

超(超)临界火电机組检修技术丛书

电气设备检修

徐坊降
任杰

袁明
黄东安

高洪雨
雷亮

潘淙
张磊
杨立久

合编

主审

新机组

新材料

新工艺

新技术



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

要 點 評 內

徐坊降、袁明、高洪雨、潘宗合编
任杰、黄东安、雷亮、张磊主审

超(超)临界火电机組检修技术丛书

电气设备检修

徐坊降
任杰

袁明
黄东安

高洪雨
雷亮

潘宗
张磊
杨立久
藏书

合编
主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是《超(超)临界火电机组检修技术丛书》电气设备检修分册。主要介绍了超(超)临界汽轮发电机、电动机、电力变压器、高压断路器、高压隔离开关、互感器、配电装置、电力电缆、直流系统、继电保护自动装置、励磁及同期装置等设备的检修工艺、常见故障处理等方面的内容。另外,还增加了高压电气试验和超(超)临界机组调试的有关内容。

本丛书适合于从事火电机组检修的各专业技术人员、管理人员,检修公司、监理公司专业技术人员使用,同时可作为电气设备检修人员技能培训教材及技能培训鉴定教材,并可供高等学校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备检修/徐坊降等编. —北京:中国电力出版社, 2015. 1

(超(超)临界火电机组检修技术丛书)

ISBN 978-7-5123-5691-7

I. ①电… II. ①徐… III. ①电气设备-设备检修
IV. ①TM64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 056570 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 1 月第一版 2015 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 25.25 印张 572 千字

印数 0001—3000 册 定价 78.00 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)临界火电机組检修技术丛书

编 委 会

主 任 张效胜

副主任 张 伟 王焕金

主 编 张 磊

参 编 (按姓氏笔画排列)

于龙根	王德坚	王丽娜	王 亮	片秀红	代云修
吕富周	张立华	张 伟 (华电)	张东风	沈思雯	
陆 强	杨立久	李 诚	杜海涛	陈 媛	单志栩
周长龙	赵学良	柴 彤	徐鹤飞	徐坊降	高洪雨
黄东安	彭 涛	满菁华	廉根宽	雷 亮	潘 淙

前言

随着火力发电技术的发展,单机容量为 600MW 和 1000MW 的超临界和超超临界火电机组正迅速成为新建火力发电厂的主力型机组。这些新机组投产运营后,由于单机容量增大和新技术的应用,对设备的检修工艺和管理体制提出了新的要求。科学的检修工艺和管理体制将为设备安全、稳定、长周期运行提供可靠的技术和管理保障。根据当前技术人员对超(超)临界火电机组检修技术的迫切需求,作者有针对性地编写了《超(超)临界火电机组检修技术丛书》。本丛书共分五个分册,分别是《锅炉设备检修》、《汽轮机设备检修》、《电气设备检修》、《热工控制设备检修》、《辅助设备检修》。

本丛书由山东省电力学校张效胜担任编委会主任,张伟和王焕金担任编委会副主任。全套丛书由山东省电力学校张磊组织编写和统稿。

本丛书可作为超(超)临界火电机组生产运行、检修维护人员的培训教材,也可供从事超(超)临界火电机组设计、制造、安装工作的技术人员和大中专院校热动类专业师生参考。

在丛书的编写期间,得到了国内各发电集团公司的大力支持,在此深表感谢!

由于水平所限,加之时间仓促,收集资料不全,难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编委会

2011 年 4 月

本书前言

《超(超)临界火电机组检修技术丛书 电气设备检修》是《超(超)临界火电机组检修技术丛书》分册。本书详细介绍了超(超)临界火电机组检修工艺。全书主要介绍了超(超)临界火电机组的检修项目、检修工序、工艺方法及故障处理等,内容丰富,实用性强。本丛书对于规范检修,保证质量,解决检修过程中遇到的疑难问题具有指导意义,对于普及超(超)临界火电机组检修知识技能、提高技术人员和管理人员的检修技术水平有很大的帮助。

本分册是电气设备检修分册,主要内容包括汽轮发电机、电动机、电力变压器、高压断路器、高压隔离开关、互感器、配电装置、电力电缆、直流系统、继电保护自动装置、励磁及同期装置等设备的检修工艺、常见故障处理等方面的内容。另外,还增加了高压电气试验和超(超)临界火电机组调试的有关内容。

本丛书适合于从事火电机组检修的各专业技术人员、管理人员,检修公司、监理公司专业技术人员使用,同时可作为电气设备检修人员技能培训教材及技能培训鉴定教材,并可供高等学校师生参考。

本书主要编写人员有国网技术学院徐坊降、高洪雨、黄东安、雷亮、张磊,山东省电力建设第一工程公司袁明,山东省电子职业技术学院潘淙,国网北京市电力公司任杰,国网技术学院杨立久担任主审。

本书在编写过程中,得到了山东各发电集团公司的大力支持,并采用了其大量的技术资料,在此表示衷心地感谢!

