

如何实现 HDMI 2.1 源端测试的自动化

入门基础

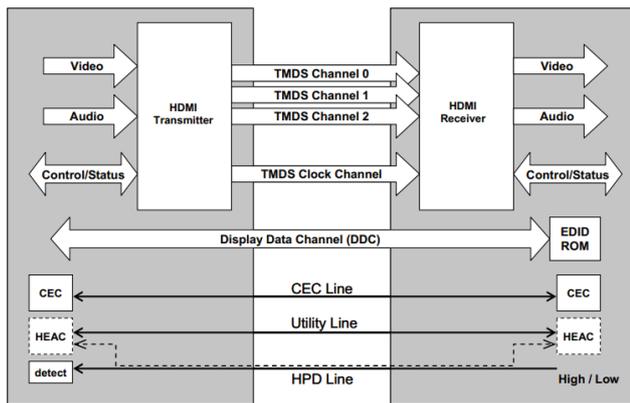


目录

HDMI 简介	3
HDMI 信号 “0” 和 “1” 的实现	4
测试的实现和难点.....	4
HDMI2.1 FRL 模式的出现.....	4
FRL 模式如何实现带宽的增加	4
HDMI2.1 源端测试:	5
源端测试的难点解决:	5
端接电压的实现	5
单端和差分信号的自动采集	6
解决测试复杂化的问题	6
测试速率和码型自动切换.....	6
泰克 HDMI2.1 FRL 自动化方案.....	7
示波器带宽的考量.....	9
总结:	9

HDMI 简介

HDMI (High Definition Media Interface, 高清多媒体接口), 由于可以同时传输视频和音频数据, 且连接简单, 兼容性好等特点, 被广泛的应用在消费电子产品上, 例如电视, 机顶盒, 投影仪等。HDMI 系统可以划分 4 个种类, Source, Sink, Cable, 和 Repeater, 为了保证这些设备良好的兼容性, 规范对电气信号做出了信号完整性的要求。

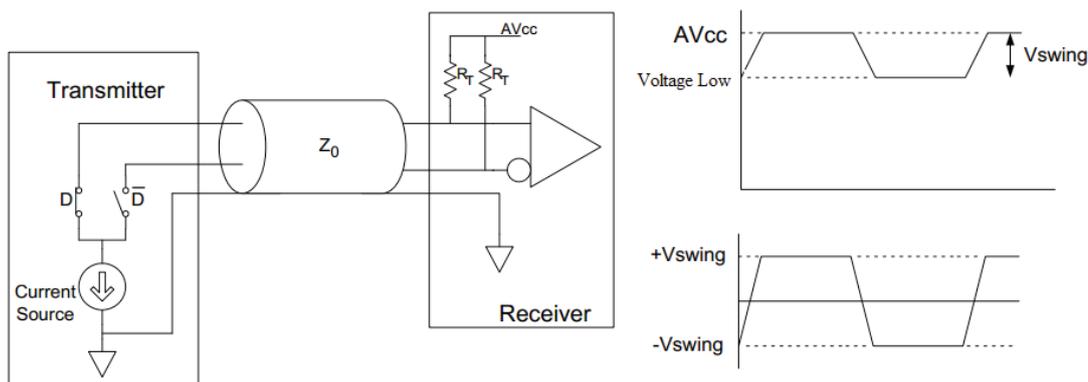


图一

图一 HDMI 接口的示意图, 适用于规范 HDMI1.4b 和 HDMI2.0。HDMI 接口使用 TMDS 编码技术, 从上图可以看到, 接口共有 4 对 TMDS 差分信号, 其中 TMDS Clock channel 作为独立的时钟信号, 用于同步和信号采集; TMDS channel 0/1/2 作为数据通道, 用来传输视频和音频数据。例如 HDMI2.0 定义了每个 channel 最高 6Gbps 的速率, 接口的总带宽最高为 3 channel x 6Gbps = 18Gbps, 刚好满足 4Kp60Hz 需要的 17.82Gbps 的带宽。

DDC (Display Data Channel) 使用 I2C 协议, source 通过 DDC 读取 Sink 产品的 EDID (包含 Sink 支持的分辨率, 最高速率等信息), 确认最佳分辨率的输出。

