

# 基于大数据分析的水电站继电保护系统性能评估

郭永康<sup>1</sup> 刘保福<sup>2</sup>

1. 国家电投集团黄河公司羊曲发电分公司 青海西宁 810000

2. 国家电投集团黄河公司新能源检修分公司 青海西宁 810000

**摘要:** 随着大数据技术的发展, 其在水电站继电保护系统性能评估中的应用具有重要意义。本文阐述了水电站继电保护系统的重要性及基本原理, 详细介绍了大数据分析技术在该系统性能评估中的具体应用, 包括数据采集与预处理、多种分析方法的运用以及性能评估指标体系的构建。通过实际案例分析, 验证了基于大数据分析的性能评估方法的有效性, 能够为水电站继电保护系统的优化和稳定运行提供有力支持, 有助于及时发现潜在问题, 提高系统的可靠性和安全性。

**关键词:** 大数据分析; 水电站; 继电保护系统; 性能评估

## 引言

水电站作为电力供应的重要组成部分, 其稳定运行对于保障电力系统的安全至关重要。继电保护系统是水电站安全运行的核心, 能够及时检测并隔离故障, 预防事故的发生。传统的继电保护系统性能评估方法存在一定的局限性, 难以全面、准确地反映系统的实际运行状况。而大数据分析技术能够对海量、多样化的数据进行处理和分析, 为水电站继电保护系统性能评估提供了新的途径和方法。通过大数据分析, 可以深入挖掘系统运行数据中的潜在信息, 更精准地评估继电保护系统的性能, 及时发现系统中存在的问题, 从而采取有效的改进措施, 提高系统的可靠性和稳定性, 确保水电站的安全、高效运行。

### 1. 水电站继电保护重要性

水电站在国家电力供给体系中占据着关键地位, 其稳定运行直接关系到供电的安全性和可靠性。继电保护系统作为水电站安全运行的关键保障, 具有多方面不可替代的重要作用。当电网发生故障时, 及时且准确的继电保护动作能够迅速发现并隔离故障区域, 有效避免故障的进一步扩散, 从而维护整个电网的完整性。例如, 在发生短路故障时, 继电保护系统能够在极短的时间内切断故障电路, 防止过大的电流对电力设备造成严重损坏, 进而保障了电力系统中其他设备的正常运行。同时, 继电保护系统还能保护电力设备免受过电压和过大电流的冲击, 减少设备的损耗, 延长设备的使用寿命, 降低设备更换和维修成本, 提高水电站的整体经济效益<sup>[1]</sup>。

## 2. 大数据分析技术在水电站继电保护系统性能评估中的应用

### 2.1 数据采集与预处理

水电站继电保护系统运行过程中会产生大量的数据, 这些数据来源广泛。传感器作为数据采集的重要前端设备, 能够实时采集电气参数数据, 如电流、电压、功率等, 这些数据直接反映了电力系统的运行状态。继电保护装置在运行过程中也会生成丰富的数据, 包括装置的动作信息、故障报警信息、自检信息等, 这些数据对于评估继电保护装置的性 能至关重要。此外, 监控系统会记录整个水电站的运行状态数据, 如设备的启停时间、运行时长、运行工况等, 为全面评估继电保护系统所处的运行环境和整体性能提供了有力支持。通信系统在数据传输过程中产生的相关数据, 如数据传输的延迟时间、丢包率等, 对于判断通信系统对继电保护系统性能的影响具有重要参考价值<sup>[2]</sup>。

从各种来源采集到的数据往往存在一些问题, 需要进行预处理才能用于后续的分析。数据清洗是预处理的重要环节, 其目的是去除数据中的噪声和异常值。在实际采集过程中, 由于传感器故障、电磁干扰等原因, 可能会导致数据出现错误或异常波动, 这些噪声和异常值会严重影响数据分析的准确性, 因此需要通过特定的算法和规则进行识别和剔除<sup>[3]</sup>。数据标准化和归一化也是常用的预处理方法, 不同类型的数据可能具有不同的量纲和取值范围, 这会给数据分析带来困难。通过数据标准化和归一化, 可以将数据转换为统一的标准形式, 使得不同数据之间具有可比性, 便于后续的分

析和建模。对于存在缺失值的数据，需要采用合适的方法进行填充。

## 2.2 大数据分析的方法

关联规则分析是大数据分析中的一种重要方法，其核心目的是挖掘数据之间隐藏的关联关系。在水电站继电保护系统中，关联规则分析具有广泛的应用场景。例如，通过对大量历史数据的分析，可以发现某些电气参数的异常变化与特定故障类型之间存在关联规律。当监测到特定的电气参数组合出现异常时，就可以依据已挖掘出的关联规则，快速预测可能发生的故障类型，从而提前采取相应的预防措施，提高故障处理的及时性和准确性。在实际应用中，可以采用 Apriori 算法等经典算法来进行关联规则挖掘<sup>[4]</sup>。

分类分析是将数据按照一定的特征或规则划分到不同的类别中。在水电站继电保护系统性能评估中，分类分析可以用于对故障类型进行准确分类。通过收集大量已知故障类型的样本数据，并提取相关的特征参数，如故障发生时的电流变化曲线、电压波动特征、保护装置的动作顺序等，利用决策树、支持向量机等分类算法构建故障分类模型。在实际运行中，当系统出现故障时，将实时采集到的故障数据输入到已训练好的分类模型中，模型就能根据预设的分类规则快速判断出故障的类型。

回归分析主要用于研究变量之间的数量依存关系，通过建立数学模型来预测一个或多个因变量的数值。在水电站继电保护系统中，回归分析可以用于预测系统的性能指标。例如，通过分析历史数据中电气参数、设备运行时间、环境温度等自变量与继电保护装置的动作时间、可靠性等因变量之间的关系，建立回归模型。利用这个模型，可以根据当前的运行参数和环境条件，预测继电保护系统在未来一段时间内的性能变化趋势。如果预测结果显示某些性能指标可能会超出正常范围，就可以提前安排维护和检修工作，预防故障的发生。在建立回归模型时，需要选择合适的回归算法，如线性回归、多项式回归或逻辑回归等，根据数据的特点和实际需求进行模型的训练和优化，以提高模型的预测精度和可靠性。

## 2.3 性能评估指标体系构建

可靠性是水电站继电保护系统性能评估的关键指标之一。系统故障率是衡量可靠性的重要参数，它反映了在一定时间内系统发生故障的频率。平均无故障时间则体现了系统

在两次故障之间能够正常运行的平均时长，该时间越长，说明系统的可靠性越高。平均修复时间用于衡量系统发生故障后恢复正常运行所需的平均时间，较短的平均修复时间意味着系统能够更快地从故障中恢复，减少对电力供应的影响。装置可用率表示继电保护装置处于可正常工作状态的时间比例，可用率越高，说明装置的可靠性越好。这些可靠性指标相互关联，通过对它们的综合评估，可以全面了解继电保护系统的可靠运行水平。

灵敏度指标反映了继电保护系统对故障的反应能力。在实际运行中，要求继电保护系统能够对各种类型的故障，包括轻微故障，都能迅速、准确地做出反应。对于过电流保护，灵敏度体现在能够检测到的最小故障电流与正常运行电流的比值，比值越小，说明保护装置对过电流故障的灵敏度越高。距离保护的灵敏度则与能够准确测量的最小故障距离有关，较小的最小故障距离意味着保护装置对近距离故障具有更高的灵敏度。差动保护的灵敏度通过比较设备两端电流的差值来衡量，能够检测到的最小电流差值越小，差动保护的灵敏度越高。

选择性是指继电保护系统在发生故障时，能够有选择地切除故障设备或线路，而不影响非故障部分的正常运行。这要求保护装置之间能够相互协调配合，根据故障的位置和类型，准确判断应该动作的保护装置。在一个复杂的水电站电力网络中，当某条输电线路发生故障时，距离故障点最近的主保护装置应首先动作，迅速切除故障线路。如果主保护装置由于某种原因未能正常动作，后备保护装置应按照预定的顺序动作，切除故障，以确保故障能够得到及时处理，同时最大限度地减少停电范围。

稳定性指标用于评估继电保护系统在受到干扰或发生故障时，保持自身稳定运行的能力。系统在运行过程中可能会受到各种外部干扰，如电磁干扰、电压波动等，同时内部故障也可能引发系统的不稳定。继电保护系统的稳定性对于整个水电站电力系统的安全至关重要。如果继电保护系统在受到干扰或故障冲击时出现误动作或拒动作，可能会导致电力系统的振荡甚至崩溃。为了提高稳定性，继电保护系统通常采用冗余设计，即配备多个相同或相似的保护装置，当一个装置出现故障时，其他装置能够继续正常工作，保证系统的可靠性。

### 3. 案例分析

#### 3.1 某水电站继电保护系统数据采集与处理

选取某大型水电站作为案例研究对象。该水电站安装了先进的监测设备和数据采集系统，能够实时采集继电保护系统运行过程中的各种数据。在数据采集阶段，通过传感器对电流、电压、功率等电气参数进行高频采样，每分钟采集的数据量达到数千条。同时，继电保护装置的動作信息、故障报警信息以及监控系统的运行状态数据等也被同步采集。在一个月时间内，共采集到了海量的数据，存储容量达到数 TB。采集到的数据首先经过数据清洗，利用异常值检测算法去除了由于传感器故障导致的明显错误数据，共识别并剔除了约 5% 的异常数据点。然后进行数据标准化处理，将不同量纲的电气参数数据统一转换到 [0, 1] 的区间内，以便后续分析。针对存在的少量缺失值，采用基于时间序列的插值法进行了填充，保证了数据的完整性。经过数据预处理后，得到了高质量的数据集，为后续的大数据分析奠定了坚实基础。

#### 3.2 基于大数据分析的性能评估结果

运用关联规则分析方法，对预处理后的数据进行挖掘，发现当电流超过额定值 1.5 倍且持续时间超过 5 秒时，与继电保护装置的过电流动作之间存在高度关联，置信度达到 90% 以上。这一关联规则为故障预测和分析提供了重要依据。通过分类分析，利用决策树算法构建的故障分类模型对故障类型的识别准确率达到了 85% 以上，能够准确区分短路故障、过载故障、接地故障等常见故障类型。在回归分析方面，建立的关于继电保护装置动作时间与电流、电压关系的回归模型，预测精度达到了 90%，可以较为准确地根据当前的电气参数预测装置的动作时间。聚类分析结果显示，根据设备的运行温度、振动频率等特征，将系统的运行状态分为正常运行、轻度异常和严重异常三类，其中轻度异常状态下的设备运行数据表现出温度略有升高、振动频率稍有增加的特征，为及时发现潜在故障提供了线索。

基于这些大数据分析结果，对该水电站继电保护系统的可靠性、灵敏度、选择性和稳定性等性能指标进行了综合评估。结果表明，该系统的可靠性指标中，系统故障率为每年 0.5 次，平均无故障时间达到 2000 小时，平均修复时间为 2 小时，装置可用率为 99%，整体可靠性处于较高水平；灵敏度方面，对于常见故障类型的最小故障检测能力满足设计要求；选择性上，在过去一年的故障处理中，保护装置正

确实实现选择性动作的比例达到 95%；稳定性指标评估显示，系统在受到外部干扰时，能够保持稳定运行，未出现误动作或拒动作的情况。然而，通过大数据分析也发现了一些潜在问题，如在某些特殊工况下，继电保护装置的動作时间略有延迟，需要进一步优化保护参数。

#### 3.3 与传统评估方法对比

传统的水电站继电保护系统性能评估方法主要依赖于人工经验和少量的监测数据，通常是定期对设备进行巡检和简单的测试，根据有限的数据和运维人员的经验来判断系统的性能。与基于大数据分析的性能评估方法相比，传统方法存在明显的局限性。在数据量方面，传统方法所依据的数据量非常有限，难以全面反映系统在各种工况下的运行情况。而大数据分析方法能够处理海量的运行数据，涵盖了系统在不同时间、不同运行条件下的丰富信息，从而更准确地评估系统性能。在评估的准确性上，传统方法由于数据不足和主观因素的影响，容易出现误判。

### 4. 结束语

综上所述，将大数据分析技术应用于水电站继电保护系统性能评估，为电力系统安全运行提供了全新且高效的保障手段。其不仅突破了传统评估方法的局限，还能深度挖掘数据价值，精准定位系统潜在问题。未来，随着大数据技术的持续发展与完善，有望进一步优化评估模型，实现更智能、实时的性能评估。

#### 参考文献：

- [1] 万浩平. 基于小波分析的水电站馈线故障快速检测算法研究[J]. 电子技术应用, 2025, 51(01): 50-55. DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.245323.
- [2] 张攀, 童志祥, 王龙辉, 等. 大型水电站继电保护系统的 AR 效果与应用研究[J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(12): 12-13+16.
- [3] 张攀, 童志祥, 王龙辉, 等. 大型水电站继电保护系统的 AR 效果与应用研究[J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(12): 12-13+16.
- [4] 陈创. 大化水电站开关站迁移后继电保护配置方案探讨[J]. 红水河, 2022, 41(06): 27-32.

**作者简介：**郭永康（1982—）男，汉，甘肃兰州，本科，工程师，从事水电站、新能源电站的设备的检修维护管理工作。