限于时间和水平,疏漏之处在所难免,请读者提出批评意见或建议。

编者

2014年11月

目 录

前言

本书前言

第一章 汽轮发电机检修	1
第一节 汽轮发电机工作原理与结构	1
第二节 同步发电机检修项目及检修工艺	13
第三节 发电机常见故障及处理方法	25
第二章 厂用电动机检修	40
第一节 异步电动机工作原理与结构	40
第二节 高压电动机检修	43
第三节 低压电动机检修	52
第四节 异步电动机常见故障及处理方法	59
第五节 直流电动机检修	61
第六节 直流电动机常见故障处理	66
第三章 变压器检修	69
第一节 变压器原理与结构	69
第二节 主变压器检修	80
第三节 厂用干式变压器检修	104
第四节 变压器常见故障及处理方法	107
第四章 高压断路器检修	111
第一节 高压断路器类型与结构	111
第二节 高压断路器检修	114
第三节 断路器异常运行与事故处理	131
第五章 高压隔离开关的检修	133
第一节 隔离开关的用途与结构	133
第二节 GW11-500 型隔离开关的检修	135
第三节 GW4-252 型高压隔离开关的检修	138

第四节	隔离开关异常运行和事故处理	142
第六章	互感器检修	145
第一节	互感器工作原理	145
第二节	互感器检修项目	148
第三节	互感器的小修	151
第四节	互感器的大修	156
第五节	高压互感器干燥	170
第六节	互感器故障处理	175
第七章	配电装置的检修	179
第一节	配电装置的作用和分类	179
第二节	10kV 高压开关柜及真空开关检修	181
第三节	低压开关检修	196
第八章	电力电缆的检修	206
第一节	电力电缆的结构	206
第二节	高压电力电缆检修	207
第三节	低压电力电缆检修	214
第四节	低压电缆线路故障处理	224
第九章	直流系统检修	229
第一节	直流系统作用及类型	229
第二节	阀控蓄电池检修	233
第三节	直流系统充电机及配电屏检修	238
第四节	UPS 不间断电源检修	250
第十章	继电保护装置检验	257
第一节	继电保护原理和要求	257
第二节	发变组保护检验	258
第三节	LFP-921B 断路器保护检验	266
第四节	500kV 短引线保护 LFP-922A 检验	273
第五节	500kV 线路保护 PSL-602GD 检验	281
第六节	500kV 线路保护 RCS-931AM 的检验	292
第七节	500kV 线路 RCS-925 型微机故障起动装置的检验	305
第八节	WDGL-IV 型故障录波器的检验	311
第十一章	励磁调节器及同期装置检修	320
第一节	UNITROL 5000 励磁调节器的检修	320
第二节	发变组同期装置的校验	327

第十二章	高压电气试验	334
第一节	电气试验的基本知识.....	334
第二节	电气试验项目.....	336
第十三章	电气设备调试	360
第一节	总起动电气试验方案.....	360
第二节	发变组保护调试.....	365
第三节	厂用电快切装置调试.....	368
第四节	发电机同期装置调试.....	370
第五节	发变组故障录波器调试.....	372
第六节	励磁系统调试.....	376
第七节	机组整套起动电气试验.....	379
第十四章	电气设备检修管理	382
第一节	电气设备检修原则及方式.....	382
第二节	电气设备检修前的准备工作.....	383
第三节	电气设备检修管理.....	387
第四节	电气设备检修安全管理.....	388
参考文献		394

第一章 汽轮发电机检修

第一节 汽轮发电机工作原理与结构

汽轮发电机是将机械能转化成电能的设备,是火力发电厂的主要设备之一,在火力发电厂中,一般采用同步发电机。

一、同步发电机的工作原理

同步发电机是根据导体切割磁力线感应电动势这一基本原理工作的。将导线连成闭合回路,就有电流流过,同步发电机就是利用电磁感应原理将机械能转变为电能的。大多数同步发电机把磁极做成旋转式,称为转子。在转子上绕有励磁绕组,通以直流电励磁,并由原动机带动旋转。把切割磁力线的导体分为结构和参数相同的三相绕组 UX、VY、WZ,它们在空间上互差 120° 电角度,并固定在定子的铁芯槽中。定子与转子之间有气隙,如图 1-1 所示。当原动机驱动发电机的转子以转速 n 按图示方向做恒速旋转时,定子三相绕组依次切割磁力线,分别感应出大小相等、时间上彼此相差 120° 电角度的交流电动势。若气隙中的磁通密度按正弦规律分布,则三相绕组感应电动势的波形也为正弦波。

