

龍洞岩場 固定設備 使用須知

V1.0-2020-12-10



臺灣戶外攀岩協會

目錄

錨栓 Bolt	3
龍洞常見的錨栓種類	4
上方固定點配件	7
梅隆鎖 Maillon	7
羊角 Ram's-Horn	7
垂降環 Rap-ring	8
龍洞常見的上方固定點設置	9
關於上方架繩系統	10
關於撤退系統 (下放或垂降)	11
結語	12
附件一 金屬設備的鏽蝕現象	14
特殊鏽蝕型態	16
電位鏽蝕 Galvanic corrosion	16
縫隙鏽蝕 Crevice corrosion	17
點狀鏽蝕 Pitting	18
應力鏽蝕 SCC - Stress Corrosion Cracking	18
附件二 臺灣自製鈦合金錨栓	20
鈦合金 Bolt 進度回報	20
鈦合金 Bolt 內部檢測結果	28
鈦Bolt開發計畫FAQ	36

世界上的每座天然岩場，都有不同的地理環境、地質、天候、與人文條件，也因而發展出獨有的攀岩社群與文化，對於岩壁上固定設備的使用方式，也都各自有著不成文的使用偏好和須知，龍洞也不例外；隨著時間、技術、與觀念的不斷演進，這裡的固定設備，同樣有各種不同的種類、配置、以及使用方式，因此我們製作了這份文件，目的就是想協助岩友了解龍洞的固定設備種類、適當的使用方式、以及金屬設備的各種特性與鏽蝕

本文件所有建議固定點使用及系統轉換方式皆需經由專業訓練後方能從事，任何人皆應對其個人及同行伙伴安全負起完全責任。若有能力不及之處，操作者應採用個人最熟練及最低風險的方式進行操作。任何因天然岩場攀登導致之意外發生，概與本文件撰寫人員以及臺灣戶外攀岩協會無涉。

著作權聲明

本文件中所有資料之著作權、所有權與智慧財產權，包括內容、文字、圖片等均為臺灣戶外攀岩協會所有。本文件可供網路分享、轉載，但須註明「資料來源：臺灣戶外攀岩協會 | TOCC 為著作權人」。文件中所有資料得用於非商業用途，純粹為教育、非營利等合法目的，絕對禁止用於獲取個人或團體利益；而除瀏覽、展示、下載本文件外，任何個人或組織不得在未經臺灣戶外攀岩協會的書面同意，以任何方式更改、複製、抄襲、出版、發行文件內的任何資訊及內容。



錨栓 | Bolt

隨著時代與科技的演進，龍洞岩壁上的錨栓，也由早期的多件式錨栓 (mechanical bolt)，慢慢演變為一體成型式錨栓；而材質也由早年的鋁合金、304 / 316 不鏽鋼，逐步演變為當今主流的鈦合金錨栓，之所以會出現這樣的演進過程，除了時代、科技的進步之外，主要的原因仍是龍洞最大的地理特色：亞熱帶濱海岩場。

攀岩錨栓，多半是利用以鐵為主的鋼所製成的金屬製品；當鐵碰上空氣中的氧，就會發生氧化，而水則會加快其反應速度，因此當鐵碰上了水，就會發生鏽蝕。然而在自然環境中，還有許多其他難以察覺的因素會觸發或加快各種不同類型的鏽蝕現象，例如酸、硫、氯化物、高溫、不同材料的電位差、構件的內部應力、構件表面與周遭形成的微環境等等，因此像龍洞這類亞熱帶濱海岩場的金屬設備，因長期暴露在潮濕、高溫、高濃度鹽分、多日照、濃密的植被、複雜的土壤成分等.... 極為嚴苛的環境條件下，對於金屬設備的耐鏽蝕能力就會有著極高的要求 (若有興趣了解更多關於金屬設備鏽蝕現象的詳細內容，可參閱文末 [附件一](#))。

龍洞攀岩社群在經歷早年的幾次錨栓斷裂的嚴重意外後，也開始注意到濱海岩場獨特而複雜的金屬設備鏽蝕現象，因此早在 2004 年開始，便由張登榮及王宏祥等人開

始以新的 316 不銹鋼錨栓進行更新工作；而自 2010 年開始，更由章芳源醫師等人主動號召許多資深岩友組成固定點更新團隊 (Long Dong Rebolting Team)，開始為所有路線的錨栓進行全面性的調查，並逐步將其更新為不銹鋼材質。然而，直到 2015 年七月發生音樂廳大鼓路線上方固定點斷裂事件後，我們才又更進一步確認：在龍洞，304 不銹鋼的金屬設備無法倖免於「應力鏽蝕 – Stress Corrosion Cracking，簡稱 SCC」，因此我們決定，龍洞未來的金屬固定設備將僅能選用鈦合金製品，或其他耐鏽蝕能力更高的金屬材料，並針對龍洞開發臺製鈦合金錨栓 ([附件二](#))。



截至目前 (2020 年末) 為止，龍洞絕大多數的錨栓都已更新為 316 不銹鋼或鈦合金材質，僅剩第一洞區域少數困難路線上仍有零星的 304 不銹鋼錨栓仍待查證與移除。目前使用壽命最久的 316 不銹鋼錨栓已逾 15 年，但由於我們始終無法排除 316 不銹鋼發生應力鏽蝕 (SCC) 的可能性，因此，除了由 Rebolting Team 定期為 316 不銹鋼錨栓施以拉力測試持續監控其強度之外，學會如何辨識錨栓種類與材質，也是每個攀岩者必須具備的能力之一。

龍洞常見的錨栓種類

經過半世紀的開發，龍洞岩壁上有著各種不同廠牌、款式、以及不同材質的錨栓，為了讓岩友能快速地正確辨識，我們試圖將常見的錨栓種類與基本資訊整理如下：

Petzl | P38 (Long Life) 304

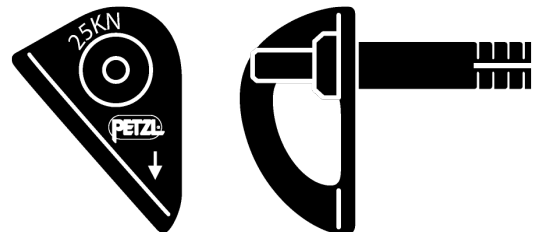
304不銹鋼；三件式組裝 (已停產)

桿徑：Ø12mm / 孔徑：Ø12mm / 鑽孔深度：47mm

強度：25kN

認證：EN959 / EN795

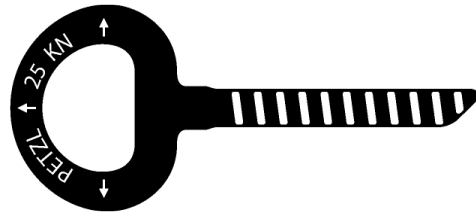
[原廠使用手冊](#)



Petzl | Collinox 304 316

2010前為304，2010後為316不鏽鋼；鍛造成形
 桿徑：Ø10mm / 孔徑：Ø12mm / 鑽孔深度：70mm
 強度：25kN
 認證：EN959

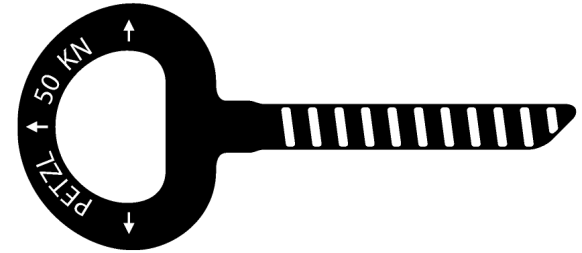
[官網產品頁面](#)



Petzl | Bat'Inox 304

2010前為304，2010後為316不鏽鋼；鍛造成形
 桿徑：Ø14mm / 孔徑：Ø16mm / 鑽孔深度：100mm
 強度：25kN (早期產品標示為50kN)
 認證：EN959

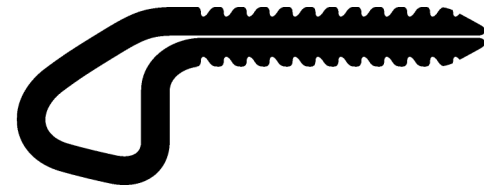
[官網產品頁面](#)



AustriAlpin | Glue-in Bolt 304

早期為304，現為316L不鏽鋼；彎折加壓成形
 桿徑：Ø12mm / 孔徑：Ø14mm / 鑽孔深度：75mm
 強度：25kN
 認證：EN959

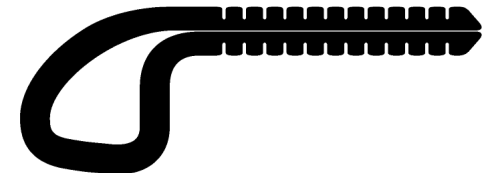
[官網產品頁面](#)



Ferno | CT Glue-in Bolt 304

304不鏽鋼桿件彎折加壓成形
 桿徑：Ø12mm / 孔徑：Ø14mm / 鑽孔深度：71mm
 強度：30kN

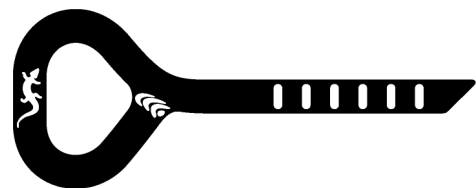
[官網產品頁面](#)



Fixe | Glue-in Bolt 304

304不鏽鋼桿件彎折焊接成形
 桿徑：Ø10mm / 孔徑：Ø12mm / 鑽孔深度：80mm
 強度：35kN
 認證：EN959 / UIAA123*

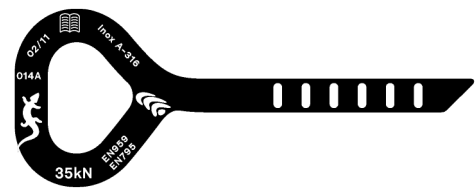
[官網產品頁面](#)



