

國立勤益科技大學
精密機械產業研發碩士班

碩士論文

新型行星齒輪系減速機構之研發
The study of new type Planetary gear reduction device

研究生：劉招典

指導教授：林金雄 博士

中華民國 101 年 6 月

新型行星齒輪系減速機構之研發

The study of new type Planetary gear reduction device

研究生：劉招典

指導教授：林金雄 博士

國立勤益科技大學
精密機械產業研發碩士班

碩士論文

A Thesis

Submitted to

Department of Mechanical Engineering
National Chin-Yi University of Technology
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science

in

Mechanical Engineering

June 2012

Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零一年六月

誌 謝

離開學校的多年以後，還能重新背著書包趕上課，著實令人興奮莫名，由於還需兼顧上班工作，經常是快到午夜才回到家，教授交代的報告，更是不假他人之手一字一字慢慢打，雖然沒有公司職員的水準和速度，報告交出來也是不盡理想，不過沒關係！努力就是最好的成績單。論文口試後有很多需要修正和補足的缺失，經過每天下班及假日時段，甚至有好幾天午夜2點起來寫到凌晨的記錄，終於完成本篇論文，在此深深感謝口試委員和指導教授的悉心指導、豐富了我的學生生涯。

感謝國立勤益科技大學機械系主任兼班導師：陳正和副教授

論文指導及授課老師：國立勤益科技大學機械系林金雄副教授

口試委員：國立勤益科技大學機械系張子欽副教授

口試委員：國立聯合大學能源工程系陳建仲副教授

授課老師：國立勤益科技大學機械系鄭文達教授

授課老師：國立勤益科技大學管理系許覺良教授

感謝 99 學年度產碩班的同學們、棕茂科技的茂全、茂成、晶城科技的建智、志鴻、遊走兩岸的加工機達人介昱、上班族文義、慶鴻集團阿鵬、博學多聞的治華、和美麗的班代苑淑，在辛苦工作了許多年以後、還能重溫懷念的學校生活，有你、妳們相伴真好。

感謝松和工業股份有限公司的長官們：

董事長：林敏舜先生、副董事長：洪惠嚴先生

總經理：簡一夫先生、執行副總經理：李金南先生

副總經理：張達夫先生

特準我在煩忙的工作中撥空來上課、無限感激。

特別感謝營業部美麗與氣質兼具的吳秀霞協理、幫忙英文翻譯

感謝參與試製減速機的眾家善心人士的幫忙、讓我可以低廉的價格、順利製造出成品來。

機械加工贊助商：憶社精密機械股份有限公司

鋁合金鑄造：大昌鑄造廠

擺臂製作：昌益不銹鋼股份有限公司

齒輪製造：憶社精密機械股份有限公司

心軸製作(情意相挺)：松和工業股份有限公司王東柏

銲接工程(情意相挺)：松和工業股份有限公司簡欽銘

操作把手製作(情意相挺)：松和工業股份有限公司簡瑞白

材料供應商：昌益不銹鋼股份有限公司

軸承供應商：坤元五金行

噴漆贊助商：禾順電業行

最後要感謝的是我的家人：在家中經濟行將山窮水盡的情況下、還願意讓我一圓讀書夢。



國立勤益科技大學
研究所碩士班
論文口試委員會審定書

本校機械工程系精密機械產業研發碩士班 劉招典君

所提論文：新型行星齒輪系減速機構之研發

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：林允雄 陳建仲
張子欽 _____

指導教授：林允雄 _____

系(所)主管：機械工程系主任蔡明義 _____

中華民國 一〇一 年 七 月

新型行星齒輪系減速機構之研發

學生：劉招典

指導教授：林金雄 博士

國立勤益科技大學精密機械產業研發碩士班

摘要

正齒輪減速機效率好、缺點是用 1 段減速或是 2 段減速都會有體積太大的缺點、而且市面上是需要訂製又交期緩慢。當前的環境力求節能減碳、為後代留一個乾淨的地球。難道就沒有一種體積小、效率高、的正齒輪減速機可供使用嗎？答案是有可能的。

行星齒輪系是由太陽齒輪、行星齒輪、以及內齒輪所組成。圖 1 是周轉輪系減速機構。作法是：固定同 1 組齒輪的齒數、再將配合的齒輪相差 1 或 2 個齒數、即可使減速機成為擁有任意減速比的減速機構。

關鍵詞：行星齒輪減速機，蝸輪減速機，太陽齒輪，內齒輪

The study of new type Planetary gear reduction device

Student : Chao -Tien Liou

Advisors : Dr. Jin -Shyong Lin

Department of Mechanical Engineering
National Chin-Yi University of Technology

ABSTRACT

Spur gear reducer is efficient enough, but it is too big when it undergoes group 1 or group 2. Besides, spur gear needed to be custom designed in the market and It takes more time to be produced. In nowadays, eco-friendly is one of the essential conditions of producing process. Protecting the mother earth is one of the most important things that we have to consider about. Is there any kinds of spur gear reducer which is small and efficient available? The answer is a big fat “yes.”

Planetary gear train is combined by sun gear, planetary gear and annular gear. Picture 1 is the structure of epicyclic gear. The process of producing it is as follow: to fix the number of the certain of gear teeth, then makes the gear which is going to be paired with plus or minus one gear or two teeth. After the process, the original reducer will become reduction gear which has arbitrary reduction ratio.

Keywords: Planetary gear reducer, worm gear speed reducer, the sun gear, internal gear °

目 錄

中文摘要	-----	VI
英文摘要	-----	VII
目錄	-----	VIII
圖目錄	-----	X
表目錄	-----	XIV
符號說明	-----	XV
第一章、	緒論-----	1
1.1	研究目的與動機-----	1
1.2	文獻回顧-----	7
第二章、	研究內容與方式-----	9
2.1	研究內容-----	9
2.2	研究方式-----	13
2.3	研究表列及結果-----	14
第三章、	創新理論-----	39
3.1	創新方式(1)改變模數-----	43
3.1.1	太陽齒輪型左側改變-----	44
3.1.2	太陽齒輪型右側改變-----	45
3.1.3	內齒輪型左側改變-----	47
3.1.4	內齒輪型右側改變-----	49
3.2	創新方式(2) 不變模數-----	51
3.2.1	運用鏈條及鏈輪來傳達動力-----	51
3.2.2	運用齒形皮帶輪來傳達動力-----	53
3.2.3	運用平皮帶輪來傳達動力-----	55
3.2.4	運用 V 形皮帶輪來傳達動力-----	57
3.2.5	運用萬向接頭機構來傳達動力-----	59
3.2.6	運用方型接頭機構來傳達動力-----	61
3.2.7	運用球關節聯結器機構來傳達動力-----	63
3.2.8	運用包曼撓性聯結器機構來傳達動力-----	65
3.2.9	運用螺旋彈簧聯結器機構來傳達動力-----	67

目 錄

3.2.10	運用橡膠撓性聯結器機構來傳達動力-----	69
3.2.11	運用鋼撓性聯結器機構來傳達動力-----	71
3.2.12	運用齒輪形軸聯結器機構來傳達動力-----	73
3.2.13	運用電子感應聯結器機構來傳達動力-----	75
3.2.14	運用支距軸聯結器機構來傳達動力-----	77
3.2.15	運用連桿銷聯結器機構來傳達動力-----	79
3.2.16	運用 Oldham 軸聯結器機構來傳達動力-----	81
3.2.17	運用開口軸聯結器機構來傳達動力-----	83
第四章、	成品製作與測試-----	85
4.1	繪製製造圖-----	85
4.2	製做齒輪箱的木模-----	99
4.3	鑄件製作-----	101
4.4	零件加工-----	101
4.5	零件組裝-----	103
4.6	成品完成後進行實際運轉測試-----	105
第五章、	結果與討論-----	107
第六章、	結論-----	108
第七章、	參考文獻-----	113
附錄一	木模的分類-----	116

圖目錄

圖 1	蝸桿和蝸輪-----	2
圖 2	行星齒輪減速機-----	8
圖 3	行星型周轉輪系-----	10
圖 4	內齒輪型周轉輪系-----	11
圖 5	太陽齒輪型周轉輪系-----	17
圖 6	2 段行星齒輪-----	39
圖 7	周轉輪系太陽齒輪型-----	41
圖 8	周轉輪系細部圖-----	42
圖 9	太陽齒輪型左側改變模數-----	44
圖 10	太陽齒輪型右側改變模數-----	45
圖 11	正齒輪減速機-----	46
圖 12	內齒輪型周轉輪系左側改變模數-----	47
圖 13	內齒輪型周轉輪系右側改變模數-----	49
圖 14	鏈輪傳動太陽齒輪機構型-----	51
圖 15	鏈輪傳動內齒輪機構型-----	52
圖 16	齒形皮帶傳動太陽齒輪機構型-----	53
圖 17	齒形皮帶傳動內齒輪機構型-----	54
圖 18	平皮帶輪傳動太陽齒輪機構型-----	55
圖 19	平皮帶輪傳動內齒輪機構型-----	56
圖 20	V 形皮帶傳動太陽齒輪機構型-----	57
圖 21	V 形皮帶傳動內齒輪機構型-----	58
圖 22	萬向接頭傳動太陽齒輪機構型-----	59
圖 23	萬向接頭傳動內齒輪機構型-----	60
圖 24	方形皮帶傳動太陽齒輪機構型-----	61
圖 25	方形皮帶傳動內齒輪機構型-----	62
圖 26	球關節傳動太陽齒輪機構型-----	63
圖 27	球關節傳動內齒輪機構型-----	64
圖 28	包曼撓性聯結器傳動太陽齒輪機構型-----	65
圖 29	包曼撓性聯結器傳動內齒輪機構型-----	66

圖 目 錄

圖 30	螺旋彈簧聯結器傳動太陽齒輪機構型-----	67
圖 31	螺旋彈簧聯結器傳動內齒輪機構型-----	68
圖 32	橡膠撓性聯結器傳動太陽齒輪機構型-----	69
圖 33	橡膠撓性聯結器傳動內齒輪機構型-----	70
圖 34	鋼撓性聯結器傳動太陽齒輪機構型-----	71
圖 35	鋼撓性聯結器傳動內齒輪機構型-----	72
圖 36	齒輪形聯結器傳動太陽齒輪機構型-----	73
圖 37	齒輪形聯結器傳動內齒輪機構型-----	74
圖 38	電子感應聯結器傳動太陽齒輪機構型-----	75
圖 39	電子感應聯結器傳動內齒輪機構型-----	76
圖 40	支距軸聯結器傳動太陽齒輪機構型-----	77
圖 41	支距軸聯結器傳動內齒輪機構型-----	78
圖 42	連桿銷聯結器傳動太陽齒輪機構型-----	79
圖 43	連桿銷聯結器傳動內齒輪機構型-----	80
圖 44	Oldham 軸聯結器傳動太陽齒輪機構型-----	81
圖 45	Oldham 軸聯結器傳動內齒輪機構型-----	82
圖 46	開口軸聯結器傳動太陽齒輪機構型-----	83
圖 47	開口軸聯結器傳動內齒輪機構型-----	84
圖 48	主齒輪箱組合圖-----	86
圖 49	主齒輪箱上蓋-----	87
圖 50	主齒輪箱下蓋-----	88
圖 51	擺臂-----	89
圖 52	固定太陽齒輪-----	90
圖 53	從動太陽齒輪-----	91
圖 54	從動行星齒輪-----	92
圖 55	固定端行星齒輪-----	93
圖 56	輸入軸及軸套-----	94
圖 57	輸出軸及軸套-----	95

圖目錄

圖 58	迴轉軸及軸套墊圈-----	96
圖 59	操作把手-----	97
圖 60	開度計-----	98
圖 61	木模正面-----	100
圖 62	木模背面-----	100
圖 63	鑄件成品-----	101
圖 64	M4X14T 從動行星齒輪成品-----	102
圖 65	M4.09302X14T 固定行星齒輪成品-----	102
圖 66	M4X30T 從動行星齒輪成品-----	102
圖 67	M4.09302X29T 固定行星齒輪成品-----	102
圖 68	行星齒輪迴轉軸-----	102
圖 69	輸出軸成品-----	102
圖 70	輸入軸成品-----	103
圖 71	6200ZZ 軸承-----	103
圖 72	固定太陽齒輪擺臂及行星齒輪組-----	103
圖 73	加上從動太陽齒輪及輸出軸-----	104
圖 74	減速機完成品前視圖-----	104
圖 75	減速機完成品背視圖-----	105
圖 76	減速機轉 5 圈-----	105
圖 77	減速機轉 10 圈-----	105
圖 78	減速機轉 15 圈-----	106
圖 79	減速機轉 20 圈-----	106
圖 80	減速機轉 25 圈-----	106
圖 81	減速機轉 30 圈-----	106
圖 82	傘形齒輪整體模背面圖-----	116
圖 83	傘形齒輪整體模正面圖-----	116
圖 84	分型模實體組合圖-----	117
圖 85	分型模實體上模圖-----	117

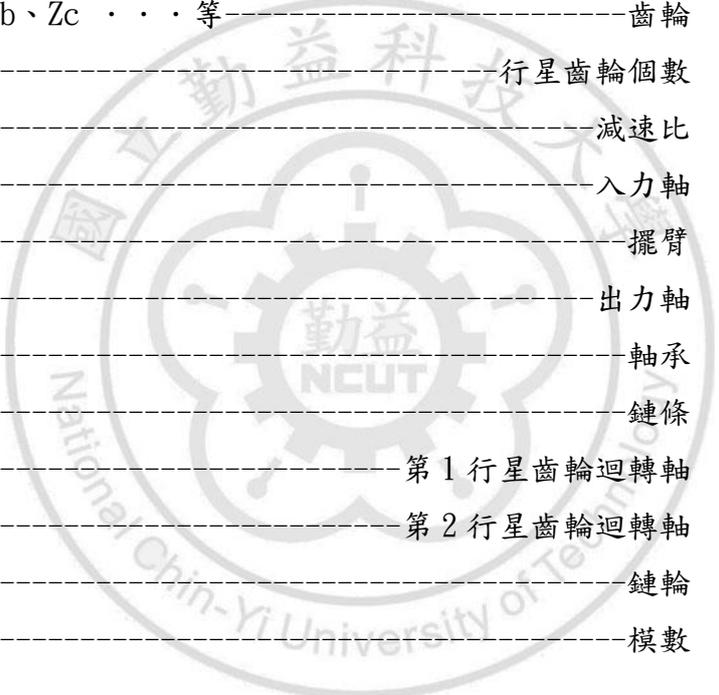
圖目錄

圖 86	分型模實體下模圖-----	117
圖 87	中板模實體、左右兩側銅製型溝即為定位金具-----	118
圖 88	中板模實體、左側是澆道系統及盲冒口-----	118
圖 89	中板模的砂心盒-----	119
圖 90	有 11 件成品的中板模-----	119
圖 91	括板模上砂模製造示意圖-----	120
圖 92	括板模下砂模製造示意圖-----	120
圖 93	括板模上下砂模組合圖-----	120
圖 94	凹凸模下模圖-----	121
圖 95	凹凸模上模圖-----	121
圖 96	中型中板模-----	122
圖 97	中型中板模的砂心盒-----	122
圖 98	推進器用的組合模-----	123

表 目 錄

表 1	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=13~15、行星齒輪個數 $N=2$ ----	14
表 2	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=16~18、行星齒輪個數 $N=2$ ----	15
表 3	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=19~21、行星齒輪個數 $N=2$ ----	16
表 4	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=22~24、行星齒輪個數 $N=2$ ----	17
表 5	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=25~27、行星齒輪個數 $N=2$ ----	18
表 6	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=28~30、行星齒輪個數 $N=2$ ----	19
表 7	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=31~33、行星齒輪個數 $N=2$ ----	20
表 8	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=34~35、行星齒輪個數 $N=2$ ----	21
表 9	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=13~15、行星齒輪個數 $N=3$ ----	22
表 10	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=16~18、行星齒輪個數 $N=3$ ----	23
表 11	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=19~21、行星齒輪個數 $N=3$ ----	24
表 12	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=22~24、行星齒輪個數 $N=3$ ----	25
表 13	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=25~27、行星齒輪個數 $N=3$ ----	26
表 14	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=28~30、行星齒輪個數 $N=3$ ----	27
表 15	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=31~33、行星齒輪個數 $N=3$ ----	28
表 16	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=34~36、行星齒輪個數 $N=3$ ----	29
表 17	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=13~21、行星齒輪個數 $N=4$ ----	30
表 18	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=22~26、行星齒輪個數 $N=4$ ----	31
表 19	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=27~30、行星齒輪個數 $N=4$ ----	32
表 20	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=31~33、行星齒輪個數 $N=4$ ----	33
表 21	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=34~36、行星齒輪個數 $N=4$ ----	34
表 22	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=15~36、行星齒輪個數 $N=5$ ----	35
表 23	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=19~35、行星齒輪個數 $N=6$ ----	36
表 24	行星齒輪配合齒數表太陽齒輪(Z_a)=22~38、行星齒輪個數 $N=7-10$	37
表 25	行星齒輪的元件-----	40

符號說明



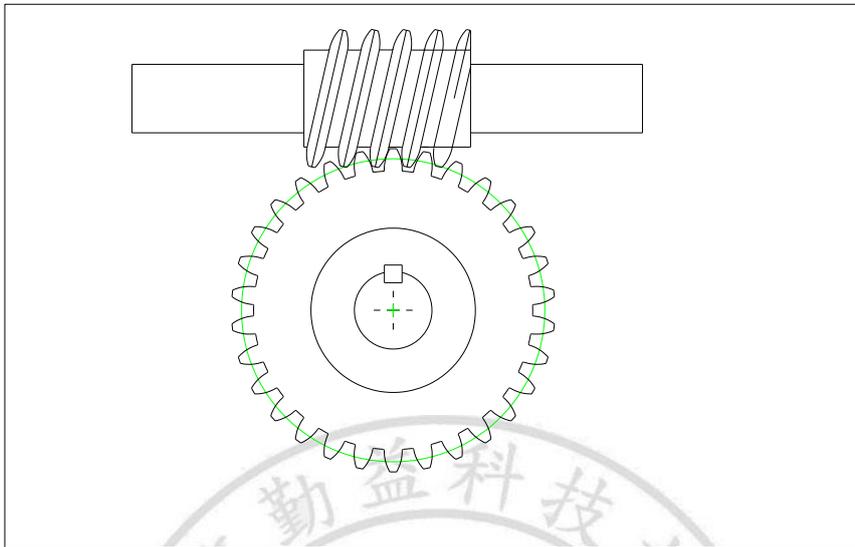
$Z_a、Z_b、Z_c \dots$ 等	齒輪
N	行星齒輪個數
i	減速比
A	入力軸
$B、B_1$	擺臂
C	出力軸
D	軸承
E	鏈條
F	第 1 行星齒輪迴轉軸
G	第 2 行星齒輪迴轉軸
H	鏈輪
M	模數

第一章、緒論

1.1 研究目的與動機

台灣的水工機械、從最早的流行歌曲「水車姑娘」裡的水車就有些許印象，那該是一種古早式的抽水機。簡單的構造、恐怕還得踩上一整天才能將田裏的水放滿。我想：這應該沒歌曲中快樂吧！小時後常常看到農夫在農田水圳裡用簡單的一塊木板，加上幾捆稻草，這就是現代的制水閘門了。接著：滿溢的水便順著預先挖好的渠道流到田裡。而這位將閘門放下的農夫、也就是原始版的水工機械了。從事水工機械的製造和研發從一開始的陌生、新奇、投入、接下便是恆久的一成不變。不甘心所選用的減速機不是效率差、就是體積大，這讓設計者有莫大的挫折感。例如今天我們需要 1/500 的減速比、來比較市面上蝸輪減速機、及正齒輪減速機吧。

蝸輪減速機：蝸輪的歷史很古老，幾乎是和一般齒輪同一時期所構想出來，並且由於許多人們的兢兢業業、才將各種的型式都創造了出來。特徵是一支蝸桿再配上一個蝸輪，(如第 1 圖)



第 1 圖 蝸桿和蝸輪

蝸輪減速機一般性的實用範圍是，常用動力在 300kw 以下，蝸桿的轉速在 1800rpm 以下，1 組的速比在 1/5~1/70 程度的。與其它型式的齒輪相比較蝸輪的優點有：

- (1) 可以將 1 組的速比取的大點。
- (2) 操作時的振動和噪音都少。
- (3) 可以將不相交軸配置成直角
- (4) 能夠防止倒轉。[1]

再者蝸桿可以是單螺紋、雙螺紋、甚至三螺紋，再搭配上蝸輪，幾乎所有你需要的減速比都辦的到。這也是目前市面上最暢銷的機種。但缺點是效率不佳，市面上常用的減速機品牌相當多、效率的計算結果也是各有不同，維一共同認可的效率公式如下：

$$\text{效率} = (\text{出力軸 hp} / \text{入力軸 hp}) \times 100\% \text{-----}(1)$$

特地收集了市面上幾家廠商型錄數據供參考：

(1)成大減速機、單段蝸輪減速機、型號為 60 型、轉速 1800rpm、減速比 1/30 型、出力軸=0.75hp 入力軸=1.07hp，將以上數據代入公式(1) 得到的效率是 70%[2]

(2)青木蝸輪減速機 LA0 型、轉速 1800rpm、減速比 1/30、查表：效率是 46%[3]

(3) 台灣工機蝸輪減速機、型錄上有效率表、減速比 1/30、查表：概略效率是 80%[4]。

(4)北工牌減速機 PAE60 型、型錄上有效率表、減速比 1/30、查表：效率是 73%~76%[5]

(5)利明減速機 E11 型、型錄上有效率表、減速比 1/30、查表：效率是 73%~76%[6]

綜合以上各家市售減速機效率來看、除了日本的青木蝸輪減速機效率較為不同以外、大致效率在 75%左右。日本水門鐵管技術基準中，蝸輪減速機的效率是在 50%~60%[7]。這讓設計師很為難，為了抵銷效率差、只好選擇大上 1 級的馬達來使用，國內馬達常用的規格為：三相四線式剎車馬達有 1/4HP、1/2HP、1HP、2HP、3HP、5HP、7.5HP、10HP 等[8]，假如是 1/4HP 的剎車馬達，因為蝸輪減速機效率差，而跳一級使用 1/2HP 的剎車馬達，因為價格和耗用的電能相差並不多、則尚能接受，若換成 7.5HP 的剎車馬達，因為蝸輪減速機效率差，而需要選擇 10HP 的剎車馬達，這就不符合當今節能減碳的需求了，尋找高減速比高效率減速機便暫不考慮蝸輪減速機了。

正齒輪減速機：齒輪主要的用途是作為兩軸之間功率及各種減速比的傳動，因此，根據兩傳動軸的相對位置，例如、兩傳動軸相互平行、兩傳動軸相交；或兩傳動軸既不平行也不相交等情形，分為正齒輪、斜齒輪、歪齒輪、蝸桿與蝸輪、等，其中、最值得我們注意的是高效率的正齒輪減速機。

正齒輪：常用於兩平行軸間的傳動，常見的有下列 6 種

(1)外齒輪：這是兩平行軸傳動最常用者。兩齒輪之輪齒於外緣相互齒合，所有的輪齒均與傳動軸平行。

(2)內齒輪：為一大內齒輪與一小齒輪相互齒合。內齒輪之輪齒均與傳動軸平行。

(3)螺旋齒輪：又稱正扭齒輪、此種齒輪的輪齒不平行傳動，而在一螺旋線上。

(4)人字齒輪：又稱雙螺旋線齒輪，此種齒輪乃是左向及右向合併而成人字形，可以克服螺旋齒輪運轉時所產生的軸向推力。

(5)齒條小齒輪：齒輪半徑增至無窮大時，便成一齒條，齒輪和齒條相結合，齒條的運動為直線往復運動，故於旋轉運動和直線往復運動之轉換中常使用到。

(6)針輪：其中一個齒輪乃是圓筒狀之銷，另一個齒輪之外形則由擺線所形成，針輪常用於鐘錶之機構中。[9]

市面上較常用到的正齒輪減速機中、以外齒輪減速機最常見、在正齒輪減速機中製造最簡單加工費用最省、缺點則是齒面研磨不佳或中心距離有誤差時、會產生噪音且會隨著速度增加而跟著增大。

再者：是螺旋齒輪減速機、齒輪接觸面增長齒輪的負載強度也跟著增加、噪音比外齒輪減速機小的優點，缺點是螺旋齒輪會在軸方向產生推力，所以需要加裝止推軸承來抵銷產生的軸向推力。加工費用比外齒輪減速機來得高一些。

人字齒輪減速機則是將螺旋齒輪依相反方向配置、形狀像是人字、由於反向配置的關係、軸向推力被相互抵銷，噪音比螺旋齒輪減速機更小、通常使用在重負荷方面。缺點是加工費用最昂貴製作上也較困難。

整體效率來說：正齒輪平行軸減速機的效率在 98%~99.5% 為最佳、正齒輪相交軸(直齒傘形齒輪、彎齒傘形齒輪，零度傘形齒輪)減速機 的效率則在 98%~99% 次之，正齒輪交錯軸螺旋齒輪減速機的效率則在 70%~95% 最差，以上效率值為傳動效率、不包含軸承及攪拌潤滑等損失 [10]。

由於沒有確切的實驗值、效率大多僅供參考、所以各家減速機廠商廠商大都省略不予以標示，但減速機通常是與馬達結合輸出動力，以下提供螺旋齒輪減速機的效率供參考：

負載 100% 的情況下、減速比 1/10 的螺旋齒輪減速機配上的 3hp 馬達效率是 87.97%，減速比 1/20 的螺旋齒輪減速機配上的 3hp 馬達效率是 93.45%，減速比 1/30 的螺旋齒輪減速機配上的 3hp 馬達的效率是 92.55% [11]。

例如；我所任職的松和工業股份有限公司公司、經常參與經濟部水利署中區水資源局的水閘門招標工程，得標廠商則需要依經濟部水利署合約書裡的施工補充說明中、依要求提送閘門強度計算書，閘門門框強度計算書，及水工機械強度計算書、供水利署中區水資源局審核、其中閘門門扇需計算面板強度及撓度、縱樑強度及撓度、橫樑強度及撓度，閘門門框強度計算書則

須要計算門框強度及與混凝土綜合強度、而水工機械強度計算書則須要計算齒輪面壓強度、齒輪剪斷應力、心軸扭矩及剪斷應力，而我們所依據的日本水門鐵管技術基準中，正齒輪減速機的效率是在 72%~85%[12]。和蝸輪減速機比起來效率是好很多，平均將近 90%。但是：它的傳動原理是以小齒輪來轉動大齒輪。

常見小齒輪最小齒數是 10 齒[13]、大齒輪如果是 70 齒、那減速比只有 1/7、結果是我們需要 4 段減速才會有 1/500 的減速比 ($1/7 * 1/7 * 1/7 * 20/29$)，這表示這個減速機會需要一只很大的齒輪箱，和 4 支直徑越來越大的心軸、而且減速比也不會是剛剛好的 1/500，（應該是 1/497.35）。

再者市面上銷售的減速所型錄所號稱的機減速比也不是整數，例如；日本椿本興業株式會社所製造的正齒輪減速機，型號：GRTA010-0.1 減速機，號稱減速比是 5，而實際減速比卻是 1/4.932[14]。結果相當明顯當我們使用了上述兩種減速比的減速機之後，成品的最終減速比將會產生誤差。

研究動機：在現有的各種市面上銷售的減速機構中、分析其機構中的優缺點、並加以修飾改良、盡可能依理論尋找出既可以像蝸輪減速機般自由搭配減速比，而效率又要和正齒輪減速機一樣好的減速機構，並且將理論化為現實，我們將製作一台減速機，從繪製製造圖，製作木模、鑄造本體、機械零件加工，最後組裝成 1 台減速機，並實際測試其結果是否有如理論中所預期的結果、深切期待能創造出新一代高效能減速機，為本研究主要動機。

1.2 文獻回顧：

1.2.1 擺線減速機：

市場上的擺線減速機由三個主要部份組成：

- (1) 入力(高速)軸組件及偏心凸輪
- (2) 擺線齒輪
- (3) 出力(低速)軸組件及支撐的軸承油封

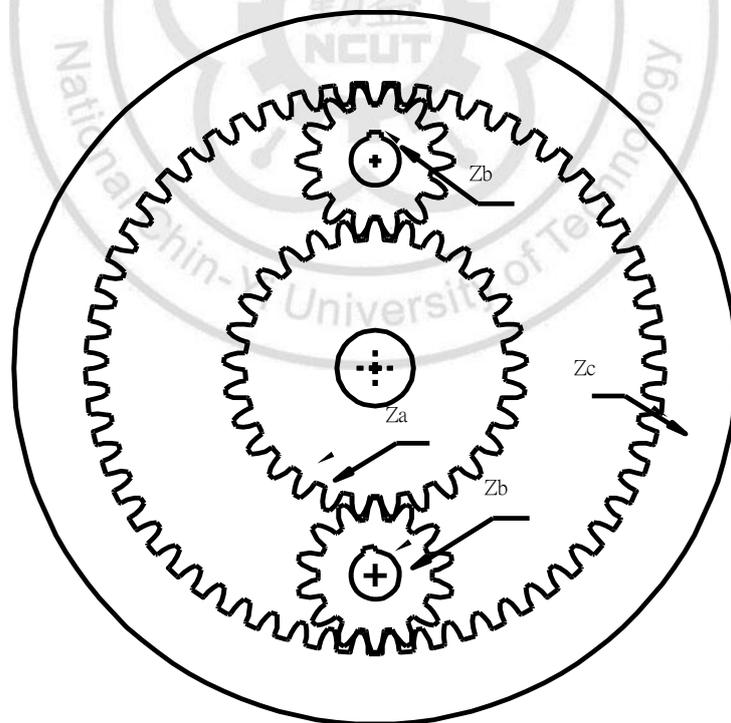
動作原理：傳送扭力由高速軸轉動偏心軸承並帶動位於環形齒輪殼內部的擺線齒輪，作擺動的規則轉動。擺線的齒徑由偏心軸承帶動，依一齒或二齒差作擺動的運轉，一齒差時，入力轉一圈擺線齒輪擺動一齒；二齒差時，擺線齒輪擺動一齒，入力與出力在一段時是相反方向的。擺線齒輪的扭力經由擺線齒輪之孔(8-12 個)和銷及滾筒傳遞至出力軸。優點有

- (1) 高效率：擺線減速機採用滾動齒合原理，所以減少了滑動磨擦及振動的現象，在扭矩的傳送中，由多個齒來承受，其效率一般在 85% 以上。

(2) 抗過載能力強：行星擺線齒輪由於採用了擺線針齒齒合，實現了多齒同時齒合傳動的能力最高達 67%，且避免了斷齒的可能，所以擺線針齒結構具有其他減速機不能承受的抗過載能力達 500%。

(3) 低噪音及運轉輕巧：與傳統滑動齒合型相比較，擺線滾動齒合大大的降低了噪音及振動。[15]

另外、日本住友重機械工業股份有限公司也有生產擺線減速機[16]，除了傳動的方式小有不同外，結構上是大同小異。擺線減速機為定速比且於高轉速情況下為高效率之減速器[17]。由於效率(85%)、只比蝸輪減速機好(75%)，但也比不上正齒輪減速機(90%)，所以開發新減速機就暫不考慮擺線減速機了。



第 2 圖行星齒輪減速機

1.2.2 行星齒輪減速機：

行星齒輪減速機是由太陽齒輪、行星齒輪、以及內齒輪所組成。圖 2 為例：太陽齒輪 Z_a 、行星齒輪 Z_b 、內齒輪 Z_c 。市面上銷售的就是這一款，它的特性有內齒輪 Z_c 固定，其整個機構的減速比是 Z_c/Z_a+1 ，所以當 $Z_a=12T$ ， $Z_c=60T$ 時減速比是 6，較普通正齒輪減速機的減速比，如大齒輪也是 60T、小齒輪 12T 的減速比=5 多了 20%。只需更換中心之太陽齒輪及行星齒輪，內齒輪不變即可變換不同的減速比。增加減速機段數可達到高速比要求。以 (1) 為例若有 3 段組合，其減速比為 $1/6*1/6*1/6=1/216$ 。

優點：(1) 行星齒輪箱中每一齒輪均以正齒輪組裝，齒輪平均配置且受力平均落於 4 點之上(參考圖 2)。

(2) 齒輪咬合度良好，而一般正齒輪只有一齒咬合，所以當扭力相同時，應力作用於行星齒輪上時較低，因此欲得相同負載，行星齒輪減速機的齒輪比一般正齒輪更輕小。[18]

第二章：研究內容與方法

2.1 研究內容：

文獻回顧顯示：行星齒輪減速機的傳動效率及減速比都較佳，這是一直在尋找高效能減速機構的我們探討的方向。行星齒輪(planetary gears)。早在 1782 年瓦特(james watt)為了使蒸汽機轉動。就曾經使用了行星齒輪來代替曲柄機構。並在 1788 年製造出 1 台具有 13HP 輸出，表壓力為 0.5 大氣壓之下為每分鐘 48 轉。為了將槓桿的擺動運動換成旋轉運動，乃採用了行星齒輪。

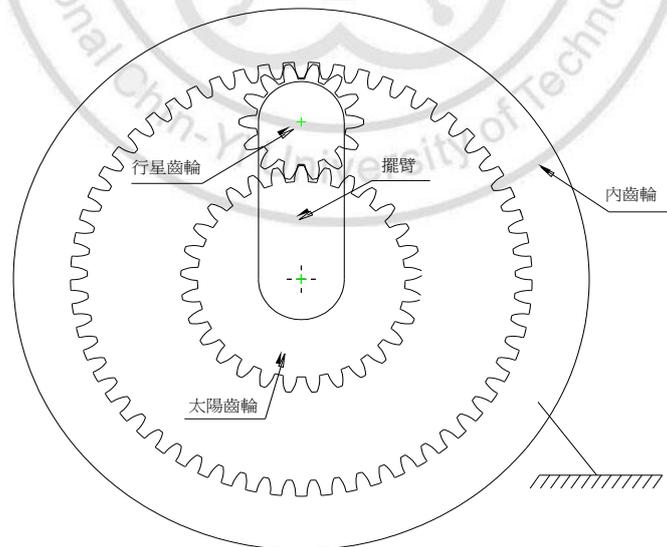
1910 年更使用在起重機的變速裝置。又在飛機和直升機的減速裝置中，為

了由小容量可以大馬力的傳遞起見，也使用了行星齒輪減速機。

更進一步，就汽車變速箱來說。行星齒輪減速機是當相當主流的設計，也就是，繼扭矩變速器或流體聯結器的流體傳遞元件之後，將使用多組行星齒輪減速機構的齒輪變速裝置組合起來使用，這種情形，一般都是採用 Simpson 式齒輪系，以及有如油壓來操作的多板離合器，來選擇固定元件，以便獲得前進檔及後退檔的傳動速度。

