

发电机内冷水处理方式探讨

谢学军¹, 晏敏¹, 胡明玉², 朱庆胜², 樊华², 曹顺安¹, 潘玲¹

1. 武汉大学 动力与机械学院, 武汉 430072; 2. 大唐信阳华豫发电有限责任公司, 信阳 464100

摘要:通过分析发电机内冷水的处理方式和控制效果, 认为综合应用现有的一些处理方式, 可以提高发电机内冷水水质, 使之符合国家和行业的最新标准, 从而保证发电机的安全经济运行。

关键词:内冷水处理; 联合处理; 发电机

中图分类号: TG172.81 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6495(2006)04-0273-05

A DISCUSSION ON TREATMENT METHODS OF WATER FOR GENERATOR INTERNAL COOLING

XIE Xue-jun¹, YAN Min¹, HU Ming-yu², ZHU Qing-sheng², FAN Hua², CAO Shun-an¹, PAN Ling¹

1. College of Dynamics and Machinery, Wuhan University, Wuhan 430072;

2. Datang Xinyang Huayu Power Generating Corporation, Ltd., Xinyang 464100

ABSTRACT: Through an analysis of treatment methods and effectiveness of water control for internal cooling system of generators, a new controlling method was proposed for ensuring the quality of water to be improved to meet the requirements, according to the standards newly issued by the national standards bureau and the relevant trade union, and thus ensuring generators to be operated safely and economically. The new controlling method is a comprehensive combination of some of the current treatment methods for internal cooling system of generator.

KEY WORDS: treatment of water for generator internal cooling; combined treatment; generator

现代大型发电机均采用水直接冷却^[1,2]。其中存在发电机空芯铜导线的腐蚀问题, 直接影响发电机出力, 最终可能导致发电机线圈损坏, 影响发电机的安全、经济运行。分析发电机内冷水系统事故原因发现: 冷却水水质不合格造成铜导线腐蚀, 腐蚀产物氧化铜在磁场作用下易于沉积, 沉积物堵塞水流。因沉积使发电机严重烧损事故均发生在定子水回路堵塞的机组上^[3-7]。因此保持内冷水水质稳定, 使内冷水铜导线的腐蚀尽可能低, 防止腐蚀产物堵塞水流, 是内冷水处理所面临的主要问题。

由于发电机内冷水是在高压电场中做冷却介质, 因此对其品质要求是: 传热快、不腐蚀、不结垢、绝缘性好。国内外都对内冷水水质做了严格规定。随着机组容量和参数的提高, 水质控制标准越来越严格。表1列出的是目前电力系统大多数电厂采用并且应该采用的国家和行业的最新标准。

1 发电机内冷水处理方式与水质控制效果

目前我国发电厂采用的内冷水处理方式主要有中性处

理(包括换除盐水溢流、小混床旁路处理、保持系统密闭处理等)、碱化处理(包括加碱化剂、补凝结水或凝结水与除盐水的混合水及换凝结水或凝结水与除盐水的混合水溢流、钢型小混床旁路处理等)和加缓蚀剂处理等。

1.1 中性处理

中性处理指换除盐水溢流、小混床旁路处理、保持系统密闭处理等。

1.1.1 换除盐水溢流 有的电厂当内冷水水质不合格时采用换除盐水和溢流的方式来使其满足要求。这种处理方式简单易行, 不需设备投资和维护, 但是一种消极的处理方式。

冷却水系统中铜的腐蚀是一个不断进行的过程, 换水后从测定的数据看铜可能合格, 但实际上只是将铜的腐蚀产物在连续稀释, 铜的腐蚀反而加剧, 而且 pH 也难合格。如某水-氢-氢 600MW 亚临界机组的定子冷却水补水方式为疏水经定子冷却水除盐装置补充, 换水至电导率小于 $1.5 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、铜离子含量 $< 100 \mu\text{g}/\text{L}$, 不投内冷水除盐装置运行, 结果 pH(25℃) 一般为 6.6~7.0, 而且在 3 天~4 天内电导率由 $0.66 \mu\text{S}/\text{cm}$ 升至 $1.5 \mu\text{S}/\text{cm}$, 难以维持电导率 $< 1.5 \mu\text{S}/\text{cm}$ 的发电机制造厂家标准^[8]。因此此法不能达到国家和行业的最新标准。

