

EAST 电子回旋共振加热数据发布系统设计

侯 芳,徐昂东,刘甫坤,汤允迎,徐伟业,黄傲霜,冯建强
(中国科学院 等离子体物理研究所,安徽 合肥 230031)

摘 要:为了管理 EAST 核聚变装置上电子回旋共振加热系统中采集的脉冲数据,监控 EAST 上 140 GHz/4 MW ECRH 系统的微波源和水冷子系统的工作状态,文中设计并实现了基于 Qt 和 PHP 的数据管理与发布系统。在现场采集下位机与控制室上位机之间,采用基于光纤通讯的工业以太网结构,保证数据的无干扰及实时传送。通过 UDP 协议,实时传输采集到的功率数据。控制室的上位机使用 Qt 双缓冲二维绘图技术对放电过程中采集的脉冲数据进行动态波形显示,保证显示图像清晰且无闪烁现象。通过 TCP 协议,传输每炮的完整脉冲数据。采用 Qt 内存绘图和 PHP 绘图技术两种方式进行每炮完整脉冲数据波形的静态显示。系统实现 B/S 和 C/S 两种波形访问方式。整体测试结果表明,数据管理与发布系统的各项技术指标满足要求。

关键词:电子回旋共振加热;数据发布;数据库;Qt;PHP;MySQL

中图分类号:TP274+.2

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)05-001-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.05.001

Design of Data Management and Released System for ECRH on EAST

HOU Fang, XU Han-dong, LIU Fu-kun, TANG Yun-ying, XU Wei-ye,
HUANG Ao-shuang, FENG Jian-qiang

(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: In order to manage the data acquired from the ECRH system of EAST, to monitor the state of the microwave sources and the water cooling system of 140 GHz/4 MW ECRH system, design and implement a data management and issue system based on Qt and PHP. Between the down machine of field acquisition and upper machine of control room, use the industrial Ethernet structure based on optical fiber communication to ensure no interference and the real-time transmission for data. Through the UDP, data is collected in real-time transmission power. Control room PC using Qt double-buffering two-dimensional graphics to dynamic data collected in the process of discharge pulse waveform display, ensure clear and no picture flicker phenomenon. Through the TCP, each gun full pulse data is transmitted. The Qt memory mapping and PHP mapping techniques are used to statically display the complete data. And design two access, B/S and C/S, to view the data. Finally, test the data management and issue system, find that it satisfies the requirements.

Key words: ECRH; data released; database; Qt; PHP; MySQL

0 引 言

在磁约束受控热核聚变研究中,电子回旋共振加热(ECRH)是等离子体辅助加热的重要方法之一^[1]。可用于电子加热、电流驱动、控制磁流体动力学(MHD)不稳定性、辅助等离子体启动、开展热输运和粒子输运研究等。由于它具有耦合效率高、局域加热性好等优点,能够实现高参数、高约束的等离子体放电,目前中科院等离子体物理研究所在超导托卡马克(EAST)装置上正在设计 140 GHz/4 MW 的 ECRH 系

统。EAST 上 ECRH 系统的微波源采用 4 只回旋管,每只回旋管的输出功率为 1 MW,总输出功率为 4 MW。ECRH 系统由回旋管、传输、天线、监控保护、高压电源、水冷及配套的真空、低温等子系统构成。回旋管子系统产生的高功率微波通过真空皱纹波导传输线系统,送给集束天线,将高功率毫米波耦合给等离子体,实现等离子体加热及电流驱动。通过实验数据,对实验中发生的物理现象进行分析,为实验研究与理论发现提供可靠的参考资料^[2]。

收稿日期:2014-06-16

修回日期:2014-09-23

网络出版时间:2015-02-23

基金项目:国家磁约束核聚变能研究专项(2011GB102000);国家自然科学基金资助项目(11305210);中国科学院合肥物质科学研究院院长基金(YZJJ201307)

作者简介:侯 芳(1989-),女,在读硕士,研究方向为计算机应用技术;刘甫坤,研究员,研究方向为电子学、电磁场理论和微波技术。

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150223.1252.054.html>

ECRH 系统上计算机数据管理与发布软件要求对下位机采集的脉冲数据进行存储、实时波形显示和详细波形显示,并提供便捷的访问途径,满足实验人员对数据的查看与获取。对于 ECRH 系统,脉冲数据主要是由 EAST 放电期间下位机采集到的每炮入射和反射功率组成^[3]。

