

# 一种具有良好扩展性的电力系统通用分析软件体系结构研究

桂 勋, 刘志刚, 钱清泉

(西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

**摘要:** 在分析现有电力系统软件体系结构存在的问题和各种著名的专业分析软件的体系结构的基础上, 结合动态语言技术和面向服务的软件体系结构 SOA (Service Oriented Architecture), 提出了一种具备伸缩能力的电力系统通用分析软件体系结构, 能够使电力系统专业分析软件系统在体系结构的鲁棒性、二次开发环境能力、跨平台能力和分布式计算能力上得到大幅提升, 并且降低了系统内构件间的耦合度和开发维护上的成本, 形成了一套完善的软件复用解决方案。

**关键词:** 电力系统分析; 软件体系结构; 动态语言; 软件复用; 可扩展性

## Research on the general architecture of analysis software for power system with remarkable extensible characteristic

GUI Xun, LIU Zhi-gang, QIAN Qing-quan

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** The conventional architecture of analysis software for power system has many problems and shortcomings, which can't meet the new demands that are proposed by the rapidly development of information technology in power system. A flexible general architecture of analysis software for power system is put up with, implemented with SOA and dynamic language, based on analyzing the problems in the current architecture of analysis software for power system and architectures of some famous analysis software system. The architecture scheme promotes robustness of software architecture, the ability of secondary development environment, and the ability of cross-platform and distributed computing of the professional analysis software system of power system greatly. The degree of components coupling and development cost are depressed. A set of perfect software reuse solution is formed finally.

**Key words:** analysis for power system; software architecture; dynamic language; software reuse; extensible characteristic

中图分类号: TM769 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)11-0013-06

## 0 引言

软件复用近年来一直是软件工程中的一个研究热点, 其被视为解决软件危机, 提高软件生产效率和质量的现实可行的途径, 而其中基于构件的软件复用是当前软件复用研究的焦点<sup>[1]</sup>, 在电力系统专业分析软件领域也是如此, 在文献[2]中就详细地讨论了基于构件技术的能量管理系统(EMS)层次模型及其特向性的构件生产过程, 在文献[3~6]中讨论了一种基于组件复用的电力系统软件体系结构。但是由于文献[2~6]中实现技术上的局限性, 导致了其软件体系结构的存在可扩展局限性, 可复用程度关注面单一, 等一系列的问题, 而在另一方面,

由于技术的进步, 动态语言技术<sup>[7,8]</sup>和面向服务的软件体系结构<sup>[9]</sup> SOA (Service Oriented Architecture) 已经成为主导未来软件发展的关键技术, 本文正是基于这种研究和技术背景, 在分析目前现有电力系统分析软件体系结构的基础上, 提出了一种基于 SOA 和动态语言 Python<sup>[10]</sup> 组件调用的新型电力系统通用分析软件体系结构, 使得系统在降低开发难度的基础上获得了良好的可扩展性, 实现了更加完善的软件复用方案。

## 1 现有体系结构的研究

近年来基于组件(构件)复用的电力系统软件体系结构一直都是一个研究热点, 在文献[3, 4]中讨论了基于组件的继电保护整定计算软件、潮流计算和故障计算软件, 文中把一系列的电力系统专业分析算法采用组件技术进行了封装, 形成了在底层可

**基金项目:** 霍英东高等院校青年教师基金(101060); 四川省杰出青年基金(07JQ0075)

复用的电力系统基础计算软件，并且在分析传统的2层体系结构（如图1所示）各种问题和不足的基础上提出了一种4层的基于组件复用的电力系统分析软件体系结构（如图2所示），作者后来在总结文献[3, 4]的基础上在文献[5]中又提出了软件总线思想（如图3所示），以此来降低组件间的耦合度，进一步完善了其提出来的4层电力系统分析软件体系结构，在文献[5]的基础上文献[6]讨论了其软件总线的智能接口技术，又进一步完善了电力构件库的软件总线设计思想。

