

羅馬拱橋

不需用到任何釘子
運用科學原理

即可讓拱橋承受 10 公斤的重量喔



http://www.tssc-edu.com/products.php?func=p_detail&p_id=72&pc_parent=20

Roman Arch



圖片來源：賽先生科學網站- 神奇羅馬拱橋積木

戴明鳳 清華大學物理系及跨領域科學教育中心

羅馬拱橋



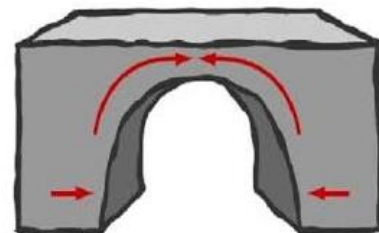
羅馬拱橋 力學競賽精本
ROMAN ARC BRIDGE DIY



橋力學競賽套



实拍 拱桥



600 x 397 - backchina.com



第1章 绪论 古罗马的拱桥

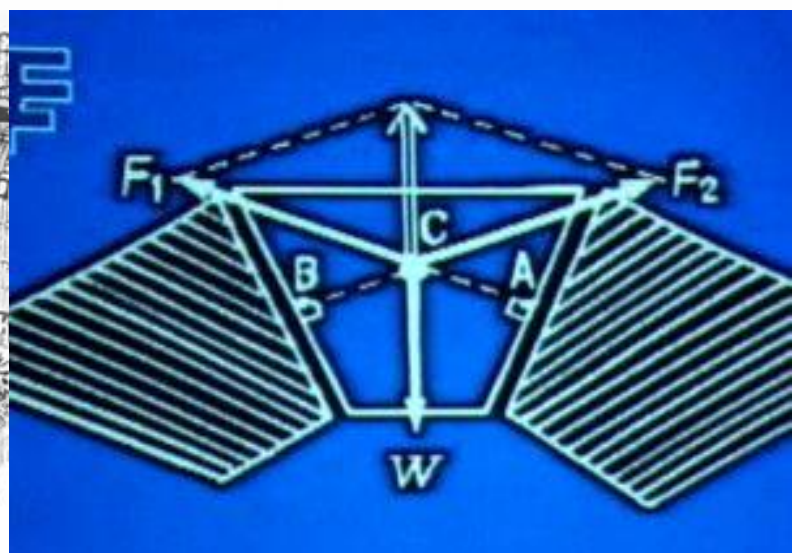
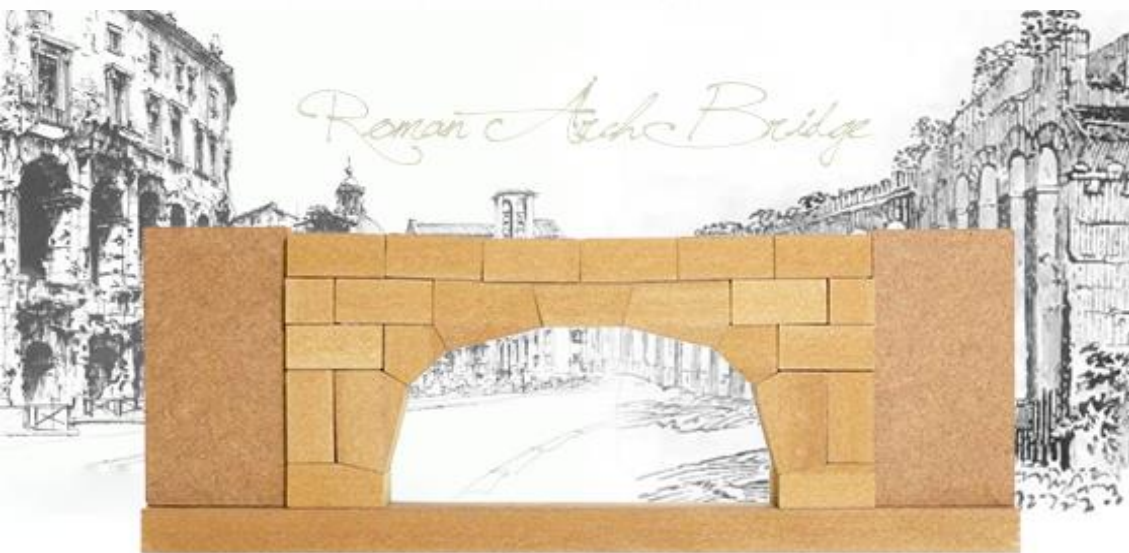
1.2 古罗马拱桥的构造原理



