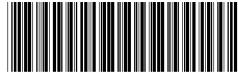


(19) 中华人民共和国国家知识产权局



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102331319 A

(43) 申请公布日 2012.01.25

(21) 申请号 201110153998.5

(22) 申请日 2011.06.09

(71) 申请人 河北省电力建设调整试验所

地址 050021 河北省石家庄市体育南大街
238 号

(72) 发明人 杨海生 常澍平

(74) 专利代理机构 石家庄新世纪专利商标事务
所有限公司 13100

代理人 董金国

(51) Int. Cl.

G01L 3/24 (2006.01)

权利要求书 1 页 说明书 6 页

(54) 发明名称

汽轮机通流叶片粗糙度造成的功率损失的测
量及计算方法

(57) 摘要

本发明涉及一种汽轮机通流叶片粗糙度造成
的功率损失的测量及计算方法，其步骤如下：(1)
利用表面粗糙度测量比对装置测量汽轮机开缸后
的各级通流叶片的表面粗糙度；(2) 利用特定的
公式计算由于叶片表面粗糙度造成的机组功率损
失 P。采用本发明方法通过计算由于叶片表面粗
糙度造成的机组功率损失，可以对通流叶片表面
粗糙度影响汽轮机通流效率的大小程度进行定量
的评估和评价，最终评估各级通流叶片表面粗糙
度对汽轮机整体性能的影响程度。

1. 一种汽轮机通流叶片粗糙度造成的功率损失的测量及计算方法,其特征在于其步骤如下:

(1) 利用表面粗糙度测量比对装置测量汽轮机开缸后的各级通流叶片的表面粗糙度 k_s ;

(2) 利用公式(A)计算由于叶片表面粗糙度造成的机组功率损失 P :

$$P = C_{BL} \times (C_{SL}/C_{BL}) \times C_{LC} \times C_{LF} \times P_s \quad (A)$$

上式中, P 为机组功率损失, 单位 kW; C_{BL} 为叶片损失系数; C_{SL} 为级损失系数; C_{LC} 为局部粗糙度修正系数; C_{LF} 为汽轮机通流级的损失系数; P_s 为评估级的设计功率, 单位 kW, 所述评估级的设计功率 P_s 由下述公式(B)计算:

$$P_s = \frac{w_T UE}{N} \quad (B)$$

N 为汽轮机汽缸内级的数量; w_T 为通过汽轮机汽缸的蒸汽流量, 单位 kg/s; UE 为单位流量汽轮机焓降, 单位 kJ/kg;

由下述公式(C)计算叶片损失系数 C_{BL}

$$C_{BL} = C_{srd} - C_{sra} \quad (C)$$

式中, C_{sra} 为实际状态粗糙度叶片效率修正系数, C_{srd} 为设计状态粗糙度叶片效率修正系数; 实际状态和设计状态的粗糙度叶片效率修正系数 C_{sra} 、 C_{srd} 为 k_s/W_b 的函数, 即: C_{sra} 、 C_{srd} 由 k_s/W_b 确定; 其中 k_s 为叶片表面粗糙度, 单位 mm; W_b 为待评估叶片宽度, 单位 mm;

(b) 确定(C_{SL}/C_{BL})的取值

(b1) 对于 50% 反动度的反动式汽轮机, 动叶及静叶(C_{SL}/C_{BL})均取 0.5;

(b2) 对于纯冲动式汽轮机, 静叶(C_{SL}/C_{BL})取 1.0, 动叶(C_{SL}/C_{BL})取 0.25;

(c) 通过汽轮机叶片距出汽边距离占叶片弧长的百分数 x 确定局部粗糙度修正系数 C_{LC} 的取值;

(d) 通过汽轮机汽缸设计排汽压力与评估级设计排汽压力比 P_{exh}/P_{loss} 的值确定汽轮机通流级损失系数 C_{LF} 的取值。

汽轮机通流叶片粗糙度造成的功率损失的测量及计算方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种汽轮机通流叶片粗糙度造成的功率损失的测量及计算方法。

