

# 物理 Physics Search 搜查線

第20期

COVER STORY

專案特搜1

## 空中新寵兒—— 多旋翼飛行器 p.2



本期刊物電子檔



專案特搜2

衝浪物理 p.7

數位e秘技

臺北酷課雲——

高中物理線上教學影片簡介 p.11



55301N/C/000000

## 專案特搜 ①



# 空中新寵兒—— 多旋翼飛行器

新北市立安康高級中學 / 教師 朱晉杰  
部落格 / 杰師悟理 <http://blog.udn.com/epig>

### 前言

伴隨著航空科技的進步，爲了特別的任務研發的無人機也開始問世，其最早的開發是在二次大戰中，美、德軍嘗試用無人飛機裝載炸藥進行轟炸的目的；現今，無人飛行器藉由遙控或自動駕駛技術，進行科學觀測及偵查等任務。在2009年印度電影《三個傻瓜》中，就有描述當時剛開始萌芽的空拍機，男主角從垃圾桶撿回後來拍到學生慘劇的畫面，本文要跟大家探討此空拍機的主體——「多旋翼飛行器」的點點滴滴。

### 什麼是多旋翼飛行器？

多旋翼飛行器（簡稱 MRA）是一種搭載二個以上螺旋槳的飛行器，自1907年起，由美國開始研發，但最終因不易操控、且飛行性能不佳與機械結構過於複雜等因素而停擺。

MRA 是屬於無人機的一種，拜今日科技所賜，研發人員克服了過往的缺點，因爲其容易攜帶、活動靈敏、體積小、重量輕與性能穩定，並能搭配不同組件，完成各項任務而成為當紅炸子

雞。它能在室內外進行操控，且因螺旋槳的葉片較短，槳葉末端的線速度較慢，即便發生了碰撞也不容易損壞，大大地提升了安全與保固性。

目前最普及的 MRA 是玩具型的，其屬於初學者的入門商品，期能以低於萬元以下的價格取得，若先熟練玩具型的 MRA 後，就可以再挑戰高單價的進階空拍機。

現在我們藉由一架四旋翼架構的空拍機（圖1）來進行各裝置的探究。

#### 1. 動力裝置：馬達

馬達（motor）又稱電動機，是 MRA 的動力來源，其中，空心杯馬達具有卓越的節能特性，由於它的體積小、重量輕，大多數的玩具型 MRA 都採用此類型的馬達。

空心杯馬達採用無鐵芯轉子，也叫空心杯型轉子，此種結構能徹底消除鐵芯形成的渦電流所造成不必要的電能損耗，更重要的是具備了鐵芯馬達所無法達到的控制與拖動特性。



## 2. 轉換推力裝置：螺旋槳

利用槳葉在空氣中旋轉，將馬達轉動的功率轉換為推進力或升力的裝置，簡稱螺旋槳，它由中央的槳轂和 2～4 個槳葉組成，通常槳葉數目愈多，則吸收功率就愈大，它宛如扭轉的細長機翼安裝在槳轂上，馬達的軸與槳轂相連接並帶動它旋轉，槳葉把大量空氣向後推去，空氣則在槳葉上產生推進力，且槳葉的截面本來就是一個翼型，藉由伯努利定律產生升力。

## 3. 能量來源裝置：鋰聚合物電池

電池能將活性物質中的化學能經由電化學反應轉換成電能，電能再經過馬達產生動能，各種相同電容量，以鋰電池最輕，起飛效率也最高，故 MRA 採用此種電池。

鋰電池的發明者是愛迪生，一開始，鋰電池是以鋰金屬或鋰合金為負極材料，使用非水電解質溶液的一次電池，目前已經發展到可充放電的二次鋰聚合物電池。

## 4. 控制飛行裝置：飛控

飛行控制器（簡稱飛控）是控制 MRA 的主要信號來源，其主要功能是藉由 GPS、陀螺儀、加速度計和氣壓計等感測器的數據，利用韌體來計算及控制各馬達的輸出，以達能做出自穩、定高、懸停、繞圈、自動及自動返航等飛行動作。

多數玩具型的 MRA 已經將飛控的韌體及各種傳感器寫入已經印刷好的電路板中，作為簡易操控的飛控板，飛控板的控制信號再藉由電子速控器轉變為電流的大小來控制馬達的轉速。

