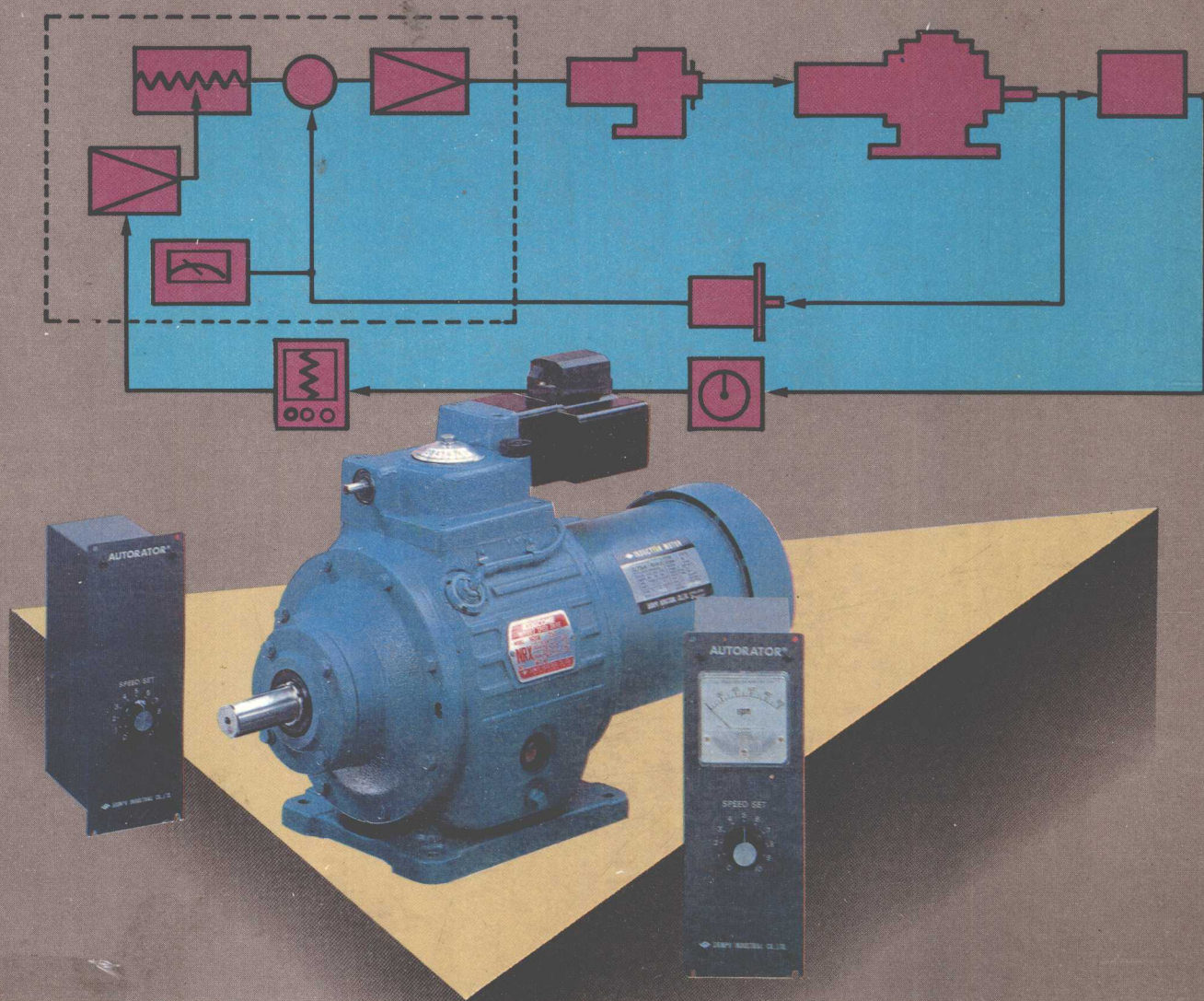


無段變速機

在機械上之應用

呂文鎔 編譯

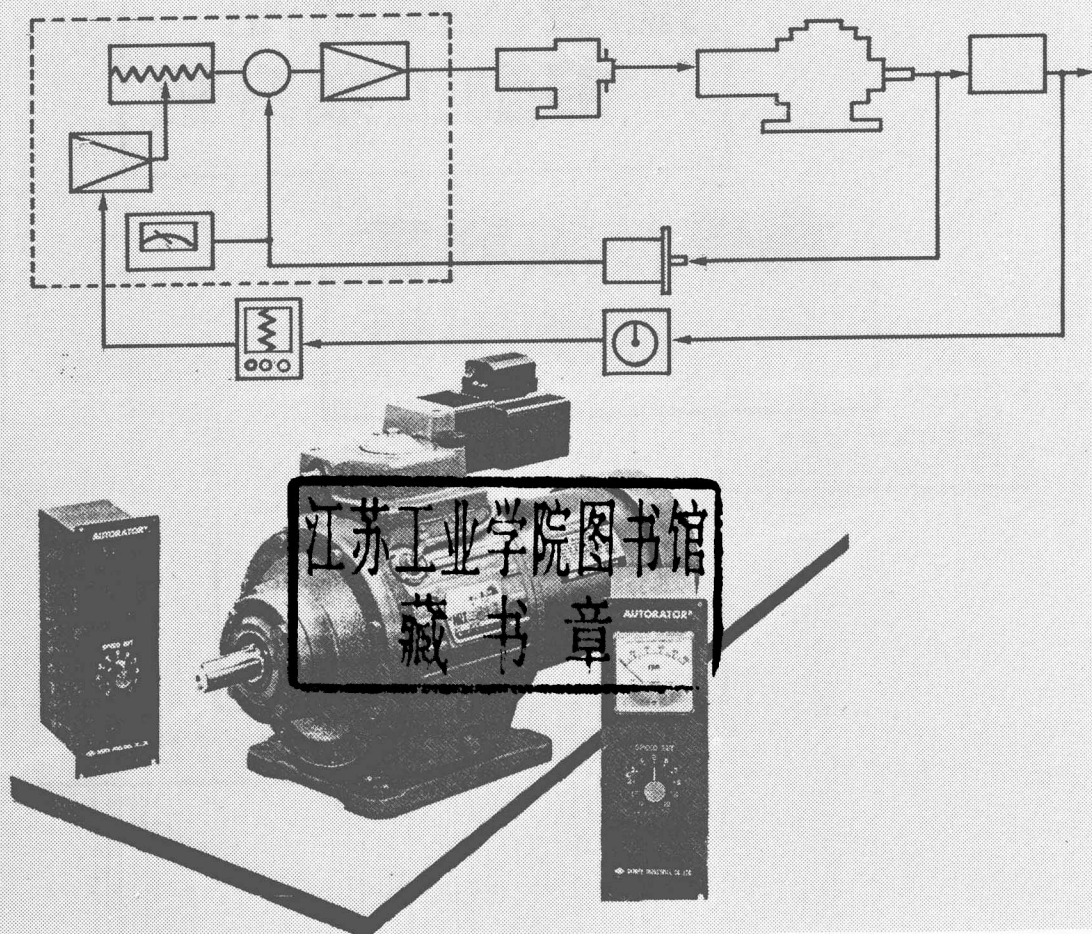


全華科技圖書股份有限公司 印行

無段變速機

——在機械上之應用——

呂文鎔 編譯



全華科技圖書股份有限公司 印行



全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

無段變速機
——在機械上之應用——

呂文銘 編譯

出版者 全華科技圖書股份有限公司

地址／台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話／5 8 1 1 3 0 0 (總機)

郵撥帳號／0 1 0 0 8 3 6 — 1 號

發行人 陳 本 源

印刷者 華 一 彩 色 印 刷 廠

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)

地址／台北市重慶南路一段49號7樓

電話／3 6 1 2 5 3 2 • 3 6 1 2 5 3 4

定 價 新臺幣 170 元

初版／75年 1 月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 021927

我們的宗旨：

推展科技新知
帶動工業升級

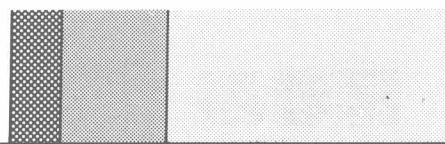
為學校教科書
推陳出新

感謝您選購全華圖書
希望本書能滿足您求知的慾望

「圖書之可貴，在其量也在其質」，量指圖書內容充實，質指資料新穎夠水準，我們本著這個原則，竭心盡力地為國家科學中文化努力，貢獻給您這一本全是精華的“全華圖書”

為保護您的眼睛，本公司特別
採用不反光的米色印書紙。//

作者序



近年來，機電整合倍受各方面的注目，是省力、自動化中所不能沒有的技術。這是將機械以電子吻合使達成做情報處理的功能，依相互持有的特徵做有效的利用，以期將目標功能做最大限度的發揮，而構成機電一體的技術。

