

四川普提串补 MOV 适应性研究与改造方案

吴晓蓉, 何 礼

(四川电力设计咨询有限责任公司, 四川 成都 610016)

摘要:“十二五”中后期川西和川南水电将大量陆续建成投产, 根据规划, 约 4 000 MW 水电需要通过现有的二滩-普提通道送出, 为提高送出通道的稳定运行水平, 普提串补仍需保留。但普提串补目前及今后的系统条件和原设计系统条件相比变化较大, 将对现有串补及其保护产生影响, 因此需要对 MOV 进行校核和重新配置。本文选择 2013、2015、2020 年 3 个水平年, 对普提串补 MOV 主要参数在各种区外和区内故障情况下的工作状况进行了校核研究, 提出存在的问题和多种解决措施。经过技术经济比较, 并结合电网实际运行和发展规划情况, 得出最终推荐方案。

关键词: 串联补偿; 金属氧化物限压器(MOV); 改造方案

中图分类号: Q416

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2014)S2-209-06

普提 500 kV 串补位于四川攀西地区二滩-普提 500 kV 三回输电线路普提侧, 三回 500kV 线路长度分别为 198 km(二普 I 线)、196 km(二普 II 线)和 195 km(二普 III 线), 导线型号为 LGJ-4×400, 这三组串补的容量均为 315 Mvar, 补偿度约为 40%。根据规划, “十二五”中后期川西和川南水电将大量陆续建成投产(图 1), 约 4 000 MW 水电需要通过现有的二滩-普提通道送出, 为提高送出通道的稳定运行水平, 普提串补仍需保留。攀西地区 2012~2015 年规划建设米易和盐源 500 kV 输变电工程以及锦屏等大型水电站, 上述工程的建设导致二滩-普提 500 kV 串补输电系统先后发生如下变化:

变化一:二滩-普提 III 线破口接入米易变电站, 原二滩-普提 III 线(195 km)串补线路变为二滩-米易 I 线(43 km)和米易-普提 I 线(177 km), 米易-普提 I 线串补度提高至约 43.3%。

变化二:二滩-普提 II 线破口接入米易变电站, 原二滩-普提 II 线(196 km)串补线路变为二滩-米易 II 线(58 km)和米易-普提 II 线(192 km), 米易-普提 II 线串补度变化很小, 仍为 40%左右。

变化三:二滩-普提 I 线破口接入盐源变电站, 原二滩-普提 I 线(198 km)串补线路变为二滩-盐源(101 km)和盐源-普提(224 km), 盐源-普提线串补度降低至约 33%。

变化四:普提侧有锦屏一级、锦屏二级及官地等大型电源接入, 使得普提侧等值阻抗变化较大, 普提侧短路容量明显增大(见表 1)。

表 1 2010~2020 年普提 500 kV 侧短路电流计算结果

水平年	三相短路/kA	单相短路/kA
2010 年	21.4	15.6
2012 年	30.6	26.2
2015 年	41.8	30.7
2020 年	47.9	40.4

以上边界条件的变化, 会对普提侧串补及其保护产生影响。普提串补于 2005 年建成投运, 目前及今后的系统条件和原设计系统条件相比变化较大, 过电压保护措施和配置的裕度降低, 需对其主要设备进行校核和重新配置。

