

关于嘉兴地区20 kV电压序列推广中可控型混合接地技术的研究

对嘉兴地区推广20 kV电压序列工作进行简要介绍,指出20 kV环境下供电可靠性下降的根源所在。提出将谐振接地技术和小电阻接地技术进行有机结合,以形成混合接地技术来降低20 kV配电网中单相接地跳闸率。基于安全、可靠的考量,就混合接地技术的具体实现进行电路设计,主要环节为小电阻投切的双重化配置,极端情况下后备保护的设计,以及各元件动作时序的配合。以实际运行数据为依托,对混合接地技术的功效进行统计分析。针对混合接地装置的一例故障,就如何进一步提升混合接地技术进行全面阐述。可作为20 kV推广区域的有效参考。

徐亮¹ 王亮亮² 高常海² 潘建乔¹/1.国网浙江平湖市供电公司 2.保定华创电气有限公司

0 引言

配电网中性点接地方式主要有三类:即中性点不接地、中性点经小电阻接地和中性点经消弧线圈接地^[1]。它们之间的比较如表1所示。

嘉兴地区自2010年起,就响应国网公司号召,全面推进20 kV电压序列。为了充分利用10 kV存量设备,最大程度优化投资效益,同时尽量减少停电时间,嘉兴公司选择的是升压改造方法。具体来说,就是在《浙江电网20 kV配电系统技术导则和20 kV配电设备技术规范》指引下,以周密的技术方案和严格的试验

程序为依托,对大量10 kV设备进行局部技术改造后直接升压运行(如8.7/15 kV电缆、裸导线和合资环网柜等)。显然,升压改造设备与真正的20 kV设备是有区别的,主要体现在长时间耐过电压能力上。正是基于此,嘉兴地区20 kV配电网的中性点接地方式原则上应采用经小电阻接地。而由表1可知,小电阻接地方式对单相接地故障十分敏感,会造成20 kV线路较高的跳闸率。事实上,2012~2013年,嘉兴地区20 kV线路共计跳闸428条次,其中由单相接地引起的为338条次,几乎占到80%。虽然很多单相接地引起的跳闸能够重合闸成功,但对于对电压质量要求较高的用户(如带变频设备)来说,线路短暂跳闸还是造成了影响。因此,降低单相接地故障对20 kV线路供电可靠性的不利影响,对于推进20 kV电压序列优化工作有着重大意义。

1 混合接地技术的原理及架构

1.1 国内外研究现状

20 kV电压等级的应用开始于欧洲。西方国家在几十年时间里,通过逐步推



徐亮/高级工程师

关键词/Keywords

接地方式·
20 kV·
消弧线圈·
小电阻接地·
双重化配置·

表1 三种配电网中性点接地方式的比较

方式类别	优点	缺点
中性点不接地	用于系统电容电流很小的电网,可简化设备、节省投资	不适用系统电容电流较大的电网,且对配电网设备耐压水平的要求高
中性点经小电阻接地	可快速、准确切除单相接地故障,对配电网设备的耐压水平要求低	对瞬时性接地和永久性接地无区分,跳闸率高
中性点经消弧线圈接地	可过滤大量瞬时性接地故障,允许带永久性接地故障运行2 h	对接地线路的排查不精确,对配电网设备耐压水平的要求高

进方式，完成了20 kV电压等级的普及。由于其没有升压改造步骤，因此所采用的设备均为标准20 kV设备，这样在配电网中性点接地方式选择上就不用关注设备的耐压能力，而只需根据接地电容电流的大小确定是中性点不接地或中性点经消弧线圈接地^[2]。

