

基于大数据技术的输变电设备状态评估及风险评估研究

针对现有的状态评价方法不能全面有效反映输变电设备运行状态评估及风险评估问题,提出了基于大数据技术的输变电设备状态评估及风险评估理论。首先,对输变电设备状态评估关联大数据体系的研究及构建进行了深入的阐述。其次,介绍了基于大数据分析的设备状态检修管理及状态评估的主要内容及状态评估总体框架。最后,从设备故障风险、电网运行风险两个方面介绍了基于大数据分析的输变电设备运行风险评估的方法,并设计了基于大数据技术的输变电设备状态评估及风险评估支持系统总体框架。该方法可为大数据技术在输变电设备状态评估及风险评估方面的应用提供理论参考。

董艳唯¹ 满玉岩¹ 王 磊² 刘创华³ 李聪利² / 1. 国网天津市电力公司
2. 国网天津市电力公司城西供电分公司 3. 国网天津市电力公司

0 引言

随着现代电力技术的不断发展,对于主设备的运行状态监控手段也越来越多,包括带电检测、在线监测、不良工况及设备历史大事记等内容。这些信息量体现了电网主设备的内外部运行状态(况),综合起来可以对设备运行状态进行分析,对设备检修进行决策,是非常有用的大数据,应当对这块数据宝库进行数据挖掘和分析,以支撑实际电网生产运行。

现有状态评价方法不能全面有效反映设备状态:一方面,原有状态评价体系中的要素仅限于缺陷、实验数据和不良工况等部分设备状态信息,未能将反映设备状态的信息量全部纳入评价体系;另一方面,原有状态评价方法是利用决策树,根据专家打分,设置各种情况的权重及扣分量,从而综合得出该设

备的状态是否正常、需要注意和异常等。因而,开展基于大数据技术进行输变电设备状态评估及风险评估研究,对于电网主设备的内外部运行状态进行综合评价及风险评估具有重要意义。

针对现有的状态评价方法不能全面有效反映输变电设备运行状态及风险评估问题,本文提出了基于大数据技术的输变电设备状态评估及风险评估理论。首先,本文对输变电设备状态评估关联大数据体系的研究及构建进行了深入的阐述。其次,介绍了基于大数据分析的设备状态检修管理及状态评估的主要内容及状态评估总体框架。最后,从设备故障风险、电网运行风险两个方面介绍了基于大数据分析的输变电设备运行风险评估的方法,并设计了基于大数据技术的输变电设备状态评估及风险评估支持系统总体框架。本文的研究可为大数据技术在输变电设备状态评估及风险评估方面的应用提供理论参考。

1 输变电设备状态评估关联大数据体系的研究及构建

1.1 关系型及并行数据库的数据存储

现阶段,企业级关系数据库被普遍用于输变电设备状态监测主站系统中的数据存储。在支持数据记录和事务处理(简称OLTP)中,由于采用了关系型及并行的数据存储模式,海量数据处理及查询过程中的实时性无法得到保障,进而影响了大数据技术的实时性处理能力



董艳唯/高级工程师

关键词/Keywords

输变电设备·
状态评估·
风险评估·
大数据技术·
总体框架·

及性能。由于存储模式的限制，导致了上传至主站系统的测量数据有限，系统中的很多有重要价值的数据将被大量遗弃。与“key-value”数据库相比，并行数据库技术虽然采用了关系数据库集群的方式进行数据的存储，但是并行数据库技术的查询的实时性能差。加之其他条件的限制导致了并行数据库技术的数据处理效率非常低下，以致大数据在数据处理过程中的快速性及实时性难以施展。

1.2 数据分布策略

数据分布策略是影响分布式数据进行并行查询和处理效率的一个重大问题。在现有的分布式数据查询及处理系统中，一般将一致性哈希算法广泛运用于解决分布式视频监控系统中负载均衡问题，但上述算法并未对数据本身进行区分。而从基于大数据分析的输变电设备状态评估等高级应用程序的角度考虑，分析某些监测数据间的相

关性能够作为数据存储的依据之一，减少数据使用时的时间点的迁移。

1.3 参考体系结构

基于基础数据服务平台，输变电设备状态检修系统通过实时控制及运行预报系统、运行历史及人机界面等多种应用系统进行数据的采集。输变电设备状态检修系统基础数据服务平台的参考体系结构如图1所示。为实现数据的统一标准化，基础数据服务平台分为三层数据接口。