此模型可以自行重新拆卸、增加高度、使用不同材料、减少材料应用、改善桥身、同时具有挑战性、有趣的实验、大家也可以自己上色。

半圓拱式之羅馬拱橋的優點

1. 半圓弧結構的拱橋早在2200多年前的羅馬帝國時代就建造出來了，稱為嘉德水道橋(Pont du Gard)。
2. 在不用任何一根釘子的狀況下，拱橋兩旁的石塊會將所受的合力逐一傳遞到**中央的楔石**。
3. 最後，靠著**中央楔石**所受到的三個力量達成靜力平衡 (F_1 , F_2 , W)，保持一個穩定平衡的狀態！



簡介

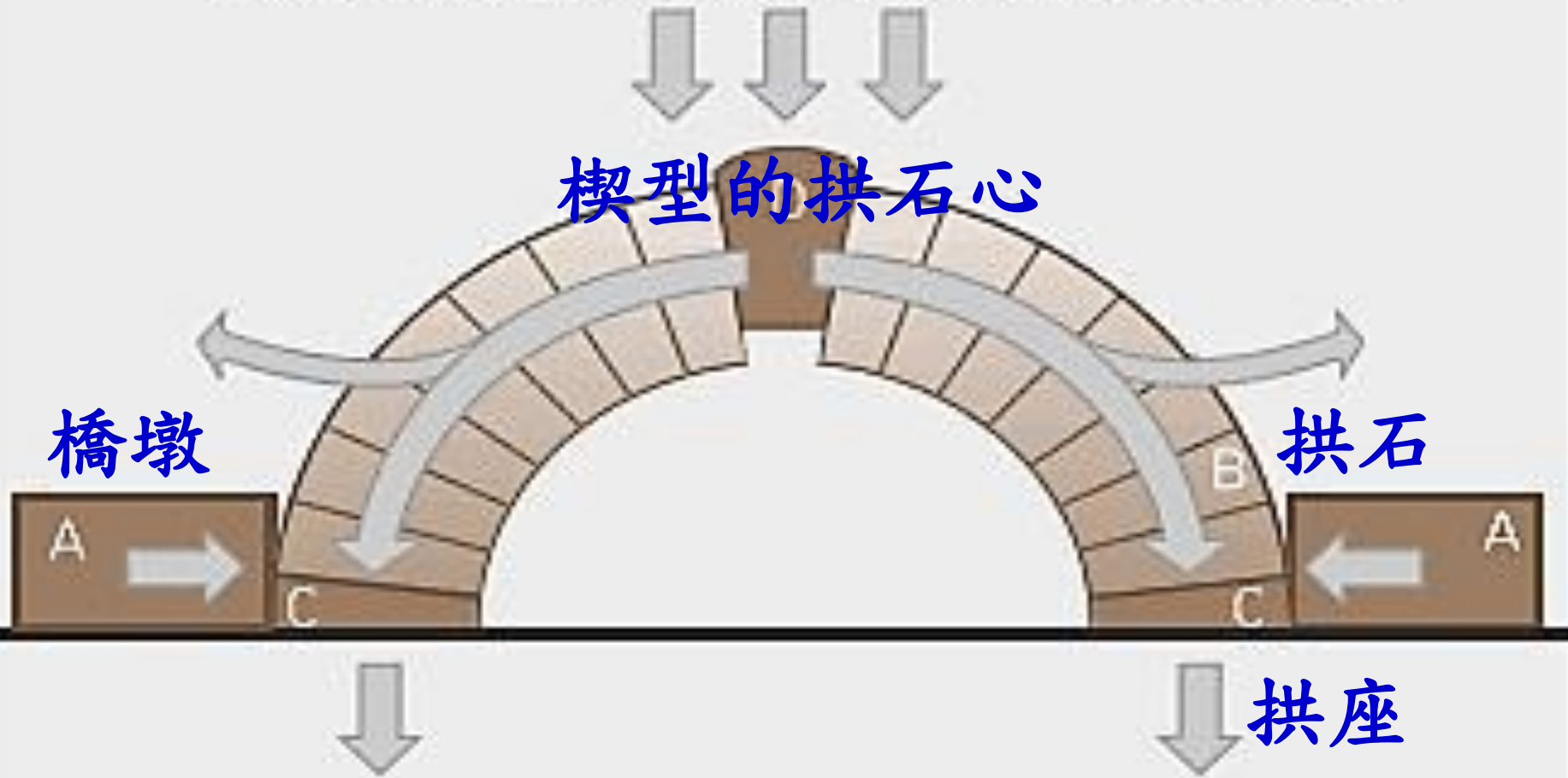
1. 羅馬拱門(Roman Arch)是一種建築工法，用在大型建築物或者橋樑之上。
2. 除羅馬以外，中國古代的橋樑也用了許多拱門工法建造。
3. 羅馬拱橋是一種半圓拱形建築架構。顧名思義羅馬拱橋是羅馬人發明的，是建築史上偉大的成就。
4. 整個羅馬古橋之所以可以達成穩定的靜力平衡，是靠著楔形的拱石之間的相互壓力，也就是靠著楔形石彼此之間相互壓擠所造成的。
5. 試試看能否像古羅馬工程師一樣，快速地拼架起羅馬拱橋。
小提示：**中心的拱石最重要**，一但中心那圈的拱石連接成，橋就完成了，是怎麼將之串連起來呢？

