

新版

移位齒輪

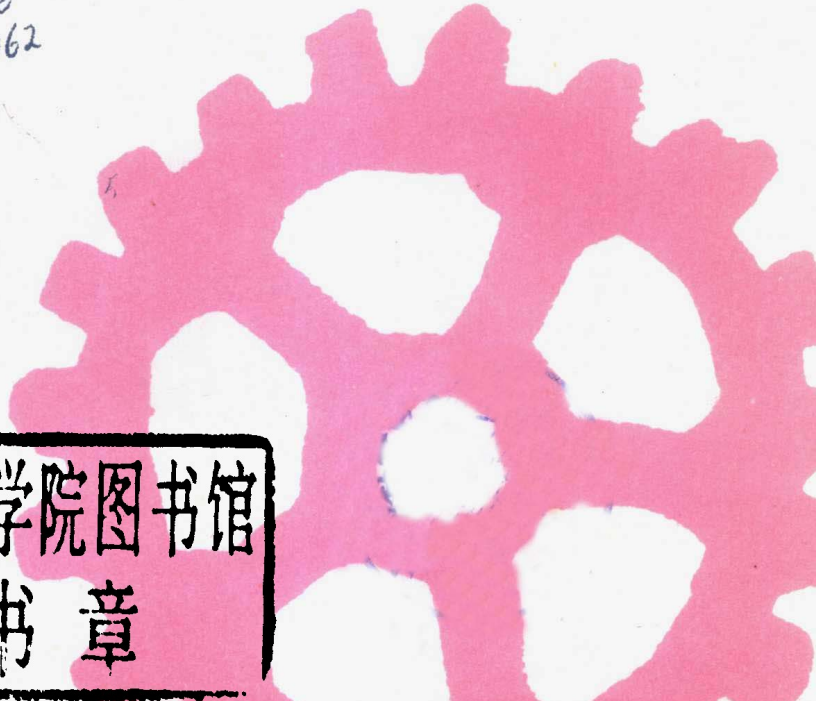
中田 秀著／王龍祥譯



547734

5756
7/5062

5756
7/5062



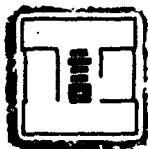
江苏工业学院图书馆
藏书章

新版

移位齒輪

中田 秀著 / 王龍祥譯





新版移位齒輪 (平裝)

譯者：王龍祥◇特價一一〇元

出版者□正言出版社□台南市衛民街三十一號□郵政劃撥儲金帳戶三一六一四號□電話(〇六二)二五二一五五／六號□發行者□正言出版社□發行人□王餘安□本社業經行政院新聞局核准登記□登記字號局版台業第〇四〇七號□印刷者□美光美術印刷廠□台南市塩埕七號

66.11.初版

序

1935 年左右，佐佐木重雄教授與執友故寒川武君一起在日本東京工業大學工作實驗室，研究移位齒輪的理論。當時本人亦在海老原敬吉教授的領導下，於同一實驗室，進行齒輪的測定以及齒輪動力學方面的研究。開始之時，總覺得移位理論等齒形論對本身的研究，並無直接的關係。但是，後來由於實驗的必要，必須使用好幾種類型的齒輪進行實驗，偏偏手邊之齒輪切削刀的種類又非常有限，基於這箇原故，迫使本人不得不潛心研究移位齒輪的理論，以便利用少數的刀具切削出種種不同類型的齒輪。至今為止，仍深深感謝已故寒川武君的幫助。其後，轉到精密機械研究所工作，在佐佐木所長的領導下，又繼續研究齒輪的運轉精度，接著並進一步研究一些求解未知的齒輪設計常數時，所必要使用到的齒輪解析理論。因此，移位齒輪理論研究的必要性也與日俱增。在這段期間內，為使用上的方便，本人自己作了一些隨身的筆記，以便隨時引用。現在，更進一步將這些筆記整理成更清晰的表格並作詳細的說明，以便使現場的工作者也能引用。

