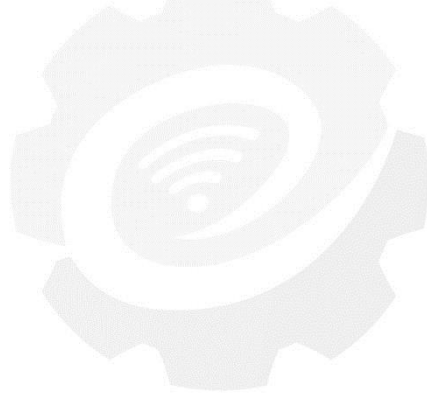


时间敏感网络 (TSN) 产业发展报告：

# 网络设备互通测试报告

---

版本：V1.0



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟 (AII)

2019.03

## 声 明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。

工业互联网产业联盟

联系电话：010-62305887

邮箱：a ii@caict. ac. cn

## 编写说明

在工业领域，时间敏感网络作为下一代工业网络的演进方向业内已经基本形成共识。目前时间敏感网络协议族已经基本完备，技术趋于成熟，主流网络设备厂商纷纷进入产品或者方案研发阶段。为了更好建立工业领域时间敏感网络产业生态，了解行业内部当前技术落地现状水平，工业互联网联盟（AII）启动了TSN相关技术及标准的研究工作，积极开展时间敏感网络在工业领域落地的可行性调研评估，并于2018年12月完成了国内首次TSN设备互通测工作。包括华为、MOXA、ADI及思博伦在内的四家厂商的TSN产品参与了本次测试。

本测试报告旨在体现当前网络设备对于时间敏感网络特性实现情况，促进工业界对TSN网络技术的进一步关注，为时间敏感网络技术的研发、部署和落地提供参考，推动工业网络创新演进。

组织单位：工业互联网产业联盟

牵头单位：中国信息通信研究院

参与单位（排名不分先后）：华为技术有限公司、MOXA科技有限公司、思博伦通信公司、亚德诺半导体技术有限公司(Analog Devices)

