

# 变电站直流系统常用断路器及熔断器动作特性分析

彭向阳<sup>1</sup>, 陈献伟<sup>2</sup>, 潘龙<sup>1</sup>

(1. 开封供电公司, 河南 开封 475000; 2. 郑州供电公司, 河南 郑州 450000)

**摘要:** 变电站直流系统中存在着大量的直流断路器、熔断器,但是有关它们动作(熔断)特性的安-秒特性数据在厂家说明书中提供较少,现场用户对直流保护级差配合的动作特性认知较为模糊,在一定程度上影响到了变电站电气成套设备有关直流保护元件的参数选型。为了准确把握变电站常见直流保护控制元件的动作(熔断)特性,通过设计合理的试验方案,选取现场主流配置的直流断路器、熔断器进行安-秒特性试验。通过上千次试验,从准确的试验数据中发现了问题,为讨论变电站直流保护级差配合提供了依据。

**关键词:** 变电站; 直流系统; 断路器; 熔断器; 级差; 特性

**中图分类号:** TM56 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2006)23-0058-04

## 0 引言

直流电源系统,是电力系统发电厂、变电所不可缺少的必要装备,作为运行中电力设备提供继电保护、控制、断路器跳合闸、音响信号以及事故照明的电源,其系统运行状况的好坏直接关系到变电站的安全稳定运行。

## 1 变电站直流电源系统存在问题

变电站直流电源系统能否可靠运行,直流系统内有关负荷控制设备的保护配合级差是否合理,对变电站直流电源系统的运行稳定性是至关重要的。

近年来,各电气成套厂和高压断路器厂配套的直流电源控制设备已大部分采用不同品牌的直流断路器或交直流两用断路器,加上一些尚未技改的老设备直流电源控制设备(如熔断器),使目前变电站直流电源系统中用于保护控制的设备呈现出型号多、性能参数差别大的特点。

但是,目前变电站常见的直流系统保护控制设备缺少比较系统的试验数据验证,现场维护人员对常用直流断路器、熔断器的特性认识比较模糊,进行级差配合分析比较困难。

## 2 开展变电站直流系统断路器及熔断器动作(熔断)特性试验的意义

直流断路器(熔断器)上下级之间是否具有选择性的级差配合,直接关系到能否把直流电源的故障限制在最小范围内,关系到电力系统运行的安全,对防止事故扩大和设备损坏极为重要。要准确分析目前变电站直流系统保护级差配置中存在的问题,

需进行有关直流断路器及熔断器安秒特性及熔断特性试验,通过对结果进行分析,为直流系统治理和订货时参数选择提供帮助。

本次试验方案要求通过对站内常用各类型直流断路器的安秒特性试验及保险管的熔断特性、老化特性试验,重点收集并验证目前变电站常见二、三级配置的直流断路器、熔断器有关技术指标。

## 3 实验方案

### 3.1 试验对象

- 1) ABB 直流空开:  $I_n = 1\text{ A}, 3\text{ A}, 6\text{ A}, 10\text{ A}, 20\text{ A}, 63\text{ A}$ ,各 3只;
- 2) 西门子直流空开:  $I_n = 1\text{ A}$  (无),  $3\text{ A}, 6\text{ A}, 10\text{ A}, 20\text{ A}, 63\text{ A}$ ,各 3只;
- 3) 人民电器直流空开:  $I_n = 1\text{ A}, 3\text{ A}, 6\text{ A}, 10\text{ A}, 20\text{ A}, 63\text{ A}$ ,各 3只;
- 4) 保险管:  $I_n = 5\text{ A}, 10\text{ A}$ ;各 150只  
R014 - 16/6A 熔断器; R014 - 16/10A 熔断器。