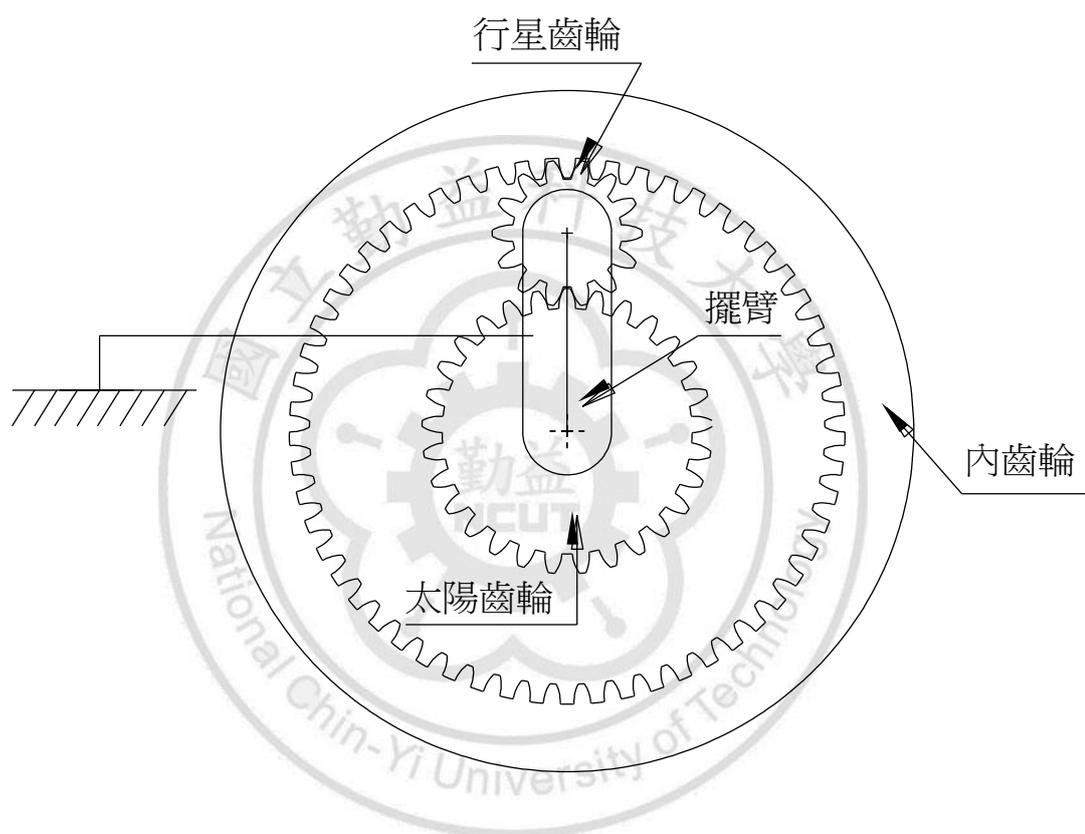
行星齒輪裝置分為下列幾種型式：1. 單式周轉輪系 2. 複式周轉輪系；
首先來探討單式周轉輪系

1. 單式周轉輪系 (simple epicyclic gear)，雖然是構造最簡單的行星齒輪裝置，可是減速比卻不能指望太大，若將單式周轉輪系加以分類時，則將成為(1)行星型(2)星型(3)太陽型



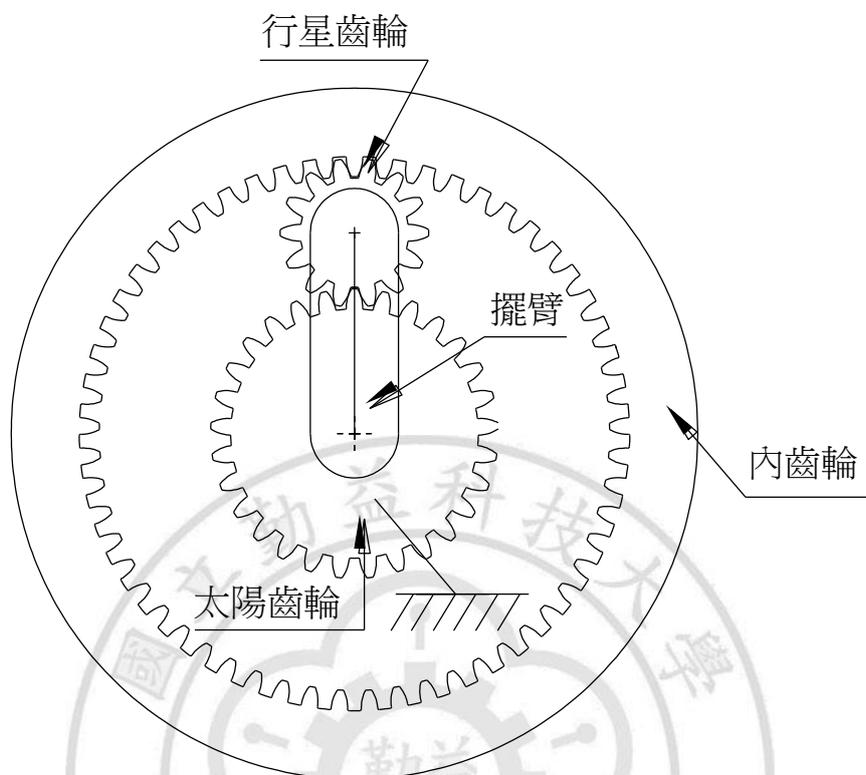
第 3 圖行星型周轉輪系

行星型，如第3圖行星型周轉輪系那樣，行星齒輪是配置在太陽齒輪的周圍，在它的外圍有固定起來的內齒輪，擺臂可以轉動，以便行星齒輪為太陽齒輪驅動著來自轉和公轉。這種型式，一般都是輸出軸和輸入軸的轉速比為 $1/3\sim 1/12$ 時來採用。



第4圖內齒輪型周轉輪系

內齒輪型，行星齒輪只作自轉運動而內齒輪內齒輪轉動的構造。如第4圖，乃是擺臂、行星齒輪和內齒輪都是自轉，而行星齒輪也不公轉的型式，因為不作周轉運動，所以嚴格說起來是不能叫作周轉輪系的，這種型式叫內齒輪型。一般都是輸出軸和輸入軸的轉速比為 $1/2\sim 1/11$ 時來採用。



第 5 圖太陽齒輪型周轉輪系

太陽型，將太陽齒輪固定起來，以內齒輪為輸入軸，而以擺臂為輸出軸的太陽型。這種情形的比數比較小，大致在 1/1.2~1/1.7 採用的。[19]

參考以上資料得知，單式周轉輪系的減速比、從最小的太陽型的 1/1.2，到最大的行星型 1/12 都有。參考第 3 圖、使用 3 個正齒輪得到 1/12 的減速比、這值得深入探討是否具有開發新減速機的潛力。

接下來探討市面上單式行星齒輪減速機所適合的配合齒數公式、請參考參考圖 2：行星齒輪減速機能夠順利傳達動力，則必須符合以下三個公式才行。

$$Z_a + 2Z_b = Z_c \quad \text{-----} \quad (2)$$

中心距離條件

$$(Z_a+Z_c)/N=\text{整數} \quad \text{-----} \quad (3)$$

拘束咬合條件

$$(Z_b+2)<(Z_a+Z_b)*\sin(180/N) \quad \text{-----} \quad (4)$$

外徑干涉條件

式中 N =所使用的行星齒輪個數[20]

以往的行星齒輪系齒數分析、就僅有上述表列有相關配合公式供使用者參考。若有設計者須要選擇配合的速比時，就必須逐項選定、太陽齒輪(Z_a)、及其側邊的行星齒輪(Z_b)、再進一步計算出內齒輪(Z_c)、最後再依機構的構造，選出對應的公式，算出最終的減速比。相信：這一定是相當耗時的苦差事。以下是從行星齒輪個數(N)=2 算到 10

2.2 研究方法：

利用 excel 儲存格的運算能力，將上述三個公式分別輸入儲存格中、先決定行星齒輪個數(N)、再選定太陽齒輪齒數(Z_a)、接著試著輸入行星齒輪齒數(Z_b)、即可自動計算出所須能配合的內齒輪齒數(Z_c)，及顯示是否合乎整數及公式(3)所求。再將其結果表列出來。其中：行星齒輪個數(N)為 2~10，太陽齒輪齒數(Z_a)約為 13~38 齒，行星齒輪(Z_b)為從 13 齒開始試算到公式(3)爆表為止，內齒輪(Z_c)則為配合的齒數，並且以下圖為探討個案，經計算後所得數據如 2.3 表 1~表 24

2.3 研究表列及結果

表 1：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Za)=13~15 齒
 行星齒輪個數 N=2

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 2、經計算後得到的配合齒數								
內齒輪 Zc	行星齒輪 Zb	太陽齒輪 Za	行星齒輪個數 N=			SIN(180/N)=		
201	93	15	2			1		
(1).Za+2Zb=Zc								
OK								
(2).(Za+Zc)/N			(3).Zb+2<(Za+Zb)Xsin(180/N)					
整數			(Za+Zb)Xsin(180/N)= Zb+2=			90		
108.00			OK			108 95		
Zc	Zb	Za	Zc	Zb	Za	Zc	Zb	Za
39	13	13	40	13	14	41	13	15
41	14	13	42	14	14	43	14	15
43	15	13	44	15	14	45	15	15
45	16	13	46	16	14	47	16	15
47	17	13	48	17	14	49	17	15
49	18	13	50	18	14	51	18	15
51	19	13	52	19	14	53	19	15
53	20	13	54	20	14	55	20	15
55	21	13	56	21	14	57	21	15
57	22	13	58	22	14	59	22	15
59	23	13	60	23	14	61	23	15
61	24	13	62	24	14	63	24	15
63	25	13	64	25	14	65	25	15
65	26	13	66	26	14	67	26	15
67	27	13	68	27	14	69	27	15
69	28	13	70	28	14	71	28	15
71	29	13	72	29	14	73	29	15
73	30	13	74	30	14	75	30	15
75	31	13	76	31	14	77	31	15
77	32	13	78	32	14	79	32	15
79	33	13	80	33	14	81	33	15
81	34	13	82	34	14	83	34	15
83	35	13	84	35	14	85	35	15
85	36	13	86	36	14	87	36	15
87	37	13	88	37	14	89	37	15
89	38	13	90	38	14	91	38	15
91	39	13	92	39	14	93	39	15
93	40	13	94	40	14	95	40	15
199	93	13	198	92	14	201	93	15

以上若有空欄為參考上欄 Za=15 Zb=13~40 等差為 1
 Zc=41~201 等差為 2，以下各表以此類推。

表 2：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=13~18 齒
 行星齒輪個數 $N=2$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 2、經計算後得到的配合齒數								
2								
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
42	13	16	43	13	17	44	13	18
44	14	16	45	14	17	46	14	18
46	15	16	47	15	17	48	15	18
48	16	16	49	16	17	50	16	18
50	17	16	51	17	17	52	17	18
52	18	16	53	18	17	54	18	18
54	19	16	55	19	17	56	19	18
56	20	16	57	20	17	58	20	18
58	21	16	59	21	17	60	21	18
60	22	16	61	22	17	62	22	18
62	23	16	63	23	17	64	23	18
64	24	16	65	24	17	66	24	18
66	25	16	67	25	17	68	25	18
68	26	16	69	26	17	70	26	18
70	27	16	71	27	17	72	27	18
72	28	16	73	28	17	74	28	18
74	29	16	75	29	17	76	29	18
76	30	16	77	30	17	78	30	18
78	31	16	79	31	17	80	31	18
80	32	16	81	32	17	82	32	18
82	33	16	83	33	17	84	33	18
84	34	16	85	34	17	86	34	18
86	35	16	87	35	17	88	35	18
86	36	16	89	36	17	90	36	18
88	37	16	91	37	17	92	37	18
90	38	16	93	38	17	94	38	18
92	39	16	95	39	17	96	39	18
94	40	16	97	40	17	98	40	18
96	41	16	99	41	17	100	41	18
98	42	16	101	42	17	102	42	18
100	43	16	103	43	17	104	43	18
102	44	16	105	44	17	106	44	18
104	45	16	107	45	17	108	45	18
106	46	16	109	46	17	110	46	18
108	47	16	111	47	17	112	47	18
110	48	16	113	48	17	114	48	18
112	49	16	115	49	17	116	49	18
200	92	16	201	92	17	200	91	18

表 3：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=19~21 齒
 行星齒輪個數 $N=2$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 2、經計算後得到的配合齒數								
2								
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
45	13	19	46	13	20	47	13	21
47	14	19	48	14	20	49	14	21
49	15	19	50	15	20	51	15	21
51	16	19	52	16	20	53	16	21
53	17	19	54	17	20	55	17	21
55	18	19	56	18	20	57	18	21
57	19	19	58	19	20	59	19	21
59	20	19	60	20	20	61	20	21
61	21	19	62	21	20	63	21	21
63	22	19	64	22	20	65	22	21
65	23	19	66	23	20	67	23	21
67	24	19	68	24	20	69	24	21
69	25	19	70	25	20	71	25	21
71	26	19	72	26	20	73	26	21
73	27	19	74	27	20	75	27	21
75	28	19	76	28	20	77	28	21
77	29	19	78	29	20	79	29	21
79	30	19	80	30	20	81	30	21
81	31	19	82	31	20	83	31	21
83	32	19	84	32	20	85	32	21
85	33	19	86	33	20	87	33	21
87	34	19	88	34	20	89	34	21
89	35	19	90	35	20	91	35	21
91	36	19	92	36	20	93	36	21
93	37	19	94	37	20	95	37	21
95	38	19	96	38	20	97	38	21
97	39	19	98	39	20	99	39	21
99	40	19	100	40	20	101	40	21
101	41	19	102	41	20	103	41	21
103	42	19	104	42	20	105	42	21
105	43	19	106	43	20	107	43	21
107	44	19	108	44	20	109	44	21
109	45	19	110	45	20	111	45	21
111	46	19	112	46	20	113	46	21
113	47	19	114	47	20	115	47	21
115	48	19	116	48	20	117	48	21
117	49	19	118	49	20	119	49	21
119	51	19	120	50	20	121	50	21
201	91	19	200	90	20	201	90	21

表 4：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=22~24 齒
 行星齒輪個數 $N=2$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 2、經計算後得到的配合齒數								
2								
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
48	13	22	49	13	23	50	13	24
50	14	22	51	14	23	52	14	24
52	15	22	53	15	23	54	15	24
54	16	22	55	16	23	56	16	24
56	17	22	57	17	23	58	17	24
58	18	22	59	18	23	60	18	24
60	19	22	61	19	23	62	19	24
62	20	22	63	20	23	64	20	24
64	21	22	65	21	23	66	21	24
66	22	22	67	22	23	68	22	24
68	23	22	69	23	23	70	23	24
70	24	22	71	24	23	72	24	24
72	25	22	73	25	23	74	25	24
74	26	22	75	26	23	76	26	24
76	27	22	77	27	23	78	27	24
78	28	22	79	28	23	80	28	24
80	29	22	81	29	23	82	29	24
82	30	22	83	30	23	84	30	24
84	31	22	85	31	23	86	31	24
86	32	22	87	32	23	88	32	24
88	33	22	89	33	23	90	33	24
90	34	22	91	34	23	92	34	24
92	35	22	93	35	23	94	35	24
94	36	22	95	36	23	96	36	24
96	37	22	97	37	23	98	37	24
98	38	22	99	38	23	100	38	24
100	39	22	101	39	23	102	39	24
102	40	22	103	40	23	104	40	24
104	41	22	105	41	23	106	41	24
106	42	22	107	42	23	108	42	24
108	43	22	109	43	23	110	43	24
110	44	22	111	44	23	112	44	24
112	45	22	113	45	23	114	45	24
114	46	22	115	46	23	116	46	24
116	47	22	117	47	23	118	47	24
118	48	22	119	48	23	120	48	24
120	49	22	121	49	23	122	49	24
200	89	22	201	88	23	200	88	24

表 5：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=25~27 齒
 行星齒輪個數 $N=2$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 2、經計算後得到的配合齒數								
2								
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
51	13	25	52	13	26	53	13	27
53	14	25	54	14	26	55	14	27
55	15	25	56	15	26	57	15	27
57	16	25	58	16	26	59	16	27
59	17	25	60	17	26	61	17	27
61	18	25	62	18	26	63	18	27
63	19	25	64	19	26	65	19	27
65	20	25	66	20	26	67	20	27
67	21	25	68	21	26	69	21	27
69	22	25	70	22	26	71	22	27
71	23	25	72	23	26	73	23	27
73	24	25	74	24	26	75	24	27
75	25	25	76	25	26	77	25	27
77	26	25	78	26	26	79	26	27
79	27	25	80	27	26	81	27	27
81	28	25	82	28	26	83	28	27
83	29	25	84	29	26	85	29	27
85	30	25	86	30	26	87	30	27
87	31	25	88	31	26	89	31	27
89	32	25	90	32	26	91	32	27
91	33	25	92	33	26	93	33	27
93	34	25	94	34	26	95	34	27
95	35	25	96	35	26	97	35	27
97	36	25	98	36	26	99	36	27
99	37	25	100	37	26	101	37	27
101	38	25	102	38	26	103	38	27
103	39	25	104	39	26	105	39	27
105	40	25	106	40	26	107	40	27
107	41	25	108	41	26	109	41	27
109	42	25	110	42	26	111	42	27
111	43	25	112	43	26	113	43	27
113	44	25	114	44	26	115	44	27
115	45	25	116	45	26	117	45	27
117	46	25	118	46	26	119	46	27
119	47	25	120	47	26	121	47	27
121	48	25	122	48	26	123	48	27
123	49	25	124	49	26	125	49	27
200	89	25	201	88	26	200	88	27

表 6：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=28~30 齒
 行星齒輪個數 $N=2$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 2、經計算後得到的配合齒數								
2								
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
54	13	28	55	13	29	56	13	30
56	14	28	57	14	29	58	14	30
58	15	28	59	15	29	60	15	30
60	16	28	61	16	29	62	16	30
62	17	28	63	17	29	64	17	30
64	18	28	65	18	29	66	18	30
66	19	28	67	19	29	68	19	30
68	20	28	69	20	29	70	20	30
70	21	28	71	21	29	72	21	30
72	22	28	73	22	29	74	22	30
74	23	28	75	23	29	76	23	30
76	24	28	77	24	29	78	24	30
78	25	28	79	25	29	80	25	30
80	26	28	81	26	29	82	26	30
82	27	28	83	27	29	84	27	30
84	28	28	85	28	29	86	28	30
86	29	28	87	29	29	88	29	30
88	30	28	89	30	29	90	30	30
90	31	28	91	31	29	92	31	30
92	32	28	93	32	29	94	32	30
94	33	28	95	33	29	96	33	30
96	34	28	97	34	29	98	34	30
98	35	28	99	35	29	100	35	30
100	36	28	101	36	29	102	36	30
102	37	28	103	37	29	104	37	30
104	38	28	105	38	29	106	38	30
106	39	28	107	39	29	108	39	30
108	40	28	109	40	29	110	40	30
110	41	28	111	41	29	112	41	30
112	42	28	113	42	29	114	42	30
114	43	28	115	43	29	116	43	30
116	44	28	117	44	29	118	44	30
118	45	28	119	45	29	120	45	30
120	46	28	121	46	29	122	46	30
122	47	28	123	47	29	124	47	30
124	48	28	125	48	29	126	48	30
126	49	28	127	49	29	128	49	30
128	50	28	129	50	29	130	50	30
200	89	28	199	85	29	200	85	30

表 7：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=28~30 齒
 行星齒輪個數 $N=2$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 2 經計算後得到的配合齒數								
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
57	13	31	58	13	32	59	13	33
59	14	31	60	14	32	61	14	33
61	15	31	62	15	32	63	15	33
63	16	31	64	16	32	65	16	33
65	17	31	66	17	32	67	17	33
67	18	31	68	18	32	69	18	33
69	19	31	70	19	32	71	19	33
71	20	31	72	20	32	73	20	33
73	21	31	74	21	32	75	21	33
75	22	31	76	22	32	77	22	33
77	23	31	78	23	32	79	23	33
79	24	31	80	24	32	81	24	33
81	25	31	82	25	32	83	25	33
83	26	31	84	26	32	85	26	33
85	27	31	86	27	32	87	27	33
87	28	31	88	28	32	89	28	33
89	29	31	90	29	32	91	29	33
91	30	31	92	30	32	93	30	33
93	31	31	94	31	32	95	31	33
95	32	31	96	32	32	97	32	33
97	33	31	98	33	32	99	33	33
99	34	31	100	34	32	101	34	33
101	35	31	102	35	32	103	35	33
103	36	31	104	36	32	105	36	33
105	37	31	106	37	32	107	37	33
107	38	31	108	38	32	109	38	33
109	39	31	110	39	32	111	39	33
111	40	31	112	40	32	113	40	33
113	41	31	114	41	32	115	41	33
115	42	31	116	42	32	117	42	33
117	43	31	118	43	32	119	43	33
119	44	31	120	44	32	121	44	33
121	45	31	122	45	32	123	45	33
123	46	31	124	46	32	125	46	33
125	47	31	126	47	32	127	47	33
127	48	31	128	48	32	129	48	33
129	49	31	130	49	32	131	49	33
131	50	31	132	50	32	133	50	33
199	84	31	200	84	32	200	85	33

表 8：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=34~35 齒
 行星齒輪個數 $N=2$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 2、經計算後得到的配合齒數							
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a		
60	13	34	61	13	35		
62	14	34	63	14	35		
64	15	34	65	15	35		
66	16	34	67	16	35		
68	17	34	69	17	35		
70	18	34	71	18	35		
72	19	34	73	19	35		
74	20	34	75	20	35		
76	21	34	77	21	35		
78	22	34	79	22	35		
80	23	34	81	23	35		
82	24	34	83	24	35		
84	25	34	85	25	35		
86	26	34	87	26	35		
88	27	34	89	27	35		
90	28	34	91	28	35		
92	29	34	93	29	35		
94	30	34	95	30	35		
96	31	34	97	31	35		
98	32	34	99	32	35		
100	33	34	101	33	35		
102	34	34	103	34	35		
104	35	34	105	35	35		
106	36	34	107	36	35		
108	37	34	109	37	35		
110	38	34	111	38	35		
112	39	34	113	39	35		
114	40	34	115	40	35		
116	41	34	117	41	35		
118	42	34	119	42	35		
120	43	34	121	43	35		
122	44	34	123	44	35		
124	45	34	125	45	35		
126	46	34	127	46	35		
128	47	34	129	47	35		
130	48	34	131	48	35		
132	49	34	133	49	35		
134	50	34	135	50	35		
200	83	34	199	82	35		

表 11：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=19~21 齒
 行星齒輪個數 $N=3$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 3、經計算後得到的配合齒數								
3								
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
41	11	19	46	13	20	45	12	21
47	14	19	52	16	20	51	15	21
53	17	19	58	19	20	57	18	21
59	20	19	64	22	20	63	21	21
65	23	19	70	25	20	69	24	21
71	26	19	76	28	20	75	27	21
77	29	19	82	31	20	81	30	21
83	32	19	88	34	20	87	33	21
89	35	19	94	37	20	93	36	21
95	38	19	100	40	20	99	39	21
101	41	19	106	43	20	105	42	21
107	44	19	112	46	20	111	45	21
113	47	19	118	49	20	117	48	21
119	50	19	124	52	20	123	51	21
125	53	19	130	55	20	129	54	21
131	56	19	136	58	20	135	57	21
137	59	19	142	61	20	141	60	21
143	62	19	148	64	20	147	63	21
149	65	19	154	67	20	153	66	21
155	68	19	160	70	20	159	69	21
161	71	19	166	73	20	165	72	21
167	74	19	172	76	20	171	75	21
173	77	19	178	79	20	177	78	21
179	80	19	184	82	20	183	81	21
185	83	19	190	85	20	189	84	21
191	86	19	196	88	20	195	87	21
			202	91	20	201	90	21
			208	94	20	207	93	21
			214	97	20	213	96	21
			220	100	20	219	99	21
			226	103	20	225	102	21
			232	106	20	231	105	21
			238	109	20	237	108	21
			244	112	20	243	111	21
						249	114	21
						255	117	21
						261	120	21

表 12：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=22~24 齒
 行星齒輪個數 $N=3$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 3、經計算後得到的配合齒數								
3								
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
44	11	22	49	13	23	48	12	24
50	14	22	55	16	23	54	15	24
56	17	22	61	19	23	60	18	24
62	20	22	67	22	23	66	21	24
68	23	22	73	25	23	72	24	24
74	26	22	79	28	23	78	27	24
80	29	22	85	31	23	84	30	24
86	32	22	91	34	23	90	33	24
92	35	22	97	37	23	96	36	24
98	38	22	103	40	23	102	39	24
104	41	22	109	43	23	108	42	24
110	44	22	115	46	23	114	45	24
116	47	22	121	49	23	120	48	24
122	50	22	127	52	23	126	51	24
128	53	22	133	55	23	132	54	24
134	56	22	139	58	23	138	57	24
140	59	22	145	61	23	144	60	24
146	62	22	151	64	23	150	63	24
152	65	22	157	67	23	156	66	24
158	68	22	163	70	23	162	69	24
164	71	22	169	73	23	168	72	24
170	74	22	175	76	23	174	75	24
176	77	22	181	79	23	180	78	24
182	80	22	187	82	23	186	81	24
188	83	22	193	85	23	192	84	24
194	86	22	199	88	23	198	87	24
200	89	22	205	91	23	204	90	24
206	92	22	211	94	23	210	93	24
212	95	22	217	97	23	216	96	24
218	98	22	223	100	23	222	99	24
224	101	22	229	103	23	228	102	24
230	104	22	235	106	23	234	105	24
236	107	22	241	109	23	240	108	24
242	110	22	247	112	23	246	111	24
248	113	22	253	115	23	252	114	24
254	116	22	259	118	23	258	117	24
260	119	22	265	121	23	264	120	24
266	122	22	271	124	23	270	123	24
272	125	22	277	127	23	276	126	24
			289	133	23	300	138	24

表 13：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=25~27 齒
 行星齒輪個數 $N=3$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 3、經計算後得到的配合齒數								
3								
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
53	14	25	52	13	26	51	12	27
59	17	25	58	16	26	57	15	27
65	20	25	64	19	26	63	18	27
71	23	25	70	22	26	69	21	27
77	26	25	76	25	26	75	24	27
83	29	25	82	28	26	81	27	27
89	32	25	88	31	26	87	30	27
95	35	25	94	34	26	93	33	27
101	38	25	100	37	26	99	36	27
107	41	25	106	40	26	105	39	27
113	44	25	112	43	26	111	42	27
119	47	25	118	46	26	117	45	27
125	50	25	124	49	26	123	48	27
131	53	25	130	52	26	129	51	27
137	56	25	136	55	26	135	54	27
143	59	25	142	58	26	141	57	27
149	62	25	148	61	26	147	60	27
155	65	25	154	64	26	153	63	27
161	68	25	160	67	26	159	66	27
167	71	25	166	70	26	165	69	27
173	74	25	172	73	26	171	72	27
179	77	25	178	76	26	177	75	27
185	80	25	184	79	26	183	78	27
191	83	25	190	82	26	189	81	27
197	86	25	196	85	26	195	84	27
317	146	25	328	151	26	345	159	27
209	92	25	208	91	26	207	90	27
215	95	25	214	94	26	213	93	27
221	98	25	220	97	26	219	96	27
227	101	25	226	100	26	225	99	27
233	104	25	232	103	26	231	102	27
239	107	25	238	106	26	237	105	27
245	110	25	244	109	26	243	108	27
251	113	25	250	112	26	249	111	27
257	116	25	256	115	26	255	114	27
263	119	25	262	118	26	261	117	27
269	122	25	268	121	26	267	120	27
275	125	25	274	124	26	273	123	27
317	146	25	328	151	26	345	159	27

表 14：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=28~30 齒
 行星齒輪個數 $N=3$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 3 經計算後得到的配合齒數								
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
56	14	28	55	13	29	54	12	30
62	17	28	61	16	29	60	15	30
68	20	28	67	19	29	66	18	30
74	23	28	73	22	29	72	21	30
80	26	28	79	25	29	78	24	30
86	29	28	85	28	29	84	27	30
92	32	28	91	31	29	90	30	30
98	35	28	97	34	29	96	33	30
104	38	28	103	37	29	102	36	30
110	41	28	109	40	29	108	39	30
116	44	28	115	43	29	114	42	30
122	47	28	121	46	29	120	45	30
128	50	28	127	49	29	126	48	30
134	53	28	133	52	29	132	51	30
140	56	28	139	55	29	138	54	30
146	59	28	145	58	29	144	57	30
152	62	28	151	61	29	150	60	30
158	65	28	157	64	29	156	63	30
164	68	28	163	67	29	162	66	30
170	71	28	169	70	29	168	69	30
176	74	28	175	73	29	174	72	30
182	77	28	181	76	29	180	75	30
188	80	28	187	79	29	186	78	30
194	83	28	193	82	29	192	81	30
200	86	28	199	85	29	198	84	30
355	164	28	373	172	29	384	177	30
212	92	28	211	91	29	210	90	30
218	95	28	217	94	29	216	93	30
224	98	28	223	97	29	222	96	30
230	101	28	229	100	29	228	99	30
236	104	28	235	103	29	234	102	30
242	107	28	241	106	29	240	105	30
248	110	28	247	109	29	246	108	30
254	113	28	253	112	29	252	111	30
260	116	28	259	115	29	258	114	30
266	119	28	265	118	29	264	117	30
272	122	28	271	121	29	270	120	30
278	125	28	277	124	29	274	123	30
356	164	28	373	172	29	384	177	30

表 15：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=31~33 齒
 行星齒輪個數 $N=3$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 3 經計算後得到的配合齒數								
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
59	14	31	58	13	32	57	12	33
65	17	31	64	16	32	63	15	33
71	20	31	70	19	32	69	18	33
77	23	31	76	22	32	75	21	33
83	26	31	82	25	32	81	24	33
89	29	31	88	28	32	87	27	33
95	32	31	94	31	32	93	30	33
101	35	31	100	34	32	99	33	33
107	38	31	106	37	32	105	36	33
113	41	31	112	40	32	111	39	33
119	44	31	118	43	32	117	42	33
125	47	31	124	46	32	123	45	33
131	50	31	130	49	32	129	48	33
137	53	31	136	52	32	135	51	33
143	56	31	142	55	32	141	54	33
149	59	31	148	58	32	147	57	33
155	62	31	154	61	32	153	60	33
161	65	31	160	64	32	159	63	33
167	68	31	166	67	32	165	66	33
173	71	31	172	70	32	171	69	33
179	74	31	178	73	32	177	72	33
185	77	31	184	76	32	183	75	33
191	80	31	190	79	32	189	78	33
197	83	31	196	82	32	195	81	33
317	143	31	310	139	32	303	135	33
209	89	31	208	88	32	207	87	33
215	92	31	214	91	32	213	90	33
221	95	31	220	94	32	219	93	33
227	98	31	226	97	32	225	96	33
233	101	31	232	100	32	231	99	33
239	104	31	238	103	32	237	102	33
245	107	31	244	106	32	243	105	33
251	110	31	250	109	32	249	108	33
257	113	31	256	112	32	255	111	33
263	116	31	262	115	32	261	114	33
269	119	31	268	118	32	267	117	33
275	122	31	274	121	32	273	120	33
281	125	31	280	124	32	279	123	33
401	185	31	412	190	32	429	198	33

表 16：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=34~36 齒
 行星齒輪個數 $N=3$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 3 經計算後得到的配合齒數								
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
62	14	34	61	13	35	66	15	36
66	16	34	67	16	35	72	18	36
70	18	34	73	19	35	78	21	36
74	20	34	79	22	35	84	24	36
78	22	34	85	25	35	90	27	36
82	24	34	91	28	35	96	30	36
86	26	34	97	31	35	102	33	36
90	28	34	103	34	35	108	36	36
94	30	34	109	37	35	114	39	36
98	32	34	115	40	35	120	42	36
102	34	34	121	43	35	126	45	36
106	36	34	127	46	35	132	48	36
110	38	34	133	49	35	138	51	36
114	40	34	139	52	35	144	54	36
118	42	34	145	55	35	150	57	36
122	44	34	151	58	35	156	60	36
126	46	34	157	61	35	162	63	36
130	48	34	163	64	35	168	66	36
134	50	34	169	67	35	174	69	36
138	52	34	175	70	35	180	72	36
142	54	34	181	73	35	186	75	36
146	56	34	187	76	35	192	78	36
150	58	34	193	79	35	198	81	36
154	60	34	199	82	35	204	84	36
158	62	34	205	85	35	210	87	36
162	64	34	211	88	35	216	90	36
166	66	34	217	91	35	222	93	36
170	68	34	223	94	35	228	96	36
174	70	34	229	97	35	234	99	36
178	72	34	235	100	35	240	102	36
182	74	34	241	103	35	246	105	36
186	76	34	247	106	35	252	108	36
190	78	34	253	109	35	258	111	36
194	80	34	259	112	35	264	114	36
198	82	34	265	115	35	270	117	36
202	84	34	271	117	35	276	120	36
206	86	34	277	119	35	284	123	36
210	88	34	283	121	35	290	126	36
401	185	34	205	85	35	429	198	36

表 17：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=13~21 齒
 行星齒輪個數 $N=4$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 4 經計算後得到的配合齒數								
								4
內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪	內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪	內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
39	13	13	75	29	17	68	24	20
43	15	13	79	31	17	72	26	20
47	17	13	83	33	17	76	28	20
51	19	13				80	30	20
55	21	13	46	14	18	84	32	20
59	23	13	50	16	18	88	34	20
			54	18	18	92	36	20
38	12	14	58	20	18	96	38	20
46	16	14	62	22	18	100	40	20
54	20	14	66	24	18			
62	24	14	70	26	18	47	13	21
			74	28	18	51	15	21
45	15	15	78	30	18	55	17	21
49	17	15	82	32	18	59	19	21
53	19	15	86	34	18	63	21	21
57	21	15	90	36	18	67	23	21
61	23	15				71	25	21
65	25	15	45	13	19	75	27	21
69	27	15	49	15	19	79	29	21
73	29	15	53	17	19	83	31	21
			57	19	19	87	33	21
44	14	16	61	21	19	91	35	21
48	16	16	65	23	19	95	37	21
52	18	16	69	25	19	99	39	21
56	20	16	73	27	19	103	41	21
60	22	16	77	29	19	107	43	21
64	24	16	81	31	19			
68	26	16	85	33	19			
72	28	16	89	35	19			
76	30	16	93	37	19			
			97	39	19			
43	13	17						
47	15	17	44	12	20			
51	17	17	48	14	20			
55	19	17	52	16	20			
59	21	17	56	18	20			
63	23	17	60	20	20			
67	25	17	64	22	20			
71	27	17						

表 18：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Za)=22~26 齒
 行星齒輪個數 N=4

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 4 經計算後得到的配合齒數								
內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪	內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪	內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪
46	12	22	48	12	24	115	45	25
50	14	22	52	14	24	119	47	25
54	16	22	56	16	24	123	49	25
58	18	22	60	18	24	127	51	25
62	20	22	64	20	24	131	53	25
66	22	22	68	22	24			
70	24	22	72	24	24	50	12	26
74	26	22	76	26	24	54	14	26
78	28	22	80	28	24	58	16	26
82	30	22	84	30	24	62	18	26
86	32	22	88	32	24	66	20	26
90	34	22	92	34	24	70	22	26
94	36	22	96	36	24	74	24	26
98	38	22	100	38	24	78	26	26
102	40	22	104	40	24	82	28	26
106	42	22	108	42	24	86	30	26
110	44	22	112	44	24	90	32	26
114	46	22	116	46	24	94	34	26
			120	48	24	98	36	26
49	13	23	124	50	24	102	38	26
53	15	23				106	40	26
57	17	23	51	13	25	110	42	26
61	19	23	55	15	25	114	44	26
65	21	23	59	17	25	118	46	26
69	23	23	63	19	25	122	48	26
73	25	23	67	21	25	126	50	26
77	27	23	71	23	25	130	52	26
81	29	23	75	25	25	134	54	26
85	31	23	79	27	25			
89	33	23	83	29	25			
93	35	23	87	31	25			
97	37	23	91	33	25			
101	39	23	95	35	25			
105	41	23	99	37	25			
109	43	23	103	39	25			
113	45	23	107	41	25			
117	47	23	111	43	25			