二、同步发电机的结构

QFSN-1000-2-27 型汽轮发电机为汽轮机直接拖动的隐极式、二极、三相同步发电机。发电机采用水氢氢冷却方式,配有一套氢油水控制系统,采用静止晶闸管,机端变自励方式励磁,并采用端盖式轴承支撑。发电机本体结构主要由定子部分(机座和隔振结构、定子铁芯、定子绕组、定子出线和出线盒、定子水路、氢冷却器及其外罩等)和转子部分(铁芯及绕组、绕组电气连接件、转轴、护环、风扇、阻尼系统等)构成。发电机总体结构示意图如图 1-2 所示。

1. 定子部分

(1) 机座与端盖。汽轮发电机的机座和端盖既是机械上的主要支撑,又是通风系统的重要组成部分,如图 1-3 所示。

发电机定子机座是用钢板焊成的壳体结构,在机座顶部和底部两侧各有一个冷却气体通道,机座内部只有支撑管而无通风管。机座作为氢气的密闭容器,能承受机内意外氢气爆炸

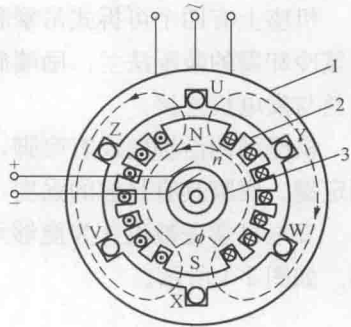


图 1-1 同步发电机的工作原理图

1—定子; 2—转子; 3—集电环

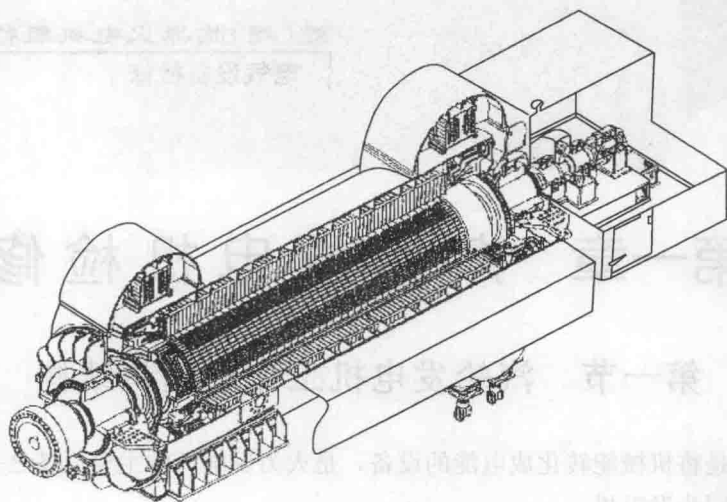


图 1-2 发电机总体结构示意图

产生的冲击。

机座由端板、外壳和风区隔板等组焊而成,并形成特定的环形进出风区。机座与出线罩之间的结合面用焊接方式进行密封(在电厂安装时进行),与端盖之间用注入密封胶的方式进行密封。

机座上有四个可拆式吊攀和测量元件接线端子板的装配法兰。汽、励两端分别在顶部设有氢冷却器的装配法兰。励端底部设有出线盒的装配法兰。所有机外的油、水、气管道均用法兰与发电机连接。

机座两侧沿轴向设有底脚,在底脚上设有轴向定位键槽,用以装配机座与座板间的轴向固定键。底脚具有足够的强度,以能支撑整个发电机的重力和承受突然短路时的机械冲击。

发电机端盖被设计为能够承受转子的重力以及在最大压力下存放氢气,而不会过度变形。如图 1-4 所示。

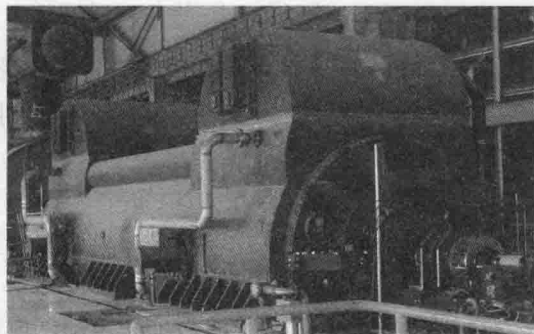


图 1-3 汽轮发电机定子机座

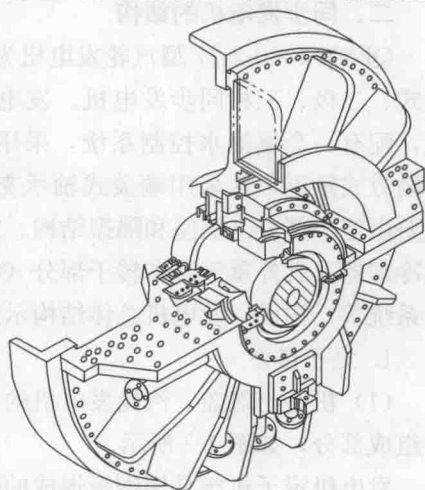


图 1-4 端盖示意图

端盖由钢板焊成，具有足够的强度和刚度，以支撑转子，同时承受机内氢气压力甚至氢爆产生的压力。

(2) 隔振。隔振是在铁芯与机座之间装设的轴向弹簧板或弹簧安装组件，如图 1-5 所示。弹簧板使定子外壳在径向和切线方向上与定子铁芯的磁振动隔离。电枢扇形片安装在定位筋上，定位筋按顺序固定到弹簧板上。弹簧板拴接到机座上，并在其总长度和圆周上支持铁芯组件。

