

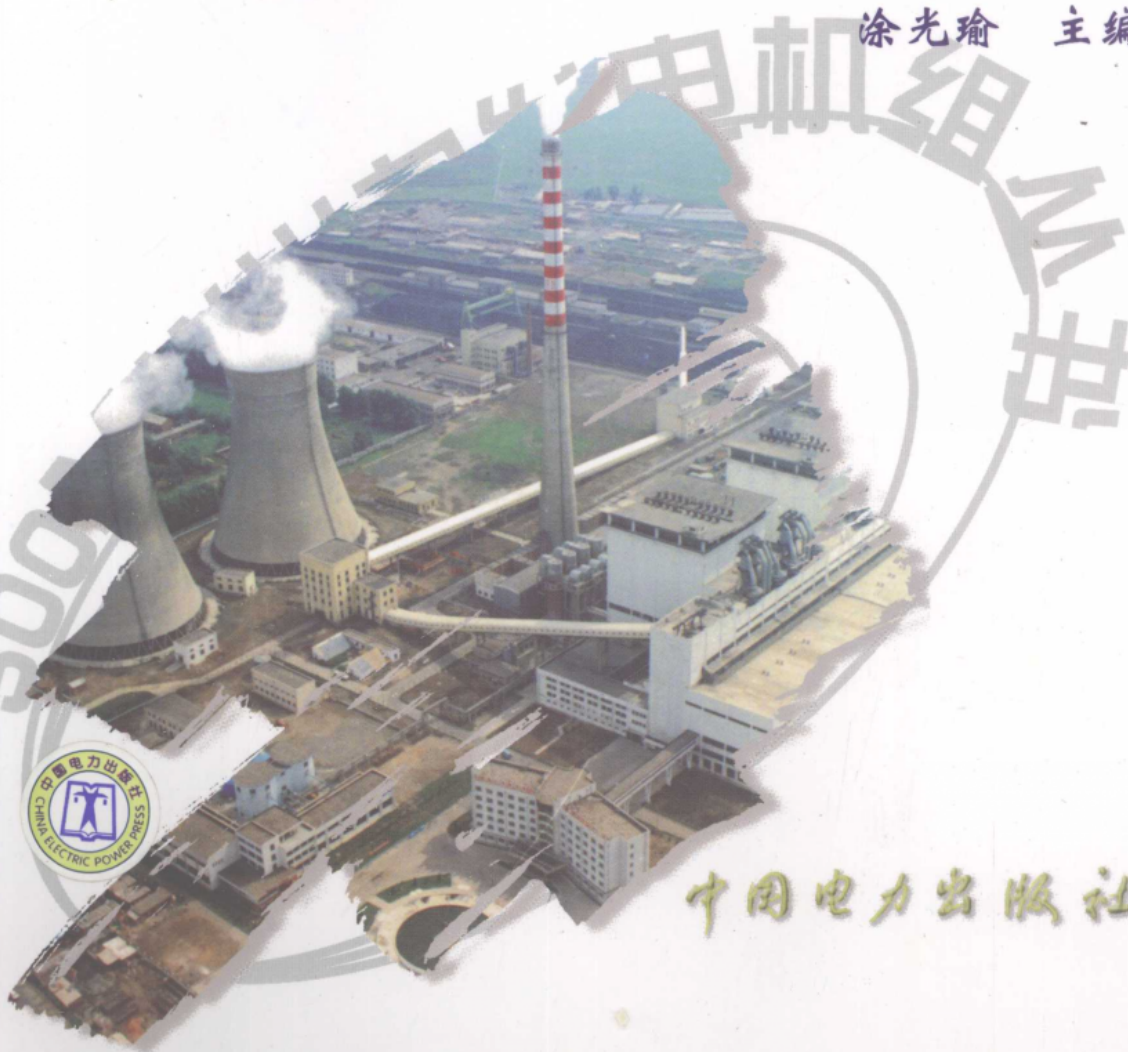
300MW火力发电机组丛书

第二版

第三分册

汽轮发电机及电气设备

涂光瑜 主编



中国电力出版社



- | | |
|------|------------|
| 第一分册 | 燃煤锅炉机组 |
| 第二分册 | 汽轮机设备及系统 |
| 第三分册 | 汽轮发电机及电气设备 |
| 第四分册 | 计算机控制系统 |

