

## 第二章

# 編譯設計

我們的設計都將從產品的想法開始。這些想法需要被驗證。因此，我們將著手構建原型，如果這些原型通過測試，我們將通過圖紙記錄設計。我們需要文檔才能以可重複的方式構建更多產品。

本章將讓我們從僅僅對產品有一個想法的角度出發，一直以最佳方式放置構成最後設計的所有單個物件。

我們從"空白紙"開始，那張紙將充滿物理物體。第一個令人關切的項目是紙張是確實為"空白"還是存在一些限制。下一個關注項目將確定要包括哪些物理物件。然後，我們應該假設這些對象是基於整體設計目標的最佳放置。因此，我們將以一些詞語來總結我們對該項目放置的選擇。

### 2.1 起點

設計師的任務是對現有設計進行作業或開始新的設計。讓我們花一點時間看看這些起點的區別。

全新的設計:這對設計師是新的開始;除了遵守規範之外，基本上沒有約束。我們有寫出一整節關於規格的确切內容及其各種元件。

延續(或添加到)現有的設計:改變設計，修改現有設計的一小部分。必須利用現有的設計，這是很大的挑戰。我們將有一個單獨的章節來定義在此背景下的确切內容"系統"。

對現有設計進行重大修改:同樣是改變設計，在這種情況下，將修改原始設計的一大部分。這裡設計師的任務是改變整體設計的一部分，因此比全新的設計有更多的約束，因此瞭解當前設計工作非常重要。我們的「基本佈局」可以同時進行，也可以不受以前工作的限制。

### 2.2 定義設計邊界:描述系統

定義設計"系統"的幾句話:設計可以是極其複雜的、大的(如太空梭或大型客機)、小的系統(如汽車)，或者更小的系統(如個人電腦、咖啡機或手機)。與其他設備的範圍、成本、時間、提交的資源數量以及與介面因所有這些設計專案而異。設計人員必須牢記正在設計的系統。這很重要，其中原因:

- 關注個人責任(工作範圍)
- 意識到必須與本設計界面的其他裝置
- 整體「系統」功能(而不僅僅是子系統的功能)

像手機一樣"小"的東西也是系統的一部分。也就是說消費者購買的範圍可包含:

- 手機
- 充電器
- 電纜
- SIM 卡
- 說明書
- 其他運輸材料(標籤、袋子、氣泡包裝)

(這裡將限制對"系統"的討論，因為人們可以想到的系統很多)

我們從系統描述開始，因為大多數電子外殼都環繞和支援產品。有時，可以將一種產品視為較大產品的一部分。例如，網路適配器卡(產品本身)可以放入微電腦(第二個產品)中，形成全新的產品，隨著可連接網路的微電腦本身構成網路的一部分，情況變得更加複雜，而網路可能是更大的產品。

從另一種方式來看，我們的任務可能只是設計一個更大的系統的子系統。因此，我們的「系統」可能甚至不是產品，而僅僅是一個更大的系統的一部分，而該系統被分解成可管理的部分。

