

大型发电设备检修工艺方法和质量标准丛书

DAXING FADIAN SHEBEI JIANXIU GONGYI FANGFA HE
ZHILIANG BIAOZHUN CONGSHU

汽轮发电机组检修

刘崇和 张 勇 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

大型发电设备检修工艺方法和质量标准丛书

汽轮发电机组检修

刘崇和 张 勇 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是《大型发电设备检修工艺方法和质量标准丛书》之一。

全书主要介绍了汽轮发电机组结构,汽轮发电机组项目安排,发电机本体检修的标准项目、非标准项目,外部元件检查,相关试验,励磁系统检修,附属设备检修等内容,对汽轮发电机结构、工作原理、拆装工序等进行了详细论述,并采用表格形式,按检修项目、工艺方法及注意事项、质量标准编写,形式直观、内容实用。

本书既可作为火力发电厂检修人员培训教材和实际操作的理论教材,也可作为大中专相关专业学员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮发电机组检修/刘崇和 张勇主编. —北京:中国电力出版社, 2004

(大型发电设备检修工艺方法和质量标准丛书)

ISBN 7-5083-1242-2

I. 汽… II. ①刘… ②张… III. 汽轮发电机组—检修 IV. TM311.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 075488 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 [http: //www cepp com cn](http://www.cepp.com.cn))

北京市铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 4 月第一版 2004 年 4 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 3 625 印张 87 千字

印数 0001—4000 册 定价 12.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

大型发电设备检修工艺方法和 质量标准丛书编审委员会

主	编：	刘崇和	张 勇		
审	稿：	沈家民	邵关兴	毛剑培	
委	员：	沈家民	邵关兴	赵耀钟	罗光华
		俞浩鑫	朱国懿	郁建国	毛剑培

前 言

发电设备检修管理是发电企业管理的重要组成部分，实施检修管理标准化，努力提高检修质量，是发电生产技术管理的重要内容之一。原华东电力集团公司自 1995 年开始，在试点成功的基础上，在大机组检修工作中大力推广贯彻 ISO—9000 标准，通过实践，已取得明显的成效，提高了企业管理水平和保证了检修质量。

健全完善程序文件、推行和加强工序管理是检修管理标准化的重要内容和基础工作。鉴此，原华东电力集团公司生产技术处提出编写《大型发电设备检修工艺方法和质量标准丛书》（以下简称《丛书》）的设想，本着奉献同行、公诸同好的愿望，博得了网内各单位、同行专家的附和，并由原华东电力集团公司生产技术处牵头，组建了“《丛书》编委会”。在编委们字勘句酌、切磋琢磨、不辞辛苦的共同努力下，本《丛书》得以如期问世。

《丛书》以国产引进型 300MW 发电机组为例，根据设备的出厂资料和华东电网发电设备检修的实践经验汇编而成。《丛书》分汽轮机检修、锅炉检修、汽轮发电机检修三个分册，介绍了设备本体及其附属设备的检修工艺方法和质量标准，是一套实用的检修工艺指导参考资料，可以作为电厂检修工人的培训教材，也可作为大中专院校相关专业学员的参考书。

在《丛书》编写过程中，上海市、江苏、浙江、安徽省电力公司生产技术部门和外高桥发电厂、望亭发电厂、吴泾热电厂、彭城发电厂、利港发电厂、嘉兴发电厂、洛河发电厂、田家庵发电厂、马鞍山第二发电厂、铜陵发电厂、淮北第二发电

厂、苏州工业园区华能发电厂等单位领导和专家给予了大力支持和帮助，积极提供编写素材，参与《丛书》的审阅工作，并且一丝不苟，直陈所见。在此，谨向他们表示衷心的感谢！

如果本《丛书》能起到一个抛砖引玉作用，并能向电业人员提供一些实用信息，我们将不胜欣慰。随着制造技术的不断改进完善和配套辅机的改变，可能会出现本《丛书》中未包涵的内容，需要各使用单位不断完善。由于时间仓促，经验不足，地域局限，《丛书》谬误欠妥之处在所难免，敬请各位读者不吝斧正。

