

多源异构电网参数融合方法及工程应用

谢国财^{1,2}, 胡亚平^{1,2}, 陈炯聪^{1,2}, 余南华^{1,2}, 周华锋³

(1. 广东电网有限责任公司电力科学研究院, 广东省广州市 510080;

2. 广东省智能电网新技术企业重点实验室, 广东省广州市 510080;

3. 中国南方电网电力调度控制中心, 广东省广州市 510623)

摘要:调度中心各专业独立构建与维护各自模型参数库,缺乏协同机制导致多源电网运行参数一致性差。针对性提出一种多源异构电网运行参数融合方法。提出了对象名称匹配知识库的概念,提炼了交流线路、主变绕组及发电机3种对象名称的特征向量与匹配规则,并将其应用于两级相同专业对象名称匹配和同级不同专业对象名称匹配,实现了不同系统参数名称之间的互相辨识及对应;引入参数差异度指标衡量不同来源电网参数之间差异的大小,通过纵向参数融合与横向参数融合手段实现多源异构参数的有机融合,显著提高了不同来源参数之间的一致性。南方电网220 kV及以上大模型中的应用实践证明,该方法对于提高不同专业参数的一致性、改善基础数据的质量具有重要作用。

关键词:参数融合;多源异构;特征向量;匹配规则;知识库

0 引言

电网运行基础数据的质量直接决定电力调度控制中心各种高级分析与应用的实用化水平,也严重影响电力调度控制的准确性、可靠性及精益性。电网运行基础数据主要包含模型、参数、量测数据等部分,其中每部分均会对其质量产生直接影响。运行维护经验表明,电网参数是影响电网运行基础数据质量与状态估计结果有效性的主要因素之一。

针对电网参数问题,业界研究的焦点主要集中在参数辨识与估计算法上^[1-4],其基本原理是在假定量测数据准确无误的基础上,利用网络拓扑、各种物理约束等特性进行参数辨识与估计,整个过程类似于状态估计^[5-13]的逆过程,在提高电网参数质量方面发挥了一定作用。然而,电网量测数据的准确性受到采集、传输、处理等多环节的影响,利用准确性不可靠的量测数据去开展参数辨识与估计,其有效性与可靠性是不确定的。

目前,调度中心自动化、运行方式及继电保护等多个专业因业务需要,通常都建立了各自的模型参数库并且各自独立进行维护,因缺乏协同管理机制,很难保证其一致性,出现了“一个电网,多套参数”的

局面,即面对同一个电网,不同专业存在不同的模型参数。与此同时,下级调度中心还向上级调度中心相应专业传送电网参数信息。不同专业的参数以不同类型、不同编码与命名规则的文件形式存储,彼此之间难以互相辨识及共享参数信息,致使其不能互为校验和参考,无法达到提高各个专业参数准确性与一致性的目的。

为此,提出一种多源异构电网运行参数融合方法,其基本原理是:在充分获取不同专业参数信息的基础上,应用对象名称匹配知识库实现多源异构电网运行参数的互相辨识,通过纵向参数融合、横向参数融合技术消除多源电网参数之间的差异进而实现有机融合。该方法不仅能克服当前参数辨识与估计算法的缺陷与不足,还能逐步缩小不同专业参数数值的差异并满足各专业对高质量电网运行参数的现实需求。

1 基于知识库的对象名称匹配

目前,调度中心不同专业各自建立了若干电力生产业务系统,这些系统类别繁杂且由不同的生产厂家制造,彼此按照私有规则对设备对象进行命名,导致设备对象难以互相辨识,不便于多源参数信息的融合与共享。为了让以私有规则命名的不同系统设备对象之间能够互相辨识,需要研究不同系统之间设备对象名称匹配关系建立的方法。