(3) 定子铁芯。定子铁芯是用相互绝缘的扇形片叠装压紧制成的。扇形片采用高导磁低损耗的冷轧硅钢片冲制而成。单张硅钢片冲成扇形，扇形片两面刷涂有绝缘漆。

扇形片冲有嵌放定子绕组的下线槽和放置槽楔用的鸽尾槽。叠压时利用定子定位筋定位，叠装过程中经多次施压，两端采用低磁性的球墨铸铁压圈将铁芯夹紧成一个刚性圆柱体。铁芯齿部是靠压圈内侧的非磁性压指来压紧的。

边段铁芯涂有粘接漆，在铁芯装压后加热使其粘接成一个牢固的整体，进一步提高铁芯的刚度。

边段铁芯齿设计成阶梯状并在齿中间开窄槽，同时在铁芯端部采用磁屏蔽和铜屏蔽，以降低铁芯端部的损耗和温升。

(4) 定子绕组。定子绕组定子线棒部分、绕组槽部固定部分、绕组端部固定部分和定子绕组出线部分。每个线棒用铜线制作成型后包以绝缘，包括直线部分和两个端接部分。直线部分放置在铁芯槽内，是切割磁力线感应电动势的有效边，端线按绕组接线类型有规律地连接起来，分别组成三相定子绕组。定子绕组接线示意图如图 1-6 所示。

1000MW 发电机采用水内冷的定子绕组，这种绕组是由实心股线和空心导线交叉组成，空实心铜线之比为 1:2，均包有玻璃丝绝缘层。上层线棒的导电截面要比下层的大；上层有 4 排，每排 5 组空实股线组成，下层为 4 排 4 组。线棒的空实心股线均采用中频加热钎焊在两端的接头水箱内，而钎焊在水箱上的水箱盖则有反磁不锈钢水接头，用作冷却水进出线棒内水支路的接口。套在线棒上或汇流管上水接头的四氟乙烯绝缘引水管，都用引进型卡箍将水管箍紧。上下层线棒的电连接由上下水箱盖夹紧多股实心铜线，用中频加热软钎焊而成，并逐只进行超声波焊透程度的检查，这就形成上下层线棒水电的连接结构。

定子线棒在槽内有良好的固定，侧面有半导体波纹板，径向还有波纹板和带斜度的槽楔组合固定。定子绕组在槽内固定于高强度玻璃布卷包模压槽楔下，在铁芯两端用割有倒齿的、行之确有实效的关门槽楔就地锁紧，防止运行中因振动而产生的轴向位移。楔下设有高强度弹性绝缘波纹板，在径向压紧线棒。在部分槽楔上开有小孔，以便检修时可测量波纹板

