

中華民國 第50屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科

030817

你可以再“白幕”些～修正帶的結構功能探究

學校名稱：臺北縣立中和國民中學

作者：	指導老師：
國二 蔡鈞森	邱漢強
國二 連婕	許朝翔
國一 俞浩薇	
國二 莊芳芳	

關鍵詞：修正帶、傳動、載帶迫緊

摘要

設計問卷調查統計國中同學使用修正帶的狀況及意見。募集廢料並蒐集數十種品型修正帶，經細心拆解，充分了解共同的主要結構功能。歸納為數個傳動環節及部件，以力矩、功率、摩擦力等科學概念由動力面向及速率面向分析其中的輪軸、齒輪、皮帶滑輪等機械裝置，設計相關十個實驗進行探究及驗証。其中最關鍵的是迫緊載帶機制及強制滑動界面的傳動探討。也細膩解析棘輪阻逆、手動緊帶、替換內帶、塗抹頭的設計，凸顯各部件的改良歷程，及許多仍待改進的重點。並比較日常生活中類似修正帶的二輪互動裝置的異同，如腳踏車、錄影音帶、膠捲底片。應用修正帶的設計，經歷反覆思索及實作修正，發展完成以簡易材料製作可持續通用一般雙面膠帶的機身設計。

壹、 研究動機

修正帶(又稱立可帶)幾乎是文書工作的必備用品，在頻繁的使用經驗中，偶讚歎於某些便利設計，也曾困擾於一些不稱心的缺失，總期待有更多的改良設計。常耽溺的窺看透明機殼內的滑輪、齒輪零件熱鬧的分工合作，而店家架上繽紛的各品型也撩撥著探究的好奇心。期待以六年級到九年級的機械單元課程為基礎，透過探索徹底了解其中的設計演進，甚至為發展自己的「夢幻」機型做準備。

貳、 研究目的

- 一、了解國中生使用修正帶的狀況、意見及對結構的認識。
- 二、探究各品型修正帶的結構及功能。
- 三、比較修正帶的功能演進及提供改良建議。
- 四、了解常見用品中的二輪互動模式的異同。
- 五、利用修正帶之運作原理發展其他應用裝置。

參、 研究設備及器材

數十種修正帶	修正帶廢材	相機	放大鏡	滑輪組	彈簧秤
小螺絲起子組	電子碼錶	鐵夾	鐵架	砝碼組	載玻片

電子秤

游標卡尺

數位顯微鏡頭

顯微鏡



肆、研究過程及結果討論

一、修正帶問卷調查及廢料募集

(一)問卷設計

1. 進行小組討論，彙整使用意見，並參考網路資訊，歸納待訪查的項目。
2. 設計初稿再經小組內部試答，重複修改後定稿。

(二)實施調查

1. 決定調查的對象為本校 6 個班級同學，涵蓋 7~9 年級。
2. 擇定於 2 天內，商請相關的課堂時間中實施調查。

(三)廢料募集

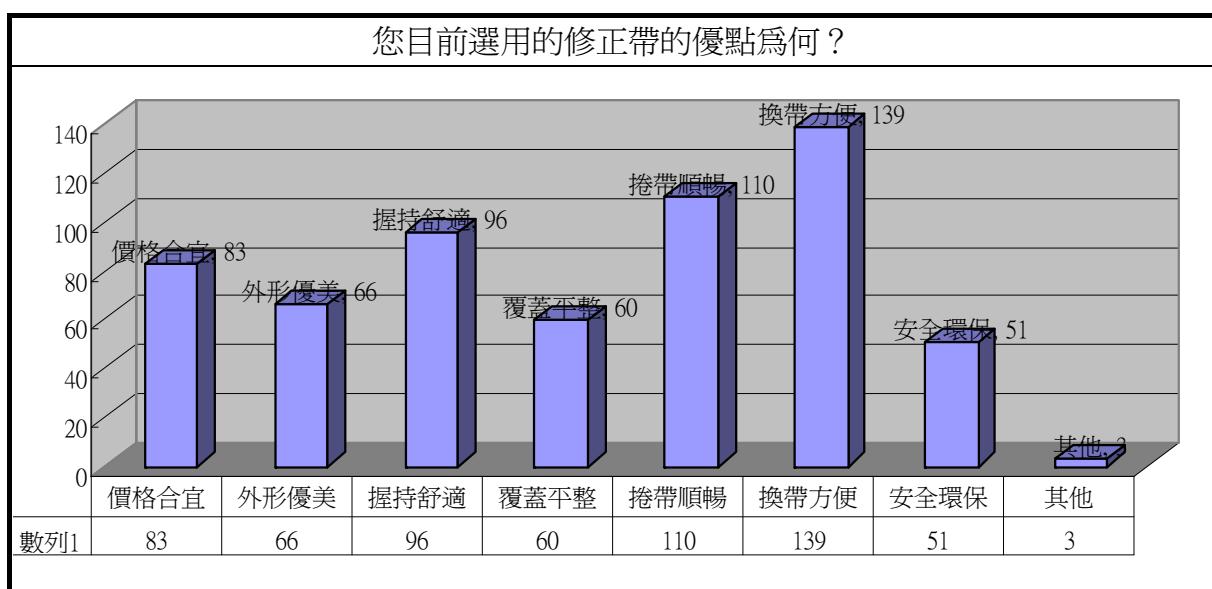
1. 調查時除簡要說明外，並進行廢料募集。
2. 募集廢料可以降低研究的採購費用，也可由部分故障品中逆推設計上或操作上的問題。

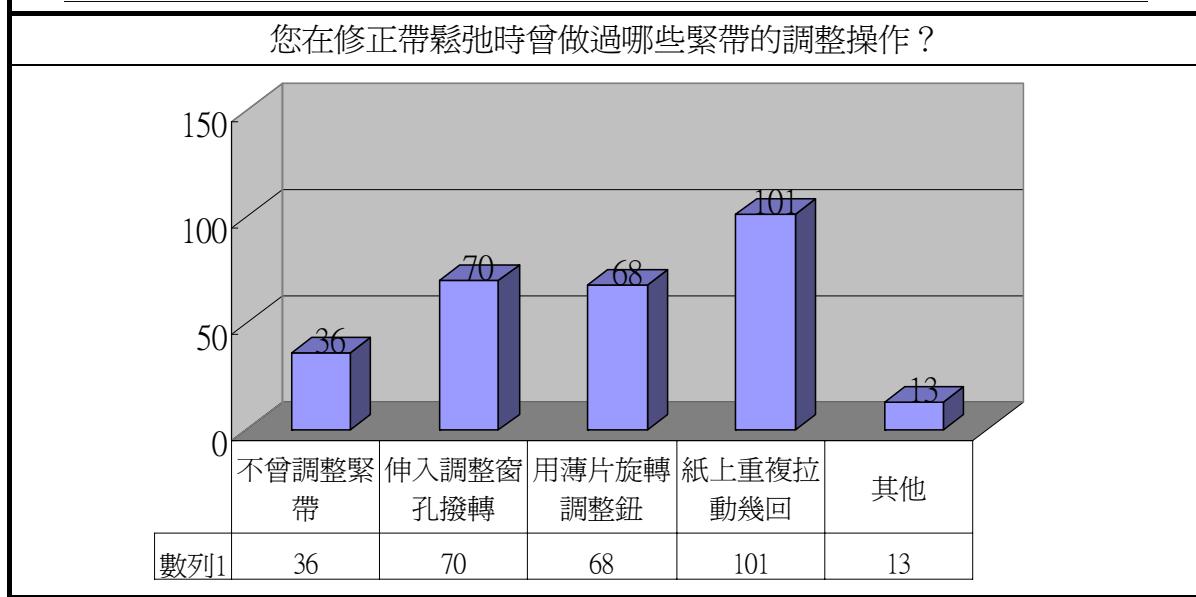
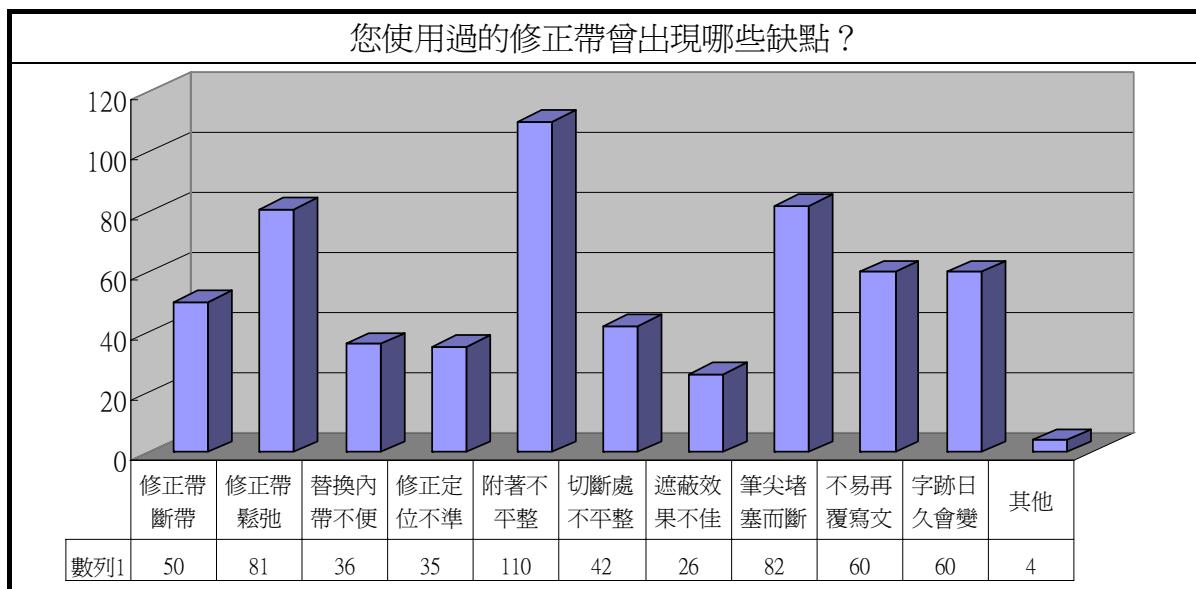
(四)回收分析

