



超超临界火电机组培训系列教材

电气分册

高亮 江玉蓉 陈季权 编著
胡荣 杨军保 洪建华



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

TM621
86:3

超超临界火电机组培训系列教材

电气分册

高亮 江玉蓉 陈季权 编著
胡荣 杨军保 洪建华



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内容提要

本书是《超超临界火电机组培训系列教材》的《电气分册》。全书共十四章，详细介绍了发电机的氢、油、水系统，同步发电机，变压器，厂用电动机，电力系统的基础知识，电气主接线，厂用电系统，高压电器设备，直流系统、互感器及二次回路，发电机的继电保护，变压器的继电保护及线路的继电保护基础，电动机的继电保护及厂用电源的快速切换，同步发电机的自动并列控制及同步发电机的励磁控制。

本书可作为火力发电厂生产人员的培训教材，亦可供有关专业人员和高等学校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

超超临界火电机组培训系列教材. 电气分册/高亮等
编著. —北京: 中国电力出版社, 2012. 11

ISBN 978-7-5123-3267-6

I. ①超… II. ①高… III. ①火力发电-发电机组-技术培训-教材 ②火力发电-电气设备-技术培训-教材 IV. ①TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 151676 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 [http://www. cepp. sgcc. com. cn](http://www.cepp.sgcc.com.cn))

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23.5 印张 556 千字 1 插页

印数 0001—3000 册 定价 68.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《超超临界火电机组培训系列教材》

编 委 会

主 任 姚秀平
副主任 倪 鹏 刘长生
委 员 杨俊保 任建兴 符 杨 郑蒲燕 高 亮 肖 勇 章德龙
丁家峰 钱 虹 吴春华 徐宏建 张友斌 李建河 潘先伟
张为义 符义卫 黄 华 陈忠明 洪 军 孙志林

《锅炉分册》编写人员

主 编 章德龙
副主编 王云刚 缪加庆

《汽轮机分册》编写人员

主 编 丁家峰
副主编 陆建峰 王亚军 戴 欣

《电气分册》编写人员

高 亮 江玉蓉 陈季权 胡 荣 杨军保 洪建华 编 著

《热控分册》编写人员

主 编 钱 虹
副主编 黄 伟 刘训策 汪 容

《电厂化学分册》编写人员

主 编 吴春华
副主编 龚云峰 赵晓丹 王 啸 诸红玉 徐刚华

《燃料与环保分册》编写人员

主 编 徐宏建
副主编 辛志玲 谈 仪 李中存 许 斌

前 言

进入 21 世纪,我国经济飞速发展,电力需求急速增长,电力工业进入了快速发展的新时期。截至 2011 年底,全国发电装机容量达 10.56 亿 kW,首次超过美国(10.3 亿 kW),成为世界电力装机第一大国。其中,火电 7.65 亿 kW。目前,全国范围内已投产的单机容量 1000MW 超超临界火电机组共有 47 台,投运、在建、拟建的百万千瓦超超临界机组数量居全球之首。华能玉环电厂、华电邹县电厂、外高桥第三发电厂、国电泰州电厂等一大批百万千瓦级超超临界机组的相继投产,标志着我国已经成功掌握世界先进的火力发电技术,电力工业已经开始进入“超超临界”时代。根据电力需求和发展的需要,未来几年,我国还将有大量大容量、高参数的超超临界机组相继投入生产运行。因此,编写一套专门用于 1000MW 超超临界机组的培训教材有着现实需求的积极意义。

上海电力学院作为一所建校六十余年的电力院校,一直以来依托自身电力特色,利用学校的行业优势,发挥高校服务社会的功能,依托丰富的电力专业师资资源,大力开展针对发电企业生产人员的各类型、各层次、各工种的技术培训。从 20 世纪 70 年代至今,学校已先后为全国近百家电厂,从 125MW 到 600MW 的超临界机组,以及我国第一台 1000MW 超超临界火力发电机组——华能玉环电厂等培养了大批技术人才,成为最早开始培训同时接受培训厂家最多、机组类型最丰富的院校之一。2012 年 11 月,学校以 1000MW 火电机组培训代表的面向发电企业技术项目正式被上海市评为 2006~2012 年市级培训品牌项目。

