天津电网220 kV短路电流限制措施研究

刘树勇[1]，孔昭兴[2]，张 来[1]

（1.天津市电力公司技术中心，天津 300022； 2.天津市宝坻供电有限公司，天津 301800）

摘要： 结合天津电网发展现状，分析短路电流迅速增长的原因和趋势，近年来天津电网通过220 kV电网分区运行、母线分段运行、中性点加装小电抗、采用高阻抗变压器等措施限制短路电流的应用情况，提出随着500 kV输变电工程的投产将220 kV电网分区运行作为限制短路电流的首选措施，研究2010年天津电网限制短路电流的实施方案，为电网规划和运行借鉴。

关键词： 短路电流； 限制措施； 电网分区； 电网规划； 天津电网

Application of measures of limiting 220 kV short circuit currents in Tianjin power grid

LIU Shu-yong[1], KONG Zhao-xing[2], ZHANG Lai[1]

(1.The Technology Center of Tianjin Electric Power Corporation, Tianjin 300022, China;
2.Tianjin Baodi Power Supply Company Limited, Tianjin 301800, China)

Abstract: Taking the development of power network in Tianjin Power Grid as background, both reason and trend of enlargement of short circuit currents are analyzed. The measures which can limit short circuit currents are presented, including power grid operation under district, installation of neutral reactors, implementation of bus partition running, and adopting transformer with high impedance, etc. The first method and technical principles of limiting short circuit currents are presented, by means of the power network operation under district and voltage level classification with the construction of 500kV power station. The scheme of controlling 220kV short current in the year of 2010 is emphatically researched, whose result can be used in Tianjin network planning.

Key words: short circuit current; controlling measure; network partitioning; power network planning; Tianjin power grid

中图分类号： TM712 文献标识码：A 文章编号： 1674-3415(2009)21-0103-05

0 引言

随着电网规模的不断扩大，电网的联系越来越紧密，短路电流不断攀升，较大的短路电流给电力系统的安全稳定运行带来诸多威胁，限制了线路输电能力的发挥和电网的优化运行，如何合理平衡电网的短路容量和输电容量的资源将是电网发展面临的重大挑战，如何控制不断发展的电力系统的短路电流水平已成为电力系统规划、运行面临的重要问题。

本文在分析天津220 kV电网短路电流水平现状的基础上，研究近年来天津在限制220 kV短路电流方面采取的措施，分析天津电网短路电流增加的原因和趋势，提出解决天津电网短路电流超标问题的方法，为今后天津电网短路电流水平的控制以及电网的规划和运行提供指导，对其他城市电网同样具有借鉴意义。

1 天津电网220 kV短路电流的发展

1.1 天津电网现状

天津市地处环渤海经济圈的中部，华北平原东北部，南北长189 km，东西宽117 km，总面积11 919.7 km^2，常住人口1 023.67万人。天津电网是京津唐电网、华北电网的重要组成部分，主要担负着向直辖市供电的任务，具有典型城市电网的特点。

截止到2008年底，天津电网共有500 kV变电站5座，500/220 kV联变9台，变电容量7 803 MVA，500 kV线路13条，天津维护段长度595.7 km。220 kV公用变电站50座，220 kV主变111台，容量17 286 MVA，220 kV线路157条，其中架空线路2 083.65 km，电缆长度120.79 km，最长架空线56 km。

2005～2008年天津地区500 kV变电站220 kV母线短路电流水平变化情况如表1所示。

表 1 2005～2008 年 500 kV 变电站 220 kV 短路电流

Tab.1 Short-circuit current on Tianjin 500 kV substation 220 kV bus between 2005 and 2008 year　kA

统计年份	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年
滨海	45.86	44.72	42.95	48.23
北郊	53.98	48.48	44.70	41.25
吴庄甲	50.08	33.54	40.19	37.28
吴庄乙	—	37.97	38.41	48.34
东丽	—	—	46.85	47.34