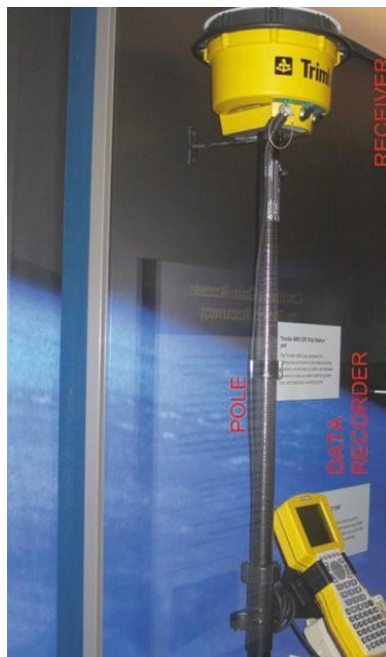


圖 2.1 系統描述

例如，我們負責設計一台錄音機，作為較大系統的一部分。此系統如圖 2.1 所示該系統由至少三個主要子系統組成：

- 資料記錄器
- 資料記錄器之支架
- 測量桿(標記為"極")，包括另一個子系統

實際上，這個"系統"會有更多單獨的部分，包括電纜、運輸容器(箱)和說明手冊。圖中所示的系統是在華盛頓特區史密森尼博物館出現的一個天寶測量系統的照片。

我們已成為"測量師系統設計組"的成員，並將設計整體的一部分(數據記錄器部分)。因此，我們首要的任務是指定到底要設計什麼(有點像在項目周圍"築一道籬笆"，將在給定的時間內完成)。為了完成此任務，我們需要一個規範。(請返回到章節 1 討論。)

## 2.3 設計程序

### 2.3.1 專案總體開工到專案完成

設計可以以多種方式進行。各個公司執行產品設計的流程方式各不相同，但它們有一些共同的特點。最終結果(規範的一致性)是衡量成功的標準。通常以 EPE 設計器承擔任務"絕大部分"的責任。他們既是「實行者」，也是許多事情的「推動者」。

1.草圖構思——這是專案的"構思"階段。想法必須以圖片表示，一旦以圖片表示，它可以很容易地被審查和修訂。審查小組的人需要「圖片」的想法，才能真正看到正在提出什麼。

2.回顧想法和授權進行原型——這個行動採取「圖片」表達的想法，並把它變成團隊可以實際接觸的東西。客戶可以持有和使用；原型是一幅全尺寸的立體圖。"授權進行"很重要，因為項目和專案通常有時間和金錢的限制，因此這些支出必須由團隊同意。

3.原型製作的想法繪製(文件創建)——通常草圖被轉換為數位化繪圖檔，將允許被製作出來。

(現在設計將在修訂版 1 中。包含以斜體顯示正式文檔的"修訂級別"，這將在章節 12 中進一步說明。)

4.製造原型(物理部件)——專案團隊要確定生產的成本和時間限制。有時只需要一個"臨時的"的原型，就能取得良好的進展；有時需要一個嚴格規範的原型。EPE 設計器應該關注這個發展階段的需求

5.原型分析和測試——一旦團隊收到原型,就會進行測試看是否符合規範。項目團隊要確定具體需要執行哪些測試才能在測試後決定如何進行。

6.團隊對原型和結果進行審核,並提出修訂建議。

(假設修訂版 1 需要改進,我們將將設計修訂為修訂版 2。)

7.改進原型(繪圖和原型)——是反覆運算過程的開始,最終將引導設計符合產品規範。

8.進一步分析和測試修訂版 2

(假設修訂版 2 符合產品規格。)

9.最終檔案製作/最終測試/最終審查

10.正式批准設計生產版本

請注意,上述過程中的"生產版本"只允許生產"一定數量",以銷售給客戶,或作為更多單位進行更寬泛的測試程序。公司在為一些客戶發佈和測試其產品的程式上可能有所不同。另請注意,大多數項目的修訂數比所示的多,但專案通常會繼續進行。

## 2.3.2 EPE 設計師的起始注意事項

沒有「絕對正確」的方式來設計,每個案例都有獨特的最佳方法可以取得所需的進度。有時候一個原型放在一起幾天,可以激發一個令人難以置信的新產品。在其他情況下,制定幾種可能的解決辦法的系統化辦法,需要幾個月時間才能組合起來,這可能是最好的途徑。話雖如此,以下大綱至少證明對設計是有用的。

1.確定與負載沒有直接關係的解決方案的使用和要求。其中一些更重要的要求是:

(a)環境——產品將在哪裡使用?例如辦公室/外門/高度/車輛。

(b)溫度——環境的溫度極端程度如何?

(c)預期使用壽命——一次使用、保固年數、服務?

(d)成本要求——始終是一個重要的因素,取決於生產單位的數量和工具預算。

(e)表面要求——表面細節可以極大地影響成本。

(f)尺寸和重量限制——當前解決方案的界限是什麼?影響設計師選擇的材料/製造技術。

(g)安全和法規要求——產品故障的影響是什麼?



