

ICS XXX
CCS XXX

T/HEBQIA

团 体 标 准

T/HEBQIA × × × × — 2025

有源配电网短路参数在线监测平台技术规范

（征求意见稿）

2025-××-××发布

2025-××-××实施

河北省质量信息协会 发布

目 次

前言	III
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
3.1	2
短路参数 short-circuit parameters	2
3.2	2
短路参数在线监测平台 short-circuit parameter online monitoring platform	2
3.3	2
有源配电网 active distribution network	2
3.4	2
短路参数监测终端 short-circuit parameter monitoring terminal	2
3.5	2
多终端并行测算 multi-terminal parallel calculation	2
3.6	2
短路参数实时监测 real-time monitoring of short-circuit parameters	2
3.7	2
状态评估 state assessment	3
3.8	3
预警 early warning	3
3.9	3
实时数据库 real-time database	3
3.10	3
功能模块 functional module	3
4 总则	3
5 平台架构设计	3
5.1 总体架构	3
5.2 功能架构	4
5.3 技术架构	5
5.4 部署架构	5
6 基础功能模块	6
6.1 数据采集模块	6
6.2 数据存储模块	7
6.3 数据处理模块	8
6.4 通信网络模块	8

6.5 系统管理模块..... 9

7 核心功能模块..... 10

7.1 多终端并行测算模块..... 10

7.2 短路参数实时监测模块..... 11

7.3 状态评估与预警模块..... 11

7.4 历史数据分析模块..... 12

7.5 决策支持模块..... 12

8 应用功能模块..... 13

8.1 保护整定应用..... 13

8.2 系统薄弱环节识别..... 13

8.3 分布式电源接入评估..... 13

8.4 故障分析与处理..... 14

8.5 运行方式优化..... 14

9 系统接口规范..... 15

9.1 设备接口..... 15

9.2 系统集成接口..... 15

9.3 用户接口..... 16

10 性能要求..... 17

10.1 可靠性要求..... 17

10.2 安全性要求..... 18

10.3 扩展性要求..... 18

10.4 可维护性要求..... 18

附录 A（规范性附录） 数据采集与处理功能要求..... 20

附录 B（规范性附录） 监测分析功能要求..... 22

附录 C（规范性附录） 应用功能要求..... 24

附录 D（规范性附录） 平台架构与技术要求..... 26

附录 E（规范性附录） 平台功能测试方法..... 28

附录 F（规范性附录） 平台部署与运维建议..... 30

前 言

本文件依据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。

本文件由上海浦源科技有限公司提出。

本文件由河北省质量信息协会归口。

本文件起草单位：上海浦源科技有限公司。

本文件主要起草人：XXX。

本文件为首次发布。

有源配电网短路参数在线监测平台技术规范

1 适用范围

本文件规定了有源配电网短路参数在线监测平台的架构设计、功能模块、系统接口以及性能要求等内容。

本文件适用于电力企业或使用单位规划、设计、开发和应用有源配电网短路参数在线监测平台，范围涵盖10kV~35kV配电网短路参数在线监测系统。

2 规范性引用文件

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

GB/T 25000.10 系统与软件工程 系统与软件质量要求和评价(SQuaRE) 第10部分：系统与软件质量模型

GB/T 33589 微电网接入电力系统技术规定

GB/T 34129 微电网接入配电网测试规范

GB/T 34930 微电网接入配电网运行控制规范

GB/T 35284 信息安全技术 网站身份和系统安全要求与评估方法

GB/T 35732 配电自动化智能终端技术规范

GB/T 36558 电力系统电化学储能系统通用技术条件

GB/T 36572 电力监控系统网络安全防护导则

GB/T 38318 电力监控系统网络安全评估指南

GB/T 38634.5 系统与软件工程 软件测试 第5部分：关键字驱动测试

GB/T 42560 系统与软件工程 开发运维一体化 能力成熟度模型

GB/T 42566 系统与软件工程 功能规模测量 MkII功能点分析方法

GB/T 42588 系统与软件工程 功能规模测量 NESMA方法

GB/T 44659.1 新能源场站及接入系统短路电流计算 第1部分：风力发电

GB/T 44659.2 新能源场站及接入系统短路电流计算 第2部分：光伏发电

GB/T 44659.3 新能源场站及接入系统短路电流计算 第3部分：储能电站

GB/Z 43339 自动化系统与集成 制造软件单元间互操作能力专规应用案例

DL/T 721 配电自动化终端技术规范

DL/T 1529 配电自动化终端设备检测规程

DL/T 1883 配电网运行控制技术导则

DL/T 1936 配电自动化系统安全防护技术导则

DL/T 1941 可再生能源发电站电力监控系统网络安全防护技术规范

DL / T 2607 配电自动化终端即插即用技术导则

DL / T 2608 配电自动化终端运维技术规范

DL/T 2769 配电自动化终端检测平台技术规范
DL/T 2810 配电网智能分布式终端互操作技术规范
DL/T 5226 发电厂电力网络计算机监控系统设计技术规程
DL/T 5729 配电网规划设计技术导则
DL/T 5781 配电自动化系统验收技术规范
DB15/T 3843 新能源分布式电源并网技术规范
DB15/T 3844 新能源分布式电源并网服务规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

短路参数 short-circuit parameters

表征电力系统短路特性的物理量，包括短路阻抗、短路容量、短路电流等。

3.2

短路参数在线监测平台 short-circuit parameter online monitoring platform

用于采集、处理、分析和应用配电网短路参数数据的软硬件系统平台，具备短路参数实时监测、并行测算、分析评估和应用等功能。

3.3

有源配电网 active distribution network

含有分布式发电、储能、可控负荷等主动参与电网运行的电力设备，并具备双向潮流、自动控制和优化运行等特性的配电网络。

3.4

短路参数监测终端 short-circuit parameter monitoring terminal

安装在配电网特定位置，用于采集电压、电流数据并计算短路参数的装置。

3.5

多终端并行测算 multi-terminal parallel calculation

多个监测终端同时采集数据，基于时间同步和协同计算技术，实现更广范围、更高精度的短路参数计算模式。

3.6

短路参数实时监测 real-time monitoring of short-circuit parameters

采用在线监测技术，实时获取配电网短路参数及其变化情况的过程。

3.7

状态评估 state assessment

基于实时监测数据，对配电网短路参数状态进行评估和分级的过程。

3.8**预警 early warning**

对短路参数异常变化或潜在风险提前发出警报的功能。

3.9**实时数据库 real-time database**

专门用于存储、管理和处理实时数据的数据库系统，具有时间标签、高速处理和历史数据管理等特性。

3.10**功能模块 functional module**

具有相对独立功能的软件或硬件单元，是构成系统的基本组成部分。

4 总则

- 4.1 有源配电网短路参数在线监测平台应坚持“整体规划、模块化设计、安全可靠、开放共享、持续发展”的原则，建立功能完善、性能可靠的监测平台。
- 4.2 平台设计应适应有源配电网的特点和发展趋势，充分考虑分布式电源接入、网络拓扑变化、负荷特性变化等因素对短路参数的影响。
- 4.3 平台功能应满足短路参数监测、分析、应用的多层次需求，支持并行测算、实时监测、状态评估、决策支持等关键功能。
- 4.4 平台架构应采用先进、成熟的设计理念和技术路线，具备良好的可扩展性、可靠性和安全性。
- 4.5 平台应具备与配电自动化系统、配电网管理系统、调度自动化系统等相关系统的数据交换和功能协同能力。
- 4.6 平台应支持多层次用户访问和应用，提供友好的人机交互界面和灵活的应用接口。
- 4.7 平台应满足电力行业信息安全和网络安全的相关要求，确保系统和数据安全。

5 平台架构设计**5.1 总体架构**

- 5.1.1 有源配电网短路参数在线监测平台总体架构应采用分层设计，主要包括感知层、网络层、平台层和应用层。
- 5.1.2 感知层主要由分布在配电网各关键节点的短路参数监测终端组成，其功能包括：
 - a) 电压、电流信号采集功能可以实时获取电网运行数据；
 - b) 扰动事件识别与记录功能能够捕捉和存储各类电网扰动事件；
 - c) 短路参数本地计算功能可以在终端设备上直接进行初步计算处理；
 - d) 数据预处理与存储功能对采集的数据进行初步过滤和本地缓存；

e) 通信与数据传输功能负责将采集和处理的数据安全可靠地传输至上层系统。

5.1.3 网络层提供数据传输和交换通道，其功能包括：

- a) 组建监测终端与主站系统的通信网络，形成完整的数据传输网络；
- b) 提供安全、可靠的数据传输通道，确保数据传输的安全性和可靠性；
- c) 实现异构网络的适配与融合，解决不同通信网络之间的互联互通；
- d) 提供网络安全防护，防止非授权访问和数据篡改；
- e) 支持网络状态监控与管理，实时掌握网络运行状态。

5.1.4 平台层是系统的核心，负责数据处理、分析和管理的，其功能包括：

- a) 数据采集与管理功能负责接收和管理来自感知层的各类数据；
- b) 多终端并行测算功能实现多个监测终端的协同计算；
- c) 短路参数实时监测功能实现对短路参数的实时分析和监视；
- d) 状态评估与预警功能对异常情况进行评估和预警；
- e) 历史数据分析功能对历史数据进行深度挖掘和分析；
- f) 系统管理与维护功能保障系统正常运行。

5.1.5 应用层面向各类用户，提供多种应用功能，包括：

- a) 保护整定应用支持继电保护装置的参数计算和整定；
- b) 系统薄弱环节识别帮助发现配电网中的薄弱环节；
- c) 分布式电源接入评估分析分布式电源接入对系统的影响；
- d) 故障分析与处理提供故障诊断和处理建议；
- e) 运行方式优化为配电网运行方式调整提供决策支持；
- f) 用户自定义应用允许用户根据特定需求定制应用功能。

