

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2015.S0.017

弹簧隔振技术在火力发电厂中的应用现状

江赛雄^{1,2}, 唐丽娜¹, 潘毅¹, 贾成斌³

(1. 西南交通大学 土木工程学院, 成都 610031; 2. 西南电力设计院, 成都 610021;
3. 中国华西企业股份有限公司, 成都 610081)

摘要: 弹簧隔振能减轻火力发电厂中动力设备的振动、噪音等问题, 是一种有发展潜力的绿色节能隔振技术。首先总结了弹簧隔振的主要力学性能及其特点, 并以汽轮发电机、汽动给水泵组、碎煤机等动力设备为例, 其次介绍了其在火力发电厂实际工程应用, 最后指出了其在应用中存在的一些问题及亟需解决的问题, 以期以后弹簧隔振技术在火力发电厂中的应用研究提供参考。

关键词: 弹簧隔振; 火力发电厂; 动力设备; 力学性能; 应用现状

中图分类号: TU476 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2015)S0-0084-05

Application Status of Spring Vibration Isolation Technology In Thermal Power Plant

Jiang Saixiong^{1,2}, Tang Lina¹, Pan Yi¹, Jia Chengbin³

(1. School of Civil Eng., Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. Southwest Electric Power Design Institute, Chengdu 610021, China; 3. China Huashi Enterprise Co., Ltd., Chengdu 610081, China)

Abstract: Spring vibration isolation can reduce the vibration noise of power equipment in thermal power plant, which is a kind of vibration isolation technology has the development potential of green and energy saving. First summarizes the main mechanical properties and characteristics of spring vibration isolation, and the power plants such as steam-turbine generator, coal breaker, steam feed water pump group as an example, then introduces its application in thermal power plant, finally points out the problems in the application of problem, and to be solved urgently in order to provide the reference for the application of spring vibration isolation technology in thermal power plants later.

Key words: spring vibration isolation; thermal power plant; power plant; mechanical property; application status

近年来,火力发电厂建设进入高峰期,为了减少环境污染,提高发电效率,使火力发电产业可持续发展,国家鼓励建设大容量机组火电厂,关闭小容量机组火电厂(即上大压小)。这也必然促使工艺设备更新换代,特别是汽轮发电机等核心主机功率不断增大,振动和噪音成了急需解决的问题,由此弹簧隔振

的作用显得愈发重要。

德国是第一个将弹簧隔振技术应用于火电厂的国家,德国90%以上的电厂动力设备均安装了隔振装置。我国则是在80年代开始尝试在火电厂动力设备基础引进弹簧隔振技术,经过多年实际运行,取得了不错的社会、经济效益。近年来,国内学者对弹

收稿日期:2015-03-15

基金项目:四川省科技支撑计划项目(2014SZ0110)

作者简介:江赛雄(1987-),男,一级注册结构工程师,主要从事工程结构抗震设计研究,(E-mail)jiangsaixiong@foxmail.com。

潘毅(通信作者),男,副教授,博士生导师,(E-mail)panyi@swjtu.edu.cn。

簧隔振装置在动力设备基础中的应用作了大量试验研究^[1-2],结果表明,弹簧隔振能有效降低动力设备的自振频率和线位移,阻止其振动向外传递。不仅如此,弹簧隔振还可以降低动力设备基础的地震响应,有良好的抗震性能,从而保护厂房结构和基础安全。但是,这些研究任还停留在初级阶段,并且,由于初期造价相对较高、技术理论成熟度与实际应用还有一定差距等原因,弹簧隔振在火电厂等工业建筑领域应用范围有限因此,本文将结合弹簧隔振的力学性能及其在工程上的应用,介绍其在火力发电厂中应用现状,以期对弹簧隔振在火电厂中的应用提供借鉴。

1 弹簧隔振器的构造特点及主要力学性能

1.1 弹簧隔振器的构造特点

弹簧隔振器主要由箱体、金属螺旋压缩弹簧及粘滞阻尼器三部分组成。其中,阻尼器由运动部件和筒体组成,筒体内部装有粘性阻尼剂,当动力荷载传递到阻尼器,会导致其运动部件在阻尼剂中产生和速度相反、大小成正比的阻尼力,达到隔振减振的效果。