以上所有因素都是 EPE 設計開始時需要考慮的非常重要的考慮因素。例如，不同的設計來自室內環境與室外環境。不同的設計產生於預期持續"一次性"的設計與 1000 次使用後需要工作的設計。不同的設計產生於一個設計，需要成本低於 5 美元，而設計成本低於 100 美元。通過上面的每個元素，EPE 設計器可以確定一些初始約束。

2.確定或估計各個成員(和裝配體)可能需要承受的所有負載。有必要考慮負載的所有可能組合，假設負載與時間之間的關係。一些可能的負載類型包括:

- (a)靜態
- (b)穩定動態(振動)
- (c)瞬間動態
- (d)衝擊
- (e)身體接觸，如點載入或摩擦
- (f)其他載荷，如熱/重力/聲學

上述負載確定也是 EPE 設計非常重要的考慮因素。例如與 100 磅靜態負載不同，設計產生於 10 磅靜態負載。如果這些負載隨時間而變化，這將導致不同的設計解決方案。確定載荷的幅度和類型將直接確定支援電氣部件所需的材料和橫截面形狀。

3.確定故障機制。由於載荷是軸向、剪切、彎曲或扭轉，因此會發生變形。可能的故障模式包括:

- (a)一般收益(整體無彈性行為)
- (b)破裂或斷裂
- (c)易碎材料上突然引起的靜態或動態負載
- (d)延展材料上的靜態負載導致速度緩慢
- (e)漸進式— 由重複負載(疲勞)引起
- (f)過度變形
- (g)屈曲
- (h)蠕變=恆定應力下的變形
- (i)鬆弛— 在不斷的壓力下改變壓力
- (j)磨損(磨損)
- (k)腐蝕

通過 EPE 設計器確定在其當前設計狀態下如何失敗，可以修改設計以防止該故障。測試還揭示一些故障機制。但是如果在測試之前可以考慮其中一些故障，可以節省許多開發成本。

綜上所述三個專案，通過確定的設計用例、載入和潛在的故障機制，EPE 設計器可以以可靠的理解基礎繼續進行設計。

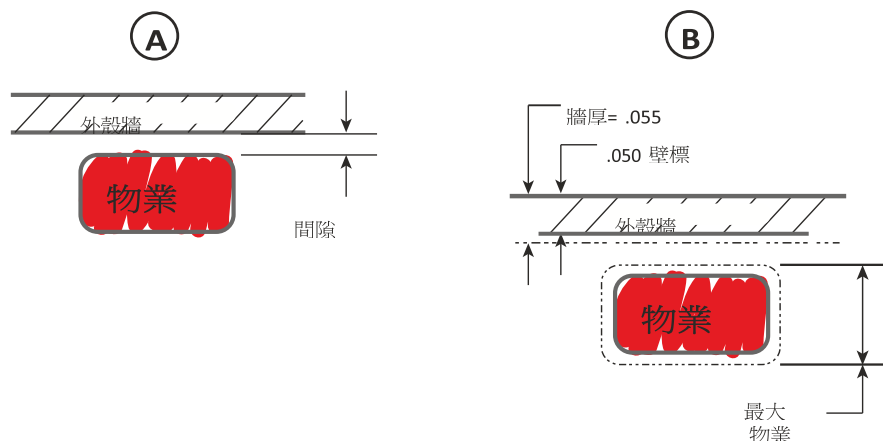
## 2.4 最佳物件放置

大多數設計都被認為是物體在空間的物理放置。各個對象是整個程式集的單獨部分。某些單獨的部件是完全已知的(它們要麼從另一家公司購買，要麼重複使用以前部件)。除了"已知"零件外，其他部件還需要全新設計。這些新部件可在內部生產，也可以完全指定由另一家公司生產。

電子包裝設計包括將子系統安排到其最有效的排列中。決定這種安排的第一步是查看子系統。因此在大程度上設置產品的整體大小。有時設計人員採用的標準是產品的整體尺寸，然後必須決定它們能否在給定的總體大小內容納所有要求。也就是說我們的子系統可能需要收縮以適應這個給定的總體規模。

