

团 体 标 准

T/CAMET XXXXX. 3—XXXX

城市轨道交通 智能变电所 第3部分：供电设备状态监测及诊断评估系统

Urban rail transit - Smart substation - Part 3: Power supply equipment status monitoring and diagnostic evaluation system

（征求意见稿）

（本稿完成时间：2025 年 3 月）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国城市轨道交通协会 发 布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 缩略语	5
5 使用条件	6
6 系统构成与配置	6
6.1 系统架构	6
6.2 系统接口	6
6.3 在线监测装置配置原则	7
7 技术要求	9
7.1 通则	9
7.2 系统功能要求	9
7.3 设备技术要求	10
7.4 设备性能指标要求	14
7.5 系统性能指标要求	15
7.6 通信接口和通信协议	16
8 试验方法	16
8.1 系统各设备试验	16
8.2 系统试验	17
9 检验规则	18
9.1 检验分类	18
9.2 出厂检验	18
9.3 型式检验	18
9.4 检验项目	18
附 录 A （规范性） 中央级监测系统	20
A.1 中央级监测系统设备要求	20
A.2 中央级监测系统功能要求	20
A.3 中央级监测系统技术要求	21
A.4 中央级监测系统性能指标要求	21
参 考 文 献	22

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。

本文件是T/CAMET XXXXX《城市轨道交通 智能变电所》的第3部分。T/CAMET XXXXX已经发布以下部分：

- 第1部分：通用技术要求；
- 第2部分：监控系统；
- 第3部分：供电设备状态监测及诊断评估系统。

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。

本文件由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会牵引电气设备与系统分技术委员会提出。

本文件由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司、北京交通大学、无锡地铁集团有限公司、深圳市地铁集团有限公司、昆明轨道交通集团有限公司、合肥市轨道交通集团有限公司、广东至合交通科技有限公司、成都交大光芒科技股份有限公司、武汉大学、重庆中车时代电气技术有限公司、重庆市轨道交通设计研究院有限责任公司、上海玖道信息科技股份有限公司。

本文件主要起草人：何斌、张华志、盛蓉蓉、陈奇志、钱振宇、谢伟、钱辉、苏煜、陈杰、王建国、叶飞、张海申、许建华、吕意、黄波、张蓓、邓发均、张铁军、王俊峰、王建红、陈学锋、张钊、张磊。

引 言

城市轨道交通智能变电所采用可靠、经济、集成、节能、环保的设备与设计，以全所信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化、一次设备智能化和运行状态可视化为基本要求，实现变电所智能化运行，提高供电系统运行可靠性及经济性。在《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》的指导下，智能变电所经过一段时期的发展，关键技术已经成熟，并在多个工程中应用，成为城市轨道交通供电系统的发展方向。

城市轨道交通智能变电所监控系统负责对变电所的运行状态进行实时监视控制，以确保变电所的正常运行；供电设备状态监测及诊断评估系统侧重于对变电所供电设备的健康状态进行监测，对供电设备潜在故障进行早期预警和诊断；监控系统和供电设备状态监测及诊断评估系统在数据共享、协同工作、系统架构等方面又存在紧密联系。T/CAMET XXXXX《城市轨道交通 智能变电所》旨在对城市轨道交通智能变电所的通用技术要求和关键系统部件进行规范，拟由3个部分构成。

- 第1部分：通用技术要求。目的在于规定城市轨道交通智能变电所的使用条件、体系架构、通用技术要求等。
- 第2部分：监控系统。目的在于规定城市轨道交通智能变电所监控系统的总体构成、技术要求、试验方法、检验规则等，为该产品的设计、制造和检验提供依据。
- 第3部分：供电设备状态监测及诊断评估系统。目的在于规定城市轨道交通变电所供电设备状态监测及诊断评估系统的构成、功能要求、技术要求、试验方法、检验规则等方面的内容，为该产品的设计、制造和检验提供依据。

城市轨道交通 智能变电所 第3部分：供电设备状态监测及诊断评估系统

1 范围

本文件规定了城市轨道交通智能变电所供电设备”状态监测及诊断评估系统的使用条件、系统构成与配置、技术要求、试验方法和检验规则等。

本文件适用于采用直流牵引供电制式的城市轨道交通工程的供电设备状态监测及诊断评估系统(以下简称“系统”)的设计、制造和检验,采用其他供电制式的轨道交通工程可参照执行。

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。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 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 2900.1 电工术语 基本术语
- GB/T 2900.50 电工术语 发电、输电及配电 通用术语
- GB/T 4208—2017 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 9813.4—2017 计算机通用规范 第4部分：工业应用微型计算机
- GB/T 17626.2—2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3—2023 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分：射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4—2018 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—2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 17626.8—2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.11—2023 电磁兼容 试验和测量技术 第11部分：对每相输入电流小于或等于16 A 设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验
- GB/T 17626.29—2006 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 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 20540.1 测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型3：PROFIBUS规范 第1部分：概述和导则
- GB/T 420021—2021 信息物理系统 术语
- DL/T 634.5104—2009 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 IEC60870-5-101网络访问
- DL/T 860（所有部分） 电力自动化通信网络和系统
- DL/T 1430 变电设备在线监测系统技术导则
- DL/T 1498（所有部分） 变电设备在线监测装置技术规范
- T/CAMET XXXXX.1—XXXX 城市轨道交通 智能变电所 第1部分：通用技术要求

3 术语和定义

GB/T 2900.1、GB/T 2900.50、T/CAMET XXXXX.1—XXXX界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

在线监测 on-line monitoring

在运行情况下,对供电设备运行状态和运行环境进行连续或周期性地自动监视检测,并自动实现信息分类、统计和分析。

[来源: DL/T 1430—2015, 3.1, 有修改]

3.2

在线监测装置 on-line monitoring device

安装在被监测设备上或附近,用以自动采集、处理和发送被监测设备状态信息或运行环境信息的监测装置(含传感器)。在线监测装置能通过现场总线、以太网、无线等通信方式与综合监测单元通信或直接与站级监测单元通信。

[来源: DL/T 1430—2015, 3.2, 有修改]

3.3

综合监测单元 comprehensive monitoring unit

以被监测设备为对象,汇聚各类与被监测设备相关的在线监测装置发送的数据,并实现各类在线监测装置与站级监测单元进行标准化数据通信的装置。综合监测单元可接入不同类型、不同厂家的在线监测装置,实现变电所内在线监测装置的标准化接入。

[来源: DL/T 1430—2015, 3.3, 有修改]

3.4

站级监测单元 substation level monitoring unit

以变电所为对象,承担所内全部监测数据的分析和对在线监测装置、综合监测单元的管理,实现对监测数据的综合分析、监测报警功能,以及对在线监测装置、综合监测单元设置参数、数据召唤、对时、强制重启等控制功能,并能与站控层其他系统和上层平台进行格式化通信的装置。

[来源: DL/T 1430—2015, 3.4, 有修改]