在火电厂中,弹簧隔振器一般设置在动力设备支撑台板与柱顶(牛腿或受力梁)之间,以消除机器支撑台板与下部支撑结构间的动力耦合作用,延长结构自振周期,减少动力设备输入的水平动力。图 1 为弹簧隔振器在华能平凉电厂二期(2×600 MW)工程超临界燃煤发电机组中的应用^[3]。

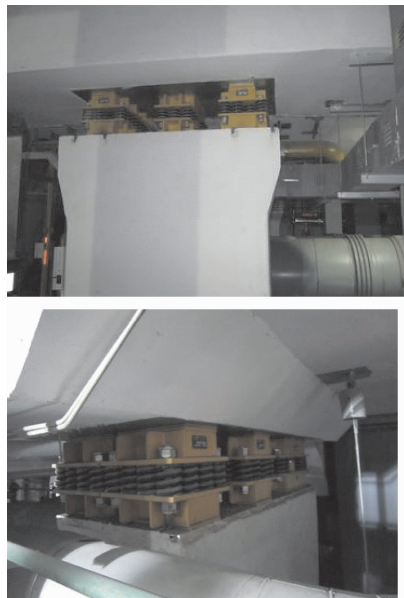


图 1 弹簧隔振器

1.2 弹簧隔振器的力学性能

对大多数隔振系统而言,弹簧隔振器可以看做一个具有刚度和阻尼的弹性单元体,其支撑的设备基础台板可以看做刚体,隔振系数 η 计算公式:

$$\eta = \frac{\sqrt{1 + (2\xi\lambda)^2}}{\sqrt{(1 - \lambda^2)^2 + (2\xi\lambda)^2}} \quad (1)$$

式中: ξ 为阻尼比; λ 为频率比, $\lambda = \omega/\omega_0$, ω 为被隔离振源的激励频率, ω_0 为隔振系统固有频率。当隔振系数 η 越小,隔振效果越好,而 η 取决于阻尼器阻尼比、机器本体激励频率及隔振器固有频率。因此,在实际工程中进行隔振设计时,应根据结构形式、设备情况、性能目标来正确选择隔振装置的型号和参数。表 1 给出了目前市场上几种弹簧隔振器主要规格性能参数。

表 1 SPV 系列弹簧隔振器(A 系列)主要性能规格

型号	长度/ mm	宽度/ mm	高度/ mm	垂直刚度/ (kN·mm ⁻¹)	水平刚度/ (kN·mm ⁻¹)
SPV16100.4	220	190	330	1.963	1.285
SPV16100.6	280	190	330	2.944	1.927
SPV16100.9	280	280	330	4.416	2.891
SPV16100.12	340	280	330	5.888	3.855

注:该数据由北京振冲安泰隔振技术有限公司提供。

目前,弹簧隔振技术已经广泛应用于包括百万机组在内的全国各大型火力发电厂,经过了多年运行及历年强震的考验,表明此种减振技术力学性能优越,能更好的满足现代电厂结构及工艺设备的性能要求,具有广阔的应用前景。

2 弹簧隔振在火力发电厂中的应用

火力发电厂由于其建筑功能的特殊性,厂区内部有相当数量在运行时能产生不平衡力的动力设备,如汽轮发电机、汽动给水泵组、碎煤机、磨煤机等,这些设备产生的扰力和扰力矩会通过设备基础直接传递给混凝土框架结构,当扰力较大时,会引起整个厂房结构的振动,从而影响结构安全和工作人员健康,给电厂安全运行造成危害。为减轻动力荷载的影响,国内专家研发了国产弹簧隔振器、粘滞阻尼器,并已经应用于多个大容量机组电厂,取得了不错的效益。本文主要介绍弹簧隔振在汽轮发电机、汽动给水泵组、碎煤机中的应用情况。

2.1 汽轮发电机

汽轮发电机作为电厂核心设备,由汽轮机、发电

机、励磁机等组成,有着功率大、振动大、噪音大等特点。目前火电厂一般采用岛式布置弹簧隔振汽机基础(支承框架式基础),将主机本体放置于由钢梁和混凝土楼板组成的中间层平台上,再通过弹簧隔振器搁置于汽机基础柱的混凝土牛腿上,并与周边汽机房楼面平台设伸缩缝脱开布置。在汽轮机正常工作转速下,弹簧隔振器能使整个结构系统的基础频率前移,减少工作频率下发生共振的几率;同时弹簧变形吸收振动能量减小振动传递,阻尼器耗散系统能量限制共振峰从而实现隔振^[4]。