Fixe | Glue-in Bolt 316

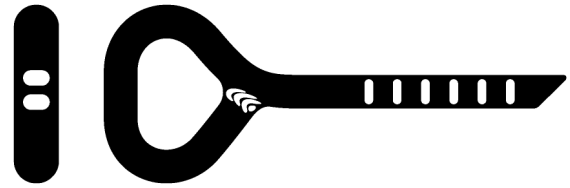
316不鏽鋼桿件彎折焊接成形
 桿徑：Ø10mm / 孔徑：Ø12mm / 鑽孔深度：80mm
 強度：35kN
 認證：EN959 / UIAA123*

[官網產品頁面](#)



臺製 | TW-316 316

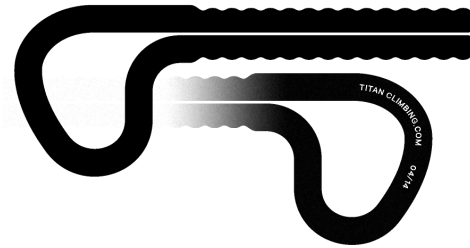
316不鏽鋼桿件彎折焊接成形 (岩友委外訂製)
 桿徑：Ø10mm / 孔徑：Ø12mm / 鑽孔深度：80mm
 強度：曾做過兩次測試，分別為 12kN (拉) 與 30kN (剪)
 認證：無



Titan Climbing | Eterna Ti

鈦合金 (Grade 2) 桿件彎折加壓成形
 桿徑：Ø8mm / 孔徑：Ø14mm / 鑽孔深度：80mm
 強度：30kN
 認證：EN959

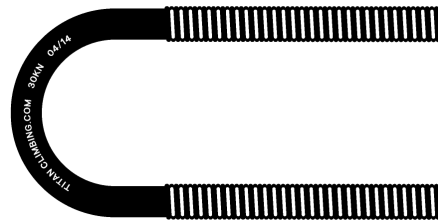
[官網產品頁面](#)



Titan Climbing | U Bolt Ti

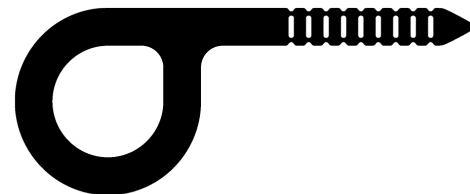
鈦合金 (Grade 2) 桿件彎折成形
 桿徑：Ø8.9mm / 孔徑：Ø11mm / 鑽孔深度：80mm
 強度：50kN
 認證：EN959

[官網產品頁面](#)



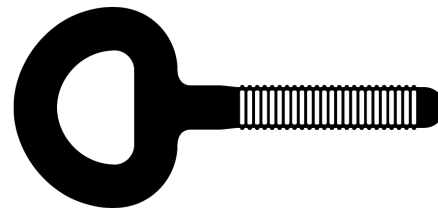
Ushiba | Tortuga Ti

鈦合金桿件彎折焊接成形
 桿徑：Ø10mm / 孔徑：Ø12mm / 鑽孔深度：80mm
 強度：15kN
 認證：無



臺製 | TW-Ti Ti

鈦合金鑄造成形
 桿徑：Ø12mm / 孔徑：Ø14mm / 鑽孔深度：71mm
 破斷強度：> 25kN
 認證：無
 品管檢測：X光孔隙率檢測、25kN剪力與拉力檢測 ([檢測紀錄](#))、CASS噴霧456.25小時 (模擬處於海岸環境50年)、沸騰氯化鎂腐蝕測試 (模擬應力鏽蝕)、12kN全面品管檢測 ([檢測紀錄](#))。
 如欲了解更多開發細節，請見文末 [附件二](#)

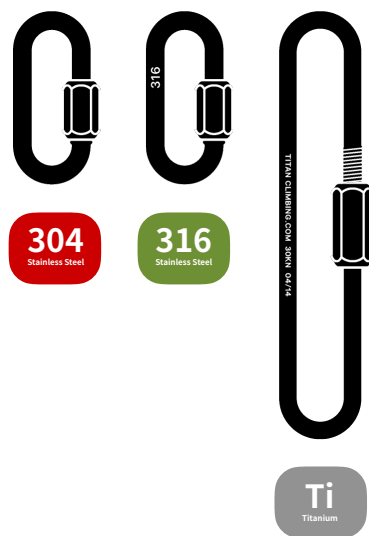


* UIAA 將更新 UIAA123 標準，原則上分為三級：
 SCC (high SCC and general corrosion resistance)
 GC (general corrosion resistance)
 LC (low corrosion resistance)

雖然這個新的認證標準仍在討論中，但除了一些細節，這三種分級已經定案，一旦公佈實施，將來市面上的 bolt 如有 UIAA 123 認證，產品上將會標示其認證級別 (SCC、或 GC、或 LC)。

上方固定點配件

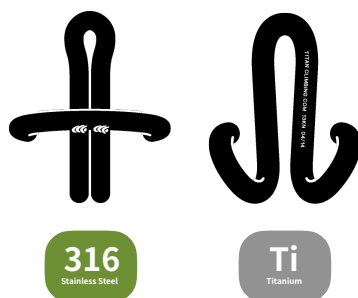
在龍洞，幾乎所有的攀登路線頂端都設有錨栓固定點 (bolt-anchor)，然而由於每條路線的地形與條件多所不同，因此，我們 (Rebolting Team) 或其他岩友也會依需求裝設各種相應的金屬配件，其背後最主要的用意，就是希望儘可能減緩現有錨栓的磨耗，進而減少在岩壁上鑽新孔設置新錨栓的頻率。然而，由於不同配件有著不同的特性與使用方式，並且也無法以拉力測試定期監測強度，因此，為了自己與其他岩友的安全起見，除了辨識錨栓材質外，學習如何分辨這些配件，並以適當的方式妥善使用，也是每位攀岩者必備的基本能力之一。



梅隆鎖 | Maillon

是市面上最容易取得的金屬設備，因此偶而會有岩友自行購入並裝設在路線的上方固定點以方便垂降。然而，市面上的梅隆鎖多半為 304 不鏽鋼，應用在龍洞這樣的亞熱帶濱海岩場會有極高的安全疑慮，因此我們 (Rebolting Team) 透過管道取得少量的 316 不鏽鋼製梅隆鎖，同時也會不定期巡查或更換路線上的梅隆鎖，所以當各位碰到設有不鏽鋼梅隆鎖的路線時，請務必辨識其材質並檢查其外觀鏽蝕狀況，若發現異常，請儘速通報 Rebolting Team。

另外，龍洞也有少數路線的上方固定點設有鈦合金製的梅隆鎖，這些鈦合金梅隆鎖係由探索戶外贊助購入，並由新加坡岩友 QX 協助設置。

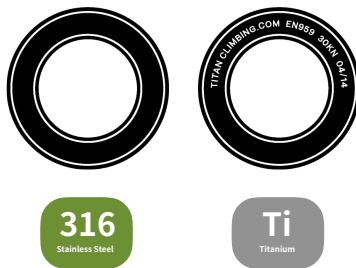


羊角 | Ram's-Horn

龍洞部分路線的上方固定點設有方便下放 (lowering) 或垂降 (rappelling) 撤退的羊角，其中絕大多數為鈦合金材質 (Titan Climbing 產品，部分由探索戶外贊助購入，並由新加坡岩友 QX 協助設置)，唯長巷佈告欄少數路線為 316 不鏽鋼羊角 (由資深岩友王宏祥於 2004-2006 期間訂製捐贈並協助裝設)，由於佈告欄為熱門區域，而該

批 316 不鏽鋼羊角在長達十多年的頻繁使用下，已出現明顯的磨損凹痕，因此，我們將密切觀察這批羊角的使用狀況，同時也希望各位在往後的日子裡能更愛惜且謹慎地使用它們。

雖然羊角的主要功能，是讓攀岩者可以在不解開主繩的狀態下完成「下放 - lowering 撤退系統」的轉換，藉此快速且安全地回收裝備，但由於鈦合金羊角採購不易，加上巡查 / 更新的志工有限，因此我們還是建議各位盡可能以「雙繩垂降-rappelling」的方式撤退。



垂降環 | Rap-ring

龍洞部份路線的上方固定點設有垂降環，大多為 316 不鏽鋼材質（由岩友小虎訂製捐贈），其中少數為鈦合金材質（Titan Climbing 產品，部分由探索戶外贊助購入，並由新加坡岩友 QX 協助設置）。

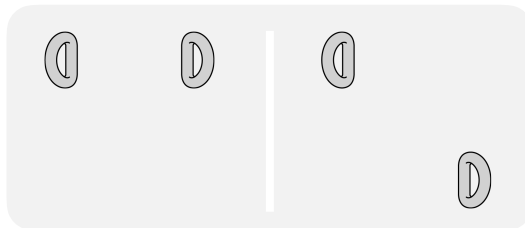
值得一提的是，由於市面上的垂降環材質不一，其中多為成本/售價低廉的鋁合金製品，因此偶而也會有岩友自行購入並裝設在路線的上方固定點以方便垂降。然而，鋁合金完全無法抵抗龍洞嚴苛的天然條件，往往不到一年的時間，這些設備的強度就已大幅削弱，表面甚至開始出現風化剝落的現象，因此當各位碰到設有垂降環的路線時，請務必辨識其材質，並檢查其外觀鏽蝕狀況，若發現異常鏽蝕，請儘速通報 Rebolting Team。

