

弹簧隔振技术应用于汽轮发电机基础探讨

张爱中 张兰春

山东电力工程咨询院 250013

提 要：国外工程实践证明，汽轮发电机弹簧隔振基础是一项成熟的先进技术，安全可靠，有利于安装运行和文明生产，大型国产发电机组采用弹簧隔振基础亦已具备条件，在具备条件允许的情况下应积极采用。

关键词：汽轮发电机基础、弹簧隔振技术、弹簧隔振基础

一、 汽轮发电机的振动特性及其对基础的要求

汽轮发电机组是发电厂的心脏，是高速运转的动力设备，汽轮发电机基础常年承受动荷载，不但本身不能受损坏，更重要的是要保证机组平稳地运行。汽轮发电机基础的设计要考虑工艺布置及设备运行的需要，满足强度、刚度、稳定性及动力特性的要求。

二、 弹簧隔振原理及其优点

弹簧隔振系统由弹簧隔振器和粘滞阻尼器组成。弹簧隔振器是将优质圆柱形螺旋压缩弹簧组装在由钢板制作的箱体内，粘滞阻尼器具有与速度成正比的阻尼作用，避免机器在启动和停机时存在共振频域产生过大的振幅，弹簧隔振器与粘滞阻尼器并联使用，隔振效率可达90%以上。弹簧隔振系统具有以下优点：

(1) 能改善动力基础的动力特性。弹簧基础具备“低频基础”的特征，在额定扰力作用下基础顶板各点的振幅比较均衡，最大振幅较小，有利于机器安全运行。从定性分析，还可进一步减小轴径的磨损，延长主机的寿命和大修的间隔时间。

(2) 可有效的隔离动力荷载，隔振效率达90%以上，使弹簧以上的机器和顶板与下部支承结构脱离动力耦合，使弹簧上下的结构可以分别进行精确的动力和静力计算。下部结构不再承受动载，立柱截面尺寸大幅度减小，与厂房结构连成整体，突破了传统的厂房结构布置格局，加强了厂房横向刚度，提高抗震能力，同时对工艺布置极为有利。动力机器的振动基本不会传动邻近的厂房上去，有利于文明生产，减小振动对周围环境及人员的影响。

(3) 由于螺旋弹簧本身具有线性、弹性和可控性，因此弹簧基础对消除地基的不均匀沉降对机器产生不利影响方面有其独特的优势。在地基产生较小的不均匀沉降时，弹簧可以自动补偿，荷载重新分配；当出现较大的不均匀沉降而需要进行轴系找中时，可以在不停机的情况下，进行快速调平。

三、 汽轮发电机基础采用弹簧隔振技术的适应性

汽轮发电机基础的隔振原理与其它动力机器相似，但由于汽轮发电机是整个电厂的核心，所以业主、制造商及设计等各方对汽轮发电机基础隔振比较慎重。从国内外大量的工程实践看，该技术是可靠的，隔振器的寿命大于主机的寿命。汽轮发电机组的振动由于弹簧阻尼器隔有效隔振，不会影响基础及相邻结构，隔振器下支承框架和基础底板可以按静力设计。另外，汽轮发电机安装时，可以通过增减垫片，调准校正隔振器来完成机器的调平对中，使这一工作变得简便而快捷。

3.1 汽轮发电机基础的设计理念

世界上对动力机器基础的设计有两种理念，一种是美国的理念，用大质量来抑制振动。一般情况下，如果机器与基础的总质量与机器转子质量的比值大于100，则可以不考虑振动问题。基于这样的理念，美国机组的基础都设计得非常大，立柱的尺寸经常做到3米、甚至4米，有时碰到很多设备布置的困难问题。另一种是欧洲的理念，用调频的方法来隔振与减

振。例如使用弹簧基础，可以使系统（机器与基础台板）的固有频率由 20~25Hz 减小到 3~3.5Hz，从而使系统的固有频率远离了机器的工作频率，避免了共振的发生。同时采用隔振与减振后，基础的截面尺寸可以减小，有利于管道布置。

实际上，美国西屋型汽轮发电机组配用弹簧隔振基础也已经在工程中得到应用，早在 1979 年由三菱公司供货采用美国西屋技术的 8 台容量为 300MW 的西屋型汽轮发电机组，配用了由隔而固德国公司设计与供货的弹性基础安装在科威特。目前，世界上大约有 50 台日本公司与意大利公司根据许可证生产的美国机组配用了弹性基础，都运行良好。

我国火电厂汽轮发电机的设计与生产，一直是美国西屋技术占据主导地位，汽轮发电机基础的设计一直采用梁柱断面很大的刚性基础。近几年随着欧洲汽轮发电机组的引进，大容量汽轮发电机弹簧隔振技术已经应用于实际工程。国内现有配用弹性基础的容量在 200MW 以上的汽轮发电机组都是由欧洲国家供货的，北京一热的 2×200MW 机组、安徽合肥二电厂与河南鸭河口电厂的 2×350MW 机组、河南鸭河口电厂 2×600MW 机组，均有 Alstom 公司供货的，连云港田湾核电站的 2×1000MW 机组是由俄罗斯供货的。

