[GIS数据]

融合电网运行数据的GIS数据质量提升方法研究

文/梁添增
厦门亿力吉奥信息科技有限公司

电网GIS平台管理的电网资源基础数据是各业务系统数据融合、深化应用等功能实现的重要保证和前提，其数据质量直接影响各业务系统实用化水平。针对电网GIS平台在设备台账属性、网架拓扑等方面的存量数据问题，以电网运行大数据为依据开展分析研判，设计完整的问题数据检测机制，提出一种电网GIS数据质量提升方法，该方法的实施可不断提高电网GIS基础数据质量，增强电网GIS业务应用的实用性。

地理信息系统（Geographic Information System，GIS），是国际上近年来发展迅速且应用广泛的一门新兴科学，能把地理数据转换成空间几何数据和属性数据来显示，表现地理空间实体的位置、大小、形状、拓扑几何关系以及状态[1]。国际上GIS技术开始于20世纪60年代，随后得益于计算机行业的迅猛发展，GIS技术也进入一个高速发展阶段[2]。我国GIS技术研究工作起步较晚，但经过数十年的追赶，目前我国GIS技术已成熟地应用到各行各业，服务于人们的生产生活等各个方面[3]。

20世纪80年代末到90年代初，欧美国家的相关公司开始将GIS技术引进到电力行业中，并在电网的管理规划方面发挥了重要作用[4-5]。20世纪90年代中后期，国家电网各个地区子公司先后将GIS技术引进以便用于电力行业的发展，拉开了GIS技术在国内电力行业推广应用的序幕，电网GIS平台由此诞生。时至今日，GIS技术已得到全国各地电力企业的广泛应用，有效加快电力行业产业改造和技术管理的改革。但由于涉及数据量大、数据变化频繁、平台关系模型调整、新老系统数据迁移和数据源头录入有误等原因，导致电网GIS基础数据质量问题始终难以根除。

针对电网GIS基础数据质量管理难题，业内学者相继提出了解决方法。文献[6]设计电网GIS基础数据质量管理工具，通过制定分类标准对数据的规范性与合理性进行校核，并优化数据质量管理流程。文献[7]研制了基于图形数据的质量管控工具，主动对全库数据进行质量检查，但只能将数据的字面错误纠正到合理的范围之内，无法解决图实不一致等更深层次问题。有异于对格式、阈值等文本属性的检查，本文通过GIS空间分析能力，借助对电力设备多时态运行数据所组成的电网运行大数据的分析结果，提出了一种新的GIS数据质量提升方法。该方法可对系统记录值与实际运行值进行比对研判，结合网架拓扑及设备属性等信息，实现对电网GIS平台中存量异常电网资源数据的判别功能，有效提高基础电网资源数据真实性与准确性。

电网GIS平台概述

GIS系统通过把地图可视化效果、地理分析功能与数据库操作集成在一起，有效地对多时期的电网资源状况及生产活动变化进行动态监测和分析比

基金项目：河北省高等学校科学技术研究重点项目（ZD2022162）《面向有源配电网典型场景的关键设备数字孪生混合驱动模型研究》

较，也可将数据收集、空间分析和决策过程综合为一个共同的信息流，明显地提高工作效率和经济效益。电网GIS平台定位为企业中台的一个重要技术底座，致力于构建输、变、配、用一体的数字化电网，为国网公司提供统一地图、电网资源图形和地理位置等共享服务。

目前，电网GIS平台在电力行业的规划、建设、运行、检修和营销环节发挥了巨大的作用，有效支撑线路设计、电力调度、运行维护、故障研判、灾后抢修、应急指挥和停复电管理等众多场景，为解决电网资源管理问题及保障可持续发展提供技术支持。平台总体架构如图1所示。