工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet



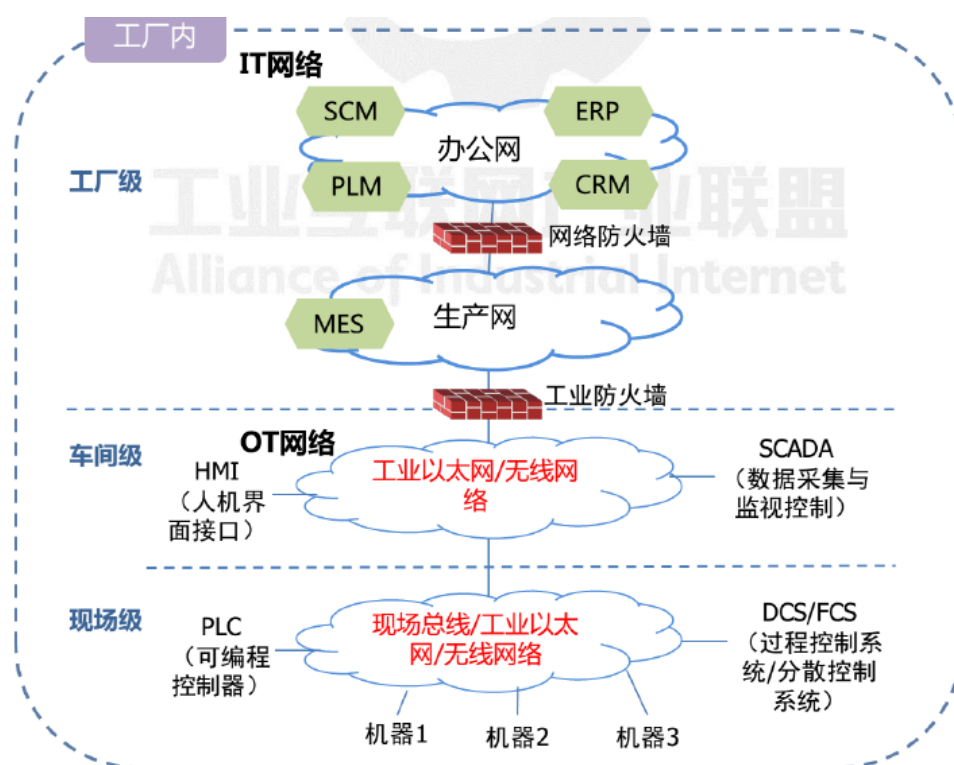
# 目 录

编写说明.....	I
第一部分 测试背景及范围说明.....	1
第二部分 测试方案.....	3
1 测试方案.....	3
2 设备及配套版本.....	4
2.1 设备介绍.....	4
2.2 版本说明.....	6
3 主要测试内容.....	6
第三部分 测试内容.....	8
1 测试内容.....	8
1.1 设备基本互通测试.....	8
1.2 时钟协议互通测试.....	8
1.3 流量调度互通测试.....	9
2 测试结论.....	11
2.1 整体情况.....	11
2.2 详细情况.....	11
第四部分 附录.....	12
1 引用标准.....	12
2 术语.....	12



## 第一部分 测试背景及范围说明

当前，工厂内网络的架构通常呈现“两层三级”的结构：“两层”是指存在“工厂 IT 网络”和“工厂 OT 网络”两层技术异构的网络；“三级”是指根据目前工厂管理层级的划分，网络也被分为“现场级”、“车间级”、“工厂级/企业级”三个层次，每层之间的网络配置和管理策略相互独立。



伴随着工业互联网/工业 4.0 的广泛推进，工业互联网业务发展对网络基础设施提出了更高的要求，工厂内网络将呈现出融合、开放、灵活三大发展趋势。融合趋势指 1) 网络结构的扁平化即 OT&IT 融合 2) 控制信息与过程数据的共网传输；3) 有线与无线协同。工厂内网络的开放趋势则指一是技术的开放；二是数据的开放；三是产业的开放。工厂内网络的灵活友好趋势。一是网络形态的灵活；二是网络管理的友好。

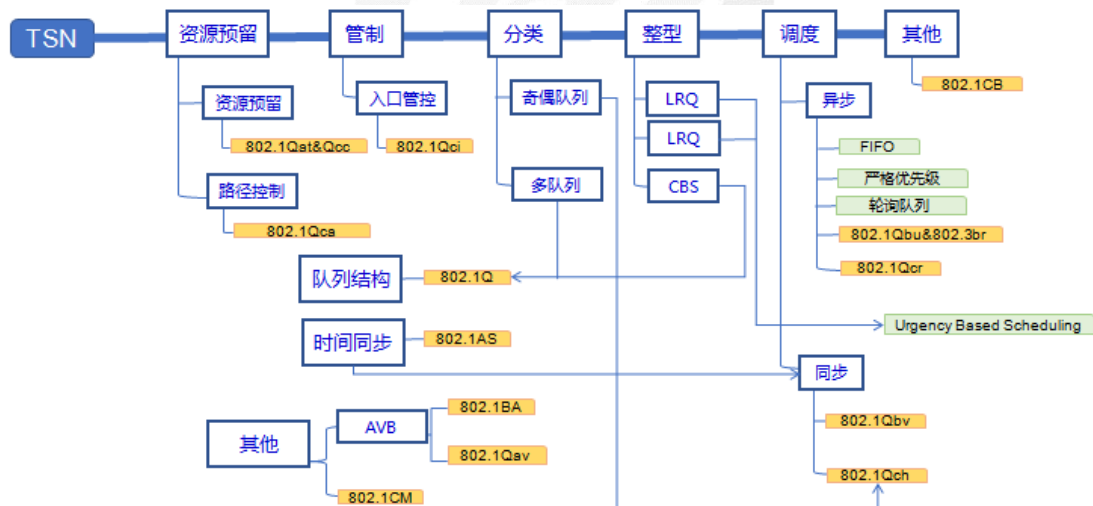
时间敏感网络技术协议族对标上述发展趋势，提出了一系列技术标准。

时间敏感网络技术是由 AVB (Audio Video Bridging 以太网音视频桥接技术) 网络演进而来，其应用范围也从原来的音视频桥接网络扩展到工业领域、汽

车内部网络以及移动前传网络等各种对传输时间有高稳定性要求的网络。该技术相应标准研究主要是在 IEEE 研究制定 (802.1 TSN 及 IEEE/IEC 60802 工业应用工作组)，前者偏重于 TSN 的基础协议研究，后者目前则更偏重于 TSN 技术工业应用场景的定义。

