



maXTouch[®] 640 节点触摸屏控制器

maXTouch[®] 自适应传感触摸屏技术

- 最多 32 条 X（发送）线路和 20 条 Y（接收）线路
- 最多可以将 640 个节点分配给触摸屏
- 触摸屏尺寸为 8.17 英寸（16:10 纵横比），传感器电极间距为 5.5 mm。采用不同的电极间距和适当的传感器材料时可实现其他尺寸
- 多点触控支持，最多可实时跟踪 16 个并行触摸

汽车应用

- 符合 AEC-Q100 标准
- 遵循通过汽车 SPICE[®] 3 级认证的流程进行开发
- 符合 CISPR-25 标准（用于互电容和自电容测量）

触摸传感器技术

- 分立式/外挂式支持，包括采用玻璃和 PET 薄膜基板的传感器
- 支持 On-cell/Touch-on Display 技术，包括 TFT、IPS 和 OLED
- 能够与显示刷新时序同步
- 支持标准（例如，金刚石）和专有传感器类型（建议由 Microchip 审查设计）

前面板材料

- 采用 PET 或玻璃，包括曲线轮廓（配置和层叠方式待 Microchip 批准）
- 玻璃 0.4 mm 至 8 mm（取决于屏幕尺寸、触摸尺寸、配置和层叠方式）
- 塑料 0.2 mm 至 4 mm（取决于屏幕尺寸、触摸尺寸、配置和层叠方式）

触摸性能

- 潮湿/水滴补偿
 - 凝露或水滴的直径不超过 22 mm 时，不会引发虚假触摸
 - 凝露或水滴的直径不超过 22 mm 时，可进行单指跟踪

- 悬停支持
 - 支持单指悬停，最高支持 20 mm 检测和 15 mm 跟踪范围
 - 支持多指悬停检测
- 手套支持
 - 支持厚度不超过 1.5 mm 的多指手套触摸（受层叠设计影响）
 - 支持厚度不超过 5 mm 的单指手套触摸（受层叠设计影响）
- 支持互电容和自电容测量，可实现稳健的触摸检测
- 支持 P2P 互电容测量，可实现超灵敏触摸传感
- 噪声抑制技术，可防止环境噪声和电源线噪声
 - 对于 1 Hz 和 1 kHz 之间的正弦波形，最高 240 Vpp
 - 对于 1 kHz 和 1 MHz 之间的正弦波形，最高 20 Vpp
- 突发频率
 - 灵活且动态的 Tx 突发频率选择，可减少 EMC 干扰
 - 在整个过程和温度范围内控制 Tx 突发频率漂移
 - 固件控制的 Tx 波形整形，可减少辐射
- 扫描速度
 - 最高 250 Hz 的单指触摸反应速率（受配置的影响）
 - 10 次触摸的典型触摸反应速率 ≥ 60 Hz（受配置的影响）
 - 从空闲状态到首次触摸的触摸延时初始值 < 25 ms（受配置的影响）
 - 经过配置可实现功率和速度优化
- 触摸面板故障检测
 - 运行时自动触摸传感器诊断，支持安全关键功能的实现
 - 使用专用输出引脚或标准对象协议消息报告诊断
 - 可配置测试限值

片上手势

- 报告单点触摸和两点触摸手势

密钥

- 最多可以将32个节点分配为互电容传感器按键（受其他配置的影响）
- 支持相邻按键抑制（Adjacent Key Suppression, AKS）技术，可防止虚假按键触摸

增强算法

- 透镜弯曲算法，用于消除显示屏噪声
- 触摸抑制算法，用于消除手掌等大面积身体部位的意外触摸
- 手掌恢复算法，用于快速恢复到正常状态

产品数据存储区

- 生产过程中最多可存储60字节的用户自定义数据

节能

- 可编程超时，可实现自动从活动状态转换到空闲状态
- 流水线模拟传感检测和数字处理，可实现系统能效优化

应用接口

- I²C从接口支持标准模式（最高100 kHz）、快速模式（最高400 kHz）、增强型快速模式（最高1 MHz）和高速模式（最高3.4 MHz）
- SPI从接口（最高8 MHz）
- 中断，在消息可用时进行指示
- SPI调试接口，读取实时原始数据以进行调整和调试

电源

- 数字电源（Vdd）：3.3V（标称值）
- 数字I/O（VddIO）：3.3V（标称值）
- 模拟电源（AVdd）：3.3V（标称值）
- 6.6V高压内部X线路驱动（XVdd），带内部电压泵（如果没有使用电压泵，则XVdd = Vdd）

封装

- 100引脚TQFP 14 × 14 × 1 mm，0.5 mm间距

工作温度

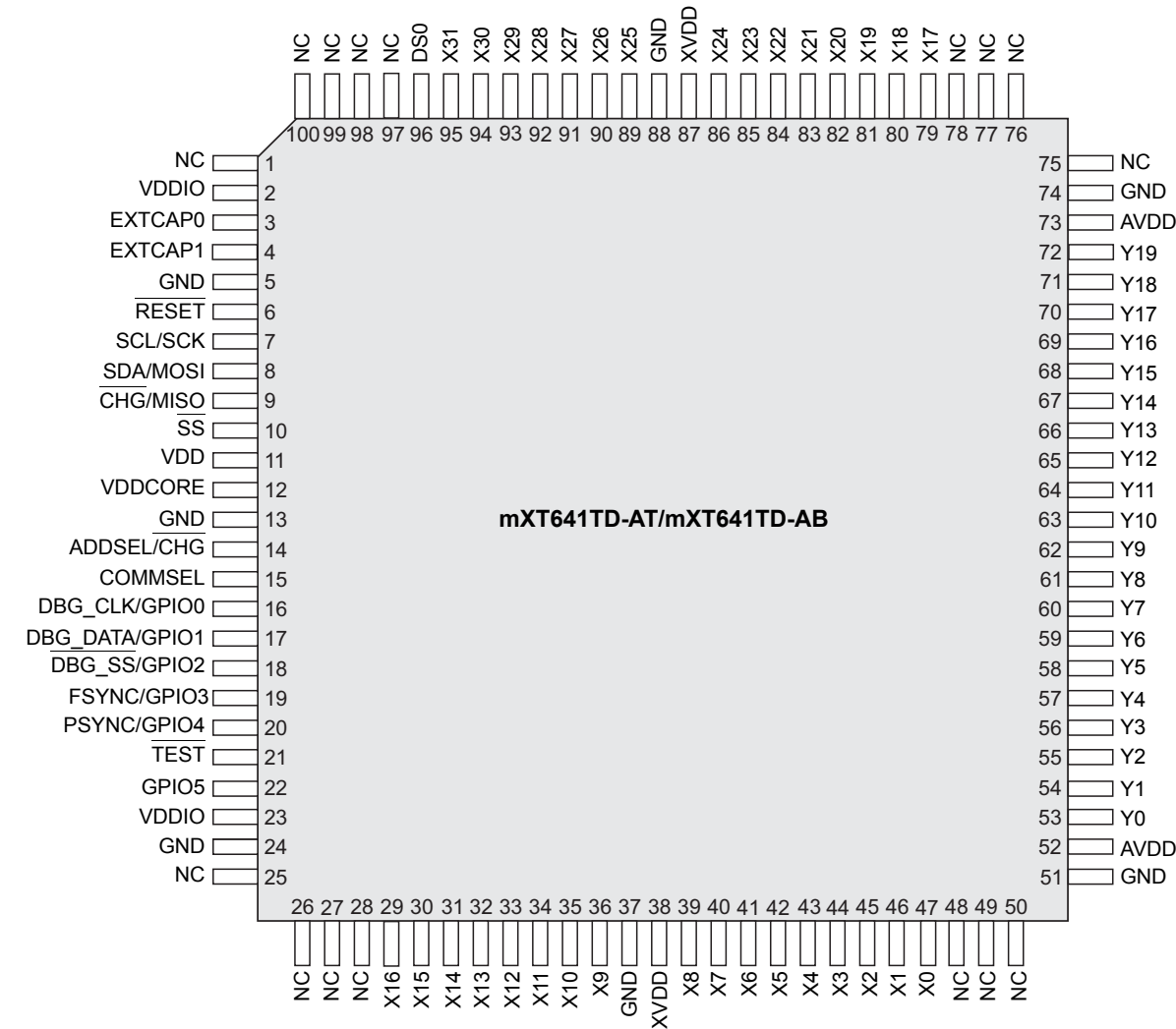
- mXT641TD-AT：-40°C至+85°C（3级）
- mXT641TD-AB：-40°C至+105°C（2级）

设计服务

- 检查器件配置、层叠方式和传感器类型
- 可以考虑定制固件版本
- 有关详细信息，请联系Microchip代表

引脚配置

100 引脚TQFP



俯视图

MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

表0-1: 引脚列表——100引脚TQFP

引脚	名称	类型	电源	说明	未使用时...
1	NC	—	—	无连接	悬空
2	VDDIO	P	—	数字IO接口电源	—
3	EXTCAP0	P	—	通过电容连接到EXTCAP1；请参见第2.3节“原理图说明”	悬空
4	EXTCAP1	P	—	通过电容连接到EXTCAP0；请参见第2.3节“原理图说明”	悬空
5	GND	P	—	地	—
6	RESET	I	VddIO	复位为低电平。建议连接至主机系统	上拉至VddIO
7	SCL	OD	VddIO	I ² C 模式：串行时钟	—
	SCK	I		SPI 模式：串行时钟	
8	SDA	OD	VddIO	I ² C 模式：数据	—
	MOSI	I		SPI 模式：数据——主输出从输入	
9	CHG	OD	VddIO	I ² C 模式：状态变化中断（低电平有效）	—
	MISO	O		SPI 模式：数据——主输入从输出	
10	SS	I	VddIO	SPI 模式：从选择线（低电平有效）	上拉至VddIO
11	VDD	P	—	数字电源	—
12	VDDCORE	P	—	数字内核电源	—
13	GND	P	—	地	—
14	ADDSEL	I	VddIO	I ² C 模式：I ² C 地址选择；请参见第7.2节“I ² C 地址选择——ADDSEL 引脚”	—
	CHG	OD		SPI 模式：状态变化中断（低电平有效）	
15	COMMSEL	I	VddIO	选择通信模式；请参见第7.1节“主机通信模式选择——COMMSEL 引脚”	—
16	DBG_CLK	O	VddIO	调试时钟；请参见第2.3.10节“SPI 调试接口”	连接到测试点 悬空
	GPIO0	I/O		通用 I/O	
17	DBG_DATA	O	VddIO	调试数据；请参见第2.3.10节“SPI 调试接口”	连接到测试点 悬空
	GPIO1	I/O		通用 I/O	
18	DBG_SS	O	VddIO	调试SS线路；上拉至VddIO；请参见第2.3.10节“SPI 调试接口”	连接到测试点 悬空
	GPIO2	I/O		通用 I/O	
19	FSYNC	I	VddIO	外部帧同步	输入：连接到GND 输出：悬空
	GPIO3	I/O		通用 I/O	
20	PSYNC	I	VddIO	外部脉冲同步	输入：连接到GND 输出：悬空
	GPIO4	I/O		通用 I/O	
21	TEST	I	VddIO	保留供工厂使用；上拉至VddIO	—
22	GPIO5	I/O	VddIO	通用 I/O	输入：连接到GND 输出：悬空
23	VDDIO	P	—	数字IO接口电源	—
24	GND	P	—	地	—
25	NC	—	—	无连接	悬空
26	NC	—	—	无连接	悬空
27	NC	—	—	无连接	悬空

表0-1: 引脚列表——100引脚TQFP (续)

引脚	名称	类型	电源	说明	未使用时...
28	NC	—	—	无连接	悬空
29	X16	S	XVdd	X线路连接	悬空
30	X15	S	XVdd	X线路连接	悬空
31	X14	S	XVdd	X线路连接	悬空
32	X13	S	XVdd	X线路连接	悬空
33	X12	S	XVdd	X线路连接	悬空
34	X11	S	XVdd	X线路连接	悬空
35	X10	S	XVdd	X线路连接	悬空
36	X9	S	XVdd	X线路连接	悬空
37	GND	P	—	地	—
38	XVDD	P	—	X线路驱动电源; 请参见第2.3.4节“内部电压泵”	—
39	X8	S	XVdd	X线路连接	悬空
40	X7	S	XVdd	X线路连接	悬空
41	X6	S	XVdd	X线路连接	悬空
42	X5	S	XVdd	X线路连接	悬空
43	X4	S	XVdd	X线路连接	悬空
44	X3	S	XVdd	X线路连接	悬空
45	X2	S	XVdd	X线路连接	悬空
46	X1	S	XVdd	X线路连接	悬空
47	X0	S	XVdd	X线路连接	悬空
48	NC	—	—	无连接	悬空
49	NC	—	—	无连接	悬空
50	NC	—	—	无连接	悬空
51	GND	P	—	地	—
52	AVDD	P	—	模拟电源	—
53	Y0	S	AVdd	Y线路连接	悬空
54	Y1	S	AVdd	Y线路连接	悬空
55	Y2	S	AVdd	Y线路连接	悬空
56	Y3	S	AVdd	Y线路连接	悬空
57	Y4	S	AVdd	Y线路连接	悬空
58	Y5	S	AVdd	Y线路连接	悬空
59	Y6	S	AVdd	Y线路连接	悬空
60	Y7	S	AVdd	Y线路连接	悬空
61	Y8	S	AVdd	Y线路连接	悬空
62	Y9	S	AVdd	Y线路连接	悬空
63	Y10	S	AVdd	Y线路连接	悬空
64	Y11	S	AVdd	Y线路连接	悬空
65	Y12	S	AVdd	Y线路连接	悬空
66	Y13	S	AVdd	Y线路连接	悬空
67	Y14	S	AVdd	Y线路连接	悬空
68	Y15	S	AVdd	Y线路连接	悬空

MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

表 0-1: 引脚列表——100 引脚 TQFP (续)

引脚	名称	类型	电源	说明	未使用时...
69	Y16	S	AVdd	Y 线路连接	悬空
70	Y17	S	AVdd	Y 线路连接	悬空
71	Y18	S	AVdd	Y 线路连接	悬空
72	Y19	S	AVdd	Y 线路连接	悬空
73	AVDD	P	—	模拟电源	—
74	GND	P	—	地	—
75	NC	—	—	无连接	悬空
76	NC	—	—	无连接	悬空
77	NC	—	—	无连接	悬空
78	NC	—	—	无连接	悬空
79	X17	S	XVdd	X 线路连接	悬空
80	X18	S	XVdd	X 线路连接	悬空
81	X19	S	XVdd	X 线路连接	悬空
82	X20	S	XVdd	X 线路连接	悬空
83	X21	S	XVdd	X 线路连接	悬空
84	X22	S	XVdd	X 线路连接	悬空
85	X23	S	XVdd	X 线路连接	悬空
86	X24	S	XVdd	X 线路连接	悬空
87	XVDD	P	—	X 线路驱动电源；请参见第 2.3.4 节“内部电压泵”	—
88	GND	P	—	地	—
89	X25	S	XVdd	X 线路连接	悬空
90	X26	S	XVdd	X 线路连接	悬空
91	X27	S	XVdd	X 线路连接	悬空
92	X28	S	XVdd	X 线路连接	悬空
93	X29	S	XVdd	X 线路连接	悬空
94	X30	S	XVdd	X 线路连接	悬空
95	X31	S	XVdd	X 线路连接	悬空
96	DS0	S	XVdd	驱动屏蔽信号；用作 X/Y 信号与地之间的保护走线	悬空
97	NC	—	—	无连接	悬空
98	NC	—	—	无连接	悬空
99	NC	—	—	无连接	悬空
100	NC	—	—	无连接	悬空

注：

I	仅输入	O	仅输出	I/O	输入或输出
OD	漏极开路输出	P	地或电源	S	检测引脚

目录

引脚配置 3

目录 7

致客户 8

1.0 mXT641TD-AT/mXT641TD-AB 概述 9

2.0 原理图 10

3.0 触摸屏基础知识 14

4.0 传感器布局 15

5.0 上电/复位要求 17

6.0 详细工作原理 20

7.0 主机通信 24

8.0 I2C通信 25

9.0 SPI通信 31

10.0 PCB设计注意事项 39

11.0 mXT641TD-AT/mXT641TD-AB 入门 42

12.0 调试和调整 47

13.0 规范 48

14.0 封装信息 61

附录A. 相关文档 63

附录B. 版本历史 64

产品标识体系 68

Microchip网站 69

变更通知客户服务 69

客户支持 69

致 客 户

我们旨在提供最佳文档供客户正确使用 Microchip 产品。为此，我们将不断改进出版物的内容和质量，使之更好地满足您的需求。出版物的质量将随新文档及更新版本的推出而得到提升。

如果您对本出版物有任何问题和建议，请通过电子邮件联系我公司 TRC 经理，电子邮件地址为 CTRC@microchip.com。我们期待您的反馈。

最新数据手册

欲获得本数据手册的最新版本，请访问我公司网站：

<http://www.microchip.com>

查看数据手册中任意一页下边角处的文献编号即可确定其版本。文献编号中紧跟数字串后的字母是版本号，例如：DS30000000A_CN 是文档的 A 版本。

勘误表

现有器件可能带有一份勘误表，描述了实际运行与数据手册中记载内容之间存在的细微差异以及建议的变通方法。一旦我们了解到器件 / 文档存在某些差异时，就会发布勘误表。勘误表上将注明其所适用的硅片版本和文件版本。

欲了解某一器件是否存在勘误表，请通过以下方式之一查询：

- Microchip 网站 <http://www.microchip.com>
- 当地 Microchip 销售办事处（见最后一页）

在联络销售办事处时，请说明您所使用的器件型号、硅片版本和数据手册版本（包括文献编号）。

客户通知系统

欲及时获知 Microchip 产品的最新信息，请到我公司网站 www.microchip.com 上注册。

1.0 MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 概述

Microchip maXTouch 系列触摸控制器为客户汽车应用带来了业界领先的电容式触摸性能。mXT641TD-AT 采用最新一代 Microchip 自适应传感技术，利用混合互电容和自电容传感系统，提供无与伦比的触摸功能和稳健的用户体验。

- **获得专利的电容式传感方法**——mXT641TD-AT 使用独特的电荷转移采集引擎实现 Microchip 获得专利的电容式传感方法。整套触摸屏传感解决方案搭载最先进的 CPU，能够在最短的响应时间内以较高精度对大量单次手指触摸进行测量、分类和跟踪。
- **电容式触摸引擎 (Capacitive Touch Engine, CTE)**——mXT641TD-AT 配有采集引擎，能够使用最优的测量方法来确保几乎完全免受接收器输入线路上的寄生电容干扰。该引擎拥有足够的动态范围以应对预期的触摸屏自电容和互电容，从而在使用 Microchip 专有传感器类型设计时实现极大灵活性。单层和双层 ITO 传感器可以使用玻璃或 PET 基板。
- **触摸检测**——mXT641TD-AT 允许进行互电容和自电容测量，使用自电容测量对互电容测量进行补充，从而生成可靠的触摸信息。

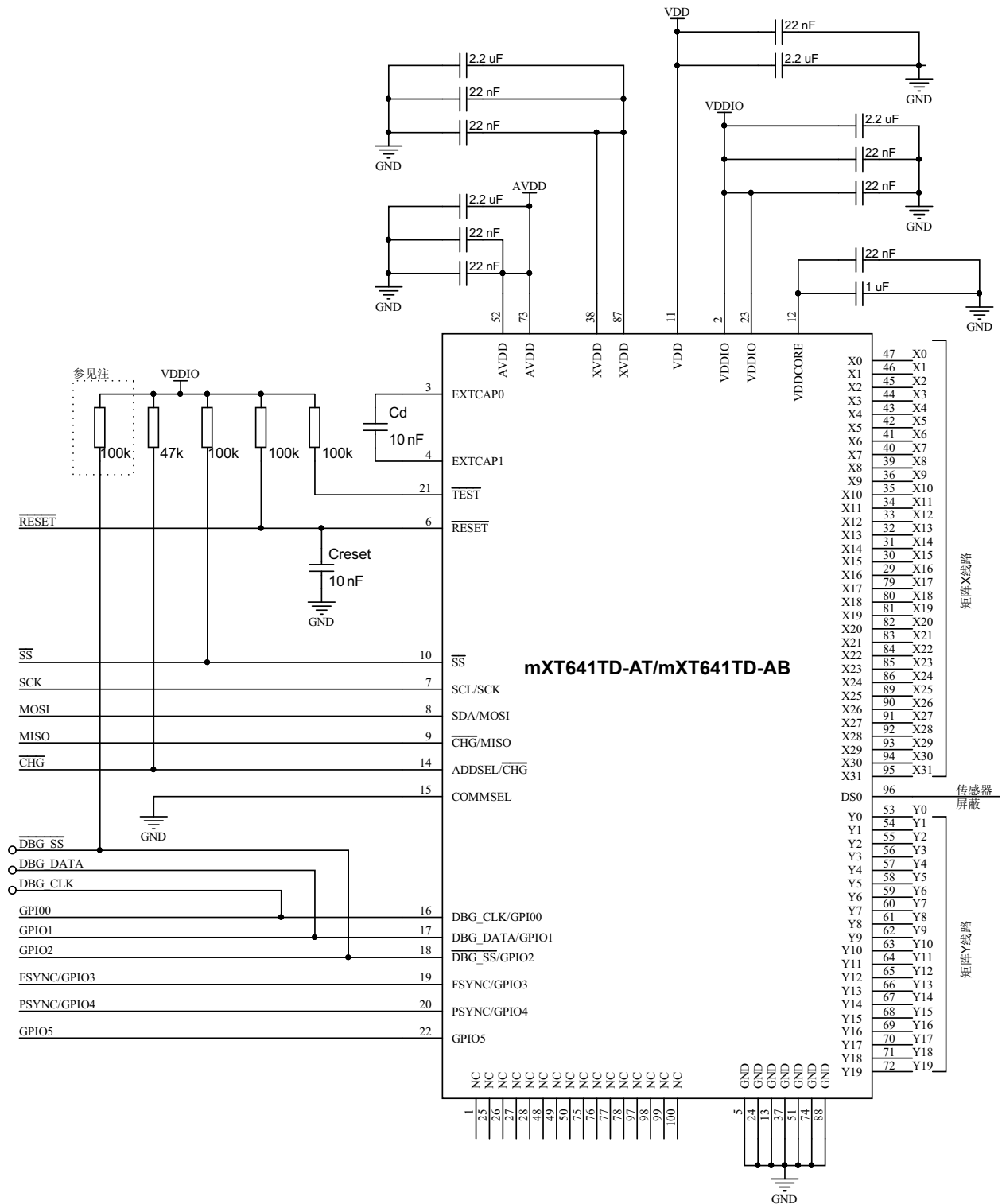
当使能自电容测量时，将搭配使用互电容和自电容触摸数据实现触摸分类。其优势在于两种类型的测量系统可以配合工作，从而在各种情况下实现触摸检测。