图1　平台总体框架图

电网GIS资源数据

1. 数据类型

电网GIS中的资源数据包括地理信息空间数据、电网资源空间数据与电网资源属性数据。地理信息空间数据主要是为电网业务运行提供地理空间参照，作为背景底图使用。电网资源空间数据主要是指电网业务应用中具有空间坐标位置的专题数据，是电网GIS管理的核心数据，能准确描述电网设备经纬度、角度和大小等空间状态信息，同时也能反映电网设备与设备之间关系。电网资源属性数据只包括设备对象的公共参数，设备对象的专业参数由业务系统（生产管理系统、营销系统等）存储。电网资源空间数据通过设备对象唯一标识与电网资源属性数据进行关联，从图形层面与属性层面共同描述设备信息，如图2所示。

全网电力设备的电网资源空间数据与属性数据共同组成一个庞大的数据集合，设备之间通过设备间拓扑关系进行联系，以电网网架的形式在电网GIS中的表现。

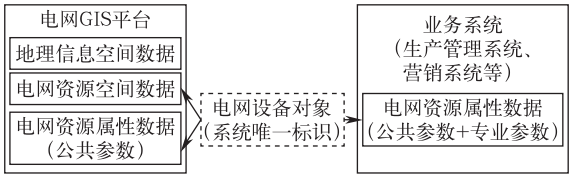

图2　属性关联图

2. 电网网架

完整的电网网架包含发电、输电、变电、配电和用户等电力传输全环节链路，能直观呈现电力设备在网架中的具体位置、方向及前后电气接线关系等信息。配电网网架以变电站为电源点，以变电站母线下的站内断路器（出线开关）为线路起点，以低压用户计量箱为线路末端，按线路的形式进行网架的细化管理。电网GIS平台中线路网架结构示意图如图3所示。

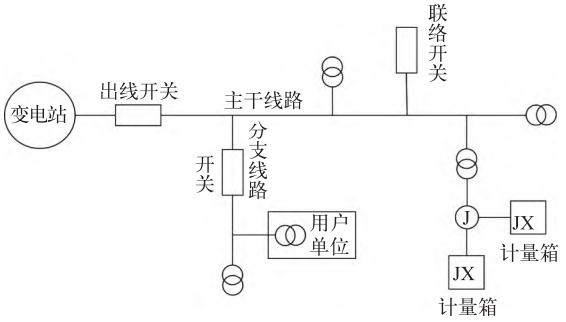

图3　网架结构示意图

以地理信息空间数据为底图，在其之上叠加电网网架图层，得到电力行业的“地理图”。地理图根据电力设备实际的地理位置坐标，在地图上对其经纬度进行精确标注并绘制设备图元，精确还原设备方位、线路走向和设备周边环境条件等地理空间信息。单条线路的地理网架由点、线、面三类设备连接组合而成，可清晰展示供电线路整体的地理沿布走向，准确描述线路所有设备的实际地理信息与拓扑连接关系，可快速定位线路中某一设备的实际地理位置与其上下游的邻接设备。

同一个供电区域中各线路根据实际地理位置在基础地图上进行沿布，线路网架图形在变电站和线路联络点处交汇联络，最终在区域地图之上构成一个庞大的网状结构。

电网资源数据质量

1. 电网资源数据质量特征

电网GIS平台与其他GIS系统一样，包含的电网资源数据同样具备矢量数据的特性，主要有下面几个方面的特征。

1）一致性。在电网GIS平台中，需要表示的地物有各种电力设备、输电线路、道路和河流建筑等，为了方便区分管理，每一类地物需要用同一种符号表示。

2）完整性。表示在指定区域内实际地物在GIS地图上表示的完整程度。电网网架数据容易由于采集、录入、迁移和更新等过程中出现各类信息的重复、遗漏或者失真，使得数据不够完整。

3）实时性。电网GIS平台电网网架数据量非常大，数据采集录入需要一定的时间，而在实际电网运行维护中，电力设备新投异动十分频繁，网架结构时时刻刻都在发生变化，极有可能导致数据的实时性不高的问题。

4）准确度。描述实测值与真实值之间的差值，差值越小，准确度越高。

5）精度。在电网GIS平台中电网网架数据的精度是描述与实际物理网架的相差程度，精度越高，说明与实际物理网架结构越吻合。

2. 影响GIS数据质量的因素

电网资源数据是各电力业务系统数据融合、深化应用等功能实现的基础前提，数据质量直接影响系统建设质量和实用化程度。电网GIS平台数据质量一定程度上制约了上层业务应用的投运质效。影响其数据质量有以下因素。

