

水轮发电机组超速保护系统设计方案研究

王 汉 超, 郭 超

(国电大渡河流域水电开发有限公司 国电大渡河检修安装有限公司, 四川 乐山 614900)

摘要:水轮发电机组超速保护系统主要是由事故配压阀和纯机械超速保护装置组成。在机组发生超速时,机组的超速保护系统会按照设计流程准确动作、及时关闭导叶接力器,以使机组停机,避免水轮发电机组发生飞逸现象。因此,超速保护系统设计方案质量的优劣,直接关系到机组运行的安全。结合瀑布沟和深溪沟 2 座水电站水轮发电机组超速保护系统的实际应用情况,以及超速保护系统的设计原理,推荐了一种能适合大中型水轮发电机组超速保护系统的设计方案,以便为大中型水电站机组超速保护系统的设计或升级改造提供参考与借鉴。

关 键 词:纯机械超速保护装置;事故配压阀;水轮发电机组

中图法分类号:TV734.2+1

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.21.020

1 机组超速保护系统介绍

水轮机调速器通过调节导叶开度的大小来改变水轮机过水流量,以实现机组转速的调整。调速器一般都具有紧急停机功能并设置有 1 个或 2 个紧急停机电磁阀,机组在运行时一旦发生超速,监控系统就会给调速器紧急停机电磁阀下达动作指令,紧急停机电磁阀动作后,控制主配压阀就会动作以关闭导叶接力器。为了避免调速器主配压阀出现发卡等情况而导致调速器失控,在水轮机调速系统中大都设置有一套事故配压阀(超速限制器)^[1]。

另外,考虑到水电站厂用交直流供电系统发生故障从而可能会导致调速器紧急停机电磁阀和事故配压阀电磁阀失去电源的情况,对调速系统增设一套纯机械超速保护装置,它是事故配压阀的先导控制装置。事故配压阀由事故停机电磁阀和纯机械超速保护装置分别控制,纯机械超速保护装置动作的优先级更高。

事故配压阀机械液压原理基本相同,它是串连在调速器主配压阀至导叶接力器之间的控制压力油管路上,是一个 2 位 6 通阀,其结构型式有 2 种:一种是滑阀式,另一种是插装阀式。

(1) 滑阀式事故配压阀由主阀体、主活塞、恒压控

制端组件、控制腔端盖以及事故停机电磁阀等组成。

(2) 插装阀式事故配压阀由阀体、4 个 2 通插装阀组件及控制端盖、事故电磁阀组成。事故配压阀有 2 个工作位置,即“动作”位和“复归”位。正如事故配压阀液压原理图(见图 1)所示:A1 接主配压阀开机腔,A2 接导叶接力器开机腔,B1 接主配压阀关机腔,B2 接导叶接力器关闭腔,P 接压力油,T 接回油。

图 1 中的事故配压阀在“复归”状态下,A1 接通 A2,B1 接通 B2,P1 和 T1 油口截止,此时调速器控制着开关导叶接力器,事故配压阀为通路。事故配压阀在“动作”状态时,A1 和 B1 油口截止,P1 接通 B2,T1 接通 A2,此时调速器控制油口被截止,调速器不能控制导叶接力器,事故配压阀直接关闭导叶接力器。

目前,水轮发电机组大都采用离心式纯机械超速保护装置,该装置液压控制油路接通事故配压阀、贯流式机组用的重锤关闭装置、机组进水球阀、蝶阀控制装置、大型机组圆筒阀控制装置以及机组工作门控制装置等。离心式纯机械超速保护装置由离心飞摆、脱扣器液压阀、安装环及配重块等部件组成,飞摆和安装环一般安装在水轮机大轴或发电机下端的轴上。当机组转速达到离心飞摆整定值时,离心飞摆柱塞被甩出,触发脱扣器液压阀动作,输出油路切换,从而使事故配压

阀动作,关闭导叶接力器,实现机组停机。

在图 1 中,也示出了离心式纯机械过速保护液压的原理。纯机械过速保护装置的控制阀是一个 2 位 3 通方向阀,该阀有 2 种应用方式。

(1) 第 1 种方式较为常用,由图 1 可以看出:P4 为压力油口,T4 为回油口,A4 为控制油口;纯机械过速保护装置在“复归”状态下,P4 接通 A4,T4 截止;在“动作”状态下,P4 截止,A4 接通 T4。

(2) 第 2 种方式使用较少,如图 1 所示:纯机械过速保护装置在“复归”状态下,P3 截止,A3 接通 T3;在“动作”状态下,P3 接通 A3,T3 截止。

