

安谷水电站电气一次设计

张梅¹, 向重平¹, 王涛²

(1. 四川省水利水电勘测设计研究院, 四川 成都 610072; 2. 四川圣达水电开发有限公司, 四川 乐山 614900)

摘要:介绍了安谷水电站电气一次设计的主要内容,包括电气主接线及厂用电接线、主要电气设备选择和布置、过电压保护及接地等,并对设备选择和布置上的特点进行了论述,可为其他类似工程设计提供参考。

关键词:电气主接线;设备选择和布置;防震;接地;安谷水电站

中图分类号:TV7;TV22;TV735

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)01-0063-05

1 工程概况

安谷水电站工程是大渡河干流梯级开发中的最后一级,坝址位于乐山市市中区与沙湾区接壤的安谷河段生姜坡。电站装机容量为 772 MW,装设 4 台、单机容量为 190 MW 和 1 台 12 MW 的轴流转桨式水轮发电机组,多年平均发电量 31.44 亿 kW·h。工程枢纽主要由非溢流坝、泄洪冲沙闸、左岸副坝、右岸副坝、电站主厂房、尾水渠、船闸等建筑物组成。

工程于 2012 年 3 月 1 日正式开工建设。2014 年 12 月 8 日首台机组投产发电。2015 年 8 月 28 日全部机组投产发电。

2 接入电力系统的方式及电气主接线

2.1 接入电力系统的方式

根据 2012 年 6 月四川西星电力科技咨询有限公司的《四川省大渡河安谷水电站接入系统方案调整报告》及四川省电力公司川发展[2013]53 号《关于大渡河安谷水电站接入系统方案调整的批复》,安谷水电站接入系统的方式为:电站出线电压等级采用 220 kV 一级电压,出线 2 回接入南天 500 kV 变电站 220 kV 母线,并入国家电网,送电距离为 15 km。电站 220 kV 侧短路水平按 50 kA 考虑。

根据 2013 年 11 月 19 日四川电力设计咨询有限责任公司的《关于安谷水电站升压变阻抗调整为高阻抗的说明函》,为满足安谷水电站接入电网后的电网运行安全要求,安谷水电站 4 台 220 MVA 升压变压器阻抗值均由常规 $U_k\% = 14\%$ 提高到 $U_k\% = 18\%$ 。

2.2 电气主接线

根据接入系统资料,结合该电站装机单机容量较大、年利用小时数高及枢纽布置较困难等特点,分别拟定了三种主接线方案并进行了技术经济比较,最终确定电气主接线形式:5 台发电机侧均采用发电机-变压器单元接线,发电机出口设断路器,220 kV 侧采用双母线接线形式,共有两回出线接入系统。220 kV 高压配电装置采用 GIS 设备。

3 厂用电系统

电站厂用电系统采用 10 kV 和 0.4 kV 两级电压供电。10 kV 厂用电系统采用单母线分段接线,共分为 5 段母线,Ⅰ、Ⅱ段母线分别通过 3 台 833.34 kVA 高压单相厂用变分别接入#1、#3 机组单元母线,Ⅲ段母线通过高压断路器接入#5 机组单元母线,Ⅳ段母线通过一台 2 500 kVA 高压厂用变与外来 35 kV 电源连接,Ⅴ段母线与一台 1 600 kVA 柴油发电机组连接。Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ段母线位于主厂房,Ⅳ、Ⅴ段母线位于坝区集控房。正常运行时,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ段母线独立运行,互为备用。35 kV 外来电源作为暗备用电源,柴油发电机作为坝区保安电源。各段母线间均设置母联断路器,且设置备用电源自动投入装置。

0.4 kV 厂用电系统采用机组自用电、全厂公用电、照明系统及坝区供电分别设置方式。机组自用电分别由接于 10 kV Ⅰ、Ⅲ段母线上的两台 1 000 kVA 厂用变压器供电,低压侧采用单母线分段接线。全厂公用电分别由接于 10 kV Ⅰ、Ⅲ段母线上的两台 1 600 kVA 厂用变压器供电,低压侧采用单母线分段接线。全厂照明系统分别由

收稿日期:2017-09-25

接于 10 kV I、Ⅲ段母线上的两台 250 kVA 照明变压器供电,低压侧采用单母线分段接线。坝区分别由接于Ⅳ、Ⅴ段母线上的两台 800 kVA 坝区用变压器供电,低压侧采用单母线分段接线。为限制短路电流及提高厂用电运行的可靠性,正常运行时要求各段母线均分开单独运行,在任何情况下应避免同一段母线由两个电源同时供电的运行方式出现。

