

Excitation System Design and Components Selection for CCS Hydropower Plant

Dan Zhang, Shanfu Qiu

Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd, Zhengzhou
Email: 16589626@qq.com

Received: Aug. 9th, 2013; revised: Aug. 15th, 2013; accepted: Aug. 21st, 2013

Copyright © 2013 Dan Zhang, Shanfu Qiu. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: This paper introduces the design principles of excitation system, including the calculation of parameters for excitation transformer, thyristor rectifier, de-excitation breaker and excitation cable in CCS Hydropower Plant.

Keywords: Excitation System; Design and Components Selection

CCS 水电站励磁系统的设计与选型

张 丹, 丘善富

黄河勘测规划设计有限公司, 郑州
Email: 16589626@qq.com

收稿日期: 2013 年 8 月 9 日; 修回日期: 2013 年 8 月 15 日; 录用日期: 2013 年 8 月 21 日

摘 要: 介绍了 CCS 水电站励磁系统的设计情况, 包括励磁变压器、可控硅整流器、灭磁开关、励磁电缆的参数计算。

关键词: 励磁系统; 设计选型

1. 引言

Coca Codo Sinclair (简称 CCS)水电站工程位于南美洲厄瓜多尔国东北部 Napo 省与 Sucumbios 省交界处, 首部枢纽位于 Quijos 和 Salado 两河交汇处下游, 距首都基多公路里程约 130 km。工程主要建筑物包括首部枢纽、输水隧洞、调蓄水库、压力管道、地下厂房、500 kV 电缆洞、开关站、控制楼等。地下厂房安装 8 台单机容量为 205 MVA 的水斗式水轮发电机组及其附属设备, 主变洞内安装有 25 台单相变压器(1 台备用)及 500kV GIS 等设备。电气主接线发电机侧为发电机-主变压器单元接线, 发电机出口电压 13.8 kV, 采用离相封闭母线, 设发电机出口断路器; 升高电压侧为双母线接线, 500 kV 配电装置采用 GIS 设备, 3

回出线。工程概况如图 1 所示。

2. 励磁系统设计依据

励磁系统是同步发电机组的重要组成部分, 直接影响发电机的运行特性。优良的励磁系统不仅可以保证发电机稳定和运行可靠, 而且可以有效地提高发电机及电力系统的经济技术指标^[1]。依据 CCS 业主方与中国总承包方签订的主合同, 对励磁系统的要求主要有以下几点:

- 1) 励磁系统采用自并励^[2]。
- 2) 调节器采用冗余系统。
- 3) 强励电压倍数为 3。
- 4) 晶闸管整流装置设计成 3 个整流桥并联。



Figure 1. general chart of project
图 1. 工程概况图

- 5) 功率柜采用强迫风冷方式。
- 6) 励磁变采用三相变, F 级绝缘, 温升按 B 级考核。

在此基础上, 结合 GB/T 7409.3-2007《同步电机励磁系统大、中型同步发电机励磁系统技术要求》及 DL/T 583-2006《大中型水轮发电机静止整流励磁系统及装置技术条件》对励磁系统的要求, 进行了励磁系统设备的采购与设计。

3. 发电机制造商提供的参数如下

- 1) 容量: 205 MVA
- 2) 额定功率因数: 0.9
- 3) 额定频率: 60 Hz
- 4) 额定电压: 13.8 kV
- 5) 额定电流: 8576.6 A
- 6) 额定励磁电压(U_{fn}): 204.5 V
- 7) 额定励磁电流(I_{fn}): 1951 A
- 8) 空载励磁电压(U_{fo}): 81.3 V
- 9) 空载励磁电流(I_{fo}): 1093 A

4. 励磁系统的组成

CCS 励磁系统由励磁变、制动变、1 面调节柜、3 面功率柜、1 面电气制动切换柜、1 面灭磁开关柜及 1 面灭磁电阻柜组成。励磁系统框图如图 2 所示。

5. 励磁变压器容量及二次电压计算

1) 计算依据

- (1) 满足发电机在 1.1 倍额定励磁电流下长期运行的要求, 并留有裕度^[3];
- (2) 满足发电机组 3 倍强励电压要求;

- (3) 整流桥为三相全控桥, 最小控制角 $\alpha=15^\circ$;
 - (4) $U_{fn} = 204.5 \text{ V}$; $I_{fn} = 1951 \text{ A}$ 。
- 2) 变压器二次电压的计算

$$u_{2N} = \frac{k_u u_{fn} + \Delta u_T}{1.35 \times (\cos \alpha - c x_T - K_I)}$$

