

ICS 29.240.30
CCS K 40

T/CSEE 0353—2023

团 体 标 准

T/CSEE 0353—2023

变压器动态负荷智能管理系统 通用技术条件

General technical specification for intelligent management system of
power transformer dynamic load

团 体 标 准
变压器动态负荷智能管理系统
通用技术条件
T/CSEE 0353—2023

中国电力出版社出版、印刷、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

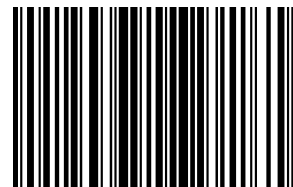
2024 年 3 月第一版 2024 年 3 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 1.25 印张 39 千字

统一书号 155198 • 5112 定价 34.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电机工程学会官方微信



155198.5112

2023-08-14 发布

2023-11-14 实施

中国电机工程学会 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 1

4 技术要求 2

 4.1 运行环境条件 2

 4.2 非电气量监测参数 2

5 试验及验收 2

 5.1 试验条件 2

 5.2 试验项目 2

 5.3 结构及外观检查 3

 5.4 数据通信试验 3

 5.5 绕组温升仿真比对试验 4

 5.6 温度参数计算试验 4

 5.7 运行能力评估 5

 5.8 热寿命损失评估 5

 5.9 节能冷却系统控制功能校验 5

 5.10 异常告警功能试验 6

 5.11 检验周期 6

6 标志、包装、运输和贮存 6

 6.1 标志 6

 6.2 包装 7

 6.3 运输 7

 6.4 贮存 7

附录 A（资料性） 变压器重（过）载运行条件下动态负荷调控策略 8

附录 B（资料性） 变压器动态负荷智能管理系统检验平台 10

附录 C（资料性） 变压器动态负荷智能管理系统专项检验表 11

附录 D（规范性） 变压器绕组温升建模验证及过程仿真测试方法 13

参考文献 16

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准化管理办法》《中国电机工程学会标准化管理办法实施细则》的要求，依据 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。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会变电专业委员会技术归口并解释。

本文件起草单位：广西电网有限责任公司电力科学研究院、上海海能信息科技股份有限公司、西安交通大学、国网河南省电力公司、南方电网科学研究院有限责任公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网北京市电力公司、国网辽宁省电力有限公司、国网安徽省电力有限公司、特变电工衡阳变压器有限公司、内蒙古电力（集团）有限责任公司、中国石油集团电能有限公司。

本文件主要起草人：钱之银、张磊、周柯、黎大健、李正荣、张乔根、张伟政、杨家辉、钟浩、闫春江、金陵峰、刘志宇、李英、汤伟、张鹏、闫宝庚、岳永刚、刘广智。

本文件为首次发布。

本文件执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条 1 号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

变压器动态负荷智能管理系统通用技术条件

1 范围

本文件规定了变压器动态负荷智能管理系统（以下简称“管理系统”）的技术要求、试验及验收，以及标志、包装、运输和贮存等。

本文件适用于 35 kV 及以上电压等级液浸式电力变压器管理系统。

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 1094.2 电力变压器 第 2 部分：液浸式变压器的温升

GB/T 1094.7 电力变压器 第 7 部分：油浸式电力变压器负载导则

GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

DL/T 1432.1—2015 变电设备在线监测装置检验规范 第 1 部分：通用检验规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

动态负荷智能管理系统 intelligent management system of dynamic load

具备动态负荷管理、运行能力及热寿命损失评估、冷却系统节能控制（3.5）及高温重（过）载分级预警（3.4）等功能，用于变压器在重（过）载运行工况（见附录 A）下的运行能力评估和负荷精准调控。

3.2

运行能力评估 assessment for operating capability

基于变压器热平衡机理及其温度阈值约束，融合变压器设计制造和预防性试验等参数，建立变压器运行能力分析模型算法，以实时运行及微气象环境信息为初始条件，动态评估变压器安全运行负载和安全运行时间。

