

doi:10.3969/j.issn.1008-6218.2017.03.019

## 基于XML的电磁暂态工程模型转换方法研究

谢国超<sup>1</sup>,刘崇茹<sup>1</sup>,胡海洋<sup>1</sup>,王超<sup>1</sup>,徐得超<sup>2</sup>

(1.华北电力大学,北京 102206;2.中国电力科学研究院,北京 100192)

**摘要:**在详细研究ADPSS和PSCAD两种仿真软件模型及其存储数据的基础上,提出了一种基于解析XML文件数据的工程模型转换方法,在Microsoft Visual Studio平台使用C++语言编写转换程序,利用Libxml2函数库高效精确解析数据,实现PSCAD与ADPSS大规模电磁暂态工程模型的双向自动转换。使用GIGRE标准算例对转换方法的有效性进行验证,仿真结果表明:系统拓扑和动态特性均能保持一致,误差可以控制在2%以下,从而验证了该转换方法的准确性。

**关键词:**工程模型转换;电磁暂态仿真;ADPSS;PSCAD;XML

**文献标志码:**B

**中图分类号:**TM743

**文章编号:**1008-6218(2017)03-0014-05

## Research on Electromagnetic Transient Engineering Model Conversion Method Based on XML

XIE Guochao<sup>1</sup>, LIU Chongru<sup>1</sup>, HU Haiyang<sup>1</sup>, WANG Chao<sup>1</sup>, XU Dechao<sup>2</sup>

(1.North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2.China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

**Abstract:** Based on the detailed study of the model and storage data of the PSCAD and ADPSS simulation software, this paper presents a model conversion method based on the analysis of XML file data. The proposed method realizes the bidirectional automatic conversion of large-scale electromagnetic transient model between PSCAD and ADPSS, which uses the C++ language to write the conversion program on the Microsoft visual studio platform, and uses the Libxml2 function library to analyze the data accurately and efficiently. The validity of the conversion program is verified by GIGRE standard example. The simulation results show that the system topology and dynamic characteristics can be consistent, and the error can be controlled within 2%, thus validating the practicability and accuracy of the model conversion method.

**Key words:** engineering model conversion; electromagnetic transient simulation; ADPSS; PSCAD; XML

### 0 引言

电磁暂态仿真软件PSCAD被广泛应用于交直流系统仿真和电力电子仿真及其控制<sup>[1-4]</sup>。然而,

PSCAD作为非实时电磁暂态仿真软件,大规模电力系统建模的工作量较大且仿真耗时过长,这给相关的工作带来了困难。

由中国电力科学研究院自主研发的电力系统

[收稿日期] 2017-04-21

[作者简介] 谢国超(1993),男,天津人,在读硕士,研究方向为柔性直流输电系统控制策略。

仿真软件 ADPSS 可实现大规模交直流混合电力系统机电—电磁暂态的实时仿真,在机电—电磁暂态混合仿真的模式下,将 FACTS 及 HVDC 系统中电力电子设备用电磁暂态模型模拟,其余交流网络用机电暂态模型模拟,兼顾了机电暂态仿真的仿真规模大和电磁暂态仿真准确性高的优点<sup>[5-6]</sup>。

PSCAD 在电力系统离线仿真中应用广泛,具有精确性高和可操作性强的特点<sup>[7]</sup>,许多电力工程已经建立了 PSCAD 工程模型。随着 ADPSS 电磁暂态仿真的日趋成熟,其应用需求不断扩大,同一电力系统同时建立 PSCAD 和 ADPSS 工程模型,已经逐渐显示出必要性<sup>[8-9]</sup>。因此,实现 PSCAD 与 ADPSS 工程模型的自动转换,不仅能够减少工作量,还能有效避免数据的多重维护。

