

基于 IEC 61970 标准的多控制中心间无功电压协调控制信息交互模型设计

王彬, 郭庆来, 孙宏斌, 张伯明, 吴文传

(电力系统及发电设备控制和仿真国家重点实验室(清华大学电机系), 北京市 海淀区 100084)

Design of IEC 61970 Based Information Exchange Model for Coordinated Automatic Voltage Control Among Multi Control Centers

WANG Bin, GUO Qinglai, SUN Hongbin, ZHANG Boming, WU Wenchuan

(State Key Lab of Control and Simulation of Power Systems and Generation Equipments (Dept. of Electrical Engineering, Tsinghua University), Haidian District, Beijing 100084, China)

ABSTRACT: Standardization is the development tendency of information exchange among control centers. Based on the standard in IEC 61970, an information exchange model suitable for coordinated automatic voltage control (CAVC) among multi control centers is proposed. Firstly, the contents of information flow of CAVC is analyzed and the definition of coordinated control model for information exchange is given; then the common information model is extended and a standardized information model for CAVC is designed; and then based on component interface specification, a standardized information exchange interface for CAVC is designed and its architecture for information exchange as well as its information exchange procedure are given. The presented information exchange model possesses wide application prospect in the implementation of information exchange among multi CAVC control centers for future smart grids.

KEY WORDS: automatic voltage control (AVC); multi control centers; coordinated control; common information model (CIM); component interface specification (CIS)

摘要: 标准化是未来控制中心信息交互的发展方向。基于 IEC 61970 标准, 提出一种适用于多控制中心间无功电压协调控制(coordinated automatic voltage control, CAVC)的信息交互模型。首先分析 CAVC 信息流内容, 给出用于信息交互的协调控制模型定义; 对公用信息模型进行扩展, 设计出 CAVC 标准化信息模型; 基于组件接口规范, 设计 CAVC 标准化信息交互接口, 并给出其信息交互框架和信息交互数据流程; 该信息交互模型在实现智能电网条件下 CAVC 的多控制中心间信息交互方面具有广阔的应用前景。

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(51025725); 国家自然科学基金项目(50807025, 50877043)。

Project Supported by National Science Fund for Distinguished Young Scholars(51025725); Project Supported by National Natural Science Foundation of China (50807025, 50877043).

关键词: 自动电压控制; 多控制中心; 协调控制; 公用信息模型; 组件接口规范

0 引言

智能电网的目标是通过信息流的调控来实现物理电网中电力流的合理分布^[1]。电网互联一体, 为实现电力流的合理分布, 既要基于控制中心和厂站之间的信息流互动在控制中心内实施一系列的自动控制^[2], 还需要基于控制中心间的信息流互动来实施一系列控制中心之间的自动协调控制, 如协调自动电压控制(coordinated automatic voltage control, CAVC)等^[1]。

为实现上下级控制中心的 CAVC 功能, 需要通过广域通信网络进行多个控制中心中不同厂家的应用系统之间的信息交互, 此时以标准化信息集成共享为目标的数据交互方案具有天然优势。标准化是未来控制中心间信息交互的发展方向^[3]。为实现电力系统信息交互的标准化, 国际电工委员会(IEC)制定了 IEC 61970 系列标准^[4]。目前该标准已成功应用于一系列工程现场^[5-7], 并成为智能电网信息化建设^[8-10]的基础之一。

目前 IEC 61970 标准主要应用于控制中心内各模块间的信息交互, 控制中心间的应用相对较少。本文以实现控制中心间信息交互为目标, 基于 IEC 61970 标准给出 CAVC 的信息交互模型设计, 包括基于公用信息模型(common information model, CIM)^[11]的信息模型扩展, 以及基于组件接口规范(component interface specification, CIS)^[12]的标准化交互接口设计。

首先给出 CAVC 控制模式, 并提炼出需要交互的

信息流内容；然后对 CIM 进行扩展，设计普适性的 CAVC 信息模型；再构建基于 CIS 接口的 CAVC 信息交互框架，并给出 CAVC 信息交互数据流程；针对 2 个典型的应用现场进行数据量和通信效率测试。

