

單位緊密相關的是參考流，它具體描述了為實現該功能單位所需提供的產品、材料或能源的數量。

在確立功能單位後，必須劃定系統邊界，即決定哪些單元過程應納入研究範圍，哪些可以合理排除。系統邊界決定了研究的完整性，通常遵循「搖籃到墳墓」的思維，涵蓋從原材料開採、製造、運輸、使用到最終廢棄處理或回收的整個生命週期。然而，實務上需訂立截斷準則，例如依據質量、能量或環境顯著性設定百分比閾值，以排除貢獻微小的過程，在研究的完整性與可行性之間取得平衡。此外，還需詳細說明數據品質要求，包括對數據的時間代表性、地理代表性與技術代表性的期望，這將指導後續數據蒐集工作的優先順序與來源選擇。

3.1 定義研究目的與對象：確定決策情境 (情境 A、B、C) 與目標

讀者。

生命週期評估的初始步驟，即目標與範疇定義，是整個研究最為關鍵的奠基階段。此階段的核心任務在於明確界定研究的意圖、對象與邊界，其決策將直接影響後續數據蒐集的範圍、方法論的選擇，以及最終結果的解釋方向。一個清晰、具體且可操作的目標定義，是確保評估結果具備相關性、可靠性與可比性的先決條件。若此階段定義模糊或失準，即便後續盤查數據再精確、衝擊評估模型再先進，所產出的結論也可能偏離實際需求，甚至導致誤導性的決策。因此，投入充分的時間與資源於目標與範疇的釐清，被視為是執行一項嚴謹生命週期評估不可或缺的投資。

研究目的的定義，首要需釐清該評估所服務的「決策情境」。國際標準 ISO 14040 與 14044 中，將生命週期評估的應用情境大致區分為三類，常被簡稱為情境 A、B 與 C。情境 A 主要涉及「產品開發與改進」，其目標在於理解產品系統的環境熱點，識別減量機會，並為生態設計或流程優化提供科學依據。在此情境下，研究通常聚焦於比較同一產品不同設計方案或生產工藝的環境表現，內部決策支持是其主要導向。情境 B 則關乎「策略規劃與公共政策制定」，例如評估不同廢棄物管理策略、能源政策或材料選擇指南的宏觀環境效益。這類研究往往需要更廣泛的系統邊界，並可能涉及經濟與社會層面的考量，其結果旨在為企業策略或政府法規提供基礎。情境 C 涉及「市場溝通與聲明」，例如用於支持環境產品宣告、生態標籤或行銷中的環境訴求。此類研究對方法論的一致性、透明度與第三方驗證有極高要求，以確保聲明的可信度與公平性。

除了決策情境，明確界定研究的「目標讀者」同等重要，因為這決定了報告的深度、語言與呈現方式。目標讀者可能包括企業內部的研發團隊、管理階層、市場行銷部門，也可能是外部的監管機構、非政府組織、投資者或一般消費者。針對技術團隊的報告，可以深入探討方法學假設、分配規則與數據不確定性；而針對高階管理層或公眾的摘要，則需將複雜的科學結果轉化為直觀的洞察與清晰的建議。例如，一份旨在說服消費者購買具備環境效益產品的評估，其結論必須簡明扼要，並

可能強調單一關鍵指標，如碳足跡；反之，一份用於指導供應鏈深度脫碳的內部評估，則需要揭露所有相關的影響類別與供應商層級的詳細盤查數據。讀者的背景與需求，將直接影響功能單位的選擇、系統邊界的劃定，乃至於衝擊評估階段是否進行歸一化與權重等價值選擇。