基本設計過程如圖 2.2 所示。這顯示了一個物體在太空中與外殼(顯示為"牆")的距離。我想開始討論電子外殼的設計，說明幾個設計"方案"。討論的大部分內容都是針對 2D(計劃檢視，從上面)的情況,但很容易擴展為包括 3D(側視圖或 Z 方向)，我將展示該第三視圖的一些示例:

基本物件/牆間隙:圖 2.2 顯示了對象和牆。"物件"可以被視為任何內容。例如，它可以是印刷電路板元件、汽車發動機或任何電子元件。"牆"可視為表面外的外殼，也可以視為所設計物品的外部外殼。在幾乎每一個設計中，設計師都必須確定"物件"和"牆"之間的距離(間隙)。這裡的想法可以擴展到確定物件 1 和物件 2 之間的距離。這些確定的間隙都不需要相同。X 方向中的間隙可能不同於 Y 方向，後者也可能與 Z 方向不同。



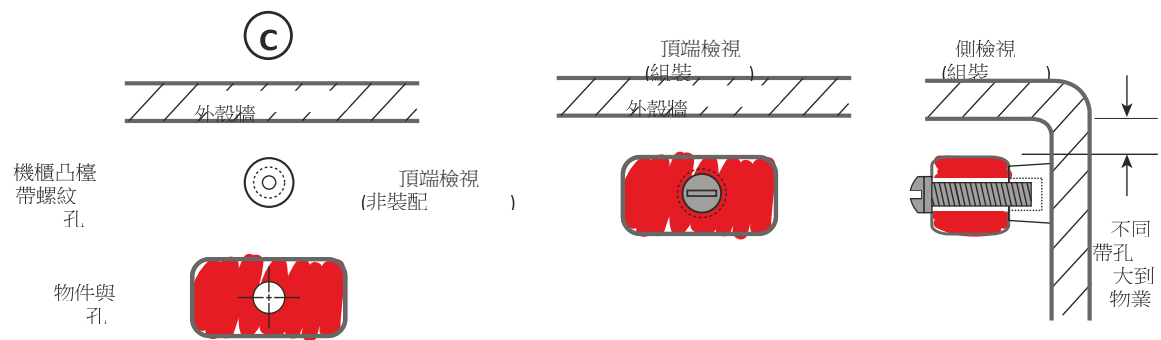


圖 22 物體/牆間隙

## 2.4.1 間隙距離的功能

1.物件和牆的容差:如果要保持特定距離(例如 0.100 英寸)和標稱整體(外部)尺寸,則設計必須允許:

- 最厚的牆在其極端的容差
- 盡可能極的物體(在物件的容差的極值)

(請注意:最厚的牆和最大的物體都減小了 0.100 英寸稱間隙距離。

注意最薄的牆壁和最小的物體都可以增加 0.100 英寸稱間隙距離。)

- 必須考慮「物件」到框的緊固。緊固系統允許物件更接近牆壁多少?假設物件有一個簡單的安裝孔,盒子有一個螺紋凸台。物件中的孔將大於用於將物件固定到盒螺紋凸台的螺釘。因此,如果緊固件位於護套孔的一個邊緣,則物件可能會更接近牆壁。位置容差(與箱壁的關係)也必須重視,因為凸台實際上可能離牆更近(由於製造公差)。通常"緊固公差"可以忽略,但在一些間隙有限的狹小空間設計中可能至關重要。

因此,就到目前為止的間隙示例僅考慮公差,我們可以具有:

- 壁厚可能厚 0.005 英寸。(與"constrained"整體尺寸,所有這些都會增加框內的壁厚)。
- 物件本身(將孔安裝到對向邊緣)可能處於最大位置容差。
- 由於位置公差,裝盒中的安裝凸台可能離牆更近。
- 安裝孔可能比(最小)緊固件直徑大 0.010 英寸,允許增加移動 0.005 英寸。