收稿日期:2014-04-24;修回日期:2014-08-21。

国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA050212)。

以对象名称匹配知识库为基础,分别研究了两级相同专业、同级不同专业 2 种类型对象名称匹配方法。

1.1 对象名称匹配知识库

对象名称匹配知识库指的是完成不同系统之间设备对象名称的匹配所需知识的总称,由特征向量和匹配规则两部分构成。

对象名称特征向量是由若干标识某类对象名称基本特征的属性构成的向量,其数学表达形式为:

$$T_d = (\text{属性 } 1, \text{属性 } 2, \dots, \text{属性 } n)$$

式中: n 为对象名称特征向量 T_d 的维数。

对于交流线路、主变绕组及发电机等不同设备,其对象名称特征向量的属性构成与维数均不相同。

对象名称匹配规则是建立在特征向量基础上,用以判定不同系统对象名称之间存在相同或等价关系的约定准则。由于不同对象名称的特征向量存在差异,因而其对应的匹配规则也彼此不同。

对象名称匹配知识库的形成过程包含 4 个步骤:①搜集大量对象名称样本。从能量管理系统(EMS)、电力系统分析软件 BPA 及继电保护定值整定计算系统(以下简称保护整定系统)中获取交流线路、主变绕组及发电机 3 类对象的名称信息。②总结归纳与特征抽取。通过分析大量对象名称样本的特点,总结、提炼出反映对象名称基本特征的若干属性。③分类组合对象名称的属性,形成对象名称特征向量。④以特征向量为基础,产生判定对象名称相同或等价的对象名称匹配规则。

按照对象名称匹配知识库形成的方法与步骤,可分为交流线路、主变绕组、发电机 3 类对象名称的匹配知识库。

1) 交流线路

特征向量:一端厂站名称、二端厂站名称和线路回路编号。

匹配规则:①比较两条线路的一、二端厂站名称是否相同或具有等价关系(一、二端厂站名称顺序忽略);②当存在回路编号时,比较两条线路的回路编号是否相同,反之,判断两条线路的名称是否相同或具有等价关系。

2) 主变绕组

特征向量:厂站名称、变压器类型、变压器编号和所在电压侧。

匹配规则:①比较两个主变绕组的厂站名称是否相同或具有等价关系;②比较两个主变绕组所属的变压器类型是否相同;③比较两个主变绕组所属的变压器编号是否相同;④比较两个主变绕组所在电压侧是否相同。

3) 发电机

特征向量:厂站名称和发电机编号。

匹配规则:①比较两台发电机的厂站名称是否相同或具有等价关系;②当存在发电机编号时,比较两台发电机的编号是否相同,反之,判断两台发电机的名称是否相同或具有等价关系。

在实际运用对象名称匹配知识库设计对象名称匹配算法时,常常通过降低特征向量的维度与减少匹配规则的个数来实现对象名称匹配条件的松弛,并辅以人工干预来提高匹配算法的准确度。

1.2 两级相同专业对象名称匹配

构建两级相同专业对象名称的匹配关系的主要目的为解决上下两级调度中心相同专业对共同设备对象命名的差异化问题,这种差异性部分源自相同类型系统生产厂家不同造成设备对象命名与编码规则存在的差别,同时也由人工录入设备对象名称时普遍存在的随机性差异所引起。

通常各级调度中心均包含自动化、运行方式及继电保护等专业,因而两级相同专业对象名称匹配关系的构建也需按照这些专业分别进行。

在匹配过程开始前,需要指定基准对象和待匹配对象。以上级 EMS 的对象名称为基准对象名称,下级 EMS 的对象名称作为待匹配对象名称,其匹配关系的构建过程为:①分别获取基准对象名称和待匹配对象名称的特征向量;②按照对象名称对应的匹配规则判断 2 个特征向量是否相同或具有等价关系。如果是,则对象名称匹配成功;反之则松弛匹配条件并辅以人工干预完成对象名称的匹配。如果仍然没有建立匹配关系,那么对象名称匹配不成功。

下面通过自动化专业介绍上下两级 EMS 中交流线路、主变绕组及发电机 3 种对象名称匹配关系的构建过程。

1.2.1 交流线路

一条交流线路一般由一端厂站、二端厂站和线路名称(通常包含线路回路号信息)进行标识和说明,故可以从上下两级 EMS 的线路信息中提取其特征向量。

1) 分别提取一端厂站、二端厂站的核心词汇作为特征向量中一端厂站名称、二端厂站名称属性的值。核心词汇是指厂站名称中去掉公用词汇与特殊字符后剩下的能够标识厂站关键信息的词汇,如“沙角 A 厂”和“西江变电站”中的“厂”“变电站”为公用词汇,而其中的“A”则是特殊字符。公用词汇与特殊字符可通过总结归纳法从大量的厂站名称样本中获得。

