



Control

工具機 — 傳動與控制

馬承九 編著

 全華科技圖書股份有限公司 印行

工具機—傳動與控制

馬承九 編著

江苏工业学院图书馆
藏书章



全華科技圖書股份有限公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

工具機：傳動與控制 / 馬承九編著. -- 初版. --

臺北市：全華, 民 87

面；公分

ISBN 957-21-2295-9(平裝)

1. 工具機

446.841

87009961

工具機-傳動與控制

編 著 / 馬 承 九

封面設計 / 楊 昭 琅

發 行 人 / 詹 儀 正

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：25071300 (總機) FAX：25062993

郵撥帳號：0100836-1 號

印 刷 者 / 宏懋打字印刷股份有限公司

登 記 證 / 局版北市業字第〇七〇一號

圖書編號 / 03026

I S B N / 957-21-2295-9

定 價 / 新臺幣 780 元

初版一刷 / 88 年 1 月

版權所有 / 翻印必究

全華網際中心 URL

E-mail

<http://www.chwa.com.tw>

book@msl.chwa.com.tw

自序

民國五十六年(1967)意外的收到從西印度群島寄來的一封信，是徐氏基金會董事長請為代翻譯機械工程方面的書，過不幾天果然從香港寄來三本書，其中一本名稱為 An der Drehbank. 這本書編寫得異常別緻而精采實用，它的內容是一位車床技術工作者所必備的常識，兩年後徐氏基金會出版部在台創立，將這書的譯本也在台印了很多本，據說是洛陽紙貴！基於這本書編寫的啟示，我就想到高級機械工程師是否也需要類似了解工廠實務的書？故而退休後便著手試寫，約於九年前暫時告一段落而停止，現下這本書的內容是已完稿中的三分之一左右，相當於原計劃的五分之一左右。

國立中正大學教授林呈彰先生為多年舊識，在其研究及教課百忙中撥冗偕同數位研究所同學分神分勞，殊多指正，心感熱似，謹此致誠懇之謝意。

書中難免尚有瑕疵，尚祈賜教。

馬承九 謹識

序

隨著科技的進步，工具機製造技術也不斷的創新。而最近幾年國內產業升級，伴隨產品多樣、生產快速和品質優良的需求，相對的工具機研發技術也常被作為一個國家生產力和工業實力的指標。

本書中的主要內容是敘述主軸轉速、傳動裝置、工具機結構、工具機控制及數值控制等要項，是工具機設計很重要的一環。而本書是馬承九教授數十年教學生涯經驗累積之心得，再加上投注了四年多的辛勞編著而成。因此，對此書的發表，也十分的期望其能對國內業界、學界之工具機發展流程，提供一些經驗法則以茲參考。藉此向馬教授對此書所付出之心力與勞力，致上最衷心的敬意。

學生

林呈彰

國立中正大學機械系教授

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。

隨著科技日益進步，工具機製造技術不斷的推陳出新，加上近年來國內產業升級，工具機的研發技術常被視為一個國家生產力的指標。本書作者馬承九教授，將畢生鑽研的工具機實務編成此書，乃國內最具權威的大作，內容包括主軸轉速、傳動裝置、工具機結構、工具機控制及數值控制等要項，是工具機設計很重要的一環。期望此書能對國內業界、學界注入一劑強心針，成為一本大家都需要的工具書。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，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	主軸轉速	1-1
-----	------------	-----

第二章	常用傳動裝置	2-1
-----	--------------	-----

2-1	原動機 (電動機)	2-2
2-2	流體動力機 (無級變速)	2-10
2-3	流體泵浦及動力機 —— 小活塞式	2-25
2-4	齒輪泵浦及動力機	2-38
2-5	機械無級變速原動機	2-44
2-6	兩軸間有級變速及變速箱	2-53
2-7	變速器及連結器	2-75
2-8	軸承及導軌概說	2-105
2-8-1	流體動壓力軸承	2-121
2-8-2	流體靜力軸承 (Hydrostatic Bearing)	2-127
2-8-3	流體動壓力導軌	2-134
2-8-4	流體靜壓力導軌	2-142
2-8-5	空氣動壓、靜壓軸承及導軌	2-158
2-8-6	滾動導軌及滾動軸承	2-163

