

DOI: 10.7667/PSPC150800

# 基于 J2EE 架构的线损理论计算与诊断分析系统开发与应用

吴鸿亮<sup>1</sup>, 门 锐<sup>1</sup>, 董 楠<sup>1</sup>, 廖兵兵<sup>2</sup>, 郑全朝<sup>2</sup>

(1. 南方电网科学研究院, 广东 广州 510080; 2. 广东益泰达科技发展有限公司, 广东 广州 510080)

**摘要:** 为加强电网线损精细化管理水平和提高电力企业经济效益, 建立了高压直流输电系统电网元件电能损耗计算、线损诊断分析及降损潜力分析模型, 研发了基于 J2EE 架构的线损理论计算与诊断分析系统。该系统通过与 EMS 系统、SCADA 系统、生产管理系统、计量自动化系统、营销管理系统、配网自动化系统以及营配数据集中管理系统的开放性接口设计, 不仅实现了线损数据的自动抽取和高效合成, 还实现了线损理论在线计算和线损诊断分析及降损潜力分析功能。该系统安全性高, 可移植性强, 为电网线损理论计算及精细化管理、电网经济运行、电网规划与节能改造提供科学决策工具, 具有广阔的应用前景。

**关键词:** 线损理论计算; 精细化管理; 线损诊断; 接口设计; 电网规划; 降损

## Development and application of theoretical calculation and diagnosis analysis system of line loss based on J2EE framework

WU Hongliang<sup>1</sup>, MEN Kun<sup>1</sup>, DONG Nan<sup>1</sup>, LIAO Bingbing<sup>2</sup>, ZHENG Quanchao<sup>2</sup>

(1. Electric Power Research Institute, CSG, Guangzhou 510080, China;

2. Guangdong Yi TEDA Science and Technology Development Co., Ltd., Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** In order to strengthen the meticulous management of line loss and improve the economic benefits of electric power company, this paper establishes the model of electric energy loss calculation model of power grid component in HVDC system and diagnosis analysis and loss reduction potential analysis of line loss, develops theoretical calculation and diagnosis analysis system of line loss based on J2EE framework. With the EMS system, SCADA system, production management system, measurement automation system, marketing management system, distribution network automation system, and the data centralized management system, through the open design, it not only realizes the automatic extraction of line loss data and efficient synthesis, but also achieves the line loss theoretical calculation online, energy loss diagnosis analysis and loss reduction potential analysis function. The proposed system has high security and portability, and can provide a scientific decision-making tool for theoretical calculation of line loss and meticulous management, economic operation, power grid planning and energy saving reconstruction, so it has broad application prospect.

**Key words:** theoretical calculation of line loss; meticulous management; diagnosis of line loss; interface design; power system planning; loss reduction

## 0 引言

线损是电网考核的一项重要经济指标, 它不仅反映了一个电网结构和运行方式的合理性, 也反映了电网的规划设计、生产技术和运营管理水平<sup>[1]</sup>。在国家提出“资源开发与节约并重, 把节约放在首位”能源方针的大背景下, 如何利用科技进步, 提

升线损管理水平, 降低电网电能损耗, 是电力企业当前面临的重要课题。为此, 电力企业制定了电网线损理论计算技术标准<sup>[2]</sup>, 开展线损理论计算和线损“四分”管理, 挖掘线损管理存在的问题, 制定对应的降损措施, 以达到节能降耗的目的。近年来, 广大电力研究工作者也开展了线损理论计算方法的研究<sup>[1-9]</sup>, 设计开发了线损理论计算与管理系统, 这些系统功能大都只提供电网线损理论计算和计算结果的汇总, 只为线损理论计算和线损“四分”管理服务<sup>[10-15]</sup>。由于线损涉及的环节多、线损理论计算

基金项目: 南方电网公司海外高层次人才创新创业基地科研平台项目

量大面广, 且人为影响因素也较多, 经常造成线损率波动较大且原因不明、责任不清等问题, 致使电网节能改造随意性和盲目性大, 缺乏针对性, 节能效果不佳。因此, 加强线损理论计算结果的应用研究, 对电网线损进行诊断分析, 找出电网薄弱环节, 为电网规划与节能改造提供科学的技术依据, 开发一套集线损理论计算与诊断分析功能于一体的线损理论计算与诊断分析系统显得非常有必要而且迫切。

目前电力行业 IT 应用系统技术路线主要有 .NET 和 J2EE 两大主流阵营, J2EE 开发的系统具有 .NET 无法比拟的跨平台特性, 其较高的可移植性使系统可运行在 Windows、Unix、Linux 主流操作系统之上, 更易发挥高性能服务器的计算和负载能力, 且具有更高的安全性和与其他系统的接口上的灵活性。因此, 基于 J2EE 架构平台设计开发该系

统更加符合电力行业对信息技术的主流要求。

本文介绍了一种基于 J2EE 架构的线损理论计算与诊断分析系统, 并详细分析了该系统的模块组成、功能特点和工程应用情况。

## 1 系统功能模块设计

### 1.1 系统设计原则

在线损理论计算与诊断分析系统的建设过程中, 坚持以业务需求为依据, 结合当前电网特点及信息化最新发展趋势, 以指标化、体系化、规范化为系统设计和建设指导思想, 所有的数据模型、业务功能、技术架构等都遵循电网统一的相关标准。本系统在功能设计上采用模块化的思路, 任何模块的更新及新模块的添加均不会影响其他功能模块, 实现应用功能在基础支撑平台上的“即插即用”。系统的总体功能结构如图 1 所示。

