

成套线路保护装置的动态模拟试验

许昌继电器研究室线路保护组

一、前 言

随着我国电力工业的迅速发展, 继电保护相应地也在不断发展。为了要使现代高压输电线路安全可靠运行, 必须要有快速、精确、可靠的继电保护系统。以前, 我国生产及使用的大多是仿苏产品, 在很多情况下满足不了超高压输电线路的新要求。因此, 由我国各研究单位及制造厂试制了一些新型的继电保护装置, 尤其是晶体管继电保护装置的应用对继电保护的发展开辟了广阔的前景。这些新试制的产品能否正确动作于各种故障, 各项性能如何, 可经实际系统进行考验, 这是最真实的。但这是有很多困难的, 因为要在实际系统中做大量的短路试验, 在人力物力上的浪费是很大的, 同时对系统的安全运行及正常供电有很大影响, 而且不能随便改换接线适合各种不同的情况。所以最好的办法是进行动态模拟试验, 由模拟发电机、模拟变压器、模拟线路等构成所需要的电力系统, 把保护装置安装于模拟系统中, 对模拟系统进行各种短路故障试验, 考验继电保护装置的動作行为, 实为考验保护装置性能的行之有效的办法。由于模拟系统必须与实际系统在各种情况下继电器所感受到的变化是相同的, 因而模拟发电机、变压器、线路等元件都是特殊设计制造的, 它们在正常运行及故障时的瞬变过程是与真正的电力系统一样的。有了模拟系统对于研究电力系统的各种问题及继电保护的性能是极为有利的。

由许昌继电器研究室, 交通部科学研究院, 西北电力设计院等单位联合试制了整套线路保护装置。其中包括: ZCG—1型高频相差动保护装置, SF—4型收发讯机, GCH—11型高频相差动保护装置, ZJH—4型距离保护装置, ZLL—1型三段零序电流保护装置, ZZC—3型综合重合闸装置, BZ—1型馈电线保护装置, ZCH—3型三相一次重合闸装置等。为了考验这些保护装置的動作行为进行了动态模拟试验。本文介绍了这次试验的方法及所考虑的问题, 可作为今后成套线路保护再次进行动模试验的参考。由于我们水平有限, 不免有许多错误之处, 希望读者提出宝贵意见, 以便今后不断改进。

二、模拟系统接线

为了较接近真实使用情况, 一般都模拟一个实际经过简化的系统。我们这次试验的模拟系统接线如图1所示。是模拟某一系统的GP间的某一220KV输电线路。为了考验线路保护装置性能, 便于试验, 改成单机对无穷大电源如图2所示。这样修改以后对另序阻抗稍有影响, 对G侧影响较小, 对P侧, 因改为无穷大电源, 影响较大, 因此保护装置一般都装在G侧。为了考查这套线路保护装置对于这个系统的适应性, 个别项目按图1模拟系统进行校核性试验。

