

国内外机电工业基本情况介绍

国内外精密机床概况

第一机械工业部技术情报研究所 机床 合编
中国科学院技术情报研究所

(内部资料 注意保存)



机械工业出版社

出版者的話

大跃进以来,全国人民干劲十足,都满怀信心地力求在更短時間內在主要工业产品方面迅速超过英国,赶上世界先进水平。为了帮助各生产和研究單位較全面掌握各国的机电工业的基本情况,第一机械工业部技术情报研究所除編出“英国机械工业綜述”一套共13册已由我社出版之外,現又編出“国内外机电工业基本情况介紹”若干册,内容包括:重型机械、冶金設備、化工設備、机床、动力設備、高压电器、內燃机、汽車、农业机械、通用机械、仪器仪表、航空运输机和塑料应用……等專題,分別介紹国内外的生产水平与技术水平,并作簡要的綜合分析和評論。

書內所介紹的产品种类,大都是以我国最近三两年內的重点产品为对象,可供各單位在确定跃进指标时参考。

本書可供机电工业企业领导干部、工程技术人员和計劃工作同志参考之用。

編者:第一机械工业部技术情报研究所、第一机械工业部
机床研究所、中国科学院技术情报研究所

NO. 內276

1959年6月第一版 1959年6月第一版第一次印刷

787×1092¹/₁₆ 字数70千字 印張3 0,001—2,000册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷

北京市書刊出版业营业許可証出字第008号 定 价 (11) 0.45元

編者的話

在党的总路綫的光輝照耀下,我国机电工业正在一日千里的向前飞跃發展,机电工业的技术水平在許多方面已接近或者已經达到了国际的先进水平。为了便利各級领导同志和技术人員及时了解这方面的發展情况,我們搜集了一些資料,按專業編写了“国内外机电工业基本情况介紹”。在編写过程中由于時間倉促和我們的政治与业务水平的限制,其中有的情况和数字可能有出入甚至有錯誤,因而这些資料作为内部文件發行,仅供参考。不当之处,請予指正。

第一机械工业部技术情报研究所

目次

I 程序控制机床	1	1. 磁带式录返程序控制系统	18
一 緒言	1	2. 数字式連續輪廓控制系统	20
1. 机床的程序控制	1	四 結語	37
2. 程序控制机床的技术經濟性	1	II 座标鏜床	37
3. 程序控制机床的概况	2	一 座标鏜床的用途及發展趋势	37
4. 程序控制系统的分类	3	二、座标鏜床的結構形式与定位方法	38
二 机床的定位控制系统	3	三 国内外座标鏜床的情况	38
1. 数字盘系统	4	1. 苏联座标鏜床情况	39
2. 自整角机(或解算裝置)系统	7	2. 德意志民主共和国座标鏜床情况	39
3. 多極差动自整角机(多極解算裝置)系统	8	3. 西德座标鏜床情况	40
4. 差动变压器系统	10	4. 瑞士座标鏜床情况	41
5. 測量棒系统	11	5. 英国座标鏜床情况	42
6. 光栅系统	13	6. 美国座标鏜床情况	43
7. 电位計系统	16	7. 国内座标鏜床情况	43
8. 其他系统	16	III 座标磨床	44
三 机床的連續輪廓控制系统	18	参考文献	44

I 程序控制机床

一 緒 言

程序控制机床是目前机床發展的新方向。在国外已生产有不少的类型，它一般都是以現有机床的結構为基础，所不同的是在于它另加程序控制系统与控制装置。因此，本文主要是将美、英等国現有典型的机床程序控制系统的一般概况作一介紹。

1. 机床的程序控制

根据加工零件的几何形状和操作順序两种性質完全不同的信号来控制机床运动，这种控制方法即是机床的程序控制。这个概念中包括了已往的仿形控制和現在的“数字”控制。这两者在方法上有两点区别如下：第一，关于零件的几何形状信号，在数字控制是从零件圖直接譯成数碼，并记录在控制带上，用控制带控制机床的运动；而仿形控制是记录在型板或靠模上，用型板或靠模控制机床的运动。第二，在数字控制中，机床的操作信号在装工件以前預先记录在控制带上，而仿形控制是不可能的。下面只涉及到数字程序控制的机床，但曾采用为大家所習慣的“程序控制”这个名詞来代替比較長的“数字程序控制”这一名詞。机床的整个發展过程表明，从人力为动力的簡單手动机床發展到电气-液压为动力的手动控制机床，再發展到用凸輪或靠模控制的自动机床。由此可以看出程序控制（数字程序控制）机床是机床进一步發展的必然产物。程序控制是电子計算技术和伺服跟踪理論两者有机結合而产生的，是最先进、最近代化的机床控制方法。

2. 程序控制机床的技术經濟性

1) 提高了机床的灵活性(万能性)

使用程序控制的机床当从加工一种零件換到加工另一种零件时，只要調換一下記有不同程序信号的控制带。由于不需要靠模，所以显著地縮短了生产准备時間和机床調整時間。控制带（穿孔带、磁带、穿孔卡）的保存和輸送都很方便。这些特点使程序控制的机床不但可用于大量生产，而且特別适合于像飞机制造那样經常改变产品对象的單件生产，同样实现了利用控制装置对机床进行远距离自动化操作。

2) 提高了机床的生产率

由于工人不參與机床的直接操作，因此显著地提高了机床的利用系数，并且容易加工像二次曲綫等那样形状复杂的零件。

美国航空工业协会（AIA）的程序控制小組委员会对程序控制机床的生产率在标准試件上所作出的調查結果如下頁表。

3) 提高了机床的加工精确度

在程序控制系统中采用了电子計算机，沒有靠模等产生的誤差，因此只要增加脉冲数和反馈系統的精度就容易提高机床的工作精度。

4) 程序控制机床的价格

一般說来，座标定位用的控制装置不太貴，在美国其价格約在 3500~20,000 美元之間；而連續輪廓的控制装置，因为它采用复杂而昂貴的电子計算机（主令器），其价格約在 20,000 ~

仿形控制和程序控制生产率对比表

从生产工艺准备到制成产品的全部过程		所需时间(小时)	时间累计(小时)
仿形控制	(1) 在办公室里的工作	3.0	3.0
	(2) 仿模的制造	97.5	100.5
	(3) 仿型加工	3.6	104.1
	(4) 孔加工	0.5	104.6
程序控制	(1) 在办公室里的工作	1.0	1.0
	(2) 计算机的计算时间(控制带的制圖)	1.5	2.5
	(3) 用磁带进行加工的时间	0.9	3.4
	(4) 用磁带进行孔加工	0.1	3.5

从上表中两者比较后,就所节省的时间对原来需要时间底百分比逐项考察,可以很清楚地看出程序控制比仿形控制为优越:(1)项是66.6%;(2)项是98.5%;(3)项是75%;(4)项是80%。

500,000美元之間。但由于电子計算技术的迅速发展,使控制装置本身的成本比初期大为降低。事实上巨大而复杂的控制装置是用标准线路(印刷线路)和标准元件组成的,并且以寿命較長的晶体二極管和晶体三極管代替寿命較短的电子管;因此控制装置的体积大为縮小,成本也相应地减低。例如美国麻省理工学院(MIT)对銑床的試驗性程序控制装置的体积就有3~4个立銑那样大;而目前商用的装置已减少到碗橱(Ferranti系統)或落地收音机那样大。目前控制装置的通用化和元件的标准化研究工作还在繼續进行中。

