

影響叉式剷車 負重能力及穩定性的 主要因素

叉式剷車（又名「叉式起重車」或「剷車」），是貨倉、工廠、碼頭卸貨區及建築地盤等地方廣泛應用的負荷物移動機械。其車身前方裝有一對可上下移動的剷叉，再加上其靈活轉動的特性，能夠協助操作員有效率地搬運、堆疊及裝卸重物。每部叉式剷車也有其「安全操作負荷」，亦即是其最高負重能力，正常情況下，只要所負載重物之重量不超過安全操作負荷，叉式剷車便能安全地運作。可是，若以不正確的方法操作剷車，便可能令叉式剷車的負重能力及穩定性下降，導致剷車翻倒等意外。因此，操作員必須了解叉式剷車的負重和穩定原理，避免作出危險操作行為。叉式剷車種類繁多，本文將重點以香港常見的抗衡型叉式剷車作講解。



行業動態



知多一點點： 平衡狀態是否安全？

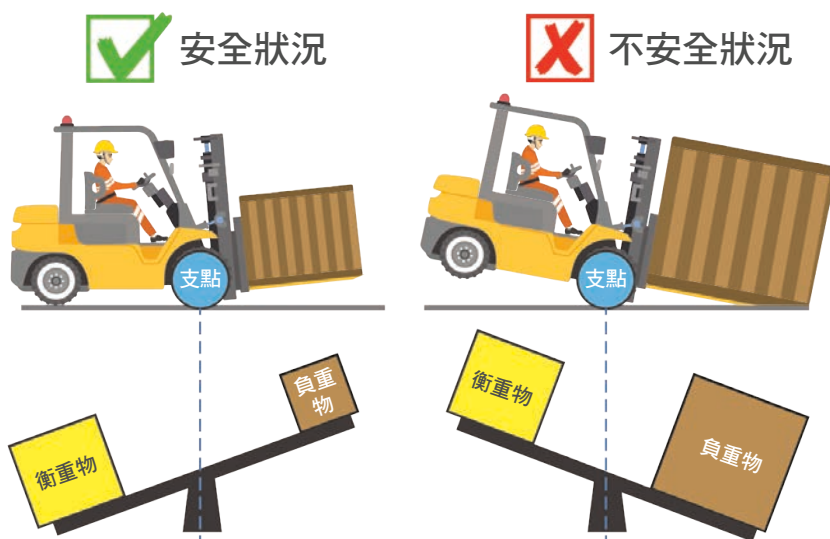
若衡重物與負重物的重量完全一樣，就會達至所謂的「絕對平衡」狀態。此狀態是危險的，原因是叉式剷車通常是後輪轉向，任何外加施力或駕駛操作都會打破此平衡狀態，有機會造成後輪離地，令叉式剷車失去轉向能力。

叉式剷車的負重原理

叉式剷車能夠負載前方剷叉上的重物，主要是依靠車身後方的「衡重物」發揮平衡前方重量的作用。所謂的「衡重物」主要是指製造商特意在車尾裝上的衡重部件，但其實它亦包括車身及引擎（它們自身的重量），而對於電池驅動的叉式剷車而言，衡重物亦包括擁有相當重量的儲電池組。

簡單而言，若我們將叉式剷車的前輪當作支點，當叉式剷車負載重物時，它就相當於一個「搖搖板」：只要當衡重物那一方比負重物那一方重，剷車便能安全地起動（安全狀況）；若情況相反，剷車便會向前傾倒（不安全狀況）（見圖一）。為避免出現不安全狀況，製造商會為叉式剷車進行測試，以找出叉式剷車的「安全操作負荷」，即是能保持叉式剷車於安全狀況的負重量限值（亦等於下文所述的「安全負重能力」）。

故此，安全操作叉式剷車的首要規則，就是叉式剷車所負載重物之重量絕不能超過製造商為該叉式剷車所指明的安全操作負荷。但現實情況只是做到這一點並不足夠，因為存在一個變數影響叉式剷車的安全負重能力：負重物重心與支點（叉式剷車前輪）的距離。