ISBN 978-7-5083-5035-6



9 787508 350356 >

定价：58.00 元

销售分类建议：电力工程 / 火力发电

300MW火力发电机组丛书

第二版

第三分册

汽轮发电机及电气设备

涂光瑜 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是 300MW 火力发电机组丛书之一, 本书在第一版的基础上对内容进行了更新修改, 并加以充实、提高, 使之更适合大容量火电机组的目前状况。全书系统地介绍了 300MW 汽轮发电机及电气设备和系统的原理、结构、特性及运行、维护、调试等技术。主要内容包括汽轮发电机本体、励磁系统、电气一次系统及设备、继电保护配置及设备, 电气设备调整试验, 并且介绍了大型汽轮发电机设备的结构特点以及当今世界上大功率汽轮发电机及电气设备先进技术的发展趋势。全书内容丰富, 讲述精练, 反映了我国生产和进口的 300MW 等级汽轮发电机及电气设备的技术装备水平。

本书适合从事 300MW 火力发电机组设计、安装、调试、运行、检修及管理工作的工程技术人员阅读, 或作为技术培训教材使用, 也可供其他高参数、大容量火电机组的有关专业技术人员以及高等院校电力工程类和热能动力类专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽轮发电机及电气设备/涂光瑜主编. —2 版. —北
京: 中国电力出版社, 2007. 6

(300MW 火力发电机组丛书)

ISBN 978-7-5083-5035-6

I. 汽… II. 涂… III. 汽轮发电机组-电气设备
IV. TM311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 067236 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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1998 年 10 月第一版

2007 年 6 月第二版 2007 年 6 月北京第八次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 37.75 印张 927 千字

印数 20901—23900 册 定价 58.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
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

《300MW 火力发电机组丛书》第二版

编 委 会

主 编 吴季兰

副 主 编 张晓梅 涂光瑜 高 伟

编 委 (按姓氏笔划排序)

丁学俊 尹项根 冯慧雯 叶 涛

刘 沛 吴季兰 陈 刚 张永立

张国强 张晓梅 张家琛 邱纪华

陆继明 郑 瑛 贺国强 胡能正

涂光瑜 高 伟 侯云鹤 徐明厚

黄树红 熊信银

第二版前言



进入 21 世纪以来,随着我国经济的飞速发展,电力需求急速增长,促使电力工业进入了快速发展的新时期。我国电力工业的电源建设和技术装备水平有了较大的提高,大型火力发电机组有了较快增长,亚临界参数的 300、600MW 机组,甚至超临界的 600~800MW 机组,已经成为我国各大电网的主力机组。

由于引进型 300MW 机组具有调峰性能好、安全可靠、经济性好、负荷适应性广及自动化水平高等特点,早已成为我国现运营的火电机组中的主力机型,对我国电力事业的发展起到了积极的作用。有关工程技术人员、现场生产人员急需了解和掌握这些高参数、大容量机组的结构、系统和运行知识。为此,1998 年组织编写了这套《300MW 火力发电机组丛书》。

此套丛书面市以来,深受广大读者的厚爱,发行量逐年递增,已达数万套。为了适应当前电力大发展和广大读者日益增长的对大容量火电机组的知识需求,我们又根据制造厂、运行电厂、研究单位多年来对 300MW 等级机组在技术改进、结构完善、系统优化、运行水平提高等方面的新情况,对这套丛书各分册的内容进行了更新修改,并加以充实、提高,使之更适合大容量火电机组的目前状况以及有关工程技术人员和现场生产人员的知识需求和技术培训的要求,也更便于高等院校热能动力类和电力工程类专业师生参考。

