

# 天津电网中期运行方式研究

刘树勇<sup>1</sup>, 顾强<sup>1</sup>, 张丽娟<sup>2</sup>, 刘明志<sup>2</sup>, 李晓辉<sup>1</sup>, 张来<sup>1</sup>, 刘丽霞<sup>1</sup>

(1.天津市电力科学研究院, 天津 300022; 2.天津市电力公司, 天津 300010)

**摘要:** 重点研究 2009 年天津电网 500 kV/220 kV 电磁环网运行方式, 通过对短路电流、电网静态安全、稳定性校核、无功平衡等计算, 分析 500 kV/220 kV 电磁环网三种不同解环方式对天津电网的影响, 指出各种解环方式的优缺点, 并结合天津电网具体情况提出 2009 年电磁环网宜采取的解环运行方式; 分析新建 500 kV 重大输变电工程建设对天津电网的影响, 对这些输变电工程的投产顺序及投产前后的配套工程建设提出相关的建议。

**关键词:** 中期运行方式; 电磁环网; 短路电流; 潮流计算; 天津电网

## Research on medium-term operation mode of Tianjin Power Grid

LIU Shu-yong<sup>1</sup>, GU Qiang<sup>1</sup>, ZHANG Li-juan<sup>2</sup>, LIU Ming-zhi<sup>2</sup>, LI Xiao-hui<sup>1</sup>, ZHANG Lai<sup>1</sup>, LIU Li-xia<sup>1</sup>

(1.Tianjin Electric Power Science & Research Institute, Tianjin 300022, China;

2.Tianjin Electric Power Corporation, Tianjin 300010, China)

**Abstract:** The operation of 500kV/220kV electromagnetic coupling network in Tianjin Power Grid in the year of 2009 is emphatically researched. By analysing short circuit, power flow calculation, stability verification and reactive power equilibrium, this paper studies the impact of three different operation modes of 500kV/220kV electromagnetic coupling network. The merits and demerits of these operation modes are pointed out. Considering the concrete situation of Tianjin Power Grid, the electromagnetic coupling network operation mode to be adopted is proposed. The impact of newly-built 500kV transmission and substation projects are analyzed, the corresponding suggestions about the scheduling and related projects are put forward.

**Key words:** medium-term operation; electromagnetic coupling network; short-circuit current; power flow calculation; Tianjin Power Grid

中图分类号: TM712 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)05-0028-04

## 0 引言

随着天津经济的快速发展特别是滨海新区列为国家发展战略及天津电力公司“十一五”规划的逐步实施, 天津电力工业迎来了快速发展时期。电网的中期运行方式是指未来二三年内的运行方式, 文献[1]对陕西电网中期运行方式进行研究, 主要分析了 750 kV 输电线、330 kV 双环网的建设对陕西电网电力送出及断面潮流分布等问题的影响; 文献[2]研究了山西中南部电网不同电磁环网运行方式对潮流分布和稳定性的影响。

天津电网作为华北电网、京津唐电网重要组成部分, 输电网络由 500 kV 和 220 kV 两级组成, 天津地区电网内存在的 500/220 kV 电磁环网的特点是单回 500 kV 线路与多回 220 kV 线路并列运行, 正常运行时 500 kV 线路潮流较轻, 电磁环网运行对电网安全稳定运行和输电能力的影响较小, 已不是影响天津电网的主要矛盾, 而电磁环网的存在与短路电流

增加之间的矛盾日益突出, 如何控制快速增长的短路电流, 已成为电力系统规划、运行过程中面临的首要问题。相对于大量更换大容量的开关设备、采用高阻抗变压器等控制 220 kV 系统的短路电流的措施, 电磁环网解环运行是控制短路电流的十分经济、有效的方法<sup>[3-7]</sup>。本文以 2009 年为水平年, 主要分析 500/220 kV 电磁环网的解环运行对 220 kV 短路电流水平的影响, 对天津电网中期运行方式进行研究。

## 1 2009 年天津电网概述

根据天津电网“十一五”规划, 2009 年板桥、西郊 500 kV 变电站及相应 500 kV 线路工程相继投运后, 天津电网将形成北郊~东郊~滨海~板桥~吴庄~西郊~北郊的 500 kV 受端双环网结构, 实现西北部通过安定与北京电网相连; 西南部通过吴庄与霸州、廊坊相连接受山西、内蒙的电力; 南部通过静海与河北南网相连, 东北部通过芦台与唐山电网进而与东北电网相连。2008 至 2009 年天津地区计划

