

一个几近等反力度涡轮级的计算及讨论

崔 济 亚

(北京航空航天大学)

摘 要: 利用导叶反扭和前倾, 算出叶高反力度只变化 0.032, 且峰值在叶根附近的涡轮, 而间隙站压力仍在叶尖最高。对此作出分析及讨论。并提出进一步研究方向。

主题词: 涡轮部件, 叶片翼型, 研究

COMPUTATION AND DISCUSSION OF A NEARLY CONSTANT DEGREE OF REACTION TURBINE STAGE

Cui Jiya

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics)

Abstract: This paper is a further step of trial from the previous effort (Literature 1, 2) to obtain an even nearly constant degree of reaction turbine stage. The tension spline streamline curvature method applied to a nearly constant shroud diameter flowpath is similar as before. But the nozzle vanes leading edge positive lean angle is increased to 18° , and their reverse to conventional exit angle twist increased to 22.5° .

The variations of main gas dynamic parameters, total pressure loss coefficients and stage efficiencies along the blade height are shown together with the corresponding conventional stage of same flowpath for comparison. A reaction difference of only 0.032 is achieved, yet owing to the stage exit pressure being highest at shroud, the nozzle exit pressure is still highest at shroud.

It seems apparent that in order to minimize nozzle vane secondary flow and shroud clearance leakage losses, an optimum pressure gradient along nozzle vane exit is decisive in future study.

Keywords: Turbine part, Blade airfoil, Research

符 号 表

C_u	周向分速	α	气流与轴向夹角
C_a	轴向分速	β	气流相对速度与轴向夹角
M_1	导叶出气速度 C_1 的马赫数	ρ_r	涡轮反力度
M_{w2}	动叶相对出气速度 w_2 的马赫数	η^*	涡轮效率
p	静压强		下标
p^*	总压强	0	涡轮进口
r	半径	1	导叶出口
z	轴向距离	2	动叶出口

1 前 言

近似等反力度涡轮级的效率比相应常规级略有提高,已有实践证实。但较为正规的计算发表很少。文献〔1, 2〕用张力样条流线曲率法,依靠导叶的出气角反扭(即外环处关小而内环处打开)及导叶叶盆前倾 15° ,设计出根尖反力度只差约 0.09 的涡轮级,导叶的出口静压梯度也有所缓和,很自然地联想到,是否增加反扭及前倾角,可以进一步接近等反力度使静压梯度再趋缓和,以缓解内环附面层二次流集聚及通道涡情况。本文便是这一尝试的结果。

2 几近等反力度涡轮级设计

为了便于与常规级比较,通道形状仍取图 1 示意的等外环式,即只在导叶的进口第 $I=4$ 站到间隙中途 $I=11$ 站略有收缩,然后到动叶进口 $I=13$ 站后又回复原始等外径。通过加大外环流线导叶的出口气流环量、减小内环流线环量以增加反扭,并将导叶前缘前倾角加到 18° ,仍按等功要求,得出设计参数沿叶高变化如图 2。常规级并列

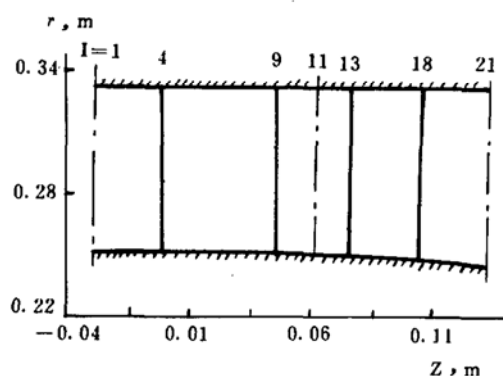
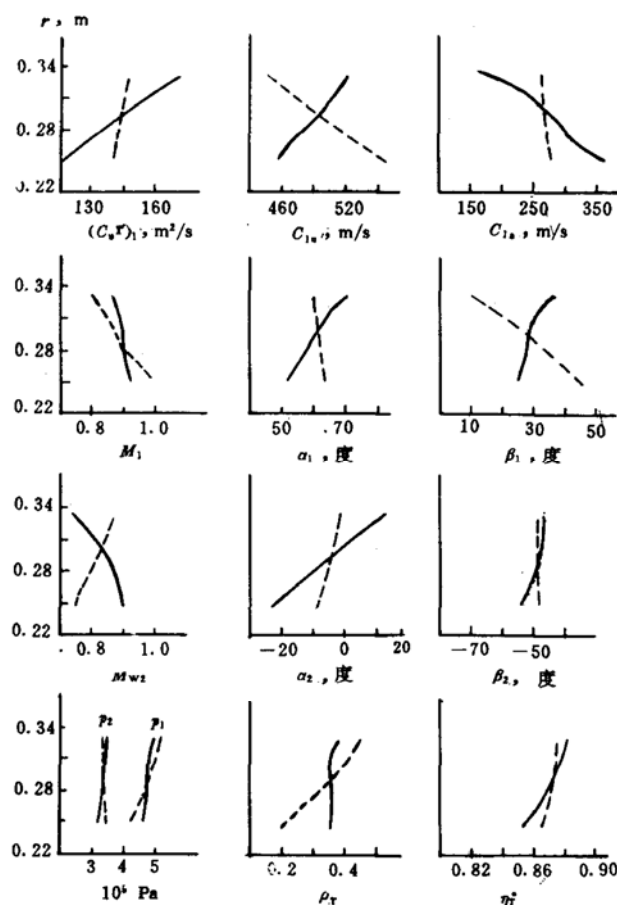