本丛书包括《燃煤锅炉机组》、《汽轮机设备及系统》、《汽轮发电机及电气设备》、《计算机控制系统》四个分册。全套丛书由华中科技大学吴季兰担任总主编。

《汽轮发电机及电气设备》是 300MW 火力发电机组丛书的第三分册。本分册内容在第一版的基础上进行了更新修改,介绍了 300MW 汽轮发电机及电气设备的结构特点及先进技术的发展趋势,侧重讲述我国汽轮发电机及电气设备制造行业及运行单位,采用世界上先进的产品优化设计及制造技术对引进型汽轮发电机及电气设备和系统进行优化、完善及改造,实现设备更新换代。力求反映我国汽轮发电机及电气设备的制造水平和技术特点,以及这些设备所采用的新原理、新技术、新材料和新工艺。

本分册由华中科技大学涂光瑜主编,参加编写的人员有张永立(第一篇)、涂光瑜(前言、第二篇)、熊信银(第三篇第一、二、六章)、侯云鹤(第三篇第三、四、五章)、尹项根(第四篇第一、二、三、四章)、刘沛(第四篇第五、六、七、八、九、十章)。

本分册在收集资料和编写过程中,参阅了参考文献中列举的正式出版文献以及国内有关制造厂、研究单位、设计院、安装单位和高等院校编制的相关技术资料、说明书、图纸等,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平和搜集的更新资料有限,且编写时间仓促,书中缺点和谬误在所难免,诚恳希望读者批评指正。

编 者

2006 年 12 月

第一版前言



为促进社会主义经济建设的发展,我国正大力发展电力工业,新建及在建不少高参数、大容量的火力发电机组,尤以 300MW 机组居多。300MW 机组已成为我国各大电网的主力机组,因此有关工程技术人员、现场生产人员急需了解和掌握这些高参数、大容量机组的结构、系统和运行知识。为此,我们组织编写了这一套《300MW 火力发电机组丛书》。

丛书包括《燃煤锅炉机组》、《汽轮机设备及系统》、《汽轮发电机及电气设备》、《计算机控制系统》四个分册。全套丛书由华中理工大学吴季兰担任总主编。

本丛书可供从事 300MW 火力发电机组设计、安装、调试、运行、检修及管理工作的工程技术人员阅读,或作为培训教材使用,也可供其他高参数、大容量火电机组的有关人员以及高等院校热能动力类和电力工程专业师生参考。

《汽轮发电机及电气设备》是本丛书的第三分册。这一分册共分十章,主要讲述 300MW 汽轮发电机及电气设备的结构、原理、特性以及运行、调试、维护。内容包括:300MW 汽轮发电机(第一篇)、励磁系统(第二篇)、电气一次系统及设备(第三篇)和继电保护配置及设备(第四篇)。本分册力图既系统、又有重点地反映我国 300MW 机组电气设备的制造水平和技术特点,以及这些设备所采用的新原理、新技术、新材料和新工艺。

本分册由华中理工大学涂光瑜主编,参加编写的有张永立(第一篇),涂光瑜(第二篇),熊信银(第三篇第一、二、五章)、胡能正(第三篇第三、四章),尹项根(第四篇第一、二、三、四章)、刘沛(第四篇第五、六、七、八、九、十章)。另外,陆继明和张国强分别参加了本分册第二篇和第三篇第一章初稿的编写。本书审稿为山东电力局高级工程师徐福田(第一篇、第三篇),华北电力大学教授李先彬(第二篇),山东工业大学教授王广延(第四篇)。本分册在收集资料和编写过程中,参阅了书中“参考文献”所列的正式出版文献,以及国内有关制造厂家、安装单位、设计院、研究所和高等院校编印的说明书、讲义和图纸等技术资料,在此一并表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促,又受搜资条件所限,错漏之处在所难免,恳请读者指正。

