

基于公共信息模型的区域风电集控 SCADA 系统的设计与实现^①

梁 涛^② 徐紫君^③ 杨改文 许 琰

(河北工业大学控制科学与工程学院 天津 300130)

摘 要 分析指出,随着风电场不断扩大、升级和改造,建立多风场区域集控中心已成为降低风电运维成本的主要策略,但实施该策略迫切需要解决不同风机厂家的风电机组数据接口标准各异的难题。为了实现数据接口统一,研究了风电场在公共信息模型(CIM)中的结构关系以及基于 IEC61400-25 的风电场模型到 CIM 风电场模型的映射方法,建立了风电场和风机量测数据的 CIM,详细设计了 CIM 在数据库中的实现以及 CIM 与量测点在数据库中的关联。实现了区域风电场的统一监控、数据共享以及量测点的统一关联,为风电机组数据接口的标准化以及风电机组的大数据共享奠定了基础。

关键词 风电场,公共信息模型(CIM),数据结构,模型映射

0 引 言

近些年风力发电产业迅猛发展,风电场规模不断扩大,大型风电场的建立和运行使得实现区域风电集中监控成为削减成本、提升现有经营效益的主要策略^[1,2],但在实施过程中也出现了一系列问题:现有的风电场数据采集与监视控制(supervisory control and data acquisition, SCADA)系统无法融入电力系统资源,难以实现风电场和电网之间数据共享和信息交换;不同风机厂家的风电机组数据接口标准各异,无法对不同厂家的风电机组实现统一监控和优质对标;随着风机数量的增长,风机量测点的关联工作量剧增。因此风机数据接口标准化和模型的映射成为业界备受关注的焦点。

IEC61970-301 CIM (common information model, 即公共信息模型)提供了面向对象、可抽象化、可扩展的语义模型,基于 CIM 对电力系统的物理设备进行抽象,将得到的系统模型映射到关系数据库以实现不同应用以及系统之间的信息集成和共享^[3-5],

使得多个厂家的应用可以在一个能量管理系统(energy management system, EMS)环境中应用。为了从 SCADA 数据中更好地判断风机的运行状态,需要建立更准确的系统模型^[6]。对此问题诸多学者对风电场模型和 SCADA 系统进行了深入的研究。文献[7]建立了风力机的模型。文献[8]通过 IEC61850 与 CIM 融合,建立了基于 CIM 的一次设备和二次设备的保护模型。文献[9]建立了风力发电机组的状态监测系统。文献[10]建立了在历史库和实时库环境下的 CIM 模型。文献[11]设计出了基于 IEC61400-25 的风电场 SCADA 系统,并对风机逻辑节点进行了设计。文献[12,13]分别给出了集中监控管理风电场和海上风电数字化集中监控的构想。文献[14]建立了基于 IEC61850 的主动配电网无功监测系统。以上文献都没有建立风电场的 CIM,没能解决各厂家风机数据接口不同的问题,没有实现区域风电场的统一监控。

本文以 IEC61400-25、IEC61970-301 部分和 IEC61850 为基础,克服了风电场 SCADA 系统无法融入电力系统资源以及不同厂家风机数据接口存在

① 河北省科技计划(16214510D)资助项目。

② 男,1975 年生,博士,教授;研究方向:自动控制、风力发电等;E-mail: 851710853@qq.com

③ 通信作者 E-mail: 851710853 @ qq.com

(收稿日期:2017-10-27)

差异性的难题,用面向对象的设计方法,遵循 CIM 的扩展原则对风电场、风电机组量测点进行建模并在数据库实现了上述模型以及风电机组统一关联量测点的功能,这大大减轻了风电机组关联量测点的工作量,节省了度电成本,最终实现了区域风电场的统一监控和数据共享,为风电机组数据接口的标准化以及风电机组的大数据共享奠定了基础。

