

# 四川电网 2010 年短路电流水平分析及限制措施研究

周惟婧, 杜新伟, 丁理杰

(四川电力试验研究院, 四川 成都 610072)

**摘要:**四川电网处于高速发展的时期, 电源容量及网架结构将明显加强, 在满足不断增长的电力需求的同时, 短路电流水平的也日益增大, 部分变电站的短路电流水平已经接近或超过其开关现有遮断容量。结合四川电网的发展规划, 利用 PSASP 程序进行 2010 年四川电网短路电流计算, 根据计算结果提出降低短路电流的主要技术措施, 并对其有效性进行分析和评估。

**关键词:** 短路电流; 限制措施; 四川电网

**Abstract:** With the enhancement of capacity and structure for Sichuan power grid the short-circuit current is increasing by year. Short-circuit current of several substations have approached or even exceeded their interrupting capacity. According to the development plan of Sichuan power grid and based on the short-circuit current calculated with PSASP program, some effective measures to limit the short-circuit current are proposed and its feasibility and validity is also analyzed and evaluated.

**Key words:** short-circuit current; limiting measure; Sichuan power grid

**中图分类号:** TM712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)04-0024-04

## 0 引言

四川是中国重要的水能基地, 2010 年四川电网总装机容量约 45.21 GW, 其中水电装机约 32.72 GW, 火电装机约 12.5 GW。为满足大量水电机组上网及水电远距离传输的需要, “十一五”期间, 四川 500 kV 和 220 kV 电网新建变电站及新建线路大量增加, 网架结构明显加强<sup>[1]</sup>。在满足电力需求的同时, 这必然导致四川某些地区 500 kV 站点及其 220 kV 侧短路电流大幅增加, 特别是一些处于负荷中心, 负荷密度大, 电网联系特别紧密的变电站, 短路电流问题尤为突出。

鉴于此, 基于“十一五”四川规划电网, 对四川 2010 年电网短路电流问题进行研究。通过短路电流计算分析四川电网的短路电流水平, 针对短路电流越限的情况, 提出四川电网降低短路电流的措施, 并对其有效性进行探讨和评估。

## 1 计算条件

计算采用是中国电力科学研究院开发的“电力系统分析综合程序”(Power System Analysis Software

Package PSASP)。在潮流计算中取“鄂龙泉”站作为平衡机, 其余电厂、变电站依据实际情况作为 PQ、PV 节点处理, 线路考虑电阻、电抗、电纳, 其余元件仅考虑电抗。各元件参数选用原则遵循: 现有设备采用实际参数; 规划的线路参数参照现有同类型线路参数; 规划的 500 kV 和 220 kV 降压变压器参数参照现有设备。川渝电网的负荷采用 40% 的感应电动机和 60% 的恒阻抗模型。计算方式为正常接线方式 (电厂全开机)。

## 2 四川电网 2010 年短路电流水平分析

分别计算四川电网 500 kV 及 220 kV 电网厂站三相及单相短路电流及短路容量, 计算结果如表 1、表 2 所示。

由表 1 可看出, 对于三相短路电流, 220 kV 系统没有超过开关最大开断电流能力的母线。短路电流在 45 kA 以上的有德阳 II 站、蜀州、谭家湾 500 kV 变电站的 220 kV 母线。对于单相短路电流, 存在一些 500 kV 变电站 220 kV 侧母线以及 220 kV 变电站母线的单相短路电流超过三相短路电流, 其中单相短路电流超过三相短路电流且数值超过 45 kA 的有德阳 II 站、蜀州、谭家湾、龙王、龙泉、资阳、洪沟、东坡、丹

景、尖山、绵阳。

表 1 部分 220 kV 母线单、三相短路电流及容量 (kA, MVA)