编 者

1997 年 12 月



目 录

第二版前言

第一版前言

第一篇 300MW汽轮发电机

▶▶ 第一章 300MW 汽轮发电机的结构和冷却系统	1
第一节 同步发电机的发展概况	1
第二节 我国 300MW 汽轮发电机发展概况	3
第三节 300MW 汽轮发电机组的主要部件及参数	5
第四节 机座及附属部件	7
第五节 定子铁心	10
第六节 定子绕组	13
第七节 氢内冷式转子	26
第八节 水氢氢汽轮发电机的氢气系统	31
第九节 汽轮发电机的测温	34
第十节 供气系统	34
第十一节 定子外部供水系统	36
第十二节 油密封及外部供油系统	37
第十三节 水内冷式转子	39
▶▶ 第二章 汽轮发电机的启、停和维护	43
第一节 水氢氢汽轮发电机的启动和并列	43
第二节 水氢氢汽轮发电机的解列与停机	46
第三节 汽轮发电机运行中的检查和维护	46
▶▶ 第三章 汽轮发电机的正常运行方式	48
第一节 汽轮发动机的稳态运行特性	48
第二节 发电机与无限大容量电力系统并联的运行特性	53
第三节 汽轮发电机的安全运行极限	56
第四节 调节励磁时发电机的工作状态	59
第五节 调节有功功率时发电机的工作状态	62
▶▶ 第四章 汽轮发电机的进相运行方式	64

第一节	进相运行的基本概念	64
第二节	电力系统稳定性的降低	65
第三节	端部漏磁引起的定子发热及机端电压下降	66
▶▶ 第五章	汽轮发电机的不对称运行方式	69

第一节	概述	69
第二节	负序电流对同步发电机的危害	70
第三节	对负序电流的限制	71
▶▶ 第六章	汽轮发电机的主要故障及其处理	72

第一节	汽轮发电机组振动的增大	72
第二节	发电机事故过负荷	73
第三节	定子绕组故障	74
第四节	转子绕组故障	75
第五节	失去励磁	76
▶▶ 第七章	汽轮发电机的试验	80

第一节	试验的种类	80
第二节	300MW 汽轮发电机的型式试验	80
第三节	交接和预防性试验	82

第二篇 300MW汽轮发电机的励磁系统

▶▶ 第一章	概述	91
--------	----------	----

第一节	励磁控制系统	91
第二节	交流励磁机静止整流器励磁系统	94
第三节	交流励磁机旋转整流器励磁系统	95
第四节	自并励励磁系统	96

▶▶ 第二章	交流励磁机组	98
--------	--------------	----

第一节	主励磁机	98
第二节	副励磁机	101
第三节	备用励磁装置	102

▶▶ 第三章	整流装置	105
--------	------------	-----

第一节	三相桥式不可控整流电路	105
第二节	三相桥式全控整流电路	106
第三节	整流元件的保护	111
第四节	可控整流柜	115

►► 第四章 灭磁及转子过电压保护装置	117
第一节 同步发电机灭磁原理	117
第二节 转子过电压保护原理	119
第三节 灭磁及转子过电压保护装置	123
►► 第五章 自动励磁调节器	125
第一节 概述	125
第二节 测量比较及调差单元	127
第三节 综合放大单元	132
第四节 移相触发单元	135
第五节 励磁限制及保护单元	141
第六节 DC 调节器与自动跟踪及自动切换	150
第七节 励磁系统稳定器和电力系统稳定器	155
第八节 励磁控制系统的监视信号单元	156
►► 第六章 励磁系统的调整试验	161
第一节 励磁功率单元调试	161
第二节 励磁调节器开环调试	162
第三节 励磁控制系统闭环调试	165

第三篇 电气一次系统及设备

►► 第一章 电力变压器	169
第一节 变压器的基本原理	169
第二节 变压器型号及其技术数据	170
第三节 变压器的结构	174
第四节 分裂绕组变压器	178
第五节 变压器的主要附件	180
第六节 变压器的检查、试验及运行维护	183
►► 第二章 高压电器	190
第一节 高压断路器的灭弧原理	190
第二节 高压断路器概论	202
第三节 SF ₆ 断路器	209
第四节 油断路器	219
第五节 真空断路器	228
第六节 高压断路器的操动机构	233
第七节 封闭母线	241

