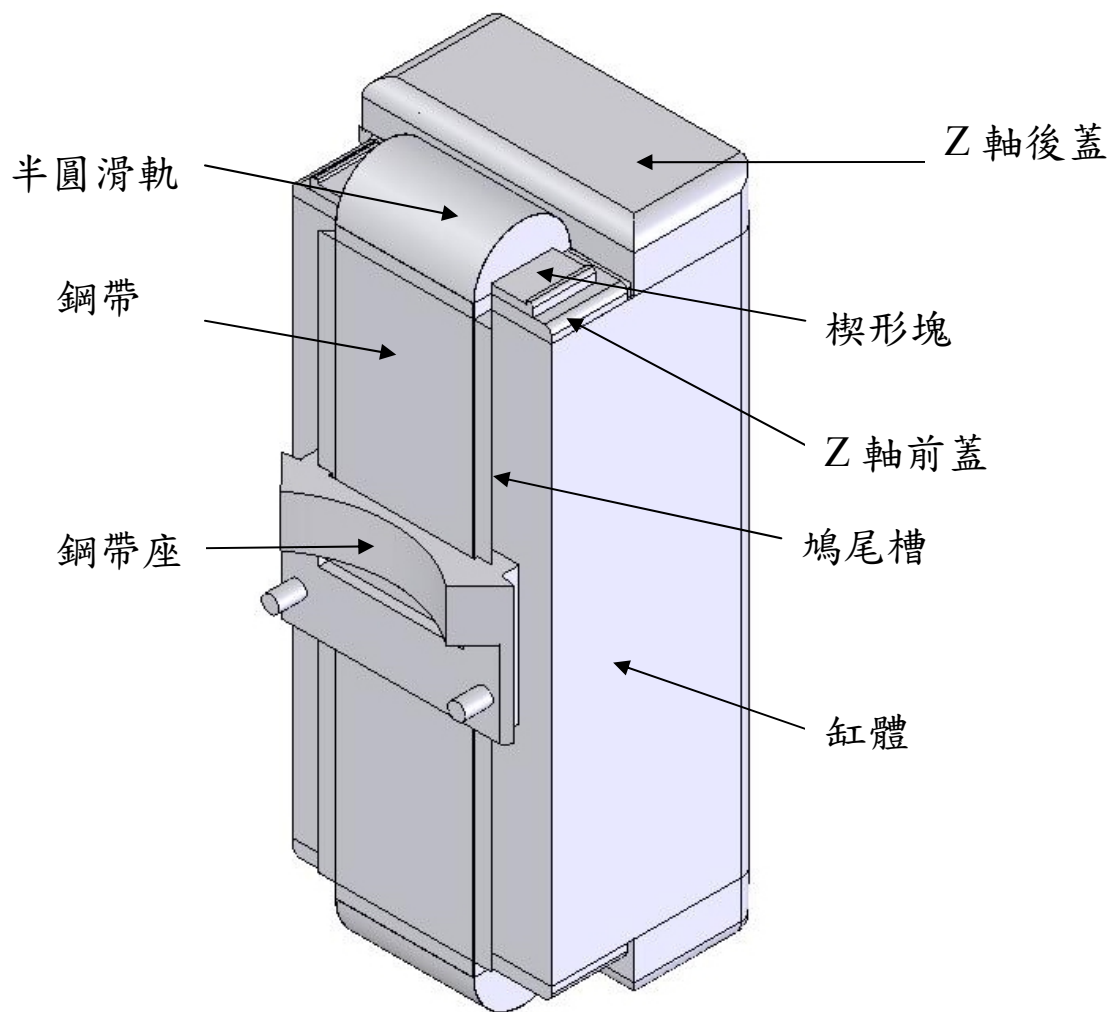


圖 4.3 Z 軸致動器

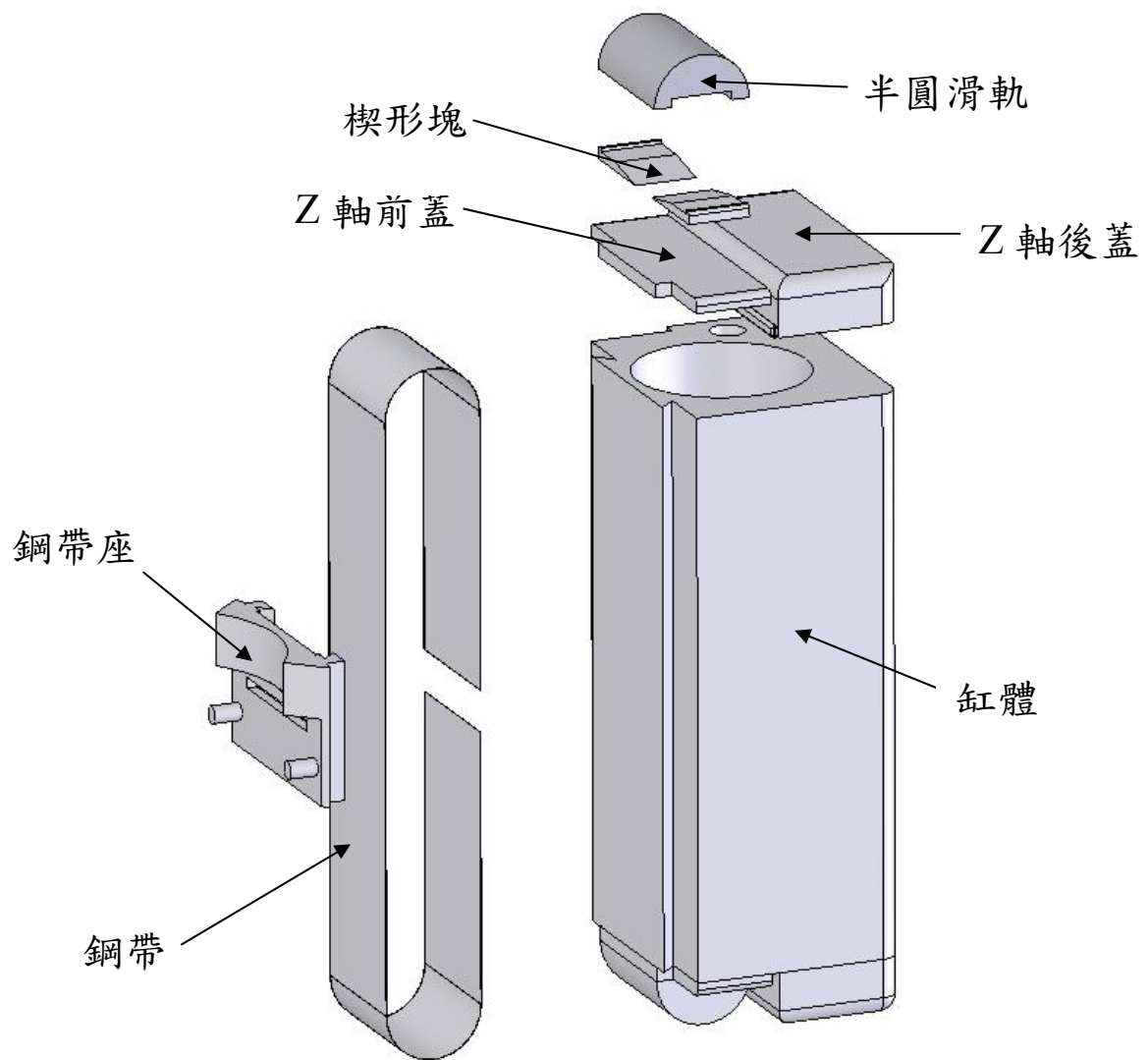


圖 4.4 Z 軸致動器分解圖

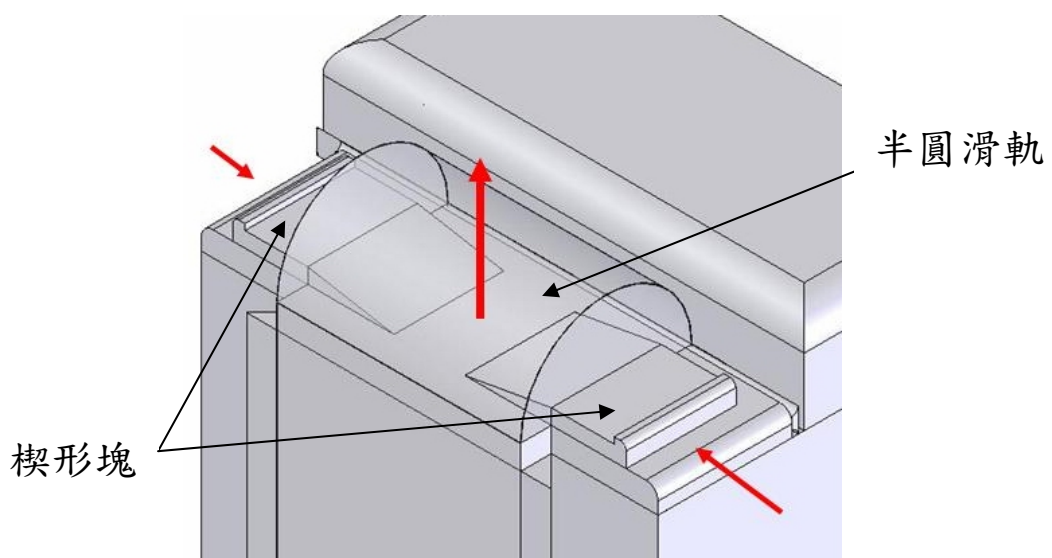


圖 4.5 利用楔形塊張緊鋼帶示意圖

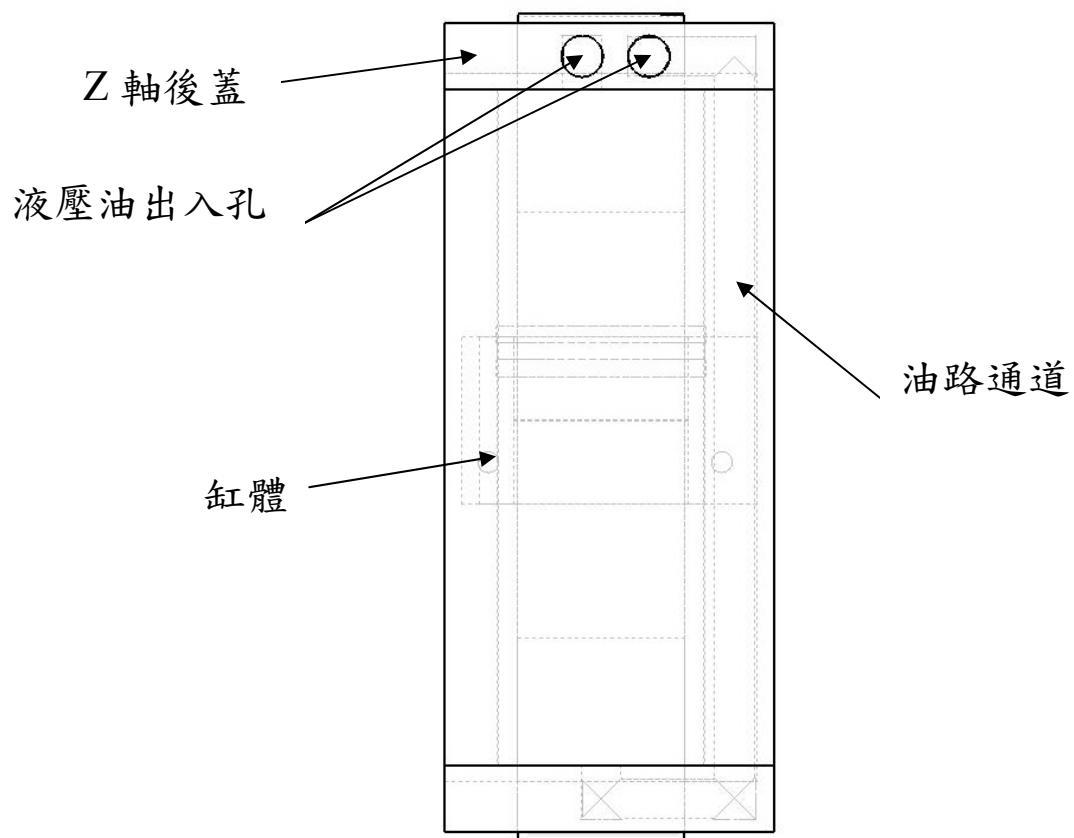


圖 4.6 Z 軸致動器後透視圖

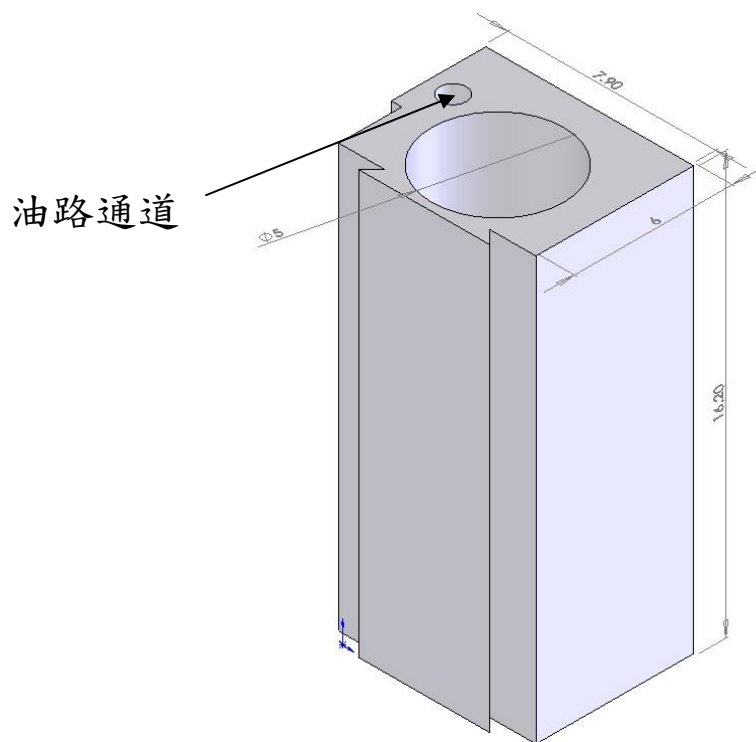


圖 4.7 Z 軸缸體

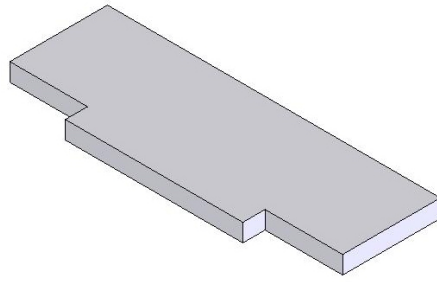


圖 4.8 Z 軸前蓋

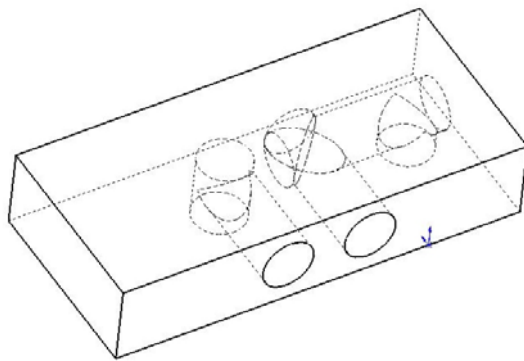


圖 4.9 上端 Z 軸後蓋

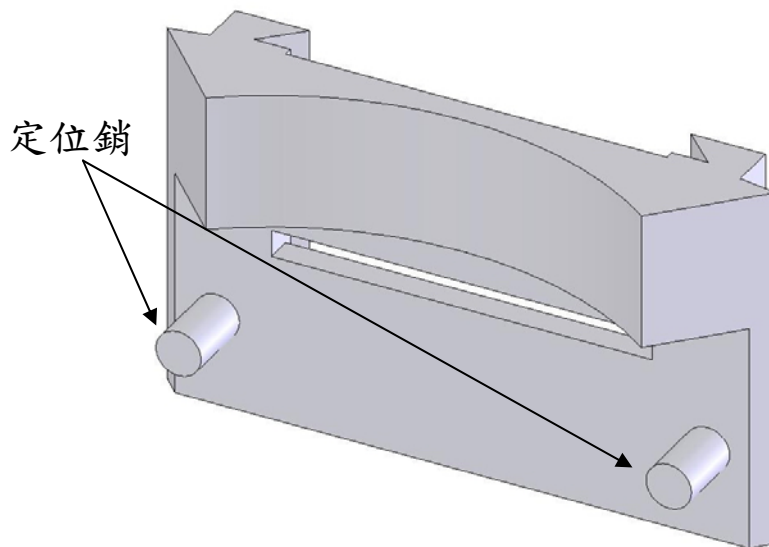


圖 4.10 鋼帶座

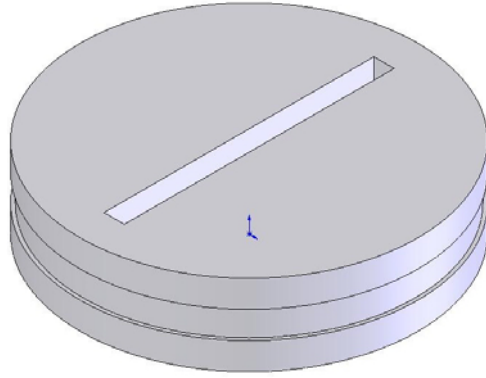


圖 4.11 活塞

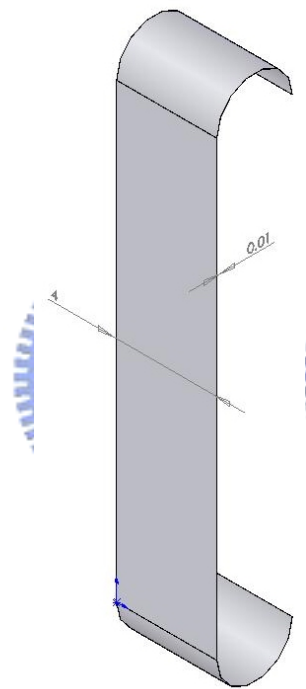


圖 4.12 鋼帶

4.4 Z 軸向致動器之試驗

根管治療微小機器人在做治療時，一個很重要的需求就是鑽針位置的精確度(計畫中治療所需的精確度為 0.02mm)。而鑽針位置是藉由五軸的小型油壓缸來控制。因此瞭解 Z 軸致動器是否能夠順暢運作，以及在發生液壓油洩漏情形下(圖 4.13)藉由著主動缸的控制是否能精確的控制位移是相當重要的。

