

ICS 27.100
K 52
备案号: 21274-2007

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1067 — 2007

蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机） 基本技术条件

Fundamental technical specifications for evaporative cooling
hydrogenerator (generator/ motor)

2007-07-20 发布

2007-12-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	· II
引言	· III
1 范围	· 1
2 规范性引用文件	· 1
3 术语和定义	· 1
4 使用环境条件	· 2
5 技术要求	· 2
6 冷却系统	· 5
7 蒸发冷却系统检测装置及元件	· 7
8 试验及验收	· 7
9 试运行和保证期	· 8
附录 A（规范性附录） 蒸发冷却系统运行、维护、检修	· 9
附录 B（资料性附录） 水轮发电机（发电/电动机）自循环蒸发冷却系统工作原理	· 11
附录 C（资料性附录） 技术文件和图纸	· 12
附录 D（资料性附录） 备品备件	· 14

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2005 年行业标准项目计划的通知》（发改办工业[2005] 739 号）的安排制定的。

本标准的附录 A 为规范性附录，附录 B、附录 C 和附录 D 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水轮发电机及电气设备标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准起草单位：中国科学院电工研究所、东方电机股份有限公司、哈尔滨电机厂有限责任公司、中国水利水电建设集团公司、黄河水电公司李家峡发电分公司。

本标准主要起草人：顾国彪、常振炎、陈锡芳、郑小康、刘公直、付元初、王雄斌、李守志、孙天虎、张东胜、田新东、国建鸿、李红春。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心（北京白广路二条一号，100761）。

引 言

目前国内外已投运的大中容量水轮发电机（发电/电动机）主要采用空气冷却和水内冷两种方式。鉴于我国规划中的一系列大型电站（含抽水蓄能电站）相继兴建和电机蒸发冷却技术研发工作取得的显著进展，大型水轮发电机（发电/电动机）已有可能选择空冷方式难以胜任而有别于水内冷方式的另具特色的内冷技术，即蒸发冷却技术，以确保水轮发电机（发电/电动机）高效、经济、可靠和稳定运行。

与水内冷技术相比，蒸发冷却技术的特点是：自然循环蒸发冷却技术冷却介质绝缘强度高，泄漏引发电机事故的可能性极小；免除水处理及驱动泵系统；运行操作和维护简便。它是我国独立研发并具有自主知识产权的技术。经云南大寨水电厂（ $2\times 10\text{MW}$ ，1983年）、陕西安康火石岩水电厂（ $1\times 50\text{MW}$ ，1992年）、青海李家峡水电厂（ $1\times 400\text{MW}$ ，1999年）共4台蒸发冷却水轮发电机持续多年的安全、可靠运行，证明该技术已臻成熟。

为推进蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）的产业化、专业化和标准化，适应电力行业的发展和市场需求，提升和增强我国水电设备设计制造的技术含量和国际市场的竞争力，特制定本标准。

本标准主要以国标 GB/T 7894—2001《水轮发电机基本技术条件》和电力行业标准 DL/T 730—2000《进口水轮发电机（发电/电动机）设备技术规范》为基础进行编制，重点突出自然循环蒸发冷却水轮发电机的技术特点及其蒸发冷却系统的相关内容。

本标准是设计制造蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）的基本技术条件，是用户和制造厂签订设备采购协议的技术依据，也将是今后修订国标 GB/T 7894—2001 的重要组成部分。

蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）

基本技术条件

1 范围

本标准规定了蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）的技术要求、试验验收及试运行等基本内容。

本标准适用于与水轮机（水泵/水轮机）直接连接的定子绕组采用蒸发冷却技术的三相 50Hz 凸极立式同步发电机（发电/电动机）。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 755 旋转电机 定额和性能

GB/T 507 绝缘油击穿电压测定法

GB/T 7894—2001 水轮发电机基本技术条件

GB/T 8564—2003 水轮发电机组安装技术规范

DL/T 507 水轮发电机组启动试验规程

DL/T 730—2000 进口水轮发电机（发电/电动机）设备技术规范

DL/T 751 水轮发电机运行规程

DL/T 817 立式水轮发电机检修技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

蒸发冷却技术 evaporative cooling technology

基于沸腾换热机理，绝缘冷却介质依赖特定的冷却结构对电工装备的发热体实现冷却的技术。

3.2

自然循环 self circulation

密闭系统内的冷却介质依靠下降管的液态与上升管中汽/液混合物之间的密度差实现冷却介质循环的过程，定义为自然循环，简称自循环。

3.3

自循环蒸发冷却系统 evaporative cooling system of self circulation

以绝缘液体作为冷却介质，由冷凝器、回液管、下集液环管、绝缘引流管、定子线棒、上集汽环管、均压管等部件组成，并能自动实现自然循环的一种电机冷却系统。

3.4

蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机） evaporative cooling hydrogenerator (generator/motor)

