

# 苏布雷水电站直流系统设计

邓 丛 林, 骆 恩 荣

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

**摘 要:** 苏布雷水电站直流系统选用镉镍蓄电池, 采用无端电池设计方案, 分设动力母线和控制母线, 通过选择合适的电池只数和充电电压值, 以及设置硅堆降压装置, 把母线电压控制在允许范围内, 以满足供货设备的电压运行和主合同条款要求, 为负荷设备的安全稳定运行提供了可靠电源, 可供类似工程借鉴。

**关键词:** 苏布雷水电站; 直流系统; 镉镍蓄电池; 主接线

**中图分类号:** TV74; TM131.3; N945.23

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2020)03-0116-04

## DC System Design for Soubre Hydropower Station

DENG Conglin, LUO Enrong

(Chengdu Engineering Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

**Abstract:** The DC system of Soubre Hydropower Station adopts the cadmium nickel battery and the endless battery design scheme. The power bus and the control bus are set separately. The bus voltage is controlled within the allowable range by selecting appropriate number of batteries and the charging voltage value, and setting the silicon pile voltage reduction device, so as to meet the voltage operation of the supplied equipment and the requirements of the main contract terms, so as to provide a reliable power supply for the safe and stable operation of load equipment, which can be used for reference in similar projects.

**Key words:** Soubre Hydropower Station; DC system; cadmium nickel battery; main wiring

## 1 概 述

苏布雷水电站地处西非科特迪瓦共和国境内, 分主电站和生态电站, 其中主电站装设 3 台单机 90 MW 混流式水轮发电机组, 发电机额定电压为 10.5 kV。每台机组连接一台 120 MVA 双绕组油浸式升压变压器组成单元接线, 升压至 225 kV, 然后直接通过 225 kV 架空输电线路接入苏布雷 225 kV 变电站; 生态电站装设 1 台 5.31 MW 灯泡贯流式机组, 发电机额定电压 6.6 kV, 连接一台 7 MVA 双绕组升压变升压至 33 kV, 经过 33 kV 架空输电线路接入苏布雷 225 kV 变电站。

苏布雷水电站地处科特迪瓦南部, 属热带雨林气候, 最高气温可达 45 °C, 月平均温度 35 °C, 为适应当地较高的环境温度, 要求直流系统蓄电池采用镉镍蓄电池, 这不同于国内通常采用的铅酸蓄电池。

根据总承包合同条款规定, 苏布雷水电站直流系统标称电压为 127 V。

## 2 镉镍蓄电池选型计算

考虑到当地长期处于高温环境和运行人员对设备的使用维护水平不足, 需要选择一种能适应当地高温环境, 且对使用维护要求不高的蓄电池。

镉镍蓄电池与铅酸蓄电池相比, 有使用寿命长, 蓄电池自放电小, 使用温度范围广, 耐过充过放, 放电电压平稳, 机械性能好等优点; 缺点是成本较高, 存在“镉污染”, 电池长期浅充放循环时有记忆效应<sup>[1]</sup>。

综合各方面因素, 苏布雷水电站采用镉镍蓄电池是合适的。

根据 DL/T5044 标准, 由于镉镍蓄电池正常浮充电压较高, 而放电时电压下降幅度较大, 终止电压较低, 需要通过降压装置来保证直流母线电压在允许范围内。所以, 当直流系统采用镉镍蓄电池时通常需要设置端电池和降压装置<sup>[2]</sup>, 但由于直流系统正常运行时端电池不需接入母线且长时间自放电和维护不良而导致端电池失效, 且安装维护繁琐、使用机会少, 又增加设备投资。因

收稿日期: 2020-04-09

此,从减少维护工作,确保直流系统长期可靠运行的角度出发,苏布雷水电站镉镍蓄电池直流系统通过技术创新,最后采用无端电池设计方案,通过选取适当的电池只数,设定合适的充、放电电压值,分设动力母线和控制母线,对小容量的控制负荷单独采用降压装置,把动力母线和控制母线的母线电压各自控制在允许范围之内<sup>[3]</sup>。

苏布雷水电站蓄电池采用德国艾诺斯品牌镉镍蓄电池,单体标称电压为1.2 V/只,浮充电压为1.4~11.42 V/只,均充电压为1.55~1.7 V/只。

### 2.1 镉镍蓄电池只数的选择

在蓄电池参数选择上,国内标准和IEEE 1115<sup>[4]</sup>规范有一定区别。国内标准要求浮充时直流母线电压不超过105%  $U_e$ ,以满足直流供电设备额定电压的要求。而IEEE 1115按直流系统允许的最大电压考虑,最大电压主要取决于直流供电设备允许的最大电压<sup>[5]</sup>。根据苏布雷水电站主合同要求,供电设备要能在80%  $U_e$ ~125%  $U_e$ 的电压范围内可靠运行。

