

S1A—02 燃气轮机箱装体隔声设计与试验研究

王旭 田雨春 刘建成

(哈尔滨七〇三研究所)

[摘要] 本文在分析 S1A—02 燃气轮机噪声及频谱的基础上,给出了 S1A—02 箱装体的相关隔声设计参数,并进行了隔声计算。经开车试验,证明 S1A—02 箱装体隔声性能良好,接近世界上先进的燃气轮机箱装体的隔声性能。

关键词 燃气轮机 箱装体 噪声 频谱

分类号 TK47

0 前言

随着燃气轮机作为一种新型动力在工业和舰船上应用范围的不断扩大,燃气轮机箱装体技术也随之发展起来。燃气轮机箱装体具有隔声、隔热、抗冲击、气密性好、安装维修方便、适于快速换装等显著优点,因此,早在五十年代中期国外就已经开始了燃气轮机箱装体技术的研究。我国在这方面的研究起步比较晚,为缩短我国与欧美发达国家在此项技术上的差距,我们对燃气轮机箱装体技术进行了全面的研究。S1A—02 燃气轮机箱装体的研制是其中的一个实验项目,而 S1A—02 燃气轮机箱装体隔声技术的研究又是整个研究项目的关键技术。

1 S1A—02 燃气轮机噪声特性分析

对于整个燃气轮机装置来说主要有三个噪声源,即燃气轮机的进气噪声、排气噪声以及与机匣有关的噪声。图 1 和图 2 分别为 S1A—02 燃气轮机在慢车和 3/4 工况下的噪声谱。

从图 1 和图 2 中可以看出, S1A—02 燃气轮机的噪声特性为高频噪声,其 A 声级高达 121 分贝, S1A—02 燃气轮机的工作转速为 53000 转/分,进排

气噪声是主要的噪声源。根据 GB14098 (燃气轮机,噪声) 噪声测试点布置在燃气轮机中心线的高度上,距箱体外壁 1 米远的位置上。图 3 为 S1A—02 燃气轮机箱装体的噪声测点布置图。

2 S1A—02 燃气轮机箱装体隔声设计

S1A—02 燃气轮机箱装体的隔声结构是由箱装体内侧的多孔吸音板、吸声材料、阻尼层和隔声外板组成,图 4 为其壁板的剖面结构。

其中: 1 为吸音孔板, 2 为玻璃丝布, 3 为吸声材料, 4 为阻尼层, 5 为外壁钢板。

2.1 吸音孔板

吸音孔板的厚度、穿孔率、空腔深度及材料的选择不是任意的,应在计算、试验和比较后才能确定。孔的形状、大小不起主导作用,但是吸音孔板的穿孔面积越大,吸收的频率越高,空腔越深或颈口有效深度越长,吸收的频率就越低。本设计的数据是: 穿孔板为 1 mm 厚的 1Cr18Ni9Ti 冷轧薄板,穿孔率为 20%,孔径为 H7mm,腔深为 100 mm