丛书编审委员会

2003年10月

目 录

前言

1 汽轮发电机组主要技术规范	1
1.1 发电机主要技术规范	1
1.2 无刷励磁机主要技术规范	3
1.3 励磁控制回路设备技术规范	4
2 汽轮发电机组结构	5
2.1 发电机结构	5
2.2 励磁机结构	6
2.3 密封油系统	8
3 发电机组检修项目安排	9
3.1 发电机检修项目安排	9
3.2 发电机大修参考项目	9
3.3 发电机小修参考项目	12
4 发电机本体检修的标准项目	14
4.1 发电机解体前的工作	14
4.2 解体及抽转子	17
4.3 定子检修	25
4.4 转子检修	34
4.5 穿转子及装复	39
4.6 其他元件检修	51
5 外部元件检查	56
6 发电机本体检修的非标准项目	58
6.1 定子绝缘引水管更换	58
6.2 转子拆装护环工艺	59
6.3 定子线棒更换工艺	65
6.4 相关试验	73

7 励磁系统检修 (包括安装在同一根轴上的	
永磁副励磁机)	82
7.1 主励磁机大修	82
7.2 整流轮检修	85
7.3 永磁副励磁机大修	88
7.4 其他项目	89
7.5 励磁机小修项目参考	90
7.6 励磁回路控制设备检修	91
8 附属设备检修	97
8.1 发电机外部冷却水系统检修	97
8.2 发电机油密封系统检修	99
8.3 发电机氢冷供气系统检修	103



汽轮发电机组主要技术规范

1.1 发电机主要技术规范

表 1 上海电机厂 QFSN-300-2 型发电机主要技术数据

项 目		技 术 数 据
额定容量 (MVA)		353
额定功率 (MW)		300
额定定子电压 (V)		20000
额定定子电流 (A)		10189
空载励磁电压 (V)		113
空载励磁电流 (A)		987
额定励磁电压 (V)		302
额定励磁电流 (A)		2510
额定转速 (r/min)		3000
相数		3
频率 (Hz)		50
功率因数		0.85
接法		2Y
效率 (%)		98.6 (上海电机厂试验值)
定子绝缘等级		B
转子绝缘等级		B
定额		连续
冷却方式		水氢氢
旋转方向 (励侧观)		逆时针
冷 却 介 质	工作氢压 (MPa)	0.31
	最大运行氢压 (MPa)	0.41
	氢气纯度 (容积比, %)	不低于 95
	氢气湿度露点 (0.3MPa 下, °C)	0, -5
	冷氢额定温度 (°C)	46
冷氢最低温度 (°C)		30

续表

项 目		技 术 数 据
冷 却 介 质	定子绕组冷却水压 (MPa)	0.15 ~ 0.2
	定子绕组进水温度 (°C)	40 ~ 50
	定子绕组总进水温度保证值 (°C)	> 42, < 53
	定子线组冷却水量 (t/h)	55
	氢冷却器水压 (MPa)	最高 0.5
	氢冷却器总水流量 (t/h)	400
	氢冷却器进水温度 (°C)	最高 35
	密封油压 (MPa)	高于氢压 0.03 ~ 0.08
质 量	定子质量 (包括端盖、冷却器、底板、出线盒、吊攀, t)	272
	定子运输质量 (包括运输盖板, 但不包括端盖、冷却器、底板、出线盒、吊攀, t)	约 235
	端盖每对质量 (t)	约 10
	轴瓦每只质量 (t)	约 1.2
	冷却器每只质量 (t)	0.4
	出线盒 (包括主出线套管) (t)	4.7
	转子总重 (t)	54
	发电机总重 (t)	约 327
定 子 铁 芯	励磁机 (无刷) 整套连台板总重 (t)	约 24.5
	内径 (mm)	1250
	外径 (mm)	2500
	长度 (mm)	4856.5
	槽数 Z_1	54
	槽宽 (mm)	33.6
	槽深 (mm)	166
	通风槽数 (径向)	70
定 子 绕 组	通风槽宽 (mm)	3.2
	绕组形式	篮形
	节距 Y	1 ~ 23
	每极每相槽数 q	9
	并联支路数 a	2
	绕组只数	54
	每匝绕组横列	2
	每槽直线棒根数	2