1.4 数据的相关性分析

电力云平台数据分布的主要影响因素如下：

- 1) 为保持负载的均衡，数据的分布应满足均匀分布到集群各节点的特征。
- 2) 由于Hadoop集群中存在节点故障等缺陷，因此在数据的优化时应将节点的实效问题考虑在影响因素内。

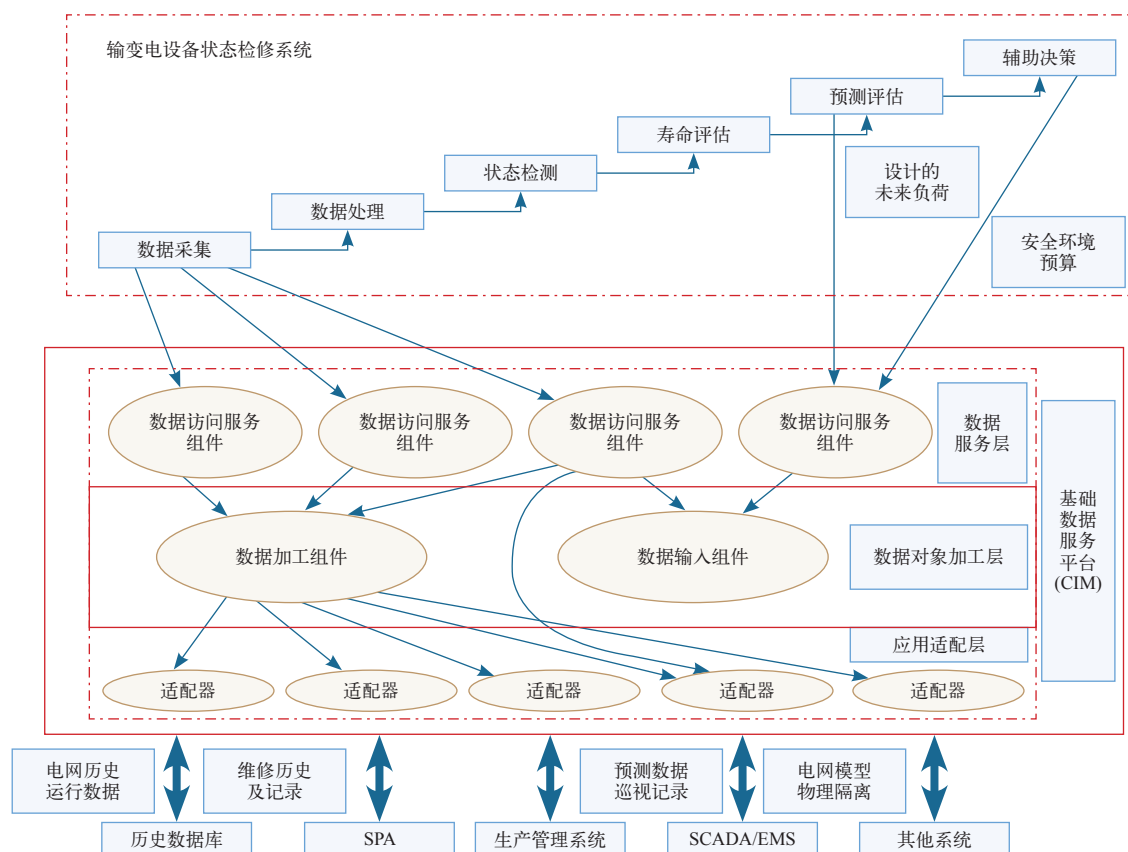


图1 基础数据服务平台参考体系结构图

3) 应采用多副本冗余方案以提高数据查询及处理的可靠性及效率。

4) Hadoop运行环境下,通过设置数据的设备属性,将不同设备的数据存储在不同的节点上,可以减少数据的通信时间,提高整个系统的执行效率。

基于上述数据分布因素的分析及优化,提出了数据相关性的多副本一致性哈希数据存储算法(简称CMCH),其算法原理如图2所示。基础数据服务平台上的数据关联关系示意图如图3所示。

