



消費性電子電力
多工高速傳輸
介面白皮書



Empowering Trust™

報告摘要



在高品質影音、行動通訊、物聯網等應用需求的帶動下，消費性電子高速傳輸介面的市場產值有驚人的成長，而現在的四大陣營 USB、Apple、DisplayPort 與 HDMI 將如何競合？UL 將透過此白皮書，從六大關鍵包括傳輸速率、終端應用、多平台支援、可攜性與製造成本、多工能力，和長期的安全耐用性切入觀察，剖析各陣營的發展與優劣勢，期能理出未來的發展方向。

傳輸介面發展的六大關鍵



傳輸速率



終端應用



多平台支援



可攜性與
製造成本



多工能力



長期的安全
耐用性

商機龐大， 四大陣營引領技術演進



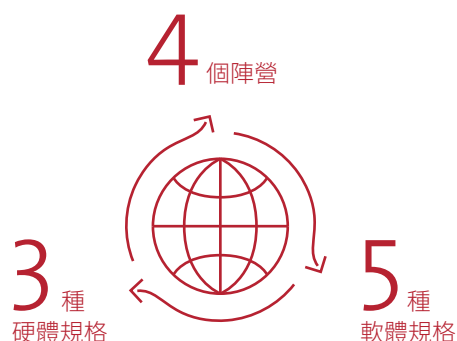
依據 Grand View Research 的研究報告指出¹，高速線纜的年市場產值預估在 2025 年將達新台幣 4,000 億大關，應用需求主要來自於四大面向，依序為消費性電子、網際網路、資料儲存與高效能運算，其中消費性電子線纜的產值超過 40%，年複合成長率為 6%。而 USB、Apple、DisplayPort、HDMI 是消費性電子高速傳輸介面中最受矚目的四大陣營，彼此間已有近 20 年的技術與市場的競合發展。

因為商機龐大，競爭也相當激烈，從各家研究報告中就可看出端倪。根據研究機構 IHS 的趨勢報告²，預估 2019 年 USB Type-C™ 裝置的出貨量將超過 20 億，五年複合成長率達 231%；另預估 VESA 協會的 DisplayPort 將在 2021 年達到近 10 億的裝置出貨量，五年複合成長率為 131%；針對 HDMI 則預估在 2021 年裝置出貨量超過 10 億，五年複合成長率達到 5.3%。

而在 TThunderbolt™ 開發者論壇的報告中指出³，Intel 及 Apple 共同主導的 Thunderbolt™ 3 在借用了 USB Type-C™ 的介面後，也呈現快速的成長趨勢。由於 DisplayPort 2.0 也宣稱要借用 USB

Type-C™ 的物理介面，USB 本身又想要繼續推出新規格的高功率通訊電力多工線纜 USB Power Delivery，因此未來三年將出現四個陣營、五種軟體規格、三種硬體規格之前所未見的複雜局面。本文將從使用者的各種觀察角度切入，梳理各陣營的發展過程與優劣勢，協助消費者選擇規格適當、又能長久安全使用的消費性線纜。

傳輸介面的競合發展



六大關鍵因素 決定消費性電子傳輸介面的發展

儘管有 Apple、USB、HDMI 與 DisplayPort 四大陣營跨入電力線纜領域，但是到底哪個陣營能夠勝出或者繼續分庭抗禮？我們觀察，傳輸速率、終端應用、多平台支援、可攜性與製造成本、多工能力與長期耐用性等會是業者脫穎而出的六大關鍵因素。

一、晶片技術與針腳數決定傳輸速率

資料傳輸線最基本的要求，在於包括數量與品質的資料傳輸能力，要能在有限的空間與時間下傳輸更多資料，以交通比喻，就是要增加車道與減少人均占用體積，所以傳輸線的針腳數與負責壓縮及解壓縮的資訊處理晶片，是通訊傳輸能力的第一關鍵，這代表廠商需具備強大的晶片設計和硬體規劃能力。

1977 年 Apple II 的銷售席捲市場，自此 Apple 成為定義個人電腦設備架構的領導者，但是在 Microsoft 的 DOS 1.0 作業系統與 Intel 晶片以開放式架構切入市場後，威脅了 Apple Macintosh 的封閉式系統。而 1993 年 Windows 3.0 的全面成功，讓 Apple 拱手讓出個人電腦架構的主導地位。直到 2008 年 iPhone 3 以全螢幕觸控手機開闢新的戰場後，Apple 挾著行動通訊的優勢，才重新取得架構標準定義的話語權。