▶▶ 第三章 电气主接线	250
第一节 300MW 机组电厂电气主接线	250
第二节 电气主接线的运行方式	257
▶▶ 第四章 厂用电接线	260
第一节 概述	260
第二节 厂用电接线	261
第三节 厂用电动机自启动电压校验	268
第四节 厂用电系统运行	274
▶▶ 第五章 二次回路	277
第一节 阅读二次回路图的基本知识	277
第二节 厂用变压器的控制信号回路	282
第三节 发电机变压器组出口断路器控制信号回路	287
第四节 厂用电动机控制信号回路基本接线	290
第五节 厂用电机的连锁回路	293
▶▶ 第六章 直流系统	314
第一节 概述	314
第二节 蓄电池的基础知识	314
第三节 充电设备	318
第四节 蓄电池和充电设备的运行	320
第五节 直流系统的异常运行及事故处理	323

第四篇 继电保护配置及设备

▶▶ 第一章 概述	325
第一节 大型汽轮发电机及其继电保护的特点	325
第二节 发电机变压器组保护的配置方案	326
第三节 发电机变压器组保护动作的控制对象	329
第四节 发电机变压器组保护装置的组屏方案	331
第五节 发电机变压器组保护装置的主要类型	333
▶▶ 第二章 继电保护基础	336
第一节 微机保护装置硬件原理概述	336
第二节 微机保护的数据采集与数字滤波	343
第三节 微机保护的表征量算法	352
第四节 微机保护的基本动作判据的算法	362
第五节 微机保护的软件构成	368

第六节 集成电路保护的基本电路	377
▶▶ 第三章 大型汽轮发电机的保护	392
第一节 大型汽轮发电机的故障类型与保护配置	392
第二节 定子绕组相间短路的纵差保护	393
第三节 定子绕组匝间短路保护	400
第四节 定子绕组单相接地保护	408
第五节 低励、失磁保护	416
第六节 励磁回路一点接地保护	430
第七节 励磁回路两点接地保护	434
第八节 发电机短路故障的后备保护	436
第九节 转子表层过热（负序电流）保护	442
第十节 逆功率保护	445
第十一节 频率异常运行保护	447
第十二节 定子绕组过电压保护	450
第十三节 失步异常运行保护	451
第十四节 定子绕组对称过负荷保护	457
第十五节 励磁绕组过负荷保护	459
第十六节 发电机的启停机保护	460
第十七节 发电机误上电保护	461
第十八节 轴电流保护	463
▶▶ 第四章 变压器的保护及发电机变压器组的公用保护	464
第一节 变压器的故障类型与保护配置	464
第二节 变压器内部故障的差动保护	464
第三节 变压器接地故障的零序保护	481
第四节 变压器短路故障的后备保护	484
第五节 变压器的过负荷保护	487
第六节 变压器的非电量保护	488
第七节 发电机、变压器的过励磁保护	489
第八节 发电机变压器组的辅助性保护	492
第九节 发电机变压器组的大差动保护	493
▶▶ 第五章 线路保护基础	494
第一节 保护的启动和选相元件	494
第二节 影响距离保护正确动作的原因和对策	497
第三节 距离保护特性表达式	501
第四节 常用的圆和直线特性继电器	503
第五节 微型机保护中距离特性的算法	507
第六节 故障系统电压相量图分析法	509

第七节 集成电路型保护装置的基本电路	511
▶▶ 第六章 综合比相式距离继电器	520
第一节 综合比相式接地距离继电器的基本原理	520
第二节 综合比相式相间距离继电器的基本原理	524
第三节 振荡闭锁装置原理	529
第四节 综合启动元件和过流继电器	533
第五节 装置整体结构及接地相间逻辑	535
▶▶ 第七章 工频变化量快速方向保护	538
第一节 工频变化量快速方向保护的基本原理	538
第二节 工频变化量快速方向保护的动作逻辑	541
▶▶ 第八章 光纤纵差保护	544
第一节 差动保护的基本原理	544
第二节 光纤纵差保护装置	548
第三节 信号传输系统	550
▶▶ 第九章 微机型高压线路保护	558
第一节 微机型继电保护装置构成	558
第二节 微机型线路保护装置	563
▶▶ 第十章 母线保护	577
第一节 母线故障及其保护	577
第二节 带制动特性的母线差动保护	580
第三节 母线差动保护装置	582
第四节 JMH-1 型母线保护装置的基本工作原理	582
第五节 微机型母线保护	587
参考文献	592

