

繩力超人-以物理的角度分析拔河運動

投稿類別：物理類

篇名：

繩力超人-以物理的角度分析拔河運動

作者：

林雅涵。私立維多利亞實驗高中。高二 A 班
陳子晴。私立維多利亞實驗高中。高二 A 班

指導老師：

林淑真 老師

張朝復 老師

壹●前言

一、研究動機

每年的學校運動會，處處可見年輕學子青春盎然的生命力！當中的拔河項目歷來被視為團結合作、激勵人心的團體競賽，探究其動人之處，除了不需太多技術，多數成員能參與其中，並且眾志成城的吶喊總是能帶動現場觀眾鼓舞氛圍，甚至不分敵我，忍不住想為弱勢的一方大聲聲援，致使拔河賽是成為運動會競賽中眾所矚目的焦點。但幾年的運動會下來，我們觀察到一個有趣的現象，有時候看似勝券在握的一方，會大爆冷門輸掉比賽；平均體型瘦弱的一方，卻能在劣勢之下逆轉得勝，這不禁激起了我們的好奇心：拔河比賽究竟是純粹的力量對決，還是存在著某些不為人知的技巧與物理原理？

本校語文領域教師曾帶領我們討論景美女中拔河隊《不放手，直到夢想到手》一書，了解其堅持夢想與奮戰之精神。同學們也因為觀賞電影《志氣》，了解景美女中拔河隊為夢想而努力，堅持磨練各種技巧的訓練過程大感佩服。在電影中她們的比賽姿勢跟一般學校運動會的室外拔河賽並不相同，這讓我們起了好奇心，經小組討論之後，選定了拔河這題材。我們想了解專業的拔河賽的姿勢、身高體重位置排列、比賽鞋等因素，在拔河比賽中扮演著什麼樣的角色，足夠影響著比賽的勝敗。希望透過本研究，可以聰明地運用物理原理，不靠蠻力，輕易地贏得拔河比賽的勝利。

二、研究目的

- (一) 研究拔河的高低姿勢、身高體重位置排列、拔河鞋的材質以及運用的物理原理。
- (二) 以物理的角度探討拔河的迷思概念。

三、研究方法

本篇小論文使用運動相關書籍、高中物理課本、運動期刊以及網路搜尋來進行研究。首先從書本與網路查詢資料以了解拔河運動，試圖以物理學的角度分析各項動作、姿勢差異、身高體重位置排列、拔河鞋及迷思概念等項目的物理原理。

四、研究限制

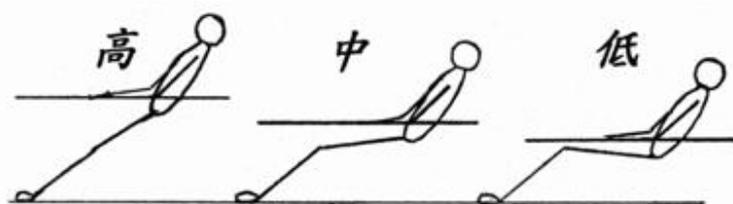
市面上或博客來網路書店甚至是在中正大學圖書館找不到任何一本專門的拔河教學書，只能從運動書籍的部分篇幅、網路上的拔河教學網頁、中華民國拔河運動協會及運動期刊上將關於拔河的文章做整理及分析。

五、研究流程

確認主題方向→收集相關書籍及網路資料→了解拔河這項運動→以物理理論的角度分析拔河賽的姿勢、身高體重位置排列、拔河鞋材質、拔河迷思概念以及運用的物理原理。

貳●正文

一、姿勢：分為拔河高姿勢、拔河中姿勢、拔河低姿勢。示意圖如圖一。以下就拔河高姿勢與低姿勢做介紹。



圖一：站位方法(拔河高、中、低姿勢示意圖)

(圖一資料來源：拔河基本知識圖文解說。2017年11月10日，取自 <http://www.mianfeiwendang.com/doc/461b94beddee17a3030fb2e2>)