系统可配置为在空闲和活动模式下进行不同类型的默认测量。例如，器件可以配置为互电容触摸（作为空闲模式下的默认设置）和自电容触摸（作为活动模式下的默认设置）。请注意，也可进行其他类型的扫描（例如悬停扫描、P2P 互电容扫描和其他类型的自电容扫描），具体取决于配置。

尽可能使用互电容触摸数据对触摸进行分类，因为它具有比自电容测量更大的粒度，并且可提供触摸的位置信息。因此，多指触摸只能通过互电容触摸数据来确定。在自电容触摸默认模式下，如果自电容触摸处理检测到多指触摸，则会跳过触摸屏处理过程，直到互电容触摸数据可用。

当单独的互电容触摸检测可能错过触摸时，自电容和 P2P 互电容测量支持在极端情况下检测单次触摸，如戴厚手套时的单次触摸。自电容测量还支持悬停检测。
- **显示屏噪声消除**——包括模拟电路、硬件噪声处理功能和固件，能够有效防止显示屏噪声，而且既不需要额外的监听通道，也不需要与显示屏时序同步。因此可以使用无屏蔽触摸传感器层叠方式，包括透镜触摸。
- **噪声滤波**——电容式触摸引擎中的硬件噪声处理功能提供增强型自主滤波，可处理范围广泛的噪声曲线。因此能够在 LCD 噪声环境下实现良好性能。
- **处理能力**——主 CPU 具有两个功能强大的微定序器协处理器，适当控制有助于降低功耗。该系统能够以一种高效、灵活的方式对信号采集、预处理、后处理和后台处理进行划分。
- **解释用户意图**——Microchip 混合互电容和自电容方法实现了明确的多点触摸性能。mXT641TD-AT 中的算法提供了一种优化的触摸屏位置滤波，能够平稳地跟踪触摸、响应用户预期触摸，同时防止环境噪声或传感器表面上的导电物质（例如，水分）触发的虚假触摸，或者用户手掌或手指搭放引起的意外触摸。

2.2 128引脚TQFP——SPI模式



见第2.3节“原理图说明”

2.3 原理图说明

2.3.1 电源

检测引脚和 I/O 引脚由器件上的电源轨供电，如表 2-1 所示。“引脚配置”也提供了该信息。

表 2-1: 检测引脚和 I/O 引脚的电源

电源	引脚
XVdd	X 检测引脚和 DS0
AVdd	Y 检测线路
VddIO	$\overline{\text{RESET}}$ 、 GPIO_n 、 SDA 、 SCL 、 MOSI 、 MISO 、 SCK 、 $\overline{\text{SS}}$ 、 COMMSEL 、 ADDSEL 、 FSYNC 、 PSYNC 、 $\overline{\text{CHG}}$ 、 DBG_CLK 、 DBG_DATA 和 DBG_SS

2.3.2 去耦电容

所有去耦电容必须为 X7R 或 X5R，并且安装在距离引脚不到 5 mm 的位置上用作引脚的旁路电容。相同类型的引脚可以共用一个电容，但前提是这些引脚与电容之间的距离不超过 10 mm。

前几页上的原理图中给出了所需的最佳电容。建议将电容并联组合使用以提供高频和低频滤波，这在稳压器与器件相隔一定距离时（例如，使用有效尾部设计时）十分有利。请注意，这要求用于 AVdd、Vdd 和 VddIO 的稳压器电源干净、无噪声，而且假定电容与板上电源之间的走线长度小于 50 mm。

如果引脚配置允许共用旁路电容，则可减少基本电容的数量（前提是引脚之间的距离满足上述条件，而且不存在布线困难）。

2.3.3 上拉电阻

原理图中所示的上拉电阻采用的是推荐的典型值，可以根据客户设计的具体要求加以修改，尤其是 I²C 上拉电阻（见第 2.3.7 节“I²C 接口”）。

2.3.4 内部电压泵

电压泵需要一个外部电容：

- EXTCAP0 必须通过电容（Cd）连接至 EXTCAP1
- 如果使用倍压器，XVDD 上电容的额定值应至少为 10V

电容 Cd 应提供 10 nF 的电容量。

如果不需要 XVdd 倍压器：

- 必须去掉电容 Cd 并将 EXTCAP0 和 EXTCAP1 断开连接
- XVDD 线路必须连接到 VDD

2.3.5 VDDCORE

VddCore 由 Vdd 电源从内部生成。为了保证内部稳压器的稳定性，需要使用外部电容。

2.3.6 $\overline{\text{CHG}}$ 线路

$\overline{\text{CHG}}$ 线路在原理图上显示为带 47 k Ω 上拉电阻。这将导致复位期间的电压电平非常低，主机可能会误将其当作有效信号，因此建议主机忽略此信号，并至少维持至 $\overline{\text{RESET}}$ 信号上升沿后 1 ms。

2.3.7 I²C 接口

原理图给出了 SDA 和 SCL 线路上的上拉电阻。这些电阻的值取决于 I²C 接口的速度。有关详细信息，请参见第 13.9 节“I²C 规范”。

2.3.8 多功能引脚

一些引脚可能具有多种功能。对于这种情况，只能选择其中一种功能，然后对电路进行相应的设计。

2.3.9 GPIO 引脚

mXT641TD-AT 具有 6 个 GPIO 引脚。可根据需要使用 GPIO 配置 T19 对象将引脚设置为输入或输出。

只要通过使用 GPIO 配置 T19 对象为未使用的 GPIO 引脚分配已定义状态，这些引脚就可以保持外部不连接状态。默认情况下，GPIO 引脚设置为输入，如果不使用，则应将其连接到 GND。也可以使用 GPIO 配置 T19 对象将其设置为输出并保持悬空状态。

如果不启用 GPIO 配置 T19 对象，则所有 GPIO 引脚均不使用。

某些 GPIO 引脚具有备用功能。如果使用备用功能，则该功能优先于 GPIO 功能，引脚不能用作 GPIO 引脚。特别是：

- 如果使用 FSYNC 功能，则不能使用 GPIO3
- 如果使用 PSYNC 功能，则不能使用 GPIO4
- SPI 调试接口功能与某些 GPIO 引脚共用。有关 SPI 调试接口以及这些引脚完全未使用时如何进行处理的更多信息，请参见第 2.3.10 节“SPI 调试接口”。

2.3.10 SPI 调试接口

DBG_CLK、DBG_DATA 和 $\overline{\text{DBG_SS}}$ 线路一起构成 SPI 调试接口。这些引脚应连接到所有设计的测试点，以便在系统开发过程中能够连接到外部硬件。另请参见第 12.1 节“SPI 调试接口”。

调试线路可以与其他功能共用引脚。只能为每个引脚选择其中一种功能，然后对电路进行相应的设计。请注意，原理图中 $\overline{\text{DBG_SS}}$ 的上拉电阻可选，只应在线路用作 $\overline{\text{DBG_SS}}$ 时存在。

不得将 DBG_CLK、DBG_DATA 和 $\overline{\text{DBG_SS}}$ 线路连接至电源或 GND。因此，当这些引脚与 GPIO 引脚共用和完全未使用（即它们不用作调试或 GPIO 引脚）时，应将其设置为输出。

3.0 触摸屏基础知识

3.1 传感器构成

触摸屏通常由大量透明电极构成。这些电极通常附着在玻璃或塑料基板上。触摸屏也可以采用不透明电极（例如铜电极或碳电极）。电极由铟锡氧化物（Indium Tin Oxide, ITO）或金属网构成。较厚的电极会产生较低的电阻（单位面积可能只有几十到几百 Ω ），但代价是会降低光学透明度。较低的电阻通常更加有利于与电容式传感技术兼容。较薄的电极会产生较高的电阻（单位面积可能达几百到几千 Ω ），但可实现诸多出色的光学特性。

互连走线可能会引发问题。如果走线电阻和接地电极电容之间形成的RC时间常量过大，可能会抑制电容式传感功能。在此类情况下，触摸屏可视区外的走线应替换成丝网印刷导电油墨（非透明）。

3.2 电极配置

Microchip 触摸屏中使用的特定电极设计技术已获得专利或正在申请专利。应要求可提供更多信息。

器件支持多种电极配置，具体在[第4.0节“传感器布局”](#)中进行了总结。

3.3 扫描顺序

器件按顺序扫描所有节点。扫描顺序采用一种完全并行的方式，能够缩短整体响应时间。扫描节点时，首先测量第一条X线路和所有Y线路之间形成的交点处的电容变化。然后扫描下一条X线路与所有Y线路之间的交点，依此类推，直到所有X线路和Y线路组合都测量完毕。

器件可采用多种方式进行配置。可以禁止一些节点，不对它们进行扫描。这样有助于缩短总体扫描时间。

3.4 触摸屏灵敏度

3.4.1 调整

对于不同的电极类型，互连、控制芯片等的寄生电容自然会存在差异，触摸屏的灵敏度也会因此而有所不同。影响灵敏度一致性的一个重要因素是电极设计本身。这是触摸屏类型的自然结果，其边缘并不连续，因此造成灵敏度不一致。最远端电极的一侧没有相邻电极，这会影响相应区域中的电场分布。

可对整个触摸屏进行灵敏度调整。该调整是一种基本的算法阈值，用于定义将节点判定为进入检测状态的信号变化量。

3.4.2 机械层叠

机械层叠是指触摸屏之上和之下排列材料层。触摸屏与机械层叠的其他部分的排列关系会影响屏幕的整体灵敏度。Qmatrix技术在传感器附近有地平面时也能出色地工作。QMatrix灵敏度更多归因于发射（X）电极和接收（Y）电极之间（而非这些电极表面区域）的电场的相互作用。因此，X电极或Y电极上的杂散电容不会严重降低灵敏度。

前面板介电材料对灵敏度存在直接影响。通常情况下，塑料前面板最厚约为4 mm，玻璃前面板最厚约为8 mm（具体取决于屏幕尺寸和布局）。前面板越厚，测量的电容变化的信噪比越低，因此触摸屏的分辨率也越低。一般来说，玻璃前面板对于电场的传导性能差不多是塑料面板的两倍，几乎已接近最佳性能。

注 使用超薄玻璃面板时应格外小心，因为可能会发生重传效应，进而导致性能明显降低。

4.0 传感器布局

物理矩阵可以配置为具有一个或多个触摸对象，其使用适当的触摸对象（多点触控触摸屏和按键阵列）进行配置。不必提供所有允许的触摸对象。默认情况下，对象处于禁止状态，因此只需要使能您想要使用的对象。

4.1 电极

器件支持多种电极配置，总结如下：

- 触摸屏：最大为32 X × 20 Y（受其他配置的影响）
- 按键：X/Y网格（按键阵列）中最多32个按键

注 Microchip 触摸屏中使用的特定电极设计技术已获得专利或正在申请专利。应要求可提供更多信息。

4.2 触摸面板布局

在设计触摸面板的物理布局时，必须遵守以下规则：

- 通用布局规则：
 - 每个触摸对象都必须是其使用的线路所构成的规则矩形。
- 多点触控触摸屏 T100 的其他布局规则：
 - 触摸屏对象必须从 X0, Y0 开始。
 - 多点触控触摸屏 T100 对象不能与其他触摸对象共用 X 线路或 Y 线路（例如按键阵列 T15）。
- 按键阵列 T15 的其他布局规则：
 - 按键阵列占用的 X 和 Y 线路应多于多点触控触摸屏 T100 对象
 - 按键阵列 T15 对象无法与多点触控触摸屏 T100 对象共用 X 和 Y 线路。

4.3 屏幕尺寸

表 4-1 列出了一些用于实现各种纵横比的典型屏幕尺寸和电极间距组合。

表 4-1： 典型屏幕尺寸

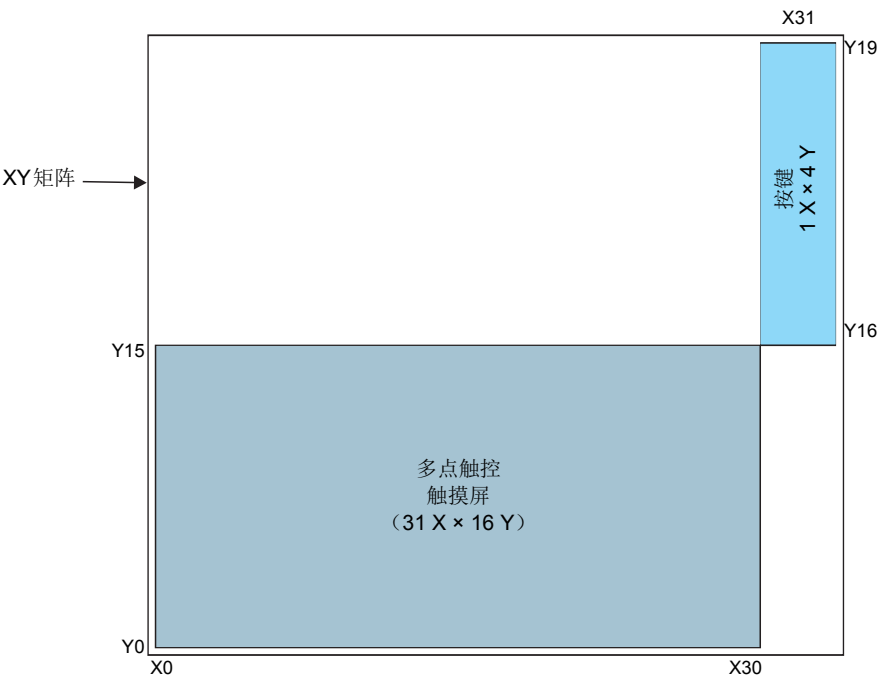
纵横比	矩阵尺寸	节点数	屏幕对角线（英寸）			
			4.5 mm 间距	5 mm 间距	5.5 mm 间距	6 mm 间距
16:10	X = 32, Y = 20	640	6.69	7.43	8.17	8.91
16:9	X = 32, Y = 18	576	6.5	7.23	7.95	8.67
8:3	X = 26, Y = 20	520	5.81	6.46	7.1	7.75

4.4 按键阵列

为了在周期时间开销方面获得最佳性能，建议使标准按键阵列所使用的 X（驱动）线路数保持最小值，并且设计应尽可能首选使用 Y 线路。

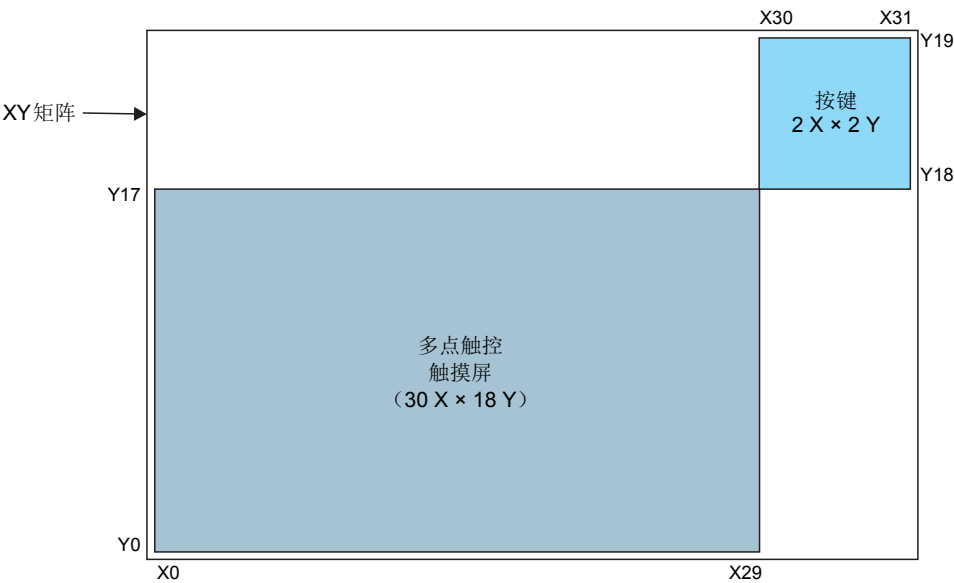
图 4-1 给出了采用 1 X × 4 Y 线路按键阵列的触摸屏的示例布局。请注意，在这种情况下，按键阵列使用 1 X × 4 Y 线路时的性能将比使用 4 X × 1 Y 线路时更好。

图4-1： 示例布局——最佳周期时间



但如果想保留较大的触摸屏尺寸并保持最优纵横比，则可考虑为按键阵列使用相等数量的X线路和Y线路，如图4-2所示。

图4-2： 示例布局——最佳纵横比



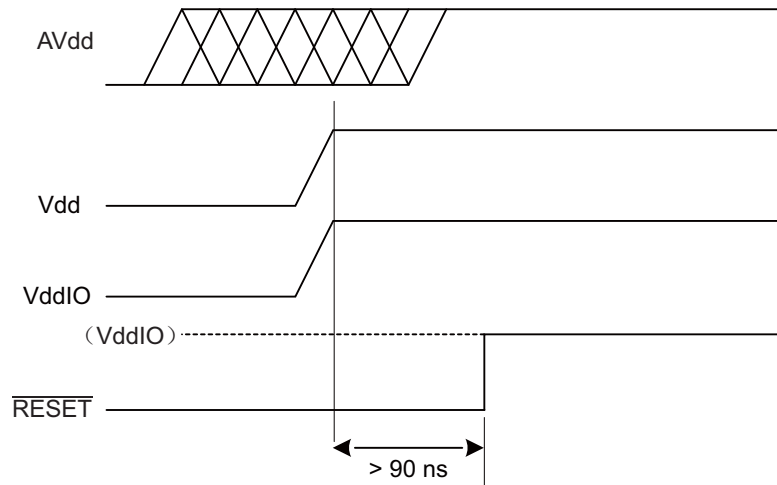
5.0 上电/复位要求

5.1 上电复位

器件内部有一个上电复位（Power-on Reset, POR）电路。

如果要使用外部复位，则当数字（Vdd）、模拟（AVdd）和数字 I/O（VddIO）电源上电时，器件必须保持 $\overline{\text{RESET}}$ （低电平有效）。电源必须在 $\overline{\text{RESET}}$ 信号置为无效（即，变为高电平）前达到其标称值，如图 5-1 所示。有关器件电源标称值的信息，请参见第 13.2 节“建议的工作条件”。

图 5-1: MXT641TD-AT 上的上电序列



注：如果在上电时使用外部 $\overline{\text{RESET}}$ ，不得在 Vdd 后使能 VddIO

建议在客户设计中包含主机控制所有 maXTouch 电源和拉低 $\overline{\text{RESET}}$ 线路的功能。

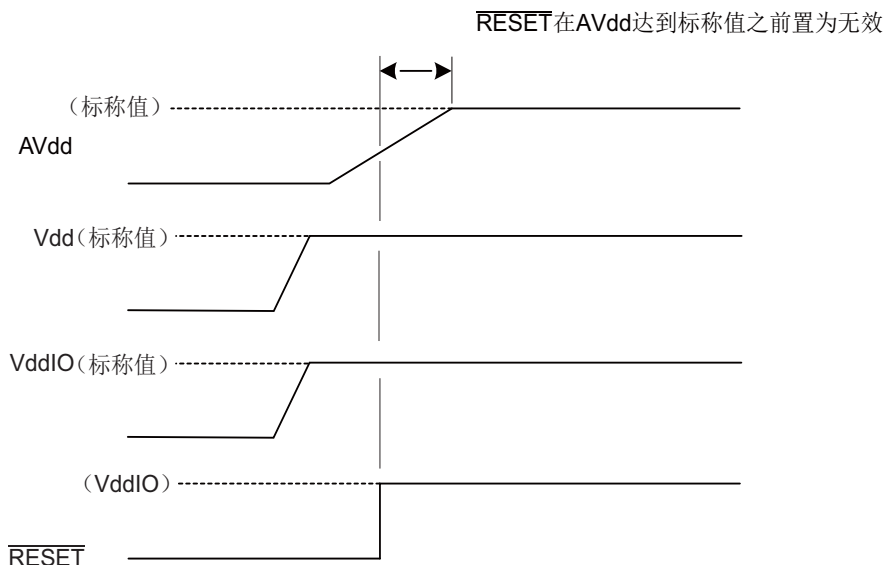
上电后，器件通常需要花费 91 ms 的时间才能开始通信。

注 直到所有电源出现之后，器件初始化才会完成。如果没有任何电源，内部初始化会停止，器件将不会与主机通信。

如果 $\overline{\text{RESET}}$ 线路在 AVdd 电源达到其标称电压（见图 5-2）之前释放，则需要通过主机执行一些额外的操作。主机控制器有以下两个选项：

