

ICS 27.180
CCS F 11

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 10660—2021

风力发电机组 工业以太网通信系统

Wind turbines—Industrial ethernet communication system

2021-04-26发布

2021-10-26实施

国家能源局 发布



目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义及缩略语	2
3.1 术语和定义	2
3.2 缩略语	3
4 要求	4
4.1 一般要求	4
4.2 功能要求	7
4.3 性能要求	9
4.4 安全要求	12
5 测试方法	12
5.1 概述	12
5.2 环网性能	13
5.3 环路检测和保护	14
5.4 时间同步精度	15
5.5 IP-MAC 地址绑定	15
5.6 端口流量限制	16
5.7 网络传输时延	17
5.8 加密装置性能	18
5.9 ACL 功能和性能	18
6 检验测试规则	19
6.1 系统测试规则	19
6.2 设备测试规则	19

前　　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由国家能源局提出。

本文件由能源行业风电标准化技术委员会风电机械设备分技术委员会（NEA/TC 1/SC 5）归口。

本文件起草单位：浙江运达风电股份有限公司、杭州奥博瑞光通信有限公司、北京东土科技股份有限公司、北京金凤科创风电设备有限公司、华润电力技术研究院有限公司、中国三峡新能源（集团）股份有限公司、浙江大学、国电联合动力技术有限公司、新疆金风科技股份有限公司、明阳智慧能源集团股份公司、上海电气风电集团股份有限公司。

本文件起草人：潘东浩、史晓鸣、戴建军、陈强、王海、李志勇、王铁强、韩雷岩、杨秦敏、韩增涛、张胜、褚景春、黄晓芳、刘涛、洪文钟。

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

风力发电机组 工业以太网通信系统

1 范围

本文件规定了风力发电机组工业以太网通信系统的技术要求、测试方法和检验规则。
本文件适用于风力发电机组工业以太网通信系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 4798.1 环境条件分类 环境参数组分类及其严酷程度分级 第1部分：贮存
- GB/T 4798.3 电工电子产品应用环境条件 第3部分：有气候防护场所固定使用
- GB/T 9254 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法
- GB/T 13729—2019 远动终端设备
- GB/T 15153.2 远动设备及系统 第2部分：工作条件 第2篇：环境条件（气候、机械和其他非电影影响因素）
- GB 15629.1102 信息技术 系统间远程通信和信息交换局域网和城域网 特定要求 第11部分：无线局域网媒体访问控制和物理层规范：2.4 GHz 频段较高速物理层扩展规范
- GB 17625.1 电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16 A）
- GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
- GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.9 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.10 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.11 电磁兼容 试验和测量技术 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验
- GB/T 17626.12 电磁兼容 试验和测量技术 振铃波抗扰度试验
- GB/T 17626.16 电磁兼容 试验和测量技术 0 Hz~150 kHz 共模传导骚扰抗扰度试验
- GB/T 17626.29 电磁兼容 试验和测量技术 直流电源输入端口电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验
- GB/T 19292.1 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第1部分：分类、测定和评估
- GB/T 19582.1 基于Modbus协议的工业自动化网络规范 第1部分：Modbus应用协议
- GB/T 20281—2020 信息安全技术 防火墙安全技术要求和测试评价方法
- GB/T 21671—2018 基于以太网技术的局域网（LAN）系统验收测试方法
- GB/T 25105.1 工业通信网络 现场总线规范 类型10：PROFINET IO规范 第1部分：应用层服务定义
- GB/T 25105.2 工业通信网络 现场总线规范 类型10：PROFINET IO规范 第2部分：应用层协

议规范

GB/T 25105.3 工业通信网络 现场总线规范 类型 10: PROFINET IO 规范 第 3 部分: PROFINET IO 通信行规

GB/T 27960 以太网 POWERLINK 通信行规规范

GB/T 30094—2013 工业以太网交换机技术规范

GB/T 31230 (所有部分) 工业以太网现场总线 EtherCAT

GB/T 32420—2015 无线局域网测试规范

GB/T 33630—2017 海上风力发电机组 防腐规范

GB/T 33863 (所有部分) OPC 统一架构

GB/T 36572—2018 电力监控系统网络安全防护导则

DL/T 634.5104 远动设备及系统 第 5-104 部分: 传输规约 采用标准传输协议集的 IEC 60870-5-101
网络访问

DL/T 1241 电力工业以太网交换机技术规范

YD/T 1141 以太网交换机测试方法

GM/T 0002 SM4 分组密码算法

GM/T 0003 (所有部分) SM2 椭圆曲线公钥密码算法

GM/T 0004 SM3 密码杂凑算法

GM/T 0005 随机性检测规范

ISO/IEC/IEEE 8802-11 信息技术系统间的远程通信和信息交换 局域网和城域网要求 第 11 部分: 无线局域网 (LAN) 媒体访问控制 (MAC) 和物理层 (PHY) 规范 [Telecommunications and exchange between information technology systems—Requirements for local and metropolitan area networks—Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications]

IEC 61784-1 工业通信网络 配置文件 第 1 部分: 现场总线配置文件 (Industrial communication networks—Profiles—Part 1: Fieldbus profiles)

IEC 61784-2 工业通信网络 配置文件 第 2 部分: 基于 ISO/IEC/IEEE 8802-3 标准的实时网络用附加数据总线配置文件 (Industrial communication networks—Profiles—Part 2: Additional fieldbus profiles for real-time networks based on ISO/IEC/IEEE 8802-3)

IEC 62439 (所有部分) 工业通信网络 高可靠性自动化网络 (Industrial communication networks—High availability automation networks)

IETF RFC 3410 因特网标准管理框架的介绍和适用性声明 (Introduction and applicability statements for Internet—standard management framework)

