



天津翔悦密封材料有限公司



弗莱希波·泰格
金属波纹管有限公司



温州环球阀门制造有限公司



北新集团建材股份有限公司

浅谈瑞明#1机凝汽器的改造

Analysis on modification for condenser of Unit 1 in Guangzhou Ruiming Power Station

广东粤华发电有限责任公司 (510730) 姚如云 王 威

【摘要】 广州瑞明电力有限公司#1机为闭式循环水系统,凝汽器的铜管因腐蚀泄漏而严重影响机组安全运行,为了解决该问题,对其#1机的凝汽器进行了改造。凝汽器改造后,运行效果很好。文中详细总结了这一改造过程及结果,供参考。

【关键词】 凝汽器 钛管 B10管 腐蚀 堵漏

Abstract: The condenser's cooling channel of Unit 1 constantly corrode and divulge in Guangzhong Ruiming Electric Limited Company, which influences the Unit's safe moving. The article discusses the necessity of modification for condenser, analyses the feasibility of replacing the copper tube by the titanium tube. After the alteration, the condenser is moving smoothly.

Key words: Condenser Titanium tube B10tube Corrupt Stem the leak

1 概 述

凝汽设备是凝汽式汽轮机装置的重要组成部分。它的作用是将汽轮机的排汽凝结成水,在汽轮机的排汽室建立并维持要求的真空,使蒸汽在汽轮机中膨胀到指定的压力,以提高汽轮机的可用焓降,将更多的热能转变为机械能。其工作性能直接影响到整个装置的热经济性和运行可靠性。

凝汽器是凝汽系统中的关键设备。瑞明机组采用的是由上海电站辅机厂生产的N—7250—1型单壳体对分双流程表面式的凝汽器。

瑞明#1机于1995年投产。2002年以来,凝汽器铜管多次发生泄漏,所堵铜管数量不断增多。其中,2002年6月12日堵漏131条,11月22日45条,12月28日13条。2003年1月2日开机后又发现铜管有漏,1月30日停机检查发现8条漏。2003年4月停机,发现4条漏。在2003年11月至2004年1月的三个月内,因各种原因4次启停机组,而每次停机前都存在凝汽器铜管漏的问题,4次分别封堵铜管12、18、23、77条。统计数据如表1所示。2005年,铜管泄漏情况尤其严重,在2月25号到27号停机查漏期间,堵漏铜管数更是达275条之多,如表2所示。

表1 2004年1月24日之前的堵漏统计

堵漏时间	堵漏总 管数 (条)	A 凝汽器		B 凝汽器	
		上水室 堵漏管 数(条)	下水室 漏管数 (条)	上水室堵 漏管数 (条)	下水室堵 漏管数 (条)
之前	62				
2002-6-12	131	12	47	23	49
2002-11-22	45	2	24	3	16
2002-12-28	13	2	5	2	4
2003-1-30	8	3	3	1	1
2003-4-11	4	1	1	0	2
2003-11-18	12		1		11
2003-12-10	18		7	1(大)	10
2004-1-21	23	12	7		4
2004-1-24	77	16	24		37

表2 2005年2月25日到27日的堵漏统计

名称	此次堵漏管数	以前堵漏管数	合计
A 凝汽器上水室	13	90	103
A 凝汽器下水室	39	186	225
B 凝汽器上水室	82	195	277
B 凝汽器下水室	141	194	335
合计	275	665	940

铜管的泄露致使冷却水进入凝结水系统，使水质含铜量急速加大，从而导致凝结水、给水等系统的汽水品质不合格。严重时还可导致锅炉水冷壁发生氢脆腐蚀，受热面有产生爆管的可能，将严重影响机组的安全经济运行。从上面的统计数据可以看出，瑞明#1机凝汽器的铜管泄漏情况越来越严重。铜管越堵越多，不断有新的穿孔渗漏现象出现，上面部分堵过以后，发现下部铜管又漏了。这说明铜管腐蚀严重，大都存在腐蚀损坏情况。堵管率已经接近8%，严重影响了机组的安全经济运行，必须对其进行改造。

2 泄露原因分析

瑞明电厂地处珠江下游，离出海口不远。机组利用珠江水作为循环冷却用水，并采用闭式循环的运行方式。每年的十一月至次年的三、四月是珠江水的枯水期，常常会发生海水倒灌的问题。由此导致珠江水的含盐量急剧增大，氯离子含量便急剧增大，由十几毫克/升猛增至数千毫克/升。

瑞明#1机凝结器铜管的材料大部分是BFe10—1—1，含镍量为10%左右；抽空气及顶部高温区铜管材料为BFe30—1—1（其含镍量达30%），所占总量不到10%。

根据原水电部颁发的《火力发电厂凝汽器铜管选材导则》，BFe10—1—1铜管所适应的水质及允许流速如下：

溶解固形物 (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	悬浮物和含砂 量(mg/L)	允许流速(m/s)
<5000, 短时<8000	<600, 短时<1000	<100	≥1.0 且 ≤2.0

