

电力工业部高压开关专业会议文献资料选辑

目 录

- 1974~1978年高压开关事故分析
..... 电力工业部电力科学研究院高压研究所、武汉高压研究所(1)
- 高压开关速度及时间特性的测量方法
..... 电力工业部电力科学研究院高压研究所(10)
- 少油断路器开断高压感应电动机时过电压现象的研究
..... 东北电业管理局、清华大学电力系 钱家骧、张节容执笔(29)
- 开断高压感应电动机产生的过电压及其限制措施
..... 东北电业管理局技术改进局(53)
- 高压断路器开断小电感电流试验方法的探讨
..... 东北电业局技术改进局本溪电业局(70)
- 断路器切合电容器组的一些问题
..... 清华大学电力系 钱家骧、张节容执笔(82)
- 高压断路器开断电流的可靠性和全工况可靠性问题
..... 北京电力设计院 刘继(91)
- 高压电力系统切合空载长线的必要性和现实性
..... 北京电力设计院 刘继(112)
- 切空载线路产生重燃过电压的物理过程 and 影响因素
..... 清华大学吴维韩(121)
- 高压电网切合空载长线对高压断路器的要求
..... 电力工业部电网所李岱(129)
- 关于220千伏开关切、合空载长线过电压测量结果分析
..... 电力工业部高压研究所(133)
- 开关油试验阶段报告
..... 电力工业部热工研究所(149)
- 少油断路器灭弧油的劣化分析
..... 华东电业管理局电力试验研究所(168)
- 国外500千伏断路器技术特性与结构
..... 电力工业部电力科学研究院、科技情报研究所(182)
- SW₆——220 少油断路器机械压油纵吹式灭弧室后介质恢复过程的分析
..... 北京电器研究所 传凯(200)

1974—1978年全国高压开关事故分析

电力工业部电力科学研究院高压研究所、武汉高压研究所

前言

在电力部生产司领导下，由电力科学研究院、武汉高压研究所和东北电管局技术改进局三单位组成高压开关调查组，对1974~1978年各省报部的开关事故进行统计，并到一些地区进行了调查，在长沙召开的全国高压开关会议后，又根据各省局报来的74~78年高压开关事故的基础上重新进行了统计。现将事故统计、分析结果整理成文，供有关部门参考，以便采取措施，提高系统安全运行水平。

一、高压开关事故概况

1974~1978年12月止，据不完全统计，全国电力部门共发生高压开关事故1586台次。按电压等级和事故类型分类如表1所示。

表1 1974~1978年全国高压开关事故分类统计表

电压等级 (千伏)		220		110		60		35		6—10		不明		合计	
台次和%		台次	%	台次	%	台次	%	台次	%	台次	%	台次	%	台次	%
事故类型	拒分拒合 误动	116	74.3	115	60.3	17	68	201	53	485	59.6	6	31.5	940	59.3
	导电回路 事故	2	1.3	3	1.6	—	—	9	2.3	14	1.7	2	10.6	30	1.9
	断流事故	9	5.8	13	6.3	6	24	55	14.4	215	26.2	7	36.8	305	19.2
	绝缘事故	16	10.3	41	21.6	2	8	86	22.7	36	4.4	4	21.1	185	11.7
	操作电源 引起的事 故	5	3.2	15	7.9	—	—	16	4.3	53	6.5	—	—	89	5.6
其他	其他	8	5.1	4	2.2	—	—	12	3.3	13	1.6	—	—	37	2.3
	合计	156	100%	191	100%	25	100%	379	100%	816	100%	19	100%	1586	100%

(一) 按电压等级分:

在1586次事故中, 6~10千伏开关事故占半数以上, 因6~10千伏开关量大面广, 因此事故比例较大。220千伏开关因为关系到一个省或几个省的安全供电, 在运行、检修、调试等方面比较重视, 占的比例稍小些。但由于开关制造质量和维护、检修等方面存在一定问题, 各级电压的开关事故率还是比较高, 以东北为例:

220千伏	1.01%
60千伏	0.92%
6~10千伏	0.68%

(二) 按事故类型分:

1. 在1586台次事故中, 由于机械方面引起的事故59.3%, 主要是由于运行维护、检修、调试以及制造质量不良等原因引起。例如开关机构零部件变形、断裂、连接部分螺母松动和销钉脱落折断等, 或由于运行中长期失修, 空气开关和液压机构漏油、漏气引起开关拒分、拒合等事故。

2. 灭弧室烧坏、爆炸占19.2%, 其原因是多方面的, 开关断流容量不足, 内部进水受潮、漏油、漏气或由于安装、调试不当, 以及长期失修等原因引起。

3. 在1586台次事故中, 绝缘方面引起的事故占11.7%, 造成事故的原因有: 进水受潮, 充油(胶)电容套管进水、漏油, 以及某些绝缘部件质量不好等。

4. 导电回路事故占总事故的1.9%, 主要是触头接触不良, 钢钨触头掉落, 软连接折断等原因引起的事故。

5. 操作电源引起的事故占总事故的5.6%, 硅整流操作电源, 当线路故障时, 由于电压低, 往往在开关分闸或重合时引起开关烧坏或爆炸。蓄电池容量不足或由于其他原因如运行、维护不良等原因引起的事故。

(三) 开关事故按责任分:

由于上报的数据不全, 所以没有完整的统计数, 现在以某省为例, 如表2所示, 由于运行、维护、检修和调试不良引起的事故占55%左右, 开关制造质量不良引起的事故22%。必须指出目前高压开关漏油、漏气、进水比较普遍, 零部件由于机械强度不够或工艺不良引起弯曲变形和断裂等是事故的直接原因。大量的开关故障均未统计在内, 所以从表2看到事故比例比较小。

表 2

高压开关事故按责任分类

事故次数	检修调试	运行	制造质量	其他	注
95	29.5%	25.4%	22%	23.1%	73~77年

(四) 按高压开关型号分类:

现仅统计了220、110千伏高压开关事故按产品型号统计, 表3指出SW₆—220开关事故共70台次, 占220千伏开关事故的45%, SW₄—220占31%。76年前后SW₄—220弹簧操作机构存在许多问题, 拒动、误动事故频繁, 上海开关厂和电力部有关部门对该产品完善化后, 开关机械可靠性已大大提高。SW₆—220目前在220千伏系统中运行较多, 开

关进水较普遍, 液压机构漏油, 微型接点接触不良, 生锈等是开关事故的主要原因。SW₃—110和DW₃—110 (包括DW₃—110G) 开关事故分别占110千伏开关总事故的19%和27%。SW₃—110型开关进水较严重, DW₃—110 (G) 型开关的套管绝缘事故占相当比重。

表3 1974~1978年110、220千伏开关事故按型号统计表

台次		开 关 型 号											总计
		KW ₃	KW ₄	KW ₅	SW ₃	SW ₄	SW ₆	SW ₇	DW ₃	BBH	其他	不明	
电 压	220千伏	2		4	/	48	70	/	7	6	6	13	156
	110千伏		1		37	2	6	13	51	4	/	77	191

二、事故原因分析

因上报的高压开关事故中, 有一部分未详细注明电压等级、开关型号或事故原因。为了便于分析事故原因, 其中原因不明的事故台次未统计在内。

(一) 机构原因造成的拒分、拒合和误动事故:

1. 电磁操作机构: 根据对348台次电磁机构事故统计(如表4所示), 由于机构卡涩失灵, 及其引起的辅助接点切换不灵, 分(合)闸线圈烧毁者占电磁机构事故的73%, 连接部件螺母、销钉松动、脱落、折断等占10%, 调试不良或长期失修引起的事故占17%, 例如某变电站DW₁—35型开关由于积尘致使铁心受卡拒动。

表4 电磁操作机构事故原因统计表

事故原因	辅助接点	分(合)闸线圈烧毁	机构卡涩失灵	螺钉螺母销钉松脱	二次回路	运行维修不良	铁心卡住	合 计
台次	40	77	147	33	11	17	23	348
%	12	22	39	10	3	7	7	100

2. 液压机构:

SW₆—¹¹⁰/₂₂₀, SW₇—¹¹⁰/₂₂₀的液压机构CY、CY₃、CY₄液压机构工作缸、储压筒、一级和二级阀系统漏油等, 处理漏油时未采用合适的防慢分措施先后发生了数十起慢分事故, 占46次液压机构事故的69%, 微型接点接触不良或生锈引起的事故占10%, 如表5所示:

表5 液压机构事故原因统计表

事故原因	漏 油	慢 分	分(合)闸线圈烧毁	微型接点不良	高压管拔出	二次回路问题	合 计
台次	10	22	3	4	5	2	46
%	22	47	6	10	11	4	100

3. 弹簧机构:

事故分析表明, 弹簧机构事故的80%是由于机构卡涩、咬死而引起, 20%的事故是由于辅助接点和其他原因引起。

SW₄-¹¹⁰/₂₂₀ 用的 CT₇。在未完善化以前事故较多, 如涡轮蜗杆咬死。合闸销扣失灵等, 几年来开关厂和运行单位密切配合, 对开关本体, 特别是对弹簧操作机构进行了比较全面的改进, 经过改进后的开关性能比较稳定。

CT₇ 存在问题较多, 机构生锈动作失灵, 棘轮、棘爪容易损坏等, 某电厂一台锅炉起动期间, 有 5~6 台带 CT₇ 弹簧机构的小车开关拒动, 目前有些电厂用的 CT₇ 机构, 由于经常出故障, 正在逐步更换, 希望有关部门抓紧改造工作, 以保证机构动作的可靠性。

4. 开关本体引起的拒动:

开关本体引起的拒动、误动事故, 主要是开关零部件强度不够而引起的弯曲变形, 折断等, 占开关本体引起的拒动事故的54%, 如表 6 所示。零部件螺母松动, 销钉脱落原因造成的事故占25%, 例如 SW₂-60 少油开关事故25次, 由于内拐臂折断引起的事故占60千伏事故的30%。瓷瓶断裂占21%, 主要发生在10千伏少油开关。

表 6

开关本体事故原因统计表

事故原因	零部件损坏	螺母, 销钉 松动、脱落	瓷瓶折断	合 计
台次	84	39	34	157
%	54	25	21	100

1974—1978年中, 220千伏开关由于漏油积尘造成多次污闪事故, 还有的因为开关漏油, 给处理事故带来了困难。例如云南某变电站 SW₄-220, 停电检修, 工人师傅快要爬到三角箱上时, 由于瓷套有漏油, 手扶不住, 结果从三米多高的开关上掉下来将人摔伤。

