集中式保护测控系统中母线保护同步方案

鲍凯鹏[1],吕 航[1],张绍纯[2],施志晖[1],李 鹏[1]
(1. 南京南瑞继保电气有限公司,江苏 南京 211100;2. 鞍山供电公司,辽宁 鞍山 114000)

摘要:在 220 kV 变电站数字化改造过程中,提出了一种应用于集中式保护测控系统的母线保护同步实现方案。介绍了集中式保护测控系统的整体方案,着重研究了母线保护多间隔的数据同步问题,并提出了采用外部时钟源对时方案解决各合并单元与保护装置间的同步问题,采用主从对时方案解决各保护装置间的重采样时刻的同步问题。通过动模试验验证了该方案的可行性。该方案大幅减少了投资,但系统集成复杂。

关键词:变电站;集中式保护测控系统;母线保护;同步
中图分类号:TM 77 **文献标识码**:B DOI:10.3969/j.issn.1006-6047.2013.01.031

0 引言

随着智能电网建设的不断推进,IEC61850 标准[1]在实际工程中的应用也不断深入。智能变电站内的信息全部数字化,信息传递实现网络化,通信模型达到标准化,使各种设备和功能共享统一的信息平台。由于采用了过程层网络传输采样值,因此出现了采样同步的问题。现有智能变电站通常采用全站 GPS 时钟源同步方案或插值(重采样)同步方案[2],2 种方案应用的环境和硬件实现是完全不同的。

对变电站集中式保护的研究在国内开展不多[3]。文献[4]提出了一种基于 IEC61850 标准的集中式智能设备方案,在 1 台集中式智能设备上实现多台智能设备所完成的功能。文献[5]提出了集中式保护原理、集中式保护的硬件系统构成、对象建模以及保护功能的实现。从工程应用的角度看,目前采用基于 IEC61850 标准的集中式保护测控系统的例子不多。

营口供电公司 220 kV 大石桥变电站是营口地区重要的枢纽变电站,所进行的全站数字化改造首次将不同保护测控功能集成在数台物理装置中,大幅减少了屏柜个数、小室和主控室的占地面积、二次电缆及光缆数量,具有很好的经济效益。本文将着重论述母线保护在集中式保护测控系统中的实现方案。

1 集中式保护测控系统总体方案

大石桥变电站数字化改造采用基于 IEC61850 标准的集中式保护测控系统。整个保护测控系统完全双重化配置,保证了在一套系统故障或停用的情况下被保护设备不失去保护,发生故障时系统能够可靠动作。系统构架为标准的 3 层网络结构[6],即过程层、间隔层和站控层,联系这 3 层的是过程层网络和站控层网络。过程层采用纯光学互感器,并采用基于 IEC61850-9-2[7]的模拟量网络传输方式和基于 GOOSE 的开关量网络传输方式。过程层 GOOSE/SV 合并组网。不同电压等级独立组网,采用独立双网结构。间隔层一体化设计,采用南京南瑞继保电气有限公司研制的集中式保护测控系统,每套系统为:2 台 PCS-931 线路保护测控装置及 1 台 PCS-978 元件保护测控装置共同完成 220 kV 全部保护测控功能;4 台 PCS-951 线路保护测控装置共同完成 66 kV 全部保护测控功能。站控层制造报文规范(MMS)独立组网。二次系统网络图如图 1 所示。

以 220 kV 系统为例,母线保护与主变保护集中设置于 PCS-978 元件保护测控装置中,母线保护和主变保护通过装置内部高速总线共享数据接口插件从采样值(SV)网络接收到的主变间隔数据(虽然母线保护和主变保护置于同一台物理装置中,但分别由独立的 DSP 处理插件实现,只共享机箱内的数据总线和接口插件,最大限度地避免了相互影响)。线路间隔的数据由线路保护装置的数据接口插件通过采样网络接收并处理后,再通过专用光纤发送到 PCS-978 元件保护测控装置的数据接口插件用于母线保护。母线差动保护涉及多个间隔的采样,采用该方法达到了信息共享的目的,减少了网络流量和网络设备投资,充分发挥了过程层网络通信方式的优越性。同时由于全站采用了双重化配置的系统结构,虽然保护集成度高,但能保证系统的可靠性。