<http://140.114.80.32/schoolpad/front/bin/ptdetail.phtml?Part=4>

Arch diagram

拱橋的基本結構

Arrows suggest forces acting on the structure



楔型的拱石心

橋墩

拱石

拱座

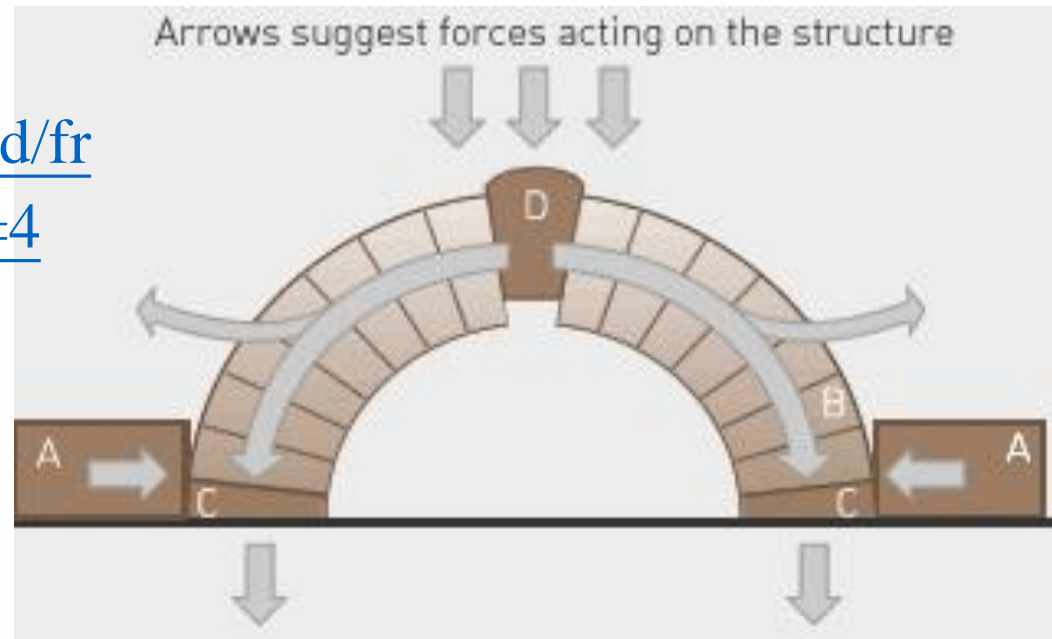
A - Abutments 橋墩
B - Voussoirs 拱石

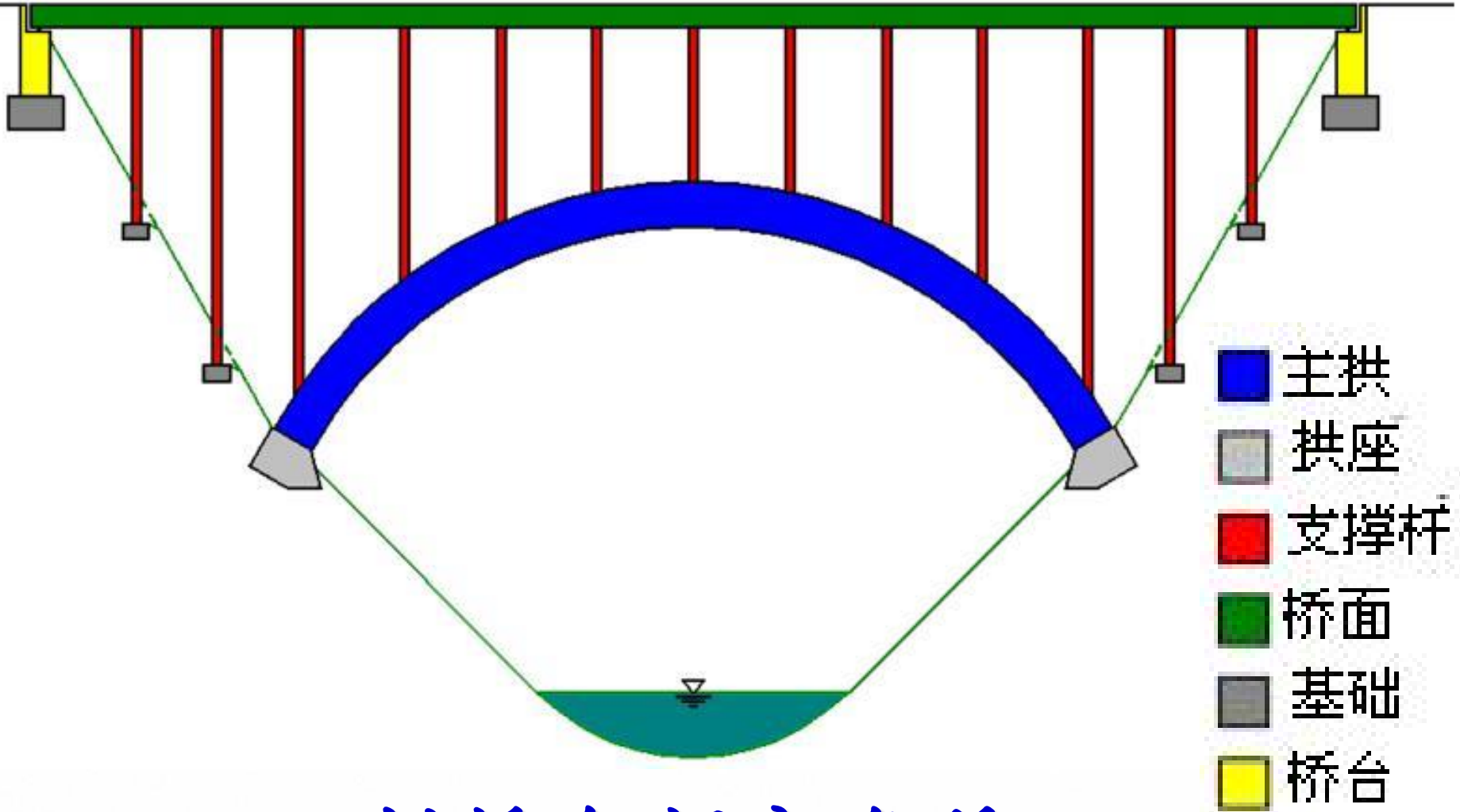
C - Footers 拱座
D - Key stone 楔型的拱石心

拱橋的原理

1. 羅馬拱橋中央弧形，楔形石彼此接合的部分能夠彼此向外擠壓，是由於拱橋兩邊的石牆所提供的力。
