

特高压直流输电工程 SCADA 系统的研究和应用

张睿¹, 黄利军¹, 黄浩然¹, 陈喜峰²

(1. 许继电气直流输电系统部, 河南 许昌 461000; 2. 许昌供电公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 介绍了特高压直流输电系统工程在我国的发展现状, 结合实际分析了特高压直流输电工程运行人员控制系统(简称 SCADA 系统)的总体结构和功能设计, 并分析了 SCADA 系统在特高压直流输电工程中的应用, 同时对运行人员工作站总体构架进行了介绍, 对特高压直流输电工程运行人员控制系统的研究具有指导意义。

关键词: UHVDC; SCADA; 控制功能; 人机接口; 以太网; 数据库

Research and implementation of SCADA in UHVDC

ZHANG Rui¹, HUANG Li-jun¹, HUANG Hao-ran¹, CHEN Xi-feng²

(1. HVDC Department of XJ, Xuchang 461000, China; 2. Xuchang Power Supply Company, Xuchang 461000, China)

Abstract: The development of UHVDC is described in the paper, the whole structure and function design are analyzed in practice. The application of Supervisory Control and Data Acquisition system in UHVDC project is analyzed. The overall structure of operator workstation is introduced. It has the guide significance for the study of operator control system of UHVDC.

Key words: UHVDC; SCADA; control function; human machine interface; Ethernet; database

中图分类号: TM721.1 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2008)20-0050-05

0 引言

随着电网的不断发展, 特高压直流输电(UHVDC)技术的应用也越来越广泛, 尤其在长距离、大容量输电方面优势明显。特高压输电技术是指在 500 kV 以及 750 kV 交流和 ± 500 kV 直流之上采用更高一级电压等级的输电技术, 特高压直流输电技术除了具有常规直流输电的特点以外, 还能将常规直流输电的优点更加充分的发挥。突出表现在如下几个方面: ①电压高; ②送电容量大; ③送电距离长; ④特高压直流工程相对于常规直流输电工程, 其直流换流站的主接线和基本结构更为复杂^[1-4]。结合以上特点, 因此对于特高压直流输电系统的监控要求也越来越高, 需要一套专业、稳定、可靠的运行人员监控系统来辅助整个系统的安全稳定运行。

目前国内的高压直流输电运行人员监控系统都是由国外厂家供货, 在功能、性能以及使用习惯上和国内用户存在一些差异, 主要表现在: 基于 UNIX 操作系统的运行人员监控系统界面不够友好, 尤其无法实现复杂的中国式报表等特色功能, 数据库功能不够强大, 还有基本属于英文界面, 汉化内容有

限; 基于 Windows 操作系统的运行人员控制系统存在稳定性不够, 容易受到病毒感染和攻击等问题。

为了克服现有技术某些方面的不足, 提出了跨平台运行人员控制系统的实现, 其目的在于提供一个操作方便、运行稳定的特高压直流输电运行人员监控系统, 以实现对整个直流输电换流站的监视和控制, 同时实现历史数据存储、查询、显示。在这样一个系统中, 服务器运行稳定、可靠, 客户端界面友好、操作方便, 网络传输快捷、通畅。

1 系统整体结构设计

1.1 整体结构

本系统采取的整体技术方案为: 数据服务器运行在基于 UNIX 操作系统的服务器上, 充分发挥 UNIX 系统稳定、可靠的特点; 客户端运行在基于 Windows 操作系统的工作站上, 利用 Windows 系统的界面友好和操作简单以及普及率高来提供方便的操作; 网络传输是建立在双 100M 以太网基础上的, 以保证足够的带宽和双网互为备用。整个系统包括:

1) 平台服务。在整个运行人员监控系统中所有工作站上都运行有平台服务程序。所有运行人员控制系统中的工作站, 在平台服务中都是作为一个节

点存在的,平台服务管理所有的节点以及该节点上运行的各种数据服务器或者客户端程序,并且为所有数据服务器和客户端程序提供各个节点的详细信息。

2) 客户端。在整个运行人员监控系统中存在多个客户端,用来把整个站的状态用图形化的方式展现出来,提供给运行人员观看,同时为运行人员的控制提供操作流程和操作界面。客户端程序运行在各个工作站上。

3) 历史数据服务。在整个运行人员监控系统中存在两个互为备用的历史数据服务程序,该服务用来实现历史数据的保存,同时为客户端提供历史数据查询服务。该服务运行在服务器上。

