

機構 與 機器 設計

中華民國八十二年十月

行政院新聞局出版登記證
局版台誌字第9132號

10-82

本期要目

- 電腦輔助製圖漫談 \ 姚元彥、鄧昭瑞
- 簡述齒輪發展過程 \ 李少濠、蔡穎堅
- 簡述世界各國齒輪承載能力計算標準 \ 李少濠、蔡穎堅
- 介紹新進會員

發行人：周廣周
出版人：中華民國機構與機器原理學會
出版委員會
理事長：蔡穎堅 總編輯：何應勤
發行所：台北市國立台灣大學機械系739室
聯絡處：高雄市郵政第59-80號信箱
電話：(07) 533-2953

中華民國機構與機器原理學會
高雄市郵政第59-80號信箱
TAIWAN 80424, R.O.C.

621
嘉義縣民雄鄉中正大學機械工程研究所
黃以文先生收

電腦輔助製圖漫談

姚元彥、鄧昭瑞

隨著電腦科技的發展，機械工程領域裡受到劇烈轉變的現象之一即為電腦繪圖之應用。不論是元件設計或是整廠設計，傳統的徒手繪圖方法已逐漸式微；取而代之的是設計者藉著滑鼠、鍵盤、光筆等輸入界面在各類型的電腦輔助製圖的套裝軟體環境下工作。圖面由起草、完成以致於完成除了藉終端機或螢幕的畫面回饋給作圖者外，重要的是所有圖形的資料以適當的資料結構以檔案的方式儲存於記憶體中。而經核可的圖面則由繪圖機以適當的比例繪製於圖紙上做為現場加工之依據。

因應於工業界實用的需求，電腦輔助繪圖之教學也多半列入各大專機械科系的必修課程裡。部份的同學曾為徒手繪圖技術不佳的煩惱或許藉著電腦繪圖的潔淨效果而得到解脫；但伴隨著新科技而來的是高標準要求的繪圖品質。良好的圖面設計不僅是正確的點、線、圓、尺寸等圖形資料，更包括了視圖的佈局清晰，文字與圖形之比例得當等視覺上之美觀因素。因此，如何經由繪圖軟體有效率的產生美觀正確的圖面成為另一種的技術訓練。經驗的累積確實能有效改進繪圖的效率，但除此之外要想成為一位專業的工程師他扮演的角色將不同於單純抄圖的繪圖員。因此在技術的層次上有相當的分野。本文將以個人電腦上使用的 Auto CAD 繪圖軟體為例，討論一些觀念性的問題。

1. 繪圖操作環境的設定與規劃

由於資訊科技的快速發展，除了電腦主機本身的規格可因使用者的需求作不同的選擇外（如 486, 386 工作站等），在周邊設備的選用上更會因為經濟上的考量，與輸出品質的要求等因素，有相當程度的變化，所以一套繪圖軟體會因使用者不同的需求，安裝在不同的機器與周邊設備上，而如何使得我們的繪圖軟體，在現有的規格與配備下，找出最佳的設定，使其能有更簡易的操作或是更高的繪圖效率，將是一位專業工程師必須負責的工作。

一個良好的繪圖操作環境的規劃與設定，不但可以提高整個系統的效率，對於往後電腦系統的擴充與維護都有很大的幫助。以繪圖軟體為例，一個好的設定，可以讓使用者僅需透過幾個簡易的操作步驟，即可順利地

完成一個複雜的繪圖程序；反之，一個缺乏規劃的操作環境，除了造成操作步驟增加的困擾外，操作者也常會因為系統與周邊設備的設定參數無法批配（如記憶體的管理、印表機、繪圖機的設定等）而需要中斷工作來排除問題，這樣不但會造成設備的耗損，也大弧的降低了繪圖的品質與效率，由此我們便可明白繪圖環境的規劃與設定，對於一個繪圖軟體應用上的重要性。

目前 Auto CAD 提供的版本，皆可由 ACAD、MNU 檔載入一個螢幕功能表，繪使用者一個比較方便操作的繪圖輸入人機介面，我們可以藉由修改 ACAD、MNU 的內容，來改善或是加強 Auto CAD 原有的螢幕功能表，當然如果有必要，亦可全部重新編寫一個螢幕功能表，以符合較特殊的需求。本文提出以下幾項要點，可提供專業工程師在修改或編寫螢幕功能表時做為參考：

(1) 可以針對操作者的繪圖習慣、常用指令的偏好做一完整的歸納，統計指令的使用頻率，經過分析與比較後，可將較常使用的指令編排在容易選取的位置，除此之外我們也可以將平時較常使用的一些繪圖步驟，寫成一些巨集指令，再將這些巨集指令編排在功能表之中，如此一來使用者只需從螢幕功能表中選取這些巨集指令，電腦即會替我們執行某些繪圖的動作，以取代過去繪圖員必須反覆輸入的工作。

(2) 不同的設計領域，對於繪圖軟體的功能需求與操作方式，必定會有所不同，對於指令的使用頻率一定會有某種程度的差異，所以針對不同的設計領域，應該有經過不同編排的功能表，以適合此設計領域的操作需求，有效地提高繪圖的效率。

(3) 某些設計單位必須常常使用不同尺寸的圖紙（如 A0, A1, ..., A4 等），或是會有使用兩種以上的繪圖標準（如 ANSI, CNS, JIS 等）的情形，如果能考慮將圖紙尺寸的選定與繪圖標準的選用寫成程式，再將其加入螢幕功能表之中，亦是一個可以算化操作過程，增進繪圖效率的途徑。

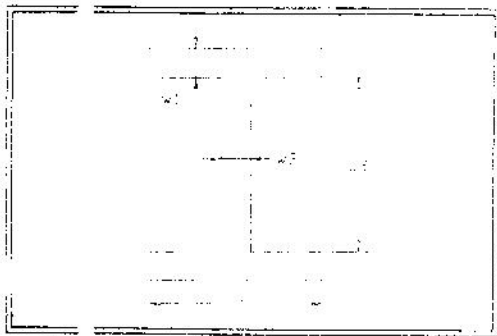
(4) 若以易懂易記的原則來編排螢幕功能表，對於初學者或是新進人員的訓練上，應該也會有不少的幫助。

2. 參數設計的應用

舉凡機械、電子、電機、營建等必須使用繪圖軟體的設計工作，在設計中使用規格品的例子屢見不鮮，如螺栓、角鋼、軸承、齒輪等，這些規格品在設計圖面上會佔不少的數量，且其外形形狀相似，只是細部尺寸略

有差異；對於此類的零件，以往的處理方式，我們會先使用複製圖形的指令(COPY)的指令複製圖形後，再做細部尺寸的修改，如果同類零件數量很多，且各有不同的規格，要逐一複製圖形後再做修改，一定會浪費不少時間，如果我們能使用參數設計的觀念來撰寫程式，讓繪圖員可以使用滑鼠或鍵盤來輸入零件的位置、規格與其細部的尺寸，當這些資料輸入完畢之後，電腦立即會依所輸入的參數，自動地且正確地將此一零件繪出。