3.3

运行能力曲线 operating capability curve

量化展示运行变压器负载和时间之间动态关系的安全能力曲线。

3.4

高温重（过）载分级预警 high-temperature overload graded pre-warning

以变压器顶层液体温度值/绕组温度值、负荷为启动值，设定多层次预警阈值，动态评估运行变压器绕组热点温升暂（稳）态过程，实现高温重（过）载预警和异常告警。

3.5

冷却系统节能控制 energy-saving control of cooling system

计及微气象环境因素的动态影响，结合变压器实时负载率、顶层液体温度/绕组温度实测值，以及绕组热点温度计算值，利用风扇分级控制实现冷却系统的节能运行。

4 技术要求

4.1 运行环境条件

管理系统的运行环境应符合下列规定：

- a) 环境温度： $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：5%~100%；
- c) 海拔： $\leq 5500\text{ m}$ 。

4.2 非电气量监测参数

4.2.1 日照强度测量

日照强度测量应符合下列规定：

- a) 光谱测量范围：300 nm~3000 nm；
- b) 日照强度测量范围： $0\text{ W/m}^2\sim 1120\text{ W/m}^2$ ；
- c) 日照强度测量非线性误差：不超过 $\pm 3\%$ ；
- d) 日照强度测量误差：不超过 $\pm 3\%$ 。

4.2.2 风速测量

风速测量应符合下列规定：

- a) 测量范围： $0\text{ m/s}\sim 35\text{ m/s}$ ；
- b) 测量误差：不超过 $\pm 3\%$ ；
- c) 分辨率： 0.1 m/s 。

4.2.3 环境温度测量

环境温度测量应符合下列规定：

- a) 测量范围： $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 测量误差：不超过 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 分辨率： $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.2.4 其他温度测量

其他温度测量应符合下列规定：

- a) 测量范围： $-50\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 测量误差：不超过 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5 试验及验收

5.1 试验条件

环境温度、相对湿度、海拔等应符合 DL/T 1432.1—2015 的有关规定。

5.2 试验项目

试验项目应分为型式试验、出厂试验、交接试验和现场试验，并符合表 1 的规定。

表 1 试验项目

序号	试验项目	依据标准	条款	型式 试验	出厂 试验	交接 试验	现场 试验
1	低温试验	DL/T 1432.1—2015	4.5.2	●	○	—	—
2	高温试验	DL/T 1432.1—2015	4.5.3	●	○	—	—
3	绝缘电阻试验	DL/T 1432.1—2015	4.6.1	●	●	●	●
4	介质强度试验	DL/T 1432.1—2015	4.6.2	●	●	—	—
5	冲击电压试验	DL/T 1432.1—2015	4.6.3	●	●	—	—
6	电磁兼容性能试验	DL/T 1432.1—2015	4.7	●	○	—	—
7	振动试验	DL/T 1432.1—2015	4.8.1	●	○	—	—
8	冲击试验	DL/T 1432.1—2015	4.8.2	●	○	—	—
9	碰撞试验	DL/T 1432.1—2015	4.8.3	●	○	—	—
10	防尘试验	DL/T 1432.1—2015	4.9.1	●	○	—	—
11	防水试验	DL/T 1432.1—2015	4.9.2	●	○	—	—
12	结构及外观检查	本文件	5.3	●	●	●	●
13	数据通信试验	本文件	5.4	●	●	●	○
14	绕组温升仿真比对试验	本文件	5.5	●	●	○	○
15	温度参数计算试验	本文件	5.6	●	●	○	○
16	运行能力评估	本文件	5.7	●	●	○	○
17	热寿命损失评估	本文件	5.8	●	—	—	—
18	节能冷却系统控制功能校验	本文件	5.9	●	—	—	—
19	异常告警功能试验	本文件	5.10	○	○	○	○
注：●表示需要做的试验项目；○表示不需要做的试验项目；—表示根据客户需求选做的试验项目。							

5.3 结构及外观检查

结构及外观应符合下列规定：

- 外露导电部分等电位一体连接并可靠接地；
- 机箱具备发热元件的通风散热条件；
- 机箱模件插拔灵活、接触可靠、互换性好；
- 外表涂敷、电镀层牢固、均匀、光洁，无脱皮、锈蚀等。