1 交互信息分析

1.1 概述

以实现 CAVC 为目的的控制中心间交互信息内容的确定依赖于 CAVC 工作原理。为此，首先总结已有的 CAVC 控制模式，然后分析双向互动协调控制模式的协调控制过程，最终归纳出所需要交互的信息流内容，为信息模型定义提供语义基础。

1.2 协调控制模式说明

CAVC 的目标是对分散的控制进行集中协调，消除不协调现象，实现上下级电网间无功电压资源的合理利用和互相支持。本文将目前投入应用的 CAVC 总结为单向协调^[13-14]和双向互动协调^[15-16]2 种控制模式。单向协调相当于双向互动协调的简化特例，因此本文重点研究双向互动协调模式。

1.3 协调控制过程分析

1.3.1 控制过程

双向互动协调控制模式控制过程如图 1^[15]所示。

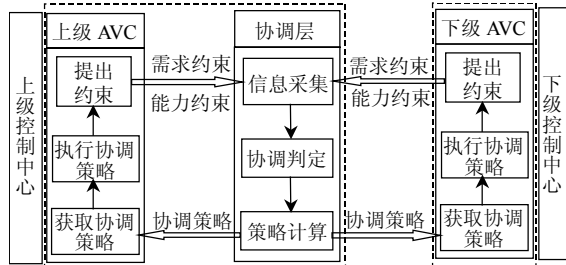


图 1 双向互动协调控制模式示意

Fig. 1 Schematic of coordinated control procedure

整个控制过程可分为选择协调关口、提出协调约束、产生并执行协调策略等几个主要环节。

1.3.2 协调关口的选择

协调关口是 CAVC 的基本控制单元。协调关口

是一个虚拟的广义关口，该关口可能包括不只一个物理设备，尤其是当上、下级电网间存在电磁环网时，协调关口包含了对应于某个环网内的所有边界无功设备的集合。可见协调无功关口的定义会根据电网运行状态的变化(主要是下级电网的拓扑变化)而发生改变，即存在关口重构的现象。

1.3.3 协调约束的生成

各级 AVC 系统生成自身电网的控制能力和控制需求并将它们作为协调约束汇总到协调层^[15]。下级 AVC 产生关口无功约束和协调控制母线电压约束，分别用于描述下级电网的调节能力和控制需求；类似地，上级 AVC 产生协调控制母线电压约束和关口无功约束，分别用于描述上级电网的调节能力和控制需求。

1.3.4 协调策略的产生和执行

协调控制分为 2 个层面上的协调^[16]：

1) 在优化协调层面，上级 AVC 通过最优潮流计算，得到全网优化计算结果，并将其告知下级控制中心，供下级 AVC 决策时使用，保证上、下级电网的优化结果匹配。

2) 在控制协调层面，以跟踪优化协调层的计算结果为控制目标，基于各级 AVC 产生的能力和需求，由协调层产生各控制中心的协调控制策略，并供各级 AVC 执行。

1.4 交互信息内容归纳

作为 CAVC 信息交互的数据载体，协调控制模型的定义过程同时是对信息交互内容进行归纳总结，并将其对应到某类对象的特定属性或关联上的过程。为定义协调控制模型，本文定义了协调控制区域、协调无功关口、协调无功设备、协调控制母线、协调优化母线等 5 类对象，每一类对象都承担特定的信息数据，且各对象之间存在层次关系，如表 1 所示。

表 1 协调控制模型定义

Tab.1 Description of coordinated control model

对象类型	对象含义	静态参数	实时运行状态	实时协调状态	实时协调策略
协调控制区域	定义参与协调控制的控制中心	区域类型 协调类型	—	运行状态 投入状态	—
协调无功关口	定义协调边界中的无功设备组	所属协调区域关联	关口有功 关口无功 关口功率因数	上级生成的无功需求约束 下级生成的无功能力约束	送给下级的 控制无功约束
协调无功设备	定义协调边界中的无功设备	所属协调区域关联	设备有功 设备无功 设备功率因数	下级生成的所属关口关联	—
协调控制母线	定义协调边界中的 的母线设备	所属协调区域关联	母线电压	上级生成的电压能力约束 下级生成的电压需求约束	送给上级的 控制电压约束
协调优化母线	定义承担优化目标的母线设备	所属协调区域关联	母线电压	—	送给下级的 优化电压约束