3 术语和定义及缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

工业以太网通信系统 industrial ethernet communication system

采用工业以太网接口和传输协议, 用于连接工业现场终端、控制端和集中监控端的设备, 实现对终端设备监视和控制的通信系统。

3.1.2

环网冗余协议 ring redundancy protocol

为了使网络内的交换机形成环形连接, 以实现任意一台交换机故障不影响其他设备通信的目的, 而

必须运行的一类网络协议。

3.1.3

核心交换机 core switch

一般安装于风电场站控端，用于与塔基交换机组成环网，可以同时接入一路或多路环网的交换机。

3.1.4

塔基交换机 tower base switch

安装于风力发电机组塔基的交换机，用于接入各类控制器和终端设备。

3.1.5

机舱交换机 nacelle switch

安装于风力发电机组机舱内的交换机，用于接入各类控制器和终端设备。

3.1.6

环网交换机 ring network switch

一般安装于风力发电机组塔基，用于连接相邻风力发电机组或核心交换机并形成环网的交换机。

3.1.7

风电场控制系统 wind farm control system

安装于风电场站控端，通过一种或多种控制技术实现风电场机组群联合控制的软硬件一体化系统，一般包括有功控制、无功控制、尾流控制等。

3.1.8

环路保护功能 loop protection function

一种保证工业以太网环网正常运行，对物理链路状态在交换机间动态实时反馈，并通过逻辑控制的方法使之工作在链状网络的功能。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ACL: 访问控制列表 (access control list)

BDS: 北斗导航卫星系统 (BeiDou navigation satellite system)

FTP: 文件传输协议 (file transfer protocol)

GPS: 全球定位系统 (global positioning system)

HTTPS: 超文本传输安全协议 (hypertext transfer protocol secure)

IP: 因特网协议 (internet protocol)

ITE: 信息技术设备 (information technology equipment)

LAN: 局域网 (local area network)

LLDP: 链路层发现协议 (link layer discovery protocol)

MAC: 媒体介入控制层 (media access control layer)

NTP: 网络时间协议 (network time protocol)

PoE: 有源以太网 (power over ethernet)

PSK: 预共享密钥 (pre-shared key)

SNMP: 简单网络管理协议 (simple network management protocol)

SNTP: 简单网络时钟协议 (simple network time protocol)

SSH: 安全外壳 (secure shell)

SSID: 服务集标识符 (service set identifier)

TCP: 传输控制协议 (transmission control protocol)

TLS: 传输层安全协议 (transport layer security)

UDP: 用户数据报协议 (user datagram protocol)

VLAN: 虚拟局域网 (virtual local area network)

WAPI: 无线局域网鉴别和保密基础结构 (wireless LAN authentication and privacy infrastructure)

WPA2: 行动热点保护访问 (Wi-Fi protected access)

4 要求

4.1 一般要求

4.1.1 硬件设备

4.1.1.1 接入设备

风力发电机组工业以太网通信系统的可接入设备包括但不限于：主控制器、工业以太网模块、状态监测设备、箱式变压器监控设备、视频监控设备、门禁设备、语音通信设备、消防设备、驱鸟装置等。

4.1.1.2 交换机

组成风电场光纤环网的交换机应采用二层或三层管理型设备。

机舱与塔基之间、风力发电机组之间的通信应采用带光纤接口的交换机。

4.1.1.3 无线接入设备

风力发电机组内/外可安装无线接入设备，实现机组内/外无线网络信号的覆盖，用于现场运维人员访问互联网。

无线接入设备应独立组网，并与其他安全分区物理隔离。

4.1.1.4 通信安全防护设备

风力发电机组通信安全防护设备包括但不限于：加密设备、防火墙、路由器等，用以实现接入设备与站控系统之间安全传输数据，满足电网对安全区 I 的信息安全要求。

4.1.2 通信协议

4.1.2.1 EtherCAT

风力发电机组工业以太网通信 EtherCAT 协议应满足 GB/T 31230（所有部分）的要求。

4.1.2.2 OPC UA

风力发电机组工业以太网通信 OPC UA 协议应满足 GB/T 33863（所有部分）的要求。

4.1.2.3 Modbus TCP

风力发电机组工业以太网通信 Modbus TCP 协议应满足 GB/T 19582.1 的要求。

4.1.2.4 PROFINET

风力发电机组工业以太网通信 PROFINET 协议应满足 GB/T 25105.1、GB/T 25105.2 和 GB/T 25105.3 的要求。

4.1.2.5 Ethernet/IP

风力发电机组工业以太网通信 Ethernet/IP 协议应满足 IEC 61784-1 的要求。

4.1.2.6 IEC 104 规约

风力发电机组工业以太网通信 IEC 104 规约应满足 DL/T 634.5104 的要求。

4.1.2.7 PowerLink

风力发电机组工业以太网通信 PowerLink 协议应满足 IEC 61784-2、GB/T 27960 的要求。

4.1.3 安全分区

4.1.3.1 划分原则

风力发电机组工业以太网通信系统的业务系统可划分为生产控制大区和管理信息大区。生产控制大区可分为控制区（安全区Ⅰ）和非控制区（安全区Ⅱ）。

与风力发电机组运行相关的控制系统、有控制功能的业务模块应置于控制区。

业务系统应尽可能完整置于一个安全区内。当业务系统的某些功能模块与此业务系统的其他功能模块不属于同一分区时（如部分业务系统的数据采集模块处于控制区并与机组主控制器发生数据交互，而其数据服务器处于非控制区），可以将其功能模块分置于相应的安全区中，经过安全区之间的安全隔离设施进行通信。

控制区、非控制区、管理信息区的安全等级依次由高到低。

属于低安全级别的业务系统，在具备高安全级别的属性（如状态监测系统间接具备控制机组停机功能）后，应重新划分到高安全级别区域内。

允许把属于低安全等级区域的业务系统或其功能模块放置于高安全等级区域。

禁止将属于高安全等级区域的业务系统或其功能模块迁移到低安全等级区域。

4.1.3.2 接入设备分区

按照 4.1.3.1 的划分原则，典型的风力发电机组工业以太网通信系统接入设备的安全分区如表 1 所示。

表 1 风力发电机组接入设备安全分区

接入设备名称	控制区业务系统	非控制区业务系统	管理信息区业务系统
主控制器	中央监控系统	—	—
	风电场控制系统	—	—
状态监测设备	—	状态监测系统	—
箱式变压器监控设备	箱式变压器监控系统	—	—
视频监控设备	—	—	视频监控系统
门禁设备	—	—	门禁系统
语音通信设备	—	—	语音通信系统
消防设备	—	—	消防系统
驱鸟设备	—	—	驱鸟系统