4) 前置数据服务。在运行人员监控系统有两个互为备用的前置数据服务程序,该服务实现运行人员监控系统和底层控制保护装置、屏柜以及其他厂家的装置之间的通讯。该服务也运行在服务器上。

5) 实时数据服务,也称对象服务。在运行人员监控系统有两个互为备用的实时数据服务,实现运

行人员监控系统中所有数据对象的管理,为客户端提供实时数据服务,其实时数据的值是前置数据服务器采集后送过来的。同时定期把数据保存到历史服务中,以供查询。该服务也运行在服务器上。

6) 全站主时钟系统。在整个运行人员监控系统中有两个互为备用的 GPS 主时钟。GPS 主时钟连接在网络上,通过广播方式为网络上的其他设备对时。

一个跨平台运行人员控制系统基本配置至少包括:①所有相关的人机接口:由一系列微机或者计算机工作站(操作员工作站、工程师工作站、阀冷工作站、SER 工作站、站长工作站、培训工作站等)组成,是运行人员和换流站控制保护系统对话,实现所有运行人员监控(以及培训)功能的接口和纽带;②系统数据库及其服务器:存储所有相关系统数据;③换流站主时钟系统:完成全站范围内对时功能;④站级 LAN 网:把各人机接口和换流站内所有其它相关站级装置链接在一起,实现它们之间的信息交换。系统整体结构图如下图 1 所示。

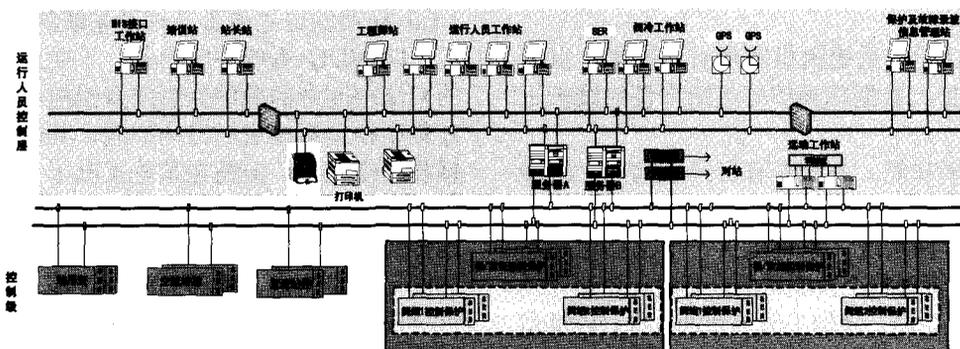


图 1 系统结构图

Fig.1 System structure

1.2 功能设计

在功能设计上,系统主要实现了配置管理、安全管理和图形显示,具体功能包括:

1) 权限设置。所有用户在进行所需操作前必须登录,系统会检验其是否有操作权限,只有有对应的操作权限才可以进行操作。不同用户的操作权限是可以灵活配置的。

2) 数据点信息管理。建立各种数据对象模型,设置各个数据对象模型之间的关系和详细属性信息。

3) 图形系统。所有数据点的从属关系和实时值都可以用图形化的方式表现在人机界面上,控制以图形方式显示的流程和向导帮助运行人员完成操作。采用全图形、多窗口技术,支持画面缩放、漫

游、平面叠加、层次显示功能;支持各种图形、表格、曲线、棒图、饼图等表达形式;支持告警推画面功能;支持画面拷贝;屏幕显示支持多种字体汉字。

4) 历史报表。系统可以用报表方式显示历史数据,该报表可以自由定义表头格式,可以根据已有数据进行统计,如统计出最大、最小值,计算平均值等。报表可以即时、定时、召唤打印。

5) 曲线。系统还可以用曲线方式显示历史数据或者历史,方便观察某一段时间内数据的变化趋势,并且可以在同一坐标系内显示多条曲线以便于比较。

6) 在线谐波监视。系统可以完成对换流站内要求进行谐波分析的数据进行 1 到 50 次谐波的实时测

量和分析,其所选谐波次数可预选;谐波可以在指定时间内或者每日定时监测,监测持续时间可整定,监测结果可以自动长期保存;可以用图形或表格显示谐波数据。

7) 顺序事件记录(SER)。系统能够采集全站所有预先定义事件,并汇总事件记录送至数据库存储和显示。系统对于事件记录具有数据过滤、自动统计和归档功能。

8) 自动功率调度。系统支持事先确定一个功率输送曲线,以时间为标签确定不同时刻输送不同功率,启动自动功率调度功能后,系统可以按照已经确定好的自动功率曲线控制整个高压直流输电系统。