1 风电场模型的建立

IEC61400-25 标准的制定旨在解决风电场不同设备厂商之间的通信问题。该标准规定了风电场监控的通信原理和模型概述。IEC61400-25-2 标准定义了风电场通用信息模型,规定了风电场的两类逻辑节点:一类是系统特定的逻辑节点,另一类是风电场特定的逻辑节点。例如 IEC61400-25 标准将风电机组分为 13 个逻辑节点,这些逻辑节点按照功能将风电机组物理设备进行分解,分解的逻辑节点如表 1 所示,其中有 7 个被列为可选逻辑节点,其余全

表 1 风电机组特定的逻辑节点

逻辑节点类	描述	M/O
WTUR	风电机组通用信息	M
WTRM	风电机组传动信息	O
WGEN	风电机组发电机信息	M
WYAW	风电机组偏航信息	M
WCNV	风电机组变流器信息	O
WTRF	风电机组变压器信息	O
WROT	风电机组风轮信息	M
WNAC	风电机组机舱信息	M
WTOW	风电机组塔筒信息	O
WALM	风电场报警信息	M
WSLG	风电机组状态日志信息	O
WALG	风电机组模拟量日志信息	O
WREP	风电机组报表信息	O

部为强制性逻辑节点,报警信息是与风电机组设备无关的逻辑节点。图 1 为根据逻辑节点描述的风电机组的实际例子。

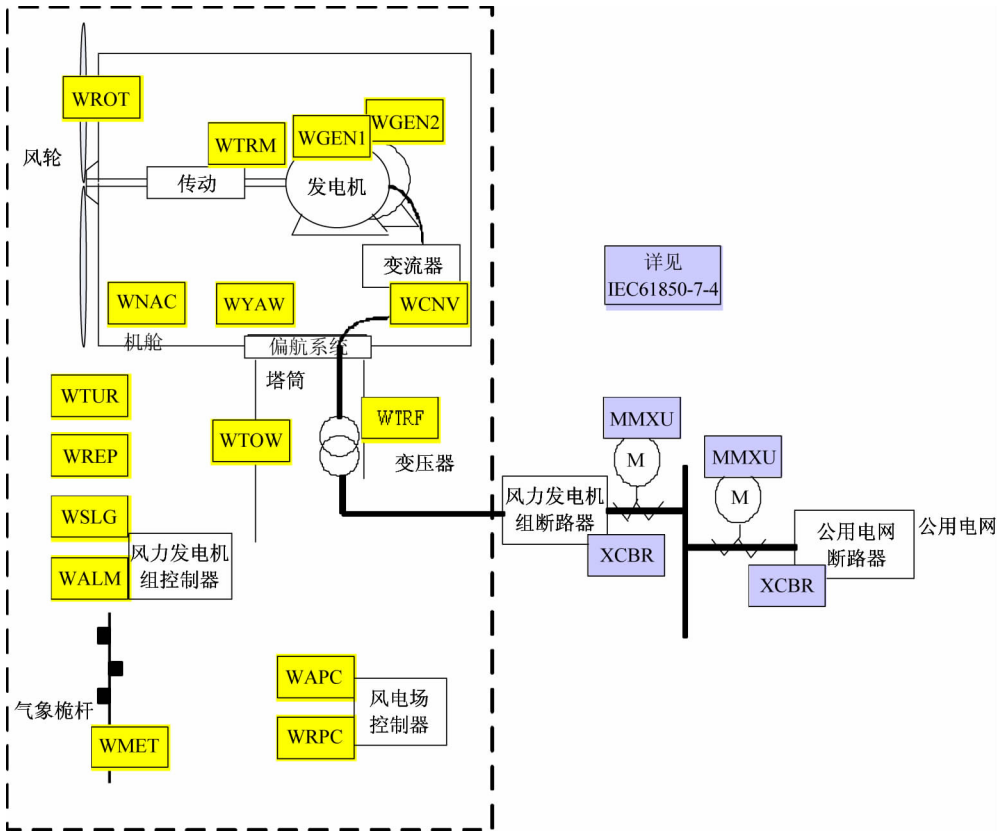


图 1 风电机组逻辑节点实例

本文扩展建立的风电场模型是按照 CIM 中变电站的结构模型进行建立的,在建立的风电场 CIM 中风电场等同于一个变电站。遵循 CIM 的扩展规则在风电场下建立电压等级,在电压等级下建立间隔,在间隔下建立风电机组,同时在风电场下扩展测风塔,在测风塔下扩展测风通道。因此基于 CIM 的区域风电场模型层次关系如图 2 所示。

