

数字变电站数字化远传表计技术要求

(试行)

目 次

1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 总则.....	2
5 通用技术要求.....	2
6 数字化远传表计专项技术要求.....	5
7 监测模块.....	10
8 数据通信.....	10
9 试验.....	10
10 检验规则.....	13
11 标志、包装、运输与贮存.....	19
附录 A（规范性） Modbus 规范扩展数据交换协议：表计适配规范.....	20
附录 B（规范性） 帧校验规则.....	30
附录 C（资料性） TLV 数据类型表定义.....	31
附录 D（规范性） 表计状态量参量类型表.....	32
附录 E（资料性） Modbus 异常响应.....	37

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

为全面规范南方电网公司数字化远传表计的选型与配置原则，指导数字化变电站的建设及运维，依据国家和行业有关标准、规程和规范，特制定本文件。

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。

本文件由中国南方电网有限责任公司生产技术部（标准化部）提出、归口管理。

本文件主编单位：南方电网科学研究院有限责任公司、中国南方电网有限责任公司生产技术部、贵州电网有限责任公司电力科学研究院、中国南方电网有限责任公司基建部、南方电网能源发展研究院有限责任公司、南方电网数字电网集团有限公司、云南电网有限责任公司怒江供电局

本文件主要起草人：杨伟鸿、黄之明、卓然、陈秋霖、钱海、庄志发、莫熙喆、冯建辉、罗颜、胡上茂、屈路、高超、黄若栋、黄世平、张历、杨涛、李凡、张旭光、王博、王晓蕾

本文件为首次发布。

本文件由中国南方电网有限责任公司生技部负责解释（专业归口部门）。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国南方电网有限责任公司标准化部（广东省广州市黄埔区科翔路 11 号南网科研基地，510663）

数字变电站数字化远传表计技术要求（试行）

1 范围

本文件规定了南方电网公司数字化远传表计的技术要求、使用条件、数据通信、试验、运输、贮存等要求。

本文件适用于 35 kV 及以上电压等级变电站数字化远传表计的设计、制造及试验。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本文件的引用而成为本文件的条款。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文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本文件。

- GB/T 1094.1 电力变压器 第 1 部分 总则
- GB/T 1094.2 电力变压器 第 2 部分 液浸式变压器的温升
- GB/T 2423.1 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 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 2423.3 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验
- GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Db：交变湿热（12h+12h 循环）
- GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）
- GB 4943.1 信息技术设备安全 第 1 部分：通用要求
- GB/T 11287 电气继电器 第 21 部分：量度继电器和保护装置的振动、冲击、碰撞和地震试验 第 1 篇：振动试验（正弦）
- GB/T 14537 量度继电器和保护装置的冲击与碰撞试验
- GB/T 34986 产品加速试验方法
- 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试验
- 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 22065 压力式六氟化硫气体密度控制器
- GB/T 30269.1-2015 信息技术 传感器网络 第 1 部分：参考体系结构和通用技术要求
- GB/T 30269.901-2016 信息技术 传感器网络 第 901 部分：网关：通用技术要求
- GB/T 33905.1-2017 智能传感器 第 1 部分：总则
- GB/T 33905.2-2017 智能传感器 第 2 部分：物联网应用行规
- GB/T 33905.3-2017 智能传感器 第 3 部分：术语
- GB/T 33905.4-2017 智能传感器 第 4 部分：性能评定方法
- GB/T 33905.5-2017 智能传感器 第 5 部分：检查和例行试验方法
- DL/T 1498.1-2016 变电设备在线监测装置技术规范 第 1 部分：通则
- DL/T 1432.3 变电设备在线监测装置检验规范 第三部分：电容型设备及金属氧化物避雷器绝缘在线监测装置
- JB/T 10549 SF₆ 气体密度继电器和密度表通用技术条件
- JB/T 10492 金属氧化物避雷器用监测装置标准
- JB/T 6302 变压器用油面温控器

JB/T 9647 变压器用气体继电器

JB/T 10692 变压器用油位计

JB/T 8450 变压器绕组温度计

T/CEC 409-2020 压力式 SF₆/N₂ 混合气体密度继电器技术要求

3 术语和定义

3.1

数字化远传表计 Digital Remote Meter

一种变电站一次设备智能监测仪表，用以采集一次设备状态参量并完成数据上传，包括但不限于变压器（油面温度、油位、瓦斯继电器）、断路器（SF₆气体压力/密度）、避雷器（全电流、动作次数）等数据。

3.2

监测模块 Monitoring Module

用于自动采集、接收和处理传感器发送的设备状态监测数据，并进行设备状态量分析和预警的装置。

3.3

传感器 Sensor

一种将特定状态参量转化为可采集电信息的器件或装置，可内置或外置安装在设备本体或附近。

4 总则

数字化远传表计应满足如下基本要求：

- 1) 通过应用数字化远传表计实现对一次设备基础功能的扩展和运行状态的监测、预警；
- 2) 数字化远传表计采集的数据应采用统一数据模型，数据和分析结果应通过统一通信协议上传至站控层；
- 3) 数字化远传表计宜考虑与主设备一体化设计，便于安装、拆卸、维护、校验及更换，并确保主设备的安全运行要求；
- 4) 非一体化设计的数字化远传表计，宜考虑主设备结构，不应就主设备本体进行较大改动，不应影响主设备原有功能实现与运行安全；
- 5) 应采用传感单元直接采集被测状态参量的方式；
- 6) 数字化远传表计典型功能结构如图 1 所示。

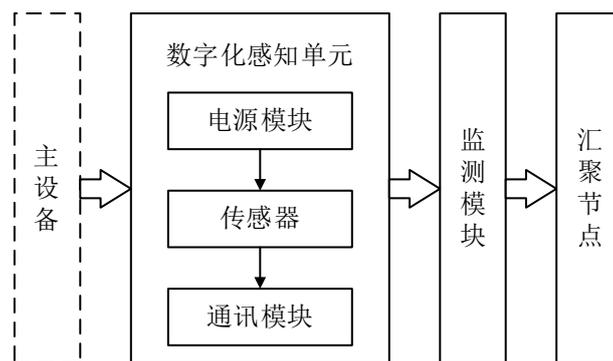


图 1 数字化远传表计典型功能结构

5 通用技术要求

5.1 结构和外观

数字化远传表计外观和结构要求如下：

- 1) 数字化远传表计的金属构件应采用耐腐蚀材料，非金属构件应采用耐老化材料；
- 2) 外表涂敷、电镀层应牢固均匀、光洁，不应有脱落、锈蚀、裂纹、孔洞等缺陷；
- 3) 各部件应装配牢固，无松动现象，各部件及相应连线应有防松动措施；
- 4) 输出接点端子应能牢靠地与外部接线。

5.2 安全性能

数字化远传表计的安全性能要求如下：

- 1) 数字化远传表计不应改变被监测设备的连接方式，不影响被测设备的密封性能和绝缘性能，不影响现场设备的运行；
- 2) 对于需从被监测设备接地线上获取信号的数字化远传表计，应不改变原有的接地性能，接地引下线应可靠接地并满足相应的通流能力；
- 3) 对于带有运动部件的数字化远传表计，应不会因其故障影响被监测设备的性能；

5.3 供电电源性能

数字化远传表计的供电电源要求如下：

- 1) i类：以交流电压为工作电源的表计：AC 220（ $1 \pm 10\%$ ）V，频率 50（ $1 \pm 5\%$ ）Hz；
- 2) ii类：以直流电压为工作电源的表计：DC 220（ $1 \pm 10\%$ ）V，直流 ± 12 V、0~24 V，优先选用直流 0~24 V；
- 3) iii类：电池供电或采用自取能供电的表计。

5.4 电池性能

5.4.1 考核范围

对于采用电池供电的表计，需要进行电池性能进行考核。

5.4.2 设计续航时间

上报周期为 5 min 时，电池设计续航时间应大于 6 年；上报周期为 2 min 时，电池设计续航时间应大于 3 年。

5.4.3 高温性能

电池应能够承受 85 °C、8 h 的高温测试。测试过程中电池以标称最大可持续放电电流恒电流放电，电池不应膨胀、泄漏、冒烟、着火、爆炸。

5.4.4 低温性能

电池应能承受-40 °C、24 h 的低温测试，电池全过程输出电压不应小于表计最低工作电压。

5.4.5 可充电电池过充、过放电

对于表计中使用具有可充电能力的电池，充电至电池电压达到电池终止电压的 1.5 倍或时间达到 1 h（或模块保护启动），或放电至时间达到 90 min 或电池电压达到 0 V（或模块的保护启动）后，不应发生膨胀、泄漏、冒烟、着火、爆炸等现象。

5.4.6 可充电电池寿命

对于表计中使用具有可充电能力的电池，500 次完整充放电后电池衰减应小于等于 15%，即能量保持率应大于等于 85%。

5.4.7 电池规格要求

电池采用标准化、模块化设计，由若干单体电池模块单元组成，单体电池模块单元应为技术成熟、便于市场化采购，满足运维人员通过更换单体电池模块单元的方式来实现电池更换。

5.5 可靠性

数字化远传表计的设计应满足使用寿命应不小于 16 年使用要求。

5.6 绝缘性能

5.6.1 绝缘电阻

在正常试验大气条件下，数字化远传表计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，绝缘电阻的要求见表 1：

表 1 绝缘电阻要求

额定工作电压 U_N	绝缘电阻要求
$U_N \leq 60$ V	≥ 100 M Ω （用 250 V 绝缘电阻表测量）
$60 < U_N < 250$ V	≥ 100 M Ω （用 500 V 绝缘电阻表测量）

注：与二次设备及外部回路直接连接的接口回路，绝缘电阻采用 $60 < U_N < 250$ V 的要求。

5.6.2 介质强度

数字化远传表计介质强度应满足以下要求：

- 1) 在正常试验大气条件下，数字化远传表计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、历时 1 min 的工频耐压试验而无击穿闪络及元件损坏现象。
- 2) 工频耐压试验电压值按表 2 规定选择，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 2 工频耐压试验电压要求

额定工作电压 U_N	交流试验电压有效值
$U_N \leq 60 \text{ V}$	0.5 kV
$60 < U_N < 250 \text{ V}$	2.0 kV

注：与二次设备及外部回路直接连接的接口回路，绝缘电阻采用 $60 < U_N < 250 \text{ V}$ 的要求。

5.6.3 冲击电压

在正常试验大气条件下，数字化远传表计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。

5.7 电磁兼容性能

5.7.1 抗扰度要求

数字化远传表计的抗扰度应符合表 3 的要求。

表 3 电磁兼容性能要求

端口	试验项目	依据标准	试验等级	性能要求	适用供电类型
外壳	静电放电 (ESD)	GB/T 17626.2	4 级	B 或 A	i、ii、iii 类
	射频电磁场辐射	GB/T 17626.3	3 级	A	i、ii、iii 类
	工频磁场	GB/T 17626.8	5 级	A	i、ii、iii 类
	脉冲磁场	GB/T 17626.9	5 级	A	i、ii、iii 类
	阻尼振荡磁场	GB/T 17626.10	5 级	A	i、ii、iii 类
交流电源	电压暂降	GB/T 17626.11	3 类	B 或 A	i 类
	电快速瞬变脉冲群	GB/T 17626.4	4 级	B 或 A	i 类
	浪涌 (冲击)	GB/T 17626.5	4 级	B 或 A	i 类
	射频场感应的传导骚扰	GB/T 17626.6	3 级	A	i 类
直流电源	电快速瞬变脉冲群	GB/T 17626.4	4 级	B 或 A	ii 类
	浪涌 (冲击)	GB/T 17626.5	4 级	B 或 A	ii 类
	射频场感应的传导骚扰	GB/T 17626.6	3 级	A	ii 类
I/O 信号/控制 (包括功能接地端口的连接线)	电快速瞬变脉冲群	GB/T 17626.4	4 级	B 或 A	i、ii、iii 类▲
	射频场感应的传导骚扰	GB/T 17626.6	3 级	A	i、ii、iii 类▲