3.5

中央级监测系统 central level monitoring unit

以线路为对象,承担全线变电所内全部监测数据的分析和对在线监测装置、综合监测单元、站级监测单元的管理,实现对监测数据的采集、状态监测、智能诊断、视频巡视、分析决策、运维管理等功能,以及对在线监测装置、视频巡视类装置、综合监测单元和站级监测单元设置参数、数据召唤、对时、强制重启等控制功能,并能与中央级其他系统进行格式化通信。

3.6

数字孪生 digital twin

基于传感器更新、运行历史、物理模型等孪生数据,完成从物理实体到信息虚体的模型映射,以及从信息虚体反馈至物理实体的过程。

[来源: GB/T 40021—2021, 2.13]

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

APP: 应用程序(Application)

ATRT: 事务平均响应时间(Average Transactions Response Time)

CCTV: 闭路电视监控系统(Closed Circuit Television)

CPU: 中央处理器(Central Processing Unit)

GIS: 气体绝缘金属封闭开关设备(Gas Insulated Switchgear)

HTTPS: 超文本传输安全协议(Hypertext Transfer Protocol Secure)

Modbus: 一种串行通信协议(Modicon bus Protocol)

MTBF: 平均无故障时间(Mean Time Between Failure)

NFC: 近通信技术(Near Field Communication)

Profibus: 过程现场总线(Process Field Bus)

QPS: 每秒查询率(Queries Per Second)

RTU：远程终端单元（Remote Terminal Unit）
 SFTP：安全文件传输协议（Secured File Transfer Protocol）
 SNTP：简单网络时间协议（Simple Network Time Protocol）
 SOA：面向服务的架构（Service-Oriented Architecture）
 SVG：静止无功发生器（Static Var Generator）
 TCP：传输控制协议（Transmission Control Protocol）
 TPS：每秒处理事务量（Transaction Per Second）

5 使用条件

应符合T/CAMET XXXXX. 1—XXXX的规定。

6 系统构成与配置

6.1 系统架构

6.1.1 系统宜采用分层分布式结构，分为间隔层、站控层、中央层。

6.1.2 间隔层设备主要包括安装在供电设备之上或附近的在线监测装置、综合监测单元。

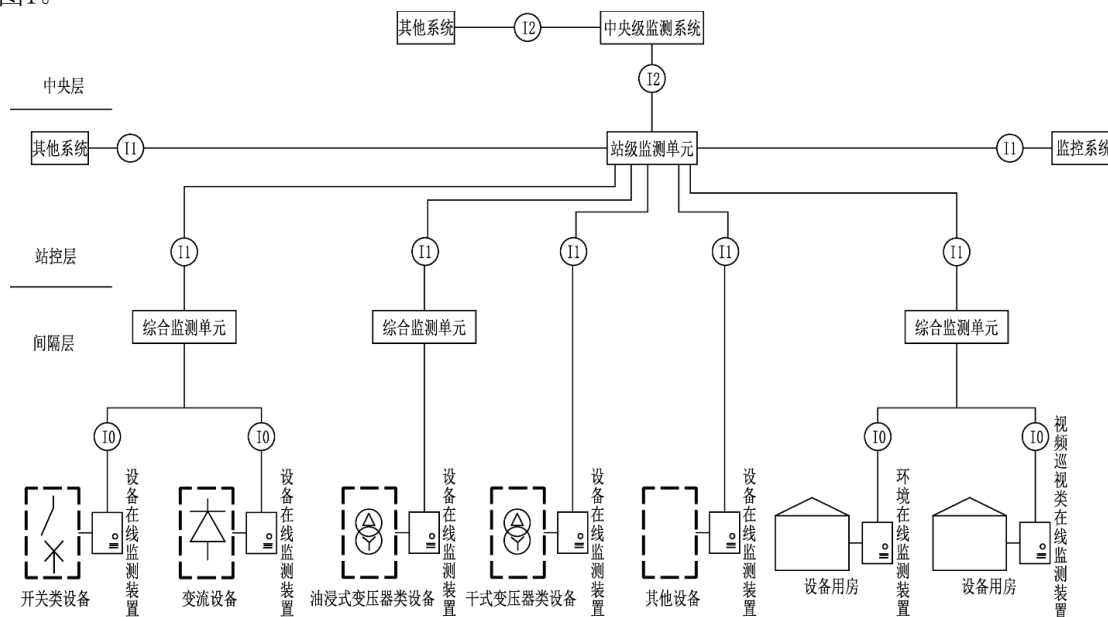
6.1.3 在线监测装置包含设备在线监测装置、环境在线监测装置、视频巡视类装置。其中设备在线监测装置包含油中溶解气体在线监测装置、铁心接地电流在线监测装置、光纤测温在线监测装置、高压套管在线监测装置、局部放电在线监测装置、断路器动作特性在线监测装置、隔离开关动作特性在线监测装置等；环境在线监测装置包含温湿度环境监测传感器、SF₆气体环境监测传感器、氧气（O₂）含量环境监测传感器、水浸环境监测传感器等；视频巡视类装置包含高清摄像机、红外双光谱摄像机等。

6.1.4 站控层设备主要包括变电所站级监测单元（工业控制计算机、显示设备等）。

6.1.5 中央级设备主要包括服务器、工作站、交换机和显示设备等。

6.2 系统接口

系统网络各层之间存在3个接口级别，分别是第1级接口I0、第2级接口I1和第3级接口I2，系统接口分级见图1。



标引序号说明：

I0——在线监测装置与综合监测单元之间的数据接口；

I1——综合监测单元或在线监测装置与站级监测单元之间的接口，以及站级监测单元与监控系统和其他系统的接口；

I2——站级监测单元与中央级监测系统之间的接口，以及中央级监测系统与中央层其他系统的接口。

图1 系统接口示意图

6.3 在线监测装置配置原则

6.3.1 通则

可根据被监测设备及环境的重要性、监测装置的可靠性、维护成本及投入成本等因素选择性配置在线监测装置。

6.3.2 变压器

6.3.2.1 油浸式变压器

油浸式变压器可包括220 kV电压等级油浸式变压器、110 kV电压等级油浸式变压器等，其在线监测装置配置要求如下：

- a) 应配置铁心接地电流在线监测装置；
- b) 应配置线圈温度、铁心温度在线监测装置，可采用光纤测温传感器；
- c) 应预留油中溶解气体在线监测装置接口，存在以下情况之一的，宜配置油中溶解气体在线监测装置：
 - 1) 存在潜伏性绝缘缺陷；
 - 2) 存在严重家族性绝缘缺陷；
 - 3) 运行时间超过 15 年；
 - 4) 为两条及以上轨道交通线路供电或运行位置特别重要的主变压器。
- d) 宜预留供日常检测使用的超高频传感器及测试接口，以满足运行中开展局部放电带电检测的需要；对局部放电带电检测异常的，可根据需要配置局部放电在线监测装置进行连续或周期性跟踪监视；
- e) 可配置高压套管在线监测装置。

6.3.2.2 干式变压器

干式变压器可包括整流变压器、配电变压器、SVG变压器、变流器升压/隔离变压器等，其在线监测装置配置要求如下：

- a) 应配置线圈温度、铁心温度在线监测装置，可采用光纤测温传感器；
- b) 整流变压器宜配置局部放电在线监测装置，其他变压器可根据需要配置局部放电在线监测装置。