2 信息模型定义

2.1 对 CIM 的扩展

2.1.1 扩展原则

IEC 61970-301 标准给出了 CIM 模型定义,是整个 IEC 61970 标准的基础。为满足 CAVC 应用需求,本文对目前已有的 CIM 标准^[11]进行扩展。CIM 模型扩展的原则是充分利用标准中已有的信息,尽量使用继承和组合等特性,尽可能少地修改标准。

2.1.2 层次结构

基于上节给出的协调控制模型,本文在原 CIM 基础上扩展出新类,构成如图 2 所示的层次结构,其中每个类对应于协调控制模型的一类对象。各新类的含义以及其属性/关联的定义如表 2 所示。

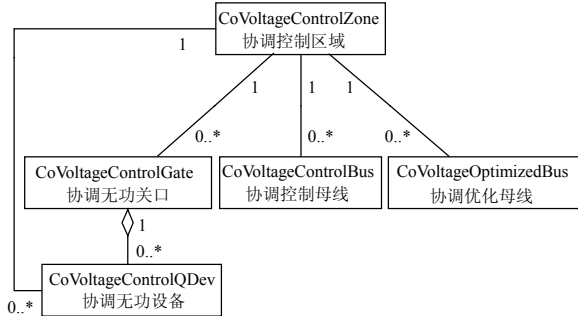


图 2 扩展后 CAVC 信息模型层次结构
Fig. 2 Hierarchical structure design of CAVC information model

表 2 扩展类及其属性的描述

Tab. 2 Description of extended classes and attributes

类/含义	属性/关联	类型	描述
CoVoltageControlZone 协调控制区域	zoneType	ZoneType	区域类型
	ctrlType	ZoneCoType	协调类型
	runType	Boolean	运行类型
	workType	Boolean	工作状态
CoVoltageControlGate 协调无功关口	activeValue	ActivePower	关口有功
	reactiveValue	ReactivePower	关口无功
	factorValue	PowerFactor	关口力率
	requestLmt	关联	无功需求
	abilityLmt	关联	无功能力
	strategyLmt	关联	协调策略
CoVoltageControlQDev 协调无功设备	MemberOfZone	关联	协调区域
	activeValue	ActivePower	设备有功
	reactiveValue	ReactivePower	设备无功
	factorValue	PowerFactor	设备力率
CoVoltageControlBus 协调控制母线	MemberOfZone	关联	协调区域
	MemberOfGate	关联	协调关口
	voltageValue	Voltage	电压实测
	requestLmt	关联	电压需求
	abilityLmt	关联	电压能力
CoVoltageOptimizedBus 协调优化母线	strategyLmt	关联	协调策略
	MemberOfZone	关联	协调区域
	voltageValue	Voltage	电压实测
	strategyLmt	关联	协调策略

2.1.3 枚举类的扩展

在 Domain 包中增加 3 个枚举类,如图 3 所示。其中, CoZoneAreaType(协调区域类型)描述了该区域的区域类型,共有 5 个属性值,分别对应于中国的 5 级调度体制。CoZoneCtrlType(协调区域控制类型)描述了该区域的协调类型,共有 2 个属性值,分别为:协调上级、协调下级。CoLmtType(协调约束类型)描述了该协调约束的约束类型,共有 3 个属性值,分别对应调节能力约束、控制需求约束、协调策略约束。