1 系统总体设计

工业以太网技术具有价格低廉、稳定可靠、通信速率高、软硬件产品丰富、应用广泛以及支持技术成熟等优点^[4-5]。考虑到以太网的诸多优点和 ECRH 系统的传输需求,140 GHz/4 MW ECRH 系统的数据传输网络采用工业以太网拓扑结构。数据传输网络共分为三个网段,分别是数据网段(完成上下位机之间脉冲数据的传输)、控制网段(上位机向下位机发送控制命令)和现场视频监控网段(传输现场拍摄的监控视频)。在 ECRH 数据传输局域网内,现场采集下位机实现对所有脉冲波形进行高速采集。在采集完成之后,将采集到的脉冲数据发往控制室的上位机,上位机软件对脉冲数据进行动态波形显示并存储到数据服务器。为了屏蔽电磁信号的干扰,保证传输数据的可靠性和安全性,现场采集下位机和控制室上位机之间经由交换机采用光纤接入^[6],如图 1 所示。

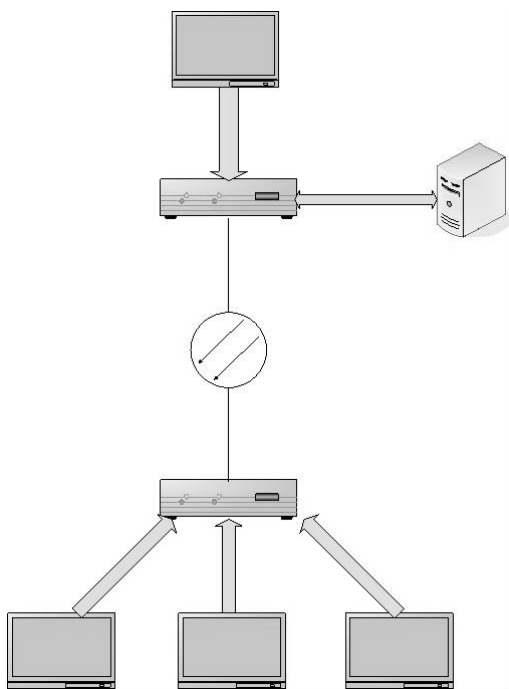


图 1 ECRH 网络拓扑图

每次 EAST 放电采集到的脉冲数据是一系列的点数据,这些点数据组成了一个矢量集合。根据脉冲数据的特点和系统对脉冲数据的显示要求,将采用关系型数据库 MySQL 对脉冲数据的说明信息,如炮号、采集时间、平均功率、极向角等进行存储,每一炮脉冲说

明信息对应到 MySQL 数据库中的一条记录。对于脉冲数据矢量集合的存储,采用字节码文件的方式,把每炮采集的完整脉冲数据对应一个服务器端的字节码文件。在逻辑上,实现 MySQL 数据库中每炮数据的记录对应相应炮号的一个脉冲数据文件。完成以上数据存储管理的同时,需要实时更新最新的数据信息到脉冲数据的显示界面,保证显示数据的时效性。

ECRH 数据管理与发布系统的主要工作流程如下:

(1) 在每一次放电过程中,ECRH 控制系统接收到 EAST 中央总控的放电信号之后,发送开始采集信号到下位机。下位机接收到信号之后,进入采集模式,开始采集入射、反射功率和相关的电压和水冷系统的数据。对于采集到的脉冲数据,通过 UDP 协议发送到实时波形显示上位机。上位机通过 Qt 的信号-槽机制接收脉冲数据,并利用 Qt 双缓冲绘图技术显示动态波形^[7]。

(2) 在 EAST 相邻两次放电的间隙,下位机将采集到的、完整的一炮数据加上炮号、采集时间等打包成一个文件,通过 Qt 的 QTcpSocket 客户端类发送到上位机的数据服务器。数据服务器利用 Qt 的 QTcpServer 服务器类完成数据的接收。把整炮数据文件头部包含的炮号、开始时间等信息提取出来,通过整理与计算得到一炮数据的说明信息,并把这条说明信息以记录的形式添加到 MySQL 数据库。数据文件包含的脉冲数据(点数据)则存储在数据服务器的固定文件系统中^[8]。