结合测试算例,提出一种基于解析 XML 文件数据的 PSCAD 与 ADPSS 工程模型转换方法(ADPSS 与 PSCAD X4 及其后续版本均使用基于 XML 文件格式的数据存储方式<sup>[10]</sup>)。转换方法如下:PSCAD (ADPSS) 文件数据的读取和存储,PSCAD (ADPSS) 数据向 ADPSS (PSCAD) 数据转换以及 ADPSS (PSCAD) 数据写入 PSCAD (ADPSS) 文件。其中,数据转换部分包括元器件参数转换和拓扑图形转换。

## 1 PSCAD 与 ADPSS 文件数据结构

### 1.1 PSCAD 文件数据格式

PSCAD 文件数据以 XML 格式存储,其节点树如图 1 所示。

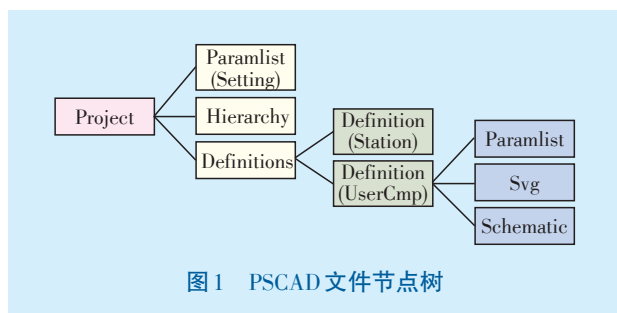


图1 PSCAD文件节点树

一级子节点主要包括 Paramlist (Setting)、Hierarchy、Definitions。Paramlist (Setting) 定义了工程的仿真参数;Hierarchy 定义了工程的图层组织大纲,包含默认存在的 Station 和 Main 图层以及 Main 下的用户定义的一级子图层;Definitions 定义了各个图层元件信息和拓扑关系,分为 Station 工程站定义和 UserCmp 用户图层定义 2 种,每个 Definition 对应一个图层。用户图层定义中包含图层基本属性、图形定义

以及电路图定义,其中电路图定义描述了该图层所有元件的位置及参数信息;图形定义描述了该模块的图形、端口、文字等显示信息。

### 1.2 ADPSS 文件数据格式

ADPSS 工程模型的数据按照 XML 格式组织,一个 ADPSS 工程模型由若干个 XML 格式文件组成,每个 XML 格式文件对应 PSCAD 工程模型中的一个图层。其节点树如图 2 所示。

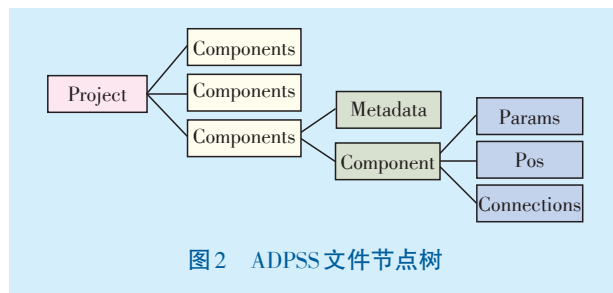


图2 ADPSS文件节点树

Components 节点表示一个元件类别,Metadata 节点记录了该类别元件所有参数的意义以及对应的标识符,Component 节点记录了该元件的参数信息、位置信息和拓扑连接信息。

## 2 基于XML解析技术的工程模型转换方法

本文在 Microsoft Visual Studio 平台使用 C++ 语言编写转换程序,并调用 Libxml2 函数库完成 XML 数据的解析<sup>[11-14]</sup>,进而实现不同仿真平台电磁暂态工程模型的自动转换。具体流程如下:首先,根据两种仿真软件元件种类和文件数据结构特点,在 VS2010 中定义变量类以存储数据,其中 PSCAD (ADPSS) 类用以存储读取 PSCAD (ADPSS) 文件得到的数据,ADPSS (PSCAD) 类用以存储从 PSCAD (ADPSS) 类转换而得到的数据;然后利用 Libxml2 编写程序读取数据并保存,并在两种仿真软件之间进行数据转换;最后,写成 ADPSS (PSCAD) 格式文件。

### 2.1 转换程序的数据结构

(1) 元件基类:用于存储所有元件类的共有参数,如名称、类型、位置坐标等;为每类元件建立一个子类继承自基类,将其所有元件参数定义为相应的成员变量,并为之声明读入、写出的成员函数。实例化后可存储每个元件的所有信息。

