



# 六軸拉張整體裝置

設計者：李仲庭 老師、黃仲豪 老師



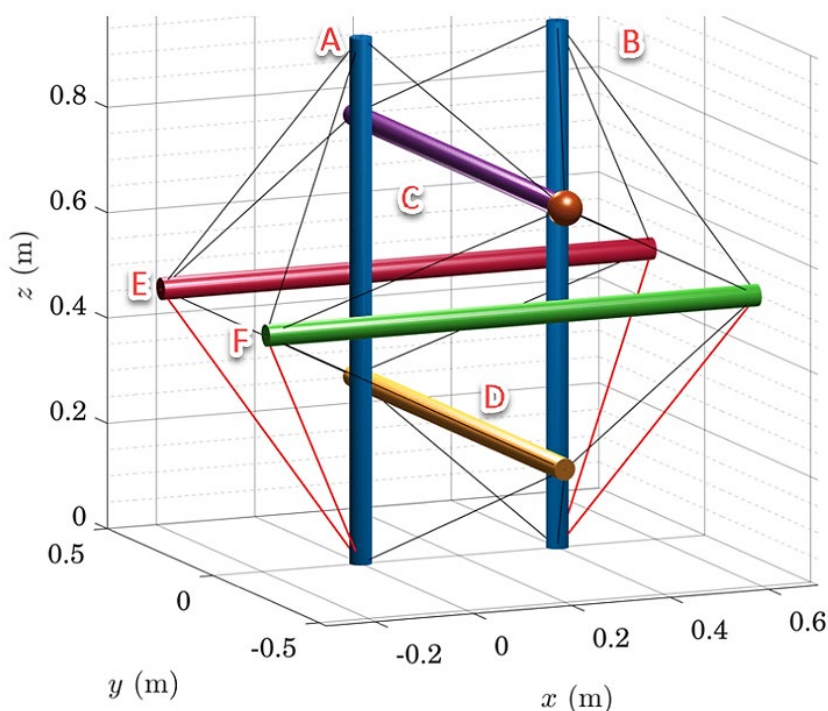
## 一、目的

藉由材料組合，設計出一個穩定的拉張整體裝置。藉由拉張整體裝置的構造設計，來學習相關的物理觀念。

## 二、原理

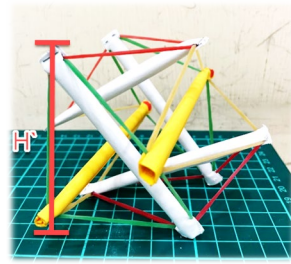
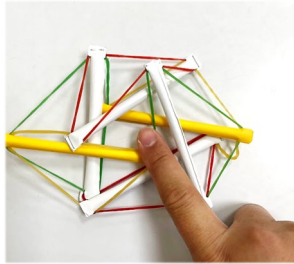
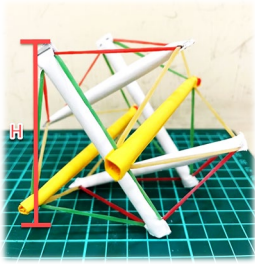
「張拉整體」<sup>[1]</sup>。一般認為是肯尼斯·斯內爾森（Kenneth Snelson）受到當年的代課老師美國建築師富勒 Richard Buckminster Fuller（July 12, 1895 – July 1, 1983）的幾何形式講座啟發，在 1948 年創作出了名為“早期 X 件”的實驗。主要用於描述「由繩索、電纜等剛性構件組合而成的結構系統，該系統具有張力與拉力」。張拉整體這種技術被用在建築上，可以做成斜張橋、桌子、椅子等。

東京工業大學去年（2023 年）在 IEEE 發表了一篇論文，將拉張整體應用在仿生學上。藉由拉張整體單體模組為出發，做出了模擬人類肌肉的人造肌肉機構，目前已已經可達到開啟寶特瓶蓋以及鎖螺絲的精細動作<sup>[2]</sup>。比起常見的三軸稜形拉張整體，六軸的模組可以做出更多的動作，且更耐重又更穩定。