式中: K_u ——强励电压倍数, 为 3

U_{fn} ——发电机额定励磁电压, 204.5 V

ΔU_T ——电流回路中可控总压降, 一般取 2 V

$\cos \alpha$ ——最小控制角系数, 为 0.966

c ——倾斜系数, 对于三相全控桥 $c = 0.5$

X_T ——变压器漏抗, 0.06

K_I ——强励电流倍数, 为 2

$$\text{计算出 } u_{2N} = \frac{3 \times 204.5 + 2}{1.35 \times (0.966 - 0.5 \times 0.06 \times 2)} = 502 \text{ V}$$

3) 励磁变容量的计算

考虑变压器的谐波损耗^[4], 取变压器的容量为发电机额定运行时变压器容量的 1.2 倍。

$$P = 1.2 \times \sqrt{3} \times u_{2N} \times 0.816 I_{fn} \\ = 1.2 \times 1.732 \times 502 \times 0.816 \times 1951 = 1661 \text{ KVA}$$

实际选取励磁变容量为 1700 KVA, 满足要求。

6. 可控硅元件计算

每个整流柜装设一个三相全控整流桥, 熔断器和辅助电路, 以及用于冷却的风机, 风机安装在每个柜子的最顶端。可控硅整流桥组件设计成模块形式, 便于互换和检修。

1) 反向重复峰值电压验算

反向重复峰值电压应不小于 2.75 倍励磁变压器二次侧最大峰值电压。

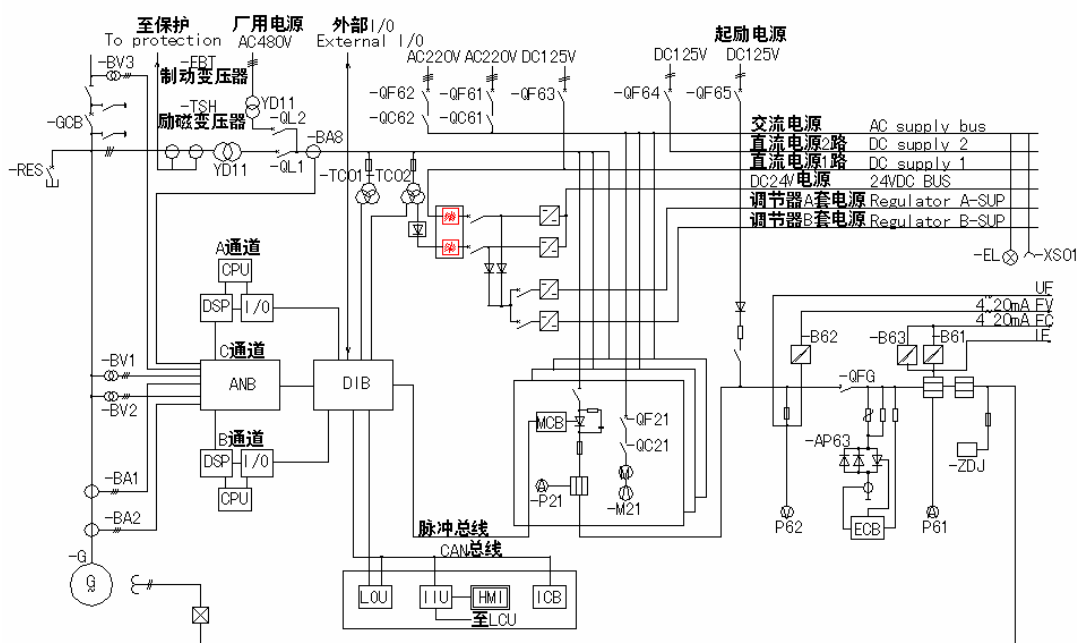


Figure 2. chart of excitation system
图 2. 励磁系统框图

$$\begin{aligned} \text{即 } V_{RRM} &\geq 2.75 \times \sqrt{2} \times U_{2N} \\ &= 2.75 \times 1.414 \times 502 = 1952V \end{aligned}$$