5.2 功能架构

5.2.1 有源配电网短路参数在线监测平台功能架构应按照基础功能模块、核心功能模块和应用功能模块三个层次设计。

5.2.2 基础功能模块为系统提供基础支撑，主要包括：

- a) 数据采集模块：负责各类数据的采集和接入，是系统数据的入口；
- b) 数据存储模块：提供数据存储和管理功能，确保数据的安全和可访问性；
- c) 数据处理模块：对采集的数据进行预处理和分析，提升数据质量；
- d) 通信网络模块：提供系统内外的通信功能，确保数据传输的可靠性；
- e) 系统管理模块：提供系统运行、维护和管理功能，保障系统稳定运行。

5.2.3 核心功能模块实现系统核心业务功能，主要包括：

- a) 多终端并行测算模块：实现多个监测终端的协同测算，提高计算效率和覆盖范围；
- b) 短路参数实时监测模块：实现短路参数的实时监测，及时掌握参数变化；
- c) 状态评估与预警模块：评估短路参数状态并提供预警，发现潜在风险；
- d) 历史数据分析模块：分析历史数据并挖掘规律，发现长期变化趋势；
- e) 决策支持模块：为运行决策提供支持，辅助决策者制定合理方案。

5.2.4 应用功能模块提供面向特定应用场景的功能，主要包括：

- a) 保护整定应用：支持继电保护整定计算和优化，提高保护系统可靠性；
- b) 系统薄弱环节识别：识别配电网中的薄弱环节，指导系统加强；
- c) 分布式电源接入评估：评估分布式电源接入影响，支持科学决策；

- d) 故障分析与处理：支持故障分析和处理，减少故障影响；
- e) 运行方式优化：优化配电网运行方式，提高系统效率。

5.3 技术架构

5.3.1 有源配电网短路参数在线监测平台技术架构采用多层次、分布式设计，主要包含基础设施层、平台支撑层、应用支撑层和应用层。

5.3.2 基础设施层提供系统运行的硬件环境，主要包括：

- a) 服务器：应用服务器、数据库服务器、计算服务器等，提供计算和处理能力；
- b) 存储设备：数据存储阵列、备份设备等，负责数据的存储和备份；
- c) 网络设备：交换机、路由器、防火墙等，构建系统的通信网络；
- d) 监测终端：分布在配电网各节点的监测装置，负责数据采集；
- e) 其他硬件设备：工作站、显示设备等，辅助系统运行。

5.3.3 平台支撑层提供系统运行的软件环境和中间件，主要包括：

- a) 操作系统：服务器操作系统、终端操作系统等，提供基础软件环境；
- b) 数据库系统：实时数据库、关系型数据库、时序数据库等，管理各类数据；
- c) 通信中间件：消息队列、通信服务等，实现系统内组件间的通信；
- d) 计算引擎：分布式计算框架、流计算引擎等，提供高效计算能力；
- e) 安全防护：访问控制、加密认证、安全审计等，保障系统安全。

5.3.4 应用支撑层提供通用的应用开发和运行支持，主要包括：

- a) 数据接入框架：标准化的数据接入和处理框架，简化数据处理；
- b) 业务流程引擎：支持业务流程定义和执行，提高业务灵活性；
- c) 分析计算组件：提供各类分析和计算功能，强化系统分析能力；
- d) 可视化组件：数据可视化和图形展示组件，增强用户体验；
- e) 开发工具包：应用开发支持工具，加速应用开发。

5.3.5 应用层包含各类业务应用，主要包括：

- a) 监测应用：短路参数监测、状态评估等，实时监控系统状态；
- b) 分析应用：历史数据分析、趋势预测等，深入挖掘数据价值；
- c) 决策应用：决策支持、优化建议等，辅助用户决策；
- d) 专业应用：保护整定、系统评估等，满足专业需求；
- e) 管理应用：系统管理、配置维护等，保障系统正常运行。

5.4 部署架构

5.4.1 有源配电网短路参数在线监测平台部署架构根据系统规模和需求，可采用集中式部署或分布式部署。

5.4.2 集中式部署适用于规模较小的系统，主要特点：

- a) 所有功能集中部署在同一个物理或逻辑位置，简化系统结构；
- b) 监测终端直接与中心系统通信，通信路径简单明确；
- c) 系统结构简单，管理维护方便，降低了运维复杂度；
- d) 对中心系统的硬件性能和可靠性要求较高，需要充分考虑系统冗余和备份；
- e) 适用于地域集中、规模较小的配电网，如单一变电站供电区域的配电网。

5.4.3 分布式部署适用于规模较大的系统，主要特点：

- a) 功能分布在多个物理或逻辑位置，实现负载分散；
 - b) 采用分层分区的部署结构，地区和功能上可分开部署；
 - c) 可按区域或功能进行分布式部署，灵活性更高；
 - d) 具有更好的扩展性和可靠性，单点故障影响小；
 - e) 适用于地域分散、规模较大的配电网，如跨多个区域的大型配电网。
- 5.4.4 混合部署结合了集中式和分布式的特点，主要特点：
- a) 核心功能集中部署，部分功能分布部署，兼顾集中管理和分散处理；
 - b) 可根据实际需求灵活调整部署方式，适应性更强；
 - c) 平衡了集中管理与分散处理的需求，既有集中管理的便利，又有分布式处理的可靠性；
 - d) 具有较好的适应性和灵活性，可根据业务发展调整部署结构；
 - e) 适用于多种规模和结构的配电网，适应性最广；
- 5.4.5 无论采用何种部署方式，均应满足以下要求：
- a) 硬件配置应满足系统性能和可靠性要求，确保系统稳定运行；
 - b) 网络带宽和延迟应满足数据传输需求，保证数据实时传输；
 - c) 应具备灾备能力和故障恢复机制，提高系统韧性；
 - d) 应符合信息安全等级保护要求，保障系统和数据安全；
 - e) 应考虑未来扩展需求，预留足够的扩展空间。
- ## 6 基础功能模块
- ### 6.1 数据采集模块
- 6.1.1 数据采集模块负责从各类数据源采集、接收和处理数据，是系统的数据入口，主要功能包括：
- a) 监测终端数据采集功能：采集监测终端上传的短路参数数据，获取基础监测数据；
 - b) 扰动事件数据采集功能：采集系统扰动事件相关数据，了解系统异常状况；
 - c) 配电网基础数据采集功能：采集配电网拓扑、设备参数等基础数据，建立系统模型；
 - d) 运行状态数据采集功能：采集配电网运行状态、开关状态等数据，掌握实时运行情况；
 - e) 外部系统数据接入功能：接入配电自动化系统等外部系统数据，实现数据共享和系统集成。
- 6.1.2 数据采集模块应支持多种采集方式：
- a) 实时采集：按照指定时间间隔实时采集数据，满足连续监测需求；
 - b) 触发采集：在特定条件触发时采集数据，针对特定事件进行采集；
 - c) 按需采集：根据用户需求主动采集数据，满足即时分析需要；
 - d) 批量采集：批量采集历史数据或文件数据，支持历史数据导入；
 - e) 订阅推送：通过数据订阅方式获取数据，实现数据的主动推送。
- 6.1.3 数据采集模块应支持多种通信协议：
- a) IEC 61850 是国际标准电力自动化通信协议，支持其及其子标准；
 - b) IEC 60870-5-104 是广泛应用于电力监控的通信协议；
 - c) Modbus 协议包括 Modbus RTU 和 Modbus TCP 两种形式，应用广泛；
 - d) OPC UA 是工业通信的统一架构协议，支持跨平台通信；
 - e) 自定义协议允许系统支持特定设备的专用协议。
- 6.1.4 数据采集模块应对采集的数据进行预处理：

- a) 数据验证：验证数据的有效性和完整性；
- b) 数据过滤：过滤无效或冗余数据，减少数据量；
- c) 数据转换：进行必要的单位转换和格式转换，统一数据格式；
- d) 数据标记：为数据添加时间戳和质量标签，增加数据可追溯性；
- e) 异常处理：处理采集异常和通信中断，提高数据可靠性。

6.1.5 数据采集模块应提供完善的采集管理功能：

- a) 采集配置：配置采集点、采集周期、采集方式等；
- b) 采集监控：监控数据采集状态和质量，实时了解采集情况；
- c) 异常告警：当采集异常时产生告警，及时发现问题；
- d) 统计分析：对采集数据进行统计和质量分析，评估采集效果；
- e) 历史记录：记录采集历史和异常情况，支持追溯分析。

6.2 数据存储模块

6.2.1 数据存储模块负责系统各类数据的存储、管理和访问，是系统的数据基础，主要功能包括：

- a) 实时数据存储：存储短路参数、运行状态等实时数据，支持实时监测分析；
- b) 历史数据存储：存储历史短路参数和相关历史数据，支持趋势分析和规律挖掘；
- c) 基础数据存储：存储配电网拓扑、设备参数等基础数据，建立系统模型；
- d) 事件数据存储：存储扰动事件、告警事件等事件数据，支持事件分析；
- e) 分析结果存储：存储数据分析结果和报表数据，便于查询和共享。

6.2.2 数据存储模块应采用多层次存储架构：

- a) 实时数据库：存储短时间内的实时数据，提供高速访问，满足实时监测需求；
- b) 历史数据库：存储长时间历史数据，提供归档和查询，支持历史分析；
- c) 关系型数据库：存储结构化的基础数据和配置数据，确保数据一致性；
- d) 时序数据库：存储时间序列数据，支持时序分析，适合处理监测数据；
- e) 文件存储：存储非结构化数据，如波形文件、报表等，扩展存储类型。

