

USB Power Delivery 改变现有格局

2019年1月

摘要

USB Power Delivery (USB PD) 支持双向传输高达 100W 的功率，有能力彻底改变设备之间数据传输和供电的连接方式。本白皮书回顾了该标准的历史及当今功能提升至 USB Type-C™ 线缆和连接器可实现“超高速”通信，并同时提供双向电源传输供周边设备使用和电池充电的发展。文中说明了 USB PD 的实际优势以及这技术在降低复杂性、减少互连的数量及其减低对环境影响的广泛益处。另外还介绍了用于控制电力传输界面设计的集成电路解决方案。

USB PD 的起源

通用串行总线 (Universal Serial Bus, USB) 的概念诞生于 1994 年，源于由英特尔、微软、康柏、苹果和惠普等行业领导者共同组建的论坛。最初的想法是使用 USB 取代电脑系统中激增的串行和并行界面，这些传统界面需要使用扩展卡和定制驱动程序。与之相比，USB 界面的速度更快，而且支持“即插即用”。最初的重点是提高速度和互通性，但是在添加了一些电线后，能从主机获得+5V 的供电。根据最初的 USB 1.0 规范，供电电流仅有 100mA，但对鼠标或其他低功率的周边设备已经足够。

随着数据传输速度要求的提高，当时被乐观地称为“全速” (full speed) 的 USB 1.0 (12 Mb/s) 已经不堪应付，于是 2000 年推出了 USB 2.0，传输速度跃升至 480 Mb/s。USB 设计的一项原则是向后兼容性，因此 USB 2.0 设备能以低至 12Mb/s 甚至是 1.5Mb/s 的低速率运行。USB 2.0 还将 5V 供电功率升级到 500mA/2.5W，很快用户就发现可用于为便携式设备 (如手机) 中的电池充电。由于在不进行数据交换的情况下充电成了 USB 埠的常见用途，其创始组织“USB Implementers Forum (USB-IF)”^[1]推出了了 USB 3.0，其中就包括供电功率增加到 900mA/4.5W 并引入了“CDP”模式 (充电下行埠)。2007 年推出了一个电池充电规范 (USB BC)，允许在 5V 时提供高达 1.5A 或 7.5W 的供电能力。2010 年推出的 BC 1.2 引入了更强大的充电操作规范。USB 数据传输和供电性能的国际标准已正式制定，最新版本是 IEC 62680-2-1:2015^[2]。

到目前为止，USB 的一个特点是只能由主机供电，尽管数据是双向的。连接器端一直保持在 5V 的“热” (hot) 状态，这意味着理论上两个主机可以互连和交换数据，但是如果都尝试供电，就可能会损坏其中一个主机。而那些能以多种不同电流水平供电的有源设备，需要“枚举”周边设备可用的和所需的功率，而这一通信需要使用数据线路完成，因而会中断数据传输。不过专用的充电埠不需要枚举。这些缺点以及 7.5W 的功率上限室碍了通过 USB 供电的进一步发展。

此外，随着台式或笔记本电脑所支持的周边设备越来越多，互连和供电的复杂性与兼容性问题也日益加重。越来越多的设备开始使用适配器或壁插式电源进行交流电源转换，笔记本电脑可能使用 19V，而打印机或外置硬盘则使用 12V。桌面电脑可能看起来就像是图 1 般挤满了许多相互缠结且不兼容的电源线和数据线。