表 19：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=27~30 齒
 行星齒輪個數 $N=4$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 4 經計算後得到的配合齒數								
4								
內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪	內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪	內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
53	13	27	108	40	28	54	12	30
57	15	27	112	42	28	58	14	30
61	17	27	116	44	28	62	16	30
65	19	27	120	46	28	66	18	30
69	21	27	124	48	28	70	20	30
73	23	27	128	50	28	74	22	30
77	25	27	132	52	28	78	24	30
81	27	27	136	54	28	82	26	30
85	29	27	140	56	28	86	28	30
89	31	27	144	58	28	90	30	30
93	33	27	148	60	28	94	32	30
97	35	27				98	34	30
101	37	27	55	13	29	102	36	30
105	39	27	59	15	29	106	38	30
109	41	27	63	17	29	110	40	30
113	43	27	67	19	29	114	42	30
117	45	27	71	21	29	118	44	30
121	47	27	75	23	29	122	46	30
125	49	27	79	25	29	126	48	30
129	51	27	83	27	29	130	50	30
133	53	27	87	29	29	134	52	30
137	55	27	91	31	29	138	54	30
141	57	27	95	33	29	142	56	30
			99	35	29	146	58	30
52	12	28	103	37	29	150	60	30
56	14	28	107	39	29	154	62	30
60	16	28	111	41	29	158	64	30
64	18	28	115	43	29			
68	20	28	119	45	29			
72	22	28	123	47	29			
76	24	28	127	49	29			
80	26	28	131	51	29			
84	28	28	135	53	29			
88	30	28	139	55	29			
92	32	28	143	57	29			
96	34	28	147	59	29			
100	36	28	151	61	29			
104	38	28	155	63	29			

表 20：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=31~33 齒
 行星齒輪個數 $N=4$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 4 經計算後得到的配合齒數								
4								
內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪	內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪	內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
57	13	31	88	28	32	119	43	33
61	15	31	92	30	32	123	45	33
65	17	31	96	32	32	127	47	33
69	19	31	100	34	32	131	49	33
73	21	31	104	36	32	135	51	33
77	23	31	108	38	32	139	53	33
81	25	31	112	40	32	143	55	33
85	27	31	116	42	32	147	57	33
89	29	31	120	44	32	151	59	33
93	31	31	124	46	32	155	61	33
97	33	31	128	48	32	159	63	33
101	35	31	132	50	32	163	65	33
105	37	31	136	52	32	167	67	33
109	39	31	140	54	32	171	69	33
113	41	31	144	56	32			
117	43	31	148	58	32			
121	45	31	152	60	32			
125	47	31	156	62	32			
129	49	31	160	64	32			
133	51	31	164	66	32			
137	53	31	168	68	32			
141	55	31	172	70	32			
145	57	31						
149	59	31	59	13	33			
153	61	31	63	15	33			
157	63	31	67	17	33			
161	65	31	71	19	33			
165	67	31	75	21	33			
169	69	31	79	23	33			
			83	25	33			
56	12	32	87	27	33			
60	14	32	91	29	33			
64	16	32	95	31	33			
68	18	32	99	33	33			
72	20	32	103	35	33			
76	22	32	107	37	33			
80	24	32	111	39	33			
84	26	32	115	41	33			

表 22：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=15~36 齒
 行星齒輪個數 $N=5$

符合行星齒輪成立三要件為基準、行星齒輪個數 5 經計算後得到的配合齒數								
5								
內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪	內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪	內齒輪	行星齒輪	太陽齒輪
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
45	15	15	84	29	26	67	17	33
						77	22	33
44	14	16	53	13	27	87	27	33
			63	18	27	97	32	33
43	13	17	73	23	27	107	37	33
53	18	17	83	28	27	117	42	33
			93	33	27			
52	17	18				66	16	34
			62	17	28	76	21	34
51	16	19	72	22	28	86	26	34
61	21	19	82	27	28	96	31	34
			92	32	28	106	36	34
50	15	20				116	41	34
60	20	20	61	16	29			
			71	21	29	65	15	35
49	14	21	81	26	29	75	20	35
59	19	21	91	31	29	85	25	35
69	24	21	101	36	29	95	30	35
						105	35	35
58	18	22	60	15	30	115	40	35
68	23	22	70	20	30	125	45	35
			80	25	30			
57	17	23	90	30	30	64	14	36
67	22	23	100	35	30	74	19	36
77	27	23				84	24	36
			59	14	31	94	29	36
56	16	24	69	19	31	104	34	36
66	21	24	79	24	31	114	39	36
76	26	24	89	29	31	124	44	36
			99	34	31			
55	15	25	109	39	31			
65	20	25						
75	25	25	58	13	32			
85	30	25	68	18	32			
			78	23	32			
54	14	26	88	28	32			
64	19	26	98	33	32			
74	24	26						

表 23：行星齒輪配合齒數表
 太陽齒輪(Z_a)=19~35 齒
 行星齒輪個數 $N=6$

行星齒輪成立三要件								
內齒輪 Z_c	行星齒輪 Z_b	太陽齒輪 Z_a	行星齒輪個數 $N=$			SIN(180/N)= 0.5		
91	28	35	6					
(1) $Z_a + Z_b = Z_c$								
OK								
(2) $(Z_a + Z_c)/N$ 整數			(3) $Z_b + 2 < (Z_a + Z_b) \times \sin(180/N)$ $(Z_a + Z_b) \times \sin(180/N) = Z_b + 2 =$			30		
21.00			OK			31.5 30		
Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a	Z_c	Z_b	Z_a
47	14	19	55	13	29	62	14	34
			61	16	29	68	17	34
46	13	20	67	19	29	74	20	34
			73	22	29	80	23	34
51	15	21				86	26	34
			60	15	30	92	29	34
50	14	22	66	18	30			
56	17	22	72	21	30	61	13	35
			78	24	30	67	16	35
49	13	23				73	19	35
55	16	23	59	14	31	79	22	35
			65	17	31	85	25	35
54	15	24	71	20	31	91	28	35
60	18	24	77	23	31			
			83	26	31			
53	14	25						
59	17	25	58	13	32			
65	20	25	64	16	32			
			70	19	32			
52	13	26	76	22	32			
58	16	26	82	25	32			
64	19	26						
			63	15	33			
57	15	27	69	18	33			
63	18	27	75	21	33			
69	21	27	81	24	33			
			87	27	33			
56	14	28						
62	17	28						
68	20	28						
74	23	28						

現有單式周轉輪系經過以上的實際演算後其結果如下：

1. 當我們使用較多的行星齒輪個數(N)時、其太陽齒輪齒數(Z_b)的齒數越小、其相對配合的行星齒輪齒數及內齒輪齒數(Z_c)適用齒數相對減少。

2. 行星齒輪個數(N)=2 時、太陽齒輪齒數(Z_a)13 齒、行星齒輪齒數(Z_b)的適用齒數會以間距 3 的等差級數往上遞增、內齒輪齒數(Z_c)適用齒數以間距 3 的等差級數往上遞增。

3. 行星齒輪個數(N)=3 時、太陽齒輪齒數(Z_a)13 齒、行星齒輪齒數(Z_b)的適用齒數會以間距 3 的等差級數往上遞增、內齒輪齒數(Z_c)適用齒數以間距 3 的等差級數往上遞增。

4. 行星齒輪個數(N)=4 時、太陽齒輪齒數(Z_a)13 齒、行星齒輪齒數(Z_b)的適用齒數會以 2 的等差級數往上遞增、內齒輪齒數(Z_c)適用齒數以間距 4 的等差級數往上遞增。

5. 行星齒輪個數(N)=5 時、太陽齒輪齒數(Z_a)13 齒、行星齒輪齒數(Z_b)的適用齒數會以 5 的等差級數往上遞增、內齒輪齒數(Z_c)適用齒數以間距 10 的等差級數往上遞增。

6. 行星齒輪個數(N)=6 時、太陽齒輪齒數(Z_a)13 齒、行星齒輪齒數(Z_b)的適用齒數會以 3 的等差級數往上遞增、內齒輪齒數(Z_c)適用齒數以間距 6 的等差級數往上遞增。

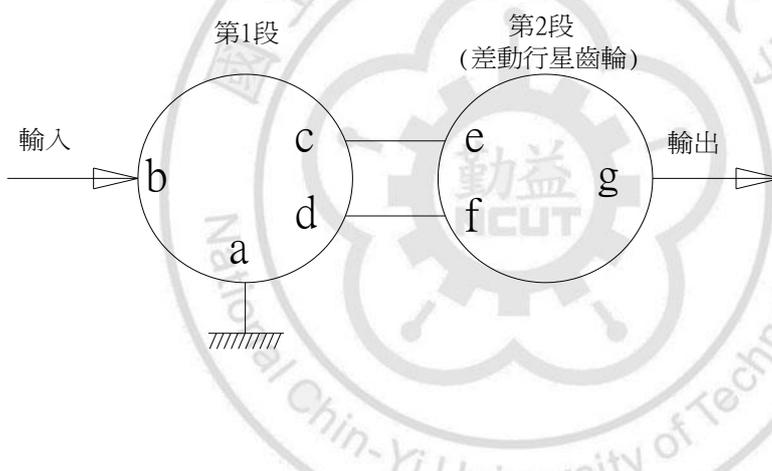
7. 行星齒輪個數(N)=7~10 時、太陽齒輪齒數(Z_a)、行星齒輪齒數(Z_b)、內齒輪齒數(Z_c)可適用齒數相當少。

綜合以上特徵顯示、當行星齒輪數(N)=6 時、設計師可選用的齒數相對於行星齒輪數(N)=2 時少了許多；這會讓多數人因為可選擇的齒數過少、不能滿足設計高減速比減速機的需求而不予採用，而改用可選用任意齒數比的蝸輪減速機，因為蝸輪減速機的效率差、結果，就需要再搭配大馬力的馬達來使用，這是很可惜卻也是很普遍的設計方式。

第三章：創新理論

如上所示，單式周轉輪系很顯然並不符合可選擇多種齒數比的需求，接下來探討，多段行星齒輪裝置：

行星齒輪是可以多段聯接起來使用的，由第一段裝置中用具有 1 個固定元件的，由第一段將 2 個元件的轉動採用到第二段的元件上，並由其它元件取出輸出型式的多段行星齒輪。



第 6 圖 2 段行星齒輪

也就是如第 6 圖所示那樣型式，第二段行星齒輪是作為沒有固定元件的差動行星齒輪來工作，而在第一段中雖然只有太陽齒輪、擺臂、和內齒輪的 3 元件、可是卻以 a、b、c、d 的 4 元件為必要，從而 b 和 c 或 b 和 d 就都要具有 1 個元件來共用了。

根據 Chang[21]和 Jensen[22]的解析，這種排列組合有 72 種方法。也就是，第一段行星齒輪是在太陽齒輪 s、內齒輪 a 和擺臂 c 之中，將 1 個元件固定，1 個被動元件，而剩下來的 1 個是驅動元件兼被動元件。在第 2 段中

驅動元件是 2 個，和第 1 段的被動元件連結起來，由被動元件跑到輸出軸去。
 茲將第 1.2 段的驅動元件和被動元件的排列組合示於表 25 之中，因為各有 6 種方法，所以可以想作是 36 種方法的裝置，接下來只要將輸入軸和輸出軸互換便有 72 種可能了。[23]

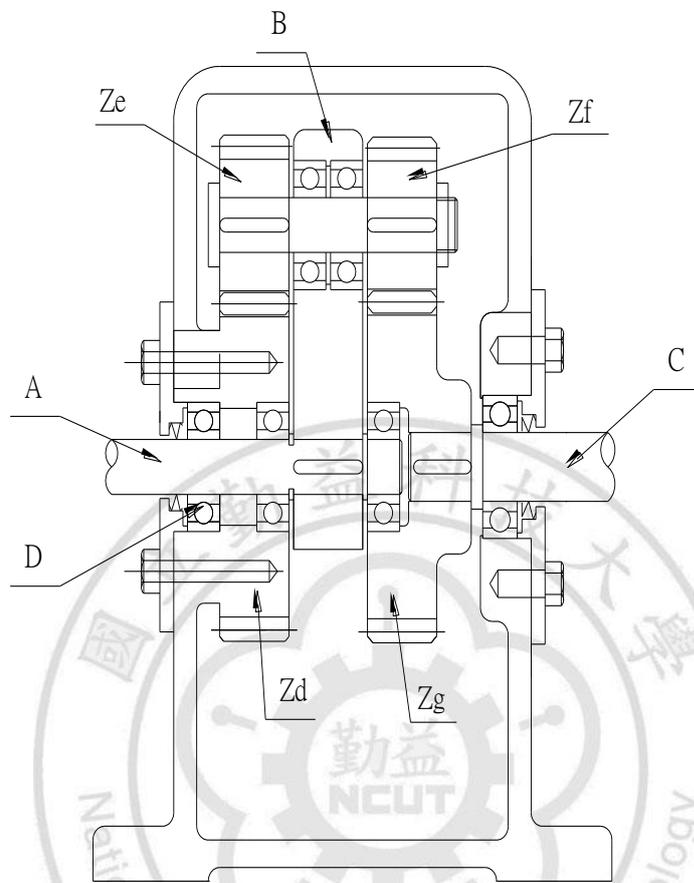
表 25 行星齒輪的元件

(a) 第1段

型式	A	B	C	D	E	F
固定元件	c	a	a	s	c	s
驅動元件	s	s	c	c	a	a
被動元件	s	s	c	c	a	a
被動元件	a	c	s	a	s	c

(b) 第2段

型式	I	II	III	IV	V	VI
驅動元件	c	a	a	s	c	s
驅動元件	s	s	c	c	a	a
被動元件	s	s	c	c	a	a



第 7 圖周轉輪系太陽齒輪型

複式周轉輪系是行星齒輪系的變型機構、本圖例 7 是太陽齒輪和行星齒輪組合而成、其主要結構為：固定端太陽齒輪 Z_d 、和對應的固定端行星齒輪 Z_e 、和與其相連結的從動端行星齒輪 Z_f 、及從動端太陽齒輪 Z_g 。其中：定義入力軸為 A、擺臂 B、出力軸 C、軸承 D。動作原理為：當轉動入力軸 A 時直接帶動擺臂 B 迴轉、因為固定端太陽齒輪 Z_d 不動、所以擺臂 B 的迴轉便驅動固定端行星齒輪 Z_e 、固定端行星齒輪 Z_e 迴轉時從動端行星齒輪 Z_f 也跟著迴轉、進而驅動從動端太陽齒輪 Z_g 也跟著迴轉，這時與太陽齒輪連結的出力軸 C 便一起轉動起來了。其公式為：

$$\text{出力軸 C 轉數/入力軸 A 轉數} = [1 - (Z_d * Z_f / Z_e * Z_g)] [24] \text{-----}(5)$$

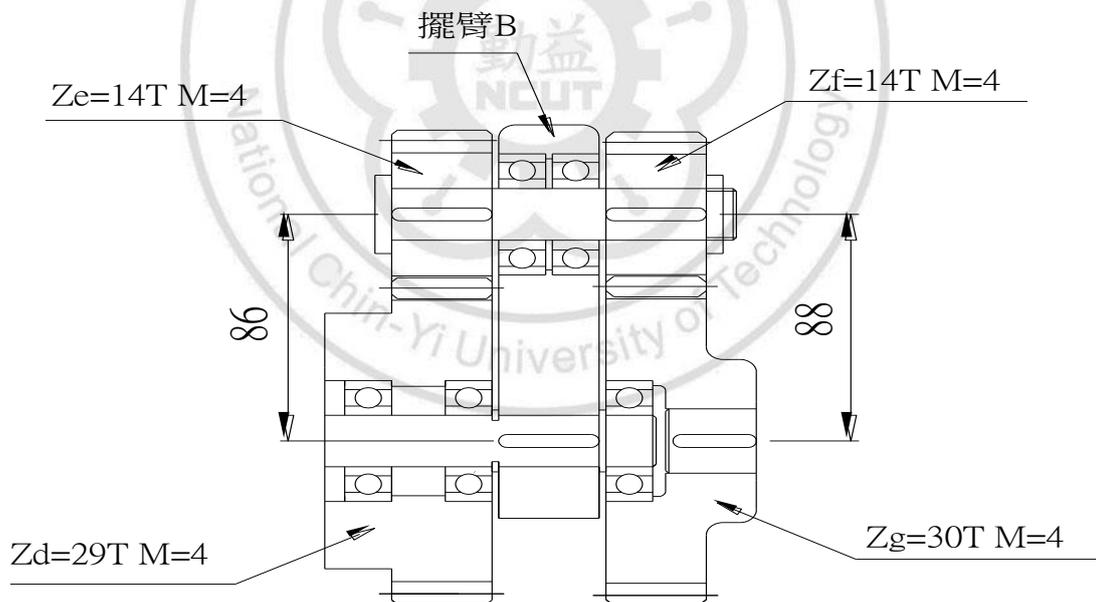
假設：固定端行星齒輪 $Z_e=14$ 齒、從動端行星齒輪 $Z_f=14$ 齒、固定端太陽齒輪 $Z_d=29$ 齒、從動端太陽齒輪 $Z_g=30$ 齒。將以上資料套入公式(5) =>

$$C/A = 1 - (29 * 14 / 14 * 30)$$

$$\Rightarrow C/A = 1/30$$

※結果是：入力軸 A 轉 30 圈、出力軸 C 才轉 1 圈。減速比是 1/30 的正齒輪減速機構！

這不就是我們要的減速機嗎？但是：問題來了



第 8 圖周轉輪系細部圖

參考第 8 圖、擺臂右方的從動行星齒輪 $Z_f=14$ 模數選用 $(M)=4$ 、從動太陽齒輪 $Z_g=30$ 模數選用 $(M)=4$

則擺臂 B 右方齒輪中心距為

$$(Z_f + Z_g) * M / 2 \text{-----} (6)$$

$$(14 + 30) * 4 / 2 = 88(\text{mm})$$

再參考第 8 圖、擺臂左方的固定端行星齒輪 $Z_e = 14T$ 模數同樣選用 $(M) = 4$ 、固定端太陽齒輪 $Z_d = 29T$ 模數也選用 $(M) = 4$

則擺臂 B 左方齒輪中心距為

$$(Z_e + Z_d) * M / 2 \text{-----} (7)$$

$$(14 + 29) * 4 / 2 = 86(\text{mm})$$

擺臂左方齒輪中心距(88mm)、和擺臂右方齒輪中心距(66mm)兩者相差 2mm、這機構在理論上不可能成立的。但是：經過了長期苦思的結果，終於找到了解決的方式分述如下：

3.1 創新方式(1)：改變模數

改變擺臂 B 任一側的行星齒輪及太陽齒輪的模數，使擺臂左齒輪組的中心距相等於擺臂右側的中心距即可。

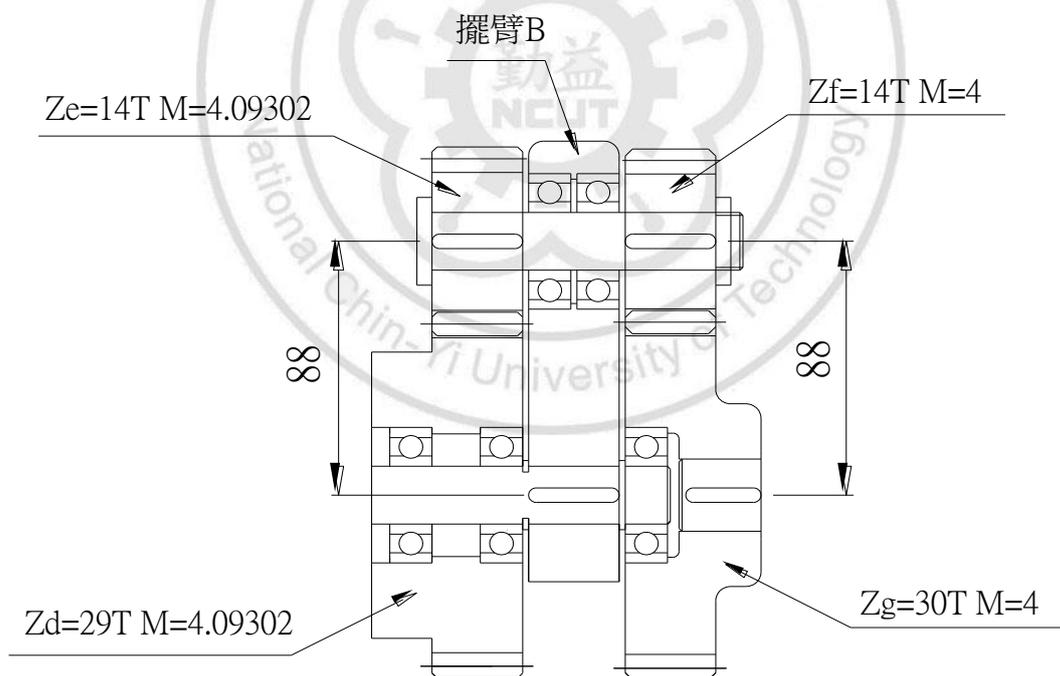
3.1.1 太陽齒輪型左側改變模數

參考第 9 圖，擺臂右側保持不變、其中心距仍是 88mm，再將 88mm 帶進計算式 6 即可得到左側齒輪組的計算式如下

$$(Z_e + Z_d) * M / 2 = 88$$

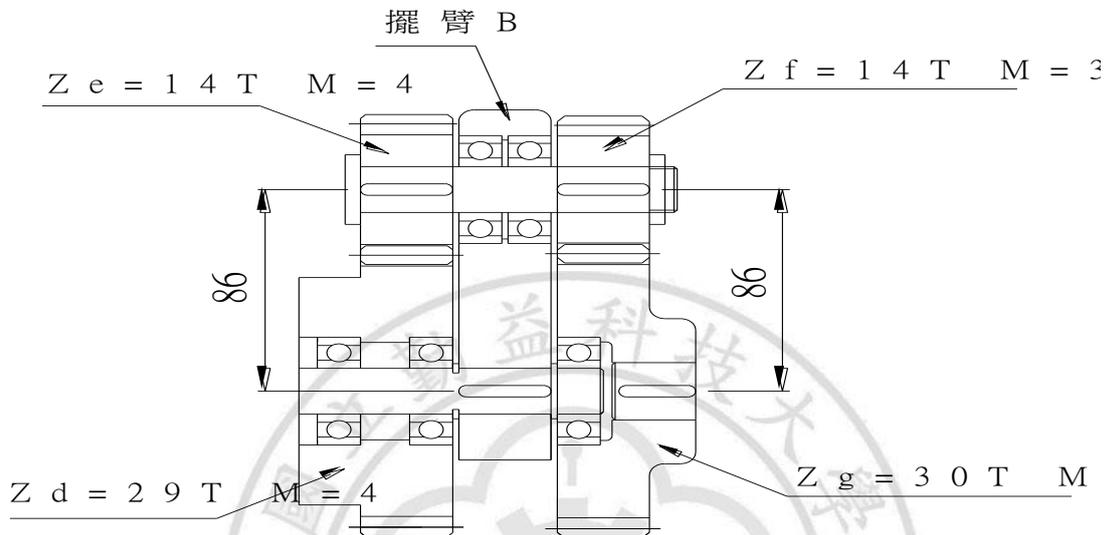
$$(14 + 29) * M / 2 = 88 \quad \Rightarrow \quad M = 4.09302$$

結果很明顯、只要將擺臂左方的固定端行星齒輪 $Z_e=14T$ 模數選用 $(M)=4.09302$ 、固定端太陽齒輪 $Z_d=29T$ 模數選用 $(M)=4.09302$ 本機構即可順利轉動。



第 9 圖太陽齒輪型左側改變模數

3.1.2 太陽齒輪型右側改變模數



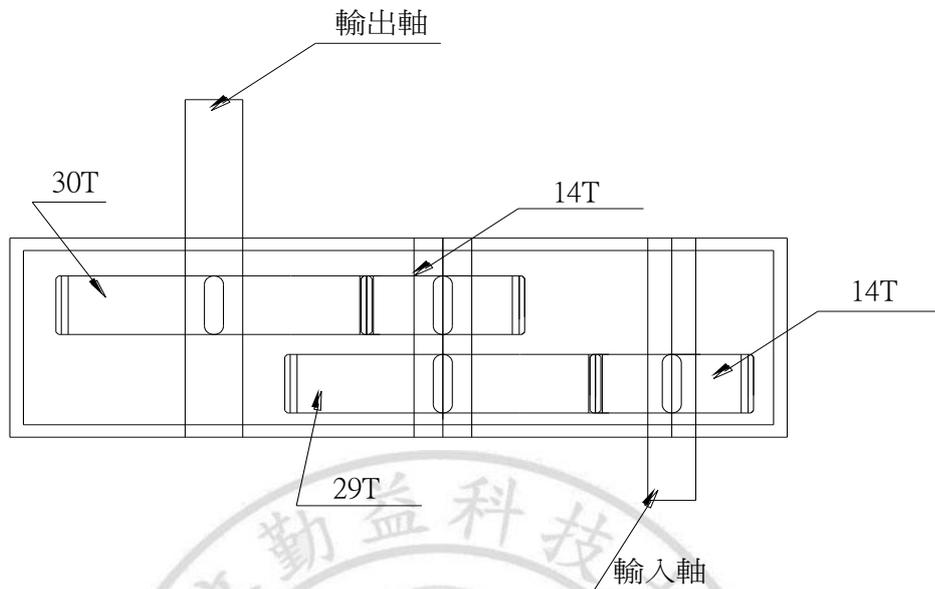
第 10 圖太陽齒輪型右側改變模數、

參考第 10 圖，擺臂左側保持不變則其中心距仍是 86mm(參考公式 7)。再將 86mm 帶進公式 2 即可得到左側齒輪組的計算式如下

$$(Z_f + Z_g) * M / 2 = 86$$

$$(14 + 30) * M / 2 = 86 \quad \Rightarrow \quad M = 3.9091$$

結果很明顯、只要將擺臂左方的固定端行星齒輪 $Z_e = 14T$ 模數選用 $(M) = 3.9091$ 、固定端太陽齒輪 $Z_d = 29T$ 模數選用 $(M) = 3.9091$ 則本機構亦可順利轉動。



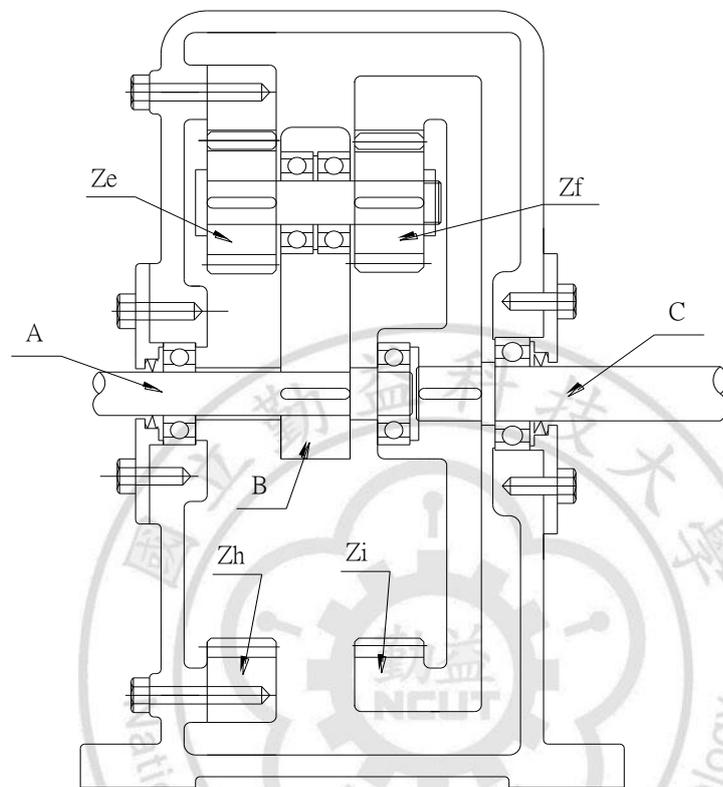
第 11 圖正齒輪減速機

以正常齒輪配置來計算，參考第 11 圖，兩個 14T 的小齒輪配上分別是 29T 及 30T 的大齒輪、所組合而成的齒輪箱，其最終減速比為：

$$14/29 * 14/30 = 0.22528736 \div 1/4.438 \text{-----}(8)$$

本機構使用 4 個正齒輪、最多才 30T 減速卻可達 1/30，相信只有蝸輪減速機辦的到。蝸輪減速機只需一支蝸桿和一只蝸輪就可以有 1/30 的減速比至於效率則是蝸輪減速機=0.7%左右。本機構則完全是正齒輪齒合機構所構成效率高達 90%左右，分為浸油式約 97%及黃油潤滑約 90%。接著；請參考下個例子、這才是高減速比的精華實施例

3.1.3 內齒輪型左側改變模數



第 12 圖內齒輪型周轉輪系左側改變模數

周轉輪系(如第 12 圖)也是行星齒輪系的變型機構、本圖例是由行星齒輪和內齒輪組合而成的減速機。其主要結構為：固定端內齒輪 Z_h 、和對應的固定端行星齒輪 Z_e 、和與其相連結的從動端行星齒輪 Z_f 、及從動端內齒輪 Z_i 。其中：定義入力軸為 A、擺臂 B、出力軸 C、軸承 D。動作原理為：當轉動入力軸 A 時直接帶動擺臂 B 迴轉、因為固定端內齒輪 Z_h 不動、所以擺臂 B 的迴轉便驅動固定端行星齒輪 Z_e 、固定端行星齒輪 Z_e 迴轉時從動端行星齒輪 Z_f 也跟著迴轉、進而驅動從動端內齒輪 Z_i 也跟著迴轉，這時與太陽齒輪連結的出力軸 C 便一起轉動起來了。其減速比的公式為：

$$\text{出力軸 C 轉數/入力軸 A 轉數} = [1 - (Z_h * Z_f / Z_e * Z_i)] \text{ -----(9)}$$

太陽齒輪選用 30 齒、行星齒輪 14 齒、則得到相配合的內齒輪齒數為 58 齒
故從動內齒輪 $Z_i=58T$ 、相對的固定內齒輪 $Z_h=57T$ 、帶入公式(4)中

$$C/A=1-(57*14/14*58)----- (10)$$

$$=>C/A=1/58$$

※結果：入力軸 A 轉 58 圈、出力軸 C 才轉 1 圈。減速比是 1/58 的正齒輪減速機構！

參考第 12 圖、擺臂左方的固定端行星齒輪 $Z_e=14T$ 模數選用 $(M)=4.09302$ 、
固定端內齒輪 $Z_h=57T$ 模數選用 $(M)=4.09302$ 。先計算擺臂 B 左方行星齒輪
的迴轉節圓直徑應該和內齒輪的節圓直徑相等方能順利轉動

$$\text{左側行星齒輪中心距}+(行星齒輪齒數 \times 模數)/2=\text{內齒輪齒數} \times 模數/2$$

$$88+(Z_e*M)/2=Z_h*M/2----- (11)$$

$$88+14*4.09302/2=57*4.09302/2$$

$$116.651=116.651$$

參考第 12 圖、擺臂右方的從動端行星齒輪 $Z_f=14T$ 模數選用 $(M)=4$ 、從動端
太陽齒輪 $Z_i=58T$ 模數選用 $(M)=4$ 。計算擺臂 B 左方從動端行星齒輪的迴轉
節圓直徑、應該和內齒輪的節圓直徑相等、本機構才能順利轉動。

$$\text{右側行星齒輪中心距}+(行星齒輪齒數 \times 模數)/2=\text{內齒輪齒數} \times 模數/2$$

$$88+ Z_f*M/2=Z_i*M/2$$

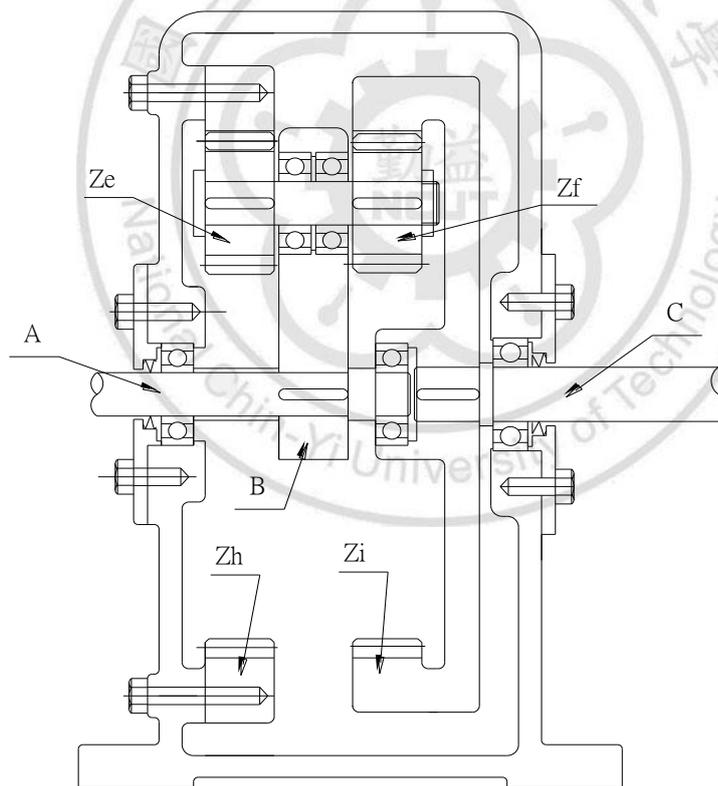
$$88+14*4/2=58*4/2$$

$$116=116$$

只要將擺臂左方的固定端行星齒輪 $Z_e=14T$ 模數選用 $(M)=4.09302$ 、固定端內齒輪 $Z_d=57T$ 模數選用 $(M)=4.09302$ 則本機構亦可順利轉動。

本機構減速比 $1/58$ ，效率也是 0.9025% ($95\%*95\%$)。

3.1.4 內齒輪型右側改變模數



第 13 圖內齒輪型周轉輪系左側改變模數

參考第 13 圖、擺臂左方的固定端行星齒輪 $Z_e=14T$ 模數選用 $(M)=4$ 、固定端內齒輪 $Z_d=57T$ 模數選用 $(M)=4$ 。先計算擺臂 B 左方行星齒輪的迴轉節圓

直徑應該和內齒輪的節圓直徑相等方能順利轉動

左側行星齒輪中心距+(行星齒輪齒數 x 模數)/2=內齒輪齒數 x 模數/2

$$86+(Z_e * M)/2 = Z_h * M/2 \text{-----(10)}$$

$$86+(14 * 4)/2 = 57 * 4/2$$

$$114 = 114$$

參考第 13 圖、擺臂右方的從動端行星齒輪 $Z_f=14T$ 模數選用 $(M)= 3.9091$ 、
從動端內齒輪 $Z_i=58T$ 模數選用 $(M)= 3.9091$ 。計算擺臂 B 左方從動端行星
齒輪的迴轉節圓直徑、應該和內齒輪的節圓直徑相等、本機構才能順利轉動。

