

## 通过USB Type-C<sup>®</sup>线缆传输的 USB Power Deliver协议简介

作者: Andrew Rogers和Josh Averyt  
Microchip Technology Inc.

### 简介

USB Power Delivery 2.0版规范详细说明了Power Delivery (PD) 协议如何真正“解锁”USB Type-C<sup>®</sup>线缆的高级功能。Power Delivery协议允许端口到端口通信,可提供以下机制:协商电源角色、协商供电和功耗大小、执行有源线缆标识、交换供应商特定边带报文,以及执行备用模式协商以允许第三方通信协议路由到USB Type-C线缆的可重配置引脚。

如果您还不熟悉USB Type-C,请先查阅应用笔记AN1953《USB Type-C<sup>®</sup>简介》,再阅读本文档。

### 章节

[第1.0节 “一般信息”](#)

[第2.0节 “USB PD协议层”](#)

[第3.0节 “PD物理层”](#)

[第4.0节 “线缆标识”](#)

[第5.0节 “电源和数据协商”](#)

[第6.0节 “备用模式”](#)

### 参考资料

本文档旨在介绍USB Power Delivery 2.0,无意取代官方规范。有关本文档中未描述的技术细节,请参考以下规范。

- *USB Type-C<sup>®</sup> Specification*
- *USB Power Delivery 2.0 Specification*
- *USB 2.0 Specification*
- *USB 3.0 Specification*
- *USB 3.1 Specification*
- *USB Battery Charging BC1.2*

### 术语

**DFP**——“下行端口 (Downstream Facing Port, DFP)”。USB主机端端口或集线器下行端口。

**UFP**——“上行端口 (Upstream Facing Port, UFP)”。USB设备端端口或集线器上行接口。

**DRP**——“双重角色端口 (Dual Role Port, DRP)”。可以用作DFP或UFP的USB端口。

**供电方 (Source)** ——USB连接中VBUS电源的提供者。

**受电方 (Sink)** ——USB连接中VBUS电源的使用者。

**USB PD**——USB Power Delivery的缩写。

**SOP\***——USB Power Delivery数据包中的帧起始字段,指示数据包的目标接收者。

**VCONN**——线缆及配件的专用电源轨。

**USB-IF**——USB Implementers Forum。由一些开发USB的公司成立的非营利组织。

## 1.0 一般信息

USB Type-C线缆是由USB-IF推出的24引脚连接线，支持正反插入。USB Type-C规范于2014年8月首次发布。Power Delivery 2.0版协议对该规范进行了全面修订，旨在为新的USB Type-C规范提供兼容性。Power Delivery 2.0版协议真正解锁了USB Type-C的高级功能。这些功能包括：

- 提升VBUS电压和电流能力
- 动态电源合约重新协商
- 动态电源角色交换
- 动态数据角色交换
- 电子标记线缆标识
- 备用模式

### 1.1 提升VBUS电压和电流能力

标准USB Type-C连接支持最高15W（5V/3A）的电源，无需使用USB Power Delivery报文。如果使用Power Delivery报文，则线缆传输的功率可以扩展到15W以上。默认情况下，所有无源USB Type-C线缆支持最高60W的功率（20V/3A）。若使用标识为有源线缆或能够扩展电流能力的电子标记线缆，可以将该功率扩展到最高100W（20V/5A）。

有关更多详细信息，请参见第5.0节“电源和数据协商”。

### 1.2 动态电源合约重新协商

USB Power Delivery报文可用于在USB Type-C连接期间随时将电源协商动态更改为5V-20V和0A-5A范围内的任何值。

有关更多详细信息，请参见第5.0节“电源和数据协商”。

### 1.3 动态电源角色交换

供电方和受电方的角色也可以通过USB Power Delivery报文进行动态更改。供电方和受电方可以随时请求更改角色。

有关更多详细信息，请参见第5.0节“电源和数据协商”。

### 1.4 动态数据角色交换

DFP或UFP可以随时通过USB Power Delivery报文请求数据角色交换。如果连接的端口接受请求，则数据角色将被反转。请注意，电源角色（供电方/受电方）不受数据角色交换的影响。