在 IEC61970 的 CIM 中没有风电场的包,因此本文根据 IEC61400-25 标准中规定的逻辑节点对现有的模型进行扩展。例如风电场是一组设备的聚合,在 CIM 中风电场即为一个设备容器,风电场 CIM 在一定程度上和 Substation 类似^[15],可以从

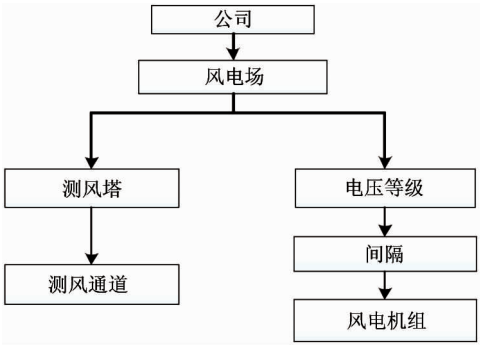


图 2 区域风电场模型层次图

PowerSystemResource 中的 EquipmentContainer 中扩展 WindPlant 用来描述风电场。通过对风电场 CIM 的分析,得出了本系统的 CIM 结构图如图 3 所示。

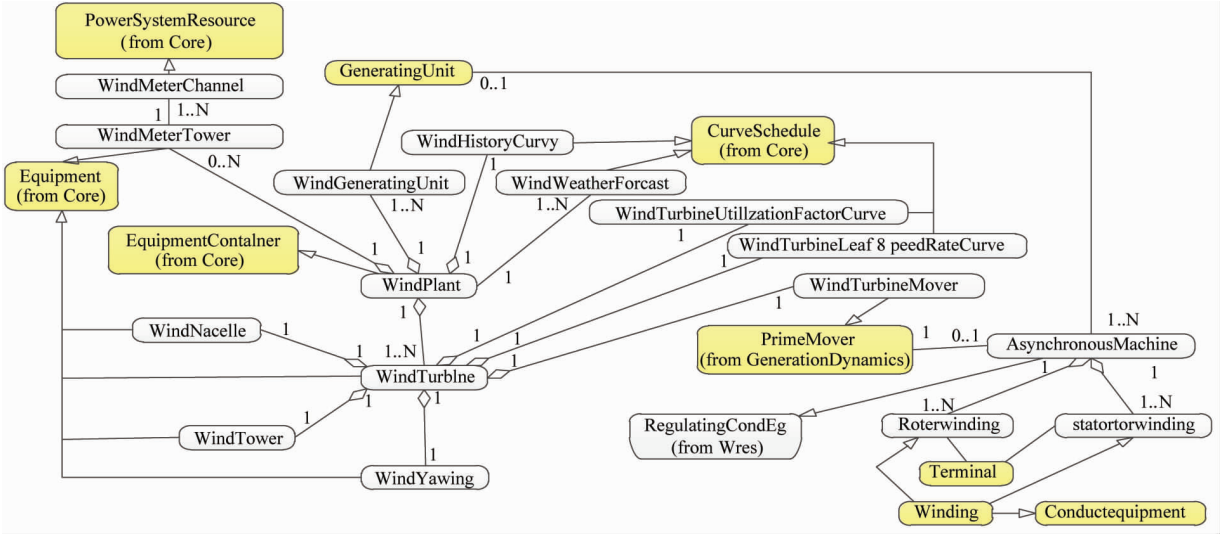


图 3 风电场 CIM

本文对风电场 CIM 的量测包进行了扩展,将量测包通过量测值和量测类型又细分为遥测 (Analog-Input)、遥调 (SetPoint)、遥信 (StatusInput)、遥控 (DigitalOutput),使得风电场中所测的各个量分类存在不同的表中。其结构关系如图 4 所示,通过四遥表和量测量、量测类型的关联实现了风电场点表数据的分类以及风电场实时数据的上传。