5.4 数据通信试验

在管理系统检验平台上，应完成检验平台与管理系统之间通信通道和数据双向传输功能的检测，见附录 B。管理系统数据通信试验应符合下列规定：

- 具有通信规约为 Modbus 的 RS-485 通信接口，满足双向通信要求；
- 接收和传输检验平台数据，满足数据格式及时标一致性的要求；
- 响应检验平台发出的修改指令并回复指令完成信息。

5.5 绕组温升仿真比对试验

5.5.1 温升试验平台

温升试验平台应符合下列规定：

- a) 在管理系统检验平台上，同步实现仿真机与管理系统的绕组温升仿真比对试验，见附录 B；
- b) 检验平台数据库储备 3 种独立的绕组温升测试仿真方案，并与油浸自冷（ONAN）、油浸风冷（ONAF）、强迫导向油循环风冷（ODAF）典型冷却方式相对应。

5.5.2 温升过程仿真

绕组温升测试时，检验平台应符合下列规定：

- a) 随机选定其中一种绕组温升测试仿真方案；
- b) 将该方案建模信息点表同时发送给仿真机与管理系统，并接收成功建模反馈信息；
- c) 启动并发送温升过程仿真数据，完成过程仿真；
- d) 同步接收带有时标的仿真机绕组温度 A （以下简称“仿真值 A ”）、管理系统绕组温度 B （以下简称“试验值 B ”）；
- e) 将仿真值 A 、试验值 B 及其偏差 ΔT （ $\Delta T = \text{试验值 } B - \text{仿真值 } A$ ）自动录入变压器绕组温升试验结果记录表，见附录 C 中表 C.1；
- f) 在同一坐标系，主控制器自动绘制并输出两条温升曲线，作为检验报告的图示文件。

5.5.3 温升仿真评判

按照 5.5.2 完成 3 种方案比对试验后，试验对比偏差应满足 $-2\text{ K} \leq \Delta T \leq 4\text{ K}$ 。否则，管理系统的模型算法应不合格。

5.6 温度参数计算试验

5.6.1 温度计算参数

当满足 5.5.3 判据时，按照最后一种测试仿真方案，仿真机和管理系统应能自动完成温升过程的下列数据的计算，由检验平台自动录入变压器顶层液面温度及绕组温度等计算表，见附录 C 中表 C.2：

- a) 顶层液体温度 t_0 ；
- b) 绕组热点温度 t_H ；
- c) 液体平均温升 ΔT_A ；
- d) 绕组平均温升 ΔT_W ；
- e) 绕组热点温升 ΔT_{W0} 。

5.6.2 计算准确度

温升过程同步计算数据应符合下列规定：

- a) 监测、计算与评估过程数据更新周期不大于 1 min ；
- b) 稳态温升预测与长期运行能力评估周期不小于 600 min ；
- c) 顶层液体暂（稳）态温度计算偏差： $-2\text{ K} \leq t_0 \leq 4\text{ K}$ ；
- d) 绕组热点温度计算偏差： $-2\text{ K} \leq t_H \leq 4\text{ K}$ 。

5.7 运行能力评估

5.7.1 运行能力试验

在 5.5 要求的仿真环境下，以变压器高压侧额定电流 I_N 为基准，宜按照图 1 所示的电流—时间关系完成分级升流/降流试验，升流/降流速率应为 $25\%I_N/\text{min}$ ，保持时间应为 30 min/级。