右側行星齒輪中心距+(行星齒輪齒數 x 模數)/2=內齒輪齒數 x 模數/2

$$86+ Z_f * M/2 = Z_i * M/2$$

$$86+14 * 3.9091/2 = 58 * 3.9091/2$$

$$113.363 = 113.363$$

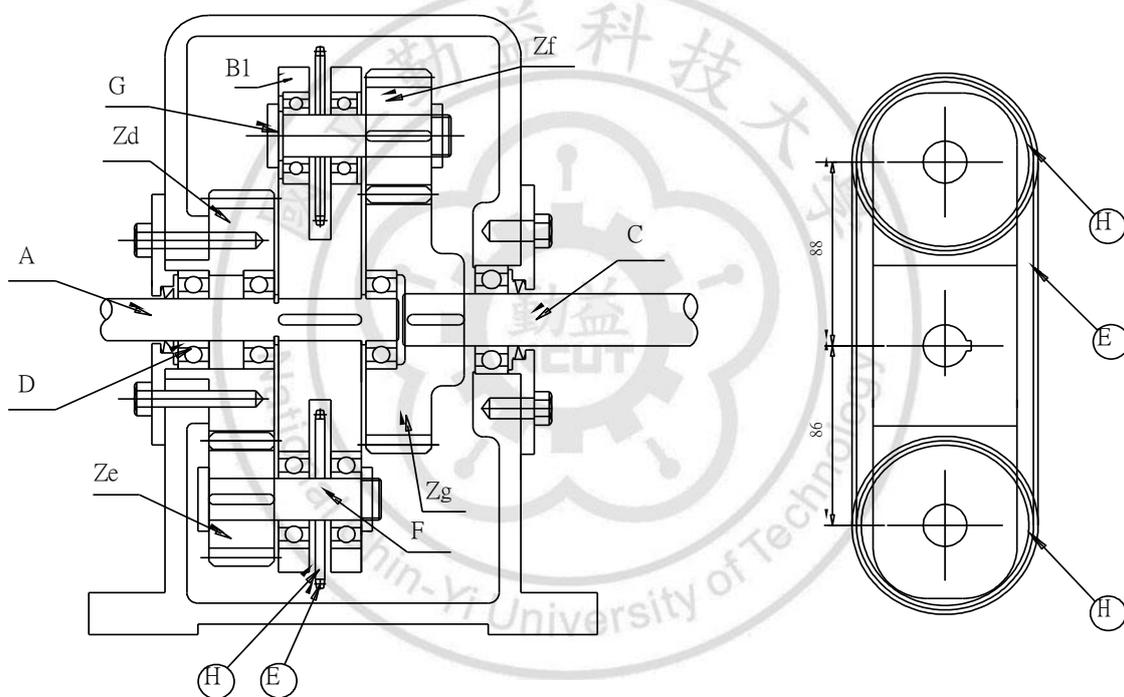
結果、只要將擺臂右方的從動端行星齒輪 $Z_f=14T$ 模數選用 $(M)= 3.9091$ 、固
定端內齒輪 $Z_i=58T$ 模數選用 $(M)= 3.9091$ 則本機構亦可順利轉動。本機構
減速比 $1/58$ 。

3.2 實施方式(2)：不變模數

參考第 10 圖，不改變擺臂 B 任一側的行星齒輪及太陽齒輪的模數、此時、擺臂左右兩側的 2mm 偏差則運用下列機構來傳達動力。

3.2.1 運用鏈條及鏈輪來傳達動力

3.2.1.1 太陽齒輪機構型

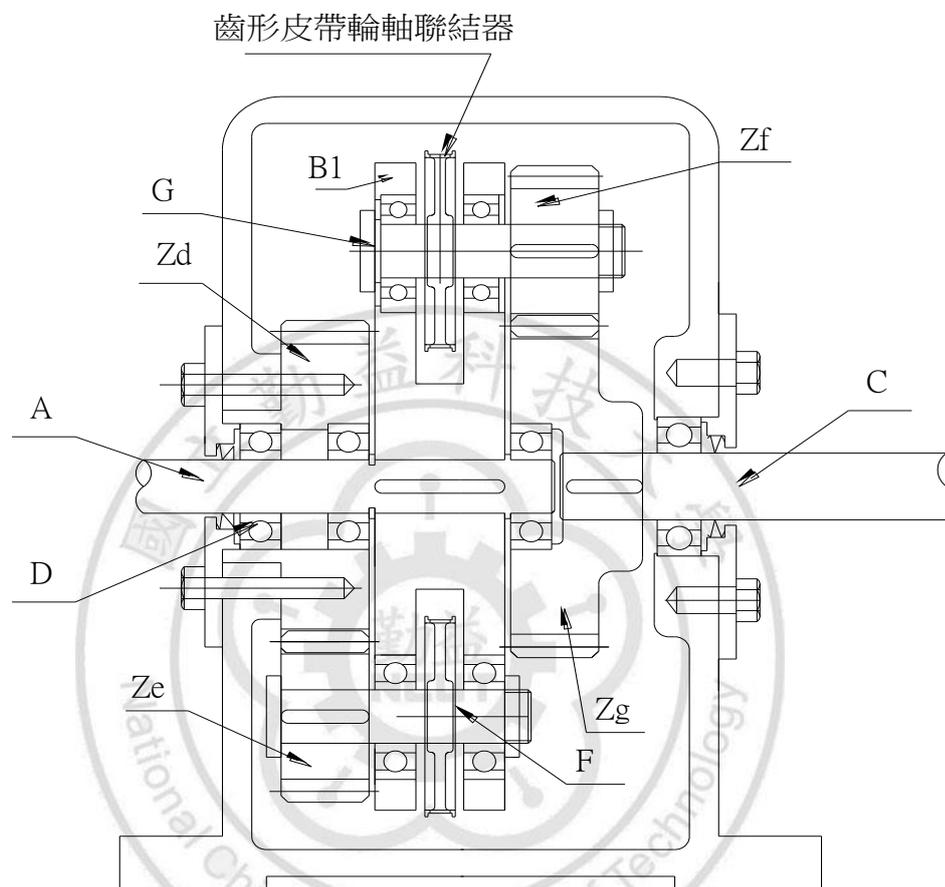


第 14 圖鏈輪傳動太陽齒輪機構型

參考第 14 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_g ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B_1 上的鏈輪 H 銲接在第 1 行星齒輪迴轉軸 F 上，當入力軸 A 轉動時靠著鏈條 E 連動到第 2 行星齒輪迴轉軸 2G，傳達動力到被動行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.2 運用齒形皮帶輪來傳達動力[25]

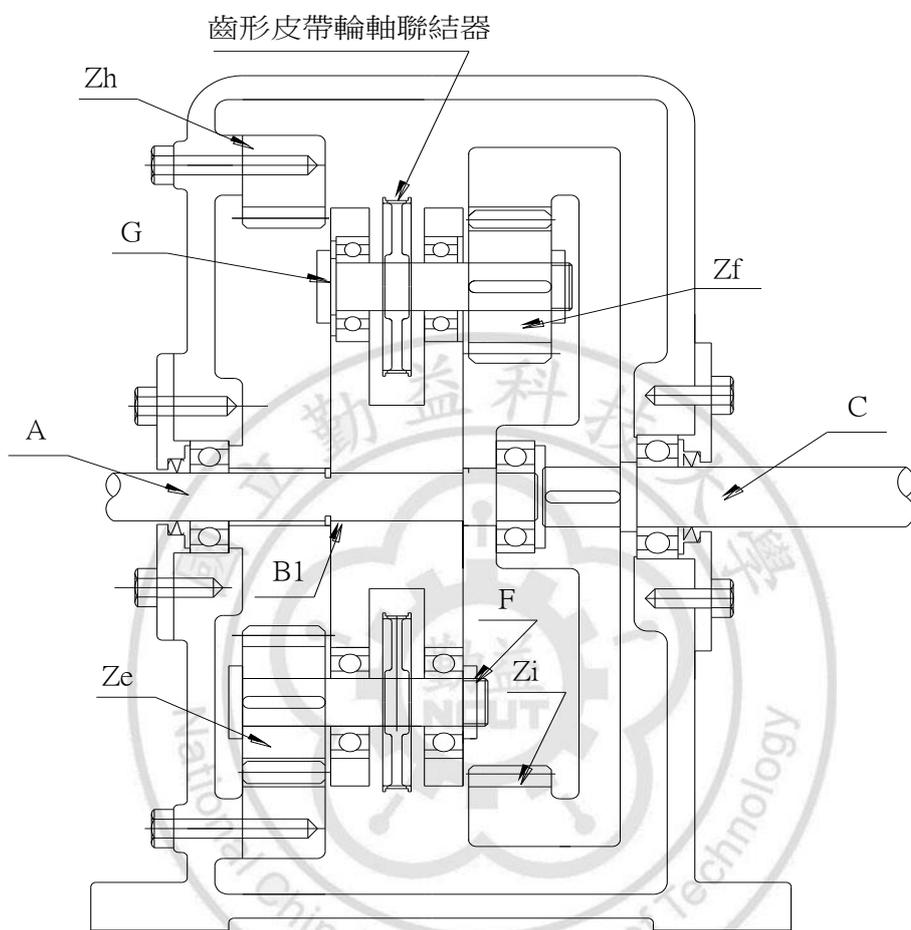
3.2.2.1 齒形皮帶輪太陽齒輪機構型



第 16 圖 齒形皮帶太陽齒輪機構型

參考第 16 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_g ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B1 上的齒形皮帶輪連接在心軸上，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B1 連動到心軸 G，再經過齒形皮帶傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.2.2 齒形皮帶輪內齒輪機構型

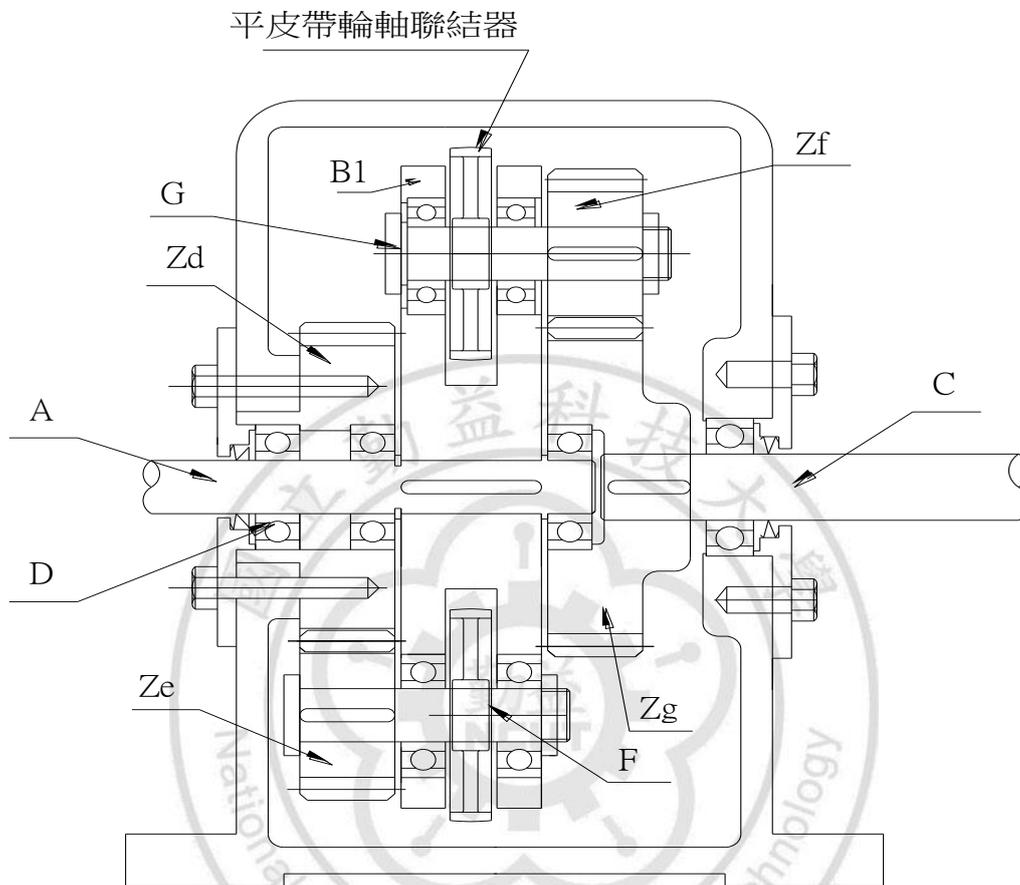


第 17 圖齒形皮帶內齒輪機構型

參考第 17 圖，固定端內齒輪 Zh 模數 4、齒數 57T、固定端行星齒輪 Ze 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Zf、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Zg，模數 4 齒數 58T。擺臂 B1 上的齒形皮帶輪連接在心軸 F 上，當入力軸 A 轉動時靠著齒形皮帶連動到心軸 G，傳達動力到被動行星齒輪 Zf，再經由傳動從動太陽齒輪 Zg、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.3 運用平皮帶輪來傳達動力[26]

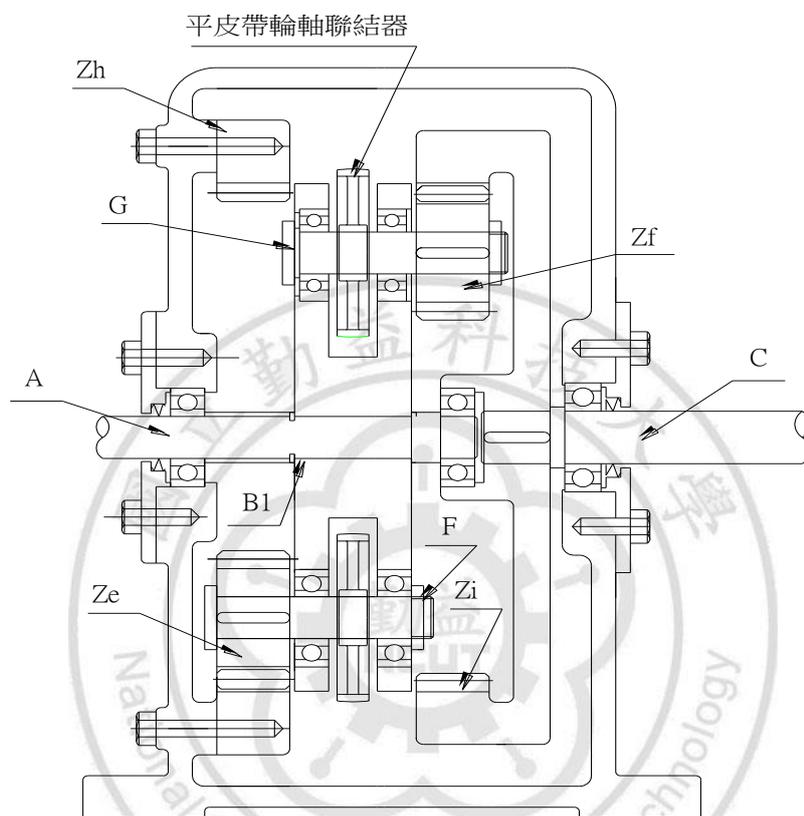
3.2.3.1 平皮帶輪太陽齒輪機構型



第 18 圖平皮帶太陽齒輪機構型

參考第 18 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_g ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B_1 上的平皮帶輪連接在心軸上，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B_1 連動到心軸 G ，再經過平皮帶傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C 、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.3.2 平皮帶輪內齒輪機構型

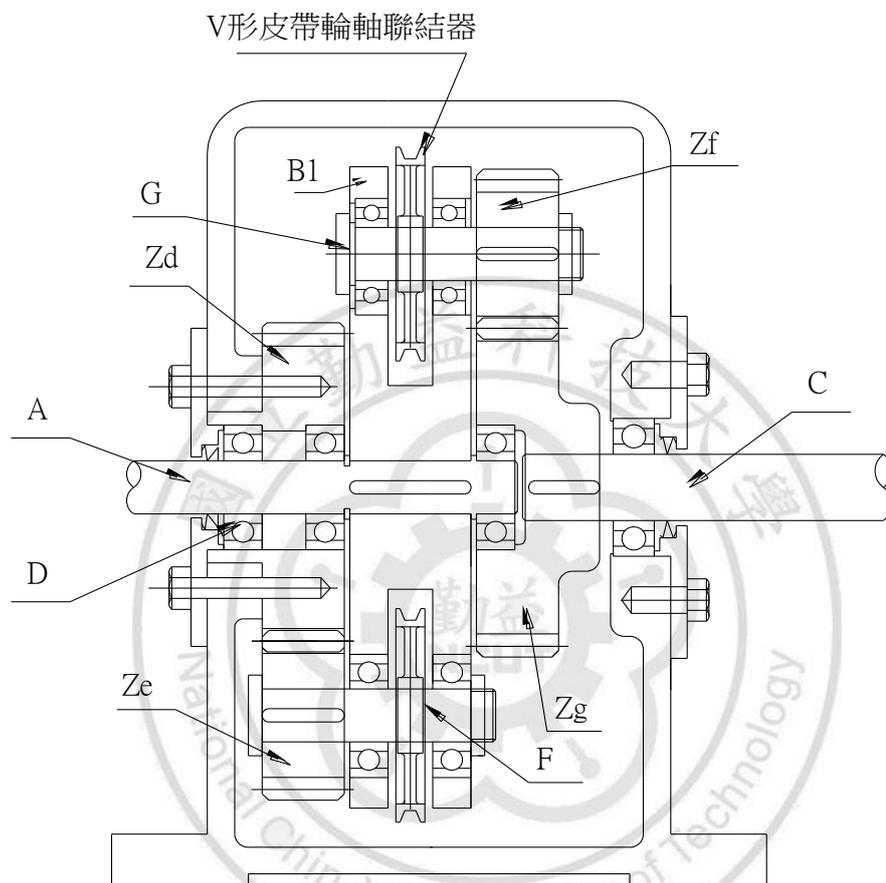


第 19 圖平皮帶內齒輪機構型

參考第 19 圖，固定端內齒輪 Zh 模數 4、齒數 57T、固定端行星齒輪 Ze 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Zf、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Zi，模數 4 齒數 58T。擺臂 B1 上的平皮帶輪連接在心軸 F 上，當入力軸 A 轉動時靠著平皮帶連動到心軸 G，傳達動力到被動行星齒輪 Zf，再經由傳動從動太陽齒輪 Zi、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.4 運用 V 形皮帶輪來傳達動力[27]

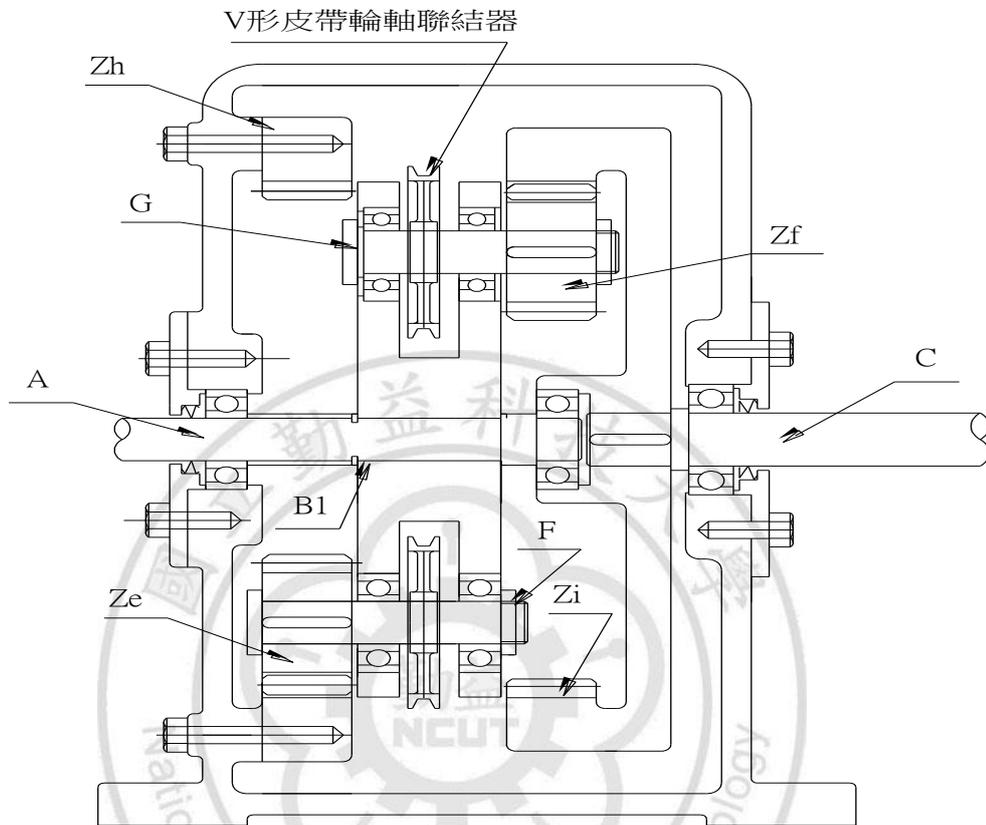
3.2.4.1 V 形皮帶輪太陽齒輪機構型



第 20 圖 V 形皮帶太陽齒輪機構型

參考第 20 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_g ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B1 上的 V 形皮帶輪連接在心軸上，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B1 連動到心軸 G，再經過 V 形皮帶傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.4.2 V形皮帶輪內齒輪機構型

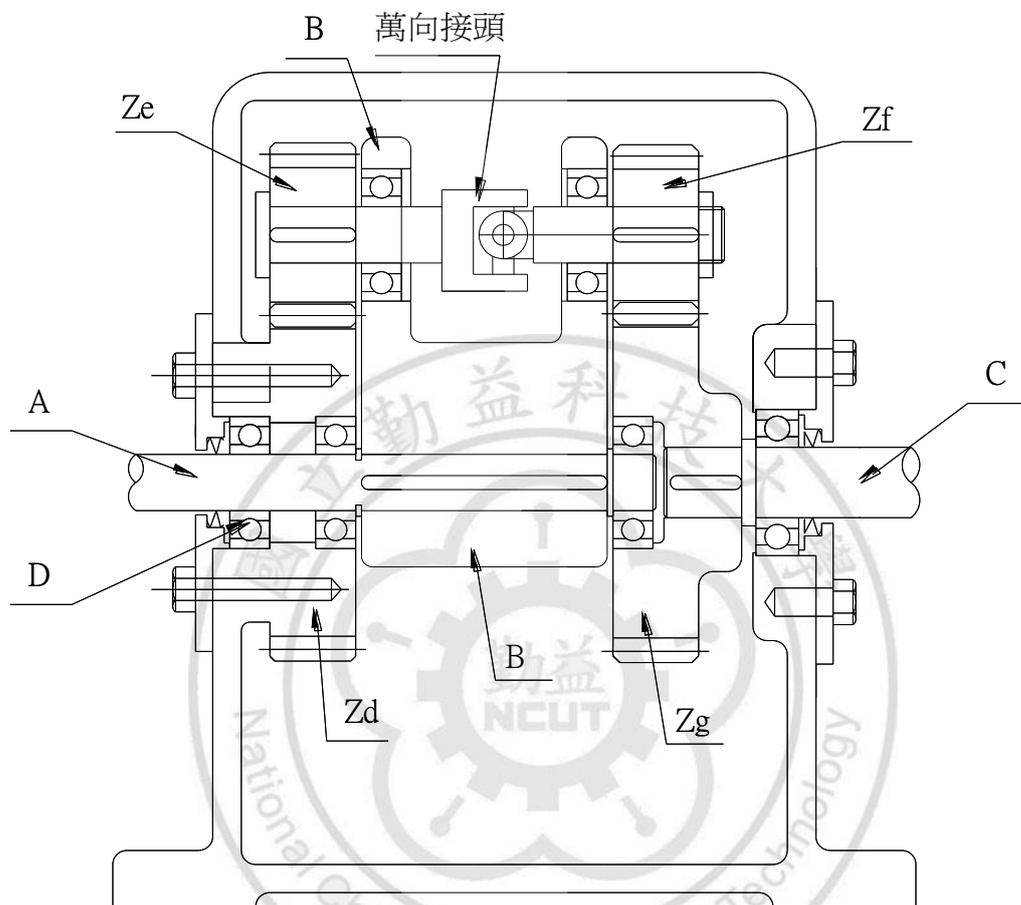


第 21 圖 V 形皮帶內齒輪機構型

參考第 21 圖，固定端內齒輪 Zh 模數 4、齒數 57T、固定端行星齒輪 Ze 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Zf、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Zi，模數 4 齒數 58T。擺臂 B1 上的 V 形皮帶輪連接在心軸 F 上，當入力軸 A 轉動時靠著 V 形皮帶連動到心軸 G，傳達動力到被動行星齒輪 Zf，再經由傳動從動太陽齒輪 Zi、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.5 運用萬向接頭機構來傳達動力[28]

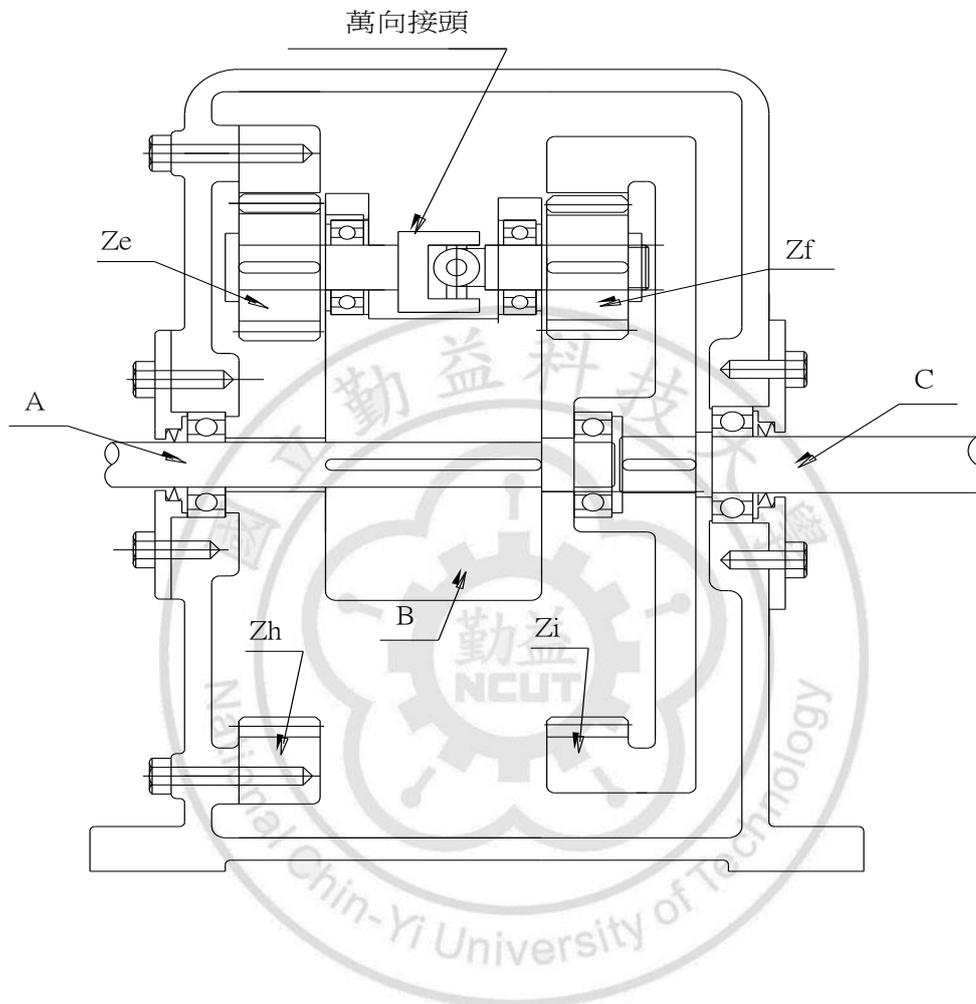
3.2.5.1. 萬向接頭太陽齒輪機構型



第 22 圖萬向接頭傳動太陽齒輪機構型

參考第 22 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_g ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的萬向接頭連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過萬向接頭傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動

3.2.5.2 萬向接頭內齒輪機構型

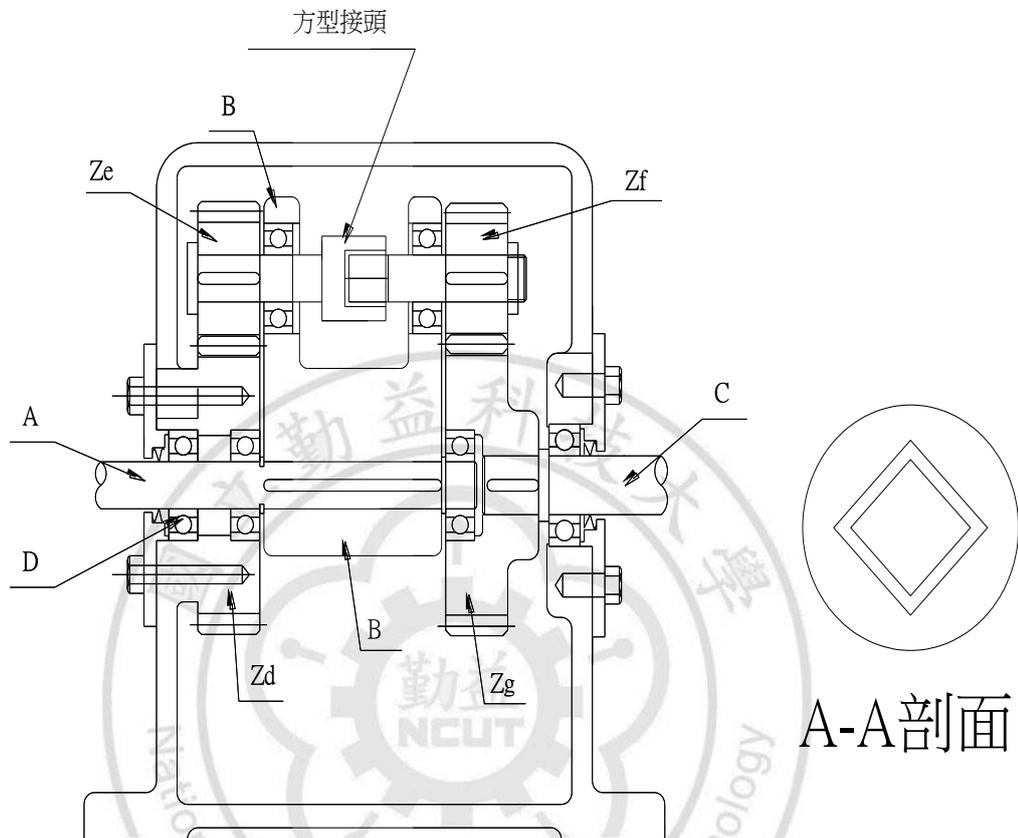


第 23 圖 萬向接頭傳動內齒輪機構型

參考第 23 圖，固定端內齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端內齒輪 Z_i ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的萬向接頭連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過萬向接頭傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端內齒輪 Z_i 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動

3.2.6. 運用方型接頭機構來傳達動力[29]

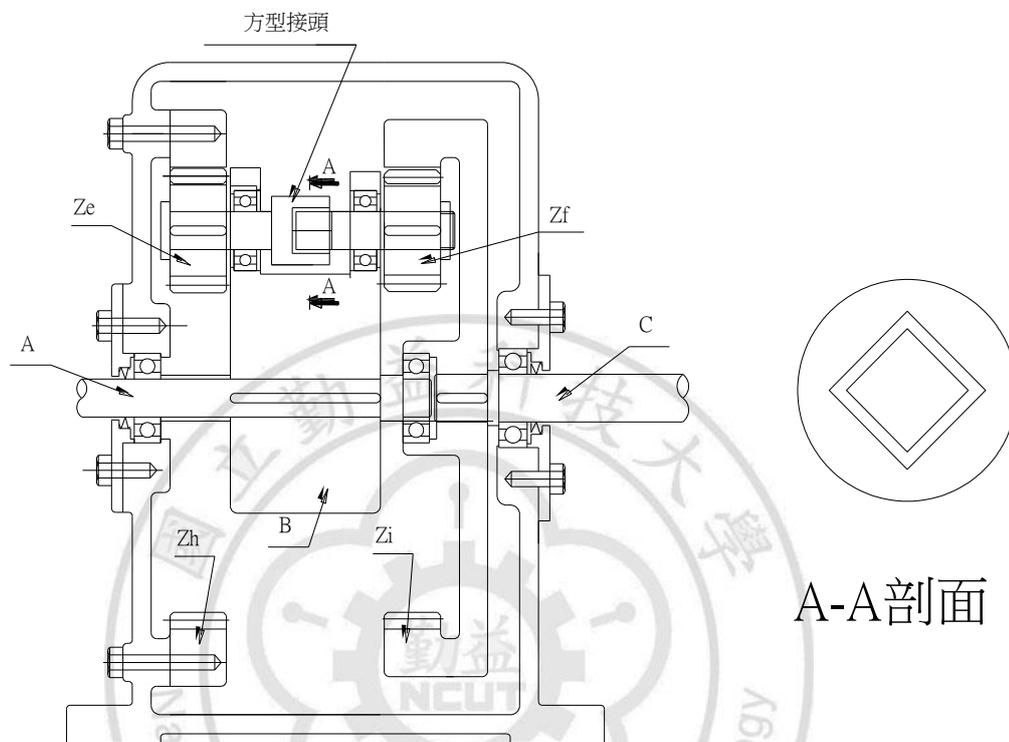
3.2.6.1. 方型接頭太陽齒輪機構型



第 24 圖方型接頭傳動太陽齒輪機構型

參考第 24 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_g ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的方型接頭連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過方型接頭傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.6.2. 方型接頭內齒輪機構型

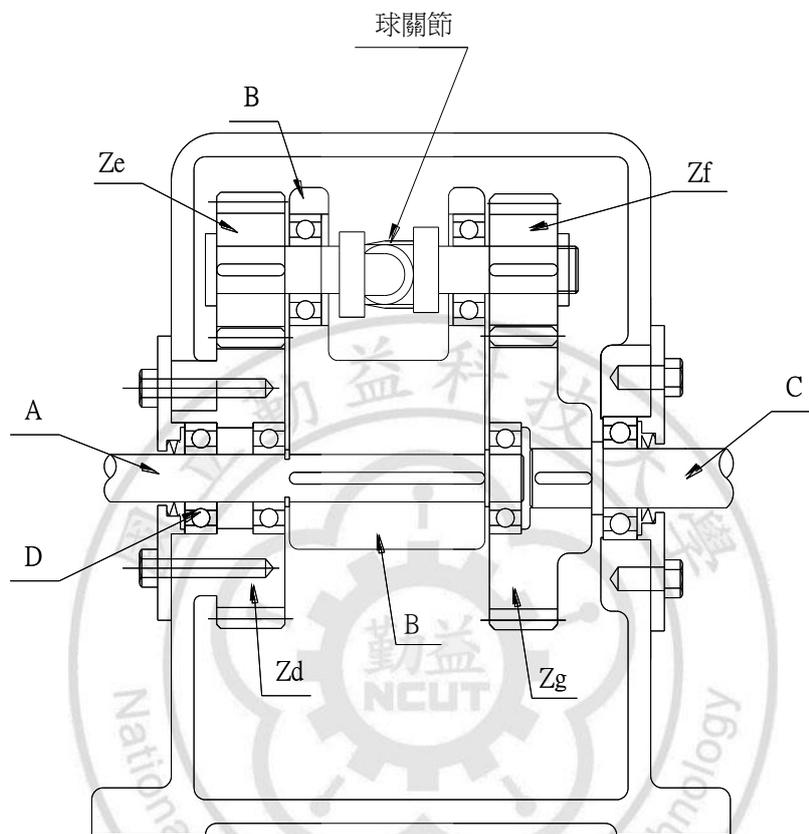


第 25 圖方型接頭傳動內齒輪機構型

參考第 25 圖，固定端內齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端內齒輪 Z_i ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的方型接頭連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過方型接頭傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端內齒輪 Z_i 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.7. 運用球關節機構來傳達動力[30]

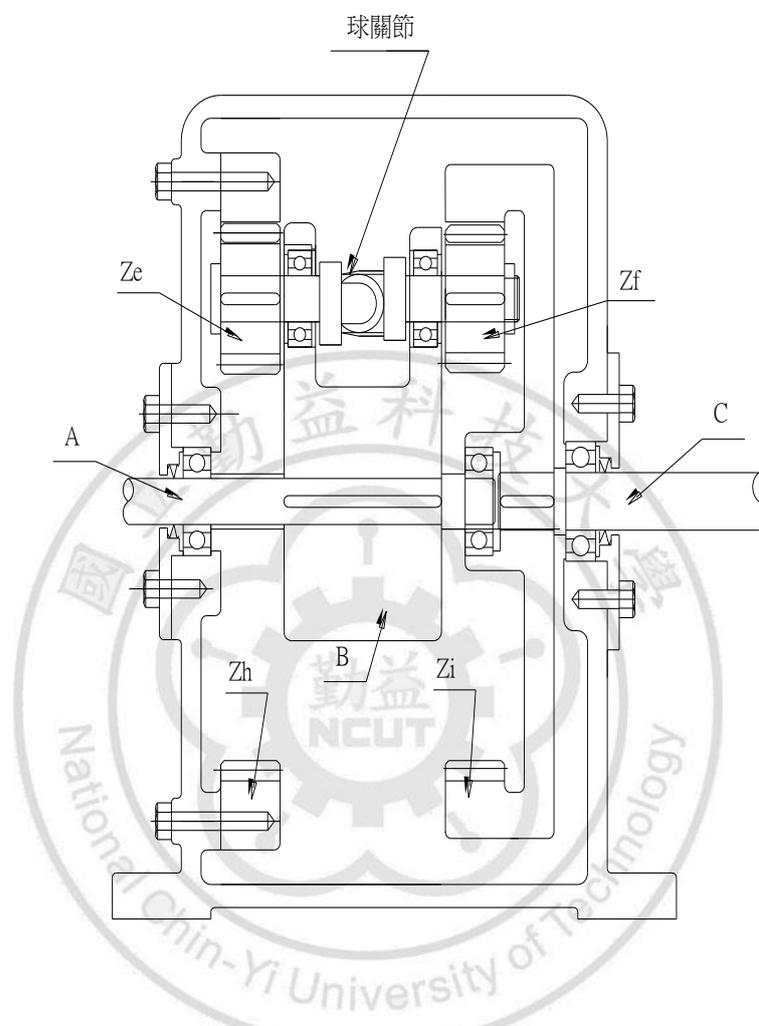
3.2.7.1. 球關節太陽齒輪機構型



第 26 圖球關節傳動太陽齒輪機構型

參考第 26 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_g ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的球關節連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過球關節傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動

