



10年口碑积累，成功培养50000多名研发工程师，铸就专业品牌形象

华清远见的企业理念是不仅要良心教育、做专业教育，更要受人尊敬的职业教育。

# 《USB 应用开发技术大全》

作者：华清远见

专业始于专注 卓识源于远见

## 第 1 章 USB 概述

### 本章目标

USB ( Universal Serial Bus , 通用串行总线 ) 是计算机上的一种新型的接口技术，它使得计算机和外部设备的连接十分方便。目前，很多设备都开始采用 USB 接口来实现，比如鼠标、键盘、移动硬盘、打印机等。在实际设计工作中，也越来越多地采用 USB 技术，比如数据采集等，USB 的设计与应用已成为现代电子设计的一个很重要的部分。

USB 总线的产生

USB 总线特点

USB 总线结构

USB 的开发类型及流程

专业始于专注 卓识源于远见

## 1.1 USB 总线的产生

以前的外部设备是通过 RS232、RS485、并行接口、ISA 接口、PCI 接口和 PS/2 接口等老式专用接口来实现与计算机的通信。这些接口最初是在 20 世纪 80 年代由美国的 IBM 公司设计并推广的，现在看来这些接口有很多缺陷。

### 1. 接口体积庞大

这些接口在现在的大部分计算机中仍然存在，它们占据了机箱和主板的很大一部分面积，这样不利于计算机的小型化。现在的便携式计算机基本上已经没有这些接口了，否则计算机的便携是无法实现的。

### 2. 接口规范不统一

这些老式接口大部分是专用的，比如 PS/2 接口用来接鼠标和键盘，并行接口用来接打印机等。这些种类繁多的接口，会让用户使用很不方便。

### 3. 非共享式接口

这些老式接口一般只支持一个连接设备，比如通过并行接口只能连接一台打印机，而不能连接多台。目前，计算机主板上的接口数目是有限的，工作和生活中有大量的新外设出现，老式接口无法扩展，因此系统资源非常紧张。

### 4. 不支持热插拔

这些老式接口采用传统的 I/O 模式。当外部设备连接到计算机时，外设被映射为 CPU 的 I/O 地址空间，并分配一个特定的 IRQ（中断请求）或 DMA 通道。这种连接模式存在 I/O 地址冲突、指定的 IRQ 或 DMA 被占用等问题。这时，往往需要重新启动计算机，来使新的设置生效，即不支持热插拔，这使得设备的连接十分麻烦。

随着技术的发展和工作的需要，我们越来越需要一个新型的计算机接口来解决这些问题。此时，USB 的出现正好满足了这些要求，使得其迅速推广开来。

USB（Universal Serial Bus，通用串行总线）是一种计算机和外部设备进行通信连接的新型接口，最早于 1994 年 11 月，由 Compaq、Digital Equipment、IBM、Intel、Microsoft、NEC 和 Northern Telecom 7 家公司共同提出。USB 出现的目的是取代现有计算机接口，简化计算机与外部设备的连接过程，使计算机的扩展更加方便。

目前 USB 以接口体积小、支持热插拔、即插即用、兼容性好、节省系统资源和成本低等优点，得到广泛应用。各种计算机外部设备都在逐渐改为 USB 接口，USB 技术的出现是计算机接口技术的一大飞跃。

## 1.2 USB 总线特点

总的来说，USB 是一种高效、快速、价格低廉、体积小和支持热插拔的新型串行通信接口。其支持多个外部设备的连接和通信，并且即插即用的特点使用户可以在不重新启动计算机的情况下直接将 USB 外部设备连接到计算机并开始通信。

