中華民國第53屆中小學科學展覽會
作品說明書

高職組　機械科

第二名
最佳團隊合作獎

090905

破繭而出—水管內切裝置設計與製作

學校名稱：國立秀水高級工業職業學校

作者：	指導老師：
職二 陳彥勳	張漢佑
職一 柯重宇	周文清
職三 陳敦昱	

關鍵詞：水管、內部切割

作品名稱：破繭而出—水管內切裝置設計與製作

摘要

在建築工地施工中，各種問題都可能遇到，水管的裝設是一項必要工程，我們針對水管切割設計，主要是在箍筋內的水管鋸切，由於鋼筋限制了空間大小，要將水管鋸斷不易，尤其是大管徑的排水管。我們設計從水管端面伸入水管內部鋸切的機構，透過這樣的機構可以鋸切不同長度及直徑的水管。機構設計分爲**圓管固定機構**、**鋸切刀具動作機構設計**、**傳動機構設計**及**外部進刀加工控制機構**四部分。圓管固定是利用同動三爪夾持，可以讓機構固定在水管中心；鋸切機構從原本設計的切槽刀改爲圓刀刃，可以讓切割斷面更平整；原本傳動機構是以手提電鑽做爲動力源，可是切削阻力太大導致無法切割，經修改爲手動方式可以順利切割水管，同時轉動把手只需要旋轉擺動大於 90 度，就可以順利切割水管；外部進刀加工機構經過幾種設計測試後，使用寸動機構可以讓操作更容易。經過實際測試鋸切狀況，功能能達到設計的要求。

壹、 研究動機

一位朋友的爸爸是水電工，常常在建築工地施工，他提了一個問題要我們設計解決的方法，他的問題是在建築工地中，柱子箍筋內水管需要鋸斷，可是由於箍筋的關係如圖 1 所示，因爲鋼筋及模板限制了空間大小，鋸片不易深入鋸切，如果可以從管子內部切割的話，也是很好的解決方式，所以我們就針對這個問題來設計機構解決這個問題。

圖 1　箍筋內的水管

貳、 研究目的

(一)、 設計可以從水管內部鋸切水管的機構

(二)、 可以適用不同管徑的水管內切裝置

(三)、 可以調整不同切割長度的設計

(四)、 整體設計達到使用方便及省時、省力的功能

表一　研究過程與教材相關性列表

編號	研究內容	相關課程	備註
1	機構設計	機械原理	了解各部分零組件在機構中的功用
2	電腦繪圖	Solid Works 電腦繪圖	利用 Solid Works 繪出 3D 設計圖
3	斜齒輪傳動	機械原理	了解斜齒輪傳動的原理
4	滑塊連桿機構	機械原理	了解滑塊連桿機構原理
5	水管材質	機械製造	了解塑膠水管的分類
6	車床零組件加工	車床實習	利用車床加工零組件
7	銑床零組件加工	銑床實習	利用銑床加工零組件
8	鉗工組立	機械基礎實習	將零組件組立成機構

