

漫谈非线性共振

邵 椿

(扬州大学理学院物理系 扬州 225002)

一提到共振,人们就会想到一个故事,一支军队步伐整齐地过一座木桥,由于步伐频率接近桥的固有频率,从而引起共振,导致桥塌掉,造成惨祸。对于一个非线性系统,不但在外力驱动频率接近系统的固有频率时会发生共振(称为主共振),有时强迫频率虽然远离系统的固有频率,但在两频率之间在一定比值时,也会发生共振(称为次共振)。

对于一般振动系统,通常可写成如下振动方程:

$$\ddot{\phi}_t + a \sin \phi = 0$$

在存在阻尼的环境下,受迫振动方程可写为:

$$\ddot{\phi}_t + \gamma \dot{\phi}_t + a \sin \phi = F \cos \omega t$$

对 $\sin \phi$ 展开,则 $\sin \phi = \phi - 1/6 \phi^3 + \dots$, 取前两项代入,得

$$\ddot{\phi}_t + \gamma \dot{\phi}_t + a \phi - a/6 \phi^3 = F \cos \omega t$$

这是非线性受迫振动方程,当小角度近似时,则方程为

$$\ddot{\phi}_t + \gamma \dot{\phi}_t + a \phi = F \cos \omega t$$

这是大家所熟悉的在普通物理学教本上都能看到的线性受迫振动方程。实际上它只是非线性受迫振动方程的近似,它的共振频率响应曲线见图 1。其中 A 为幅值, ω 为强迫频率, ω_0 系统固有频率。

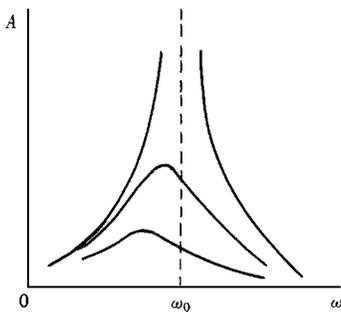


图 1 线性受迫振动方程的共振曲线

对于非线性受迫振动方程式:

$$\ddot{\phi}_t + \gamma \dot{\phi}_t + a \phi - a/6 \phi^3 = F \cos \omega t$$

讨论它的共振时发现,系统不但存在强迫频率与系统固有频率接近时的主共振,还存在强迫频率为固有频率 3 倍、5 倍……左右的次谐波共振。以及强迫频率仅为固有频率 1/3、1/5……左右的超谐波共振。

次谐波共振与超谐波共振统称为次共振。而且还存在两个强迫频率以一定比例组合的组合共振。图 2 为非线性受迫振动方程的主共振频率响应曲线,其中 A 为幅值, $\omega = \omega_0 + \varepsilon \sigma$, ω 为强迫频率, ω_0 系统固有频率, ε 为小量。从图 1 与图 2 比较可以明显看出,线性系统的共振和非线性系统的主共振截然不同。非线性系统的频率响应曲线的弯曲导致了振幅的多值性,从而导致了跳跃现象。图 3 是超谐波共振的频率响应曲线。其中 A 为幅值, $3\omega = \omega_0 + \varepsilon \sigma$, ω 为强迫频率, ω_0 为系统固有频率, ε 为小量。

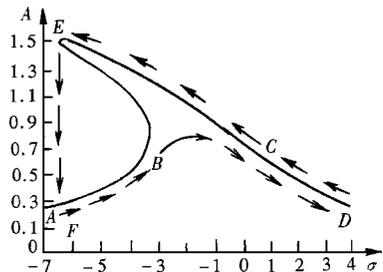


图 2 非线性受迫振动方程的主共振频率响应曲线

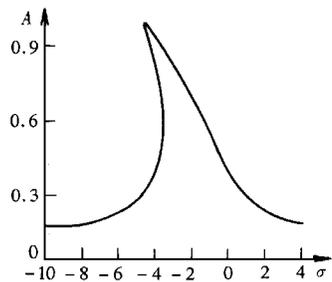


图 3 非线性受迫振动方程的超谐波共振频率响应曲线

对于既有立方非线性又有平方非线性的受迫振动方程,其方程可写为

$$\ddot{\phi}_t + \gamma \dot{\phi}_t + a \phi + b \phi^2 + C \phi^3 = F \cos \omega t$$

当 C 趋向于 0 时,此系统具有 1/2 阶的次谐波共振和 2 阶的超谐波共振。这就是说,非线性的阶数改变了次谐波共振和超谐波共振的阶数,次共振的存在表明了非线性系统共振的复杂性。

网格计算: 21 世纪科学的一种新的信息基础设施

童国梁 孙功星

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

当计算机网络变得越来越便宜和强有力时, 一种新的计算模式正在应运而生, 这必将改变人们进行科学和工程实践的传统方式!