在實務操作中，研究目的與對象的定義必須具體且可衡量。一個良好的目標陳述應包含以下要素：明確指出研究的應用意圖（屬於情境 A、B 或 C）、清晰描述被評估的產品系統、說明進行評估的理由、界定預期的應用方式，以及指明目標受眾。例如，一個具體的目標陳述可能是：「本研究旨在（應用意圖：情境 A，產品開發）比較由原生聚乙烯與 50% 消費後回收聚乙烯製成的相同規格購物袋的全球暖化潛勢與化石資源耗竭潛勢（被評估系統），以識別材料選擇對環境影響的差異（理由），評估結果將用於指導本公司下一代包裝材料的採購策略（應用方式），主要報告對象為公司永續發展部門與產品管理團隊（目標受眾）。」如此具體的定義，能為後續所有步驟提供明確的指引，避免研究過程中出現範圍蠕變或焦點模糊的問題。

綜上所述，目標與範疇定義階段絕非僅是形式上的開場白，而是構建整個生命週期評估邏輯框架的基石。透過精準定位決策情境與目標讀者，研究團隊能夠確立一個與實際需求緊密結合的評估架構。此架構將引導後續功能單位的定義，因為功能單位必須能夠公平地服務於所設定的比較目的；它也將影響系統邊界的劃定，因為納入或排除哪些過程需與研究意圖和讀者關注的層面保持一致。一個深思熟慮的目標定義，能確保所投入的資源用於解答正確的問題，並使最終的生命週期解釋階段能夠產出具有行動指導意義的結論，真正發揮生命週期評估作為環境管理與永續決策支持工具的價值。

3.2 功能單位與參考流：定義被研究對象的具體計量基礎。

在確定了生命週期評估的研究目的與目標讀者之後，緊接著必須建立一個能夠量化並比較被研究系統的基礎，此即功能單位與參考流的定義。功能單位是生命週期評估的基石，它明確界定了被評估產品系統所提供功能的量化績效，確保不同系統之間的比較具備公平性與科學嚴謹性。若缺乏一個定義清晰且可量化的功能單位，後續的數據蒐集、計算與結果解釋都將失去意義，因為比較的基礎不一致。例如，評估包裝材料時，若僅比較「一公斤的塑膠」與「一公斤的紙張」，而忽略了它們在實際使用中可能提供的不同保護功能或容積，這樣的比較將產生誤導。因此，功能單位的設定必須緊密對應研究目的，並能準確反映產品系統為使用者提供的服務本質。

功能單位的定義通常包含三個核心要素：功能或服務的性質、該功能或服務的量化程度，以及預期的使用時間或耐久性。以照明服務為例，一個恰當的功能單位可能是「提供十萬流明小時的照明服務」。這個定義明確指出了服務的性質是「照

明」，量化程度是「十萬流明小時」，其中隱含了光通量（流明）與時間（小時）的乘積，這比單純使用「一盞燈」或「一個燈泡」更為精確，因為不同技術的燈具（如 LED 燈、螢光燈、白熾燈）在壽命與效率上差異極大。另一個常見例子是清潔服務，功能單位可定義為「清洗一平方公尺表面積達到特定清潔標準」，這使得比較不同清潔劑或方法時，能聚焦於最終的潔淨效果，而非僅僅是化學品的重量或體積。

與功能單位緊密相關的概念是參考流。參考流是為了實現所定義的功能單位，在產品系統中所需處理或消耗的物料、能源或產品的具體數量。它將抽象的功能單位與具體的物理流連結起來。延續照明服務的例子，若功能單位是「提供十萬流明小時的照明」，那麼參考流可能就是「一個功率為 10 瓦、光效為 100 流明/瓦、使用壽命為一萬小時的 LED 燈模組」。這個具體的燈模組就是實現該功能所需的物理實體。在盤查分析階段，所有數據的蒐集與計算都將以這個參考流為基礎，按比例縮放至功能單位。參考流的選擇必須具有代表性，能夠反映市場上或研究情境中典型的產品或技術。