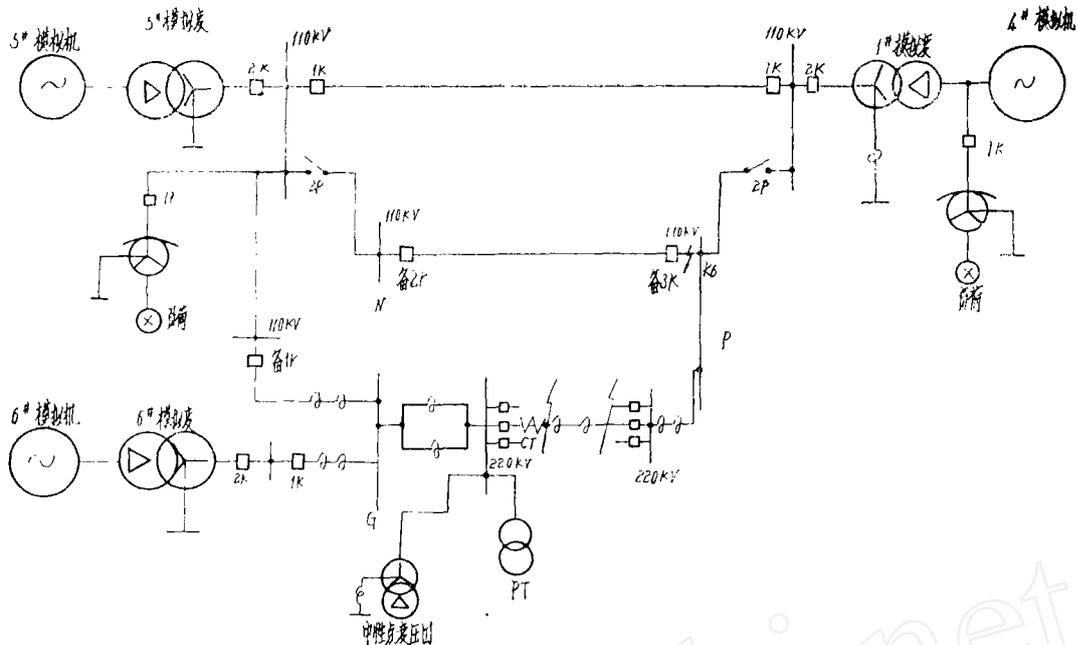


图1 模拟系统图

由于受试验条件限制，模拟线路元件没有考虑分布电容。这样对于实际的过渡过程和由于电容存在引起两侧电流相位角的改变等不能完全反映出来。为了考查电容电流对保护装置的影响，在空载情况下拉合线路试验，才在G、P两侧并联接入电容器，模拟电容电流，这与实际的情况也是有差别的。另外，没有模拟高频通道以及电流、电压互感器也没有按照模拟参数要求，这都要与实际的系统有差异。

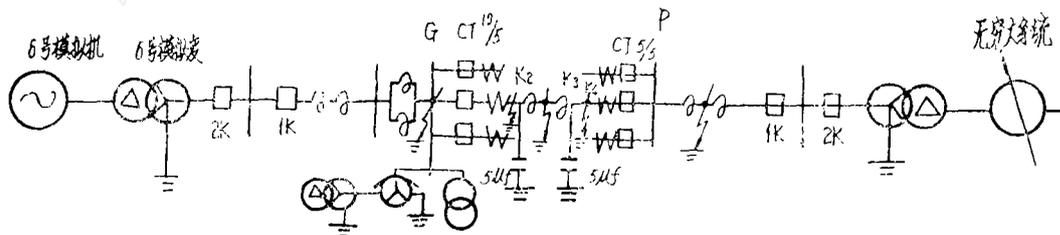


图2 简化系统接线图

断路器的模拟应考虑各种断路器的操作情况，应用于220KV输电线路的断路器大都是分相的，能实现单相重合闸。因此这次试验采用低压接触器，每相装设一个。为了能获得相似跳闸和合闸作用，拟制了如图3模拟断路器和操作回路。KB是接触器线圈，模拟断路器合闸线圈，其主接点K接到模拟一次系统作为线路开关。KO是一个中间继电器，其常闭接点动作使KB断电，主接点K返回，相当于断路器跳闸，这样来模拟断路器跳闸回路。应当指出这种模拟方式是不够理想的，因为合闸时间接近实际情况，但跳闸时间不快与实际有差别，每相跳闸时间差别可能较大。在KB、KO线圈上并联电阻，是考虑使保护装置跳闸合闸输出得到足够的自保持电流。不然由于没有自保持电流作用，这种模拟接线在保护装置可能短时动作的情况下，不能可靠地跳闸与合闸（例如合闸脉冲短于KB动作时间）。ZJ1、

ZJ 2 分别为两侧开关三相跳闸继电器，也兼作手动跳闸用。为了分别考验两侧开关不同时跳闸与闸时合保护装置行为的，增加一个SZJ 3 延时动作中间继电器，只要将要求慢跳闸（或慢合闸）一侧的开关由启动SZJ 3 的接点去控制跳闸（或合闸）即可达到。