機電整合的構想是自動化的一部份，而且從以前就有了，但是被做為技術上的活用還是在最近因半導體技術令人眼花的進展後才有的。換句話說，因計算機的導入使無人化操作變成可能，使自動化被視為具有情報處理能力的機電整合系統的一部份。實際上，即使是我們身旁觸目所及的機器也大多有機電整合技術的活用，因此今後其發展性將被期待著有所分野。

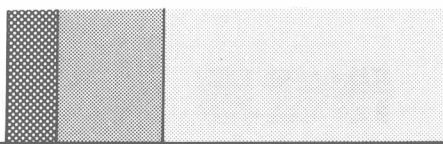
有關機電整合技術的書籍已有很多出版在市面上。但是，多數的技術書籍都將機械與電氣專門的範圍弄得太細分了，非具有某種程度的知識則無法看懂，再者一般的機器與其對應的模樣也無法從中看出。對一般讀者而言，要在其上面獲得東西是相當困難的。

本書是從讀者的立場，以全新的機電整合應用於機械裝置的做法，依有限而詳細的圖解說明之，且儘量避免使用專門的術語。終究其中的構想100篇是以日常生活為基礎，從工業技術的立場去獲知其構成，而以1個頁數的篇幅簡捷地敘述一個獨立的事例。

此外，這100篇的構想是機電整合的動力源中所無法缺少的無段變速機之控制來分類做介紹的，其中機械裝置與無段變速機間有關係的詳細部分，是以懷有充分把握且嚴謹的態度作成的。

作者 岡村 貴句男

譯者序



一般從事機械設計工作者，往往在從事設計工作時，一碰到有關於電氣控制的問題就會顯得束手無策，而必須事事依賴電控設計人員，甚至無法知曉電控設計者可能做到的水準，及應如何去配合做機械設計。反過來說，電控設計者也是同樣的情形，因而機械設計者與電控設計者無法溝通，而使整個計劃的執行效果大打折扣。此種情形在省力、自動化的設計上更是一種嚴重的缺失。

有鑑於此，日本人在這方面發展出一個獨特的名詞 メカトロニクス，這是取自 mechanical & electronic 的合稱，此處我們就以機電整合稱之。這是一門將機械設計與電控設計整合，從整體的觀點去從事設計，而達到最佳的設計效果的學問。在提倡省力、自動化的今天，做為從事設計的工作者，在執行計劃時更是必要以機電整合的觀念對機械與電控做整體性的規劃設計，才可使其設計的機器達到所期望的效果。