本套丛书包括《锅炉分册》、《汽轮机分册》、《电气分册》、《热控分册》、《电厂化学分册》与《燃料与环保分册》6 个分册,是学校基于多年以来的培训经历累积而成,并融合多家在学校培训的厂家资料,由上海电力学院和皖能铜陵发电有限公司合作完成的。

丛书在编写过程中,力求反映我国超超临界 1000MW 等级机组的发展状况和最新技术,重点突出 1000MW 超超临界火电机组的工作原理、设备系统、运行特点和事故分析,包含国内主要四大发电设备制造企业——上

海电气、哈尔滨电气、东方电气、北京巴威的技术资料，以及大量国内外最新的百万机组资料，并经过华能玉环电厂、国电泰州电厂、皖能铜陵电厂、国华绥中电厂、华润广西贺州电厂、国华徐州电厂、国电谏壁电厂、浙能台州电厂、江苏新海电厂、浙能嘉兴电厂、浙能舟山六横电厂、华电句容电厂、华能南通电厂等十几家百万千瓦发电机组企业培训使用，最终逐步修改、完善而成。本套丛书注重理论联系实际，紧密围绕设备型号进行讲解，是超超临界火电机组上岗、在岗、转岗、技能鉴定、继续教育通用培训的优秀教材。

本套丛书由上海电力学院副院长姚秀平教授担任编委会主任，现皖能集团总工程师倪鹏（原皖能铜陵发电有限公司总经理）、皖能铜陵发电有限公司总经理刘长生担任编委会副主任，上海电力学院华东电力继续教育中心和皖能铜陵发电有限公司负责组织校内 18 位长期从事培训工作的教师和 10 位专工联合编写，历时近 3 年，历经多次修改而成。

本套丛书在编写过程中，中国上海电气集团公司、华东电力设计院、国华宁海发电有限公司、国电北仑发电有限公司、中电投上海漕泾发电有限公司、外高桥第三发电有限公司、浙能嘉兴发电有限公司、国电泰州发电有限公司、浙能舟山六横煤电有限公司等提供了大量的技术资料并给予了大力的支持和热情帮助；上海电力学院成教院杨俊保副院长、培训科肖勇科长、司磊磊老师以及多位研究生为本丛书的出版做出了大量细致工作，在此表示诚挚的感谢。

本册为《电气分册》，全书共十四章，其中第一～四章由陈季权编写，第五～七章由胡荣编写，第十、十一章由江玉蓉编写，其他章节由高亮编写，杨军保、洪建华为本书提供了相关资料，全书由高亮负责统稿。

由于知识和经验有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者提出宝贵意见，以利不断完善。

编者

2012 年 11 月

目 录

前言

第一篇 电 机 部 分

第一章 发电机的氢、油、水系统	3
第一节 发电机的氢气控制系统.....	3
第二节 发电机的密封油系统.....	7
第三节 发电机的定子冷却水系统	10
第二章 同步发电机	13
第一节 发电机的工作原理	13
第二节 发电机的结构	35
第三节 发电机的运行及事故处理	40
第三章 变压器	49
第一节 概述	49
第二节 变压器的结构	52
第三节 变压器的发热与传热及冷却方式	63
第四节 分裂绕组变压器	66
第四章 厂用电动机	69
第一节 异步电动机的结构和工作原理	69
第二节 异步电动机的功率及力矩	72
第三节 异步电动机的启动与调速	78
第四节 异步电动机的运行维护	85

第二篇 电 气 主 系 统

第五章 电力系统的基础知识	91
第一节 电力系统的组成和技术特点	91
第二节 电力系统的电压等级	94
第三节 电力系统的负荷和负荷曲线	96
第四节 电力系统中性点的运行方式	97

