

 爱上开源

intel[®] Edison

智能硬件开发指南

——基于 Yocto Project

■ 陈士凯 程晨 臧海波 等 著



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



爱上开源

intel[®] Edison

智能硬件开发指南

——基于 Yocto Project

■ 陈士凯 程晨 臧海波 等 著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

Intel Edison智能硬件开发指南：基于Yocto Project / 陈士凯等著. — 北京：人民邮电出版社，2015. 5

(爱上开源)

ISBN 978-7-115-38947-3

I. ①I… II. ①陈… III. ①智能技术—硬件—开发—指南 IV. ①TP18-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第060912号

内 容 提 要

本书将深入浅出地介绍Intel推出的开源硬件——Edison控制板，介绍其硬件架构、开发环境、开发方法（分别基于Arduino IDE和Linux系统）、应用前景，并提供小型智能家居、人脸追踪器、智能水杯等开发实例供读者参考。

-
- ◆ 著 陈士凯 程 晨 臧海波 等
责任编辑 周 明
责任印制 周昇亮
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京瑞禾彩色印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本：787×1092 1/16
印张：13.25 2015 年 5 月第 1 版
字数：220 千字 2015 年 5 月北京第 1 次印刷
-

定价：80.00 元

读者服务热线：(010)81055339 印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

广告经营许可证：京崇工商广字第 0021 号



PREFACE

推荐序

中国如今已经成为全球最大的计算消费品市场。随着智能手机、平板电脑、穿戴式设备的普及，中国也在随着用户需求的多样化，一步步成为电子产品设计和创新的热土。正如英特尔®前首席执行官 Paul Otellini 十几年前所讲的：“中国是计算技术的青春之泉！”随着中国“大众创业，万众创新”和创客运动的兴起，中国在未来几年对信息技术创新的工具和方法的需求必将进一步迅猛增长。这本关于 Edison 芯片及开发技巧的书恰逢其时，一定会引起众多创客和物联网专业人士的关注。

英特尔® 在信息技术普及的年代，开发了各式方便、好用的 PC 相关芯片，伴随着大家从生活到工作，从单机到联网，不断地丰富人类信息交流、多媒体互动和日常沟通的方式。随着物联网和智能终端的快速发展，基于高性能、高集成度的前沿技术基础，英特尔® 推出了 22nm 的 Edison 芯片。

Edison 是一款专门针对小型智能设备设计的双核芯片，采用 x86 架构处理器内核，支持 Linux 并能运行复杂的高级应用程序，可以通过 Wi-Fi 和蓝牙对外沟通。而在整体的处理性能上，相当于一台完整的“奔腾级电脑”，但是在体积上，却仅相当于一张 SD 卡，功耗对比传统电脑更是微不足道。

主笔陈士凯过去曾在英特尔® 软件与服务部门任职，他也常在各式工程期刊发表文章，对于 Edison 系列平台的应用开发，有其深厚的基础和独到的见解，另外两位作者程晨和臧海波也是业内资深人士。本书的前半部除了深入浅出地介绍了 Edison 控制板的硬件和软件知识，还带领读者一步一步地实现各个有趣的功能。在实作的过程描述中，根据作者的经验，还提出了许多常犯的错误的规避方式，让读者可以少走许多冤枉路。本书的后半部引用了作

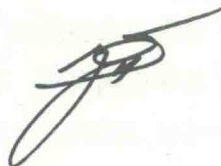
者群和英特尔® 中国研究院的多个实际案例，读者可以从中学学习到更多深度的知识，并且不同的案例可以触发每个人更多的想象可能性。对于看完了全部章节但是还有疑问的读者，在本书最后的附录中还可以找到更多技术互动论坛和零组件的相关资源，你在那里可以随时和不同的 Edison 牛人交流。

这本书就如同 Edison 控制板一样，麻雀虽小，五脏俱全，精简而全面，非常适用于 Edison 系列平台的初学者和有兴趣利用 Edison 从事新的穿戴式物联网应用开发的人士。我坚信 Edison 芯片虽小，但它对未来穿戴式物联网发展会具有里程碑意义。我也衷心希望这本书成为读者们迈向创新和创业的征程上的一个加油站。愿大家成为爱迪生（Thomas Edison）一样的发明家！