1. 感謝同學們的熱心填答，現場全數回收完成。
2. 小組分工進行問卷分析及廢料的回收分類整理。

(五)統計討論

1. 詳細結果彙整成統計表，再製成統計圖如下。
2. 回收的廢料分類呼應問卷結果，其中二種品型的數量最多，參見下頁廢料照片。
3. 對修正帶的許多便利設計，同學普遍多予肯定。
4. 同學較少利用緊帶窗孔或緊帶調整鈕。
5. 大部分同學對修正帶的捲動機制不熟悉，部分同學知道其中有齒輪零件互相咬合。
6. 期待修正帶多加強覆蓋平整及避免載帶鬆弛，也發展附加功能。





二、修正帶結構功能探究

(一)各品項之蒐集

1. 訪查同學現用的修正帶，對有特殊設計者進行了解，商借拍照存檔。
2. 訪查市面上構造較有差異者的各品項，在有限的預算內，選購較有代表性者。
(對各品型標示簡碼代號，以下均以代碼稱述)
3. 整理募得的廢料(多為替換內帶)及汰用品(少量的殘破機件)，如照片。
4. 歷初步研究後，選用三種不同傳動模式且較普遍的品型，進行更細密的操作量測。



(二)部件拆解及組合

實驗一 拆解組合修正帶來了解修正帶的主要結構功能

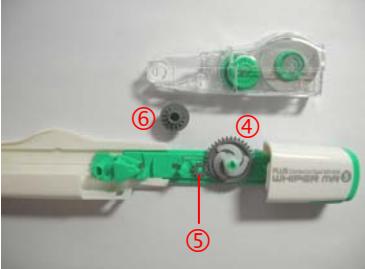
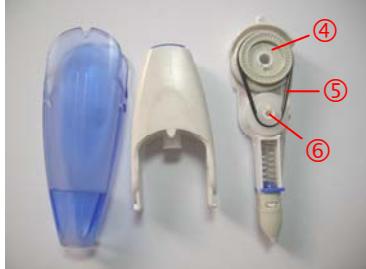
步驟：

1. 操作小工具將所蒐集到的修正帶進行細部拆解成各零件，儘量避免損壞以利組合復原。如下頁照片。
2. 了解其功能，作觀察記錄，彙整成表單。
3. 組合復原，順逆向操作並重，以便後續研究利用。

結果：

1. 其中二種品型修正帶的觀察記錄表單，彙整如下表。
2. 其他品型修正帶的觀察結果，另彙整成記錄本。

品名代碼	P1	Pm
輪數	2 個大輪	2 層輪整合似 1 個大輪
傳動方式	2 大齒輪間夾中介小齒輪	軸心及氈片緊貼摩擦
輸出方位	後輪下方	上層輪下方
回收方位	前輪上方	下層輪上方
緊帶機制	帶盤徑比小於齒輪齒數比使輸出速率小於或等於回收速率，強制在輸出帶盤軸心(聯合三叉白旋盤)與輸出齒輪內界面滑動。	輸出帶盤徑小於回收帶盤徑使輸出速率小於或等於回收速率，強制在同軸界面及氈片輪滑動。
阻逆機構	回收輪附連棘輪，機殼有 1 棘爪	回收輪有 2 根棘爪，機殼有棘輪環
手動緊帶	由帶殼窗孔伸入細尖物，順時針撥轉回收輪。	由機殼背窗孔伸入筆尖撥轉回收輪上的附齒。
塗抹頭設計	細滾軸尖端，反轉接觸面可逆推修正。與紙面可正負約 15 度翻轉，方便貼合。連附外蓋。	尖端有導帶槽。塗抹頭固定。有獨立外蓋，但易遺落。
遮蔽質料	白顏料(二氧化鈦)	白顏料
離層質料	塑膠質	塑膠質
換帶設計	齒槽設計，便利折回塗抹頭更換內帶。	無換帶
內帶規格	5mm*6M(機體可通用不同內帶寬)	5mm*7M
廢料	載帶盤、匣殼	全機身
製造年月	2009.3	2009.6
生產地	越南	越南
包裝	紙板、透明塑膠殼	塑膠袋
價格	29 元	39 元
功能特色	細滾軸尖端，利逆修、平貼及省力拉動。	空間整合小巧。
建議	加強阻逆維持緊帶	降低廢料

部件的拆解及組合		
P1 機型	S1 機型	Pm 機型
		
		
		

討論：

1. 經前述的操作及研究後已了解修正帶的主要結構功能，如下：(配合上圖中零件標號)

在「塗抹頭①」處，修正帶(內帶)與紙面間的靜摩擦力(反應操作者的手的拉力)拉出修正帶，使「白顏料」隨「載帶②」由「輸出帶盤③」輸出，帶動「輸出輪④」，經「齒輪、橡皮帶或同軸墊片⑤」，將動力傳遞至「回收輪⑥」，帶動「回收帶盤⑦」捲緊回收載帶，同時在塗抹頭尖端的白顏料與載帶離層並附著覆蓋在紙面文字上。

2. 應就上述各傳動環節進行更細密的實作研究，而各品型或稍有差異演進及特殊設計也一併分析歸納。

(三)紙張與白顏料界面及白顏料與載帶界面的靜摩擦力分析

1. 一般順利修正的狀況：

雖然修正紙面上的文字時，修正帶機身(含塗抹頭)對紙張有相對滑動，但其實紙張與覆蓋的白顏料界面的並無相對滑動，相關的動力均小於這些界面的最大靜摩擦力，維持相對的靜態。

操作者對修正帶造成的拉力 = 紙張與白顏料界面、白顏料與載帶界面的靜摩擦力

2. 未能順利修正的狀況：

因界面的正向力會影響最大靜摩擦力，若經塗抹頭加壓在修正帶與紙張界面的正向力太輕，或移經不平整表面的凹陷處，常使這些界面的最大靜摩擦力不夠大，而白顏料與紙張相對滑動，無法順利與載帶離層，附著覆蓋修正文字。

(四) 強制滑動的界面的摩擦力實驗及分析比較

歸納出三種典型的修正帶的迫緊機制，對其強制滑動的界面的摩擦力設計相關的實驗進行探究。

P1 機型中，輸出帶盤的軸心與齒輪盤內界面的摩擦力

S1 機型中，橡皮帶與回收輪界面的摩擦力

Pm 機型中，輸出帶盤與同軸心及墊片界面的摩擦力

實驗二 確認修正帶正常使用時界面是否有滑動現象

步驟：

1. 將在界面二側各標示對齊記號(藍線或白線)，如照片。

P1 機型中，標示於輸出帶盤的軸心與齒輪盤的邊緣

S1 機型中，標示於橡皮帶與輸出帶盤界面及橡皮帶與回收帶盤界面的邊緣

Pm 機型中，標示於輸出帶盤與同軸心的邊緣

2. 正常操作機身在紙上拉出一段修正帶。

3. 觀察所標示的對齊記號的變動情形。

實驗二 確認修正帶正常使用時界面是否有滑動現象

操作	P1 機型	S1 機型	Pm 機型
前			
後			

結果：

1. 所標示的對齊記號(藍線或白線)不再對齊，如照片。
2. P1 機型中：輸出帶盤的軸心邊緣的標記明顯轉動快於齒輪盤邊緣的標記。
S1 機型中：橡皮帶上的標記明顯轉動快於回收帶盤邊緣的標記。
而橡皮帶上的標記與輸出帶盤邊緣標記並無明顯的相對滑動。
且橡皮帶捲動經輸出輪前為緊張狀態，經輸出輪後為鬆弛狀態。
Pm 機型中：輸出帶盤邊緣的標記明顯轉動快於同軸心上的標記。如照片。

討論：

1. P1 機型中：

- (1)修正帶正常使用時輸出帶盤的軸心與齒輪盤內界面的確有滑動現象。
- (2)在回收載帶未迫緊時(非正常使用)，輸出帶盤的軸心與輸出齒輪同步轉動，有相同的轉速，界面以靜摩擦力進行動力的傳遞，直到修正帶達成迫緊。
- (3)在回收載帶迫緊時(正常使用)，以夠大的拉力克服界面的最大靜摩擦力後，輸出帶盤軸心的轉速快於輸出齒輪的轉速，界面改以動摩擦力傳遞動力。

2. S1 機型中：

- (1)修正帶正常使用時橡皮帶與回收輪界面的確有滑動現象。而橡皮帶與輸出輪界面的無明顯的相對滑動。
- (2)在回收載帶未迫緊時(非正常使用)，橡皮帶與回收輪同步轉動，有相同的轉速，界面以靜摩擦力進行動力的傳遞，直到修正帶達成迫緊。
- (3)在回收載帶迫緊時(正常使用)，以夠大的拉力克服界面的最大靜摩擦力後，橡皮帶的轉速快於回收輪的轉速，界面改以動摩擦力傳遞動力。
- (4)實驗前並不很確定橡皮帶在輸出輪界面及回收輪界面的滑動現象的比例，經本實驗後確認滑動現象幾乎只發生在橡皮帶與回收輪界面。
經查相關資料，大小不同的二輪以橡皮帶相連時，大輪有較大的接觸界面及接觸角，有較大的摩擦拉力效果，故小輪有明顯的滑動現象。
- (5)實驗也發現在傳動過程中，橡皮帶捲動經輸出輪前(經回收輪後)為緊張狀態，經輸出輪後(經回收輪後)為鬆弛狀態，橡皮帶在輪的二側的張力差異顯示出輸出輪為傳動的「主動輪」，而回收輪為「從動輪」。在橡皮帶的「緊側」為傳達動力的主要部分，而「鬆側」不傳達動力。

3. Pm 機型中：

- (1)修正帶正常使用時輸出帶盤與同軸心(含毛氈墊片)界面的確有滑動現象。
- (2)在回收載帶未迫緊時(非正常使用)，輸出帶盤與同軸心(連結回收帶盤)同步轉動，有相同的轉速，界面以靜摩擦力進行動力的傳遞，直到修正帶達成迫緊。
- (3)在回收載帶迫緊時(正常使用)，以夠大的拉力克服界面的最大靜摩擦力後，輸出帶盤的轉速快於同軸心(連結回收帶盤)的轉速，界面改以動摩擦力傳遞動力。

