

200MW
火力发电机组运行技术丛书

电气运行



东北电力科学研究院 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

火力发电机组运行技术丛书

电气运行

东北电力科学研究院 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为《200MW 火力发电机组运行技术丛书》之一，共有十章。内容包括 200MW 汽轮发电机的结构，正常与非正常运行方式，故障及其处理，试验及诊断，200MW 汽轮发电机继电保护及自动调节装置，变压器、互感器及其运行维护，升压站高压电气设备及其运行，厂用电系统等。

本书可供 200MW 火力发电机组电气运行技术人员、管理人员学习、培训之用，也可供大中专院校的师生学习、参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气运行/东北电力科学研究院编著. -北京: 中国
电力出版社, 2004

(200MW 火力发电机组运行技术丛书)

ISBN 7-5083-1984-2

I. 电… II. 东… III. 电力系统运行 IV. TM732

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 002185 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 7 月第一版 2004 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 23.5 印张 576 千字

印数 0001—3000 册 定价 37.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

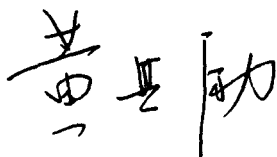
(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

1972年12月，我国自行设计、制造的第一台、也是当时全国火电机组单机容量最大的200MW汽轮发电机组在朝阳发电厂建成投产，标志着我国电力工业开始进入大机组、高参数、大电网的发展阶段。近年来，尽管更大容量、更高参数的机组发展很快，但是在役的200MW等级火力发电机组已有200多台，约占全国火电装机总容量20%，仍是我国现代化电网中的主力机组。

200MW机组的建成投产，也标志着我国电力工作者对现代化大机组技术认识的一个飞跃。尽管200MW机组技术从稚嫩到成熟、从粗鄙到完善经过了很长的发展历程，但也恰恰正是这一漫长历程，使我们对大机组的认识从理论到实践都有了本质的提高，并从设计、制造到运行、维护、检修以及技术改造等方面积累了丰富的经验，培养了大批高水平的人才，为300MW、600MW以及更大容量发电设备的制造和使用打下了坚实的技术基础。

其他大型机组发生过的重大技术问题，200MW机组都曾发生过，其他大型机组没有发生过的重大技术问题，200MW机组也曾遇到过。认真总结200MW机组的运行经验教训，确实是一笔宝贵的财富。

这套200MW火电机组运行技术丛书是东北电力科学研究院组织院内及东北地区的一批杰出老专家和中青年专业技术带头人，结合长期的工作实践编著的。丛书以200MW机组为重点，包括设备的基本结构、特点、运行、维护、常见故障的检查、试验、分析和处理等内容，也涉及当前我国300MW、600MW以及更大容量火电机组成套设备相关的一系列运行维护技术问题。按锅炉、汽轮机、发电机及其电气设备三个分册出版。书中既阐释了基本理论，更强调了生产实际；既尊重科学性，更讲求实用性。这是一套内容较为翔实、新颖和完整的大型火电机组运行技术参考书，也是一套切合发电厂运行及管理部门需要的技术培训教材。



2004年4月28日

前 言

200MW火力发电机组运行技术丛书

当前，我国电力工业正处于大电网和大机组的发展阶段，发电机及其电气设备是构成电网的基本设备，其安全稳定运行直接关系到电网能否长期安全、经济、可靠地向用户提供电力和国民经济的发展。

我国自20世纪60年代即开始研制200MW级汽轮发电机，并于70年代初期转入系列生产及投入电网运行。经过不断改进和完善，目前已成为我国现代化电网的主力机组之一。全面深入地了解 and 掌握发电机及其电气设备的运行技术，是电力生产和运行部门各级人员应具备的基本素质和要求，也是维护发电机及其电气设备处于良好运行状态并进一步向状态维修过渡的关键环节。

本书以国产200MW汽轮发电机及其电气设备为重点，系统地叙述了其基本结构、特点，正常及非正常运行条件下的运行维护，常见故障的检查及处理，以及现代大型汽轮发电机运行维护及状态监测新技术。

全书共十章。第一章~第五章由李伟清编写；第六章、第八章~第十章由傅知兰编写；第七章由王天编写。全书由李伟清校阅并订正。

由于作者水平所限，疏漏、不妥之处在所难免，恳请读者批评指正！

作者

2004年5月

目 录

200MW火力发电机组运行技术丛书

序

前言

第一章	200MW 汽轮发电机结构简述	1
第一节	国内已运行的 200MW 汽轮发电机组基本结构、类型及特点	1
第二节	国产水氢氢冷却方式 200MW 汽轮发电机的结构改进	17
第三节	国产 200MW 汽轮发电机氢气冷却系统	19
第四节	国产 200MW 汽轮发电机密封油系统	21
第五节	国产 200MW 汽轮发电机定子水冷系统	22
第二章	200MW 汽轮发电机的正常运行方式	24
第一节	额定运行方式	25
第二节	电压、频率、功率因数变化时的允许运行方式	27
第三节	正常运行时氢油水系统的主要参数	30
第四节	发电机的启动、并列、加负荷及停机	31
第五节	汽轮发电机的进相运行	34
第六节	汽轮发电机的调峰运行	38
第七节	发电机的运行监视及维护	40
第八节	发电机的运行监测和状态诊断	43
第三章	200MW 汽轮发电机的非正常运行	54
第一节	发电机定子和转子绕组过电流	54
第二节	发电机不对称运行	55
第三节	发电机失磁异步运行	60
第四节	氢压不正常时的运行	63
第五节	部分氢冷却器退出时的运行	65
第四章	发电机的故障及处理	66
第一节	定子绕组故障	67
第二节	定子铁心故障	72
第三节	转子绕组匝间短路及接地故障	74
第四节	转子护环故障及检查	75
第五节	发电机轴电压和轴电流引发的故障及退磁技术	76
第六节	机内氢气湿度超标及处理	79
第七节	发电机漏氢检查及处理	83
第八节	励磁系统故障及处理	85
第五章	发电机的试验及分析	87