新增发电机组6台, 新建500 kV变电站3座, 新增500 kV变电容量6900 MVA; 新建220 kV公用变电站21座, 扩建220 kV公用变电站3座; 到2009年天津电网将建成500 kV变电站8座, 500/220 kV联变17台, 伴随新建500 kV变电站的220 kV出线工程, 两个500 kV站之间的220 kV通道上枢纽站进一步增加, 天津电网220 kV主网架将发生较大变化, 2009年天津220 kV及以上电网结构示意图见图1。

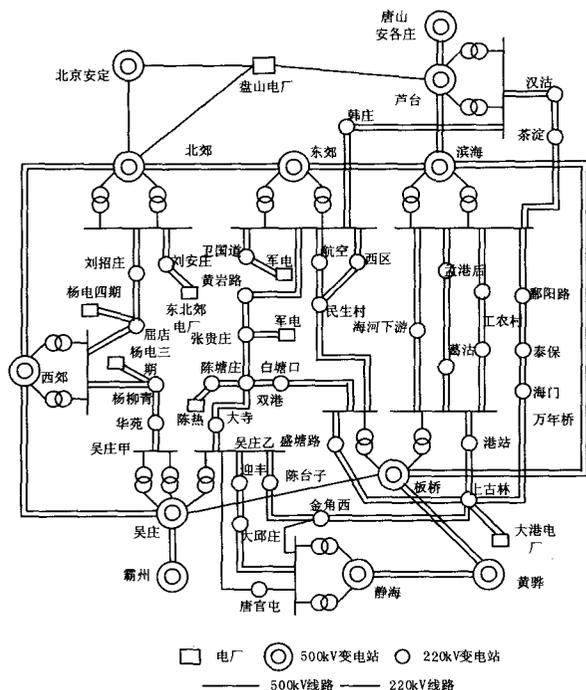


图1 2009年天津220 kV及以上电网结构示意图

Fig.1 Topology sketch map of Tianjin 220 kV and its above network in 2009

## 2 天津电网短路电流水平分析

### 2.1 合环方式下短路电流水平分析

2009年天津电网形成500 kV受端双环网后, 500 kV母线短路电流水平增长较快, 板桥、滨海和吴庄站的500 kV母线三相短路电流均超过50 kA。随着220 kV电网结构的不断加强, 发电机组的大量接入, 220 kV系统短路电流问题, 已有原先的次要问题, 逐步上升为影响电网安全稳定的主要问题。在如图1所示的合环方式下, 板桥、滨海、东郊、西郊、芦台、上古林、茶淀、白塘口、海河下游、汉沽、黄岩路、航空、民生村、西区等站220 kV三相短路电流超过50 kA。表1和表2给出了2009年合环方式下天津电网主要厂站500 kV、220 kV短路电流。

表1 天津地区各主要厂站500 kV母线短路电流

Tab.1 Short-circuit current on 500 kV bus at 500 kV substation of Tianjin Power Grid

厂站名	额定值/kA	三相短路电流/kA	单相短路电流/kA
板桥	63.	52.595	49.11
北疆	50.	29.078	24.40
滨海	50.	53.920	51.44
北郊	50.	42.231	38.13
东郊	50.	45.078	41.79
静海	63.	34.374	29.79
芦台	50.	46.842	42.27
盘山	63.	33.245	32.64
吴庄	50.	51.785	47.42
西郊	50.	34.934	28.84

表2 天津地区各主要厂站220 kV母线短路电流

Tab.2 Short-circuit current on 220 kV bus at 500 kV and 220kV substation of Tianjin Power Grid

厂站名	额定值/kA	三相短路电流/kA	单相短路电流/kA
板桥甲	50.	58.320	59.57
板桥乙	50.	59.344	63.12
滨海	50.	62.945	68.57
海河下游	50.	56.666	57.93
黄岩路	50.	52.850	49.41
东郊	50.	66.395	70.55
航空	50.	54.900	53.20
芦台	50.	54.900	58.08
民生村	50.	55.450	53.76
上古林	50.	55.775	55.73
西郊	50.	50.486	51.92

### 2.2 限制短路电流的措施

从合环方式下的短路电流可以看出, 220 kV短路电流水平的快速增加主要是受500 kV变电站的接入的影响, 同时500 kV站220 kV侧短路电流最为严重, 可采取500 kV/220 kV电磁环网逐步解环的方法作为限制短路的方案。