在国内，20 kV电压等级试点工作刚刚起步，从已经拥有20 kV电网的地区看，有两种情形^[3]：

1) 20 kV区域均为电缆网（如深圳），则其配电网中性点接地方式选择经小电阻接地方式。

2) 20 kV区域虽然为电缆—架空混合区域（如苏州工业园），但20 kV设备均为新设备，耐压水平较高，其配电网中性点接地方式采用经消弧线圈接地方式。

就目前情形看，尚未有适用于嘉兴20 kV模式的可降低20 kV线路跳闸率的先进接地技术。不过，在10 kV层面已有学者提出消弧线圈瞬时并接小电阻的接地方式新思路^[4-6]，其目的是将谐振接地技术和小电阻接地技术进行充分融合，对瞬时性单相接地故障用消弧线圈的输出予以消除，对永久性单相接地故障用小电阻投入予以切除。显然，这种混合接地方法非常契合嘉兴20 kV电网的需求。因此，可在以上思路的指引下，从安全、可靠的角度出发，进行嘉兴20 kV配电网中性点混合接地技术的设计和实现。

1.2 原理及架构

根据前述，可给出嘉兴20 kV配电网中混合接地技术的框架：①电网正常运行时，接地系统为单一消弧线圈接地；②外部配电网发生单相接地故障后，“待命”的消弧线圈进行自动补偿；③在规定时间内，若故障仍未消失，则投入小电阻，再进行小电阻接地方式下的故障处理。图1为原理图，图2为工作流程。

补充说明：

1) 无单相接地故障情况下，选择消弧线圈接地不会产生相过电压，因此消弧线圈可始终挂网运行（消弧线圈的输出由控制器控制）。

2) 单相接地刚发生时（相当于图2中“0~

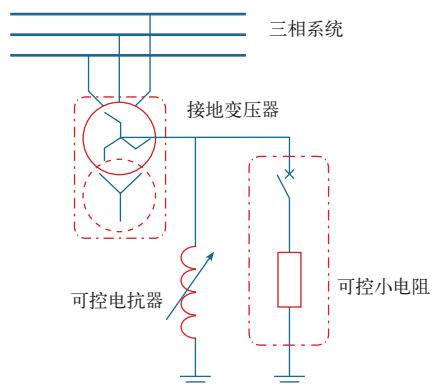


图1 混合接地系统的结构原理

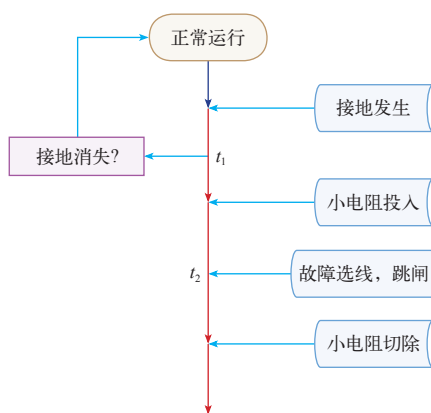


图2 混合接地系统的工作流程

t_1 ”时段），电网中性点接地方式实际为单一的经消弧线圈接地，此时非故障相的电压将上升到正常值的1.732倍左右，虽然属于过电压，但因持续时间短（“ t_1 ”一般仅数秒），不会对20 kV配电网设备造成影响。

3) 在消弧线圈输出持续“ t_1 ”时间后，若故障点电弧仍不熄灭（即发生永久性单相接地），则通过时序逻辑电路投入小电阻，此时虽然消弧线圈未退出运行，但由于小电阻阻值小，消弧线圈近似被短路，配电网中性点接地方式可视作单一经小电阻接地。

4) 在小电阻投入“ t_2 ”时间后（“ t_2 ”应大于馈线零序保护动作时间+重合闸时间+重合后加速时间），馈线接地故障应已隔离或消失，此时应切除小电阻，以保证中性点接地方式回归单一的经消弧线圈接地，以等待下一次单相接地事件的到来。

2 混合接地技术在嘉兴20 kV配电网的实现

2.1 双重化配置和后备保护

前已述及，嘉兴20 kV配电网中很多设备通过“升压改造”产生，其绝缘性能与真正20 kV新设备有一定差距，不能长时间承受过电压。因此，在将混合接地技术应用于嘉兴20 kV配电网时，主要的关键点是小电阻能否可靠投入，以及不能及时投入时的后备措施（在永久性单相接地情况下，若小电阻不能投入，则系统非故障相将承受正常电压的1.732倍）。