4 主要电气设备的选择

4.1 水轮发电机

大机(#1、#2、#3、#4)发电机为立轴半伞式结构,采用密闭、单支路径向无风扇自循环通风冷却系统,主要由定子、转子、上下机架和其它辅助部分组成。定子主要由定子机座、铁芯和绕组组成。定子绕组采用 4 支路 Y 形连接,绝缘等级为 F 级。定子机座由轧制钢板焊接而成,并根据运输的限制条件将发电机定子机座分成 6 瓣运输到现场,在工地进行组圆焊接。转子主要由转子中心体、圆盘支架、磁轭和磁极组成,转子上部与上端轴相连,下部与发电机轴相连,连接方式均为法兰连接。发电机转子外径为 13 180 mm,转子磁轭高度为 1 833 mm,整体转子重量为 606 t。转子支架为圆盘式支架,其中心体为整体运输至现场。支架的下部设有制动环;磁轭由高强度钢片在现场叠装而成,磁轭叠片用螺栓紧固,磁轭外侧挂上磁极并连线。推力轴承采用弹簧束支承结构。

小机(#5)发电机为立轴悬式结构,采用密闭循环,双路弧斗式风扇,径向通风冷却方式。定子整体运输至工地现场。定子绕组采用圈式叠绕组,2 支路 Y 形连接,绝缘等级为 F 级。转子采用单轴结构,磁轭叠片和磁极挂装等组装工作由机电安装单位在现场完成。推力轴承采用弹性圆盘支承。发电机主要技术参数见表 1。

发电机额定电压的选择应综合考虑发电机的技术经济指标以及电站配电装置,如变压器、断路器、母线等设备的投资及运行费用。在发电机容量和转速一定的情况下,选择较高一级电压会消耗较多的绝缘材料,也不利于定子防晕;选择较低一级电压,铜材料消耗较多,发电机定子电流增大,将使发电机出口开关设备造价增加。安谷水电站#1~#4 发电机容量为 190 MW,发电机额定电压选择 13.8 kV 和 15.75 kV 均可行。可研阶

段经收集厂家资料后得知,若选择发电机电压为 15.75 kV 电压等级,比选择发电机电压 13.8 kV 机组的总重量要少 15 t,发电机电压母线电流少 1 125 A,且选择发电机电压 15.75 kV 电压等级厂家已有成功的运行经验。鉴于以上原因,故在可研阶段,设计单位推荐发电机额定电压为 15.75 kV。

表 1 发电机主要技术参数表

项目	大机(#1、#2、#3、#4)	小机(#5)
型号	SF190 - 68/14000	SF12 - 28/5000
额定容量	217.14 MVA	14.12 MVA
额定出力	190 MW	12 MW
额定电压	13.8 kV	10.5 kV
额定功率因数	0.875	0.85
额定转速	88.2 r/min	214.3 r/min
飞逸转速 (非协联工况)	250 r/min	630 r/min
定子绕组接线方式	4Y	Y
中性点接地方式	经接地变压器接地	不接地

为了更好地选择安谷水电站水轮发电机组,在设备招标前,业主组织国内知名的水轮发电机制造厂家——东电、浙富、哈电、福伊特召开了技术交流会,会议推荐发电机额定电压采用 13.8 kV。从经济上比较,采用 15.75 kV 比采用 13.8 kV 设备总投资要多两千多万元。在机组招标文件中,对发电机的额定电压规定为 15.75 kV 或 13.8 kV。东电、浙富、哈电、福伊特、东芝水电、天津阿尔斯通六家投标人中除东电采用 15.75 kV 额定电压外,其余均采用 13.8 kV 额定电压。最终中标单位为东芝水电,发电机电压确定为 13.8 kV。实践证明:采用 13.8 kV 额定电压是合适的。

4.2 主变压器

该电站主变压器由山东泰开变压器有限公司供货,主要技术参数为:

- (1)变压器型式:油浸式三相双绕组无励磁调压 油浸式三相双绕组无励磁调压
- (2)型号: SFP11 - 220000/220 SF11 - 15000/220
- (3)额定容量:220 MVA 15 MVA
- (4)额定电压:
高压侧:242(± 2 × 2.5%) kV 242(± 2 ×

2.5%) kV

低压侧:13.8 kV 10.5 kV

(5)联接组别:YN,d11 YN,d11

(6)阻抗电压 UK : 18% $\pm$ 5% 12%

(7)中性点接地方式:直接接地 直接接地

(8)冷却方式: OFAF 强迫油循环风冷

ONAF 油浸风冷

(9)总油量/运输重/(充氮)总重量:31.4/

134.8/179.57(t) 16.7/28/52(t)