▲若数字化远传表计不含 I/O 信号/控制线缆，则无需开展该试验。

5.7.2 抗扰度性能判据

抗扰度性能判据如下：

- 1) 试验过程中，在技术要求限值内功能或性能正常，可判定为 A 级；
- 2) 试验过程中，功能或性能暂时降低或丧失，但能自行恢复，可判定为 B 级；
- 3) 试验过程中，功能或性能暂时降低或丧失，但需要人工干预或系统复位才能恢复，可判定为 C 级；
- 4) 试验过程中，出现设备 (元件) 或软件损坏 (存储数据丢失)、功能丧失、性能下降，即使人工干预或系统复位也不能恢复，可判定为 D 级。

5.8 环境适应性能

数字化远传表计的环境适应性能应符合表 4 中规定的要求。

表 4 环境适应性能要求

环境性能	依据标准	应能承受的严酷等级
低温	GB/T 2423.1	温度-40℃、持续时间 2 h 的低温试验要求
高温	GB/T 2423.2	温度+70℃、持续时间 2 h 的高温试验要求
恒定湿热	GB/T 2423.3	温度 (40±2)℃, 相对湿度 (93±3)%, 持续时间 48h 的恒定湿热试验要求
交变湿热	GB/T 2423.4	温度+25℃至+55℃湿度 95%RH, 试验循环次数 2 次 (每个循环 24 h)

5.9 机械性能

数字化远传表计的机械性能应符合表 5 中规定的要求

表 5 机械性能要求

机械性能	依据标准	应能承受的严酷等级
振动	GB/T 11287	I级 (表壳内不充油); II级 (表壳内充油)
冲击	GB/T 14537	I级
碰撞	GB/T 14537	I级

5.10 外壳防护性能

数字化远传表计的外壳防护性能应符合 GB/T 4208 中规定的 IP65 级要求。

表 6 GB/T 4208-2017 中规定的特征数字所表示的防止固体异物、防止水进入的防护等级

	防护等级	
	简要说明	含义
第一位特征数字		
0	无防护	—
1	防止直径不小于 50 mm 的固体异物	直径 50 mm 球型物体试具不得完全进入壳内
2	防止直径不小于 12.5 mm 的固体异物	直径 12.5 mm 的球型物体试具不得完全进入壳内
3	防止直径不小于 2.5 mm 的固体异物	直径 2.5 mm 的球型物体试具不得完全进入壳内
4	防止直径不小于 1.0 mm 的固体异物	直径 1.0 mm 的球型物体试具不得完全进入壳内
5	防尘	不能完全防止尘埃进入, 但进入的灰尘量不得影像设备的正常运行, 不得影响安全
6	尘密	无灰尘进入
第二位特征数字		
0	无防护	—
1	防止垂直方向滴水	垂直方向滴水应无有害影响
2	防止当外壳在 15° 倾斜时垂直方向滴水	当外壳的各垂直面在 15° 倾斜时, 垂直滴水应无有害影响
3	防淋水	当外壳的垂直面在 60° 范围内淋水, 无有害影响
4	防溅水	向外壳各方向溅水无有害影响
5	防喷水	向外壳各方向喷水无有害影响
6	防强烈喷水	向外壳各方向强烈喷水无有害影响
7	防短时间浸水影响	浸入规定压力的水中经规定时间后外壳进水量不致达有害程度

6 数字化远传表计专项技术要求

6.1 数字化 SF₆ (SF₆/N₂混合气体) 密度表

6.1.1 使用环境要求

数字化 SF₆ (SF₆/N₂混合气体) 密度表 (以下简称密度表) 使用环境要求如下:

- 1) 工作环境温度：机械部分及数字化感知模块， $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ （严寒、高海拔等极端气候地区另行规定）；监测模块， $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ （严寒、高海拔等极端气候地区另行规定）；
- 2) 环境相对湿度：5%~95%（内部既不应凝露，也不应结冰）；
- 3) 大气压力：80 kPa~110 kPa；

6.1.2 功能要求

密度表功能要求如下：

- 1) 应具备实时监测压力、气体温度并计算 SF₆ 气体密度 (P₂₀) 的功能；
- 2) 应具备 SF₆ 监测数据本地存储、密度 (P₂₀) 就地显示（在失电时，仍可通过人工方式获取并直接抄录数据）、信号远传等功能，应能够即时上传并本地存储不少于 10,000 条测量记录（内容至少包括：月日时分、压力、温度、密度、报警信息）并可导出；
- 3) 应具备远传低压、闭锁、超压报警信息的功能，宜具备远传密度下降、液化报警信息等功能；机械部分应具备报警和闭锁功能；
- 4) 应具备长期稳定工作能力，具有断电不丢失存储数据和复电自恢复、自复位的功能，应具备自校验功能，具有远传自校验数据（结果）；
- 5) 对于有线通信方式，在自动模式下，数据上传时间间隔可设定，最小可设定值不高于 15 s，在手动模式下，在接收到测量指令时可即时启动单次测量；
- 6) 应满足免拆卸校验要求；
- 7) 应配备三通阀，一次设备接口以一次设备为准。充气接口应采用黄铜材质。

6.1.3 性能要求

密度表性能要求如下：

- 1) 满足本文件 5 通用技术要求中所规定的性能要求；
- 2) 密度表数字化感知单元的基本误差应满足表 6 中规定的技术要求；

表 7 SF₆ 数字化密度表数字化感知单元的基本误差要求

状态量	测量范围	误差限值
压力	0 MPa~1 MPa（绝对压力）	±0.25% F.S.
温度	-40°C~70°C	±1°C
P ₂₀ （20°C时压力）	0 MPa~1 MPa（绝对压力）	±1.0% F.S.

- 3) 密度表机械部分的精确度等级分为：1.0 级，1.5 级；
- 4) 密度表机械部分的基本误差、回差、指针偏转的平稳性、轻敲位移、设定点偏差、切换差应满足 GB/T 22065 中 5.3~5.8 所规定的要求，数字化 SF₆ 密度表温度补偿应满足 GB/T 22065 中 5.9 所规定的要求，数字化 SF₆/N₂ 混合气体密度表温度补偿试验应满足 T/CEC 410-2020 所规定的要求；
- 5) 现场显示与输出并远传的 SF₆ 气体的密度值之差在额定值、报警值、闭锁值处应符合表 8 的规定；

表 8 现场显示与远传数据一致性要求

精确度等级	20°C (%F.S.)	其它温度 (%F.S.)
1.0	±1.0	±1.5
1.5	±1.5	±2.5

- 6) 密度表自校验性能要求：
 - a) 密度表自校验时密度升高或下降时，密度变化应能平稳进行，接近接点信号设定值时的速度每秒应不大于量程的 5%。能够测量密度表的报警、闭锁接点动作值以及其对应的返回值。
 - b) 接点测试电压为 DC 24 V，允许误差为±10%；
 - c) 密度表自校验时不允许误发报警、闭锁信号到继电保护系统；
 - d) 气体密度低于设定阈值（报警值+0.02 MPa）时，密度表禁止自校验工作；

e) 环境温度(20 ± 2) °C时密度表数字化感知单元的压力测量重复性：不大于最大允许误差绝对值。

7) 数字化 SF₆密度表的密封性能（包括自校验时）用绝对漏气率表示，其值不大于 1×10^{-9} Pa·m³/s；

8) 传感器和监测模块的有线连接应采用单芯截面积不小于 0.5 mm²的屏蔽电缆。

6.1.4 安装要求

安装要求如下：

- 1) 数字化 SF₆密度表应装设在与被监测气室处于同一运行环境温度的位置；
- 2) 户外安装时应采取防止二次接头受潮的防雨措施，宜采取防阳光直射的措施；
- 3) 供货厂家应提供详细现场勘测报告及选型、施工方案；
- 4) 条件允许情况下，宜优先采用随传感器或数字化表计提供的安装支架。

6.2 数字化避雷器泄漏电流表

6.2.1 使用环境要求

使用环境应满足以下要求：

- 1) 工作环境温度：机械部分及数字化感知模块，-40 °C ~ +70 °C（严寒、高海拔等极端气候地区另行规定）；监测模块，-25 °C ~ +55 °C（严寒、高海拔等极端气候地区另行规定）；
- 2) 环境相对湿度：5% ~ 95%（内部既不应凝露，也不应结冰）；
- 3) 大气压力：80 kPa ~ 110 kPa。

6.2.2 功能要求

数字化避雷器泄漏电流表功能要求如下：

- 1) 具备对金属氧化物避雷器的全电流、动作次数进行连续实时或周期性自动监测功能。
- 2) 对于有线通信方式，在自动模式下，原则上采取实时上传的模式，动态数据自动上传时间间隔可设定，最小可设定值不高于 15 s，在手动模式下，在接收到测量指令时可即时启动单次测量；
- 3) 具有异常报警功能，包括监测数据超标、监测功能故障和通信中断等报警功能：报警设置可修改，报警信息应实现实时远传；
- 4) 具备长期稳定工作能力，具有断电不丢失数据、自复位的功能；
- 5) 宜满足免拆卸校验要求。

6.2.3 性能要求

数字化避雷器泄漏电流表性能要求如下：

- 1) 满足本文件 5 通用技术要求中所规定的性能要求；
- 2) 监测器动作次数宜采用 3 位电磁计数器显示，全电流可采用数字显示或指针显示，采用指针显示时，刻度表应有正常区（绿色）、注意区（黄色）及报警区（红色）；
- 3) 全电流有效值测量范围根据避雷器电压等级，分为 100 μA ~ 5 mA，最大允许测量误差为： \pm （标准读数 $\times 2\% + 5 \mu\text{A}$ ），测量重复性要求为 $\text{RSD} < 0.5\%$ 。
- 4) 宜具备阻性电流测量功能，阻性电流基波峰值测量范围为 10 μA ~ 1 mA，最大允许测量误差为： \pm （标准读数 $\times 5\% + 5 \mu\text{A}$ ），测量重复性要求为 $\text{RSD} < 2\%$ ；
- 5) 避雷器全电流远传数据与现场指针显示数据之差的绝对值不大于 5% F.S.；
- 6) 数字化避雷器泄漏电流表残压、冲击电流耐受应分别满足 JB/T 10492 中 6.3 和 6.6 规定的要求。

6.2.4 安装要求

安装要求如下：

- 1) 数字化避雷器泄漏电流表应装设在与被监测避雷器处于同一运行环境温度的位置；
- 2) 户外安装时应采取防止二次接头受潮的防雨措施，宜采取防阳光直射的措施；
- 3) 供货厂家应提供详细现场勘测报告及选型、施工方案；
- 4) 条件允许情况下，宜优先采用随传感器或数字化表计提供的安装支架。

6.3 数字化变压器油温计、绕组温度计

6.3.1 使用环境要求

数字化变压器油温计、绕组温度计使用环境应满足以下要求：

- 1) 数字化变压器油温计、绕组温度计的正常环境温度： $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，其它使用条件按 GB/T 1094.1 的规定；
- 2) 环境相对湿度： $5\% \sim 95\%$ （内部既不应凝露，也不应结冰）；
- 3) 特殊要求另行规定。