第三章	流體傳動系統	3-1
-----	--------------	-----

3-1	流體傳動系統計算 —— 壓力損失	3-2
-----	------------------------	-----

3-2	流體流動損失	3-3
3-3	流體傳動系統計算 —— 漏油損失	3-17
3-4	流體傳動系統計算 —— 計算和電計算之類比	3-25
3-5	流體傳動系統計算 —— 計算圖線	3-29
3-6	流體傳動系統計算 —— 流體作用之動壓力	3-31
3-7	流體傳動系統計算 —— 水鎚及起動和停止速度	3-33
3-8	流體傳動系統計算 —— 作用速度及衝程	3-38
3-9	流體傳動系統計算 —— 旋轉流體馬達 (流體動力機) 暫態變化	3-45
3-10	工具機流體傳動系統 —— 往復直線運動式	3-55
3-11	流體傳動系統所用閥及控制	3-68

第四章 工具機結構 4-1

4-1	工具機之靜韌性 (靜剛性) 及柔性	4-2
4-2	工具機之動韌性及動柔性	4-46
4-3	工具機安定性例舉	4-68
4-4	阻尼及阻尼機構	4-110
4-5	工具機噪音	4-129
4-6	工具機基礎及按裝調整	4-146

第五章 工具機控制 5-1

5-1	概 說	5-2
5-2	控制內涵	5-8
5-3	液體位置控制	5-18
5-4	靠模控制分析	5-39
5-5	靠模系統的動態分析	5-45
5-6	靠模機構之實驗例舉	5-66