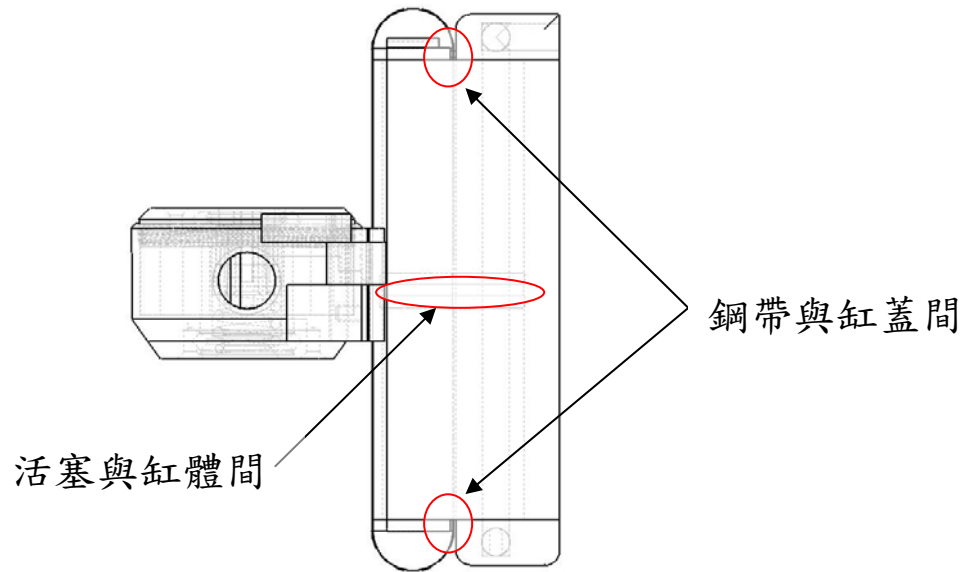


圖 4.13 會發生液壓油洩露處

4.4.1 試驗平台設計

圖 4.1 中，被動缸即代表 Z 軸致動器，負載即工具固定座、鑽針與侵入力。因此需設計主動缸來控制 Z 軸致動器。系統主動缸包含缸體、缸蓋、活塞和活塞桿等等(圖 4.14)。圖 4.15 為主動缸剖視圖，具有兩道 O-ring 防止洩漏。