在工业领域，时间敏感网络作为下一代工业网络的演进方向业内已经基本形成共识。目前时间敏感网络协议族已经基本完备，技术趋于成熟，主流网络设备厂商纷纷进入产品或者方案研发阶段，国内外各类行业组织如（IIC、AII）就该技术也已经经过多轮测试，业内期望能尽快实现方案级部署。

时间敏感网络的重点是对当前的二层以太网进行特性增强，为特定的业务流量提供确定时延的网络传输。目前 IEEE 的 802.1Q 的 TSN 工作组已经制定了一系列标准，通过允许一些流量分组优先转发，利用门控调度机制清理线路以及带宽预留等机制来保证业务流量在以太网中的传输性能。



在时间敏感网络中，很多业务流量对于性能的要求不仅仅局限于时延和抖动，实现流量中的帧可以在确定的，可预测的时间送达是更为重要的指标要求，基于 802.1as 全网的时间同步以及基于 802.1Qbv 协议的门控调度机制即为这种需求提供了实现的底层技术基础。目前上述两个标准相对成熟，设备厂商也将其作为本阶段 TSN 技术的实现重点。

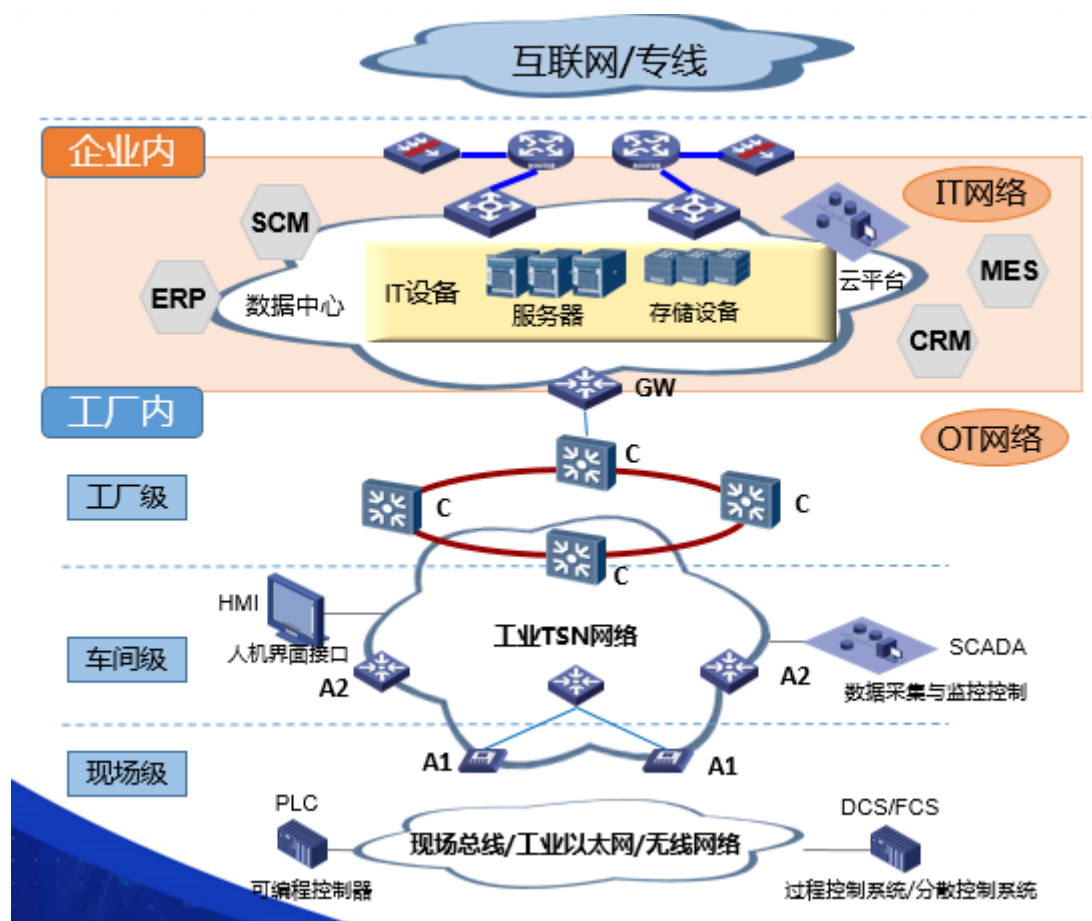
本次测试（2018-12）参与测试的厂商包括：华为、MOXA、ADI 和思博伦，测试的内容范围为参与厂商设备的 IEEE802.1as、IEEE802.1Qbv 相关特性的互联互通。