龍洞常見的上方固定點設置

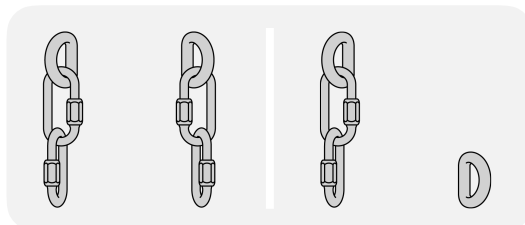
由於每條路線的地形、岩質等天然條件都不盡相同，因此在設置上方固定點時，也會因不同的考量而出現不同的配件與設置方式，常會讓初來乍到或剛開始接觸攀岩的岩友不知所措，所以我們試圖列出幾種常見的上方固定點設置，並提出具體的建議操作方式；另外也在此呼籲各位岩友，無論是錨栓固定點、配件、或是自行架設的任何系統（例如 toprope、先鋒上方確保、或撤退系統等），在真正使用前，請務必完成「檢查 – 辨識設備材質、外觀狀況、檢查系統正確度與完整度等」、「測試 – 在自我確保的狀態下，將自身重量完全轉移到設備或系統上，藉以測試設備或系統的強度」，待檢查與測試均確認無誤後，才可真正使用該設備或系統。唯有養成謹慎的態度與良好的使用習慣，才能真正確保自身的安全。

高度相同的固定點

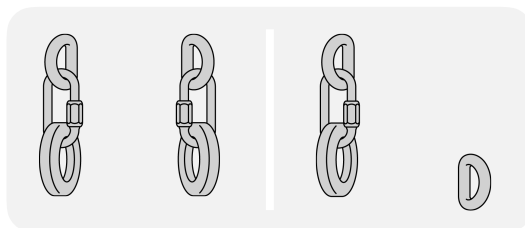
高低落差的固定點



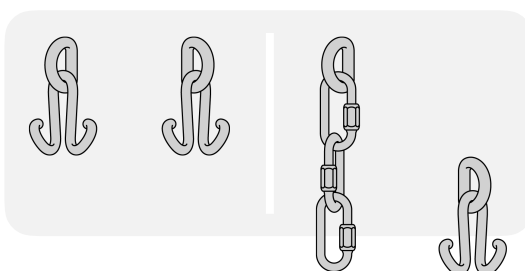
無任何配件的錨栓固定點



加掛梅隆鎖的固定點



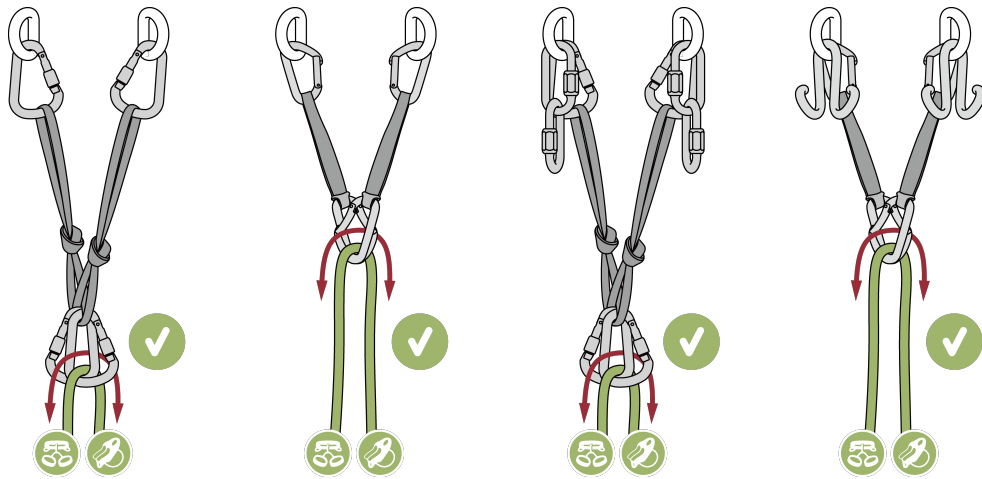
加掛梅隆鎖與垂降環的固定點



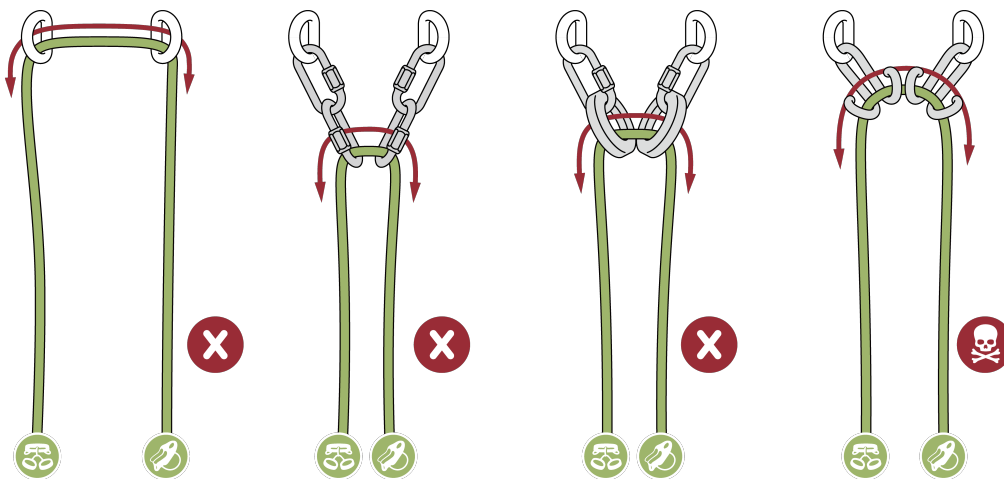
加掛羊角的固定點

關於上方架繩系統

由於上方架繩 (toprope) 是器材磨損率最高的攀登方式，因此，為避免非必要的固定設備磨耗以及更新人力，請各位務必使用自備的器材架設上方架繩系統。



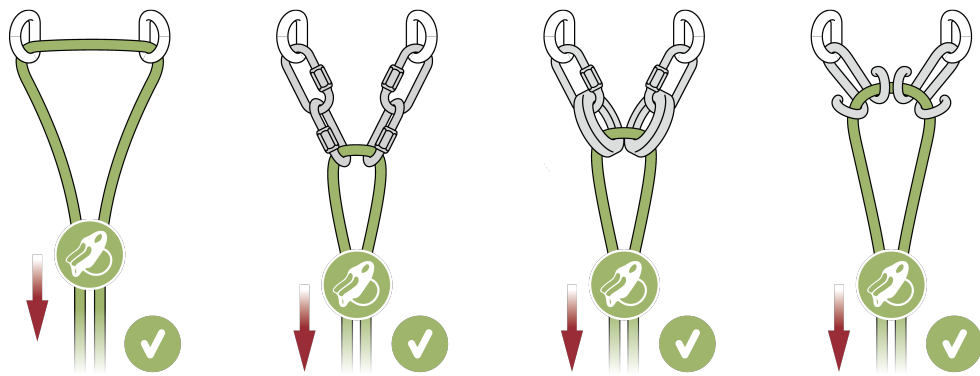
請務必自備器材架設上方架繩系統



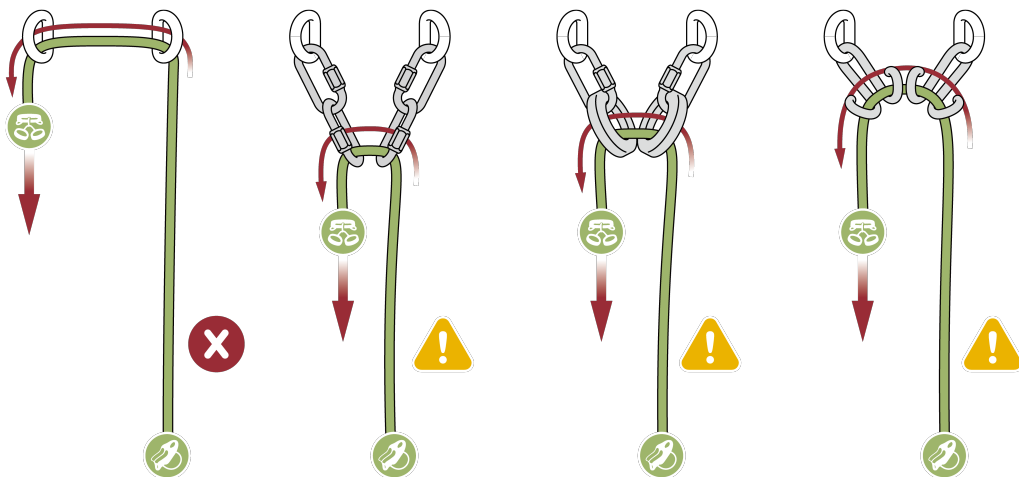
請勿將主繩直接穿過固定設備架設上方架繩系統

關於撤退系統 (下放或垂降)

如前所述，為了盡可能減少固定設備的磨耗（特別是錨栓）與非必要的維護人力，我們建議各位盡可能以「雙繩垂降/Rappelling」的方式清除路線上的裝備，除非必要，例如天候驟變、雷擊、地震、蜂螫，或其他緊急狀況，否則還請各位盡量避免以「下放/Lowering」的方式撤退。唯有大家共同配合愛惜使用，才能有效延長錨栓與配件的使用壽命。



請盡可能以「雙繩垂降 / Rappelling」方式撤退



請盡量避免以「下放 / Lowering」方式撤退

結語

龍洞岩壁上每一支錨栓的背後，都是一個孔洞，而每個孔洞，都代表著一個不可逆的結果。根據統計，整座龍洞岩場近 600 條攀登路線上，共設置近 2000 支錨栓，而大多數路線的現有錨栓，都已是第二輪更新的固定設備，少數路線更經歷了第三輪，甚至第四輪的更新。每一輪的更新，都會對岩壁造成消耗，而在經過近半個世紀的開發後，龍洞岩壁上的孔洞已經難以計數。

