

# 制定資料中心功率密度 規範的指導原則

## 第 120 號白皮書

版本 1

作者 Neil Rasmussen

### > 摘要

制定資料中心功率密度規範的傳統方法不僅含糊不清，而且容易誤導用戶。使用  $W/ft^2$  或  $W/m^2$  來描述資料中心的功率密度不足以確定資料中心的供電或製冷能力是否滿足高密度計算負載（例如，刀片式伺服器）的要求。在以前，沒有一種明確而標準的方法可用來指定資料中心在高密度負載條件下實現可預期的行為。一個適當的資料中心功率密度規範應該能夠確保資料中心符合預期的高密度負載的要求，能夠為設計、安裝供電和製冷設備提供明確的指示，能夠防止過度規劃，並能夠使用電效率最大化。本白皮書就制定資料中心供電和製冷基礎設施規範的改進方法在科研領域和實際生產中的應用進行了說明。

### 目錄

簡介	2
各種密度規範的制定方法	2
部署策略	7
模型	10
結論	15
資源	16
附錄	17

## 簡介

為資料中心和伺服器機房制定工作功率密度規範是 IT 人員正在面臨的巨大挑戰。如果對資料中心採用傳統密度規範 430 - 861 W/m<sup>2</sup> (40-80 W/ft<sup>2</sup>)，則會導致無法可靠地部署最新一代的 IT 設備。如果對資料中心採用最新一代高密度 IT 設備的 6458 - 10764 W/m<sup>2</sup> (600-1000 W/ft<sup>2</sup>) 工作功率密度規範，則會導致資料中心的供電和製冷技術極限受到嚴峻挑戰，此外還會導致極高的成本和較低用電效率。

由於在設計資料中心時必須要確保其能夠渡過若干個 IT 更新週期，但又無法預知未來要安裝的 IT 設備的特性，因此密度規劃問題就變得更加嚴峻。

制定資料中心密度規範的傳統方法是採用 W/m<sup>2</sup> 指標，這對於回答當前資料中心操作員所面臨的關鍵問題沒有任何指導意義。特別是，傳統的功率密度規範不能回答以下關鍵問題：“當機架部署超出功率密度規範時會發生什麼情況？”這是一個非常實際的問題，因為當前典型資料中心的功率密度為每機架 1.5 kW，而典型 IT 設備卻具有每機架 3-20 kW 的更大功率密度。

因此，需要採用新的、更完善的方法來制定資料中心功率密度。改進的方法必須能夠滿足以下要求：

- 確保資料中心符合高密度 IT 設備的需求
- 避免電力、空間或資金的浪費
- 能夠提供一種方法，用於根據設計的製冷和供電能力檢驗 IT 部署規劃是否適當

資源連結  
第 46 號白皮書  
超高密度機櫃和刀片伺服器的冷卻策略

本白皮書著重闡述了制定功率密度規範的改進方法。有關如何構建資料中心以便為高密度應用實施供電、製冷和管理的問題，在其他一些白皮書中進行了闡述，其中包括第 46 號白皮書《超高密度機櫃和刀片伺服器的冷卻策略》。

## 各種密度規範的制定方法

由於功率密度在文獻中沒有統一的定義，這導致在用戶群中產生了很大的混亂。為了更好地理解這些定義，請以下面表 1 假設的 500 kW 資料中心為例：

表 1  
假設的 500 kW 資料中心

500 kW 資料中心的參數	英制	公制
IT 設備消耗的總功率	500,000 W	
IT 設備佔用的總面積	2,800 ft <sup>2</sup>	260 m <sup>2</sup>
用於安放製冷設備、開關設備等的面積	1,400 ft <sup>2</sup>	130 m <sup>2</sup>
資料中心的總佔地面積	4,200 ft <sup>2</sup>	390 m <sup>2</sup>
每個 IT 機架的佔地面積	6.7 ft <sup>2</sup>	0.622 m <sup>2</sup>
機架的數量	100	

表 2

應用到同一資料中心時不同的資料中心  
功率密度定義產生不同的數值

密度定義	計算方法	密度	說明
IT 設備的功耗除以所有 IT 設備機櫃的占地面積	$500,000 \text{ W} / (6.7 \text{ ft}^2 \times 100 \text{ 機架})$ $500,000 \text{ W} / (0.622 \text{ m}^2 \times 100 \text{ 機架})$	746 W / ft <sup>2</sup> 8039 W / m <sup>2</sup>	此方法只包含機架的占地面積，沒有包含機架周圍供人員活動的面積以及其他網路關鍵物理基礎設施所佔用的面積。用此方法計算出的密度值大大高於其他方法算出的值。設備製造商通常使用此方法。
IT 設備的功耗除以資料中心的總占地面積	$500,000 \text{ W} / 2,800 \text{ ft}^2$ $500,000 \text{ W} / 260 \text{ m}^2$	119 W / ft <sup>2</sup> 1282 W / m <sup>2</sup>	這是文獻中最常使用的定義。通常使用每機架 2.6 m <sup>2</sup> (28 ft <sup>2</sup> ) 的面積值。這是確定供電和製冷分佈要求的有效方法。IT 人員通常使用此方法。
IT 設備的功耗除以所有 IT 設備機櫃及其四周間隙佔用的面積	$500,000 \text{ W} / 4,200 \text{ ft}^2$ $500,000 \text{ W} / 390 \text{ m}^2$	179 W / ft <sup>2</sup> 1923 W / m <sup>2</sup>	資料中心的總占地面積包括 IT 設備的面積和供電、製冷設備室的面積。此方法對於規劃使用空間非常有價值，因為它包含了隔間面積。在高密度安裝中，隔間會佔用很大的面積。建築設計人員通常使用此方法。
IT 設備、供電設備和製冷設備的總功耗除以資料中心的總占地面積	$(500,000 \text{ W} + 295,000 \text{ W}) / 4,200 \text{ ft}^2$ $(500,000 \text{ W} + 295,000 \text{ W}) / 390 \text{ m}^2$	189 W / ft <sup>2</sup> 2038 W / m <sup>2</sup>	此定義通常用於設備和公共設施的規劃，因為它使用了資料中心的總占地面積和總電源消耗。假定製冷設備耗用 265 kW，其中包含供電系統的 30 kW 無效耗電量和其他無效耗電量
機架的功耗	$500,000 \text{ W} / 100 \text{ 機架}$	5 kW / 機架	此方法按每個機架計算，因此消除了定義功率密度時的許多變化因素。

