

# 猴子岩水电站三相变压器的现场组装

李金东, 谭军

(国电大渡河猴子岩水电建设有限公司, 四川 康定 626005)

**摘要:**猴子岩水电站共装设4台单机容量425 MW的水轮发电机组,水轮发电机组和主变压器全部布置在地下厂房内,500 kV主变压器采用了现场组装三相变压器。猴子岩主变压器的成功运行为今后组装式变压器在山区水电站的应用提供了理论和实际参考信息,三相组装式变压器将在山区水电站及运输受限地区得到广泛应用。

**关键词:**猴子岩水电站;变压器型式选择;安装;运行情况

**中图分类号:** [TM622];TM411+.2;U215.5+6

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2018)05-0134-03

## 1 概述

猴子岩水电站位于四川省甘孜藏族自治州康定市境内,是大渡河干流水电22级开发方案的第9个梯级电站,上游为丹巴水电站,下游为长河坝水电站。坝址距上游丹巴县城约47 km,距下游泸定县城约89 km,距成都市约402 km。猴子岩水库正常蓄水位1 842 m,电站装机4台,单机容量425 MW,平均年发电量70.15亿kWh。电站以500 kV电压等级接入电力系统,由于电站地处高山峡谷,河床狭窄,根据枢纽布置和地形条件,水轮发电机组和主变压器全部布置在右岸地下厂房内。发电机引出回路采用离相封闭母线与主变压器低压侧相连,主变压器的高压侧与地下高压电缆层内500 kV GIS管道相连,然后通过500kV挤包绝缘电缆经倾井引至地面开关站。至2018年6月底猴子岩水电站4台机组已全部投入运行。500 kV主变压器采用了现场组装三相式变压器(简称ASA),由特变电工衡阳变压器集团有限公司供货。

## 2 猴子岩变压器型式选择

由于猴子岩水电站发电机-变压器组合方式为单元接线,单台主变运输重260 t,因电站地处偏远山区,其交通运输受限,不能将单台主变由厂家整体直接运往电站,只能采用其他形式的变压器。根据实际工程情况,猴子岩主变压器形式选择可采取的方案有三种:三台单相变压器组、组合式三相变压器和现场组装三相变压器。以下是对三种方案实际实施的一个概述。

### 2.1 单相变压器

该方案由三台普通单相变压器组合成三相变压器,油路完全分开,运输重量及运输尺寸可满足要求。但现场增加了在变压器低压侧通过封闭母线在外部进行三角形连接的难度和工作量,且三相需要分开布置,每个单相变压器之间需设置防火墙,占地面积大,不满足猴子岩水电站地下厂房变压器的布置。

### 2.2 三相组合变压器

该方案由3台特殊结构单相变压器组合而成的组合式变压器。3台单相变压器每相都有一个单独的油箱,低压侧三相共用一个接线盒,三相靠在一起布置,具有共用油系统,三个单相变压器油路通过旁通管路和低压接线盒连通。运输时拆下低压接线盒,分相单独运输。现场三个单相变压器本体就位后,然后安装低压接线盒,通过在低压接线盒内完成低压侧的母线三角形接线。这种方式结构较紧凑,外部接线相对简单,布置安装占地面积较3台单相变压器小。

### 2.3 现场组装三相变压器

现场组装三相变压器也叫解体运输变压器,铁心为三相五柱式结构,这种变压器用的是一套冷却系统、一套储油柜及管路系统。变压器组装完成后其外形与普通三相变压器相同。根据运输条件可将变压器分解成U型铁芯、线圈、上部油箱、中间油箱、下部油箱等主要部分分别运输,在现场再组装成整体。布置占地面积小,满足其地下厂房布置,且分解成各部件后,其重量大大减少,减少了运输困难。

收稿日期:2018-07-31

近几年国内龙滩、锦屏、大岗山、瀑布沟等一批大型水电站的建设,使变压器制造厂的500 kV大容量变压器设计、制造水平有较大提高,安装经验也更加丰富。综合考虑多方面因素,猴子岩水电站最终采用了目前最具优势的,现场组装三相变压器。

### 3 猴子岩主变压器简介

#### 3.1 主变压器中性点接地方式

猴子岩水电站主变压器中性点接地方式可采用:经小电抗接地方式或直接接地。是否需经小电抗接地是一个综合性的技术问题,涉及到单相短路电流的大小、开关能否满足开断容量的要求及对通信线路的干扰、对接地网的要求、对继电保护与电网过电压水平的影响和变压器本身的绝缘水平、制造工艺等。猴子岩水电站单相短路电流在50 kA以内,不存在500 kV开关设备选择困难问题,通过与成勘院、变压器厂家合作对猴子岩水电站主变压器中性点接地方式进行综合研究,研究结果推荐主变压器中性点采用直接接地方式。

