



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

工业互联网产业联盟标准

AI1/007-2021

工业互联网边缘计算 边缘控制器技术 技术要求及测试方法

Industrial Internet Edge Computing
Technical Requirements and Testing
Standards of Edge Controller

工业互联网产业联盟

(2021年8月31日)

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

目 次

前言.....	1
1. 范围.....	1
2. 规范性引用文件.....	1
3. 缩略语.....	1
4. 术语和定义.....	2
5. 工业互联网边缘控制器概述及参考模型.....	3
5.1 边缘控制器在工业互联网中的位置.....	3
5.2 边缘控制器的模型参考架构.....	4
6. 工业互联网边缘控制器技术要求.....	5
6.1 硬件要求.....	5
6.1.1 现场接口.....	5
6.1.2 外部接口.....	5
6.1.3 稳定性.....	5
6.2 网络要求.....	5
6.3 控制要求.....	5
6.3.1 PLC 控制.....	5
6.3.2 运动控制.....	5
6.3.3 数/模转换.....	5
6.4 数据采集处理要求.....	6
6.4.1 数据采集时延要求.....	6
6.4.2 数据预处理.....	6
6.5 协议转换要求.....	6
6.6 编程要求.....	6
6.7 协同要求.....	6

6.7.1	控制器协同	6
6.7.2	边云协同	6
6.8	管理要求	7
6.8.1	注册管理	7
6.8.2	应用被部署和全生命周期被管理	7
6.9	安全功能	7
6.9.1	身份认证	7
6.9.2	网络安全	7
7	工业互联网边缘控制器测试方法	7
7.1	硬件测试方法	7
7.1.1	现场接口测试	7
7.1.2	外部接口测试	8
7.1.3	稳定性测试	8
7.2	网络测试方法	8
7.3	控制测试方法	9
7.3.1	PLC 控制测试	9
7.3.2	运动控制测试	9
7.3.3	数模转换测试	10
7.4	数据采集处理测试方法	10
7.4.1	数据采集时效性测试	10
7.4.2	数据预处理测试	11
7.5	协议转换测试方法	11
7.6	编程测试方法	11
7.7	协同测试方法	12
7.7.1	控制器协同测试	12

7.7.2 边云协同测试.....	12
7.8 管理测试方法.....	12
7.8.1 注册管理测试.....	12
7.8.2 应用被部署测试.....	13
7.9 安全功能测试方法.....	13
7.9.1 身份认证测试.....	13
7.9.2 网络安全测试.....	14



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

前 言

为适应我国工业互联网新形势需求，推进IT技术与OT技术的深度融合，完善边缘计算新生态模式系列标准的相关标准体系，制定边缘控制器技术要求与测试方法标准，用标准引领产品研发、指导产品设计、制造与验收。

本标准按照GB/T1.1-2009给出的规则起草。

随着技术的发展，还将制定后续的相关标准。

本标准由中国通信标准化协会提出并归口。

本标准起草单位：中国信息通信研究院、中国科学院沈阳自动化研究所、研祥智能科技股份有限公司、北京和利时智能技术有限公司。

本标准主要起草人：王哲，黄颖，汤立波，李栋，俞雪婷，王奚，李国梁，管邦慧，夏显秋

工业互联网边缘计算 边缘控制器技术要求及测试方法

1. 范围

规定了工业互联网边缘控制器技术要求及测试方法，包括边缘控制器硬件能力要求以及设备控制、数据采集、系统监控等功能要求和对应的测试方法。

本规范适用于边缘控制器的测试和选型。其他类似边缘侧的边缘控制器可参照本部分。

2. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 25069-2010 信息安全技术 术语

GB/T 15969.1-2007 可编程序控制器 第1部分：通用信息

GB/T 15969.6-2015 可编程序控制器 第6部分：功能安全

GB/T 36413.1-2018 自动化系统嵌入式智能控制器 第1部分：通用要求

IEC61158.ED4 现场总线标准

YD/T 2018-1666T 工业互联网边缘计算 总体架构与要求

3. 缩略语

下列缩略语适用于本标准。

MES	生产过程执行系统	Manufacturing Execution System
ERP	企业资源计划	Enterprise Resource Planning
PLC	可编程逻辑控制器	Programmable Logic Controller
DEC	分布式边缘控制器	Distributed Edge Controller
PEC	过程边缘控制器	Process Edge Controller
CNC	计算机数字控制	Computer Numerical Control

4. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

4.1

边缘控制器 Edge Controller

工业制造现场，在完成工作站或生产线的控制功能基础上，基于工业互联网边缘计算技术提升工业设备智能性、适用性、开放性的控制单元。

4.2

生产数据 Production Data

在制造环节中，数控机床或其他生产设备的工作和运行状态数据，可为MES和ERP等其他软件提供数据支持。

4.3

数据预处理 Data Preprocessing

数据的预处理是指对所收集数据进行分类或分组前所做的审核、筛选、排序等必要的处理。

4.4

数据采集与监视控制系统（SCADA）Supervisory Control And Data Acquisition

在工业控制生产过程中，对大规模远距离地理分布的资产和设备在广域网环境下进行集中式数据采集与监控管理的边缘控制器。以计算机为基础、对远程分布运行的设备进行监控的调度边缘控制器，主要功能包括数据采集、参数测量和调节。

4.5

可编程逻辑控制器（PLC）Programmable Logic Controller

采用可编程存储器，通过数字运算操作对工业生产装备进行控制的电子设备。PLC主要执行各类运算、顺序控制、定时等指令，用于控制工业生产装备的动作，是工业边缘控制器的基础单元。

4.6

分布式边缘控制器 (DEC) Distributed Edge Controller

以计算机为基础，在系统内部（单位内部）对生产过程进行分布控制、集中管理的系统。DEC系统一般包括现场控制级、控制管理级两个层次，现场控制级主要是对单个子过程进行控制，控制管理级主要是对多个分散的子过程进行数据采集、集中显示、统一调度和管理。

4.7

过程边缘控制器 (PEC) Process Edge Controller

实时采集被控设备状态参数进行调节，以保证被控设备保持某一特定状态的边缘控制器。状态参数包括温度、压力、流量、液位、成分、浓度等。PEC系统通常采用反馈控制（闭环控制）方式。

4.8

人机界面 (HMI) Human Machine Interface

为操作者和控制器之间提供操作界面和数据通信的软硬件平台。

4.9

边缘云 Edge Cloud

提供弹性伸缩得计算、存储、网络、加速资源等IaaS层能力，提供连接管理、平台管理、应用管理编排功能及能力开放得低延时、轻量化的边缘云平台。

4.10

中心云 Centre Cloud

与云计算伴生的一项基于超级计算机系统对外提供计算资源、存储资源等服务的机构或单位，以高性能计算机为基础面向各界提供高性能计算服务。

5. 工业互联网边缘控制器概述及参考模型

5.1 边缘控制器在工业互联网中的位置

边缘控制器在工业互联网网络中的位置如图 1 所示。

边缘控制器主要用于提高工业生产设备的接口能力和计算能力，使工业设备能便捷的完成与其他制造系统进行数据交互。并通过提供计算能力，使边缘控制器可以完成工作站或生产线的控制功能，提高工业设备的适用性。

如图所示，边缘控制器介于行业终端及设备 and 边缘云/边缘网关之间，根据不同的应用场合，连接不同类型的行业终端设备，包括单个或多个传感器数据采集、PLC、CNC、工业机器人等。