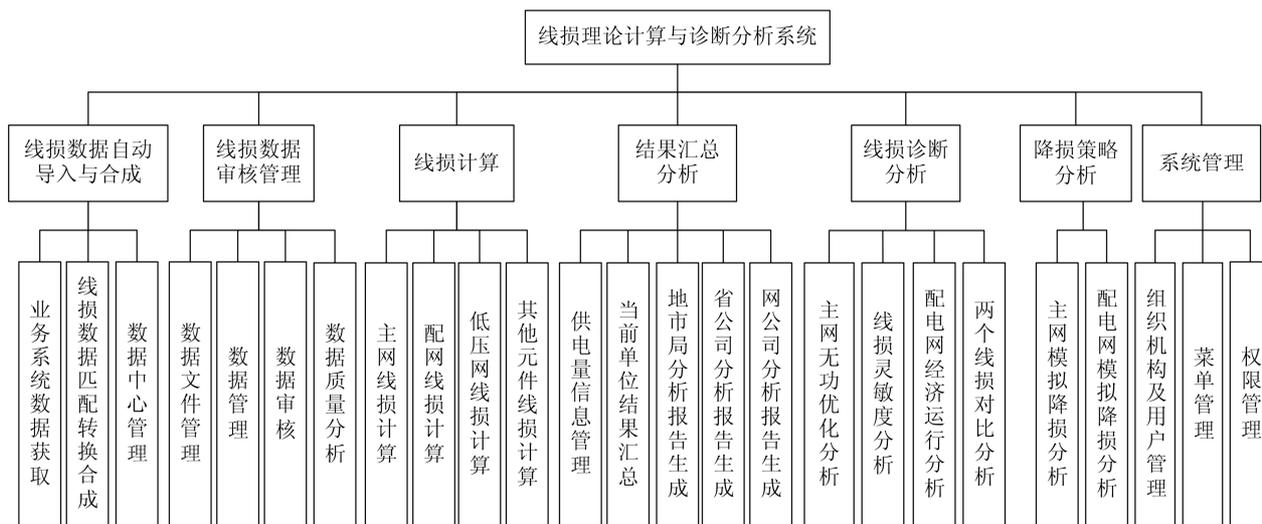


图 1 系统功能结构图

Fig. 1 System function block diagram

### 1.2 线损数据自动导入与合成

该功能模块的主要功能是制定标准化数据交换接口, 实现与线损理论计算与诊断分析系统相关的各业务系统数据导入到指定的数据集中数据库中, 然后对这些数据根据线损理论计算所需数据进行匹配、转换、合成线损理论计算最终需要原始数据, 并定时将该数据抽取到线损理论计算数据库中<sup>[16-20]</sup>。

线损数据自动导入与合成模块功能包括:

(1) 源系统数据获取, 制定数据接口标准, 并实现将与线损理论计算与诊断分析系统相关的各业务系统数据接入到指定的数据中心数据库中。

(2) 源系统数据映射关联

1) 主网相关系统数据关联映射, 包括 EMS/

SCADA、高压主网生产管理系统、计量自动化系统之间的关联映射。

2) 配网相关系统数据关联映射, 包括中压配网 GIS 系统、营销系统、计量自动化系统、中压配网生产管理系统、营配数据中心/集成平台之间的关联映射。

3) 低压网相关系统数据关联映射, 包括低压配网 GIS 系统、营销系统、计量自动化系统、低压生产管理系统、营配数据中心/集成平台之间的关联映射。

4) 其他元件相关系统数据关联映射, 包括 EMS/SCADA、高压主网生产管理系统、计量自动化系统之间的关联映射。

(3) 理论线损数据合成

1) 由 EMS/SCADA 与生产管理系统、计量自动化系统进行匹配转换合成线损主网、其他元件理论线损计算最终需求数据。

2) 由配网 GIS 系统、营销系统、计量自动化系统、生产管理系统、营配数据中心/集成平台匹配转

换合成线损配网、低压网理论线损计算最终需求数据。

(4) 数据中心管理, 包括线损数据的导入、删除、导出以及诊断分析数据的导入。

线损数据自动导入与合成业务流程如图 2 所示。

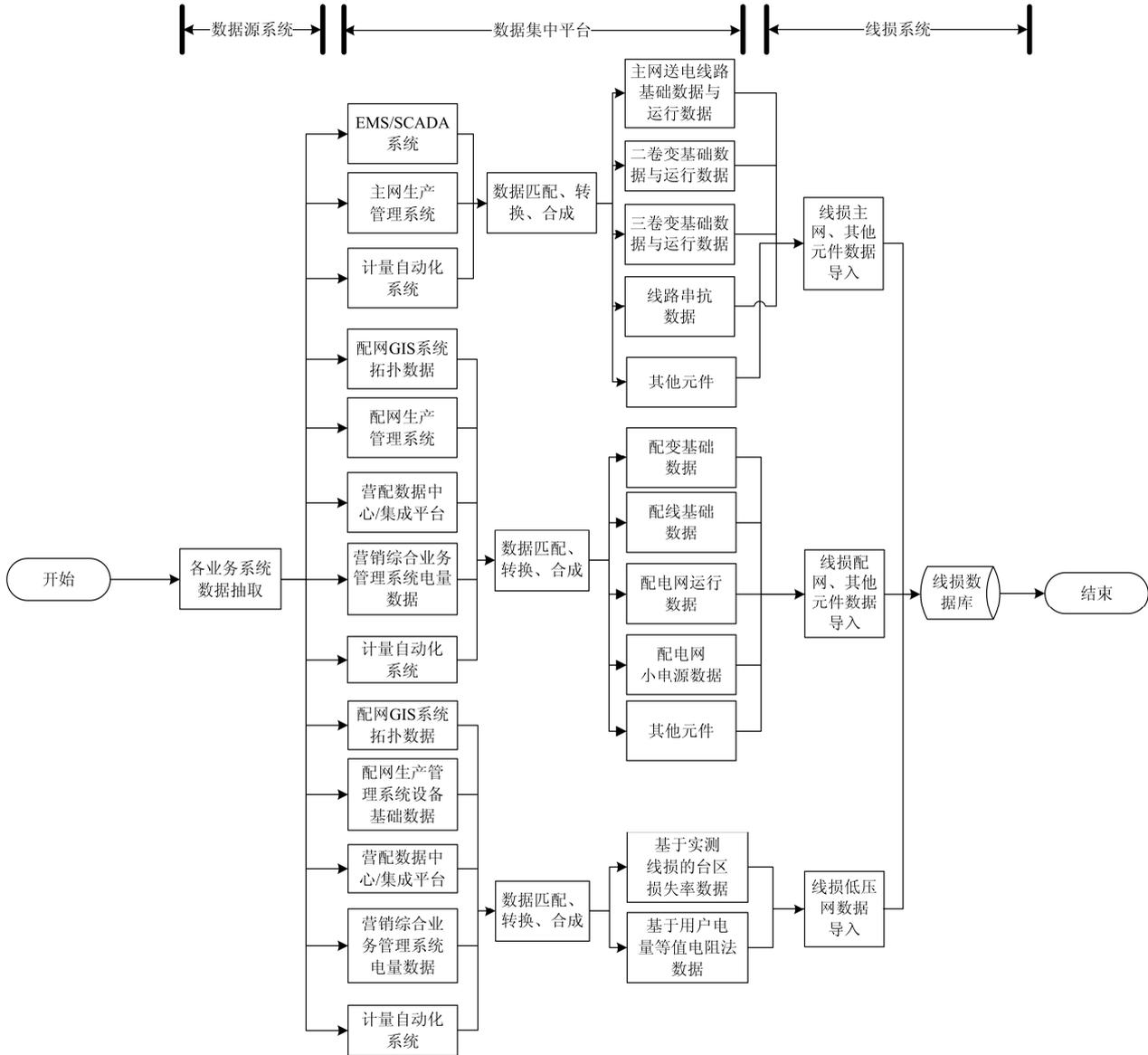


图 2 线损数据自动导入与合成业务流程图

Fig. 2 Loss data automatically imported and synthetic business process diagrams

1.3 线损数据审核管理

本模块提供以文件方式导入线损理论计算数据功能, 具有对线损理论计算原始数据的增、删、改、查功能, 并对导入的数据进行数据审核及生成相应的数据审核报告和数据质量分析报告, 包括基础数据、运行数据的正常、异常、错误审核情况以及基

础数据与运行数据的匹配情况等。

线损数据审核管理模块功能包括:

(1) 数据文件管理, 制定线损理论计算数据填报模板, 实现数据模板文件的上传、下载、删除、查询等功能。

(2) 数据管理, 提供按电压等级按算法对线损理

论计算原始数据进行增、删、改、查功能。

(3) 数据审核, 根据制定的数据审核标准对线损理论计算数据基础数据与运行数据从空值、异常值、错误值、一致性匹配等方面进行全面审核, 并生成数据审核报告。

(4) 数据质量分析, 根据审核结果, 对线损理论计算数据基础数据与运行数据, 基础数据与运行数据一致性匹配等方面进行量化分析。

线损数据审核管理业务流程如图 3 所示。

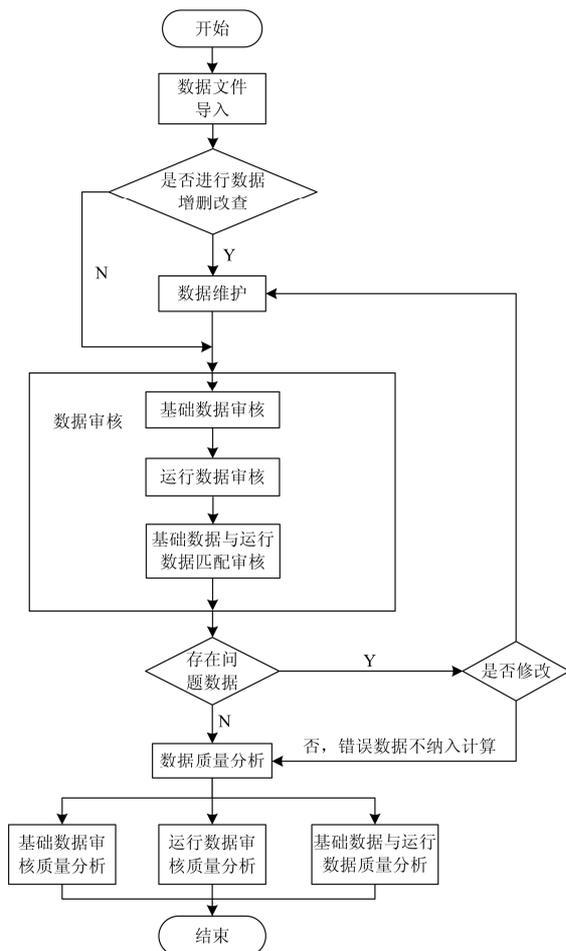


图 3 线损数据审核管理业务流程图

Fig. 3 Loss data audit management business process diagrams

#### 1.4 线损理论计算

在该模块中, 系统配置了主网、配网、低压网、其他元件线损理论计算方法库, 可根据采集数据的不同选用不同方法对主网、配网、低压网、其他元件进行线损理论计算, 并将线损理论计算结果保存到对应的结果表, 且具有对线损理论计算结果数据进行汇总及生成相应的线损分析报告功能。

线损理论计算模块功能包括:

##### (1) 线损计算

1) 主网线损理论计算, 算法包括潮流算法、均方根电流法、高压直流系统元件法。

2) 配电网线损理论计算, 算法包括基于配变容量等值电阻法、配变电量等值电阻法、潮流算法。

3) 低压网线损理论计算, 算法包括基于全部台区电压损失法、典型台区电压损失法、用户电量等值电阻法、电压损失法和竹节法。

4) 其他元件线损理论计算, 包括并联电抗器、并联电容、阻波器、电压互感器、避雷线、SVC、STATCOM 等设备损耗计算。

##### (2) 结果汇总

1) 具有对供电量数据管理功能。

2) 结果数据汇总, 根据主网、配网、低压网、其他元件的线损计算结果进行汇总分析。

##### (3) 生成分析报告

1) 根据汇总结果生成地市局分析报告并提供下载功能。

2) 根据地市局分析报告合成省公司分析报告。

线损理论计算业务流程如图 4 所示。

#### 1.5 线损诊断评估

该模块提供无功优化计算分析、线损灵敏度计算分析、配电网经济运行分析、两个线损对比分析等诊断分析方法, 通过对电网线损的诊断分析, 摸清电网薄弱环节, 为电网企业制定降损措施提供科学依据<sup>[21-22]</sup>。

线损诊断评估模块功能包括:

(1) 无功优化计算分析, 包括南方电网西电东送主通道无功优化计算分析、高压交流系统无功优化计算分析。

(2) 线损灵敏度计算分析, 系统提供线路电阻/电抗线损灵敏度计算与 PV 节点电压线损灵敏度计算, 通过灵敏度计算分析, 为线路改造及调整 PV 节点运行电压提供依据。

(3) 配电网经济运行分析, 通过计算配电网的经济电流与实际的负荷电流进行对比分析, 诊断配电网的经济运行情况。

(4) 线损分析, 包括线损“四分”分析、统计线损与理论线损对比分析以及对电网元件线损的客观评价。

线损诊断评估业务流程如图 5 所示。

#### 1.6 降损辅助决策

该模块根据线损诊断评估结果, 提供线路改造、PV 节点电压调节、配电网线路改造、配线/配变改造、配电网升压改造、配电网缩短供电半径改造、配电网负荷切除转移、配电变压器停运、调整运行电压等降损辅助决策分析功能。