背景技术

[0002] 随着电力机组向大容量高参数发展,电厂中汽轮机通流效率对电厂的经济性影响越来越大。以某一亚临界 300MW 机组为例,如高压缸、中压缸、低压缸通流效率各降低 1%,则将分别影响电厂发电煤耗约 0.611g/kW.h、0.884g/kW.h、1.427g/kW.h,每年将分别多消耗标煤约 1100t、1600t 及 2600t。目前国内大型汽轮机,尤其是国内制造汽轮机普遍存在着汽缸通流效率偏低的问题,另外对于投运初期汽缸通流效率达到设计值的机组在运行一段时间后通流效率会降低。但是对于汽缸通流效率降低的原因,尤其是通流部分叶片表面粗糙度的变化因素,长期以来无法进行定量的评估和评价,尤其是在机组大修及小修期间。

[0003] 大多数汽轮机内的损失可以归为两种类型,即表面粗糙度损失或泄漏造成的损失。根据相关文献,表面粗糙度损失约占机组热耗损失的 36%,泄漏损失约占 50%。造成叶片表面粗糙度损失的主要因素如下:(1)表面沉积物;(2)由于固体颗粒侵蚀造成的叶片表面粗糙;(3)汽轮机通流区域损坏(焊渣、扳手、厚的沉积物、型线损失等)。

[0004] 汽轮机运行中,其内部各项通流叶片表面粗糙度状态的变化,会影响汽轮机通流效率及运行经济性。但其对汽轮机通流效率影响的定量数据,一般无法获得。目前电厂常规的检修方法是对通流叶片进行宏观检查,并进行叶片的清理等工作内容,但这些工作的具体效果无法进行定量的评价。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是提供一种能够定量评估汽轮机通流效率及运行经济性的汽轮机通流叶片粗糙度造成的功率损失的测量及计算方法。

[0006] 本发明解决其技术问题采用如下技术方案:

本发明方法步骤如下:

(1) 利用表面粗糙度测量比对装置测量汽轮机开缸后的各级通流叶片的表面粗糙度 k_s ;

(2) 利用公式(A)计算由于叶片表面粗糙度造成的机组功率损失 P:

$$P = C_{BL} \times (C_{SL}/C_{BL}) \times C_{LC} \times C_{LF} \times P_s \quad (A)$$

上式中,P 为机组功率损失,单位 kW; C_{BL} 为叶片损失系数; C_{SL} 为级损失系数; C_{LC} 为局部粗糙度修正系数; C_{LF} 为汽轮机通流级的损失系数; P_s 为评估级的设计功率,单位 kW,所述评估级的设计功率 P_s 由下述公式(B)计算:

$$P_s = \frac{w_t UE}{N} \quad (B)$$

N 为汽轮机汽缸内级的数量; w_t 为通过汽轮机汽缸的蒸汽流量,单位 kg/s;UE 为单位流量汽轮机焓降,单位 kJ/kg;

(a) 由下述公式(C)计算叶片损失系数 C_{BL}

$$C_{BL} = C_{srd} - C_{sra} \quad (C)$$

式中, C_{sra} 为实际状态粗糙度叶片效率修正系数, C_{srd} 为设计状态粗糙度叶片效率修正系数; 实际状态和设计状态的粗糙度叶片效率修正系数 C_{sra} 、 C_{srd} 为 k_s/W_b 的函数, 即: C_{sra} 、 C_{srd} 由 k_s/W_b 确定; 其中 k_s 为叶片表面粗糙度, 单位 mm; W_b 为待评估叶片宽度, 单位 mm;

(b) 确定 (C_{SL}/C_{BL}) 的取值

(b1) 对于 50% 反动度的反动式汽轮机, 动叶及静叶 (C_{SL}/C_{BL}) 均取 0.5;

(b2) 对于纯冲动式汽轮机, 静叶 (C_{SL}/C_{BL}) 取 1.0, 动叶 (C_{SL}/C_{BL}) 取 0.25;

(c) 通过汽轮机叶片距出汽边距离占叶片弧长的百分数 x 确定局部粗糙度修正系数 C_{LC} 的取值;

(d) 通过汽轮机汽缸设计排汽压力与评估级设计排汽压力比 P_{exh}/P_{loss} 的值确定汽轮机通流级损失系数 C_{LF} 的取值。

[0007] 本发明的积极效果如下: 采用本发明方法通过计算由于叶片表面粗糙度造成的机组功率损失, 可以对通流叶片表面粗糙度影响汽轮机通流效率的大小程度进行定量的评估和评价, 最终评估各级通流叶片表面粗糙度对汽轮机整体性能的影响程度。