6.2.3 数据存储模块应合理组织数据结构：

- a) 按数据类型组织：实时数据、历史数据、事件数据等，便于分类管理；
- b) 按时间维度组织：实时、小时、日、月、年等时间粒度的数据，支持不同时间尺度的分析；
- c) 按空间维度组织：区域、变电站、线路、节点等空间层次的数据，支持空间分析；
- d) 按业务维度组织：监测、分析、预警、决策等业务类型的数据，适应不同业务需求；
- e) 按用户维度组织：不同用户权限下的数据视图，实现数据访问控制。

6.2.4 数据存储模块应提供完善的数据管理功能：

- a) 数据备份：定期备份数据，确保数据安全，防止数据丢失；
- b) 数据归档：长期历史数据的归档和管理，优化存储空间；
- c) 数据压缩：数据压缩存储，提高存储效率，节约存储空间；
- d) 数据清理：按策略清理过期数据，维护存储系统健康；
- e) 存储监控：监控存储空间和性能，及时发现存储问题。

6.2.5 数据存储模块应提供多种数据访问方式：

- a) 标准接口：提供标准化的数据查询和访问接口，便于系统集成；
- b) 实时访问：支持对实时数据的高速访问，满足实时监测需求；
- c) 历史查询：支持对历史数据的灵活查询，满足分析挖掘需求；

- d) 统计汇总：支持数据的统计、聚合和汇总，提供数据概览；
- e) 批量导入导出：支持数据的批量导入和导出，便于数据交换和备份。

6.3 数据处理模块

6.3.1 数据处理模块负责对采集的数据进行处理、分析和转换，是系统的数据加工中心，主要功能包括：

- a) 数据清洗：处理数据中的缺失、异常和重复问题，提高数据质量；
- b) 数据转换：进行数据格式转换和单位换算，统一数据表示；
- c) 数据计算：进行短路参数的计算和推导，获得关键指标；
- d) 数据滤波：对数据进行滤波和平滑处理，减少噪声影响；
- e) 数据质量评估：评估数据的质量和可靠性，了解数据可信度。

6.3.2 数据清洗功能应包括：

- a) 缺失值处理：通过插值、填充等方法处理缺失数据，保证数据连续性；
- b) 异常值处理：识别和处理异常数据，避免异常值影响分析结果；
- c) 重复值处理：识别和去除重复数据，减少数据冗余；
- d) 一致性检查：检查数据的逻辑一致性，确保数据合理性；
- e) 格式统一：统一数据格式和表示方式，便于统一处理。

6.3.3 数据计算功能应包括：

- a) 短路阻抗计算：基于测量数据计算短路阻抗，获得基础参数；
- b) 短路容量计算：基于短路阻抗计算短路容量，评估系统强度；
- c) 短路电流计算：计算不同故障类型的短路电流，分析故障影响；
- d) 参数推导：推导未测量点的短路参数，扩大监测覆盖；
- e) 统计分析：对短路参数进行统计和趋势分析，发现变化规律。

6.3.4 数据融合功能应包括：

- a) 多源数据融合：融合来自不同数据源的数据，综合利用各类数据；
- b) 多终端数据融合：融合多个监测终端的数据，扩大监测覆盖；
- c) 时空数据融合：融合不同时间、空间的数据，建立时空关联；
- d) 异构数据融合：融合不同类型和格式的数据，统一处理不同数据；
- e) 历史数据融合：融合实时数据与历史数据，结合当前和历史信息。

6.3.5 数据质量评估功能应包括：

- a) 完整性评估：评估数据的完整程度，检查数据缺失情况；
- b) 准确性评估：评估数据的准确程度，检验数据与实际的符合度；
- c) 一致性评估：评估数据的一致程度，检查数据间的逻辑关系；
- d) 时效性评估：评估数据的时效性，确保数据的时间有效性；
- e) 可靠性评估：评估数据的可靠程度，判断数据的可信度。

6.4 通信网络模块

6.4.1 通信网络模块负责系统内外的数据通信和交换，是系统的信息通道，主要功能包括：

- a) 终端通信：与各监测终端进行数据通信，接收监测数据；
- b) 系统集成：与其他系统进行数据交换，实现跨系统集成；
- c) 网络管理：管理和监控通信网络，确保网络健康运行；

- d) 通信安全：保障通信过程的安全，防止数据泄露和篡改；
- e) 数据同步：确保系统内部数据同步，保持数据一致性。

6.4.2 通信网络结构应满足以下要求：

- a) 分层设计：采用分层设计的网络结构，清晰网络架构；
- b) 冗余备份：关键链路和设备具备冗余设计，提高系统可靠性；
- c) 安全隔离：实现业务网与外部网络的安全隔离，保障系统安全；
- d) 带宽保障：保障关键业务的通信带宽，确保重要数据及时传输；
- e) 可扩展性：具备良好的可扩展性，适应系统规模增长。

6.4.3 通信模块应支持多种通信协议：

- a) 标准协议：支持 IEC 61850、IEC 60870-5-104 等电力行业标准协议；
- b) 工业协议：支持 Modbus、DNP3 等广泛应用的工业控制协议；
- c) Web 协议：支持 HTTP/HTTPS、WebSocket 等互联网标准协议；
- d) 数据库协议：支持各类数据库访问协议，便于数据交换；
- e) 自定义协议：支持系统自定义协议，满足特殊需求。

6.4.4 通信管理功能应包括：

- a) 通信配置：配置通信参数和通信策略，调整通信行为；
- b) 通信监控：监控通信状态和性能，实时了解通信质量；
- c) 通信诊断：诊断通信故障和异常，快速定位问题；
- d) 流量管理：管理和控制通信流量，优化带宽使用；
- e) 通信日志：记录通信事件和异常，支持追溯分析。

6.4.5 通信安全功能应包括：

- a) 访问控制：控制通信接入和访问权限，防止非授权访问；
- b) 数据加密：对敏感数据进行加密传输，保护数据机密性；
- c) 身份认证：对通信双方进行身份认证，确保通信对象的真实性；
- d) 完整性校验：确保数据传输的完整性，防止数据篡改；
- e) 安全审计：对通信过程进行安全审计，记录安全事件。

6.5 系统管理模块

6.5.1 系统管理模块负责系统的运行管理和维护，是系统的管理中心，主要功能包括：

- a) 用户管理：管理系统用户和权限，控制系统访问；
- b) 配置管理：管理系统配置和参数，调整系统行为；
- c) 运行监控：监控系统运行状态，了解系统健康状况；
- d) 日志管理：管理系统日志和审计记录，支持事件追溯；
- e) 维护管理：支持系统维护和升级，保持系统先进性。

6.5.2 用户管理功能应包括：

- a) 用户账户管理：创建、修改和删除用户账户，管理用户生命周期；
- b) 角色管理：定义和管理用户角色，实现基于角色的权限控制；
- c) 权限管理：分配和管理用户权限，控制用户访问范围；
- d) 认证管理：用户登录认证和安全策略，保障访问安全；
- e) 操作审计：记录和审计用户操作，实现行为可追溯。

6.5.3 配置管理功能应包括：

- a) 系统参数配置：配置系统运行参数，调整系统整体行为；
- b) 功能模块配置：配置各功能模块参数，优化模块性能；
- c) 监测终端配置：配置监测终端参数，调整终端行为；
- d) 通信配置：配置通信参数和策略，优化通信性能；
- e) workflow配置：配置系统工作流和业务流程，自定义业务逻辑。

6.5.4 运行监控功能应包括：

- a) 系统状态监控：监控系统整体运行状态，提供全局视图；
- b) 资源使用监控：监控 CPU、内存、磁盘等资源使用情况，了解资源状况；
- c) 性能监控：监控系统处理能力和响应时间，评估系统性能；
- d) 终端状态监控：监控各监测终端的运行状态，确保终端正常工作；
- e) 告警管理：管理系统告警和通知，及时响应异常情况。

6.5.5 日志管理功能应包括：

- a) 系统日志：记录系统运行日志，记录系统事件；
- b) 操作日志：记录用户操作日志，追踪用户行为；
- c) 安全日志：记录安全相关事件日志，监控安全事件；
- d) 通信日志：记录通信相关日志，了解通信状况；
- e) 日志分析：支持日志查询、统计和分析，挖掘日志价值。

6.5.6 维护管理功能应包括：

- a) 数据备份恢复：系统数据的备份和恢复，防止数据丢失；
- b) 系统升级：支持系统版本升级，保持系统先进性；
- c) 远程维护：支持远程维护和故障诊断，提高维护效率；
- d) 健康诊断：系统健康状态诊断，预防潜在问题；
- e) 故障处理：系统故障的诊断和处理，快速解决问题。

7 核心功能模块

7.1 多终端并行测算模块

7.1.1 多终端并行测算模块实现多个监测终端的协同工作，提高短路参数测量的覆盖范围和精度，主要功能包括：

- a) 终端协同管理：管理多个监测终端的协同工作，协调终端行为；
- b) 时间同步控制：确保多终端时间同步，保证数据时间一致性；
- c) 数据协同采集：协调多终端数据采集，实现有效配合；
- d) 并行计算处理：实现多终端数据的并行计算，提高计算效率；
- e) 结果融合分析：融合多终端的计算结果，提高结果准确性。

7.1.2 终端协同管理功能应包括：

- a) 终端分组：将多个终端划分为协同工作组，便于分组管理；
- b) 工作模式配置：配置终端的协同工作模式，定义协同方式；
- c) 任务分配：向各终端分配测算任务，合理分工；
- d) 状态监控：监控各终端的工作状态，了解终端情况；
- e) 异常处理：处理终端协同过程中的异常，保障协同稳定性。