图3为保证小电阻投切可靠而设计的双重化配置。即：在一次层面，小电阻投切既可由断路器实现，也可由接触器实现，断路器和接触器的动作时序原则一致（同时作分/合）；在二次层面，断路器控制回路与接触器控制回路相互独立、互不干扰。

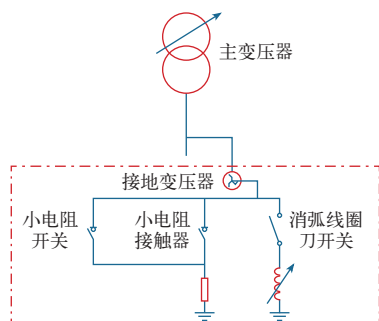


图3 投退小电阻回路的双重化配置示意

另外，需考虑一种极端情况：永久性单相接地发生后，投切小电阻的断路器和接触器均未可靠动作。这是极其危险的：20 kV配电网将长时间以中性点经消弧线圈接地方式运行，网络中大量的升压改造设备可能出现绝缘损坏，以致故障范围的扩大和大面积停电的形成。为避免这种情形，应配置有后备保护：在20 kV母线零序电压 $3U_0$ 超过定值而断路器、接触器接点均未动作时，通过主变压器非电气量保护延时跳主变压器各侧开关来切除馈线单相接地故障。

