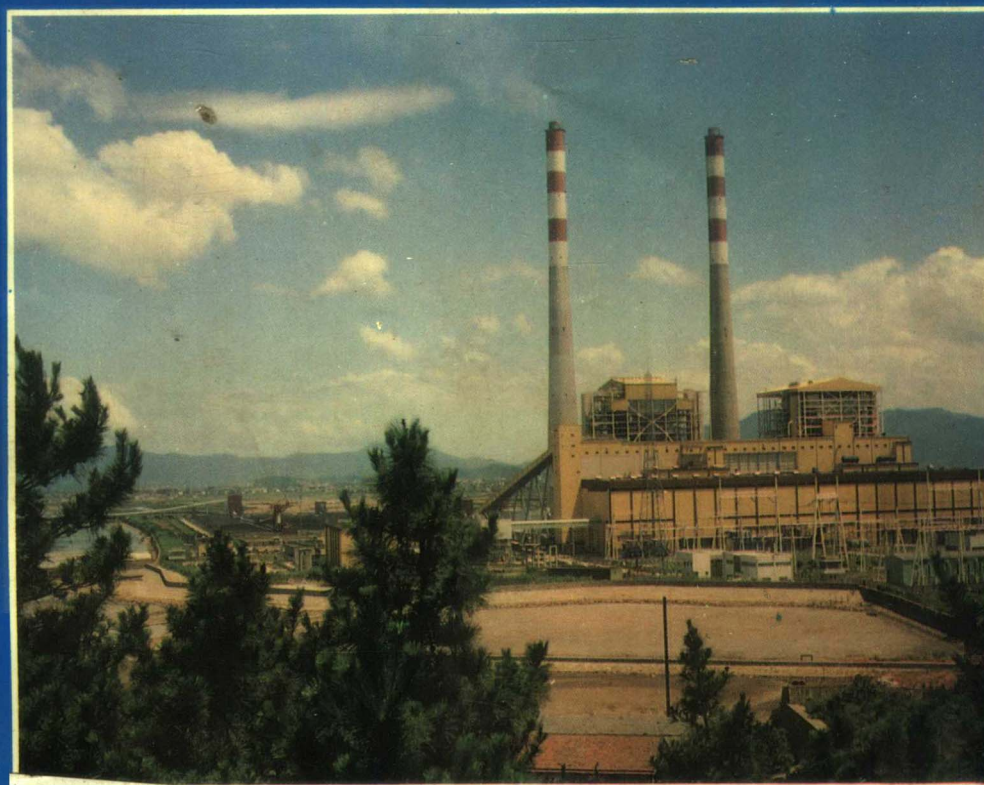


电气分册

浙江北仑发电厂 I 期 60 万千瓦锅炉汽轮发电机组
Zhejiang Beilun Thermal Power Plant Phase I
600MW Boiler and Turbo-generating Units