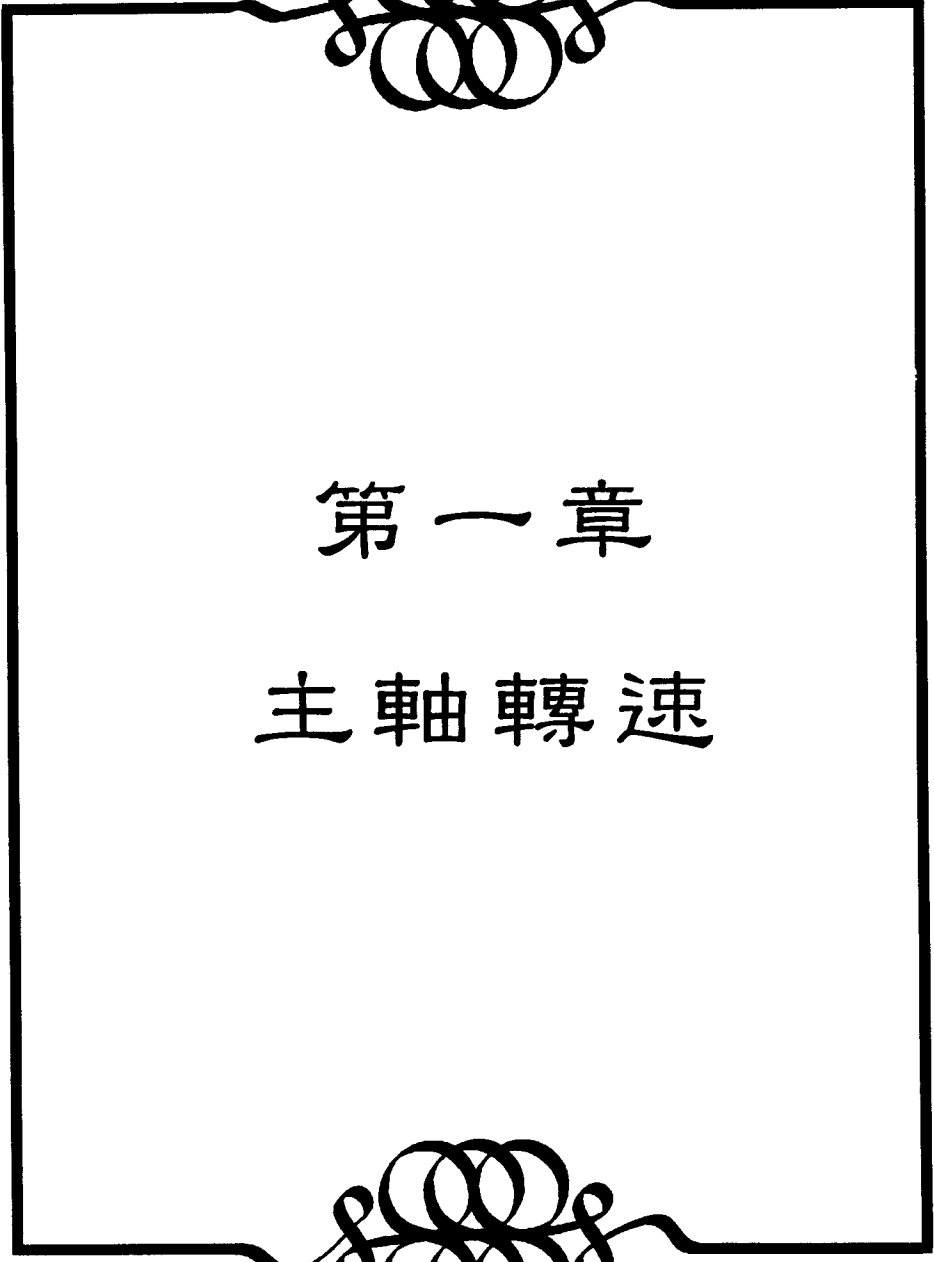
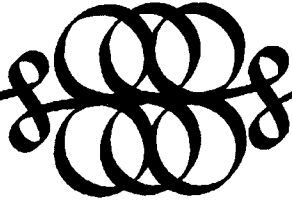
5-7 工具機油壓傳動實例	5-73
---------------------	------

第六章 電算機概論 6-1

6-1 二進位及其他進位數字制度	6-2
6-2 寶林代數及寶林函數	6-14
6-3 電算機基本元件	6-61
6-3-1 正反器	62
6-3-2 緩衝暫存器	71
6-3-3 計數器	75
6-3-4 記憶體	79
6-3-5 暫存器轉換	85
6-4 類比電算機簡介	6-107
6-5 數值控制之基本概念	6-123

第七章 數值控制.....7-1

7-1 數值控制	7-2
7-2 數值控制機械	7-24
7-3 數值控制 (NC) 工具機設計要點	7-50
7-4 數值控制工具機之輸入及輸出	7-57
7-5 數字控制加工程式 (Numerical Control Programming)	7-69
7-6 數字控制 NC 數學 (Mathematics for Numerical Control)	7-95
7-7 隨機控制	7-119



第一章

主軸轉速

工具機的工作主軸轉速除單能工具機者外都應該不止具備一個轉速，換句話說工作主軸的傳動機構應有可變換速度的機構以供應用。一般而言，主軸變速的方式可區分為兩種。一種是(1)有限數的變速和(2)無限數的變速，也就是有無窮多個的變速。先討論第一種中有限級變速的各個大小變速是怎樣訂定的。