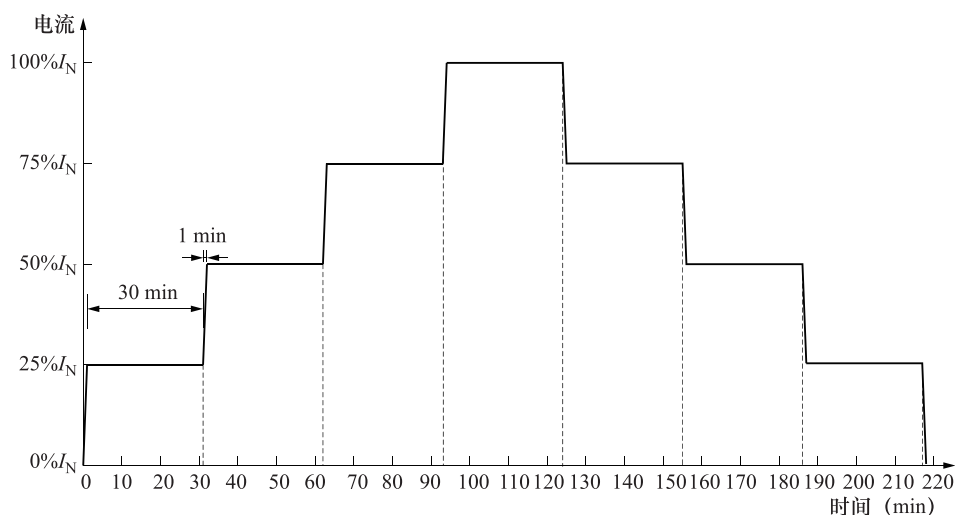


图 1 分级升流/降流试验过程电流—时间控制曲线图

5.7.2 试验结果

仿真机与管理系统的比对试验结果应符合下列规定：

- a) 每级升流/降流过程的起止点为自动采样点，信息录入并展示在运行能力评估试验表中，见附录 C 中表 C.3，保持段信息采集周期为 1 min，信息录入数据库支持曲线生成，试验过程采集录入如下信息：
 - 1) 预测周期为 30 min、60 min、120 min、240 min 的运行能力 I_P ；
 - 2) 1.5 倍额定容量时的运行时间 $t_{1.5}$ 。
- b) 根据对比预测结果，检验平台自动生成安全运行能力对比曲线，作为检验报告的图示文件。

5.7.3 评估结果评判

运行能力评估输出结果应符合下列规定：

- a) 数据输出时间间隔不大于 1 min；
- b) 相同时标的评估数据相对偏差不大于 5%。

5.8 热寿命损失评估

依据 GB/T 1094.7 及附录 D 的规定，仿真机与管理系统热寿命损失评估对比结果应符合下列规定：

- a) 数据输出时间间隔不大于 1 min；
- b) 相同时标的评估数据相对偏差不大于 5%。

5.9 节能冷却系统控制功能校验

以变压器实时负载率、顶层液体温度/绕组温度、绕组热点温度为输入参量，构成“或”逻辑，分别按照 50%、70% 阈值实现冷却系统部分启动、全部启动，装置应能发出启动信息并能自动复归。

5.10 异常告警功能试验

5.10.1 数据异常

在温升试验负荷增加过程中，出现下列数据异常，管理系统应发出告警信息：

- a) 所有数据连续 6 帧重复。
- b) 下列计算数据出现任何一组数值不大于零：
 - 1) 绕组热点温升；
 - 2) 顶层液体温升；
 - 3) 绕组平均温升；
 - 4) 液体平均温升。
- c) 在评估数据出现下列任意一种情况：
 - 1) 顶层液体温度低于环境温度；
 - 2) 绕组温度低于顶层液体温度；
 - 3) 绕组热点温度低于绕组温度或绕组平均温度；
 - 4) 热寿命损失评估小于零；
 - 5) 运行能力评估曲线存在突变、跳跃等异常情况。

5.10.2 通信异常

连续 3 次发、收“心跳”信号均未成功，管理系统应发出通信异常告警。

5.11 检验周期

管理系统现场安装运行后，宜随变压器的 A 类检修或 B 类检修周期开展检验。

6 标志、包装、运输和贮存

6.1 标志

6.1.1 管理系统标志

在管理系统的显著位置应设置标志或铭牌，并应包括下列内容：

- a) 名称；
- b) 型号；
- c) 制造商；
- d) 出厂日期；
- e) 编号。

6.1.2 包装标志

在包装箱的适当位置，应标有显著、牢固的包装标志，并应包括下列内容：

- a) 制造商名称及地址；
- b) 管理系统名称及型号；
- c) 数量；
- d) 包装箱外形尺寸（长×宽×高，mm×mm×mm）；
- e) 净重或毛重（kg）；