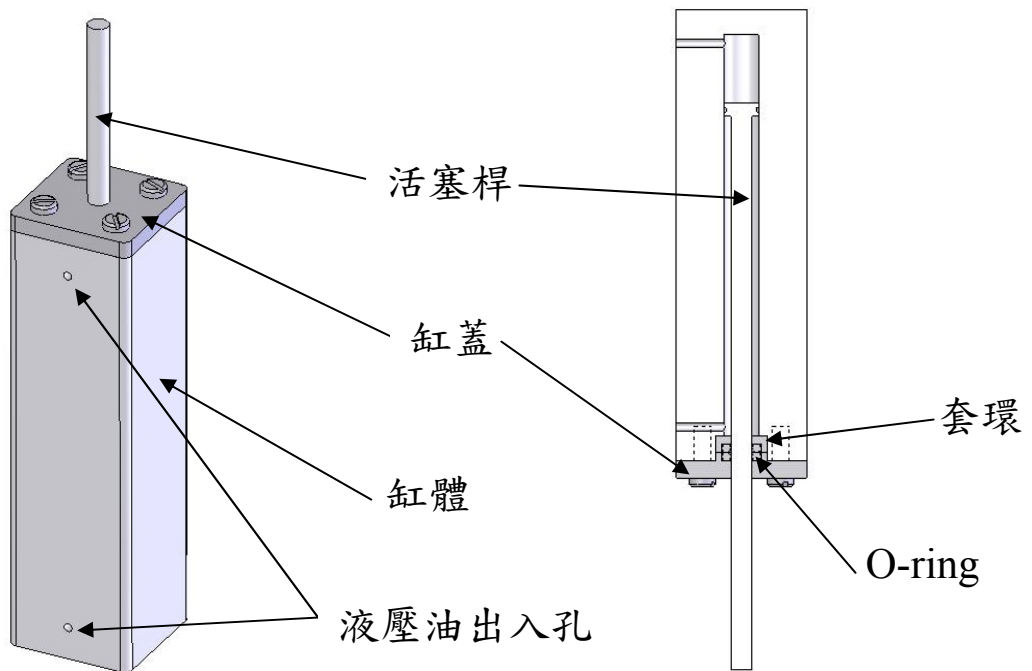


圖 4.14 主動缸外觀圖

圖 4.15 主動缸剖視圖

試驗平臺由主動缸與被動缸(Z軸致動器)和油管相連接形成一個迴路(圖 4.16,4.17)。

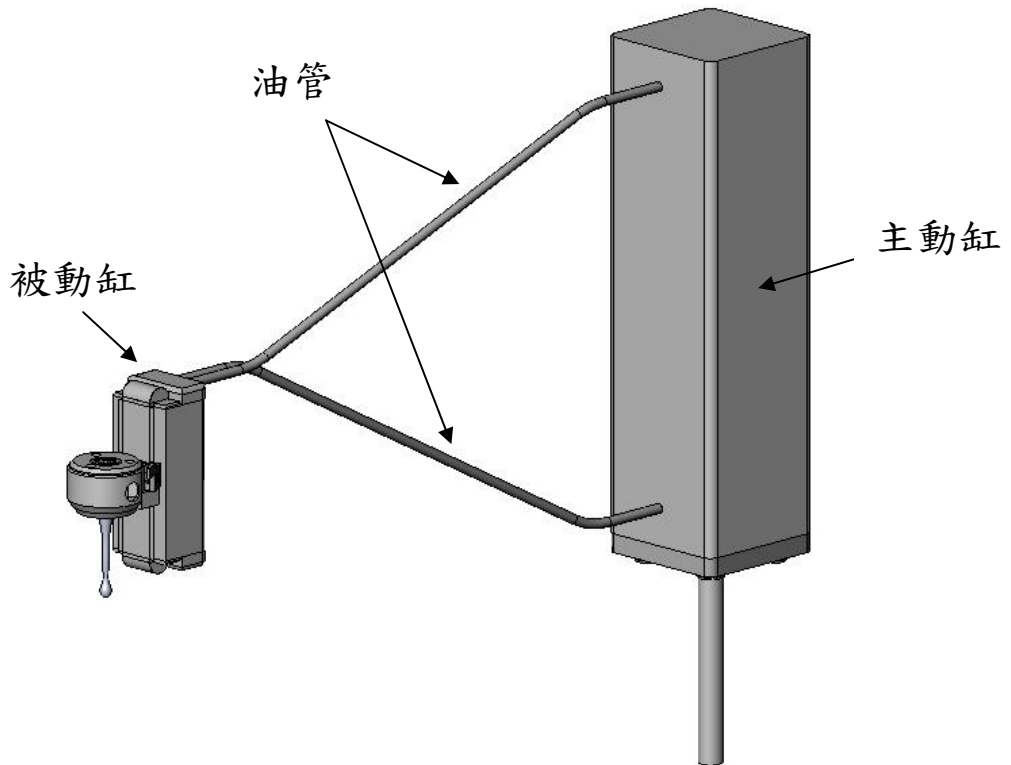


圖 4.16 試驗平臺設計

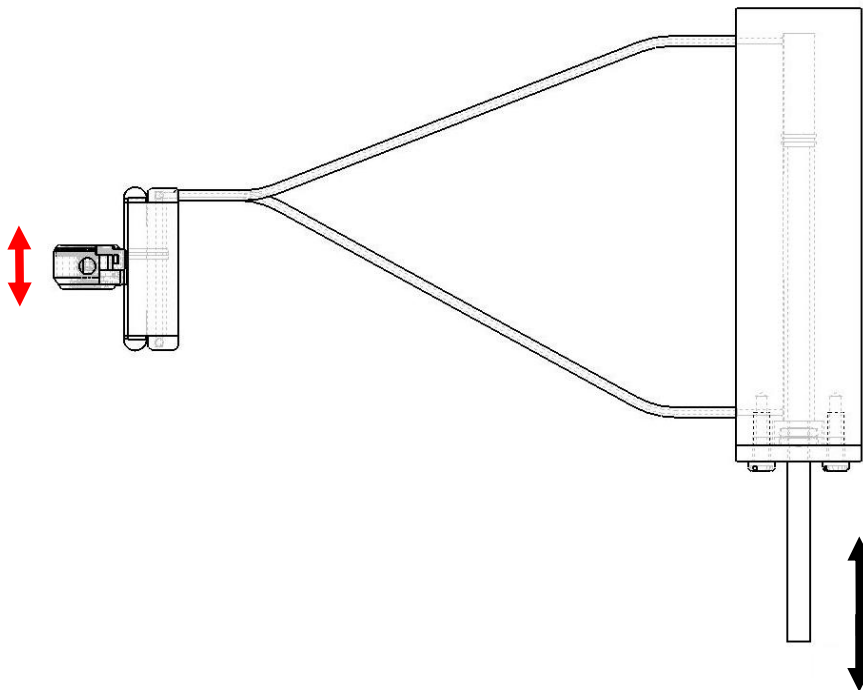


圖 4.17 試驗平臺設計側視

主動缸零件包含缸體、活塞桿、缸蓋、O-ring、套環和 M2 螺絲(圖 4.18)。圖 4.19 為主動缸組合圖，油壓管路出入口附有兩根 1mm 不鏽鋼管。

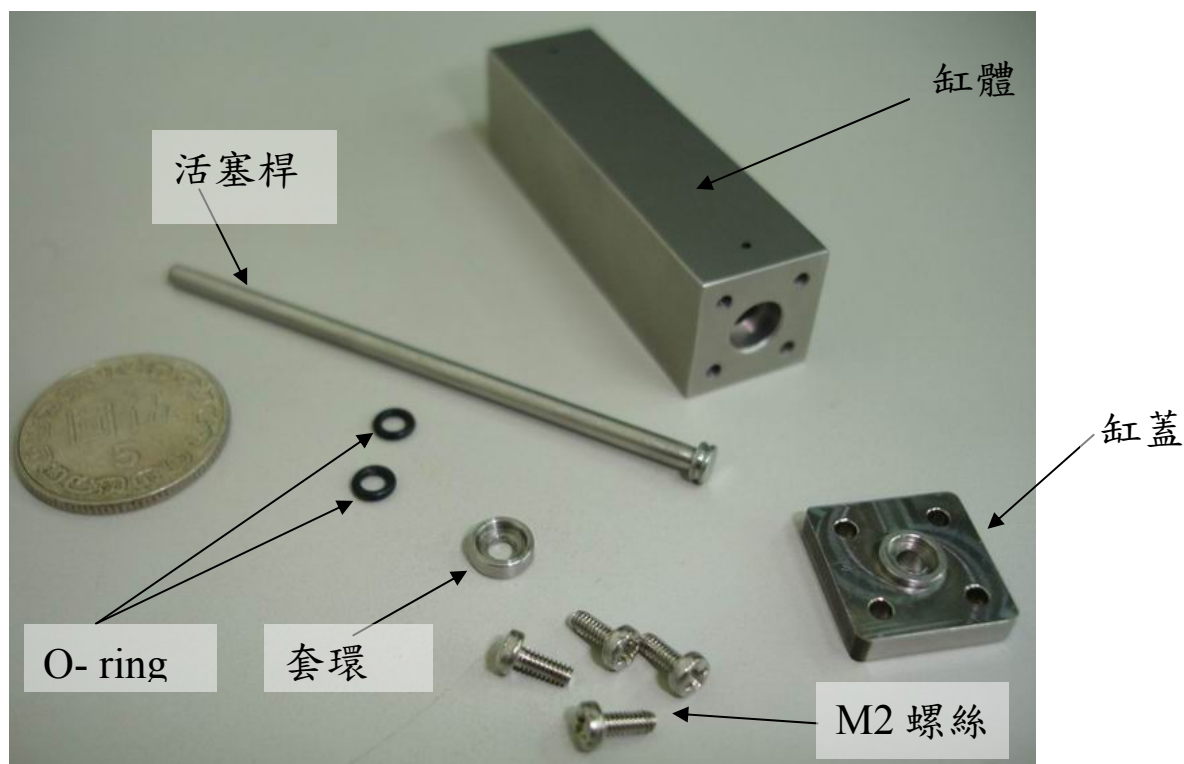


圖 4.18 主動缸零件圖

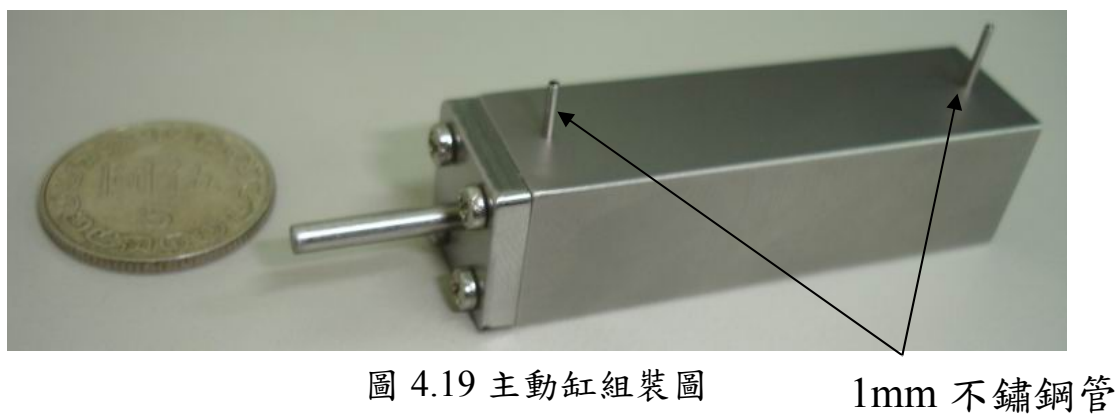


圖 4.19 主動缸組裝圖

1mm 不鏽鋼管

被動缸零件包含缸體、活塞、鋼帶、鋼帶座、半圓滑軌、前後缸蓋、壓板、不鏽鋼管、固定塊和 M1 螺絲，如圖 4.20。

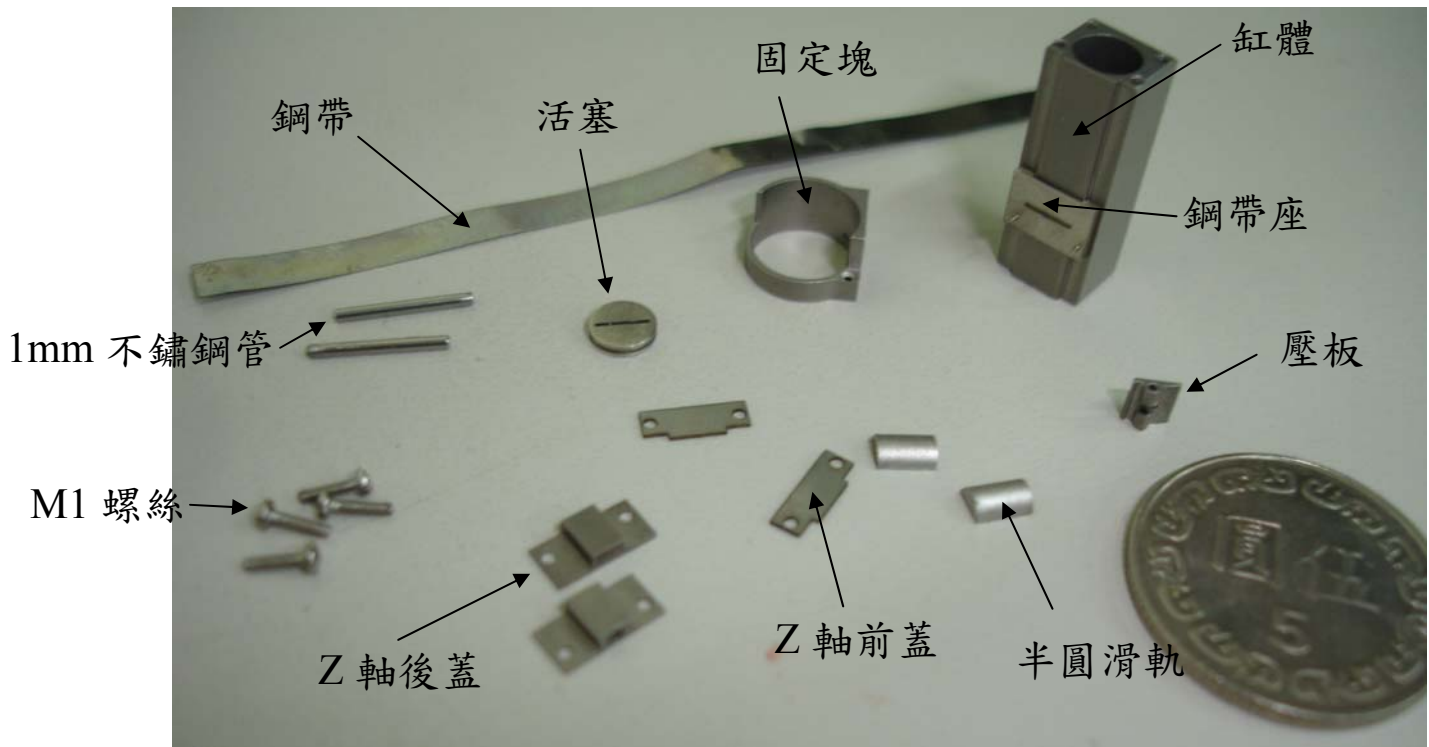


圖 4.20 被動缸零件圖

被動缸組裝後如圖 4.21。實際上 Z 軸前蓋與 Z 軸後蓋皆採用 M1 螺絲固定，缸蓋與缸體之間塗上一層矽膠來防止洩漏。油管也是由上下兩處流出流入，並外接 1mm 不鏽鋼管並使用瞬間膠黏合固定。

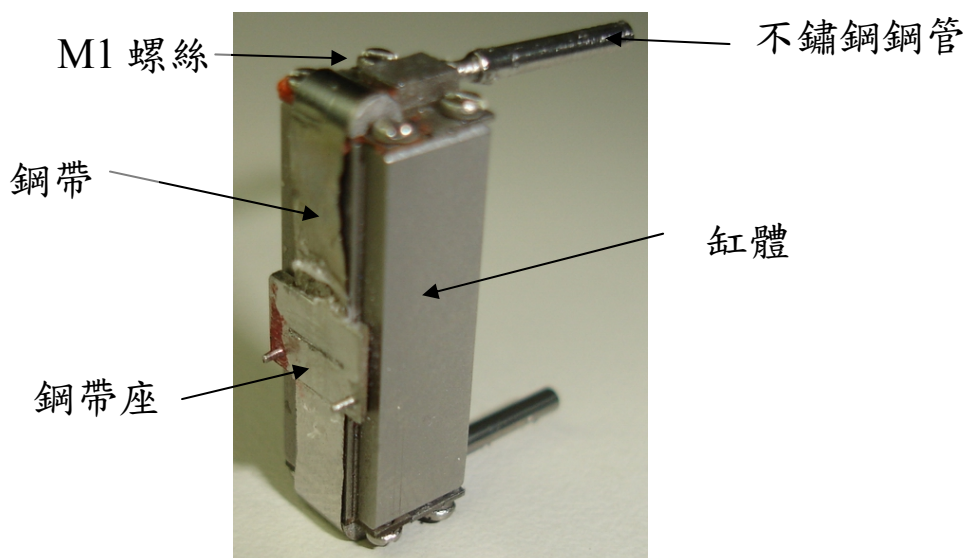


圖 4.21 被動缸組裝圖

4.4.2 試驗步驟

首先將被動缸的活塞與鋼帶放入缸體之中，再將前蓋鎖上，接著將鋼帶穿入鋼帶座的溝槽中且放入半圓滑軌，使用環氧樹脂將鋼帶固定在鋼帶座上並且張緊。完成後將被動缸放入油中使活塞上下移動來排除氣泡。主動缸也放入油中組裝，亦使活塞來回移動確保缸內沒有空氣。後缸蓋外接的不鏽鋼管使用油壓管連結。最後將後缸蓋鎖上，且把軟管另一端接上主動缸，即完成實驗平台，如圖 4.22。

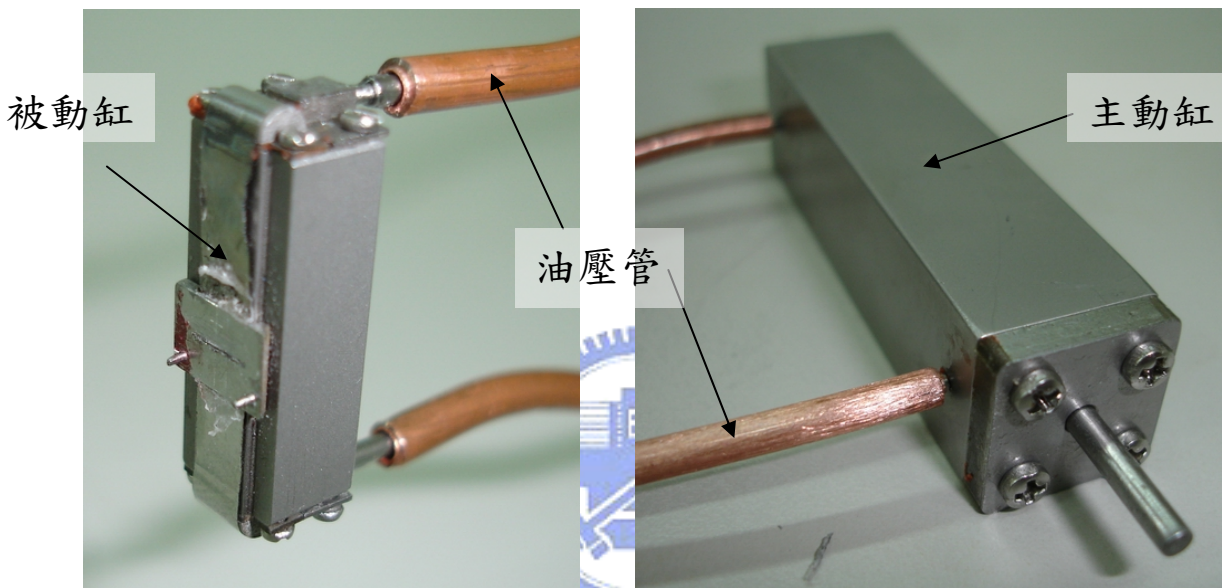


圖 4.22 試驗平台完成圖

被動缸缸徑為 5mm，主動缸缸徑為 4mm。假設活塞與缸蓋皆沒有洩漏的情形下，面積比主動缸：被動缸為 25:16，則行程比為 1:0.64。移動主動缸一個單位，接著量測被動缸鋼帶座移動距離。因此，被動缸鋼帶座應移動 0.64 個單位。若鋼帶座經過量測並沒有移動足夠的單位，即可知道有發生洩漏的情形。

4.4.3 試驗結果與討論

試驗結果發現，當平台在液壓油中時，當主動缸移動時，被動缸移動還算平順，但移動距離並沒有很精準且偶有氣泡冒出(圖 4.23)。而在空氣中試驗時液壓油洩漏的情形非常明顯。當主動缸移動時，液壓油一

直從缸蓋間冒出，被動缸移動距離更不精準，如圖 4.24。而且移動過程中鋼帶座並沒有移動的很順暢，推判活塞和缸體的配合不夠精密，導致活塞和缸體圓孔並沒有同軸。一方面產生洩漏，一方面也增加缸壁摩擦力。鋼帶也因半圓滑軌沒有經過拋光研磨也產生摩擦。鋼帶座上的鳩尾槽與配合的缸體鳩尾槽也因表面的關係產生摩擦。

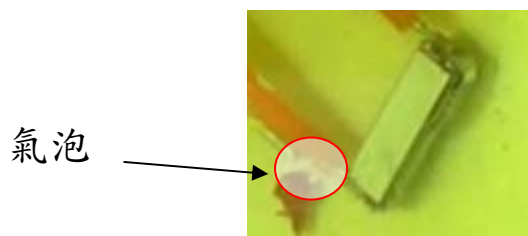


圖 4.23 氣泡

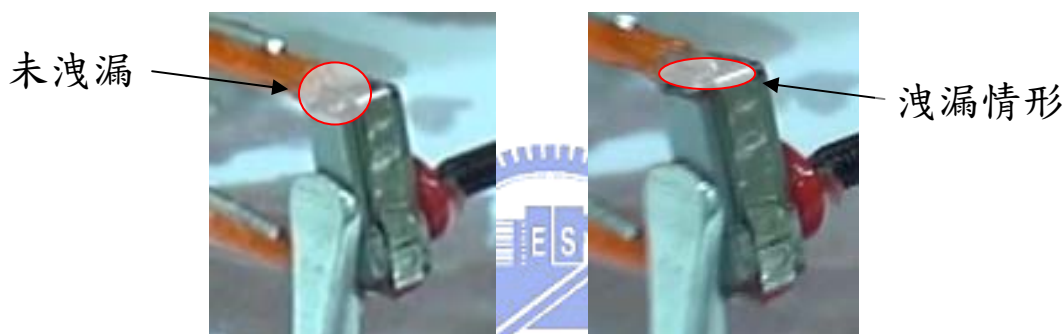


圖 4.24 洩漏情形

4.5 結論

由試驗結果顯示，計畫書中使用不鏽鋼鋼帶來替代活塞桿的傳動概念確實是可實行的。利用兩端的液壓油進出可以利用鋼帶傳動使鋼帶座移動。然而在試驗過程中發現，要達到高精度的位移控制，鋼帶張緊變成一個很重要的問題。而且如何使用密封使油壓缸的洩漏減少也是一項問題。

五、工具固定座設計、製作與試驗

5.1 前言

工具固定座為替換根管治療手術中鑽針的器具，即市面上所稱的高速手機(handpiece)，為應付在治療過程中所使用不同的鑽針所設計的。市面上許多根管治療專用的高速手機產品大多數採按鈕式(push button)設計而具有器械速換的功能。速換功能能夠大大的縮短總手術時間、真正花費在手術上的時間較多，因此手術效率較高，也能夠減少手術成本。

雖然高速手機已經發展多年，然而市面上的高速手機體積過於龐大，不適合與微型機器人結合來進行治療。因此本章節中欲改善這項缺點進行設計。首先介紹目前高速手機速換設計常用的設計：

高速手機器械速換設計專利 1[11]，為高速手機工具固定座的剖面設計圖，如圖 5.1。當高速手機外接上高壓空氣管路後，外接的高壓空氣便迅速經由流道便吹入並吹動葉片，使葉片帶動器械軸套旋轉。固定座中有一對軸承來減低旋轉摩擦力。另外，此專利使用固定爪來固定器械，使器械受到外加負荷時不打滑。當用手指將按鈕向下按下時，會使套筒(sleeve)向下滑動，此時爪部份便不受另一套筒的斜面壓迫，進而沿徑向方向向外移動，器械得以鬆脫，就可以更換另一器械。當下一器械放入之後，再放開按鈕，彈簧向上回彈，使爪上移又受斜面壓迫，沿徑向內移動來固定器械，即可再繼續進行治療。

專利設計 2 [12]，如圖 5.2。亦採用按鈕來更換器械。當用手指將按鈕按下且使夾頭向下移動，便把套筒向外撐開，使間隙變大。因此，器械得以退出更換。而此專利所使用的動力源一樣是高壓空氣。高壓空氣從流道吹入，帶動葉片旋轉，使器械能做治療的動作。

專利設計 3 [13]，如圖 5.3。同樣是採用按鈕來更換治療器械，當把按鈕壓下時，會壓下釋放銷，銷的另一端有楔形物將上端分離的套筒撐開。而此專利與上一專利差異較大的設計為動力源的設計。此專利採用的是齒輪設計。利用齒輪的旋轉與附在旋轉軸套筒上的齒輪相咬合，進而帶動器械的旋轉。

由三個專利中可以發現，傳動方式有氣壓式與齒輪式設計兩種。然而齒輪式設計需要傳動桿來傳動，對於微小機器人來說並不適合使用。所以氣壓式傳動方式比較適合的。另外，為了減低摩擦力，專利設計中都有使用軸承。然而這種方式卻增加了高速手機體積。因此，本論文要基於高速手機專利設計，以創新的方式改善這項缺點。