採用封閉式系統架構與一體式架構 (All in one) 的 Apple，一直能以較簡單的連接架構專注於傳輸效率的發展。像是早期知名的並行連接介面 SCSI (Small Computer System Interface)，因其採用 7 對訊號傳輸針腳而從 1980 年代起獲得 Apple 的青睞，並成為 2000 年以前高速傳輸線的代名詞。SCSI 不但可連接電腦內部，也可連接外部的電腦周邊設備，是最早期的統一傳輸介面。不過隨著周邊裝置種類越來越多，電腦體積則越來越小，即使 SCSI 具備統一優勢，但是 50 支針腳所占體積龐大，無論是接頭或是傳輸線材的成本都難以下降，阻礙了個人電腦的普及化，直到今日才演變成 USB Type-C™ 的高密度連接器又重回到多腳位傳輸的做法，如表一所示。即使是 2001 年推出最高速的 320Mbps，贏過 USB，但 SCSI 介面最終還是因 USB 的普級而幾乎停止了發展。





資料傳輸線需要在

有限的**空間**與**時間**內

傳輸更多資料

針	內容	針	內容
A1	接地	B12	接地
A2	SuperSpeed差分訊號#1, TX, 正	B11	SuperSpeed差分訊號#1, RX, 正
A3	SuperSpeed差分訊號#1, TX, 負	B10	SuperSpeed差分訊號#1, RX, 負
A4	匯流排電源	B9	匯流排電源
A5	Configuration channel	B8	Sideband use (SBU)
A6	USB 2.0差分訊號, position 1, 正	B7	USB 2.0差分訊號, position 2, 負
A7	USB 2.0差分訊號, position 1, 負	B6	USB 2.0差分訊號, position 2, 正
A8	Sideband use (SBU)	B5	Configuration channel
A9	匯流排電源	B4	匯流排電源
A10	SuperSpeed差分訊號#2, RX, 負	B3	SuperSpeed差分訊號#2, TX, 負
A11	SuperSpeed差分訊號#2, RX, 正	B2	SuperSpeed差分訊號#2, TX, 正
A12	接地	B1	接地

表一：USB Type-C™ 的 24 支針腳定義

80 腳的連接器雖然有最多的腳數，但是太過笨重，為了擺脫笨重的 SCSI，Apple 自 1995 年起推出與 Wintel (Windows + Intel) 陣營競爭的次世代傳輸介面 IEEE 1394，別名為 FireWire。FireWire 結合了更高效能的訊號壓縮解壓縮軟體與處理晶片，僅利用 2 對資料傳輸針腳與 1 對電力傳輸針腳就輕易地達到 400Mb/s 的傳輸速，在同樣的線材物理架構下，遠遠超過 1996 年 USB 的 1.5Mb/s 傳輸速率。2002 年的 FireWire 800 版本更具有 800Mb/s，屬於影音資料多功能傳輸線，一直到 2008 年才落後於 USB 3.1 版本的 5Gb/s。

正反插便利設計誕生

為取回傳輸速度的優勢，Apple 在 2011 年宣布推出 Firewire 的後繼線種，也就是與 Intel 合作的 Thunderbolt™ 第一代具有 20 支針腳，6 對進行資料傳輸並帶有電力傳輸功能，以及雙向共 10Gb/s 的多工傳輸線，使其登上當年多功能通用高速傳輸線纜的最高寶座。2013 年 Thunderbolt™ 第二代上市，線纜架構雖然不變，但為了滿足 1080p 視訊傳輸的要求，傳輸速率則推升到雙向各 10Gb/s。另一方面，為因應越來越輕薄短小的行動裝置需求，Apple 也在 2012 年推出了行動裝置專用的高速傳輸線 Lightning，以 8 支針腳內含兩對訊號傳輸與一對電力傳輸。雖然只有 30Mb/s 的傳輸速率，但是 Lightning 開放另一端也可兼容 USB 的傳輸介面，因此儘管犧牲了獨特性，但是反而擴大了 iPhone 的使用便



利性，讓消費者不再需要為了 Apple 設備採用完全不同的周邊系統。同時，Lightning 也一舉突破傳統連接器的不對稱防呆介面設計，提供可正反插的便利設計，降低了製造難度並提升了使用的可靠性。後來 2014 年推出的 USB Type-C™ 也採用了可正反插的設計。

相對於 USB 的廣泛應用，HDMI 則訴求高品質影像的傳送，因此 HDMI 採用了多達 19 支的針腳進行資料傳輸的工作，其中包含 3 組資料傳輸 (每組 2 支訊號加上 1 支隔離)。

DisplayPort 則採用 20 支針腳，內含 4 對訊號傳輸與 1 對電力傳輸，也可達到高速傳輸的目的，從 1.0-1.1 版本的 10Gb/s，到 2010 年 1.2 版的 17.28Gb/s，2014 年 1.3 版的 32.4Gb/s，1.4 版維持 32.4Gb/s，但是支援新的影像壓縮格式。2019 年中剛推出 DP2.0 版本，屬於可支援 8K/60Hz 的高速高品質影像傳輸。表二列出了歷史上重要連接器的針腳數與傳輸速率。