6.3.3 开关柜

6.3.3.1 气体绝缘开关柜在线监测装置

气体绝缘开关柜可包括220 kV GIS组合电器、110 kV GIS组合电器、35 kV GIS开关柜、10 kV GIS开关柜等，其在线监测装置配置要求如下：

- a) 应配置 SF₆ 气体在线监测装置；
- b) 应预留供日常检测使用的超高频传感器及测试接口，以满足运行中开展局部放电带电检测的需要；对局部放电带电检测异常的，可根据需要配置局部放电在线监测装置进行连续或周期性跟踪监视；
- c) 宜配置断路器、隔离开关操作机构动作特性在线监测装置；
- d) 可根据需要配置避雷器在线监测装置。

6.3.3.2 空气开关柜

空气开关柜可包括20 kV空气开关柜、10 kV空气开关柜等，其在线监测装置配置要求如下：

- a) 应预留供日常检测使用的超高频传感器及测试接口，以满足运行中开展局部放电带电检测的需要；对局部放电带电检测异常的，可根据需要配置局部放电在线监测装置进行连续或周期性跟踪监视；
- b) 宜配置断路器、隔离开关操作机构动作特性在线监测装置；
- c) 可根据需要配置开关柜内触头和母排运行温度在线监测装置；
- d) 可根据需要配置避雷器在线监测装置。

6.3.3.3 直流开关柜

直流开关柜可包括1500 V直流开关柜、750 V直流开关柜等，其在线监测装置配置要求如下：

- a) 宜根据需要配置断路器、隔离开关操作机构动作特性在线监测装置；
- b) 可根据需要配置开关柜内触头和母排运行温度在线监测装置；
- c) 可根据需要配置避雷器在线监测装置。

6.3.3.4 0.4kV 开关柜

0.4 kV开关柜在线监测装置配置要求如下：

- a) 0.4 kV 开关柜进线开关、母联开关、三级负荷总开关及重要负荷馈线回路开关，应配置断路器在线监测装置；
- b) 可根据需要配置开关柜内电气连接点和母排运行温度在线监测装置。

6.3.4 变流设备

6.3.4.1 整流器

整流器可包括1500 V整流器、750 V整流器，其在线监测装置配置要求如下：

- a) 整流模块应分别配置温度在线监测装置；
- b) 可根据需要配置直流母排温度在线监测装置。

6.3.4.2 可控变流器

可控变流器可包括双向变流器、能馈变流器、储能变流器，其在线监测装置配置要求如下：

- a) 应配置电压、电流、温度在线监测装置；
- b) 可根据需要配置电抗器及功率模块温度在线监测装置。

6.3.5 其他设备

6.3.5.1 交直流电源设备

交直流电源设备可包括交流电源屏、直流电源屏、蓄电池屏，蓄电池屏应配置蓄电池在线监测装置。

6.3.5.2 电缆

电缆可包括220 kV电缆、110 kV电缆、35 kV电缆、20 kV电缆、10 kV电缆、1500 V直流电缆、750 V直流电缆等，在电缆与供电设备电气连接点处、电缆中间头处、电缆终端头处可根据需要设置电缆温度、局部放电在线监测装置。

6.3.5.3 其他供电设备

其他供电设备在线监测装置在技术成熟完善后，应遵从可靠、有效、经济的技术理念，统筹确定配置原则。

6.3.6 视频巡视类装置

在变电所各供电设备房、电缆夹层、电缆通道内应配置视频巡视类在线监测装置，配置要求如下：

- a) 变电所各设备房内应配置高清摄像机或红外双光谱摄像机，摄像机可独立配置或与 CCTV 共用；
- b) 摄像机设置位置及功能应满足代替人工巡检的基本需求，具备视频巡视的基本功能；
- c) 整流变压器及油浸式变压器宜配置红外双光谱摄像机，实时监测变压器表面温度及运行状态；
- d) 变电所电缆夹层及电缆通道可根据需要配置红外双光谱摄像机，实时监测电缆表面温度。

6.3.7 供电设备运行环境

供电设备运行环境可包括变电所各设备用房、电缆夹层、电缆通道等，其在线监测装置配置要求如下：

- a) 变电所各设备用房环境在线监测装置配置要求：
 - 1) 变电所各设备用房内应配置环境在线监测装置，实时监测设备运行环境温度、湿度、噪声、渗漏水等；

- 2) SF₆气体绝缘开关柜设备用房,应配置SF₆气体在线监测装置,实时监测环境SF₆气体含量, SF₆气体在线监测装置应低位布置;
- 3) 变压器类设备用房,可根据需要设置振动传感器,在线监测变压器运行振动及地面振动数据。
- b) 电缆运行环境在线监测装置配置要求:
 - 1) 变电所电缆夹层及电缆通道应配置氧气传感器,在线监测环境氧气含量;
 - 2) 变电所电缆夹层及电缆通道等易积水区域宜配置水浸传感器,在线监测电缆运行环境水浸信息。

7 技术要求

7.1 通则

系统应能实现对供电设备状态参量和运行环境信息在线连续或周期性地采集、处理、转发,对供电设备进行状态监测、智能诊断、视频巡视、联动控制等功能;具备与站控层和中央级其他外部系统的接口功能,可根据需求提供设备运行工况、智能诊断、视频巡视、联动控制等信息。

系统中央级技术要求应符合附录A的规定。

7.2 系统功能要求

7.2.1 数据采集与处理

系统应具备数据采集与处理功能,应满足以下要求:

- a) 通过供电设备在线监测装置,实时采集设备相关信息;
- b) 通过供电设备运行环境在线监测装置,实时采集设备运行环境相关信息;
- c) 通过视频巡视类装置,实时采集供电设备及运行环境相关信息;
- d) 对有精确时标和同步要求的监测信息,实现统一时间断面的实时同步采集;
- e) 对采集到的数据进行清洗和标准化处理;
- f) 按照一定的编码规则对数据进行统一标识管理。

7.2.2 状态监测

系统应具备状态监测功能,应满足以下要求:

- a) 可靠、准确的实现对供电设备运行状态及运行环境在线监测数据的实时监测;
- b) 针对不同被监测供电设备展现相应的实时监测结果;
- c) 采用光字牌、接线图、动画、图表、三维模型、视频等多种可视化方式显示监测信息;
- d) 通过设备分类、在线监测装置安装位置、监测数据属性中的一项或多项查找在线监测数据;
- e) 对供电设备运行状态参量、运行环境相关历史数据和信息进行追溯。

7.2.3 智能诊断

7.2.3.1 监测预警

系统应具备监测预警功能,要求如下:

- a) 应支持配置预警规则,内容可包括设备分类、监测属性、计算方式、触发条件等;
- b) 应支持配置报警规则,内容可包括报警等级、报警持续时间、报警方式、报警文案等;
- c) 应支持人工报警信息录入;
- d) 应支持监测数据的智能识别及比对,按照规则自动触发预警/报警;
- e) 可通过系统消息、接线图、图表等方式显示预警/报警信息;
- f) 可支持通过现场作业移动APP、短信、邮件等方式推送预警/报警信息至相关人员;
- g) 应支持预警/报警记录的长期保存,用于统计、分析和案例回顾。