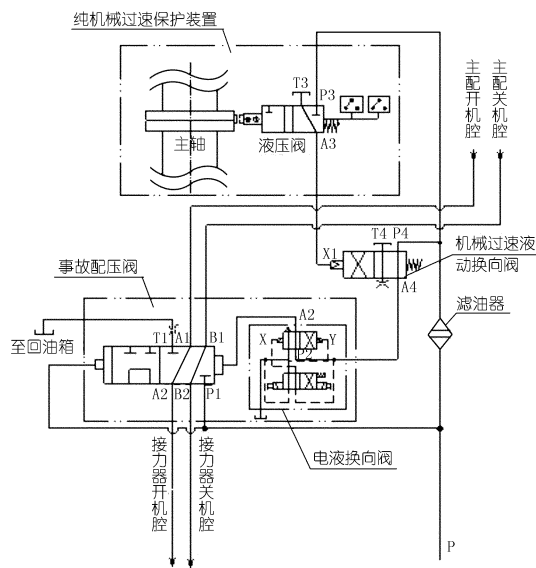


图 1 瀑布沟水电站 1 号机组过速保护系统液压原理

2 瀑布沟水电站机组过速保护系统介绍

瀑布沟水电站为大渡河水电基地干流上规划的第 17 级电站,位于四川省雅安市汉源县和凉山州甘洛县交界处。电站装设有 6 台装机容量为 600 MW 的混流式水轮发电机组,机组均安装有离心式纯机械过速保护装置,1,3 号和 5 号机组的水轮机由 GE 公司供货,每台水轮机安装一套由 GE 公司生产的纯机械过速保护装置和一套滑阀式事故配压阀。其型号为 SGP-150-6.3,通径为 $\varphi 150$ mm,额定工作油压为 6.3 MPa,该事故配压阀由武汉事达公司生产。2,4 号和 6 号机组的水轮机由东方电机公司供货,每台水轮机安装有一套由瑞典图拉博(TURAB)生产的纯机械过速保护装置和由东方电机公司生产的插装阀式事故配压阀(其通径为 $\varphi 150$ mm,额定工作油压为 6.3 MPa)设备。

2.1 1 号机组过速保护系统分析

图 1 为瀑布沟水电站 1 号机组过速保护系统液压

原理图。如图 1 所示,该过速保护系统包含一套离心式纯机械过速保护装置,一个 16 通径机械过速液动换向阀,一套滑阀式事故配压阀(含一个 16 通径 2 位 4 通液动换向阀作为事故停机电磁阀)。纯机械过速保护装置为第二种控制方式,即复归状态时输出油口 A3 接通回油口 T3^[2]。

现针对在机组出现过速而事故停机电磁阀未动作、纯机械过速保护装置动作发生“最不利”情况时的该过速保护系统的动作过程,展开了深入分析。在所述情况下,过速保护系统的动作过程如下:机组过速,离心飞摆动作甩出后,纯机械过速液动换向阀换向,A3 接通 P3,X1 先导油口接通压力油,机械过速液动换向阀换向;A4 接通 T4,事故配压阀控制腔接通 T4,控制腔失压,而事故配压阀恒压腔一直通压力油,在压差作用下,将事故配压阀主活塞切换到关机位;此时,P1 接通导叶关机腔,T1 接通导叶开机腔,A1 和 B1 截止,导叶接力器关闭,机组停机。

2.2 1 号机组过速保护系统现场应用情况

瀑布沟 1,3 号和 5 号机组过速保护系统自 2008 年陆续投运至今,事故配压阀运行情况良好,设备投运初期,纯机械过速保护装置从飞摆动作到导叶接力器开始动作,过速系统正常响应时间约为 3 s。在随后的几年里,在对机组检修时,检修人员在机组无水情况下进行纯机械过速动作关机试验的过程中,发现过速系统响应时间在逐渐延长,特别是在 2014~2015 年对机组检修期间,试验所测得的 1 号机组过速保护系统响应时间为 37 s,3 号机组的过速保护系统响应时间为 27 s,5 号机组的过速保护系统响应时间为 25 s。

为了查明过速保护系统动作响应延时的原因,检修人员又将纯机械过速保护装置复归,对事故停机电液换向阀进行事故关机试验。在此过程中,1 号机组的过速保护系统响应时间为 1.2 s,3 号机组的过速保护系统响应时间为 1.5 s,5 号机组的过速保护系统响应时间为 1.3 s。

