

薄壁不锈钢管在淡水冷却凝汽器空冷区的应用

许高峰¹, 孟井明², 张云飞³, 王世安⁴

(1. 秦皇岛同和热电公司, 河北 秦皇岛 066012; 2. 山西阳光发电有限责任公司, 山西 阳泉 045200;

3. 核电秦山联营有限公司维修处, 浙江 海盐 314300; 4. 哈尔滨·第七〇三研究所军代表室, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘 要: 电站凝汽器空冷区采用黄铜管会产生严重氨腐蚀, 采用铜镍合金管或钛管则价格昂贵。不锈钢管具有良好抗氨腐蚀性能。本文对薄壁不锈钢管的传热性能、振动特性、胀接性能及经济性进行分析对比, 认为这种管材用于淡水冷却凝汽器的空冷区性能良好, 价格便宜, 有良好发展前途。

关 键 词: 薄壁不锈钢管; 空冷区; 氨腐蚀; 淡水冷却; 经济性

中图分类号: TK264. 1; TK265 文献标识码: B

1 前 言

不锈钢作为冷却管材的显著特点是抗汽侧带水滴流的冲击腐蚀、抗氨腐蚀、抗冷却水中硫化氢的腐蚀, 因此在换热器中得到广泛应用。由于常规不锈钢管壁厚, 导热性能较差, 导致凝汽器传热系数下降影响换热效率, 以往不锈钢管很少用于凝汽器中。随着技术发展, 生产出薄壁不锈钢管, 它强度高, 可以弥补导热性较差的弱点, 使其传热系数与 B30 多合金管相当。美国及法国、德国等西欧国家在 20 世纪 70 年代就在凝汽器空冷区采用薄壁不锈钢管。

我国由于不锈钢薄壁管生产工艺原因, 管材依赖进口, 价格昂贵, 淡水冷却凝汽器一直未采用不锈钢管。近年来随着材料工业的发展, 国产薄壁不锈钢管的大量生产, 价格大幅度下降, 为其在凝汽器中的应用开辟了广阔的前景。

2 空冷区氨腐蚀问题

为防止锅炉腐蚀, 锅炉水的 pH 值需维持在 8.5~9.2, 其给水都经过联氨处理或添加给水处理剂, 致使进入汽轮机的蒸汽中含有氨气(NH₃), 当蒸汽进入凝汽器后, 不断地被凝结成水, 在排汽口附近蒸汽含量不断减少, 氨气浓度就不断增加, 因此空冷区中发生了氨浓缩现象, 该区域氨的浓度使铜冷却管容易产生氨腐蚀。

B30 和钛均耐氨腐蚀, 不锈钢也耐氨腐蚀, 实验结果表明, 不锈钢在浓度小于 60% 的氨水中耐蚀性能良好。空冷区氨的浓度通常为 500~1 000 mg/L, 最高为几千个毫克每升, 因此不锈钢管在空冷区中完全可耐氨腐蚀。

3 不锈钢的传热性能

表 1 给出几种材料导热率, 不锈钢同钛的导热性能接近, 其导热率约为铝黄铜的 1/6, B30 的 1/2。但对凝汽器传热性能有影响的是总体传热系数, 凝汽器的总体传热系数除同材料有关外, 还同冷却管的外径、壁厚、冷却管的清洁系数、管内冷却水流速及冷却水温度等因素有关。

表 1 几种冷却管材的物理性能

	密度 /g·cm ⁻³	比热 /J·(kg·°C) ⁻¹	导热率 /W·(m·°C) ⁻¹	弹性模量 /MPa
钛	4. 51	519	17	106 440
不锈钢 TP304	7. 90	502	16	204 200
铝黄铜	8. 5	—	99	103 000
B30	8. 94	—	28	151 100

