

基于大数据的线损计算分析研究

线损率是综合反映电网规划设计、生产运行和运营管理水平的关键技术经济指标，线损管理是电网企业重要的管理内容，受传统抄表手段制约，供、售电量不能同步发行，导致线损率月度间剧烈波动，“大月大”、“小月小”的问题无法解决，掩盖了线损管理中存在的问题，降低了其在电网企业管理中本应发挥的监控、指导作用。研究了基于大数据的线损数据采集与存储、统计分析和数据挖掘等内容。实践证明研究成果可行、有效，为电网企业解决供、售电量同步计算，同期线损以及实时线损计算等难题提供了重要的借鉴意义。

黄文思 许元斌 邹保平 陆 鑫/国网信通亿力科技有限责任公司



黄文思/高级工程师

关键词/Keywords

大数据·
线损分析·
辅助决策·
全景展示·

坚强智能电网、“三集五大两中心”的迅速发展，使信息通信技术正以前所未有的广度、深度与电网生产、企业管理快速融合。目前，国家电网公司已初步建成了国内领先、国际一流的信息集成平台。随着三地集中式数据中心的陆续投运，一级部署业务应用范围的拓展，结构化和非结构化数据平台的上线运行，电网业务数据从总量和种类上都已初具规模，随着智能电能表的逐步普及，电网业务数据从时效性层面进一步丰富和拓展，大数据的“量类时”特性，已在海量、实时的电网业务数据中进一步凸显，电力大数据分析迫在眉睫^[1-3]。

大数据将给各行各业带来变革性机会，在医疗行业、能源行业、通信行业以及零售业都有成功的应用案例^[4]。

当前，国家电网公司涉及的数据大致分为三类：①电网生产数据，如发电量、电压稳定性等方面的数据；②电网运营数据，如交易电价、售电量和用电客户等方面的数据；③企业管理数据，

如ERP、一体化平台和协同办公等方面的数据。充分利用数据对其进行深入分析，提供大量的高附加值服务，将实现电量源头采集、线损自动生成、指标全过程监控以及业务全方位贯通协同，同时实现电量与线损管理的标准化、智能化、精益化和自动化，有力支撑公司坚强智能电网、现代化配电网建设。

线损管理的研究现状

1. 线损和线损管理定义

线损是电能从发电厂传输到用户过程中，在输电、变电、配电和用电各环节中所产生的电能损耗，主要由技术线损与管理线损两部分构成。线损率是一定时期内电能损耗占供电量的比率，也是衡量电网技术经济性的重要指标，它综合反映了电力系统规划设计、生产运行和经营管理的技术经济水平^[5]。线损率计算公式：线损率=损耗电量/供电量=（供电量-售电量）/供电量^[6]。

线损管理是指为确定和达到电网降损节能目标所开展的各项管理活动的总称。线损管理作为电网经营企业一项重要的经营管理内容，应以“技术线损最优，管理线损最小”为宗旨，以深化线损“四分”（分区、分压、分元件和分台区）管理为重点，实现从结果管理向过程管理的转变，切实规范管理流程，提高线损管理水平^[7]。

线损包括技术线损和管理线损。技术线损是指经由输变配售设施所产生的损耗，可通过理论计算来获得；管理线损是指在输变配售过程中由于计量、抄

表、窃电及其他管理不善造成的电能损失。

2. 线损统计管理现状

目前国家电网公司基本建立了发展部归口、各专业部门协同配合的线损管理制度。以浙江公司为例,发展部归口负责公司综合线损管理工作;运检部负责公司无功电压管理,协助公司技术线损管理工作;营销部负责公司电能计量管理,协助公司线损管理工作;农电工作部协助县及以下电网线损管理工作;财务资产部负责线损成本预算管理工作;人力资源部负责线损管理奖惩考核工作;审计部负责线损管理审计监督工作;浙江电力调度通信中心负责电网经济运行管理和无功优化工作;浙江电网规划研究中心(浙江浙电经济技术研究院)协助公司负责电网节能规划设计工作;浙江省电力试验研究院协助公司负责电网节能降损技术研究工作。归口管理部门设置线损管理岗位,配备专责人员,其他部门设置专职或兼职人员协助线损管理相关工作。各县(市)供电局(公司)管理职责、机构设置以及分工界面基本参照省公司。