张荣光 主编



浙江大学出版社

浙江北仑发电厂
I 期 60 万千瓦锅炉汽轮发电机组

电气分册

张荣光 主编

责任编辑 王 宇

* * *

浙江大学出版社出版

浙江省煤田地质局制图印刷厂排版

浙江省煤田地质局制图印刷厂印刷

* * *

开本 787×1092 16 开 印张 45 1152 千字

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月第 1 次印刷

印数 0001—2060

ISBN-7-308-01985-3/TK·010 定价:90.00 元

《浙江北仑发电厂 I 期 60 万千瓦锅炉汽轮发电机组丛书》

编 写 委 员 会

顾 问	刘维烈	朱吉灿	蓝志达	徐 航
主 编	赵湖滨			
副 主 编	陈渭泉	张慰黎	倪明江	
编 委	顾 晃	张学宏	张荣光	刘训策 王志勤

发电厂分册

主 编	顾 晃			
编写人员	顾 晃	胡美丽	叶 衡	包亦毅 顾 群

锅炉分册

主 编	张学宏			
编写人员	张学宏	黄国权	周中也	徐馨生

汽轮机分册

主 编	顾 晃			
编写人员	顾 晃	任浩仁	唐致实	朱伊杰 史挺进
	陶 磊	叶 衡	蒋 骏	

电气分册

主 编	张荣光			
编写人员	张荣光	贺贤安	肖鸿杰	徐永生

仪控分册

主 编	刘训策	王志勤		
编写人员	翁思义	刘训策	王志祥	王志勤 陈世基
	钱 虹	郭 平	黄 伟	潘正珏 符岳全
	冯晓露	吴 斌	范巧燕	戴关明 朱明程
	胡志平	冯 霞		

《浙江北仑发电厂 I 期 60 万千瓦锅炉汽轮发电机组丛书》

审 校 委 员 会

主 审 张 谦

副 主 审 樊祥荣 刘宝铭 吴云飞

主 要
审校人员 桑如波 屠小宝 章慧娟 徐增华

发电厂分册

主 审 桑如波

审校人员 桑如波 陈明华 冯一中 俞明芳

锅炉分册

主 审 屠小宝

审校人员 尹正忠 童汇源 许伟峰 屠小宝 冯一中 沈士军

汽轮机分册

主 审 桑如波

审校人员 冯一中 陈明华 桑如波

电气分册

主 审 章慧娟

副 主 审 宓君才

审校人员 章慧娟 沈维君 吕一农 张企达 姚子麟 柯 荣

仪控分册

主 审 徐增华

审校人员 徐增华 李 广 蔡明芬 俞琪军 严 众 宣浙建 石庆松

丛书前言

80年代后期,60万千瓦级汽轮发电机组相继在我国火力发电厂中投产。进入90年代,随着我国电力工业的突飞猛进,60万千瓦汽轮发电机组更成了大容量发电厂中的首选机组,至今在全国已建成和在建的该级别机组已达10余台。

浙江北仑发电厂是我国电力工业中首家利用世界银行贷款兴建的大型火力发电厂,I期工程安装两台60万千瓦机组已先后于1991年10月31日和1994年10月20日建成投产。全厂设备全部通过国际招标,来自10余个国家。1号汽轮发电机自日本东芝公司购进,锅炉系美国燃烧工程公司产品;2号汽轮发电机自法国阿尔斯通公司购得,锅炉系加拿大拔白考克公司产品。电气设备来自瑞士ABB公司和法国阿尔斯通等公司。

为了更好地消化吸收引进机组的先进技术,为了进一步加强我厂发电职工队伍的建设,提高他们的技术水平,同时也为了迎接我厂即将上马的II期(3×60万千瓦)建设,自1992年下半年来,我们先后组织浙江大学能源系、上海电力学院自控系和上海普能中小电力工程设备成套公司的部分教授和高级工程师编写了本丛书。丛书分别由厂内各专业技术人员审改,其中汽机分册、仪控分册少量需由厂内人员编写的部分,则由厂内技术人员完成。

丛书共约470万字,分为五册:发电厂分册、锅炉分册、汽机分册、电气分册、仪控分册。

该丛书的出版是厂校合作的结晶。在整个编写过程中,得到了全厂各生产部门领导和工程公司有关技术人员的帮助,在此表示由衷的感谢。

由于相互切磋讨论及各方意见收集尚少,特别是北仑发电厂1号、2号机组运行时间不长,尚有待于进一步积累经验,故书中难免有不当之处,望读者阅后提出宝贵意见。

赵湖滨

1994年12月12日

前 言

《电气分册》介绍北仑电厂主要电气设备和装置工作原理,适用于北仑电厂和相似类型电厂的培训工作。学员应具备电工学、电机学、电子学、继电保护等专业基础知识。也可供有关人员之参考。