经过对比发现,纯机械过速保护装置动作回路存在延时现象。为了查明其原因,检修人员开展了以下工作。

(1) 对纯机械过速保护装置输出油口 A3 到机械过速液动换向阀先导油口 X1 之间大概长为 15 m 的管路,从压力油源 P 到 P3 之间大概长为 15 m 的管路进行清洗,但是,在清洗的过程中,并没有发现较大的金属颗粒物。

(2) 对机械过速液动换向阀进行分解,但是并没有发现阀芯有卡阻的现象。

(3) 对纯机械过速保护装置液压阀进行了分解,

然而活塞动作灵活。机组超速保护系统从投运最初的动作响应延时 3 s, 到目前最长达 37 s, 说明纯机械超速液压阀出现故障的可能性最大。

为了证实这一判断, 更换了 1 号机组纯机械超速保护装置的液压阀并经过了动作试验。试验测得的 1 号机组超速保护系统的响应时间为 3.2 s。

通过对上述试验情况展开分析, 可以得出以下结论。

(1) 由于纯机械超速电磁阀复位弹簧长期处于压缩位置, 从而导致复位弹簧出现疲劳现象, 液压阀阀芯动作响应时间过长, 最终致使机组超速系统响应时间延长。为了避免 1, 3 号和 5 号机组纯机械超速保护装置液压阀失效, 目前已将液压阀更换成新阀, 以保证机组的运行安全。

(2) 纯机械超速保护装置动作后, 控制油口输出压力油的应用方式存在油路充油建压的延时现象。纯机械超速保护装置油管路一般通径较小, 复位时油管通回油, 管路内很容易存在空气, 当液压阀动作后, 高压油 (特别是 6.3 MPa 以上的油压) 进入有空气的压力钢管, 很容易造成管路振动甚至出现爆管现象。因此, 提出以下建议: ① 对原机组超速保护系统进行改造。例如, 对纯机械超速保护装置进行改造, 使其在工作方式为“复归”位置时, 能够控制油口输出压力油; 在“动作”位置时, 则控制油口接通回油。② 取消原机组超速保护系统中“机械超速换向阀”, 将原“电液换向阀”先导油路改为“外控外排”的方式。因为若原来的“机械超速换向阀”发卡, 那么纯机械超速保护装置将会失去关机作用。

2.3 2 号机组超速保护系统现场应用情况

瀑布沟水电站 2, 4 号和 6 号机组超速保护系统设备相同, 自机组于 2009 年陆续投运以来, 设备整体运行情况良好。其所配置的插装阀式事故配压阀结构具有以下特点。

(1) 采用的是标准的插装阀, 系统设计灵活、可靠性高、稳定性好。

(2) 采用叠装、插装技术和一体式阀块, 插装阀采用锥面密封, 几乎无泄漏, 对液压油质要求不高, 插装阀动作响应快。

(3) 插装阀与电磁阀之间的互换性、通用性以及标准化程度高, 并且该装置可在 2.5 ~ 21 MPa 范围内可靠地工作, 这是插装阀式事故配压阀所具有的一个突出特点。

瀑布沟 2 号水轮发电机组的过程保护系统液压原理示于图 2 中。

插装阀式事故配压阀动作过程如下: 插装阀事故

配压阀 6 个主油口定义与 1 号机组滑阀式事故配压阀相同。图 2 所示为事故配压阀在“复归”位置, 2 通插装阀 C1 和 C4 关闭, 2 通插装阀 C2 和 C3 打开, 此时事故配压阀是通路, A1 和 A2 相通, B1 和 B2 相通。当电液换向阀切换位置在“动作位”时, 2 通插装阀 C1 和 C4 打开, 2 通插装阀 C2 和 C3 关闭, 此时 A1 和 B1 被截止, T1 和 A2 相通, P1 和 B2 相通。

该机组的纯机械超速保护装置从飞摆动作到导叶接力器开始动作, 超速保护系统正常响应时间大约为 1 s。但是检修人员发现, 这几台机组的超速保护系统并没有安装滤油器, 纯机械超速液压阀和事故停机电液换向阀对油质要求较高, 且油质过滤精度不得低于 20 μm 。2015 年 2 月, 在对瀑布沟水电站 4 号机组停机检修的过程中, 在进行事故配压阀电液换向阀动作停机时, 发现电液换向阀先导阀的阀芯卡在了复归侧。于是, 在将电液换向阀解体清洗处理并回装以后, 事故配压阀才开始正常动作。

