

第十八篇 火 力 发 电

主编 傅岑晖

执笔 邱明山 曲高君

黄耀祖 杨振华

目 录

第84章 火电厂主要电气设备

- 84.1 概述..... 18-3
- 84.2 发电厂主变压器..... 18-22
- 84.3 机端电压设备..... 18-23
- 84.4 厂用电设备..... 18-27
- 84.5 其它电气设备..... 18-31

第85章 火电站自动化

- 85.1 火电站自动化系统概述... 18-33
- 85.2 几种主要的电站自动化设备..... 18-35
- 85.3 单元机组的控制项目..... 18-52
- 85.4 主要控制系统和仪表引进及国产化情况..... 18-54
- 85.5 热工检测..... 18-55
- 85.6 报警..... 18-60
- 85.7 仪表及设备选择..... 18-64
- 85.8 保护及联锁..... 18-68
- 85.9 辅助车间的主要设备..... 18-73
- 85.10 电及热工控制盘、台..... 18-78

第86章 锅炉设备

- 86.1 燃料..... 18-80
- 86.2 锅炉选型..... 18-87
- 86.3 锅炉受压元件热破损计算因素..... 18-91
- 86.4 燃烧装置..... 18-92
- 86.5 通风装置..... 18-99
- 86.6 除尘装置..... 18-102
- 86.7 除灰(渣)系统..... 18-106
- 86.8 锅炉补给水的处理..... 18-108

第87章 汽轮机

- 87.1 汽轮机类型..... 18-111
- 87.2 主蒸汽和再热蒸汽系统... 18-120
- 87.3 再热机组旁路系统..... 18-121
- 87.4 给水回热系统..... 18-122
- 87.5 凝汽冷却系统..... 18-128
- 87.6 水处理系统..... 18-132
- 87.7 管道系统..... 18-134

参考文献

第十八篇 火 力 发 电

主编 傅岑晖

执笔 邱明山 曲高君

黄耀祖 杨振华

目 录

第84章 火电厂主要电气设备

- 84.1 概述..... 18-3
- 84.2 发电厂主变压器..... 18-22
- 84.3 机端电压设备..... 18-23
- 84.4 厂用电设备..... 18-27
- 84.5 其它电气设备..... 18-31

第85章 火电站自动化

- 85.1 火电站自动化系统概述... 18-33
- 85.2 几种主要的电站自动化设备..... 18-35
- 85.3 单元机组的控制项目..... 18-52
- 85.4 主要控制系统和仪表引进及国产化情况..... 18-54
- 85.5 热工检测..... 18-55
- 85.6 报警..... 18-60
- 85.7 仪表及设备选择..... 18-64
- 85.8 保护及联锁..... 18-68
- 85.9 辅助车间的主要设备..... 18-73
- 85.10 电及热工控制盘、台..... 18-78

第86章 锅炉设备

- 86.1 燃料..... 18-80
- 86.2 锅炉选型..... 18-87
- 86.3 锅炉受压元件热破损计算因素..... 18-91
- 86.4 燃烧装置..... 18-92
- 86.5 通风装置..... 18-99
- 86.6 除尘装置..... 18-102
- 86.7 除灰(渣)系统..... 18-106
- 86.8 锅炉补给水的处理..... 18-108

第87章 汽轮机

- 87.1 汽轮机类型..... 18-111
- 87.2 主蒸汽和再热蒸汽系统... 18-120
- 87.3 再热机组旁路系统..... 18-121
- 87.4 给水回热系统..... 18-122
- 87.5 凝汽冷却系统..... 18-128
- 87.6 水处理系统..... 18-132
- 87.7 管道系统..... 18-134

参考文献

第84章 火电厂主要电气设备

84.1 概 述

系。见表84-1所列。

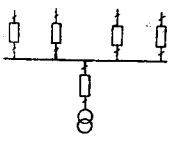
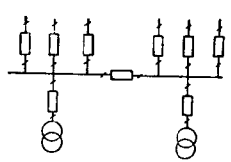
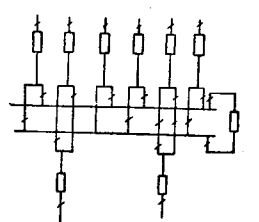
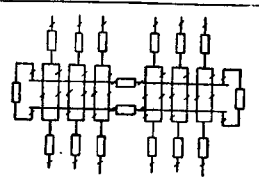
火力发电是重要的二次能源,就世界范围而论,各国火电所占比例约为75%~80%,中国约为75%。随着电网容量的增大,要求不断提高汽轮发电机的单机容量,单机容量的提高有如下社会效益:机组效率提高,运行费用降低;材料消耗减少,机组造价及电站安装费用降低。但是,单机容量的提高受转子锻件的机械性能、制造能力及运输条件的限制,并且单机容量过大,不仅事故停机影响大,机组检修也有困难。因此,系统中一台大机组的经济容量和系统总装机容量间有一定比例关系。

表 84-1 大机组经济容量和系统容量的比例

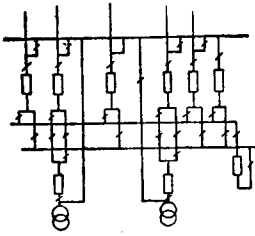
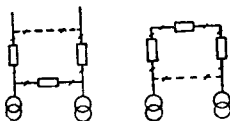
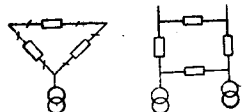
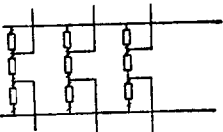
系统容量(100MW)	<100	100~1000	≥1000
机组经济容量 系统容量 (%)	6~10	5~8	3~6 ^①

① 单机的经济容量应综合考虑电站建站投资、机组的安全性和可靠性、燃料运输、发电成本,尤其是可提供的机组极限容量。当前国内主网(如东北、华北、华东)系统容量超过2500万千瓦,而机组的经济容量则为300~600MW。

表 84-2 电厂母线主结线方式和适用范围

母线结线方式	结 线 简 图	适 用 范 围
单母线结线		适用一台机组,6~10kV出线回路数不超过5回;35~63kV出线不超过3回;110~220kV出线不超过2回。特点:结线简单,设备少,操作方便
单母线分段结线		6~10kV出线回路数6回以上;35~63kV出线回路数4~8回;110~220kV出线回路数3~4回。特点:供电可靠性提高,一段母线故障不致全停电
双母线结线		适用出线回路数或母线上电源多、输送功率大、母线故障或检修不影响对用户供电,对运行调度灵活性有一定要求时采用。一般是: ①6~10kV配电,当短路电流较大出线需要带电抗器时 ②35~63kV配电,出线超过8回,或连接的电源较多、负荷较大时 ③110~220kV配电,出线为5回及以上,或当110~220kV配电,在系统中居重要地位,出线为4回及以上
双母线分段		适用220kV进出线回路数甚多的场合。一般是10回及以上,或为了限制220kV母线短路电流或对系统解列运行有要求时