定義功能單位與參考流時，必須考慮到系統的比較性與實際可行性。當進行比較性生命週期評估時，例如評估不同材料製成的飲料容器，功能單位必須確保所有被比較的系統提供完全相同的功能。這可能定義為「在特定供應鏈條件下，安全盛裝並配送一公升飲料至消費者手中」。此時，參考流則會是具體的容器，如一個 500 毫升的 PET 瓶（需要兩個）、一個一公升的玻璃瓶，或一個鋁罐加上必要的填充率與運輸損耗調整。這個過程需要細緻的考量，包括容器的密封性、破損率、是否需要冷藏等附加功能，以確保功能等價。若功能等價的假設過於簡化或不合實際，將嚴重影響評估結果的可信度。

在營建領域的生命週期評估中，功能單位的定義更為複雜，因為建築物提供的是多維度的服務組合，包括遮蔽空間、熱舒適性、照明、衛生設施等。根據 EN 15978 標準，建築層級評估的常見功能單位是「整棟建築物在一個參考使用年限內提供的總服務」，並以建築物的總樓地板面積（例如，每平方公尺樓地板面積）和年限（例如，50 年）作為輔助的量化基準。然而，這仍可能過於籠統。更精細的評估可能需要定義次級功能單位，例如「在供暖季期間，維持室內溫度於 20°C 每平方公尺所需的能量」，以便單獨分析建築外殼的熱性能。參考流則會是構成建築的所有建材、設備及其在生命週期內的營運能源消耗，這是一個極其龐大且複雜的系統。

功能單位的定義並非一成不變，它會隨著研究目的與決策情境的不同而調整。在 ISO 標準中提及的決策情境（如情境 A：微觀層面決策；情境 B：中觀層面規劃；情境 C：宏觀層面策略制定）會直接影響功能單位的粒度。例如，為制定國家政策（情境 C）而評估發電技術時，功能單位可能是「提供一兆瓦時的電網電力」，這是一個高度聚合的服務單位。而為企業選擇產品設計（情境 A）時，功能單位則會非常具體，如「一部智慧型手機在五年使用期內提供的通訊與運算服務」。定義過

程需要與利害關係人溝通，確保功能單位能回應決策者的核心問題，並為後續的系統邊界劃定與數據蒐集提供明確指引。一個定義良好的功能單位，是確保整個生命週期評估研究保持一致性和相關性的關鍵第一步。

3.3 系統邊界與截斷準則 (Cut-off Criteria)：確定納入或排除哪些過程。

在確立了功能單位與參考流之後，生命週期評估的下一個關鍵步驟是界定系統邊界。系統邊界決定了哪些單元過程將被納入研究的範疇，它如同一個虛擬的圍籬，將與產品系統相關的環境互動劃分為「內部」與「外部」。一個清晰且合理的系統邊界是確保評估結果具備相關性與可比性的基石，其劃定必須緊密對應於研究目標與範疇定義中所設定的決策情境。若系統邊界過於狹隘，可能遺漏重要的環境負擔，導致結論偏頗；反之，若過於寬泛，則會耗費不必要的資源於數據蒐集，並可能模糊了核心的環境熱點。因此，系統邊界的設定是一項需要嚴謹判斷的工作，必須在科學嚴謹性與實務可行性之間取得平衡。

系統邊界的劃定通常遵循「從搖籃到墳墓」的生命週期思維，涵蓋從原材料開採、製造加工、產品使用，直至最終廢棄處理或回收再生的所有階段。然而，在實務操作上，並非所有細微的過程都能或都需要被納入。例如，研究一個電子產品時，其核心的晶片製造、組裝過程必然在邊界內，但製造工廠內辦公大樓的照明用電、員工通勤所產生的排放，是否也應計入？這就涉及到「截斷準則」的應用。截斷準則是一套預先定義的規則，用於決定哪些物料或能量流因其對總環境衝擊的貢獻微小，可以被合理地排除在系統邊界之外，而不致顯著影響評估結論的完整性與準確性。