由于黄铜管不耐氨腐蚀, 本文只对凝汽器空冷区通常采用的 B30、钛及不锈钢管的传热性能进行分析和比较。

依据美国传热学会(HEI)凝汽器总体传热系数计算公式:

$$K = C \xi_c \beta_t \beta_m \sqrt{V_w}$$

其中: K —总体传热系数: W/(m²·°C)

C —取决于冷却管材外径的计算系数

ξ_c —清洁系数

β_t —冷却水温修正系数

β_m —冷却管材及壁厚修正系数

V_w —冷却管内流速 m/s

就同一计算工况而言,冷却管外径相同时,不同管材不同壁厚的总体传热系数中 ξ_c 、 β_m 二系数不同。两管材的总体传热系数之比即为两种管材的 ξ_c 、 β_m 的乘积之比。

各种管材壁厚的修正系数 β_m 值见表 2。

表 2 HEI 公式中冷却管材料与壁厚的修正系数 β_m

	冷却管壁厚/mm				
	0.56	0.71	0.89	1.24	1.65
B30	0.93	0.90	0.87	0.82	0.77
不锈钢	0.83	0.79	0.75	0.69	0.63
钛	0.85	0.81	0.77	0.71	—

表 3 各种管材的 ξ_c 、 β_m 及 $\xi_c\beta_m$ 相对值

壁厚/mm	ξ_c	β_m	K 相对值/%
B30	1	0.85	100
钛	0.5	0.90	106
不锈钢	0.7	0.90	98

由表 3 可以看出,当凝汽器冷却管由 B30 改为不锈钢管时总体传热系数下降了 2%。这是对新投产的凝汽器而言的。实际上由于不锈钢管采用轧制的薄钢板焊接而成,其内壁较 B30 管光滑,运行时不易结垢。据文献[1]介绍 B30 管使用一年后其总体传热系数降低约 20%,而不锈钢管使用一年后仍和新管一样。所以当凝汽器冷却管材由 B30 改为不锈钢管,凝汽器运行一段时间后,其总体传热系数略有提高。况且,不锈钢管抗冲蚀性能好,管内流速可提高到 2.2 m/s,比 B30 管提高 10%,提高了传热系数。

4 不锈钢管的振动问题

凝汽器冷却管的振动是确保凝汽器安全运行的重要问题,当设计不当时任何管材的冷却管都可能的高速汽流的冲击下因振动而损坏,或管子的固有振动频率同汽轮机的转速相吻合产生“共振”而断裂。

依据美国传热学会(HEI)标准,按汽轮机最大排汽量和最低循环水温工况下的有关计算求得冷却管允许的最大跨距,只要实际跨距小于计算值时,管子可避免因振动而引起损坏。

在计算中对于同一工况而言,不同管材允许的最大跨距(L_{max})同管子材料的弹性模数(E)和管子横截面惯性矩的乘积的 0.25 次方成正比,即:

$$L_{max} \propto (EI)^{0.25}$$

$\Phi 25 \times 1$ B30 管和 $\Phi 25 \times 0.7$ 不锈钢管,其 $(EI)^{0.25}$ 的比值为 0.96。也就是说不锈钢管允许的最大跨距是 B30 管允许最大跨距的 1.04 倍。所以只要原设计中采用 B30 管子时的跨距小于允许的最大跨距,换用不锈钢管后的振动问题上的安全裕量更大了。

5 薄壁不锈钢管与碳钢管板的连接

不锈钢与 B30 相比其可胀性较差,且不锈钢的硬度略高于碳钢,当 B30 管换用不锈钢管时若采用单一胀管连接难以保证接头的密封和连接强度。

下面方法是保证胀接强度的有效措施:

- (1) 管板孔内壁开特殊胀接槽。
- (2) 使用特种胶粘接后用胀管的连接方法。

由于特种胶需要进口,价格昂贵、施工复杂,而开胀接槽胀管同样满足要求,所以工程上一般采用开槽胀管。我们对黄铜管、B30 和不锈钢管的各种结构进行了管子管板连接强度试验研究。有关试验数据列于表 4。