### 3.2 试验接线

试验接线图如图 1所示。

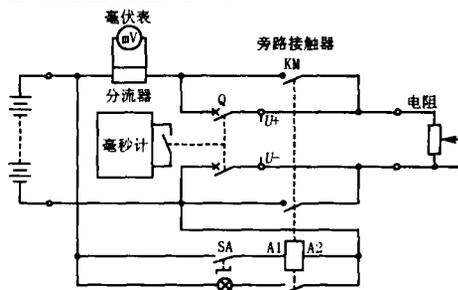


图 1 试验接线图

Fig 1 Testing wiring scheme

## 3.3 试验数据统计 (动作时间单位: s)

## 3.3.1 对直流空开各组试验平均数据整理如表 1。

表 1 直流断路器各组试验平均数据统计表

Tab 1 Average data tables of DC circuit breaker from all the tests

额定电流	通入电流		$1.3I_n$	$1.5I_n$	$2I_n$	$3I_n$	$5I_n$	$8I_n$	$10I_n$	$14I_n$
$I_n = 1 A$	动作	ABB	548.44	92.44	37.99	17.77	7.58	4.07	1.1320	0.0095
	时间	北人	>2h	99.50	63.83	21.34	7.59	0.52	0.0088	0.0064
$I_n = 3 A$	动作 时间	西门子	746.44	117.89	45.56	16.66	6.36	1.88	0.0344	0.0076
		ABB	274.00	104.44	53.71	16.94	4.54	3.93	0.0150	0.0089
		北人	118.50	66.83	35.08	15.26	6.63	2.94	0.0732	0.0205
$I_n = 6 A$	动作 时间	西门子	1403.83	54.22	15.30	5.14	1.56	0.054	0.0085	0.0072
		ABB	>2h	176.33	48.79	16.60	7.56	2.29	0.0072	0.0065
		北人	>2h	>2h	78.13	14.03	4.41	1.59	0.2728	0.0071
$I_n = 10 A$	动作 时间	西门子	2096.67	226.33	35.73	11.02	3.38	1.14	0.0251	0.0063
		ABB	>2h	554.56	50.11	11.39	3.11	1.13	0.0113	0.0062
		北人	>2h	206.17	26.23	7.83	2.22	0.77	0.0279	0.0172
$I_n = 20 A$	动作 时间	西门子	>2h	573.33	52.76	9.76	2.88	0.86	0.2163	0.0053
		ABB	>2h	1431.11	72.71	12.78	3.67	1.24	0.3891	0.0055
		北人	>2h	191.17	31.79	7.34	3.66	0.67	0.0655	0.0059
$I_n = 40 A$	动作 时间	西门子 (50 A)	>2h	928.22	187.56	33.99	6.29	1.72	0.3268	0.0041
		ABB (63 A)	>2h	1231.50	176.44	43.44	8.97	3.53	0.0057	0.0040
		北人 (40 A)	>2h	428.00	28.11	5.89	1.72	0.54	0.1829	0.0048

## 3.3.2 对熔断器各组试验数据整理如下。

1) 直接特性试验数据如表 2、3 所示。

表 2 熔断器直接特性试验数据 (型号: R014 - 16/6A)

Tab 2 Testing data of direct characteristics of fusible cutout (model: R014 - 16/6A)

电流比值 $I/I_n$	1.7	2	3	5	8	14
熔断时间 $T_1$	35 30"	4 13"	560 ms	116 ms	36 ms	12 ms
熔断时间 $T_2$	30 55"	3 32"	500 ms	118 ms	37 ms	14 ms
熔断时间 $T_3$	43 30"	5 01"	420 ms	160 ms	35 ms	15 ms
熔断时间 $T_4$	32 40"	2 56"	510 ms	112 ms	40 ms	12 ms
熔断时间 $T_5$	23 05"	49"	620 ms	94 ms	38 ms	14 ms
实际电流值 /A	10.21	12.04	18.07	30.25	48.23	85
实际比值 $I/I_n$	1.701	2.006	3.011	5.041	8.038	14.166

表 3 熔断器直接特性试验数据 (型号: R014 - 16/10A)