上述所有公差總計為 0.025 英寸。

腳注:(統計說明)一些設計人員會說明一些統計概率小於 100%的情況,即所有容差都在一個轉率中,並且可能總共 0.025 英寸。一些保守的設

計師會認為所有的寬容都會朝著"錯誤"的方向發展,因此設計是一個"最壞的情況"。目前通常忽略"統計"的公差方法,但在空間極其受限的設計情況下,這種方法可能很有價值。(參見分節 4.8 討論)

- 使用平方和進行容忍
- 使用蒙特卡羅模擬進行容忍

2.物體在產品操作期間相對於牆的運動這也稱為"搖擺"間隙,即物體可能在操作中振動。

3.物體在操作過程中的生長:這可能是熱膨脹的結果。

4.整體(外部)尺寸缺點訓練:內部間隙距離將受整體尺寸的影響。給定的總體大小物件之間的距離將有一些特定的限制。對象之間的距離將是大小容差和物件位置上的容差的函數。如果總體大小不受約束(罕見實例),對象之間的物件大小和間隙將決定總體大小。

## 2.4.2 物件排列

設計人員通常透過「高效」排列所有要放入機櫃中的物件來最小化機櫃的整體尺寸。這可以在三個維度中完成。物件的其他安排皆用於滿足裝配、維修、美觀或用戶介面需求。

為了最小化整體尺寸,在對象之間選擇一些距離。此距離可以首先視為名義距離。然後調整標稱距離以適應設計。例如,可以假定對象之間的標稱距離為 0.1 英寸(在所有方向)。當然所有對象之間的間隙大小不必相同。也許物件之間的 0.100"間隙"會引入超出產品預期的整體維度(超出產品規格)。設計人員希望將其縮小 0.1 英寸的間隙——但是間隙不能小於零,且不能低於任何"最壞情況"。例如在大小容差的上端提供物件或下面探討的其他因素。

以設計器檢查已放置機櫃中的所有物件,且對象之間的間隙使物件之間的所有差異在所有環境都避免。設計人員檢查物件是否能以「直率」方式組裝到機櫃中,以及產品服務的物件得到的維護。

設計已為評審過程做好了準備。

檢查卷(或物件)之間的間隙是:

- 製造公差:給定的"盒子"可定為標稱尺寸。當供應商將包裝盒製造到標稱尺寸的允許外部限制時,會產生稍大/小框。
- 冷卻要求:某些部件可能需要與另一個部件間隔最小距離,以便部件不受熱力影響。在某些情況下必須盡可能靠近(相互連接)部件。



- 裝配和可維修性要求:元件之間需要一定的空間因為要組裝或拆卸部件。
- 將來添加產品(選項):計劃添加或產品選項可能需要數量。

回顧我們的初衷，要找到一個距離牆 0.1 英寸的物體，我們可以認為進入詳細的設計時，必須小心這個 0.1 英寸間隙 (如上述關於公差的討論所示)，因為這個距離很容易從 0.1 英寸"收縮"(在最壞的情況下)到 0.1 減去 0.025(=0.075 英寸)。當然它也可能增加到 0.1 加 0.025(±0.125 英寸)。在草圖設計階段，我們不會那麼關注這個;再次隨著設計進入原型設計階段，它變得更加重要。

此 0.1 英寸上所有濃度均在說明物件(在本例中為物件和牆)之間設計了"一定距離"。在大多數設計中必須最小化物件的總體大小，這將導致大多數點火點在對象之間盡可能少的距離。整體尺寸(和最終重量)最小化設計示例包括計算機外殼、咖啡機或其他家用電器。我們生活在一個較小的尺寸(通常)等同於:

- 重量更小(燃油節省或易用性更好)
- 較小的生態足跡(節省材料)
- 在空間有限的情況下節省空間
- 降低成本(面向消費者或生產者)

在某些情況下它不是最小距離，如散熱或機械耦合(例如在齒輪傳動中)等複雜情況肯定會影響物體之間的距離。我們一直在「簡化」示例中的設計過程。因此對於物體和牆壁上的 0.1 英寸距離的範例,設計人員實際上會面臨挑戰，以確定這可能是最小距離(例如此距離為 0.050 英寸，則整體產品可能更小)。這個距離會進一步縮小嗎?(請記住我們提出了一個"不確定性"在這個距離的 0.025 英寸。)