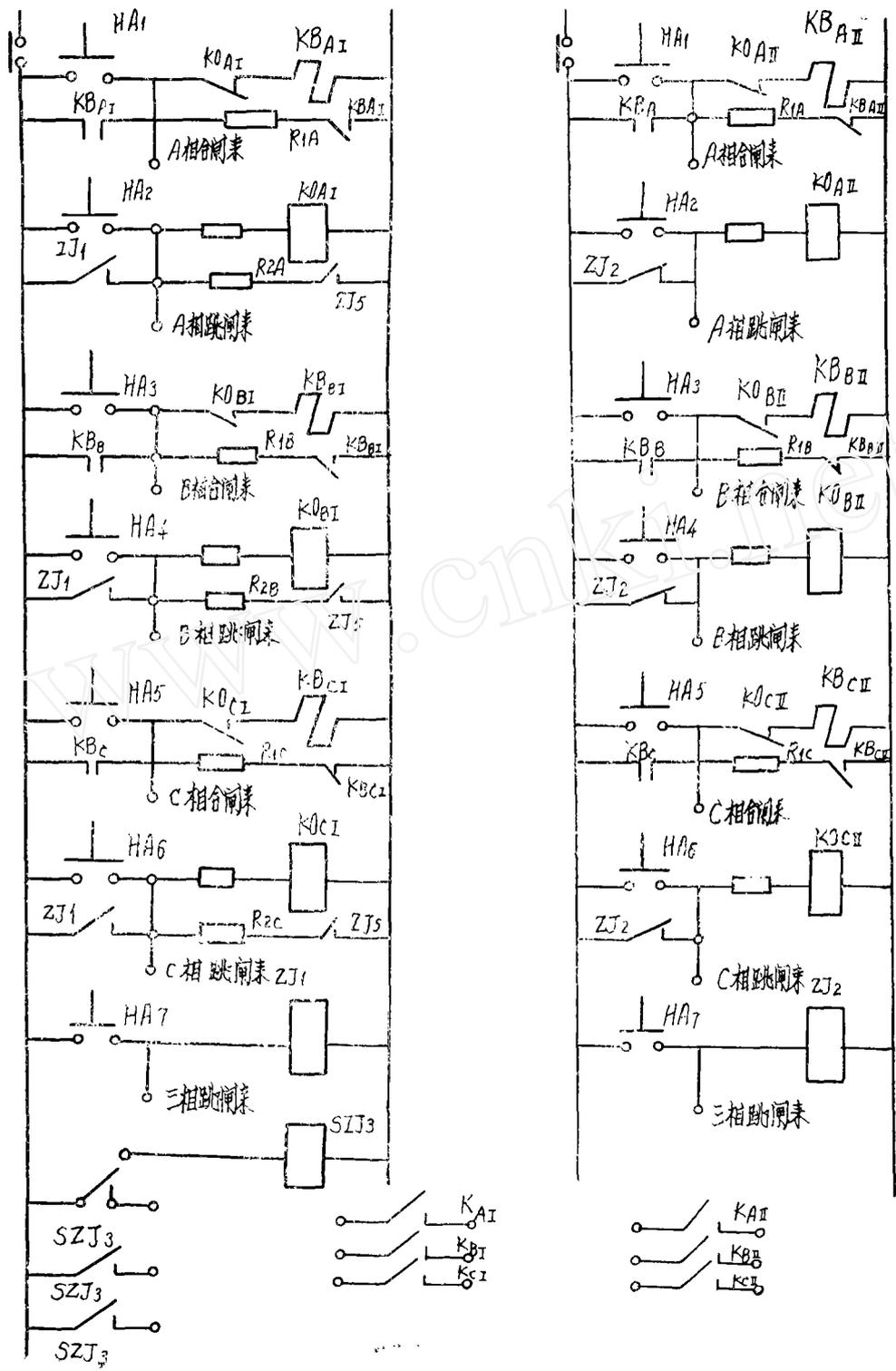
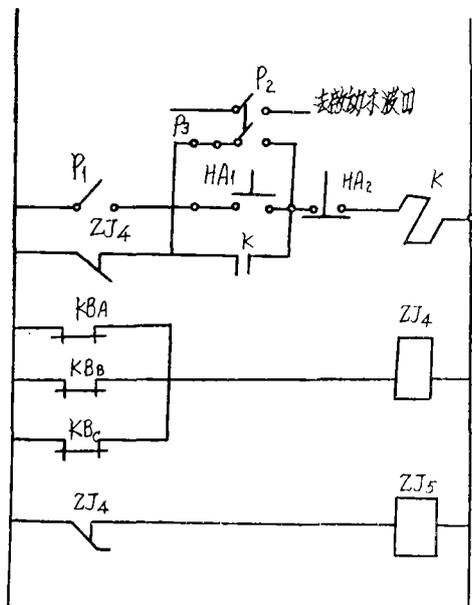