(1) Cl⁻浓度：在判断水对金属腐蚀性的指数中，Cl⁻浓度是主要指标，即浓度越大，腐蚀性越强。

瑞明电厂采用闭式循环水冷却系统。闭式循环水系统含盐量高，夏天循环水蒸发厉害，使盐份浓缩；而冬天珠江水位低，海水倒灌，水的含盐量更高。查阅化水部的记录可知，循环水在枯水期的Cl⁻浓度基本维持在2000~5000mg/L，最高时可达8300mg/L，已大大超过了BFe10—1—1铜管所适应的水质要求。机组在大修除垢时发现大量绿色的铜锈，这主要是碱式铜盐，说明循环水对铜管有很强的腐蚀性。

(2) 坑点腐蚀：根据铜管取样检查，发现铜管内壁有大量的坑点，造成坑点腐蚀的原因是多方面的，氯离子是主要因素之一，而水中的悬浮物、粘泥附在管壁上则大大加速了腐蚀，同时也使铜管无法预膜。2003年4月，瑞明#1机抽干冷却塔水池的水时，发现底部堆积有大量的淤泥，连续清理了好几天，这说明循环水中含有大量的悬浮物。

(3) 冲击腐蚀：冲击腐蚀一般发生在凝结器铜管入口端约100~150mm的位置，由于该处冷却水呈激烈的湍流状态。当水的流速过高、悬浮物较高及水中带有汽泡时，都会破坏铜管表面的保护膜，破坏处为阳极，未破坏处为

阴极，形成腐蚀电池，使铜管损坏。垃圾、异物堵在铜管入口会造成局部流速过大，产生涡流而破坏保护膜。

按照#1机的设计，单台循环水泵在高速档运行时，铜管内水的流速接近2 m/s。如果有垃圾、异物堵塞或者大量铜管被封堵，流速就会超过2 m/s，容易产生冲击腐蚀，而下水室入口处是最薄弱环节，腐蚀会最严重。循环水含砂量高会使冲击腐蚀进一步加重。

2003年3月至2004年2月，瑞明#1机曾委托某单位对循环水进行加药，主要目的是预防铜管的防腐、阻垢及循环水杀菌，但是效果不是很明显。主要原因是水质不好：含盐量高，腐蚀性强；而泥垢多则导致铜管无法预膜。

由此可见，当前环境下的水质条件已经超出了原先凝汽器铜管所设计的运行指标，日积月累最终造成了铜管的经常性泄露，必需更换铜管，采用适合当前水质条件运行的冷却管道来解决现存的问题。于是，经过分析研究，瑞明电厂把#1机的铜管凝汽器改造成了耐腐蚀性强的钛管凝汽器。

3 钛管凝汽器抗腐蚀的优势

1)材料抗腐蚀性能的比较：

根据中国动力工程学会主编的《火力发电设备技术手册》，BFe10—1—1、BFe30—1—1和钛三种管材的相对耐腐蚀能力的比较如下表所示：

（数值越大代表耐腐蚀能力越强）

腐蚀类别	材 料		
	BFe10-1-1	BFe30-1-1	钛
一般腐蚀	4	4	6
冲蚀腐蚀	4	5	6
点蚀(运行状态)	6	5	6
点蚀(停机状态)	5	4	6
高水速	4	5	6
管端冲蚀	3	4	6
蒸汽腐蚀	3	4	6
应力腐蚀	6	5	6
氯腐蚀	6	5	6
氨腐蚀	4	5	6

钛是一种最耐腐蚀的冷却管材，甚至在污染的海水中，都具有良好的耐腐蚀性能，是目前最耐腐蚀的凝汽器管材。其允许的最高流速更是可达5m/s。从上面的数据可以看出，钛比其他材料冷却管具有较好的综合的耐腐蚀性能，几乎是唯一能抗高含砂量海水腐蚀的冷却管材。

(2)钛管凝汽器的优点：

与B10管凝汽器相比，钛管凝汽器的优点有：

- a) 抗冲蚀性好。能够抵制蒸汽带水滴在高速中的冲击碰撞。
- b) 抗氨腐蚀性能好。氨性介质能引起铜管应力腐蚀裂纹，也可导致凝结水腐蚀即称氨腐蚀，而采用钛管，就可不需要采用其他防腐蚀措施。
- c) 抗水侧冲击腐蚀和硫化物腐蚀的性能优良。管端不需要硫酸亚铁保护。
- d) 采用钛管凝汽器后，机组可以采用无铜管子系统，并且PH值可以提高，减小腐蚀产生率。
- e) 采用钛管的凝汽器，若管板采用钛复合板，管子与管板连接可以采用胀接和密封焊，可以做到凝汽器无泄漏，从而节省铜管凝汽器的换管和检修维护工作。
- f) 采用钛管凝汽器冷却水速度可提高至2.3m/s，甚至没有上限，钛管的表面比较光泽，不易结垢，其清洁系数