HDMI 信号 “0” 和 “1” 的实现



图二

图二左边是 TMDs lane 组成示意图，Transmitter 端差分信号上有两个开关，经过电流源到地；Receiver 端，差分信号经过两个 50 欧姆的端接电阻，端接到了 3.3V 的电压，没有端接电压，则无法实现信号的变化。

- 1) 当开关断开时，没有电流回路，Receiver 端的电压是 3.3V，代表数字信号 “1”；
- 2) 当开关闭合时，经电流源形成了回路，Receiver 端的电压为低电压，代表数字信号的 “0”，注意这里的低电压不是 0V，而是 2.7V ~ 2.9V (HDMI1.4b 规范)，如右上图所示。
- 3) 两个开关交替打开，data + 和 data - 上的单端信号经过差分接收器得到差分信号，如右下图所示。

测试的实现和难点

在源端测试中，示波器模拟了 sink 的行为，提供了端接电阻和端接电压。

EDID 仿真器模拟 sink 的 EDID，提供分辨率 / 速率信息，HDMI2.0 的 EDID 仿真器也提供 SCDC 信息，完成与 source 的沟通，使 source 输出需要 TMDs 信号。

测试项目分为单端信号测试和差分信号测试，对应的连接方式分别为单端连接和差分连接，用于采集单端信号和差分信号，以便完成相应的测试项目。

HDMI1.4b/2.0 的测试难点：

- 1) 一些方案端接电压需要外接电源提供，或者端接电压不可调，无法验证极限情况；
- 2) 单端测试和差分测试信号采集需要更改硬件连接，过程繁琐耗时；
- 3) 测试信号速率随着分辨率变化，需要手动设置分辨率，测试无法自动化；

这些问题在泰克 HDMI2.1 FRL 测试方案中都得到了完美的解决。

HDMI2.1 FRL 模式的出现

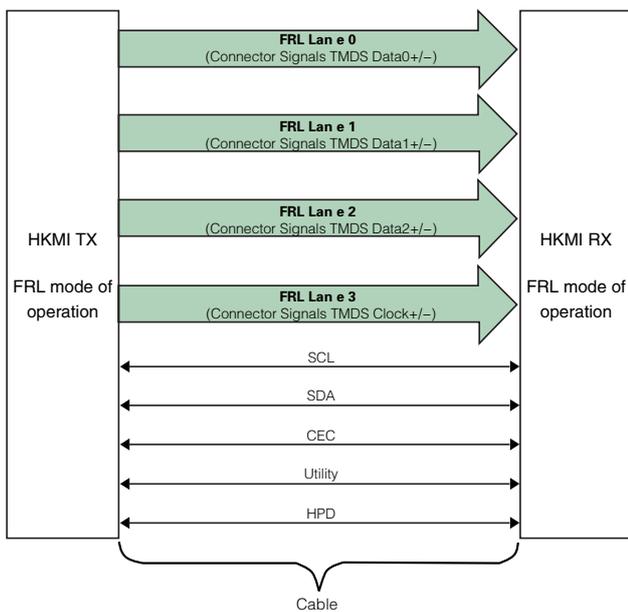
为了追求更好的视觉效果和体验，人们不满足于 4Kp60Hz 显示分辨率，也在追求 8Kp60Hz 和 4Kp120Hz 的体验。但是 8Kp60Hz 需要的带宽约 64G (RGB/YCbCr 4:4:4 格式)，远远超过了 HDMI2.0 的支持范围。所以 HDMI 协会增加 HDMI2.1 FRL (Fixed Rate Link) 模式，实现接口带宽的增加，满足 8Kp60Hz 需要。同时需要结合相应的 YCbCr 4:2:0 编码和视频压缩技术。

FRL 模式如何实现带宽的增加

常用方法有两种，方法一：提升通道数据速率；方法二：速率不变时，增量通道数量。

FRL 模式这两种方法都有使用。在保持 HDMI 物理接口不变的情况，每个通道支持的速率增加到了 12Gbps；另外，原来的 TMDS Clock channel 重定义为 FRL Lane3（时钟嵌入在数据流中）；TMDS Data 0/1/2 分别对应 FRL lane 0/1/2，如下图所示，共计有 4 个数据通道。这样就实现了最高 48Gbps 的带宽。