線種	發表年份	針腳數	傳輸速率
SCSI-2	1989	50	10 MBps
SCSI-3	1994	68	20 MBps
Thunderbolt™ 2	2011	20	20Gbps
Lightning	2013	8	30Mbps
Thunderbolt™ 3	2015	24	40Gbps
DisplayPort 1	2016	20	32.4Gbps
MiniDisplayPort	2016	20	32.4Gbps
DisplayPort 2.0	2019	24	80Gbps
USB 3.1	2013	9	5Gbps
USB Type-C™	2018	24	20Gbps
HDMI 2.1	2018	19	48Gbps

表二：各種線纜的連接腳數與最大傳輸速率比較

二、終端應用業者影響力大

應用是推升規格的動力，而消費性電子產業最重要的應用就是視聽娛樂了，因此視聽娛樂業者對於消費性電子規格的发展，一直有著舉足輕重的影響。舉例來說，在多年的系統戰爭之後，雖然 Apple 擁有單一最暢銷的電腦裝置機種，仍然難以對抗走開放陣營的 Wintel，以及 Android 陣營的機海戰術、開放性授權與架構的成本優勢。由於單獨支援 Apple 的裝置種類無法成長到可見的規模，線纜升級的設計與模具成本也未下降，又受到無線傳輸陣營的進逼以及政府對於反壟斷傾向的壓力，Apple 終於在 2015 年宣布其最新一代有線傳輸技術 Thunderbolt™ 3 將採用 USB Type-C™ 的物理結構⁵，並相容於 DisplayPort 的新一代高品質影音傳輸系統。可見在消費性電子產業中，微笑曲線的另一端也是不可輕忽的力量。

類比與數位合流，電腦與資訊整合

西元 2000 年以前，類比影像與數位影像一直分處兩個陣營，但在 2002 年後，平面與數位電視的興起及電影技術數位化的要求，使原來的類比影像業者開始嘗試踏入數位影像硬體。2002 年，因應第一代高品質影音 1080p 需求而進場的 HDMI，全名為 High-Definition Multimedia Interface，主要是由 Sony、Philips、Panasonic、Toshiba 等影音設備大廠領軍組成。當 2000 年大尺寸的電漿與液晶平面電視技術開始成熟後，推升了高解析度顯示介面的需求，顯示解析度從傳統電視 NTSC (640*360) 大幅度躍升到了 HDTV 1080p (1920*1080) 等較高的解析度規格，如表三所示。然而，隨著數位視訊與液晶螢幕的技術與產量快速發展，電腦顯示與電視顯示的用途合而為一，讓 HDMI 也跨入了資訊顯示的領域。

名稱	寬 (像素)	高 (像素)	寬高比	公布年分
NTSC	640	360	16:9	1954
PAL	720	405	16:9	1962
HDTV	1280	720	16:9	1983
Full HDTV	1920	1080	16:9	1983
4KTV	3840	2160	16:9	2007
8KTV	7680	4320	16:9	2013

表三：電視螢幕解析度的分類



HDMI 採用較多針腳做為較多的通訊通道，因此理論上能更快傳輸更大量的資料，而且不需要更換連接器與線材架構就可以提升速率。HDMI 在 2002 年推出的第一代架構就可以達到近 4.95Gbps 的傳輸速率，如表四所示，2009 年的 HDMI 1.4a 版本，在不需要更換介面的情況下依然能夠達到 10.2Gbps 的水準。2018 推出的 2.1 版本，速度更推升到 48Gbps。⁶

	2009	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
HDMI 版本	61.4a	2.0			2.0a	2.0b	2.1		
解析度	1920x1080			3840x2160					
MPEG 版本	Main/4.1	Main/5.0	Main/5.1				Main/5.2		
每秒畫面張數	25/30			50/60			100/120		
色階數	8 位元				10 位元				
影像傳輸速率	10.2 Gbps		18 Gbps				48Gbps		

表四：HDMI 的規格演進

表五中位於微笑曲線中段的 USB 與 DisplayPort 的影響力較小。自 1993 年就推出 Macintosh TV 的 Apple，雖然在 2017 年推出第五代 Apple TV，除了自有品牌硬體以外，也創造自身的頻道與節目，想要分食終端市場大餅，卻並未採用特殊的影像傳輸規格，難以撼動 HDMI 的優勢。

線種	領導業者	關鍵資料型態需求
USB Type-C™	Intel/Microsoft 電腦周邊資料輸入輸出裝置	硬碟：10Gbps
Thunderbolt™ 3	Apple 電腦與周邊輸出入資料影像裝置	影像：20Gbps 影像：8K/60fps/10bit
DisplayPort 2.0	VESA 數位影像裝置製造商	影像：8K/60fps/10bit
HDMI 2.1b	中下游居多	影像：8K/60fps/10bit 影像：4K/120fps/10bit

表五：各種線纜陣營的領導業者與資料應用需求



視聽娛樂應用

是推升消費性

電子產業規格的動力

三、跨平台支援增加消費者採用意願

相對於微笑曲線兩端業者的利益優勢及鮮明的陣營抗衡色彩，中游業者相對之下競爭者眾、規模較小，但是消費者只想要簡單，不想購買多套同性質卻無法交換或者相容的系統，所以跨平台相容性也成為影響消費者與消費性電子業者的重要力量。