7.1.3 时间同步控制功能应包括：

- a) 时钟同步：通过 GPS、北斗或网络时钟实现终端时钟同步，提供时间基准；
- b) 同步精度监测：监测终端时钟同步精度，评估同步质量；
- c) 时间校正：对不同步终端进行时间校正，修正时间偏差；
- d) 同步状态管理：管理系统时间同步状态，了解整体同步情况；
- e) 时间戳处理：处理数据时间戳问题，确保数据时间一致性。

7.1.4 数据协同采集功能应包括：

- a) 采集触发：协调多终端的采集触发，保证采集同步性；
- b) 采集策略：制定并执行协同采集策略，优化采集效果；
- c) 数据缓存：缓存多终端采集的数据，保证数据完整性；
- d) 数据预处理：对协同采集的数据进行预处理，提高数据质量；
- e) 质量评估：评估协同采集数据的质量，了解数据可靠性。

7.1.5 并行计算处理功能应包括：

- a) 计算任务分解：将计算任务分解到各终端，实现任务分担；
- b) 并行计算调度：调度并行计算任务，优化计算流程；
- c) 中间结果交换：交换计算过程中的中间结果，支持协同计算；
- d) 计算进度监控：监控并行计算进度，了解计算状态；
- e) 计算资源管理：管理计算资源的分配和使用，优化资源利用。

7.1.6 结果融合分析功能应包括：

- a) 结果收集：收集各终端的计算结果，汇总分散数据；
- b) 数据校验：校验计算结果的有效性，过滤无效结果；
- c) 结果融合：融合多个终端的计算结果，综合多方信息；
- d) 精度评估：评估融合结果的精度，了解结果可靠性；
- e) 结果优化：优化和改进融合结果，提高结果质量。

7.2 短路参数实时监测模块

7.2.1 短路参数实时监测模块可实现配电网短路参数的实时监测与分析，具备实时数据采集、参数实时计算、参数变化监测、异常检测及实时显示等功能，能够为配电网的安全运行提供数据支持与决策依据。

7.2.2 实时数据采集功能包括按固定周期采集数据、根据特定条件触发采集、采集扰动事件相关数据、采集系统运行状态数据以及缓存实时采集的数据，可确保数据的连续性、完整性与可靠性。

7.2.3 参数实时计算功能涵盖实时计算节点短路阻抗、短路容量、不同类型故障的短路电流，以及根据系统状态修正计算结果和评估计算结果的可靠性。

7.2.4 参数变化监测功能包括分析短路参数的变化趋势、计算参数的变化率、与历史参数或基准参数进行对比、分析参数的周期性变化特性以及分析参数变化与运行方式的关系，能够及时发现参数的异常变化并预判其发展方向。

7.2.5 异常检测功能基于预设阈值、趋势分析、统计特性、模式识别以及多参数关联进行异常检测，可全面、准确地发现短路参数的异常变化，及时发出告警。

7.2.6 实时显示功能可显示当前短路参数值、参数变化趋势图、参数状态、参数异常告警以及参数空间分布情况，能够直观、清晰地呈现短路参数的实时状态与变化趋势。

7.3 状态评估与预警模块

7.3.1 状态评估与预警模块负责评估短路参数状态及其异常带来的风险，生成并发布预警信息，跟踪处理过程，实现对配电网短路参数的全面监测与管理，保障系统安全运行。

7.3.2 状态评估功能通过参数状态分级、建立评价指标体系、构建评估模型、综合多因素评估以及实时动态评估，全面、系统地了解短路参数状态。

7.3.3 风险评估功能包括识别短路参数异常带来的潜在风险、分析风险特征、评价风险可接受程度、进行风险分级以及跟踪风险变化，量化并管理潜在风险。

7.3.4 预警生成功能通过设置预警规则、划分预警级别、生成预警信息、确认预警有效性以及建立预警与事件的关联关系，确保预警信息的准确性和可靠性。

7.3.5 预警发布功能涵盖制定发布策略、通过多种渠道发布预警、控制发布权限、确认发布效果以及记录发布情况，确保预警信息能够及时、准确地传递给相关用户。

7.3.6 预警处理功能通过定义处理流程、明确处理分工、跟踪处理进展、评价处理效果以及记录处理全过程，规范预警响应，确保预警得到及时、有效的处理，形成闭环管理。

7.4 历史数据分析模块

7.4.1 历史数据分析模块负责对历史短路参数数据进行查询检索、统计分析、趋势分析、关联分析以及报表生成，通过深入挖掘数据中的规律和趋势。

7.4.2 数据查询检索功能应包括：

- a) 时间查询：按时间范围查询数据，获取特定时段数据；
- b) 空间查询：按区域、线路或节点查询数据，获取特定位置数据；
- c) 条件查询：按参数值或状态查询数据，查找特定特征数据；
- d) 关键字检索：通过关键字检索数据，便于快速定位；
- e) 查询结果管理：管理和导出查询结果，便于使用 and 分享。

7.4.3 统计分析功能应包括：

- a) 描述性统计：计算均值、方差、分布等统计特征，了解基本统计特性；
- b) 对比分析：比较不同时间、区域或条件下的数据，发现差异；
- c) 分类统计：按不同类别统计分析数据，了解分类分布；
- d) 相关性分析：分析参数间的相关性，发现参数间关系；
- e) 异常值分析：识别和分析统计异常值，发现特殊情况。

7.4.4 趋势分析功能涵盖时间序列分析、周期性分析、趋势预测、突变点分析以及季节性分析，通过多种分析方法挖掘参数的时间变化规律和趋势。

7.4.5 关联分析功能包括因素关联分析、事件关联分析、空间关联分析、时间关联分析以及模式发现，通过分析短路参数与各因素、事件、空间和时间的关联，识别数据中的典型模式和关系。

7.4.6 报表生成功能提供多种报表模板，支持自定义报表内容和格式，能够自动生成定期报表和特定主题的专题报表，并提供报表的管理和发布功能，便于用户分享和使用分析成果。

7.5 决策支持模块

7.5.1 决策支持模块基于短路参数监测和分析结果，为配电网运行、规划、保护等决策提供支持，具备问题诊断、方案生成、方案评估、推荐建议和知识库管理等功能。

7.5.2 问题诊断功能涵盖诊断配电网中的薄弱环节、潜在故障风险、保护配置问题、运行优化空间以及设备能力是否满足要求，全面发现系统隐患。

7.5.3 方案生成功能通过应用知识库中的规则、基于理论模型计算、参考历史经验、整合专家建议以及为用户交互生成多种备选方案，为解决配电网问题提供多样化的选择。

7.5.4 方案评估功能包括评估方案的技术可行性、经济性、风险、实施效果以及进行综合评价，全面比较各备选方案的优劣，为决策提供科学依据，确保方案的合理性和有效性。

7.5.5 推荐建议功能提供最优或备选方案推荐、方案实施建议、风险提示、跟踪反馈以及经验积累，辅助决策者选择合适的方案并有效实施，同时丰富知识库内容。

7.5.6 知识库管理功能涉及采集和整理专家知识、系统化组织知识内容、及时更新和完善知识库、便捷应用知识以及实现知识共享和传承，为决策支持提供丰富的知识资源，提升决策的科学性和准确性。

8 应用功能模块

8.1 保护整定应用

8.1.1 保护整定应用模块基于短路参数监测数据，为继电保护整定提供全面支持，具备保护参数计算、保护整定分析、整定值推荐、协调性校验和整定方案管理等功能，确保保护装置的整定科学合理、协调可靠，保障配电网的安全运行。

8.1.2 保护参数计算功能包括计算各类故障的短路电流、保护装置所需的阻抗值、保护动作的时间特性、保护装置的灵敏度，并根据系统状态动态调整参数。

8.1.3 保护整定分析功能涵盖评估现有保护整定的合理性、诊断整定问题、分析短路参数变化及分布式电源对保护的影响，以及极端条件下保护的可靠性，全面评估保护整定效果。

8.1.4 整定值推荐功能通过设置保护整定策略、计算整定值、优化整定值、验证整定值的合理性以及比较不同整定方案的优劣，为保护装置提供科学合理的整定值建议，辅助方案选择。

8.1.5 协调性校验功能包括校验保护动作的时间配合、电流配合、阻抗配合、区域覆盖情况，并分析保护可能存在的盲区，确保保护装置之间的协调配合，避免保护误动或拒动。

8.1.6 整定方案管理功能涉及创建、修改、对比、应用和存档保护整定方案，实现整定方案的全生命周期管理，便于查询和使用，确保整定方案的科学性和有效性。

8.2 系统薄弱环节识别

8.2.1 系统薄弱环节识别模块基于短路参数监测数据，通过短路容量分析、薄弱环节识别、影响因素分析、改善措施推荐及效果评估等功能，全面识别配电网中的薄弱环节。

8.2.2 短路容量分析功能涵盖短路容量的空间分布分析、时间变化分析、临界值分析、敏感性分析及对比分析，全面掌握系统强度与动态特性，为薄弱环节识别提供基础数据支持。