漏气主要存在于气吹开关中, 由于目前采用空气开关数量不多, SF₆ 开关数量则更少。但是漏气问题已成为使用空气开关的单位甚感头痛的问题。例如刘天关 330 千伏电网, KW₄-330 初期运行时经常发生漏气而被迫停电, 完善化后, 虽没有大漏气, 但小漏是经常发生的。某水电站 KW₃-220 及 KW₅-220 运行中发生过引线套管、分合闸指示、导气管主阀等漏气。75年元月发生大漏气而停电。又如江苏某电厂 KW₃-220 空气开关1975年由于漏气造成停电事故。

CD₁₂、CD₁₃、CD₄₀ 是一种简易操作机构, 10 千伏配电系统中使用较多。由于无自由脱扣装置, 合闸功不够和分合闸时间不易调整且不稳定, 往往造成拒动。因此有些地区正在着手改进和更换。

用手动操作开关分、合闸时, 开关所需要的合闸功全靠人力。由于人的体力各有差异, 所以开关的合闸速度也不一样, 当合闸于故障时, 由于电动力的影响, 需要较大的合闸力才能将开关合上, 否则将引起开关爆炸。据不完全统计, 因手动操作开关合于线路故障, 引起了二次开关爆炸, 其中一次造成一人受伤恶性事故。因此建议对不具备自由

脱扣的操作机构严禁手动操作。

在电网中高压开关起着非常重要的作用，它的可靠运行是保证电网安全运行的最主要条件之一。大量的电力都要经过它们源源不断地输配出去，当正常操作或系统发生故障时，它们又必须接受操作命令或继电保护的信息，正确而又可靠地动作，否则将会造成事故或扩大事故。在超高压系统中影响更是严重，经过一台 220 千伏开关输送的电力可达 20 多万千瓦，一旦开关发生拒动或其他故障，将造成大面积停电事故。给国民经济带来很大的损失，电压等级越高影响则越大，所以人们说：开关在电网中起着“咽喉作用”。

为了保证开关安全运行，目前运行和制造部门对开关的可靠性给予了相当大的重视。大家知道高压开关不仅在户内而且是大部分在各种环境和气象条件下运行。目前我们的高压开关一切型式试验项目，都是在室内且在正常条件下进行，由于试验条件与实际运行条件不完全等价，往往在试验室试验合格的产品，到现场运行一段时间后将会出现这样和那样的问题，所以应该重视对开关机构的，电气方面的等价性试验研究工作。

(二) 绝缘不良引起的事故：

高压开关绝缘事故可分为内绝缘和外绝缘事故。如表 7 所示。

表 7 1974—1978 年高压开关绝缘事故统计表

事故原因	外 绝 缘		内 绝 缘				二次端 子击穿	相间 闪络	合 计
	污闪	雷击	套管受潮 击穿爆炸	套管胶质开 裂击穿烧毁	瓷套进 水爆炸	电流互感 器击穿炸			
事故台次	50	19	30	9	11	9	16	2	146
%	34	13	20.8	6.2	7.6	6	11	1.4	100

1. 由于污秽和雷击引起的开关闪络或爆炸事故占开关绝缘事故的 47%。污闪原因主要是瓷瓶泄漏距离较小，不适宜于污秽地区使用。另一个原因是开关渗油或漏油，瓷裙积尘引起闪络。例如 76 年河南某电厂 SW₄—220 因渗油套管积尘，小雨时发生污秽闪络，造成 220 千伏变电站全部停电事故。操作机构箱内的端子排由于进水、结露等引起的短路共发生 16 次误动事故。例如江西某变电站 SW₆—220 开关 1975 年前后共发生二次进水使端子击穿，造成误动事故。黑龙江省也发生了类似事故。

2. 内绝缘事故往往造成开关或瓷套爆炸。充油或充油电容套管受潮引起绝缘击穿爆炸，占绝缘事故的 20.8%，例如 DW₂—35、DW₃—35、DW₃—110(G)、DW₈—35 等型开关的套管均有程度不同的进水受潮缺陷。DW₃—35 开关套管介质损失角较高，有的在仓库中的套管介损角就不合格。

DW₃—110(G) 开关采用的 MBII 瓷管强度较低，多次操作容易开裂漏油，因此在检修组装时注意四周螺钉要受力均匀，运行中加强检查以防事故发生。

3. 开关本体进水引起的内绝缘事故危害性最大，据不完全统计，220 千伏开关 12 次爆炸事故中有 6 次是由于进水造成。110 千伏 17 次爆炸事故，其中 8 次是由于进水造成。例如云南、四川的 SW₆—220、SW₄—220 型开关，福建、安徽、河南、湖南、江苏的

SW₃—110 型开关, 湖北的 SW₄—110 型开关和山西省的 SW₇—110 型开关因为进水先后引起了爆炸, 造成了大面积停电和设备损坏。定期检修或预防性试验中, 经常发现开关内有进水现象。例如某电业局 29 台 SW₃—110 开关, 80 % 进水, 苏州某变电站 4 台 SW₇—110 型开关全部进水, 福建漳州某变电站一台 SW₃—110 型开关放出 60 公斤水。云南某变电站 7 台 DW₈—35 型开关安装才半年全部进水, 有的放出一铁桶水。进水原因除结构不合理外, 铝帽顶部有砂眼或有黄豆大的砂眼等所致。

运行部门为防止开关进水, 除加强油的绝缘监督外, 还采取一些防止水进入开关内部的措施, 例如改进密封方法, 并给开关戴上各式各样的防雨帽, 虽然收到了一定效果, 但最终还得从产品结构上来解决。