在此，本書是針對機械設計者，從應用的觀點，藉著無段變速機的應用與控制方式，以簡單而明白的圖形說明「機電整合」的觀念，使讀者在看完本書後能有較深入的整體性觀念，而在日後的設計工作上多少有所助益。

編譯 呂 文 鎔

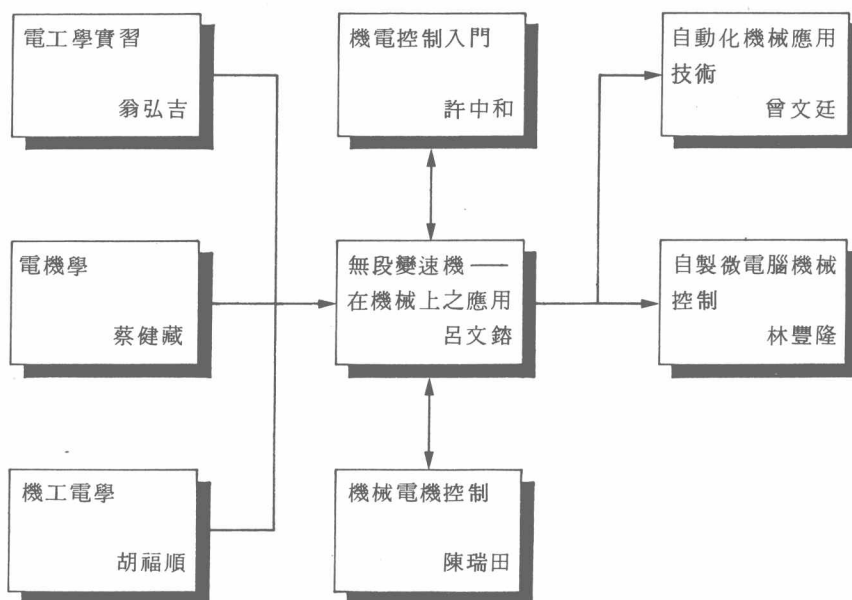
74年5月

編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

現在我們將這本「無段變速機——在機械上之應用——」呈獻給您。一般從事機械設計人員，往往碰到電氣控制的問題時即束手無策，致使整盤計劃大打折扣。本書乃針對機械設計人員所遇到之困擾，以流暢之筆調及100題實例來說明無段變速機之種類與在機械上的應用方式，書中所有例題並附有詳細清晰的圖例說明，使讀者更容易明瞭無段變速機如何與機械配合，並進而步入機電整合的控制領域。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習自動控制方面叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。



目 錄

第一章 無段變速機的種類及其良好的使用方法 1

1.1	最近的無段變速機趨勢	2
1.2	機械式無段變速機	4
1.2-1	牽引現象	4
1.2-2	牽引現象中油的動態	4
1.2-3	機械式無段變速機的種類與構造	5
1.3	電氣式無段變速機	11
1.3-1	電動機的分類及特徵	11
1.3-2	速度控制方式的分類	12
1.4	流體式無段變速機	18
1.5	無段變速機的選定及維護	21

第二章 控制的種類及其機能 29

2.1	控制的概念	30
2.2	控制的種類	30
2.3	速度控制方式	31
2.4	扭矩控制方式	32
2.5	追隨控制方式	32
2.6	程式控制方式	33
2.7	尺寸控制方式	34
2.8	位置控制方式	35
2.9	緩衝控制方式	36
2.10	捲取控制方式	37
2.11	同步控制方式	38

2.12	數量控制方式	39
2.13	線速控制方式	40
2.14	選別控制方式	41
2.15	程序控制方式	41
2.16	控制系統的設計	43

第三章 機電整合化構想 100篇說明 47

3.1	情報處理部(控制器)	49
3.2	察覺器	49
3.3	介面部分(interface)	52
3.4	致動器部分(actuator)	53

第四章 構想100篇的組成 57

4.1	構想100篇的組成	58
4.2	構想100篇的活用例子	59

<速度控制>

1.	螺栓頭的高週波淬火處理	61
2.	滲碳熱處理連續爐的鋼材輸送	62
3.	立式銑床的主軸迴轉數控制	63
4.	大件不定形物的焊接	64
5.	離心式鑄造機的迴轉數設定	65
6.	自動火焰切割機的適速行走	66
7.	模具加工用帶鋸機的適速運轉	67
8.	皮革用、工業用縫紉機的驅動	68
9.	茶園用施肥車的驅動	69
10.	無人搬運車的有效行走	70