本分册内容主要有三个方面:发电机、变压器;配电装置(GIS);继电保护和自动装置。

全分册共分七篇,其中第一篇、第二篇、第三篇由肖鸿杰编写;第四篇、第五篇由贺贤安编写(内中互感器部分由张荣光编写);第六篇由张荣光编写(内中 LR-91 保护装置由徐永生编写);第七篇由徐永生编写。

本分册由章慧娟主审;宓君才副审。在整个编写工作中得到了北仑电厂维修部及下属有关班组的大力支持。由于部分资料不全,所写内容难免有所不足,待再版时再予补充修改。

主编 张荣光

1996 年 5 月、1997 年 5 月

目 录

第一篇 发电机及其附属设备

第一章 发电机	3
第一节 基本工作原理	3
第二节 基本结构	3
第三节 发电机的主要技术规范	21
第二章 励磁设备	23
第一节 概述	23
第二节 同步发电机的励磁方式	25
第三节 1号机组发电机励磁系统	31
第四节 1号机组发电机励磁系统技术参数及设备规范	32
第三章 发电机中性点接地装置	35
第一节 发电机的中性点接地方式	35
第二节 1号机组发电机中性点接地方式	36
第四章 发电机的冷却系统	37
第一节 汽轮发电机的冷却方式	37
第二节 1号机组发电机冷却系统	40
第五章 发电机密封油系统	45
第六章 发电机的正常运行	46
第一节 发电机的稳态特性	46
第二节 发电机投入并联	51
第三节 发电机并列后负荷的调节	53
第四节 汽轮发电机的运行范围	58
第五节 发电机系统主要参数监视与调整	61
第六节 发电机运行中对氢、油、水系统的监视	63
第七章 发电机的非正常运行	66
第一节 发电机氢、油、水系统异常运行情况及其处理	66
第二节 发电机突然短路和瞬变参数	70
第三节 发电机的不对称运行	75
第四节 发电机的失磁异步运行	87
第五节 发电机短路时过负荷运行	96

第二篇 变压器

第一章 变压器引论	101
-----------	-----

第一节	变压器的基本工作原理与分类	101
第二节	电力变压器的基本结构	102
第三节	变压器的空载运行	105
第四节	变压器的负载运行	111
第五节	变压器的参数测定	114
第六节	自耦变压器	116
第七节	三绕组变压器	119
第二章	主变压器	122
第一节	主变压器的主要技术参数	122
第二节	主变压器的结构特点	123
第三节	主变压器的运行	132
第三章	联络变压器	134
第一节	概述	134
第二节	1号联络变压器技术规范	134
第三节	结构特点	135
第四节	有载调压分接开关	139
第五节	联络变压器的运行	143
第四章	变压器的检查与维护	148
第一节	变压器投入运行前的检查	148
第二节	变压器运行中的检查与维护	149
第五章	变压器异常运行和事故处理	150

第三篇 电动机

第一章	锅炉水循环泵	155
第一节	概述	155
第二节	结构特点	155
第三节	炉水泵的运行及维护	158
第四节	炉水泵的故障及处理	159
第二章	凝结水泵电动机	161
第一节	电动机规范	161
第二节	电动机结构特点	161
第三节	异步电动机的维护	167

第四篇 配电装置

第一章	GIS设备	171
第一节	500kV设备	171
第二节	220kV设备	192
第二章	断路器	202

第一节 概述	202
第二节 结构	204
第三节 附录:维修	210
第三章 隔离闸刀	218
第一节 概述	218
第二节 TE 型隔离闸刀	218
第三节 TV 型和 TW 型隔离闸刀	223
第四节 闸刀操作机构	226
第四章 接地闸刀	230
第一节 概述	230
第二节 ELK EA 型接地闸刀	230
第五章 互感器	245
第一节 电流互感器	245
第二节 电压互感器	252

