工程筆記 · 客製硬體

2026 加固多槽電池充電器客製：從規格書到工程樣機只要 16 週

目錄裡的加固充電器很少能配上一塊新電池，做客製充電器的廠家又很少公開交期和價格。這是一個密封、無風扇的多槽充電器平台，從規格書到可用的工程樣機只要 16 週：它怎麼造、規格書的空缺怎麼補、開發怎麼分階段，以及需要一台時該準備什麼。

譚帥 · tanshuai.com · i@tanshuai.com

2026 年 11 月 23 日

摘要

加固多槽充電器是一種小批次產品，而且是圍著別人的電池做的，所以大多數最後都成了客製品。本文介紹一個能快速做出這類充電器的平台：密封、無風扇的鋁箱，可更換的電池轉接板，每個槽位一個隔離充電通道、掛在同一條 48 V 母線上，交流和 24 V 車載兩路輸入、交流優先，所有和電池相關的引數都放在韌體表裡。示例配置是四槽、120 W、14.3 升、約 5 kg；同一設計覆蓋兩槽到八槽。拿到規格書和樣品電池後，固定總價的一期在 16 週內交付三台工程樣機、一份測試報告和一份完整的符合性矩陣；二期凍結設計、做好鑑定準備，付清後移交全套設計資料。把它放在深圳做，是這個進度和價格的前提：這裡是中國兩家最大電池企業的總部所在地，幾乎所有零件都在一小段車程之內。

為什麼寫這篇

每隔幾週，就有人需要給一塊"沒人充的電池"配充電器：帶資料線的電台電池、介面特殊的無人機電池包、要扛住發動機起動的 24 V 車輛。國外大軍工供應商的目錄充電器，配的是他們自己的電池；我找到的客製充電器廠家，只介紹能力，不公開交期和價格。我設計這個平台，是為了讓客製充電器能在幾天內定方案、幾週內出樣機；寫成文章，是為了讓手上有這種電池的人知道該發什麼資料、能期待什麼。文中數字截至 2026 年 11 月，金額以美元計。

結論一覽

圖 1. 一個平台，按專案配置：四槽版本，以及同一箱體的三種塗裝。

沙漠棕色的四槽配置，開蓋狀態。同一箱體還有橄欖綠、黑色，或按指定顏色塗裝。



1. **可更換的轉接板**
   每塊兩個電池井；換電池只換轉接板，不換箱體
2. **顯示屏、旋鈕、自檢按鈕**
   一眼看全部槽位，或逐個檢視；隨時可手動自檢
3. **交流和車載輸入**
   交流優先；車載輸入按 MIL-STD-1275 設計
4. **帶散熱鰭的端壁**
   密封、無風扇的電子艙經它散熱
5. **蓋內海綿和線纜袋**
   合蓋時把電池壓在原位

塗裝



沙漠棕　橄欖綠　黑色

來源: 作者的概念設計，2.1 版，2026 年 11 月。

	平台範圍	四槽示例
槽位	2 至 8 個，完全相同、相互電氣隔離	4
充電功率	總計約 60 至 300 W	120 W，總電流 9 A，所有槽位同時充
電池	鋰離子、鋰聚合物、磷酸鐵鋰，每槽位 1 至 14 串	四塊 99 Wh 電池約 4 小時充滿
電池資料	每槽位一個隔離的 SMBus 或單線資料埠：讀取容量和迴圈次數，拿到介面文件後可寫入	可讀可寫
輸入	90–264 VAC、47–63 Hz；12 或 24 V 車載直流，承受 MIL-STD-1275 瞬態；交流優先，無縫切換	230 VAC 和 24 VDC
操作	−40 °C 級 OLED，每槽位一個雙色指示燈，一個選擇旋鈕（關、全部、每個槽位一檔）和一個密封自檢按鈕；介面可用任何語言，包括從右到左書寫的文字	六檔
箱體	焊接 5052 鋁箱，電子艙 IP67，無風扇，合蓋可在行駛中工作；橄欖綠、沙漠棕、黑色或指定顏色	340 × 240 × 175 mm，14.3 L，約 5.1 kg
環境	工作 −20 至 +55 °C，儲存 −40 至 +71 °C	同左
設計依據	MIL-STD-810H、461G、1275E 和 F、IEC 62368-1:2023；報告可按舊版方法號出具	同左
進度	16 週交付三台工程樣機，約 30 週交付預鑑定樣機	同左