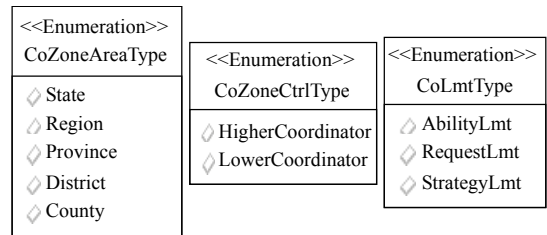


图 3 新增枚举类

Fig. 3 Extensions of enumeration in domain

2.1.4 协调约束的描述

协调约束是 CAVC 信息交互的核心内容,该对象可用区间来表示。为描述协调约束,本文新增增加 CoLimit 协调约束类,如图 4 所示。



图 4 协调约束 CoLimit 的定义

Fig. 4 Definition of CoLimit

协调约束类继承于 Meas 包的 Control 类,以复用上、下限、时刻等属性。该对象的协调约束类型使用字段 lmtType 来描述。

2.2 与原有 CIM 的关系

2.2.1 概述

本节重点介绍该信息模型如何嵌入到已有 CIM 模型中,以实现信息的最大复用。

2.2.2 与子控制区域类的关联

每个协调控制区域均代表了某一个控制中心,因此具有与子控制区域类(SubControlArea)的关联,如图 5 所示。

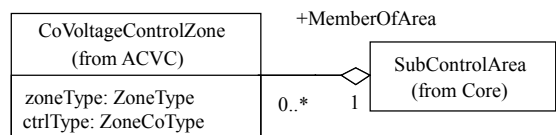


图 5 与 SubcontrolArea 的关联

Fig. 5 Relation with SubcontrolArea

2.2.3 与调节设备类的关联

CAVC 的工作原理是通过对协调关口的无功及协调母线的电压进行调节来实现其协调目标,协

调无功关口、协调控制母线、协调优化母线均相当于 CAVC 的调节设备，因此这 3 个新类均继承于调节设备类(RegulatingCondEq)，如图 6 所示。

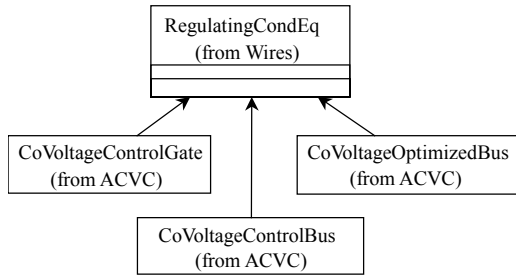


图 6 与 RegulatingCondEq 的关联
Fig. 6 Relation with RegulatingCondEq

除在概念上具有继承含义以外，为这 3 个新类增加继承关系的另外重要原因是 RegulatingCondEq 具有到一个调节计划类(RegulatingSchedule)的关联，复用该关联，可为各协调设备增加相应的调节计划，作为通信失败(或者计算失败)的备用，这对于一个实时在线控制系统而言十分重要，极大地提高了其运行鲁棒性。

2.2.4 与导电类设备的关联

协调无功设备类描述了协调边界上的无功设备，该对象是一个虚拟对象，每个对象均对应于一个上、下级电网边界上的实际物理设备。该物理设备可能为主变绕组或线路。因此，该对象具有一个到导电类设备(ConductingEquipment)的关联，如图 7 所示。

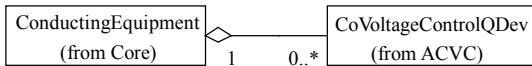


图 7 与 ConductingEquipment 的关联
Fig. 7 Relation with ConductingEquipment

相应地，该对象的运行状态类属性值(设备有功、设备无功)均来自于对应的物理导电类设备的数据采集与状态监控(supervisory control and data acquisition, SCADA)实时有功、无功量测。

2.2.5 与物理母线的关联

与协调无功设备对象类似，协调控制母线以及协调优化母线均为虚拟对象，每个对象对应于一个电网边界上的实际物理母线。因此，这 2 个类均具有一个到物理母线(Busbarsection)类的关联关系，如图 8 所示。