4. 绝缘材质和加工工艺缺陷引起的绝缘事故。例如 SW₂—35 内部的环氧树脂电流互感器, 其放电电压比较低, 运行中引起爆炸, 仅 1978 年内先后爆炸 6 次。

(三) 断流事故:

高压开关断流事故主要表现为灭弧室烧毁爆炸、严重喷油、触指烧坏等。造成的原因是多方面的, 如表 8 所示。

表 8 1974~1978 年高压开关部分断流事故统计表

事故原因	开断容量不足	漏油受潮	内部零件松动	检修调试不当	引弧距离不够	相间短路	手动合闸爆炸	合 计
台次	26	19	8	36	2	5	2	98
%	26.6	19.4	8.1	36.7	2	5.2	2	100

1. 由于断流容量不足引起的严重喷油、灭弧室烧毁或爆炸事故占 27%, 主要存在于仿苏老产品, 如 SN₂—10, SN₄—10G, SN₄—20G, DW₂—35, DW₃—110 (G) 等型开关, SN₂ 实际开断容量只有铭牌容量的 50 % 左右。切故障电流时往往引起灭弧室喷油、喷火、烧毁甚至发生爆炸。例如 DW₂—35/750, 实际开断容量只有 400 兆伏安左右, 切断一次故障电流, 严重喷油, 绝缘筒开裂, 触头烧伤等。

10 千伏开关由于容量不足引起的断流事故特别严重。75 年 2 月河北汉沽变电站 10 千伏线路故障, 重合时开关爆炸。又如洛阳供电局涧西变, SN₂—10 关合短路故障爆炸, 气流将开关室内的人推开, 在门口的人推出门外, 砖墙推至 200 毫米。

SW₂—35 少油开关原来开断容量不够, 经改进后灭弧性能虽有改善, 但是几年来灭弧室爆炸事故仍有发生, 例如 77 年某供电局 35 千伏线路故障, SW₂—35 型开关连续分断四次 1.6 千安故障电流, 灭弧室爆炸损失电量 25 万度。75 年安徽某变电站, SW₂—35 型开关切短路故障 (当时的短路容量仅为 278 兆伏安), 严重喷油, 引起母线弧光短路, 造成 11 个 110 千伏变电站停电。

SN₁₀—10 少油开关, 切断故障时大量排气和喷油, 造成相间短路。据不完全统计, 已有数十台这样的开关切故障时引起绝缘筒烧坏。例如 75 年安徽某供电局, 系统故障, SN₁₀—10 分闸, 由于喷油造成相间短路, 76 年山东某供电局 SN₁₀—10 开关曾先后于 4 月、6 月、8 月发生三次开关烧毁事故, 由于喷出大量炽热的油气, 将在现场操作和唱票的二位值班员烧伤。

随着我国电力系统的发展, 高压开关遮断容量问题已提到日程上来了, 要尽快考虑, 着手解决。除10千伏和35千伏开关容量不足外, 110千伏开关和220千伏也已开始出现此一问题。容量不足的原因有二: 一为开关本身的设计容量比较小, 例如 SW_3 —110 开关容量仅为 3000 兆伏安, 而有些电厂 110 千伏母线短路容量已接近 5000 兆伏安。有些地区 220 千伏的短路容量将达到 12000 兆伏安。其二是产品本身进行开断容量试及关合试验时采用的试验方法与实际运行条件不等价, 因而达不到铭牌容量。

2. 漏油引起的开关烧毁、爆炸事故: 原因是密封不好或油标有机玻璃开裂引起, 例如广东某变电站 SW_7 —110 少油开关, 由于有机玻璃开裂, 大量跑油, 开断时引起灭弧室爆炸, SN_{10} —10 少油开关由于漏油引起多次爆炸, 例如广西某变电站, 因 SN_{10} —10 开关内部油漏光, 开断短路电流时引起爆炸。这种开关转动轴封处漏油严重, 某地区上百台 SN_{10} —10 开关都有程度不同的漏油现象, 主要原因是转动轴加工比较粗糙, 油封橡胶材质较差和设计方面存在的一些问题。

3. 机械原因引起的断流事故占 8%, 由于螺钉松动, 销钉脱落, 部件变形而影响开关的开断能力。

4. 运行、检修、调试不良引起的灭弧室事故占 36%, 主要是对运行中的高压开关没有加强监视, 有的开关漏油未及时处理, 有的开关长期失修, 例如山西某变电站 DW_3 —110 型开关四年间先后操作 600 多次未检修, 切故障时引起开关爆炸, 又例如某变电站 DW_1 —35 多油开关, 68 年以来未进行过预防性试验, 结果于 76 年 8 月切故障时爆炸。

此类事故原因也有是运行水平较低, 操作不当所致。例如四川某变电站, 因 10 千伏开关跳闸, 重合不成, 就用千斤顶合闸, 在合闸过程中, 听见开关内部油已沸腾, 又逐渐分闸, 将触头全部烧坏, 类似此例已有三次。因此必须重视和尽快采取具体措施, 提高运行检修人员的运行和检修水平。

(四) 导电回路方面事故:

高压开关导电回路引起的事故主要是软连接折断、铜钨触头掉和 SW_6 —220 等开关触指翻转和接触电阻大, 以及 SW_2 —35 铜铝连接部分发热等。

(五) 操作电源引起的事故:

事故统计表明, 由于操作电源引起的开关事故共有 85 起, 占开关总事故的 5.6%。由表 9 可以看出, 27% 的事故是由于硅整流电源装置, 当所在系统短路时电压降低, 致使关合能力不够引起。

表 9 1974~1978 年高压开关由于操作电源引起的开关事故

事故原因	硅整流电压低拒动	硅整流电压低开关炸	保险断	储能电容器容量不足拒动	直流二点接地误动	蓄电池电压低	运行维护不良	合 计
台次	17	6	17	13	6	20	6	85
%	20	7.1	20	15.2	7.1	23.5	7.1	100

例如 1977 年沈阳某变电站, 因一条配电线路故障, 开关在重合时爆炸。1974 年沈阳另一变电站 44 千伏线路相位接错, 合闸并网时开关爆炸。这些均是由于硅整流电源是由

本站所用变供给，当线路故障时，母线电压降低所致。因此采用硅整流为合闸电源时，首先要计算短路故障时系统电压降低的情况，并验算到合闸线圈的端子电压能否满足制造厂规定的数值。否则必须研究改进，以保证开关运行的可靠性。

操作电源事故中，23%是由于是由于蓄电池电压低和20%保险熔断未及时更换引起。电容器储能跳闸引起的事故，主要是电容量较小，或电容器漏电和击穿等，引起了开关拒分事故。

三、高压隔离开关运行情况

目前在运行中的高压隔离开关存在下面几个问题：

1. 触头发热：现场反应触头发热比较普遍，有的在60%额定负荷下温升超过规定值。

2. 绝缘问题：隔离开关外绝缘闪络，主要发生在棒式绝缘子上，由于外绝缘闪络引起大面积停电事故。1975年1月天津某电厂GW₅—110雾闪，支持瓷瓶爆炸，迫使三台机组停电。1976年2月上海大雾钢铁变，闸北电厂GW₄—220瓷瓶闪络，造成大面积停电。

3. 传动机构方面存在的问题：传动机构因为长期在静止状态生锈卡涩而失灵，液压和气动机构漏气、漏油，例如GW₄—220只能手动操作，而手动操作对220千伏隔离开关很费力，有的隔离开关轴承用尼龙制品，天气冷时操作不动，有时甚至将传动杆推断也打不开，有的隔离开关无止位螺钉如GW₅操作时，往往过死点位置。

四、关于高压开关质量问题

高压开关制造质量问题是长期以来一直威胁着电力系统正常运行的严重问题。1973年中央领导同志曾对高压开关做过“急需解决开关质量问题”的重要指示。一机部和电力部的领导对此都很重视，在改进开关制造质量和运行维护方面做了大量工作，取得了许多成绩，但由于“四人帮”的干扰和破坏，开关质量仍存在着许多问题。

1. 三漏问题：漏油是目前高压开关普遍存在的一个急待解决的问题。它威胁着开关安全运行，给运行维护工作带来了许多困难。例如河南某电厂8台SW₄—220型开关绝大部分漏油，河南郑州供电局8月SW₅—220型开关其中7台漏油，四川成都供电局6台SW₅—220型开关100%漏油，有的单位刚收到货，油已漏得差不多了，如广西某地76年安装三台SW₅—110型开关，液压机构漏油，三台漏剩下的还不够一台用的油量。武汉某变电站刚安装好的一台SW₇—220型开关，机构箱下面已漏满了液压油。液压机构工作缸、储压筒、一、二级球阀漏油，被迫停电检修或造成事故的事例相当多。由于这种开关无防止慢分的自卫能力，处理故障后，在重新打开时，如果未采取有效的防慢分措施，往往造成开关慢分事故，轻者将触头烧坏，严重者开关爆炸。

进水问题和漏油问题一样，也是高压开关普遍存在的一个严重问题，110、220千伏

开关由于进水造成了14次爆炸事故、49次套管击穿爆炸也是由于受潮引起。SW₃—110¹¹⁰/₂₂₀,

SW₃—110 G开关进水比较普遍,有的从下瓷套放出20公斤水。

2. 高压开关加工和装配质量问题:

在高压开关加工和装配方面也存在一定问题,零部件尺寸不合标准,给现场调试带来许多困难,有的部件要求较高的光洁度,但是实际上比较粗糙。新安装的开关内部缺静触头,缺灭弧片是常事,而在开关内留下了搬手、棉丝、手套和糖纸、烟头等。

由于组装时不注意清洁卫生,因此液压系统中留下了许多铁屑,这是造成漏油的原因之一。灭弧室太脏给安装工作带来了许多工作量,例如镇江某变电站一台SW₃—110,因灭弧室太脏,耐压40千伏以上的变压器油,注进去再放出来只能耐压10千伏,后用汽油泡了几天才冲洗干净。又例如浙江某变电站六台DW₃—35开关用四个人力花了三个月处理才算将开关装好。5台SW₃—220开关用了80个人工清洁60个断口。

在出厂调整时未按技术条件进行,有些关键数值不符合要求。例如徐州电业局SN₁—10曾发生二次爆炸,检查发现这种开关的引弧距均低于13毫米(厂家出厂调整的引弧距,实际只有10毫米)。

以上只介绍了开关质量问题中一部份情况,目的是希望重视高压开关质量问题。

五、加强高压开关管理工作, 提高安全运行水平

加强高压开关运行管理工作,提高开关安全运行水平,保证电力系统安全发供电,除要求高压开关必须具备良好的绝缘性能,机械可靠性和良好的灭弧性能外,还必须有良好的运行维修、调试水平及其相应的规章制度。