3.2.7.2. 球關節內齒輪機構型

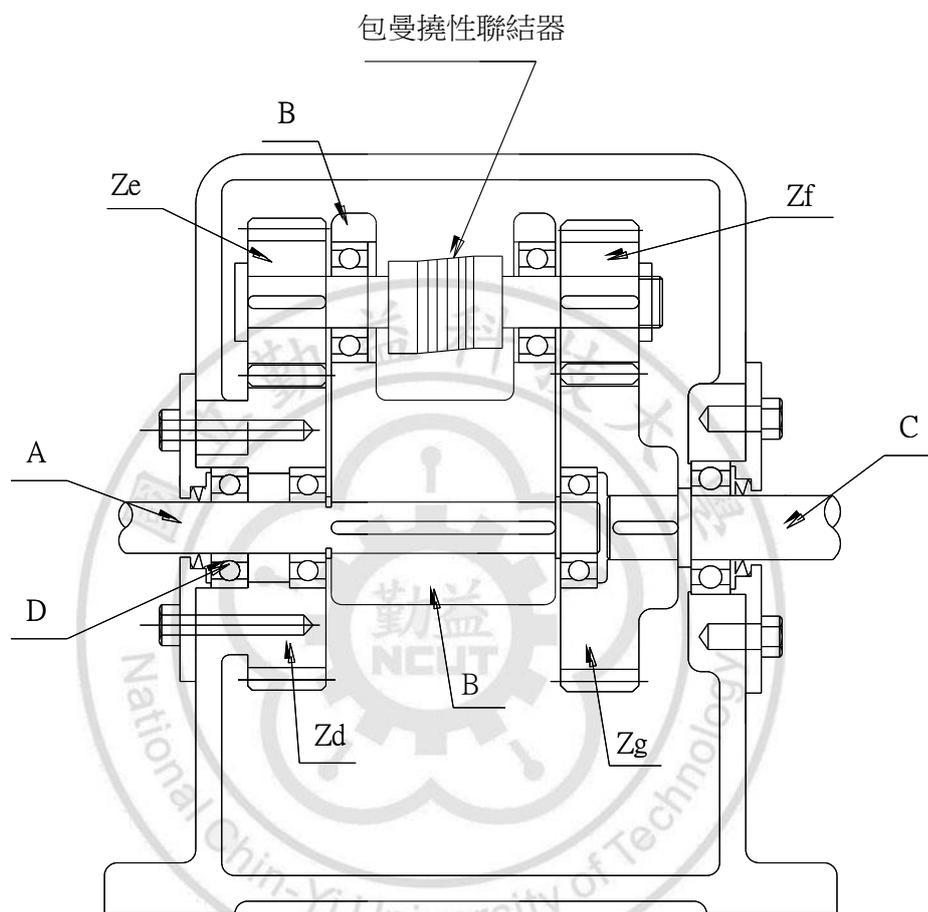


第 27 圖球關節傳動內齒輪機構型

參考第 27 圖，固定端內齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端內齒輪 Z_i ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的球關節連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過球關節傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端內齒輪 Z_i 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動

3.2.8. 運用包曼撓性聯結器機構來傳達動力[31]

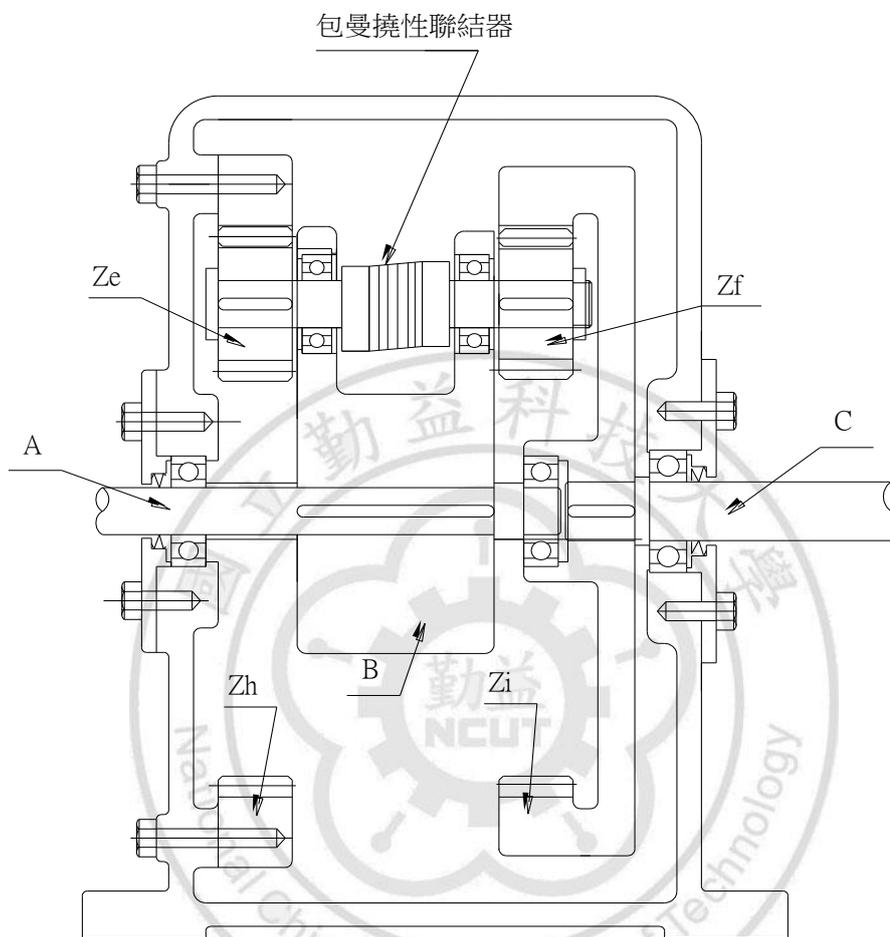
3.2.8.1. 包曼撓性聯結器太陽齒輪機構型



第 28 圖 包曼撓性聯結器傳動太陽齒輪機構型

參考第 28 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_g ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的包曼撓性聯結器連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過包曼撓性聯結器傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.8.2. 包曼撓性聯結器內齒輪機構型

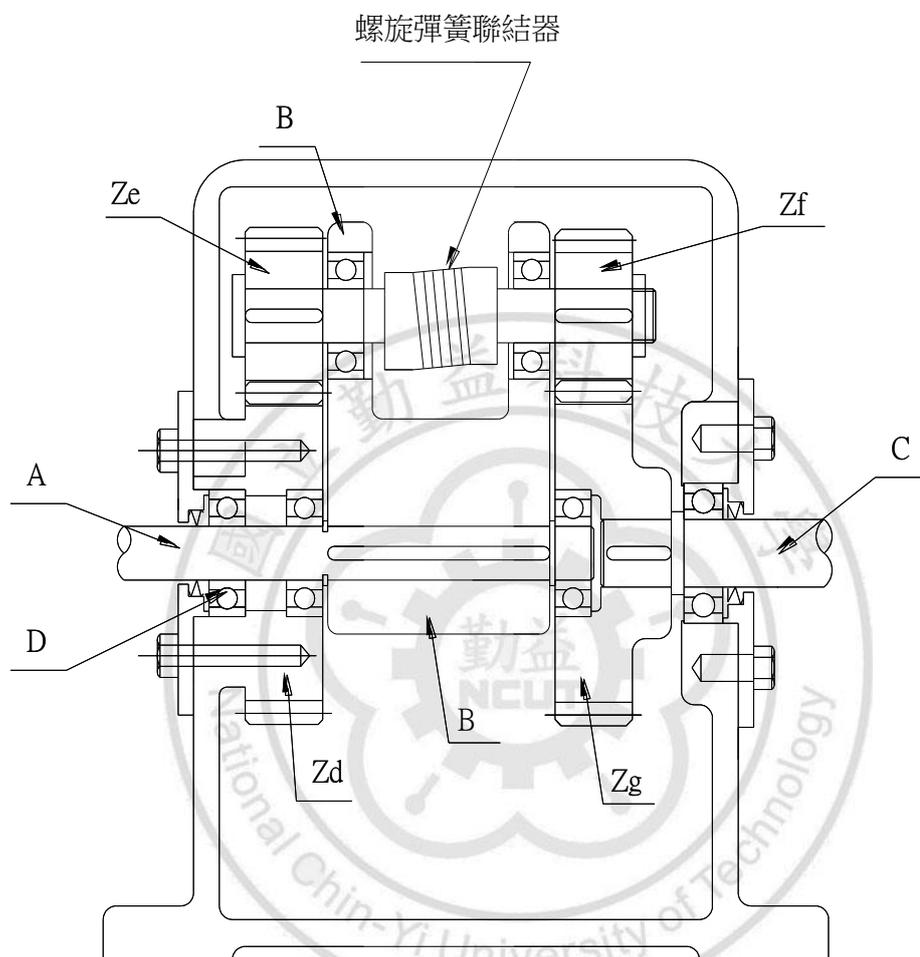


第 29 圖包曼撓性聯結器傳動內齒輪機構型

參考第 29 圖，固定端內齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端內齒輪 Z_i ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的包曼撓性聯結器連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過包曼撓性聯結器傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端內齒輪 Z_i 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.9 運用螺旋彈簧聯結器機構來傳達動力[32]

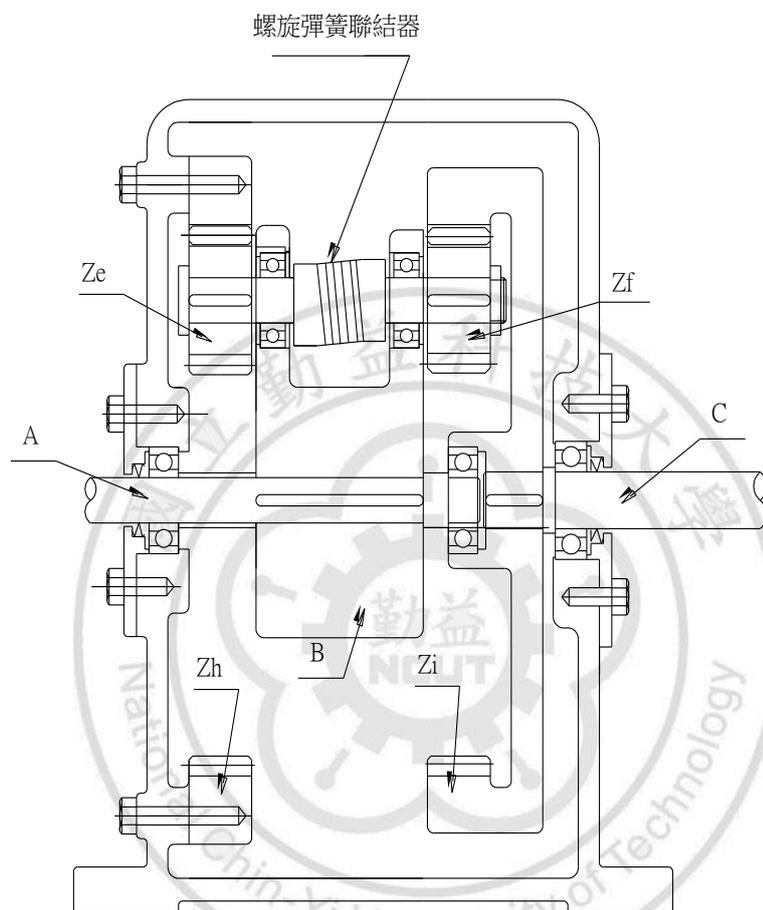
3.2.9.1. 螺旋彈簧聯結器太陽齒輪機構型



第 30 圖螺旋彈簧聯結器傳動太陽齒輪機構型

參考第 30 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_f ，模數 4，齒數 30T。擺臂 B 上的螺旋彈簧聯結器接在心軸 F 上，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過螺旋彈簧聯結器傳達動力到被動行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.9.2. 螺旋彈簧聯結器內齒輪機構型

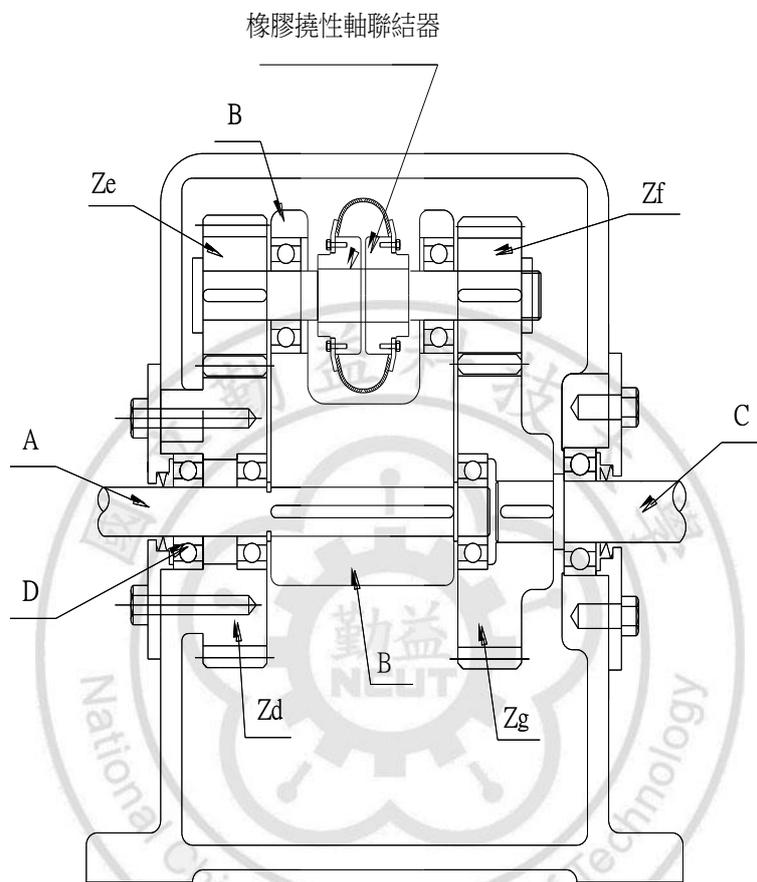


第 31 圖螺旋彈簧聯結器傳動內齒輪機構型

參考第 31 圖，固定端內齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端內齒輪 Z_i ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的螺旋彈簧聯結器連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過螺旋彈簧聯結器傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端內齒輪 Z_i 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.10 運用橡膠撓性聯結器機構來傳達動力 [33]

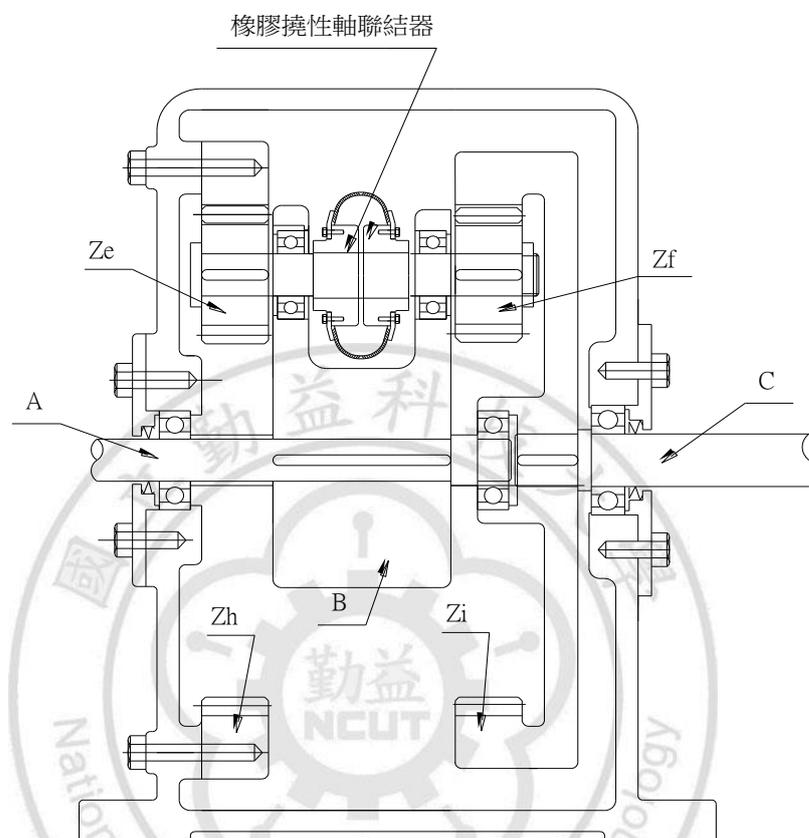
3.2.10.1. 橡膠撓性聯結器太陽齒輪機構型



第 32 圖橡膠撓性聯結器聯結器傳動太陽齒輪機構型

參考第 32 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_f ，模數 4，齒數 30T。擺臂 B 上的橡膠撓性聯結器聯結器接在心軸 F 上，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過橡膠撓性聯結器聯結器傳達動力到被動行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.10.2. 橡膠撓性聯結器內齒輪機構型

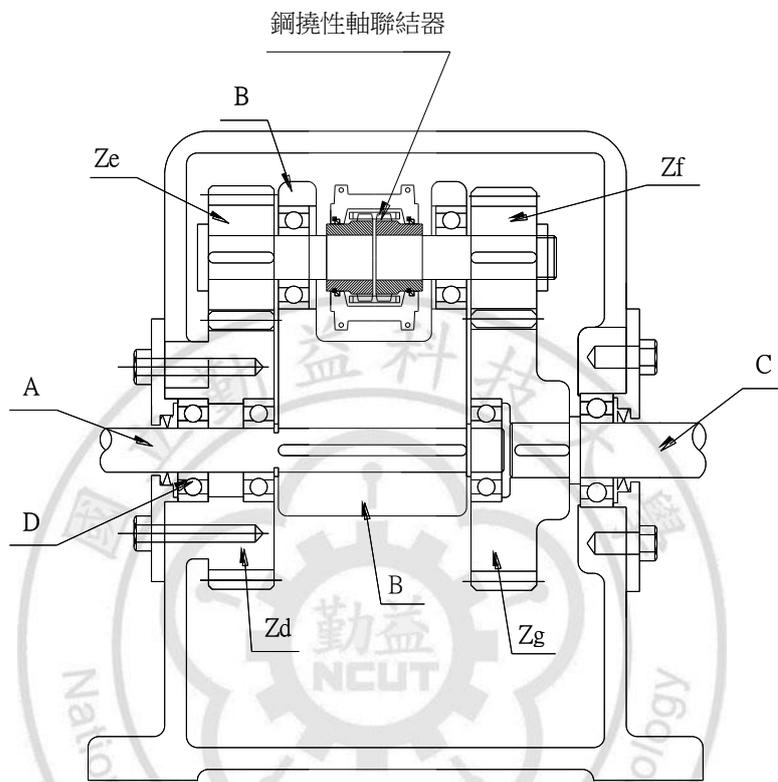


第 33 圖橡膠撓性聯結器聯結器傳動內齒輪機構型

參考第 33 圖，固定端內齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端內齒輪 Z_i ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的橡膠撓性聯結器聯結器連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過橡膠撓性聯結器聯結器傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端內齒輪 Z_i 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.11 運用鋼撓性聯結器機構來傳達動力[34]

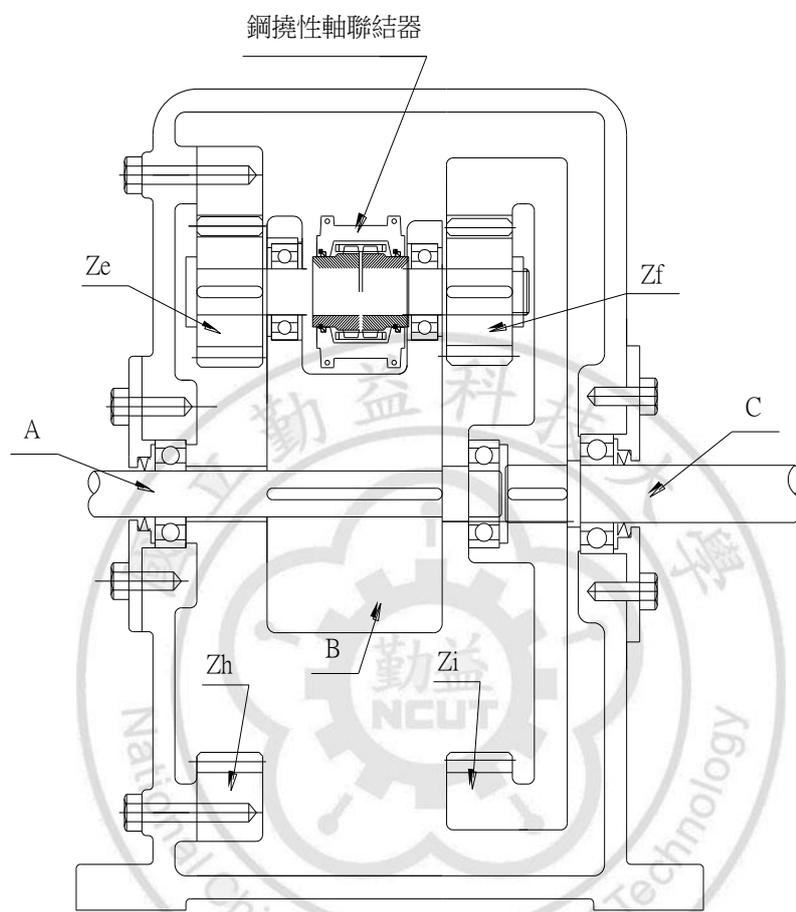
3.2.11.1. 鋼撓性聯結器太陽齒輪機構型



第 34 圖鋼撓性聯結器傳動太陽齒輪機構型

參考第 34 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_f ，模數 4，齒數 30T。擺臂 B 上的鋼撓性聯結器接在心軸 F 上，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過鋼撓性聯結器傳達動力到被動行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.11.2. 鋼撓性聯結器內齒輪機構型

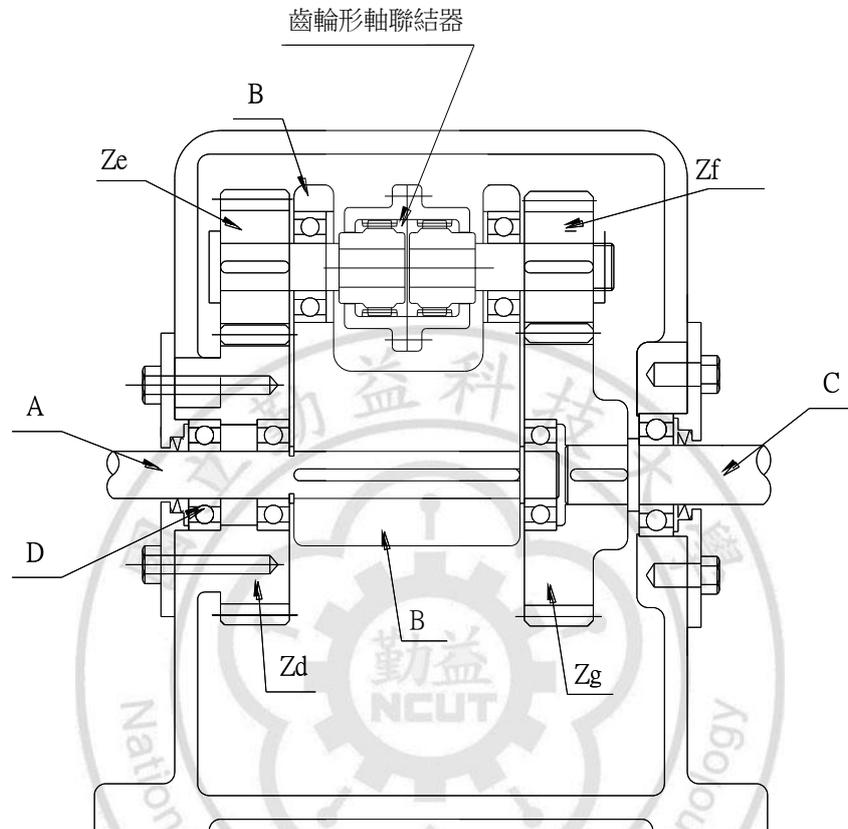


第 35 圖鋼撓性聯結器傳動內齒輪機構型

參考第 35 圖，固定端內齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端內齒輪 Z_i ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的鋼撓性聯結器連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過鋼撓性聯結器傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端內齒輪 Z_i 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.12 運用齒輪形軸聯結器機構來傳達動力[35]

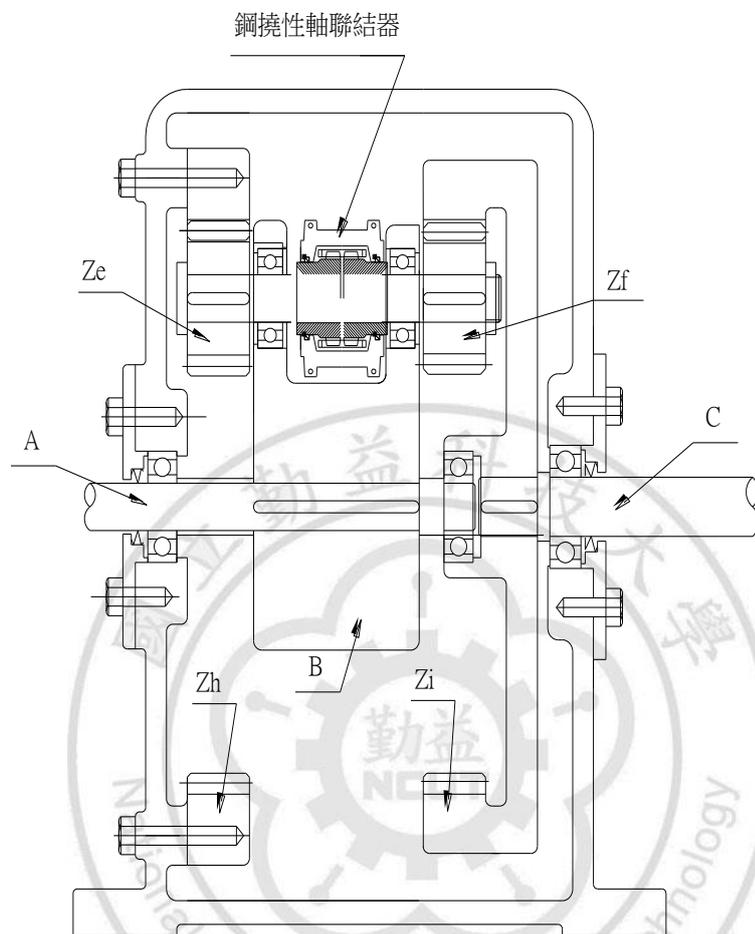
3.2.12.1. 齒輪形軸聯結器太陽齒輪機構型



第 36 圖齒輪形軸聯結器傳動太陽齒輪機構型

參考第 36 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_g ，模數 4，齒數 30T。擺臂 B 上的齒輪形聯結器接在心軸 F 上，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過齒輪形聯結器傳達動力到被動行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.12.2. 齒輪形軸聯結器內齒輪機構型

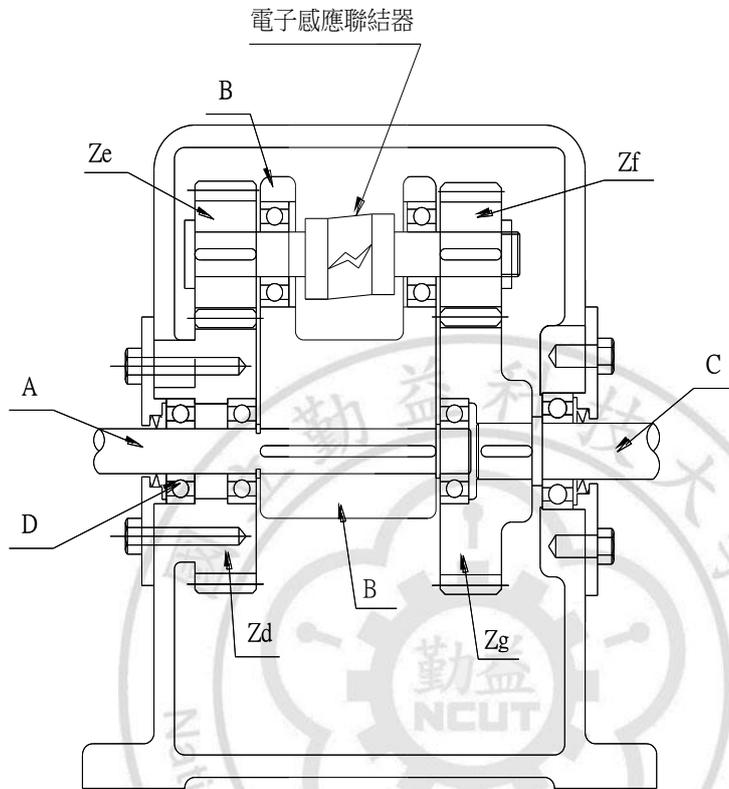


第 37 圖齒輪形軸聯結器傳動內齒輪機構型

參考第 37 圖，固定端內齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端內齒輪 Z_i ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的齒輪形聯結器連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過齒輪形聯結器傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端內齒輪 Z_i 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.13 運用電子感應聯結器機構來傳達動力

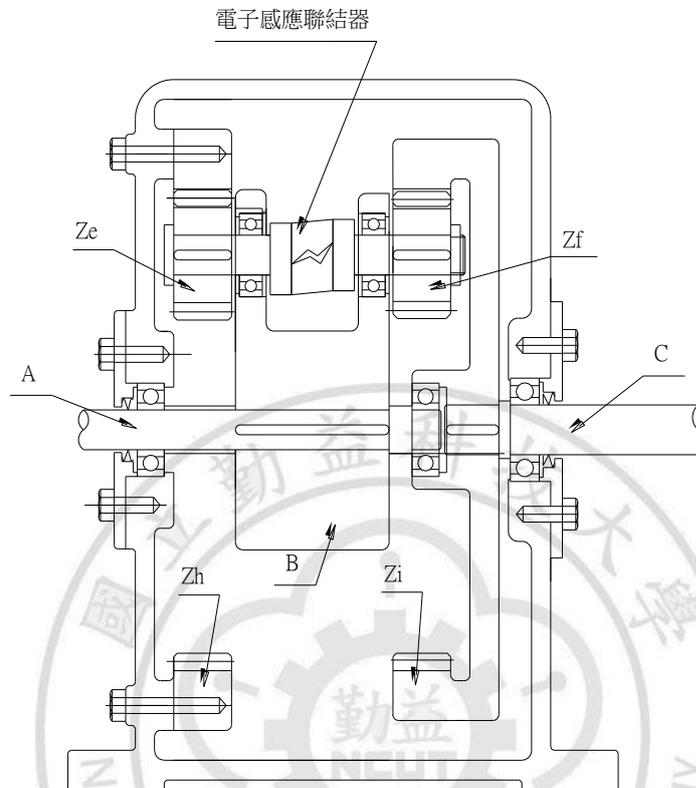
3.2.13.1. 電子感應聯結器太陽齒輪機構型



第 38 圖電子感應聯結器傳動太陽齒輪機構型

參考第 38 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_g ，模數 4，齒數 30T。擺臂 B 上的電子感應聯結器接在心軸 F 上，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過電子感應聯結器傳達動力到被動行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

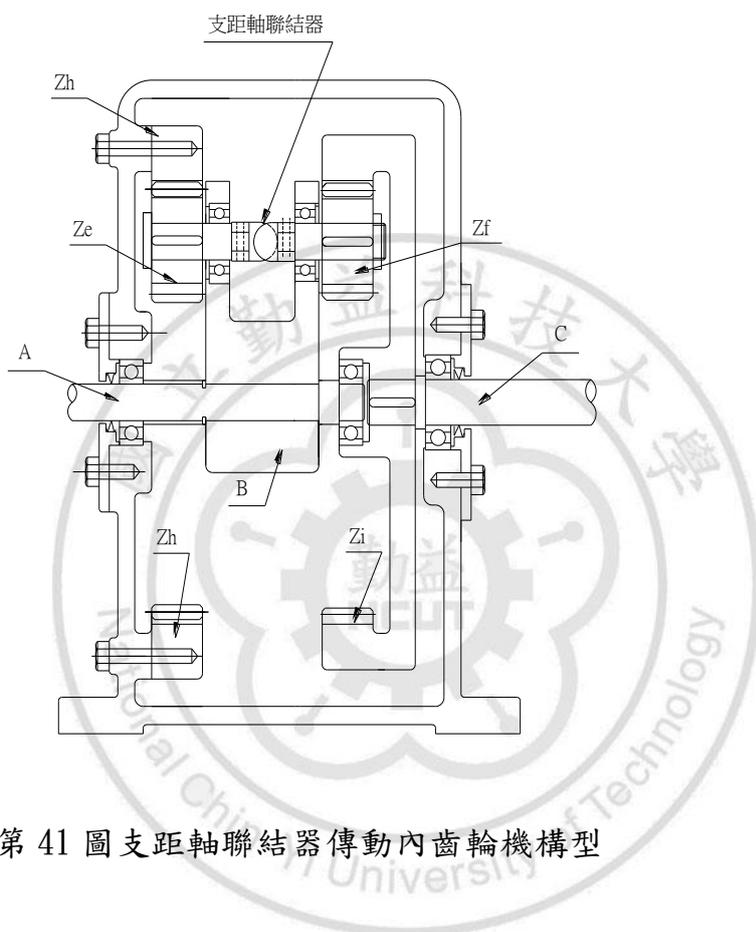
3.2.13.2. 電子感應聯結器內齒輪機構型



第 39 圖電子感應聯結器傳動內齒輪機構型

參考第 39 圖，固定端內齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端內齒輪 Z_i ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的電子感應聯結器連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過電子感應聯結器傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端內齒輪 Z_i 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.14.2. 支距軸聯結器內齒輪機構型