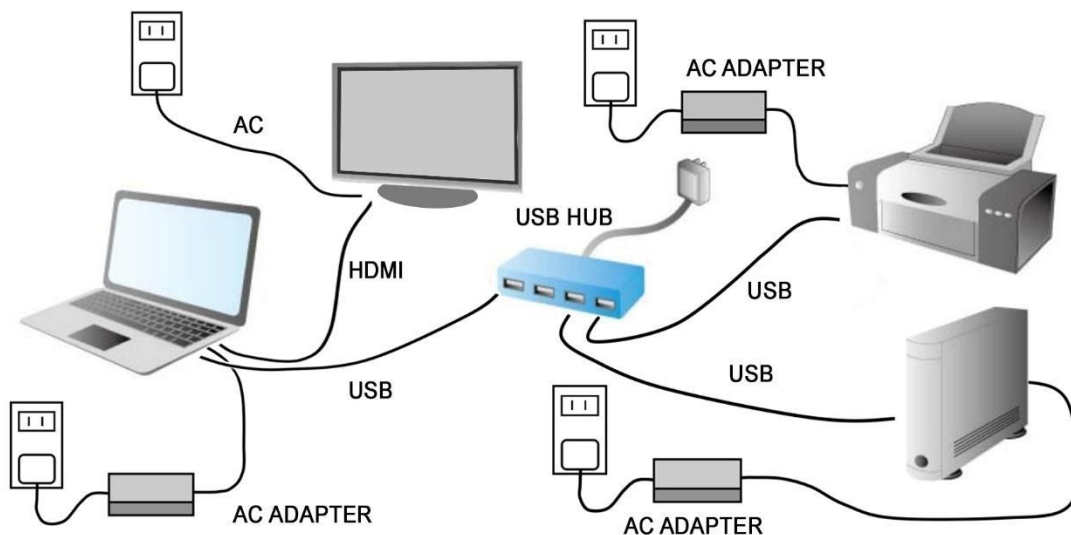


图1: USB PD 出现之前的互连方式

外出旅行时,可能需要携带多个沉重的适配器、充电器以及国外电源插座转换器。电子垃圾的问题也不断涌现,普通家庭积累的线缆和过时的适配器往往无法匹配最新购买的小配件。各类涌现的 A 型、B 型和 AB 型 USB 连接器,不管外形是“标准”、“迷你”还是“微型”的也没能解决这个问题。USB 3.0 还引入了“超快速”传输模式,刚推出时的传输速度为 5 Gb/s,而在 3.1 版本时已增加到 10 Gb/s。不过这需要另一套线缆和连接器,其中包括 USB“标准”和“微型”格式的九根电线。

USB Power Delivery 引入的功能

为解决功率上限问题,2012 年 USB Implementers Forum (USB-IF) 起草并发布了 USB Power Delivery (USB PD) 1.0 规范。在这一版规范中,输出电压可在 5V 到 20V 之间变化,协商后的电流高达 5A,总功率高达 100W。这开启了直接使用 USB 埠为笔记本电脑供电或是通过 USB 线缆为显示器等周边设备供电就的可能性,而不必使用单独的电源连接。该规范中指明了设备之间需要枚举的详细信息,以确保将供电电压和电流限制在所需范围内。初始输出电压为 5V,并且功率限制到 10W,以便于安全使用各种传统设备。之后将进行协商,以从五个标准“配置”中设定。见表 1。

Source Output Power (W)	Current at: (A)			
	+5V	+9V	+15V	+20V
0.5 - 15	0.1 - 3.0	N/A	N/A	N/A
15 - 27	3.0 (15W)	1.67 - 3.0	N/A	N/A
27 - 45		3.0 (27W)	1.8 - 3.0	
45 - 60			3.0 (45W)	2.25 - 3.0
60 - 100				3.0 - 5.0

表1: USB PD 配置

另一个重大变化是将枚举功能与数据线路分开。在使用标准的 A 型和 B 型 USB 连接器时,所有协商都通过操纵电源线路 VBUS 进行,这样数据传输和电力传输将完全独立。此外,USB PD 1.0 还支持双向传输电源,从而可在设备之间灵活地共享电源。例如,使用交流供电的显示器可以通过 USB 连接为笔记本电脑充电,使用交流电源或内置电池的笔记本电脑也可以通过 USB PD 为显示器供电。

实际上，由于到目前为止所有传统类型的 USB 连接器都始终从一个源施加“热状态”5V，因此如果不借助于非 USB 兼容配置，将无法使用双向电力流动功能。

USB Type-C™ 连接器可实现更多功能

能够发挥 USB PD 规范全部潜力的解决方案是 USB Type-C™ 连接器（见图 2）。USB Type-C™ 和 USB-C™ 是 USB Implementers Forum 的商标。这一连接器采用“可翻转”的 24 针设计，外形小于 A 型和 B 型连接器；插头厚度仅为 2.4mm，非常适合纤薄的产品。由于 USB Type-C™ 支持“替换模式”（如 DisplayPort™ over USB-C™），因此诸如笔记本电脑等设备只需配备更少类型的连接器。