系统基于数字化采样和网络传输,多个间隔采样数据的同步是母线保护需要解决的核心问题,主要体现在 2 个方面。一方面,IEC61850-9-2 网络传输方式要求各合并单元(MU)与保护装置同步[8],需通过外接 GPS 同步时钟源实现;另一方面,由于合并单元发送 4 kHz 采样率的数据,而保护计算的传统采样率为 1.2 kHz,因此需要进行重采样;母线保护装置只进行主变间隔数据的重采样,线路保护装置进行线路间隔数据的重采样并发送给母线保护,这就要求母线保护、线路保护装置的重采样时刻同步,该同步需通过母线保护发送主同步中断信号给各线路保护装置实现。

收稿日期:2011-10-29;修回日期:2012-11-15

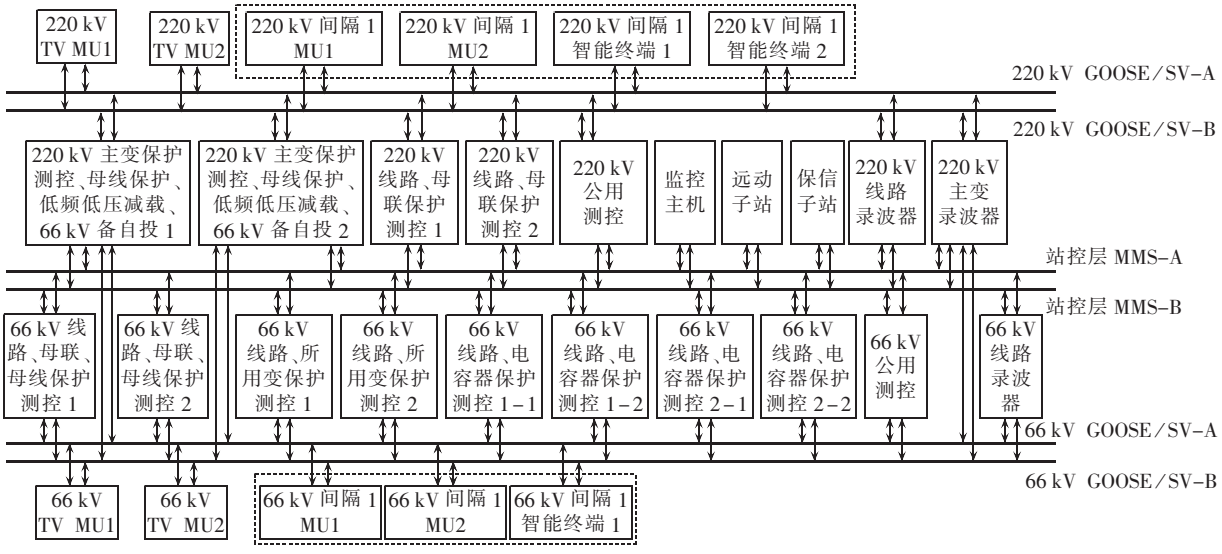

图1 大石桥变二次系统网络图

Fig.1 Secondary system network diagram of Dashiqiao substation

2 母线保护同步方案

2.1 MU与保护装置采样同步

大石桥变电站过程层采样采用IEC61850-9-2组网方式。从MU采样发生至装置接收到该采样报文并打上时标的过程中,会产生1个时间延迟,如下:

$$T_{\text{delay}}=T_{\text{MU,delay}}+T_{\text{Net,delay}}+T_{\text{Tag,delay}}$$

其中,$T_{\text{MU,delay}}$为从MU发生采样到将该报文发送到网络上经历的延迟,该延迟与合并器的实现原理、报文处理方式(如使用中断、操作系统发送)等有关,具有很大的不确定性;$T_{\text{Net,delay}}$为报文在交换机中转发的延时,包含固定延迟(即发送需要的时间,很小,可忽略不计)和不固定延迟(由于网上有报文发送,需要等待发送的时间);$T_{\text{Tag,delay}}$为打时标的时间延迟。因为装置使用了查询的方式,只能将进入查询功能时的时刻假定为报文的到达时刻T_{Tag},该时刻始终晚于装置实际收到报文的时刻T_{Rx},则$T_{\text{Tag,delay}}=T_{\text{Tag}}-T_{\text{Rx}}$。