(3) 完成(2)之后,对最近完成的一炮数据进行处理。即根据 ECRH 系统对脉冲数据不同的查询要求,提供浏览器-服务器(B/S)和客户端-服务器(C/S)两种数据访问方式,方便实验人员对脉冲数据进行查询、显示和下载等操作。

2 系统实现

2.1 开发工具选择

ECRH 数据管理与发布系统是一个比较复杂的系统,其包含了多方面的需求。首先,从控制的角度看,系统要求实时性和可靠性;其次,从数据管理和发布角度看,系统又对网络性能要求很高,并要求系统具有大量的数据存储和管理能力;最后,从用户操作使用的角度看,人机交互界面友好性是关注的焦点。Linux 系统具有强大的网络处理能力,而且 Linux 的文件系统减少了文件的碎片化,相对于 Windows 而言,在一定程度上提高了硬盘的读写性能。通过与 SCSI 硬盘技术和 RAID5 阵列技术的结合,Linux 系统是数据服务器的理想选择。Windows 操作系统显然以界面友好和易用性

而见长,将用于人机交互的子系统上位机^[9]。

Qt 是一个跨平台的 C++ 图形用户界面应用程序框架。它提供给应用程序开发者建立艺术级的图形用户界面所需的所有功能。Qt 很容易扩展,并且允许真正的组件编程。Qt 内置解析 XML、连接数据库、访问网络等库函数。通过 QTcpSocket 和 QTcpServer 类可以用来实现 TCP 客户端和服务端数据的传递。TCP 是一种面向连接(连接导向)的、可靠的、基于字节流的传输层通信协议,它构成了包括 FTP 和 HTTP 等很多应用程序的因特网协议基础,它也可以用于控制用户自己的协议。Qt 的二维图形引擎是基于 QPainter 类的。QPainter 既可以绘制几何形状(点、线、矩形等),也可以绘制像素映射、图像和文字。Qt 提供的双缓冲技术,可绘制平滑过渡(即,没有闪烁效果的)动态波形显示图像^[7]。

MySQL 是一种关联数据库管理系统,关联数据库将数据保存在不同的表中,而不是将所有数据放在一个大仓库内,这样就增加了速度并提高了灵活性。由于其体积小、速度快、总体拥有成本低,尤其是开放源码这一特点,一般中小型网站的开发都选择 MySQL 作为网站数据库。MySQL 搭配 PHP 和 Apache 可组成良好的开发环境(Linux 作为操作系统,Apache 作为 Web 服务器,MySQL 作为数据库,PHP 作为服务器端脚本解释器)^[10]。聚变实验 ECRH 系统,其实验数据比较特殊,所有的脉冲数据都和炮号相关,每炮又会产生不同种类的许多道信号,且每道信号都是随时间变化的数值序列,也即矢量信号,大小从几兆到几十兆乃至上百兆字节不等。根据实验数据和关系型数据的关系,用 MySQL 关系数据库来存储脉冲数据的说明信息。每一炮的功率说明数据包括炮号、开始时间、采集时间、脉宽、最高功率、平均功率、天线环向角、天线极向角、极化器 1、极化器 2 等字段。把这种信息称为功率数据的元数据,元数据描述了实验数据的属性^[11]。

2.2 数据传输

140 GHz/4 MW ECRH 数据管理与发布系统的主要任务是组建可靠通信的数据局域网,完成现场下位机和控制室上位机之间的通信。工业以太网是应用于工业控制领域的以太网技术,应用广泛、通信速率高(10、100 Mb/s 的快速以太网已开始广泛应用,1 Gb/s 以太网技术也逐渐成熟)、资源共享能力强、可靠性高、抗干扰性高。ECRH 系统采用工业以太网数据传输技术。光纤是一种利用光在玻璃或塑料制成的纤维中的全反射原理达成的光传导工具,损耗低、抗干扰能力强、耐高压、高温、腐蚀,适于在特殊环境下工作。同时,带宽高,通讯量大衰减小,传输距离远等优良特性,完全满足 ECRH 系统数据的传输需求。因此,在现场

