

1000MW超超临界火电机组施工技术丛书

电气设备 安装

《1000MW超超临界火电机组施工技术丛书》编委会



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为《1000MW 超超临界火电机组施工技术丛书》之一。全书共分十一章, 主要包括我国 1000MW 同步发电机及其励磁系统概况, 1000MW 火电机组电气专业施工组织设计, 发电机检查、引出线及母线安装措施, 主变压器、启动/备用变压器、高压厂用变压器安装施工措施, 厂用配电装置安装施工措施, 110kV 和 500kV 配电装置安装施工措施, 蓄电池及控制系统设备安装措施, 全厂电缆敷设及接线施工措施, 电气设备交接试验措施, 以及全厂接地及锅炉照明施工措施等。

本书内容充实, 实用性强, 可供大型火电机组电气设备安装专业技术人员阅读, 也可供相关专业院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气设备安装/《1000MW 超超临界火电机组施工技术丛书》编委会编. —北京: 中国电力出版社, 2012. 3

(1000MW 超超临界火电机组施工技术丛书)

ISBN 978-7-5123-2770-2

I. ①电… II. ①1… III. ①火电厂-电气设备-设备安装
IV. ①TM621. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 036850 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 7 月第一版 2012 年 7 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 25.25 印张 621 千字
印数 0001—3000 册 定价 70.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签, 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

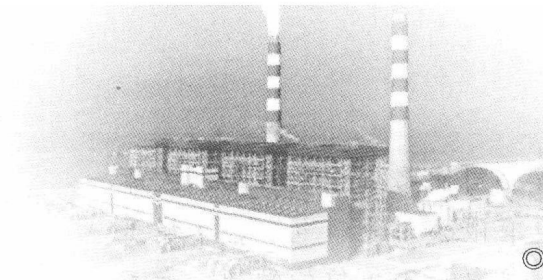
版 权 专 有 翻 印 必 究

1000MW 超超临界火电机组施工技术丛书

电 气 设 备 安 装

编 委 会

主 任	张永江	侯端美	李 宁			
副 主 任	李培源	张永先	杨永恒	张荣强	陶 然	韩树国
	刘恩江	张俊波	朱育才	郭 伟	张 振	张 坤
	谷 伟					
委 员	姜仕昭	褚 鹏	高洪征	张金龙	孙卓行	周庆刚
	袁 亮	李义锁	聂瑞伟	张 青	姜保光	刘 森
	曹佃涛	张 勇	刘艳庆	刘 玮	梁东刚	
主 编	杨永恒	陶 然				
副 主 编	张荣强	李培源	刘恩江	张俊波	朱育才	张 振
	张 坤	谷 伟	袁 亮	毛海岩		
编 委	张 勇	刘艳庆	刘 玮	梁东刚	姜仕昭	褚 鹏
	高洪征	张金龙	孙卓行	周庆刚	袁 亮	李义锁
	聂瑞伟	张 青	姜保光	刘 森	曹佃涛	



前言

1000MW超超临界火电机组施工技术丛书 电气设备安装

近年来我国电力工业发展迅速,截至2010年底,全国电力装机容量已达到9.62亿kW,年均投产装机容量超过8970万kW,创造了我国乃至世界电力建设史上的新纪录。

随着电力工业的快速发展,我国火电建设中“上大压小”及煤电联营坑口电站的建设取得了重大成果。600~1000MW超超临界的清洁高效机组,已成为新建项目的主力机型。

超超临界发电技术,是在超临界发电技术基础上发展起来的一种成熟、先进、高效的发电技术,可以大幅度提高机组的热效率,在国际上已经是商业化的成熟发电技术,世界上许多国家都在积极开发和应用超超临界发电机组。

当前,我国正大力发展超超临界火电机组,并实现了超超临界机组国产化,已有30多台1000MW机组处于投产和在建中。我国第一台1000MW超超临界燃煤发电机组——华能玉环电厂1号机组于2006年11月28日正式投入商业运行,从此,我国电力工业跨入了1000MW超超临界发电的世界先进行列。

我国电力工业今后还要大量地建设1000MW超超临界火电机组。到2020年,我国燃煤火电机组将新增约3亿kW的装机容量。截至2010年底,国内制造厂家已拥有50台1000MW超超临界机组的订单。

为了推动电力施工企业的发展,在未来几年内使广大工程技术人员能更好、更快、更多地掌握百万千瓦超超临界火电机组的施工技术,本书收集、整理了天津北疆、浙江玉环等电厂百万千瓦超超临界机组的施工经验,编写了《1000MW超超临界火电机组施工技术丛书》,为今后施工同类火电机组提供技术依托和借鉴平台。