8.2.3 薄弱环节识别功能通过阈值法、趋势法、敏感性法、综合评价法及风险评估法，从不同角度识别短路容量低或变化大的薄弱环节，精准定位系统短板。

8.2.4 影响因素分析功能需涵盖网络拓扑结构、运行方式、分布式电源、负荷特性及设备参数对薄弱环节的影响分析，全面评估各因素对薄弱环节的作用。

8.2.5 改善措施推荐功能提供网络结构优化、运行方式调整、设备增容、新增线路及分布式电源配置等建议，针对薄弱环节给出具体改进建议。

8.2.6 效果评估功能通过预测改善措施实施后的效果、对比改善前后的短路参数变化、分析投入产出比、评估持续性及综合效益，全面衡量改善措施的价值。

8.3 分布式电源接入评估

8.3.1 分布式电源接入评估模块基于短路参数监测数据，全面评估分布式电源接入对配电网的影响，涵盖接入影响分析、接入容量评估、接入点优化、保护协调评估及运行策略优化等功能，为分布式电源的安全、高效接入提供科学依据。

8.3.2 接入影响分析功能通过分析分布式电源接入对短路容量、电压水平、潮流分布、保护系统及系统稳定性的影响，全面评估其对配电网的冲击。

8.3.3 接入容量评估功能包括计算最大接入容量、规划分阶段接入、分析多场景下的接入容量、进行敏感性分析及分析接入限制因素，精准确定分布式电源的接入上限。

8.3.4 接入点优化功能涵盖接入点评估、多目标优化、敏感性分析、技术经济分析及空间优化，综合考虑多因素选择最佳接入点，提升分布式电源接入的效益与安全性。

8.3.5 保护协调评估功能通过保护影响分析、协调问题识别、整定调整建议、保护策略优化及验证分析，全面评估分布式电源接入对保护系统的影响，确保保护协调有效，保障系统安全运行。

8.3.6 运行策略优化功能包括优化分布式电源的出力控制、无功调节、孤岛运行、故障穿越及与系统的协调控制策略，提升分布式电源的运行效益与系统协同性，增强配电网的韧性与稳定性。

8.4 故障分析与处理

8.4.1 故障分析与处理模块基于短路参数监测数据，具备故障特征分析、故障定位、故障类型识别、故障影响评估和故障处理建议等功能，能够全面掌握故障特性、精准定位故障点、判断故障性质、量化故障影响并提供处理指导。

8.4.2 故障特征分析功能涵盖故障电流、电压、阻抗、波形的特征分析及故障典型特征的提取。通过这些分析，可精准识别故障特征。

8.4.3 故障定位功能通过阻抗法、故障指示器法、行波法和多信息融合等多种方法实现故障的精准定位，并通过定位结果验证功能确保定位的准确性。这些方法综合运用，能够快速、准确地确定故障位置。

8.4.4 故障类型识别功能可识别单相接地、两相短路、弧光接地、间歇性故障、高阻故障和复合故障等多种故障类型，精准区分不同故障性质，全面捕捉各类复杂故障。

8.4.5 故障影响评估功能涵盖故障影响范围、影响程度、恢复时间、经济损失和安全风险的评估，全面量化故障的严重性和潜在影响为故障处理和资源调配提供科学依据，降低故障带来的负面影响。

8.4.6 故障处理建议功能提供故障隔离方案、恢复供电方案、设备检修建议、故障防范措施和经验总结，为故障处理和预防提供全面指导，快速控制故障、恢复供电，并积累处理经验，提升系统运行的可靠性和安全性。

8.5 运行方式优化

8.5.1 运行方式优化模块基于短路参数监测数据，具备运行状态评估、运行方式分析、优化目标设定、优化方案生成及实施效果评估等功能，可全面优化配电网运行方式。

8.5.2 运行状态评估功能涵盖短路参数、电压水平与分布、潮流分布、系统损耗以及安全运行裕度的评估，全面衡量配电网的运行状况，精准判断各关键指标的合理性与健康状态。

8.5.3 运行方式分析功能应包括网络重构、分布式电源调控、无功补偿、负荷转移和应急方案的分析，全面衡量拓扑调整、电源调整、补偿策略、负荷调整和应急策略的科学性与优化程度。

8.5.4 优化目标设定功能涵盖安全性、经济性、可靠性、环保性等多方面的优化目标，旨在通过综合平衡各方需求，实现系统整体性能的提升，达到最优运行状态。

8.5.5 优化方案生成功能可生成网络拓扑、分布式电源调控、无功补偿配置、负荷分配以及综合优化方案，全面覆盖系统结构、电源运行、无功补偿和负荷分布等多方面的优化需求。

8.5.6 实施效果评估功能涵盖短路参数、电压水平、系统损耗、可靠性和经济效益的改善评估，全面验证优化措施在提升系统强度、电压质量、效率、可靠性及经济价值方面的成效。

9 系统接口规范

9.1 设备接口

9.1.1 设备接口负责系统与各类设备的连接和通信，主要功能包括：

- a) 监测终端接口：与短路参数监测终端的连接和通信，获取监测数据；
- b) 保护装置接口：与继电保护装置的连接和通信，获取保护信息；
- c) 配电终端接口：与配电自动化终端的连接和通信，获取配电状态；
- d) 分布式电源接口：与分布式电源的连接和通信，获取电源数据；
- e) 其他现场设备接口：与其他现场设备的连接和通信，扩展系统功能。

9.1.2 监测终端接口应满足以下要求：

- a) 支持标准通信协议，如 IEC 61850、IEC 60870-5-104 等，确保与不同厂家设备的兼容性；
- b) 提供实时数据采集接口，支持数据上传，确保数据及时性；
- c) 提供远程控制接口，支持终端参数配置和控制，支持对终端参数的配置和控制，实现远程维护；
- d) 提供状态监测接口，支持终端状态监测，及时掌握设备状态；
- e) 提供固件升级接口，支持远程升级，便于功能更新。

9.1.3 保护装置接口应满足以下要求：

- a) 应支持与各类保护装置的通信协议，实现不同厂家设备的互联互通；
- b) 应提供保护定值读取和设置功能，支持保护参数的远程管理；
- c) 应提供保护动作信息功能，及时获取保护动作情况；
- d) 应提供故障录波数据功能，获取故障过程详细记录；
- e) 应提供保护装置状态监测功能，实时了解保护设备的工作状态。

9.1.4 配电终端接口应满足以下要求：

- a) 支持与各类配电自动化终端的通信协议，适应不同设备的接入需求；
- b) 提供开关状态信息功能，及时获取开关位置状态；
- c) 提供遥测数据功能，获取电气参数测量值；
- d) 提供遥控操作功能，支持远程控制开关操作；
- e) 提供终端状态监测功能，了解终端的工作状态和健康情况。

9.1.5 分布式电源接口应满足以下要求：

- a) 支持与各类分布式电源的通信协议，适应不同类型电源的接入；
- b) 提供运行状态监测功能，实时获取电源运行数据；
- c) 提供控制参数功能，支持对电源控制策略的调整；
- d) 提供故障信息功能，及时获取电源故障情况；
- e) 提供历史数据查询功能，支持电源历史运行数据的分析。

9.2 系统集成接口

9.2.1 系统集成接口负责实现与其他多种信息系统的集成和数据交换，涵盖配电自动化系统、调度自动化系统、配电网管理系统、GIS 系统以及其他相关信息系统的对接，实现数据共享、整合与功能扩展。

9.2.2 配电自动化系统接口应满足以下要求：

- a) 支持标准的系统集成协议，确保系统间的互操作性；
- b) 提供实时数据交换接口，实现配电网运行数据的共享；
- c) 提供控制命令接口，支持协同控制操作；
- d) 提供历史数据查询接口，便于历史数据比对分析；
- e) 提供事件信息交换接口，共享系统事件和告警信息。

9.2.3 调度自动化系统接口应满足以下要求：

- a) 支持与调度自动化系统的标准接口协议，符合行业规范；
- b) 提供网络拓扑数据接口，共享电网结构信息；
- c) 提供运行方式数据接口，获取系统运行状态；
- d) 提供短路参数数据上传接口，将监测结果提供给调度系统；
- e) 提供调度指令接收接口，响应调度控制需求。

9.2.4 配电网管理系统接口应满足以下要求：

- a) 支持与配电网管理系统的数据库交换标准，实现管理信息共享；
- b) 提供设备台账数据接口，获取设备基本信息；
- c) 提供运行参数数据接口，共享系统运行状态；
- d) 提供分析结果共享接口，交换系统分析成果；
- e) 提供规划分析数据接口，支持系统规划决策。

9.2.5 GIS 系统接口应满足以下要求：

- a) 支持地理信息数据交换标准，实现空间数据共享；
- b) 提供空间数据访问接口，获取地理位置信息；
- c) 提供地理编码和解码接口，实现位置信息转换；
- d) 提供空间分析接口，支持基于位置的分析需求；
- e) 提供地图服务接口，为系统提供地图可视化支持。

9.2.6 其他系统接口应满足以下要求：

- a) 遵循标准的接口规范，确保系统间互操作性；
- b) 提供灵活的数据交换机制，适应不同系统的需求；
- c) 支持多种数据格式，处理不同类型的信息；
- d) 确保数据交换的安全性，保护敏感信息；
- e) 具备良好的扩展性，适应未来系统演进需求。

9.3 用户接口

9.3.1 用户接口负责系统与用户的交互，提供友好的人机交互方式，主要功能包括：

- a) Web 界面：提供基于 Web 的用户界面，支持跨平台访问；
- b) 移动端界面：提供移动设备访问界面，满足移动办公需求；
- c) 客户端界面：提供桌面客户端界面，支持高级功能操作；
- d) 大屏显示界面：提供大屏幕展示界面，适用于集中监控；
- e) 报表接口：提供各类报表输出接口，满足数据分析需求。

9.3.2 Web 界面应满足以下要求：

- a) 支持主流 Web 浏览器，如 Chrome、Firefox、Edge 等，确保跨浏览器兼容性；
- b) 采用响应式设计，适应不同屏幕尺寸，提供一致的用户体验；
- c) 提供直观、友好的操作界面，降低用户学习成本；
- d) 支持多级菜单和快捷操作，便于功能访问和操作；
- e) 提供丰富的可视化展示功能，直观呈现系统数据和分析结果。

