

某核电厂220 V直流系统短路电流计算与保护整定研究

根据某核电厂220 V直流系统的结构特点,建立了系统二次配电屏处短路电流计算的模型,根据模型分析计算了各二次配电屏处短路电流,并根据短路电流的大小对保护设备容量和整定值的选取进行了分析。

陶 果 冯玉萍 黄冬艳/上海核工程研究设计院



陶 果/高级工程师

直流系统由于有蓄电池作为备用电源,在失去交流电源时仍然能够给负荷供电,在保证核电厂的安全性中起到重要的作用。220 V直流系统在某核电厂中用于给电厂开关柜控制和电厂保护系统负荷提供直流电源,并向为计算机、控制棒抓取机以及仪表和控制负荷供电的逆变器供电,系统的可靠运行关系到核电厂的可靠运行。为了保证220 V直流系统的运行可靠,需要做好系统的短路电流分析计算,并根据计算结果进行保护设备的选型和整定,以保证线路故障所造成的影响最小^[1]。

系统结构

某核电厂220 V直流系统的结构如图1所示。

关键词/Keywords

直流系统 ·
短路电流 ·
整定值 ·

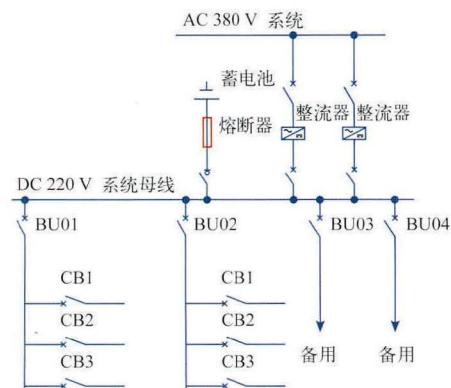


图1 220 V直流系统结构示意图

由图1可以看出,220 V直流系统由380 V交流系统通过两台并联运行的整流器供电。除了两台整流器输入电源外,另有一组蓄电池通过熔断器和隔离开关接至220 V直流系统母线。蓄电池正常运行时处于浮充状态,当失去380 V交流电源时,可由蓄电池给系统的负荷供电,而不会中断供电。

220 V直流系统母线有若干条馈线回路,通过断路器分别给相应的二次配电屏供电(图1中的回路BU01和BU02),二次配电屏再通过微型断路器或熔断器直接向相应的直流负荷供电。

220 V直流系统短路电流计算模型

直流系统保护元器件安装处的短路电流是由蓄电池、充电装置以及正在运行的电动机所提供的短路电流之和。220 V直流系统的直流电动机离直流系统较远,直流电动机所提供的短路电流很小,可忽略不计。系统短路电流主要取决于由蓄电池组和充电器提供的短路电流。保护元器件安装处的短路电流计算公式为

$$I_{sc} = \frac{V_s}{R_s + R_c} \quad (1)$$

$$R_s = \frac{V_s}{I_{BATT} + I_{CH}} \quad (2)$$

$$R_c = 2R_m L / n \quad (3)$$

式中, I_{sc} 为配电屏保护元器件安装处的短路电流,A; V_s 为电源电压,V; R_s 为电源等效电阻, Ω ; R_c 为电源至负荷的线路电阻, Ω ; I_{BATT} 为由蓄电池产生的最大

故障电流, A; I_{CH} 为由充电器产生的最大故障电流, A; R_m 为线路单位长度电缆的电阻, Ω ; L 为线路长度, m; n 为线路并联导线根数。

在得到系统短路电流的计算模型之后, 就可以分别求解模型中各参数的值, 并根据参数值计算短路电流。

要根据式(1)计算二次配电屏处的短路电流, 需首先建立起蓄电池和充电器的等效电路模型。由于蓄电池和充电器都是直接连到直流母线, 然后再通过电缆连接至二次配电屏, 因此, 无法直接计算出二次配电屏处的短路电流。为了计算二次配电屏处的短路电流, 需先将蓄电池等效为一个电压源与一个电阻的串联, 再根据蓄电池充电器的运行特点, 将220 V直流系统母线的输入电源(蓄电池和两路充电器)等效为一个电压源串联一个电阻。电路的变换示意图如图2所示。