(续)

母线结线方式	结线简图	适用范围
双母线带旁路 母线结线		适用于110~220kV输送功率大、送电距离远、在进出线断路器检修时,不中断对用户供电的场合采用
变压器线路单元 结线		适用于一台变压器和一回线路结线。特点是接线简单,设备最少,不需高压配电装置
桥形结线		适用于小容量发电厂结线。特点是高压断路器数量较少
角形结线		适用于最终进出线为3~5回的电厂。特点是没有汇流母线,平均每回路一台断路器,闭环运行时可靠性、灵活性高,占地面积小
一台半断路器 结线		适用于大型电厂超高压配电(330~500kV)的主结线,特点是可靠性高,运行调度灵活,操作检修方便,但造价很高

目前,国内机组单机容量已从60年代的100MW提高到600MW,国外已超过1000MW。

84.1.1 汽轮发电机在电力系统中的位置

汽轮发电机将汽轮机的机械能转换成电能,通过断路器隔离开关,经主变压器和电网连接。汽轮发电机与主变压器的连接方式:对于大容量机组多采用单元结线、扩大单元结线和联合单元结线,如图84-1所示。图a适用于大容量机组,设有分相封闭母线,可避免发电机母线上相间短路和减少母线电流对附近钢结构的感应作用。图b、c和d适用于单机容量较小、所连结系统电压较高的机组。对于小容量机组多设有发电机电压母线,常用的母线结线

方式有单母线、单母线分段、双母线及双母线分段等方式,发电机通过断路器、隔离开关接到发电机电压母线,然后经主变压器和电网联结。为了限制短路电流,可在母线分段回路中或直线上安装电抗器。图84-2示出某热电厂电气主结线图。

84.1.2 火电厂与系统的联结方式

高压配电的结线方式,取决于升压站的电压等级、出线回路数、负荷情况、电厂在系统中的地位及火电厂规划容量。可参考表84-2进行选择。

84.1.3 汽轮发电机的容量等级与分类

按国际电工委员会推荐,大容量汽轮发电机容量增长优先系数 R 应选用 $R_{10} = \sqrt[10]{10} = 1.25$,这样,可使汽轮发电机容量等级标准化。由于世界各国工

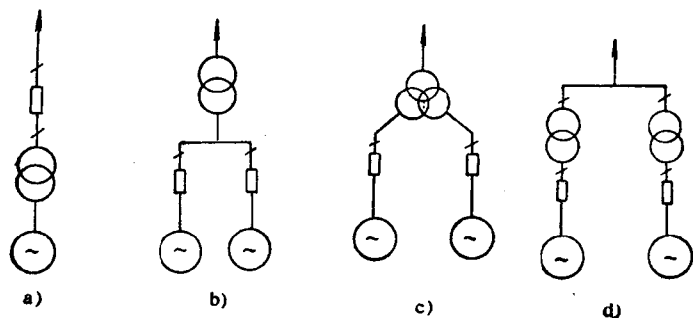


图 84-1 发电机与主变压器的联结方式

a) 单元接线 b) 扩大单元接线
c) 扩大单元接线 d) 联合单元接线

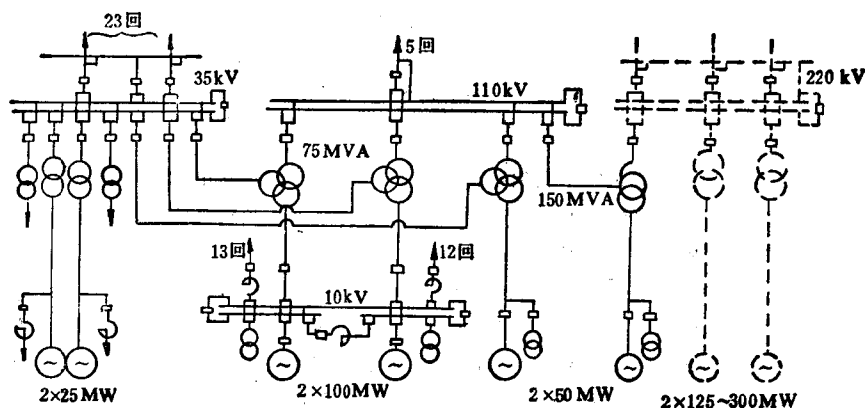


图 84-2 JS热电厂电气主结线图

业发展的历史背景不同，一般都有自己的汽轮发电机容量系列。我国生产的汽轮发电机容量有1, 3, 6, 12, 25, 50, 100, 125, 200, 300和600MW共11级。

为了提高单机容量，降低制造成本，电机制造业广泛采用氢冷和水冷技术。按冷却方式的不同，汽轮发电机可分类如下：空冷型汽轮发电机、氢外冷型汽轮发电机、转子绕组氢内冷型汽轮发电机、全氢内冷型汽轮发电机、水氢氢型汽轮发电机，以及双水内冷型汽轮发电机，后者又可分为定子铁心空冷的水氢空型汽轮发电机及定子铁心氢冷的水氢氢型汽轮发电机。

84.1.4 空冷型汽轮发电机

(1) 基本结构 图84-3为25MW空冷型汽轮

发电机结构总图。其定转子绕组和定子铁心均用空气表面冷却。

定子铁心 由0.35或0.5mm的硅钢片涂绝缘漆后叠压组成。整个铁心沿轴向分成很多叠片段，每段30~60mm，段间设8~10mm的径向通风沟。为改善端部磁场分布，铁心两端设有若干阶梯式叠片段。铁心的压紧和固定采用压圈、压指和定位筋，片间压力 $15\sim 20\text{kgf/cm}^2$ ($1.47\times 10^5\sim 1.96\times 10^5\text{Pa}$)。