(一) 拔河高姿勢：常於熱身時使用，雙腳與肩同寬，挺胸縮小腹，身體成筆直狀態並與地面呈現的角度較大。如圖二。

1、物理原理：採取高重心姿勢抬高拉繩，使對方的拉力 T_{BA} 變為斜向下拉，利用對方拉力的向下分力增大正向力 N 。如圖三。(B 為對方、A 為受力方)

(1) 正向力 $N = G_A + T_{BA} \sin \alpha > G_A$

其中： G_A 為 A 的重力， T_{BA} 為 B 拉 A 之繩子的拉力， α 為繩子與水平的夾角。

(2) 由於最大靜摩擦力 $f_{s(\max)} = N\mu_s \propto N \Rightarrow$ 使 A 不易產生滑動，較易站穩腳步。

其中： f 為摩擦力。 μ_s 為靜摩擦係數，與接觸面的粗糙程度有關。

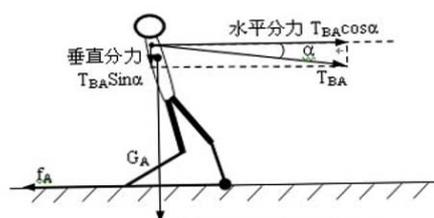
(3) 當摩擦力 $f_A > T_{BA} \cos \alpha$ ，A 便可以逐步向後退因而獲得勝利。

2、優點：體重可依賴骨骼支撐因此肌肉之負擔較輕、不容易產生鎖繩犯規、可抵抗較大的拉力。

3、缺點：難以腋下夾緊繩子、需使用的握力增加造成手的負擔、高重心姿勢之重力矩不易平衡拉力 $T_{BA} \cos \alpha$ 的拉力矩(ps.以前腳為支點)。



圖二：室內拔河高姿勢



圖三：高重心使摩擦力增大示意圖

(圖二資料來源：拔河比賽姿勢與技巧之拔河姿勢介紹。2017年11月11日，取自 <http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2010/lcvs104/e/e02.htm>)

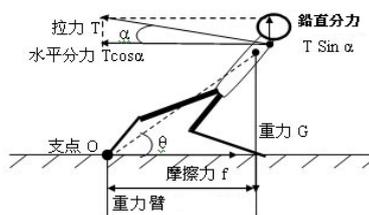
(圖三資料來源：體育學刊。拔河比賽的決勝因素(2007)。2017年11月1日，取自http://www.chinatyxk.com/gb/tywk_v.asp?anclassid=1&nclassid=8&bookid=91)

(二) 拔河低姿勢：常見於壓迫防守時使用，雙腳與肩同寬，挺胸縮小腹，身體成筆直狀態並與地面呈現的角度較小。如圖四。

- 1、物理原理：人體與地面的傾角小，重心往後偏，明顯增大了重力臂；重力矩加大，比高重心姿勢時更能對抗較大的拉力矩(ps.以前腳為支點)。如圖五。
- 2、優點：對方要拉起低姿勢需耗費相當大的力，增加對手負擔。
- 3、缺點：
 - (1) 易犯鎖繩犯規與坐著犯規、維持低姿勢耗費的體力大、腳底與地面的摩擦力較弱。
 - (2) 重心變低，改變了對方拉力方向，變為斜向上拉。拉力的鉛直向上分量 $T \sin \alpha$ 將使人體對地面的正向力 $N = G - T \sin \alpha$ 減小。
 - (3) 由於最大靜摩擦力 $f_{s(\max)} = N \mu_s \propto N \Rightarrow N$ 變小，使得能對抗對方的最大拉力也變小。當靜摩擦係數 μ_s 不夠大時，低重心姿勢將造成腳底易打滑而落敗。