1.1.2 小混床旁路处理 小混床旁路处理是在小混床中填充 H/OH 型树脂, 运行中让部分内冷水(一般不超过内冷

收稿日期: 2005-03-17 初稿; 2005-06-20 修改稿

作者简介: 谢学军(1968-), 男, 博士, 副教授, 主要从事电厂化学、腐蚀与防护研究。

Tel: 027-62315519 E-mail: xiexuejun@163.com

Table 1 Quality criteria of inner cooling water for generator

name of the criterion	conductivity 25°C, $\mu\text{s}/\text{cm}$	pH 25°C	content of copper ion $\mu\text{g}/\text{L}$	rigidity $\mu\text{mol}/\text{L}$	dissolved		remark
					oxygen content $\mu\text{g}/\text{L}$	ammonia mg/L	
GB/T12145 - 1999: the water and steam quality criterion of power plant units and steam power equipments	≤ 5	> 6.8	≤ 40	/	/	/	double - water inner cooling and rotor independent circle system
	≤ 2	> 6.8	≤ 40	/	/	/	stator loop adapts isolated airtight system
steam generator running regulations(1999)	0.5~1.5 (20°C)	7~8	no requirement	/	/	/	/
DL/T801 - 2002: requirements of water quality and internal cooling water system for large generator	≤ 2	7~9	≤ 40	< 2	< 30	< 300	/

水流量的 10%)通过小混床以除去水中的杂质,再与其它未经过小混床的水混合。

由于小混床能除去水中的杂质,因此小混床旁路处理对降低内冷水电导率有利,但出水偏酸性,pH难合格,不能抑制铜的腐蚀^[9~11]。如某双水内冷机组安装 H-OH 型小混床,出水 pH 6.5 左右,造成内冷水含铜量急剧上升,树脂被污染呈绿色^[12]。某 300MW 水-氢-氢冷却机组内冷水处理投入小混床后,内冷水 pH 呈降低趋势,最低达到 5.8,水质呈酸性,加重了铜表面的腐蚀^[13]。这类例子多不胜数^[14~16]。

而且小混床本身结构的设计也不合理,如小混床内部结构和树脂捕捉器不合理,小混床内存在偏流、漏树脂,装前未经严格检验的普通树脂,装入后混脂不均匀,树脂机械强度低、易破碎,常泄漏大量低分子聚合物,对系统存在污染,使出水 pH 偏低,树脂交换容量小、运行周期不稳定,运行 3 个~6 个月后期需体外再生,费时费力,偶尔再生不理想投运后水质严重不合格,需重新再生,缺少必要的在线仪表,无法连续监测,设备费用也高^[17,18]。因此我国 300 MW 及以上机组的发电机,虽然大部分都是定子水冷密闭循环配备小混床旁路处理,但这些小混床投运的不多,单独运行的更少,总是和其它内冷水处理方式如保持系统密闭处理、碱化处理等联合运用,以保证内冷水水质合格^[9,11,19~21]。如某水-氢-氢冷却机组,定子线圈冷却水系统全密封(氢气充当密封气体),冷却水含氧很低,安装小混床,运行时冷却水电导率 $< 0.5 \mu\text{s}/\text{cm}$,pH 不高,含铜量合格^[12]。

1.1.3 保持系统密闭处理 由于空芯铜导线在内冷水中的腐蚀由氧引起、二氧化碳促进,因此保持系统密闭,降低内冷水中氧和二氧化碳含量,同时要求补水中氧和二氧化碳含

量也小,以减小铜的腐蚀。为保持系统密闭,有的将内冷水系统充惰性气体如氮气维持正压,有的在内冷水箱排气孔上安装除二氧化碳呼吸器,有的将溢流管改成倒 U 型管水封,如果内冷水补水为除盐水,还要保持补水系统包括除盐水箱密封,以减少补水带进的氧和二氧化碳量,或补高混出水。如某 300 MW 水-氢-氢冷却机组,内冷水水箱容积为 2 m^3 ,连续取样监测内冷水电导率、pH,取样流量为 $500 \text{ ml}/\text{min} \sim 700 \text{ ml}/\text{min}$,每天需补水 0.72 t,高速混床出水不含 NH_4^+ 、电导率 $\leq 0.2 \mu\text{s}/\text{cm}$ 、pH 7.03~7.10,溶解氧浓度很低,只 $20 \mu\text{g}/\text{L} \sim 30 \mu\text{g}/\text{L}$,作为内冷水补水,运行效果很好:电导率 $\leq 0.2 \mu\text{s}/\text{cm}$ 、pH 7.00~7.11,铜 $9.85 \mu\text{g}/\text{L} \sim 16.4 \mu\text{g}/\text{L}$ ^[22]。