1.2 天津电网短路电流增长的原因

随着滨海新区的开发开放，“十一五”期间天津电网建设得到了飞速发展，电网规模不断扩大，2006 年吴庄 500 kV 变电站第三台联变投产，2007 年东丽 500 kV 变电站投产，2008 年芦台 500 kV 开关站投产，2009 年吴庄站第四台联变投产，板桥站投产，芦台站 500 kV 联变投产，规划 2010 年投产西郊、静海 500 kV 变电站。“十一五”期间天津 500 kV 电网建设规模如表 2 所示。

表 2 “十一五”期间天津 500 kV 电网建设规模

Tab.2 The 500 kV power transmission and transformation project of Tianjin power grid during the 11th Five-Year Plan

统计年份	变电站数	联变台数	联变容量 /MVA	线路长度 /km
2005 年	3	6	4 653	466.09
2006 年	3	7	5 403	466.09
2007 年	4	9	7 803	564.972
2008 年	5	9	7 803	595.737
2009 年	6	14	12 453	800
2010 年	8	18	16 353	950

注：表中 2009 年、2010 年数据为规划数据。

“十一五”期间，天津 500 kV 电网建设提速，随着 500 kV 工程的不断投产天津地区 500 kV 电网将逐渐形成坚强的双环网结构，但在电网由 500 kV/220 kV 电磁环网运行过渡到以 500 kV 为主干网、220 kV 电网分区供电方式的过程中仍将保持 500 kV 电网与 220 kV 电网电磁环网运行，导致 220 kV 电网联络日益紧密，是造成 220 kV 的短路电流水平大量增加的主要原因。

2 天津电网采取的限制短路电流措施

国内电网限制电网短路电流措施[1~7]主要是提升电压等级，下级电网分层分区运行；变电站母线分段运行；采用高阻抗变压器和发电机；变压器中性点加装小电抗接地；采用串联电抗器；采用 FACTS 和直流背靠背技术；提高断路器的遮断容量等。截至目前天津电网采取的限制短路电流的措施主要有：

2.1 从电网结构上采取措施

从电网结构上采取措施是结合系统规划，发展更高一级电压电网；分区供电，低压电网分片运行，多母线分列运行或母线分段运行；采用直流联网；建设新的输电线路时，注意降低网络的紧密程度等。

2.1.1 断开 220 kV 环网线路

2007 年东丽 500 kV 变电站投产后，北郊、东丽、滨海 500 kV 变电站 220 kV 母线短路电流将分别达到 57.12 kA、64.71kA 和 66.55 kA，断开东丽与北郊、滨海三个 500 kV 变电站之间的部分 220 kV 联络线路，即将北郊－东丽、北郊－景顺路－卫国道－东丽、东丽－春华路－滨海 3 条 220 kV 双回线断环备用后，短路电流分别降至 44.28 kA、16.33 kA 和 47.52 kA。

需要注意的是，断开部分 220 kV 环网线路后，潮流分布将会有所变化，可能会导致供电可靠性降低，因此需要对断环前后电网进行潮流、稳定性、网损等多方面的计算，综合利弊后才能做出决策[8]。

2.1.2 电厂以单元式并网

截止到 2008 年底天津地区杨柳青电厂（4×300 MW）、陈塘庄厂（2×300 MW）、军粮城电厂（4×200 MW）、大港电厂（4×320 MW）等 220 kV 发电机组接入系统方式均为单元式（单机单变单线方式）接入电网，与通过厂用母线接入系统方案相比，单元式接入系统方式，对限制天津电网 220 kV 短路电流均起到了一定作用。

2.1.3 220 kV 电网分区供电

2006 年吴庄 500 kV 变电站第三台联络变压器投产后，吴庄 220 kV 短路电流 55.87 kA，采取吴庄站 220 kV 母线分段运行的措施后降至 38 kA；2007 年东丽 500 kV 变电站投产后，断开北郊与东丽两座 500 kV 变电站之间的 220 kV 电气联络，天津电网分为东西两个相对独立的供电分区。