现在，不一定需要单独的电源适配器，就可以通过 USB Type-C™ 线缆为笔记本电脑供电，还能用于连接显示器和其他周边设备。也可以使用线缆的 HDMI™ “替换模式”连接，为显示器提供视频信号。现在的桌面看起来可能像图 3 般，除了交流电源连接之外，所有线缆都是相同类型的。



图 2: USB Type-C™ 连接器

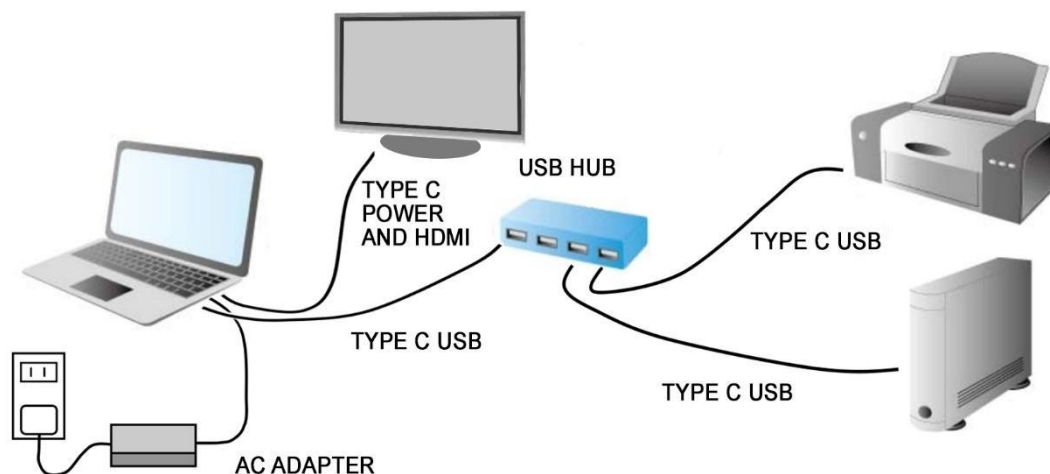


图 3: USB Type-C™ 连接可避免同时使用多种线缆类型和电源适配器

现在的连接器是“冷”（cold）状态的，因为互连设备在确定供电端和受电端之前不会提供任何电压。这一特性有利于双向电力流动，能够无缝改变供电方向，因此得名“快速角色切换”（Fast Role Swap, FRS）。例如，如果使用同一根 USB Type-C™ 线缆将移动电源连接笔记本电脑，移动电源就可以自动从充电切换到放电。其他特性还包括可编程电源（Programmable Power Supply, PPS）功能，支持在供电时提供固定电压（5V、9V、15V、20V）或可编程值，以此精确控制充电应用，实现最高效率。例如，在为锂电池充电时，最初使用恒定电流，缓慢增加电压，然后再使用恒定电压。对于非 USB PD 应用的固定电压，需要使用耗散的功率电压调节器在电池端控制充电。使用 PPS 功能，就可以对开关模式电源进行编程，以便在尽可能保持效率的同时完成相同的操作。IEC 63002^[3]标准定义了用于监控外部电源（EPS）的协议。

将 USB PD 和 USB Type-C™ 线缆配合使用，还可以实现内置安全管理功能，以应对不合规的可能情况（例如设备请求的电流超出线缆所承受的范围）。连接的设备和线缆会被识别为是否兼容 USB-IF；如果不兼容，将只能提供传统的供电水平（5V, 0.5A）。

我们来看看图 4 中的 USB Type-C™ 连接器引脚图，其中 Configuration Channels CC1 和 CC2 用于识别线缆方向、供电端和受电端方向以及功率电平的协商。GND、VBUS 和传统 USB 2.0 连接的对称布局有助于“翻转”连接器或以任一方向使用。高速数据线路 TX1+/-、TX2+/-、RX1+/-、RX2+/- 不可互换，因此连接的设备必须检测方向并通过多路复用器对数据线路进行路由以相应地引导数据。USB 3.1 仅使用四条超高速线路，其他线路保留供将来使用，或者可用于替换模式。例如，当用于显示器时，可将 DisplayPort 视频信号通过这种连接器进行路由。其他可能用例还包括 HDMI、Thunderbolt™、MHL 或 PCIe®。SBU 引脚不用于 USB，但在 DisplayPort 应用中可用作 AUX 连接。