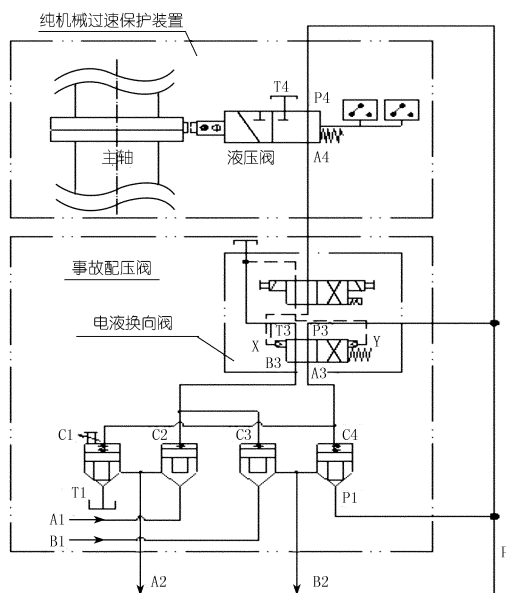


图 2 瀑布沟水电站 2 号机组超速保护系统液压原理示意

2 号机组采用的纯机械超速保护装置在“复归”状态时, 能够控制油口输出压力油, 动作后控制油口接通回油。该装置没有发生过类似 1 号机组纯机械超速保护装置响应延时的问题^[3]。

3 深溪沟机组超速保护系统应用情况分析

深溪沟水电站位于瀑布沟水电站的下游, 装设有 4 台装机容量为 165 MW 的轴流转桨式水轮发电机组。对每台机组均安装了一套由法国阿尔斯通 (ALSTOM) 公司生产的 DEVSS 离心式纯机械超速保护装置和一套滑阀式事故配压阀 (型号为 SGP-150-6.3)。

深溪沟水电站 4 台机组的超速保护系统设备相

同,自机组于 2011 年陆续投运以来,设备整体运行情况良好。

事故配压阀控制阀包括一个 6 通径先导电磁阀和一个 16 通径液动换向阀。这种结构与瀑布沟水电站 2 号机组的事故配压阀采用一个 16 通径电液换向阀的原理相同。图 3 所示为深溪沟水电站机组过速保护系统液压原理图。

深溪沟水电站机组过速保护系统没有安装高压过滤器,这样就增加了机组过速系统设备发卡的风险。2015 年 1 月,在对深溪沟水电站 3 号机组进行检修期间,发现事故配压阀的 6 通径先导电磁阀的阀芯发卡,事故配压阀的阀体恒压端小活塞发卡,从而导致机组过速保护系统拒动。通过对事故原因展开分析,经过研究,建议为深溪沟水电站机组过速保护系统先导电磁阀油路加装高精度的过滤器,以避免设备再次出现发卡。

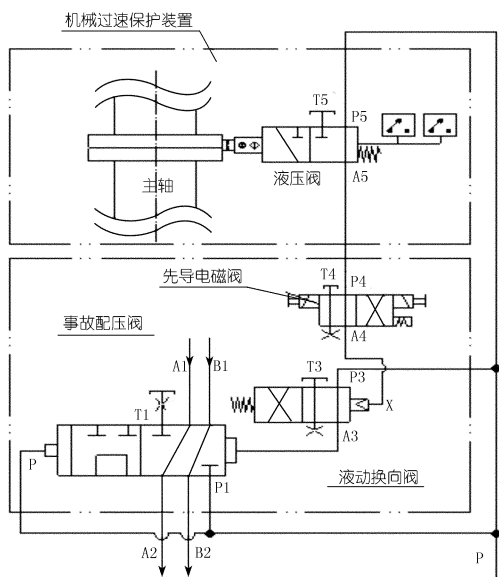


图 3 深溪沟水电站过速保护系统液压原理示意图

深溪沟水电站纯机械过速保护装置从飞摆动作到导叶接力器开始动作,过速保护系统正常响应时间大约为 1.5 s。深溪沟水电站的纯机械过速保护装置在复归状态时控制油口输出压力油,动作后控制油口接通回油。该装置没有发生过类似瀑布沟水电站 1 号机组纯机械过速保护装置响应延时的问題。

滑阀式事故配压阀具有以下结构特点。

(1) 相对于插装阀式事故配压阀而言,其体积小,便于布置。

(2) 滑阀式事故配压阀为非标准件,小批量生产,质量难以保证。

(3) 一般只能在 2.5 ~ 6.3 MPa 压力范围内使用,无法实现高压化。

(4) 事故配压阀对液压油质的要求较高,在设备

运行过程中,主活塞、从动小活塞易发生卡阻。

4 适合大中型机组的过速保护系统

纯机械过速保护装置是机组发生过速时的最后一道保护措施,其机械液压控制回路的设计特别严谨。通过对以上 3 种类型的机组过速保护系统的实际应用情况开展分析比较,可以看出,瀑布沟水电站 2 号机组的过速保护系统方案最优。它在原系统中增加了一套高精度的过滤器以后,使系统更加完善。完善后的机组过速保护系统原理图示于图 4。