USB 规范为计算机和外部设备之间的通信提供了一套完整的解决方案，与老式的计算机接口相比，USB 总线具有以下优点：

- 接口小巧。和老式的计算机接口相比，USB 接口具有很明显的体积优势，顺应了计算机和外部设备小型化的发展趋势。
- 共享式接口。USB 接口采用了“菊花链”式的连接方式，支持多个外设的连接。通过 USB 集线器，一个 USB 主控制器最多可以连接 126 个外设，大大拓展了计算机的外部功能扩展能力。
- 支持即插即用和热插拔。当 USB 设备连接到计算机的时候，系统会自动监测这个设备，并加载对应的驱动程序。这样，USB 实现了自动配置，用户无需任何手动配置，连接设备不需要重新启动计算机；用户也可以随时断开 USB 设备与计算机的连接，而不会损害计算机和外部设备。
- 节省系统资源。在计算机中，系统为 USB 主控制器分配一根 IRQ 线和一些 I/O 地址，USB 再为外部设备分配唯一的地址。
- 支持多种操作。目前 USB 支持 3 种传输速率：低速 1.5Mbit/s、全速 12Mbit/s 和高速 480Mbit/s。同时，USB 还支持 4 种类型的传输模式：块传输、中断传输、同步传输和控制传输。这可以满足不同外设的功能需要。
- 成本低。目前，市场上 USB 的主控和从控芯片的价格都已十分低廉，其他组件，如 USB 电缆等也很便宜，加上 USB 的高性能，使其成为性价比很高的计算机接口。
- 可以提供电源。计算机上的 USB 接口可以向外提供一定功率的电源，其输出电流的最小值为 100mA，最大为 500mA，输出电压为 5V，适合很多的单片机系统。并且 USB 协议中规定了完备的电源管理方式，如果外部设备耗电不大，可以考虑使用 USB 接口直接供电，这样十分方便。
- 良好的兼容性。USB 规范发展至今已有 USB 1.0、USB 1.1、USB 2.0、无线 USB 和 USB OTG 等多个版本协议，这些协议都具有很好的向下兼容性。

目前使用较多的计算机接口主要性能的比较列于表 1.1。

表 1.1 常用计算机接口比较

接口类型	数据格式	传输速率	最大设备数	电缆长度	是否支持热插拔
并行口	并行	8Mbit/s	2 个或 8 个	小于 10m	否
RS232	串行	20kbit/s	2	小于 30m	否
RS485	串行	10Mbit/s	32	小于 1200m	否
ISA	并行	128Mbit/s			否
EISA	并行	266Mbit/s			否
PCI	并行	1056Mbit/s、2112Mbit/s			否
AGP	并行	高于 2112Mbit/s			否
以太网	串行	10Mbit/s、100Mbit/s、1Gbit/s	1024	500m	否
USB	串行	1.5Mbit/s、12Mbit/s、480Mbit/s	126	无要求	是
IEEE-1394	串行	400Mbit/s、3.2Gbit/s	63	4.5m	是

其中 USB 1.1 和 USB 2.0 协议对电缆的长度没有要求，只是 USB 1.0 要求低速设备的电缆长度小于 3m，全速设备的电缆长度小于 5m。

### 1.3 USB 总线结构

在现代生活中，USB 设备的种类十分丰富，如 MP3、MP4、U 盘、移动硬盘、USB 鼠标等。从用户的角度来看，简单的 USB 系统由 USB 设备、计算机（USB 主机）和 USB 电缆组成，如图 1.1 所示。

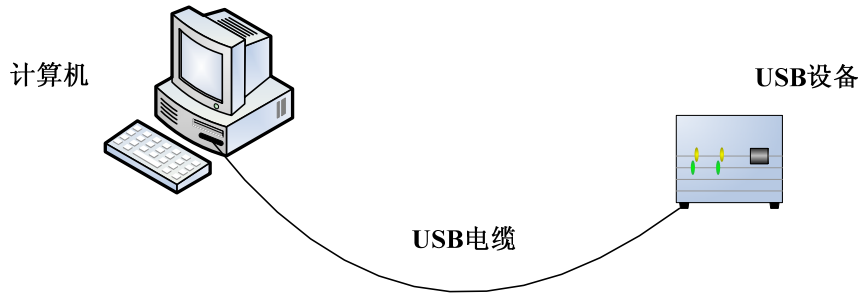


图 1.1 USB 设备的连接

这里涉及一些 USB 系统方面的术语，在 USB 连接系统中，外部设备称为 USB 设备，USB 设备所连接的计算机称为 USB 主机。在 USB 数据传输过程中，指向 USB 主机的数据传输称为上行通信，指向 USB 设备的数据传输称为下行通信。下面详细介绍 USB 系统的各个组成部分。

### 1.3.1 USB 主机

USB 主机指的是包含 USB 主控制器，并且能够控制完成主机和 USB 设备之间数据传输的设备。广义上来说，USB 主机包括计算机和具有 USB 主控芯片的设备。