由于除盐水、高混出水为中性,内冷水系统也不可能完全保持密闭,因而很难维持内冷水 pH > 6.8 ,因此保持系统密闭处理总是与碱化处理、小混床旁路处理等联合运用^[9,11,20,21]。

1.2 碱化处理

由 Cu-H₂O 体系的电位-pH 图^[4]可知,当 pH 较高(处于 7~10)时,紫铜处于免蚀区或钝化区。因此我们可采用提高内冷水 pH 值的方式来防止铜导线的腐蚀。具体的 pH 调节方式有:加氢氧化钠、直接加氨、补凝结水或凝结水与除盐水的混合水及换凝结水或凝结水与除盐水的混合水溢流、钠型小混床旁路处理等。

1.2.1 直接加氢氧化钠处理 向内冷水中加入一定量的某种碱性物质,调节内冷水 pH 处于 7~9 之间。对于这种处理方式,内冷水 pH 容易合格(符合表 1 所列的发电机内冷水水质标准),而电导率和铜含量是否合格,取决于内冷水的实际 pH 控制值和系统的严密性。系统的严密性包括系统与

气的通气状况和系统水的损失情况(如人工取样和流过在线仪表损耗的水),也包括补充水水源与大气的通气状况。系统 pH 控制低,电导率易于合格,但铜含量难于合格;系统 pH 控制高,有利于铜含量控制合格,但电导率易于偏高。

内冷水系统的密封性好,则内冷水 pH 值和电导率不易受外界环境(主要是空气和补充水中二氧化碳和氧)的影响,铜的腐蚀也好控制。如果内冷水系统的密封性不好,则空气中的二氧化碳和氧会不断溶入内冷水,补充水中二氧化碳和氧也会不断进入内冷水。内冷水中二氧化碳的存在,一方面使内冷水的 pH 降低,为维持相同 pH 势必使加入的碱性物质增多(增多的部分用来中和二氧化碳),另一方面由于加入的碱性物质增多,内冷水的电导率会增大。pH 为 7.0~8.894 时纯水完全由氢氧化钠引起的理论电导率为 $0.056 \mu\text{s}/\text{cm} \sim 2.0 \mu\text{s}/\text{cm}$,因此调内冷水 pH 为 7.0~9.0 时,要控制电导率 $\leq 2.0 \mu\text{s}/\text{cm}$,必须系统密封性好。

氧在内冷水中对铜的腐蚀有双重作用,一方面氧是使铜在水中发生电化学腐蚀的腐蚀性物质,腐蚀性与其含量有关,含量过高或过低,氧在水中铜的腐蚀作用都很小;另一方面铜在含氧量很高的水中处于钝化状态,即生成的铜的氧化物对铜有一定的保护作用。内冷水系统的密封性不好时,其中的氧含量一般都会引起铜的腐蚀。因此内冷水系统的密封性不好,内冷水的电导率和铜含量都不易控制合格。

用于调节内冷水 pH 值的碱化剂,用得较多的是氢氧化钠和氨。采用氢氧化钠必须监督内冷水的钠含量,以防内冷水的钠含量过高、析出固体盐类;采用氨必须监督内冷水的氨含量,以防内冷水的氨含量过高,引起铜的氨蚀。采用氢氧化钠作为碱化剂,氢氧化钠有的由内冷水箱顶部加入内冷水,有的加在内冷水旁路处理小混床出口处。采用氨作为碱化剂,可以直接加氨水,也可补加含氨凝结水。