每部工具機在設計時候首先決定它是適用在什麼場合。也就是首先決定用來製造工作的大小，工件的材料是什麼，所用的刀具材料是什麼，作什麼樣的加工方式及加工製造的條件是什麼及工作的形狀為何。在這些條件都知道之後便能依製造的試驗數據可以選定所應該而可能適用的切削速度或加工速度的最有值 $V_{\max}$ ，及最低值 $V_{\min}$ 。如果工作或工具的最大直徑 $d_{\max}$ 及最小直徑 $d_{\min}$ 為已知。於是可依圖形加以切削速度基本公式能計算這工具機應有的最高轉速 $n_{\max}$ 及最低轉速 $n_{\min}$ 分別為

$$n_{\max} = 1000V_{\min}/\pi d_{\max} \quad \text{轉 / 分鐘}$$

$$n_{\min} = 1000V_{\max}/\pi d_{\min} \quad \text{轉 / 分鐘}$$

以上兩式切削速度 V 的單位是每分鐘公尺， d 的單位是公厘。在 $n_{\max}$ 及 $n_{\min}$ 兩極限的中本應還有很多的轉速 n 介乎兩者之間，即能適應很多的介乎 $V_{\max}$ 及 $V_{\min}$ 之間和介乎 $d_{\max}$ 及 $d_{\min}$ 之間的情形。如果設計時僅取有限數的 n 便是上述的第一種有限變速。如若設計時使之包羅兩極限間那無窮多的轉速 n ，便是上述第二種的無限數變速，也稱之為無級變速。

從以上兩公式看在某一定轉速時切削速度 V 和工件或工具直徑 d 成直線成正。若以 V 及 d 為豎橫兩正工作標則可繪出相當於諸多轉速 n 的直線，這諸多直線都是以座標原點成輻射狀。按切削原理祇要工件和工具的條件確定而對某種加工方式而言，切削速度 V 應在各種工件或工具直徑情形下而維持常數的。即 $V-d$ 座標圖中應該是一條平行於 d 軸的水平直線可代表某一種加工條件的。為達到這種理想情形在加工期間如果有工件直徑隨時發生大小的變化，必須相對的隨時改變工件的轉速。這便要使用第二種無級變速了。實際上便須採用變速電動機或液體馬達，容後討論。

如若不是採用無級變速，而是採取有限變速或稱有級變速，即常見的利用齒輪變速。那有限級的各種轉速如何決定呢？一般有三種方法：

- (1) 各相鄰轉速間成幾何級數 (GEOMETRIC PROGRESS)。
- (2) 各相鄰轉速間成數學級數 (ARITHMETIC PROGRESS)。
- (3) 各相鄰轉速間成對數級數 (LOGARITHMIC PROGRESS)。

以第一種方法而論，設採 n 個變速，即以 $n_{\max}$ 為 n_n 代表，僅次於它的轉速為 n_{n-1} ，諸如此類推可有 $n_{n-2}, n_{n-3}, \dots$ 等。設幾何級數的公比 φ 為常數，即

$$\varphi = \frac{n_n}{n_{n-1}} = \frac{n_{n-1}}{n_{n-2}} = \frac{n_{n-2}}{n_{n-3}} \dots$$

此即 $n_{n-1} = n_n / \varphi, n_{n-2} = n_{n-1} / \varphi, n_{n-3} = n_{n-2} / \varphi \dots$

由是可得 $\varphi = \sqrt[n-1]{n_{\max}/n_{\min}} \cdot n_{\max}/n_{\min} = R$ 通稱之為主軸轉速限界比 (SPEED RANGE RATIO)。在已知 $n_{\max}$ 及 $n_{\min}$ 情形下如已知級數 n 便能從上式求出等比級數的比值 φ ，反而言之如果先選定比值 φ 而可從上式決定應有的變速數 n 。為易於調配變速齒輪起見， φ 值都定有國家標準。常用的有 $\varphi = 1.12, 1.25, 1.4, 1.6$ 及 2 五種。於是可知 (a) 在選定 φ 值後所用的變速數 n 將依轉速限界比 R 來決定。 R 值愈大 n 也就愈大，(b) 在相同 R 值時所選 φ 值愈小則 n 值愈大，所投資於變速機構的也便愈多。(c) 所採用的級數 n 愈多愈近於無級變速，而近於理想的等切削速度加工。依以往所有經驗一般車床的 R 多在 50 到 100 之間，所相當的 n 在 16 到 18 之間，鉋床的 R 多在 6 到 10 之間，它所相當的 n 在 6 到 9 之間。銑床及鑽床的 R 可高及 400，它所相當的 n 可高到 36。憑此經驗便在已知 R 值後可決定如何選用 φ 值。再為 n 值必須為整數而同時 φ 值又須合乎國家標準，所以不得不將 R 稍加修正！即將 $n_{\max}$ 或 $n_{\min}$ 稍加更改！而後可依上示公式可分別計算出所用各轉速的確實數值 $n_n, n_{n-1}, n_{n-2}, n_{n-3}, \dots$ 等。待將這多個轉速值都計算求得之後，便可繪出如第 1-1-2 圖所示的多條輻射直線。

