

快充”多””亂”

■文：徐俊毅

我們身邊的行動設備越來越多，大家或多或少地都會碰到過關鍵時刻設備沒電的問題，例如，早上起來趕飛機，發現手機忘記充電，用平板給客戶演示的時候突然關機，接打重要電話突然中斷，這時候快速充電的願望會變得格外強烈。在科技人員的努力下，快速充電的需求正在變成現實，我們身邊能夠快速充電的設備越來越多，充電速度的記錄不斷被刷新。但同時，各種快速充電的技術也讓人眼花繚亂，而且這些技術之間有些還互不相容，這也為消費者和製造商帶來了困擾。

五花八門的快充協議

1、USB PD 快充協議

“USB Power Delivery”功率傳輸協議，縮寫為 USB PD，由 USB 官方推廣小組 USB-IF 發佈，是目前最為通用的快充協議。

在 USB PD 之前，曾經有一個 USB BC 1.2 規範，用於定制超過 4.5W 的功率傳遞，其原理是使用 USB 介面 4 跟線中的 2 根資料傳輸線，Data+ 與 Data-，改變這兩根線參考電壓值，來進行不同功率傳輸的判別，很多手機廠商都由此定制了自己的快充標準，比如高通最初的快充協議 QC 就是這

圖說：USB PD 可以為諸多設備輸送電力



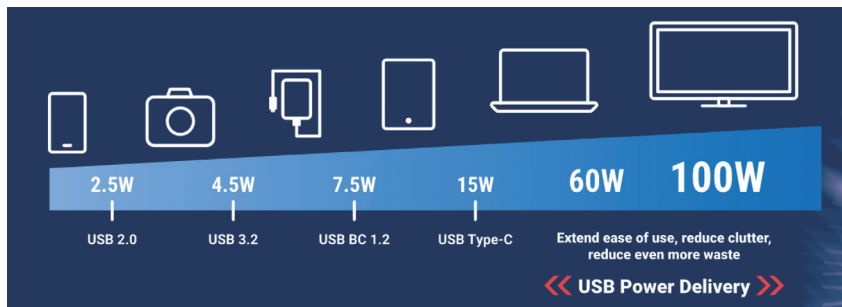
圖片來源：usb.org 網站

麼來的。而且廠商們還做到了互不相容，如同樣是 5V 充電器，早期的三星充電器就不能為蘋果設備充電。直到 Type-C 介面的出現，USB-IF 規定統一採用 CC 埠進行充電協議的識別。

USB3.0 及 Type-C 介面規範相繼問世後，2012 年 7 月，USB-IF 推出了 USB PD 1.0 規範，中間經過數次修改，到 2015 年初，

USB PD 規範已升級到 2.0 版，最大傳輸功率已經達到了 100 瓦。同年年底，USB PD 3.0 規範出臺，此後兩年時間，USB-IF 一直在期待 USB PD 市場的成熟，但是實際上手機廠商們並不太感興趣，而是各自發佈自己的快充協議。如高通的 QC，聯發科的 PE，OPPO 的 VOOC、華為的 SuperCharge 等等。

圖說：USB PD 一開始就瞄準了 100W 供電的目標



圖片來源：usb.org 網站

為改變 USB PD 推廣的不利局面，2017 年 2 月，USB-IF 發佈了 USB PD 3.0 的重要更新，不僅擴展了輸入電壓類型（提供了 5V/9V/15V/20V），還首次將 PPS (Programmable Power Supply) 可程式設計電源納入其中，這使得 USB PD 3.0 的輸入功率變得更為靈活，特別是在輸入電壓方面，可以支援以 200 mV 為單位的精細調節。為保證安全，PPS 協議規定，不得晚於 10 秒，負載和適配器之間要保持一次通信，避免充電過程失控。

一向特例獨行的蘋果，在快充問題上沒有另闢蹊徑，直接採用 USB PD 作為快充協議。蘋果直到 2017 年的 iPhone 8 系列之後才出手，蘋果的筆電 MacBook Pro 16 充電功率達 96W，同樣支持了 PD 快充。出手最晚，但做得徹底，這與 Google 還在辛苦“勸說”，Android 設備要支援 USB PD 快充協定形成反差。

2021 年，5 月 26 日，USB-IF 下屬的推廣小組 (USB Promoter Group) 發佈了 USB PD 3.1 規範，將 USB PD 的傳輸功率提升到