4.1.4 网络拓扑

4.1.4.1 典型网络拓扑

风力发电机组工业以太网通信系统典型的网络拓扑如图 1 所示。

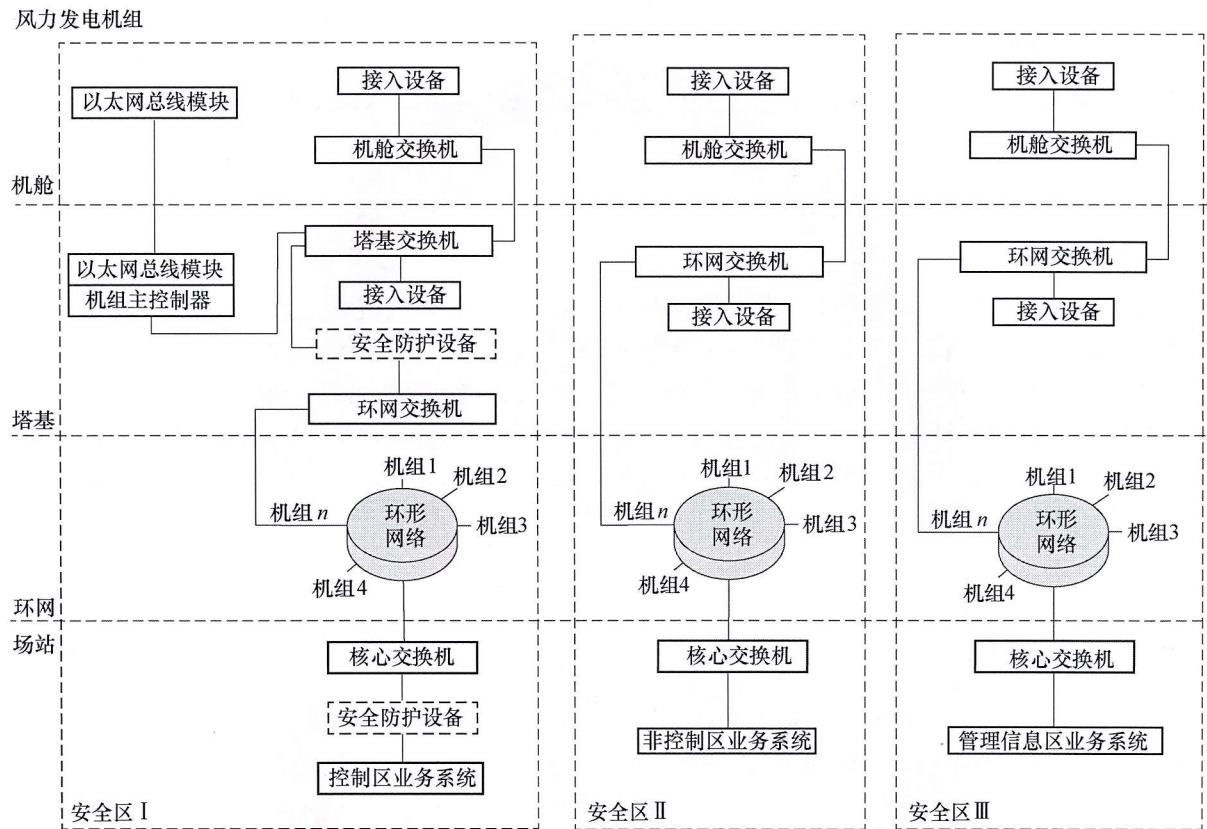


图 1 风力发电机组工业以太网通信系统典型网络拓扑

4.1.4.2 组网要求

风力发电机组工业以太网通信系统的组网要求如下：

- a) 接入设备应按照 4.1.3.2 安全区划分原则进行分区。
- b) 风力发电机组工业以太网通信系统主干网络应采用环形冗余结构，单个环网机组数量不宜超过 20 台。
- c) 机组内各安全分区之间应实现物理隔离，保持数据通信的独立性。跨安全分区的通信仅可通过站控端安全区之间的安全隔离设施进行通信，不允许通过双网卡等手段实现跨区联接。
- d) 同一安全区内的不同业务系统之间，应通过划分不同 VLAN 或设置访问权限等措施，保证各业务系统的通信独立性。
- e) 风电场环网应采用电力光缆作为物理传输介质。
- f) 风力发电机组塔基与机舱之间应采用电力光缆作为物理传输介质。
- g) 风力发电机组内部可通过交换机级联方式扩展网络端口。
- h) 通信安全防护设备安装在环网交换机之前，可按照需求选配。
- i) 应合理规划机组内不同业务系统的 IP 地址。IP 地址的规划应有一定的可扩展性。同一安全区无

通信关联的业务系统宜划分到不同网段。

4.2 功能要求

4.2.1 业务功能

4.2.1.1 数据帧转发

风力发电机组工业以太网通信系统应支持对 4.1.2 中所述协议的数据帧转发。

4.2.1.2 数据帧过滤

风力发电机组工业以太网通信系统应支持基于 IP/MAC 地址的数据帧过滤功能。

4.2.1.3 VLAN

风力发电机组工业以太网通信系统的管理型交换机应满足 GB/T 30094—2013 中有关虚拟局域网的要求。

4.2.1.4 优先级

风力发电机组工业以太网通信系统的管理型交换机应支持 GB/T 30094—2013 规定的流量优先及服务功能，每个端口应至少支持 4 个优先级队列，队列调度算法至少应支持严格优先级和加权循环优先级算法。

4.2.1.5 流量限制

风力发电机组工业以太网通信系统应支持流量限制，即可针对特定端口设置流量限制，以防止利用网络流量对重要设备（如主控制器）的攻击。当流量超过限定值时，系统应将数据包丢弃。

4.2.1.6 端口镜像

风力发电机组工业以太网通信系统的管理型交换机宜支持一对多的端口镜像功能，在镜像端口的被镜像流量总和不超过其最大吞吐量的情况下，镜像端口不应丢失数据。

4.2.1.7 组播

风力发电机组工业以太网通信系统应支持动态组播和静态组播功能，应满足 GB/T 30094—2013 中 5.1.2.6 定义的要求。

4.2.1.8 访问控制列表

风力发电机组工业以太网通信系统的管理型交换机、防火墙和接入设备应支持访问控制功能，可配置基于 IP 地址、MAC 地址和端口的黑名单和白名单。

4.2.1.9 加密认证

风力发电机组工业以太网通信系统的加密认证装置应利用隧道加密技术构建安全可靠的虚拟专用网络，应满足 GM/T 0003（所有部分）的 SM2、GM/T 0004 的 SM3、GM/T 0002 的 SM4 和国电 SSF09 算法的要求，并符合 GM/T 0005 的检测规定。