下位机和控制室上位机之间采用光纤进行数据传输^[12]。

在每次放电期间,为了满足实时监控微波源及水冷子系统的性能,需要观察实时脉冲数据在整体上的变化趋势。实时脉冲数据的传输与显示对时间要求严格,但是对传输数据的完整性要求不高。实时脉冲数据的动态波形显示主要目的是实时观察脉冲数据的整体走势。正常情况下,数据从采集到显示,网络延时成为主要的时间延迟。为了解决网络延时,对实时脉冲数据的传输使用无连接的 UDP 协议(UDP 是一种不可靠的、面向数据报的协议,发送数据之前无需建立连接,节省了建立连接的大量时间),可以保证数据传输的实时性。根据 Qt 的信号-槽机制,由 QUdpSocket 类可以完成数据的实时发送与接收。对接收到的实时脉冲数据,采用 Qt 二维绘图的双缓冲机制,动态显示实时脉冲数据。绘制的动态波形图可以整体上观察到 ECRH 功率数据的品质,如图 2 所示。

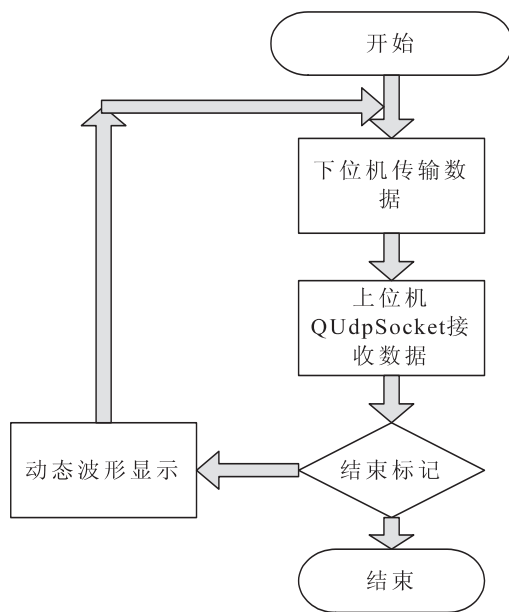


图 2 一次放电实时数据传输流程图

EAST 在一次放电结束到下次放电开始至少有 6 min 的间隔,期间有充足的时间,把采集到的一炮完整脉冲数据传输到数据服务器进行存储管理,方便实验人员后期的科研参考。整炮数据的传输对可靠性要求严格,保证最大程度的无差错传输。因此,采用面向连接的 TCP 协议(TCP 是一种面向连接的 TCP/IP 协议,传输之前需要建立连接,从而保证数据传输的可靠性),在每次放电结束,把一炮数据完整地发送到数据服务器进行处理。详细数据内容包括开始标记、炮号、开始时间、采集时间、脉宽、天线环向角、天线极向角、极化器 1、极化器 2、波形数据和结束标记^[13]。

利用 Qt 处理接收到的详细数据格式如下:

in>>开始标记>>炮号>>开始时间>>采集时间>>

脉宽>>天线环向角>>天线极向角>>极化器 1>>极化器 2>>下位机采集的脉冲数据>>结束标记;

功率数据传输格式如表 1 所示。

表 1 功率数据传输格式

项目	说明	项目	说明
quint16	开始标记	quint8	天线极向角
quint8	炮号	QString	极化器 1
QDateTime	开始时间	QString	极化器 2
QDateTime	采集时间	QByteArray	波形数据
quint8	脉宽	quint16	结束标记
quint8	天线极向角		

对于接收到的数据进行初步分析,计算出最高功率和平均功率。然后把数据以字节文件形式保存到服务器端的特定位置。

2.3 界面显示

对于完整脉冲数据的显示,提供 C/S 和 B/S 两种访问方式^[14]。C/S 方式是控制室的上位机控制台的

静态波形显示模块。静态波形显示要求能够对显示的波形进行放大、缩小等操作。为了达到显示的要求,采用在 Qt 的 QPixmap 绘图设备上绘画。QPixmap 专门为图像在屏幕上的显示做了优化,可以接收一个字符串作为一个文件的路径来显示这个文件,比如在程序中打开 png、jpeg 之类的文件。在 QPixmap 上进行浮点数坐标级别的绘图操作,再调用 QPainter::drawPixmap() 函数把绘制好的 QPixmap 图片加载到 QWidget 上显示。