母线名	三相短路电流	三相短路容量	单相短路电流	单相短路容量
德阳 II 站	48.10	18 285.19	52.65	20 063.11
蜀州	47.54	18 117.05	52.28	19 921.87
谭家湾	45.58	17 207.47	51.08	19 462.19
龙泉	44.94	17 125.96	49.54	18 877.30
绵阳	42.60	16 232.72	47.48	18 091.36
龙王 220-1	42.27	16 105.80	48.75	18 577.50
龙王 220-2	42.26	16 103.96	48.74	18 573.34
资阳	41.46	15 798.84	46.89	17 868.69
丹景	41.40	15 777.27	48.07	18 316.37
隆兴	41.08	15 652.17	39.62	15 098.45
洪沟	41.04	15 637.45	46.17	17 592.49
新市	40.27	15 345.61	38.50	14 670.00
东坡	40.23	15 328.85	47.04	17 922.90
尖山	39.77	15 153.86	46.75	17 814.80

表 2 部分 500 kV 母线单、三相短路电流及容量 (kA, MVA)

母线名	三相短路电流	三相短路容量	单相短路电流	单相短路容量
尖山	52.25	45 253.55	49.72	43 058.38
龙泉	51.36	44 477.84	48.19	41 735.43
资阳	48.95	42 389.53	40.50	35 070.65
东坡	47.35	41 008.49	42.44	36 757.26
洪沟	45.46	39 323.32	40.56	35 122.07
谭家湾	44.75	38 695.52	42.91	37 159.62
蜀州	44.34	38 402.34	41.64	36 058.52
龙王	41.63	36 049.53	36.87	31 931.44
丹景	37.87	32 795.24	37.38	32 374.07
德阳 II 站	37.40	32 390.46	35.79	30 994.37

由表 2 可以看出,对于三相短路电流,500 kV 系统中尖山、龙泉 500 kV 侧短路电流超过了 50 kA,资阳、东坡 500 kV 侧短路电流已非常接近 50 kA。对于单相短路电流,也存在一部分 500 kV 变电站的 500 kV 母线单相短路电流超过三相短路电流,如广安、瀑布沟、二滩等。不过由于两者的短路电流数值相差不大且均在 35 kA 以下,可以不采取措施限制,只是应当按照单相短路电流来选择断路器遮断容量。

### 3 限制四川电网 2010 年短路电流水平措施

限制电网短路电流的技术措施<sup>[2~14]</sup>主要有分层分区、母线分段运行、采用高阻抗变压器、采用限流电抗器、故障电流限制器、变压器经小电抗接地以及提高断路器的遮断容量等,结合四川电网现状及其发展规划,并考虑到经济性和可靠性,主要从系统运行和系统结构上考虑限制短路电流的措施。

#### 3.1 限制 220 kV 母线三相短路电流

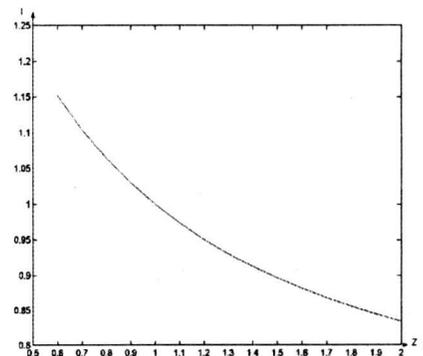
##### 3.1.1 高阻抗参数

分别对三相短路电流均超过 45 kA 的德阳 II 站、蜀州、谭家湾采取高阻抗变压器 ( $V\% = 16\%$ ) 限流,对比结果如表 3 所示。

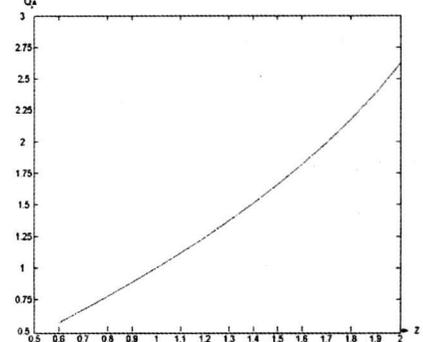
表 3 部分变电站采用高阻抗变压器前后的短路电流及降幅

变电站	普通变压器 /kA		高阻抗变压器 /kA		降幅 /%
	短路电压	电流	短路电压	电流	
德阳 II 站	12%	48.10	16%	43.99	8.54
蜀州	12%	47.54	16%	42.42	10.76
谭家湾	12.69%	45.58	16%	45.00	1.27