相對於 Apple 與 HDMI 的壟斷性規格，DisplayPort 是由美國視訊電子標準協會 (Video Electronics Standards Association, VESA) 在 2006 年所建立的新影像傳輸介面，該協會由晶片及電腦製造商所組成。早期視聽娛樂與電腦的影像格式和更新頻率要求不同，如表六所示，影音娛樂採用 5:4 或 16:9，每秒 30 張影片即可，影音混合在一條線上，電腦則是 4:3，更新頻率為 60Hz 以上，音源則常常是獨立一組線輸出，因此 DisplayPort 與 HDMI 剛開始的陣營、立意及規格都不相同，經過十餘年的進化，如表七所示，傳輸速率和介面形式均有所更改，目前已在 2019 年發布 DP2.0 規格。⁷

名稱	寬 (像素)	高 (像素)	寬高比	公布年分
VGA	640	480	4:3	1987
SVGA	800	600	4:3	1989
XGA	1024	768	4:3	1990
WXGA	1280	720	16:9	2010
Macintosh	1152	870	4:3	1984
SXGA	1400	1050	5:4	2007
UXGA	1280	1024	4:3	2007
QXGA	2048	1536/1600	4:3	2012

表六：電腦螢幕解析度的分類



消費者想要

簡單且相容的系統



版本	年分	傳輸速率	最大傳輸影像規格	介面形式
VDP 1.0	2006	10.8Gbps	3840 x 2160 / 30 Hz	特殊規格 (20針)
DP 1.1	2007	10.8Gbps	3840 x 2160 / 30 Hz	
DP 1.1a	2008	10.8Gbps	2560 x 1600 / 60 Hz	
DP 1.2	2010	17.28Gbps	3840 x 2160 / 60 Hz	特殊規格 (20針)/ miniDP (同Thunderbolt™ 2)/ USB Type-C™ (同Thunderbolt™ 3)
DP 1.2a	2013	17.28Gbps	3840 x 2160 / 60 Hz	
DP 1.3	2014	32.4Gbps	5120 x 2880 / 60 Hz	
			7680 x 4320 / 30 Hz	
DP 1.4	2016	32.4Gbps	7680 x 4320 / 60 Hz / 10 Bit	
DP 1.4a	2018	32.4Gbps	3840 x 2160 / 120 Hz / 10 Bit	
DP 2.0	2019	80Gbps	7680 x 4320 / 60 Hz / 10 Bit	USB Type-C™ (同Thunderbolt™ 3)

表七：DisplayPort 的規格發展歷程

USB Type-C™ 統一影音、資料與電力傳輸介面

由於不具備實體線纜製造的能力，DisplayPort 從 1.2 版本起也開始借用 Apple 的 Thunderbolt™ 第二代電纜物理架構，並稱之為 MiniDisplayPort，簡稱 MDP，但這兩者並不完全相容，也就是說，Thunderbolt™ 2 主機可以接上 MiniDisplayPort 的顯示設備，MiniDisplayPort 的主機卻無法接上 Thunderbolt™ 2 的專用顯示設備，如圖三所示，必須加上特殊圖示來區別以避免誤用。不過，如前所述，Thunderbolt™ 2 專用的顯示設備比起支援 MiniDisplayPort 的顯示設備要少得多，不至於造成使用者太大的困擾。



圖三：DP 與 Thunderbolt™ 的標示差異，左方為 Thunderbolt™，右方為 MiniDP®



USB Type-C™ Thunderbolt 3 DisplayPort 2.0 共享物理界面

有了借用 Thunderbolt™ 2 物理架構的成功經驗，DisplayPort 2.0 也將跟隨 Thunderbolt™ 3 的腳步，借用 USB Type-C™ 的物理架構，在 USB Type-C™ 上實現 8K/60Hz 的影像傳輸。這使得 USB Type-C™ 一躍成為影音、資料與電力傳輸等三模混合，並可正反插的統一線纜物理界面。USB 如今成為跨電腦與電視影音、數據資料甚至電力的平台，只剩下 HDMI 採用獨立的物理界面，而且只能傳輸影音，無法做為一般數據資料傳輸的介面。

表八列出了不同線種陣營的主打應用，不難看出 USB Type-C™、Thunderbolt™ 3 與 DisplayPort 2.0 具有較大的重疊面，三者整併對消費者來說也是一大福音。

線種	應用性
USB Type-C™	資料/影音/電力
Thunderbolt™ 3	資料/影音/電力
DisplayPort 2.0	數位影像/娛樂遊戲
HDMI	數位影音

表八：不同線種的功能需求與傳輸資料型態

四、可攜性與製造成本不可忽略

如同前述，多數陣營中的業者都會結合大型商業用戶或與供應商合作以推展自家產品，藉由壓倒性的高市佔來提高價格與利潤，但此舉往往與消費者的意願背道而馳。長期的使用相容性與產品的體積 / 重量會影響消費者的便利性，最終還會影響產業的發展。