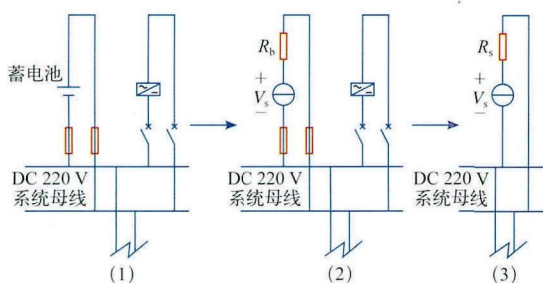


图2 220 V直流系统等效电路变换

将蓄电池和蓄电池充电器等效为一个电压源与一个电阻的串联以后, 当二次配电屏某一馈线处发生短路时, 就可以直接根据电压源的电压和线路电阻计算出相应的短路电流^[2]。

蓄电池和充电器都会贡献短路电流。在计算短路电流时, 蓄电池的端电压可以认为是额定电压 V_s , 蓄电池认为是一个电压源串联一个电阻。蓄电池充电器由于充电器本身的限流特性, 短路电流不超过设备额定电流的1.5倍, 可以认为是一个恒流源, 电流大小为1.5倍的额定电流。由于正常工作时, 蓄电池充电器处于给蓄电池浮充电状态, 当发生短路时, 可以认为充电器的初始电压等于蓄电池的电压 V_s 。

蓄电池和充电器等效电阻求解

由于蓄电池的额定电压 V_s 已知, 为了求解出由蓄电池产生的最大故障电流 I_{BATT} , 需要首先求解出蓄电池回路的等效电阻, 包括蓄电池内阻 R_A 和蓄电池回路线路电阻 $\sum r_j$ 。 $\sum r_j$ 可直接由线路长度、电缆截面积和导体电阻率计算得到。

要计算蓄电池总内阻 R_A , 需要首先根据蓄电池的放电特性数据计算出单体电池的内阻 R_i , 具体计算公式为

$$R_i = (V_1 - V_2) / (I_2 - I_1) \quad (4)$$

式中, V_1 和 V_2 分别为蓄电池放电特性的两个放电终止电压点; I_1 和 I_2 为两个电压点对应的1 min放电电流。220 V直流系统所采用的蓄电池放电特性数据如表1所示的A7。

表1 220 V直流系统蓄电池放电特性表

	型号							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
放电电流/A (终止电压1.75 V)	1 798	1 984	2 321	2 433	2 638	2 931	3 139	3 344
放电电流/A (终止电压1.5 V)	3 069	3 253	3 764	4 098	4 428	4 896	5 220	5 537

注: 表中的数据为1 min放电电流。

根据表1, 结合式(1), 可得单个单体电池的内阻为

$$R_i = (1.75 \text{ V} - 1.5 \text{ V}) / (5\,220 \text{ A} - 3\,139 \text{ A}) = 0.120 \text{ m}\Omega$$

对于220 V直流系统来说, 每个通道的蓄电池都是由106个单体电池串联而成, 则每个通道总的蓄电池内阻为

$$R_A = 0.120 \text{ m}\Omega \times 106 = 12.72 \text{ m}\Omega$$

考虑到蓄电池至配电屏的电缆电阻, 可得蓄电池在配电屏处产生的短路电流大小为

$$I_{BATT} = V_s / (R_A + \sum r_j) \quad (5)$$

对于充电器来说, 由于充电器本身的限流功能, 能够将故障电流限制在1.5倍额定电流。220 V直流系统充电器的额定电流为 I_N , 则可得充电器提供的短路电流大小为