以下我們以Auto Lisp的設計為例，來介紹一個可以產生不同規格或是不同細部尺寸之工字型角鋼的圖形繪製程式。圖一即為工字型角鋼的幾個控制外形的尺寸參數。



圖一

程式一所列即為此一工字型的繪製程式，當使用者逐項地將其插入點位置，基板厚度、腹板厚度、基板長度與腹板長度輸入完畢後，電腦立即會以PLINE的繪圖指令在使用者指定的位置繪出一個工字型角鋼。

```
*****
; 程式一
(defun C:BEAM1 ()
  (setq pl (getpoint "\ninsert point:"))
  pl (getdist "\nbase plate thickness:")
  pl (getdist "\nweb plate thickness:")
  ll (getdist "\nweb length:")
  wd (getdist "\nbase length:")
  )
  (command "pline"
    (setq pl (polar pl 0.0 (/ wd 2.0)))
    (setq pl (polar pl (* pi 1.5) pl))
    (setq pl (polar pl pi (/ (- wd pl2) 2.0)))
    (setq pl (polar pl (* pi 1.5) ll))
    (setq pl (polar pl 0.0 (/ (- wd pl2) 2.0)))
    (setq pl (polar pl (* pi 1.5) pl))
    (setq pl (polar pl pi wd))
    (setq pl (polar pl (/ pi 2.0) pl))
    (setq pl (polar pl 0.0 (/ (- wd pl2) 2.0)))
    (setq pl (polar pl (/ pi 2.0) ll))
    (setq pl (polar pl pi (/ (- wd pl2) 2.0)))
    (setq pl (polar pl (/ pi 2.0) pl))
    c")
  )
```

```
*****
; 程式二
(defun Para2 (paralist / ppp1)
  (setq ppp1 (getpoint "\ninsert point:"))
  (if ppp1 (progn
    (command "PLINE")
    (foreach param paralist
      (cond
        ((= (car Param) 0) ; Move with pen up
         (command "" "PLINE"
          (setq ppp1
            (polar ppp1
              (eval (cadr Param))
              (eval (caddr Param))))))
        ((= (car Param) 1) ; Move with pen down
         (command
          (setq ppp1
            (polar ppp1
              (eval (cadr Param))
              (eval (caddr Param))))))
      ))
    (command "") (setq ppp1 ppp1)))
  )
)

(defun C:BEAM2 ()
  (setq Plist2 '(
    (0 0.0 (/ wd 2.0))
    (1 (* pi 1.5) pl1)
    (1 pi (/ (- wd pl2) 2.0))
    (0 (* pi 1.5) ll)
    (1 0.0 (/ (- wd pl2) 2.0))
    (1 (* pi 1.5) pl1)
    (0 pi wd)
    (1 (/ pi 2.0) pl1)
    (1 0.0 (/ (- wd pl2) 2.0))
    (0 (/ pi 2.0) ll)
    (1 pi (/ (- wd pl2) 2.0))
    (1 (/ pi 2.0) pl1)
    (1 0.0 wd)
  ))
  wd (getdist "\nbeam width:")
  pl1 (getdist "\nbeam plate thickness:")
  pl2 (getdist "\nweb plate thickness:")
  ll (getdist "\nlength of web:")
  (while (para2 plist2))
  )
)
```

程式二亦是以參數設計方式產生一個工字型角鋼的程式，有別於程式一的部份，即是程式2中加入了模擬繪圖機 Pen Down、Pen Up的繪圖動作，在程式中Plist2之串列裡每一個子串列的開始若為0即表示 Pen Up，僅模擬繪圖筆的移動；若為1則表示 Pen Down，在此模擬筆的移動與繪出線條，而工字型角鋼就是在 Pen Down/Pen Up的作動下被繪製出來的。

看過了以上二個程式例，便可讓我們體會出參數設計在提昇繪圖效率方面的效益，適當的應用參數設計，不但可能使我們正確且順利地產生圖面，也可節省不少的繪圖時間，對於繪圖效率的提昇，有相當大的幫助。

3.適當地選用演算法

以往一般程式的撰寫，在處理反覆的流程或運算時，大部分會採用for迴圈或是 while 迴圈等疊代的方式，這些方法在程式撰寫時，雖然比較容易，但相對的也比較缺乏彈性。Auto Lisp與C語言皆提供給使用者可利用遞迴的觀念來撰寫程式，這種寫法不但可以使程式的流程控制更具彈性，程式也會比較簡潔。

程式四是一個以 Auto Lisp 寫成應用遞迴的流程控制的程式，它會依輸入的終止長度不同而產生複雜程度各不相同的葉子脈絡。圖二中所示即為其推演過程，編號 0 的線為原始輸入，如果此線段長度大於我們所給的終止長度，即會產生 1, 2, 3 等 3 條的分枝，其中 1, 2 線段之長度為原始線段的 $1/2$ ，而 3 線段之長度則為原始線段的 $4/5$ ，其角度的關係如圖二所示，當各個分枝產生完畢後，這些分枝又變成另一個原始輸入，如果其長度仍大於終止長度，它還會繼續產生分枝，直至每個分枝的末端皆小於終止長度，程式才告停止。圖三，圖四，圖五即為我們給予不同的終止長度，產生不同複雜程度的圖形。

; 程式四

```

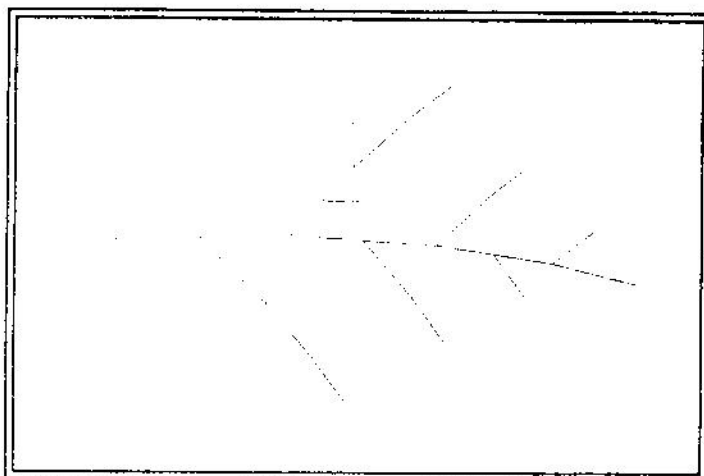
DEFUN CHAN (A)
  (/ (* A P1) 180)
)

(DEFUN C:LEAF( )
  {SETVAR "CMDECHO" 0}
  {SETVAR "BLIPMODE" 0}
  {SETQ SP (GETPOINT "\nTHE STAR POINT OF LEAF :")}
  LONG (GETREAL "\nINITIAL LONG FOR LEAF :")
  ANG (GETINT "\nINITIAL ANGLE :")
  ANG (CHAN ANG)
  TRUTH (GETREAL "\nTHE TRUTH FOR LEAF :")
  R-ANG (CHAN 45)
  CR 1
)

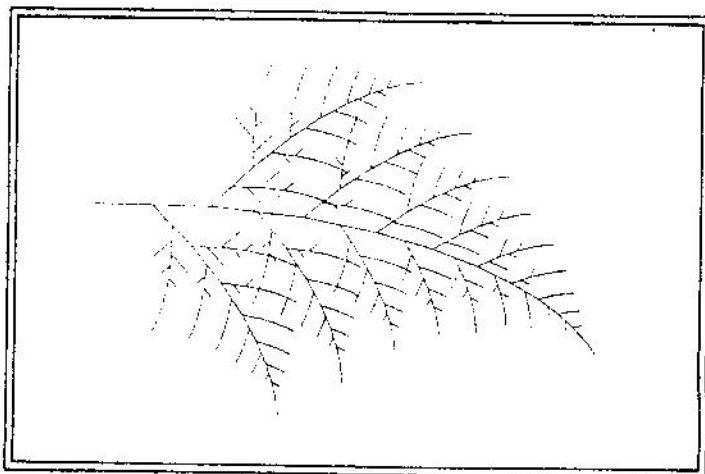
{DRAW SP ANG LONG CR}
{SETVAR "BLIPMODE" 1}
{SETVAR "CMDECHO" 1}

(DEFUN DRAW (SP ANG LONG CR)
  {IF (> LONG TRUTH)
    {PROGN (COMMAND "COLOR"
      CR
      "LINE"
      SP
      {POLAR SP ANG LONG;
      ""
    })
    {DRAW (POLAR SP ANG (/ LONG 2)) (- ANG R-ANG)
      (/ LONG 2) (1+ CR)}
    {DRAW (POLAR SP ANG LONG) (1+ ANG R-ANG)
      (/ LONG 2) (1+ CR)}
    {DRAW (POLAR SP ANG LONG) (- ANG (CHAN 5))
      (- LONG (/ LONG 5)) (1+ CR)}
  }
)

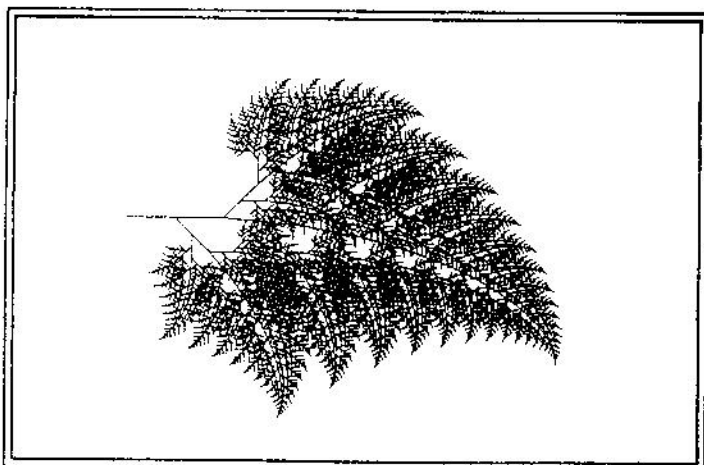
```