參、 研究設備及器材

一、 使用設備

(一)、 車床

(二)、 銑床

(三)、 鉗工

(四)、 金屬雷射加工機

(五)、 電焊機

二、 使用材料

(一)、 5mm 鐵板

(二)、 PVC 水管

(三)、 方鐵材

(四)、 4 分方鐵管

(五)、 圓鐵

肆、 研究過程或方法

一、 研究流程

研究流程如圖 2 所示，經過相關資料收集及分析後，我們討論出需要設計的機構如流程所示，我們依照流程完成研究過程。

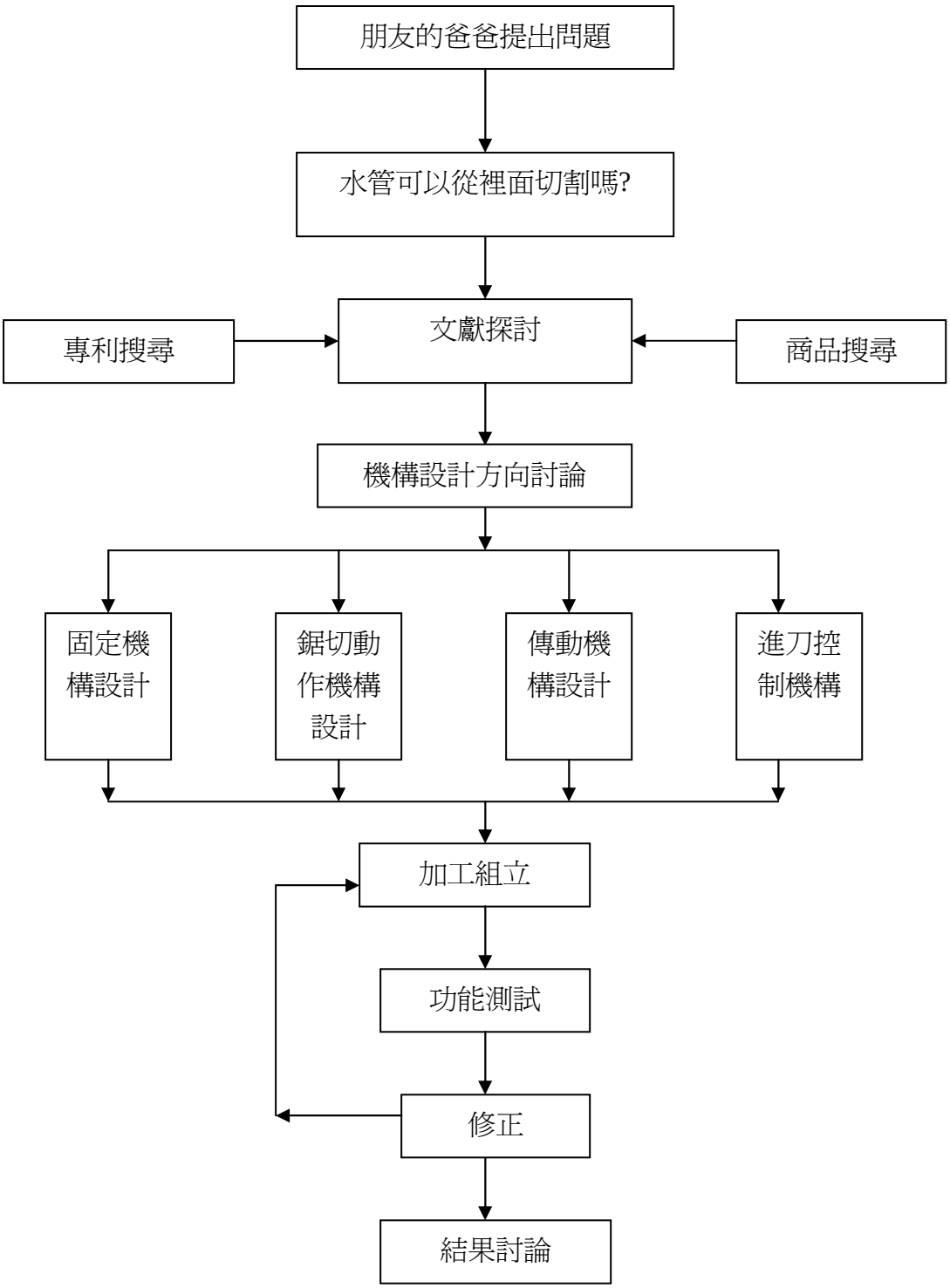

圖 2 研究流程圖

二、 文獻探討

(一) 水管材質

常見水管通常有金屬材質、塑膠材質，我們設定的材料爲塑膠類，所以我們搜尋塑膠材料的種類，及其材料特性如表二中說明。

表二 塑膠水管材質分類

水管材質	ABS	PC	PVC (聚氯乙烯)	PP (聚丙烯)	PE (聚乙烯)
內部及材質特性	耐衝擊 耐酸鹼	高分子聚合物、化學穩定高、光滑、摩擦係數小、不生鏽	比較不耐衝擊、耐酸鹼	耐化學藥性 堅硬 強韌	耐化學藥品 濕氣不透性 黏度大

(二) 相關商品設計

水管切割方式大都從外部切割，可以利用鋸切、剪切方式完成，PVC 水管的切割可以使用如圖 3 的剪切裝置**[1]**，爲了省力的效果，這類的剪切商品都有利用肘節機構及槓桿原理，同時切入位置大都是尖銳的一點。

圖 3 PVC 水管剪

(三) 相關專利設計

專利『旋轉切管裝置 I337106』是一種**旋轉切管**裝置**[2]**如圖 4，C 型殼部內設計單向棘齒，再和裝設於旋轉切管單元上的單向限位組件相互配合，使 C 型殼部與旋轉切管單元之間只能單向的相對旋轉、同時具有**切刀能自動進刀功能**，可以在狹窄且有障礙物之空間內連續操作、符合人體工學便於單手操作、可彈性更換不同尺寸之旋轉切管單元以及可搭配一延伸施力握柄在一狹窄空間中更易施力之優點及功能。

專利『切管鉗 M336125』**[3]**的設計是由彈性元件往復拉動一個樞轉運動部而轉動，進而驅動該切割部反覆剪切一管材功能，而形成方便操作並達到省力目的如圖 5。

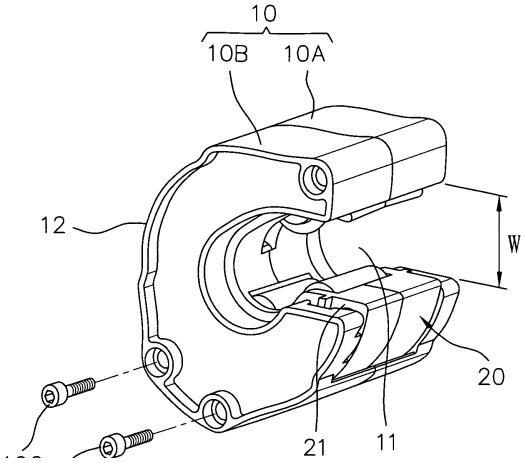

圖 4　旋轉切管裝置

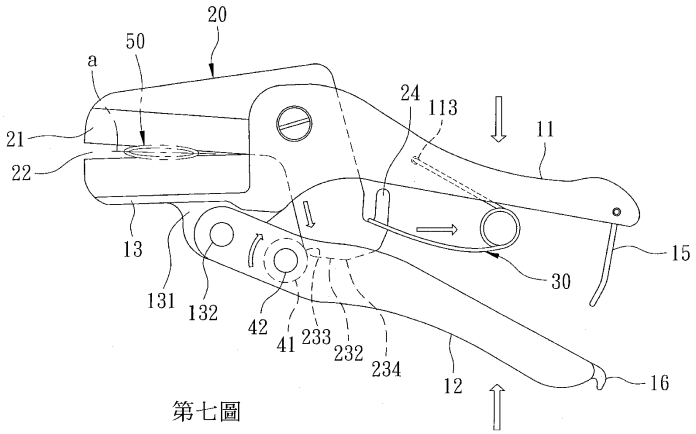

圖 5　切管鉗

圖 6 爲專利『I318919 切剪鉗』**[4]**，是一種切剪鉗，包含第一鉗柄及第二鉗柄所相互軸設組成，各鉗柄皆具有頭部及柄身，該第二鉗柄於頭部設有一滾動部，刀片連接於第一鉗柄之頭部，其中該刀片之刀背設有至少**兩種不同曲率之斜面**，該滾動部於刀背之不同位置間滾動，可提供一種具有長行程且可變換速度之切剪鉗。 這專利可以提供一種具有長行程且可變換速度之切剪鉗。**經過專利搜尋後，發現水管的切割都是從外側進行，目前沒有找到從水管內側進行鋸切加工的設計**。