另一方面,由于电子计算机与机床控制相分开,所以程序控制机床的机械结构反而比仿形机床簡單,这一部分的成本自然相应地减低,同时充分發揮了电子计算机的能力。为了加大计算机所服务机床的数量,設法将各种加工过程中相同的程序像圖紙一样保存下来,在应用时,把这些程序和以整理,并记录在磁带上。因此目前一台计算机可服务于8~50台。最后,使用于小型銑床的控制装置其成本降至20,000美元以下也是可能的。

总之,目前程序控制装置的成本高、复杂,而且还没有完全实现标准化。这是程序控制装置發展过程中不可避免的阶段,也是一切新技术發展成長中不可避免的阶段。

3. 程序控制机床的概况

苏联近来在程序控制机床的試驗研究、确定最合理的程序控制系统等方面正进行着大量地研究工作。許多研究單位同各厂协作制造了不少新的程序控制机床。据文献記載远在1949年乌克兰科学院物理研究所制造了用磁带操縱的六角車床程序控制系统。又在1950年苏联印刷机械制造科学研究所試制了加工凸輪的程序控制銑床,它用光电元件和电影胶片控制机床的运动。1958年在比利时布魯塞尔展覽会上展出的性能良好的苏联的程序控制机床引起了西方国家的注意。其中包括金屬切削机床科学研究实验所(ЭНИМС)設計的穿孔带控制銑床、磁带控制銑床、穿孔带控制車床、穿孔卡控制鏜床等。苏联在第六个五年計劃中規定将大力制造程序控制的車床、銑床、鑽床、坐标鏜床、臥式鏜床、磨床和其他的程序控制机床,并将創制20种以上型号的程序控制机床。

在美国,麻省理工学院的跟踪系統試驗室在1949年首次进行了程序控制装置的研究工作,直到1952年才試制了MIT試驗性程序控制銑床。又在G&L公司和通用电气公司(G.E.)的支持下經過三年的研究,在MIT試驗性程序控制銑床的經驗上加上G.E.的磁带录返程序控制技术,在1955年試制了穿孔带-磁带混合控制装置,用于加工飞机机翼的G&L.蒙皮龙門

銑床上。近來如 Bendix 公司、G. E. 公司、G. & L. 公司和 E. C. S 等公司供應機床的程序控制裝置，而 Cincinnati、G. & L.、K. & T.、Morey 等公司供應機床，共同協作進行程序控制機床的生產。目前在美國空軍部的支持下約有 50 種程序控制系統，已運轉的程序控制機床約達 100 台。現在大致有 70 家工廠參與程序控制機床的工作，估計在 1962 年用於機床自動控制中的電子裝置底年度交易額約可達 1 億美元。

在英國，Ferranti 電子計算機公司利用國立物理實驗所 (NPL) 創造的光柵從 1952 年開始研究到 1954 年試制成了試驗性 Ferranti 程序控制機床，直到 1956 年才算完成了高精度的 Ferranti 程序控制裝置。目前英國主要有 Ferranti、E. M. I. 和 B. T. H. 三種程序控制系統。

我國自行設計的用電子計算機控制的程序控制的立式銑床，已在清華大學和北京第一機床廠合作下試制成功，1958 年 9 月 29 日晚 11 時正式試車，結果證明性能良好。試制這樣一台機床，美國用了四年時間，英國用了 2 年半，而我們只化了 80 多天的時間。與此同時，天津大學和北京電影製片廠合作之下，一台磁帶錄返式程序車床也於 9 月 28 日空載試驗成功，在同月 30 日清晨車制了第一個工件，這樣一台機床，也同樣是進行多次研究設計奮戰 30 余天製造成的。顯然這類尖端產品的試制成功，證明了在黨的領導下，我國科學事業正向世界水平突飛猛進。目前各地許多研究所、高等院校和工廠也正正在這方面進行着一系列的研究與試制工作，可以肯定，不會很久我們即將擁有大批世界上最先進的程序控制機床。

目前世界上至少有 60 種以上的程序控制系統，而這些控制裝置應用在車床、銑床、鑽床、座標鏜床、臥式鏜床、磨床等各種機床上，也應用在自動綫上。其中連續輪廓的控制機床主要用在航空製造業中，因為製造一台噴氣式飛機約需一萬多個各種靠模和模板，而且機翼形狀複雜，所以採用程序控制系統，就顯著地獲得了重大的技術經濟效果。

4. 程序控制系統的分類

目前存在着各種不同的程序控制系統，但在應用上可分為定位控制系統和連續輪廓控制系統兩大類。屬於第一類的機床只要求精確控制移動機件的最後位置，此種系統多用於坐標鏜床、鑽床、臥式鏜床等的控制。並按測量系統還可分為採用數字盤、自整角機、多極差動自整角機、差動變壓器、測量棒、光柵、電位計及其他等八類（就測量方法講有測量絕對位置和測量移動量的兩種方法），但本質上只有模擬式和數字式兩種。屬於第二類的機床則要对運動所經過的中間路徑進行連續的控制，顯然它比第一類所需的控制設備有更高、更嚴格的要求，包括有複雜的計算機等。銑床和車床多使用此類控制系統，按其取得原始儲存資料手段的不同它又可分磁帶錄返式及數字式兩種程序控制系統。

下面將按照上述分類分別敘述。由於缺乏蘇聯程序控制系統的資料，因此只就美、英等資本主義國家程序控制系統作一綜合介紹。

二 機床的定位控制系統

定位控制系統一般包括四個部分：

- 1) 須要記有被加工零件孔的位置、機床的起動停止、切削速度和其他輔助指令的存儲介質；
- 2) 要有反映主令完成情況的反饋裝置。其中特別重要的是檢測機床實際位置的度量裝置；

3) 要有把輸入主令信号和反饋信号变换成同类型信号的比較裝置,比較后輸出誤差量;

4) 要有借誤差量控制的驅動裝置,驅動机床的移动部分直到誤差量減到零为止。

已發表的 40 多种系統中,各厂对上述各部分都有独特的設計。一般來說,作为主令存儲介質的多用穿孔帶;其次是穿孔卡、开关等,通常采用二进位或十进位数字碼。定位系統的基本精密度,很大程度上取决于度量裝置(当然还与其他因素有关),概括地可以分成表列的四級。在驅動方法上常用的是:有电子管和正交磁場放大机控制的直流电机傳动系統、有齒輪和离合器控制的絲杠交流电机傳动系統以及液压驅動系統等三种,进給速度三者均能达到 150 呎/分,而主要取决于測量方法和比較裝置的性能。