(1) 2007年底天津电网基本形成了东、西两个供电分区, 2009年西郊500 kV变电站投产后, 使吴庄与北郊的500 kV联络得到加强, 同时西郊220 kV出线破入屈店~杨柳青双回线, 为限制西郊站220 kV短路电流, 可采取西郊500 kV站220 kV分列运行, 将西部地区分为北郊~刘招庄~屈店~西郊甲和吴庄甲~华苑~杨柳青~西郊乙两个独立的供电区的方案。

(2) 在东郊站、板桥甲、吴庄乙构成的市区东部供电区, 至少需要将东郊~黄岩路~张贵庄~白塘口~板桥甲、东郊~航空~民生村~板桥甲、板桥甲~双港~大寺~吴庄乙三条220 kV双回线链式通道中的一条断开, 才能将东郊站的短路电流控制在合理范围内。

(3) 滨海站 220 kV 短路电流超过 50 kA 主要是因为滨海站 220 kV 出线与板桥乙、芦台站联系比较紧密, 滨海站与板桥乙站之间存在四条 220 kV 双回线路, 滨海与芦台通过茶淀、汉沽 220 kV 双回线联络。若不断开茶淀~汉沽双回线, 至少需要断开滨海与板桥乙站四条 220 kV 联络线中的三条才能将滨海站 220 kV 三相短路电流降至 50 kA 以下。建议断开茶淀~汉沽双回线, 保证正常运行方式下滨海站与板桥乙之间有两条或三条 220 kV 链式网, 同时使芦台、汉沽地区形成以芦台两台 750 MVA 主变中心的独立供电分区。

(4) 板桥乙站和上古林站 220 kV 短路电流超标, 主要是由于上古林站(大港 4 台 320 MW 机组直接接入上古林)和板桥、吴庄乙、静海站的电气联络比较紧密造成的。可通过断开金角西~静海单回线或上古林~金角西双回线, 减弱上古林站与吴庄乙、静海站的联络, 降低板桥乙和上古林站的短路电流水平。

### 2.3 三种不同的解环方案

对上述限制短路电流的措施进行综合比较, 同时参考天津电网远景规划网架, 提出三种解环运行方案:

(1) 解环方案一: 西郊站、唐官屯站 220 kV 母线分列运行, 东郊~韩庄、双港~大寺、上古林~金角西、茶淀~汉沽 220 kV 双回线路断环运行, 天津 220 kV 电网分为六个相对独立的供电区。

(2) 解环方案二: 西郊站、唐官屯站 220 kV 母线分列运行, 东郊~韩庄、板桥甲~民生村、茶淀~汉沽、海河下游~滨海 220 kV 双回线路及静海~金角西 220 kV 单回线路断环运行, 天津 220 kV 电网分成四个相对独立的供电区。

(3) 解环方案三: 西郊站、唐官屯站 220 kV 母线分列运行, 东郊~韩庄、双港~大寺、上古林~金角西、茶淀~汉沽双回线路断环运行, 天津 220 kV 电网分成五个相对独立的供电区。

上述三种解环方案各厂站短路电流均被限制在额定范围内, 其中解环方案三的短路电流水平相对其他两个方案而言较低, 有一定的裕度, 利于新的输变电工程的接入。

## 3 三种解环方案的潮流分析

### 3.1 潮流计算分析

通过潮流计算分析, 在三种解环方案下, 主网潮流分布基本合理, 各厂站 220 kV 母线均满足要求, 500 kV 线路、联络变压器以及 220 kV 线路“N-1”、“N-2”静态安全分析, 绝大部分元件不存在过载问题, 各枢纽变电站也满足要求, 存在的问题有:

(1) 上古林至港站、港站至板桥、板桥至葛沽 220 kV 双回线均为 LGJ-240×2 导线, 正常运行方式下, 这些线路潮流均较重, “N-1”、“N-2”方式下, 存在部分过载问题。

(2) 盘山电厂送出通道只有盘芦单回线、盘安单回线和盘北单回线, 任何一条通道断环运行, 均会造成另外两条线路重载, 如果有两台送电通道断环运行, 须限制盘山电厂的出力。

### 3.2 三种解环方案对比

对比上述三种解环方案进行潮流计算分析结果, 得出解环方案三与其它两种解环方案相比具有如下优点:

(1) 有利于缓解吴庄乙单台变的压力。

(2) 可以保证延寿里、利民道等终端变电站的供电可靠性。

(3) 可以提高大港电厂的送出能力。

(4) 有利于逐步实现天津电网分层分区供电的远景规划。

综合考虑, 推荐解环方案三作为 2009 年天津电网的规划方案, 同时应注意, 上古林至港站至板桥至葛沽线路均为 LGJ-240×2 导线, 输送能力较差, 此线路是大港电厂送出的重要通道, 正常方式下负载率较高, 特殊运行方式下存在过载问题, 加之该线路已经服役多年, 设备老化, 存在较多的安全隐患, 建议在进行板桥站 220 kV 出线工程的同时更换为大截面导线。

## 4 推荐解环方案的稳定性和无功平衡分析

### 4.1 系统稳定性计算分析

对推荐解环方案进行详细的稳定计算, 得出 2009 年天津电网在稳定水平较好, 任一回 500 kV、220 kV 线路发生单一故障时, 保护设备正确动作, 系统均能维持稳定运行, 500 kV 和 220 kV 线路发生严重故障时, 保护设备正确动作, 系统均能维持稳定运行。

### 4.2 无功平衡计算分析

对推荐解环方案作无功平衡分析, 通过分析得出如下结论。

(1) 500 kV 无功补偿度均在合理范围内, 220 kV 层无功总体平衡, 并且还有一定的无功储备。

(2) 220 kV 电压总体水平较高, 平均电压在 225 kV 以上, 但在滨海地区、芦台汉沽地区, 相对较低。

(3) 2009 年天津电网 220 kV 电网五个相对独立供电区, 市区西北部和市区西南部地区发电机组容量较多, 无功充裕, 而滨海及芦台地区无功电源相对缺乏, 缺少有效的动态电压支撑, 建议在滨海地区安装动态无功补偿装置。

## 5 新建 500 kV 重大项目的敏感性分析

北疆电厂、静海、芦台和西郊 500 kV 变电站等相关工程项目投运后,将使天津电网的 500 kV 网架结构日益坚强,同时对天津电网的短路电流水平及潮流分布产生较大影响,以下在 2009 年天津电网合环方式下,分析这些工程项目的投产后对天津电网短路电流水平、潮流分布及电压平衡等方面的影响,并提出对这些输变电工程的投产顺序进行优化分析。

### 5.1 北疆电厂投产

北疆电厂一台 1000 MW 发电机组通过双回线路(2×45 km)接入滨海 500 kV 母线,北疆电厂的投产在提高天津电网电压稳定水平的同时,将使天津电网滨海站 500 kV 短路电流增加 4 kA,板桥、芦台、东郊站 500 kV 母线增加 2 kA,而对 220 kV 短路电流水平影响较小;板桥、滨海和吴庄站的 500 kV 母线三相短路电流均超过 50 kA,当北疆第二台百万千瓦机组投产后,天津地区 500 kV 短路电流将进一步上升,目前滨海站、吴庄站仍有部分 500 kV 开关额定开断电流为 50 kA,建议在北疆电厂投产前将滨海站、吴庄站 500 kV 开关全部更换为额定开断电流为 63 kA 的开关,板桥站 500kV 开关额定开断电流应按 63 kA 建设。

### 5.2 静海 500 kV 变电站工程

静海 500 kV 站破入黄骅~板桥 500 kV 双回线路,该站投产后将使静海及周边地区 220 kV 短路电流上升很快,增长最大的为大邱庄站,增加 24.7 kA;对提高静海地区电压水平,满足静海地区负荷日益增长的供电需求,缓解吴庄乙 3# 主变的负载率高的问题将起到至关重要的作用。同时应注意到,静海 500 kV 站投产后,静海地区由静海站投产前受上古林站 100 MW 电力转而向上古林送电近 200 MW,使上古林~港站~板桥乙~葛沽线路的潮流(线路为 LGJ-240×2 导线)更加严重。

建议静海站投产前应结合板桥站 220 kV 出线工程的同时将原上葛线更换大截面导线,静海站投产后,需弱化静海、吴庄与上古林的电气联系,可根据不同情况断开上古林~金角西双回线或陈台子~金角西双回线或金角西~静海单回线。

### 5.3 西郊 500 kV 变电站及相应线路工程的影响

西郊站及相应 500 kV 线路工程投产后,天津将形成 500 kV 受端双环网结构。西部供电区短路电流水平有所增加,而对东部供电区的影响很小,西部供电区仅西郊 220 kV 母线短路电流超过 50 kA,需采取限制措施。