2)采用基于正则表达式的模糊匹配法^[14]。从线路名称中提取其回路编号作为特征向量中线路回路编号属性的值。

提取出线路名称的特征向量后,根据交流线路名称的匹配规则判定上下两级 EMS 交流线路名称的特征向量是否相同或等价,并以此作为两者匹配关系构建成功与否的依据。如果不存在相同或等价的特征向量,则松弛匹配条件,仅以其中部分规则(如规则①)并通过人工干预法完成线路名称的匹配。

1.2.2 主变绕组

一个主变绕组通常由厂站名称、绕组名称(包含变压器类型、编号及所在的电压侧等信息)进行标识和说明,故可以从上下两级 EMS 的主变绕组信息中提取其特征向量。

1)特征向量中厂站名称的提取参照交流线路部分。

2)从绕组名称中提取变压器类型作为特征向量中变压器类型属性的值。变压器类型划分为普通变压器、联络变压器、其他变压器 3 种类型,标识这 3 种类型的核心词汇可通过总结归纳法从大量的绕组名称样本中获得。

3)从绕组名称中提取变压器编号作为特征向量中变压器编号属性的值,变压器编号的提取参照线路回路编号进行。

4)从绕组名称中提取所在电压侧作为特征向量中所在电压侧属性的值,标识绕组所在电压侧的核心词汇可通过总结归纳法从大量的绕组名称样本中获得。

提取出主变绕组名称的特征向量后,根据主变绕组名称的匹配规则判定上下两级 EMS 主变绕组名称的特征向量是否相同或等价,并以此作为两者匹配关系构建成功与否的依据。如果不存在相同或等价的特征向量,则松弛匹配条件,仅以其中部分规则(如规则①和③)并通过人工干预法完成绕组名称的匹配。

1.2.3 发电机

一台发电机通常由厂站名称、发电机名称(包含发电机编号信息)进行标识和说明,故可以从上下两级 EMS 的发电机信息中提取其特征向量。

1)特征向量中厂站名称的提取参照交流线路部分。

2)从发电机名称中提取发电机编号作为特征向量中发电机编号属性的值,发电机编号的提取参照线路回路编号进行。

提取出发电机名称的特征向量后,根据发电机

名称的匹配规则判定上下两级 EMS 发电机名称的特征向量是否相同或等价,并以此作为两者匹配关系构建成功与否的依据。如果不存在相同或等价的特征向量,则松弛匹配条件,仅以其中部分规则(如规则①)并通过人工干预法完成发电机名称的匹配。

1.3 同级不同专业对象名称匹配

构建同级不同专业对象名称的匹配关系的主要目的为解决调度中心内部自动化、运行方式及继电保护等不同专业之间系统设备对象命名的差异化问题,这种差异性主要源自不同类型系统设备对象命名与编码规则存在的差别,也由人工录入设备对象名称时存在的随机性差异所引起。

由于系统建设年代的差距,EMS 模型参数(对应自动化专业)、BPA 模型参数(对应运行方式专业)和保护整定系统模型参数(对应继电保护专业)的建模规则相差很大,尤其是 20 世纪 90 年代初就引入中国的 BPA 程序,其以文本形式保存数据和以不规则拼音定义对象名称的模式非常落后,给参数分析和维护工作增加了难度与不便^[15]。

由于构建同级不同专业对象名称的匹配关系涉及多个专业,故需要分别建立任意 2 个专业之间的对象名称匹配关系,此时需要设定基准专业来完成匹配关系的构建。鉴于系统对象命名与编码的标准化,选择自动化专业 EMS 的对象名称为基准对象名称,而运行方式专业 BPA 系统与继电保护专业保护整定系统的对象名称作为待匹配对象名称。EMS 与 BPA 系统、EMS 与保护整定系统的对象名称匹配关系的构建过程参照图 1 进行。