常見的截斷準則多基於質量、能量或環境重要性的閾值。例如，研究者可能設定一項規則：凡質量或能量貢獻低於產品系統總輸入或輸出百分之二的單一流程，若其環境衝擊經初步判斷亦屬次要，即可予以排除。另一種方法是基於環境衝擊的潛在貢獻，透過篩選性評估，先行排除那些預期影響極小的流程。國際標準如 ISO 14044 雖未規定統一的截斷數值，但強調此準則必須在研究報告中明確記載並說明其合理性。截斷的應用絕非為了方便而隨意省略數據，而是為了在可接受的精度損失下，提升研究的效率與焦點。然而，必須警惕的是，多個被個別截斷的微小流程，其累積效應可能變得顯著，因此需要進行後續的敏感性分析來檢驗截斷決策的穩健性。

在營建領域的生命週期評估中，系統邊界的界定更具複雜性與特殊性。依據 EN 15978 等標準，建築生命週期被模組化為清晰的階段：產品階段 (A1-A3)、施工階段 (A4-A5)、使用階段 (B1-B7) 以及終結階段 (C1-C4)，此外還可能考慮模組 D (超出系統邊界的潛在環境效益)。系統邊界需明確說明涵蓋哪些模組。例如，一個聚焦於建材選擇的評估，可能將邊界定義在「從搖籃到大門」，即僅包含產品階

段 (A1-A3)；而一個完整的建築認證評估，則需涵蓋從建材生產到建築物拆除的全過程 (A-C 模組)。營建系統中的截斷決策也需特別考量，例如，小型固定件 (如螺絲、釘子) 的生產、施工機具的製造過程、或極少量使用的特殊化學品，常依據質量準則予以截斷，但前提是這些決策經過審慎評估並記錄在案。

系統邊界的設定也直接關聯到數據蒐集的策略，特別是前景系統與背景系統的區分。前景系統包含與研究產品直接相關、特定性高的過程，例如專屬的製造配方或工藝；背景系統則包含通用的工業過程，如電網電力生產、基礎化學品製造等，其數據通常來自於通用生命週期盤查資料庫。系統邊界決定了哪些過程需要以前景數據進行詳細建模，哪些可以依賴背景資料庫的平均數據。一個重要的原則是，當過程位於系統邊界內，但其數據無法取得或建模成本過高時，不能簡單地將其忽略，而必須以透明的方式說明此缺失，並評估其對結果的潛在影響，這正是系統邊界完整性檢查的一部分。

總而言之，系統邊界與截斷準則的定義是生命週期評估方法論中連結理論框架與實務操作的樞紐。它將抽象的生命週期思維，轉化為具體、可操作的建模藍圖。此步驟的輸出是一個清晰的產品系統流程圖，標明所有納入的單元過程及其間的流動關係，為後續的生命週期盤查分析階段提供了明確的數據蒐集範圍與計算架構。一個定義完善的系統邊界，不僅確保了評估的科學嚴謹度，也提升了研究結果對於目標受眾 (無論是內部決策者或外部利害關係人) 的透明度與可信度，為後續的衝擊評估與解釋奠定了穩固的基礎。

3.4 數據質量要求：包含時間、地理與技術代表性。

數據質量要求是生命週期評估中確保研究結果可靠性與可信度的核心要素。在完成系統邊界與截斷準則的界定後，研究團隊必須明確規範所需數據應具備的品質特徵，這些要求將直接引導後續數據蒐集、處理與解釋的整個過程。數據質量並非單一指標，而是一個多維度的概念，主要涵蓋時間代表性、地理代表性與技術代表性三大面向，同時也涉及數據的完整性、一致性與技術適用性。高品質的數據能顯著降低評估結果的不確定性，使比較性研究或決策支持更具說服力；反之，低品質或代表性不足的數據可能導致誤導性結論，甚至使整個評估失去價值。因此，在目標與範疇定義階段，就必須根據研究目的與預期應用，系統性地訂定清晰且可操作的數據質量規格，作為後續盤查階段的準繩。