第五篇 直流电源及 UPS

第一章 1 号机 230V 直流设备	267
第一节 蓄电池	267
第二节 充电器	277
第二章 1 号机 115V 直流设备	280
第一节 蓄电池和充电器	280
第二节 充电器的主电路及辅助电路	283
第三章 交流不停电电源系统(UPS)	285
第一节 系统的构成	285
第二节 主要环节的工作原理	286

第六篇 继电保护

第一章 500kV、220kV 系统保护装置	301
第一节 LR91 型保护装置	301
第二节 LZ96 型距离保护装置	316
第三节 TLS 型距离保护装置	357
第四节 LZ92-1 型距离保护装置	381
第五节 WT96 型重合闸装置	395
第六节 INX-5 型低阻抗差动保护装置	401
第七节 SU91 型高阻抗差动保护装置	413
第八节 SIX109b 型断路器失灵保护装置	422
第九节 DT93a 型低阻抗差动保护装置	425
第十节 UFX132 型过励磁继电器	434

第二章 发电机—变压器系统保护装置..... 437

第一节 RADSG 型发电机差动保护装置 437

第二节 RAGEA 型发电机定子接地保护装置 442

第三节 RAGRA 型发电机转子接地保护装置 450

第四节 RXPE40/RXZF2 型发电机失步保护装置 458

第五节 RAGPC 型发电机失磁保护装置 467

第六节 RXPE40/41 型发电机逆功率保护装置 475

第三章 其它保护装置..... 478

第一节 TZG 型发电机失磁保护继电器(柴油发电机组用) 478

第二节 DT21 型变压器差动保护继电器(锅炉变压器用) 481

第七篇 自动装置

第一章 自动励磁调节器(AVR) 491

第一节 概述..... 491

第二节 北仑港发电厂 1 号机励磁系统构成 495

第三节 励磁调节器控制部分工作原理..... 497

第二章 自动准同期装置..... 519

第一节 概述..... 519

第二节 准同步并列原理..... 519

第三节 1 号机自动同期装置 521

第一篇 发电机及其附属设备

第一章 发电机

汽轮发电机是火力发电厂的主要设备之一,由汽轮机直接拖动发电。

1号机组的600MW汽轮发电机是由日本东芝公司(TOSHIBA)京滨事务所按照标准ANSI-C50.13-1977制造的,1988年出厂。

这台发电机是直接与汽轮机联轴、全封闭、具有阻尼绕组隐极式转子的三相两极交流同步发电机。发电机的冷却方式为水氢氢,即定子绕组水内冷,转子绕组氢内冷(通风型式为气隙取气斜流式),定子铁芯及其它结构件为氢气表面冷却。励磁系统为机端励磁变、可控硅静态励磁方式,即由机端励磁变压器全静态可控硅整流装置组成,配有高起始、快速响应自动励磁调节器。这台发电机的型式为TAKS(三相、同步电机、具有阻尼绕组、静态励磁),型号为LCH(定子线圈水冷却、与原动机直接耦合、隐极式转子)。

在本章中,首先简要介绍汽轮发电机的基本原理,然后着重介绍汽轮发电机的基本结构,最后给出1号机组汽轮发电机的性能参数。

第一节 基本工作原理

汽轮发电机是用来将机械能转变为电能的能量转换机械。它的工作原理基于两条基本电磁定律:其一是关于在磁场中运动的导体产生感应电势的电磁感应定律,其二是关于载流导体在磁场中受到力的作用的电磁力定律。这两条定律也概括了发电机进行能量转换时应具备的基本条件,发电机必须具有相对运动的定子和转子两个基本部件。

电机定子由硅钢片叠成,在叠片上开有槽,在槽内放上导体,这些导体按一定的规律联接起来,称为定子绕组。汽轮发电机转子上也开有槽,绕上线圈,将这些线圈按一定规律联接起来,称为励磁绕组。汽轮发电机在工作时,转子上的励磁绕组通入直流电流产生磁场,由汽轮机拖动电机的转子旋转,转子磁场与定子绕组有相对运动,于是就在定子绕组中感应出交流电势。汽轮发电机定子绕组接成三相绕组,这样便得到三相交流电。