定位系統精密度类别

級別	精 密 度 等 級
1	小于 0.0005 吋
2	0.0005 到 0.001 吋
3	0.001 到 0.003 吋
4	大于 0.003 吋

有关資本主义各国的定位控制系統(如表 1),分別按照度量裝置的类别叙述如下。

1. 数字盘系統

这种系統底共同特征是利用旋轉盘来产生数字訊号,其大多数是全部为数字式的,但也有一部分具有模拟到数字的轉換器。有 2 級或 3 級的精密度。

Hillyer 公司所采用的完全是十进制的繼电器式数字系統,它的輸入是 14 个通道的穿孔帶,測量元件是用印刷綫路接触的五个計数盘組;由絲杆傳动的电刷在这些計数盘表面上移动,由于接触点的不断离合而給出与移动位置成比例的数字訊号。当快速进給以額定速度移动时,在 0.01 吋和 0.001 吋計数盘上的电刷将以很大的速度旋轉,为避免刷与盘之間的磨損及减小誤差起見,备有电磁螺管綫圈以便在所述的情况下把电刷提起。計数盘所指出工作台位置的数字訊号与穿孔帶所給定的主令訊号比較后,以所得誤差控制工作台伺服电机,使誤差減至零为止。Arter 磨床公司也采用了类似的系統,但它用了离合器,在相应比較級的离合器动作时,产生一定的进給速度,当达到与該級的数字主令一致后又轉換至下一級(系統从 10 开始到 0.001 共有五級),这样逐級轉換直到完全一致为止。

Kearfott 公司和 Electronics 公司實驗室都是采用二进位系統,它除了需要更多的精密的繼电器或开关綫路外,不需要其它高精度元件,并有簡單的比較(減法)电路,还能加快定位速度。圖 1 所示为 Electronics 公司所用的單軸控制系統(Kearfott 也相同,只是沒有緩冲式記憶存儲裝置)。可以看出工作台位置信号与主令信号作了比較之后,

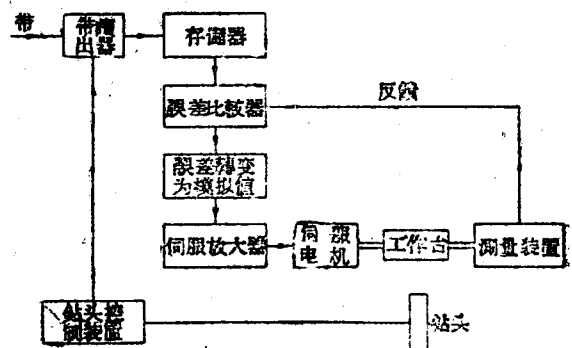


圖 1 Electronics 公司單軸控制系統方框圖。

誤差变成电压模拟值,經放大后,用以控制工作台定位伺服电机。系統中采用的是工程上常用的分数,都可用二进位制表示为: $\frac{1}{2} = 2^{-1}$, $\frac{1}{4} = 2^{-2}$, $\frac{1}{8} = 2^{-3}$ 等,以及为 $\frac{3}{8} = \frac{1}{4} + \frac{1}{8}$ 。任一数字如 $4\frac{3}{8}$ 也都可写成二进位形式:

$$2^2 + (0 \times 2^1) + (0 \times 2^0) + (0 \times 2^{-1}) + 2^{-2} + 2^{-3} = 100.011$$

此种系統主要应用在鑽孔上,因为孔的間距往往以常用分数計算。

Barnes Engineering 公司的“Bihotrol”系統主要特点是比較輸入和反饋信号的繼电器綫路不需要模拟轉換,对每一数字均有一对繼电器,其中一个由讀数器(主令)控制而另一个由

表1 定位控制系统表

制 造 厂	国 别	成 本 (美元)	机 床	控 制 对 象	精 度 等 级	定位速度	指令存储介质		存贮数碼	度量装置
							暂时性	永久性		
Hillyer	美	6,000	鑽 床	X、Y二軸	3	15孔/分	开关	14个通道 穿孔带	十 进	数 字 盘
Arter	美	17,000		工作台 X、Y軸 的定位	3	9~13 秒/孔		5个通道 穿孔带	十 进	
Kearfott	美			工作台 X、Y軸 的定位	3	25吋/分		穿孔卡	二 进	
Laboratory for Electronics	美				4	1秒/孔		8个通道 穿孔带	二 进	
Electrosystems	美				3	100吋/分		8个通道 穿孔带	二—十进	
Norden-Ketay	美				3	200吋/分	开关	8个通道 穿孔带	二—十进	
Barnes Engineering	美		鑽 床	工作台 X、Y軸 的定位	2	50吋/分		32个通道 穿孔带	二 进	
Airmec	英			工作台 X、Y軸 的定位	2	90吋/分	开关	12个通道 穿孔带	十 进	
富士通信器	日本		冲 床		3	120吋/分		6个通道 穿孔带	二—十进	
Hilger & Watts	英		鑽 床		2或3	↑	开关			
Mullard	英				3	60吋/分	开关			
National Automatic Tool					3	215吋/分		8个通道 穿孔带	十 进	自 整 角 机
General Electric	美	10,000	六角冲床	X、Y二軸的定 位	2	60吋/分	开关或 撥号盘	8个通道 穿孔带	二—十进	
General Electric	美		車 床		2	60吋/分	开关或 撥号盘	穿孔卡	十 进	
Westinghouse Electric	美				3	↑	开关	8个通道 穿孔带	二—十进	
Westinghouse Electric	美				3	↑	开关	穿孔卡	十 进	
Advance Industries	美		組合鑽床		3	150吋/分		32个通道 穿孔带	二—十进	
Electronics Control System	美				1	12秒/孔		8个通道 穿孔带	二—十进	
Farrand Controls	美	每軸的 5,000到	落地鑽床	X、Y二軸的定 位	1	100吋/分	开关	8个通道 穿孔带	二—十进	多 極 差 动 自 整 角 机
Farrand Controls	美	15,000			1	100吋/分	开关	穿孔卡	十 进	
E. M. I. Electr- onics	英			工作台 X、Y軸 定位	1或2	↑	开关	5个通道 穿孔带	二—十进	
Canadian Westinghouse	加拿大				1	↑	开关			差动变压器

(續)

制 造 厂	国 别	成 本 (美元)	机 床	控 制 对 象	精度 等 级	定位速度	指令存儲介質		存儲数碼	度量装置
							暂时性	永久性		
Cleveland Instrument	美				1	10秒/孔		8个通道 穿孔带	二一十进	差动变压器
Cleveland Instrument	美				1	10秒/孔		穿孔卡	十 进	
Topp Industries	美				1	50吋/分		磁 带		
Fosdick Machine Tool	美	110,000	座标镗床	X、Y二軸的定位, 主軸的进給速度和轉速, 深度	1	15~20秒/孔		8个通道 穿孔带	二一十进	测量棒
Fosdik Machine Tool	美		座标镗床		1	15~20秒/孔		穿孔卡	十 进	
Schwartzkopff	西德	65,000	座标镗床	X、Y軸的定位	1	32秒/孔		穿孔卡	十 进	
Pratt & Whitney	美	60,000	№2 E 座标镗床	工作台的 X、Y 軸的定位	1	↑	开关	12个通道 穿孔带	十 进	光 栅
B. T. H.	英	15,400 22,000	镗 床	工作台 X、Y 軸的定位	1	8 秒/孔	开关	穿孔卡	十 进	
Ferranti	英		鑽 床		1	2 秒/孔		5个通道 穿孔带	二一十进	
Ericsson Telephones					2或3	↑		5个通道 穿孔带	二 进	电 位 計
Brush Electrical	英				3	↑	开关			
Mullard-Corentry Gauge & Tool	英	12,000 15,000	Matri №150 座标镗床	X、Y 軸的定位	1	4~10秒/孔	开关			
日本机械試驗所	日本				1	80吋/分		6个通道 穿孔带		其 他
Wang Laboratories	美				2	↑		8个通道 穿孔带	二一十进	
Reeves Instrument	美				1	1~5秒/孔		6个通道 穿孔带	二一十进	
Ekco Electronics	英		鑽 床	工作台 X、Y 軸的定位	2	24吋/分	开关	穿孔卡	十 进	其 他
S. I. P.	瑞士		座标镗床 Hgdrotic	X、Y 定位	1					
Warner & Swasey	美	1~2		工作台的 X、Y 軸的定位	1~2	100吋/分		8个通道 穿孔带	二一十进	
Modern Engineering Service	美			旋轉工作台的角 位移的定位	1	36		8个通道 穿孔带	二一十进	
Teller	美	13,000 到 21,500		X、Y二軸的定位	1~2	80吋/分	撥号盘	8个通道 穿孔带	十 进	