第一篇 300MW 汽轮发电机

第一章 300MW 汽轮发电机的 结构和冷却系统



第一节 同步发电机的发展概况

同步发电机的功能是将原动机转轴上的动能通过发电机转子与定子间的磁场耦合作用，转换到定子绕组上变成电能。

按照原动机的不同，同步发电机通常分为水轮发电机、汽轮发电机、燃气轮发电机及柴油发电机等。水轮发电机和柴油发电机的转速较低，极数较多，多采用凸极式转子；汽轮发电机和燃气轮发电机的转速很高，则采用隐极式转子。水轮发电机组、燃气轮机组启动迅速，宜于承担电力系统的峰荷；而火电机组以及核电机组（均为汽轮发电机），由于不能快速启动，只宜于承担电力系统的基荷。

按照冷却介质的不同，同步发电机可分为空气冷却、氢气冷却、水冷却等。其中还可分为外冷式（冷却介质不直接与导线接触）和内冷式（冷却介质直接与导线接触）。

近年来，我国电力系统中发电机单机容量不断增长，300MW 的单机已成为电力系统中的主力机组，600MW 及以上的单机进入电力系统，也已成为主力机组。单机容量增长的原因是：

（1）可降低发电机的造价和材料消耗量。例如一台 800MW 机组比一台 500MW 机组的单位成本要降低 17%；一台 600MW 机组比一台 100MW 机组，其材料消耗率只有 60%。

（2）可降低电厂基建安装费。若以 200MW 机组安装费用为 100%，则 500MW 机组的单位安装费用只需 85%。

（3）可降低运行费用。单机容量大的机组的运行人员数和厂用电均较单机容量小的机组低。

当然，并不是在任何情况下单机容量越大越好，如果电力系统总容量小而单机容量过大，则不仅事故停机影响大，平时安排检修也有困难，所以，电力系统大机组的单机容量应与系统总容量相匹配，其合理的比例见表 1-1-1。例如，目前华中、华东、东北和华北四大区域电网电力系统容量都已超过 40000MW，因而装置 300~600MW 以上的单机容量是合适的。

表 1-1-1 大机组的单机容量和电力系统容量的合理比例

系统容量 (MW)	小于 1000	1000~10000	大于 10000
大机组经济容量 系统容量 (%)	4~6	6~10	约≥10

发电机单机容量的加大并非轻而易举，它受到许多因素的制约，因为发电机的单机功率表达式为

$$P = K A B_{\delta} D_i^2 n l \tag{1-1-1}$$

式中：K 为常数；A 为定子绕组线负荷，A/mm； B_{δ} 为气隙磁通密度，T； D_i 为定子内径，m； n 为额定转速，r/min； l 为定子铁心有效长度，m。

要提高发电机的单机容量 P ，必须提高式 (1-1-1) 右侧 6 个因子的数值。

一般说，常数 K 与转速 n 不可能大幅度提高。增大定子内径 D_i 可以提高发电机功率，但 D_i 的增大意味着转子直径的增大，会使转子受到很大的离心力，尤其轴中心孔受到的应力最大，其值与转子直径的 3 次方成正比。因此加大直径要受到转子材料的机械强度限制。目前汽轮发电机转子本体最大直径为 1.25m，其轴中心孔的应力已接近现今转子材料的极限。

增加转子长度也有一定限度，转子长度和直径的比例不能太大，否则刚度不够，挠度太大，使气隙不均匀，产生不平衡的磁拉力。大型汽轮发电机转子的有效长度 l 与直径 D 的比值一般应满足

$$6.5 \geq \frac{l}{D} \geq 3 \tag{1-1-2}$$

此外，提高气隙磁通密度 B_{δ} 虽属途径之一，但目前硅钢片最大磁密只能达 2T，气隙磁密 B_{δ} 不能超过 1T，否则会过度饱和。

看来，只有通过冷却技术的发展来提高线负荷 A ，才有较大的潜力可挖。几十年来发电机的冷却介质由空气到氢气，又发展到水，使发电机单机容量大幅度上升，这是由于介质的性能所决定的。