2.2 玻璃丝布

玻璃丝布的作用是用它将吸声材料捆住,防止吸声材料在空腔内滑移,以求达到吸声材料均匀分布于空腔内,它同时还能起到防水、防潮的作用。为

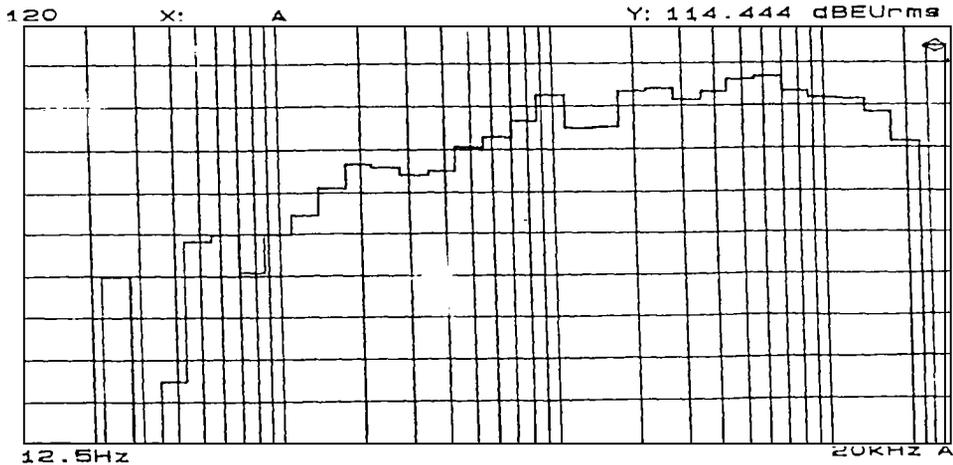


图 1 S1A-02燃气轮机在慢车工况下的噪声及频谱

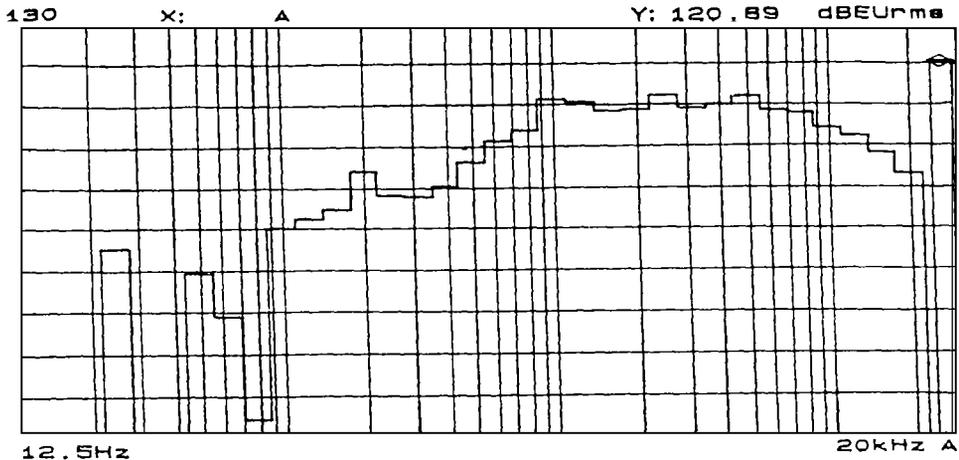


图 2 S1A-02燃气轮机在 3/4 工况下的噪声及频谱

尽可能小地影响吸声性能，对玻璃丝布的要求是其流阻要足够低。

2.3 吸声材料

不同的吸声材料以及同一吸声材料在不同的频率下有不同的吸声系数。吸声材料的选取主要取决于发动机噪声的频率。燃气轮机的噪声大都属于高频噪声，而岩棉、超细玻璃棉和防水玻璃棉这类吸声材料对高频噪声有明显的吸声效果。根据 S1A-02 燃气轮机的噪声特性和常见吸声材料吸声系数表^[1]，S1A-02 箱装体选用容重为 20kg/m³，厚度为 100 mm 的防水玻璃棉。

2.4 阻尼层

阻尼层的作用是防止声波反射和引起薄板振动而将声波传出箱体外，S1A-02 箱装体采用沥青加

毛毡的组合结构作为阻尼层。

2.5 外壁钢板

外壁钢板是箱装体隔声的重部件，它所提供的能量传递损失最大。不同厚度的钢板在不同的频率下有不同的传声损失，钢板越厚，传声损失也越大。但是厚度的选取应从隔声和重量两方面的因素来考虑。S1A-02 箱装体采用厚度为 3 mm，面密度为 23.4kg/m² 的碳素钢板，其平均传声损失为 31 分贝。