由此可见,采用高阻抗变压器是限制 220 kV 母线三相短路电流的有效方法;但采用高阻抗变压器会增加变压器无功消耗,影响无功平衡关系。以 500 kV 德阳 II 站变电站为例,随着高阻抗变压器阻抗的增加,220 kV 母线的短路电流单调递减,但递减的幅度逐渐降低,到一定程度后,阻抗的增加将不再减小短路电流。如图 1(a) 所示。同时,随着高阻抗变压器阻抗的增加,变压器的功率损耗单调递增,且增加的幅度逐渐加大,到一定程度后,阻抗增加少许将大幅度增大变压器损耗,如图 1(b) 所示。



(a) 变压器阻抗与对应短路电流关系



(b) 变压器阻抗与对应无功损耗关系

图 1 采用高阻抗变压器限制短路电流

高阻抗变压器采用适当的阻抗值可以达到“短路电流降低”和“功率损耗加大”之间的平衡。一方面,采用高阻抗变压器可降低短路电流,高阻抗变

器消耗的无功损耗需要无功补偿设备来补偿;另一方面,短路电流的增加可以通过升级断路器及开关设备以满足足够的开断能力。针对不同的情况,究竟采用高阻抗变压器并提供足够的无功补偿,还是全面升级断路器及开关以满足足够的开断能力,应该做出经济上的比较。高阻抗变压器限制短路电流的措施只能应用在新建变电站中,若已运行的变压器更换成高阻抗变压器时投资比较大。

### 3.1.2 分母运行

母线分母运行可以增大系统阻抗,有效降低短路电流水平,是最经济、简单、有效的一种限制短路电流的手段。对于 500 kV 变电站 220 kV 母线的分母运行,应根据 220 kV 母线出线输送功率和主变压器下送功率制定尽量均衡的母线分母运行方案。

分别对三相短路电流均超过 45 kA 的德阳 II 站、蜀州、谭家湾采取分母运行限流,对比结果如表 4 所示。

表 4 部分变电站采取分母运行前后的短路电流及降幅

变电站	不分母 /kA	分母运行 /kA	降幅 /%
德阳 II 站	48.10	44.19/44.19	8.13
蜀州	47.54	41.19/41.19	13.36
谭家湾	45.58	42.21/41.30	7.39/9.39

由表 4 分析可以得出:①德阳 II 站采用高阻抗变压器后,220 kV 母线三相短路电流可减少 8.54%;采取分母运行后,可减少 8.13%。建议德阳 II 站采用高阻抗变压器;②蜀州 220 kV 母线三相短路电流,采用高阻抗变压器后可减少 10.76%;采取分母运行后,可减少 13.36%。建议蜀州 220 kV 母线采用分母运行的方式;③谭家湾 220 kV 母线三相短路电流,采用高阻抗变压器后可减少 1.27%;采取分母运行后,谭家湾 220 kV 分母运行的两条母线短路电流分别减少 7.39%和 9.39%。建议谭家湾 220 kV 母线采用分母运行的方式。

### 3.2 限制 500 kV 母线三相短路电流

由于 500 kV 尖山、龙泉等变电站的 500 kV 母线短路电流已远远超过 50 kA,且随着大型电站接入 500 kV 电压等级,以及 500 kV 网络的密集化发展,四川电网 500 kV 母线短路电流有逐渐上升的趋势。建议未投运的龙泉、资阳 500 kV 变电站 500 kV 侧电气设备按 63 kA 选择。对于已经投产的尖山、东坡变电站(原 500 kV 侧电气设备按 50 kA 选择),届时可以考虑重新更换 500 kV 侧的相关电气设备或在电网设计时采用其他措施对短路电流加以限制。

尖山变电站是四川主网架中川西大量水电送出的一个重要枢纽变电站,它与系统的联系十分紧密,2010 年 500 kV 出线达到 10 回,500 kV 侧短路电流已经超过 50 kA 的开关开断电流。因此有必要针对 500 kV 变电站 500 kV 母线分母运行的可行性和有效性进行超前研究,防患于未然。