在設計的「草圖階段」中，確定此距離可能並不重要。為了以非常快的方式證明整體設計，點火機可以使這個距離達到 0.125 英寸，並進入縮小這個距離的細節。壁厚通常具有以下功能:

- 產品操作所需的強度
- 產品的重量約束
- 技術製造

壁厚不必是"恆定"的，它可以通過添加肋骨允許厚度局部變化。

## 2.4.3 物件排列示例(圖 2.3)

到目前為止，在討論定位兩個物件(一個牆和一個物件)時我們只討論兩

個維度。我們將在本節中展開三個維度。讓我們進一步舉一步。查看幾種方法以查找櫃內的兩個物件，並查看我們有哪些選項。就本示例而言，假設這兩個物件都是「磚塊」，其近似尺寸為：

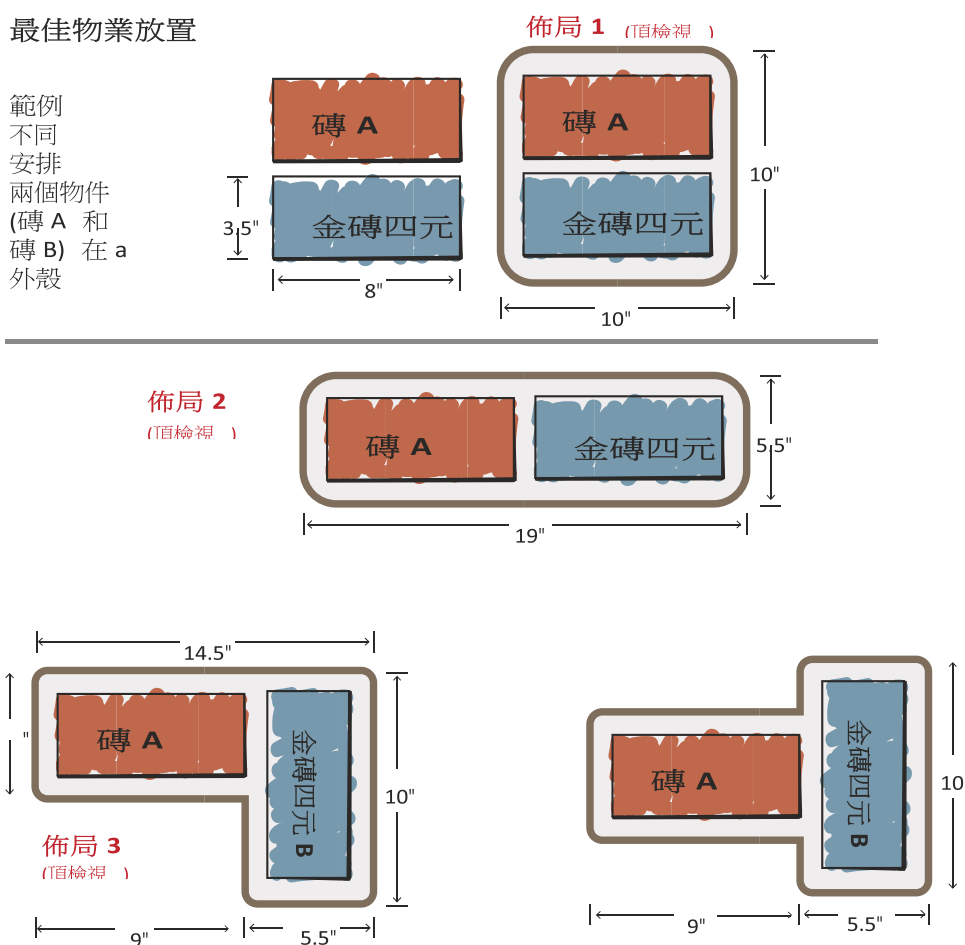
- 2.5 英寸厚
- 3.5 英寸寬
- 8 英寸長

在我們的 2D 示例中，我們將忘記"厚度"，只需使用寬度和長度。因此我們基本上有一個矩形是 3.5×8。(回到 3D 示例,我們增加了更多的選擇。參見圖 2.3.)