由此可见,采样数据从合并单元到保护装置的延时是不确定的[9],解决方案是给合并单元和保护装置接入GPS同步时钟[10]。采样数据通过远方模块发送到合并单元后,合并单元根据接入的GPS同步信号,刷新IEC61850-9-2采样数据帧中的采样计数器(相当于给每一帧采样数据分配一个时间序号,4 kHz采样率下序号范围从0至3 999)。保护装置经网络获得各个间隔的采样数据后,根据数据帧中的采样计数和采样时间间隔(接入GPS同步后采样时间间隔是固定的)来计算每一帧数据的采样时刻,采样时刻等于初始时刻加上采样计数与采样间隔的乘积。GPS同步保证了不同装置的初始时刻和采样间隔都是相同的,因此所有数据采样时刻的计算是在同一个时间坐标下进行的。每一次保护进行重采样都使用采样时刻相同的数据帧,保证了保护接收MU采样数据的同步性。数据的网络延时对保护的动作行为影响不大,但如果太大可能导致保护动作的速度较慢,一般要求控制在2个采样时间间隔之内。

对时系统采用冗余双网结构,2套对时装置间互相发送对时信号,如图2所示。当其中1套对时装置失去卫星信号后,通过交互信息,可以迅速把另一套装置的卫星信号切换过来,保证在只有1套卫星信号时2套对时系统仍能正常工作。

图2 GPS对时网络

Fig.2 Network of time synchronization by GPS

值得指出的是,虽然GPS对时的时钟源来自卫星信号,但是由于对时装置本身具有守时功能[11],因此,即使对时装置失去所有卫星信号,仍然能够保证为全站提供对时脉冲,对母线保护没有影响。

2.2 母线保护与线路保护装置间同步

由于MU送到保护装置的数据采样率为4 kHz,而保护计算使用的采样率为1.2 kHz,因此保护在从SV网络上获得经过GPS同步的数据后,将通过重采样把4 kHz的数据插值成1.2 kHz的数据[12]。对母线保护而言,主变间隔的重采样在本装置中完成,其余间隔的重采样在线路保护装置的数据接口插件中完成,因此必须保证母线保护和所有线路保护装置的重采样时刻是同步的。

利用现场可编程门阵列(FPGA)技术可以实现在光纤链路层锁定数据时标[13],即自动记录数据的到达时刻。母线保护正是利用该技术实现了多装置

间的高精度同步。母线保护插件在每个中断发出同步数据信号,其他线路保护装置根据母线保护下发数据的到达时刻以及通道延时推算出母线保护的中断时刻,以此调整各自的重采样中断时刻进行跟踪。母线保护同时向各线路保护装置下发同步数据帧,最终各线路保护装置就能够和母线保护在同一时刻重采样。同步方案如图 3 所示。

母线保护发出同步信号,通过光纤接至同电压等级的其他线路保护装置的数据接口插件,相应装置按母线保护发出的同步信号进行中断同步,同时从该插件通过光纤发出本装置重采样后的数据,供母线保护使用。

另外,为了防止母线装置异常或重启影响其他线路保护装置正常运行,线路保护装置中的同步插件始终监视母线同步信号的正确性,一旦同步信号异常立即报警,并向母线保护装置发出同步异常信号以及时闭锁差动保护,此时不会根据异常的同步信号调整采样时刻;而在母线保护装置重启过程中,各线路保护装置中的同步插件根据母线保护的同步信号逐步调整采样中断时刻,一方面保证线路保护的采样中断始终等间隔,另一方面在 1~2 s 内各装置就会自动进入同步,保证母线保护进入正常运行状态。