然而，除了岩壁上的孔洞數量外，還有另一個同樣值得我們深思的隱憂；以目前現有的技術，仍無法讓我們有效率地將老舊錨栓完整取出，並重複使用既有的孔洞，因此我們只能將每一支老舊的錨栓切除，並另外鑽孔設置新錨栓，然而，每一條路線的第一批錨栓，通常都會選擇設置在最好的位置，因此當第一批錨栓隨時間老舊而必須汰換時，第二輪的錨栓，也就只能退而求其次設置在次好的位置，接下來，便是第三輪、第四輪....一輪接著一輪的妥協與遷就。像這樣更新品質隨時間逐次遞減、更新難度隨時間逐次提升的更新模式，不用多久，攀登路線就會變得難以更新，而每條路線的風險，也將隨著一輪又一輪的更新而逐漸升高。因此，如何守護龍洞的岩壁，有效地維護並愛惜這些設備，以節制的方式經營這座岩場，便成了我們這一代攀岩者最重要的任務。

龍洞所有的公共事務，包含固定設備更新，都是由整個攀岩社群支撐運作的。截至目前為止，所有設備的採購，都是靠攀岩社群捐款集資才得以購入；而設備的安裝與維護，也是靠少數攀岩者自願奉獻無數的時間與心力，無償工作才得以為繼。為了同時守護龍洞的岩壁與攀岩者的安全，每一支安裝在岩壁上的新錨栓，都必須先經過充分的討論與審慎的評估，而現有的所有設備，也都必須定期測試（錨栓拉力測試）、紀錄、追蹤、以及維護。在如此龐雜的工作背後，除了大量的人力之外，也包含了歷代攀岩者累積的知識資產與心血，岩壁上的每一個設備，都代表著龍洞攀岩社群匯聚眾人心力的結果，如同岩壁一樣，是我們共有、共享的珍貴資源，因此，我們希望能夠凝聚眾人的共識與力量，共同珍惜所有得來不易的資源。

本文件所有建議固定點使用及系統轉換方式皆需經由專業訓練後方能從事，任何人皆應對其個人及同行伙伴安全負起完全責任。若有能力不及之處，操作者應採用個人最熟練及最低風險的方式進行操作。任何因天然岩場攀登導致之意外發生，概與本文件撰寫人員以及臺灣戶外攀岩協會無涉。

附件一

金屬設備的鏽蝕現象

一個嚴重鏽蝕的錨栓很容易被發現，然而，最危險的鏽蝕型態往往是難以察覺的。廉價碳鋼錨栓的鏽蝕現象顯而易見 – 鏽蝕速度依環境因素而有所不同 – 其表面會隨著鏽蝕程度呈現片狀剝落，強度也隨之遞減。相對地，抗鏽蝕金屬，例如不鏽鋼，其鏽蝕現象雖不明顯，但仍會以其他方式進行，有時甚至是急速的。

錨栓多半是鋼製品 – 也就是以鐵為主，再結合其他混合物所構成。鐵碰上氧時會因氧化而鏽蝕，而水則會加速其反應。由於氧存在空氣之中，於是當鐵碰上了水，就等於鏽蝕。

而海水更會加快鏽蝕速度。由於溶解後的鹽會解離成正、負離子，因此比起淡水，海水是電子更好的導體，因為它加快了鏽蝕的化學反應。熱能也會加快鏽蝕的速度；若假設所有條件相同，高溫地區的錨栓，會比低溫地區更快生鏽。而酸 – 即便是微量如工業區附近的酸雨 – 也會顯著地加快鏽蝕現象。土壤中的地下水則會因腐爛的植物而變得富含酸性，像醋一樣，同樣會加快錨栓的鏽蝕速度，有時甚至快得超乎想像。

鋼材的種類有很多，但最簡單的是超過95%的鐵，加上少量的碳。純鐵實際上比鋁更軟，所以這種「碳鋼」就是靠碳為其提供強度和硬度。

在數百種的鋼材中，有的設計成可維持刀刃的鋒利、有的具備鍛造的特性、有的則具備延展性或可回復為原來的外型。透過改變碳含量或特定的加熱與冷卻方式，甚或混合其他不同的金屬，就能夠賦予鋼材全然不同的特性。雖然鋼材多變的潛力是如此地驚人，但其最主要的缺點就是易鏽，是在一般環境條件下鏽蝕狀況最糟的金屬。

主要的原因是：鐵鏽 – 氧化鐵 – 具備粉狀化崩解的特性，並在它剝落的同時帶走部分金屬，所以金屬表面會不斷崩解消散。同時，鐵鏽也是可被氧滲透的，這種不尋常的特性將會使其內部的金屬持續不斷地氧化。相較於這點，大多數的其他金屬

則是在表面形成一層堅硬而有彈性的薄膜，而內部的金屬也得以受到保護。然而幸運的是，藉由將其他金屬混入鋼材之中，即可製作出能在表面形成保護層的合金。

這類鋼材最廣為人知的莫過於「不鏽鋼」，一個擁有超過 100 種不同合金類型的大家族。而它們的共同特點，就是都含有至少 10.5% 的鉻。雖然有點違反直覺，但不鏽鋼之所以能夠不鏽，是因為鉻比鐵更容易與氧產生反應，但它不像鐵一樣會形成片狀的脆弱氧化物，相反地，它會在表面形成一層薄薄的氧化鉻，保護底層的鋼。同時它也能自我修補 – 無論刮傷或鑿痕，新的氧化鉻都能不斷地形成以提供保護。

由於鉻會讓不鏽鋼脆化，因此大部分的不鏽鋼還會加入鎳，藉此抵消鉻的脆化特性，同時增加耐腐蝕性。但比起碳鋼而言，鎳也會讓不鏽鋼的製作成本顯著提高。

不鏽鋼有許多不同等級，但在美國最常見的攀岩用錨栓是採用 SAE（自動機工程學會）的 304 不鏽鋼，有時也被稱為 18/8，因為它包含 18% 的鉻和 8% 的鎳。SAE 316（或稱海洋級）的不鏽鋼是類似的材料，但由於加入了 2% 的昂貴的鉬，讓 316 不鏽鋼更能抵抗點狀與裂縫型鏽蝕，因此可廣泛應用在「高侵蝕性」的環境中。在美國，316 不鏽鋼的成本比 304 不鏽鋼高出 35-40%，但在偏好 316 不鏽鋼的歐洲，它們的成本差異較小。許多歐洲製造的不鏽鋼耳片，包含由 Petzl 贊助的錨栓更新計劃 (climbing.com/ari) 都是以 316 不鏽鋼所製造的。

也有某些鋼材的抗鏽蝕能力比 304 和 316 明顯要好得多，雖然有些成本高如天價，但有些則有機會被應用在攀岩用錨栓。有一種被稱為 HCR（High Corrosion Resistance – 高耐蝕性）的鋼材，它含有更多的鉬和鎳，且其分子結構也藉由加入其它元素如氮所加強。其中被廣泛運用的 HCR 鋼材為 254 SMO，由於加入了 6% 的鉬和 18% 的鎳，讓 254 SMO 的造價比 316 不鏽鋼高出許多，但它對特殊類型的鏽蝕現象 – 如點狀、縫隙鏽蝕與應力腐蝕等 – 有著相當高的抵禦能力，因此也能被廣泛運用在高侵蝕性環境的攀岩錨栓上。

歐洲的建築工程業對於重要的戶外錨栓要求嚴謹，只接受 316 不鏽鋼或 HCR 鋼材；而造價較低廉的 304 不鏽鋼則因被視為抗鏽能力不足而淘汰。

雖然鎳和鉬會提高不銹鋼的製造成本，但還有另一種較便宜的作法可避免鋼材生鏽：鍍鋅。這個加工方式可透過將鋼材浸泡在鋅溶液中完成，或以更適合製作攀岩錨栓的方式 – 透過電解讓鋅在鋼材的表面形成一層均勻的鍍膜。鋅的成本和鋁差不多 (約為鎳的 1/8)，而電鍍也僅需要少量的鋅。就像不銹鋼裡的鉻，鋅容易氧化，形成一層保護膜將鐵和氧隔離。

雖然不銹鋼本身具有抗鏽能力，但電鍍鋼則不然：鍍鋅後的鋼材，其表面的鋅會在氧化過程中逐漸消失。尤其在潮濕的氣候條件下，鋅不用太久就會消失殆盡，而其表面的抗鏽能力也就不復存在。

碳鋼錨栓在美國的岩場仍十分常見 – 例如 Rawl / Powers 的5件式螺栓 – 即是以鍍鋅鋼製成的。由於鍍鋅鋼螺栓的耳片成本遠低於不銹鋼錨栓，因此這種類型的錨栓在美國西岸被廣泛地使用。

當然，如果沒有討論到鈦，任何耐腐蝕性金屬的討論就是不完整的。鈦這個被稱為「泰坦的金屬」雖然昂貴，但還不至於到天價之譜，而且其強度 / 重量比也比鋼材高，同時還具備出色的耐鏽蝕能力、抗疲勞與抗裂性能。鈦錨栓正逐漸成為熱帶地區天然岩場的標準硬體設備。

特殊鏽蝕型態

並非所有的鏽蝕型態都是漸進式的，或易於察覺的。有一種安裝上的錯誤也會加速鏽蝕：在同一個固定點上混用兩種金屬 – 例如在碳鋼製的螺栓上安裝不銹鋼製的耳片。這樣的設置就有可能引發「電位鏽蝕」。

電位鏽蝕 | Galvanic corrosion

誠如其名，電位鏽蝕即與電流有關。不同金屬有不同的「電位」 – 即電偶成為正、負電荷的機率。如果兩個相鄰的金屬彼此有著不同的電位，由電子攜帶的微弱電流就

會在它們之間流動。為求平衡，帶有負電荷電子的金屬將開始失去帶正電的金屬離子，進而導致金屬溶解。

電位鏽蝕在乾燥環境或蒸餾水中並不會發生，因為需要有電解質 – 例如鹽水 – 才能形成完整的迴路。因此任何殘留在攀岩錨栓的螺栓與耳片之間的水份，都會扮演電解水的角色讓迴路變得完整。

然而將軟鋼、鍍鋅、鋁、不鏽鋼等不同的金屬部件組合在一起，也會受到電位鏽蝕的攻擊。若將不鏽鋼的耳片鎖上碳鋼的錨栓將危害錨栓本身；而將鍍鋅的耳片鎖上不鏽鋼的錨栓將危害耳片本身。