全名為通用串列匯流排 (Universal Serial Bus) 的 USB，最初是由英特爾與微軟倡導發起，最大訴求是儘可能實現熱插拔和隨插即用。當 USB 裝置插入時，主機會偵測到該裝置並載入所需的驅動程式，因此在使用上遠比 PCI (Peripheral Component Interconnect) 和 ISA (Industry Standard Architecture) 等匯流排方便。USB 的設計宗旨就是要透過一條多功能的線纜，以串接的方式達到簡化線材與簡化連接架構的工作，既能傳輸電力，也能傳輸資料。從 1996 年 1 月成立至今，USB 已經成軍超過 20 年，傳輸速率從 1.5Mb/s 成長到 5Gb/s，超過 300 倍的速率飛躍。原本不變的 4 支針腳結構，提升到 10Gb/s 高速版本所需的 10 支針腳，如表九所示，USB Type-C™ 結構的針腳總數更到了驚人的 24 支，成為超高密度的連接器架構。而其原本 2mm 的針腳寬度與間距，也降到了 0.5mm，為線纜系統業者帶來了前所未有的改變與挑戰！

年代	版本	傳輸速率	介面形式
1996/01	USB 1.0	1.5 Mbps	USB Type A/B
1996/09	USB 1.1	12 Mbps	USB Mini A/B
2000/04	USB 2.0	480 Mbps	USB Micro A/B
2008/11	USB 3.0	5 Gbps	USB Type A/TypeB USB Mini B/Micro B
2013/07	USB 3.1	10 Gbps	USB Type A/USB Type-C™
2017/09	USB 3.2	20 Gbps	USB Type-C™
2019/09	USB 4	40 Gbps	USB Type-C™

表九：USB 的歷史演進

USB 推廣小組在 2019 年九月公布 USB4 規範，推廣小組主席 Brad Saunders 指出，根據以往經驗，採用新規格來開發新產品的時程大約是 12-18 個月，因此我們在 2020 年或許會在市場上看到到支援 USB4 的產品。

連接線	典型線頭尺寸 (mm) 斷面寬*斷面高*頭長	大約體積 (ml)
Ultra SCSI 320	12 * 70 * 110	90
DisplayPort 1.X	20 * 11 * 54	12
Thunderbolt™ 2	8 * 11 * 33	3
Lightning	9 * 6 * 16	1
USB Standard Type A	16 * 8 * 40	5
USB Type-C™	10 * 6 * 40	3
HDMI	20 * 10 * 60	15

表十：各種線纜接頭的尺寸與體積

如表十所示，各家連接線陣營的攜帶便利性不言可喻。雖然 Lightning 具有體積最小的優勢，但只能支援 Apple 自家裝置，USB Type-C™ 雖然體積較大一些，但合併了 DisplayPort 2.0 與 Thunderbolt™ 3，確實比 HDMI 在可攜性、製造成本與應用裝置上有更強的優勢。



10 倍傳輸速率的進步

讓接頭體積變成 1/10 以下

五、通訊電力多工優化應用提供便利性

回顧電力的發明歷史，最早是為了通訊而非用於一般民生，但是電燈與發電機的成功，反倒讓民生電力的需求開始與通訊的需求分道揚鑣。通訊需要的是電池所提供的低電壓穩定直流電力，並藉由開關來產生能轉變為資訊的訊號，民生電器則需要高電壓的交流電力以降低傳輸過程的損耗。電器用交流電，通訊則用直流電，各有電力來源，也採用不同線纜。

個人電腦的誕生，首度將電器與通訊應用合併在一起。為了運作可互相通訊的設備，必須將交流電轉換成直流電以產生訊號，但為了不斷電的需求，又要將電池的直流電轉換成交流電以供電力使

用。有了脈波寬度調變晶片 (Pulse Width Modulation, PWM)，可以把交流變直流，有了絕緣柵雙極電晶體 (insulated-gate bipolar transistor, IGBT)，又可以把直流變成交流，這使得所有通訊線纜均同時具備了電信與電力的多工傳輸能力，並依據電力與資料需求而提供不同的規格設定，如表十一所示。

各陣營中最早提出的是 Apple，但是推動最積極也最成功的卻是 USB。不過，即使是 USB，也要等到 2012 年才公布了 Power Delivery 1.0 規格 9。如表十一所示，USB 制定了 5 個供電等級，最高支援到 20V/5A 即相當於 100W 的電力供應量；電源供應的方向不再是單一的