本丛书重点总结了天津北疆电厂等工程施工技术方案的精华,用于指导今后编写工程施工技术方案、技术措施和作业指导书。

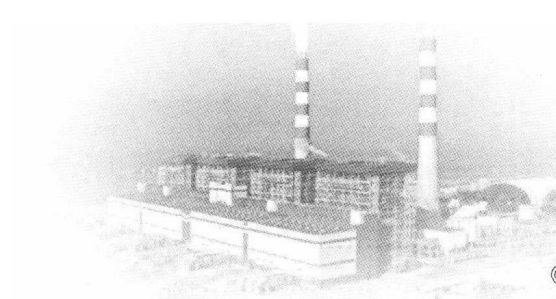
本丛书共分8个分册,分别为《施工技术与管理》、《土建工程施工》、《锅炉设备安装》、《汽轮机设备安装》、《电气设备安装》、《热控工程施工》、《焊接工程施工》、《起重运输机械》,内容涵盖了一个现代化1000MW超超临界机组火电厂的方方面面(含海水淡化、脱硫脱硝等的施工)。

在本丛书编写过程中，山东电力建设第二工程公司北疆工程项目部、天津电力建设公司北疆工程项目部、天津国投津能发电有限公司北疆电厂、华能玉环电厂、山东电力建设第一工程公司、华电国际邹县电厂等单位的领导、专家给予了大力支持。山东电力建设第二工程公司北疆工程项目部的施工技术人员、档案中心以及钢结构公司的有关人员提供了宝贵资料并参加了编写工作，在此一并表示诚挚的谢意！

限于编者水平，加之时间仓促，书中疏漏或不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 3 月



目 录

1000MW超超临界火电机组施工技术丛书 电气设备安装

前言

▶▶ 第一章 我国 1000MW 同步发电机及其励磁系统概况	1
第一节 同步发电机结构特点	1
第二节 几种典型励磁方式	11
▶▶ 第二章 1000MW 火电机组电气专业施工组织设计范例一	16
第一节 工程概况、工程范围、设备布置及施工计划	16
第二节 主要施工方案和重大技术措施	35
第三节 质量、安全、环境目标和文明施工	71
▶▶ 第三章 1000MW 火电机组电气专业施工组织设计范例二	77
第一节 工程概况、施工范围、机具配置和力能供应	77
第二节 主要施工方案、施工组织与工期进度	87
第三节 质量安全管理与文明施工	107
▶▶ 第四章 发电机检查、引出线及母线安装措施	112
第一节 发电机检查及引出线等电气安装	112
第二节 发电机主封闭母线安装	123
第三节 厂用 6kV 和 10kV 共箱母线安装	137
▶▶ 第五章 主变压器、启动/备用变压器、高压厂用变压器安装施工措施	149
第一节 大型变压器的卸车就位	149
第二节 主变压器安装	154
第三节 启动/备用变压器安装	174
第四节 高压厂用变压器安装	193
▶▶ 第六章 厂用配电装置安装施工措施	203
第一节 10、6、0.4kV 配电装置安装	203
第二节 干式变压器安装	212
第三节 厂用电受电方案	220
第四节 高、低压电动机检查及试运	230
第五节 电除尘电气安装及升压施工	247

▶▶ 第七章 110kV 和 500kV 配电装置安装施工措施	259
第一节 110kV 配电装置安装	259
第二节 500kV 配电装置安装	267
第三节 500kV 高压并联电抗器安装	278
▶▶ 第八章 蓄电池及控制系统设备安装措施	294
第一节 蓄电池安装	294
第二节 控制盘柜安装	303
▶▶ 第九章 全厂电缆敷设及接线施工措施	306
第一节 电缆托架及保护管安装	306
第二节 电缆敷设	318
第三节 高低压电缆头制作	336
第四节 电缆二次接线	349
第五节 电缆防火封堵	353
▶▶ 第十章 电气设备交接试验措施	360
第一节 母线 10kV 和 6kV 配电装置交接试验	360
第二节 干式变压器、互感器和真空断路器交接试验	365
第三节 电动机交接试验	376
第四节 10kV 和 6kV 电力电缆交接试验	378
▶▶ 第十一章 全厂接地装置及锅炉照明施工措施	383
第一节 全厂接地装置施工	383
第二节 锅炉照明施工	387
参考文献	396

我国 1000MW 同步发电机及其励磁系统概况

当前我国电力工业的发展已进入世界的前列,特别是当今世界最前沿的百万千瓦超超临界火发电机组的制造和装机速度以及投产的机组台数,在不到 10 年的时间内,在世界上已独占鳌头。

目前世界上已经生产和有能力生产 1000MW 级发电机的厂商,除了西门子公司、三菱公司、日立公司、GEC 公司、ALSTOM 公司外,就是我国的三大动力设备的发电机制造厂家。

随着经济和社会的全面发展,对电力的需求日益增加,电力系统的容量也越来越大,发电机是发电的主力设备之一,这就要求电机制造业提供更大容量的同步发电机。目前我国投运的百万千瓦超超临界火发电机组已有 24 台,均为东方电气集团东方电机有限公司、上海汽轮发电机有限公司、哈尔滨电机厂有限责任公司所生产。

第一节 同步发电机结构特点

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,机端变压器自励方式励磁,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。发电机总体结构及各部件名称如图 1-1 所示。