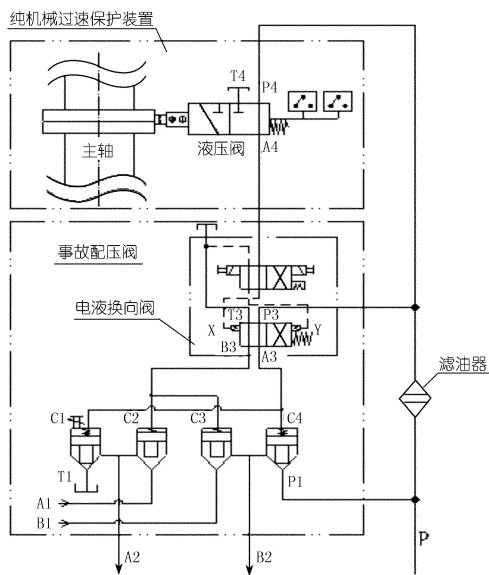


图 4 适合大中型机组的过速保护系统液压原理图

5 结语

纯机械过速保护装置和事故配压阀是机组过速保护系统最重要的设备,设计制造出工作性能更可靠、维护更方便的机组过速保护系统,是水电人一直在思考的问题。本文结合瀑布沟和深溪沟水电站水轮发电机组过速保护系统的实际应用情况和过速保护系统的设计原理,经过试验、分析和对比,在此推荐一种能够适合于大中型水轮发电机组的过速保护系统方案,同时也是为大中型水电站机组过速保护系统设计或升级改造提供参考与借鉴。

参考文献:

- [1] 权君宗,谢俊,伍英岩,等.集成插装阀式过速限制和两段关闭装置的设计与应用[J].东方电气评论,2011,25,(97):35-36.
- [2] 刘聪.机械液压保护系统在水电站中的应用研究[J].中国新技术新产品,2014,(11):10-11.
- [3] 袁静,胡森.水电站调速器事故配压阀误动作原因分析与处理[J].人民长江,2014,45(11):71-72.

(编辑:赵秋云)

(下转第 109 页)

- [2] 陈云. 随军西行见闻录[M]. 北京:红旗出版社,1985. 人民出版社,2007.
- [3] 中国人民解放军国防大学. 中国人民解放军简史[M]. 南京:江苏 (编辑:邓玲)

Preliminary analysis on planning of Jiaopingdu ferry relics protection of Jinsha River

ZHONG Lei, FENG Qiusheng, GUO Jiewen

(Planning and Design Department of Reservoir Region, Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: Jiaopingdu ferry relics of Jinsha River is under administrative government of Yunnan Province and Sichuan Province, which is famous for commemorating the historical event in 1935 when the Main Force of Red Army crossed the river and won a decisive victory of the Long March, and is the only Important Historical Monument under Special Preservation of China in the inundation area of Wudongde Reservoir. The relics has the meanings such as the commemoration of the Long March, the education on revolutionary tradition and the red tourism scenic spot, so the protection is needed. The preliminary protection plan approved by the cultural relics protection departments of Yunnan Province and Sichuan Province and the general protection plan suggested by the main design unit on the basis of the preliminary one are introduced, the suggestions in next stage to provide reference for the relative departments are put forward.

Key words: Jiaopingdu ferry; relics protection plan; Wudongde Reservoir; Jinsha River



(上接第 83 页)

Study on design schemes of overspeed protection system of hydro – generator units

WANG Hanchao, GUO Chao

(Maintenance and Installation Co. , Ltd. , China Guodian Dadu River Hydropower Development Co. , Ltd. , Leshan 614900, China)

Abstract: The overspeed protection system of hydro – generator unit is mainly composed of emergency distributing valve and purely mechanical overspeed protector. When the generator unit runs over the speed limit, the overspeed protection system will operate accurately according to the designed procedures, close the guide vane servomotor immediately, and shut down the unit to avoid runaway of the unit. Therefore, the quality of the design schemes of overspeed protection system is directly related to the safe operation of the unit. In combination of the application of the overspeed protection system of hydro – generator units in Pubugou Hydropower Station and Shenxigou Hydropower Station, a design scheme of overspeed protection system suitable for medium and large hydro – generator units is recommended according to related design principles of overspeed protection system to provide reference for the design and improvement of the overspeed protection system of medium and large hydro – generator units.

Key words: purely mechanical overspeed protector; emergency distributing valve; hydro – generator unit

