

- 15 Saad W, Han Z, Debbah M, et al. Coalitional games for distributed collaborative spectrum sensing in cognitive radio networks. In: Artur Z, Li Q, ed. Proceedings of 28th Conference on Computer Communications, Rio de Janeiro, Brazil, 2009. 2114–2122
- 16 Li Z Q, Yu F R, Huang M Y. A distributed consensus-based cooperative spectrum sensing scheme in cognitive radios. IEEE Trans Veh Technol, 2010, 59: 383–393
- 17 Reza O S, Fax J A, Richard M M. Consensus and cooperation in networked multi-agent systems. Proc IEEE, 2007, 95: 215–233
- 18 Zaheer K, Janne L, Kenta U, et al. On the selection of the best detection performance sensors for cognitive radio networks. IEEE Signal Process Lett, 2010, 17: 359–362
- 19 Guo C, Peng T, Xu S Y, et al. Cooperative spectrum sensing with cluster-based architecture in cognitive radio networks. In: Guillem F, ed. Proceeding of 69-th Vehicular Technology Conference: VTC2009-Spring. Bicolona, Spain, 2009. 1–5
- 20 Pedro A F, Alfonso C, Georgios B G. Distributed clustering using wireless sensor networks. IEEE J Sel Topics Signal Process, 2011, 5: 707–724
- 21 Andrea G. Wireless Communications. London: Cambridge University Press, 2005

· 动 态 ·

## 高超声速飞行器壁板颤振研究取得新进展

壁板颤振一般是指高速气流中的飞行器表面壁板结构发生的一种自激振动现象,具有3个特点:(1)它是一种典型的超声速/高超音速现象;(2)气流的作用仅发生在壁板的一侧表面;(3)振动的振幅一般受到结构非线性的限制,因此壁板颤振通常不会引发迅速的破坏,而更多的是造成结构的疲劳损伤。虽然壁板颤振不像机翼颤振那样,一定会导致严重的飞行事故,但是剧烈的壁板颤振将会对壁板结构的疲劳寿命甚至飞行器的飞行性能产生十分不利的影响。

由北京航空航天大学航空科学与工程学院杨超教授、万志强副教授和李国曙博士生撰写的《气动热-气动弹性双向耦合的高超声速曲面壁板颤振分析方法》一文展现了当前在这一领域内的新进展。该文发表在《中国科学:技术科学》2012年第4期上。文中采用了新近提出的气动热-气动弹性双向耦合分析思路,对二维曲面壁板临界颤振时刻及影响因素进行了研究。

对壁板颤振的研究始于20世纪50年代,国内外研究人员对此现象进行了大量的理论分析和试验研究。对于气动,目前应用较广的是活塞理论。对于薄板结构,在分析中往往采用柯西霍夫平板假设和冯卡门非线性应变-位移关系。另外,高超声速条件下的壁板颤振分析还需要考虑热效应的影响。由于气动加热引起的温度变化相对于颤振响应是一个缓慢的过程,因此以往在计算中往往采用非耦合的热-结构理论。然而,随着高超声速飞行器的发展,其壁板结构相对柔度越来越大,采用非耦合的热-结构分析理论是否恰当就成为一个必须考虑的问题。对此,国外的研究人

员提出了热气动弹性双向耦合的分析方法,该方法不仅能够考虑气动热对气动弹性的影响,也能够考虑弹性变形对气动热的反馈影响。此外,目前已有的研究大都是针对平面壁板,对于曲面壁板颤振的研究相对较少,因而使用双向耦合分析思路的曲面壁板颤振研究就相当必要了。

文中建立了考虑气动热、气动弹性双向耦合的高超声速二维曲面壁板颤振分析方法。围绕4个方面开展了研究:(1)考虑气动热与气动弹性的双向耦合,既分析气动热对结构刚度的影响,又分析气动弹性变形对于气动压力分布进而对气动热的影响;(2)考虑结构温度随飞行时间的积累效应,以计算气动热、热传导并最终得到温度场的思路计算结构的实际温度分布;(3)考虑弦向和厚度方向非均匀温度分布对气动弹性的影响;(4)考虑曲面壁板的初始变形,并进而研究该变形对壁板颤振发生时刻的影响。

研究得到了以下结论:(1)高超声速飞行器壁板,由于气动加热显著,弹性效应明显,需要充分考虑气动加热和气动弹性之间的耦合效应。(2)基于更加贴近真实情况的气动热、气动弹性双向耦合分析方法所得到的壁板颤振分析结果,较之基于单向耦合方法所得到的结果更严峻。(3)双向耦合分析结果与单向耦合分析结果差异的产生,与这两种方法所得到的热流和温度梯度不同有密切的关系。(4)高超声速飞行器曲面壁板的初始变形对其颤振发生时刻有较大的影响。总体来说,较大的初始变形会显著推迟壁板发生颤振的时刻。该研究得到了国家自然科学基金(90716006, 10902006)的资助。

(本刊讯)