普通所稱的標準齒輪，雖然計算十分簡單，可惜其齒形常常有一些難以消滅的缺點。譬如，齒數較少的齒輪常會引起深切就是其缺點之一。為避免深切，已有一些標準化的長短齒 (Long and short addendum) 齒輪出現，這是其補救方法之一。

本來，一對齒輪應依其使用目的設計出它的齒形，然後設計出切削這些齒輪所需要的刀具，這才是齒輪大量生產的道路。這方面，成瀨政男教授具有劃時代的功績。不過，有些工廠常不需大量生產某些同一齒類的齒輪，如此若說每製作一組不同類型的齒輪就要換一把新的刀具，不僅勞師動衆又不合乎經濟原則。尤其是一些修理工場，只要有一整套的標準規格刀具就已是相當難得了，更不用說擁有各種五

花八門的切削刀具。而且，也可能有些工廠和本人自身所作的研究工作相類似，必須製作種種特殊效果與特殊類型的齒輪，此時移位理論的研究就為不可或缺的了。舉個例來說，有些齒輪箱，齒速比既需要達到某一定值，軸間距離又不容許變動，此時沒有移位齒輪就無法辦到了。

利用傳統的標準刀具運用移位齒切方法，切削出種種不同的移位齒輪對，以滿足某些使用場合所需要的中心距離、接觸率、滑動率與齒輪強度等等，乃本人的主張之一。這一點與往來各家文獻所談的移位齒輪齒切法多多少少有點差異。當然，使用標準刀具切削移位齒輪時，齒輪的設計必定不能像使用特等刀具切削特等齒輪那麼自由，不過與標準齒輪相比，其自由度堪稱具天壤之別。

為使上述的移位方法達到實用化，本書盡可能製作出種種必要的圖表與數表，以便利計算。尤其是移位齒輪基礎計算上相當需要的 $B(\alpha_b)$ 與 $B_V(\alpha_b)$ 函數，其數表作得更是詳盡。因此，移位方面的計算也不必像以前一樣，必需使用高位數的三角函數表及特殊漸開線函數，利用本書只要一把 20 吋的計算尺以及算盤就十分夠用了。使齒切削的工作者也能利用本書製作移位齒輪乃本人由衷的希望。

又，本書中移位理論的推導並不以節圓作基準（往來的作法），而化之以基圓。本來，漸開線齒形就是基圓推演出來的漸開線曲線，用它來作移位理論的推導基準不僅比以往的方法自然，而且理論的推演也較為統一，這又是本人的另一主張。

研讀本書之時，如果想知道一些求解未知之齒輪設計常數所需要的齒輪解析理論時，請參閱拙著，岩波機械工學講座：齒輪（測定與檢查）。想知道一般性移位齒切法的詳細情形、齒形與齒輪運轉精度、移位齒輪計算尺的詳細情形時，請參照最近東京工大發行之東京工業大學學報 1949 年 1 號（精密機械研究所報 1 號）拙著，「提高齒輪運轉精度時，漸開線正齒輪的齒形選擇以及其工作法的研究」。

本書執筆所參閱的參考書計有，故 A. Schiebel 教授著的 Zahnrad, I, II 卷，數表的計算方面引用了 E. Buckingham 教授著：Manual of Gear Design, I (Mathematical table)。於此，特地向本文中所引用之論文的作者們，表示由衷的謝意。

回顧以往，本書乃本人 15 年來對這問題的研究所獲得的結論，本書也是本人過去日子的一個慰藉。不過，書中獨斷之處不在少數，若說它為正確公認標準尚覺得萬分慚愧。但盼先賢後進能不吝加以指正，以使本書能在不久的將來趨向更完善更完美的地步。

佐佐木重雄所長激起我對移位齒輪研究的開端，又常常殷勤懇切的指導；海老原敬吉教授對本人的研究寄與無限的關心，同時又對本書的出版深加摯意的關懷。這兩位老先生的美意深叫我難忘。此外，竊屈日本學術振興會第 29 小委員會齒輪分科會之末席以來，深受諸委員，尤其是成瀨政男教授、和栗明教授的殷殷指教，於此特致萬分的謝意。以前精密機械研究所的職員內田（舊姓吉野）晴太郎、中井貞子、故高野實、櫻田初男、江本（舊姓加藤）曉子、以及現在的川井貞子諸氏會多方地協助本人的研究；山本晃助教授、淺技敏夫助教會給我種種的助言；本人的摯友石川二郎助教會不惜給與許多助言與協助，於此也一一向以上諸位先生致深沈的謝意。