汽轮发电机采用弹簧隔振基础优越性在于:

1)优化结构布置,增强了 A 列柱的刚度,主厂房结构形式更利于抗震。同时增大管线布置和操作空间,减少土建工程量,缩短工期,大幅降低汽轮机基础工程造价。以浙江国华宁海发电厂为例^[5],该工程汽轮发电机基础采用弹性基础,比较不采用弹簧隔振系统,使用弹簧隔振系统 2 台汽动给水泵共节省费用 171 64 万元,经济效益可观。

2)抗震性能特别优越。历年地震及动态分析表明^[6-9],使用弹簧隔振能使机器抗震能力增加,并能使动力机器的振动位移、速度以及加速度都比其他动力机器要减小很多,特别是采用联合布置弹簧隔振汽机基础,在高烈度区效果明显;不仅如此,弹簧隔振能有效减阻止汽轮发电机振动传递给厂房主体结构,同时也能阻止主体结构振动传递给主机本体,保证结构和机器的安全,改善运行环境并延长机器寿命和检修维护周期,并可以在不停机不拆卸的情况下对机器进行调校、修正,便于检修。

2.2 汽动给水泵组

汽动给水泵组是火电厂重要的辅机之一,位于汽机房运转层汽轮发电机上方。每组汽动给水泵组由 1 台小汽机和 1 台给水泵组成,放置于超过 1 m 厚基础台板上,并设置变形缝与周边楼面楼板脱开,台板通过隔振弹簧搁置于楼面大梁上。当机器运行时,产生的振动通过混凝土台板传递到弹簧隔振器,通常其隔振效率能达到 90% 以上,能有效得将振动减弱再传递给主体结构。

由于汽动给水泵组基础台板直接放置于楼面梁上,必须要避免机器振动对主体结构造成影响,防止机器振动振幅过大,造成机组零部件损坏和机组跳闸等事故。因此,这对弹簧隔振系统的性能提出了极高的要求。表 2 为某工程汽动给水泵组小汽机运行调试记录数据(任选 3 组机组首次定速

3 000 r/min 时的稳定数据)。表 3 为同一工程在安装弹簧隔振以后汽动给水泵组运行调试支承梁振动记录数据(任选 3 组机组首次定速 3 000 r/min 时的稳定数据)。

表 2 小汽机运行调试振动记录数据

转速	振动速度/ (mm·s ⁻¹)	振动线位移/ μm	
		垂直向	水平向
3 000	23.3	-210	27
3 000	23.3	-210	27
3 000	23.3	-210	27

表 3 安装弹簧隔振器后小汽机运行调试振动记录数据

转速	振动速度/ (mm·s ⁻¹)	振动线位移/ μm	
		垂直向	水平向
3 000	2.7	8.2	4.5
3 000	2.7	8.2	4.5
3 000	2.7	8.2	4.5

相比未使用弹簧隔振技术,小汽机振动速度下降了 88.0%,垂直向线振动线位移下降了 96.0%,水平向振动线位移下降了 83.3%。根据国家标准《动力机器基础设计规范》(GB50040-1996)^[10]相关规定,台板的振动速度不应大于 5 mm/s,最大振动线位移垂直向 $A_z \leq 20 \mu\text{m}$,水平向 $A_y \leq 20 \mu\text{m}$ 。显而易见,实际监测结果表明:弹簧隔振技术有着良好的减振效果,在使用了弹簧隔振技术以后,汽动给水泵组的台板振动完全符合预期性能目标及规范规定。

2.3 碎煤机

碎煤机用来粉碎进入除氧煤仓间的原始尺寸煤块,煤块在碎煤机中不断运动造成它们相互碰撞和质心的随机移动,其具有振动大、噪音大,且振动为随机振动的特点。通常需要设置在碎煤机室高位框架上,将其置于带混凝土煤斗的台板上并通过弹簧隔振器和框架梁连接,连接形式类似于汽动给水泵组弹簧隔振系统。采用弹簧隔振技术作为碎煤机基础,可以将碎煤机基础的随机扰力视为白噪声型宽频荷载^[11],能成功利用随机振动理论来解决其基础振动动力计算。不仅如此,碎煤机采用弹簧隔振技术优势在于减小了结构振动、简化了结构布置、节约了造价,通常其隔振效率均能达到 90% 以上;同时,对此类扰力较小的动力设备,在安装了弹簧隔振系统以后,设计碎煤机室主体结构时,可以将机器本体