定子绕组采用自循环蒸发冷却系统的水轮发电机（发电/电动机），简称蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）。

3.5

蒸发冷却介质 evaporative coolant

具有绝缘强度高、流动性能好和相变传热能力强的液体。

3.6

密闭自循环回路 close loop self circulation (简称 CLSC)

冷却介质不与大气直接接触, 由自循环蒸发冷却系统部件组成并具有一定气密性的自循环回路。

3.7

流动压头 flowing pressure head

沿循环回路高度, 介质下降和上升系统中因密度不同形成压力差, 用以克服回路的总流动阻力。

3.8

沸腾换热 boiling heat transfer

液态介质达到沸腾温度时以蒸发潜热吸热而变为同温汽态的换热。

3.9

蒸汽干度 vapour dryness

汽液两相流在管道内某一截面处的汽态质量含量, 以百分数计。

3.10

汽液两相流动阻力 two phases flow resistance

汽液混合流体在管道中运动时伴生的流动阻力。

4 使用环境条件

蒸发冷却水轮发电机(发电/电动机)在下列使用条件下应能连续额定运行:

- a) 海拔高度不超过 1000m (以黄海高程为准)。
- b) 冷却空气温度不超过 40℃; 空气冷却器、油冷却器和冷凝器进水温度不高于 28℃, 且不低于 5℃。
- c) 厂房内相对湿度不超过 85%。
- d) 安装在掩蔽的厂房内。

5 技术要求

5.1 基本技术要求

5.1.1 蒸发冷却水轮发电机(发电/电动机)额定容量(额定功率)、额定功率因数、额定电压和额定转速均按 GB/T 7894—2001 和 GB 755 规定执行。

5.1.2 本标准未规定的事项应符合 GB 755、GB/T 7894—2001 和 DL/T 730—2000 标准中有关要求。

5.2 电气特性

5.2.1 容量

5.2.1.1 允许用提高功率因数的方法把发电机的有功功率提高到额定容量。如用户有要求, 蒸发冷却水轮发电机(发电/电动机)可设置最大容量。此时的功率因数、参数值、允许温升, 以及与连续运行有关的产品性能要求由制造厂与用户商定并在专用技术协议中规定。

5.2.1.2 蒸发冷却水轮发电机应具备长期进相和滞相的运行性能, 其进相和滞相的容量和运行范围及带空载长线路允许的充电容量由用户与制造厂商定并在专用技术协议中规定。对蒸发冷却发电/电动机进相和调相运行的要求按 DL/T 730—2000 中的 4.7 执行。

5.2.1.3 对具有 10 个以上冷凝器的蒸发冷却水轮发电机(发电/电动机), 允许在正常进水条件下停用 1 个冷凝器时, 电机仍能以额定容量连续运行, 各部件的温升不超过规定值。

5.2.1.4 对具有 8 个及以上空气冷却器的蒸发冷却水轮发电机(发电/电动机), 允许在正常进水条件下

停用空气冷却器总数至少 1/8 时，电机仍能以额定容量连续运行，各部件的温升不超过规定值。

5.2.2 温升

5.2.2.1 绕组、定子铁芯等部件温升

蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）在规定的第 4 章使用环境条件及额定工况下，定子、转子绕组和定子铁芯等的温升限值应不超过表 1 的规定。

表 1 定子、转子绕组和定子铁芯等部件温升限值

K

水轮发电机（发电/电动机）部件	绝缘耐热等级					
	B 级			F 级		
	温度计法	电阻法	检温计法	温度计法	电阻法	检温计法
定子绕组			40			40
定子铁芯		80	85		100	105
表面裸露的单层转子绕组		90			110	
不与绕组接触的其他部件	这些部件的温升应不损坏该部件本身或任何与其相邻部件的绝缘					
集电环	80			90		
注 1：在使用环境条件不同于第 4 章规定时（海拔高度超过 1000m、冷却空气温度超过 40℃等），可参照 GB 755 进行修正。 注 2：对于蒸发冷却发电/电动机和频繁启停的蒸发冷却水轮发电机，每天启停次数超过 2 个循环，定子绕组温升限值不变，其他部件温升限值降低 5K~10K。						