表 1-1-2 列出了空气、氢气和水 3 种冷却介质的冷却性能。表中均以空气的各项指标为 1，其他介质所列为相对值。从冷却角度看，水是最好的：水的热容量比空气大 4.16 倍，密度较空气大 1000 倍，散热能力比之大 84 倍。此外水还有良好的绝缘性能，获得电阻系数为 $200 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 的凝结水是没有困难的。

表 1-1-2 常用冷却介质的相对指标

冷却介质	相对比热	相对密度	吸 热 能 力*		散 热 能 力	
			体积流量	相对吸热量	流速 (m/s)	相对散热系数
空 气	1	1	1	1	30	1
氢 气	14.35	0.21	1	3	40	5
水	4.16	1000	0.05	208	2	84

* 按水的流速为气体流速的 1/20 计算。

大型同步发电机已没有完全的空气冷却了。当定、转子均采用氢表冷时，汽轮发电机单机极限容量只能达 100MW；氢内冷是对氢表冷的重要改进，转子氢内冷、定子氢表冷则可达 250MW；转、定子绕组均采用氢内冷时，约可达 1000MW；而目前较为普遍的是转子绕组采用氢内冷、定子铁心采用氢表冷、定子绕组为水内冷（简称水氢氢冷却）方式，其单机极限容量可达 1200MW。

同步发电机冷却介质与冷却方式的不断改进，已使发电机的线负荷 A 由 60A/mm 左右

提高到了 200~250A/mm 左右。若要再进一步提高，在现有的冷却方式下遇到了极大的困难。

目前，科技发达的国家都把目标瞄准了“超导化”，即定子绕组仍采用常导材料导电，转子绕组则采用超导材料。因为超导励磁绕组能产生高于常导励磁绕组所能产生的气隙磁通密度，而不需定子、转子铁心的存在，定子电枢绕组就可做成无槽气隙绕组，去掉了铁齿，定子的空间利用率及线负荷都大大提高，将单机极限容量提高 3 倍左右，即达 3600MW。

1979 年美国西屋公司开始 300MVA 大型超导汽轮发电机的研制，1983 年制成，由于各方面的原因尚未正式并网发电。苏联在研制这种发电机中，后来居上，处于世界领先地位。圣彼得堡的“电力”工厂所开发的 300MVA 大型超导汽轮发电机完成了并网发电试验。

第二节 我国 300MW 汽轮发电机发展概况

1949 年前我国完全没有大型汽轮发电机制造能力。1952 年开始制造出空冷 3MW 汽轮发电机，到 1970 年就造出了 200MW 定子水冷、转子氢内冷的机型。表 1-1-3 列出的数据可以看到我国国产汽轮发电机单机容量的增长情况。

表 1-1-3 国产汽轮发电机单机容量增长情况

时间	1954 年	1957 年	1958 年	1959 年	1960 年	1969 年	1970 年	1971 年
型 号	QF-6-2 型	QF-12-2 型	QFS-12-2 型 QF-25-2 型	QFQ-50-2 型	TQN-100-2 型	QFS-125-2 型	QFQS-200-2 型 QFS-200-2 型	QFS-300-2 型
单机容量 (MW)	6	12	12 25	50	100	125	200	300
冷却方式	空冷	空冷	双水内冷 空冷	氢外冷	氢外冷	双水内冷	定子水冷， 转子氢内冷 双水内冷	双水内冷

表 1-1-3 中的 QFS-12-2 型是上海电机厂于 1958 年率先开发的我国首台双水内冷汽轮发电机，其容量为 12MW，这在世界电机制造业上亦可谓开创了先河。时隔 13 年，该厂于 1971 年试制成功我国首台 300MW 汽轮发电机，即双水内冷 QFS-300-2 型机，该机于 1974 年投入运行。