4. 此三種典型的修正帶的迫緊機制中的強制滑動界面的設計，各有其傳動上的特色。

在 P1 機型中，界面關連二個零件，配合便利更換內帶。

在 Pm 機型中，界面關連三個零件，整合成一大輪，利於縮短機身長度。

在 S1 機型中，界面關連三個零件，運動構造簡明，可更換內帶，很長期重覆使用時需考量橡皮帶的老化鬆弛。

實驗三 強制滑動界面的最大靜摩擦力矩的測量

步驟：

1. 剪斷回收載帶，形成回收帶盤端及輸出帶盤端的二個載帶斷面。
2. 將回收帶盤端載帶斷面以膠帶固定在機身，強制回收帶盤及所連結的界面不轉動。
3. 以游標卡尺測量輸出帶盤的初始直徑。記錄之。
4. 固定機身。
5. 在輸出帶盤端的載帶斷面上以膠帶黏好夾鏈袋並附掛砝碼。裝置如照片。
6. 逐次增掛調整砝碼，直至恰可拉動輸出帶盤端載帶而轉動輸出帶盤及所連動的界面。
7. 以電子秤測出夾鏈袋附掛砝碼總重量。記錄之。
8. 分析數值可得界面的最大靜摩擦力矩。



結果：

1. 測得輸出帶盤的直徑($2R$)，記錄如表。並推得恰可滑動時的拉力力臂(R)。
2. 測得夾鏈袋附掛砝碼總重量，記錄如下表。即得恰可滑動時的拉力(f)。
3. 推得恰可滑動時的拉力力矩 $L = R \times f$ ，即恰可克服界面的最大靜摩擦力矩。

實驗三 強制滑動界面的最大靜摩擦力矩的測量				
機型		P1	S1	Pm
輸出帶盤的直徑($2R$) (mm)		15.35	20.1	19.65
拉力力臂(R) (mm)		7.68	10.05	9.83
恰可滑動時 砝碼總重量 (拉力 f) (gw)	一	131.73	81.12	111.43
	二	131.32	81.07	106.50
	三	131.31	80.72	101.49
	平均值	131.45	80.97	106.47
拉力力矩(L) (mm · gw)		1008.90	813.75	1046.10

討論：

1. 克服界面的最大靜摩擦力矩所需的拉力，對一般操作者應可容易達成。
2. 或因界面的接觸條件不夠穩定，故測得的最大靜摩擦力矩有差異。
3. 若改用一般的彈簧秤測拉力，常不易在恰可滑動的瞬間讀取數值。

實驗四 強制滑動界面的動摩擦力矩的測量(運動測時法)

步驟：

1. 剪斷回收載帶，形成回收帶盤端及輸出帶盤端的二個載帶斷面。
2. 將回收帶盤端載帶斷面以膠帶固定在機身，強制回收帶盤及所連結的界面不轉動。
3. 以游標卡尺測量輸出帶盤的初始直徑。記錄如下表。
4. 固定機身。
5. 在輸出帶盤端的載帶斷面上以膠帶黏好夾鏈袋附掛足重的砝碼，秤重記錄之，(可參考實驗三的結果)，可拉動輸出帶盤端載帶而轉動輸出帶盤及所連動的界面。
6. 標記 O 點為砝碼釋放起點，標記 A 點為砝碼掉落端點，以長尺量取 OA 長度。
7. 以電子馬錶測量砝碼由 O 點靜止釋放後掉落至端點 A 點所經歷的時間，重覆操作測量。裝置如照片。
8. 分析相關數值可推得砝碼在重力合併載帶張力牽制下的掉落過程中的加速度，可推得動摩擦力矩對載帶形成的張力矩。(詳細的推導附於以下的討論中)



實驗四 強制滑動界面的動摩擦力矩的測量(運動測時法)

機型	P1			S1			Pm		
次序	一	二	三	一	二	三	一	二	三
輸出帶盤的直徑($2R$)(mm)	14.85			15.55			19.45		
OA 長度(S_{OA})(cm)	98			49			49		
附掛砝碼質量(M)(g)	120.7	120.7	120.77	100.71	100.71	100.71	120.75	120.75	120.75
O 至 A 歷時(T_{OA})(s)	1.13	1.28	1.10	2.78	1.41	2.03	4.25	4.69	4.09
O 至 A 的加速度(a)(cm/s^2)	153.50	119.63	161.98	12.68	49.29	23.78	5.43	4.46	5.86
載帶張力(f)(gw)	101.8	106.0	100.8	99.4	95.6	98.3	120.1	120.2	120.0
載帶張力矩(L)(mm · gw)	755.8	786.8	748.5	772.9	743.6	764.0	1167.8	1169.0	1167.3
動摩擦力矩(L)平均值(mm · gw)	763.7			760.2			1168.0		

結果：

1. 整理記錄，得表。
[輸出帶盤的直徑($2R$)、附掛砝碼質量(M)、 OA 長度(S_{OA})、 O 至 A 歷時(T_{OA})]
2. 分析數值推得 O 至 A 的加速度(a)， $a = 2 \times S_{OA} / T_{OA}^2$

3. 推得載帶張力 $f = M \times (g - a)$
推得對轉動中心的動摩擦力矩(載帶張力矩) $L = R \times f$
4. 相關數值計算結果，整理得表。

討論：

1. 若界面的摩擦條件固定，動摩擦力為定值，與相對運動狀態(快慢)無關，在小幅度轉動過程中，對轉動中心的動摩擦力臂、載帶張力臂也無太大變化，動摩擦力矩形成的載帶張力矩(L)也為定值，載帶張力(f)也為定值。

由力矩定義 $L = R \times f$

2. 砝碼的重力(Mg)視為定力，合併載帶張力(f)牽制下的砝碼掉落過程中，合力($Mg - f$)為定力，砝碼(M)應為等加速度運動(a)：

由牛頓第二運動定律 $Mg - f = Ma \rightarrow f = M \times (g - a)$

O 點靜止釋放後掉落至端點 A 點所經歷的距離(SOA)及時間(TOA)的關係：

由等加速度運動 $S_{OA} = 1/2 \times a \times T_{OA}^2 \rightarrow a = 2 \times S_{OA} / T_{OA}^2$

量取 S_{OA} 、測得 T_{OA} ，可推得 a 、 f ，終可推得界面的動摩擦力矩 L 。

3. 克服界面的動摩擦力矩所需的拉力，對一般操作者應可容易達成。
4. 短歷時的馬錶計時操作中，起點的開始及終點停止的判斷，人為操作的反應時間常有很大誤差，也或因界面的接觸條件不夠穩定，故測得的動摩擦力矩有差異。
5. 若改用一般的彈簧秤測拉力，常不易在移動的過程讀取穩定的數值。
6. 可嘗試發展免計時操作的測量模式。

實驗五 強制滑動界面的動摩擦力矩的測量(測重消減法)

步驟：

1. 剪斷回收載帶，形成回收帶盤端及輸出帶盤端的二個載帶斷面。
2. 將回收帶盤端載帶斷面以膠帶固定在機身，強制回收帶盤及所連結的界面不轉動。
3. 以游標卡尺測量輸出帶盤的初始直徑。記錄如表。
4. 在輸出帶盤端的載帶斷面上以膠帶黏好夾鏈袋附連較重的重物(砝碼)，置於下方的電子秤上，秤得原重，記錄之。
5. 以細棉繩一端綁夾固定機身，再跨經二個定滑輪，於細棉繩另一端附掛砝碼。
6. 先附掛輕量砝碼，經定滑輪以定力向上拉住機身迫緊細棉繩及載帶。界面上的靜摩擦力形成載帶的張力，原置於電子秤上的重物(砝碼)，因受向上的載帶張力，電子秤的讀數將減小。



7. 增掛砝碼，由細棉繩經定滑輪以較大的定力向上拉動機身，也使輸出帶盤端的載帶反向(向下)被拉動而轉動輸出帶盤及所連動的界面。裝置如照片。在此動態過程中，界面上的動摩擦力形成載帶的張力，原置於電子秤上的，因受向上的載帶張力，電子秤的讀數將減小。
8. 以相機的攝影模式拍攝記錄電子秤的數值，重覆慢播讀取，如影片。記錄其較穩定的最小值。重覆操作測量。
9. 分析動態過程，電子秤上的重物(砝碼)的測重讀數減少量，即為載帶的張力。可推得動摩擦力矩對載帶形成的張力矩。(詳細的說明附於以下的討論中)

結果：

1. 整理記錄，得表。

含輸出帶盤的直徑($2R$)、重物(砝碼)的原重(W_0)、
修正帶動態過程中重物(砝碼)的測重讀數(W)

2. 推得載帶張力 $f = W_0 - W$

推得對轉動中心的動摩擦力矩(載帶張力矩) $L = R \times f$

相關數值計算結果，整理得表。

實驗五 強制滑動界面的動摩擦力矩的測量(測重消減法)			
機型	P1	S1	Pm
輸出帶盤的直徑($2R$) (mm)	14.85	15.55	19.45
重物(砝碼)的原重(W_0) (gw)	199.9	199.9	199.9
修正帶動態過程	一	93.71	107.1
重物(砝碼)的	二	92.37	102.31
測重讀數(W)	三	91.95	101.52
(gw)	平均值	92.68	103.64
載帶張力(f) (gw)		107.22	96.26
載帶張力矩(L) (mm · gw)	796.13	748.40	1337.90

討論：

1. 適量增重砝碼(參考最大靜摩力)，造成修正帶相對於機身被拉動出，轉動輸出帶盤及所連動的界面，界面上的動摩擦力形成向上的載帶張力，減小了連結的重物在電子秤的測重讀數。
2. 在此動態過程中連結的重物在電子秤的測重讀數並不很穩定，或因界面的接觸條件不夠穩定，也或因裝置中的細棉繩及載帶扭轉振動、及中介滑的輪摩擦等因素。
3. 將電子秤的測重讀數攝影後重覆慢播讀取，為側重探討一般操作修正帶的過程中的抗力面，故記錄其較穩定的最小值，將推得較大的動摩擦力矩。