圖一 叉式剷車負重原理

力矩與負重能力的關係

上文以「搖搖板」去解釋叉式剷車的負重原理，當中包含了一個重要假設，就是衡重物和負重物均與支點有著相同的距離。試想像一下，如衡重物與支點之間的距離不變，但負重物與支點之間的距離卻不斷增加，會有甚麼後果？答案就是本來是安全的負重情況，會變成「絕對平衡」，繼而再變成不安全的負重情況（見圖二）。

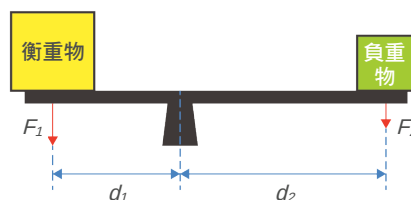


圖二 負重物距離對負重情況的影響

上述情況，可以用「力矩方程式」去解釋：

$$\tau = F \times d$$

τ = 力矩
 F = 力，即重物所施加的力
 d = 力臂，即支點與施力作用點之間的距離



圖三 絕對平衡時兩邊力矩的情況

以上述「絕對平衡」的狀態為例（見圖三），衡重物的力矩（ τ_1 ）與負重物的力矩（ τ_2 ）正好是相等，即 $F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2$ ：

若負重物的重心與支點的距離（ d_2 ）有所增加，會導致負重物那邊的力矩（ τ_2 ）有所增加並大於衡重物那邊的力矩（ τ_1 ），令「搖搖板」傾向負重物那邊，即是叉式剷車向前傾倒。

那麼，在現實情況下，叉式剷車操作中會否出現負重物的力矩突然增加？答案是「會」（見圖四），而導致力矩增加的原因就是操作員的不安全操作方法：剷叉沒有「入盡」卡板。需要被叉式剷車搬移的貨物，通常都會被放在卡板上，因為卡板設有「剷槽」可讓剷叉插入其中，方便進行搬移，而正常的工作方法就是將剷叉完全插入卡板之中。但若剷叉沒有「入盡」卡板，便會增加貨物之重心與叉式剷車前輪的距離，亦即是增加了貨物的力矩，有機會令叉式剷車向前傾倒。



圖四 「入盡」與「不入盡」卡板的分別

行業動態

知多一點點： 可否自行「加重」 叉式剷車？

為了增加叉式剷車的負重能力，一些叉式剷車使用者會自行為其叉式剷車加上額外的衡重物，例如將安全操作負荷為5噸的叉式剷車加多1噸衡重物，以為可以用該叉式剷車剷運5噸半的貨物。此舉其實是非常危險的，因為衡重物的位置會影響負重能力的計算，而這些計算必須由製造商進行且經過測試，方可作參考；此外，我們亦無法確保自行加裝的衡重物在叉式剷車操作時能穩固地附於叉式剷車上；再者，自行加裝的衡重物可能會改變了叉式剷車的「結合重心」之位置（詳細見下文），令剷車的穩定性受到影響。因此，我們絕對不可私自「加重」叉式剷車。