风力发电机组工业以太网通信系统的加密认证设置应满足 GB/T 36572—2018 中 6.2.5 的要求。

4.2.1.10 防火墙

风力发电机组工业以太网通信系统的防火墙应满足 GB/T 20281—2020 的要求。

4.2.1.11 无线功能

风力发电机组工业以太网通信系统的无线网络应满足 GB 15629.1102 的技术要求，或满足 ISO/IEC/IEEE 8802-11 规定的无线局域网物理层和介质层技术要求。

4.2.2 接口功能

4.2.2.1 设备介质接口

风力发电机组工业以太网通信系统的管理型交换机和防火墙应支持端口逻辑开启和关闭功能，以太网电接口缺省应为自动协商设置，且支持端口自动翻转（Auto MDIX）。

风力发电机组工业以太网通信系统的 100 Mbit/s 或 1000 Mbit/s 电接口应满足 GB/T 30094—2013 中 5.1.1.1.1 规定的电接口规范，光接口应符合 GB/T 30094—2013 中 5.1.1.1.2 规定的光接口规范。

4.2.2.2 PoE

用于接入视频监控摄像机、IP 电话机和无线访问接入点（AP）等终端的交换机宜支持 PoE 供电，带 PoE 功能的交换机应满足 GB/T 30094—2013 中 5.2.3 规定的要求。

4.2.3 冗余与保护功能

4.2.3.1 冗余网络

风力发电机组工业以太网通信系统的环网交换机应支持环网冗余协议，宜支持 IEC 62439（所有部分）规定的环网冗余协议。

4.2.3.2 环路保护

风力发电机组工业以太网通信系统中的管理型交换机应支持环路保护功能。

启用环路保护功能后，任何情况下，管理型交换机中属于同一 VLAN 的两个端口相连均不应导致网络风暴。

4.2.3.3 网络风暴抑制

风力发电机组工业以太网通信系统应满足 GB/T 30094—2013 中 5.3.2.1 规定的网络风暴抑制功能。

4.2.4 管理功能

4.2.4.1 网络管理

风力发电机组工业以太网通信系统宜具备全局网络设备管理功能，网络管理软件应支持可视化功能，应支持在线添加、删除和修改网络设备的功能。

4.2.4.2 链路层检测

风力发电机组工业以太网通信系统应支持基于 GB/T 30094—2013 中 5.1.2.2 规定的 LLDP 协议。

4.2.4.3 SNMP

风力发电机组工业以太网通信系统应支持基于 IETF RFC 3410 规定的 SNMP v2 功能。

4.2.4.4 SSH

风力发电机组工业以太网通信系统应支持基于 SSH 协议的网络访问功能，实现加密的命令行界面交互。

4.2.4.5 HTTPS

风力发电机组工业以太网通信系统应支持基于 TLS/SSL 的 HTTPS 协议的网络访问功能，实现加密的网页交互。

4.2.5 时钟对时功能

风力发电机组工业以太网通信系统应支持 NTP 或 SNTP 时钟同步功能，宜集成 NTP Server 功能，以方便全网时钟同步的部署。

4.3 性能要求

4.3.1 环境适应性能

4.3.1.1 气候条件

工作条件应符合 GB/T 4798.3 规定的 3K7 等级环境参数的要求。

存储条件应符合 GB/T 4798.1 规定的 1K22 等级环境参数的要求。

4.3.1.2 盐雾

用于陆上的设备应满足 GB/T 19292.1 的 C3 级规定。

用于沿海地区的设备应满足 GB/T 33630—2017 中 6.2 的规定。

4.3.1.3 电源条件

直流电压：48 V、24 V，允许偏差 $-20\% \sim +20\%$ 。

交流电压：220 V，允许偏差 $-20\% \sim +20\%$ ；频率 50 Hz，允许偏差 ± 0.5 Hz。

4.3.2 电磁兼容抗扰性能

4.3.2.1 电磁兼容抗扰度

电磁兼容抗扰度要求如表 2 所示。

表 2 电磁兼容抗扰度要求

序号	项目	执行标准	严酷等级	要求
1	静电放电抗扰度	GB/T 17626.2	4 级	A
2	射频电磁场辐射抗扰度	GB/T 17626.3	3 级	A
3	电快速瞬变脉冲群抗扰度	GB/T 17626.4	4 级	A

表 2 (续)

序号	项目	执行标准	严酷等级		要求
4	浪涌(冲击)抗扰度	GB/T 17626.5	电源口	共模±6 kV(间隔10 s), 差模±6 kV(间隔10 s)	A
			信号口	屏蔽线: 共模±6 kV(间隔10 s)	A(屏蔽线)
				非屏蔽线: 共模±4 kV(间隔10 s), 差模±2 kV(间隔10 s)	B(非屏蔽线)
5	射频场感应的传导骚扰抗扰度	GB/T 17626.6	3 级		A
6	工频磁场抗扰度	GB/T 17626.8	5 级		A
7	脉冲磁场抗扰度	GB/T 17626.9	5 级		A
8	阻尼振荡磁场抗扰度	GB/T 17626.10	5 级		A
9	交流电源暂时中断抗扰度	GB/T 17626.11	试验等级 0%, 持续时间 250 周期		B
10	振荡波抗扰度	GB/T 17626.12	4 级		A
11	0 Hz~150 kHz 共模传导骚扰抗扰度	GB/T 17626.16	4 级		A
12	直流电源暂降、暂时中断抗扰度	GB/T 17626.29	试验等级 0%, 持续时间 100 ms		A