特性，供電端 (Source) 與收電端 (Sink) 可互為雙向式供應電源；利用 23.2MHz 的 VBUS Channel 收發載頻，以 300kbps 傳輸速度來傳遞 Frequency Shift Keying (FSK) 訊號，並決定實際發送的電壓值與電流值，讓各種裝置皆能透過單一 USB 線纜滿足供電需求，縮短裝置充電時間並優化行動應用的便利性，同時能夠相容既有的 USB 及 Battery Charge 充電規範。隨後又於 2016 年八月開始了 USB PD 3.0 規格的計畫 10，並在 2018 年正式公布了 USB PD 3.0 的正式測試計畫 1.0 版，準備最大提供到 20V/5A 也就是 100W 的功率，以便提供如標準筆電 (60W) 甚至是液晶螢幕 (100W) 的功率。





通訊線的高頻率線要越細

電力線的高功率線要越粗

形成**整合難度**

線種	功率	用途實例	介面規格
SCSI	5V (1A)	裝置連接/訊號	SCSI
Thunderbolt™ 2	5V (100W)	裝置連接/充電	Thunderbolt™ 2
Lightning	5V (2.1A)	裝置連接/充電	Lightning
HDMI	5V (50 mA)	訊號	HDMI
DisplayPort 1.X	5V (9 mW)	訊號	DisplayPort/Thunderbolt™ 2
USB 2.0	2.5W	非智慧型手機	Standard A/B
USB 3.0	4.5W	智慧型手機	Mini A/B
USB BC1.2	7.5W	數位相機	Micro A/B
USB PD (等級1)	10W (5V/2A)	行動電源	USB Type-C™
USB PD (等級2)	18W (12V/1.5A)	Netbook	
USB PD (等級3)	36W (12V/3A)	Ultrabook	
USB PD (等級4)	60W (20V/3A)	Notebook	
USB PD (等級5)	100W (20V/5A)	平面顯示器	Standard A/B

表十一：各種消費性線纜的電力分級規畫

六、整體性的安全測試與認證，才能確保長期使用的安全

儘管如表十一所示，USB 希望能在 Standard Type 介面上實現 100W 的傳輸規格，然而電力傳輸時的安全問題，與電壓和電流都有關係。首先是傳輸電流增加所產生的發熱問題，如果要讓 5V 的 USB 操作電壓攜帶 100W 的功率時，負載電流就必須要達到 20A，而依據美國國家電工法規長時間連續負載電流 20A 的電線，導線的規格至少要達到 12AWG，也就是導線直徑至少要有 2.05mm (單芯線) 或 3.31 mm² (多芯絞線)，然而在 USB Type-C™ 的規格表中，導線寬度卻只有 0.5mm，最寬頭 Type A/B，導線直徑也只有 1.0 mm；規格設定為 60W 仍然低於電工法規如表十二關於長時間連續負載的默認安全要求，也就是說長時間連續使用下可能會有安全疑慮。

美國線規格 (AWG)	銅導線直徑 (mm)	電工法規 75°C 額定溫度可通過最大電流 (A)	接近銅徑連接端子
16	1.291	10 (Table 522.22)	
18	1.024	7 (Table 522.22)	USB Standard Type A/B
20	0.812	5 (Table 522.22)	
22	0.644	3 (Table 522.22) 3 (Table 725.144)	USB Mini/Micro A/B
23		2.5 (Table 725.144)	
24	0.511	2 (Table 522.22) 2 (Table 725.144)	USB Type-CTM/HDMI
26	0.455	1 (Table 725.144)	
28	0.321	0.8 (Table 522.22)	Thunderbolt™ 2/DisplayPort 1.X
30	0.255	0.5 (Table 522.22)	Lightning

表十二：美國電工法規在不同線徑下所允許的銅導體最大電流與接近線徑的連接線列表





另一方面，透過提高操作電壓以減少負載電流，依據美國電工法規 NFPA 70 的規定，等同於 USB Type-C™ 針腳直徑 (0.5mm) 的純銅導線在環境溫度 30°C 與額定溫度 60 與 75°C 下所允許的最大電流僅能達到 2A，如果要增大傳輸功率，就必須提高操作電壓，但提高到 100W 時，電壓就必須要增加到 67V，這樣又超過了如表十三與十四所示的美國電工法規的安全低電壓極限 (60Vdc/100W)。如此一來，所使用的連接器整體就必須進行個別認證，而無法僅採用聚合物殼體 (Housing) 材質本身的耐燃認證。

輸出電壓 (Uoc：開路) V		輸出電流 (Isc：短路) A	輸出功率 (S) VA
交流 (AC)	直流 (DC)		
≤ 20	≤ 20	≤ 8.0	≤ 5 x Uoc
20 < Uoc ≤ 30	20 < Uoc ≤ 30	≤ 8.0	≤ 100
-	30 < Uoc ≤ 60	≤ 150 / Uoc	≤ 100

表十三：美國電工法規針對無電擊風險的安全線路的規格要求（無限流保護裝置）

輸出電壓 (Uoc：開路) V		最大標示 輸出電流 (Isc：短路) A	最大標示 輸出功率 VA	最大實際 輸出功率 VA	保護電流 設定上限 VA
交流 (AC)	直流 (DC)				
≤ 20	≤ 20	≤ 5.0	≤ 5 x Uoc	250	≤ 5.0
20 < Uoc ≤ 30	20 < Uoc ≤ 30	≤ 100 / Uoc	≤ 100	250	≤ 100 / Uoc
-	30 < Uoc ≤ 60	≤ 100 / Uoc	≤ 100	250	≤ 100 / Uoc