(2) 图层类:定义图层的基本参数信息以及所有元件类的 Vector 容器,实例化后可存储一个图层中所有元件的信息。

(3) 文件类:定义图层类的 Vector 容器以及相

关的读入、写出成员函数,实例化后可存储一个工程的所有信息。

## 2.2 PSCAD 工程模型数据的读取

读取 PSCAD 工程模型的 Paramlist(Setting) 节点时,只需要在遍历到节点名时获取节点属性,并将所需数据赋给定义的变量。读取 Definition 节点时,首先识别 Definition 中所有元件所属的图层,然后读取 Definition 中的元件信息,方法和读取运行信息时类似,通过识别元件名称遍历该图层中所有元件,保存元件数量、名称等属性信息,通过遍历元件的子节点获取其参数信息,并将值赋给所属图层中的变量。读取 Hierarchy 节点时,利用递归函数逐行读取图层信息,将图层名、所属层级等记录于相应的变量, Hierarchy 节点数据读取流程见图 3。

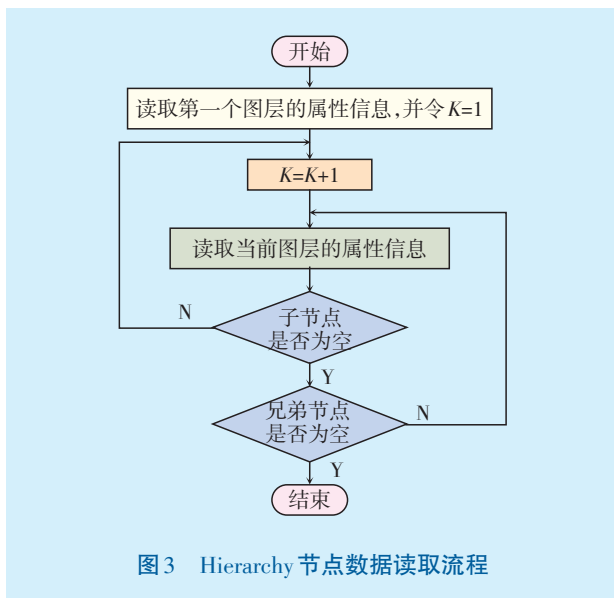


图3 Hierarchy 节点数据读取流程

读取图层信息时,最重要的是确定图层之间的隶属关系。图层隶属关系确定方法如下:设置当前图层的层级为  $K$ ,如果当前图层有子图层,则设置子图层层级为  $K+1$ ,同时,当前图层被标记为子图层的父图层;如果当前图层有兄弟图层,则设置兄弟图层的层级和当前图层同时为  $K$ ,并且这两个图层有相同的父图层。读取时采用深度优先搜索完成图层的遍历。

## 2.3 PSCAD 工程模型数据的写入

首先采用 Libxml2 函数库加载 PSCAD 空工程文件,修改 Paramlist(Setting) 中的仿真参数,然后修改并添加图层信息。空文件中设有默认图层 Station 和 Main,设置层级分别为 0 和 1,如果转换的工程模型中多于两个图层,则分情况写入数据,如果待添加图层与当前图层层级相同,则将待添加图层写入当