英特尔® 软件与服务事业部中国区总经理

何京翔

2015.3.26





FOREWORD

前言

这些年，随着创客运动和开源硬件的发展，大家一直都在期待一种新的硬件模块的出现，这种模块既要资源丰富、性能强劲、可扩展性强，还要简单易用、功耗不大、体积小巧。树莓派、Arduino 都在这个方向上做过一些尝试，还有很多的团队也在这个方向上做出过努力和贡献，但最后的结果都不太令人满意。

大家的期盼在 2014 年初终于看到了一丝希望，这一年的 1 月，Intel® 推出了名为 Edison 的微型计算平台，这是 Intel® 针对智能硬件、可穿戴设备、物联网市场推出的一款产品，只有 SD 卡大小，采用 22nm Quark 双核 SoC，集成 Wi-Fi、BLE、内存、存储区，预装 Yocto Project Linux 系统，支持 Arduino、Python 以及 Wolfram 环境，兼容超过 30 项业内标准 I/O 接口。在功耗方面，在正常模式下它的最大功率约为 1W，而在低功耗模式下只有 250mW，甚至更低。这基本上满足了大家对新的硬件模块的期望，一时间到处都充斥着关于 Edison 的报道。但这款 Edison 并没有正式发售，Intel® 在小范围合作的客户中收集反馈意见，在不到一年的时间里，不断迭代更新，终于在 2014 年年底推出了第二版 Edison，虽然尺寸稍微放大了一些，但也远小于大家的想象。

Edison 的出现，不但满足了广大电子爱好者、创客、开发人员的需求，同时也非常适用于学校的计算机、嵌入式硬件的教学工作。同样一块硬件模块，针对初学者可以偏重于电子电路、Arduino 编程，对于中级用户可以偏重于 Python、网络应用，而对于高级用户可以偏重于 Linux 操作系统。每个阶段都可以做到相互独立，互不影响，都可以基于本阶段的学习内容完成电子作品的制作。

正是由于以上的原因，当我在玩了一段时间的 Edison 之后，就有一种想分享给更多人

的冲动，让更多的爱好者能够了解到这个优秀的硬件模块。不过由于本人水平有限，只能完成前面入门教学部分的内容，后面的内容由曾在 Intel®和盛大创新院任职的陈士凯写作。

这本书应该是国内第一本关于 Edison 开发的原创技术书籍，这里要感谢 Intel® 的大力协助，Intel® 内部很多部门的很多技术牛人都参与了本书书稿的审阅，同时也要感谢人民邮电出版社在图书出版过程中做出的努力。最后还要感谢现在正捧着这本书的您，感谢您肯花费时间和精力阅读本书。由于时间有限，书中难免存在疏漏与错误，诚恳地希望您批评指正，您的意见和建议将是我巨大的财富。我希望通过 Edison 结识更多的朋友。



程晨

2015.3.25



THANKS

致谢

感谢来自 Intel® 的以下朋友为本书做出的贡献（排名不分先后）。

Chapter	Content	Owner
Chap 1.3	Yocto Project	Osier-mixon、Jeffrey
Chap 4.1	Intel development tools + Sensors	沈海、甘驰、张海立、汪洋、高升
Chap 8	Smart Mug example	宋继强、刘章林、张超、栾桂鹏、罗斌
Appendix A	Further support resources	陈益斌、陈阳
Appendix B	Partners information	何君瑜
Coordinator		徐茂容



CONTENTS

目 录

第 1 章



初识 Edison

1.1 Edison 介绍	1
1.1.1 第一版 Edison	1
1.1.2 第二版 Edison	2
1.2 Edison 的硬件参数	2
1.2.1 Edison 的性能	2
1.2.2 Edison 的硬件布局	4
1.2.3 70PIN 接口引脚定义	4
1.2.4 Edison 的软件架构	7
1.2.5 Yocto Project	7
1.3 接口扩展板	8
1.3.1 两种官方扩展板	8
1.3.2 Arduino 扩展板接口说明	9
1.3.3 Breakout Board	12
1.3.4 第三方扩展板	14