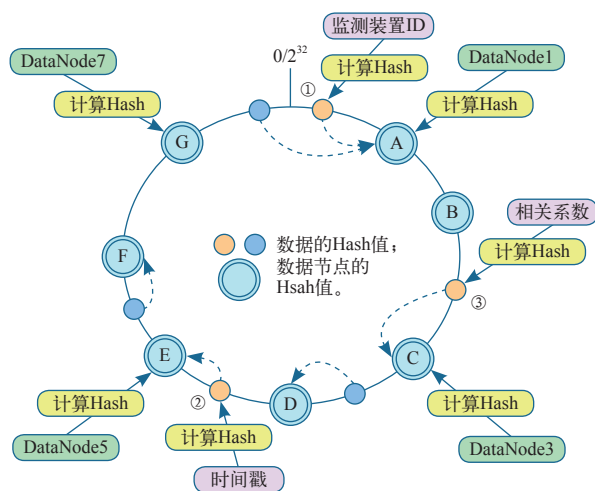


图2 CMCH算法示意图

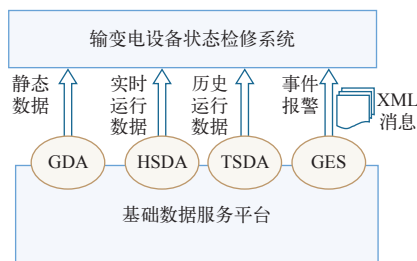


图3 基础数据服务平台上的数据关联关系示意图

1.5 设备状态评估多元多维度大数据源

通常认为,大数据具有“5V”特点:数据量、多样性、速度、价值和真实性。大数据的数据处理包括以下5个过程:①数据的获取/记录;②数据提取/清除/注释;③数据整合/集成/描述;④数据分析/模型建立;⑤模型及现象阐释。

基于大数据的数据处理的系统阶段图如图4所示。

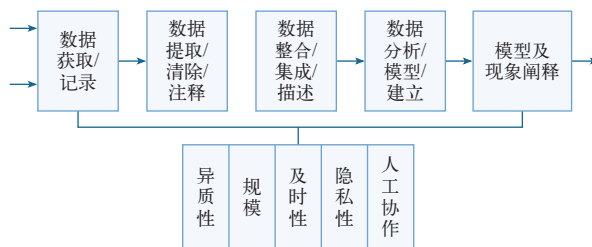


图4 基于大数据的数据处理的系统阶段图

设备状态评估大数据挖掘分析常常需要以多元、多维度的数据源为条件进行分析。基于大数据技术的大电网设备状态评估关系框架如图5所示。以数据的更新频率及数据来源为依据划分,可以将设备状态信息中的所有数据划分为4大类参数,包括:静态参数、动态参数、准动态参数和外部参数。

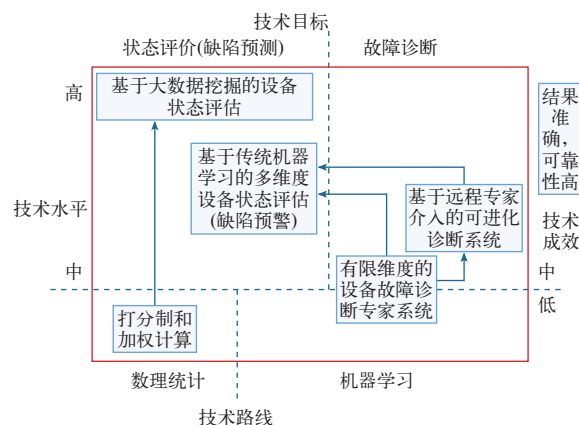


图5 基于大数据的大电网设备状态评估关系框架

1.6 设备状态评估大数据挖掘方法及关联性分析

以关联规则为基础进行数据的挖掘和相关性分析,可以有效地实现输变电设备中,各种海量数据之间的相关性,从而可以根据分析结果进行多个状态量的有效组合等。在大数据背景下,由于输变电设备测量数据结果的结构多样化及复杂化,采用传统的建模方法对相关数据进行分析并不能满足评估需求。在此背景下,基于大数据技术的数据深度关联规则分析备受研究者的关注,相关算法也应运而生,例如基于粒计算的关联规则挖掘算法、基于压缩矩阵的Apriori算法等。