#### 3.2 主变压器的布置

猴子岩水电站为全地下式厂房,水轮发电机组和主变压器均布置在右岸地下厂房和主变洞内,电站装机4台,每台机组段对应设有主变压器室,中间设防火隔墙隔开。4台主变压器布置在与主厂房平行的主变洞内,与发电机层同高程。为了简化离相封闭母线的布置和安装,每台主变压器按与其相应机组对称布置。主变压器的低压侧经油/SF<sub>6</sub>套管与18 kV离相封闭母线相连,高压侧通过油/SF<sub>6</sub>套管与主变洞内高压电缆层500 kV GIS相连。每台主变设有4台冷却器,布置在主变压器室内。主变压器的消防采用水喷雾灭火方式。主变压器就位以及安装试验完毕后,再砌主变压器与主变交通洞之间的防火隔墙,防火隔墙上设有防火隔离门,运行时经防火隔离门进出主变压器室。

#### 3.3 猴子岩主变压器的主要结构特点

猴子岩水电站主变压器为现场组装三相升压电力变压器,铁心采用三相五柱式结构,由于主变压器是现场组装,故将变压器分解成U型铁芯、线圈、上部油箱、中间油箱、下部油箱等主要部分;铁心分成四瓣,四瓣间用绝缘板隔开,需要单独接地,且接地单独各自引出,不能在油

箱内通过一根短接线引出接地,主要是防止短接线在油箱内形成一个闭合的环路,形成涡流。变压器高压绕组引出线采用垂直出线,经油/SF<sub>6</sub>套管引出,低压绕组引出线采用垂直出线,经油/空气套管引出。水冷却器采用双重管型式,外管为翅片结构,传热效率良好,外管与内管间设置沟槽,一旦发生水渗漏,水会沿沟槽汇集到渗漏检测器从而检测到漏水,防止水进入到变压器油中,冷却管内径为14 mm,防止直径3 mm以下砂子堆积,进水侧带有喇叭口,使水易于流动,防止冷却管入口处堆积泥砂。

### 4 猴子岩主变压器安装、现场试验及运行情况

#### 4.1 主变压器安装

猴子岩500 kV现场组装三相变压器在组合前采用的是解体运输、现场装配方案。主变压器的组装在坝后现场组装厂房完成,厂房外形设计尺寸(长×宽×高)为36 m×15 m×18 m,组装厂房按照无尘厂房设计,布置了一套空调系统,地面采用环氧树脂地坪,满足变压器现场组装过程中的主体、组部件及运输箱、工装工具、设备、耗材等的布放要求。由于组装厂房内不具备大吨位的起吊能力,故采用电动液压顶、推的方式进行装车,即变压器在现场组装厂房内组装完毕后,可直接在组装厂房内借助液压顶升设备、枕木、钢轨等设备工装将其转移至大件运输车辆上,通过运输车将主变运至主变洞内。到达主变安装位前,再次借助液压千斤顶将主变顶升至适当高度,落放至轨道上,利用液压千斤顶将主变推送至安装位置,而后将主变顶升,取出轨道,将主变落下盛放于基础板上,最后对变压器及其附件进行安装。主变压器安装完毕后,可现地进行抽真空、注油、滤油处理等工作。

#### 4.2 我厂现场组装变压器的特点

##### 4.2.1 采用现场煤油气相干燥技术

煤油气相干燥技术是目前变压器干燥较成熟和先进的技术,广泛应用于大型变压器的生产,但该干燥技术设备复杂,体积大,一般在工厂内完成。猴子岩水电站主变厂家通过自身技术研发开发了全球第一套移动式煤油气相干燥设备,并成功应用于工地生产,使得现场组装变压器能得到较好的干燥,运行工况得到有利保证。

##### 4.2.2 大型运输车装卸主变未使用预埋钢轨

传统电厂主变在安装间安装完成后的就位一般采用卷扬机将主变通过预埋在地面的钢轨拖拽至主变安装位,此项工作需提前在土建施工前将钢轨预埋,钢轨在主变运行过程中不发挥任何作用。猴子岩水电站主变在从组装工厂运输至就位安装全程未使用到地面预埋钢轨,全程采用移动式轨道及液压千斤顶、枕木等进行配合,快捷、准确,为今后厂房设计提供了一种新思路。

#### 4.3 主变压器现场试验

主变安装完毕后的现场试验包括绝缘电阻,直流电阻,吸收比,极化指数,变比,泄漏电流、感应耐压、局部放电及绝缘油试验等,以 4 号主变压器部分试验结果为例:

(1) 测量各分接位置电压变比误差(见表 1)。

表 1 各分接位置电压变比误差

分接开关位置		1	2	3
高压对低 压电比偏差 /%	A/a	+0.07	+0.10	+0.12
	B/b	+0.08	+0.10	+0.11
	C/c	+0.08	+0.09	+0.12

(2) 测量各绕组的直流电阻(见表 2)。

表 2 各绕组的直流电阻

分接 开关位置	高压绕组电阻 / $\Omega$			三相电阻不 平衡率 /%
	A~0	B~0	C~0	
1	0.505 1	0.504 8	0.507 3	0.49
2	0.491 8	0.491 5	0.493 9	0.49
3	0.478 5	0.478 1	0.480 5	0.50
	低压绕组电阻 / $\Omega$			三相电阻不 平衡率 /%
	a~b	b~c	a~c	
	0.000 996 4	0.000 995 6	0.001 002 8	0.72

(3) 测量空载电流和空载损耗(见表 3)。

表 3 空载电流和空载损耗

低压侧施加电压 /V	空载电流 /A	空载损耗 /kW
16.21	5.83	133.46
18.00	7.16	173.90
18.94	9.84	227.85

(4) 测量绕组对地绝缘电阻、绝缘系统电容和介质损耗(见表 4)。

(5) 测量铁芯及夹件对地绝缘电阻(见表 5)。

(6) 测量三相变压器零序阻抗(见表 6)。

表 4 绕组对地绝缘电阻、绝缘系统电容和介质损耗

测定部位	高压-低压 及地	低压-高压 及地	高压、 低压-地	高压- 低压
R15" $M\Omega$	12 800	7 900	8 200	20 700
R60" $M\Omega$	16 500	10 200	11 000	27 300
R600" $M\Omega$	30 400	24 700	24 900	/
吸收比	1.29	1.29	1.34	1.32
极化指数	1.84	2.42	2.26	/
施加电压 /kV	10	10	10	10
$\tan\delta$ /%	0.262	0.209	0.228	0.219
Cx(nF)	14.93	38.82	37.61	8.074

表 5 铁芯及夹件对地绝缘电阻

测定部位	铁芯 1-地	铁芯 2-地	铁芯 3-地	铁芯 4-地	夹件 -地
R60" $M\Omega$	5 400	5 300	5 100	5 700	2 200

表 6 三相变压器零序阻抗

供电端子	开路端子	施加电流 /A	测量电压 /V	阻抗 / $\Omega$
ABC-O	abc	131.341	3976.6	90.83

(7) 高压侧加全电压进行冲击试验,分接开关置 1 档,冲击合闸 3 次,每次带电时间 5 min,变压器情况合格。

(8) 绝缘油试验:介质损耗因数(90 $^{\circ}\text{C}$ )为 0.10,击穿电压为 72 kV。

#### 4.4 主变压器运行情况

经现场试验,变压器各项技术指标均满足要求,从 2017 年 1 月首台变压器正式投运至今,设备运行正常。此外,猴子岩水电站另三台变压器于 2017 年 12 月全部投入使用,设备运行状况良好。

#### 5 结 语

猴子岩水电站共装设 4 台单机容量 425 MW 的水轮发电机组,水轮发电机组和主变压器全部布置在地下厂房内,500 kV 主变压器采用了现场组装三相变压器。至 2018 年 6 月猴子岩水电站 4 台机组已全部投入运行。目前机组及相应电气设备、主变运行正常。猴子岩 500 kV 主变压器的安全稳定的运行,表明国内有关大型变压器厂家具有成熟的 500 kV 大容量三相组装式变压器的设计、制造能力,同时猴子岩主变压器的成功运行为今后组装式变压器在山区水电站的应用提供了理论和实际参考信息,三相组装式变压器将在山

(下转第 140 页)

## 6 使用效果

(1)猴子岩水电站机组停机时,圆筒阀关闭后导叶漏水漏水量明显减小,能够发挥其良好的止水性能,减有效减小了机组的水量损失。

(2)在机组运行期间缩人顶盖和座环之间的空间内,未破坏流道断面,因此,对水流基本不产生影响,对机组效率影响可以忽略不计,并能明显减小因漏水对导叶端面、立面、轴领的空蚀与磨蚀。

(3)由于圆筒阀采用电气液压同步,采用4-24 mV 电压控制,对电源、油质要求较高,加大圆筒阀运行维护就显得尤为重要。

## 7 结语

随着技术的发展,圆筒阀的设计、制造、安装、自动控制技术有了很大进步,圆筒阀的可靠性、实用性有了极大地提高,在为新投电站提高效益的同时,我国较早投运的大型电站逐渐进入机组改