以尖山为例,研究 500 kV 母线分母运行的有效性,计算结果如表 5 所示。

表 5 尖山变电站采取限流措施前后的短路电流及降幅

变电 站名	合母运行的短路 电流 /kA	分母运行	
		短路电流	降幅 /%
尖山	52.25	47.27/47.3	9.53/9.47

由表 5 可以看出,尖山 500 kV 母线分母运行后三相短路电流明显降低,接近 10%,因此这种措施是简便有效的。但是需要进一步研究 500 kV 母线分母运行后对供电可靠性和安全性的影响。

### 3.3 限制 220 kV 母线单相短路电流

由于大量 500 kV 主变压器中性点直接接地后使系统零序电抗降低,导致单相短路电流超过三相短路电流。变压器中性点加小电抗接地是降低单相短路电流的有效限流措施,对限制短路电流的零序分量有明显的效果,特别是对单相短路电流大于三相短路电流的情况尤为明显。它可以显著降低 500 kV 变压器 220 kV 侧母线的单相短路电流,并且施工方便,投资较小。但是对于降低 500 kV 变压器 500 kV 侧的单相短路电流的效果并不明显。

对各站主变压器中性点接入小电抗,计算所得的单相短路电流以及相应降幅,结果如表 6 和表 7 所示。

由表 6 和表 7 可以看出,500 kV 变电站的 220 kV 母线的单相短路电流随变压器中性点所接小电抗值的增加而减小,当中性点的电抗值增大到某一值后,220 kV 母线的单相短路电流的降幅将会减小。

当接入中性点的电抗值大于 8 Ω 后,220 kV 母线的单相短路电流的降幅逐渐减小。建议 500 kV 变电站变压器中性点所接小电抗值在 8 Ω 以内。

## 4 结 论

随着电力系统的发展,短路电流水平不断增大成为一个突出的技术问题。通过计算分析,针对四川 2010 年 500 kV /220 kV 电网短路电流问题,有如下分

表 6 部分变电站主变压器中性点接入小电抗前后单相短路电流

母线名	单相短路电流 (kA)											
	0 Ω	1 Ω	2 Ω	4 Ω	6 Ω	8 Ω	10 Ω	12 Ω	14 Ω	16 Ω	18 Ω	20 Ω
德阳 II 站 220	52.65	50.83	49.96	49.12	48.73	48.46	48.30	48.19	48.10	48.03	47.98	47.94
蜀州 220	52.28	50.68	49.82	49.00	48.60	48.36	48.20	48.09	48.01	47.97	47.89	47.85
谭家湾 220	51.08	49.29	48.44	47.61	47.21	46.96	46.80	46.69	46.60	46.54	46.48	46.44
龙泉 220	49.54	47.64	46.73	45.84	45.45	45.15	44.98	44.86	44.77	44.70	44.65	44.6
绵阳 220	47.48	45.74	44.92	44.14	43.76	43.53	43.38	43.28	43.20	43.14	43.09	43.05
龙王 220—1	48.75	47.33	46.66	46.01	45.70	45.51	45.38	45.29	45.23	45.18	45.14	45.10
龙王 220—2	48.74	47.32	46.65	46.00	45.69	45.50	45.37	45.28	45.22	45.17	45.13	45.09
资阳 220	46.89	45.25	44.47	43.72	43.36	43.14	42.99	42.89	42.82	42.76	42.71	42.67
丹景 220	48.07	46.42	45.65	44.92	44.64	44.35	44.21	44.11	44.04	43.98	43.93	43.90
洪沟 220	46.17	44.41	43.58	42.78	42.40	42.16	42.01	41.90	41.82	41.76	41.71	41.67
东坡 220	47.04	45.67	45.03	44.42	44.13	43.95	43.84	43.75	43.69	43.65	43.61	43.58
尖山 220	46.75	45.26	44.55	43.85	43.59	43.31	43.17	43.08	43.01	42.95	42.91	42.87