2. 常用建造法是用**厚重的橋墩**，以確保拱橋的**水平力平衡**。
3. 若拱橋兩邊**受外力移動**，則楔形石彼此接合部分因壓力就會鬆散，拱橋很容易就會倒塌。
4. 拱橋實際是靠**楔形石彼此的擠壓力量與摩擦力的支撐**。

<http://140.114.80.32/schoolpad/front/bin/ptdetail.phtml?Part=4>





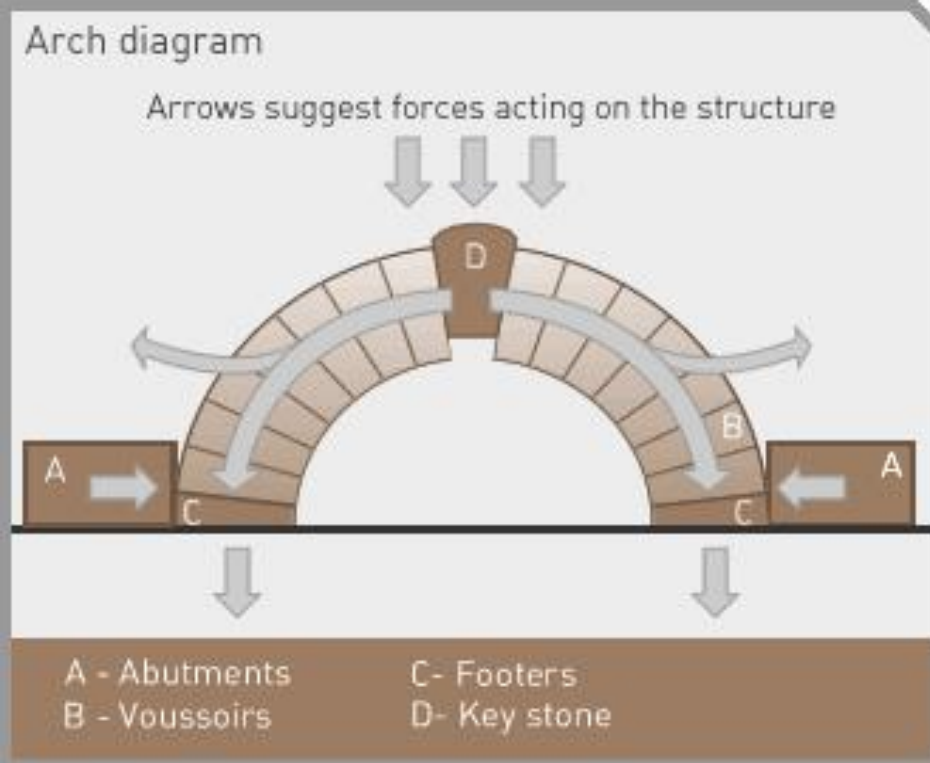
拱橋各部分名稱

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b6/%E6%8B%B1%E6%A1%A5%E5%90%84%E9%83%A8%E5%88%86%E5%90%8D%E7%A7%B0.JPG>