11. 牽引機的適速行走	71	39. 板金噴漆的高速化	99
12. 檢段機之布匹進給調整	72	40. 薄板玻璃的連續切斷	100
13. 唱盤的定圓周速度迴轉	73	41. 餅乾的連續烘烤焙製	101
14. 提高餐廳內配膳處理的效率	74	42. 揮發性油與顏料的調合	102
15. 旋轉工作台的迴轉數變化	75	43. 洗滌機內綿布的進給	103
16. 拉坯用轆轤的適速運轉	76	<程式控制>	
17. 麵包烘烤工程的溫度調節	77	44. 線圈搬運用電動台車的驅動	104
18. 迴轉圓板式生物接觸裝置的驅動	78	45. 汽車性能試驗機的行走負荷	105
19. 船舶用發電機的定速迴轉	79	46. 乳牛用步行機的驅動	106
20. 防火牆 (shutter) 開閉的高速化	80	47. 超高層建築物用升降機	
21. 電動機迴轉子不平衡的測定	81	(elevator) 的高速化	107
22. 颱風發生及移動之實驗的觀測	82	48. 裝飾面板的反轉驅動	108
23. 研磨砂輪強度試驗機的迴轉數調整	83	49. 裝配作業用輸送帶的適速運轉	109
24. 試驗水槽中曳航架的驅動	84	50. 飼料裝桶投入的均一化	110
25. 小形電動汽車的驅動	85	51. 化粧用冷霜 (cream) 的攪拌	111
26. 飛輪汽車的驅動	86	52. 襪子編織機之編成部的驅動	112
27. 高爾夫台車驅動力的提高	87	53. 以離心分離機做澱粉的過濾	113
<扭矩控制>		<尺寸控制>	
28. 自行車行走時的自動變速	88	54. 膨脹式薄膜 (inflation film)	
29. 麵糰在攪拌機中的揉和	89	厚度的調整	114
30. 綠藻菌 (chlorella) 培養槽的攪拌	90	55. 聚乙烯薄膜的厚度測定	115
31. 聚合尿酸 (polyurethan) 樹脂合成機的攪拌	91	56. 塩化乙烯管的尺寸維持	116
32. 乙烯塑膠 (vinyl) 連續射出機之壓力調整	92	57. 橡皮的定尺寸取出	117
33. 以洗滌機做亞麻布的水洗及脫水	93	58. 線材的定寸進給及切斷	118
34. 屋頂吊車的電線捲繞	94	59. 綿線粗度的調整	119
<追隨控制>		60. 合纖布的定尺寸捲取	120
35. 消防水管的送出及捲繞	95	61. 包裝紙的定尺寸裁斷進給	121
36. 立式旋削機的定圓周速度加工	96	<位置控制>	
37. 木工用車床的主軸驅動	97	62. 寬條布的蛇行修正	122
38. 定時螺桿 (timing screw) 的仿削加工	98	63. 天文用攝影機的精度提高	123
		64. 機械手臂的位置決定	124
		65. 刮板吊車 (scraper hoist) 的驅動	125
		66. 於 FMS 的無人搬運車的停止	126
		<緩衝控制>	

67. 托板 (pallet) 捆包機的低速啓動	127	tor) 的節省用電	142
68. 浴缸裝飾工作線的間歇進給	128	83. 以輸送帶做棉花的計量	143
69. 起重機 (hoist) 的緩衝行走	129	<線速控制>	
70. 工業用昇高器 (lifter) 的有效昇降	130	84. 絹布通過乾燥室的進給	144
71. T恤 (T shirt) 編織機的啓動、停止	131	85. 聚乙烯樹脂的無張力進給	145
<捲取控制>		<選別控制>	
72. 捲揚機的有效運轉	132	86. 以電量放電做珪砂 (zircon) 的分離	146
73. 球拍用腸線的定張力簡易捲取	133	87. 酒瓶形 (decanter) 離心沉澱機的驅動	147
74. 合纖布的定圓周速度、定張力捲取	134	<程序控制>	
75. 鋁箔的高速捲取	135	88. 連續鑄造物的均質化	148
76. 尼龍片的無張力捲取	136	89. 空調用冷卻塔的動力節省	149
77. 包裝紙的漸減張力捲取	137	90. 地下停車場的換氣	150
<同步控制>		91. 下水道污泥沈積物的除去	151
78. 巧克力糖菓麵包的巧克力注入	138	92. 乾燥機內溫度的均一化	152
79. 藥瓶插入小箱子的工程	139	93. 燒炭鍋爐內的蒸氣壓調整	153
80. 鋼絲索 (wire rope) 繞線機的微細變速	140	94. 酸性污水的中性化	154
81. 以音色使裝飾用鐘的展示效果提高	141	95. 以真空過濾機做污泥液的處理	155
<數量控制>		96. 迴轉式連續計量機的飼料進給	156
82. 以紅外線做自動電梯 (escalator)		97. 工業用油的液位調整	157
		98. 大豆製粉粒度的均一化	158
		99. 豆醬的加熱殺菌及冷卻	159
		100. 玻璃溶融窯的液位調整	160

第一章

無段變速機的種類 及其良好的使用方法

1. 1	最近的無段變速機趨勢	2
1. 2	機械式無段變速機	4
1. 3	電氣式無段變速機	11
1. 4	流體式無段變速機	18
1. 5	無段變速機的選定及維護	21

1.1 最近的無段變速機趨勢

無段變速機有以電動機直接變速的電氣式及必須要有其他動力源驅動的機械式、流體式等，各有其不同的分別。圖 1.1 是以種類、傳動方式及變速要素等將其分類的圖表，大部份的無段變速機可從其中找到適合的分類。

以往無段變速機給我們的概念是像汽車以齒輪傳動 (gear transmission) 方式的有段變速，若想得到任意希望的轉速是有困難的，但若以摩擦傳動方式的手動無段變速就有可能達成。

可是，以目前控制技術的發達及爲了使構成機械設備系統的各要素間平衡狀態的維持，只有很有效地得到適當的迴轉速度才可配合，所以使用無段變速機是有必要的。換句話說，控制要素於無段變速機的作用是在控制迴路 (control loop) 內對被測定速度所設定的基準值作修正，而動力源在臨界動

作的施行及其全體流量的調整等則是爲了達到以人工變速同樣的主要目的。終究變速操作是從與其要素無關獨立而使用的手輪式到必須根據其要素的信號動作的槓桿，及引導馬達都是同樣爲了達到控制空、油壓使其致動的目的。

雖然電氣式無段變速機在目前深受注目，但因控制系統的高價位，以致於一般機械式的無段變速機仍多被採用。可是，近幾年來隨著半導體技術的進展，變速控制系統的價格大幅地降低，使得在相對機器上的扭矩控制考慮也就可以省略，僅以無段變速的目的及所謂的程序等做爲與控制系統的結合，就可簡單地達成無段變速的目的了。