表：USB 功率傳輸演進

USB 規格	最大承載功率	電壓範圍	最大電流
USB 2.0	2.5 W	5 V	500 mA
USB 3.1	4.5 W	5 V	900 mA
USB BC 1.2	7.5 W	5 V	1.5 A
USB Type-C 1.2	15 W	5 V	3 A
USB PD 3.0	100 W	5/9/15/20 V	5 A
USB PD 3.1	240 W	5/9/15/20 V (≤ 100W 功率情境) 28/36/48 V (> 100W 功率情境)	5A

資料來源：筆者整理

了 240W。除了此前的 5V、9V、12V、20V 這四種固定電壓，規範新增了 100W 以上功率情境的三種固定電壓，28V、36V 和 48V，最大電流仍然保持在 5A，並向下相容 USB PD 3.0、2.0 還有 1.0 規範。

一起升級的還有 PPS 可程式設計電源部分，新的可調電壓模式，電壓範圍從 15V 到三個最大電壓之一（28V、36V 或 48V），要求特定電壓達到 100 mV 解析度。

240W 的傳輸功率說明，這一次 USB PD 想要的不僅僅是移動設備的市場。

2、高通 Quick Charge，以下簡稱 QC 快充協議

憑藉在手機處理器市場的強

大地位。高通 QC 快充協定一直處於穩步發展，也是受協力廠商充電設備廣泛支援的快充協定之一。早在 2013 年，高通就推出了 QC1.0 規格，傳輸介面為 Micro USB，那時候只是做到了 5V/2A，最大傳輸功率為 10W，略高於 USB BC 1.2 版本的 7.5W。在隨後的 QC 2.0 和 QC3.0 版本中，高通將最大功率提升到了 36W，提供了 5V/9V 和 12V 的固定電壓選擇，最大電流為 3A，介面形式也增加了 Type-C。

真正的改變是 QC4.0 版本，不僅將最大傳輸功率提升至 100 瓦，電壓範圍從 3.6V 擴展至 20V，並且通過了 USB PD 的認證，這使得 QC4.0 版本開始的充電設備，不僅可以為 Android 世界供電，還可以為蘋果設備充電。

2020 年 7 月，高通發佈了 QC5 充電規格。

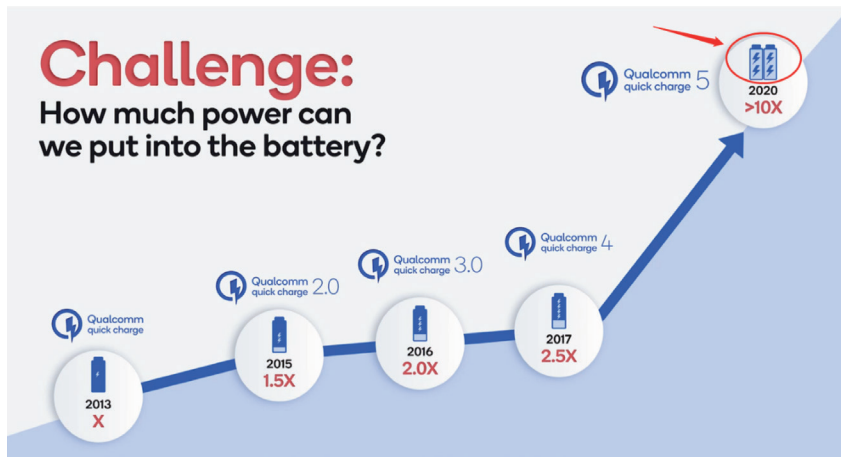
相比 QC4 宣傳的 15 分鐘充電 50%，這次的 QC5 的充電速度更加驚人，從 0 到 50% 只需 5 分鐘，從 0 到 100% 也僅需 15 分鐘。15 分鐘充滿，這可能滿足了絕大多數場景的快速充電需求。