縫隙鏽蝕 | Crevice corrosion

攀岩錨栓也涉及「縫隙鏽蝕」的問題。它是由腐蝕性礦物質 – 特別是氯化物 – 的集中性所造成。金屬物件表面和內部的縫隙會留住含有礦物質的水分，如果縫隙週期性地風乾，將會溶解並集中氯化物，擊潰不鏽鋼表面的氧化保護膜，並創造出一個極具侵略性的微型環境。

由於海水含有大量氯化物，因此人們普遍認為，只有在靠近海邊的岩場才會有承受劇烈的縫隙鏽蝕的風險。然而事實上，雨水和地下水也都含有氯化物，剛開始或許只是少量，但經過不斷蒸發，這些氯化物都會在微小的縫隙裡集中、殘留並累積。

攀岩錨栓上充斥著許多縫隙，包括螺紋、螺帽、楔栓、墊片、以及耳片與螺帽之間。而錨栓孔本身所創造出的「縫隙環境」與岩壁的裂隙截然不同：水會滲入岩石中，在氣候乾燥如科羅拉多州的地方，攀岩錨栓的桿身即便長期處於潮濕的狀態下，通常仍可使用超過其年限。但若這些錨栓每隔一段時間就會完全乾燥的話，其實更糟的，因為那將有助於集中腐蝕性鹽類。這使得植膠式錨栓的優點顯得更為突出：第一，它們多半是一體成型所以沒有縫隙；第二，化學膠（環氧樹脂）可將錨栓孔內的金屬與腐蝕性環境隔絕。

縫隙鏽蝕會影響所有鋼材，但不銹鋼的縫隙鏽蝕特別令人擔憂。不銹鋼錨栓與耳片的組合幾乎不會在表面出現生鏽的跡象，它的外觀或許依舊如新，但某些看不見的重要部位如螺紋，可能早已嚴重鏽蝕。

點狀鏽蝕 | Pitting

「點狀鏽蝕」則是另一個特殊的鏽蝕現象。由於它發生在暴露在外 – 如錨栓耳片 – 的表面，因此是最常見的鏽蝕類型，基本上，它就是縫隙鏽蝕的縮小版。不銹鋼外層的氧化鉻，其表面的細微缺陷形成許多的微小坑洞，一旦其中之一的坑洞開始鏽蝕，就會自己創造出具備活躍化學反應的微型環境，讓鏽蝕現象持續進行。

點狀鏽蝕在金屬學研究中仍是一個充滿不確定性的領域，但它絕對與礦物質成分有關。例如硫，常被特意加入不銹鋼裡使其更易於加工 (SAE 303是一個例子，請勿使用!)。而當硫化物暴露在不鏽鋼的表面時，會在表層的氧化鉻上創造一個破口，讓點狀鏽蝕現象開始出現。

應力鏽蝕 | SCC – Stress Corrosion Cracking

最後一種對攀岩者至關重要的是應力鏽蝕 (Stress Corrosion Cracking，簡稱SCC)。就技術面而言，應力鏽蝕並不僅僅是鏽蝕而已；它是由機械式應力與化學鏽蝕兩者之間的交互作用所產生的雙重打擊。在錯誤的條件下，應力鏽蝕會急速破壞不銹鋼製的攀岩設備。

應力鏽蝕是極為狡猾並且難以預料的。它總是以突襲的方式出現，並造成悲劇性的災難，寫下惡名昭彰的歷史。從1990年代開始，它就像瘟疫一樣在全球的熱帶岩場間蔓延，不斷地啃噬岩壁上的錨栓，直到它們斷裂失效。即便不鏽鋼是易受影響的金屬材料之一，但應力鏽蝕的發生，仍須具備幾種要素：其一便是金屬的內部應力，而這樣的應力普遍存在於攀岩錨栓中。錨栓在鎖緊時被施以拉力，而耳片則是在生產過程中的「冷加工」 – 例如沖孔和彎折時，在內部留下應力。

應力鏽蝕的最後一個要素就是高侵略性的環境。在這裏，預測金屬狀態的工作將變得極為複雜，因為金屬與周遭的微型環境會以各種微妙的方式變得極具侵略性。起初，應力鏽蝕常見於幾種有著高溫，以及大量鹽分的特定工業場所 – 如鍋爐和海水淡化廠。但後來在某些低溫的場所 – 如室內游泳池 – 也能發現應力鏽蝕的蹤影。

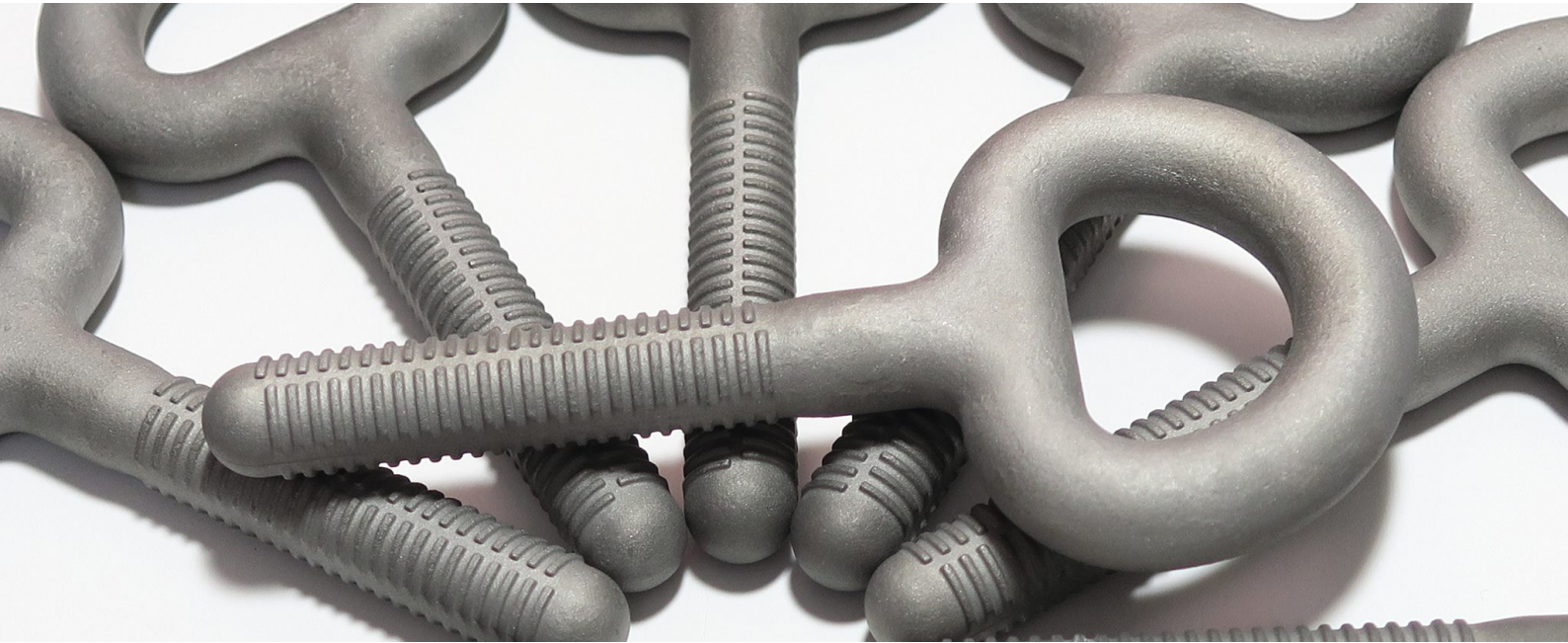
雖然應力鏽蝕僅與極高濃度的氯化物有關，但不幸的是，某些特定岩場的地質和錨栓孔洞內的微型環境，都會創造出高侵略性的環境，進而為應力鏽蝕提供了絕佳條件。它可以使不銹鋼錨栓上的耳片表面看起來就像一塊碎裂的玻璃。

本文由陳震宇摘譯自：*Built to Last? The Hidden Dangers Of Climbing Bolts* – www.climbing.com

註：原文提及泰國喀比 (Krabi) 失效的錨栓，並非如同Sjong等在2008年的論文中聲稱為316不鏽鋼。

附件二

臺灣自製鈦合金錨栓



鈦合金 Bolt 進度回報

撰文：吳彥儀 - 2016 / 04 / 29

原文連結：<https://www.facebook.com/notes/864158077723526/>

雖然鈦合金bolt的結果要到下個月（五月）中旬之後才會告一個段落，但有鑑於一些岩友正在關心 re-bolt 的近況，所以就先將有關鈦合金 bolt 的部分，讓大家瞭解一番。在此，感謝許多岩友於這段期間內提供了寶貴的幫助、意見、時間、金錢與支持，謝謝大家！

十五年前，當攀岩者看著岩壁上的敲膨式 bolt (Petzl P38) 時，心裡在想：當初要是打的是化學膠 bolt 那就好了！

五年前，當攀岩者看著岩壁上 304 不鏽鋼材質的化學膠 bolt 時，心裡想著：當初要是打的是 316 不鏽鋼 bolt 那就好了！

今日，當攀岩者看著岩壁上 316 不鏽鋼材質的化學膠 bolt 時，心裡想說：當初要是用的是鈦金屬 bolt 那就好了！

這個循環之所以持續發生，最大原因在於我們習慣以「方便」或「當下成本較少」的方式來處理事情，總是急於趕快解決問題，失去了耐心與智慧。

使用 Petzl P38？使用 304 不鏽鋼？或是使用 316 不鏽鋼？

任何一種 Bolt 本身並沒有問題，但在選擇的過程中，是否有盡到最大的努力去多做考量，才是打破這循環的關鍵。

也就是說，如果真的花費許多功夫與瞭解之後，發現 Petzl P38 是各種權衡考量下的最佳選擇，那即使是用 Petzl P38，也是因為我們知道，目前的能力與技術範圍內，沒有比 Petzl P38 更適合的選擇了。那之後，也不會有攀岩者會望著岩壁上的 bolt 想說：當初如果怎樣怎樣……就好了。因為當初的決定，已是當時最好的決定。