Tab 3 Testing data of direct characteristics of fusible cutout (model: R014 - 16/10A)

电流比值 $I/I_n$	1.7	2	3	5	8	14
熔断时间 $T_1$	10 02"	3 11"	960 ms	216 ms	61 ms	15 ms
熔断时间 $T_2$	24 28"	4 52"	1180 ms	192 ms	68 ms	23 ms
熔断时间 $T_3$	38 35"	5 21"	920 ms	192 ms	58 ms	24 ms
熔断时间 $T_4$	27 11"	5 23"	1040 ms	208 ms	70 ms	26 ms
熔断时间 $T_5$	43 23"	3 23"	1030 ms	190 ms	74 ms	23 ms
实际电流值 /A	17.02	20.03	30.29	50.17	80.31	143
实际比值 $I/I_n$	1.702	2.003	3.029	5.017	8.031	14.30

2) 5倍电流冲击后特性试验如表 4、5 所示。

表 4 5倍电流冲击后熔断器试验数据 (型号: R014 - 16/6A)

Tab 4 Testing data of fusible cutout impacted by five times current (model: R014 - 16/6A)

电流比值 $I/I_n$	1.7	2	3	5	8	14
熔断时间 $T_1$	27 42"	3 14"	600 ms	100 ms	35 ms	11 ms
熔断时间 $T_2$	21 48"	3 08"	520 ms	140 ms	34 ms	13 ms
熔断时间 $T_3$	33 54"	1 29"	600 ms	94 ms	35 ms	14 ms
熔断时间 $T_4$	10 23"	1 06"	620 ms	96 ms	35 ms	15 ms
熔断时间 $T_5$	16 22"	1 56"	600 ms	92 ms	37 ms	12 ms
实际电流值 /A	10.21	12.06	18.10	30.20	48.23	85
实际比值 $I/I_n$	1.701	2.010	3.016	5.033	8.038	14.166

表 5 5倍电流冲击后熔断器试验数据 (型号: R014 - 16/10A)

Tab 5 Testing data of fusible cutout impacted by five times current (model: R014 - 16/10A)

电流比值 $I/I_n$	1.7	2	3	5	8	14
熔断时间 $T_1$	25 02"	3 33"	1 040 ms	169 ms	56 ms	32 ms
熔断时间 $T_2$	40 39"	4 23"	680 ms	270 ms *	90 ms	35 ms
熔断时间 $T_3$	41 03"	3 50"	1 100 ms	208 ms	58 ms	22 ms
熔断时间 $T_4$	57 36"	3 02"	860 ms	232 ms	84 ms	27 ms
熔断时间 $T_5$	29 14"	3 25"	1 060 ms	192 ms	59 ms	20 ms
实际电流值 /A	17.02	20.12	30.23	50.23	80.31	143
实际比值 $I/I_n$	1.702	2.012	3.023	5.023	8.031	14.30