三



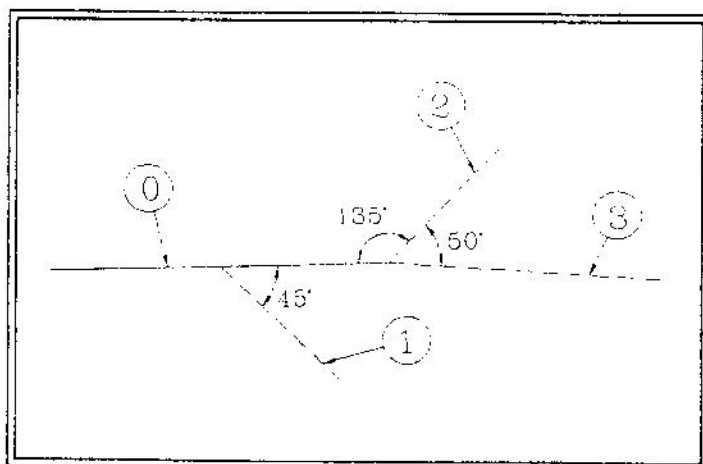
圖四



圖五

4. 使用批次檔來處理大量圖面修改的問題

在工程設計的圖面上，往往會因為某些設計變更，或是其他的因素，使得部分已完成的圖面必須再做修正，例如材料表中某些材質的變更，甚至所有圖面出圖日期的更新，試想如果每張圖面我們都以人工的方式載入與修改，如果有很多數量的圖面要修改，這樣的操作就會花掉不少的時間，我們若能以批次作業的方式，使得電腦能在一個固定的程序下，依次對所有需要修改的圖面完成修改的步驟，由於它是自動執行的處理方式，



二

但不會有人為操作輸入錯誤的問題，在整個執行的過程中，也不必有人時時刻刻盯在螢幕前做輸入或比對的工作。除了節省時間外，外也可節省人力。

以下為一個 Auto CAD 以批次作業方式修改圖面文字資料的一個例子。

首先我們先在 DOS 環境下執行 `dir *.dwg`，`temp.dir` 可以將我們 `dir` 所得的資料導入 `temp.dir`，如圖六的左邊 `temp.dir` 所示，再執行一個我們以 C 語言寫成的 batch 檔產生程式，讓我們可以由 `temp.dir` 來產生一個 `temp.bat`，如圖六所示。

temp.dir				
Volume in drive C is MS-DOS 5				
Volume Serial Number is 1921-7C61				
Directory of C:\R11				
PRJ	1-001	DWG	3031	07-07-90 12:49p
PRJ	1-002	DWG	30629	04-23-93 8:52a
PRJ	1-003	DWG	35189	10-08-90 5:10p
PRJ	1-004	DWG	17666	05-26-93 10:52p
PRJ	1-005	DWG	21855	05-27-93 10:45a
PRJ	1-006	DWG	28366	05-27-93 1:22p
PRJ	1-007	DWG	44822	03-16-93 3:47p
PRJ	1-008	DWG	5839	10-08-90 5:04p

temp.bat	
ACAD PRJ1-001 SCR	
ACAD PRJ1-002 SCR	
ACAD PRJ1-003 SCR	
ACAD PRJ1-004 SCR	
ACAD PRJ1-005 SCR	
ACAD PRJ1-006 SCR	
ACAD PRJ1-007 SCR	
ACAD PRJ1-008 SCR	

圖六

`temp.bat` 是一個批次作業檔，它會依次將我們的圖檔一一載入，而且在載入後執行 Auto CAD 的執行檔 `SCR.SCR`。在 `SCR.SCR` 中包含了一個 Auto Lisp 的程式，此程式會選取圖面上 (30, 50) 到 (40, 90) 所圍成的方框中的文字資料，並將其內容改為 "DEVICES"，最後我們再用 `AUTO.BAT` 將以上的程序做一個聯結。整個程式的結構如程式五所示。

以上討論的各項在實際的運用中面會臨一些取舍的問題。當近似的繪圖或修改工作多時，練習較佳的輔助設計技巧才能簡省人力。在學校裡，由於繪圖課程著重不同圖面的練習，可能較難體會一些進階技巧的需要性。但是絕大多數的機械業者，都是生產或設計同一類型的商品。因此對電腦輔助製圖有興趣者而言，如何提供一個有效能之工作環境仍是一個值得深入探討的主題。

程式五

```

*****
; EXAMPLE SCRIPT FILE          SCR.SCR
2
delay
2000
(setq t2 (ssget "w" '(30 50; (40 90) ) ) )
(setq t2 (entget (ssname t2 0) ) )
(setq t2 (subst (cons 1 "DEVICES") (assoc 1 t2) t2) )
(entmod t2)
end
0

*****
; EXAMPLE BATCH FILE          AUTO.BAT
dir *.dwg >temp.dir
run
call temp.bat
del *.bak

*****
; EXAMPLE SOURCE C PROGRAM    RUN.C
#include <stdio.h>

main() /* create a batch file */
{
    FILE *fp, *fq, *fopen();
    int i, j;
    char c;

    fp= fopen("temp.dir", "r");
    fq= fopen("temp.bat", "w");

    for (i=1; i<5; i++)
        while ( c= getc(fp) != '\n' );
    while ( c = getc(fp) != EOF )
    {
        fprintf ( "\n %s ", "ACAD");
        { for (j=1; j<9; j++ )
            {
                putc(c, fq);
                c= getc(fp);
            }
        }
        fprintf ( " %s ", "SCR");
        while( c= getc(fp) != '\n' );
    }
    fclose(fp);
    fclose(fq);
}

```

參考文獻

1. Auto CAD Reference Manual (R10/R11)
2. Auto LISP Programmer's Reference (R10/R11)
3. Dale E. Evans "Standard Procedures-A definition of the possibilities of parametrics" CADENCE (May 1988) pp.19~21.
4. 林榮泰、紀佳芬、董爾克、黃建煒，電腦輔助設計系統螢幕功能表設計的研究，79年技術與教學研討會（工業設計組）論文集，pp.5-43~5-52.
5. Marvin Bullock, "User Library", CADENCE(May 1988) pp.53~54.

簡述齒輪發展過程

國立中山大學機械工程研究所

李少濠 蔡穎堅

前言

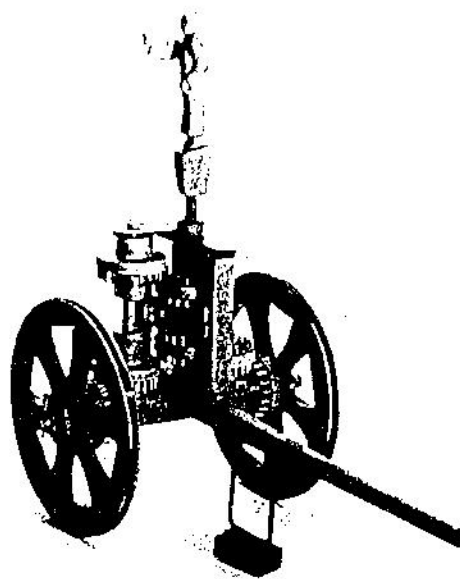
齒輪是傳動機構中最重要的元件之一。時至今日，不少人對於齒輪、螺絲等重要的機械元件都有一個共同的疑問：這些元件是誰在何時、何地與何種需求下發展出來？這問題的涵意是：如果可以知道先進前輩們創作如此重要元件的過程、背景，則後學們即可汲取其中創作精神，以作為今日改進之基石。本文主要針對齒輪的發展過程作一簡單之敘述，並以此為鑑，扼要的齒輪發展之方向。

我國古代的齒輪

要正確地追溯齒輪的起源，幾乎是不可能的事。在西方，早在西元兩千年前齒輪的形狀就被繪於陶器壺上作為圖案裝飾之用。其後也出現青銅製齒輪形狀的鑄盆及車輪，唯這些都非齒輪技術之表現，只能稱為人類在該時代的手工藝之象徵而已。但無論如何，從這些早期人類手工藝遺留下來的結果來看，人們老早就知道齒輪的存在。

在我國而言，黃帝時代的指南車，可以說是具有齒輪裝置的機構之一。相傳黃帝時代的指南車製造技術一直流傳到周初，可是以後因各國互相兼併，戰亂不已，指南車的製造技術便告失傳。漢朝時候的張衡曾運用他的機械知識，利用齒輪傳動原理，重新製成了一輛指南車，並於車上放置一指南木偶，不論車子行進何方，木偶的手都永遠指著南方。

事實上，有不少的考古學家對指南車的存在抱著懷疑的態度，但自從在十九世紀末葉，第一篇有關其存在性的論述公佈發表與相關古文獻被發現之後，大家對指南車的問題及興趣皆從其“存在性”轉為“可行性”上去。也就是說人們大都接受指南車的存在，但卻懷疑其真正的功能：是否可以經由差速齒輪而達成指南的功能？圖一所示是一九三二年英國的工程師 George Lanchester 所推斷的指南車機構模型。