2 CIM 在数据库中的设计

CIM 中部分关系映射到关系数据库的过程如图 5 所示。风电场 CIM 中的类映射成为关系数据库

的二维表,属性映射为关系数据库中的字段。CIM 的关联关系中,零对一和一对一的关系在关系数据库中通过设立外键实现,一对多的关系通过设置多个外键实现;CIM 中的继承和聚合关系本系统采用建立关系表的方法来实现。

本文的关系数据库是一个基于 CIM 的数据库,关联关系较为复杂,表格众多。为了方便管理数据库中的表格,本文对所有的二维表都进行了统一的规划,即所有的表都在 TABCFG 表中进行记录,只有在 TABCFG 表中有注册的表才能在整个关系数据库中进行使用、关联其它的二维表。TABCFG 表中的字段描述了整个数据库中表的名称、表的最大容量以及载入源等,其表结构如表 2 所示。

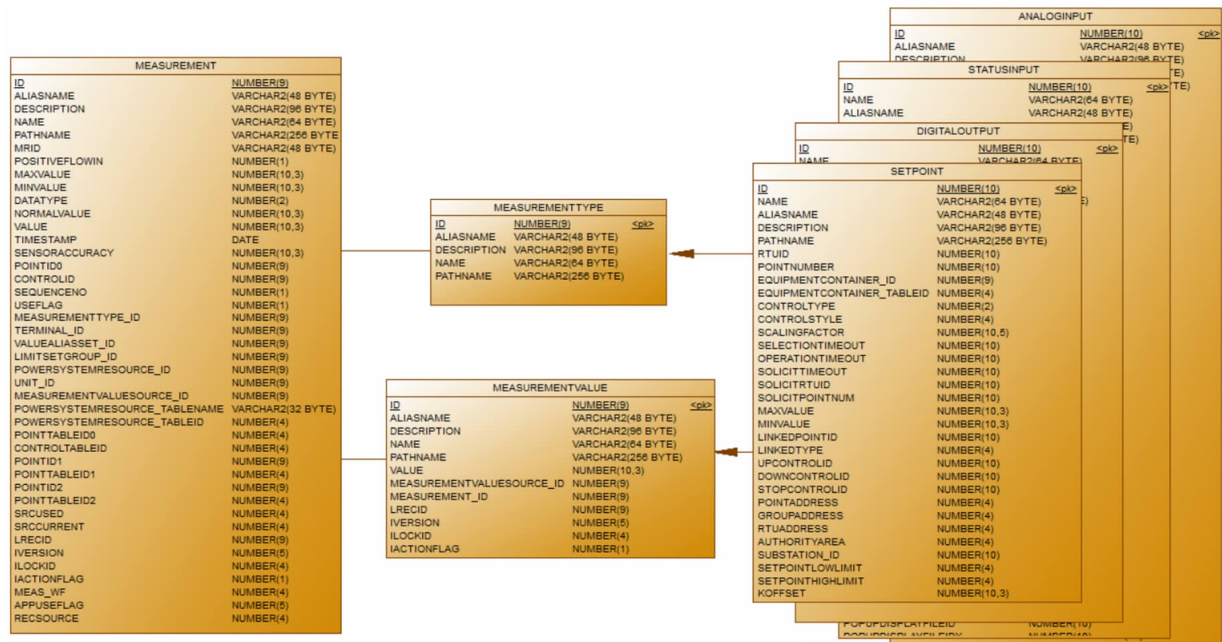


图 4 量测表模型关系

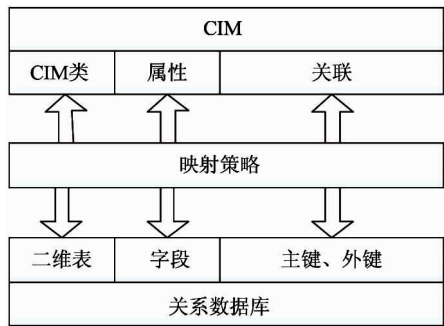


图 5 CIM 模型到关系库的映射

表 2 TABCFG 系统统计表

域名	描述	类型	备注
ID	资源 ID	Number(4)	主键
NAME	资源名字	Varchar(32)	不为空
DATABASEID	数据源	Number(4)	不为空
SOURCETABLEN	表名源	Varchar(32)	
MAXRECIRDS	最大容量	Number(8)	不为空
LOADORDER	载入源	Number(8)	不为空