圖一：拉張整體<sup>[3]</sup>

### 三、活動一：跌倒了不怕，站起來就好~

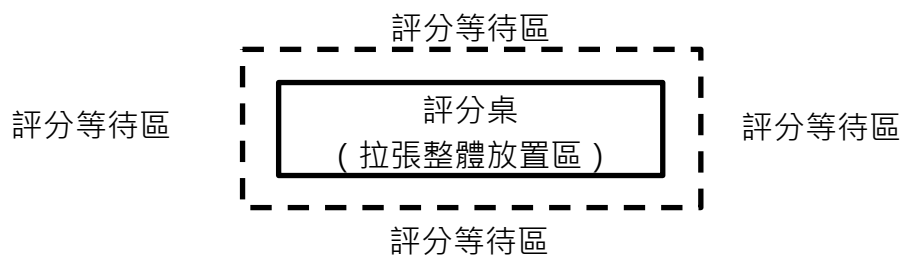


圖二：站立的拉張整體

圖三：壓扁狀態

圖四：復原後

(一) 場地說明：每一組場地，長條桌一張。(長桌各校競賽時規格統一即可)



評分桌桌緣實線與等待區邊緣虛線的兩平行線距離 50cm。評分桌尺寸依照各校準備的桌子而定。

(二) 使用材料：請詳閱 八 材料及工具總表

(三) 競賽說明

#### 1. 製作說明

- (1) 每組僅能使用材料總表的材料，現場製作兩個以上的六軸拉張整體(以下簡稱：拉張整體)。拉張整體的六軸需按照圖一方式寫上 A~F 的編號(表一)。競賽開始時，拉張整體須以三軸接觸桌面的方式，放置於桌上。以記號端與桌面距離的最大值為本競賽的 H 及 H' (如圖二、圖四所示)。
- (2) 拉張整體的每一軸須符合以下規範：
  - A. 軸的長度與徑向最大值的比值需大於 10。
  - B. 每隻軸需能通過直徑約 1.2cm 的大珍奶吸管。
- (3) 競賽時，每組參賽者拿著自製的拉張整體接受檢查，並測量拉張整體體重，體重記錄到克的小數第一位。六軸及橡皮筋表面皆不可有任何材質的粘性物質，違者該拉張整體不可上場競賽。量完體重的拉張整體就不可以再做修改。檢查完成後，挑戰開始時向裁判高喊「完成挑戰預備」之口號，接著等待裁判喊出「開始」之口令並按下碼表後，即開始進行該組的挑戰。
- (4) 每位參賽者每次挑戰時，需先擲骰子決定該次挑戰要用哪一個面與桌面接觸。執完骰子後，就不可對拉張整體做任何的修改。每位參賽者最多有三次挑戰機會，取最高的兩次成績。評分時間到，若尚在挑戰的隊伍，可完成當人該次挑戰。

- (5) 挑戰時，評審在參賽者壓扁拉張整體後的放手瞬間，按下碼表開始計時。拉張整體高度恢復靜止的瞬間結束計時。參賽者放手後須在 1 秒內退到等待區。等待過程參賽者全隊不可碰觸評分桌，違者該次成績不予計算。放手後，拉張整體因為外力造成與桌面接觸的平面不是擲骰子所決定的平面，則該次挑戰不算，可重新挑戰。

## 2. 計分方式

- (1) 競賽時，每隊可以依照自己的規劃，調整隊員的挑戰順序，每位隊員完整挑戰完後，才可換下一位隊員。每位隊員三次挑戰皆須使用同一個拉張整體，且同隊比賽中兩個拉張整體都需上場。若兩次挑戰間，若拉張整體受傷了，可以先治療再挑戰，治療時間仍計算在每隊 8 分鐘的競賽時間內。但請注意，每次挑戰擲完骰子後，就不可再以受傷為理由調整即將上場的拉張整體。
- (2) 競賽時由參賽者自行擲骰子來決定哪一個面接觸桌面，詳細如下（表一）：