9) 脚本语言支持。系统支持脚本语言,在流程控制、联闭锁检测等方面提供灵活强大的功能。

10) 其他辅助功能,系统能接收全球定位系统(GPS)的标准时间信号并以此同步系统内各台计算机的时钟,使其与标准时钟的误差保持在1s以内;系统具备下行对时功能,定时底层装置发送对时信号。

11) 维护功能。系统提供图形页面维护、报表维护、曲线维护、数据库维护等灵活方便的维护工具。

12) 自诊断功能。系统具有自诊断功能,能够诊断系统通道和网络故障。

13) 文档管理系统。系统提供一个文档管理系统,负责存贮、管理整个换流站的全套设计资料以及研究报告、运行手册、维护手册等帮助文件,以供站工程师、管理人员、运行人员和维修人员查询。

2 系统在特高压直流输电工程中的应用

2.1 系统的控制功能

2.1.1 UHVDC 系统的正常启动/停止控制

包括控制位置的选择、直流系统运行方式的选择、直流控制和附加控制的选择、运行整定值的选择、直流系统的正常启动和停运等。

2.1.2 UHVDC 的状态控制

除了 UHVDC 系统的正常启动和停运程序自动完成 UHVDC 系统的一系列状态控制外,运行人员还能进行操作,使 UHVDC 系统能分段达到下述不同的状态(通过顺序控制实现):检修状态、交流系统隔离状态(冷备用)、交流系统联接状态(热备用)、换流阀解锁(运行)状态及空载加压试验。

2.1.3 正常运行过程中运行人员的控制

运行人员控制系统上能实现以下的在线操作,且这些操作不对整个 UHVDC 系统引起任何扰动:

①直流系统控制模式的在线转换,如功率/电流控制;②运行方式的在线转换,如潮流反转;③运行整定值的在线整定,包括直流电流/直流功率及其变化率和阶跃变化量的重新整定和在线改变,以及手动定功率方式/功率曲线方式的在线转换;④运行中,能对直流极控/站控系统的备用通道各种参数进行检查和改变(此项操作内容由维修工程师在站工程师工作站上进行);⑤对设计中可能存在的无需满足滤波器自动顺序控制要求的无功补偿分组的手动投/切操作;⑥直流极控和站控系统以及运动主、备通道的在线手动切换,以及运行中备用通道的自检操作;⑦交、直流暂态录波装置的手动启动。

2.1.4 故障时的运行人员控制

当 UHVDC 系统和交流系统发生故障时,控制保护系统保证设备免受过负荷和过应力,同时,运行人员还能进行如下的操作:①报警或保护动作后的手动复归,在 OWS 对保护动作的复归设置投退功能;②紧急停运;③控制保护多重通道的手动切换;④远动主、备通道的手动切换(通过 OWS 进行)。

2.1.5 换流站内主设备及辅助系统的操作控制

UHVDC 系统中的设备,主要由运行人员启动的直流控制中的顺序控制或直流控制系统、以及其他集中控制系统进行自动控制,其中还包括设备联锁和检修联锁。但是在某些工况下,对换流站中的主设备或辅助系统还设有运行人员的就地(包括就地控制和设备就地)手动/自动操作控制:①交流场和阀厅内断路器、隔离刀闸和接地刀闸的分合;②换流阀的主/备冷却系统的投切;③消防系统和空调系统的控制操作;④换流变压器分接头的变换;⑤站用电源系统主备通道的切换。

2.1.6 交直流系统的控制

运行人员控制系统不仅要满足直流系统正常或者故障运行中的控制要求,还应满足系统投运前的调试、检修后或更新改造后系统和设备的调试控制要求。

运行人员控制系统还应能在控制室、设备间以及就地继电器室或设备就地位置按操作票操作控制交流系统。

2.1.7 相应的打印输出和备份存储功能

运行人员系统能通过网络或者就地打印机打印输出所有运行工况、事件记录、报警信息及故障分析结果等。系统数据库及单独存储的交直流故障录波等数据定期备份到外部存贮器的时间间隔可由运行人员根据需要手动整定。