## 5. 遙控裝置：遙控器

常見的無線遙控器，主要採用有紅外線遙控或 2.4G 遙控，但因為紅外線遙控有其方向範圍窄與控制距離較短等限制，所以 MRA 使用 2.4G 無線遙控，所謂的 2.4GHz 指的是工作頻率段在 2400～2483M 範圍內，此頻段是免申請即可使用的頻率，常見的 Wifi，藍牙等都是使用此頻段。另外，遙控器控制的動作路數稱為通道，例如遙控器只能控制 MRA 上下飛，那麼就是屬於 1 個通道。但 MRA 要有上下、左右、前後與旋轉等動作，所以最低要有 4 個通道的遙控器，若還要有控制攝影裝置，則需要更多的通道。

## 6. 空拍裝置

利用裝載於 MRA 機架上的空拍攝影機（如單眼相機、類單眼相機與極限運動攝影機等）進行空中攝影或拍照，輔以雲台系統提高拍攝過程的穩定度（減震），也藉此來調整拍攝角度與方向，若再加上圖傳系統，則可以將攝影結果即時傳回地面螢幕。



圖 1 多旋翼飛行器結構圖。

## MRA的飛行動力控制

MRA 設計以空心杯馬達帶動螺旋槳轉動作為飛行動力源，以四旋翼飛行器為例（圖 2），螺旋槳以對稱分布的方式安裝於機體的前後、左右四個方位上，且其所有馬達及螺旋槳結構和半徑都相同，不同的是，左上角與右下角的螺旋槳進行「順時針」方向轉動，其對稱的螺旋槳則進行「逆時針」方向轉動，形成了兩個「拖曳式」螺旋槳和兩個反向的「推進式」螺旋槳，而在機體中間部分，則裝置飛行控制器和攝影機等外部設備。

典型的傳統直升機配備有一個主螺旋槳和一個尾槳，其飛行主要是靠螺旋槳產生的拉力，螺旋槳在空氣中以「作用力矩」（簡稱扭矩），依據牛頓第三運動定律，則空氣在同一時間以大小相等、方向相反的「反作用力矩」作用在螺旋槳上（簡稱反扭矩），為了平衡反扭矩，則以尾槳產生抵消反向運動的力矩。

而 MRA 與此不同，它是藉由調節四個馬達的功率來改變螺旋槳的轉速，實現升力的各式變化，從而控制飛行器的姿態和位置，進行靜態和準靜態條件下的飛行。

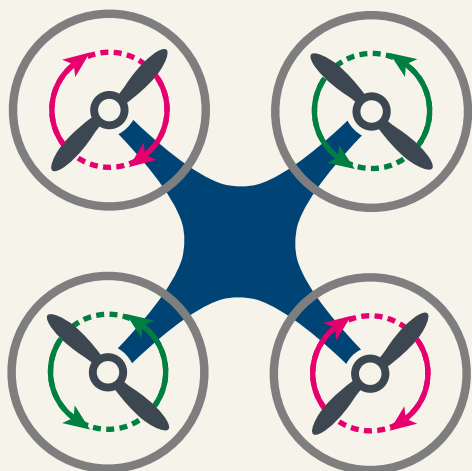


圖 2 四旋翼的動力系統配置示意圖。

這邊以垂直升降、水平移動與旋轉等三種基本飛行模式進行探討：

### 1. 垂直升降飛行模式

如圖 3，當我們增加四個馬達的輸出功率時，反扭矩將保持平衡，當四個螺旋槳產生的總拉力能克服整個飛行器的總重量時，根據力的平衡，就能讓飛行器垂直上升，反之，若想讓飛行器下降，則須降低四個馬達的功率，反扭矩保持平衡，產生的總拉力小於整個飛行器的重量時，就會垂直下降，若能將上升總拉力調整到與飛行器的重量相同時，飛行器便能保持空中懸停的狀態。

### 2. 水平移動飛行模式

如圖 4，當我們增加 3 號無刷馬達的功率，同時也減少 1 號無刷馬達的功率，其他的 2 號與 4 號無刷馬達則保持功率不變，此時，反扭矩仍保持平衡，飛行器則會產生一定程度的傾斜，使螺旋槳總拉力產生一水平分量，就可進行水平移動運動控制。

我們可以藉由這些無刷馬達的功率來控制不同的水平移動方向，如欲朝 3 號螺旋槳的方向移動，就降低 3 號馬達的功率，同時維持 2 號和 4 號功率，提升 1 號馬達的功率，但必須提醒的是，