在电机中既作为磁路、又置放着导体,以产生感应电势,从而担负机电能量转换的部分称为电枢。电枢上的绕组称为电枢绕组。因此汽轮发电机的定子绕组也称为电枢绕组。

汽轮发电机属于同步电机,所谓同步是指电机转子的极对数 p 、转速 n 和定子绕组感应电势的频率 f 之间有严格的关系,即

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \quad \text{Hz}$$

从上式可看出,当电机的极对数和转速一定时,定子绕组感应电势的频率也是固定的。我国的电力系统,规定交流电的频率为50Hz,因此汽轮发电机的转速与极对数有固定的关系。例如,火电厂采用的汽轮发电机的极对数为一对磁极,它的转速为3000r/min。

第二节 基本结构

1号机组的600MW汽轮发电机外形图如图1.1-1所示。

发电机最高高度(从出线罩底部至氢冷却器顶部)为 4.516 米,运行层上发电机外露净高(运行层地面至氢冷却器顶部)为 2.678 米,发电机轴中心线距运行层地面高度为 0.762 米。

发电机六个出线高压套管中心距为 1.016 米,中心管套管在出线罩的集电环侧,三相引出线套管则在靠汽机侧。

发电机总重量为 391.2 吨,其中定子重量为 282 吨,转子重量为 71.3 吨。

从汽轮发电机的运行原理可知,它是由定子、转子等部分组成,现将主要结构部件分别叙述如下。

一、定子机座

(一) 定子机座

机座的作用主要是支撑和固定定子铁芯、定子绕组,分配冷却气流,承受全部电磁力矩(特别是在外界发生短路故障时要受到 10 倍以上的短路力矩的作用)和倍频的交变电磁力的作用。所以机座必须具有足够的强度和刚度,以便在运行中受到各种力或转矩的作用时,不致产生过大的变形。除此之外,氢冷发电机定子还要求可靠的防爆能力和严密的密封,以防止漏氢和抵抗氢气的爆炸,另外定子还要承受转子重量。