3) 熔断器动作特性录波图如图 2 所示。

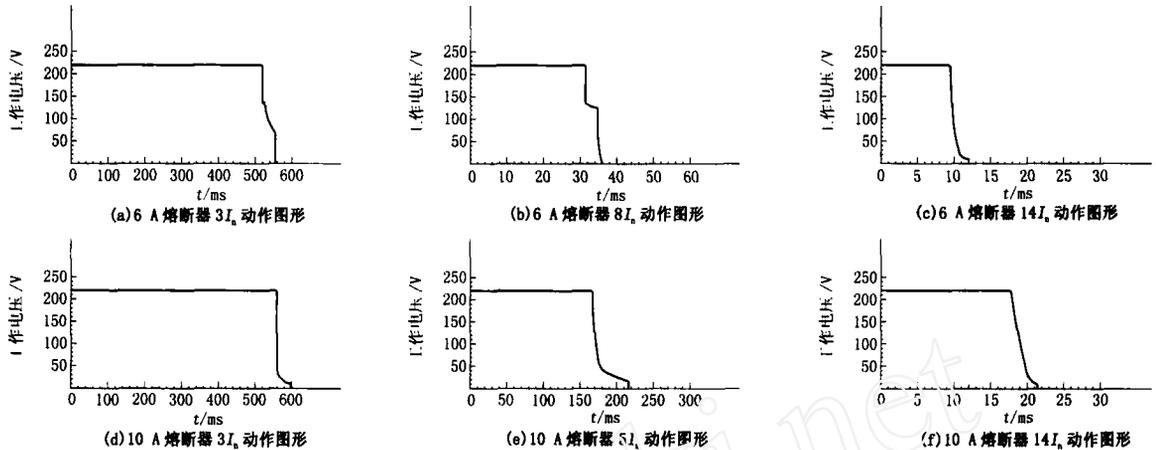


图 2 熔断器动作特性录波图

Fig 2 Recorded wave of operating characteristic of fusible cutout

## 4 试验分析

### 4.1 直流断路器的选型

选取变电站常用的三个主流厂家系列产品作为试验对象,通入短路电流进行试验。

表 6 直流断路器常规配合统计表

Tab 6 Conventional matching tables of DC circuit breakers

配合	级别	额定电流 /A
常规 配置 方案	二级	63
		50
		40
	三级	20
		10
		6
		3(1)

### 4.2 熔断器选型

本次试验用熔断器型号有两种: R014 - 16/6 A 和 R014 - 16/10 A,为熔管内带填料熔断器,填料物质为石英砂,熔断器分断能力较高,灭弧能力强,在熔丝通过大电流熔断时的燃弧时间短。

### 4.3 试验电流的设置

试验是按照短路电流为较小值的情况下试验直流断路器的级差配合。通过不断升高短路电流  $I$ ,直至使断路器动作特性彻底进入瞬动区,试验终止。

为便于对本次试验结果进行运行配合分析,根据直流短路电流计算公式计算常见各种容量下直流系统的短路电流,作为对试验结果的对比。

$$I_{BK} = nU_0 / [n(r_k + r_l) + r_j + r_k]$$

目前系统内 110 kV 及 220 kV 变电站直流电压等级基本上为 220 V,蓄电池容量一般有 200 Ah、300 Ah、500 Ah,根据上述的数据计算出所得的 0.02

s 短路电流如表 7。

表 7 直流短路电流参照表

Tab 7 Consulting table of DC short circuit current

直流电压	200 Ah	300 Ah	500 Ah
DC220 V	2 149 A	3 100 A	5 047 A

根据以上数据,结合现场控制保护设备实际配置,短路电流的考核点选定 2 200 A,对试验结果进行分析,验证二、三级之间能否进行级差配合。

### 4.4 试验数据分析

4.4.1 对直流断路器试验数据分析,通过比较表 1 中 1 A、3 A、6 A、10 A、20 A、63 A (50 A、43 A) 系列的微型直流断路器安秒动作特性可以看出:

1) 以第二级与第三级直流断路器常规配置为例,现场短路电流在 500 A 时,当二级断路器配置为 63 A 时,其动作仍在延时区,而三级断路器已全部进入瞬动区间,此时二、三级配合是存在的。当二级断路器配置为 40 A 时,现场短路电流水平在 320 A 以下时,二、三级配合也是存在的,但是适用短路电流的级差配合能力要低于 63 A 的直流断路器。

2) 微型直流断路器在短路电流达到其额定电流 10 倍时,二、三级基本进入瞬动区间,动作时间大部分低于 0.3 s,二、三级配合已不能实现。即:按现场二级直流断路器配置为 63 A 额定电流考虑,现场短路电流在 630 A 以上时,目前变电站直流电源系统的级差配合设计已不能满足要求。