3 S1A-02 燃气轮机箱装体隔声计算

3.1 倍频程中心频率下的隔声计算

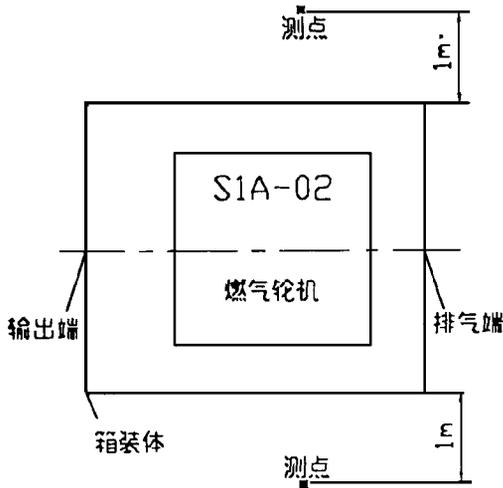


图 3 S1A-02 燃气轮机箱装体的噪声测点布置图

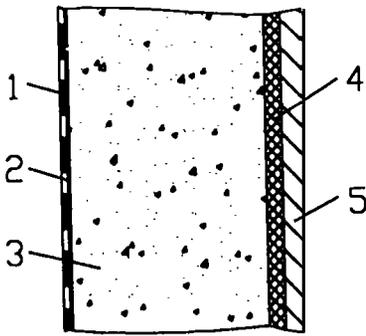


图 4 S1A-02 燃气轮机箱装体壁板结构剖面示意图

S1A-02 箱装体四个侧壁板的尺寸均为 1.35 m × 1.5 m, 顶板为 1.35 m × 1.35 m, 其中左右侧板上各有一个检修门, 右检修门上还有一个双层密封的观察窗。顶板上有一个 0.42 m × 0.45 m 的进气口和一个 H100 mm 的冷却通风口, 后壁板上有一个 H220 mm 的排气口, 前壁板上有一个 H260 mm 的输出轴通过孔。根据吸声材料的吸声系数和箱装体的结构尺寸, 可以计算出箱装体内各壁板的吸声系数。表 1 为 S1A-02 箱装体在各频率下其表面的吸声系数及箱装体的平均吸声系数计算结果。

各频率下箱装体隔声量的大小可用下式计算^[1]：

$$R = TL + 10 \log \bar{\alpha}$$

式中 R ：各频率下箱装体的实际隔声量 (分贝)；

TL ：各频率下壁板材料的传声损失 (分贝)；

$\bar{\alpha}$ ：各频率下箱装体内的平均吸声系数。隔声量的计算结果见表 2

表 1 S1A-02 箱装体内各表面的吸声系数及箱体的平均吸声系数

倍频程中心频率 (Hz)	125	250	500	1000	2000
防水玻璃棉	0.250	0.94	0.93	0.90	0.96
观察窗	0.350	0.25	0.18	0.12	0.07
顶板	0.330	0.95	0.94	0.91	0.97
底板	0.010	0.01	0.01	0.01	0.01
后壁板	0.260	0.94	0.93	0.90	0.96
前壁板	0.240	0.92	0.91	0.88	0.94
左壁板	0.250	0.94	0.93	0.90	0.96
右壁板	0.250	0.92	0.91	0.88	0.94
箱装体平均	0.220	0.78	0.77	0.75	0.80

表 2 倍频程中心频率下的隔声计算结果 (分贝)

倍频程中心频率 (Hz)	125	250	500	1000	2000
3mm 厚钢板传声损失 (dB)	23	27	31	35	37
箱装体的隔声量 (dB)	16	6	26	29	93
	8	36			

3. 2 A 声级隔声计算

计算 A 声级的隔声量时, 箱装体内的平均吸声系数是各个吸声面吸声系数的平均值。根据表 1 可以计算出箱装体内各个吸声面在各频率下的平均吸声系数, 计算结果见表 3

表 3 箱装体内各吸声面在各频率下的平均吸声系数

顶板 $\bar{\alpha}_1$	底板 $\bar{\alpha}_2$	后壁板 $\bar{\alpha}_3$	前壁板 $\bar{\alpha}_4$	左侧板 $\bar{\alpha}_5$	右侧板 $\bar{\alpha}_6$
0.82	0.01	0.80	0.78	0.80	0.78

箱装体内的平均吸声系数为：

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum S_i \tau_i}{\sum S_i} = 0.68$$