220 kV 电网实现分区供电应通过详细计算和分析确定最佳解环时机，结合地区内新电源点的建设情况和功率输配电要求，围绕 500 kV 变电站对 220 kV 系统进行切改、解环，并逐步理顺电网结构，将 220 kV 系统构成的电磁环网逐步过渡到分区供电的模式[9]。

2.2 设备本身采取措施

采用高阻抗变压器可限制其低压侧的短路电流，目前这项措施已普遍被采用。如天津电网 2007 年投产的东丽 500 kV 站两台 1 200 MVA 变压器高中压阻抗为 18%的高阻抗变压器。

2.3 降低单相接地短路电流的措施

2001 年北郊、2005 年吴庄 500 kV 变电站 220 kV

母线单相短路电流均大于三相短路电流且超过 50 kA，采取了在变压器中性点加装 5 Ω小电抗的解决方式，该方案施工便利、投资较小，取得了较好的效果。

2.4 天津电网 220 kV 短路电流控制策略

分析天津电网发展特点，可以看出“十一五”是完善天津 500 kV 电网网架结构、220 kV 电网由输电主网逐步转变为配电网的关键时期，2008 年天津地区形成 500 kV“日”字环型网结构，暂态稳定问题不再是限制天津电网运行方式的主要矛盾，天津电网已具备通过一定手段控制短路电流的条件。

预计到 2010 年东丽、板桥、芦台、西郊、静海 500 kV 变电站相继投产后，500 kV 电网形成双环网结构，但在 500 kV 输电网络还未形成坚强的网架结构前，将维持 500 kV/220 kV 高低压电磁环网运行，导致 220 kV 电网的短路电流水平大大增加。为将天津 220 kV 电网短路电流控制在合理范围内，现阶段，应将打开天津网内 500/220 kV 电磁环网，优化电网结构，逐步实现 220 kV 电网分区供电作为控制短路电流的首选措施，同时辅以新建发电机组以单元式接入系统、中性点接入小电抗限制单相短路电流、220 kV 母线分列运行、500 kV 联络变压器采用高阻抗变压器等措施。

3　2010 年天津电网限制短路电流实施方案

根据上节提出的控制 220 kV 短路电流的策略，在不降低电网安全、稳定运行能力的前提下，实现 220 kV 分区供电，应随着 500 kV 变电站的建设，结合 220 kV 出线工程逐步优化 220 kV 电网结构，分析变电站潮流分布的合理性，从潮流优化和提高电网输送能力的角度进行筛选，校核输电系统充裕度，最终确定最佳的分区运行方案。结合 2010 年天津电网规划方案研究采取分区供电等措施限制短路电流的实施方案。

3.1 2010 年电网建设规模

2010 年将投产西郊、静海两座 500 kV 变电站，到 2010 年底天津地区将建成 500 kV 变电站 8 座，主变 18 台，变电总容量达到 16 353 MVA。220 kV 系统公用变电站 73 座，变电容量 26 586 MVA，天津地区接入 500 kV、220 kV 电网的电厂装机容量分别为 4 200 MW 和 6 555 MW；预计最大供电负荷将达到 10 500 MW。

天津地区形成北郊～西郊～吴庄～板桥～滨海～东丽～宝坻直流～北郊 500 kV 受端双环网。北部通过北郊～安定和盘山电厂～通州与北京电网相连，通过蒙古直流和华北电网相连，西部通过霸州～吴庄双回与廊坊电网相连，东部通过安各庄～芦台双回与唐山电网相连，南部通过黄骅～静海双回与河北南网相连。2010 年天津地区 500 kV 网架结构图如图 1 所示。