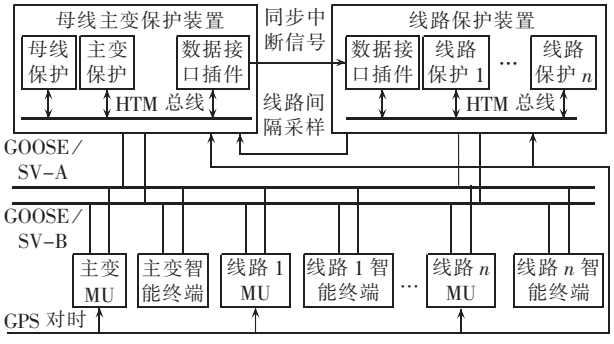

图 3 母线保护同步方案

Fig.3 Synchronization scheme of busbar protection

3 动模试验

为了验证该方案,在南京南瑞继保电气有限公司进行了动模试验。

系统主接线如图 4 所示。

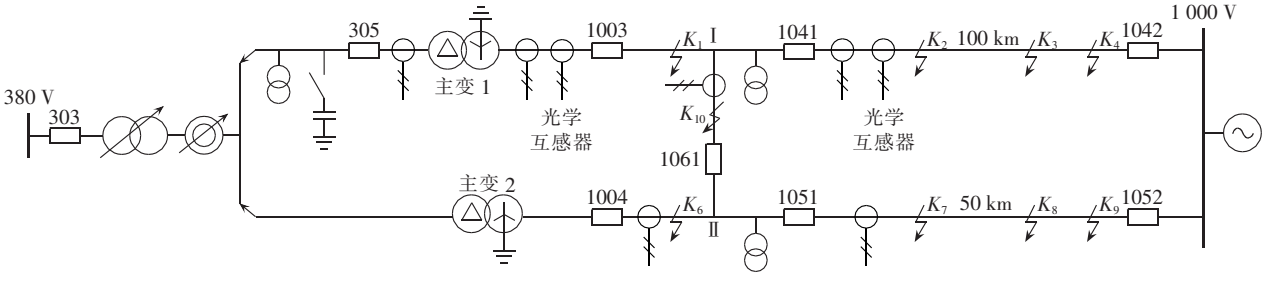

图 4 动模系统主接线图

Fig.4 Main connection diagram of dynamic simulation system

保护配置为:1 台 PCS-978 集中式保护完成主变保护及母线保护功能,1 台 PCS-931 集中式保护完成 2 条线路保护及母联保护功能。采样数据通过 MU 送到保护装置;对侧按现场实际应用情况配置 2 台 PCS-931 线路纵差保护。

图 5 为 I 母区内 A 相故障时的录波,最上面 6 个波形为保护的动作情况,由上至下分别为总起动、差动跳母联、变化量差动跳 I 母、稳态量差动跳 I 母、变化量差动跳Ⅱ母、稳态量差动跳Ⅱ母。录波显示母差保护 4 ms 动作。

图 6 为母线区外故障时的录波,最上面 6 个波形与图 5 中最上面 6 个波形的含义相同。可以看出,此时母线基本无差流,录波显示母线保护在区外故障时未发生误动作。