线损率指标与电量息息相关,一脉相承,目前线损率统计与管理主要依托电量相关报表进行计算。各层级发展部门线损专责汇总相关部门报送的网供电量、小水电、火电和售电量数据报表,自动计算线损指标后逐级上报。

受线损指标计划、月度负损以及波动率同业对标考核等影响,月度线损率指标往往会根据本级或上级要求进行调控,通过上下层级间反复沟通确认,进而影响电量报表数据。

3. 存在的主要问题

1) 电量发行不同步、统计不同期造成线损波动及负线损情况无法有效管控,掩盖真实影响因素,造成统计分析困难。

2) 为满足电量、线损及财务相关指标的考核要求,人为调控电量,造成电量、线损统计数据失真,对实际线损管理工作失去有效的指导意义。

3) 线损指标失真或人为调控结果难以真实反映线损工作中的管理真空地带,无法有效促进部

门协作工作。

4) 信息系统的集成度水平和管理水平不高,造成数据的冗余和偏差。

5) 由于缺乏统一的电量、线损统计与管理工具,基层人员需要从多个系统中抽取数据并人工核对、填报,手工计算工作量大、效率低。

针对以上这些问题,改变现有售电量分类定期轮抄模式,通过用电信息采集系统采集月末日电量,统一调整售电量为月末日发行。这种措施涉及所有的售电用户,影响面广,但会造成内部业务流程的调整和变化,在智能电能表和用电信息采集系统保障的情况下具有较强的可行性^[8]。

自2010年开始,国家电网公司大力实施智能电能表推广应用,智能电能表具备自动采集、时钟冻结、远程通信以及实时控制等功能,组织建设统一标准的电能量用电信息采集系统。公司累计安装智能电能表2.56亿只,覆盖率达到69%。用电信息采集系统基础数据全面,具备远程自动抄表、即时召测等较强的功能,为实现电量同期统计与线损精细化管理提供了强有力的技术支撑。

基于大数据的线损计算分析关键技术

1. 技术架构设计

基于集成接入的电网生产数据和电网运营数据这些大数据,通过云计算和存储来支撑电量与线损计算以及分析的功能应用,其技术架构如图1所示。功能应用指基于大数据所支撑的线损相关业务应用;云计算与存储由IaaS、PaaS和SaaS这三个层面的服务数据构成,从而实现大数据的在线分析、计算及存储等功能,全面支撑线损相关业务;接入系统指数据的来源,通过一些信息系统实现大数据的实时采集。其具体集成通过源头采集售电侧的用电信息采集数据和供电侧的电能量信息采集数据;从生产管理系统获取电网设备档案数据、参数,从营销业务应用获取用户档案信息、台变关系;采用接口服务调用的方式获取输电网、配电网的拓扑关系数据,从调度SCADA采集电网运行数据,并进行供电量参数与线损系统的计算。