有关更多详细信息，请参见第5.0节“电源和数据协商”。

### 1.5 电子标记线缆标识

USB Type-C线缆可能采用电子标记，也可能不采用电子标记。电子标记线缆也可以发送和接收USB Power Delivery报文以传达特定属性。

有关更多详细信息，请参见第4.0节“线缆标识”。

### 1.6 备用模式

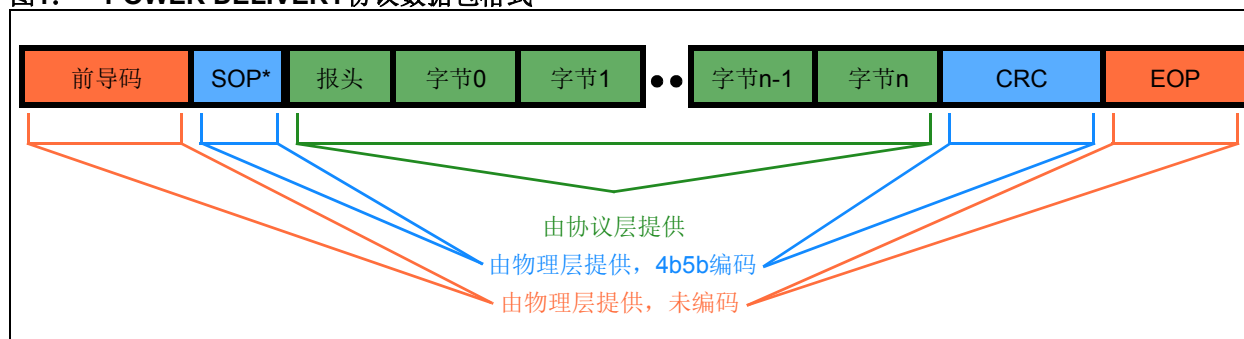
USB Type-C规范支持其他独立定义和组织的规范，因此可在USB Type-C线缆上传输备用协议。如果USB Type-C线缆支持备用模式，并保持USB2.0和USB Power Delivery连接，则备用模式没有具体限制。

有关更多详细信息，请参见第6.0节“备用模式”。

## 2.0 USB PD协议层

USB Power Delivery数据包的一般结构如下图1所示。

图1: POWER DELIVERY协议数据包格式



### 2.1 前导码

每个USB Power Delivery数据包都以0和1交替的64位序列开头。该前导码用于训练接收器并实现锁定。

### 2.2 数据包起始 (Start of Packet, SOP\*) 信令

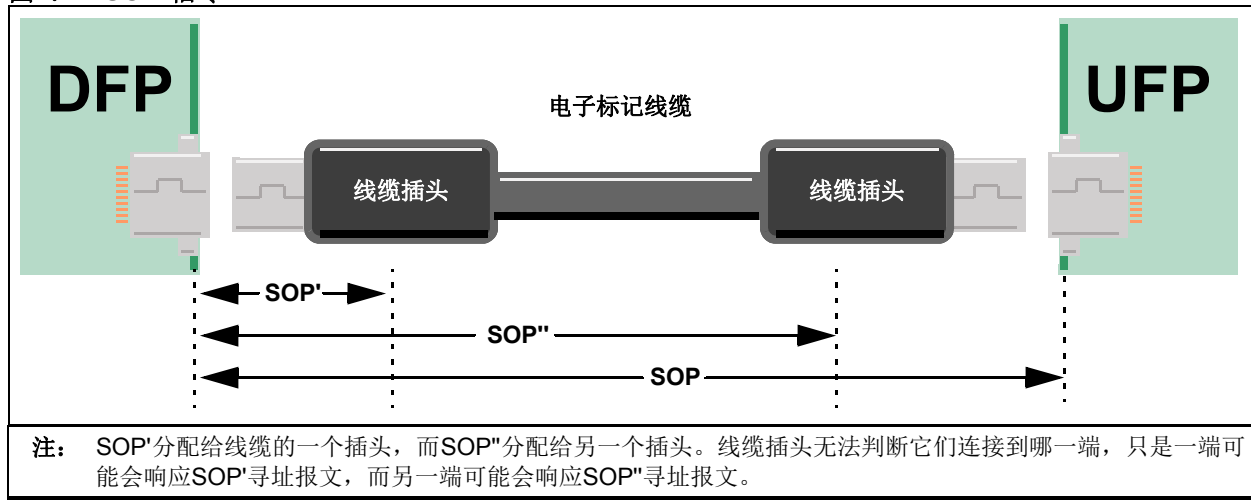
数据包起始字段通常也指示预期的接收方。某些基础命令也可以通过SOP\*字段发送。这些地址/命令统称为SOP\*。下表1定义了SOP信令。