第一节	发电机试验项目及分类	87
第二节	检查试验方法及结果判定	89
第六章	厂用电动机	117
第一节	厂用电动机的类型和技术数据	117
第二节	异步电动机的主要运行数据与调速	122
第三节	厂用电动机的启动与自启动	133
第四节	厂用电动机的运行常见故障判断及事故处理	144
第七章	200MW 汽轮发电机继电保护及自动调节装置	148
第一节	200MW 发电机变压器组的继电保护配置原则及其运行	148
第二节	发电机自动调节励磁装置类型及功能	172
第三节	同期系统及自动准同期装置的设计及整定原则	190
第八章	变压器、互感器及其运行维护	209
第一节	240MVA 主变压器	209
第二节	高压工作变压器	224
第三节	高压备用变压器	230
第四节	变压器的运行	237
第五节	220kV 电压互感器	247
第六节	电流互感器	256
第九章	升压站高压电气设备及其运行	263
第一节	少油断路器	263
第二节	六氟化硫断路器	273
第三节	高压断路器的运行与校验	285
第四节	SF ₆ 全封闭组合电器 (GIS)	300
第五节	隔离开关	307
第六节	避雷器	313
第七节	耦合电容器、阻波器	317
第十章	厂用电系统	321
第一节	厂用电源的工作方式和备用方式	321
第二节	交流保安电源系统	333
第三节	直流电源系统	341
附录 1	各种蓄电池的主要技术数据	364
附录 2	镉镍蓄电池简介	366
参考文献	367

200MW汽轮发电机结构简述

我国自行设计和制造 200MW 及以上大容量汽轮发电机组起始于 1959 年。1972 年由哈尔滨电机厂为东北朝阳电厂制造的两台 QFSS - 200 - 2 型双水内冷汽轮发电机相继投入运行。稍后, 1973 年又制造出 200MW 水氢型转子气隙取气冷却的汽轮发电机, 并于 1975 年在京西电厂并网发电。自 1972 ~ 2000 年的近 30 年时间, 由哈尔滨电机厂(哈尔滨电机责任有限公司)、东方电机厂(东方电机股份有限公司)及北京重型电机厂生产的近 200 台 QFQS - 200 - 2 型和 QFSN - 200 - 2 型水氢型冷却方式的 200MW 汽轮发电机在国内投入运行, 约占(2000 年)火电机组装机总容量的 17%。

自 1970 年末至 1995 年期间, 我国先后从前苏联(后期为俄罗斯)进口的 20 余台 TTB - 200 - 2 型、TBB - 200 - 2A 型及 TBB - 220 - 2EY Θ 型全氢冷及水氢型 200MW 汽轮发电机也相继投入运行。如连同自日本日立公司进口的两台 TFLQQ - KD 型 250MW 汽轮发电机, 国内已运行的 200MW 级汽轮发电机总容量约为 4500 万 kW 左右, 接近我国火电机组(2000 年)装机总容量的 20%, 为我国各大电网的主力机组之一。

如同国外大型汽轮发电机的设计及制造水平的发展进程一样, 国产 200MW 及以上容量的汽轮发电机的设计及制造工艺也经历过一段不断完善和发展的曲折历程。根据统计及运行事故分析, 国产 200MW 汽轮发电机近 20 年来在运行中发生的许多重大事故与故障多数与设计及制造质量有关。多年来, 制造厂针对产品存在的缺陷和问题进行了不断改进, 使其定型产品能够跟上国外新技术、新工艺和新材料的发展水平。产品质量、性能和运行可靠性均获得新的进展。根据中电联可靠性中心统计, 1991 ~ 1995 年国产 200MW 机组的等效可用率(EAF)已由 80.54% 提高至 86.68%。

第一节 国内已运行的 200MW 汽轮发电机组基本结构、类型及特点

目前, 我国已运行的 200MW 级汽轮发电机组有哈尔滨电机厂、东方电机厂及北京重型电机厂生产的 QFQS - 200 - 2、QFSN - 200 - 2 型, 哈尔滨电机厂生产的 QFSS - 200 - 2 型(仅有 2 台), 原苏联哈尔科夫重型电机厂(X Θ ГЗ)生产的 TTB - 200 - Θ 及 TBB - 200 - 2A 型, 俄罗斯《电力》工厂(Θ C)生产的 TBB - 220 - 2EY Θ 型, 日本日立公司(HIT)生产的 TFLQQ - KD 型汽轮发电机。其主要数据如表 1-1 所示。基本结构及特点分述如下。