氢冷汽轮发电机的机座和端盖通常是用钢板按需要的形状滚弯而成,在工厂制造过程中经过严格的气密检查和水压试验。

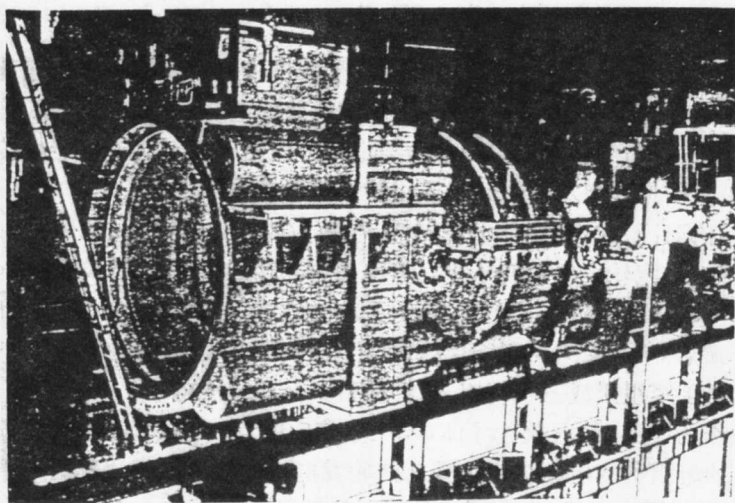


图 1.1-2 600MW 水氢氢汽轮发电机机座

这台 600MW 汽轮发电机定子机座为圆柱形的焊接防爆气密结构,如图 1.1-2 所示。

(二) 铁芯的弹性支撑

1. 定子铁芯的倍频振动

在二极汽轮发电机中,转子磁通经定子铁芯形成回路,对定子铁芯会产生磁拉力。空载时产生径向力;负载时除产生径向力外,还产生切向力。任一点的磁拉力与所在点的磁通密度 B 的二次方成正比。这样,两磁极中心线上磁拉力最大,极间磁拉力最小,定子铁芯会产生椭圆形形变。气隙内各点磁通密度随转子旋转而改变,转子每旋转一周,铁芯的形变要交变两次,迫使定子铁芯产生两倍于工作频率即 100Hz 的振动(即弯挠振动),参见图 1.1-3。此外,定子线棒因电流间的相互作用而产生振动,也会引起定子铁芯双频振动;三相突然短路时,定子铁芯还会

出现扭转振动;定子端部漏磁的轴向分量,也会引起铁芯产生轴向双频振动;由于定子铁芯各齿内磁导的不均匀,定子铁芯还会产生频率高于双频的振动。由此可见,引起定子铁芯振动的原因是多方面的。

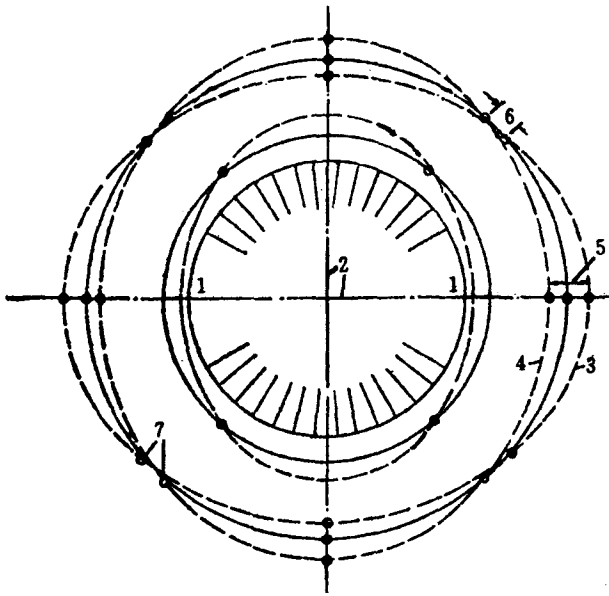


图 1.1-3 定子铁芯倍频振动时的椭圆形变形

1 — 转子磁极;2 — 磁极中心线;3 — 极中心线在垂直位置时的变形;

4 — 极中心线在水平位置时的变形;5 — 径向振动的倍频振幅;6 — 切向振动的倍频振幅;7 — 节点

2. 弹性支撑

当电机运行时,由于定子和转子间的磁拉力,在定子铁芯上会产生很大的双倍频率的振动。为了防止因铁芯振动而损害机座焊缝,以及这种振动传到机座引起厂房基础及其他设施发生危险的共振,必须在铁芯和机座之间采用弹性联接的隔振结构。

弹性联接隔振结构的形式很多,其隔振效果也不相同。在本发电机中所采用的弹性支撑如图 1.1-4 所示。定子铁芯固定在定位筋上,再将定位筋联接到弹簧板,而弹簧板固定于机座。这样,机座与定子铁芯由轴向弹簧板联接,组成一个弹性系统,以吸收径向和切向的定子铁芯磁振动,使它不致传到机座与基础上去,如图 1.1-5 所示。

二、定子铁芯

定子铁芯是构成发电机主磁通回路和固定定子绕组的重要部件,要求导磁性能好、损耗低、刚度好、振动小,并在结构及通风结构布置上能有良好的冷却效果。大型汽轮发电机定子铁芯的重量约占电机总重量的 30% ~ 35%,铁芯损耗约占总损耗的 15% ~ 20%,因此降低铁芯损耗对提高发电机效率是很有意义的。为了减少铁芯内的磁滞和涡流损耗,定子铁芯通常用导磁率高、损耗小、厚度为 0.35 ~ 0.5mm 的硅钢片叠装而成。