为了使风电场 CIM 具有扩展性,本文配置了 3 张表对 CIM 进行管理。所有参与建立模型的类都要在 CIMTYPE 表中进行登记,在此表中对各个类的基本属性都作了说明,包括资源类型 ID(TYPE)、资源类型名称(NAME)、资源类型描述以及资源是否

在使用(USEFLAG),同时描述了 CIM 中的继承关系(PARENTNAME)。CIMTYPE 表中字段信息如图 6 所示,图中的信息和图 3 建立的风电场 CIM 中各设备信息相对应。其中字段 PARENTNAME 中的数据信息为图 3 中所对应的电力系统资源,字段 USEFLAG 中的数据 1 表示资源在使用,字段 APPNO 中的数据 1 表示的资源所属的应用类型为电力系统。

CIM 中容器和设备的包容关系以及聚合关系通过对 CIMHIER 表的设置来实现。字段 CONTAINERNAME 为容器类型,MEMBERNAME 为设备类型,为了便于对表中数据的增删,增加了 ISVALID 字段,字段中数据为 1 表示此类型有效。例如在本系统中风电场为设备容器,它包含了风电机组、测风塔等设备。在建立各个设备容器和设备之间的关系时应该按照图 2 中的 CIM 模型关系进行建立。

CIM 模型中设备与设备之间的聚合关系,通过 RESOUCEASSOCIATION 表来实现。字段 TYPE 为设备类型,SUBRESOURCECOUNT 为子设备个数,字段 ISMANDATORY 描述了每个设备是否必须包含此子设备。例如发电机分为双绕组发电机和三绕组发电机,这就对应了表中 SUBRESOURCECOUNT 这一字段中的数字。

CIMHIERARCHY		
CONTAINERNAME	VARCHAR2(32 BYTE)	<pk>
MEMBERNAME	VARCHAR2(32 BYTE)	<pk>
ISVALID	NUMBER(1)	
IAPPTYPE	NUMBER	

CIMOTYPE		
TYPE	NUMBER(4)	<pk>
NAME	VARCHAR2(32 BYTE)	
DESCRIPTION	VARCHAR2(32 BYTE)	
PARENTNAME	VARCHAR2(32 BYTE)	
TABLENAME	VARCHAR2(32 BYTE)	
USEFLAG	NUMBER(1)	
STARTID	NUMBER(5)	
ENDID	NUMBER(5)	
EXPORTORDER	NUMBER(5)	
APPNO	NUMBER(5)	
ALIASNAME	VARCHAR2(32 BYTE)	
IAPPTYPE	NUMBER	

RESOUCEASSOCIATION		
TYPE	NUMBER(8)	<pk>
SUBRESOURCETYPE	NUMBER(8)	<pk>
SUBRESOURCECOUNT	NUMBER(8)	
ISMANDATORY	NUMBER(1)	

图 6 CIMTYPE 信息表

3 CIM 关联量测点的设计

风电场中的 CIM 属于一次设备,不包含各个设备的量测点。为了实现设备数据的上传,系统需要建立量测点的 CIM。本文设计了两层结构来建立风电机组量测数据的 CIM,第一层建立风电机组量测点数据模型,使风电机组设备与量测点实现关联;第二层为建立 CIM 与量测点的对应关系,并将量测类型与遥测、遥信、遥调、遥控表进行关联。

3.1 风机设备与量测点连接的实现

一次设备模型和量测点由量测表关联,图 4 中 MEASUREMENT 为量测表。在量测表中,字段 POWSYSRESTABID 与 TABCFG 的 ID 字段相关联(即 TABCFG 的主键为 ID 外键为 MEASUREMENT 表中的 POWSYSRESTABID),字段 POWSYSRESID 关联了实体设备的 ID,本文中的实体设备为风电场中风电机组和测风塔。一次设备 CIM 包括了风电机组、测风塔以及风电机组和测风塔中的设备。量测表中的 POINTID 和 POINTTABLEID 共同关联了量测点和量测点表,实现了量测值的聚集,其中量测点表包括遥测、遥信、遥调、遥控四个表。UNITID 字段和 UNIT 表中 ID 相关联,实现了量测表中量测单位的关联;字段 MEASURTYPEID 和 MEASUREMENTTYPE 表中的 ID 相连,实现了量测类型的标注。