9.3.3 移动端界面应满足以下要求：

- a) 支持 iOS、Android 等主流移动操作系统，确保广泛的设备兼容性；
- b) 优化移动设备的显示和操作体验，适应触屏操作特点；
- c) 考虑移动网络条件下的性能优化，减少数据传输量，提高响应速度；
- d) 提供推送通知功能，及时提醒用户重要事件和告警；
- e) 支持离线数据访问，在无网络环境下仍能查看关键信息。

9.3.4 客户端界面应满足以下要求：

- a) 支持 Windows、Linux 等主流操作系统，适应不同的办公环境；
- b) 提供丰富的客户端功能和高级操作，满足专业用户的复杂需求；
- c) 支持本地数据缓存和处理，减少网络依赖，提高操作效率；
- d) 提供良好的性能和响应速度，适应大量数据处理和复杂分析操作；
- e) 支持与其他桌面应用的集成，实现办公环境的无缝协作。

9.3.5 大屏显示界面应满足以下要求：

- a) 优化大屏幕展示效果，确保远距离清晰可见；
- b) 提供数据可视化和动态展示，直观呈现系统状态和变化；
- c) 支持多屏协同显示，实现信息的全面展示；
- d) 提供自定义布局和主题，适应不同的监控需求和环境；
- e) 支持远程控制和操作，便于集中控制室操作。

9.3.6 报表接口应满足以下要求：

- a) 支持多种报表格式，如 PDF、Excel、Word 等，适应不同的应用场景；
- b) 提供报表模板定制功能，满足个性化报表需求；
- c) 支持定期自动生成报表，实现报表工作的自动化；
- d) 提供报表发送和分享功能，便于信息传递和协作；
- e) 支持报表数据的导出和打印，方便离线使用和存档。

10 性能要求

10.1 可靠性要求

10.1.1 系统可用性应满足以下要求：

- a) 系统年可用率：不低于 99.9%，确保系统几乎全天候可用；
- b) 计划内维护时间：每年不超过 48 小时，控制维护停机时间；
- c) 计划外停机时间：每年不超过 8 小时，限制意外停机影响；
- d) 系统故障平均恢复时间：不超过 1 小时，确保快速恢复服务；
- e) 系统平均无故障时间：不低于 3000 小时，保证系统长期稳定运行。

10.1.2 数据可靠性要求包括确保数据完整性、一致性、准确性，支持备份恢复，对关键数据进行校验确认，以及具备数据错误自动检测和修正能力。

10.1.3 系统容错性应满足以下要求：

- a) 单点故障容错：系统应能容忍单点故障，避免单点导致整系统瘫痪；
- b) 通信中断容错：通信中断后能自动恢复，确保通信可靠性；
- c) 数据异常容错：对异常数据具有处理能力，不被错误数据影响；
- d) 负载均衡：系统负载能够均衡分配，避免局部过载；
- e) 故障隔离：故障影响能够有效隔离，防止故障扩散。

10.2 安全性要求

10.2.1 访问控制应满足以下要求：

- a) 身份认证：采用多因素身份认证机制，确保用户身份真实可靠；
- b) 权限管理：实施细粒度的权限管理，控制用户访问范围；
- c) 访问审计：对系统访问进行完整审计，记录所有访问行为；
- d) 访问控制策略：制定严格的访问控制策略，规范访问行为；
- e) 安全登录：支持安全的登录机制，防止非法登录。

10.2.2 数据安全应满足以下要求：

- a) 数据加密：敏感数据采用加密存储和传输，保护数据机密性；
- b) 数据脱敏：展示时对敏感数据进行脱敏处理，避免信息泄露；
- c) 数据备份：重要数据进行备份和恢复，防止数据丢失；
- d) 数据保护：防止数据泄露和篡改，维护数据安全；
- e) 数据销毁：数据不再使用时安全销毁，防止数据残留。

10.2.3 网络安全应满足以下要求：

- a) 边界防护：实施网络边界安全防护，控制网络边界访问；
- b) 通信加密：采用安全的通信加密机制，保护数据传输安全；
- c) 入侵防御：部署入侵检测和防御系统，抵御网络攻击；
- d) 漏洞管理：定期进行漏洞扫描和修复，消除安全隐患；
- e) 安全审计：进行网络安全审计和监控，及时发现异常。

10.2.4 系统安全应满足以下要求：

- a) 安全补丁：及时安装安全补丁，修复已知漏洞；
- b) 病毒防护：部署病毒防护和恶意代码检测，防止恶意软件；
- c) 安全加固：对操作系统和应用进行安全加固，提高系统安全性；
- d) 安全审计：记录系统安全事件和审计日志，追踪安全事件；
- e) 安全管理：建立完善的安全管理制度，规范安全工作。

10.3 扩展性要求

10.3.1 容量扩展性要求系统支持监测点、数据量、用户数、存储容量和处理能力的扩展，以适应网络规模增长、海量数据处理、多用户访问、长期数据存储和计算需求增长。

10.3.2 功能扩展性要求系统支持新功能模块、新算法、新接口、新报表和新应用的添加与集成，以扩充系统功能、提升分析能力、增强集成能力、满足多样化报表需求和拓展系统价值。

10.3.3 技术扩展性要求系统兼容多种硬件和软件平台，遵循开放标准，采用松耦合设计，实现接口标准化，并支持技术升级和迭代。

10.4 可维护性要求

10.4.1 运行维护要求系统提供监控、诊断、告警、日志管理和远程维护功能，以了解系统健康状况、发现潜在问题、及时通知异常情况、支持问题追溯和提高维护效率。

10.4.2 系统管理要求支持参数配置、资源管理、任务管理、版本管理和备份管理功能，以调整系统行为、优化资源使用、控制任务执行、跟踪系统变更和防止数据丢失。

10.4.3 故障处理要求系统具备故障检测、故障定位、故障恢复、故障记录和故障分析功能，以自动检测故障、准确定位故障源、提供自动恢复机制、记录故障信息和分析故障原因。

附 录 A
(规范性附录)
数据采集与处理功能要求

A.1 数据采集要求

数据采集是在线监测平台的基础功能，包括多源数据接入、灵活采集策略和精确时间同步，确保系统获取准确、完整、及时的监测数据。

表 A.1 数据采集功能技术要求

功能项	技术要求	性能指标
数据源接入能力	支持多源异构数据统一接入；提供标准化数据接口协议；兼容不同厂家设备	支持 IEC 61850、IEC 60870-5-104、Modbus TCP/IP 等协议，可同时管理≥1000 个监测终端，单终端最小采集周期≤1 秒。
数据采集策略	支持定时采集、事件触发采集和按需采集；多级采集周期配置；采集任务优先级管理	关键节点采集周期≥5 秒/次，一般节点采集周期≥1 分钟/次，支持事件触发自动加密采样。
数据同步与时间戳管理	统一时间同步机制；精确时间戳管理；支持数据关联分析	支持 NTP、PTP 或 GPS/北斗授时，时间戳精度优于 1ms，状态估计和故障定位场景实现微秒级同步。

A.2 数据预处理要求

数据预处理通过校验修正、滤波降噪和压缩归档等手段提升数据质量和可用性，为后续分析提供可靠的数据基础。

表 A.2 数据预处理功能技术要求

功能项	技术要求	性能指标
数据校验与修正	多重验证机制；异常数据识别与标记；智能修复与追溯记录。	支持格式校验、范围校验、逻辑关系校验，可识别数值跳变、超限、缺失等异常，保留原始数据便于追溯。
数据滤波与降噪	多种滤波算法；针对电力系统信号特点优化；参数可配置。	提供中值滤波、卡尔曼滤波、小波变换滤波等算法，支持自适应带通滤波，处理后信噪比提高≥10dB。
数据压缩与归档	支持无损和有损压缩；数据分级存储；压缩策略可配置。	关键数据采用无损压缩，趋势数据可采用有损压缩，平均压缩比≥5:1。

A.3 短路参数计算要求

短路参数计算是平台的核心功能，通过多种算法实现阻抗参数计算、短路容量推导和计算结果验证，确保参数计算的准确性和可靠性。

表 A.3 短路参数计算功能技术要求

功能项	技术要求	性能指标
阻抗参数计算	支持多种计算方法；自动选择最优计算方法；多种阻抗表示形式。	支持暂态法、扰动法和稳态法，支持阻抗矩阵、序分量阻抗等表示，阻抗计算精度优于±3%。
短路容量推导	基于测量阻抗推算；考虑分布式电源贡献；分析时变特性。	区分传统同步电源和逆变器型电源特性，支持三相和单相短路容量计算，短路容量计算精度优于±5%。
计算结果验证与修正	多源数据交叉验证；一致性检查；自适应修正机制。	支持在线计算与离线计算对比，利用网络拓扑信息验证，量化计算结果可信度。

A.4 数据质量评估要求

数据质量评估通过完整性评估、准确性评估和综合质量分级，全面衡量数据质量状况，为系统应用提供质量保障。

表 A.4 数据质量评估功能技术要求

功能项	技术要求	性能指标
数据完整性评估	自动统计数据完整率；分析缺失原因；实时监控与告警。	支持时间维度和空间维度完整率统计，关键监测点完整率实时监控，完整率低于阈值触发告警。
数据准确性评估	多维度准确性评估；数据合理性检验；准确性评分。	评估设备计量准确性、计算结果合理性和时间一致性，关键参数支持冗余测量或间接验证，为每项数据赋予准确性评分。
综合质量分级	多指标综合评价；明确质量等级；可视化展示。	建立不少于5级的质量等级(优、良、中、差、劣)，各应用模块可设定最低可接受质量等级，提供质量分布地图、趋势图等可视化。

