

# 埃塞俄比亚 GIBE III 水电站直流系统设计

肖利建, 高爽

(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:**水电站直流系统主要为电站控制保护系统、自动化元件、直流电机等设备及其元器件提供可靠稳定的直流供电,是水电站安全运行的重要保障。埃塞俄比亚 GIBE III 水电站是近年来中国水电行业在国外承接的具有代表意义的巨型水电项目,其装机数量多,站内直流负荷需求大且分布广,直流系统可靠性要求较高。本文对该项目的直流系统的设计和实施方案进行了简要的说明和介绍,可供同行探讨、借鉴。

**关键词:** GIBE III 水电站; 直流系统; 参数选定; 结构布置

**中图分类号:** [TM622]; TM131.3; N945.23

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2020)增 1-0110-03

## DC System Design of GIBE III Hydropower Station in Ethiopia

XIAO Lijian, GAO Shuang

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

**Abstract:** The DC system of hydropower station mainly provides reliable and stable DC power for the control and protection system, automation components, DC motor and other equipment and components in the station, which is an important guarantee for the safe operation of the hydropower station. GIBE III Hydropower Station in Ethiopia is a representative giant hydropower project undertaken abroad by China's hydropower industry in recent years. It has large installed capacity, large demand and wide distribution of DC load in the station, which need high reliability requirements for DC system. In this paper, the design and implementation scheme of DC system of the project are briefly described and introduced, which can be used for reference for the industry.

**Key words:** GIBE III Hydropower Station; DC system; parameter selection; structure layout

### 1 概述

GIBE III 水电站位于埃塞俄比亚西南的 Sodo 市附近,距其首都 ADDIS ABABA 约 360 km,是 OMO 河梯级开发中的第 3 级电站,电站装设 10 台 187 MW 的混流式水轮发电机组,电站主要任务为发电、防洪和流量调节等。作为非洲目前已投产的最大水电站,中方人员常将其称为“非洲的三峡工程”。该项目建成后,通过同时建设的远距离 400 kV 高压输电线路向埃塞首都以及重要工业地区供电。GIBE III 水电站的直流系统按照主厂房、开关站、坝区等区域的分布情况,分别设置了相互独立的直流电源系统,承担对应区域的直流供电功能。

### 2 直流系统总体构成

GIE III 项目采用引水式电站结构,主体工程

主要包括碾压混凝土重力坝、引水隧洞、调压井、主厂房、400 kV 架空线路、400 kV 敞开式开关站等,电站的直流负荷分布于主厂房、大坝、开关站等部位,这几个部位之间相距较远(主厂房至开关站的线路距离约为 3 km,主厂房至大坝的线路距离约为 1.5 km),因此,需要分别装设直流电源系统。通过对工程各区域主要直流负荷的初步统计、计算,结合电站的枢纽布置情况,本电站直流系统按照主厂房、坝区、400 kV 开关站分别进行设置,分别设置主厂房直流系统、坝区直流系统和开关站直流系统,每套直流系统配置单独的蓄电池组、充电设备、馈电装置及相应的附属设备等。

### 3 直流系统主要参数选定

#### 3.1 系统电压

水电站直流系统标准电压等级一般有 220 V、110 V 和 48V 三种等级,其中 48 V 电压等级

收稿日期: 2020-04-24

通常应用于直流通信电源。用于控制、保护系统的直流电源,一般选用 220 V 或 110 V 的电压等级。根据业主方在总承包合同中的技术要求,本项目的直流系统原拟采用 110 V 电压等级。

220 V 和 110 V 两种直流电压等级在工程应用中各有优缺点,采用 110 V 电压等级的直流系统,蓄电池数量减半,系统绝缘要求较低,但是线缆直径需要大幅增加;而选用 220 V 电压等级的直流系统,蓄电池数量比 110 V 电压的直流系统多 1 倍,系统绝缘要求相对较高,但线缆直径可以大幅减小。在《电力工程直流系统设计技术规程》DL/T5044 中<sup>[1]</sup>规定,“专供控制负荷的直流系统宜采用 110 V;专供动力负荷的直流系统电压宜采用 220 V;控制负荷和动力负荷联合供电的直流系统采用 220 V 或 110 V”。水电站直流系统的负荷中,包括监控、保护、信号测量元件等控制负荷,也包括断路器储能电机等动力负荷,在系统设计中,一般采用的是控制负荷、动力负荷联合供电的方式。

表 1 两种电压等级对比

负荷类型	110 V 直流系统	220 V 直流系统
	专供控制负荷\控制负荷和动力负荷联合供电	专供动力负荷\控制负荷和动力负荷联合供电
系统绝缘要求	较低	较高
直流线缆要求	较大	较小
蓄电池数量	较少	较多
蓄电池容量	较大	较小