表 2 中列出的所有密度定義在已發表的文獻和規範中都有使用。如果沒有對面積和功率所涵蓋範圍的明確解釋，就使得這四種採用 W/ft<sup>2</sup> 或 W/m<sup>2</sup> 指標的定義存在明顯的差別。但是，已公佈的密度值通常遺漏了這些資訊。這在業內引起了很大的混亂，並導致 IT 人員和設施的設計、規劃人員之間常常出現誤解。表 2 中的資料清晰地顯示出由於採用了不同的密度定義，同一設施的密度規範變化了幾乎 8 倍。

最清晰的密度定義是“每機架”功耗。該定義為機架的供電和製冷要求（對 IT 設備來說，以瓦特表示的機架功耗等同於以瓦特表示的製冷要求）提供了明確的指導。本白皮書還指出了“每機架”功耗定義在制定資料中心密度規範時的另一個主要優點，也就是它是制定資料中心中密度變化規範的最有效方法。

在實際的資料中心中，功率密度並不完全一致。有些機架消耗較多的電力，因此會比其他機架產生更多的熱量。配線板機架可能不消耗任何電力。刀鋒式伺服器可能消耗 20

kW 或更多的電力。由於 IT 設備總是在不斷更新，這意味著特定機架的功耗有可能隨時發生變化，這使問題變得更加複雜。傳統的密度規範並沒有完全考慮到這些功率變化，因此隨著時間的推移這些規範會漸漸失效。

#### 傳統密度規範方法的限制

下面的兩個示例說明了傳統密度規範的一些嚴重限制：

在第一個示例中，假定資料中心的密度規範為 538 W/m<sup>2</sup> (50 W/ft<sup>2</sup>)。如果採用“總 IT 負載 / 總 IT 機架面積 + 四周間隙面積”的密度定義，該值相當於每機架 1400 W (538 W/m<sup>2</sup> × 2.6 m<sup>2</sup> / 機架數)。資料中心設計為可提供每機架 1400 W 的最大供電能力和 1400 W 的製冷能力，即可滿足此要求。有很多種 IT 設備（如，刀鋒式伺服器）的功率密度超過了每主機架（排）1400 W。這些種類的設備都不能部署在具有每機架 1400 W 嚴格限制的資料中心中。這會導致資料中心與很多種 IT 設備不相容。此外，由於所有機架都有 1400 W 的供電和製冷限制，如果機架中安放的是配線板等低功率負載，其中未使用的電力也不能被其他機架中的設備所利用。最終的結果是產生了一個低效率的資料中心 — 不僅與很多 IT 設備不相容，而且無法有效地利用可用的機架空間、供電或和冷能力。

在第二個示例中，資料中心的功率密度規範因機架而異。對於每個機架位置，都會規定具體的功率和製冷指標。可以實施設計方案以滿足此規範，並且資料中心的各項指標可提前預知。這是一個理想的解決方案，但是幾乎沒有任何一個實際的資料中心可以提前提供準確的機架級功率規範。在實際的資料中心中，機架級負載在安裝階段無法預知。如果實際 IT 部署密度與原始機架級規範不一致，就會產生嚴重後果，其中包括由於所有機架都有供電和製冷限制，當部署了低於機架功率規範的 IT 負載時，該負載未使用的電力也不能被其他機架中的設備所使用。最終的結果是產生了一個低效率的資料中心 — 它要求提供有關未來 IT 部署的資訊，而此類資訊通常無法獲得。

這兩個示例都採用了制定資料中心密度規範的常用方法。無論是房間級的總規範還是因機架而異的準確規範，在實際實施過程中都存在嚴重的限制，因此無法達到客戶的預期要求。制定規範的改進方法必須能夠保持靈活性和與 IT 負載的相容性，與此同時能夠確保供電效率最大化並充分利用所提供的供電能力、製冷能力和空間。

#### 密度規範要求

在前面的論述中，對密度規範的改進方法提出了幾點要求，其中包括：

- **可預知性：**密度規範必須能夠為任何計畫安裝或實際安裝的 IT 設備確定任何機架位置上的供電和製冷能力。
- **能夠接受部分指定的未來要求：**密度規範不能要求必須預知每個機架位置的準確功率需求。實際上，IT 設備的使用週期遠遠小於資料中心的使用壽命，並且它們經常被新的、不同的設備所取代。
- **能夠支援供電和製冷能力的借用：**特定機架的可用功率和製冷能力的未利用部分，應該能夠被其他機架所利用。
- **儘量減少浪費：**應當能夠儘量減少無效耗電量。充分利用可用的供電、製冷能力和空間。儘量減少投資和運行成本。

- **支援分階段部署：**密度規範必須能夠支援分階段部署，包括不同階段有不同的密度的情況，以及在早期部署時對未來部署階段的資料無法獲知的情況。

儘管上述的某些要求有相互衝突的地方，它們仍可作為建立資料中心功率密度規範的改進方法的基礎。

#### 實際約束條件和其他選擇方案

任何制定功率密度規範的切實可行的方法必須考慮資料中心設計中所包含的實際約束條件和其他選擇方案。下面對其中一些約束條件和其他選擇方案以及其對密度規範的影響進行了論述：