在关系数据库中建立的风电机组数据模型如表 3 所示,在 modelmeatype 表中字段 LOTABID 为对应的设备 ID,字段 MEASTYPEID 中的数据为 LOTABID 设备所对应的量测点,在建立好此表后可以实

现设备与量测表的关联。

表 3 modelmeatype 信息表

域名	描述	类型	备注
LOTABID	资源 ID	Number(4)	主键
MEASTYPEID	资源名字	Varchar(32)	不为空
ISHOWONDEVICE	载入源	Number(8)	不为空

3.2 CIM 与量测点关联的实现

为了实现量测点与 CIM 的关联,系统需要在数据库中建立 CIM 与量测点表的关联关系。表 4 TABMEAVALRESEF 即为关联表,表中字段 STRNAMECIM 对应的是 CIM 中的类型名,字段 MEATYPE 对应的是在 CIM 中各个设备的量测类型,字段 IOPERTABID 对应的是各个量测类型所对应的量测表的 ID,字段 ISOURETYPE 所对应的是在图形编辑中是否可以对量测点进行更改。通过对此表的设置实现了风电机组各设备量测表与量测点表的关联。

表 4 TABMEAVALRESEF 信息表

域名	描述	类型	备注
STRNAMECIM	CIM 类型名	Varchar2(50)	不为空
MEATYPE	量测类型	Number(4)	不为空
IOPERTABID	量测表 ID	Number(4)	不为空
ISOURETYPE	是否可以更改	Number(4)	不为空

4 风电场数据库的实现

本文通过在数据库中设置 CIMTYPE、CIMHIER、RESOUCEASSOCIATION 3 个表实现了风电场 CIM,使得风电机组发电单元与电力系统资源整合

为一个整体。图 7 为本系统所设计的风电场的 CIM 结构图。公司下面建立了风电场,在风电场中建立了测风塔和电压等级,在电压等级下建立间隔,在间隔下建立了风电机组设备。图 8 为风电机组 CIM 结构的实现,风电机组设备中包含了机舱、发电机、变桨等设备,在机舱信息下包含机舱位置、叶轮转速等量测量。本系统建立的风电场和风电机组的模型结构与原有的 CIM 保持了一致性和可扩展性。

