750/220 kV电网分区原则理论研究

随着高一电压等级电网的发展，打开低一电压等级电磁环网势在必行。通过分析总结了目前我国不同地区电网的典型分区结构，构建了基于电路等效理论的单座750 kV站和两座750 kV站分区供电模型，考虑了站间不同线路长度、不同主变压器台数和容量、电源接入和母联串联电抗器等因素对短路电流的影响。通过对构建的典型分区模型220 kV侧母线的短路电流水平进行理论分析，提出750/220 kV电网分区以2～3台主变压器为宜的理论原则，可为750/220 kV电网分区提供一定的技术参考。

杨桂兴[1] 王 赛[2,3] 宋占党[1] 文玉玲[1] 丁碧薇[1]/1.国网乌鲁木齐供电公司 2.南京南瑞集团公司北京监控技术中心 3.华北电力大学电气与电子工程学院

杨桂兴/助理工程师

关键词/Keywords

750/220 kV电网分区·
电网分区模型·
短路电流·
电力系统·

750 kV电网为我国西北地区电网的主力网架[1]，随着750 kV电网网架结构的不断加强，750/220 kV电磁环网不断形成，电磁环网提高了西北电网安全运行水平和供电可靠性，同时也导致了相关厂站的短路电流容量大幅度增加。随着部分地区大量自备电源的接入，220 kV电网短路电流水平进一步攀升[2]。为抑制电网短路电流不超过断路器开断能力，750/220 kV电网分区运行势在必行。

为了限制因系统互联和容量增大引起的短路电流水平升高的问题，不能简单地采取更换断路器的方法，而是需要调整电网结构或系统运行方式。理论和实践均证明，分层分区是解决短路电流问题的有效方法[3]。为降低短路电流水平，我国电网普遍采用解开电磁环网的措施，在经济发达、负荷密度高的地区，220 kV电网分区运行已经普遍实施或将要实施。较为典型的电网分区案例主要是针对500/220 kV电网的分区，如北京、上海和天津等地区500/220 kV电网已实施分区运行[4-6]。北京电网主要是两站手拉手和三站分区模式，上海电网分区主要为单站馈供模式等。

与常规电网500/220 kV电磁环网运行相比，750/220 kV电网具有电压比大、单台主变压器容量大以及750 kV侧下注到220 kV侧短路电流显著增大等特点，另外由于新疆乌鲁木齐等地区有大量自备电源接入，电网分区难度相对较大。文献[7]提出将大电源接入高电压等级和在电源贡献系数较小的节点接入大电源来限制短路电流升高，这为电源接入规划提供一定的参考。对于电网中已有的电源，需通过分区将其划入不同片区来抑制电网短路电流。因此，有必要对大电源接入下的750/220 kV电网的分区原则进行探讨。

采用限流电抗器，既可限制电网的短路电流水平，又保证了供电可靠性，对于采取网架优化措施难以有效降低短路电流水平的大容量电源接入地区，采用限流电抗器不失为一种合适的选择。限流电抗器的本质是通过增大系统联系阻抗，降低电网的紧密程度，从而减少变电站母线某些分支提供的短路电流。在系统中串联电抗器（串抗）接入方式主要有母线联络方式和线路端接入方式[8-9]，适应性最佳的配置方法是在线路上配置串联电抗器。

本文主要根据目前电网典型分区结构和750/220 kV电网的特点，考虑分区内不同数量的750 kV站、不同站间线路长度和大容量电源接入等因素，以及串抗措施抑制短路电流的效果，通过对构

中国知网 https://www.cnki.net

建的单座750 kV站分区模型、两座750 kV站3台主变压器和4台主变压器等不同分区模型的短路电流水平进行理论计算分析，提出750/220 kV电网分区原则。所提分区原则可为750/220 kV电网分区提供一定的技术参考。

电网分区等效模型

1. 电网典型分区等效模型构建

根据电路等效理论，对典型电网分区结构进行等效建模，为了简化分析，将待研究分区作为内部系统，待研究分区以外的电网作为外部系统，外部系统采用恒定电压源与内阻抗串联的形式进行等效。

以下主要对单座750 kV站馈供分区结构、两座750 kV站分区结构进行等效建模，两座750 kV站分区结构又分为两站3台主变压器、两站4台主变压器和两站4台主变压器加母联串抗3种类型。构建的不同类型典型分区等效模型如表1所示。

2. 分区模型短路电流水平

电网短路电流水平主要取决于短路点与电源点的电气距离，与电源容量、线路和主变压器阻抗等参数有关。针对单座750 kV站馈供分区模型、两座750 kV站3台主变压器、两站4台主变压器和两站4台主变压器加母联串抗分区模型，分别对220 kV侧母线发生三相短路故障时的短路电流水平进行计算。