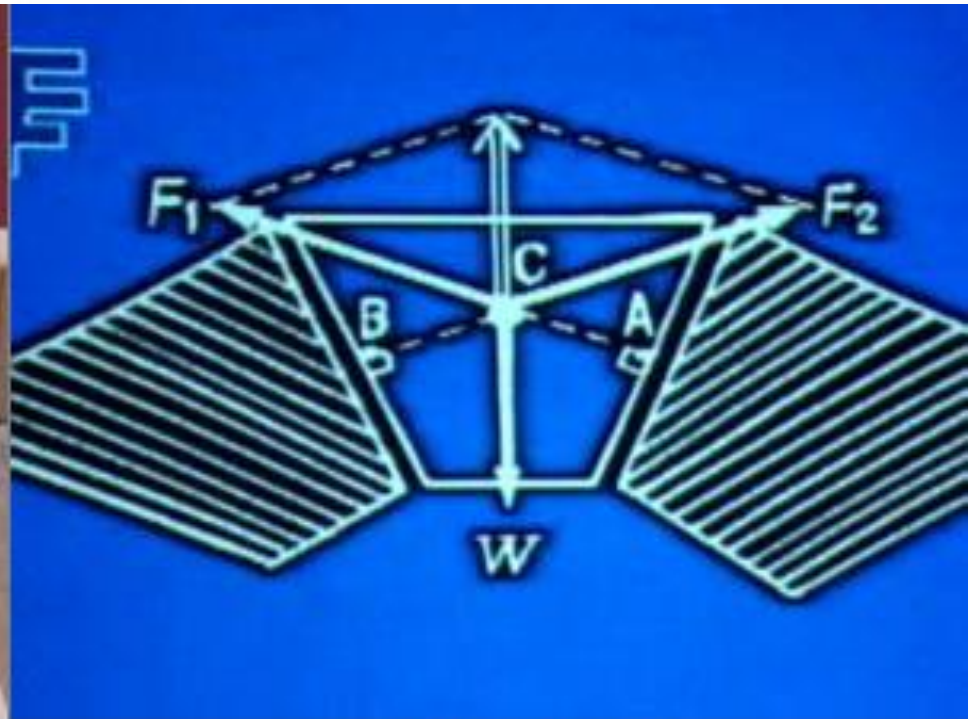
楔形石

- 具舉足輕重的角色!

http://www.hjjh.kh.edu.tw/toy_physics/15/index.htm



關鍵的楔形石



楔形石的受力分析

1. 西方古羅馬及古代中國都早有拱的力學知識，並將其用於建築體上。
2. 在中國至今仍然屹立不搖在**南京靈谷寺內的「無樑殿」**，是一棟純粹由磚石堆砌而成的空間立體拱構建築。
3. 又如1400多年前，中國古代名匠師李春所設計建造的**趙州橋**，是一座有「**墊肩樣式**」的**單孔弧形拱橋**。雖歷經無數次的地震、洪水，卻能依然優美雄健的橫跨在洺河的兩岸間。
4. 就拱橋而言，**拱構造能將垂直重力轉化成沿拱線走向的壓力**。
5. 古代造橋匠師**採用抗壓特性極佳的天然石塊做為築橋建材**；現代則大多改用鋼鐵材料，再以**堆砌方式**做成一座座以拱為造型的橋梁。
6. 因拱具有將石塊本身的重量轉換成沿拱軸線方向，且**垂直於接合面**施以壓力的狀態，這個方向的正向壓力使得各石塊砌合面間形成緊密的接合。