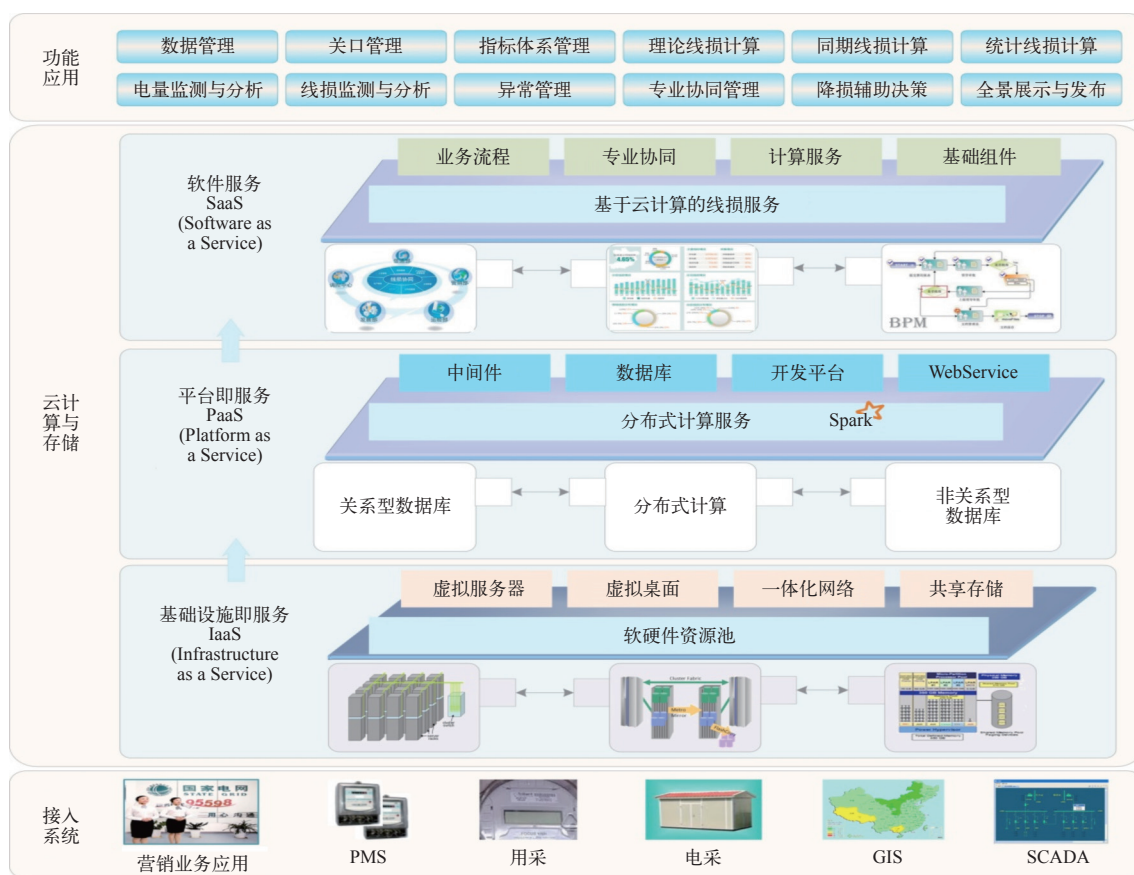


图1 技术架构

2. 数据集成融合

数据集成关系视图如图2所示。根据同期线损、实时线损和理论线损统计方面的要求,从营销业务应用系统获取用户档案、户表与台区、线路关系;从用电信息采集系统获取专用变压器、台区和低压用户的采集电量,实现数据自源头采集,避免人为干预,提高数据接入质量;从电能量采集系统获取变电站关口、线路计量电量。在统计线损管理方面,从营销业务应用系统获取分电价售电量发行数据;从调度管理系统收集分地区、分电压供电关口及电量数据。在理论线损管理方面,从设备(资产)运维精益管理系统获取电网运行数据,从调度管理系统获取基础设备参数等,从SCADA系统获取电网拓扑关系。

针对电量与线损管理的海量数据需求,根据营销、采集和调度等系统特点,制定行之有效的集成规范和接口标准,利用数据中心、Web接口和ETL等资源完成对海量数据的高效抽取、转换和清

洗工作,以云存储的方式进行分布存储。

3. 线损统计计算

(1) 线损同期统计计算

基于用电信息采集系统、营销业务应用系统以及电量管理等专业系统中同步发行的月度发、供、购和售电量,实现分区、分压、分线和分台区的线损统计功能,提供明细数据追溯功能,自动生成所需报表及报告并逐级统计报送。实现电量与线损数据的补采功能,对于采集失败、漏点数据通知相关系统进行补采和核对,并实时更新到线损管理系统。实现平台与各业务应用系统的数据融合及无缝对接,改变系统之间手工导入的传统手段,充分利用信息化实现平台与各类统计系统的自动化生成报表和报送功能。