实验结果表明所提同步方案的精度非常高,通过示波器实测的重采样同步跟踪误差小于 5 μs,与理论分析一致。因此误差所带来的影响对保护而言是很小的。

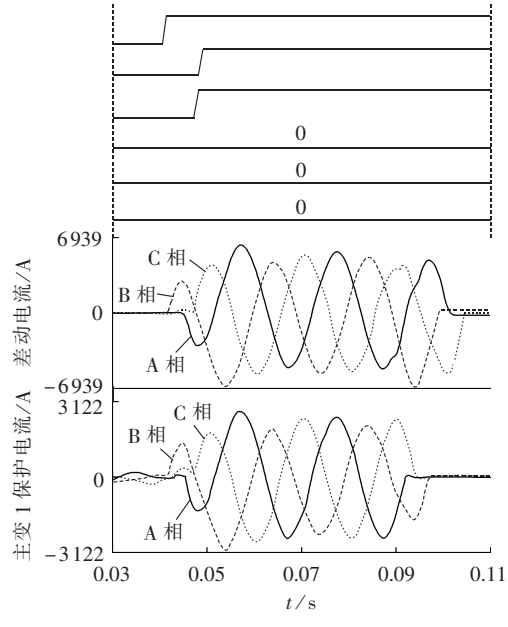

图 5 母线区内故障录波

Fig.5 Recorded waveforms of busbar fault within protection zone

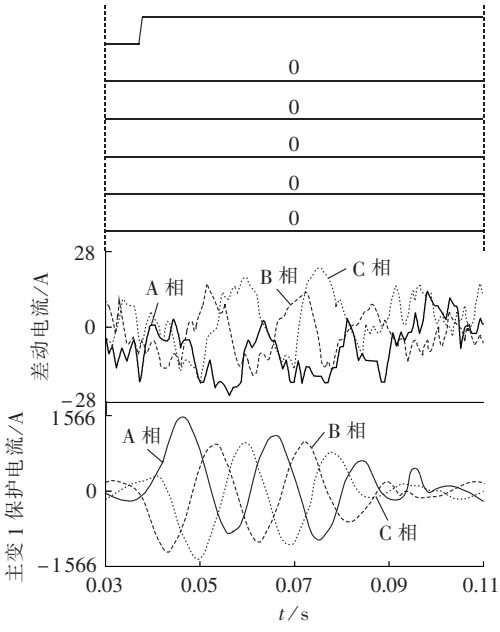

图6 母线区外故障录波

Fig.6 Recorded waveforms of busbar fault outside protection zone

4 结语

针对集中式保护的特点,提出了一种母线保护同步方案。该方案在保证系统稳定可靠的前提下提高了数据共享度,节约了设备和占地投资,在智能化变电站的建设过程中不失为一种有益的尝试。需要指出的是,该集中式保护测控系统存在保护装置依赖于外部GPS同步的缺点,还有待解决。

参考文献:

[1] 任雁铭,秦立军,杨奇逊. IEC61850通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化,2000,24(8):62-64.
REN Yanming,QIN Lijun,YANG Qixun. Study on IEC61850 communication protocol architecture[J]. Automation of Electric Power Systems,2000,24(8):62-64.

[2] 刘慧源,郝后堂,李延新,等. 数字化变电站同步方案分析[J]. 电力系统自动化,2009,33(3):55-58.
LIU Huiyuan,HAO Houtang,LI Yanxin,et al. Research on a synchronism scheme for digital substations[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(3):55-58.

[3] 韩伟,杨小铭,仇新宏,等. 基于数字化采样的集中式保护装置[J]. 电力系统自动化,2010,34(11):101-104.
HAN Wei,YANG Xiaoming,QIU Xinhong,et al. Integrated protection device based on digital sampling technology[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(11):101-104.

[4] 易永辉,曹一家,张金江,等. 基于IEC61850标准的新型集中式IED[J]. 电力系统自动化,2008,32(12):36-40.
YI Yonghui,CAO Yijia,ZHANG Jinjiang,et al. A new centralized intelligent electrical device based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(12):36-40.

[5] 吴国旸,王庆平,李刚. 基于数字化变电站的集中式保护研究[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(10):15-18.
WU Guoyang,WANG Qingping,LI Gang. Study of centralized protection based on digital substation[J]. Power System Protection and Control,2009,37(10):15-18.

[6] IEC. IEC61850 Communication networks and systems in substations[S]. Geneva,Switzerland:IEC,2003.

[7] UCA International Users Group. Implementation guideline for digital interface to instrument transformers using IEC61850-9-2[EB/OL]. [2011-03-16]. http://www.tc57wg10.info/downloads/digifspec92ler21040707cb.pdf.

[8] 李九虎,郑玉平,古世东,等. 电子式互感器在数字化变电站的应用[J]. 电力系统自动化,2007,31(7):94-98.
LI Jiuhu,ZHENG Yuping,GU Shidong,et al. Application of electronic instrument transformer in digital substation[J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(7):94-98.

[9] 徐广辉,李友军,王文龙,等. 数字化变电站IED采样数据同步插值的设计[J]. 电力系统自动化,2009,33(4):49-52.
XU Guanghui,LI Youjun,WANG Wenlong,et al. Design of a synchronization and interpolation algorithm of sampled values for digital substation IED[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(4):49-52.

[10] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等. 一种遵循IEC61850标准的MU同步的实现新方法[J]. 电力系统自动化,2004,28(11):57-61.
YIN Zhiliang,LIU Wanshun,YANG Qixun,et al. New method for implementing the synchronization of merging unit according to the IEC61850 standard[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(11):57-61.

[11] 杨永标,杨晓渝,周捷. 利用FPGA实现GPS失步下精确守时[J]. 电力自动化设备,2007,27(7):109-112.
YANG Yongbiao,YANG Xiaoyu,ZHOU Jie. Realize accurate timing with FPGA during GPS synch failure[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(7):109-112.

[12] 周斌,鲁国刚,黄国方,等. 基于线性Lagrange插值法的变电站IED采样值接口方法[J]. 电力系统自动化,2007,31(3):86-90.
ZHOU Bin,LU Guogang,HUANG Guofang,et al. A sampled values interface method for substation IED based on linear Lagrange interpolation algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(3):86-90.