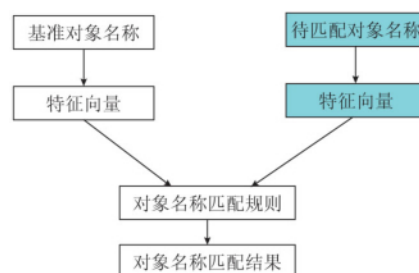


图 1 对象名称匹配流程

Fig.1 Flow chart of object name matching

鉴于保护整定系统的对象名称命名与编码规则和 EMS 类似,EMS 与保护整定系统的对象名称匹配可以参照上下两级 EMS 的对象名称匹配的详细过程进行。而 EMS 与 BPA 系统的对象名称匹配原理与总体流程跟上下两级 EMS 也相似,以下重点介绍其中的特殊之处。

1)交流线路

在 BPA 系统中,通过 2 个节点来标识一条线

路。这 2 个节点名称的字符串中一般包含 EMS 线路名称中的一端、二端厂站名称的核心词汇,或核心词汇的全拼或短拼或中拼字母字符串。根据上述特点,EMS 与 BPA 系统的交流线路厂站名称的匹配方法为:提取 EMS 交流线路一、二端厂站名称中的核心词汇及其对应的拼音字母字符串,在 BPA 系统的 2 个节点中检索是否包含上述字符串。

2) 主变绕组

在 BPA 系统中,通过 2 个节点来标识一个主变绕组。这 2 个节点名称的字符串中通常包含厂站名称、变压器编号、所在电压侧等信息。根据上述特点,提取 BPA 系统主变绕组名称的特征向量的方法为:①厂站名称的处理过程同交流线路部分;②由于节点名称中不含变压器类型信息,BPA 系统主变绕组名称特征向量中变压器类型的属性值不予填充;③从 BPA 系统节点名称 1 中获取变压器编号作为其特征向量中变压器编号属性的值;④从 BPA 系统节点名称 2 中获取所在电压侧作为其特征向量中所在电压侧属性的值(具体参考 1.2 节相应部分内容)。

3) 发电机

在 BPA 系统中,通过一个节点来标识一台发电机。这个节点名称的字符串中通常包含厂站名称、发电机编号等信息。根据上述特点,提取 BPA 系统的发电机名称的特征向量的方法为:①厂站名称的处理过程同交流线路部分;②从 BPA 系统节点名称 1 中获取发电机编号作为其特征向量中发电机编号属性的值。

2 多源异构参数融合

由于调度中心应用与维护主体的多元化,电网运行参数呈现如下鲜明特点。

1) 多来源。调度中心各专业各自独立建立了辖区内电网设备的模型参数库,而且还接收下级调度中心相应专业上传的模型参数,使上下两级调度中心的共同设备部分的参数来源多样。

2) 异构化。调度中心各专业独自建模,所采用的设备命名与编码规则差别较大,例如自动化专业使用标准公共信息模型(CIM)文件,继电保护专业采用 EXCEL 文件,而运行方式专业使用 DAT 文件。

3) 一致性差。调度中心各专业独立维护各自建立的模型参数库,进行参数更新操作时缺乏协同,易造成不同专业参数库的失步。

针对多源异构电网运行参数容易失步的问题,提出一种电网参数融合方法,通过纵向参数融合与

横向参数融合技术实现多源异构参数的有机融合,提高不同专业参数库的一致性。如图 2 所示是多源异构电网运行参数融合的原理示意图,包含参数获取与解析、纵向参数融合及横向参数融合 3 个环节。

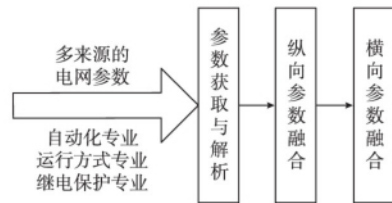


图 2 多源异构电网运行参数融合示意图

Fig.2 Schematic diagram of fusion for multi-source and heterogeneous operating parameters of power grid