- **配電增加：**配電的成本和複雜性並不與功率線性相關。例如，18 kW 三相電源的成本並不一定是 6 kW 單相電源成本的三倍。透過將電路斷路器與插座相匹配以及透過電路斷路器的故障協調功能，AC 配電獲得了很多功率優化能力。這些問題以及有關優化的配電電路方面的問題在 第 29 號白皮書《高密度的機架供電可選方案》中進行了闡述。在制定與配電有關的規範時，必須著重考慮這些優化電路的大小，這些大小因所在位置而異。
- **空氣分配限制：**資料中心中的空氣分配是限制機架功率密度的主要因素。IT 設備要求空氣流量在每千瓦 100 到 160 cfm (47.2 - 75.5 L/s) 之間。很多資料中心因為本來就有高架地板或者因為天花板高度的緣故使高架地板的高度受到限制。如果高架地板是空氣分配系統的一部分，那麼可按照預期要求在地板之下透過的空氣量會受到實際限制，進而限制了可達到的平均及峰值機架功率密度。對於許多現有的設施，實際平均功率密度會限制在每機架 5 kW 左右。要超出此密度限制，就必須安裝額外的補充空調和/或分配設備。由此得出的結論是成本增加的速度可能高於關鍵功率密度增加的速度。適當的密度規範應該能夠預見到此問題並在問題實際發生之前加以解決。
- **承重：**有些設施，特別是原來就安裝了高架地板的設施，具有地板承載限制。具有極高功率密度的 IT 設備通常也會產生較大的機架重量。某些時候，這是對高密度部署能力的非常實際的限制。由此得出的結論是在制定密度規範時應該考慮是否會超出相應的設施地板承載限制，以避免所指定的功率密度毫無意義。
- **預留的地板空間：**很多資料中心為功率密度以外的其他目的預留了一些地板區域。例如，磁帶存儲區、操作員工作區或特殊訪問區。由此得出的結論是在密度規範的模型中必須保留這些區域，不能將其用作與實施高功率密度供電或製冷有關的目的。
- **具有分散負載的能力：**由於光纜的廣泛應用，對大多數 IT 設備而言，在資料中心中分散 IT 設備實體是一個切實可行的選擇。在很多情況下，不需要也沒有必要以可達到的最高密度來部署設備。諸如刀鋒式伺服器和 1U 伺服器等高密度設備可以很容易地分散到多個機架，以降低密度。儘管在機架中填滿刀鋒式伺服器或 1U 伺服器似乎是優化了空間利用率，但在很多情況下這只是一種錯覺。此外，為使機架達到高密度供電和製冷要求而付出的成本通常遠遠大於使用額外的機架所花費的成本。其結論是建立密度模型時不應該盲目地根據設備能力來指定密度值，而是應該考慮分散負載的可能性，以便優化整個系統的成本和可用性。

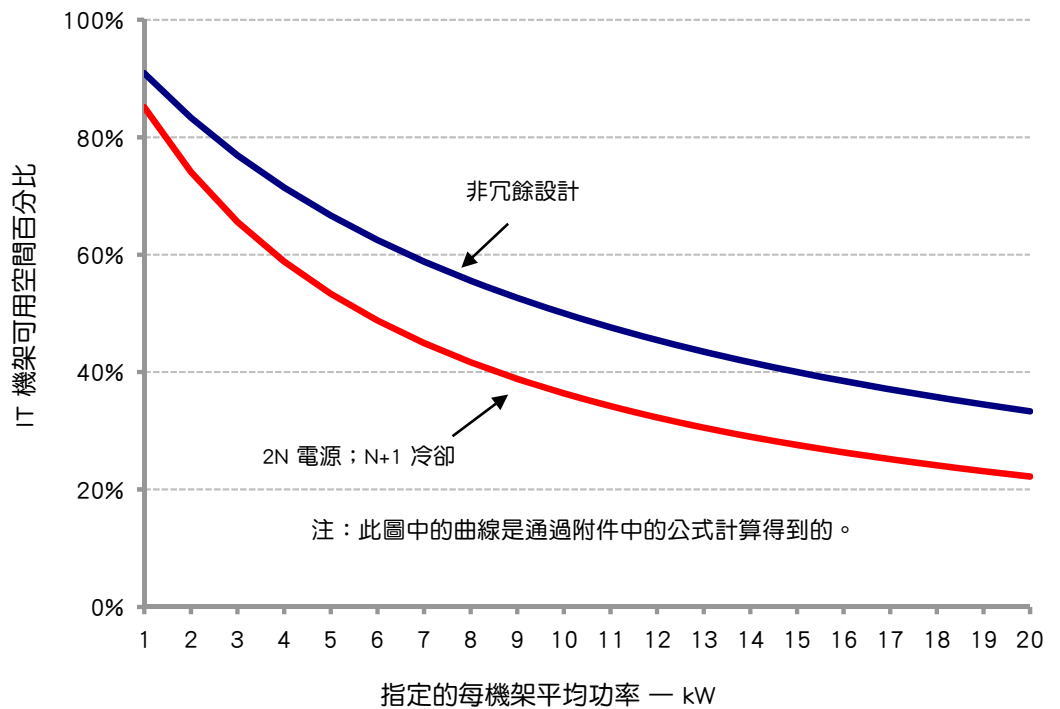
- **特定場所的實際空間限制：**特定場所的實際物理空間限制極大地影響了高密度的總體價值。對於許多具有低密度設計的現有設施，高密度部署的確緩解了空間緊張的壓力。但是，壓縮 IT 空間所帶來的好處並不是很大。另一方面，有些設施由於地板面積極其昂貴或根本無法獲得，因此在物理面積方面受到很大約束。由此得到的結論是在制定密度規範時必須考慮到地價和所有空間方面的硬性限制。

供電和製冷基礎設施導致的空間損失

供電和製冷基礎設施佔用了原本可被 IT 設備所利用的空間。有些時候，會將供電和製冷設備從 IT 設備所在的區域中移出並安放到鄰近的房間。但是，無論如何這些設備還是佔用了空間，因此必須算在可實現密度的有效損失中。供電和製冷基礎設施佔用的空間可以用等同的機架數量來表示，並且此空間會隨著供電和製冷能力需求的增加而增加。

圖 1 顯示了這種影響的效果。

圖 1  
平均機架密度規範  
對 IT 機架可用空間  
百分比的影響



注：推導出圖中曲線的原始公式見附錄

此圖清晰地顯示了 IT 設備可使用的空間隨著所指定的 IT 設備每機架平均功率（功率密度）的增加而減少。水準軸是所指定的室內每機架的平均功率。垂直軸顯示了可用機架位置占室內面積的百分比，室內面積由於供電和製冷基礎設施（包括 UPS、配電單元和機房空調）而受到損失。圖 1 下部的曲線適用於具有雙路 (2N) 電源和冗餘 (N+1) 機房空調的系統。這是高密度應用的典型設計方案。注意，對於目前使用中的每機架 1.5 kW 的典型資料中心，大約損失了 15% 的地板面積。但是，隨著指定密度的增加，空間損失也大幅度增加。當指定的每機架平均功率超過 7kW 時，50% 以上的空間被供電和製冷設備所佔用，而無法用於安放 IT 機架。如果實際密度遠低於指定密度，則這種空間損失無關緊要。儘管如此，供電和製冷設施還是佔用了空間。由此可以得出高密度設計方案

