

【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中（職）組成果報告表單

題目名稱：紙橋的奧秘

一、摘要：

研究動機為根據橋墩崩塌的社會新聞，引發我們對於橋的結構的好奇。本研究透過文獻資料以及想像力，將原本易破而柔軟的紙張建構成可支撐 5 公斤的桌子型態，而後再結合拱橋的一些特點，改善成可支撐 10 公斤的紙建築。在實驗後領悟到結構其實才是關鍵，受力點的增加能有效分散所承受的力，另外紙張的緊密度及黏貼的方式，也對紙橋整理有所影響。

二、探究題目與動機

在日常生活中，「紙」無所不在，它容易戳破、容易撕破，因此被普遍人認為紙張很脆弱。引起我們的好奇心，會不會其實紙張的力量是我們無法想像的呢？在這個想法萌生的同時，剛好看到新聞報導橋墩崩塌的噩耗，不禁好奇為何橋墩能夠撐起如此大的重量？又是甚麼原因讓它垮掉呢？因此靈機一動，決定將紙與橋結合製作紙橋來探討。

三、探究目的與假設

本研究主要運用我們現有的物理知識，用相同數量的紙張，但不一樣的方式，製作出能夠耐重的紙橋，並加以比較跟探討能夠承受較重重量的因素。

透過搜尋文獻資料，了解橋的建築原理，設想若承受物體處與橋的兩端能夠呈現近乎 90 度的垂直角度，並以錐形、三角形、圓柱等承重力好的圖形製作，能分散或間接抵消外來壓力，會有最理想的狀態。

四、探究方法與驗證步驟

(一) 實驗器材

剪刀 1 把	膠帶 2 捆	A4 影印紙 20 張/一座橋
S 型掛勾 2 個	磅秤 1 台	數個重量不等的待測物

(二) 研究方法及限制

- (1) 橋的主體只能以 20 張紙為主要材料。
- (2) 如何承受重物的方式不拘。
- (3) 在橋體不能黏於桌面的前提下支撐重量，膠帶只用於連接及固定。
- (4) 測量承受重量時，紙橋兩端跨於桌面之距離需至少 30 公分。
- (5) 依序以重量小到大遞增做紀錄。

(三) 研究流程

制定題目

蒐集參考資料

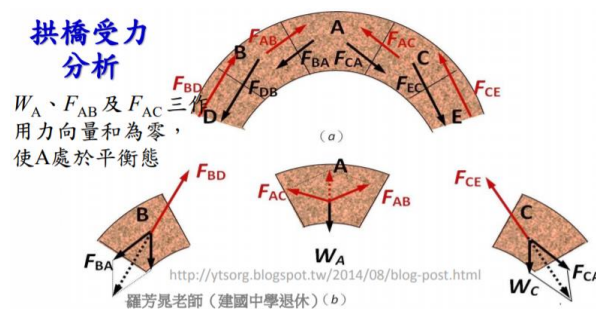
實際操作實驗

做出結論

(四) 操作實驗

(1) 仿似拱橋原理型

拱橋的構造能將垂直重力轉化成沿拱線走向的壓力，如圖一。而我們也以此受力的原理去發想，用垂釣的方式掛重物，鞏固橋身兩端的堅固度，並將角度調整為接近 90 度，同樣運用靜力平衡的觀念，如圖二， $F_A + F_B = F_{mg}$ ，其三者向量和等於零，即橋身的兩端會將重物的力量分散，而橋身的中央所必須承受的重量則會相對減少許多，較不會有集中於一點受力，而造成橋容易崩塌的情形。



圖一(來源:羅芳晁老師)



圖二(來源:研究者自繪)



圖三(來源:研究者自行拍攝)

測量時我們不斷地做修正、改進，但最初的概念始終不變，從最初的橋，如附圖三，到最終成品，如附圖四。測量結果如表一，能承受最大的重量僅達 10 公斤，而在崩塌的過程中我們發現兩端的支撐力不足以及中間的部分出現凹折，紙張已承受不住更多的力量，由此我們推知了兩種可能性，第一是紙張本身的硬度不足及黏貼的方式衍生不夠緊密的問題，第二則是或許能增加兩端點的接觸面積或增加支撐點，使力量能夠再分散。

公斤數	是否可以耐重
2 公斤	是
4 公斤	是
6 公斤	是
8 公斤	是
10 公斤	是
11 公斤	否

表一(來源:研究者自繪)



圖四(來源:研究者自行拍攝)

(2) 桌子支撐概念

此發想源自於我們的日常生活，處處可見的桌子，僅運用 4 個支撐的桌腳、以及一個平面，便能承受極大的力量。因此，我們將紙橋作成桌子的形狀，而桌子的形狀就是一個板子與四個支撐的柱，我們先用 16 張紙以斜對角的方式捲起來，這樣的方式可以讓版面較硬，而支撐的部分則是用圓柱，將紙對折三次在捲起來，如此以來，紙才不會太軟而導致無法支撐，也符合我們理想中的高度。



圖五(來源:研究者自行拍攝)

在測試所能承受重量時，發現測試到一半時，兩端的紙會因承受的重量的增加而逐漸變形的越來越嚴重，因此我們也在之後進行改良，與實驗一相同的方式鞏固兩端的緊密度，發現改良後的紙能夠承受的重量較之前還多，改良前能支撐的重量約為 3.5 公斤，而改良後的紙橋所能支撐的最大重量增加為 5 公斤。最終測試結果如附表二。

公斤數	是否可以耐重
1 公斤	是
2 公斤	是
3 公斤	是
4 公斤	是
4.5 公斤	是
5 公斤	否

表二(來源:研究者自繪)

五、結論與生活應用

我們運用了兩種不同的方式製作紙橋，在製作及測試過程中，令我們訝異的是，紙張的韌性遠高於我們所想像的，第一個實驗我們選擇相較於第二個實驗更以柔克剛的方式製作，實驗結果證明，兩者所能承受的重量相差了 5 公斤之多。此結論使我們恍然大悟，原來結構的穩固與否才是紙橋能承受更多重量的關鍵，只是在我們製作時，太急於用最直覺的方式增加紙張的硬度，忽略其實必須做的是分散各受力點所需承受的重量。

在此研究執行過程中，學習到的不只是學術內容，更培養與組員兼團隊合作的默契，以及做研究所需的科學精神，不斷找出問題並進行改進。

參考資料

1. https://science.cyc.edu.tw/upfile/science103/work_files/12841699160745.pdf
2. <https://www.scimonth.com.tw/tw/article/show.aspx?num=2194&root=4&page=1>
3. <https://phys.site.nthu.edu.tw/p/405-1335-124530,c13011.php?Lang=zh-tw>
4. <http://ytsorg.blogspot.com/2014/08/blog-post.html>

註：

1. 報告總頁數以 6 頁為上限。
2. 除摘要外，其餘各項皆可以用文字、手繪圖形或心智圖呈現。
3. 沒按照本競賽官網提供「表單」格式投稿，不予錄取。
4. 建議格式如下
 - 中文字型：微軟正黑體；英文、阿拉伯數字字型：Times New Roman
 - 字體：12pt 為原則，若有需要，圖、表及附錄內的文字、數字得略小於

12pt，不得低於 10pt

- 字體行距，以固定行高 20 點為原則
- 表標題的排列方式為向表上方置中、對齊該表。圖標題的排列方式為向圖下方置中、對齊該圖