2.2 系统的监视功能

2.2.1 监视点位置

一般来讲,与特高压直流输电系统运行有关的地点均具有相应的控制和监视功能。主要监视位置包括:

1) 远方调度中心: 国调中心和备用调度中心、网调、省调。

2) 换流站: ①主控制室内的各运行人员控制人机界面; ②设备间内的各控制、保护、监视屏柜; ③分布在交流场、阀厅内的就地控制系统或各设备就地控制位置。

2.2.1 监视信号要求

监视信号至少包括以下内容: ①系统运行值监测信号; ②设备的状态信号; ③运行控制命令信号; ④事件顺序和中央报警记录; ⑤趋势记录; ⑥暂态故障录波信号; ⑦在线谐波监视。

所有信号都同时附有时间的标记。系统数据库中对所有这些信号均具有自动统计功能,并可手动或自动(在运行人员设定的时间间隔内)将运行记录和监视结果打印输出和保存到外部存储器(光盘)。在最终确定的信号数量的基础上,整个监视系统具有 25% 以上的输入/输出的备用裕度,供将来使用。

2.3 运行人员工作站总体构架

(1) 登录/退出

设置此项功能增加了系统的安全性: 运行人员只有登录到系统后,才能进行相应的操作;且设置有不同等级的用户(运行人员)登录权限,对应有不同的操作功能。

运行人员可以手动退出系统;或经过一段预先

定义的无操作时间后,系统自动退出。登录界面如图 2 所示。

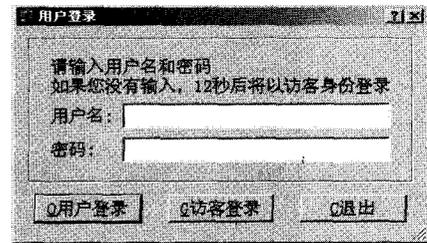


图 2 登录窗口

Fig.2 Login interface

(2) “单线图”(SLD) 窗口

SLD 窗口上描述了整个换流站一次、二次系统和辅助系统的接线方式、设备运行状态和系统运行参数,且随系统的实际运行工况而即时刷新,以供运行人员实时监视和控制操作。

SLD 包括不同的页面,每个页面对应系统的不同部分(如交流场、换流阀、换流变、阀冷却系统等等);每个页面之间可方便地切换。

运行人员在 SLD 上面可便捷地实现下述控制操作:

- 一次设备的状态控制,如交/直流开关操作、换流变分接头的改变等;
- 控制系统参数整定,如直流电流/功率整定值的输入或改变;
- 系统切换,如二次系统主、备通道的手动切换等。