以實例來說如變速數為 10，則可得 $n_{10}, n_9, n_8, n_7, \dots, n_1$ 等十條輻射線。設所應該採用的切削速度為 v_u 。則在第 1-1-1 圖中 v_u 水平線可與那十條輻射線相交十點。這十點都代表相同的切削速度分別適應於不同的工件

1-4 工具機——傳動與控制

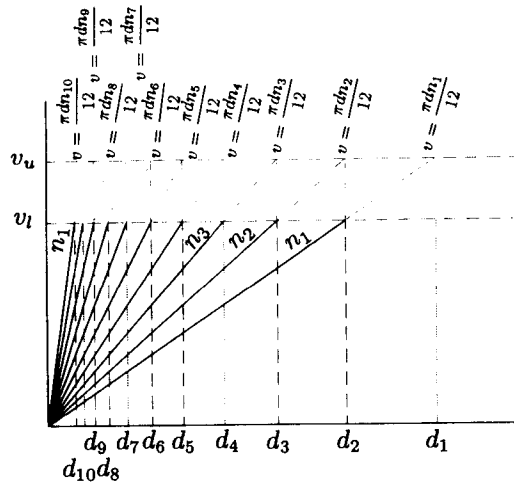


圖 1-1-1 (Koenigsberger)

或工具直徑 $d_{10}, d_9, \dots, d_1$ 等。換句話說這工具機的主軸轉速僅能有這十點的情形合乎理想！舉例說如工件或工具直徑 d 介乎 d_1 和 d_2 之間便不能合乎理想。如果採用較高的轉速 n_2 ，便會使切削速度超出理想切削速度，便會使刀具壽命減短，便可能使加工中工件和工具間發生不理想的顫動，因而工件表面光度及尺寸精度不能達到理想，甚而至於可使工具斷壞或因熱而工具損壞。所以不使用 n_2 。在這情形下便不得不使用僅可使用的 n_1 。這樣使切削速度便低於理想的切削速度 v_u 。於是加工時間因而加長，也許工件表面光度稍有降低，既不經濟又不能獲得理想的工作表面光度。徒呼奈何而已！這種情形為第 1-1-2 圖的各重線的鋸齒形折線所示。連這十個鋸齒線的最低點很幸運的所得為一條水平直線。這直線代表低於理想切削速度 v_u 的另一切削速度 v_l 。即最低切削速度。很幸運的 v_u 和 v_l 之差為常數。如果 v_u 和 v_l 相差很大，站在切削加工立場而言這工具機便是比較壞的工具機，所以一部有限變速的工具機可以拿這鋸齒線作為評判它好壞的依據。如若將變速級數改為 20，便有 20 條輻射直線代表相當的轉速。仍以第 1-1-2 圖的情形而論則輻射直線的間隔變小， v_u 和 v_l 的差雖也變小了。它又變為較為理想的工具機，可是用於變速機構的費用卻增加而且體積及重量也加大。由是可知級數 n 及 φ 都須有相當限界。