[13] 张春合,陆征军,李九虎,等. 数字化变电站的保护配置方案和应用[J]. 电力自动化设备,2011,31(6):122-125.
ZHANG Chunhe,LU Zhengjun,LI Jiuhu,et al. Protection configuration scheme and application in digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(6):122-125.

[14] 梁国坚,段新辉,高新华. 数字化变电站过程层组网方案[J]. 电力自动化设备,2011,31(2):94-98.
LIANG Guojian,DUAN Xinhui,GAO Xinhua. Networking schemes for process level of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(2):94-98.

[15] 邹贵彬,王晓刚,高厚磊,等. 新型数字化变电站分布式母线保护[J]. 电力自动化设备,2010,30(11):94-97.
ZOU Guibin,WANG Xiaogang,GAO Houlei,et al. Distributed busbar protection of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(11):94-97.

[16] 窦晓波,胡敏强,吴在军,等. 数字化变电站通信网络的组建与冗余方案[J]. 电力自动化设备,2008,28(1):38-43.
DOU Xiaobo,HU Minqiang,WU Zaijun,et al. Configuration and

redundancy of communication networks in digital substations [J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(1):38-43.

作者简介:

鲍凯鹏(1981-),男,山东青岛人,工程师,硕士,从事电力系统继电保护研究、开发工作(**E-mail**:baokp@nari-relays.com);

吕　航(1971-),男,江苏南京人,高级工程师,硕士,从事电力系统继电保护研究、开发工作;

张绍纯(1964-),男,辽宁鞍山人,高级工程师,从事继电保护应用管理工作。

Synchronization scheme of busbar protection for integrated protection and measuring system

BAO Kaipeng[1],LÜ Hang[1],ZHANG Shaochun[2],SHI Zhihui[1],LI Peng[1]

(1. NR Electric Co.,Ltd.,Nanjing 211100,China;

2. Anshan Electric Power Corporation,Anshan 114000,China)

Abstract: A synchronization scheme of busbar protection is proposed for integrated protection and measuring system,which is applied in the digital reconstruction of a 220 kV substation. The overall solution of the system is introduced and the synchronization of sampling data among multiple bays is researched. External clock is applied in the time synchronization between MU(Merging Unit) and the master-slave synchronization scheme is adopted to realize the re-sampling time synchronization among different protection devices,which is verified by dynamic simulation. It reduces the investment,but complicates the system integration.

Key words: electric substations; integrated protection and measuring system; busbar protection; synchronization

广　告　索　引

国电南京自动化股份有限公司 …… (封面)
科大智能科技股份有限公司 …… (封二,前插 1)
济南无线电十厂有限责任公司 …… (前插 2)
南京南瑞集团公司 …… (前插 3)
广州虹科电子科技有限公司 …… (前插 4)
广州致远电子股份有限公司 …… (前插 5)
绵阳市维博电子有限责任公司 …… (前插 6)
上海安科瑞电气股份有限公司 …… (前插 7)
日东工业(中国)有限公司 …… (前插 8)
福建顺昌虹润精密仪器有限公司 …… (前插 9)
国电南京自动化股份有限公司 …… (前插 10,11)
珠海优特电力科技股份有限公司 …… (前插 12)
南京科明自动化设备有限公司 …… (前插 13)
上海良信电器股份有限公司 …… (前插 14、15)
广东雅达电子股份有限公司 …… (前插 16)
重庆新世纪电气有限公司 …… (前插 17)
国电南京自动化股份有限公司 …… (前插 18,19)
艾默生网络能源有限公司 …… (前插 20)
武汉百年基业通信科技有限公司 …… (文前页)
施恩禧电气(中国)有限公司 …… (封三)
北京博电新力电气股份有限公司 …… (封底)
航天长峰朝阳电源有限公司 …… (后插 1)
珠海博威电气有限公司 …… (后插 2)
武汉市豪迈电力自动化技术有限责任公司 …… (后插 3)
浙江中凯科技股份有限公司 …… (后插 4)
中国工控网 …… (文后 1)
第 13 届中国哈尔滨国际工业自动化及仪器仪表展览会 …… (文后 2)
南京菲尼克斯电气有限公司 …… (文后 3)