表1: SOP\*信令定义

名称	值	用途
SOP	11000 11000 11000 10001	与UFP通信
SOP'	11000 11000 00110 00110	与USB Type-C®插头A通信
SOP''	11000 00110 11000 00110	与USB Type-C插头B通信
硬复位	00111 00111 00111 11001	复位所有连接的PD设备 (UFP和/或有源/电子标记线缆) 中的逻辑
线缆复位	00111 11000 00111 00110	仅对有源/电子标记线缆进行复位。
SOP'_Debug	11000 11001 11001 00110	用于调试USB Type-C插头A
SOP''_Debug	11000 11001 00110 10001	用于调试USB Type-C插头B

# AN1974

图2: SOP\*信令



## 2.3 报头

每条USB Power Delivery报文都以16位报头开始。报头包含基本信息, 其中包括跟随在报头之后的数据长度。如果数据长度字段为0, 则报头也可以用作独立的控制报文。

### 3.0 PD物理层

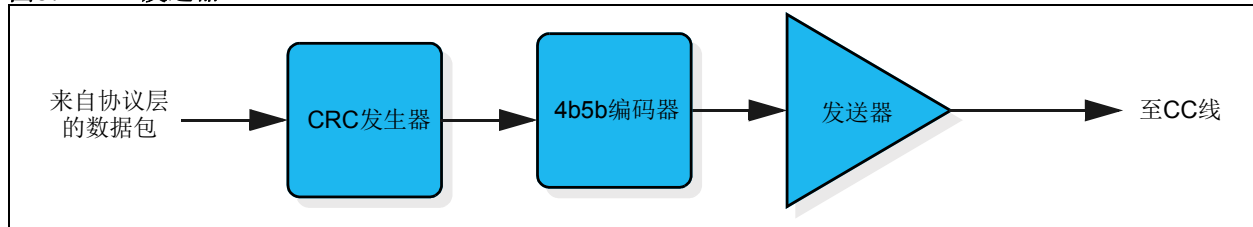
每个USB Power Delivery设备都必须有一个PD物理层，其中包含一个发送器和一个接收器。所有Power Delivery通信均通过USB Type-C线缆上的配置通道（Configuration Channel，CC）线以半双工方式进行。DFP是总线主设备，用于发起所有通信。

#### 3.1 发送器

发送器执行以下操作：

1. 从协议层接收原始（非编码）数据包数据。
2. 计算CRC并附加到数据包末尾。
3. 以4b5b编码方式对整个数据包（包括CRC）进行编码。
4. 传输整个数据包（前导码、SOP\*、数据负载、CRC和EOP）

图3： PD发送器

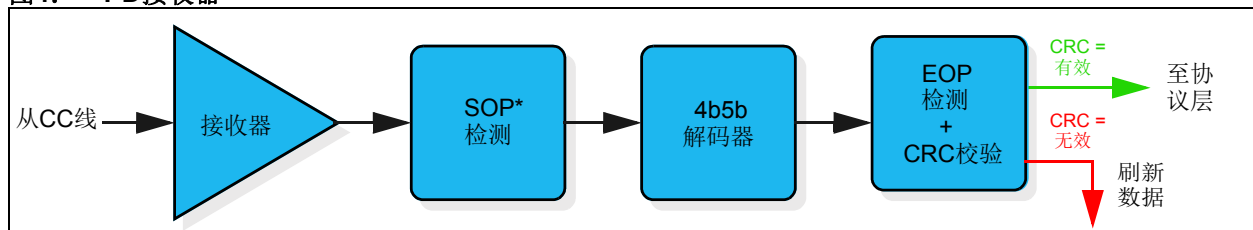


#### 3.2 接收器

接收器执行以下操作：

1. 从数据包前导码恢复时钟。
2. 检测SOP\*
3. 从4b5b解码为原始数据（包括CRC）
4. 检测EOP并验证CRC。如果有效，则将数据包传输到协议层。如果无效，则刷新数据。