近几年来,很多运行单位对高压开关的运行、维修等方面比较重视,取得了一定成绩,但是还有些单位不够重视。从高压事故统计分析看出,有相当一部分事故是由于运行、维修和调试不良而引起的。例如某些开关零部件的螺母未拧紧,多次合闸松动,致使开关不能可靠动作。又如某变电站35千伏开关分闸线圈已知坏了,但未及时处理,线路发生故障时开关拒分,烧毁1800千伏安变压器一台。有的开关长期失修而引起事故。目前高压开关由于在设计和制造方面存在一些问题,进水较普遍,但在运行中只要采取一些有效的防雨措施,受潮爆炸是可以减少的。

为了保证开关安全运行,首先要建立和健全各种规章制度,设专责技术人员和开关检修班组,建立岗位责任制,加强运行分析。制订开关检修工艺,加强培训工作,提高检修质量和运行水平。

(唐剑秋执笔)

高 压 开 关

速度及时间特性的测量方法

电力工业部电力科学研究院高压研究所

一、前 言

高压开关分(合)闸速度,是开关重要特性参数之一。它表徵开关操作机构和传动机构在分(合)闸过程中的运动特性。如果开关的刚分速度低于技术标准,在切除故障时,将延长电弧燃烧时间,导致触头严重烧损,烧坏灭弧室甚至发生开关爆炸严重事故。合闸速度低于技术标准,当合闸于故障线路,也将造成触头熔焊或者引起爆炸。开关在检修调试时,由于调试不当,辅助开关的接点过早分断,合闸时往往产生跳跃,当合闸于较大的起动电流或短路电流时,动静触头间电弧不能迅速切断,往往造成开关烧坏和爆炸事故。例如在某变电站,通过 SN_2-10 型开关降压起动一台15000千瓦调相机,由于调试不良,合闸时开关触头跳跃,造成了爆炸,开关间门窗击坏,一人死亡的重大事故。

开关分(合)闸速度降低的原因是多方面的,可能是由于直流操作电压、油压或操作气压降低引起,也可能是操作机构调整不当,机构部件卡涩引起。为了及时发现问题,测量开关分(合)闸速度是有效的方法,例如某变电站从一台 SW_2-60 开关分(合)闸行程曲线中部有突变现象,及时发现了动触头在插入灭弧室时有严重摩擦,经调整后消除了缺陷,保证了开关正常运行。因此对6千伏及以上高压开关,无论是新安装或是运行检修的开关,均应测量开关分合闸速度,测绘开关分(合)闸运动特性曲线,并使其符合技术标准要求。

随着我国高电压、大电网不断出现,新型高压开关也相继投入运行。它具有电压高,切断电流大,分(合)闸速度高等特点,例如旧式110千伏多油开关 DW_3-110 ,刚分速度 $1.5\text{米} \pm 0.2\text{米/秒}$,最大分闸速度 $2.7 \pm 0.4\text{米/秒}$ 。刚合速度 $1.8 \pm 0.9\text{米/秒}$,最大合闸速度 $3.1 \pm 0.2\text{米/秒}$ 。目前平顶山开关厂生产的 SW_7-220 开关,刚分速度为10米/秒,最大分闸速度为15米/秒。法国的 $0R2R-220$ 开关刚分速度为18米/秒,最大分闸速度达19米/秒。如果仍沿用以往采用的电磁振荡器或滑块测速仪,将满足不了高速开关测速要求。因为电磁振荡器的振荡频率是恒定的(100周/秒),其振幅只能在某一个很小范围内调节,当测量 $0R2R-220$ 开关的分闸速度时,由于分闸速度高,曲线将被拉得很平,因此很难准确的测量刚分和最大速度。滑块式测速仪,其接点用机械方法连接,当速度加快时,往往产生接点接触不良的现象,无法读出准确数据。

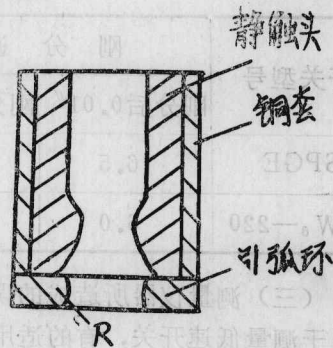
近几年来一些科研、运行和制造部门,为适应高速开关测速要求,先后研制了不同类型的开关测速仪,并在实际运行中进行了考验,分别适应于不同类型的高压开关。1979年4月电力科学研究院受电力部生产司的委托,召开了高压开关测速仪经验交流会。参加会议的单位有35个,59名代表11种仪器,会议期间听取了测速仪器试制和使用单位对测速仪制造原理和运行经验的介绍,并在OR2R—220、HPGE11—15E以及SW₆—220开关进行实测表演。现将其中结构简单,使用方便,测量数值比较准确,且受现场欢迎的测速仪的测量原理、结构综述如下,供科研、运行和制造有关部门参考。