[0008] 使用本发明方法解决了汽轮机通流叶片表面粗糙度对汽轮机通流效率影响的定量评估技术问题, 可以为汽轮机检修过程中确定最佳检修策略提供直接依据, 满足了电厂经济性分析的需要。解决了这个问题, 可以对电厂汽轮机内部通流叶片表面粗糙度变化后对汽轮机及机组经济性的影响进行定量评估。

具体实施方式

[0009] 本发明采用了针对不同汽轮机叶片区域的局部粗糙度修正系数 C_{LC} ; 对于不同汽轮机级, 采用特定的汽轮机通流级损失系数 C_{LF} , 来考虑由于级通流效率下降后对下游各级的重热效因。

[0010] 以下为本发明的一个具体实施例, 其步骤如下:

某 600MW 亚临界冲动式汽轮机, 由高压缸、中压缸及低压缸组成。假定高压缸第四级静叶片外弧面由于表面沉积物造成表面粗糙度增加, 表面沉积物区域为由叶片外弧面通流喉部至出边汽范围, 汽轮机叶片距出汽边距离占叶片弧长的 1/3, 主要设计参数如下:

设计参数	参数值
第四级静叶叶片宽度 W_b	38.1mm
叶片表面粗糙度 k_s	3.3×10^{-3} mm
汽轮机高压缸设计级数 N	7 级
汽轮机高压缸设计进汽量 w_T	495.77kg/s
汽轮机高压缸设计焓降 UE	333.78kJ/kg
汽轮机高压缸设计排汽压力 P_{exh}	4.235MPa
汽轮机高压缸第四级设计排汽压力 P_{loss}	7.69MPa

(1) 利用表面粗糙度测量比对装置测量汽轮机开缸后的第四级通流叶片的表面粗糙度 k_s , 表面粗糙度测量比对装置可以采用美国“Reid Supply Company”生产的“2 to 500 Microinches Conventional Machining Comparator Set”, 测得的 k_s 为 58.4×10^{-3} mm;

(2) 利用公式(A)计算由于叶片表面粗糙度造成的机组功率损失 P:

$$P = C_{BL} \times (C_{SL}/C_{BL}) \times C_{LC} \times C_{LF} \times P_S \quad (A)$$

上式中, P 为机组功率损失, 单位 kW ; C_{BL} 为叶片损失系数; C_{SL} 为级损失系数; C_{LC} 为局部粗糙度修正系数; C_{LF} 为汽轮机通流级的损失系数; P_s 为评估级的设计功率, 单位 kW , 所述评估级的设计功率 P_s 由下述公式(B)计算:

$$P_s = \frac{w_T UE}{N} \quad (\text{B})$$

N 为汽轮机汽缸内级的数量; w_T 为通过汽轮机汽缸的蒸汽流量, 单位 kg/s ; UE 为单位流量汽轮机焓降, 单位 kJ/kg ;

由本实施例的设计参数, 计算得到高压缸第四级设计功率为

$$P_s = \frac{495.77 \times 333.78}{7} = 23640 \text{ kW}.$$

[0011] (a) 由下述公式(C)计算叶片损失系数 C_{BL}

$$C_{BL} = C_{srd} - C_{sra} \quad (\text{C})$$

式中, C_{sra} 为实际状态粗糙度叶片效率修正系数, C_{srd} 为设计状态粗糙度叶片效率修正系数; 实际状态和设计状态的粗糙度叶片效率修正系数 C_{sra} 、 C_{srd} 为 k_s/W_b 的函数, 即: C_{sra} 、 C_{srd} 由 k_s/W_b 确定; 其中 k_s 为叶片表面粗糙度; W_b 为待评估叶片宽度;

(a1) 对于 50% 反动度的动叶及静叶, 以及纯冲动级静叶, 采用附表 1-1 中修正系数取值;

(a2) 对于纯冲动级动叶, 采用附表 1-2 中修正系数取值;

本实施例中汽轮机级为纯冲动级静叶, 因此采用附表 1-1 中数据进行计算。

[0012] 对设计状态, 相对粗糙度值 $k_s/W_b = 3.3 \times 10^{-3} \text{ mm} / 38.1 \text{ mm} = 0.087 \times 10^{-3}$, 查附表 1-1, 进行插值计算得 $C_{srd}=1.0163$;

对实测状态, 相对粗糙度值 $k_s/W_b = 58.4 \times 10^{-3} \text{ mm} / 38.1 \text{ mm} = 1.53 \times 10^{-3}$, 查附表 1-1, 进行插值计算得 $C_{sra}=0.963$;

