

Celgard 2325 vs 2400 隔膜：鋰離子電池研究的性能對比

Celgard 2325 和 2400 隔膜在電池研究中的詳細對比：厚度、孔隙率、熱收縮、離子電導率，以及如何為您的電化學測試選擇合適的隔膜。

最後更新: 2026-09-13 · 線上閱讀: <https://labcorematerials.com/zh-hant/resources/celgard-2325-vs-2400-separator-comparison>

為什麼隔膜選擇在電池研究中很重要

隔膜是每個鋰離子電池中的無名英雄。它位於正極和負極之間,防止電子短路,同時允許鋰離子通過。如果隔膜選錯了——太厚、太薄、孔結構錯誤、熱穩定性差——您的循環數據就會變得不可靠,或者更糟的是,您的電池在測試中途短路。

對於從事新電極材料、電解液配方或電池設計研究的科研人員來說,Celgard 2325 和 Celgard 2400 是扣式電池和軟包電池原型中最常用的兩種商業隔膜。兩者都是聚丙烯(PP)或聚乙烯(PE)基材,廣泛可用,並經過數十年的現場驗證。但它們**不可互換**——它們的厚度、孔結構和熱行為的差異會影響您的結果。

本指南分解了規格、性能權衡和決策邏輯,以便您在組裝第一個電池之前選擇正確的隔膜。

材料結構和組成

Celgard 2325：三層 PP/PE/PP

Celgard 2325 是一種**三層隔膜**：聚丙烯(PP)外層,聚乙烯(PE)芯層。結構如下：

- 外層(PP)**：較高的熔點(~165°C),提供機械強度和尺寸穩定性
- 芯層(PE)**：較低的熔點(~135°C),充當熱關斷機制
- 總厚度**：25 µm (±2 µm)

三層設計為您提供**熱關斷**功能：如果電池過熱(超過~135°C),PE 芯層熔化並關閉孔隙,切斷離子傳輸並停止失控反應。這是借鑒商業電池的安全特性。

Celgard 2400：單層 PP

Celgard 2400 是一種**單層隔膜**：通體純聚丙烯。

- 單層(PP)**：熔點 ~165°C
- 總厚度**：25 µm (±2 µm)
- 無熱關斷**：隔膜保持多孔,直到 PP 在 165°C 熔化

單層設計更簡單,孔分佈稍微更均勻,但缺乏 2325 的內置熱保險絲。

規格並排對比

以下是直接對比：

規格	Celgard 2325	Celgard 2400
結構	三層(PP/PE/PP)	單層(PP)
厚度	25 μm	25 μm
孔隙率	39%	41%
孔徑(Gurley)	0.209 μm × 0.054 μm	0.043 μm × 0.039 μm
透氣性(Gurley)	165 s/100 cc/mil	195 s/100 cc/mil
熱收縮(105°C, 1h)	MD: <4%, TD: <4%	MD: <3%, TD: <3%
關斷溫度	~135°C (PE 熔化)	無關斷
熔點	PP: 165°C, PE: 135°C	PP: 165°C
拉伸強度(MD)	1400 kg/cm ²	1300 kg/cm ²
穿刺強度	5.0 N	4.5 N
潤濕性(碳酸酯電解液)	中等(PP 表面)	中等(PP 表面)

關鍵要點：

- **相同厚度**(25 μm),因此它們可以放入相同的扣式電池堆疊中
- **孔隙率略有不同**：2400 為 41% vs 2325 的 39%,這影響離子電導率
- **孔幾何形狀不同**：2400 具有更小、更均勻的孔隙；2325 具有細長孔隙(乾法拉伸偽影)
- **熱關斷**：2325 在 135°C 提供關斷；2400 沒有

離子電導率和倍率性能

隔膜的孔結構直接影響鋰離子通過它的速度,這會顯示在您電池的內阻和倍率性能中。

Celgard 2400：略高的電導率

具有 **41% 孔隙率**和更均勻的孔分佈,Celgard 2400 在浸泡在相同電解液(EC/DMC 中的 1M LiPF₆)時,通常顯示比 2325 **低 5-10% 的離子電阻**。這轉化為：

- 在高 C 倍率(2C、5C、10C)下**更好的倍率性能**
- 充放電期間**更低的過電位**
- **稍好的低溫性能**(額外的孔隙率在粘度高的 -20°C 下有幫助)

如果您正在測試**高功率應用**(快速充電正極、超級電容器混合、倍率能力研究),2400 的電導率優勢很重要。

Celgard 2325：良好平衡

具有 **39% 孔隙率**和三層結構,Celgard 2325 的電阻稍高,但仍在大多數研究的可接受範圍內。差異在 EIS(電化學阻抗譜)中很明顯——您可能會在 CR2032 電池中的 1 kHz 處看到**額外的 1-2 Ω** ——但它很少影響中等倍率(C/2、1C)下的循環壽命或容量。