图 3
操作回路

控制短路开关试验接线如图4所示。ZJ4、ZJ5为中间继电器，扩大KB辅助接点。模拟永久性短路，将P₁接通，瞬时性则断开。P₂作用是启动短路开关和示波器，启动后短路开关启动回路即由P₃断开。



说明：ZJ₄——外接辅助中间继电器；K——短路开关；K_B_{A、B、C}——G侧合闸线圈辅助接点（常闭）；HA_{1、2}——按钮；P_{1、P2、P3}——刀闸；ZJ₅——外接辅助中间继电器。

图4 模拟故障试验接线图

由于应用一般接触器作模拟断路器，存在动作不同步性，差别大，以及模拟跳闸回路动作慢的缺点，因此提出如何选用合适的，满足特殊要求的接触器来模拟断路器是很必要的。

三、保护装置的整定值

保护装置的整定要符合实际使用情况，按照对线路保护装置要求的原则进行整定。

根据这次试验的模拟系统接线，各点短路电流计算结果如表1所示。表2、表3按图2模拟系统5个短路点的正序阻抗和零序阻抗。

表1

故障类型 短路值		短路点			
		三相 K(3)	两相 K(2)	单相接地 K(1)	两相接地 K(1.1)
K ₁ K ₂	G侧			7.05	6.4
				7.05	2.03
				7.05	8.7
		8.44	7.32	21.15	
				$19.5\sqrt{3}$	$35.1\sqrt{3}$

P 侧	i_1			1.135	8.5	
	i_2			1.135	2.69	
	i_0			1.135	1.4	
	i相	11	9.54	3.405		
	$3V_0$ (按装处)					
K ₃	G 侧	i_1			6.05	11.6
		i_2			6.05	5.05
		i_0			6.05	14.92
		i相	7.27	6.26	18.15	
		$3V_0$ (按装处)			$16.45\sqrt{3}$	$39.6\sqrt{3}$
P 侧	i_1			1.79	22.5	
	i_2			1.79	9.75	
	i_0			1.79	4.44	
	i相	14	12.2	5.37		
	$3V_0$ (按装处)					
K ₄ K ₅	G 侧	i_1			2.065	4.11
		i_2			2.065	2.1
		i_0			2.065	2.08
		i相	6.08	5.23	6.195	
		$3V_0$ (按装处)			$5.37\sqrt{3}$	$9.1\sqrt{3}$
P 侧	i_1			7.68	15.1	
	i_2			7.68	7.31	
	i_0			7.68	7.64	
	i相	22.4	19.4	23.04		
	$3V_0$ (按装处)					

表 2

短路点	K_1, K_2	K_3	K_4, K_5
正序阻抗			
G 侧 $Z_1(\Omega)$	27.26	31.76	37.96
P 侧 $Z_1(\Omega)$	21	16.5	10.3
合成 $Z_1(\Omega)$	11.9	10.8	8.1

表 3

短路点	K_1, K_2	K_3	K_4, K_5
另序阻抗			
G 侧 $Z_0(\Omega)$	6.14	10.2	36
P 侧 $Z_0(\Omega)$	38.1	34.4	9.68
合成 $Z_0(\Omega)$	5.5	7.86	7.6