6.3.2 功能要求

数字化变压器油温计、绕组温度计的功能要求如下：

- 1) 能够测量变压器的油面温度、绕组温度，可实现变压器的油温、绕组温度的就地显示；
- 2) 对于有线通信方式，在自动模式下，原则上采取实时上传的模式，动态数据自动上传时间间隔可设定，最小可设定值不高于 15 s，在手动模式下，在接收到测量指令时可即时启动单次测量；
- 3) 应输出报警或控制信号；
- 4) 宜满足免拆卸校验要求。

6.3.3 性能要求

数字化油温计、绕组温度计应满足以下要求：

- 1) 远传模块应满足本文件 5 通用技术要求中所规定的性能要求；
- 2) 数字化油温计应符合 JB/T 6302 变压器用油面温控器第 6 章的要求；
- 3) 数字化绕组温度应符合 JB/T 8450 变压器绕组温度计第 4 章的要求；
- 4) 测量精度等级不低于 1.5 级，显示仪表的精度等级不低于 1.0 级；
- 5) 测量范围应能覆盖 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ （或按特殊要求）；
- 6) 测温装置温包的额定耐受压力值应不小于 1.6 MPa，耐受压力时间应不小于 1 min，温包的插入深度应不小于 150 mm；
- 7) 测量范围内示值刻度及指针温度计的温度控制开关设定刻度的最小分度值均不大于 2 K；
- 8) 装置指示、控制室温度显示装置、监控系统显示的温度应基本保持一致，最大误差不超过允许误差绝对值的 1/2；
- 9) 应具备主变不停电情况下的偏差校准功能。

6.3.4 安装要求

安装要求如下：

- 1) 数字化变压器油温计、绕组温度计应装设在与被监测变压器处于同一运行环境温度的位置；
- 2) 户外安装时应采取防止二次接头受潮的防雨措施，宜采取防阳光直射的措施；
- 3) 供货厂家应提供详细现场勘测报告及选型、施工方案；
- 4) 条件允许情况下，宜优先采用随传感器或数字化表计提供的安装支架。

6.4 数字化变压器油位计

6.4.1 使用环境要求

数字化变压器油位计使用环境应满足以下要求：

- 1) 数字化感知单元的正常环境温度： $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；机械部分工作环境温度： $-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- 2) 环境相对湿度： $5\% \sim 95\%$ （内部既不应凝露，也不应结冰）；
- 3) 地震加速度：水平方向低于 3 m/s^2 ，垂直方向低于 1.5 m/s^2 。

6.4.2 功能要求

变压器油位监测采用数字化表计，其功能要求如下：

- 1) 能够测量变压器油枕油位，可实现变压器油枕油位的就地显示；
- 2) 应具有数据远传功能，宜通过 4 ~ 20 mA 模拟输出或 Modbus 协议将信息远传；

3) 对于有线通信方式,在自动模式下,原则上采取实时上传的模式,动态数据自动上传时间间隔可设定,最小可设定值不高于 15 s,在手动模式下,在接收到测量指令时可即时启动单次测量;

4) 应输出报警或控制信号;

5) 宜满足免拆卸校验要求。

6.4.3 性能要求

数字化油位计应满足以下要求:

1) 数字化部分满足本文件 5 通用技术要求中所规定的性能要求;

2) 油位计应符合 JB/T 10692 变压器用油位计的要求;

3) 油位计测量精度等级为 2.5 级;

4) 油位计应根据实际需求,选用标称测量范围及安装尺寸;

5) 除管式以外的油位计应能承受 0.2 MPa 气压、持续 20 min,无渗漏及变形;顶装管式油位计应能承受 0.1 MPa 气压、持续 20 min,无渗漏;

6) 除管式以外的油位计应能承受 0.2 MPa 油压(介质为变压器油,温度为 65°C~75°C)、持续 6 h,无渗漏及变形;顶装管式油位计应能承受 0.1 MPa 油压、持续 6 h,无渗漏;侧装(玻璃)管式油位计应能承受常压、持续 2 h,无渗漏;

7) 除侧装(玻璃)管式以外的油位计应能承受 13 Pa 真空度、持续 10 min,渗漏率不超过 1.33 Pa·L/s,且壳体不得损坏和发生永久变形。

6.4.4 安装要求

安装要求如下:

1) 数字化变压器油温计应装设在与被监测变压器处于同一运行环境温度度的位置;

2) 户外安装时应采取防止二次接头受潮的防雨措施,宜采取防阳光直射的措施;

3) 供货厂家应提供详细现场勘测报告及选型、施工方案;

4) 条件允许情况下,宜优先采用随传感器或数字化表计提供的安装支架。

6.5 数字化变压器气体继电器

6.5.1 使用环境要求

数字化气体继电器使用应满足以下要求:

1) 工作环境温度:机械部分-40°C~+100°C,数字化感知模块-40°C~+70°C,(严寒、高海拔等极端气候地区另行规定);监测模块,-25°C~+55°C(严寒、高海拔等极端气候地区另行规定);

2) 环境相对湿度:5%~95%(内部既不应凝露,也不应结冰);

3) 管路通径:25 mm、50 mm、80 mm;

6.5.2 功能要求

数字化气体继电器应满足以下功能要求:

1) 本体气体继电器应有集气盒引下,密封性应完好;

2) 真空灭弧有载分接开关应选用具有油流速度、气体报警(轻瓦斯)功能的气体继电器,并应接入轻瓦斯告警及重瓦斯跳闸功能,宜选用具有集气盒的气体继电器;

3) 气体继电器动作原因状态及信息应具备远传功能,其中信息宜包含气体体积、接点状态、可燃气体浓度等;

4) 对于有线通信方式,在自动模式下,原则上采取实时上传的模式,动态数据自动上传时间间隔可设定,最小可设定值不高于 15 s,在手动模式下,在接收到测量指令时可即时启动单次测量;

5) 数字化气体继电器的设计应不影响取气操作;

6) 宜满足免拆卸校验要求。

6.5.3 性能要求

数字化气体继电器应满足以下要求:

1) 远传模块应满足本文件 5 通用技术要求中所规定的性能要求;

2) 数字化气体继电器机械部分应满足 JB/T 9647 变压器用气体继电器的相关要求;

3) 连续或周期性监测内部油位、继电器动作状态等信息，并通过 4~20mA 模拟输出或 Modbus 协议将信息远传。

4) 宜具备气体体积数字化测量功能，相对测量误差不大于 10%。

6.5.4 安装要求

安装要求如下：

1) 安装方式：继电器管路轴线应与变压器箱盖平行，允许通往储油柜的一端稍高，但其轴线与水平面的倾斜度不超过 4%；

2) 数字化变压器油温计应装设在与被监测变压器处于同一运行环境温度位置；

3) 户外安装时应采取防止二次接头受潮的防雨措施，宜采取防阳光直射的措施；

4) 供货厂家应提供详细现场勘测报告及选型、施工方案；

5) 气体继电器数字化改造方案中，若占用设备本体原有集气口，应通过三通转接，并保留集气口；

6) 条件允许情况下，宜优先采用随传感器或数字化表计提供的安装支架。

7 监测模块

对于采用有线通讯方式的表计，其监测模块应满足 DL/T 1498.1 所规定的相关要求。

8 数据通信

数字化 SF₆密度表、避雷器泄漏电流等数字化远传表计的传感器采集的设备信息由监测模块处理分析，最终统一上传。数据通信应采用有线通信方式传输数据。

采用有线通信方式的数字化远传表计，通信要求如下：

1) 数字化 SF₆密度表、数字化避雷器泄漏电流表、数字化变压器油温表计、数字化变压器油位计及数字化变压器气体继电器的传感器与监测模块之间优先采用屏蔽电缆、光纤传输方式通信；

2) 应支持 RS485 或模拟量接口，RS485 接口传输协议应采用 Modbus 协议，波特率 9600 bps，帧格式 1 个起始位、8 个数据位、1 个奇偶校验位、1 个停止位，具体通信规范应符合附录 A 所规定的要求，帧校验规则见附录 B，TLV 数据类型定义见附录 C；

3) 监测模块实现分析预警功能并将实时参量及告警信息上传，最终上送至汇聚单元。

9 试验

9.1 通用试验

9.1.1 试验条件

除另有规定外，各项检验宜在如下正常试验大气条件下进行：

1) 环境温度：+15℃~+35℃；

2) 相对湿度：25%RH~75%RH；

3) 大气压力：86 kPa~106 kPa。

9.1.2 结构和外观检查

根据 5.1 的要求逐项进行检查。

9.1.3 基本功能检验

根据各表计功能要求逐项进行检验。

9.1.4 绝缘性能试验

9.1.4.1 绝缘电阻试验

在正常试验大气条件下，按表 1 要求对各测试回路进行绝缘电阻试验。测试前，应断开被试回路与外部电气连接。测试结果应满足 5.6.1 的要求。

9.1.4.2 介质强度试验

在正常试验大气条件下，按表 2 要求对各测试回路进行介质强度试验。测试前，除被试回路外，其余回路应等电位互联并接地。试验期间及试验后，传感器不应发生击穿、闪络及元器件损坏现象。测试结果应满足 5.6.2 的要求。

9.1.4.3 冲击电压试验

在正常试验大气条件下，按 5.6.3 的要求对各被测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。试验期间及试验后，传感器不应发生击穿、闪络及元器件损坏现象。

9.1.5 电磁兼容性能试验

按表 3 中的依据标准中所要求的试验方法，按相应的试验等级进行试验，在试验期间和试验后，表计应满足表中的性能判据要求。

9.1.6 环境适应性能试验

按表 4 中的依据标准中所要求的试验方法，按相应的严酷等级进行试验，传感器应能承受相应的严酷等级要求。

9.1.7 机械性能试验

按表 5 中的依据标准中所要求的试验方法，按相应的严酷等级进行试验，传感器应能承受相应的严酷等级要求。

9.1.8 外壳防护性能试验

按表 6 中的依据标准中所要求的试验方法，按相应的严酷等级进行试验，传感器应能承受相应的严酷等级要求。

9.1.9 可靠性测试

表计经受绝缘、电磁、环境、机械和外壳防护试验后，性能应满足本文件要求。

9.1.10 加速老化试验

按 GB/T 34986 中所规定的定量加速试验老化方法进行试验，在置信度不小于 50% 下，16 年累计故障率应不大于 10.25% 加速应力推荐使用恒定温度、湿度，样本数量不小于 15 个，评估结果应满足不小于 16 年的使用要求。

9.1.11 区域可靠性试验

由供需双方参照地区气候特征，选取最极端运行工况，进行挂网试运行。

9.1.12 通讯协议检测

按数据通信要求，检测通信协议的准确性：

对有线通信协议进行功能的肯定及否定检测协议的一致性，检测通信报文格式及处理过程是否符合技术要求，检测对异常报文的识别能力，不应因接收到异常报文而影响正常通信及功能。