第六章 电气主接线	105
第一节 概述.....	105
第二节 主接线的基本形式.....	105
第三节 2×1000MW 机组的电气主接线	111
第四节 发电机主回路电气接线的特点.....	114
第七章 厂用电系统	116
第一节 概述.....	116
第二节 厂用电接线.....	117
第三节 厂用电系统中性点的接地方式.....	124
第四节 厂用变压器的选择.....	125
第五节 电动机的自启动校验.....	128
第八章 高压电器设备	131
第一节 高压断路器的概述.....	131
第二节 真空断路器和真空接触器.....	138
第三节 六氟化硫断路器.....	144
第四节 压缩空气断路器.....	148
第五节 少油断路器.....	150
第六节 断路器的操动机构.....	153
第七节 500kV 全封闭配电装置	155
第八节 封闭母线.....	157
第九章 直流系统、互感器及二次回路	168
第一节 直流电源的设置.....	168
第二节 蓄电池组的运行方式.....	170
第三节 铅酸蓄电池的构造与特性.....	172
第四节 镉镍蓄电池的构造与特性.....	180
第五节 直流系统的运行.....	184
第六节 电磁式电流互感器.....	186
第七节 电压互感器.....	191
第八节 直流电流互感器.....	196
第九节 发电厂的控制方式.....	196
第十节 断路器的控制.....	198
第十一节 信号系统.....	202

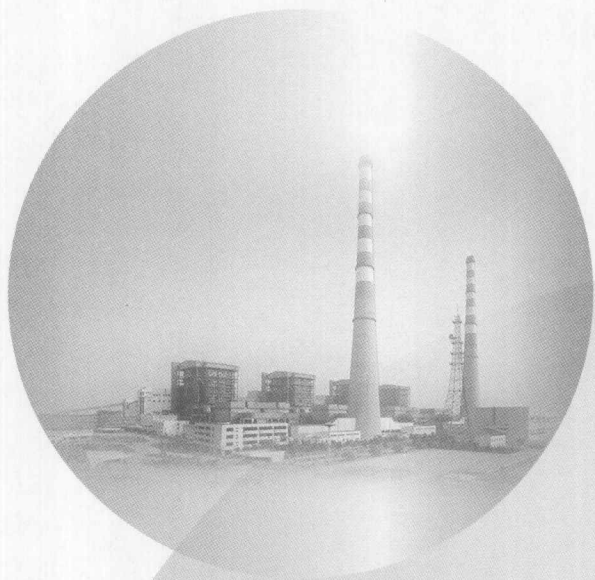
▶ 第三篇 继电保护及自动装置

第十章 发电机的继电保护	207
第一节 继电保护的基本概念.....	207

第二节	发电机的故障类型、不正常运行状态及其保护配置	211
第三节	发电机相间短路的纵差动保护	213
第四节	发电机定子绕组匝间短路保护	218
第五节	发电机定子绕组单相接地保护	222
第六节	发电机励磁回路接地保护	226
第七节	发电机负序电流保护	230
第八节	发电机失磁保护	232
第九节	发电机失步保护	239
第十节	大型发电机的其他保护	241
第十一章	变压器的继电保护及线路的继电保护基础	248
第一节	电力变压器的故障类型、不正常运行状态及其保护配置	248
第二节	变压器内部故障差动保护	250
第三节	变压器纵差动保护的励磁涌流	257
第四节	变压器相间短路的后备保护	259
第五节	变压器接地短路的后备保护	263
第六节	变压器非电量保护	266
第七节	发电机—变压器组的保护典型配置	267
第八节	母线差动保护及断路器失灵保护	271
第九节	高压输电线路的继电保护基础	272
第十二章	电动机的继电保护及厂用电源的快速切换	279
第一节	厂用电机的故障类型和不正常运行状态	279
第二节	厂用异步电动机的继电保护	280
第三节	厂用电源的快速切换	287
第十三章	同步发电机的自动并列控制	294
第一节	概述	294
第二节	同步发电机自动并列的原理	299
第三节	自动准同期并列装置的原理	302
第十四章	同步发电机的励磁控制	313
第一节	同步发电机励磁系统	313
第二节	同步发电机励磁控制	318
第三节	并列运行机组间无功功率的分配	328
第四节	数字式励磁调节装置	333
第五节	数字式励磁调节装置的应用实例	344
参考文献		363