一、QFQS - 200 - 2, QFSN - 200 - 2 型汽轮发电机

由哈尔滨电机厂、东方电机厂及北京重型电机厂生产的 QFSN - 200 - 2 型及 QFQS - 200

-2型200MW汽轮发电机的通风冷却方式，基本结构及参数特性都很相近，仅个别部分稍有差异。

表 1-1 国内已运行的 200MW 级汽轮发电机主要数据

名称	制造厂	哈尔滨电机厂	哈尔滨电机厂	(苏) 哈尔科夫 重型电机厂	(前苏联) 哈尔 科夫重型电机厂	(前苏联) 《电力》工厂	日立公司
发电机型号		QFQS-200-2 QFSN-200-2	QFSS-200-2	TBB-200-2A	TTB-200-9	TBB-220-2EY ₉	TFLQQ-KD
额定容量 S_n (MVA)		235	235	235	247	252.8	294.12
额定功率 P_n (MW)		200	200	200	210	215	250
额定功率因数 $\cos\phi$		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
定子额定电压 U_n (kV)		15.75	15.75	15.75	15.75	15.75	15
定子额定电流 I_n (A)		8625	8625	8625	9050	9270	11321
额定频率 f_n (Hz)		50	50	50	50	50	50
额定转速 n_n (r/min)		3000	3000	3000	3000	3000	3000
额定励磁电压 U_m (V)		445	384	300	420	310	440
额定励磁电流 I_m (A)		1763	1605	2540	1930	2372	2420
定子绕组接线方式		Y-Y	Y-Y	Y-Y	Y-Y	Y-Y	3Y
冷却方式		水氢氢	水水空	水氢氢	全氢冷	水氢氢	全氢冷
定子铁心外径 (mm)		2275	2275	2500	2515	2500	
定子铁心内径 (mm)		1150	1150	1215	1275	1215	1219
定子铁心长 (mm)		5370	5420	4200	5000	4050	5300
转子外径 (mm)		1010	1000	1075	1075	1075	1041
转子长度 (mm)		5470	5400	4350	5100	4200	5400
定子槽数		54	54	60	60	60	72
定子绕组每相匝数		9	9	10	10	10	8
转子槽数/槽分度		32/48	30/48	36/52	36/52	36/52	28/39
转子每极匝数		80	90	63	90	72	
线负荷 (A/cm)		1290	1290	1356.5	1292	1458	1420
气隙磁密 (T)		0.798	0.812	0.718	0.715		
短路比		0.549	0.563	0.51	0.572	0.48	0.57
效率 (%)		98.63	98.32	98.6	98.79	98.6	98.86
同步电抗 X_d (%)		194.5	190	210	184	223	174
暂态电抗 X'_d (%)		23.6	22.2	27	29.5	26.7	25
次暂态电抗 X''_d (%)		14.6	14.23	18	19	17.9	17.5
稳态负序能力 I_2 (%)		8	8	5	5	8	9
暂态负序能力 I_2' (S)		8	5	8	8~6.4	8	10
额定氢压 (MPa)		0.3		0.3	0.35~0.4	0.3	0.2~0.3

续表

名称	制造厂 哈尔滨电机厂	哈尔滨电机厂	(苏) 哈尔科夫 重型电机厂	(前苏联) 哈尔 科夫重型电机厂	前苏联 《电力》工厂	日立公司
定子绕组进水压力 (MPa)	0.25	0.15	0.3		0.27	
定子绕组允许温度 (℃)	120	90	75	105	75	110
定子铁心允许温度 (℃)	120	120	105	105	105	120
转子绕组允许温度 (℃)	110	70	100	100	115	110
发电机进风温度 (℃)	36 ~ 46	40	40	40	40	45
定子绕组进水温度	35 ~ 45	35	40		40	
定子绕组出水允许温 度 (℃)	85	60	85		85	

发电机冷却方式为水氢氢型，即定子绕组为水直接冷却，转子绕组为氢直接冷却；定子铁心为氢表面冷却。

总体结构如图 1-1 所示。定子机座为三段式结构（QFSN-200-2 型发电机新产品为整体结构机座），即中段机座及汽端端罩与励端端罩；四组立式冷却器布置在汽、励两端罩的四个角上；采用端盖式轴承，结构比较紧凑，缩短了转子轴承档间的跨距。