附注: ↑——定位速度取决于被控制的机床, 开关是有十个位置的。

数字盘（反馈）控制。当主令和反馈之间信号一致时，工作台便停止。如不一致时，网络各级比较之后，使工作台作相应的前进或后退运动。这系统是用有32个通道的穿孔带，二进制表示的几何级数 $2^{15}-1=32,767$ 个单位（每个单位0.001吋），相应的范围可达32.767吋。

Airmec公司的定位控制系统所要求的工作台位置可用十进位开关手动确定，或者可用12个通道十位数碼的紙带自动确定（其中10个用来記X和Y的主令，另外2个用于記下工具选择、纏繞紙带或其他操作主令）。利用带弹簧触針的讀数器讀出訊号，带的移动則是由光电晶体管接收通过带上小孔的光来控制。直到定位器接受訊号之前信号一直是被存儲于繼电器緩冲記憶級中。定位器由一組圓盘組成，第一个盘有絲杠帶動，圓盘間傳动齒輪速比均为10:1，每个圓盘分成可以連在一起的很多段，构成包括二个区段的轉換器，并有緩冲存儲級中繼电器系統控制它所設定的角度。当任何一个圓盘移动到二个区段間电刷停留的中性区位置上时，控制操作就轉到次一个精密的圓盘上。在控制操作轉換的任何点，都能使一个磁性离合器动作以减低絲杠的速度。当最后一个盘的位置正确之后，离合器断开，因此电机与絲杠脱离，并發出操作工作台軋头的信号。机器中尚有用于补偿絲杠累积誤差用的修正凸輪。

日本富士通信器材制造公司(Fuji Communication Apparatus Manufacturing Co.)采用了鋁制圓盘，其內徑上有12个用以产生脉冲的等距离孔，外徑上有12个用以产生电磁制动的鉄芯。借助于一种具有反复(Flip-Flop)电路特性的高頻电磁装置(Parametron)，和记录其圓盘所产生的脉冲，来量測工作台的位置。

Hilger & Watts 精密仪器制造厂的数字器是装在鑽床上使用，通过精密的齒輪和齿条驅動，量測工作台的位置。实际上它有二个数字器构成，一个給出9.999吋；二个一起可达249,999吋，而每步則为0.001吋。系統中运用了光学数字器，这是上述机械数字器的光学模拟，以透明与不透明的标志代替了电触头变化的通-断性質。当盘轉动时，不透明标志遮断了被聚集在光元件檢波器上的一束固定光綫，因此而产生短暫的电脉冲。它的优点是：（1）由于沒有接触故阻力轉矩小而寿命長；（2）相同分辨率时尺寸較小。

2. 自整角机（或解算装置）系統

自整角机是借以变换角度为模拟电压（或相反）的一种电磁装置，它含有多相（3相或2相）定子繞組及單相轉子繞組。当三相定子被励磁时，轉子感应出大小与轉角正弦成比例的电压，因而可作角度位置的模拟。自整角机中，一般的精确度为20分，特殊的可达1分。就前者講对螺距为0.1吋的絲杠可得到0.0001吋的精确度，相当于2級到3級。

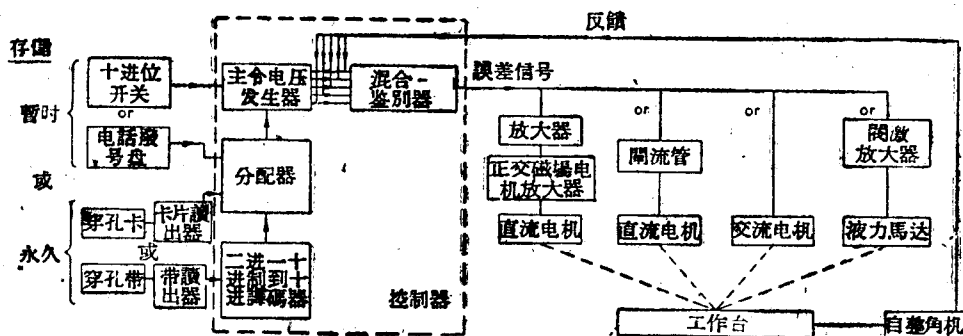


圖2 General Electric公司單軸定位系統方框圖。

美国 General Electric 公司在 1954 年 Wiedmann 冲压床上第一次应用定位控制系统，单座标轴的控制系統如图 2 所示。至于多轴情况，对增加的轴必須重复伺服电机和控制器部分。虚线所示的控制器部分它的作用是：（1）变换輸入信号（数字形式）为主令信号（电压模拟形式）；（2）区别这些主令电压和自整角机反馈电压之间的差别，产生一个误差电压。

变换輸入信号为主令信号系利用主令变压器，它有单绕组初级线圈和中心抽头的次级线圈。次级线圈还有很多抽头，使中心抽头每边等分成十进位的输出电压（图 3）。这些抽头都接到三个十进位步进开关上，它受卡片讀数器的信号控制；例如数字 18.735，从卡片讀数器获得“个位数”的信号是 8，步进开关将一直转到 8 的位置为止，这点上，变压器次级抽头的电压相应于“个位数”自整角机全转的 $\frac{8}{10}$ 的电压。步进开关还用来作为缓冲存储。所有四个自整角机的主令电压是用

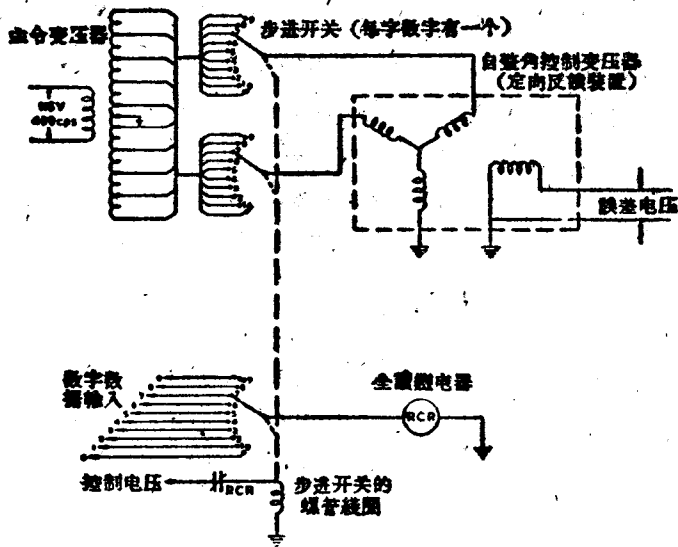


图 3 General Electric 系统中从数学值到模拟值变换的方法。

上述类似的方法获得。这里仅用四个自整角机而必須控制五个数字，实际上，三个是相应于十位、个位和十分之一的数字，每一讀数的增量是 36° ，也就是一转分成 10 分；至于第四个用于其他二个小的主要数字，则每一讀数的增量是 3.6° ，也即是一转分成 100 分。