圖四：室內低姿勢



圖五：低重心姿勢使重力矩明顯增大

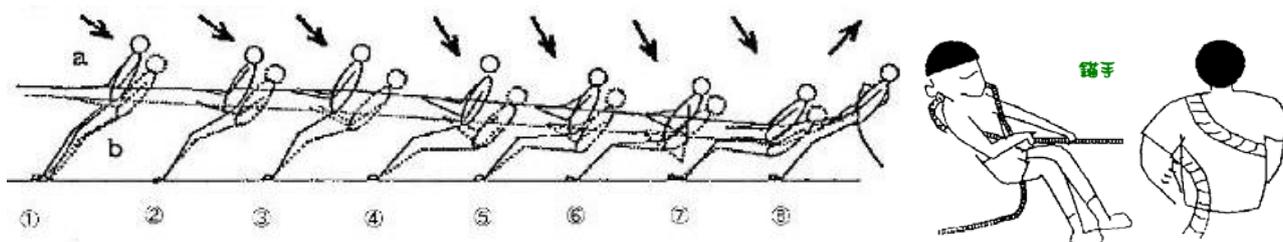
(圖四資料來源：拔河比賽姿勢與技巧之拔河姿勢介紹。2017年11月11日，取自<http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2010/lcvs104/e/e02.htm>)

(圖五資料來源：體育學刊。拔河比賽的決勝因素(2007)。2017年11月1日，取自http://www.chinatyxk.com/gb/tywk_v.asp?anclassid=1&nclassid=8&bookid=91)

二、身高體重位置排列

隊形需由高到矮排列，因拉的過程中，力是向斜下方，越後面的高度越低，使整體的重心偏低，加大整體的重力矩，不易使整隊向前翻轉。

以八人制室內賽標準來說，第七位選手是全隊最矮的，而第八位選手即是最後一位選手較特殊，是整隊的主角，稱為錨手。與其他選手不同，可將繩子從腋下通過另一肩膀，再繞回腋下至後方，體重需為全隊最重且肌肉最發達，且不得大幅度搖晃，因此施力方向向上，主要負責穩住繩子和整隊拉力，為了不讓全隊重心往後大幅傾倒導致坐地犯規。如圖六及圖七。



圖六：身高位置排列與施力方向

圖七：錨手

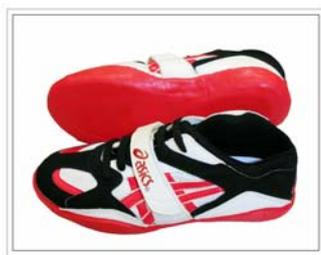
(圖六資料來源：拔河基本知識圖文解說。2017年11月10日，取自
<http://www.mianfeiwendang.com/doc/461b94beddee17a3030fb2e2>)

(圖七資料來源：拔河理論(2014)。後位(錨手)的訓練。2017年11月10日，取自
<http://library.taiwanschoolnet.org/c00/32100015/%E6%8B%94%E6%B2%B3%E7%90%86%E8%AB%96.html>)

三、專業鞋的差別：室內賽和室外賽的鞋子材質與結構差異極大，以下僅就鞋子材質及規定、鞋子與接觸面相對摩擦力及運用物理原理做探討。

(一) 拔河專用室內鞋：

- 1、室內拔河比賽鞋應是由原始任何運動鞋製造廠商生產的比賽鞋，鞋底不應該比鞋身更寬或更長；鞋底必須為橡膠或類似之材質，以給予適當之抓地力，但不至於造成比賽場地表面或地板之損傷。鞋底最大長度及寬度不得超過裸足的 20%。只有不含化學物質或流質的清潔乾布適用於鞋底。如圖八。