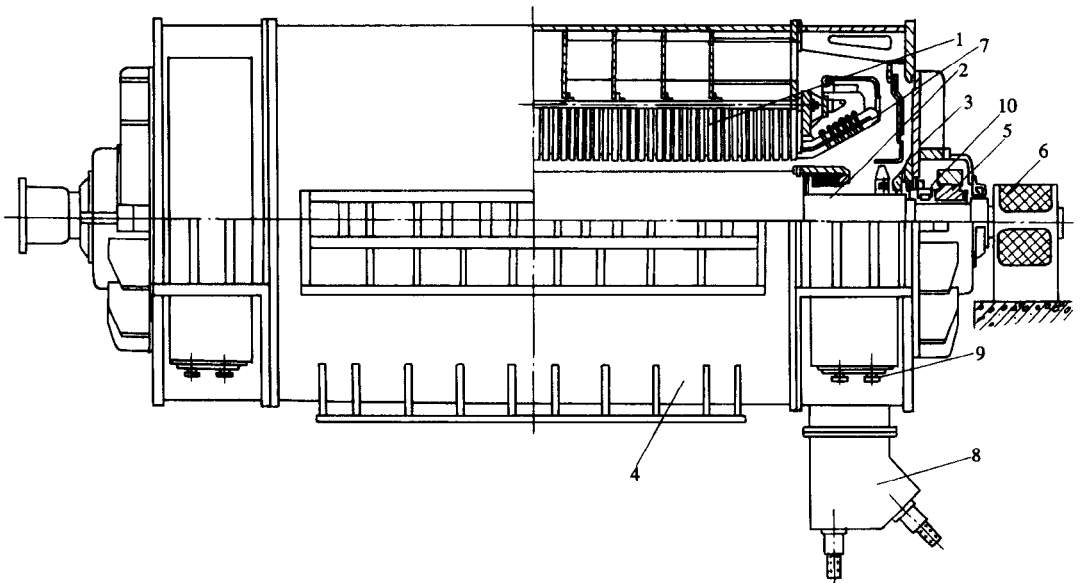


图 1-1 QFSN-200-2 (QFSN-200-2) 型汽轮发电机结构

1—定子铁心；2—转子；3—端盖；4—机座；5—端盖轴承；6—电刷罩；

7—定子绕组端部；8—定子出线箱；9—氢气冷却器；10—油密封装置

(一) 定子结构

定子部分主要由定子机座、定子铁心、端盖、轴承、油密封装置及氢气冷却器等组成。

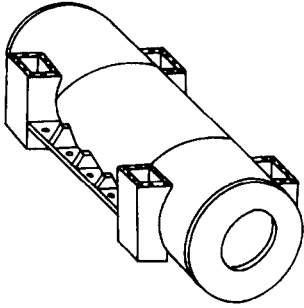


图 1-2 发电机机座示意图

1. 定子机座及端盖

定子机座为厚钢板焊成的防爆气密结构，分三段把合而成。中段机座支持定子铁心和绕组，两端端罩内安置四组立式氢气冷却器，其结构示意图如图 1-2 所示。

定子机座内分为 9 个风区，由 10 道环形钢板隔成。机座下部有与氢气、水系统相连接用的法兰及维修用人孔。

端盖由厚钢板焊成，外部焊有加强筋，以提高其径向和轴向刚度，避免在氢压力作用下产生变形而影响轴和轴承以及油密封的正常工作。端盖分上、下两半，用螺栓把合。端盖与机座及上、下两个半圆形端盖间的把合面都经过精加工，

把合面上都车有沟槽，槽内放置丁腈橡胶带或密封填料，再用螺栓牢固结合，具有良好的气密封性能，严防漏氢。该型发电机为端盖轴承，端盖上有轴承室两端端盖上装有轴承和轴密封装置，其结构如图 1-3 所示。

2. 定子铁心

定子铁心由 0.5mm 厚的优质扇形硅钢片冲制，经处理后叠压而成。铁心沿轴向分为 102 段，段间由 8mm 宽的通风槽片隔开，形成 101 个径向通风道，以保证铁心的良好冷却。整个铁心由 18 根沿圆周均匀分布的刚性定位筋固定在定子（中间）机座上。铁心两端有无磁性铸钢压指及压圈，由拧紧定位筋上的螺栓压紧。为了减少由漏磁在铁心端部产生的涡流损耗，铁心两端的一段半铁心的齿部开小槽并形成 3mm 的阶梯。

定子铁心总长度为 5370mm，铁心外径为 2275mm，内径为 1010mm，铁心内圆径向均匀分布嵌线槽 54 个。图 1-4 为定子铁心结构示意图。

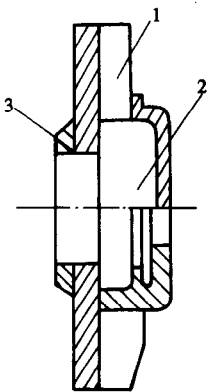


图 1-3 轴承端盖

1—加强筋；2—轴承室；3—油密封支座

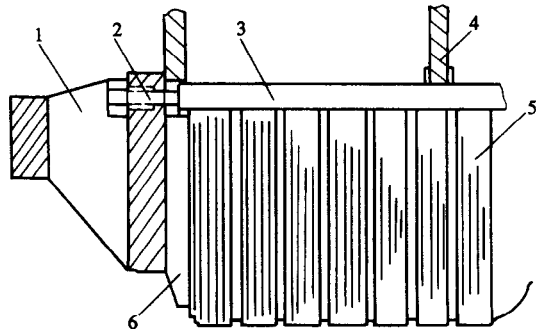


图 1-4 定子铁心结构示意图

1—压圈；2—压紧螺栓；3—定位筋；4—环形钢板；5—定子铁心；6—压指

3. 定子绕组

(1) 定子绕组为三相双层短距绕组，采用水直接冷却（水内冷）。定子绕组每相 9 匝，每匝由两个半组式线棒组成，分上下两层，嵌入槽中后，将端接部分焊接起来即组成一匝线圈，故线棒总数为 108 根。

每根线棒由 6 根空心导线与 24 根聚脂双玻璃丝包实心铜线经 540° 换位编织而成，这样可以有效地减少由于定子槽部漏磁通和端部漏磁通在导体中所引起的环流电动势的影响，从而减少附加损耗。线棒的主绝缘（对地绝缘）采用环氧粉云母带连续包扎的 F 级绝缘，线棒外表面包扎涂半导体漆的石棉带并一次热压成型，以防电晕。同时，在线棒端部自槽内的伸出端涂电阻率不同的防晕漆。定子线棒截面如图 1-5 所示。