4.3.2.2 电磁兼容限值要求

传导骚扰限值和辐射骚扰限值应满足 GB/T 9254 中 A 级 ITE 的要求, 谐波电流发射限值应满足 GB 17625.1 中 A 类设备的要求。

4.3.3 绝缘性能

4.3.3.1 绝缘电阻

绝缘电阻应满足 GB/T 13729—2019 中表 14 和表 15 的要求。

4.3.3.2 介质强度

介质强度应满足 GB/T 13729—2019 中表 16 的要求。

4.3.3.3 冲击电压

冲击电压应满足 GB/T 13729—2019 中 5.6.3 的要求。

4.3.4 机械振动性能

风力发电机组工业以太网通信系统的机械振动性能应满足表 3 所列标准等级。

表 3 机械振动性能

序号	项目	执行标准	等级
1	正弦稳态振动	GB/T 15153.2	Cm
2	冲击		Cm
3	自由跌落		Cm

4.3.5 实时性能

风力发电机组工业以太网通信系统传输时延应小于 2 ms。

4.3.6 网络带宽性能

视频监控业务网络带宽宜不小于 1000 Mbit/s，其他业务网络带宽宜不小于 100 Mbit/s。

4.3.7 视频传输性能

单台风力发电机组的工业以太网通信系统应至少支持 30 Mbit/s 视频图像数据传输，传输视频业务的交换机包缓存不应小于 4 Mbit。

4.3.8 网络自愈性能

冗余网络故障产生时自愈时间不应大于 20 ms，故障恢复时自愈时间应为 0 ms。

4.3.9 时钟同步性能

风力发电机组工业以太网通信系统中，时钟同步准确度应优于 10 ms。

4.3.10 日志存储性能

风力发电机组工业以太网通信系统中的管理型交换机、防火墙、加密装置的可存储日志条数不应小于 2000 条。

4.3.11 工业以太网交换机性能要求

工业以太网交换机应满足以下要求：

- a) 单机转发性能应满足 GB/T 30094—2013 中 6.2.1 的要求；
- b) 应支持 1 个～4095 个 VLAN 数据的传输；
- c) 流量控制阈值的最小设置单位不应大于 64 kbit/s；
- d) 支持组播组数不应小于 256 个；
- e) 支持 ACL 数目不应小于 256 条。

4.3.12 加密装置性能要求

加密装置应满足以下要求：

- a) 最大并发加密隧道数不应小于 1024 条；
- b) 明文数据包吞吐量不应小于 95 Mbit/s (50 条安全策略，1024 字节报文长度)；
- c) 密文数据包吞吐量不应小于 25 Mbit/s (50 条安全策略，1024 字节报文长度)；
- d) 数据包转发延迟应小于 1 ms；
- e) 100 Mbit/s LAN 环境下，加密隧道建立延迟应小于 1 ms (50% 数据吞吐量)；
- f) 满负荷数据包丢弃率为 0%。

4.3.13 防火墙性能要求

防火墙性能应满足 GB/T 20281—2020 中 6.3 的要求。

4.3.14 无线接入点性能要求

在无线接入点与终端设备之间的无遮挡通信距离不小于 100 m 情况下，上下行带宽不应小于 100 Mbit/s。

4.4 安全要求

4.4.1 系统加固及软件安全

风力发电机组工业以太网通信系统的业务系统、网络设备及其他硬件设备，应使用安全加固的操作系统。加固方式包括安全补丁、防病毒、系统防火墙、加强配置管理、强化访问控制等。

风力发电机组工业以太网通信系统业务系统的应用软件、中间件、数据库等应在软件开发使用的全生命周期中融入通信安全防护理念和措施，合理配置、启用安全策略。

4.4.2 接入防护

应通过增加安全防护系统等措施加强风力发电机组及站控端的物理防护，保证风力发电机组工业以太网通信系统的物理安全。

风力发电机组工业以太网通信系统的安全防护设备应具备身份认证、数据加密、访问控制等功能。

风力发电机组工业以太网通信系统的业务系统、网络设备应按照最小化原则配置安全策略，封闭空闲网络端口及其他无用接口。管理型交换机宜设置 IP/MAC 地址绑定、开启访问控制列表、划分 VLAN，控制不同业务系统的数据交互规模和频度，禁止非授权设备的接入，防止单一机组的安全风险扩散到全场。

无线网络应缺省关闭广播 SSID。当采用 PSK-WPA2 认证时，密码长度不应少于 16 位，且包含大小写字母、数字及符号。

4.4.3 网络防护

风力发电机组工业以太网通信系统分布于一个或者多个安全区内的多个业务系统之间，应满足 GB/T 36572—2018 中 6.2.4 规定的横向隔离的要求。控制区内不准使用 E-mail、HTTP、Telnet、Rlogin、FTP 等安全风险高的通用网络服务。

4.4.4 用户管理

风力发电机组工业以太网通信系统的业务系统、网络设备应具备强制修改默认账号、密码的功能。

风力发电机组工业以太网通信系统的业务系统、网络设备应提供完善的用户管理、密码规则管理、认证规则管理、授权规则管理机制。

4.4.5 日志管理

风力发电机组工业以太网通信系统中的网络设备应能够提供操作系统日志、应用系统日志及审计日志。审计日志信息应包含用户账号、日期、时间、资源名、活动结果（访问成功、失败；系统启动、停止、配置变更等）。