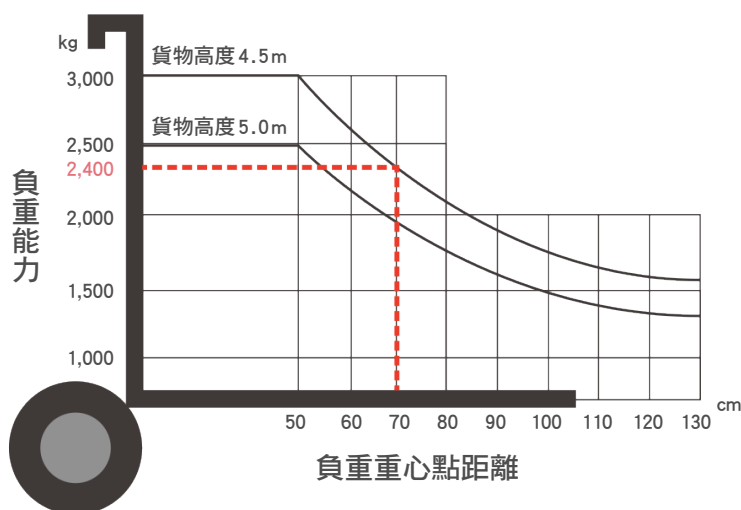


圖六 嚴禁自行加裝衡重物

事實上，製造商為叉式剷車所指定的安全操作負荷，通常是假設貨物之重心與叉式剷車前輪之距離不超過50厘米才成立的。製造商亦會在叉式剷車上以圖表顯示若此距離增加，將會如何影響叉式剷車之安全負重能力。從圖五的例子可見，在貨物高度不變的情況下(4.5米)，若貨物之重心距離保持在50厘米以內，叉式剷車的負重能力能夠保持在3,000公斤；若此距離增加至70厘米，負重能力即減少了約600公斤。故此，為避免叉式剷車之安全負重能力被降低，操作員應將剷叉「入盡」卡板，令貨物之重心盡可能靠近叉式剷車前輪，此外，亦要留意貨物是否穩固地堆疊在卡板上，並且維持貨物之重心在卡板中心位置或靠向叉式剷車前輪。若貨物之重心集中在卡板上較遠離前輪的那一端，就算剷叉「入盡」卡板亦無補於事。

升貨高度與負重能力的關係

從圖五可得知，除了重物的重心距離之外，還有另一個影響叉式剷車負重能力的因素：升貨高度。當升高貨物超過特定高度時，叉式剷車負重能力便會降低。這問題常見於同樣型號的叉式剷車，配備特高門架的叉式剷車會比標準配置的負重能力低。因此，當需要提升貨物至較高的高度時，便要根據叉式剷車的安全操作負荷表（圖五），按需要減少貨物重量，以防止貨物超過叉式剷車的負重能力，造成意外。



圖五 剷車負重能力與貨物重心距離的關係

叉式剷車的穩定性——「穩定三角」及「結合重心」

明白如何能保持叉式剷車的安全負重能力後，亦要了解在操作時如何能保持叉式剷車的穩定性，方可避免叉式剷車翻倒的意外。要了解這個課題，就先要明白叉式剷車的「穩定三角」及「結合重心」：

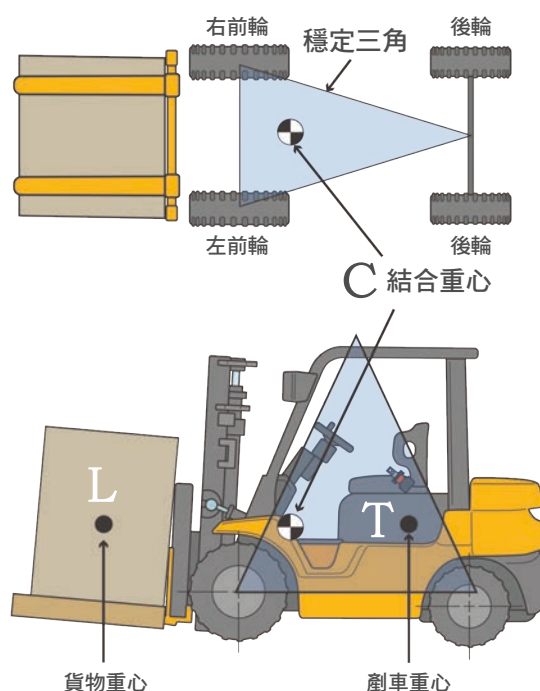
穩定三角

圖七以抗衡型叉式剷車為例展示了剷車的「穩定三角」。叉式剷車的兩個前輪為叉式剷車和貨物提供了重要的支撐，而負責轉向的尾輪，其車輪軸中心點通常是衡重物的安裝位置，故此若我們將兩個前輪及尾輪軸中心三點承托連接起來，便形成一個三角形的承托面，再加上貨物會沿著門架升高，以致這個三角形的承托面其實並非平面，而是一個立體的三角錐體，亦即是「穩定三角」。

結合重心

貨物因其重量而有重心（圖七的L點），而叉式剷車本身亦有重心（圖七的T點），故此當叉式剷車再剷運貨物時，兩個重心結合起來就會形成一個「結合重心」（圖七的C點）。「結合重心」的位置會受到貨物（擺放位置、穩定性及重心等）、叉式剷車狀態（剷叉高度、加速或減速及轉彎）和環境（路面狀況及坡度）三方因素影響而改變。