式中, S_i ：各吸声面的表面积； τ_i ：各吸声面在各频率下的平均吸声系数。

已知 3mm 厚钢板的平均传声损失为 31 分贝, 所以, 箱装体能隔除的噪声为：

$$R_A = 31 - 10 \log 0.68 = 29.3 \text{ (dB)}$$

4 S1A-02 燃气轮机箱装体隔声试验

为了检验 S1A-02 箱装体设计的合理性, 我们

对 S1A-02箱装体进行了噪声测试，测试中我们使用了 QU ESTM DDEL 1800 型精密声级计、

TEACRD-13ST数据记录仪 HP3S670A动态信号分析仪，测试结果见表 4和图 5

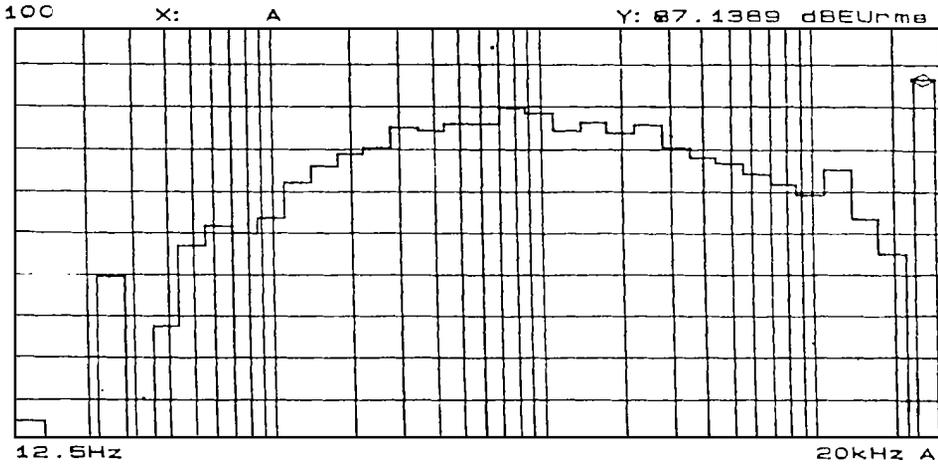


图 5 S1A-02燃气轮机 (带箱装体) 在 3/4工况下的噪声及频谱

5 结论

由于 S1A-02燃气轮机的噪声特性为高频噪声，我们在设计箱装体时，重点对 1k~8k Hz范围内的噪声进行了有效的控制。从表 4和图 5中可以看出，加箱装体后燃机的噪声有了明显的降低。低频噪声也得到了了一定的控制。表 5和表 6为 S1A-02燃气轮机箱装体与国外几台典型的舰船用燃气轮机箱装体消声性能的比较。

表 5 S1A-02燃气轮机箱装体与国外几台典型的箱装体消声性能比较

倍频程中心频率 (Hz)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
LM2500	25	33	31	33	34	36	37	46
FT8	25	33	31	33	34	36	36	46
卡拉汉号	20	23	30	40	45		45	40
DDH-280	7	20	23	29	30		31	30
DD963主推进	17	30	31	34	42		56	56
DD963辅助动力	2	8	15	19	28		28	27
S1A-02	7	20	18	20	33	35	42	47

表 6 S1A-02箱装体与国外几台典型的箱装体消声性能比较 dB (A)

机 型	S1A-02	LM2500	FT8
燃气轮机噪声 (裸机)	121	134	131
燃气轮机噪声 (箱体)	87.1	95	94
箱装体的隔声量	34	39	37

船用燃气轮机箱装体的隔声结构大致都相同，由于箱装体 (特别是船用箱装体) 受到重量、安装空间的限制，一般占箱装体重量比较大的外壁钢板采用 5mm 厚左右的碳素钢板，底架一般采用工字钢与碳素钢板相焊接的组合结构。又由于燃气轮机的噪声大都属于高频噪声，故吸声材料大都选用对高频吸声效果较好的超细玻璃棉、防水玻璃棉等，因此，S1A-02箱装体与上面几台典型的燃气轮机箱装体隔声性能相比较的条件是相似的。从表 5和表 6中可以看出，S1A-02燃气轮机箱装体的隔声性能接近世界上先进燃气轮机箱装体的隔声性能。应该说明的一点是，S1A-02箱装体的外壁钢板厚度为 3 mm，外壁钢板越厚，隔声性能越好。因此，S1A-02箱装体的隔声设计是成功的，它为研制我国实用燃气轮机箱装体打下了一个良好的基础。

参 考 文 献

1. 王文奇. 噪声控制技术, 化学工业出版社

表 4 S1A-02 燃气轮机箱体装体噪声测试结果 (dB)