USB 系统的数据和命令的传输都是由 USB 主机来启动的，所以 USB 主机在整个数据传输过程中占据着主导地位。USB 协议规定，在同一时刻 USB 系统中只允许存在一个 USB 主机，否则会引起控制和数据传输的混乱。

### 1.3.2 USB 设备

USB 设备按照功能可分为两类：USB 集线器和 USB 功能设备。其中，USB 集线器主要用于为 USB 系统提供额外的连接点，它使得一个 USB 端口可以扩展连接多个设备；USB 功能设备用于一些用户特定功能的设备，例如 MP3、USB 键盘和移动硬盘等。

## 1. USB 集线器

USB 集线器（USB HUB）是 USB 系统中的重要组件，主要用于扩展 USB 主机的 USB 端口。USB 设备可以通过 USB 集线器的下行端口与 USB 主机连接。USB 集线器的示意图，如图 1.2 所示；USB 集线器在 USB 系统中的连接，如图 1.3 所示。

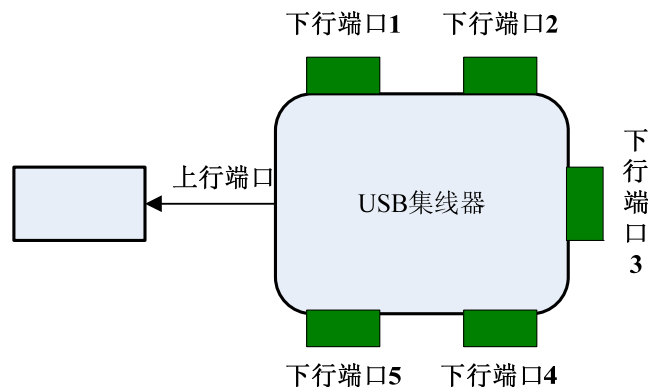


图 1.2 USB 集线器示意图

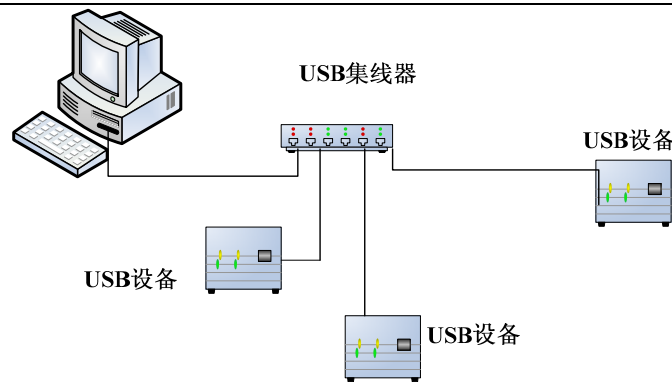


图 1.3 USB 集线器的连接

USB 协议中规定 USB 集线器可以级连 5 个。USB 集线器简化了 USB 的连接，扩展了 USB 接口数目，具有很好的稳定性，并且价格便宜。

## 2. USB 功能设备

USB 功能设备通常是一个独立的外部设备，具有特定的功能。USB 功能设备用于扩展 USB 主机的功能，如计算机的 USB 键盘等；也可以用来进行数据传输，如 MP3 和 USB 数据采集系统等。

每个 USB 功能设备内部都包含有描述其功能和资源需求的配置信息，如 USB 带宽、接口种类等，USB 主机必须在使用前对其进行配置。

### 1.3.3 USB 的连接

USB 设备和 USB 主机、USB 主机和 USB 集线器以及 USB 设备和 USB 集线器之间都需要通过 USB 电缆进行连接。USB 协议中规定，USB 高速传输（480Mbit/s）和全速（12Mbit/s）传输需要使用外壳屏蔽、数据线双绞的 USB 电缆；而低速 USB 电缆（1.5Mbit/s）不需要使用外壳屏蔽、数据线双绞的 USB 电缆。

USB 连接器有两种，A 型和 B 型，如图 1.4 所示。USB 连接器的插座和插头互相匹配。一般来说，A 型插座总是作为 USB 主机或 USB 集线器的下行端口，所以 A 型插头总是指向上行的 USB 主机；B 型插座总是作为 USB 设备或 USB 集线器的上行端口，所以 B 型插头总是指向下行 USB 设备或集线器。