各表计数据通信协议应满足本文件 8 的要求。

9.1.13 电池性能试验

9.1.13.1 设计续航时间

准备 1 年内生产的未使用过的电池，并按以下步骤开展试验：

a) 使用功耗仪在额定电压、2 次通信间隔为 5 min 的条件下测量表计功耗 1 h，分别得出最大工作电流 I_{\max} (mA)、平均工作电流 I_x (mA)、单次平均工作时间 T_x (min)、平均休眠电流 I_s (mA)。

b) 以最大工作电流 I_{\max} 为放电电流，表计最小工作电压为截止电压对电池进行放电，得到电池的可用容量 C (mAh)。默认在 20 °C 测量，严寒地区可选择在 -10 °C、-25 °C、-40 °C 下测量。

c) 当表计设计 2 次通信间隔为 T_n (min) 时，电池设计续航时间 T (h) 为：

$$T = k_1 \times \frac{C}{k_2} \times \left[I_x \times T_x \times \frac{60}{T_n} + I_s \times \left(60 - T_x \times \frac{60}{T_n} \right) \right]$$

其中：

k_1 ：自损耗系数，电池长时间运行会产生自放电，减小电池容量，一般取值 0.8；

k_2 ：老化系数，通信元件老化后，可能会造成重传次数增加、元件功耗增加，一般取值 1.2。

9.1.13.2 高温测试

高温测试按 GB/T 2423.2 方法开展，严酷等级为 85 °C，持续 8 h。测试过程中电池以标称最大可持续放电电流恒电流放电，测试后观察 1 h。试验过程中及试验后电池不应膨胀、泄漏、冒烟、着火、爆炸。

9.1.13.3 低温测试

准备未使用过的电池，并按以下步骤开展试验：

- a) 在 -40 °C 的恒温箱内下贮存电池 24 h。
- b) 以 I_N 进行放电，持续 2 h。

电池全过程输出电压不应小于表计最低工作电压。

9.1.13.4 可充电电池过充、过放电测试

试验前确定以下参数：充电功率 P ；充电截止条件（电池的充电截止电压）；放电功率（工作功率 P_1 ）；放电截止条件（电池的放电截止电压）。

试验要求如下：

电池模块初始化充电：以恒功率 P_1 放电至电池的放电终止电压，静置 30 min；以恒功率 P 充电至电池的充电终止电压(或以厂家规定的充电方式进行充电)，静置 30 min；

- 1) 使电池以功率 P 充电至电池电压达到电池终止电压的 1.5 倍或时间达到 1h（或模块保护启动）时停止充电；
- 2) 使电池以放电功率 P_1 放电至时间达到 90 min 或电池电压达到 0 V（或模块的保护启动）时停止放电；

- 3) 观察 1 h；

电池试验过程中及试验后，应满足 5.4.5 所规定的要求。

9.1.13.5 可充电电池寿命

试验前确定以下参数：充电功率 P ；充电截止条件（电池的充电截止电压）；放电功率（工作功率 P_1 ）；放电截止条件（电池的放电截止电压）。

试验要求如下：

1) 电池模块初始化放电：以 P 恒功率充电至电池的充电终止电压（或以厂家规定的充电方式进行充电），静置 30 min；再以 P_1 恒功率放电至电池的放电终止电压，静置 30 min。

2) 电池模块以 P 恒功率充电至电池的充电终止电压（或以厂家规定的充电方式进行充电），静置 30 min；

3) 电池模块以 P_1 恒功率放电至电池的放电终止电压，静置 30 min；

4) 按 2)~3) 连续循环 500 次。

电池试验过程中及试验后，应满足 5.4.6 所规定的要求。

9.1.13.6 其他测试要求

对表计进行可靠性、电磁兼容、环境适应性、机械性能、外壳防护性能考核时应装入电池，考核过程中电池应不发生膨胀、泄漏、冒烟、着火、爆炸。

高寒地区试验要求另行规定。

9.1.14 通信性能

有线通信协议应满足本文件 8 中所规定的要求。

9.2 专项试验

9.2.1 数字化 SF₆ 密度表试验

9.2.1.1 数字化感知单元测量误差试验

数字化感知单元测量误差试验如下：

1) 数字化 SF₆ 密度表与试验平台连接，由密封气室提供 SF₆ 气压；并将密度表和密封气室置于恒温箱内；

2) 调整恒温箱温度 20 °C，并保持至少 2 小时，依次调整 SF₆ 气体压力 0 MPa、0.2 MPa、0.4 MPa、0.6 MPa、0.8 MPa，记录密度表测量值（压力、温度和 P_{20} ）。

9.2.1.2 机械部分试验

机械部分试验应按 GB/T 22065 相关条款执行。

9.2.1.3 告警信息试验

1) 低压告警、闭锁告警、超压告警试验

在环境温度不变的条件下，给 SF₆ 数字化密度表施加额定压力负荷，然后再均匀缓慢地减负荷或者增负荷，达到低压告警值、闭锁告警值或超压告警值时，密度表应发出告警提示和告警远传信号。

2) 密度下降告警试验

给密度表施加额定压力负荷，在环境温度不变的条件下，在 1 分钟内减少超过 SF₆ 数字化远传密度表计基本误差的 3 倍的负荷，密度表应发出“告警”提示和“告警”远传信号。

3) 液化告警试验

将密度表与密封气室连接，给密封气室充入 0.6 MPa 压力负荷的 SF₆ 气体，将密度表与密封气室均放置在高低温试验箱中。将高低温试验箱温度均匀缓慢地降至 -35 °C，温度变化速率应不大于 1 °C/min，此时密封气室内 SF₆ 气体发生液化。当密度表检测到因气体液化而气体密度值下降时，应及时发出“告警”提示和“告警”远传信号。

9.2.2 数字化避雷器泄漏电流表试验

数字化避雷器泄漏电流表的机械部分试验项目和要求应按 JB/T 10492 相关要求执行，数字化感知模块测量性能按 DL/T 1432.3 相关要求执行。

9.2.3 数字化变压器油温计、绕组温度计试验

数字化变压器油温计的试验项目和要求应按 JB/T 6302、JB/T 8450 相关要求执行。

9.2.4 数字化变压器油位计试验

数字化变压器油位计的试验项目和要求应按 JB/T 10692 相关要求执行。

现场示数与远传一致性误差不超过 JB/T 10692 中规定的最大测量误差。

9.2.5 数字化变压器气体继电器试验

数字化变压器气体继电器的试验项目和要求应按 JB/T 9647 相关要求执行。

如果具备数字化气体体积远传功能，精度测试方法按 JB/T 9647 中相关要求执行。

现场示数与远传一致性误差不超过 JB/T 9647 中规定的最大测量误差。

10 检验规则

10.1 检验要求

数字化远传表计的检验分为型式试验、出厂试验、交接试验、现场试验四类，检验项目见表 9 至表 13。

表 9 数字化 SF₆密度表试验项目及要求

检测类别	序号	检测项目	技术要求	型式试验	出厂试验	交接试验	现场试验
结构外观	1	结构和外观检查	5.1	●	●	●	●
基本功能	2	基本功能检验	6.1.2	●	●	●	●
绝缘性能试验	3	绝缘电阻	5.6.1	●	●	●	▲
	4	介质强度	5.6.2	●	●	▲	▲
	5	冲击电压	5.6.3	●	○	▲	○
电磁兼容性能	6	电磁兼容性能试验	5.7	●	○	▲	○
环境适应性能	7	低温试验	5.8	●	○	▲	○
	8	高温试验	5.8	●	○	▲	○
	9	恒定湿热试验	5.8	●	○	▲	○
	10	交变湿热试验	5.8	●	○	▲	○
机械性能	11	振动试验	5.9	●	○	○	○
	12	冲击试验	5.9	●	○	○	○
	13	碰撞试验	5.9	●	○	○	○
外壳防护性能	14	防尘试验	5.10	●	○	○	○
	15	防水试验	5.10	●	○	○	○
可靠性	16	加速老化试验	5.5	●	○	○	○
专项性能	17	数字化感知单元测量误差试验	6.1.3	●	●	●	▲
	18	机械部分基本误差	6.1.3	●	●	●	▲
	19	回差	6.1.3	●	●	●	▲
	20	设定点偏差	6.1.3	●	●	●	○
	21	切换差	6.1.3	●	●	●	○
	22	温度补偿试验	6.1.3	●	●	●	○
	23	交变压力	6.1.3	●	○	○	○
	24	现场示数与远传一致性	6.1.3	●	●	●	○
	25	密封性试验	6.1.3	●	●	●	○
	26	报警功能试验	6.1.2	●	●	○	○
通信协议	27	有线通信协议检测	7	●	●	●	▲
电池性能	28	设计续航时间	5.4.2	◆	○	▲	○
	29	高温测试	5.4.3	◆	○	▲	○
	30	低温测试	5.4.4	◆	○	▲	○
	31	过充、过放电测试	5.4.5	◆	○	○	○
	32	电池寿命	5.4.6	◆	○	○	○

表 10 数字化避雷器泄漏电流表试验项目及要

检测类别	序号	检测项目	技术要求	型式试验	出厂试验	交接试验	现场试验
结构外观	1	结构和外观检查	5.1	●	●	●	●
基本功能	2	基本功能检验	6.2.2	●	●	●	●
绝缘性能试验	3	绝缘电阻	5.6.1	●	●	●	▲
	4	介质强度	5.6.2	●	●	▲	▲
	5	冲击电压	5.6.3	●	●	▲	○
电磁兼容性能	6	电磁兼容性能试验	5.7	●	○	▲	○
环境适应性能	7	低温试验	5.8	●	○	▲	○
	8	高温试验	5.8	●	○	▲	○
	9	恒定湿热试验	5.8	●	○	▲	○
	10	交变湿热试验	5.8	●	○	▲	○
机械性能	11	振动试验	5.9	●	○	○	○
	12	冲击试验	5.9	●	○	○	○
	13	碰撞试验	5.9	●	○	○	○
外壳防护性能	14	防尘试验	5.10	●	○	○	○
	15	防水试验	5.10	●	○	○	○
可靠性	16	加速老化试验	5.5	●	○	○	○
专项性能	17	密封性试验	6.2.3	●	●	○	○
	18	残压试验	6.2.3	●	●	○	○
	19	动作性能试验	6.2.3	●	●	●	▲
	20	电流测量性能试验	6.2.3	●	●	●	▲
	21	冲击电流耐受试验	6.2.3	●	●	○	○
通信协议	22	有线通信协议检测	7	●	●	●	▲
电池性能	23	设计续航时间	5.4.2	◆	○	▲	○
	24	高温测试	5.4.3	◆	○	▲	○
	25	低温测试	5.4.4	◆	○	▲	○
	26	过充、过放电测试	5.4.5	◆	○	○	○
	27	电池寿命	5.4.6	◆	○	○	○

表 11 数字化变压器油温计、绕组温度计试验项目及要求

检测类别	序号	检测项目	技术要求	型式试验	出厂试验	交接试验	现场试验
结构外观	1	结构和外观检查	5.1	●	●	●	●
基本功能	2	基本功能检验	6.3.2	●	●	●	●
绝缘性能试验	3	绝缘电阻	5.6.1	●	●	●	▲
	4	介质强度	5.6.2	●	●	▲	▲
	5	冲击电压	5.6.3	●	●	▲	○
电磁兼容性能	6	电磁兼容性能试验	5.7	●	○	▲	○
环境适应性能	7	低温试验	5.8	●	○	▲	○
	8	高温试验	5.8	●	○	▲	○
	9	恒定湿热试验	5.8	●	○	▲	○
	10	交变湿热试验	5.8	●	○	▲	○
机械性能	11	振动试验	5.9	●	○	○	○
	12	冲击试验	5.9	●	○	○	○
	13	碰撞试验	5.9	●	○	○	○
外壳防护性能	14	防尘试验	5.10	●	○	○	○
	15	防水试验	5.10	●	○	○	○
可靠性	16	加速老化试验	5.5	●	○	○	○
专项性能	17	密封性试验	6.3.3	●	●	●	○
	18	示值误差试验	6.3.3	●	●	●	○
	19	示值回差试验	6.3.3	●	●	●	○
	20	示值重复性试验	6.3.3	●	●	●	○
	21	切换差试验	6.3.3	●	●	●	○
通信协议	22	有线通信协议检测	7	●	●	●	▲
电池性能	23	设计续航时间	5.4.2	◆	○	▲	○
	24	高温测试	5.4.3	◆	○	▲	○
	25	低温测试	5.4.4	◆	○	▲	○
	26	过充、过放电测试	5.4.5	◆	○	○	○
	27	电池寿命	5.4.6	◆	○	○	○