(五) 動力的傳遞

載帶的動力由輸出帶盤傳遞至回收帶盤的過程，常關連輪軸、齒輪、皮帶滑輪的機械設計，也包含力矩、功、能、摩擦力等科學概念，分析各品型歸納為三類如下：

1. P1 機型傳動的歷程：

輸出帶盤 \xrightarrow{A} 輸出捲軸 \xrightarrow{B} 輸出齒輪 \xrightarrow{C} 中介齒輪

\xrightarrow{D} 回收齒輪連結捲軸 \xrightarrow{E} 回收帶盤

A：輸出帶盤(半徑 R)的「盤內細齒」咬合輸出捲軸的「凸齒」。

B：輸出捲軸連結「捲軸盤」緊貼摩擦(可滑動)輸出齒輪「凸環內面」，有限度的摩擦力矩將有限度的轉動力矩傳至輸出齒輪。

C：輸出齒輪(齒數 K)咬合中介齒輪，反向傳動。

D：中介齒輪咬合回收齒輪(齒數 h)，再反向傳動。

E：回收齒輪連結回收捲軸的「凸齒」咬合回收帶盤(半徑 r)的「盤內凸齒」。

拉動輸出帶的張力($f_{\text{出}}$)、回收帶可傳動張力($f_{\text{收}}$)、載帶初張力(f_0)、界面 B 傳動力矩(L)有以下關係：(忽略其他細節摩擦)

$$f_{\text{出}} \times R \geq L = f_{\text{收}} \times r \times K / h \geq f_0 \times r \times K / h$$

導得 $f_0 \leq f_{\text{收}} = L / r \times h / K \leq f_{\text{出}} \times R / r \times h / K$ 。

設計使 $R / r < K / h$ 所以 $f_0 \leq f_{\text{收}} < f_{\text{出}}$

2. S1 機型傳動的歷程：

輸出帶盤 \xrightarrow{A} 輸出滑輪 \xrightarrow{B} 橡皮帶輸出端 \xrightarrow{C} 橡皮帶回收端

\xrightarrow{D} 回收滑輪 \xrightarrow{E} 回收帶盤

A：輸出帶盤(半徑 R)的連結輸出滑輪(半徑 K)。

B：輸出滑輪緊貼摩擦(幾乎不滑動)橡皮帶輸出端，同向傳動。

C：橡皮帶輸出端張力傳動至橡皮帶回收端。

D：橡皮帶回收端摩擦(可滑動)回收滑輪，有限度的摩擦力矩將有限度的轉動力矩傳至回收滑輪。

E：回收滑輪(半徑 h)連結回收帶盤(半徑 r)

拉動輸出帶的張力($f_{\text{出}}$)、回收帶可傳動張力($f_{\text{收}}$)、載帶初張力(f_0)、界面 D 傳動力矩(L)有以下關係：(忽略其他細節摩擦)

$$f_{\text{出}} \times R \times h / K \geq L = f_{\text{收}} \times r \geq f_0 \times r$$

導得 $f_0 \leq f_{\text{收}} = L / r \leq f_{\text{出}} \times R / r \times h / K$ 。

設計使 $R / r < K / h$ 所以 $f_0 \leq f_{\text{收}} < f_{\text{出}}$

3. Pm 機型傳動的歷程：

輸出帶盤 \xrightarrow{A} 同軸心(含毛氈墊片) \xrightarrow{B} 回收帶盤

A ：輸出帶盤(半徑 R)摩擦(可滑動)同軸心(含毛氈墊片)有限度的摩擦力矩將有限度的轉動力矩傳至同軸心(含毛氈墊片)

B ：同軸心(含毛氈墊片)連結回收帶盤(半徑 r)，同向傳動。

拉動輸出帶的張力($f_{\text{出}}$)、回收帶可傳動張力($f_{\text{收}}$)、載帶初張力(f_0)、界面 A 傳動力矩(L)有以下關係：(忽略其他細節摩擦)

$$f_{\text{出}} \times R \geq L = f_{\text{收}} \times r \geq f_0 \times r$$

導得 $f_0 \leq f_{\text{收}} = L/r \leq f_{\text{出}} \times R/r$ 。

設計使 $R < r$ 所以 $f_0 \leq f_{\text{收}} < f_{\text{出}}$

討論：

1. 若載帶鬆弛，則預備滑動界面無相對滑動， L 為界面的靜摩擦力矩。

若載帶已迫緊，則步驟 B 的界面有相對滑動， L 為界面的動摩擦力矩。

2. **修正帶應設計 $R/r < K/h$ (帶盤徑比 < 傳動輪徑比)**，或 $R < r$ (出收帶盤徑比 < 1)。

所以：回收帶可傳動的張力($f_{\text{收}}$) < 拉動輸出帶的張力($f_{\text{出}}$) 此為「費力的機械」裝置。

但載帶鬆弛時的初張力(f_0)遠小於回收帶可傳動的張力($f_{\text{收}}$)，回收帶盤可輕鬆捲收載帶。

3. 載帶的迫緊過程，初張力(f_0)漸逼近回收帶可傳動的張力($f_{\text{收}}$)，受所設計的界面動摩擦力矩(L)限制。

4. 所設計的界面動摩擦力矩(L)也需考量：

達成「在輸出帶盤快轉盡時以載帶材料最大張力仍可強制界面滑動」

即應 界面動摩擦力矩(L) \leq [輸出帶盤的最小半徑 \times 載帶材料最大張力]

否則載帶迫緊後將卡住或斷帶。

5. 由 $f_0 \leq f_{\text{收}} < f_{\text{出}}$ 顯示塗抹頭尖端二側的載帶有張力差。

動態操作時，需施力將修正帶由輸出帶盤拉向回收帶盤方向(與直觀相符)，以克服二側的張力差。

靜置不施力時，二側的張力差可能導致載帶的小段逆轉，可設計適當的抗逆轉機構予以防止。

6. 可預見輸出帶盤愈接近用盡時， R 愈小而 r 愈大， R/r 愈小則 $f_{\text{收}}/f_{\text{出}}$ 愈小。

塗抹頭尖端二側的載帶張力差愈大，正常操作修正帶所需的施力也愈大。

故在輸出帶盤飽滿時應設計使 $R/r < K/h$ 或 $R < r$ 但差異不大，以利之後輕鬆施力。

7. 設計不同帶長規格的替換內帶時，常需考慮 $R/r < K/h$ 、摩擦力矩限制、載帶張力差等項目的運動關係，故機身各零件常需對應調整設計，常不能通用相同的機身。

8. Pm 機型傳動的歷程似較簡單，外觀上輸出及回收整合近似一輪，但需設計 $R < r$ ，故外型長度可縮短而較寬厚。也不便替換內帶。

9. 預備滑動界面的摩擦力設計為傳動的關鍵，也需考慮若長期重覆使用的老化或磨損的耗弱問題。

(六)載帶的迫緊回收機制

之前由動力的傳遞歷程探討載帶的迫緊回收，現另由載帶的長度變化速率進行分析，也可呼應之前的結論。並可實測相關零件的規格驗証之。

1. 若界面無滑動設計：

在使用歷程中，無法保持載帶的輸出速率等於載帶的回收速率，載帶的長度常隨二個帶盤半徑的變動而呈鬆弛或卡住（「過」與「不及」），如下分析。

載帶的輸出速率=輸出帶盤轉動(角)速率 \times 輸出帶盤半徑(R)

載帶的回收速率=回收帶盤轉動(角)速率 \times 回收帶盤半徑 (r)

P1 機型：

輸出帶盤轉動(角)速率 \times 輸出齒輪齒數(K)=回收帶盤轉動(角)速率 \times 回收齒輪齒數(h)

載帶的輸出速率：載帶的回收速率= $Rh : rK$

S1 機型：

輸出帶盤轉動(角)速率 \times 輸出滑輪半徑(K)=回收帶盤轉動(角)速率 \times 回收滑輪半徑(h)

載帶的輸出速率：載帶的回收速率= $Rh : rK$

Pm 機型：

輸出帶盤轉動(角)速率=回收帶盤轉動(角)速率

載帶的輸出速率：載帶的回收速率 = $R : r$

2. 若界面有滑動設計：

在使用歷程中，先使載帶的輸出速率小於載帶的回收速率，能迫緊回收鬆弛的載帶，而載帶迫緊後能保持載帶的輸出速率等於載帶的回收速率。

先迫緊鬆弛的載帶過程，搭配適當的設計，界面可不滑動，仿同 1 的分析。

P1 機型：需設計使 $Rh < rK$ ，即 $R/r < K/h$ (帶盤徑比小於傳動輪徑比)

S1 機型：需設計使 $Rh < rK$ ，即 $R/r < K/h$ (帶盤徑比小於傳動輪徑比)

Pm 機型：需設計使 $R < r$ (輸出帶盤徑小於回收帶盤徑)

載帶迫緊後，必須保持載帶的回收速率=載帶的輸出速率。

輸出帶盤轉動(角)速率：回收帶盤轉動(角)速率= $r : R$

並分析帶盤所運動的可滑動界面的二側轉動(角)速率關係，如下：

P1 機型：(界面 B)

輸出側：回收側= $r : R \times h/K$ ，而 $Rh < rK$ ，所以輸出側轉動動(角)速率快於回收側

S1 機型：(界面 D)

輸出側：回收側= $r \times K/h : R$ ，而 $Rh < rK$ ，所以輸出側轉動動(角)速率快於回收側

Pm 機型：(界面 A)

輸出側：回收側= $r : R$ ，而 $R < r$ ，所以輸出側轉動動(角)速率快於回收側

歸納上述 即得：

載帶鬆弛時，載帶輸出與回收速率比為 Rh/rK 或 R/r (<1)

載帶迫緊時，界面二側轉速比(回收/輸出)為 Rh/rK 或 R/r (<1)

實驗六 修正帶的迫緊傳動元件的實測驗証

步驟：

1. 拆解各機型修正帶的迫緊傳動機構的相關元件
2. 測量使用前輸出帶盤直徑($2R$)、空回收帶盤的直徑($2r$)、輸出齒輪齒數或滑輪半徑(K)、回收齒輪齒數或滑輪半徑(h)，記錄之。
3. 計算帶盤徑比(R/r)、傳動輪徑比(K/h)、 Rh/rK 值。

結果：

1. 整理記錄及推算結果，如表。
2. 得帶盤徑比(R/r)<傳動輪徑比(K/h)。
3. 得(Rh/rK)或(R/r)<1。

實驗六 修正帶的迫緊傳動元件的實測驗証			
機型	P1 (綠 5mmx6m)	S1 (藍 5mmx6m)	Pm (5mmx7m)
使用前輸出帶盤的直徑($2R$)	20.20mm	20.50mm	24.65mm
空回收帶盤的直徑($2r$)	11.65mm	9.50mm	28.80mm
帶盤徑比(R/r)	1.734	2.158	0.856
輸出齒輪齒數或滑輪半徑(K)	36 齒	16.70 mm	
回收齒輪齒數或滑輪半徑(h)	14 齒	6.9mm	
傳動輪徑比(K/h)	2.571	2.420	
(Rh/rK)	0.674	0.892	