客户端波形显示如图 3 所示。

使用 C/S 方式的计算机需要安装客户端软件,为了避免软件安装的麻烦,提供 B/S 访问方式。B/S 采用 Apache+MySQL+PHP 技术,通过 Apache Web 服务器进行数据的发布,人机交互计算机通过 HTTP 协议完成对数据的查询,波形显示和文件下载任务^[15]。

浏览器波形显示效果图如图 4 所示。

脉冲元数据显示界面如图 5 所示。

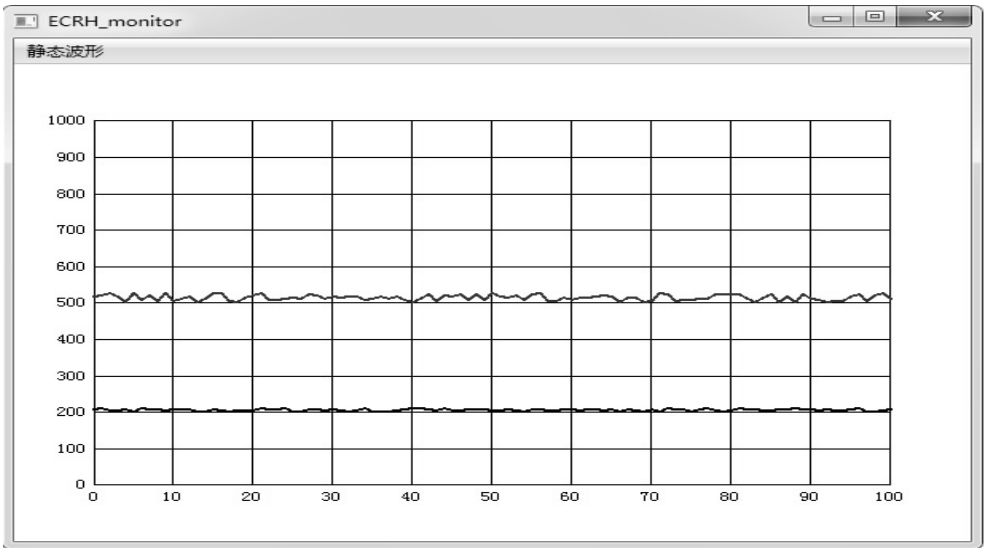


图 3 客户端波形显示

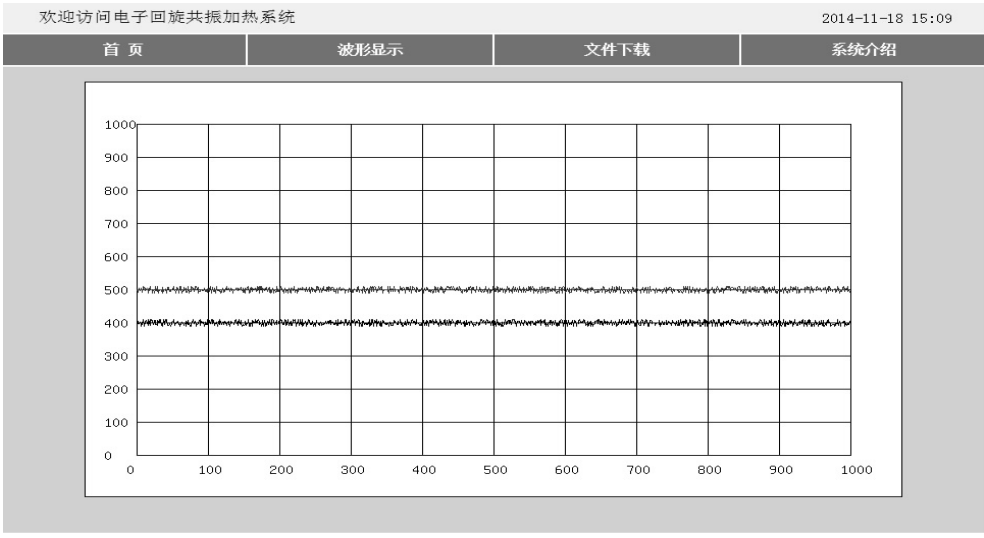


图 4 网页波形显示



图5 脉冲元数据显示界面

3 结束语

电子回旋共振加热系统的脉冲数据(入射功率和反射功率)分为实时脉冲数据和完整脉冲数据,针对各种数据的不同显示要求,提供了实时数据显示和静态数据显示方法。同时,为了提供便捷的访问方式,对详细数据的显示又提供了 C/S 和 B/S 两种访问途径。对于实时功率数据,利用 Qt 的双缓冲技术对图形进行实时动态更新,并有效地防止了因为实时刷新带来的屏幕闪烁的缺陷。对于完整的功率数据,C/S 方式采用 Qt 的内存绘图技术,把整个功率数据文件读取到内存,绘制在 QPixmap 绘图设备上,并最终以图像的方式添加到屏幕上,这种方式便于对图形的放大、缩小等操作。B/S 方式以网页浏览器的访问方式,提供给用户对某一炮数据的查询、脉冲文件下载等功能。经过测试,电子回旋共振加热系统的数据发布软件的各项指标完全满足实验需求。

参考文献:

[1] Darbos C, Magne R, Alberti S, et al. The 118GHz ECRH experiment on Tore Supra[J]. Fusion Engineering and Design, 2001, 56-57:605-609.

[2] 饶军,李波,周俊,等. HL-2A 装置 2MW 电子回旋共振加热系统研制[J]. 核聚变与等离子体物理, 2009, 29(4):324-330.

[3] Li Jiangang. Recent progress in RF heating and long-pulse ex-

periments on EAST[J]. Nuclear Fusion, 2011, 51(9):64-97.

[4] 赵松,尹传平,林孝康. 局域网技术与发展[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(9):68-72.

[5] Zhang D, Guo Z, Lu G. An online system of multi-spectral palmprint verification[J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement, 2010, 59(2):480-490.