定子绕组 通常采用篮式双层短距叠绕组，每个线圈由两根条形线棒组成，线棒均由多根股线经换位、压酚醛、包扎主绝缘后液压或模压成形。

机座 采用钢板焊接结构，由外壳、端板、隔板组焊形成风室，整个机座具有足够的刚度和强

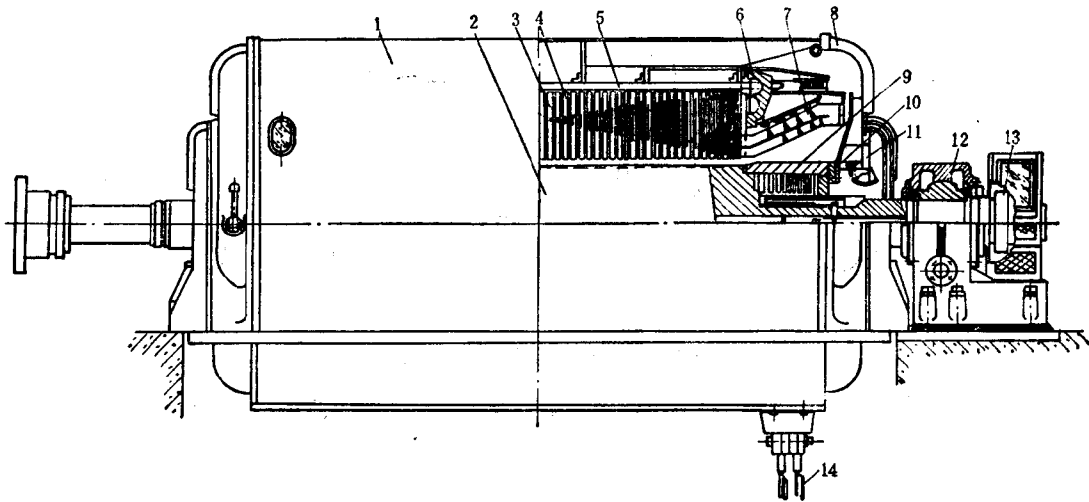


图 84-3 25MW空冷型汽轮发电机的基本结构

1—定子 2—转子 3—定子铁心 4—定子铁心的径向通风沟 5—定位筋
6—定子压圈 7—定子绕组 8—端盖 9—转子护环 10—中心环 11—离心式风扇 12—轴承
13—集电环 14—定子的电流引出线

度，使其在加工、运输、起吊和运行中受到各种力或力矩的作用时，不致产生有害的变形。当定子铁心与机座为弹性联结时，应使机座的固有频率与 $2f$ 之差避开 $2f$ 的 $\pm 20\%$ 范围。当定子铁心与机座为刚性联结时，作为整体计算的定子固有振动频率与 $2f$ 之差应避开 $2f$ 的 $\pm 20\%$ 范围。对采用端盖轴承的机组，其机座或定子的固有振动频率和转子的机械旋转频率相差应避开旋转频率的 $\pm 20\%$ 范围。

端盖 对空冷型汽轮发电机，多采用具有足够强度的硅铝合金铸件，对小容量机组也有采用环氧玻璃布模压的。

转轴 一般为整体式合金锻件，个别老式小容量机组有采用组合式的。轴本体部分作为磁极，由铣床加工出嵌放励磁绕组的线槽。

励磁绕组 由裸铜线连续绕制，匝间加垫绝缘的若干个线圈组成。线圈间在端部进行连接，构成同心式绕组。

护环和中心环 护环套在转子绕组端部，是发电机转子承受应力最大的部件，除小容量发电机有采用磁性护环的以外，一般均采用高强度无磁性钢锻件。中心环是用来阻止转子绕组端部轴向位移，同时作护环外端支撑的部件。对小容量空冷发电机，一般采用刚性固定的护环——中心环结构；中大容量机组采用悬挂式护环——中心环结构。

转子槽楔 用以固定转子线圈，承受线圈的离心力，一般采用机械性能较高的无磁性材料——硬铝LY-12CZ制成。

风扇 一般的25MW及以下小容量机组均采用压头高、流量小的离心式风扇；50MW及以上的则采用压头低、流量大、效率高的桨式风扇。

集电环 它是励磁电流的导入部件，表面线速高，导入电流大，为降低表面温度，在集电环上开沟钻孔，有的还加装风扇强制冷却装置。集电环材料以选用耐磨的50Mn钢为宜，对小容量电机也可用45号钢。

电刷 励磁电流通过固定的电刷导入集电环，为转子提供励磁。汽轮发电机常用的电刷性能见表84-3。

气体冷却器 用以冷却在电机中吸热后的气体冷却介质，以便循环使用。汽轮发电机中的冷却器通常采用绕簧式或翅片式结构，具体计算参见文献[1]。

轴承 空冷型汽轮发电机采用座式轴承，轴瓦有圆柱式和椭圆式两种。

(2) 使用条件 适用于海拔不超过1000m的地区。当海拔超过1000m，但不超过4000m，而且随着海拔的升高，电机温升的增加若能同环境温度的降低相补偿时，即满足式84-1时，则发电机可按额

表 84-3 汽轮发电机常用电刷性能

电刷牌号	材 料	电阻系数 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	硬 度		一对电刷 接触电压降 (V)	摩擦系数 不大于	额定电流 密 度 (A/cm^2)	最大圆周 速 度 (m/s)	使用时允许的 单位压力 (gf/cm^2) ^①
			HS	HR ^② (kgf/mm^2)					
D104	电化石墨	11		6	2.5	0.20	12	40	150~200
D172	电化石墨	13	25		2.9	0.25	12	70	150~200
S-6	石墨	20		3.9	2.6	0.28	12	70	220~240

① 当以kPa为单位时, 本栏数值应除以10; ② 当以kPa为单位时, 本栏数字应乘以 9.8×10^3

② $1\text{kgf}=1000\text{gf}=9.81\text{N}$

定功率运行。

$$\frac{H-1000}{100} \times \Delta\theta \leq (40-t) \quad (84-1)$$

式中 H ——使用地点海拔高度 (m);

$\Delta\theta$ ——海拔每增高100m, 电机温升的递增值

取 $\Delta\theta=0.5^\circ\text{C}/100\text{m}$;

t ——使用地区实际冷却空气的最高温度
($^\circ\text{C}$)。

如果上式不能满足, 则应按电机的允许极限温度, 每超过 1°C 降低额定功率1%使用, 或与制造厂协商确定。

海拔升高使起始电晕电压下降, 每增加100m递减1%, 对于额定电压为3~6kV的发电机, 在2000m以下地区, 不必采取防晕措施, 在2000m以上地区可由制造厂考虑喷涂半导体绝缘漆; 对于10kV以上的大型电机, 可考虑在绕组的出槽口部分, 包不同长度的金属屏蔽箱套以及加强真空浸渍处理等。