氢氧化钠碱化特性好,易于配制和使用。氢氧化钠纯度越高,调到相同 pH 的实际氢氧化钠用量与理论所需氢氧化钠量的差值越小,因而引入内冷水的杂质越少,对内冷水电导率的影响也越小,因此选加优级纯氢氧化钠。实际上碱化处理常与保持系统密闭、部分内冷水经过小混床旁路处理等联合运用。因为如果系统密封性不好,碱化处理的内冷水 pH 会因空气中二氧化碳的影响而下降,为维持 pH 需加入的氢氧化钠增多,导致内冷水电导率升高,采用部分内冷水经过小混床旁路处理可以将电导率降低。为防止空气中二氧化碳的溶入,可将内冷水箱用氮气密封、内冷水补水采用凝结水(含氧量、二氧化碳含量低)或高混出水、在氢氧化钠溶液箱上安装除二氧化碳呼吸器等^[9,11]。

有人认为对密闭内冷水系统加氢氧化钠将内冷水 pH 提高到 8~9,系统对空气的侵入不敏感。在 pH 为 8.5~9 时,含氧量对铜的腐蚀速率的影响也相对较小,二氧化碳对 pH 的影响也较小,因为加入的微量氢氧化钠使得整个系统具有较大的缓冲作用^[21]。但如果系统不密封,要控制电导率(25℃)不大于 $2.0 \mu\text{s}/\text{cm}$ 几乎不可能,因此系统要密闭。加氢氧化钠处理只有与保持系统密闭、部分内冷水经过小混床旁路

处理联合运用才能达到控制要求。实际运行结果是,在系统密闭和小混床旁路处理情况下,内冷水 pH(25℃)控制在 7.0~9.0,电导率(25℃)不大于 $2.0 \mu\text{s}/\text{cm}$,铜不大于 $40 \mu\text{g}/\text{L}$,钠小于 $250 \mu\text{g}/\text{L}$ 。运行时严密控制内冷水 pH 和电导率,防止铜离子和钠离子积累,必要时换水^[11]。

由于直接加入强电解质,因此加入氢氧化钠对运行指标的控制和设备可靠性的要求均较高,一旦某个环节出问题,将引起内冷水电导率急剧上升,直接威胁机组安全运行。

1.2.2 钠型小混床旁路处理 钠型小混床旁路处理是将部分内冷水通过钠型小混床,其中的少量 Cu^{2+} 和 Fe^{3+} 等阳离子不断转化为 Na^+ ,其它阴离子不断被转化为 OH^- ,然后与未通过钠型小混床的内冷水混合,这样就等于向内冷水中投加了氢氧化钠,而且投加的是接近 100% 纯度的氢氧化钠。只要内冷水中存在微量的铁、铜等杂质离子,就能将内冷水 pH 升高到微碱性(pH=7~9),从而起到减缓铜腐蚀的作用。同样由于 pH 为 7.0~8.894 时纯水完全由氢氧化钠引起的理论电导率为 $0.0560 \mu\text{s}/\text{cm} \sim 2.0 \mu\text{s}/\text{cm}$,因此采用钠型小混床旁路处理调内冷水 pH 为 7.0~9.0,要控制电导率 $\leq 2.0 \mu\text{s}/\text{cm}$,也必须系统密封性要好。

钠型小混床旁路处理包括普通钠型小混床、氢型-钠型小混床和超净化处理装置。

普通钠型小混床中填充的是普通 Na/OH 型树脂,混合树脂的交换容量较小,运行周期短。有人认为采用普通钠型小混床可将密封式水箱内冷水系统 pH 提高到 8.5~9.0,控制电导率 $1.5 \mu\text{s}/\text{cm} \sim 2.0 \mu\text{s}/\text{cm}$,铜含量 $< 5 \mu\text{g}/\text{L}$,钠离子浓度 $70 \mu\text{g}/\text{L} \sim 250 \mu\text{g}/\text{L}$ ^[21]。如某水-氢-氢冷 330MW 机组(除盐水为补充水)采用钠型小混床(阴、阳树脂比为 2.7:1)处理,可控制内冷水电导率 $\leq 0.5 \mu\text{s}/\text{cm}$,硬度 = $0 \mu\text{mol}/\text{L}$,pH 7~8,铜含量 $\leq 10 \mu\text{g}/\text{L}$,当小混床出水电导率 $\geq 0.3 \mu\text{s}/\text{cm}$ 时树脂失效,体外再生^[20]。