图中混合—鉴别器具有混合线路，此线路完成开关的作用——使自整角机从粗讀数到精讀数，同时产生一个指示位置大小误差的信号。系统中有规定死区的调整器，就是说在工作台定位伺服驱动工作之前，可以决定信号允许误差的大小。

应用此种定位控制的 Sundstrand 车床，生产率增加超过 75%，平均增加约 50%。

Advence Industries 公司的控制系统已被 Jones and Lamson 机床公司装于 Cincinnati-Bickford 组合铣床上。和上述系统一样，有二进位信号变换为十进位形式的装置，并有步进开关和接头变压器用以产生自整角机需要的电压。

为了连续地控制粗讀数自整角机到精讀数自整角机的换接，利用重叠技术以保证在下一个接入之前不能切断这一个。为此每一个自整角机的转子线圈上，都加上附加抽头变压器分得的一个电压。从而，虽在转子线圈上真正的电压是零，但仍有一个附加电压促使自整角机延迟切断。

工作台由液压伺服机驱动，与工作相连的活塞在充满高压油的油缸内运动，并受丝杠驱动的旋轉式差动閥門控制。由于丝杠不傳遞动力，因此显然减少了摩擦、齿隙以及弹性变形等引起的误差。

3. 多極差动自整角机（多極解算装置）系統

多極解算装置和二極解算装置运行的原理相同。后者具有一个供給常值电压的转子绕组和二个互成 90° 的定子绕组，定子绕组内感应的电压随轉角正弦和余弦变化。同样也可以供給

定子同步的正弦和余弦的电压，而轉子直轉到其感应电压等于零为止。

多極解算装置是由 Farrand Control 公司制造的，又称为“Inductosyn”，它具有直線型（多用于直角坐标）和旋轉型二种。直線型的第一个元件是約 10 吋長印有金屬导体髮針形單繞圈的玻璃尺；第二个元件是較尺为短的滑板，印有二个相差电气角度为 90° （或 0.025 吋）的金屬繞圈，因此滑板上 0.1 吋相当于四个極。

尺装在机座上，而滑板装在运动部分上，两者的距离为 0.010 吋（非临界值）。模拟尺寸的信号底正弦和余弦电压送到滑板繞圈内，一般在尺的繞圈中感应出位置誤差电压，借此控制伺服驱动，直到移动部分定位后——即誤差电压到“零”时，伺服驱动便停止。显然，电压在每 0.05 吋时将通过“零”（即每四極發生二次），故粗讀数系統必須使用在 0.05 吋的定位范围之內，而“Inductosyn”作为精确定位用（能計算到 $0.36 = \frac{360}{1000}$ 电度，即 0.0001 吋）。

圖 4 是 Farrand 系統的方框圖，定位主令来自手动或帶讀出器操作的十进位开关，电子开关的作用是以正确次序連接解算装置至放大器电机綫路（即粗讀数：吋的十位数及个位数；中間讀数：0.1 吋和 0.01 吋；精讀数：0.001 吋和 0.0001 吋）。粗讀数与中間讀数是用自整角机，通过直流放大器控制的电机所驅動的絲杠嚙合而工作。而精讀数也是自整角机由磁放大器激励的电机所驅動。

E. M. I. 公司的定位系統可达 1 級精度（如圖 5），它有六个十进位开关作为暂时存儲介質，而 5 个通道的穿孔帶作为永久存儲介質。开关直接連到多位轉換器儲藏部分，从帶讀出器的輸出首先通过譯碼器将它轉換成适合于多位轉換器儲藏部分的形式。十位和个位組合的輸出接到产生比例于主令粗讀数位移的“綫性綜合器”，此电压与从絲杠驅動的感应电位計（或自

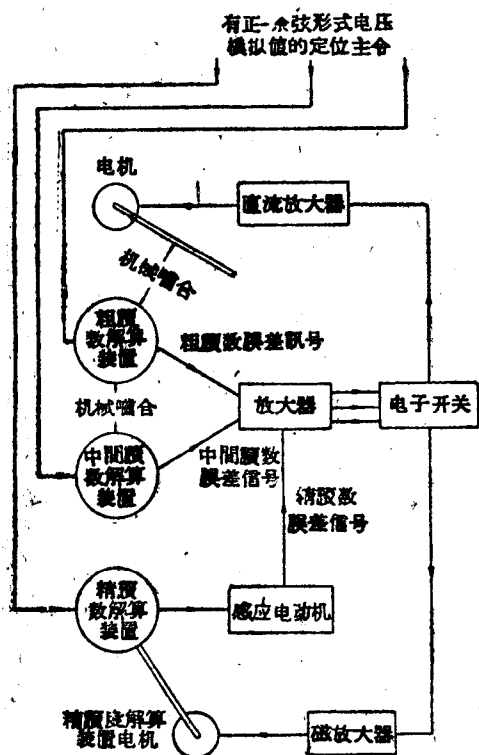


圖 4 Farrand 定位系統方框圖。

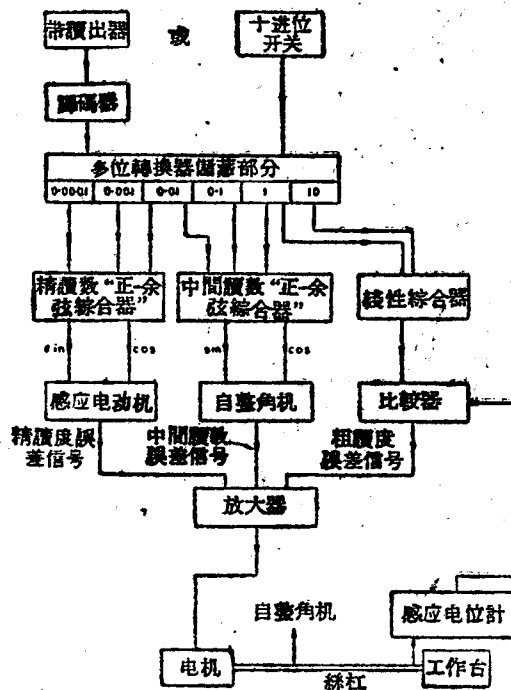


圖 5 E. M. I. 定位系統方框圖。

耦变压器)取得的反馈信号相比较得出粗误差信号。个位 0.1 和 0.01 组合的输出送到“正-余弦综合器”，这是一个复杂的开关和变压器网络，它产生相应数字的一对正-余弦模拟电压，并输入至转子与丝杠啮合的二相自整角机的定子线圈内，其转子感应电压是与主令位置与实际位置之间的差成比例，由此得到中间误差信号。0.01、0.001 和 0.0001 的输出到第二个“正-余弦综合器”，用以产生上述相应数字的一对正-余弦模拟电压，并输入直接量测工作台位置的“Inductosyn”的定子线圈中，转子中感应电压在到达主令位置时等于零，这称为精误差信号。