84.1.5 氢外冷型汽轮发电机

(1) 结构特点 由于定转子绕组及定子铁心均采用氢外冷, 因此其机座、端盖均需采用厚钢板焊接成防爆结构, 轴承多采用端盖式结构, 在端盖上轴柄伸出处采用油密封装置, 以防止氢气泄漏。气体冷却器装于机座内部, 与机座结合面处用橡胶密封。为维持机壳内氢气纯度, 保证电机正常运行, 必须设置一套供氢装置。

(2) 氢油控制系统 油密封供油系统见图84-4和氢气控制系统(图84-5)是氢冷汽轮发电机的重要辅机系统。

(3) 氢油系统运行 正常运行时, 氢气纯度最好保持在95%~98%。通常只有氢气供应不足时, 方允许发电机在机内氢气纯度为90%~95%的状态

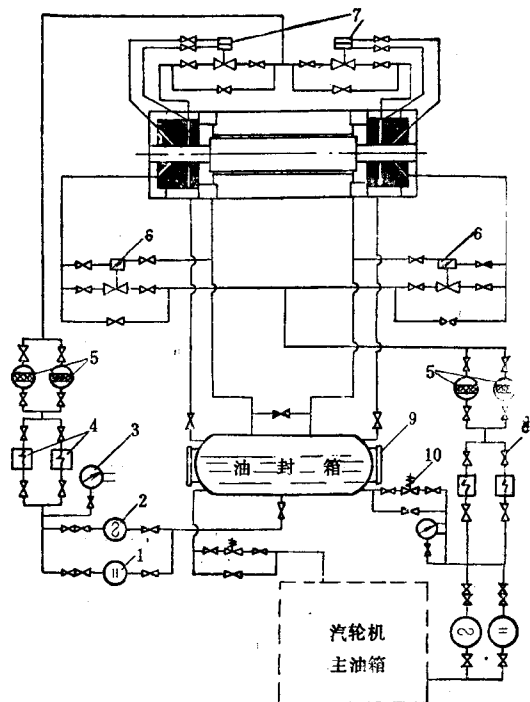


图 84-4 油密封供油系统简图

- 1—直流油泵 2—交流油泵
3—电接点压力表 4—冷却器
5—过滤器 6—压差阀 7—平衡阀
8—阀门 9—油位信号器 10—电磁阀

下运行。纯度低于92%时应发出报警, 纯度降至90%以下时, 若在短时间内不能改善, 则应停机。为此机组应装设气体纯度监测装置。发电机的充氢与排氢都必须用惰性气体氮或二氧化碳置换, 惰性气体纯度至少达到90%。在24小时内漏气量超过正常运行值的1.5倍时, 应立即采取措施减少漏气。如无可

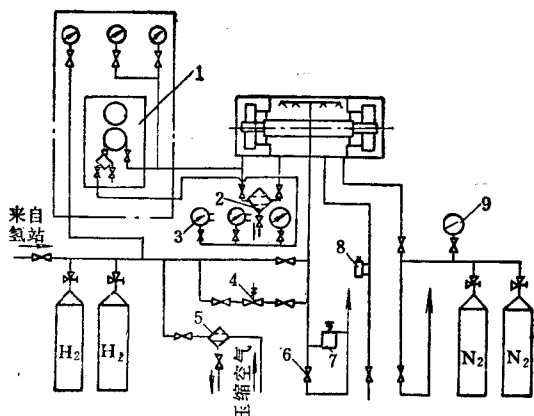


图 84-5 氢气控制系统简图

- 1—氢分析器 2—氢干燥器
3—电接点压力表 4—电磁阀
5—空气过滤器 6—阀门 7—安全阀
8—油位信号器 9—压力表

能，则应立即停机。为了安全运行，采用双流环式密封的低氢泄漏量的密封油系统还设有直流备用油泵，如工作油泵事故停电、直流备用油泵自动投入等。在额定氢压下的氢气含水量控制在 $8 \sim 10 \text{ g/m}^3$ 范围内，在最新的300mW和600mW机组装设有热风再生式氢干燥器。

(4) 使用条件 适用于海拔不超过1000m的地区运行。对于海拔超出1000m，如电机能维持其设计绝对氢压，则允许电机以额定功率运行。

84.1.6 氢内冷型汽轮发电机

(1) 结构特点 由于转子采用了氢气内冷，冷却介质能够直接和导体接触，故冷却效率较高。氢气压力一般为 2 kgf/cm^2 表压（相当于 $1.96 \times 10^5 \text{ Pa}$ ），其余特点与氢外冷型的相同。

(2) 氢、油控制系统 同氢气外冷型。

(3) 使用条件 同氢气外冷型。

84.1.7 水氢氢型汽轮发电机

(1) 典型结构 水比氢气有更好的冷却效果，用水直接冷却汽轮发电机定子绕组可以提高定子线负荷和绕组的电流密度，从而缩小电机尺寸、降低材料消耗和减轻电机重量。由于定子绕组采用水冷时导体温度较低（低于 85°C ），故可降低绕组的欧姆损耗，提高电机效率。图84-6为水氢氢型600MW汽轮发电机。

水氢氢型汽轮发电机的定子绕组采用水内冷，

转子绕组为氢内冷，定子铁心为氢外冷。本机不但有氢油控制系统，见图84-7和图84-8，还设有定子水系统。水内冷机组一旦发生漏水或漏油将发生严重事故，新机组已在发电机底部装设液体检漏计。

(2) 定子外部水系统 一般采用密闭循环，见图84-9。系统中的离心水泵、冷却器、过滤器、水箱、管道等均用防锈材料或采用适当防腐措施后的材料构成。水箱内充以压力氢气以减少铜导体氧化，水箱内氢压力为 $0.014 \text{ MPa} \sim 0.035 \text{ MPa}$ ，氢压上升至 0.035 MPa ，安全阀将开启排氢，系统进水温度不超过 85°C ，出水温度不超过 40°C ，系统中所设的离子交换器是为了保证水系统中循环水的低电导率。通过离子交换器处理过的水的电导率的正常范围为 $0.1 \sim 0.4 \mu\text{S/cm}$ (25°C)，在水电导率上升至 $1.5 \mu\text{S/cm}$ (25°C) 时，就应及时更换离子交换树脂。为了发电机的安全运行，水系统设有断水保护。