- 在深度休眠模式下启动器件，然后发送命令序列来设置周期时间，以唤醒器件并使其正常运行。请注意，这种情况下还需要校准命令。
- 发送 RESET 命令。

图 5-2: MXT641TD-AT 上的上电序列——AVDD 稍后上升



必要时，可以使用 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚复位器件。必须将 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚置为低电平并至少持续 90 ns 才能引起复位。释放 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚后，器件通常需要花费 90 ms 的时间才能开始通信。建议将 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚连接至主机控制器，这样一来，无需掉电即可启动完整的硬件复位。

警告 器件只能使用 $\overline{\text{RESET}}$ 线路进行复位。如果尝试通过移除器件的电源进行复位，而不发送信号将线路置为低电平，则将从接口线路中消耗电能，并且器件将无法正确复位。

在上电期间，请确保连接至器件的任何线路均低于或等于 Vdd。例如，如果将 $\overline{\text{RESET}}$ 从不同的电源域提供给 VDDIO 引脚，请确保其在 Vdd 关闭时保持低电平。否则， $\overline{\text{RESET}}$ 信号会通过 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚以寄生方式将电源耦合到 Vdd 电源。

注 器件的 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚上的电压不得超过 VddIO（数字电源电压）。

软件 RESET 命令（使用命令处理器 T6 对象）可用于复位芯片。软件复位通常需要 110 ms。芯片完成复位后会将 $\overline{\text{CHG}}$ 线路置为有效，通知主机消息可用。消息处理器对象中的复位标志将置 1，以向主机指示其刚刚完成复位周期。主机可以使用该位来检测任何意外的掉电事件。这允许主机采取任何必要的纠正措施，如重新配置。

注 $\overline{\text{CHG}}$ 线路在上电或复位期间会短暂设置为输入。因此，在此期间，应务必通过 $\overline{\text{CHG}}$ 线路上拉电阻将线路悬空为高电平，而不应通过主机进行驱动（见第 13.6.4 节“复位时序”）。

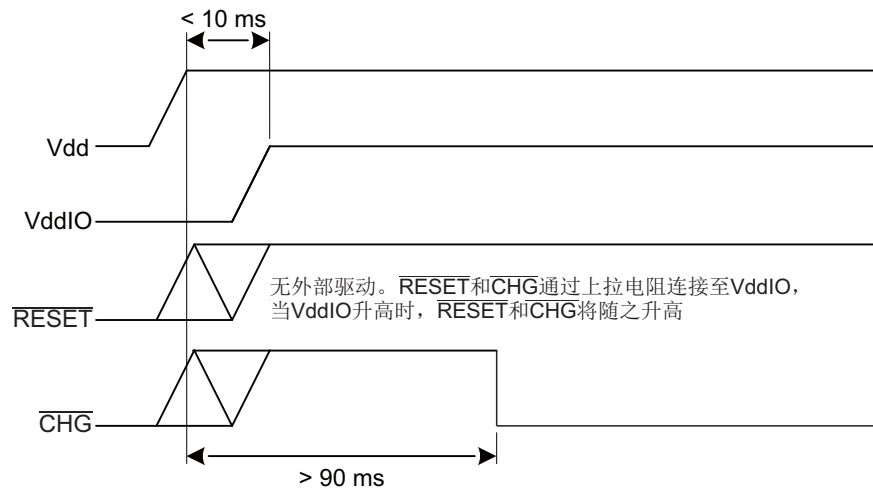
上电时，器件执行自检程序（使用自检 T25 对象）来检查是否存在可能会损坏器件的短路现象。

5.2 上电和复位序列——VddIO 在 Vdd 之后使能

在一些应用中，VddIO 必须在 Vdd 之后上电，此时可以使用如图 5-3 所示的上电序列。

在这种情况下，maXTouch 器件的通信接口不由主机系统驱动。 $\overline{\text{RESET}}$ 和 $\overline{\text{CHG}}$ 引脚通过合适的上拉电阻连接至 VddIO。Vdd 上电后不超过 10 ms，VddIO 即上电。由于上拉电阻的作用， $\overline{\text{RESET}}$ 和 $\overline{\text{CHG}}$ 将随着 VddIO 而升高。内部 POR 系统可确保器件可靠地启动， $\overline{\text{CHG}}$ 线路将在 Vdd 后大约 91 ms 后变为低电平，以通知主机器件已准备就绪可开始通信。

图5-3: 上电序列



6.0 详细工作原理

6.1 触摸检测

mXT641TD-AT 允许进行互电容和自电容测量，使用自电容测量对互电容测量进行补充，从而生成可靠的触摸信息。

当使能自电容测量时，将搭配使用互电容和自电容触摸数据实现触摸分类。其优势在于两种类型的测量系统可以配合工作，从而在各种情况下实现触摸检测。

尽可能使用互电容触摸数据对触摸进行分类，因为它具有比自电容测量更大的粒度，并且可提供触摸的位置信息。

另一方面，自电容测量可以检测极端情况下的单次触摸（例如，戴厚手套时的单次触摸），这类触摸只能通过自电容数据来检测，互电容触摸检测可能会漏检。

6.2 工作模式

器件有以下两种工作模式：**活动**（检测到触摸）和**空闲**（未检测到触摸）。两种模式都以一系列突发周期的形式工作。每个周期包括一个短突发（在此期间进行测量），随后是一个非活动的休眠周期。这两种模式的差别在于周期长度。空闲模式下的休眠周期通常要更长。周期长度使用电源配置 T7 中的 IDLEACQINT 和 ACTVACQINT 设置进行配置。此外，还提供了 *活动-空闲超时* 设置。

6.3 检测集成器

器件提供了一种触摸检测集成机制。该机制能够以一种稳健的方式确认检测。每次触摸超过其阈值并且对于当前采集始终保持高于阈值时，计数器都会递增。如果该计数器达到预设限值，最终会声明传感器被触摸。如果在任何采集中都未检测到信号超过阈值，计数器将清零，并且相应过程必须从头开始。

检测集成器使用适当的触摸对象（多点触控触摸屏 T100，按键阵列 T15）进行配置。

6.4 传感器采集

充电时间使用采集配置 T8 对象设置。

许多因素会影响单个驱动线路的采集时间，全部传感器的总采集时间不得超过 250 ms。如果不满足这一条件，将报告 SIGERR。

配置可能影响测量时序的所有对象（例如采集配置 T8、CTE 配置 T46 和自电容配置 T111）时应小心谨慎，以免超出上述限制。

6.5 校准

校准是指传感器芯片评估每个节点的背景电容的过程。只有复位且满足以下条件时才可校准节点：

- 节点已使能（即，已激活）

或

- 节点已使能且满足以下条件之一：
 - 节点保持检测状态的时间超过触摸自动校准设置（采集配置 T8 对象中的 TCHAUTOCAL）
 - 节点的信号变化至少为反触摸方向上的触摸阈值（TCHTHR – TCHHYST），同时符合触摸恢复过程中导致重新校准的标准
 - 主机发出重新校准命令
 - 某些配置设置发生变更

校准开始和完成时会生成状态消息。

请注意，器件执行的是全局校准；也就是说，所有节点一起校准。

6.6 数字滤波和噪声抑制

mXT641TD-AT 支持对从传感器接收到的采集数据进行片上滤波。具体来说，噪声抑制 T72 对象提供了一种抑制噪声（例如，来自插入用户产品中的含噪声充电器）影响的算法。该算法可以实时自动调整一些采集参数，以滤除从传感器接收的模数转换（Analog-to-Digital Conversion, ADC）值。

自电容噪声抑制 T108 对象可提供额外的噪声抑制。自电容噪声抑制 T108 对象是自电容触摸测量的噪声抑制接口，在设计和配置方面与噪声抑制 T72 对象类似。

检测到噪声源时，会触发噪声抑制。

- 主机驱动程序代码可以指示何时存在噪声源。
- 此外，还会基于使用内部线路测量检测到的噪声水平触发噪声抑制。噪声抑制 T72 和自电容噪声抑制 T108 对象可选择适当的控制方式来抑制系统中存在的噪声。

6.7 降低 EMC

mXT641TD-AT 通过各种机制帮助减少 EMC 辐射并确保用户的产品在所需的 EMC 限制范围内工作：

- **扩频**——改变每个测量脉冲的突发频率，以在频域上传播 EMC 能量。
- **可配置的电压参考模式**——允许选择自电容测量的电压摆幅。
- **可配置的波形整形**——可通过控制自电容扫描的电压调制来进行边沿波形整形，从而实现 EMC 谐波控制。

这些功能使用 CTE 配置 T46、自电容电压调制 T133 和自电容全局配置 T109 对象来配置。

6.8 无屏蔽支持和显示屏噪声抑制

即使使用含噪声的 LCD，mXT641TD-AT 也可以支持无屏蔽传感器设计。

因此，优化集成功能并不按这种方式滤波，而是支持用户使用更短的集成窗口。集成窗口根据收集的噪声量优化收集的电容量，以确保最佳 SNR。在存在外部噪声源的情况下，此功能也能使系统受益。此功能使用无屏蔽 T56 对象来配置。

显示屏噪声抑制使器件能够同时克服显示屏噪声和外部噪声。该功能基于透镜弯曲 T65 对象提供的滤波（见第 6.11 节“透镜弯曲”）。

6.9 重传补偿

该器件可以限制由于器件与接地耦合不佳而对互电容触摸信号产生的不良影响，例如灵敏度差和触摸中断。这是使用重传补偿 T80 对象来实现的。该对象可以配置为允许触摸屏对由于上述不良影响而引起的信号衰减进行补偿。如果还安排了自电容测量，则重传补偿 T80 对象将使用所得数据来增强补偿过程。

如果安排了自电容测量，则重传补偿 T80 对象还能在传感器上有水时进行补偿。在这种情况下，互电容测量和自电容测量都用于检测潮湿，之后一旦检测到潮湿，自电容测量便用于检测潮湿条件下的单次触摸。

6.10 手握抑制

该器件提供手握抑制功能来抑制用户手握操作引起误检。

互电容手握抑制的工作原理是在触摸屏周围指定边界，在该边界内抑制触摸的同时仍允许在触摸屏的中心进行触摸。这可确保抑制边缘上的意外手触摸，同时仍然允许朝向屏幕中心的“真实”（手指）触摸。互电容手握抑制使用手握抑制 T40 对象进行配置。

自电容手握抑制的工作原理是在沿触摸屏边界进行自电容测量时检测特征形状，从而区分后续传入传感器中的手握信号和触摸信号。自电容手握抑制使用自电容手握抑制 T112 对象进行配置。

6.11 透镜弯曲

该器件支持用于消除测量信号干扰的算法。

当传感器的屏幕变形（透镜弯曲）时，通过正常程序获得的信号值将被干扰分量（弯曲）所损坏。弯曲量取决于：

- 传感器的机械和电气特性
- 用户触摸传感器时所施加的力的大小和位置

透镜弯曲 T65 对象会测量弯曲分量，并对弯曲引起的任何失真进行补偿。由于弯曲分量主要受用户触摸力的影响，因此它可以用作辅助源来识别是否存在触摸。透镜弯曲 T65 对象的额外好处在于它还可以消除 LCD 噪声。

6.12 手套检测

该器件具有手套检测算法，用于处理从触摸屏接收到的测量数据，将相应触摸分类为潜在的手套触摸。

手套检测 T78 对象用于检测手套触摸。在正常模式下，手套检测 T78 对象对小信号触摸应用严格的手套分类，以最大限度地减少意外悬停手指触控反应的影响。一旦检测到手套触摸，手套检测 T78 对象便会进入手套置信模式。在这种模式下，器件预期用户戴上手套，以使分类过程不那么严格。

6.13 悬停支持

mXT641TD-AT 支持悬停并使用触摸屏悬停配置 T101 和自电容配置 T111（实例 1）对象进行配置。mXT641TD-AT 允许配置悬停测量以及定义悬停触摸检测和后期处理的数据。通过链接的多点触控触摸屏 T100 对象的报告机制报告悬停状态消息。

除此之外，悬停手势处理器 T129 对象还可配置为检测两个或多个悬停手指（作为组合手势）是否存在，并报告手势平移位置和悬停手指之间的分隔距离。

6.14 意外触摸抑制

触摸抑制 T42 对象提供了一种机制来抑制因大面积身体部位（例如，面部、耳朵或手掌）意外触摸引起的误检。如果检测到超过指定数量的触摸，触摸抑制 T42 对象还提供了最大触摸抑制功能来抑制所有触摸。器件上的每个多点触控触摸屏 T100 对象都对应有一个触摸抑制 T42 对象的实例。

6.15 相邻按键抑制技术

相邻按键抑制（AKS）技术是一项获得专利的方法，用于检测相邻对象中被触摸的是哪一个对象（多点触控触摸屏 T100 或按键阵列 T15）并抑制对其他对象的触摸。

器件有两个级别的 AKS：

- 第一个级别在触摸对象（多点触控触摸屏T100和按键阵列T15）之间起作用。触摸对象会被分配给AKS组。如果组内有一个触摸对象被触摸，则将抑制对该组内其他对象的触摸。例如，如果触摸屏和按键阵列位于同一个AKS组中，则触摸屏中的触摸将会抑制按键阵列中的触摸，反之亦然。对象可处于多个AKS组中。
- 第二个级别的AKS是单个按键阵列对象中的内部AKS。如果使能内部AKS，则当触摸其中一个按键时，将抑制按键阵列内所有其他按键上的触摸。请注意，其他类型的触摸对象上不存在内部AKS。

MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

7.0 主机通信

mXT641TD-AT 和主机之间的通信通过以下接口之一来实现：

- I²C（见第8.0节“[I²C通信](#)”）
- SPI（见第9.0节“[SPI通信](#)”）

任一主机接口均可使用，具体取决于用户项目的需要，但在任一设计中只能使用一个接口。

7.1 主机通信模式选择——COMMSEL 引脚

选择主机 I²C 接口还是 SPI 接口是通过按照[表 7-1](#)连接 COMMSEL 引脚来确定的。

表 7-1: 主机接口选择

COMMSEL	选择的接口
连接到 GND	SPI
上拉至 VddIO ⁽¹⁾	I ² C

注 1: 需要一个上拉电阻，请参见第2.0节“[原理图](#)”

7.2 I²C 地址选择——ADDSEL 引脚

I²C 地址通过按照[表 7-2](#)连接 ADDSEL 引脚进行选择。

表 7-2: I²C 地址选择

ADDSEL	I ² C 地址
连接到 GND	0x4A
上拉至 VddIO ⁽¹⁾	0x4B

注 1: 需要一个上拉电阻，请参见第2.0节“[原理图](#)”

8.0 I²C 通信

与器件之间的通信可通过I²C接口实现。

I²C接口与CHG线路结合使用。CHG线路变为活动状态表示有新数据包可用。这提供了中断式接口，并允许器件在内部发生更改时发送数据包。更多信息，请参见第8.6节“CHG线路”。

8.1 I²C 地址

器件支持两个I²C器件地址，这两个地址使用ADDSEL线路在启动时选择。两个内部I²C器件地址分别为0x4A和0x4B。第7.2节“I²C地址选择——ADDSEL引脚”中介绍了地址（和通信模式）的选择。

当通过I²C接口传送时，I²C地址会发生左移形成SLA+W或SLA+R地址，如表8-1所示。

表8-1: I²C地址的格式

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
地址: 0x4A 或 0x4B							读/写

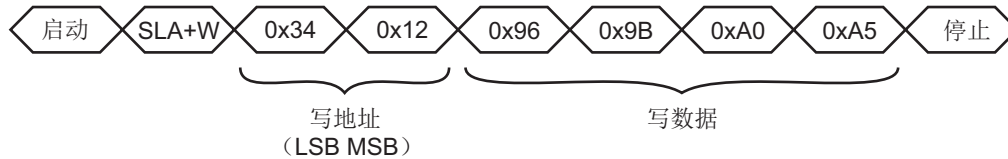
8.2 写入器件

器件的WRITE周期包含START条件，后跟器件的I²C地址（SLA+W）。接下来的两个字节是开始写操作的存储单元的地址。第一个字节是地址的最低有效字节（Least Significant Byte, LSB），第二个字节是最高有效字节（Most Significant Byte, MSB）。该地址随后存储为地址指针。

多字节传输中的后续字节构成实际数据。这些字节将写入地址指针的存储单元、地址指针 + 1的存储单元、地址指针 + 2的存储单元，依此类推。当检测到WRITE周期STOP条件时，地址指针将返回到其起始值。

表8-1给出了将四字节数据写入从0x1234开始的连续地址的示例。

图8-1: 从地址0X1234开始写入四个字节的示例

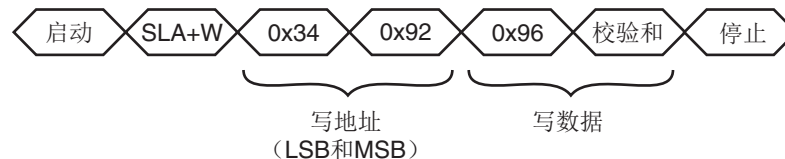


8.3 校验和模式下的I²C写操作

在I²C校验和模式下，所有I²C写操作均会添加8位CRC。数据写操作结束时，CRC将作为STOP条件前的最后一个字节发送。发送的所有字节都包含在CRC中，包括两个地址字节。即使CRC失败，发送到器件的任何命令或数据也都会进行处理。

为指示要在写操作中发送校验和，地址的MSB的最高有效位将置1。例如，表8-2中所示的I²C命令将值150（0x96）写入地址0x1234（带校验和）。地址更改为0x9234以指示校验和模式。

图8-2: 向地址0X1234写入数据的示例（带校验和）



8.4 读取器件

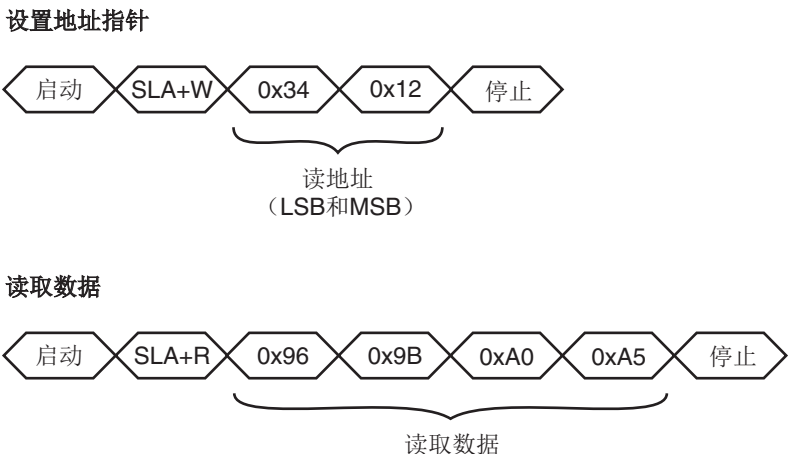
要读取器件，必须发生两个 I²C 总线活动。第一个活动是用于设置地址指针（LSB 在前，MSB 在后）的 I²C 写操作。第二个活动是用于接收数据的实际 I²C 读操作。当检测到读周期 NACK 时，地址指针将返回到其起始值。

并非每次读操作前都需要设置地址指针。每次读操作后，地址指针都会自动更新。如果读操作按顺序发生，地址指针将是正确的。特别是当从消息处理器 T5 对象读取多条消息时，地址指针会自动复位，以便连续读取（见第 8.5 节“使用 DMA 读取状态消息”）。

WRITE 和 READ 周期包含 START 条件，后跟器件的 I²C 地址（分别为 SLA+W 或 SLA+R）。请注意，在此模式下，不支持计算数据包的校验和。

表 8-3 给出了从地址 0x1234 开始读取四个字节的 I²C 命令。

图 8-3: 从地址 0x1234 开始读取四个字节的示例



8.5 使用 DMA 读取状态消息

该器件可使用单次连续读操作轻松读取多条消息。这允许主机硬件使用直接存储器访问（Direct Memory Access, DMA）控制器来快速读取消息，具体如下：

1. 必要时，主机会使用写操作将地址指针设置为消息计数 T44 对象的起始处。请注意，读操作末尾处的 STOP 条件会将地址指针复位到其初始存储单元，以使其在前一次消息读取操作后便指向消息计数 T44 对象。如果每条消息中均需要校验和，则读取地址的 MSB 的最高有效位必须置 1。
2. 主机通过发送 START 条件来启动消息的读取操作。
3. 主机通过读取消息计数 T44 对象（一个字节）来获取待处理消息计数。
4. 主机通过将消息计数乘以消息处理器 T5 对象的大小来计算要读取的字节数。请注意，主机应已在其初始化代码中读取消息处理器 T5 对象的大小。
5. 请注意，对象表中记录的消息处理器 T5 对象的大小包括校验和和字节。如果没有请求校验和，应从对象的大小中减去一个字节。
即：字节数 = 计数 × (大小 - 1)。
6. 主机读取计算出的消息字节数。主机不得在消息读取期间发送 STOP 条件，因为这将中止连续读取操作并复位地址指针。不得在两条消息之间发送 START 和 STOP 条件。
7. 主机将在读取最后一条消息后在读取操作末尾发送 STOP 条件。NACK 条件（后面紧跟 STOP 条件）会将地址指针复位到消息计数 T44 对象的起始处。

