MCU 睡眠模式 (Sleep Mode) 大解密

作者：何仁杰　主任應用工程師

小百科

電池供電的感測器、智慧家居與可攜式裝置，經常花大量時間等待事件。延長續航的關鍵，是讓 CPU 只在需要時工作，並把監測、取樣與資料搬移交給適合的周邊。Microchip PIC16、PIC18 與 PIC32C 微控制器 (MCU) 提供不同層次的省電機制，讓設計兼顧功耗與反應速度。

睡得越深就一定越省電嗎

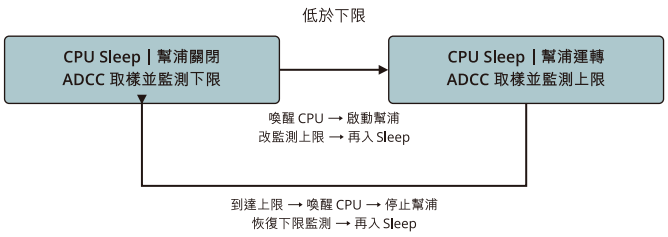
Sleep 可停止 CPU 與主要系統時脈，但支援獨立時脈的周邊仍可能運作。真正該比較的是整個工作週期的平均電流：睡眠底電流、喚醒頻率，以及每次處理與通訊的時間都會影響結果。若休眠時間太短，喚醒與重新初始化的代價也可能是非預期的功耗來源。[1] [2]

工作模式	適合的工作情境
Doze	CPU 降速，周邊維持既定速度。
Idle	CPU 暫停，等待仍在運作的周邊。
Sleep	停止主要時脈，保留必要喚醒來源。
Standby	PIC32CM 深度待機，可搭配 SleepWalking。

模式與保留功能依型號而異，表中模式並非全系列皆支援。

PIC16 可善用彈性的低功耗功能，提升感測器應用效能

- **依工作需求選模式：**CPU 還有背景工作時用 Doze；等待依賴系統時脈的周邊時用 Idle；僅保留可獨立運作的周邊與喚醒來源時，評估 Sleep。Doze 只是降低 CPU 與程式記憶體的運作頻率，CPU 並未停止。[1] [7]
- **先確認 IDLEN：**以 PIC16F18146 為例，CPUDOZE.IDLEN＝0 時，SLEEP 指令進入 Sleep；設為 1 則進入 Idle。[7]
- **讓 ADCC 自主監測：**PIC16F18146/PIC16F17146 可使用內部 ADCRC，在 Sleep 中取樣與比較門檻，只在符合設定條件時中斷，減少 CPU 需逐筆處理所需功耗。[3]
- **掌握設定順序：**選 ADCRC → 確認取樣時間與參考電壓 → 設定 ADLTH/ADUTH 及比較條件 → 啟用連續取樣與門檻中斷 → 處理既有旗標、啟動轉換 → 進入 Sleep。若只想越界喚醒，避免同時啟用每筆轉換完成中斷。[3] [7]
- **用上下限避免頻繁切換：**水位低於下限時喚醒 CPU 啟動幫浦，改監測上限；到達上限時再喚醒並停止幫浦，恢復下限監測。上下限形成遲滯區間，避免在單一門檻附近反覆切換，如下圖。[3]
- **關閉閒置功能並量測：**以 PMD 關閉不用的模組時脈，檢查 DAC、FVR 與振盪器的啟用狀態；重新使用時依資料表恢復設定並等待穩定。確認喚醒來源、使能與旗標，再以完整工作週期的平均電流評估連續監測或週期喚醒。[1] [3] [7]



圖：ADCC 水位控制循環，CPU 只在門檻事件時介入

適用提醒：各 PIC16 型號的 ADCC、省電模式與 Sleep 喚醒能力不同，請依目標元件資料表確認。[3] [7]

PIC18 用 Doze 與 Idle 消除空等

以 PIC18FxxK42 為例，可利用 Doze、Idle 與 Sleep 搭配應用節奏。CPU 還有背景工作、周邊需要維持速度時，可選 Doze；等待周邊完成時，可用 Idle 取代輪詢。支援 DMA 的型號，也可減少 CPU 搬移資料的負擔。[1] [4]

別忘了 PMD 周邊模組停用功能：關閉不用的模組時脈，可進一步降低動態耗電。重新啟用後應依資料表確認暫存器狀態與初始化需求；需要負責喚醒的模組則必須保留。[1]

PIC32C 善用 SleepWalking 自主工作

PIC32C 涵蓋多個子系列，以下以 PIC32CM LE00/LS00/LS60 說明。這些元件可在 Standby 中利用 SleepWalking，按需求啟動周邊時脈，讓 CPU 持續休息；配合 Event System 與 DMA，可在周邊之間傳遞觸發與搬移資料。[5]

例如讓 RTC 定時透過 Event System 觸發 ADC，只有量測值超出門檻，才以中斷喚醒 CPU 處理與回報。Microchip 的 PIC32CM LE00 教學即示範這類流程，避免每次取樣都由 CPU 介入。[6]

RTC 定時事件 → Event System → ADC 取樣
正常範圍內：CPU 留在 Standby
達門檻條件：中斷喚醒 → 處理回報 → 再待機

設定時需確認周邊的 RUNSTDBY、GCLK、ONDEMAND 與事件路徑。LE/LS 系列另可調整電源域與 SRAM 保留範圍；若使用 Off 模式，須以重置恢復，不能當成一般中斷喚醒的 Standby 使用。[5]

從會睡眠到真正省電的五個步驟

1. **先定義需求：**確認最長反應時間、取樣頻率、喚醒來源，以及哪些 RAM 資料必須保留。
2. **建立事件流程：**將輪詢改為中斷，能交給 ADCC、Event System 或 DMA 的工作，優先由硬體完成。
3. **整理時脈與周邊：**關閉閒置模組，保留必要時脈；檢查 WDT、BOR/BOD 的設定與額外耗電。
4. **檢查 Board Level 漏電：**避免數位輸入浮接，評估分壓器、上拉電阻、感測器與穩壓器的靜態電流。[2]
5. **量測完整週期：**先量持續運作基準，再比較 Idle、Sleep 或 Standby 的電流波形與平均值；隔離除錯器、LED 等額外負載，並驗證反覆喚醒。[2] [6]

睡眠電流的典型值不等於整機平均電流。比較規格時，務必一起確認供電電壓、溫度、啟用周邊與 RAM 保留條件。

官方文件與 Microchip University 學習資源：

[1] TB3144 – Doze, Idle and PMD Features of 8-bit PIC® Microcontrollers
[2] AN1416 – Low-Power Design Guide
[3] TB3346 – Using ADCC Modes of PIC16F17146 and PIC16F18146 Families of Microcontrollers in Applications
[4] PIC18F55K42 產品與資料表
[5] AN4068 – PIC32CM LE00/LS00/LS60 低功耗功能
[6] PIC32CM LE00 Harmony v3 低功耗實作
[7] PIC16F18126/46 資料表
MU Low Power Programming 101 Microchip Try
MU 25009 MCU6 Arm® Cortex® 低功耗設計

聯繫信息 > Microchip 台灣分公司　電郵：rtc.taipei@microchip.com　技術支援專線：0800-717-718
聯絡電話：• 新竹 (03) 577-8366　• 高雄 (07) 213-7830　• 台北 (02) 2508-8600

Microchip 的名稱和徽標組合、Microchip 徽標及 PIC 均為 Microchip Technology Incorporated 在美國和其他國家或地區的註冊商標。
在此提及的所有其他商標均為各持有公司所有。
© 2026 Microchip Technology Inc. 及其子公司，保留其版權及所有權利。11/26