圖說：借助 PPS，USB PD 可將現有的諸多私有協議收入囊中。



圖片來源：usb.org 網站

圖說：QC5 的充電速度 10 倍於 QC 1 版本



圖片來源：高通網站

圖說：高通最新的 QC 5 快速充電技術



圖片來源：高通網站

表：MTK Pump Express 快充協議

MediaTek Products:	PumpExpress+	PumpExpress 2.0	PumpExpress 3.0 (DIRECT CHARGE)
MP SCHEDULE	Now	Now	Q3'16
TA OUTPUT	5V ~ 12V (Fixed 5/7/9/12V)	5V ~ 20V (0.5V per step)	3V ~ 6V (10-20mV per step)
COMMUNICATION	VBUS current modulation	VBUS current modulation	USB PD
CHARGE CURRENT	Single 3A / Parallel 4.5A	Single 3A / Parallel 4.5A+	Direct Charge 5A+
EFFICIENCY	90%	92%	95%
0-70% CHARGING TIME			20 Minutes
CHARGING 5 MINS TALKING			4 Hours

資料來源：聯發科網站

能夠實現快速充電的一個重要原因是，這一次 QC5 支持了雙路電池，這樣在雙路電池並行充電的情境下，即便未作任何改動，充電速度本身就提升了一倍。此外，QC5 採用更高效率的電荷泵 (Charge Pump) SMB1396 和新一代 PMIC (電源管理 IC)，將電源轉換效率提升到 97%，在提升充電速度的同時，使得充電系統發熱大幅度降低，官方宣傳資料說相比前代可以降低 10 攝氏度之多。

3、MTK Pump Express 快充協議，簡稱 PE

另一大手機處理器供應商聯發科，也有推出了自有的快充協議。

出於安全性的考慮，在傳輸功率方面，MTK 的 PE 規範一直在 60W 附近。PE 協定透過手機中的 PMIC 晶片，即時調節實際充電電壓，並未追求極限充電速度，20 分鐘充滿 70% 是 3.0 版本的宣傳目標。同時 MTK 還強調真個電源系統的效率以及線纜的安全性。最新發佈的 PE 4.0 規範最大充電電流提升到了 5A，保持了與 USB PD 規範的部分同步，充電速度變化不大，MTK 宣稱充滿 75% 需要 30 分鐘，Helio P60 SoC 是 PE 4.0

圖說：聯發科 Pump Express Wireless 應用場景



圖片來源：聯發科網站

搭載的主要平臺。

值得一提的是，MTK 還有一個 Pump Express Wireless 技術規範，能夠提供 Qi 標準的低功率 (5W) 和中功率 (高達 15W) 無線充電。

4、三星：最後還是選擇了 USB PD

三星長期保持著全球手機出貨量第一的優勢，很早就研發了自己的快充協議 AFC (Adaptive Fast Charge)，鑒於其 Android 手機霸主的地位，自然也與高通有著密切的聯繫，因此在其 Galaxy Note4 系列上就開始相容了高通 QC2 快充協議。

但是 Galaxy Note7 系列手機 (這個型號的手機至今仍在各大航空公司的黑名單上) 的電池爆炸事件，讓三星對快充問題變得極其保守。很快，在 Galaxy 9 系列手機中，三星取消了對 QC 快充協定的支援，自家的 AFC 協定，一直徘徊在 9V 輸入電壓，15W 傳輸功率這個等級。到 2019 年的 5G 機型 Galaxy S10 發佈時，新產品連自家的 AFC 協定也乾脆不支援了，

圖：三星最新的充電器 EP-TA220NBCGCN



圖片來源：三星電子網站

直接宣佈使用 USB PD PPS 規格快充。

時至今日，三星很多新款手機的充電功率被限制在 25W，官網提供的最新充電器，也只有採用 USB PD PPS 規範的 35W 充電器，這大概就是“十年怕井繩”吧。

5、華為：FCP & SCP

華為先後發佈了兩個快充協議，分別是 FCP (Fast Charger Protocol) 和 SCP (Super Charge Protocol)，從名字上就能看出先後順序。2015 年華為 Mate8 手機就開始搭載 FCP 快充協定，規格為 9V/2A，傳輸功率為 18W，與 QC2 規範一致，二者並不相容。2016 年，華為發佈了 Mate 9 新機，將快充協議升級到了 SCP。傳輸功率達到了 22.5W，4.5V/5A，這種低壓方案的好處是在手機的電源管理部分節約了 DC/DC 的成本，缺點是消費者需要另配一根價值不菲的充電線，因為線纜要承受超過 3A 的電流，需要更高的製造成本。

到 2018 年 Mate20 Pro 型號的機型，SCP 已經提升到

圖說：華為 66W SuperCharge 多協議超級快充移動電源



圖片來源：huawei.com

10V/4A，40W 傳輸功率。2020 年，Mate 40 Pro 發佈，華為再次提升了 SCP 的規格，將輸出功率提升至 66W，依然採用了非標準的輸出電壓 11V/6A。