超超临界火电机组培训系列教材

电气分册



第一篇

电机部分

第一章

发电机的氢、油、水系统

发电机在运行中会发生能量损耗，包括铁芯和绕组的发热、转子转动时气体与转子之间的鼓风摩擦发热，以及励磁损耗、轴承摩擦损耗等。这些损耗最终都将转化为热量，致使发电机发热，因此必须及时将这些热量排离发电机。也就是说，发电机运行中，必须配备良好的冷却系统。发电机氢、油、水系统现场布置图见图 1-1。

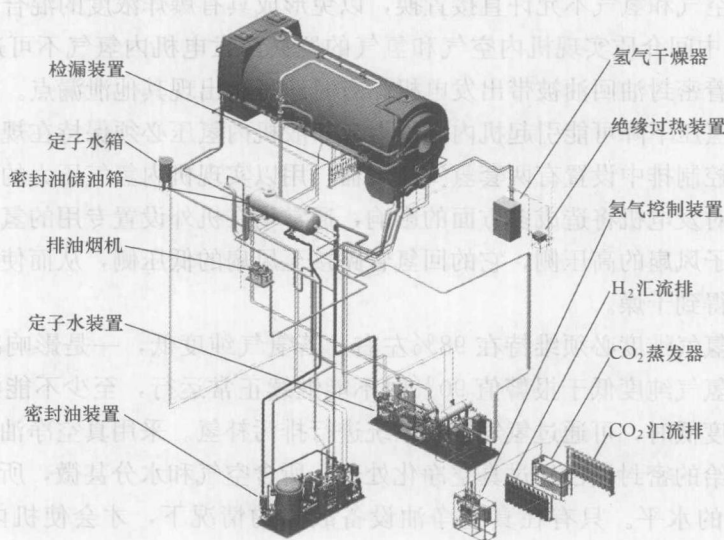


图 1-1 发电机氢、油、水系统现场布置图

发电机定子绕组、铁芯、转子绕组的冷却方式，可采用水氢氢的冷却方式，也可采用水水氢的冷却方式，近年来还有采用空气冷却的方式。

本章将介绍水氢氢的冷却方式，即发电机定子绕组用水进行冷却，而发电机的铁芯和转子绕组用氢气进行冷却。

第一节 发电机的氢气控制系统

发电机氢冷系统的功能是用于冷却发电机的定子铁芯和转子，并采用二氧化碳作为置换介质。发电机氢冷系统采用闭式氢气循环系统，热氢通过发电机的氢气冷却器由冷却水冷却。运行经验表明，发电机通风损耗的大小取决于冷却介质的质量，质量越轻，损耗越小，

氢气在气体中密度最小,有利于降低损耗;另外氢气的传热系数是空气的5倍,换热能力好;氢气的绝缘性能好,控制技术相对较为成熟。但是最大的缺点是一旦与空气混合后在一定比例内(4%~74%)具有强烈的爆炸特性,所以发电机外壳都设计成防爆型,气体置换采用CO₂作为中间介质。

对发电机氢冷系统的基本性能要求是:①氢冷却器冷却水直接冷却的冷氢温度一般不超过46℃。氢冷却器冷却水进水设计温度为38℃。②氢气纯度不低于95%时,应能在额定条件下发出额定功率。但计算和测定效率时的基准氢气的纯度应为98%。③机壳和端盖,应能承受压力为0.8MPa历时15min的水压试验,以保证运行时内部氢爆不危及人身安全。④氢气冷却器工作水压为0.35MPa以上时,试验水压不低于工作水压的2倍。⑤冷却器应按单边承受0.8MPa的压力设计。⑥发电机氢冷系统及氢气控制装置的所有管道、阀门、有关的设备装置及其正反法兰附件材质均为1Cr18Ni9Ti,氢系统密封阀均为无填料密封阀。