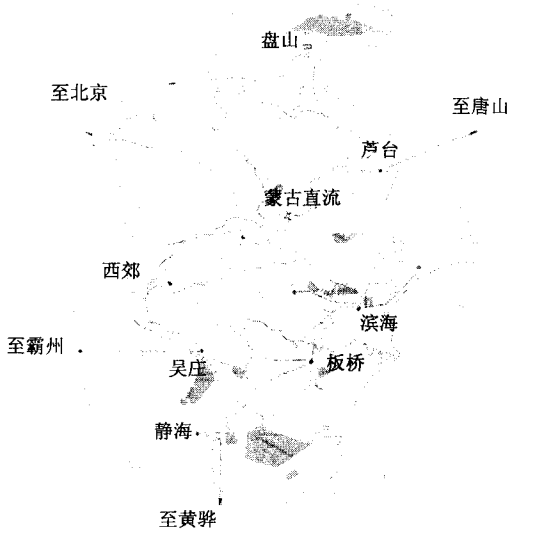

图 1　2010 年天津地区 500 kV 网架结构图

Fig.1 Topology sketch map of Tianjin 500 kV network in 2010

3.2 2010 年天津电网 220 kV 短路电流分析

考虑 2010 年电网规划输变电工程均按期投产的合环方式下，东丽、板桥、吴庄、西郊、滨海等 500 kV 变电站 220 kV 母线的三相和单相短路电流超过 50 kA，究其原因，主要是由于西郊、静海两座 500 kV 变电站投产后，220 kV 电网的联络日益紧密造成的。以下结合西郊、静海工程的实施情况，研究通过优化电网结构来限制短路电流的措施。

表 3　合环方式下 220 kV 母线短路电流

Tab.3 Short-circuit currents of 220 kV bus under electromagnetic coupling operation mode

厂站名	额定值/kA	三相短路电流/kA	单相短路电流/kA
北郊	50	48.39	49.25
西郊	50	55.31	52.87
吴庄甲	50	44.92	41.79
板桥甲	50	50.23	52.90
东丽	50	50.50	54.13
吴庄乙	50	56.06	55.75
滨海	50	52.77	59.50

3.2.1 西郊 500 kV 输变电工程

西郊 500 kV 输变电工程新出 2 回 500 kV 线路破入北郊～吴庄单回线，并新出 1 回至北郊，新出 1 回至吴庄，天津西部地区将形成北郊～西郊～吴庄 500 kV 双回输电通道；本期投产 2 台 1 200 MVA

主变，新出 4 回 220 kV 输电线路破入杨柳青～屈店双回线；新出 2 回接入石各庄变电站，新出 2 回接入刑庄子变电站，新出 4 回破入杨柳青～曹庄子双回线。

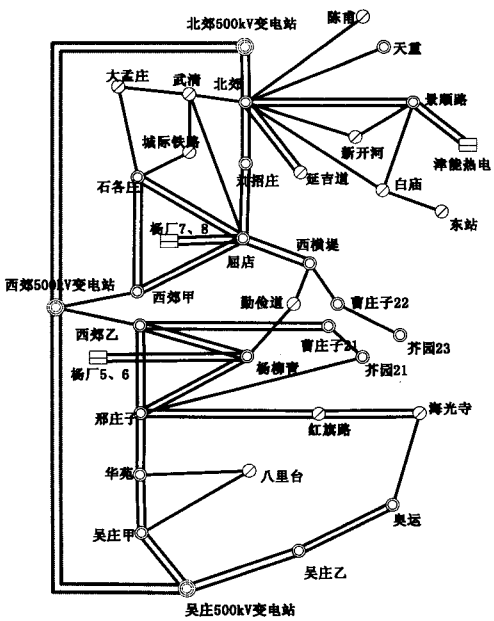

图 2 西郊 500 kV 站投产后地区电网结构图

Fig.2 Topology sketch map after Xijiao 500 kV power station founded

西郊站投产后若西郊 220 kV 母线采取并列运行的方式，那么该站 220 kV 母线三相短路电流水平将达到 51.69 kA，超过断路器额定遮断容量 50 kA。若断开西郊站与吴庄或北郊站的联络可将短路电流控制在合理范围内，但北郊、西郊、吴庄甲供电地区将以辐射电网供电，供电可靠性较低，因此在不降低地区供电可靠性的条件下，建议西郊站 220 kV 母线采取分列运行的方式，将该站 220 kV 母线三相短路电流水平控制在断路器额定遮断容量范围内。