然而，現實，完全不是那麼一回事，也很少會是那麼一回事。在龍洞開始大量打上第一批 Petzl P38 的 bolt 時，早已存在著化學膠的 bolt，而且當時連鈦 bolt 都有了，climbing 雜誌上刊登過，一隻要價 16 塊美金。

當時最理想的選擇，應該就是使用化學膠的方式打這款鈦 bolt。雖然這款鈦 bolt 有其缺陷，但，相比於 Petzl P38 的更多缺陷而言，已經是當下的最佳選擇。

故事接下來的發展大家都很清楚，攀岩者選擇了「方便」且「成本較低」的 Petzl P38。事實上，當時的攀岩者跟本沒有在選擇上下什麼功夫，而是很自然而然地就用了方便、成本較低的 Petzl P38。

鈦 bolt，那麼貴，去哪買？等從美國寄來不知到要等多久？

化學膠，多花一筆錢，打完還要等它乾，不會覺得麻煩嗎？

但是，今天我們知道，後來我們花了更多的錢去彌補，也花了更多的時間去等待，還有永遠無法彌補的不幸意外以及岩壁上又多了無數個洞。

攀岩，不是特例。生活的道路也總是如此，我們總是習慣走最短、最好走的道路，連選擇都沒去選，就這麼自然地將我們的智慧與耐心收藏在身后的背包裡，一路蒙著頭走下去。然後走到了下一個循環，與再下一個循環....。

去年 (2015 年) 七月底的一場 bolt 斷裂意外，宣告了一個新循環的開始。



音樂廳 - 大鼓路線的上方固定點
岩友於 2015 年七月份利用其撤退時
發生斷裂意外 (兩支錨栓同時斷裂)
所幸當事人僅受輕傷並無大礙

“Insanity: doing the same thing over and over again and expecting different results.”

- Albert Einstein

這次我們決定打破循環，我們決定要讓自己不一樣，不讓這個循環僅僅只是一個壽命較長的循環而已。即使最後選擇的結果一樣，但是我們前進的方向已不同。

所以我們開始嘗試著對岩壁上的 bolt 進行拉拔測試，開始嘗試有沒有重複利用舊洞的機會，開始嘗試尋找更多 bolt 的解決辦法，要讓這個決定成為努力嘗試與選擇後的「決定」。

不過，改變需要付出代價，改變需要承擔風險。章醫生說：沒關係。他打算再當一次傻子，失敗的代價由他來負擔。

改變也並不容易，要投入比「輕鬆選擇法」更多更多的努力，必須先盡可能地找出各種可能，才能決定那種方式才是最適合的辦法。

就像買一支手機，可以很複雜，也可以很簡單。你可以走到手機行，請老板推薦，然後覺得合適就買了。你所花費的時間就是走路加上選購的時間。

你也可以很複雜，上網大肆收集資訊、大量閱讀相關知識、請教專家、詢問使用者感想、親自試用各類機型等等。那你所花費的時間與心力，將比「簡單選擇」高過十倍、二十倍，甚至更多。雖然，最後也只是走到手機行買了一隻手機，可能還會跟「輕鬆選擇法」買的是同款。不過，你清楚知道，因為你為選擇做了努力，這隻手機將是當下最適合你的那款，沒有疑惑。

因此，要使用那種 bolt，即是我們需要去認真研究的第一道課題。高抗腐蝕的金屬材料可不只有鈦一種，而鈦金屬於工業的應用上，更是區分成許多不同規格的材料配比。眾多岩友不斷地提供各種可能、建議與專業知識，從 Hilti 的經理到實驗室的研究員皆成了岩友們請益的對象。雖然我們無法採用所有人的建言，但岩友們所提供的各種建議，都幫助了我們得以做出更恰當的選擇。

經過複雜的匯整、判斷與學習之後，自製鈦金屬 bolt 似乎是一個方向。

其實，這也是滿合理的。台灣本身就是金屬加工與製造王國，目前龍洞實際使用上(除鈦 bolt 之外)相對可信賴度較高的，是自製的 316 bolt。

事實上這也是市場上的自然現象，一個商品能出現在市場上，那它製造端的生產成本，絕大部分商品都不能超過零售價的三成。是「不能」，而不是「不會」。廠商生產商品需要負擔風險成本、設計成本、測試成本、認證成本、囤貨成本、行銷成本等與諸多非關生產的開銷。廠商還需要賺取利潤，物流業者也需要利潤，零售商也需要利潤。

所以一隻從工廠出來 120 元的自製 bolt，自然會比市價 250 元的廠牌 bolt，用料上更勝一籌，耐久度也更好。

現在，同樣是花費 500 元代價的鈦 bolt，如果有辦法找到優良工廠製做，那極有可能獲得品質更高、往後問題更少的 bolt。這不就是我們追求打破循環，想要獲得正向的結果嗎？

雖然是打算自製自用的 bolt，但這次我們不一樣，追求的目標更高，一切盡可能依照標準工業生產模式來走，不能隨便找個工廠來處理就好。

要找到一家一流工廠願意幫我們生產 bolt 並不容易，我們完全不在一流工廠的客戶來源內，不是嗎？

這裡就要感謝頂瓜瓜館長鄭地瓜的努力，真的找來了一家一流的鈦合金加工廠 - 復盛應用科技股份有限公司。一家 2014 年台灣出口前 100 大，員工 1 萬 1 千人，已於汽車、醫療、航太等方面大量提供鈦合金精密製造服務的廠家。他們常規生產的鈦合金產品，包含了汽車渦輪葉片、高爾夫球桿頭、船用各式連接構件等結構強度與品質都需到達高標的產品，製作 bolt 當然沒有問題。



復盛應用科技股份有限公司

有問題的是，人家這麼大一家專業廠商，會願意幫我們做 bolt 嗎？

有時候，機緣很重要。對於一個出貨量以「K」為單位的製造廠，不理我們似乎是很正常的事。

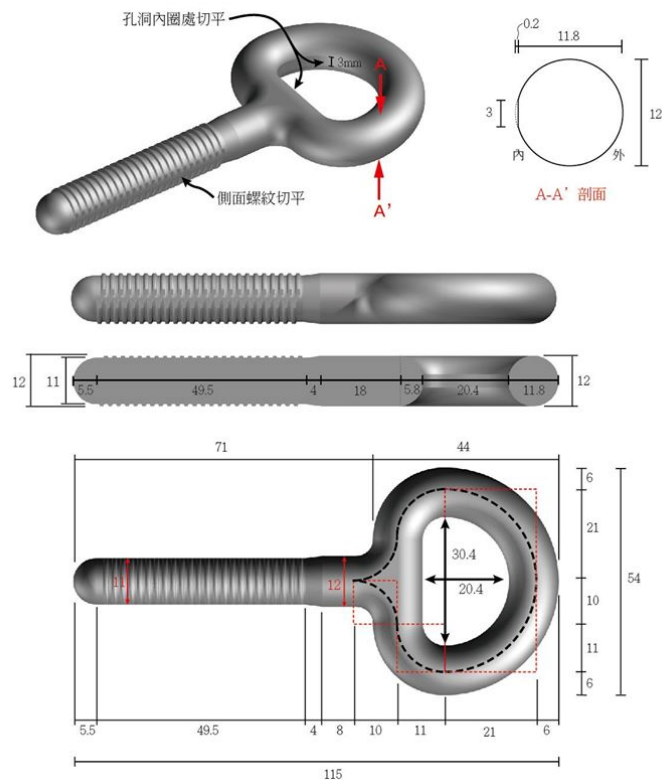
不過，凡事總有例外。對方業務部門有一個單位，專門負責鈦金屬於各類領域的拓展應用。攀岩，是一項他們從來沒有接觸過領域，引起了他們的興趣。願意讓我們以 1k 的數量為前提，跟他們進行討論。

感覺就像你去銀行，對方答應讓你用 1 元開戶，而且知道你與他們僅有這麼一次的往來，卻依舊幫你辦好提款卡、存款簿，一切比照正常客戶，還送開戶小禮物（對方後

來怕我們測試不夠用，生產樣品時主動多送了 10 隻，原本只有 10 隻)，真是太幸運了！

不過，大公司有正規流程，我們必需提供應用資料、相關規範、類似產品之生產商、實際使用資料、責任區分、國內外使用狀況等，供他們法律部做審核。正規公司是不生產會被使用於不良用途或責任有模糊的產品。當然，正規公司還需要對客戶方進行審核與簽約，此時地瓜老板相當有氣概，又跳出來幫忙承擔了這項責任。

生產廠商找到了，接下來就要進行設計了。雖然，在審核期間很怕對方法律部門覺得不 ok，那就頭痛了，還好這種事沒有發生。



臺製鈦合金錨栓設計圖

Bolt 的設計，最基本當然是要符合歐盟對於攀岩 bolt 的規範 EN 959 標準，感謝博文提供了這方面的資訊。不過，EN 959 只是一個最低的標準，隨便去五金行買個工程 bolt 加掛耳，也能符合 EN 959 標準。我們需要在這最低標準之上，更加強化我們的需求：增加抗腐蝕的耐用度。

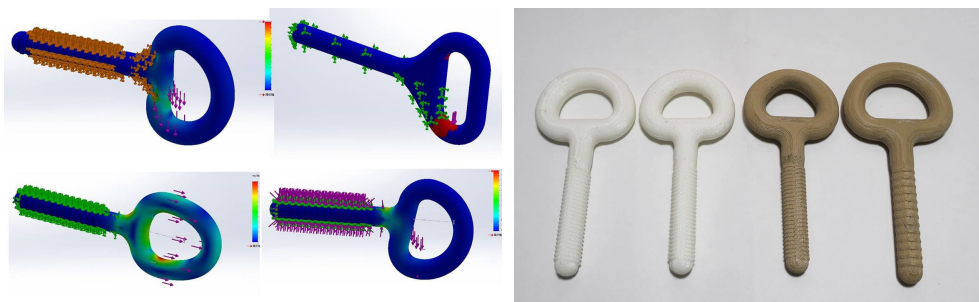
造成腐蝕的因素有很多，除了材料的選擇之外，還可藉由設計來進行加強。鈦只是相當不容易生鏽，並不是真的不會鏽，這個世界上目前還不存在完全不會生鏽的金屬或合金。