的一項指導原則：**為資料中心指定高於實際需要的高密度將會不必要地減少 IT 設備的可用空間**。除了導致成本和運行費用增加之外，這是另一個嚴重的問題。因此，有效地規劃密度並且只在需要時才部署高密度供電和製冷系統這兩點是至關重要的。

#### 將空間細分為不同密度區域

前文所述的要求明確提出了為資料中心不同區域指定不同的功率密度的能力要求。這樣才能實現允許各階段有不同密度的分階段部署。另一種方法是按照可預期的未來最大負載來制定整個資料中心的規範。這種方法是不切合實際的，因為它可能會導致投資成本和運行成本不必要地增加 3 到 8 倍，並且嚴重降低用電效率。

即使只有單一階段的部署，將資料中心劃分為不同的密度區域也有很多好處。例如，刀鋒式伺服器 and 記憶體之間有很大的密度差異，將它們分別安置到具有不同密度規範的規劃區域，儘管資料中心的總功率負載並沒有改變，但仍可以帶來很大好處。如果服務器和記憶體的機架位置是隨機且不可預知的，則在規劃供電和製冷分配系統時必須確保能夠在任何位置提供最大密度。但是，如果事先為存儲系統確定了較低密度區域，那麼在該區域就可以降低供電和製冷分配系統的容量。從而降低了投資和運行成本並同時提高了用電效率。

可以透過在平面規劃圖上將機架分配到不同區域來定義資料中心中的不同密度區域。但是，建議您最好不要隨意劃分區域，而總是以行為單位進行劃分，每一行由一組不同規格並排安置的機架組成。選擇行作為定義功率密度區域時的首選單位有以下幾點原因：

- 很多機架配電架構都是以行為基礎的
- 很多機架製冷架構都是以行為基礎的

這表明，在定義功率密度要求和所需的部署遞增量時，行將是首選的、最經濟的劃分級別。因此，本白皮書的後面部分將著重講述如何以行為級別定義密度變化。

## 部署策略

在定義密度規範要求時，必須充分考慮到隨時間變化的 IT 負載以及分階段部署。必須就供電和製冷基礎設施隨時間的變化作出一些假設。

那種認為現有配電和空氣分配系統將隨著 IT 負載的變化而改變的想法是不切實際的。修改這些系統（例如修改使用中的電路或水管）可能需要一組機架甚至整個資料中心的停機，或產生這樣的風險。很多資料表明人為錯誤是造成資料中心停機的主要原因，而對運行中的設備進行修改是造成停機的主要因素。**因此，最好的方法是按照行或區域安裝供電和製冷分配設備，在該行或區域的工作生命週期內不再對其進行變更或重新配置。**

在具體實施此最佳方法時，應採用如下所述的部署策略：

- 採用標準過道間隔在平面圖上安排機架/機櫃行列
- 確定行的設計密度規範，然後構建可支援該密度規範的完整行。

- 如果要部署的設備符合現有行的設計規範技術參數要求，而且該行有空餘位置，則可將設備部署到該行。
- 如果要部署的設備與有空餘位置的行的密度有顯著不同，**不要為了將設備部署到該行而修改供電或製冷系統**，而是應該建立新的一行以滿足更高密度的要求。
- 隨著時間的推移，應該將很少使用的機架行徹底拆除並按照符合當前需求的不同密度規範來重新建立。

由於此策略可將與修改資料中心使用中的機架行有關的人為錯誤降到最低，因此我們強烈推薦您採用此策略。此行之有效的策略的確為密度規範設立了一條限制，即機架行系統的供電和製冷分配在安裝後就不能改變。

注意，市場上有一些供電和製冷分配產品允許重新配置供電和製冷架構而不會造成停機的風險。例如，施耐德電機旗下 APC 的 InfraStruXure™ 英飛系統可以：

- 透過添加可熱插拔的模組來改變 UPS 功率輸出
- 透過添加可熱插拔的機架配電單元來改變機架中的插座類型和容量
- 透過插入式架裝設備來增加補充冷卻氣流的容量

此類設備提供了一些附加的靈活性，允許在安裝之後進行修改，因此特別適用於不適合進行分階段、分行部署的小型設施。

#### 行或區域內的峰值密度和均值密度

儘管，如果每個機架具有絕對相同的負載功率可以簡化密度規範，但是先前的討論顯示，這是一個不可能實現的目標，因為在實際安裝中幾乎不可能做到這一點。事實上，機架密度的範圍可能在零（配線架）到 30 kW（高密度刀鋒式伺服器）之間變化。這種變化對有效的密度規範的特性產生了巨大影響。

由不同功率的機架組成的特定機架行或區域中，平均機架功率將低於最高機架功率值。因此，行內的機架功率峰值/均值比**實際上**往往比一大或等於一。非常有益的做法是考慮多種替換方法來指定機架行的功率密度設計，以便在行內支援具有不同機架功耗的一組機架。

**將行內所有機架的功率都設計為峰值。**指定行密度的一個方法為，指定行中的任何機架或所有機架的功率和製冷密度容量為機架功率的最大預期峰值。在這種情況下，總製冷容量和功率容量必須按照所有機架都可以達到最大功耗的假設情況來確定其規範。這必然會導致實際功率和製冷容量規模過大，因而導致資金和操作成本的增加，同時降低了電氣效率。如果每機架功耗的峰值/均值比等於一，則上述這些不利之處都可以避免；但是，如果行內的每機架功耗峰值/均值比為 1.5 或更高，則上述問題都會出現，另外，這個規範最糟糕的情況就是沒有考慮到可降低每機架功耗的峰值/均值比的情況，即最大值功率機架產生的負載可能呈分散分佈。一般來說，在機架峰值功率最差的情況下指定整體行密度並不是最優選擇，除非每個機架的功率峰值/均值比非常接近 1，但是在一般安裝中，出現這種情況的幾率非常低。