最近的情形是，以採用變頻器 (inverter) 做頻率數控制方式的感應電動機 (induction motor) 的電氣式無段變速機爲占多數的主流，但控制方式則依廠家各有其不同的想法。特別是在電壓及頻率數控制等相關問題的去處、半導體中流過的微小電

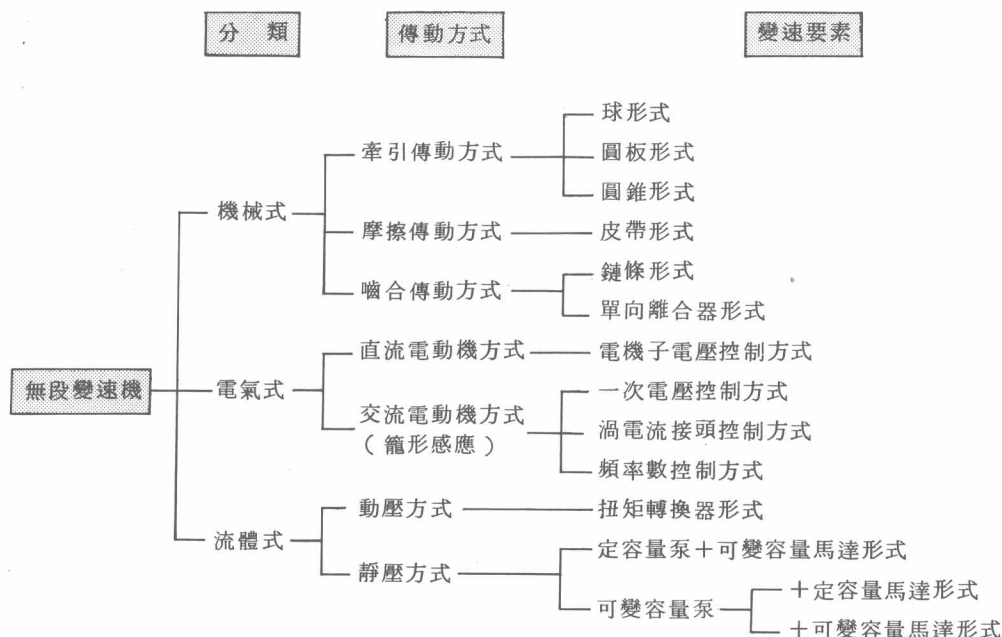


圖 1.1 無段變速機的種類

流及對外雜訊的對策、低速迴轉時扭矩的維持等將都會成為今後發展的重點。

另一方面，機械式的無段變速機也以摩擦傳動代替了以前的齒輪傳動。但此種無潤滑的傳動是只有皮帶式的才有，而金屬摩擦式的傳動就會關係到油膜的介入，使其以接觸面的不同來表示摩擦力的限制。在今天若不從彈性流體潤滑（EHL）的觀點去解釋，此種關係少有被明白了解的，因此為了使其與摩擦傳動區別起見，就以牽引（traction）傳動來稱呼它。

此種機械式的製品從數十年前就如雨後春筍般地紛紛出現了許多有趣的構想，但到今天市場上還殘存的就很少了，且從那時以後再也沒有新的機構出現。所以今後只有從適用於牽引傳動的 EHL 理論上去探討現有的無段變速機使成能傳達大動力的裝置，也許還會有出現新的製品。

電氣式與機械式不同之處如下簡單地敘述（圖 1.2）。

電氣式是以電動機做無段變速而稱之。當轉數為額定時其扭矩最大，此為其在高速側有定輸出特性的主要原因。另外一個原因則是，若以低速側做為定扭矩的特性時，在極低的速度會使其迴轉產生不安定的現象，因此在扭矩不要求的機械用途上，它可以在

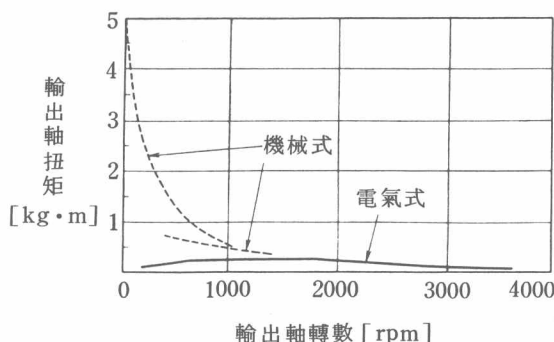


圖 1.2 750W 用無段變速機的特性比較

高速迴轉時有較廣的變速範圍。

機械式同增減速機一樣必須要有驅動力。以目前附有感應電動機的製品為市場上主流的狀況而言，驅動源為內、外燃機，風、水力等有傳動軸的迴轉體都有可能安裝的。

要選定各類各樣機構的市販製品時，必須依用途來決定。例如，輸出軸能從停止到高速迴轉的、以停止點為中心，可以正、逆反轉的及可以做微調變速的等不勝枚舉。但不管是那一種，都有扭矩隨著迴轉數降低而增大的傾向。

目前的電氣式速度變換與機械式的速度及扭矩變換裝置有很大的區別。這是從無段變速機所持有的特性上去分別的，若從相對機械的選定上去看則沒有什麼差別。

舉例而言，採用電氣式無段變速機的 NC 工作機械，在切削時必須可以輕易地就得到最大的扭矩而依此來選擇其所需的電動機，因此也必須使用比泛用工作機械大數倍的齒輪減速機，而相對地也需要在啟動、停止時功率可大到數倍的電動機。終究，NC 工作機械是以生產性提高為目標的，而剛好電氣式無段變速機有此種特徵的控制性，所以廣受採用。

