

---

## USB Power Delivery 进一步提升了 USB 供电的便利性

---

### 摘要

随着 USB Power Delivery 的出现, 用于数据通信和供电的设备连接方式正在发生显著变化。该标准支持最高 240W 的双向电力传输。本文回顾了 USB 标准及其演进历程, 并说明如何通过 USB Type-C® 线缆和连接器, 在实现超高速通信的同时, 为外设运行和电池充电提供双向供电。此外, 本文还将介绍 USB Power Delivery 带来的实际优势, 包括简化连接、减少布线以及降低环境负担, 并进一步介绍用于电源路径控制接口设计的集成电路解决方案。

### 目录

摘要 .....	1
USB 供电的历史 .....	2
USB Power Delivery 引入的功能.....	3
USB Type-C®连接器可实现更多功能 .....	4
USB PD 功能实现中控制器的作用.....	6
USB PD 专用控制器 .....	7
结论 .....	9
参考资料 .....	9
修订历史 .....	9

## USB 供电的历史

通用串行总线 (USB) 于 1994 年由 Intel、Microsoft、Compaq、IBM、NEC 等主要企业共同提出, 目的是用一种更高速、支持即插即用的通用串行接口来取代计算机上原本需要扩展卡和专用驱动程序的串口和并口。最初, 人们更关注通信速度和互操作性的提升, 同时也把主机提供的+5V 电源及其回路纳入规范。早期 USB 1.0 规范可提供的电流仅为 100mA, 但对鼠标等低功耗外设来说已经足够。

随着对更高数据传输速率的需求不断增长, USB 1.0 的 12Mbps“全速”模式已经难以满足需求, 因此在 2000 年推出了传输速率大幅提升至 480Mbps 的 USB 2.0。USB 的基本原则是向下兼容, 因此即使是 USB 2.0 设备, 也可以在 12Mbps 甚至 1.5Mbps 等低速模式下运行。此外, 在 USB 2.0 中, 5V 供电能力也提升到 500mA/2.5W, 很快便被用于为手机等移动设备充电。随着 USB 端口被广泛用作不传输数据的专用充电端口, 标准制定组织 USB Implementers Forum (USB-IF)<sup>[1]</sup>又推出了 USB 3.0, 在其他方面升级的同时, 将供电能力提升至 900mA/4.5W, 并新增了“CDP (Charging Downstream Port)”模式。进一步地, 2007 年制定了电池充电规范(USB BC), 使系统在 5V 下可提供最高 1.5A、即 7.5W 的电流输出。2010 年的 BC 1.2 进一步完善了充电相关规范。如今, 关于数据与供电的 USB 国际标准已整合为 IEC 62680 系列<sup>[2]</sup>。

在此之前的 USB 系统中, 虽然数据传输是双向的, 但电力只能由主机端提供。由于连接器始终处于加有 5V 电压的“热”状态, 理论上即使两台主机可以互连并交换数据, 双方也都会尝试对外供电, 从而可能导致一方甚至双方损坏。此外, 对于能够以不同电流水平供电的有源设备, 还需要通过“枚举(enumeration)”把可用功率和所需功率传递给外设, 而这一过程需要占用数据线, 因此会影响数据通信。相比之下, 专用充电端口则不需要这种枚举机制。除此之外, 7.5W 这一功率上限本身, 也成为 USB 进一步扩展供电能力的限制因素。

与此同时, 连接到台式机和笔记本电脑并由其供电的外围设备配置变得越来越复杂, 兼容性问题也日益突出。许多设备为了获得笔记本电脑所需的 19V, 以及打印机或外置硬盘所需的 12V 等电压, 开始依赖 AC 电源适配器。结果, 正如图 1 所示, 桌面上往往布满彼此不兼容的电源线和数据线, 显得十分杂乱。

*USB Type-C® and USB-C® are trademarks of USB Implementers Forum. All product names, trademarks and registered trademarks are property of their respective owners.*



表 1. USB PD Output Source Power

Standard Power Range	Current at: (A)	
	Voltage	Current at: (A)
+5V	3 (max)	5 (max)
+9V	15W	25W
+15V	27W	45W
+20V	45W	75W
	60W	100W

Extended Power Range	Current at: (A)	
	Voltage	Current at: (A)
28V	5 (max)	
36V		140W
48V		180W
		240W

## USB Type-C®连接器可实现更多功能

USB PD 各项优势得以充分发挥的关键，在于 USB Type-C®连接器(图 2)。这种连接器具有 24 个触点，并采用可正反插入的对称设计，插头高度仅为 2.4mm，比 Type-A 和 Type-B 更小，更适合轻薄型产品。此外，它还支持 DisplayPort™ over USB-C® 等替代模式，因此可以减少笔记本电脑所需的接口种类。