$$I_{CH} = 1.5 I_N \quad (6)$$

每条母线有两台充电器, 可根据式(1)得等

效电源电阻为

$$R_s = \frac{V_s}{I_{BATT} + 2I_{CH}} \tag{7}$$

根据蓄电池和充电器的参数，结合式（7），可得蓄电池和充电器回路的等效电压值和电阻值为： $R_s = 11.92\text{ m}\Omega$ ， $V_s = 220\text{ V}$ 。对于下游负荷来说，当分析短路工况时，上游的蓄电池和充电器可以认为是一个220 V直流的电源串上一个11.92 mΩ的电阻。

短路电流求解和保护配合分析

将电源等效为电压源与电阻的串联后，结合220 V直流系统一次配电屏的下级各馈线回路的电缆长度和规格，就可以计算出各馈线回路负荷侧发生短路故障时短路电流的大小，如表2所示。

表2 短路电流计算值（25℃）

回路编号	电缆根数	芯数	电缆规格/mm ²	单位长度电阻/(Ω/km)	长度/m	电阻/mΩ	短路电流/kA
BU01	2	—1/C	177.4	0.101	14	2.828	14.74
BU02	2	—1/C	13.3	1.345	218.5	588	0.36

220 V直流系统一次配电屏的下级负荷的进线保护装置主要为开关和熔断器。为了保证直流系统设备的可靠运行，直流配电回路的保护装置的保护动作电流和动作时间都应满足选择性要求，考虑上、下级差的配合，且应有足够的灵敏系数。当馈线回路发生故障时，该回路的保护装置应首先动作，排除故障，其上游的保护装置不应动作，这样确保该支路的故障不会扩大，影响其余馈线的供电。

对于220 V直流系统来说，一次配电屏内的断路器应该与所有下一级负荷的断路器相配合，当负荷回路发生故障时，该回路的断路器应先动作，清除故障，而不应使一次配电屏内的断路器动作，影响其余回路的供电。一次配电屏内馈线断路器整定值如表3所示。

表3 220 V直流系统直流配电屏馈线断路器整定值

配电断路器回路	I_{N}/A	I_{th}/A	I_{op}/A
BU02	250	250	1 600
BU03	160	50	500

保护配合验证 [3]

BU02回路的负荷配电盘处馈线保护装置为微型断路器，型号为S280-K，额定电流为20 A和50 A两种，而在一次配电屏处的保护装置为S3N， $I_N = 250\text{ A}$ 。根据厂家试验数据得到的保护配合表如表4所示。可以看出，上下级之间满足故障工况下的配合要求。

表4 厂家产品保护配合表

		S3 (N, H, L)					
	I_{cu}/kA	I_n/A	100	125	160	200	250
S280-K	25	16	6.5	11	22	T	T
	25	20	6	9.5	16.5	T	T
	25	25		9.5	16.5	T	T
	20	32			15	T	T
	20	40				T	T
	15	50				T	T

表4中右下方表示S3系列断路器与S280-K微型断路器之间的配合情况，空白表示不能够实现保护配合，T表示可以实现上下级保护配合，数字表示短路电流低于这个数值（单位为kA）时可以实现保护配合。

BU03回路的负荷配电盘采用的馈线保护装置为熔断器，额定电流为20 A，相应的特性曲线如图3所示。由于BU03回路的短路电流为0.36 kA，根据图3可得熔断器的动作时间为0.006 s。而BU03在一次配电屏处的保护装置为S3N， $I_N = 160\text{ A}$ ，在0.36 kA故障电流的情况下动作时间为1.2 s。从保护装置的动作时间上来看，目前的设计满足保护配合的要求。

结束语

直流系统在保证核电厂的正常和安全运行中起到重要的作用。为保证直流系统的可靠运行，需要准确计算直流系统的短路故障电流的大小，并根据故障电流的大小合理选择保护器件的容量。本文根据某核电厂220 V直流系统的结构特点，结合蓄电池本身的特性，建立了直流系统