園池製作所社長小田碧氏、工場長名取五郎氏以及扶桑金屬工業株式會社技師長永島菊三郎博士等則在研究資料方面提供了寶貴的援助，在此也深致謝意。

最後，感謝埋頭整理本書原稿的內田功氏以及誠文堂新光社編集會諸氏懇切的幫忙。

又，多年來辛苦負擔本人教育與研究生活的家母，看見本人執筆本身非常之高興，可惜在本書印刷出版之前夕卻不幸逝世了，真是遺憾之至極。

1949 年夏 東京洗足池畔

中 田 孝

新版移位齒輪序（採用JIS記號）

本書的初版正值日本戰敗後混亂疲弊之際，出版事業非常不良，此時能承蒙誠文堂新光社於1949年出版本書，實為本人望外的喜悅亦是榮幸之至。其後，承蒙航空機工學的權威故小川太一郎先生的慫恿，爭取得教育部研究成果發表費用，特將本書譯成英文發表到國外去，對本人來說，這真是一個與海外各齒輪專門學者們研討研究心得與意見的良好機緣。由於這個緣故，很幸運得獲得了美國大學、歐美產業界們有關齒輪之設計方面的講義。研究了這些講義，使我有頓然開通的感覺。

此間，日本工業規格JIS B 1701漸開線齒輪齒形，JIS B 0102齒輪用語，JIS B 0121齒輪記號，JIS B 1752正齒輪以及螺旋齒輪測定方法等的製定陸續完成。這些年來曾數度想依據這些規格，徹徹底底將書中的用語與記號改正過來。不過，不知是幸運還是不幸，本書初版之時所使用的記號已是歐洲方面的記號，而且JIS記號又決定盡可能使用ISO規格的標法。因此，前書的記號仍為可用，本人並未花費太多的精力去作記號的修改。

JIS齒輪記號製定之時，各委員，尤其是藤井康治博士，仙波正莊博士特別全神投入，以致使齒輪記號與註腳的標註方法相當完善。這樣的JIS規格不管拿到世界什麼地方，也都不致有任何含首低頭的感覺。此外，初版之時，移位齒輪的使用尚未普遍。其後，隨著移位齒輪的使用愈來愈普遍，齒輪基礎之漸開線齒輪齒形規格才開始重視移位齒輪，並製定了移位齒輪的齒切方法。

齒輪用語規格及其他方面的規格，自從製定以來到今日已經過數度的修改。至此為止，不管是用語方面或是有關齒輪設計方面的各規格，已都差不多成了定案了。

鑒於這些經過，正想依 JIS 規格改定本書之時，卻又覺得需要添加的地方甚多。而且，20 年來言語已有一些變化，書中有些詞句與用字都必須再作修改；因此想全面改寫本書，唯可能需要相當一段時間。在改寫完成之前，讀者與諸君必會覺得相當不便，在此深感歉疚。

以前，螺旋移位齒輪與斜交齒輪方面雖已發表了嚴密的計算公式，可惜這些計算公式十分複雜，並不實用。為簡化計算程式，也已直覺地利用幾何學近似特性導出一些近似計算式。這些近似計算式與嚴密計算公式間究竟有多少誤差，雖未利用解析原理推導出來，但依據實際的計算值，兩者間的差相當小，因此，實用上使用幾何學性近似公式進行計算並無不可。其後，相當幸運，經由吉本勇博士的大力援助，遂能利用兩角宗晴博士提供的級數展開，將螺旋移位齒輪與斜交齒輪的嚴密計算式演變成近似計算式，並能推斷出兩者間的誤差。推演的結果顯示，近似式的誤差還是非常小，至此為止，螺旋移位齒輪與斜交齒輪的近似計算式就可安心的使用了。