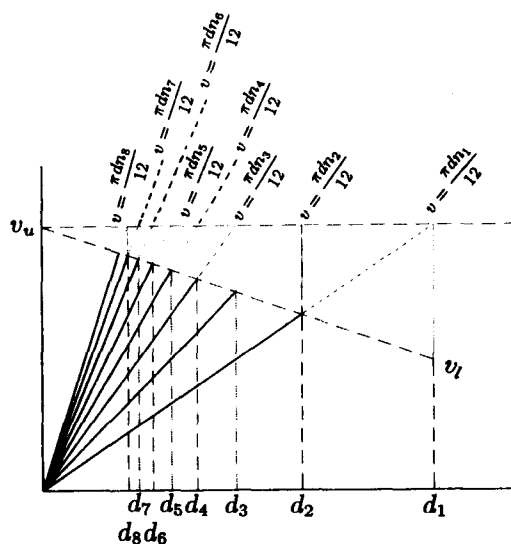


圖 1-1-2 (koenigsberger)

因為在這種方法中每相鄰兩轉速成一定的比例，而相嚙的一對齒輪速也可以成一定的比例，所以這種方法適合於用齒輪來變速，故而是較為常見。進而言之在各種不同 φ 值時它的轉速也可以予以標準化，下表 1-1-1 所列即為常見的標準轉速。

第二種安排主軸轉速的方法即使各相鄰兩轉速的差 e 為常數。即已知 $n_{\max}$, $n_{\min}$ 及變速級數 n 時

$$e = \frac{(n_{\max} - n_{\min})}{(n - 1)}$$

或可書出 $n_n = n_{\max}$, $n_{n-1} = n_n - e$, $n_{n-2} = n_n - 2e$, $\dots\dots$ 等。由是在已知 $n_{\max}$, $n_{\min}$ 及選定 e 後可求得 n ，或先設定 n 而後求得 e ，而後所有各轉速 n_{n-1} , n_{n-2} , n_{n-3} , $\dots\dots$ 等都能依次求得。舉實例而言如所定變速級數為 8 及理想切削速度為 v_u ，則可繪出如第 1-1-2 圖所示之 8 條輻直線及 v_u 和它們相交的 8 個點。為避免實際所用的切削速度不超出 v_u 起見。依同理也能求得圖中八鋸齒折線。將鋸齒下端各點相連會成為直線。但為一傾斜直線。即理想切削速度 v_u 和最低切削速度 v_l 之差在各階段不為常數。在工具

英華字典

[illegible]

取自於 G Schlesniger : Die werkzeugmaschine Abb. 90.

機較低轉速區域 v_u 和 v_l 之差較在高速區域為大，而在轉高轉速區域它們兩者的差較小，甚而至於小到比使用幾何級數的情形還小，可知這第二種方法安排主軸各轉速未嘗不可適用在工具機上，可是實際上用什麼機構去執行這種方法所安排的各轉速頗有問題。因為不能使用普通相對嚙的對齒輪，不能使用連桿機構，也極難使用變速電動機，祇有使用周轉齒輪系。可是周轉齒輪系的機構較為複雜而且所能達到的速限又極小。所以這種安排主軸轉速的方法實質上極難應用。

第三種方法去安排主軸轉速成對數級數。還是徐來辛格先生五十年前所提議，他假設 v_u/v_l 為工件或工具直徑 d 的函數，並設定 v_u 為常數。因 $v_u = \pi d_u/1000$ 。故而即無形中假設工件或工具均最小直徑 d_u 為常數。換言之 $l_u v_u$ 及 $l_u d_u$ 都為常數。由是可知工件或工具直徑愈大則所相當的切削速度也愈高，例如在已知 $n_{\max}$ 及 $n_{\min}$ 分別為 560 及 20 而用十級變速時，它的各項轉速分別為 $n_{\min} = 20, n_2 = 24$ ，及 $n = 29.3, = 36.5, = 47.1, = 63, = 89, = 137, = 241$ 及 560。第 1-1-3 圖所示為採用上級變速的鋸齒形圖線。可見在工件或工具直徑 d 較大及轉速較低時 v_u 和 v_l 之差較小。由是可知這種安排主軸轉速的方法較適用於低轉速及工件或工具直徑較大的場合。恰

