

Celgard 2325 vs 2400 隔膜：锂离子电池研究的性能对比

Celgard 2325 和 2400 隔膜在电池研究中的详细对比：厚度、孔隙率、热收缩、离子电导率，以及如何为您的电化学测试选择合适的隔膜。

最后更新: 2026-09-13 · 在线阅读: <https://labcorematerials.com/zh-hans/resources/celgard-2325-vs-2400-separator-comparison>

为什么隔膜选择在电池研究中很重要

隔膜是每个锂离子电池中的无名英雄。它位于正极和负极之间,防止电子短路,同时允许锂离子通过。如果隔膜选错了——太厚、太薄、孔结构错误、热稳定性差——您的循环数据就会变得不可靠,或者更糟的是,您的电池在测试中途短路。

对于从事新电极材料、电解液配方或电池设计研究的科研人员来说,Celgard 2325 和 Celgard 2400 是扣式电池和软包电池原型中最常用的两种商业隔膜。两者都是聚丙烯(PP)或聚乙烯(PE)基材,广泛可用,并经过数十年的现场验证。但它们**不可互换**——它们的厚度、孔结构和热行为的差异会影响您的结果。

本指南分解了规格、性能权衡和决策逻辑,以便您在组装第一个电池之前选择正确的隔膜。

材料结构和组成

Celgard 2325：三层 PP/PE/PP

Celgard 2325 是一种**三层隔膜**：聚丙烯(PP)外层,聚乙烯(PE)芯层。结构如下：

- 外层(PP)**：较高的熔点(~165°C),提供机械强度和尺寸稳定性
- 芯层(PE)**：较低的熔点(~135°C),充当热关断机制
- 总厚度**：25 μm ($\pm 2 \mu\text{m}$)

三层设计为您提供**热关断**功能：如果电池过热(超过~135°C),PE 芯层熔化并关闭孔隙,切断离子传输并停止失控反应。这是借鉴商业电池的安全特性。

Celgard 2400：单层 PP

Celgard 2400 是一种**单层隔膜**：通体纯聚丙烯。

- 单层(PP)**：熔点 ~165°C
- 总厚度**：25 μm ($\pm 2 \mu\text{m}$)
- 无热关断**：隔膜保持多孔,直到 PP 在 165°C 熔化

单层设计更简单,孔分布稍微更均匀,但缺乏 2325 的内置热保险丝。

规格并排对比

以下是直接对比：

规格	Celgard 2325	Celgard 2400
结构	三层(PP/PE/PP)	单层(PP)
厚度	25 μm	25 μm
孔隙率	39%	41%
孔径(Gurley)	0.209 μm × 0.054 μm	0.043 μm × 0.039 μm
透气性(Gurley)	165 s/100 cc/mil	195 s/100 cc/mil
热收缩(105°C, 1h)	MD: <4%, TD: <4%	MD: <3%, TD: <3%
关断温度	~135°C (PE 熔化)	无关断
熔点	PP: 165°C, PE: 135°C	PP: 165°C
拉伸强度(MD)	1400 kg/cm ²	1300 kg/cm ²
穿刺强度	5.0 N	4.5 N
润湿性(碳酸酯电解液)	中等(PP 表面)	中等(PP 表面)

关键点：

- **相同厚度**(25 μm),因此它们可以放入相同的扣式电池堆叠中
- **孔隙率略有不同**：2400 为 41% vs 2325 的 39%,这影响离子电导率
- **孔几何形状不同**：2400 具有更小、更均匀的孔隙；2325 具有细长孔隙(干法拉伸伪影)
- **热关断**：2325 在 135°C 提供关断；2400 没有

离子电导率和倍率性能

隔膜的孔结构直接影响锂离子通过它的速度,这会显示在您电池的内阻和倍率性能中。

Celgard 2400：略高的电导率

具有 **41% 孔隙率**和更均匀的孔分布,Celgard 2400 在浸泡在相同电解液(EC/DMC 中的 1M LiPF₆)时,通常显示比 2325 **低 5-10% 的离子电阻**。这转化为：

- 在高 C 倍率(2C、5C、10C)下**更好的倍率性能**
- 充放电期间**更低的过电位**
- **稍好的低温性能**(额外的孔隙率在粘度高的 -20°C 下有帮助)