承蒙吉本勇博士的許可，特將其研究成果刊載於本書附錄中，在此特向他表示懇切的敬意與隆厚的謝意。

新版移位齒輪，圖面與照片大部份都已換新，數值計算也全部重新計算過。此間，記號的變更承蒙林國一博士的大力協助，終於順利完成。在此也向他表示無限的感謝。

今日，漸開線移位齒輪與其齒切法已達到「工場之必要常識」的地步，這真是筆者最感欣慰的事。

本書的寫法，體系完整，深入淺出，既使不懂得齒形論基礎原理，也能像研讀齒輪設計時所必需的機構學知識一般，輕鬆地學會。且能將所計算得的結果運用到實際的齒輪切削上。

本書篇幅有限，齒輪強度與精度方面的理論並未收集在書中。要知道這方面的知識時，請參閱與本書有關連的以下二書籍。

中田 孝・石川二郎 著：齒輪傳動，誠文堂新光社

中田 孝 著：齒輪與齒輪的檢查，歐姆社

筆者自東京工業大學退休以來，加入自動控制關係會社，社務非常繁煩。雖說要改版，可是時間相當有限，若說要更除書中的所有錯誤之處，實也不易辦到。各位讀者諸賢若能百忙中抽空給予指正，本人當十分感激。

最後，本人能在東京工業大學研究齒輪方面的問題，屢蒙同大學精密工學研究所各同仁與諸學兄坦誠相助，實是感激之至。

1971年春 多摩川的寓居

中 田 孝

增 版 序

1971年，將舊版「移位齒輪」依 JIS 記號全面改定成新版「移位齒輪」之後，每次再版之時都盡可能訂正書中錯誤之所。直到今日為止，偶而也查覺到書中錯誤之所，因此這次也將留意到的地方改正過來。自舊版「移位齒輪」出書以來，已有 27 年了。經過這段漫長的歲月，本書仍受各界歡迎與採用，實為本人最榮幸之事。

第 3 版發行之時，鑒於最近掌上電子計算機十分普及，特地將利用電子計算機計算漸開線函數、極漸開線函數的程式添加於書後附錄中。同時，也在記號 P-4 欄裏添加最近的參考文獻。

又，最近有時得用英文撰寫移位齒輪的報告，筆者往來一直使用自己命名的 Involute Profile Shifted Gears 作為移位齒輪的英文名稱。英國的 H.E.Merritt 博士過去曾給本人許多研究上的教益與激勵，他認為上記的英文用語在文法上並沒不妥之處。而且，後來該博士在執筆著書之時，曾寫信問我是否可將該用語使用於該書中。我立即寫信告訴他這是本人最感榮幸的事。H.E.Merritt 博士最新出版的書籍的確使用了該用語，並且陳述了以上的事情，實在是感激之極。

。

1976 年 盛夏 多摩川的書齋

中 田 孝

譯者序

自古以來齒輪一直是機械的主要構成元件之一。齒輪的使用，由開始的粗略齒形，直到現在，齒形的製作精度愈來愈高，而且移位齒輪的使用也愈來愈廣。

所謂移位齒輪，乃指齒切削時，故意將刀具的基準節線（或稱中心線）挪離受切削齒輪之基準節圓（或稱齒切節圓）一移位置，所切削得的齒輪。齒切削之時之所以要將刀具稍作移位，其原始目的乃在避免小齒數齒輪產生深切（undercut）。後來，經過各界的潛心研究與運用，終於發現移位的運用可達到種種不同的目的。除了防止深切以外，還可增加小齒輪的齒根強度，或平均地使兩齒輪具有相等的強度。另外，接觸率的改善、磨耗量的均衡化、特殊中心距離的需求，以及其他特定條件的需求等皆可因移位的運用而達到目的。

標準齒輪固然具有計算簡便的優點，但是移位齒輪三頭六臂的功夫，則為標準齒輪所望塵莫及。本書第二章裡詳細地介紹了一連串移位齒輪的計算公式，以及所有計算過程。實際切削或設計齒輪之時，可直接引用。