石橋拱之受力分析

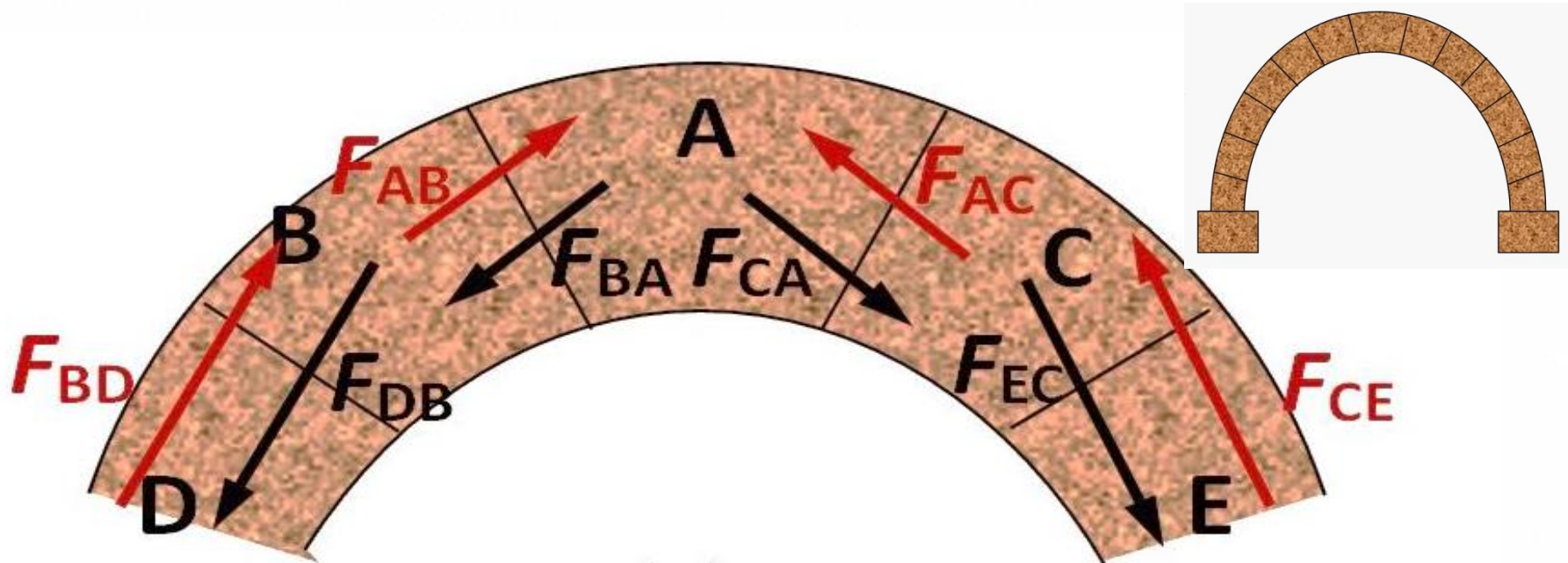
1. 如圖a所示，A、B、C石塊間，

F_{BA} 代表A施於B的作用力、 F_{AB} 代表B反作用於A的力；

F_{CA} 代表A施於C的作用力、 F_{AC} 代表C反作用於A的力。

2. F_{DB} 代表B施於D的作用力、 F_{BD} 代表D反作用於B的力；

F_{EC} 代表C施於E的作用力、 F_{CE} 代表E反作用於C的力。



1. 如圖a所示，A、B、C石塊間，

F_{BA} 代表A施於B的作用力、 F_{AB} 代表B反作用於A的力；

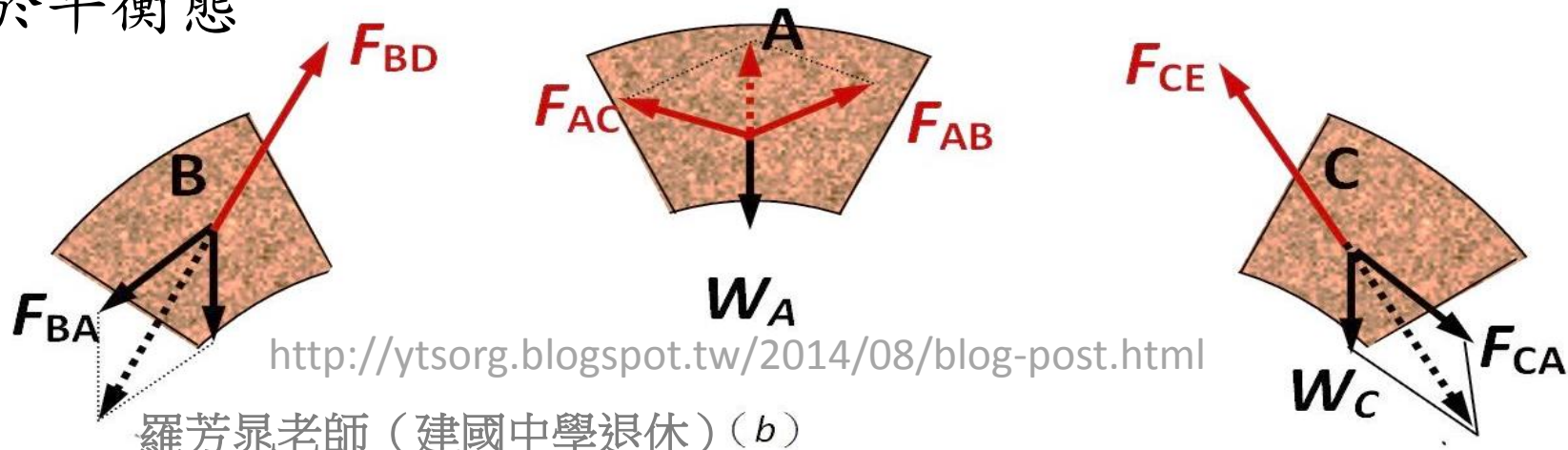
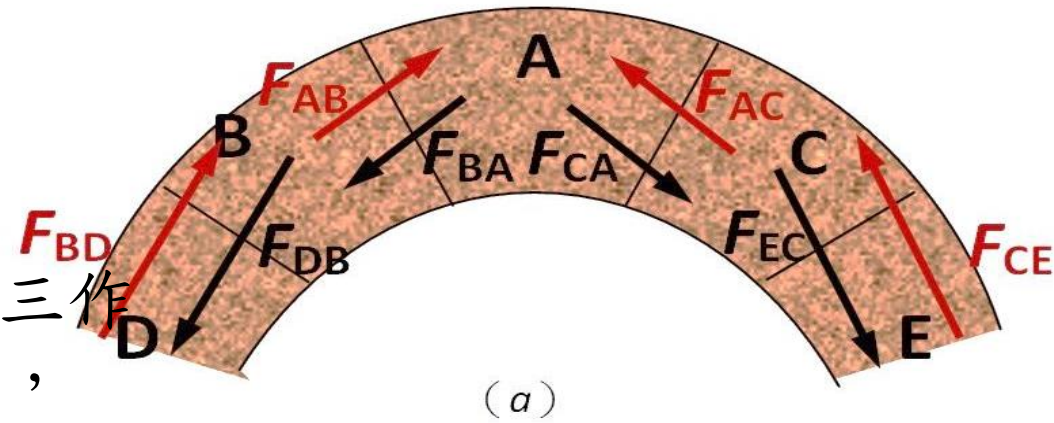
F_{CA} 代表A施於C的作用力、 F_{AC} 代表C反作用於A的力。