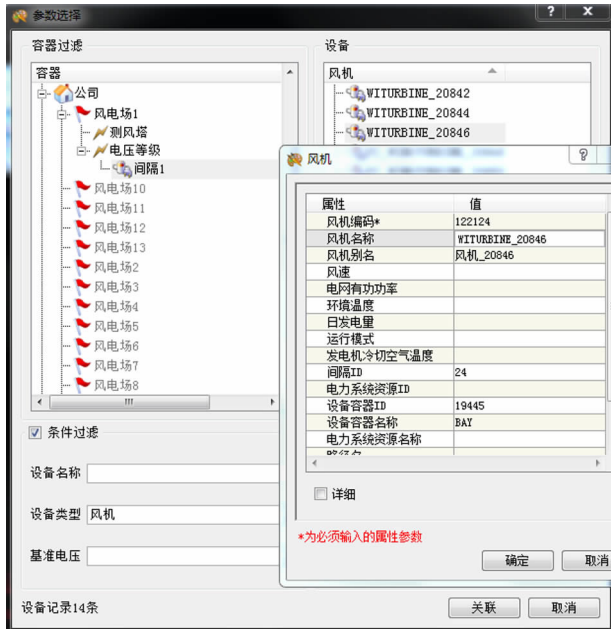


图 7 风电场 CIM 结构图

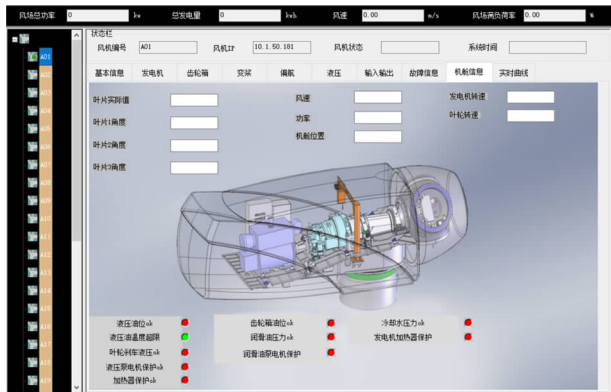


图 8 风电机组 CIM 结构图

在完成风电机组的建模后,对风电机组进行编辑时会出现如图 9 所示配置。根据实际需要可以选择要监控的量测点,实现了统一关联量测点,克服了

以往逐个配置量测点工作量大的困难。图 10 为量测点配置完成后监控界面上显示的风电机组量测点参数信息。



图 9 风电机组 CIM 量测点配置

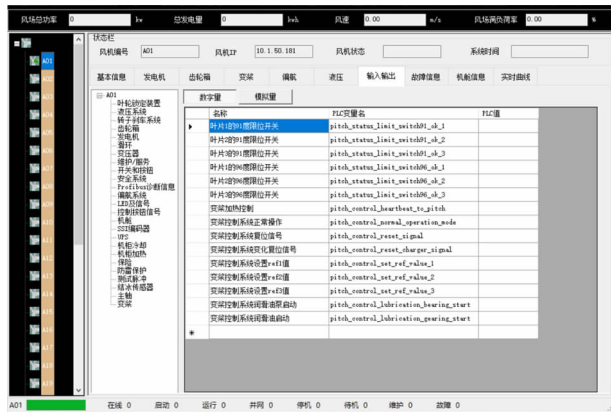


图 10 风电机组 CIM 量测数据关系

设置完成后,即可在集控端对子站数据进行实时采集。图 11 为集控中心监控系统主界面,在画面下部显示出了各个风电场的风机和升压站主要的运行数据,如发电量、风机正常运行和发生故障台数等;画面上半部分显示了所有风电场的一个运行数据总和,同时图中还显示了各个风电场的区域分布图。图 12 是升压站监控的一次电气图界面,在画面中可以实时查看变压器高低压侧数据,断路器刀闸的开关状态,以及光字牌显示的故障信息等。图 13 是风机的监控界面,主要用于显示风机运行数据以及电网的相关数据,同时可以看到风机内部结构,个别数据的运行曲线,以及风机故障的告警提示。通过图 11 ~ 图 13 可以看到,本系统成功地实现了数据的采集传输和在界面中的实时显示。



图 11 集控中心监控系统主界面

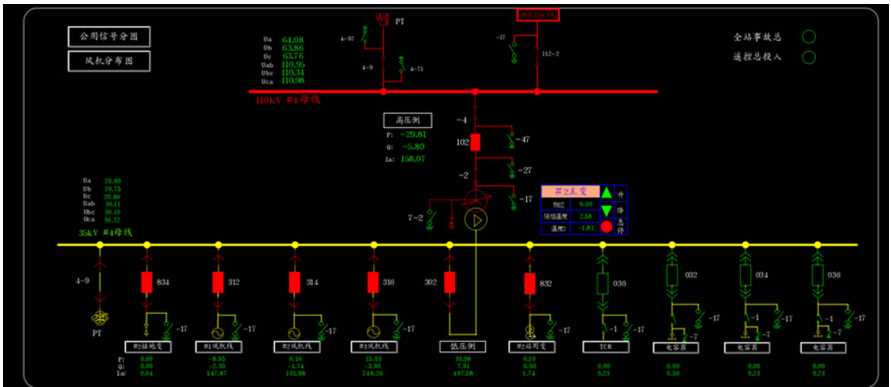


图 12 升压站监控界面



图 13 风机监控界面

5 结论

随着风电产业的快速发展,建立多风场区域集控中心已成为实现少人值守和降低风电运维成本的主要策略。本文为了实现数据接口统一,研究了风

电场在 CIM 中的结构关系以及基于 IEC61400-25 的风电场模型到 CIM 风电场模型的映射方法,建立了区域风电场和风电机组量测数据的 CIM,并在数据库中实现了上述模型以及风电机组统一关联量测点的功能,在河北省某风电集控中心的应用统计中除