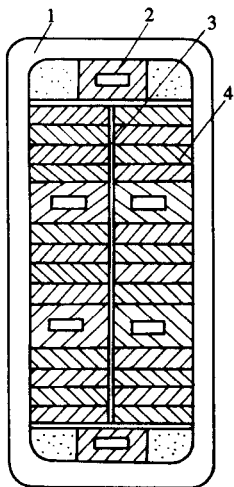


图 1-5 定子
线棒截面

1—主绝缘；2—空
心导线；3—排间绝
缘；4—实心导线

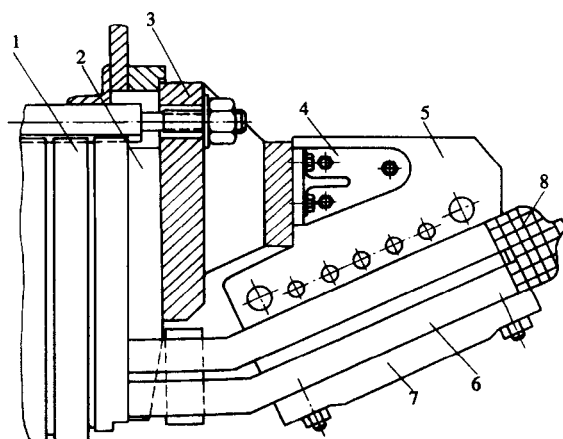


图 1-6 定子端部压板固定结构示意图

1—定子铁心；2—压指；3—压圈；4—金属夹板；
5—绝缘支架；6—端部线圈；7—绝缘压板；
8—接头绝缘盒

定子绕组的极间连线（弓形引线）由一组矩形空心铜线包绝缘后经加热固化而成。

(2) 定子绕组的槽内部分径向用楔形楔对打固定，侧面固定则每隔 5~7 段铁心有一段将槽扩宽，打入半导体斜楔，使线棒与喷有半导体漆的定子槽壁紧密接触，以防止运行时线棒松动磨损和加强槽内线棒的防电晕腐蚀作用。

定子绕组端部的固定采用两种方式，即压板固定（哈尔滨电机厂、北京重型电机厂）与绑扎式固定（东方电机厂）。实践证明，两种结构都能使定子绕组端部沿径向及切向牢固固定，以提高绕组端部的整体性，使整个定子绕组支撑系统的固有振动频率能避开工频及 2 倍工频振动范围，有效地承受短路事故的冲击。图 1-6 及图 1-7 分别为定子绕组端部压板固定结构及绑扎固定结构示意图。

(3) 定子绕组的冷却水经励磁机端的汇流水管进入、汽轮机端汇流水管排出，并与外部供水系统构成封闭式循环冷却系统。定子绕组的六个出线套管布置在励端端罩的下部。出线采用水内冷结构，具有独立的进出水路，且用同一水系统冷却。出线水路的进出水法兰布置在出线罩侧壁上。