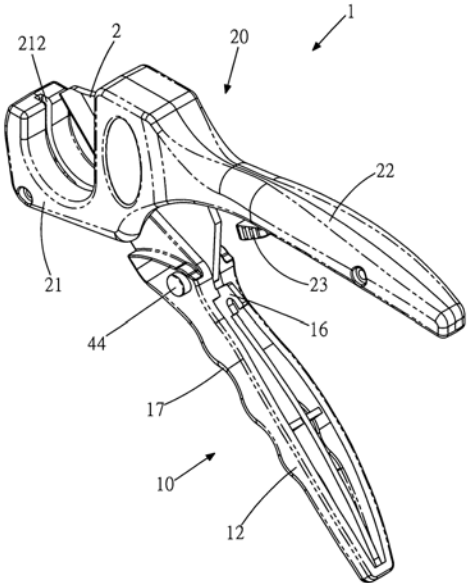

圖 6　切剪鉗

(四)　圓管挾持方式

圓形物品的挾持方式有很多種，如圖 7 是從外側挾持，若挾持需要同心時，就需要三點固定，如果需要適合多種尺寸，就可以考慮類似三爪夾頭的設計如圖 8，可以從內側或外側作同心挾持**[5]**。

圖 7　快速圓管挾持裝置

圖 8　三爪夾頭

三、 機構設計

由於從水管內部伸入，所以需要在管口處固定，因此本研究設計有管口處**本體固定機構**、**切削部刀具連動機構**、**動力傳動機構**、**外部控制加工進給機構**四大部分，分別說明如後。

(一)　水管本體固定機構設計

我們設計的機構需要從水管內部切割，必須設計一個可以固定在水管開口端的機構，水管是圓形，我們利用三點定圓的設計概念，利用三個可以同動的夾爪來固定，設計如圖 9-11 所示。不同尺寸的水管也可以固定於中心位置。

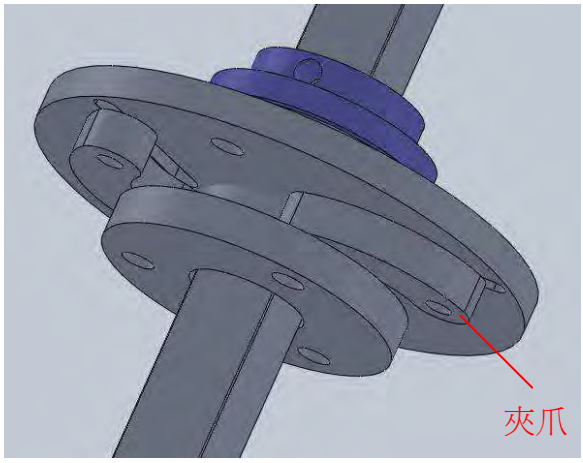

圖 9　本體機固定設計圖

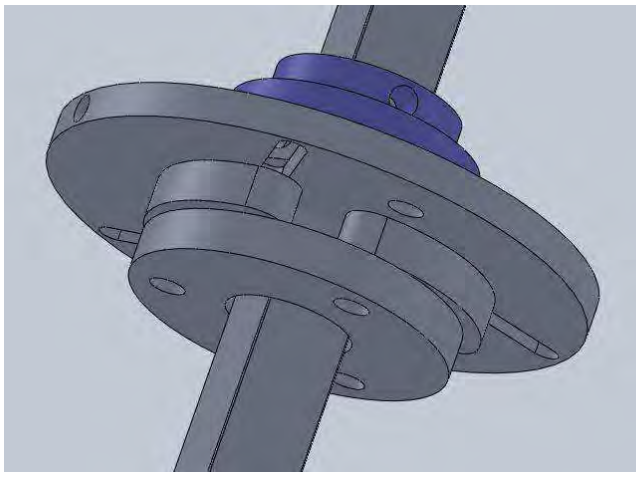

圖 10　夾爪收起位置

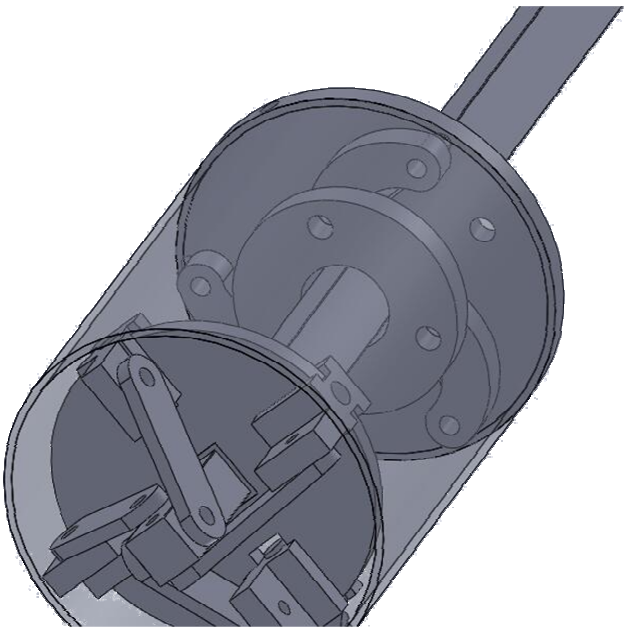

圖 11 夾爪固定於水管

(二) 切削部刀具連動機構設計

刀具部分需要能深入水管內不同的位置，同時也需要能帶動旋轉，原本希望使用六角鋼管可是找不到合適的材料。最後只找到 4 分的鋼管，就先以這樣的規格設計，設計機構如圖 12 所示，其中在鋼管內有一滑塊，滑塊一端連接有一支螺桿，螺桿伸出方形鋼管外，作爲拉動機構的功能，滑塊下方連接四個連桿，再連接四個刀具滑塊**[6]**，四個刀具滑塊中都可以固定一支刀刃。當鋼管滑塊下移時，刀具滑塊是往內縮如圖 12。當鋼管滑塊上拉時，刀刃滑塊就會往外伸出，就可以產生切削作用將水管切斷如圖 13。