表 12 数字化变压器油位计试验项目及要求

检测类别	序号	检测项目	技术要求	型式试验	出厂试验	交接试验	现场试验
结构外观	1	结构和外观检查	5.1	●	●	●	●
基本功能	2	基本功能检验	6.4.2	●	●	●	●
绝缘性能试验	3	绝缘电阻	5.6.1	●	●	●	▲
	4	介质强度	5.6.2	●	●	▲	▲
	5	冲击电压	5.6.3	●	●	▲	○
电磁兼容性能	6	电磁兼容性能试验	5.7	●	○	▲	○
环境适应性性能	7	低温试验	5.8	●	○	▲	○
	8	高温试验	5.8	●	○	▲	○
	9	恒定湿热试验	5.8	●	○	▲	○
	10	交变湿热试验	5.8	●	○	▲	○
机械性能	11	振动试验	5.9	●	○	○	○
	12	冲击试验	5.9	●	○	○	○
	13	碰撞试验	5.9	●	○	○	○
外壳防护性能	14	防尘试验	5.10	●	○	○	○
	15	防水试验	5.10	●	○	○	○
可靠性	16	加速老化试验	5.5	●	○	○	○
专项性能	17	密封性试验	6.4.3	●	●	●	○
	18	注油条件下动作特性试验	6.4.3	●	●	●	▲
	19	放油条件下动作特性试验	6.4.3	●	●	●	▲
	20	示值准确度试验	6.4.3	●	●	●	○
通信协议	21	有线通信协议检测	7	●	●	●	▲
电池性能	22	设计续航时间	5.4.2	◆	○	▲	○
	23	高温测试	5.4.3	◆	○	▲	○
	24	低温测试	5.4.4	◆	○	▲	○
	25	过充、过放电测试	5.4.5	◆	○	○	○
	26	电池寿命	5.4.6	◆	○	○	○

表 13 数字化变压器气体继电器试验项目及要

检测类别	序号	检测项目	技术要求	型式试验	出厂试验	交接试验	现场试验
结构外观	1	结构和外观检查	5.1	●	●	●	●
基本功能	2	基本功能检验	6.5.2	●	●	●	●
绝缘性能试验	3	绝缘电阻	5.6.1	●	●	●	▲
	4	介质强度	5.6.2	●	●	▲	▲
	5	冲击电压	5.6.3	●	●	▲	○
电磁兼容性能	6	电磁兼容性能试验	5.7	●	○	▲	○
环境适应性性能	7	低温试验	5.8	●	○	▲	○
	8	高温试验	5.8	●	○	▲	○
	9	恒定湿热试验	5.8	●	○	▲	○
	10	交变湿热试验	5.8	●	○	▲	○
机械性能	11	振动试验	5.9	●	○	○	○
	12	冲击试验	5.9	●	○	○	○
	13	碰撞试验	5.9	●	○	○	○
外壳防护性能	14	防尘试验	5.10	●	○	○	○
	15	防水试验	5.10	●	○	○	○
可靠性	16	加速老化试验	5.5	●	○	○	○
专项性能	17	密封性试验	6.5.3	●	●	●	○
	18	动作特性试验	6.5.3	●	●	●	○
	19	接点容量及寿命试验	6.5.3	●	●	●	○
	20	气体体积刻度偏差试验	6.5.3	●	●	●	○
	21	反向油流试验	6.5.3	●	●	●	○
	22	现场示数与远传一致性	6.5.3	●	●	●	○
通信协议	23	有线通信协议检测	7	●	●	●	▲
电池性能	24	设计续航时间	5.4.2	◆	○	▲	○
	25	高温测试	5.4.3	◆	○	▲	○
	26	低温测试	5.4.4	◆	○	▲	○
	27	过充、过放电测试	5.4.5	◆	○	○	○
	28	电池寿命	5.4.6	◆	○	○	○

注：●表示规定必须做的检测项目；○表示规定可不做的检测项目；◆表示表计如有此功能必须做的检测项目；▲表示根据客户要求选做的检测项目。

10.2 型式试验

有以下情况之一时，应进行型式试验：

- 1) 新产品定型；
- 2) 连续批量生产的表计每 4 年一次；
- 3) 正式投产后，设计、工艺材料、元器件有较大改变，可能影响产品性能时；
- 4) 产品停产 1 年以上又重新恢复生产时；
- 5) 出厂试验结果与型式试验有较大差异时；
- 6) 国家技术监督机构或受其委托的技术检验部门提出型式试验要求时；
- 7) 合同规定进行型式试验时。

10.3 出厂试验

每块表计出厂前应在正常试验条件下逐个按规定进行出厂试验，试验合格后，附有合格证及试验报告，方可允许出厂。

10.4 交接试验

表计安装完成后，正式投运前开展的试验，交接试验合格后，方可投入运行。

10.5 现场试验

现场试验是现场运行单位或具有资质的检测单位对现场待测表计性能进行测试，现场试验一般分为两种情况：

- 1) 例行试验，按固定周期开展的定期试验；
- 2) 必要时。

11 标志、包装、运输与贮存

11.1 标志

每块表计应有明晰的铭牌，铭牌内容如下：

- 1) 装置型号；
- 2) 装置全称；
- 3) 制造厂名称；
- 4) 监测参数：避雷器数字化泄漏电流表应在铭牌标注标称动作电流、上限动作电流、下限动作电流等。

- 5) 唯一身份代码或实物 ID 码；
- 6) 出厂日期；
- 7) 出厂编号/序列号。

包装箱上应有如下标记：

- 1) 发货厂名、产品名称、型号；
- 2) 包装箱外形及重量。

11.2 包装

表计应有内包装和外包装，包装应有防尘、防雨、防水、防潮、防震等措施。

11.3 运输

表计应适用于陆运、空运、水（海）运，运输装卸应按包装箱上的标准进行操作，严禁磕碰，避免阳光直射及雨雪浸淋。

11.4 贮存

数字化远传表计应贮放在环境温度为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 85%的通风室内，且空气中不含有对表计起腐蚀作用的介质。贮存期为 12 月，超过贮存期按表 5 进行检验并满足其要求。

附录A
(规范性)

Modbus 规范扩展数据交换协议：表计适配规范

A. 1 交互帧结构

Modbus 协议定义了一个与基础通信层无关的简单协议数据单元 (PDU)。特定总线或网络上的 Modbus 协议映射能够在应用数据单元 (ADU) 上引入一些附加域。

A. 1. 1 通用帧结构

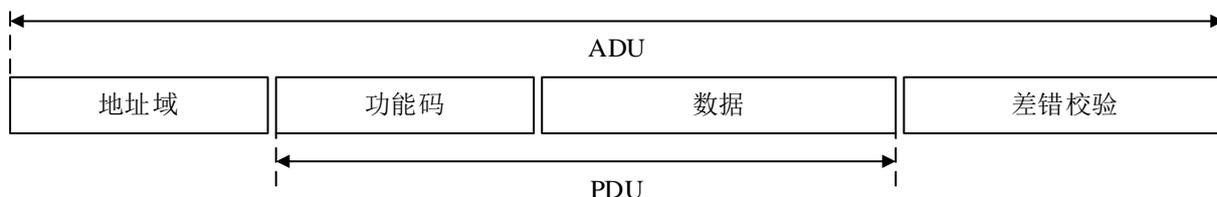


图 C. 1 Modbus 通用帧结构

A. 1. 2 地址域

地址域在帧的开始部分，由一个字节（8 位二进制码）组成，十进制为 0~255，在我们的系统中只使用 1~247,其它地址保留。这些位标明了用户指定的从机的地址，该设备将接收来自与之相连的主站通信报文。每个终端设备的地址必须是唯一的，仅仅被寻址到的终端会响应包含了该地址的查询。当终端发送回一个响应，响应中的从机地址数据便告诉了主站哪台终端正与之进行通信。

从机地址长度为 1 字节，其有效范围为 1~247，在读取类操作时，地址 0 表示广播地址。

A. 1. 3 功能码

功能码指示将执行哪种操作。用一个字节编码 Modbus 数据单元的功能码域。有效的码值范围是十进制 1 - 255（128 - 255 为异常响应保留）。当主站向从机发送报文时，功能码域通知从机执行哪种操作。

可向一些功能码加入子功能码来定义多项操作。在某种请求中，数据域可以是不存在的（0 长度），功能码仅说明操作。

当从机对主站应答响应时，它使用功能码域来指示正常（无差错）响应或者出现某种差错（称为异常响应）。

对于一个正常响应来说，从机仅回复原始功能码。对于异常响应，从机返回一个与原始功能码等码，并将该原始功能码的最高有效位置位逻辑 1。Modbus 异常响应详见附录 E。

A. 1. 4 功能码分类

Modbus 提供三类功能码，它们是公共功能码、用户定义功能码及保留功能码。其中 65 - 72 和 100 - 110 为用户定义功能码。

A. 1. 5 常用公共功能码

常见的功能定义：

功能码		访问对象	功能定义	描述
十进制编码	HEX			
02	02	物理离散量输入	读输入离散量	按比特 bit 访问
01	01	内部比特或物理线圈	读线圈	按比特 bit 访问
05	05		写单个线圈	按比特 bit 访问
15	0F		写多个线圈	按比特 bit 访问
04	04	输入存储器	读输入存储器	按双字节访问
03	03	内部存储器	读单/多个寄存器	按双字节访问
06	06		写单个寄存器	按双字节访问
16	10		写多个寄存器	按双字节访问
20	14	文件记录	读文件记录	按文件流访问

21	15		写文件记录	按文件流访问
...	...			