第 2 章



快速上手

2.1 Edison kit for Arduino 的用法	17
2.1.1 下载软件及驱动	17
2.1.2 安装硬件驱动	18
2.2 Arduino IDE for Edison	20
2.2.1 Arduino 开发环境	20
2.2.2 下载开发环境	21
2.2.3 配置开发环境	21
2.3 简单的 I/O 口控制	23
2.3.1 Blink 例程	23
2.3.2 PWM 输出	24
2.4 Wi-Fi 连接	26
2.4.1 无线通信	26
2.4.2 无线网络	27
2.4.3 Wi-Fi	27
2.5 Wi-Fi 库	28
2.5.1 Wi-Fi 库概述	28
2.5.2 Wi-Fi 类中的函数	28
2.5.3 Server 类中的函数	29
2.5.4 Client 类中的函数	30
2.6 Wi-Fi 网络	31
2.6.1 扫描 Wi-Fi 网络	31
2.6.2 连接 Wi-Fi 网络	32
2.7 基于网络的交互	33
2.7.1 HTML 语言	33

2.7.2 网页制作	34
2.7.3 在服务器上运行网页	36
2.7.4 通过网页控制 LED	40
2.7.5 在网页中显示温度	42
2.8 实例：网络远程养花系统	44
2.8.1 功能描述	44
2.8.2 硬件准备	44
2.8.3 编程实现	46
2.8.4 虚拟服务器	48
2.8.5 扩展思考	50
2.9 通过串口登录 Linux	51
2.9.1 驱动安装	51
2.9.2 设置 Edison	52
2.9.3 蓝牙连接	54
2.9.4 Linux 下的 GPIO 操作	56

第 3 章

03 Edison 技术实现浅析

3.1 Edison 的硬件架构	61
3.1.1 Edison 核心	61
3.1.2 Edison 核心与外部系统的连接	63
3.1.3 深入研究 Edison 的 Arduino 接口 扩展板	64
3.1.4 信号电平转换的实现	67
3.1.5 I/O 工作模式和上拉电阻的实现	70
3.1.6 I/O 端口操作的性能问题	72
3.1.7 I/O 端口模式复用的实现	72
3.1.8 ADC 模拟信号采集	74
3.1.9 电源与电池充电	75

3.1.10 小结	76
3.2 Edison 的软件架构	76
3.2.1 总体的软件架构	76
3.2.2 系统引导过程	78
3.2.3 系统分区和文件组织	83
3.2.4 Arduino Sketch 程序的执行机制	85

第 4 章

04 进阶开发

4.1 开发 Edison 原生应用	95
4.1.1 在 Edison 中开发第一个 Hello World 程序	95
4.1.2 本机编译和交叉编译	97
4.1.3 使用配套的原生应用 SDK 进行开发	98
4.1.4 程序的部署与调试	101
4.2 使用第三方软件包进行开发	106
4.2.1 使用 libjpeg 库实现对 jpeg 图像 进行操作	106
4.2.2 将 OpenCV 库编译成 Edison 版本	107
4.2.3 在编写的程序中调用 OpenCV	113

第 5 章

05 系统定制与功能扩展

5.1 使用 Yocto Project 定制 Edison 系统	117
5.1.1 系统定制的方式与 Yocto Project 系统简介	117



5.1.2 在开发机中搭建 Yocto Project 开发环境	118
5.1.3 编译产生 Edison 完整系统镜像	120
5.1.4 将编译完成的系统镜像写入 Edison	122
5.1.5 修改 Linux 内核配置	123
5.1.6 增加额外的软件包	125
5.2 修改启动引导配置	127
5.2.1 在 U-boot 中修改配置参数	127
5.2.2 在 Linux 系统中修改 U-boot 配置参数	129
5.2.3 制作运行在 SD 卡上的系统	130

第 6 章

06

给 Edison 添加图形人机交互界面

6.1 背景和原理	135
6.1.1 使用 USB 显示器	136
6.1.2 工作原理	136
6.2 在 Yocto Project Linux 中增加图形显示和交互支持	138
6.2.1 对 Linux 内核的配置	138
6.2.2 内核驱动编译和部署	139
6.2.3 配置 USB 屏内核驱动随系统自动加载	142
6.2.4 在显示屏中输出命令终端	143
6.2.5 使用用户态驱动库直接驱动 USB 显示器	144
6.3 运行 PC 版 Ubuntu 图形界面	146
6.3.1 制作安装 Ubuntu 系统的 SD 卡	147