5 测试方法

5.1 概述

本章针对第 4 章的技术要求规定测试方法。除非特别说明，本章所描述的测试方法均指在实验室中所进行的测试，且被测设备应和实际使用设备的型号一致。

本章未详述的测试方法应遵循 DL/T 1241、GB/T 30094—2013、YD/T 1141、GB/T 20281—2020 等相关标准的要求。

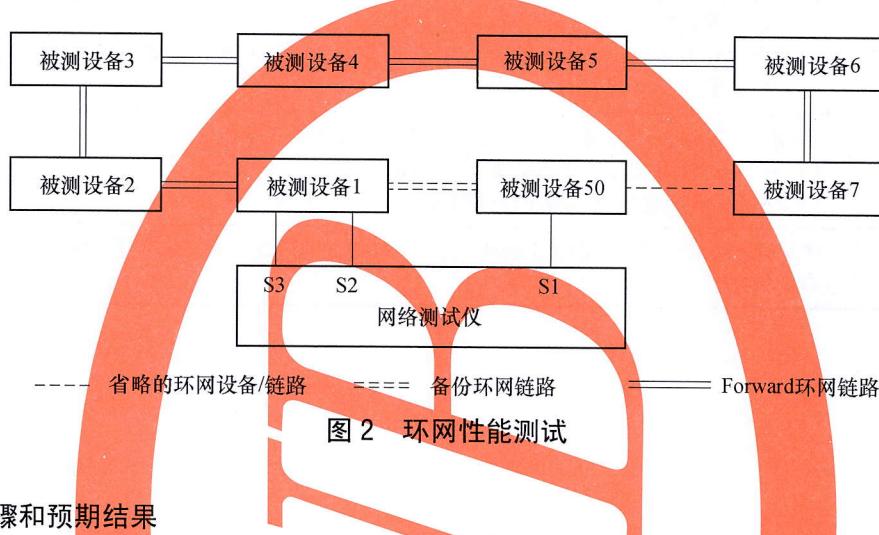
5.2 环网性能

5.2.1 测试仪表

网络测试仪。

5.2.2 测试配置

测试配置如图 2 所示。



5.2.3 测试步骤和预期结果

环网性能测试步骤和预期结果如表 4 所示。

表 4 环网性能测试表

测试项目	环网性能
测试步骤	<ol style="list-style-type: none"> 按图 2 正确连接设备； 网络测试仪设置为 S1、S2 双向收发签名数据（90%负荷、单播、包长 64 字节），S3 持续发送广播报文（128 包/s、包长 64 字节）； 启动网络测试仪 S1/S2 发送，持续时间 10 s，确认双向无丢包； 启动网络测试仪 S1/S2 发送，约 5 s 后移除设备 1 和设备 2 之间的链路，再持续发送 10 s 后停止发送，计算并记录恢复时间 A_1； 启动网络测试仪 S1/S2 发送，约 5 s 后恢复设备 1 和设备 2 之间的链路，再持续发送 10 s 后停止发送，计算并记录恢复时间 B_1； 启动网络测试仪 S1/S2 发送，约 5 s 后移除设备 24 和设备 25 之间的链路，再持续发送 10 s 后停止发送，计算并记录恢复时间 A_2； 启动网络测试仪 S1/S2 发送，约 5 s 后恢复设备 24 和设备 25 之间的链路，再持续发送 10 s 后停止发送，计算并记录恢复时间 B_2； 启动网络测试仪 S1/S2 发送，约 5 s 后移除设备 49 和设备 50 之间的链路，再持续发送 10 s 后停止发送，计算并记录恢复时间 A_3； 启动网络测试仪 S1/S2 发送，约 5 s 后恢复设备 49 和设备 50 之间的链路，再持续发送 10 s 后停止发送，计算并记录恢复时间 B_3； 启动网络测试仪 S1/S2 发送，约 5 s 后将设备 2 断电，再持续发送 10 s 后停止发送，计算并记录恢复时间 A_4； 启动网络测试仪 S1/S2 发送，约 5 s 后恢复设备 2 供电，再持续发送 90 s 后停止发送，计算并记录恢复时间 B_4； 启动网络测试仪 S1/S2 发送，约 5 s 后将设备 25 断电，再持续发送 10 s 后停止发送，计算并记录恢复时间 A_5；

表 4 (续)

测试项目	环网性能
测试步骤	13) 启动网络测试仪 S1/S2 发送, 约 5 s 后恢复设备 25 供电, 再持续发送 90 s 后停止发送, 计算并记录恢复时间 B_5 ; 14) 启动网络测试仪 S1/S2 发送, 约 5 s 后将设备 49 断电, 再持续发送 10 s 后停止发送, 计算并记录恢复时间 A_6 ; 15) 启动网络测试仪 S1/S2 发送, 约 5 s 后恢复设备 49 供电, 再持续发送 90 s 后停止发送, 计算并记录恢复时间 B_6 ; 16) 启动网络测试仪 S1/S2 发送, 约 5 s 后将主设备断电, 再持续发送 10 s 后停止发送, 计算并记录恢复时间 A_7 ; 17) 启动网络测试仪 S1/S2 发送, 约 5 s 后恢复主设备供电, 再持续发送 90 s 后停止发送, 计算并记录恢复时间 B_7
预期结果	1) A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 、 A_6 、 A_7 中的最大值应小于 20 ms; 2) B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 、 B_5 、 B_6 、 B_7 应为 0 ms; 3) 任何时候网络中均不应出现网络风暴
备注	恢复时间计算方法见 GB/T 30094—2013 中 8.5.3 的规定, 且参与计算的报文应仅限于 S1、S2 发送的签名报文

5.3 环路检测和保护

5.3.1 测试仪表

网络测试仪。

5.3.2 测试配置

测试配置如图 3 所示。

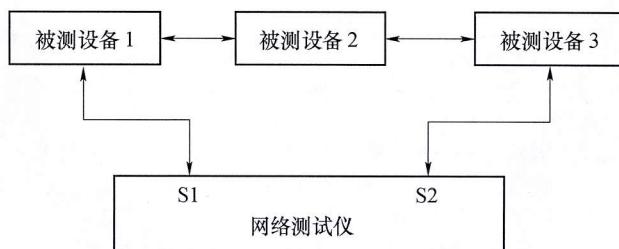


图 3 环路检测和保护测试

5.3.3 测试步骤和预期结果

环路检测和保护测试步骤和预期结果如表 5 所示。

表 5 环路检测和保护测试表

测试项目	环路检测和保护
测试步骤	1) 按图 3 正确连接设备; 2) 网络测试仪设置为 S1 持续发送广播报文 (128 包/s、包长 64 字节), 设备端口启用环路检测和保护功能; 3) 用网线连接设备 1 任意 2 个端口, 持续观察 10 s, 记录是否形成网络风暴; 4) 用网线分别连接设备 1 和设备 2 的任意 2 个端口, 持续观察 10 s, 记录是否形成网络风暴; 5) 用网线分别连接设备 1 和设备 3 的任意 2 个端口, 持续观察 10 s, 记录是否形成网络风暴

表 5 (续)

测试项目	环路检测和保护
预期结果	步骤 3) ~ 步骤 5) 中均不应观察到网络风暴
备注	恢复时间计算方法见 GB/T 30094—2013 中 8.5.3 的规定

