小齒輪，大關鍵！

文／李祐宗

齒輪是日常生活中常見物品的零件，沒有了它，許多的機械甚至文具便無法動作。舉凡含有齒輪的機件和文具有馬達、玩具車、立可帶、腳踏車、汽機車、風力發電機、鐘錶等。

齒輪的功用是作為動力輸入與輸出間的橋梁，以及改變輸入的轉速與輸出的轉速比以達到機械作動的目的，因此齒輪是相當重要的零件。因此本文旨在探討齒輪在各種物品的作動情形、原理以及齒比的概念。

立可帶早已是人人必備的文具用品，其功能為快速修正文圖，以取代立可白液體待乾需要時間的快速性。雖說立可帶是小小文具，市售種類與價錢不一，其甚者價位更數倍於一枝原子筆，可說是「昂貴型」文具。所幸多種立可帶可單買補充包來替換，可為荷包省下不少錢。

經常看著學生們拉著長長的立可帶，他們可不是在玩，而是在「修理」立可帶！怎麼說呢！？因為立可帶經常容易因使用而斷裂或扭結，必須將帶子拉出整理。也有不少人有換補充包的經驗，但大多數人在換補充包時，不會特意去研究立可帶內部的構造。其實立可帶內部的構造學問可是不小，現在就來解開裏頭的秘密吧！

圖 1 和圖 2 的齒輪組是控制立可帶的轉向，在換補充包時，須將立可帶身往右邊拉，使得前端轉向右邊，待裝上補充包後，再將之往左推，使得前端轉向左邊便可開始使用。

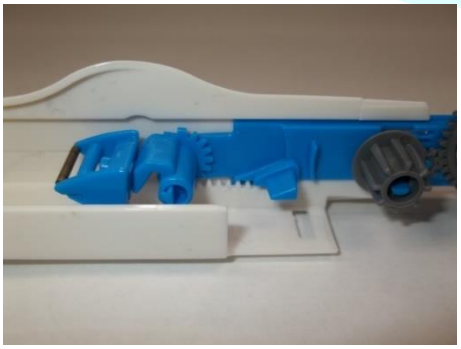

圖 1. 立可帶前端往左邊推出

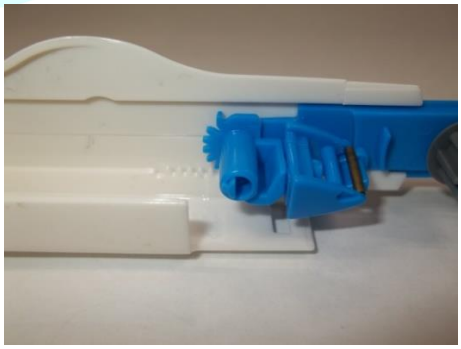

圖 2. 立可帶前端往右邊推出

再來看看圖 3 的構造，由左而右依序是中、小、大齒輪的組合(後簡稱齒輪組)。全新的立可帶條集中在大齒輪上，使用時會將用過的條帶送到中齒輪，使用過程的齒輪作動情形如圖 4、5。或許有讀者發現，齒輪組只能順時針轉動，無法逆時針轉動，這是為

何呢？以作用來說，此目的是希望立可帶在使用時避免逆向輸送條帶。齒輪組無法另向轉動的原理，如圖 6，拆解齒輪後，可發現最左邊的中齒輪設計成單向軸承。何謂單向軸承？也就是此軸承只能順時針或逆時針轉動，無法雙邊轉動。圖 6 為中齒輪底部的構造，可以看到有兩個齒輪環，外圈齒輪為齒輪組的傳動齒輪；內圈齒輪則是與底部的(圖 7)藍色勾勾作單向卡榫的作動，反向則不行，此就是中齒輪為單向軸承的原理。