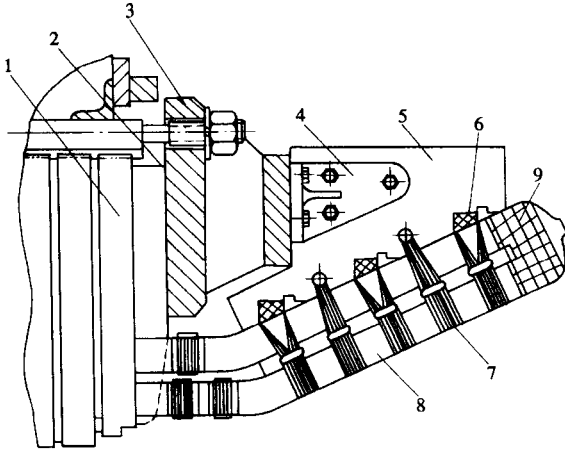


图 1-7 定子端部绑扎固定结构示意图

- 1—定子铁心；2—压指；3—压圈；
4—金属夹板；5—绝缘支架；6—绑环；
7—绑绳；8—端部线圈；9—接头绝缘盒

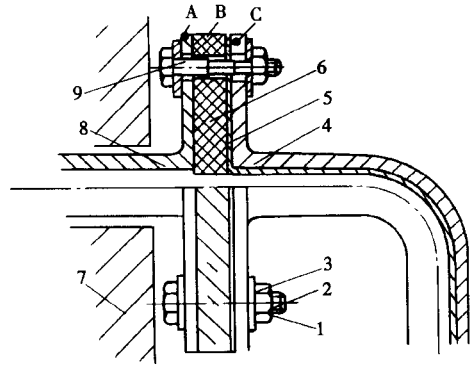


图 1-8 定子汇水管与机外水管连接示意图

- 1—绝缘垫圈；2、3—螺栓及螺母；4—外接水管；
5—外接水管的聚四氟乙烯绝缘层；6—绝缘垫；
7—机座；8—汇水管；9—塑料绝缘管

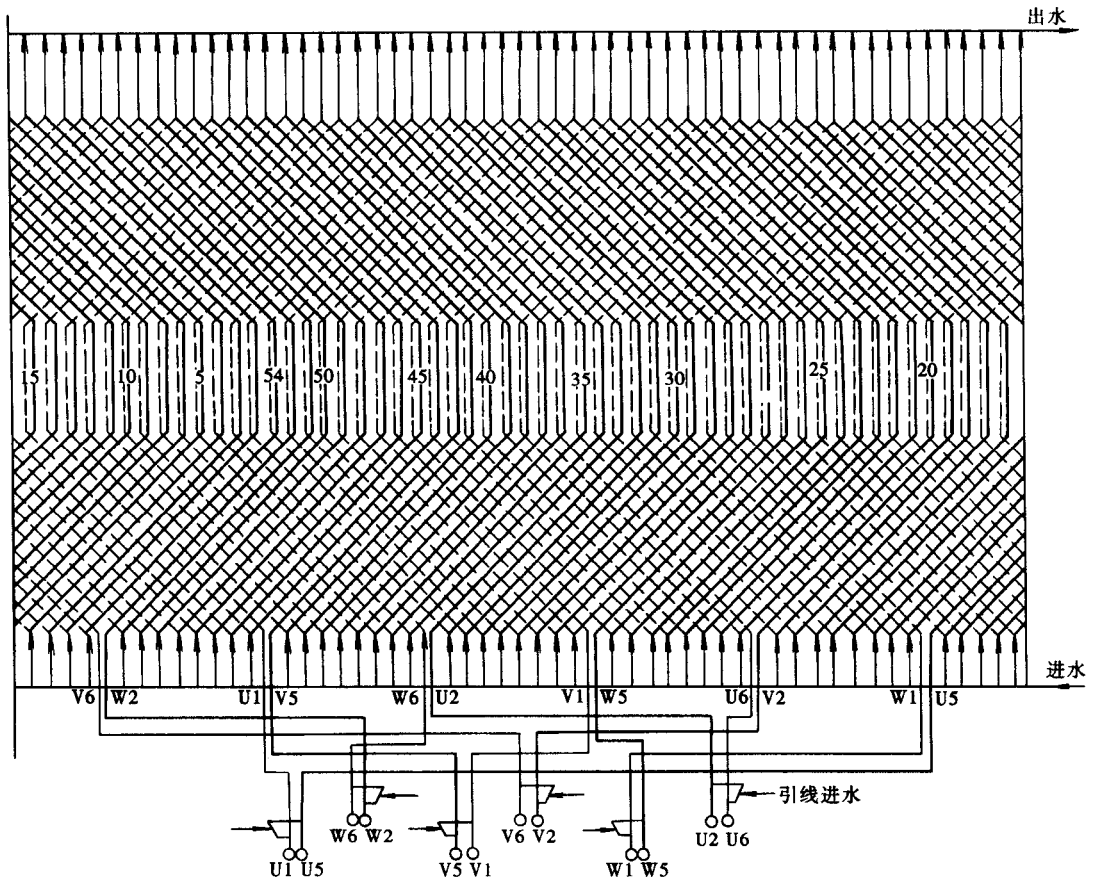


图 1-9 定子绕组接线及进出水路

内冷水的进出水管路皆用不锈钢管弯制焊接而成。进水在励侧，出水在汽侧。两侧的汇水管（又称汇水环）通过聚四氟乙烯绝缘引水管和连接定子绕组上下层线棒空心导体的绝缘水盒相连接，构成机内水回路。机外内冷水系统的水管与机内汇水管进出水管在接口法兰连接处用 10~20mm 厚的有机玻璃垫圈相隔，如图 1-8 所示。发电机两侧的汇水管对地是绝缘的，但其各自有引至机壳底部接线端子的连线（图中 A 点及 C 点），运行时接地，绝缘试验时打开。

定子绕组的接线及进出水路的连接如图 1-9 所示。

定子绕组极相组电气连接方式如图 1-10 所示。

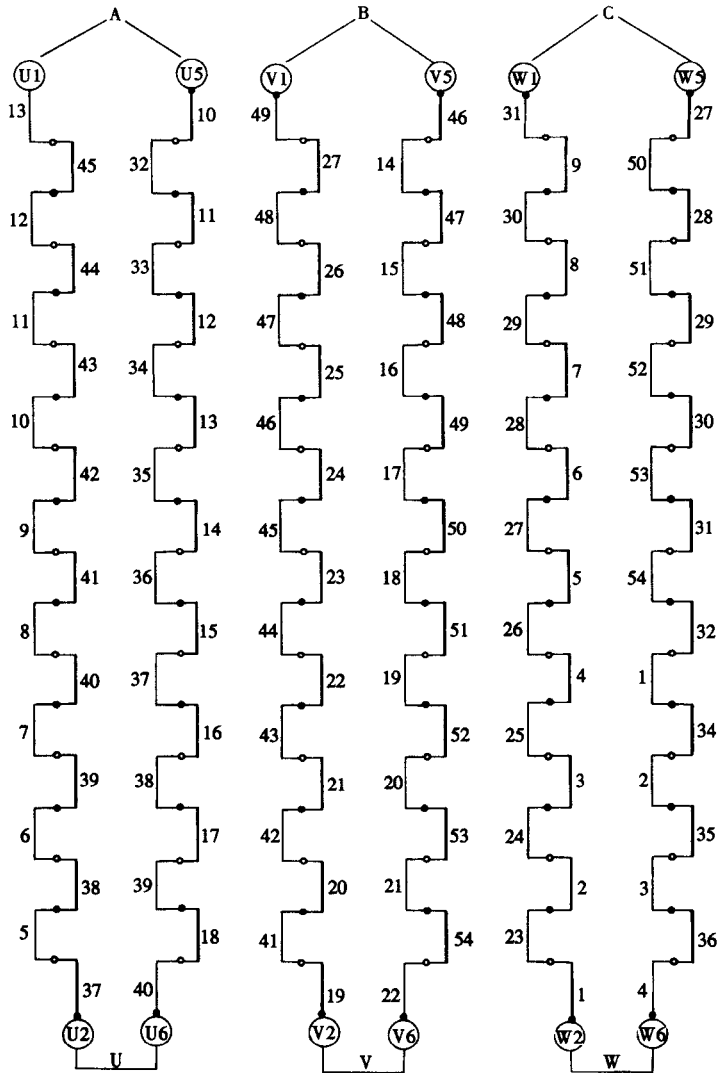


图 1-10 定子绕组极相组电气连接图

图 1-10 中 A、B、C 为出线端，U、V、W 为中性点。各线棒按所在槽编号，左侧为下层线棒，右侧为上层线棒。各线棒接头，标“·”者位于励侧，标“○”者位于汽侧。定子

绕组出线及中性点引线皆在励侧。

4. 轴承

端盖式轴承装有椭圆型轴瓦（QFSN-200-2型发电机）或三油楔轴瓦（部分 QFQS-200-2型发电机）。

椭圆型轴承由轴瓦与瓦套组成。轴瓦分为水平上下两半，内侧为椭圆型，表面浇铸巴氏合金。轴瓦与瓦套间为球面接触，下瓦套为分块式，45°处与轴瓦接触。下半轴瓦装有高压顶轴装置，顶轴油压为15MPa，高压油由汽轮机专设的油源供给；轴承润滑油压为0.05MPa，由汽轮机油系统供给。