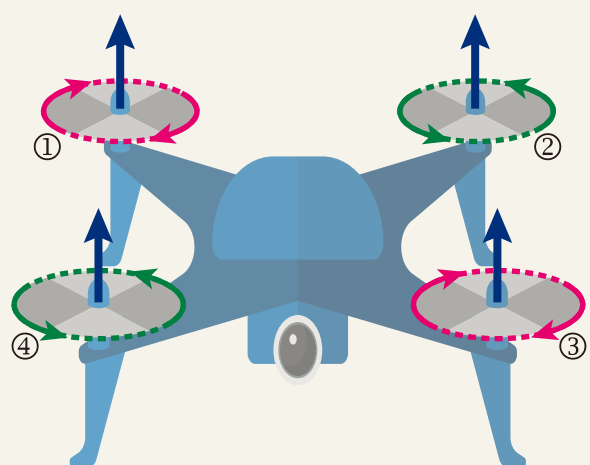


圖 3 四旋翼飛行器垂直升降示意圖。



其機身的傾斜程度不可過大，若傾斜程度過大，則飛行器可能會因此產生翻轉的現象，進而造成飛行器墜毀。

### 3. 旋轉飛行模式

如圖 5，當我們增加 1 號和 3 號馬達的功率，同時也降低 4 號和 2 號馬達的功率，螺旋槳 1 號和 3 號產生的總反扭矩將大於螺旋槳 2 號和 4 號產生的總反扭矩，此時就會造成飛行器的旋轉。

螺旋槳的轉速與反扭矩的大小有關，四個馬達轉速不完全相同時，總反扭矩會不平衡，因此就會帶動整個飛行器機身旋轉。如想讓機身朝逆時針方向旋轉，則須同時增加 2 號和 4 號馬達的功率，降低 1 號和 3 號馬達的功率，螺旋槳 2 號和 4 號產生的總反扭矩大於螺旋槳 1 號和 3 號產生的總反扭矩，就會造成旋轉。

以人為方式同時協調控制四個螺旋槳完成各種飛行模式是非常困難的，但藉由三軸陀螺儀、三軸加速度、三軸磁場、高度氣壓及電腦感測等飛行控制器就能輕鬆達成如偏航（YAW）、俯仰（PITCH）及翻滾（ROLL）等更高難度的動作。

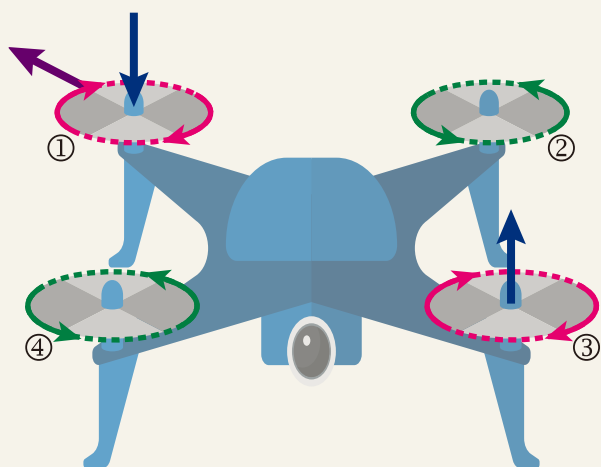


圖 4 四旋翼飛行器水平移動示意圖。

## MRA 的應用

由於 MRA 具有體積小、重量輕，攜帶方便等特質，故能輕易進入人類不易進入的各種惡劣環境，目前列出幾個主要的應用模式：

### 1. 緊急救難應用

由於 MRA 的體積相對直升機輕巧，方便飛在較窄的山谷，達成更多的救援可能，例如 2015 年的復興空難，海鷗部隊就利用 MRA 即時傳回的影像在河面上尋找失蹤者。新北市也採購了一批大小不同的 MRA 用於救難上，它除了可以達成搜索任務外，也可以用來拋繩索、空投救援物資等。臺南市消防局指揮中心為取得大型地震災害範圍、大規模淹水地區資訊，亦利用 MRA 將災害資訊傳回指揮中心，以整合救災資源及能量。

### 2. 強化治安應用

警方可以應用於較為危險的任務上，減少人員的傷亡，如遭遇人質綁架、搜救、炸彈威脅等情況，輔助執法人員追蹤犯罪分子，或監控跨境的毒品走私。保全業者亦著手開發空中保全，藉此巡視廠房，甚至作為貼身保鑣團隊的配備。林務局則用其來協助巡山防止盜伐。