3.2 汽轮发电机组采用弹簧隔振基础的适应性

3.2.1 采用弹簧隔振基础后，基础的动刚度不会对机组产生影响

动刚度主要决定于台板的固有频率，在固有频率附近，动刚度较低；远离固有频率，动刚度就高。在 0~70Hz 之间，常规固定基础与弹性基础都有很多固有频率，在各自的固有频率附近，常规固定基础与弹性基础的动刚度差不多相等。远离各自的固有频率时，两者动刚度的变化规律也差不多一样，处于同一个数量级上。根据计算，当弹簧隔振基础的顶板的动刚度大于一定的数值，弹簧隔振基础对机组轴系固有频率的影响很小，从动态特性来看不会对机组产生影响。上海成套所通过对 600MW 汽轮发电机组进行的一系列检测，实测数据和理论计算与推断一致。

3.2.2 凝汽器与低压缸的连接方式

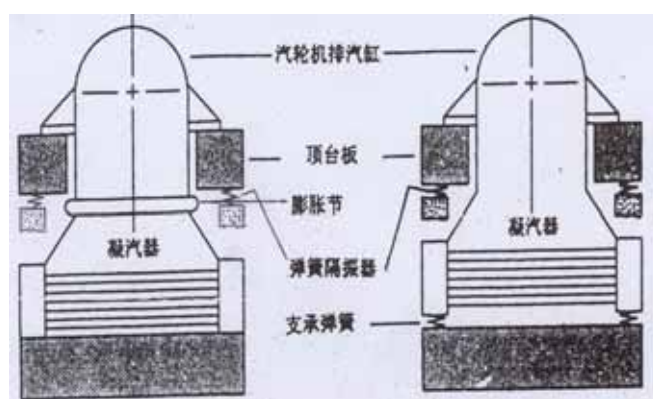
国产 600MW 机组凝汽器与低压缸的连接方式有柔性连接、亦有刚性连接。一般引进美国西屋机组基本上是柔性连接，采用弹簧隔振基础，在选择弹簧时应考虑凝汽器真空吸力（如图 3.2.2 左侧图示）；而欧洲机组凝汽器与低压缸的连接方式为刚性连接，采用弹性基础时，汽轮机、发电机与凝汽器本身的结构设计没有任何变化，汽轮发电机组与基础台板的连接方式如图 3.2.2 右侧图示。

对弹性基础来说，凝汽器的支承弹簧与汽轮发电机组的隔振弹簧之间有一个刚度匹配问题。机组启动、运行过程中，凝汽器可能会产生微小晃动，为了不影响汽轮发电机组的正常工作，要求凝汽器的支承弹簧非常软，比汽轮发电机组隔振弹簧总刚度小很多。

为了使凝汽器工作时，不致因热膨胀而将汽轮机的排汽缸顶起，必须将凝汽器的部分运行水重量预加给汽轮机排汽缸作为预拉力，约占凝汽器冷态运行重量的 17~30%。

3.2.3 主机轴系的安装、找平与对中

国产刚性基础的主机轴系在冷态对中后，热态运行时第四轴承有时发生较大振动，严重时需要停机重新调整找平。经设计、制造、安装各方多年的研究调试发现，该振动是在真空吸力的作用下，汽轮机排汽缸变形引起的，需要在冷态安装时将第四轴承预先抬高一定高度。采用弹性基础主机安装时，主机所有主要部件在顶台板上就位后，先释放预压缩的弹簧，然后进行主机轴系的找平与对中，没有必要在安装时预抬高相应的数值。



四、 汽轮发电机基础采用弹簧隔振技术的经济分析

借鉴某工程一、二期汽轮发电机基座不同结构方案,对常规汽轮发电机基础与弹簧隔振基础的经济性进行比较分析。该工程位于沿海地区,厂区自然地坪较低设防洪水位,需要外购土方回填厂区。

该工程一期已建设 2×600MW 机组,汽轮发电机采用常规大质量刚性基础,二期工程汽轮发电机基础拟采用弹簧隔振技术,其中一台汽轮发电机组基础工程量比较如表 4。

通过比较可以看出,一台机组弹簧隔振基础增加约 15.375 万元,二期工程 2 台机组采用弹簧隔振基础共增加投资 30.75 万元,约占二期工程总投资的 0.0078%。同时采用弹簧隔振以后,主厂房柱可以与汽轮发电机基础柱耦连计算,汽机房结构横向刚度增大,同时汽机房柱计算长度减小,相应上部结构工程量会有所减少。

五、 结语

汽轮发电机弹簧隔振基础是一项成熟的先进技术,国内外均有成功的工程实例,大型国产发电机组采用弹簧隔振基础亦已具备条件。

从技术方面弹簧隔振基础具有明显的优势,弹簧隔振基础具有“低频基础”的特征,有利于机组长期稳定运行。从经济上分析,采用弹簧隔振基础会需增加一部分投资,相对于整个工程的投资犹如沧海一粟,但对安装与运行期间提供了维修调整可以起到至关重要的作用。

弹簧隔振技术应用于汽轮发电机基础,安全可靠,有利于安装运行和文明生产,在经济条件允许的情况下应积极采用。

表 4

比较项目	上部结构体积 (m ³)	基础底体积 (m ³)	桩基混凝土体积 (m ³)	吹填土方 (m ³)	弹簧隔振设备
一期工程	1523	2443	1404	16128	0
二期工程	572	1832	975	3398	350 万元
二期节省投资	1500 元/m ³ × (951+611) =234.3 万元		1300 元/m ³ × 429 =55.77 万元	35 元/m ³ × 12730 =44.555 万元	-350 万元

注：本文发表在《山东土木工程学会 2006 年学术交流会论文集》2006 年