以上三个误差信号经过电子开关全部送入伺服放大器，按误差大小顺序控制伺服电机的速度。采用此类系统由 Industrial Technics 公司生产的轻型铣床，其定位精确度为 0.0001 吋，而重复度约为 0.00001 吋。

4. 差动变压器系统

利用差动变压器作为精密模拟转换器(测量元件)，或利用小功率步进电机与差动变压器一起作为数字转换器均能达到 1 级的精度。

加拿大 Westing house 系统使用的转换器是包括二个电磁耦合元件(如图 6)，初级绕组安装在长圆棒表面上，每一螺旋线上有一单导体，二个接头在棒的一端用滑环引出。次级绕组同样是双线圈绕法，只不过绕在长度较短而在圆棒上滑动的套筒里面。如果交流电压施加于任何一个绕组上，则在另一个上产生感应电压。当初级与次级成一直线时有最大的感应电压(如图 6a)，当套筒对棒作轴向移动时将出现近乎正弦形变化。显然，绕组相对移动一个导程时即为一个周期，图 6b 所示系电压为“零”时的相对位置。

这个系统方框图如图 7。假定在手动调整的瞬间，则粗读数十进位开关在十位，个位和 1/10 吋的位置，同时，普通定位伺服电机使移动元件在最后位置上的准确度约在 0.1 吋以内。其他三个最小的主要数字是在精读十进位开关上用来增加差动变压器在 0.1 吋以下的分辨率。当差动变压器初级绕组的圆棒转动一转时，在次级绕组上产生和套筒轴向位移 0.1 吋同样变化的信号。为了扩大相应的直线分辨率到 0.0001 吋，每转仅需分成约 0.3° 的增量。

图 8 是 Cleveland Instrument 公司所采用的基于游标原理的微分变压器系统，当用普通电桥平衡网络时，仅在获得大致定位的情况下动作。工作台带有实际距离为 1° 的

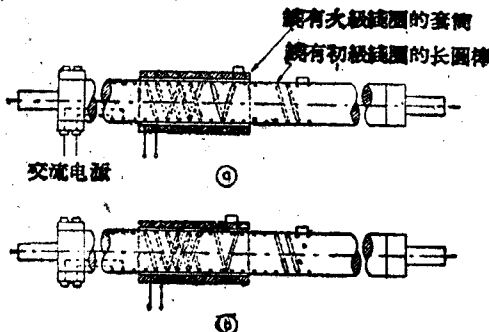


圖 6 加拿大 Westing house 定位系統的差動變壓轉換器。

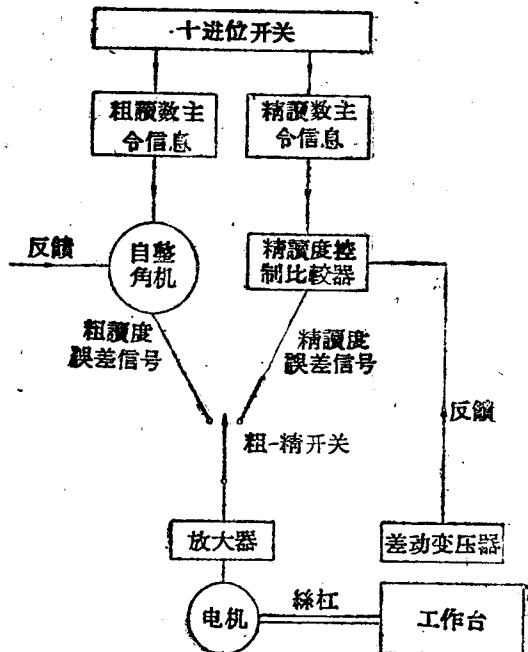


圖 7 加拿大 Westing house 定位系統方框圖。

360 个轉动鉄塊，在机架上每隔 56' 有 15 个激励綫圈和 15 个差动繞組。由于繞組是差动連接，因此每当鉄塊之一与激励綫圈差动繞組元件在同一中心綫时，綫圈上的輸出电压是零；其后的一个鉄塊将超出中心綫 4' 間隔，故在这样的技术下，其分辨率可达 4 分。輸入信号儲存于十进电碼

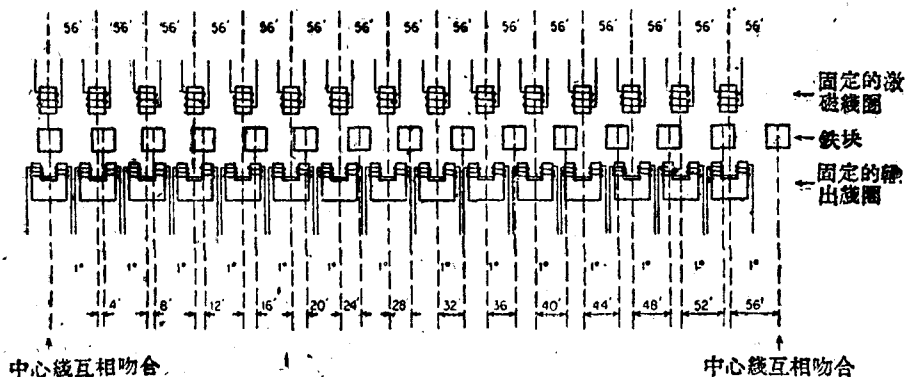


圖 8 Cleveland Instrument 公司的差动变压器。

穿孔卡或 8 个通道穿孔带上，利用二进—十进电碼和多級十进开关儲存这些信号。100°、10°、1° 及 10' 选择器开关在电桥綫路一臂上产生电阻模拟，邻近一个臂是繞在轉动工作台的 360° 电位計上。当这些电阻不等时，电桥即产生誤差訊号电压，經直流放大器控制伺服电机，进行粗定位。这个系統在直角座标中控制时，其分辨率 ± 0.0001 吋。

Topp Industries 公司所用的步进电机系統与 Teller (見本書第 16 頁) 系統相似。圖 9 是数字操作的測量系統。来自磁带的脉冲交替地送入步进电机相反的極中，每个脉冲轉动 9°。因此使比較螺栓轉动，从而移动調制鋼塊和产生差动变压器的不平衡。由不平衡所引起的信号促使伺服电动机轉动絲杠，移动工作台和重新調整鋼塊中心。每一脉冲工作台移动 0.0002 吋。