例如系统概况图如图 3 所示。

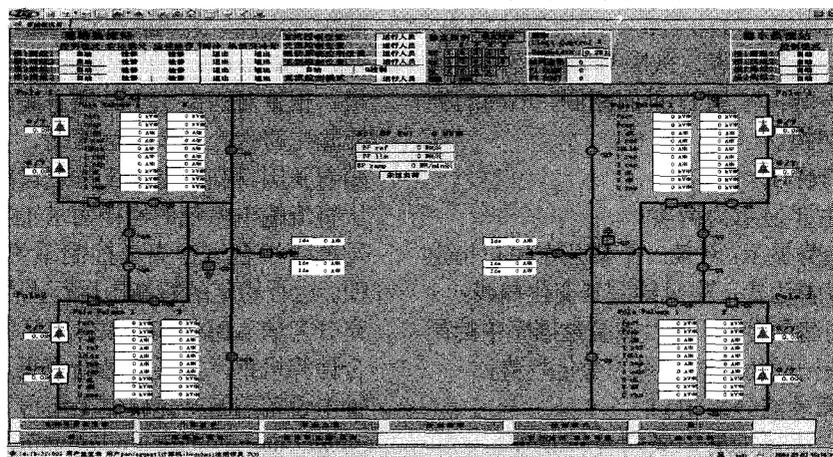


图 3 系统概况图

Fig.3 System interface

(3) “流程图”(FlowChart) 窗口

除了通常的 SLD 窗口外,在 OWS 上安排一个“流程图”(FlowChart) 窗口,以方便运行人员实

现状态控制(顺序控制)。

在 FlowChart 上,不同的单元模块对应不同的预先定义好的系统运行状态;系统当前状态用特殊的

颜色与其它状态区分。其功能设置为：运行人员通过点击某个希望达到的状态，即可启动对应的自动顺序操作功能。如图 4 所示。

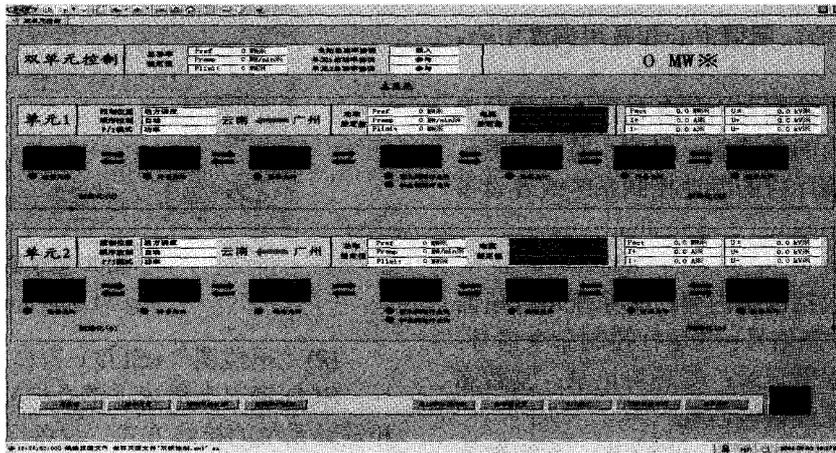


图 4 流程图窗口

Fig.4 Flow chart of system

(4) 列表 (List) 窗口

列表窗口中包含所有的系统事件和报警信息。

每一条信息至少包括下述内容：

时间：年，月，日，时，分，秒，毫秒；

对象：事件/报警的设备及其所属的区域或子系统；

描述：事件/报警的具体描述；

等级：如正常、一般故障、严重故障等；

不同等级的事件用不同的颜色在列表中有明显的区分。

对于所有这些事件和报警信息，系统具有自动统计、过滤和归档功能，自动生成不同类型的列表，如顺序事件记录、报警列表、故障列表以及用户自行定义的其它列表等；与 SLD 页面相同，不同的列表之间可方便地切换。

(5) 趋势 (Trend) 窗口

趋势窗口中主要显示为两类：

实时的动态趋势显示：对某一个或几个用户指定的运行参数或计算表达式，实时绘制其变化曲线；

非实时的历史趋势分析：调用系统数据库中的历史数据，给出其在一段历史时期内的变化趋势。

(6) 暂态故障录波分析窗口

在该窗口内完成对 TFR 记录的分析功能。

(7) 在线谐波监视窗口

在该窗口内在线完成对谐波的监视、统计和分析功能。

(8) 运行人员控制操作流程

为防止误操作，正常情况下当运行人员在

OWS 上对 HVDC 系统进行实时控制操作时，这一操作被设置为几个分解的步骤来执行，如：

- 选择对象；
- 选择操作种类；
- 发出操作指令。

上述每个步骤都经过“确认”后才能进入下一步，而且除最后一步外运行人员可点击“取消”按钮来中止和退出该项操作。

3 结束语

我国能源和负荷分布的不均衡决定了今后我国能源远距离、大规模流动的必然趋势，国内外研究表明，±800 kV 是比较实际的特高压直流输电电压等级，根据对西南水电外送方案的研究，±800 kV 直流输电符合今后我国远距离、大容量输电的要求^[5]。随着我国特高压直流工程建设的大规模实施，对特高压直流输电系统的监控需求也越来越高，我们自主开发的跨平台运行人员控制系统既能提供一个操作方便、运行稳定的特高压运行人员监视系统，同时又能充分考虑 ABB、SIEMENS 两个公司的技术特点，符合计算机技术发展的最新成果及方向，在特高压直流输电设备的国产化研制上迈出了坚实的一步。

参考文献

[1] 梁旭明, 吴斤克, 冀肖彤. 国家电网公司直流输电工程控制保护系统运行情况[J]. 电网技术, 2005, 29(23): 7-10, 17.