圖一：一九三二年由英國工程師 George Lanchester 製作的指南車模型 [2]

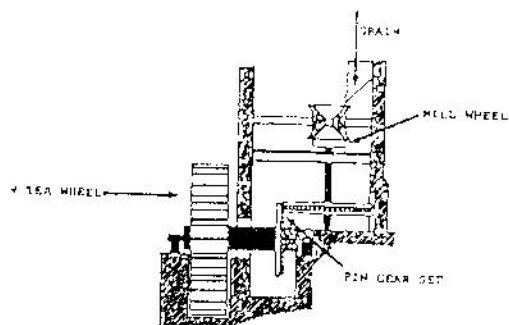
此外，Sigvard 指出指南車的真正用途可能並非作為導航之用，因為此機構如果在輪徑上有百分之一的差異，則在其走完三英里之後，其指南方向將可能有一百八十度之誤差。Sigvard 並認為指南車的存在，可能是當時的諸侯們為了向百姓宣示他們具有上天賦與的超自然力量而出現的產物。

技術齒輪之發展

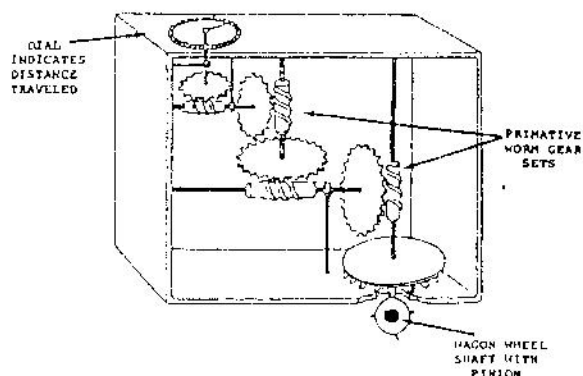
那麼，到底技術性齒輪是從何時開始？或許可以從古籍記載中找到一些蛛絲馬跡。

在西元前四世紀，希臘哲家 Aristoteles (384-322 B.C.) 在其著作 Mechanical Problems 內就有提到用以傳遞旋轉運動的齒輪，這可以說是真正有關齒輪技術之記載。當然這不表示 Aristoteles 發明齒輪，只是說明當時社會應用金屬製齒輪的普遍程度。此外，公元前三世紀希臘的 Archimedes (287-212 B.C.) 似乎對齒輪也有認識，因為他對蝸輪作了一點記載。公元前一世紀羅馬的建築師 Marcus Vitruvius 在他的著作裡曾經提及具有齒輪裝置的水力製粉機（圖二）。而當時人們所製作的齒輪皆以木材為主，輪齒部份是可替換的圓柱，如圖三所示。

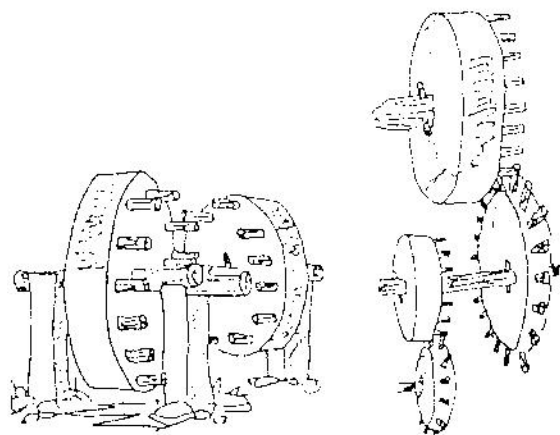
技術性齒輪在人類早期歷史上的應用，明顯地分出個方向：一是於運動傳遞上之應用；一是在動力傳遞上之應用。顯而易知，應用於運動傳遞之齒輪較之應用於動力傳遞之齒輪之發展時期要早上許多。



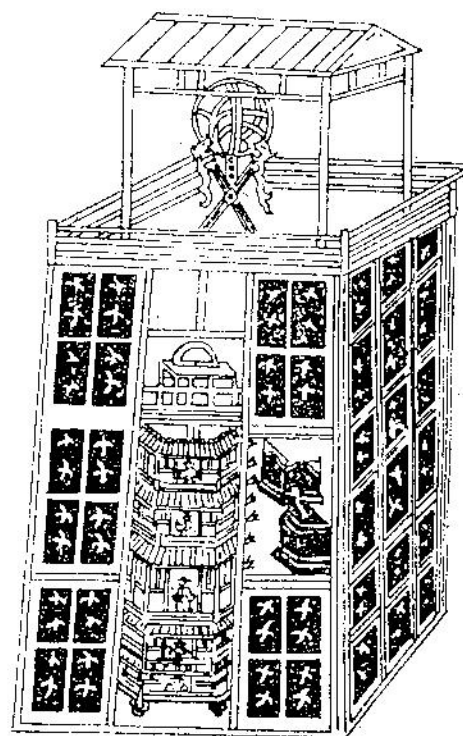
圖二、 Marcus Vitruvius 所描述的水力製粉機 [3]



圖四、 亞力山大城 Hero 所製作的轉數計 [3]

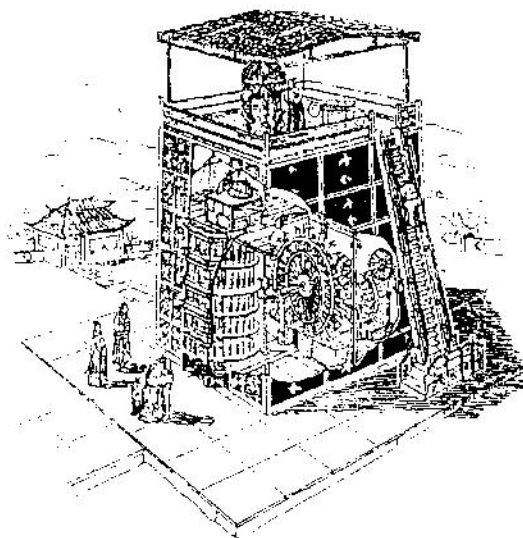


圖三、 早期木製的齒輪裝置 [2]



圖五、 在蘇頌「新儀象法要」中的觀象臺全貌 [5]

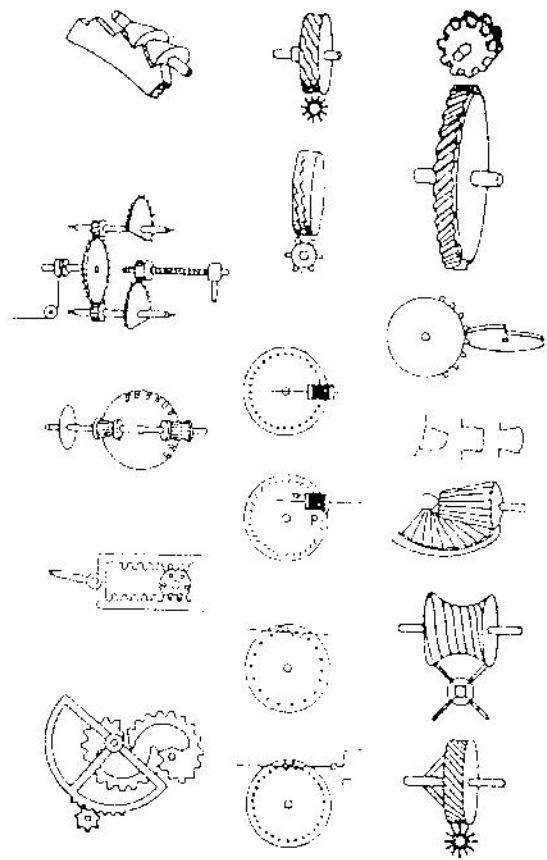
早在公元前二百五十年，就有利用齒輪作運動傳遞的記載。亞力山大城的 Otesibius 就曾在於水錶中採用齒輪機構。這種具有齒輪裝置的機器就有如公元六十二年時，亞力山大成的 Hero 所製作的轉數計（圖四）。隨著羅馬帝國的衰亡，公元四百至一千年間，西歐陷於其黑暗時期，正值此時幾乎與西歐沒有任何接觸的我國正獨自發展。宋朝時蘇頌利用張衡的渾天儀，並得巧匠韓公廉之助在當時的汴京（今河南開封），完成第一座甚具規模的天文觀象臺：水運儀象臺。水運儀象臺結合了渾天儀、水平儀、天池、河車、水壺等機構而成，後世亦有人稱之為水運渾天義，早期西方亦有天象觀測臺之稱謂。圖五為古籍「新儀象法要」*中對水運儀象臺的外貌記載。水運儀象臺（參考圖六）共有三層，上層叫做陽臺，安裝了一部渾天儀，以測天象；中層設置渾象以齒輪傳動，晝夜不停，其自行轉動之速度與天體星象變化完全吻合，這也就是西方所謂的「假天」（P' anetarian）。下層設有木閣，各木閣中設有木人，可自行按時報告，是一簡單的自動報時鐘。由此觀象臺可知我國當時在齒輪技術上的發展狀況。