從設計上的強化，至少有兩個方向可下手。其一，一體成型，即可減少 bolt 總體的表面積，降低鏽蝕反應速率，而且不會存在焊接等有可能造成易腐蝕的弱點。加上是以鑄造方式成形，不會存在如彎折等方式所殘留的內應力（造成鏽蝕的原因之一）。

其二，加粗直徑，越粗就撐越久。基本上是以「過頭」的方式，來提高三四十一年後所能保有的強度。大部分型號的鈦金屬只要 8mm，即已超過 EN 959 的強度要求，市面上就有一款鈦 bolt 是以 8.8mm 的鈦條來彎曲製成 bolt。廠商有成本考量，每多粗一點，成本就更高一些，售價就得上調。鈦 bolt 的售價於市場上的接受度已不高，再高，生意就很難做了，廠商需要在其間取得平衡（其實這點攀岩者要有自我認知，這個價錢是值得的）。由於我們不打算販售，在這方面有更多彈性。bolt 的設計直徑最後決定以 12mm 為基調，因為再粗，要鑽的孔洞將達 16mm，破壞太大了。

當然設計上還會有許多的考量，不會那麼簡單。就比如 P 型、T 型與 U 型的決擇：由於 U 型要鑽兩個孔，岩壁說你鑽一個孔就已經很過分了，還給我鑽兩個，直接不考慮；而 P 型呢，部分方向受力較強，部分方向受力卻會較弱；最後，選擇可多方向受力的 T 型做為版本。

整個設計過程是在不斷的討論、檢討與改進中，一點一滴逼進最適合的平衡點。其中不可或缺的另一位關鍵岩友，即是熱心的小傑。發揮了他機械專家的本領，為我們進行一次又一次的電腦應力分析，並接下繪製 3D 檔案的工作。也感謝 Jamy 岩友提供我們 3D 列印的服務。



電腦應力分析 | 3D 列印模型

經過四大版本的演進，設計終於定案。但事情可還沒結束，跟復盛應用科技公司的工程師，為了開模的相關問題，於設計細節上又來來回回地討論了一個半月。

這一整個過程如果是由專門公司來執行，應該最多花個 3~4 個月就可以進入打樣階段。但是，由於大家都是百忙中才能抽空處理，多花了一倍多的時間才將事情搞定。



實際成品

樣品出來後，接下來就是進行測試。由於我們並非要拿來販售，不用花大錢去取得可於歐盟販售的CE標誌，僅需達到CE自我認證的標準即可。不過，章醫生認為我們做這個 bolt 的目的，是為了確實提高使用壽命，所以不能像一般廠商只進行 EN 959 或 UIAA 所規範的強度測試，我們必需加做 50 年之後的強度測試。

目前已將部分樣品進行銅鹽加速醋酸鹽霧腐蝕，模擬 50 年的海岸環境腐蝕 (1 小時約等於 40 天海岸天數)，待模擬完畢後，即會盡快進行強度測試。預計五月中或底，可完成所有測試。希望測試的結果，最後能符合預期。

最後，再次感謝眾多岩友各種幫助以及大家耐心的等待。



鈦合金 Bolt 內部檢測結果

撰文：吳彥儀 - 2016 / 05 / 15

審閱：芳源、金龍、明哲、地瓜、震宇

原文連結：<https://www.facebook.com/notes/835681370574773/>

這不是一件簡單的事，但這是一件值得去做的事。

一開始就知道客製 Bolt 這件事並不容易，沒想到壓力會來得如此又多又重，卻又令人感到喜悅。

龍洞是一個發展已成熟的岩場，「維護」將是一件比「開發」更為艱難的挑戰。每一次「維護」都會對岩壁產生消耗，容許的犯錯空間更小，需要眾人的智慧與力量，也需要更多人願意付出對龍洞的關心。

因此，群體討論與決策，一直是 Re-bolt Team 的努力方向。能有越多人參與，越多人討論，越多人提出不同的正反意見，就代表著越多人關心龍洞，就代表著越多人正在參與 Re-bolt 計劃，而 Re-bolt 的執行方案也可以因此變得更加完備。非常感謝大家這段期間對於 Re-bolt 的支持與討論，不論每一個人的看法是否相左，但每一個人對於龍洞的關心卻是相同的。

Re-bolt的道路沒有終點，我們相信攀岩者會一棒接著一棒，持續不停地走下去，持續不停地愛護著龍洞，持續不停地實踐眾人心中共同理想。

.....

整個測試從二月中旬即開始準備，當時大家正對測試所需的水泥塊傷透腦筋。張老頭(登榮)一句：「灌個水泥塊有什麼難的！」很順利地讓我們的煩惱有了轉嫁出口。8包25公斤重的8000磅無收縮水泥砂漿，就這樣一股腦兒地丟到了老頭的車上。



張老頭(登榮)一句：「灌個水泥塊有什麼難的！」

製做水泥塊可是一項技術活，從板模、混合攪拌到脫模，都需要經驗、知識與專業工具，雖然只是入門等級的工項，但對外行人來說，卻也不是隨隨便便能搞定，而且還要達到測試標準並經過28天的完全養護。

好在，每當我們遇到困難時，總會有岩友跳出來幫忙解決問題。從岩壁打洞到牽管砌磚，百工全能的張老頭，幫助我們完成了標準水泥塊的製作。

之後，由於大家比較忙碌，進度變得有點緩慢。



Fig. 1



Fig. 2

456.25 小時 CASS 測試前樣品外觀

樣品名稱：鈦 Bolt

測試數量：3 件



Fig. 3



Fig. 4

還好，經過 CASS 噴霧 456.25 小時，模擬處於海岸環境 50 年後的 Bolt，終於在五月初收到。

之所以會以 50 年為基準的原因，在於我們所使用的 HILTI 化學膠，其保證壽命為 50 年。而將 Bolt 安裝於測試塊上的任務，當然是交由曾在龍洞打過最多化學膠 bolt 的張老頭親手操刀。



登榮將 Bolt 安裝於測試塊上

測試前，即使知道從設計到理論，強度上絕對沒有問題，但心中難免有幾分忐忑。幫我們製造 Bolt 的廠商也派出專員前來關心測試，並由材料工程師對我們及岩友所提出的問題，一一提供專業的回答與建議。



復盛派出專員共同參與測試

測試從我們關心的海岸環境模擬 50 年後的 Bolt 開始。CE 標章的 EN959 (攀岩 Bolt) 規範中，對於檢驗拉力強度的要求為：8kN 連拉 10 次 (檢驗降伏強度不小於 8kN)，然後再拉至 15kN 以上 (檢驗破壞強度不小於 15kN)。對於檢驗剪力強度的要求為：8kN 連拉 10 次 (檢驗降伏強度不小於 8kN)，然後再拉至 25kN 以上 (檢驗破壞強度不小於 25kN)。

而 Re-bolt Team 將額外對拉力與剪力再加測一項「25kN 連拉 10 次」的強度要求，以檢驗不論是 bolt 的拉力或剪力降伏強度都不小於 25kN。之所以會自我要求 25kN 為標準的原因在於，器材廠商從不對強度多做解釋，使得多數人將 Bolt 上所標示的強度當成「工作強度」，即最常見的 25kN。

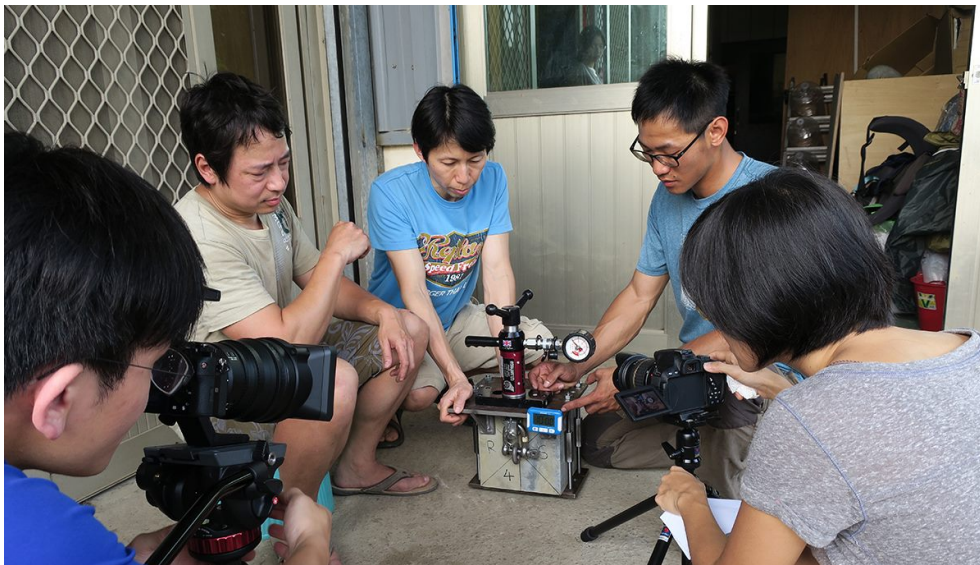
事實上，如果一顆 Bolt 剛好低空飛過 EN959 的要求，那這顆 Bolt 無論是在剪力或拉力上，最大容許工作強度將不會超過 8kN (工作強度需小於降伏強度)。也就是

說，一旦 Bolt 受力強度超過 8kN，Bolt 就會產生不可回復之變形，之後所能承受的強度將變得不可預測，有可能可以逼近 25kN，也可能不到 8kN 就斷了。