- f) 运输作业安全标志;
- g) 到站(港)及收货单位;
- h) 发站(港)及发货单位;
- i) 包装箱外面标记“防潮”“向上”“小心轻放”等字样;
- j) 包装箱外面应规定叠放层数。

6.2 包装

6.2.1 一般要求

包装应符合 GB/T 13384 的规定,在正常储运、装卸条件下,应保证管理系统不因包装不善引起损坏、散失、锈蚀、发霉和降低准确度等。

6.2.2 环境要求

包装时,周围环境及包装箱内应清洁、干燥,无有害介质、无异物。

6.2.3 装箱要求

包装后,其包装件重心宜靠下且居中。箱内应支撑、垫平、卡紧,对于不可拆、不可分开包装的移动部件,其四周应采取措施加以固定。

6.2.4 分体包装

管理系统突出部分,在不影响其性能的条件下,应拆卸包装。

6.2.5 产品防护

管理系统的防振、防潮、防尘等防护包装应按照 GB/T 13384 的规定执行。

6.2.6 随机文件清单

随机文件应包括下列文件清单,并应符合 GB/T 9969 的规定。

- a) 装箱清单;
- b) 安装使用说明书;
- c) 出厂合格证书;
- d) 出厂检验报告。

6.2.7 随机文件包装

随机文件应装入塑料袋中,并放置在包装箱内;分装时,随机文件应放在主机箱内。

6.3 运输

包装好的管理系统应适用于陆运、空运、水运,在运输过程中应避免雨、雪的直接淋袭,并应防止剧烈撞击和振动。

6.4 贮存

包装好的管理系统应贮存在环境温度为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度小于 80%的室内,且周围无腐蚀性挥发物、无强电磁场作用。

附录 A

(资料性)

变压器重(过)载运行条件下动态负荷调控策略

A.1 应用场景

因受网架结构、潮流分布、规划用地及建设资金等因素的约束,当按照负荷转移、设备扩容等常规方式,短期内不能有效解决变电通道负荷卡阻问题时,宜优先选用管理系统,可在不突破现有规程规定、不改变网架结构和不增加一次设备投资的前提下,量化评估和动态提升变压器安全载能力。

典型应用场景主要有:

- a) 短时、经常性重(过)载运行的单台(组)变压器;
- b) 不能满足 $N-1$ 运行条件的两台(组)及以上变压器;
- c) 电源近区上网/下网通道受阻,与负荷断面相关联的变压器(组);
- d) 长期服役、有近区故障电流穿越经历或存在轻度缺陷的单台(组)变压器。

A.2 配置原则

为了保障变压器热路模型边缘计算结果的准确性和时效性,宜遵循如下配置原则:

- a) 每一台变压器(单相或三相)配置一套管理系统,组屏布置在主控制室;
- b) 每一座变电站原则上配置一台微气象监测装置,就近布置在变压器周围上风侧、向阳面处;
- c) 在主控制室配置一台工控管理机(信息接收发送、本地维护、与站端及主站端系统通信)。

A.3 管理系统

依据网络安全和用户要求,结合项目规模和特点,管理系统建设有三种方案:

- a) 变电站端方案:管理系统及工控管理机组屏布置在变电站端 I 区或 IV 区,经反向隔离器或防火墙从远动系统获取变压器实时运行信息,通过固定 IP 地址实现就地或远程 Web 访问,该方案适合单站监测;
- b) 主站端方案:在省市级主机房(IV 区)内建设管理系统平台,在 III 区配置固定 IP 地址的管理服务器,经防火墙或反向隔离器从调控一体化系统备用数据库获取变压器实时运行信息,通过各区固定 IP 地址实现分区 Web 访问,该方案适合多站监测多层级管理;
- c) 微应用方案:在物联网管控平台划定的虚拟服务器上建设管理系统,以微应用功能模块方式向管控平台提供共享信息,或以二级菜单链接方式主动访问,该方案适合所有监测管理模式。