通过分析两个标准的异同,同时考虑到镉镍蓄电池的特点,苏布雷水电站直流系统蓄电池只数选择原则为:按照国内标准105%  $U_e$ 来控制浮充时的母线电压,以确保正常运行时所有负荷设备均能在额定电压下运行。根据最大单体浮充电压值1.42 V/只反算出最少的蓄电池只数为94只;事故放电末期,根据主合同要求的最低设备运行电压80%  $U_e$ 来确定母线最低运行电压为85%  $U_e$ ,进而计算出单体蓄电池的事故放电终止电压为1.15 V。此时,不采用国内标准87.5%  $U_e$ 的事故放电母线电压是为了进一步减小终止电压,降低蓄电池选型容量;由于镉镍蓄电池均充电压较大,为了能在在线均充时有效控制母线电压,取最小均充电压1.55 V/只,进而得出此时母线电压为114.72%。此电压已小于根据主合同允许的设备最大运行电压125%  $U_e$ 算出的最高母线电压130%  $U_e$ ,已能满足主合同要求。但考虑到过高的电压对控制设备长期稳定运行不利,因此,单独设置控制母线,仅对控制负荷进行硅堆降压,把控制母线电压控制在110%  $U_e$ 以内,而对动力负荷的母线电压按114.72%  $U_e$ 来控制。虽然比国内标准要求的112.5%略高,但也能满足主合同要求。同时,此电压对动力负荷的运行也无

特别影响且仅在在线均充时才会出现这种情况。综合考虑后,对动力负荷不再采用硅堆降压。具体选型计算如下:

根据IEEE 1115,对镉镍蓄电池只数选择公式如下:

$$\frac{\text{Maximum allowable system voltage}}{\text{Cell voltage required for satisfactory charging}} = \text{Number of cells}$$

$$\frac{\text{Minimum battery voltage}}{\text{Number of cells}} = \text{Minimum cell voltage}$$

即蓄电池只数由该直流系统允许的最高系统电压与蓄电池浮充电压决定,而单只蓄电池放电末期电压由该直流系统允许的最小蓄电池组电压与蓄电池只数决定;同时,需指出:最小蓄电池组电压等于直流系统允许的最低电压加上终端负荷到蓄电池出口的电压降。

首先保证在正常浮充运行时,直流母线电压不超过直流系统标称电压的105%。

$$n \leq \frac{1.05 \times U_{e.m}}{U_{fc}} = \frac{1.05 \times 127}{1.42} = 94 \text{ (只)} \quad \text{取 } n = 94 \text{ (只)}$$

式中  $n$  为蓄电池组电池数; $U_{fc}$ 为单个蓄电池的浮充电压,取 $U_{fc}=1.42$  V/只。

根据总承包主合同条款规定,终端负荷设备运行电压不低于80%  $U_e$ ,终端负荷到蓄电池出口考虑5%  $U_e$ 的线路电压降,则事故放电末期允许的最小蓄电池组端电压为85%  $U_e$ 。

$$U_{fm} \geq \frac{U_y}{n} = \frac{0.85 \times 127}{94} = 1.148 \quad \text{取 } U_{fm} = 1.15 \text{ V/只}$$

式中  $U_y$ 为事故放电阶段蓄电池最低允许电压; $U_{fm}$ 为单个蓄电池的终止电压。

均充时,蓄电池组端电压不应超过直流系统母线允许的最高电压,根据合同条款要求,终端负荷设备运行电压不高于125%  $U_e$ ,终端负荷到蓄电池出口考虑5%  $U_e$ 的线路电压降,则最高蓄电池组端电压不应超过130%  $U_e$ 。