续表

项 目		技 术 数 据
定子绕组组	每匝绕组纵列	12 根实心铜线, 3 根空心铜线
	线棒槽内尺寸 (长×宽, mm×mm)	32.4×55.5
	每匝铜线尺寸 (长×宽, mm×mm)	21.6×44.7
	出线端子数	6
转子	转子槽数 Z_2	32
	本体长 (mm)	5080
	转子全长 (mm)	11284
	本体直径 (mm)	1100
	护环直径 (mm)	1190

1.2 无刷励磁机主要技术规范

表 2 上海电机厂 MAPKⅢ 技术数据

项 目		技 术 数 据
主励磁机	额定功率 (kW)	1695
	额定电压 (V)	403
	额定电流 (A)	2698
	转速 (r/min)	3000
	相数	3
	频率 (Hz)	250
旋转变流装置	全波不可控硅整流, 有熔断器及过电压保护	
	额定功率 (kW)	1675 (1650)
	额定电压 (V)	475
	额定电流 (A)	3474
	组件总数	24
	二极管总数	48
	每根每相并联二极管数	8
	串联二极管数	1
	二极管反向峰压定额 (V)	2000
	反向峰压时的泄漏电流限值 (mA)	50

续表

项 目		技 术 数 据
旋转整流装置	电容器组件总数	24
	励磁机侧熔断器总数	24
	发电机侧熔断器总数	24
	熔断器电阻范围 (25℃时, $\mu\Omega$)	102 ~ 119
	熔断器更换前最大电阻 (25℃时, $\mu\Omega$)	143
永磁副励磁机	额定容量 (kW)	31.6
	额定电压 (V)	95
	额定电流 (A)	202
	转速 (r/min)	3000
	相数	3
	频率 (Hz)	350
	功率因数	0.95

1.3 励磁控制回路设备技术规范

表 3 励磁控制回路设备技术数据

项 目	技术参数及名称
额定输出电压 (V)	根据各厂设备在现场规程中规定
额定输出电流 (A)	根据各厂设备在现场规程中规定
强励输出电压 (V)	根据各厂设备在现场规程中规定
强励输出电流 (A)	根据各厂设备在现场规程中规定
强励允许时间 (s)	15
强励顶值电压倍数	2
高起始反应励磁系统 0.1s 内达到的水平	95% 顶值电压
电压调整范围 (%)	根据各厂设备在现场规程中规定
调差率整定范围 (%)	根据各厂设备在现场规程中规定
时间常数 (s)	根据各厂设备在现场规程中规定
控制电压 (V)	DC220



汽轮发电机组结构

2.1 发电机结构

发电机采用 QFSN-300-2 型三相同步交流发电机，由上海电机厂引进美国西屋公司技术，自行设计制造。发电机采用水氢氢的冷却方式，发电机定子绕组及其连接线和出线采用水内冷，转子绕组、定子铁芯及端部采用氢冷。发电机密封系统采用双流环式油密封。

发电机采用焊接的机座结构，轴承由焊接的端盖支撑，并涂绝缘漆。发电机机壳两端内各装有两只立式的氢冷器，定子铁芯与机座间采用轴向弹簧板隔振装置。转子采用合金钢整体锻件，转子两端均装有轴流式风扇。定子绕组及连接线、出线瓷套管为水冷，转子绕组、定子铁芯及端部结构件为氢冷，采用无刷励磁。发电机内的氢气由装在两端的轴流式风扇驱动，使发电机内形成氢气流动的闭合回路。热氢气由装在发电机两端的氢冷器冷却，除了励磁机端的出线盒外，氢气流动的两个回路几乎是对称的。

