动力涡轮承力机匣联接螺钉 断裂故障的排除和承力分析

汪帼华 (哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

〔提要〕本文结合某型燃气轮机动力涡轮联接螺钉头断裂故障的分析和排除,提出需对发 动 机内某些构件考虑疲劳强度校核问题,以及整体转子动平衡的重要性。

主题词 涡轮 紧闭件 断裂

一、问题的提出

某型涡轮轴发动机, 在进行台架试验的 过程中发生动力涡轮部位振动过大(3~5g, 瞬时达7g),继而动力涡轮承力机匣定位联 接螺钉头断裂的机械故障。正确分析该部位 的承力情况,是排除故障的基础。

动力涡轮的结构见图1。其转子、轴承 座、内机匣的动静载荷通过十个定位 螺 钉8

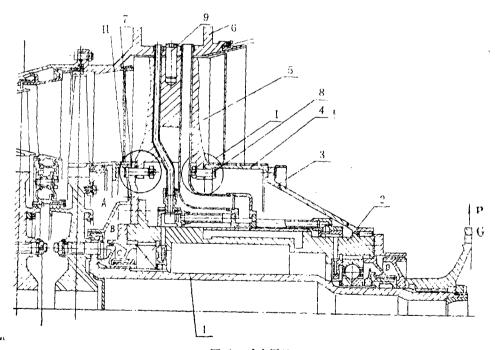


图 1 动力涡轮

动力涡轮转子 2. 轴承座 3. 后承力机匣 4. 动力涡轮内机匣

5. 导流支板芯 9. 动力涡轮外机匣 7. 承力板 8. 定位螺钉 9. 销钉

经导流支板及径向销钉9传到外 机 匣,定位 螺钉前后各五个。故障发生前,定位螺钉的 端面分别与内机匣和支板芯贴紧。发动机运

联接形式如图1中 I 所示, 螺钉头及螺母 的

收稿日期: 1988-12-22、

行6小时23分后,盘车发现转子有被卡现象,即行分解,发现前排五个螺钉中,三个螺钉头断裂,一个有裂纹,后排螺钉尚未损坏(见图2)。检查动力涡轮各气封封严环的同心度,故障前后相差甚微,说明各部件的相对位置未变。

对于故障件8进行了常规金相分析,结论 **是:**材料及热处理均合格。

断口的外观具有光滑的、贝壳状的疲劳 裂纹发展区,粗糙的瞬断区范围较小。明显 呈现高周疲劳破坏特征。从断口处金属颜色 判断,温度较高,说明疲劳破坏的频率很

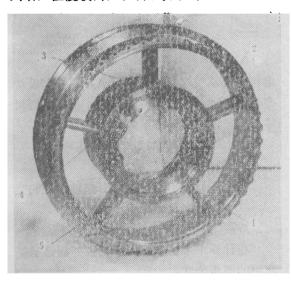
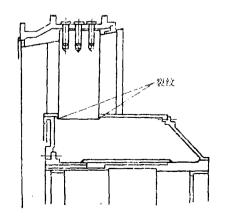


图 2 螺钉头断裂位置分布图1*、2*、3*断4*裂纹



高。

二、定位螺钉承力分析

过去,对于这部分静子零件的强度计算,仅考虑传递功率的扭矩和内机匣、轴承座及转子自重引起的剪力。经计算,定位螺钉横截面的剪应力τ仅为0.185×10⁻²MN/m²,对于40CrNiMoA 材料受此应力,强度储备足够大,因此从不认为该处存有强度校核的薄弱环节。过去研制的几型机组曾采用过定位销子,焊接固定的结构形式(图3)。出现过销子末端开口销被挤断,销子孔处支板芯断裂,焊缝处开裂等故障。实际上,这部位的受力情况是比较复杂的。应该考虑:

- 1. 扭矩及构件自重引起的剪力;
- 2. 动力涡轮的轴向力, 使定位螺钉承 受弯矩, 此力方向不变, 大小随 工 况 而 变 化;
 - 3. 转子不平衡力引起的交变弯矩。

对于本次故障,有两点需予以考虑。首先是由于试验所用联轴器(非发动机部件)为试车台设备——鼓形齿联轴器(图4),它由两端的外齿圈和中间传动轴组成,涡轮轴输出端直接用螺钉与一端的外齿圈相固紧。作为转动部件是必须进行动平衡的,如动力涡