4.3 252 kV SF6 气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS)

252 kV GIS 为户内 GIS 设备,采用双母线接线,共 10 个间隔,包括 5 个进线间隔,2 个出线间隔,1 个母联间隔,2 个 PT 间隔。包括断路器、隔离开关、接地开关、快速接地开关、PT、CT、避雷器、GIS/变压器连接元件和现地控制柜等。252 kV GIS 设备由现代重工(中国)电气有限公司供货,主要技术参数如下:

(1)额定电压:252 kV

(2)相数:3 相

(3)额定电流:3 150 A

(4)额定短时耐受电流:50 kA /3 s

(5)额定峰值耐受电流:125 kA

(6)母线导体材料:铝合金

(7)断路器操动机构:弹簧

4.4 发电机电压配电装置

发电机电压配电装置为发电机主引出线至主变低压侧及发电机中性点等处 13.8 kV 电气设备,主要包括发电机出口断路器(GCB)、离相封闭母线(IPB)及 13.8 kV 高压开关柜等设备。

大机发电机出口断路器(GCB)由法国 ALSTOM 生产供货,小机 GCB 由川开股份有限公司供货(配施耐德生产的 HVX17-40-31 发电机专用断路器)。

GCB 主要技术参数:#1、#2、#3、#4 机组 #5 机组

(1)型式 SF6 气体灭弧、卧式 真空

(2)型号 FKG1N HVX17-40-31

(3)额定电压(最高运行电压 UN) 27.5 kV 17.5 kV

(4)相数 3 相 3 相

(5)额定电流 10 800 A 3 150 A

(6)额定短路关合电流 340 kA 100 kA

(7)额定动稳定电流 334 kA 100 kA

(8)额定短路开断电流(I_{sc})

交流分量有效值 系统源 $\geq$ 100 kA 40 kA

电机源 $\geq$ 50 kA

直流分量百分数 系统源 $\geq$ 75% 75%

电机源 $\geq$ 130%

(9)操动机构 弹簧储能液压操动机构 电动弹簧储能

#1、#2、#3、#4 机组发电机出口至主变压器低压侧采用全连式离相封闭母线(IPB)连接。厂用分支及励磁分支回路均采用 IPB 引接,以减少短路故障,提高运行可靠性。由于厂用分支短路电流大,开关设备选择困难、价格昂贵,故厂用电分支和励磁回路分支均不装设开关设备,与主回路直接相连。该电站 IPB 由向荣集团有限公司供货。

IPB 主要技术参数为:主回路母线 分支回路母线

(1)型号 QLFM-15.75/10 000 QLFM-15.75/630

(2)额定电压 /kV 15.75 15.75

(3)最高电压 /kV 18 18

(4)相数 3 3

(5)相间中心距 /mm 1 400 1 400

(6)额定电流 /A 10 000 630

(7)额定短时耐受电流(2 s,有效值,kA) 100 100

(8)额定峰值耐受电流 /kA 250 250

(9)额定绝缘水平

雷电冲击耐受电压(峰值)/kV 105 105

1 min 工频干/湿耐受电压有效值/kV 57/40 57/40

(10)泄漏比距 $\geq$ /mm $\cdot$ kV⁻¹ 25 25

(11)冷却方式 自然冷却 自然冷却

(12)外壳防护等级 IP55 IP55

5 电气设备布置

该电站厂房为河床式厂房,电站主厂房总长度为 223.48 m,宽度为 28.5 m,安装间布置在主厂房右侧。#1、#2、#3、#4 机组发电机主引出线采用全连式离相封闭母线,布置在水轮机层下游侧电气夹层内,经发电机电压配电装置后水平引至

下游侧墙处上引穿楼板至主变室与主变低压侧连接。#5 机组发电机主引出线采用电缆经布置在发电机层下游侧的发电机电压配电装置后沿水轮机层桥架水平引至下游侧墙处上引穿楼板至主变室与主变低压侧连接。厂用 10 kV 高压开关柜、干式厂用变压器及 400 V 低压配电屏分别集中布置在水轮机层下游侧电气廊道内。坝区用 35 kV 开关柜、10 kV 开关柜、干式坝区用变压器、柴油发电机及 400 V 低压配电屏分别集中布置在坝区集控房内。