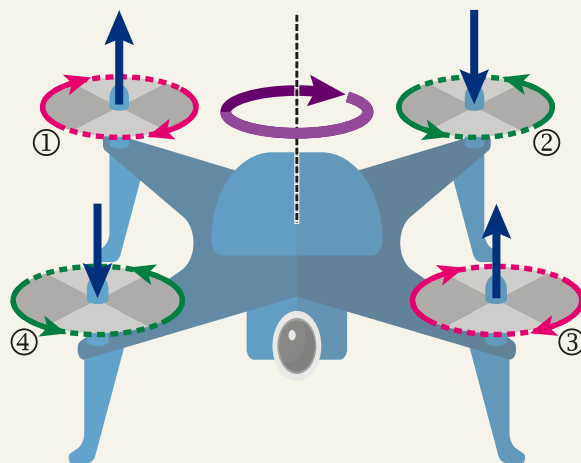


圖 5 四旋翼飛行器旋轉飛行示意圖。

### 3. 紀錄片與媒體攝影應用

新聞從業人員可以使用 MRA 進行更快更安全地從空中鳥瞰拍攝現場報導新聞，如災區、戰區等即時情況。視覺藝術家或導演也可安全地利用它來捕捉優美畫面和拍攝角度，一般人則可藉此拍攝出屬於個人特色的「看見臺灣」紀錄片。曾有一位搭乘直昇機進行拍攝生態紀錄片的導演說：「一飛上去，就要有不回來的準備，回來當作撿到，操作時的心理壓力滿大。」這種壓力藉此可一掃而空了。

### 4. 環境保護與農業應用

MRA 可以協助科學家計算特定區域的動植物數量與動物移動監控，亦可用於氣候、環境的研究，農民則藉此監控災害，收集作物健康與產量的數據。以美國大型農場為例，藉此可噴灑農藥、施肥，比地面作業快很多，是目前商業用途的主流。

### 5. 物流產業應用

德國運用於偏遠小島物資補給。亞馬遜研發無人機快遞服務「Prime Air」，讓消費者完成網路下單後，在 30 分鐘內就能收到商品。Matternet 公司建置無人機網絡，向全球的偏遠農村運送食品和醫療用品。

中科院研發的「無人機防禦系統」是一大福音，如果有空拍機攜帶爆裂物，能馬上進行空對空獵殺，將空拍機帶到安全的地方處置，防止傷害發生，萬一空拍機闖入禁區，「威脅預警雷達」會先進行搜索，接著「頻譜監測系統」和「光電追蹤系統」分析、辨識可能的威脅性，我們希望藉由更多的規範與立法還有科技來防堵 MRA 造成的威脅，讓良善的 MRA 科技帶給人類幸福安康的生活。

### 參考資料

1. 大地期刊第 9 期 / 淺談多軸飛行器於工程上之應用：<http://www.pga.org.tw/>
2. <http://www.ik.com.tw/UFOCUS/howtomove.html>
3. MRA 的歷史回顧：  
<http://www.crazepony.com/book/wiki/quadcopter-history.html>

### 結語

水能載舟亦能覆舟，MRA 固然是一個非常棒的飛行器，但其背後還有一些我們要面對的問題，伴隨著科技的進展，更微小、智慧能力更強大；續航力、航行高度更高的機器將被研發出來，但拋開技術挑戰不談，MRA 還將面臨諸多社會問題與政治性挑戰，一些不法人士利用它來進行非法行為，對眾多人的安全、隱私造成威脅，還有，引發的噪音、環境破壞，對空域造成更多的混亂，還有偷竊及和商業保護的問題。