一、氢系统的概况

1. 氢系统的工作原理

发电机内的空气和氢气不允许直接置换,以免形成具有爆炸浓度的混合气体。通常应采用CO₂气体作为中间介质实现机内空气和氢气的置换。发电机内氢气不可避免地会混合到密封油中,并随着密封油回油被带出发电机,有时还可能出现其他泄漏点。因此机内氢压总是呈下降趋势,氢压下降可能引起机内温度上升,故机内氢压必须保持在规定的范围之内。控制系统在氢气的控制排中设置有两套氢气减压器,用以实现机内氢气压力的自动调节。氢气中的含水量过高对发电机将造成多方面的影响,通常均在机外设置专用的氢气干燥器,它的进氢管路接至转子风扇的高压侧,它的回氢管路接至风扇的低压侧,从而使机内部分氢气不断地流进干燥器得到干燥。

发电机内的氢气纯度必须维持在98%左右,若氢气纯度低,一是影响冷却效果,二是增加通风损耗。氢气纯度低于报警值90%时不能继续正常运行,至少不能满负荷运行。当发电机内氢气纯度低时,可通过氢气控制系统进行排污补氢。采用真空净油型密封油系统的发电机,由于供给的密封油已经过真空净化处理,所含空气和水分甚微,所以机内氢气纯度可以保持在较高的水平。只有在真空净油设备故障的情况下,才会使机内氢气纯度下降较快。

发电机内氢气纯度、压力、温度是必须进行经常性监视的运行参数,机内是否出现油水也是应当定期监视的。氢气系统中针对各运行参数设置有不同的专用表计,用以现场监视,超限时发出报警信号。

2. 氢系统的作用

氢系统也称为气体系统,它的作用为:

- (1) 提供对发电机安全充、排氢的措施和设备,用二氧化碳作为中间置换介质。
- (2) 维持机内正常运行时所需的气体压力。
- (3) 监测补充氢气的流量。
- (4) 在线监测机内气体的压力、纯度及湿度。
- (5) 干燥氢气,排去可能从密封油进入机内的水汽。
- (6) 监测漏入机内的液体(油或水)。

(7) 监测机内绝缘部件是否过热。

(8) 在线监测发电机的局部漏氢。

3. 氢系统的主要组成设备

氢系统的主要组成设备 (见图 1-2)

有: ①氢气汇流排 (供氢系统) 和二氧化碳汇流排 (供二氧化碳系统); ②二氧化碳蒸发器 (加热器); ③氢气控制装置; ④氢气干燥器 (氢气去湿装置); ⑤发电机绝缘过热监测装置 (发电机工况监测装置); ⑥发电机漏液检测装置; ⑦发电机漏氢检测装置 (气体巡回检测仪)。

(1) 氢气汇流排。发电机产生的热量通过氢气带出, 氢气的散热能力相当于空气的 8 倍。为了获得更加有效的冷却效果, 发电机中的氧气是加压的。

氢气汇流排由 10 瓶组高压汇流排及 2 级减压阀组成。氢气瓶 (发电厂自备) 通过软管与汇流排连接。第一级减压阀将瓶内氢压减至 2~3MPa, 第二级减压阀再将压力减至 1~1.2MPa。减压后的氢气送到氢气控制装置再减压至发电机所需的压力 (0.5MPa)。按 IEC 规范要求, 连接在汇流排上向发电机供氢的氢瓶总容积不超过 20m³ (标准状态下)。国内常用氢气瓶为 6m³ 容量, 连接并打开的气瓶为 3 个。

(2) 二氧化碳汇流排。为了防止氢气和空气混合成爆炸性的气体, 在向发电机充入氢气之前, 必须要用二氧化碳将发电机内的空气置换干净。同理, 在发电机停机排氢后, 也要用二氧化碳将发电机内的氢气置换干净。

二氧化碳汇流排由 10 瓶组汇流排和 1 个压力表组成。二氧化碳气瓶 (发电厂自备) 通过软管与汇流排连接。汇流排上压力表显示瓶内气压, 当瓶内压力为 1MPa 时即认为是空瓶。二氧化碳气瓶应为虹吸式结构, 即从瓶内出来的二氧化碳应是液体状态。液态二氧化碳送入二氧化碳蒸发器, 使之吸热成为气体。为了保证进入二氧化碳蒸发器中的二氧化碳为液体形式, 可将若干个气瓶并联工作。