副厂房及 GIS 楼布置在主厂房下游侧,总长度为 196 m,宽度为 12 m。主变压器布置在 GIS 楼底层,220 kV 开关站采用户内式 SF6 全封闭组合电器,布置在 GIS 楼二层,出现场布置在 GIS 楼屋顶。2 回 220 kV 出线经架空线引出。主变压器采用户内敞开式布置,变压器高压侧经钢芯铝绞线与 220 kV SF6/空气套管连接。出线 SF6 空气套管采用钢芯铝绞线与电容式电压互感器、避雷器连接,最后上跳至 220 kV 架空线路上。GIS 楼内设有一台型号为 10 tLH 型电动单梁桥式起重機,供设备安装、检修使用。

根据枢纽布置,厂房左岸为冲沙泄洪闸,右岸预留有船闸,GIS 楼布置位置可选择在厂房右岸或尾水平台上。若布置在厂房右岸,需增大土石方和高边坡开挖以及发电机电压母线等的工程投资,总计约 9 000 万元;另外,发电机电压母线需要穿过船闸底部,结构不稳定,环境潮湿,设备长期运行在该环境下容易引发故障,不利于电站的长期稳定运行。通过技术经济比较,GIS 楼最终选择布置在尾水平台上。鉴于此,尾水平台振动对设备和主体结构可能带来的危害是必须考虑的问题。为此,业主专门组织主变、GIS 设备厂家进行了防震专题技术交流会,并委托西安理工大学水利水电学院进行了详细的研究,得出了《安谷水电站厂房变压器设备基础振动复核研究报告》。通过分析论证得出结论:安谷水电站高压配电装置布置于尾水平台后,与水工建筑物产生共振的几率很小,方案可行且安全。为了进一步减少主体建筑物长期振动可能带来的设备本身结构的危害,高压配电装置还应采取以下一些抗振措施:

(1)增加变压器铁芯撑条数量,增大线圈内

纸筒与铁芯的有效接触面积;控制套装间隙,对线圈轴线圈油道垫块进行密压工艺处理,以保证线圈轴向紧实。

(2)提高变压器油箱强度,调整并加强受力部位的结构和数量,提高油箱焊缝强度。

(3)对 GIS 各部件连接螺栓采取适当、合理的防松措施。

(4)在 GIS 基础部位增加隔振部件。

(5)在主变及 GIS 上安装在线检测系统,对设备运行中的工况进行实时监控。

安谷水电站首台机于 2014 年 12 月发电,至 2015 年 8 月四台机包括生态机组已全部投产运行,目前运行状况良好,所检测到的相关振动参数亦在安全范围内。

6 过电压保护及接地

6.1 过电压保护

电站主、副厂房和 GIS 楼采用屋顶避雷带实施防直击雷过电压保护。对布置在 GIS 楼屋顶的 2 回 220 kV 架空出线全线架设避雷线,在出线构架上设置避雷针实施防直击雷过电压保护。防护感应雷设计主要采取各种屏蔽措施并妥善接地,如对建筑物设置屏蔽网和电缆屏蔽层及铠装层按规范要求的方式实施接地。电站防侵入雷电波过电压保护采用在出线侧装设一组敞开式氧化锌避雷器、GIS 母线上装设一组封闭式氧化锌避雷器、在主变低压侧装设氧化锌避雷器、五台主变压器 220 kV 侧中性点各装设一台氧化锌避雷器的方式实施过电压保护。为消除电磁式电压互感器引起的铁磁谐振过电压,在发电机出口及主变低压侧的电压互感器、厂用 10 kV 配电系统的电压互感器均配置有消谐装置。

6.2 接 地

电站接地系统由大坝及尾水接地网、主厂房接地网、副厂房及 GIS 楼接地网以及自然接地体等组成,各部分接地网用不少于 2 根 50 mm × 6 mm(宽 × 厚)的镀锌扁钢连接。接地导体采用 50 mm × 6 mm(宽 × 厚)的镀锌扁钢。电站接地网施工完毕对电站的接地系统进行了实测,实测的电阻值为 0.269 Ω,比设计值 0.423 Ω 稍小,这是由于设计值中未考虑水工建筑物中钢筋、金属结构等自然接地体的降阻作用。实测了最大接触电势差和最大跨步电势差,其均小于规范允许值,结论

与设计计算结果一致。220 kV 出线场布置在 GIS 楼屋顶,屋顶暗敷有网格大小约为 5 m×5 m 的均压接地网。另外,出线构架及避雷器的接地导线不与屋顶接地网直接相连,而是采用两根独立的接地线单独引下通过集中接地装置接地后再与主接地网相连。