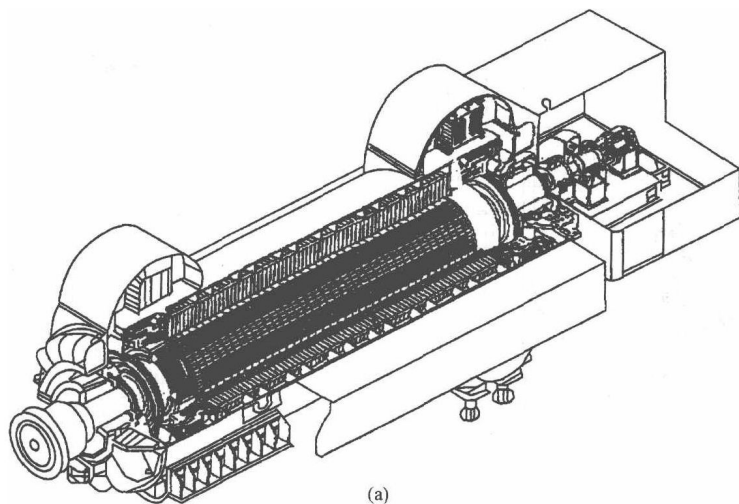


图 1-1 QFSN-1000-2-27 汽轮发电机总体结构及各部件名称 (一)

(a) 总体结构

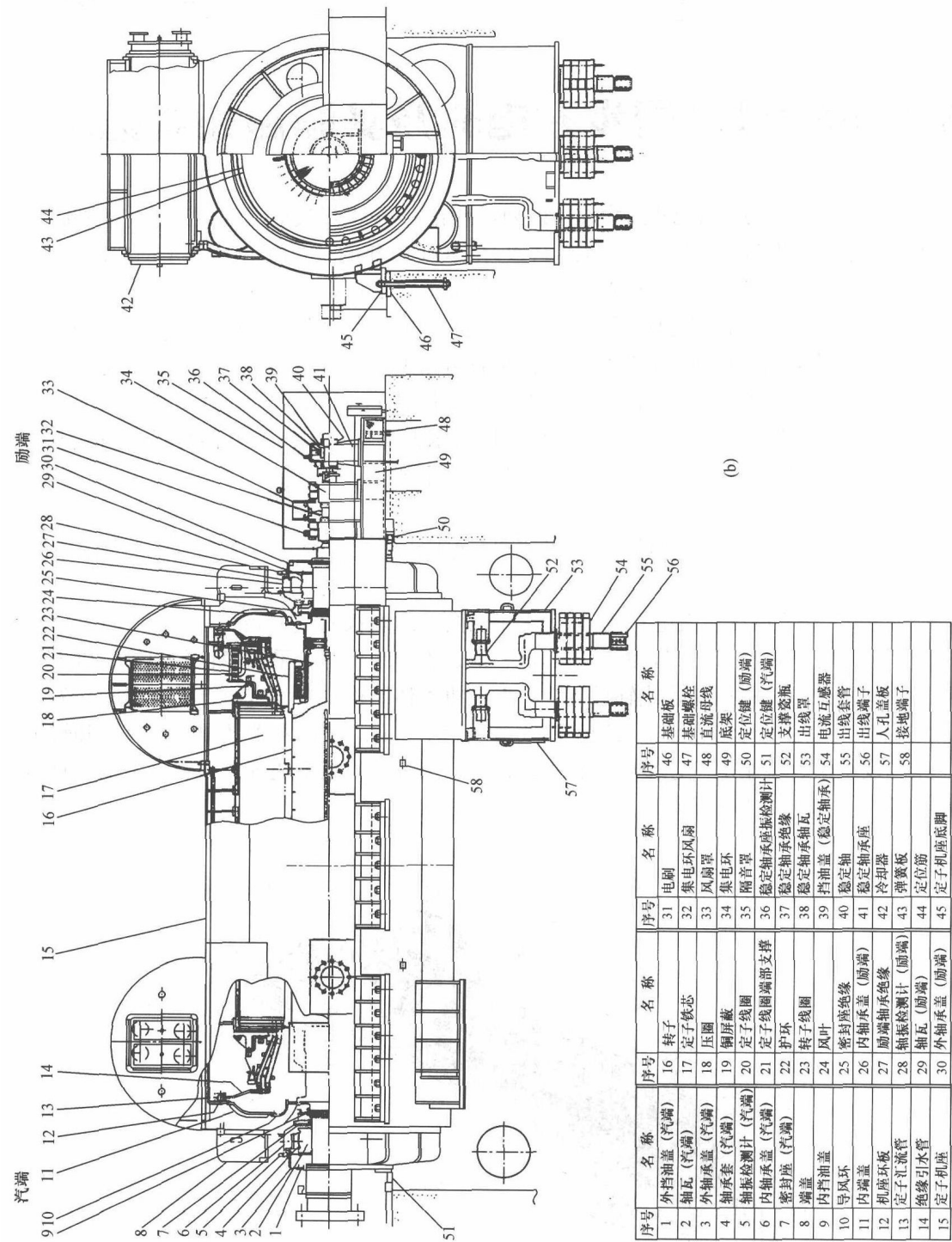


图 1-1 QFSN-1000-2-27 汽轮发电机总体结构及各部件名称 (二)