注:对比是在相同负荷、相同事故放电周期条件下进行

直流系统设计中,在相同的负荷条件下,电压越小,电流越高,进而导致线缆线径增加。特别是在大中型水电站中,一般厂房规模较大,直流供电距离较远,并且直流负荷数量较多,若采用 110 V 电压等级会增加大量的线缆投资;另一方面,在相同的直流负荷,且事故放电时间不变的条件下,采用 110 V 电压等级也会导致直流系统蓄电池容量变大,整体经济性不佳。因此,在国内水电站直流系统中,多以采用 220 V 电压等级为主。经过技术经济对比,通过与业主方、咨询方的技术沟通、讨论,本项目直流系统最终采用 220 V 电压等级。

### 3.2 蓄电池容量

GIBE III 水电站主厂房采用地面式厂房结构,主厂房内共装设了 10 台单机容量为 187 MW

的混流式水轮发电机组及其附属设备。根据项目总承包合同技术要求,需要在主厂房内装设 2 组容量不低于 1 200 Ah 的蓄电池组,用于为电站主厂房内的直流负荷提供直流电源。经过统计,本项目主厂房内的直流负荷主要有:计算机监控系统设备、发电机保护设备、主变保护设备、架空线路保护设备、励磁设备、调速器、机组自动化设备、辅控设备、厂用电设备、事故照明负荷等。

400 kV 开关站内的主要直流负荷为开关站内的监控系统设备、继电保护设备、直流电机负荷、事故照明负荷等;坝区的直流负荷则主要是大坝上各处闸门控制设备以及设置于坝区的计算机监控系统现地控制设备。相对于主厂房直流系统而言,开关站和坝区的直流负荷较小。

蓄电池容量根据下式进行计算<sup>[2]</sup>:

$$Q_e \geq \frac{I_{sg} \times t_{sg}}{K_q \times K_k}$$

式中  $Q_e$  为蓄电池计算容量,  $I_{sg}$  为事故放电电流,  $t_{sg}$  为事故放电时间,  $K_q$  为蓄电池放电容量比,  $K_k$  为可靠系数。直流系统事故放电电流  $I_{sg}$  经负荷统计计算后确定;事故放电时间通常取 1 小时,具体根据实际情况进行选定;  $K_q$  按照所选择蓄电池的性能曲线,结合事故放电时间进行取值;可靠系统  $K_k$  值根据工程实际情况灵活选择,一般取值在 0.8~0.9 左右。

经计算分析,本项目主厂房直流系统蓄电池容量按照 2 000 Ah 每组进行配置,400 kV 开关站直流系统蓄电池容量按照 500 Ah 每组进行配置,坝区直流系统蓄电池组按照 150 Ah 每组进行配置。

### 3.3 蓄电池数量

近年来,在国内水电项目实施中,直流系统蓄电池多选用铅酸蓄电池,在一些国外项目中,也有少部分选用镍镉蓄电池,镍镉蓄电池设备成本较高,但使用寿命相对较长<sup>[3]</sup>。根据总承包合同约定,本项目蓄电池选用阀控式密封铅酸蓄电池<sup>[4]</sup>。

阀控式密封铅酸蓄电池的单只电压规格一般有 2 V 和 12 V 两种,相对而言,2 V 蓄电池的使用寿命较长,可靠性较高,在使用过程中,若有少量损坏,不会给整个直流系统带来大的影响,但是只数较多,一般需要单独配置蓄电池架;12 V 蓄电池的优点在于只数相对较少,易于安装组屏,易

于维护,且成本相对较低,但缺点是单只电池损坏将导致系统无法正常运行。经比选,在本项目中,主厂房直流系统和开关站直流系统选用 2 V 蓄电池,坝区直流系统选用 12 V 蓄电池<sup>[5]</sup>。

本项目直流系统采用不配置端电池的方式,在单只蓄电池电压规格选定后,每组蓄电池的只数通过下式计算确定:

$$n \geq \frac{1.05 \times U_e}{U_{fc}}$$

式中  $n$  为蓄电池只数; $U_e$  为直流系统额定电压,取 220 V; $U_{fc}$  为单只蓄电池浮充电压,一般在 2.23 V~2.28 V 之间,本项目取值 2.25 V。经计算,主厂房直流系统和开关站直流系统的单组蓄电池组配置 2 V 蓄电池 103 只,坝区直流系统蓄电池组配置 12 V 蓄电池 18 只。