氢型-钠型双套小混床并联运行是根据内冷水的在线 pH 和电导率变化控制 2 台混床进出口门的开度,从而稳定内冷水 pH 在一定范围(7.0~9.0)。树脂失效周期较短,一般为数月,更换树脂及运行中调节操作较频繁^[9,23]。如某厂 4 台水-氢-氢冷 300MW 机组(补充水是电导率为 $0.1 \mu\text{s}/\text{cm}$ 的除盐水)采用氢型-钠型双套小混床并联运行,可控制电导率 $\leq 2.0 \mu\text{s}/\text{cm}$ 、pH = (8.5 ± 0.5) 、铜含量 $\leq 5 \mu\text{g}/\text{L}$ ^[24,25]。

超净化处理装置采用独特结构的双层床离子交换器,内装高交换容量的特种树脂对内冷水进行旁路处理,并对内冷水箱安装二氧化碳呼吸器。树脂的使用周期延长到 1 年~2 年,内冷水的 pH 达 7.0 以上,实际上是经改造的钠型小混床旁路处理与保持系统密闭处理的联合运用。超净化处理装置安装在线仪表监测交换器出水和内冷水,超净化处理装置出水电导率 $0.06 \mu\text{s}/\text{cm} \sim 0.1 \mu\text{s}/\text{cm}$ 、pH 7~7.9,系统 pH 能稳定在 7~8、电导率低且稳定(约为 $0.1 \mu\text{s}/\text{cm} \sim 0.3 \mu\text{s}/\text{cm}$),实际内冷水电导率 $0.1 \mu\text{s}/\text{cm} \sim 0.5 \mu\text{s}/\text{cm}$,可实现闭式循环系统及防止补水对循环内冷水产生的冲击性污染问题,实现长周期稳定运行及免维护等功能,节约补水 95% 以上^[9,15,17,26,27]。

Table 2 Theoretic relation between pH, conductivity and content while adding ammonia into pure water

NH ₃ , μg/L	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
pH	7.78	8.70	8.90	9.05	9.12	9.20	9.25	9.30	9.33	9.37	9.40
conductivity, μs/cm	0.17	1.3	2.1	2.9	3.7	4.2	5.0	5.5	6.0	6.4	6.8

1.2.3 直接加氨、补凝结水或凝结水与除盐水的混合水及换凝结水或凝结水与除盐水的混合水溢流 纯水中由氨完全引起的 pH、电导率与加氨量的理论关系如表 2。

由于凝结水中含有一定量的氨,因此向内冷水补加凝结水相当于向内冷水中加氨提高 pH 达到防腐目的。凝结水 pH 为 8.0~9.0,电导率约为 2.0 μs/cm,与空气接触时,由于二氧化碳的溶入,会导致 pH 下降、电导率上升。因此向内冷水系统补加凝结水,要求系统密封性好,否则随着溶解气体的增多,电导率容易超过要控制的 2.0 μs/cm,且凝结水的电导率受给水加氨调整的影响大,内冷水对凝汽器泄漏而造成的水质恶化没有免疫力,凝结水水质一旦恶化,就得立即采用其它方式来处理^[18,19,28]。因此有的电厂采用向补除盐水或高混出水的内冷水中直接加氨来调节内冷水的 pH 值,但发电机入口和出口处内冷水的温度不同,氨的分配系数受温度的影响较大,因此氨的加入量较难控制,且操作频繁(2 天~3 天 1 次)^[29,30]。如某双水内冷国产 125MW 机组采用直接加氨处理,电导率超过 2.0 μs/cm,只能控制不大于 10 μs/cm,铜含量超过 40 μg/L,只能控制不大于 200 μg/L^[30]。所以直接加氨的很少,主要是采用补凝结水或凝结水与除盐水的混合水及换凝结水或凝结水与除盐水的混合水溢流。

补凝结水或凝结水与除盐水的混合水,对于定子独立冷却密闭系统,可控制 pH7.0~9.0,电导率不超过 2.0 μs/cm,铜含量不超过 40 μg/L。如某 300MW 水-氢-氢冷却机组,按一定比例补除盐水和凝结水的混合水,对在线仪表加装回送管路,手工取样门取样后关闭,可控制内冷水电导率 < 1.5 μs/cm, pH > 7.0,铜含量 ≤ 40 μg/L^[13]。某 200MW 定子水内冷机组,将内冷水箱孔洞密封,关闭排气阀,溢流管改为倒 U 型管,并保持满水状态(倒 U 型管有水封)使之与空气隔绝,必要时让适当流量(5%)系统水通过小混床旁路处理,以降低含氨量和电导率。用凝结水和除盐水适当配比(0.25~0.33),调整内冷水的 pH 为 7~8,含氨量低于 0.3 mg/L,可控制电导率不大于 1.5 μs/cm(在线电导率表监测)^[31]。