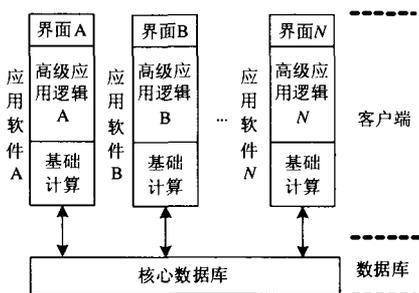


图1 传统的电力系统分析软件体系结构

Fig.1 The conventional architecture of analysis software for power system

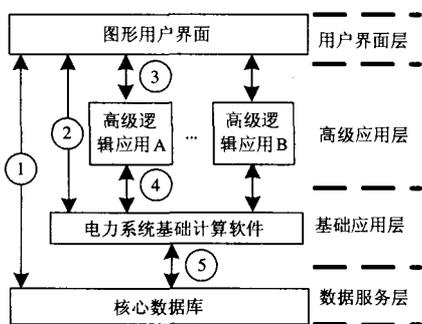


图2 4层的电力系统分析软件体系结构

Fig.2 The four-layer architecture of analysis software for power system

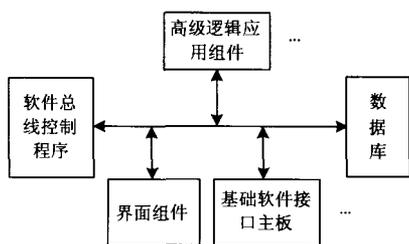


图3 软件总线结构

Fig.3 The architecture of software bus

文献[3~6]中较为完善地讨论了一种电力系统软件体系结构，但如图1、2所示的软件体系结构却

存在以下问题：

(1) 技术局限性：文献[3~6]中讨论的软件体系结构其技术着眼点一直是 COM/DCOM 或 CORBA 技术，并且着重强调了其兼顾的分布式计算能力，然而正是由于这两种技术的实现难度、互操作技术性、跨平台性和防火墙等问题上的瓶颈，才导致了基于 Web Service 的分布式计算技术逐渐成为技术发展的主流。

(2) 可扩展局限性：文献[11]中针对继电保护中有关数据的多样化和不确定性，提出了一种适用于继电保护整定计算的计算机高级语言 HT，实现了基础算法库的灵活复用，从根本上解决保护定值算法的通用性问题，由此可见二次分析环境是解决电力系统领域各种分析通用性问题的一个有效手段。而在文献[3~6]中几乎都把软件系统的重用性定位在不同系统间分析算法的共享和重用上，然而一个真正具有高可重用性的系统，不仅仅只是在算法库上实现重用，而且也应该把整个图形用户系统也实现重用，并且需要提供一个二次开发环境，其中提供的编程语言可让用户灵活的调用各种基础算法和图形界面组件，完成其特定领域内的分析需求，而且其各种算法和界面组件也可根据需要在系统内进行动态添加和删除，只有这样的可动态扩展系统才算是一个真正可重用的系统，具有旺盛的软件生命周期。

(3) 软件分层问题：文献[3~5]把传统的客户/服务器2层模型改造成了4层模型，这种改造在获取更好的系统抽象性的同时也大幅增加了各层组件间的交互复杂度（如图2所示，其对应的一个高级应用系统就需要5条交互支路，而系统为2层的话则只有1条，由此可见交互复杂度增加了5倍），这样的系统必然是一个高耦合的系统，为此文献[5, 6]提出了如图3所示的软件总线方式来解耦，然而这必然又会导致“软件总线控制程序”成为整个系统的效率瓶颈，而更重要的是系统在这种不仅分层，而且加软件总线的情况下，其系统开发的难度、复杂度都要远远高于传统的两层结构。

正是由于以上的原因，在实际的电力系统故障信息系统中<sup>[12, 13]</sup>，其电力故障分析专业软件系统很少有采用文献[3~6]中提出的软件体系结构的，而都是采取了传统的2层体系结构，并且都只是采用动态链接库这种简单的方式来构建电力算法库的<sup>[14, 15]</sup>，在实践中这类系统往往可复用程度很低，系统不灵活，扩展性不强，不具备跨平台的能力，从分析到出详细的故障报告的整个过程只能人为地进行全过程控制，其中的各种功能对于整个故障信