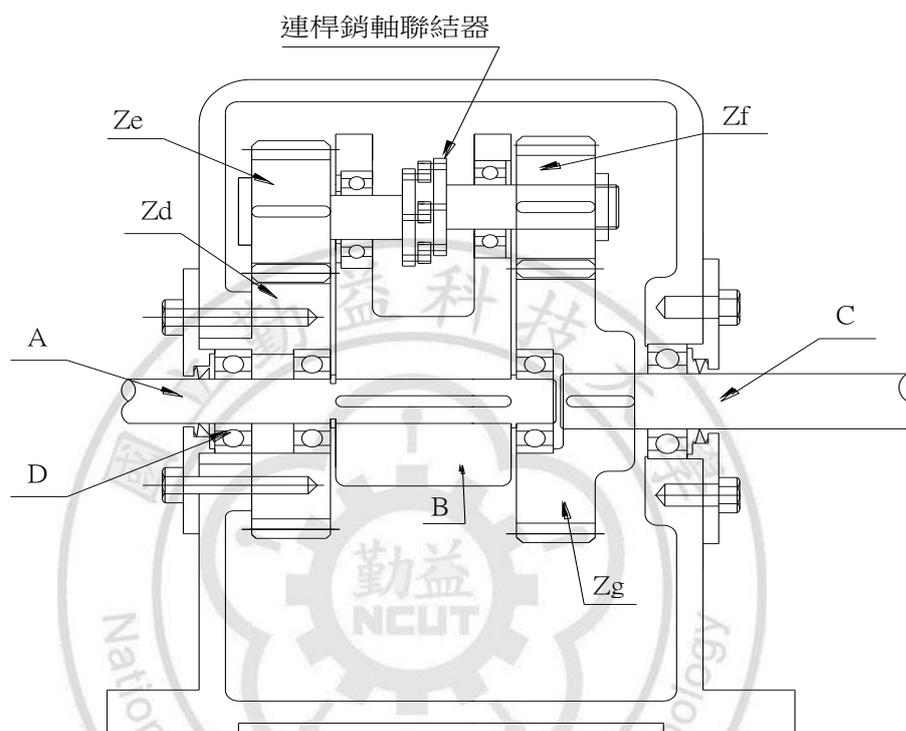


第 41 圖支距軸聯結器傳動內齒輪機構型

參考第 41 圖，固定端內齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端內齒輪 Z_i ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的支距軸聯結器連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過支距軸聯結器傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端內齒輪 Z_i 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.15 運用連桿銷聯結器機構來傳達動力[37]

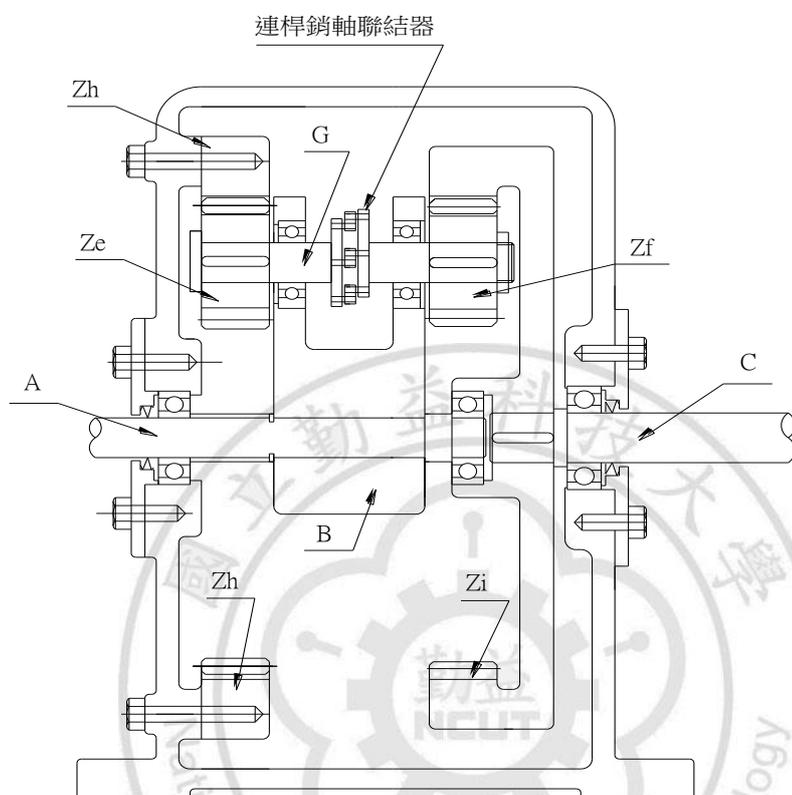
3.2.15.1. 連桿銷聯結器太陽齒輪機構型



第 42 圖連桿銷聯結器傳動太陽齒輪機構型

參考第 42 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_g ，模數 4，齒數 30T。擺臂 B 上的連桿銷聯結器接在心軸 F 上，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過連桿銷聯結器傳達動力到被動行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.15.2. 連桿銷聯結器內齒輪機構型

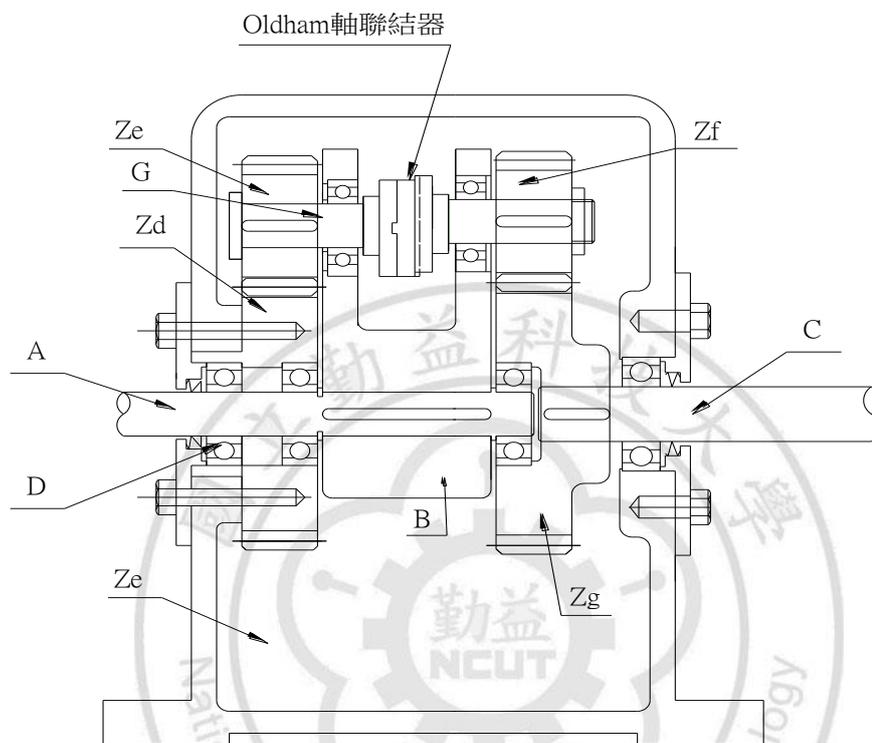


第 43 圖連桿銷聯結器傳動內齒輪機構型

參考第 43 圖，固定端內齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端內齒輪 Z_i ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的連桿銷聯結器連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過連桿銷聯結器傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端內齒輪 Z_i 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.16 運用 Oldham 軸聯結器機構來傳達動力 [38]

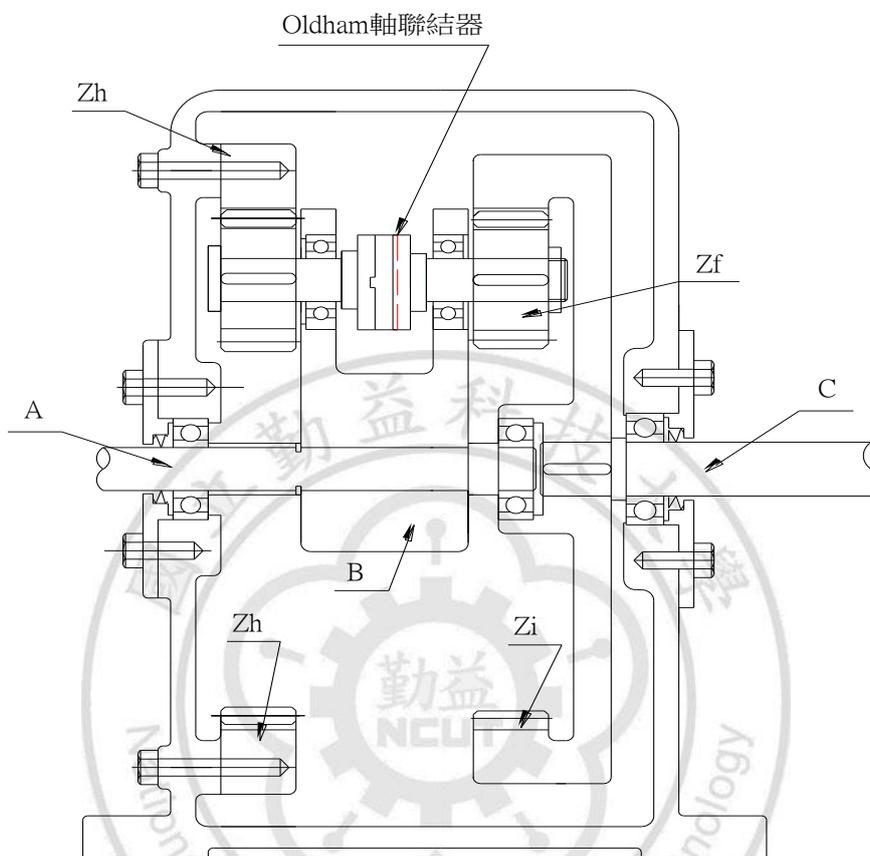
3.2.16.1. Oldham 軸聯結器太陽齒輪機構型



第 44 圖 Oldham 軸聯結器傳動太陽齒輪機構型

參考第 38 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_g ，模數 4，齒數 30T。擺臂 B 上的 Oldham 軸聯結器接在心軸 F 上，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過 Oldham 軸聯結器傳達動力到被動行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.16.2. Oldham 軸聯結器內齒輪機構型

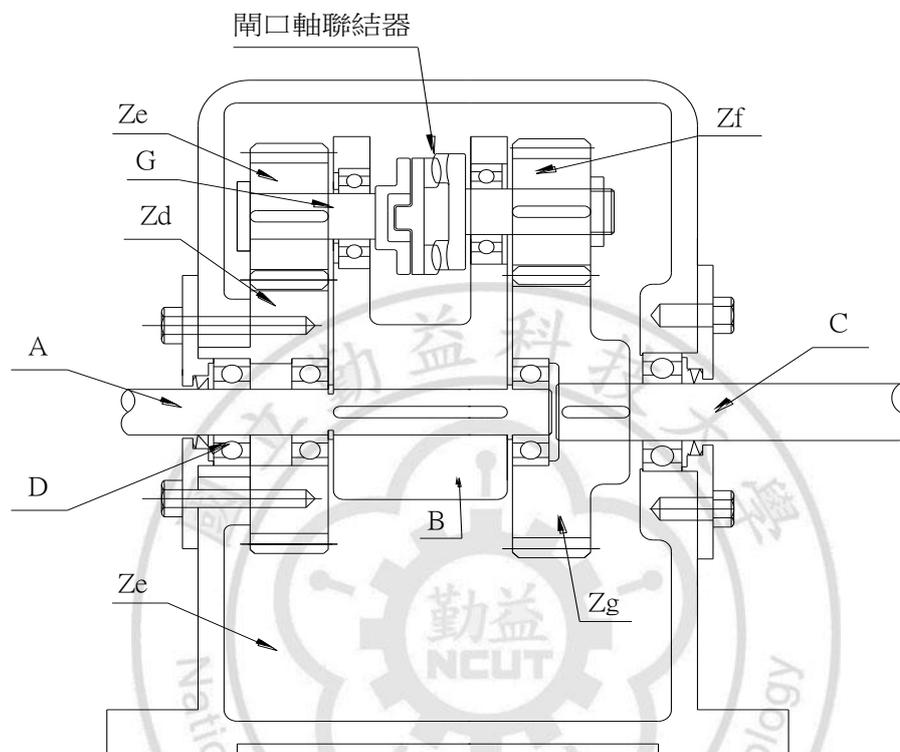


第 45 圖 Oldham 軸聯結器傳動內齒輪機構型

參考第 39 圖，固定端內齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端內齒輪 Z_i ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的 Oldham 軸聯結器連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過 Oldham 軸聯結器傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端內齒輪 Z_i 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.17 運用開口軸聯結器機構來傳達動力[39]

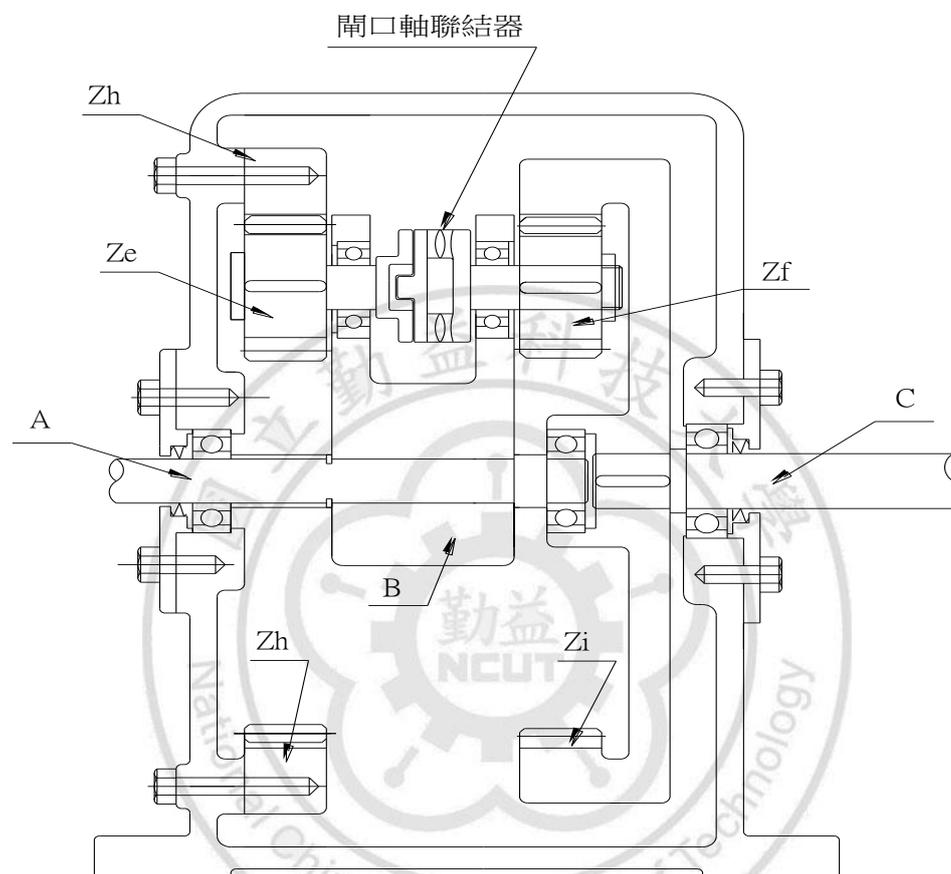
3.2.17.1. 開口軸聯結器太陽齒輪機構型



第 46 圖開口軸聯結器傳動太陽齒輪機構型

參考第 46 圖，固定端太陽齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端太陽齒輪 Z_f ，模數 4，齒數 30T。擺臂 B 上的開口軸聯結器接在心軸 F 上，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過開口軸聯結器傳達動力到被動行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動太陽齒輪 Z_g 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

3.2.17.2. 開口軸聯結器內齒輪機構型



第 47 圖開口軸聯結器傳動內齒輪機構型

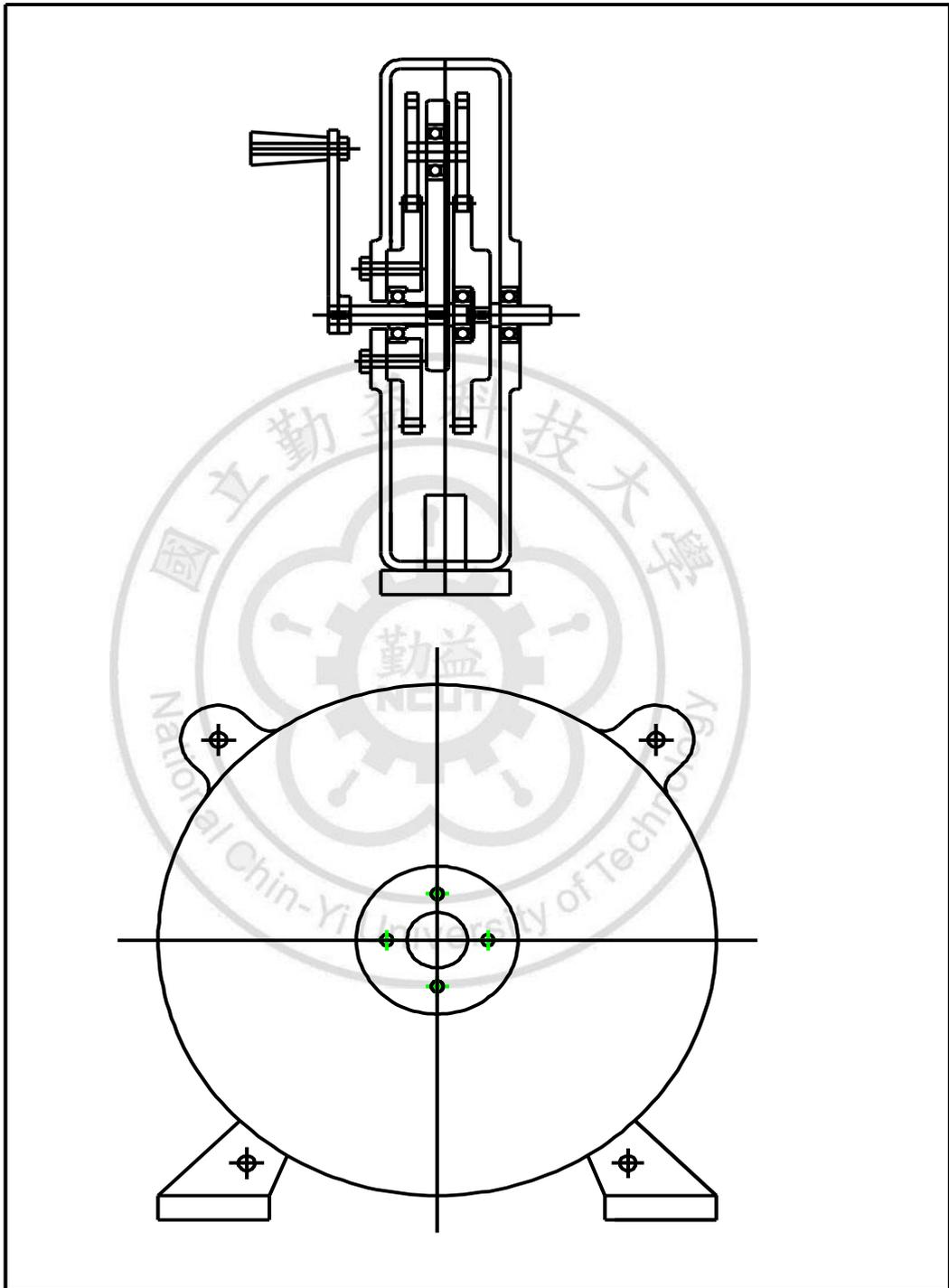
參考第 47 圖，固定端內齒輪 Z_d 模數 4、齒數 29T、固定端行星齒輪 Z_e 模數 4、齒數 14T、從動端行星齒輪 Z_f 、模數 4 齒數 14T，從動端內齒輪 Z_i ，模數 4 齒數 30T。擺臂 B 上的開口軸聯結器連接在心軸，當入力軸 A 轉動時靠著擺臂 B 連動到心軸 G，再經過開口軸聯結器傳達動力到從動端行星齒輪 Z_f ，再經由傳動從動端內齒輪 Z_i 、驅動出力軸 C、如此即可在心軸高度不相等的條件下傳動。

第四章. 成品製作與測試

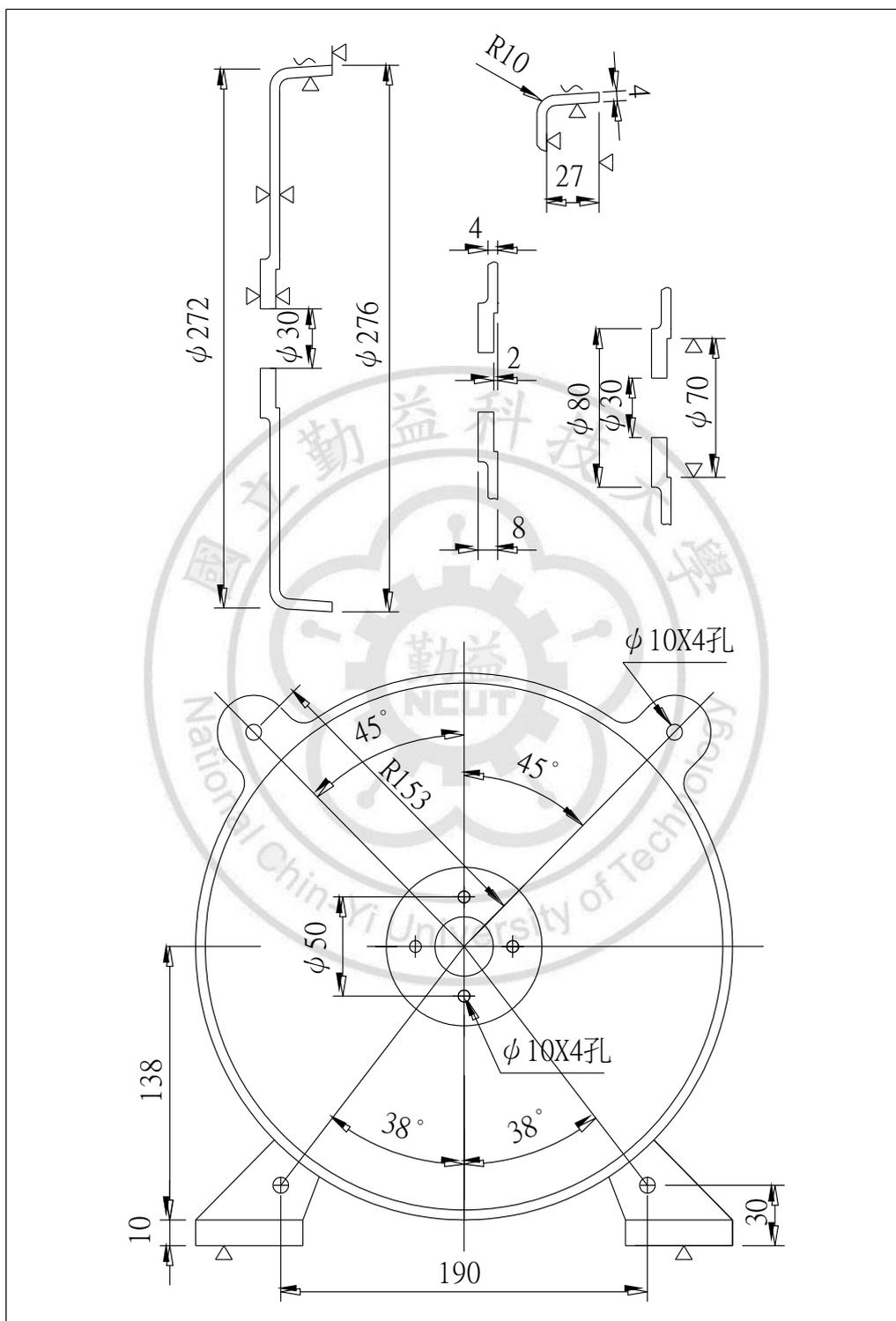
本文提到的型式有、(1) 齒形皮帶輪(2) 平皮帶輪(3) 平皮帶輪、(4) V 形皮帶輪、(5) 萬向接頭、(6) 方型接頭、(7) 球關節、(8) 包曼撓性聯結器、(9) 螺旋彈簧聯結器、(10) 橡膠撓性聯結器、(11) 鋼撓性聯結器、(12) 齒輪形聯結器、(13) 電子感應聯結器、(14) 支距軸聯結器、(15) 連桿銷聯結器、(16) Oldham 軸聯結器、(17) 開口軸聯結器、及(18) 改變齒輪模數來達成減速目的的機構。但礙於經費短缺、無法全部實施、僅選擇改變模數的太陽齒輪減速機構，來實際製造、製造前提是：不考慮軸剪斷應力、也不考慮軸的扭轉應力、及齒輪面的耐壓強度、軸承耐壓強度、等條件，儘可能將條件予以簡化、只著重於機構預期的 1/30 減速比的與理論，是否能夠真的實現。

4.1 繪製製造圖

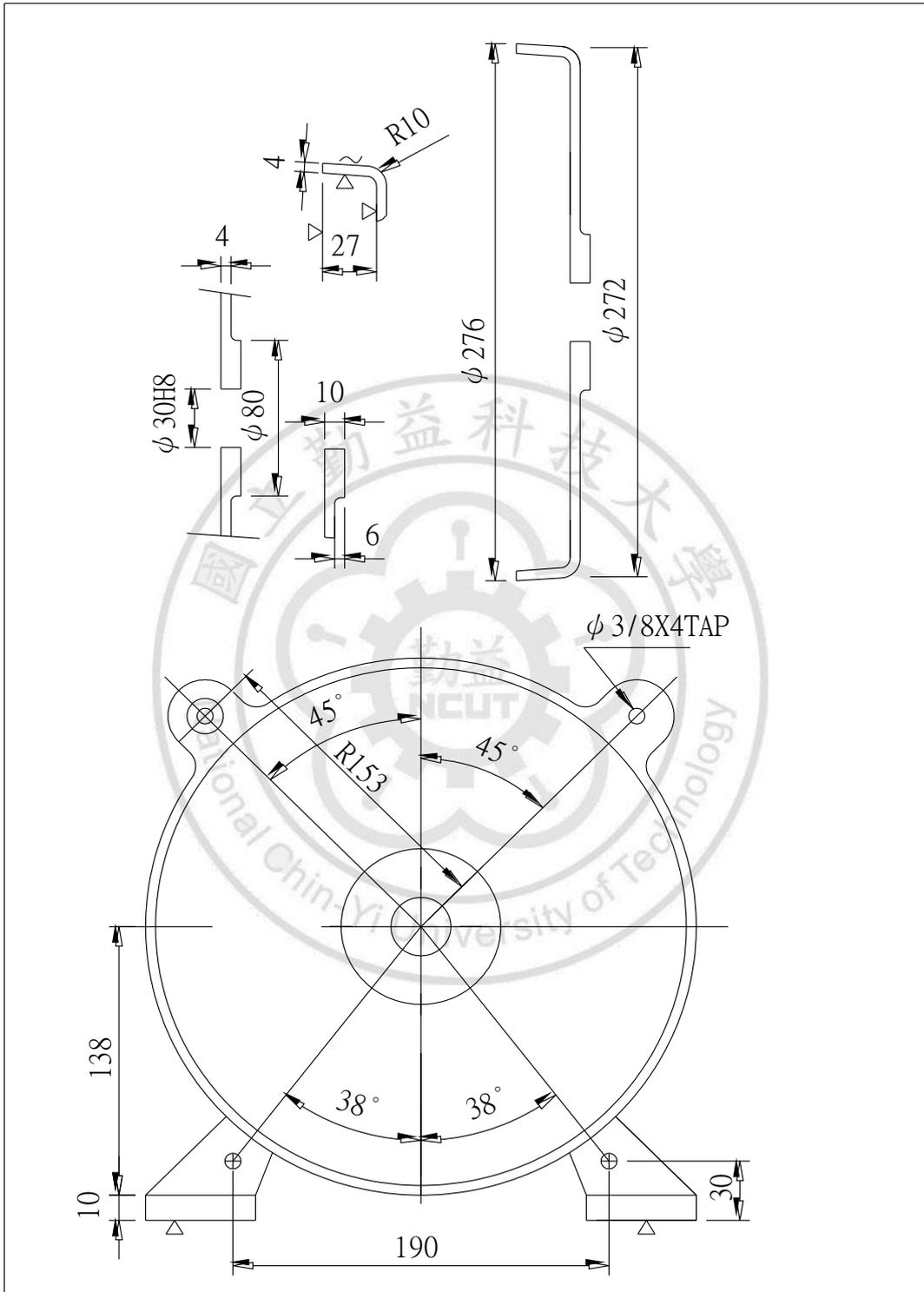
運用 AUTOCAD 繪圖軟體，先將整體減速機組合圖繪製出來，先校核各零件是否有干涉產生，接著再分別繪製細部零件製造圖，提供木模製造，齒輪箱鑄造，機械加工之用途，經輕量化後之減速機製造圖如下。