定子铁芯采用高磁导率、低损耗及表面涂有环氧绝缘漆的硅钢片叠装而成。定子铁芯依靠穿心螺杆和端部压圈轴向压紧，端部压圈外侧装有铜屏蔽，使发电机的杂散损耗较低。

定子绕组由实心股线和空心导线交叉换位组成。定子绕组的空心导线内，通过冷却水进行冷却，以降低绕组温升。定子绕组对地绝缘采用环氧粉云母带连续绝缘。定子绕组与槽楔间有弹性波纹板，以压紧线圈，并在部分槽楔上开有小孔，可用

来测量波纹板的压紧程度，以控制松紧度。在槽底和上下层线棒之间都放有适形材料，以保持良好接触，固定可靠。在每个槽上下层线圈层间及每根绝缘水管的出水接头上，均装有一只热电阻测温元件，以检测这部分的温度。

转子槽为开口平行槽，在槽底下开有轴向具有斜度的通风槽，使每个沿轴向分布的径向通风支路的风量分配均匀。转子绕组每匝由两根含低银合金的冷拉铜线组成。这种导线的疲劳极限比一般铜线高，电导率约降低 0.5%，但导热性以及高温下抗蠕变强度有显著提高，可减少和防止导线在多次启动和停机过程中，因热胀冷缩而出现的残余变形和匝间短路。转子绕组在本体长度范围内为实心铜线。铜线沿宽度方向有两排腰圆形通风孔，端部为 II 形铜排，两根反向拼在一起，中间形成一个通风通道。端部线圈通风分为两路，风从线圈直线与端部圆弧连接点附近外侧面开口进入，一路沿轴向经端部直线部分后，在槽楔出风孔出风，另一路切向流向极中心处出风后，再通过转子大齿表面的通风槽，到气隙处出风。转子槽内，在楔下垫条下面与线圈之间，以及线圈与端部的护环绝缘内表面，均有聚四氟乙烯滑动层，以便铜线自由胀缩。在楔下面埋置有镀银的阻尼铜排，使发电机具有良好的阻尼性能。

2.2 励磁机结构

励磁机为上海电机厂引进美国西屋公司技术生产制造的无刷励磁机，靠整体联轴器与发电机对接。励磁机由安装在同一根轴上的交流励磁机、旋转硅整流器、永磁副励磁机组成。

主励磁系统分旋转和静止两个部分。整个励磁系统旋转部分包括发电机转子、交流励磁机电枢、旋转硅整流器及永磁副励磁机的转子，它们与发电机的转子同轴旋转。静止部分包括交流励磁机磁场绕组、晶闸管整流器、永磁副励磁机电枢和自动电压调节器（AVR）。永磁副励磁机转子上装有永磁铁作为

永磁机磁场，定子上装有三相电枢绕组。永磁副励磁机输出的三相交流电压，经静止的晶闸管整流器变成电压可调的直流电压后，给交流励磁机磁场提供励磁电流，另外，它还可以作为自动电压调节器的电源。永磁机定子固定在励磁机平台上，定子底座横向两侧用轨道卡住，并有销钉定位。磁性转子与主励磁机及整流轮共轴，因此永磁机定子的拆装必须用专用工具。励磁机自由端经过永磁机定子轨道拆装，通常定子轨道不允许拆卸。交流励磁机定子上装有励磁绕组，转子上装有三相 Y 形接线的电枢绕组。交流励磁机旋转电枢输出的三相交流电压，经旋转硅整流器变成直流电压后，供给发电机转子回路的励磁电流。旋转硅整流器内的整流二极管和带指示器的熔断器、散热器、电容器及其熔断器，以及有关的连接电路系统，可靠地安装在圆筒形高强度合金钢盘的内表面，即为整流轮，用大的过盈配合套在有绝缘的一段轴上。过盈配合以及盘和轴之间几根大截面的绝缘件，使整流轮可靠地固定到轴上，并使其能经得起大的旋转力矩和短路力矩。传输励磁机电枢交流功率的电气接线，穿过整流轮法兰面上的孔，连接到三相全波桥式整流电路，整流后供给主发电机磁场。