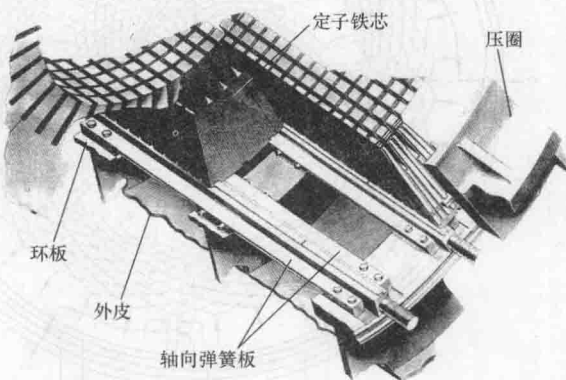


图 1-5 隔振结构

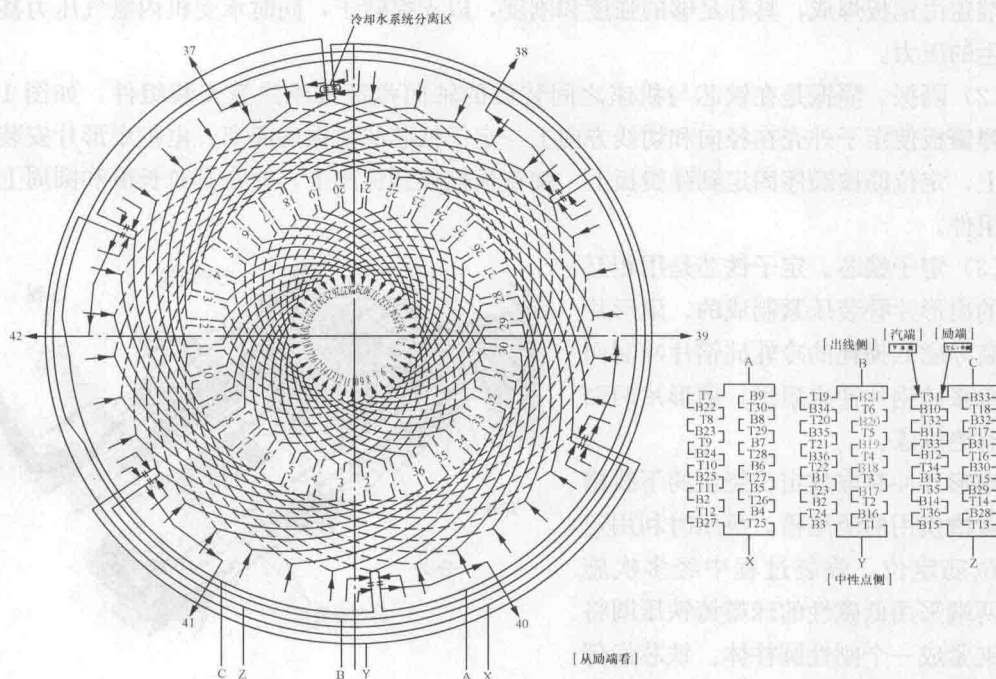


图 1-6 定子绕组接线示意图

的压缩度(有随机测量工具)以控制槽楔松紧度。在槽底和上、下层线棒之间都垫以热固性适形材料,使相互间保持良好接触。又采用了胀管热压工艺,使线棒能在槽内紧固可靠地就位;为了线棒表面能良好接地,防止槽内电腐蚀,在侧面用半导体板紧塞线棒。图 1-7 为定子绕组在槽内固定及定子槽楔布置示意图。在每个槽上、下层线棒间埋置一支电阻测温元件,每一根上层或下层线棒绝缘引水管的出口水接头上,也各埋有一支热电偶测温元件,用来检测相应部分的温度。

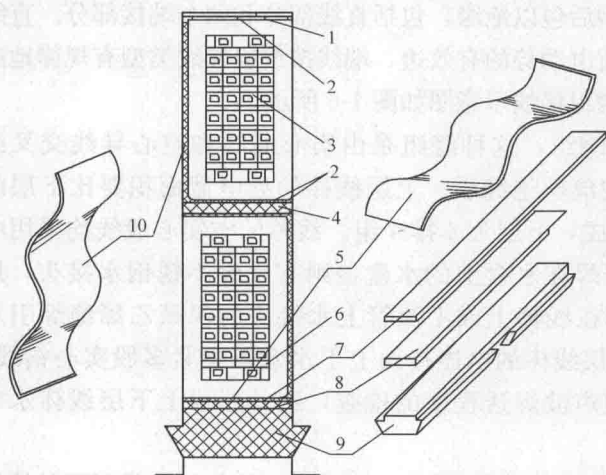


图 1-7 定子绕组在槽内固定及定子槽楔布置示意图

- 1—槽底垫条; 2—适形垫条; 3—下层线棒; 4—层间垫条;
5—楔下波纹板; 6—上层线棒; 7—楔下垫条及调节垫条;
8—斜楔; 9—定子槽楔; 10—侧面波纹板

定子绕组端部用浸胶无纬玻璃纤维带绑扎固定在由绝缘支架和绑环组成的端部固定件上,绑扎固定后进行烘焙固化,使整个端部在径向和周向成为一个刚性的整体,确保端部固有频率远离倍频,避免运行时发生共振。

定子绕组端部用浸胶无纬玻璃纤维带绑扎固定在由绝缘支架和绑环组成的端部固定件上,绑扎固定后进行烘焙固化,使整个端部在径向和周向成为一个刚性的整体,确保端部固有频率远离倍频,避免运行时发生共振。

轴向可沿支架滑销方向自由移动,减少由于负荷或工况变化而在定子绕组和支撑系统中引起的应力,满足机组调峰运行的要求。

定子绕组的端部全部采用刚—柔

绑扎固定结构。它由充胶的层间支撑软管、可调节绑环、径向支撑环、绝缘楔块和绝缘螺杆等结构件以及绑带、适形材料等将伸出铁芯槽口的绕组端部固定在绝缘大锥环内成为一个牢固的整体，绝缘大锥环的小直径端搁在铁芯端部出槽口下的（覆盖着滑移层的）绝缘环上，而绝缘大锥环的环体则固定在绝缘支架上，支架的下部又通过弹簧板固定在铁芯端部的分块压板上，形成沿轴向的弹性结构，使绕组在径向、切向具有良好的整体性和刚性，而沿轴向却具有自由伸缩的能力，从而有效地缓解了由于运行中温度变化和铜铁膨胀量不同在绝缘中产生的机械应力，故能充分地适应机组的调峰方式和非正常运行工况。水冷的定子绕组连接线也固定在大锥环和绝缘支架上。为了运行安全，绕组端部上的紧固零件全部为高强度绝缘材料所制成。图 1-8 定子端部绕组结构示意图。