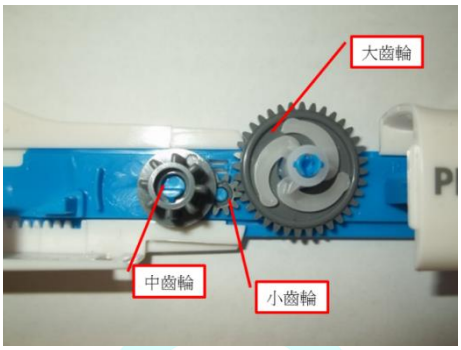

圖 3. 立可帶內部構造

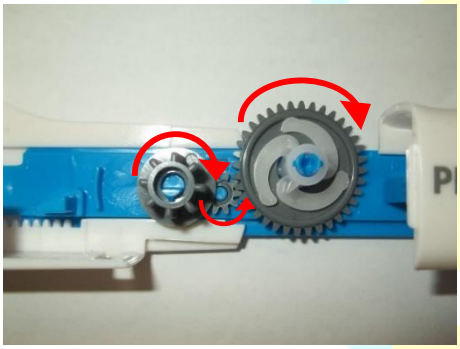

圖 4. 齒輪組作動情形

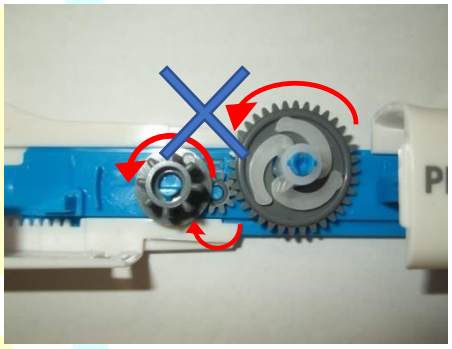

圖 5. 齒輪組無法反向作動

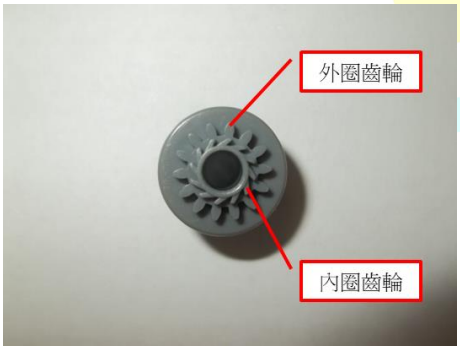

圖 6. 中齒輪構造

圖 7. 單向齒輪作動反制片

齒輪組中相鄰齒輪轉向相反，故欲有兩個相同轉向之齒輪，中間必夾一齒輪，而齒輪組的傳動也是圓外切的原理。立可帶中的齒輪組的齒數由中齒輪、小齒輪、大齒輪依序為 14，10，36，大齒輪走一個齒數會帶動小、中齒輪一個齒數，所以大齒輪轉一圈 36 個齒數時，小、中齒輪轉了 36/14、36/10 圈，因此中齒輪、小齒輪、大齒輪的轉速比為 36/14、36/10、36/36 = 1/14:1/10:1/36，發現中、小、大齒輪的齒數與轉速成反比。

圖 8、9 為另一款立可帶。此款構造較為簡單，由兩個大小齒輪作連動。相鄰兩齒輪外切時，轉動方向相反。

圖 8. 某廠牌立可帶

圖 9. 某廠牌立可帶內部結構

若將大小兩圓分開，又有兩種情況。圖 10 的裝置之下，兩圓轉動方向相同；圖 11 的裝置之下，兩圓轉動方向相反。

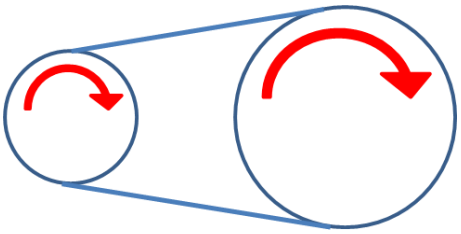

圖 10. 兩齒輪外離作動情形 1

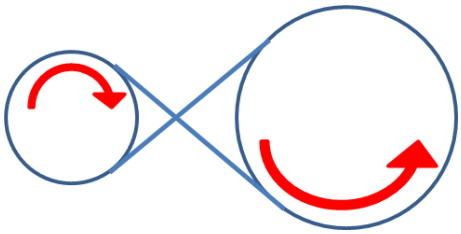

圖 11. 兩齒輪外離作動情形 2

圖 15 為腳踏車的前後齒輪變速組，鍊條為傳動前後齒輪之用。若將前後輪的齒輪比譬成圓，則鍊條為切線的角色。腳踏車的變速原理，乃是利用前、後輪不同的齒輪比來製造出不同的轉速，讀者可以先行思考，爬坡應用何種齒輪組（圖 12 還是圖 13）呢？