考慮到市場因素，華為的充電器產品也並非完全採用獨家的快充協定，QC 和 USB PD 也在支持範圍。

6、OPPO：Super VOOC

“充電五分鐘，開黑兩小時”，這是 OPPO 快充最成功的廣告。與很多手機廠商一樣，OPPO 很早就滿足傳統的 USB 介面充電速度，在 2014 年推出了 VOOC 1.0 版本，一開始就直接將傳輸功率提升至 5V/4.5A 22.5W。到 VOOC 4.0 版本，OPPO 將電流提升到了 6A，超過了 USB PD 的 5A 限制，消費者需要使用專用線材。

到 2018 年，OPPO 發佈了 Super VOOC 1.0 超級閃充，提供了 10V/5A，50W 傳輸功率，並將 GaN 材料引入充電器材。2019 年，Super VOOC 2.0，提升至 10V/6.5A，傳輸功率達到 65W。到 2020 年，OPPO 提出了 125W 超級閃充技術和 65W 無線充電技術。

根據 OPPO 新聞，125W 超級閃充在手機溫度 $\leq 40^{\circ}\text{C}$ 的前提下，實現了 20 分鐘充滿等效 4000mAh 電池能量的手機，採用並聯三電荷泵，多極耳雙 6C 電芯，配合十顆新增溫度感測器的嚴苛溫控，保障高速充電安全不燙手。

在輸入端，125W 超級閃充採

圖說：OPPO 的 125W 超級閃充和 65W 無線充電



圖片來源：OPPO 網站

用轉換效率高 98% 的並聯三電荷泵方案，適配器輸出的 20V 6.25A 經過三電荷泵降壓轉換成 10V 12.5A 進入電池，每個電荷泵只需轉換 20V 2.1A 大約 42W 左右的功率，有效地避免了大電流造成的電荷泵超載、過熱。在電池端採用了 6C 電芯，極耳中置 (MMT) 升級為多極耳 (MTW) 技術，將電荷的運動路徑成倍的縮短，電芯阻抗進一步降低，允許輸入高達 12.5A 的大電流。

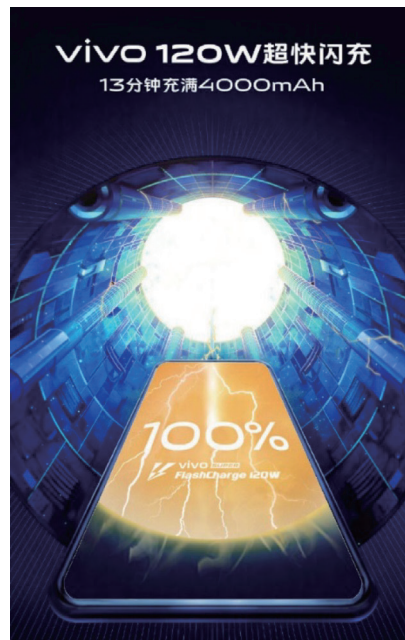
目前，已經有超過 30 款機型搭載了 Super VOOC 技術，其中大部分是採用了 Super VOOC 2.0 版的 65W 快充。

7、VIVO：Super Flash Charge

VIVO 和 OPPO 兩家公司千絲萬縷的聯繫也體現在快充技術上，他們的快充協議差別很小。

早期的 Flash Charge 充電協議也是 22.5W，5V/4.5A，到 2.0 版達到 33W。2020 年發佈了 Super Flash Charge 協定，將規格提升至 11V/4A，功率提升到

圖說：2020 年，在新機型 iQOO 5 Pro 上展示了 120W 閃充技術。



圖片來源：VIVO 網站

44W，這與 OPPO 同期的 50W 快充基本一致。

8、小米：Super Charge Turbo

小米的快充協議基本上是在 USB PD PPS 基礎上進行修改，推出了自己的 Super Charge Turbo 技術，目前已經擁有 120W、67W、

圖說：小米 120W 充電器 型號 MDY-12-ED



圖片來源：mi.com

55W、33W 等快充功率檔位。在 100W 快充這個級別上，也附帶了無線充電的版本，根據小米公司提供的資料，他們最新的 Super Charge Turbo 技術可以在 17 分鐘內將 4000mAh 的電池充滿。