前图层的上一级图层,即与当前图层为兄弟图层;如果待添加图层与当前图层层级相差为 1,则将待添加图层写入当前图层,即为当前图层的子图层,具体流程如图 4 所示。

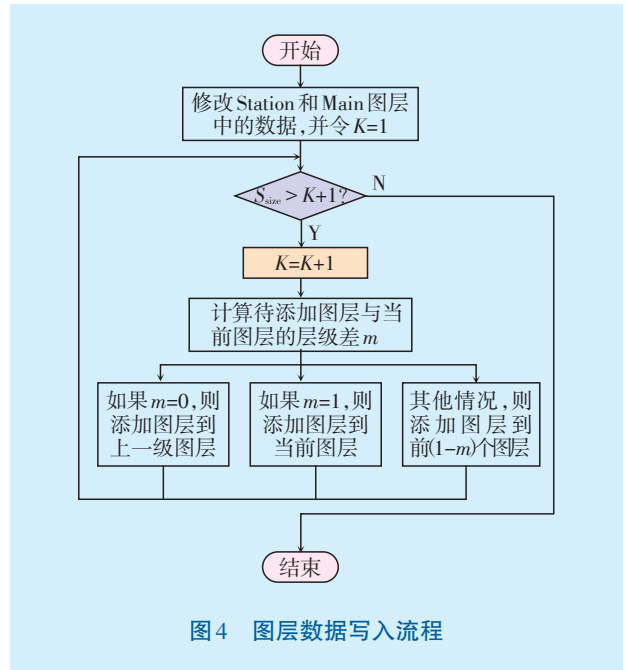


图4 图层数据写入流程

## 2.4 ADPSS 工程模型数据的读取与写入

ADPSS 工程模型为多个 XML 文件的组合,每个 XML 格式文件对应 PSCAD 工程模型中的一个图层,记录了本图层所有的元件信息和连接关系。写入数据时,为每个图层建立一个 XML 文件,仿照 PSCAD 数据的写入方式写入 ADPSS 数据;读取数据时,先确定所有图层的隶属关系,再仿照 PSCAD 数据的读取方式读取 ADPSS 数据。

## 2.5 参数转换

PSCAD 和 ADPSS 均具有非常完备的元件库,大部分 ADPSS 元件在 PSCAD 中可找到对应元件或者由某些元件的组合来等效。然而,由于两种仿真软件对于同一元器件的模拟并不完全一致,因此当参数转换时,需要根据转换需求得出具体元件在 PSCAD 与 ADPSS 之间的转换规则。本文针对 PSCAD 与 ADPSS 元器件上的差异,对两种软件共有的一次元件和二次元件的模型进行对比,开发了 PSCAD 与 ADPSS 元器件参数自动转换程序,进而实现参数自动转换。

## 2.6 拓扑转换

PSCAD 元件端口之间有效的连接方式有 3 种:端口直接相连、通过连接线相连以及通过母线相连,而 ADPSS 两个电气元件端口只能通过具有特定

ID号码的母线相连。当ADPSS工程模型拓扑向PSCAD转换时,应保持对应元件的位置不变,解析ADPSS工程模型中拓扑连接关系,并以此建立PSCAD连接线,实现PSCAD工程模型的拓扑连接;当PSCAD工程模型拓扑向ADPSS转换时,则需通过解析PSCAD工程模型中元件的连接关系,筛选出PSCAD工程模型中母线的位置,分别得出工程模型一次系统与二次系统的拓扑信息,进而完成ADPSS模型的拓扑连接。

### 3 仿真实验分析

PSCAD与ADPSS之间工程模型转换是为了对大电网进行电磁暂态仿真提供数据支撑,因此必须确保转换过程中网络结构和模型的准确性。

#### 3.1 PSCAD工程模型向ADPSS转换验证

为了验证工程模型转换前后仿真结果的正确性,本文使用广泛用于直流系统测试的CIGRE标准算例作为测试算例。测试算例在PSCAD中于整流侧与逆变侧分别添加了读取直流线路与交流线路的电压、电流显示元件。图5与图6分别为转换前后CIGRE标准算例主电路图。对比图5与图6可知,转换前后电路拓扑保持一致。