表 4 西郊 500 kV 站投产后短路电流水平

Tab.4 Short-circuit current on Tianjin substation after Xijiao 500 kV power station founded　　kA

变电站 220 kV 母线	西郊投产前		西郊投产后		220 kV 母线分列	
	三相	单相	三相	单相	三相	单相
北郊	45.68	46.78	47.76	48.96	43.13	45.24
东丽	40.39	43.81	40.48	43.93	40.48	43.93
吴庄甲	40.16	37.64	40.43	37.75	37.18	35.66
西郊甲	——	——	**51.69**	**54.03**	31.77	32.40
西郊乙	——	——	——	——	28.16	29.49

3.2.2 静海 500 kV 输变电工程

静海 500 kV 输变电工程新出 4 回 500 kV 线路破入板桥～黄骅双回线；本期投产 2 台 1 200 MVA 主变，新出 2 回 220 kV 线路至陈台子变电站，新出 2 回至港西变电站，新出 2 回至乾隆湖变电站，新出 1 回至唐官屯变电站。

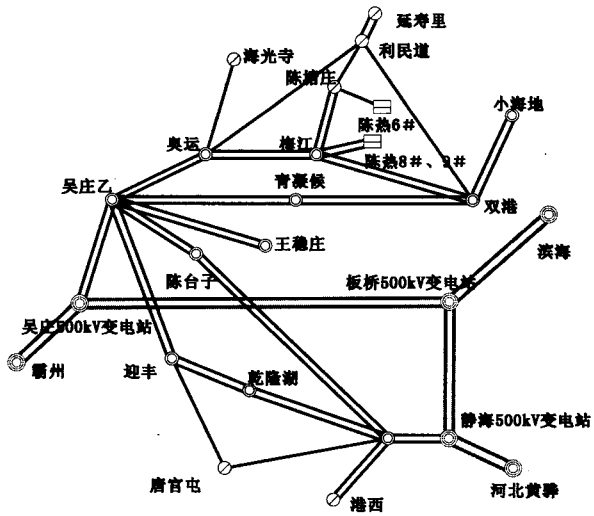

图 3 静海 500 kV 站投产后地区电网结构图

Fig.3 Topology sketch map after Jinghai 500kV power station founded

静海站投产后，静海 500 kV 变电站和吴庄 500 kV 变电站之间将形成静海～乾隆湖～迎丰～吴庄乙和静海～陈台子～吴庄乙两条 220 kV 链式通道，吴庄乙、陈台子、迎丰 220 kV 母线三相短路电流水平均较大增加，其中吴庄乙上升 7.72 kA 后三相短路电流水平达到 55.55 kA、陈台子上升 7.31 kA 后三相短路电流水平达到 52.18 kA，均超过断路器的额定遮断容量 50 kA，需要采取控制措施。

表 5 静海 500 kV 站投产后短路电流水平

Tab.5 Short-circuit current on Tianjin substation after Jinghai 500 kV power station founded　　kA

变电站 220 kV 母线	静海投产前		静海投产后	
	三相	单相	三相	单相
吴庄乙	47.84	47.90	**55.55**	**54.71**
陈台子	44.86	43.30	**52.18**	49.49
迎丰	26.05	23.62	35.49	31.51
静海	——	——	37.27	38.48

为控制短路电流在合理范围内，可采取如下措施：

（1）断环方式一：将迎丰站 220 kV 母线分列，吴庄乙 220 kV 母线短路电流为 52.55 kA，超过 50 kA；

（2）断环方式二：将陈台子站 220 kV 母线分列，吴庄乙 220 kV 母线短路电流 53.68 kA，超过 50 kA；

（3）断环方式三：同时将迎丰和陈台子 220 kV 母线分列运行，打破吴庄乙与静海的 220 kV 通道，所有厂站短路电流水平均控制在断路器的额定遮断容量范围内，但静海地区形成以静海 500 kV 站为中心辐射供电结构，供电可靠性降低。