表 4 几种管材和不同工艺连接强度试验数据

规格	管板厚度/mm	胀接长度/mm	开槽情况	紧固力/MPa	拉脱力/N
B30 $\Phi 25 \times 1.0$	30	27	无	5.2~6.1	11 000~13 000
不锈钢 $\Phi 25 \times 1.0$	30	27	无	5.2~6.1	11 000~13 000
不锈钢 $\Phi 25 \times 0.7$	30	27	无	2.5~3.3	5 300~6 900
不锈钢 $\Phi 25 \times 0.7$	30	27	四槽	3.4~4.4	8 200~9 400
不锈钢 $\Phi 25 \times 0.7$	30	27	四槽	4.9~6.0	10 500~12 800
不锈钢 $\Phi 25 \times 0.7$	30	27	特种胶	6.1~6.5	13 000~13 800

由表 4 可看出,对于 $\Phi 25 \times 0.7$ 的不锈钢管只要在碳钢管板孔内开两道以上沟槽,胀接便可保证接头的密封和紧固力。

6 经济性分析

由于铜材价格上涨,不锈钢材价格大幅度下降,再加上薄壁焊接不锈钢管生产工艺日趋成熟,薄壁不锈钢管在汽轮机凝汽器中的应用愈来愈广泛。对于淡水冷却凝汽器来说,其经济性大大优于 B30 和

钛管。

表 5 TP304 薄壁不锈钢管、B30 (70—30 铜镍合金管)、钛管性价比比较

	TP304 不锈钢	B30	钛管
换热面积/ m^2	1 000	1 000	1 000
管子规格/mm	$\Phi 25 \times 0.7$	$\Phi 25 \times 1$	$\Phi 25 \times 0.5$
比重/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	7.97	8.64	4.51
重量/t	5.579	8.64	2.255
单价/万元 $\cdot \text{t}^{-1}$	4.2	10.5	41.5
比率	1	3.87	3.99

从表 5 可以看出, 同样冷却面积 B30 管的价格是薄壁不锈钢管的 3.87 倍, 对 $1\,000\text{ m}^2$ 冷却面积的空冷区不锈钢管比 B30 管节省资金 67.29 万元, 经济性非常好。

7 结 论

凝汽器冷却管选材的主要依据是冷却水水质, 在满足冷却水水质要求前提下采用哪种材料在技术上均是可行的, 但凝汽器冷却管用量非常大, 占用凝

汽器总造价的比例也非常大, 所以, 选用冷却管材料时, 经济性是非常重要的。

通过以上分析, 采用开槽胀接的技术可以解决不锈钢管与碳钢管板的胀接问题; 薄壁不锈钢管的传热性能与 B30 管相当, 强度振动特性亦可满足安全性要求; 从经济角度看, 淡水冷却凝汽器空冷区采用薄壁焊接不锈钢管有极大的优越性。所以在淡水冷却的凝汽器其空冷区采用薄壁焊接不锈钢管是最佳的选择。

自 1999 年以来, 该项技术已在新乡发电厂 4 号机, 浑江发电厂 6 号机等 15 家电厂机组凝汽器空冷区应用。

参考文献:

- [1] 张卓澄. 大型电站凝汽器[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [2] 肖纪美, 杨德钧. 金属腐蚀手册[M]. 上海: 科学技术出版社, 1991.
- [3] 肖纪美. 不锈钢的金属学问题[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1983.
- [4] 典鸿鼎, 李修伦, 冯亚云, 等. 换热器[M]. 北京: 轻工业出版社, 1988.