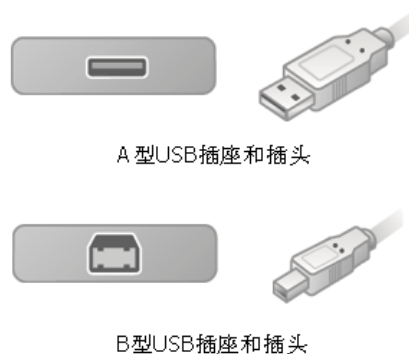


图 1.4 USB 连接器

USB 接头共有 4 根引线： $V_{BUS}$ 、GND、 $D_+$ 、 $D_-$ 。其中， $V_{BUS}$  向外提供+5V 电源，GND 是地线， $D_+$  和  $D_-$  是差分数据线对。USB 连接器同样有 4 个引脚，分别对应 USB 电缆的 4 根导线。一般来说，用红色的线表示  $V_{BUS}$ ，白色的线表示  $D_-$ ，绿色的线表示  $D_+$ ，黑色的线表示 GND。

USB 协议对 USB 低速电缆和高速/全速电缆进行了不同的要求见表 1.2。

表 1.2 USB 低速电缆和高速/全速电缆的对比

	低速电缆	高速/全速电缆
电缆是否需要屏蔽	否	是
电缆是否需要铜漏线	否	是
是否需要双绞数据线	否	是
是否可作为分离电缆	否	是
是否可作为束缚电缆	是	是
差分特征阻抗		90 Ω

### 1.3.4 USB 系统的分层结构

USB 总线接口协议十分完善，可以实现对各种设备类型的支持，如此强大的功能，需要系统的总线结构支持。USB 设备和主机应用程序之间通过特定 USB 端点进行通信，整个 USB 系统可以分为功能层、USB 设备层和 USB 总线接口层。

#### 1. 功能层

USB 系统的功能层主要负责数据传输操作，功能层由 USB 设备的功能单元和对应的 USB 主机程序组成实现。特定的 USB 主机程序段用于和特定的 USB 设备功能单元进行通信。按照双方通信的类型，数据传输可以分为如下 4 种：

- 控制传输：主要用于传输少量的对时间和速率都没有要求的数据，一般用于 USB 主机读取或设置 USB 设备的配置信息。
- 中断传输：主要用于传输少量对传输时间具有周期性要求的数据，在鼠标和键盘等 HID 人机接口设备中经常使用。
- 块传输：主要用于传输大量的对传输时间和速率没有严格要求的数据。
- 同步传输：主要用于传输大量的，传输时间具有周期性，且速率恒定的数据。

#### 2. USB 设备层

USB 设备层主要用于管理 USB 设备、分配 USB 地址、读取设备描述符。在这一层中，可以使 USB 主机获得该 USB 设备的能力。这部分功能一方面需要 USB 主机来自动完成，另一方面也需要用户编写相应的固件程序进行支持。

#### 3. USB 总线接口层

USB 总线接口层主要用于实现 USB 主机和 USB 设备之间的数据传输。在 USB 协议中，USB 总线接口使用 NRZI 编码（反向非归零编码）来传输数据，USB 主控制器和 USB 集线器将数据接收或发送，并自动进行解码或编码，这部分一般是由 USB 系统硬件自动完成。

## 1.4 USB 的开发类型及流程

根据 USB 系统的组成，USB 系统的开发可以分为 3 类：USB 主控制器的开发、USB 集线器的开发和 USB 功能设备的开发。USB 功能设备的开发最为广泛，这里仅介绍 USB 功能设备的开发。

USB 功能设备的开发流程如图 1.5 所示，整个开发过程分为如下 5 步：

(1) 分析 USB 设备的功能。首先要对所设计的产品功能进行全面了解，比如数据传输速率、传输类型、所需要的硬件资源等。

(2) 选择 USB 接口芯片。对所开发的产品有了完整的了解后，便可以选择合适的 USB 接口芯片，此时，需要对各种 USB 芯片的资源和使用比较熟悉。

(3) USB 开发。USB 选型结束后，便可以进行 USB 设备的软硬件开发。这里软件开发最为复杂，涉及 USB 芯片的固件程序、USB 主机的驱动程序和主机的用户界面操作程序等。这些软件的设计和调试不是分立的，而是互相联系的，有时在修改一个程序的同时，需要对其他几个程序进行相应的修改。