圖八：室內拔河鞋

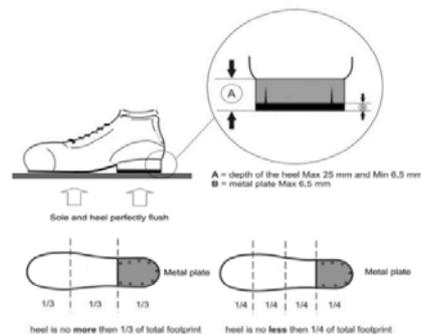
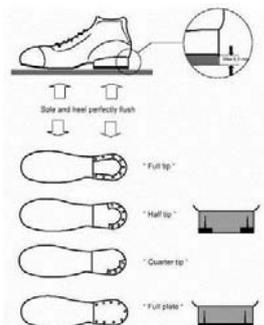
(圖八資料來源：汎信工業股份有限公司。室內拔河鞋。2017年10月10日，取自
<http://www.ventec.com.tw/p-b-01.html>)

- 2、平滑的鞋子表面與平滑的 PU 比賽拔河道相互緊貼摩擦可以形成最大的相對摩擦力：雖然接觸面積大小與摩擦力大小並沒有直接的關係，但選手身體的重量給予地面的重力因鞋底緊貼拔河道，可以使鞋底和拔河道面的相對接觸面之有效正向作用力增加，進而增大相對摩擦力。

(二) 拔河專用室外鞋：

- 1、鞋底、鞋跟和鞋邊必須完全齊平。允許無金屬的鞋底、鞋頭或趾板。鞋底和鞋跟

不可有鞋底釘或突出之釘爪，鞋子緊固方式不可含有可能導致傷害之夾鉗等構造。鞋跟允許有厚度小於 6.5 mm 之金屬片，但須與鞋邊齊平。鞋跟尺寸須介於整個鞋底之三分之一和四分之一間，鞋跟高度(含金屬片)從鞋底量起須介於 6.5mm 和 25mm 之間。鞋底、鞋跟和鞋邊須齊平。如圖九~圖十一。



圖九：活動型室外拔河鞋

圖十：室外比賽鞋

圖十一：室外比賽鞋規定

(圖九資料來源：汎信工業股份有限公司。室內拔河鞋。2017 年 10 月 10 日，取自 <http://www.ventec.com.tw/p-b-02.html>)

(圖十資料來源：國際拔河比賽規則。室外比賽鞋規定。2017 年 10 月 10 日，取自 <http://www.nhps.tp.edu.tw/ac2/%E9%AB%94%E8%82%B2%E7%B5%84/%E9%81%8B%E5%8B%95%E8%A6%8F%E5%89%87/%E5%9C%8B%E9%9A%9B%E6%8B%94%E6%B2%B3%E8%A6%8F%E5%89%87.htm>)

(圖十一資料來源：中華民國拔河運動協會(2017)。室外比賽鞋規定。2017 年 10 月 10 日，取自 http://www.tugofwar.org.tw/?page_id=1397)

2、物理原理：

- (1) 鞋跟加裝金屬片，拔河時以鞋跟用力踩踏地板以增加地面正向力 N ，目的是加大最大靜摩擦力 $f_{s(\max)} = N\mu_s \propto N$ ，使我方不易打滑。當我方拉力克服對方與地面之摩擦力，繩子中點即向我方移動因而獲勝。鞋跟踩踏的節奏要同步、方向要一致，使我方合力達到最大，可增加致勝機率。如圖十二。
- (2) 用力踩踏室外地面的角度大：斜向嵌入土地為了使接觸面積小、壓力大。 $P=F/A$ 使鞋底深入土地的深度大，以增加著力點及摩擦力。



圖十二：2016 世界盃拔河賽 U23 冠軍戰 VS.南非

(圖十二資料來源：2016 世界盃拔河賽 U23 冠軍戰 VS.南非。2017 年 10 月 10 日，取自 <https://www.youtube.com/watch?v=7NzbnkLufSA>)