7.2.3.2 状态评估

系统应具备状态评估功能,应满足以下要求:

- a) 根据预警/报警信息、实时监测信息及其他巡检信息对供电设备进行状态评估，至少包括运行、异常、故障、检修、退出；
- b) 支持健康状态评估，通过多维度数据分析实现对供电设备可靠性、可用性、状态趋势的综合评价，并能给出预警提示和策略建议；
- c) 支持使用多种数据分析方法进行状态评估。

7.2.3.3 诊断定位

系统应具备诊断定位功能，要求如下：

- a) 应支持知识库辅助快速诊断和定位，内容结构可包括设备类别、故障类别、故障现象、故障原因、影响范围、处理措施等；
- b) 可根据实时监测信息，进行异常定位，异常定位应至少到设备级、回路级；
- c) 异常、故障定位不确定时，列出可能异常的所有设备、回路信息，可支持自定义优先级。

7.2.4 视频巡视

系统应具备视频巡视功能，应满足以下要求：

- a) 根据设备巡视要求，具备自动启动、定时启动、人工启动等视频巡视功能，并具备实时监视、视频分析、巡视监控、联动控制等功能；
- b) 实现巡视对象、巡查路线、巡查时间等参数的设定和修改；当接到联动信号时，支持根据配置的联动信号和巡视点位的对应关系，自动生成巡视任务，对需要复核的点位进行巡视；
- c) 支持多种视频巡视类装置的接入；
- d) 根据视频巡视结果生成视频巡视报告，内容包括供电设备运行状态及运行环境信息，以及必要的图像、声音信息等；
- e) 具备人员非法入侵及行为异常，设备房内冒烟、起火、渗漏水、小动物进入等异常情况的智能识别功能。

7.2.5 联动控制

系统应具备联动控制功能，要求如下：

- a) 监测到设备异常、设备监测信息越限时，应启动相应区域内的高清摄像机或红外双光谱摄像机，发出报警信号；
- b) 发生火灾时，应启动火灾所在区域的高清摄像机或红外双光谱摄像机跟踪拍摄火灾情况并报警；宜具备向相关系统（如应急照明系统、门禁系统等）发送联动信号的功能；
- c) 发生非法入侵时，应启动所在区域的高清摄像机或红外双光谱摄像机并报警；宜具备向相关系统（如照明系统、门禁系统等）发送联动信号的功能；
- d) 发生 SF₆ 气体浓度超标或氧气（O₂）含量不达标时，应启动所在区域的高清摄像机或红外双光谱摄像机并报警；宜具备向相关系统（排烟系统等）发送联动信号的功能；
- e) 如发生水浸时，应启动所在区域的高清摄像机或红外双光谱摄像机并报警；宜具备向相关系统（如给排水系统等）发送联动信号的功能。

7.2.6 其他功能

系统应在站控层与智能变电所监控系统进行数据交互，可实时接收监控系统发送的各类信息，信息类别包括但不限于：开关位置信号、事故信号、事件信号、通信状态等遥信信号；电压、电流、功率、功率因数、温度等遥测数据；事件报告、故障报告、录波数据、定值等相关信息。

7.3 设备技术要求

7.3.1 在线监测装置

7.3.1.1 一般要求

在线监测装置一般要求如下：

- a) 安装形式和外观应与供电设备本体相协调；
- b) 应尽量缩短在线监测装置与供电设备本体连接的信号引线、气路或油路的长度；

- c) 安装在被监测设备附近时，应对信号与电路实施有效的隔离和绝缘，其电源应采用合适的隔离措施，在线监测装置自身的故障不应影响其他系统或设备的运行；
- d) 可自动、连续或周期性采集供电设备状态或运行环境信息，监测结果可根据需要实时、定期发送至综合监测单元或直接发送至站级监测单元，也可本地提取；
- e) 应具备 I0 接口与综合监测单元通信或具备 I1 接口直接与站级监测单元通信；应能接受上层单元下传的参数配置、数据召唤、强制重启等控制命令；
- f) 应具备校验接口，便于运行中现场定期校验；
- g) 应具有自诊断和自恢复功能，能向上层单元发送自诊断结果、故障报警等信息；
- h) 应具有采集数据存储功能及运行指示功能；
- i) 应具备接受智能变电所监控系统、综合监测单元、站级监测单元的时钟信号，可支持 B 码、SNTP 或通信协议等对时方式；在线监测装置自身的时钟守时能力不应低于 1 s/24 h；
- j) 应具有就地存储介质，应能在最小采样周期下存储至少最近 30 天的数据。

7.3.1.2 油中溶解气体在线监测装置

油中溶解气体在线监测装置用于监测油浸式变压器油中溶解气体，应满足DL/T 1498.2的规定。

7.3.1.3 铁心接地电流在线监测装置

铁心接地电流在线监测装置用于监测变压器铁心/夹件接地电流，应满足DL/T 1498.5的规定。

7.3.1.4 光纤测温在线监测装置

光纤测温在线监测装置用于监测变压器绕组主绝缘和铁心热点温度，测温点数宜为4个~20个，测点位置应根据内部温度场计算或实测结果决定。光纤测温在线监测装置的性能应满足以下要求：

- a) 测温范围为-40 ℃~200 ℃，测温误差范围不超过±1 ℃，测温重复性要求为相对标准偏差小于1%；
- b) 允许的最高安全工作温度为 250 ℃；
- c) 与变压器油（如有）相容性为相容；
- d) 传感器抗拉抗挤压不小于 10 N；
- e) 耐油压能力为 120 kPa；
- f) 光缆抗拉强度不小于 10 N；
- g) 光缆曲率半径不大于 3 cm。

7.3.1.5 高压套管在线监测装置

高压套管在线监测装置用于监测变压器套管的全电流有效值、电容值和介质损耗等，应满足表1的规定。

表1 高压套管在线监测装置技术要求

序号	检测参量	测量范围	测量误差要求	不确定度
1	全电流有效值	2 mA~200 mA	±（标准读数×1%+0.1 mA）	<0.2%
2		100 mA~1000 mA	±1%	<0.2%
3	电容量	100 pF~50000 pF	±（标准读数×1%+1 pF）	<0.2%
4	介质损耗因数	0.001~0.3	±（标准读数×1%+0.001）	<3% (在介质损耗因数≥0.005 时)

7.3.1.6 局部放电在线监测装置

7.3.1.6.1 变压器局部放电在线监测装置要求如下：

- a) 可监测变压器内部的放电信号，应具有良好的抗电晕干扰能力；
- b) 可监测达到一定强度的局部放电信号，并跟踪其发展趋势，在并入标准干扰源的情况下，最小可监测的视在放电量不应大于 300 pC 的局部放电信号，监测上限不应小于 10000 pC。