蓄电池均充电压取1.55 V/只,则均充时蓄电池组端电压为114.72%  $U_e$ ,满足主合同条款要求。

对于控制负荷,通过硅堆降压限制控制直流母线电压不超过直流系统标称电压的110%,以

防止控制设备运行电压过高。

通过对水电站内各负荷统计,主要负荷情况

## 2.2 镉镍蓄电池容量计算

见表 1。

表 1 直流负荷表

序号	负荷名称	负荷容量	负荷系数	计算电流 /A	经常负荷 /A $I_{jc}$	事故放电时间及放电电流 /A		
						初期 /min	持续 /min	随机 /s
						1	1~90	5
1	事故照明	20.0 kW	0.6	94.5		94.5	94.5	
2	机旁二次盘柜	7.8 kW		61.42	61.42	61.42	61.42	
3	中控室二次盘柜	1.2 kW		9.45	9.45	9.45	9.45	
4	开关柜、备自投装置等	1.0 kW		7.87	7.87	7.87	7.87	
5	辅机及公用设备控制盘	1.0 kW		7.87	7.87	7.87	7.87	
6	UPS 电源	15 kVA	0.6	70.87		70.87	70.87	
7	10.5 kV 断路器合闸电流			5				5
8	启励电流			30				30
	合计			286.98	86.61	251.98	251.98	35

第 1 阶段计算容量:

$$C_{c1} = K_k \frac{I_1}{K_c} = 1.4 \times \frac{251.98}{1.38} = 255.63(\text{Ah})$$

式中  $C_{c1}$  为第 1 阶段计算容量;  $K_k$ —可靠系数,取 1.4;  $K_c$  为初期(1 min)冲击负荷的容量换算系数(1/h),取 1.38;  $I_1$  为第 1 阶段负荷电流。

第 2 阶段计算容量:

$$\begin{aligned} C_{c2} &= K_k \left[ \frac{I_1}{K_{c1}} + \frac{I_2 - I_1}{K_{c2}} \right] \\ &= 1.4 \times \left[ \frac{251.98}{0.44} + \frac{251.98 - 251.98}{0.445} \right] \\ &= 801.75(\text{Ah}) \end{aligned}$$

式中  $C_{c2}$  为第 2 阶段计算容量;  $K_{c1}$  为第 2 阶段全部放电时间 1.5 h 的容量换算系数(1/h),取 0.44;  $I_2$  为第 2 阶段负荷电流;  $K_{c2}$  为 89 min 的容量换算系数(1/h),取 0.445。

随机负荷计算容量:

$$C_r = \frac{I_r}{K_{cr}} = \frac{35}{2.9} = 12.07(\text{Ah})$$

式中  $C_r$  为随机负荷计算容量;  $I_r$  为随机负荷电流;  $K_{cr}$  为随机(5 s)冲击负荷的容量换算系数(1/h),取 2.9。

$C_{c2} + C_r = 801.75 + 12.07 = 814 \text{ Ah}$ , 大于  $C_{c1}$ , 蓄电池计算容量为 814 Ah。

综合以上计算,蓄电池容量选为 1 000 Ah。由于厂房重要负荷较多,蓄电池采用冗余配置,两组蓄电池分别带 I 段母线和 II 段母线,当一组蓄

电池故障时,可用另一组蓄电池同时带两段母线。

## 3 充电装置的选择计算

充电装置采用多个高频开关整流模块并联,即在 N 个模块满足蓄电池的充电电流加上经常负荷电流的条件下,选用 N+1 个模块。

充电装置最大输出电流:

$$\begin{aligned} I &= 0.2C_5 + I_{jc} = 0.2 \times 1\ 000 + 86.61 \\ &= 286.6(\text{A}) \end{aligned}$$

选择单个整流模块的额定输出电流为 50 A,则可确定  $N=6$ ,即总共选用  $N+1=7$  个高频开关整流模块。

充电装置的最大输出电压应大于均充电压,考虑一定裕度,  $U_{\max} \geq 1.1 \times 1.55 \times 94 = 160 \text{ V}$ 。

由于电站重要负荷较多,高频开关模块同样采用双套配置,每组蓄电池配置一套充电装置。

## 4 主接线方式

根据主合同条款,要求蓄电池采用两套 127 V 镉镍蓄电池和两套充电装置,冗余设置,直流母线采用单母分段,每套蓄电池组和充电装置接到不同的母线上,这种直流系统主接线结构是比较常见的配置。

根据上述选型计算,在均充时蓄电池端电压为 114.72%,虽然满足主合同的电压范围要求,但不满足 DL/T5044 对控制母线电压不超过 110%  $U_e$  的要求。为了降低母线电压,一般的做法有两种:一是设置端电池;二是硅堆降压。通过前面的

分析,端电池方案不建议采用,而针对硅堆降压措施,常规做法是全容量硅堆降压,以满足 DL/T5044 中对控制母线或动力控制合并母线的运行电压要求。但是全容量硅堆降压有以下几个问题:一是由于降压容量大,使硅堆降压装置体积较大,布置困难,通常需要增设专门的屏柜来布置,增加了现场布置的难度;二是发热量增大,散热问题突出,尤其是非洲热带地方的环境温度本身较高,不利于设备的安全稳定运行;三是增加设备投资,硅堆装置本身价格较贵,提高容量后会大大增