考虑到750 kV电网的实际情况，假定750 kV站单台主变压器容量为1 500 MV·A，主变压器U_k%取0.18，站间线路长度主要取60 km、80 km和100 km进行分析。

对于单座750 kV站馈供分区模型，2台主变压器并列运行，在不同外部系统等效短路阻抗（750 kV侧短路时外部系统注入的电流不同）情况下，主变压器高压侧下注的三相短路电流水平如表2所示。

目前，750 kV电网母线三相短路电流水平一般为20～30 kA。从表2计算结果可知，750 kV侧按30 kA短路电流计算系统阻抗时，主变压器高压侧下注到220 kV侧短路电流达30 kA。

对于两站3台主变压器、两站4台主变压器以及两站4台主变压器加母联串抗分区模型，在不同220 kV线路长度下，220 kV母线三相短路电流水平如表3所示，其中，750 kV侧短路电流按30 kA考虑。

表1　分区等效模型

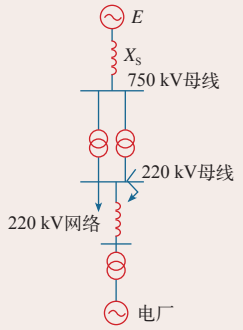
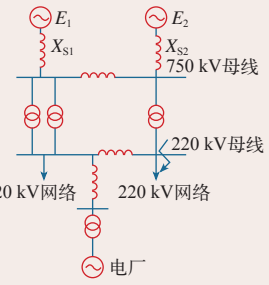
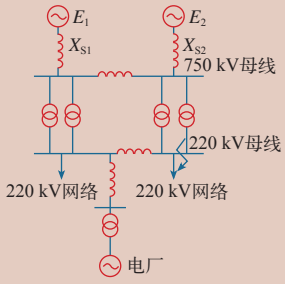
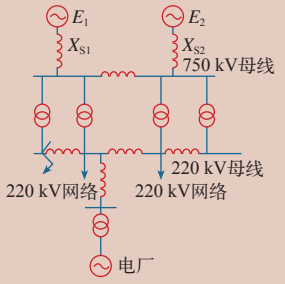
单座750 kV站馈供	两座750 kV站3台主变压器
单座750 kV站点内2台主变压器并列运行，带一片220 kV电网	两座750 kV站，其中一站为2台主变压器并列运行，另一站为1台主变压器，两站通过220 kV线路连接，共带一片220 kV电网
	
两座750 kV站4台主变压器	**两座750 kV站4台主变压器加母联串抗**
两座750 kV站内各2台主变压器并列运行，两站通过220 kV线路连接，共带一片220 kV电网	两座750 kV站内各2台主变压器并列运行，两站220 kV侧母联分别串入电抗器，两站通过220 kV线路连接，共带一片220 kV电网
	

表2　单座750 kV站分区模型三相短路电流水平

750 kV侧短路电流/kA	220 kV侧短路电流/kA
20	26
30	30
40	32
50	34
63	35

中国知网 https://www.cnki.net

表3 不同线路长度下分区模型短路电流水平

短路电流/kA 分区模型 / 站间线路长度/km	两站3台主变压器 短路电流/kA	两站4台主变压器 短路电流/kA	两站4台主变压器＋母联串抗 短路电流/kA
100	37	38	31
80	38	40	32
60	40	41	34

从表3的计算结果可见，对于两站3台主变压器和两站4台主变压器分区模型，220 kV母线短路电流均在37 kA以上；在两站220 kV母联上串入7 Ω电抗器后，220 kV侧母线三相短路电流可下降7～8 kA，具有较明显的限流效果。

分区内电源接入的影响

为保证供电可靠性，不但要将单座和两座750 kV站构成一个分区，而且分区内最好有一定容量的电源接入。大容量电源接入对220 kV母线短路电流具有较大的影响，因此有必要分析大容量电源接入对750 kV站点的220 kV母线短路电流水平的影响。为简化分析，本文中电源提供的短路电流采取叠加定理进行计算，并考虑较为严重的情况，认为电源直接接到220 kV母线故障位置。