討論：

1. 由載帶的長度變化進行分析，果然與之前的動力分析相對應，也得到一些相同的結論。
2. 由實測相關元件的規格，也果然驗証理論分析的結果。

帶盤徑比(R/r)<傳動輪徑比(K/h)，(Rh/rK)或(R/r)<1

3. 根據：載帶鬆弛時，載帶輸出與回收速率比為 Rh/rK 或 R/r (<1)
載帶迫緊時，界面二側轉速比(回收/輸出)為 Rh/rK 或 R/r (<1)

其中[P1、S1 機型(Rh/rK)、Pm 機型(R/r)] 數值愈小，代表：

在載帶鬆弛時，有愈大的緊帶效率；在載帶迫緊時，有愈大的界面滑動轉速差。

此數值不僅各品型設計有差異，且隨使用過程(R 將漸小而將 r 漸大)此數值將漸小。

4. 此外，載帶速率分析可增加了解可滑動界面的二側轉動(角)速率比；而傳遞動力分析可增加了解可滑動界面的力矩關係及摩擦力矩限制，二個面向正好互相印証也互補。
5. 功率=力×速率，力及速率是機械傳遞功率的二個面向，若忽略其他細節摩擦：
界面不滑動時，輸出帶與回收帶的張力比及速率比有反比關係，力學能守恆。
界面有滑動時，輸出帶的張力大於回收帶的張力，而出收帶速率相同，力學能不守恆，因界面摩擦力損失部分力學能，轉為熱能。

(七) 棘輪阻逆轉

正常順向操作修正帶原設計有將鬆弛的載帶迫緊的機制 $R / r < K / h$ 或 $R < r$ 。但在相同的結構下，若逆向使載帶由原回收帶盤倒回原輸出盤時，載帶必會鬆弛，而持續進行將終至錯亂。故需設計能阻止逆轉而維持單向順轉的機構，常見於各品型者為單向棘輪環(搭配棘爪)，各設計於不同的部位，阻逆的效果也有差異。就三種品型的模式，以實驗測量其阻逆的最大抗力矩，再分析討論之。

實驗七 單向棘輪機構的最大阻逆力矩的測量

步驟：

1. 剪斷回收載帶，形成回收帶盤端及輸出帶盤端的二個載帶斷面。
2. 以游標卡尺測量回收帶盤的初始直徑。記錄如表。
3. 固定機身。
4. 在回收帶盤端的載帶斷面上以膠帶黏好夾鏈袋附掛砝碼。裝置如照片。
5. 逐次增掛調整砝碼，直至恰可拉動回收帶盤端載帶而運動逆轉單向棘輪機構。
6. 以電子秤測出來鏈袋附掛砝碼總重量。記錄如表。
7. 分析數值可得單向棘輪機構的最大阻逆力矩。

結果：

1. 測得回收帶盤的直徑($2R$)，記錄如表。即得恰可拉動時的拉力力臂(R)。
2. 測得夾鏈袋附掛砝碼總重量，記錄如表。即得恰可拉動時的拉力。
3. 推得恰可拉動時的拉力力矩(=拉力力臂 \times 拉力)，即恰可克服單向棘輪機構的最大阻逆力矩。
4. 對 P_m 機型的實驗中，甚至已拉斷載帶，尙不能逆轉單向棘輪機構。



實驗七 單向棘輪機構的最大阻逆力矩的測量							
機型		P1	S1	Pm	機型		
恰可拉動時的拉力(gw)	一	141.31	292.42	333.01	一	斷帶前的拉力(gw)	
	二	95.94	241.65	443.27	二		
	三	98.98	222.18	534.83	三		
	平均值	112.08	252.08	437.04	平均值		
回收帶盤的直徑(mm)		12.75	9.40	30.65	回收帶盤的直徑(mm)		
拉力力臂(mm)		6.38	4.70	15.33	拉力力臂(mm)		
恰可拉動時的拉力力矩 (棘輪最大阻逆力矩) (mm \cdot gw)		714.49	1184.79	6697.59	斷帶前的拉力力矩 (mm \cdot gw)		
棘輪機構		單根棘爪 棘環小 (5.3mm)	二根棘爪 棘環中 (16.6mm)	二根棘爪 棘環大深 (24.4mm)	棘輪機構		

討論：

1. 單向棘輪機構的阻逆力矩可對抗修正帶在操作後靜置時局部的載張力差可能形成的鬆弛，比較實驗三~六的結果，同品型的阻逆力矩常大於摩擦力矩所傳動的張力矩。
2. 單向棘輪機構的阻逆力矩也可限制操作者一般不小心的逆向操作，但對於故意的逆向操作(如本實驗)，阻逆效果仍有限。
3. 比較各品型的阻逆機構，可發現加大棘輪環半徑、增加棘爪數、增加棘深或維持穩定的咬合平面，均有利增大單向棘輪機構的最大阻逆力矩，如 Pm 機型。
4. 增大棘輪機構的阻逆效果需考量同時也會增大順向傳動時棘輪機構的摩擦力矩或產生其他副作用，如增大了棘爪滑經棘輪環產生的滴答聲。
5. 除棘輪機構外，修正帶的其他相關部件的細節也會影響載帶迫緊後靜置卻又鬆弛的問題，如 P1 機型中回收捲軸的凸齒咬合回收帶盤的盤內凸齒餘留的間隙(角度)過大，使回收帶盤有逆轉的角度空間，隨回收盤半徑愈大，載帶鬆弛將愈明顯。

(八)手動緊帶設計

修正帶的鬆弛問題雖不免發生，但隨自動強制迫緊機制的設計漸精巧，少量的鬆弛可持續正常順向操作拉動修正帶，將可自動迫緊，也或許會犧牲少量的白顏料未使用。對較大量的鬆弛可透過各品型的手動緊帶設計來調整。分析討論如下。(見下頁圖示)

1. P1 機型：緊帶棘環(半徑 4.65mm)

- (1)內帶外殼留有調整窗孔，伸入長細棒(如牙籤、針)可順向撥轉回收帶盤上的撥轉棘環，迫緊載帶。一般筆尖無法深入機殼窗孔撥轉到回收帶盤上的撥轉棘環，應予改良。
- (2)可在殼上窗孔附近明顯標示順向撥轉方向，提示一般使用者不致誤用蠻力逆向撥轉。

2. S1 機型：緊帶凹洞(距心半徑 3mm)

- (1)拆去機外殼卸取內帶後，可在回收帶盤連結的回收滑輪側的小凹洞上，配合細筆尖順向撥轉回收帶盤來迫緊載帶。
- (2)雖設計留有小凹洞，可惜不明顯，且大部分的內帶包裝上無相關的使用說明，少數的內帶附有紙殼的相關使用說明，但圖示不清，易誤導成插轉「軸心孔」。而回收帶盤側有順向轉動的標示凹痕，可惜不夠清楚。相關的凹痕或凹孔可予上色顯示。
- (3)另可於輸出帶盤側的緊帶棘環上配合細筆尖逆向撥轉輸出帶盤，迫緊載帶。先取下橡皮帶後，不用對抗回收帶盤的阻逆機構，再逆向撥轉輸出帶盤會較輕鬆。且雖設計留有輸出帶盤側的緊帶棘環，卻未見相關的撥轉使用說明及方向標示。
- (4)此類機型需分離機殼拆取內帶後才能調整者相對較不便利，可在機外殼預留窗孔，方便直接調整迫緊。

3. Pm 機型：緊帶棘環(半徑 12.2mm)

- (1)機外殼預留有調整窗孔，可伸入筆尖順向撥轉回收帶盤側的棘環，迫緊載帶。
- (2)此機型的回收帶盤側的撥轉棘環大(力臂長)，便利輕鬆施力迫緊已鬆弛的載帶。
- (3)若能在殼上窗孔附近標示順向撥轉方向，更可避免操作上的失誤。

4. 另有很多其他品型已發展各有特色的補救緊帶設計，如重覆按鍵出收塗抹頭來緊帶。可參見各品型的觀察分析記錄表單中的手動緊帶設計欄。

手動緊帶設計			
P1 (窗孔)	S1 (或有凹洞)	S1 (說明圖示易誤導)	Pm (窗孔)

(九)便利替換內帶設計

修正帶為提供白顏料的覆蓋修正效果而設計的整組裝置，在白顏料用盡後若無配套的再利用設計，將和墨水筆等消耗型的文具一樣盡成廢料，甚至更佔空間、更浪費資源、消耗速率更快、廢料率更高。故和墨水筆能替換筆芯或能補充墨水一樣，能替換補充內帶是很重要的節省資源的措施。

但修正帶的機械設計相對較複雜，為便利一般使用者操作替換內帶，更需添加相對應的設計，各品型搭配其傳動機制也各有不同的設計，最終的節省資源的成果也不同，以下對較常見的品型的廢料率進行實測，及對對較典型的便利替換內帶設計進行分析討論。

實驗八 修正帶的廢料率測量

步驟：

- 利用募集所得的廢料最豐富的三種機型，配合相應的未用新品，以電子秤量出下列品項的重量，記錄之。



P1 機型：機身、未使用前的內帶、使用盡的內帶、去載帶的內殼
 S1 機型：機身、未使用前的內帶、使用盡的內帶、去載帶的內殼
 Pm 機型：機身含未使用前的內帶、機身含空載帶、機身去空載帶

- 推算相關品型的下列項目。

白顏料含載帶重(未使用前的內帶重－去載帶的內殼重)

(機身含未使用前的內帶－機身去空載帶重)

空載帶淨重(使用盡的內帶重－去載帶的內殼重)(機身含空載帶重－機身去空載帶重)

機身含未使用前的內帶總重(機身重+未使用前的內帶重)

帶廢料率(空載帶淨重 / 白顏料含載帶重)

替換內帶的局廢料率(使用盡的內帶重 / 未使用前的內帶重)、

替換內帶的全廢料率(使用盡的內帶重 / 機身含未使用前的內帶總重)