熱關斷功能是權衡：您放棄 5-10% 的電導率,以換取內置的安全機制。

熱穩定性和安全性

這是兩種隔膜差異最大的地方。

Celgard 2325：熱關斷保護

2325 中的 PE 芯層在 **$\sim 135^{\circ}\text{C}$** 熔化,關閉孔隙並切斷離子傳輸。這稱為**熱關斷**,它是商業鋰離子電池中的關鍵安全特性。

為什麼在研究中很重要：

- 如果您正在測試具有未知熱行為的**新正極材料**(高鎳 NMC、富鋰氧化物),2325 為您提供安全緩衝
- 如果您正在進行**濫用測試**(過充、針刺、熱斜坡),2325 將在熱失控之前關斷
- 如果您正在使用**易燃電解液**(高醚含量、低閃點溶劑),關斷可以防止手套箱火災

權衡：一旦 PE 熔化,電池就報廢了。您無法逆轉關斷。對於在高溫(45°C 、 60°C)下的長期循環,您需要遠低於 135°C ,否則隔膜會隨著時間的推移部分熔化。

Celgard 2400：無關斷,更高的溫度耐受性

單層 PP 結構**沒有關斷機制**。隔膜保持多孔,直到 PP 本身在 **165°C** 熔化。這意味著：

- 在 $60-80^{\circ}\text{C}$ (電池老化研究中常見)下延長循環的**更高熱耐受性**
- 如果您的電池在高倍率放電期間升溫,**沒有過早關斷的風險**
- **但沒有安全網**——如果電池進入熱失控,2400 不會阻止它

對於在受控環境(溫度室、通風櫥)中循環電池的**學術研究**,缺乏關斷通常不是問題。您無論如何都在監控電池,而且組裝良好的扣式電池很少發生熱失控。

熱收縮相當：兩種隔膜在 105°C 下加熱 1 小時收縮 $<4\%$ 。這對大多數研究來說是可以接受的,儘管如果您正在進行超長期循環(在 60°C 下 >1000 次循環),您可能會在邊緣看到隔膜逐漸捲曲。

機械強度和處理

兩種隔膜的機械強度都很強,但三層 2325 在穿刺強度方面略有優勢。

Celgard 2325：稍微更堅韌

- **穿刺強度：**5.0 N(更好地抵抗正極顆粒或鋰枝晶戳穿)
- **拉伸強度：** 1400 kg/cm^2 (機器方向)

三層結構使其在處理過程中更難撕裂。如果您正在培訓新學生進行扣式電池組裝,2325 更寬容——當您將其放置在電極上時,它不太可能撕裂。

Celgard 2400: 足夠的強度

- **穿刺強度:** 4.5 N
- **拉伸強度:** 1300 kg/cm²(機器方向)

仍然非常堅固,但如果您有尖銳的正極顆粒(例如具有刻面晶體的尖晶石 LMO),單層更容易穿刺。實際上,差異很小,除非您正在使用特別具有攻擊性的電極形態。

潤濕性和電解液兼容性

兩種隔膜都具有**聚丙烯表面**,具有中等疏水性。這意味著:

-  與碳酸酯電解液(EC/DMC、EC/DEC、EC/EMC + LiPF₆)**潤濕良好**
-  與醚電解液(用於 Li-S 電池的 DOL/DME)**潤濕較慢**——您可能需要預潤濕隔膜
-  與離子液體**潤濕差**——需要表面改性或添加劑

使用標準碳酸酯電解液時,2325 和 2400 之間沒有顯著的潤濕差異。兩者在組裝前都需要約 **10-20 分鐘浸泡** 以確保完全孔隙滲透。

如果您正在使用**非標準電解液**(高濃度、醚基、固態混合),請考慮預處理隔膜:

- 等離子處理(O₂ 或 Ar 等離子 30 秒)改善潤濕
- 酒精沖洗(異丙醇或乙醇)有助於醚電解液擴散
- 塗層(薄 Al₂O₃ 或 PVDF 層)改善熱穩定性和潤濕

何時使用 Celgard 2325

選擇 **Celgard 2325(三層 PP/PE/PP)** 如果:

-  **您需要熱關斷保護**

測試新正極材料、進行濫用測試或使用易燃電解液。

-  **您想要額外的機械穩健性**

培訓新學生、使用尖銳的正極顆粒或在不太理想的條件下組裝電池。

-  **您正在模仿商業電池行為**

大多數商業 18650 和軟包電池使用三層隔膜。如果您希望原型像真實電池一樣運行,請使用 2325。

-  **安全性比峰值性能更重要**

5-10% 的電導率損失值得安全緩衝。

典型應用:

- 新正極篩選(NMC、NCA、富鋰氧化物)
- 濫用測試(過充、針刺)

- 學生培訓實驗室
 - 易燃電解液測試(高醚含量)
-

何時使用 Celgard 2400

選擇 **Celgard 2400(單層 PP)** 如果：

✓ **您需要最大離子電導率**

倍率能力研究、高功率應用或快速充電正極開發。

✓ **您在高溫(60-80°C)下循環**

單層 PP 具有更高的熱耐受性,沒有關斷風險。

✓ **您想要更低的內阻**

額外的 2% 孔隙率(41% vs 39%)和均勻的孔結構降低阻抗。

✓ **您正在進行不需要關斷的基礎研究**

在受控環境中的學術研究,熱失控不是問題。

典型應用：

- 倍率能力研究(2C、5C、10C 放電)
 - 高溫老化測試(60°C、80°C 循環)
 - 快速充電正極開發
 - 低溫性能測試(-20°C、-40°C)
 - 基礎電化學(半電池研究、EIS 表徵)
-

成本和可用性

兩種隔膜都廣泛可用,在研究數量中價格相似：

- **片狀**(例如,15 cm × 20 cm)：每片 \$50-100
- **預切圓盤**(CR2032 用 16 mm 直徑)：100 片包裝中每片 \$1-2

由於三層共擠工藝,2325 稍貴(5-10%),但對於大多數研究預算來說,差異可以忽略不計。

質量很重要：確保您購買的是真正的 Celgard 隔膜,而不是通用 PP 薄膜。通用隔膜通常具有：

- 可變厚度($\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ 而不是 $\pm 2\text{ }\mu\text{m}$)
- 較低的孔隙率(30-35% 而不是 39-41%)
- 熱穩定性差(在 105°C 收縮 10-20%)
- 不一致的孔結構(導致局部熱點)

便宜的隔膜是虛假的經濟——它們會導致過早短路、高阻抗和不可靠的數據。

實用組裝技巧

無論您選擇哪種隔膜,請遵循這些最佳實踐:

預潤濕

1. 沖壓您的隔膜圓盤(CR2032 用 16 mm,帶邊距的 CR2032 用 19 mm)
2. 在組裝前在電解液中浸泡圓盤 **10-20 分鐘**
3. 使用乾淨的培養皿或玻璃小瓶——不要讓圓盤相互接觸(它們濕潤時會粘在一起)
4. 放置在電極上之前,用無絨擦拭布(Kimwipe 或同等產品)排出多餘的電解液

處理

- 使用 **PTFE 塗層鑷子**(不鏽鋼可能引入金屬顆粒)
- 切勿用裸手套觸摸隔膜(皮膚油脂降低潤濕性)
- 使用前在放大燈下檢查是否有撕裂或孔洞

電解液體積

對於 CR2032 電池:

- **使用 Celgard 2325 或 2400**: 總電解液 80-100 μL
- **隔膜佔用**: 約 5-8 μL (吸收到孔隙中)
- **剩餘電解液**: 潤濕電極並填充空隙

如果您使用較厚的隔膜(例如,堆疊雙層),請減少總電解液以避免在封口過程中過度填充和洩漏。

結論: 2325 用於安全,2400 用於性能

Celgard 2325 和 2400 都是用於電池研究的優秀隔膜,選擇取決於您的優先事項:

- **Celgard 2325** = 熱關斷保護 + 額外機械強度。最適合新材料篩選、濫用測試和學生培訓。
- **Celgard 2400** = 更高的離子電導率 + 更好的高溫耐受性。最適合倍率研究、高溫循環和基礎研究。

對於**通用鋰離子研究**(NMC/石墨全電池、半電池篩選、標準循環協議),兩者都運行良好。如果您不確定,從**Celgard 2325 開始**——熱關斷讓您安心,電導率差異足夠小,不會影響您的結論。

準備好開始了嗎?

我們備有 Celgard 2325 和 2400 隔膜的片狀和預切圓盤,適用於 CR2032、CR2025 和定製尺寸。所有隔膜都是真正的 Celgard 產品,帶有符合性證書。

👉 [查看 Celgard 2325 隔膜圓盤](#)

👉 [查看 Celgard 2400 隔膜圓盤](#)

👉 [下載隔膜規格表\(PDF\)](#)

對隔膜選擇或扣式電池組裝有疑問? [聯繫我們的技術團隊](#)——我們在這裡提供幫助。

詢價聯絡: business@labcorematerials.com · labcorematerials.com

本指南僅供科研參考。實際操作前請結合自有設備條件與安全規程核對全部參數。