A.4 信息管理

A.4.1 信息分类

管理信息包括自采信息、采用信息、评估信息、预测信息、预警信息及告警信息。

- a) 自采信息:变压器散热器上下油口温度信息(外置式),变电站微气象信息(风速及风向、日照强度和环境温度);
- b) 采用信息(取自变电站端远动系统或主站端调控一体化系统):变压器各绕组侧实时线电压、线电流、顶层液体温度、分接头挡位位置;
- c) 评估信息:绕组热点温度、绕组平均温度、绕组温升,顶层液体温度、液体平均温升;
- d) 预测信息:30 min、60 min、120 min、240 min 时限下的安全运行能力(运行电流或运行功率),

1.5 倍额定电流 I_N 时的安全运行时间，基于负荷—时间尺度的运行能力曲线；

- e) 预警信息：运行电流在 1.1 倍、1.2 倍、1.3 倍、1.4 倍、1.5 倍额定电流 I_N 时，实时绕组热点温度在 70%、80%、90%、95% 及 100% 额定绕组热点温度 T_H 时，由分级协同预警策略即时发出的信息；
- f) 告警信息：通信异常、输出信息异常、装置运行异常。

A.4.2 信息展示

根据管理系统平台建设方案，可视化信息可按下列任一方式展示：

- a) 自建管理系统平台 Web 访问。
- b) 物联网管控平台信息共享或二级链接。
- c) 以微应用功能模块链接于下列系统：
 - 1) 调控系统（D5000/OPEN3000）能量管理系统（或 EMS）等的调控一体化管理系统平台；
 - 2) 生产管理系统平台（PMS）；
 - 3) 输变电设备状态监测管理系统平台。

A.4.3 信息应用

设备运维部门及检修公司：评估信息、预测信息及告警信息可支持变压器主动检修和精准运维。

电力调控中心：评估信息、预测信息及预警信息可支持运行方式优化、应急策略制定和负荷精准调控。

发展策划部：评估信息、预测信息及微气象历史信息，支持电网短期规划设计和变电项目技改决策。

附 录 B

(资料性)

变压器动态负荷智能管理系统检验平台

B.1 检验平台组成及通信架构

检验平台包括主控制器、数据库、仿真机、标准传感装置和管理系统，并应包括下列内容：

- a) 主控制器：通信、报告生成、可视化展示模块；
- b) 数据库：温升建模数据、温升过程仿真数据和信息存储模块；
- c) 仿真机：温升仿真算法和运行能力分析评估模块；
- d) 标准传感装置：高精度铂电阻标准温度计（测量范围为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，测量准确度为 $\pm 0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）；
- e) 管理系统：送检方提供的变压器动态负荷智能管理检验样品。

检验平台通信架构图如图 B.1 所示。

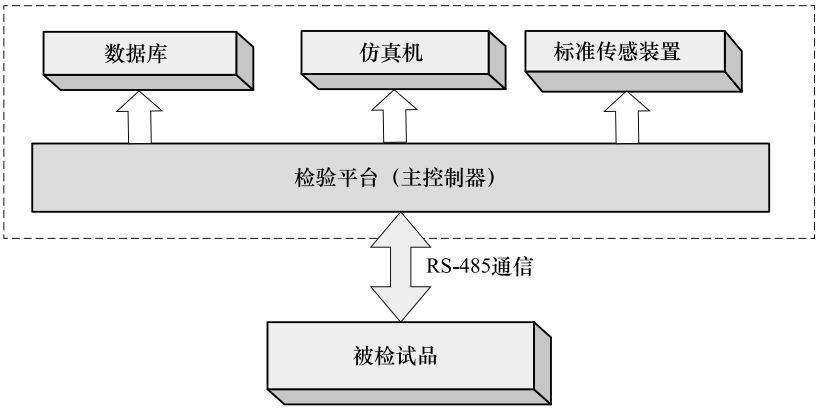


图 B.1 检验平台通信架构图

B.2 检验模块功能

B.2.1 主控制器

根据 GB/T 19582.1 中的有关规定，通过 RS-485 接口（通信规约为 Modbus）向管理系统或通过内部通信总线向仿真机，分别发送建模信息、温升过程仿真信息；采集标准传感装置的实时信息；接收仿真机、管理系统的同步输出信息；完成信息收集分析、报表统计、曲线生成、可视化展示；输出检验报告。