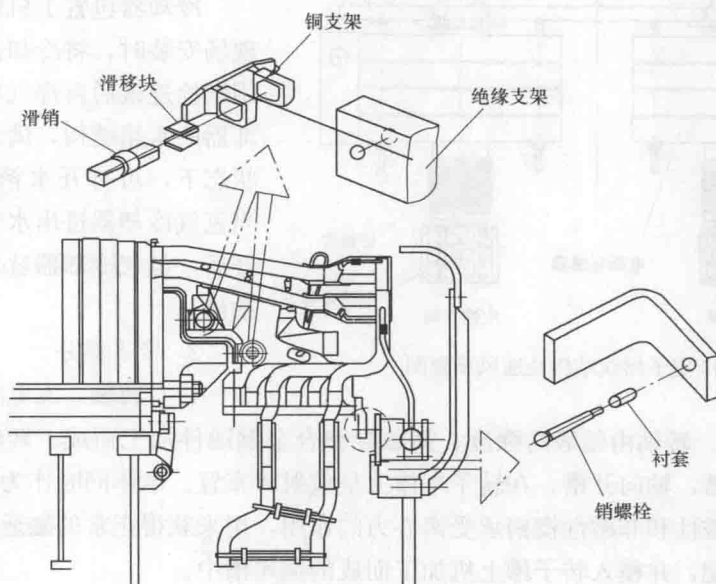


图 1-8 定子端部绕组结构示意图

在绕组端部靠近铁芯出槽口的可调节绑环上，汽、励两端各设有一道气隙挡风环（板），用以限制进入气隙的风量。

发电机各相和中性点出线均通过励端机座下部的出线罩引出机外。出线罩板采用非磁性材料制成，以减少定子电流产生的涡流损耗。出线罩板下方设有排泄孔，以防止引出线周围积存油或水。

定子出线通过高压绝缘套管穿出机壳引出机外。高压绝缘套管由整体的陶瓷和铜导电杆组成。铜导电杆的两端导电面镀银处理。高压绝缘套管上（发电机外侧）装有电流互感器供测量和保护用。

整个定子出线装配采用氢气冷却，冷却风路如图 1-9 所示。氢气从铜导电杆上端的进风口进入导电杆的外侧，在底部折回导电杆的内侧，通过上部一特殊接头排入过渡引线，再由固定过渡引线的空心瓷套管排入出线罩的夹层风道后进入内外端盖间的低压风区。

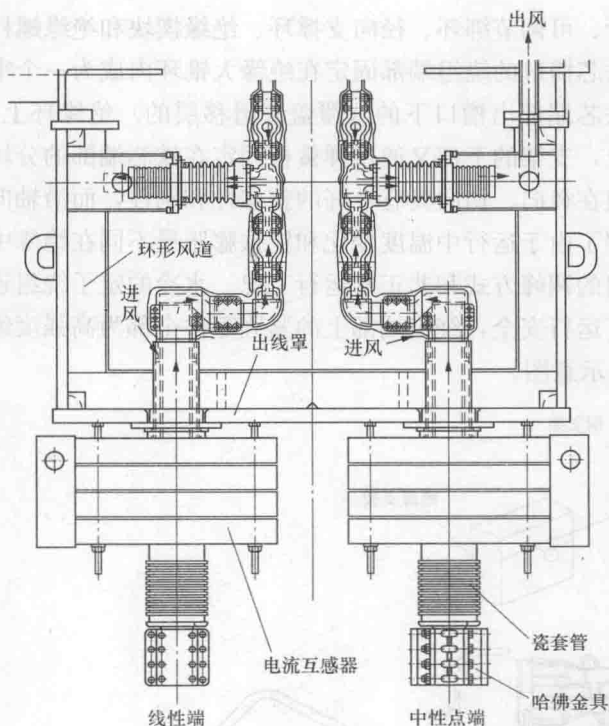


图 1-9 定子出线结构及通风示意图

(5) 氢冷却器。在定子机座汽、励两端顶部共布置有两组(四台)冷却器。冷却器由传热效果好的片式(或穿片式)镍铜(或钛)冷却水管和两端的水箱组成。冷却器包由钢板焊接而成,单件焊完后,需承受 1.0MPa 的水压试验,所有气密焊缝需承受 0.78MPa 的气密试验,具有足够的强度与良好的气密性。