传统的设备状态评估系统中,状态变量的单一化处理将导致缺陷情况的单一化。而基于多元

多维度的设备状态评估大数据挖掘分析方法，可以实现输变电设备多状态变量之间的相关性，即状态量相关性。在数学上，状态向量之间的“状态量关联度”可以用协方差矩阵来表示，即：设 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ ， $x_1, x_2, \dots, x_n$ 分别表示各自的一个状态向量，则“状态量关联度”可定义为 $\Omega = \text{corr}(X)$ 。

2 基于大数据分析的设备状态评估

状态检修是状态检修精益化管理的核心内容，是精细化的设备管理模式，是对传统的输变电设备管理各环节，即设备的资料管理、交接验收、运行巡视、缺陷管理、试验检修和技改更新等的进一步优化。基于大数据分析的设备状态检修管理机制如图6所示。完成基于大数据分析的设备状态检修管理及状态评估内容主要包括：

1) 完善状态检修组织体系建设。开展状态检修工作后，检修工作的重点已从设备停电检修转移到对设备状态的检（监）测、评价和预控上，建立日常检测由工区（班组）负责；分析评价由地市负责；特殊性和复杂性检测诊断工作由两级评价中心负责的状态检测评价组织体系。

2) 健全制度标准体系建设。健全制度标准是规范开展状态检修工作的基本前提。完善管理制度建设，对状态检修工作内容、职责和方法等进行规范；推进技术标准建设，明确在线监测、带电检测、停电试验、状态评价和检修策略的方法和标准。推进设备覆盖范围从一次设备向二次设备延伸，从单一元件评价向设备间隔及系统评

价延伸。建成覆盖设备例行试验、诊断性试验、带电检测和在线监测等内容的状态检修技术标准体系；促进工作标准建设，加强包括状态信息收集、状态评价、风险分析、检修策略制定和实施、检修后评价及人员培训等状态检修主要环节的工作规范。

3) 建立状态检测评价常态机制，强化设备运行分析。深入开展“日比对、周分析、月总结和年评估”工作，结合可靠性要求、运行环境及设备状态动态优化运维策略，提高运维工作的针对性和有效性。深入挖掘设备运行规律和状态参数，加大不停电检测和在线监测新技术研究应用力度，实现基于实际运行数据判断设备状态和运行裕度的能力。

4) 建立状态检修信息支撑系统，保证基础数据的完整性和准确性。建立统一的状态诊断综合决策系统，实现全覆盖。按照总部统领、各层级统筹调配，组建设备状态检测、诊断和评价专家队伍，强化设备状态管理和故障诊断能力，提高设备检修精益化管理水平。此外，状态检修存在试验报告、隐蔽工程和出厂合格证等统计资料缺失等问题。为此，特高压设备状态检修管理应进一步扩充设备数据来源。

5) 建立输变电设备状态评估的指标体系，通过状态评估的指标体系的建立可实现对检修工作的有效性、检修策略的适应性、目标的实现程度和工作绩效等方面全面评估，以确保各层级工作目标不走样、工作标准不衰减。