(3) 二氧化碳蒸发器。由于二氧化碳在大多数情况下是以液体形式储存在气瓶内, 二氧化碳蒸发器用于将来自二氧化碳汇流排的二氧化碳加热成气体, 所需的气化热来自环境空气。

蒸发器的入口有压力调节阀, 将来自气瓶内的二氧化碳压力降到 1.6MPa 左右; 在出口处另有压力调节阀, 将二氧化碳气体压力降至 0.1MPa 左右供发电机使用。蒸发器的热源来自环境空气中的热量。蒸发器中组合了两套蒸发装置, 各有两个风扇、两个热变换器和一个电磁阀。为了防止二氧化碳蒸发时因吸热而在热交换器和管道结霜或冻结, 两个蒸发装置每

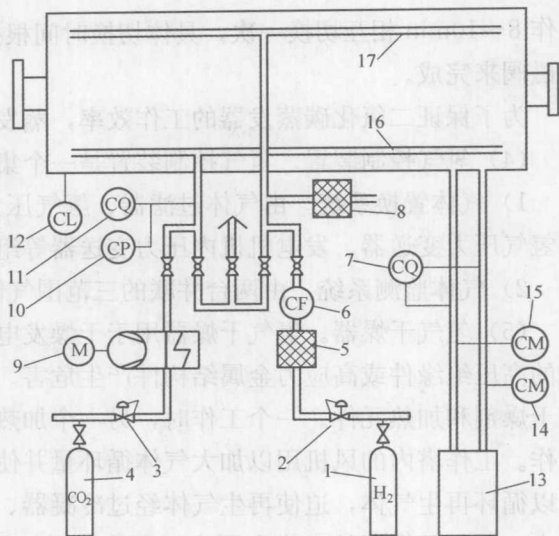


图 1-2 氢系统的结构示意图

1—氢瓶及其汇流排; 2—氢气减压阀×2; 3—二氧化碳减压阀; 4—CO₂ 瓶及其汇流排; 5—氢气过滤器; 6—氢气流量计; 7—绝缘过热监测装置; 8—空气过滤器; 9—CO₂ 蒸发器; 10—压力变送器; 11—气体纯度分析仪×2; 12—漏液检测装置×10; 13—双塔吸附式氢气干燥器; 14—湿度仪 (干燥器出口); 15—湿度仪 (干燥器入口); 16—发电机底部 CO₂ 分管; 17—发电机顶部氢气分管

工作 8~10min 相互切换一次,具体切换时间根据环境温度和实际流量来设置。切换工作由电磁阀来完成。

为了保证二氧化碳蒸发器的工作效率,蒸发器的工作环境温度最低为+5℃。

(4) 氢气控制装置。氢气控制装置是一个集装装置主要包含:

1) 气体置换系统。由气体过滤器、氢气压力减压阀、置换阀门、氢气质量流量计、补充氢气压力变送器、发电机机内压力变送器等组成。

2) 气体监测系统。由两台并联的三范围气体纯度分析仪和一台机内压力分析仪组成。

(5) 氢气干燥器。氢气干燥器用于干燥发电机内的氢气,以防机内水分过高时,对发电机的高压绝缘件或高应力金属结构件产生危害。干燥器由两个干燥塔组成,塔内装填有高性能干燥剂和加热元件。一个工作时,另一个加热再生。每个塔内都装有一台循环风机,连续工作。工作塔内的风机用以加大气体循环量并使气体在干燥器内分布均匀;再生塔内的风机用以循环再生气体,迫使再生气体经过冷凝器、气水分离器等,使干燥剂内吸附的水分分离出来。氢气干燥器的工作和再生过程由内建 PLC 控制,全自动进行。由于是闭式循环,所以不消耗氢气,也不会引入空气。为提高可靠性,干燥器从氢气中分离出来的水分需人工排放。