(3) 使用条件 同氢外冷汽轮发电机。

84.1.8 双水内冷汽轮发电机

(1) 典型结构 为了制造更大容量的汽轮发电机，除定子绕组采用水内冷外，同时还采用了转子绕组水内冷，这种电机的单机容量目前可做到近1500MW。对中等容量发电机，采用定转子绕组水内冷、铁心空冷，可避免由于采用氢冷而带来的在结构和运行方面的复杂性。典型结构见图84-10。

(2) 结构特点 定子绕组水冷通常采用由一根空心导线和2~4根实心导线组成的若干组通路，分两排并列。对大容量发电机则采用四排并列导线的线棒，对小容量电机通常采用一个线圈一条水路——进出水在同一端；对大容量发电机通常采用一个线圈边一条水路——进出水各在一端。

定子线圈的水接头有两种结构，见图84-11，a为空心导线单独抽出的定子线圈水接头，b为直接套在线棒端头上的定子线圈水接头。

定子线圈水接头与处于地电位的定子总进水管之间需用绝缘引水管连接，目前使用的绝缘引水管为聚四氟乙烯塑料管。定子绝缘引水管与线棒水接头之间的接头常用扣压式结构和卡套式结构，见图84-12。图a中有剖面部分为未压紧前的情况，无剖面部分为压紧后的外形。

转子绕组水冷是采用空心铜导线连续绕制组成线圈组，通常采用电路串联，水路并联的方式。冷却水从转子进水装置进入转轴的中心孔后，由辐

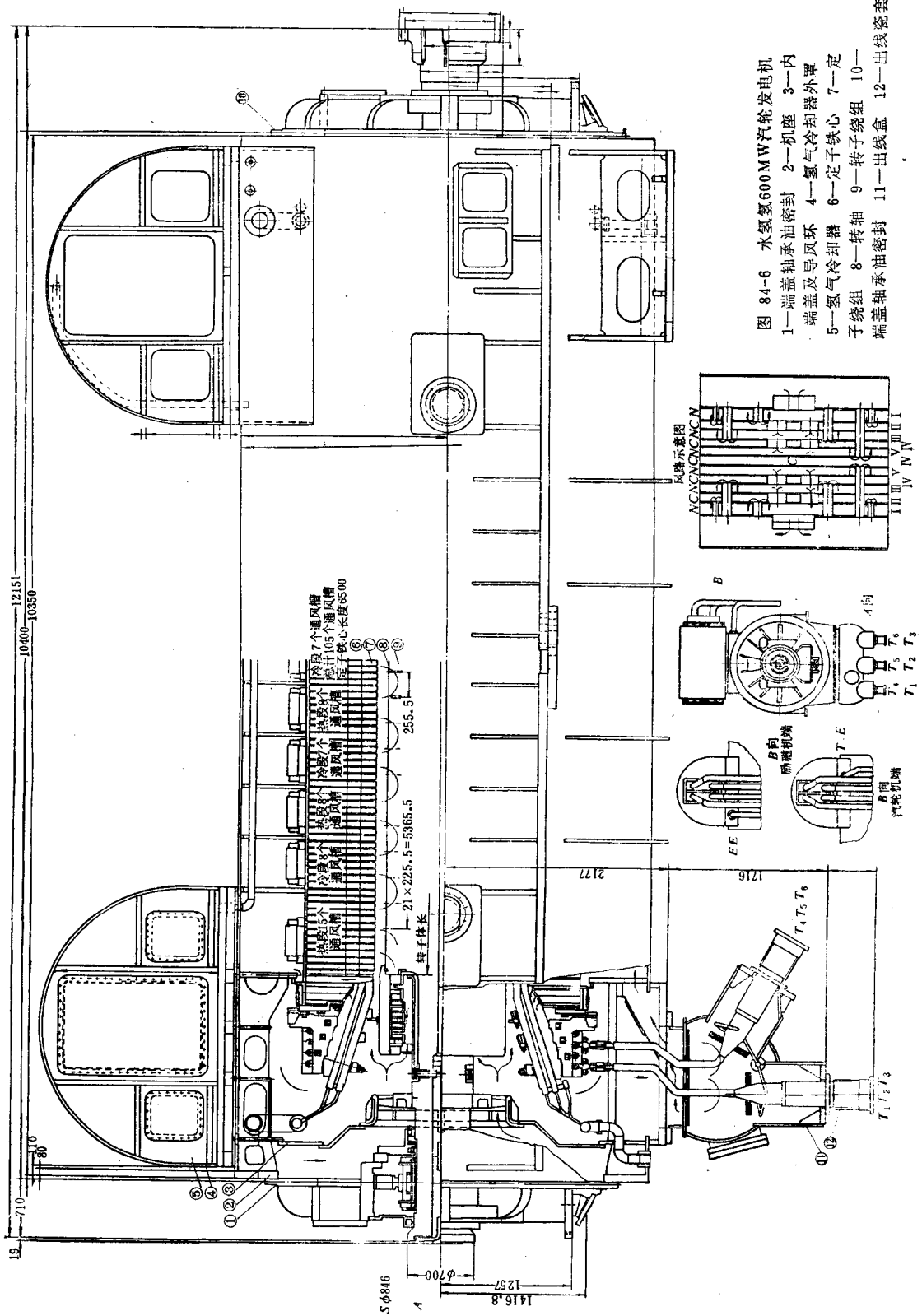


图 84-6 水氢氢 600MW 汽轮发电机

- 1—端盖轴承密封 2—机座 3—内端盖及导风环 4—氢气冷却器外罩 5—氢气冷却器 6—定子铁心 7—定子绕组 8—转轴 9—转子绕组 10—端盖轴承油密封 11—出线盒 12—出线