6.3.2 配置 Edison 进行 Ubuntu 系统引导	148
6.3.3 系统的登录和使用	149

第 7 章

07

使用摄像头进行图像识别开发

7.1 从摄像头捕捉数据	151
7.1.1 USB 摄像头的选取	151
7.1.2 增加 Linux 内核对 USB 摄像头的支持	153
7.1.3 使用 OpenCV 获取摄像头图像	154
7.2 制作一个摄像头取景器	154
7.3 使用 Edison 制作人脸跟踪器	156
7.3.1 基本原理	157
7.3.2 在本机应用中使用 Arduino 库直接操作硬件	158
7.3.3 在本机应用驱动 OLED 屏幕显示画面	161
7.3.4 舵机云台控制	163
7.3.5 实现人脸跟踪的 facetrack 程序	164

第 8 章

08

基于 Edison 的智能水杯

8.1 背景与原理	167
8.1.1 Edison	168
8.1.2 外部单片机	168
8.1.3 LED 显示阵列	169
8.1.4 无线充电模块	169

8.1.5 板载充电方案	169
8.1.6 电池	170
8.1.7 音频	170
8.1.8 运动传感器	170
8.1.9 低电压保护电路	170
8.1.10 USB MUX 切换线路	171
8.1.11 功耗管理和系统电源状态	171
8.1.12 系统上电时序和规范	172
8.2 系统构架与设计	173
8.2.1 硬件设计	173
8.2.2 软件系统	176
8.2.3 IDEAir 无线编程环境	181
8.3 互联网和云计算	183
8.4 应用展望	185

附录

A

Edison 相关的论坛、社区和
开发者资源

187

附录

B

Edison 的小伙伴们

190



CHAPTER



初识 Edison

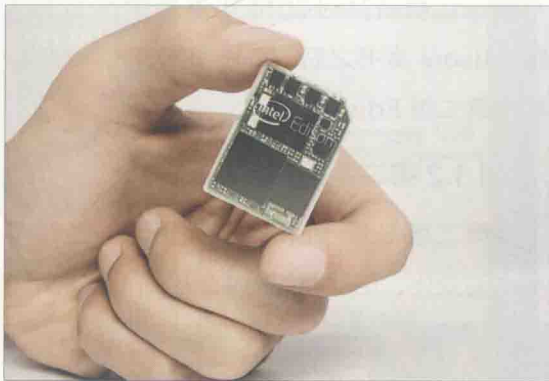
创客运动的不断发展，让沉寂许久的硬件领域又热闹了起来，智能硬件、可穿戴设备、物联网这些新兴的事物陆续出现在我们的视野中。不管是硬件工程师，还是之前不怎么接触硬件的软件工程师、艺术家、设计师，大家纷纷加入到这场新工业革命中，而众多的硬件厂商也察觉到了这个快速成长的市场，陆续参与进来，这其中就包括全球最大的个人计算机零件和 CPU 制造商——Intel®。

1.1 Edison 介绍

1.1.1 第一版 Edison

在 2014 年 1 月的 CES（国际消费类电子产品展览会）上，Edison 这个伟大的名字被 Intel® 赋予了新的含义——Intel® 将其生产的一款号称“即插即用”的微型计算平台命名为 Edison（见图 1.1）。这是 Intel® 针

对智能硬件、可穿戴设备、物联网市场推出的一款产品，它只有 SD 卡大小，而 Intel® 希望在围绕 Edison 构建一个新的硬件生态的同时，使其成为下一代计算平台的标准。



■ 图 1.1 第一版 Edison

随着智能手机的普及以及开源硬件的发展，如今以蓝牙、Wi-Fi 等技术作为核心通信手段的物联网在不断升温，各种智能机器人也接踵而至，整个行业似乎要经历一场以新一代更轻巧、功耗更低的设备取代传统 PC、平板电脑甚至智能手机的大变革。采用 Atom 架构的 Intel® Edison 正是在这样的大背景下推出的。

Edison 采用 22nm Quark 双核 Soc，集成 Wi-Fi、BLE、内存、存储区，预装 Yocto Linux 系统，支持 Arduino、Python 以及 Wolfram 编程环境，兼容超过 30 项业内标准 I/O 接口。在功耗方面，在正常模式下，

Edison 最高功率约为 1W，而在低功耗模式下只有 250mW 甚至更低。但这款 Edison 并没有正式发售，Intel® 仅在小范围的合作客户中收集反馈意见，在不到一年的时间里，不断迭代更新，到 2014 年年底推出了第二版 Edison（本书之后的表述中如无特殊说明，均指第二版 Edison）。

