

紫坪铺电厂 FUR 组合保护装置的选择与参数设计

王中元

(四川省紫坪铺开发有限责任公司,四川 成都 610091)

摘要:紫坪铺电厂机端短路电流较大,选用普通真空断路器或负荷开关不能满足设备保护的要求,采用 FUR 组合保护装置作为厂高变等主要设备的保护设备是一种比较理想的选择,在可靠性、安全性、经济性等方面具有相当的优越性。按上述参数设计选型的 FUR 组合保护装置在紫坪铺电厂已安全运行近十年,得到了很好的实践验证。

关键词:紫坪铺电厂;短路电流计算;存在的问题;FUR 的参数设计

中图分类号: [TM622];TM403.5;TM135

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2018)04-0027-04

0 引言

水电厂的厂用变分支和励磁变分支,一般都接在发电机出口处,此处通常不设断路器保护,让厂用变分支、励磁变分支与发电机出口的离相封闭母线硬连接,采用单相设备,尽量避免相间短路的可能性,一旦发生短路也可由发电机或发变组的大差动来保护。事实上,它不能快速切除故障,限制短路电流,尤其不能反映厂高变、励磁变内部故障,直接影响设备寿命和电厂的安全。随着电力技术的不断进步,高压限流熔断器组合保护装置(简称 FUR)以其体积小、结构简单、价格低廉、保护性能优越等特点,在国内外获得广泛应用。

1 紫坪铺电厂短路电流计算

1.1 一次系统图及等效电路图

紫坪铺电厂单机一次系统图见图 1(以 4 号机组为例)。其中红色线框内为后加装的高压限流熔断器组合保护装置 FUR,包括限流熔断器 FU、氧化锌电阻 FR。等效电路图见图 2。

1.2 短路电流计算

标幺值计算:

$$\text{取 } S_j = 100 \text{ MVA}, U_j = 13.8 \text{ kV} \quad I_j = \frac{S_j}{\sqrt{3}U_j} =$$

$$\frac{100}{\sqrt{3} \times 13.8} = 4.18 \text{ kA}$$

$$\text{主变 } 4B: X_{4B} = 0.146 \times (100/240) = 0.0608$$

$$\text{发电机 } 4F: X_{4F} = 0.201 \times (100/190) \times 0.875 = 0.0926$$

$$\text{厂变 } 4CB: X_{4CB} = 0.0785 \times (100/1.6)$$

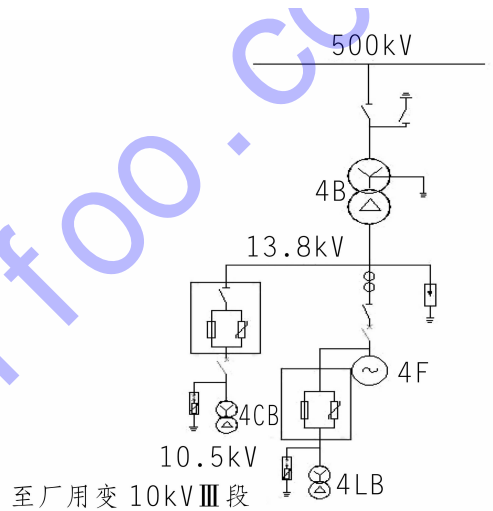


图 1 一次系统图

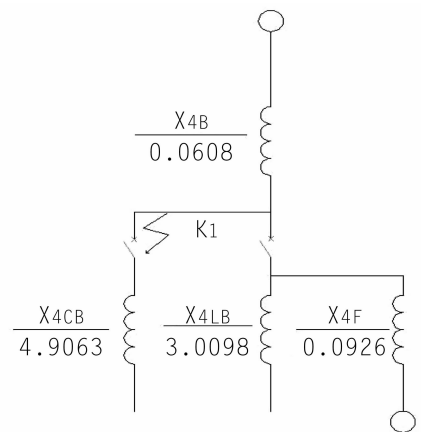


图 2 等效电路图

$$= 4.9063$$

$$\text{励磁变 } 4LB: X_{4LB} = 0.0614 \times (100/2.04) = 3.0098$$

13.8 kV 母线短路时:

发电机提供的短路电流有效值:

$$I_{4F} = \frac{1}{X_{4F}} \times I_j = \frac{1}{0.0926} \times 4.18 = 45.14 \text{ kA}$$

主变压器提供的短路电流为:

$$I_{4B} = \frac{1}{X_{4B}} \times I_j = \frac{1}{0.0608} \times 4.18 = 68.75 \text{ kA}$$

K1 短路点预期短路电流为:

$$I_K = I_{4F} + I_{4B} = 113.89 \text{ kA}$$

预期短路电流峰值为:

$$I_{\max} = \sqrt{2} \times I_K = \sqrt{2} \times 113.89 = 161.06 \text{ kA}$$

预期短路冲击电流值为:

$$i_{CJ} = \sqrt{2} \times (1.9 \times I_{4F} + 1.8 \times I_{4B}) = 296.3 \text{ kA}$$

4CB 厂用变低压侧短路反应到高压侧的电流为:

$$I_{k1} = \frac{1}{\frac{X_{4B} \times X_{4F}}{X_{4B} + X_{4F}} + X_{4CB}} \times I_j$$

$$= \frac{1}{\frac{0.0608 \times 0.0926}{0.0608 + 0.0926} + 4.9063} \times 4.18$$

$$= 0.847 \text{ kA} = 847 \text{ A}$$

4LB 励磁变低压侧短路反应到高压侧的电流为:

$$I_{K1} = \frac{1}{\frac{X_{4B} \times X_{4F}}{X_{4B} + X_{4F}} + X_{4LB}} \times I_j$$

$$= \frac{1}{\frac{0.0608 \times 0.0926}{0.0608 + 0.0926} + 3.0098} \times 4.18$$

$$= 1.374 \text{ kA}$$

2 紫坪铺电厂原一次系统存在的问题

通过以上计算,我们可以看出当厂高变和励磁变高压侧发生短路时,系统各设备提供的短路电流的有效值为 113.89 kA,预期短路冲击电流值可达到 296.3 kA。厂高变高压侧的预期短路电流有效值是厂高变额定电流的 1294 倍,远远超出了厂高变允许的承受能力。如果厂高变内高压侧套管附近发生短路,在如此强大的短路电流冲击下,必将发生变压器的爆炸事故(励磁变同理)。

由于断路器实际开断时间(继电保护动作的时间 20 ms 与断路器的切除时间 40 ms 之和)大

于 60 ms,所以,在短路故障切除以前,主机、主变都将受到 3 个周波以上大的短路电流的冲击,几次这样大的冲击必然对设备带来很大的损坏而且影响其使用寿命。

若加装 FUR 装置后,短路电流可由 FUR 开断(某 FUR 开断电流可达到 160 kA)。

3 紫坪铺电厂选择 FUR 的必要性

针对以上情况,紫坪铺电厂决定在原系统中厂高变和励磁变高压侧加装 FUR。

使用 FUR 以后,当出现厂用变和励磁变一次侧短路时,熔断器 FU 在 t_1 时间内熔断截流,并产生弧压将电流迫入非线性电阻 FR 中快速衰减。此时短路电流只上升到 I_p ,仅为预期短路冲击电流的 1/5 ~ 1/10。FU 的作用是限流截流,产生弧压;FR 的作用是限制弧压,吸收磁场能量,减轻对 FU 的压力,并快速将电流衰减至零。

由于 FU 的限流性和快速性,采用了 FUR 后原系统将具有如下的优越性:

(1)由于 FU 的限流性,设备不再遭受短路电流的冲击。延长了发电机、变压器等设备的使用寿命,大大提高了系统设备在动、热稳定方面的安全裕度。

(2)由于 FU 的快速性,使故障切除时间大大缩短,更能有效地保护主机和主变压器。大量的研究表明,只有在 20 ms 之内切除故障,才能避免变压器的损坏事故。

(3)由于 FUR 的动作及其独特的快速性和限流性是由其物理特性决定的,因而无机械拒动和误动的可能,所以可靠性很高。

(4)FR 限制了过电压,使操作过电压小于 2.5 倍相电压。FR 吸收了 FU 开断过程中的能量,使 FU 开断时的电弧能量降低至允许值以下,从而大大提高开断可靠性。

4 紫坪铺电厂 FUR 的参数设计

4.1 FUR 组合保护装置设计中应坚持的原则

(1)在 FUR 组合保护装置的应用设计前,应首先进行系统的短路电流计算,对保护设置方案进行技术及经济分析,以确定是否选用 FUR 组合保护装置。

(2)在选择 FUR 组合设备的参数时,应取得生产厂家准确的电流—时间关系曲线、热容量 (I^2t) 曲线等各种技术参数图表,为 FUR 额定参

数的选择及校验做好准备。

(3)在选择FU额定电流时,不能单纯按负荷电流进行选择,还应充分考虑变压器突然合闸时的磁化冲击电流的影响和与上一级保护断路器在动作时间上的配合性(即其熔断时间应大于上一级的动作时间),这是非常重要的。

(4)在FU的额定电流选定后,还应对FU的限流性及热容量(I^2t)进行校验,以便选择同柜内的轻型断路器(或负荷开关)、隔离开关等电气设备。根据熔断时间计算出(或查曲线得知)FU的热容量,该值应大于同柜内断路器或负荷开关在该熔断时间内的热容量,且小于其额定时间内的热容量,确保这些设备在熔断时间内的安全。

(5)应对FR的残压水平与电气设备的冲击耐压水平进行比较校验,以确认FR是否有效地降低了操作过电压,保护了主要电气设备免受过电压的冲击。

(6)对于新建和现场条件允许的工程,应制作专用柜体,采用隔离开关、撞击机构、FR、FU、真空断路器的完整组合形式,以方便设备维护和安全更换FU熔丝。

按照以上原则,我们对紫坪铺电厂厂高变、励磁变的FUR进行如下设计分析。

4.2 厂高变FUR参数设计

4.2.1 FU的设计

(1) I_N 应不小于厂用变高压侧额定电流, $I_N \geq 67 \text{ A}$

(2)考虑变压器有5%的容差且允许过载1.3倍2小时,并留有10%的裕度:

$$I_N \geq 67 \times 1.1 \times 1.05 \times 1.3 = 101 \text{ A}$$

(3)根据软件仿真模拟和等效计算变压器突然合闸时熔丝安全。

(4)厂用变低压侧短路时,反应到高压侧的电流为:847 A

此时,熔断器的熔断时间应至少比用户提供的厂用变低压侧线路过流保护动作时间延长0.3 s,以使熔断器能保证厂用变低压侧短路时,有选择地跳开低压侧开关,并可作厂用变过流保护的后备保护。综上所述,FU选额定电流 $I_N = 150 \text{ A}$ 。查安-秒特性曲线可知150 A熔断器安秒特性:

①厂用变低压侧短路时熔断器的熔断时间为0.8 s。

② $I_N = 150 \text{ A}$ 的熔断器的熔断电流能避开变压器磁化电流冲击的要求。

③FU限流特性和 I^2t 特性

截断时间:

$$t_1 = \frac{\arcsin(I_p / \sqrt{2}I_K)}{18}$$

$$= \frac{\arcsin(20 / \sqrt{2} \times 113.89)}{18} = 0.40 \text{ ms}$$

截止电流: $I_p = 20 \text{ kA}$

注:截止电流由截流特性曲线查得,150 A熔断器在预期短路电流113.89 kA时,截止电流为20 kA。

故FUR1的额定电流取 $I_N = 150 \text{ A}$ 。

4)FU其他参数

额定电压:13.8 kV/442 mm 额定电流:150 A

4.2.2 FR的设计

$$\text{取 FR: } U_{1mA} = \frac{2.5 \times 1.15 \times \sqrt{2} \times U_N}{\sqrt{3}} = 32.4 \text{ kV}$$

以保证发电机、变压器不受高电压的冲击。截断电流转移到FR后衰灭到零的时间仿真计算结果(见图3): $t_2 = 0.67 \text{ ms}$

4.3 励磁变FUR参数设计

4.3.1 FU的设计

(1) I_N 不小于励磁变高压侧额定电流的1.4倍,即 $I_N \geq 119.49 \text{ A}$

(2)发电机励磁变低压侧短路时,反应到高压侧的电流为1374 A。

(3)熔断器应保证发电机在3倍强行励磁状态下不动作;

$$I_R \geq 3 \times 85.35 = 256.05 \text{ A}$$

综上,可取各励磁变FU额定电流 I_N 为125 A,13.8 kV。查安-秒特性曲线可知125 A熔断器安秒特性:

①厂用变低压侧短路时熔断器的熔断时间为0.08 s。

②FU最小熔化电流300 A,约为励磁变额定电流的3.5倍,熔断器在发电机强励时不动作。

③FU限流特性和 I^2t 特性

截断时间:

$$t_1 = \frac{\arcsin(I_p / \sqrt{2}I_K)}{18}$$

$$= \frac{\arcsin(18/\sqrt{2} \times 113.89)}{18} = 0.36 \text{ ms}$$

截止电流: $I_p = 18 \text{ kA}$

(注:截止电流由截流特性曲线查得,125A 熔断器在预期短路电流 113.89 kA 时,截止电流为 18 kA。)

故 FUR2 的额定电流取 $I_N = 125 \text{ A}$ 。

④FU 其他参数

额定电压:13.8 kV/442 mm 额定电流:125 A

4.3.2 FR 的设计

$$\text{取 FR: } U_{1mA} = \frac{2.5 \times 1.15 \times \sqrt{2} \times U_N}{\sqrt{3}} = 32.4 \text{ kV}$$

以保证发电机、变压器不受高电压的冲击。截断电截断电流转移到 FR 后衰灭到零的时间仿真结果(见图 3): $t_2 = 0.60 \text{ ms}$

5 结语

紫坪铺电厂机端短路电流较大,选用普通真空断路器或负荷开关不能满足设备保护的要求,

(上接第 26 页)

矛盾,采用多目标的调度方法是解决此类矛盾的有效手段。开展多目标的调度,在制订调度规则的基础上,应充分掌握不同目标调度存在的风险,以这些风险作为调度的约束条件进行多目标调度。“7·10”洪水的多目标调度采用了不同泄水设施的组合利用方案,利用洪水演进在时间和空间上的差异,规避了白沙河的洪峰叠加;利用水库的调蓄能力,将洪水约束在下游堤防安全水位之内;利用发电机组下泄的清水稀释减轻高浊度洪水对自来水厂制水的压力;利用水库水沙异化传播的特性,进行洪峰和沙峰的错峰调度,及时排出泥沙,减轻水库淤积。

调度实践表明,要提高洪水应急调度能力,保障城市的防洪、供水安全,需要进一步加强以下工

采用 FUR 组合保护装置作为厂高变等主要设备的保护设备是一种比较理想的选择,在可靠性、安全性、经济性等方面具有相当的优越性。按上述参数设计选型的 FUR 组合保护装置在紫坪铺电厂已安全运行近十年,得到了很好的实践验证。我们在 FUR 实际使用过程中,还应注意以下问题:

- (1) 定期检查清洁。
- (2) 定期测量熔体电阻值的变化。
- (3) 一般使用 5 年以上的熔断器,应考虑更换新熔体管。

参考文献:

- [1] 陈永利,符夏碧,殷丽. 高压限流熔断器装置的参数选择及配合[J]. 人民珠江,2005(2):82-84.
- [2] 刘仁桂. FUR 组合保护装置的特性及应用[J]. 甘肃水利水电技术,2008(2):124-126.

作者简介:

王中元(1973-),男,湖南祁东人,学士,高级工程师,从事水电工程技术与安全管理工作。(责任编辑:卓政昌)

作或能力:

- (1) 洪水预报的精度是调度准确性的基础;
- (2) 下游行洪河道上的城市排水管道的设计应提高标准,防止因排水不畅而造成内涝;
- (3) 行洪河道集中居民区河段的防洪标准应在充分研究的基础上适当提高;
- (4) 城市原水水源应有第二水源地,防止城市供水系统出现崩溃。

作者简介:

阳莉(1972-),女,四川彭州人,工程硕士,主任,高级工程师,从事水利水电工程建设管理和水库调度工作;
由丽华(1964-),女,山东蓬莱人,工程硕士,副总经理,教授级高级工程师,从事水利水电工程建设和运行管理工作。

(责任编辑:卓政昌)

四川甘孜达阿果水电站投产发电

8月4日21时00分,水电七局机电安装分局承担安装任务的甘孜达阿果水电站最后一台机组(1号机)顺利完成72小时试运行,机组运行状况良好,直接进入商业运行,至此,达阿果水电站2台机组的安装、调试、试运行工作全部完成。

达阿果水电站,位于四川省甘孜州雅江县,是霍曲河干流“一库三级”水电梯级开发方案中的最末一级电站,电站装设两台单机容量11万千瓦的冲击式水轮发电机组,总装机容量为22万千瓦,电站建成运行后,供电四川电网,工程主要目的为发电、兼顾下游生态环境用水。机电设备安装工程于2016年5月24日开工;2018年7月19日,首台机组(2号)完成72小时试运行。