2009 年西郊站投运前,西部地区主要由北郊、吴庄两座 500 kV 站送电,接入该地区 220 kV 电网的发电机组共 2400 MW,可基本实现供电平衡且

500 kV 联变负载率均保持在 30%左右,若西郊投产两台联变后,其 220 kV 下降通道潮流较小。建议可先建成西郊 500 kV 开关站形成天津 500 kV 双环网结构,待天津西部地区负荷增长后再投产两台主变。

### 5.4 芦台站两台 500 kV 联变投产的影响

芦台开关站两台 500 kV 联变投产后,向汉沽站、宁河站供电,使滨海站负载减少 200 MW,有效缓解了滨海 500 kV 站的供电压力;对周边厂站 220 kV 短路水平影响较大,东郊站 220 kV 三相短路电流由 53.926 kA 上升到 66.395 kA,滨海站 220 kV 三相短路电流由 51.755 kA 上升到 62.945 kA。建议在芦台站 500 kV 联变投产后,应同时断开芦台~韩庄~东郊和芦台~汉沽~茶淀~滨海两条 220 kV 链式网,以限制东郊站和滨海站 220 kV 短路电流水平,使芦台、汉沽地区形成以芦台两台 750 MVA 主变中心的独立供电分区。

## 6 结论

(1) 进行电网中期运行方式的研究,能够及时发现电网设计、建设过程中可能存在的问题,并能提出相应的改进措施,对做好电网规划方案与电网年度运行方式的衔接、合理安排建设进度,保证天津电网“十一五”规划方案的顺利实施及电网的安全稳定运行将起到重要作用。

(2) 2009 年将天津 220 kV 电网分成 5 个相对独立的供电区后,220 kV 短路电流水平被控制在合理范围内,解环后的网架基本能适应运行要求。

(3) 新建 500 kV 重大项目对电磁环网解环运行方案影响较大,本文提出的解环分区规划方案不是一成不变的,而是一个不断调整、完善的过程,应随着电网的不同建设阶段,对电磁环网解环方案进行滚动计算分析以适应电网的发展。

### 参考文献

- [1] 王万军,王维超,张其明,等. 陕西电网中期运行方式研究[J]. 电网技术, 2004, 28(2): 14-16.  
WANG Wan-jun, WANG Wei-chao, ZHANG Qi-ming, et al. Research on Medium-term Operation of Shaanxi Power System[J]. Power System Technology, 2004, 28(2): 14-16.
- [2] 侯春青,郑惠萍. 2005 年山西中南部 500 kV 及 220 kV 电网的电磁环网运行方式研究[J]. 电网技术, 2005, 29(10): 80-84.  
HOU Chun-qing, ZHENG Hui-ping. Research on Parallel Operation of 500 kV and 220 kV Power Networks in South and Central Part of Shanxi Power Grid in 2005[J]. Power System Technology, 2005, 29(10): 80-84.
- [3] 阮前途. 上海电网短路电流控制的现状与对策[J]. 电网技术, 2005, 29(2): 78-83.

(下转第 35 页 continued on page 35)

但运用改进 PSO 算法进行多源选址优化,不仅收敛速度得到了有效的提高,而且在搜索精度上也优于基本 PSO,有效避免了陷入局部最优解,节省资金 23 万多。而且,改进 PSO 算法得出两个变电站的容载比分别为 2.25 和 1.66,比例非常合理。

#### 4 结论

变电站选址是一个多目标、多约束、大规模、非线性的组合优化问题,本文对变电站选址模型进行了研究,不仅考虑线路的投资和网络运行的费用,还将地理信息作为惩罚因子引入到选址模型中。提出一种改进的 PSO 算法,从初始值的选取和变量搜索两个方面进行了改进,运用该改进算法对变电站选址进行了优化分析。实际算例表明该算法降低了寻优的复杂度,提高了搜索精度,使选址结果更加科学合理。