## 專案特搜②



# 衝浪物理

新北市立丹鳳高級中學 / 教師 王鈺棠

### 前言

近年來，政府鼓勵各社區型高中積極推動校本以及特色課程，從新北市旗艦計畫乃至於將來 107 課綱，都可看出這樣的課程與發展，勢必是一種趨勢，甚至為學生所需要。

107 課綱將「海洋教育」設定為重大議題，將各門學科與議題融合是種趨勢，而海洋教育的推廣更是刻不容緩的任務！（圖 1）



圖 1 美麗的寶島（臺東三仙台）。

本課程的設計，除了海洋教育上的推展，更希望以此為素材，拓展學生的視野和提供探索自我的啟發，如此即達到這門課程設計的精神與意義。本文將簡介本課程的發想與內容。

### 衝浪與物理

#### 1. 衝浪簡介

衝浪是古波里尼西亞人的一項文化與活動。最早文字記載著衝浪的是 18 世紀（1778 年）第一個到訪夏威夷的歐洲人——庫克船長，當年庫克船長目睹夏威夷人踩著木板，站在浪尖上，驚訝地寫道：「巨浪以極為驚人的速度把他們送出去，他們憑藉高超的技藝把握住木板，始終以恰當的方位處於浪尖之上，隨著巨浪改變方向……看他們演出這些困難而危險的動作，那種勇敢和技巧都令人吃驚，令人難以置信。」

1912 年，來自夏威夷的 Duke Kahanamoku 拿下了 100 公尺自由式游泳金牌與 200 公尺的奧

運銀牌。在奪得金牌後，整個美國都知道了一個夏威夷的衝浪小子在奧運游泳奪下金牌，而 Duke 更開始到世界各地去演講，告訴大家衝浪的好處，這對現代衝浪推廣貢獻極大，爲了尊敬他，我們把 Duke Kahanamoku 稱作現代衝浪之父（圖 2）。



圖 2 夏威夷威基基海灘上的 Duke 雕像。

## 2. 衝浪中的物理學

「衝浪」本質上是一項與大自然互動的運動，我們可以從這三個面向來簡述衝浪與物理學的連結：

(1) 場地：衝浪的場地自然是在大海中。從海浪的形成到推進，都脫離不了物理學上「波動」的範疇（圖 3），以此爲例，可闡述許多波動的原理，並且運用在衝浪運動之中。



圖 3 完美的湧浪（swell）。

(2) 器材：衝浪所使用的器材主要就是我們的「衝浪板」。衝浪板本身的設計牽涉到極其細微的流體力學設計。其中的「浮力」部分，更是至關重要，對於許多基礎環節都有關鍵性的影響。

(3) 技術：衝浪運動中的各種動作，在衝浪板上，不外乎重心的轉移，以及經由衝浪板傾斜，藉由吃水造成反作用力，作爲向心力以達到轉向的目的。藉此可介紹牛頓力學中的各種觀念（圖 4）。



圖 4 完美的浪底轉向（bottom turn），以後腳為軸心，藉由板緣吃水產生向心力，造就完美的路線。

## 課程設計與發想

以下就教材、設備、課程進行等幾個角度來介紹本課程。

### 1. 教材

由於本課程爲原創性課程，並沒有原本的教材或講義。筆者於是嘗試用衝浪比賽的元素，設計成專用於這門課程的小冊子（圖 5），作爲上課講義使用。實際使用後，學生反應良好，都覺得非常精美，而且特別。

### 2. 設備

和衝浪物理有關的設備，大大小小非常繁瑣，在經費與時間有限的情況下，我們盡量積極去爭取提供同學能夠使用與體驗的設備。



圖 5 上課專用講義片段。

### 3. 課程進行

本課程主要場地在物理實驗室進行。主軸在於「藉由衝浪與物理作為元素，引導學生探索自我並引起對生命和世界的熱情」。由於衝浪本身是在海浪中的運動，為了讓學生體驗，有部分課程是在游泳池操作。另外每學期也會安排一至二次至海邊進行實際衝浪課程體驗，全程對於生活在都市的學生而言非常新鮮有趣。

然而大部分時間無法在水中進行課程，故而在陸地上介紹這項運動勢必藉由一些輔助器材會更有幫助。其中「衝浪滑板」就是關鍵且經典的陸地衝浪輔助器材，課程中會教導學生認識並學習衝浪滑板的原理以及操作（圖 6）。



圖 6 衝浪滑板。

### 課程實例

以下我們就泳池實作中的「划水前進」單元為例，介紹課程的進行與特色。

在衝浪運動中，可以說大部分的時間都是在進行「划水」這個動作。「划水」其標準姿勢的

設計完完全全和物理學中的「作功」（work）觀念有關，以下簡述之。

#### 1. 划水 (paddle)

划水過程主要如下：

- (1) 抬頭挺胸，雙腳靠攏保持平衡，眼睛直視正前方。
- (2) 將手伸直順著板緣自然向下進入水中。
- (3) 開始划水，注意手指自然微開，手掌確實感受到將水往後推。
- (4) 到達中段時，確實施力向後推動，此部分為前進效率最高的時候。
- (5) 順勢繼續向後划，直至划滿整個半圈。