1.1.2 第二版 Edison

第二版 Edison 和第一版相比已经有了不小的变化，正反面如图 1.2 和图 1.3 所示。



■ 图 1.2 第二版 Edison 正面



■ 图 1.3 第二版 Edison 反面

首先从外观上看，第二版 Edison 比 SD 卡稍大（见图 1.4）。造成 Edison “身材”走样的原因主要是因为其内部的处理器由

Quark 换成了更为强劲的 Atom，而 Atom 处理器需要单独的微控制器来驱动模块的输入输出部分。升级后的 Edison 核心性能提高了一个数量级，不过核心功耗也增加了不少。



■ 图 1.4 Edison 和 SD 卡的对比

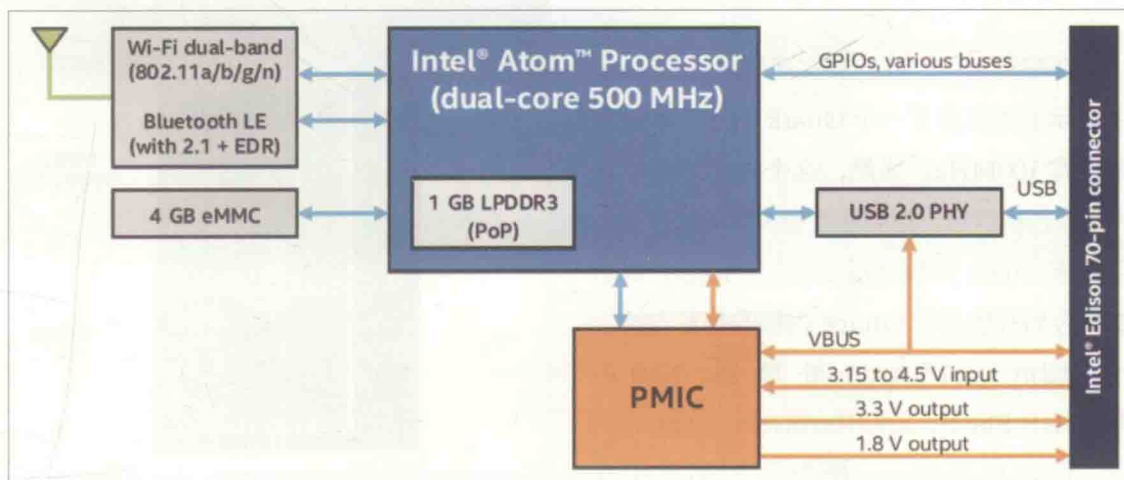
虽然第二版 Edison 稍大了一些，但总的来说，作为一个微型计算平台，这样的尺寸也是相当小了，和邮票大小差不多。它几乎能够嵌入任何设备（如椅子、背包、帽子、咖啡机甚至水杯）当中，为这些设备提供一颗强劲的心。

1.2 Edison 的硬件参数

1.2.1 Edison 的性能

上一节已经提到了，虽然 Edison 体积小，只有 35.5mm × 25mm × 3.9mm，但是其功能非常强大，几乎相当于一台完整的 PC。虽然缺少了视频输出以及以太网功能，但这些功能都可以通过 USB 接口进行扩

充。另外 Edison 的功耗非常低，在一般情况下，电流消耗不会超过 200mA，而在利用 Wi-Fi 传输数据时，尖峰电流可能达到 600mA。在 Intel® Edison 的官方说明文档中，我们可以看到整个 Edison 模块的完整架构，如图 1.5 所示。