信号的编码方式从 TMDS 的 8b/10b 改变为 FRL 16b/18b 格式，编码效率更高。



FRL mode 可以分为两种模式：

3 lanes 工作模式下，仅仅支持 3 Gbps 和 6Gbps 两种速率；未使用的 Lane3，source 和 sink 都需要使用差分 50Ω ~ 150Ω 端接。

4 lanes 工作模式下，支持 6/8/10/12 Gbps 四种速率；

HDMI2.1 源端测试：

总的测试项目有 9 个，如下表所示，以测试 Lane0 为例。

Measurement	Victim Lane (Lane0)	Aggressor Lane (Lane1/2/3)
HFR1-1: DC Common Mode	LTP5	LTP6/7/8
HFR1-2: Vse_Max, Vse_Min	LTP5	LTP6/7/8
HFR1-3: TRise, TFall	LTP4	LTP2
HFR1-4: Inter pair Skew	LTP5	LTP6/7/8
HFR1-5: FRL Rate	LTP3	LTP2
HFR1-6: Random Jitter	LTP3	LTP2
HFR1-7: Data lane Eye Diagram	LTP5	LTP6/7/8
HFR1-8: AC Common Mode Noise	LTP5	LTP2
HFR1-9: FFE Monotonicity	LTP4	LTP1

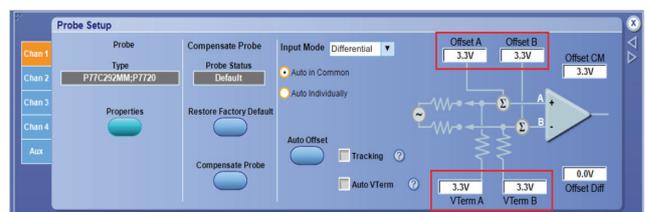
- LTP1 – All 1' pattern
- LTP2 – All 0' pattern
- LTP3 – Clock pattern
- LTP4 – 128 zeros followed by 128 ones pattern
- LTP5/6/7/8 – Predefined sequence of 4096 FRL characters

- 1) 测试信号是固定的码型，测试共定义 8 种码型 Link training pattern 1 ~ 8，简称为 LTP1 ~ 8。不像 HDMI1.4b/2.0，对码型没有要求。
- 2) 测试信号速率是固定的，不需要随分辨率变化。
- 3) 需要考虑其他 lane 的干扰，例如 HFR1-1 项目，测试 Lane0 时，需要 Lane0 发出 LTP5 码型，Lane1/2/3 分别发出 LTP6/7/8 的码型，测试方法更复杂。

源端测试的难点解决：

端接电压的实现

泰克示波器和探棒，不需要外接电源，本身不仅可以提供标准的 3.3V 端接电压，用于协会要求的一致性测试。在用户自定义模式下，还提供可调的端接电压，例如设置 3.0V 的端接电压，用于验证源端芯片在端接电压变化时的情况。

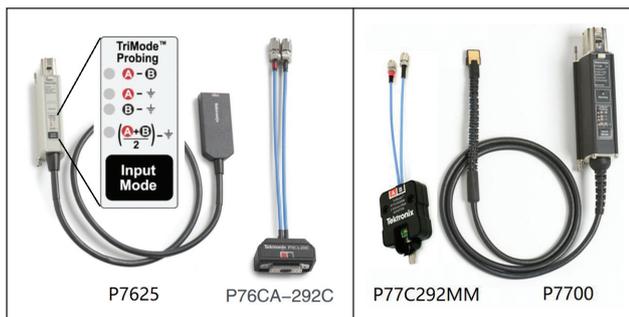


单端和差分信号的自动采集

对应单端项目和差分项目，测试时需要分别采集单端信号和差分信号；在 HDMI1.4b/2.0 测试中，都是通过差分探棒采集差分信号；手动更改探棒硬件连接后，采集单端信号。更改连接繁琐，无法自动化，造成了测试效率低。

泰克 Tri-mode 探棒（三模探棒），在测试软件控制下，交替工作在单端模式（A-GND 和 B-GND），无需硬件连接的改变，可以实现 8 个单端信号的采集，再自动计算差分信号。从而实现了全部项目的自动化。