图4： PD接收器

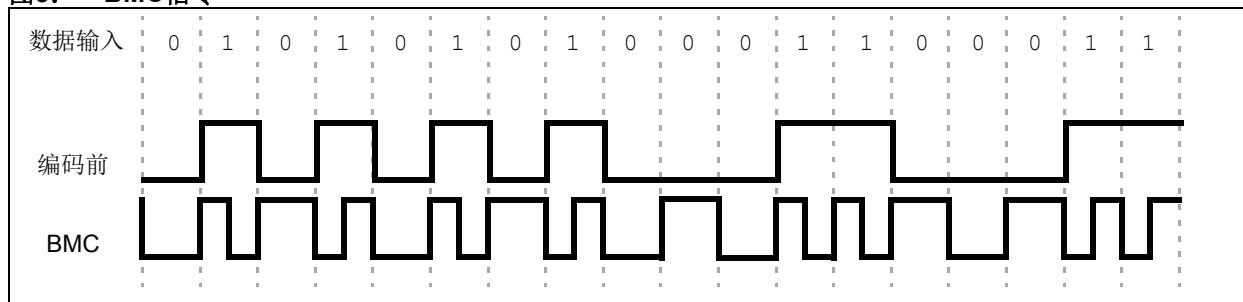


#### 3.3 BMC信令

所有报文均采用双相标记编码（Biphase Mark Coding，BMC），这是曼彻斯特编码的一种变体，其中“0”有一次跳变，“1”有两次跳变。所有报文的传送速率均为300k波特率。该信令是有效的直流平衡信令，标称电压摆幅为1.125V。

# AN1974

图5: BMC指令



## 4.0 线缆标识

USB Type-C规范引入了VCONN，这是一种专用电源轨，用于内嵌电子标记IC的线缆和配件。包含电子标记的线缆必须使用阻值为 $R_a$ （1 k $\Omega$ ）的电阻端接VCONN线，以便USB Type-C供电方（也就是最初连接时的默认DFP）能够检测到电子标记，并在VBUS电源的基础上额外提供VCONN电源。

特别是有源线缆（包含信号调理电子元件的线缆）和支持3A以上VBUS电流的线缆，它们必须包含电子标记，以便存储供应商和其他功能的详细信息。这些详细信息统称为“标识”。

如果USB Type-C供电方使能了USB PD，则在任何电源协商开始之前，供电方应按以下顺序发现线缆的标识：

1. 供电方将**Discover Identity**命令报文发送到SOP'（参见第2.2节“数据包起始（Start of Packet, SOP\*）信令”），将报文定向到线缆的电子标记。
2. SOP'设备以GoodCRC进行响应，确认正确收到**Discover Identity**命令。
3. 然后，SOP'设备将**Discover Identity ACK**响应发送回供电方，并附上其标识信息。此报文包含报头和线缆的160位描述数据。

**注：** 本应用笔记未提供Discover Identity数据的确切详细信息，但一般而言，该数据会包含描述以下内容的字段：

- USB供应商ID和产品ID
- USB测试ID（用于USB认证溯源）
- 产品硬件和固件版本
- 连接类型（USB Type-C插头或插座）
- 线缆延迟（以纳秒为单位）
- 线缆终端
- SuperSpeed数据方向
- VBUS电流处理能力（3A或5A）
- USB SuperSpeed信令能力（Gen 1/Gen 2）
- 支持的模式（布尔值，可能会提示通过Discovery命令进一步查询）

4. 供电方以GoodCRC进行响应，然后评估标识的内容。

并非所有支持USB Power Delivery的端口都对有源线缆返回的所有详细信息敏感。但是，如果端口被设计为能够提供3A以上的电流，则必须确认线缆是否被标识为具有5A的电流能力。USB Power Delivery端口根据该评估结果来判断是否向电流超过3A的连接端口“通告”电源配置文件。