四、迷思概念：只要抓握繩子的力量夠大，就可以將對方拉過來？

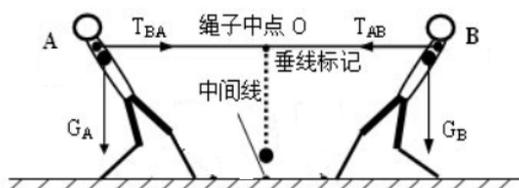
(一)根據牛頓第三運動定律：也稱『作用力與反作用力定律』，當施加力於物體時，會同時產生一個大小相等而且方向相反的反作用力於施力者。作用力與反作用力大小相等、方向相反，且作用在同一直線上，因為受力對象不同，所以不能互相抵銷，兩者同時發生同時消失。由牛頓第三運動定律可以知道，拔河的兩方選手正好符合此定律。比賽時，一定為兩方同時施力，同時受相同大小的繩拉力 T 且方向相反。如圖十三及圖十四。(N：正向力、G：重力、T：繩拉力、f：地面摩擦力)

1、 $T_{AB}=T_{BA}$ 。

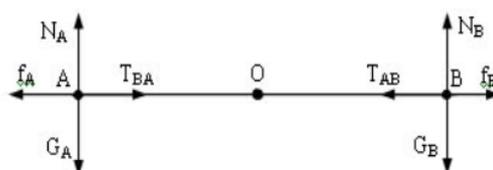
2、對於 A 方： $N_A=G_A$ ，水平合力 $F_{A\text{合力}}=T_{BA}-f_A$

對於 B 方： $N_B=G_B$ ，水平合力 $F_{B\text{合力}}=T_{AB}-f_B$

⇒無論對於哪一方而言，平動時欲戰勝對方都是：對對方的拉力 T 大於對方所受到的地面摩擦力 f 。例如 A 方戰勝 B 方，即 $T_{AB} > f_B$ ，使 B 失去靜力平衡，繩子中點向 A 方移動。



圖十三：AB 兩隊拔河比賽示意圖



圖十四：平動時 AB 兩隊受力圖

(圖十三~圖十四資料來源：：體育學刊。拔河比賽的決勝因素(2007)。2017 年 11 月 1 日，取自 http://www.chinatyxk.com/gb/tywk_v.asp?anclassid=1&nclassid=8&bookid=91)

(二)手對繩子抓握的力 F ：當選手在抓握繩子的時候，通常會在手心抹上止滑粉，其具有吸收手汗的功用，這樣是為了防止手滑以增加摩擦力。另外，當手對繩子施的力太小時，一定會造成繩子從手上滑走。就像平常抓握水杯時，當手給予杯子一作用力 F ，杯子必給予手一正向力 N 。這個現象與拔河的原理是相同的，當手抓握繩子施力於繩子的正向力不足的時候，就會出現繩子滑動的現象。所以拔河選手就會施予拔河繩相當的抓握力氣使其不滑動，避免影響比賽輸贏。

叁●結論

一、總合我們的研究，從物理理論出發，可以歸納出以下各點：

(一) 姿勢：

1、拔河高姿勢：利用對方拉力的向下分力增大正向力 N 以增大最大靜摩擦力 $f_{s(max)} = N\mu_s$ ，使不易產生滑動，較易站穩腳步。高重心姿勢之重力矩不易平衡拉力 $T_{BA} \cos \alpha$ 的拉力矩(ps.以前腳為支點)。

2、拔河低姿勢：人體與地面的傾角小，重心往後偏使重力矩加大，比高重心姿勢時更能對抗較大的拉力矩(ps.以前腳為支點)。重心變低，改變了對方拉力方向，變為斜向上拉。拉力的鉛直向上分量 $T \sin \alpha$ 將使人體對地面的正向力 $N=G-T \sin \alpha$ 減小。使得能對抗對方的最大拉力也變小。當靜摩擦係數 μ_s 不夠大時，低重心姿勢將造成腳底易打滑而落敗。

(二) 身高體重位置排列：隊形由高到矮排列，因拉的過程中，力是向斜下方，越後面的高度越低，使整體的重心偏低，加大重力矩，不易使整隊向前翻轉。而錨手施力方向向上，主要負責穩住繩子和整隊拉力，為了不讓全隊重心往後傾倒導致坐地犯規。