我们这套线路保护装置在这次试验时整定值见表 4

表 4

装置名称	内 容	整 定 原 则	整 定 值		备 注
			G 侧	P 侧	
ZCG-1 高频相差动 保护装置	负序电流起 动元件	1.大于最大负荷不平衡负序电流 2.保证线路末端两相接地短路可 靠启动	0.5 A	1 A	投入跳 闸位置
	相电流元件	1.大于空投电容电流稳态值 2.保证线路末端三相短路启动	0.5 A	1 A	
	操作系数	大于线路首末端故障时正负序电 流的模数比	6	6	
	闭锁角	保证区外故障可靠闭锁, 内部故 障可靠动作	60°	60°	
GCH-11 高频相差动保护 装置	发讯起动元件	大于最大负荷时的不平衡负序电流	0.25 A	0.5 A	投入信 号位置
	相电流元件	大于最大负荷电流	3 A	6 A	
	跳闸启动元件	1.大于线路空投时断路器三相不 同时合闸的负序电流 2.与发讯机起动元件配合	0.5 A 9.6 Ω	1 A 4.8 Ω	
	阻抗元件	保证线路末端故障有足够灵敏度			
	操作系数	大于线路首末端故障时正负序电 流模数比	6	6	
	闭锁角	保证外部故障可靠闭锁, 内部故 障可靠动作	60°	60°	

装置名称	内容	整定原则	整定值		备注
			G侧	P侧	
ZJH-4 型距离保护装置	负序电压元件	1. 躲过正常运行不平衡电压 2. 保证末端两相接地故障起动	3 V		只装在G侧投入跳闸位置
	I段阻抗	被保护线路阻抗的85%	3.2 Ω/相		
	II段阻抗	1. 躲开相邻线路第I段保护范围末端故障。 2. 保证被保护线路末端故障可靠动作。	7.6 Ω/相		
	III段阻抗	保证相邻线路末端故障可靠动作。	16 Ω/相		
	II段时间S _{II}	大于相邻线路纵续动作时间	0.5"		
	躲过振荡的II段时间S _{II'}	躲过振荡周期	1.5"		
	III段时间S _{III}	大于相邻线路II段时间	4"		
ZLL-1 三段零序电流保护装置	I段零序电流	躲过线路末端故障最大零序电流。	1.5 A		只装在G侧投入跳闸位置
	II段零序电流	和相邻线路I段配合, 保证线路末端灵敏度	0.8 A		
	III段零序电流	1. 保证相邻线路末端灵敏度 2. 躲过穿越性短路时电流互感器最大不平衡零序电流	0.5 A		
	I段时间S _I	大于相邻线路I段最大跳闸时间	0.5"		
	III段时间S _{III}	大于相邻线路II段时间	4"		
ZZC-3 综合重合闸装置	选相阻抗元件	保证被保护线路末端故障可靠动作, 一般取被保护线路阻抗150%	7.8 Ω/相		只装在G侧投入跳闸位置
	补偿系数	根据实际Z ₀ 计算	0.6		
	相电流元件	躲过空投时电流	0.5 A		
	零序电压元件	1. 保证线路末端单相接地短路时有足够灵敏度 2. 躲过最大不平衡电压	2.5 V		
	后备时间S ₁	大于选相元件动作跳闸时间	0.12"		
	单相重合闸时间	大于单相故障切除熄弧时间	0.8"		
	三相重合闸时间	大于三相故障切除熄弧时间, 考虑系统不失去稳定	0.7"		
	永久跳闸时间	大于故障切除保护返回时间, 小于重合闸时间	0.4"		

装置名称	内容	整定原则	整定值		备注
			G侧	P侧	
BZ-3及 ZCH-3 馈线保护装置	电流速断	躲过末端故障最大电流	5 A		只装在P 侧投入信 号位置
	阻抗元件	被保护线路末端故障可靠启动	$\frac{3}{\Omega/\text{相}}$		
	电流速断时间	躲过机车故障跳闸时间	0.1"		
	阻抗跳闸时间	大于电流速断时间	0.6"		
	重合闸时间	大于故障跳闸熄弧时间	1.5"		

馈线保护装置是适用于电气化铁道27.5KV接触网的线路保护，这次试验主要是检验阻抗元件特性，模拟接线没有考虑27.5KV系统的情况。

四、试验项目的拟定

试验项目的拟定要根据所考验的保护装置而定，对于一些新试制的保护具有某种特殊性的在试验项目中还需特殊考虑，下面就讨论一下各种保护装置所需要考验的一般主要项目，然后根据这些项目汇总制订出试验大纲。