用在哪裡

這個平台針對的是成批攜帶、安裝或部署的電池：充電器得待在車裡、方艙裡或野戰箱裡，而不是擺在桌上：

- **軍警電台。** 背負式和手持式電台電池帶資料線，從 BB-2590 一類的電池包到手持電台電池；充電器要讀電池的儲存器，並記錄迴圈次數。
- **無人機機群。** 野外充電箱，從車輛、發電機或市電同時給四到八塊電池包充電。
- **對講機車隊。** 公共安全、礦山、電力和應急救援，多聯充電器跟著車跑，難免摔碰。
- **車輛和船舶。** 24 V 軍用和民用車輛，輸入端要扛住發動機起動、突波和接反的電源線。
- **工業和測試裝置。** 儀器和工具電池，需要一台密封、一致、帶日誌的充電器。

目錄充電器在這些場景裡失敗的方式差不多：電池的觸點和鎖釦是專用的，資料協議不同，輸入和車輛對不上，箱體太大，或者標準覆蓋不全。客製充電器能解決所有這些問題，前提是不必每次都從一張白紙開始。這就是做平台的意義。

第一步：把規格書變成設計包絡

加固充電器的規格書很少是完整的。常見的空缺有：電池的確切型號，以及隨之而來的電壓、容量、化學體系和觸點；"四小時"是指充一塊還是四塊同時充；"120 W"是輸入還是輸出；各標準適用哪個版本；"EMP 防護"指什麼；電池儲存器怎麼讀寫。要是等所有答案都到齊，專案會停上幾個月。

我的做法是：給每個空缺填上最可能的值、標明置信度，再寫出萬一猜錯設計需要預留多少餘量，然後設計一個覆蓋所有合理答案的包絡。在四槽的例子裡，有三種不同的電池都符合規格書；一個設計包絡把三種都覆蓋了。凡是可能最後才確認的東西，都放進韌體表：充電曲線、電池協議、旋鈕各檔的定義，以及螢幕上的每一個字串。這樣，最後到來的答案改的是一個配置文件，而不是硬體。