5.2.2.2 轴承温度

蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）在额定运行工况下，其轴承的最高温度采用埋置检温计法测量应不超过下列数值：

- a) 推力轴承巴氏合金瓦 80℃
- b) 推力轴承塑料瓦 55℃
- c) 导轴承巴氏合金瓦 80℃

5.2.3 效率

5.2.3.1 额定效率

蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）在额定容量、额定电压、额定功率因数及额定转速运行时的额定效率应在专用技术协议中规定。

5.2.3.2 加权平均效率

蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）加权平均效率按 GB/T 7894—2001 中 4.2.3.2 所列公式计算，由用户根据机组在系统中的运行方式分别提供加权系数。

5.2.4 电气参数和时间常数

蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）的电气参数如同步电抗、瞬态电抗、超瞬态电抗、短路比及时间常数等应在专用技术协议中规定。

5.2.5 波形畸变系数

5.2.5.1 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）定子绕组接成正常工作接法时，在空载额定电压下，线电压波形正弦性畸变率应不超过 5%。

5.2.5.2 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）在空载额定电压和额定转速时，线电压的谐波因数（THF）应不超过 1.5%。

5.2.6 特殊运行要求

5.2.6.1 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）在事故条件下允许短时过电流。定子绕组过电流倍数与相

应的允许持续时间按表 2 确定。但达到表 2 中允许持续时间的过电流次数平均每年不应超过 2 次。

表 2 定子绕组允许过电流倍数与时间关系

定子过电流倍数 (定子电流/定子额定电流)	允许持续时间 min
1.10	60
1.15	15
1.20	6
1.25	5
1.30	4
1.40	2
1.50	1
注：对设置最大容量的蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机），其定子绕组允许过电流倍数及允许持续时间应在专用技术协议中规定。	

5.2.6.2 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）的转子绕组应能承受 2 倍额定励磁电流，持续时间不少于 20s。

5.2.6.3 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）在不对称电力系统运行时，如任一相电流不超过额定电流 I_N ，且其负序电流分量 I_2 与额定电流之比（标么值）不超过 6% 时，应能长期运行。

5.2.6.4 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）在故障情况下短时不对称运行时，应能承受的负序电流分量与额定电流之比（标么值）的平方与允许不对称运行时间 t 之积 $(I_2/I_N)^2 t$ 应为 20s。

5.2.6.5 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）允许全部冷凝器断水运行持续时间为 3 min，在此期间内如不能恢复正常供水，应降低发电机容量运行。其具体允许运行容量值应在专用技术协议中规定。

5.2.6.6 蒸发冷却发电/电动机过转矩能力按 DL/T 730—2000 的 4.23 执行。

5.3 机械特性

5.3.1 蒸发冷却水轮发电机的机械特性要求除机组启停次数和机组各部件允许振动值之外，其余均按 GB/T 7894—2001 的 4.3 执行。

5.3.2 蒸发冷却水轮发电机允许年启停次数高于空气冷却和水内冷水轮发电机，具体启停次数可在专用技术协议中规定。

5.3.3 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）各部件允许的双幅振动值按 GB/T 8564—2003 的 15.3.1e) 执行。

5.3.4 蒸发冷却发电/电动机组应能适应系统调峰、填谷、调频、调相、紧急事故备用、工况转换及频繁启停机的运行要求。

5.3.5 蒸发冷却发电/电动机临界转速

发电/电动机与水泵/水轮机组装后，机组转动部分的第一阶临界转速应不小于最大飞逸转速的 120%。如用户有要求，可提高到 125%。

5.3.6 蒸发冷却发电/电动机的结构设计，应符合 GB/T 7894—2001 的 4.3.3 有关飞逸转速的要求。当调速系统和励磁系统正常工作时，发电/电动机在发电工况甩 100% 负荷及电动工况突然断电后允许不经任何检查而重新并网。

5.3.7 蒸发冷却发电/电动机每台机应满足日平均启停次数不少于 5 次（启、停按一次计算）的要求。

5.4 结构基本要求

5.4.1 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）的冷凝器尽量均匀的布置在上机架的支墩上或布置在发电机机坑内的混凝土墙壁上。具体布置由用户与制造厂商定。总体结构及主要结构的其他条款要求按 GB/T 7894—2001 的 4.4 执行。