表十四：美國電工法規針對無電擊風險的安全線路的規格要求（有限流保護裝置）

總而言之，高功率的通信與電力多工電纜與接頭，都必須要有整體性的安全測試與驗證，才能確保使用者與連接裝置的安全。

作為目前最受矚目、最有潛力的電信電力多工電纜 USB Power Delivery，USB 協會訂出了兩本執行做法 (method of implementation, MOI) 來規範產品需要進行的認證測試，分別為：1. Deterministic MOI 2. Communication Engine MOI，以確保 PD 功能被正確使用，保障在高功率的電源傳輸模式下的供電安全，而其針對 USB 相關的線材及連接器的測試如表十五所示。



環境、機械、效能

與電性測試 以確保

高速傳輸的安全性

性能領域	測試項目	測試目的
機械性測試	Mating/Un-Mating Force 插拔性 Durability 耐用性 4-Axis Continuity 4軸向應力訊號連續性	確保產品的機械性夠強韌，足以負荷消費者的各種使用情況
環境測試	Temperature Life 溫度 Thermal Shock 熱衝擊 Cyclic Temp. & Humidity 溫濕循環 Mixed Flowing Gas 混合氣體環境	確保產品能在多種條件的環境下使用
效能測試	Attenuation 訊號衰減 Inter-Pair Skew 訊號扭曲（對與對） Intra-Pair Skew 訊號扭曲（對內） Insertion Loss 送訊損失 Return Loss 回訊損失 Eye-Diagram 眼圖 Impedance 阻抗 Cross-Talk 串音 Shielding Effectiveness 遮蔽有效性	了解產品的訊號傳輸品質，確保產品能正常傳輸高速訊號
電性測試	Low Level Contact Resistance (LLCR) 低階接觸電阻 Capacitance 電容 Withstand Voltage 介質耐電壓 Insulation Resistance 絕緣電阻	了解產品的品質，也可以確保在高電力傳輸下不會造成產品損壞，保障使用者安全

表十五：USB 協會公告的測試項目

USB 為進一步落實安全性的掌控，也將標準提交到 IEC 協會，透過 IEC 協會的採納，讓 USB 標準的應用更為廣泛，如表十六所示，可以有效減少設計不良及仿冒品的危害。

IEC Standard	USB Specification
IEC 62680-1-2	USB PD Rev. 3.0 v1.0
IEC 62680-1-3	USB Type-C™ Cable and Connector Specification
IEC 62680-1-4	USB Type-C™ Authentication Specification
IEC 62680-2-1	USB Rev. 2.0
IEC 62680-2-3	USB Cables and Connectors Class Document Rev. 2.0
IEC 62680-3-1	USB 3.1 Specification

表十六：IEC 62680 與 USB 標準對應表

UL 為 USB/ Thunderbolt™/ IEC 62680 合格的測試實驗室

針對 USB PD 所帶來的安全隱憂，UL 自 2016 開始便積極與 USB 協會合作，2016 年下半年成為該協會認可的測試實驗室 (Independent Test Labs, ITL)¹¹，2019 年更取得 Thunderbolt™ 認證測試實驗室資格，協助協會進行認證測試¹²，同時也利用多年測試經驗來協助客戶在前期開發階段的問題改善，管控市場上的商品。目前測試實驗室建置在 UL 台北實驗室，提供 USB 及 Thunderbolt™ 認證測試服務。UL 也與 IEC 進行稽核，並於 2019 年年中取得 IEC 62680 的 IECQ 認可測試實驗室資格¹³，成為全球首個可依據 IEC 62680 系列標準提供 IECQ 測試報告的實驗室。

UL 9990 標準進一步解決安全疑慮

此外，為徹底解決「所有」用於低功率電子設備供電的資通訊電纜的認證問題，以及缺乏市場監督機制的課題，UL 特別完成了 UL 9990 規範，全名為 Outline of Investigation for Information and Communication Technology (ICT) Power Cables，透過對連接器、電纜材料和電氣設計的整體安全評估，為所有消費性多工電纜提供性能和安全特性的基礎。UL 9990 同時包括安全設計、安全性能、生產控制與標示的要求，詳列如下：

- 結構 – 電纜及具有的任何裝飾性覆蓋物均要求具有至少 VW-1 的阻燃等級，或通過等效的燃燒測試，以便在電源或用電設備中起火時限制火焰的蔓延。連接器必須採用至少符合 V-1 阻燃等級，或符合相關小型燃燒試驗的材料製造。另外，額定值必須符合電纜或電纜組件相關規範中詳細列出的最大適用限值，並且電纜中的電子標誌必須與額定值和相關供電技術相符。
- 安全性能 – 根據 UL 9990，電纜組件須進行表十七的系列測試：