2.2 各主要部分的控制电路设计

嘉兴20 kV配电网中性点混合接地技术的主要

部分有三块：控制小电阻投切的断路器部分、控制小电阻投切的接触器部分和远后备部分。

(1) 断路器部分

该部分的控制功能由消弧线圈集成控制器和外部继电器两部分“合作”实现。其中，消弧线圈集成控制器负责开关投入/切除逻辑，继电器负责出口。断路器控制回路如图4所示。

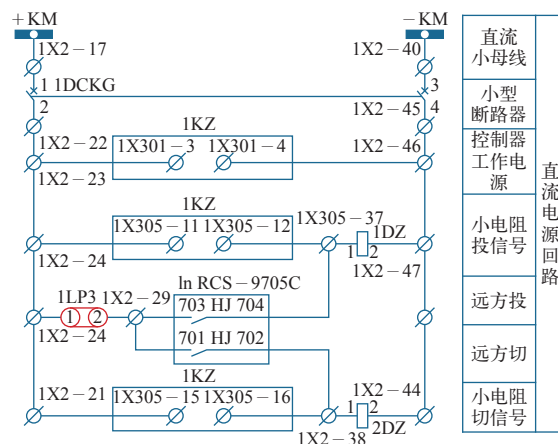


图4 断路器控制回路设计

断路器合：中性点零序电压（并联于消弧线圈侧电压互感器采样）→起动消弧线圈控制器内相关集成回路→起动外部中间继电器1DZ→起动断路器机构动作。

断路器分：消弧线圈控制器内相关计时回路→起动外部中间继电器2DZ→起动断路器机构动作。

(2) 接触器部分

接触器控制回路完全由继电器搭接，如图5所示。

接触器合：20 kV母线零序电压→起动外部中间继电器3DZ→起动外部时间继电器SJ1→起动外部中间继电器3ZJ→起动真空接触器机构动作。

接触器分：真空接触器机构位置（合）→起动外部时间继电器SJ2（延时动作）→起动外部中间继电器3ZJ失电→真空接触器机构分。

(3) 远后备部分

必须在中性点零序电压、20 kV母线零序电压同时达到动作值，且中性点无零序电流的情况下（说明小电阻未投入），才起动远后备计时回

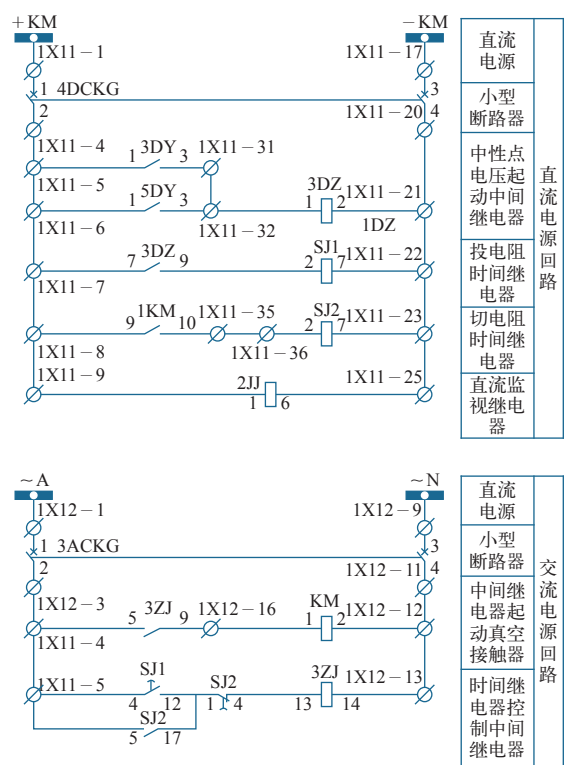


图5 接触器控制回路设计

路。计时时间达到规定值之后，再校核下中性点零序电压是否还在动作值，才决定是否出口跳主变压器各侧开关，其工作框架如图6所示。远后备的实现只须开放主变压器低压侧后备保护的零序过电压保护即可，无须增加额外设备。

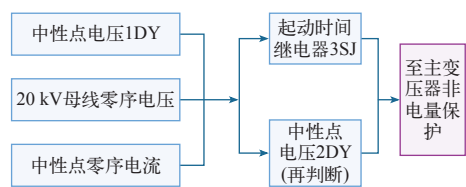


图6 小电阻投入失败后的远后备起动原理

2.3 相关定值设置

混合接地装置要发挥预期功效，除了正确的电路设计外，关键是合理整定各环节的起动定值。参照文献[7-10]关于高阻接地、间歇性接地和接地电阻大小等方面的研究，结合《浙江电网20 kV系统继电保护配置及整定运行规范》、《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》等标准和嘉兴配电网运行实际，提出如表2所示的定值体系。

表2 嘉兴20 kV配电网混合接地装置的定值整定

任务	项目	内容	备注
起动	消弧线圈中性点电压	25 V	电压比20/0.1 kV或20/0.1/ kV
	起动值		
小电	20 kV母线3U ₀ 起动值	40 V	电压比20/0.1/3 kV
阻投	投入小电阻延时	3 s	前提3 s时刻接地故障仍存在
切回	退出小电阻延时	8 s	与投入小电阻时间差为5 s
起动	消弧线圈中性点电压	35 V	电压比20/0.1 kV或20/0.1/ kV
	起动值		
主变	20 kV母线3U ₀ 起动值	60 V	电压比20/0.1/3 kV
非电	动作延时	6.5 s	从小电阻投入失败后开始计时

几点说明：①若变电所现场PT、CT的电压比有变化，则定值应适当调整；②起动主变压器非电量保护关系到跳主变压器各侧，因此其起动门槛适当提升。

3 应用效果统计

自2014年开始，嘉兴20 kV配电网试点建设混合接地系统，截止年底，共完成对两个变电所的改造。表3为以这两个变电所为统计对象，对改造前后的跳闸数据的比对。

表3 引入混合接地技术前后的跳闸次数比对

年份	单相接地次数	跳闸次数
2013年	144	116
2014年	105	80
2015年	165	15

分析如下：

- 1) 2013年，这两个变电所的20 kV中性点采用单一经小电阻接地，因单相接地引起的线路跳闸率高达80%。
- 2) 2014年，因两个变电所改造期间线路负荷有所割接，因此总接地次数有所下降，但跳闸率基本与上年持平。
- 3) 2015年，虽然这两个变电所下辖的线路有所增加，但因引入了混合接地技术，尽管总接地次数上扬，但因接地引发的跳闸次数大幅下降，