这台发电机定子铁芯由晶粒取向冷轧硅钢片冲制的扇形片叠装而成,铁芯段全长为 6.25m,如图 1.1-6 所示。

发电机运行时,铁芯将受到二倍于工作频率的交变磁拉力和由温度变化而引起热应力

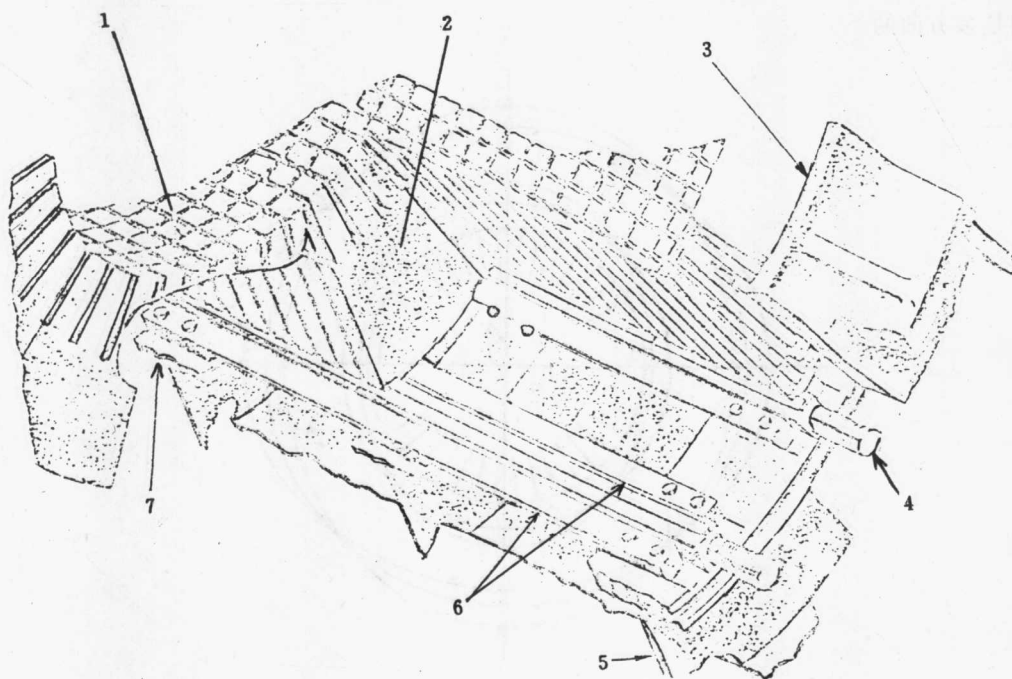


图 1.1-4 定子弹性支撑结构示意图

1 — 径向通风槽；2 — 铁芯叠片；3 — 定子铁芯法兰；
4 — 定位筋；5 — 分段板；6 — 弹簧板；7 — 定位环

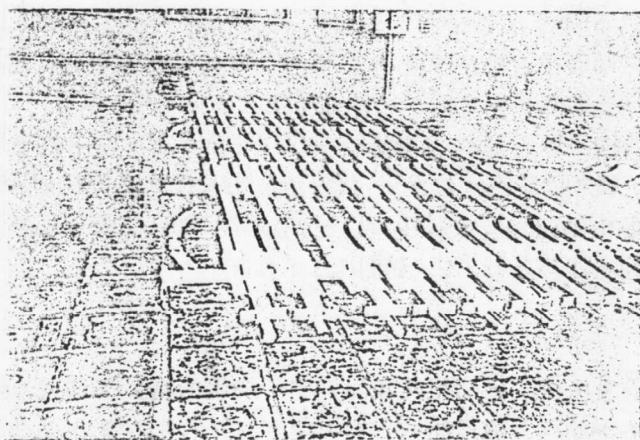


图 1.1-5 定位筋与弹簧板

的作用，所以要求将铁芯压装成坚实的整体。铁芯压装不紧，可引起冲片松动，而造成局部片间绝缘破坏，线棒绝缘磨损，甚至导致冲片齿折断。

在定子铁芯的硅钢片冲片的外沿四周开有燕尾槽，通过发电机机座内的定位筋，将定子铁芯叠装在发电机膛内。铁芯的轴向压紧结构形式，是在铁芯的两端用无磁性铁整体铸成的压

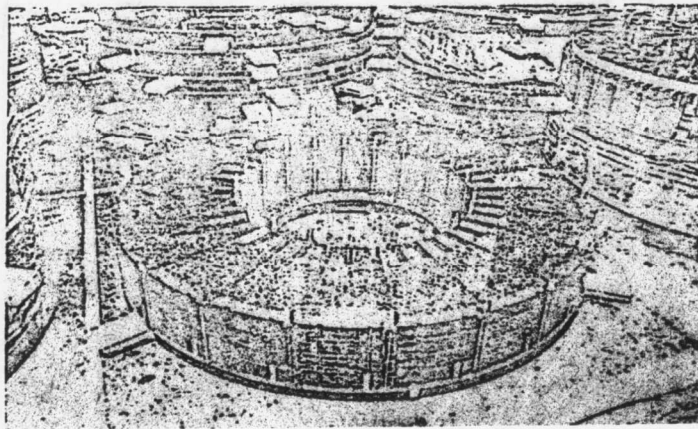


图 1.1-6 定子铁芯

圈压紧,以确保铁芯的轴向紧固。

压圈下有齿压板施加压力以夹紧铁芯的齿部。在两端部铁芯段做成阶梯形,这样既扩大了定子端部铁芯的内径,又加大了定子和转子间的气隙,使漏磁通依磁通分散在各阶梯段上,同时也加强了端部铁芯的通风冷却。为了减少各阶梯铁芯段涡流损耗和发热,在两端部的阶梯段铁芯齿上开有沟槽,这种结构可减少横向进入铁芯的漏磁通和齿部涡流损耗,又可降低齿部温度和提高冷却效果。