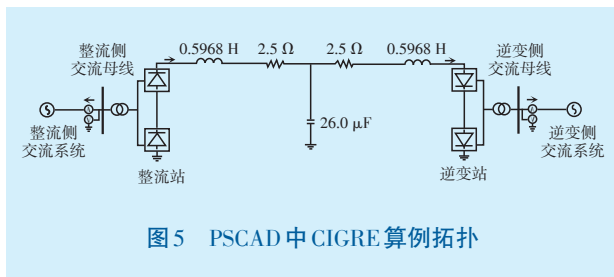


图5 PSCAD中CIGRE算例拓扑

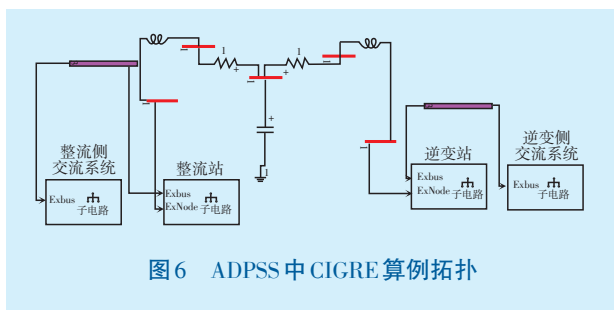


图6 ADPSS中CIGRE算例拓扑

整流侧直流电压和直流电流波形的对比如图7和图8所示。整流侧交流母线L1相电压波形如图9所示,其中仿真总时间为10s。测量误差见表1。

对比主要测量波形可以看出,PSCAD与ADPSS的仿真趋势基本一致,即两个工程模型的动态响应基本一致。由测量误差可以看出,参数误差可以控

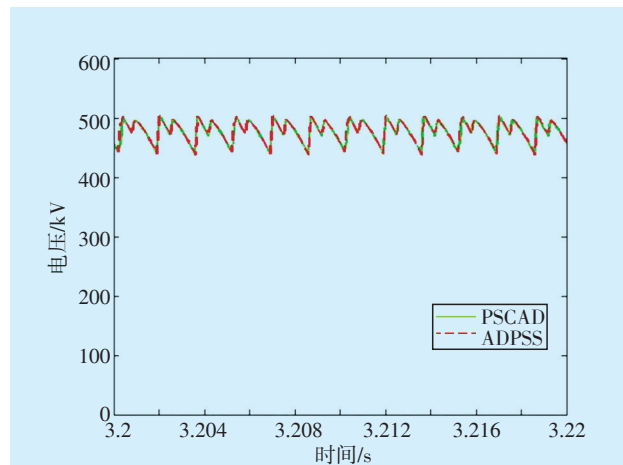


图7 ADPSS与PSCAD中的整流侧直流电压波形对比

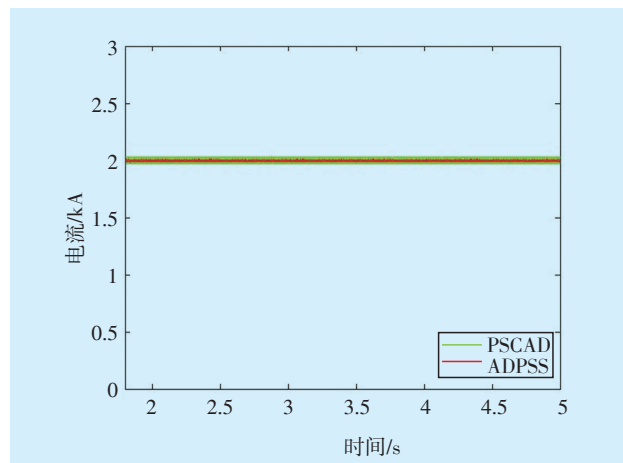


图8 ADPSS与PSCAD中的整流侧直流电流波形对比

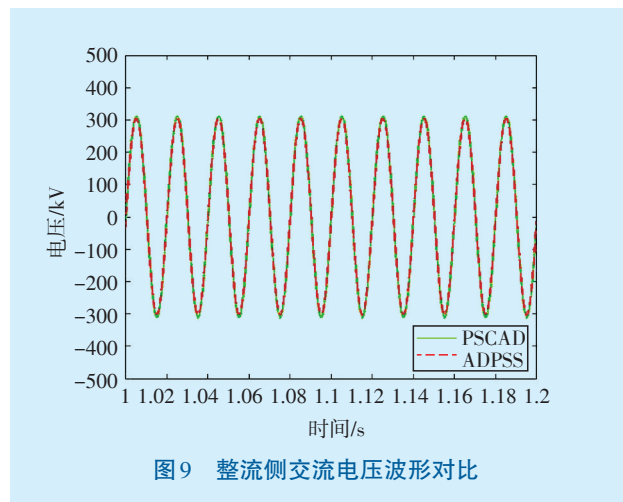


图9 整流侧交流电压波形对比

表1 PSCAD工程模型向APPSS转换前后测量误差

工程模型	直流电压平均值/kV	直流电流平均值/kA	交流电压峰值/kV
PSCAD	471.795	1.979	306.432
ADPSS	477.041	2.000	303.505
相对误差/%	1.111	1.081	-0.955