**注：** 根据USB Type-C规范，如果未检测到电子标记和/或线缆没有响应，则必须假定线缆仅能支持最高3A的电流。

## 5.0 电源和数据协商

在传统USB中，DFP始终是供电方，UFP始终是受电方。但是，实现USB Power Delivery协议的产品可以动态协商以下内容：

- **提升/降低电压**
  - 如果供电方和受电方都支持，受电方可以在5V-20V的电压范围内从供电方请求和接收电源。
- **增大/减小电流**
  - 如果供电方、受电方和线缆都支持，受电方可以在0A-5A的电流范围内向供电方请求并接受供电。

**注：** 上述电压和电流范围支持在两个USB PD产品之间进行最高100W的电源连接。

- **电源角色交换 (PR\_SWAP)**
  - 最初的供电方（对于VBUS）可以“交换”为受电方角色，反之亦然。当发生电源角色交换时，原先的供电方先将VBUS放电到0V，再由新供电方驱动VBUS，以防止出现不安全的电源场景。
- **数据角色交换 (DR\_SWAP)**
  - 最初的DFP/主机可以“交换”为UFP/设备角色，反之亦然。除承担USB主机的角色外，具有DFP角色的连接端口还将成为USB PD总线主设备。
- **VCONN交换 (VCONN\_SWAP)**
  - 最初的供电方可以将VCONN供电角色“交换”给受电方。

在为两个连接的端口之间的USB Type-C连接指定默认的电源和数据角色后（请参见应用笔记《USB Type-C®简介》（AN1953）以获取进一步说明），如果两个端口均支持USB PD，并且两者之间建立了明确的电源合约，则可通过USB PD协议进行这些额外的电源和数据协商。

为了确定默认受电方设备是否支持USB PD，默认供电方会尝试与受电方建立明确的USB PD电源合约，过程如下所述：

1. 供电方向受电方发送**Source\_Capabilities** USB PD报文，其中包括可用VBUS电源选项菜单（第一个选项必须是5V默认VBUS电源，但也可以包括最多6个其他的电源选项）。
2. 支持USB PD的受电方将首先以**GoodCRC**消息进行响应，以确认正确收到**Source\_Capabilities**。
3. 受电方以**Request**报文进行回应，指示它倾向于使用哪一个电源选项。

**注：** 此时，供电方获知受电方支持USB PD，然后继续进行明确的合约协商。

4. 供电方以**GoodCRC**报文进行响应，并验证**Request**是否有效。
5. 供电方向受电方发送**Accept**报文。
6. 受电方以**GoodCRC**进行回应。
7. 供电方将其电源转换为请求的电压值和电流限值。转换电源时，供电方向受电方发送**PS\_RDY**（电源就绪）报文。
8. 受电方以**GoodCRC**进行回应，并开始根据明确合约定义的电压和电流配比来接受供电。

**注：** 此示例描述了连接的端口（供电方和受电方）之间的USB PD通信，因为之前在会话中没有发生电源角色交换或数据角色交换，所以端口仍处于其默认USB Type-C角色。因此，供电方可以等同于DFP，受电方可以等同于UFP。



## 6.0 备用模式

备用模式允许重新配置USB Type-C线缆以支持第三方（例如标准组或供应商）协议。仅当两个端口都支持USB Power Delivery协议并且都兼容特定的备用模式时，才支持此功能。

只要线缆能够支持第三方协议信令，同时保持USB2.0连接和USB Power Delivery连接，就可以实现备用模式。USB Type-C和USB Power Delivery规范本身并未定义任何备用模式；每个第三方必须维护自己的USB Type-C备用模式规范。

使用Discovery报文（Discover Identity、Discover SVIDs和Discover Modes）实现备用模式兼容性后，通过USB Power Delivery协议在连接的端口之间执行备用模式协商。