(渠 源 编辑)

维护技术

锅炉的维护技术

《Теплоэнергетика》2004 年 7 月号叙说了克拉斯诺亚尔茨基 ГРЭС—2 号亚临界参数发电机组 ПК—38 型锅炉通路应用蒸汽热水氧气清洗、表面防锈处理和油封的经验, 列举了锅炉的结构特点。

该锅炉的结构特点允许进行包括中间蒸汽过热器表面的整个通路的处理, 并且按照编制的方案利用自身的蒸汽不用接通汽轮机就能进行锅炉中间蒸汽过热器的蒸汽氧气清洗、表面钝化处理和油封。

根据在工作蒸汽和凝水内腐蚀产物的含量作出判断, 进行从中间蒸汽过热器洗去氧化铁、铜和硅酸。在锅炉通路蒸汽热水氧气清洗、表面防锈处理和油封时从受热面洗去被包含在沉积物中的铜。

根据 ПК—38 型锅炉通路进行蒸汽热水氧气清洗、表面防锈处理和油封的结果可以得到下列结论:

1. 进行蒸汽热水氧气清洗、表面防锈处理和油封促使从 ПК—38 型锅炉内部受热面洗去沉积物;
2. 在内部受热面上形成保护膜, 它能在运行条件下以及在使设备投入备用状态下保证设备的完好保存;
3. 在发电机组长时间的停机期间保证设备的封存。

(吉桂明 供稿)

600 MW supercritical once-through boiler with a recycle pump-based start-up system the feasibility of the stable-pressure steam purging technique was investigated through tests and computations with its technological procedures being designed. Moreover, some items to which due attention should be paid are discussed and explored. The present study can provide valuable reference data and information for the commissioning tests and operation of other types of supercritical boilers.

Key words: supercritical, recycle pump, once-through boiler, steam purging

薄壁不锈钢管在淡水冷却凝汽器空冷区的应用= **The Use of Thin-wall Stainless Steel Tubes in the Air-cooled**

Zone of a Fresh Water-cooled Steam Condenser[刊, 汉] / XU Gao-feng (Qinhuangdao Tonghe Thermal Power Co., Qinhuangdao, China, Post Code: 066012), MENG Jing-ming (Shanxi Sunlight Power Generation Co. Ltd., Yangquan, China, Post Code: 045200), ZHANG Yun-fei (Maintenance & Overhaul Department of Qinshan Nuclear Power Joint Operation Co., Haiyan, China, Post Code: 314300) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21 (2). — 205 ~ 207

The use of brass tubes for the air-cooled zone of a power plant steam condenser can lead to serious corrosion by ammonia, while the application of copper-nickel alloy tubes or titanium ones is associated with expensive costs. Stainless steel tubes feature good corrosion-resistant performance against ammonia. The authors have performed a contrasting analysis regarding the heat transfer performance, vibration properties, tube expanding characteristics and cost-effectiveness of thin-wall stainless steels. On this basis it is concluded that stainless tube materials when used for the air-cooled zone of a fresh-water cooled condenser have the merits of a fair operation performance and low cost, resulting in a high potential for their wide applications. **Key words:** thin-wall stainless steel, air-cooled zone, ammonia corrosion, fresh water cooled, cost-effectiveness

容器壳体大开孔补强方法的探讨= **An Exploratory Study of the Reinforcement Method Used for Large-openings on a Vessel Shell**[刊, 汉] / TAN Hong, LIN Zhi-hong, JIN Chun-nan, et al (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(2). — 208 ~ 209

Due to structural and technological requirements there arises the need to adopt a large-opening structure on a vessel shell. The stress state of such a large opening is very complicated. On the basis of different strength-failure criteria various methods for the reinforcement of shell large openings are analyzed and compared. Such methods include: equal area method, and also pressure area, extreme load, and finite element methods. The scope of applications of several reinforcement methods have been explored. With respect to the limitations of currently used reinforcement methods it is recommended that a three-dimensional finite element method-based numerical method for analyzing the reinforcement of nozzles of large openings may serve as the best method to solve the safety problem of complicated large openings of shells. **Key words:** reinforcement of large openings, equal area method, pressure area method, extreme load method, finite element method, stress analysis