氢气干燥器的入口和出口分别装有一台露点仪。入口湿度仪用以监测干燥器入口即发电机内的氢气湿度,出口湿度仪用以监测干燥器的干燥效果。

(6) 发电机绝缘过热监测装置。发电机绝缘过热监测装置用以监测发电机内部绝缘材料是否有过热现象,以便在早期及时采取必要的措施,防止酿成重大事故。在发电机正常工作时,流经装置的干净气体导致装置产生一定的微电流,此电流经处理后,在装置上显示出来。当发电机内绝缘有过热现象时,绝缘材料因过热而挥发出过热粒子,这些粒子随氢气进入到监测装置后,将引起装置的电流减少。当电流减少到一定程度时,装置经自检确认装置本身无误后将发出报警信号,提示发电机内绝缘部件有过热现象。

(7) 发电机漏液检测装置。发电机漏液检测装置用以检测发电机水冷定子线圈或氢气冷却器因泄漏而积累在发电机底部的液体,同时也用以检测渗漏到发电机内的密封油或轴承油。漏液检测装置由数个高可靠性、高灵敏度的防爆音叉开关组成。开关输出为 DPDT (双刀双掷继电器信号)。装置上设有窥流器以观察漏液情况,装置下有排污阀以排除装置中的积液。

(8) 发电机漏氢检测装置。漏氢检测装置为一台可燃气体巡回检测仪。装置上设有 8 个通道,最多可监测 8 个部位的漏氢情况。装置与氢敏传感器之间用电缆连接,传感器为防爆设计。根据工程需要,传感器可配置 1~2 个。漏氢检测装置有三个 SPDT (单刀双掷继电器信号) 输出,报警点可人工设定。也可把两个信号设置成同一报警值,其功能相当于 DPDT。

二、氢冷系统的主要参数

1. 主要技术参数

发电机氢冷系统的主要技术参数如下:发电机内的空间容积(标准状态下): 100m^3 ;氢气的正常压力: 500kPa ;氢冷系统的泄漏量(标准状态下): $<18+19.6=37.6(\text{m}^3/\text{d})$ 。
发电机氢冷器(每个)和励磁机空冷器(每个)的主要技术参数见表 1-1。

表 1-1 发电机氢冷器（每个）和励磁机空冷器（每个）的主要技术参数

技术参数	氢冷器	空冷器
数量	4×25%	2×50%
热负荷 (kW)	6742	500
冷却面积 (m ²)	2213	660
气体流量 (m ³ /s)	33 (氢气)	15.5 (空气)
气体温度 (热/冷) (°C)	76/44	72/43
气侧压降 (Pa)	998	500
冷却水流量 (m ³ /h)	500	110
冷却水压降 (kPa)	50	40

2. 氢冷系统的运行控制参数

为了保证发电机能正常运行，其氢冷系统的运行参数必须遵从一定的限额，表 1-2 列出了发电机氢冷系统正常运行时的主要参数及报警整定值。

机组运行时，发现发电机内的氢压降低，应立即查明原因。若属正常降压，则应进行补气；若属不正常降压，则应查明泄漏原因，待缺陷消除后再补气。

表 1-2 发电机氢冷系统正常运行时的主要参数及报警整定值

项 目	技 术 规 范
正常运行氢气压力 (kPa)	500 (正常), 470 (报警)
发电机的容积 (气体容积, m ³)	100
发电机内气体流量 (m ³ /s)	33
发电机机座内的露点温度 (°C)	<-10
发电机 H ₂ /减压门 1 出口压力 (MPa)	0.8~0.95
发电机 H ₂ /减压门 2 出口压力 (MPa)	0.5
油氢差压 (kPa)	120 (正常), 60 (报警并关闭发电机/防火门)
氢气纯度 (%)	97 (正常), 95 (报警)
最大允许漏氢量 (m ³ /d)	18+19.6=37.6 (0°C, 1×10 ⁵ Pa)
发电机 CO ₂ /减压门 1 出口压力 (MPa)	1.8
发电机 CO ₂ /减压门 2 出口压力 (kPa)	100
排氢风机进口真空 (kPa)	-1.5~-0.5 (正常), -0.3 (报警, 切至备用风机)
冷氢温度 (°C)	44 (正常), >48 或 <5 (报警), >53 或 <0 (汽轮机跳闸)
励磁机热风温度 (°C)	43~60 (正常), >75 (报警), >80 (汽轮机跳闸)
励磁机冷风温度 (°C)	25~40 (正常), >42 (报警)