2.1 纵向参数融合

纵向参数融合指的是通过消除上下两级相同专业(自动化、运行方式或继电保护)共同设备的参数差异进而实现参数在同一专业纵向上的融合。3 个专业的纵向参数融合分别单独进行,其实现过程类似,具体包含以下步骤。

1) 参数获取与解析。通过标准 Web Service 接口^[16]获取多来源的电网参数文件,包括上下两级调度中心的自动化专业 CIM 文件、继电保护专业 EXCEL 文件、运行方式专业 DAT 文件;解析异构文件获取所需的参数,供后续分析使用。

2) 两级相同专业参数匹配。通过两级相同专业对象名称匹配技术(参见 1.2 节),实现两级相同专业设备参数的匹配和对应。

3) 参数差异分析与纵向融合。引入纵向参数差异度指标表征两级相同专业之间的参数差异,如式(1)所示。

$$D_{v,i} = \frac{|X_{t,i} - X_{b,i}|}{\tilde{X}_i} \times 100\% \quad (1)$$

$$\tilde{X}_i = \frac{X_{t,i} + X_{b,i}}{2} \quad (2)$$

式中: $X_{t,i}$ 和 $X_{b,i}$ 分别为上、下两级第 i 个参数的对应取值; \tilde{X}_i 为上、下两级同一专业第 i 个参数的均值; $D_{v,i}$ 为第 i 个参数的纵向差异度,其值为上下两级参数之差的绝对值与其对应均值的比值。

由于不同系统中的参数存在有名值、标么值、铭牌值等多种表达形式,上、下两级同一专业的参数统一选取有名值进行分析计算。当某个系统中的参数以有名值之外的形式存在时,则根据该系统所采用的计算基准、计算方法将其折算为有名值后再进行后续的分析计算,以消除参数表达形式、计算基准、计算方法等方面的差异对参数分析结果的影响。

如果 $D_{v,i}$ 超过设定的阈值,说明参数的纵向差

异度较大,此时不能确定具体是哪级的参数可疑或错误,需要通过参数差异处理流转流程由上下两级分别进行参数核查,借助管理手段消除参数的差异;反之,则说明上下两级参数处于较合理的位置,经过参数合理性验证之后,通过两者的平均值替换各自参数的原始值,以此消除上下两级参数之间的微小差异。

2.2 横向参数融合

横向参数融合指的是通过消除同级不同专业的参数差异进而实现参数在不同专业之间横向上的融合。横向参数融合的具体实现过程如下。

1)分别获取经纵向融合后的自动化、运行方式及继电保护3个专业的电网参数文件。

2)同级不同专业参数匹配。通过同级不同专业对象名称匹配技术(参见1.3节),实现同级不同专业设备参数的匹配和对应。

3)参数差异分析与横向融合。引入横向参数差异度指标表征同级不同专业之间的参数差异,如式(3)所示。

$$D_{h,i} = \frac{1}{\bar{X}_i} \left\{ \frac{1}{2} [(X_{1,i} - \bar{X}_i)^2 + (X_{2,i} - \bar{X}_i)^2 + (X_{3,i} - \bar{X}_i)^2] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\bar{X}_i = \frac{X_{1,i} + X_{2,i} + X_{3,i}}{3} \quad (4)$$

式中: $X_{1,i}$, $X_{2,i}$, $X_{3,i}$ 分别为自动化专业、运行方式专业、继电保护专业的第*i*个参数的数值; \bar{X}_i 为3个专业第*i*个参数的均值; $D_{h,i}$ 为3个专业第*i*个参数的横向差异度,取值为3个专业参数的标准差与其对应均值的比值,3个专业的参数同样选取有名值进行分析计算。

当 $D_{h,i}$ 超过设定的阈值时,采用数理统计分析法定位质量较差的参数,通过 $X_{1,i}$, $X_{2,i}$, $X_{3,i}$ 和 \bar{X}_i 差值的绝对值大小来衡量参数质量的好与差,即距离均值越远的专业,其参数质量越差。在定位参数质量较差的专业后,启动该专业电网参数校核流程并人工修正质量差的参数,同时将该修正的参数同步更新至另外2个专业。如果 $D_{h,i}$ 没有超过设定的阈值,则说明3个专业的参数处于较合理的位置;经