息系统而言都是不可重用的, 扩展困难。

## 2 新的解决研究思路

随着技术的不断进步, SOA 的软件体系设计方法及其相关技术已经成为软件工程领域日益重要的发展趋势<sup>[9]</sup>, 从技术角度出发, 服务不同于以往开发构件的概念, 在[3~6]中采用的 COM 或 CORBA 构件技术都需要经过编译, 而后和应用中的其它部分成为一个紧密的整体, 对于整个系统而言是被动存在的, 只能为编译在其中的应用所工作, 并且其主要讨论的构件技术由于在服务的描述上、跨平台上, 开放性上和易使用上的难度都使得文献[3~6]中讨论的基于分布式构件的电力系统专业分析软件难以实现。而服务则是把软件的某些功能对立出来, 使之能独立运行, 并且在逻辑关系上和运行的应用系统成为一个层次, 需要服务的应用系统可通过网络来查询具体的服务信息, 而正是基于询问这样的粗粒度接口, 使得基于 SOA 设计方法的软件系统结构是一种松散耦合的结构, 系统的可扩展性、鲁棒性得到了极大提升, 极大地提升了软件复用程度。正是由于 SOA 的各种优点所以其各项核心技术 (XML, Web Service 等) 才会被 IEC61850<sup>[16]</sup>, IEC61970<sup>[17]</sup> 等国际标采用, 成为未来主导大型电力监控、调度软件的研发技术。

在技术支撑的基础上, 在[2~6]中的各项技术及其体系结构的讨论中, 其讨论基础背后的技术支撑无疑都是 C/C++ 这一类静态语言 (编译类型), 而完全忽视了灵活性更胜一筹的动态语言 (解释执行类型): Perl, Python, Ruby, Tcltk 等<sup>[7,8]</sup>。而 2005-2006 年的技术大事几乎都围绕着动态语言进行的<sup>[8]</sup>, 由此可见其技术对软件发展的革新力量, 而目前国内电力系统领域内的专业分析软件的开发完全没有采用动态语言, 甚至很多开发人员连动态语言是什么也不清楚。难道动态语言就不能使用在对计算速度有较高要求的电力故障分析软件中吗? 其实不然, 在国外各种著名的专业分析软件中我们都可以看见动态语言的身影: 各种著名的有限元分析软件中使用的 Python; 基因工程领域中 DNA 分析软件内使用的 Perl; 网络仿真 NS 中的 Tcltk, 这些大型分析软件很多通过采用静态语言所不具备的一系列先进特性的动态语言, 使得整个分析软件系统在可扩展性方面都具备了极强能力, 软件复用程度在深度和广度上都得到了极大的提升。

## 3 动态语言 Python

Python 是一种解释型、面向对象、动态语义、

语法优美的脚本语言, 经过十余年的发展, 已经成为目前应用最广的跨平台脚本语言之一。它的源程序和二进制代码可以免费获得。由于其强大灵活的功能, 简洁优美的语法和源代码免费开放, Python 被著名国际自由软件项目 KDE 选定为标准系统脚本语言, 并且微软已经在 NET 环境中提供了对 Python 语言的支持。Python 语言的应用特点如下:

(1) 作为已有组件的粘合剂: 利用 Python 设计的主程序获取用户输入, 在胶合 C/C++、Fortran 等静态语言设计功能组件, 进行运算。这样既简化设计, 又保证了程序的性能。

(2) 科学计算: 由于 Python 可以字节编译执行, 所以 Python 的运行速度很快, 在执行速度上大约是静态语言 C/C++ 的一半, 通过调用 Python 的数字扩展程序模块, Python 可大大降低用户在科学计算领域或开发应用程序的难度, 在大幅简化了源代码的同时又保证了较高的运算速度, 兼有脚本语言设计的简洁性和静态语言运行的快速性, 所以 Python 非常适合科学计算。

另外 Python 提供了动态语言中最庞大的各种扩展库, 几乎包括了计算机应用领域的方方面面, 这被称为 Python 的“功能齐全”理念。另外就是 Python 提供了强大 XML 和 Web Service 开发工具, 通过使用其内置的 DOM 等功能程序, 就可开发 Web Service 的许多方面, 并且需要的定制代码极少。在图形用户系统方面, 著名的跨平台开源 GUI 开发库 wxWidget<sup>[18]</sup> 已经将所有采用 C++ 编写的界面库做成了独立的 Python 扩展组件: wxPython<sup>[18]</sup>, 这样直接采用 Python 就可实现复杂、高效的图形用户系统。