另一方面，對以易駕駛（easy driver）及省燃料為目的的車輛而言，在以往，無段變速機就會被考慮過。但是將可設置於能源豐富的工廠的產業機器與必須裝載能源移動的車輛比較，其控制性就比節省燃料更是來得重要。

最近因有如扭矩轉換器（converter）的出現，使得易駕駛之目的可能得以實現，因此扭矩在齒輪傳動中較不足為慮，而使機械式無段變速機再次又被開始重視。此理由是原動機於燃料較少的狀態運轉時其效率較

好，而且以無段變速機做為原動機輸出時，其行走特性正好合乎易駕駛的速度及扭矩變換。

1.2 機械式無段變速機

1.2-1 牽引現象

機械式無段變速機的構造種類繁多，但這裡僅對在二個金屬迴轉體間以油膜介入做為動力傳達的金屬摩擦傳動做敘述。此外還有皮帶傳動、鏈條傳動及單向離合器傳動等都會隨後一一介紹。

一般而言，如圖1.3所示在二個金屬轉輪鏡面間以油介入，一面加上切線力，一面使驅動側迴轉，則從動側的轉輪就會一面滑動一面傳動扭矩，圖1.4為其特性曲線。此

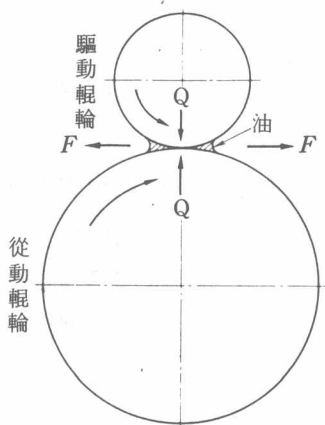


圖 1.3 牽引現象

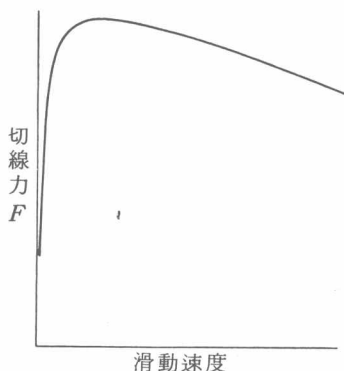


圖 1.4 牽引特性

種在沒有力的傳達時是轉動的狀態，兩個轉輪是以同一轉數迴轉。但從動側有滑動的狀況時，切線力會急劇地上昇。但是切線力只會大到一個界限，在此界限值以上即使增加切線力，也不會增加多少的滑動，莫如將切線力減少而使其滑動。

可是，隨著切線力增加其界限值亦可以跟著增加，此種現象就稱為牽引 (traction) 現象。以目前來說，為了達到增加切線力的目的，只要使用高硬度且接觸耐壓的金屬材料就可很輕易地達成了。

在此以切線力 F 除以法線力 Q 所得之比率與摩擦係數會有相同的概念，但在牽引現象中則稱為牽引係數。

$$\mu < F/Q$$

的狀態為使用於目前的情況。

$$\mu \ll F/Q$$

則為傳達效率低落時所用。

$$\mu \leq F/Q$$

則為考慮各種不同的情況所使用。

對所謂從動力傳達的目的去看，其牽引係數需相當大才可，一般而言其值在 $\mu = 0.04 \sim 0.1$ 之間。

1.2-2 牽引現象中油的動態

圖1.5是表示2只金屬轉輪間的潤滑狀態。從圖中可看出在接觸壓小的流體潤滑區域，因有足夠的油膜形成，故其摩擦係數很小。但是當接觸壓稍大時就會直接成為高壓狀態，這是因為進入彈性流體潤滑區域時，油膜會變薄而摩擦係數因之急劇地變大。在此區域的摩擦係數如同前述一樣，特別地以

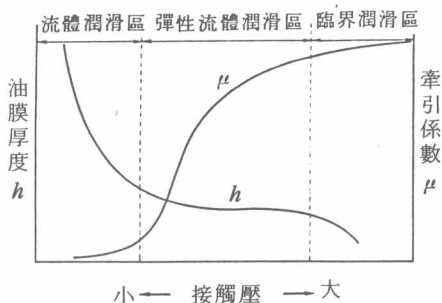


圖 1.5 潤滑狀態對接觸壓的變化

牽引係數來稱呼。再者，當成為高壓狀態時就是所謂的臨界（critical）潤滑區域了，此時因為油膜比金屬表面的粗度還薄，所以就會引起一部份的金屬直接做接觸了。

上述的狀態在接觸壓增加時，油的黏度指數也會跟著增加。而當接觸壓在 $100 \sim 200 \text{ kg/mm}^2$ 左右時，也就是在彈性流體潤滑區域時就會引起所謂的牽引現象。另一方面，一般來說金屬轉輪速度上升時，油膜厚度會跟著增大，而油就會在其接觸點間的狹縫中通過，其時間約為 $0.01 \sim 0.04$ 秒。在此通過時間內，油的周圍條件就會激烈而迅速地起變化，即在大氣壓力下油以高壓狀態衝入的一瞬間，流體因黏度急劇地上升而近似固態，然後接觸壓就會再次急劇下降而回復為流體。此就是說明牽引現象是以近似固相油脂的線切斷力發生的原因。