无刷励磁机具有以下特点：

(1) 励磁电源取自同轴交流励磁机和永磁副励磁机，可不受系统干扰。

(2) 取消了集电环和电刷（称无刷励磁系统），从而提高了励磁系统运行的可靠性，减少了机组的维护工作量。

(3) 整流元件、熔断器等做成组件结构，便于维护。

(4) 关键部位，如旋转二极管、触发回路、功放回路和稳压电源等，有足够的备用容量，以确保安全运行。

(5) 有较完善的限制功能和保护装置（如低励限制和过励保护等），允许发电机在最大出力状态下运行。

(6) 内部连接、旋转元件是硬性连接，发电机磁场和励磁机之间不需外部接线，惟有的外部接线是副励磁机定子、交流

励磁机（定子磁场和控制线路之间）。

（7）励磁系统具有在 0.1s 内到达 95% 顶值电压的高起始特性，能提高发电机和电力系统的稳定性，强励顶值电压为两倍额定励磁电压。

（8）采用间接法测量发电机磁场电流。励磁机装有两个冷却器，励磁系统运行中产生的热量主要依靠两组空气冷却器冷却。两个冷却器安装在励磁机外罩内。空气通过励磁机外罩，沿着一条通道被送往整流轮；沿着另外一条通道，被送往交流励磁机。借助于整流轮的自身鼓风作用，使空气流过整流轮；借助于在轴上装置的风扇，使空气流经交流励磁机。检修中，应注意消除漏气，因为这种漏气可能把灰尘吸进励磁机。所有外罩的门，都装有可调节的铰链和插销，以便于消除门缝漏气。

2.3 密封油系统

由于采用双流环式密封瓦，将供油系统分为空气侧和氢气侧两路分开的密封油系统，使氢侧油和空侧油之间的串流，降至最低限度，得以取消真空处理装置，减少氢气的消耗量。在轴承回油及空侧密封油和公用的回油管路上，设有 U 形气封管，以防止氢气混入汽轮机油中。密封油系统配有密封油备用压力泵，与汽轮机油系统相接通，一起作为备用油压油源，以保证密封油供油和运行可靠。



发电机组检修项目安排

3.1 发电机检修项目安排

发电机大修分为一般项目（标准项目）和特殊项目（非标准项目）。一般项目又分为常修项目和不常修项目。常修项目为每次大修均要进行的项目，不常修项目和特殊项目根据设备健康状况报批后进行。增减项目必须履行批准手续。

发电机小修也可分为一般项目和特殊项目，但由于小修工期短，一般项目局限于能见部分及易损部分的检查清扫，并配以必要的试验项目，而特殊项目多是对运行中的缺陷进行消除。大修前的一次小修检查，也为大修项目的安排提供依据。

3.2 发电机大修参考项目

部件名称	一般项目（标准项目）		特殊项目
	常修项目	不常修项目	
定子	1. 检查端盖、内护板、导风板和衬垫等。 2. 检查和清扫定子绕组引出线和套管。 3. 检查和清扫铁芯压板、线圈端部绝缘、绑线、压板、隔木（垫块）、支持架和压紧螺栓，消除缺陷	1. 更换处理少量槽楔。 2. 更换少量隔木。 3. 定子膛内及绕组端部喷漆	1. 更换部分或全部定子线棒，或修理定子线棒绝缘。 2. 定子绕组端部接头重新焊接。 3. 更换处理 25% 以上槽楔和端部隔木（垫块）或重扎绑线