在边缘计算架构中，边缘控制器可以直接与边缘云连接，也可以通过边缘网关进行组网。

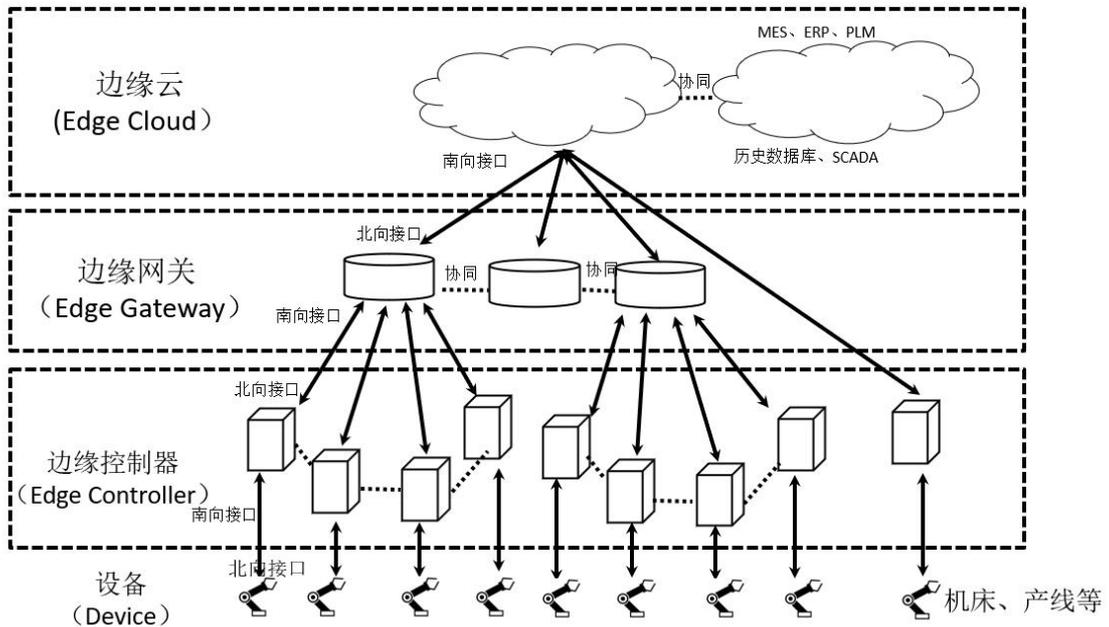


图 1 边缘控制器部署示意图

5.2 边缘控制器的模型参考架构

综合考量，工业互联网边缘控制器通用系统模型，如图 2 所示。

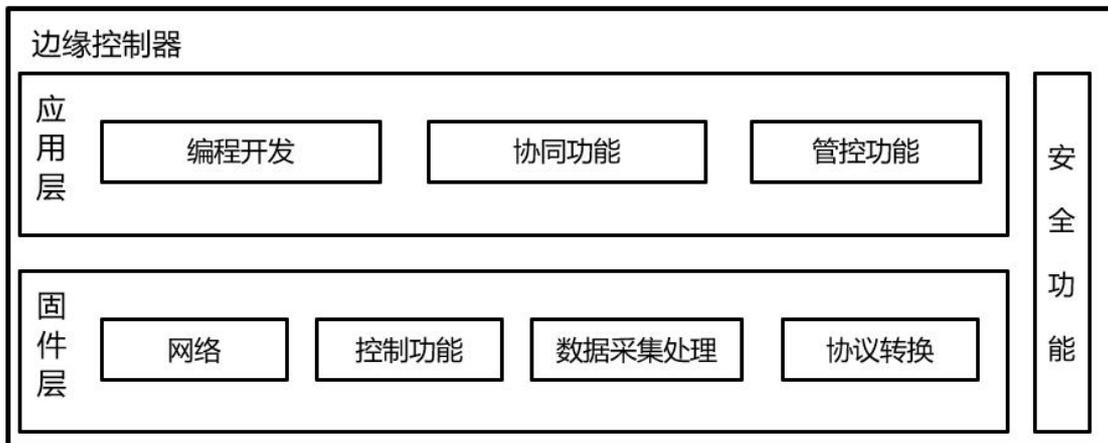


图 2 边缘控制器模型架构图

6. 工业互联网边缘控制器技术要求

6.1 硬件要求

6.1.1 现场接口

应具备 RJ45、M12 或光纤等现场总线或工业以太网等现场接口。

6.1.2 外部接口

应具备以太网、蜂窝网、xPON 等外部网络接口，通过外部网络接口，生产设备、边缘控制器可以与其他边缘控制器、上层管理层网络进行通信，实现设备的协调控制和远程管理。

6.1.3 稳定性

应具备 7x24 小时以上时间稳定运行能力。

6.2 网络要求

应具备网络的自动切换能力，同时支持以太网、蜂窝网等方式接入，支持与 TSN 协同部署。

6.3 控制要求

6.3.1 PLC 控制

应具有可编程逻辑控制（PLC）功能。

6.3.2 运动控制

应支持设备的运动控制。

6.3.3 数/模转换

应具备数/模、模/数等转换功能。

6.4 数据采集处理要求

6.4.1 数据采集时延要求

数据采集时延应低于 100ms。

6.4.2 数据预处理

应具备数据预处理功能，支持对所收集数据进行筛选或过滤或抽取等必要的处理。

6.5 协议转换要求

应支持多种总线协议的转换，支持通过 OPC UA、MQTT 等协议向北向发送采集的数据；应具有现场总线或实时以太网等协议解析功能，通过本地接口生产设备边缘控制器可以与具有相应接口的驱动器、传感器通信，完成生产设备控制。应具备工业协议解析的二次开发能力。