目前國內齒輪的製作仍在萌芽階段，理論基準相當薄弱，可供參考的書籍也非常少。本人深深期望，這本「新版移位齒輪」可幫助齒輪愛好者或齒輪製作者，解決一些一直在暗中摸索的難題。這本中田孝著「新版移位齒輪」，深入淺出，體系完整，頗容易使人了解，為譯者所見有關移位齒輪之計算的最佳參考書籍。

翻譯本書之時，態度嚴謹，並將部份公式的推導過程加入書中，以便利讀者的全盤了解。最後，書中若有錯漏之處，深盼各前輩與後進不吝指教。

編譯者 王龍祥 於安平 1977年5月10日

記 號

- a : 中心距離 (center distance)
- α_b (alpha) : 作用壓力角 (operating pressure angle)
- α_c : 刀具壓力角 (tool pressure angle)
- a_s : 因給予齒面一齒隙 (backlash) 所產生的中心距離增加量 (increase in center distance to give backlash)
- $B(\alpha_b), B_v(\alpha_b)$: 移位齒輪計算上所使用的二箇函數
- β (beta) : 角度, 節圓柱面上的螺旋角 (helix angle)
- β_0 : 基圓柱面上的螺旋角 (base helix angle)
- δ (delta) : 角度, 齒頂圓錐角 (face angle)
- δ, Δ (delta) : 微小量, 微分 (infinitesimal, differential)
- d_{k_1}, d_{k_2} : 齒頂圓直徑 (outside diameter)
- d_{k_c} : 小齒輪型齒削刀的外徑 (outside diameter of pinion cutter)
- d_0 : 基因 (base circle diameter)
- P : 徑節 (diameter pitch)
- d_{r_1}, d_{r_2} : 齒底圓直徑 (diameter of root circle)
- s_m : 跨越齒厚 (displacement over a given number of teeth)
- e : 接觸長度 (length of contact)
- ϵ (epsilon) : 接觸率 (no. of teeth in contact, contact ratio)
- ϵ_n : 標準齒輪的接觸率 (contact ratio of standard gears)
- ϵ_v : 移位齒輪的接觸率 (contact ratio of profile)

shifted gears)

h : 全齒深或刀具吃進量 (whole depth)

η (eta) : 效率 (efficiency)

Θ (theta)

inv : 漸開線函數 (involute function)

i : 齒數比

k : 齒頂隙係數 (coefficient of tip clearance)

κ (kappa)

λ (lambda)

m : 模數 (module)

μ (mu) : 磨擦係數 (coefficient of friction)

n : 每分鐘轉數 (r.p.m.)

ν (nu) ,

ρ : 齒面壓力 (tooth pressure)

π (pai) = 3.1415927 圓周率

$r_b = r$: 作用節圓半徑 (radius of operating pitch circle)

r_g : 基圓半徑 (radius of base circle)

ρ (ro) : 曲率半徑 (radius of curvature) , 密度 (density)

σ , Σ (sigma) : 滑動率 (specific sliding)

c_n : 法線齒隙 (backlash, normal)

s : 圓弧齒厚 (circular tooth thickness)

t : 圓弧節距 (circular pitch)

t_e , t_n : 法線節距 (normal pitch, base pitch)

τ (tau) : 轉距 (torque)

u : 橫向移位係數 (coefficient of tangential profile shift)

x : 移位係數 (coefficient of profile shift)

x_c : 小齒輪型齒削刀的移位係數 (coefficient of profile

shift of pinion cutter)

y : 中心距離增加係數 (coefficient of increase in center distance)

z : 齒數 (number of teeth)

z_c : 小齒輪型齒削刀的齒數 (number of teeth of pinion)

z_0 : 深切界限齒數 (limiting number of teeth against under-cut free)

χ (khi) : 基圓上的齒空部圓心角 (space angle in base circle)

ϕ (phi)

$\Psi(Z)$ (psi) : 接觸率修正函數 (correcting function of contact ratio)

ω, Ω : 角速度 (angular velocity)