「穩定三角」及「結合重心」與叉式剷車穩定性之關係是，若「結合重心」能被保持於「穩定三角」之內（如圖七所示情況），叉式剷車就能保持穩定；但若「結合重心」走出了「穩定三角」，叉式剷車便會翻倒。



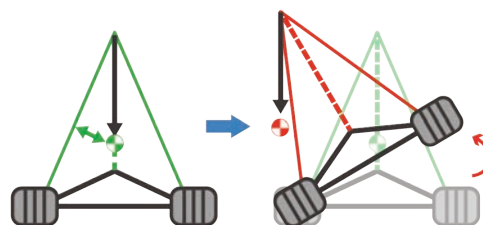
圖七 叉式剷車的「穩定三角」及「結合重心」

行業動態

影響從橫向穩定性的情況

以下是一些危險操作情況有機會令「結合重心」向左或右走出「穩定三角」，繼而導致叉式剷車向左或右翻倒：

危險操作情況	保持穩定性的安全操作方法
高舉剷叉時轉彎	行車及轉彎時將叉式剷車保持於「安全行車狀態」，即剷叉離地 100 毫米至 150 毫米及向上傾
高速轉彎	減慢轉彎速度
斜路上橫行	在斜路上正對上落，不可橫行或斜行
貨物重心偏離 叉式剷車縱軸線	在卡板上妥善擺放貨物，保持貨物重心對正叉式剷車縱軸線
貨物不穩固	先穩固貨物才開車，如無法避免，應慢速行駛
一邊車輪 撞上障礙物	避開或移開障礙物，不可在其上駛過

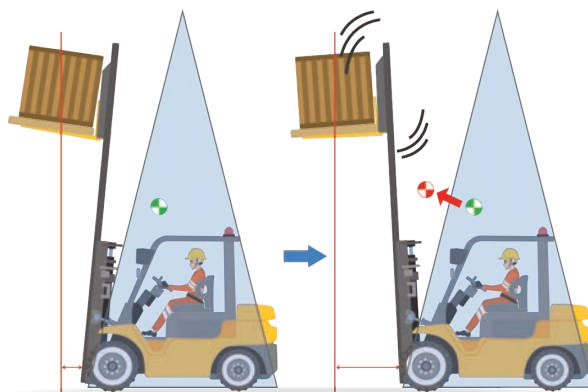


圖八 叉式剷車右邊車輪撞著障礙物令「結合重心」向左走出了「穩定三角」

影響從縱向穩定性的情況

以下是一些危險操作情況有機會令「結合重心」向前走出「穩定三角」，繼而導致叉式剷車向前翻倒：

危險操作情況	保持穩定性的安全操作方法
超載	確保貨物重量不超過「安全操作負荷」
突然加速或急速剎車	以安全速度操作，避免突然加速或剎車
高舉剷叉行車	行車時將叉式剷車保持於「安全行車狀態」，即剷叉離地 100 毫米至 150 毫米及向上傾
高舉貨物時 門架過分前傾	避免門架過分前傾
不當地駛過溝渠或路拱 (垂直 / 90 度角駛過)	打斜 (以 45 度角) 駛過溝渠或路拱
在凹凸不平的地面行車	避免於在凹凸不平的地面行車，如無法避免，應慢速行駛
以不正確方法上落斜坡 (例如：載貨時剷叉指向斜坡下方)	無論上斜或落斜，當剷叉上有貨物時，剷叉應朝向坡頂；當剷叉沒有貨物時，剷叉應朝向坡底



圖九 載貨時門架過份前傾令「結合重心」向前走出了「穩定三角」

結語

叉式剷車操作員必須了解所駕駛的叉式剷車的負重能力。除了不能夠超載外，也要避免出現上文所述的危險操作情況，確保載貨後的「結合重心」保持在「穩定三角」內，避免意外發生。

職安局剷車操作員課程介紹



<https://bit.ly/3XNagPO>