(b) 各部件名称

一、定子部分

(一) 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，其构件也是整个发电机所有部件中尺寸最大的，机座要通过端盖支撑转子的质量。氢冷发电机的机座要能承受氢气爆炸时的压力，要能满足强度和振动的要求，如图 1-2 所示。

发电机定子机座是用钢板焊成的壳体结构，具有足够的强度和刚度，其作用是支撑定子铁芯、定子绕组和旋转的励磁构件。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。机座与出线罩及冷却器包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。

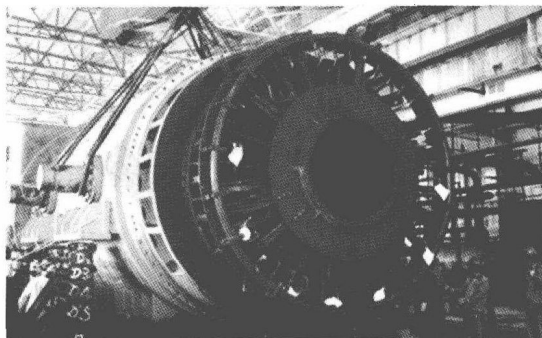


图 1-2 发电机定子机座

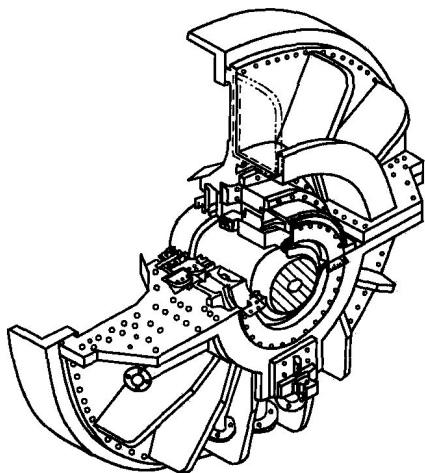


图 1-3 端盖示意图

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质量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质量以及在最大压力下存放氢气，而不会过度变形。发电机转子轴承、氢气轴封和向这些部件供油的油路均包含在外端盖中并由其支撑。因此，端盖既是发电机外壳的一部分，又是轴承座，为便于安装，沿水平方向分为上下两半。端盖与机座的配合面及水平合缝面上开有密封槽，以便槽内充密封胶，密封机内氢气，如图 1-3 所示。

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。

(二) 隔振

定子铁芯与机座的连接，既要固定支撑铁芯，又能将传递给机座的倍频振动（电磁力矩引起）限制在一定范围，从而有效地将铁芯振动与定子机座隔开，因此，必须具有隔振的功能。一般隔振结构是在铁芯与机座之间装设轴向弹簧板或弹簧安装组件，如图 1-4 所示。弹簧板使定子外壳在径向上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

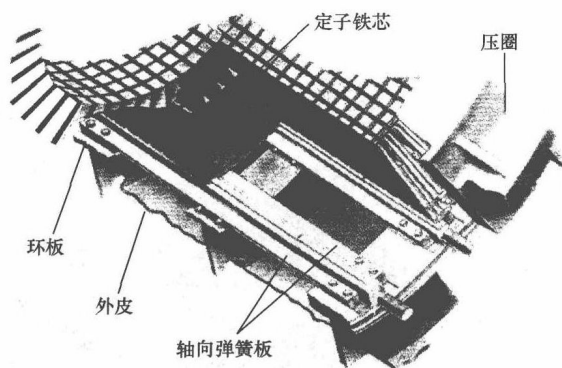


图 1-4 隔振结构

上，定位筋按顺序固定到弹簧板上。弹簧板栓接到机座上，并在其总长度上和圆周上支持铁芯组件。通过结构设计将弹簧板的弹性限制到安全数值内，在强度上能承受几十倍额定转矩的突然短路扭矩对机座及基础的影响。

（三）定子铁芯

定子铁芯是发电机主要的磁路通道，也是固定定子绕组的部件，是集机、电、磁于一体的发电机构件。它的质量和损耗在发电机的总质量和总损耗中占很大比例。

一般大型发电机的定子铁芯质量为电机总质量的 30%，铁耗为总损耗的 15% 左右，因此发电机的铁芯要求由导磁率高、损耗小的优质冷轧硅钢片叠压而成。不仅满足通风冷却的要求，还要满足一定强度和刚度的要求，而且要考虑减少绕组端部漏磁和铁芯部漏磁产生的环流而引起的铁芯损耗。

由于转子绕组端部存在大量的漏磁通，发电机运行时定子绕组在铁芯端部也产生大量漏磁通，这些漏磁通主要是垂直进入端部铁芯，从而感应出垂直于轴向的涡流，引起铁芯端部过热。发电机在欠励条件下运行时，这种原因引起的过热更为严重。