表 6 静海 500 kV 站投产后短路电流水平

Tab.6 Short-circuit currents under different operation mode after Jinghai 500 kV power station founded　kA

变电站	断环方式一		断环方式二		断环方式三	
220 kV 母线	三相	单相	三相	单相	三相	单相
吴庄乙	**52.55**	**51.55**	**53.68**	**52.60**	47.03	46.80
陈台子甲	49.85	47.20	49.92	46.97	44.12	42.31
陈台子乙	——	——	9.64	6.46	8.26	5.96
迎丰甲	26.25	22.84	35.39	31.43	24.84	21.94
迎丰乙	15.57	12.01	——	——	12.77	10.69
静海	29.57	31.49	32.53	34.20	20.77	23.59

结合其他分区的联络方式综合考虑，若将双港与天津东丽、板桥两座 500 kV 站的 220 kV 联络断开，使吴庄乙和静海两座 500 kV 变电站（4 台主变）通过两条 220 kV 双回线路互联构成供电分区，既能将短路电流限制在合理范围内，又提高了静海地区的供电可靠性。

3.2.3 限制单相短路电流的措施

2010 年滨海、东丽、板桥 500 kV 变电站 220 kV 单相短路电流超过 50 kA，建议在这些变电站 500 kV 变压器的中性点串入小电抗。

3.3 采取限制措施后各分区的潮流

采取一系列限制短路电流措施后，2010 年天津电网分为 6 个供电分区后，假设 2010 年新增机组的容量全部参加平衡，厂用电和高压网损为全网装机容量的 10%，则天津电网分区电力平衡情况如表 7 所示。

表 7　天津电网分区电力平衡关系

Tab.7 Power equilibrium of three areas in Tianjin power grid

供电分区地区	装机 /MW	区域 负荷/MW	500 kV 降压 容量/MVA	500 kV 容载比
北郊－西郊甲	1 260	2 415	2 802	1.78
西郊－吴庄甲	600	1 110	2 751	3.25
东丽－板桥甲	1 500	2 740	3 600	2.26
吴庄乙－静海	735	1 835	3 000	2.07
滨海－板桥乙	2 460	2 925	2 700	2.64
芦台	0	645	1 500	2.33

2010 年天津 220 kV 电网分区运行方式下，各分区 220 kV 主网潮流分布基本合理，无过载线路，各厂站 220 kV 母线均满足要求，各 500 kV 联变负载率均比较低。对上述电网 500 kV 线路、联合变电站以及 220 kV 线路进行“N-1”和“N-2”静态安全分析，结果表明绝大部分元件不存在过载问题，而老旧线路的改造问题是存在的主要问题。

3.4 分区运行后的电网稳定性

通过对天津电网内各 500 kV 线路“N-1”及检修方式下的“N-1”和“N-2”故障以及 220 kV 环网线路和枢纽站主要变电站的“N-1”和“N-2”故障、主力电厂全停等进行安全稳定校核，在保护正确动作后，主网均可保持稳定。

4 结论

在 500 kV 电网不断坚强、220 kV 电网由输电主网逐步转变为配电网的过程中，220 kV 短路电流水平增长迅速，给设备的安全运行带来较大的威胁，仅仅通过简单的解环或更换设备并不能从根本上解决电网发展和短路容量增长的矛盾，必须结合电网发展规划，在综合考虑系统的安全稳定运行后，采用 220 kV 电网分层分区供电的模式以形成最终合理的电网结构。

为有效避免电网分区运行所带来的不利影响，应在中、长期的电网规划中有计划、有步骤地体现电网分层分区的原则，从全局的、长远的角度将电网控制系统短路电流与电网规划工作相结合，使天津电网的网络结构更趋合理。同时应进一步深入研究 220 kV 电网分区供电后带来分区内的电压稳定、厂网协调、备用通道建设等问题。

参考文献

[1] 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.
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(in Chinese).