去人为错误和网络中断,配置参数的错误率为0.03%,有效率为99.5%。这大大减轻了风电机组逐个关联量测点的工作量,节省了度电成本。最终实现了区域风电场的统一监控和数据共享,为风电机组数据接口的标准化以及风电机组的大数据共享奠定了基础。

参考文献

- [1] 姜波,刘富铀,汪小勇,等. 中国近海风能资源评估研究进展[J]. 高技术通讯, 2016, 26(8): 808-814
- [2] 陈峰. 产业竞争情报视角下的国外风电装备制造标杆企业商业模式研究[J]. 高技术通讯, 2016, 26(5): 504-510
- [3] 卢京祥,徐延波,吴翠娟,等. CIM 到关系数据库映射建模的探讨[J]. 电子测试, 2014(1):94-96
- [4] 夏天雷,王林青,江全元. 基于 IEC 61970 标准的风光储建模方案[J]. 电力系统自动化, 2015(19):9-14
- [5] 王冬霞,施广德,钟昀,等. 智能变电站一体化监控系统图形平台的设计与开发[J]. 华电技术, 2014(7): 12-15
- [6] 戴巨川,曹俊伟,张帆,等. 风电场 SCADA 数据预处理方法及评价策略[J]. 太阳能学报, 2017, 38(9): 2597-2604
- [7] 杨俊友,王海鑫,井艳军,等. 并网型风电机组模拟控制策略[J]. 电机与控制学报, 2016, 20(3): 43-50
- [8] 朱伯通,程志海,唐志强,等. 基于 CIM 模型的智能变电站和调度中心互操作研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(10): 93-97
- [9] 李涛涛,贾嵘,尹浩霖,等. 风力发电机组状态监测系统设计与应用[J]. 电网与清洁能源, 2016, 32(1): 95-99 + 106
- [10] 陈根军,周红阳,李文云,等. 基于 CIM 扩展的通用保护模型及其应用[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(24): 49-53 + 78
- [11] 谢金娟,卢仁宝,程林志. 基于 IEC61400-25 标准的风电场 SCADA 系统建模及应用[J]. 计算机应用, 2014, 33(3): 29-33
- [12] 刘明先. 浅谈风电集中监控管理模式[J]. 中国高科技, 2017, 1(7): 88-90
- [13] 徐龙博,李煜东,汪少勇,等. 海上风电场数字化发展设想[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(3): 189-193 + 199
- [14] 刘丹丹,段斌,王俊,等. 基于 IEC 61850 的主动配电网故障自恢复多代理系统[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(9): 119-126
- [15] 任雁铭,操丰梅. IEC 61850 新动向和新应用[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(2): 1-6

Design and implementation of a regional wind power centralized control SCADA system based on common information model

Liang Tao, Xu Zijun, Yang Gaiwen, Xu Yan

(School of Control Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130)

Abstract

The study points that with the continuous expansion, upgrading and renovation of wind farms, establishing a multi-wind farm centralized control center becomes a major strategy to reduce the cost of wind power operation and maintenance, but in the implementation process, the wind turbine data interface standards of different wind turbine manufacturers are urgently needed to be resolved. In order to unify the data interface, the structure of the wind farm in the common information model (CIM) and the mapping method of the wind farm model based on IEC61400-25 to the CIM wind farm model are studied. The CIM of wind farms and wind turbine measurement data is established. The implementation of the CIM in the database and the association between the CIM and measurement points in the database are designed in detail. The unified monitoring and data sharing of wind farms in the area and the unification of measurement points are achieved, laying the foundation for the standardization of wind turbine data interfaces and the sharing of big data of wind turbines.

Key words: wind farm, common information model (CIM), data structure, model mapping