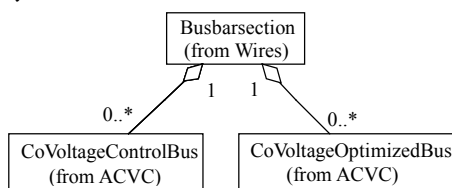


图 8 与 Busbarsection 的关联
Fig. 8 Relation with Busbarsection

类似地，该虚拟对象的运行状态类属性值(母线电压)来自于对应的物理母线的 SCADA 实时电压量测值。

3 多控制中心间的信息交互流程

3.1 概述

本节设计了基于 CIS 标准接口的信息交互接口模型来实现多控制中心间 CAVC 信息交互功能。信息交互框架如图 9 所示。

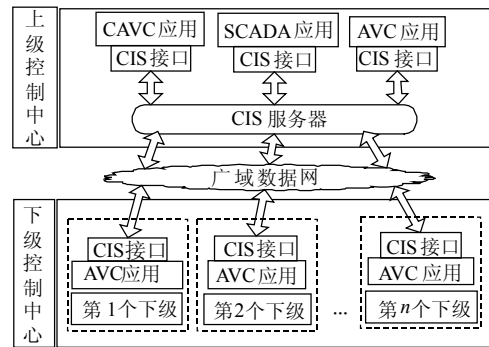


图 9 基于 CIS 接口的信息交互框架
Fig. 9 CIS based information exchange architecture for CAVC

整个交互围绕位于上级控制中心的 CIS 服务器进行，其中下级控制中心需要通过广域数据通信网实现对 CIS 服务的访问，从而实现与上级控制中心的信息互动。

3.2 CIS 标准接口说明

为实现对 CIM 公共数据的访问，基于数据访问设施(data access facility, DAF)规范^[17]，IEC 61970 标准定义了通用数据访问(generic data access, GDA)接口^[18]。本文基于 DAF 以及 GDA 提供的部分接口完成 CAVC 信息交互，应用的接口描述如表 3 所示。

表 3 应用的 CIS 接口说明
Tab. 3 Description of applied CIS interface

模块	接口	含义
DAFQuery	ResourceQueryService	数据获取服务接口
DAFUpdate	ResourceUpdateService	数据更新服务接口
GDAEvents	RegisterService	服务注册接口
	Callback	回调函数
DAFEvents	ResourceEventSource	更新通知服务接口

3.3 信息交互流程

3.3.1 正常情况下的信息交互流程

各级 AVC 与 CAVC 进行 min 级周期的信息双向流动，典型的 AVC 提供协调约束周期为 1 min，CAVC 提供协调控制策略周期为 5 min，过程如图 10 所示。

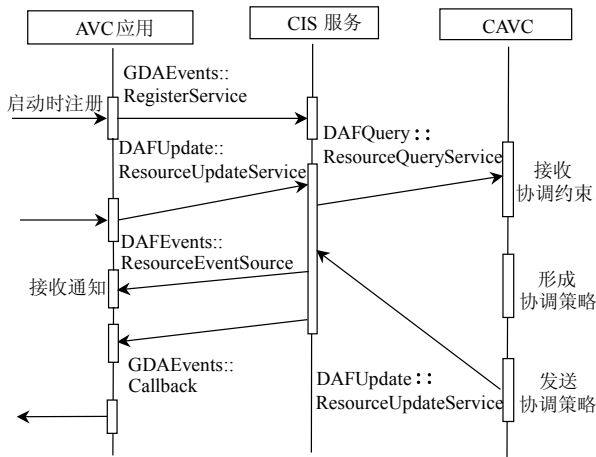


图 10 正常情况下的信息交互流程

Fig. 10 Information exchange under normal condition

3.3.2 模型维护后的信息交互流程

模型维护后的交互信息流从 CAVC 流向上级 AVC 以及涉及到的下级 AVC。信息交互一般由人工操作触发(手动更新电网模型或者维护协调控制模型), 过程如图 11 所示。

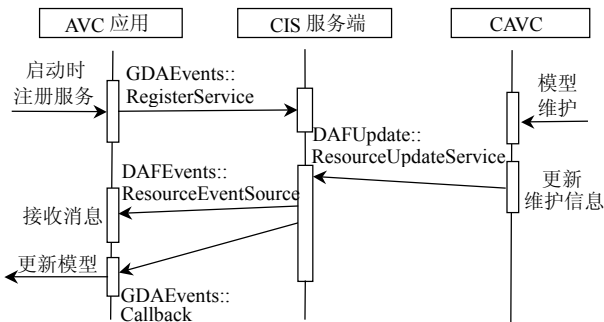


图 11 模型维护后的信息交互流程

Fig. 11 Information exchange after model maintenance

3.3.3 关口重构后的信息交互流程

前文分析指出, 协调控制模型中的协调无功关口对象为虚拟设备, 存在重构关口的可能。关口重构下的信息交互流程由下级 AVC 触发, 信息流从下级流向上级 AVC 以及 CAVC。信息交互为非周期性自动触发, 如图 12 所示。