对于密闭性不好的定子独立冷却系统补凝结水或凝结水与除盐水的混合水,可控制 pH7.0~9.0,铜含量不超过 40 μg/L,但控制电导率不超过 2.0 μs/cm 困难,控制电导率小于 5 μs/cm 有可能。某 300MW 水-氢-氢冷却机组补二级凝泵出水(pH9.4~9.6)与高混出水(pH6.8~7.2)的混合水,可控制内冷水 pH8.0~9.0,电导率 < 3.0 μs/cm;铜含量 ≤ 20 μg/L^[29]。某 500MW 水-氢-氢冷却超临界直流机组,内冷水补凝结水(pH 约 8.6~8.8),因二氧化碳的不断溶入使系统 pH 一般维持在 8.2 以上,铜含量降低很多,电导率偏高,一般在 1.5 μs/cm~3.0 μs/cm^[10]。对定子冷却水系统进行氮气密封,定子冷却水系统 pH 稳定在 8.0 以上,铜含量大

幅度降低,基本可以达到 10 μg/L 以下,电导率也非常稳定,一般在 1.0 μs/cm 以下。某 800MW 水-氢-氢冷却机组选择补凝结水和除盐水加氨作为提高内冷水 pH 的手段,水源为一级凝结水泵后的凝结水(pH8~9)和除盐水(pH6.7~6.8),运行时通过补水或部分换水调节内冷水 pH 为 7.5~8.5,必要时投离子交换柱。实际控制过程中以正常补水为主要调节方式,以投加氨水、换水、投离子交换柱为辅助手段,换水很少。可控制 pH > 6.8,电导率 < 5 μs/cm,铜含量 < 40 μg/L^[16]。

因此对于定子独立冷却系统,要控制内冷水水质符合国家和行业的最新标准,系统的密闭性必须好。

对于双水内冷机组,补凝结水的同时保持系统密封、加缓蚀剂处理,可控制 pH7.0~8.0,铜含量 ≤ 40 μg/L,电导率 < 5.0 μs/cm。某 125MW 双水内冷机组内冷水源为凝结水,内冷水 pH(6.9 以下)比凝结水的低,氨含量二者差不多,电导率、铜含量比凝结水的大,原因是内冷水箱密封不严,含氨的凝结水更易吸收二氧化碳所致。于是密封内冷水箱,再加 BTA,可控制内冷水 pH6.74~7.58,铜含量 8.6 μg/L~42.3 μg/L,电导率 1.16 μs/cm~4.86 μs/cm,换水间隔可达 1 周以上^[32]。

采用补凝结水溢流,若系统严密,则可能控制内冷水水质符合国家和行业的最新标准,反之则难。某厂双水内冷 125MW 汽轮发电机机组,内冷水箱容积 4 m³,补水为凝结水(pH > 8.8),一直溢流,内冷水 pH > 7,含铜量高,原因是发电机转子回水盒处密封不严,漏入空气;另一厂国产双水内冷机组基本上采用敞口式水箱,以含氨凝结水(pH 为 9 左右)作为补水,保持一定量溢流,控制 pH > 7,电导率 < 10 μs/cm,铜含量 < 20 μg/L^[21]。某厂 300MW 机组定子采用独立冷却密闭循环系统,机组正常运行后用二级凝泵出水(pH8.5)小流量溢流,关内冷水箱排气门,可控制电导率 0.5 μs/cm~1.0 μs/cm, pH7.8~8.5,铜含量 5 μg/L~15.6 μg/L^[29]。

采用连续补入凝结水(pH 高,含氧量小)或除盐水和凝结水按一定比例的混合水并连续排水或回收的方式处理内冷水要注意:如果连续排水,每天将损失约 10 t 以上的除盐水,年损失约 3000 t 以上,浪费大;如果回收至凝汽器中,空芯铜导线的腐蚀产物则被带入锅炉给水系统中,可能造成热力系统结垢;而且电导率波动大,如给水加氨量不严格,波动大,造成电导率不易控制,具体实施时可操作性差^[19,28]。