骰子號碼	接觸面編號	骰子號碼	接觸面編號
1	ACE	5	ADE
2	ACF	6	ADF
3	BCE	7	BDE
4	BCF	8	BDF

- (3) 活動一的得分計算規則如下：

$$R_{ij} = 30 * \frac{(H')^2}{H} * T_B * W$$

其中  $i$ ：挑戰者順序， $i=1\sim3$ ； $j$ ：挑戰順序， $j=1\sim3$ ； $W$ ：拉張整體重量參數。

$H$ ：原本高度（單位：cm）； $H'$ ：壓縮復原後高度（單位：cm）；

$T_B$ ：時間紅利參數。

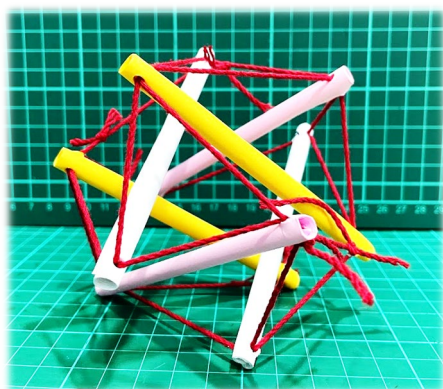
時間區間 $T$ (秒)	時間紅利 ( $T_B$ )	重量區間 (g)	重量紅利 ( $W$ )
$5 \leq T < 6$	9	$W < 25$	30
$6 \leq T < 7$	12	$25 \leq W < 30$	28
$7 \leq T < 8$	15	$30 \leq W < 35$	26
$8 \leq T < 9$	21	$35 \leq W < 40$	23
$9 \leq T < 11$	30	$40 \leq W < 45$	20
$11 \leq T < 12$	21	$45 \leq W < 50$	17
$12 \leq T < 13$	15	$50 \leq W < 55$	14
$13 \leq T < 14$	12	$55 \leq W < 60$	12
$14 \leq T < 15$	9	$60 \leq W$	10

[備註]：A.完成挑戰的時間在上表所列時間區間以外者，時間紅利皆為 3。

B.若  $H' > H$ ，不論實際時間為何，時間紅利皆為 0.25。

- (4) 活動一總分計算方式為：每位挑戰者取自己最高的兩次分數總和為個人得分，三人得分總和，即為該隊活動一總分  $G_1$ 。將各隊活動一所得總分  $G_1$  按高低順序排列後，依六等第計分法（見表 2）計分，得該隊活動一之成績  $X$ 。

#### 四、活動二：我要扛起全世界



圖六：拉張整體



圖七：扛起重物

(一)場地：每一組場地：長條桌一張。(各區競賽時規格統一即可)

(二)使用材料：請詳閱 八 材料及工具總表

(三)競賽說明

##### 1.製作說明

- (1) 每組僅能使用材料及工具總表的材料及工具，現場製作兩個以上的拉張整體。且六軸在任意時刻均不可相互接觸(除壓扁時)。競賽時拉張整體須以三軸接觸桌面的方式，放置於桌上。
- (2) 拉張整體的每一軸須符合以下規範：
  - A. 軸的長度與徑向最大值的比值需大於 10。
  - B. 每隻軸需輕鬆通過直徑約 1.2cm 的珍奶吸管。
- (3) 參賽隊員競賽時，各組組員拿著自製的拉張整體『壓扁』接受檢查。並測量拉張整體體重，體重記錄到克的小數第一位。量完體重的拉張整體就不可以再做修改。檢查完成後。挑戰開始時向裁判高喊「完成挑戰預備」之口號，接著等待裁判喊出「開始」之口令並按下碼表後，即開始進行該組的挑戰。
- (4) 每位參賽者每次挑戰時，需先擲骰子決定該次挑戰要用哪一個面與桌面接觸(表一)，並將拉張整體放置於磅秤上。擲完骰子後，就不可對拉張整體做任何的修改(增加材料或改變固定方式)。違者，取消一次挑戰機會。每位參賽者最多有三次挑戰機會，取最高的兩次成績。評分時間到，若尚在挑戰的隊伍，可完成當人該次挑戰。
- (5) 扛起的重物須放在拉張整體上，但重物不可以與桌面直接接觸。拉

張整體與重物相連接處不可有任何有黏性的物質，違者該位拉張整體需修改後才能上場。修改過程時間照算。

- (6) 本活動連接任兩軸的柔軟綿繩僅能有一條(可單股或多股合成)，且總線徑需小於 2mm。比賽時，參賽隊伍需使用整捆未拆封的線材，現場拆封製作。不得有事先裁剪或者是編織的狀況發生。另外六軸的棉線固定方式並無限制，惟製作過程中不可將棉線與不同材料做結合，來改變棉線的性質。組裝過程亦不得改變繩子材質(例如浸泡快乾)。若裁判對細繩材質有疑慮，可在比賽完成後，要求參賽者拆下來做柔軟度測試。
- (7) 柔軟度測試：取 20cm 繩子做測試，如果可以放在相隔 19cm 的相鄰桌面不落下，則視為不夠柔軟。若該繩不夠柔軟，使用該為拉張整體的成績則不予紀錄。