不替換內帶的全廢料率(機身含使用盡的內帶重 / 機身含未使用前的內帶總重)

結果：

- 彙整量得的各品項重量(平均值)，整理如下表。
- 推算得各品型的各項目的數值，整理如下表。
- 比較各種程度的廢料率。

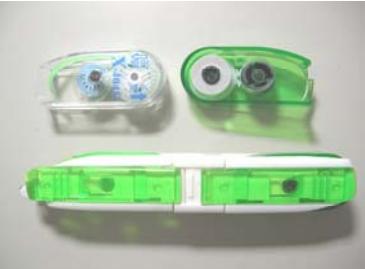
實驗八 修正帶的廢料率測量～廢料測重							
機型	P1 (x6m) 使用盡的內帶重(gw)			S1 (x6m) 使用盡的內帶重(gw)			Pm(x7m) 機身含使用盡的內帶重(gw)
樣品 數量	藍 6mm	綠 5mm	紅 4.2mm	綠 6mm	藍 5mm	橙 4.2mm	白 5mm
1	4.54	4.44	4.12	5.27	5.34	5.14	10.94
2	4.55	4.36	4.27			5.14	
3	4.51	4.38	4.25			5.15	
4	4.52	4.43	4.19			5.09	
5	4.49					5.26	
6	4.56					5.24	
平均	4.53	4.40	4.21	5.27	5.34	5.17	10.94

實驗八 修正帶的廢料率測量～計算				
機型	P1 綠 (5mmx6m)	S1 藍 (5mmx6m)	Pm (5mmx7m)	機型
機身重(g)	15.37	13.86		
未使用前的內帶重(g)	5.22	6.21		
使用盡的內帶重(g)	4.40	5.34	10.94	機身含使用盡的內帶總重(g)
去載帶的內殼重(g)	3.83	4.75	10.01	機身去載帶後的重(g)
白顏料含載帶重(g)	1.39	1.46	2.18	白顏料含載帶重(g)
空載帶淨重(g)	0.57	0.59	0.93	空載帶淨重(g)
機身含未使用前的內帶總重(g)	20.59	20.07	12.19	機身含未使用前的內帶總重(g)
帶廢料率	0.41	0.40	0.43	帶廢料率
替換內帶的局廢料率	0.84	0.86		
替換內帶的全廢料率	0.21	0.27		
不替換內帶的全廢料率	0.96	0.96	0.9	不替換內帶的全廢料率

討論：

- 實際使用過的修正帶，因載帶上白顏料的殘留量不同，故測量所得稍有差異，以平均值代表之。
- 實測推算各種程度的廢料率可知「帶廢料率」(載帶/修正帶)其實不大，但其他廢料率則很大。即必要的廢料率(只有載帶)其實不大，而延伸的廢料率(含內殼、機身)則很大。
- 可替換內帶的全廢料率明顯小於不替換內帶的全廢料率。足見不替換內帶用完拋棄的資源浪費程度。

4. 二種同樣可替換內帶的 P1 及 S1 機型，P1 的局廢料率及全廢料率均明顯小於 S1，乃因 P1 機型的傳動機構、塗抹頭等零件均設計固定於機身，可重覆使用。而 S1 機型的大部分零件均附含在內帶殼上成爲廢料，甚是可惜。
5. 一併分析其他可替換內帶機型，其替換內帶除必含白顏料載帶及出收帶盤外，常也另含其他的結構，大概分爲下表①~⑤類，替換內帶隨所附零件愈多，廢料率也愈大。
6. 為便利替換，針對內帶的結構特性，機身也設計一些機制對應配合。如 P1 設計在替換內帶時巧妙的透過齒緣，可折回塗抹頭以便利修正帶套上。見下表右下照片。

可替換內帶類型(均必含白顏料載帶及出收帶盤)		
①不另含其他零件	②含內殼或部分外殼	③含塗抹頭及內殼或部分外殼
		
④傳動機構及內殼或部分外殼	⑤傳動機構、塗抹頭及內外殼	替換內帶時齒緣折回塗抹頭
		

(十)塗抹頭的特殊設計

塗抹頭的尖端將白顏料貼附在紙面上，相較於其他較大的機械零件，塗抹頭雖不起眼，卻是直接影響塗覆效果的關鍵，且常連帶有其他功能而有細膩的成型設計。

1. 貼附

- (1)尖端附近有可使修正帶與紙張平貼接觸的小區域，以提供適當的摩擦條件，便利白顏料的貼附及拉動載帶。
- (2)尖端附近上下二側常有不對稱設計，如 S1 機型，較有利單向操作(若右持者方便右拉，不利左推)。也有故意較對稱設計者，如 P1 機型，強調可雙向操作(若右持者可右拉也可左推)。
- (3)尖端附近的外型將限制機身與紙張有效操作的接觸角範圍。

2. 離層

白顏料貼附在紙張上，而載帶經尖端轉向反向與白顏料分離。

3. 切斷

輕壓尖端或細小的滾軸有利切割白顏料產生平整的斷口。

4. 導帶

塗抹頭的二側緣常有凸起，如 S1 機型、Pm 機型，可配合帶寬限制修正帶，引導出穩定的捲動方向。而限制過度寬鬆者，如 P1 機型，雖通用多種帶寬的內帶，但修正帶易在過大的餘隙間擺動，不利精確定位修正，也較不利拉出穩定長直的修正範圍。

5. 收藏

為避免塗抹頭的白顏料與其他可能接觸的物品互相汙染，不使用時塗抹頭露出白顏料的部分需予適當收藏。

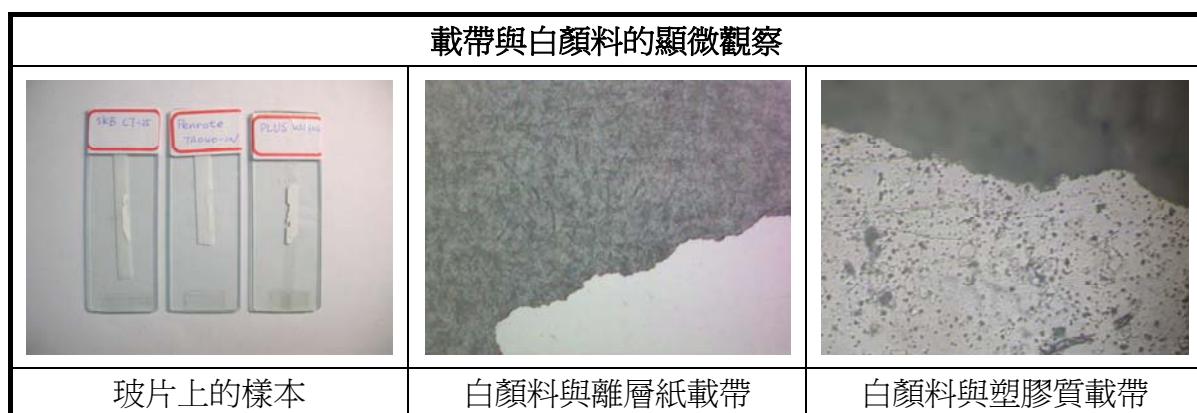
有些拋棄型的修正帶完全不收藏。有些附有獨立的外蓋，但容易遺失，如 Pm 機型。有外蓋附於機身卡合於塗抹頭上，如 P1 機型，但操作不夠便利。也有按鍵出收式、旋鈕出收式，如筆一般的方便收合。

6. 滑順

太過銳利的尖端在迫緊時容易阻礙載帶捲動，甚至切斷載帶，也容易在重覆修正時刮損原已覆蓋的白顏料。故尖端常適當光滑，或以細滾軸為尖端，如 P1 機型，有利滑順操作。

(十一) 載帶與白顏料

在載帶能順利捲動及白顏料能有效遮修正文字的前提下，愈薄的載帶及白顏料在相同空間內的容納量更長。各機型修正帶與傳統修正液的白顏料的成分標示均同為二氧化鈦(鈦白粉)，但修正液另添加多量的揮發性溶劑。載帶的成分標示大多塑膠樹脂、離層紙。以顯微鏡及數位顯微鏡頭觀察其表面，如照片。另設計實驗測量推算載帶及白顏料的厚度。



實驗九 測量推算修正帶(載帶含白顏料)的厚度

步驟：

1. 以游標卡尺測量未使用前的輸出帶盤直徑($2R_0$)，記錄之。
2. 在輸出帶盤緣作標記，計數拉盡修正帶過程中帶盤緣標記轉過的圈數(N)
3. 以游標卡尺測量使用後的輸出帶盤直徑($2R$)，記錄之。
4. 推算修正帶(載帶含白顏料)的厚度 $D=(2R_0-2R)/2N$ 。

結果：

1. 對四種機型修正帶(載帶含白顏料)的厚度進行實驗，結果記錄整理如表。
2. 推算得厚度，一併整理於表中。

實驗九 測量推算修正帶(載帶含白顏料)的厚度				
機型	P1	S1	Pm	T2(紙質)
未使用前的輸出帶盤直徑($2R_0$)	20.20mm	20.50mm	24.65mm	24.05 mm
帶盤緣標記轉過的圈數(N)	117	124	111	105
使用後的輸出帶盤直徑($2R$)	9.9 mm	11.00mm	16.05mm	12.5 mm
載帶含白顏料的總厚度(D)	0.0440mm	0.0383 mm	0.0387 mm	0.0550 mm

討論：

- 三種塑膠質載帶含白顏料(修正帶)的厚度差異不大，但紙質載帶較厚。
- 直接測量單層的厚度無法達到本方法的精確度。
- 空載帶厚也可仿此法實驗測量推得。
- 計數動態的圈數時宜放慢拉帶的速度。
- 也可利用和輸出載帶長度的關係來推導厚度。

實驗十 由輸出載帶長度和厚度的關係來測量推得載帶厚度、白顏料厚度

步驟：

- 以游標卡尺測量載帶盤的直徑($2r$)，記錄之。
- 由載帶盤最外層以針刺穿載帶的總厚度直至空帶盤軸表面(直徑 $2r_0$)，以針孔為標記。
- 拉出全部的載帶，計數針孔標記數，即為層數(n)。
- 測量載帶總長(L)，記錄之。
- 推算載帶厚度 $d=(2r/n)-(L/\pi n^2)$ (關係式推導於討論)

