

大型水轮发电机组励磁系统设备选型探讨

黄小川, 唐容文, 何兴磊

(四川省能投攀枝花水电开发有限公司 机电物资部, 四川 攀枝花 617068)

摘要:金沙水电站为巨型轴流转桨式水轮发电机组, 装机容量为 4×140 MW, 励磁电流达 1 710 A, 机组各项参数均达到世界先进水平。对金沙水电站励磁系统设备选型进行了探讨, 可为同类型水电站励磁系统设备选型提供参考。

关键词:励磁系统; 设备选型; 金沙水电站

中图分类号: TV7; TK73; TV734

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2018)02-0036-03

1 概述

励磁为向发电机或同步电动机定子提供定子电源、为发电机等(利用电磁感应原理工作的电气设备)提供工作磁场的装置。励磁设备对于整个水电站来说是一项极为重要的设备, 是水电站核心辅助设备。励磁系统设备由励磁变压器、晶闸管整流装置、励磁调节器、灭磁开关、非线性电阻等设备组成。

金沙水电站位于金沙江干流中游末端的攀枝花河段, 上距观音岩坝址 28.9 km, 下距攀枝花城区 10.3 km, 控制流域面积 25.89 万 km^2 , 多年平均流量 1 870 m^3/s , 具有日调节能力。金沙水电站为巨型轴流转桨式水轮发电机组, 装机容量为 4×140 MW, 励磁电流达 1 710 A, 多年平均发电量 25.07 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。电站以两回 220 kV 电压等级接入电力系统。电站按无人值班(少人值守)设计, 计划首台机组投产时间为 2020 年 6 月 30 日。

2 金沙水电站水轮发电机组励磁系统的设备选型

2.1 励磁系统的作用

(1) 根据发电机负荷的变化相应地调节励磁电流, 以维持机端电压为给定值;

(2) 控制并列运行各发电机间无功功率分配;

(3) 提高发电机并列运行的静态稳定性;

(4) 提高发电机并列运行的暂态稳定性;

(5) 当发电机内部出现故障时进行灭磁, 以减小故障损失程度;

(6) 根据运行要求, 对发电机实行最大励磁限制及最小励磁限制。

2.2 励磁系统方式的选择

按供电方式的不同, 励磁系统可以分为它励和自励两大类:

(1) 它励式励磁系统是指由同步发电机本身以外的电源供电的励磁系统, 这种励磁系统中的励磁电源可以是直流发电机或带有整流装置的交流发电机, 这些励磁机可以与同步发电机同轴, 由同一原动机带动, 也可以由其他原动机独立带动。

(2) 金沙水电站采用静止电压源整流式励磁系统, 即自励静止励磁系统。该系统主要是从同步发电机的端电压取得能量, 通过励磁变压器提供交流电源, 再经过功率柜全控桥整流输入到转子线圈建立旋转磁场, 定子线圈切割磁力线形成感应电压, 再通过励磁调节器对励磁电流进行控制, 从而达到调节机端电压的目的。无刷励磁系统(即旋转励磁系统)的旋转部分发生的事故在以往励磁系统事故中占有相当大的一部分, 但由于自励静止励磁方式取消了旋转部件, 从而大大减少了事故隐患, 可靠性明显优于交流励磁机励磁系统, 该系统在设计中采用 $n+1$ 冗余结构, 故障元件可在线进行更换, 从而有效地减少了停机概率。该励磁系统对运行、维护的要求相对较低。

2.3 励磁变压器的选择

(1) 励磁变压器型式的选择。

励磁变压器分为三相型式及分相型式。鉴于金沙水电站励磁变压器要与离相封闭母线相配合, 因此而采用分相设计结构, 这种结构可以完全杜绝发电机出口相间短路的可能性, 从而提高了整机的稳定性及安全系数。

(2) 金沙水电站励磁变压器二次电压 U_{2N} 及

收稿日期: 2018-02-10

容量 S_n 的计算。

①计算依据。

a. 满足发电机在 1.1 倍额定励磁电流下长期运行要求并留有裕度;

b. 发电机机端电压下降到 80% 额定值时,能提供 2 倍强励电流。

c. 最小控制角 $\alpha = 10^\circ$ 。

②变压器二次电压 U_{2N} 的计算。

按公式(1)计算变压器二次电压:

$$U_{2N} = \frac{2U_{fN} + \Delta U_T}{1.35 \times 0.8 \times (\cos\alpha - CX_T \frac{I_m}{I_n})} \quad (1)$$