表8-4给出了使用连续读取操作从器件中读取三条消息的示例（不带校验和）。表8-5则给出了带校验和的相同示例。

图8-4： 连续消息读取示例——无校验和
设置地址指针

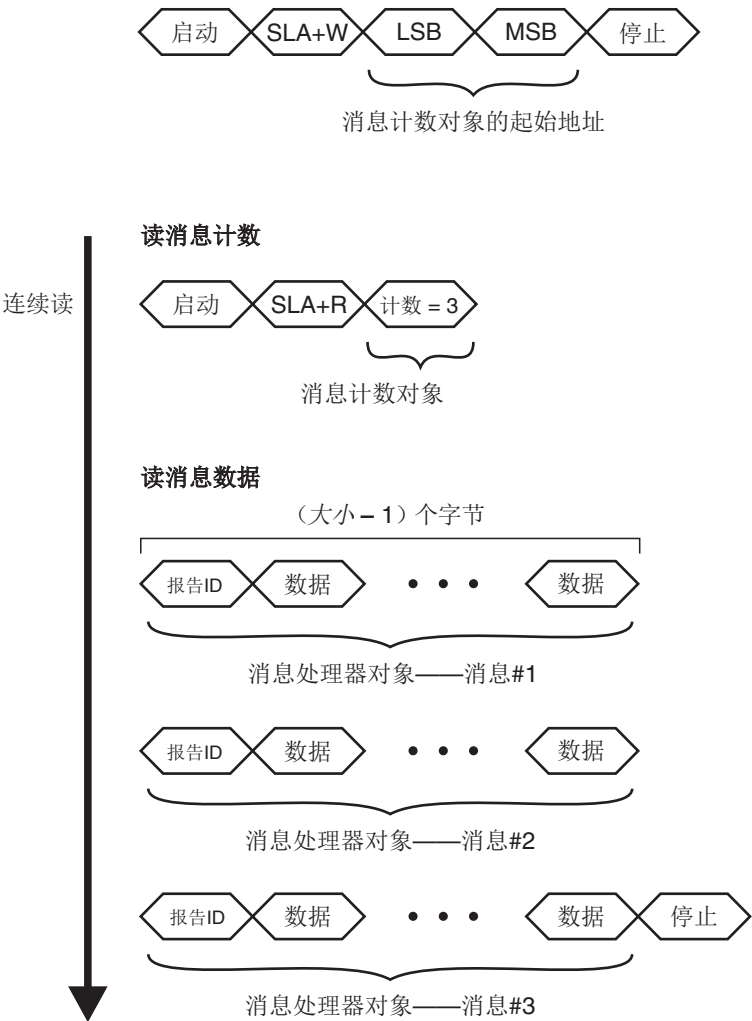
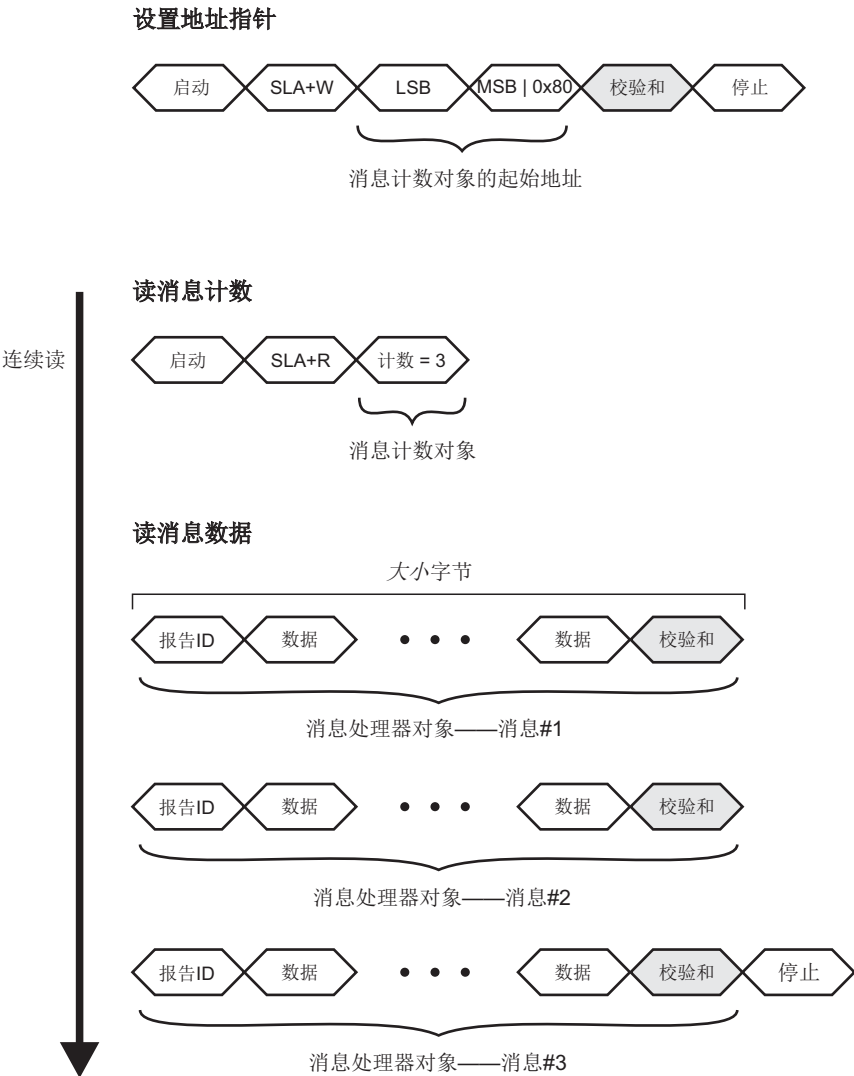


图 8-5: 连续消息读取示例——I²C 校验和模式



任何其他I²C读取操作中均未添加校验和。但所有I²C写操作中均可以添加8位CRC，如第8.3节“校验和模式下的I²C写操作”所述。

第8.6节“CHG线路”中给出了使用CHG线路读取消息的备用方法。

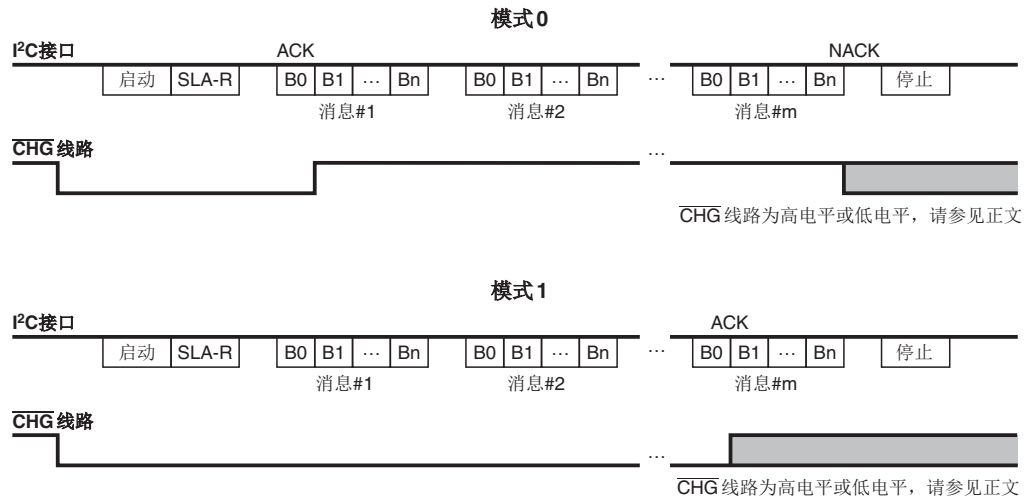
8.6 CHG线路

CHG线路是一个低电平有效的漏极开路输出，用于提示主机消息处理器T5对象中有新消息。这为主机提供了一种可加快响应速度的中断式接口，从而避免使用耗时的I²C通信。

在正常使用期间，应始终将CHG线路配置为主机的输入。这在上电或复位后尤为重要（见第5.0节“上电/复位要求”）。

VddIO需要连接一个上拉电阻（见第2.0节“原理图”）。

当CHG线路使用I²C通信时，将以两种模式工作，如通信配置T18对象所定义。

图 8-6: I²C 兼容传输的 $\overline{\text{CHG}}$ 线路模式

在模式 0 (边沿触发的工作模式) 下:

1. $\overline{\text{CHG}}$ 线路变为低电平, 指示存在消息。
2. 当第一个消息的第一个字节 (即其报告 ID) 已发送并得到确认 (已发送 ACK), 并且缓冲区中已准备好下一个字节时, $\overline{\text{CHG}}$ 线路将变为高电平。
3. 如果没有更多的消息, 则 I²C 传输末尾处的 STOP 条件将导致 $\overline{\text{CHG}}$ 线路保持高电平。否则, $\overline{\text{CHG}}$ 线路将变为低电平, 指示有其他消息。

请注意, 模式 0 还允许主机仅仅通过继续读回字节而不发出 STOP 条件来连续读取消息。当收到报告 ID 255 (“无效消息”) 时, 应结束消息读取。主机也可在接收到消息的最后一个字节之后发送 NACK、后跟 STOP 条件来结束传输。如果存在其他消息, 则 $\overline{\text{CHG}}$ 线路将再次变为低电平, 如步骤 1 所述。在该模式下, I²C 读取期间不需要检查 $\overline{\text{CHG}}$ 线路的状态。

在模式 1 (电平触发的工作模式) 下:

1. $\overline{\text{CHG}}$ 线路变为低电平, 指示存在消息。
2. 在当前消息之后要发送其他消息时, $\overline{\text{CHG}}$ 线路将保持低电平。
3. 仅当最后一个消息的第一个字节 (即其报告 ID) 已发送并得到确认 (已发送 ACK), 并且输出缓冲区中已准备好下一个字节时, $\overline{\text{CHG}}$ 线路才会再次变为高电平。

模式 1 允许主机持续读取消息, 直到 $\overline{\text{CHG}}$ 线路变为高电平, 而 $\overline{\text{CHG}}$ 线路的状态可决定主机是否应该继续从器件接收消息。

注 只应在消息之间 (而不是在消息的字节之间) 检查 $\overline{\text{CHG}}$ 线路的状态。由于 $\overline{\text{CHG}}$ 线路更改状态的精确时间点无法预测, 因此无法保证在字节之间确定 $\overline{\text{CHG}}$ 线路的状态。

通信配置 T18 对象可用于配置 $\overline{\text{CHG}}$ 线路的行为。除了上述的 $\overline{\text{CHG}}$ 线路工作模式之外, 该对象还允许直接控制 $\overline{\text{CHG}}$ 线路的状态。

8.7 SDA 和 SCL

I²C 总线分别使用 SDA 和 SCL 发送数据和时钟。这两个线路均为漏极开路。器件只能将这些线路驱动为低电平或悬空。如果没有 I²C 器件将线路拉为低电平, 则端接电阻 (R_p) 会将线路上拉至 V_{ddIO}。

选择端接电阻时, 应使 SDA 和 SCL 的上升时间满足 I²C 规范对所使用接口速度的要求, 同时还要考虑总线上的其他负载。为了获得最佳的延时性能, 建议不要使其他器件与 maXTouch 控制器共用 I²C 总线。

8.8 时钟延长

器件支持根据I²C规范进行时钟延长。如果在器件内部繁忙时发生通信事件，也可能会引发时钟延长。最大时钟延长约为10-15 ms。

器件具有内部总线监视器，当SDA或SCL保持低电平的时间超过200 ms时，该监视器可复位内部I²C硬件。这意味着如果器件检测到超过200 ms的时钟延长，则器件正在进行的传输可能已损坏。

使用通信配置T18对象使能或禁止总线监视器。

9.0 SPI通信

9.1 通信协议

与器件之间的通信可通过串行外设接口（Serial Peripheral Interface, SPI）来进行。主机使用主从关系通过SPI与mXT641TD-AT通信，mXT641TD-AT在从模式下工作。

9.2 SPI工作原理

SPI使用四个逻辑信号：

- **串行时钟（SCK）** —— 主机输出。
- **主输出从输入（MOSI）** —— 主机输出，mXT641TD-AT输入。主机用来将数据发送到mXT641TD-AT。
- **主输入从输出（MISO）** —— 主机输入，mXT641TD-AT输出。mXT641TD-AT用来将数据发送到主机。
- **从选择（SS）** —— 主机的低电平有效输出。

此外，还使用以下引脚：

- **改变线路（CHG）** —— 主机的低电平有效输入，mXT641TD-AT输出。mXT641TD-AT用来指示响应已准备好进行传输（见第9.2.1节“更改线路（CHG）”）或OBP消息待处理。

主器件在SPI事务开始时将SS拉低，并且低电平状态持续至SPI事务结束。

传输每个字节时，主器件在SCK上产生8个时钟脉冲。利用这8个时钟脉冲，可将一个字节的數據通过MOSI从主器件传送到从器件，最高有效位先传送。

同时，还有一个字节的数据通过MISO从从器件传送到主器件，同样是最高有效位先传送。

mXT641TD-AT要求时钟处于“高电平”空闲状态（CPOL = 1）。MOSI和MISO引脚上的数据在下降沿设置，在上升沿采样（CPHA = 1）。这称为SPI模式3。

mXT641TD-AT SPI接口可在最高8 MHz的SCK频率下工作。

注	SPI接口用于半双工模式，即使它本质上是全双工通信总线。 这有助于简化协议，最大限度地减少所需的CPU处理，并避免可能的时序关键型情况。这意味着两个输入/输出数据线路（MOSI/MISO）中一次只有一个有意义。因此，在读操作期间，主机必须在从从器件读取数据时在MOSI线路上发送0xFF字节。同样，在写操作期间，主机必须忽略MISO线路上的数据。
----------	--

当SS线路置为有效（低电平有效）时，SPI事务被视为启动；当该线路置为无效时，SPI事务被视为终止。主机可通过将SS线路置为无效随时终止传输。

9.2.1 更改线路（CHG）

CHG线路是一个用作中断的低电平有效漏极开路输出，用于警告主机从器件已准备好发送响应，或者OBP消息待处理并准备由主机读取。

更改线路必须由主机处理为下降沿触发的线路，而不得用作电平触发的线路。这避免了主机启动新的读/写操作（因为中断线路在前一个SPI事务之后仍置为有效）但目标尚未准备好进行处理的情况。

为了防止主机丢失中断，目标器件可以使用重新触发机制来中断线路。这可以保证始终传递任何待处理的消息。这种机制必须在通信配置T18对象中使能。

9.2.2 SPI协议操作码

SPI协议允许使用的操作和响应代码如表9-1所示。

表9-1: SPI操作码

名称	值	操作
写操作和响应（见第9.3节“写操作和响应”）		
SPI_WRITE_REQ	0x01	写操作请求
SPI_WRITE_OK	0x81	写操作成功（响应）
SPI_WRITE_FAIL	0x41	写操作失败（响应）
读操作和响应（见第9.4节“读操作和响应”）		
SPI_READ_REQ	0x02	读操作请求
SPI_READ_OK	0x82	读操作成功（响应）
SPI_READ_FAIL	0x42	读操作失败（响应）
通用响应（见第9.5节“常规操作”）		
SPI_INVALID_REQ	0x04	无效操作（响应）
SPI_INVALID_CRC	0x08	无效CRC（响应）

表9-1中报告的所有响应均要求中断线路从无效（置为无效）变为有效（置为有效），只有这样，主机才能在SPI_READ_REQ或SPI_WRITE_REQ操作之后读取响应。

9.2.3 SPI事务报头

每个SPI事务都包含一个6字节的报头，其格式如表9-2所示。

表9-2: 报头格式

字节	字段	说明
0	操作码	事务的操作码
1	地址LSB	主机想要写入或读取的从器件的存储器地址。
2	地址MSB	
3	长度LSB	
4	长度MSB	主机想要向从器件写入或从从器件读取的字节数。
5	CRC	8位CRC

8位CRC用于检测5字节报头（即：操作码、地址LSB、地址MSB、长度LSB和长度MSB）上的错误，以防止报头在SPI传输期间损坏时写入或读取不需要的对象。对于消息处理器T5消息而言，8位CRC算法与用于计算CRC的算法相同。

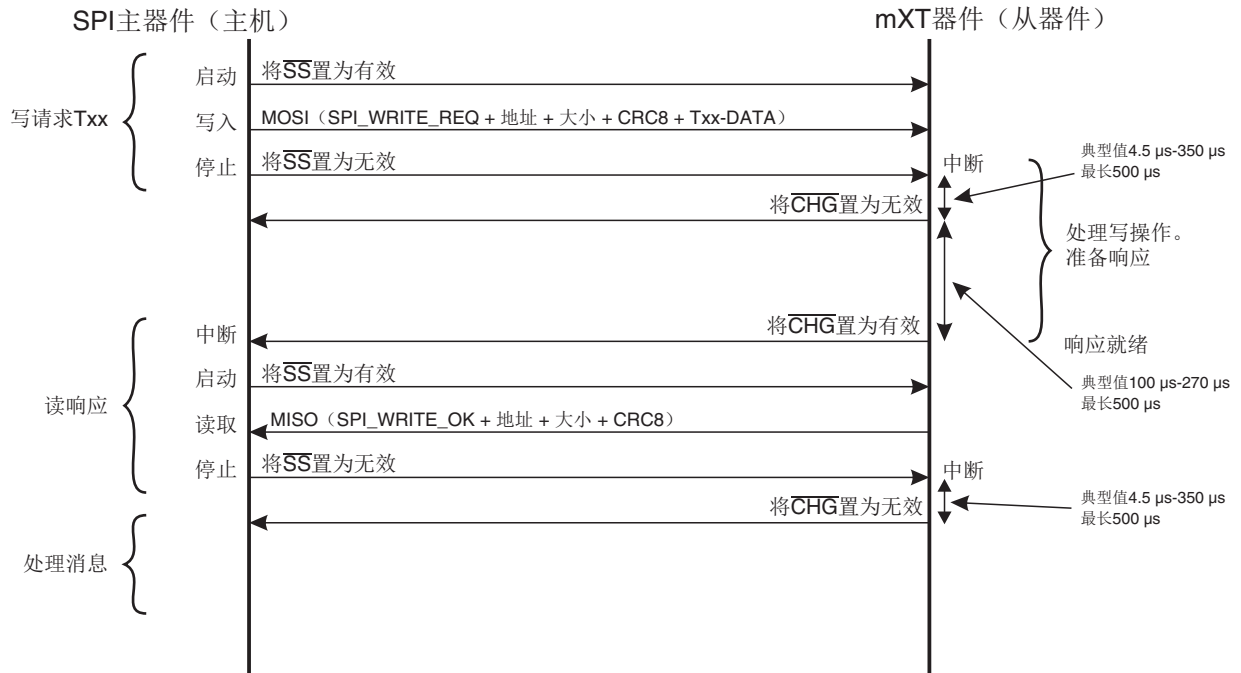
9.3 写操作和响应

写操作及其响应允许主机写入对象配置区域。

流程和时序如图9-1所示。

请注意，在SPI网络层级上没有为写入的数据提供检测机制，但主机可以使用校验和检查回读数据的正确性。这允许主机在SPI事务期间检测写操作的有效载荷是否已损坏（见图9-5）。

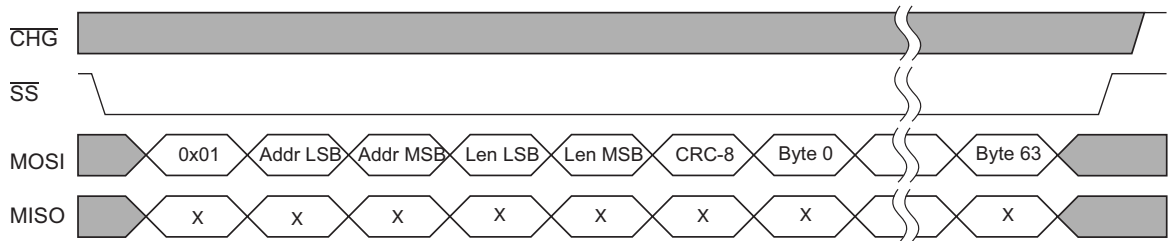
图9-1: SPI写配置消息流和时序



9.3.1 SPI_WRITE_REQ

图9-2给出了用于写请求操作的消息格式。

图9-2: SPI_WRITE_REQ



在图9-2中:

- **0x01** 为操作码
- **Addr LSB** 和 **Addr MSB** 一起指定主机希望写入的地址
- **Len LSB** 和 **Len MSB** 一起指定数据的长度 (以字节为单位)。这是主机希望写入从器件的总字节数 (不包括报头字节)
- **CRC-8** 为8位CRC
- **字节0..字节63** 包含要写入的数据 (最多64个字节)。

如果主机需要写入超过64字节的数据,则需要多次SPI_WRITE_REQ操作。

在SPI_WRITE_REQ操作之后,主机必须等待来自器件的响应,然后才能再次访问SPI总线。如果从系统未在10 ms内将中断线路置为有效,则需要通过主机执行硬件复位或重试。当响应准备好进行发送时,目标器件会将中断线路置为有效以通知主机消息已准备好进行读取。仅在此时,才允许主机启动新的SPI事务以回读与先前写操作相关的响应。

这意味着在与先前的读取或写入请求相关的响应处于待处理状态且尚未由主机回读的过程中,将阻止对象消息。

SPI_WRITE_REQ操作后可能会产生以下响应:

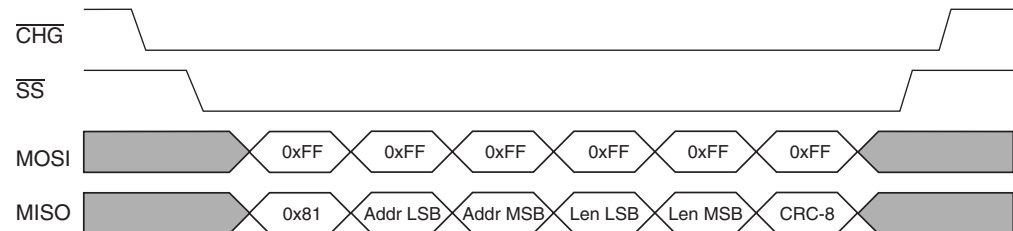
MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

- **SPI_WRITE_OK** —— 写操作成功完成时（主机指定的存储器地址和长度在允许的可访问存储器映射区域内）生成。请参见第9.3.2节“SPI_WRITE_OK”
- **SPI_WRITE_FAIL** —— 写操作失败时（例如，主机尝试写入超出可用存储器映射范围以外的地址时）生成。请参见第9.3.3节“SPI_WRITE_FAIL”
- **SPI_INVALID_REQ** —— 请参见第9.5.1节“SPI_INVALID_REQ”
- **SPI_INVALID_CRC** —— 请参见第9.5.2节“SPI_INVALID_CRC”

9.3.2 SPI_WRITE_OK

图9-3给出了写成功响应所使用的消息格式。

图9-3: SPI_WRITE_OK



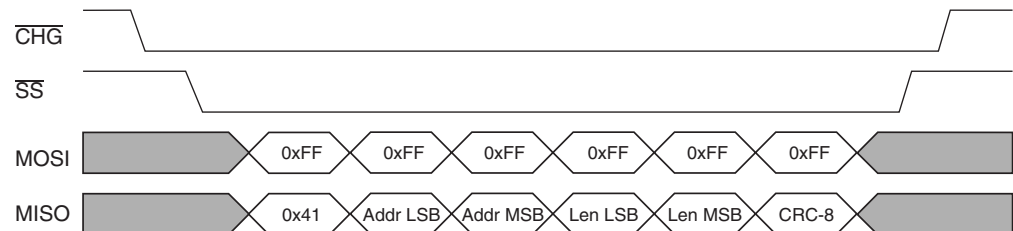
在图9-3中：

- **0x81** 为操作码
- **Addr LSB** 和 **Addr MSB** 一起指定数据写入的地址
- **Len LSB** 和 **Len MSB** 一起指定数据的长度（以字节为单位）。这是写入从器件的总字节数（不包括报头字节）
- **CRC-8** 为8位CRC

9.3.3 SPI_WRITE_FAIL

图9-4给出了写失败响应所使用的消息格式。

图9-4: SPI_WRITE_FAIL



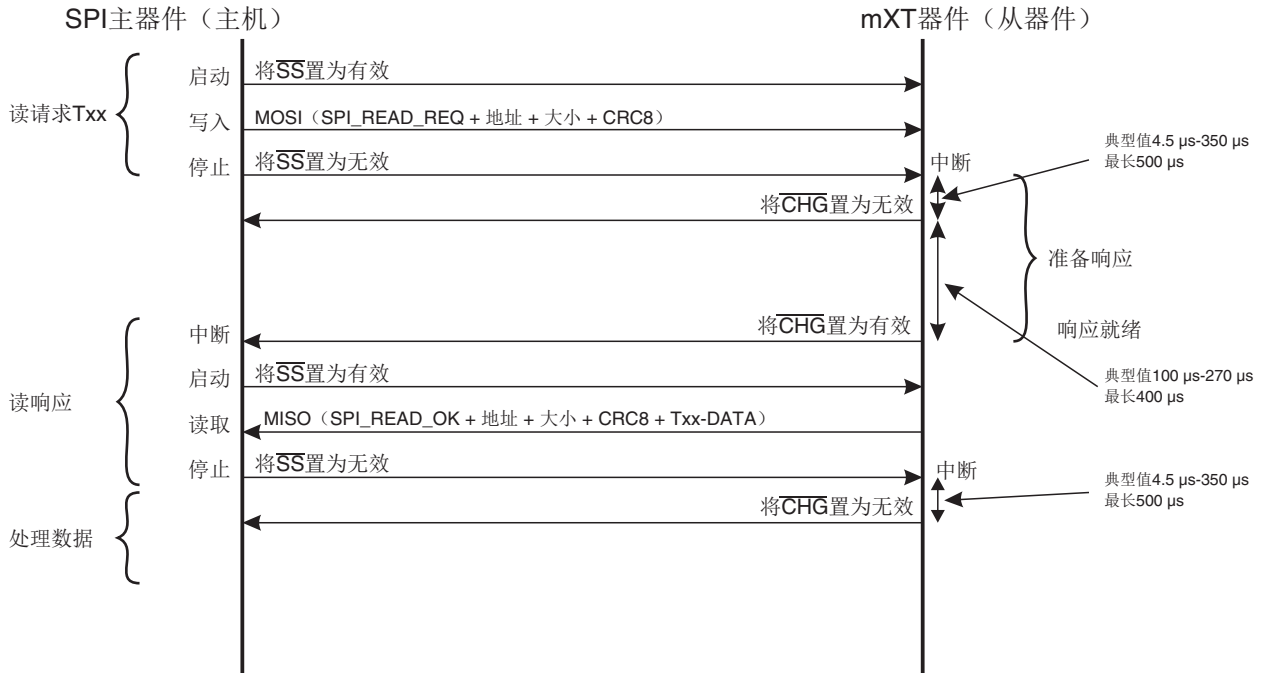
在图9-4中：

- **0x41** 为操作码
- **Addr LSB** 和 **Addr MSB** 一起指定主机请求写入的地址
- **Len LSB** 和 **Len MSB** 一起指定数据的长度（以字节为单位）。这是主机尝试写入从器件的总字节数（不包括报头字节）
- **CRC-8** 为8位CRC

9.4 读操作和响应

读请求操作允许主机读取器件的对象存储器映射。这允许主机从消息处理器 T5 对象读取消息或从对象配置区域进行读取。流程和时序如图 9-5 所示。

图 9-5: SPI 读配置消息流和时序



通常，数据读取允许的限值为 64 字节。如果主机尝试读取超过 64 个字节，则从器件返回 SPI_READ_FAIL（见第 9.4.3 节“SPI_READ_FAIL”）。但是，我们提供了一种机制，支持对超出此限值的大块数据进行 DMA 传输。这种机制通过在器件中提供数据容器 T117 对象的多个实例来实现，允许连续读取最多 1290 字节的数据。

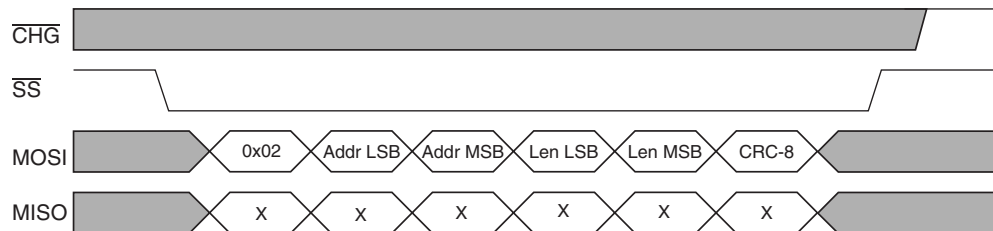
在某些情况下，CRC 可以在读取对象时用作错误检测机制：

- 消息处理器 T5——当从消息处理器 T5 对象读取消息时，将提供可选 CRC 作为错误检测机制。这将在消息处理器 T5 对象中使能。
- 数据容器 T117——但是，当通过数据容器 T117 实例执行块数据传输时，可通过配置数据内的报头字节来为数据提供 CRC。
- 所有其他对象——读取任何其他对象配置区域时，不提供错误检测机制，因为此操作通常仅在系统启动时执行。但是，可以通过执行两次读操作并比较结果的方式来验证读操作。

9.4.1 SPI_READ_REQ

图 9-6 给出了用于读请求操作的消息格式。

图 9-6: SPI_READ_REQ



MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

无论中断线路的状态如何，**SPI_READ_REQ**操作都可以由主机随时启动。当有对象消息待处理时，从器件会将中断线路置为有效。当主器件将**SS**置为有效时（无论是为响应从器件将中断线路置为有效还是因为主器件想要启动事务），中断线路将一直置为无效，直到接收和处理完来自主器件的消息。

在图9-6中：

- **0x02**为操作码
- **Addr LSB**和**Addr MSB**一起指定主机希望读取的地址
- **Len LSB**和**Len MSB**一起指定数据的长度（以字节为单位）。这是主机希望从从器件读取的总字节数（不包括报头字节）。对于正常读取而言，限值为**64**字节，而对于来自数据容器**T117**实例的块数据传输而言，最大限值为**1290**字节
- **CRC-8**为8位CRC

实际数据在随后的**SPI_READ_OK**操作中发送。

在**SPI_READ_REQ**操作之后，主机必须等待来自器件的响应就绪，然后才能再次访问**SPI**总线。如果从系统未在**10 ms**内将中断线路置为有效，则需要通过主机执行硬件复位或重试。当响应准备好进行发送时，目标器件会将中断线路置为有效以通知主机消息已准备好进行读取。仅在此时，才允许主机启动新的**SPI**事务以回读与先前写操作相关的响应。

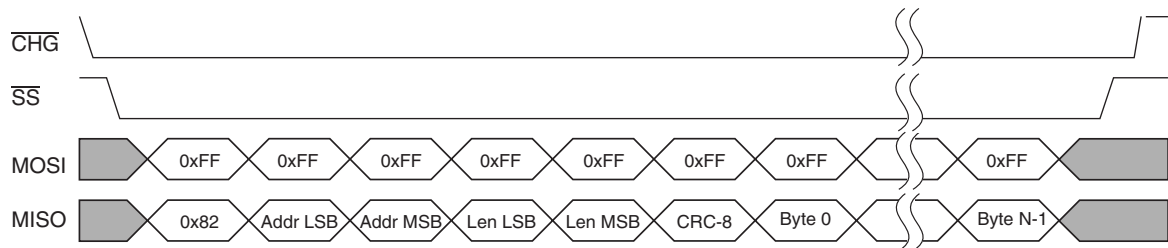
SPI_READ_REQ操作后可能会产生以下响应：

- **SPI_READ_OK**——读操作成功完成时（主机指定的存储器地址和长度在允许的可访问存储器映射区域内）生成。请参见第9.4.2节“**SPI_READ_OK**”
- **SPI_READ_FAIL**——读操作失败时（例如，主机尝试读取超出可用存储器映射范围以外的地址时）生成。请参见第9.4.3节“**SPI_READ_FAIL**”
- **SPI_INVALID_REQ**——请参见第9.5.1节“**SPI_INVALID_REQ**”
- **SPI_INVALID_CRC**——请参见第9.5.2节“**SPI_INVALID_CRC**”

9.4.2 SPI_READ_OK

图9-7给出了读成功响应所使用的消息格式。

图9-7: SPI_READ_OK



在图9-7中：

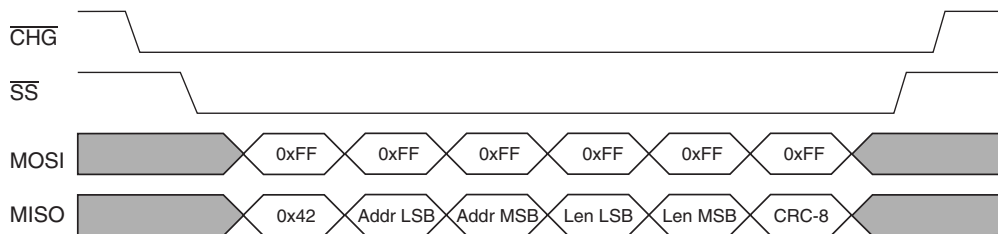
- **0x82**为操作码
- **Addr LSB**和**Addr MSB**一起指定主机请求从中读取数据的地址
- **Len LSB**和**Len MSB**一起指定数据的长度（以字节为单位）。这是主机请求从从器件读取的总字节数（不包括报头字节）
- **CRC-8**为8位CRC
- **字节0..字节N-1**包含要写入的数据，其中**N**为字节数（对于正常读取为**64**字节，对于来自数据容器**T117**实例的块数据传输为**1290**字节）

请注意，尽管从器件会在主机执行读操作时刷新发送缓冲区，但只要主机尝试读取多于预期的数据（即大于**Len**字节），就有可能导致从器件在**MISO**线路上发送垃圾数据。

9.4.3 SPI_READ_FAIL

图9-8给出了读失败响应所使用的消息格式。

图9-8: SPI_READ_FAIL



在图9-8中:

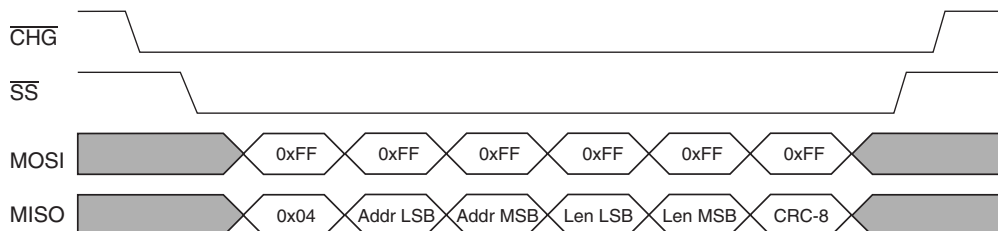
- **0x42**为操作码
- **Addr LSB**和**Addr MSB**一起指定主机请求从中读取数据的地址
- **Len LSB**和**Len MSB**一起指定数据的长度（以字节为单位）。这是主机尝试从从器件读取的总字节数（不包括报头字节）
- **CRC-8**为8位CRC

9.5 常规操作

9.5.1 SPI_INVALID_REQ

图9-9给出了无效请求响应所使用的消息格式。此操作码的目的是向主机报告无法识别上次请求的操作码，或者主机已尝试执行另一个读/写操作，而不等待先前请求的响应。

图9-9: SPI_INVALID_REQ



在图9-9中:

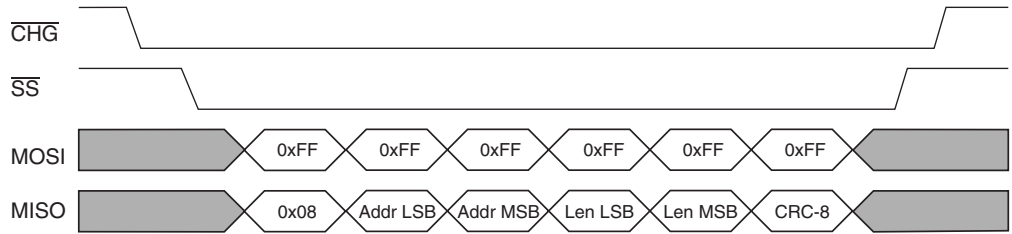
- **0x04**为操作码
- **Addr LSB**和**Addr MSB**一起指定无效请求中接收的地址
- **Len LSB**和**Len MSB**一起指定数据的长度（以字节为单位）。这是主机尝试从从器件读取或向从器件写入的总字节数（不包括报头字节）
- **CRC-8**为8位CRC

MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

9.5.2 SPI_INVALID_CRC

图9-10给出了无效CRC响应所使用的消息格式。此操作码的目的是报告对已接收数据执行的CRC校验中的错误。

图9-10: SPI_INVALID_CRC



在图9-10中:

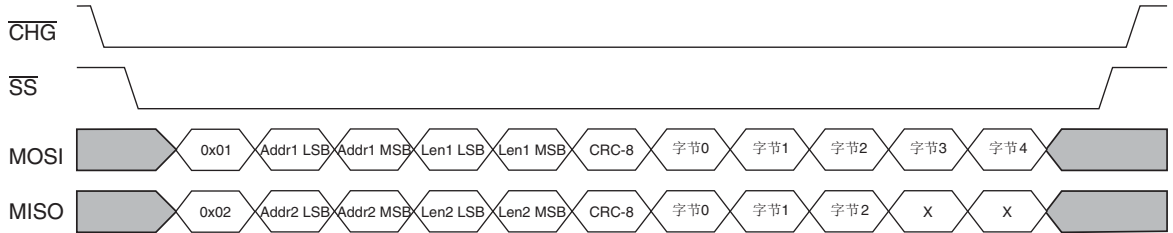
- **0x08** 为操作码
- **Addr LSB 和 Addr MSB** 一起指定上次请求中接收的地址
- **Len LSB 和 Len MSB** 一起指定数据的长度（以字节为单位）。这是主机尝试在上次请求中从从器件读取或向从器件写入的总字节数（不包括报头字节）
- **CRC-8** 为8位CRC

9.6 失败事务的示例

为了防止不可预测的系统行为，主机必须在启动新的SPI请求事务之前，始终等待针对上次发出的请求的响应准备就绪。如果主机不符合协议规范，则可能发生冲突。

例如，图9-11给出了这样一种情形：预计出现具有3字节有效载荷的SPI_READ_OK（0x82）响应，但主机执行SPI_WRITE_REQ（0x01）操作，写入5字节来寻址Addr1。在这种情况下，从器件将在MISO线路上输出SPI_READ_OK数据（这将在中断线路置为有效之前预先准备好）并忽略在MOSI线路上接收的新主机请求。从器件将向主机发送SPI_INVALID_REQ响应来响应以下读写请求，以指示是否违反SPI协议。

图9-11: 冲突示例——预期为SPI_READ_OK时执行SPI_WRITE_REQ



10.0 PCB 设计注意事项

10.1 简介

以下部分给出了使用mXT641TD-AT时，PCB布线设计应遵循的注意事项。其中，电源和接地走线的注意事项最为关键。

如果遵循以下设计规则并为PCB布线做好精心准备，设计人员将获得更大的成功几率，并且可确保产品正常工作。

10.2 印刷电路板

对于mXT641TD-AT应用，Microchip建议使用四层印刷电路板。如果再搭配精心布线，将确保电路板符合各个国家和国际标准机构规定的有关噪声辐射和敏感度的相关EMC要求。

10.2.1 PCB 清洁

现代的免清洗焊剂通常与电容式传感电路相兼容。

小心！ 如果任何器件、任何相关走线或元件存在焊接故障，需要对PCB进行返工予以修正，请确保您完全了解返工过程中所使用焊剂的性质。吸湿性离子残留物产生的泄漏电流会阻止电容式传感器正常工作。如果您有任何疑问，返工后彻底清洗可能是惟一安全的选择。

10.3 电源

10.3.1 电源质量

尽管器件具有良好的电源抑制比属性，但如果电源的稳压效果不佳和/或存在噪声，则会显著降低性能。

应特别注意AVdd电源，因为它为器件中敏感的模拟级供电。

10.3.2 电源轨和接地走线

电源和时钟分配是所有电路板布线中最关键的部分。因此，建议在进行任何其他布线之前先完成这两部分。之后，应处理电源去耦、模拟和高速数字信号部分。所有信号（特别是电源轨）的走线应尽可能宽以减小电感。

电源和地平面本身可以形成有用的电容。因此，应尽可能对这两个电源轨或任意一个进行灌铜。请务必确保电路板上没有悬空的覆铜区：所有这些区域都应连接到地平面。应在电路板的外层完成灌铜操作。

10.3.3 电源去耦

请按照第2.3节“原理图说明”的规定安装去耦电容。

去耦电容应尽可能靠近被去耦的引脚放置。在这些电容与相应的器件引脚之间，应采用宽走线进行直线布线，并且应尽可能在地平面上布线。此外，电容接地引脚还应直接连接到地平面。

建议选用表面贴装电容，因为其ESR和ESL比引线型电容低。通常可将这些去耦电容安装在PCB下方，即与数字IC相对的另一侧PCB上。这样可以实现最短布线并达到最有效的去耦效果。

10.3.4 电压泵

EXTCAP0和EXTCAP1之间的电压泵电容（第2.0节“原理图”中的原理图上的Cd）必须尽可能靠近EXTCAPn引脚放置。为了使电压泵达到最佳性能，两条走线应尽可能短且宽。同时为了减少辐射，它们还应尽可能平行且相互靠近，理想情况下，两条走线的长度应相同。

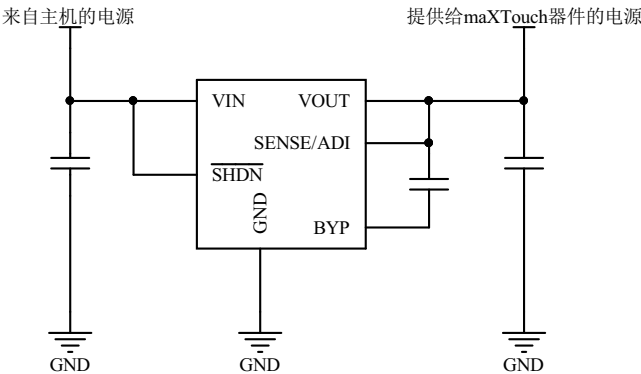
MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

10.4 稳压器

每个电源轨都需要一个低压差（Low Drop-Out, LDO）稳压器，而电压相同的电源轨可以共用一个LDO。

图 10-1 给出了 LDO 的示例电路。

图 10-1： 示例 LDO 电路



选择 LDO 稳压器时应遵循以下原则：具有足够的输出能力、低噪声、良好的负载稳定性和阶跃响应。表 10-1 中列出的稳压器已经过测试，能够与 maXTouch 器件良好适配。如果想要使用其他 LDO，应事先验证是否满足特定的性能标准，提供的特殊功能包括：