2. F_{DB} 代表B施於D的作用力、 F_{BD} 代表D反作用於B的力；

F_{EC} 代表C施於E的作用力、 F_{CE} 代表E反作用於C的力

拱橋受力分析

W_A 、 F_{AB} 及 F_{AC} 三作用力向量和為零，使A處於平衡態



拱橋受力分析

每一石塊的受力情形分析如圖b，其中

1. A石塊所受的外力有重量 W_A 、

B對A的反作用力 F_{AB} 及 C對A的反作用力 F_{AC} ，

此三力形成靜力平衡，以使A處於平衡態

即 W_A 、 F_{AB} 及 F_{AC} 之向量和為零。

2. B石塊所受的外力有重量 W_B 、

D對B的反作用力 F_{BD} 及A對B的作用力 F_{BA} ，

此三力形成靜力平衡，使B處於平衡態。

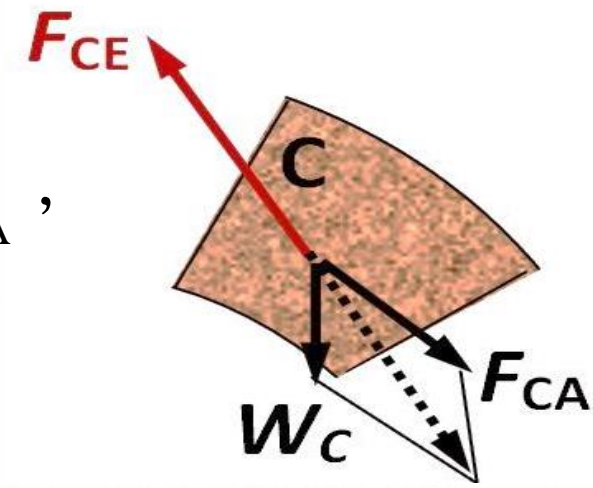
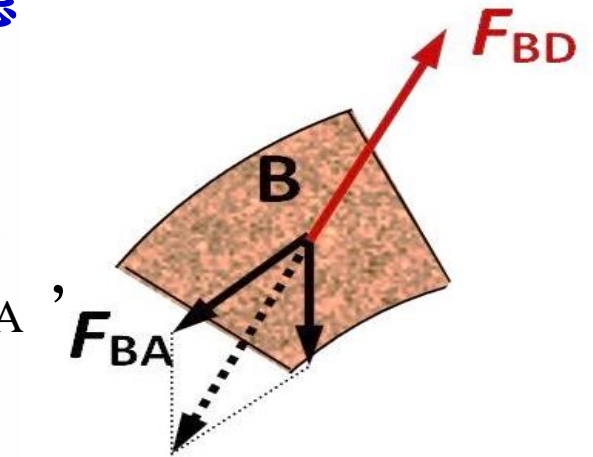
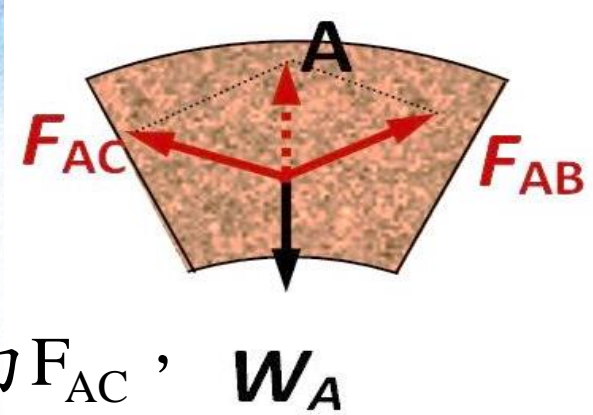
即 W_B 、 F_{BD} 及 F_{BA} 之向量和為零。