## 2.計分方式

- (1) 競賽時挑戰者可以依照自己的判斷，將重物放置於拉張整體上。待挑戰者放置完重物後，即可請求裁判開始計時。計時方式為，每隊用自備的手機，設定倒數 3 秒。得到評審同意後，按下開始鈕，手機鈴聲響起，由評審紀錄總重量  $L_i$  (記錄到克)。
- (2) 重物僅能以『放置』方式與拉張整體接觸(不可採用吊掛、網綁...等其他方式)，重物不可以與桌面直接接觸，且六軸中任兩軸皆不可接觸。違者該次成績不予紀錄。
- (3) 每次挑戰者紀錄完該次挑戰重量後，須將拉張整體重物取下。將拉張整體從桌上拿起，重新開始下一次挑戰。若兩次競賽間拉張整體受傷了，可以先治療再挑戰，治療時間仍計算在每隊 8 分鐘的競賽時間內。但請注意，每次挑戰擲完骰子後，就不可再以受傷為理由調整即將上場的拉張整體。
- (4) 每位隊員均需上場參賽，不得頂替，違規者成績以 0 分計算。
- (5) 活動二的得分計算規則如下：

$$Q_i = \frac{L_i}{W_i}$$

其中

$i$ ：挑戰順序， $i=1\sim 3$ ； $L_i$ ：第  $i$  次挑戰的重物重量； $W_i$ ：第  $i$  次挑戰的拉張整體重量。

活動二總分計算方式為：從  $Q_1\sim Q_3$  中，取最高的 2 次分數總和即為活動二總分  $G_2$ 。

- (6) 將各隊活動二所得總分  $G_2$  按高低順序排列後，依六等第計分法(見表 2)計分，得該隊活動二之成績  $Y$ 。

## 五、寫給評分者的話

- (一)活動一參賽者挑戰時若欲放棄該次挑戰，不須等到 15 秒。只要取得裁判同意即可。但放棄的那次挑戰，亦算在每個人三次挑戰當中。
- (二)活動一、活動二，每人各有一次的申訴機會，可以藉由競賽時隊友紀錄競賽過程的影片，向該組裁判提出申訴。若申訴成功，此參賽者該活動的挑戰資格保留。若申訴失敗，接下來此位參賽者該活動無申訴機會。
- (三)活動一、二的檢查過程、參賽者申訴過程，大表暫停。

## 六、 競賽時間

- (一)本活動的製作與測試時間(含說明及領取材料)共 30 分鐘。每組競賽時間為 8 分鐘，各組可自行決定活動一、二的挑戰順序。本項競賽必須在 70 分鐘內完成，含準備、全部組別闖關、計分。
- (二)評審：

表 2：六等第記分法

名次	一	二	三	四	五	六
隊數	1	3	6	10	15	其它
得分	30	21	15	12	9	6

## 七、 評等

- (一)活動一之成績六等第後得活動一成績 $X$ ，活動二之成績六等第後得活動二成績 $Y$ ， $X$ 、 $Y$ 相加，即得此項活動總成績 $Z$ 。
- (二)將所有參賽隊伍所得之 $Z$ 值排序，得最高分者為本項優勝，若最高分不只一隊時，則以活動一之原始成績最佳者獲得單項優勝獎。

## 八、材料及工具總表

### (一) 自備材料

	品名	規格	數量	備註
活動一、二 共用	影印紙	A4	30 張/組	自備
	雙面膠	寬度 0.8cm	3 捲/組	自備
活動一	橡皮筋	#10~20	不限	自備
活動二	綿繩	線徑小於 2mm	不限	自備
	重物	不限	不限	自備

## 九、參考文獻

1. 張拉整體結構的發展史與其應用。取自：  
<https://www.ntsec.edu.tw/liveSupply/detail.aspx?a=6829&cat=6844&p=1&lid=19217&print=1>
2. Soft Tensegrity Robot Arm with Twist Manipulation。取自：  
<https://www.youtube.com/watch?v=PGnjrltO8Oo>
3. six-bar-tensegrity-structure。取自：  
[https://www.researchgate.net/figure/A-six-bar-tensegrity-structure-with-four-actuated-cables-not-directly-connected-to-the\\_fig2\\_348094768](https://www.researchgate.net/figure/A-six-bar-tensegrity-structure-with-four-actuated-cables-not-directly-connected-to-the_fig2_348094768)