(2) 线损实时统计计算

基于供电关口、售电表计同期实采数据及“四分”计算模型进行实时线损计算,包括日线损、周线损和月线损等统计计算。

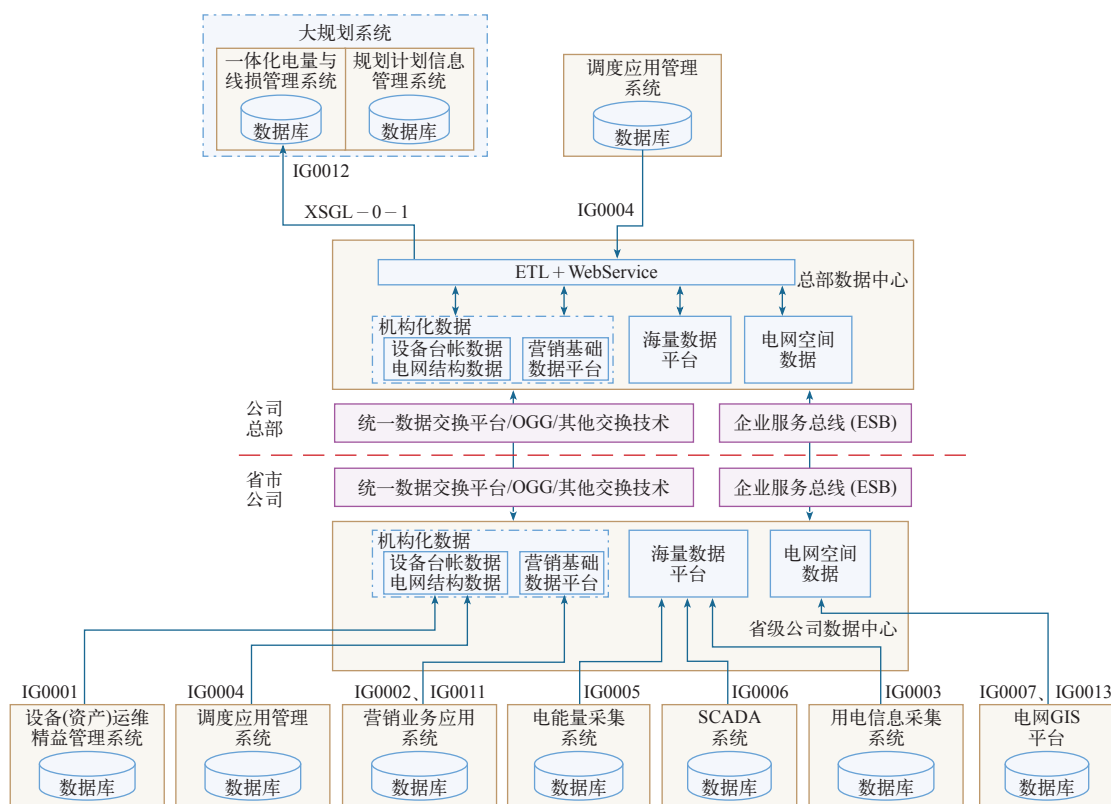


图2 数据集成关系视图

(3) 理论线损计算

基于电网接线拓扑、设备参数，构建统一的电网理论线损计算模型。电网理论线损计算模型是分层构建的，涵盖主网主接线图、厂站站内接线图、配电网单线图以及低压台区接线图。结合电网运行数据（包括负荷、母线电压、电量和电网运行方式数据），实现主网、配电网和低压网的全电压等级线损理论计算。参照计算评估标准对计算结果进行评估，按照“四分”原则进行数据汇总，定制生成电网理论线损计算汇总统计报表及电网理论线损计算分析报告。

电网理论线损一般要求按一定原则选取某个月（或某一天）作为代表月（日），计算全月（日）平均线损率的时段。代表月（日）选取要反映电网的典型运行特征，主要选取原则如下：电力网的运行方式、潮流分布正常，能代表计算期的正常情况，负荷水平在年最大负荷的85%~95%之间；计算期有多种接线方式时，应考虑多种对应的形式；气候情况正常时，气温接近

计算期的平均温度；代表月（日）负荷记录应完整，能满足计算需要，一般应有电厂、变电所和线路等一天24 h正点的发电（上网）、供电、输出和输入的电流，有功功率和无功功率，电压以及全天电量记录。