过参数合理性验证之后,通过三者的平均值 \bar{X}_i 替换各自参数的原始值,以此消除不同专业参数之间的微小差异。

2.3 参数版本管理

由于不同来源电网模型参数库更新周期存在较大的差异性,因而提出参数版本管理功能来实现具有不同更新时标的多源参数文件的组装和对应。

参数版本管理分为纵向版本管理和横向版本管理。纵向版本管理将上下两级相同专业的2个参数文件组合在一起形成一个版本号,这2个参数文件可能具有不同的更新时标;横向版本管理将同级不同专业的多个参数文件组合在一起形成一个版本号,这些参数文件的更新时标可能彼此不同。

每次进行参数分析与融合时,均需通过参数版本管理功能生成相应的版本号。具备版本号的优势在于,能够对各个时期不同版本号的参数分析结果进行比对分析和趋势分析,据此判定电网参数质量的变化趋势。

3 工程应用

多源异构电网运行参数融合方法自2011年底在中国南方电网电力调度控制中心应用以来,南方电网220 kV及以上大模型参数的质量、状态估计遥测合格率等均得到持续改善。

1) 参数名称匹配成功率高

应用基于知识库的对象名称匹配算法实现了EMS、保护整定系统及BPA系统之间的交流线路、发电机和主变绕组3种异构对象名称的匹配,匹配结果已集成至南方电网调度管理信息系统(DMIS)平台上。交流线路名称匹配结果见附录A。

根据运维统计分析,交流线路、发电机、主变绕组3种参数名称的匹配成功率均超过90%,对于各级调度中心后续开展参数差异分析与融合奠定了基础。

2) 参数质量改善

自2011年底起,南方电网总调各专业借助参数融合方法并通过参数校核流程,不断核查调整电网模型参数。截至2013年底,全网共发现有问题的参数2 949个,向各专业流转和处理了2 600多个差异度较高的参数。元件参数变化趋势见表1。

表1 元件参数变化趋势
Table 1 Variation tendency of component parameters

版本号	变压器电阻		变压器电抗		交流线路电阻		交流线路电抗	
	差异	高相似率/%	差异	高相似率/%	差异	高相似率/%	差异	高相似率/%
2012-3-27	0.019	92.8	0.275	66.4	0.039	91.9	0.180	81.6
2013-3-29	0.015	98.8	0.196	74.4	0.026	98.1	0.175	89.0
2014-3-20	0.007	99.3	0.201	84.1	0.018	98.5	0.166	89.2

从表1可以看出:自动化、运行方式和继电保护3个专业的变压器与交流线路的参数(电阻、电抗)平均差异度逐渐变小,并且高相似率的参数占比逐渐增加,说明各个专业元件参数的质量得到了明显改善。

3) 状态估计遥测合格率显著提高

在EMS模型参数持续改善和人工对状态估计模块运维、调试的共同作用下,南方电网220 kV及以上大模型状态估计遥测合格率得到显著提升。图3是2011年11月以来的一年中大模型状态估计遥测合格率月度平均值的变化曲线,年末已超过99%,相比年初提升了近5个百分点,参数质量的改善对状态估计结果准确度提升的支撑作用得到很好体现。

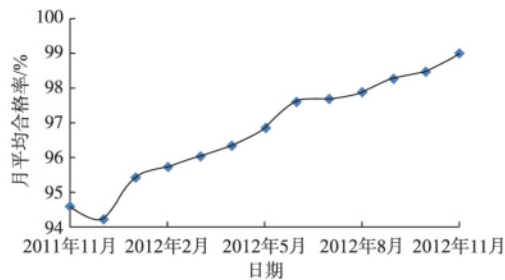


图3 大模型状态估计遥测合格率指标变化趋势
Fig.3 Qualified rate trend of state estimation telemetry in large model