表 7 部分变电站主变压器中性点接入小电抗前后单相短路电流降幅

母线名	降幅 (%)											
	0 Ω	1 Ω	2 Ω	4 Ω	6 Ω	8 Ω	10 Ω	12 Ω	14 Ω	16 Ω	18 Ω	20 Ω
德阳 II 站 220	0	3.46	5.11	6.70	7.45	7.96	8.26	8.47	8.64	8.77	8.87	8.95
蜀州 220	0	3.06	4.71	6.27	7.04	7.50	7.80	8.01	8.17	8.24	8.40	8.47
谭家湾 220	0	3.50	5.17	6.79	7.58	8.07	8.38	8.59	8.77	8.89	9.01	9.08
龙泉 220	0	3.84	5.67	7.47	8.26	8.86	9.20	9.45	9.63	9.77	9.87	9.97
绵阳 220	0	3.66	5.39	7.03	7.83	8.32	8.64	8.85	9.01	9.14	9.25	9.33
龙王 220—1	0	2.91	4.29	5.62	6.26	6.65	6.91	7.10	7.22	7.32	7.41	7.49
龙王 220—2	0	2.91	4.29	5.62	6.26	6.65	6.91	7.10	7.22	7.32	7.41	7.49
资阳 220	0	3.50	5.16	6.76	7.53	8.00	8.32	8.53	8.68	8.81	8.91	9.00
丹景 220	0	3.43	5.03	6.55	7.14	7.74	8.03	8.24	8.38	8.51	8.61	8.67
洪沟 220	0	3.81	5.61	7.34	8.17	8.69	9.01	9.25	9.42	9.55	9.66	9.75
东坡 220	0	2.91	4.27	5.57	6.19	6.57	6.80	6.99	7.12	7.21	7.29	7.36
尖山 220	0	3.19	4.71	6.20	6.76	7.36	7.66	7.85	8.00	8.13	8.21	8.30

析结论和建议。

(1)对于四川 220 kV 电网,采用分层分区、解环、高阻抗参数以及分母运行相结合是降低 220 kV 电网三相短路电流水平的有效限流方案。对于 220 kV 母线单相短路电流超过三相短路电流且数值超过 45 kA 的变电站,建议采用变压器中性点经小电抗接地的方式将单相短路电流限制到三相短路电流水平。

(2)对于四川 500 kV 电网,建议规划中的龙泉、资阳变电站 500 kV 侧电气设备按 63 kA 选择。对于已经投产的尖山、东坡变电站(原 500 kV 侧电气设备按 50 kA 选择),届时可以考虑重新更换 500 kV 侧相关电气设备或考虑采用 500 kV 母线分母运行及装设故障电流限制器等措施对短路电流加以限制。

(3)由于分层分区、解环、母线分段运行均会对整个四川电网的稳定性产生影响,在限制短路电流措施实施前还需根据电网建设实际情况对 220 kV 和 500 kV 电网做详细的“N-1”校核以及暂态稳定分析。

### 参考文献

- [1] 四川省电力公司.四川省“十一五”电网规划优化调整报告[R].成都:四川省电力公司,2006.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 向铁元,王智伟,秦跃进,闸勇.湖北电网 2007 年短路电流水平及限制措施[J].电力科学与技术学报,2007,22(1):87-91.
- [5] 王非,李群炬.京津唐电网限制短路电流问题探讨[J].华北电力技术,2007,(4):17-19.
- [6] 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.
- [7] 叶幼君,鲍爱霞,程云志.浙江 500 kV 电网短路电流的控制[J].华东电力,2006,34(3):193-197.

(下转第 91 页)

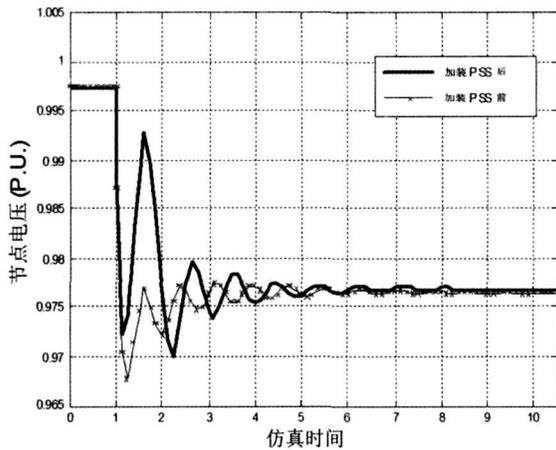


图 6 PSS对母线电压振荡的影响

基本过渡到稳定水平,但与初值之差已超过 0.02。具体比较数据参见表 3。

图 6 显示了系统在节点 1 加装 PSS 前后,当 2 和 4 节点间断路器发生开断时,节点 4 的电压振荡情况。可以看出,有 PSS 的情况下,节点 4 电压到达一个新的稳定水平时间较快,且振荡幅度也相对较小。