以上過程可參考影片（<https://www.youtube.com/watch?v=efexHHEzZC4>）。要產生良好的划水效率，並非一味的全程用力划水，最初進入水 1/3 以及最後 1/3 僅須放鬆且流暢，不需用盡全力。而進入水中 1/3 則是施力效率最高之部分，此時可加速划行。



影片 QR CODE

#### 2. 作功

「作功」是能量轉移的一種方式或過程。根據物理學，物體若受一力，由  $A$  點至  $B$  點該力所作的功  $W$  (work) 定義為：

$$W = \int_A^B \vec{F}(x) \cdot d\vec{x}$$

由作功的定義可知作功為力  $F$  和位移  $dx$  之內積的積分。當力和位移平行時，作功是最大的；反之二者垂直時，作功為零。

### 3. 划水與作功

接著我們來看看，如何以物理定律解釋划水的動作與效率。

如果將整個划水的半圓過程分為三等分，最初 1/3 和最後 1/3 的作功效果是最差的，而中段手掌施力方向和衝浪板前進方向是最為平行的一段，作功效果最佳。由此可知，划水動作的經驗與設計，是非常符合物理原理的。當然，划水的順暢度還會涉及到划水的節奏與頻率，這和施力與衝浪板的相對速度也有關係，可於進階課程再加以探討。

基於上述原理，筆者首先將教學場地移至游泳池進行。最初讓同學進行自由練習與嘗試，先不教任何動作與原理，讓他們自行摸索與歸納，分析出自己認為較好的划水動作（圖 7）。



圖 7 先讓同學自行嘗試划水動作。

接著，再由老師正式示範及說明划水的標準動作，並讓同學們再操作一次，以比較其中差異（圖 8）。



圖 8 實際說明划水動作。

最後回到課堂中，再歸結闡述其中的物理原理，讓同學前後呼應，知道原來科學和生活中的現象是如此直接的結合。如此一來，學生不但從中獲得許多難得的體驗，也對所應用到的物理知識印象更加深刻。

### 結語

物理課程常被學生視為冷冰冰的公式以及定律，然而生活中所有事物都有其蘊含的科學原理，從具體現象的觀察與操作，去體會物理原理的內涵與應用是一件非常棒的事情。

此外，除了知識的傳遞外，筆者更希望藉由特殊課程的設計和進行，拓展學生的視野，並進行對自我的探索、對世界的探索，如此對於將來的志向與夢想的熱情，必定產生正面的效應。

### 圖片來源

1. 圖 1 ~ 4：shutterstock。
2. 圖 5 ~ 8：作者提供。

### 延伸閱讀

1. 飛翔在海浪之上——40 個年頭，衝浪運動在臺灣：<https://www.twreporter.org/a/photo-taiwan-surfing>
2. EXPLORERS 臺灣衝浪生活線上誌：<https://explorerslife.com/>
3. 衝浪的秘密世界：<http://www.surf-tw.com/2006/05/blog-post.html>



數位e秘技



# 臺北酷課雲

## ——高中物理線上教學影片簡介

新北市立麗山高級中學 / 教師 吳明德

在臺灣，高中物理教學環境愈來愈艱困了！首先，在有限教學時數內，老師要教授完整課程進度、檢討考卷，甚至高三還要複習，難免會對實驗與傳授課外科學知識的時間減少。接著是面臨 107 課綱的高二課程時數縮減，以及增加探究與實作該如何規劃課程等問題。最後則是老問題，如何實施物理課的重修自學等。

而利用線上教學影片在學生課前預習、課後複習，教師於課中輔助教學，可以增加效率與學習興趣，是解決上列教學困境的好方法。但前提是教學影片必須具備流暢且優質的教學內容，否則只是徒然耗費拍攝心力的線上資料。

臺北市高中物理線上教學團隊，由麗山、南湖、大理高中等七位物理教師所組成的（註 1）。開始規劃影片內容不採用可汗學院或是均一平台的簡報教學風格，也不採用補習班實況名師上課。而是包含四個重要元素：片頭影片、原理與模擬、例題計算、實驗影片（圖 1）。