結果：

- 對四種機型載帶的厚度進行實驗，結果記錄整理如表。
- 推算空載帶厚度，並參照實驗九結果，推算得白顏料厚度($(D-d)$)及厚度率($(D-d)/D$)，一併整理於表中。

實驗十 由輸出載帶長度和厚度的關係來測量推得載帶厚度、白顏料厚度				
機型	P1	S1	Pm	T2(紙質)
載帶盤的直徑($2r$)	15.65 mm	13.4 mm	31.1 mm	21.1 mm
載帶針孔標記層數(n)	149	167	79	108
載帶總長(L)	6495 mm	6198 mm	7570 mm	6173 mm
載帶厚度(d)	0.0119 mm	0.0095 mm	0.0076 mm	0.0269 mm
載帶含白顏料的厚度(D)	0.0440mm	0.0383 mm	0.0387 mm	0.0550 mm
白顏料的厚度($D-d$)	0.0321mm	0.0288 mm	0.0311 mm	0.0281 mm
白顏料的厚度率($(D-d)/D$)	0.73	0.75	0.80	0.51

討論：

- 推導輸出載帶長度和厚度的關係。

由載帶厚度捲成的圓環側面積等於拉長成的細長條側面積

$$\pi(r^2 - r_0^2) = L d \quad \text{且} \quad d = (r - r_0) / n$$

整理可得 $L = \pi n (2r_0 + n d)$ 及 $d = (2r/n) - (L/\pi n^2)$

也可由每一圈的帶長為等差數列

第1圈長為 $(2\pi r_0 + \pi d)$ ，公差為 $2\pi d$ ，第 n 圈長為 $[(2\pi r_0 + \pi d) + (n-1)(2\pi d)]$

n 圈總長 $L = \{(2\pi r_0 + \pi d) + [(2\pi r_0 + \pi d) + (n-1)(2\pi d)]\} \times n/2$

整理可得 $L = \pi n (2r_0 + n d)$ 及 $d = (2r/n) - (L/\pi n^2)$

2. Pm型載帶最薄，應注意使用時斷帶的風險。
3. 紙質載帶比三種塑膠質載帶厚度大(2.2~3.5倍)。較不利空間的簡約及帶長的延伸。
4. 參照實驗九和實驗十的結果，四種品型的白顏料厚度差異很小。若白顏料的材質相同，遮蔽修正效果應相近。
5. 三種塑膠質載帶的白顏料厚度率相近，平均約為76%，白顏料厚約為載帶厚度的3倍。
6. 紙質載帶的厚度約等於白顏料厚度。
7. 殘留在空載帶的白顏料量會影響厚度的推算，測量前若先予檢查清除可降低誤差。
8. 比較實驗九、十的操作方法均可用於薄帶厚度的測量。實驗九不測帶長，可降低測量時白顏料與環境的相互汙染。實驗十中的針孔標記數(圈數)更有利於靜態重覆計數。但針孔會有小破壞，較適合測量回收的廢載帶。此二實驗正可搭配相輔。

三、修正帶的功能演進及改良建議

(一)迫緊載帶

隨時迫緊載帶是修正帶重要的基本設計，各品型大多已達成目標。但在靜置後仍有逆回鬆弛者，應細究原因改良。也或有不當操作所致的鬆弛，則應強化手動緊帶的便利設計並標示明確的操作方法說明。

(二)白顏料平貼

修正帶塗抹頭滑經不平坦的表面時，常因接觸密合度不同，影響摩擦力、載帶張力及附著效果不平均，白顏料或有凸起、脫落情形。也有會刮損前已覆蓋的白顏料，甚至切斷載帶的情形。於是有的品型用細滾軸代替尖端，也可嘗試用降低剛性的尖端材質。

(三)替換內帶降低廢料

雖很多品型均有替換內帶的設計，但目前的替換內帶消耗速率很快，廢料率仍很高，又佔空間，或有標榜無毒害、環保者，但也考慮利用可分解材質，降低對環境的傷害。有些品型雖然也有不同程度廢料率的補充包，但價格差異不大，低廢料率補充包的價格誘因不足，如下表所示。建議反映長遠的經濟價值，設計適當的價差做為消費誘因。當然，配套設計簡便的替換操作，也是選用低廢料率補充帶的重要誘因。

同機型不同廢料率的修正帶及替換內帶		
		
全機型(48元)	快速替換型(40元)	經濟型(32元)

方便替換內帶



拋棄式



(四)帶寬帶長通用

許多機型常可通用 4.2、5、6 mm 帶寬。如 S1 的塗抹頭附於內帶殼有 7.5mm 的外寬，內寬則恰配合載帶寬，簡單的機外殼通用限度內的替換內帶，但塗抹頭及傳動機構隨替換內帶用盡成為廢料，資源代價高。如 P1 的塗抹頭連結於機身有 8.3mm 的內寬，可通用限度內的帶寬，但不替換塗抹頭會餘留間隙，使載帶不易穩定定位修正。或可設計內寬可調節式的塗抹頭，予以改良。

帶長的變動常需配套傳動機構的尺寸的變動，通用帶長限制較大。而較長的帶長，常傾向於用完即拋式。若也配合替換內帶的設計，每單位長度的資源成本可更低。



(五)單輪

有的機型整合輸出及回收帶盤共軸於一大輪的二側上，如 Pm 型。在外觀上較短寬厚，可精簡一些傳動機構。

輸出輪回收輪同軸整合為一大輪



(六)握持

1. 塗抹頭的翻旋彈性

手握持拉動機身的修正過程中，機身與紙面的角度關係常有變動，適當設計使塗抹頭有彈性翻旋的角度，有利於動態過程穩定貼合紙面，也有利不同的操作者手的握持。

2. 左右拉推兼備

修正帶機身常有單側透明部分為內面，有利操作者觀察內部情形(如餘帶量、鬆緊)，若塗抹頭尖端設計只適合右持者右拉不能左推，左持者只能轉面來左拉不能右推，如 S1，則未免狹隘。在視覺上，推動模式可更清楚定位修正文字，已有許多品型有拉推二用設計，如 P1。但推動模式常需配合轉面動作，故機身應配合設計雙面透明。

3. 配合人體手部工學

為便利握持，機身常有特殊設計，如防滑握持部位、軟式接觸部位、曲線機身、旋轉塗抹頭帶面與握持面的角度，增加握持的舒適。

(七)外型

1. 塗抹頭收合

許多機身以便利的按鍵式或旋鈕式方收合塗抹頭，不致掉了塗抹頭外蓋，白顏料與接觸物品互相汙染。

2. 筆夾攜帶

也有仿同筆型及筆夾的設計，可夾於袋口或簿本上，方便收納攜帶。

3. 結合其他用品

另一端可結合橡皮擦、螢光帶、雙面膠等其他文具用品。

4. 個性化(炫麗、可愛、限量、收集)

機身外殼有各種炫麗可愛造型，藉著選用過程，紓發心情，表現個性及品味。甚至可以發展限量蒐集活動(像集公仔的活動)。

(八)用完前的警示設計

修正帶快用完前常只能透過機身透明部分去觀察估計輸出帶盤的餘量，可將最後一定長度(如 0.5 公尺)的載帶染為警示色(如黃色)，有效提醒使用者。

(九)色彩更豐富的顏料

目前修正帶的顏料均為白色，只適合修正白底色的文件，若能發展不同材質的顏料或更豐富色彩，應用面向將更廣。



炫麗外型	帶長特長	透明、鏡面
筆夾、軟握墊	結合其他文具	方便握持

四、常見的二輪互動模式比較

(一)腳車踏

1. 施力(F)在腳踏板上(與軸心距離 R)踩動(速率 V)，連結前齒輪(齒數 N)，咬合鏈條將動力傳至後齒輪(齒數 n)，帶動後車輪(半徑 r)，輪胎摩擦力向後推地面，反作用力(f)向前推動(速率 v)腳車。

2. 由動力分析：

$$FR / N = fr / n \rightarrow f / F = (n/N) \times (R/r)$$

而 一般腳踏車設計 $(n/N) < 1$ 及 $(R/r) < 1$ $f / F = (n/N) \times (R/r) < 1$ (費力)

由速率分析：

$$(V/R) \times N = (v/r) \times n \rightarrow v / V = (N/n) \times (r/R) \quad \boxed{v / V = (N/n) \times (r/R) > 1} \quad (\text{省時})$$

所以腳踏車為一「費力省時」的機械裝置

3. 注意後輪軸附近的界面有離合機構，界面二側的順向轉動(角)速度比：
踏板(前齒輪、鏈條、後齒輪)運動側：後輪運動側 $=(V/R) \times (N/n) : (v/r)$
4. 若踏板(前齒輪、鏈條、後齒輪)運動側的順向轉動(角)速度將大於後輪運動側的順向轉動(角)速度時，界面咬合而傳動，使界面二側的轉速相同。
5. 若踏板(前齒輪、鏈條、後齒輪)運動側的順向轉動(角)速度小於後輪運動側的順向轉動(角)速度時，界面分離而傳動中斷。
6. 若故意使腳踏車倒車或後輪逆轉，原靜止的踏板(前齒輪、鏈條、後齒輪)運動側相對於逆向轉動的後輪運動側，將有順向轉動的超速，於是界面咬合而傳動，使界面二側的轉速相同，踏板隨之逆轉。

(二)錄影帶及錄音帶

家用錄影帶及錄音帶也有類似修正帶的供帶盤及收帶盤的二輪互動結構，只是控制機構更加精細複雜。家用錄影帶的磁帶速度為 $1\sim4\text{cm/s}$ ，一般卡式錄音帶的磁帶速度為 4.76cm/s ，在各動態操作(播放、錄影)過程中，二帶盤的半徑會隨帶量而不同，需配合有不同的轉動(角)速度，才能維持磁帶穩定的移動速率。為此設計有伺服電路，偵測帶速來調控轉速，以維持一定的帶速。許多界面也設計鈕片滑動機構來限制傳動，以維持磁帶的張力。