3) 微型直流断路器在短路电流达到其额定电流 14 倍时,试验系列中所有微型直流断路器彻底进入瞬动区间,动作时间低于 20 ms。按现场二级直流断路器配置为最大 (63 A) 额定电流计算,相当于现场短路电流在 800 A 时,目前变电站直流电源系

统常见二、三级级差配合设计已不能满足要求,试验到此中止。

4.4.2 熔断器额定电流值选型为 6 A、10 A,熔断器通入实际电流值范围 7.2 ~ 140 A。通过表 2 中可以看出熔断器的基本熔断特性和老化特性。

1) 当前直流电源系统的熔断器保护配置方式主要存在于未进行综合改造的二级控制回路中,如控制室各电气单元的操作保险等。从实验数据可以看出,短路水平在大于 2 倍额定电流值时作为二级配置的熔断器熔断时间要小于同级别直流断路器的脱扣时间。

2) 随着老化冲击电流的加大,熔断器的熔断特性恶化趋势加剧。

## 5 试验结论

1) 当以试验系列中处于二级配置且最大额定电流为 63 A 的直流断路器进入瞬动区为考察点时(见表 3),由于试验通入电流达 800 A ( $14I_n$ ) 时,断路器动作特性已彻底进入瞬动区。以此电流为基准,处于三级的直流断路器(或动作电流低于 63 A 的二级断路器)肯定也已达到瞬动区。由于现场计算选定的最小直接金属性短路的短路电流分界点为 2 200 A,因此,目前直流电源系统设计的级差常规配置抗击系统直流短路水平的能力有局限性,难以担负严重短路的级差选择要求。

2) 当二级配置中使用熔断器配置,三级配置为微型直流断路器时,宜将二级熔断器配置更换为微型直流断路器。

3) 二级微型直流断路器宜选用适应短路类型较广的 63 A 断路器,以提高级差配合短路电流值。但考虑现场运行实际情况和目前直流电源配置水平,不宜采用通过简单提高二级配置中的直流断路器额定电流值来满足级差配合要求。

4) 有据可查的微机保护装置动作功率一般不大于 100 W,考虑直流断路器可靠性预留及承受实际短路灭弧的能力,保护厂家配置的第三级直流断路器额定电流值不宜超过 3 A。

5) 熔断器下级出现短路时,宜对该组熔断器进行预防性更换,以保证直流回路中熔断器的熔断特性始终保持在较高水平。

6) 直流电源系统的级差配置标准没有明确规范前,变电站直流电源系统宜根据国网公司直流系统运行规范要求采用自母线端单辐射供电方式,最大限度减少单回直流馈线短路对变电站其它直流负

荷的影响。

## 6 对变电站直流电源系统级差配合的探讨

1) 在智能断路器没有出来之前,直流电源系统的第二级可采用三段保护断路器(过载长延时+短路瞬时+短路短延时),可以达到有选择性级差配合的要求,不拒动、不越级跳闸,基本解决了目前存在的问题。但目前三段保护断路器生产厂家较少,造价较高,质量未得到权威认证。而且由于此类产品加装了电子元器件用以逻辑控制,后期的检验维护仍需探讨。

2) 如果借鉴一次系统限制大短路电流的做法,对变电站直流系统的短路电流加以限制,如加装电抗器等,使系统短路电流维持在级差配合要求的最大短路电流之下,可从根本上解决变电站直流系统级差配合问题,但故障切除时由此引起的系统反向过电压问题目前尚有待直流电源厂家展开研究,以尽快推出满足直流电源系统整体配合的设备。

3) 现有直流系统中二、三级配置中熔断器与直流断路器混装时,宜将第二级配置统一调整为直流断路器,同时对第二、三级级差配置进行规范性调整。

## 7 结束语

本次试验达到了考察、分析目前变电站常见各类直流断路器、熔断器特性指标的目的,为下一步直流系统的综合治理提供了实际参数依据。

本次试验未进行带回路整体模拟测试,所有试验数据分析仅建立在设定短路试验条件下,实际现场短路的三级模拟配合试验有待进一步测试验证。

## 参考文献:

- [1] GB10963.2-2003,家用及类似场所用过电流保护断路器[S].  
GB10963.2-2003, Current Protection Circuit Breakers for Household and Similar Places[S].
- [2] DL/T5044-2004,电力工程直流系统设计技术规程[S].  
DL/T5044-2004, DC Power Systems Design Engineering Technical Protocols[S].