6.6 编程要求

应支持虚拟 PLC 功能，提供 PLC 编辑开发环境。应支持模型化开发功能，提供基于模型的调试和编译功能，提供丰富的控制模块库，支持多种控制算法和功能组件开发。

6.7 协同要求

6.7.1 控制器协同

应支持边缘控制器协同功能，针对边缘计算体系架构中，由多台控制器形成的分布式集群，边缘控制器可以实现不同的控制器之间无差别的通信。

6.7.2 边云协同

应支持边云协同功能，支持边缘侧与中心云端数据协同、资源协同等。

6.8 管控要求

6.8.1 注册管理

应具备支持多个工业设备接入的能力，应具备设备注册被管理功能，支持边缘控制器在边缘网关或边缘云进行设备注册，方便外部访问。

6.8.2 应用被部署和全生命周期被管理

边缘控制器运行时环境，提供上层控制应用的部署和管理，同时边缘控制器对边缘网关或边缘云提供服务接口，支持远端的设备控制和调度。

6.9 安全功能

6.9.1 身份认证

应支持身份认证功能，应提供不同访问权限及认证管理。

6.9.2 网络安全

应支持网络安全功能，应支持提供网络安全，包含防火墙（Firewall）等。

7. 工业互联网边缘控制器测试方法

7.1 硬件测试

7.1.1 现场接口测试

测试编号：7.1.1
测试项目：硬件测试

<p>预置条件：</p> <p>硬件环境运行正常、网络运行正常</p>
<p>测试目的：测试边缘控制器现场接口。</p>
<p>测试方法步骤：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 被测边缘控制器与具有相应接口的驱动器、传感器连接； 2) 通过被测边缘控制器的各个接口向外发送数据； 3) 通过各个接口接收发送到被测边缘控制器的数据。
<p>预期结果：</p> <p>被测边缘控制器各个接口可正常接收/发送数据。</p>

7.1.2 外部接口测试

<p>测试编号：7.1.2</p>
<p>测试项目：硬件测试</p>
<p>测试目的：测试边缘控制器外部接口。</p>
<p>预置条件：</p> <p>硬件环境运行正常、网络运行正常</p>
<p>测试方法步骤：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 被测边缘控制器与其他边缘控制器以及边缘云通过以太网、4G、5G、WiFi 等网络连接； 2) 通过各个接口接收发送至被测边缘控制器的管理指令。
<p>预期结果：</p> <p>被测边缘控制器接收指令正常。</p>

7.1.3 稳定性测试

<p>测试编号：7.1.3</p>
<p>测试项目：硬件测试</p>
<p>预置条件：</p> <p>硬件环境运行正常、网络运行正常</p>
<p>测试目的：测试被测边缘控制器运行稳定性。</p>
<p>测试方法步骤：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 将边缘控制器注册到边缘网关或边缘云中，保持有持续稳定的数据发送； 2) 被测设备正常运行； 3) 连续运行负载 7x24 小时。 4) 验证边缘控制器有无进程挂死，数据丢失等现象； 5) 观察测试期间的系统负载情况。
<p>预期结果：</p> <p>被测设备连续负载 7x24 小时正常运行。</p>

7.2. 网络测试

测试编号：7.2
测试项目：网络测试
预置条件： 硬件环境运行正常、网络运行正常
测试目的：测试边缘控制器网络功能。
测试方法步骤： 在边缘控制器上同时连接两种或两种以上的网络，如：无线 WiFi，以太网等 1) 启动边缘控制器，在边缘云中检测边缘控制器能否接入 2) 在边缘中接入数据(现场 PLC 或随机生成的数据) 3) 在边缘控制器上拔掉网线，保持无线 WiFi 正常启用，在边缘云中观察边缘控制器的状态及数据能否正常采集 4) 在边缘控制器上断开无线 WiFi，3 分钟后插入网线。在边缘云中观察边缘控制器能否在短时间内恢复启用状态，观察数据能否连续采集
预期结果： 在断开任意一种的情况下，如果数据上报稳定且连续，或者短期中断并能在指定时间内恢复，判定测试通过。