## 第二部分 测试方案

### 1 测试方案

基于 TSN 网络在工业领域的应用第一阶段定位于实现工厂内 OT 网络的互联互通的判断，根据应用场景及网元在 OT 网络中的位置，将 TSN 设备分为如下三个角色：



- 工厂级网络设备（C设备）：实现工厂内部各车间之间的互联互通以及工厂与工厂外部企业内部网络的互联互通；  
本次测试C设备采用华为提供的TSN交换机
- 车间级网络设备（A1设备）：实现车间内部不同产线之间、集中式控制器与设备之间的互联互通以及车间与车间外部工厂内部网络实现互联互通；  
本次测试A1设备采用MOXA公司提供的TSN交换机
- 现场级网络设备（A2设备）：实现现场设备、传感器等通信接口的通信协

议转换并与控制器、检测监控装置进行互联互通及产线与产线外部车间内部网络实现互联互通。

- 本次测试 A2 设备采用 ADI 公司提供的 TSN 交换模块
- 本次测试测试仪设备由 Spirent 公司提供

## 2 设备及配套版本

### 2.1 设备介绍

#### 1) 华为 TSN 交换机

华为 TSN 交换机 (AR 550E) 单端口最大带宽 1Gbps, 具有八个 10M/100M/1000M 自适应电口, 可通过自协商与对端设备协商端口速率及双工模式, 单跳时延小于 10us, 抖动小于 500ns, 时间同步精度 20ns, 截止到 2018 年 12 月可支持的时间敏感网络基础协议包括: IEEE 802.1AS Time Synchronization、IEEE 802.1Qbv Scheduled Traffic、IEEE 802.1Qcc SRP Enhancements (Netconf/Yang)、IEEE 802.1Qbu Frame Preemption 等, 其他协议也在持续研发过程中, 此外还具备 OPC UA 终端功能。



#### 2) MOXA TSN 交换机

摩莎科技 TSN 交换机 (TSN-G5006) 是一款集成了时间敏感网络特性的工业以太网接入交换机, 单端口最大带宽 1Gbps, 具有 4 个 10M/100M/1000M 自适应电口, 可通过自协商与对端设备协商端口速率及双工模式, 单跳时延小于 10us, 抖动小

于500ns, 时间同步精度20ns, 截止到2018年12月可支持的时间敏感网络基础协议包括: IEEE 802.1AS Time Synchronization、IEEE 802.1Qbv Scheduled Traffic 等, 其他协议也在持续研发过程中。



### 3) 思博伦 C50 测试仪

思博伦公司的C50型号测试仪该测试仪是一款不仅可以支持传统的以太网功能及性能测试, 并且搭配TWorkbench可以进行包括时间敏感网络特性在内的以太网协议一致性测试的综合以太网测试仪表。



### 4) ADI 多模现场总线通信模块

ADI 公司推出的多模现场总线 RAPID 模块, 支持包括 TSN 在内的多种现场总线协议以向工业 4.0 过渡, 支持 Profinet/EtherCAT/Ethernet-IP/PowerLink 等多种总线协议, 支持基本的 TSN 以太网功能, 以及传统个工业以太网与 TSN 网络的协议转化, 未来可用于低复杂度的边缘 TSN 以太网。助力传统工业网络与时间敏感网络的融合和演进。



## 2.2 版本说明

厂商	设备类型	设备型号	软件版本
Spirent	测试仪器	Spirent C50	4.9.2
华为	TSN 交换机	AR550E	内部版本
MOXA	TSN 交换机	TSN-G5006	V1.0
ADI	第一代 TSN 交换模块	RAPID module	内部版本