发电机用E_q''和X_d''等效，假定接入220 kV电网的发电机容量为S_G，升压变压器短路电抗百分比为U_k%（基于自身容量），分区内发电厂分别通过两回LGJ－2×400型导线接入750 kV变电站的220 kV侧，每100 km线路电抗标幺值$X_L=0.06$，线路长度为L，系统基准容量取$S_B=100$ MV·A。则电厂通过220 kV线路提供的三相短路电流计算式为

$$I_{G220}=\frac{1}{\frac{(X_d''+U_k)S_B}{S_G}+\frac{X_L L}{2}} \tag{1}$$

短路容量为

$$S_{G220}=I_{G220}S_B \tag{2}$$

假定发电机容量为300 MW，功率因数为0.85，发电机电抗标幺值$X_d''=0.2$，升压变压器漏抗$X_T=0.18$，经30 km双回线路接入220 kV母线。经计算，一台发电机注入到220 kV母线的短路电流约2.15 kA，短路容量S_{G220}为836 MV·A。

以两站分区模型为例，站间线路长度分别取60 km、80 km和100 km，220 kV侧母线断路器额定遮断电流假定为50 kA。不同分区模型允许接入的最大机组容量计算结果如表4所示。

表4 不同分区模型允许接入的机组容量

分区模型	站间线路长度/km	允许的短路电流/kA	允许接入机组容量/MW
两站3台主变压器	100	12.4	1 734
	80	11.5	1 608
	60	10.3	1 440
两站4台主变压器	100	12	1 636
	80	11	1 468
	60	9	1 245
两站4台主变压器＋母联串联7 Ω电抗	100	19	2 629
	80	18	2 489
	60	14	2 293

从表4计算结果可见，两站3台主变压器分区模型和两站4台主变压器分区模型中，由于220 kV侧发生三相短路时主变压器支路提供的短路电流水平较高，因此允许接入的机组容量均较小。对于两站4台主变压器分区模型，母联串7 Ω电抗器后，相同站间线路长度情况下允许接入的机组容量可增加约1 000 MW。

线路串抗限流效果分析

以前述短路电流水平较高的两站4台主变压器分区模型为例，在其中750 kV站点的220 kV站间线路上分别加装7 Ω和10 Ω串抗，线路长度分别取60 km、80 km和100 km，线路装设串抗前后220 kV母线三相短路电流变化情况如表5所示。

表5 线路装设串抗前后短路电流水平

线路长度/km	装设串抗前短路电流/kA	装设7 Ω串抗后短路电流/kA	短路电流下降值/kA	装设10 Ω串抗后短路电流/kA	短路电流下降值/kA
100	38	37.0	1	36.5	1.5
80	40	37.7	2.3	37.1	2.9
60	41	38.6	2.4	37.9	3.1

从表5计算结果可见，220 kV线路装设串抗对

中国知网 https://www.cnki.net

限制短路电流水平有一定的效果。对于短路电流水平较高的两站4台主变压器分区模型，在220 kV线路上分别串入7 Ω和10 Ω电抗之后，短路电流水平约可下降1～3 kA。

采用线路串抗措施运行方式简单，串抗技术成熟，应用也较广泛。对于大容量电源接入地区的750/220 kV电网，采取网架优化措施难以将电网短路电流水平降至合理水平，为兼顾短路电流水平和供电可靠性，可以考虑线路串抗的措施。虽然不能从根本上解决电网短路电流超标问题，但措施较为灵活方便，又可保证供电可靠性，可以作为限制短路电流的主要辅助手段。

结束语

构建了单座750 kV站、两座750 kV站3台主变压器和4台主变压器等典型的电网分区模型。针对电网不同分区模型，考虑站内主变压器容量和台数不同、站间线路长度不同以及分区内一定容量电源接入情况下，提出以单座和两座750 kV站点2～3台主变压器构成一个电网分区为宜。随着分区内主变压器台数的增加和站间线路长度的减小，出现短路电流超标问题后，为兼顾供电可靠性和短路电流水平，可进一步采取母联或线路串抗的限流措施。

参考文献

[1] 梁才，刘文颖，周喜超，等．750 kV电网在甘肃电网中的降损作用分析 [J]．电网技术，2012，36 (2)：100-103．

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

[3] 王梅义，吴竟昌，蒙定中．大电网系统技术 [M]．北京：中国电力出版社，1995．

[4] 李晗，罗建生．北京电网分层分区与调度运行分析 [J]．现代电力，2005，22 (4)：29-33．

[5] 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．

[6] 刘树勇，顾强，张丽娟，等．“十一五”期间天津500/220 kV电网分区供电方案 [J]．电网技术，2008，32 (9)：51-55．

[7] 周吉安，靳安，王维洲，等．大电源接入方式对短路电流的影响分析 [J]．电工电能新技术，2012，31 (1)：48-51．

[8] 祝瑞金，蒋跃强，杨增辉，等．串联电抗器限流技术的应用研究 [J]．华东电力，2005，33 (5)：18-22．

[9] 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)：7-10．

（收稿日期：2015－01－15）EA

中国知网 https://www.cnki.net