A. 1. 6 扩展功能码

考虑各种表计的互联互通性，利用用户定义功能码区扩展一个功能码 66H，用于约定统一的报文通信协议。为了便于终端设备不断发展的需求，引入统一的对象标识 OI 和可自描述的数据体内容。在不改变 Modbus 通信协议帧总体结构的情况下，修改扩展功能码的数据区定义，详见扩展功能码帧结构一节。

A. 1. 7 扩展功能码帧结构

扩展功能帧包含 7 部分：地址域（ADDR）、功能码（FUN）、数据长度（LEN）、子功能码（SFUN）、数据标识（OI）、数据体（DATA）、校验域（CS）。帧结构定义见下表。数据体 DATA 结构为：Tag+Len+Data。

地址域 ADDR	功能码 FUN	数据 APDU							校验域 CRC
		数据长度 LEN	子功能码 SFUN	对象标识 OI1	数据体 DATA1 (TLV)	对象标识 OI2	数据体 DATA2 (TLV)	...	
1Byte	1Byte	N Byte							2Byte

将数据区命名为应用协议数据单元（APDU），APDU 又分别定义为数据长度 LEN+子功能码 SFUN 及一项或多项{对象标识+[数据体 DATA]}。在某些帧中可以没有数据体 DATA，[]的内容表示可选，{}中的内容表示可重复。

A. 1. 8 校验域 CRC

发送设备对报文中的每一个数据都进行 CRC-16 计算，并跟随在数据之后发送 CRC 校验码。接收设备应对报文中的每一个数据（除 CRC 校验码以外）进行 CRC-16 计算，将结果进行比对，只有 CRC 一致的报文才可以被接受。

A. 1. 9 APDU 结构域（扩展）

A. 1. 9. 1 LEN

数据区的长度，1 字节。定义为{子功能码+数据标识+数据体 DATA}的长度，其中{数据标识+数据体 DATA}可以为多项，子功能 SFUN 为读取时的下行报文仅含数据标识 OI 而没有数据体 DATA。

A. 1. 9. 2 SFUN

子功能码，1 字节。用于定义在本扩展功能码协议中的具体操作行为。

功能码		子功能码		功能定义	描述
编码	HEX	编码	HEX		
102	66	01	01	读取请求	主站发起
		02	02	写入请求	主站发起
			
		129	81	读取应答	从机响应
		130	82	写入应答	从机响应
			

A. 1. 9. 3 OI

对象标识 2 字节。见对象标识的定义。

A. 1. 9. 4 DATA

数据体，用 TLV 数据类型标识，包含数据标记+长度+值。

A. 1. 10 广播对时

当主站发起广播对时请求时，需要将地址域设为广播地址。从机收到广播对时帧后，将自己的时钟改为应用报文中的时间，从机不应答。

A. 2 对象标识

A. 2.1 对象标识定义

一个对象对应于一个唯一的标识，即对象标识（OI）。对象可以是电压量、温度值、压力值等，也可以一个集合（Struct）。设备的所有信息集合也可以看作是一个对象。

在读取请求报文中，对象标识=0000时，表示读取数据终端中的所有对象信息。

A. 2.2 对象标识表

A. 2.2.1 表计通信标识表

序号	对象标识 OI	名称	数据类型	长度(Byte)	备注
1	2000	数据结构体	Struct	10	读写
2	2001	通信地址	UTiny	1	取值范围 1-247 可读写
3	2002	波特率	UTiny	1	0:2400 1:4800 2:9600 3:19200 可读写 (注：数字化远传表计传感器与 监测模块之间通信采用波特率 9600)
4	2003	奇偶校验位	UTiny	1	0:无校验 1:奇校验 2:偶校验 可读写
5	2004	日期时间	DateTime	7	读写

A. 2.2.2 设备基本信息标识表

序号	对象标识 OI	名称	数据类型	长度(Byte)	备注
1	2100	数据结构体	Struct	可变	只读
2	2101	设备型号	String	可变	只读
3	2102	厂商代码	String	可变	只读
4	2103	产品序列号	String	可变	只读
5	2104	软件版本	String	可变	只读
6	2105	传感器类型标识	UTiny	1	01-SF6 数字化密度表 02-避雷器数字化泄漏电流表 03-变压器数字化油面温度表计 04-变压器数字化绕组温度表计 05-变压器数字化油位计 06-变压器数字化气体继电器 只读
7	2106-210D	预留	Utiny	8	只读
8	210E-2116	预留	String	可变	只读

A. 2.2.3 数字化 SF₆ 密度表计数据标识表

序号	对象标识 OI	名称	数据类型	长度(Byte)	单位	备注
1	2200	数据结构体	Struct	126		只读
2	2201	传感器状态	OcterString	2		Bit0: 传感器状态 Bit1: 泄漏报警 Bit2: 液化报警 Bit3: 闭锁 2 节点接线故障 状态 Bit4: 闭锁 1 节点接线故障 状态

						Bit5: 报警节点接线故障状态 Bit6: 闭锁 2 信号节点动作状态 Bit7: 闭锁 1 信号节点动作状态 Bit8: 报警信号节点动作状态 0 表示正常；1 表示故障/动作
3	2202	SF ₆ 气体密度值 (P20)	Float	4	MPa	只读
4	2203	温度	Float	4	℃	只读
5	2204	相对压力	Float	4	MPa	只读
6	2205	微水	Float	4	μL/L	只读 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
7	2206	密度报警节点阈值	Float	4	MPa	读写
8	2207	密度闭锁节点阈值	Float	4	MPa	读写
9	2208	密度超压节点阈值	Float	4	MPa	读写 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
10	220A-2219	预留	Float	4×16		自定义
11	221A-2229	预留	Short	2×16		自定义

A. 2. 2. 4 数字化避雷器泄漏电流表数据标识表

序号	对象标识 OI	名称	数据类型	长度 (Byt5)	单位	备注
1	2300	数据结构体	Struct	142		只读
2	2301	传感器状态	OcterString	2		Bit0: 传感器状态 Bit1: 全电流超标报警 Bit2: 阻性电流超标报警 Bit3: 容性电流超标报警 Bit4: 雷击次数超标报警 0 表示正常；1 表示故障/动作
3	2302	相位	UTiny	1		01-A 相 02-B 相 03-C 相
4	2303	系统频率	Float	4	Hz	只读
5	2304	全电流	Float	4	mA	只读
6	2305	阻性电流	Float	4	mA	只读 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
7	2306	容性电流	Float	4	mA	只读 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
8	2307	最后一次落雷时间	DataTime	7		只读
9	2308	避雷器动作次数	UShort	2	次	只读
10	2309	系统基波电压有效值	Float	4	kV	只读 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
11	230A	全电流超标阈值	Float	4	mA	读写
12	230B	阻性电流超标阈值	Float	4	mA	读写 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
13	230C	容性电流超标阈值	Float	4	mA	读写 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
14	230D	雷击次数超标阈值	UShort	2	次	读写
15	230E-231D	预留	Float	4×16		自定义
16	231E-232D	预留	Short	2×16		自定义

A. 2. 2. 5 数字化变压器油温表计数据标识表

序号	对象标识 OI	名称	数据类型	长度 (Byt5)	单位	备注
1	2400	数据结构体	Struct	126		只读
2	2401	传感器状态	OcterString	2		Bit0: 传感器状态 Bit1: 油面/绕组超温报警 Bit2: 油面/绕组超温闭锁状态 0 表示正常; 1 表示故障/动作
3	2402	油面/绕组温度	Float	4	°C	只读
4	2403	油面/绕组温度报警 1 节点阈值	Float	4	°C	读写
5	2404	油面/绕组温度报警 2 节点阈值	Float	4	°C	读写 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
6	2405	油面/绕组温度报警 3 节点阈值	Float	4	°C	读写 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
7	2406	油面/绕组温度报警 4 节点阈值	Float	4	°C	读写 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
8	2407	油面/绕组超温报警阈值	Float	4	°C	读写 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
9	2408	油面/绕组温度闭锁阈值	Float	4	°C	读写 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
10	2409-2418	预留	Float	4×16		自定义
11	2419-2428	预留	Short	2×16		自定义

A. 2. 2. 6 数字化变压器油位表计数据标识表

序号	对象标识 OI	名称	数据类型	长度 (Byt5)	单位	备注
1	2500	数据结构体	Struct	122		只读
2	2501	传感器状态	OcterString	2		Bit0: 传感器状态 Bit1: 油位超高报警 Bit2: 油位超低报警 Bit3: 油位保护动作状态 0 表示正常; 1 表示故障/动作
3	2502	油位	Float	4	%	只读 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
4	2503	油位绝对值	Float	4	mm	只读 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
5	2504	油位	Float	4	无单位	只读 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
6	2505	油位	Float	4	自定义单位	只读 (如无, 则上传 FFFFFFFF)
7	2506	油位超高阈值	Float	4	%	读写
8	2507	油位超低阈值	Float	4	%	读写
9	2508-2517	预留	Float	4×16		自定义
10	2518-2527	预留	Short	2×16		自定义

A. 2. 2. 7 数字化变压器气体继电器数据标识表

序号	对象标识 OI	名称	数据类型	长度 (Byt5)	单位	备注
1	2600	数据结构体	Struct	170		只读
2	2601	传感器状态	OcterString	2		Bit0: 传感器状态 Bit1: 轻瓦斯告警 Bit2: 重瓦斯保护 0 表示正常; 1 表示故障/动作
3	2602	流速	Float	4	m/s	只读

4	2603	温度	Float	4	℃	只读
5	2604	压力	Float	4	MPa	只读
6	2605	甲烷	Float	4	μL/L	只读（如无，则上传 FFFFFFFF）
7	2606	乙烷	Float	4	μL/L	只读（如无，则上传 FFFFFFFF）
8	2607	乙烯	Float	4	μL/L	只读（如无，则上传 FFFFFFFF）
9	2608	乙炔	Float	4	μL/L	只读（如无，则上传 FFFFFFFF）
10	2609	一氧化碳	Float	4	μL/L	只读（如无，则上传 FFFFFFFF）
11	260A	二氧化碳	Float	4	μL/L	只读（如无，则上传 FFFFFFFF）
12	260B	氢气	Float	4	μL/L	只读（如无，则上传 FFFFFFFF）
13	260C	水分	Float	4	μL/L	只读（如无，则上传 FFFFFFFF）
14	260D	氮气	Float	4	μL/L	只读（如无，则上传 FFFFFFFF）
15	260E	氧气	Float	4	μL/L	只读（如无，则上传 FFFFFFFF）
16	260F	总烃	Float	4	μL/L	只读（如无，则上传 FFFFFFFF）
17	2610	总可燃气	Float	4	μL/L	只读（如无，则上传 FFFFFFFF）
18	2611	内部积聚气体量	Float	4	mL	只读
19	2612	轻瓦斯告警阈值	Float	4	mL	读写
20	2613	重瓦斯动作阈值	Float	4	mL	读写
21	2614-2623	预留	Float	4×16		自定义
22	2624-2633	预留	Short	2×16		自定义

A.3 应用报文

A.3.1 读取报文

A.3.1.1 读取单个对象请求报文

下行报文示例：01 66 03 01 20 XX CRC_L CRC_H

报文	长度	备注
01	1 字节	从机地址
66	1 字节	66H 扩展功能码
03	1 字节	数据体长度
01	1 字节	SFUN=01 读取请求
20 XX	2 字节	第 1 个对象 OI
CRC _L CRC _H	2 字节	CRC 校验

A.3.1.2 读取单个对象应答报文

上行报文示例：01 66 07 81 20 XX 21 02 2C 01 CRC_L CRC_H

报文	长度	备注
01	1 字节	从机地址
66	1 字节	66H 扩展功能码
07	1 字节	数据体长度
81	1 字节	SFUN=81 读取响应
20 XX	2 字节	第 1 个对象 OI
21	1 字节	TLV 的 Tag: 33, 表示 Short
02	1 字节	TLV 的 Len: 02, 表示值长度 2 字节
2C 01	2 字节	TLV 的 Val: 0x012C=300, 高字节在后
CRC _L CRC _H	2 字节	CRC 校验

A.3.1.3 读取多个对象请求报文

下行报文示例：01 66 07 01 22 01 22 02 22 03 …… 22 0X CRC_L CRC_H

报文	长度	备注
01	1 字节	从机地址
66	1 字节	66H 扩展功能码
N	1 字节	数据体长度
01	1 字节	SFUN=01 读取请求
22 01	2 字节	第 1 个对象 OI
22 02	2 字节	第 2 个对象 OI
22 03	2 字节	第 3 个对象 OI
...
22 0X	2 字节	第 n 个对象 OI
CRC _L CRC _H	2 字节	CRC 校验