(三)孔格膠卷底片

傳統的膠卷底片(影帶)也有供帶盤及暫時的收帶盤互動機制，動力機構(手動捲片桿或馬達)帶動齒輪軸直接定速咬合膠卷二側的格孔來傳動捲片。

五、仿修正帶結構的延伸應用

修正帶的傳動機構設計已漸完善，可仿其結構推廣應用，當然也需伴隨有不同調整設計。在市場已有一些新開發的商品，但應用整合尚未普及。

(一)雙面膠

使用雙面膠時撕下離層紙的動作常不便利，零散的離層紙廢料也容易破壞整潔。有產品將離層紙改成更薄的塑膠載帶，由回收帶盤捲回，配合特製的黏膠層就如同修正帶的白顏料般附著切斷，便利性高。也有可替換內帶機型，只是相對於一般便宜的雙面膠，還不夠平價。**決定自行研發可整合通用一般雙面膠的機身。**

修正帶的相似應用		
雙面膠(拋棄型)	雙面膠(拋棄型)	雙面膠(可換帶)

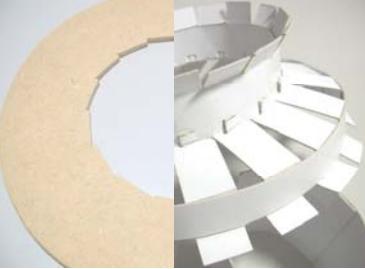
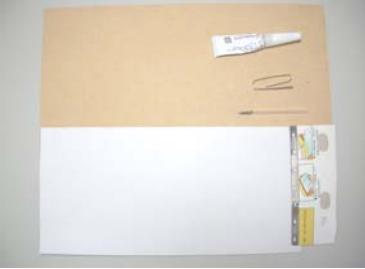
發展以簡易材料製作通用一般雙面膠帶的機身設計

製作概念展示的原型

1. 先以紙板製作機身，預留共軸心穿孔。設計整合輸出帶盤及回收帶盤於一轉輪的二側，可精簡機件及空間。(圖①右)
2. 裁剪紙杯或捲黏紙板，製作一周長較大的回收帶盤並連結可套穿一般雙面膠帶盤內側的捲軸心。(圖 2)
3. 部件整合後，測試傳動及強制滑動效果，協調輸出及回收帶的速率，達成緊帶。
4. 為方便握持操作及曲折導帶，將機身延長，適當加大塗抹頭與轉輪的距離。
5. 可摺入部分捲軸側片，針對各品牌雙面膠帶盤的差異，調節鬆緊摩擦效果。
6. 加墊硬塑膠薄片強化塗抹頭的強度，裁剪銅片成鋸齒狀附於塗抹頭尖端以利膠帶切割。

簡易材料製得功能完整的機型

1. 改用木板(密集板)為機身骨架(美工刀勉強能切割造形處理)，增加強度。
2. 裁剪回收的保鮮膜(鋁箔)外盒的鋸齒片，以快乾膠加強黏合於塗抹頭尖端來切割膠帶。
3. 尖端鋸齒鐵片雖能切斷膠帶，但附近的塗抹頭會沾黏膠帶，無法順暢續用。故將可能接觸膠帶處包覆離層紙為介面，防止膠帶正向沾黏。(圖 3)
4. 已回收的離層紙捲有時會逆轉而零散。故在木板機身的轉軸孔內緣切出棘爪，及在紙捲共軸心外緣加入棘輪的配對設計，以發揮阻止逆轉效果。(圖 4)
5. 切向拉動膠帶仍不易，故試用原子筆芯包覆離層紙，中心穿針做為滾軸，以減少摩擦。
6. 塗抹頭上膠帶與紙面的附著不足，無法提供反向拉出雙面膠帶的動力。故加大塗抹頭與紙張的貼附面，調整滾軸位置，並發展適當的操作模式，降低拉動雙面膠帶的阻力。
7. 利用回收資源及簡易材料，終於整合製得功能完整的實品(圖 5)。材料(圖 6)成本很便宜(不到 20 元)，且可持續替換通用一般的低價雙面膠帶。若開模大量以塑膠一體製成，或許成本更低，功能強度更高。

以簡易材料製作通用一般雙面膠帶的機身設計		
①各代雙面膠機身(右至左)	②概念展示原型	③各零件的進化比較
		
④軸孔棘爪與紙捲軸心棘輪	⑤功能完整的機身	⑥簡易便宜的材料
		



(二)螢光帶

一般用以標示重點的螢光筆墨水常會滲透紙張汙染背面內容，將載帶上的白顏料改為各色螢光顏料，可黏附於紙張表面，不會滲透到背面，且適當調整黏性，還可用一般橡皮擦擦掉，還原或重新塗附。但螢光帶在畫曲線上遠不如傳統螢光筆平滑靈活。

(三)路面標線

常見的路面交通標線需在現場混料熱熔再塗覆滾壓，若能在工廠將漆料先附於載帶上成捲形，再由如修正帶機構的設備鋪附在路面現場，或可省下工時，更便利操作。

(四)廢料回收利用於玩具及學習

修正帶快速的消耗產生大量的廢料中含有輪軸、齒輪、滑輪、棘輪的簡單機械零件及一些巧妙傳動設計，若各品型的製造公司能鼓勵廢料的再利用，提供利用這些零件製作組合玩具或輔助學習教具的設計圖及操作步驟，定能有助於相關科學概念的理解，更發揮這些資源的價值。

伍、結論

- 一、由問卷的調查分析統計，同學普遍肯定修正帶的許多便利設計，但對修正帶的捲動機制較不熟悉，也較少利用緊帶窗孔或緊帶調整鈕。而回收廢料分類也呼應問卷結果，其中二種品型(P1、S1)的使用率很高，總體評價也不錯，或許是價格行銷及使用習慣所致。同學多期待改進修正帶缺失，加強覆蓋平整及避免載帶鬆弛，發展附加功能。
- 二、蒐集參考各品型修正帶，經細心拆解，分析功能構造，充分了解共同的主要結構功能：在「塗抹頭」處，修正帶(內帶)與紙面間的靜摩擦力(反應操作者的手的拉力)拉出修正帶，使「白顏料」隨「載帶」由「輸出帶盤」輸出，帶動「輸出輪」，經「齒輪、橡皮帶或同軸墊片」，將動力傳遞至「回收輪」，帶動「回收帶盤」捲緊回收載帶，同時在塗抹頭尖端的白顏料與載帶離層並附著覆蓋在紙面文字上。
- 三、修正帶的操作過程中，輸出帶盤及回收帶盤徑(周長)並不相等且消長變動，為調和修正帶的輸出及回收速率，維持緊帶又不致斷帶而能順利傳動，故有迫緊載帶機制及強制滑動界面設計。經拆解歸納，目前琳琅滿目的各品型修正帶其傳動關鍵不外三種典型：
 P1 機型中，輸出帶盤的軸心與齒輪盤內界面的摩擦力。
 S1 機型中，橡皮帶與回收輪界面的摩擦力。
 Pm 機型中，輸出帶盤與同軸心及墊片界面的摩擦力。

四、將修正帶的傳動過程解析為數個環節，配合動力面向及速率面向的理論分析，設計相關的十個實驗進行探究及驗証。利用力矩、功、能、摩擦力等科學概念整合輪軸、齒輪、皮帶滑輪等機械裝置。得知：

修正帶應設計 $R/r < K/h$ (帶盤徑比 < 傳動輪徑比)

載帶鬆弛時，載帶的輸出與回收速率比為 $Rh/rK (< 1)$

載帶迫緊時，界面二側轉速比(回收側/輸出側)為 $Rh/rK (< 1)$

(Pm 機型令 $K/h = 1$ ， $R/r < 1$)

滑動界面可有效的限制可傳動的力矩，避免過大的張力導致斷帶

$f_0 \leq f_{\text{收}} = L/r \leq f_{\text{出}} \times R/r \times h/K (< f_{\text{出}})$

另外，仔細觀察討論棘輪阻逆、手動緊帶、替換內帶、塗抹頭結構都有細膩的設計。

五、比較各品型修正帶的功能，雖仍未有完美機型，但可發現多已互相針對缺失改良，如白顏料塗覆平整、載帶迫緊等。除欣賞各部件的演進過程及各品型的精進努力外，如塗抹頭的收合、替換內帶的便利、握持的舒適。也提供更多期待改進的建議，如廢料率的降低、廢料再利用、左右推拉雙用、將用盡前警報等。

六、日常生活中有許多類似修正帶的二輪互動裝置，如腳踏車、錄影音帶、膠捲底片。與修正帶比較其傳動模式，可發現：

相似處：腳踏車的費力省時的傳動機制及離合滑動界面，

錄影音帶帶盤座的氈片滑動界面限制傳遞力矩。

相異處：錄影音帶的伺服電路控制馬達來穩定帶速，

膠捲底片由手動捲片桿或捲片馬達帶動齒輪軸咬合底片側孔來控制捲片。

七、修正帶看似簡單卻精緻的設計，可延伸利用至許多日常用品，已有一些專用的商品上市，如螢光帶、雙面膠。相信也還有許多可應用的空間，如路面標線等。**我們也應用對修正帶結構的探究，研發完成以簡易材料製作可持續通用一般平價雙面膠帶的機身。**

八、此次探究，以文書使用頻繁的修正帶為主角，觸感熟悉卻內涵陌生。由問卷調查統計蒐集意見資訊；觀察解析各品型的結構功能；充實相關的科學概念來設計小巧的實驗操作及進行平實的理論推導。尤其研發製作通用雙面膠機型的過程反覆遭遇困難，思考解決方案、多方嘗試實作的歷程充滿探索的樂趣及創新成品的欣喜。不僅滿足對夢幻機型的好奇，更建立科學探究的信心。

期待修正帶終於不用再面對眾人不理解時的“白目”，可以更大方的展現“白幕”。

陸、 參考資料

姚珩、李通藝、方崇雄等（民 98）。自然與生活科技課本一九上。臺南市：翰林。

張美玉等（民 97）。自然與生活科技課本一六下。臺南市：翰林。

酒井高男（民 89）。力學的趣味實驗。新竹市：凡異。

浩司（民 87）。錄放影機與錄音機技術。台北縣永和市：建興。

康自立（民 72）。機件原理。台北市：三民。

【評語】030817

- 1.本作品係搜集市售多種修正帶產品，探討其機構與結構情形，歸納其傳動，摩擦力運用之機械裝置，進而加以改良設計，作為可持續用於一般雙面膠帶的機身。
- 2.本組成員在實驗與分析上相當用心，值得肯定，但作品之學術性不高。最後之模型作品可進一步精確實作，以驗證其實用性。