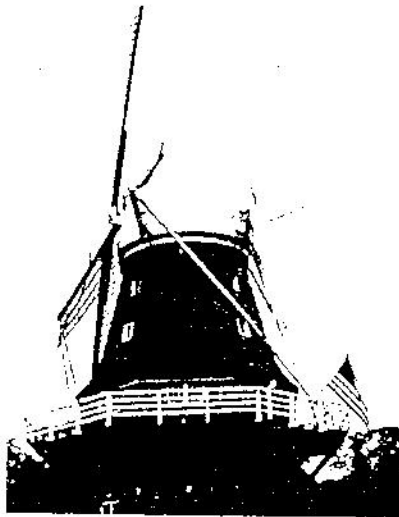
圖六、我國宋朝時由蘇頌完成的天文觀象臺：水運儀象臺。水運儀象臺觀象臺共分三層，上層叫作陽臺，放置渾天儀，以觀天象；中層設渾象，以機械齒輪晝夜不停轉動，測天體星象變化吻合，以配合渾天儀之量測；下層設有木閣，各木閣中有木人，作為報時之用，為一早期的簡單自動報時器。
[2]

在歐洲方面，齒輪正式應用在鐘錶機械上，是在中世紀的時候。一四八四年，德國的 Benhard Walt herus 曾利用機械鐘表觀測天體。這些都可以說是早期齒輪在運動傳遞上的發展及應用。

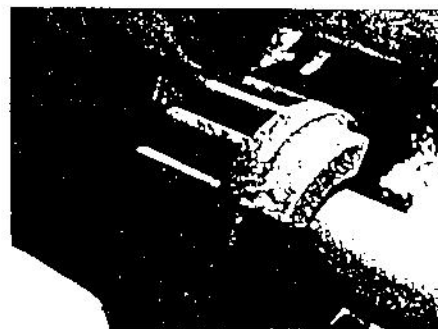
及後，齒輪機構又應用於水力、風力及畜力之傳遞，漸漸變成應用於動力傳遞用的齒輪。早期齒輪機構應用於動力傳遞的鮮明例子之一，應屬風車（參閱圖七）。在歐洲的荷蘭、丹麥等國家以木製的齒輪，藉由風力，推動磨粉機將穀類磨成粉。圖八是風車中齒輪驅動機構的運作情形。到了十五世紀中葉，Leonardo de Vinci 的誕生更帶給齒輪技術上更豐碩的成果（圖九）。在歐洲中世紀，又有燈籠形小齒輪（Lantern Pinion）（參閱圖十）的出現，改進了齒輪動力傳遞的性能，提升了承載能力（Load Capacity）。圖十一所示為一水力驅動齒輪機構，作為木材擣孔之用。十七世紀末葉，人們開始作齒輪齒廓形狀的理論研究，而十八世紀的蒸汽機及十九世紀的工業革命，更加速了齒輪技術的急速發展。



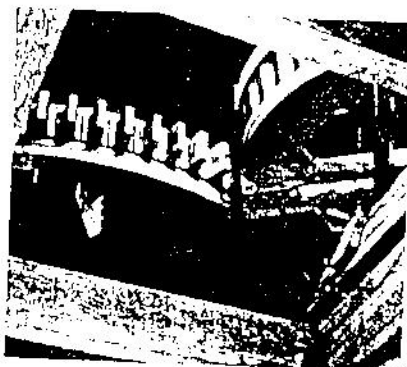
圖九、Leonardo de Vinci 的齒輪 [6]



圖七、風車：現存於美國新澤西州的風車 [2]



圖十、燈籠形小齒輪 [2]



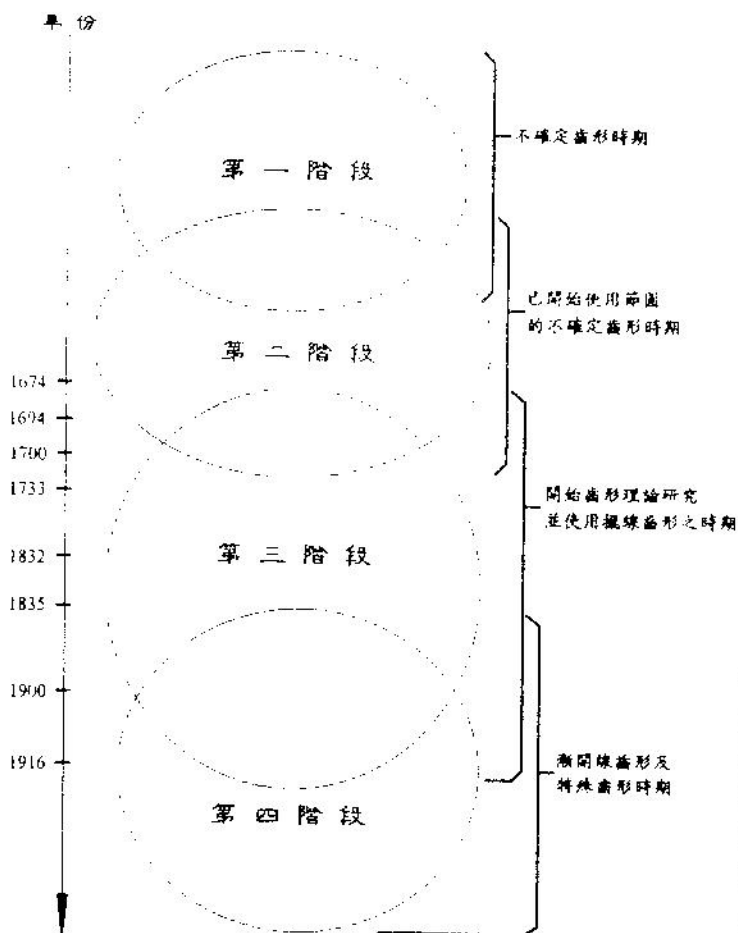
圖八、風車塔內的驅動裝置 [2]



圖十一、用作木材擣孔的水力驅動齒輪裝置 [2]

齒廓之發展改進

在齒輪的發展過程中，齒廓形狀的理論研究佔了極為重要的地位，其發展過程大致上可如圖十二所示，分成四個階段。第一階段為不確定齒形之「原始齒輪裝置」時期，在那時期，齒形大都是以掛勾形狀為主。第二階段仍為不確定齒形的時期，並且與第一及第三階段有時間上的重複，此一階段一直維持到十八世紀。在這一段時間裡，雖然齒形仍是不確定，但已開始使用節圓齒輪，唯其齒形理論並不正確。

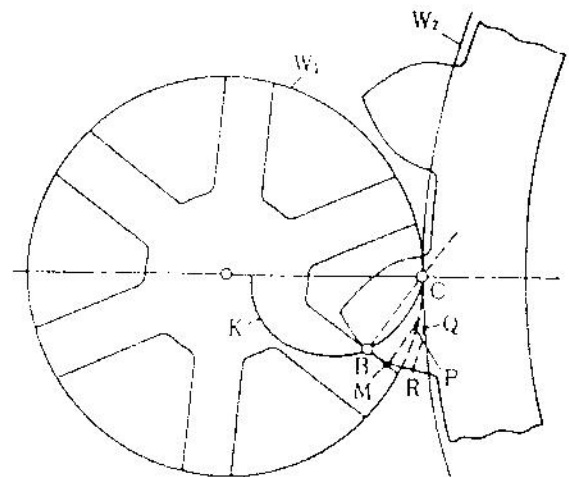


圖十二、齒形發展的四大時期

自從一四五一年法國的 Nicholas of Cusa 研究擺線，到一五二五年德國的 Albert Durer 發現外擺線，就為人們對齒形的研究打開另一扇門。一五五五年瑞士的發表了有關齒輪的數學，也讓齒形的研究正式進入另一階段。這一新的階段，也就是齒形發展的第三階段是從齒形的理論研究開始至使用擺線齒形之時代為止。此階段可追溯至一六七四年，丹麥天文學家 Olaf Roemer 所提倡的：齒輪的等

速運動應以外擺線齒形齒輪較為適當。其後，法國的 Philip de la Hire 於一六九四年也以「外擺線論」為題發表演說，認為「點齒輪或柱齒輪的嚙合，要使能有等速運動，其齒形應為外擺線」（漸開線齒形差不多在一百五十年後才開始被廣泛的應用起來）。