1977~1986 年，上海电机厂在上述基础上对该机进行了完善化工作。其主要内容是修改机座结构，调整转子本体横向槽尺寸，提高自振频率，加强转子绝缘引水管绝缘等。由于提高了产品质量，改进型 QFS-300-2 型的年运行时间在 6000h 以上，其中几台达到了 7000~8000h。

从 1986 年开始，上海电机厂进一步吸收成熟的科研成果并移植引进新技术，从第 13 台产品开始，制造出创优型 300MW 汽轮发电机产品，这是第 3 代产品。主要的改进是提高转子绝缘引水管使用寿命，由于引进了德国 KWU 技术，采用了外用钢丝编织、内用聚四氟乙烯的新型转子绝缘引水管，使其寿命由原来的 3 年提高到 4~5 年。

为了适应我国电网迅速发展的要求，近年来从国外进口了一些单机容量为 300MW 左右的汽轮发电机组。它们的运行情况都比较好，其经济技术指标列于表 1-1-4。

表 1-1-4

进口 300MW 汽轮发电机组的技术经济指标

制造国厂家	美国 西屋	美国 通电	苏联 3·C	意大利 ASGEN	法国 CEW	罗马尼亚
运行厂	石 横	上 安	—	大 港	元宝山	蒲 城
机型	—	AB-350-2 型	TBB-300-2 型	—	—	THA-320-2 型
额定功率(MW)	300	379	300	320	300	330
额定电压(kV)	20	23	18	20	22	24
额定电流(kA)	10.190	11.196	11.320	10.868	9.264	9.340
功率因数	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
转速(r/min)	3000	3000	3000	3000	3000	3000
冷却方式	全氢	水氢氢	水氢氢	水氢氢	水氢氢	水氢氢
额定氢压(MPa)	0.428	0.414	0.3	0.32	0.41	0.35
效率(%)	98.5	98.72	98.8	98.76	98.46	98.87
短路比	0.609	0.50	0.53	0.585	0.495	0.5
$x'_d(\text{饱})(\%)$	28.2	21.0	32.0	21.5	27.0	33
$x''_d(\text{饱})(\%)$	23.6	16.0	21.0	14.5	—	22
励磁方式	无 刷	机内励	高频整流	晶闸管	晶闸管	晶闸管

改革开放以来,我国开始积极引进国外技术,与美国西屋公司进行了 300MW 机型的联合设计。随后国内各大型电机制造厂充分吸收国外先进技术,充分发挥自己原有技术优势,生产出自己的优化产品。

上海电机厂生产的 QFSN-300-2 优化型水氢氢汽轮发电机,先后运行于吴泾、石横、汉川等发电厂。

哈尔滨电机厂的首台 QFSN-300-2 型水氢氢汽轮发电机于 1992 年制成,并先后运行于珠江、阳逻、铁岭等发电厂。

东方电机厂于 1974 年就已开始研制 300MW 容量等级的机型,该厂以自力更生为主,嫁接国外技术,于 1985 年试制成功 QFSN-300-2-18 型 300MW 机,该机单位容量的铜耗、铁耗较美国西屋 300MW 机分别低 19.6% 和 21%,各项技术经济指标均超过国家标准。首台东方型 300MW 汽轮发电机在山东黄台投运,至 1994 年,已有 19 台汽轮发电机产出。该型发电机于 1991 年 12 月通过了国家级鉴定。随后该厂将该机型进一步优化,将定子绕组额定电压由 18kV 改为 20kV,定型为 QFSN-300-2-20 型。2001 年,他们又推出了第三代 300MW 汽轮发电机机型。

我国三大电机厂目前所生产的 300MW 汽轮发电机主要额定参数列于表 1-1-5。该表表明,QFS-300-2 型汽轮发电机在冷却方式上采用的是水水空方式,即转子绕组、定子绕组均为水内冷,定子铁心为空冷。表中有 3 种 QFSN-300-2 型汽轮发电机都是水氢氢,即定子绕组为水内冷,转子绕组为氢内冷,定子铁心为氢表冷的方式。本篇将以哈尔滨电机厂所产汽轮发电机作为典型加以介绍,其他机型仅作简要叙述。