二、目前我国高压开关分(合)闸速度测量方法

目前我国测量开关分(合)闸速度的仪器有很多种,对速度定义和量测方法也不一致。所谓速度,有的取某一区段内的平均值,有的采用瞬时值,还有的则取某一时间区段内的平均值。在量测方法上也存在着差异,量测开关刚分(合)速度时,有的采用开关动静触头刚分(合)前后十毫秒行走的距离,也有采用刚分后0.01秒和刚合前0.01秒内行走的距离,还有采用在某一区段内的平均速度。刚分(合)点有的用开关超行程尺寸决定,也有的用动静触头电气分(合)位置来决定(详见附表一)。由于对速度的定义理解不一样,采用的量测方法不同,必然导致同一测量结果代表了完全不同的实际速度,这将使得开关的机械性能失去保证。运行、安装单位为了有标准可循,一般按照厂家提供的方法进行测量。希望制造厂在产品使用说明书中,在给出分(合)闸速度、时间的标准值时,一定要写明其确切含义和量测方法。且应供给典型的分(合)闸运动曲线,以便用户核对。下面就几个问题进行粗浅分析:

(一) 开关刚分、刚合位置对刚合、刚合速度的影响:

开关刚分、刚合位置,也就是动、静触头刚开始分开或接通的位置。确定刚分(合)点位置有二种方法。一种方法是用超行程尺寸来确定,即以引弧环端面为准。另一种方法是用电气开断(或接通)点确定刚分(合)点。例如电磁振荡器,转筒测速仪等都采用超行程尺寸来确定。光电测速仪、滑块测速仪等一般采用电气接点法。图(一)是静触头示意图,静触头和引弧环以及和动触头端面一般均有一个倒角R,引弧环孔径一般比静触头孔径大1~2毫米,虽然在调整时尽量使动静触头中心线在一条直线上,但实际上有时不能保证。因此就不能保证分(合)闸时的分断或接触点固定不变。刚分(合)点尺寸变化了,测得的刚分(合)速度也将受影响。表一是从SW₆—220开关用转筒测速仪录取 $S=f(t)$ 曲线上得到的数值,可供参考。表中说明当动静触头分(合)位置变化时,刚分(合)速度也随着变化。以SW₆—220开关实际超行程为65毫米,作为触头分断或接通点,这时的刚分速度为6米/秒,当减到63毫米时,刚分速度5.7米/秒,比原来减小了5%。



图(一) 静触头示意图

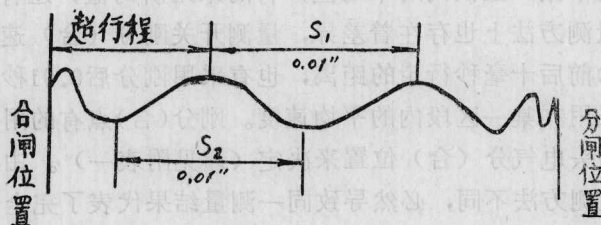
表(一) 开关刚分(合)位置与刚分(合)速度的关系

操作方式	合 闸		分 闸	
动静触头刚分(合)位置(毫米)	65	63	65	63
刚分(合)速度(米/秒)	4	3.6	6	5.7

刚分(合)速度测量方法: 开关刚分(合)速度测量方法主要有二种:

1. 触头刚分后和刚合前 0.01 秒, 时间内运动触头运动的距离 S , 如图(二)所示。

$$V_1 = \frac{S_1}{0.01} \text{ (米/秒)}$$



图(二) 测量方法

2. 触头刚分或刚合前后各 5 毫秒时间内运动距离 S ,

$$V_2 = \frac{S_2}{0.01} \text{ (毫米/秒)}$$

众所周知, 开关动触头在分(合)闸过程中, 其分(合)闸速度随动触头的行程而变, 用上述两种量测方法算出的速度也不相同, 表(二)中看出, 二者之间有 14~20% 偏差。开关速度越高其偏差也越大。

表(二) 刚分(合)速度测量方法比较

开关型号	刚 分 速 度		刚 合 速 度		注
	刚分后 0.01"	刚分前后 0.01"	刚合前 0.01"	刚合前后 0.01"	
SPGE	6.5	5.3	5.0	4.3	合闸速度低于标准
SW ₆ —220	6.0	5.0	4	3.2	

(三) 测量仪器所造成的误差, 目前测量刚分(合)速度的测速仪有很多种, 有的适用于测量低速开关, 有的适用于高速开关, 也有的二者都能适用。如果用电磁振荡器测量 SW₇—220 开关速度时, 因为其振动频率是固定不变的, 振幅可调范围不大(大约 15 毫米左右), 振荡曲线将拉得很平直, 很难确定刚分(合)后(前) 0.01 秒之位置。因

此测出的刚分（合）速度有较大的误差。

鉴于上述理由，有必要对刚分（合）速度定义，测量方法等统一起来。在未作出统一规定之前，运行部门仍然按照开关制造厂的规定方法进行试验，使开关分（合）闸运动特性符合厂家技术要求，保证开关安全运行。

三、高压开关测速仪器

开关测速仪器有很多种，按其测量原理可分：

- (1) 转筒式测速器。
- (2) 光电数字式：光电数字式开关动作参数测量仪、数字式触头运动特性测量仪。
- (3) 光电式：光栅测速仪。
- (4) 微分测速仪。
- (5) 电磁式：电磁振荡器，磁带式开关运动特性测量仪、电磁感应测速仪。
- (6) 音叉测速仪。

表（三）中较详细地注明了各种测速仪的适用范围，测量参数和仪器重量及其优缺点，其中四种比较受现场欢迎，它们是转筒式测速器、光栅测速器、微分测速器和光电计数式开关动作参数测量仪，现分述如下：