采用 C/C++ 开发同样功能的 Python 组件要比 COM/CORBA 组件要简单得多, 采用简化的封装和接口生成器<sup>[19]</sup> SWIG (Simplified Wrapper and Interface Generator) 来辅助开发 Python 组件可大幅简化各种中间代码和脚本的编写工作, 只要具备基本 C 语言能力的人员就可以胜任 Python 扩展组件的开发工作。

SWIG 现在支持包括 Python、Perl 等多种动态语言, SWIG 可自动扫描 C 原型表, 全自动地生成各种解释语言的接口封装代码和各种辅助脚本, 当然最重要的就是 SWIG 不要求对已有的 C/C++ 程序进行修改, 这样就可把原来独立开发并可测试的各个 C/C++ 电力算法工程和 Python 算法组件工程进行源代码级的共享, 开发和测试得以并行执行, 系统开发效率得到了大幅提高, 具体原理如图 4 所示。

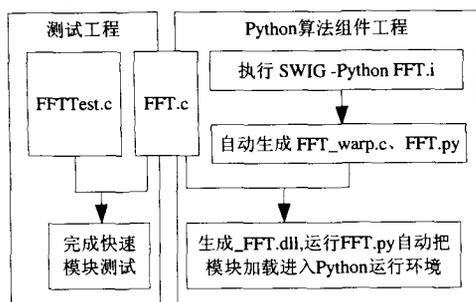


图 4 使用 SWIG 辅助开发

Fig.4 Using SWIG to assist development

由图 4 可见独立的 FFT.c 文件被测试工程和 Python 算法组件工程所共享，在测试工程内，通过 FFTes.c 可独立地对算法进行测试，而在 Python 算法组件工程内，开发人员只需要为 FFT.c 中的函数

写一个简单的接口描述脚本即可，而后通过自动执行 SWIG 命令来产生接口封装文件 FFT\_Warp.c 和其它辅助脚本，而这一切对于开发来讲都是透明的。最后把 FFT\_Warp.c 交给任何一个主流 C++ 编译器就可生成扩展组件的物理实体：\_FFT.dll，之后就可通过运行 FFT.py 把这个组件加载到 Python 运行环境中，成为 Python 命令中扩展的一部分。

#### 4 具备良好扩展特性的电力分析软件体系结构

在总结分析国内研究现状的情况下，通过分析各种著名科学分析软件的体系结构及其软件核心技术，针对电力系统专业分析领域提出了如图 5 所示的软件体系结构及其软件核心技术。

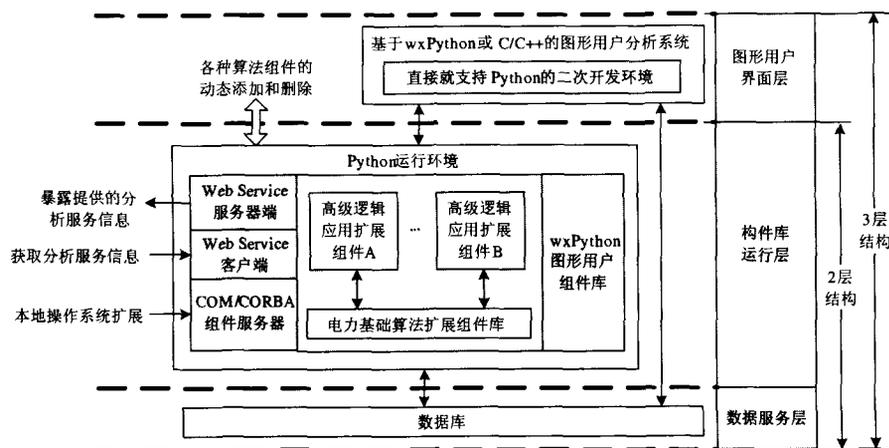


图 5 强扩展性的电力分析软件体系结构

Fig.5 The architecture of analysis software for power system with great extensible characteristic