### 6.1 可重配置引脚

所有备用模式必须至少保持USB2.0和USB Power Delivery连接。使用备用模式时，可重新配置以下引脚/线。

图6： 全功能线缆上的可重配置引脚

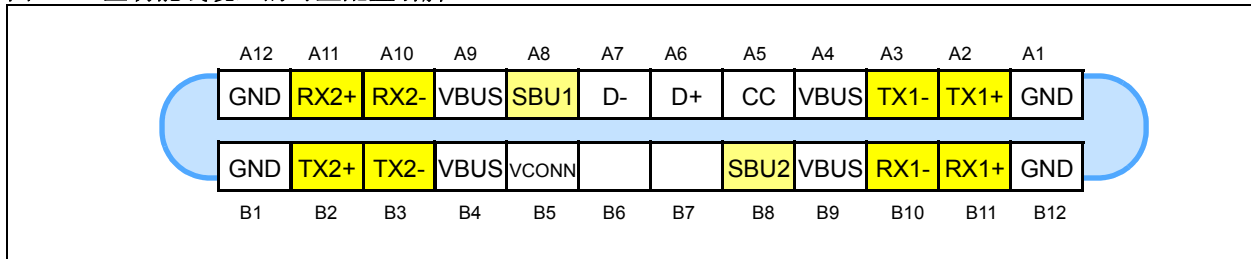
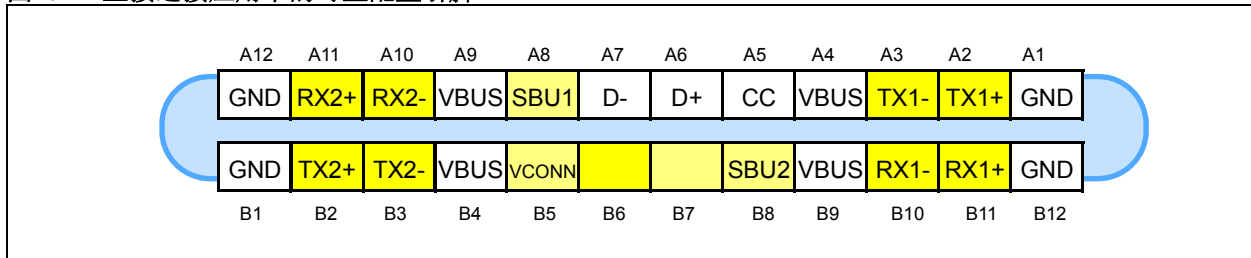


图7： 直接连接应用中的可重配置引脚

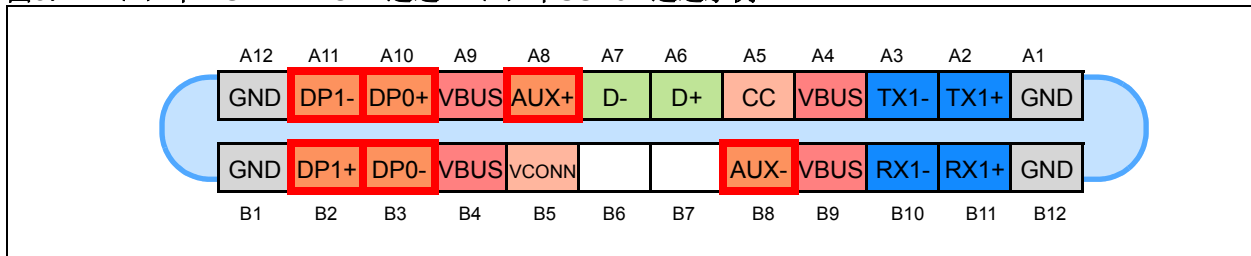


### 6.2 备用模式示例：DisplayPort

DisplayPort是最早被指定为USB Type-C备用模式的第三方标准之一（由VESA定义）。DisplayPort备用模式支持以下工作模式：

- (2) 个DisplayPort通道 + (1) 个USB3.1通道
- (4) 个DisplayPort通道

图8： (2) 个DISPLAYPORT通道 + (1) 个USB3.1通道示例



## 6.2.1 DISPLAYPORT的结构化供应商定义报文（SVDM）

结构化供应商定义报文（Structured Vendor Defined Message, SVDM）是一种USB Power Delivery报文，支持在连接的端口之间传递非电源相关报文。这些报文用于各种用例，包括发现连接的端口和线缆标识（如第4.0节“线缆标识”中所述）、发现支持的备用模式（通过使用类似的Discover SVIDs（标准/供应商ID）和Discover Modes命令），以及在明确协商这些模式后交换专用于备用模式的报文。