UDC 003.62:621 833
JIS B 0121-1961 的縮影

日本工業規格

(1967 認定)

齒輪記號

(→)

| 關 連 事 項 | 註 腳 | 註腳順序 |
|-----------------|--------------|------|
| 節圓方面 | 0 (零) 或無註腳 | 1 |
| 基圓方面 | <i>g</i> | 1 |
| 齒頂或齒冠面方面 | <i>k</i> | 1 |
| 齒根或齒根面方面 | <i>f</i> | 1 |
| 齒底方面 | <i>r</i> | 1 |
| 作用方面 (如作用壓力角) | <i>b</i> | 1 |
| 有效尺寸方面 | <i>e</i> | 1 |
| 齒垂直面方面 | <i>n</i> | 2 |
| 軸垂直面或正面方面 | <i>s</i> | 2 |
| 軸方向或軸平面外端方面 | <i>a</i> | 2 |
| 內端方面 | <i>c</i> | 3 |
| 數字的註腳 | 1 , 2 , 3 …… | 4 |
| 其他註腳 | | 1 |

(→)

| 編 號 | 用 語 | 記 號 |
|-----|--------|------------------|
| 1.1 | 中心距離 | <i>a</i> |
| 1.2 | 節 距 | <i>t</i> |
| 1.3 | 基準節距 | t_0 或 <i>t</i> |
| 1.4 | 正面節距 | <i>t_s</i> |
| 1.5 | 齒垂直面節距 | <i>t_n</i> |

| 編號 | 用語 | 記號 |
|------|------------------|----------|
| 1.6 | 輪方向節距 | t_a |
| 1.7 | 法線節距 | t_e |
| 1.8 | 正面法線節距 | t_{es} |
| 1.9 | 齒垂直法線節距 | t_{en} |
| 1.10 | 全齒高 | h |
| 1.11 | 齒冠高 | h_k |
| 1.12 | 齒根高 | h_f |
| 1.13 | 分卡 (calliper) 齒高 | h_j |
| 1.14 | 有效齒高 | h_e |
| 1.15 | 圓弧齒厚(1) | s |
| 1.16 | 圓弧齒厚(2) | s_e |
| 1.17 | 基圓圓弧齒厚 | s_g |
| 1.18 | 弦齒厚 | s_j |
| 1.19 | 齒空部的寬 | w |
| 1.20 | 齒頂隙 | c_k |
| 1.21 | 圓周方向的間隙 | c_0 |
| 1.22 | 法線方向的間隙 | c_n |
| 1.23 | 齒寬 | b |
| 1.24 | 有效齒寬 | b_e |
| 1.25 | 全齒寬 | b_t |
| 1.26 | 導距 | L |
| 1.27 | 齒的扭轉量 | q |

| 編號 | 用 語 | 記 號 |
|------|----------------|-------------|
| 1.28 | 直 徑 | d |
| 1.29 | 節圓直徑 | d_0 或 d |
| 1.30 | 作用節圓直徑 | d_b |
| 1.31 | 齒頂圓直徑 | d_k |
| 1.32 | 基圓直徑 | d_g |
| 1.33 | 齒底圓直徑 | d_r |
| 1.34 | 半 徑 | r |
| 1.35 | 節圓半徑 | r_0 或 r |
| 1.36 | 作用節圓半徑 | r_b |
| 1.37 | 齒頂圓半徑 | r_k |
| 1.38 | 基圓半徑 | r_g |
| 1.39 | 齒底圓半徑 | r_r |
| 1.40 | 曲率半徑 | ρ |
| 1.41 | 圓錐距離 | R |
| 1.42 | 外端圓錐距離 | R_a |
| 1.43 | 平均圓錐距離 | R_m |
| 1.44 | 內端圓錐距離 | R_i |
| 1.45 | 背圓錐距離 | R_b |
| 1.46 | 背面距離 | A |
| 1.47 | 組立距離 | A_m |
| 1.48 | 偏移 (off set) | E |

註：(1)任意半徑的圓柱面上時

(2)節圓柱面上時