5. 油密封结构

油密封采用双流环式密封瓦结构，装于发电机两端端盖上。瓦体由钢板加工而成，内表面浇铸巴氏合金。密封瓦上通有两股密封油流，氢侧的密封油为一密闭独立循环系统，空侧密封油为开启系统，利用均压阀维持此两股油的压差不大于0.001MPa，以保持两股油的相互窜动量最小。密封油与氢气的压差则由压差阀来保持，密封油压高于机内氢气压力0.05MPa，以保证机内氢气纯度及氢气的泄漏量在标准范围内。

国产200MW水氢氢冷却方式的汽轮发电机装设的双流环式油密封系统如图1-11所示。

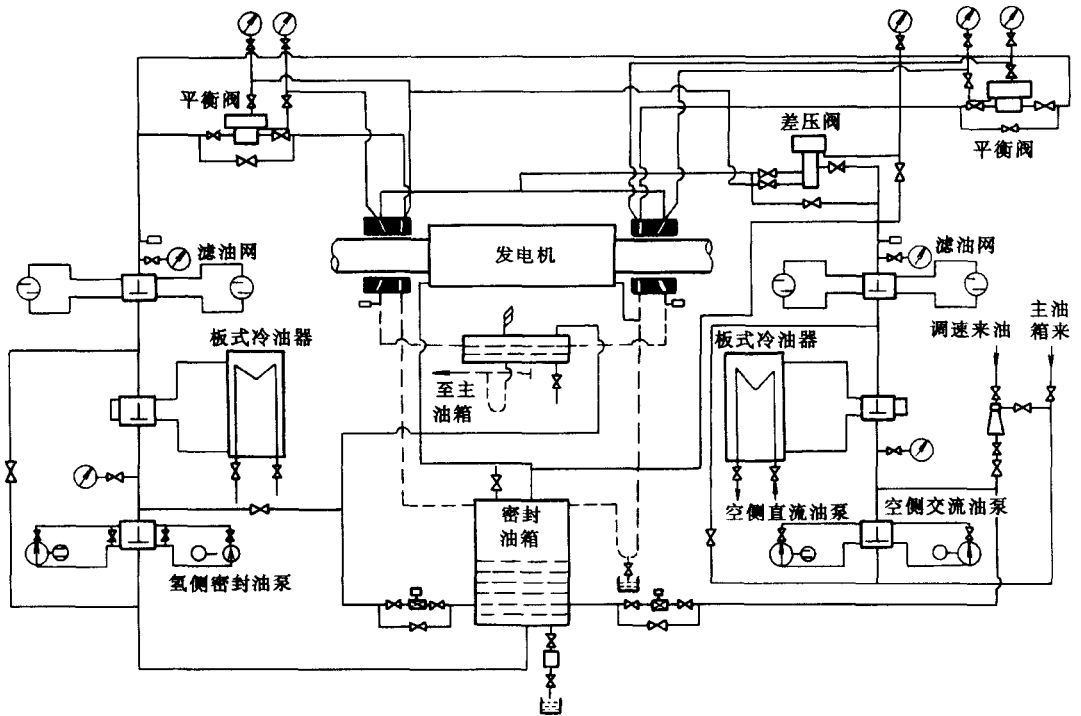


图1-11 国产200MW发电机轴封油系统

6. 氢气冷却器

四组立式冷却器装于发电机机座两端的端罩内两侧。前期产品装铜管（冷却水管）绕簧式冷却器，后期改型产品装穿片式高效冷却器。冷却器上部装有排气管，进出水管法兰装于

冷却器下部的水箱底部。冷却器的进水管前装有滤网，以防杂物进入冷却水管。

图 1-12 为立式绕簧式冷却器。

(二) 转子结构

转子结构由转轴（转子本体）、转子绕组、风扇座及导风叶、护环及中心环、滑环（集电环，包括电刷装置）及联轴器等组成。

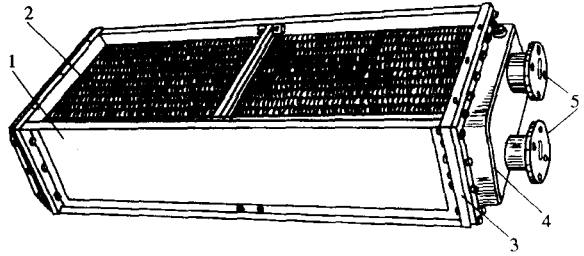


图 1-12 绕簧式立式冷却器外观

1—冷却器外罩；2—绕簧铜管；3—管板；
4—外盖；5—进出水法兰

1. 转轴

转轴选用高导磁性能和高机械性能的优质合金钢整块锻件加工而成。转子本体部分按 32/48 分度铣出 32 个放置转子绕组的线槽。未开嵌放线槽的部分形成转子大齿（磁极）。在大齿上铣有 22 个横向槽（又称月牙槽），以平衡大齿及小齿两个方向的刚度，消除由此而引起的倍频振动。在大齿上还开有 44 个转子平衡用的螺钉孔。转子本体外径 $D_2 = 1010\text{mm}$ ，转子轴承中心距为 8470mm，转子全长 10680mm。

2. 转子绕组

转子绕组为同心式结构，由含银的扁铜线绕制而成。每极有 8 套线圈嵌放在大齿（磁极）两侧的 16 个线槽中。每套线圈有 10 匝导体，两极转子总的匝数为 $2 \times 8 \times 10 = 160$ （匝）。