### ① 片頭引起動機

生活化片頭引起學習動機，感受物理不是枯澀難懂的考試科目，具有實用性。

### ② 模擬幫助想像

模擬軟體讓腦海中塑造畫面，能想像物體受物理定律而發生狀態變化。

### ③ 例題熟練計算

例題要與模擬動畫及原理公式有關連，也與後面實驗數據測量有關。

### ④ 定量實驗影片

手機內感測器與 App 軟體測量與模擬，理論與實驗值相互比較印證。

▲ 圖 1 酷課雲 / 高中物理 / 教學影片含四個重要元素。

目前臺北市高中物理線上教學影片位於臺北酷課雲內，已完成 114 支影片。在開始規劃影片各單元時，就不以課綱為限，期望能介紹一些課本沒有的物理實驗與科學原理，讓同學拓展物理學科的視野（註 2），影片除傳統力學、波動、熱學、光學、電學、近物等單元外，還有流體力學、現代科技、科學概論單元。

為了增加影片的趣味性，片頭有時候會演出一小段戲劇，而戲劇必須有三個元素：主角、動作與背景。我們當然沒有為背景搭棚，而是用綠幕合成畫面。

在《功能定理》影片的片頭，為說明施力距離較長，作功較多所獲得的動能較多。陳其威老師以吹箭演示，將箭放在管口處，受力距離短、末速較小；若是將箭放距管口較遠，受力距離長，則末速較大。雖然有主角、也有吹箭的動作，但是最重要是故事的背景，也就是綠幕畫面合成的野豬，也就有野豬中箭故事（其實是射中綠色珍珠板），增加影片的吸引力（圖 2）。



圖 2 陳其威老師以吹箭作為功能定理教具。

以模擬軟體幫助學生想像並理解物理定律是本影片的重點。以《牛頓第三運動定律》為例，兩滑車質量比為 1 : 2，受彈力作用彼此彈開，依牛頓第三運動定律，兩車會受到大小相等、方向相反、同時產生及消失兩力作用。所以由模擬  $v-t$  圖可得，兩車平均加速度比為 2 : (-1)（圖 3）。



圖 3 吳明德老師以 Yenka 軟體模擬兩滑車彈開。

我們有許多影片十分適合探究與實作課程，例如《角動量守恆》影片，張良肇老師設計細線懸垂著鐵絲衣架，下端裝上兩顆繫繩電池。由 Video Physics 分析旋轉運動軌跡影片，可以發現最初鐵絲衣架以慣性等速旋轉，拉繫繩後電池移到衣架中心，旋轉速率變快，因為拉繩的力量通

過轉軸，不提供力矩，所以拉繩移動電池的前後符合角動量守恆（圖 4）。

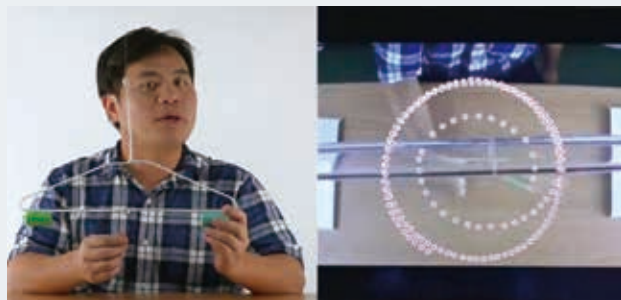


圖 4 張良肇老師以鐵絲衣架為角動量守恆教具。

我們影片製作不少教具，例如在《靜電的產生方式與驗電器》中，廖建銘老師以兩個鋁罐充飽靜電後，就能使懸掛的鋁箔小球左右來回振盪，可以說明接觸起電、感應起電與靜電力異性相吸、同性相斥等原理（圖 5）。



圖 5 廖建銘老師以鋁罐充電讓鋁箔小球振盪。

影片能夠說明實驗的操作細節，例如《凸面鏡成像的應用與計算》影片。因為凸面鏡無法將光線會聚成實像，張志維老師將凸面鏡一半嵌入保麗龍，透過插針，作圖與視線調整，解釋如何用視差法求出虛焦點位置（圖 6）。



圖 6 張志維老師以視差法求凸面鏡焦距。



有些課程單元需要實驗說明，將抽象的物理概念具體化，例如《理想氣體方程式》影片。葉紘宇老師以電湯匙持續隔水加熱定容鋼瓶，由冰、水共存的攝氏零度，直到攝氏 100 度水沸騰，繪出氣壓與溫度關係，並由趨勢線推測在攝氏 -273 度時氣壓為零，也就是絕對零度（圖 7）。