冷却器包置于机座两端顶部,在现场安装时,将冷却器包与机座之间用螺栓连接后再焊气密焊缝。氢气冷却器的水箱结构,满足发电机在充氢状态下,可打开水箱清洗冷却水管。当氢气冷却器进水管与外部水管拆开后,氢气冷却器就可以从发电机中抽出。

2. 转子部分

(1) 转轴。发电机转轴外观示意图如图 1-10 所示。转轴由整锻高强度、高磁导率合金钢锻件加工而成。转轴本体上加工有放置励磁绕组的槽,轴向开槽,在转子本体上呈放射状布置。本体同时作为磁路,励磁构件嵌入槽中,通过磁性和非磁性楔销承受离心力的作用,用来获得正常的磁通分布。这些楔销一个一个单独装配,并楔入转子槽上机加工而成的燕尾槽中。

在励磁构件楔块上有用于磁极绕组通风的入口和出口,以改善气流,楔块上开口处机加工有翼梢,如图 1-11 所示。用起吊系索装卸励磁构件时应小心谨慎,不要损坏楔块。为此励磁构件上装有专用防护盖。

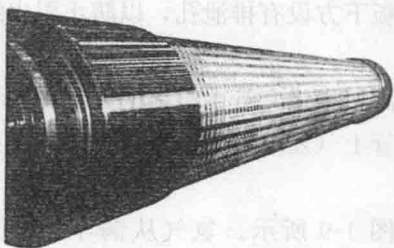


图 1-10 发电机转轴外观图

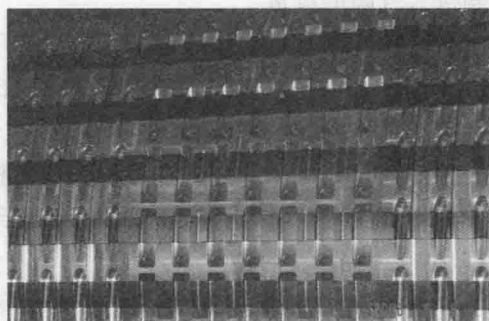


图 1-11 励磁构件楔块上的通风口

(2) 转子绕组。转子绕组采用具有良好的导电性能、机械性能和抗蠕变性能的含银铜线

制成。

转子绕组槽部采用气隙取气斜流通风的内冷方式。利用转子自泵风作用，从进风区气隙吸入氢气。通过转子槽楔后，进入两排斜流风道，以冷却转子铜线。氢气到达底匝铜线后，转向进入另一排风道，冷却转子铜线后再通过转子槽楔，从出风区排入气隙，形成与定子相对应的进、出风区相间的气隙取气斜流通风系统。

转子绕组端部采用冷却效果较好的“两路半”风路结构。一路风从下线槽底部的副槽进入转子本体部分的端部风路；另一路风从转子绕组端部的中部进入铜线风道，再从转子本体端部排入气隙。为了加强后一路风的冷却效果，在这路风的中途再补入半路风，即形成“两路半”的风路结构，如图 1-12 所示。