圖 2. 哪些在每個專案裡複用，哪些按專案配置。

核心部分的難活只做一次。換一種電池、換一個客戶，改的是它週圍的零件、表格和文件。



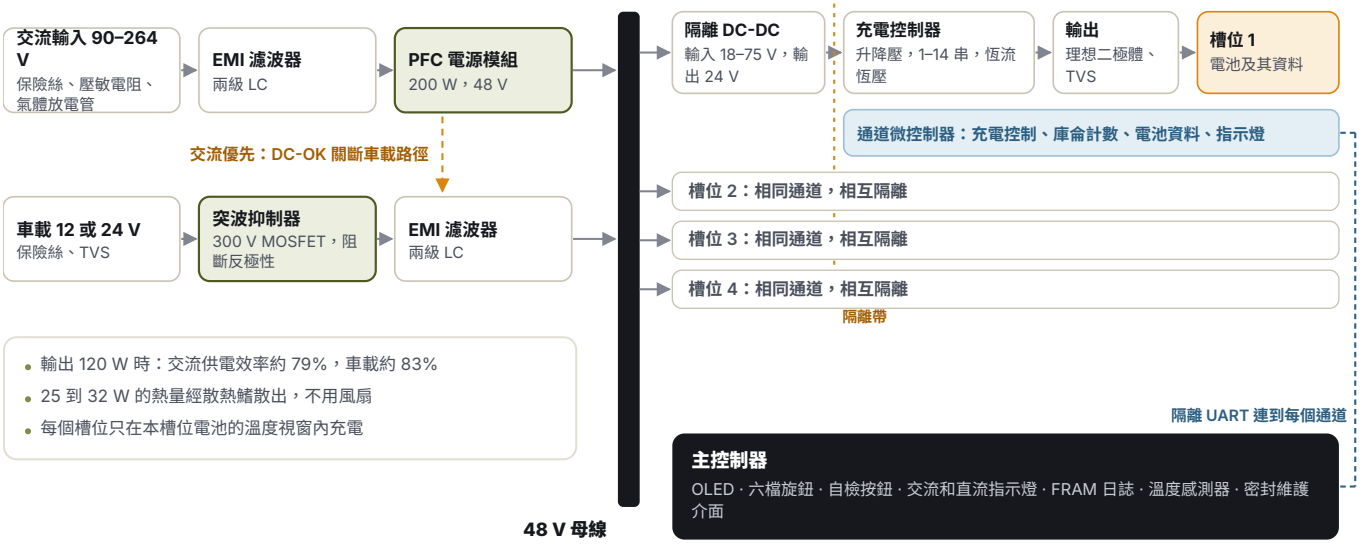
客戶最後才給的答案，改的是一張表或一塊轉接板，而不是硬體。

來源: 作者的平台設計。

第二步：電氣架構

圖 3. 兩路輸入、一條 48 V 母線、四個隔離通道，控制器經隔離鏈路與每個通道通訊。

四槽充電器的電氣架構。每個槽位完全相同；一個出故障，其餘照常充電。



來源: 作者的設計。

交流路徑依次是保險絲、壓敏電阻和氣體放電管、兩級 LC 濾波，以及一個裝在箱壁上的 200 W、48 V 功率因數校正模組，再經理想二極體接到 48 V 母線。車載路徑依次是保險絲、TVS 二極體，以及帶 300 V MOSFET 和背靠背反極性阻斷的突波抑制器，再經自己的濾波器接到同一條母線。有交流時，交流模組的 DC-OK 訊號關斷車載路徑，所以交流優先不需要繼電器，切換也是無縫的。

每個槽位有一個隔離 DC-DC 模組（輸入 18–75 V，輸出 24 V）、一顆 TI 升降壓充電控制器（支援 1 至 14 串，硬體恆流恆壓控制）、一個輸出理想二極體和一個 TVS。每個通道的隔離側有一顆小微控制器，負責驅動充電控制器、做庫侖計數、和電池儲存器通訊、點亮本槽位的指示燈，並透過隔離 UART 向主控制器彙報。主控制器負責顯示屏、讀取旋鈕和自檢按鈕、把日誌寫入 FRAM、監視溫度感測器，並管理一個密封的維護介面。

這些選擇都是有意為之：

- **槽位之間的隔離幾乎不花錢，** 因為隔離模組本來就要用；數字隔離器每個通道遠不到一美元。
- **故障只留在本槽位。** 一塊電池短路，或者一個通道的韌體出錯，其餘三個槽位照常充電。
- **大部分電磁相容和安全風險由已認證的模組承擔，** 這些模組有長期的現場記錄，所以開發投入集中在系統整合、韌體和結構上，而不是重新發明電源。
- **一級突波保護就夠，** 因為通道模組能承受 100 V、1 s。前端的完整算賬見我的《充電器怎麼滿足 MIL-STD-1275、810、461》設計清單。

輸出 120 W 時，交流供電效率約 79%，車載供電約 83%，所以箱體要在沒有風扇的情況下散掉 25 到 32 W。交流模組在 50 °C 以上要降額，因此 +55 °C 滿日照下由韌體降低充電功率；如果專案要求在這個溫度下也給出全功率，就換更大一檔的模組。每個通道還會測量本槽位電池的溫度，只在電池廠家允許的視窗內充電，一般是 0 至 45 °C：超出視窗時，該槽位暫停、紅燈閃爍、顯示原因，然後自動恢復。需要在 −10 °C 充電的客戶，可以選配電池井加熱片。

第三步：箱體

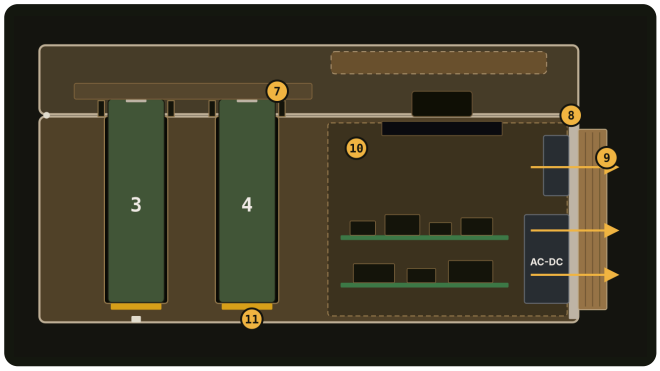
圖 4. 平面圖和剖面圖：電池在左，密封電子艙在右，熱量從帶散熱鰭的端壁散出。

四槽箱體的平面圖和剖面圖。熱量從帶散熱鰭的端壁散出；蓋子既密封，又壓住電池。

平面圖



剖面圖



1. **兩塊可更換的轉接板**
   2 × 2 個電池井，間距 70 mm
2. **每槽位一個雙色指示燈**
   綠色充滿，琥珀色充電中，紅色故障
3. **2.42 英寸 OLED，−40 °C 級**
   容量、迴圈次數、狀態，可用任何語言
4. **交流和直流指示燈**
   交流優先；直流無縫接管
5. **六檔旋鈕和自檢按鈕**
   關、全部或單個槽位；所有槽位始終都在充
6. **密封面**
   蓋子沿整圈密封
7. **蓋內海綿**
   把電池壓在井裡
8. **D 形矽膠密封條**
   連續一圈，防塵防雨
9. **豎向散熱鰭**
   自然對流；預留風扇凸台
10. **密封電子艙**
    ePTFE 透氣閥；熱量經散熱鰭散出
11. **電池井按電池尺寸客製**
    底部觸點座，帶排水閥