A. 3. 1. 4 读取多个对象应答报文

上行报文示例：01 66 N 81 22 01 21 02 2C 01 22 02 21 02 2C 01 22 03 2D 02 2C 01 22 0X 2D 02 2C 01 CRC_L CRC_H

报文	长度	备注
01	1 字节	从机地址
66	1 字节	66H 扩展功能码
N	1 字节	数据体长度 N
81	1 字节	SFUN=81 读取响应
22 01	2 字节	第 1 个对象 OI
21	1 字节	第 1 个对象数据体的 Tag
02	1 字节	第 1 个对象数据体的 Len
2C 01	2 字节	第 1 个对象数据体的 Val
22 02	2 字节	第 2 个对象 OI
21	1 字节	第 2 个对象数据体的 Tag
02	1 字节	第 2 个对象数据体的 Len
2C 01	2 字节	第 2 个对象数据体的 Val
22 03	2 字节	第 3 个对象 OI
2D	1 字节	第 3 个对象数据体的 Tag
02	1 字节	第 3 个对象数据体的 Len
2C 01	2 字节	第 3 个对象数据体的 Val
...
22 0X	2 字节	第 n 个对象 OI
2D	1 字节	第 n 个对象数据体的 Tag
02	1 字节	第 n 个对象数据体的 Len
2C 01	2 字节	第 n 个对象数据体的 Val
CRC _L CRC _H	2 字节	CRC 校验

A. 3. 1. 5 读取全部对象请求报文

下行报文示例：01 66 03 01 00 00 CRC_L CRC_H

报文	长度	备注
01	1 字节	从机地址
66	1 字节	66H 扩展功能码
03	1 字节	数据体长度 N
01	1 字节	SFUN=01 读取请求
00 00	2 字节	全部对象

CRC _L CRC _H	2 字节	CRC 校验
-----------------------------------	------	--------

A. 3. 1. 6 读取全部对象应答报文

上行报文示例：01 66 N 81 20 01 20 01 01 20 02 20 01 02 20 03 20 01 00 …… 20 XX 2D 02 2C 01

CRC_L CRC_H

报文	长度	备注
01	1 字节	从机地址
66	1 字节	66H 扩展功能码
N	1 字节	数据体长度 N
81	1 字节	SFUN=81 读取响应
20 01	2 字节	第 1 个对象 OI
20	1 字节	第 1 个对象数据体的 Tag
01	1 字节	第 1 个对象数据体的 Len
01	2 字节	第 1 个对象数据体的 Val
20 02	2 字节	第 2 个对象 OI
20	1 字节	第 2 个对象数据体的 Tag
01	1 字节	第 2 个对象数据体的 Len
02	2 字节	第 2 个对象数据体的 Val
20 03	2 字节	第 3 个对象 OI
20	1 字节	第 3 个对象数据体的 Tag
01	1 字节	第 3 个对象数据体的 Len
00	2 字节	第 3 个对象数据体的 Val
…	…	…
20 XX	2 字节	第 n 个对象 OI
2D	1 字节	第 n 个对象数据体的 Tag
02	1 字节	第 n 个对象数据体的 Len
2C 01	2 字节	第 n 个对象数据体的 Val
CRC _L CRC _H	2 字节	CRC 校验

A. 3. 1. 7 读取结构类型请求报文

以读取 2000 结构类型对象为例，该结构包括 2001、2002、2003 三个数据对象标识，设 2001 通信地址为 01，2002 波特率为 02（9600），2003 奇偶校验位为 00(无校验)。

下行报文示例：01 66 03 01 20 00 CRC_L CRC_H

报文	长度	备注
01	1 字节	从机地址
66	1 字节	66H 扩展功能码
03	1 字节	数据体长度 N
01	1 字节	SFUN=01 读取请求
20 00	2 字节	读取 OI=2000 对象
CRC _L CRC _H	2 字节	CRC 校验

A. 3. 1. 8 读取结构类型应答报文

上行报文示例：01 66 08 81 20 00 41 03 01 02 00 CRC_L CRC_H

报文	长度	备注
01	1 字节	从机地址
66	1 字节	66H 扩展功能码
08	1 字节	数据体长度:8

81	1 字节	SFUN=81 读取响应
20 00	2 字节	第 1 个对象 OI
41	1 字节	第 1 个对象数据体的 Tag=65(struct)
03	1 字节	第 1 个对象数据体的 Len:03(字节)
01 02 00	3 字节	第 1 个对象数据体的 Val: 2001 通信地址为 01, 2002 波特率为 02(9600), 2003 奇偶校验位为 00(无校验),高字节在后
CRC _L CRC _H	2 字节	CRC 校验

A. 3. 2 写入报文

A. 3. 2. 1 写入单个对象请求报文

下行报文示例: 01 66 07 02 20 XX 21 02 2C 01 CRC_L CRC_H

报文	长度	备注
01	1 字节	从机地址
66	1 字节	66H 扩展功能码
07	1 字节	数据体长度
02	1 字节	SFUN=02 写入请求
20 XX	2 字节	写入对象的 OI
21	1 字节	TLV 的 Tag: 33, 表示 Short
02	1 字节	TLV 的 Len: 02, 表示值长度 2 字节
2C 01	2 字节	TLV 的 Val: 0x012C=300,
CRC _L CRC _H	2 字节	CRC 校验

A. 3. 2. 2 写入单个对象应答报文

上行报文示例: 01 66 07 82 20 XX 21 02 2C 01 CRC_L CRC_H

报文	长度	备注
01	1 字节	从机地址
66	1 字节	66H 扩展功能码
07	1 字节	数据体长度
82	1 字节	SFUN=02 写入响应
20 XX	2 字节	写入对象的 OI
21	1 字节	TLV 的 Tag: 33, 表示 Short
02	1 字节	TLV 的 Len: 02, 表示值长度 2 字节
2C 01	2 字节	TLV 的 Val: 0x012C=300,高字节在后
CRC _L CRC _H	2 字节	CRC 校验

A. 3. 2. 3 广播定时请求报文

下行报文示例: 00 66 0C 33 20 04 40 07 E6 07 01 02 03 04 05 CRC_L CRC_H

报文	长度	备注
00	1 字节	广播地址
66	1 字节	66H 扩展功能码
0C	1 字节	数据体长度
33	1 字节	SFUN=33 广播定时请求
20 04	2 字节	对象的 OI
40	1 字节	DataTime 类型
07	1 字节	表示值长度 7 字节
E6 07 01 02 03 04 05	7 字节	值内容: 2022 年 1 月 2 日 03 时 04 分 05 秒
CRC _L CRC _H	2 字节	CRC 校验



附录B
(规范性)
帧校验规则

可按下列步骤生成 CRC-16 的校验码：

- 1) 将全部 1 或者 16 进制 FFFF 装入 16 位寄存器；
- 2) 用 16 位寄存器中低字节对第一个字节数据进行 XOR 运算，把结果存入 16 位寄存器；
- 3) 把 16 位寄存器向右移 1 位。如果溢出位为 1，则转向第 4 步骤，否则转向第 5 步骤；
- 4) 用 16 进制的 A001 对 16 位寄存器执行 XOR 运算，并且把结果存入 16 位寄存器；
- 5) 重复步骤 3，直到移位 8 次为止；
- 6) 用 16 位寄存器的低字节对下一个字节数据进行 XOR 运算，将结果存入 16 位寄存器；
- 7) 重复步骤 4 - 6，直到所有数据都已经用 16 位寄存器执行了上述运算为止；
- 8) 16 位寄存器的内容就是 CRC-16。

发送 CRC 校验码为低字节在前，高字节在后。

附录C
(资料性)

TLV 数据类型表定义

名称	类型	标记 (TA7)	长度 (LENGTH)	值 (VALUE)
布尔	Boolean	1	1	1:true,0:false
小整形	Tiny	43	1	-128...127
无符号小整形	UTiny	32	1	0...255
短整形	Short	33	2	-32768...32767
无符号短整形	UShort	45	2	0...65535
整形	Int	2	4	-2147483648...2147483648
无符号整形	UInt	35	4	0...4294967295
长整形	Long	36	8	-2 ⁶⁴ ...2 ⁶⁴
无符号长整形	Ulong	37	8	0...2 ¹²⁸ -1
单精度浮点	Float	38	4	-2 ¹²⁸ ...2 ¹²⁸
双精度浮点	Double	39	8	-2 ¹⁰²⁴ ...2 ¹⁰²⁴
八位位串类型	OctetString	4	可变	OctetString
字符串类型	String	5	可变	一个或者多个 ASCII 组成,最长 64 个字节,以'\0'结尾
日期时间类型	DateTime	64	7	年:16bit (2000 代表 2000 年) 月:8bit(1-12),日:8bit(1-31) 时:8bit(0-23),分:8bit(0-59),秒:8bit(0-59)
结构类型	Struct	65	可变	结构体内容

附录D
(规范性)
表计状态量参量类型表

D.1 表计通信标识表

序号	名称	参量特征	参量类型编码	数据长度 (Byt5)	数据类型	单位
1	心跳状态	000	11100	1	无符号整型	\
2	电池剩余电量	000	11101	2	无符号整型	%
3	电池电压	000	11110	4	浮点型	V
4	传感器自检状态	000	11111	1	1、正常；2、异常；	\
5	网络连接状态	000	100000	1	1、正常；2、异常；	\
6	电源状态	000	100001	1	1、正常；2、异常；	\
7	数据采集周期	000	100010	2	无符号整型	s
8	信号强度	000	100011	4	浮点型	\

D.2 数字化 SF₆密度表计数据标识表

序号	名称	参量特征	参量类型编码	数据长度 (Byt5)	数据类型	单位	备注
1	SF ₆ 气体 P ₂₀ (表压)	010	10110110	4	浮点型	MPa	
2	SF ₆ 气体 P ₂₀ (绝压)	010	10110111	4	浮点型	MPa	
3	SF ₆ 气体温度	010	10111010	4	浮点型	°C	
4	SF ₆ 气体绝对压力	010	10111001	4	浮点型	MPa	
5	SF ₆ 气体相对压力	010	10111100	4	浮点型	MPa	
6	SF ₆ 微水	010	10101100	4	浮点型	μL/L	
7	SF ₆ 表计自检状态	010	11001110	2	无符号整形	/	Bit0: 传感器状态 Bit1: 泄漏报警 Bit2: 液化报警 Bit3: 闭锁 2 节点接线故障状态 Bit4: 闭锁 1 节点接线故障状态 Bit5: 报警节点接线故障状态 Bit6: 闭锁 2 信号节点动作状态 Bit7: 闭锁 1 信号节点动作状态 Bit8: 报警信号节点动作状态 0 表示正常；1 表示故障/动作
8	SF ₆ 状态类预留字段	010	10111100 ~ 11001010	在无现有参量情况下，可利用预留字段增加参量			

D.3 数字化 SF₆远传密度 P₂₀ 阈值设定/查询参数报文格式

序号	名称	代码	数据长度	备注
第 1 个参数	参数类型	SensorType	14 比特	SF ₆ 气体 P ₂₀ (表压) 或 SF ₆ 气体 P ₂₀ (绝压)
	数据长度字段指示位	LengthFlag	2 比特	0: 表示默认数据内容长度字段不存在，数据内容默认为 4 字节，只存在“报警上限”“报警下限”两个阈值；

				1: 表示 1 字节; 2: 表示 2 字节; 3: 表示 3 字节。
数据长度	阈值个数	lengthA	4 比特	NULL、1、2 或 3 个字节。
	单个阈值长度	lengthB	x 比特	
	报警上限	AlarmUpperLimit		由单个阈值长度和阈值个数决定总长度。
	报警下限	AlarmLowerLimit		
	报警节点阈值	AlarmThreshold		
	闭锁节点阈值	BlockingThreshold		
	超压节点阈值	OverpressureThreshold		
	(预留)			
...			...	
第 m 个参数			...	