设备状态评价体系及设备状态预测、风险评估等是开展输变电设备状态检修的关键技术。基于大数据分析的设备状态评估总体框架如图7所示。

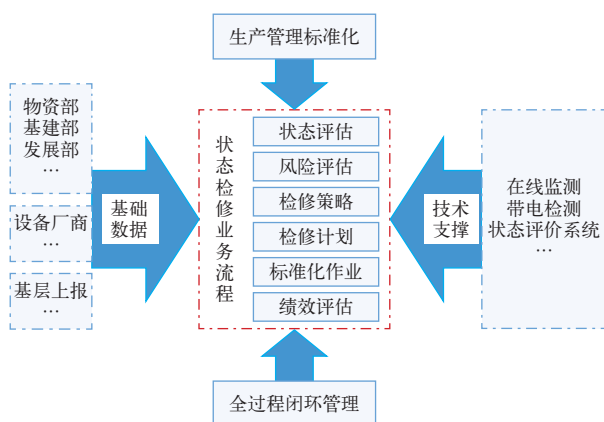


图6 状态检修管理机制

3 基于大数据分析的输变电设备运行风险评估

基于大数据分析的输变电设备运行风险评估主要包括以下两个方面。

(1) 设备故障风险评估

在输变电设备的状态检修过程中，输变电设备的故障风险评估可以通过该设备在整个运行阶

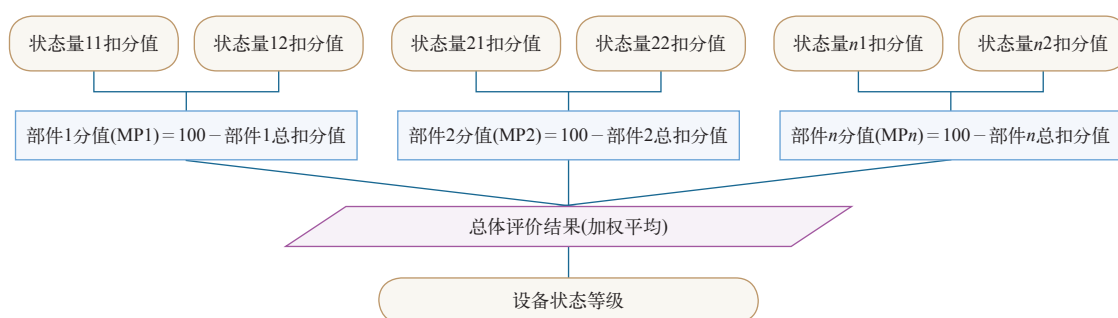


图7 基于大数据的输变电设备状态评估总体框架

段发生的故障概率乘以故障损失的和表示。由理论分析可知，输变电设备在整个运行阶段的不同时段发生的故障概率存在不同。但是从理想等效方面来看，输变电设备的检修周期相比于设备整个运行周期而言较短，因此在计算过程中可以视为输变电设备的故障概率不变，而在检修结束之后应及时更新相应的故障概率。

输变电设备*i*在状态检修过程中的故障风险费用 $R_{\text{equip}}(i)$ 的经济性量化表达式为

$$R_{\text{equip}}(i) = L_i[p_i(k_i - 1) + q_i(n - k_i - T_i + 1)] \quad (1)$$

式中， L_i 为输变电设备*i*故障费用损失； p_i 为输变电设备*i*在状态检修前的故障概率； k_i 为输变电设备*i*状态检修的起始时间； n 为输变电设备整个状态检修过程中的所有时段； T_i 为输变电设备*i*状态检修所需的时段数； q_i 为输变电设备*i*状态检修后的故障概率。

(2) 电网运行风险评估

在输变电设备检修的过程中，电网供电的可靠性风险增加。在此过程中，系统中的随机变化因素，例如电网中其他设备故障的随机性等，对电网的运行产生很大的影响。因此，为保证在输变电设备检修的过程中电网运行的可靠性及安全性，需要对系统进行*N*-1方式下的综合大检修，而在输变电设备检修的过程中的电网供电可靠性可以用期望缺供电量（EENS）指标定量地描述。EENS指标是通过综合输变电设备失效概率，以及失效后果反映电网供电可靠性的风险指标。EENS指标 L_{EENS} 的计算公式为

$$L_{\text{EENS}} = \sum_{r \in N_L} P_{L_r} \sum_{q,r \in F} L_{\text{APNS},q,r} \prod_{j \in h} P_{qj} \prod_{k \in H} (1 - P_{qk}) \quad (2)$$

式中， N_L 为输变电设备检修过程中的负荷水平； F 为在输变电设备检修过程中导致电网供电可靠性不足的所有故障状态集合； H 为输变电设备检修过程中电网中所有正常设备的集合； h 为输变电设备检修过程中电网中所有故障设备的集合； $L_{\text{APNS},q,r}$ 为输变电设备检修过程中电网负荷水平为*r*、故障状态为*q*时向用户少供的有功功率缺负荷量； P_{L_r} 为输变电设备检修过程中负荷水平为*r*的发生概率； P_{qj} 和 P_{qk} 分别为输变电设备检修过程中电网处于*q*状态下第*j*台设备和第*k*台设备故障（或检修）的停运概率。

基于大数据技术的输变电设备状态评价、风险评估的系统总体框架如图8所示。建立基于大数据技术的输变电设备状态评估及风险评估的量化评价指标是属于决策支持系统范畴。该系统基于外部系统提供原始数据，通过不断地适应系统日新月异的评价指标及先进的评估方法，实现输变

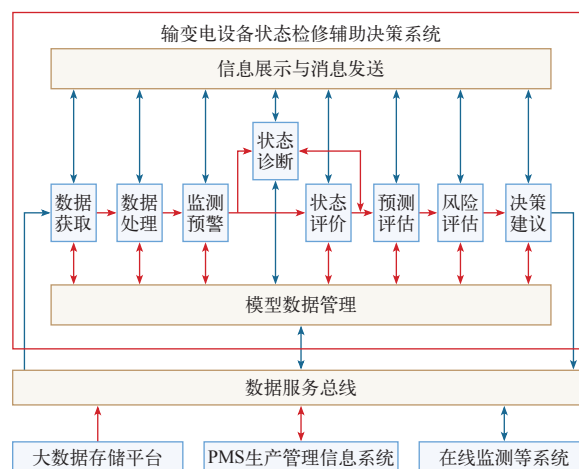


图8 基于大数据技术的输变电设备状态评估及风险评估支持系统总体框架

电设备状态评估及风险评估同时，该系统还应该与各种智能检测模块相结合，形成统一的通信通道以实现数据的共享。

4 结束语

针对现有的状态评价方法不能全面有效反映输变电设备运行状态评估及风险评估问题,本文提出了基于大数据技术的输变电设备状态评估及风险评估理论。完成主要内容如下:

1) 对输变电设备状态评估关联大数据体系的研究及构建进行了深入的阐述,提出了基于关系型数据库及并行数据库的数据存储方法、数据关联性分析方法以及设备状态评估大数据挖掘方法及关联性分析方法等。

2) 介绍了基于大数据分析的设备状态检修管理及状态评估的主要内容及状态评估总体框架。

3) 从设备故障风险、电网运行风险两个方面介绍了基于大数据分析的输变电设备运行风险评估的方法,并设计了基于大数据技术的输变电设备状态评估及风险评估支持系统总体框架。

本文的研究可为大数据技术在输变电设备状态评估及风险评估方面的应用提供理论参考。

参考文献

- [1] 宋亚奇, 周国亮, 朱永利, 等. 云平台下输变电设备状态监测大数据存储优化与并行处理 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35 (2): 255-267.
- [2] 王飞, 颜波, 禹晋云. 基于大数据的电力多维度分析系统设计与实现 [J]. 电力信息与通信技术,

2017, 15 (4) : 30-35.

- [3] 严英杰, 盛戈皞, 陈玉峰, 等. 基于大数据分析的输变电设备状态数据异常检测方法 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35 (1): 52-59.
- [4] 严英杰, 盛戈皞, 陈玉峰, 等. 基于时间序列分析的输变电设备状态大数据清洗方法 [J]. 电力系统自动化, 2015, 39 (7): 138-144.
- [5] 高翔, 罗俊, 杨能武. 基于输变电设备状态评价的调控辅助决策系统研究 [J]. 电力与能源, 2015, 36 (6): 803-806.
- [6] 代杰杰, 宋辉, 杨祎, 等. 基于栈式降噪自编码器的输变电设备状态数据清洗方法 [J]. 电力系统自动化, 2017, 41 (12): 224-230.
- [7] 张怀宇, 朱松林, 张扬, 等. 输变电设备状态检修技术体系研究与实施 [J]. 电网技术, 2009, 33 (13): 70-73.
- [8] 胡文平, 于腾凯, 巫伟南. 一种基于云预测模型的电网综合风险评估方法 [J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43 (5): 35-42.
- [9] 宋亚奇, 周国亮, 朱永利, 等. 云平台下输变电设备状态监测大数据存储优化与并行处理 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35 (2): 255-267.
- [10] 黎新, 刘振通. 变电设备状态评价与风险评估系统建设与应用 [J]. 广西电力, 2016, 39 (1): 61-64.
- [11] 喇元, 王红斌, 陈忠东. 基于状态评价及风险评估的输变电设备状态检修策略的研究 [J]. 广东电力, 2017, 23 (10): 36-40.

(收稿日期: 2017-04-23) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告