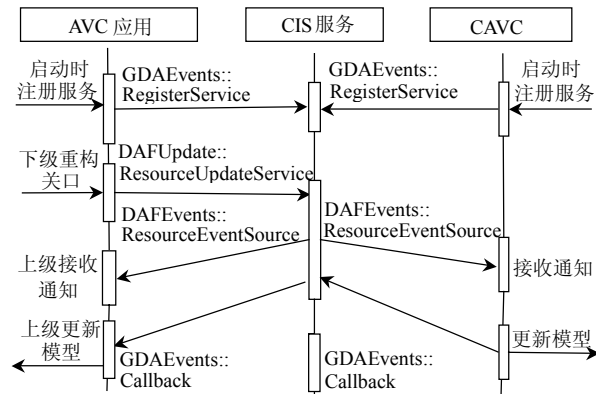


图 12 关口重构后的信息交互流程

Fig. 12 Information exchange after gate reconstruction

4 数据量和通信效率测试

4.1 测试环境

为测试本文提出的信息交互模型, 本文分别针对某网省协调和某省地协调 2 个现场情况进行模拟效率测试, 测试硬件配置如下: 1) 上级, CPU 四核 1.7G, 内存 3G; 2) 下级, CPU 双核 1.6G, 内存 2G。测试通信网络为局域网, 带宽 10Mbit/s。

4.2 信息模型规模

表 4 为 2 个应用现场的信息模型规模。其中由于该省地协调现场未进行优化层面的协调, 协调优化母线个数为零。

表 4 信息模型规模

Tab. 4 Scale of information model

对象	网省协调信息模型	省地协调信息模型
协调控制区域	5	2
协调无功关口	172	79
协调无功设备	172	79
协调控制母线	314	82
协调优化母线	212	0

表 5 为在 3 种可能的运行状况(模型维护、关口重构、实时数据刷新)下, 2 个信息模型的交互数据量和交互耗时指标。其中交互数据量是指所有对象参与交互的属性值字节之和; 交互耗时指标中除包含通信耗时以外, 还包含上下级服务器的处理信息耗时。

表 5 通信效率指标

Tab. 5 Performances of communication efficiency

对象	网省协调		省地协调	
	数据量/kB	耗时/s	数据量/kB	耗时/s
全模型更新	65.4	5.0	15.2	2.0
关口重构	7.4	1.3	6.5	1.1
数据刷新	5.5	0.9	1.2	0.2

可以看出, 通信耗时都在 s 级, 因此, 本文给出的信息交互模型可满足 min 级周期的控制中心间的实时数据信息交互。

5 结论

随着中国智能电网建设^[8-10]的逐步推进, 特别是特高压骨干网架的建成, 如何更好地实现信息流在各控制中心间的流动, 满足智能电网发展要求, 将成为研究焦点问题。针对该问题, 本文以 CAVC 为研究对象进行探索尝试, 设计给出了标准化信息交互模型。该模型具有如下特点:

- 1) 符合 IEC 61970 标准。为 CAVC 信息交互提供了标准化途径。
- 2) 实现了信息集成共享。CIS 接口的实时性

可保证信息流能够及时、有效、准确地各控制中心间传输, 为控制中心间的实时闭环协调控制提供了通信保障。

3) 维护流程自动化。避免了重复性建模工作, 减轻了人类劳动。

应当指出的是, 随着对控制中心间协调控制问题认识的逐步加深以及新 CAVC 协调类型(如国家、网协调)的出现, 该交互模型有可能继续完善, 该模型由于符合标准而具有的良好扩展性, 为将来的进一步发展提供了便利。