5.4.2 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）的结构，应设计成其下机架及水轮机的可拆卸部件在安装和检修时能通过定子铁芯而不拆除定子；并应能在不吊出发电机转子和不拆除上机架情况下更换定子线棒、转子磁极，以及对定子绕组端部和定子铁芯进行预防性检查。

5.4.3 蒸发冷却发电/电动机的结构部件应适应机组正、反向旋转运行要求，并在任何稳态和过渡工况下，均应符合 GB/T 7894—2001 的 4.4.1e) 的要求。

6 冷却系统

6.1 定子绕组密闭自循环蒸发冷却系统

6.1.1 系统部件

6.1.1.1 定子线棒

蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）定子线棒由实心和空心股线编织换位制成。线棒两端配备液电分离接头。

6.1.1.2 冷凝器

冷凝器由换热元件、承管板、水箱盖、冷凝器壳体和密封件等组成。

6.1.1.3 下集液环管

定子绕组下方配置的水平环管，简称下环管。按定子线棒数在环管上装设接口，经密封构件与绝缘引流管连接，以确保所有线棒中冷却介质的均匀分配。

6.1.1.4 绝缘引流管

发电机定子线棒上、下两端通过绝缘引流管分别与上集汽环管和下集液环管连接，形成蒸发冷却通路，并起电绝缘作用。

6.1.1.5 上集汽环管

定子绕组上方配置的水平环管，简称上环管。其结构类似于下集液环管，将线棒出口的两相介质汇集于此，使其压力和温度均衡。

6.1.1.6 上导流管

将两相介质从上集汽环管引入冷凝器的连通管。

6.1.1.7 回液管

冷凝器下部和下集液环管之间的连通管。

6.1.1.8 均压管

全部冷凝器上部相互联通的环形管。

6.1.1.9 排气管

均压管直径方向上对称装设与外部空间相通的一段管路，依赖阀门运作以排除系统内空气和释压保护，称为排气管，并兼作系统灌液通道。

6.1.1.10 密封构件

定子线棒两端和上集汽环管/下集液环管与绝缘引流管连接处起密封和紧固作用的系统配件。

6.1.2 主要部件材料要求

6.1.2.1 所有管件（回液管、上/下环管、均压管、排气管）和阀门等全部采用非导磁不锈钢材料。

6.1.2.2 绝缘引流管采用聚四氟乙烯树脂以结晶度低的工艺制成。

6.1.2.3 冷凝器热交换管应采用紫铜无缝管，宜选用双层管壁结构。水箱盖、壳体及内部承管板等构件全部采用非导磁不锈钢材料。

6.1.3 系统技术要求

6.1.3.1 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）在额定容量运行时，定子槽内绕组沿轴向温差不大于 12K，同高度周向温差不大于 4K。

6.1.3.2 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）在额定容量运行时，蒸发冷却系统表压力不超过 0.08MPa。

6.1.3.3 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）在正常运行工况下，允许的冷却介质年耗液量不大于 5%。

6.1.3.4 蒸发冷却系统液位要求

定子绕组采用蒸发冷却技术时，系统静态液位不高于定子线棒，也不低于线棒直线段（由下端计）的 2/3；当铜环引线 and 主引出线也为蒸发冷却方式时，系统静态液位要求由制造厂在技术文件中规定。

6.1.3.5 全部冷凝器均应满足水压和气密要求，冷凝器冷却水侧试验压力为 1MPa，历时 60min 无泄漏；冷凝器腔体气密性试验压力为 0.5MPa，历时 4h 无泄漏。

6.1.3.6 蒸发冷却系统密封性能要求

系统组装完成后应进行 0.25MPa 干燥氮气气密性试验，保压 48h 且压力下降不大于 0.005MPa。

6.1.4 定子铜环引线和主引出线冷却

可以采用蒸发冷却方式，其技术要求由用户和制造厂在专用技术协议中规定。

6.2 蒸发冷却介质

6.2.1 冷却介质应满足温度在不低于 180℃（H 级绝缘水平）范围内的化学稳定性和热稳定性要求。

6.2.2 冷却介质应满足电机采用的金属材料和非金属材料的相容性要求。

6.2.3 冷却介质应符合国家环境保护标准的相关要求。

6.2.4 冷却介质的主要物理参数应符合表 3 的规定。

表 3 介质主要物理参数（标准大气压）

序号	参数	符号	指标	备 注
1	沸腾温度 ℃	T_b	$40 \leq T_b \leq 62$	按选用介质确定
2	蒸发潜热 kJ/kg	H	> 125	对应原非标准单位 30 卡/克 (cal/g)
3	冰点 ℃	T_i	< -35	
4	液体黏度 mPa·s	μ	≤ 0.7	温度为 25℃ 时的测量值
5	击穿电压 kV/2.5mm	U_m	≥ 20	按 GB/T 507 标准测试
6	闪点		无	