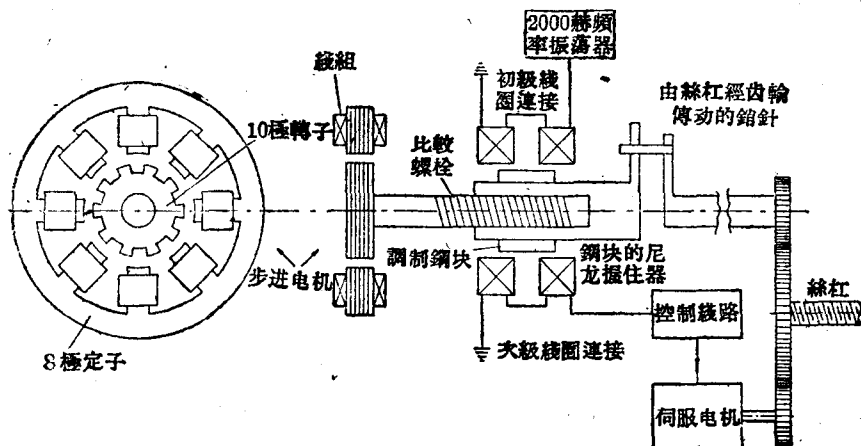


圖 9 Topp Industries 公司用差动变压器和步进电机的定位控制系统布置圖。

5. 測量棒系統

度量長度标准有两个基本形式：直綫标准(line standard)和塊規标准(end standard)，如把数字控制的測量棒系統分为相同的范畴是很方便的。这样，Fosdick 和 Schwartzkopff 是屬於使用塊規标准，而 B. T. H (British Thomson-Houston) 和 Pratt & Whitney 則屬使用直綫标准的电子当量，以电磁头电的方法来檢測而不是用度量学中显微鏡光学的方法。所

有这些方法都能达到1级精度。

Fosdick 和 Schwartzkopff 系统中, 蓝图尺寸可简单地直接读数鼓形盘上规定, 它包括装有量棒转塔组的六个盘, 在一个转塔中有相互不等的九个量棒。假定总的轴长是100吋, 第一个转塔中量棒长为10吋、20吋、30吋等, 在第二个转塔中, 量棒长度自1到9吋变化(其增加量为1吋), 其他9个转塔中棒的增加量分别为0.1、0.01、0.001和0.0001吋。

在使用鼓上的盘时, 操作工人顺次转动每一个转塔, 相应转塔中的一根量棒进入到槽中。当所有的盘都是按蓝图的尺寸被规定时, 进入槽中六根棒的总长度即正确地等于此尺寸。这时工作台开始动作。在运动中工作台突出端碰撞量棒, 直至槽中的六个量棒到首尾相接之前, 每个转塔总是顺次地滑动着。量棒首尾相接后, 其另一端与极限开关相碰, 工作台即被正确地停在所需要的位置上, 其精确度为 ± 0.0001 吋。其控制系统的方框图如图10所示。

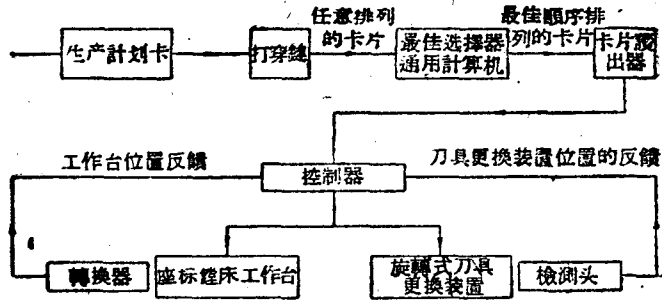


图10 Fosdick测量棒控制系统方框图。

B. T. H. 系统的测量棒由一组独立的长度为一吋的单元所构成, 每一单元上钻有 $3/4$ 吋直径的孔, 为了获得平滑的表面, 孔中装入非磁性的黄铜塞块。Pratt & Whitney 系统的主测量棒装在工作台下面, 是由一时间隔中铣磨出 $1/2$ 吋凹槽的许多单元组成, 棒的全长底累积误差仅为0.00002吋。

上述两个系统中, 定位到吋的长度是用测量棒和电磁头来实现。电磁头产生控制系统用的偏差电压, 直到它与黄铜塞块之一的中心排列到一致的位置时为止。吋的小数或分数部分, 两

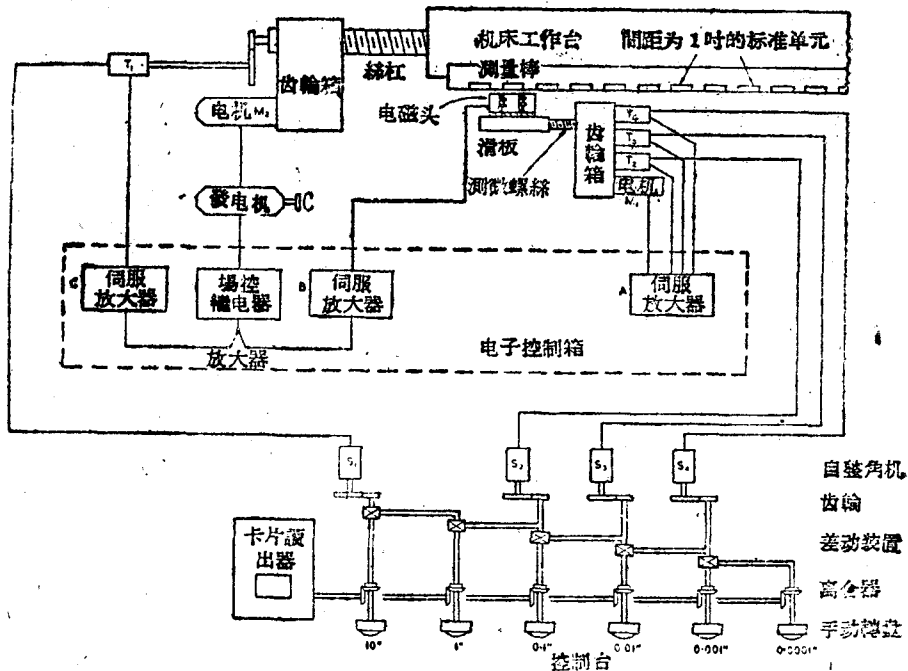


图11 B. T. H. 控制系统方框图。

个系统中都是按需要的分数值用精密千分螺絲移动检测头而获得的。

圖 11 为 B. T. H. 系統的方框圖，其所需的座标可由六个刻度盘加以規定，輸入自整角机 S_1, S_2, S_3 及 S_4 通过适当齿輪嚙合而轉动，并和相应的輸出自整角机 T_1, T_2, T_3 及 T_4 共同給出偏差信号。小数的尺寸 (<1 吋) 是由 S_2, S_3 及 S_4 的軸旋轉來規定，它們使得伺服放大器 A 控制电动机 M_1 ，直到 S_2-T_2, S_3-T_3 及 S_4-T_4 排列到一致的位置。再由精密千分螺絲經所需的小数尺寸齿輪改变电磁装置的位置。

所需座标的整数部分 (>1 吋) 是轉动自整角机 S_1 来实现，它还和嚙合到絲杠去的自整角机 T_1 相連接。由 S_1-T_1 产生的偏差信号控制伺服放大器 C，用电机 M_2 驱动工作台使达到所需位置 0.2 吋范围内。移动速度为 120 吋/分，直至最后一吋时速度即行漸減。此时， M_2 的控制經伺服放大器 B 轉換到电磁头来进行，电磁头送出的控制信号驱动 M_2 ，而使电磁头的極与其前面测量棒上最近一个孔的位置一致。

Pratt & Whitney 系統的方框圖 (圖 12) 中可見是用十进制穿孔帶給出信号，座标能用手动的十位开关加以規定。粗精定位都有数字和模拟轉換器，用电位計完成工作台絲杠和测量絲杠的轉角反饋。为了精定位，將吋的小数 (<1 吋) 模拟电压和千分絲杠上的电位計的反饋电压相比較，所产生的誤差电压控制驱动千分絲杠的伺服电机。