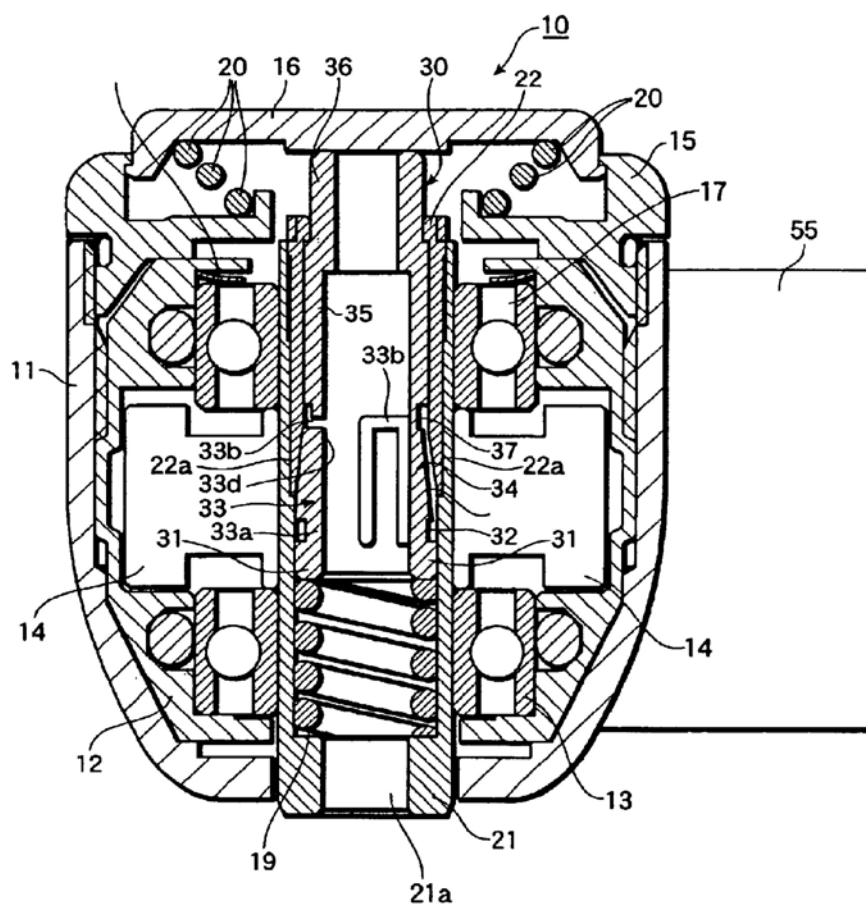


圖 5.1 專利 1

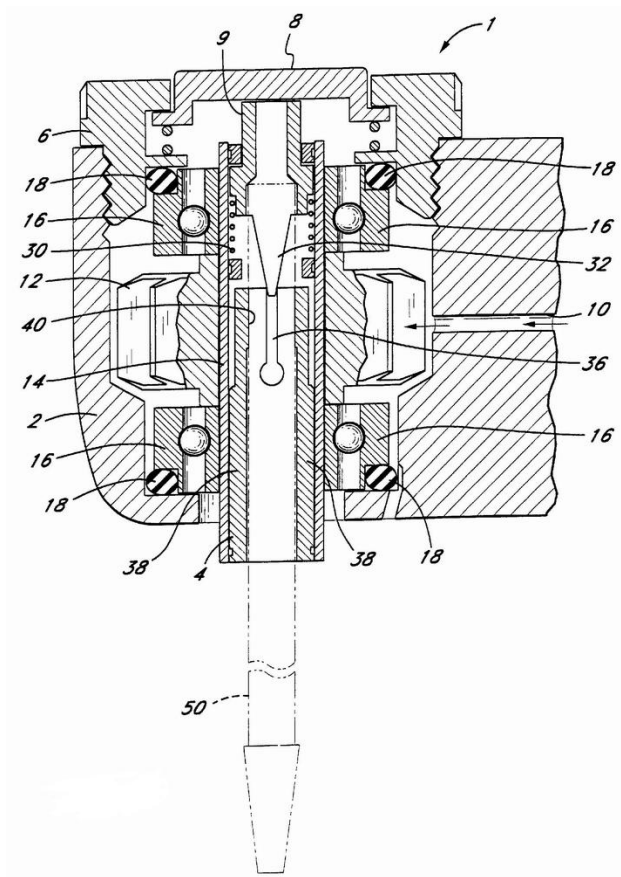


圖 5.2 專利 2

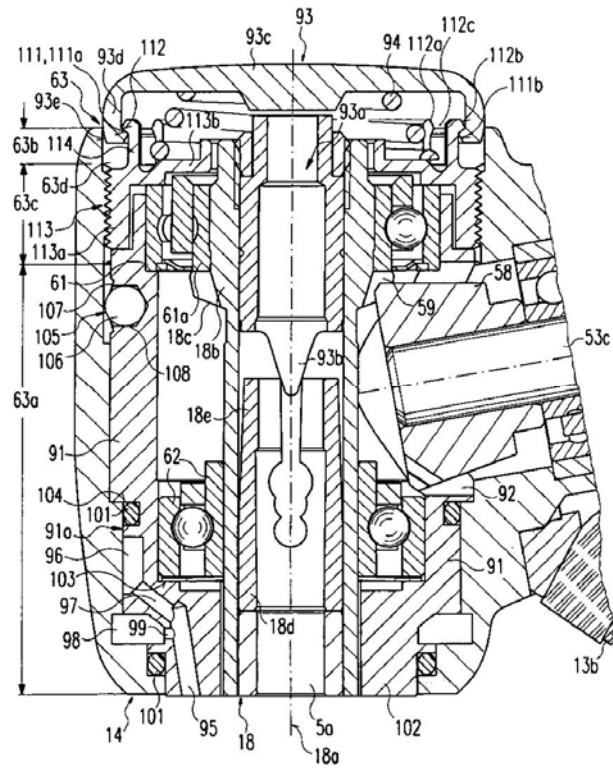


圖 5.3 專利 3

5.2 設計需求

工具固定座是為了針對根管治療每個步驟所需要的器械來作設計，固定座配合鋼帶座在 Z block 的滑軌上滑移時必須很平順且很精確，器械也必須固定地很穩固。另一方面，為了減少治療時間及增加方便性，因而需要器械的速換。另外固定座需要有動力源來驅動旋轉器械。

5.3 固定座設計圖

基於專利設計並且改良後的固定座剖面設計如圖 5.4。固定座元件為上蓋、下蓋、上 housing、下 housing、錐面套筒、葉片、套筒、鑽針夾、滾珠、密封、彈簧與螺絲。圖 5.5 為外觀設計圖。

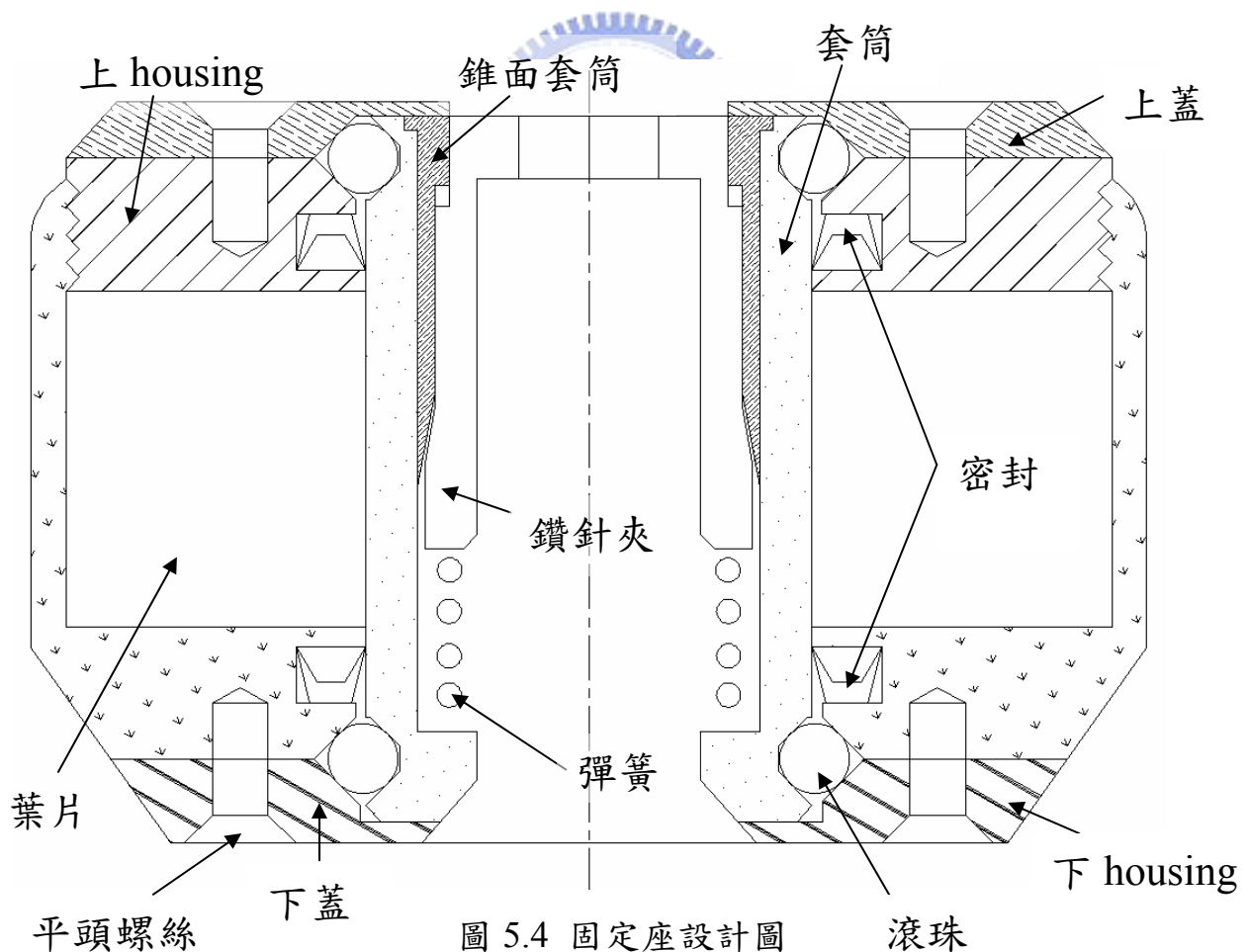


圖 5.4 固定座設計圖

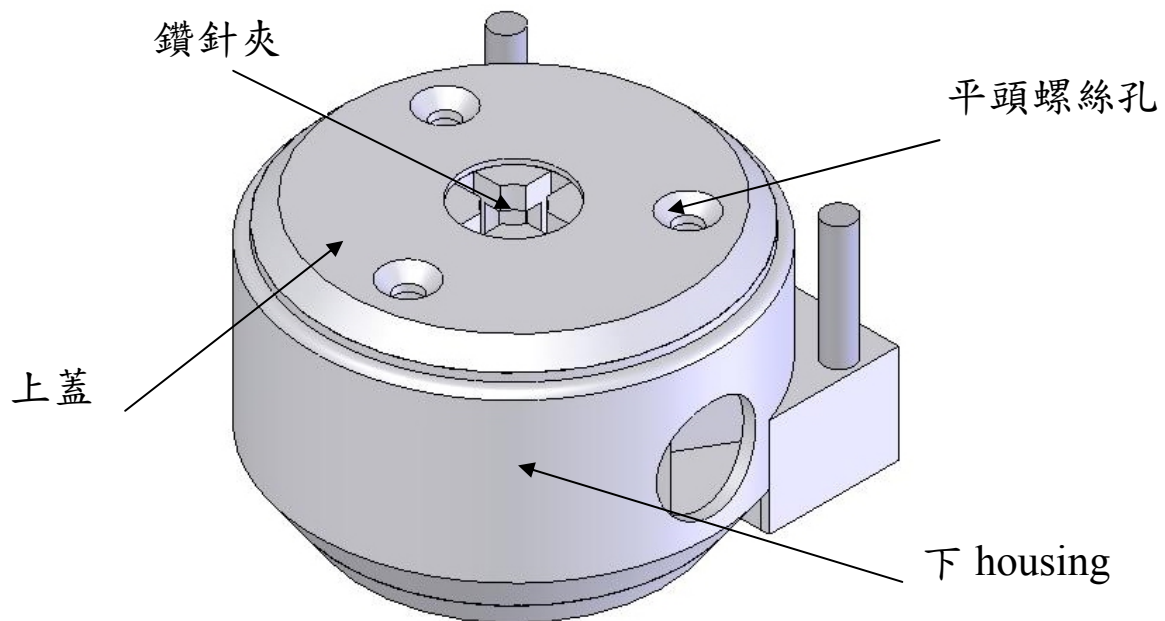


圖 5.5 工具固定座

5.4 器械之速換設計

由以上三篇專利說明來看，皆藉由按鈕來作器械的更換。且按鈕會推動推桿使爪撐大釋放器械。除了使用爪的設計，亦有使用楔形塊、卡銷或是鋼珠來固定器械。卡銷和滾珠的設計還必須另外將器械的柄做加工。楔形塊挾持器械時，接觸面積較大，且不需要將器械作另外的加工。

速換功能上不僅要更換不同的器械，並且要能夠快速地更換。因此，設計上操作要符合人體工學、器械更換上的時間必須要快速而且儘可能以單手操作。而器械固定的第一步驟是準確的定位，也就是說有個基準使每一次的器械都能夠放至在同一個位置上。接著鎖定，將器械穩固地固定在位置上，這步驟完成之後即可做治療。待需要更換下一器械時，便要容易地解鎖，解鎖後即可更換器械。

在器械固定第一步驟即是能夠準確定位，在推桿內部頂端具有一個面來當做基準，使器械放入時都能位於相同的位置上。第二步驟為工具固定，設計上主要採用鑽針夾配合彈簧來固定治療器械。一套筒內具有錐面稱錐面套筒，鑽針夾在錐面上滑移。當力量施加時，會將鑽針夾和彈簧向下壓。此時，鑽針夾夾頭亦會沿著錐面沿徑向向外移動，此時器械可插入至鑽針夾內部頂端。再將力量移除後，彈簧的伸張力又會將鑽

針夾向上推，此時鑽針夾夾頭亦沿徑向向內移動來鎖住器械。若想要更換器械時，只需再將力量施加使器械退出即可。

在退出器械時，需使用另外的配件如圖 5.6 來將鑽針夾向下頂，設計按壓行程為 0.15mm。只要將工具固定座頂部的凹處壓入配件的凸處即可替換器械。

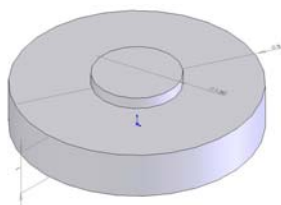


圖 5.6 配件

鑽針夾設計如圖 5.7，具有四片爪來固定鑽針。

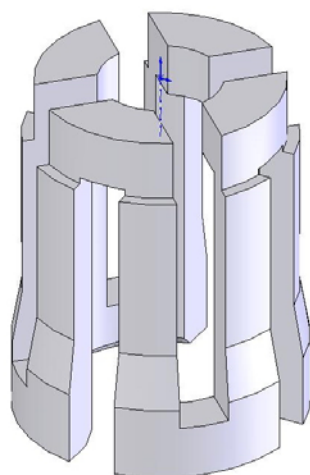


圖 5.7 鑽針夾

錐面套筒外觀如圖 5.8，內側具有一斜面使鑽針夾向內挾持。

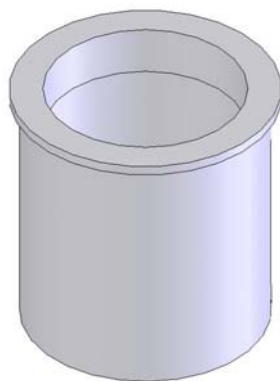


圖 5.8 錐面套筒

錐面套筒設計錐度為 10 度，而市面上高速手機對器械的挾持力為 40 牛頓。設斜面施加在鑽針夾頭的力量為 N ，彈簧力 $F=kx$ 。因此對一夾頭作力平衡， $\frac{F}{3} = 40 \tan 5^\circ$ 。 $F = 10.498N = k \cdot 0.15mm$ ，得彈簧常數

$k=7.135kg/mm$ 。

彈簧外徑 2.4mm，內徑 1.7mm，線徑 0.35mm，彈簧全長為衝程 0.15mm 加上套筒與夾頭的距離 1.45mm 等於 1.6mm，而彈簧設計全長為 1.65mm(圖 5.9)。

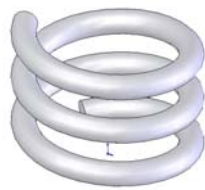


圖 5.9 彈簧

5.5 軸承與密封設計

軸承可分為滑動軸承(sliding bearings)和滾動軸承(rolling bearings)，滾動軸承的優點在於其靜摩擦力較小，啟動扭矩較小。而滾動軸承又可再分為滾珠(ball bearings)和滾子軸承(roller bearings)。如圖 5.10 滾珠軸承的構造係由外環、內環、滾珠和保持器(cage)所構成，能夠承受徑向和軸向的力量。

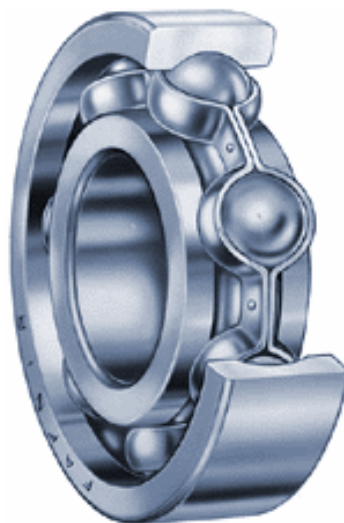


圖 5.10 滾珠軸承

為了要充分發揮軸承的性能，且使潤滑油或是潤滑脂不洩漏，或是防止塵土或其他污染物自外部侵入，軸承必須使用密封。

深溝滾珠軸承(deep groove ball bearings)目前通常附有內部的防塵護罩(shield)或是密封，如圖 5.11。此種軸承在空間受限制的緊密設計時很適合使用。護罩外型為圓盤狀的薄鋼片，被壓入在軸承外環的溝槽中，而形成像是間隙式的密封。非接觸式密封與內環有很狹小的間隙。此種密封對於護罩式密封的優勢在於外環上的彈性橡膠，在外環旋轉的場合是相當重要的。因為離心力的作用會使潤滑油沿著護罩向外滲出。接觸式的密封輕輕地被壓入而且稍稍抵在內環上。此種密封在磨擦力(接觸力)與密封效率上有很好的平衡。也是目前最普遍使用的密封方式。