一七三三年，法國數學家 Charles Camus 擴展了 Philip de la Hire 的理論，並在鐘表齒輪的齒形研究過程中，澄清齒形接觸點 B 處的共同法線 BC，必須經過兩齒輪的共同中心線上的一定點 C（節點）（圖十三）的理論，此即卡氏定理，成為齒輪機構學上齒形嚙合的基本原則。



圖十三、齒形接觸點 B 處的共同法線 BC 必須經過兩齒輪共同中心線上的一定點 C

十九世紀中葉，英國劍橋大學教授 Robert Willis 發表了節圓外側使用外擺線，並在節圓內側使用內擺線齒形的複合擺線齒形理論，更進一步說明擺線旋轉圓不論齒數多少，皆可取同一旋轉圓。這也證明了齒輪齒數不論多少都可正確嚙合，亦即說明了可得互換性齒輪一事，於是完成了互換性複合擺線齒形。

第四階段為漸開線齒形與特殊齒形的發展時期。漸開線齒形之發展及起步較慢，因此普及也較遲，後經 Leonard Euler 的推廣及 Willis 把壓力角選定為 14.5° 為漸開線齒形標準壓力角，才使得大眾對其產生了較具體之認知。但漸開線齒形替代擺線齒形並在代表性齒形中佔優的時期應在廿世紀初「創成齒形加工法」的普及應用後而開始。

創成齒形加工法的滾齒機出現於十九世紀前半葉，其主流為一八三五年英國的 Joseph Whitworth 的滾齒機專利，而被認為是最初的記錄。其後，經過 Christian Schiele、G. B. Grant 等人的改良，再使用一九〇〇年

Herman P. Fauter 之差速齒輪箱裝置，而變成可容易切齒加工螺旋輪的萬能滾齒機。從此，使用滾齒機加工圓筒形齒輪的方法才普及並上軌道，於是創成切齒法才壓倒性地佔了絕對的優勢，且伴隨而來的是漸開線齒形齒輪普及於全世界。有關齒輪的重要發展過程可參考圖十四。

另一方面，很早就有人想脫離漸開線齒形而找出具有更高「性能」的齒形。其中，日本松村的包絡面齒形(1916)及 Vickers 的圓形齒形最具有代表性。可惜這些特殊齒形

的齒輪所定的中心距離稍有不正，即不能嚙合，故缺乏普及性。而且此些齒輪在製造上也有困難，因此，大都是流行一段時間。

二次大戰之後，又有蘇聯的 Novikov 齒形的出現，使得具圓弧齒形的螺旋齒輪達到實用化階段。此一齒形之圓弧中心在節圓上，是一種特殊的齒形，具有數倍於漸開線齒形的高負荷能力。其與往常特殊齒形的特點完全不同，其齒形不能滿足齒形機構上的條件。

近年來人們對於漸開線齒形的修正研究也愈來愈多，並且討論在齒形的彈性變形方面有著更多的探討。

結語

近年來，隨著科技的日新月異，對於齒輪傳動的要求也愈來愈高，而齒輪的發展趨勢也已明顯的走向高速度、重負載、高可靠度、低嘈音上去。這些要求，一部份可藉由改進材料、選用較佳的平衡方式、更完美的加工來達成，此外，還有某些方向是有待人們再加把勁的，例如製造方法、材料、磨潤問題、齒形、齒輪的小形與輕量化、運轉速度、負重及幣度等。

參考資料

1. Strandh, Sigvard. A History of the Machine. A & W Publishers, Inc., N.Y., U.S.A.
2. Raymond, J. D. Fundamentals of Gear Design, Butterworth Publisher, MA., U.S.A.
3. Dudley, D. W. The Evaluation of the Gear Art. Amercian Gear Manufacturer Association, Washington, D.C., U.S.A.
4. Lavoie, F. J. "Trends in Gearing", Machine Design, Aug. No.7, 1969, P.104.
5. 夏雨人著，民國六十九年，中國人的故事，東大圖書有限公司印行，臺灣臺北。
6. 張永爵譯，民國八十年，齒輪的設計與製造，徐氏基金會出版，臺灣臺北。
7. 王振鋒主編，一九八九年，科技考古論叢，文物出版社出版，中國北京。
8. 管成學、楊榮堃、蘇克福著，一九九一年十月，蘇頌與「新儀象法要」研究，吉林文史出版社，中國吉林。

年 份 重 要 事 項 記 載

384 B.C. ~ 322 B.C.	Aristoteles
286 B.C. ~ 212 B.C.	Archimedes
150 B.C.	Ctesibius 在水錶上採用齒輪
100 B.C.	Vitruvius 的水力製粉機：具體傳動齒輪的出現
1451 A.D.	法國 Nicholas 研究螺絲
1481 A.D.	德國 Bernhard Waltherus 利用機械鐘錶觀察人體
1478 A.D.	Leonardo de Vinci 與其各種齒輪裝置
1525 A.D.	德國 Albert Durer 發現外擺線
1541 A.D.	西班牙 Juanelo Torriano 發明 Gear Cutter
1606 A.D.	齒形理論研究萌芽
1671 A.D.	英國 Robert Hooke 發明 Gear Cutter
1671 A.D.	丹麥 Olaf Roemer 提倡齒輪等速運動
1671 A.D.	法國 Philip de la Hire 提倡外擺線理論
1696 A.D.	瑞典 Christopher Polhem 發明 Gear Broaching, Gear cutting
1721 A.D.	法國數學家 Charles Carnus 提出卡氏定理
1735 A.D.	瑞士 Leonard Euler 提出共轭齒輪合理論
1781 A.D.	德國 Abraham Kaestner 提出 15° 為漸開線的最低壓力角
1811 A.D.	美國劍橋大學教授 Robert Willis 發表內擺線與合擺線齒形理論，完成互換複合擺線齒輪
1817 A.D.	Leonard Euler 等推廣漸開線齒輪
1831 A.D.	Willis 滿足漸開線齒形壓力角為 14.5°
1831 A.D.	美國 Joseph Whitworth 滾齒機 (Hobbing Machine) 出現
1851 A.D.	美國 Joseph R. Brown 發明 Gear cutter
1871 A.D.	美國 William Gleason 發明 Bevel gear planing
1881 A.D.	美國 Hugo Bilgram 發明 Bevel gear shaper
1891 A.D.	德國 Reinecker 發明 Hobbing machine
1891 A.D.	美國 E.R. Fellows of Fellows Gear Shaper 發明 Gear Shaper
1891 A.D.	美國 James E. Gleason of Gleason Works 發明 Bevel gear Generator
1891 A.D.	Lasche 將移位齒輪付諸實行
1901 A.D.	德國 Pfauter 發明具有差速齒輪之萬能滾齒機
1901 A.D.	美國 Frank Hunphris 發表圓弧齒形齒輪
1901 A.D.	美國 Ward and Taylor of gear Grinding Machine Co., 發明 Form Grinding
1901 A.D.	Max Maag 的馬克齒輪發表
1901 A.D.	K. Kutzbach, H. Friedrich, Earle Buckingham, E.H. Merit, Hiersing,
1916 A.D.	及中田幸等分別發表移位齒輪，使齒輪具互換性
1920 A.D.	松村氏式包絡面齒形
1920 A.D.	Gleason Works 公司的 Ernst Wildhaber 製造出圓弧齒輪
二次大戰期間	蘇聯的 Novikov 出現

圖十四、齒輪發展過程簡

簡述世界各國 齒輪承載能力計算標準

國立中山大學機械工程研究所

李少濠 蔡穎堅

前言

齒輪傳動是機械中最重要和應用最廣泛的傳動型式之一。同時，齒輪的生產技術也意味著國家機械工業的發展情況。近三十年來，研究人員致力於齒輪嚙合理論、承載能力之計算及試驗，材料之選用，表面處理方法、精度和量測、振動及噪音、齒廓、磨潤問題等方面之研究，均有重大發展。而近年來，因著科技的日新月異，對於齒輪傳動的要求也愈來愈高，這些要求大致有如下幾點：一、高承載力；二、高可靠度；三、體積小；四、重量輕等。為達此一日標，許多研究人員均朝硬齒面、高耐磨、高精度，修正齒形方面進行研究。與此同時，各種行星傳動齒輪、圓弧齒形齒輪、甚至非圓形齒輪承載能力的問題，就成為設計傳遞動力用齒輪之重要考慮因素之一。