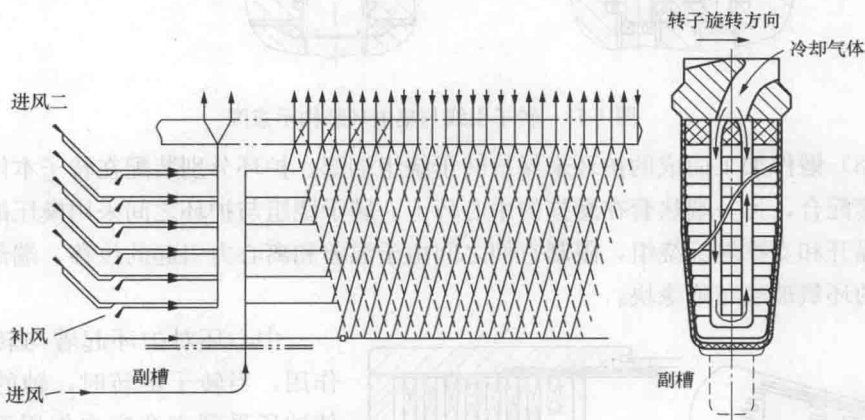


图 1-12 转子绕组端部两路半通风示意图

转子绕组放入槽内后，槽口用铝合金槽楔和钢槽楔固紧，以抵御转子高速旋转产生的离心力。非磁性槽楔和磁性槽楔的应用保证了合理的磁通分布。

转子槽衬用含云母、玻璃纤维等材料的复合绝缘压制而成，具有良好的绝缘性能和机械性能。

槽衬内表面和端部护环绝缘内表面涂具有低摩擦系数的干性滑移剂，使转子铜线在负荷及工况变化引起热胀冷缩时可沿轴向自由伸缩，以满足发电机调峰运行的要求。

(3) 转子引线和集电环。通过转子引线及集电环以及电刷装置可以提供发电机额定输出功率及强励时所需的励磁电流。

转子绕组通过转子引线、导电杆及导电螺钉与集电环相连接。导电螺钉用高强度和高导电率铜合金制成，导电螺钉与转轴之间有密封结构，以防漏氢，如图 1-13 所示。

集电环用耐磨合金钢制成，与转轴采用热套装配。在集电环与转轴之间设有绝缘套筒。

集电环上加工有轴向和径向通风孔。表面的螺旋沟可以改善电刷与集电环的接触状况，使电刷之间的电流分配均匀。

两集电环间有同轴离心式风扇对集电环及电刷进行强迫冷却。

(4) 护环、中心环、阻尼环。1000MW 发电机采用了用非磁性、高强度合金钢

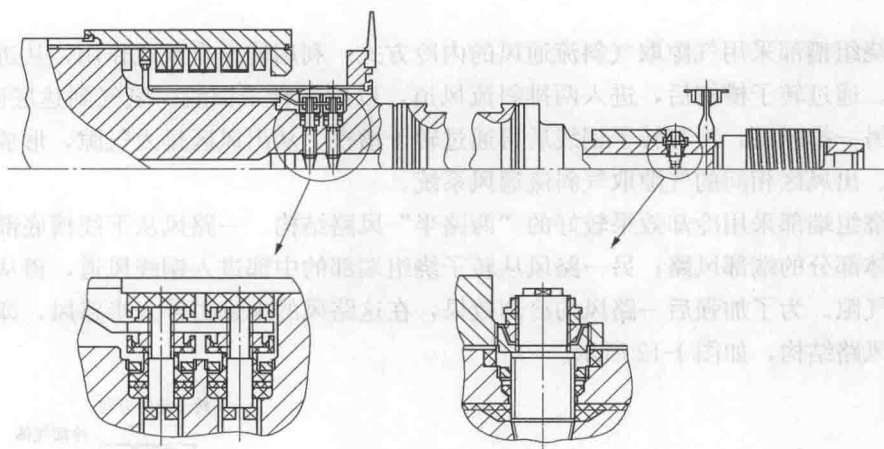


图 1-13 转子引线及集电环结构示意图

(Mn18Cr18) 锻件加工而成的护环来保护转子绕组端部。护环分别装配在转子本体两端，与本体端热套配合，另一端热套在悬挂的中心环上。转子绕组与护环之间采用模压的绝缘环绝缘。为了隔开和支撑端部绕组，限制它们之间由于温差和离心力引起的位移，端部绕组间放置了模压的环氧玻璃布绝缘块。

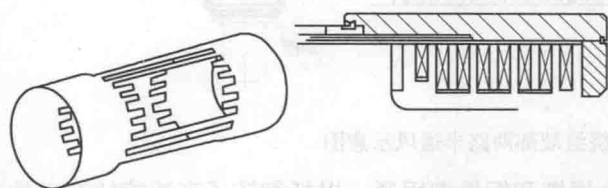


图 1-14 全阻尼绕组结构示意图

中心环对护环起着与转轴同心的作用，当转子旋转时，轴的挠度不会使护环受到交变应力作用而损伤。中心环还有防止转子绕组端部轴向位移的作用。

为了减少由于不平衡负荷产生的负序电流在转子上引起的发热，提高发电机承担不平衡负荷的能力，在转子本体两端（护环下）和槽内设有全阻尼绕组，其结构示意图如图 1-14 所示。

(5) 电刷与刷架。电刷是将励磁电流通入高速旋转转子的关键部件。为保证发电机在运行时能安全、迅速地更换电刷，采用了盒式刷握结构，每次可更换一组（4 个）电刷，如图 1-15 所示。

电刷采用天然石墨材料粘接制成，有较低的摩擦系数和一定的自润滑作用。每个电刷带有两根柔性的铜引线（即刷辫）。螺旋式弹簧恒定地将压力施加在电刷中心上。刷架采用左右分瓣咬合结构，由导电环、刷座及风罩等部件

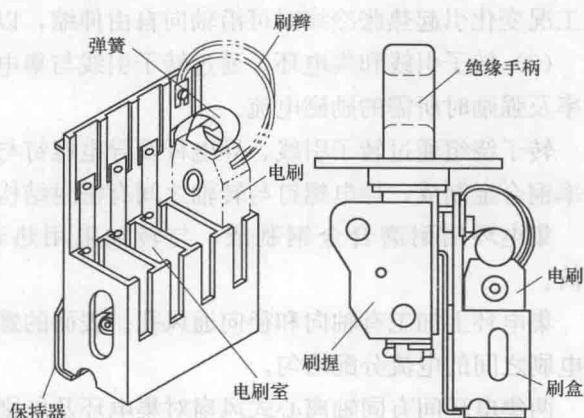


图 1-15 盒式电刷与刷握