### 3.4 充电装置选型

水电站直流系统充电装置的型式有高频开关和晶闸管两种,其中高频开关装置在国内外水电行业中已有广泛应用,具有模块化、效率高、噪音小、易于安装维护、可靠性高、自动化程度高等突出优点<sup>[6]</sup>。经业主方批准,本项目中采用高频开关式充电装置。高频开关模块整流的充电装置,整流模块应满足“N+1”的配置方式<sup>[7]</sup>(N 为满足直流系统充电要求的模块数量),并采用并列方式运行,任意充电模块发生故障,不影响直流系统运行。高频开关电源模块电流主要有 5 A、10 A、20 A、30 A、40 A 等规格,在工程中,额定充电电流根据下式进行计算:

$$I_{ec} \geq I_c + I_{jc}$$

式中  $I_{ec}$  为直流系统额定充电电流; $I_c$  为蓄电池最大充电电流,按照(0.1~0.15)Q10 计算; $I_{jc}$  为直流系统经常负荷,通过负荷统计得出。

## 4 直流系统结构及布置

### 4.1 主厂房直流系统

GIBE III 项目的主厂房直流系统需要为主厂房内的所有直流负荷供电,考虑主厂房规模较大,为了均衡直流母线上的负荷,同时避免直流供电线路过长造成压降过大,本项目的直流系统布置在主厂房纵向中线附近,设置单独的蓄电池室。主厂房直流系统采用单母线分段接线,即:两组蓄电池和两台充电装置各带一段直流母线运行,当其中一台蓄电池或充电装置发生事故的情况下,

两段母线可通过手动方式并列运行。

由于主厂房直流系统容量较大,采用 2 000 Ah 的蓄电池组,单只电池体积较大、较重,导致电池架整体尺寸偏大、偏重。为此,在选定了蓄电池室布置后,对楼板承重力进行了加强和设计复核,并为蓄电池室布置了专用的排气和通风管道,蓄电池室内的照明、监控设备均采用防爆型设备。同时,由于蓄电池架尺寸较大,跨越了厂房混凝土收缩缝,为防止后期运行中混凝土沉降不均匀导致电池架变形、电池连接线脱落,电池架根据蓄电池室尺寸、布置情况和收缩缝位置进行定制,分区安装蓄电池,在跨缝处设置软连接(如图 1)。

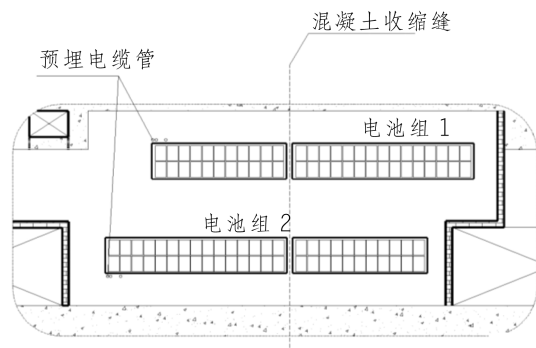


图 1

### 4.2 开关站直流系统

本项目开关站采用敞开式开关站,单独设置了控制楼一座,开关站直流系统布置在控制楼内。升压站蓄电池组设置单独的蓄电池室,蓄电池通过电池架安装,蓄电池组通过直流电力电缆与充电柜、馈电柜连接。开关站直流系统结构形式与主厂房相同,采用单母线分段接线,两组蓄电池和两台充电装置各带一段直流母线运行,当其中一台蓄电池或充电装置发生事故的情况下,两段母线可通过手动方式并列运行。

### 4.3 坝区直流系统

坝区直流系统布置于坝顶配电室内,由于蓄电池容量相对较小,且采用 12 V 蓄电池组,因此,选用组屏安装的方式装设蓄电池组。坝区直流系统设置 1 段直流母线,配置 1 套充电装置。

## 5 结语

埃塞俄比亚 GIBE III 水电站是我国水电行业近年来执行的规模较大的涉外项目,其业主方为埃塞国家电力公司 EPPco,业主方为项目建设聘

(下转第 116 页)

取值为  $0.2s-0.5s$ ,  $U_{\varphi.set}$  一般取电压互感器二次侧额定相电压的  $1/3$ , 二次侧稳态分频相电压定值  $U_{\varphi}(f_0/3).set$ 、 $U_{\varphi}(f_0/5).set$ 、 $U_{\varphi}(f_0/7).set$  一般取值  $4V-8V$ , 因此, 铁磁谐振预警装置既能躲开设备正常运行时的不平衡电压, 又能可靠采集到断路器分闸后间隔的稳态电压, 并且有很高的灵敏性。