制在2%以下,分析出现误差的原因在于转换得到的ADPSS工程模型中,没有体现换流器的阀参数(包括关断电阻、反向击穿电压等)和有关变压器饱和曲线的相关参数,即误差主要来源于两种仿真软件工程模型本身的差异。

### 3.2 ADPSS工程模型向PSCAD转换验证

将上述转换得到的CIGRE算例反向转换为PSCAD工程模型以验证ADPSS工程模型向PSCAD转换方法的正确性。图10为转换后的PSCAD中CIGRE标准算例主电路图。对比图10与图6可知,转换前后电路拓扑保持一致。

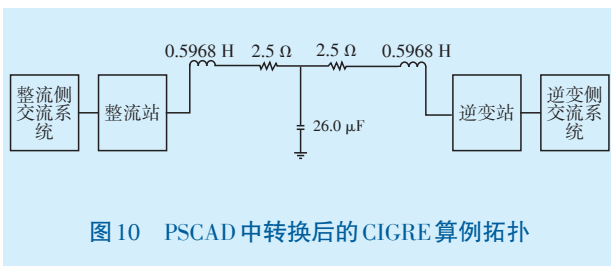


图10 PSCAD中转换后的CIGRE算例拓扑

整流侧电压和电流波形对比如图11和图12所示。整流侧交流母线L1相电压波形如图13所示,其中仿真总时间为10 s。测量误差见表2。

对比主要测量波形可以看出,ADPSS与PSCAD的仿真趋势基本一致,参数误差可以控制在极小的范围内,误差主要来自于两种仿真软件模型本身的差异。

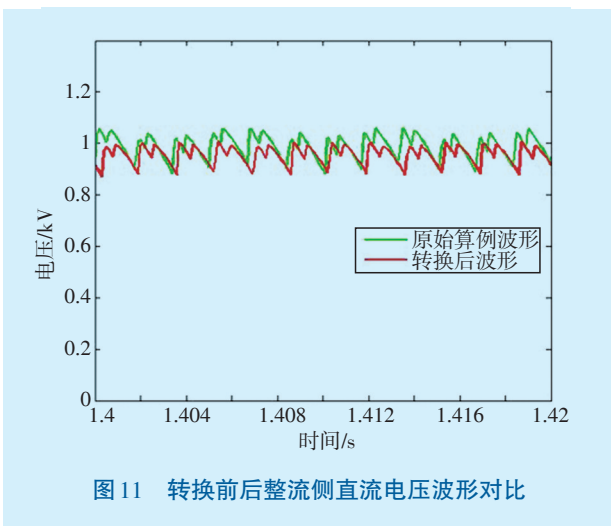


图11 转换前后整流侧直流电压波形对比

表2 ADPSS工程模型向PSCAD转换前后测量误差

工程模型	直流电压平均值/kV	直流电流平均值/kA	交流电压峰值/kV
ADPSS	477.041	2.000	303.505
PSCAD	476.730	1.999	304.454
相对误差/%	-0.065	-0.014	0.313