#### 参考文献

- [1] 刘增良,刘淑芬.用迭代法进行 35kV 变电站的站址选择[J].电力科学与工程,2003,(2):36-37.  
LIU Zeng-liang, LIU Shu-fen. Site Selection of 35 kV Substations with Iteration Method[J]. Power Science and Engineering,2003,(2):36-37.
- [2] Eberhart R,Kennedy J. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory[A].In:Proc. 6 Int. Symposium on Micro Machine and Human Science[C].1995.39-43.
- [3] Hongwei D, Yixin Y, Chunhua Y, et al. Optimal Planning of Distribution Substation Locations and Sizes-model and Algorithm[J]. Electrical Power & Energy Systems,1996,18(6):353-357.
- [4] 刘自发,张建华.基于改进多组织粒子群体优化算法的配电网变电站选址定容[J].中国电机工程学报,2007,27(1):105-111.  
LIU Zi-fa, ZHANG Jian-hua. Optimal Planning of Substation Locating and Sizing Based on Refined Multi-team PSO Algorithm[J]. Proceedings of the CSEE,2007,27(1):105-111.
- [5] 王成山,等.变电站选址定容两阶段优化规划方法[J].电力系统自动化,2005,29(4):62-66.  
WANG Cheng-shan, et al. Two-phase Optimization Planning Approach to Substation Locating and Sizing[J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(4):62-66.
- [6] 俞欢军,许宁,张丽平.混合粒子群优化算法研究[J].信息与控制,2005,34(4):500-505.  
YU Huan-jun, XU Ning, ZHANG Li-ping. Research on Hybrid Particle Swarm Optimization[J]. Information and Control,2005,34(4):500-505.

收稿日期:2007-08-02; 修回日期:2007-09-20

#### 作者简介:

董永峰(1977-),男,博士研究生,研究方向为电网优化规划;E-mail:dongyf@hebut.edu.cn

杨彦卿(1983-),女,硕士研究生,研究方向为变电站选址优化;

宋洁(1969-),女,副教授,研究方向为配电网优化,智能算法研究。

(上接第 31 页 continued from page 31)

- RUAN Qian-tu. Present Situation of Short Circuit Current Control in Shanghai Power Grid and Countermeasures[J]. Power System Technology, 2005, 29(2):78-83.
- [4] 袁娟,刘文颖,董明齐.西北电网短路电流的限制措施[J].电网技术,2007,31(11):6-11.  
YUAN Juan, LIU Wen-ying, DONG Ming-qi. Application of Measures Limiting Short Circuit Currents in Northwest China Power Grid[J]. Power System Technology,2007,31(11):42-45.
- [5] 梁绍斌,李继红,毛雪雁.浙江电网控制系统短路电流的探索与实践[J].华东电力,2006,34(8):26-30.  
LIANG Shao-bin, LI Ji-hong, MAO Xue-yan. Control of Short-circuit Current for Zhejiang Power Grid[J]. East China Electric Power, 2006,34(8):26-30.
- [6] 何肇.关于改善华东电网结构、降低短路容量方案的探讨[J].电网技术,2004,28(2):28-31.  
HE Zhao. A Discussion on Scheme of Improving Structure of East China Power Grid to Reduce Short-circuit Capability[J]. Power System Technology, 2004, 28(2):28-31.
- [7] 叶琳,戴彦.短路电流限制技术在浙江电网的应用[J].华东电力,2005,33(5):23-26.  
YE Lin, DAI Yan. Application of Short-circuit Current Limitation Technology in Zhejiang Power Grid[J]. East China Electric Power, 2005, 33(5):23-26.
- [8] 王梅义,吴竞昌,蒙定中.大电网系统技术(第二版)[M].北京:中国电力出版社,1995.
- [9] DL 755-2001,电力系统安全稳定导则[S].
- [10] 滕林,王刚,仇玉萍,等.安徽 500 kV/220kV 电网分区的初步设想[J].华东电力,2006,34(11):56-58.  
TENG Lin, WANG Gang, QIU Yu-ping, et al. Tentative Idea on Layering and Zoning of Anhui 500 kV/200 kV Grids[J]. East China Electric Power, 2006,34(11):56-58.
- [11] 臧伟,杨健.浅析华北 500 kV/220 kV 电磁环网[J].华北电力技术,2004,28(7):28-30.  
ZANG Wei, YANG Jian. Analysis on 500 kV/220 kV Electromagnetic Loop Network in North China[J]. North China Electric Power, 2004,28(7):28-30.

收稿日期:2007-08-21; 修回日期:2007-09-29

#### 作者简介:

刘树勇(1978-),男,硕士,工程师,从事电网规划和电力系统计算分析工作;E-mail:shuyong.liu@tpepc.com.cn

顾强(1963-),男,高工,从事电力系统分析、电能质量管理技术和配电网分析等方面的研究。