注意,不论是直接加氨还是补凝结水或凝结水与除盐水的混合水及换凝结水或凝结水与除盐水的混合水溢流,都不能忽视温度对氨在水中溢出的影响。某厂用凝结水作 50MW 机组发电机的冷却水,3 天内铜含量由 10 μg/L 升至 20 μg/L 以上, pH 难以维持,主要原因是冷却水箱通大气,水温 45 ℃

以上,氨易溢出.改用凝结水($\text{pH}8.9\sim 9$ 、含氨 $0.7\text{ mg/L}\sim 0.8\text{ mg/L}$)连续补入水箱并溢流,冷却水的 pH 很难换至 $8.9\sim 9$,最高只能达 8.5 ,当冷却水箱 pH 稳定后,停止补凝结水, pH 下降很快,平均每小时下降近 0.3 ,6 小时后低于 7 ;氨下降亦明显.再对冷却水箱密封、溢流管水封,效果甚微^[33].说明温度高($45\text{ }^\circ\text{C}$ 以上),氨的分配系数大,氨溢出了.

2.3 加缓蚀剂处理

该方法是向内冷水中添加一定量的铜缓蚀剂,在空芯铜导线内表面形成保护膜,避免介质与铜直接接触,防止铜导线腐蚀.曾经内冷水中添加铜缓蚀剂处理的较多,如某电力公司调查的 54 个电厂中,26 个单位定期加缓蚀剂^[35].

常用的铜缓蚀剂有 MBT、BTA,也有用 TTA 的,还有用它们为主要组分的复合缓蚀剂^[9,17,19,30,35~37].由于这些物质都是水难溶物质,加入内冷水中不能提高内冷水的 pH ,而电导率有可能升高.对于定子独立冷却循环系统,与保持系统密闭或碱化处理联合应用,可控制内冷水 $\text{pH}>6.8$,电导率 $<5\text{ }\mu\text{s/cm}$,铜含量 $<40\text{ }\mu\text{g/L}$ ^[32,33].对于双水内冷或密闭性不好的定子独立冷却循环系统只能控制 $\text{pH}>6.8$,电导率 $<10\text{ }\mu\text{s/cm}$,铜含量 $<40\text{ }\mu\text{g/L}$ 或 $100\text{ }\mu\text{g/L}$ ^[14,21,37],甚至不合格^[13,33],而且有些缓蚀剂的加入浓度偏大,有沉积的可能^[9,38],加之目前缓蚀剂浓度不能在线监测,不能满足缓蚀剂浓度及时监测的需要,因而其应用受到了一定的限制.有单位认为在机组检修后或投运前先用缓蚀剂对空芯铜导线内表面进行预膜,然后在运行中再维持低浓度缓蚀剂进行补膜,处理效果更好^[19],再辅以保持系统密闭或碱化处理,可控制 $\text{pH}>7$,电导率 $<2\text{ }\mu\text{s/cm}$,铜含量 $<40\text{ }\mu\text{g/L}$ ^[39].

2 结语

尽管内冷水的处理方式有好多种,但只采用一种很难保证内冷水水质符合国家和行业的最新标准.将一些处理方式联合运用,可以提高内冷水水质,使之符合国家和行业的最新标准,从而保证发电机的安全经济运行.实际运行中,可根据机组的具体情况,选用合适的处理方式联合运用.

参考文献:

- [1] 丁舜年.大型发电机发热与冷却[M].北京:电力工业出版社,1992.6.
- [2] 张警声.发电机冷却介质[M].北京:水利电力出版社,1995.10.
- [3] 冯复生.国产 200MW 汽轮发电机多次事故的分析与预防措施[J].电力技术,1990(8):74.
- [4] 龚洵浩.热力设备的腐蚀与防护[M].北京:中国电力出版社,1998.197.
- [5] 窦照英.电力工业的腐蚀与防护[M].北京:化学工业出版社,1995.221.
- [6] 向元龙.内冷水系统对发电机运行的影响[J].大电机技术,1985,4:25.
- [7] 张玉福.发电机内冷水系统及其防腐措施[J].湖南电力技术,1990,5:7.
- [8] 周明.对发电机内冷却水运行监督标准的探讨[J].热力发电,2000(4):64.
- [9] 韩学院,张瑞枝,李朝燕.浅谈发电机内冷水的处理方式