1）数据异动频繁。电力网是一个庞大且复杂的网络结构，每天都有许多设备新投异动事件发生，其中涉及新装、切改、更换和退运等多种异动类型。电网结构的频繁变更未及时与线上系统进行数据同步更新，加之新投异动流程专业性较强，复杂程度较高，在操作过程中极易导致人为的更新遗漏、更新错误等情况，将直接影响平台的数据质量。

（2）关系模型调整。信息系统在迭代演进过程中避免不了对内部关系模型的调整，电网GIS平台在上线之初，将空间数据与拓扑数据进行一体化存储，但在系统建设中期，出于公共服务设计考虑，新增公共拓扑表设计，利用该表存储的拓扑数据实现拓扑分析及电网图形共享交换功能。公共拓扑表数据同步于图形拓扑表，导致后续由分表冗余存储及数据同步引起的数据质量问题明显，如公共拓扑表中出现部分设备对象数据缺失等问题。

3）数据迁移。电网GIS平台发展至今，已经历多次大版本迭代，而每次升级都会有新老系统数据迁移的问题。由于数据模型设计差异，数据迁移实施人员容易对新系统或老系统的平台关系模型元数据定义理解错误，在新系统中引起数据质量问题。

4）数据录入质量不高。在系统基础数据采集过程中，常因手工采集进度不够、操作不规范等人为因素，导致采集结果出现较大误差。在数据录入环节，由于缺乏完善的校验机制，无法对录入数据进行全维度的数据合规性校验，导致录入数据质量不达标的情况常有发生。

融合电网运行状态大数据的GIS数据检测方法与内容

1. 电网运行状态大数据

伴随着信息和通信技术的高速发展，电力量测装置也不断更新换代，如今电力量测已基本实现实时传输。目前，国内最主要的量测数据来源于监控数据采集系统（Supervisory Control And Data Acquisition，SCADA）。通过在对应设备节点处安装量测装置，将电力运行设备与量测装置进行绑定，从而实现对设备的远程状态数据获取。量测数据一般包括母线节点注入有功及无功功率、支路传输有功及无功功率、母线电压幅值、变压器节点输出负荷和绕组电流、电压等，每隔2 s进行一次数据的采集和传送。目前国内SCADA装置几乎遍布所有量测节点，使得实现全网节点电气参数的实时监测及获取成为可能。

然而，通过SCADA采集的电气数据仅可以描述电网运行工况，却无法完整反映出电力系统的实时状态，电网系统运行时会受到包括环境、气象在内的多种非电气因素影响。业内学者也意识到，不能仅凭电气参数这一单一数据源完成对电网运行状态的估计与监测，目前国内外已基本实现电网多源数据的监测，监测过程大致如图4所示。

能量管理系统（Energy Management System，EMS）可对发电厂、变电站和配电变电站电气数据进行监测，网络在线监测系统可对并网线路、输电网线路及配电网线路潮流进行监测。配电监测系统可监测配电线路及配电变压器，负荷监测系统可对用电负荷进行监测。除此之外，大量的环境数据也会通过微气象监测装置实时采集气象数据，如山火雷电信息，温度湿度检测，变压器油温油质气体监测等，多维度多种类的电力大数据实时汇聚到电网调度中心。

2. 融合电网运行大数据的GIS数据检测分析

（1）属性异常检测

静态参数与动态参数对比检测，以单条馈线为单位开展设备动静态参数对比检测，根据不同类型电网设备个性化指定重点检测字段，如母线电压、绕组及开关设备电压、电流、变压器功率等。检测时，实时获取设备运行数据，如电流、电压、有功和无功等信息，结合欧姆定律便可获得设备在该时刻的电压、电流、功率和阻值等基本电气参数，然后通过设备唯一识别ID在系统数据库中查找当前检测设备的电气属性数据，将设备实际电气参数与库中设备的静态额定参数进行对比，可快速检出运行异常的设备。当设备的某一项参数的运行值稳定在额定值的误差阈值之外（同一设备连续两次量测