### 3.3 电压互感器铁磁谐振预警装置信号取值

电压互感器铁磁谐振预警装置采集该间隔单元内断路器分位信号和电压互感器电压信号, 断路器分位信号取自间隔单元内断路器位置接点, 电压信号取自电压互感器二次侧三相相电压, 谐振告警信号上送至监控系统。图 10 为电压互感器铁磁谐振预警装置实现示意图。

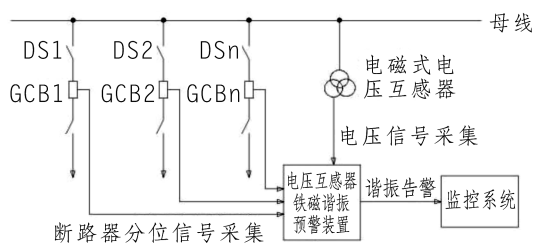


图 10 电压互感器铁磁谐振预警装置实现示意图

## 4 结 语

随着机组容量的不断增大, 电力系统高压

GIS 断路器的大量使用, 电压互感器铁磁谐振时有发生。新的电压互感器铁磁谐振预警装置, 利用断路器位置信号、电压互感器二次侧三相相电压及整定时间逻辑, 在间隔单元内断路器全部分闸后开始计时, 超出整定时间  $T_{set}$  后, 任意一相稳态相电压或任意一相分频相电压超过定值时, 预警装置能可靠输出谐振报警信号上送至监控系统, 提醒运行值班人员及时拉开谐振间隔单元断路器靠电压互感器一侧的隔离开关, 破坏谐振参数, 避免谐振引起设备烧损, 将谐振对设备的危害降到最低。特别是开关站事故处理情况下, 运行人员发现谐振的难度更大, 该铁磁谐振预警装置能解决这一问题。

### 参考文献:

- [1] 周守昌. 电路原理[M]. 高等教育出版社, 2004.
- [2] 杨保初. 高电压技术[M]. 重庆大学出版社, 2015.
- [3] 刘红文. 配电网铁磁谐振原理及防护[M]. 科学出版社, 2019.
- [4] 何仰赞. 电力系统分析[M]. 华中科技大学出版社, 2002.
- [5] 谢小荣. 电力系统次同步谐振的分析与控制[M]. 科学出版社, 2015.

### 作者简介:

- 童松(1983-), 男, 湖北黄冈人, 大学本科, 工程师, 从事电力系统及自动化工作;
- 顾金龙(1988-), 男, 四川德阳人, 大学本科, 助理工程师, 从事电力系统及自动化工作。

(责任编辑: 卓政昌)

(上接第 112 页)

请了专业的欧洲咨询团队, 总承包合同技术条款大多按照国际规范或欧美规范进行设置。本项目的直流系统在设计过程中经过与外方技术团队的多次沟通和交流, 最终获得了各方认可。GIBE III 水电站已于 2016 年 8 月投产发电, 电站投产过程顺利, 实现了 10 台大型机组“一月一投”的惊人目标, 在国际上展示了中国水电行业高水平的设计、生产以及安装质量。目前电站运行稳定, 本项目为埃塞俄比亚创造了良好社会经济效应, 取得了圆满的成功。本项目的顺利实施, 为中国水电产品走向世界进行了有益的探索。

### 参考文献:

- [1] 国家能源局. 《电力工程直流电源系统设计技术规程》[S]. 北京, 中国计划出版社, 2014.
- [2] 水电站机电设计手册编写组. 《水电站机电设计手册—电气二次》[M]. 北京, 水利水电出版社, 1984, 793—876.

- [3] 吴正龙, 刘彬. 《浅析镍镉蓄电池运行和维护方法》[J]. 技术与市场, 2019, 26(11), 138—140.
- [4] 袁文海, 董腾华, 王浩彬, 马建辉. 《阀控铅酸蓄电池剩余容量在线预估技术研究》[J]. 电器与能效管理技术, 2019, (20), 47—50.
- [5] 赵延青. 《变电站直流系统的负荷分析与蓄电池容量的选择》[J]. 信息技术与信息化 2019, (9), 193—194, 198.
- [6] 郭晓飞. 《浅析直流系统充电模块特性测试》[J]. 科技创新与应用 2012, (30), 160—161.
- [7] 梁文倩. 《变电站直流系统“N+1”充电模块配置改造经验介绍》[J]. 通信电源技术 2019, 36(8), 211—212.

### 作者简介:

- 肖利建(1982-), 男, 四川成都人, 硕士, 高级工程师, 中国电建集团成都勘测设计研究院设备物资部副主任, 长期从事机电工程设计、咨询和管理的工作;
- 高爽(1983-), 女, 四川成都人, 学士, 会计师, 中国电建集团成都勘测设计研究院投资与资金管理部从事财务及资金管理的工作。

(责任编辑: 卓政昌)