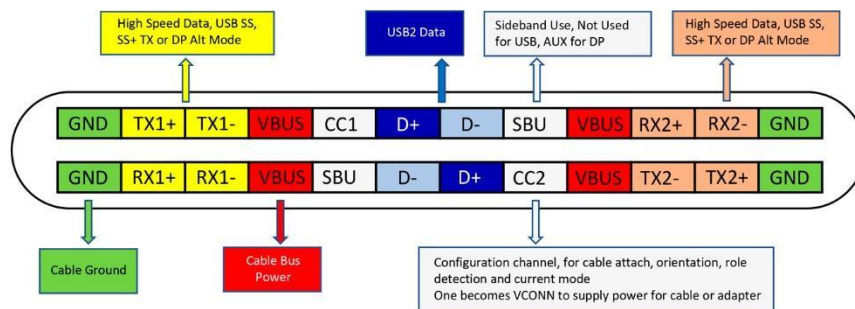


图 4: USB Type-C™ 连接器引脚分配

USB Type-C™ 连接器线缆的横截面如图 5 所示。符合标准的线缆都包含一个 E-Marker 芯片，可向控制器传回有关制造商、线缆规格等信息，从而有效防止假冒。

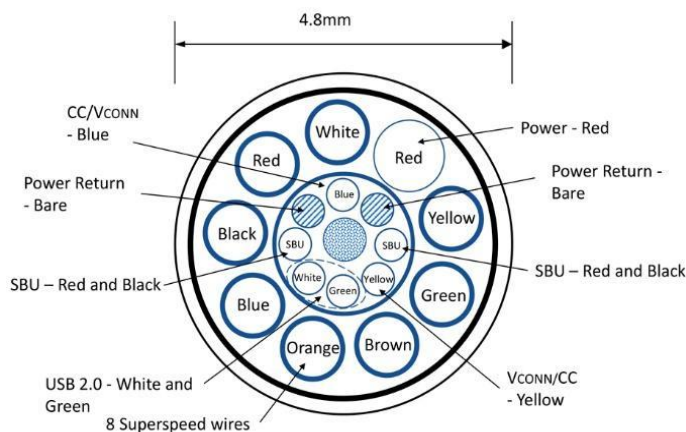


图 5: USB Type-C™ 横截面

控制器实现 USB PD 的功能

由于功能的灵活性，USB PD 系统需要监控电力流动和数据连接，因此在每一端的设备中必须有一个有源控制器。我们来看看通过符合标准的 USB Type-C™ 线缆将 AC 适配器连接到设备的典型情景，请见图 6。

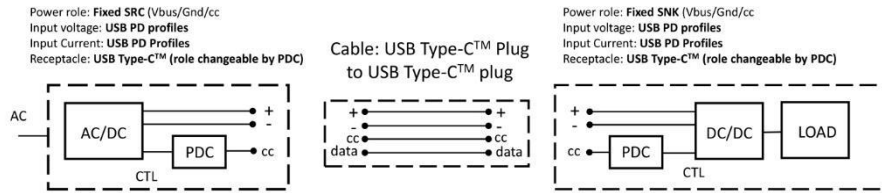


图6：便携式设备和AC适配器的USB PD应用

在连接完成后，5V 被施加到VBUS，标记为“+”，然后通过CC线路上的上拉或下拉电阻，左侧的适配器被识别为供电端，右侧的设备被识别为受电端。现在开始通信并询问线缆中的E-Marker芯片，XID识别器根据已批准产品的“白名单”和所识别线缆的电流承载容量（3A或5A）进行检查。这被称为C-AUTH功能。然后进行协商，其中供电端说明其供电能力，受电端说明请求的电压和电流。根据兼容性协议，供电端电压升高到适当的水平。将对供电端和受电端处的电压、电流和温度进行监控，如果检测到问题则会降低供电端功率。另一种典型的情景是手机使用USB PD和AC/DC适配器进行充电，请见图7。左侧是充电器，右侧是手机。