終究以對油的一般常識而言，只有摩擦力變少為目的的事才是所要的對策，但在牽引現象則為在接觸面使切線力作用更大才是油的使用目的。

1.2-3 機械式無段變速機的種類與構造

以牽引現象來傳達動力的情況比起受齒形及齒數限制的齒輪傳動有較自由的選擇去改變速度的變換比率。

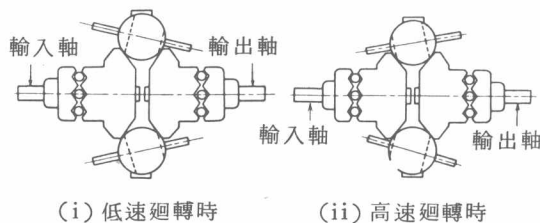
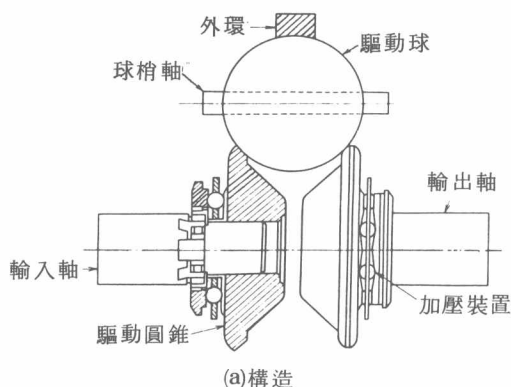
市販的機械式無段變速機的構造種類繁多，現就以下幾種已成商品化的機構，簡單地介紹如下：

1. 球形式

球形式是屬於杯形（kopp）式的一種。如圖 1.6 所示在輸出軸上配置加壓裝置以產生所需之壓接力。由一對同一形狀部份為圓形的驅動圓錐（driver cone）所組立而成。這 2 只驅動圓錐的外圓上以同一尺寸的球體，其中有軸孔，藉以支持的驅動球（driver ball）3~8 個做等間隔的並排，使接觸於兩只驅動圓錐。此驅動球可隨意調整其傾斜角度而在軸上迴轉，其外側加上自由迴轉圓環狀的外環（out ring）藉以防止驅動球飛出去。

動力是經由輸入軸→加壓裝置→驅動圓錐→驅動球→驅動圓錐→加壓裝置→輸出軸順利地傳出，其中外環與動力的傳達沒有關係。

變速時將驅動球的軸一起傾斜，則其相



(b) 變速原理

圖 1.6 杯形式無段變速機的構造及變速原理圖

對兩只驅動圓錐的接觸有效半徑就會跟著變化。而此情況中，驅動圓錐的接觸有效半徑不變，因此其與變速無直接關係。

此種無段變速機輸出為 0.2~11kW，變速範圍可在 1:9 的範圍內變化，亦即輸出軸迴轉數以輸入軸迴轉速的 $\frac{1}{3}$ ~3 倍的範圍做變化，也就是當與 1800 rpm 之電動機直接結合其輸出軸的迴轉數可在 600~5400 rpm 的範圍內輕易地做無段變速。

2. 圓板形式

圓板形式有刀座 (beier) 式及碟 (disk) 式兩種。

(1) 刀座式

刀座式的無段變速機如圖 1.7 所示，在軸方向以多片薄片圓板狀的圓錐碟 (cone disk) 及凸緣碟 (flange disk) 配置組成，另外在圓周方向也以同樣的圓錐碟群 3~

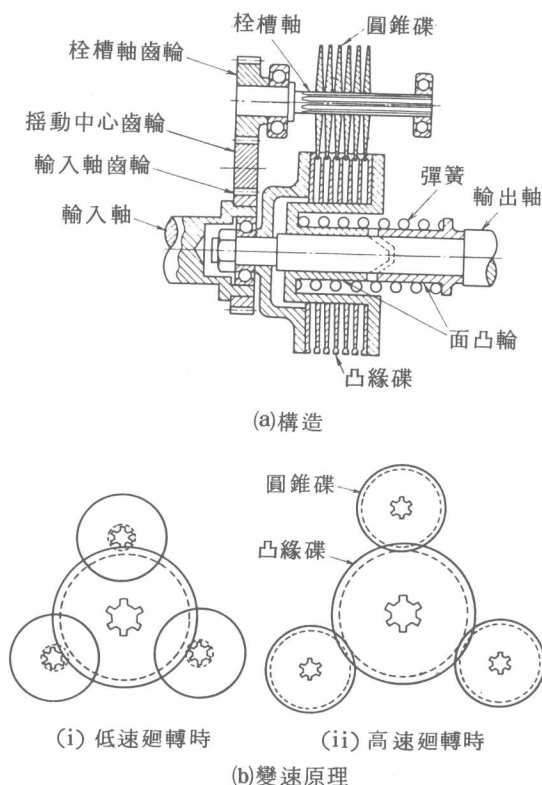


圖 1.7 刀座式無段變速機的構造及變速原理圖

8 組配置組成，因此有非常多的接觸點是其特徵。

動力是經由輸入軸→輸入軸齒輪→搖動中心齒輪→栓槽軸 (spline shaft) 齒輪→栓槽軸→圓錐碟→凸緣碟→面凸輪 (face cam)→輸出軸順利地被傳出。

變速時是以靠近輸出軸的複數圓錐碟與迴轉軸之遠離程度的大小來做。亦即在圓錐碟的根部接觸時，凸緣碟以低速迴轉，當在圓錐碟的前端接觸時，凸緣碟以高速迴轉。

此種形式的無段變速機其輸出為 0.2~75kW，變速範圍在 1:4 左右。但若以如圖 1.7 之機構在軸方向以兩段方式重合串接，其變速範圍可到 1:12。

(2) 碟式 (disk)