除了三模探棒方案外，泰克还提供两台示波器级联自动化方案，通过 8 个 channel 实现对 8 个单端信号的同时采集，测试效率更高。



解决测试复杂化的问题：

随着速率的提升，HDMI 规范定义新的均衡技术和 cable 模型，也造成了测试过程的复杂化。

规范定义两种 Cable mode: Category 3 Worst Cable Mode (WCM3) and Category 3 Short Cable Mode (SCM3)。两种均衡：CTLE 1 ~ 8 dB 和 DFE 1-tap d1 value 25mV。

TX TP2 EQ eye	Cable mode	CTLE	DFE
12G	WCM3	8dB	25mV (d1 value)
	SCM3	1dB	None
3/6/8/10G	WCM3	8dB	None
	SCM3	1dB	None

在 TP1 采集信号后，应用 cable 模型，得到 TP2 位置的波形，再应用参考均衡后得到 TP2_EQ 位置的波形。

眼图计算方法更为复杂
既要考虑 Cable 模型的插入损耗，也要考虑其他数据线引入的串扰。

泰克方案针对以上情况，优化了算法，测试时间短。

测试速率和码型自动切换

以前测试需要手动更改分辨率，才能实现测试信号速率的变更。现在泰克通过测试软件与 EDID/SCDC 模拟器的配合，在 SCDC (Status and Control Data Channel) offset 0x31 中 FRL_Rate 设置测试信号速率，在 offset 0x41/42 中为每个 Lane 设置码型。实现了测试需要的速率和码型的自动切换，实现了测试完全自动化，提高了测试效率。

SCDCS–Sink Configuration

Offset	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
0x30	Rsvd (0)	Rsvd (0)	Rsvd (0)	Rsvd (0)	Rsvd (0)	Rsvd (0)	FLT_no_retrain	PR_Enable
0x31	FFE_Levels				FRL_Rate			

SCDCS–Status Flags

Offset	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
0x40	DSC_DecodeFail	FLT_ready	Rsvd (0)	Lane3_Locked	Ch2_Ln2_Locked	Ch1_Ln1_Locked	Ch0_Ln0_Locked	Clock_Detected
0x41	Ln1_LTP_req				Ln0_LTP_req			
0x42	Ln3_LTP_req				Ln2_LTP_req			