7.3 控制测试

7.3.1 PLC 控制测试

测试编号：7.3.1
测试项目：控制测试
预置条件： 硬件环境运行正常、网络运行正常
测试目的：测试边缘控制器 PLC 控制的功能。
测试方法步骤： 1) 待评测的边缘控制器与现场 I/O 进行连接(根据 I/O 支持的接口进行连接，例如：串口、以太网、CAN、4G、5G 等)； 2) 边缘控制器组态简单数字量输入与数字量输出的逻辑关系，下装到边缘控制器已经连接的设备上，使用测试设备给定数字量输入信号，观察数字量输出是否按照逻辑输出； 3) 边缘控制器组态简单模拟量输入与模拟量输出的逻辑关系，下装到边缘控制器已经连接的设备上，使用测试设备给定模拟量输入信号，观察模拟量输出是否按照逻辑输出； 4) 预设的顺序控制和过程控制逻辑代码，验证执行结果。
预期结果： 可根据输入的条件产生对应的逻辑输出；可根据输入的条件产生对应的模拟信号输出。

7.3.2 运动控制测试

测试编号：7.3.2
测试项目：控制测试

<p>预置条件：</p> <p>硬件环境运行正常、网络运行正常</p>
<p>测试目的：测试边缘控制器运动控制的功能。</p>
<p>测试方法步骤：</p> <p>1) 边缘控制器能够接入伺服电机或其他设备；</p> <p>2) 边缘控制器能够对伺服电机或其他设备进行启动、停止等操作。</p>
<p>预期结果：</p> <p>边缘控制器支持对其他设备进行控制。</p>

7.3.3 数模转换测试

<p>测试编号：7.3.3</p>
<p>测试项目：控制测试</p>
<p>预置条件：</p> <p>硬件环境运行正常、网络运行正常</p>
<p>测试目的：测试边缘控制器数模转换的功能。</p>
<p>测试方法步骤：</p> <p>1) 添加模拟量信号，配置类型为压力，单位为MPa。观察是否有数字量到模拟量转换的关系式配置参数。配置正确的转换参数，使用辅助仪器模拟0~5V或其他信号，观察转换的压力值是否正确；</p> <p>2) 是否支持各种常用模拟量（例如：温度、湿度、压力、液位、流量、风速、转速）。</p>
<p>预期结果：</p> <p>1) 可添加模拟量信号，配置为压力，单位为MPa。有数字量到模拟量转换关系式参数配置，配置正确后，可采集并显示当前压力值；</p> <p>2) 支持各类常用模拟量添加。</p>

7.4 数据采集处理测试

7.4.1 数据采集时效性测试

<p>测试编号：7.4.1</p>
<p>测试项目：数据采集处理测试</p>
<p>预置条件：</p> <p>硬件环境运行正常、网络运行正常</p>
<p>测试目的：测试边缘控制器数据采集时延。</p>
<p>测试方法步骤：</p> <p>1) 边缘控制器对PLC周期变化数据（建立每250毫秒、500毫秒、1秒、5秒递增数）进行采集，同时也对PLC数据产生时间进行采集；</p> <p>2) 通过时间与周期变化数据的双重校验，对边缘控制器的采集的连续性进行测试。</p>
<p>预期结果：</p> <p>通过校验边缘计算设备采集的数据及PLC时间，达到其系统设计的采样间隔及连续性。</p>

7.4.2 数据预处理测试

测试编号：7.4.2
测试项目：数据采集处理测试
预置条件： 硬件环境运行正常、网络运行正常
测试目的：测试边缘控制器数据预处理功能。
测试方法步骤： 1) 边缘控制器进行数据采集，并对数据进行预处理，处理方式包括数据筛选或过滤或抽取等； 2) 查看处理后的数据和预设逻辑是否相符。
预期结果： 可以提供完整的数据预处理方法和操作过程，可以设定数据筛选，过滤、抽取等，并支持可配置式的方式。