B.2.2 仿真机

仿真计算模型：绕组温升仿真算法和运行能力分析评估基准模型。

仿真机接收并执行主控制器指令；根据主控制器指令完成仿真建模、温升过程仿真、运行能力评估并输出评估信息；异常预告预警。

附 录 C

(资料性)

变压器动态负荷智能管理系统专项检验表

C.1 绕组温升试验

基于随机选定的建模方案，仿真机和管理系统完成建模，并执行仿真过程指令，按照过程赋值（时间、输入电流、环境温度），计算并输出绕组温度，试验结果录入表 C.1。

表 C.1 变压器绕组温升试验结果记录表

建模方案编号							管理系统编号						
暂态 温升 过程	时间（min）												
	输入电流（A）												
	环境温度（℃）												
	绕组温度 （℃）	仿真值 A											
		试验值 B											
		偏差 Δt											
稳态 温升 过程	时间（min）												
	输入电流（A）												
	环境温度（℃）												
	绕组温度 （℃）	仿真值 A											
		试验值 B											
		偏差 Δt											

C.2 温度参数计算试验

在 C.1 规定试验的既建模型上，按照暂态温升过程，完成与变压器顶层液面温度及绕组温度等相关的计算，计算结果录入表 C.2。

表 C.2 变压器顶层液面温度及绕组温度等计算表

建模方案编号							试品编号						
顶层液体 温度 （℃）	时间（min）												
	仿真值 A												
	试验值 B												
	偏差 Δt												
绕组热点 温度 （℃）	时间（min）												
	仿真值 A												
	试验值 B												
	偏差 Δt												

表 C.2（续）

液体平均 温升 (℃)	时间 (min)											
	仿真值 A											
	试验值 B											
	偏差 ΔT											
绕组平均 温升 (℃)	时间 (min)											
	仿真值 A											
	试验值 B											
	偏差 ΔT											
绕组热点 温升 (℃)	时间 (min)											
	仿真值 A											
	试验值 B											
	偏差 ΔT											

C.3 运行能力评估试验

在 C.1 规定试验的既建模型上，按照 5.7 的试验要求完成运行能力评估试验，试验结果录入表 C.3。

表 C.3 运行能力评估试验表

类别	项目	试验电流（基准电流 I_B ）																结论			
		% I_N	0		25		50		75		100		75		50		25		0		
		对应值(A)																			
运行能力 评估 值	30 min 运行能力 (A)	仿真值 A																			
		试验值 B																			
		偏差 ΔT																			
	60 min 运行能力 (A)	仿真值 A																			
		试验值 B																			
		偏差 ΔT																			
	120 min 运行能力 (A)	仿真值 A																			
		试验值 B																			
		偏差 ΔT																			
	240 min 运行能力 (A)	仿真值 A																			
		试验值 B																			
		偏差 ΔT																			
	1.5 倍 I_N 时 运行时间 (min)	仿真值 A																			
		试验值 B																			
		偏差 ΔT																			

附 录 D

(规范性)

变压器绕组温升建模验证及过程仿真测试方法

D.1 绕组温升仿真建模

D.1.1 建模依据

权威检测机构提供的变压器绕组温升试验操作手册。
权威检测机构提供的被检变压器绕组温升试验报告、绕组温升曲线。
制造商提供的被检变压器的设计制造参数及性能检测参数。

D.1.2 试验方案

根据 D.1.1 所提供的信息，选取 3 种典型冷却方式（ONAN、ONAF、ODAF）的液浸式电力变压器，形成三种绕组温升试验方案。

D.1.3 模型算法

基于 GB/T 1094.2、GB/T 1094.7，结合 D.1.1 所提供的信息，建立绕组温升仿真模型、运行能力评估基准模型和热寿命评估模型，形成基准算法和评估方法。