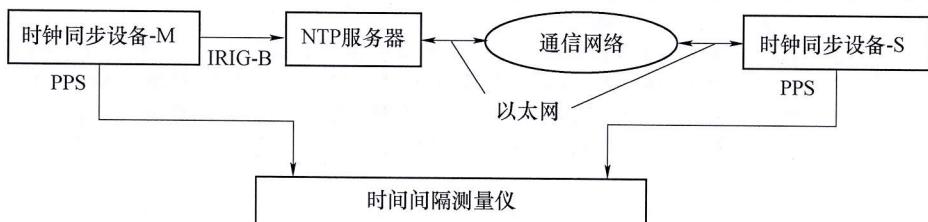
5.4 时间同步精度

5.4.1 测试仪表

时间间隔测量仪（测量精度小于 1 ns）、时钟同步设备。

5.4.2 测试配置

测试配置如图 4 所示。



注：PPS 代表时钟对时的传输能力，packets per second。

图 4 时间同步精度测试

5.4.3 测试步骤和预期结果

时间同步精度测试步骤和预期结果如表 6 所示。

表 6 时间同步精度测试表

测试项目	系统时间同步精度
测试步骤	1) 按图 4 正确连接设备； 2) 时钟同步设备-M 同步到 GPS/BDS； 3) 时钟同步设备-S 采用 NTP 同步，并将 NTP 服务器的 IP 地址设置为其服务端地址； 4) 确认时钟同步设备-M 和时钟同步设备-S 时间一致（年月日+时分秒）； 5) 时间间隔测量仪启动测量时钟同步设备-M 和时钟同步设备-S 的秒脉冲输出时间差； 6) 连续测试 1 h
预期结果	步骤 6) 中测得的最大时间偏差小于 10 ms

5.5 IP-MAC 地址绑定

5.5.1 测试仪表

网络测试仪。

5.5.2 测试配置

测试配置如图 5 所示。

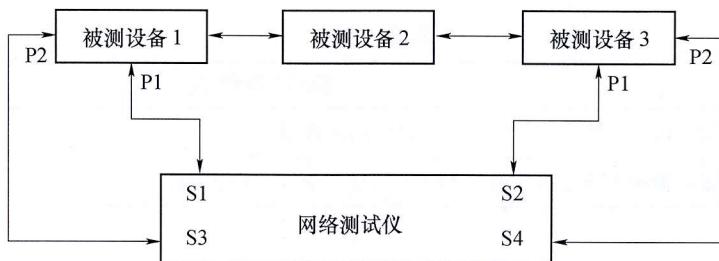


图 5 IP-MAC 地址绑定测试

5.5.3 测试步骤和预期结果

IP-MAC 地址绑定测试步骤和预期结果如表 7 所示。

表 7 IP-MAC 地址绑定测试表

测试项目	IP-MAC 地址绑定
测试步骤	1) 按图 5 正确连接设备。 2) 设备 1 和设备 3 连接网络测试仪的端口设置 IP-MAC 绑定（设备 1-P1 为 IP1+MAC1、设备 1-P2 为 IP2+MAC2、设备 2-P1 为 IP3+MAC3、设备 2-P2 为 IP4+MAC4）。 3) 网络测试仪 S1、S2 双向发送合法（S1 发送报文的源 IP 和源 MAC 为 IP1 和 MAC1、S2 发送报文的源 IP 和源 MAC 为 IP3 和 MAC3）的 IP 报文，广播，负荷 10%，包长 64 字节，持续时间 10 s。 4) 网络测试仪 S3、S4 双向发送非法（S3 发送报文的源 IP 和源 MAC 为 IP1 和 MAC1、S4 发送报文的源 IP 和源 MAC 为 IP3 和 MAC3）的 IP 报文，广播，负荷 10%，包长 64 字节；S1、S2 按步骤 2) 双向发送合法报文，持续时间 10 s
预期结果	1) 步骤 3) 中 S1、S2 双向收发报文数量一致； 2) 步骤 4) 中 S1、S2 双向收发报文数量一致，S3、S4 双向均没有收到对端的报文

5.6 端口流量限制

5.6.1 测试仪表

网络测试仪。

5.6.2 测试配置

测试配置如图 6 所示。

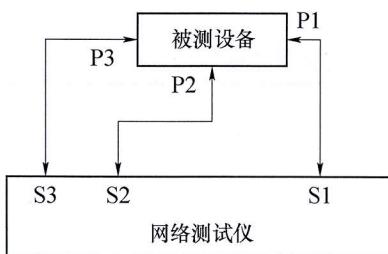


图 6 端口流量限制测试

5.6.3 测试步骤和预期结果

端口流量限制测试步骤和预期结果如表 8 所示。

表 8 端口流量限制测试表

测试项目	端口流量限制
测试步骤	<ol style="list-style-type: none"> 按图 6 正确连接设备。 被测设备 P1 设置输入流量限制 (包/s 或 bit/s)，关闭广播风暴抑制等可能限制广播转发的功能。 网络测试仪 S1 设置为持续发送广播报文，发送流量超过被测设备 P1 设置值的 20%；网络测试仪的 S2 和 S3 设置为接收。 启动网络测试仪 S1 发送，持续时间 10 s；记录 S2、S3 接收流量。 被测设备 P1 设置输出流量限制 (包/s 或 bit/s)，关闭广播风暴抑制等可能限制广播转发的功能。 网络测试仪 S1 设置为接收；S2 和 S3 设置为发送广播报文，且 S2 和 S3 发送流量均等于 S1 设置的输出流量限值。 启动网络测试仪 S2、S3 发送，持续时间 10 s；记录 S1 接收流量
预期结果	<ol style="list-style-type: none"> 步骤 4) 记录到的接收流量和 P1 口设定限值的偏差不超过±10%； 步骤 7) 记录到的接收流量和 P1 口设定限值的偏差不超过±10%