小米最新發佈的 120W 充電器，提供 5V/3A，9V/3A，11V/6A 以及 20V/6A，四種傳輸規格，與 USB PD 官方公佈的規格不太一樣，但除了 11V/6A 這個規格，其他幾項均與 USB PD 相容，只是同等級功率的手機目前還沒有任何消息。

E-Marker 標識給充電線加“智”

E-mark，全稱為：Electronically Marked Cable: 封裝有 E-Marker 晶片的 USB Type-C 有源電纜，USB PD 協議透過 DFP 和 UFP 可以讀取該電纜的屬性：電源傳輸能力，資料傳輸能力，ID 等資訊，所有全功能的 Type-C 電纜都應該封裝有 E-Marker，USB-IF 規定，所有承載 3A 以上電流的 Type-C 線纜要求必須帶有 E-mark 晶片。

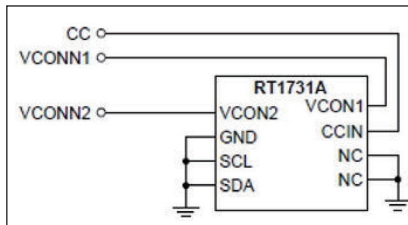
在充電功率 60W 一下的使用

圖說：帶有 E-Marker 晶片的 Type-C 線纜，



圖片來源：gosh.co.th

圖說：來自的 E-Marker 晶片



圖片來源：Richtek 網站

情境下，基本上不需要使用到帶有 E-marker 標識的線纜，但是現在隨著高功率快充技術開始普及，E-Marker 晶片的線纜就會成為很多消費者的必需品了。E-marker 晶片本身並非功率傳輸器件，他主要的功能是記錄控制線纜的傳輸能力，以便在進行快充或者高速資料傳輸時與充電和資料傳輸設備配合，最大程度發揮線纜的效率。

立錡 (Richtek) 科技的 RT1731A 是支援 USB-C 型介面和 PD 應用的電纜標籤 IC，具備 USB4 電纜的支援能力，可通過 SOP' 通訊進行 USB PD 應用需要的結構化 VDM 身份識別，DFP 主

圖說：Cypress 的 EZ-PD 埠控制器 CCG2



圖片來源：cypress.com

機可通過它瞭解電纜特性如電流承載能力、性能、供應商等資訊。其 VCONN、CCIN 具備 VBUS 短路保護能力，可防範高達 20V 以上的應用中出現短路時可能帶來的傷害。

也有廠商將更多功能集中在 E-Marker 晶片上，比如 Cypress 的 EZ-PD CCG2 埠控制器，這個晶片不僅向電源報告線纜特性（如額定電流、線纜長度）等等，為被動電子標記電纜元件 (EMCA) 電纜、主動 EMCA 電纜、USB 型 C 筆記型電腦、電源適配器、監視器、碼頭和電纜適配器（加密狗）提供了解決方案，同時 EZ-PD CCG2 通過集成 C 型收發器、終止電阻和系統級 ESD 來降低 BOM。

具有智慧的 Type-C 線纜，安全和效率將是這類線纜的最大賣點，也是大功率快充的必需品。

改了快充的電荷泵技術

首先需要明確的事情是，不管快充協定規定了多少種電壓，5V 到最新的 48V，最終載入到電池的電壓一定是 4.2V（這裡特指移動設備中的鋰電池）附近，這是鋰電池的特性決定的。之所以有那麼多種電壓規格，主要還是為了傳遞更大

的功率。直流電傳輸功率等電壓與電流的乘積，為了降低傳輸電流，就只好提升電壓，優點是充電線就不必要求特別苛刻了，這點可以參見前文的 E-marker 晶片的強制規定。但是高壓不能直接輸送到電池兩端，因此需要經過降壓處理。