实际选取可控硅反向重复峰值电压 V_{RRM} 为 2800 V, 满足以上要求。

2) 晶闸管通态平均电流

$$I_p \geq K_{SA} K_{ji} I_d \frac{K_4}{K_2 K_S K_6}$$

式中: K_{SA} ——电流储备系数取 2

K_{ji} ——电路系数, 对三相全控桥, 取 0.367

I_d ——强励顶值电流取 3902 A

K_4 ——海拔高度系数, 海拔高度小于 1000 米,

取 1.1

K_2 ——风速系数, 取 1.0

K_6 ——温度系数, 取 0.9

K_S ——环境温度系数, 40℃取 1.0

计算出

$$I_p \geq K_{SA} K_{ji} I_d \frac{K_4}{K_2 K_S K_6} = 3501A$$

整流桥的并联支路数设计为 3, 但一个退出时能满足所有工况, 包括强励在内, 则 $I_p \geq 3501/2 = 1751$ A。

实际选取的晶闸管元件通态平均电流 $I_p = 2760$ A。

7. 灭磁开关选型计算

正常停机采用逆变灭磁; 事故停机采用灭磁开关和氧化锌非线性电阻灭磁, 并应设有逆变失败转灭磁开关与非线性电阻灭磁的措施^[5]。

1) 选型

采用 ABB 公司生产的 E3H/E MS-2500 型灭磁开关。

2) 额定电压的核算

磁场断路器额定电压应大于励磁电路长期工作电压的最大值, 可按 2 倍额定励磁电压考虑, E3H/E MS-2500 型灭磁开关额定电压为 1000 V, 高于 409 V, 满足设计要求。

3) 额定电流的核算

磁场断路器的额定电流应不小于发电机最大容量时励磁电流的 1.2 倍

$$I_N \geq k \times I_m = 1.2 \times 1951 = 2341A$$

E3H/E MS-2500 型灭磁开关额定电流为 2500 A, 高于 2341 A, 满足设计要求。

8. 励磁电缆选择

1) 交流侧电缆

交流测电流

$$I = 1.1 \times 0.816 I_{fN} \\ = 1.1 \times 0.816 \times 1951 = 1751 \text{ A}$$

励磁变压器至整流器之间的交流电缆一般采用三芯交联电缆。初选截面为 185 mm^2 铜芯的三芯交联电缆，查电缆手册，其载流量为 410 A，则

$$n = \frac{1751}{410 \times 1.0 \times 0.92} = 4.64$$

式中温度环境系数为 1，敷设电缆时的校正系数为 0.92；

因此选定每套励磁装置引 5 根截面为 185 mm^2 铜芯的三芯交联电缆，电缆额定电压选 1000V。

2) 直流电缆

根据励磁电流的大小及考虑到 1.1 倍电流下长期运行等因素，直流侧电流为 $1951 \times 1.1 = 2146 \text{ A}$ 。直流侧电缆采用单芯交联电缆。初选截面为 185 mm^2 铜芯的单芯交联电缆，查电缆手册，其载流量为 546 A，则

$$n = \frac{2146}{546 \times 1.0 \times 0.92} = 4.27$$

式中温度环境系数为 1，敷设电缆时的校正系数为 0.92；

因此选定正负极各引 5 根截面为 185 mm^2 铜芯的单芯交联电缆，电缆额定电压选 1000 V。

9. 结语

发电机励磁系统在发电机机组投资中所占的比重虽然极小，却是一个实时控制系统，其安全性和可靠性关系到电力系统的安全与可靠，各项性能指标直接关系到电力系统的稳定。发电机励磁系统的性能对于提高电网的输送能力和稳定性等具有重要意义，尤其是大型发电机励磁系统，其调节性能以及安全性、可靠性是电网安全稳定的重要环节，是电网安全稳定的基础^[4]。水电站励磁系统的选型计算，系统中各个部件选型是否合理匹配，不仅影响机组的可靠性能，而且也影响其经济性能。目前 CCS 电站励磁系统的设计工作已经完成，图纸通过了咨询方的审批，待设备投入运行后，我们将根据励磁系统的运行情况，对存在的问题进行分析和总结。

参考文献 (References)

- [1] 王中元 (2004) 紫坪铺水电站励磁系统的选型分析. *四川水力发电*, 2, 46-47.
- [2] 李基成 (2007) 大型水轮发电机组励磁系统设计新理念. *水电厂自动化*, 1, 1-13.
- [3] GB/T 7409.3-2007 (2007) 同步电机励磁系统大、中型同步发电机励磁系统技术要求. 中国标准出版社, 北京.
- [4] 许其品, 朱晓东, 刘国华 (2009) 大型发电机励磁系统的设计. *水电厂自动化*, 4, 20-24.
- [5] DL/T 583-2006 (2006) 大中型水轮发电机静止整流励磁系统及装置技术条件. 水利电力出版社, 北京.