

一种继电保护在线状态检修辅助决策信息系统 PIM 模型

周 诚，胡 斌

（中国电力科学研究院，江苏 南京 210003）

摘 要：本文分析了目前电网继电保护状态评价与辅助决策系统的现状，指出缺乏统一建模是相关系统在架构上的主要缺陷，提出根据模型驱动体系结构的核心思想，建立继电保护状态评价与辅助决策全过程的平台无关信息模型（PIM）。本文首先对继电保护状态评价与辅助决策的全过程进行了抽象总结，然后通过对状态量采集和存储、状态评价和辅助决策这三个过程分别进行分析和建模，最终给出了继电保护在线状态评价与辅助决策系统 PIM 模型的参考架构。

关键词：继电保护；辅助决策；PIM 模型

0 引言

随着电网规模的发展，设备的数量不断增加、技术水平和可靠性迅速提升，传统的设备定期检修模式很难适应新的管理需求。国家电网正处于从定期检修模式（TBM）逐渐向状态检修模式（CBM）转变的过程中。目前，国家电网公司已从油浸式变压器、SF₆断路器和架空线路等一次设备着手，按照设备状态检修导则要求开展检修工作，文献[1]介绍了华东电网输变电状态检修系统所用的主要在线检测技术和装备，分析了几种主要的高级在线诊断方法及其可行性。继电保护系统作为保障电网安全稳定运行的第一道屏障，同样需要实现在线状态检修，以便充分利用微机型继电保护装置的自检、测量、故障录波和通信功能，达到提高检修效率，扩展检修内涵，提升检修效果的目的。文献[2]阐述了继电保护状态检修的发展现状和实施难点。

继电保护状态检修可以分为离线状态检修和在线状态检修。前者在传统的定期巡检基础上，增加了一些人工采集状态量信息的工作，并且建设了状态检修信息系统，根据人工采集的状态量可提供有限的设备状态辅助评价和设备检修辅助决策功能；后者则依赖硬件的状态量测量和状态自检能力，结合状态检修信息系统，提供相对完善的设备状态量采集、状态评价和辅助决策功能。其中，在线状态检修能够为电网的安全稳定运行提供更大的价值，是未来的主流技术方向。开展继电保护在线状态检修涉及到新型继电保护设备和状态量测量装置研发、状态评价和决策算法设计和继电保护在线状态检修辅助决策系统设计和开发三项主要工作。目前，国内电力行业针对继电保护状态检修系统开展了部分研究和试点工作，在状态检修系统的系统构成、功能框架和软件架构方面已有不少成果。文献[3]介绍了继电保护状态检修实用化方面的一些尝试，提出了省级电网继电保护状态检修的三层体系结构。文献[4]阐述了基于状态检修技术的保护预警系统的功能及组成结构。本文主要关注与具体实现架构无关的信息系统模型。

1 继电保护状态检修系统现状分析

1.1 继电保护状态检修系统的现状

目前在线运行的继电保护状态检修系统主要是基于传统的离线状态检修模式。主要依据是检修导则，主要手段仍然是定期检修，数据来源则依赖人工采集。其评价和决策模型的典型情况如图1所示。

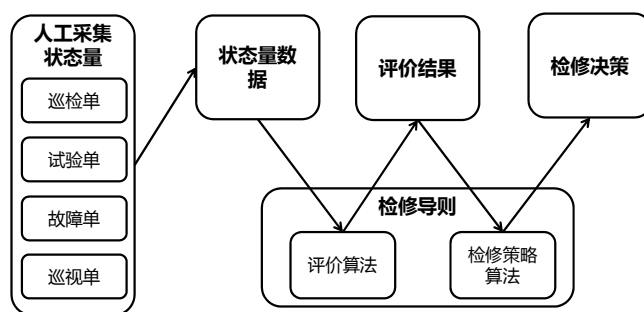


图1 离线状态检修系统的评价模型

系统的数据来源主要是人工采集的巡视单、巡检单、故障单、历史故障信息和家族性缺陷等。由于采用人工采集方式，这些单据只能提供少量的人工测量或现场采集的状态量，状态量一般由电网公司的检修导则规定，导则同时提供了简单的基于离线状态量的评价算法为继保设备或线路计算评价得分，再根据得分区间推荐相应的检修决策。导则所规定的状态量和算法模型不考虑设备和线路的差异性，对所有类型的继电保护设备和线路普遍适用。

由于数据来源简单，离线状态检修系统在设计时一般不考虑相对复杂的通用建模设计，而是直接面向电网公司的状态检修导则进行系统建模，仅仅在局部支持一些状态评价计算公式的配置和维护。其中的状态量数据直接以数据库表的形式存储，评价算法和检修策略算法则直接固化在程序中。

1.2 离线继电保护状态检修系统的不足

随着在线状态检修技术不断发展成熟，目前广泛应用的微机型继电保护装置已能够提供一定的自检能力，线路状态量采集方面也进行了有益的探索，这将为继电保护在线状态检修打开实用化之门，并对传统的继电保护离线状态检修系统的设计开发方式提出挑战。文献[5]介绍了电力线路状态检修系统的开发和运用成果，文献[6]提出了采用模糊综合评价方法实现变电站通信网络状态综合评价，文献[7]对二次回路评价方法进行了详细分析。

离线状态检修系统由于缺乏保护装置自身和状态测量装置的支持，只能搜集一些外部状态量进行辅助评价，而不同的继电保护设备具有大致相同的外部状态量定义；相反，在线状态检修很大程度上依赖于设备的自检能力，关注设备的内部状态量信息，随着厂家、设备类型、设备版本的不同，设备将提供不同的在线状态量采集能力。仅仅面向静态的检修导则的设计方式已经不能满足在线状态检修的要求，这体现在：

系统的状态量定义固化在程序中，不支持动态建模。缺乏与电网设备模型的有机联系。

算法僵化，不能为不同的设备配置不同的算法。且算法严重依赖检修导则，设备提供商很难参与算法设计，未来将导致检修导则和检修系统的频繁变更。

评价结果简单化，仅仅以单一的状态评价得分来表示状态评价的结果，过于简单的评价结果无法支撑一个有效的检修决策算法。

没有对状态检修和辅助决策过程的有效抽象，不利于指导系统的设计和开发。

2 通过系统建模改进继电保护状态检修系统

在基于体系结构的信息系统建模理论中，具有代表思想的是模型驱动的体系结构(Model Driven Architecture, MDA)理论（文献[8]）。该理论的核心思想是，信息系统的开发应依托于抽象的系统模型，模型被划分为两个层次，分别是：平台无关模型(Platform Independent Model, PIM)和平台相关模型(Platform Specific Model, PSM)。PIM用模型阐述了待开发系统的行为，但是并不涉及待开发系统的具体实现方法；PSM建立在PIM的基础上，包含了对应的PIM的全部功能，并添加了具体的实现方法。

根据MDA的思想，模型是连接业务和具体实现的桥梁，实现业务到实现的柔性连接。实际上，模型也有利于实现业务模型之间的柔性连接，在本文环境中则体现为，硬件设备差异到评价和决策算法之间

的柔性连接。可见，目前的离线继电保护状态检修系统的架构缺陷主要在于缺乏一个与实现平台无关的全局性的信息系统模型。本文试图为在线状态检修和辅助决策系统设计这样一套PIM模型。

3 继电保护状态检修和辅助决策全过程建模

3.1 继电保护状态检修和辅助决策全过程

继电保护状态检修系统的整体框架可以借鉴一次设备的相关框架研究成果。文献[9]在OSA-CBM的基础上进行裁减扩展，提出了SGCBM架构，并给出了状态检修辅助决策系统业务开发框架。指出状态检修系统的主要功能为数据获取、数据处理、监测预警、状态评价、预测评估、风险评价和决策建议。进一步抽象这些功能模块，可以总结出图2所示三个过程。

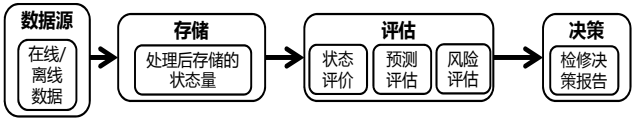


图2 继电保护状态检修和辅助决策全过程

其中，数据采集和存储过程包含上述数据获取和数据处理过程；状态评估过程包含上述状态评价、预测评估和风险评估过程；辅助决策过程对应上述决策建议过程。

3.2 采集和存储过程建模

系统的数据采集一般是基于经典的适配器模式，可以灵活的搭配不同的适配器接入不同的数据源。现有的通信和信息技术已能充分满足状态量数据的接入，本文不再赘述。

状态检修系统建模的基础是状态量建模，因为状态量是构成一切其它算法的基石。状态量本质上是设备或线路的一种状态属性。与设备的常规属性不同，常规属性一般是静态的，属性值不随时间变化，而状态量是一种随时间变化的属性。因此，状态量应该与设备模型一起建模，是单一设备类型的模型所包含的一组属性模型；同时状态量模型相对于设备模型的其它属性有一定的独立性，这样单一设备实例可包含同一状态量模型在不同时间点的多个实例。

从设备模型的角度进行状态量建模可以建立状态量与设备类型的天然有机联系。这样不同的设备类型将包含不同的状态量模型，当新建或修改设备模型时，状态量模型也会得到同步的维护。

在此基础上，状态量模型的表述格式可以作为标准由电网公司制定和发布，以便由设备生产厂商直接提供特定设备的状态量模型。这样就大大简化了模型维护工作，有利于解决设备的差异性和评价模型的稳定性之间的矛盾。

3.3 状态评价过程建模

继电保护状态评价是状态检修系统的核心功能。同时也是实现检修辅助决策的基础。可以把状态评价分为两个步骤，分别是计算评价分量指标和生成评价报告。

状态量属于系统采集的原始信息，不同的设备有不同的状态量，不同设备对同一状态量的理解也很难保持一致。如果直接面向状态量建立评价算法，不仅数据的质量难以保证，而且算法会十分复杂，不稳定，一旦设备升级，算法将难以接入新的状态量。因此，为了避免评价算法与具体的设备类型甚至设备版本直接耦合，应避免状态量直接参与状态评价计算。为解决这一问题，需要设计一套评价分量指标模型体系，最大限度的向上屏蔽设备的差异性，使得根据评价分量指标模型体系建立的状态评价算法具有一定的稳定性。

评价分量指标模型体系的规范，可以由电网公司主持制定。体系规范需要明确定义每一个状态评价算法可能用到的评价分量指标，并确保硬件设备提供商、软件开发商和电网公司对指标理解的一致性。体系应该是容易扩展的，以适应电网技术和管理需求的不断发展。

从状态量到评价分量指标的计算过程称为评价分量指标计算。这一计算过程是与具体的硬件设备相关的。基于已经定义好的状态量模型，状态检修系统的算法库可以对具体算法进行建模，新的算法可以支持新的状态量参与计算。与状态量模型类似，评价分量指标算法本质上也是由设备厂家提供的，因此

可以由电网公司发布相关标准，要求硬件设备厂家提供评价分量指标的算法，由电网公司审核算法，再自行或者委托软件供应商对其进行动态建模。这样可以保证评价分量指标算法的有效性，降低开发评价分量指标算法的难度。

状态评价的最终产物是状态评价报告。状态评价报告主要包含状态评价结果、状态评价的计算过程和原始状态量追溯等内容。其中状态评价结果是核心内容。状态评价结果应有两个主要功能：其一，向用户提供全面而清晰的设备健康信息；其二，为辅助决策算法提供数据输入。目前在线使用的离线状态检修系统仅能提供简单的评价分数，虽然足够清晰，但提供的信息不够全面，更无法作为有效的辅助决策算法的依据。因此对设备状态评价的结果进行建模，是十分必要的。设备状态评价结果建模的主要依据应该是辅助决策算法的需求，这是因为一个合理、有效的辅助决策算法必然要求清晰、全面的设备状态评价结果作为支撑。因此，状态评价结果模型应是一个包含一系列指标的复杂对象模型，每个指标反映设备健康状态的一个方面。

根据评价分量指标计算评价结果的过程称为状态评价计算。状态评价计算的算法需要在算法库中建模。建模的基础是已经定义好的评价分量指标模型和状态评价结果模型。状态评价算法模型应该支持灵活的动态维护，以适应评价分量指标模型和状态评价结果模型的变化。

3.4 辅助决策过程建模

辅助决策过程即基于状态量数据进行风险评估进而优化检修策略的过程，文献[10]、文献[11]详细讨论了该过程的实现方法。文献[12]阐述了如何充分利用状态量信息求解设备故障率和可靠性。

辅助决策的最终产物是检修决策报告。检修决策报告的内容包含建议的检修计划和决策算法过程。决策的目的是生成建议的检修计划，检修计划有固定的格式和内容，电网公司的检修导则中对其有明确描述，可以作为决策结果建模的依据。

辅助决策算法是在线状态检修和辅助决策系统的另一个难点。目前业界尚缺乏比较成熟的决策算法，现有的决策算法还需要在实践中不断优化调整。提供辅助决策算法并非本文的宗旨，但本文提供的模型体系为状态检修系统的软件模型设计和辅助决策算法设计之间提供了比较明确的界限，即软件模型提供状态评价指标模型和辅助决策算法的建模能力，而决策算法提供具体的状态评价指标模型和决策算法。本文所采用的建模方法有利于支撑辅助决策算法从简单到复杂逐步走向成熟和实用化的动态过程。

4 在线状态检修和辅助决策全过程的 PIM 模型

综上所述，在线状态检修辅助决策系统可参考图3所示的模型进行总体建模。文献[13]将系统模型按照建立的过程所处的阶段分为需求模型、概念模型和面向对象模型。图1实际上描述了系统的需求模型，而概念模型则如图3所示。

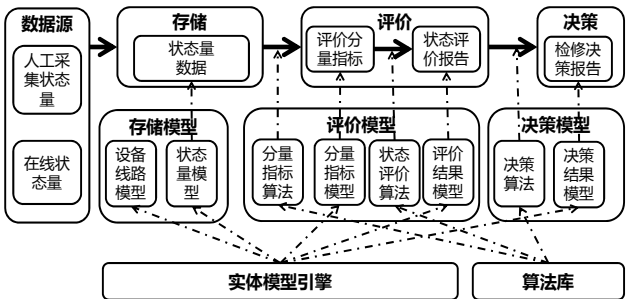


图3 继电保护在线状态检修和辅助决策概念模型

图3中，实体模型引擎提供了一种通用的对象建模功能，本质上是提供了一种通用的元数据模型。通过实体模型引擎建立对象模型的过程实际上就是将对象模型的元数据存储到实体模型引擎的数据库中去。而算法库则以类似的方式支持通用的算法规则模型维护。两者都是实现模型的公用软件基础设施。

基于概念模型可进一步建立对象模型，对象模型的最佳载体是UML图。文献[14]详细阐述了UML图与MDA在方法下的应用。图4所示的UML对象模型，该图展示了各种模型在体系中的关系。其中状态量

被视为设备模型的一种特殊属性。一种设备模型包含一组预定义的评价分量模型、评价结果模型以及唯一的决策结果模型。评价分量、评价结果和决策结果作为计算的结果需要相应算法的支持。除了分量指标算法的数据来源是状态量以外，状态评价和检修决策算法的数据来源都是上一步算法的输出。

这一模型体系涵盖了在线状态检修辅助决策系统运行的各个子过程，对每个子过程所涉及的各种元素提供了统一的可动态维护的模型框架。

在具体实施过程中，整个模型由电网公司、硬件设备厂家和科研单位共同维护。其中评价分量模型、状态评价算法模型、评价结果模型和决策结果模型属于模型中的核心部分，对该部分建模即是电网公司制定新版检修导则的过程。状态量和状态分量计算本质上是由硬件设备厂家建模。为了规范硬件设备厂家的建模行为，新版检修导则还应该包括状态量和状态分量计算的建模标准，即相关的元模型规范。厂商按标准提交状态量模型和状态分量计算模型，电网公司按标准进行审核并接入实体模型引擎。辅助决策算法则由相关科研单位提供，电网公司提供算法库支持决策算法的动态建模。

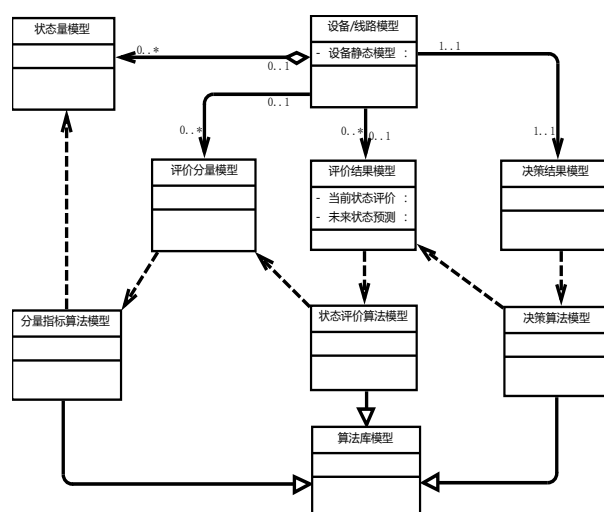


图4UML对象模型

PIM模型可以很好的适应在线状态量与设备类型紧密相关的特点，向上层的算法模型屏蔽这种差异带来的复杂性，从而支撑稳定通用的评价算法。PIM模型可以支持电网公司根据自身特点和业务需要灵活配置各种状态评价算法；可以为在线状态检修系统的开发提供参考模型；可以使辅助决策算法的研究过程与检修决策系统的实现过程相分离，以便支撑决策算法的动态升级。

5 结束语

2011年，国家电网公司批准了“继电保护状态检修智能决策系统开发与应用”科技项目的立项，并以此为依托进行了继电保护在线状态检修和智能决策的相关研究。信息系统的模型和架构研究是其中的关键点之一。信息模型作为新型硬件设备和辅助决策算法的中间支持层，起着向上规范状态量信息接入过程、屏蔽硬件差异；向下提供符合算法要求的数据源，支撑动态决策算法不断演化升级的作用。在未来的系统推广过程中，还将起到简化系统集成，降低系统维护成本，最终实现加速系统实用化进程的目的。

参考文献：

- [1] 董明,李元,周建国,等. 输变电设备状态检修系统的开发与应用[J]. 华东电力,2009, 37(7):1070-1075.
- [2] 高翔,刘韶俊.继电保护状态检修及实施探讨[J].继电器,2005, 33(20):23-27.
- [3] 韩平,赵勇,李晓朋,等. 继电保护状态检修的实用化尝试[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(19):92-95.
- [4] 高翔. 继电保护状态检修应用技术[M]. 北京:中国电力出版社.2008.
- [5] 郑建平,梁锦照. 电力线路的状态检修和缺陷预测[J]. 电力系统自动化,2000(24):34-37.
- [6] 陶文伟,周元刚,冯管印,等.模糊综合评价方法在变电站通信网络状态检修中的应用[J].武汉大学学报(工学版)

),2010,43(6):796

- [7] 吴雪峰,邱海,吕赢想.继电保护设备状态检修的探讨[J].浙江电力,2011,30(5):51.
- [8] Chris RAISTRICK, Paul FRANCIS, John WRIGHT等著; MDA与可执行UML[M].赵建华,张天.译. 北京: 机械工业出版社,2006. 17.
- [9] 吴烽,郭靖源. 信息化技术在输变电设备状态检修中的应用[J]. 电力信息化,2010(4):51.
- [10] 潘乐真,鲁国起,张焰,等. 基于风险综合评判的设备状态检修决策优化[J]. 电力系统自动化,2010,34(11):28-32.
- [11] 胡文堂,高胜友,鲁宗相,等.利用设备风险评估的检修策略优化[J]. 高压电技术,2010,36(11):2699-2704.
- [12] 王一,何奔腾,王慧芳. 基于全寿命状态的设备可靠性研究[J]. 电网技术,2011, 35(8):207.
- [13] 赵必厦,冯开平,左宗义. 基于正反向工程的模型驱动的软件开发过程研究[J]. 计算机与现代化,2010(7):136.
- [14] 李旭芳. 敏捷模型驱动开发中的UML的应用[J]. 计算机与现代化,2009(12):55.

作者简介:

周 诚(1981—), 男, 江苏南京人, 工程师, 通信工程学士学位, 主要研究领域为电力系统信息化、电力系统信息安全,

E-mail: snowmanleo@sina.com;

胡 斌(1980—), 男, 计算机学士学位, 工程师, 主要研究领域为电力系统信息。