此外，笔记本电脑等设备不仅可以通过 USB Type-C®为显示器及其他外设供电，还可以通过同一根线缆传输视频信号，例如借助 DisplayPort™替代模式。这样一来，如图 3 所示，整个桌面系统通常只需一根连接市电的线缆，其余连接也可以统一到同一标准下，从而显著简化布线并减少对独立电源适配器的依赖。



图 2. USB Type-C® 连接器

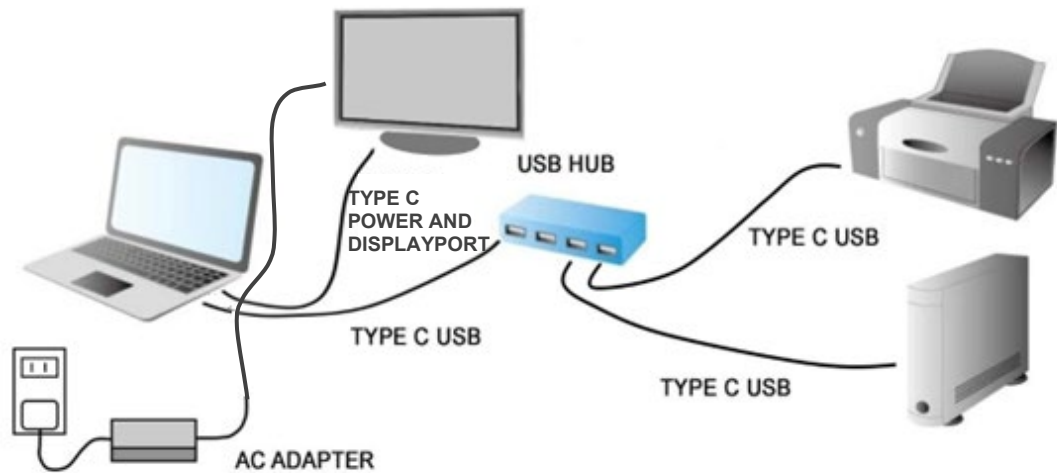


图 3. USB Type-C®连接示意图

该连接器在初始状态下处于“冷”状态，也就是说，在识别出连接双方分别为供电端还是受电端之前，Vbus 上不会加电。正因为如此，系统能够支持双向电力传输，并且可以在需要时无缝切换供电方向。这一功能称为 **Fast Role Swap(FRS)**。例如，移动电源通过一根 USB Type-C®线缆连接到笔记本电脑后，一旦其内部电量耗尽，系统就可以自动切换充放电角色。

在供电方式方面，除固定电压(5V、9V、15V、20V)外，USB PD 还支持可调电压的 **Programmable Power Supply(PPS)**以及 **AVS(Adjustable Voltage Supply)**。通过更精细地控制充电电压和电流，可以进一步提升充电效率。一般而言，锂离子电池更适合在前期采用恒流充电并逐步提升电压，随后再切换到恒压充电。在不支持 USB PD 的固定电压系统中，这种调节通常需要由电池侧损耗较大的稳压电路来完成；而借助 PPS，则可以直接对供电端开关电源进行编程，从而以更高效率实现同样的控制。此外，IEC 63002<sup>[3]</sup>还规定了用于监测和控制外部电源(EPS: External Power Supply)的协议。

USB Type-C®连接器的引脚定义如图 4 所示。配置通道 CC1 和 CC2 用于识别线缆插入方向、判定供电端与受电端角色，以及进行供电能力协商。该连接器之所以支持正反插入，是因为 GND、Vbus 以及传统 USB 2.0 信号均采用对称布局。相比之下，高速信号线 TX1+/-、TX2+/-、RX1+/-和 RX2+/-则不能简单互换，因此设备必须检测插头方向，并通过多路复用器切换到对应的数据通道。USB 3.x 可根据配置使用 1 条或 2 条 SuperSpeed 通道，其余通道则可保留或分配给 Alternate Mode、USB4 等用途。例如，在连接显示器时，该接口可以承载 DisplayPort 视频信号，也可扩展支持 HDMI 和 Thunderbolt™等功能。需要注意的是，SBU 引脚不用于标准 USB 通信，但在 DisplayPort 应用中可作为 AUX 通道使用。