## 3 主要测试内容

测试项目	主要测试内容	测试项
接口互通	物理口	华为 & MOXA
		华为 & ADI
		ADI & MOXA
	逻辑口	华为 & MOXA
		华为 & ADI
		ADI & MOXA
时钟协议互通	1588v2	华为 & 思博伦
	IEEE802. 1AS	华为 & MOXA
		华为 & ADI
		华为 & 思博伦
		思博伦 & MOXA
		思博伦 & ADI
MOXA & ADI		
流量调度特性互通 802. 1Qbv、802. 1Qbu 等	带宽控制	思博伦 & 华为 & MOXA
		思博伦 & 华为 & ADI

测试项目	主要测试内容	测试项
		思博伦 & MOXA & ADI
	时延保证	思博伦 & 华为 & MOXA
		思博伦 & 华为 & ADI
		思博伦 & MOXA & ADI
	时延保证	思博伦 & 华为 & MOXA
		思博伦 & 华为 & ADI
		思博伦 & MOXA & ADI
	门控能力	思博伦 & 华为 & MOXA
		思博伦 & 华为 & ADI
		思博伦 & MOXA & ADI
	时序保证	思博伦 & 华为 & MOXA
		思博伦 & 华为 & ADI
		思博伦 & MOXA & ADI
	调度精度	思博伦 & 华为 & MOXA
		思博伦 & 华为 & ADI
		思博伦 & MOXA & ADI
	门控精度	思博伦 & 华为 & MOXA
		思博伦 & 华为 & ADI
思博伦 & MOXA & ADI		

工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

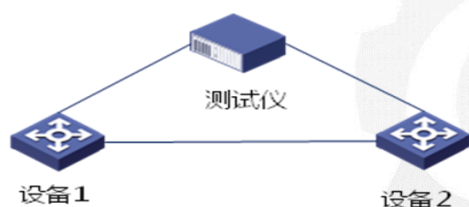
## 第三部分 测试内容

### 1 测试内容

#### 1.1 设备基本互通测试

##### 1.1.1 物理接口互通

测试内容：旨在验证互通设备物理接口通过自协商建立接口速率和双工模式基本对接能力，互通设备和测试仪表如测试拓扑连接，对接端口应该 UP，协商出的带宽及双工信息一致，普通二层流量可以打通，限速不丢包。



##### 1.1.2 逻辑接口互通

测试内容：分别测试标记流量和非标记流量的 VLAN 接口对接，对应互联逻辑接口 UP。测试仪分别打出非标记流量和标记流量（VLAN ID=10），可以实现流量打通并且不丢包。

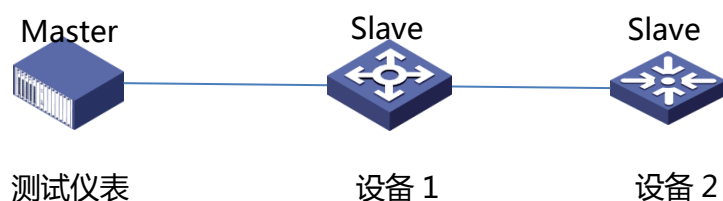


#### 1.2 时钟协议互通测试

##### 1.2.1 802.1AS 协议测试

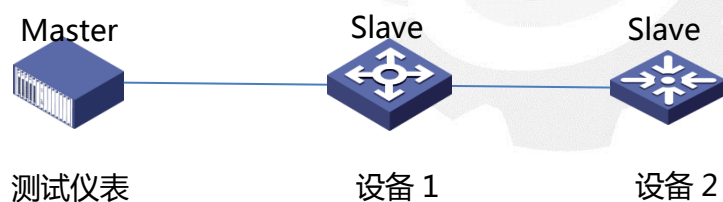
分别以测试仪、设备 1 及设备 2 作为主时钟源，组网中各设备使能 TSN 802.1AS

功能，经过时间对接锁定后，所有设备的 GrandMaster 都为测试仪表的 ClockID, 各设备时间稳定同步于主时钟。



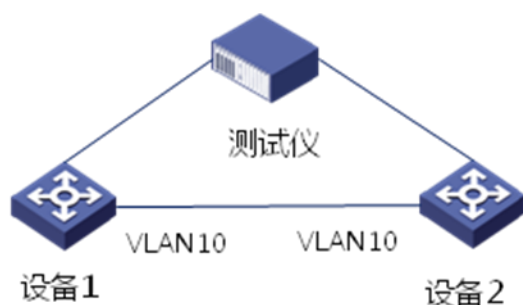
### 1.2.2 1588v2 协议测试

分别以测试仪、设备 1 及设备 2 作为主时钟源，组网中各设备使能 1588v2 功能，经过时间对接锁定后，所有设备的 GrandMaster 都为测试仪表的 ClockID, 各设备时间稳定同步于主时钟。