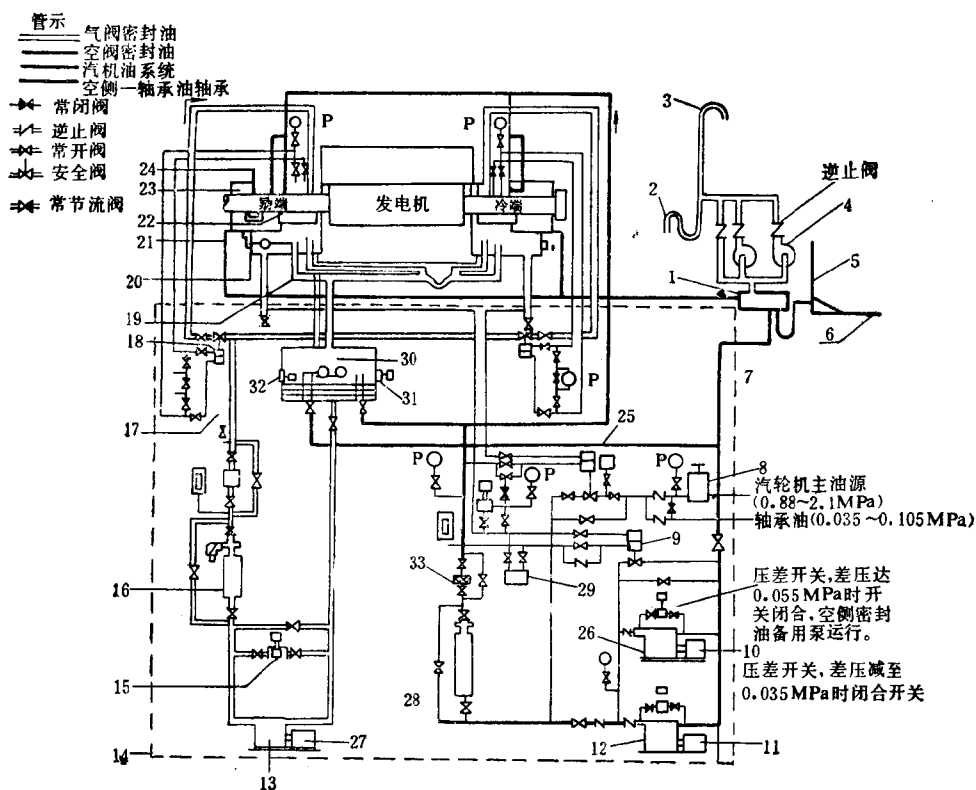


图 84-8 600MW密封油系统图

- 1—回油箱 2—排泄 3—排气 4—排烟机 5—轴承油 6—去主油箱 7—空侧进油 8—减压阀 9—压差调节阀
10—泵电机 11—泵电机 12—空侧密封油泵 13—氢侧泵 14—供密封油系统
15—压力开关 16—氢侧冷却器 17—压力表 18—压力平衡阀 19—氢侧排油
20—总排油管 21—轴承—空侧油排油 22—氢侧瓦 23—主轴承 24—主轴承供油 25—备用调节器 26—空侧备用泵 27—泵电机 28—冷却器 29—密封油压差传感器 30—氢侧回油箱 31—油位开关及报警器 32—油位计 33—空侧油过滤器

向孔流经进水箱。转子线圈绝缘引水管分配到每条水流支路，靠水的离心压力使冷却水经过绝缘引水管汇集到出水箱。转子进出水箱都处于地电位，因此，转子线圈与进出水箱之间装有绝缘引水管，目前使用的管子有两种，即丁腈胶管和聚四氟乙烯——丁腈复合胶管。绝缘引水管的接头型式有两种：装配式接头和扣压式接头，见图84-13。

转子进水装置用来将冷却水引入转子，其结构见图84-14。

转子进水箱和出水箱分别见图84-15和图84-16。

定转子绕组由水直接冷却，电机线负荷和电流密度均可提高，容量增加，体积缩小，电机附属设备简单，只有一套外部冷却水系统。由于设有氢气

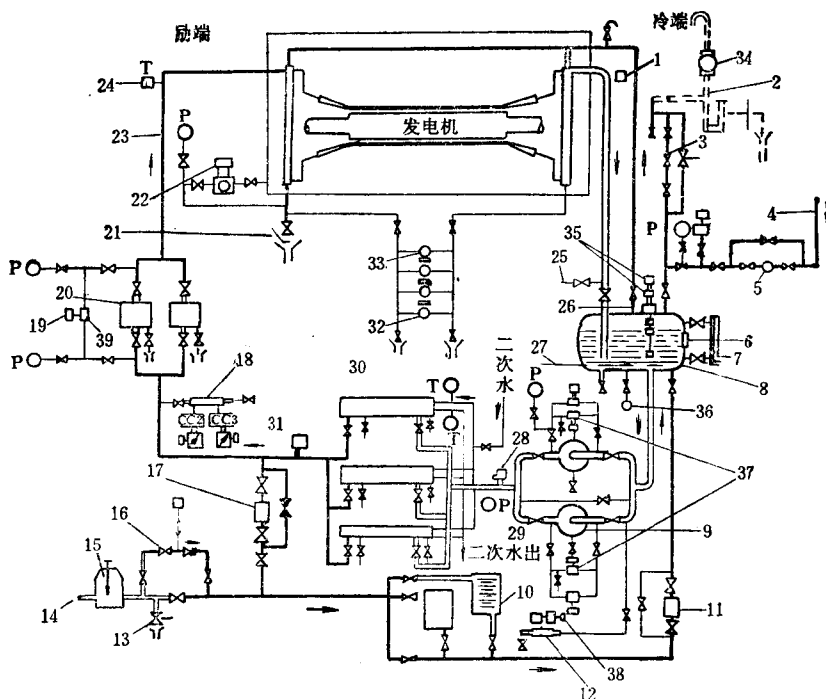


图 84-9 600MW电机定子线圈水冷却系统原理图

- 1—回水温度高报警器 2—氢气排放系统 3—水箱安全阀 4—供氢气
5—压力调节器 6—视察窗 7—液位计 8—水箱 9—水泵 10—离子交换器
11—过滤器 12—电导率计 13—压力释放阀 14—补水从锅炉供水系统
15—减压阀 16—电磁阀 17—离子交换器流量指示 18—进水电导率仪
19—过滤器压降高报警 20—过滤器 21—快开阀 22—氢水压差低报警
23—进水压力表 24—进水温度高报警 25—接烘干 26—防爆液位继电器
27—出口电导率计 28—进口温度计 29—泵压力表 30—冷却器 31—冷却器出口温度计
32—报警器 33—压差计 34—气表 35—水箱过高过低指示
36—真空压力表 37—泵压差开关 38—水处理装置电导率 39—压差开关