式中 U_{fN} 为发电机额定励磁电压,为 388 V; ΔU_T 为电流回路中的线路压降,包含可控硅总压降及电缆压降, ΔU_T 可取 6 V; C 为倾斜系数,对于三相全控桥 $C = 0.5$; $\frac{I_m}{I_n}$ 为强励时的二次电流与额定二次电流之比,为 2; X_T 为变压器漏抗,为 0.06; $\cos\alpha$ 为最小控制角系数,为 0.984 8。

按公式(1)计算:

$$U_{2N} = (2 \times 388 + 6) / (1.35 \times 0.8 \times 0.924 8) = 782.9 (\text{V})。实际选取 $U_{2N} = 780 \text{ V}。$$$

(3) 变压器容量 S_n 的计算。

计算公式:

$$\begin{aligned} S_n &= 1.1 \times \sqrt{3} \times U_{2N} \times 0.816 I_{fN} \\ &= 1.1 \times 1.732 \times 780 \times 0.816 \times 1\ 710 \\ &= 2\ 073.6 (\text{kVA}) \end{aligned}$$

金沙水电站实际选取 3 个、容量为 750 kVA 环氧树脂浇注的单相干式整流变压器,励磁变压器总容量为 2 250 kVA,留有 0.5% ~ 1% 的裕量,满足金沙水电站励磁需要。

2.4 灭磁方式的选择

发电机正常运行时需要励磁。当发电机停机、检修和故障时,需要快速、安全地减小励磁,使发电机的磁通降低到接近于零的过程称为灭磁过程。安全可靠的灭磁,不仅关系到励磁系统本身的安全,还直接关系到整个电力系统的安全。

灭磁技术的发展随着三相全控整流桥电路的出现而发展,分为耗能性(灭弧栅灭磁)和移能型(电阻灭磁)。金沙水电站采用移能型非线性电阻灭磁。

为了保证可靠灭磁,金沙水电站的灭磁采取

了以下方式:

(1) 正常情况下,采用逆变灭磁方式,指利用三相全控桥的逆变工作状态,控制角 α 由小于 90° 的整流运行状态突然退到 α 大于 90° 的某一适当角度,此时励磁电流改变极性,以反电势形式加于励磁绕组,使转子电流迅速衰减到零的灭磁过程;

(2) 事故情况下,采用切脉冲并跳灭磁开关的方法;当直流灭磁开关接收到跳闸命令后,跳闸令闭锁可控硅触发脉冲并同时触发跨接器中的两路反向可控硅;

(3) 非线性电阻既用于灭磁,也用于转子过压保护,接入转子回路受控于可控硅跨接器系统。采用可控硅跨接器系统无机触点,控制简单,更为可靠。

2.5 灭磁开关的选择

灭磁开关是整个励磁系统中非常重要的设备,灭磁开关从单断口到双断口是一个很大的技术进步,极大地方便了励磁系统的检修维护。对于直流励磁的同步发电机来说,励磁为正负双极回路,配上正负双极灭磁开关,合上运行,跳开停机检修维护,励磁装置与发电机转子具有双极隔离断点,互不影响。金沙水电站灭磁开关为空气开断型、双断口、带有磁场放电触头(常闭触头)和灭弧装置的快速直流磁场断路器(直流灭磁开关)。

一般磁场断路器额定电流需不低于额定励磁电流的 1.2 倍,则:

$$IR > 1.2 \times IFN = 1.2 \times 1\ 710 = 2\ 052 (\text{A})$$

金沙水电站实际选用 CEX 06 2560A 灭磁开关,额定电流为 2 560 A,满足要求并留有裕量。

2.6 起励回路

(1) 金沙水电站机组采用直流和残压起励两种方式;

(2) 直流起励电源由电站 220 V 直流系统供给;

(3) 超励单元采用快速脉冲列触发技术,实现残压起励。起励过程中,可控硅整流器的输入端仅需约 5 ~ 10 V 的电压即可正常工作。如果电压低于 5 V,可控硅整流器就会被连续地触发(二极管工作模式)以达到该值;

(4) 如果在 5 s 内残压起励失败,则起动直流起励回路,在机端电压达到发电机电压的 10%

时,直流起励回路自动退出,立即开始软起励过程并建压到预定的电压水平;

(5)若残压起励和直流起励均失败,即接受起励命令后15 s内建压不成功,则发起励失败信号;