（一）转筒式开关测速仪

转筒式测速仪是参照 X—Y 记录仪的原理制成的。如图（三）所示，它由一台同步电动机带动，经齿轮减速后，以一定速度旋转，记录笔可用一根直径为 5～6 毫米的圆铁棒与被测开关的动触头连接，作垂直方向移动，在转筒座标纸上记录下 1：1 开关动触头运动特性曲线如图五所示。从曲线上可以直观地看出被试开关在分（合）闸过程中各部件是否有卡涩现象，了解缓冲器的工作性能，还可以粗略地读取合闸时间和固有分闸时间，并且能十分方便地读取刚分（合）和最大分（合）闸速度。

1. 结构原理：

测速器的转筒是由一个小同步电动机带动，同步电动机可以放在圆筒内，也可以放在外面，由于测速器为单相交流电源，所以在同步电动三相绕组中串联一移相电容。电动机与圆筒间有一个 25 比 1 的减速齿轮，使圆筒以 2 转/秒的速度转动。

圆筒由胶木筒做成，其高度由被试开关的行程来决定，为便于读出开关分（合）闸速度，其直径 d 为 159.2 毫米。周长恰好为 500 毫米。当圆筒以 2 转/秒的速度旋转时，每 0.5 秒钟记录笔在圆筒表面的座标纸上画一圈，设座标纸的横座标为时间座标，即每一毫米代表一毫秒。

为了用同一张座标纸记录多条开关分（合）闸行程特性曲线，并保证曲线能按先后次序有规律的排列，在圆筒顶部的轴上装有一个电木凸轮，凸轮旁边有一个常开电接点。每当圆筒转一周，凸轮使接点接通一次，如果此时测速器的起动开关已经接通，该

表三

高压断路器测速仪器统计表

序号	测速仪名称	样机提供单位	适用范围	可测量参数	需要配用的仪器	重量 Kg	优缺点
1	ASEA 转筒式测速器	吉林热电厂	(1) 行程不大程 480 毫米。 (2) 35 千伏及以上的油开关	(1) 行程。(2) 任意定义的刚分、刚合速度和最大速度。(3) 全行程的 $s-t$ 曲线。(4) 分、合闸固有时间的(粗测)。	无	13	优点: (1) 结线简单、安装操作方便。(2) 可以直接测出 1:1 的行程——时间曲线使开关全行程运动特性一目了然, 直观效果好, 便于读取速度值。(3) 可以粗测分、合闸固有时间的。 缺点: (1) 可测项目单一, 全面考核、记录开关动作性能时, 仍要另外配备其他测量仪器。(2) 体积、重量都较大。(3) 读数准确程度受市电周波影响, 如周波误差较大, 需进行换算。
2	转筒式测速器	华东电力试验研究所	(1) 行程最大 600 毫米。 (2) 35 千伏及以上的油开关。	同上(1)至(3)	无	13	同上
3	光栅测速器	兰州电 器厂	(1) 行程最大 600 毫米。 (2) 35 千伏及以上的油开关。	(1) 分、合闸固有时间的。(2) 按时间区段及按行程区段平均求算的刚分、刚合速度和最大速度。(3) 三相及各断口不同期。(4) 基本上能反映全行程运动特性。	示波器	测速架: 5 元件箱: 3	优点: (1) 结构简单, 重量轻, 便于安装。(2) 成本低。(3) 可将开关运动曲线与其他动作参数拍摄在一张示波图上, 便于对照、保管。(4) 读数不受市周波误差影响。 缺点: (1) 反映开关运动状态的直观效果不如转筒式测速仪明显。(2) 不能直接读取速度, 需要经过量和计算。(3) 需要与示波器配用。

(续)

(续)

							(4)分、合闸过程中,反跳现象显示不清。
4	光栅测速器	抚顺电业局	(1)行程最大600毫米 (2)35千伏及以上的油开关	同上	示波器	5	同上
5	微分电路测速仪	北京电力试验研究所	(1)行程最大600毫米 (2)35千伏及以上的油开关	(1)分、合闸固有时间。(2)三相及各断口不同期。 (3)全行程的s-t曲线。(4)全行程的v-t曲线。(5)任意定义的刚分、刚合速度和最大速度	示波器	测速架:2.5元 元件箱:8	优点:(1)能同时录制 $S=f(t)$, $V=f(t)$ 特性曲线,直观效果良好。 (2)可将开关运动曲线和其他动作参数拍摄在一张示波图上,便于对照。 (3)结构简单,成本不高。 缺点:(1)需与示波器配用。(2)速度需要定标和换算。
6	光电计数式开关动作参数测量仪	清华大学北大附中工厂	同光栅测速器,并可做毫秒计使用	(1)分、合闸固有时间。(2)三相不同期。(3)按固行程区段平均求算的刚分、刚合速度及分闸最大速度	无	5	优点:(1)直接显示开关固分、合闸时间,刚分、刚合速度,最大分闸速度及三相不同期等参数,并可做毫秒计使用。(2)测量准确,可避免读数误差。(3)测速范围广,有效量程为0.1米/秒至100米/秒。 缺点:(1)如需录制开关全行程运动特性时,需要配备示波器。(2)目前造价较高。
7	音叉测速器	北京供电局	速度不大于8米/秒的油开关	(1)按音叉振动周期(本品为10毫秒)平均求算的刚分、刚合速度及最大速度。(2)基本上能反映全行程运动特性	无	音叉:4 电池:2 架子:2	优点:(1)不需要交流电源。(2)简单轻便。(3)读数不受市电周波误差影响。 缺点:(1)不能