- [J].河北电力技术,2003,4:46.
- [10] 张建丽,李保国.发电机定子内冷水工况的优化调节[J].华北电力技术,2003,4:1.
- [11] 喻亚飞,孙小中,李军,等.发电机内冷水碱化处理[J].湖北电力,2002(3):45.
- [12] 闻人勤,丁恒如,杜方正,等.发电机内冷水铜导线腐蚀的原因及影响因素分析[J].华北电力技术,2003(3):15.
- [13] 邹哲,胡学文,陈志刚,等.发电机内冷水处理方法的研究及探讨[J].腐蚀与防护,2003,7:310.
- [14] 贾新兵,王银元.发电机定子冷却水水质工况探索[J].山西电力,2001(4):7.14.
- [15] 王宝林,高福斌,郭金狮.蒲城发电有限责任公司 2 号发电机内冷水系统改造[J].西北电力技术,2003(1):55.
- [16] 曹世海,王德军.800MW 机组发电机内冷水水质运行控制[J].东北电力技术,2003,4:10.
- [17] 李海燕,张全根.发电机内冷水超净化处理系统的研制[J].西北电力技术,2002,4:12.
- [18] 陈戎.提高发电机内冷水水质指标的措施[J].江苏电机工程,2002,2:33.
- [19] 刘瑛,余邦才,熊小刚.发电机冷却水处理注意事项[J].工业用水与废水,2002(5):13.
- [20] 何绍洪.水内冷发电机空芯铜导线腐蚀防护技术研究[J].四川电力技术,2000,6:6.
- [21] 沈保中.发电机定子冷却水的水质控制与监督[J].华东电力,1999,9:32.
- [22] 张恩奎.双辽发电厂发电机内冷水劣化原因及处理[J].吉林电力技术,2000,1:40.
- [23] 马浩,梅祥胜.300MW 汽轮发电机定子冷却水处理工艺探讨[J].中国电力,2003(2):24.
- [24] 曾德勇.采用钠型混床进行发电机冷却水的碱性调节[J].华北电力技术,1999,11:16.
- [25] 曾德勇.水内冷发电机冷却水系统的碱性运行及影响因素[J].中国电力,2001,6:24.34.
- [26] 刘小平.发电机内冷水处理技术的探讨[J].广东电力,2003,2:14.
- [27] 张全根.发电机内冷却水水质标准的探讨[J].西北电力技术,2003,1:8.18.
- [28] 刘瑛.发电机冷却水水质标准探讨[J].工业水处理,2000(6):31.
- [29] 陈戎.提高发电机内冷水水质指标初探[J].热力发电,2002,6:68.
- [30] 陈社生.发电机铜导线受内冷水腐蚀的机理及防护[J].广东电力,2002(2):16.26.
- [31] 刘春晓.200MW 发电机内冷水水质劣化原因及处理[J].吉林电力,2002,1:49.56.
- [32] 吴先升,陈益中.提高内冷水水质的试验及改进[J].安徽电力,2001,4:51.
- [33] 梅胜,陈小华,刘爱武.发电机冷却水处理的现状及进展[J].大电机技术,2002,6:5.
- [34] 周世平,阮仕荣,喻亚飞,等.大型发电机内冷却水水质标准探讨[J].大电机技术,2001(4):32.
- [35] 彭吉民,张砾文,彭珂如,等.发电机内冷水中铜缓蚀剂的研究[J].材料保护,1998,8:10.
- [36] 张玉福.紫铜在内冷水介质中腐蚀行为的交流阻抗测试和分析[J].湖南电力技术,1991,5:7.28.
- [37] 王晞,卢昌华,付莉,等.水内冷发电机空芯铜导线腐蚀防护技术研究[J].四川电力技术,1998,4:1.
- [38] 姜凤莲,任淑俭.发电机内冷水处理的改进[J].黑龙江电力技术,1995,1:34.
- [39] 宋丽莎,陈寿爱.发电机内冷水处理现状及水质优化的途径[J].山东电力技术,2000,1:55.