**將行內所有機架的功率設計為平均值。**指定行密度的另一個方法為，指定所有機架的功率為平均功率密度。和前一個方法一樣，這個簡單的方法並不令人滿意，但導致不滿的原因卻不盡相同。這個方法要求在任何機架負載可能超過均值時，減少設備直到機架的負載等於或小於均值。此外，這個方法還存在實施上的限制，實際密度低於指定設計密度的機架所產生的未使用的功率和製冷容量並不能給其他機架產生額外的功率和製冷容量。這是因為行的設計僅僅是為了讓每個機架的功率和製冷最大能達到平均值。考慮下列情況：某個 IT 操作人員想要在設計容量為每機架 2 kW 的行中部署一個 4 kW 的刀鋒式主機殼。有人可能會認為從未使用的機架中引接一個 2 kW 的電源插座（如果可行）至刀鋒式主機殼是一個可行的辦法。但是，為這 4 kW 的負載製冷卻成為一個問題，因為製冷系統的設計容量在 2 kW 以下。另外，由於其中一個機架的電源被其他機架佔用，因此這個機架也不再可用。

比較上述兩種情況的要求，我們可以得知，有效密度規範的一個重要因素為**應當指定行內的機架功率峰值/均值比，並且該比值應當大於 1**。如何選擇適當的機架功率峰值/均值比取決於實際機架的預期變化。圖 2 中顯示了典型資料中心設計的限制和假設這二者的關係：

圖 2  
對於不同的機架間實際密度的變化，機架密度的峰值/均值比對電源和製冷設備的擁有權總成本產生的影響

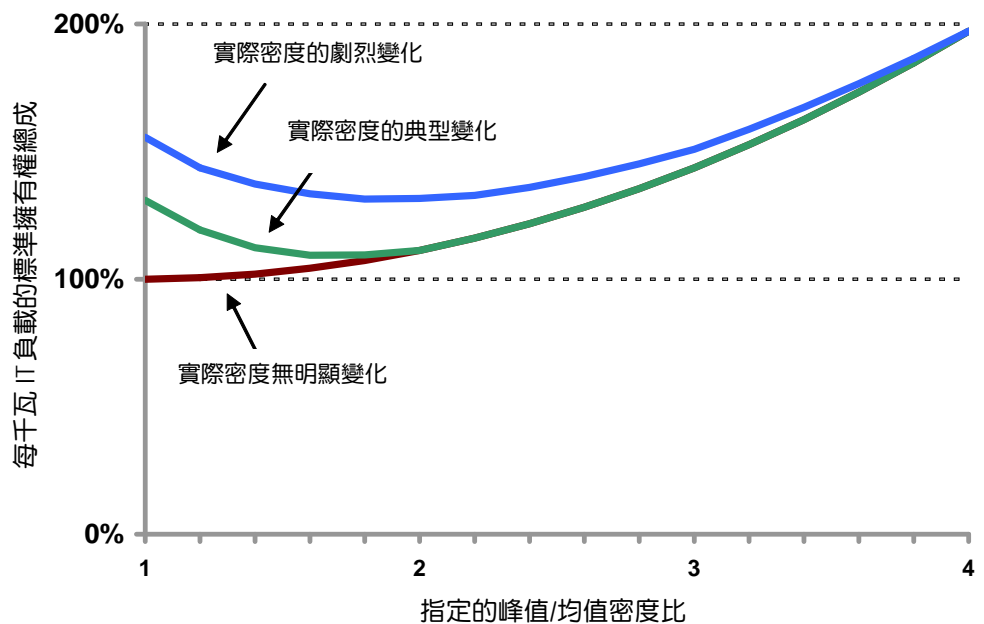


圖 2 顯示已安裝的 IT 設備中，在三種不同的實際機架功率變化的情況下，機架密度規範的峰值/均值比是如何影響電源和製冷基礎設施的標準擁有權總成本 (TCO) 支出的<sup>1</sup>。資料顯示，在所有機架具有相同功耗的情況下，機架密度峰值/均值比等於 1 時，TCO

<sup>1</sup> TCO 支出包括電源和製冷設備的資金支出及其 10 年的維修、占地空間及電費支出。根據設計和局部利用情況，每機架的擁有權總成本在 \$50000 - \$90000 美元之間。請注意，UPS 和冷卻器的費用不受峰值/均值比影響，TCO 的變化主要受電源和製冷分配系統的費用的影響。

為最佳（最低）。這種效應的解釋可歸因於指定額外的峰值功率密度容量會增加功率和製冷分配的支出，但在所有機架都具有相同功耗時不會導致擁有權總成本增加。但是，

如果實際安裝的機架功率不同，峰值/均值比沒有增加時，則會增加擁有權總成本。這是因為存在無法使用的功率和製冷容量，同時，指定的 IT 設備需要增加地板空間，二者共同產生了這種效應。結果是，機架密度的峰值/均值比大於 1，在實際安裝中可獲得最佳的 TCO。

這就引出了有效制定資料中心密度規範的另一個重要因素：**在典型的設計中，行內的機架功率密度峰值/均值比應當大約為 2，如果行內的預期實際機架功率密度峰值/均值比大於 2，建議在機架間分散最大密度的 IT 負載來限制峰值/均值比，或將無關的負載重新分配到其他行。**

#### 基於規則的密度規範

如果某行或某區域中的均值和峰值機架功率密度設計已經指定為經預見可實施的規範，則該規範可行。如果峰值機架功率接近平均值，則可直接實施。但是，如果行內的機架峰值/均值比接近 1.5 或更大，則實施該設計的挑戰和成本都將增加。確保只要不超過平均功率值，任何機架都可以在峰值功率的水準上操作，在使用高架地板送風系統的安裝中，這樣造成的問題可能會成為非常嚴重的限制。如果在密度規範中允許使用基於規則的密度部署，可獲得的整體均值和峰值功率密度都可以提高。

要理解基於規則的規範所解決的問題，請考慮將機架功率密度的峰值/均值比設定為建議的 值 2 時，在現有高架地板製冷系統中安裝機架的情況。從電源系統這方面來看，在最大機架密度下，每個機架都必須擁有一定的功率配額，而機架則透過 PDU 或 UPS 來供電，其額定值為平均機架密度乘以 IT 機架的個數。這個方案實施起來非常簡單。但是，從冷卻角度看，每個機架並不具有定義良好的空氣分配系統，其額定值為平均機架密度的兩倍。要在密度超過均值時操作機架，必須從鄰接的低於均值密度的機架中借用未使用的容量。在使用具有有限通風容量的高架地板時，這就意味著在行內分散高密度機架會顯著降低製冷系統上的局部超負荷。如果規範具備建立行內高密度機架位置規則的能力，則可以在系統限制範圍內獲得較高的峰值和平均值密度。