为消除地电位差的干扰,按照规范和《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》要求,安谷水电站等电位接地网主要由 4 个区域构成:副厂房、发电机层、GIS 室和坝区集控房。在副厂房继保室屏柜下层的电缆桥架沿屏柜布置的方向敷设 25 mm×4 mm(宽×厚)的专用铜排,将该专用铜排首尾两端采用放热焊接可靠连接,形成“目”字型闭环,构成继保室的等电位接地网。采用不少于 4 根、截面为 50 mm² 的专用铜绞线分别取自该等电位接地网各处、最后合并在一起并于继保室电缆竖井处与主接地网一点连接。发电机层下游侧成“一”字型分散布置有机旁屏柜,在屏柜下层的电缆桥架沿屏柜布置的方向敷设 25 mm×4 mm(宽×厚)的专用铜排。GIS 室沿电缆沟方向在地面明敷 25 mm×4 mm(宽×厚)的专用铜排。在坝区集控房屏柜下层的电缆桥架沿屏柜布置的方向敷设 25 mm×4 mm(宽×厚)的专用铜排。所有铜排均引入继保室电缆竖井处与主接地网一点连接。各处保护控制屏柜通过截面为 50 mm² 的专用铜绞线与等电位接地网相连。

7 照 明

全厂照明系统分为主厂房照明(发电机层、水轮机层、电气夹层、蜗壳层、灌浆廊道及交通廊道)、副厂房照明、GIS 楼照明及坝区照明。坝区照明包括坝区集控房、厂坝公路等。

全厂照明设置 2 台 250 kVA 照明专用有载调压干式变压器供电,互为备用,采用 380 V/220 V 电压、中性点直接接地的三相五线制系统。设有

工作照明屏 3 面,事故照明屏 1 面,安装在主厂房水轮机层电气廊道内。正常照明由照明变压器供电,事故照明正常时由照明变压器供电,事故时由直流电源逆变供电。全厂重要部位均设置有事故照明,所有安全疏散通道均设置有疏散指示照明。

主厂房发电机层采用壁灯和顶棚探照工厂灯相结合的混合照明方式;水轮机层、技术供水室及其他辅助房间等采用工厂灯具及壁灯;蜗壳层采用防潮灯具;蓄电池室、油处理室及柴油机房采用防爆灯具;中控室、集控房、泄洪冲沙闸房等处采用荧光灯和壁灯;尾水平台、进场公路、上坝公路及坝顶采用路灯。除大功率工厂灯具(≥150 W)和防爆灯具采用金卤灯、消防应急灯采用荧光灯外,其他灯具照明光源均选用寿命长、亮度高、功耗低的新型光源 LED 灯,以实际行动践行绿色照明、节能减排。

8 结 语

安谷水电站电气一次设计满足相关规程规范要求。220 kV 升压站选择布置在尾水平台上,减少了土建开挖,缩短了发电机电压离相母线的长度,降低了投资和电能损耗。通过振动复核研究论证了方案的可行性,并采取了必要的抗振措施用以减小尾水平台振动对设备和主体结构可能带来的危害。该电站升压站的布置、水轮发电机额定电压的选择等为今后类似电站的电气一次设计提供了宝贵的经验。

参考文献:

[1] 水力发电厂机电设计规范,DL/T5186-2004[S].

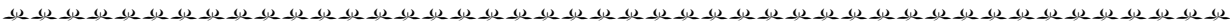
作者简介:

张 梅(1979-),女,四川成都人,高级工程师,从事水电站电气设计工作;

向重平(1963-),男,四川成都人,高级工程师,从事水电站电气设计工作;

王 涛(1978-),男,四川成都人,高级工程师,从事电力生产技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)



国家发改委核准金沙江巴塘水电站

近日,国家发改委核准了金沙江巴塘水电站。该电站位于四川省甘孜州巴塘县和西藏自治区昌都市芒康县交界的金沙江干流上,以发电为主,装机容量 75 万千瓦,平均年发电量 30.04 亿千瓦时,总投资为 102.63 亿元。电站由中国华电集团和华电国际电力股份有限公司分别按 80% 和 20% 的比例共同出资组建的华电金沙江上游水电开发有限公司负责建设和管理。巴塘水电站是金沙江上游国家核准的第三座水电站,属国家发改委《可再生能源发展“十三五”规划》重点开工项目。该电站的核准建设将对开发利用金沙江上游水电资源,打造国家优质清洁能源基地,实施“西电东送”战略,创建清洁能源示范省等都具有重要意义,同时对促进藏区经济社会发展和长治久安具有重要作用。