6. 光柵系統

最典型的是用在鑽床上的 Ferranti 繞射光柵系統。确定工作台位置的度量元件是有一定数量綫条的两塊光柵，在一塊光柵与另一塊稍有偏斜并作相对运动时，則产生沿刻綫方向上下移动的明暗波紋，用光电管在極小的一个固定区域内作为感受元件，即产生电脉冲。如圖 13 所示光柵移动 1 格产生二个脉冲。每吋有 5000 条刻綫时，則分辨率可达 0.0001 吋。为了鑒別方向，可在波紋半波長的二点上同时用光电

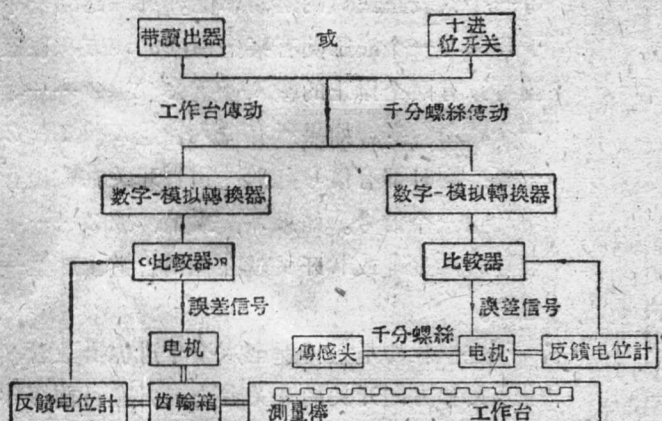


圖 12 Pratt & Whitney 定位系統方框圖。

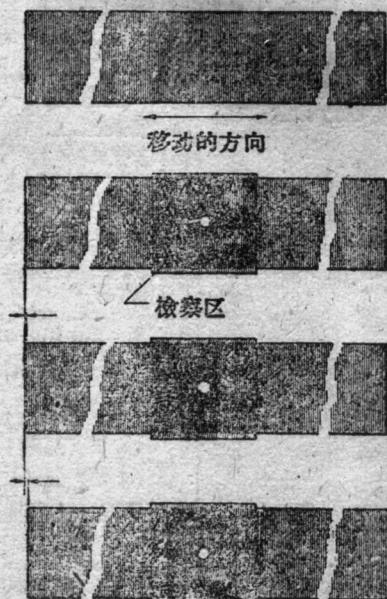


圖 13 繞射光柵波紋的形成。

管进行檢測 (用二相鑒別法)。(其詳細介紹，請參看以下“反饋方法”一节)

Brush Electrical Engineering 公司的繞射光柵的系統不用直流放大器，而利用倍增頻率的方法，能够得出比光柵上刻綫間隔更好的分辨率。这个系統利用了三塊光柵，其中一塊是把綫条刻在以恒定角速度旋轉的鼓輪圓周上。

圖14为其示意图。鼓輪A的寬度較其他兩塊光柵B和C的總寬度要寬些。光柵B長度只几吋，對鼓輪講，它處於相對靜止狀態；光柵C要比被控制的行程略長，並與鼓輪A作相對運動。三塊光柵相互之間微有傾斜，並具有同一光源E。由於需要計算兩個波紋，故採用了2個光電二極管。

透過光柵B的光線，在鼓輪A的切點處形成波紋，其頻率取決於鼓輪A的圓周速度和光柵刻線的間隔。結果，從光電二極管中產生近似的正弦形的輸出電壓，並作為基準電壓。光柵C所產生的波紋也使它的光電二極管產生一個正弦形輸出電壓，但是當工作台開始移動時，這個電壓相對基準電壓逐漸產生相移。在相對移動等於繞射綫間隔時，所產生的相移是 180° 。

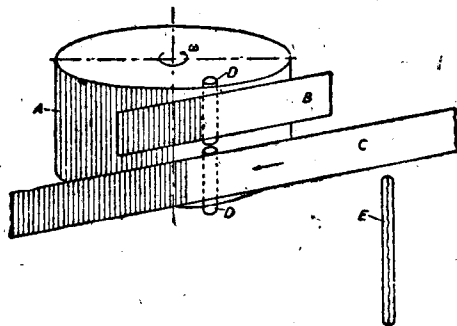


圖14 Brush定位系統光學元件布置示意图。

由測量頭內的兩個光電二極管所輸出的電壓供給控制裝置（見圖15）。這些電壓需要加以放大，並將正弦形轉換為方形。從光柵C相對應的光電二極管給出的電壓通過一個微分線路，於是就使每個方形波的前緣和後緣產生符號相反的脈沖。光柵B對應的二極管所產生的基準電壓，

通過波形成發生器，在這裡用電子學的方法使在每周期內產生四個方形脈沖（A）、（B）、（C）和（D）（ 90° 間隔），實際上提高了系統的分辨率2倍。

這兩個信號送一個反復線路和一個「或」與「和」的開關線路，開關的作用是按設計要求在一定條件下輸出一個正或負的脈沖，而這些脈沖的每一個代表正或負的運動單位。可以認為一個電子開關與一個液壓閥有某些相同的地方，在液壓閥可以有兩個以上的輸入管道X、Y、Z……等和一個輸出管道。如果所有輸入管道X、Y、Z……等，同時都有信號，則「和」開關在輸出管道中產生一個信號。如果X、或Y、或Z……中有信號時，則「或」開關就在輸出管道上產生一個信號。

這些脈沖是被傳送至六個十進位計數管、定位開關和方向開關的開關台上，並在目前多半用開關來確定座標，但今後也有可能使用控制帶控制。

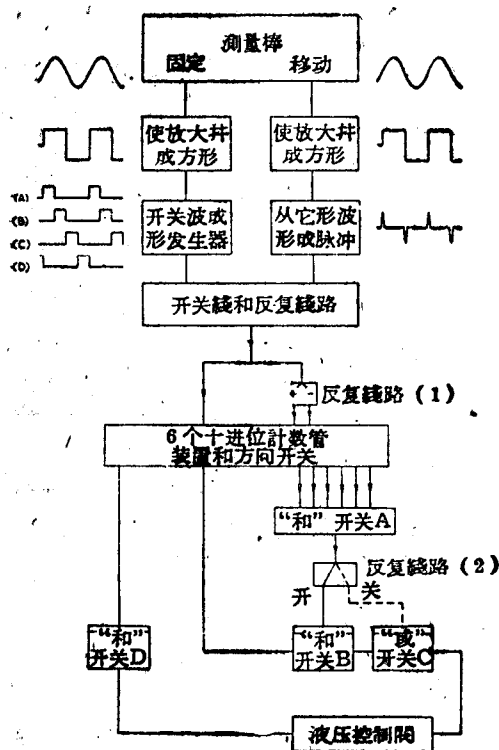


圖15 Brush定位系統的方框圖。

由脈沖的符號來操縱反復電路（1），借這種簡單的方法以確定運動的方向。脈沖通過計數器以後，由開關規定的數字繼續減少，並在到達所需的位置之前的10個數字（一般表示0.010吋），「和」開關A被打開，觸發反復電路（2），接着打開「和」開關B并調節「和」開關D。在這個階段之前，反復電路（2）已經引起「或」開關C通過一定大小的電壓到液壓控制閥上，