1 主要计算条件

普提串补现有装置由 SIEMENS 公司设计, 单相接线示意图如图 2 所示, 与 MOV 有关的主要技术参数如表 2 所示^[1,5]。

收稿日期: 2014-10-10

作者简介: 吴晓蓉(1981-), 女, 硕士研究生, 高级工程师, 从事电力系统一次及电网规划设计工作, (E-mail) 374160796@qq.com。

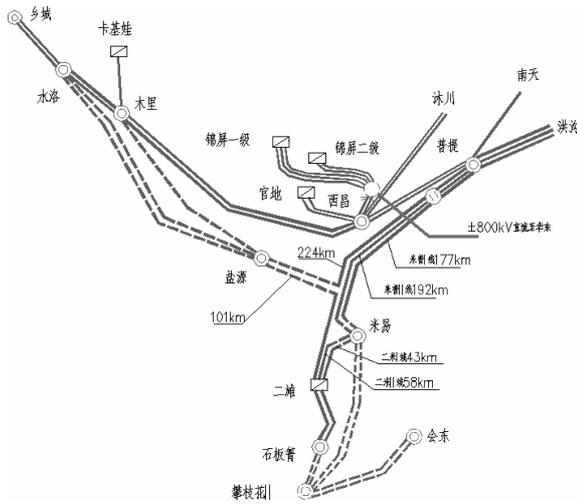


图 1 2015 年攀西 500 kV 电网规划

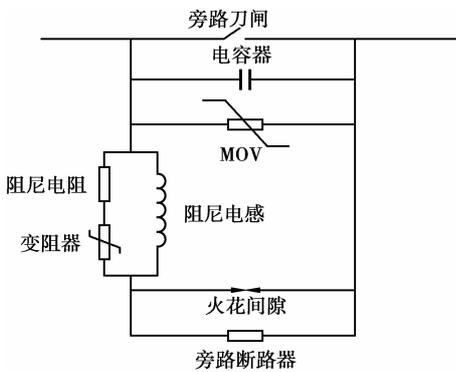


图 2 普提串补装置示意图(单相)

表 2 普提串补现有 MOV 相关主要技术参数

MOV	允许能量	54 MJ(不含备用)
		59.4 MJ(含备用)
MOV	额定电压	78 kVrms
	保护水平	2.2p. u. (148.2 kVpeak)
	故障时最大电流	37.7 kApeak
	最大放电电流(759 Hz)	113 kApeak
火花	MOV 电流触发整定值	9.5 kApeak
间隙	MOV 能量触发整定值	20 MJ
	启动时延	1 ms

为研究普提串补现有主要设备是否满足近期电网发展要求,选择米易 500 kV 输变电工程投运后的 2013 年和盐源 500 kV 输变电工程投运后的 2015 年进行重点校核计算,并以 2020 年远期规划网架为基础,初步分析普提串补的远期适应性。计算时,考虑了单相接地故障、两相接地故障、两相相间故障、三相接地故障四种短路故障类型;对于串补线路考

虑了沿线和两侧母线在内的不同故障点。

串补的主要设备包括 MOV、火花间隙和阻尼回路等,其中衡量 MOV 工作状况的参数主要包括电容电压、电容电流、MOV 电流(峰值)、MOV 能耗、间隙电流(峰值)等。经计算,普提串补不适应未来电网运行要求主要表现在 MOV 电流和能耗超标,以及阻尼回路参数超过原设计值,本文只给出 MOV 的校核研究结果和改造方案。

2 2013 年 MOV 参数校核及改造方案^[2]

2.1 2013 年 MOV 参数校核

一般情况下串补 MOV 电流和能耗整定值的选取原则是:在串补线路发生区外故障的情况下(指串补装置所在线路以外的任何地方发生的短路故障),串补 MOV 不允许被保护装置旁路(即火花间隙触发、旁路断路器闭合);在串补线路发生区内故障时(指串补装置所在线路两侧断路器之间发生的短路故障),允许串补 MOV 被旁路。各种故障方式下,串补 MOV 所需能耗不得超过其允许的最大能耗值。

2013 年攀西地区建成米易 500 kV 输变电工程,二普 II、III 线开断接入米易,导致串补所在线路长度发生变化(变化一和变化二),同时锦屏一级、锦屏二级及官地等电源开始建成投产(变化四),使得普提侧短路容量显著增加(见表 1)。经计算,三回串补线路区外故障情况下,普提侧串补电流和能耗均有可能超过整定值(见表 3),从而导致串补被保护装置旁路,不满足串补保护整定原则。假设三回线路串补在各种区外故障方式下不允许被保护旁路,各种区外故障下串补 MOV 最大能耗 44~62 MJ,接近甚至超过 MOV 的允许能耗 59.4 MJ。按照常规设计,取区外故障时普提侧串补 MOV 最大电流和能耗考虑一定裕度后,确定为火花间隙触发的整定值。该整定值下,区内故障时,二滩-普提 I 线和米易-普提 I 线串补 MOV 所需能耗(见表 4,分别约 60、70 MJ)已经超过其允许能耗(59.4 MJ),米易-普提 II 线侧普提串补 MOV 所需能耗(约 50 MJ)虽然低于其允许能耗,但裕度不大。

表 3 2013 年区外故障下 MOV 最大电流和能耗值

研究串补	区外最严重故障		区外故障不触发	
	电流 /kA	能耗 / (MJ/相)	电流 /kA	能耗 / (MJ/相)
二-普 I 线	11.4	24.3	11.4	53.9

续表

米-普 I 线	12.4	25.5	12.4	61.3
米-普 II 线	11.5	24.3	11.5	44.3

注:区外最严重故障电流和能耗超过整定值,MOV 被旁路。
区外故障不触发 MOV 所需能耗接近或超过允许值。

2.2 2013 年改造措施及建议

针对三回线路串补 MOV 允许能耗不够的问题,有两种解决措施:

措施一(见表 4):改造普提串补 MOV,以满足区外故障时串补不允许旁路的要求。考虑到 MOV 的老化特性,为保证 MOV 的均流特性符合要求,现有 MOV 需全部拆除,重新订购安装新品。

措施二(见表 5):当三回串补线路有两回退出的情况下,允许区外故障时串补旁路,该措施仅需调整串补保护定值,不需改造串补 MOV 设备。

三回串补线路有两回退出情况下,若故障位于串补线路外(区外故障)不远的地方,则流过串补线路短路电流较大,串补等效工频容抗很小,故障持续期间串补对系统所能起的作用不大。一般这种特殊方式运行时间较短,可能出现在两回线路同时检修期间,检修可在小方式进行,减小串补对系统的影响。出于降低 MOV 吸收能耗要求的考虑,这种情况下可以允许串补旁路,待故障清除后快速投入串补以提高系统稳定性和输送能力。

串补旁路的 MOV 能耗和电流启动值确定原则调整为:当三回串补线路全部投运或仅一回退出情况下,发生区外故障时普提串补不应被串补保护旁路;其余方式下允许区外故障时串补被旁路。上述配置下,串补线路区内故障时,二滩-普提 I 线和米易-普提 I、II 线侧串补 MOV 最大能耗不超过 38 MJ(见表 5),与其允许能耗 59.4 MJ 相比,有足够裕度。

从适应近期系统运行方式而言,措施二不需改造 MOV 设备,能够保证设备安全、对系统影响不大,推荐采用。

表 4 措施一(更换 MOV,区外故障时串补不允许旁路)

研究串补	建议整定值		区内故障校核		建议允许能耗/(MJ/相)
	电流/kA	能耗/(MJ/相)	电流/kA	能耗/(MJ/相)	
二-普 I 线	13.5	57.0	40.6	59.9	78
米-普 I 线	14.5	64.5	40.3	67.5	88
米-普 II 线	13.5	47.0	40.1	49.7	65

注:MOV 所需能耗接近或超过允许能耗。

表 5 措施二(特殊方式下允许区外故障时串补旁路)

研究串补	建议整定值		区内故障校核		建议允许能耗/(MJ/相)
	电流/kA	能耗/(MJ/相)	电流/kA	能耗/(MJ/相)	
二-普 I 线	13	35	40.6	37.4	59.4
米-普 I 线	13	35	40.1	37.4	59.4
米-普 II 线	13	35	40.1	37.5	59.4

注:MOV 所需能耗接近或超过允许能耗。

3 2015 年及 2020 年 MOV 参数校核^[3]

2015 年攀西地区建成米易和盐源 500 kV 输变电工程,普提串补所在的三回线路均发生变化(变化一~变化三),同时锦屏一级、锦屏二级及官地等电源全部建成投产(变化四),使得普提侧短路容量进一步增加(见表 1)。2020 年随着川西和川南大型水电站的建成,整个四川电网的短路容量将显著增加。鉴于 2020 年运行方式的不确定性,串补校核计算时对 2015 年进行重点分析,并以 2020 年远期规划网架为基础,初步分析普提串补的远期适应性。

3.1 原二普 I 线串补 MOV 主要参数校核

原二普 I 线(现盐源-普提)的串补,由于开断进盐源后线路增长,补偿度降低。经计算,2015 年各种方式下串补 MOV 电流和能耗均不大,最大分别为 9.3 kA 和 14.3 MJ,远低于整定值 13 kA 和 35 MJ,能够满足各种区外故障串补不允许被旁路的保护性能要求。在上述 MOV 电流和能耗整定值下,区内故障时普提串补 MOV 能耗最大为 37.5 MJ,与 MOV 允许能耗 59.4 MJ 相比,有较大的裕度,可以不重新配置 MOV。初步估计,能够满足 2020 年运行要求,主要研究结果见表 6。

表 6 原二普 I 线串补 MOV 主要参数校核(2015 年)

计算方式	电流/kA	能耗/(MJ/相)
区外最严重故障	9.3	14.3
建议整定值	13.0	35.0
区内故障校核	43.8	37.5

注:调整 MOV 整定值,不需要扩容改造;满足区外故障串补不旁路。

3.2 原二普 II 线串补 MOV 主要参数校核

经计算,原二普 II 线(现米易-普提 II 线)的串补,在米易-普提 I 线退出(串补线路 N-1)或盐源-普提及米易-普提 I 线均退出(串补线路 N-2)2 种情况下,按照表 3 给出的整定值,当发生区外故障时,串补 MOV 的能耗仍可能超过整定值(见表 7、8),从而

导致串补被旁路。假设上述 2 种情况下,串补不被旁路,则:

1)2015 年丰大方式下,区外故障时,米易-普提 II 线串补 MOV 能耗最大为 41 MJ,考虑一定裕度后,MOV 能耗整定值约为 44 MJ;区内故障时,MOV 能耗最大为 46.6 MJ,与 MOV 允许能耗 59.4 MJ 相比,有一定的裕度,可暂不考虑对其 MOV 能耗进行扩容改造。

2)2020 年丰大方式下,区外故障时,米易-普提 II 线串补 MOV 能耗最大为 45 MJ,考虑一定裕度后,MOV 能耗整定值约为 48 MJ;区内故障时,MOV 能耗最大为 50.6 MJ,与 MOV 允许能耗 59.4 MJ 相比,裕度不大。可考虑在 2020 年系统运行方式确定后,对 MOV 能耗需求进行重新校核。

表 7 原二普 II 线串补 MOV 主要参数校核(2015 年)

计算方式	电流 /kA	能耗 /(MJ/相)	结论
区外最严重故障	11.5	35.6	超过现有 MOV 整定值。
区外故障不触发	11.5	41.0	在 MOV 允许能耗范围内。
建议整定值	13.5	44.0	调整 MOV 整定值,不需要扩容改造;满足区外故障串补不旁路。
区内故障校核	43.6	46.6	

表 8 原二普 II 线串补 MOV 主要参数校核(2020 年)

计算方式	电流 /kA	能耗 /(MJ/相)	结论
区外最严重故障	12.0	40.0	超过 MOV 整定值。
区外故障不触发	12.0	45.0	在 MOV 允许能耗范围内。
建议整定值	14.0	48.0	调整 MOV 整定值,不需要扩容改造;满足区外故障串补不旁路。
区内故障校核	47.7	50.6	

3.3 原二普 III 线串补 MOV 主要参数校核

经计算,原二普 III 线(现米易-普提 I 线)的串补,在米易-普提 II 线退出(串补线路 N-1)或盐源-普提及米易-普提 II 线均退出(串补线路 N-2)2 种情况下,按照表 3 给出的整定值,当发生区外故障时,其串补 MOV 能耗仍可能超过整定值(见表 10),从而导致串补被旁路。假设上述两种情况下,串补不被旁路,2015 年 MOV 能耗最大分别为 55.2、58.7 MJ,2020 年 MOV 能耗最大分别为 59.8、63.1 MJ,均接近甚至超过 MOV 的允许能耗 59.4 MJ;且不能满足区内故障时 MOV 能耗需求。计算结果表明,需要对该线路串补 MOV 进行扩容改造,或采取措施降低 MOV 能耗。

表 9 原二普 III 线串补 MOV 主要参数校核(2015 年)

计算方式	电流 /kA	能耗 /(MJ/相)	结论
区外最严重故障	12.2	35.9	超过现有 MOV 整定值。
区外故障不触发	12.2	58.7	超过允许能耗,需要扩容改造,或采取措施降低 MOV 能耗。
建议整定值	14.5	62.0	
区内故障校核	43.9	64.9	

表 10 原二普 III 线串补 MOV 主要参数校核(2020 年)

计算方式	电流 /kA	能耗 /(MJ/相)	结论
区外最严重故障	12.6	41.0	超过 MOV 整定值。
区外故障不触发	12.6	63.1	超过允许能耗,需要扩容改造,或采取措施降低 MOV 能耗。
建议整定值	15.0	67.0	
区内故障校核	47.7	70.0	

4 原二普 III 线 MOV 改造方案研究

针对二普 III 线串补 MOV 允许能耗不够的问题,有 3 种解决措施。

4.1 改造措施一

措施一:维持现有串补度不变,重新配置串补 MOV,根据初步研究结果,考虑一定的裕度,MOV 允许能耗水平应不低于 100 MJ/相^[3]。

有 2 种实现方式:

方式一(方案一):三相 MOV 全部更换;

方式二(方案二):将现有的两相并为一相利用使用,更换两相的 MOV。

经设备厂家初步核算,现有串补平台布置经调整后能够容纳增加容量后的 MOV 设备,且平台受力能够满足要求,现场条件满足改造要求^[4]。

普提串补原 MOV 能量水平为 59.4 MJ/相,三相加到一起大于改造后所需的容量 100 MJ/相,但不同相的 MOV 合并到一起使用存在一定的技术风险。MOV 在线路上系统故障发生时耐受较大的故障电流,并因此逐步“老化”(即 V-I 特性曲线逐渐发生变化)。由于不同相的线路在过去的若干年时间内所发生的系统故障数目不同,且系统故障的短路电流大小也不尽相同,因此不同相的 MOV“老化”程度也不尽相同,即串补不同相 MOV 设备的 V-I 特性曲线之间存在着一定的差异。若将这些存在差异的 MOV 单元并联使用,其特性曲线的差异会导致 MOV 单元之间在系统故障发生时出现故障电流分流不均的问题:如出现 MOV 差流报警,严重时也可能导致个别通流过大的单元损坏。因此,为保证技术改造后串补

装置的整体安全稳定性,如果采用措施一,首选技改方案为 MOV 整体更换(即方案一)。

4.2 改造措施二

措施二:降低串补度使得串补容抗降低,系统短路阻抗增大,系统短路电流降低,在一定程度上降低串补 MOV 上吸收的能耗^[3]。

有 2 种实现方式:

方式一(方案三):减少电容器组串联数,串补额定电压将降低;

方式二(方案四):增加电容器组并联数,串补额定电流将增大。

从理论上讲,原电容器组采用了 16 并 8 串的组内结构,通过增加适当容值的电容器与原电容器组进行并联后,在保证串联数不变的前提下,理论上能够精确的将电容器组的容抗降低到适当的数值,同时电容器组的电流和过电压保护水平完全满足原设计要求。经计算,降低米易-普提 I 线普提侧串补的串补度至 40%(需增加的电容器数量约为 8.3%),可将串补 MOV 最大吸收能耗降低至 47.3 MJ,与其设计能耗 59.4 MJ 相比,还有约 20%的裕度。因此,降低串补度可以起到降低 MOV 能耗的作用,而不必更换串补 MOV,但需考察串补平台是否有足够的空间,装设新增电容器组^[3]。

但是,就目前实际工程应用情况看,国内未曾见有类似工程实例,技术可靠性不明确^[4]。新增电容器与原电容器由于生产工艺和材料不同造成参数不同,影响串补的稳定运行。可能出现以下问题:1)增加并联数会影响到电容器单元的耐爆问题;2)内部故障时引起的不平衡电流不同,造成桥差保护整定存在问题,只能就低不就高,误动作可能性增大;3)电容器内熔丝的动作区间在熔丝设计中已经定好,增加并联数降低了电容器单元的稳态额定电流,有可能使得稳态下单只电容器内部故障时熔丝电流达不到动作电流下限而起不到正常的保护功能。另外,该方案虽然能保证 MOV 能耗水平满足计算值且有裕度,但整组 MOV 利旧使用仍然面临着电流的技术风险,即维持 MOV 额定电压有名值不变(保护水平为 2.38 p. u.),故障电流增大导致 MOV 峰值电流增大,使得 MOV 偏离工作曲线。

如果采取减少电容器组串联数的方式降低串补度,电容器承受的过电压倍数可能升高,如串补度降至 40%时,区外故障情况下,串联电容器承受过电压将由 2.13 p. u. 升至 2.30 p. u.;区内故障情况下,将由 2.22 p. u. 升至 2.40 p. u.,均超过了普提串补装置的最大过电压保护水平 2.20 p. u.。经计算,通过减少一个串联支数(变为 16 并 7 串),可将二普

III 线串补电容器组的容抗降低到原来的 7/8(串补度由 43.3%降至 37.9%)。由于串补度的降低,可降低 MOV 能耗要求,使 MOV 能量水平满足要求,但电压水平和电流水平已经偏离了原特性曲线,需要进行校核试验。国内类似项目改造中曾采用该方案,并得到论证和认可。

“增加电容并联支数”的方案与“减少电容串联支数”的方案相比,虽然理论上都能够实现降低串补度的目的,但实际工程应用中优先推荐“减少电容串联支数”的方案,“增加电容并联支数”的方案未曾发现过相关工程实例或工程论证。为了保证系统稳定可靠,设备厂家建议 MOV 整组更换。

4.3 改造措施三

措施三:修改串补 MOV 整定原则,允许某些运行方式下,区外故障时串补 MOV 被旁路。

调整整定原则后二普 III 线 MOV 建议整定值及区内故障校核结果如表 11 所示。

表 11 原二普 III 线串补 MOV 主要参数校核
(调整整定原则以后)

计算方式	2015 年		结论
	电流 /kA	能耗 / (MJ/相)	
建议整定值	13.0	35.0	调整 MOV 整定值,
区内故障校核	44.0	37.4	允许能耗满足要求。
区外最严重故障	11.0	32.5	超过现有 MOV 整定值。
建议整定值	13.0	35.0	调整 MOV 整定值,
区内故障校核	46.2	38.6	允许能耗满足要求。

经计算,原二普 III 线(现米易-普提 I 线)的串补,只有在米易-普提 II 线退出或盐源-普提及米易-普提 II 线均退出 2 种运行方式下,MOV 所需能耗超过其设计允许最大能耗。如果将 MOV 整定原则修改为:在上述 2 种运行方式下,发生一定区外故障时,普提侧串补允许被旁路;其余运行方式下,发生一定区外故障时,普提侧串补不允许被旁路;经计算,二普 III 线串补 MOV 允许能耗能够满足要求,只需要调整 MOV 整定值,不需要进行扩容改造。

4.4 改造方案推荐

综合比较上述 3 种措施,如果要满足 2015 年及 2020 年所有区外故障情况下串补不被旁路,需要改造 MOV,即采取措施一和措施二。具体有 4 种方案:方案四(通过“增加并联支数”的方式降低串补度,不重新配置 MOV)投资最省,但国内未曾见有类似工程实例,技术可靠性不明确,建议不采用。方案一(不降串补度,采取“三相全部更换”的方式重新配

置 MOV)、方案二(不降串补度,采取“一相利旧、两相换新”的方式重新配置 MOV)和方案三(通过“减少串联支数”的方式降低串补度,重新配置 MOV)都是可行的,且投资相当。在 3 种可行的方案中,方案二因新、旧 MOV 配合使用存在一定的技术风险;方案三使线路串补度降低将对电网的稳定运行造成不利影响。另外,方案二和方案三在现场安装调试时间比方案一长 1~2 周。因此,以满足所有区外故障情况下串补不被旁路为前提,为保证串补稳定可靠运行,推荐原二普 III 线串补采用方案一进行改造,即维持串补度不变,重新配置 MOV,三相全部更换。

如果允许某些运行方式下区外故障时串补被旁路,以降低 MOV 能耗要求,可不对 MOV 进行改造,即措施三。经校核,通过调整 MOV 整定值,MOV 允许能耗能够满足运行要求,该措施投资最省。

考虑到 2015 年在普提串补取消的前提下,通道送电能力已达 3 500 MW,而目前攀枝花地区电源建设时序尚不明确,随着地区负荷不断增长,地区外送电力逐年减少,所以采用某些方式下,允许区外故障串补旁路的方法,应能满足送电要求。鉴于更换串补 MOV 投资巨大、2020 年规划网架不确定等因素,从适应近期系统运行方式而言,建议采用措施三对二普 III 线串补 MOV 进行调整。

5 结 论

根据规划,“十二五”中后期川西和川南水电将大量陆续建成投产,约 4 000 MW 水电需要通过现有的二滩-普提通道送出,为提高送出通道的稳定运行水平,普提串补仍需保留。但普提串补目前及今后的系统条件和原设计系统条件相比变化较大,过电压保护措施和配置的裕度降低,需对 MOV 进行校核和重新配置。

经计算分析和方案比较,得到主要结论如下:

1)原二普 I 线(现盐源-普提)的串补需调高 MOV 电流和能耗整定值,可满足 2015 年及 2020 年运行要求。

2)原二普 II 线(现米易-普提 II 线)的串补,2015 年可暂不考虑对其 MOV 能耗进行扩容改造,需调高 MOV 电流和能耗整定值;待 2020 年系统运行方式确定后,对 MOV 能耗需求进行重新校核,以确定是否需要扩容改造。

3)原二普 III 线(现米易-普提 I 线)的串补,MOV 允许能耗不能满足 2015 年和 2020 年运行要求,可采取 3 种措施(5 个方案)进行解决。措施一和措施二能够满足所有区外故障情况下,串补不旁

路,但为保证串补稳定可靠运行,需要更换部分或全部 MOV,投资巨大(1 000~1 500 万元)。措施三通过修改串补 MOV 整定原则,允许某些运行方式下区外故障时串补被旁路,以降低 MOV 能耗要求,不需要更换 MOV,投资最省。鉴于更换串补 MOV 投资巨大、2020 年规划网架不确定等因素,从适应近期系统运行方式而言,建议采用措施三对二普 III 线串补 MOV 进行调整。

由于 2020 年规划网架和川南乌东德、白鹤滩等大型水电站的接入系统方案尚未确定,建议待 2020 年系统运行方式确定后,再对 MOV 能耗需求进行重新校核,以明确是否需要扩容改造。

参考文献:

- [1] 郑彬. 500 kV 米易开关站“π”入二滩-普提 III 线后对普提串补的影响研究[R]. 中国电力科学研究院,2009.
- [2] 张媛媛. 四川电网 2012 年丰大网架普提串补主要设备参数校核[R]. 中国电力科学研究院,2011.
- [3] 张媛媛. 四川电网 2015 年及 2020 年网架普提 500 kV 串补主要设备参数适应性校核研究[R]. 中国电力科学研究院,2011.
- [4] 四川电网普提串补改造建议书[R]. 荣西电力输电技术有限公司,2012.
- [5] Puti 500kV series capacitor design specification[R]. SIEMENS,2005.
- [6] 电力系统用串联电容器 GB/T 6115.1-1998.
- [7] IEC-60143, Series capacitor for power system[S]. 2004.
- [8] Aderson P M, Frammer R G. Series compensation of power systems [M]. PBLSH Inc., California, America, 1991.
- [9] 林集明,王晓刚. 阳城送出系统新建三堡串联电容补偿装置设备参数配置设计与计算[R]. 中国电力科学研究院,2005.
- [10] 祁胜利,赵海纲,钱锋. 500 kV 线路串联补偿电容器组的接线方式及保护[J]. 电力系统保护与控制,2010(4).
- [11] 袁敬中. 大房 500kV 串联补偿站控制与保护[J]. 电力系统自动化,2002(11).
- [12] 杨玉娟. 串联补偿电容器组用金属氧化物非线性电阻器(MOV)的研制及特点[J]. 电瓷避雷器,2011(5).
- [13] 刘晓冬,朱子述,陈陈. 可控串联补偿电容器的过电压保护[J]. 上海交通大学学报,1999(12).
- [14] 张慧卿,李国武. 丰万顺串联补偿电容器控制与保护系统逻辑回路改进措施[C]// 京津冀晋蒙鲁电机工程(电力)学会第十九届学术交流会,2009.
- [15] 周启文,潘勇斌,王德昌,等. 500 kV 串补系统中火花间隙系统研究[J]. 高压电器,2018(8).