附录 B
(规范性附录)
监测分析功能要求

B.1 实时监测功能

实时监测功能提供系统当前运行状态的实时视图，包括短路参数监测、分布式电源影响监测和网络拓扑监测，帮助运维人员掌握系统实时状态。

表 B.1 实时监测功能技术要求

功能项	技术要求	性能指标
短路参数实时监测	全面的当前状态监视；参数趋势显示；超限告警；地理信息可视化。	显示短路阻抗、短路容量、短路电流等参数，展示 24 小时内变化趋势，数据刷新周期≤10 秒，关键节点变化 5 秒内反映。
分布式电源影响监测	电源运行状态与短路参数关联；影响范围监测；启停和出力变化影响识别；电源类型筛选。	实时监测各分布式电源运行状态，量化电源对短路容量贡献率，支持分钟级、小时级、日级影响分析。
网络拓扑监测	实时跟踪配电网结构；叠加显示短路参数分布；变化分析；历史拓扑查询。	自动获取当前运行方式，形成直观网络强度地图，识别环网、辐射状等典型结构，可回溯特定时刻网络结构。

B.2 趋势分析功能

趋势分析功能揭示系统参数的时间变化规律，包括历史趋势分析、周期性变化分析和长期演变趋势分析，深入理解系统动态特性。

表 B.2 趋势分析功能技术要求

功能项	技术要求	性能指标
历史趋势分析	灵活的时间选择；多参数联合分析；趋势比对；趋势特征识别。	支持任意时间段历史数据查询，可同时分析短路容量、电压、负荷等多参数，自动识别拐点、突变、周期波动等特征。
周期性变化分析	规律性变化特征识别；典型日曲线分析；频谱分析；负荷特性关联。	识别日内、周内、月内和季节性变化规律，分析工作日、休息日、节假日特征，发现主要频率成分。
长期演变趋势分析	长期数据存储；年度对比；趋势拟合和预测；关联因素分析。	支持≥5 年长期数据分析，提供同比、环比变化对比，预测未来短路参数变化趋势。

B.3 相关性分析功能

相关性分析功能探索短路参数与其他因素之间的内在关系，包括与电网运行状态、分布式电源和电能质量的相关性，揭示系统行为机理。

表 B.3 相关性分析功能技术要求

功能项	技术要求	性能指标
短路参数与电网运行状态相关性	负荷水平相关性；电压质量关联；网络拓扑关系；极端运行条件分析。	量化负荷变化对系统强度影响，分析阻抗对电压稳定性影响，提供相关性系数计算和可视化。
短路参数与分布式电源相关性	不同类型电源影响差异；出力变化关系；控制模式影响；高渗透率综合影响。	区分光伏、风电、储能等影响特点，研究动态关系，构建分布式电源影响模型。
短路参数与电能质量相关性	电压偏差、波动相关性；谐波传播关系；问题区域对应；改善效果评估。	分析短路容量与电压质量关系，研究阻抗与谐波传播关系，建立映射关系模型。

B.4 空间分布分析功能

表 B.4 空间分布分析功能技术要求

功能项	技术要求	性能指标
短路参数空间分布可视化	GIS 与配电网拓扑结合；热力图、等值线展示；多层信息叠加；时空动态回放。	直观展示短路参数地理分布；支持多级缩放、信息筛选；可叠加设备信息、负荷分布等。
薄弱区域识别与评估	自动识别薄弱区域；多级分类；成因分析；>风险评估。	提供极度薄弱区、中度薄弱区等分类；识别薄弱原因(网络结构、负荷增长、设备能力)；自动生成分析报告。
区域间对比分析	灵活区域划分；多指标对比；特征参数提取；差异性原因分析。	支持按行政区划、供电分区等多种划分；对比平均值、极值、标准差等统计指标；生成区域特征标签。

附录 C
(规范性附录)
应用功能要求

C.1 电网规划应用功能

电网规划应用功能将短路参数监测数据转化为规划决策支持，包括规划方案评估、负荷增长承载力评估和分布式电源接入容量评估，提升规划科学性。

表 C.1 电网规划应用功能技术要求

功能项	技术要求	性能指标
规划方案评估	薄弱环节分析，方案影响评估，多方案对比，历史规划效果评估。	基于历史数据识别优先加强区域，预测规划实施后系统强度改善效果，量化评估不同方案优劣。
负荷增长承载力评估	趋势结合负荷预测，增长限值分析，关键设备限制分析，分级预警。	评估各区域负荷增长承载能力，计算安全前提下的最大负荷增长，生成负荷承载力地图。
分布式电源接入容量评估	最大接入容量评估，差异化接入评估，接入位置优化，群集中接入协调。	评估各节点分布式电源最大接入容量，考虑光伏、风电、储能等差异，生成接入容量评估报告。

C.2 运行控制应用功能

运行控制应用功能为系统安全运行提供决策支持，包括运行方式优化、短路容量预警和应急控制支持，确保系统安全稳定运行。

表 C.2 运行控制应用功能技术要求

功能项	技术要求	性能指标
运行方式优化	不同方式评估，开关操作影响预测，负荷转移优化，分布式电源协调。	支持运行方式切换决策，评估操作风险，管理典型运行方式库。
短路容量预警	实时监测与阈值预警，多级预警机制，短路容量预测，故障风险分析。	低于安全阈值自动触发预警，根据降低程度分级告警，预测 24 小时内可能出现的不足情况。
应急控制支持	极端工况评估，应急处置建议，恢复策略分析，事故后分析。	快速评估识别薄弱环节，提供处置建议，支持应急演练模式。

C.3 设备与保护应用功能

设备与保护应用功能关注设备安全和保护可靠性，包括设备短路耐受评估、保护整定优化和短路故障分析，提高系统安全运行水平。

表 C.3 设备与保护应用功能技术要求

功能项	技术要求	性能指标
设备短路耐受评估	设备安全裕度评估；耐受能力与短路水平对比；风险预测；更新优先级评估。	评估线路、变压器、开关等设备安全裕度；识别潜在风险设备；提出设备升级建议。
保护整定优化	整定值合理性评估。整定修正建议；保护协调性分析；自适应保护参数。	评估现有整定值合理性；提出整定值调整方案；支持保护整定方案模拟验证。
短路故障分析	故障参数变化记录；故障类型识别；故障区域定位；故障机理分析。	记录故障期间参数变化过程；识别不同性质短路故障；生成故障分析报告。

C.4 分布式电源优化应用功能

分布式电源优化应用功能支持新能源高效接入和运行，包括调度优化、接入评估和控制策略优化，促进分布式能源高效利用。

表 C.4 分布式电源优化应用功能技术要求

功能项	技术要求	性能指标
分布式电源调度优化	出力影响分析；短路容量约束优化；多类型协调调度；区域协调控制。	分析不同出力水平对系统强度影响；最大化新能源消纳；支持日前、日内多时间尺度调度。
分布式电源接入评估	接纳能力评估；接入方案仿真；接入条件分析；接入优先级评估。	评估各节点接纳能力；预测不同方案影响；生成接入评估报告。
分布式电源控制策略优化	控制策略影响分析；控制参数优化；关键情景预案；故障穿越评估。	分析不同控制策略影响差异；基于短路参数反馈优化控制参数；支持控制策略仿真验证。

附 录 D
(规范性附录)
平台架构与技术要求

D.1 系统架构要求

系统架构是平台稳定可靠运行的基础，包括总体架构设计、数据中心设计和安全防护体系，确保系统高效、安全、可扩展。

表 D.1 系统架构技术要求

架构组成	技术要求	实施建议
总体架构设计	分层设计，微服务架构，分布式计算框架，横向扩展支持。	构建数据采集层、数据处理层、应用服务层和用户界面层；模块化设计支持灵活部署；支持至少 10000 个监测点并发处理。
数据中心设计	混合存储策略，分布式数据库集群，数据分层存储，完善备份恢复机制。	实时数据、历史数据和分析结果采用不同存储方式；热数据保存在高速存储，冷数据迁移至归档存储；数据可用性 ≥99.9%，支持 5 年在线查询。
安全防护体系	多层次安全防护，身份认证和权限控制，安全审计，入侵检测和防御。	涵盖网络安全、主机安全、应用安全和数据安全；支持基于角色的访问控制(RBAC)；满足国家电力信息安全等级保护要求。

D.2 软件平台要求

软件平台是系统功能实现的载体，包括基础软件环境、开发技术路线和算法模型平台，确保系统功能丰富、性能优越、可维护性高。

表 D.2 软件平台技术要求

平台组成	技术要求	实施建议
基础软件环境	主流操作系统；成熟数据库管理系统；高性能中间件；开放标准开发框架。	采用 Linux、Windows Server 等操作系统；使用 Oracle、MySQL、PostgreSQL 或 MongoDB 等数据库；确保扩展性和兼容性。
开发技术路线	主流编程语言；成熟框架；现代前端技术；容器技术；微服务架构。	采用 Java、Python、C++等语言；使用 Spring、MyBatis 等框架；采用 React、Vue 等前端技术；使用 Docker、Kubernetes 容器技术。
算法与模型平台	算法模型开发环境。电力系统专用算法库；AI 和机器学习框架；模型管理功能。	支持 MATLAB、Python 等科学计算语言；提供潮流计算、状态估计等算法；集成 TensorFlow、PyTorch 等 AI 框架；允许用户二次开发。