定子铁芯是用相互绝缘的扇形片叠装压紧制成的。为减少电气损耗，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。铁芯齿都是靠压圈内侧的非磁性压指来压紧的。边段铁芯涂有黏接漆，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，以减少因端部漏磁通在压圈和铁芯端部发生的附加电气损耗和由此而产生的温度升高。另外，在励磁绕组端部采用非磁性材料制成的护环，增加了漏磁通路径的磁阻，增加其去磁作用，从而减少转子端部漏磁通对定子铁芯的影响。

（四）定子绕组结构及固定

1. 定子绕组的结构

发电机的定子绕组是由许多线棒连接组成的，是主要的电路结构，包括定子线棒部分、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，端线按绕组接线型式有规律地连接起来，分别组成三相定子绕组。

定子绕组接线示意图如 1-5 所示。定子槽数 36，每极每相槽数 6，节距 1~16，双层绕组，实线为上层，虚线为下层。

定子绕组由嵌入铁芯槽内的绝缘条形线棒组成，绕组端部为篮式结构，并且由连接线连接成规定的相带组。定子绕组绝缘采用少胶 VPI 绝缘，绝缘等级为 F 级，表面有防电晕处理措施。线棒由绝缘空心股线和实心股线混合编织换位绞合而成。

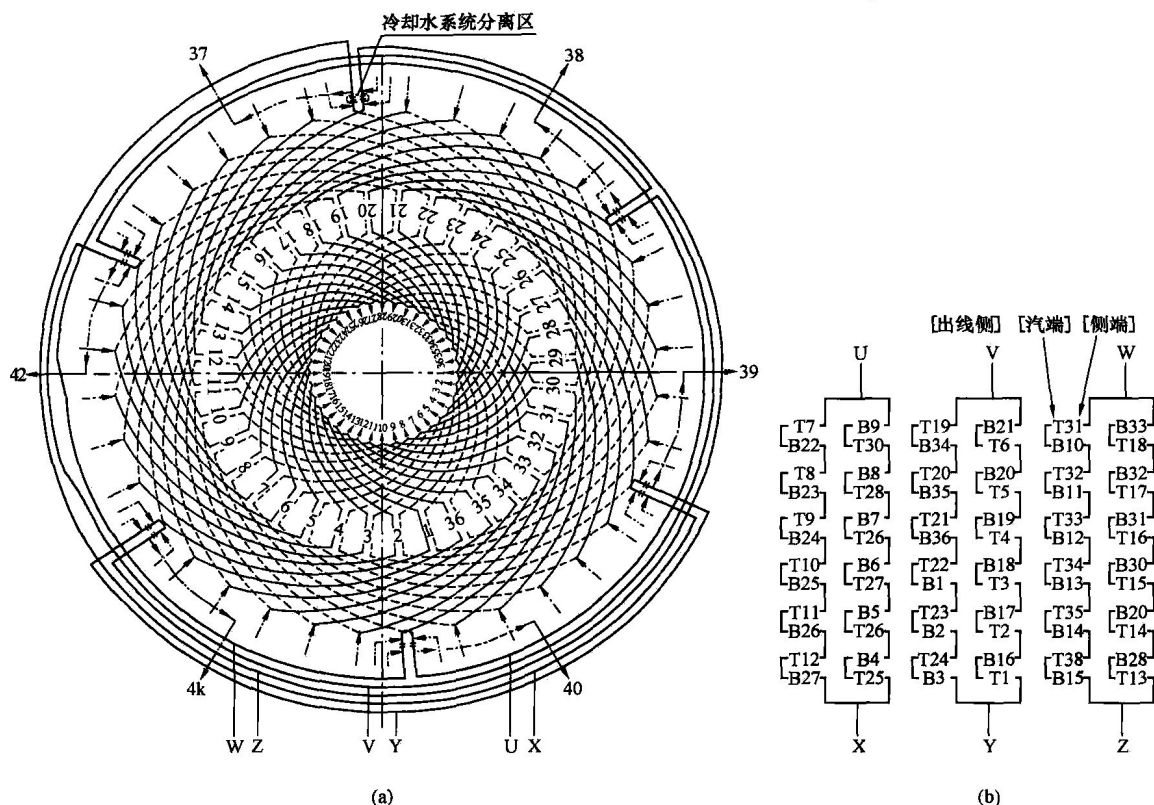


图 1-5 定子绕组接线示意图
(a) 从励端看；(b) 中性点侧

水内冷的定子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积要大于下层；上层有 4 排，每排 5 组空、实股线组成，下层为 4 排 4 组，这种设计可明显降低线棒附加损耗。另外，槽内股线间进行了 540° 罗贝尔换位处理，也起到减少绕组附加损耗的作用。这是因为，在负荷运行条件下，定子绕组会产生自感应涡流损耗，为减少这种损耗，定子线棒采用了罗贝尔换位处理。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，这样可以尽量使每根线棒的漏电抗相等，每根导体内电流均匀，以减少直线及端部的横向漏磁通在各股导体中产生的环流及附加损耗。