表 4 介质质量指标

名称	数值
纯度	$\geq 99.9\%$
蒸发残留物	$\leq 0.001\%$
含水量	$\leq 0.005\%$
酸度 mg KOH/g	≤ 0.01
外观	无色、透明

6.2.5 冷却介质质量指标参见表 4。

6.3 通风冷却系统

6.3.1 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）转子绕组和定子铁芯优先采用密闭循环的通风冷却系统。

6.3.2 空气冷却器和油冷却器的冷却水压力一般按 0.2MPa~0.3MPa 设计，试验压力应为工作压力的 1.5

倍，且历时 60min 无泄漏。

6.3.3 空气冷却器和油冷却器应采用紫铜、铜镍合金的无缝管或其他防锈蚀的管材。

7 蒸发冷却系统检测装置及元件

7.1 温度测量

应在下列部位埋设电阻温度计：

7.1.1 定子绕组每相每个并联支路的层间应至少埋设 6 个，沿绕组轴线上中下布置。

7.1.2 定子铁芯槽底至少应埋设 6 个。

7.1.3 每个上导流管对应的上绝缘引流管出口处各埋设 1 个。

7.1.4 定子绕组铜环引线和主引出线采用蒸发冷却方式时，每个并联冷却支路的中间和出口处各埋设 1 个。

7.1.5 冷凝器进水总管上装设电阻温度计 1 个，每个冷凝器出水管装设电阻温度计 1 个。

注：根据用户要求，绕组和铁芯可增设电阻温度计或检温计，其数量和位置按专用技术协议。

7.2 液位检测

应装设具有直观显示功能的液位计和液位信号变送装置。

7.3 压力、流量检测

7.3.1 冷凝器冷却水进水总管装设流量变送器和压力信号装置各 1 个。

7.3.2 每个冷凝器冷却水进水管上装设流量变送器 1 个。

7.3.3 排气管上装设带有负压指示的压力表、压力传感器和自动排气安全保护装置及手动排气阀门。

7.4 漏水检测

每个冷凝器均应装设漏水检测元件。

7.5 介质泄漏监测

宜在风洞内壁安装介质泄漏监测装置。

7.6 其他

未提到的检测元件及装置按 GB/T 7894 执行。

8 试验及验收

8.1 合格证

每台（件）产品须经检验合格后才能出厂，并须附有产品质量合格证。

8.2 工厂试验

蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）厂内主要检查试验项目除按 GB/T 7894—2001 的 6.3（不含 h 项）执行外还应包括以下检查试验项目：

- a) 定子线棒空心股线材料的化学成分和机械性能试验。
- b) 定子线棒的流量、水压、气密试验。
- c) 上集汽环管/下集液环管的水压、气密试验。
- d) 单个冷凝器的水压和气密试验。
- e) 铜环引线和主引出线采用蒸发冷却方式时，引出线和连接管件均应进行水压和气密试验。
- f) 自动化元件及装置整定试验。

8.3 现场试验

蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）现场主要安装检查及交接试验项目除按 GB/T 7894—2001 的 6.4（不含 b 项）执行外，还应包括以下安装检查及交接试验项目：

- a) 下线前单根线棒气密试验。
- b) 绝缘引流管抽样气密试验。

- c) 冷凝器冷却水管路水压和冷凝器壳体气密试验。
- d) 蒸发冷却系统各分支管路的气密试验。
- e) 整个蒸发冷却系统检漏、气密和保压试验。
- f) 铜环引线 and 主引出线采用蒸发冷却方式时，引出线和连接管件的气密试验。
- g) 自动化元件和装置整定及模拟试验。

9 试运行和保证期

9.1 蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）及其附属设备在工地安装、试验完毕正式投入商业运行之前，应进行试运行。如合同有规定时，在试运行后还应进行考核运行。

9.2 每台发电机应进行试运行，以验证机组进行商业运行的能力。应在通过 72h 连续运行并停机处理所发现的全部缺陷后，签署机组设备的初步验收证书，开始商业运行，同时计算机组设备的保证期。