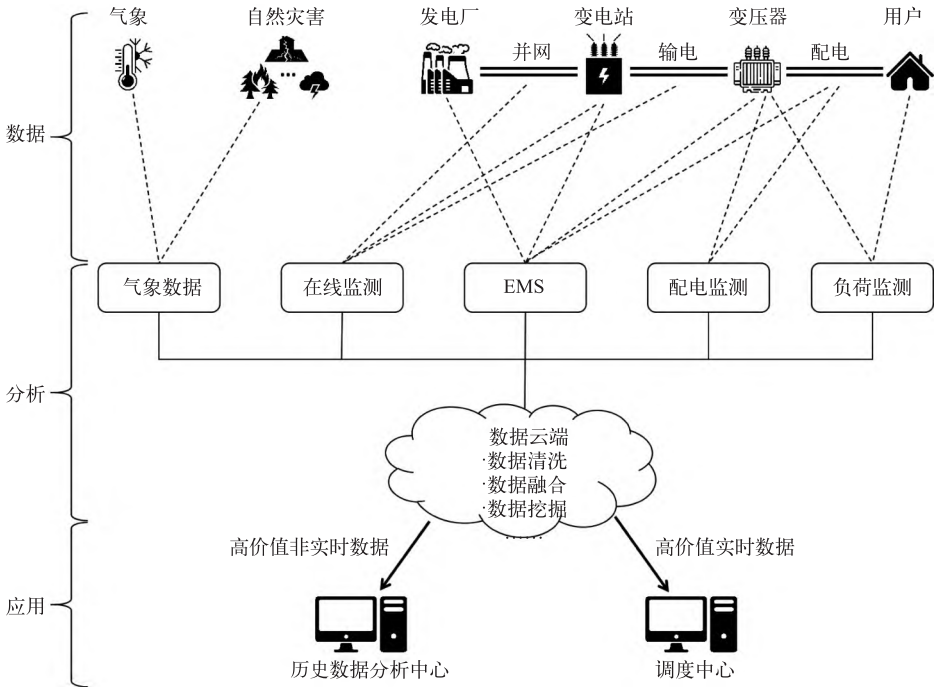

图4　电力运行监测数据采集示意图

值异常，两次量测间隔2 min以上），且未从EMS获取到该设备相关的故障事件，则可认定该设备正常运行和设备实际的额定参数与数据库中记录的不符，存在图实不一致问题，将给出属性错误提示，并对应生成属性异常清单。

（2）拓扑异常检测

状态矩阵对比检测，在网架结构没有改变的情况下，理论上同一条馈线中主要设备节点的量测信息不会发生太大的变化。对馈线中的电气设备根据设备间的拓扑连接关系进行简化，过滤掉线类型设备，仅保留关键点类型设备，将拓扑连接形式从“点-线-点”简化成“点-点-点”形式，如原有“点设备A-线设备B-点设备C-线设备D-点设备E”的网架拓扑结构，经简化后变为“点设备A-点设备C-点设备E”。针对这些关键设备及其运行状态建立对应的信息矩阵，通过初态阵与运行态阵的异同比对，若结果存在异同，说明该线路可能存在图实不一致的情况，可反向定位运行状态出现异常的设备，辅助开展数据核查治理。

基于简化后的线路设备结构，建立n行10列的设备初态关联阵DM描述馈线中主要点设备和关联设备情况，若简化后馈线中点设备数量为m，则n为满足$10\times n\geqslant m$的最小取值，具体为

$$\mathrm{DM}=\begin{bmatrix} DI_{11} & DI_{12} & \cdots & DI_{110} \\ DI_{21} & DI_{22} & \cdots & DI_{210} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ DI_{n1} & DI_{n2} & \cdots & DI_{n10} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中，DI_{11}为馈线中第一个点设备的唯一标识（一般为该线路的出线开关）；DI_{12}为DI_{11}关联的子设备；DI_{nm}为馈线的第$(n-1)\times 10+m$个点设备，其中，n为大于0的正整数，m=1,2,3,⋯,10；若该节点设备不存在，则为−1。