圖 7 葉紘宇老師以熱電偶測定容氣體溫度，得壓力與溫度的關係，推測攝氏 -273 度時氣壓為零。

手機與平板內的感測器結合 App 能方便進行物理實驗，例如《速率選擇器與質譜儀》影片中，徐志成老師利用陰極射線管讓電子受到已知電壓加速，同時受到磁場與偏向電場作用，調整至電子束不偏折，以計算電子的電量大小。此實驗中，直接以 iPad 磁強計檢驗外加磁鐵強度，就能得到合理的數值（圖 8）。



圖 8 徐志成老師以 iPad 測量磁場，陰極射線實驗中，電子同時受靜電力與磁力作用不偏折。

在許多科學或數學的教學影片中，須要推導或計算過程，會喜歡看用手書寫方式呈現。而本影片利用平板的 MathPad 以及 Calculator 兩個 App 以手寫識別方式，將潦草的手寫自動識別成印刷字體，並且在剪輯過程以子母畫面呈現公式、實驗數值等資訊，以供代入公式計算（圖 9）。



圖 9 MathPad 可以將手寫公式識別為印刷體，剪輯時，以子母畫面插入力圖等重要資訊。

拍出不少自認為滿意的物理線上教學影片，接下來的工作就是推廣讓物理老師知道與熱於使用。而本篇文章的目的也就在此。最後文末列舉一些筆者自己舉辦過的物理線上教學影片研習，或藉由參加活動的機會說明物理線上教學影片（註 3），以提供參考。

## 附註

1. 註 1：臺北市高中物理線上教學團隊成員，由麗山高中吳明德、張良肇、徐志成；南湖高中張志維、葉紘宇；大理高中廖建銘。而陳其威教師由麗山代理教師轉任新竹實中，目前新加入麗山代理教師吳易哲。
2. 註 2：吳明德，深圳科學高中參訪與兩岸高中物理之比較，物理教育學刊，2014，15 卷 1 期，p.48 ~ 50。
3. 註 3：下列五個活動有發表本團隊物理線上教學影片。

### 活動紀錄

2016/6/24，麗山高中舉辦臺北市高中物理線上教學影片發表會。

在麗山高中舉辦臺北市高中物理線上教學影片教師研習，時間為 2016/11/22 與 11/29 兩天下午，並展出拍攝使用教具。



### 活動紀錄

成功大學舉辦「2016 年物理教育聯合會議」，吳明德老師在 8/24 展示臺北市高中物理線上教學影片海報，說明拍攝規劃與理念。



科教館科展專題研習活動，時間為 2016/12/31，以平板的感測器與攝影運動分析用於專題實驗，內容含實驗影片錄製。



彰師大舉辦 2017 年動手做物理教學研討會，時間為 2016/ 1/23，吳明德老師線上教學橡筋動力直升機影片為發表內容。



### 圖片來源

圖 1 ～ 9：作者提供。

## 生物主打

表格簡潔，盡收關鍵字



# UPUP 學測 神救援計畫

重視基礎功・書在精不在厚

## 物理主打

熟練常考重點不失分



## 數學主打

試題由淺入深，  
仿真學測超靈活



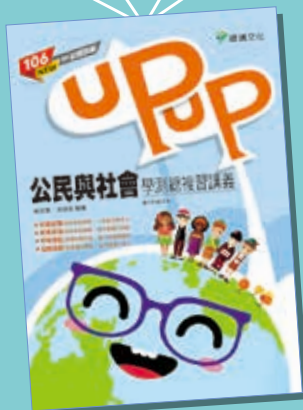
## 歷史主打

主題心智圖，概念因果秒清楚



## 公民主打

份量輕薄、跨頁  
統整最省時



## NEW 地理主打

遊戲闖關設計，  
念書超有趣



# 林口康橋 登記中

## 為孩子打開通往世界的大門



### 林口康橋開學資訊

- 幼兒園預計於106學年度（2017年9月）開學。
- 小學、國中、高中預計於107學年度（2018年9月）開學。

### 諮詢專線

- 幼兒園 (02) 8195-8866
- 小學~高中 (02) 8195-2022、(02) 8195-2033



欲參加  
課程說明會  
立即掃描



最新消息  
都在LINE@



康橋 KANG CHIAO BILINGUAL SCHOOL  
雙語學校