4 结语

针对调度中心各专业独立构建与维护各自模型参数库容易导致多源电网运行参数一致性差的现状,提出了一种多源异构电网运行参数融合方法,取得的成果如下。

1) 提出了对象名称匹配知识库的概念,提炼了交流线路、主变绕组及发电机3种对象名称的特征向量与匹配规则,并将其应用于两级相同专业对象名称匹配和同级不同专业对象名称匹配,实现了不同系统参数名称之间的互相辨识及对应。

2) 引入参数差异度指标衡量不同来源电网参数之间差异的大小,通过纵向参数融合与横向参数融合手段实现多源异构参数的有机融合,显著提高了不同来源参数之间的一致性,为逐步实现“一个电网,一套参数”的目标奠定了基础。

尽管该方法在南方电网220 kV及以上大模型的应用中取得了一定的成效,未来仍需结合不同电压等级设备对象的特性,不断完善对象名称匹配知识库以使匹配算法具有更强的适用性和更高的匹配成功率。

附录见本刊网络版(<http://www.aeps-info.com/aeps/ch/index.aspx>)。

参考文献

- [1] 曾兵,吴文传,张伯明.基于Karush-Kuhn-Tucker最优条件的电网可疑参数辨识与估计[J].电网技术,2010,34(1):56-61.
ZENG Bing, WU Wenchuan, ZHANG Boming. A method to identify and estimate network parameter errors based on Karush-Kuhn-Tucker condition[J]. Power System Technology, 2010, 34(1): 56-61.
- [2] 陈晓刚,易永辉,江全元,等.基于WAMS/SCADA混合量测的电网参数辨识与估计[J].电力系统自动化,2008,32(5):1-5.
CHEN Xiaogang, YI Yonghui, JIANG Quanyuan, et al. Network parameter identification and estimation based on hybrid measurement of WAMS/SCADA[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(5): 1-5.
- [3] 黄彦全,肖建,李云飞,等.基于量测数据相关性的电力系统不良数据检测和辨识新方法[J].电网技术,2006,30(2):70-74.
HUANG Yanquan, XIAO Jian, LI Yunfei, et al. A new method to detect and identify bad data based on correlativity of measured data in power system[J]. Power System Technology, 2006, 30(2): 70-74.
- [4] 颜伟,宋林滔,余娟,等.基于权函数的电网参数分区辨识与估计方法[J].电力系统自动化,2011,35(5):25-30.
YAN Wei, SONG Lintao, YU Juan, et al. A divisional identification and estimation method of network parameter errors based on weight function[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(5): 25-30.
- [5] 董树锋,何光宇,孙英云,等.以合格率最大为目标的电力系统状态估计新方法[J].电力系统自动化,2009,33(16):40-43.
DONG Shufeng, HE Guangyu, SUN Yingyun, et al. A novel method for power system state estimation with maximum good measurement rate[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(16): 40-43.
- [6] 常乃超,王彬,何光宇,等.以测点正常率最大为目标的状态估计改进算法[J].电力系统自动化,2014,38(11):62-67.
CHANG Naichao, WANG Bin, HE Guangyu, et al. An improved algorithm for state estimation based on maximum normal measurement rate[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(11): 62-67.
- [7] 何光宇,董树锋.基于测量不确定度的电力系统状态估计:(二)方法研究[J].电力系统自动化,2009,33(20):32-36.
HE Guangyu, DONG Shufeng. Power system static-state estimation based on uncertainty of measurement: Part II new method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(20): 32-36.
- [8] 何光宇,董树锋.基于测量不确定度的电力系统状态估计:(三)算法比较[J].电力系统自动化,2009,33(21):28-31.
HE Guangyu, DONG Shufeng. Power system static-state estimation based on uncertainty of measurement: Part III compare of algorithms [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(21): 28-31.
- [9] 李大虎,曹一家.基于SCADA/PMU混合量测的广域动态实时状态估计方法[J].电网技术,2007,31(6):72-78.
LI Dahu, CAO Yijia. Wide-area real-time dynamic state