- 在输出端使用电容值较大的多层陶瓷电容时保持稳定
- 低输出噪声——在 10 Hz 至 1 MHz 范围内小于 100 μ V RMS
- 良好的负载瞬态响应——当在器件输出端施加 100 mA 的负载阶跃变化时，峰值应小于 35 mV
- 空载稳定——如果输出电流低于某个最小值，某些 LDO 会变得不稳定。如果是这种情况，则此最小值必须低于 mXT641TD-AT 的最低电流消耗（例如，在深度休眠模式下）。

表 10-1： 适用的 LDO 稳压器

制造商	器件	额定电流 (mA)
Microchip Technology Inc.	MCP1824	300
Microchip Technology Inc.	MCP1824S	300
Microchip Technology Inc.	MAQ5300	300
Microchip Technology Inc.	MCP1725	500
Analog Devices	ADP122/ADP123	300
Diodes Inc.	AP2125	300
Diodes Inc.	AP7335	300
Linear Technology	LT1763CS8-3.3	500
NXP	LD6836	300
Texas Instruments	LP3981	300

注：一些制造商声称，仅需极小电容或无需电容即可使稳压器正常工作。但是，无论在任何情况下，都应在这些器件的输入和输出上使用一个至少 1.0 μ F 的低 ESR 陶瓷电容。当为这些器件选择电容以及典型推荐值、类型和电介质时，请务必参考制造商的数据手册。

10.4.1 单电源供电操作

如果应用中使用单一LDO，设计PCB时应格外小心，务必确保电源和触摸控制器电源输入引脚之间的走线短且电感低。理想情况下，各电源之间应采用星形布线，LDO位于星形结构的结点处。这样将确保以最大限度降低任一电源轨中的电源电流变化或噪声对其他电源的影响。如果应用中的地平面不适用，还应对电源接地回路应用相同的星形布线。

在单电源设计中，只能使用额定值为300 mA或更高的稳压器。

有关使用单LDO时的布线的更多信息，请参见以下应用笔记：

- 应用笔记：MXTAN0208——*Design Guide for PCB Layouts for maXTouch Touch Controllers*

10.4.2 多稳压器供电

AVdd电源的稳定性对于器件至关重要，因为该电源直接与模拟前端相互作用。如果使用单LDO稳压器时存在噪声问题，Microchip建议为AVdd和数字电源使用不同的稳压器。这样可以减少注入到设计中信号级别较低的敏感部件的噪声量。

10.5 模拟I/O

一般来说，器件模拟I/O信号的走线应尽可能短。这些信号通常连至与触摸屏直接接口的连接器。

确保使用足够的地平面。除数字地平面外，还应使用模拟地平面。应注意确保两个地平面相互隔离，而仅在PCB的电源入口点连接在一起。这通常是在输入连接器上。

10.6 元件放置和走线

务必确保所有器件的方向可使重要信号（例如，电源和时钟）的走线尽可能短。

10.6.1 数字信号

一般来说，对数字信号进行布线时，尽量避免在敏感信号走线（例如，模拟I/O）以及任何时钟或晶振走线上发生方向急剧变化。

如有可能，应为所有信号提供良好的接地返回路径，以确保连续性。

10.7 EMC和其他注意事项

以下建议不是强制性的，但在存在严重EMC或其他问题的情况下可能会有所帮助：

- 尽量使尽可能多的信号位于电路板的内层。如果在顶层和底层进行适当的接地灌铜，则可以很好地滤除PCB中输入和输出的含噪声信号。
- 确保板上稳压器在器件周围和下方有足够的走线，以充当散热器。该散热器通常连至0V或接地电源引脚。增加任何器件引脚的铜走线宽度都将有助于散热。稳压器主体下方的铜走线上不应覆有阻焊层。
- 确保去耦电容（特别是大容量陶瓷电容）具有必要的低ESR和ESL性能以及良好的稳定性/温度属性。更多信息，请参见稳压器制造商提供的数据手册。

MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

11.0 MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 入门

11.1 建立联系

11.1.1 与主机的通信

主机可以使用以下接口与器件进行通信：

- I²C 接口（见第 8.0 节 “I²C 通信”）
- SPI 接口（见第 9.0 节 “SPI 通信”）

可以使用器件上的任何接口。更多信息，请参见第 7.0 节 “主机通信”。

11.1.2 上电序列

上电时， $\overline{\text{CHG}}$ 线路变为低电平，指示有新的数据要从器件读取。如果 $\overline{\text{CHG}}$ 线路未变为低电平，则表示器件存在问题。

$\overline{\text{CHG}}$ 线路变为低电平后，主机应尝试从位置 0x00 读取存储器的前 7 个字节以确定器件存在并会在上电后运行。

对非易失性存储器中保存的配置设置执行校验和检查。如果校验和与所保存的最后一个校验和的副本不匹配，则表示设置已损坏。这种情况会通过将命令处理器 T6 对象的消息数据中的配置错误位置 1 来通知主机。

11.2 使用对象协议

器件具有基于对象的协议，用于与器件通信。典型的通信包括配置器件、向器件发送命令以及从器件接收消息。

主机必须执行以下初始化过程才能与器件通信：

1. 从对象表中读取器件中所有对象的起始位置，并构建一个包含这些地址的列表。
2. 使用对象表来计算报告 ID，以便可以正确地解释来自器件的消息。

11.2.1 对象类别

mXT641TD-AT 包含以下对象类别：

- **调试对象**——提供一种原始数据输出方法来进行开发和测试。
- **通用对象**——用于全局配置、发送消息和接收命令。
- **触摸对象**——处理来自触摸传感器的测量信号并报告触摸数据。
- **信号处理对象**——处理来自其他对象的数据（通常为信号滤波操作）。
- **支持对象**——在器件上提供附加功能。

11.2.2 对象实例

表 11-1: MXT641TD-AT 上的对象

对象	说明	实例数	使用
调试对象			
诊断调试 T37	允许访问诊断调试数据以辅助开发。	1	仅限调试命令。无需配置/调整。不用于生产。
通用对象			
消息处理器 T5	处理消息的传输。该对象在其存储空间中保存消息，以供主机读取。	1	无需配置。
命令处理器 T6	写入时执行命令。命令包括复位、校准和备份设置。	1	无需配置。

表 11-1: MXT641TD-AT 上的对象 (续)

对象	说明	实例数	使用
电源配置 T7	控制器件的休眠模式。可通过控制采集频率和采集之间的休眠时间来降低功耗。	1	使用前必须进行配置。
采集配置 T8	控制器件如何进行每一次电容测量。	1	使用前必须进行配置。
触摸对象			
按键阵列 T15	创建一个矩形的按键阵列。按键阵列 T15 对象报告简单的开/关触摸信息。	2	根据需要进行使能和配置。
多点触控触摸屏 T100	创建一个支持多点触摸跟踪的触摸屏。	1	根据需要进行使能和配置。
信号处理对象			
按键阈值 T14	允许为按键阵列中的每个按键指定不同的阈值。	2	根据需要进行配置。
单点触控手势处理器 T24	对触摸屏对象的数据进行操作。单点触摸手势处理器 T24 将触摸转换为单点触摸手指手势 (例如, 单击、双击和拖动)。	1	根据需要进行使能和配置。
两点触控手势处理器 T27	对单点触摸手势处理器 T24 对象的数据进行操作。两点触摸手势处理器 T27 将触摸转换为两点触摸手指手势 (例如, 缩小、放大和旋转)。	1	根据需要进行使能和配置。
手握抑制 T40	例如, 抑制因用户手握触摸屏边缘而引起的误检。	1	根据需要进行使能和配置。
触摸抑制 T42	抑制由用户无意大面积触摸引起的误检。	1	根据需要进行使能和配置。
无屏蔽 T56	允许传感器使用真正的单层共面结构。	1	根据需要进行使能和配置。
透镜弯曲 T65	尝试消除所报告变化中的干扰信号以补偿透镜变形 (透镜弯曲)。	3	根据需要进行使能和配置。
噪声抑制 T72	在触摸屏信号采集期间执行各种降噪技术。	1	根据需要进行使能和配置。
手套检测 T78	允许报告手套触摸。	1	根据需要进行使能和配置。
重传补偿 T80	限制因器件与地面耦合不佳而对触摸信号产生的负面影响。	1	根据需要进行使能和配置。
自电容噪声抑制 T108	抑制自电容触摸测量背景下的外部噪声影响。	1	根据需要进行使能和配置。
自电容手握抑制 T112	在抓取设备时, 可以通过自电容测量报告触摸。	2	根据需要进行使能和配置。

MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

表 11-1: MXT641TD-AT 上的对象 (续)

对象	说明	实例数	使用
悬停手势处理器 T129	检测两个或多个悬停手指的存在并报告这些手指的组合平移位置及手指之间的分隔距离。	1	根据需要进行使能和配置。
支持对象			
通信配置 T18	配置器件的其他通信行为。	1	必要时进行检查并配置。
GPIO 配置 T19	允许主机控制器配置和使用器件上的通用 I/O 引脚。	1	根据需要进行使能和配置。
自检 T25	配置并执行自检程序以找到触摸传感器上的故障。	1	根据需要配置为引脚测试命令。
用户数据 T38	为用户数据提供数据存储区域。	1	根据需要进行配置。
消息计数 T44	提供待处理消息的计数。	1	只读对象。
CTE 配置 T46	控制器件的电容式触摸引擎。	1	必须配置。
定时器 T61	控制定时器。	6	根据需要进行使能和配置。
串行数据命令 T68	为主机驱动程序提供一个接口，用于向器件传送各种数据集。	1	根据需要进行使能和配置。
动态配置控制器 T70	允许定义关于响应系统事件的规则。	20	根据需要进行使能和配置。
动态配置容器 T71	允许根据动态配置控制器 T70 对象中定义的规则存储可在运行时选择的器件上的用户配置。	1	在使用动态配置控制器 T70 时配置。
触摸事件触发器 T79	配置触摸触发器以便与事件处理程序一起使用。	3	根据需要进行使能和配置。
触摸屏悬停配置 T101	提供特定于自电容悬停测量和悬停触摸支持的控制。	1	根据需要进行使能和配置。
辅助触摸配置 T104	允许针对特定测量设置自电容增益和阈值，以生成供其他对象使用的辅助触摸数据。	1	在使用自电容测量时进行使能和配置。
自电容全局配置 T109	为器件上采用的自电容测量提供配置。	1	根据需要（使用自电容测量时）进行使能和配置。
自电容调整参数 T110	为自电容测量的通用设置组提供配置空间。	9	仅限在 Microchip 现场工程师的指导下使用。
自电容配置 T111	为器件上采用的自电容测量提供配置。	3	根据需要（使用自电容测量时）进行使能和配置。
自电容测量配置 T113	配置自电容测量，以生成供其他对象使用的数据。	1	根据需要进行使能和配置。

表 11-1: MXT641TD-AT 上的对象 (续)

对象	说明	实例数	使用
数据容器 T117	提供一种用于获取器件内部存储器中保存的特定数据的机制。	6	只读对象。无需配置。
数据容器控制器 T118	提供对存储器中内部数据的直接访问，以便与数据容器 T117 对象一起使用。	1	根据需要进行使能和配置。
自电容电压调制 T133	控制自电容扫描的电压调制。	1	根据需要进行使能和配置。

11.2.3 配置和调整器件

根据设计，对象字段中的默认值为 0，该值是一个通常会禁止功能的“安全”值。必须先配置对象，然后才能使用对象并通过命令处理器 T6 对象将设置写入非易失性存储器。

对每个对象执行以下操作：

1. 使能对象（如果对象需要使能）。
2. 根据需要配置对象中的字段。
3. 如果对象支持消息，则使能报告功能以从对象接收消息。

11.3 写入器件

可以使用以下机制写入器件：

- 使用 I²C 写操作（见第 8.2 节“写入器件”）。
- 使用 SPI 写操作（见第 9.3 节“写操作和响应”）。

通过写入相应的对象来实现与器件的通信：

- 要向器件发送命令，需向命令处理器 T6 对象写入相应的命令。
- 要配置器件，需向相应的对象写入配置参数。例如，写入电源配置 T7 将配置器件的功耗，写入触摸屏多点触控触摸屏 T100 对象将设置触摸屏。某些对象是可选的，需要在使用前使能。

重要提示！

当主机在某个对象内发出任何命令，导致闪存写入器件非易失性存储器（Non-Volatile Memory, NVM）时，如果该对象有 CTRL RPTEN 位，则应将该位置 1。这样可确保在完成该过程时生成从对象写入 NVM 的消息，并执行将 $\overline{\text{CHG}}$ 线路置为有效的操作。

主机还必须确保将 $\overline{\text{CHG}}$ 线路置为有效的操作引用预期对象报告 ID，然后再通过将 $\overline{\text{RESET}}$ 线路置为有效来执行复位。否则，可能会导致器件配置区损坏并生成 CFGERR。

11.4 读取器件

状态信息存储在消息处理器 T5 对象中。可以读取该对象以从器件接收任何状态信息。以下机制提供了一种中断式接口来读取消息处理器 T5 对象中的消息：

- 只要消息处理器 T5 对象中有新消息， $\overline{\text{CHG}}$ 线路便置为有效（见第 8.6 节“CHG 线路”）。有关 I²C 读取操作的格式的信息，请参见第 8.4 节“读取器件”。
- 使用 SPI 接口时，必须执行两个 SPI 事务：第一个是 SPI 读请求，用于设置地址指针（地址 LSB 和 MSB）并向从器件指示主机想要读取多少字节（长度 LSB 和 MSB）；第二个是响应，它带有一个实际包含所请求数据的有效载荷（见第 9.4 节“读操作和响应”）。

MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

请注意，主机应始终等待消息通知。主机不得轮询器件是否有消息。特别是，当使用SPI接口时，始终不得轮询 $\overline{\text{CHG}}$ 线路。这样做的原因在于，当轮询时，主机将基于电平而不是根据需要基于下降沿来处理 $\overline{\text{CHG}}$ 线路。

12.0 调试和调整

12.1 SPI调试接口

SPI调试接口用于在运行系统时进行调整和调试，允许开发工程师使用 Microchip maXTouch Studio 来读取实时原始数据。这将使用通过SPI接口访问的低级调试端口。

SPI调试接口包含 $\overline{\text{DBG_SS}}$ 、DBG_CLK和DBG_DATA线路。建议将这些引脚连接到所有设计的测试点，以便在系统开发过程中将其连接到外部硬件。这些线路不应连接到电源或GND。更多详细信息，请参见第2.3.10节“SPI调试接口”。

SPI调试接口由命令处理器T6对象使能，默认情况下将关闭。

注	触摸控制器将处理引脚配置。当 $\overline{\text{DBG_SS}}$ 、DBG_CLK和DBG_DATA线路用于调试时，任何备用引脚功能都不能使用。
----------	--

12.2 基于对象的协议

器件提供了一种通过从诊断调试T37对象读取数据来获取用于开发和测试的调试数据的机制。

注	诊断调试T37对象最常用于进行简单调整。调试设计时，最好使用SPI调试接口，因为它具有更高的带宽，并且可以提供实时数据。
----------	--

12.3 自检

该器件中有一个运行自检程序的自检T25对象，用于发现检测线路和电极上的硬件故障。该对象还会在上电时执行初始引脚故障测试，以确保在芯片内部使能高压电源之前，不存在X-Y短路。如果检测线路上发生高压短路，则会损坏器件。

除了一次性硬件测试外，自检T25对象还可以在器件运行时持续监控器件的运行状况。定期测试以用户指定的时间间隔运行，并报告通过和/或失败消息（由器件配置确定）。报告是通过标准自检T25对象协议消息或专用硬件GPIO引脚来实现的，具体使用GPIO配置T19对象来配置。

MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

13.0 规范

13.1 绝对最大值规范

Vdd	3.6V
VddIO	3.6V
AVdd	3.6V
所有 GPIO _n 引脚的最大连续组合引脚电流	60 mA
强制输入到任意引脚的电压	-0.3V 至 Vdd/VddIO/AVdd + 0.3V
配置参数最多写入次数	10,000
最高结温	125°C

小心! 如果器件的工作条件超过上述“绝对最大值”，可能对器件造成永久性损坏。上述值仅代表本规范规定的极限工作条件，不代表器件在上述极限值或超出极限值的情况下仍可正常工作。器件长时间工作在最大值条件下，其可靠性可能受到影响。

13.2 建议的工作条件

工作温度	mXT641TD-AT: -40°C 至 +85°C (3级)
	mXT641TD-AB: -40°C 至 +105°C (2级)
存储温度	-60°C 至 +150°C
Vdd	3.3V ±5%
VddIO	1.8V 至 3.3V
AVdd	3.3V ±5%
XVdd (使能内部倍压器)	Vdd 至 2 × Vdd
温度变化率	10°C/min

13.2.1 直流特性

13.2.1.1 模拟电源——AVdd

参数	最小值	典型值	最大值	单位	注
AVdd					
工作限值	3.14	3.3	3.47	V	
电源上升速率	—	—	0.036	V/ μ s	例如，对于3.3V电源轨，电压不得在92 μ s以内上升

13.2.1.2 数字电源——Vdd和VddIO

参数	最小值	典型值	最大值	单位	注
VddIO					
工作限值	1.71	3.3	3.47	V	I ² C
电源上升速率	—	—	0.036	V/ μ s	例如，对于3.3V电源轨，电压不得在92 μ s以内上升
Vdd					
工作限值	3.14	3.3	3.47	V	
电源上升速率	—	—	0.036	V/ μ s	例如，对于3.3V电源轨，电压不得在92 μ s以内上升
电源下降速率	—	—	0.05	V/ μ s	例如，对于3.3V电源轨，电压不得在66 μ s以内下降

13.2.1.3 XVdd 电源——XVdd

参数	最小值	典型值	最大值	单位	注
XVdd					
工作限值	Vdd	—	2 × Vdd	V	最大值（带内部倍压器）

13.2.2 电源纹波和噪声

参数	最小值	典型值	最大值	单位	注
Vdd	—	—	±50	mV	1 Hz至1 MHz频率范围内
AVdd	—	—	±40	mV	1 Hz至1 MHz频率范围内，使能了噪声抑制

13.3 测试配置

参考单元中使用下列值来验证接口，并且通过这些值得出以下部分中提供的特征数据。

表 13-1: 测试配置

对象/参数	说明/设置（十进制数）
采集配置 T8	
CHRGTIME	48
MEASALLOW	触摸测量: 11 悬停测量: 15
MEASIDLEDEF	触摸测量: 1 悬停测量: 4
MEASACTVDEF	1
单点触控手势处理器 T24	使能对象
两点触控手势处理器 T27	使能对象
触摸抑制 T42	使能对象
CTE 配置 T46	
IDLESYNCSPERX	12
ACTVSYNCSPERX	12
透镜弯曲 T65 实例 0	使能对象
噪声抑制 T72	使能对象
手套检测 T78	使能对象
重传补偿 T80	使能对象
多点触控触摸屏 T100	使能对象
XSIZE	30
YSIZE	19
触摸屏悬停配置 T101	使能对象（仅限悬停）
辅助触摸配置 T104	使能对象
自电容配置 T111 实例 0	
INTTIME	50
IDLESYNCSPERL	触摸和悬停测量: 16
ACTVSYNCSPERL	触摸和悬停测量: 16
自电容配置 T111 实例 1	仅限悬停
INTTIME	80（仅限悬停）
IDLESYNCSPERL	64（仅限悬停）
ACTVSYNCSPERL	64（仅限悬停）
自电容配置 T111 实例 2	
INTTIME	50
IDLESYNCSPERL	触摸和悬停测量: 22
ACTVSYNCSPERL	触摸和悬停测量: 22
自电容测量配置 T113	使能对象