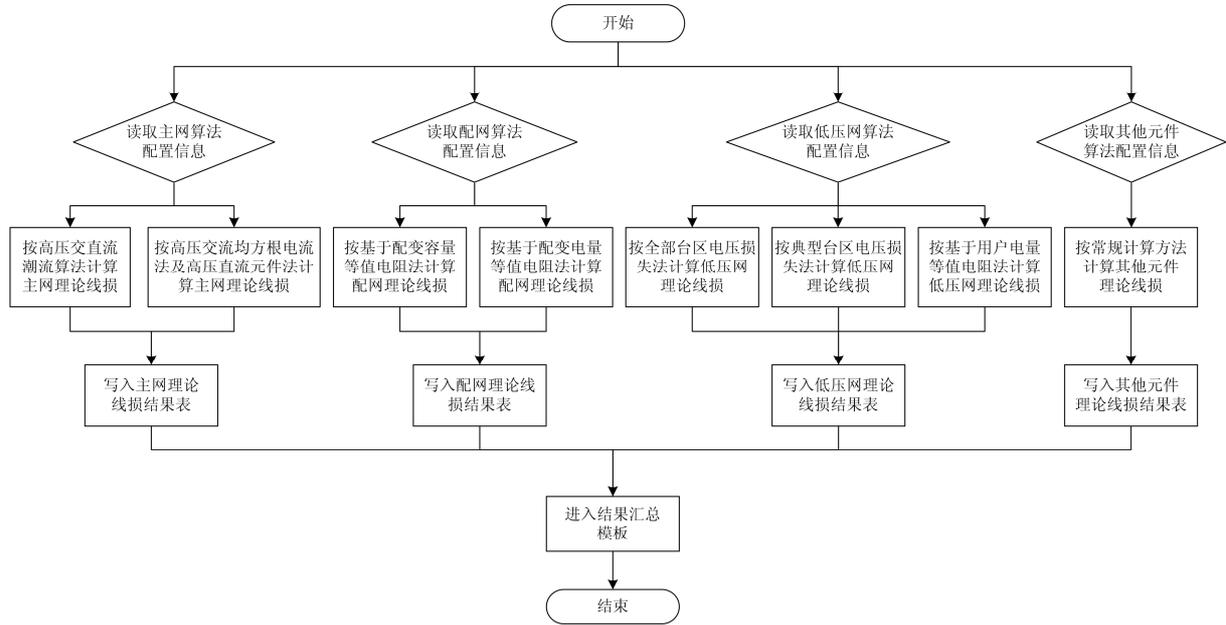


图 4 线损理论计算业务流程图

Fig. 4 Line loss calculation business process diagrams

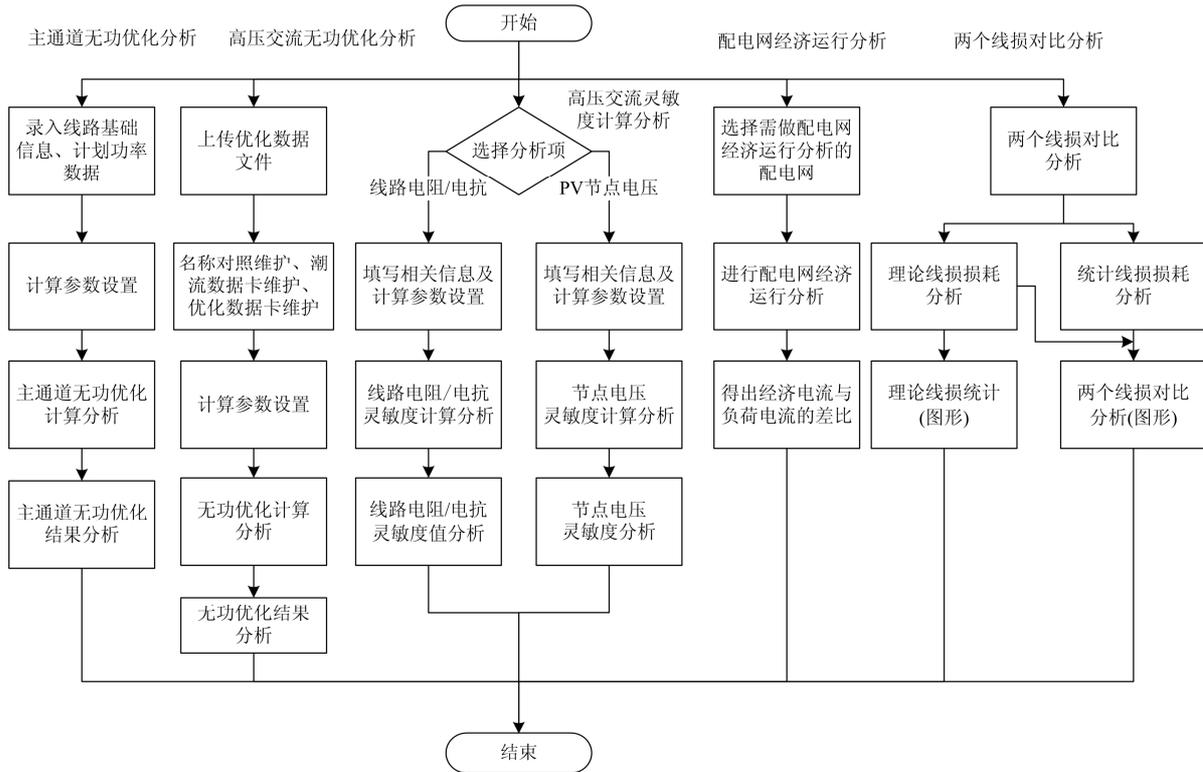


图 5 线损诊断评估业务流程图

Fig. 5 Line loss diagnostic evaluation business flowchart

降损辅助决策模块功能包括如下。

(1) 高压交直流系统降损辅助决策分析

1) 无功优化降损分析, 对电网各种典型运行方

式进行无功优化计算, 分析电网经济运行降损潜力。

2) PV 节点电压模拟调节, 通过对 PV 节点电

压模拟调节并重算系统损耗, 对比调节前后系统损

耗值的变化情况分析降损潜力。

3) 线路模拟改造, 通过线路模拟改造并重算系统损耗, 对比改造前后系统损耗值的变化情况分析降损潜力。

(2) 配电网降损辅助决策分析

1) 配线/配变模拟改造, 通过配线/配变模拟改造并重算配网损耗, 对比改造前后配网损耗值的变化情况分析降损潜力。

2) 负荷切除/转移分析, 通过模拟负荷切除/转移并重算配网损耗, 对比负荷切除/转移前后配网损耗值的变化情况分析降损潜力。

3) 升压改造降损分析, 计算配网模拟升压改造后理论线损值, 对比升压改造前后配网损耗值的变化情况分析降损潜力。

4) 配变停运降损分析, 通过模拟配变停运并重算配网损耗, 对比配变停运前后配网损耗值的变化情况分析降损潜力。

5) 缩短供电半径降损分析, 模拟缩短供电半径并重算配网损耗, 对比缩短供电半径前后配网损耗值的变化情况分析降损潜力。

6) 调整运行电压降损分析, 通过对配网首端电压模拟调节并重算配网损耗, 对比调节前后配网损耗值的变化情况分析降损潜力。

降损辅助决策业务流程如图 6 所示。

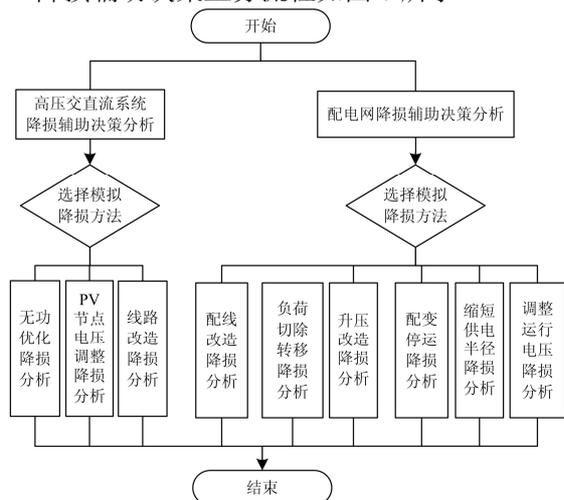


图 6 降损辅助决策业务流程图

Fig. 6 Line loss reduce auxiliary decision-making business process diagrams

## 2 系统主要技术特点

### 2.1 基于源系统数据实现线损数据的高效合成

通过调研分析电网信息化水平及其发展趋势、与线损相关的生产业务系统的数据, 确定电网线损理论计算原始数据来源系统构成, 制定标准化接

口, 实现线损理论计算原始数据的自动导入, 并根据电网数据模型之间的关联关系, 采用基于源系统数据实现理论线损数据的高效合成。

### 2.2 系统定制了线损数据审核标准

对于线损理论计算所需的原始数据, 通过统计分析, 根据规程规范值、导则值、规划设计值和典型值, 制定线损理论计算原始数据的纵向审核标准; 同时根据数值之间的关联关系, 建立线损理论计算原始数据的横向审核标准, 以保证线损理论计算原始数据的准确性。

### 2.3 促进线损的精细化管理

针对南方电网交直流混合输电的特点, 除常规交流系统中的变压器、输电线路、并联电抗器、并联电容、阻波器、电压互感器、SVC、STATCOM、避雷线等设备损耗计算模型外, 还包括了直流输电系统(换流变压器、换流站、直流线路和接地极等)的损耗计算模型, 该系统几乎涵盖电网所有电气设备电能损耗的计算模型, 为线损的“四分”精细化管理奠定良好基础。