■ 图 1.5 Edison 模块的完整架构

基本上只要给 Edison 供电，一部完整的 PC 便可以开始工作了。表 1.1 给出了 Edison 模块的具体硬件配置情况。

表 1.1 Edison 模块的硬件配置

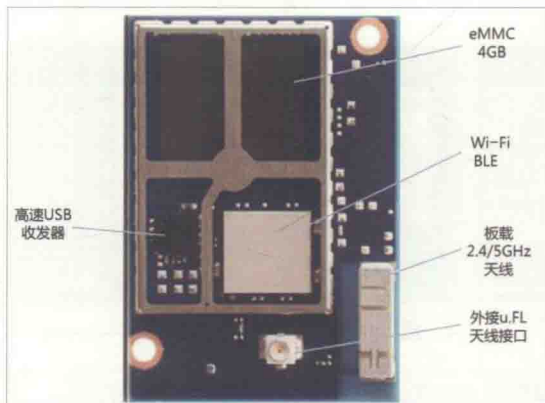
配置项目	Intel® Edison
CPU (SoC)	500MHz 双核、双线程 32bit AtomZ34xx 系列处理器，100MHz Quark 处理器
SoC 制程工艺	22nm
内存	1GB LPDDR3 POP memory
Flash 存储	4GB EMMC
I/O	40 个 GPIO
Wi-Fi/ 蓝牙	Broadcom BCM43340 a/b/g/n + Bluetooth 4.0
USB	2.0 OTG × 1
电源	TI SNB9024 电源管理芯片
天线	双频板载天线或外接 u.FL 射频同轴天线
接口	Hirose DF40 系列间距 0.4mm 的 70PIN 接口

配置项目	Intel® Edison
大小	35.5mm × 25mm × 3.9mm
输入电压	3.15~4.5V
时钟	19.2MHz, 32kHz

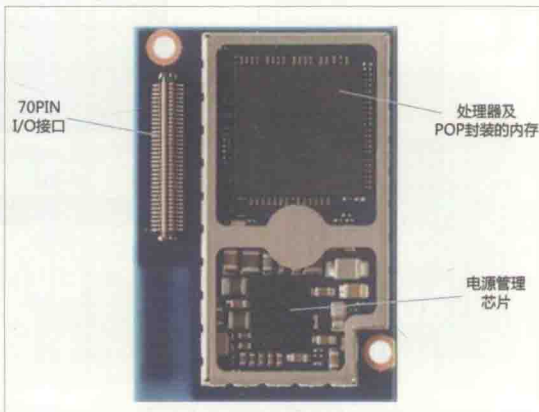
在配置表中，我们其实可以发现 Edison 中实际上还包含了一个 Quark 内核，不过主频只有 100MHz。当然，这个主频如果针对一个单片机而言，运算速度也不算慢了。不过目前该 Quark 内核还没法使用，Intel® 表示将在今后开放对于 Quark 内核的开发支持。

32bit Intel® Atom 处理器、1GB 内存、4GB Flash、2.4GHz/5GHz 双频 Wi-Fi、低功耗蓝牙……所有这些都集中在 35.5mm × 25mm × 3.9mm 大小的板子上，下面让我们看看它的内部是如何摆放的。

1.2.2 Edison 的硬件布局



■ 图 1.6 Edison 模块正面（无屏蔽罩）



■ 图 1.7 Edison 模块反面（无屏蔽罩）

图 1.6 和图 1.7 所示分别是 Edison 模块去掉屏蔽罩后的正反面，正面主要是 4GB 的 EMMC 和博通公司的 5GHz Wi-Fi 蓝牙集成芯片 BCM43340，而背面主要是处理器、内存和电源管理芯片，内存采用 POP 封装，与处理器堆叠在一起，以减小模块整体的尺寸。

1.2.3 70PIN 接口引脚定义

同样是为了减小整体的尺寸，Edison 对外接口是一个上下两排（间距为 0.4mm）的 70PIN 接插件，如图 1.8 所示，70PIN 接口中各个引脚的定义见表 1.2。



■ 图 1.8 Edison 上的 70PIN 接口

表 1.2 Edison 的 70PIN 接口定义

引脚	名称	附加功能	说明
2、4、6	VSYS		系统输入电压 (3.3~4.5V)
8、10	3.3 V		3.3V 电压输出
12	1.8V		1.8V 电压输出
14	DCIN		输入, DC 供电时连接到 VSYS, 电池供电时不连接
1、5、9、11、13、15	GND		地
7	MSIC_SLP_CLK3		32kHz 休眠时钟输出
3	USB_ID		USB OTG ID 引脚
16	USB_DP		USB D+
18	USB_DN		USB D-
20	USB_VBUS		USB VBUS 输入
17	PWRBTN#		供电 / 休眠按键 (低电压有效)
19	FAULT		USB 电源输入错误
21	PSW		USB 电源输出使能
23	V_VBAT_BKUP		实时时钟电池电源输入
36	RESET_OUT#		系统复位输出 (低电压有效)
24	GP44		GPIO
25	GP165		GPIO
26	GP45		GPIO
28	GP46		GPIO
30	GP47		GPIO
32	GP48		GPIO
34	GP49		GPIO
42	GP15		GPIO
48	GP14		GPIO