何謂齒輪承載能力

所謂齒輪承載能力 (Load Capacity of Gear) 是說對於某特定齒輪其抗衡某種引發損壞 (Failure) 負載方式之能力。齒輪損壞方式主要有磨擦磨耗、孔蝕、超載負荷、碎裂、腐蝕磨耗、刮痕干涉磨耗等，因此齒輪的負載方式可有耐久性、強度、磨耗、刮痕、變負荷等方向（如表一所示）。

關於齒輪承載能力計算方法之發展，近十年來有不少的進步，其原因有二：其一為現代齒輪承載能力之計算方法應用了大量的近代數學、力學、材料科學及現代設計理論的成果；其二為在七十年代期間，國際標準組織所進行的對圓柱齒輪承載能力之標準化。國際標準組織的行動，對世界各國在齒輪承載能力計算標準有深遠的影響，本文將作一簡單之介紹。

齒輪承載能力計算標準之涵意

在討論世界各國的齒輪承載能力計算標準之前，必須清楚標準化之含義。所謂標準，就是一套包含製造程序、材料、細部零件的設計規範，以期得到統一性、效率、及特定的品質。因此，標準在不同的國家裡會出現差異，也因著這些差異，引發不少人的研究動機。有關世界各國的標準組織可參看表一，其中以 ISO、AGMA、ANSI、BSI、JGMA、DIN 在齒輪強度計算標準的設立上最具代表性。

就齒輪的承載能力計算公式而言，到目前為止，國際上已經發表的就有幾十種之多。這些種類繁多的計算方法為生產部門及研發單位帶來了許多混亂，使從事於齒輪設計及研究的人員產生了極大的不便。有見及此，齒輪承載能力計算方法的標準化就成了刻不容緩之事。隨著國際標準組織 (International Organization for Standardization, ISO) 於一九八〇年草定國際統一的「正齒輪和螺旋齒輪的承載能力計算之基本原則」(ISO/DP 6336-1980)，世界各國如美國、英國、德國、日本、甚至於中國大陸及前蘇聯，也都紛紛製訂及修

表一、齒輪承載能力主要方式

負 載 形 式	說 明
耐久性(Durability)	如孔蝕(Pitting)及碎裂(Spalling)等表面疲勞損壞可以齒面接觸應力來評估。
強 度 (Strength)	彎曲疲勞損壞可以利用計算齒根彎曲應力來分析。
磨 耗 (Wear)	磨耗是較難以參數化評估的，一般是以油膜厚度作考慮的出發點。
刮 痕 (Scoring)	刮痕是以臨界溫度原理(Critical Temperature Theory)來估計。
變負載(Variable Loading)	每當一組齒輪在一定時間上以不同負載及速度運轉，則必須把此一特別負載關係列入承載能力之考慮中。

改自己本國的標準，以因應世界動向。以下將介紹這些主要國家在齒輪技術標準上的製定情況及特點。

表二、現行世界各國工業標準名稱

AA <i>Aluminium Association</i>
AGMA <i>American Gear Manufacturers Association</i>
AISC <i>American Institute of Steel Construction</i>
AISI <i>American Iron and Steel Institute</i>
ANSI* <i>American National Standard Institute</i>
ASME <i>American Society of Mechanical Engineering</i>
ASM <i>American Society for Metals</i>
ASTM <i>American Society of Testing and Materials</i>
AFBMA <i>Anti-Friction Bearing Manufacturers Association</i>
BS <i>British Standards</i>
CNS (<i>Chinese National System</i>) 中國國家標準
DIN <i>Deutsche Industrie Normen</i>
IFI <i>Industrial Fasteners Institute</i>
I. Mech. E. <i>Institution of Mechanical Engineers</i>
ISO <i>International Organization for Standardization</i>
JGMA (<i>Japanese Gear Manufacturers Association</i>) 日本齒車工業協會
JIS (<i>Japanese Industrial Standards</i>) 日本工業協會標準
SAE <i>Society of Automotive Engineers</i>
GB (<i>Guojia Biaozhun</i>) 中國大陸標準
ГОСТ 前蘇聯國家工業標準

在一九六六年 American Standards Association (ASA) 更改名稱爲 United States of American Standards Institute (USAS)。
又在一九六九年再更改爲 American National Standards Institute。

ISO 標準

國際標準組織 (ISO) 第六十技術委員會第六工作小組 (ISO/TC60/WG6) 經過了十年多的時間，製定「直齒輪和螺旋斜齒輪承載能力計算之基本原則」(ISO/TC60/WG6 199E~202E)。此草案雖然尚不成熟，但是它以嚴密的系統、理論實際相結合和全面考慮多種因素而令世人矚目。圖一是 ISO 發展其 6336 方案之過程。

ISO/TC60/WG6 199E~202E 草案於一九七五年完成，自一九七七年公佈以來經多次討論修改後，去除舊草案中不成熟的部份，並於一九八〇年提出新的修正標準 ISO / DP 6336 I~IV - 1980：

ISO/DP6336/I~III: Basic Principles for the Calculation of Load Capacity of Spur and Helical Gears, 1980.

ISO/DP6336/IV: Calculation of Load Capacity of Spur Gear and Helical Gears, Part 4: Calculation of Scuffing Load Capacity, 1985.

ISO 標準草案與其他的齒輪強度計算公式相比較，ISO 的體系比較完整、嚴密；它不僅包括接觸強度計算和彎曲強度計算，而且還包括啮合計算方法；不僅有適合於電腦精確計算之方法，而且也有合適於人手計算的簡易方法；ISO 全面考慮了影響齒輪承載能力的各種因素。

ISO 標準的一些計算在製定之時吸收了國際上多年來齒輪研究之最新成果，如動載系數的確定，是在振動理論的基礎上，通過試驗實際測得到的；潤滑系數 Z_L 、 Z_V 、 Z_R 的確定是在彈性液動潤滑理論的基礎上，通過大量試驗得到的。ISO 標準考慮之因素較多，因此計算比較麻煩，有些系數雖然經過試驗驗證，但與實際仍有出入，尚需修正。為了使 ISO 標準能更便於實際使用，ISO/TC60/WG6 已開始擬定其相關之子標準。目前已經完成起草的子標準有如下五項：

一、高速齒輪傳動承載能力之計算：

ISO/TC60/WG6 N242E - 1982: Load Carrying Capacity Calculations for High Speed Gear Drives, 1982.

二、船舶主傳動直齒和斜齒圓柱齒輪承載能力之計算：

ISO/TC60/WG6 N265D - 1982:

Tragfähigkeitsberechnung für Stirnräder - Anwendung für Schiffs - Hauptgetriebe, 1982.

三、圓柱齒輪承載能力之計算～車輪齒輪應用標準：

ISO/TC60/WG6 N283E - 1983: Calculation of Load Capacity of Cylindrical Gears; Application Standard for Vehicle Gears, 1983.

四、漸開線圓柱齒輪承載能力之計算，工業齒輪用標準，簡化計算法：

ISO/TC60/WG6 N290E - 1984: Calculation of Load Capacity of Cylindrical Involute Gears; Application Standard for Industrial Gears; Simplified Method, 1984.

五、漸開線圓柱齒輪承載能力計算，工業齒輪用標準，詳細計算法：

ISO/TC60/WG6 N291E - 1984: Calculation of Load Capacity of Cylindrical Involute Gears; Application Standard for Industrial Gears; Detailed Method, 1984.

時間	
1975	ISO/TC60/WG 199E - 202E 草案完成 齒輪與螺旋齒輪強度及承載能力計算基本原則
1977	ISO/TC60/WG 199E - 202E 正式公佈
1980	提出 ISO/DP6336 I-IV - 80 新修正方案 ISO / DP6336 I-III Basic Principles for the Calculation of Load Capacity of Spur and Helical Gears, 1980. ISO /DP6336/ IV Calculation of Load Capacity of Spur Gear and Helical Gears, Part 4: Calculation of Scuffing Load Capacity, 1985

圖一、國際標準組織發展 ISO/DP 6336 方案過程

AGMA 標準

美國齒輪製造者協會 AGMA 早在一九二六年製定相關的齒輪標準。在一九四四年至一九四八年之間已先後訂定了圓柱齒輪齒面接觸強度與齒輪彎曲強度的計算方法標準 (AGMA 215.01, Information Sheet for Surface Durability (Pitting) of Spur, Helical, Herringbone and Bevel Gear Teeth, 1966 and AGMA 225.01, Information Sheet for Strength of Spur, Helical, Herringbone and Bevel Gear Teeth)。此後，AGMA 對此也作了很多的修正，並於一九七三年開始擬定漸開線正齒輪和螺旋齒輪之圓柱齒輪齒面接觸強度計算與彎曲承載能力之計算的新標準 (AGMA 218.01, Standard for Rating the Pitting Resistance and Bending Strength of Spur and Helical Involute Gear Teeth, 1982.)，並於一九八零年修正通過。AGMA 之計算方法對影響齒輪承載能力的因素考慮因素的比較全面，並將有關的影響因素適當地合併，如把與幾何因素有關的係數合併為幾何係數，使公式簡化。圖二為 AGMA 發展在齒輪強度計算標準化過程中的發展。