### 2.4 强化线损理论计算结果的应用

针对目前在用线损理论计算与管理系统功能欠缺问题, 系统开发了线损诊断分析和降损辅助决策功能模块, 线损管理者可根据对线损的诊断分析结果, 发现电网薄弱环节, 制定有效地降损措施。并利用降损辅助决策分析各降损措施降损潜力的大小, 为电网规划与改造提供科学依据。

## 3 系统工程应用

该系统通过对线损计算原始数据的高效整合、挖掘与集成, 从时间、空间、对象维度等多个方面实现信息的全景化, 并通过可视化的数据展现方式提升数据的综合利用程度, 为用户提供一个全网全景、全息化、高度集成的人机界面。系统操作主界面如图 7 所示。



图 7 系统操作主界面

Fig. 7 Main interface of the system

### 3.1 数据导入

界面中的“数据导入”模块, 具备线损数据自动导入与合成功能, 用户可根据实际情况选择采用

数据文件导入或通过标准接口自动导入线损理论计算所需基础数据。

### 3.2 数据审核

数据审核模块包括电网数据审核、数据问题列表、数据审核报告下载，如配电网数据审核结果如图 8 所示。

问题名称	问题描述	问题数量	问题类型	问题等级	问题状态
高压线路数据审核	高压线路数据审核	1	10kV线路问题	严重	未解决
中压线路数据审核	中压线路数据审核	5	10kV线路问题	严重	未解决
低压线路数据审核	低压线路数据审核	14	10kV线路问题	严重	未解决
台区数据审核	台区数据审核	13	10kV线路问题	严重	未解决
配变数据审核	配变数据审核	1	10kV线路问题	严重	未解决
线路数据审核	线路数据审核	4	10kV线路问题	严重	未解决
台区数据审核	台区数据审核	5	10kV线路问题	严重	未解决
配变数据审核	配变数据审核	2	10kV线路问题	严重	未解决

图 8 配电网审核结果

Fig. 8 Distribution network audit results

用户可根据审核结果对配电网基础数据进行修改，保证线损理论计算基础数据的准确性。

### 3.3 线损计算

线损计算模块主要功能包括主网线损计算、配网线损计算、低压网线损计算、其他元件线损计算。同时，针对采集数据不同可采用不同的线损计算方法。详细计算菜单如图 9 所示。

计算对象	计算类型	计算结果	计算日期	计算状态
10kV线路	理论线损	1000.000	2018-09-01	成功
10kV线路	实际线损	1000.000	2018-09-01	成功
10kV线路	理论线损	1000.000	2018-09-01	成功
10kV线路	实际线损	1000.000	2018-09-01	成功

图 9 线损计算界面

Fig. 9 Interface of the line loss calculation

用户依据需要进行主网线损计算、配网线损计算、低压网线损计算、其他元件线损计算。

### 3.4 结果汇总分析

包括供电量信息管理、线损结果汇总分析、分析报告下载、分析报告数据，结果汇总界面如图 10 所示。

地区	电压等级	供电量	线损率	理论线损	实际线损	计算日期	计算状态
广东省	10kV	1000000.00	0.00	0.00	0.00	2018-09-01	成功
广东省	10kV	1000000.00	0.00	0.00	0.00	2018-09-01	成功
广东省	10kV	1000000.00	0.00	0.00	0.00	2018-09-01	成功