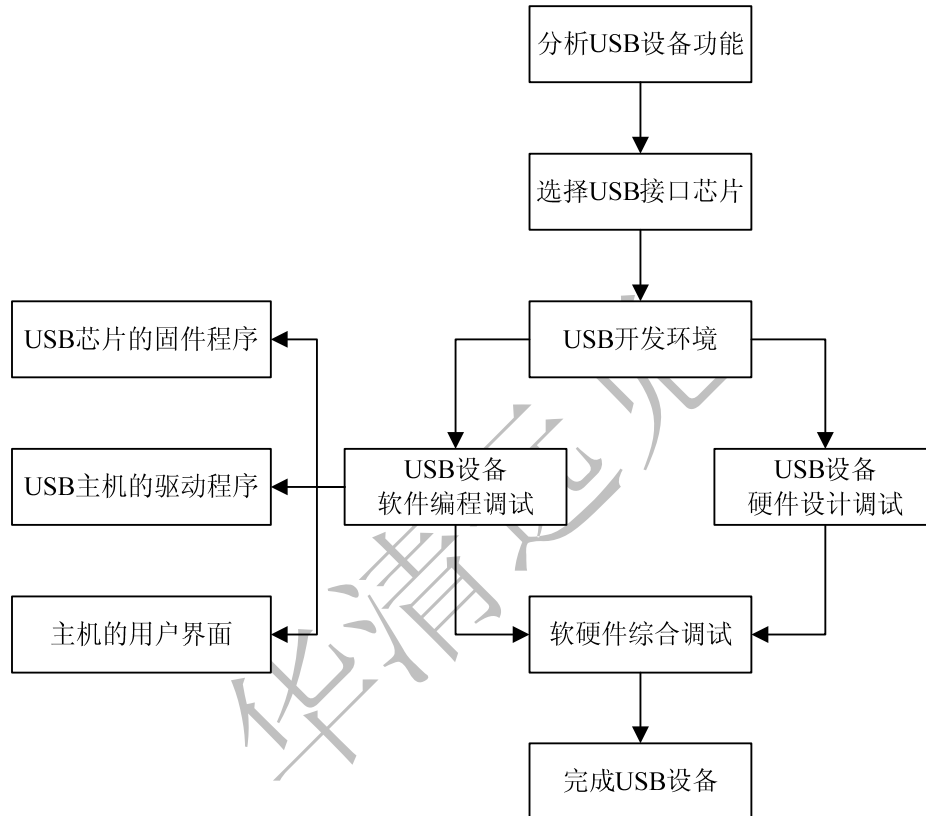


图 1.5 USB 设备的开发流程

(4) 软硬件综合调试。所设计的 USB 设备是一个软硬件的结合体，最后需要对整个软硬件系统进行综合调试，以确保功能的完整和完善。

(5) 完成 USB 设备。最后 USB 设备完成设计，可以进行产品发布。

## 1.5 小结

本章主要讲解了 USB 总线的产生、USB 总线的特点、USB 总线的结构以及 USB 设备的开发流程。USB 是一种新型的总线结构，其接口小巧和传输速度快，得到了广泛的应用，正在逐步取代老式的计算机接口。为了更好地学习下面的内容，读者需要着重掌握 USB 总线的结构、USB 的开发类型及流程。

## 联系方式

企业学院: [www.farsight.com.cn](http://www.farsight.com.cn)

物联网学院: [www.topsight.cn](http://www.topsight.cn)

研发中心: [dev.hqyj.com](http://dev.hqyj.com)

集团总部地址: 北京市海淀区西三旗悦秀路北京明园大学校内 华清远见教育集团

北京地址: 北京市海淀区西三旗悦秀路北京明园大学校区, 电话: 010-82600386/5

上海地址: 上海市徐汇区漕溪路 250 号银海大厦 11 层 B 区, 电话: 021-54485127

深圳地址: 深圳市龙华新区人民北路美丽 AAA 大厦 15 层, 电话: 0755-25590506

成都地址: 成都市武侯区科华北路 99 号科华大厦 6 层, 电话: 028-85405115

南京地址: 南京市白下区汉中路 185 号鸿运大厦 10 层, 电话: 025-86551900

武汉地址: 武汉市工程大学卓刀泉校区科技孵化器大楼 8 层, 电话: 027-87804688

西安地址: 西安市高新区高新一路 12 号创业大厦 D3 楼 5 层, 电话: 029-68785218

广州地址: 广州市天河区中山大道 268 号天河广场 3 层, 电话: 020-28916067

华清远见