來源: 作者的概念設計，2.1 版。

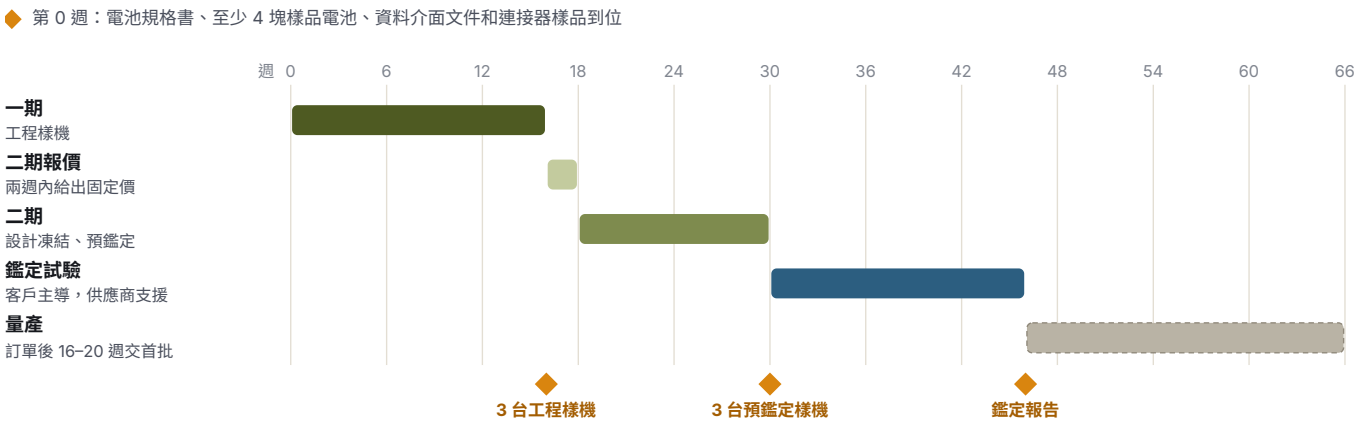
箱體是焊接的 5052 鋁箱，一端是密封電子艙，另一端是電池甲板。所有發熱件都傳導到帶散熱鰭的端壁上，靠自然對流散熱；對高溫下需要更大功率的專案，預留了外接密封風扇的安裝凸台。ePTFE 透氣閥讓電子艙在高海拔能"呼吸"卻不進水，電池井有各自的排水閥。甲板上是兩塊可更換的轉接板，每塊兩個電池井，所以換一種電池只需換一塊轉接板和觸點，而不是換箱體。蓋子用一圈連續的 D 形矽膠密封條，蓋內的海綿把電池壓在井裡，因此合著蓋也能在行駛的車裡充電。聚合物角護塊帶捆紮槽，負責扛跌落；提手按戴手套的尺寸設計。

操作邏輯和電路是一致的。四個槽位始終都在充：插入電池，該槽位就開始充；拔出，就停止；每個槽位有自己的指示燈。六檔旋鈕負責開關機和選擇顯示內容：關、全部（所有槽位的總覽），或者逐個槽位檢視容量（mAh）和迴圈次數。自檢在每次開機時自動執行，也可以按密封的自檢按鈕手動觸發，結果寫入日誌。客戶如果需要單獨停止某一個槽位，在韌體裡就能實現，不必給每個槽位加一個開關和一套密封。