图 10 线损结果汇总界面

Fig. 10 Summary of line loss results interface

如用户选择代表日(月)理论线损率汇总计算，可得结果如图 11 所示。

地区	电压等级	代表日	理论线损率	实际线损率	计算日期	计算状态
广东省	10kV	2018-09-01	0.00	0.00	2018-09-01	成功
广东省	10kV	2018-09-01	0.00	0.00	2018-09-01	成功
广东省	10kV	2018-09-01	0.00	0.00	2018-09-01	成功

图 11 理论线损率汇总结果

Fig. 11 Summary of theoretical line loss results

### 3.5 线损诊断分析

该模块功能包括主通道无功优化分析、高压交流无功优化分析、高压交直流灵敏度分析、配电网经济运行分析、两个线损对比分析。主菜单如图 12 所示。

线损ID	线损名称	线损类型	线损系数	电压等级	线损率	线损日期	线损状态
10001	10kV线路	理论线损	0.000013	10kV	0.00	2018-09-01	成功
10002	10kV线路	实际线损	0.000013	10kV	0.00	2018-09-01	成功
10003	10kV线路	理论线损	0.000013	10kV	0.00	2018-09-01	成功

图 12 线损诊断分析界面

Fig. 12 Interface of line loss diagnostic evaluation

如用户选择主通道无功优化计算诊断分析，结果如图 13 所示。

线损ID	线损名称	线损类型	线损系数	电压等级	线损率	线损日期	线损状态
10001	10kV线路	理论线损	0.000013	10kV	0.00	2018-09-01	成功
10002	10kV线路	实际线损	0.000013	10kV	0.00	2018-09-01	成功
10003	10kV线路	理论线损	0.000013	10kV	0.00	2018-09-01	成功

图 13 主通道无功优化计算结果

Fig. 13 Main channel reactive power optimization results

### 3.6 降损策略分析

降损策略分析包括高压交流模拟降损分析、配电网模拟降损分析，配电网降损策略包括配电网设备模拟改造、配电网负荷切除转移、配电网升压模拟改造、变压器停运模拟改造、缩短供电半径模拟改造、配网合理调整运行电压，详细主菜单如图 14 所示。



图 14 降损策略分析界面

Fig. 14 Line loss reduction strategy analysis interface

用户可根据实际情况模拟各种降损措施, 通过模拟计算, 可得降损结果, 并进行比较分析, 选定最终降损措施。

#### 4 结论

线损理论计算与诊断分析系统的开发应用, 一方面, 通过与 EMS 系统、SCADA 系统、生产管理系统、计量自动化系统、营销管理系统、配网自动化系统以及营配数据集中管理系统的开放性接口设计, 实现线损理论计算原始数据的自动导入和高效合成, 大大降低了线损理论计算的工作量, 也为理论线损在线计算提供了强有力的技术支持, 使线损理论计算常态化成为可能; 另一方面, 系统涵盖了电网所有元件的电能损耗计算模型, 为电网线损精细化管理奠定技术基础, 极大地提高了线损管理水平, 并且系统还提供了线损诊断分析和降损辅助决策功能, 给电网经济运行、电网规划与改造提供了科学依据, 避免了以往的盲目性和随意性。同时, 该系统基于 J2EE 架构进行功能模块开发, 安全性高, 可移植性强, 进行较小的修改即可移植推广到其他各级电力企业使用。综上所述, 本文开发的线损理论计算与诊断分析系统具有很高的经济实用价值和广阔的应用前景, 对电力企业节能降损、提高经济效益和社会效益具有重要意义。

#### 参考文献

[1] 虞忠年. 电力网电能损耗[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.

[2] 中国南方电网有限责任公司企业标准. 1301Q/CSG 1 1301-2008 线损理论计算技术标准[S]. 广州: 中国南方电网有限责任公司, 2008.  
Enterprise Standard of Southern China Power Grid Co., Ltd. 1301Q/CSG 1 1301-2008 technology standard of theoretical calculation of line loss[S]. Guangzhou: China Southern Power Grid Co., Ltd., 2008.

[3] 陈芳, 张利, 韩学山, 等. 配电网线损概率评估及应用

[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(13): 39-44.

CHEN Fang, ZHANG Li, HAN Xueshan, et al. Line loss evaluation and application in distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(13): 39-44.

[4] 刘健, 段璟靓. 配电网极限线损分析及降损措施优化[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(12): 27-35.  
LIU Jian, DUAN Jingjing. Line loss limitation analysis and optimal planning of loss reduction for distribution grids[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(12): 27-35.

[5] 李晓松. 基于 SCADA 系统实现电网理论线损在线计算的方法[J]. 云南电力技术, 2008, 36(3): 5-6.  
LI Xiaosong. SCADA system implementation method based on grid line calculation of the theoretical line loss[J]. Yunnan Electric Power, 2008, 36(3): 5-6.

[6] 袁慧梅, 郭喜庆, 于海波. 中压配电网线损计算新方法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(11): 50-53.  
YUAN Huimei, GUO Xiqing, YU Haibo. New method for calculating energy losses in medium-voltage distribution systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(11): 50-53.