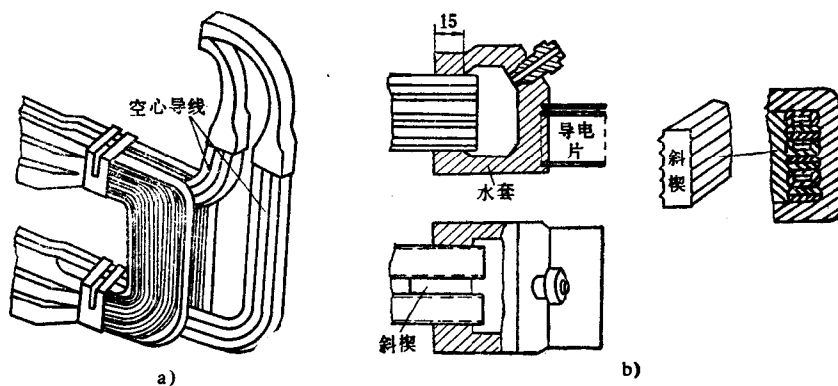


图 84-11 定子线圈水接头

a) 空心导线单独抽出 b) 直接套在线棒端头

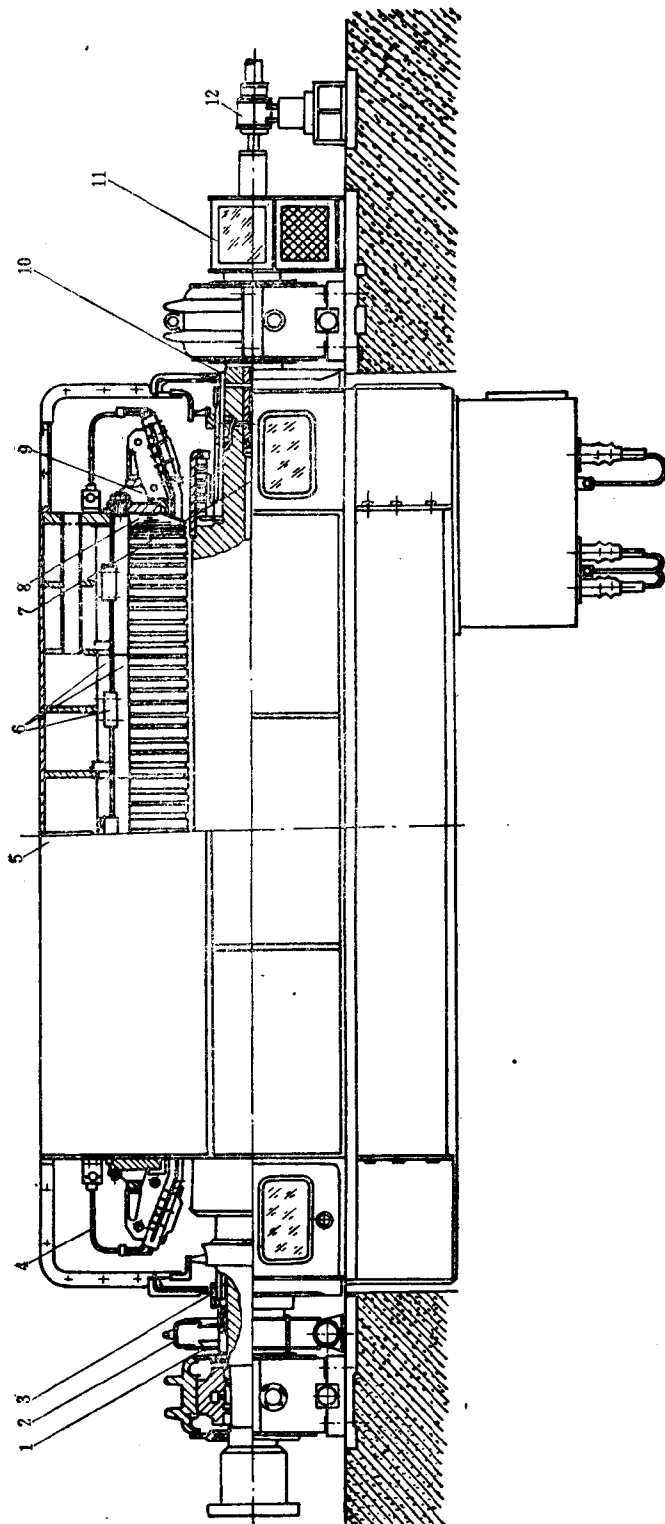


图 84-10 双水内冷汽轮发电机

- 1—转子上的出水箱 2—出水支座 3—转子绝缘引水管 4—定子绝缘引水管
5—定子 6—弹性定位筋 7—转子的引水管 8—磁分路环 9—电屏截环
10—转子上的进水箱 11—电刷罩 12—转子进水装置

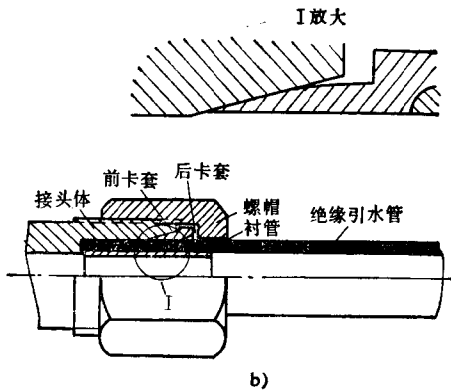
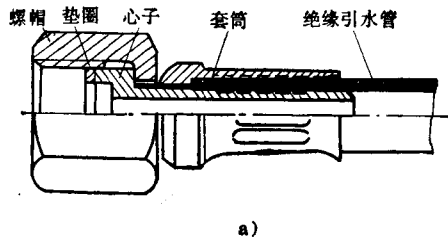


图 84-12 定子线圈绝缘引水管

a) 扣压式 b) 卡套式

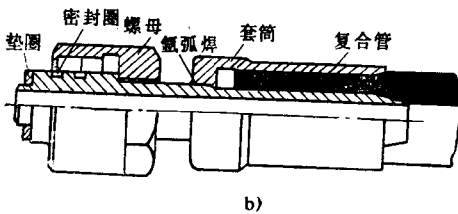
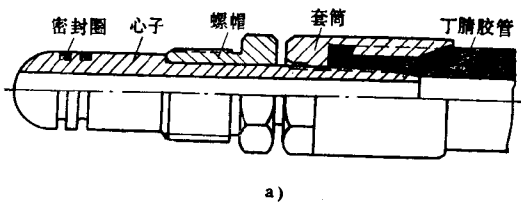


图 84-13 转子绕组绝缘引水管接头型式

a) 装配式(水箱端) b) 扣压式(线圈端)