收稿日期: 2006-07-20; 修回日期: 2006-09-09

作者简介:

(下转第 84 页 continued on page 84)

### A survey of modeling and optimization methods on generation expansion planning

LIXiao-ming<sup>1</sup>, CHEN Jin-fu<sup>2</sup>, DUAN Xian-zhong<sup>2</sup>, CHEN Yue-hui<sup>3</sup>, SONG Ai-hong<sup>4</sup>

(1. Henan Electric Power Survey and Design Institute, Zhengzhou 450007, China;

2. College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

3. Hunan Electric Power Group Co., Changsha 410007, China;

4. Henan Electric Power Company, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** In this paper, a survey of the optimal models on generation expansion planning (GEP) is presented. The influence on GEP are discussed, which are caused by demand-side management, environment protection and the power market. The differences of objective functions and constraints in these models are analyzed. Then, the optimal methods on GEP are summarized, such as dynamic programming, mixed-integer programming, expert systems, fuzzy set theory, genetic algorithm, artificial neural networks, etc. Finally, some problems to be solved are put forward.

**Key words:** power system; generation expansion planning (GEP); model; optimization methods; survey

(上接第 61 页 continued from page 61)

彭向阳 (1968 - ),男,工程师,长期从事继电保护专业  
技术工作; E-mail: kpxy@sohu.com

业技术管理工作;

潘龙 (1967 - ),男,高工,长期从事电力系统专业技

陈献伟 (1959 - ),男,硕士,高工,长期从事电力系统专

术管理工作。

### Characteristic analysis of DC circuit breakers and fuses used in substation

PENG Xiang-yang<sup>1</sup>, CHEN Xian-wei<sup>2</sup>, PAN Long<sup>1</sup>

(1. Kaifeng Power Supply Company, Kaifeng 475000, China; 2. Zhengzhou Power Supply Company, Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:** There are many DC circuit breakers and fuses in the DC system of substation. But some data on ampere-second of their operating (fusing) characteristic are not usually provided by manufacturers specifications, and it is fuzzy for on-site users to know the operating characteristic about coordination among DC protection systems, which can affect on selecting DC protection system's parameters of the whole set electric device for substation in some degree. For knowing well about the fusing characteristic of DC protection and controlling elements, some reasonable strategies are presented and tested by choosing DC circuit breakers and fusible cutout with main-stream configure trial and error. As a result, some pivotal problems are detected from corrective testing data, which are the basis of researching into the coordination among different levels of DC protection systems for substation.

**Key words:** substation; DC system; breaker; fuse; different levels; characteristic

(上接第 77 页 continued from page 77)

### Survey of fault location algorithm based on two-terminal data of transmission line

YUAN Yu-chun<sup>1</sup>, LU Xiao-chuan<sup>2</sup>

(1. Xihua University, Chengdu 610039, China; 2. Chengdu Fuhe Electric Group Co., Ltd, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** There are many factors that influence the accuracy of fault location using two-terminal data. Fault location algorithm using two-terminal data of transmission line is discussed in this paper. The principle of the algorithm and their limitations when applied in practical system are analyzed. The conclusion is that the following factors must be taken into account then the results of the algorithm may have high accuracy. These factors are, the data of transmission line of two terminals may be unsynchronized, the parameters of the transmission line may have error, the transmission line is un-transposed, compensating equipments are installed in transmission line.

**Key words:** transmission line; fault location; two-terminal data; fundamental frequency; power system