軸承外環之外徑小於 9~10mm 的軸承皆可稱作小型軸承，其型式多為深溝滾珠軸承。為了要有高轉速的旋轉，必須使用少量的潤滑油脂(grease)來潤滑，避免溫度上升。

滾動軸承的套圈和滾珠，一面反覆承受高接觸壓力，一面進行伴隨有滑動的滾動接觸。套圈、滾動體材料所要求的性能：滾動疲勞強度大、硬度高、耐摩耗性高。此外，還需要加工性好。根據用途不同，還有要求其耐衝擊性、耐熱性、耐腐蝕性好。

套圈及滾動體通常使用高碳鉻軸承鋼。進一步需要耐衝擊的情況下，作為軸承材料使用鉻鋼、鉻鉬鋼、鎳鉻鉬鋼、採用滲炭淬火，使鋼從表面至適當的深度有一個硬化層。具有適當的硬化深度、細密的組織、合適硬度的表面及心部硬度的滲炭軸承，比使用軸承鋼的軸承具有優良的耐衝擊性，一般的滲炭軸承用鋼的化學成分。NSK、DKF 實施了真空脫氣處理，所以其使用的材料清淨度高、氧氣含量少、質量好。進而採用了恰當的熱處理，使軸承的滾動疲量壽命顯著提高。上述鋼種之外，根據特殊用途還使用耐熱性優良的高速鋼，耐腐蝕性好的不銹鋼。

至於陶瓷軸承，因其比重較鋼輕一半，在滾動時所產生的離心力較小，且其硬度較大，因此能夠提高軸承的剛性。市面上已有許多採用陶瓷軸承的高速手機產品。因此設計採用直徑 0.5mm 之陶瓷軸承。

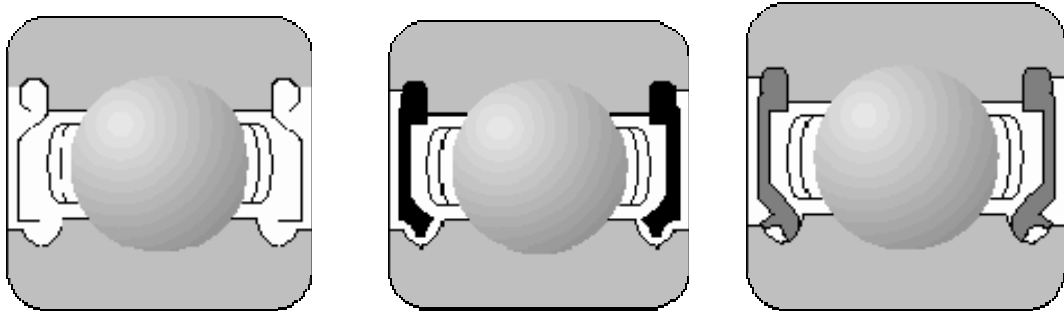


圖 5.11 護罩、非接觸密封、接觸密封

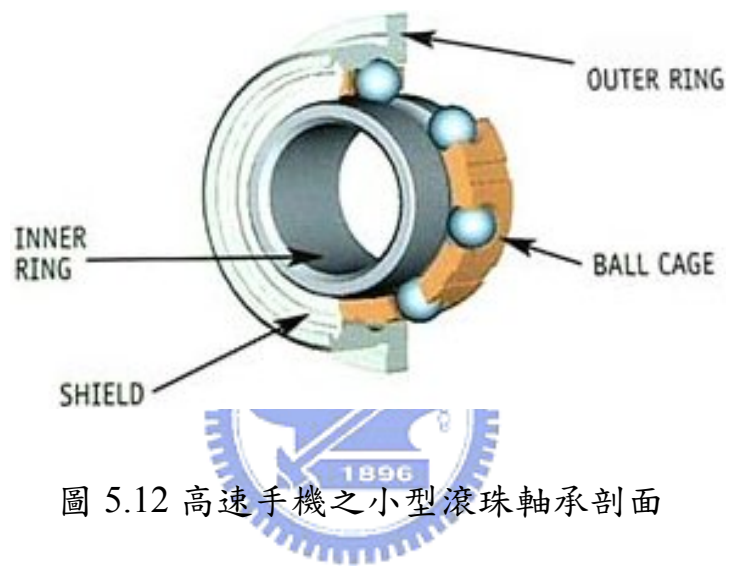


圖 5.12 高速手機之小型滾珠軸承剖面

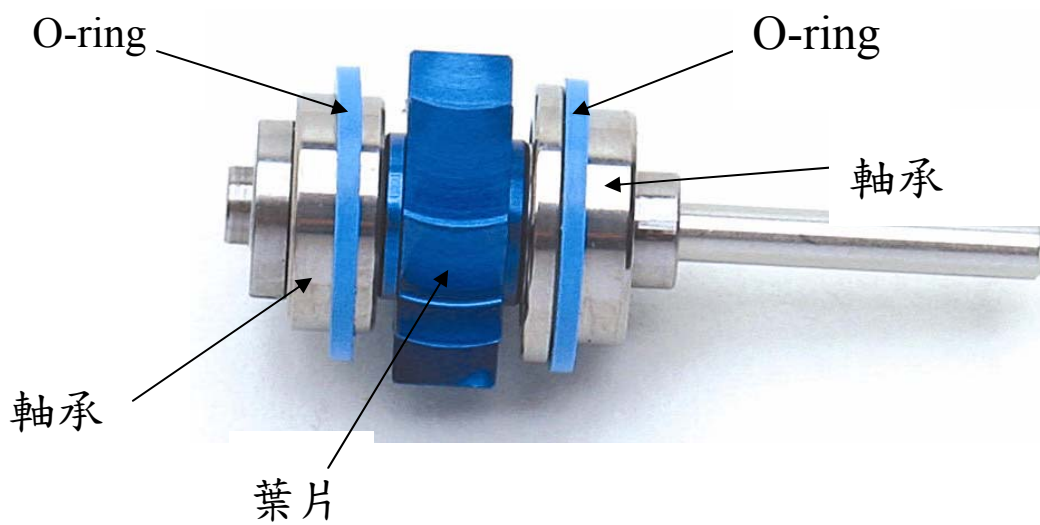


圖 5.13 高速手機轉子實品

密封對於工具固定座功耗是相當重要的。在材料選擇方面，不同的材料可能會造成固定座不同的功率消耗。當器械高速旋轉造成摩擦而產生的熱量改變密封材料性質時就有可能發生洩漏。因此，在選擇材料時，必須擁有低摩擦係數與抗高溫的特性。鐵氟龍(Teflon)為杜邦公司所開發的一種含氟的高分子聚合物，相較其他密封材料如橡膠、塑膠等，擁有良好的耐溫性，耐溫可達攝氏 250 度左右。且其表面光滑並抗腐蝕、抗酸鹼、抗黏、具極低的摩擦係數、不可燃且無毒。因此鐵氟龍為良好的密封材料。

5.5.1 設計需求

為了減低治療用器械在高速旋轉時所產生的熱，也為了增加工具的使用效率，一般在高速手機中皆設計有小型滾珠軸承來減低摩擦力，如圖 5.12。此軸承一樣具有內外環、滾珠、保持器與護罩。圖 5.13 為高速手機轉子實品圖，固定在葉片的兩端且都附有 O-ring 來保持氣密。然而，此種設計方式並不能滿足設計上的需求—體積小。

5.5.2 構想設計

改良後的工具固定座軸承設計如圖 5.14。右方為軸承的內環，左上方為上外環，左下為下外環，中央為軸承之滾珠。裝配方式為先將下外環套入內環中且使下外環頂面與內環凹陷處相靠近，再將滾珠放入內環凹槽中且再放入上外環，最後將上下外環相結合，即完成軸承組裝。此軸承設計將傳統滾珠軸承之內外環直接設計在本體上，利用內外環四個面來做定位，沒有額外的空間浪費，擁有小體積的優點。軸承滾珠直徑為 0.5mm，如圖 5.15。

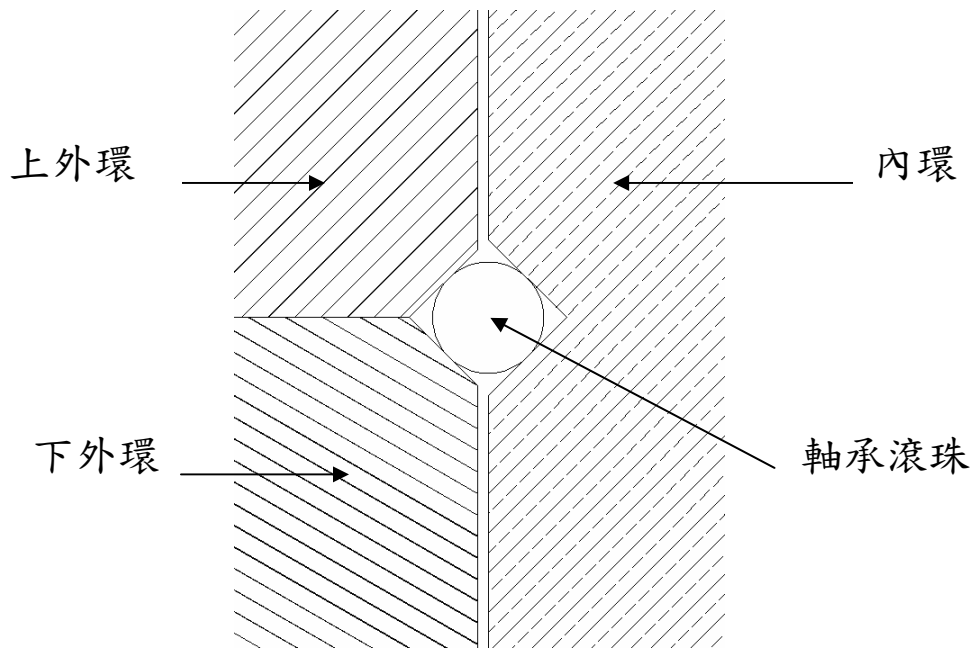


圖 5.14 軸承設計

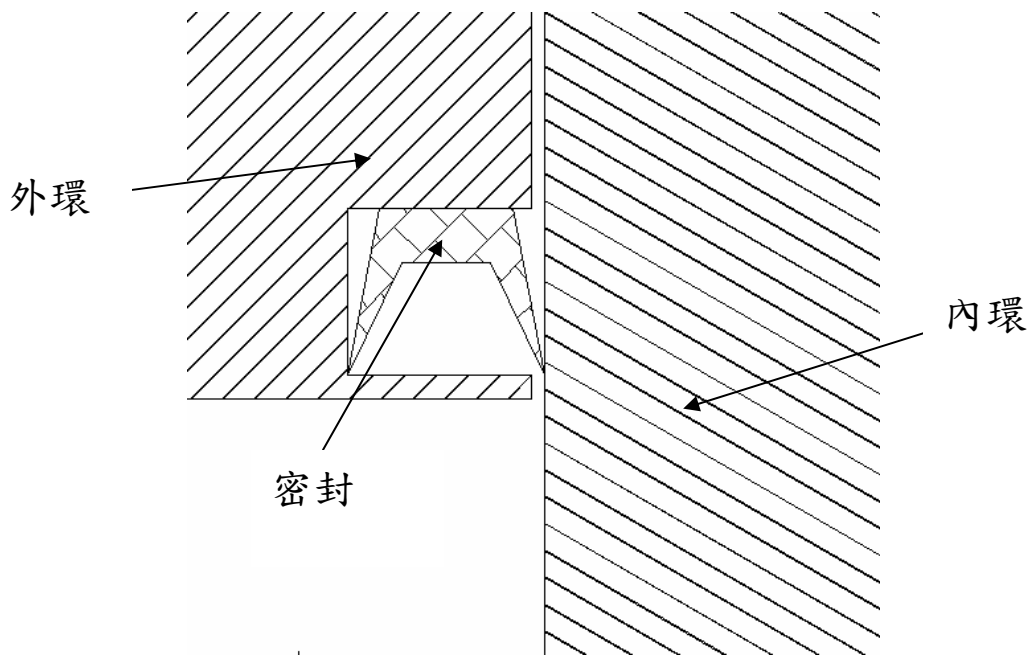


圖 5.16 密封設計

而上述軸承的設計並無密封，會造成高壓氣體的洩漏且無法防止污染物進入，使器械使用效率降低。因此，必須另外設計密封來防止洩漏和污染物。

密封設計為在內外環間設計一個空間來放置密封如圖 5.16 所示。截面形狀為杯狀，靠近內側的內緣稍稍抵住內環。當高壓空氣灌入時，氣體會跑入密封凹陷處再將內緣向內環壓，而使腔室更能保持氣密。圖 5.17 為密封外觀。

5.6 動力與 Housing 設計

由以上三篇和其他專利看來，在旋轉器械上的動力選擇僅有齒輪式與氣動式。然而齒輪式需要驅動軸的帶動，驅動軸必須從口腔外連結到口腔內，不適合於此計畫設計上使用。因此，選擇可採軟管連結的氣動式動力。

目前市面上所販售的高速手機屬於氣壓馬達的一種，皆是利用空氣壓力的能量來產生連續迴轉的驅動器。氣壓馬達早期應用於礦坑、化學工廠和船舶等易爆炸的場所。近年來由於低速高扭矩的氣壓馬達出現，對於氣壓馬達的需求才有增加。

依照構造的不同，氣壓馬達可分為容積型與速度型，如表 3。容積型多數使用於低速高扭矩的場合上，而速度型常見於醫療器材或渦輪充電器。

牙醫所使用氣動鑽頭屬於渦輪式氣壓馬達，轉速可高達 30~50 萬轉。壓縮空氣直接吹在渦輪的輪葉上，利用壓縮空氣之速度與壓力將渦輪旋轉，一般使用在高速低扭矩的場合中。

氣壓馬達的輸出扭矩隨轉速上升而下降，其原因在於在高轉速時，空氣充填；排出的時間會縮短，以至於進氣端壓力下降、排氣端壓力反而上升，使得兩邊的壓差減少，因此輸出扭矩自然下降。當輸出扭矩比負載大時，多出的扭矩會將轉速提升，直到負載與輸出扭矩相同，此時負載轉速達到穩定。

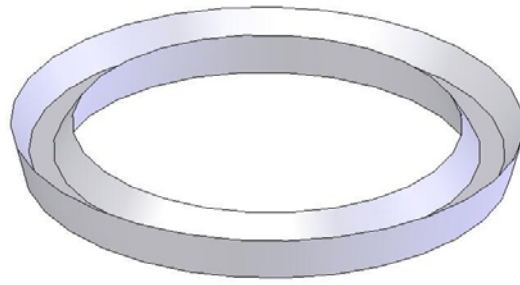


圖 5.17 密封

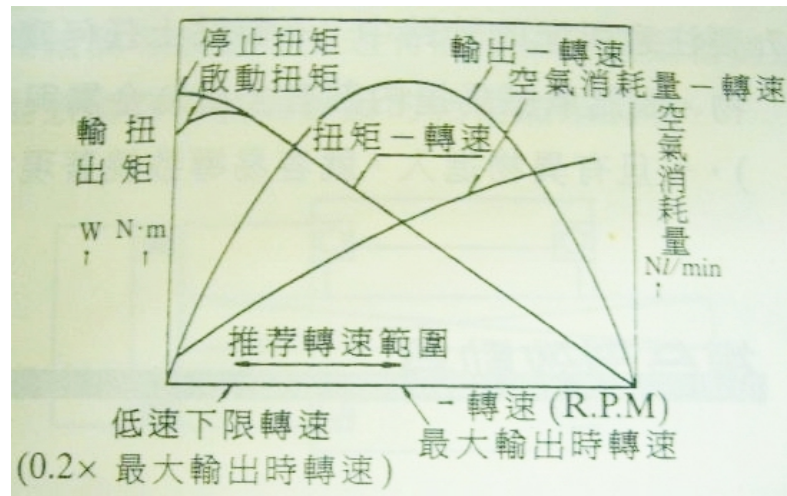


圖 5.18 氣壓馬達性能圖

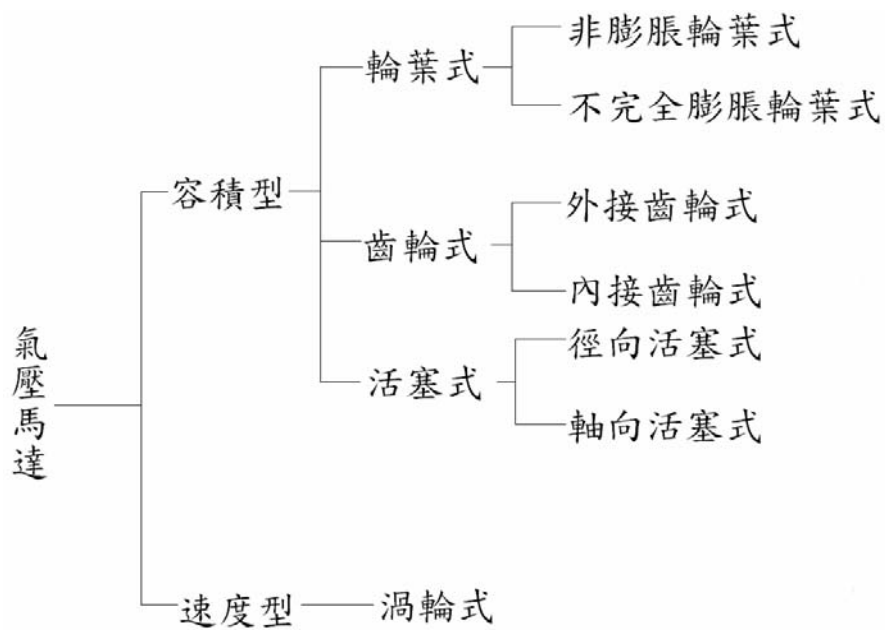


表 3 氣壓馬達種類

氣壓馬達在進氣壓力為定值，排氣壓力為零的條件下，所繪出的氣壓馬達性能曲線，如圖 5.18。扭矩與轉速成反比關係。在無負載的情況下，扭矩為零，此時馬達以最高轉速旋轉。負荷增加時，扭矩增大，轉速直線下降。此時扭矩稱停止扭矩。由於靜摩擦係數與動摩擦係數有差，因此啟動扭矩約為停止扭矩的 80%。在極低速旋轉時受摩擦影響，易發生滯滑現象(stick-slip)，為不安定的區域，需注意最低轉速的使用限制。

在氣壓馬達效率方面，效率為：流入氣壓馬達能量與出立軸輸出的能量比。則效率

$$\eta = \frac{\omega T}{\Delta P \cdot Q}$$

其中， ω 為角速度[rad/sec]，

ΔP 為馬達出入口壓力差[kgf/cm² abs]，

T 為扭矩[kgf·cm]，

Q 為壓縮空氣流量[cm³/sec]。



相較於電動馬達，氣壓馬達的特徵在於：

- (1) 氣壓馬達較電動馬達可平穩地啟動與停止。
- (2) 速度控制與可逆轉機構簡單
- (3) 馬達本身發熱小，各滑動部件摩擦熱直接由壓縮空氣來冷卻。
- (4) 由於空氣具有壓縮性，所以轉速容易受到外加負荷的影響。當負荷大於馬達扭矩時，馬達速度會慢慢遞減，最後停止。然而，不像電動馬達有燒毀的可能。所以氣動馬達在超負荷時較安全。
- (5) 在含有爆炸性氣體的工作場所較安全。
- (6) 容易達到高轉速。
- (7) 利用蓄壓桶做空氣壓源，可當做緊急的動力來源。
- (8) 改變供氣量即可改變轉速。
- (9) 可保持作業環境清潔。
- (10) 不易受溫度、溼度等作業環境影響。
- (11) 除壓縮空氣外，亦可使用氮氣或二氧化碳。

5.6.1 設計需求

在治療方面，由於根管治療器械可分為兩種：旋轉式與非旋轉式。因此，在旋轉式方面，所需的設計—扭力、轉速和輸出動力等等，都必須與市面上所販售的根管治療產品相同。

日本 NSK NAKANISHI Inc.所生產的 Ti-Max X series 高速手機(如圖 5.19)目前廣泛用於牙醫根管治療，所使用的動力源是高壓空氣，其使用的最大壓力不超過 $3\frac{kg}{cm^2}$ 。由部分此系列產品型錄中的規格(圖 5.20)可知一般手機轉速每分鐘高達 30~40 萬轉。功率消耗大約在 15W~25W 左右。因此可推算高速手機大約的扭力。以型號 X700 為例：功率消耗為 22 瓦，最高轉速為每分鐘 360000 轉。因此，

$$P [w] = T [N \cdot m] \cdot \omega \left[\frac{rad}{sec} \right]$$

$$22 = T \cdot \left(360000 \times \frac{2\pi}{60} \right)$$

得扭力 $T = 0.000584 N \cdot m$ 。

5.6.2 構想設計

1. 扭力基礎計算

採用承受內壓之薄壁圓柱公式計算：

$$t = \frac{PD}{2\sigma_a}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_B}{S},$$

其中 t：油壓缸壁厚； σ_a ：容許抗張壓力； $P = 3\frac{kg}{cm^2} = 0.294MPa$ 為設計壓力；

D：housing 直徑； σ_B ：材料抗張強度；S=5 為安全係數。

將材料強度代入即可計算出缸壁厚 t。



圖 5.19 Ti-Max X series 高速手機



| | | | | | | |
|---------------|--|-----------|---|-----------|---|-----------|
| Coupling Type | NSK FlexiQuik Couplings  | | | | | |
| Head Type | Miniature Head *1 | | Standard Head | | Torque Head | |
| Products |  | |  | |  | |
| Model | X500L | X500 | X600L | X600 | X700L | X700 |
| Order Code | P495 | P861 | P496 | P862 | P497 | P863 |
| Light Power | 25,000 LUX | Non-Optic | 25,000 LUX | Non-Optic | 25,000 LUX | Non-Optic |
| Speed *2 | Max. 450,000 min ⁻¹ . | | Max. 440,000 min ⁻¹ . | | Max. 360,000 min ⁻¹ . | |
| Head Size | ø 10.3 x H11.3 mm | | ø 11.2 x H13.4 mm | | ø 13.2 x H13.4 mm | |
| Power | 17 W | | 21 W | | 22 W | |

圖 5.20 Ti-Max X series 高速手機型錄

葉片設計外半徑 r_{out} 為 3.75mm，內半徑 r_{in} 為 1.6mm，長 L 為 2.41mm (如圖 5.21)。假設壓縮空氣最大壓力為 $3 \frac{kg}{cm^2}$ ，可得壓縮空氣所產生的扭力 T 為

$$\begin{aligned}
 T &= (P \cdot A) \cdot \frac{r_{out} + r_{in}}{2} \\
 &= [P \cdot (r_{out} - r_{in}) \cdot L] \cdot \frac{r_{out} + r_{in}}{2} \\
 &= (P \cdot L) \cdot \frac{r_{out}^2 - r_{in}^2}{2} \\
 &= 3 \cdot \frac{9.81}{10^{-4}} \frac{N}{m^2} \cdot 2.41 \cdot 10^{-3} m \cdot \frac{(3.75 \cdot 10^{-3})^2 - (1.6 \cdot 10^{-3})^2}{2} m^2 \\
 &= 2.927 \cdot 10^{-3} N \cdot m \\
 &= 0.002927 N \cdot m > 0.000584 N \cdot m
 \end{aligned}$$

因此，葉片可提供足夠大的扭力來作治療。2. 固定座基礎計算

葉片與 housing 的材料亦是 SUS304 不鏽鋼。將 $\sigma_B = 520 \text{MPa}$ 為材料抗張強度代入。可得缸壁厚 t 為 0.0106mm 小於設計壁厚 0.25mm。因此在設計上，設計的壁厚足夠承受 housing 內的壓力。

3. 設計

下 Housing 上具有兩個開口，小的開口為高壓空氣入口，大的為出口(圖 5.22)。高壓空氣灌入之後會吹動葉片來帶動器械。在設計上因需足夠扭力來做治療，因此葉片尺寸盡量要大。

圖 5.23 為葉片與套筒。為了提高器械的效率，設計使葉片與 housing 間為滑動配合。

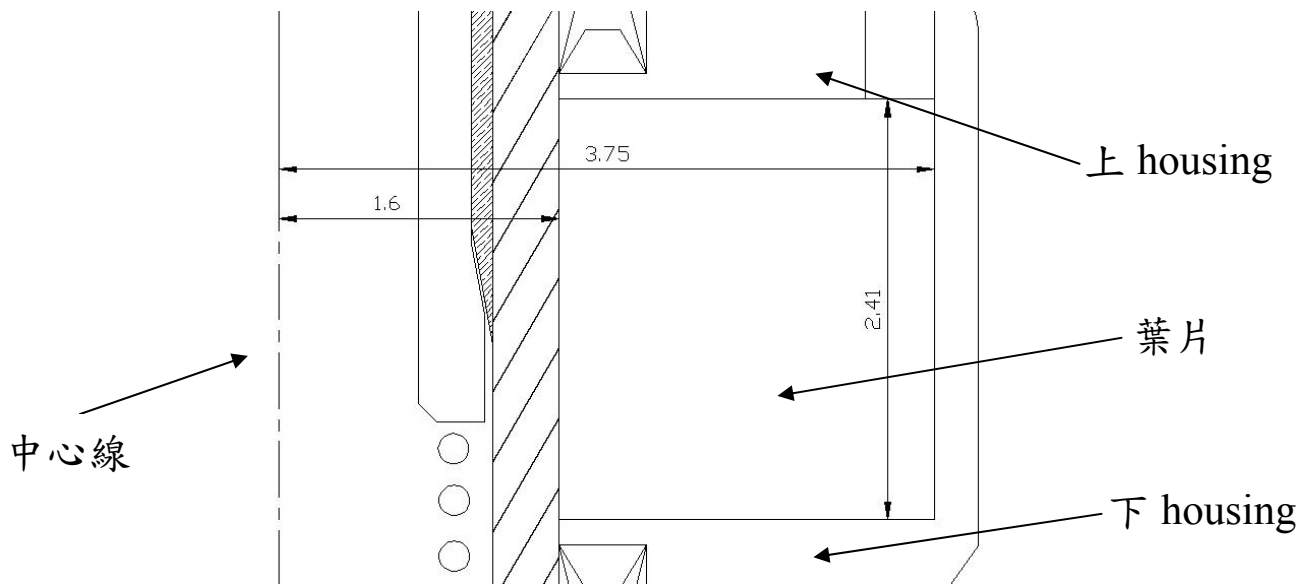


圖 5.21 葉片設計

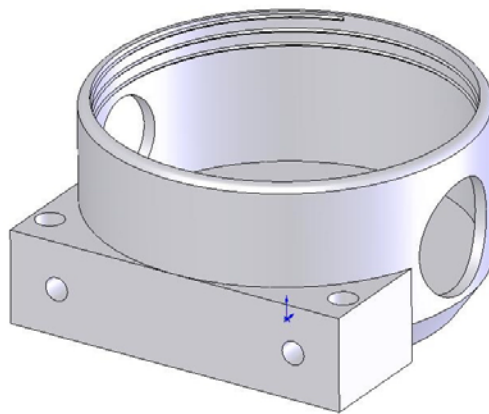


圖 5.22 下 Housing

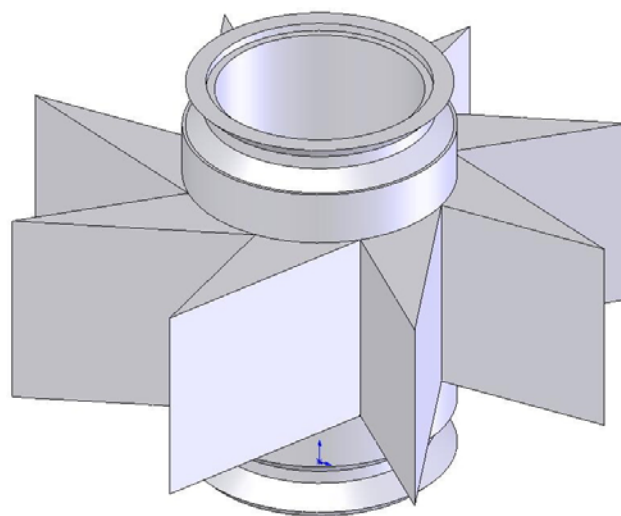


圖 5.23 葉片與套筒

5.7 固定座之速換設計

一般來說，現在牙醫師所使用的高速手機頭大都使用螺紋和螺絲來與高速手機握把作連結。拆換上很耗時間而且需要額外的輔助工具，因此目前無所謂的固定座速換設計。

5.7.1 設計需求

為了能讓治療方法更方便，更具彈性，因此將計畫書中的概念設計更改為可更換工具固定座。設計需求為為了能讓臨床醫師的手指能夠伸入口腔中來拆卸或組裝固定座，因此設計上基本上僅使用單手來操作，而固定座組裝上之後能夠非常穩固，固定座的定位也要相當精準。

5.7.2 構想設計

設計上採用鋼帶座上的插銷來增加固定的精準性(圖 5.24)。當使用手指拿取固定座移入鋼帶座時，壓板鉤會因斜面自動被推開且又因本身彈力卡入固定座，將工具固定座很穩固地固定住。當需要更換固定座時，僅需用手指按壓將壓板鉤離開鋼帶座，工具固定座即可拆下更換(圖 5.25,5.26)。

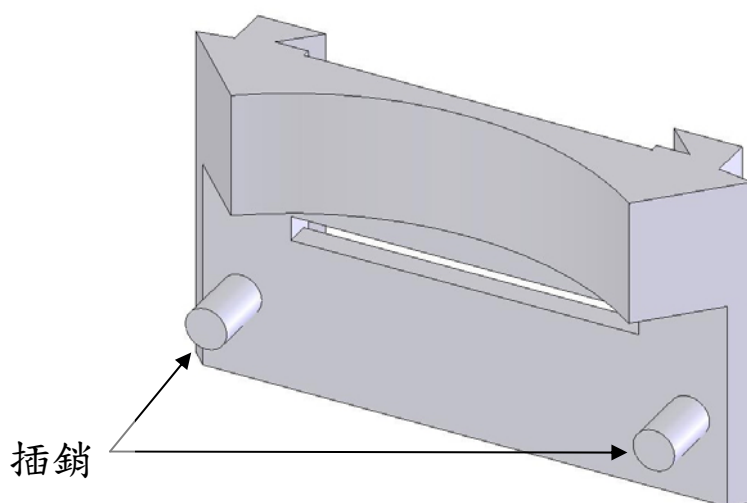


圖 5.24 鋼帶座

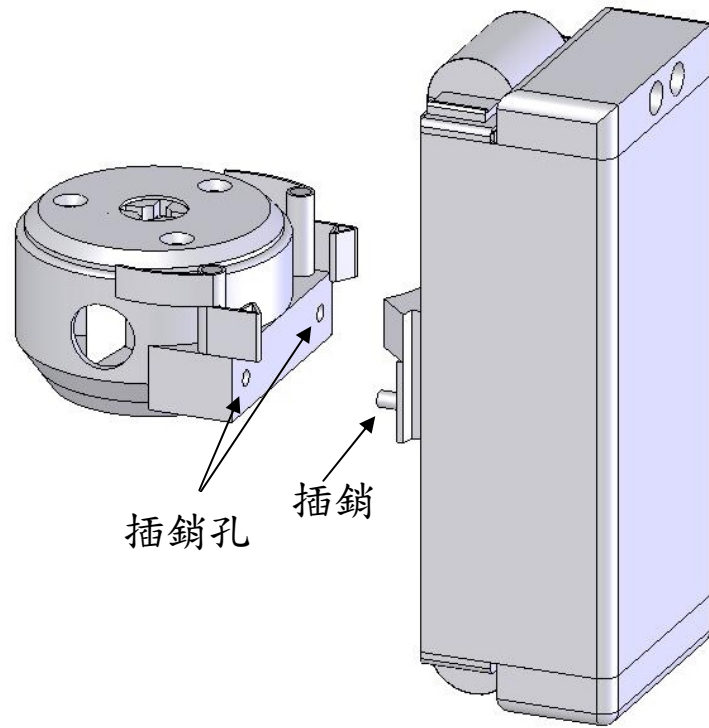


圖 5.25 插銷與插銷孔

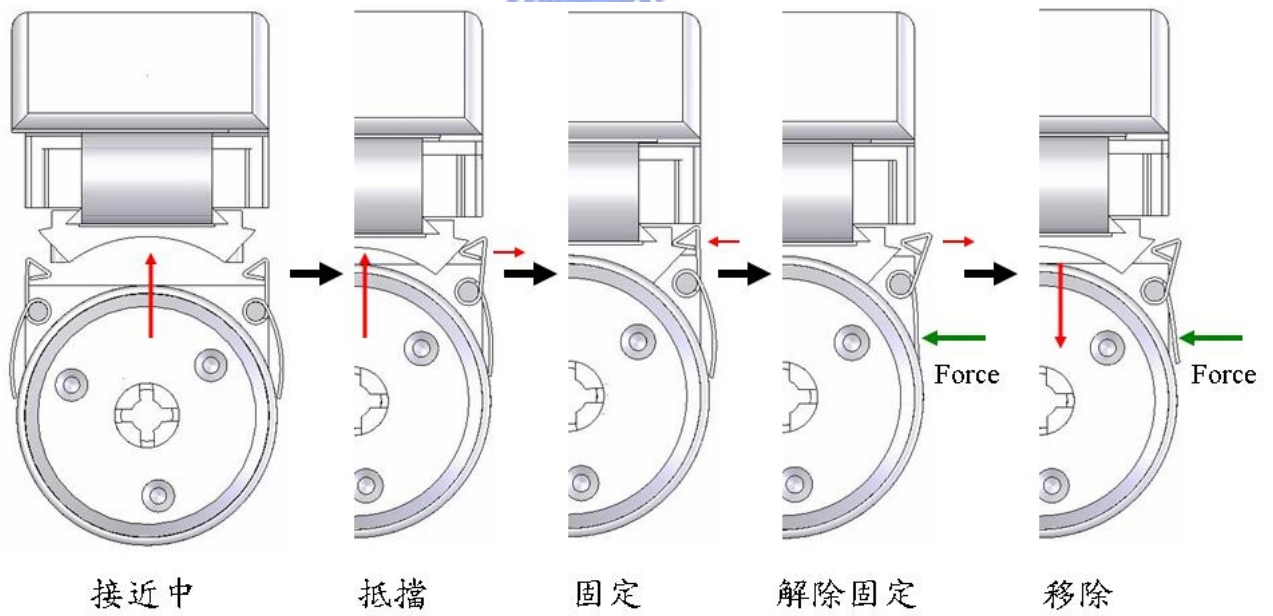


圖 5.26 速換設計操作順序

速換設計利用壓板鉤鉤在鋼帶座的斜面上限制工具固定座 X 方向的移動(圖 5.27)。

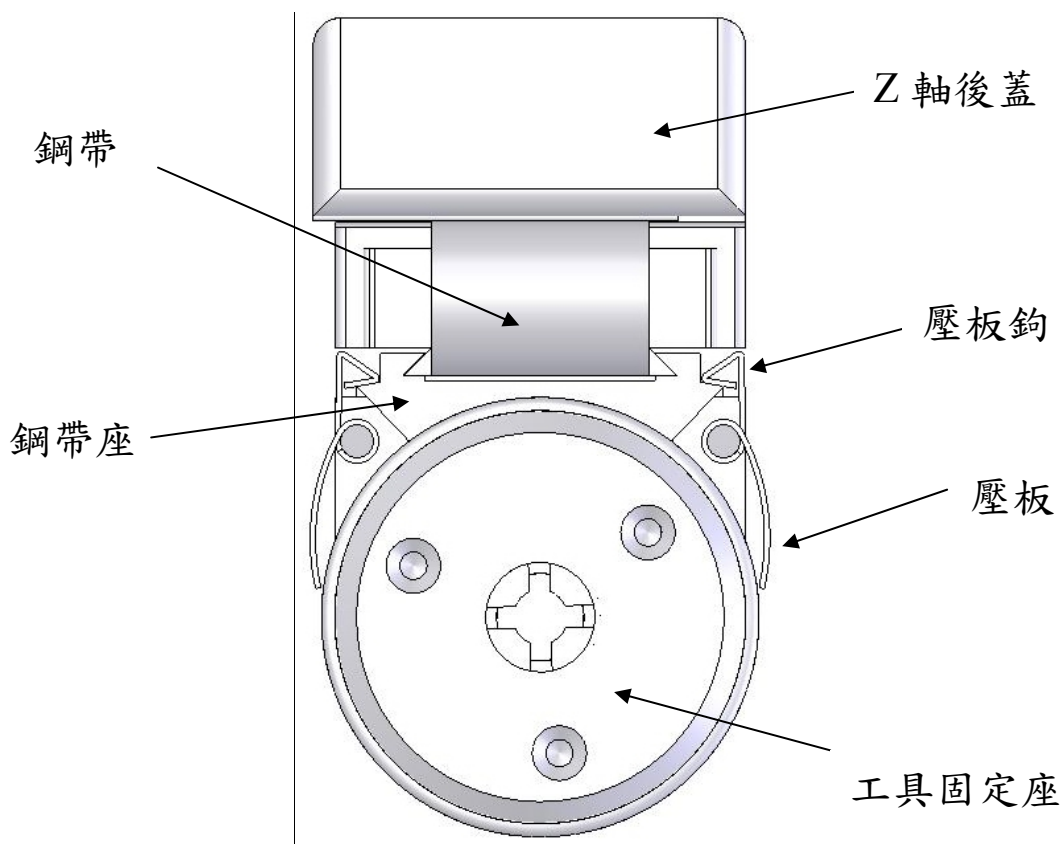


圖 5.27 速換設計

5.8 設計結合

微型機器人與固定裝置在結合時需考慮 X、Y、Z 三個方向的相對移動限制，並且在設計需求尚須考慮拆卸容易、固定能力佳的考量。X、Y 方向的固定為利用三顆鋼珠球嵌入馬鞍形基座上得三個定位孔(圖 5.28,5.29)。當機器人運作時，器械向下施力時，Y 軸向致動器會產生脫離 Fixture 的作用力。因此在 Z 方向以螺絲的方式限制 Z 方向的移動。

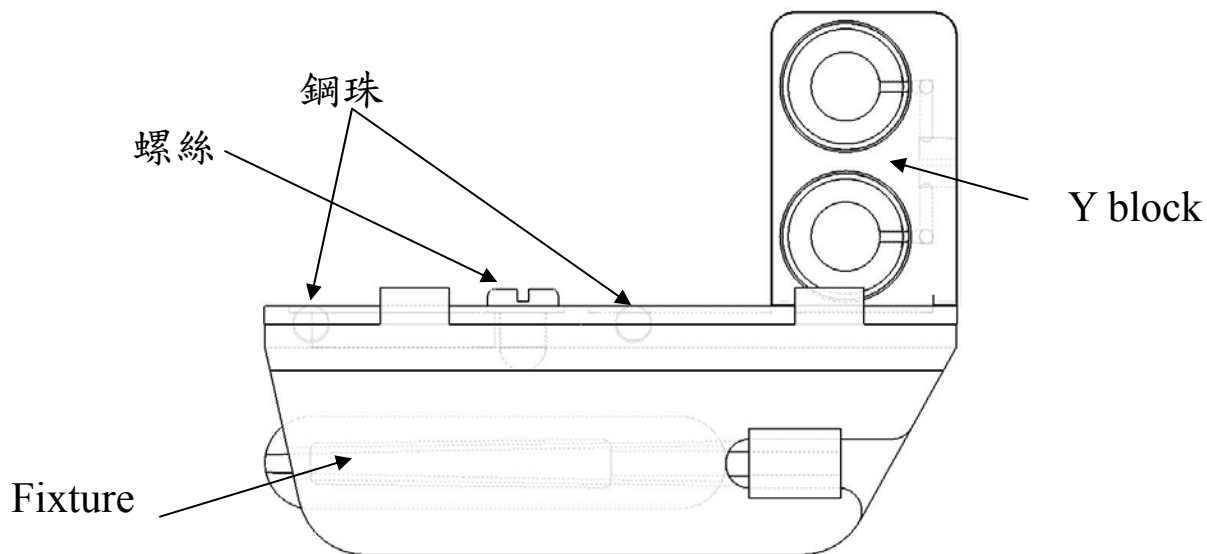


圖 5.28 Y block 與 Fixture 固定右視

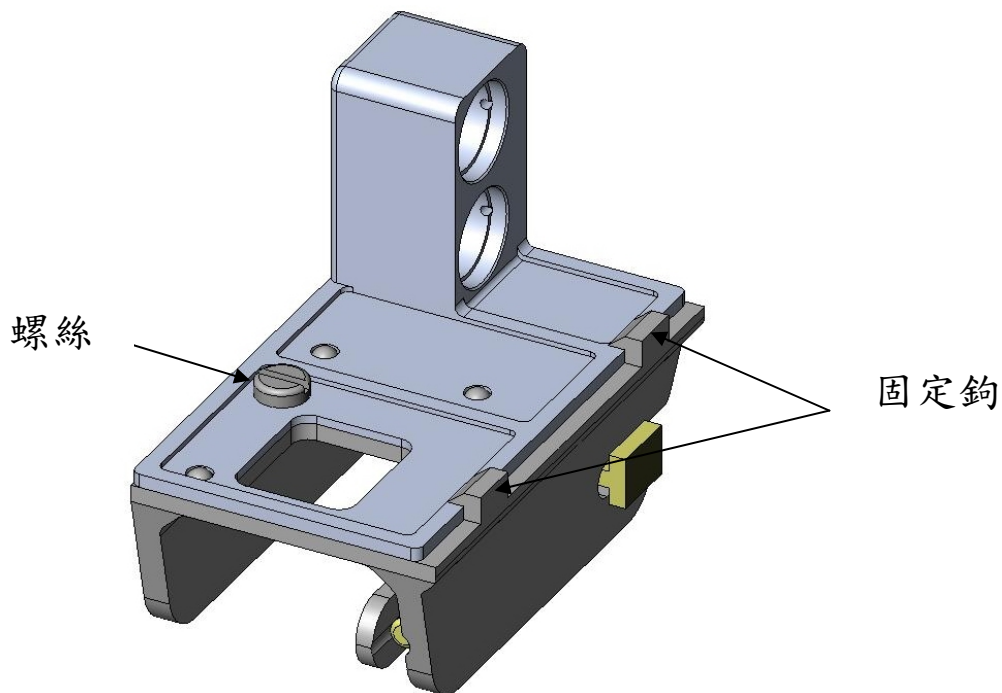


圖 5.29 Y block 與 Fixture 固定

X、Y 致動器利用參考面將活塞桿前端固定結合(圖 5.30)。由於活塞桿前端為一個球形端面，因此在運作過程中皆接觸參考壁面並且避免干涉產生。固定肋寬度與活塞桿寬度在配合上屬於滑動配合，活塞桿前端平面處與固定肋面接觸限制運作時活塞組件產生轉動現象，在活塞桿結合利用插銷的方式以滑動配合將桿件與致動器作一個連結。

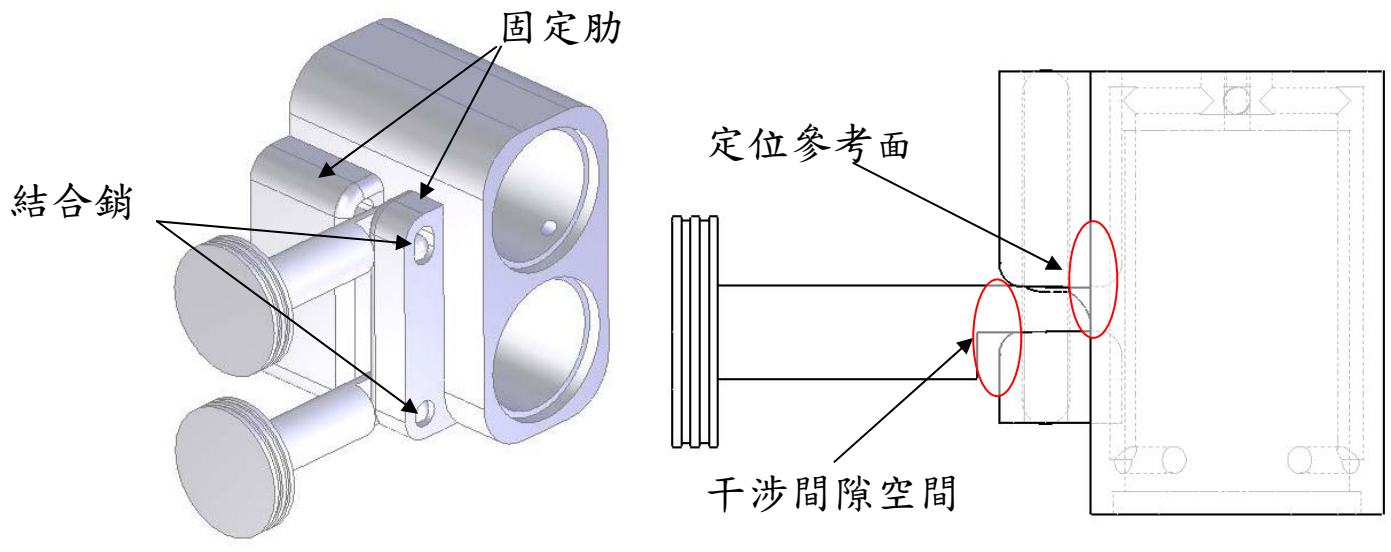


圖 5.30 致動器結合設計圖

Z 軸致動器與工具固定座結合之後的情形如圖 5.31,5.32。

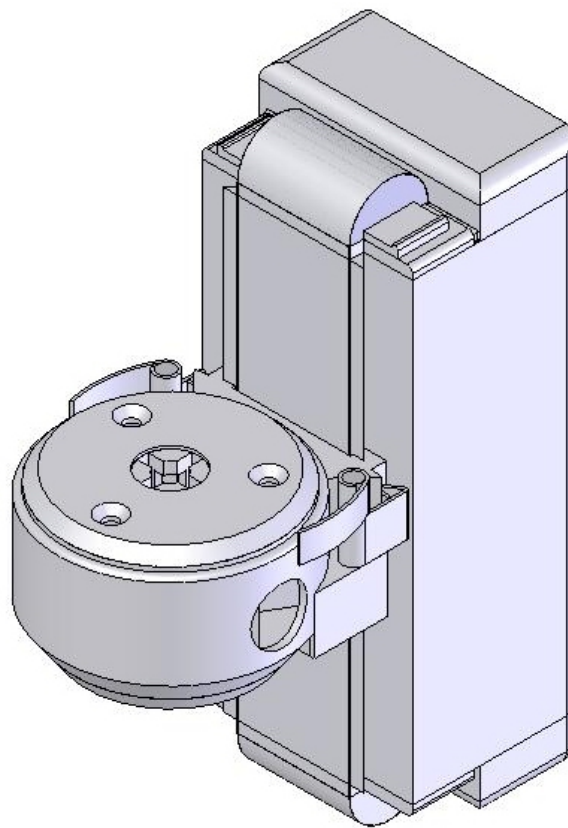


圖 5.31 Z 軸致動器與工具固定座之結合圖

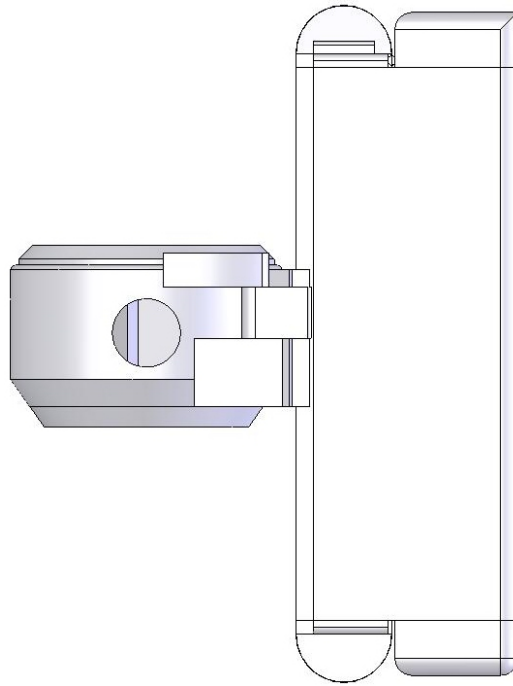


圖 5.32 Z 軸致動器與工具固定座之結合圖 2

微小機器人全部元件結合後如圖 5.33,5.34。另外，從機器人連結出口腔的管路包含油管和氣管總共有五條。藉由控制液壓油的流動即可控制治療鑽針來對牙齒做根管治療。