DisplayPort的备用模式规范定义了三种主要SVDM：

- DisplayPort Capabilities

此报文包含UFP的DisplayPort能力（支持的DisplayPort通道数）、USB支持、连接器类型（插头/插座）和支持的引脚分配。

- DisplayPort Configure

此报文是一条命令，指示UFP根据特定的DisplayPort引脚分配重新配置、重新配置为DisplayPort供电方或DisplayPort受电方，以及使用哪种信令类型（USB 3.1 Gen 2与DisplayPort v1.3）

- DisplayPort Status

此报文用于传达以下信息：DisplayPort连接状态、DisplayPort热插拔检测（Hot Plug Detect, HPD）状态（高/低/IRQ）、已启用/禁用USB模式、已启用/禁用DisplayPort模式、DisplayPort适配器电源状态，以及是否存在退出DisplayPort备用模式的挂起请求。

需要注意的是此DisplayPort Status SVDM的HPD状态功能，因为在传统DisplayPort中，HPD是通过DisplayPort供电方和受电方之间的DisplayPort线缆连接的专用信号。但是，USB Type-C线缆中没有足够的可重配置引脚来容纳此信号。因此，DisplayPort规范委员会设计了这种备用模式，以便通过USB Power Delivery协议在DisplayPort供电方和受电方之间桥接HPD信号。

DisplayPort受电方负责驱动HPD引脚，UFP的USB Power Delivery控制器负责检测该状态，并将其编码到DisplayPort Status报文中，以供DFP接收。然后，DFP在本地为DisplayPort供电方重新生成HPD引脚状态，从而完成向后兼容传统DisplayPort ASIC的虚拟电路。

## 附录A： 应用笔记版本历史

表A-1： 版本历史

版本和日期	章节/附图/条目	修正
注： AN1974， 版本A， 用于取代以前的SMSC版本。		

## MICROCHIP网站

Microchip 网站 ([www.microchip.com](http://www.microchip.com)) 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。我们的网站提供以下内容：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题解答 (FAQ)、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

## 变更通知客户服务

Microchip 的变更通知客户服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请访问 [www.microchip.com/pcn](http://www.microchip.com/pcn)，然后按照注册说明进行操作。

## 客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师 (ESE)
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过<http://microchip.com/support>获得网上技术支持。

请注意以下有关 Microchip 产品代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信：在正常使用且符合工作规范的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 注重并积极保护其知识产权。严禁任何试图破坏 Microchip 产品代码保护功能的行为，这种行为可能会违反《数字千年版权法案》（Digital Millennium Copyright Act）。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物及其提供的信息仅适用于 Microchip 产品，包括设计、测试以及将 Microchip 产品集成到您的应用中。以其他方式使用这些信息都将被视为违反条款。本出版物中的器件应用信息仅为您提供便利，将来可能会发生更新。如需额外的支持，请联系当地的 Microchip 销售办事处，或访问 <https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-supportservices>。

**Microchip “按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。**

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

有关 Microchip 质量管理体系的更多信息，请访问 [www.microchip.com/quality](http://www.microchip.com/quality)。

## 商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、Liberio、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、TrueTime 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、GridTime、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、KoD、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、Trusted Time、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2023, Microchip Technology Incorporated 及其子公司版权所有。

ISBN: 978-1-6683-1146-2

## 全球销售及及服务网点

### 美洲

公司总部 **Corporate Office**  
2355 West Chandler Blvd.  
Chandler, AZ 85224-6199  
Tel: 1-480-792-7200  
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:  
<http://www.microchip.com/support>

网址: [www.microchip.com](http://www.microchip.com)