线棒的空、实心股线均采用中频加热钎焊在两端的接头水盒内，而钎焊在水盒上的水盒盖，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盒盖夹紧多股实心铜线，用中频加热软钎焊接而成，并逐只进行超声波焊透程度的检查，形成上下层线棒水电的连接结构。定子线棒端部的所有股线均焊接到水电接头上，通过铜带将两根线棒水电接头焊在一起形成电气连接，构成一匝绕组；而所有空心股线中的冷却水通过水电接头的水路接至靠滑环端的汇流母管，并经绝缘引水管进入绕组。

在发电机的集电环端设有一条进水母管；在汽轮机端部设有一条出水母管。冷却水流通为单向型，即从集电环端流向汽轮机端。定子线棒中的冷却水从励端的汇流管和绝缘引水

管并通过线棒端头的水接头进入线圈，冷却线圈后再经过汽端的绝缘引水管和汇流管排入外部水系统。定子环形引线的冷却水从励端的汇流管和绝缘引水管并通过线棒端头的水接头进入线圈，冷却引线后通过励端绝缘引水管和引线汇流管排入外部水系统。

定子绕组为 60° 相带，三相，双层绕组，双支并联，YY 连接。定子绕组的空心导线内通过冷却水冷却铜线，因此绕组温升很低，单定子绕组对地绝缘仍采用 F 级环氧云母带连续绝缘，确保使用寿命。在绕组的槽内直线段和出槽口、端部均进行了表面防电晕处理。

2. 定子绕组槽部固定

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。定子线圈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关门槽楔就地锁紧，防止运行中因振动而产生轴向位移。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的压缩度（有随机测量

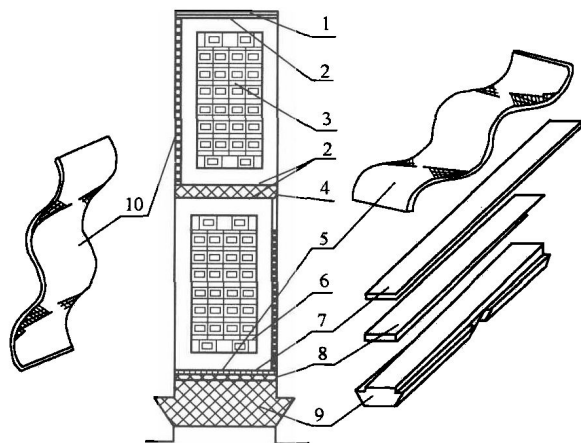


图 1-6 定子绕组在槽内固定及定子槽楔布置示意图

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

工具）以控制槽楔松紧度。在槽和相上、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。定子绕组在槽内固定及定子槽楔布置示意图如图 1-6 所示。在每个槽上、下层线棒层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。

3. 定子绕组端部固定

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，在绝缘中所产生的机械应力，所以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，定子端部绕组结构示意图如图 1-7

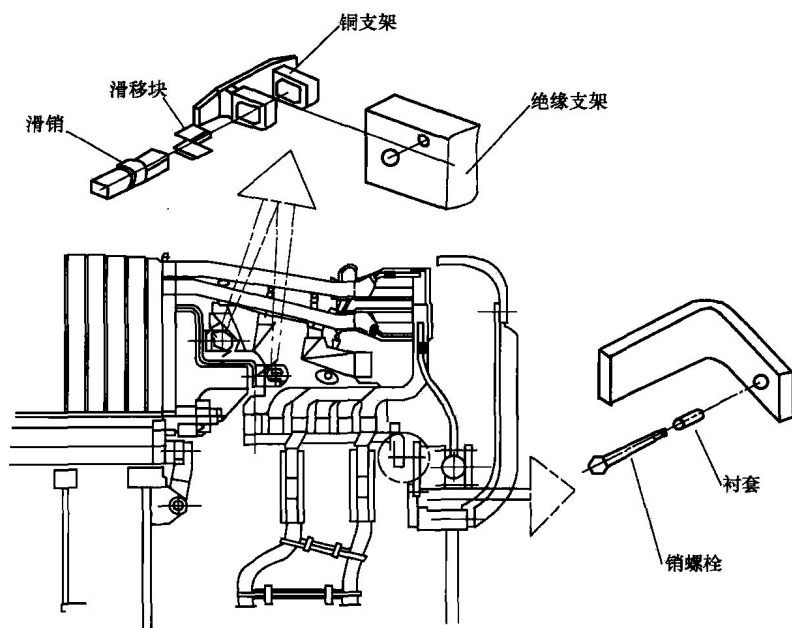


图 1-7 定子端部绕组结构示意图

所示。

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

4. 定子出线

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，出线结构和冷却风路如图 1-8 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。