### 1.3 流量调度互通测试

分别以测试仪、设备 1 及设备 2 如下图连接：



#### 1.3.1 带宽控制

测试内容：通过构建不同优先级流量，在设备端口使能 IEEE 802.1Qbv 协议相关

特性，为两个优先级流量映射不同队列及门控模型，将测试流量打到限速，观察不同优先级流量丢包情况与设定是否一致。

### 1.3.2 时延保证

测试内容：通过构建不同优先级流量，在设备端口使能 IEEE 802.1Qbv 协议相关特性，为两个优先级流量映射不同队列及门控模型，将测试流量打到限速，观察高优先级流量时延与低优先级流量延时差异。

### 1.3.3 抖动保证

测试内容：通过构建不同优先级流量，在设备端口使能 IEEE 802.1Qbv 协议相关特性，为两个优先级流量映射不同队列及门控模型，将测试流量打到限速，观察高优先级流量时延与低优先级流量抖动差异。

### 1.3.4 门控能力

测试内容：通过构建不同优先级的 burst 流量，在设备端口使能 IEEE 802.1Qbv 协议相关特性，为两个优先级流量映射不同队列，并限定门控时间两个队列调度时间各占 50%，并设定门控时间为一个包可以通过的整数倍，在测试仪抓包观察报文地次序。报文应在各自的时隙中到达，通过的报数与门控时间对应。

### 1.3.5 时序保证

测试内容：通过构建不同优先级的 burst 流量，在设备端口使能 IEEE 802.1Qbv 协议相关特性，为不同优先级流量映射不同队列，并限定调度时间两个队列调度时间各占 50%，在测试仪抓包观察报文地次序。报文应在各自的时隙中到达。

### 1.3.6 调度精度

测试内容：通过构建两个不同优先级的 burst 流量，在设备端口使能 IEEE



802.1Qbv 协议相关特性，为不同优先级流量映射不同队列，并限定调度时间两个队列调度时间分别占 10%和 90%，调度时间设定为 1ms, 在测试仪抓包观察报文地次序。报文抵达规律应按照 10%和 90%的比例抵达。

### 1.3.7 门控精度

测试内容：通过构建两个不同优先级的 burst 流量，在设备端口使能 IEEE 802.1Qbv 协议相关特性，为不同优先级流量映射不同队列，并限定调度时间两个队列调度时间各占 50%，门控时间设定为 5 $\mu$ s，并设定包长通过的时间为门控时间的  $n$  分之一, 在测试仪抓包观察报文，报文应该严格按照相应的个数在门控时间通过。

## 2 测试结论

### 2.1 整体情况

- 1) 本次参加测试的三家设备厂商的 TSN 设备均已经支持遵从 IEEE802.1AS 的精确时间同步特性，并可以实现组网场景下的对接；
- 2) 本次参加测试的三家设备厂商的 TSN 设备均已经支持遵从 IEEE802.1Qbv 的下行流量调度特性，并在一定程度上可以实现组网场景下的对接应用。
- 3) 各厂商主要针对单点特性进行研发实现，为实现确定时延的网络传输奠定技术基础。

### 2.2 详细情况

涉及技术细节，本版本略去。

## 第四部分 附录

### 1 引用标准

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

IEEE802.1AS-Rev 《Time Synchronization》  
IEEE802.1Qbv 《Scheduled Traffic（下行流量调度）》  
IEEE802.1Qbu/802.3br 《Preemption（抢占）》  
IEEE802.1Qci 《Ingress Policing（上行流量监管）》  
IEEE802.1CB 《Seamless Redundancy》  
IEEE802.1Qcc 《Stream Reservation(Centralized Configuration) 》

### 2 术语

TSN（Time Sensitive Networks）：时间敏感网络

TAG（VLAN 标签）用于区分数据帧所属 VLAN 的 4 字节长度字段，插在以太网数据帧头。

Trunk（干道）：Trunk 接口通常用于连接交换机和交换机，它们之前的链路称为 Trunk 链路

MTU（Maximum Transmission Unit）：最大传输单元

工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet