

当混合线路的电缆被采用导引线电缆作高频通道时，尚须注意下列问题及具体的要求。

I) 为减少电磁感应过电压和地电位升高，要求电力电缆的护层全线可靠接地，使接地短路电流大部分从电力电缆护层返回电源。

II) 导引线电缆要采用对绞芯线，防止产生横向电压而使保护误动。

III) 为了防止地电位升高，至少在离开电厂或变电站100米处需用耐高压的导引线电缆引入，此电缆的芯线及护层对外能承受可能的地电位。

IV) 导引线电缆金属护层不应人为接地，电缆备用芯亦不能接地，尤其是引入电厂的护层不应接地，以防止护层流过大电流而烧坏，影响电缆使用寿命。

6 上海地区220kV 混合线路所用高频保护通道介绍

上海地区今年投产的两条220kV 电缆架空混合线路都是由扬厂至扬高变电所。扬厂通过1.15km 过江隧道及0.7km 直埋的电力电缆连接至8.8km 的架空线路送至扬高变。

每回线路上均设置两组高频闭锁距离保护，距离保护各为微机型及D型，通道分别在A、B相耦合。

为了减小感应过电压及护层发热，电力电缆护层是按照交叉换位连接的。

为了有效通过高频信号，利用导引线电缆来传输，经电缆架空线连接点桥路匹配，由架空线传输至对侧。同时在电缆架空线连接点设置阻波器。其连接示意图见附图。参阅文献^{(1)及(2)}所述。现将有关主要考虑问题叙述如下：

(1) 根据浙江电力试验研究所的计算及分析，工程按上述三种方案进行了技术经济比较，现将其汇总简述如下：

序号	通道方案	1	2	3
1	设置及选型	1.85km SYV—75 高频电缆及4" 自来水管屏蔽	1.95km 10kV 交联聚乙烯电缆	1.85km BICC (英) 导引电缆 (相当于上缆厂 DYY—32P 型)
2	投资总额	6.7万元 *	7.955万元 *	7.4~9.25万元 **
3	总衰耗	1.47~1.54N *	1.84~1.94N *	1.70~1.81N *
4	通道裕度	2.53~2.46N *	2.16~2.06N *	2.15~2.03N *

* — 根据文献⁽²⁾摘录。* * — 按厂家估算。

从上述三种方案比较，有关总投资，总衰耗等按单回线比较，其指标均相差不多，但从施工方便及今后发展，特别是双回线的结构看来，BICC (英) 制、(相当于上缆厂 DYY—32P 型) 方案优越于其他方案。

因此最终选定 DYY—32P 型电缆，按每回线路配置一根导引线电缆考虑。

(2) 按审定的设计方案，每回线路均设置两套高频闭锁距离保护，各有两组高频通道联系。为了保证其可靠性，通道设计采用交叉连接方法：

导引线电缆编号及芯对	连接220kV 线路号及保护组别	通道频率及连接保护名称
1# 导引线	芯对1	2149# B 组保护 150kV 微机距离
	芯对2	2150# 线 A 组保护 130kC D 型距离
2# 导引线	芯对1	2149# 线 A 组保护 118kC D 型距离
	芯对2	2150# 线 B 组保护 150kC 微机距离

广东核电站500kV 系统继电保护

广东省电力勘测设计院 张华贵

广东核电站位于深圳大亚湾,由国外设计制造,升压站分500kV和400kV两部分,其中一回500kV出线至增城变电站,一回400kV出线至深圳变电站,另有两回400kV出线直接至香港九龙电网。500kV核增线和400kV核深线两回线的继电保护,是经中外有关单位共同确定继电保护方案的。

关键词 核电站 500kV 继电保护

1 广东核电站500kV的系统保护配置

广东核电站500kV为1个半断路器接线,采用GIS组合设备,CT放在GIS母管内,线路保护用的CT装在线路上而不在断路器串上。母线保护CT则装在断路器串上。线路保护和母线保护间的GIST区则装有T区差动保护,每个断路器还有断路器失灵保护。500kV系统保护配置见图1所示。

500kV保护用CT变比1500/3000/1安,其中,500kV线路两套主保护用TPY级CT,500kV线路后备距离、线末保护与故障录波器、故障探测器共用一组TPY级CT;500kV一主套中阻母线差动保护用TPY级CT;另一套高阻母线差动保护用class‘X’级CT。500kV断路器失灵保护用5P20级CT。500kV GTS两套T区差动保护用class‘X’级CT,至于仪表所用CT,副方则为5安:

图1说明:

1. 500kV线路主1保护(电流差动+选相)LCB I(美)+YTC33(英)
2. 500kV线路主2保护(兼有后备距离)THR3PE18+DEF(英)
3. 独立后备距离三段式保护RAZFE(瑞典)
4. 单相/三相重合闸(综合重合闸)MGAA(英)+UN2940(瑞士)
5. 故障录波器TR1630(美)
6. 故障探测器TR1630(美)
7. 母线保护(一套中阻、一套高阻差动)RADSS(瑞典),TDB11+PB6(法)

(3)导引线电缆采用的DYY—32P—10×2×0.9型铜芯聚乙烯绝缘,纲铜丝铠装聚氯乙烯护套导引电缆,耐压对地15kV,根据测定,电缆高频特性阻抗为143Ω,因此电缆两端配置有特制按特定频率设计(约为143/75Ω)的电缆型结合滤波器,也是要求高耐压的。

参考文献

- 1 220kV 闸电——扬厂——新周线工程继电保护设计. 华东电力设计院, 1984. 9
- 2 电力电缆架空线混合线路高频通道的研究. 浙江省电力试验研究所, 1986. 9
- 3 220kV 黄棠线电缆架空混合线路高频特性试验情况. 广东省电力局中心调度所, 1982. 8
- 4 线路纵差保护的导引电缆过电压问题. 华东电管局总调度所, 1981. 3
- 5 高频保护在220kV 电缆与架空混合线路上的应用. 广东省电力勘测设计院, 1979. 11

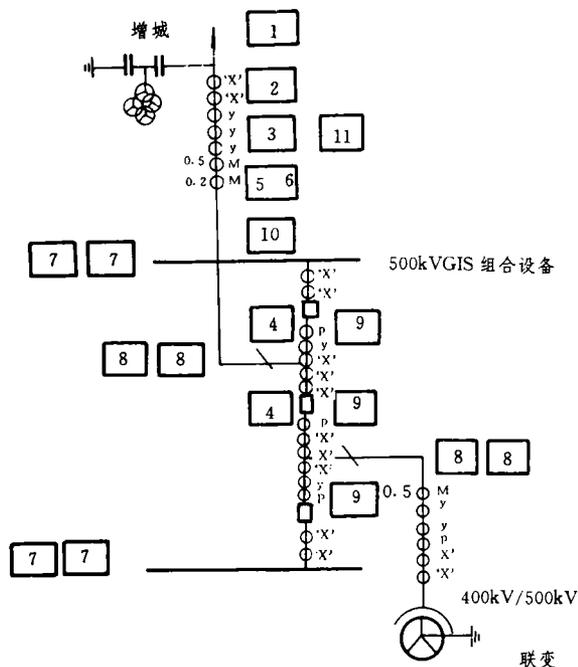


图1 广东核电站500KV系统保护配置图

8. T区差动保护 (二套高阻差动) TDB—11+PB6 (法) MCAG14 (英)
9. 断路器失灵保护 (每个断路器一套) PADS3000 (法)
10. 过电压保护 TV1110 (法)
11. 线末保护 TA1100 (法)

2 广东核电站500kV系统保护的特点

由于核电站对系统保护的安全性和可靠性要求比一般电站更高,因此在500kV核电站出线保护选型中,我们选用有成熟运行经验的集成电路保护。主保护选用两套不同原理且是不同厂家的保护,以取得互补的效果,而且同一厂家,难以选出两全其美的两套不同原理的主保护。又由于广东核电站主要由法国和英国建设,优先考虑其保护,若性能不完善,则选用其它。根据这些原则,我们选用了上述图1的各种保护。两套主保护以载波通道为主,微波通道为辅,一为闭锁式,一为允许式。而独立的一套后备距离保护则不上通道。

2.1 线路电流差动保护

线路电流差动保护有微波电流差动、光纤电流差动及电力线载波电流差动。从500kV工程同步建设来看,最可靠的是用电力线载波通道,因为微波通道或光纤通道不一定能与500kV工程同时投产,造成诸多不便。在优先电力载波通道的基础上,广东核电站500kV出线选用了电力线载波电流差动保护 LCB II型,它是美国西屋公司的产品。

1) LCB II 电流差动的工作原理

利用克希荷夫第一定律,线路两侧电流的向量和 $\Sigma I \geq 0$ 可用来判断线路的内部故障或外部故障。当正常送电及外部故障时,理想情况下, $\Sigma I = 0$,而当线路内部故障时, $\Sigma I > 0$ 。从这个基本原理出发,为了使在外部故障时能保证电流差动保护的安全性又能在内部故障时提高灵敏度,采用了制动特性的电流差动。

$$\Sigma I - K \Sigma |I| \geq I_{pu} \quad (1)$$

式中: $I = |I_L + I_R|$ 动作量, $|I| = |I_L| + |I_R|$ 制动量, K 为小于1的制动系数,由厂家选定,今选 $K = 0.7$, I_{pu} 为继电器差动元件的起动值。

$$\text{即 } |I_L + I_R| - 0.7 (|I_L| + |I_R|) \geq I_{pu} \quad (1)'$$

由于电力线载波通道有限,因此 LCB II 电流差动保护用于线路上,厂家是把三相电流综合为单相输出。应用对称分量。

可得简化了的继电器动作方程式为

$$|C_1 I_{A1} \Sigma + C_2 I_{A2} \Sigma + C_3 I_{A3} \Sigma| \geq 0.1 I \quad (1)''$$

式中, $C_1 = -0.1, -0.05, 0$ 三档

$C_2 = 0.23, 0.22, 0.20, 0$ 四档

$C_0=2.45, 1.25, 0$ 三档

$T=2\sim 20$ 安 (CT=5安)

$T=0.4\sim 4$ 安 (CT=1安)

从(1)式可导出各种短路情况下,根据对称分量可知+-0分向量的相位关系,可得出更进一步简化了的继电器动作方程式。其中,

$$\text{三相短路} \quad I_{3\phi\Sigma} \geq |0.1T/C_1| \quad (2)$$

$$\text{单相短路} \quad I_{G\Sigma} \geq |0.3T/(C_1+C_2+C_0)| \quad (3)$$

由于要躲本侧线路最大负荷电流整定,以免电力载波通道失效时保护误动作,则

$$I_{3\phi\Sigma} \geq |0.1T/C_1| \geq 1.25I_{L,\max} \quad (4)$$

在上述 C_1 、 C_2 、 C_0 及 T 值的整定范围内可选取不同值,得出:

CT=5安时的电流整定范围 $I_{3\phi\Sigma}=2\sim 40$ 安, $I_{G\Sigma}=0.23\sim 4.4$ 安。CT=1安时的电流整定范围 $I_{3\phi\Sigma}=0.4\sim 8$ 安, $I_{G\Sigma}=0.046\sim 0.88$ 安。

2) LCB II 电流差动保护的选相

由于使用架空线电力载波通道,LCB II 把三相电流综合为一相输出,使用一个载波通道,也就不能进行独立选相,在我国,500kV 线路多使用单相重合闸,为了要选相,则须另加选相元件,而电流差动只用来判断线路内部或外部故障用。在核电站500kV 核增线,我们选用6个阻抗选相元件,3个用于接地阻抗及3个用于相间阻抗,6个阻抗选相元件可简化直流回路接线。其中,接地阻抗元件实现 A、B、C 分相掉闸,而相间元件实现三相掉闸。

3) 由 LCB I 与阻抗选相元件组成与门出口掉闸,可供单相重合闸用,这种与门组合有它的一些优点:

(1) 当保护用的 CT 有一相断线时,使线路两侧的 LCB II 失去了电流平衡,可造成误动,而阻抗元件不会因 CT 断线而误动,这样便可防止 LCB II 在 CT 断线时出口误掉闸。

(2) 当 PT 断线时,阻抗元件误动而 LCB II 电流差动元件不会误动,这样便可防止阻抗元件因 PT 断线时出口误掉闸。

(3) 当系统发生振荡或非全相振荡时,阻抗元件可能误动而 LCB II 电流差动不会误动,这样便可防止阻抗元件因系统振荡出口误掉闸。

此外,LCB II 用于环网或双回路时,当双回路之一发生内部短路而两侧开关不同时切除时,虽引起另一回路的功率倒向,LCB II 电流差动不会误动,无须采取措施。

LCB II 电流差动使用载波通道,当失去通道时,它使用解除闭锁式 (UNBLOCK),即失去通道的150ms 内可有过流保护的功能,过了150ms 才闭锁。这样,当内部短路如三相短路失去对侧来的载波信号时,本侧短路电流使该侧保护过流动作掉闸。而当正常运行失去对侧来的载波信号时,因负荷电流低于保护的电流整定值,不会误动,而过了150ms LCB II 自行闭锁。

LCB II 不怕系统振荡,在振荡加故障的情况下,其动作可弥补主2及后备距离保护振荡闭锁功能的不足。

2.2 THR 距离保护作主2保护

THR 为不切换的三段静止式相间距离和接地距离保护,每段6个测量元件,三个相一地阻抗元件和三个相一相阻抗元件,三段共18个阻抗元件。三段距离为阶段式,第 II 段带 T_2 时间元件,第 III 段带 T_3 时间元件掉闸。

振荡闭锁元件为双重圆,即大圆套小圆,小圆为 Z_{AC} 相间阻抗元件,大圆为附加的 Z_{AC} 元件,构成一个相间接法的双重圆振荡闭锁。由于500kV 线路在1个半断路器接线用线路电容式

电压互感器 CVT，故可用一个相间接法的双重圆振荡闭锁，非全相时仍可有振荡闭锁功能。

3I₀零序电流元件，可作线路出口单相接地，闭锁相间距离的误动。

保护有自诊断监视元件，可自动检测保护元件的毛病。

THR 可附加后备零序方向保护，略带延时0.2~0.3秒，上通道构成超程允许式，在高阻接地故障时，当距离保护拒动时后备掉闸用，而不上通道的方向零序电流保护，则以较长延时独立后备三相掉闸。

2.3 RAZFE 距离保护作独立后备保护

考虑到后备距离保护最好能与主2距离保护不同原理，选用了不切换的静态三相三段式相间距离和接地距离保护 RAZFE，接地距离是四边形特性，可比圆特性有稍大的允许过渡电阻，相间距离是多相补偿的圆特性，这考虑到相间故障的过渡电阻较小。两相短路接地则由接地距离和相间距离配合动作。三相短路利用接地距离的四边形特性除去选相来动作，并附加一个记忆元件，以增强出口三相短路动作的方向性。振荡闭锁是大框套小框，近似椭圆特性的两个框组成，并按相装设，以防非全相运行时失去振荡闭锁。从上可见，RAZFE 比主2THR 距离保护的動作特性多变，较为复杂。

由于是独立后备保护，故不上通道，RAZFE 没附加零序方向时限电流后备。当高阻接地故障时，可由主1LCBⅡ及主2附加的零序方向时限电流后备时限三相掉闸。

RAZFE 距离保护用在送侧较受侧有利，故在500kV 核增线的核电侧选用。

2.4 MGAA 综合重合闸

广东核电站500kV 采用了一个半断路器接线，线路重合闸按断路器配置，选用了与 THR 距离保护同一厂家的 MGAA 综合重合闸，这有利于接线的配合。MGAA 综合重合闸是包括单相重合闸和三相重合闸，可以说是两个相同的重合闸装置，只有个别控制回路不同。当用选择开关选用单相重合闸时，回路与三相重合闸分开，增加了单相重合闸的可靠性，当线路发生单相故障，由保护起动单相重合闸，线路两组断路器的先后重合顺序有灵活性，今选择先合母线侧断路器，如母线侧重合闸整定时间为1秒，后重合的中间断路器，如整定时间为1.5秒，当母线侧重合成功时跟着重合，当先重合的一组断路器重合不成功时，则将两组断路器同时三相掉闸，且闭锁后重合闸的一组断路器不重合。

500kV 核增线只用单相重合闸，不用三相重合闸，但三相重合闸装置仍装设，使用时可对增线侧先用无压检定，核电侧用同期检定三相重合闸。

应该指出，若使用三相重合闸，只能采用受侧无压检定先合，而大机组的核电站侧以检同期延时后合，以免在相间故障或三相故障，核电站侧先合，尤其是合到永久性故障上，对机组寿命不利。

2.5及2.6 故障录波器及故障探测器

500kV 线路在核电侧装设了故障录波器及故障探测器，这可便于记录继电保护的動作情况以供事故分析之用。核电侧选用了 TR1630故障录波器，模拟量为20，开关量为32，它的模拟量配置用20，不用16，多配置4路模拟量，它是微机式故障录波器，利用软件，可兼有故障探测、电气计算及谐波分析的功能，它是一种功能比较多的故障录波器。

附带指出，由于核电站500kV 线路侧的 CVT（电容式电压互感器）副方没有开口三角线圈，因此应在故障录波器侧装设中间电压互感器，供故障录波器记录的3U₀电压之用。

2.7 母线保护

在500kV 1个半断路器接线上，上下母线各配置了两套原理不同的母线差动保护。

(1) RADSS 中阻母差保护

它是整流式带制动特性的电流差动保护，但差回路为几百欧的电阻，它是比较动作电压

和制动电压的大小，内部故障时，动作电压大于制动电压，差动继电器动作；外部故障时，制动电压大于动作电压，差动继电器不动作。RADSS 中阻母差保护还有一个很大的优点，就是 CT 饱和，它也不会误动，这是一种比较安全和可靠的母差保护。

(2) 高阻母差保护

它与电流差动保护不同之处在于，差动回路中所接的不是低阻的电流继电器而是高阻的电压继电器，按差电压整定（伏）。在内部短路时，它灵敏度高，动作快速，在外部短路时，即使 CT 饱和，它不会误动。

高阻差动的等效电路图示于图2，如差动保护的支路 CTT 并联数 $n > 2$ 时，则为 n 支路并联。

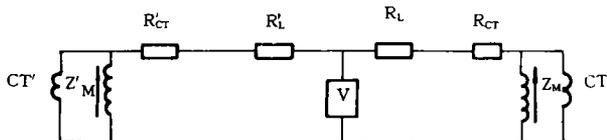


图2 电压差动等效电路图

高阻差动在外部短路时，过大的短路电流使近短路点一侧的 CT 饱和而其它并联支路的 CT 不饱和的情况下，见图2所示，作用到高阻回路的电压为：

$$V_d = \frac{1}{n_{CT}} I_{kmax} (R_L + R_{CT}),$$

使整定电压 $V_{set} > V_d$ ，则电压继电器不动作。内部短路时，CT 二次电势方向相同，高阻回路的电压大于 V_{set} ，因 CT 的拐点电压按保证灵敏度大于2选择，即 $V_k \geq 2V_{set}$ ，差动继电器动作掉闸。可见高阻差动在外部短路时不怕 CT 饱和。

由于 class ‘X’ 级 CT 的拐点 V_k 可根据需要进行选择，故高阻母差选用 class ‘X’ 级 CT，而且其误差为 $\pm 0.25\%$ ，外部短路时不平衡电流很小，不会使高阻继电器误动作。若 CT 的误差电流较大， $I_e R_V$ 大于高阻继电器的差动整定值，则可与高阻继电器并联电阻 R ，使差压

$I_e \frac{R_V R}{R_V + R} < V_{set}$ ，高阻继电器便不会误动，差压继电器动作所需的最小短路电流是扣去各支路的励磁电流分流后，流入差压继电器的电流产生的差压应大于继电器的整定值 V_{set} 。

为了便于比较，高阻差动与中阻差动列表如下。

项 目	高 阻 差 动	中 阻 差 动
继电器整定值	电压（伏）	电流（安）
继电器阻值	高阻（千欧）	中阻（百欧）
CT 饱和	不怕	不怕
CT 变比要求	相同	可不同
CT 级别	class ‘X’ 级	5P20或 TPY 级
CT 断线监视	电压元件发信号	电流元件发信号
CT 断线闭锁	电压闭锁	电流闭锁
制造	简单	复杂
适用性	“1 $\frac{1}{2}$ ”、单母线	双母线“1 $\frac{1}{2}$ ”、单母线
中间 CT	无	有
继电器特性	无制动	带制动

2.8 GIS‘T’区差动保护

广东核电站500kV 采用了全封闭 GIS 组合设备。它与敞开式设备不同，敞开式一个半断路器接线，CT 布置在串上，而 GIS 组合设备，若 CT 仍全部布置在串上，则当 GIS 区母管

故障时,线路保护起动重合闸,会重到故障的 GIS 母管上,会扩大 GIS 的故障。为此,针对 GIS 的特点,把线路保护用的 CT 布置在线路侧,并配置 GIS 的 T 区差动保护,当 T 区 GIS 母管发生故障时,由 T 区差动保护动作掉闸,并闭锁重合闸,同时亦远方掉闸及闭锁对侧重合闸。

T 区差动保护亦为双重化,采用了两套不同厂家的高阻差动保护,它具有简单可靠,灵敏度高,动作快速的优点。

2.9 断路器失灵保护

断路器失灵保护是当保护动作而断路器拒动时用的后备保护,把与故障有关的相邻断路器带延时后备掉闸,以切除拒动断路器无切除的故障,起近后备保护作用。由于断路器失灵保护属后备保护,故可用一套,若采用两套,则接线复杂化。广东核电站500kV 一个半断路器接线选用一套断路器失灵保护,它按断路器装设。

断路器失灵保护由电流元件,时限元件及联跳逻辑回路组成。

2.10 过电压保护

过电压保护是当线路过电压时动作的保护,长131公里的500kV 核增线过电压保护装在线路两侧的 CVT 上(电容式电压互感器)。当线路任一相发生工频过电压时,如整定1.3倍额定电压,可带0.5秒掉闸,如整定1.4倍额定电压,应瞬时掉闸,并经远方跳闸断开对侧断路器。

2.11 线末保护

前已提及,核电站500kV 一个半断路器接线,由于采用 GIS 组合设备,为防止线路重合闸重合到 GIS 的 T 区故障,线路 CT 放在线路侧,当核电站侧线路隔离刀闸拉开,由对侧带空载线路时若线路 CT 与隔离刀闸间发生故障,对侧的允许式距离保护及后备距离保护只能以第Ⅰ段时限动作,这是不满足速动性的要求的,而线路电流差动由于反映为外部故障或电流灵敏度不足而拒动。为此,本侧要装设线末保护。它是电流继电器,按相接在线路侧 CT,当线路侧隔离刀闸拉开时才投入,当线路 CT 与隔离刀闸间发生故障,电流继电器动作,起动远跳装置使对侧断路器快速掉闸。

由于对空载线路来说,此电流继电器只保护线路末端一小段,故称为线末保护。线末保护对我国继电保护工作者来说,比较陌生,但国外超高压一个半断路器接线多采用 GIS 组合设备,而保护用 CT 又放在线路侧,多装设有线末保护。核电站500kV 线路侧就装设了一套线末保护。

3 结束语

(1) 广东核电站500kV 核增线及400kV 核深线的保护是相同的,这便于核电站统一维护管理。

(2) 线路两套主保护是不同原理的,且是不同厂家的。一套为线路电流差动保护,附加阻抗选相元件。一套为距离允许欠程保护,附加 $3\vec{I}_0$,它稍带时限作为过大接地电阻的后备保护。

(3) 1套独立的线路后备相间距离和接地距离保护。

(4) 两套母线保护也是不同原理,一套为中阻差动,一套为高阻差动。

(5) 核电站500kV $\frac{1}{2}$ 断路器接线采用 GIS 组合设备,线路保护用线路 CT 而不用串上和 CT·CT 的二次线比较简单,但母差保护和线路保护间的 T 区则装有 T 区差动保护。以防止重合闸重合到故障的 GIS 上。

以上系统保护的特点是广东核电站系统保护优化的结果,是有关单位共同努力工作的结果。