[6] 方向前,贺焕林,穆维新. 基于以太网技术的局域网系统传输性能测量方法[J]. 中原工学院学报, 2005, 16(6):51-53.

[7] Blanchette J, Summerfield M. C++ GUI programming with Qt4[M]. 北京:电子工业出版社, 2008.

[8] 范德兰斯. MySQL 开发者 SQL 权威指南[M]. 北京:机械工业出版社, 2008:200-256.

[9] 鸟哥. 鸟哥的 Linux 私房菜[M]. 王世江,译. 北京:人民邮电出版社, 2012:196-252.

[10] Welling L, Thomson L. PHP 和 MySQL Web 开发[M]. 武欣,译. 北京:机械工业出版社, 2009:155-210.

[11] 吴则革. EAST 低杂波系统软件监控系统面向对象的设计与实现[D]. 合肥:中国科学院合肥物质研究所, 2013.

[12] 聂兵. 光纤通信[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2010:198-256.

[13] 吕晓阳,陈宏海,黎旺星,等. 计算机网络技术[M]. 北京:中国铁道出版社, 2009:39-60.

[14] Shaw M, Garlan D. 软件体系结构[M]. 牛振东,江鹏,金福生,译. 北京:清华大学出版社, 2007:239-305.

[15] Ullman L. PHP 基础教程[M]. 贾茵,刘彦博,译. 第 4 版. 北京:人民邮电出版社, 2011:166-343.

作者：[侯芳](#)，[徐岳东](#)，[刘甫坤](#)，[汤允迎](#)，[徐伟业](#)，[黄傲霜](#)，[冯建强](#)，[HOU Fang](#)，[XU Han-dong](#)，[LIU Fu-kun](#)，[TANG Yun-ying](#)，[XU Wei-ye](#)，[HUANG Ao-shuang](#)，[FENG Jian-qiang](#)

作者单位：[中国科学院 等离子体物理研究所, 安徽 合肥, 230031](#)

刊名：[计算机技术与发展](#) 

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2015(5)

引用本文格式：[侯芳](#).[徐岳东](#).[刘甫坤](#).[汤允迎](#).[徐伟业](#).[黄傲霜](#).[冯建强](#).[HOU Fang](#).[XU Han-dong](#).[LIU Fu-kun](#).[TANG Yun-ying](#).[XU Wei-ye](#).[HUANG Ao-shuang](#).[FENG Jian-qiang](#) EAST电子回旋共振加热数据发布系统设计[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(5)