[7] 许汉平, 侯进峰, 施流忠, 等. 基于状态估计数据的电网线损理论计算方法[J]. 电网技术, 2003, 27(3): 59-62.  
XU Hanping, HOU Jinfeng, SHI Liuzhong, et al. Calculation method of power system line losses based on data of state estimation[J]. Power System Technology, 2003, 27(3): 59-62.

[8] 张宗伟, 张鸿. 基于负荷实测的配电网线损理论计算[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(14): 115-119.  
ZHANG Zongwei, ZHANG Hong. Theoretical calculation on distribution network line loss based on measurement-based load[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(14): 115-119.

[9] 贺先豪, 彭建春, 龚演平. 配电网降低线损的误区研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(1): 96-99.  
HE Xianhao, PENG Jianchun, GONG Yanping. Research on the misunderstandings on reducing line losses of distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(1): 96-99.

[10] 周士跃, 陈军, 刘海燕. 电力网电能损耗在线计算与分析系统[J]. 电网技术, 2007, 31(9): 88-90.  
ZHOU Shiyue, CHEN Jun, LIU Haiyan. Power grid energy loss calculation and analysis system[J]. Power System Technology, 2007, 31(9): 88-90.

[11] 赵茜, 祝云, 梁振成. 理论线损在线计算分析软件设计开发[J]. 广西电力, 2010, 33(6): 16-20.  
ZHAO Xi, ZHU Yun, LIANG Zhencheng. Development

- of theoretical line loss online calculation and analysis software[J]. Guangxi Electric Power, 2010, 33(6): 16-20.
- [12] 苗竹梅, 刘伟, 仇继杨, 等. 电网线损实时监测分析管理系统的开发与应用[J]. 电力设备, 2007, 8(7): 19-22.  
MIAO Zhumei, LIU Wei, CHOU Jiyang, et al. Development and application of real-time monitoring and management system for power grid line losses[J]. Electrical Equipment, 2007, 8(7): 19-22.
- [13] 杜雪. 基于信息系统的线损四分常态化管理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.  
DU Xue. Analysis of four-ins line loss management-based information system[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [14] 张彦. 地区电网理论线损在线计算数据接口的设计与开发[D]. 南宁: 广西大学, 2012.  
ZHANG Yan. Design and development of regional grid line calculation of theoretical line loss data interface[D]. Nanning: Guangxi University, 2012.
- [15] 李洪凯. 供电公司线损在线分析系统的研究和应用[D]. 保定: 华北电力大学, 2008.  
LI Hongkai. Research and application of power company line loss on-line analysis system[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2008.
- [16] 董楠, 杨柳, 吴鸿亮, 等. 地区电网理论线损计算需求数据合成方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(9): 47-53.  
DONG Nan, YANG Liu, WU Hongliang, et al. Demand data synthesis method of regional power grid theoretical line loss calculation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(9): 47-53.
- [17] 赵争菡, 汪友华, 凌跃胜, 等. 大容量高频变压器绕组损耗的计算与分析[J]. 电工技术学报, 2014, 29(5): 261-264.  
ZHAO Zhenghan, WANG Youhua, LING Yuesheng, et al. Calculation and analysis of large-capacity high-frequency transformer winding losses[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(5): 261-264.
- [18] 周任军, 王蛟, 侯雪波, 等. 三相馈线损耗模型的相别优化调整方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2015, 27(4): 1-6.  
ZHOU Renjun, WANG Jiao, HOU Xuebo, et al. Optimized method to adjust phase selection using three-phase feeder loss model[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2015, 27(4): 1-6.
- [19] 文福拴, 韩祯祥. 联合采用 Kohonen 模型和 BP 模型的配电网线损计算[J]. 电工技术学报, 1993, 14(3): 16-20.  
WEN Fushuan, HAN Zhenxiang. Joint use of Kohonen model and BP model distribution network line loss calculation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 1993, 14(3): 16-20.
- [20] 涂春鸣, 董泰青, 姜飞, 等. 基于分层分区的配电网差异化节能规划方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(14): 40-43.  
TU Chunming, DONG Taiqing, JIANG Fei, et al. Energy efficient distribution network planning method based on the difference of layering and zoning[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(14): 40-43.
- [21] 翟莺鸽, 曲子清, 辛洁晴, 等. 负荷测录仪故障情况下的台区线损估算方法[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(3): 81-86.  
ZHAI Yingge, QU Ziqing, XIN Jieqing, et al. Area line loss estimation method under load recording meter fault cases[J]. Power System and Clean Energy, 2014, 30(3): 81-86.
- [22] 李源, 曾嵘, 盛新富. 基于全局优化的 10 kV 配网分布式无功补偿系统的研制[J]. 高压电器, 2003, 39(4): 23-25.  
LI Yuan, ZENG Rong, SHENG Xinfu. Research on distributed reactive power compensation system based on total optimum in 10 kV Distribution network[J]. High Voltage Apparatus, 2003, 39(4): 23-25.

收稿日期: 2015-05-12; 修回日期: 2015-08-07

作者简介:

吴鸿亮(1981-), 男, 博士, 高级经济师, 注册咨询工程师, 主要研究方向为电网经济运行和电力经济研究; E-mail: wuhl@csg.cn

门 锐(1975-), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统计算分析和运行控制技术; E-mail: menkun@csg.cn

董 楠(1987-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事电价及电力市场的研究。E-mail: dongnan@csg.cn

(编辑 姜新丽)