5.7 网络传输时延

5.7.1 测试仪表

网络测试仪。

5.7.2 测试配置

测试配置如图 7 所示。

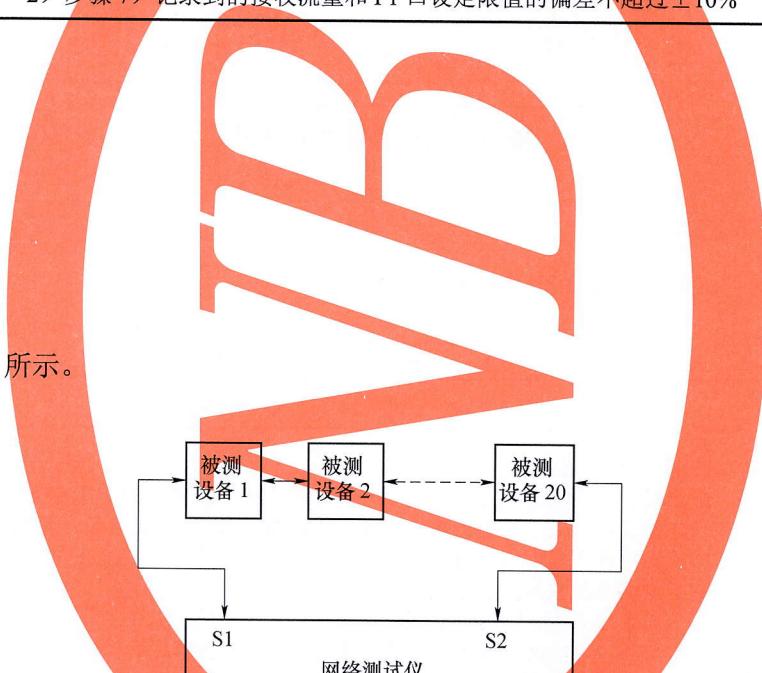


图 7 网络传输时延测试

5.7.3 测试步骤和预期结果

网络传输时延测试步骤和预期结果如表 9 所示。

表 9 网络传输时延测试表

测试项目	网络传输时延
测试步骤	<ol style="list-style-type: none"> 按图 7 正确连接设备； 网络测试仪 S1/S2 设置为双向收发数据，负荷 90%，包长 1024 字节； 启动网络测试仪发送，持续时间 120 s； 记录双向网络时延
预期结果	步骤 4) 记录到的双向网络时延平均值：百兆不超过 2 ms

5.8 加密装置性能

5.8.1 测试仪表

网络测试仪。

5.8.2 测试配置

测试配置如图 8 所示。

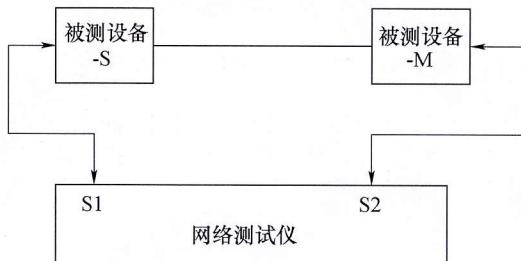


图 8 加密装置性能测试

5.8.3 测试步骤和预期结果

加密装置性能测试步骤和预期结果如表 10 所示。

表 10 加密装置性能测试表

测试项目	加密装置密文吞吐量及丢包时延
测试步骤	1) 按图 8 正确连接设备; 2) 被测设备-S 和被测设备-M 之间建立加密通道，采用 SSF09 加密算法； 3) 网络测试仪 S1/S2 设置为双向收发数据，报文长度 1024 字节，带宽 25 Mbit/s； 4) 启动网络测试仪发送，持续时间 30 s； 5) 记录网络测试仪双向丢包及丢包时延； 6) 被测设备-S 和被测设备-M 之间建立加密通道，采用明文； 7) 网络测试仪 S1/S2 设置为双向收发数据，报文长度 1024 字节，带宽 95 Mbit/s； 8) 启动网络测试仪发送，持续时间 30 s； 9) 记录网络测试仪双向丢包及丢包时延
预期结果	1) 步骤 5) 记录到的双向网络丢包为 0，双向时延最大值低于 5 ms； 2) 步骤 9) 记录到的双向网络丢包为 0，双向时延最大值低于 1 ms

5.9 ACL 功能和性能

5.9.1 测试仪表

网络测试仪。

5.9.2 测试配置

测试配置如图 9 所示。

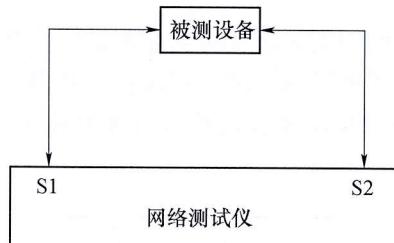


图 9 ACL 功能和性能测试

5.9.3 测试步骤和预期结果

ACL 功能和性能测试步骤和预期结果如表 11 所示。

表 11 ACL 功能和性能测试表

测试项目	管理型交换机 ACL 功能和性能
测试步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1) 按图 9 正确连接设备。 2) 针对被测设备连接 S1 的端口配置以下 ACL 规则: 白名单 -254 条: EthType=IPv4, IP_Dst=192.168.100.100, IP_Proto=UDP, UDP_DPort=1001~1254; 黑名单 -2 条: EthType=IPv4, IP_Dst=192.168.100.100, IP_Proto=TCP EthType=any, IP=any, IP_Proto=any。 3) 网络测试仪 S1 设置为发送数据, 报文长度 64 字节, 负荷 90%, 目的 IP 为 192.168.100.100, UDP, UDP 端口 1001~1254 递增并循环; S2 设置为接收数据。 4) 启动网络测试仪发送, 持续时间 10 s; 记录 S2 接收情况。 5) 网络测试仪 S1 设置为发送数据, 报文长度 64 字节, 负荷 90%, 目的 IP 为 192.168.100.101, UDP, 随机目的 UDP 端口; S2 设置为接收数据。 6) 启动网络测试仪发送, 持续时间 10 s; 记录 S2 接收情况。 7) 网络测试仪 S1 设置为发送数据, 报文长度 64 字节, 负荷 90%, 目的 IP 为 192.168.100.100, TCP, 随机目的 TCP 端口; S2 设置为接收数据。 8) 启动网络测试仪发送, 持续时间 10 s; 记录 S2 接收情况
预期结果	<ol style="list-style-type: none"> 1) 步骤 4) 中 S2 收到的报文和 S1 发送的报文一致; 2) 步骤 6)、步骤 8) 中 S2 收到的报文数量为 0

6 检验测试规则

6.1 系统测试规则

风力发电机组工业以太网通信系统的以太网系统相关验收测试方法应符合 GB/T 21671—2018 第 6 章的规定。

风力发电机组工业以太网通信系统无线相关的系统测试方法应符合 GB/T 32420—2015 第 6 章的规定。

风力发电机组工业以太网通信系统的时钟同步功能验收测试方法应符合 5.4 的规定。

6.2 设备测试规则

风力发电机组工业以太网通信系统中的交换机设备测试方法应符合 GB/T 30094—2013 的规定。

风力发电机组工业以太网通信系统中的路由器、防火墙设备测试方法应符合 GB/T 21671—2018

的规定。

风力发电机组工业以太网通信系统中的无线设备功能测试应符合 GB/T 32420—2015 第 7 章的规定。

风力发电机组工业以太网通信系统的环网性能、环路检测和保护、IP-MAC 地址绑定、端口流量限制、网络传输时延、加密装置性能、ACL 功能和性能等项目测试方法应符合第 5 章的规定。