建立设备初态运行工况阵DIM描述馈线中主要点设备和关联设备的初始运行状态，具体为

$$\mathrm{DIM}=\begin{bmatrix} IC_{11} & IC_{12} & \cdots & IC_{110} \\ IC_{21} & IC_{22} & \cdots & IC_{210} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ IC_{n1} & IC_{n2} & \cdots & IC_{n10} \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$IC_{nm}=\begin{bmatrix} cs_{nm,1} & \mathrm{cs}_{nm,2} & \mathrm{cs}_{nm,3} \end{bmatrix}$$

式中，IC_{nm}为设备初态关联阵DM中元素DI_{nm}的初始运行状态信息阵；$cs_{nm,1}$为设备DI_{nm}的遥信状态，若设备DI_{nm}为开断设备且分闸，则其值为0，若合闸则其值为1，若不是开断设备，则其值为−1；$\mathrm{cs}_{nm,2}$为设备DI_{nm}的电流量测值（整数值）；$\mathrm{cs}_{nm,3}$为设备DI_{nm}的电压量测值（整数值）。

建立设备动态运行工况阵DDM描述馈线中主要点设备和关联设备的动态运行状态，具体为

$$\mathrm{DDM}=\begin{bmatrix} DC_{11} & DC_{12} & \cdots & DC_{110} \\ DC_{21} & DC_{22} & \cdots & DC_{210} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ DC_{n1} & DC_{n2} & \cdots & DC_{n10} \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$DC_{nm}=\begin{bmatrix} ds_{nm,1} & ds_{nm,2} & \mathrm{ds}_{nm,3} \end{bmatrix}$$

式中，DC_{nm}为设备初态关联阵DM中元素DI_{nm}的动态运行状态信息阵；$ds_{nm,1}$为设备DI_{nm}的遥信状态，若设备DI_{nm}为开断设备且分闸，则其值为0，若合闸则其值为1，若不是开断设备，则其值为−1；$ds_{nm,2}$为设备DI_{nm}的电流量测值（整数值）；$ds_{nm,3}$为设备DI_{nm}的电压量测值（整数值）。

建立设备初态-动态运行工况差异阵DOM描述设备初态运行工况阵DIM和设备动态运行工况阵DDM之间的相似情况，具体为

$$\mathrm{DOM}=\begin{bmatrix} DO_{11} & DO_{12} & \cdots & DO_{110} \\ DO_{21} & DO_{22} & \cdots & DO_{210} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ DO_{n1} & DO_{n2} & \cdots & DO_{n10} \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$\mathrm{DOM}=\mathrm{DIM}\odot\mathrm{DDM}$$

$$\mathrm{DO}_{\mathrm{nm}}=\begin{bmatrix} do_{nm,1} & do_{nm,2} & do_{nm,3} \end{bmatrix}$$

式中，DO_{nm}为设备初态运行工况阵DIM中元素IC_{nm}和设备动态运行工况阵DDM中元素DC_{nm}之间的差异矩阵。其中，$do_{nm,1}$，$do_{nm,2}$，$do_{nm,3}$分别为

$$\begin{cases} do_{nm,1}=cs_{nm,1}\odot ds_{\mathrm{nm},1} \\ do_{nm,2}=cs_{nm,2}\odot ds_{\mathrm{nm},2} \\ do_{nm,3}=cs_{nm,3}\odot ds_{\mathrm{nm},3} \end{cases} \tag{5}$$

式中，“⊙”为同或运算符；比对的两个元素相同为1，相异为0。

建立设备初态-动态运行工况差异逻辑阵DLM对设备初态-动态运行工况差异阵DOM进行逻辑化，具体为

$$\mathrm{DLM}=\begin{bmatrix} DL_{11} & DL_{12} & \cdots & DL_{110} \\ DL_{21} & DL_{22} & \cdots & DL_{210} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ DL_{n1} & DL_{n2} & \cdots & DL_{n10} \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$\mathrm{DL}_{nm}=[do_{nm,1}\,\&\,do_{nm,2}\,\&\,do_{nm,3}]$$