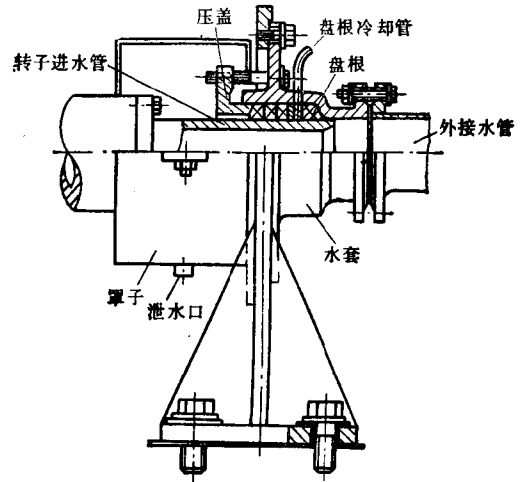


图 84-14 转子进水装置

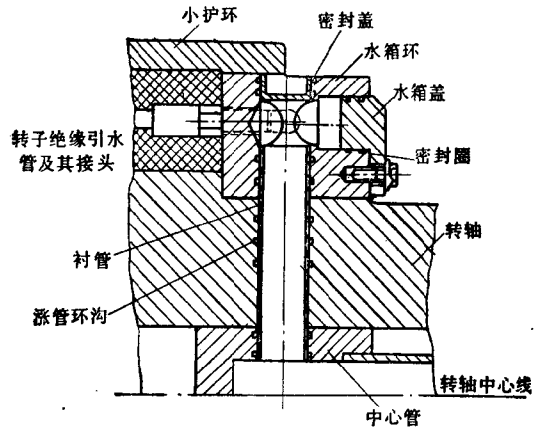


图 84-15 转子进水箱及其在轴上的装配

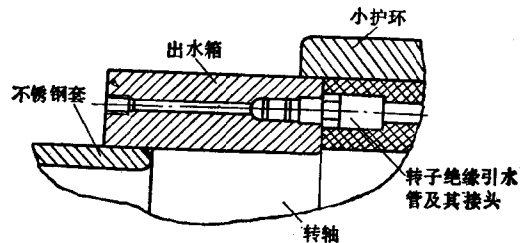


图 84-16 转子出水箱及其在轴上的装配

介质，机座无需考虑防爆，但由于转子绕组采用水冷，增加了一套结构复杂的转子绕组引水结构，转子尺寸因而增长，临界转速降低。

(3) 双水内冷电机的运行特点

1) 水内冷电机要求水质纯净, 无固体杂质导电率不大于 $5 \times 10^{-4} \text{S/m}$, 硬度小于 10epb , pH值在 $6 \sim 9$ 之间, 允许有微量氨。

2) 水内冷汽轮发电机一般不允许断水运行, 如因故瞬时断水, 则其允许时间由制造厂在说明书中具体规定。断水运行时, 应注意监视转子进水装置, 防止可能产生的干摩擦; 还应注意定子绝缘引水管由于泄漏电流而可能引起的过热。

(4) 使用条件 适用于海拔不超过 1000m 地区。对于海拔超过 1000m , 但不超过 4000m 时, 如定转子水系统能维持设计绝对水压, 则发电机的出力决定于定子铁心端部发热和电晕状况。

84.1.9 汽轮发电机运行

(1) 正常运行 出线端电压允许变动范围为额定电压的 $\pm 5\%$, 频率的允许变动范围为额定频率的 $\pm 1\%$, 大型机组为 $\pm 0.5\%$, 发电机保持额定出力; 发电机定子绕组允许短时过电流, 具体规定见表84-4。发电机功率因数允许在额定功率因数和 0.95 超前功率因数范围内调整, 保持额定出力。

表 84-4 定子过电流允许值

时间 (s)	10	30	60	120
电枢电流 (%)	226	154	130	116

(2) 不对称运行 定子电流不对称时, 电流的负序分量将产生负序旋转磁场, 它在转子表面感应产生较大的与转子旋转方向相反的倍频电流。为了防止转子金属部件的过热, 以及倍频电流经转子各部件配合面引起的局部高温、绝缘老化等, 对稳定不对称负载运行时定子电流负序分量 I_2 (标么值)及瞬态不对称故障时的 I_2'' 应予一定限制。

内冷型汽轮发电机的电磁负荷较高, 热容量较小, 允许承受负序电流能力明显减少, 故多配有阻尼绕组以削弱负序磁场的作用, 以减少转子表面损耗, 提高承受负序电流的能力。

稳态不对称运行的能力, 通常用以额定电流为基准的负序电流的标么值 I_2 表示; 瞬态不对称运行能力是指在 120s 内的负序电流容许值, 它与转子各部件的允许温度密切相关, 常用 I_2'' 表示。转子表面各结构件的允许最高温度见表84-5, 隐极汽轮发电机负序电流允许值见表84-6。

(3) 失磁和异步运行 发电机因故失去励磁

表 84-5 转子表面各部位最高温度限值

材 料	部 位	允许最高温度($^{\circ}\text{C}$)	
		长期值	瞬时值
转子钢	转子大小齿	130	450
护环钢	护环	130	420
硬铝	槽楔	115	200
铝青铜	槽楔	130	—
紫铜	阻尼条	130	200
	阻尼端环	130	300

表 84-6 隐极同步电机负序电流容许值(GB—755—81)

电机冷却方式	I_2 (标么值)	$I_2''t$
转子间接冷却(空冷或氢冷)	0.1	在各类电机标准中规定, 一般为: 间接冷却 ≤ 30 直接冷却 ≤ 10
转子直接冷却(内冷)	125MW以下	
	大于125MW	
		在该类型电机的标准中规定

而进入超出同步转速的异步运行状态。异步运行时允许负荷和运行时间是重要技术指标。限制异步运行的因素有:

1) 定子电流不超出过负荷规定的时间和数值。见表84-4。

2) 定转子端部构件表面温度不超过表84-7所列的容许值。

3) 系统能够提供大量的滞后无功电流而不影响系统电压水平。

异步运行功率和时间: 发电机向系统输送的有功功率和汽轮机的调速特性以及发电机的异步力矩特性有关, 而异步运行的容许时间又与发电机的负荷大小有关, 应通过试验确定。一般发电机可带 $40\% \sim 50\%$ 额定出力, 运行 $10 \sim 30 \text{min}$ 。

(4) 低于额定功率因数的运行 在有功输出不变的条件下, 无功增加, 励磁电流增加。

限制因素: 转子绕组温升是重要限制因素, 一般限定转子电流不大于额定值。

(5) 高于额定功率因数的运行 有功功率不变时, 无功功率减少, 励磁电流减少。

限制因素: 定子端部金属构件和边端铁心温升是重要限制因素, 一般限定有功功率不超过允许值。