（下转第137页）

行管理。本文模拟3 000只热量表同时集中抄表，此时计算机的运行情况如图12所示。可以看出，计算机的CPU使用率仅为18%，系统内存还有接近50%的剩余，CPU访问峰值合理。由此可见，本文设计的远程抄表管理软件系统的性能优良，能够满足大负荷情况下的通信。



图12 远程管理中心计算机运行测试结果

结束语

本文重点研究了现代智能建筑中的热量表远程抄表系统。文中对抄表系统中的核心部分——集中器进行了详细介绍，给出了通信端口的硬件

设计以及通信协议的设计规则。此外，文中还对远程管理中心的软件系统的组成和各模块功能进行了阐述。模拟实验表明，本文设计的远程抄表系统能够提供足够的驱动能力，在大负载通信的情况下，远程管理软件系统工作良好，为远程抄表系统的实际应用提供了一定的研究基础。

参考文献

[1] 文传军, 吕亚林, 于长猛. 无源直读远传水表集中抄表系统[J]. 计量技术, 2011 (10) : 41-42.

[2] 王益祥, 牛江平. 远程无线抄表系统的研究[J]. 自动化仪表, 2011, 32 (3) : 4-7.

[3] 李沙, 支长义, 朱郴良, 等. 直读远程抄表系统设计[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (19) : 119-121.

[4] 罗永刚, 邹志远. 基于MBUS的智能集中器设计[J]. 电子技术应用, 2013, 39 (10) : 72-78.

[5] 许燕萍, 杨代华. RS 485串行总线可靠性的研究[J]. 电子科技, 2009, 22 (2) : 8-10.

(收稿日期: 2014-12-02) EA

(上接第54页)

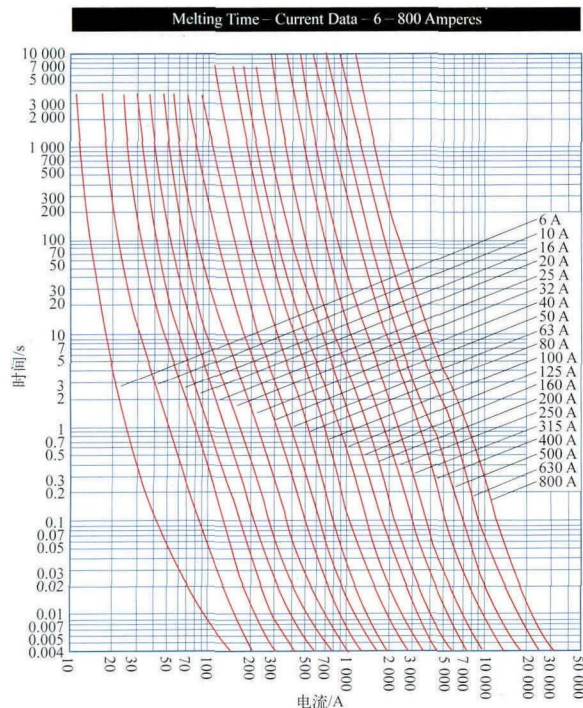


图3 熔断器特性曲线

短路电流计算的模型，分析计算了系统的短路电流，并根据短路电流的大小对系统的保护配置进行了分析和核算。

本文的计算短路电流和保护配合研究方法可用于类似结构不同电压等级直流系统的短路电流计算和保护配合分析。

参考文献

[1] 董明, 魏秉权. 变电站直流系统运行现状及存在问题分析[J]. 继电器, 2006, 34 (3) : 82-84.

[2] 彭思敏, 施刚, 蔡旭, 等. 基于等效电路法的大容量蓄电池系统建模和仿真[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33 (7) : 11-18.

[3] 刘百震, 盛和乐, 陈玘, 等. DL/T 5044—2004 电力工程直流系统设计技术规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

(收稿日期: 2014-02-10) EA