如果您正在测试**高功率应用**(快速充电正极、超级电容器混合、倍率能力研究),2400 的电导率优势很重要。

Celgard 2325：良好平衡

具有 **39% 孔隙率**和三层结构,Celgard 2325 的电阻稍高,但仍在大多数研究的可接受范围内。差异在 EIS(电化学阻抗谱)中很明显——您可能会在 CR2032 电池中的 1 kHz 处看到**额外的 1-2 Ω** ——但它很少影响中等倍率(C/2、1C)下的循环寿命或容量。

热关断功能是权衡：您放弃 5-10% 的电导率,以换取内置的安全机制。

热稳定性和安全性

这是两种隔膜差异最大的地方。

Celgard 2325：热关断保护

2325 中的 PE 芯层在 **~135°C** 熔化,关闭孔隙并切断离子传输。这称为**热关断**,它是商业锂离子电池中的关键安全特性。

为什么在研究中很重要：

- 如果您正在测试具有未知热行为的**新正极材料**(高镍 NMC、富锂氧化物),2325 为您提供安全缓冲
- 如果您正在进行**滥用测试**(过充、针刺、热斜坡),2325 将在热失控之前关断
- 如果您正在使用**易燃电解液**(高醚含量、低闪点溶剂),关断可以防止手套箱火灾

权衡：一旦 PE 熔化,电池就报废了。您无法逆转关断。对于在高温(45°C、60°C)下的长期循环,您需要远低于 135°C,否则隔膜会随着时间的推移部分熔化。

Celgard 2400：无关断,更高的温度耐受性

单层 PP 结构**没有关断机制**。隔膜保持多孔,直到 PP 本身在 **165°C** 熔化。这意味着：

- 在 60-80°C(电池老化研究中常见)下延长循环的**更高热耐受性**
- 如果您的电池在高倍率放电期间升温,**没有过早关断的风险**
- **但没有安全网**——如果电池进入热失控,2400 不会阻止它

对于在受控环境(温度室、通风橱)中循环电池的**学术研究**,缺乏关断通常不是问题。您无论如何都在监控电池,而且组装良好的扣式电池很少发生热失控。

热收缩相当：两种隔膜在 105°C 下加热 1 小时收缩 <4%。这对大多数研究来说是可以接受的,尽管如果您正在进行超长期循环(在 60°C 下 >1000 次循环),您可能会在边缘看到隔膜逐渐卷曲。

机械强度和处理

两种隔膜的机械强度都很强,但三层 2325 在穿刺强度方面略有优势。

Celgard 2325：稍微更坚韧

- **穿刺强度：**5.0 N(更好地抵抗正极颗粒或锂枝晶戳穿)
- **拉伸强度：**1400 kg/cm²(机器方向)

三层结构使其在处理过程中更难撕裂。如果您正在培训新学生进行扣式电池组装,2325 更宽容——当您将其放置在电极上时,它不太可能撕裂。

Celgard 2400: 足够的强度

- **穿刺强度:** 4.5 N
- **拉伸强度:** 1300 kg/cm²(机器方向)

仍然非常坚固,但如果您有尖锐的正极颗粒(例如具有刻面晶体的尖晶石 LMO),单层更容易穿刺。实际上,差异很小,除非您正在使用特别具有攻击性的电极形态。

润湿性和电解液兼容性

两种隔膜都具有**聚丙烯表面**,具有中等疏水性。这意味着:

-  与碳酸酯电解液(EC/DMC、EC/DEC、EC/EMC + LiPF₆)**润湿良好**
-  与醚电解液(用于 Li-S 电池的 DOL/DME)**润湿较慢**——您可能需要预润湿隔膜
-  与离子液体**润湿差**——需要表面改性或添加剂

使用标准碳酸酯电解液时,2325 和 2400 之间没有显著的润湿差异。两者在组装前都需要**约 10-20 分钟浸泡**以确保完全孔隙渗透。

如果您正在使用**非标准电解液**(高浓度、醚基、固态混合),请考虑预处理隔膜:

- 等离子处理(O₂ 或 Ar 等离子 30 秒)改善润湿
- 酒精冲洗(异丙醇或乙醇)有助于醚电解液扩散
- 涂层(薄 Al₂O₃ 或 PVDF 层)改善热稳定性和润湿

何时使用 Celgard 2325

选择 **Celgard 2325(三层 PP/PE/PP)** 如果:

-  **您需要热关断保护**

测试新正极材料、进行滥用测试或使用易燃电解液。

-  **您想要额外的机械稳健性**

培训新学生、使用尖锐的正极颗粒或在不太理想的条件下组装电池。

-  **您正在模仿商业电池行为**

大多数商业 18650 和软包电池使用三层隔膜。如果您希望原型像真实电池一样运行,请使用 2325。

-  **安全性比峰值性能更重要**

5-10% 的电导率损失值得安全缓冲。

典型应用:

- 新正极筛选(NMC、NCA、富锂氧化物)
- 滥用测试(过充、针刺)

- 学生培训实验室
 - 易燃电解液测试(高醚含量)
-

何时使用 Celgard 2400

选择 **Celgard 2400(单层 PP)** 如果：

✓ **您需要最大离子电导率**

倍率能力研究、高功率应用或快速充电正极开发。

✓ **您在高温(60-80°C)下循环**

单层 PP 具有更高的热耐受性,没有关断风险。

✓ **您想要更低的内阻**

额外的 2% 孔隙率(41% vs 39%)和均匀的孔结构降低阻抗。

✓ **您正在进行不需要关断的基础研究**

在受控环境中的学术研究,热失控不是问题。

典型应用：

- 倍率能力研究(2C、5C、10C 放电)
 - 高温老化测试(60°C、80°C 循环)
 - 快速充电正极开发
 - 低温性能测试(-20°C、-40°C)
 - 基础电化学(半电池研究、EIS 表征)
-

成本和可用性

两种隔膜都广泛可用,在研究数量中价格相似：

- **片状**(例如,15 cm × 20 cm)： 每片 \$50-100
- **预切圆盘**(CR2032 用 16 mm 直径)： 100 片包装中每片 \$1-2

由于三层共挤工艺,2325 稍贵(5-10%),但对于大多数研究预算来说,差异可以忽略不计。

质量很重要： 确保您购买的是真正的 Celgard 隔膜,而不是通用 PP 薄膜。通用隔膜通常具有：

- 可变厚度($\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ 而不是 $\pm 2\text{ }\mu\text{m}$)
- 较低的孔隙率(30-35% 而不是 39-41%)
- 热稳定性差(在 105°C 收缩 10-20%)
- 不一致的孔结构(导致局部热点)

便宜的隔膜是虚假的经济——它们会导致过早短路、高阻抗和不可靠的数据。

实用组装技巧

无论您选择哪种隔膜,请遵循这些最佳实践:

预润湿

1. 冲压您的隔膜圆盘(CR2032 用 16 mm,带边距的 CR2032 用 19 mm)
2. 在组装前在电解液中浸泡圆盘 **10-20 分钟**
3. 使用干净的培养皿或玻璃小瓶——不要让圆盘相互接触(它们湿润时会粘在一起)
4. 放置在电极上之前,用无绒擦拭布(Kimwipe 或同等产品)排出多余的电解液

处理

- 使用 **PTFE 涂层镊子**(不锈钢可能引入金属颗粒)
- 切勿用裸手套触摸隔膜(皮肤油脂降低润湿性)
- 使用前在放大灯下检查是否有撕裂或孔洞

电解液体积

对于 CR2032 电池:

- **使用 Celgard 2325 或 2400**: 总电解液 80-100 μL
- **隔膜占用**: 约 5-8 μL (吸收到孔隙中)
- **剩余电解液**: 润湿电极并填充空隙

如果您使用较厚的隔膜(例如,堆叠双层),请减少总电解液以避免在封口过程中过度填充和泄漏。

结论: 2325 用于安全,2400 用于性能

Celgard 2325 和 2400 都是用于电池研究的优秀隔膜,选择取决于您的优先事项:

- **Celgard 2325** = 热关断保护 + 额外机械强度。最适合新材料筛选、滥用测试和学生培训。
- **Celgard 2400** = 更高的离子电导率 + 更好的高温耐受性。最适合倍率研究、高温循环和基础研究。

对于**通用锂离子研究**(NMC/石墨全电池、半电池筛选、标准循环协议),两者都运行良好。如果您不确定,从**Celgard 2325 开始**——热关断让您安心,电导率差异足够小,不会影响您的结论。

准备好开始了吗?

我们备有 Celgard 2325 和 2400 隔膜的片状和预切圆盘,适用于 CR2032、CR2025 和定制尺寸。所有隔膜都是真正的 Celgard 产品,带有符合性证书。

👉 [查看 Celgard 2325 隔膜圆盘](#)

👉 [查看 Celgard 2400 隔膜圆盘](#)

👉 [下载隔膜规格表\(PDF\)](#)

对隔膜选择或扣式电池组装有疑问? [联系我们的技术团队](#)——我们在这里提供帮助。

询价联系: business@labcorematerials.com · labcorematerials.com

本指南仅供科研参考。实际操作前请结合自有设备条件与安全规程核对全部参数。