9.3 按合同规定有 30 天考核运行要求的机组，在考核运行结束后，签署机组设备的初步验收证书，开始商业运行，同时计算机组设备的保证期。

9.4 机组的试运行、考核运行及交接验收应按 GB/T 8564—2003 和 DL/T 730—2000 有关条款执行。

9.5 按照本技术条件和有关技术规定，在正确地保管、安装和使用条件下，蒸发冷却水轮发电机（发电/电动机）的保证期为投入运行后 2 年，但从最后一批货物发运之日起不超过 3 年。在此期间，如因制造质量不良而损坏或不能正常工作，制造厂应无偿地为用户修理或更换。

附录 A (规范性附录)

蒸发冷却系统运行、维护、检修

蒸发冷却水轮发电机(发电/电动机)启动、运行、维护和检修按 DL/T 507、DL/T 751 和 DL/T 817 等标准执行,其附加规定如下。

A.1 蒸发冷却系统的运行

A.1.1 机组首次启动前蒸发冷却系统应具备的条件:

A.1.1.1 整个通液系统气密试验合格之后,应实施氮气干燥和冷却介质清洗。

A.1.1.2 蒸发冷却监测系统各电源投入,各仪表工作正常,无故障。

A.1.1.3 全部冷凝器进出水阀门已处于开启位置,冷却水压力和流量符合设计要求。

A.1.1.4 下集液环管放液阀关闭。

A.1.1.5 冷却介质已灌液完毕,液位显示正常。

A.1.1.6 排气管放气阀处于关闭位置。

A.1.2 启动和运行

A.1.2.1 蒸发冷却水轮发电机(发电/电动机)首次启动并带负荷运行时,应进行蒸发冷却系统内空气排除工作。监视冷却介质压力上升情况,当压力上升至 0.04MPa 时,打开排气阀,压力小于 0.01MPa 时,关闭排气阀。机组投运后,如停机过长重新启动,需排除空气时,按此方法操作。

A.1.2.2 蒸发冷却水轮发电机(发电/电动机)带额定负荷运行时,系统压力范围应为 0.01MPa~0.08MPa。低负荷运行时,压力为零或微负压而液面稳定属正常情况。