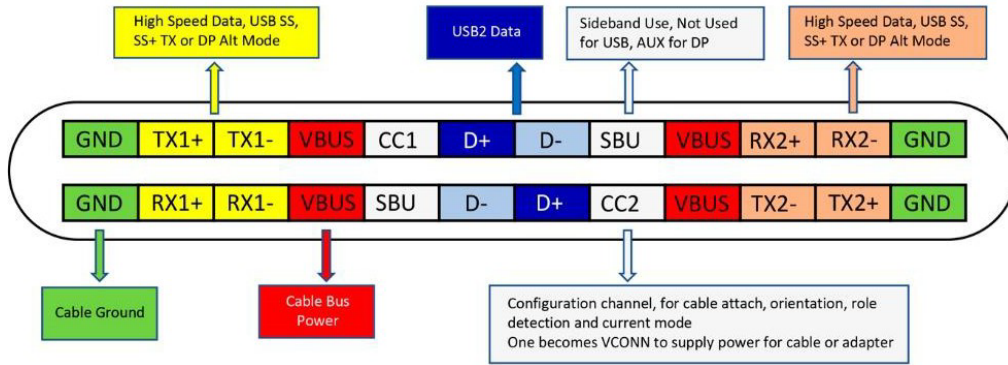


图 4. USB Type-C® 连接器的引脚排列

USB Type-C® 线缆的横截面如图 5 所示。符合规范的线缆中有些内置了 E-Marker 芯片，可向控制器提供制造商、线缆规格等信息。这不仅有助于正确识别线缆能力，也有利于识别假冒产品。

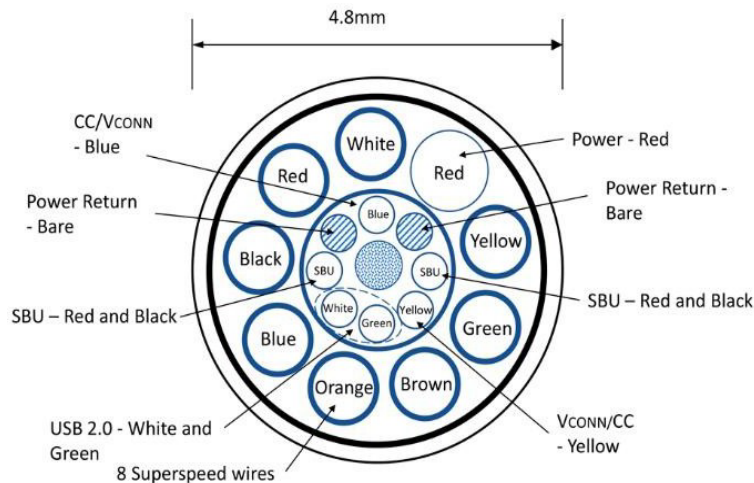


图 5. USB Type-C® 线缆的横截面

## USB PD 功能实现中控制器的作用

为了实现这种灵活性，系统必须持续监测和控制电力流向与数据连接，因此 USB PD 链路两端的设备都需要配备有源控制器。下面以图 6 为例，说明使用符合规范的 USB Type-C® 线缆将 AC 适配器连接到设备时的典型工作场景。

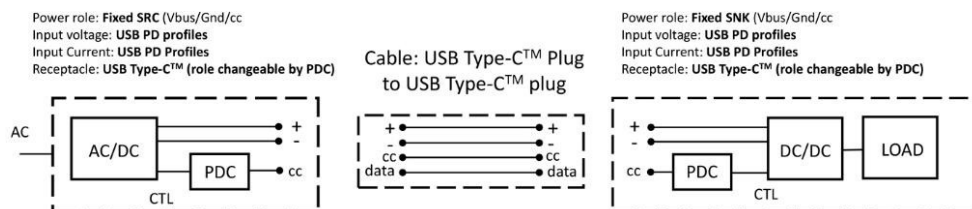


图 6. USB PD 设备与 AC 适配器的 USB Type-C® 连接

连接建立后，VBus (图中的“+”)首先加上 5V 电压，并通过 CC 线路上的上拉或下拉电阻，将左侧适配器识别为供电端、右侧设备识别为受电端。随后系统开始通信，并通过读取线缆中的 E-Marker 信息，确认系统电压以及线缆允许的电流能力(3A 或 5A)。接着进入协商阶段：供电端声明可提供的供电能力，受电端提出所需的电压和电流；确认兼容后，供电端再将输出电压升至合适水平。整个过程中，电压、电流和温度均会由供电端与受电端共同监测，一旦发现异常，供电端就会限制输出功率。另一个典型应用是通过 AC/DC 适配器为智能手机充电，如图 7 所示，其中左侧为充电器，右侧为智能手机。