具有簡單規則的示例為，機架僅可以超過均值額定功率的量為相鄰機架平均功耗低於均值的量。更複雜的規則可以用來最大化已知安裝中可預見的功率密度，並且這些規則可以在功率和製冷管理系統中實施。<sup>2</sup>

#### 針對未來的增長指定密度選擇

很多資料中心並不是一次完全建成，而是隨著時間的推移不斷擴充。在這些情況下，並不需要總是提前為尚未規劃的行或區域指定密度。任何指定資料中心密度的實際方法必

<sup>2</sup> 在管理系統中實施製冷密度規則屬於施耐德電機的未決專利。

須考慮未來的需求，因為密度需求難以預測，因此需要盡可能地保留將來密度的選擇。理想的做法是，將部署電源和製冷基礎設施的費用預算和相關事務盡可能延後進行。另外，資料中心以後的擴充並不會影響已經投入使用的 IT 設備的可用性。

常用的辦法為提前規劃電源和製冷基礎設施，以便支援預先定義的功率密度。這樣做好處是，預先安裝設備可確保在以後進行 IT 部署時，不需要在已運行的資料中心中再做主幹電源的部署。但是，這個方法還存在多個不利的影響，包括：

- 當以後的 IT 密度超過電源和製冷基礎設施的密度時，更改或進行重新部署是很困難的
- 當以後的 IT 密度低於電源和製冷基礎設施密度時，必然會造成主要基礎設施投資的浪費
- 基礎設施從來沒有擴充，或由於某些規定或其他商業問題而導致在另一個位置進行了擴充，因此造成主要基礎設施投資的浪費
- 近期內資料中心的負載遠遠低於電源和製冷基礎設施的額定容量，導致電氣效率的顯著降低和不必要的大量電費花費
- 提前安裝目前不需要的電源和製冷基礎設施，造成不必要的設備資金支出和維護合同成本

有效的密度指定模式可以透過將電源和製冷基礎設施定制為模組化的大小可調的設計和實施方法來避免以上這些問題。實施這種架構時要求預先安裝主供電配電線路，如行或區域範圍內使用的電源設備和製冷設備。昂貴的電源和製冷基礎設施的安裝則需要延後，如 UPS 系統、PDU、機架、行內的配電設備、空調及空氣分配設備。區域或行內支援的具體密度將在延期後具體部署時確定，並且電源和製冷基礎設施將按行部署或以行為基礎來部署。施耐德電機旗下 APC 的 InfraStruXure™ 英飛系統是此類結構的實際示例。

這個討論引出了建議密度規範方法的另一個主要因素：**需要在將來部署的資料中心行或區域進行規劃時，應充分考慮在最壞情況下的最大密度值，並要求主要的電線和管線應當預先安裝並支援此密度；但是對這些行的實際電源和製冷設備的選擇應當延後到確定了部署密度和規劃之後再進行。**這樣，電源和製冷設施的主要成本將控制在實際應用的合理範圍內，並且在需要的位置和時間進行部署。這樣就可以大大減少資金投入和操作成本，建造更具有能源效率的資料中心。

## 模型

現在可以建構一種功率密度規範模式來滿足前面所述的要求，並解決實際操作中的約束和限制問題。

該模式包含下列關鍵因素：

- 創建的資料中心物理佈局以成行的機架或機櫃為基礎
- 對於每一行，要求達到表 3 所示的資料

表 3

機架範圍內要求的資料

數據	單位	說明	主要用途
機架位置號	#	行內的機架位置號。包含所有位置，	用來確定行的總電源和製冷要求
行內的機架功率均值	kW / 機架	由指定行內的 IT 機架顯示的每機架功率密度均值。必須為機房內的每行都指定	用來確定整行的總電源和空氣分配要求
行內的機架功率峰值	kW / 機架	由指定行內的任一 IT 機架顯示的每機架功率密度峰值。必須為機房內的每行都指定	用來確定機架範圍的電源和冷卻分配系統的設計

- 對於要在以後部署的行，應當指定最有可能出現的平均和最高機架功率，在實際部署之前降低這些值只會對規模過大的主要電源佈線和管線系統產生非常小的影響
- 從上述資訊中，可以計算出表 4 所示的資料

表 4

計算得到的密度資料

數據	單位	說明	主要用途
可用的 IT 機架總數	#	設計的可用 IT 機架數，以及分配給電源或製冷基礎設施的所有機架位置最終數目	用來確定用於規劃目的的可用總電源和 IT 機架空間
總的最初功率要求	kW	IT 機房的功率和製冷要求，不包含以後的部署	用來確定當前電源和製冷基礎設施投資要求
總的最終功率要求	kW	在最後最壞的情況下，機房的電源和製冷要求。	用來確定電源設施的規模，包括電源開關、電線及製冷鉛管
峰值功率密度	kW / 機架	任何一行內的最高功率密度	用來建立製冷分配架構
資料中心平均功率密度	kW / 機架	資料中心的密度範圍	用於和其他常用單位進行換算，如 W/ft <sup>2</sup> 或 W/m <sup>2</sup> 。這種轉換根據在表 2 中選擇的定義而定

使用這個方法來定義密度的最複雜的問題就是機架位置的確定，這是部署電源和製冷基礎設施必須要解決的問題，如不確定則會產生 IT 設備無法使用的情况。1 個機架位置被

電源和製冷基礎設施所佔用，合理的密度估算參考值為每個 IT 負載 15 kW。根據從現有的 1N 和 2N 資料中心安裝中得到的經驗，這個參考值的得出包括了電源和製冷設備和相應的空間要求。精確值將取決於選擇的電源和製冷基礎設施、機房限制和系統供應商提供的指導原則。以施耐德電機旗下 APC 的 InfraStruXure™ 英飛資料中心系統為例，可以使用施耐德電機旗下 APC 提供的電腦輔助設計工具，對每個房間設計進行計算。

#### 使用操作指南

使用已說明的模式來指定密度規範並不能保證得到最佳的機房設計。用戶對機房佈局的選擇、對機房本身的設計以及使用者對密度要求的估計都可能影響最終安裝的效果。但是，使用這種模式可得到很多的好處，包括：

- 和其他一般用過的規範方法相比，它可提供更完全和更精確的資料中心密度說明
- 按照此規範建造資料中心具有更多可預見的性能
- 該模式非常具體，因而各種成本（包括資金投入和操作成本）都可以快速估算，進而可以加快設計週期並對替換情況進行分析
- 支援調整資料中心部署規模的模組化系統，由此可顯著提高電氣效率並降低 TCO。