7.3.1.6.2 开关柜局部放电在线监测装置要求如下：

- a) 可监测开关柜内部及电缆连接终端头处的放电信号，应具有良好的抗电晕干扰能力；
- b) 在开关柜设备及电缆正常运行条件下，局部放电在线监测装置最小可监测的视在放电量不应大于 50 pC，最大可测量为 5000 pC。

7.3.1.7 断路器动作特性在线监测装置

断路器动作特性在线监测装置包括分、合闸线圈动作特性和储能电机动作特性(直流断路器除外)，并应满足以下要求：

- a) 测量范围包括分、合闸线圈电流波形，分、合闸时间和声学指纹等；
- b) 分、合闸线圈电流波形允许测量不确定度为 5%（幅值），110 kV 及以上电压等级断路器分、合闸线圈电流波形允许测量不确定度为 1.5%（幅值）；
- c) 分、合闸时间允许测量不确定度为 1 ms；
- d) 220 kV GIS 组合电器、110 kV GIS 组合电器断路器操作机构动作特性应包括声学指纹；声学指纹的监测频率宜在 0.1 Hz～20 kHz，最小可测量不应大于 0.001 g；
- e) 储能电机工作参量包括电机电流、电压、工作时间，允许不确定度分别为 5%、5%和 5 s/24 h；110 kV 及以上电压等级断路器允许不确定度分别为 1.5%、1.5%和 5 s/24 h；对于液压机构，还应统计储能电机的启动次数/24 h、累计工作时间/24 h 等。

7.3.1.8 隔离开关动作特性在线监测装置

隔离开关动作特性在线监测装置监测项目应包括分、合闸电机电流波形和分、合闸时间等，并应满足以下要求：

- a) 测量范围包括分、合闸电机电流波形，分、合闸时间等；
- b) 分、合闸电机电流波形允许测量不确定度为 5%（幅值）、50 ms（时间）；
- c) 分、合闸时间允许测量不确定度为 50 ms。

7.3.1.9 SF₆气体在线监测装置

SF₆气体在线监测装置监测项目应包括SF₆气体压力和SF₆气体水分，并应满足以下要求：

- a) SF₆气体压力允许测量不确定度为 2.5%；
- b) SF₆气体水分允许测量不确定度为 100 μL/L。

7.3.1.10 避雷器在线监测装置

避雷器在线监测装置监测项目应包括全电流、阻性电流、放电次数和时间，并应符合DL/T 1498.3 的规定。

7.3.1.11 触头和母排运行温度在线监测装置

开关触头运行温度监测范围应为-40℃～125℃，不确定度不应大于2%。

7.3.1.12 蓄电池在线监测装置

7.3.1.12.1 蓄电池在线监测装置监测项目应包括在线测量蓄电池组电压、蓄电池组电流、蓄电池组环境温度、蓄电池单体电压、蓄电池单体内阻。

7.3.1.12.2 测量范围应满足以下要求：

- a) 蓄电池组电压：(50%～130%) $U_b \times N$ ；
- b) 蓄电池组电流：0～200 A；
- c) 蓄电池组环境温度：-10℃～50℃；
- d) 蓄电池单体电压：(50%～130%) U_b ；
- e) 蓄电池单体内阻：40 μΩ～3000 μΩ（2 V 电池）；240 μΩ～15000 μΩ（12 V 电池）。

注： U_b 为蓄电池标称电压，N为整组蓄电池只数。

7.3.1.12.3 测量精度应满足以下要求：

- a) 蓄电池组电压测量误差不超过实际测量值的±0.5%；
- b) 蓄电池组电流测量误差不超过实际测量值的±1%；

- c) 蓄电池组环境温度测量误差不超过实际测量值的 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- d) 蓄电池单体电压测量误差不超过实际测量值的 $\pm 0.2\%$;
- e) 蓄电池单体内阻测量误差不超过实际测量值的 $\pm 2.5\%$;
- f) 单体内阻重复精度为 2% 。

7.3.1.13 高清摄像机

高清摄像机应满足以下要求:

- a) 图像传感器不小于 $1/2.8''$, 像素不低于200万, 以主码流输出的图像分辨率在50 fps时不低于720, 满足能清晰监视到仪表指针和读数;
- b) 焦距范围不小于 $4.3\text{ mm}\sim 129\text{ mm}$, 光学变焦不低于30倍。

7.3.1.14 红外双光谱摄像机

红外双光谱摄像机应满足以下要求:

- a) 测温范围: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$, 测量误差范围不超过 $\pm 2\%$;
- b) 红外分辨率(像素)为 320×240 及以上, 波长范围 $7.5\text{ }\mu\text{m}\sim 14\text{ }\mu\text{m}$, 空间分辨率 $<1.4\text{ mrad}$ (标准镜头 25°), 热灵敏度 $<60\text{ mK}$ ($30\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- c) 支持自动跟踪区域内最高/最低温度点;
- d) 支持大气穿透率校正、光学穿透率校正、辐射率校正、背景温度校正。

7.3.1.15 温、湿度环境监测传感器

温、湿度环境监测传感器应满足以下要求:

- a) 安装在室内的温、湿度环境监测传感器测量范围为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- b) 安装在室外的温、湿度环境监测传感器测量范围为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- c) 湿度测量范围: $0\sim 100\%\text{RH}$;
- d) 温度测量误差范围不超过实际测量值的 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- e) 湿度测量误差范围不超过实际测量值的 $\pm 5\%\text{RH}$ 。

7.3.1.16 SF₆气体环境监测传感器

SF₆气体环境监测传感器应满足以下要求:

- a) SF₆气体检测灵敏度高, 不受环境温度影响;
- b) 监测范围: $0\text{ ppm}\sim 3000\text{ ppm}$, 分辨率 1 ppm , 测量误差范围不超过实际测量值的 $\pm 1\%\text{F.S.}$ 。

7.3.1.17 氧气含量环境监测传感器

氧气含量环境监测传感器应满足以下要求:

- a) 氧气含量监测灵敏度高, 不受环境温度影响;
- b) 监测范围: $0\sim 30\%\text{Vol}$; 分辨率 $0.1\%\text{Vol}$; 测量误差范围不超过实际测量值的 $\pm 2\%\text{F.S.}$ 。

7.3.1.18 水浸环境监测传感器

水浸环境监测传感器应满足以下要求:

- a) 报警输入阻抗小于 $200\text{ k}\Omega$;
- b) 工作电流小于 30 mA , 报警电流小于 50 mA 。

7.3.2 综合监测单元

综合监测单元要求如下:

- a) 应具有接入不同厂商、不同通信接口、不同通信协议的在线监测装置, 统一转换标准通信协议与站级监测单元通信的功能;
- b) 应具有读取、设置在线监测装置配置信息等管理功能;
- c) 应具备 I/O 接口与在线监测装置通信, 应具备 I1 接口与站级监测单元通信; 应具备接受智能变电所监控系统和站级监测单元的时钟信号及为在线监测装置进行授时等功能, 应可支持 B 码、SNTP 或通信协议等对时方式; 综合监测单元自身的时钟守时能力不应低于 $1\text{ s}/24\text{ h}$;