（五）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。其功能是通过冷却水管内水的循环带走发电机内的氢气传递到冷却水管上的热量，使发电机内的氢气温度保持在规定范围内。每台冷却器有各自独立的水路，发电机正常运行时，四台氢气冷却器全部投入运行。一台氢气冷却器退出运行，发电机负荷限制为 80% 额定负荷。氢气冷却器置于发电机机座顶部冷却器包内。冷却器包由钢板焊接而成，单件焊完后，须承受 1.0MPa 的水压试验，所有气密焊缝须承受 0.78MPa 的气密试验，具有足够的强度与良好的气密性。

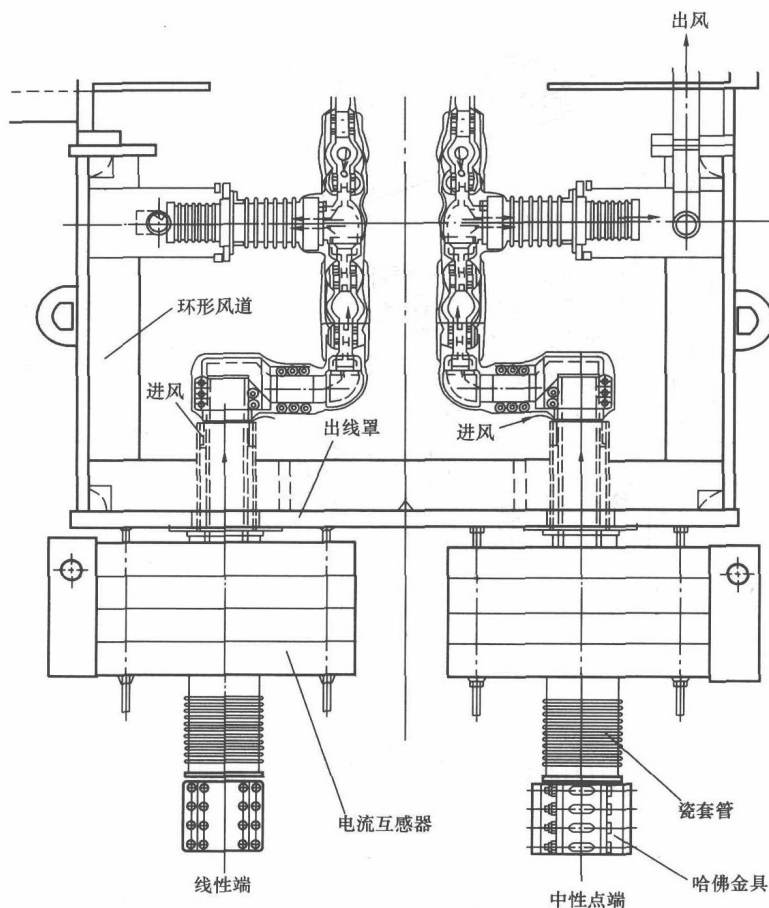


图 1-8 定子出线结构及通风示意图

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。氢气冷却器与机座之间的密封结构，既可密封氢气，又可在氢气冷却器因温度变化而胀缩时起到补偿作用，保证运行时具有良好的密封性能。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。当氢气冷却器进出水管与外部水管拆开后，氢气冷却器可以从发电机中抽出。

氢气冷却器的容量设计是按以下条件考虑的：

- (1) 5%的冷却水管堵塞时，发电机可以在额定出力下连续运行。
- (2) 一个氢气冷却器退出运行时，允许发电机带 80% 负荷连续运行。

二、转子部分

1. 转轴

发电机转轴的结构如图 1-9 所示。转轴由整锻高强度、高磁导率合金钢锻件加工而成。转轴在机加工前，需要进行多种试验，对锻件的化学成分、机械性能及磁性能进行测试并进行超声波探伤，以确保锻件在物理特性和冶金特性上满足所需规范要求。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。这些楔销单独装配，并楔入转子槽上机加工而成的燕尾槽中。

转轴具有传递功率、承受事故状态下的扭矩和高速旋转产生的巨大离心力的能力。转轴大齿上加工横向槽（即月牙槽），用于均衡大、小齿方向的刚度，以避免由于它们之间的较大差异而产生倍频振动。

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。楔块上开口处有由机加工放有翼梢。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。

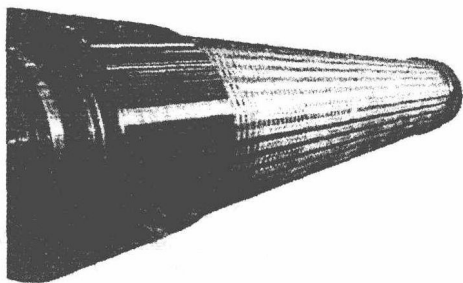


图 1-9 发电机转轴结构示意图

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，提高了发电机承担调峰负荷的能力。

转子绕组槽部采用气隙取气斜流通风的内冷方式。在转子线棒凿了两排不同方向的斜流孔至槽底，于是，沿转子本体轴向就形成了若干个平行的斜流通道。通过这些通道，冷却用氢气交替地进入和流出转子绕组进风口的风斗，迫使冷却氢气以与转子转速相匹配的速度通过斜流通道到达导体槽的底部，然后拐向另一侧同样沿斜流通道流出导体。从每个进风口鼓进的冷风分成两条斜流通道向两个方向流进导体；同样，有两条出风通道汇流在一起从出风口流出进入气隙。因此，每个通道从平行线棒纵向切面看成“V”形，而垂直线棒横断面投视图为“U”形。如图 1-10 所示为转子绕组气隙取气斜流通风示意图。运行中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。对于转子两端绕组，斜流气隙取气系统所冷却不到的部分，冷却气体由风扇压迫进入护环下的轴向风道（第 7 个进风区），然后从本体端部由径向风道进入气隙。