D.1.4 建模信息

依据基准算法和评估方法，结合被检变压器的设计制造参数及性能检测参数，形成建模信息点表（见表 D.1～表 D.4），同时发送给仿真机和管理系统完成建模。

表 D.1 变压器结构参数

铁心质量（kg）		变压器箱体长度（m）		变压器箱体重量（kg）	
绕组质量（kg）		变压器箱体宽度（m）		分接开关挡位数	
绝缘油的质量（kg）		变压器箱体高度（m）		额定分接开关位置	

表 D.2 变压器电气参数

额定容量（kVA）	高压侧		中压侧		低压侧	
额定电压（kV）	高压侧		中压侧		低压侧	
额定电流（A）	高压侧		中压侧		低压侧	
额定损耗	75℃时空载（kW）		75℃时负载（kW）		各分接下电压变比	
分接头电阻（Ω）	高压绕组直流电阻		中压绕组直流电阻		低压绕组直流电阻	

表 D.3 ONAN/ONAF 变压器冷却系统参数

片式散热器型号			
散热器组数		每台散热器的散热片个数	
整体散热器高度（m）		风扇组数（直径、转速、风量）	

表 C.3 (续)

整体散热器宽度 (m)		散热器上下油管 (即水平油道) 的直径 (m)	
整体散热器厚度 (m)		散热器上下油管 (即水平油道) 的长度 (m)	
散热器每片间隙厚度 (m)		单片散热器热片厚度 (m)	
自冷散热面积 (m ²)		风冷散热面积 (m ²)	

表 D.4 ODAF 变压器冷却系统参数

冷却器总数		备用冷却器数量	
额定冷却容量 (kW)		冷却器油泵扬程 (m)	
冷却器额定油流量 (m ³ /h)			

D.1.5 过程仿真

根据变压器绕组温升试验操作手册、绕组温升试验报告,完成带有时标的温升过程仿真信息表(见表 D.5),发送给仿真机和管理系统进行温升过程仿真比对试验。

表 D.5 温升试验过程参数表

分接头挡位位置							低压侧绕组短路方式						
初次绕组输入电流方式							环境湿度						
暂态 温升 过程	时间 (min)												
	输入电流 (A)												
	环境温度 (°C)												
稳态 温升 过程	时间 (min)												
	输入电流 (A)												
	环境温度 (°C)												

D.1.6 平台算法自验证

检验平台主控制器随机选定任一试验方案并配套发送建模信息点表,仿真机接收并完成建模。

主控制器按照表 D.5 的时标信息发送电流及环境温度信息,仿真机接收并同步输出计算结果。

主控制器接收仿真机信息并自动生成绕组温升仿真曲线,并与试验温升曲线进行比较,仿真结果应符合 5.6.2 中的准确度要求;必要时,应完善和优化仿真模型算法。

D.1.7 环境影响测试

在 D.1.6 的基础上,通过改变环境温度、风速及日照强度的输入信息,完成 5.5 和 5.6 项目的测试。

D.2 现场运行自验证

D.2.1 户内运行验证

任意选取一台预埋绕组测温光纤、户内运行的变压器作为在线监测对象,根据其设计制造及性能检测参数建立模型,仿真机接收变压器实时运行信息,完成模型计算并输出顶层液体温度和绕组热点温度的实时数据,与实测值同步对比验证且应符合 5.5.3 和 5.6.2 中的准确度要求。

D.2.2 全景运行验证

任意选取一台预埋绕组测温光纤、冷却方式不限、户外运行的变压器作为在线监测对象，根据其设计制造及性能检测参数建立模型，仿真机接收变压器实时运行信息和周边微气象信息（见表 D.6），完成模型计算并输出顶层液体温度和绕组热点温度，与实测值同步对比并应符合 5.5.3 和 5.6.2 中的准确度要求。

表 D.6 温升过程仿真信息

运行电流（A）		分接头挡位		持续时间（min）	
环境温度（℃）		风速（m/s）		日照强度（W/m ² ）	

参 考 文 献

- [1] 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
-