對於所說明的密度規範方法的實際應用還包括：

- 比較替換資料中心地點或機房位置的 TCO
- 估算在規劃中或現有的資料中心中增加密度的成本
- 提供可讓 IT 用戶易於理解的可清楚確定密度預期要求的規範，以便 IT 使用者、資料中心操作員以及資料中心供應商可以確定相同的預期要求

在電腦輔助資料中心設計工具中實施密度規範方法可以加速自動化規範和設計的流程。

#### 資料中心規範示例

下面以示例說明如何使用規範模式來設計實際的資料中心。在這個示例中，首先必須提供一個機房，必須在機房中確定所有 UPS、配電和冷卻系統的位元，由於淨空限制，沒有高架地板。將要部署的各種網路設備包括刀鋒式伺服器、機架安裝式伺服器、存放裝置和網路設備。將刀鋒式伺服器放置在一起，不要分散擺放。根據估算，當前的要求是填滿機房空間的一半。機房保留的剩餘空間的部署密度將超過目前部署密度的 20%，其容量至少可以支援 3 個刀鋒式伺服器機架，據估測每個機架的功率為 25 kW。可用性要求主要針對非冗餘電源和製冷系統。

圖 3 顯示機房的大致輪廓，其中包含建議的機架佈局，整個機房共有 41 個機架位置。根據說明，第 1、2 和 3 行將會立即完成部署，而第 4、5、6 和 7 行將在以後進行部署。對目前規劃的部署進行審視可以指定行中諸如電力設備等的位置以減少行內的峰值/均值比，並分配位置以便按照要求在第 2 行將刀鋒式伺服器擺放在一起。第 1、2、3 行機架範圍的規範已經寫入表 5。

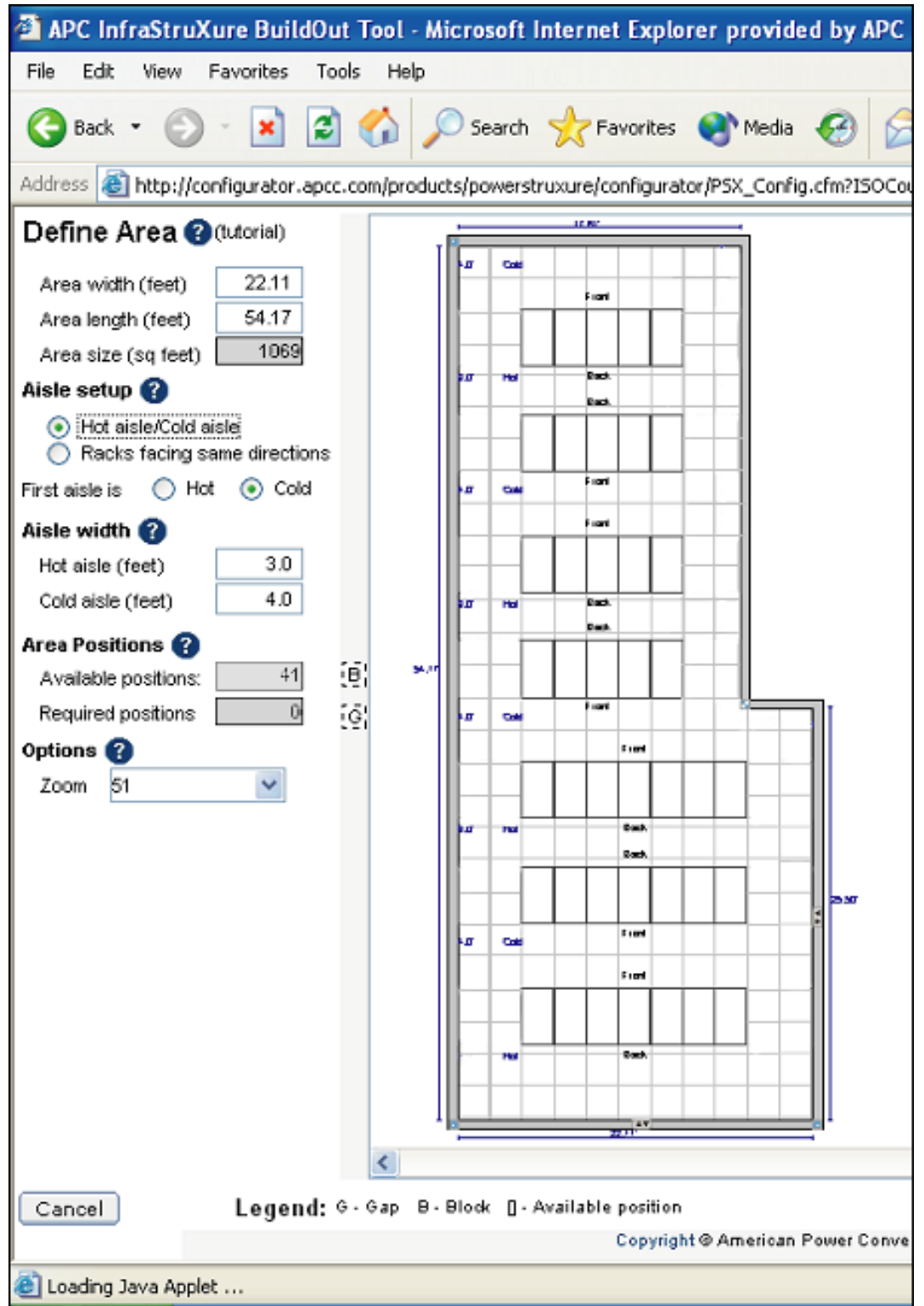


圖 3

建議的資料中心平面圖佈局，含建議的機架佈局（APC InfraStruXure Build-Out Tool 軟體中的圖像）

表 5

建議的資料中心行密度資料

數據	單位	行 1	行 2	行 3	行 4	行 5	行 6	行 7	整體
機架位置號	#	7	7	7	5	5	5	5	41
行內的機架均值	kW / 機架	2	5	3	4	4	4	4	3.7
行內的機架峰值	kW / 機架	4	15	6	15	15	15	15	15