则高压缸第四级静叶效率损失系数 $C_{BL} = 1.0163 - 0.963 = 0.0533$

(b) 确定 (C_{SL}/C_{BL}) 的取值

(b1) 对于 50% 反动度的反动式汽轮机, 动叶及静叶 (C_{SL}/C_{BL}) 均取 0.5;

(b2) 对于纯冲动式汽轮机, 静叶 (C_{SL}/C_{BL}) 取 1.0, 动叶 (C_{SL}/C_{BL}) 取 0.25;

本实施例中汽轮机级为纯冲动级静叶, 因此 (C_{SL}/C_{BL}) 取 1.0。

[0013] (c) 通过汽轮机叶片距出汽边距离占叶片弧长的百分数 x 确定局部粗糙度修正系数 C_{LC} 的取值;

本实施例中, 粗糙度区域为叶片外弧面通流喉部至出边汽范围, 占外弧面 $1/3$, 即 x 为 39%, 查附表 2, 可得 $C_{LC}=39\%$;

(d) 通过汽轮机汽缸设计排汽压力与评估级设计排汽压力比 P_{exh}/P_{loss} 的值确定汽轮机通流级损失系数 C_{LF} 的取值;

汽轮机通流级损失系数 C_{LF} 的取值与汽轮机通流级所处的位置有关, 越接近排汽侧, 损失系数越大; 越接近进汽侧, 损失系数越小。对于过热区域运行的汽轮机, 采用附表 3 取值。取值假定通流级的效率为 90%。

[0014] 本实施例中, 根据设计参数值, 汽轮机汽缸设计排汽压力与评估级设计排汽压力比 $P_{exh}/P_{loss}=4.235 \text{ MPa} / 7.69 \text{ MPa} = 0.55$, 查附表 3, 进行差值计算得 $C_{LF} = 0.89$ 。

[0015] (e) 计算最终的功率损失

根据公式 (A),

$$\begin{aligned} P &= C_{BL} \times (C_{SL}/C_{BL}) \times C_{LC} \times C_{LF} \times P_s \\ &= 0.0533 \times 1.0 \times 0.39 \times 0.89 \times 23640 \\ &= 437.35 \text{ kW} \end{aligned}$$

即, 由于第四级静叶表面粗糙度增加造成汽轮机整体功率损失为 442.34 kW。

[0016] 附表 1-1

相对粗糙度值 (10^{-3})	叶片效率修正系数 C_{rea} 或 C_{rea}
k_s/w_b	
0. 01	1. 035
0. 07	1. 018
0. 13	1. 012
0. 3	0. 996
0. 5	0. 987
1. 0	0. 974
2. 0	0. 955
3. 0	0. 945
4. 0	0. 935
5. 0	0. 922

附表 1-2

相对粗糙度值 (10^{-3})	叶片效率修正系数 C_{rea} 或 C_{rea}
k_s/W_b	C_{rea} 或 C_{rea}
0. 03	1. 064
0. 07	1. 055
0. 13	1. 043
0. 3	1. 0225
0. 5	1. 0125
0. 75	1. 000
1. 0	0. 986
1. 3	0. 976
2. 0	0. 963
3. 0	0. 950
4. 0	0. 935
5. 0	0. 920

附表 2

距出汽边距离 x (%)	局部粗糙度修正系数 C_{rc} (%)	
	C_{rc} (对叶片内弧面)	C_{rc} (对叶片外弧面)
0	0	0
33	18. 5	39
50	22	56
70	22. 5	70
100	24	73

附表 3

汽轮机汽缸排汽压力与评估级排汽压力比 P_{exh}/P_{loss}	汽轮机通流级损失系数 C_{LF}
0. 05	0. 55
0. 1	0. 64
0. 2	0. 73
0. 3	0. 78
0. 4	0. 83
0. 5	0. 87
0. 6	0. 905
0. 7	0. 93

0.8	0.96
0.9	0.98
1.0	1.0

注 :附表 1-1、附表 1-2、附表 2、附表 3 中数据摘自以下文献 :

Foster V.T., Performance Loss of Modern Steam Turbine Plant Due to Surface Roughness, Proc. Inst. Mech. Engr. 1966-1967 Vol. 181 Pt. 1 No. 17.