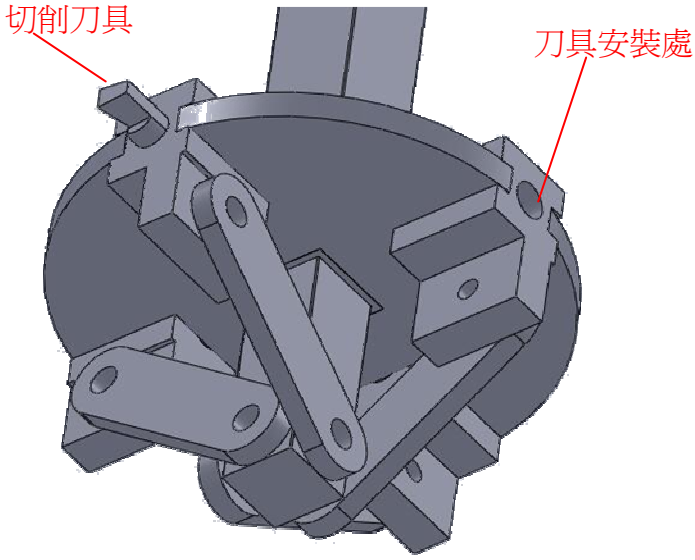

圖 12 刀具滑塊機構設計(刀刃收入)

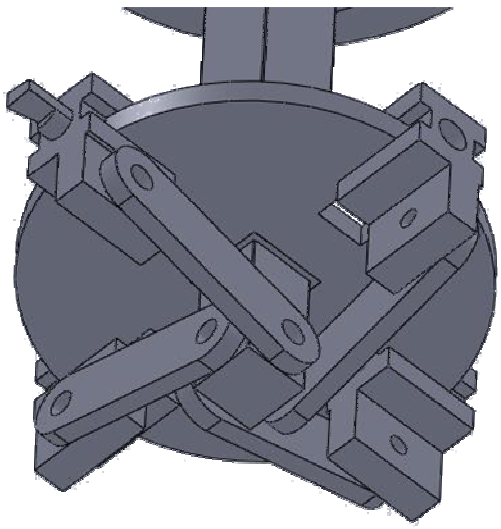

圖 13 刀具滑塊伸出

(三)　電鑽動力傳遞設計

我們預設加工動力為手提電鑽，設計構想是利用兩個傘型齒輪**[6]**，來傳遞動力，如圖 14 中水平軸的傘齒輪是固定在手提電鑽的鑽夾上，旋轉時可以將迴轉運動傳遞至下方水管內機構。

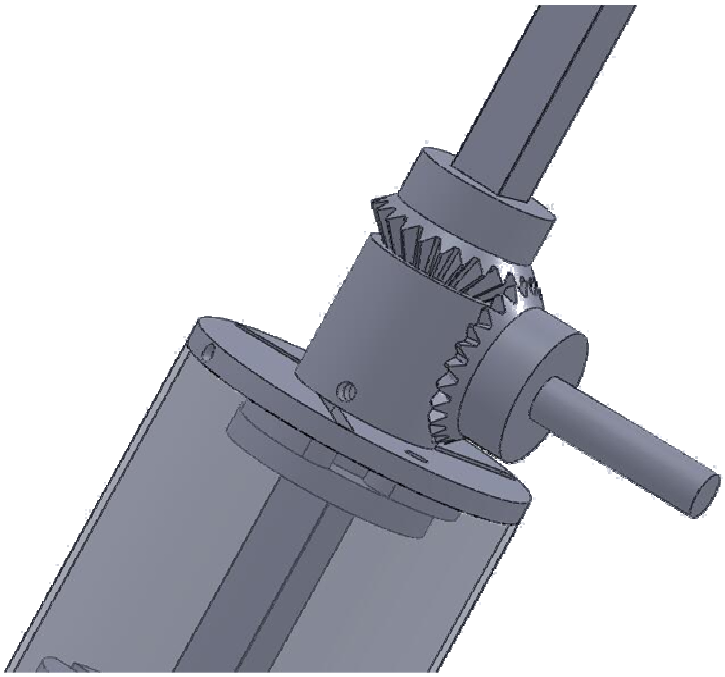

圖 14　切削動力傳遞機構設計

(四)　外側控制加工進給機構設計

加工動作需要由外側控制，我們設計的機構如圖 15~16 所示，加工前手把是張開狀態，中間螺桿是在下方位置，當把手壓下時，中間螺桿就會往外拉出，這時動作就會傳遞到機構內部，推動刀具滑塊外移進行加工。完成的整體設計如圖 17 所示，中間方管部分可以移動位置，可以調整至要鋸切的長度後固定起來。

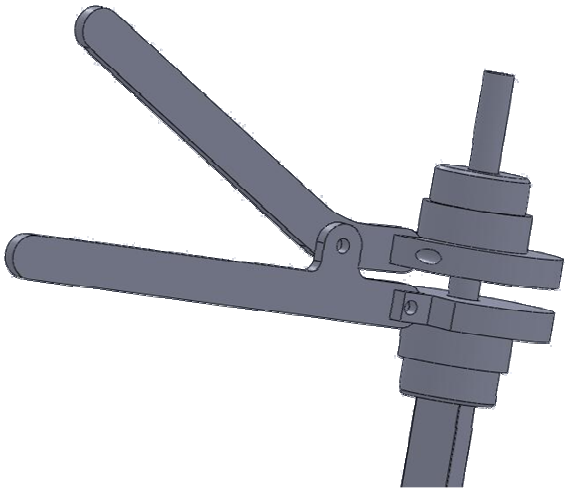

圖 15 外部進給控制機構設計(加工前)

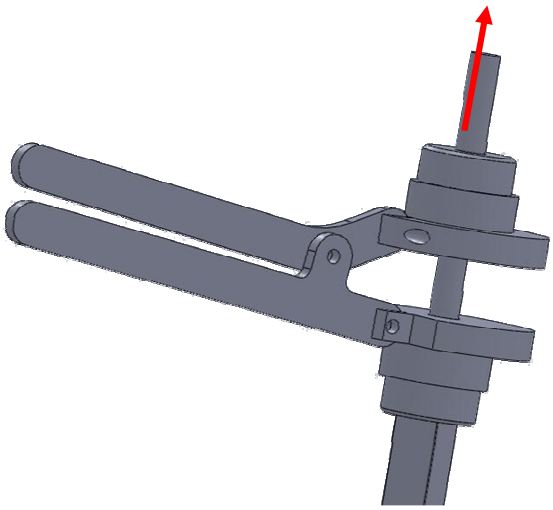

圖 16　進給控制(加工後)

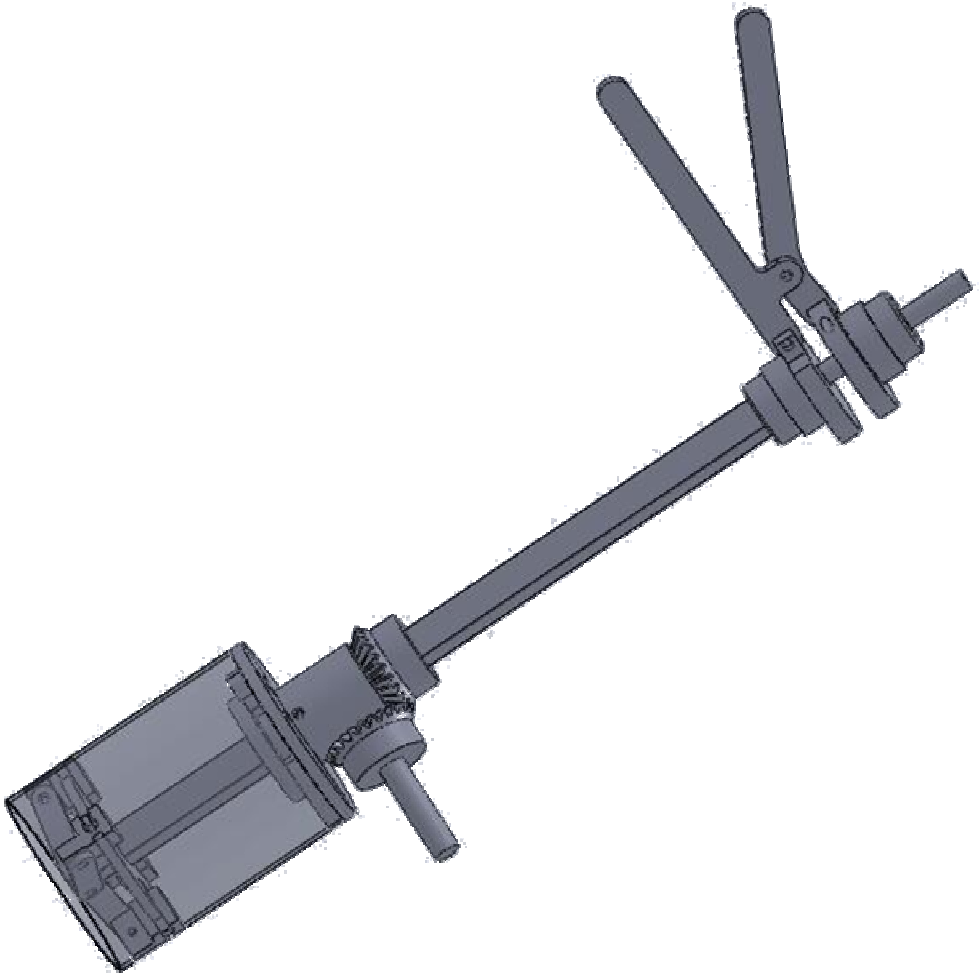

圖 17　水管內切裝置整體設計圖

四、 力學分析

(一) 外部加工進給施力大小計算

圖 18 爲機構設計受力圖，刀具切削加工時四個滑塊會承受一樣的力量，其中 θ 角作用從 30 度到 0 度，0 度時爲最外側位置，圖 19 爲外側施力相關位置，我們將力學分析力系圖繪製[7]如圖 20 及 21 所示。

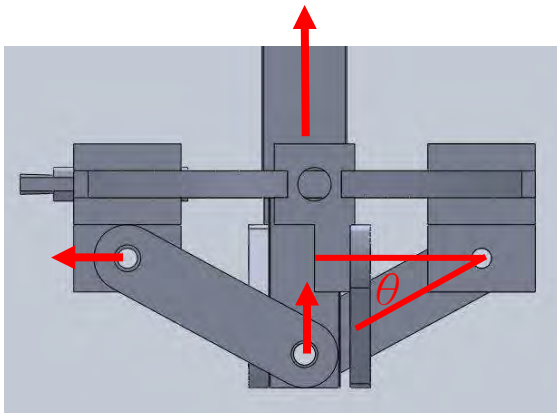

圖 18　切削進給力量分析

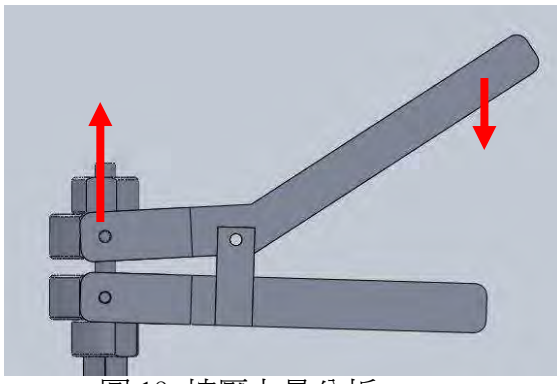

圖 19 按壓力量分析

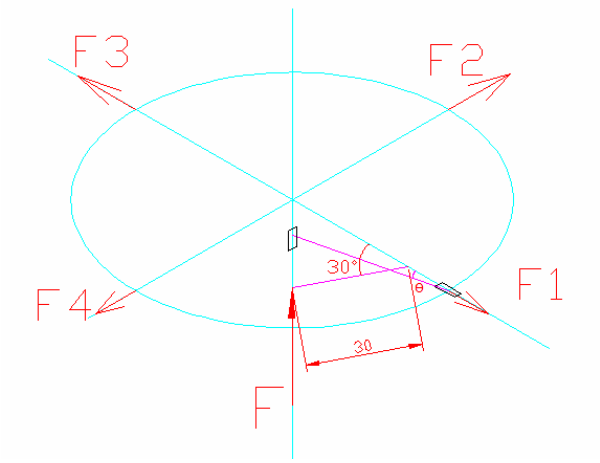

圖 20　刀具滑塊力系圖

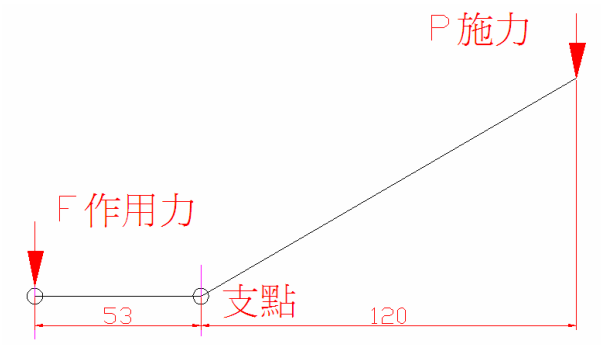

圖 21　外部施力力系圖

最小切割位置　$\theta = 30^{\circ}$

最小切割半徑　$r_{\min} = 30\cos 30^{\circ} = 15\sqrt{3}$

最大切割位置　$\theta = 0^{\circ}$

最大切割半徑　$r_{\max} = 30\cos 0^{\circ} = 30$

切割半徑變化　$\Delta r = 30\cos\theta^{\circ} - 30\cos 30^{\circ} = 30\cos\theta - 15\sqrt{3}$

作用力移動位移　$\Delta s = 30\sin 30^{\circ} - 30\sin\theta = 15 - 30\sin\theta$

機構對稱　$F_1 = F_2 = F_3 = F_4$

輸入功=輸出功　$W_{in} = W_{out}$

$$F \cdot \Delta s = 4F_1 \cdot \Delta r$$

滑塊作用力　$F_1 = \dfrac{F \cdot \Delta s}{4 \cdot \Delta r}$

由圖 21　以支點計算外部施力

$$\sum M_o = 0$$

$$P \times 120 - F \times 53 = 0 \qquad F = \frac{120}{53}P$$

從上述公式可以發現，外部施力 P 及作用位置會影響內部出力，我們會使用鋼管來增加施力臂長度，同時可以使握把容易握持。當外部力量越大時，內部的出力會越大；刀具滑塊的切削力量在連桿與水平接近 0 度時會達到最大。在往後的測試中我們也發現，當外部施力太大時，切槽刀具會陷入水管內，導致阻力增加，以手提電鑽的扭矩無法順利帶動機構運動。

(二) 最小運轉扭力計算

迴轉運動力系如圖 22 所示

$$T_{切割扭矩} = \sum M_o = 4\mu F_1 \times r$$

$$P = T \cdot \omega = T \times \frac{2\pi N}{60}$$

$$T_{電動馬達扭矩} = \frac{60P}{2\pi N} = \frac{30P}{\pi N}$$

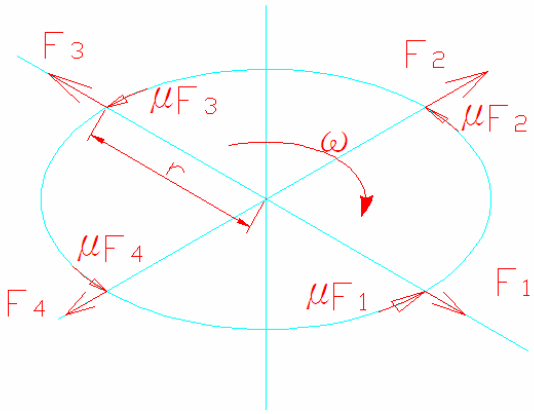

圖 22 旋轉扭力力系圖

T:扭矩

μ:刀具和塑膠管摩擦力

r:切割半徑

F1=滑塊作用力

N:每分鐘轉速

P:手提電鑽(電鑽)功率

從公式中可以發現若手提電鑽產生的扭矩小於切割扭矩時，是無法轉動刀刃切割，由於切割的正壓力是從外部傳入，因此外部手壓力量會影響刀刃輸出的正壓力。

五、 加工與組立

機構設計完成後，將各零件的工作圖繪出**[8]**，我們開始分工加工零件，滑塊需要使用銑床來加工**[9]**，過程如圖 23~24 所示，部份板片零件使用學校的金屬雷射切割機加工**[10]**，零件組立過程如圖 25~32 所示，組立需要較精細的鉗工工作**[11]**。

圖 23　零件圖與加工部分零件

圖 24　零件加工

圖 25　刀具滑塊組裝

圖 26 刀具滑塊組裝完成

圖 27　本體固定機構組立完成

圖 28　三夾爪外伸出

圖 29 斜齒輪傳動機構

圖 30　外部控制加工進給機構組成

圖 31　整體組立完成圖

圖 32　安裝於水管

六、 實際切割測試與修正

初步製作上還需要調整部分零件的精度**[8]**。組裝後發現外部進給加工的機構有問題，無法拉動中央滑塊動作，研究後發現設計的機構會導致圓盤歪斜而使阻力變大如圖 33，以至於無法產生加工作用力，這樣的狀況如同矽膠槍押出機構的動作原理。目前修正方式爲重新設計外部進給機構如圖 34，將受力的支點移往直徑的兩側，同時加入兩顆軸承減少摩擦阻力如圖 35 所示，避免外部圓盤歪斜導致卡住現象，加工完成的機構動作如圖 36 所示。

圖 33 外部進給卡住原因

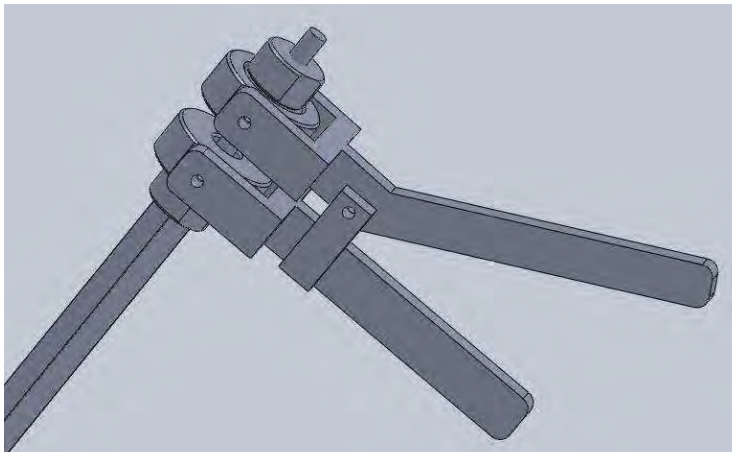

圖 34 外部進給新設計

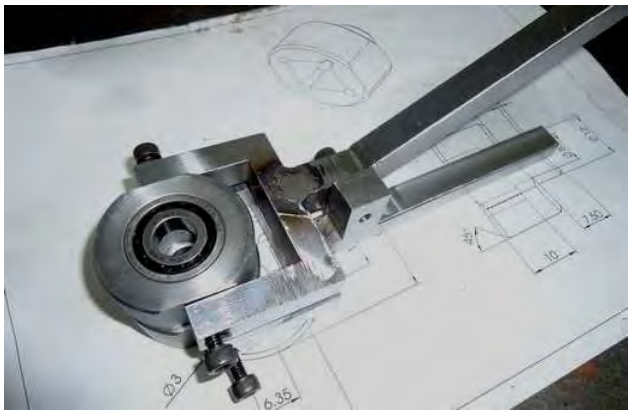

圖 35 外部進給機構安裝軸承

圖 36 進給機構操作方式

伍、 研究結果

當完成主要機構修正後進行實際切削測試，在切割測試過程中，使用手提電鑽來驅動機構如圖 37，過程中發現當外部進給機構壓下時，切削阻力會讓電動起子無法運轉，表示阻力

太大，因此我們修改直接以活動板手來驅動切割，如圖 38 所示，就可以產生切削的作用，可以讓水管切斷開來，圖 39 爲快要切斷開時水管上的痕跡，圖 40 爲切斷開的水管。

圖 37　實際從水管內部切削測試

圖 38　改使用開口板手作爲動力源

圖 39 水管內部鋸切斷掉前痕跡

圖 40 水管鋸切下來

本次研究主要是設計一個機構解決鋸切水管的問題，經過初步的測試後，發現有一些問題必須處理：

一、 電動起子馬力無法轉動方鋼管的狀況

由於刀刃處寬度爲 2mm，共有四刃，在鋸切時受力較大，因爲使用手提電鑽的動力來源扭矩不足。所以我們修改以手動方式進行加工，這樣的設計方式可以減少手提電鑽的使用，同時操作上也會比較方便，完成的設計如圖 41 所示，利用水管增加力臂使操作更容易，缺點是若需要切割的水管很多，操作人員就會比較勞累。

二、 固定機構會鬆開

三爪固定機構是使用一支圓棒以手按壓產生緊固力，可是鋸切過程中產生的偏轉力，會使固定爪鬆開，如果是一個人操作時，就會產生問題，同樣的若是兩人操作時，其中一人一手握住固定環把手，另外一人可以操作外部加工進給裝置，並使用另一手轉動板手。固定機構如果可以有自鎖效果的話，操作起來可以更容易，因此我們在原本機構上加上彈簧，使三點夾爪保持外向力量，安裝時只要將把手按壓使三爪內縮，放入水管後放手就可以固定住如圖 42 所示。

圖 41 使用鋼管增加加工力臂

圖 42 管口固定機構自鎖設計

三、 刀刃修改設計

使用切槽刀切割水管時，在快要切割斷開時，部分刀刃會瞬間穿破水管，導致阻力變大同時會造成管口毛邊甚多如圖 43，因此我們修改以切管器圓刀刃作爲切割刀刃，改裝完成如圖 44 所示，由於有四個滑塊，因此需要四片刀片。

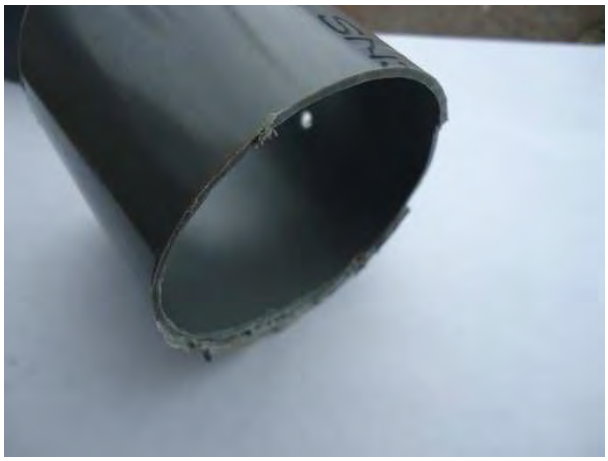

圖 43 使用切槽刀切割管口結果毛邊大

圖 44 將切槽刀更換爲圓刀刃

切割完成的水管口如圖 45，較切槽刀切割光滑及平整，同時使用圓刀刃，可以順逆轉，四個刀刃可以讓加工旋轉改爲只要轉動大於 90 度，往復轉動就可以切割，切割效率更高。

圖 45 使用圓刀刃切割完成管口

陸、 討論

一、不同材料切割的可行性

目前設計以 PVC 水管爲主，若有其他材質材料的鋸切，本機構是否可行？我們使用的刀具材質爲高速鋼，可以鋸切鐵材，可是外部進給機構可能無法使用人力，這部份需要設計有增加切削正壓力功能，如果是薄的不銹鋼管，以新的機構是可以切割。

二、小管徑水管的鋸切情況

目前設計的裝置尺寸只適合大型水管，小型 PVC 水管的鋸切需要不同的加工方式。討論結論是因爲小水管的空間限制較小，比較容易由外部鋸切或是剪切。

三、外部進給機構新設計

計畫使用槓桿原理來帶動外部進給機構，因此省力的效果下，一次移動的行程就無法太多，新設計的概念如圖 46 所示，設計成按壓一次前進一點距離，由於有限制回復的設計，機構不會彈回，多次操作即可產生足夠的行程。完成的設計組裝如圖 47，可以讓操作更方便。圖 48 為外部進給新機構組裝完成圖，圖 49 為加上增加力臂鋼管的完成圖。

圖 46 矽膠槍機構

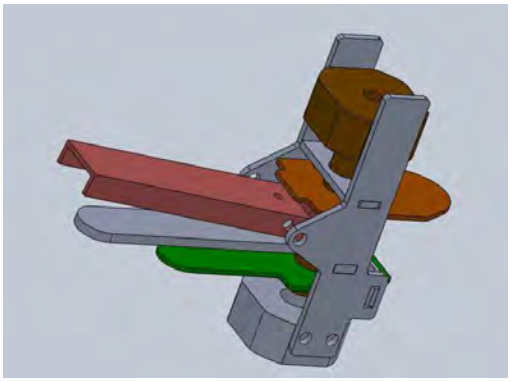

圖 47 外部進給寸動機構設計

圖 48　外部寸動進給機構組裝完成

圖 49　最後完成的外部進給機構

四、刀刃滑塊更換機構設計

由於切割長度需要可以調整，方管的長度可以較長，可是為了使用方便，我們設計切割部可以更換的構造，如圖 50 所示，中間方拉桿設計較短，同時製作一個可以放入長方管的方形孔，將方管穿入後就可以鎖上螺絲固定，內部的方滑塊可以利用螺絲和原本的螺桿連接如圖 51 所示，這樣就可以將切割長度延伸更長，只要製作有不同長度範圍的方管及內部拉桿，對於任意長度的切割更方便。

圖 50　刀具滑塊機構更換設計圖

圖 51 拉桿連接設計

柒、 結論

在建築工地中，水電工程的複雜度很高，每次施工都可能有一些問題需要解決，排水管裝設於箍筋中，若需要鋸切時必須避開鋼筋，空間會受到限制而不易施工，因此我們針對這問題設計機構，並且加工組立完成整個裝置，由於之前沒有任何類似的創作，因此在機構部分自行設計，在製作測試過程中，常常需要修改設計，加工技術也會影響到機構動作的流暢性，這些問題我們也一一處理解決。我們最後完成的機構具有如下特點：

一、 **具有省力的功能**：經過幾次的機構設計改良，從最早的機構無法連動，修正成要一直按壓外部進給機構才有切割力，到最後利用寸動機構可以非常省力就可以完成切割水管。

二、 **省時設計：**原本設計以切槽刀切割水管，刀片不能逆轉切割，改用圓刀刃後只要往復迴轉超過 90 度以上，兩、三下就可以切割斷開水管。

三、 **切口平整：**切槽刀完成的水管切口不平整，修改為圓刀刃後，水管斷面平整，加上使用管口固定機構，可以讓水管切口平行於水管口。

四、 **長度可以任意控制：**利用管口固定機構可以調整切割長度，若是超過連動方管的長度時，可以更換較長的連動方管及拉桿，更換容易。

五、 **可以適用於不同直徑的大水管：**切割刀具滑塊由內往外移動，可以切割一定範圍的水管直徑，若是管徑較小的水管較容易從外部切割，但是直徑較大水管從內部切割較為容易。

六、 **可適用於不銹鋼管切割**：管厚較薄的鋼管也可以切割。

捌、 參考資料及其他

1. yahoo 拍賣【五金達人】自動退刀 省力型 塑膠管切刀，民 102 年 3 月 5 日，取自：http://tw.page.bid.yahoo.com/tw/auction/f12746663?co_servername=aFS&co_servername2=aFS
2. 經濟部智慧財產局本國專利公報，『旋轉切管裝置』I337106。民 102 年 3 月 8 日，取自： http://twpat-simple.tipo.gov.tw/tipotwoc/tipotwkm?@@1888146518
3. 經濟部智慧財產局本國專利公報，『切管鉗』M336125。民 102 年 3 月 8 日，取自 http://twpat-simple.tipo.gov.tw/tipotwoc/tipotwkm?@@248545087
4. 經濟部智慧財產局本國專利公報，『切剪鉗』I318919。民 102 年 3 月 8 日，取自 http://twpat-simple.tipo.gov.tw/tipotwoc/tipotwkm?@@60225549
5. 王金柱，**車床實習 I 、II**，文野出版社，台中市，民 99 年。
6. 柯雲龍、潘建安編著，**機件原理 I**，台科大圖書股份有限公司，新北市，民 101 年。
7. 黃達明編著，**機械力學 I**，台科大圖書股份有限公司，新北市，民 100 年
8. 許中原編著，**電腦輔助繪圖實習 AutoCAD2010**，全華圖書股份有限公司，新北市，民 99 年。
9. 楊玉清編著，**數值控制機械實習 I、II**，昱網科技股份有限公司，八版，高雄市，民 100 年。
10. 陳勤仁、施忠良著，**銑床實習**，台科大圖書股份有限公司，新北市，民 98 年。
11. 廖蒼祥等編著，**機械基礎實習**，台科大圖書股份有限公司，新北市，民 99 年。

【評語】090905

本作品針對建築工地水管裝設時經常需要將已埋在鋼筋中的水管鋸開的困難，提出解決方案。參展成員非常用心地提出各種方案，並在研發過程中持續改良原設計之成果。本作品以從水管端面進入水管內部鋸切的機構，可深入水管由內部平整地鋸開水管。參展成員在現場非常熟練地操作所完成的工具，順利成功地切割示範用之水管，並有相當清晰的說明作品的設計理念與所考慮的情境以及改良作品的依據與方法。本案是相當優秀的作品，設計考慮周到，成員們亦充分了解設計機構的原理與功能，亦有適當的力學分析以了解作品的可施作範圍。惟可惜的是，本作品的重量與成本可能讓水管工卻步，這是未來需要精進或改善的方向。