1. 高频相差动保护装置：

- ①内部各种故障。
- ②外部各种故障。
- ③外部故障，一侧起动元件启动，一侧不起动。
- ④带负荷外部故障，外部故障切除，进行重合永久性或瞬时性故障，考验保护在电流相位突变情况下过渡过程对保护的影响。
- ⑤系统振荡。
- ⑥系统非同期并列（冲击电流大）。
- ⑦线路空投（电容电流较大，模拟长线路）
- ⑧外部故障单相切除引起非全相振荡外部重合于瞬时或永久性故障，考验保护在过渡过程中的行为。
- ⑨空投于永久性故障。
- ⑩单侧电源内部故障。

2. 相间距离保护装置：

- ①距离保护Ⅰ段、Ⅱ段及Ⅲ段范围内相间故障，二相接地故障及三相故障，考验装置动作正确性。
- ②保护安装处相间故障，二相接地故障，三相故障，考验记忆及第三相电压的作用。
- ③保护背后各种故障，考验保护方向性。
- ④保护安装处背后各种故障，考验方向性及潜动。
- ⑤重合于Ⅰ段范围相间故障，二相接地故障及三相故障，考验重合永久性故障的动作

行为。

⑥重合于保护安装处相间故障，二相接地故障及三相故障。

⑦非同期三相重合于完整线路，冲击电流可能很大，且开关三相触头不同时，考验保护有否误动。

⑧系统非同期并列。

⑨在非全相运行中（单相故障，重合闸过程中出现），考验保护装置的动作为行为。

⑩带电容电流正向及反向空投线路。

⑪电压互感器接于线路对侧及本侧空切带电容电流线路。

⑫弧光相间短路，用电阻模拟弧光电阻，考验阻抗继电器对弧光电阻的影响。

⑬电压回路断线。

⑭系统振荡，考验振荡闭锁元件能否躲过振荡。

⑮先振荡后故障。

⑯先振荡后操作。

⑰先外部故障后内部故障。

3. 三段零序电流保护装置：

①在被保护范围Ⅰ段、Ⅱ段、Ⅲ段内单相故障及二相接地故障。

②在被保护线路背后单相及二相接地故障，考验方向性。

③重合于线路Ⅰ段范围内单相及二相接地故障，考验重合于永久性故障的动作为行为。

④非全相运行中的动作为行为。

⑤系统振荡。

⑥非全相振荡（电压互感器接于母线及线路）

⑦长期非全相运行（带负荷电流）。

4. 综合重合闸装置：

①各种重合闸方式在被保护线路内各种故障瞬时性故障及永久性故障，考验重合闸的动作为行为。

②相继故障，考验重合闸的动作为行为。

③选相元件解除（模拟选相元件拒动）单相故障，考验重合闸的动作为行为。

④高频保护解除，重合于单相永久性故障，考验重合闸独立工作回路动作。

⑤系统振荡，考验选相元件在振荡时的动作为行为。

五、试验结果与试验中应注意的问题

我们这次成套220KV线路保护装置按这样模拟系统接线先后共作了500余次短路试验，试验结果符合预定要求（见附录）。在试验开始时，由于我们第一次作成套线路保护装置动模试验，缺乏经验，出现一些问题，有模拟系统方面的问题，有整定方面的问题，也有装置本身调试不细方面的问题。因此我们认为作成套线路保护装置动模试验时应注意以下几个问题。

1. 成套线路保护装置作动模试验前，各保护装置除分别在试验室内作详细试验，还应成套联动试验，以消除装置本身调整不细和相互配合中存在的问题。

2. 试验前应首先检查模拟系统接线正确性，对称性与平衡。除总体检查，例如在带负荷

情况下检查不平衡（负序与另序）情况和电源波形。还应分别检查各模拟元件参数对称性和有否饱和现象，特别指出，这种检查应包括电流、电压互感器在内。

3.各装置整定要符合模拟系统接线要求，例如根据实际模拟系统不平衡另序电压，整定断相闭锁的动作值，以及作最大最小短路电流测量复核整定值等。

4.检查操作回路动作正确性与可靠性，测量每相开关（主接点）不同时动作时间，便于考虑分析由于不同时动作造成的影响。

5.各保护装置应有独立的刀闸，便于单独投入和退出试验，而不影响其他保护装置试验。这样就容易实现分别地处理问题和分别地配合试验。

6.装置之间联接和与模拟系统接线，要力求整齐清楚，避免引起不必要设备损坏和影响试验不正常。对于晶体管原理构成的保护装置，不要外接监视仪表和示波器，避免加入干扰的可能性。