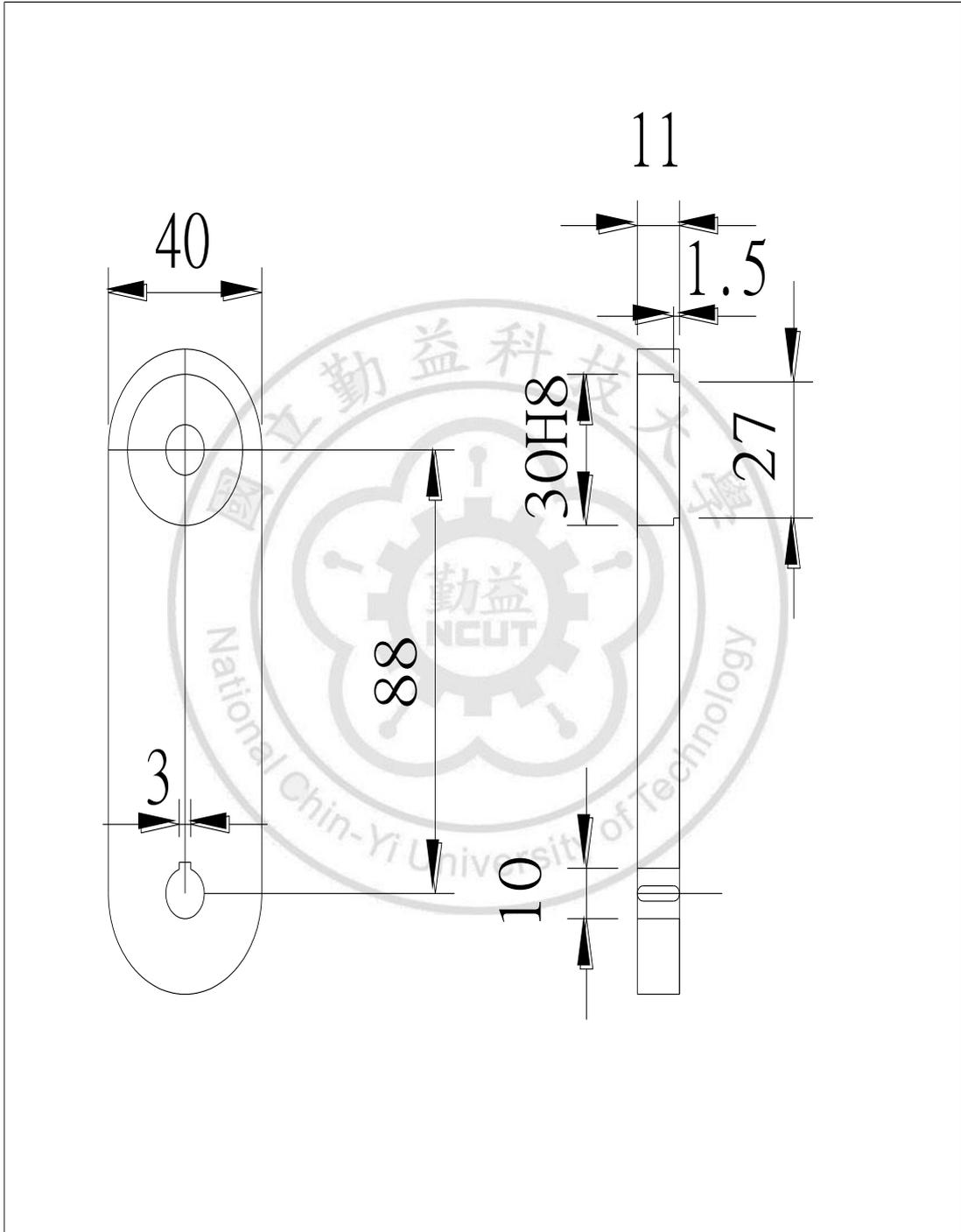
第 48 圖主齒輪箱組合圖



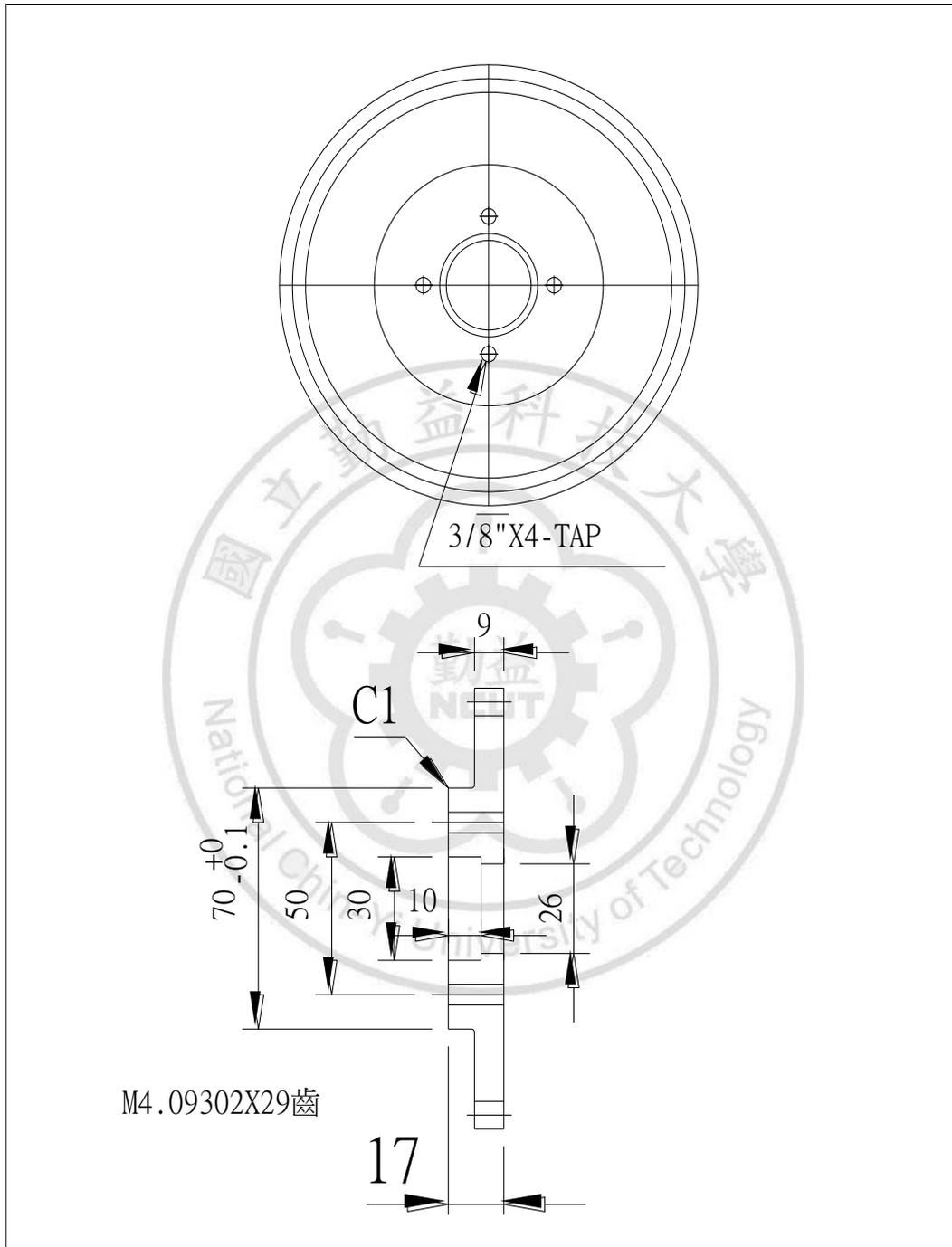
第 49 圖主齒輪箱上蓋



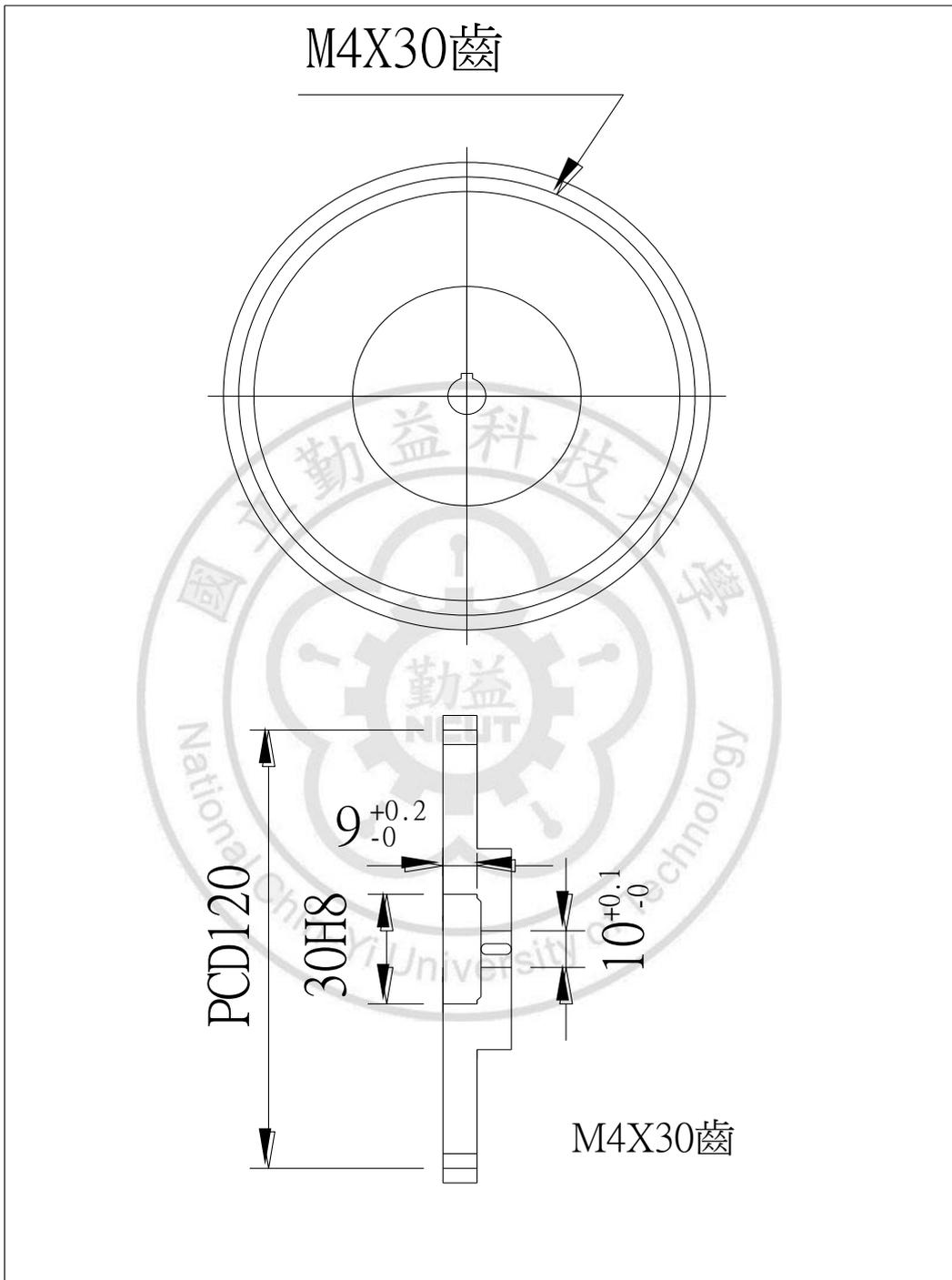
第 50 圖主齒輪箱下蓋



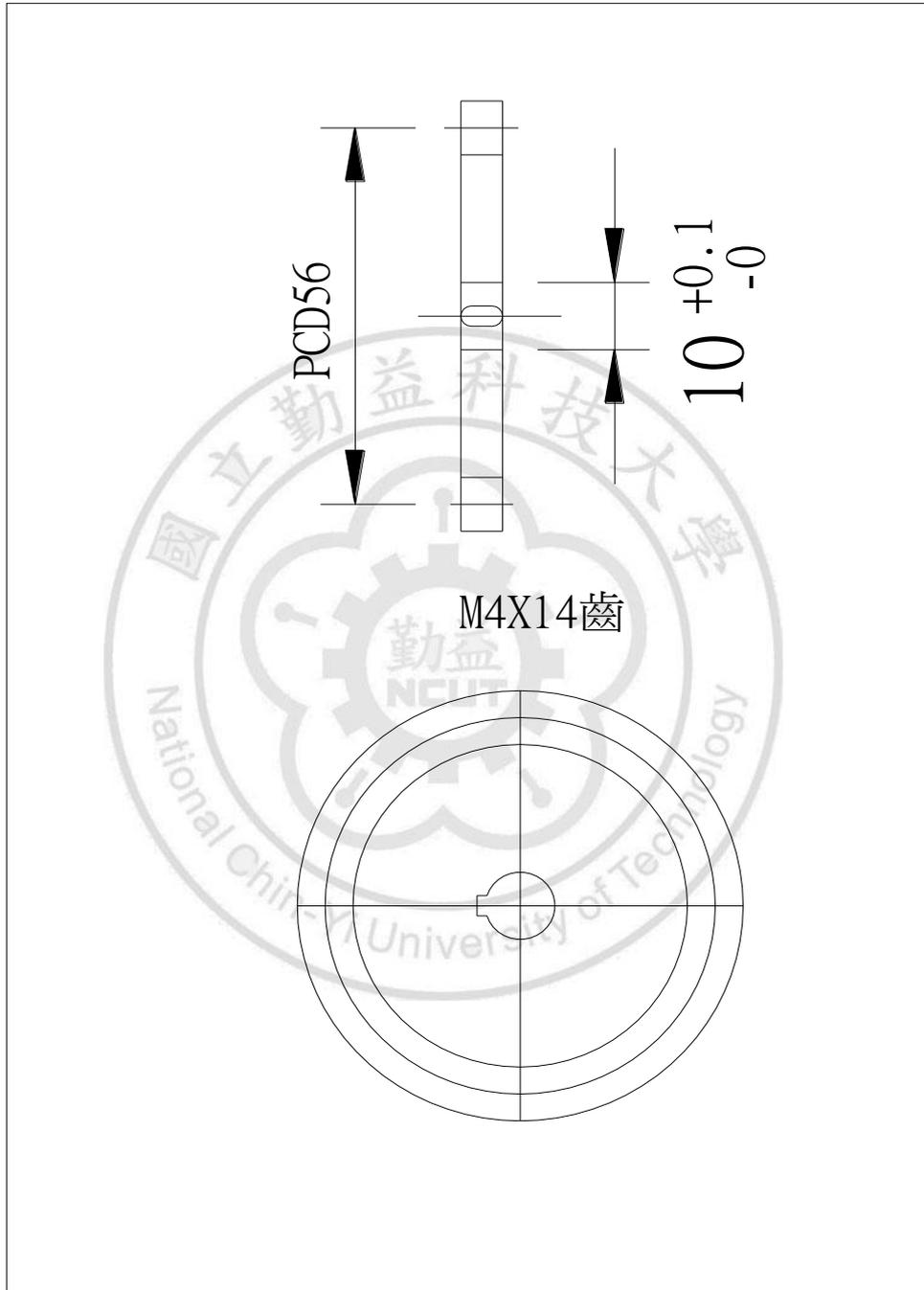
第 51 圖 擺臂



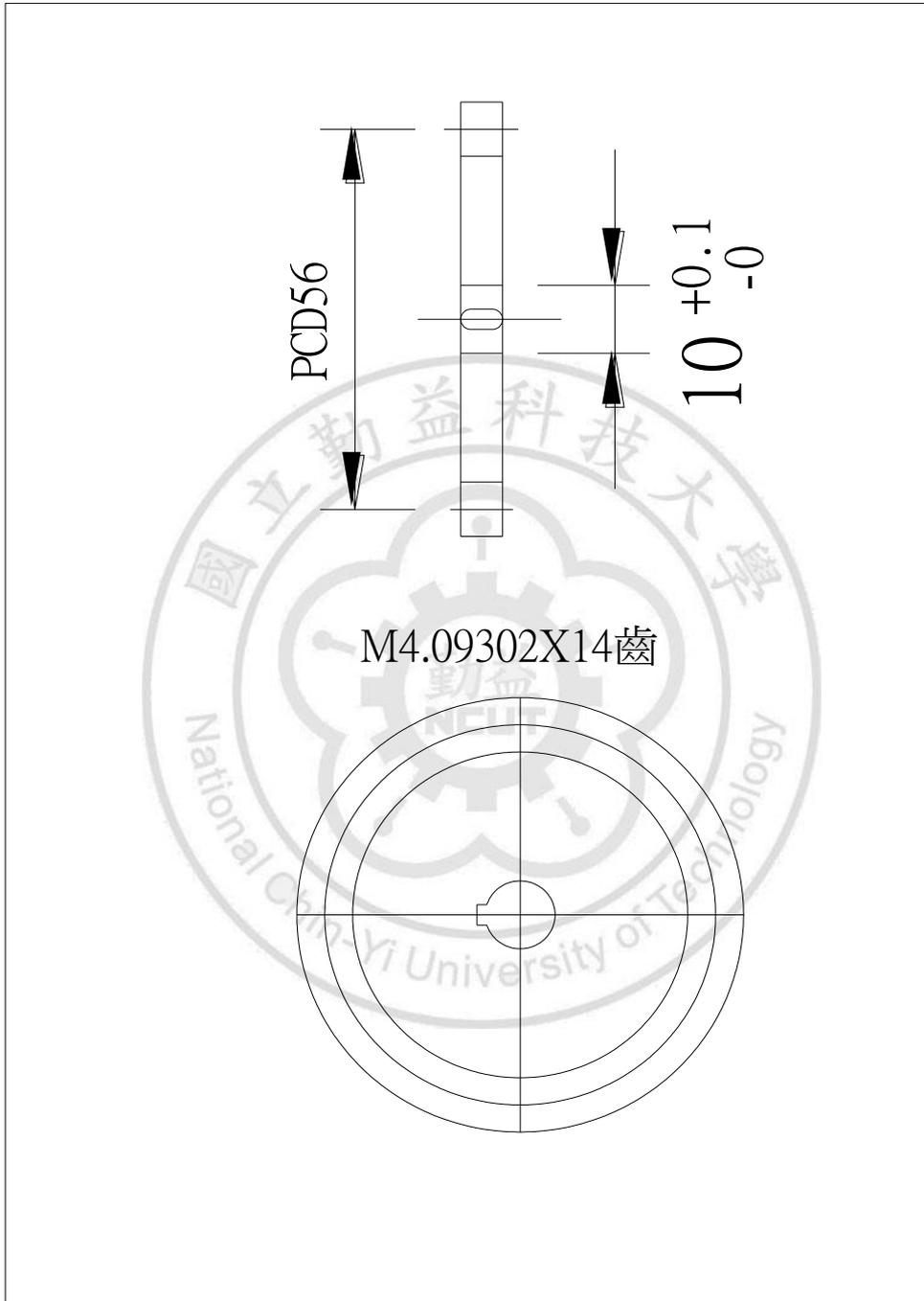
第 52 圖 固定太陽齒輪



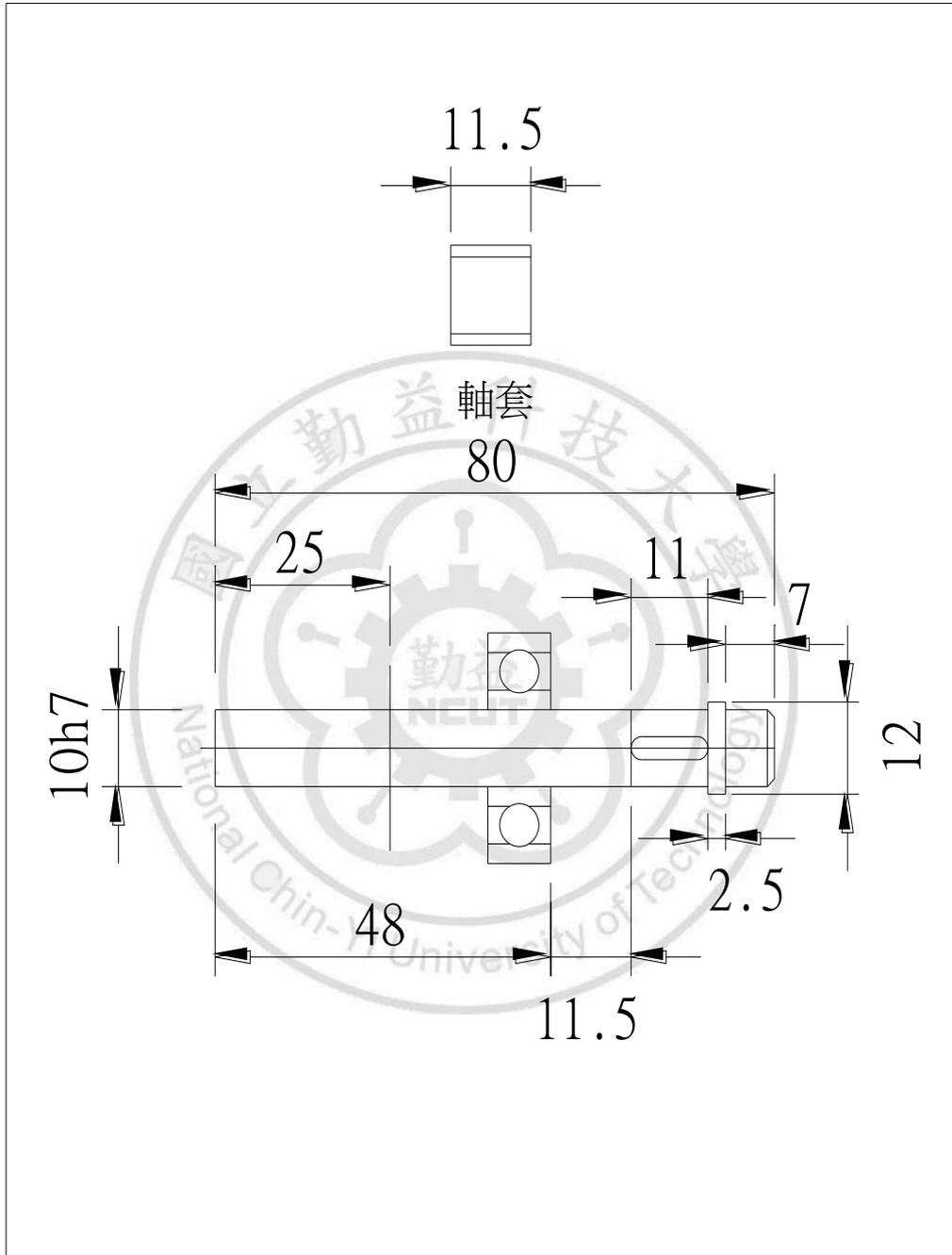
第 53 圖從動太陽齒輪



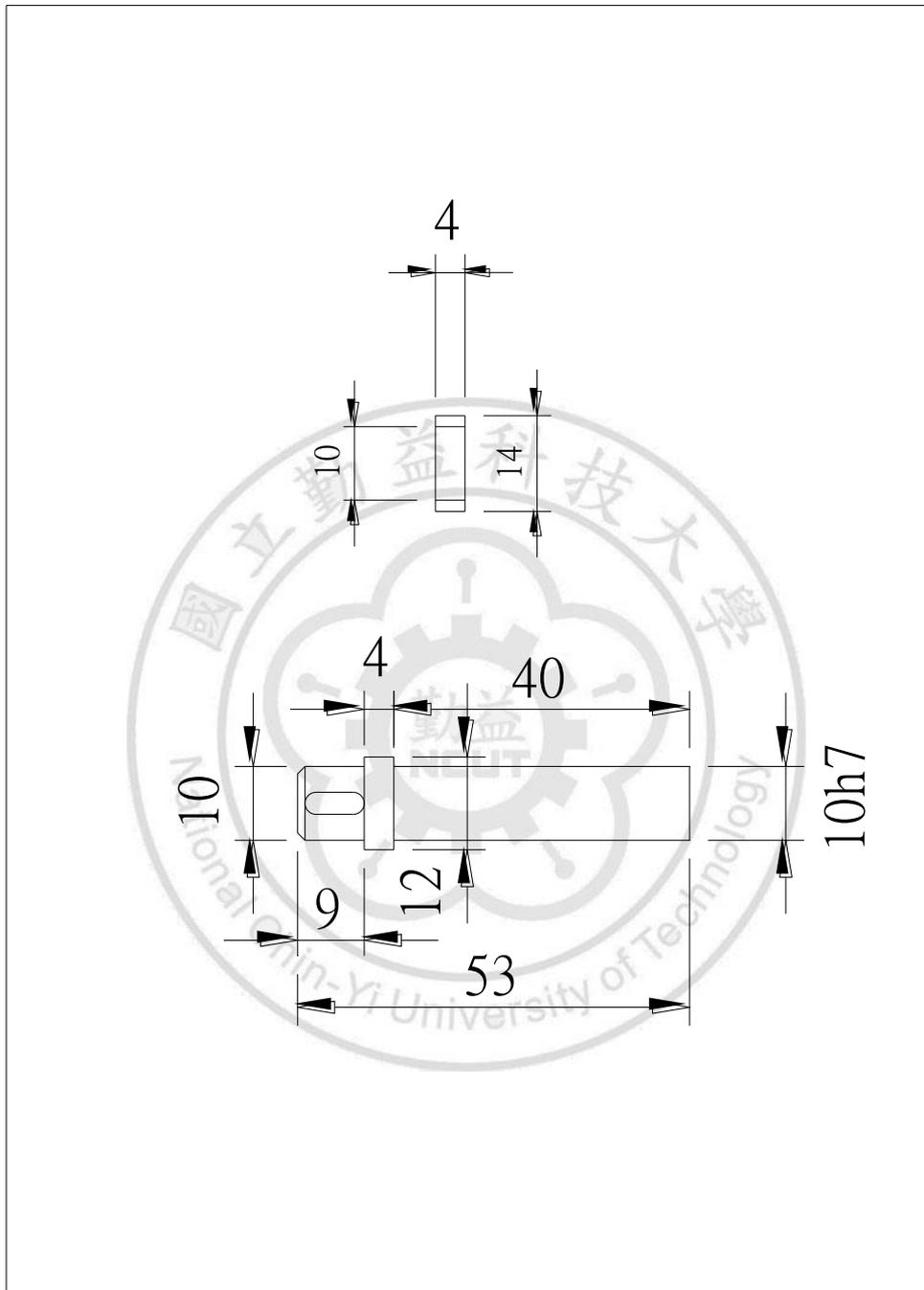
第 54 圖從動行星齒輪



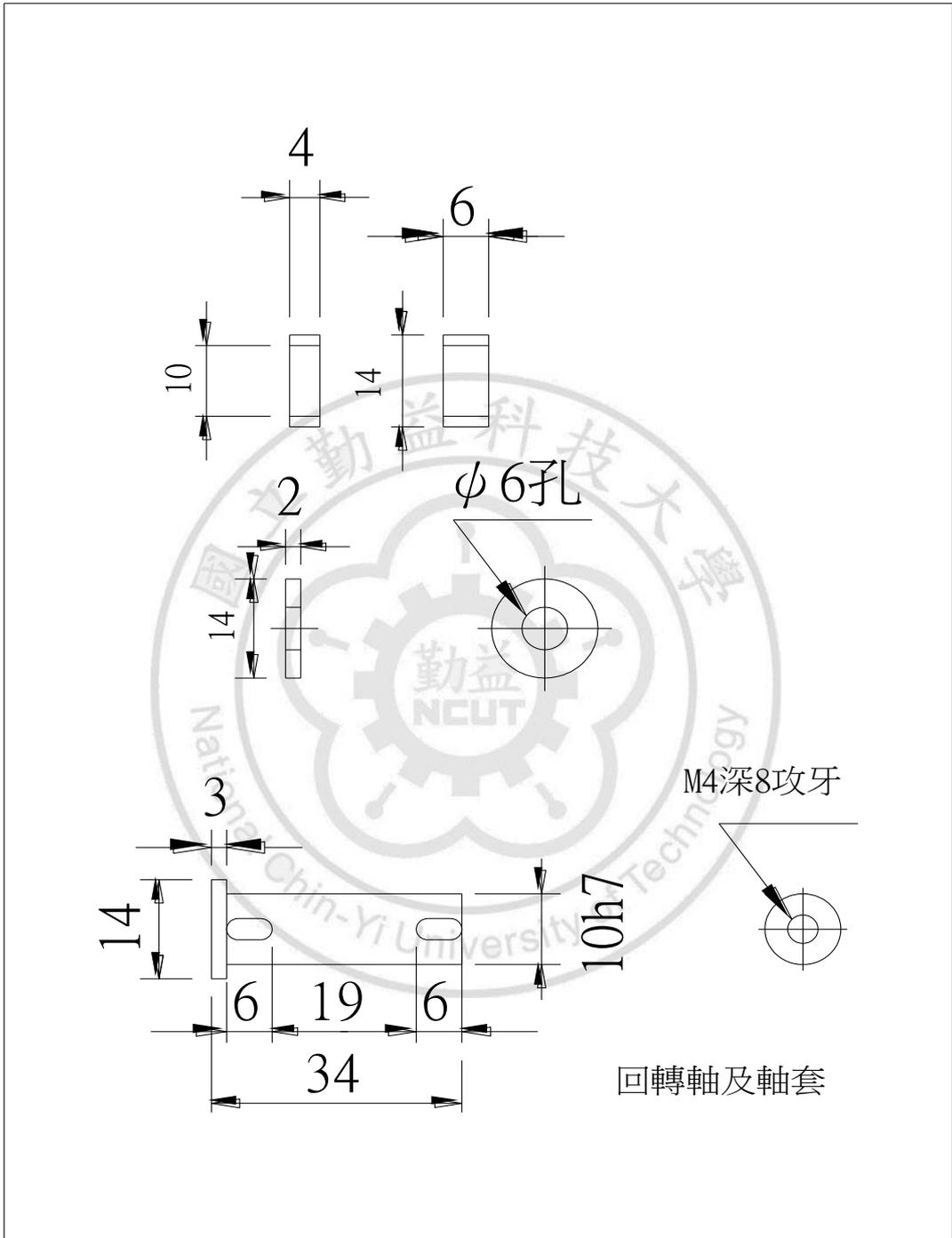
第 55 圖 固定端行星齒輪



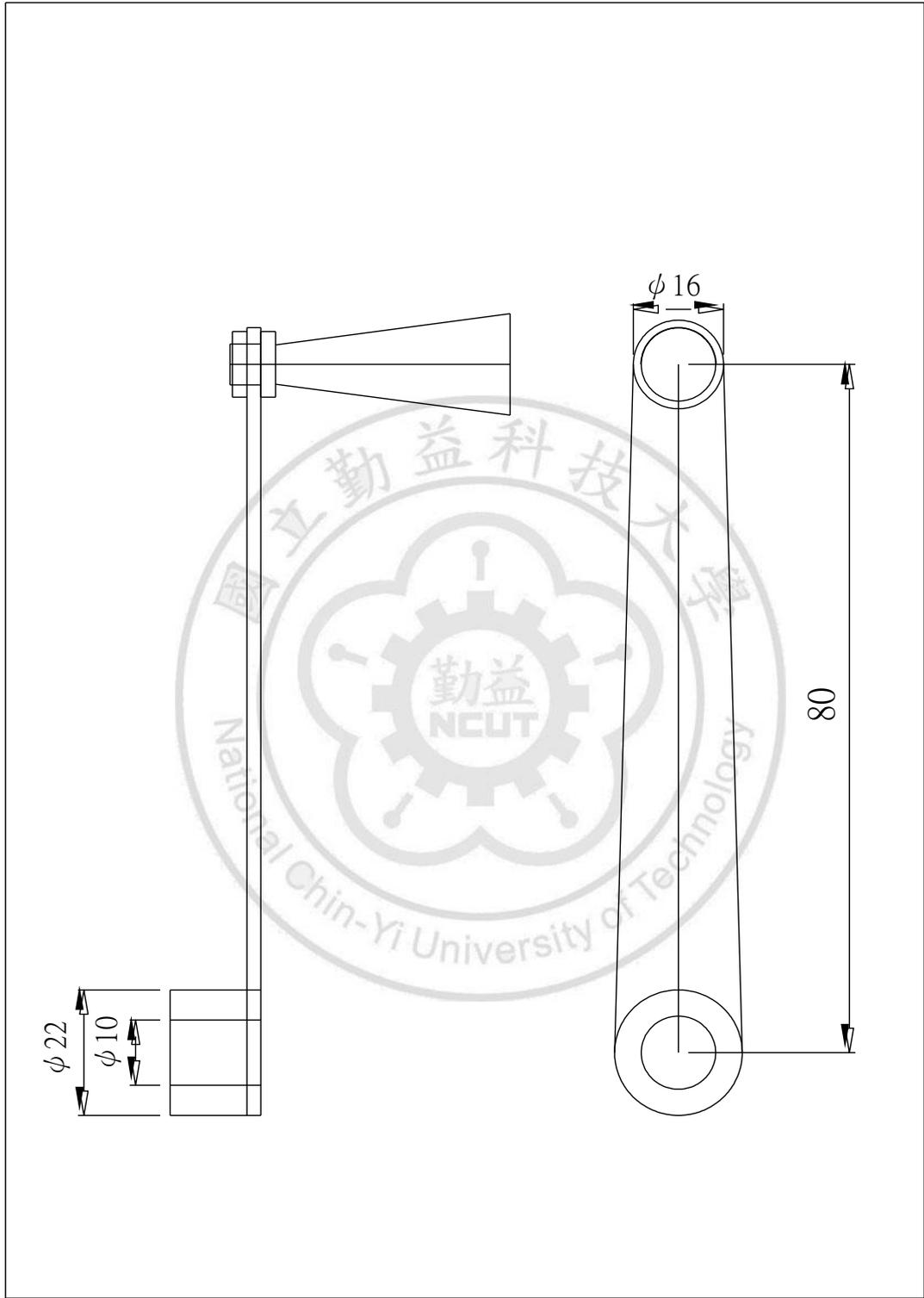
第 56 圖輸入軸及軸套



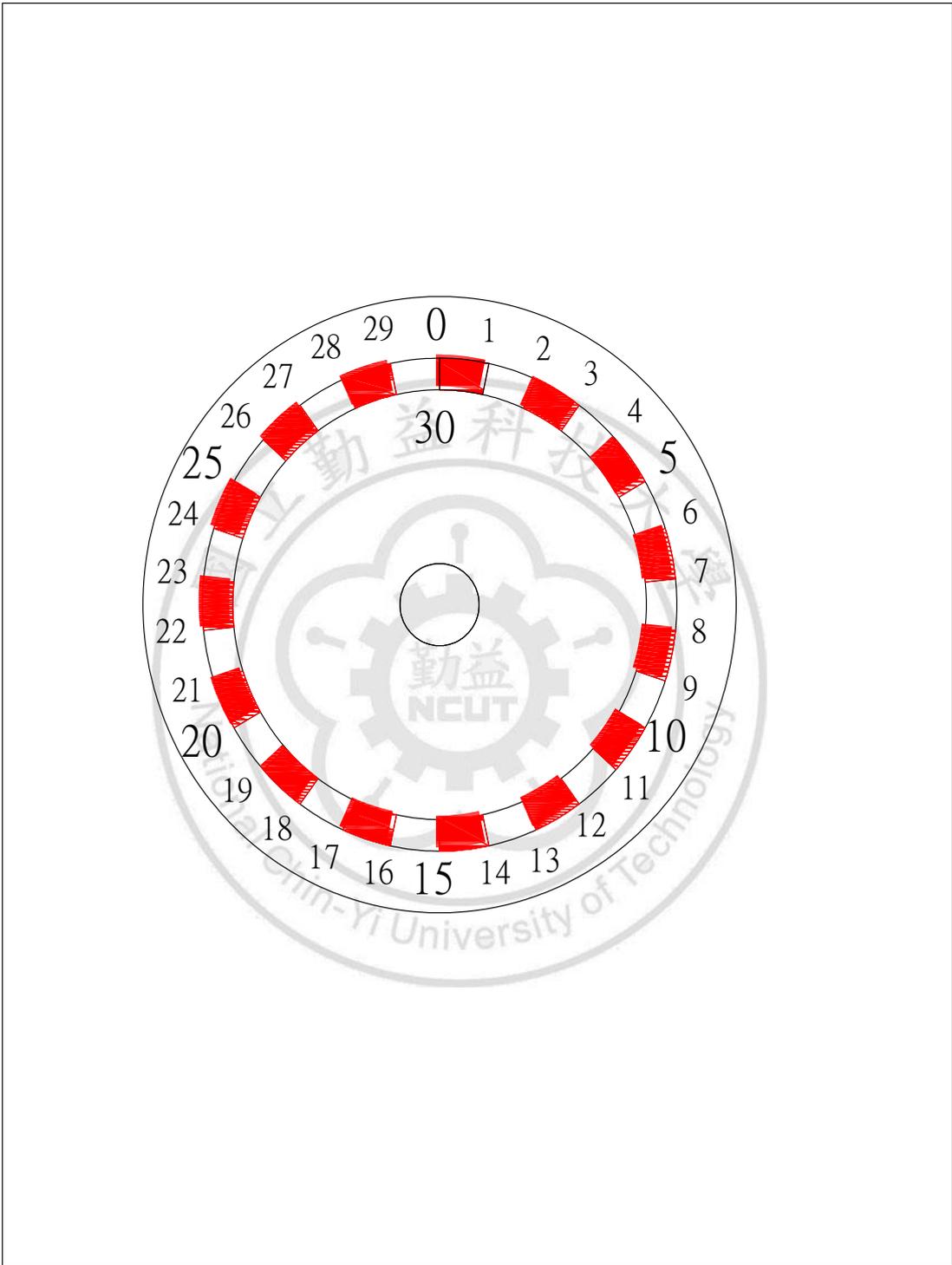
第 57 圖輸出軸及軸套



第 58 圖迴轉軸及軸套墊圈



第 59 圖操作把手



第 60 圖開度計

4.2 製做齒輪箱的木模

由於本實驗著重於節省成本，即僅製作 1 台的情況下，在設計齒輪箱時便考量使用木模或保麗龍模型的兩個方向，由於保麗龍模型是由保麗龍製作而成，在外型並不複雜、且是屬於大型鑄件大多採用、優點是不用製作砂心盒、且成本低、製作速度也快。缺點是只能用一次。

雖然優點這麼多，但由於本鑄件僅 5.0mm 的板厚這在製作砂模時容易變形、故不考慮採用保麗龍模型。製作木模是最佳選擇。

參考第 49 圖齒輪箱上蓋(第 49 圖)及齒輪箱下蓋(第 50 圖)可以發現：兩者除了入力軸處、和出力軸處有些許不同外、其他部份全部一模一樣。這表示只需要製作一木模、而且不用製作砂心盒。這樣的木模設計可有效節省成本。

首先；先找一塊木板、優選是老舊教室拆下來的檜木橫樑、由於質地細膩且不易變形，但是價格高而且取得不易，退而求其次、不是有很多松木箱板材、隨著進口機械來到台灣？挑一些紋路平順、沒有逆紋或癟目的心材來用、售價也便宜、1 公斤才 15 元，木頭找到了動手做吧！把木頭的兩個面刨平，並用量角器確認直角角度正確，接著把兩塊木頭用白膠黏合，待乾燥後再將工件的其他各面刨平並須呈直角，這個步驟很重要、若是垂直度有誤差、則上方的製作圖則會和下方的製作圖會產生誤差、無法保持垂直而影響到木模精度，接著畫好製作圖之後便可開始將內圈的木頭用銑刀銑除、接著翻過來再將外型用平削鑿削除，接著再用補土將圓角做出來，最後再用砂紙將表面磨光、塗上一層保護漆即可完成。利用下班時間花了近 2 個星期才做好，成品如下(第 61 圖)。

注意看水平中心線、這是兩塊木板膠合而成的。



第 61 圖木模正面



第 62 圖木模反面

4.3 鑄件製作

由於考量展示的需要、將來本機構將可攜帶性為主，所以採用質量輕的鋁合金鑄造方式製作，雖然價格比鑄鐵貴，若是也把加工費用考量進去，整體來說還相當划算。以下的成品是減速機齒輪箱鑄造後再以銑床加工完成。



第 63 圖鑄件成品

4.4 零件加工

齒輪箱的加工相當順利、齒輪加工就不一樣了，由於採用了特殊規格的齒輪模數，很多加工廠並不願意放下手邊的工作，去製作數量僅一個的小齒輪，為此前後花了約 3 個月的時間，且傷透腦筋，製作進度是完全停擺，最後還是加工廠老板大發慈悲幫忙加工，在此：向憶社經密機械有限公司蔡董致謝，趕在論文截稿前成功把齒輪製造完成，4 個軸承順利買進，3 支心軸也順利加工完成並送來，下列就是減速機裝配前各零件圖。



第 64 圖 M4X14T 從動行星齒輪成品



第 65 圖 M4.09302X14T 固定行星齒輪成品



第 66 圖 M4X30T 從動太陽齒成品



第 67 圖 M4.09302X30T 固定太陽齒輪

孔加工前



第 68 圖行星齒輪迴轉軸



第 69 圖輸出軸



第 70 圖輸入軸



第 71 圖 6200ZZ 軸承

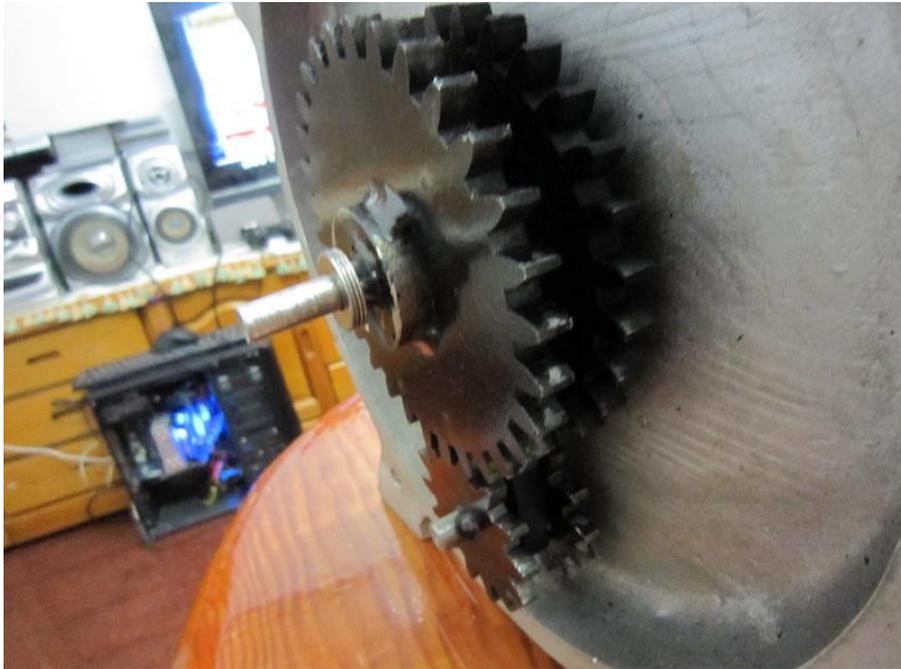
4.5 零件組裝：

由於銑床加工相當精密軸承（第 71 圖）緊配合安裝順利，先安裝固定太陽齒輪（第 67 圖）再安裝輸入軸（第 70 圖）接著是擺臂和固定端行星齒輪（第 71 圖）和行星齒輪迴轉軸（第 71 圖）、接下來安裝從動端行星齒輪（第 65 圖）。安裝後如下圖。