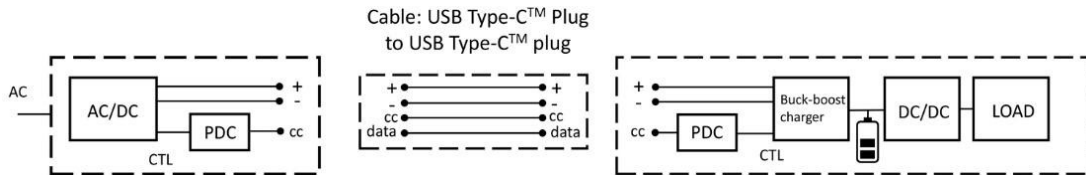


图 7. 智能手机与 AC 适配器的 USB Type-C® 连接

当需要实现双向供电时，各设备会在供电端和受电端状态之间交替切换，并执行类似的握手过程，直到建立起所需的电流方向。

## USB PD 专用控制器

为应对上述监测与控制的复杂性，业界已经开发出支持 Fast Role Swap(FRS)和 Programmable Power Supply(PPS)等功能的专用控制器。这些器件通常还集成了过压、过流和过温等异常状态监测功能。借助这类高集成度控制器，可以通过对总线电压的监测与调节优化系统损耗，并帮助低功耗 PC 外设系统满足 Energy Star®和 EuP 等标准要求。例如，Renesas 的 R9A02G011<sup>[4]</sup>采用 3.6 × 3.1mm 小型 BGA 封装，并内置振荡器，可构成紧凑型独立方案。

为了满足供电端要求，需要 AC-DC 或 DC-DC 转换器具备符合 USB PD 规范的监测与控制能力。这里同样可以采用集成式方案。例如，在图 6 和图 7 所示的 AC-DC 适配器中，除固定输出电压外，还可支持面向 PPS 应用的可变输出，因此可以基于带 PWM 控制的反激式转换器实现。

Renesas RAA489800<sup>[5]</sup>是一款支持外部开关 MOSFET 的降压-升压稳压器，而 Renesas RAA489118<sup>[6]</sup>则集成了电池充电、放电以及降压-升压 DC-DC 转换功能。将它们与 R9A02G011 等 USB PD 控制器配合使用，可构建占板面积小、集成度高的电源解决方案。

需要双向电力转换的典型应用之一，是通过 USB Type-C®线缆连接到便携设备的移动电源，其结构如图 8 所示。

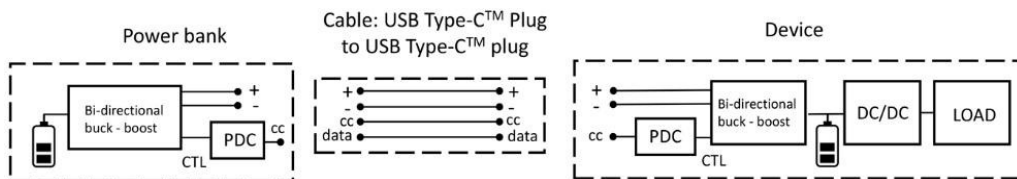


图 8. 移动电源的 USB Type-C® 连接

当移动电源处于充电状态时，外部设备会在 USB PD 规定的 5V 至 48V 范围内向其供电，最终的锂离子电池单体电压则由移动电源内部的降压型 Buck 转换器产生。反过来，当移动电源对外供电时，则由升压转换器将电压提升到 USB PD 规定范围后输出。这两项功能都可以集成到单级功率级的 Buck-Boost 转换器拓扑中，如图 9 所示。此外，为适应 USB PD 电压范围扩展至最高 48V 的发展趋势，除图 9 所示的传统两电平结构外，也已发展出效率更高的三电平 Buck-Boost 转换器。