可以提高至0.9。

g) 钛管凝汽器的冷却水对溶解固形物含量及氯离子含量均没有限制。

4 B10铜管更换成钛管的可行性分析

改造方案及原机组技术数据比较如下：

技术规范	原机组	改造方案
凝汽器压力	6.06kPa	6.06kPa
冷却水进口设计温度	24.5℃	24.5℃
冷却水水量	20000m ³ /h	20000m ³ /h
冷却管材料	B10	Ti
冷却管规格		
主凝汽区	φ25×1	φ25×0.7
顶部蒸汽主流区及空气排出区	φ25×1	φ25×0.7
冷却管线规材料修整系数	0.951	0.911
清洁系数	0.85	0.9
冷却管有效长度	7250mm	7250mm
隔板间距	860	860
管隔板间距	1045	1045
冷却管根数	12736	12736
冷却面积	7250	7250
管板材料	HSn62-1	钛复合板
管子与管板连接	胀接	胀接+密封焊
水阻	37kPa	33kPa
面积富余量	2%	1%
冷却管重量(不包括备管)	62.92t	22.49t

(1)技术分析：

a) 传热性能：

对发电机组凝汽器，当冷却管材料钛管代替B10铜管时，其传热变化为：传热管两侧放热条件无变化，即两侧放热形式和放热系数相同，仅为传热管的材料和壁厚引起的管壁热阻变化。单对材料而言，B10传热比钛管好一些，但由于钛管壁薄，φ25×0.7钛管的冷却管线规材料修正系数与φ25×1 B10相差无几，而且由于钛管的表面光泽，清洁系数也可提高到0.9。

国内外几十年运行经验表明，采取注氯、清洗（如胶球清洗）等措施的钛管凝汽器，运行一段时间后总传热系数降低很少，而铜管（包括B10）往往降低20%左右，其原因是污染和结垢的冷却管会给热传递带来不利影响，腐蚀物和结垢所造成的绝热现象，最大可使热传递系数降低50%。

b) 管束振动问题：

与原机组B10铜管相比，钛管壁薄，比重几乎小1/2，弹性模量比铜材小，抗振能力比铜管差。原机组隔板间距为860mm，管隔板间距为1045mm。负责瑞明#1机凝汽器技术改造的厂家，根据美国HEI标准关于管子的自振频率要避开汽轮机的转速3000转/秒时而引起的共振及预防汽流激振的经验公式，进行管子振动计算，即汽轮机排汽口达到音速的条件来确定凝汽器冷却管的最大跨距值，以确保凝汽器冷却管不致于振动而损坏。根据计算结果，采用φ25×0.7钛管，可以维持原有的隔板和管隔板间距，不增加隔板数量。

c) 钛管凝汽器管子管板连接工艺：

钛管与钛复合管板采用胀接加密封焊，可以做到凝汽器无泄漏。但钛材具有塑性较低、冷作硬化倾向显著的特点。为了保证钛管凝汽器的质量，厂家对此进行了专门的工艺性研究。管子和管板的胀接质量和密封焊质量经

过多次试验得出：钛管需要采用5珠胀管器反复辗压多次，施压较均匀，内壁变形幅度小，可以减小裂纹产生的可能性。

(2)经济性分析：

由于钛管比较贵，所以一次性投资较大；钛管的凝汽器管子和管板采用胀接和密封焊时，需增加一道焊接工序，因此安装成本略有增加。因此，钛管凝汽器的造价会高一些，一次性投资会大一些。虽然如此，但钛管凝汽器可靠性是无法比拟的。它可以确保凝汽器无泄漏（钛管凝汽器被称为“无泄漏凝汽器”），可以长期安全运行，避免因凝汽器事故而带来的检修、检漏、换管、堵管、停机等引起的大量出力损失，大大减少维修和冷却管泄漏而引起的附加经济损失。而且，钛管凝汽器对凝汽器维持壳程的真空和保持壳程凝结水的清洁大有好处。

5 结束语

瑞明#1机凝汽器改造后至今，运行情况良好，未发生过因冷却管泄露而影响凝汽器正常工作的问题，保证了机组的安全运行。但是，钛合金表面容易被水生物附着，特别是在冷却水速较低时，水生物易附着在冷却管的端部、内表面和管板上。所以，采用钛管冷却应加强清洗。一般可利用冷却水加热、加氯、水冲刷和机械清除等方法。

6 参考文献

- [1] 中国动力工程学会.火力发电设备技术手册.第四卷.火电站系统与辅机.北京：机械工业出版社2002，4
- [2] 李录平.汽轮机故障诊断技术.北京：中国电力出版社.2001

文章作者： 姚如云 王 威

发表时间： 2007-11-01 00:00:00

[\[关闭窗口\]](#) [\[打印文章\]](#) [\[回到顶端\]](#)