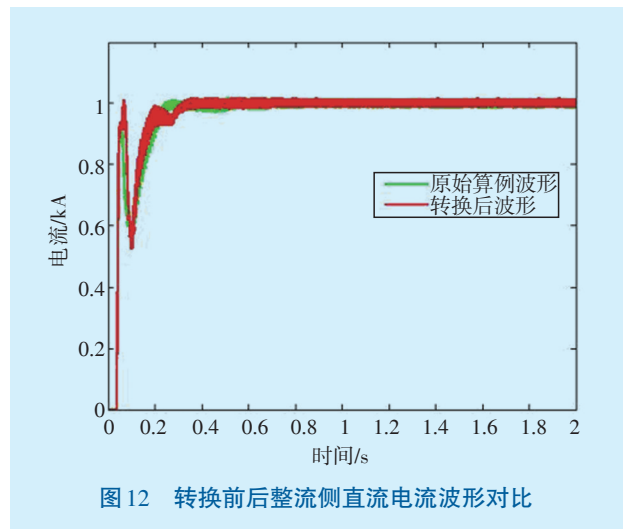


图12 转换前后整流侧直流电流波形对比

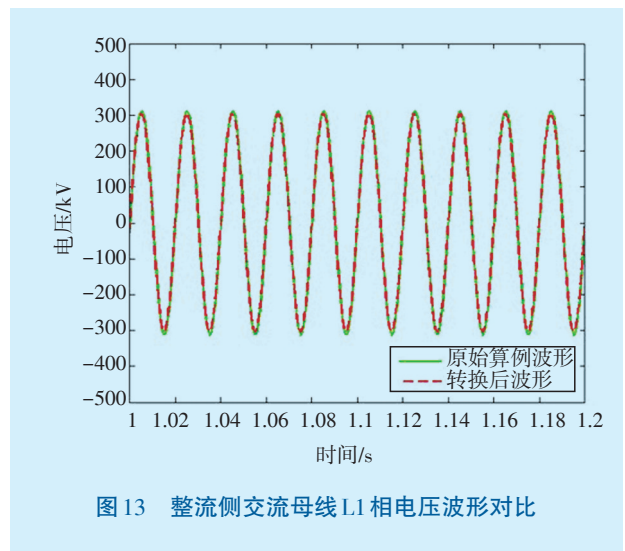


图13 整流侧交流母线L1相电压波形对比

## 4 结语

本文设计了一种用于PSCAD与ADPSS之间进行电磁暂态工程模型转换的方法,选用Libxml2解析器高效准确地解析XML文件数据,实现PSCAD与ADPSS大规模电力系统模型的双向自动转换。通过CIGRE标准算例对工程模型转换方法的有效性进行验证,拓扑对比和仿真结果表明,转换前后的工程模型拓扑一致,动态仿真结果基本一致,其误差可以控制在2%以下,验证了该转换方法的正确性。

### 参考文献:

- [1] 汤广福,贺之渊,庞辉.柔性直流输电工程技术研究、应用及发展[J].电力系统自动化,2013,37(15):3-14.
- [2] 陶华,许津津,邹文聪.BPA向PSCAD模型转换的研究[J].电力自动化设备,2013,33(8):152-(下转第24页)