(三) 拔河專業鞋：

1、拔河專用室內鞋：鞋底必須為橡膠或類似之材質，以給予適當之抓地力。平滑的鞋子表面與平滑的 PU 比賽拔河道相互緊貼摩擦可以形成最有效的摩擦力。

2、拔河專用室外鞋：

(1) 鞋跟允許有厚度小於 6.5 mm 之金屬片。

(2) 拔河時以鞋跟用力踩踏地板以增加地面正向力 N ，目的是加大最大靜摩擦力

$$f_{s(\max)} = N\mu_s \propto N$$
，使我方不易打滑。

(3) 鞋跟踩踏的節奏要同步、方向要一致，使我方合力達到最大，可增加致勝機率。

(4) 用力踩踏室外地面的角度大：斜向嵌入土地為了使接觸面積小、壓力大。

$$P=F/A$$
 使鞋底深入土地的深度大，以增加著力點及摩擦力。

(四) 迷思概念的破解：

1、無論對於哪一方而言，平動時欲戰勝對方都是：對對方的拉力 T 大於對方所受到的地面摩擦力 f 。

2、當手抓握繩子施力於繩子的正向力足夠的時候，使最大靜摩擦力 $f_{s(\max)} = N\mu_s$ 夠大，才不致於出現繩子抓不住而滑動的現象。

二、未來展望：

因小論文篇幅有限，本文僅就上述各項主題進行引導性的簡介研究。事實上，關於拔河，仍有下列各項主題可以深入研究，例如：

(一) 綜合高姿勢與低姿勢的優點，在實際上場比賽時如何靈活運用。

(二) 室內賽與室外賽雙手抓握的姿勢探討。

(三) 除了高姿勢的熱身使用和低姿勢的壓迫性防手之外，研究其他各種進攻型的戰略運

用，例如：甩繩、猛拉或短拉節奏的攻擊等等。

肆●引註資料

- 一、沈青嵩(審定)(2015)。普通高級中學基礎物理(二)B 上、下冊。新北市：康熹文化出版社。
- 二、Joel Levy(2015)。體育老師沒告訴你的事：一窺隱藏於運動背後的數字秘密。台北市：果禾文化。
- 三、景美女中拔河隊(2013)。不放手，直到夢想到手。台北市：春光出版。
- 四、拔河基本知識圖文解說。2017年11月10日，取自
<http://www.mianfeiwendang.com/doc/461b94beddee17a3030fb2e2>
- 五、拔河比賽姿勢與技巧之拔河姿勢介紹。2017年11月11日，取自
<http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2010/lcvs104/e/e02.htm>
- 六、體育學刊。拔河比賽的決勝因素(2007)。2017年11月1日，取自
http://www.chinatyxk.com/gb/tywk_v.asp?anclassid=1&nclassid=8&bookid=91
- 七、拔河理論(2014)。後位(錨手)的訓練。2017年11月10日，取自
<http://library.taiwanschoolnet.org/c00/32100015/%E6%8B%94%E6%B2%B3%E7%90%86%E8%AB%96.html>
- 八、國際拔河比賽規則。室外比賽鞋規定。2017年10月10日，取自
<http://www.nhps.tp.edu.tw/ac2/%E9%AB%94%E8%82%B2%E7%B5%84/%E9%81%8B%E5%8B%95%E8%A6%8F%E5%89%87/%E5%9C%8B%E9%9A%9B%E6%8B%94%E6%B2%B3%E8%A6%8F%E5%89%87.htm>
- 九、中華民國拔河運動協會(2017)。室外比賽鞋規定。2017年10月10日，取自
http://www.tugofwar.org.tw/?page_id=1397
- 十、汎信工業股份有限公司。室內拔河鞋。2017年10月10日，取自
<http://www.ventec.com.tw/p-b-01.html>