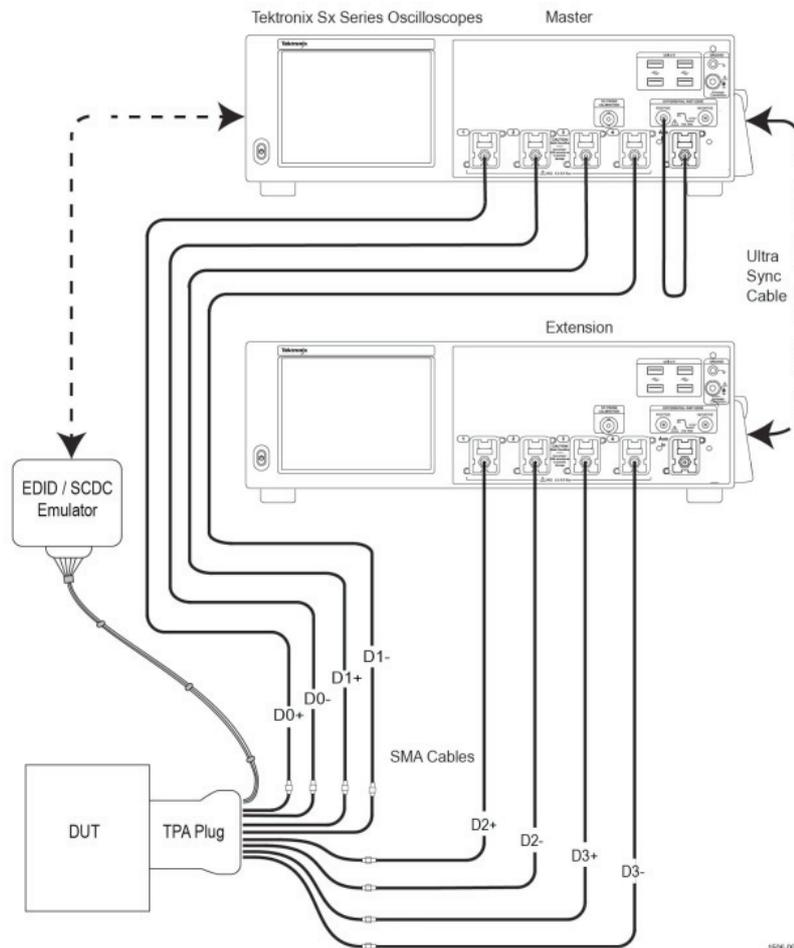
泰克 HDMI2.1 FRL 自动化方案

配置一：DPO 70000 SX 示波器级联方案

两台 DPO 70000 SX 示波器，使用 UltraSync cable 同步级联，可以把 8 个通道的 skew 调整到 1ps 内，

确保所有单端信号采集的同步性。同时采集 8 个单端信号后，再自动计算生成 4 对差分信号。测试过程不需要更改硬件连接，信号路径衰减小，测试速度快，效率高。

搭配 EDID emulator，实现速率和码型的自动切换。

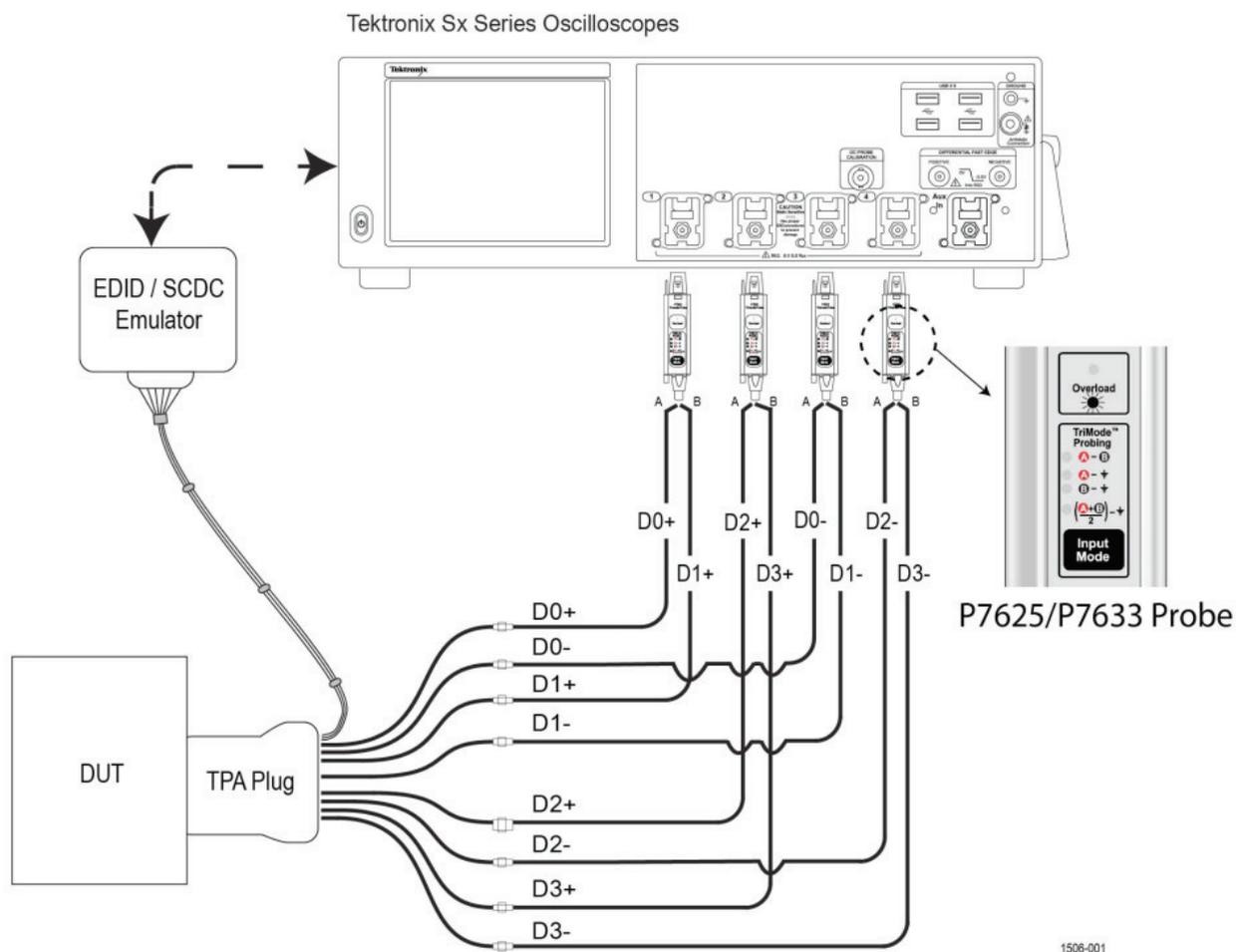


1556-002

配置二：DPO70000SX 示波器搭配 Tri-mode 探棒

利用 Tri-mode 探棒的特性，在测试软件控制下，交替工作在单端模式 (A-GND 和 B-GND)，分次完

成对 8 个单端信号的采集。测试过程也不需要更改硬件连接。连接示意图如下，示波器会对探棒进行自动去嵌，消除探棒对信号的影响。兼顾了成本和效率，同样通过 EDID emulator 实现自动化的测试。



示波器带宽的考量

在 HDMI2.1 规范中推荐示波器带宽是 23GHz 或者以上。出于成本考虑，大家也许会问，16GHz 或者 20GHz 带宽的示波器可以吗？一方面可以从上升时间和带宽的角度来看。HDMI2.1 信号允许的最快上升时间 22.5ps (20%–80%)。示波器测量到上升时间可以用如下公式计算：

$$t_{\text{rise (displayed)}} = \sqrt{(t_{\text{rise (scope)}})^2 + (t_{\text{rise (source)}})^2}$$

示波器带宽	16GHz BW	20GHz BW	23GHz BW	33GHz BW
典型上升时间 (20%–80%)	18ps	15ps	13ps	9ps
实际测量时间	28.8ps	27.0ps	26.0ps	24.2ps
与实际上升时间差 Δt $T_{\text{rise(displayed)}} - 22.5\text{ps}$	6.3ps	4.5ps	3.5ps	1.7ps
测量误差比 $\Delta t/22.5\text{ps}$	28.1%	20.2%	15.5%	7.7%

从上表可以看到带宽越高，上升时间的测量误差就越小。

从带宽角度看，示波器的带宽定义：是示波器观察到的正弦波幅度衰减 -3dB 的频率。在实际测试过程中，非正弦波信号需要考虑 3 次 ~ 5 次谐波。HDMI2.1 信号速率最高 12Gbps，基频是 6GHz，3 次谐波频率是 18GHz，16GHz 带宽的示波器测量到 3 次谐波成分会被衰减超过 -3dB。

另一方面被测 HDMI2.1 DUT 的 FRL 最高速率没有达到上限 12Gbps 的话，可以按照上面的计算方法实际评估示波器的带宽需求。

简单来说，为了保证更好的测量精度以及测试的合规性，示波器的带宽越高越好。

总结：