加采购费用。因此,从所采购设备的实际运行电压条件出发,苏布雷水电站直流系统母线分设动力母线和控制母线,动力母线直接接于蓄电池端,主要负荷为事故照明负荷;控制母线经硅堆降压装置引自动力母线,通过降压装置把控制母线电压控制在  $110\%U_e$  范围内,主要负荷为保护、控制设备负荷。采用分设母线方式后,控制母线负荷容量大大降低,缓解了硅堆装置的选型难度,见图 1。

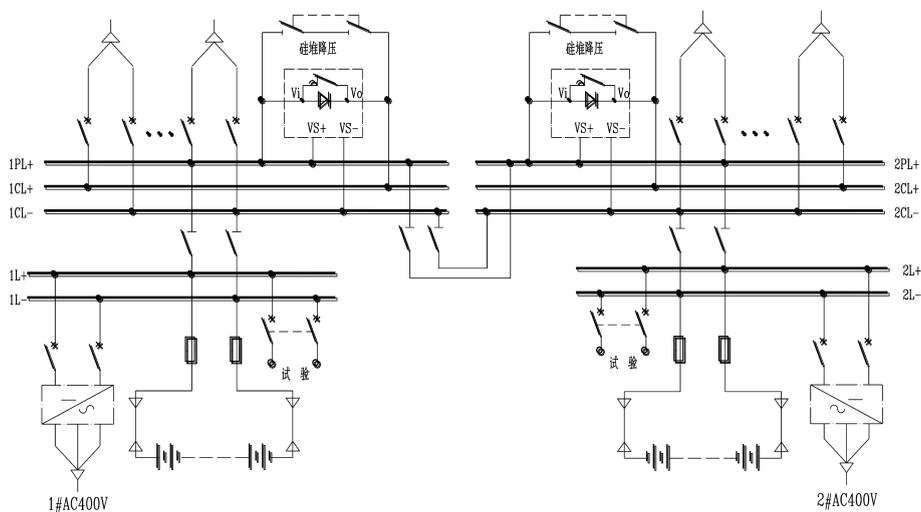


图 1 直流系统主接线图

## 5 结 语

IEEE 1115 国际标准与 DL/T5044 国内标准在直流系统设计规定上有所不同,各有侧重。前者对直流母线实际运行电压没有明确规定,只要能满足合同要求的设备运行电压范围即可。这种方式虽然简化了直流系统各参数选择,但对负荷设备实际所能承受的运行电压提出了更高的要求;而后者对母线电压有明确规定,把母线电压控制在一定范围内,使负荷设备不至于承受过高的运行电压,但对于充电时电压变化幅度较大的镉镍电池来说,要把母线电压控制在要求的范围内,还需要采用另外的一些措施。

笔者把两种思路结合起来,提出分别设置动力母线和控制母线,对负载容量较大的动力母线按 IEEE 1115 的思路设计,以满足合同要求的运行电压为准。而对负载容量不大的控制母线则按 DL/T5044 的思路设计,采用硅堆降压的方式来控制母线电压,该设计方式对类似工程项目有一

定借鉴意义。

## 参考文献:

- [1] 曹春裕. 镉镍蓄电池的直流系统在发电厂的应用[C]. 上海市电机工程学会, 上海市电工技术学会. 上海市电机工程学会, 上海市电工技术学会第十一届学术年会论文集. 上海, 2012: 52-57.
- [2] DL/T 5044, 电力工程直流系统设计技术规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [3] 邓丛林, 李 伶. 用于高浮充电压下直流供电系统的主接线电路[P]. 中国: ZL 2017, 2 0963986.1. 2018年02月13日.
- [4] IEEE 1115, IEEE Recommended Practice for Sizing Nickel-Cadmium Batteries for Stationary Applications[S].
- [5] 龙军. 浅谈印度某发电工程镉镍蓄电池选择计算[J]. 四川电力技术, 2012, 35(3): 92-94.

## 作者简介:

邓丛林(1982-), 男, 四川眉山人, 高级工程师, 硕士, 从事水电站控制保护系统设计;

骆恩蓉(1964-), 女, 重庆南川人, 教授级高级工程师, 学士, 从事水电站控制保护系统设计。

(责任编辑:吴永红、卓政昌)