(6)直流起励电源取自厂用蓄电池电源,起励器件安装于灭磁电阻柜内。

2.7 励磁调节器

随着计算机科学技术的发展,励磁控制已向数字化方向发展。数字式励磁调节器与老式的模拟调节器相比,其在功能、可靠性等方面具有极大的优势。近期投运的新机组及旧机组改造均已选用微机励磁调节器,并已取得很好的效果和丰富的经验,能够在改善机组、电网稳定性方面起到更大的作用。金沙水电站励磁调节器采用2套完全独立的数字式调节器,从电流、电压互感器到晶闸管触发脉冲的输出以及供电电源均为相互独立的双重化结构。每套调节器功能完整并分别包括自动电压调节器(AVR)和励磁电流调节器(FCR)以及所有必需的辅助设备。

调节器采用热备用运行方式,它们同时接收输入的控制与调节信号并执行操作与调节,但只有处于工作状态的调节器有输出信号和触发脉冲。在工作调节器和备用调节器中,自动电压调节(AVR)之间和励磁电流调节器(FCR)之间分别进行自动跟踪,一旦工作调节器发生故障,则备用调节器自动投入运行,实现无扰动切换。当两台调节器的自动电压调节(AVR)同时故障时,能够自动切换至励磁电流调节器(FCR)方式运行。

2.8 功率柜的配置

金沙水电站晶闸管整流装置采用三相全控整流桥且满足下列要求:

(1)选用双柜并联运行模式,每柜装有一个

三相全控整流桥,单柜额定输出电流3 000 A;

(2)满足发电机各种工况下(包括强励)对励磁系统的要求,整流桥并联支路数应不小于2,各支路串联元件数为1;

(3)晶闸管整流桥中并联支路数按 $(N+1)$ 原则考虑冗余,整流桥退出1个支路仍能保证机组在所有运行工况下正常运行,包括强励;

(4)每个功率柜内装设2套冗余、全容量的冷却风机。每一套风机能提供每柜所需要的全部冷风,另1套备用。当风机故障时,备用风机能自动投入,能在最大负载下连续运行。

3 结语

我国部分水电站的励磁系统设备在运行过程中或多或少存在缺陷,而这些缺陷的产生大多数都是由于当时的历史条件下技术水平未达到或在水电站建设初期对于励磁系统设备的选型设计中存在较大的问题。同步发电机自并励静止励磁系统由于运行可靠性高、技术和经济性能优越等原因,已成为大中型水轮发电机组的主要励磁方式之一。因此要求在今后的水电站建设中要着重于励磁系统设备的选型设计,比如对于励磁运行方式的比较选择,以及灭磁开关性能的对比等。只有在水电站建设初期做好励磁系统设备的选型设计,才能够在一定程度上确保发电机组安全、稳定地运行。

作者简介:

黄小川(1982-),男,四川自贡人,工程师,从事水电工程建设技术与管理工作;

唐容文(1972-),男,四川蓬安人,工程师,从事水电工程建设技术与管理工作;

何兴磊(1991-),男,四川都江堰人,助理工程师,从事水电工程建设技术与管理工作。
(责任编辑:李燕辉)

由中国水电五局参建的石济客专二标工程近况

新建石家庄至济南铁路客运专线(以下简称“石济客专”)作为国家规划的“四纵四横”高速铁路网的重要组成部分,是国家重点建设工程。该线路的建成通车将成为连接京广、京沪两大高速铁路交通大动脉,正式形成以北京、天津、石家庄和德州为基点的京津冀“矩形”高铁环形网,将极大地方便了沿线群众的出行,对河北地区可持续快速发展起到重要的推动作用。由中国水电五局参建的石济客专二标段施工内容多样,铁路沿线经过晋州、辛集两市,穿越19个乡镇,跨越多条县道、省道以及南水北调干渠,征地拆迁难度极大。项目自开工建设以来,安全质量可控、工程进度在全线九个标段中排名靠前,土地征拆、三电迁改、施工进度等多项成绩名列全线第一;在标准化建设、安全质量、工程进度等方面荣获业主颁发的绿牌34张,表扬信、贺信若干,项目各年度标准化创优均顺利通过,连续四年被业主评为“标准化管理优秀项目部”和“设备物资管理优秀单位”;2017年度项目经理曹国义、总工程师段景朝被业主评为优秀项目管理者,其中项目经理曹国义在铁路建设期间获得中华铁路总工会颁发的“火车头”奖章。截至目前,石济客专已经初运营通车四个月,由中国水电五局负责参建的标段完美完成业主要求保驾护航三个月的任务,期间未有任何影响运营的事件发生,标段线上、线下等主体及附属工程全部完成并通过验收。项目部着力科研创新,多次获得中国水电五局科研进步奖,并为公司其他铁路项目施工输送了大量有经验的技术及管理人才。以一项目之力,在公司树立起了铁路建设的标杆,对外展现了中国水电五局迎难而上、标准管理、信誉履约的良好形象。

中国水电五局 乐闻多