一、网格计算(Grid)及其产生背景

Grid 技术原本出现于 1910 年的电网概念。Grid 的词意原为输送电力的电网系统。但在本文中介绍的 Grid, 输送的不是电力, 而是提供计算能力、数据存储能力以及其他的各种服务; 传送的手段也不再是电网系统, 而是计算机网络。今天, 我们在用电的时候, 无须考虑它用什么方式, 也不问它是在哪儿产生的。这里介绍的 Grid 技术也有类似的特点, 当你共享计算能力、存储空间以及其他许多便利的时候, 不必过问这些服务是怎么产生的, 也不必过问源于何处。Grid 可以这样来定义: 协调地理范围广泛的资源, 并对此进行有效的管理, 使其形成一个单一的资源映像。用户可以方便地使用统一的编程接口(API)调用这些网格资源。

随着研究的问题越来越复杂以及技术的日益强大有力, 今天的科学研究已经强烈地依赖于计算机

的应用, 包括计算和数据分析等, 以及科学家之间的密切合作。

高能物理研究产生了 WWW, 推动了信息革命。目前, 互连网上使用得最多、发展得最快的是环球网 WWW(即 World Wide Web 的英文缩写), 但是, 您知道 WWW 是谁发明的吗? 知道这件事的人恐怕不太多。说来也很有意思, WWW 并不是从事 IT 的研究所或公司发明的, 而是搞高能物理研究的欧洲核子中心(CERN)发明的。1990 年下半年, 一位 CERN 的计算机科学家遯姆·贝尔斯-李(Tim Berners-Lee)发明了 WWW, 这是现在的叫法, “Web”是它的一种爱称。高能物理是一个典型的大科学工程学科, 合作的单位是全球范围的, 科学家之间需要频繁的信息交流, 所以, Web 技术在 CERN 诞生并不奇怪。现在 Web 已有几百万个学术研究和商业用户。历史告诉人们, 基础研究使世界发生了深刻的变化。高能物理研究给世界带来了 WWW, 推动了信息革命。在中国也是这样, 早在 WWW 诞生之前的 1986 年, 中国科学院高能物理研究所就建立了因特网的

世界在本质上是非线性的, 线性仅仅是近似而已, 非线性离我们是很近的。美国 A. H. 奈弗和 D. T. 穆克所著的《非线性振动》一书中提到, 有人曾注意到飞机的某些零件能够被发动机猛烈地激发, 而实际上发动机却是以远大于它们的固有频率的转速转动着。还有人描述了一架商用飞机, 其螺旋桨诱发了机翼的次共振, 机翼又转而诱发了方向舵的次共振, 这些振动十分剧烈足以引起悲剧性的后果。因此厂房设计、机器的安装等问题, 应充分考虑非线性共振的特点。

非线性共振不但在宏观世界存在, 在微观世界也存在。我们曾研究了激光与 DNA 相互作用的非线性共振问题, 激光作为外力驱动, DNA 产生非线性受迫振动。当激光频率仅为 DNA 吸收频率 $1/3$ 左右时, 即激光波长为 DNA 吸收波长 3 倍左右时,

发生了超谐波共振。超谐波共振使 DNA 构象改变, 从而导致 DNA 光谱的吸收峰值发生变化, 产生了增色效应。而用 DNA 吸收波长的紫外光来辐照, 使 DNA 吸收峰产生减色效应。说明激光与 DNA 非线性作用的次共振, 对 DNA 构象影响的机理和结果, 与紫外是不一样的。这些结果对激光生物学、激光医学和激光生物防护的研究, 提供了参考。

非线性共振是存在的, 也是重要的, 有时可能起很大的作用。但是由于这类共振尚未得到广泛的认识, 因此也就没有引起大家注意。传统的物理学教学是以线性问题为基础的, 回避非线性问题。随着科学技术的发展, 非线性问题显得越来越重要。作为自然科学基础的物理学, 在教学中应该反映非线性问题, 包括这类非线性共振内容。