基本只有8%左右,可见效果十分明显。

4 存在问题及优化改进

混合接地技术中对小电阻投切进行了双重化配置,其目的就是尽可能杜绝小电阻投入失败事件,尽可能不通过起动主变压器非电量保护来切除馈线故障。但在实际运行中,却出现了案例。

2016年1月28日,经过混合接地技术改造的A变电所在运行1年后出现了因小电阻投切双回路均故障而引起主变压器非电量保护起动跳闸的重大事件。经过现场勘察发现:

1) 控制小电阻投切的断路器回路(见图4)中的各继电器动作正常,但开关机构分合闸无法实现。原因为小电阻开关投切时振动较大(主要是布局不够优化)且投切次数多,导致开关柜上端子排接线松动,使开关机构不能正常工作(闭锁电磁铁无法带电吸合)。

2) 控制小电阻投切的接触器回路(见图5)中的3DZ中间继电器7#、9#接点发生位移,如图7所示,导致继电器动作后接点无法导通,这样延时继电器SJ1就无法动作,最后使接触器无法合闸。

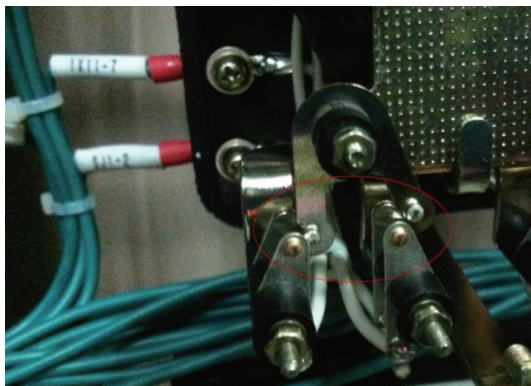


图7 中间继电器接点发生偏移

优化改进如下:

1) 在接触器投入延时继电器起动回路中再增加一付3DZ节点,两付接点并联使用,提高该回路可靠性。如图8所示。

2) 因开关机构的闭锁电磁铁一般用于开关行

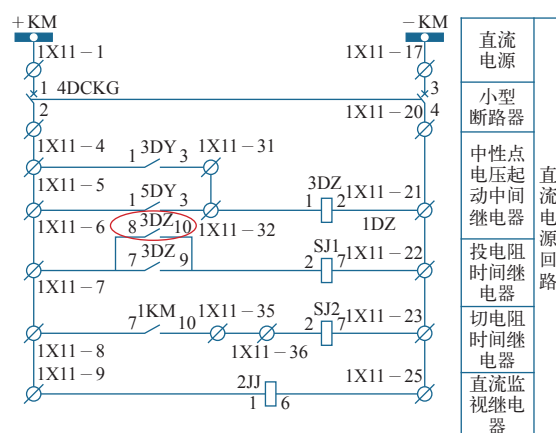


图8 接触器控制回路的改进

程闭锁,对于无行程要求的小电阻开关而言无实际意义,因而作拆除处理。

3) 对小电阻开关进行防震处理。

4) 将小电阻开关与接触器的投入延时适当错开(接触器投入/切除时间保持不变,开关投入时间改为发生接地故障后4 s投入,8 s退出),这样一方面不影响双重化配置的功效,另一方面可大大减少小电阻开关的动作次数,并较为明确地检验接触器的健康状态。

当然,以上改进仅仅只能治标。本项混合接地技术以继电器搭接为依托,环节数多、回路复杂,应该寻求开发集成化、一体化装置来取代当前的继电器电路。另外,还应争取实现混合接地系统的小型化(可通过将消弧线圈安全裕量由2 h缩为1 h等途径),使其布置于户内环境良好处。