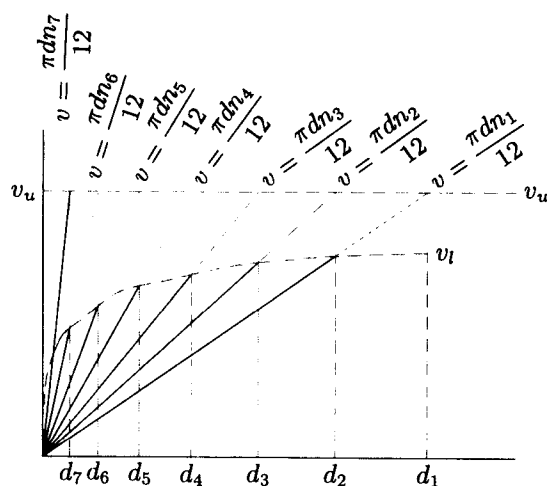


圖 1-1-3 (koenigsberger)

巧和第二種方法相反(第二種方法適用於工件或工具直徑較小的場合)。可是實際上 v_u/v_l 和直徑不成直線函數時便很難用一般對對相嚙的齒輪作變速機構，實行起來還有相當的困難，綜合以上三種方法仍第一種方法較為實用。第一種方法各種 φ 值在各種不同速限比 R 情形下對變速級數以關係如第 1-1-4 圖所示。較為明顯易見同速限比條件因採用公比 φ 的不同而如何影響必用此級數 n 。

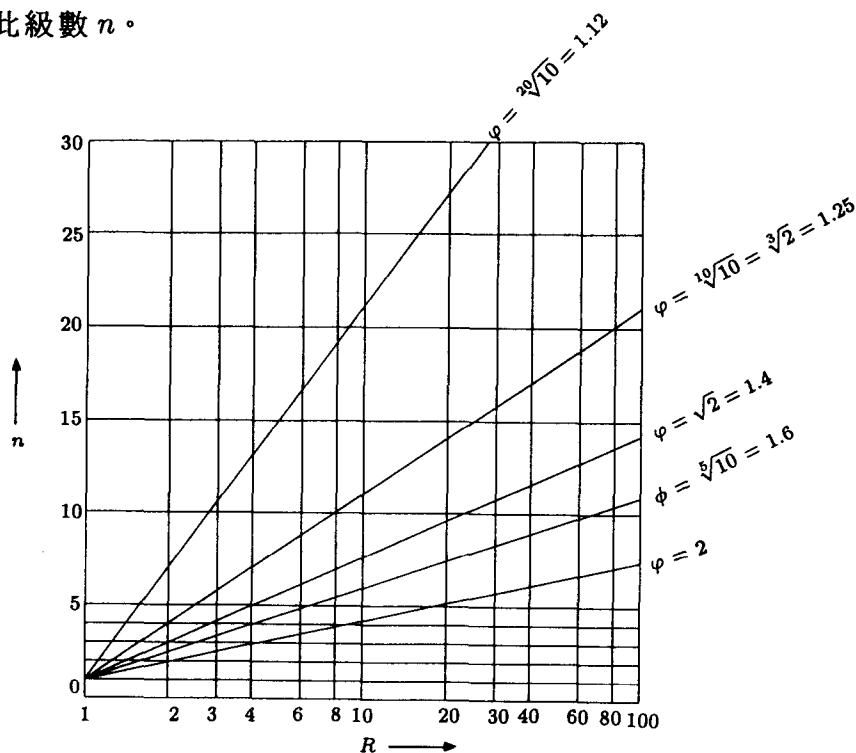


圖 1-1-4 (Koenigsberger)