- d) 综合监测单元的配置应根据接入的在线监测装置类型、数量、位置分布等多方面因素，合理选择数量和位置；
- e) 综合监测单元宜在通信距离和物理连接点数量可接受的情况下最大限度地接入多间隔、多种类的在线监测装置；
- f) 应具有自检和远程维护功能，能存储至少最近 30 天的数据。

7.3.3 站级监测单元

站级监测单元要求如下：

- a) 应具备对所内在线监测装置、综合监测单元以及所采集的状态监测数据进行全局监视管理的功能；
- b) 可向中央级设备传送格式化数据、分析诊断结果、预警信息以及根据中央级需求定制数据，并接受中央级设备下传的下装分析模型、参数配置、数据召唤、对时、强制重启等控制命令；
- c) 应具备 I1 接口与现场的综合监测单元或在线监测装置、监控系统或其他系统进行通信；应具备 I2 接口与中央级监测系统通信；
- d) 具备接受智能变电所监控系统、通信时钟系统或中央级监测系统的时钟信号，可以支持 B 码、SNTP 或通信协议等对时方式，能为综合监测单元、在线监测装置进行授时等功能；站级监测单元自身的时钟守时能力不应低于 1 s/24 h；
- e) 宜分别建立历史数据库和实时数据库，图片、音频、缺陷视频等文件存储时间不应少于 1 年，诊断评估、报警数据存储时间不应少于 5 年；
- f) 应具有跨区安全防护措施，可通过 Web 方式实现各类信息的展示、查询和统计分析等功能；应具备自检和远程维护功能。
- g) 站级监测单元软件系统应具有可扩展性和二次开发功能，可灵活定制接入的在线监测装置类型、监视画面、分析报表等功能；同时软件系统的功能可扩充，应用软件采用 SOA 架构，支持状态监测数据分析算法的添加、删除、修改操作，能适应系统的不断发展；数据库软件应选择通用、成熟的版本。

7.4 设备性能指标要求

7.4.1 绝缘性能

7.4.1.1 绝缘电阻

系统各设备的各独立电路与外露的可导电部分之间，以及各独立电路之间的绝缘电阻应满足表2的要求。

表2 绝缘电阻

额定工作电压	绝缘电阻
$U_N \leq 60 \text{ V}$	$\geq 100 \text{ M}\Omega$ （用 250 V 绝缘电阻测量）
$250 \text{ V} > U_N > 60 \text{ V}$	$\geq 100 \text{ M}\Omega$ （用 500 V 绝缘电阻测量）
注：与二次设备及外部回路直接连接的接口回路绝缘电阻不小于100 M Ω （用500 V绝缘电阻测量）。	

7.4.1.2 介质强度

系统各设备的介质强度要求如下：

- a) 在正常试验大气条件下，系统各设备的各独立电路与外露的可导电部分之间，以及各独立电路之间，应能承受频率为 50 Hz、1 min 的工频耐压试验而无击穿闪络及元件损坏现象。
- b) 工频耐压试验电压值按表 3 规定进行选择，也可以采用直流试验电压，其值应为规定的交流试验电压值的 1.4 倍。

表3 工频耐压试验电压要求

额定工作电压	交流试验电压要求
$U_N \leq 60 \text{ V}$	0.5 kV
$250 \text{ V} > U_N > 60 \text{ V}$	2 kV
注：与二次设备及外部回路直接连接的接口回路试验电压为2 kV。	

7.4.1.3 冲击电压

在正常试验大气条件下，系统各设备的各独立电路与外露的可导电部分之间，以及各独立电路之间，应能承受1.2/50 μs 的标准雷电波的短时冲击电压试验而无击穿闪络及元件损坏现象。当额定工作电压大于60 V时，开路试验电压为5 kV；当额定工作电压不大于60 V时，开路试验电压为1 kV。

7.4.2 电磁兼容性能

系统各设备的电磁兼容性能应符合表4的规定。

表4 电磁兼容性能要求

序号	项目	依据的标准	性能要求
1	静电放电抗扰度	GB/T 17626.2—2018	3级
2	射频电磁场辐射抗扰度	GB/T 17626.3—2023	3级
3	电快速瞬变脉冲群抗扰度	GB/T 17626.4—2018	3级
4	浪涌（冲击）抗扰度	GB/T 17626.5—2019	3级
5	工频磁场抗扰度	GB/T 17626.8—2006	5级
6	交流电源暂时中断抗扰度	GB/T 17626.11—2023	200 ms
7	直流电源暂时中断抗扰度	GB/T 17626.29—2006	30 ms

7.4.3 外观和结构

系统各设备的外观和结构应满足以下要求：

- 不带电金属部分应在电气上连成一体，并具备可靠接地点；
- 金属结构件有防腐蚀措施，满足发热元件的散热要求；
- 模件拔插灵活，接触可靠，互换性好；
- 表面平整、清洁、无划痕，紧固件无松动、脱落、锈蚀以及变形现象；
- 表面的涂覆层的颜色均匀一致，无明显的色差和眩光；涂覆层表面无砂粒、超络、流痕等缺陷。

7.4.4 外壳防护

安装在室外的设备外壳防护等级不应低于GB/T 4208中IP54的规定，安装在室内的设备外壳防护等级不应低于GB/T 4208中IP20的规定。

7.5 系统性能指标要求

7.5.1 一般要求

系统对中文信息处理、实时时钟、电源适应能力、电磁兼容性、可靠性要求应符合GB/T 9813.4—2017中第4章的规定。

7.5.2 性能效率

系统性能效率应满足以下要求：

- 画面实现数据更新周期 $\leq 3 \text{ s}$ ；

- b) 画面切换调用时间 ≤ 3 s;
- c) 遥信变位传送时间 ≤ 2 s;
- d) 重要遥测传送时间 ≤ 3 s;
- e) 遥控遥调传送时间 ≤ 4 s;
- f) 开关变位故障信息刷新时间 ≤ 3 s;
- g) $ATRT \leq 3$ s;
- h) $QPS \geq 30000$;
- i) $TPS \geq 25000$;
- j) 计算机 CPU 负载率: 正常时 $\leq 50\%$, 电力系统故障时 $\leq 70\%$;
- k) 以太网速率: 10/100/1000 Mbit/s 自适应。

7.5.3 可靠性

系统可靠性应满足下列要求:

- a) 遥测合格率 $\geq 99.9\%$;
- b) 遥信正确率 $\geq 99.9\%$;
- c) 事件记录正确率 $\geq 99.9\%$;
- d) 间隔层装置 MTBF ≥ 30000 h, 站控层设备 MTBF ≥ 20000 h;
- e) 系统的年可用率 $\geq 99.9\%$;
- f) 容错性: 可识别用户的不当操作并屏蔽非法数据录入, 有准确的中文提示, 对重要信息的删除或修改给出警告及确认提示。

7.6 通信接口和通信协议

7.6.1 在线监测装置与综合监测单元之间的通信协议应可采用以下标准通信协议的一种或多种:

- GB/T 19582.1 规定的 Modbus RTU 或 Modbus TCP;
- GB/T 20540.1 规定的 Profibus;
- DL/T 860 规定的通信协议。

7.6.2 综合监测单元或在线监测装置与站级监测单元之间的接口, 站级监测单元与站控层监控系统或其他系统的接口均应使用基于工业以太网的智能通信协议, 站级监测单元应具备工业以太网接口或可通过智能网关将现场总线转换成工业以太网接口。

7.6.3 站级监测单元与中央级监测系统之间的接口, 以及中央级监测系统与中央层其他系统的接口数据转发宜使用 DL/T 634.5104 规约、Modbus TCP、共享目录和 SFTP、HTTPS 等传输方式。

7.6.4 系统宜具备嵌入 HTTPS 服务和浏览器调用功能。

7.6.5 系统宜支持手持终端通过蓝牙、NFC 等通信方式访问现场设备。

8 试验方法

8.1 系统各设备试验

8.1.1 环境适应性试验

8.1.1.1 低温试验

系统各设备按照 GB/T 2423.1 中的试验 Ad 规定进行试验, 试验温度按 T/CAMET XXXXX. 1—XXXX 中第 4 章的要求、持续时间 16 h, 试验后统一校验是否符合第 7 章的规定。

8.1.1.2 高温试验

系统各设备按照 GB/T 2423.2 中的试验 Bd 规定进行试验, 试验温度按 T/CAMET XXXXX. 1—XXXX 中第 4 章的要求、持续时间 16 h, 试验后统一校验是否符合第 7 章的规定。

8.1.2 电源适应性试验

系统各设备按照 T/CAMET XXXXX. 1—XXXX 中第 4 章规定的参数中任选一项, 当该项参数在极限内变化时 (其余各项为额定值), 检查各设备是否可靠工作, 功能和性能是否符合第 7 章的规定。

8.1.3 绝缘性能试验

8.1.3.1 绝缘电阻试验

在正常试验大气条件下，按表2要求对各被试回路进行绝缘电阻试验。测试前应断开被试回路与外部的电气连接。

8.1.3.2 介质强度试验

在正常试验大气条件下，按7.4.1.2中表3要求对各被试回路进行介质强度试验。试验前，除被试回路外，其余回路应等电位互联并接地。试验过程中及试验后，检查装置是否发生击穿、闪络及元器件损坏现象。

8.1.3.3 冲击电压试验

在正常试验大气条件下，按7.4.1.3的要求对各被试回路进行冲击电压试验。试验前，除被试回路外，其余回路应等电位互联并接地。试验过程中及试验后，检查装置是否发生击穿、闪络及元器件损坏现象。

8.1.4 电磁兼容性能试验

系统各设备按照7.4.2中表4的要求进行试验，电磁兼容性能试验在装置通电工作情况下进行。

8.1.5 外观和结构试验

系统各设备按照目测法进行试验，检查是否符合7.4.3的规定。

8.1.6 外壳防护试验

系统各设备按照GB/T 4208规定的方法进行试验，检查是否符合7.4.4的规定。

8.2 系统试验

8.2.1 一般检查

检查系统各设备之间的网络连接，逐一验证在线监测装置、综合监测单元、站级监测单元、中央级监测系统之间的网络连接情况。

8.2.2 通信组网功能试验

在通信状态下，检查通信地址或寻址标识、参数设定和数据采集。采用同样方法分别在常温条件下、极限工作温度下和电磁兼容试验中验证系统的通信功能。

8.2.3 系统功能试验

按照系统操作使用手册逐一检查各运行画面。依据功能要求建立测试表，至少分成三部分：初始条件、测试描述、测试结果。

- a) 建立数据采集测试表，依次进行测试，检查是否符合 7.2.1、A.2.2 的规定。
- b) 建立状态监测测试表，依次进行测试，检查是否符合 7.2.2、A.2.3 的规定。
- c) 建立智能诊断测试表，依次进行测试，检查是否符合 7.2.3、A.2.4 的规定。
- d) 建立视频巡视测试表，依次进行测试，检查是否符合 7.2.4、A.2.5 的规定。
- e) 建立联动控制测试表，依次进行测试，检查是否符合 7.2.5、A.2.6 的规定。

8.2.4 通信接口和通信协议试验

8.2.4.1 通信接口试验

检查系统各设备间通信接线及网络交换机工作状态，并使用通用网络报文监视工具测试通信报文和协议标准。

8.2.4.2 通信协议试验

对于系统数据转发内容，包括状态监测、智能诊断、视频巡视、联动控制等，生成相应的数据转发点表文档，并使用相应的协议测试工具测试网络连接、用户鉴权、数据读取过程，随机抽查10组以上的测量和状态信息，检验是否与系统画面显示一致。支持通过模拟测试触发生成相应的故障录波数据，并检查其存储目录和文件名称是否符合监控系统或其他系统之间的接口要求。

8.2.5 测量精度试验

检查测量设备应提供的样本、认证或型式试验报告，检查其精度是否符合7.3.1的规定。在条件允许情况下，可使用标准源对其测量精度进行核验测试。

8.2.6 性能效率试验

按照系统操作使用手册随机抽取运行画面及运行工况，进行以下测试：

- a) 系统应随机选取 5 个以上不同的画面对多个回路的遥控、遥测、遥信、遥调信息进行现场数据变化观察，记录从设备端变化到系统画面显示之间的时间，求其时延平均值，作为验证结果与 7.5.1.2 的要求进行比对。
- b) 使用系统自带的性能监视工具，观察并记录系统在正常运行、状态监测、智能诊断、视频巡视、联动控制等多个工况下系统的 CPU 负荷率、内存占用率、网络 I/O 负荷率，观测窗口时间不小于 15 min，检查其平均值是否符合 7.5.1.2、A.2 的规定。

8.2.7 可靠性试验

在正常使用环境下，检查系统遥测合格率、遥信正确率和容错性结果等是否符合7.5.1.3和A.4的规定。

9 检验规则

9.1 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式检验。

系统试验前，系统各装置应已通过出厂检验和型式检验。

9.2 出厂检验

每套系统均应进行出厂检验，经质量检验部门确认合格后方能出厂。并应有记载出厂检验有关数据的合格证明书。

9.3 型式检验

在下列情况下应进行型式检验：

- a) 新产品定型前；
- b) 正式投产后，如产品设计、工艺、材料、元器件有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 产品停产 2 年以上又重新恢复生产时；
- d) 产品连续生产每 5 年时；
- e) 产品转场生产时；
- f) 出厂检验结果与上批装置检验有较大差别时。