D.4 数字化避雷器泄漏电流表数据标识表

序号	名称	参量特征	参量类型编码	数据长度(Byte5)	数据类型	单位	备注
1	避雷器泄漏电流全电流	010	1	4	浮点型	mA	
2	避雷器泄漏电流阻性电流	010	10	4	浮点型	mA	
3	泄漏电流采集相位	010	11	4	浮点型	°(度)	
4	避雷器动作次数	010	100	2	无符号整型	次	
5	避雷器阻性电流(峰值)	010	101	4	浮点型	mA	
6	母线电压采集相位	010	110	4	浮点型	°(度)	
7	系统频率	010	111	4	浮点型	Hz	
8	容性电流	010	1000	4	浮点型	mA	
9	最后一次落雷时间 时	010	1001	2	无符号整型	时	
10	最后一次落雷时间 分	010	1010	2	无符号整型	分	
11	最后一次落雷时间 秒	010	1011	2	无符号整型	秒	
12	系统基波电压有效值	010	1101	4	浮点型	kV	
13	避雷器数字化泄漏电流表计自检状态	010	11010	4	无符号整型	/	Bit0: 传感器状态 Bit1: 全电流超标报警 Bit2: 阻性电流超标报警 Bit3: 容性电流超标报警 Bit4: 雷击次数超标报警 0 表示正常; 1 表示故障/动作
	避雷器类预留字段	010	1110 ~ 11001				在无现有参量情况下, 可利用预留字段增加参量

D.5 数字化避雷器泄漏电流表阈值设定/查询参数报文格式

序号	名称	代码	数据长度	备注
第 1 个参数	参数类型	SensorType	14 比特	避雷器泄漏电流全电流、避雷器泄漏电流阻性电流、避雷器动作次数
	数据长度字段指示位	LengthFlag	2 比特	0: 表示默认数据内容长度字段不存在, 数据内容默认为 4 字节, 只存在“报警上限”“报警下限”两个阈值;

	数据长度	阈值个数	lengthA	4 比特	1: 表示 1 字节; 2: 表示 2 字节; 3: 表示 3 字节。
		单个阈值长度	lengthB	x 比特	
	报警上限		AlarmUpperLimit		由单个阈值长度和阈值个数决定总长度。
	报警下限		AlarmLowerLimit		
	... (预留)				
...	...				
第 m 个数	...				

D.6 数字化变压器油温、油位表计数据标识表

序号	名称	参量特征	参量类型编码	数据长度 (Byt5)	数据类型	单位	备注
1	油温	010	10010011	4	浮点型	°C	
2	油位	010	10010111	4	浮点型	%	
3	油位	010	10011000	4	浮点型	mm	
4	油位	010	10011001	4	浮点型	无单位	
5	油位	010	10011010	4	浮点型	自定义单位	
6	油温表计状态	010	10101001	2	无符号整型	/	Bit0: 传感器状态 Bit1: 油面/绕组超温报警 Bit2: 油面/绕组超温闭锁状态 0 表示正常; 1 表示故障/动作
7	油位表计状态	010	10101010	2	无符号整型	/	Bit0: 传感器状态 Bit1: 油位超高报警 Bit2: 油位超低报警 Bit3: 油位保护动作状态 0 表示正常; 1 表示故障/动作
8	油状态类预留字段	010	10011011 ~ 10101000	在无现有参量情况下, 可利用预留字段增加参量			

D.7 数字化变压器油位表计油位阈值设定/查询参数报文格式

序号	名称	代码	数据长度	备注	
第 1 个参数	参数类型	SensorType	14 比特	油位	
	数据长度字段指示位	LengthFlag	2 比特	0: 表示默认数据内容长度字段不存在, 数据内容默认为 4 字节, 只存在“报警上限”“报警下限”两个阈值; 1: 表示 1 字节; 2: 表示 2 字节; 3: 表示 3 字节。	
	数据长度	阈值个数	lengthA	4 比特	NULL、1、2 或 3 个字节。
		单个阈值长度	lengthB	x 比特	
	报警上限		AlarmUpperLimit		由单个阈值长度和阈值个数决定总长度。
	报警下限		AlarmLowerLimit		
... (预留)					
...	...				

第 m 个 参数	...
-------------	-----

D.8 数字化变压器油温表计油温阈值设定/查询参数报文格式

序号	名称		代码	数据长度	备注
第 1 个 参数	参数类型		SensorType	14 比特	油温
	数据长度字段 指示位		LengthFlag	2 比特	0: 表示默认数据内容长度字段不存在, 数据内容默认为 4 字节, 只存在“报警上限”“报警下限”两个阈值; 1: 表示 1 字节; 2: 表示 2 字节; 3: 表示 3 字节。
	数据 长度	阈值 个数	lengthA	4 比特	NULL、1、2 或 3 个字节。
		单个 阈值 长度	lengthB	x 比特	
	报警上限		AlarmUpperLimit		由单个阈值长度和阈值个数决定总长度。
	报警下限		AlarmLowerLimit		
	油温报警 1 节 点阈值		OilTempAlarmN1Threshold		
	油温报警 2 节 点阈值		OilTempAlarmN2Threshold		
	油温报警 3 节 点阈值		OilTempAlarmN3Threshold		
	油温报警 4 节 点阈值		OilTempAlarmN4Threshold		
油温报警阈值		OilTempAlarmThreshold			
油温闭锁阈值		OilTempBlockingThreshold			
(预留)					
...	...				
第 m 个 参数	...				

D.9 数字化变压器气体继电器数据标识表

序号	名称	参量特 征	参量类型编码	数据长度(Byte5)	数据类型	单位	备注
1	甲烷	010	10001000	4	浮点型	μL/L	
2	乙烷	010	10001001	4	浮点型	μL/L	
3	乙烯	010	10001010	4	浮点型	μL/L	
4	乙炔	010	10001011	4	浮点型	μL/L	
5	一氧化碳	010	10001100	4	浮点型	μL/L	
6	二氧化碳	010	10001101	4	浮点型	μL/L	
7	氢气	010	10001110	4	浮点型	μL/L	
8	水分	010	10001111	4	浮点型	μL/L	
9	氮气	010	10010000	4	浮点型	μL/L	
10	氧气	010	10010001	4	浮点型	μL/L	
11	总烃	010	10010010	4	浮点型	μL/L	
12	油温	010	10010011	4	浮点型	°C	
13	油压	010	10010100	4	浮点型	Pa	
14	总可燃气	010	10010101	4	浮点型	μL/L	
15	载气压力	010	10010110	4	浮点型	Mpa	

16	流速	010	10011011	4	浮点型	m/s	
17	内部聚积气体量	010	10011100	4	浮点型	mL	
18	继电器状态	010	10101000	2	无符号整型	/	Bit0: 传感器状态 Bit1: 轻瓦斯告警 Bit2: 重瓦斯保护 0表示正常; 1表示故障/动作
19	油状态类预留字段	010	10011101 ~ 10100111	在无现有参量情况下, 可利用预留字段增加参量			

D. 10 数字化变压器气体继电器内部聚积气体量阈值设定/查询参数报文格式

序号	名称	代码	数据长度	备注	
第 1 个参数	参数类型	SensorType	14 比特	内部聚积气体量	
	数据长度字段指示位	LengthFlag	2 比特	0: 表示默认数据内容长度字段不存在, 数据内容默认为 4 字节, 只存在“报警上限”“报警下限”两个阈值; 1: 表示 1 字节; 2: 表示 2 字节; 3: 表示 3 字节。	
	数据长度	阈值个数	lengthA	4 比特	NULL、1、2 或 3 个字节。
		单个阈值长度	lengthB	x 比特	
	报警上限	AlarmUpperLimit		由单个阈值长度和阈值个数决定总长度。	
	报警下限	AlarmLowerLimit			
	轻瓦斯告警阈值	LightGasAlarmThreshold			
	重瓦斯告警阈值	HeavyGasAlarmThreshold			
	(预留)				
...			...		
第 m 个参数			...		

附录E
(资料性)

Modbus 异常响应

当主站向从机设备发送请求时，主站希望一个正常响应。从主站询问中出现下列四种可能事件之一：

(1)如果从机设备接收到无通信错误的请求，并且可以正常地处理询问，那么从机设备将返回一个正常响应。

(2)如果由于通信错误，从机没有接收到请求，那么不能返回响应。主站程序将最终处理请求的超时状态。

(3)如果从机接收到请求，但是检测到一个通信错误（奇偶校验、LRC、CRC、...），那么不能返回响应。主站程序将最终处理请求的超时状态。

(4)如果从机接收到校验正确的通信请求，但不能处理这个请求（例如，如果请求读一个不存在的输出或寄存器），从机将返回一个异常响应，通知用户错误的本质特性。

异常响应报文有两个与正常响应不同的域：

功能码域：在正常响应中，从机利用响应功能码域来应答最初请求的功能码。所有功能码的最高有效位（MSB）都为0（它们的值都低于80H）。在异常响应中，从机设置功能码的MSB为1。这使得异常响应中的功能码值高于80H。通过设置功能码的MSB，主站的应用程序能够识别异常响应，并且能够检测错误码的数据域。

数据域：在正常响应中，从机可以返回数据域中数据或统计表（请求中要求的任何报文）。在异常响应中，从机返回数据域中的错误码。这就定义了产生异常的从机状态。

主站请求和从机异常响应的实例：

主站发送：XX 01 04 A1 00 01 CRC_L CRC_H

从机应答：XX 81 02 CRC_L CRC_H

在这个实例中，主站对从机终端设备寻址请求。功能码(01)用于读线圈状态操作，请求地址1245(十六进制04A17)开始的1个线圈的状态。

如果在从机设备中不存在地址为04A1H的线圈状态，那么从机将返回错误码(02)的异常响应。告诉主站请求的数据地址非法。

错误码的列表：

错误码	名称	含义
01	非法功能码	对于从机设备来说，接收报文的功能码是不允许的操作。这可能是功能码仅仅适用于特定的设备而当前设备是未实现的。
02	非法数据地址	对于从机设备来说，接收报文的数据地址是无效的或者无意义的。特别是起始地址加上请求数量后超出了从机设备的地址区间。例如对于只有10个寄存器的从机来说，主站带起始地址6和长度4的请求会成功，而起始地址6和长度5的请求将产生错误码02。
03	非法数据值	对于从机来说，报文中包含的值是不允许的值。比如在设置通信波特率时，设置了一个从机不支持的波特率值。
04	非法重复操作	当从机正在设法执行请求的操作时，产生不可重复操作的错误。
05	确认	通常与设置/编程命令一起使用。从机已经接受了设置请求，并且正在处理这个请求，但需要较长持续时间进行这些操作。返回这个响应码防止主站发生超时操作。主站延时一段时间后可以继续发送轮询报文来确定处理是否完成。
06	从机设备忙	通常与设置/编程命令一起使用。从机正在处理较长持续时间的操作。从机忙碌中，告诉主站稍候重新传输报文。