3. C石塊所受的外力有重量 W_C 、

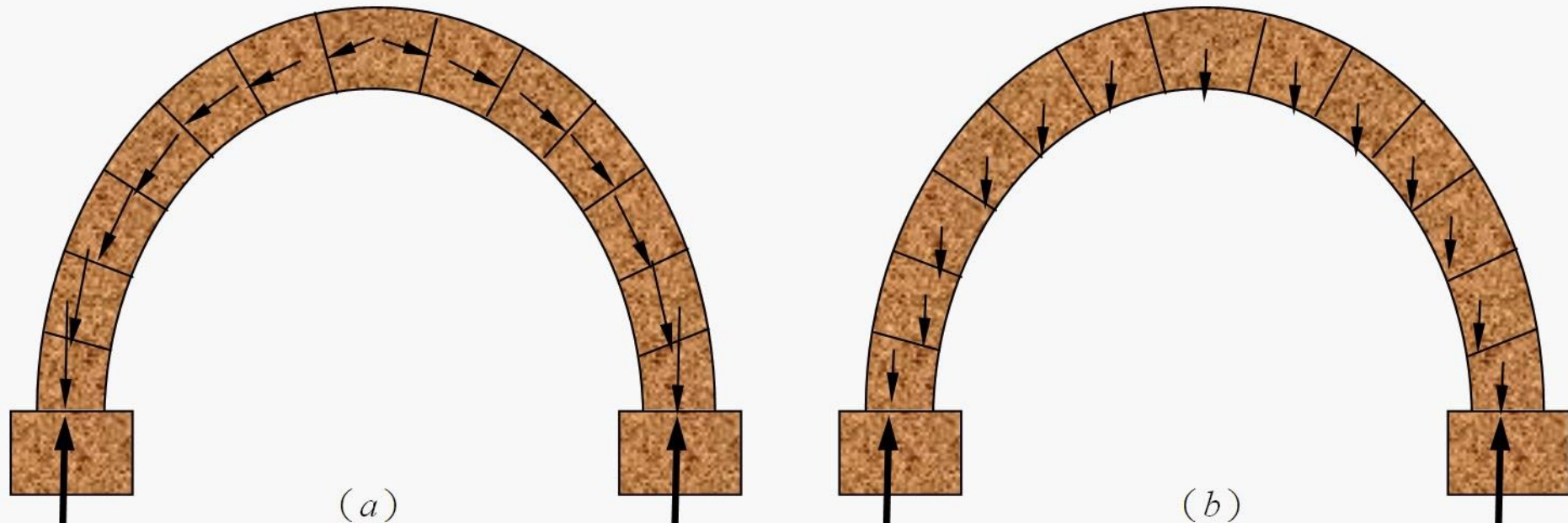
E對C的反作用力 F_{CE} 及A對C的作用力 F_{CA} ，

此三力形成靜力平衡，使C處於平衡態。

也就是 W_C 、 F_{CE} 及 F_{CA} 之向量和為零。



1. 如此推論，越靠近下方的石塊所受上方的作用力會越來越大，而這些力其實是重力傳遞的累積效用，此累積一直到基座為止，如圖三(a)所示。
2. 最後兩端基座的向上支撐力恰好等於石橋拱的重量，使拱橋處於靜力平衡的平穩態，如圖三(b)所示。



半圓拱式之羅馬拱橋的優點

1. 此拱橋和中國式拱橋不同的地方在於以「**半圓拱**」為單位。
2. 可以做出結構上的重複延伸，
3. 除了節省石材之外，還能增加高度，
4. 在橫跨較大的河谷時，相當有用，故成為歐洲後來的拱橋主流造型。





橋墩的結構



失去楔石的結果



嘉德水道橋 (Pont du Gard)



完美的拱形



動手DIY 搭拱橋自己來!



<http://140.114.80.32/schoolpad/front/bin/ptdetail.phtml?Part=4>



完美的拱形



動手DIY 搭拱橋自己來!