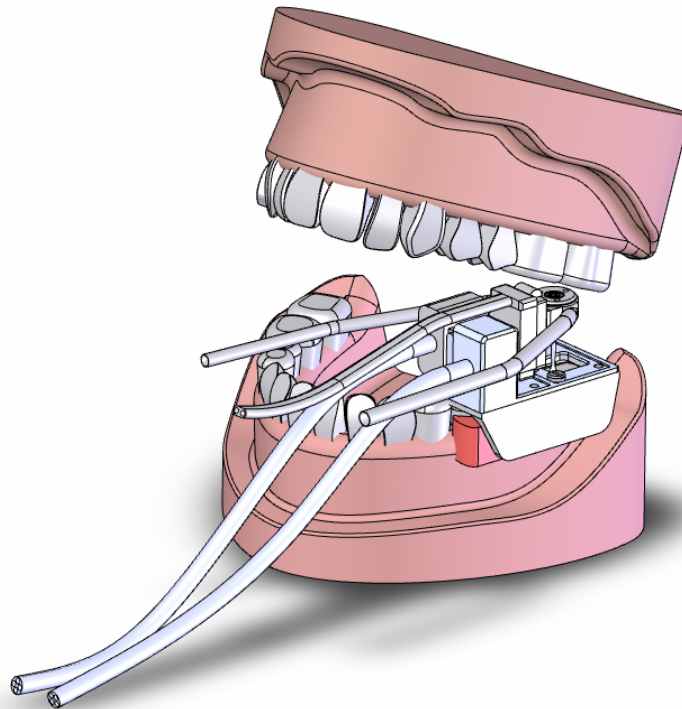


圖 5.33 結合圖 1

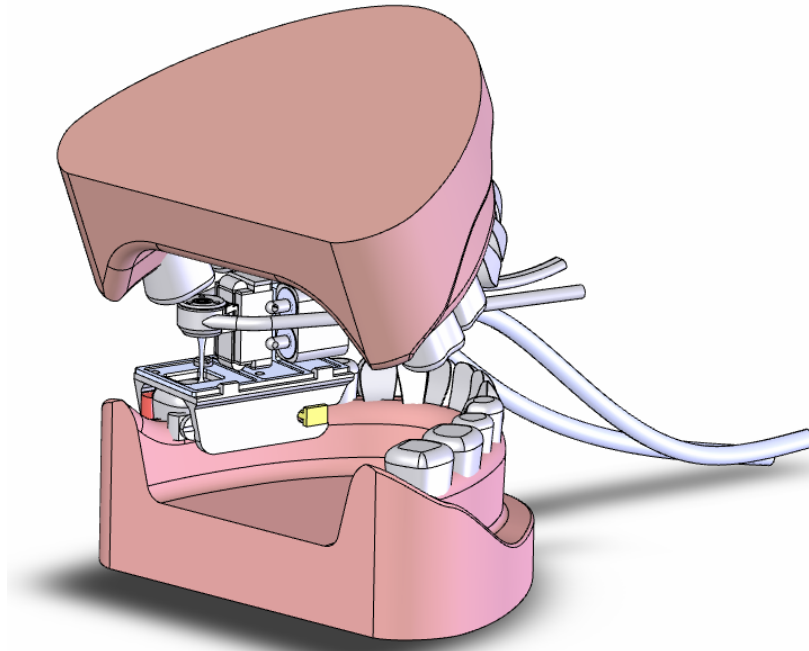


圖 5.34 結合圖 2

5.9 速換設計試驗結果與討論

工具固定座速換設計試驗元件，包括轉子、固定塊與壓板。固定塊上有與工具固定座上相同的插銷孔，用來與鋼帶座之插銷配合(圖 5.35)。

將轉子放入固定塊中並加以固定且將壓板、彈簧與固定塊結合即完成工具固定座速換設計如圖 5.36。

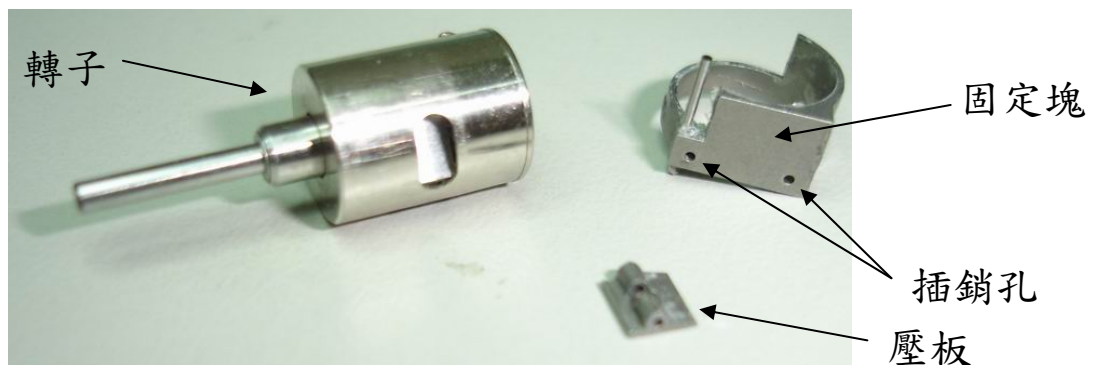


圖 5.35 速換設計試驗元件



圖 5.36 速換設計試驗元件組合圖

速換設計測試進行方式為先將 Z 軸致動器以 C 形夾固定，再以手指拿取工具固定座，測試鋼帶座上的插銷是否能夠順利插入固定座插銷孔中，並使壓板鉤鉤住鋼帶座的斜槽。

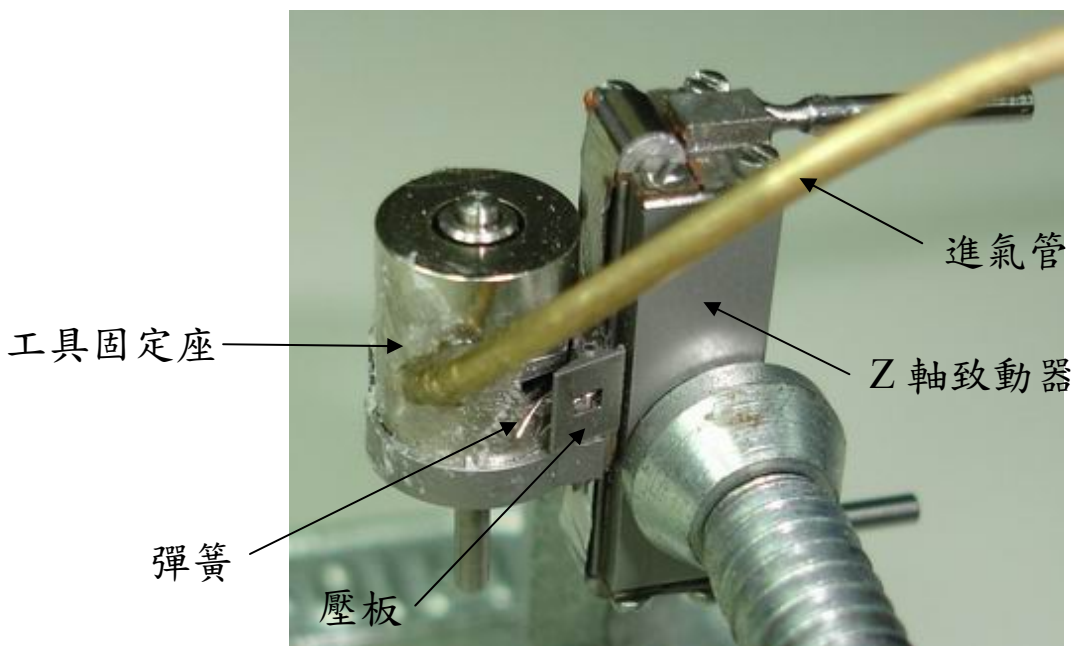


圖 5.37 工具固定座與 Z 軸致動器結合圖

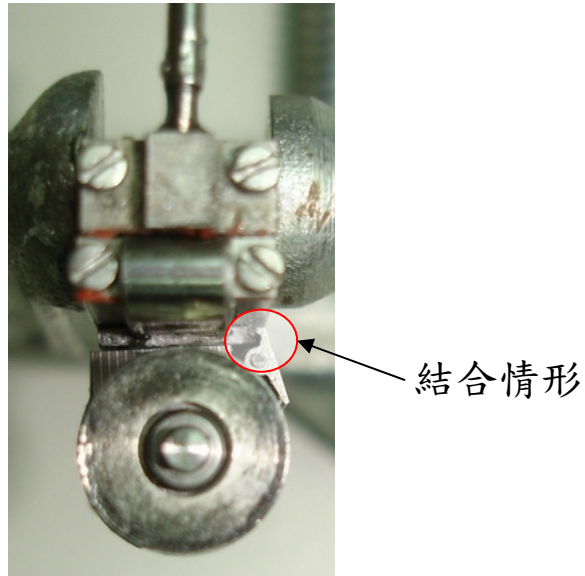


圖 5.38 壓板鉤與鋼帶座

速換設計測試結果發現壓板能夠很方便的鉤在鋼帶座上，可以很容易地更換工具固定座(如圖 5.37,5.38)。但鋼帶座之插銷必須要很精準地插入插銷孔，才容易使固定座與致動器結合。壓板的手指按壓處大小可再設計延伸放大，操作可以更容易。

六、結論與建議

6.1 結論

根管治療技術至今仍然是由牙醫師所進行。然而為了要提升治療的成功率，“Advanced Endodontic Technology Development”計畫發展一套電腦輔助系統和全自動化根管治療微型機器人。而本論文根據此計畫中的概念設計圖設計出符合需求的微型機器人。固定基座具有牙齒根管 X 光影像定位功能性亦具有方便固定在牙齒上之功能。X、Y、Z 軸致動器則能滿足計畫書中行程的規範。並且設計三軸向致動器油壓管路配合共同管路能夠減少從口腔中伸出的油壓管。工具固定座具有快速更換刀具(鑽針)以及固定座速換功能，治療過程中面臨需要更換刀具或是不同固定座步驟則能夠很方面的操作使用。在扭力不小於市面上產品的前提下，工具固定座體積上相較於市面上的產品更是小巧。而微形治療機器人設計在完全組裝後的體積大小也符合計畫書的要求，能夠取代牙醫師進行治療。

在 Z 軸致動器測試過程中，藉由主動缸的位移控制帶動被動缸活塞的移動。此種方式不需要使用油壓泵浦、伺服閥等其他傳統油壓系統元件，不僅免除了震動、噪音和液壓油變質或洩漏對人體的影響，也能夠減少病患對於治療的恐懼感。而 Z 軸致動器位移控制精度差的原因為：密封功能不良，致使活塞作動時，液壓油會產生洩漏、活塞與缸體本身的精密度配合不足，使得曲折式墊料設計性能不佳，這是需要改進的地方。而致動器並未測試是否具有 500g 的推力。

而速換設計能使治療中的固定座更換更方便也更容易。然而壓板按壓處大小不夠不易於手指操作，可加裝塑膠套墊或加大按壓處設計。

6.2 建議

在主動缸控制下，Z 軸致動器行程位移精準性欠佳。而影響精準性的原因主要是因為洩漏問題。在製造方面，改善主動缸和從動缸活塞與缸壁間的洩漏是一項重點。為此公差配合要求要高或是加上活塞密封設計。而 Z 軸致動器封蓋密封處的洩漏問題也應使用性能良好的密封，或採取鋼線的方式替代鋼帶來傳動。而在致動器在低速滑移情況下，還易發生滯滑現象。因此半圓滑軌和鳩尾槽也應磨光或拋光並且加以潤滑來減少摩擦阻力，防止滯滑現象的發生。在控制方面，為了達到高精度的控制，一方面可設計小缸徑主動缸來控制從動缸，另一方面則可設計微型位移偵測器配合導螺桿和驅動馬達來控制行程。而油壓洩漏問題方面，液壓油的洩漏量測與補償控制也是一項重點。

現工具固定座設計上雖已能達到計劃需求，但若改良結構，將組裝方式簡化以減少組裝時間，則更能方便使用。體積上若能再縮小，則能夠更方便於治療。待設計完成且實品製作出來後，更需作扭力、轉速和壓力性能測試以及鑽針挾持力測試。

速換設計方面則能做氣壓轉子運轉時的穩定性測試與耐久性測試，測試在有震動的情形下插銷是否能夠承受，以及壓板鉤是否能夠穩固地鉤住鋼帶座。

Reference

- [1] Koepfer, Chris , “**Quick-change tooling and the job shop**”, *Modern Machine Shop*, v 66, n 12, May, 1994, p 96 。
- [2] Alvite, Joseph, Nimtz, Chris, ”**Changes come quickly to quick-change tooling**”, *Robotics Engineering*, v 8, n 2, Feb, 1986, p 20-22 。
- [3] Castner, Mike, Pitsker, Andy ,”**Quick-change turns to lathes**”, *American Machinist*, v 139, n 9, Sep, 1995, p 45-47 。
- [4] Sley, Roger, ”**Now for the all-embracing quick-change tooling system**”, *Metalworking Production*, v 131, n 10, Oct, 1987, p 53, p56 。
- [5] Lopes, W. Dave, Koppelman, Eldo ,”**Fast-changing market demands fast-change tooling**”, *Tooling & Production*, v 55, n 12, Mar, 1990, 5p 。
- [6] Janet Jiexiang Dong , ”Computer Aided Procedure Planning for Endodontic Treatment” , Dept. of Mechanical Engineering Columbia University , May 9, 2000.
- [7] 鍾國亮，影像處理與電腦視覺，初版，臺北市/臺灣東華，民 91 。
- [8] 歐陽渭城譯，油壓基礎技術/油壓技術研究，初版，臺北市，全華，民 93 。
- [9] SCHMTT, A. 著/曾錦池譯，液壓構件剖析，初版，台南市/正言/民 71 。
- [10] Merritt, Herbert E , Hydraulic control systems , New York : Wiley , c1967.
- [11] Suzuki, Tetsuji , Shibata; Yuichi, “Dental handpiece with tool holder “,United States Patent NO. 6,821,120.
- [12] Bowen; Stanley A.,” Dental handpiece having improved bur release means “,United States Patent NO. 6,190,168.
- [13] Kuhn, Bernhard, “Medical or dental-medical handpiece having a push button for the release of a tool “,United States Patent NO. 7,074,041.
- [14] 陳清玉/詹文尊，實用空壓技術手冊，初版，全華書局，民國 78 年。
- [15] 呂淮熏/郭興家/蘇寶林，氣壓工程學，初版，全華書局，民國 78 年。
- [16] 詹/財團法人日本油氣壓工業會技術委員會控制技術分會，實用氣壓工程學，初版，全華，民國 87 年。

- [17]綿林英一/甜原久祺/鄭振東，最新軸承漫談，初版，建宏書局，民國 82 年。
- [18]Brandlein, J. ,“Ball and roller bearings : theory, design, and application”, 3rd ed., Chichester :John Wiley,c1999.
- [19]郭興家/陳朝光，液壓控制與實習，再版，三民書局，民國 77 年。
- [20]何植，實用油壓學，再版，全華書局，民國 81 年。
- [21]橋本明/林信隆，油壓技術入門，三版，全華書局，民國 78 年。
- [22]歐陽渭城，油壓基本原理及油壓回路設計，初版，全華書局，民國 84 年。