(上接第136页)

区水电站及运输受限地区得到广泛应用。

### 参考文献:

- [1] 陈振杰. 主变压器选型式分析[J]. 电力与能源,2010(1).
- [2] 杨红,温风香. 溪洛渡主变压器型式选择[J]. 东北水利水电,2011(11).
- [3] 特变电工衡阳变压器有限公司. 四川大渡河猴子岩水电站主变压器第二次设计联络会汇报材料[R]. 衡阳,2013,10.
- [4] 特变电工衡阳变压器有限公司. 四川大渡河猴子岩水电站

造期,圆筒阀技术的使用将会得到更加广泛地使用。通过合理开展定期检查、月度维护保养和年度详查,开展筒形阀开、关时的情况及同步试验、位移传感器性能校核、过滤器清扫,及时掌握筒形阀气蚀、锈蚀及上下密封情况,基本能够满足安全稳定运行要求,确保实现圆筒阀各项功能。

### 参考文献:

- [1] 房道明,王书枫,孙影. 大渡河猴子岩水电站圆筒阀控制系统设计[B]. 水电站机电技术,2017(6).
- [2] 胡秀成,郑蕤. 大型水电站机组圆筒阀安装工艺研究[B]. 云南水力发电,2012(7).

### 作者简介:

郝亚鹏(1992-),男,陕西延安人,本科,助理工程师,主要从事水电站运行维护工作;

柯剑(1976-),男,湖北黄冈人,硕士,高级工程师,主要从事水电站技术与管理工

作;陈勇旭(1985-),男,四川彭州人,本科,工程师,主要从事水电站技术与管理工

(责任编辑:卓政昌)

主变压器第三次设计联络会资料[R]. 衡阳,2014,12.

- [5] 特变电工衡阳变压器有限公司检测中心. 四川大渡河猴子岩水电站主变压器试验报告[R]. 衡阳,2015,9.

### 作者简介:

李金东(1991-),男,重庆人,助理工程师,学士,从事水电站运行、维护工作;

谭军(1985-),男,四川隆昌人,助理工程师,学士,从事水电站运行、维护工

(责任编辑:卓政昌)

## 领略国家电网品牌榜首的力量

最近,由世界经理人集团、世界品牌实验室联合主办的2018年(第十五届)世界品牌大会在京举行。会上发布2018年《中国500最具价值品牌》排行榜,国家电网品牌以4 065.69亿元的价值蝉联榜首,品牌价值较上年增长766.82亿元,连续12年攀升。这是国家电网品牌连续三年位居该榜首。国家电网品牌的力量是人们耳熟能详“你用电、我用心”的口号。我们定义“用心”的品质、输出“用心”的理念、提供“用心”的服务。蝉联榜首,是国家电网公司用心铸就卓越品牌的有力印证。它的统一价值理念“就是要大力弘扬努力超越、追求卓越的企业精神,全面加强企业伦理道德建设,将公司核心价值观、企业使命、企业宗旨、企业愿景和企业理念,贯穿于公司各层级、各单位,形成公司上下共同的思想认识和一致的价值取向。”其中包括有公司使命、公司宗旨、公司愿景、企业精神和核心价值观。国网品牌的力量是拥有强大的交直流特高压电网。目前,已累计建成“八交十直”特高压工程,在建“三交一直”特高压工程,使我国成为全球唯一实现特高压商业化运营的国家,在运在建22项特高压工程线路长度达到3.2万千米,累计送电超过8 000亿千瓦时,减排二氧化碳3.4亿吨,减排二氧化硫57.7万吨,减排氮氧化物57.7万吨,减排烟尘8.9万吨。依托大电网,国家电网发展新能源并网装机突破2.7亿千瓦,成为世界风电、太阳能发电并网规模最大的电网。国网品牌的力量是规范的境外海外投资。国家电网中标境外多个国家输电网和大型电网股权、特许经营权,目前境外资产总额达到400亿美元。国家电网共设置10个驻外办事处,4个资产运营高管团队,驻外人员499人。国网国际公司、中电装备公司、海外投资公司分别作为境外投资运营、工程总承包和国际融资的专业平台,先后成功投资、运营菲律宾、巴西、葡萄牙等6个国家和地区的骨干能源网公司,组建成立国家电网巴西控股公司与国网澳洲资产公司。由此,作为关系国民经济命脉和国家能源安全的国有重点骨干企业,我们深深感到,只有紧紧围绕建设世界一流能源互联网企业,才能彰显“创新国网,责任国网”的品牌形象,才能实现品牌传播、品牌维护、品牌管理的新跨越,进而领略国家电网品牌榜首的力量,开启塑造世界一流品牌新征程。