从图 5 可见，这种软件体系结构最多由三层组成：

(1) 数据服务层：由具备分布存储内能的主流数据库构成，负责对其它两层提供电力系统分析所需要的电网状态信息及其各种参数。

(2) 构件库运行层：此层根据实际配置需要最多可由：Python 运行环境、电力基础算法扩展组件库、各种高级逻辑应用扩展组件、Web Service 服务器端/客户端、COM/CORBA 组件服务器和 wxPython 图形用户组件库组成。其中 Python 运行环境和电力基础算法扩展组件库是最基本配置，而其它全部为可选择组件。电力基础算法扩展组件库包括了状态估计，接线分析，潮流计算和短路计算，及其针对录波的数字信号处理组件，测距组件，这些基础扩展组件可为各种高级电力分析应用：负荷预测、故障计算、最优潮流、稳定分析、暂态分析

和故障录波分析等提供基础算法服务。这儿需要强调的是电力基础算法扩展组件库和高级逻辑应用扩展组件之间的交互媒介不再是 [3~6] 中讨论的 COM/CORBA 接口，取而代之是简单的多 Python 脚本，甚至某些高级逻辑应用扩展组件就可以完全采用 Python 来编写，程序中直接调用需要的基础扩展组件。Web Service 服务器端/客户端以服务的方式提供或获取电力专业分析服务，实现分布的专业分析服务。COM/CORBA 组件服务器可用于分析软件系统处于不同操作系统时，根据需要加载不同的本地服务组件（在动态语言环境中加载 COM/CORBA 比起 C/C++ 环境中要简单的多，就像 VB 中访问 COM 组件一样简单）。wxPython 图形用户组件库用于直接采用 Python 来实现跨平台的图形用户分析环境。

(3) 图形用户界面层：此层可根据情况采用两

种技术手段来实现,一种是采用静态语言 C/C++ 开发的图形界面库 (MFC、QT 等),这是目前国内电力系统分析软件的主流,另外一种情况就是采用 wxPython 库,通过 Python 直接调用 wxWidget 库中的组件来快速地构建图形用户系统。这两种技术中,采用 wxPython 开发的图形用户系统在效率上不会比 MFC 或 QT 开发的系统慢多少,但在开发难度,维护成本等方面要降低不少,但不管采用这两种方式中的任何一种,最终的图形用户系统天生就具备了向用户提供基于 Python 语言二次开发环境的能力。但在这两种二次开发环境中,基于 wxPython 库开发的系统要更强,因为在其二次开发环境中天生就具备了通过 Python 脚本完全控制从图形用户系统到算法组件全部的系统资源,而采用 MFC 或 QT 库实现起来则要困难得多。

从图 5 可见,这种软件体系结构不再是目前电力系统软件分析领域普遍的 2 层体系结构(如图 2 所示)或文献[3~6]中讨论的 4 层体系结构,而是可根据需要在 2 层或 3 层间可灵活伸缩的体系结构。

(A) 2 层体系结构:这种体系结构由构件运行层和数据服务层组成,没有图形用户界面层,可直接在 Python 运行环境中通过脚本快速地完成算法分析任务。这种体系结构适合各种后台电力系统分析,并且由于没有图形用户界面,所以对硬件的配置要求也降低了。同时可根据需要,快速地加入图形用户界面层,把这种 2 层结构升级成 3 层结构。

(B) 3 层体系结构:这种体系结构由图形用户界面层、构件运行层和数据服务层组成。这种体系结构适合当前电力系统分析领域中的各种图形化的分析软件系统。同样这种 3 层结构也可根据现场需要或硬件配置情况,快速地退化 2 层结构。

## 5 软件体系结构对比分析

本文提出的针对电力系统的通用分析软件体系结构对比传统的 2 层和文献[3~6]中提出的 4 层结构有明显的优势,具体如下所述:

(1) 软件体系结构的鲁棒性:传统的 2 层软件体系结构或文献[3~6]中提出 4 层软件体系结构都缺少针对具体运行环境来调整软件体系结构的能力,而这种能力却是各种著名的软件系统所具备的:例如 Office、AutoCAD 等,这些先进的软件系统不仅可以在图形环境下工作,也可以在没有图形环境的情况下通过脚本来完成任务。本文讨论的软件体系结构就具备了这种调整能力,具有较强的鲁棒性。