计算供电量由本网电厂上网电量和从其他电力网净输入电量构成，表达式为

$$\text{计算供电量} = \text{网内电厂供电量} + \text{外网输入电量} + \text{购入电量} - \text{过网电量} \quad (1)$$

式中，厂供电量为电厂出线侧的上网电量，对于一次电力网，厂供电量是指发电厂送入一次电力网的电量，对于地区电力网，厂供电量是指发电厂送入地区电力网的电量；外网输入电量为上级电力网及邻网输入的电量；购入电量为系统电厂供电量以外（如网内小电源）的上网电量；过网电量为送出邻网的电量，又称输出电量。

理论线损率表达式为

$$\text{理论线损率} = (\text{本网理论线损电量} / \text{计算供电量}) \times 100\% \quad (2)$$

理论线损电量为下列各项损耗电量之和:

1) 35 kV及以上电力网(包括交流线路及变压器)的电能损耗。

2) 6~20 kV配电网(包括交流线路及公用配电变压器)的电能损耗。

3) 0.4 kV及以下低压网的电能损耗。

4) 并联电容器、并联电抗器、调相机和电压互感器的电能损耗和站用变所用的电能损耗。

5) 高压直流输电系统(如直流线路、接地极系统和换流站)的电能损耗。

在线损理论计算中一般采用有损汇总结果进行上报与汇总。

整个电力网电能损耗计算可以分解为如下元件的电能损耗计算:

1) 35 kV及以上交流线路及变压器。

2) 20 kV交流线路及公用配电变压器。

3) 10 kV交流线路及公用配电变压器。

4) 6 kV交流线路及公用配电变压器。

5) 0.4 kV及以下电力网。

6) 其他交流元件,如并联电容器、并联电抗器、调相机、电压互感器和站用变压器等。

7) 直流线路、接地极系统和换流站(如换流变压器、换流阀、交流滤波器、平波电抗器、直流滤波器、并联电抗器、并联电容器和站用变压器)等高压直流输电系统。

对线损计算结果进行全面分析和评价,以鉴定网络结构、运行的合理性以及供电管理的科学性,找出计量装置、设备性能、用电管理、运行方式和抄收统计等方面存在的问题,以便于采取降损措施。

理论线损分析包括指标分析和构成分析两方面。对计算结果与计划值、同期同口径值以及统计值进行对比分析,分析电力网线损总的构成情况。

线损理论计算应对电力网所有元件的损耗值进行客观的计算结果评价,即对计算结果作出定量分析,给出定性的评价结论(如偏高、合理或偏低等),以利于决策者采取技术降损措施。

4. 线损分析诊断

依照“四分”管理的原则,提供线损实时监

控和精细化分析功能,准确、及时、全面地反映线损情况。

1) 实时线损监控:实时在线监控并展示线损计算结果,依照预警阈值对结果进行筛选报警和通知。

2) 重点单元监控:可对重点用户、设备、台区、线路和区域进行监控,加大监控的深度与频度,提供更详尽的分析数据并进行集中展示。

3) 线损指标分析:对线损指标进行分区、分压、分线和分台区等全方位、多维度、多频度以及系统化的分析,全面、有效地掌握线损现状和发展趋势。

4) 线损差异分析:以理论线损为参照,对实时线损、统计线损进行比对,定位差异特征。

5) 线损模拟分析:提供分析阶段手工试算机制,由使用者根据线损实际分析的结果还原数据,并对电量进行增补,模拟降损过程。

6) 线损异常诊断:根据线损诊断模型组成诊断策略,查找并判断问题,智能分析日间、月度线损异动。

7) 问题追查与定位:针对异常计算结果,从档案、电源关系、网络负荷、设备运行状态和容量等各方面因素进行排查、判断并定位异常线损产生的主要原因,为降损提供依据。

5. 降损辅助决策

(1) 技术降损措施分析

在理论线损在线计算的基础上,通过仿真、模拟等技术手段对电网进行降低损耗分析。根据网架结构及降损目标,对电网规划及改造方案进行理论线损仿真计算,为论证方案的有效性与合理性提供参考;对改造后工程的效果进行跟踪,并提供评价依据。通过分析不同网架结构中对线损影响较大的设备和元件,列出重损线路和重损变压器等设备,并且定义降损方案,计算所需的资金和取得的效果。对降损措施进行验证,为降损方案的制定提供参考依据,并提供科学的降损节能措施建议。