参考文献

- [1] 张伯明, 孙宏斌, 吴文传, 等. 智能电网控制中心技术的未来发展[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 21-28.
Zhang Boming, Sun Hongbin, Wu Wenchuan, et al. Future development of control center technologies for smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 21-28(in Chinese).
- [2] 张伯明. 现代能量控制中心概念的扩展与前景展望[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(15): 1-6.
Zhang Boming. Concept extension and prospects for modern energy control centers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(15): 1-6(in Chinese).
- [3] 辛耀中. 新世纪电网调度自动化技术发展趋势[J]. 电网技术, 2001, 25(12): 1-10.
Xin Yaozhong. Development trend of power system dispatching automation technique in 21st century[J]. Power System Technology, 2001, 25(12): 1-10(in Chinese).
- [4] 张慎明, 刘国定. IEC61970 标准系列简介[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(14): 1-6.
Zhang Shenming, Liu Guoding. Introduction of standard IEC 61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(14): 1-6(in Chinese).
- [5] 荆铭, 许洪强, 梁成辉. 智能电网信息化在调度中心的应用[J]. 电网技术, 2010, 34(10): 15-19.
Jing Ming, Xu Hongqiang, Liang Chenghui. Application of information standardization of smart grid in dispatching center[J]. Power System Technology, 2010, 34(10): 15-19(in Chinese).
- [6] 孙宏斌, 吴文传, 张伯明, 等. IEC61970 标准的扩展在调度控制中心集成化中的应用[J]. 电网技术, 2005, 29(16): 21-25.
Sun Hongbin, Wu Wenchuan, Zhang Boming, et al. Application of extension of IEC61970 standard in control center integration[J]. Power System Technology, 2005, 29(16): 21-25(in Chinese).
- [7] 刘炎炎, 徐家慧, 刘军. 基于 IEC61970 公共信息模型的调度数据中心设备模型及其扩展方案[J]. 电网技术, 2007, 31(S2): 324-326.
Liu Yanyan, Xu Jiahui, Liu Jun. The equipment model of dispatch data center and its expansion plan based on IEC61970 common information model[J]. Power System Technology, 2007, 31(S2): 324-326(in Chinese).
- [8] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 1-7.
Chen Shuyong, Song Shufang, Li Lanxin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 1-7(in Chinese).
- [9] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(9): 1-4.
Xiao Shijie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(9): 1-4(in Chinese).
- [10] 钟金, 郑睿敏, 杨卫红, 等. 建设信息时代的智能电网[J]. 电网技术, 2009, 33(13): 12-18.
Zhong Jin, Zheng Ruimin, Yang Weihong, et al. Construction of smart grid at information age[J]. Power System Technology, 2009, 33(13): 12-18(in Chinese).
- [11] IEC 61970—2003, Energy management system application program interface (EMS-API), Part 301, common information model (CIM) base[S].
- [12] IEC 61970—2003, Energy management system application program interface (EMS-API), Part 401, component interface specification framework[S].
- [13] 郭庆来, 王蓓, 宁文元, 等. 华北电网自动电压控制与静态电压稳定预警系统应用[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(5): 95-98.
Guo Qinglai, Wang Bei, Ning Wenyuan, et al. Applications of automatic voltage control system in North China Power Grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(5): 95-98(in Chinese).
- [14] 邹根华, 郭玉金, 姚诸香, 等. 省地协调自动电压控制(A V C)实现方法的研究[J]. 中国电力, 2008, 42(12): 6-9.
Zou Genhua, Guo Yujin, Yao Zhuxiang, et al. An implementation scheme of coordinated automatic voltage control for provincial power networks[J]. Electric Power, 2008, 42(12): 6-9(in Chinese).
- [15] 王彬, 郭庆来, 孙宏斌, 等. 双向互动的省地协调电压控制[J]. 电力系统自动化, 2010, 29(10): 36-40.
Wang Bin, Guo Qinglai, Sun Hongbin, et al. Bidirectional interaction based provincial coordinated voltage control system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 29(10): 36-40(in Chinese).
- [16] 翟海保, 励刚, 黄志龙, 等. 华东电网自动电压控制系统的设计与建设[J]. 华东电力, 2010, 38(5): 612-615.
Zhai Haibao, Li Gang, Huang Zhilong, et al. Design and construction of East China grid automatic voltage control system[J]. East China Electric Power, 2010, 38(5): 612-615(in Chinese).
- [17] IEC 61970—2003, Energy management system application program interface (EMS-API), Part 402, common services[S].
- [18] IEC 61970—2003, Energy management system application program interface (EMS-API), Part 403, generic data access[S].



王彬 高级会员, 本文通讯作者, 从事调度自动化、无功电压优化控制、电力系统信息论的科研和教学工作, E-mail: shb@tsinghua.edu.cn.

收稿日期: 2010-12-30.

作者简介:

王彬(1984), 男, 博士研究生, 研究方向为调度自动化和无功电压优化控制;

郭庆来(1979), 男, 博士, 副教授, 研究方向为调度自动化和无功电压优化控制;

孙宏斌(1969), 男, 教授, 博士生导师, CSEE

高级会员, 本文通讯作者, 从事调度自动化、无功电压优化控制、电力系统信息论的科研和教学工作, E-mail: shb@tsinghua.edu.cn.

(责任编辑 马晓华)