這與我們生活或工程上習慣使用的標示方法不同。許多攀岩者完全不知道，Bolt 上所標示的數值，不論是 25kN 或是更高的 30kN、40kN，都不是指可常態負載的強度，而廠商也鮮有明確告知實際可使用的工作強度，因為有可能只有 8kN。

由於 Bolt 無法輕易替換，而 EN959 與 UIAA123 中要求的 8kN 實在太小，我們不可能因為一次的過度受力或不當使用，就將 Bolt 換掉。因此，我們將連拉 10 次的受力標準定在 25kN，以達「真實的 25kN」。

我們 Bolt 理論上的剪力與拉力降伏強度都高出 25kN 許多。不過，理論計算歸理論計算，沒實際檢測前，大家心中還是有那麼一點 1% 的不踏實感。



測試過程

兩顆經過 50 年腐蝕的 Bolt，在安靜且嚴肅之下，如預期般地通過了拉力及剪力測試。接下來的測試，氣氛就輕鬆了許多。不論是使用工程標準打法的 Bolt（無開槽），或是使用攀岩深埋打法的 Bolt（有開槽），都通過了最嚴格的 25kN 連拉 10 次之拉力或剪力測試。

編號	註記	測試 (目測觀察)	編號	註記	測試 (目測觀察)
1	標準打法 50年	拉力8kN x10	6	標準打法	保留 (無做測試)
		拉力15kN ↑			
		拉力25kN x10			
2	標準打法	拉力8kN x10	7	深埋打法	拉力8kN x10
		拉力15kN ↑			拉力15kN ↑
		拉力25kN x10			拉力25kN x10
3	標準打法	剪力8kN x10	8	深埋打法	剪力8kN x10
		剪力25kN ↑			剪力25kN ↑
		剪力25kN x10			剪力25kN x10
4	標準打法 50年	剪力8kN x10	9	深埋打法	保留 (無做測試)
		剪力25kN ↑			
		剪力25kN x10			
5	深埋打法 50年	拉力8kN x10	10	深埋打法	拉力8kN x10
		拉力15kN ↑			拉力15kN ↑
		拉力25kN x10			拉力25kN x10

測試紀錄

雖然，鈦合金 Bolt 目前已通過「內部測試」，不過打 Bolt 永遠都不僅是個人的事。為了取得更多大眾信賴，為了維持攀岩者的相互信任，目前正在研議取得第三者 (CE 或 UIAA) 檢測認證的可行性。

我們 Bolt 的材質為 Gr.5 鈦合金 (又稱 TC4、64 鈦或 Ti-6Al-4V)，Gr.5 鈦合金普遍被應用在航太、船艦、工程以及各類型緊固件等需要抵抗腐蝕並注重強度可靠性之場所，擁有高耐腐蝕性與高綜合的力學性能，是各類鈦金屬裡面應用最為廣泛與普及的一種。像是 Bolt 這類型的緊固件，選擇以 Gr.5 鈦合金為材質，是一件很「正常」且「符合需求」的事，並沒有什麼「特別」之處。

而有關 UIAA 「WATCH YOUR ANCHOR」警告文章中，沒有提及 Gr.5 (TC4) 鈦合金的原因也相當明瞭易懂。因為這是 UIAA 專門針對「攀岩者」提出的警告，不是對

「製造者」的材料選用建議書，所以是拿市售 bolt 來進行分析比較。目前市售 Bolt 中可找到的鈦產品只有 Gr.2 (TA2) 而已，UIAA 總不能建議攀岩者去使用一款市面上並不存在的 Bolt。

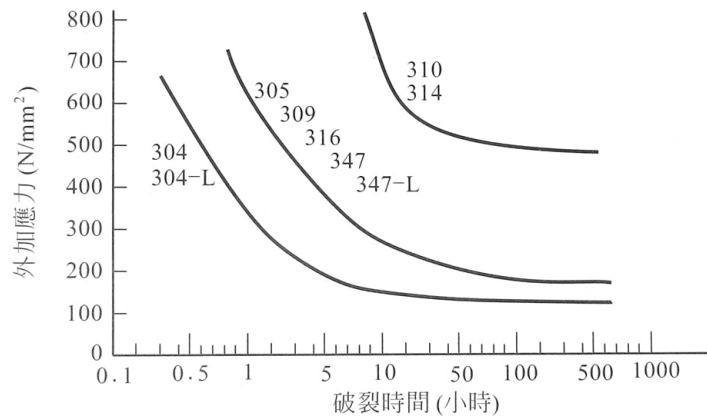
像是與 Gr.2 同樣被視為不會有應力腐蝕作用的 Gr.1、Gr.3、Gr.4、Gr.9、Gr.23 等鈦金屬，也都沒有出現在 UIAA 所建議的材質內，因為目前市面上都不存在使用這些材質所製造的 Bolt。而 UIAA 於高度腐蝕環境一欄中，反而有推薦「高級 HCR」這種存在著應力腐蝕可能的材質，原因只是市面上有出 HCR 的 Bolt (HCR 即是將 316 不鏽鋼鍍上一層硬鉻塗層)。今天，如果將我們的 Bolt 拿去 UIAA 取得認證並進行販售，相信 UIAA 的建議名單內，很快就會出現 Gr.5 這一項材質。

CORROSION RESISTANCE - COMPARISONS ¹⁰

Corrosion	Cu-Ni	316 Stainless	Titanium CP, 5, 9, 23
General	Resistant / Susceptible	Resistant	Resistant / Immune
Crevice	Susceptible	Susceptible	Resistant / Immune (<2000 F)
Pitting	Susceptible	Susceptible	Immune
SCC	Susceptible	Susceptible (>1400 F)	Immune (except Gr. 5)
Fatigue	Susceptible	Susceptible	Resistant
Galvanic	Susceptible	Susceptible	Immune
MIC (Microbes)	Susceptible	Susceptible	Immune
Erosion	Susceptible	Susceptible	Resistant
Weld/HAZ	Susceptible	Susceptible	Resistant / Immune

(immune 不發生作用) (resistant可抵抗性) (susceptible易發生作用)

Gr.5 與高級 HCR 一樣，雖然對於應力腐蝕達不到「不發生作用」的等級，但都是屬於對應力腐蝕具有高抵抗性的材質。而應力腐蝕要發生的一個前題是 - 長期應力要先高於能造成應力腐蝕的最低臨界值。應力腐蝕本身也是一種腐蝕，對於具有高抵抗性的材質而言，這是一個相當漫長的過程 (否則 UIAA 也不會推薦高級 HCR)，攀岩者受力於 Bolt 上的使用時間，幾乎無法累積出足以製造應力腐蝕斷裂的時間。因此，Bolt 上的長期應力來源，即是製造過程中所產生的內應力。而小型鑄造件於製造過程中，殘留應力比許多加工方式小很多，普遍認為不足以到達應力腐蝕的最低臨界值。



不銹鋼在 42% 氯化鎂沸騰溶液中的應力腐蝕破裂，受到應力變化的影響

節錄自《腐蝕及其防制》柯賢文、王朝正 編著

當我們向中鋼實驗室詢問應力腐蝕裂紋實驗時，對方甚感疑惑地說道：他們第一次遇到有人要對小型鑄造件進行應力腐蝕的裂紋實驗。別人也許會覺得我們很無知，但我們追求「更好」的精神，總能讓我們擁有無畏的蠢勁。我們還是會將 Bolt 請實驗室浸泡在 42% 氯化鎂沸騰溶液中，觀察是否有因為「內應力的存在」而發生的應力腐蝕。

可能有人會問：為什麼不用比 Gr.5 便宜不少的 Gr.2 來製作 Bolt？因為 Gr.2 的強度大約為 Gr.5 的一半（純金屬都會比較軟、比較弱），雖然拿來做 bolt 的強度已足夠，但無法滿足我們「用過度來預防未來」的理想。

不論是從生活上，還是從龍洞的 Bolt 上，歷史經驗總是不斷告訴我們，要真實達到足以應付未來的不可知，就要先預留足夠大的餘裕才有機會。我們總會認為我們所設想的已足夠多了，但，未來，總會教訓我們，一定存在著我們所沒注意到的疏漏。UIAA 去年公布「WATCH YOUR ANCHOR」的這篇警告文章，就是一個啟示。應力腐蝕是上個世紀即已知道的其中一種金屬腐蝕現象，那麼，為什麼以前都沒有攀岩者（或廠商）考慮到這一點呢？因為，那個時候，大家都自信的認為，當下的考量皆已足夠。

我們沒有度量未來一切可能的自信，我們只能採用源自於古老經驗的愚蠢方法 - 給未來預留更多「超額準備」。有人會花錢客製隨身物品，有人會花錢客製名車。但

我們花錢客製 Bolt，不是為了追求時尚或流行，也不是為了凸顯自身，僅僅只是單純的 – 不想在未來付出更高昂的代價。

最後，我們會盡快加速討論並與廠商談妥相關事宜，一旦有所決定，章醫師會先行墊款，向廠商下單，趕緊為大家提供新的 Bolt。有人擔心地問：難道不怕之後的募款金額不夠？不怕募個好幾年還打平不了？不怕 Bolt 買了卻沒人去換？

我們回答道：不怕。因為我們相信龍洞。因為我們相信龍洞的攀岩者。

鈦Bolt開發計畫FAQ

由 Rebolting Team 於 2017 / 04 / 19 發表，蒐集許多岩友對於臺製鈦合金錨栓的常見疑問與解答。包含開發過程的各種考量與決策、設計強度、應力鏽蝕、品管測試、以及研發過程中參考的各種技術文件與相關論文。

https://docs.google.com/document/d/17NueKAB9jDW_sFtTBO0zGQ-pGNxijGwLGDvR7SwYNM/edit?usp=sharing



臺灣戶外攀岩協會

www.facebook.com/TOCC2020 | outdoorclimbingtw@gmail.com