图 1 通道形状



—— 几近等反力度级

..... 常规级

图 2 沿叶高参数

供比较。

3 讨 论

由图看出,导叶出气角 α_1 反扭已达 21.35° , 参数分布,除动叶出气角 β_2 外,与常规级均有较大差别。特别是,反力度峰值虽在叶尖,谷值则在叶尖第9流线处,相差仅0.03202。尤其值得注意的是:间隙站压力梯度方向未有改变,即仍然是叶尖处最高、叶根处最低。如按级出口站压力 p_2 计算,如表1示,反力度就仍然是叶尖处最大叶根处最小。由此可见,为了得到有利于缓解二次流向叶根部集聚和形成通道涡,叶片下半部的压力逆梯度才是追寻的目标,而不是一般想象的反力度逆梯度就够的。

表1 反力度沿叶高变化

$\rho_r = \frac{T_\delta \left\{ \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_\delta} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] - \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_\delta} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \right\}}{T_\delta \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_\delta} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} = \frac{\left(\frac{p_1}{p_\delta} \right) - \left(\frac{p_2}{p_\delta} \right)^{\frac{k-1}{k}}}{1 - \left(\frac{p_2}{p_\delta} \right)^{\frac{k-1}{k}}}$ $p_\delta = 8.0707 \times 10^5 \text{ Pa}$					
流线	p_1 ($I=11$) 10^5 Pa	p_2 ($I=18$) 10^5 Pa	ρ_r	p'_2 ($I=21$) 10^5 Pa	ρ'_r
11	<u>4.9228</u>	<u>3.5348</u>	<u>0.37679</u>	<u>3.4408</u>	<u>0.39451</u>
10	4.8385	3.5193	0.35942	3.4399	0.37486
9	4.7812	3.4830	<u>0.35273</u>	3.4393	0.36154
8	4.7496	3.4427	0.35309	3.4392	0.35380
7	4.7338	3.4046	0.35684	3.4392	0.35000
6	4.7276	3.3710	0.36193	3.4390	0.34855
5	4.7249	3.3436	0.36659	3.4383	0.34804
4	4.7192	3.3237	0.36907	3.4369	0.34694
3	4.7035	3.3123	0.36760	3.4345	0.34363
2	4.6724	3.3073	0.36130	3.4305	0.33691
1	<u>4.6320</u>	<u>3.2970</u>	0.35387	<u>3.4237</u>	<u>0.32848</u>
Δ	0.2908	0.2738	0.02406	0.0171	0.06603

按计算结果,几近等反力度级的效率,还略低于常规级,表2所列导叶及动叶损失系数,可供参考。由于所取漏气损失及冲波损失模型精度不高,这一结论难于高度置信,尚待进一步验证。

表2 各流线处的损失系数及效率

流 线		$Y_{型}$ 〔其中 $Y_{冲波}$ 〕		$Y_{尾}$	$Y_{二次}$	$Y_{漏}$	ΣY						
导叶 外环	11	0.0329 (0.0170)	0.0099 (0.0037)	0.0031 (0.0030)	0.0532 (0.0538)	0 (0)	0.0892 (0.0738)	流线	$\eta^2, \%$				
	9	0.0248 (0.0182)	0.0087 (0.0048)	0.0036 (0.0034)	0.0533 (0.0538)		0.0818 (0.0754)						
	6	0.0210 (0.0210)	0.0076 (0.0069)	0.0045 (0.0042)	0.0534 (0.0539)		0.0789 (0.0791)						
	3	0.0181 (0.0251)	0.0066 (0.0103)	0.0056 (0.0055)	0.0535 (0.0540)		0.0772 (0.0846)						
	内环 1	0.0168 (0.0288)	0.0067 (0.0140)	0.0066 (0.0069)	0.0535 (0.0541)		0.0769 (0.0898)						
动叶 外环	11	0.0151 (0.0127)	0.0015 (0.0045)	0.0046 (0.0077)	0.0723 (0.0696)	0.0779 (0.0797)	0.1700 (0.1700)	11	88.30 (87.56)				
	9	0.0128 (0.0125)	0.0027 (0.0042)	0.0051 (0.0060)	0.0712 (0.0693)		0.1669 (0.1675)			9	87.98 (87.64)		
	6	0.0159 (0.0154)	0.0054 (0.0045)	0.0050 (0.0053)	0.0706 (0.0688)		0.1698 (0.1692)					6	87.19 (87.57)
	3	0.0212 (0.0230)	0.0089 (0.0050)	0.0094 (0.0072)	0.0702 (0.0681)		0.1788 (0.1780)						
	内环 1	0.0240 (0.0326)	0.0112 (0.0052)	0.0173 (0.0103)	0.0696 (0.0672)		0.1889 (0.1898)			1	85.60 (86.56)		
							平均	87.13 (87.39)					

4 结 语

导叶反扭及前倾,可提高叶根部反力度、压力,有可能减轻根部二次流损失,是较清楚的。至于叶尖部,保持一定压力梯度,以减轻尖部二次流损失,并同时照顾到与漏气损失增大相折衷,还待进一步研究。例如复合倾斜的俗称马刀叶片,究竟在叶中何处转折最佳,也值得注意。

参 考 文 献

- [1] 崔济亚,林平基,李雨春. 用张力样条流线曲率计算近似等反力度涡轮的研究. 工程热物理学报, 1989, 10 (3)
- [2] 崔济亚,林平基,李雨春. 近似等反力度涡轮级设计的研究. 航空动力学报, 1989, 4 (4)