碟式如圖 1.8 所示以輸入軸部份設計成

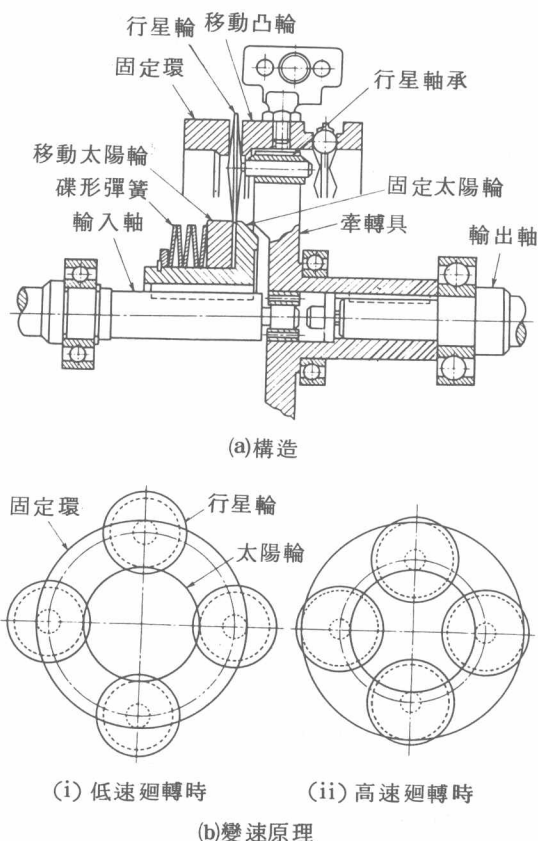


圖 1.8 碟式無段變速機的構造及變速原理圖

圓板狀的固定太陽輪及以碟形彈簧壓住移動的太陽輪來夾住薄片圓板狀的行星輪。行星輪是在隨太陽輪迴轉時，受其外圓的圓環狀固定環及移動凸輪所挾持，一面做自轉而一面隨太陽輪圓周做公轉，其輸出即取自此公轉運動。

動力是經由輸入軸→太陽輪→行星輪→行星軸承→牽轉具（carrier）→輸出軸而被順利地傳出。

變速時是以移動凸輪在軸方向移動，依固定環及移動凸輪之間隔的寬廣、狹窄而得之。亦即在太陽輪及碟形彈簧所挾持行星輪之力常會因外圓方向的加壓而上昇，因此外圓側之固定環及移動凸輪就可被壓接在一起了。在此當固定環及移動凸輪的間隔變化時，行星輪就會隨著在法線方向移動而得到變速的效果。

此形式有輸出在 $0.1 \sim 7.5 \text{ kW}$ 時，其變速範圍 $1:6$ 及輸出為 $11 \sim 22 \text{ kW}$ 時，其變速範圍 $1:5$ 兩種。

3. 圓錐形式

圓錐形式有很多種類，但在此僅敘述環形圓錐（ring cone）式。此可分為 SC 形及 RX 形兩種。

(1) 環形圓錐式 SC 形

在圖 1.9 SC 形的構造中，輸入軸被固定在太陽圓錐的外圓周一端的圓錐面，以複數行星圓錐接觸而另一端圓錐面則以被固定的圓環狀變速環的內圓面接觸。因有變速環而使其一面做自轉一面做公轉，輸出軸迴轉數就由此公轉取得。

動力是經由輸入軸→太陽圓錐→行星圓錐→滾針軸承→圓錐梢（cone pin）→行星圓錐螺栓→自動調壓凸輪→輸出軸而被順利地傳出。

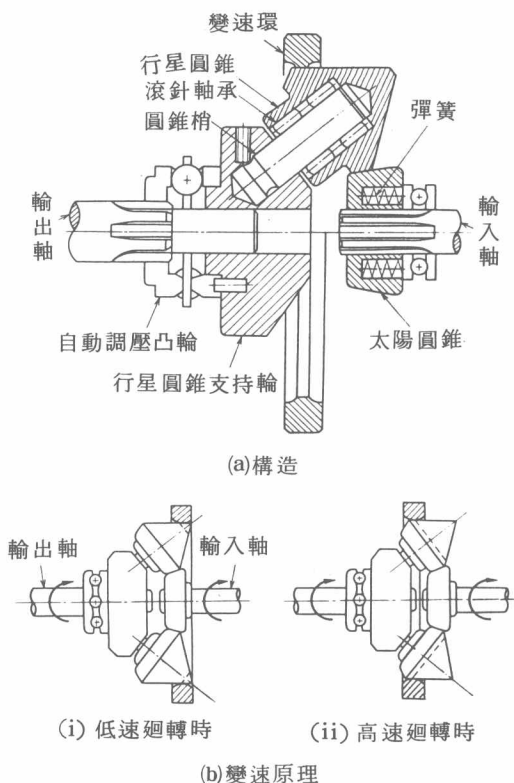


圖 1.9 環形圓錐式 SC 形無段變速機的構造及變速原理圖

變速是沿著行星圓錐的錐面與輸出軸平行地將變速環移動，依此變速環相對於行星圓錐接觸的有效半徑就會被變化，而使公轉速度隨著改變。

此形式其輸出為 $0.1 \sim 22 \text{ kW}$ ，變速範圍 $1:4$ 。在特別需要大減速比時，則需加裝相對的減速機才可使用。

環形圓錐式的最大特徵是有自動調壓凸輪。此種裝置隨負荷的變化成比例地將牽引傳動部的壓接力做必要最小限度的調整。舉例而言，如圖 1.10 所示，在負荷小的時候以壓接力做良好的有效率運轉。當大負荷加之於牽引傳動部時所必要的最小限度壓接力瞬間就可供給，因而瞬間的負荷也會造成全部的滑移（slip）。因此，電動機在停止動作時扭矩可以安心地加上，而當負荷小的時