時間	
1926	Original AGMA Standard
1944	圓柱齒輪齒面接觸強度與齒輪彎曲強度的計算方法
1948	
1965	AGMA 215.01, Information Sheet for Surface Durability (Pitting) of Spur, Helical, Herringbone and Bevel Teeth
1966	AGMA 225.01, Rating the Strength of Helical and Herringbone Gear Teeth
1967	AGMA 220.02, Rating the Strength of Spur Gear Teeth
1967	AGMA 225.01, Information Sheet for Strength of Spur, Helical, Herringbone and Bevel Gear Teeth
1969	AGMA 211.02, Surface Durability (Pitting) of Helical and Herringbone Gear Teeth
1970	AGMA 226.01, Geometry Factors for Determining the Strength of Spur, Helical, Herringbone and Bevel Gear Teeth
1975	AGMA 218.01 Draft
1980	ANSI/AGMA 10.04, Nomenclature of Gear Failure Modes
1982	AGMA 218.01 AGMA Standard for Rating the Pitting Resistance and Bending Strength of Spur and Helical Involute Gear Teeth
1988	ANSI/AGMA 2001-D88, Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth September 1988

圖二、AGMA 在齒輪強度計算標準上的發展

AGMA 標準總結了較豐富的經驗，從有關係數長期使用中所得到的經驗與結果之累積，與反覆的修正，使得其結果與實際更為接近。AGMA 與 ANSI 於一九八八年九月又公佈了新的計算標準：ANSI/AGMA 2001-D88: Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth, September 1988。雖然新的方案公佈至今已有四、五的時間，但在美國的齒輪設計人員大都仍沿用舊有的 AGMA 218.01，此情況同樣存在於英國計算標準革新過程之中，其中原因是大部份設計人員早已習慣應用 AGMA 218.01，而且 AGMA 2001 加入不少 ISO 6336 的考慮因素，也使得其計算方式較前麻煩。

JGMA 標準

日本齒車工業協會 JGMA 一九七四年到一九七五年期間製訂了圓柱齒輪的齒根彎曲強度計算與齒面接觸強度計算標準 (JGMA 401.01-1974, JGMA 402.01-1975)，並於一九七九年又製訂了圓柱齒輪的簡化計算式標準 (JGMA 406.01-79) 除了上述標準，JGMA 還製訂了圓錐齒輪及圓柱蝸桿傳動的強度計算標準。JGMA 標準的製訂以 ISO 標準及 DIN 為基礎，以一般機械用齒輪為對象，把影響很少的係數略出或與其他係數合併，使公式簡化；為了使用方便盡量採用線圖和數表計算。因此，JGMA 標準關於比較簡便、實用。

DIN標準

德國於一九六三年提出「圓柱齒輪和圓錐齒輪的彎曲齒面接觸強度計算標準」草案，並於一九七零年修改，製訂了正式的標準：DIN 390-1970。ISO標準公佈後，DIN又參照ISO標準進行了修改，修訂以後的DIN 3990-1980 (DIN 3990, Grundlagen für die Tragfähigkeitsberechnung von Gerad- und Schragstirnrädern, 1980.)基本是與ISO一致。

中國大陸標準

中國大陸的國家標準的英文縮寫為GB，是取「國家標準」的羅馬拼音Guojia Biaozhun中兩個字首。中國大陸於一九八三年由國家標準局批准並頒佈施行已製訂的漸開線圓柱齒輪承載能力計算標準(GB 3480-83)。此一計算標準包括了齒面接觸強度計算及輪齒彎曲強度計算兩個部份。此外，對於漸開線圓柱齒輪啮合承載能力計算方法(GB 6413-86)也經已製訂完成。中國大陸上所使用的標準基本上是源於ISO國際標準，再結合其本地之需求而作修正，簡化了ISO國際標準中較為麻煩的部份，並編製了應用電腦程式。

中國國家標準

我國的齒輪國家標準於民國六十九年完成一部份，並於七十三年全面修正。我國的CNS齒輪標準主要是參照DIN標準修訂而成。

前蘇聯國家標準

前蘇聯於一九七五年公佈了有關漸開線圓柱齒輪強度的計算標準：GOST 21354-75。該標準的形式和符號皆與ISO標準甚為接近，唯其中的相關數據則是依據蘇聯本國所有的經驗而來。前蘇聯的國家標準簡明扼要，有關係數必定有一定的圖表相輔，並且編入簡化的計算方法。

結語

齒輪規格除了強度的計算標準之外，還有齒輪的名詞與記號的標準、齒輪精度與檢測的標準、齒輪切齒刀具與加工機的標準、齒輪系統及組件設計的標準、及齒輪其他的相關標準等。而單從世界各國在齒輪強度計算標準的發展可知，人們對於齒輪的品質及要求有愈來愈高的趨勢。另世界各國齒輪標準化組織隨著ISO DP 6336而作的修訂來看，

可知齒輪設計之標準化對一個國家發展工業的重要性。我國在面對產業升級之同時，政府除了鼓勵積極研究、與友邦共同研發新技術外，是否也應深思此一問題。

參考資料

1. Shigely, J. E and Mischke, C. R., Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill Book Company, N.Y., U.S.A.
2. Doug Walton, Yuwen Shi and Stan Taylor., AGMA, ISO, and BS Gear Standards Part I - Pitting Resistance Ratings, Gear Technology, Nov/Dec, 1990, P.10~17.
3. 小栗富士雄、小栗達男著，張兆豐主編，機械設計圖表便覽，臺隆書店，臺北。
4. 朱孝錄、鄂中凱主編，1990，齒輪承載能力分析，高等教育出版社，中國北京。
5. Raymond, J. D., Fundamentals of Gear Design, Butterworth Publisher, MA., U.S.A.

介紹新進會員

- | | |
|-------|--------------------------------|
| 姓名 | 張維吉 |
| 現職 | 中正大學研究生 |
| 專長與興趣 | 機器人學、設計方法、齒輪與傳動、機構運動學、生物機構學 |
| 姓名 | 孫延壽 |
| 專長與興趣 | 機器人學、機構運動學、機器動力學、電腦輔助繪圖、電腦輔助設計 |
| 姓名 | 李德盛 |
| 現職 | 中正大學研究生 |
| 專長與興趣 | 齒輪與傳動、機構運動學、電腦輔助設計、氣液電機械系統 |
| 姓名 | 李建興 |
| 現職 | 中正大學研究生 |
| 專長與興趣 | 氣液電機械系統、機構運動學、電腦輔助設計、腦輔助繪圖 |
| 姓名 | 張信良 |
| 專長與興趣 | 機器動力學、機構運動學、齒輪與傳動、電腦輔助設計、設計方法 |

國科會「邀請講席」演講系列

Dr. An Tzu Yang (楊安慈博士)

Professor

Department of Mechanical Engineering

University of California, Davis

(ASME Fellow)

Application of Quaternions and Dual Numbers in Space Kinematics

Quaternions algebra and dual number operations; Unit line vectors and reference frames; Representation and classification of screws; Dual quaternion operator and rigid displacement; Displacement screw and Rodrique's formula; Successive displacement and screw triangles; Incompletely specified rigid body displacements.

時 間：82年11月8日（星期一） 14:00～16:00

地 點：台灣大學工學院綜合大樓203室國際會議廳

主持人：劉 霆教授

Instantaneous Invariants and Curvature Theory in space Kinematics

Dual-number matrices and screw calculus; Canonical coordinate systems and instantaneous invariants for unique description of a rigid body in spatial motion; Concepts of ruled evolutes and their corresponding higher order trihedrons for geometrical interpretation of line trajectories in space.

時 間：82年11月10日（星期三） 15:30～17:30

地 點：交通大學機械系工程二館117室演講廳

主持人：呂宗熙教授

Instantaneous Invariants and Path Curvature in Plane Kinematics

Concept of canonical system and instantaneous invariants for representation of a lamina moving under geometric constraints; Higher-order evolutes to describe the differential geometry of point trajectories in plane kinematics; Application of instantaneous invariants and higher-order evolutes in the design of mechanisms.

時 間：82年11月18日（星期四） 14:30～16:30

地 點：中山大學工學院會議室（工學院A棟6樓A6011室）

主持人：蔡穎堅教授

歡迎參加