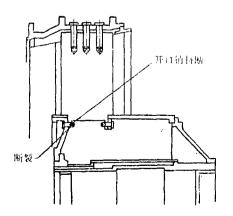


图 3 结构形式

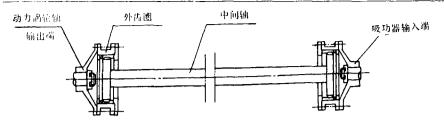


图 4 鼓形荷联轴器

其次是需考虑故障件的设计和加工问题 (图5)。退刀槽虽然标注为 $R0.5^{+0.8}$,但 实际加工中很难测量和控制,圆角 r很 小。 会存在应力集中问题。当然,这与原来未考

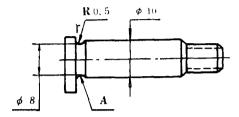


图 5 定位螺钉

虑该螺钉承受弯矩有关。可见,零件的设计 亦是不合理的。如果r按0.2计,根据螺钉尺 寸,其理论应力集中系数 α ≈3.2。

图6示出了分析时所考虑的几种力:

q 轴向力均布载荷,

 F_1 、 F_2 转子不平衡力引起轴承处的交 变支反力,

 M_K 扭矩,

在计算中采用了外周简支内外周边承受 弯矩的圆板公式:

$$\begin{cases} Q = -DC_1/r \\ \frac{dw}{dr} = \frac{C_1}{4}r(2\log r - 1) + \frac{C_2}{2}r + \frac{C_3}{r} \\ w = \frac{C_1}{4}r^2(\log r - 1) + \frac{C_2}{4}r^2 + C_3\log r + C_4 \\ -\frac{M_1}{D} = \frac{C_1}{4m}\left(2(m+1)\log r + (m-1)\right) + \frac{m+1}{2m}C_2 - \frac{m-1}{m}\frac{C_3}{r^2} \\ -\frac{M_2}{D} = \frac{C_1}{4m}\left(2(m+1)\log r - (m-1)\right) + \frac{m+1}{2m}C_2 + \frac{m-1}{m}\frac{C^3}{r^3} \end{cases}$$

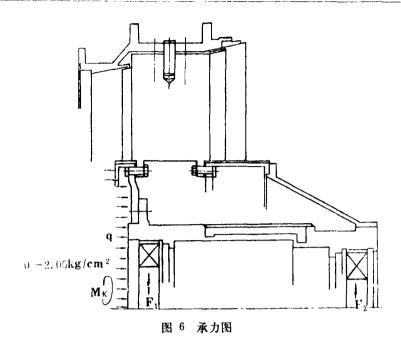
式中 Q——剪力; w —— 板位 移; M_1 、 M_2 —— 外周边,内周边弯矩; D —— 板弯 曲刚度; r —— 半径; $m=1/\nu$ ν 为泊松系数;

 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 为积分常数(由边界条件定)

定位螺钉(图5) A处实际承受如图7所 示的重复载荷。

经计算,在定位螺钉不均匀受力的情况 下,考虑应力集中系数时:

轴向均布载荷引起的最大应力



6 6 6 m t 图 7 A处应力

 $\sigma_m = 1.01 \times 10^{-2} \text{MN/m}^2$ 转子不平衡力引起的最大应力幅 $\sigma_{amax} = 4.24 \times 10^{-2} \text{MN/m}^2$ 因剪切应力值相对较小,在此可忽略。

目前对于承受疲劳载荷的金属构件,常用Soderberg或 Goodman 关系式来估算其许用应力范围。

Soderberg
$$\vec{x}_{i}$$
: $\frac{\sigma_{a}}{\sigma_{-1}} + \frac{\sigma_{m}}{\sigma_{s}} = 1$

Goodman
$$\vec{\Xi}_{:}$$
 $\frac{\sigma_a}{\sigma_{-1}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_b} = 1$

式中: σ_{-1} 疲劳强度极限

σь持久强度极限

σ。屈服应力

用图线表示,情况可见图8。

显然用 Soderberg 关系式偏保守。实践

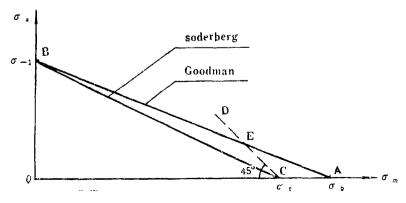


图 8 拉一弯疲劳极限图

表明,对于脆性断裂用Goodman关系式能得出相当精确的结果,假定金属全面屈服破坏沿CD线发生,通常兼用CD 与 Goodman 曲线,也即认为OCEB 为"安全区",用此式进行校核:

定位螺钉材料为40CrNiMoA 其 $\sigma_b = 9.807 \times 10^{-2}$ MN/m² $\sigma_s = 8.34 \times 10^{-2}$ MN/m² $\sigma_{-1} = 3.92 \times 10^{-2}$ MN/m²

用 $\sigma_m = 1.01 \times 10^{-2} \text{MN/m}^2$ 代入计算得到 允许的最大交变应力幅为 $\sigma_a' = 3.52 \times 10^{-2}$ MN/m², 而实际应力幅值达4.24MN/m²,大 于允许值,故零件必然发生断裂事故。

三,措施及结论

- 1. 零部件设计中尽量避免应力集中现象,在其它大部件不予变动的前提下,将定位螺钉加长,取消螺钉光杆端部的退刀槽,改为如图1中Ⅱ所示的联接方式。
- 2. 动力涡轮转子单独动平衡后,装上 联轴器的外齿圈再一起进行动平衡。其精度 要求仍为6g·cm。

经试验考核表明,分析是正确的,措施 是有效的,有一台机组已经过了500小时的 长试,未出现任何故障。发生故障的一台机 组,采取上述措施修复后,已经过90余小时 的试验,状况良好,在60小时台架试验结束 后,分解检查了各有关零部件,有的作了探 伤检验,均为正常。

通过故障的排除和分析,对于动力涡轮 静子部分的承载及强度校准有了新认识,需 要对某些构件考虑疲劳强度的校核,也有助 于对过去几型机组相同部位出现的不同形式 故障的分析。

参 考 文 献

- [1] (日) 渥美光、铃木幸三、三田贤次等·材料力学。 人民教育出版社, 1982年
- [2] 铁木辛柯。材料力学。科学出版社, 1979年
- [3] (美) 博雷西AP,赛德博坦OM,西利FB, 史密斯JO著,汪缵、汪骏 译。高等材料力学。 科学出版社, 1987年
- [4] (苏)皮萨连科r e,亚科符列夫A П,马特继也夫 BB著,范钦珊、朱祖成 译。材料力学手册。 中国建筑工业出版社,1981年

(上接46页)

滤性能好,消音,结构简单,工艺性好和重量轻,其中良好的过滤性能和均匀的速度场是主要的两项指标,必给予足够的重视。

为了设计出符合要求的进气装置,需要在结构设计,模型与实船试验和测试方法等方面继续努力。由于试验条件所限,目前的资料尚不系统,文中的认识只是初步的带局限性的,还有待进一步地工作。

参考文献

- [1] 船用燃气轮机进排气装置。舰船透平锅炉, 1976, (2-3)
- [2] 船用燃气轮机的进气过滤系统。国外舰船技术——透平锅炉类, 1979, (5)

used for the reconstruction and design of the transmission system.

Key words: variable transmission drive, energy-saving, electromagnetic clutch, design improvement

Abstract

In order to open up a new realm for the utilization of lignite, the author has designed a double drum, natural circulation water-tube boiler with economizer, air preheater and transversely positioned reciprocating grate bars. With a thermal efficiency of the boiler as high as 76.80%, significant social and economic benefits can be attained.

Key words: boiler, design

- 5. The design of a gas turbine waste heat boiler.... $Wu\ Yishan\ (25)$
- 6. The off-design performance of two shaft gas turbines

.....Zhao Shihang Hu Ziqin
Xiang Wenguo Zhang Yingjian (29)

Abstract

In this paper the performance maps of 2/LL and 2/HH two shaft gas turbine series are obtained by way of calculating the off-design performance. On this basis, the off-design performance of these gas turbines is analyzed. In conclusion, the paper pointed out that some types of these gas turbines might have potential for development in and applicasion to opmbined cycle power stations.

Key Words: gas turbines, properties, thermodynamic cycle, analysis

Abstract

In connection with the analysis and elimination of a gas turbine power turbine joint screw head failure, the author suggests that some structral parts in the engine stould be given a checkout with respect to their fatigue strength. She also shresses the importance of the dynamic balance of the rotor as a whole.

Key words: turbine fastner, repture, analysis

Abstract

Some appraisal data were obtained from tests of various versions of intake ducts on a land-based parallel running test rig. This paper sorts out and analyzes a variety of problems, such as the effect of different air intake louver arrange-