第四步：分兩期、都是固定總價的開發

圖 5. 16 週出工程樣機，約 30 週出預鑑定樣機。

從下單起按週計，電池資料和樣品到齊後開始。每一期都是固定總價。



一期交付

- 三台可用的工程樣機
- 測試報告：熱浸、1275 突波、電磁相容預掃描
- 符合性矩陣：每條要求的設計對策和驗證方法

二期交付

- 設計凍結和三台預鑑定樣機
- 一份覆蓋 MIL-STD-810、461、1275 的試驗大綱
- 付清後：全套設計資料

之後

- 鑑定試驗由客戶主導，我們提供支援
- 量產批次在訂單後 16–20 週交付
- 開發費按台抵扣量產貨款

來源: 作者的開發計劃。

開發分成兩期，這樣雙方都不必在見到硬體之前押上全部預算。

一期：16 週，固定總價。 收到電池規格書、至少四塊樣品電池、電池資料介面文件和連接器樣品後開始計時，通常在下單後兩週內。一期交付三台可用的工程樣機、一份覆蓋高風險項（熱浸、MIL-STD-1275 突波、電磁相容預掃描）的測試報告，以及一份符合性矩陣：規格書的每一行都給出設計對策和驗證方法。

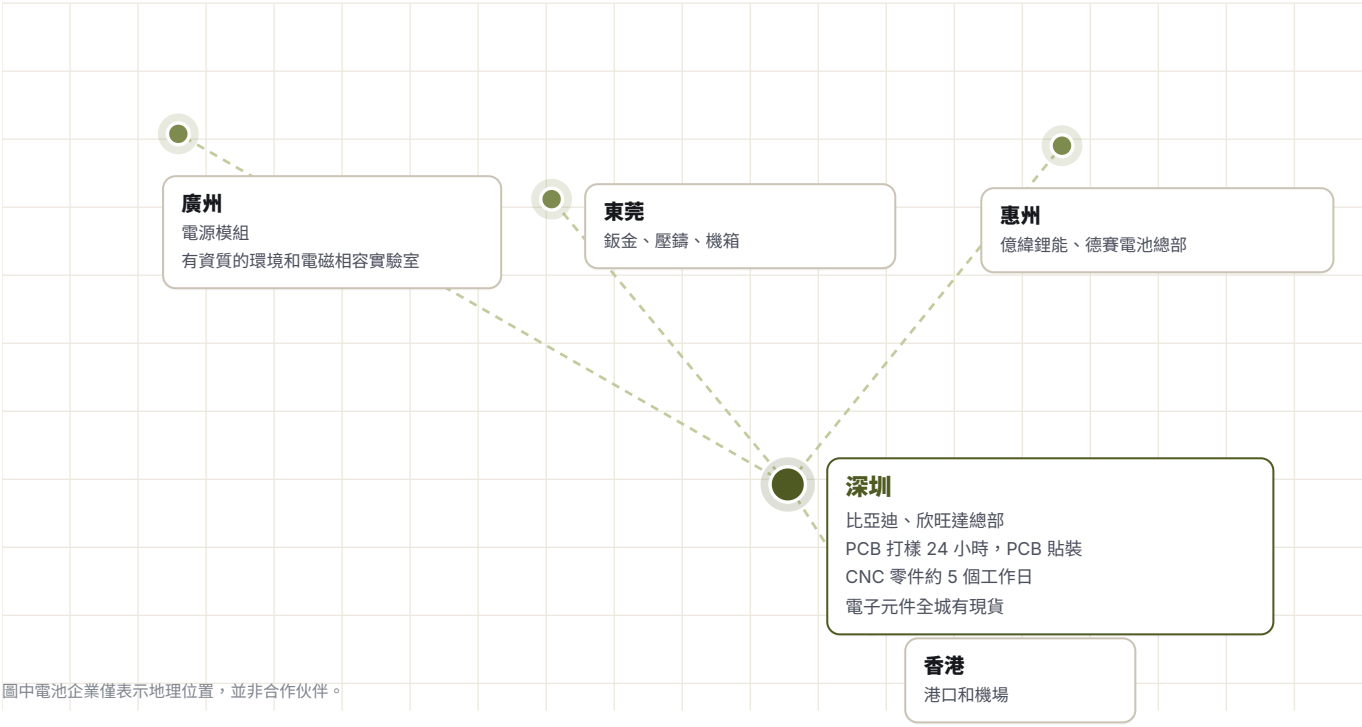
二期：固定總價在一期完成後兩週內給出。 內容是設計凍結、約第 30 週交付預鑑定樣機，以及一份把 MIL-STD-810、461 和 1275 合在一起的試驗大綱。二期付清後，移交全套設計資料：原理圖、PCB 檔案、韌體原始碼、結構 CAD、測試規程，以及註明貨源的物料清單。客戶之後可以在任何地方生產這台充電器。

鑑定與量產。 鑑定試驗由客戶主導，我們提供試驗大綱、預相容資料和整改支援。量產批次在訂單生效後 16 到 20 週交付，開發費可以按台抵扣量產貨款。同類軍用充電器賣多少錢、客製價格落在哪裡，見《2026 多槽軍用電池充電器價格調研》。

為什麼是深圳

圖 6. 電池企業、電路板、機加工和實驗室，彼此都在一小段車程之內。

深圳周邊的珠三角，示意圖。幾乎所有環節都在本地，所以一次樣機迭代只要幾天。



圖中電池企業僅表示地理位置，並非合作伙伴。

來源: 企業總部資訊來自公開資料；供應鏈交期為深圳的典型數字，2026 年 11 月。

速度和成本來自地理位置。比亞迪和欣旺達的總部都在深圳，億緯鋰能和德賽電池的總部在相鄰的惠州，所以懂鋰電芯、電池管理以及它們怎麼失效的工程師，從來都不遠。樣板電路板 24 小時就能回來，機加工件大約 5 個工作日，幾乎所有電子元件都能在這座城市的某個地方買到現貨。出測試報告所需資質的環境和電磁相容實驗室，就在深圳和廣州。實際效果是一次設計迭代從幾週縮短到幾天，這也是這個平台的價格能比國外老牌廠商低得多的一個重要原因。圖中提到的電池企業只表示地理位置，並非合作伙伴。

詢價時要準備什麼

第一封郵件能回答下面大部分問題就很好，其餘可以後補：

- **電池：** 型號和規格書；樣品電池可以晚些提供。
- **槽位：** 要幾個，幾個需要同時充。
- **功率：** 輸入電源（交流、12 或 24 V 車載，或兩者都要），以及需要的充電時間。
- **資料：** 需要從電池儲存器讀取或寫入什麼。
- **環境和標準，** 註明版本：溫度、密封、MIL-STD-810、461、1275、安全標準。
- **限制：** 尺寸、重量、顏色和標識。
- **數量和時間：** 樣機數量、首批數量、年用量，以及什麼時候要樣機。

發到 i@tanshuai.com。我會回覆那幾個決定設計的問題；電池確定後，給出一期的固定報價。如果你還在寫自己的規格書，我的《充電器怎麼滿足 MIL-STD-1275、810、461》設計清單列出了哪些條款決定成本。

資料來源

1. Tan Shuai, MIL-STD-1275, 810 and 461 for Battery Chargers: A Design Checklist (companion note). https://tanshuai.com/blog/mil-std-1275-810-461-battery-charger-design-checklist
2. Texas Instruments, BQ25756 bidirectional buck-boost charge controller. https://www.ti.com/product/BQ25756
3. Mornsun, LMF200 series AC-DC module datasheet (thermal derating). https://www.mornsun-power.com/public/uploads/pdf/LMF200-23BxxUH.pdf
4. Mean Well UHP-200-48 (Octopart listing). https://octopart.com/part/mean-well/UHP-200-48
5. MIL-STD-1275E (2013). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1100-1299/MIL-STD-1275E_45886/
6. MIL-STD-461G (2015). https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0300-0499/MIL-STD-461G_53571/
7. MIL-STD-810E (1989) and 810H (2019) method equivalents. https://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810E_13775/
8. Battery University, BU-410: Charging at high and low temperatures. https://batteryuniversity.com/article/bu-410-charging-at-high-and-low-temperatures
9. BYD Company (headquarters: Shenzhen). https://en.wikipedia.org/wiki/BYD_Company
10. Sunwoda Electronic (headquarters: Shenzhen). https://en.wikipedia.org/wiki/Sunwoda
11. EVE Energy (headquarters: Huizhou). https://en.wikipedia.org/wiki/EVE_Energy
12. Huizhou Desay Battery Co., Ltd. (Huizhou). https://ees-europe.com/exhibitorlist/huizhou-desay-battery-coltd
13. JLCPCB, PCB prototype service (24-hour builds). https://jlcpcb.com/

關於作者

譚帥，技術專家和創業者，在晶片、硬體和系統軟體領域工作二十多年，擁有 20 項授權專利。他的工作經歷遍及矽谷、紐約、芝加哥、台灣、粵港澳大灣區（深圳和香港）、越南和馬來西亞，長期關注先進製造和供應鏈。如今他是一名 AI 研發者，同時與深圳的製造夥伴一起做客製加固電子產品。

客製充電器專案與技術交流：i@tanshuai.com。