(2) 系统的松散耦合度:传统 2 层体系结构下的分析软件无疑是一个紧密耦合的系统,而文献

[3~6]中讨论的 4 层体系结构,为了解决层数过多而导致的系统耦合问题,专门提出了软件总线的设计思想,可这样却容易导致系统运行上的效率瓶颈。而本文提出的软件体系结构却没有这样的问题,因为 Python 运行环境本身就是一个高效的软件总线,而且在构件运行层中的电力基础算法扩展构件库和高级逻辑应用扩展组件之间的交互是通过松散耦合的脚本来实现的,而不是 4 层结构中 COM 或 CORBA 的紧密接口交互方式,所以本文提出的软件体系结构的耦合度要更低。

(3) 二次开发环境能力:传统 2 层体系结构下的分析软件,其二次分析环境要么是没有,要么就是很弱,这种情况就导致了在同一个分析领域,却同时存在针对不同分析背景的同类软件。现有文献[3~6]中却没有讨论这个关键问题,而本文提出的软件体系结构却天生就具备了基于 Python 语言的二次开发环境的能力,解决了目前电力系统专业分析软件领域面临的一个难题。

(4) 跨平台能力:目前电力系统专业分析软件领域,具备跨平台能力的分析软件相当的少,而本文采用的动态语言技术,天生就具备了在多种操作系统下进行无差别运行的能力,且不会出现文献[3~6]中讨论的 COM 或 CORBA 的技术取舍问题。

(5) 分布式计算能力:目前电力系统专业分析软件领域,具备分布式计算能力的软件相当的少,文献[3~6]中专门强调了 DCOM/CORBA 的分布式计算能力,可实际中由于实现难度,互操作性能力等方面的问题,导致各种分析软件很少采用这类技术,而在另一方面随着 Web Service 技术的逐步完善,基于 Web Service 的分布式计算逐步成为技术的主流。而本文讨论的分布式计算技术就是基于 Web Service 的,且在 Python 运行环境中很容易实现 Web Service 的服务器和客户端。

(6) 开发和升级成本:传统的 2 层体系结构由于其存在的各种问题和缺陷,使得系统的开发和升级成本高昂,可是文献[3~6]中讨论的 4 层体系结构、软件总线和 COM/CORBA 技术,其系统开发难度上比传统的 2 层体系结构的还要难。而本文讨论的软件体系结构首先在核心技术的选取上就比 COM/CORBA 的开发难度低,而且开发过程中分工更为明确:让具备基本 C 语言开发能力的电力系统专业人员开发算法组件,而让计算机专业人员开发交互系统。这样就可解决目前很多厂家面临的专业分析软件由于计算机专业的人来开发所带来的专业鸿沟。

(7) 软件系统复用程度:传统的 2 层体系结构

无疑不具备软件复用的能力,可文献[3~6]中讨论的体系结构也只是集中在算法组件上的复用,而本文讨论的软件体系结构却包含了从算法组件到图形用户系统全部的软件资源复用,其软件复用程度更高。

## 6 总结

随着计算机科学的飞速发展,IEC61970 和 IEC61850 已经逐步地深入到电力系统信息化发展的各个角落,而对于关系电力系统安全运行分析和研究应用的专业分析软件系统,却存在这样那样的可扩展性问题,而国际上很多著名的科学分析软件系统之所以能保持旺盛的生命力,和其软件体系结构上的强鲁棒性和技术选择上的多元性是密不可分的。本文就是在这样的背景下,指出了现有的基于 COM/CORBA 的电力系统专业分析软件体系结构的各种不足,通过分析各种著名科学分析软件的体系结构及其软件核心技术,结合当今软件技术的发展提出了一种新的电力系统专业分析软件体系结构,总结并分析了其具备的各种优点,为我国更为先进的电力系统专业分析软件系统开发提供了新的技术参考。