## 4 结束语

简述了时域仿真在电力系统暂态稳定计算中的应用,对其原理和 PSS 建模进行了介绍。采用 IEEE 14 标准算例,应用基于 Matlab 的电力系统分析与计算工具 PSAT 程序包对计入了 PSS 模型的电力系统进行了时域仿真计算,定量研究了 PSS 的引入对系统暂态稳定的影响,取得了较好效果。总体而言,加装 PSS 对系统内各元件到达新的稳定水平的振荡时间、稳定质量均有积极影响。此外,基于 Matlab 的 PSAT 程序包作为开源程序具有良好的用户接口,且模型相当丰富,尤其适合电力系统运行人员使用,有利于加

强其对系统各类稳定、故障的理解。

## 参考文献

[1] Kundur Prabhshanker Power system stability and control [M]. New York NY, USA: McGraw-Hill Companies Inc 1994.

[2] 倪以信,陈寿孙,张宝霖. 动态电力系统的理论和分析 [M]. 清华大学出版社, 2001.

[3] Kundur Prabhshanker Digital simulation and analysis of power system dynamic performance Ph.D thesis University of Toronto 1967.

[4] 王守相,郑志杰,王成山. 计及不确定性的电力系统时域仿真的区间算法 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(7): 40-44.

[5] 石恒初,严正. 基于时域仿真的暂态稳定裕度研究现状分析 [J]. 华东电力, 2008, 36(1): 76-80.

[6] Maria GA, Tang C K in J Hybrid Transient Stability Analysis [J]. IEEE Trans on Power Systems 1990, 5(2).

[7] Tang C K, Graham C E. Transient stability index from conventional time domain simulation [J]. IEEE Trans on Power Systems 1994, 9(3): 1524-1530.

[8] 张帆,徐政. 电力系统稳定器抑制次同步谐振的效果 [J]. 电工技术学报, 2007, 22(6): 121-127.

[9] 王成山,石颀. 考虑时间延迟影响的电力系统稳定器设计 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(10): 1-6.

[10] <http://www.ucm.es/area/gsee/Web/Federico/psath.htm>.

[11] <http://www.ee.washington.edu/research/psca/>.

## 作者简介:

焦艳杰 (1982-), 男, 从事 500kV 变电站运行与监控工作。

陈宇 (1983-), 男, 从事电力调度工作。

陈积州 (1982-), 男, 从事配电网调度工作。

吴曦 (1983-), 女, 从事配电网监控运行工作。

(收稿日期: 2009-02-06)

(上接第 27 页)

[8] 周彦. 基于 TPSC 技术的短路电流限制器 [J]. 华东电力, 2005, 33(5): 326-327.

[9] 吴荻. 限制大电网短路电流水平的措施的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2005.

[10] 胡宏,周坚. 瓶窑 500 kV 母线短路电流限制措施的研究 [J]. 华东电力, 2005, 33(5): 300-303.

[11] 李瑞生,索南加乐. 750 kV 输电线路的特殊问题及其对线路保护的影响 [J]. 继电器, 2006, 34(3): 1-4.

[12] 殷可,高凯. 应用串联电抗器限制 500 kV 短路电流分析 [J]. 华东电力, 2004, 32(9): 567-570.

[13] 庄侃沁,胡宏,励刚,等. 控制和降低短路电流水平措施在华东电网的应用 [J]. 华东电力, 2005, 33(12): 917-919.

[14] 袁娟,刘文颖,董明齐,史可琴,范越. 西北电网短路电流的限制措施 [J]. 电网技术, 2007, 31(10): 42-45.

(收稿日期: 2009-05-12)