(下转第 82 页 continued on page 82)

开关和分段开关将母线锁死进行分列母线间的倒闸操作。

6 BP-2B 母差保护开入量的问题

母差保护在运行中需要判别刀闸位置和母联开关以及分段开关位置，刀闸位置主要用于识别运行方式，开关位置是母差保护内辅助保护功能的需要。制造厂为了保证开入量可靠，在设计时采用刀闸或断路器常开、常闭触点同时开入的方式，一对触点同时开入就认为是回路发生问题，其设计思路有一定的合理性，但是在现场设计过程中出现过因回路过于复杂而发生问题，或者触点不足的情况，例如：双母双分段接线方式在配置双重化母差时，分段开关操作屏需要给出4对常开和4对常闭触点。

另外，BP-2B 开入量电源未经过逆变电源，而是直接用站内电源滤波作为开入电源，在实际运行中存在一定问题，站内电源相对逆变电源不够可靠，尤其是超大型变电站更是如此，直流系统接地的问题，直流系统分布电容问题等都会影响到开入，如果开关量电源接户外刀闸、开关触点更是不利，这将严重威胁母差保护的稳定运行。

7 结论

现在微机型母线保护装置的设计缺陷问题是客观存在的，作为保护工作人员和运行管理人员都应该对此予以重视，在工作中发现问题，确保保护装置可靠运行。

(上接第 54 页 continued from page 54)

LIANG Xu-ming, WU Jin-ke, JI Xiao-tong. Operating Performance Analysis on Control and Protection System of SGCC's HVDC Projects[J]. Power System Technology, 2005, 29(23):7-10,17.

[2] 丁钊, 韩伟强. 天广直流输电系统双极运行情况总结[J]. 电网技术, 2003, 27(9): 49-54.

DING Zhao, HAN Wei-qiang. Summary of Bpolar Operation Stuation of Tian-Guang DC Power Transmission System[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 49-54.

[3] 苏宏田, 齐旭, 吴云. 我国特高压直流输电市场需求研究[J]. 电网技术, 2005, 29(24): 3-4.

SU Hong-tian, QI Xu, WU Yu. Study on Market Demand of UHVDC Power Transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29 (24): 3-4.

[4] 周浩, 余宇红. 中国发展特高压输电中一些重要问题的讨论[J]. 电网技术, 2005, 29(12): 1-9.

参考文献

[1] 周晓龙, 王攀峰, 田盈, 等. 浅谈双母双分段母线保护配置中的若干问题[J]. 继电器, 2004, 32 (8) : 36-39.

ZHOU Xiao-long, WANG Pan-feng, TIAN Ying, et al. Ponderation on the 4-section Busbar Relay Configuration[J]. Relay, 2004, 32 (8) : 36-39.

[2] 杨春柳, 罗强. 微机型母线保护装置存在的问题及处理对策[J]. 继电器, 2005, 33 (22) : 30-32.

YANG Chun-liu, LUO Qiang. Problems and Countermeasures for Microprocessor-based Busbar Protection[J]. Relay, 2005, 33(22):30-32.

[3] RCS-915AS 微机母线保护装置说明书[Z]. 南京南瑞继保电气有限公司.

The Technical Instruction of RCS-915AS Microprocessor-based Bus-bar Protection[Z]. Nanjing NARI-relays Electric Co.Ltd.

[4] BP-2B 微机母线保护装置说明书[Z]. 深圳南瑞继保电气有限公司.

The Technical Instruction of BP-2B Microprocessor-based Bussbar Protection[Z]. Shenzhen NARI Technologies Co.Ltd.

收稿日期: 2008-01-09; 修回日期: 2008-03-21

作者简介:

吴怀诚 (1970-), 男, 本科, 工程师, 从事现场继电保护管理维护工作;

王巍 (1978-), 女, 硕士, 工程师, 从事现场继电保护安装、调试和维护工作。E-mail:Wei316@163.com

ZHOU Hao, YU Yu-hong. Discussion on Several Important Problems of Developing UHVDC Transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(12): 1-9.

[5] 袁清云. 特高压直流输电技术现状及我国的应用前景[J]. 电网技术, 2005, 29 (14): 1-3.

YUAN Qing-yun. Present State and Application Prospect of Ultra HVDC Transmission in China [J]. Power System Technology, 2005, 29 (14): 1-3.

收稿日期: 2008-09-09

作者简介:

张睿 (1976-), 女, 硕士, 从事高压直流输电软件设计及系统调试工作; E-mail: zr@xjgc.com

黄利军 (1969-), 男, 高级工程师, 从事高压直流输电软件高级分析和设计;

黄浩然 (1976-), 男, 工程师, 从事高压直流输电软件设计及系统调试工作。