**亚特兰大 Atlanta**  
Duluth, GA  
Tel: 1-678-957-9614  
Fax: 1-678-957-1455

**奥斯汀 Austin, TX**  
Tel: 1-512-257-3370

**波士顿 Boston**  
Westborough, MA  
Tel: 1-774-760-0087  
Fax: 1-774-760-0088

**芝加哥 Chicago**  
Itasca, IL  
Tel: 1-630-285-0071  
Fax: 1-630-285-0075

**达拉斯 Dallas**  
Addison, TX  
Tel: 1-972-818-7423  
Fax: 1-972-818-2924

**底特律 Detroit**  
Novi, MI  
Tel: 1-248-848-4000

**休斯敦 Houston, TX**  
Tel: 1-281-894-5983

**印第安纳波利斯 Indianapolis**  
Noblesville, IN  
Tel: 1-317-773-8323  
Fax: 1-317-773-5453  
Tel: 1-317-536-2380

**洛杉矶 Los Angeles**  
Mission Viejo, CA  
Tel: 1-949-462-9523  
Fax: 1-949-462-9608  
Tel: 1-951-273-7800

**罗利 Raleigh, NC**  
Tel: 1-919-844-7510

**纽约 New York, NY**  
Tel: 1-631-435-6000

**圣何塞 San Jose, CA**  
Tel: 1-408-735-9110  
Tel: 1-408-436-4270

**加拿大多伦多 Toronto**  
Tel: 1-905-695-1980  
Fax: 1-905-695-2078

### 亚太地区

中国 - 北京  
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都  
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆  
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞  
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州  
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州  
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京  
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛  
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海  
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳  
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳  
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州  
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉  
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安  
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门  
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区  
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海  
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄  
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北  
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹  
Tel: 886-3-577-8366

### 亚太地区

澳大利亚 **Australia - Sydney**  
Tel: 61-2-9868-6733

印度 **India - Bangalore**  
Tel: 91-80-3090-4444

印度 **India - New Delhi**  
Tel: 91-11-4160-8631

印度 **India - Pune**  
Tel: 91-20-4121-0141

日本 **Japan - Osaka**  
Tel: 81-6-6152-7160

日本 **Japan - Tokyo**  
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 **Korea - Daegu**  
Tel: 82-53-744-4301

韩国 **Korea - Seoul**  
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚  
**Malaysia - Kuala Lumpur**  
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 **Malaysia - Penang**  
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 **Philippines - Manila**  
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 **Singapore**  
Tel: 65-6334-8870

泰国 **Thailand - Bangkok**  
Tel: 66-2-694-1351

越南 **Vietnam - Ho Chi Minh**  
Tel: 84-28-5448-2100

### 欧洲

奥地利 **Austria - Wels**  
Tel: 43-7242-2244-39  
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦  
**Denmark - Copenhagen**  
Tel: 45-4485-5910  
Fax: 45-4485-2829

芬兰 **Finland - Espoo**  
Tel: 358-9-4520-820

法国 **France - Paris**  
Tel: 33-1-69-53-63-20  
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 **Germany - Garching**  
Tel: 49-8931-9700  
德国 **Germany - Haan**  
Tel: 49-2129-3766400

德国 **Germany - Heilbronn**  
Tel: 49-7131-72400

德国 **Germany - Karlsruhe**  
Tel: 49-721-625370

德国 **Germany - Munich**  
Tel: 49-89-627-144-0  
Fax: 49-89-627-144-44

德国 **Germany - Rosenheim**  
Tel: 49-8031-354-560

以色列 **Israel - Ra'anana**  
Tel: 972-9-744-7705

意大利 **Italy - Milan**  
Tel: 39-0331-742611  
Fax: 39-0331-466781

意大利 **Italy - Padova**  
Tel: 39-049-7625286

荷兰 **Netherlands - Drunen**  
Tel: 31-416-690399  
Fax: 31-416-690340

挪威 **Norway - Trondheim**  
Tel: 47-7288-4388

波兰 **Poland - Warsaw**  
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚  
**Romania - Bucharest**  
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 **Spain - Madrid**  
Tel: 34-91-708-08-90  
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 **Sweden - Gothenberg**  
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 **Sweden - Stockholm**  
Tel: 46-8-5090-4654

英国 **UK - Wokingham**  
Tel: 44-118-921-5800  
Fax: 44-118-921-5820