泰克示波器利用通道可调端接电压，Tri-mode 探棒的单端特性 / 示波器级联特性，以及与 EDID/SCDC 模拟器配合，实现了 HDMI2.1 FRL 源端测试的真正自动化，提高了测试效率。专门针对 FRL 信号的优化算法，加快了测试速度。从而帮助客户快速验证 HDMI2.1 产品，加速客户产品市场化的过程。



泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：www.tek.com.cn

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

泰克科技(中国)有限公司

上海市浦东新区川桥路1227号
邮编：201206
电话：(86 21) 5031 2000
传真：(86 21) 5899 3156

泰克北京办事处

北京市海淀区花园路4号
通恒大厦3楼301室
邮编：100088
电话：(86 10) 5795 0700
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处

上海市长宁区福泉北路518号
9座5楼
邮编：200335
电话：(86 21) 3397 0800
传真：(86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处

深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦3001-3002室
邮编：518008
电话：(86 755) 8246 0909
传真：(86 755) 8246 1539

泰克成都办事处

成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编：610063
电话：(86 28) 6530 4900
传真：(86 28) 8527 0053

泰克西安办事处

西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层L座
邮编：710065
电话：(86 29) 8723 1794
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处

武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店702室
邮编：430074
电话：(86 27) 8781 2760

泰克香港办事处

香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话：(852) 2585 6688
传真：(852) 2598 6260

如需更多资源，敬请访问 WWW.TEK.COM.CN。

© 泰克科技公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利和国外专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和泰克徽标是泰克公司的注册商标。本文提到的所有其他商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

2019年8月