转子绕组采用气隙取气斜流通风的氢气内部冷却方式。其结构原理是，由转子表面的进风斗对气隙气流的相对运动所形成的正压，与气体从出风斗甩出时所形成的负压，构成气体流动的压力源。即在转子导体内部形成冷却通道。气隙取气通风系统的定子与转子风区是相互匹配的。图 1-13 为气隙取气斜流，导体内部铣有两排通风孔的进出风示意图。转子绕圈的槽内截面如图 1-14 所示，槽楔上的一个风斗供两路通风（即一斗两路），转子线圈的槽内部分中间铣孔，以构成斜流式气隙取气的氢气通道；端部铜线铣出凹形槽上下组合成中空导线，形成通风道，侧面加工有进风口，其形成的风道一直延伸到槽内并与斜向风道相通，故端部为一路半通风形式。

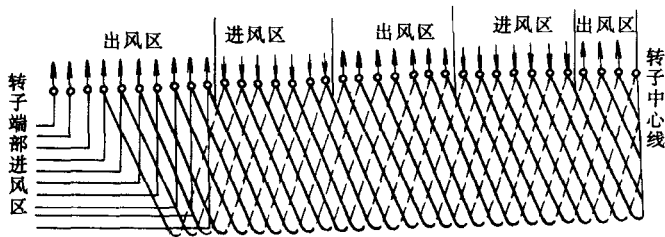


图 1-13 导体内部铣孔，气隙取气斜流通风转子风路

转子绕组的匝间绝缘及槽绝缘均为环氧酚醛玻璃布板材质，属 B 级绝缘。绕组的槽内部分由带有通风孔的专用槽楔固定。槽楔通风孔与槽内绕组铜导体的通风孔相对应（见图 1-13）。转子轴向分为九个风区，即 4 进 5 出，与定子的进出风区相对应。

3. 护环与中心环

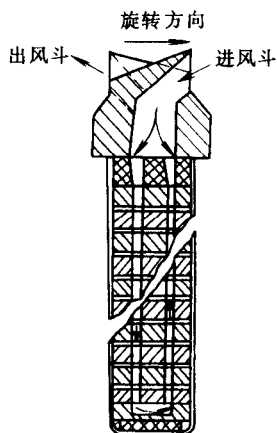


图 1-14 内部铣孔的转子绕组槽内截面

转子绕组端部采用悬挂式护环中心环结构紧固。护环套在转子绕组端部外面，使在离心力作用下的线圈端部不致沿径向甩出。中心环用于阻止转子绕组端部沿轴向移位及防止护环椭圆变形。护环用高强度无磁性奥氏体钢锻件加工而成。为防止应力腐蚀，200MW 汽轮发电机的护环现已开始采用对应力腐蚀不敏感的 18Mn18Cr 合金钢。护环与转子绕组间用环氧玻璃布板做成的垫块绝缘。护环一端与转子本体采用热套配合，轴向采用开口式环键定位；另一端与中心环也采用热套配合，轴向由中心环上的凸台定位。悬挂式护环中心环结构如图 1-15 所示。

4. 集电环（滑环）及转子引线

(1) 集电环及其结构。集电环是发电机励磁电源引入转子绕组的关键部件。集电环与转子绕组间的两根连接线（转子引线用两根互相绝缘的半圆形铬或铅铜合金铜排作为导电杆），装于转轴励侧的中心孔内。两导电杆及导电杆与轴孔间用环氧玻璃布层压板绝缘。每根导电杆两端各用带有绝缘和密封圈的双头铍青铜螺钉固定在轴上。

机内转子绕组的两个端头经多层软铜皮导线连接并固定于两个铍青铜螺钉上，连接线外包绝缘并放入轴面铣出的槽内，顶部用槽楔封闭。集电环也经多层软铜皮分别接在两环中间的铍青铜螺钉上。转子引线结构如图 1-16 所示。

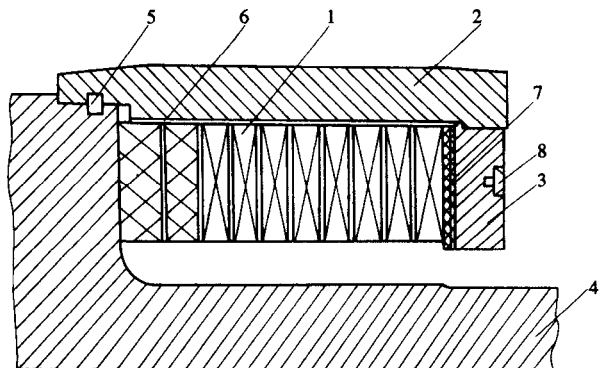


图 1-15 悬挂式护环——中心环结构简图

1—转子绕组；2—护环；3—中心环；4—转轴；5—环形定位键；
6—护环与转子绕组绝缘垫板；7—中心环与转子绕组绝缘垫板；8—平衡块

集电环通过绝缘套筒热套在励端转轴上。新结构的集电环材料为 50Mn 锻钢，环表面开有螺旋沟，并沿环侧面圆周均布有 24 个 $\phi 25$ 的斜向通风孔以加强通风冷却。在两集电环间并装有离心式小风扇。

(2) 集电环的刷架及隔音罩。刷架导电环材料为铸硅黄铜，每个环由两半拼成，并经纯化处理。导电部分涂银，直流电源母线把合在导电环上，导电环则座落在绝缘底板上。每个导电环装有 4 排电刷，每排 8 个，共 32 个刷盒。

为满足机组防噪声的要求，在集电环刷架外加隔音罩，罩内喷涂吸音材料。罩的两侧装