從這些資訊可以計算出第一次部署的平均密度為，每機架  $(2 \times 7 + 5 \times 7 + 3 \times 7) / 21 = 3.3$  kW。如果其他行的規劃密度超出 20%（尚未指定這些行的詳細部署），則可計算出整體資料中心平均密度為，每機架  $(2 \times 7 + 5 \times 7 + 3 \times 7 + 4 \times 5 + 4 \times 5 + 4 \times 5 + 4 \times 5) / 41 = 3.7$  kW。給以後未定的行指定較高的峰值密度 15 kW，將在以後對這些行進行設計和變更時享受極大的靈活性。表 5 說明第 4、5、6 和 7 行的未來規範。在以後的行中應用較高峰值的唯一結果是限制主要製冷和電源設備的規模。

使用圖 1 對電源和製冷設備最後佔用空間的首次估算為，機架密度為 3.7 kW 時保留 30%，相當於 13 個機架（ $30\% \times 41$  機架）。從這一點來看，根據密度規範，最終可用的 IT 機架為 70%，即 28 個機架。

建議的伺服器的密度規範在表 5 中表述，表 6 顯示了計算值。

表 6

建議的資料中心機房範圍計算值

數據	值	單位	備註
可用的 IT 機架總數	28	#	資料中心中的某些空間被電源和製冷設備佔用
最初的總功率要求	47	kW	最初必須安裝至少 47 kW 的電源和製冷設備。使用圖 1，根據行 1、2 和 3 的密度，可用 IT 機架空間的數目分別為 6、4 和 5（ $6 \times 2$ kW/機架 + $4 \times 5$ kW / 機架 + $5 \times 3$ kW / 機架 = 47 kW）
最終的總功率要求	104	kW	剩餘的電源和製冷設備有 60 kW 之多，延遲到剩餘的行確定之後安裝（ $28$ IT 機架 $\times 3.7$ kW / 機架 = 104 kW）
峰值功率密度	15	kW / 機架	在這麼高的密度下進行製冷會縮小可選擇的範圍並增加成本。在實施此密度的設計之前，應當考慮進行進一步分散峰值負載的嘗試
資料中心平均功率密度	3.7	kW / 機架	指定的此資料中心的功率密度為目前資料中心平均密度的兩倍多。比資料中心當前的密度小 2%

接下來的步驟是根據設備和系統設計的性質，建立電源和製冷設備的實際位置。這個過程由具體設備的複雜演算法模式、優化規則和客戶的偏好習慣而定。針對不同的電源和製冷設備供應商，這個過程也各不相同，因此這裡不再詳述。理想狀況下，在最初的部署中，只設計必需的電源和製冷設備，但在實際安裝中卻需要包含和實施在將來規劃的電源和製冷設備，以部分滿足指定的將來部署規劃。例如，在部署的第一階段確保主要電源佈線和冷卻管線已預裝在將來的機架中。請注意，儘管目前為以後的行指定了機架密度的平均值和峰值，但是這些值可以在將來實際進行部署之前隨時更改，只要整個區域的總功率不超過目前規劃的值。

## 結論

傳統的說明資料中心密度的方法可歸結為一種粗放、不完整和不明確的方法。這些傳統的方法無法提供規劃指導來確保能夠預見資料中心將來在最新一代的高功率密度 IT 設備下的電源和製冷性能。

本文概述了密度規範的要求，並介紹了制定密度規範的一種新方法。該方法提供了可實施的規範，可讓 IT 員工和設備設計者之間明確交流各種要求，並加速了可預見成本上效益和電氣結構上的益處的資料中心的創建。



### 關於作者

**Neil Rasmussen** 是施耐德電機旗下 IT 事業部—APC 的高級創新副總裁。他負責為全球最大的用於關鍵網路設備（電源、製冷和機櫃等基礎設施）科技方面的研發預算提供決策指導。

Neil 擁有與高密度資料中心電源和製冷基礎設施相關的 19 項專利，並且出版了電源和製冷系統方面的 50 多份白皮書，其中大多白皮書均以十幾種語言印刷出版。近期出版的白皮書所關注的重點是如何提高能效。他是全球高效資料中心領域聞名遐邇的專家。Neil 目前正投身於推動高效、高密度、可擴展資料中心解決方案專項領域的發展，同時還擔任 APC 英飛系統的首席設計師。

1981 年創建 APC 前，Neil 在麻省理工學院獲得學士和碩士學位，並完成關於 200MW 電源托克馬克聚變反應堆的論文。1979 年至 1981 年，他任職於麻省理工學院林肯實驗室，從事飛輪能量儲備系統和太陽能電力系統方面的研究。





點擊圖示打開相應  
參考資源連結



超高密度機櫃和刀鋒伺服器  
的冷卻策略

第 46 號白皮書



高密度的機架供電可選方案

第 29 號白皮書



流覽所有 白皮書

[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)



流覽所有 TradeOff Tools™ 權衡工具

[tools.apc.com](http://tools.apc.com)



## 聯絡我們

關於本白皮書內容的回饋和建議請聯絡：

資料中心科研中心  
[DCSC@Schneider-Electric.com](mailto:DCSC@Schneider-Electric.com)

如果您是我們的客戶並對資料中心專案有任何疑問：

請與所在地區的 施耐德電機 銷售代表聯絡，或登錄：  
[www.apc.com/support/contact/index.cfm](http://www.apc.com/support/contact/index.cfm)

## 附錄

決定資料中心機架空間中最終可用的電源和製冷設備所占的比例

圖 1 所示的圖像目的在於在負載功率和電源/冷卻設備容量之間建立一種平衡，其中

$P_I$  = IT 設備電源

$P_N$  = 電源和製冷設備容量

$D_I$  = kW/機架位置的 IT 設備密度

$D_N$  = kW/機架位置的電源/製冷設備密度

$R_N$  = 電源和製冷設備佔用的機架位置編號

$R_I$  = IT 設備佔用的機架位置編號

$R_T$  = 空間內的總機架位置編號

$$P_N = P_I$$

$$R_N D_N = R_I D_I$$

$$R_N = \frac{R_I D_I}{D_N}$$

但是,  $R_N = R_T - R_I$

因此,  $R_T - R_I = \frac{R_I D_I}{D_N}$        $R_T = R_I \left( 1 + \frac{D_I}{D_N} \right)$

$$\frac{R_I}{R_T} = \frac{1}{\left( 1 + \frac{D_I}{D_N} \right)}$$

這個最終公式產生了圖 1 所示的函數。DN 的值取決於實際使用的具體電源和製冷設備以及冗餘配置。