圖 15. 腳踏車前後輪結構

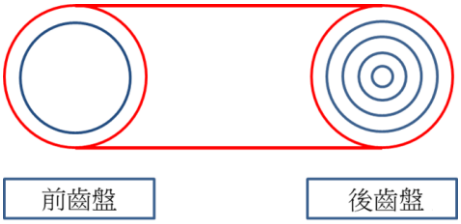

圖 12. 腳踏車變速情形

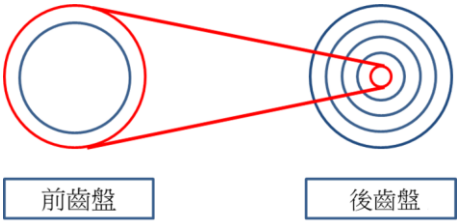

圖 13. 腳踏車變速情形

以圖 11 的腳踏車為例，此車的前齒盤有三個齒輪、後齒輪盤有六個齒輪，故共有 3╳6=18 段變速。前齒盤的齒數分別為 28、38、48；後齒盤的齒數分別為 14、16、18、21、24、28。齒比為前輪數除以後齒輪數，它就是前面所談的前齒輪和後齒輪轉的圈速比。舉例來說。假設前齒輪為 48 齒，後齒輪為 16 齒，則齒比為 48/16=3，表示前齒輪轉一圈時後齒輪轉 3 圈。現在我們將上述 18 段變速的齒比計算如下表。

表 1. 18 段變速齒比表，數字取至小數點第 2 位

前齒輪數 \ 後齒輪數	**14**	**16**	**18**	**21**	**24**	**28**
28	2.00	1.75	1.56	1.331	1.17	1.00
38	2.71	2.38	2.11	1.81	1.58	1.36
48	3.43	3.00	2.67	2.29	2.00	1.71

從物理的槓桿原理中，我們知道：施力×施力＝抗力×抗力臂。在腳踏車的例子中，施力為我們踩踏板藉著鏈條傳給後齒輪的力，前齒輪的力藉著鏈條傳給後齒輪的力。前齒輪的施力×施力臂（前齒輪的半徑）＝後齒輪的抗力×抗力臂（後齒輪的半徑）。當後齒輪作用到後輪時，此時施力臂變成後齒輪的半徑；抗力為地面給予車輪的阻力，抗力臂為車輪的半徑；所以踩踏板藉著鏈條傳給後齒輪的力×後齒輪的半徑＝地面給予車輪的阻力×車輪的半徑。當地面給予車輪的阻力及車輪的半徑都是固定時，後齒輪的半徑愈小時，所需要的力就愈大；此時前齒輪所需要的施力就愈大。

如表 1，此登山車最大的齒比為 3.43；最小的齒比為 1。因此最費力的齒比為 3.43，也就是前齒盤 48 搭配後齒盤 14 的變速；反之，因此最省力的齒比為 1，也就是前齒盤 28 搭配後齒盤 28 的變速。大致來說，欲爬坡宜使用表 1 的橘色部分檔位；加速時宜省用表 1 的綠色部位檔位；直行時宜使用表 1 的黃色部分檔位。但實際說來，道路的狀況與變速檔位兩者之間沒有絕對的標準，端視騎乘者的體能、肌耐力等，表 1 以顏色來區分檔位也只是做為參考。

綜上討論，可知在上述問題的答案是，爬坡應用圖 12，而平面或下坡路段可使用圖 13 來作變速的作動。汽車的變速原理也是相同的，車子啟動時採用低速檔位（相當於腳

踏車之低齒比），增速或高速時使用較高速的檔位（相當於腳踏車之高齒比）。

俗話說：魔鬼藏在細節裡。日常用品伴隨我們多年，但往往只知其用而不知其所以然，故「格物致知」乃身為學者必備的精神，學習主動探究即是素養的一種表現。

李祐宗
文光國中教師