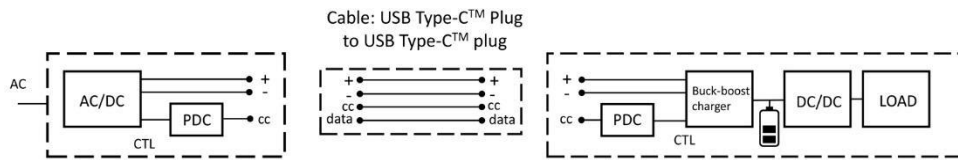


图7：使用USB Type-C™线缆连接设备和充电器的典型USB PD应用

当电力需要双向流动时，每个设备最初会先进行“握手”，以在供电端和受电端状态之间“切换”，直到建立所需的电流方向。

USB PD 需要设备控制器

鉴于所需监控的复杂性，业界开发了一系列集成式控制器解决方案，其中包括快速角色切换和可编程电源功能。设备将会获得电压、电流和温度的故障状态监测功能，以及用于验证线缆和连接设备真伪性的C-AUTH功能。MCU内部功能可以支持C-AUTH功能，而内部闪存则可以通过重写来更改产品规格和XID。拥有这智能化功能的控制器可以通过监控和设置总线电压，微调连接设备的功耗，从而符合适用于低功耗电脑周边系统的EnergyStar®和EuP规范。例如瑞萨电子的R9J02G012^[4]器件内置片上振荡器，并采用BGA封装，尺寸仅为3.6 x 3.1mm。该器件的一个特殊功能是它能够通过USB Type-C™线缆进行固件更新，以便升级和维护。

为了满足电源功率要求，需要使用AC-DC或DC-DC转换器，并且需要根据USB PD规范进行监控。相关的集成解决方案同样已经面世。例如，图6和图7中的AC-DC转换器可以基于驰返式电路，该电路具有脉冲宽度调制（Pulse Width Modulation, PWM）控制以设置PPS应用的固定或变量输出电压。瑞萨电子RAA230161^[5]等器件具有内部开关MOSFET，能以95%的效率提供高达60W的效率；当与R9J02G012等USB PD控制器配合使用时，就可以打造电路板面积最小的集成解决方案。瑞萨电子ISL95338系列，采用多功能结构的外部开关MOSFET，的可用于降压-升压稳压器的功能^[6]。瑞萨电子ISL9241^[7]等器件可以执行电池充电、电池供电以及-DC-DC升降压电源转换。

某些应用需要进行双向功率转换。一个常见的例子就是通过USB Type-C™线缆连接便携式设备和移动电源，请见图8。

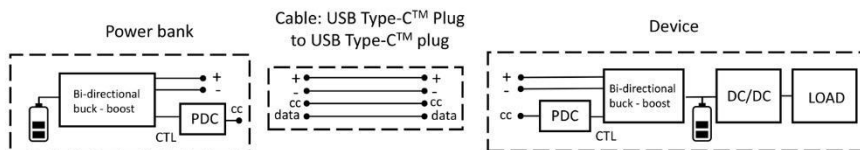


图8：移动电源 USB PD 应用

当移动电源充电时，设备提供的电压在 USB PD 5V-20V 的范围内，最终锂电池获得的电压来自于移动电源中的“压”型转换器。当移动电源需要供电时，“升压”转换器会在 USB PD 范围内向原始电源提供更高的电压。幸运的是，有一个降压-升压转换器拓扑结构可以在一个功率级中执行这两种功能（请见图 9）。

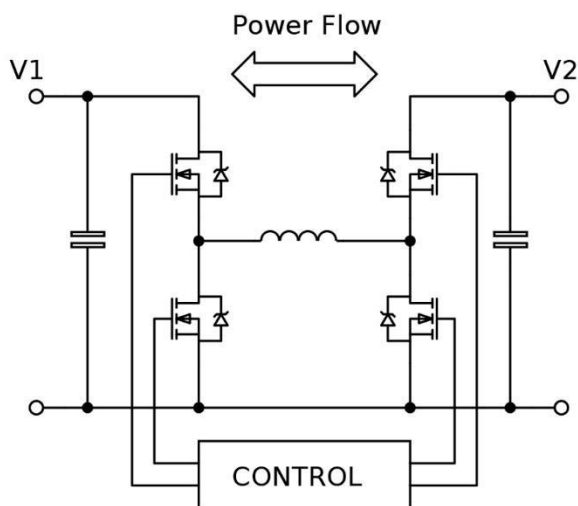


图9：降压-升压转换器配置

通过设置 MOSFETS 组合的永久接通或断开，同时在 PWM 控制下切换其他组合，就可以在任一方向上实现升压或降压功能。

升压转换可确保即使电池放电到低值，传送回便携式设备的电压仍可保持在 USB PD 范围内。降压-升压转换器需要 PWM 控制器，而瑞萨电子的器件可与其 USB PD 控制器集成，并提供从供电端到受电端、从降压到升压的无缝角色转换，并包含所有必需的故障监控功能。