## 参考文献

- [1] 杨芙清,梅宏,李克勤.软件复用与软件构件技术[J].电子学报,1999,27(2):68-75.  
YANG Fu-qing, MEI Hong, LI Ke-qin. Software Reuse and Software Component Technology[J]. Acta Electronica Sinica, 1999, 27(2):68-75.
- [2] 曾克娥,谢庆国,沈轶,等.基于构件技术的能量管理系统设计思想[J].电力系统自动化,2001,25(9):35-37.  
ZENG Ke-e, XIE Qing-guo, SHEN Yi, et al. Design Ideology of Component Technology-Based Energy Management System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(9):35-37.
- [3] 邓健,宋玮,张明霞,等.基于组件技术的继电保护整定计算软件的设计与实现[J].继电器,2004,32(6):44-48.  
DENG Jian, SONG Wei, ZHANG Ming-xia, et al. Design and Realization of Component-Based Software for Relay Protection Setting Calculation[J]. Relay, 2004, 32(6):44-48.
- [4] 邓健,宋玮.面向可复用体系结构的潮流计算和故障计算软件的实现[J].电网技术,2004,28(22):71-75.  
DENG Jian, SONG Wei. Implementation of Software for Load Flow Calculation and Fault Calculation Based on Reusable Architecture[J]. Power System Technology, 2004, 28(22):71-75.
- [5] 李书勇,宋玮,邓健,等.一种基于复用组件的电力系统软件体系结构[J].继电器,2005,33(2):39-42.  
LI Shu-yong, SONG Wei, DENG Jian, et al. A Power System Software Architecture of Reusable Components[J]. Relay, 2005, 33(2): 39 - 42 .
- [6] 张惠山,宋玮.智能接口在电力系统构件复用软件体系结构中应用[J].电力自动化设备,2006,26(7):81-83.  
ZHANG Hui-shan, SONG Wei. Application of Intelligent Interface in Power System Component-Based Reusage Software Architecture[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(7):81-83.
- [7] Ousterhout J K. Scripting: Higher-Level Programming for the 21st Century[J]. IEEE Computer Society: Computer, 1998, 31 (3):23-30.
- [8] 孟岩. 未来属于动态语言——2006 动态语言发展评述[J]. 程序员, 2007, (1).  
MENG Yan. The Future Belong to Dynamic Language—Reviewed the Development of Dynamic Language in 2006[J]. Programmer, 2007, (1).
- [9] 杨芙清. 软件工程技术发展思索[J]. 软件学报, 2005, 16(1):1-7.  
YANG Fu-qing. Thinking on the Development of Software Engineering Technology[J]. Journal of Software, 2005, 16(1):1-7.
- [10] Pilgrim M. DiveIntoPython.pdf [EB/OL]. <http://www.diveintopython.org>, 2006-12-8.
- [11] 陈青,黄德斌,唐毅,等.一种新的继电保护整定计算及管理系统——高级编程语言 HT[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(17):59-61.  
CHEN Qing, HUANG De-bin, TANG Yi, et al. A New Protection Relay Calculation and Management System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(17):59-61.
- [12] 杜新伟,李媛,刘涤尘. 电力故障录波数据综合处理系统[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(12):75-80.  
DU Xin-wei, LI Yuan, LIU Di-chen. Integrated Processing System for Power Fault Recording Data[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(12):75-80.
- [13] 黄树帮,叶留金,袁宇波,等. 电网继电保护及故障信息处理主站系统的设计和实现[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16):88-92.  
HUANG Shu-bang, YE Liu-jin, YUAN Yu-bo, et al. Design and Implementation of Protective Relaying and Fault Information Processing Master System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(16):88-92.
- [14] 韩肖清,靳力,阎有朋. 图形化故障计算软件的开发[J]. 电力系统自动化, 2001, 18(4):70-71.  
HAN Xiao-qing, JIN Li, YAN You-peng. The Development of Graphical Fault Analysis Software[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 18(4):70-71.
- [15] 段惠明,宿昌,齐欢,等. 电网故障信息处理及控制系统的设计与应用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(1):94-96.