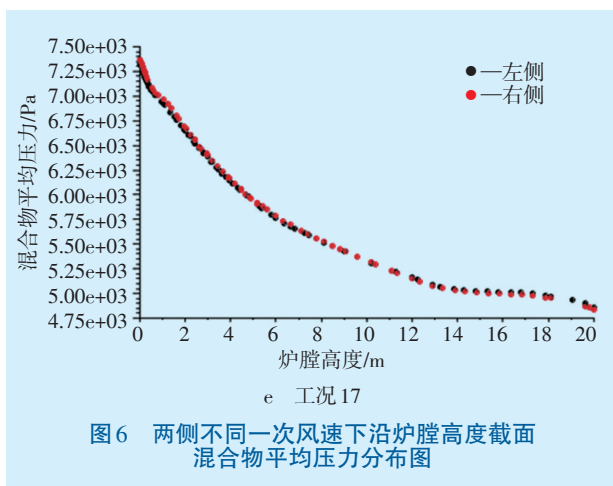


图6 两侧不同一次风速下沿炉膛高度截面混合物平均压力分布图

降低,气相流场的偏移趋势不断减弱,即翻床现象得到缓解,同时两侧的混合物压力差减小,当两侧风速偏差为零时,气相流场分布均匀,翻床现象消失,物料处于正常流动状态。

#### 4 结束语

双布风板循环流化床锅炉机组在电力行业得到越来越多的应用,采用合理措施保证机组的安全、稳定高效运行,是技术人员面临的普遍问题。本次冷态数值模拟结果表明,为防止锅炉流化不良导致结焦,两侧一次风速不能低于10 m/s。运行人员应时刻保持锅炉两侧一次风速相同,当一次风速出现偏差时应及时调整,防止翻床事故扩大化。为

了提高循环流化床锅炉运行的经济性,二次风速不应低于25 m/s。以上试验结果可供同类型锅炉运行借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 刘宏卫,李光耀.双布风板循环流化床锅炉运行特性研究[J].电站系统工程,2013(2):31-34.
- [2] 李京浩.HG-1065/17.5-L.MG44 锅炉机组说明书[Z].哈尔滨:哈尔滨锅炉厂有限责任公司,2009:1-9.
- [3] 韩占忠.FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M].北京:北京理工大学出版社,2004:28-47.
- [4] 刘宏卫.O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 气氛下炉内燃烧过程数值模拟研究[D].保定:华北电力大学,2007.
- [5] 孙绍增.循环流化床中心二次风的设计及实验研究[J].热能动力工程,2010(1):51-56.
- [6] 刘佳.循环流化床锅炉二次风射流特性的冷态实验研究与数值模拟[D].重庆:重庆大学,2007.
- [7] 李金晶.裤衩腿结构循环流化床锅炉床料不平衡现象的数值模拟[J].动力工程,2008(1):28-32.
- [8] 李金晶.大型循环流化床动态特性研究[D].北京:清华大学,2009.
- [9] 杨志伟.裤衩腿型循环流化床动态数学模型研究[J].动力工程学报,2011(11):822-826.
- [10] 李金晶.300 MW 循环流化床的仿真建模[J].清华大学学报,2009(11):1813-1817.

编辑:张俊英

(上接第18页)156.

- [3] 胡益,王晓茹,胡柏玮.基于CPS-SPWM调制方法的MMC-HVDC输电系统冗余保护策略研究[J].电工电能新技术,2016,35(10):9-16.
- [4] 武晓堃,王奎,万磊,等.模块化多电平变换器三种调制策略及电压平衡控制仿真与对比研究[J].电工电能新技术,2014,33(12):4-9,29.
- [5] 田芳,李亚楼,周孝信,等.电力系统全数字实时仿真装置[J].电网技术,2008,32(22):17-22.
- [6] 陈磊,张侃君,夏勇军,等.基于ADPSS的高压直流输电系统机电暂态-电磁暂态混合仿真研究[J].电力系统保护与控制,2013,41(12):136-142.
- [7] 鄂志军.基于PSCAD/EMTDC的电力系统机电暂态与电磁暂态混合仿真[D].天津:天津大学,2005.
- [8] 兰涛.基于自定义模式的PSS/E与PSASP模型转换与仿真对比[D].北京:华北电力大学,2014.

- [9] 董炜,潘秋萍,雷金勇,等.BPA与DigSILENT动态模型比较与数据转换[J].电力系统自动化,2016,40(8):140-146.
- [10] Denetière S, Parisot A, Milin E, et al. Use of XML to import SCADA data into EMT[C]//Power and Energy Society General Meeting.IEEE,2011:1-5.
- [11] 谢宁,吴智韬.基于XML格式的配电网地理信息系统接口设计[J].电力系统自动化,2004,28(9):77-80.
- [12] 孔令波,唐世渭,杨冬青,等.XML数据的查询技术[J].软件学报,2007(6):1400-1418.
- [13] 陈红梅,陈静.XML文档解析技术[J].信息技术,2009(10):175-177.
- [14] 张苗,惠小强.一种快速的XML文档验证算法[J].计算机技术与发展,2015,25(8):123-127.

编辑:王秀清