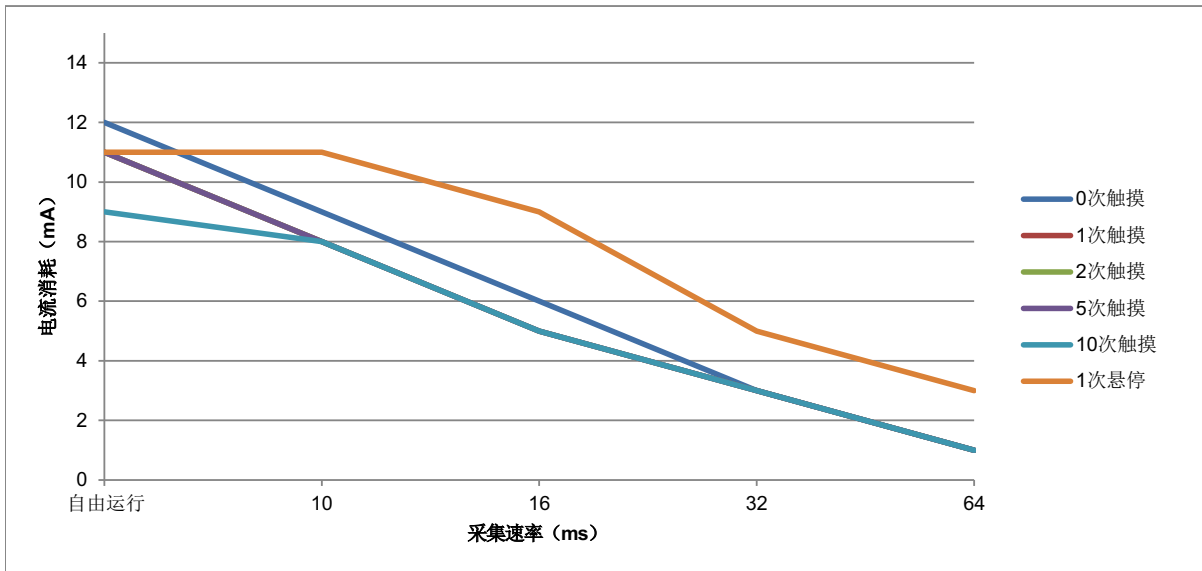
13.4 电流消耗——I²C 接口

注 本节中的特征图表基于互电容单端测量。如果使能 P2P 互电容测量，则功耗通常最高增加 8%。

特征图表给出了基于表 13-1 中的配置的典型值。用户应用中的实际功耗将取决于特定项目的具体情况，将与此处列出的值有所不同，并且需要进一步调整才能实现最佳性能。

13.4.1 AVDD

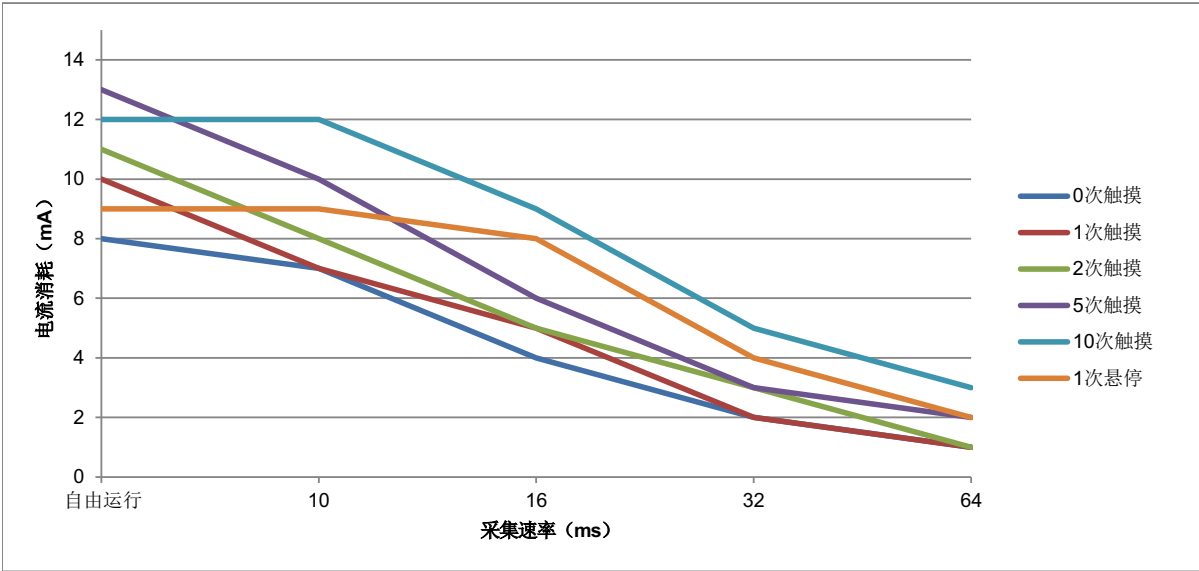
采集速率 (ms)	电流消耗 (mA)					
	0次触摸	1次触摸	2次触摸	5次触摸	10次触摸	1次悬停
自由运行	12	11	11	11	9	11
10	9	8	8	8	8	11
16	6	5	5	5	5	9
32	3	3	3	3	3	5
64	1	1	1	1	1	3



MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

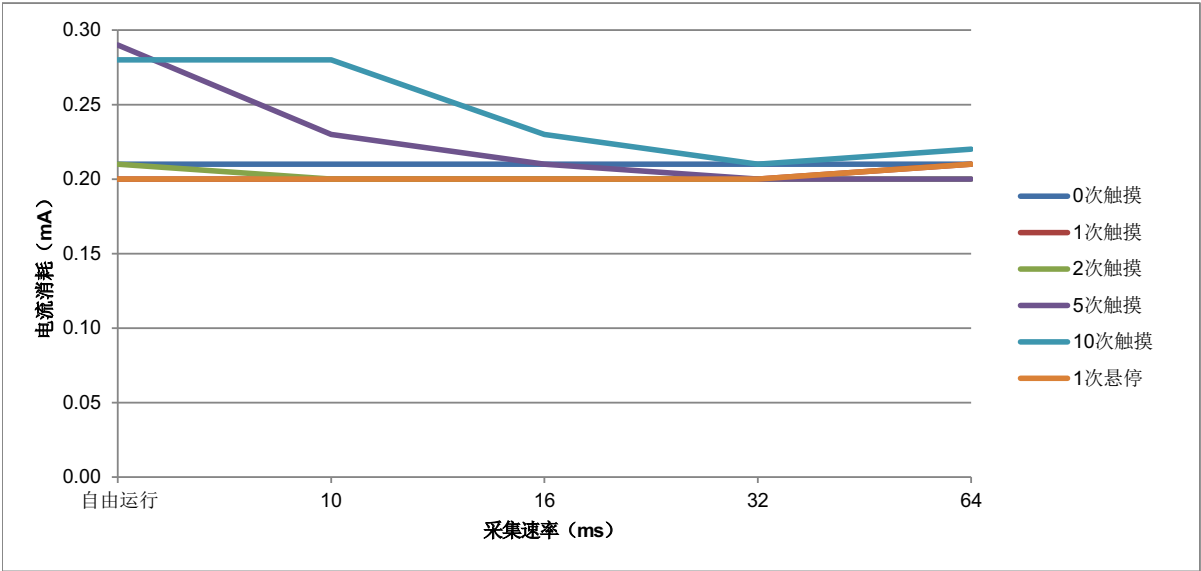
13.4.2 VDD

采集速率 (ms)	电流消耗 (mA)					
	0次触摸	1次触摸	2次触摸	5次触摸	10次触摸	1次悬停
自由运行	8	10	11	13	12	9
10	7	7	8	10	12	9
16	4	5	5	6	9	8
32	2	2	3	3	5	4
64	1	1	1	2	3	2



13.4.3 VDDIO

采集速率 (ms)	电流消耗 (mA)					
	0次触摸	1次触摸	2次触摸	5次触摸	10次触摸	1次悬停
自由运行	0.21	0.20	0.21	0.29	0.28	0.20
10	0.21	0.20	0.20	0.23	0.28	0.20
16	0.21	0.20	0.20	0.21	0.23	0.20
32	0.21	0.20	0.20	0.20	0.21	0.20
64	0.21	0.21	0.20	0.20	0.22	0.21



MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

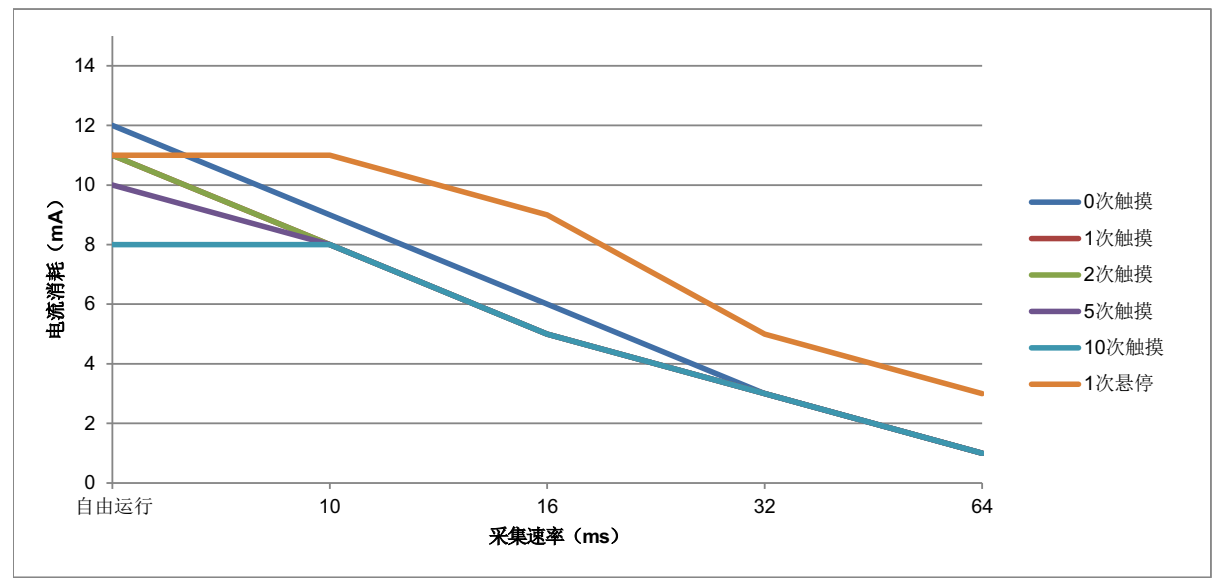
13.5 电流消耗——SPI接口

注 本节中的特征图表基于互电容单端测量。如果使能P2P互电容测量，则功耗通常最高增加8%。

特征图表给出了基于表13-1中的配置的典型值。用户应用中的实际功耗将取决于特定项目的具体情况，将与此处列出的值有所不同，并且需要进一步调整才能实现最佳性能。

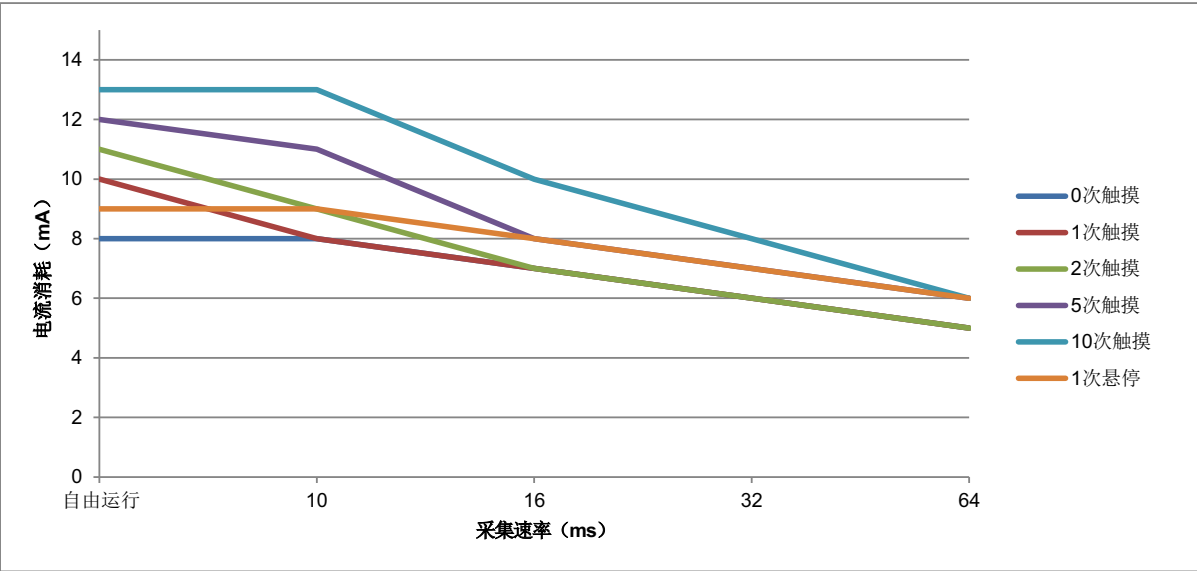
13.5.1 AVDD

采集速率 (ms)	电流消耗 (mA)					
	0次触摸	1次触摸	2次触摸	5次触摸	10次触摸	1次悬停
自由运行	12	11	11	10	8	11
10	9	8	8	8	8	11
16	6	5	5	5	5	9
32	3	3	3	3	3	5
64	1	1	1	1	1	3



13.5.2 VDD

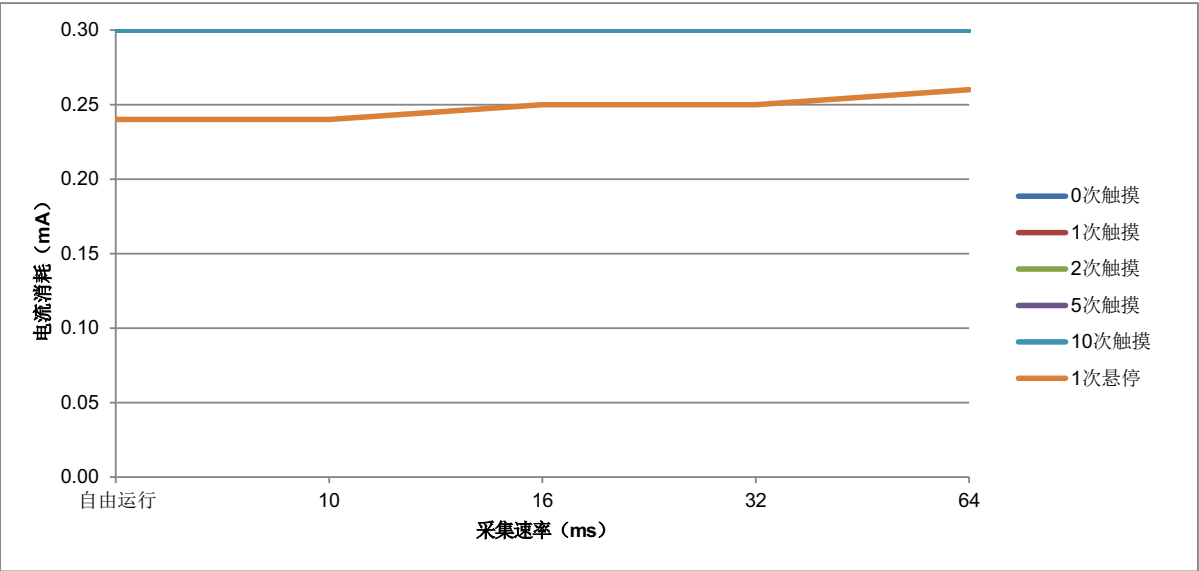
采集速率 (ms)	电流消耗 (mA)					
	0次触摸	1次触摸	2次触摸	5次触摸	10次触摸	1次悬停
自由运行	8	10	11	12	13	9
10	8	8	9	11	13	9
16	7	7	7	8	10	8
32	6	6	6	7	8	7
64	5	5	5	6	6	6



MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

13.5.3 VDDIO

采集速率 (ms)	电流消耗 (mA)					
	0次触摸	1次触摸	2次触摸	5次触摸	10次触摸	1次悬停
自由运行	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.24
10	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.24
16	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.25
32	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.25
64	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.26



13.6 时序规范

13.6.1 触摸延时

条件: XSIZE = 30; YSIZE = 19; CHRGTIME = 48; IDLE/ACTVSYNCSERX = 12; T = -40°C、25°C 和 85°C。
使用CPK计算得出值, CPK = 1.66。

空闲初级 = 互电容; 活动初级 = 互电容

T100 TCHDIDOWN	流水线关闭			流水线开启			单位
	最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值	
3	27.9	31.9	35.7	29.8	33.6	37.5	ms
2	19.9	23.7	27.5	21.7	25.0	28.9	ms
1	11.6	16.0	19.3	11.6	15.3	19.3	ms

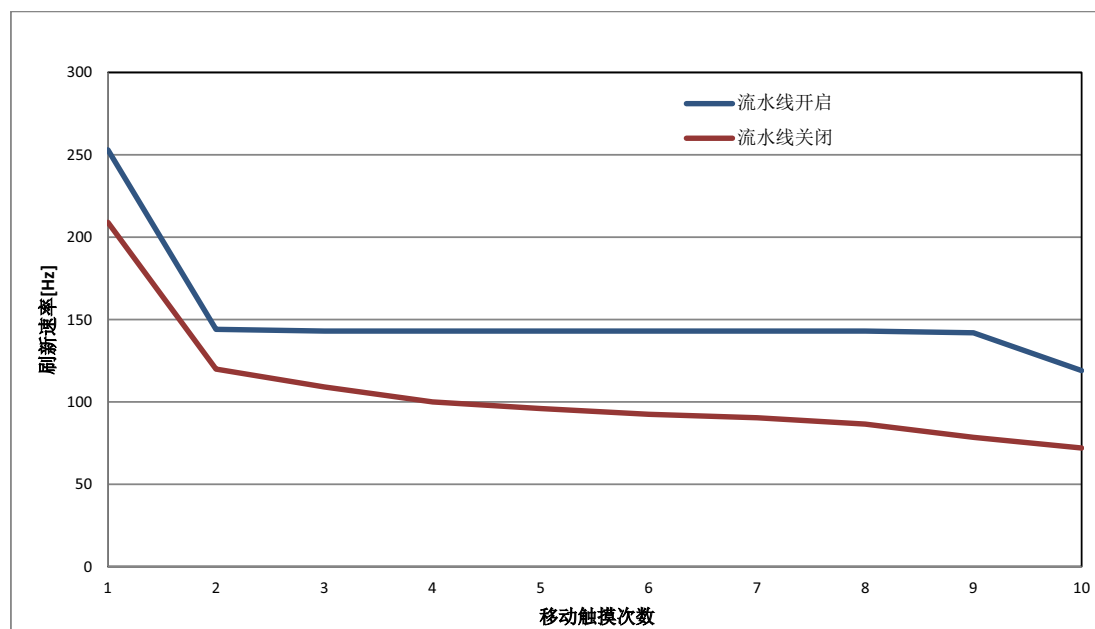
空闲初级 = 自电容; 活动初级 = 互电容

T100 TCHDIDOWN	流水线关闭			流水线开启			单位
	最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值	
3	27.7	30.4	35.4	29.5	32.2	35.5	ms
2	19.8	21.9	24.4	21.2	23.9	28.0	ms
1	11.2	13.7	16.5	11.2	13.8	16.4	ms

空闲初级 = 自电容; 活动初级 = 互电容

T100 TCHDIDOWN	流水线关闭			流水线开启			单位
	最小值	典型值	最大值	最小值	典型值	最大值	
3	21.9	24.2	26.5	23.6	26.2	29.7	ms
2	16.6	18.9	22.2	18.6	20.6	25.8	ms
1	11.6	14.2	20.0	11.3	13.7	19.9	ms

13.6.2 反应速率



MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

13.6.3 突发频率容差

突发频率与系统时钟直接相关。突发频率容差取决于系统振荡器的容差（见表13-2）。

表13-2： 振荡器容差——DFLL48

条件：T = -40°C、25°C 和 85°C

最小漂移	典型值	最大漂移	注
-5%	55 MHz	+5%	最小/最大漂移指定为低于/高于目标频率的百分比

13.6.4 复位时序

参数	最小值	典型值	最大值	单位	注
从上电到CHG线路变为低电平的时间	91	91	92	ms	Vdd电源用于POR VddIO电源用于外部复位
从硬件复位到CHG线路变为低电平的时间	90	90	91	ms	
从软件复位到CHG线路变为低电平的时间	107	110	115	ms	

注 1： 主机应忽略上电或复位周期到期之前发生的任何CHG线路活动。上电/复位周期到期之前，无法保证此信号工作。

13.7 触摸屏传感器特性

参数	说明	
Cm	互电容	单个节点上的典型值介于0.15 pF和10 pF之间。
Cpx	X的互电容负载	Microchip 建议每条X或Y线路上的最大负载为300 pF。(1)
Cpy	Y的互电容负载	
Cpx	X的自电容负载	Microchip 建议每条X或Y线路上的最大负载为100 pF。(1)
Cpy	Y的自电容负载	
ΔCpx	X上的自电容不平衡	标称值为9.7 pF。Cpx/Cpy每降低45 pF， 值便增加1 pF（基于100 pF负载）
ΔCpy	Y上的自电容不平衡	

注 1： 如果您打算使用更高的值，请联系Microchip代表来获得建议。

13.8 输入/输出特性

参数	说明	最小值	典型值	最大值	单位	注
输入（所有输入引脚均连接至VddIO电源轨）						
Vil	低输入逻辑电平	-0.3	—	0.3 × VddIO	V	VddIO = 1.8 V至Vdd
Vih	高输入逻辑电平	0.7 × VddIO	—	VddIO	V	VddIO = 1.8 V至Vdd
Iil	输入泄漏电流	—	—	0.5	μA	
RESET引脚	内部上拉电阻	20	40	60	kΩ	
GPIO引脚	内部上拉/下拉电阻					
输出（所有输出引脚均连接至VddIO电源轨）						
Vol	低输出电压	0	—	0.2 × VddIO	V	VddIO = 1.8V至Vdd Iol = -2 mA
Voh	高输出电压	0.8 × VddIO	—	VddIO	V	VddIO = 1.8V至Vdd Ioh = 2 mA
GPIO引脚	内部上拉/下拉电阻	20	40	60	kΩ	

13.9 I²C 规范

参数	值
地址	0x4A 或 0x4B
I ² C 规范	版本 6.0
最大总线速度 (SCL) ⁽¹⁾	3.4 MHz
标准模式 ⁽²⁾	100 kHz
快速模式 ⁽²⁾	400 kHz
增强型快速模式 ⁽²⁾	1 MHz
高速模式 ⁽²⁾	3.4 MHz

- 注 1: 选择上拉电阻的值时应确保 SCL 和 SDA 的上升和下降时间满足 I²C 规范。所需的值将取决于线路上的电容负载量。
- 2: 在 I²C 线路负载很高的系统中, 即使采用最小上拉电阻值, 总线速度也会被电容负载限制在最大理论值以下。
- 3: 有关 I²C 操作的更多详细信息, 请参见 www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf。

13.10 SPI 总线规范

参数	规范
模式	模式 3 (CPOL = 1 且 CPHA = 1)
时钟空闲状态	高电平
建立边沿	前 (下降) 沿
采样边沿	后 (上升) 沿
字大小	8 位
最大时钟速率	8 MHz