A.2 蒸发冷却系统的监测与维护

A.2.1 蒸发冷却水轮发电机(发电/电动机)运行中若冷却系统压力明显上升,排气阀动作频繁,应检查冷却水是否中断或流量过小等情况。

A.2.2 蒸发冷却水轮发电机(发电/电动机)运行中应监视定子线棒温度。如负荷不变而温度明显上升,应检查是否有冷却介质泄漏、冷凝器断水或其他原因。

A.2.3 蒸发冷却水轮发电机(发电/电动机)运行中应注意监测冷却介质液位。

A.2.4 监测冷凝器进出水温度,如某冷凝器出水温度超过平均值 3K,应检查原因并加以排除。

A.3 蒸发冷却系统故障处理

A.3.1 冷却介质明显泄漏

A.3.1.1 现象:定子线棒温度升高,液位监测装置报警。

A.3.1.2 处理:减小机组负荷,密切监视线棒温度,降负荷运行,停机后检修。

A.3.2 冷凝器漏水

A.3.2.1 现象:冷凝器漏水监测装置发出报警信号。

A.3.2.2 处理:基于冷凝器的换热元件为双层管壁结构,不必改变机组运行状态,按正常停机后,检修或更换。

A.3.3 冷凝器断水

A.3.3.1 现象:冷凝器总水管流量传感器报警,蒸发冷却系统压力明显上升。

A.3.3.2 处理:如 3min 内不能恢复供水,则按本标准 5.2.6.5 执行。

A.4 介质灌注及质量检测

A.4.1 冷却介质灌注

A.4.1.1 用干净的耐压输液软管将排气管与冷却介质储液容器连接。

A.4.1.2 氮气瓶装上减压阀（减压阀出口压力不超过 0.05MPa），插入冷却介质储液容器。

A.4.1.3 打开排气管上的排气阀。

A.4.1.4 灌注至设计液位。

A.4.2 质量检测

A.4.2.1 初次灌液前，应按表 3、表 4 抽检冷却介质质量，合格后方可灌注。

A.4.2.2 机组运行后每年一次从取样放液阀处取样进行耐电压和含水量检验，并符合表 3、表 4 规定。

A.4.2.3 机组检修后重新灌液时，使用过的介质应经过滤脱水装置处理，并进行耐电压和含水量检验，并符合表 3、表 4 规定。

A.5 蒸发冷却系统的检修

A.5.1 执行状态检修。

A.5.2 检修项目

蒸发冷却系统及其主要部件的检修项目见表 A.1。

表 A.1 蒸发冷却系统检修项目

序号	项 目	工 作 内 容 及 要 求
1	冷凝器	漏水、堵塞检测
2	绝缘引流管	检查有无损伤或泄漏、清除表面灰尘和污物
3	冷却水系统	检查冷却水供水系统各阀门位置是否正常；管阀有无渗漏；检查系统压力、流量是否正常
4	蒸发冷却系统检查	检查系统压力、液位、各部管路、阀门位置均正常无渗漏、操作灵活；压力表校验合格；各法兰、接头等无泄漏、连接紧固，螺栓、螺钉等牢靠紧固、工作正常。温度计等检测仪表连接正常、指示准确

A.5.3 检修后试验项目

蒸发冷却系统检修后的试验项目及要求，见表 A.2。

表 A.2 蒸发冷却系统检修后试验内容

序 号	项 目	工 作 内 容 及 要 求
1	冷却系统检漏	系统内充入干燥氮气，压力 0.20MPa，并注入少量介质，带气压检漏
2	冷却系统气密试验	系统内充入干燥氮气，压力 0.20MPa 下保压 12h，压力下降不得大于 0.005MPa

附录 B

(资料性附录)

水轮发电机(发电/电动机)自循环蒸发冷却系统工作原理

当蒸发冷却水轮发电机(发电/电动机)以某一负载运行时,定子绕组所有线棒发生着同一规律的变化:铜损耗使线棒发热,线棒空心导体中的冷却介质通过比热容吸热使温度线性上升;当温度达到压力所对应的饱和温度时便以蒸发潜热吸热而部分沸腾汽化。冷却介质主流发生相变的点称之为蒸发点,其后随着介质不断吸热,气态含量增多,蒸汽干度上升。因此,线棒出口处的蒸汽干度是表征系统热负荷能力的一个重要指标。根据沸腾换热机理,介质蒸发后的汽液混合体温度不再升高,且因压力递减而略呈下降趋势直至线棒出口。与此相应的线棒导体温度具有相同变化和分布,从而将绕组所有线棒温度以介质蒸发吸热方式限制在相同的分布和量值。图 B.1 为电机蒸发冷却系统示意图。

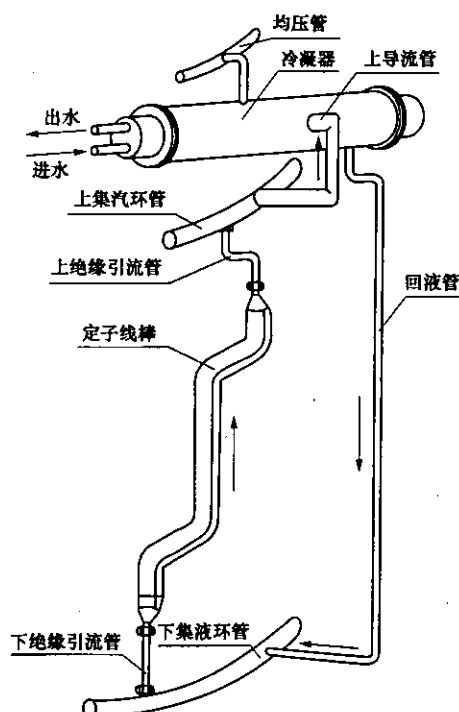


图 B.1 电机蒸发冷却系统示意图

冷却介质部分汽化后,空心导体内的介质为汽液混合态,其密度小于回液管中纯液态介质的密度。基于大中型水轮发电机(发电/电动机)为立式结构这一特征,两个相连通竖管(回液管和空心导体)间的密度差在重力加速度作用下,生成流动压头。该压头克服回路中的阻力压降(单向流动阻力、两相流动阻力和局部阻力)来维持一定流量的循环,使含热两相介质进入系统中压力最低的冷凝器。经与二次冷却介质—水进行热交换后还原为纯液态再流到回液管进行新一轮循环,如此往复把热量传到外部。

沸腾换热和自循环的相互依从和密切配合,使系统能适应电机各种运行工况(包括启动、停机过程和特殊运行工况)。随着所需传热量的大小,系统自行调整蒸发点位置、介质流量和蒸汽干度。这一过程是每个线棒既不依靠外力也不涉及和影响其他线棒的自我调节和平衡过程。