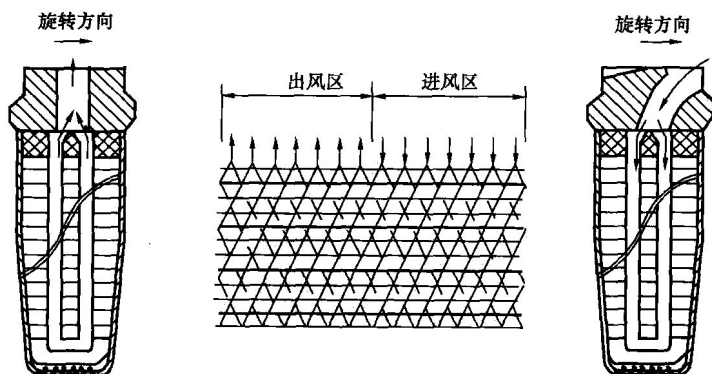


图 1-10 转子绕组本体气隙取气斜流通风示意图

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

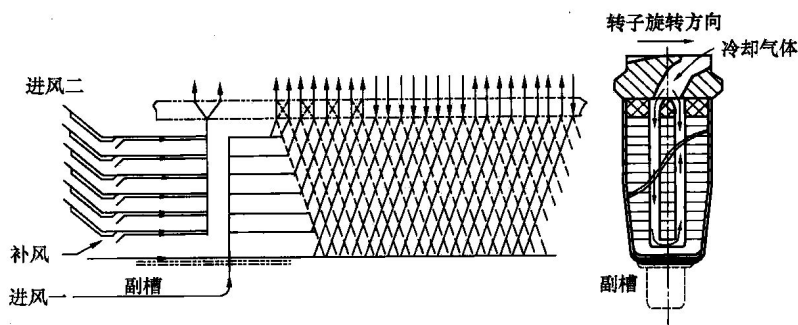


图 1-11 转子绕组端部两路半通风示意图

路半”的风路结构，如图 1-11 所示。

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以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出力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电导率铜合金制成，导电螺钉与转轴之间有密封结构以防漏氢，如图 1-12 所示。

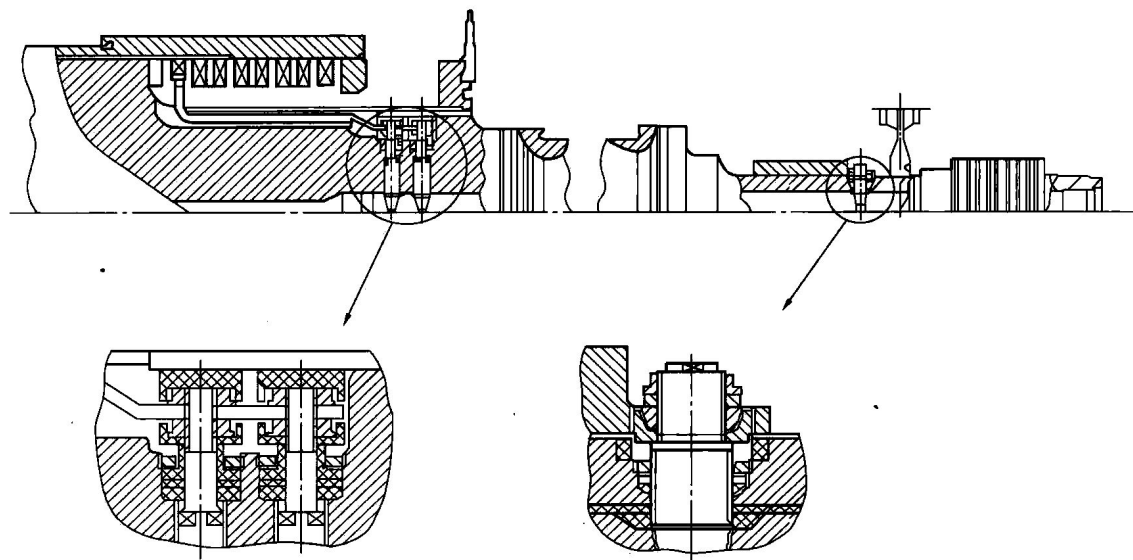


图 1-12 转子引线及集电环结构示意图

集电环用耐磨合金钢制成，是一对带沟槽的钢环。在集电环与转轴之间设有绝缘套筒，经绝缘后，集电环与转轴用热套装配。

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，