		慢车 (裸机)	3/4工况 (裸机)	3/4工况 (箱体)
dB (A)		114.5	120.9	87.1
dB (LIN)		116.1	121.1	91.3
1/3 倍 频 程 中 心 频 率 (Hz)	25	60.0	75.3	39.4
	31.5	0	0	0
	40	34.6	0	27.6
	50	68.5	69.1	47.3
	63	70.0	58.9	52.0
	80	60.9	34.0	50.3
	100	70.1	80.3	53.6
	125	74.8	82.4	62.3
	160	81.1	84.7	66.1
	200	86.9	92.4	68.9
	250	86.0	88.3	70.5
	315	84.1	87.8	75.4
	400	85.2	90.4	74.7
	500	90.9	96.5	76.1
	630	93.1	101.3	76.1
	800	96.9	103.9	79.9
	1k	102.8	111.7	78.7
	1.25k	95.0	110.9	74.7
	1.6k	95.1	108.8	76.7
	2k	103.8	109.1	74.1
	2.5k	104.4	112.6	75.8
	3.15k	101.5	109.5	70.6
	4k	103.4	110.4	68.2
5k	106.5	112.2	66.8	
6.3k	106.9	108.7	64.1	
8k	103.5	108.2	61.8	
10k	102.0	104.4	59.2	
12.5k	101.6	102.4	65.0	
16k	98.3	98.3	53.6	
20k	91.6	93.2	45.2	

作者简介 王旭 男 1963年生 1993年3月毕业于哈尔滨工程大学振动、冲击、噪声专业并获得硕士学位,现在哈尔滨七〇三研究所三一室,从事结构设计、强度、噪声等方面的工作。(150036 哈尔滨 77信箱)

(渠源 编辑)

Air Preheaters in Utility Boilers [刊,中] / Yan Weiping, Shan Wei, Jiang Ping (Northeast Electric Power University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6): 416~ 418

An investigation and study of the operation of heat pipe air preheaters in some utility boilers and the thermodynamic calculation results of various schemes involving the replacement of a low-temperature pipe air preheater by a heat pipe preheater for a 200 MW coal-fired boiler have shown that the installation of a heat pipe air preheater for a drastic reduction of exhaust gas temperature is very irrational from technical and economic viewpoints. This paper also presents methods for justifying the adoption of various modification decisions. **Key words** boiler, heat pipe type air preheater, economic analysis

引射器特性的实验研究和理论分析 = Experimental Study and Theoretical Analysis of an Ejector Behavior

[刊,中] / Li Xueliang, Yang Ruichang (Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6): 419~ 423

On the basis of an experimental study the behavior of an ejector is analysed and studied. Furthermore, the calculation method of flow characteristics for an ejector-mounted circuit system is given, which has practical value in engineering applications. **Key words** ejector, hydrodynamic characteristics, experimental study, theoretical analysis

炉内喷钙脱硫实验研究 = Experimental Study of Limestone Desulphurization in Pulverized Coal-fired Boilers

[刊,中] / Yao Hong, Zhou Jianping, et al (Central China University of Science and Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6): 424~ 428

The influencing factors of SO₂ and NO_x emissions are discussed under the conditions of limestone desulphurization in pulverized coal-fired boilers. The test results show that the SO₂ and NO_x emissions are heavily dependent on such factors as furnace temperature, Ca/S, sorbent particle size, coal type, excess air coefficient, etc. Also studied in this paper is the effect of various types of coal under different Ca/S ratios on slagging, fouling, ash load, fly ash carbon content and specific electrical resistance. **Key words** desulphurization ratio, slagging, fouling, Ca/S ratio, electrical precipitator

S1A-02燃气轮机箱装体隔声设计与试验研究 = The Acoustic Design and Experimental Study of a S1A-02 Gas Turbine Package

[刊,中] / Wang Xu, Tian Yuchun, Liu Jiancheng (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6): 429~ 433

Based on the analysis of S1A-02 gas turbine noise and frequency spectra the authors have provided the related acoustic design parameters for the S1A-02 gas turbine package. The operation test has shown that the said package features a good sound-isolation performance, which approaches the world advanced level of sound-proof quality of gas turbine packages. **Key words** gas turbine, package, noise, frequency spectrum

核蒸汽轮机系统数模混合实时仿真 = The Hybrid Real-time Simulation of a Nuclear Steam Turbine System

[刊,中] / Yu Mingyi, Huang Shanheng, Weng Shilie (Shanghai Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6): 434~ 437

This paper describes a mathematical model and a hybrid digital/analog real-time simulation model for the analysis of a nuclear submarine plant steam turbine system. With the effect of moisture separator volume inertia and thermal inertia on the system being taken into account a real-time simulation of the dynamic behavior of nuclear steam turbine system was conducted on a Dornier 960 hybrid simulation system. **Key words** nuclear