9.4 检验项目

检验项目应符合表5的规定。

表5 检验项目

序号	检验项目		型式检验	出厂检验	技术要求 对应条款	检验方法 对应条款	
1	系统各设备试验	环境适应性试验		√	—	5	8.1.1
2		电源适应性试验		√	—	5	8.1.2
3		绝缘性能试验	绝缘电阻试验	√	√	7.4.1.1	8.1.3.1
4			介质强度试验	√	√	7.4.1.2	8.1.3.2
5			冲击电压试验	√	√	7.4.1.3	8.1.3.3
6		电磁兼容性能试验		√	—	7.4.2	8.1.4
7		外观和结构试验		√	√	7.4.3	8.1.5
8		外壳防护试验		√	—	7.4.4	8.1.6
9	系统试验	一般检查		√	√	7.3、A.2	8.2.1
10		通信组网功能试验		√	√	7.6、A.3	8.2.2
11		系统功能试验		√	√	7.1、7.2、7.5、A.2	8.2.3
12		通信接口和通信协议试验		√	√	7.6	8.2.4
13		测量精度试验		√	√	7.3.1	8.2.5
14		性能效率试验		√	√	7.5.1.2、A.4	8.2.6
15		可靠性试验		√	√（注）	7.5.1.3、A.4	8.2.7
注1：“√”表示必做的检验项目，“—”表示不做的检验项目。							
注2：出厂试验中的可靠性试验不包含间隔层设备MTBF、站控层设备MTBF、系统的年可用率3项指标的验证。							

附录 A (规范性) 中央级监测系统

A.1 中央级监测系统设备要求

系统应可实现对全线所有变电所内供电设备的运行状态和运行环境在线监测数据进行连续或周期性地采集、处理、存储、展示、传输，并实现对供电设备及运行环境的状态监测、智能诊断、联动控制、视频巡视、运维管理、分析决策等功能。

A.2 中央级监测系统功能要求

A.2.1 通则

系统应能实现对全线变电所内供电设备状态参量和运行环境信息在线连续或周期性地采集、处理、转发，对设备进行状态监测、智能诊断、视频巡视、联动控制等功能；具备与站控层和中央级其他外部系统的接口功能，可根据需求提供设备运行工况、智能诊断、视频巡视、联动控制等信息；具体功能要求如下：

- a) 具有对全线在线监测装置、综合监测单元、站级监测单元以及所采集的状态监测数据进行全局监视管理的功能；
- b) 可向中央层其他系统传送格式化数据、分析诊断结果、预警信息，可对站控层设备、间隔层设备下装分析模型、参数配置、数据召唤、对时、强制重启等控制命令；
- c) 软件具有可扩展性和二次开发功能，可灵活定制接入的各站控层设备、间隔层设备类型、监视画面、分析报表等功能；同时软件系统的功能可扩充，应用软件采用 SOA 架构，支持状态监测数据分析算法的添加、删除、修改操作，能适应系统的不断发展；
- d) 具有跨区安全防护措施，可通过 Web 方式实现各类信息的展示、查询和统计分析等功能；
- e) 具有与时钟系统、变电所监控系统的校时功能。

A.2.2 数据采集

数据采集应满足以下要求：

- a) 通过 6.2 的接口调用（或采集）站级监测单元信息，可与中央层其它系统交换数据；
- b) 对有精确时标和同步要求的监测信息，实现统一时间断面的实时同步采集；
- c) 对获取到的数据进行清洗、降维和标准化处理；
- d) 按照一定的编码规则对数据进行统一标识管理；
- e) 实现数据接收、存储、搜索、分析等操作的协同调度。

A.2.3 状态监测

状态监测应满足以下要求：

- a) 包含 7.2.2 的功能；
- b) 以线路为单位监测供电设备及运行环境状态；
- c) 能够采用线路图、地图等可视化方式显示监测信息。

A.2.4 智能诊断

智能诊断应包含 7.2.3 功能。

A.2.5 视频巡视

视频巡视应包含 7.2.4 功能。

A.2.6 联动控制

联动控制应包含 7.2.5 功能。

A.2.7 运维管理

运维管理应满足以下要求：

- a) 提供设备运行台账，基础内容宜包括但不限于设备编码、名称、类型、技术参数、位置信息、组织信息、生产信息、维保履历、部件信息、额定寿命、出厂属性等，根据需要可融合监测数据、保护定值、部件更换记录、维护保养记录、试验记录等内容；
对于预警/报警事件的处理，应支持自动触发相关在线流程，引导执行事件管理、故障确认、故障诊断、工单生成、任务下发等作业；
- b) 对于日常性维护工作的管理，支持创建不同业务类型的计划，自动生成工单并下发，日常维护工作包括但不限于人工巡检、智能巡检、计划性维护、清扫保养、性能检测试验等；
- c) 支持通过现场作业移动 APP 完成工单，提交规定信息并关闭对应流程；
- d) 可提供文档资料管理（或知识管理）、工器具信息管理、备品备件信息管理等功能。

A.2.8 分析决策

分析决策功能要求如下：

- a) 应支持重要数据统计分析，包括但不限于设备、报警、事件、故障、运行率、负荷率、开关计数等，可定义对象和指标，采用特定数据和算法，统计分析结果应支持屏幕显示和报表输出；
- b) 宜提供主题分析功能，可根据需要选定对象和主题，如设备机械特性分析、局部放电分析等；
- c) 宜支持数字孪生应用，通过建立数字孪生功能组件，实现对特定设备或系统的信息映射，基于数字孪生实现对物理实体的监测、诊断、预测、仿真和优化；
- d) 应具备融合线网级在线监测数据、监控系统数据、检测检修数据、试验数据、缺陷数据等各类数据进行大数据分析的功能。

A.3 中央级监测系统技术要求

中央级监测系统技术要求如下：

- a) 具备 I2 接口与站级监测单元、中央层其他系统通信功能；
- b) 具备与时钟系统、变电所监控系统的校时功能，可以支持 B 码或 SNTP 等对时方式，中央监测单元自身的时钟守时能力应不低于 1s/24h；
- c) 宜分别建立历史数据库和实时数据库，历史数据库应能对中央层、站控层历史数据进行永久保存；数据库软件应选择通用、成熟的版本。

A.4 中央级监测系统性能指标要求

中央级监测系统性能要求如下：

- a) 中文信息处理、实时时钟、电源适应能力、电磁兼容性、可靠性要求符合 GB/T 9813.4—2017 中第 4 章的规定。
- b) 画面调用时间 ≤ 3 s；
- c) $ATRT \leq 3$ s；
- d) $QPS \geq 30000$ ；
- e) $TPS \geq 25000$ ；
- f) 并发用户数 ≥ 25 ；
- g) 计算机 CPU 负载率：正常 $\leq 50\%$ ，电力系统故障时 $\leq 70\%$ ；
- h) 以太网速率：10/100/1000 Mbit/s 自适应；
- i) 设备 MTBF ≥ 20000 h；
- j) 系统的年可用率 $\geq 99.9\%$ ；
- k) 容错性：可识别用户的不当操作并屏蔽非法数据录入，有准确的中文提示，对重要信息的删除或修改给出警告及确认提示。

参 考 文 献

- [1] GB/T 5271.1—2000 信息技术 词汇 第1部分：基本术语
 - [2] GB/T 40021—2021 信息物理系统 术语
 - [3] DL/T 1411—2015 智能高压设备技术导则
 - [4] DL/T 1430—2015 变电设备在线监测系统技术导则
 - [5] DL/T 1663—2016 智能变电站继电保护在线监视和智能诊断技术导则
-