(2) 线损预测分析

根据预测模型,对未来线损发展趋势进行预

估, 提供线损异常预警, 为降损工作提供参考。

6. 线损全景展示

(1) 图形化全景展示

建立电网运行的“卫星地图”, 在地图上综合体现电网架构、运行质量、采集情况和线损水平, 可利用逐级深入、层层穿透方式实现从宏观到微观、从总体到个体的信息展示。

(2) 线损指标全景展示

以线损指标为核心, 对各单位指标进行跟踪, 通过可视化展示功能, 以柱图、线图等可视化形式, 全面、系统、直观地展示指标执行趋势和异动, 通过指标和单位进行钻取跟踪, 灵活切换关注点和展示界面, 发现指标的深层次问题, 为公司决策和管理提供支持。

(3) 监控预警集中展示

对数据接入、计算统计、分析和监控阶段的预警信息进行分类、分级归集, 提供全面、及时、直观的监控预警信息展示界面, 可对预警信息进行及时跟踪、分析, 并通知相关系统、相关人员进行及时处理, 提高线损管理工作效率和工作的质量。

结束语

基于关口档案, 从电能量采集、营销业务应用系统和用电采集系统接入的大数据计算关口电量, 结合“四分”计算模型生成电量“四分”汇总统计。基于电网拓扑、“四分”计算模型、电量及设备参数数据, 对统计线损、同期线损和理论线损进行计算与统计, 并追溯电量明细, 实现至用户、表计详细信息的层级穿透。

1) 对电力设备的监控更加到位, 大力开展技术降损工作。应用大数据可快速、准确地统计出全省全部线路、变压器损失和母线不平衡率情况, 对线损率居高不下的高损、重损设备重点进行检查、分析, 督促供电公司、供电分公司针对检查出来的问题进行全面整改, 为电网的经济运行提供了科学的依据。

2) 拓宽线损管理的深度、广度, 实现精益化管理。应用大数据实现“四分”线损统计, 将原来没有的台区统计纳入到线损管理工作中来, 拓宽了线损管理的深度和广度。应用大数据可准确定位到重损的某一台区, 快速找出线损产生原因。

3) 实施按线分析, 开展打击窃电工作。应用大数据, 分析人员可以通过比较统计线损率和理论线损率, 发现某条线路是否有窃电行为, 从而开展有针对性的打击窃电工作。

4) 发挥电力数据价值, 为社会经济发展作出贡献。通过汇集各类、各行业用户的电量信息, 为深入分析电量与经济社会指标关系提供重要参考, 可以为政府在宏观经济决策、经济结构调整及节能减排提供第一手的资料。

参考文献

- [1] 杨旭, 汤海京, 丁刚毅. 数据科学导论 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014.
- [2] 盛杨燕, 周涛. 大数据时代 [M]. 杭州: 浙江人民出版社, 2013.
- [3] 鲍海, 马千. 电网线损的物理分布机理 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (21): 82-86.
- [4] 辛开远, 杨玉华, 陈富. 计算配电网线损的 GA 与 BP 结合的新方法 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 22 (2): 79-82.
- [5] 姜惠兰, 安敏, 刘晓津, 等. 基于动态聚类算法径向基函数网络的配电网线损计算 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (10): 35-39.
- [6] 陈得治, 郭志忠. 基于负荷获取和匹配潮流方法的配电网理论线损计算 [J]. 电网技术, 2005, 29 (1): 80-84.
- [7] 李秀卿, 赵丽娜, 孟庆然, 等. IGA 优化的神经网络计算配电网理论线损 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21 (5): 87-91.
- [8] 王小君, 鲍海. 电力系统节点输电网损成本分析 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28 (13): 120-124.

(收稿日期: 2015-06-20) **EA**