7.5 协议转换测试

测试编号：7.5
测试项目：协议转换测试
预置条件： 硬件环境运行正常、网络运行正常
测试目的：测试边缘控制器协议转换功能。
测试方法步骤： 1) 边缘控制器南向采集多种不同工业协议 (Modbus、Profinet、EtherNet/IP) 的 PLC 数据，通过 MQTT、OPC UA 等协议北向向边缘云或边缘网关发送数据； 2) 查看边缘网关或边缘云是否正常接收到数据。
预期结果： 边缘控制器能够成功解析不同工业协议的数据，并能查询到解析后的数据；边缘网关或边缘云能够接收到边缘控制器通过不同协议发送的数据，并能查询到数据；

7.6 编程测试

测试编号：7.6.1
测试项目：编程测试
预置条件： 硬件环境运行正常、网络运行正常
测试目的：测试边缘控制器编程功能。
测试方法步骤：

1) 能够打开边缘控制器接口软件，使用软件中的自定义功能块和函数。 2) 检测边缘控制器是否可正常调用运行。
预期结果： 边缘控制器支持编程功能

7.7 协同测试

7.7.1 控制器协同测试

测试编号：7.7.1
测试项目：协同测试
预置条件： 硬件环境运行正常、网络运行正常
测试目的：测试边缘控制器东西向协同。
测试方法步骤： 1) 边缘控制器上的数据能够通过消息队列、API 接口等数据通道同步传输到其他边缘控制器中； 2) 边缘控制器之间可以根据服务需求(如算力、网络、存储需求等)和其他边缘控制器资源情况(如网络状况、资源情况、计算能力等)确定适合的边缘控制器，并将调度信息通知被调度的边缘控制器。
预期结果： 边缘控制器具备控制器协同的能力。

7.7.2 边云协同测试

测试编号：7.7.2
测试项目：协同测试
预置条件： 硬件环境运行正常、网络运行正常
测试目的：测试边缘控制器南北向协同。
测试方法步骤： 1) 边缘控制器上的数据能够通过消息队列、API 接口等数据通道同步传输到中心云； 2) 中心云上的数据能够通过消息队列、API 接口等数据通道下发到边缘控制器； 3) 从边缘控制器同步到中心云的数据，能够通过消息队列等方式转发到数据处理中间件。
预期结果： 边缘控制器具备边云协同的能力

7.8 管控测试

7.8.1 注册管理测试

测试编号：7.8.1
测试项目：管理测试
预置条件： 硬件环境运行正常、网络运行正常
测试目的：测试边缘控制器注册管理功能。
测试方法步骤： 1) 边缘控制器能够接入现场 PLC 或其他设备； 2) 边缘控制器能够对接入的设备进行开启、关闭等操作；
预期结果： 1) 注册成功； 2) 可正确地访问或控制器已注册边缘控制器。

7.8.2 应用被部署测试

测试编号：7.8.2
测试项目：管理测试
预置条件： 硬件环境运行正常、网络运行正常
测试目的：测试边缘控制器任务被编排、应用被部署以及全生命周期被管理。
测试方法步骤： 1) 边缘控制器接入中心云并接受纳管； 2) 通过中心云向边缘控制器下发并部署应用； 3) 启动应用，检测是否正常运行。
预期结果： 边缘控制器支持应用被部署和全生命周期被管理

7.9 安全功能测试

7.9.1 身份认证测试

测试编号：7.9.1
测试项目：安全功能测试
预置条件： 硬件环境运行正常、网络运行正常
测试目的：测试边缘控制器身份认证。
测试方法步骤： 1) 边缘控制器支持用户身份认证和权限控制； 2) 支持对用户的增、删、改等权限的分离授权； 3) 能够对终端设备进行身份认证和权限管理；

预期结果:

边缘控制器支持身份认证功能

7.9.2 网络安全测试

测试编号: 7.9.2

测试项目: 安全功能测试

预置条件:

硬件环境运行正常、网络运行正常

测试目的: 测试边缘控制器网络安全。

测试方法步骤:

- 1) 边缘控制器支持防火墙功能, 支持多客户的分权限分角色的管理配置;
- 2) 启动防火墙功能, 在本地打开一个特定的端口, Telnet 该端口;
- 3) 通过 IP TABLE 禁用该端口;
- 4) 再次 Telnet 该端口。

预期结果:

边缘控制器具备防火墙 (Firewall)、入侵检测和防护 (IPS/IDS)、TLS 功能。