在两电平结构中，可通过将一组 MOSFET 固定为导通或关断状态，同时对另一组 MOSFET 进行 PWM 控制，从而双向实现升压和降压两种工作模式。

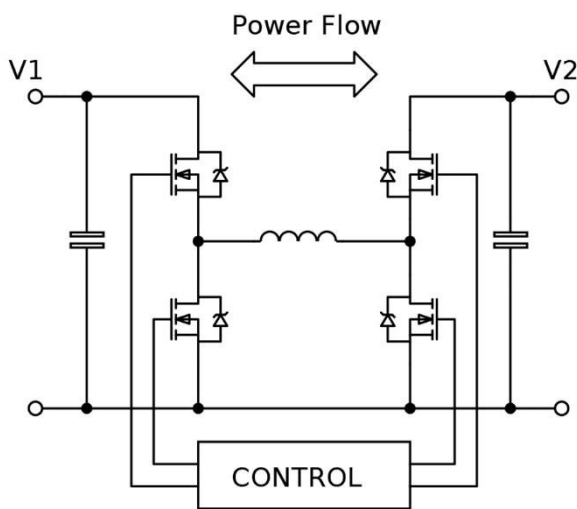


图 9.2 电平 Buck-Boost 转换器

即使电池持续放电、端电压下降到接近欠压状态，系统仍可通过 Boost(升压)模式，将输出电压维持在 USB PD 规定范围内。实现 Buck-Boost 转换需要 PWM 控制器，而 Renesas 提供了可与 USB PD 控制器集成的解决方案，能够无缝切换 Source/Sink 以及 Buck/Boost 角色，并提供所需的各类保护和监测功能。

参考设计套件可通过固件调优性能，从而提升 USB PD 方案的开发效率。Renesas 提供了多种套件和评估板，包括通用受电端、多端口 USB PD Buck-Boost DC/DC 模块、单端口移动电源(电池包)解决方案，以及支持 USB Type-C® 电池系统开发的评估平台。此外，由于 Renesas 控制器支持闪存重写，因此不仅便于调试，也可在设计完成后通过 USB 连接方便地进行固件更新。

USB PD 系统所使用的组件可以接受 USB-IF(USB Implementers Forum)合规性计划的认证，以确认其符合 USB 规范要求。符合规范的产品将被列入 Integrators List，并可获得 USB-IF 标志的使用许可。USB-IF 的网站 ([www.usb.org](http://www.usb.org)) 提供可免费查阅的规范文档库、面向开发者的信息以及合规性计划的详细说明。此外，该网站还提供合规产品搜索功能，便于轻松查找满足要求的器件。

Renesas 的 USB PD 产品均符合这些要求，使用这些产品开发的最终设备同样也可以作为允许显示 USB-IF 标志的合规产品申请认证。

## 结论

USB PD 是一项正在改变设备供电方式的关键技术，其应用范围从手机一直扩展到需要高功率的笔记本电脑和显示器。借助这项技术，可以减少所需线缆和电源适配器的数量，从而不仅降低能耗和成本，也有望减轻环境负担。此外，它在提升用户使用便利性的同时，也具备保障安全的保护功能。Renesas 提供的集成式控制器产品系列，使 USB PD 解决方案的实现比以往更加容易。有关详细设计指南和应用信息，可参阅该公司官方网站 ([www.renesas.com](http://www.renesas.com))。

## 参考资料

- [1] USB Implementers Forum [www.usb.org](http://www.usb.org)
- [2] IEC 62680 series Universal serial bus interfaces for data and power
- [3] IEC 63002: Identification and communication interoperability method for external power supplies used with portable computing devices
- [4] Renesas R9A02G011 <https://www.renesas.com/zh/products/R9A02G011>
- [5] Renesas RAA489800 <https://www.renesas.com/zh/products/RAA489800>
- [6] Renesas RAA489118 <https://www.renesas.com/zh/products/RAA489118>

## 修订历史

版本	日期	说明
2.00	May 27, 2026	USB标准相关内容与产品信息已更新
1.00	Jan, 2019	初版

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

RENESAS ELECTRONICS CORPORATION AND ITS SUBSIDIARIES (“RENESAS”) PROVIDES TECHNICAL SPECIFICATIONS AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES “AS IS” AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD-PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for developers who are designing with Renesas products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate products for your application, (2) designing, validating, and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, or other requirements. These resources are subject to change without notice. Renesas grants you permission to use these resources only to develop an application that uses Renesas products. Other reproduction or use of these resources is strictly prohibited. No license is granted to any other Renesas intellectual property or to any third-party intellectual property. Renesas disclaims responsibility for, and you will fully indemnify Renesas and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, or liabilities arising from your use of these resources. Renesas' products are provided only subject to Renesas' Terms and Conditions of Sale or other applicable terms agreed to in writing. No use of any Renesas resources expands or otherwise alters any applicable warranties or warranty disclaimers for these products.

(Disclaimer Rev.1.01)

### Corporate Headquarters

TOYOSU FORESIA, 3-2-24 Toyosu,  
Koto-ku, Tokyo 135-0061, Japan  
[www.renesas.com](http://www.renesas.com)

### Trademarks

Renesas and the Renesas logo are trademarks of Renesas Electronics Corporation. All trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

### Contact Information

For further information on a product, technology, the most up-to-date version of a document, or your nearest sales office, please visit [www.renesas.com/contact-us/](http://www.renesas.com/contact-us/).