为了使定子铁芯有效地冷却,沿轴向分成很多叠片段,段间设径向通风槽,形成冷却介质—氢气的通路。

由于定子铁芯两端漏磁通大,易产生热区,故在两端的铁芯段的槽部和齿部分别埋设一对热电偶(T.C)测温元件,编号分别为 T.C43、T.C44、T.C45、T.C46。其布置位置如图 1.1-7 所示。

三、定子绕组

定子铁芯内圆开有槽,槽内放置定子绕组。定子槽形为开口槽,便于嵌线。

定子绕组也称电枢绕组,是发电机进行机电能量转换的枢纽。这台汽轮发电机定子共有 42 槽,因而对于三相二极电机,每极每相槽数为 7,槽距角 α 为 8.57° ,绕组的节距 y_1 为 17 槽,绕组为 60° 相带,双层双 Y 联接。定子绕组采用水内冷却。图 1.1-8 为发电机定子绕组。

(一) 定子线棒与绝缘

定子绕组通过的电流很大,要求导体有较大的截面积,为了减小集肤效应带来的附加损耗,定子线圈采用多股铜排并绕。发电机定子绕组槽内结构如图 1.1-9 所示。

每槽嵌有上、下二层线圈,每层线圈内由 20 根空心铜棒和 40 根实心铜棒组成。

为了减少漏磁在导体中引起的涡流损耗,将导体沿槽深方向分成若干根相互绝缘的线棒,由于线圈的高度较大,为了减少漏磁引起的股线间循环电流产生的附加损耗,需要对线棒进行编织换位。

所谓换位就是在线棒编织时,让每根线棒沿轴向长度,分别处于槽内不同高度的位置,这样每根线棒的漏电抗相等,如图 1.1-10 所示。换位分为槽部换位和端部换位。