电机绕组运行温度水平被所选用的冷却介质的沸腾温度所界定。而系统自循环和沸腾换热方式决定了它必然以低压力、低流量运行。二次冷却水足量时,冷凝器内介质所在空间几为零压状态;而系统中各种部件所承受的压力仅是其内含液态介质重力的反映。

附 录 C
(资料性附录)
技术文件和图纸

C.1 发电机外形图和数据 (第一批)

- 1) 发电机剖面图、平面图 (主要外形尺寸、关键高程)
- 2) 发电机主要电气数据
- 3) 发电机基础图 (上、下机架和定子机座)
- 4) 发电机基础负荷数据 (上、下机架和定子机座基础负荷)
- 5) 制动器布置图
- 6) 发电机主引出线和中性点引出线布置图
- 7) 定子外形尺寸图
- 8) 转子外形尺寸图
- 9) 定子机座、转子支架拼装场地布置及基础图
- 10) 发电机机坑内进、出管路及预留孔位置图
- 11) 定、转子装配测圆架基础埋件图
- 12) 空气冷却器外形尺寸和布置图
- 13) 冷凝器外形尺寸和布置图
- 14) 发电机油、水、气系统原理图及其相关数据
- 15) 电缆管路和发电机端子箱布置图
- 16) 电缆管路和发电机动力柜、照明配电箱、表计盘、端子箱布置图
- 17) 发电机主要部件尺寸和重量

C.2 发电机详图 (第二批)

- 1) 最终发电机剖面图、平面图
- 2) 定子详图 (包括定子机座、铁芯装配及定子吊装)
- 3) 定子线棒结构图和绕组接线图
- 4) 转子详图 (包括转子支架、磁极和转子吊装)
- 5) 转子中心体、转子支架和磁轭装配图
- 6) 上机架详图
- 7) 下机架详图
- 8) 推力轴承详图 (包括油冷却系统)
- 9) 上、下导轴承详图 (包括油冷却系统)
- 10) 发电机轴组装图 (包括轴的连接详图)
- 11) 集电环、电刷及刷握详图
- 12) 空气冷却器详图
- 13) 冷凝器详图
- 14) 高压油顶起系统原理图及布置图 (如果有)
- 15) 制动系统原理图及布置图
- 16) 发电机油、水、气管路详图
- 17) 发电机灭火系统管路布置详图

- 18) 机坑内火灾探测器布置图
- 19) 碳粉、制动粉尘收集装置布置图
- 20) 发电机主引出线和中性点引出线布置详图
- 21) 蒸发冷却用的设备部件（包括冷凝器、上集汽管/下集液管、绝缘引流管、均压管、排气管等）的布置和安装详图
- 22) 运输部件图
- 23) 发电机监视、测量系统仪表、变送器、自动化元件、动力柜、照明箱、端子箱、盘柜及所有控制设备布置图

C.3 技术文件

- 1) 发电机电磁计算数据
- 2) 发电机主要部件刚度计算数据
- 3) 发电机主要部件固有频率计算数据
- 4) 发电机轴系稳定性计算数据（包括临界转速和动态响应）
- 5) 蒸发冷却系统计算数据
- 6) 推力轴承计算数据及试验报告（如果有）
- 7) 冷凝器计算数据
- 8) 空气冷却器计算数据
- 9) 发电机在额定容量和 95%、100%、105% 额定电压时的发电机功率特性曲线
- 10) 规定功率因数下的发电机典型负荷特性的 V 形曲线
- 11) 发电机饱和和短路特性曲线
- 12) 发电机效率曲线
- 13) 上、下机架现场焊接和装配工艺说明
- 14) 定子及其绕组现场焊接和装配说明
- 15) 转子支架与磁轭现场焊接和装配说明
- 16) 工厂和现场焊接无损探伤和检查规范
- 17) 发电机通风系统计算数据及通风系统模型试验报告（如果有）

附 录 D
(资料性附录)
备 品 备 件

蒸发冷却水轮发电机(发电/电动机)备品备件除了 GB/T 7894—2001 表 7 规定项目外,蒸发冷却系统应增加的备品备件项目如下,其数量按专用协议规定。

- a) 绝缘引流管
- b) 各类阀门
- c) 密封构件
- d) 电磁阀
- e) 压力传感器
- f) 冷凝器