時間代表性要求數據必須反映產品系統在特定時間框架內的技術狀態與環境背景。這意味著所蒐集的過程數據應對應研究設定的參考年份，因為生產技術、能源結構、排放係數及資源效率都會隨時間演進而變化。例如，評估一個於 2020 年投產的太陽能板製造過程，若使用十年前的矽晶提純能耗數據，將無法準確反映當前技術進步帶來的環境效益。此外，對於生命週期長達數十年的產品 (如建築物、基礎設施)，時間代表性變得更加複雜，需要考慮使用階段能源組合的未來變化，或終

結階段回收技術的可能演進。在動態 LCA 中，時間代表性甚至需要建模以納入時間依賴性參數，例如電網碳強度隨可再生能源占比提升而逐年下降的趨勢。因此，研究報告中必須明確聲明數據的基準年份，並對任何時間上的外推或假設進行詳細說明與合理性辯護。

地理代表性強調數據需能反映產品系統所處的特定區域或地點的條件。原材料開採、能源生產、製造過程乃至廢棄物處理的環境影響，高度依賴當地的自然資源稟賦、電網結構、氣候條件、法規標準及工業實踐。以電力消耗為例，一度電在高度依賴煤炭的區域與在水電或核電為主的區域，其溫室氣體排放強度可能相差數十倍。因此，當研究對象的供應鏈或營運活動跨越多個地理區域時，必須盡可能使用對應區域的特定數據，或選用具有適當地理解析度的背景資料庫。若無法取得特定地區數據，則需謹慎使用替代數據，並評估其地理代表性不足所引入的不確定性。對於旨在支持區域性政策或比較不同地區生產方案的 LCA 研究，地理代表性的要求尤為嚴格，可能需細化至國家甚至省級層面的數據。

技術代表性關注數據是否準確描繪了所研究產品系統背後的特定技術或生產流程。這包括生產規模（如實驗室規模、中試規模或商業化規模）、技術類型（如最佳可行技術、平均市場技術或特定廠商技術）、以及工廠的實際運營狀況。例如，評估一種新型生物塑膠的環境表現，若使用理論上的理想產率數據，而忽略商業化生產中可能出現的催化劑耗損或副產品生成，將嚴重高估其環境效益。技術代表性也涉及數據的來源層級，優先順序通常為：特定場址的實測原始數據、來自同類技術的平均工業數據、工程模型推算數據，最後才是技術關聯性較低的通用數據。在許多情況下，尤其是前景系統的核心過程，必須追求高技術代表性的數據，以確保模型真實反映被評估系統的物理與化學現實。

除了時間、地理與技術三大核心代表性，完整的數據質量要求還需涵蓋其他關鍵屬性。數據的完整性指所需數據項的蒐集齊全程度，應盡量減少因數據缺失而進行的估計或假設。一致性則要求所有數據在系統邊界內採用協調一致的計算規則、分配方法與單位，避免因方法不一致導致內部矛盾。此外，數據的精度、可驗證性與來源的透明度也至關重要。為系統化管理這些要求，實務上常使用數據質量指標或評分系統進行半定量評估，例如 Pedigree 矩陣，它通過對數據的可靠性、完整性、時間、地理及技術吻合度進行分級評分，幫助研究者識別數據鏈中的薄弱環節，並在生命週期解釋階段納入不確定性分析。

制定數據質量要求時，必須與研究目標和範疇保持緊密連結，進行務實的取捨。一個用於內部產品生態設計的篩選性 LCA，其數據質量要求可能低於一份用於對外發布環境產品宣告或進行市場競爭聲明的合規性 LCA。後者通常需遵循相關產品類別規則中的強制性數據質量規定。同時，數據質量要求也應指導資源分配，將有限的時間與預算優先投入對最終結果影響最大的關鍵過程的數據蒐集上，這通常通過後續的敏感性分析來驗證。總之，明確且恰當的數據質量要求是連接範疇定義

與後續盤查分析的橋樑，它為整個 LCA 研究奠定了科學嚴謹性的基礎，確保最終的環境影響評估結果能夠在既定目標下，提供可靠且有意義的洞察。