章節	測試名稱	目的與結果要求
7	線扣拉力測試	用於驗證電纜組件、元件和配線在張力下能否保持完好。
8	撓曲測試	電纜組件需接受指定次數的撓曲循環。導線或絕緣材料在撓曲下破損會導致測試失敗。
9	溫升測試	在運行條件下，電纜溫度不能超過環境溫度 30°C。
10	介質耐電壓測試	電纜組件必須進行 500V 直流電施加一分鐘，不得出現電弧放電或故障
11	故障電流測試	使用一塊粗棉布覆蓋電纜組件，並接通 8 安培直流測試電流 (功率受限電路的上限) 最少 30 分鐘的持續時間。被測電纜組件不得點燃，或噴出火焰或熔融金屬，而且所被覆的粗棉布不得燒焦。

表十七：UL 9990 的安全性能測試列表

- 製造和生產 – 在電纜組件的實際製造和生產過程中，必須對每個單元進行測試，以確保整條導體/端子組件具有正確的電氣連續性。
- 標示 – UL 9990 包含詳細具體的產品包裝標誌要求，列出了電纜長度和測試的最大電壓和電流額定值，旨在幫助識別生產電纜或電纜組件的製造商和特定工廠的其他資訊。

另外，所謂的「作弊」電纜，即設計用於將連接的設備置於不正規的操作模式、或者禁用或妨礙預期系統操作的電纜，也被排除在 UL 9990 的範圍之外。最後，該規範不對被測電纜或電纜組件的訊號傳輸性能進行評估。

此外，除了必須符合 UL 9990 的要求，也要評估 ICT 電源線的設計和安全。UL 亦會對工廠生產設備及在公開市場上購買的產品進行認證後檢查和檢測，以確保持續符合相關安全要求。



高功率的通訊與

電力多工電纜與接頭

須有完整的安全

測試與認證支援

關於更多高速通訊介面的安全與風險問題...

問：消費性電子電力多工傳輸線纜，當超過多少電壓和電流，就容易造成產品使用上的風險？

答：通常在超過直流 60V 或傳輸功率超過 100W 時，就容易產生使用上的安全風險。目前 USB Power Delivery (PD) 規格最高可支援 20V/5A 的 100W 電力傳輸能力，若連接器、線材使用的材料和電氣設計不符合要求，將會有過熱、火災，或電壓負荷過大，導致裝置損壞的風險。為了解決安全問題，國際上的 UL 9990 標準能給予規範，補強電力傳輸的安全性。

問：通過 USB 協會認證，是否也代表取得 UL 安全認證？

答：否。USB-IF 認證計畫並不能取代針對連接器和電纜組件產品的安全要求和認證。為確認產品的安全性，以及解決缺乏市場監督機制的問題，可依據 UL 9990 標準進行額外的安全評估與認證，在 USB 規格要求之外，徹底解決設計、安全和性能的關鍵問題。

註：參考資料

- 1 <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-direct-attach-cable-market>
- 2 <https://www.globalsources.com/gsol/1/USB-C-connector/a/9000000143106.htm>
- 3 <https://www.2cm.com.tw/2cm/zh-tw/tech/0A1647ADDB63420383F253B64FFB9808>
- 4 <https://www.digitaltrends.com/computing/usb-4-everything-you-need-to-know/>
- 5 <https://support.apple.com/en-us/HT208368>
- 6 https://www.hdmi.org/manufacturers/hdmi_2_1/index.aspx
- 7 <https://vesa.org/press/vesa-publishes-displayport-2-0-video-standard-enabling-support-for-beyond-8k-resolutions-higher-refresh-rates-for-4k-hdr-and-virtual-reality-applications/>
- 8 https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwiU7tXd_MrjAhUdyYsBHXs6AkgQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fwww.cnet.com%2Fnews%2Fconfusing-mini-displayport-with-thunderbolt%2F&psig=AOvVaw2q7ek3UEFDZXICYg5OrE04&ust=1563969011732630
- 9 https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjHiazb_crjAhVjF6YKHa0sCHAQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fwww.androidauthority.com%2Fusb-power-delivery-806266%2F&psig=AOvVaw01L7zeaYI31DZTzOQPSDh6&ust=1563969265607403
- 10 <https://www.ctimes.com.tw/DispArt/tw/Type-C/Power-Delivery-3.0/Micro-USB/1808071609PR.shtml>
- 11 <https://www.ul.com/offerings/ul-taiwan-usb-test-lab>
- 12 <https://www.ul.com/news/thunderbolt-3-approved-product-certification-laboratory>
- 13 <https://www.ul.com/news/ul-becomes-first-approved-laboratory-iec-en-62680-series-standards-usb-interfaces-data-and>





UL.com

© 2019 UL LLC . UL 保留所有權利。
未經許可，嚴禁複製或傳播本白皮書。
本文僅供參考，不作提供法律建議或其他專業建議之目的。