13.11 触摸精度和可重复性

参数	最小值	典型值	最大值	单位	注
线性度 (仅触摸; 5.4 mm 电极间距)	—	±1	—	mm	8 mm 或 8 mm 以上的手指触摸
线性度 (仅触摸; 4.2 mm 电极间距)	—	±0.5	—	mm	4 mm 或 4 mm 以上的手指触摸
精度	—	±1	—	mm	
边缘精度	—	±2	—	mm	
可重复性	—	±0.25	—	%	X 轴, 12 位分辨率

13.12 热封装

13.12.1 热数据

参数	说明	典型值	单位	条件	封装
θ_{JA}	结点到环境的热阻	51.4	°C/W	静止空气	100 引脚 TQFP 14 × 14 × 1 mm
θ_{JC}	结点到外壳的热阻	9.1	°C/W		100 引脚 TQFP 14 × 14 × 1 mm

MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

13.12.2 结温

此器件允许的最大结温为125°C。

此器件的平均结温 (T_J ，单位为°C) 可通过以下公式计算：

$$T_J = T_A + (P_D \times \theta_{JA})$$

如果需要冷却装置，请使用以下公式：

$$T_J = T_A + (P_D \times (\theta_{HEATSINK} + \theta_{JC}))$$

其中：

- θ_{JA} = 结点到环境的封装热阻 (°C/W) (见第13.12.1节“热数据”)
- θ_{JC} = 结点到外壳的封装热阻 (°C/W) (见第13.12.1节“热数据”)
- $\theta_{HEATSINK}$ = 冷却装置热阻 (°C/W)，该值可从冷却装置数据手册中获取
- P_D = 器件功耗 (W)
- T_A 为环境温度 (°C)

13.13 ESD 信息

参数	值	参考标准	注
人体模型 (Human Body Model, HBM)	±2000V	AEC-Q100	
充电器件模型 (Charge Device Model, CDM)	±500V	AEC-Q100	边角引脚除外
	±750V	AEC-Q100	仅限边角引脚

13.14 焊接曲线

曲线特性	环保封装
平均斜升速率 (从217°C升至峰值)	3°C/s (最大值)
预热温度 175°C ± 25°C	150–200°C
保持在217°C以上的持续时间	60–150s
与实际峰值温度之差保持在5°C以内的持续时间	30s
峰值温度范围	260°C
斜降速率	6°C/s (最大值)
从25°C升至峰值温度的时间	8分钟 (最大值)

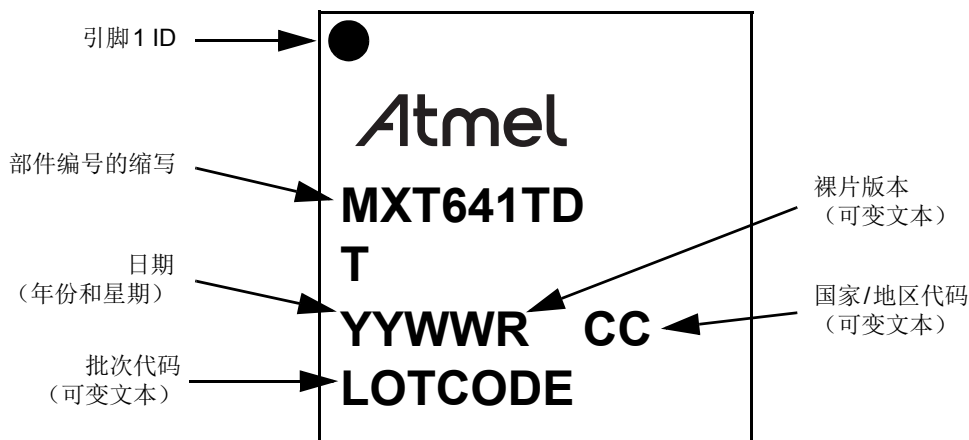
13.15 湿度敏感等级 (MSL)

MSL 额定值	封装类型	峰值主体温度	规范
MSL3	QFP	260°C	AEC-Q100

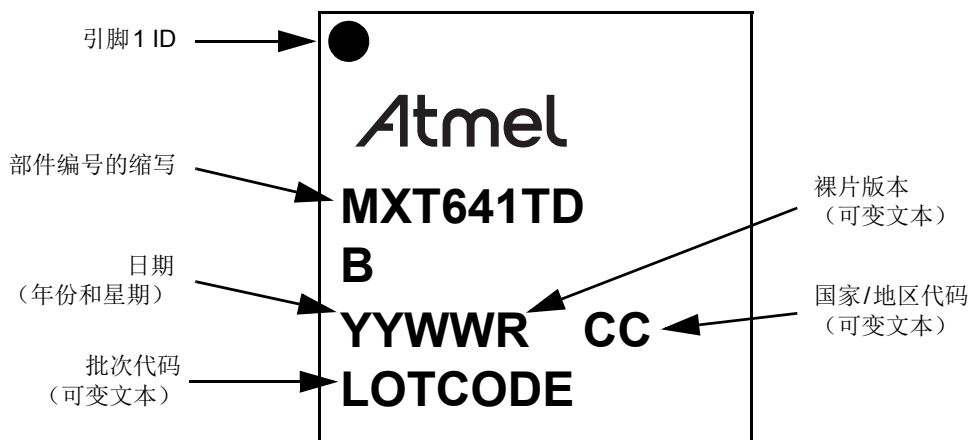
14.0 封装信息

14.1 封装标识信息

14.1.1 100 引脚 TQFP



14.1.2 100 引脚 TQFP



14.1.3 可订购部件编号

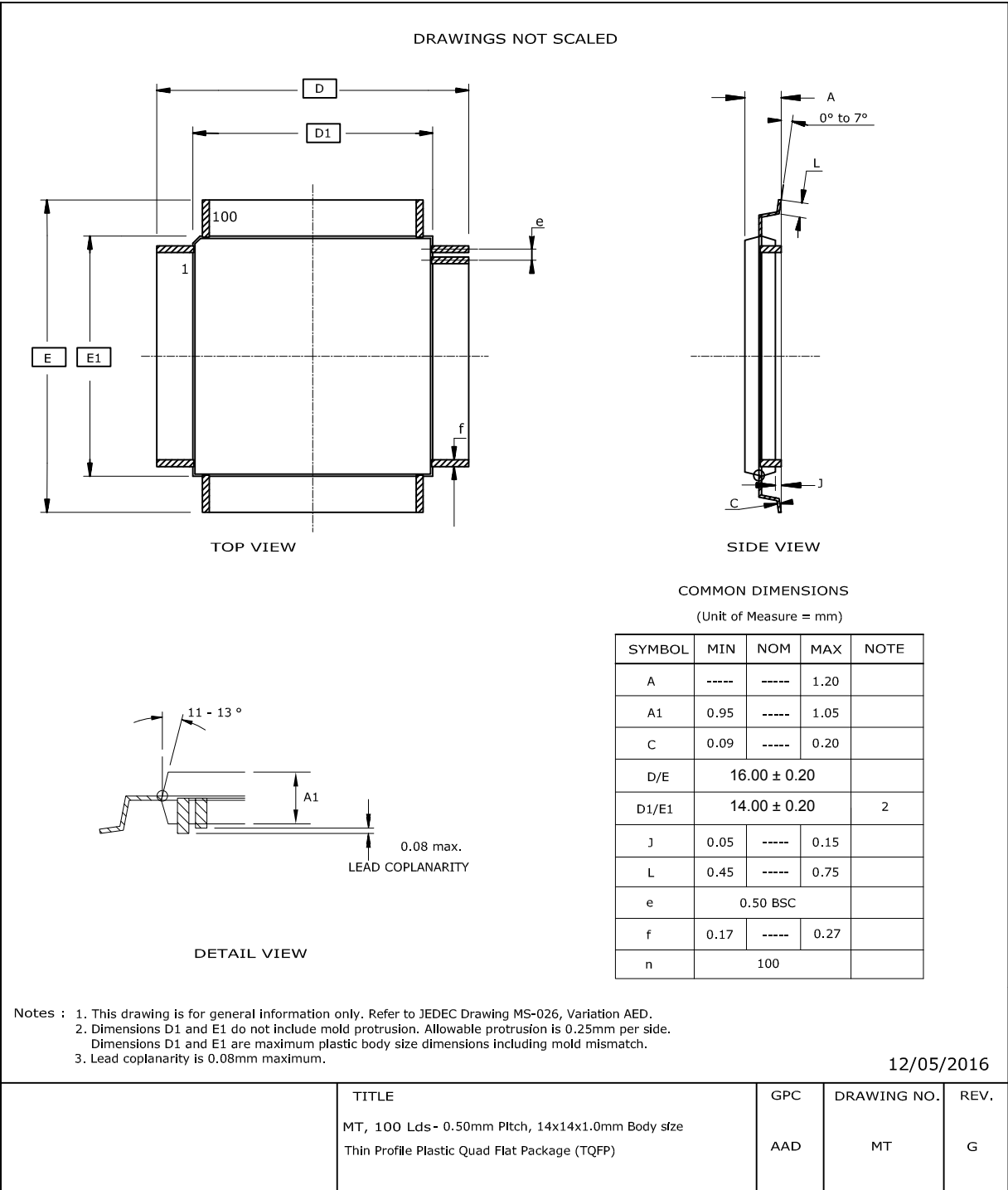
“产品标识体系”中介绍了 maXTouch 器件的产品标识体系，并且还列出了 mXT641TD-AT 器件的示例部件编号。

MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

14.2 封装详细信息

以下部分将介绍器件封装的技术细节。

14.2.1 100引脚TQFP 14 × 14 × 1 MM



附录A： 相关文档

注 下面列出的一些文档仅限在签署NDA的条件下使用。

可联系您的Microchip代表获取以下文档：

产品文档

- 应用笔记：MXTAN0213——*Interfacing with maXTouch Touchscreen Controllers*

触摸屏设计和PCB/FPCB布局指南

- 应用笔记：QTAN0054——*Getting Started with maXTouch Touchscreen Designs*
- 应用笔记：MXTAN0208——*Design Guide for PCB Layouts for maXTouch Touch Controllers*
- 应用笔记：QTAN0080——*Touchscreens Sensor Design Guide*

配置器件

- 应用笔记：QTAN0059——*Using the maXTouch Self Test Feature*

其他

- 应用笔记：QTAN0050——*Using the maXTouch Debug Port*
- 应用笔记：QTAN0058——*Rejecting Unintentional Touches with the maXTouch Touchscreen Controllers*
- 应用笔记：QTAN0061——*maXTouch Sensitivity Effects for Mobile Devices*

工具

- *maXTouch Studio User Guide*（以maXTouch Studio的在线帮助形式分发）

附录B： 版本历史

版本A（2017年3月）

固件版本 1.0.AA 的初始版本——初稿

版本B（2017年8月）

更新——发布

此版本包括以下更新：

- 特性：
 - 增加了P2P互电容
 - 初始触摸延时现在以 < 25 ms 进行引用
- 更新了“引脚配置”：
 - 表0-1 现在将显示电源轨
- 第1.0节“mXT641TD-AT/mXT641TD-AB概述”：
 - 更新了触摸检测说明
- 更新了第2.0节“原理图”：
 - 更改了推荐的去耦电阻值
 - 增加了第2.3.1节“电源”部分
- 第4.0节“传感器布局”：
 - 文本重新编排成多个部分，使得布局规则更清晰明了
 - 更新了多点触控触摸屏T100规则
- 更新了第5.0节“上电/复位要求”
- 第6.0节“详细工作原理”：
 - 更新了第6.4节“传感器采集”
 - 增加了第6.7节“降低EMC”
- 第10.0节“PCB设计注意事项”：
 - 表10-1：增加了Microchip LDO MCP1725
- 更新了第13.0节“规范”：
 - 第13.2.1节“直流特性”：更新了各小节中的表以正确显示上升/下降速率及其附注
 - 第13.2.2节“电源纹波和噪声”现在引用单个AVDD值
 - 第13.3节“测试配置”现在列出测试配置
 - 增加了功耗图表
 - 第13.6节“时序规范”现在包含触摸延时和反应速率图
 - 第13.6.4节“复位时序”：现在包含复位时序
 - 第13.7节“触摸屏传感器特性”：现在包含实际图
 - 第13.8节“输入/输出特性”：所有I/O引脚现在均在表中列出
- 更新了附录A“相关文档”
- 更新了“产品标识体系”以列出其他maXTouch器件的附加封装类型
- 通篇删除了无源触控笔T47对象
- 通篇删除了对限制文档的引用，并酌情进行少量文本更改

版本C（2017年10月）

针对固件版本 1.0.AC 进行了更新——发布

此版本包括以下更新：

- 特性：
 - 面板/盖板玻璃支持部分替换为前面板材料。修改了推荐的玻璃和塑料面板厚度
 - 更新了“工作温度”部分以显示两种温度

- 第6.0节“详细工作原理”：
 - 第6.8节“无屏蔽支持和显示屏噪声抑制”：增加了优化集成功能（因出错缺失）
- 第10.0节“PCB设计注意事项”：
 - 第10.4节“稳压器”：增加了附加性能标准
- 第13.0节“规范”：
 - 第13.2节“建议的工作条件”：经更新可显示85°C和105°C工作温度
 - 第13.7节“触摸屏传感器特性”：更新了表
 - 第13.8节“输入/输出特性”：RESET引脚现在与其他输入引脚一起在表中列出
- “产品标识体系”：
 - “可订购部件编号”：更新了可订购部件编号和固件版本。增加了mXT641TD-AB温度型器件
- 增加了mXT641TD-AB温度型器件

MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

索引

A

ADDSEL 引脚	24, 25
AKS。请参见 相邻按键抑制	
AVdd 电源	49

B

变更通知客户服务	69
标准按键阵列	15

C

CHG 线路	12
I ² C	28
SPI	31
模式 0 工作原理	29
模式 1 工作原理	29
测试配置规范	50
充电时间	20
重传补偿	21
传感器布局	15–16
触摸面板	15
电极	15
传感器采集	20
触摸检测	9, 20
触摸精度	59
触摸屏传感器特性	58

D

DFLL48 振荡器容差规范	58
电容式触摸引擎 (CTE)	9
电压泵	12, 39
电源	
I/O 引脚	12
PCB 设计	39
电源轨	39
电源纹波和噪声	49
多功能引脚	13

E

EMC 问题	41
ESD 信息	60

F

复位时序	58
------------	----

G

GPIO 引脚	13
工作模式	20
规范	48–60
DFLL48 振荡器容差	58
ESD 信息	60
I ² C 规范	59
SPI 总线规范	59
XVdd 电源	49
测试配置	50
触摸精度	59
触摸屏传感器特性	58
电源纹波和噪声	49
复位时序	58
焊接曲线	60
建议的工作条件	48
结温	60
绝对最大值规范	48
可重复性	59
模拟电源	49

热数据	59
湿度敏感等级 (msl)	60
时序规范	57
输入/输出特性	58
数字电源	49
直流特性	49

H

焊接曲线	60
互电容测量	9
互联网地址	69

I

I/O 引脚	12
I ² C 接口	
SCL 线路	12, 29
SDA 线路	12, 29
I ² C 通信	25–30
ADDSEL 引脚	24, 25
CHG 线路	28
SCL 线路	29
SDA 线路	29
地址选择	24, 25
读取器件	26
规范	59
使用 DMA 读取消息	26
时钟延长	30
写入器件	25
I ² C 写操作中的校验和	25

J

基于对象的协议	47
检测集成器	20
建议的工作条件	48
降低 EMC	21
校验和模式下的 I ² C 通信	
写操作	25
校准	20
接地走线	39
结温	60
绝对最大值规范	48

K

勘误表	8
客户通知服务	69
客户支持	69
可重复性	59

M

Microchip 网站	69
MISO 线路	31
MOSI 线路	31
mXT641TD-AT 概述	9
模拟 I/O	41
模拟电源	49

P

PCB 清洁	39
PCB 设计	39
EMC 问题	41
PCB 清洁	39
电压泵	39
电源	39
电源轨	39

接地走线	39	调整	47
模拟 I/O	41	通信	24
去耦电容	39	I ² C。请参见 <i>I²C 通信</i>	
数字信号	41	SPI。请参见 <i>SPI 通信</i>	
稳压器	40	通信模式选择	24
元件放置和走线	41	透镜弯曲	22
屏幕尺寸	15	V	
Q		VddCore 电源	12
器件		Vdd 电源	49
概述	9	VddIO 电源	49
去耦电容	12, 39	W	
R		WWW 地址	69
热数据	59	WWW 在线技术支持	8
S		稳压器	40
SCK 线路	31	单电源供电操作	41
SCL 线路	12, 29	多电源供电操作	41
SDA 线路	12, 29	无屏蔽支持	21
SPI 调试接口	13, 47	X	
SPI_READ_OK	36	XVdd 电源	49
SPI 通信	31–38	相邻按键抑制技术	22
SPI 协议操作码	32	详细工作原理	20
CHG 线路	31	悬停支持	22
MISO 线路	31	Y	
MOSI 线路	31	意外触摸抑制	22
SCK 线路	31	引脚配置	3
SPI_INVALID_CRC	38	有关连接信息，请参见 <i>引脚配置</i>	3
SPI_INVALID_REQ	37	元件放置和走线	41
SPI 模式 3	31	原理图	10
SPI_READ_FAIL	37	CHG 线路	12
spi_read_ok	36	GPIO 引脚	13
SPI_READ_REQ	35	I ² C 接口	12
SPI 事务报头	32	电压泵	12
SPI_WRITE_FAIL	34	去耦电容	12
SPI_WRITE_OK	34	上拉电阻	12
SPI_WRITE_REQ	33	Z	
SS 线路	31	噪声抑制	21
常规操作	37	显示屏	21
读操作和响应	35	振荡器容差规范	58
工作原理	31	直接存储器访问	26
规范	59	直流特性	49
失败协议	38	自电容测量	9
通信协议	31	自检	47
写操作和响应	32		
SS 线路	31		
上电/复位	17		
VddIO 在 Vdd 之后使能	18		
上电复位 (POR)	17		
上拉电阻	12		
湿度敏感等级 (msl)	60		
时序规范	57		
时钟延长	30		
手套检测	22		
手握抑制	22		
输入/输出特性	58		
数字电源	49		
数字滤波	21		
数字信号	41		
T			
调试	47		
SPI 调试接口	13, 47		
基于对象的协议	47		
自检	47		

MXT641TD-AT/MXT641TD-AB 1.0

产品标识体系

下表详细列出了maXTouch器件的产品标识体系。有关mXT641TD-AT/mXT641TD-AB的示例部件编号，请参见下面的“可订购部件编号”。

欲订货，或获取价格、交货等信息，请与我公司生产厂或各销售办事处联系。

部件编号	-XXX	[X]	[XX]	[X]	[XXX]
器件	封装	温度范围	样片类型	卷带式选项	定制信息

器件:	基本器件名称				
封装:	A	=	QFP（塑封正方扁平）		
	CCU	=	UFBGA（超薄型紧密排列焊球阵列）		
	C2U	=	UFBGA（超薄型紧密排列焊球阵列）		
	NHU	=	UFBGA（超薄型紧密排列焊球阵列）		
	C4U	=	X1FBGA（超薄型紧密排列焊球阵列）		
	MAU	=	XQFN（超薄四方扁平无脚Sawn）		
	MA5U	=	XQFN（超薄四方扁平无脚Sawn）		
	UU	=	WLCSP（晶圆级芯片尺寸封装）		
温度范围:	空白	=	-40°C至+85°C（3级）		
	T	=	-40°C至+85°C（3级）		
	B	=	-40°C至+105°C（2级）		
样片类型:	空白	=	发布样片		
	ES	=	预发布（工程）样片		
卷带式选项:	空白	=	标准封装（料管或托盘）		
	R	=	卷带式 ⁽¹⁾		
定制信息:	QTP、SQTP、编码或特殊要求（其他情况均为空白）				

注 1： 卷带式标识符仅出现在产品目录的部件编号描述中。该标识符用于订货目的，不会印刷在器件封装上。关于封装是否提供卷带式选项的信息，请参见下面的“可订购部件编号”或咨询当地的Microchip销售办事处。

可订购部件编号

可订购部件编号	固件版本	说明
ATMXT641TD-AT081 (以托盘形式提供)	1.0.AC	100引脚TQFP 14 × 14 × 1 mm，符合RoHS标准 工作温度范围为-40°C至+85°C (3级) 汽车级样片；适合汽车类
ATMXT641TD-ATR081 (以卷带形式提供)		
ATMXT641TD-AB081 (以托盘形式提供)	1.0.AC	100引脚TQFP 14 × 14 × 1 mm，符合RoHS标准 工作温度范围为-40°C至+105°C (2级) 汽车级样片；适合汽车类
ATMXT641TD-ABR081 (以卷带形式提供)		

MICROCHIP 网站

Microchip 网站 (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。只要使用常用的互联网浏览器即可访问。网站提供以下信息:

- **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 顾问计划成员名单
- **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, 请登录 Microchip 网站 www.microchip.com。在“支持”(Support)下, 点击“变更通知客户 (Customer Change Notification)”服务后按照注册说明完成注册。

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 (FAE)
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或应用工程师 (FAE) 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。

注:

请注意以下有关 Microchip 器件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指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- 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。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

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. 的英文原本文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。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，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。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伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。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。

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC® MCU 与 dsPIC® DSC、KeeLoq® 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器 and 模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949 ==

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、memBrain、Mindi、MiWi、motorBench、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、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 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。

© 2019, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN:

全球销售及服务中心

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

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: 45-4450-2828
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: 49-7131-67-3636

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 - Gothenburg
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