式中，“&”为按位与运算符，若比对的两个元素有0则运算结果为0，如果比对的两个元素全为1是则运算结果为1；DL_{nm}为设备初态-动态运行工况差异阵DOM中元素DO_{nm}的逻辑值。

建立设备初态-动态运行工况校验逻辑值DOL描述设备初态-动态运行工况差异逻辑阵DLM的校验结果，具体为

$$DOL = DL_{11} \& DL_{12} \& \cdots \& DL_{nm} \quad (7)$$

式中，“&”为按位与运算符，若比对的两个元素有0，则运算结果为0；如果比对的两个元素全为1，则运算结果为1。

馈线中各设备元件运行时的电压、电流理论上应稳定维持在某一正常数值，故设备初态运行工况阵DIM与设备动态运行工况阵DDM应始终相似，初态-动态运行工况校验逻辑值DOL的运算结果应始终为1。若DOL运算结果为0，则说明线路中至少有一个设备的运行状态发生了改变，而导致这一变化的原因极有可能是因为线路发生了异动而未及时同步至系统数据库，导致图实不一致问题的发生，此时系统将通过回溯运算过程，对异同元素进行定位，确定问题对象设备，并将对象设备ID及数据问题描述整合成检查治理建议发送给用户，辅助后续的线路数据治理工作。

（3）电网设备位置合理性验证

基于地理位置验证，依托电网GIS平台的地理图，结合电网网架数据与地理空间分析，实现对电站、站外开关和杆塔等设备的位置合理性校验。通过电网网架获取对象设备的设备类型与坐标位置等信息，根据坐标信息在基础地图中进行定位，对目标位置进行空间分析，判断当前位置是否满足设备架设的条件，如果当前位置是河流、海洋、铁路和道路等非电力设备常规安装位置或者电缆段等线设备穿越建筑物，说明该处出现设备涉水、电缆穿墙等问题，则会提示用户进行核实。若核实结果与系统数据不符，则更新系统数据，反之则等待用户进行施工调整并同步系统数据。

基于环境与运行数据验证，结合气象监测数据与设备运行数据，重点关注长期处于潮湿、高温和低温等极端环境的设备，密切监测电气运行参数的变化，若运行参数不稳定或不在合理的数值范围内，则认为该设备为易故障设备或临故障设备，并提示用户对设备进行检查维护。

结束语

电网GIS平台作为目前国网公司管理电网资源数据的基础平台，其数据质量直接影响各业务系统实用化水平，关乎供电服务品质。本文所提出的融合电网运行大数据的GIS数据质量提升方法，依托GIS平台网架数据及空间分析能力，结合电力运行大数据进行分析研判，实现对电网资源数据的属性、拓扑及位置合理性的校核，弥补传统数据检测方法只能针对数据的字面错误进行纠正的不足，将检测范围从规范性、结构性检查延伸至图实一致性校核，发现常规检测手段难以发现的数据问题，从而进一步提高电网GIS平台基础数据质量。EA

（收稿日期：2024-04-16）

参考文献

[1] 江新清．地理信息系统在电力行业的应用综述[J]．湖北电力，2006，30(3)：42-44．
[2] 霍江．地理信息系统技术在森林资源管理中的应用研究[J]．农技服务，2016，6(2)：32．
[3] 朱晓华，闾国年．地理信息系统技术在我国的应用与存在的问题[J]．科技导报，2001(5)：37-39．
[4] 张凤翱，李国平．基于载波通信技术的低压配电网设备自动化识别系统[J]．浙江电力，2017，36(4)：60-63．
[5] 科研，盛万兴，张东霞，等．智能配电网大数据应用需求和场景分析研究[J]．中国电机工程学报，2015，35(2)：287-293．
[6] 唐凯，钟一俊，吴惠芬，等．电网GIS基础数据质量管理工具设计与应用[J]．电力信息与通信技术，2016，14(2)：98-101．
[7] 凌笑，易衍孜．基于电网GIS平台的电网资源图形数据质检工具[J]．电力信息与通信技术，2017，15(2)：23-26．
[11] 刘海涛，尹洪苓，赵新爽．基于B/S架构的电网图形平台[J]．电子技术与软件工程，2013(24)：183-185．