7.每次试验都要作详细记录，便于及时分析和判断试验正确与否。出现试验不正常或者装置动作行为不正确的情况要判断分析清楚，找出原因，然后再进行试验。

对于晶体管原理保护装置，容易由直流电源引入干扰，因此为了顺利地进行试验对于直流电源波形、波动情况要检查，也可以采取必要的滤波措施。

根据我们在试验过程中体会，这样就能使动模试验少出一些问题，即使出现问题，也能较迅速分析判断找出问题和解决问题。

六、对今后线路保护动模试验的几点意见

我们这次动模试验的设备是一般的，其中模拟电机、模拟变压器及模拟线路的参数在过渡过程历时中与实际系统是近似的，但对于超瞬变过程即对于故障开始 $0\sim 20\text{ms}$ 内的瞬变过程与真实系统可能有出入。例如实际架空线路是一条长线，具有分佈电感及电容，现只能用集中电感电容来模拟，其中电感还有用铁心电感来模拟，存在磁化特性非线性的影响。线路电压互感器及电流互感器是用一般的变压器及变流器来代替，它本身的过渡过程与实际的有所不同。此外，直流操作回路利用一般的接触器模拟断路器，其跳闸时间和合闸时间与实际断路器有很大的差异，尤其是跳闸不同时往往比实际的大得多，致使对保护装置的考验并非十分真实。因为目前研究的继电保护装置大多是快速动作的保护，真正需要考验在故障时的超瞬变过程，如果超瞬变过程不能比较真实地反映实际系统的情况，那末试验的结果与实际情况可能有所出入，所以建议有关单位在制作快速保护的动模试验室时应着重注意上述问题，使模拟系统的超瞬变过程尽量与实际系统相符合以满足快速保护动模试验的要求。

七、附 录

试 验 记 录

1.区内 K_3 点AO永久性接地短路。录波图见图5 a, b, c, 其每条线含意如下（以后均同）：

a—1 高频操作讯号，a—2 高频收讯电压，a—3 高频相差启动接点，a—4 高频相差跳闸接点，a—5、6、7为 I_a 、 I_b 、 I_c 电流，a—8 A相跳闸（ KO_A ）。b—1 距离振荡闭锁，向下表示动作，b—2 另序电流，b—3 另序保护一出口接点，b—4 另序保护二出口，

b—5 A相电压, b—6 C相跳闸(KO_C), b—7 零序电压, b—8 A相合闸。C—1 C相合闸(KB_C), C—2 B相合闸(KB_B), C—3 B相跳闸(KO_B), C—4 P侧A相电流, C—5 馈线保护跳闸接点, C—6 馈线保护重合闸接点。

2. 区内K₃点CA瞬时性短路, 录波图见图6 a、b、c, 其线条b—3改接距离保护一出口, b—4改接距离保护二出口, b—5改接CA电压。

3. 区内K₃点ABCO永久性短路, 录波图见图7 a、b、c。此时出现零序保护动作是由于G、P两侧开关跳闸不同时出现零序电流引起(见录波图b—7)。

4. 区外K₁点AB瞬时短路, 录波图见图8 a、b、c。由距离Ⅲ段动作将G侧三相切除。

5. 区外K₅点BO永久性接地短路。录波图见图9 a、b、c。

6. 区外P侧110KV母线短路引起系统振荡(按图1模拟系统)录波图见图10 a、b、c。因零序Ⅱ段定值伸入到P侧110KV母线, 所以一直在动作状态。试验时将零序距离保护装置退出在信号位置。

7. 区外短路引起系统振荡接着区内K₃点AO瞬时性短路。录波图见图11 a、b、c。重合后高频讯号又出现间断波动作跳闸, 原因尚不清。

8. 区外短路引起系统振荡接着区内K₃点AB瞬时性短路。录波图见图12 a、b、c。因P侧开关未自保持(G侧B相未跳闸), 因此重合不成功。原因是直流电流降低到210V, 接触器动作就不可靠了。

详细记录见动模试验报告。