現在假設我們在設計中的基本出發點是將磚 A 和磚 B(兩個尺寸相同)安置在外殼中。初始點我們沒有限制：

- 覆寫所有大小或元件的機櫃
- 外殼材料成本

#### 最佳物業放置



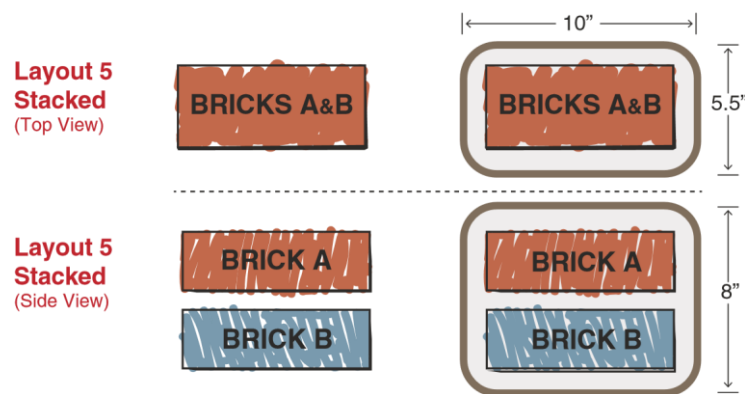


圖 23 最佳物件放置

我們可以很容易地設想至少五種不同的方法來定位磚 A 和磚 B 相對彼此，產生非常不同的外殼。當然有不同的方式，但我選擇了標準的"笛卡爾"排列的磚塊，其中它們是平行的或相互的。讓我們來看看這五個不同的佈局，並評論一下為什麼可能有這些優勢(比其他佈局)。在磚 A 和磚 B 之間假定一個恆定 1 英寸，且假定相同的 1 英寸間隙是磚和牆(側面、頂部或底部)。

- 佈局 1: 沿寬度並排的磚 A 和磚塊 B
- 佈局 2: 磚塊 A 和磚 B 沿長度對齊
- 佈局 3: 磚 A 和磚 B 在 "L 形"
- 佈局 4: 磚 A 和磚 B 在 "T 形"
- 佈局 5: 磚 A 和磚 B 堆疊(3D 版本— 這是使用"第三維"的唯一佈局)

現在讓我們分析五個佈局。(對於所有佈局，讓我們假設機櫃的薄外觀，該外觀將本質上為零添加到其存儲模組寬度、長度和高度。此外我們將忽略機櫃可能具有的圓角，只需假定方形角)。

- 佈局 1 似乎是最簡單的佈局，以相對方形的儲存模組結束。生成的外殼是  $10 \times 10 \times 4.5$ 。六面(區域)為  $2 \times (10 \times 10) \times 4 \times (10 \times 3.5)$ 。
- 佈局 2 是 "長方形"。這類型的機櫃可能具有獨特的應用，例如為了更好地利用桌面空間。機櫃為  $19 \times 5.5 \times 4.5$ 。六面(區域)為  $2 \times (19 \times 5.5) \times 2 \times (19 \times 3.5) \times 2 \times (5.5 \times 3.5)$ 。
- 佈局 3 可能更適合 "角" 應用程式。為  $(5.5 \times 10 \times 4.5) = (5.5 \times 9 = 4.5)$ 。八面(區域)為  $3.5 \times (4.5 \times 9 \times 10 \times 4.5 \times 5.5 \times 14.5) \times (9 \times 5.5 \times 2) \times (10 \times 5.5 \times 2)$ 。
- 佈局 4 與佈局 3 類似，但外觀更對稱。
- 佈局 5 提供最小的「平面圖」，導致佈局最高。為  $10 \times 5.5 \times$

8。六面(區域)為  $2 \times (10 \times 5.5) \times 2 \times (10 \times 8) \times 2 \times 2 \times (5.5 \times 8)$ 。