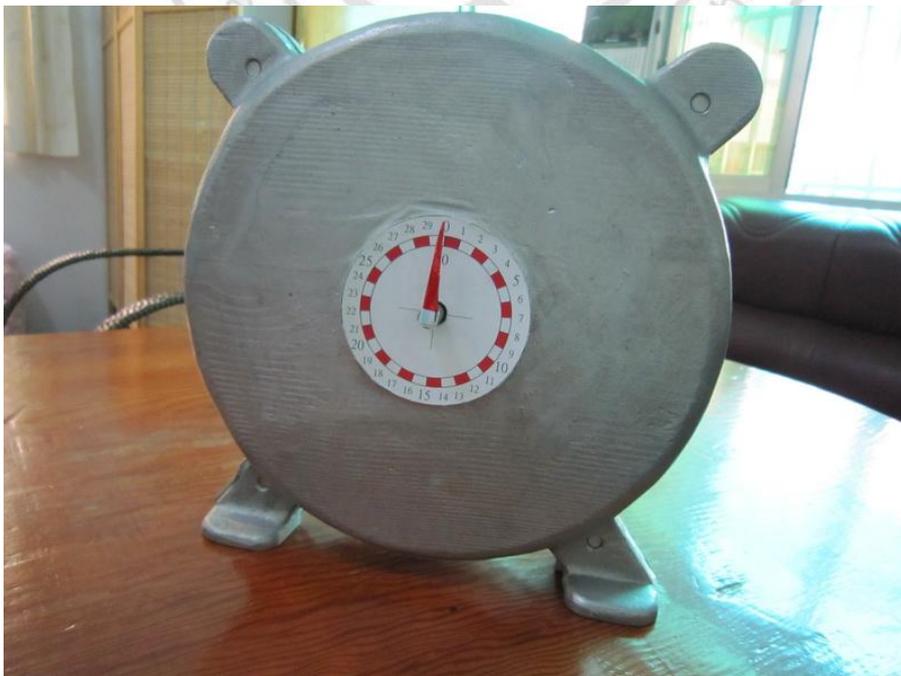
第 72 圖固定太陽齒輪、擺臂及行星齒輪組

接下來安裝從動太陽齒輪(第 64 圖)及輸出軸(第 69 圖)如下圖。



第 73 圖加上從動太陽齒輪及輸出軸

接著蓋上外蓋後並接上操作把手後、再貼上 30 等分的開度計、最後在輸出軸上再黏貼上指針，即可進行測試運轉。如下(第 74 圖)(第 75 圖)



第 74 圖減速機完成品前視圖



第 75 圖減速機完成品背視圖

4.6. 成品完成後進行實際運轉測試：

首先將照相機用腳架固定在減速機前，由於沒有視覺角度的問題才不會有誤差產生，之前測試時由於拍攝角度不定，高角度，低角度都有、使得開度計的相片呈現有誤差狀況，一度以為是齒輪加工的誤差值所致，經過重新拍攝後結果是相當準確、也可說是分毫不差。



第 76 圖減速機轉 5 圈



第 77 圖減速機轉 10 圈



第 78 圖減速機轉 15 圈



第 79 圖減速機轉 20 圈



第 80 圖減速機轉 25 圈



第 81 圖減速機轉 30 圈



第五章 結果與討論：

不改變齒輪模數的實施方式如：(1) 鏈條與鏈輪(2) 齒形皮帶輪(3) 平皮帶輪、(4) V形皮帶輪、以上 4 種傳動方式由於僅能有一組行星齒輪可選擇適用度較低，而(5) 萬向接頭、(6) 方型接頭、(7) 球關節、(8) 包曼撓性聯結器、(9) 螺旋彈簧聯結器、(10) 橡膠撓性聯結器、(11) 鋼撓性聯結器、(12) 齒輪形聯結器、(13) 電子感應聯結器、(14) 支距軸聯結器、(15) 連桿銷聯結器、(16) Oldham 軸聯結器、(17) 開口軸聯結器、等傳動方式則會有因聯結器的體積太大，而使得擺臂在回轉時產生了離心力及平衡問題。

唯有改變齒輪模數來達成減速目的的機構，則完全沒有這些問題。實驗測試結果相當的成功，5 圈、10 圈、15 圈、20 圈、25 圈及 30 圈，都沒有誤差，如第 76 圖～第 81 圖。

第六章 結論：

1. 鏈輪及鏈條行星齒輪減速機：使用鏈條及鏈輪傳動、左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪、由於距離和鏈輪的大小選擇多樣化、鏈條容易有鬆緊度的問題，多一齒則太鬆少一齒則太緊、此時便需要加裝一只惰輪來調節鬆緊度，而加裝惰輪則會讓擺臂重量增加，離心力劇增，減速機高速運轉時將會晃動、而且本機構只能配置一組行星齒輪，製造時較為困難，唯有在低轉速減速機可加以考慮使用。

2 齒型皮帶輪行星齒輪減速機：使用齒型皮帶、及齒型皮帶輪來傳動、左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪，傳動效率明顯比平皮帶輪好，不會有打滑及傳動不確實的缺點，製造上較容易、裝配也較簡單，製造及維修成本都很低廉，缺點是橡膠耐候性比不上鋼鐵或不銹鋼，後續的保養維護需要安排較安排較緊湊的行程，如每半年一次或三個月一次的保養或予以更新，以確保機構順利運轉，本機構僅限 1 組行星齒輪使用。

3. 平皮帶輪行星齒輪減速機：使用皮帶、皮帶輪來傳動、左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪，由於常會有打滑現象產生，故使用前應該先塗抹一層原子膠在皮帶上，皮帶及皮帶輪皆可採用市面上的產品，零件更換相當簡易成本低廉、由於本機構在過負載傳動時、會有滑動產生、在某些機構的設計上，可當成機械版的過載保護裝置來使用、當輸出軸端扭力超出皮帶負荷時，便會產生滑動磨擦，以保護行星齒輪減速機內各個齒輪及軸心，之後便只需更換皮帶即可再啟動運作，這是相當划算的過載保護行星齒輪減速機，本機構僅限 1 組行星齒輪使用。

4. V 型平皮帶輪行星齒輪減速機：使用 V 型皮帶、V 型皮帶輪來傳動、左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪，由於也會有打滑現象產

生，故使用前應該先塗抹一層原子膠在皮帶上，V型皮帶及V型皮帶輪皆可採用市面上的產品，零件更換相當簡易而且成本低廉、由於本機構在過負載傳動時、會有滑動產生、在某些機構的設計上，也可以當成機械版的過載保護裝置來使用、當輸出軸端扭力超出V型皮帶負荷時，便會產生滑動磨擦，以保護行星齒輪減速機內各個齒輪及軸心，之後便只需更換受損的皮帶即可再啟動運作，這是相當划算的過載保護行星齒輪減速機，本機構僅限1組行星齒輪使用。

5. 萬向接頭行星齒輪減速機：使用的是萬向接頭傳動、左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪、由於整體構型體積較大、擺臂相對也比較佔空間、離心力也相對較多，至於本機構的離心力可用等分配置來抵銷、兩組為180度、三組為120度，可搭配的傾斜角達25度，在此；表示萬向接頭減速機、可適用於模數較大的行星齒輪組、如 $M=10$ 或 $M=12$ 的大型行星齒輪減速機，本機構可同時使用多組行星齒輪來分攤負載。

6. 方型接頭行星齒輪減速機：使用內凹方型槽及方型接桿來傳動、左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪，凹槽處和方型接桿的間隙會左邊的固定端行星齒輪轉動初期為一小段空行程後，再把動力傳到右邊的從動端行星齒輪，方型接頭製造簡單、成本低廉、沒有橡膠老化的風險、也不需要高精密的加工製作過程，可搭配的傾斜角度可以用內凹方型槽、及方型接桿的間隙來調整，若考慮製作成本時、利用方型接頭驅動的行星齒輪減速機，應該是不錯的選擇，本機構可同時使用多組行星齒輪來分攤負載。

7. 球關節行星齒輪減速機：使用的是球關節傳動、左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪、由於整體構型適中、擺臂尺寸相對縮小、離心力也相對較少，至於本機構的離心力可用等分配置來抵銷、兩組為180度、三組為120度，可搭配的傾斜角達30度，在此；表示球關節減速機、

也可適用於模數較大的行星齒輪組、如 $M=10$ 或 $M=12$ 的大型行星齒輪減速機，本機構可同時使用多組行星齒輪來分攤負載。

8. 包曼撓性聯結器行星齒輪減速機：構造是使用三層捲向不同之螺旋彈簧所組成、螺旋彈簧與殼使用銀鋅結合，據以傳動左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪，由於裝配最大的偏心角度僅有 3 度，所以適用於模數較低之行星齒輪減速機，安裝及加工簡單，可同時使用多組行星齒輪。

9. 螺旋彈簧軸聯結器行星齒輪減速機：構造是以螺旋彈簧傳動左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪，裝配最大的偏心角度僅有 5 度，所以適用於模數較低之行星齒輪減速機，因為模數較低之行星齒輪減速機的偏心角度比較小，安裝及加工簡單，優點是可同時使用多組行星齒輪來分攤負載。

10 橡膠撓性軸聯結器行星齒輪減速機：構造是以合成橡膠傳動左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪，由於橡膠有耐候性不佳及劣化的問題，使用時應勤加保養若有表面裂痕時，即應更換，適用於模數較低之行星齒輪減速機，因為模數較低之行星齒輪減速機的偏心角度比較小，本機構安裝及加工簡單，優點是可同時使用多組行星齒輪來分攤負載。

11. 鋼撓性軸聯結器行星齒輪減速機：構造是以鋼板彎折牽動構件，再經由軸套上的鏈齒，來傳動左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪〔13a-39〕，由於裝配最大的偏心角度不大，僅適用於模數較低之行星齒輪減速機，因為模數較低之行星齒輪減速機的偏心角度比較小，安裝及加工簡單，優點是可同時使用多組行星齒輪來分攤負載。

12. 齒輪形行星齒輪減速機：構造是以法蘭片聯結且法蘭片內建齒形，再經由軸套上的齒輪，來傳動左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪〔13a-32〕，其種類有雙並排形 SS、並排、磨料機馬達形 SM、並排、延長軸形 SE、雙側蓋形 CC、側蓋延長軸形 CE、可供選擇，至於可偏轉角度雙並排形 SS、並排、磨料機馬達形 SM、並排、延長軸形 SE 都是 3 度，雙側蓋形 CC、側蓋延長軸形 CE 則是 1.5 度，所以適用於模數較低之行星齒輪減速機，安裝簡單、傳動效率高，可同時使用多組行星齒輪。

13. 電子感應軸聯結器行星齒輪減速機：科技一日千里、以無線傳輸感應來左邊的固定端行星齒輪的轉速、並將動力輸出到右邊的從動端行星齒輪，其間不會有延遲或誤差，並能承受高轉速而產生的離心力，如此；便可適用於所有模數而驅動行星齒輪減速機。

14. 支距軸連結器行星齒輪減速機：構造是以 U 字形的滑動片夾住一字形的滑動片，來傳動左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪，傳動方式類似方型接頭。由於也會產生離心力，運用上偏向低轉速較適當，製造精度要求不高，加工成本低是其主要優點。

15. 連桿銷連結器行星齒輪減速機：構造是法蘭片上的連桿銷連結另一個法蘭片，來傳動左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪，由於使用了四個連桿銷在一組法蘭片之間，並且做偏心運轉，也不適用於高轉速的場合，本體因為使用了四個連桿銷，所以體積會偏大些，比較適合大形減速機使用。

16. Oldham 軸聯結器行星齒輪減速機：最早是英國的 Oldham 將之使用在銀行用機械的應用，構造是在左側法蘭片上及右側法蘭片上各有一條滑動凹槽，中央部份圓盤上的兩平行面則是有互成直角的凸肩，借著中央部份圓盤的滑動，來傳動左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪，體積適中加工也容易，各形減速機皆適用。

17. 開口軸聯結器行星齒輪減速機：這是井口博士的發明，構造是中央部份圓盤上左右方的凸緣面產生的間隙，來傳動左邊的固定端行星齒輪、及右邊的從動端行星齒輪，傳動角度可達 15 度、可適用齒輪模數較大的減速機，由於也有一個會滑動的圓盤做不同角度的運轉，也是不適用於高轉速的場合，以免離心過大而影響減速機的使用，可考慮同時使用多組行星齒輪來分攤負載。

18. 改變模數行星齒輪減速機：從左邊的固定端行星齒輪、到右邊的從動端行星齒輪不需要加裝任何軸聯結器，理論上只要改變機構上左側、或是右側的齒輪組模數，就能達到功能上的要求，而實際上在製造驗證時、也都順利達到理論值、也就是本實驗設定的減速 1/30 的目標，同樣的道理 1/31、1/32、等，也都能輕易做到，由於構造相當簡單，可以隨著輸出軸端的負載增大，而增加行星齒輪的數量，或是因輸出軸端的負載變小而減少行星齒輪的數量，這樣的特性讓使用者在運用本機構上有相當大的彈性，值得注意的是：改變模數行星齒輪減速機在實際製造齒輪時，市面上會有找不到相同模數的銑切齒輪刀具的困擾，但是相對於高單價的機械構造而言，運用此機構的機會便因為效率高、及其驚人的減速比而大大的提高了，這相當令人感到相當欣慰。

第七章 參考文獻

1. 沈頌文，2009，齒輪的設計和製造，5版，133、134頁，第八章蝸輪的設計和製造。徐氏基金會出版，台北
2. 成大精機工業股份有限公司、網址 <http://www.chenta-gear.com.tw>
3. 青木精密工業株式會社、取自網址 <http://www.mekatoro.net/>
4. 台灣工機廠股份有限公司工機減速機、取自網址 <http://www.gongjidrive168.com/China/product.htm>
5. 立翔機電工業有限公司北工牌減速機、取自網址 <http://www.li-xiang.com.tw>
6. 利茗機械股份有限公司利明減速機、取自網址 <http://www.li-ming.com.tw>
7. 社團法人水門鐵管協會，水門鐵管技術基準，昭和56年11月30日第3回改定版，取自第26條，開閉裝置各部的機械效率及磨擦系數。
8. 東元馬達型錄 <http://www.tecogroups.com.tw>
9. 吳思明，機動學，1982，第九章齒輪機構，興業圖書股份有限公司，台南。
10. 小原齒車工業株式會社，齒輪技術資料499頁1.1節齒輪的種類。
11. 莊舜能，2011，齒輪減速機之能源效率分析，崑山科技大學，碩士論文取自 <http://ndltd.ncl.edu.tw>
12. 社團法人水門鐵管協會，水門鐵管技術基準，昭和56年11月30日第3回改定版，取自第26條，開閉裝置各部的機械效率及磨擦系數。
13. 賀俊譯，機械元件設計，1981，取自第十章正齒輪453頁，大行出版社。台南。
14. 日本椿本興業株式會社、取自網址 <http://www.tsubakimoto.com.tw>
15. 傳仕精密機械有限公司擺線減速機、取自網址

<http://transcyko-transtec.com>

16. 住有重機械工業株式會社、取自網址
<http://www.shi.co.jp/english/index.html>

17. 張振福，2000，擺線減速器與滾齒減速器之曲面設計及運動靜力分析的研究，國立成功大學，碩士論文 <http://ndltd.ncl.edu.tw>

18. 立翔機電工業有限公司北工牌減速機、取自網址
<http://www.li-xiang.com.tw>

19. 沈頌文，2009，齒輪的設計和製造，5版，499頁，第13章行星齒輪。徐氏基金會出版，台北

20. 小原齒車工業株式會社，取自齒輪技術資料 617、618 頁 17.1 節行星齒輪機構。

21. Ch. T. CHANG. Multi-Stage Planetary Gear Traing. Desing News. 20. (1965)No. 13. 138.

22. P. W. Jensen. Raumbedarf und Wirkungsgrad zusammengesetzter Planetenradergetridebe mit einstufigem Planetenrad, Konstruktion, 21 (1969)Heft 5, 178

23. 沈頌文，2009，齒輪的設計和製造，5版，509頁，第13-2-5章多段行星齒輪裝置。徐氏基金會出版，台北

24. 賀俊譯，機械元件設計，1981，第十章正齒輪 494 頁，大行出版社。台南。

25. 小栗富士雄、小栗達男共著黃癸森譯，2004，機械設計圖表便覽，3版，取自 14a-17，動力之傳動，眾文圖書股份有限公司印行，台北。

26. 小栗富士雄、小栗達男共著黃癸森譯，2004，機械設計圖表便覽，3版，取自 14a-1，動力之傳動，眾文圖書股份有限公司印行，台北。

27. 小栗富士雄、小栗達男共著黃癸森譯，2004，機械設計圖表便覽，3

版，取自 14a-4, 動力之傳動，眾文圖書股份有限公司印行，台北。

28. 小栗富士雄、小栗達男共著黃癸森譯，2004，機械設計圖表便覽，3 版，取自 13a-48 軸聯結器，眾文圖書股份有限公司印行，台北。

29. 賴耿陽，1998，機械運動機構 1422，取自 17 章可撓聯軸節，1008，復漢出版社，台南。

30. 小栗富士雄、小栗達男共著黃癸森譯，2004，機械設計圖表便覽，3 版，取自 13a-45 軸系(軸聯結器)，眾文圖書股份有限公司印行，台北。

31. 小栗富士雄、小栗達男共著黃癸森譯，2004，機械設計圖表便覽，3 版，取自 13a-44, 軸系(軸聯結器)，眾文圖書股份有限公司印行，台北。

32. 小栗富士雄、小栗達男共著黃癸森譯，2004，機械設計圖表便覽，3 版，取自 13a-43, 軸系(軸聯結器)，眾文圖書股份有限公司印行，台北。

33. 小栗富士雄、小栗達男共著黃癸森譯，2004，機械設計圖表便覽，3 版，取自 13a-36 軸聯結器，眾文圖書股份有限公司印行，台北。

34. 小栗富士雄、小栗達男共著黃癸森譯，2004，機械設計圖表便覽，3 版，取自 13a-38 軸聯結器，眾文圖書股份有限公司印行，台北。

35. 小栗富士雄、小栗達男共著黃癸森譯，2004，機械設計圖表便覽，3 版，取自 13a-32, 軸系(軸聯結器)，眾文圖書股份有限公司印行，台北。

36. 唐文聰、，2001，圖解機構辭典，初版 6 刷，取自 26-45 軸聯結器全華科技圖書股份有限公司印行，台北。

37. 賴耿陽，1998，機械運動機構 1422，取自 17 章聯軸節，1039，復漢出版社，台南。

38. 唐文聰、，2001，圖解機構辭典，初版 6 刷，取自 26-29 軸聯結器全華科技圖書股份有限公司印行，台北。

39. 唐文聰、，2001，圖解機構辭典，初版 6 刷，取自 26-25 軸聯結器全華科技圖書股份有限公司印行，台北。

附錄一木模的分類

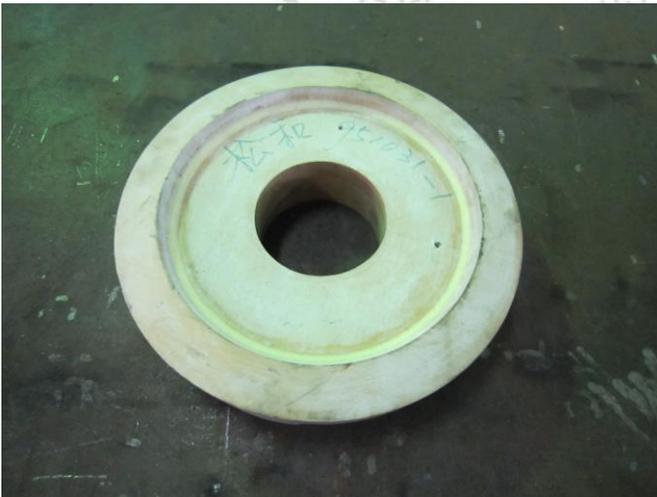
木模的分類實在是日新月異、不像以往簡單的式樣，粗略介紹下列幾種供各位先進參考。若有錯誤敬請不吝指教。

整體模：

顧名思義就是可製成單一形狀的模型、外形依照圖面製作工作物每個邊緣均需製作拔模斜度。方便模型從模穴中起模，通常拔模斜度約在 3-5 度之間交互應用。



第 82 圖傘形齒輪整體模背面圖



第 83 圖傘形齒輪整體模正面圖

分型模：

考量工作物的外型複雜度適中、或工作物為圓筒狀時，便需製作分行模。製作時先決定分模線後，結合兩塊木板後製作方式大致與整體模雷同。注意拔模斜度是以分模線為基準、以下是分型模的實體模型，上模配置木螺栓、下模則有螺栓穴、木螺栓及螺栓穴的配合需準確的定位上下模、且要能輕鬆分開為原則。



第 84 圖分型模實體組合圖



第 85 圖分型模實體上模圖



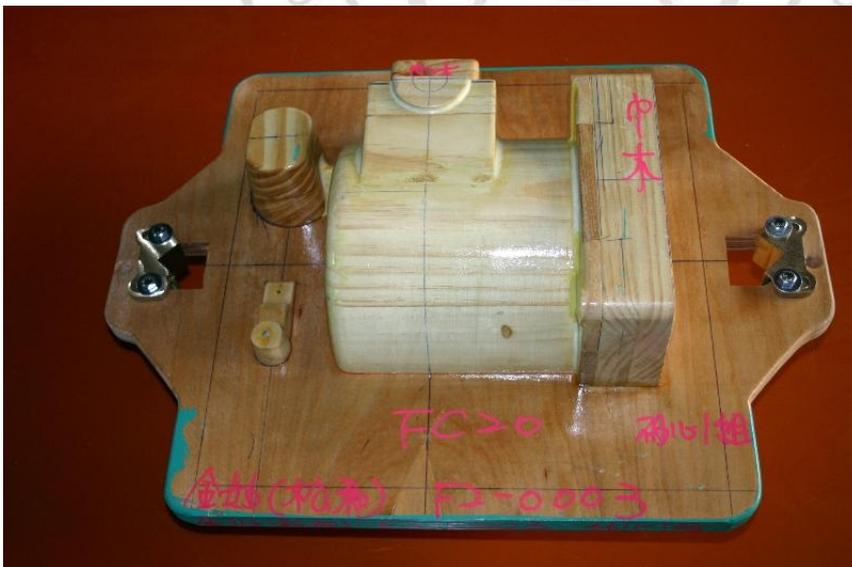
第 86 圖分型模實體下模圖

3. 中板模：

因應人工成本相對提高、中板模可以使鑄造時間縮短，產量提昇 為近來最為常用的製作方式。製作方式可以是整體模也可以是分 型模只是在分模線上加上一塊格板、通常是三合板，其上須有定 位金具供鑄造廠砂箱使用。



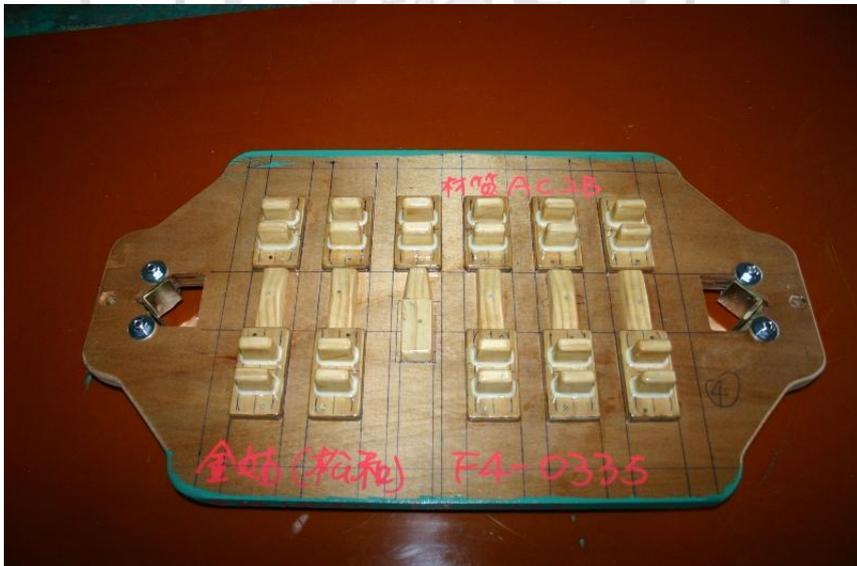
第 87 圖中板模實體、左右兩側銅製型溝即為定位金具



第 88 圖中板模實體、左側是澆道系統及盲冒口



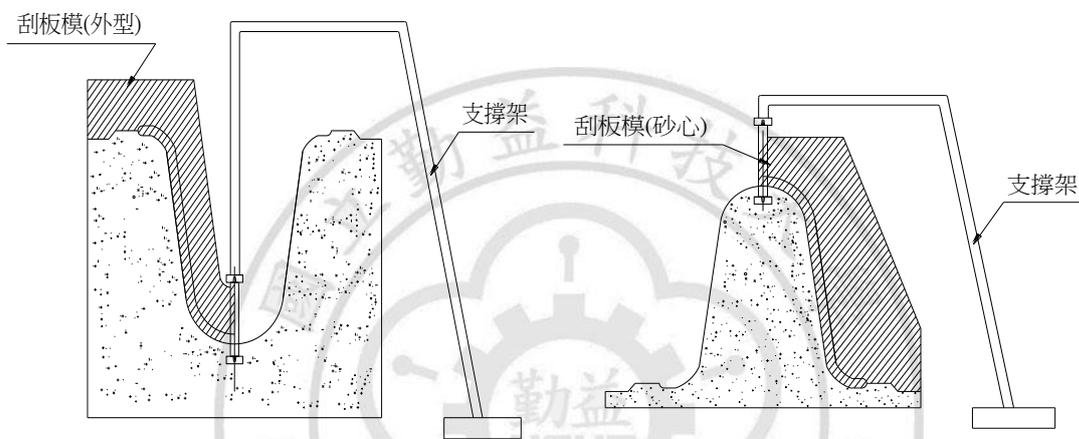
第 89 圖中板模的砂心盒



第 90 圖有 11 件成品的中板模

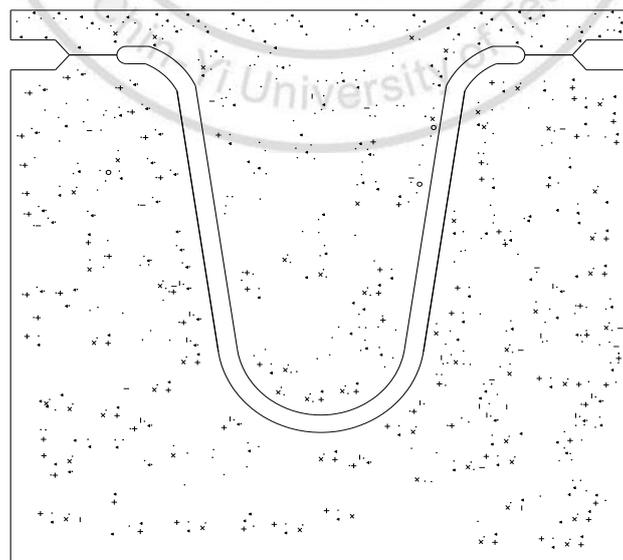
4. 括板模：

通常是製作大型左右對稱形狀的工作物的最佳選擇，以下圖面顯示：是使用括板模製作一個大型鐘的示意圖。由於鐘的內、外兩側通常會嵌有製作者的落款或題字，製作整體模並不適合，相反的括板模製成的上、下模處、便可將預製完成的字體嵌在模穴上待澆鑄後即可。



第 91 圖括板模砂模製造示意圖

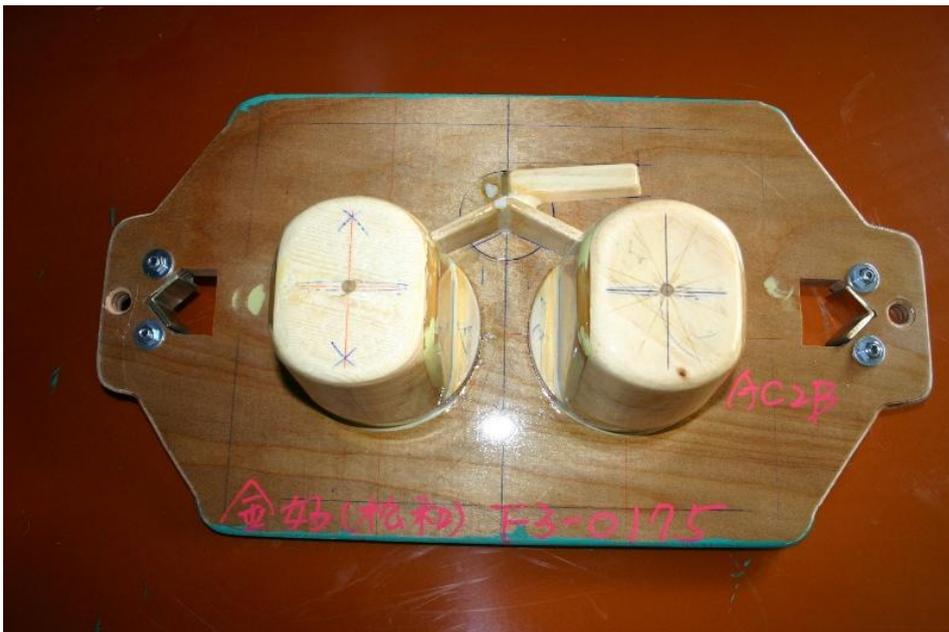
第 92 圖括板模上砂模製造示意圖



第 93 圖括板模上下砂模組合圖

5. 凹凸模：

是中板模的另一種製作方式、以下圖為例在第 61 圖凹凸模下模圖制作出木模的外型來，而如第 62 圖凹凸模上模圖所示則將木模的內部也一併制作出來，主要目的是可以省下砂心盒為主，製作砂模時較為簡單，頗受鑄造師父們歡迎。



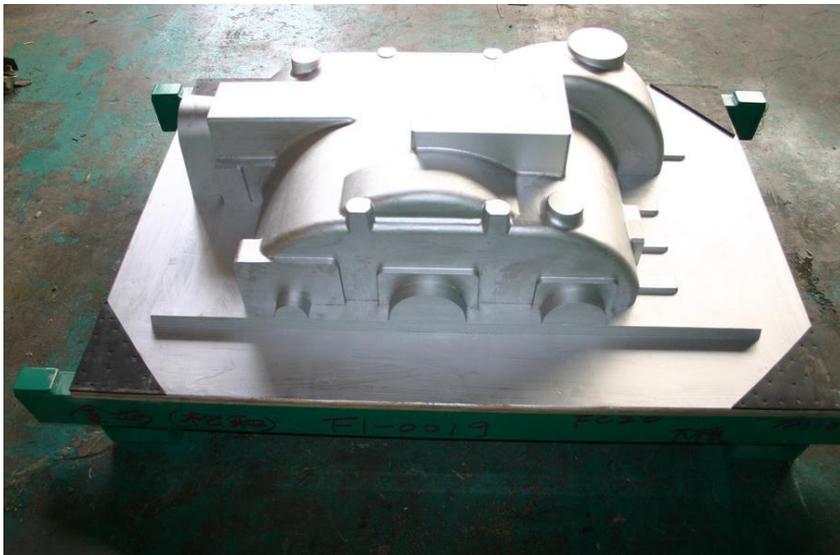
第 94 圖凹凸模下模圖



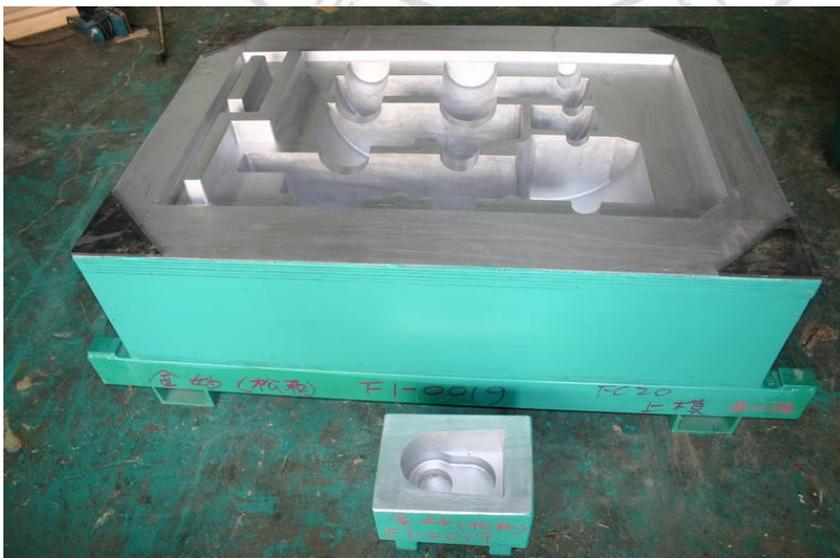
第 95 圖凹凸模上模圖

5. 金屬模：

也是中板模的一種、主要是將整件木模用金屬來取代、通常使用最多的是鋁合金模型，值得注意的是收縮量、如果成品是鑄鐵那收縮量是 10/1000、而模型是鋁合金做的鋁合金的收縮量是 12/1000 的話，那我們最初製作的木模收縮量應該是 22/1000 才是千萬別用錯了。由於手邊並沒有金屬模可拍、只好以一般木模來替代、由於也是漆上銀色漆感覺很像、但千萬別誤會了。



第 96 圖中板模

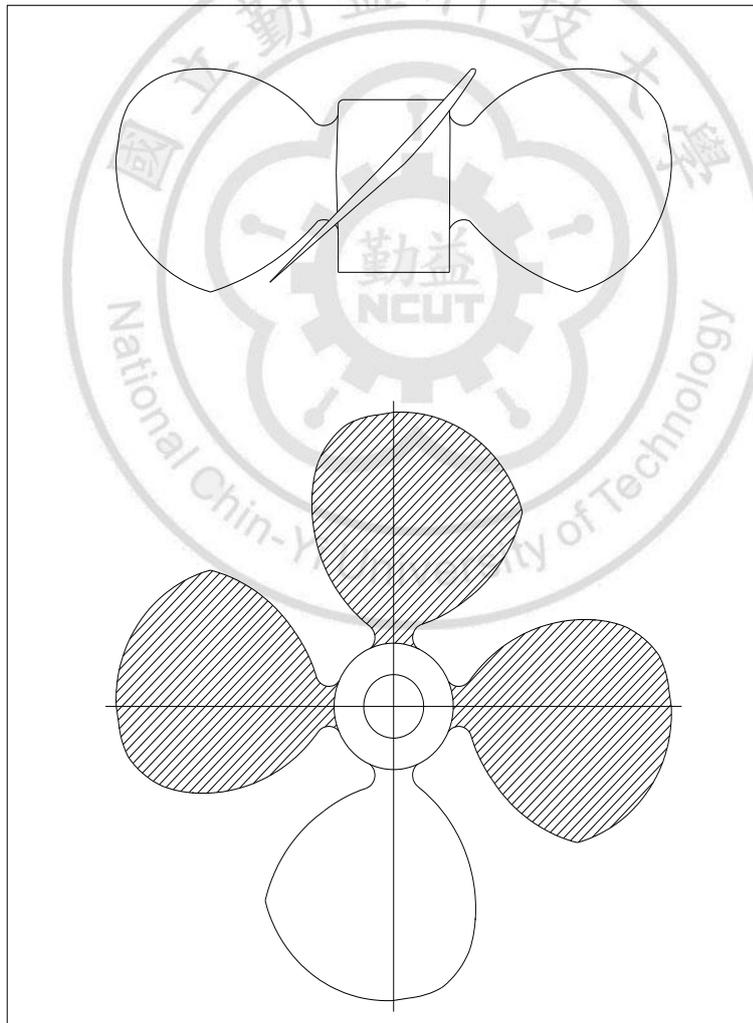


第 97 圖中板模的砂心盒

6. 組合模：

由於成品相當大或長、製作單一模型就有搬運及儲存上的困難、解決之道就是製作組合模，像是大型車床的軌道就是用組合模的方式製造的，平時好儲存、鑄造時再一節一節的砂模接合起來即可。

另外船用推進器也是以往常用組合模來製作、但近來因為五軸加工機的普及、推進器組合模的光環也就較不如以往了。製造方式：只作一片扇葉的木模，鑄造時再旋轉各 90 度，製造其他三葉即可完成推進器的砂模製作。



第 98 圖推進器用的組合模