[2] 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(10)：42-45.
YUNG 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(10): 42-45(in Chinese).

[3] 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(in Chinese).

[4] 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.

（下转第 118 页　continued on page 118）

d11 接线组别，应设置 Y 侧电流超前 Δ 侧对应相电流 150°，电流值分别为变压器两侧的额定电流，此时保护装置应显示无差动电流。

（4）对于三绕组变压器，应分别对高—中，高—低，中—低压侧进行模拟，方法与双绕组变压器模拟方法相同。

4　结束语

差动保护是保证变压器安全可靠运行的重要因素，本文通过对改变接线组别后变压器差动保护 CT 接线和保护平衡系数计算方法的分析，并通过现场实际运行检验，不平衡电流保持在允许范围内，变压器运行一年多来未发生差动保护误动作事故，保证了电网的安全可靠运行。

参考文献

[1] 王维俭.电气主设备继电保护原理与应用[M].北京:中国电力出版社,1998.
WANG Wei-jian. Electrical Main Equipment Protection Principle and Application[M].Beijing:China Electric Power Press, 1998.

[2] 王梅义.电网继电保护应用[M].北京：中国电力出版社,1998.
WANG Mei-yi.Power System Protection Application[M]. Beijing :China Electric Power Press,1998.

[3] 李宏任.实用继电保护[M].北京：机械工业出版社，2002.
LI Hong-ren. Applied Protection[M].Beijing:China Machine Press,2002.

收稿日期：2009-02-27

作者简介：

侯元文（1973-），男，工程师，长期从事电力系统继电保护整定计算和运行管理工作。E-mail: hyw689292@sohu.com

（上接第 107 页　continued from page 107）

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(in Chinese).

[5] 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(in Chinese).

[6] 李明，张小青．电力系统故障限流器技术的研究[J]. 电气时代，2005，(4)：54-56.
LI Ming，ZHANG Xiao-qing. Studies on Fault Current Limiter of Power System[J]. Electric Age，2005，(4)：54-56(in Chinese).

[7] 陆建忠，张啸虎．加强电网规划，优化电网结构，限制短路电流[J]. 华东电力，2005，33(5)：292-295.
LU Jian-zhong，ZHANG Xiao-hu. Idea on Plannig for Short-circuit Current Limitation[J]. East China Electric Power，2005，33(5)：292-295(in Chinese).

[8] 刘树勇，顾强，李晓辉,等. 天津电网 500 / 220kV 电磁环网解环问题研究[J]. 华北电力技术，2008(1)：51-54.
LIU Shu-yong，GU Qiang，LI Xiao-hui，et al. Research on Opening of s00 / 220 kV Electromagnetic Loop in Tianj in Power Network[J]. North China Electrical Power, 2008(1)：51-54.

[9] 刘树勇，顾强，张丽娟，等．“十一五”期间天津 500/220kV 电网分区供电方案[J]. 电网技术，2008，32(9)：51-55.
LIU Shu-yong, GU Qiang, ZHANG Li-juan, et al. Research on 500/220kV Network Partition of Tianjin during the 11th Five-Year Plan[J]. Power System Technology，2008，32(5)：51-55(in Chinese).

收稿日期：2009-04-13；　修回日期：2009-07-13

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: lsy78@126.com

（上接第 114 页　continued from page 114）

[4] 张保会，等. 电力系统继电保护[M]. 北京：中国电力出版社，2005.
ZHANG Bao-hui, et al. Power System Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

收稿日期：2009-08-04；　修回日期：2009-09-02

作者简介：

苏海涛（1982-），男，硕士研究生，从事变电运行工作; E-mail:suht2006@126.com

侯群宝（1964-），男，高级工程师，从事变电运行管理工作;

董孝平（1962-），男，高级工程师，从事变电运行管理工作。