5 结束语

20 kV配电网中性点混合接地系统由接地变压器、小电阻、消弧线圈、投切小电阻的断路器(接触器)和消弧线圈控制器等组成,可实现配电网不同故障情况下的接地方式的灵活切换。即:电网正常运行时,电网接地方式为经消弧线圈接地;当外部配电网发生单相接地故障后,消弧线圈先进行自动补偿,在规定时间内,若故障仍未消失,则投入小电阻,再进行小电阻接地方式下的故障处理。

混合接地技术一方面保留了小电阻接地方式所具有的隔离故障快、准确性高的优点，另一方面又可有效补偿配电网中发生的瞬时性接地故障，因此可大幅降低20 kV线路跳闸率。

随着混合接地技术在嘉兴20 kV配电网的深入应用，一次设备选型将更加科学，二次控制模块将向集成化、一体化方向发展，技术可靠性将获得大幅提升，应用前景十分广阔。

参考文献

- [1] 要焕年，曹梅月. 电力系统谐振接地 [M]. 北京：中国电力出版社，2000.
- [2] 侯永将. 中压配电网中性点接地方式研究 [D]. 郑州：郑州大学，2010.
- [3] 李甜甜. 20 kV配电网中性点接地方式与继电保护改造的研究 [D]. 北京：北京交通大学，2010.
- [4] 马春艳，袁兆强. 关于配电系统中性点接地方式的探讨 [J]. 自动化技术与应用，2006，25 (2)：74-76.
- [5] 洪文明，沈一平. 一种改进的经消弧线圈接地方

式在城市配电网的应用 [J]. 浙江电力，2007，35 (5)：52-54.

- [6] 韩静，徐丽杰. 中性点经消弧线圈瞬时并联小电阻接地研究 [J]. 高电压技术，2005，31 (1)：38-40.
- [7] 朱维明，徐建强，仇群辉，等. 关于20 kV配电网灵活接地方式若干问题的探讨 [J]. 浙江电力，2012，40 (7)：6-9.
- [8] 侯义明，张冬霞，彭冬，等. 20 kV中压配电理论研究与工程实践 [M]. 北京：中国电力出版社，2009.
- [9] Zeng Xiangjun, Xu Yao, Wang Yuanyuan. Some novel techniques for insulation parameters measurement and petersen-coil control in distribution systems [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2010, 57 (4)：1445-1451.
- [10] 江渝，冉立，刘和平. 可调节消弧线圈接地系统单相接地故障的辨识和选线 [J]. 电工技术学报，2007，22 (8)：101-107.

(收稿日期：2016-02-10) **EA**

(上接第82页)

运行管控提供了有益借鉴，可有效保证电网的安全稳定运行，也为分布式能源的推广应用提供了基础支撑。

参考文献

- [1] Shirmoharmnadi D, Hong H W, Semlyen A, et al. A compensation based power flow method for weakly meshed distribution and transmission networks [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1998, 3 (2)：753-762.
- [2] 高军彦，杨聪，韩春雨. 辐射型配电网潮流算法

综述 [J]. 中国电力教育，2007 (增刊3)：71-74.

- [3] 杨理才，贺辉，刘国特，等. 参照系统负荷预测的母线负荷预测修正方法 [J]. 电力系统及其自动化学报，2012，24 (3)：156-160.
- [4] 张征，王晓蓉，等. 新能源接入综合系统研究与实现 [J]. 供用电，2011，28 (1)：15-18.
- [5] 赵昀. 配电网智能分析与管控平台建设研究 [J]. 电源技术应用，2013 (4)：209.
- [6] 钟贵和，王星华，甘德树，等. 输电断面的有功安全预防—校正负荷调整算法 [J]. 电力系统保护与控制，2014 (16)：15-20.

(收稿日期：2016-02-10) **EA**