(下转第 87 页 continued on page 87)

常时根据对地电容变化情况预先调节到设定补偿状态,接地故障发生时,无延时实现跟踪补偿。运行结果表明,该消弧线圈不仅运行可靠,而且由于大大减小了接地故障电流,使电缆接地放炮事故大幅度减少,可大大提高电网的安全、可靠运行性能。

使用自动跟踪补偿的消弧线圈(并电阻)以后,不但可以降低单相接地电流值,而且使过电压处于较低水平,从图4过电压情况来看,能有效降低过电压值,有利于电网的安全运行。自动跟踪补偿的消弧线圈和接地选线保护装置的使用,从技术上解决了消弧线圈的一些不足<sup>[3]</sup>。

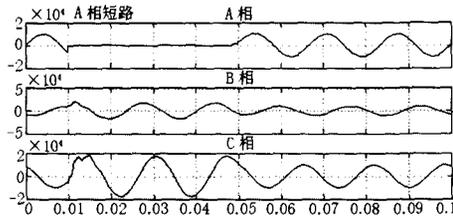


图4 过电压波形图

Fig.4 Wave of over voltage

### 3 结论

从世界各国的电网来看,电网中性点接地方式不是一成不变的,它是一个涉及电网许多方面的问题,采用何种接地方式,应根据不同电网的不同特点综合考虑。在选择中性点接地方式时,除上述几个方面的因素外,还应考虑:1.接地设备的运行是否方便;2.传统的做法和原有系统的接地方式;3.系统发展的可能性;4.接地设备的投资费用等;5.对电信设备的干扰。

配电网中性点接地方式的选择与电力系统安全可靠运行密切相关,是电网建设中必须关注的重要问题。煤矿电网随着生产规模的扩大,井下供电范围逐渐扩大,造成系统单相接地电容电流也随之增大。配电网属小电流接地系统,单相接地不形成

短路回路,单相接地电流主要为电容电流,而电力系统安全运行规程规定可继续运行1~2 h。若单相接地电容电流较大,在发生接地故障时,过大的单相接地电流经常引起电缆放炮和击穿现象,极易形成两相接地短路,弧光接地还会引起全系统过电压,影响正常生产,并给矿井和人身安全带来严重后果<sup>[4]</sup>。

总之,既要考虑生产的发展,技术的进步,同时还要考虑社会和经济效益。

### 参考文献

- [1] 牟龙华,孟庆海. 供配电安全技术[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 许允之.配电网中性点经高阻接地安全性能的分析[J].电工技术学报,1999,4(4):77-80.  
XU Yun-zhi.Safety Analysis of Power Network Neutral Point Grounding through High-Resistance[J].Transactions of China Electrotechnical Society,1999,4(4):77-80.
- [3] 牟龙华.高压电网高阻接地方式的分析[J].中国矿业大学学报,1995,24(4):61-64.  
MOU Long-hua.Analysis of Grounding Method with High-resistance for High Voltage Electric Network[J].Journal of China University of Technology,1995,24(4):61-64.
- [4] 牟龙华,胡天露,唐翔.消弧线圈并电阻接地方式研究[J].煤炭学报,1994,19(6):598-604.  
MOU Long-hua, HU Tian-lu, TANG Xiang.Study of Arc Extinguishing Coil with Parallel Resistance Earthing[J].Journal of China Coal Society,1994,19(6):598-604.

收稿日期:2007-11-21; 修回日期:2008-03-24

作者简介:

许允之(1961-),男,高级工程师,从事电力系统自动化和高电压技术方面的教学与科研。E-mail:xyzh1962@163.com

(上接第18页 continued from page 18)

DUAN Hui-ming,SU Chang,QI Huan, et al.Design and Application of Fault Information Processing and Control System for Power Grid[J].Automation of Electric Power Systems,2004,28(1):94-96.

[16] IEC.IEC61850 Communication Networks and System in Substation.IEC 2003[S].

[17] 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 Shen-ming,LIU Guo-ding.Introduction of Standard IEC61970[J].Automation of Electric Power Systems,2002,26(14):1-6.

[18] Rappin N, Dunn R. wxPython in Action[M]. USA:

Manning Publications Co,2006.

[19] Beazley D M. SWIG-1.3\_Development\_Documentation.pdf[EB/OL]. http://www.swig.org. 2006-10-18.

收稿日期:2007-08-10

作者简介:

桂 勋(1978-),男,博士研究生,从事电力系统自动化研究;E-mail:guinh3@263.net

刘志刚(1975-),男,教授,从事现代信号处理技术及在电力系统应用研究;

钱清泉(1936-),男,教授,中国工程院院士,从事电力监控系统及其自动化研究。