第二节 发电机的密封油系统

由于发电机定子铁芯及其转子部分采用氢气冷却，为了防止运行中氢气沿转子轴向外泄漏，引起火灾或爆炸，在发电机的两个轴端分别配置了密封瓦（环），并向转轴与端盖交接处的密封瓦循环供应略高于氢压的密封油（见图 1-9）。本机组的密封油路只有一路（习惯

上称为单流环式), 分别进入汽轮机侧和励磁机侧的密封瓦, 密封油进入密封瓦后, 经密封瓦与发电机轴之间的密封间隙, 沿轴向从密封瓦两侧流出, 即分为氢气侧回油和空气侧回油, 并在该密封间隙处形成密封油膜, 既起密封作用, 又起润滑和冷却密封瓦的作用。

一、密封油的概况

1. 密封油系统的作用

密封油系统也称为氢气密封油系统, 它的作用为:

- (1) 向密封瓦提供压力油源, 防止发电机内压力气体沿转轴逸出。
- (2) 保证密封油压始终高于机内气体压力某一个规定值, 其压差限定在允许变动的范围之内。
- (3) 通过热交换器冷却密封油, 从而带走因密封瓦与轴之间的相对运动而产生的热量, 确保瓦温与油温控制在要求的范围之内。
- (4) 系统配有真空净油装置, 去除密封油中的气体, 防止油中的气体污染发电机中的氢气。
- (5) 通过油过滤器, 去除油中杂物, 保证密封油的清洁度。
- (6) 密封油路备有多路备用油源, 以确保发电机安全、连续运行。
- (7) 排油烟风机排除轴承室和密封油储油箱中可能存在的氢气。
- (8) 系统中配置一系列仪器、仪表, 监控密封油系统的运行。
- (9) 密封油系统采用集装式, 便于运行操作和维修。

密封油系统的主要组成设备有: ①密封油供油装置; ②排油烟风机; ③密封油储油箱(空侧回油箱)。

2. 密封油系统

由于氢冷汽轮发电机的转子轴伸必须穿出发电机的端盖, 因此, 这部分成了氢内冷发电机密封的关键。密封环靠置在密封环支座上, 而密封环支座通过螺栓连接在支座法兰上并采取绝缘措施, 防止轴电流流动。密封环沿轴线分成两半, 这样不仅便于安装, 而且能保证测量间隙和绝缘要求。密封环在轴颈侧衬有巴氏合金。密封环和转子轴之间的间隙内充有密封用的密封油。密封油系统中的油与汽轮机、发电机轴承使用的润滑油是一样的。

密封油从密封环支座上的密封环室通过环上的径向孔和环形槽注入密封间隙。为获得可靠的密封效果, 应保证环形油隙中的密封油压力高于发电机中的气体压力。从密封环的氢侧和空侧排出的油经定子端盖上的油路返回密封油系统。在密封油系统中, 油经过真空处理、冷却和过滤后返回密封环。

在空侧, 压力油通过环形槽的数个径向孔进入密封环, 以保证当机内气体压力较高时, 密封环在径向仍能自由活动。在氢侧, 密封环的二次密封能够减少氢侧的径向油流量, 以保持氢气纯度的稳定。

发电机轴密封(见图 1-3)所用的密封油来自密封油供油装置, 密封油供油装置的主要组成设备有: ①真空油箱(密封油箱), 包括真空泵; ②氢侧回油控制箱(氢侧回油箱或中间油箱); ③主密封油泵(2×100%); ④备用密封油泵; ⑤油泵下游压力控制阀; ⑥密封油冷却器(2×100%); ⑦密封油过滤器(2×100%); ⑧压差调节阀(2×100%)。这些设备均组装在一个集装装置上。