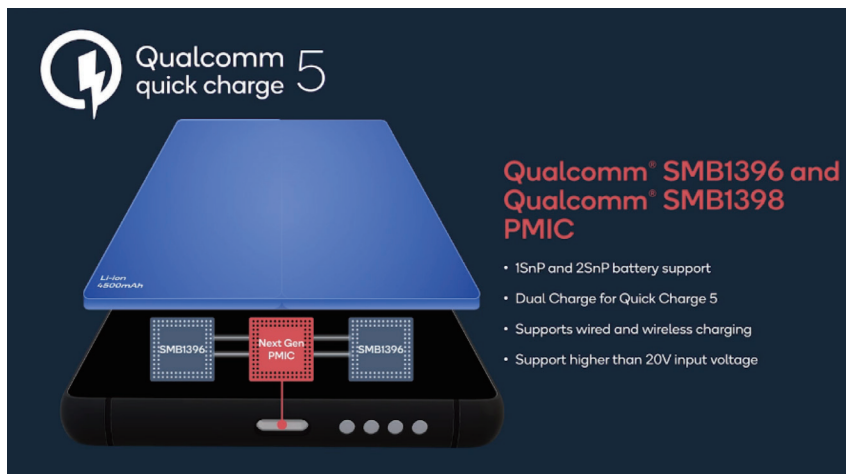
傳統的 DC/DC 轉換器會出現嚴重的發熱情況（轉換效率小於 90%），電荷泵的出現解決了這個問題。

電荷泵是一種無電感式 DC-DC 轉換器，利用電容作為儲能元件來進行電壓電流的變換。因不需要兩次磁電轉換，電荷泵的能量效率非常，轉換效率高達 97%，可以很好地解決高壓轉換時的發熱問題。

目前已知在手機端使用的電荷泵產品，有 TI 的 BQ2597x 系列，NXP 的 PCA9468，高通自家的 SMB139x 系列，Dialog 的 DA9313，還有 NXP、Cypress、Diodes 等公司，這些公司都拿到了高通 QC4+ 的授權，臺灣廠商芯穎、通嘉、昂寶等公司也在其中。

在高通公佈的 QC5 展示中，我們看到了兩顆 SMB1396 電荷泵，分別為兩顆電池輸送電力。而 OPPO 在 125W 的超級閃充技術中，

圖說：高通 SMB1396 電荷泵



圖片來源：qualcomm.com

在手機端使用了並聯三電荷泵的方式，進一步提升電流並降低發熱。

有了電荷泵以及多電芯的技術方向，手機的充電速度才能進一步加快，兩顆電池不夠快，可不可以拆成 3 顆，4 顆？只要電池能夠承受足夠大的電流，並且控制好發熱的狀況，在移動設備上，超過 60W 的充電功率輸送就會快速普及開。

小結：快充正在向 USB PD 方向集中

不知大家是否記得十幾年前，

智慧手機剛剛面世時的情況，幾乎每一種設備就會有一個專用的充電器和充電線。這導致相關產品電子垃圾的數量激增，很多國家和政府無法忍受這一情況。陸續出臺各種法規，強制要求統一線纜和充電器設備，情況才逐漸改觀。在各種法令以及智慧手機市場的引導下，大部分充電線都變成了 Micro USB 或者 Mini USB 介面，而充電器也統一變成了 5V 輸出電壓，輸出電流在 1A 左右。

但是這幾年快速充電技術的發展，讓情況又有了變化，由於很

多製造商採用了私有的快速充電協定，大家的充電電壓、電流都不相同，因此人們家中充電器數量又開始增加。協力廠商電源适配器的製造商業也會感到困惑，雖然有協定晶片可以識別大部分的快充協議，但也會增加設計複雜度和產品成本，何況還會有新的快充技術需要跟進。使用者萬一買到的電源與自己的設備不匹配，還影響消費體驗。

所幸的是 USB-IF 為 USB PD 及時打上了補丁增加了 PPS(可程式設計電源)，並聯合 Google 進行強推，要求配有 Type-C 介面，Android 7.0 版本以上手機必須支援 USB PD 快充。

在可程式設計電源的模式下，USB PD 理論上可以在規定範圍內調節出任何所需的電壓，不管是 10V 還是 11V，都可以實現輸出，這樣就會有很多私有快充協議被“收編”。像蘋果和三星這樣的大廠，主動選擇加入了 USB PD 陣營，一些私有快充協議的公司加入了對 USB PD 的支持，但在高端應用了保留了自己的規格，為客戶帶去更好的使用者體驗，者也算是一種雙贏的策略。

得益於市面上主流的智慧設備對 USB PD 協定的相容，iPhone、MacBook、x86 筆電等等，還有市面上大部分採用 Type-C 介面的 Android 設備乃至一些遊戲裝置陸續都能用 USB PD 協議進行快充，這應該是一個美好未來的開端。CTA

圖說：古早充電器設備



圖片來源：安森美半導體網站