D.3 硬件配置要求

硬件配置是系统性能的基础保障，包括服务器配置、网络配置和存储系统配置，根据系统规模提供适当的硬件资源。

表 D.3 硬件配置技术要求

配置项	技术要求	配置建议
服务器配置	高性能应用服务器集群；高性能数据库服务器；冗余设计。	大型系统(>1000 个监测点；应用服务器：CPU≥16 核 32 线程，≥3.0GHz，内存≥128GB；数据库服务器：CPU≥16 核，内存≥256GB；关键部件双冗余。
网络配置	万兆以太网技术；双网卡冗余；完善的网络安全隔离；工业级产品。	核心网络采用 10Gbps 端口速率；服务器双网卡冗余；关键系统连接带宽≥1Gbps；采用防火墙、安全网关等隔离。
存储系统配置	分层存储架构；企业级存储阵列；存储池技术；完善备份系统。	实时和热点数据使用 SSD；历史和冷数据使用 HDD；核心数据库采用 RAID 保护；大型系统总容量≥100TB。

D.4 集成接口要求

集成接口是系统与外部环境交互的桥梁，包括标准接口规范、第三方系统集成能力和扩展开发接口，实现系统互联互通和功能扩展。

表 D.4 集成接口技术要求

接口类型	技术要求	实施建议
标准接口规范	电力行业标准通信协议；标准化数据交换接口；数据交换标准；完整接口文档。	支持 IEC 61970、IEC 61968、IEC 61850 等协议；提供 REST API、WebService 等接口；遵循 CIM 模型、OID 等标准；支持接口版本管理。
第三方系统集成	与配电自动化系统集成；与电能质量系统对接；与分布式电源管理系统集成；与资产管理系统连接；与 GIS 系统集成。	共享网络拓扑、设备状态等信息；关联短路参数与电能质量指标；采用松耦合架构避免强依赖。
扩展开发接口	二次开发 SDK 和 API；插件机制；自定义报表和可视化；算法模型接入。	提供完整开发文档；允许第三方应用以插件形式集成；保持接口稳定性和一致性。

附 录 E
(规范性附录)
平台功能测试方法

E.1 基础功能测试

基础功能测试验证平台核心功能的完整性和准确性，包括数据采集、数据处理和短路参数计算功能测试，确保系统基础功能可靠。

表 E.1 基础功能测试方法

测试项	测试方法	验证要点
数据采集功能测试	模拟多种数据源输入；测试不同通信质量条件下可靠性；检验采集周期稳定性；验证数据标签和时间戳。	协议和数据格式兼容性；通信异常情况下的采集可靠性；采集频率符合设定要求；时间戳准确性。
数据处理功能测试	输入含噪声和异常值的测试数据；检验数据修正和补全算法；测试压缩和归档功能；评估大批量数据处理性能。	滤波和异常检测有效性；修正数据与原始数据一致性；压缩数据可恢复性；处理速度和资源占用。
短路参数计算功能测试	标准算例数据对比；模拟不同工况和扰动；测试分布式电源影响下计算；评估算法效率和资源消耗。	计算精度符合要求；算法适应性和稳定性；资源消耗在合理范围。

E.2 分析功能测试

分析功能测试验证平台智能分析能力，包括趋势分析、相关性分析和空间分布分析功能测试，确保系统能够从数据中挖掘有价值的信息。

表 E.2 分析功能测试方法

测试项	测试方法	验证要点
趋势分析功能测试	使用已知趋势特征的测试数据；测试不同时间尺度分析；检验多参数联合分析；评估趋势预测准确性。	趋势识别准确性；多时间尺度分析有效性；预测结果与实际数据对比；分析结果可解释性。
相关性分析功能测试	使用已知相关性数据集；测试不同类型相关性识别；验证多变量相关分析；评估结果可视化效果。	相关性分析准确度；线性和非线性相关识别能力；可视化效果和解释清晰度。
空间分布分析功能测试	检验地理信息与电网拓扑映射；测试空间可视化功能；验证薄弱区域自动识别；评估动态展示效果。	地理映射准确性；热力图、等值线图正确性；薄弱区域识别灵敏度；空间分析适应性。

E.3 应用功能测试

应用功能测试验证平台实际应用价值，包括电网规划应用、运行控制应用和设备与保护应用功能测试，确保系统能够为实际业务提供有效支持。

表 E.3 应用功能测试方法

测试项	测试方法	验证要点
电网规划应用功能测试	使用历史规划案例作参考；模拟负荷增长场景；验证分布式电源接入评估；评估规划建议可行性。	规划方案评估合理性；负荷承载力评估准确性；接入容量评估与专业软件对比；建议实用性和可操作性。
运行控制应用功能测试	模拟运行方式切换场景；设置多种预警条件；模拟应急场景；测试优化建议可执行性。	参数变化预测准确性；预警功能灵敏度和可靠性；应急支持响应速度；建议的实际效果。
设备与保护应用功能测试	使用设备参数和短路容量数据；对比整定建议与专业结果；模拟典型故障场景；评估建议可实施性。	短路耐受评估准确性；整定建议合理性；故障分析的准确性和全面性；应用建议的工程实用性。

E.4 性能与可靠性测试

性能与可靠性测试验证平台在各种条件下的稳定性和安全性，包括系统性能测试、可靠性测试和安全性测试，确保系统长期稳定运行。

表 E.4 性能与可靠性测试方法

测试项	测试方法	验证要点
系统性能测试	并发用户访问测试；大量数据并发上传；大规模数据查询分析；系统资源占用监测。	多用户同时操作响应时间；数据处理能力；查询性能；资源占用情况。
可靠性测试	长时间连续运行测试；模拟硬件故障场景；数据备份恢复测试；高负载稳定性测试。	7×24 小时不间断运行；容错和恢复能力；数据保护机制有效性；系统 MTBF、MTTR 和可用性。
安全性测试	身份认证和访问控制测试；网络安全测试；安全攻击场景模拟；数据安全机制检查。	权限管理有效性；漏洞和防护水平；防御能力；数据加密和隐私保护。

附 录 F
(规范性附录)
平台部署与运维建议

F.1 部署方案建议

合理的部署方案是系统顺利投入使用的基础，包括系统部署架构、网络规划设计和系统安装实施建议，确保部署过程可控、高效。

表 F.1 平台部署方案建议

方案组成	实施建议	关键考量
系统部署架构	大型应用(>1000 监测点)采用分布式架构；中小型应用可采用集中式架构；遵循电力行业信息安全规范；可考虑云端与边缘计算混合架构。	根据业务规模和需求选择架构；实现业务区、管理区和 DMZ 区划分；地域分散系统考虑混合架构。
网络规划设计	建立专用监测数据网络；采用网络分区和隔离技术；规划 IP 地址和路由策略；配置网络质量监控；关键节点配置冗余链路。	避免带宽竞争；保障网络安全；便于管理和故障定位；确保通信可靠性。
系统安装实施	制定详细实施计划；充分部署前准备；采用标准化安装流程；各环节质量检查；全面功能和性能测试。	明确任务、责任人和时间节点；减少人为错误；保留详细实施文档。

F.2 数据治理建议

良好的数据治理是发挥系统价值的基础，包括数据标准化管理、数据质量控制和数据生命周期管理建议，确保数据资产高质量可用。

表 F.2 数据治理建议

治理领域	实施建议	预期效果
数据标准化管理	建立统一编码和命名规范；制定数据格式和单位标准；建立数据字典和元数据管理；规范数据流程和责任。	确保数据命名规范、含义明确；避免格式和单位不一致问题；便于系统集成和数据共享。
数据质量控制	建立多层次质量控制机制；实施数据质量评估标准；建立质量问题反馈处理流程；实施质量持续改进机制。	控制源头、传输和存储质量；及时解决质量问题；持续提高数据质量。
数据生命周期管理	制定数据保留策略；实施数据分级存储；建立归档和清理机制；制定恢复和备份策略。	明确不同类型数据保留期限；优化存储资源；平衡数据可用性和存储成本。

F.3 系统运维建议

科学的运维管理是保障系统长期稳定运行的基础，包括日常运维管理、性能优化调优和升级扩展规划建议，确保系统持续高效运行。

表 F.3 系统运维建议

运维领域	实施建议	关键措施
日常运维管理	建立规范化运维体系；实施 7×24 小时监控；建立多级响应机制；运维工作记录和评估。	制定详细运维手册；使用自动化监控工具；根据问题严重程度分级响应；采用 DevOps 理念。
性能优化与调优	定期性能评估和瓶颈分析；动态调整系统参数；缓存优化；数据库查询和索引优化。	识别性能瓶颈点；针对高频访问数据优化；定期数据库维护；关注用户体验。
升级与扩展规划	制定版本升级计划；建立严格测试验证流程；规划容量扩展路径；新技术评估引入机制。	确保升级不影响现有功能；根据业务增长预规划；采用平滑过渡策略；考虑灰度发布。

F.4 培训与知识管理

有效的培训与知识管理是提升系统应用价值的关键，包括用户培训体系、知识库建设和应用能力提升建议，确保系统功能得到充分利用。

表 F.4 培训与知识管理建议

管理领域	实施建议	关键内容
用户培训体系	针对不同层级和角色设计培训；采用多种培训形式；建立培训评估和反馈机制。	决策层培训系统价值和应用场景；操作人员培训操作流程；技术人员培训维护技能；开发人员培训接口开发。
知识库建设	建立完整技术文档库；收集整理典型应用案例；建立 FAQ 库；记录经验和最佳实践。	包括用户手册、管理手册、开发手册；形成结构化知识体系；定期审核更新内容。
应用能力提升	组建专业应用团队；定期应用研讨交流；建立创新激励机制；开展应用效果评估。	负责系统应用推广和深度挖掘；分享应用经验和成果；量化分析系统应用价值。