這些簡單的佈局說明，即使兩個物件的位置在這種情況下，兩個磚塊代表相當幾個可能性。如果第3個物件或不同大小的對象作為廣告，則可以看到這變得相當複雜。有時一個對象相對於另一個物件放置有一個基本原因，因為一個物件的"in"應靠近另一個物件的"out"(物件的嵌套)。在任何情況下讓我們繼續討論上述五種佈局的一些相對優點。

在佈局之間做出選擇可能有一個基本的美學理由。也就是說可以選擇佈局1，因為它被視為"更直接"，且佈局3可能被視為更"有趣"。因此佈局的選擇可以歸結為行銷決策，客戶會發現特定的外殼形狀更令人愉悅(因此會導致產品銷售額上升)。

優化(最小化)機櫃的表面面積如何—— 哪些佈局導致最小表面積?外殼再次環繞著兩側的磚塊(頂部和底部。)

	體積 (立方英尺)	周邊區域 (總平方英尺)
▪ 佈局 1	450	340
▪ 佈局 2	470.25	380.5
▪ 佈局 3	470.25	377
▪ 佈局 4	470.25	377
▪ 佈局 5	440	358

### 物件排列的一些結論

如果要最小化重量，佈局1是最佳，因為權重主要由於機櫃周長區域。(磚塊在所有佈局中具有相同的重量,空氣可以忽略不計。)

如果要最小化體積則佈局5是最佳。這可能有利於某些尺寸受限的設計。

佈局2、3和4的體積相同。

最大的周長區域是佈局2。佈局6(未顯示)將是一個球體。一個6英寸的半徑球體可以容納佈局5，其體積約900立方英尺，而只有約450平方英尺的周長面積——也許是一個「創造性」的解決方案?

顯然隨著添加更多"物件"將更難優化體積和周長區域的物件。設計師的獨創性伴隨著在給定布局區域中"嵌套"各種幾何物件。

各種技術可用於優化佈局的緊湊性。確定機櫃中的所有0分點後，設計人員可以對這些物件進行建模並將它們放置在以下方向:



1.以高效的方式利用空間。

2.放置需要彼此接近的物件，盡可能靠近每個物件。這由於是機械、熱或電氣。如果電纜連接兩個物件，最好讓這兩個物件盡可能靠近——通過直接將物件1連接到物件2來消除電纜如何？

3.放置彼此需要距離的物件。"同樣，可能有機械、熱或電氣。

需要注意的是佈局3和佈局4在生產方面可能更為複雜。非對稱外殼可能比直牆更難製造。如果外殼是工具(模制或鑄造)產品則不一定如此。但如果外殼是鈹金，則提供了一些製造問題。

關於3D設計的說明，由於我們設計的所有對象實際上都是3D物件，因此我們實際上需要以3D形式進行設計。2D中的快速草圖可能解決設計意圖的一部分，但所有細節都需要在設計移動到3D時顯示。這使得CAD工作對於當代設計界所需的精度和速度至關重要。創建所有物件的3模型使檢查間隙變得簡單，易於更改和優化。這方面的一個例子是機械設計器如何查看印刷電路板元件(PCBA)。它基本上具有安裝在印刷電路板上的許多元件的2D佈局。然而所有這些元件都處於不同的高度，因此多氣聯苯上方和下方的間隙在區域會有所不同。因此PCBA雖然主要被認為是"2D區域"(在"草圖相"中)，但它具有"厚度"使其成為3D體積。

## 章節摘要

本章從設計的起點開始，我們只有一個想法。它說明了我們如何將這個想法轉化為物體的幾何位置，從而讓我們在物理上表現出這個想法。

我們首先審視我們的起點，定義設計的邊界——我們從什麼開始，什麼是設計的"外緣"。我們必須定義客戶需要的產品是什麼。

我們看到了設計如何從修訂版1到修訂版X，其中X是提供我們認為是客戶需要的設計。

最後，我們查看了如何在設計中所需的單個物件如何以最佳方式放置以解決客戶需求。需要考慮權衡，我們必須意識到我們如何在這些權衡之間確定最佳選擇。