- estimation method based on hybrid SCADA/PMU measurements[J]. Power System Technology, 2007, 31(6): 72-78.
- [10] 李青芯,孙宏斌,王晶,等.变电站-调度中心两级分布式状态估计[J].电力系统自动化,2012,36(7):44-50.
LI Qingxin, SUN Hongbin, WANG Jing, et al. Substation-dispatch center two-level distributed state estimation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(7): 44-50.
- [11] 何桦,柴京慧,卫志农,等.基于量测残差的改进参数估计方法[J].电力系统自动化,2007,31(4):33-36.
HE Hua, CHAI Jinghui, WEI Zhinong, et al. Improved method of parameter estimation based on measurement residuals[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(4): 33-36.
- [12] 何光宇,董树锋.基于测量不确定度的电力系统状态估计:(一)结果评价[J].电力系统自动化,2009,33(19):21-24.
HE Guangyu, DONG Shufeng. Power system static-state estimation based on uncertainty of measurement: Part I result evaluation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(19): 21-24.
- [13] 丁宏恩,高宗和,苏大威,等.混合量测状态估计相角参考点坏数据问题的处理方法[J].电力系统自动化,2014,38(9):132-136.
DING Hongen, GAO Zonghe, SU Dawei, et al. Solution to bad data problem of phase angle reference bus for state estimation with hybrid measurement [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(9): 132-136.
- [14] 杨成科.基于正则表达式的模糊查询和数据匹配验证[J].电脑知识与技术,2008,4(2):411-412.
YANG Chengke. Fuzzy query and data validations based on regular expression[J]. Computer Knowledge and Technology, 2008, 4(2): 411-412.
- [15] 胡亚平,周华锋.基于统一元件参数管理的电力系统状态估计维护研究与应用[J].广东电力,2012,25(10):108-112.
HU Yaping, ZHOU Huafeng. Research and application of state estimation and maintenance of power system based on unified component parameter management [J]. Guangdong Electric Power, 2012, 25(10): 108-112.
- [16] 汪际峰.南方电网一体化电网运行智能系统建设初探[J].南方电网技术,2012,6(2):1-5.
WANG Jifeng. A preliminary investigation on development of operation smart system for China Southern power grid[J]. Southern Power System Technology, 2012, 6(2): 1-5.

谢国财(1985—),男,通信作者,博士研究生,主要研究方向:电力设备状态监测、故障诊断及电力系统调度自动化。
E-mail: xgc30@163.com

胡亚平(1986—),男,硕士研究生,主要研究方向:电力系统调度自动化。

陈炯聪(1979—),男,硕士研究生,教授级高级工程师,主要研究方向:电力系统调度自动化。

(编辑 王梦岩 章黎)

A Fusion Method for Multi-source and Heterogeneous Parameters of Power Grid and Its Engineering Application

XIE Guocai^{1,2}, HU Yaping^{1,2}, CHEN Jiongcong^{1,2}, YU Nanhua^{1,2}, ZHOU Huafeng³

(1. Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou 510080, China;

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Smart Grid Technology, Guangzhou 510080, China;

3. Power Dispatching & Control Center of China Southern Power Grid, Guangzhou 510623, China)

Abstract: With each profession independently developed and its model parameter library in the dispatch center maintained by itself, poor consistency among multi-source parameters of power grid for lack of a coordination mechanism is inevitable. In view of this, a fusion method for multi-source and heterogeneous parameters of power grid is proposed. The concept of the object name matching knowledge database is put forward, and characteristic vectors and matching rules for three kinds of object names are refined, such as AC lines, transformer windings and generators, which have been applied in the object name matching for the same profession of two levels and different professions of the same level, realizing mutual recognition and correspondence among the parameter names of different systems. The differential index of the parameter is introduced to measure the difference among different sources of parameters, and the organic fusion for multi-source and heterogeneous parameters has been achieved through vertical parameter fusion and transverse parameter fusion, significantly improving the consistency among the parameters from different sources. This method has an important role in improving the consistency among parameters from different professions and enhancing the quality of basic data, which has been proved by actual application in the 220 kV and above power grid of China Southern Power Grid.

This work is supported by National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (No. 2012AA050212).

Key words: parameter fusion; multi-source and heterogeneous; characteristic vector; matching rules; knowledge database