参考设计套件对于开发 USB PD 解决方案非常有用，并可根据应用需求通过固件定制性能。瑞萨电子目前提供的版本包括：通用受电端、多埠 USB PD 降压-升压 DC/DC 模块和单埠移动电源（电池组）。通过使用集成工具在瑞萨电子控制器中重新编写闪存，就可以轻松进行调试，并通过 USB 连接轻松实现对于已完成设计的更新。

USB PD 系统中的组件可以通过 USB IF 合规性计划获得认证，该计划可以保证 USB 规格的性能。符合计划的产品会被添加到集成商列表中，并且可以获得展示

USB-IF 徽标的许可。www.usb.org 网站提供可免费查看的文档库、开发人员信息及其合规性计划的详细信息。可通过搜索产品以识别符合 USB-IF 合规性要求的产品。所有瑞萨电子 USB PD 产品均符合标准，可确保最终产品保持合规性并能展示合规性标识。

结论

从手机到耗电的笔记本电脑和显示器等设备的供电模式上，USB PD 带来了一场革命。这技术有望减少所需线缆和电源的数量，从而节省能源、成本并减少废弃物对环境的影响，包含了防护功能和许多用户便利性的优势。使用瑞萨电子推出的集成控制器及套件，实现 USB PD 解决方案将变得前所未有的简单。有关综合设计指南和应用信息，请访问公司网站 www.renesas.com。

References

- [1] USB Implementers Forum www.usb.org
- [2] IEC 62680-2-1: 2015 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 R9J02G012 <https://www.renesas.com/eu/en/products/renesas-usb-power-delivery-family/c30-group/r9j02g012.html>

[5] Renesas RAA230161 <https://www.renesas.com/products/renesas-usb-power-delivery-family/u30-group/raa230161.html>

[6] Renesas ISL95338 <https://www.renesas.com/us/en/products/power-management/battery-management-systems/multiple-cell-battery-chargers/device/ISL95338.html>

[7] Renesas ISL9241 <https://www.renesas.com/us/en/products/power-management/battery-management-systems/multiple-cell-battery-chargers/device/ISL9241.html>

© 2019 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.

Notice

1. 本文档所记载的内容，均为本文档发行时的信息，瑞萨电子对于本资料所记载的产品设计、规格、或其他信息可能会作改动，恕不另行通知。
2. 瑞萨电子明确声明，本文档的所有信息和资料以其“现状”提供，瑞萨电子对本文档所含信息和资料不作任何种类的保证，无论是明示、默示、法定的保证，还是因交易、使用或贸易惯例引发的保证，包括但不限于对适销性、对特定目的适用性和非侵权性的保证。本文档所记载的关于电路、软件和其他相关信息仅用于说明半导体产品的操作和应用实例，瑞萨电子对用户或第三方因使用或依赖本文档所含信息造成的任何直接、间接、特殊、结果、偶然或其他损失概不承担责任，即使已提示相关损失的可能性亦不例外。
3. 本文档所记载的内容不应视为对瑞萨电子或其他人所有的著作权、专利权、商标权或其他知识产权做出任何明示、默示或其他方式的许可或授权。
4. 用户不得对瑞萨电子的任何产品进行全部或部分的更改、修改、复制或反向工程。对于用户或第三方因上述行为而遭受的任何损失或损害，瑞萨电子不承担任何责任。
5. 本文档所记载的任何产品、服务或技术信息，包括文字、图表、图像、照片等，均受到著作权法以及其他条约和法规的保护。在事先未得到瑞萨电子书面认可的情况下，不得以任何形式或方式部分或全部再版、转载或复制本文档，或因任何公开或商业目的而修改、分发、发布、传播本文档的任何内容或制作其衍生作品。
6. 所有商标及注册商标均归其各自拥有者所有。

(注) 瑞萨电子：在本文档中指瑞萨电子株式会社及其控股子公司。