及基础当做静力荷载输入,可不作动力计算,极大的简化了结构设计内容,减少工作量。在特殊情况下,如果碎煤机尺寸较小,甚至可以取消其基础台座,将碎煤机通过弹簧隔振器直接搁置在受力框架梁上。

现阶段,国内火力发电厂中碎煤机采用弹簧隔振技术基本上已经普及,西南电力设计院设计的贵州兴义电厂 2×600 MW 机组新建工程、重庆合川双槐 2×660 MW 电厂二期扩建工程以及万州 $2\times 1\,000$ MW 电厂新建工程均采用了该技术,且取得了良好的隔振效果。

3 存在的问题及一些建议

弹簧隔振技术有着显而易见的优点,并在应用上逐渐从小容量机组向大容量机组、主机向辅机推广。但是,由于我国对弹簧隔振技术的研究起步较晚,缺乏更深入的研究,导致其在应用上仍然存在问题与不足,主要有如下几点:

1) 弹簧隔振技术相关规范和行业标准还不完善。现弹簧隔振系统的动力计算、设计主要依据我国电力行业标准《火力发电厂土建结构设计技术规程》(DL5022-2012)^[12]、《火力发电厂辅助机器基础隔振设计规程》(DL/T5188-2004)^[13]和《隔振设计规范》(GB50463-2008)^[14]以及国家标准《动力机器基础设计规范》(GB50040-1996)^[10]。其中,《火力发电厂土建结构设计技术规程》对火电厂内动力机器基础计算内容比较少,而《动力机器基础设计规范》已经颁布了18年,其相关规定和标准已经和现代动力设备技术、工程设计水平脱节,例如,其对弹簧隔振系统下的动力基础随机振动的计算要求并无明确要求。

2) 弹簧隔振的结构设计还存在一些不足。由于目前火电厂建设中,一般汽轮机基础由电力设计院进行设计,汽轮机本体由汽机厂家负责设计,而弹簧隔震系统又由专业隔振公司设计,由此造成三方设计可能不是同步进行,且大部分从事电力行业的设计人员对隔振缺乏必要的知识和经验,设计时过分依赖程序软件进行计算,缺乏对汽机基础和机器本体振动、位移的联合考虑。同时,大多设计人员对动力设备基础的设计普遍采取保守设计,对整个动力基础系统的动力特性优化存在不足,造成不必要的浪费,在条件允许的情况下,建议对大型动力设备基础应进行不少于两个不同软件的有限元分析。

3) 弹簧隔振系统施工要求比较高,施工步骤繁

琐。一台动力设备弹簧隔振系统安装大概有十多个步骤,从预埋件的预留到最后的弹簧释放,每一步都要求极高的安装精度,确保弹簧隔振器支反力的中心与机器、台板静重的重心重合,使之均匀受力。如何精简施工程序,开发自动调校弹簧隔振系统值得进一步研究。

4) 弹簧隔振系统隔振能力仍然存在不足。虽然实践已经证明了弹簧隔振的优越性,但据电厂实际运行经验表明^[15]:汽轮发电机在启动、停机通过汽轮机的临界转速时,尤其是通过基础柱水平固有频率时,汽轮机基础台板振动线位移会增大数倍,甚至有时会到达警报值,在运行中汽轮机、碎煤机等动力机器发出的噪音和振动还是比较大,因此目前火电厂主厂房中集控楼操控室墙面一般都设有隔音材料,虽然这些问题不会对动力设备正常工作运行造成严重不良影响,但其还有很大的改良空间。如今阻尼器的结构设计和理论创新成果已经列入国家规范,新型阻尼弹簧隔振器^[16-17]也已经进入了实际应用阶段,相信未来弹簧隔振技术能进一步改善电厂人员工作环境,提高机器使用寿命。

5) 应继续扩大弹簧隔振在火电厂中的应用范围。目前对弹簧隔振技术的使用主要用于减小大型动力设备的振动影响,而对弹簧隔振技术良好的隔震性能还鲜有涉足。有分析指出^[18]:弹簧隔振基础可以减小地震作用,全面降低汽机基础的地震响应,同时可以减小基础顶板与机组轴系的速度、加速度和内力的地震响应。笔者认为,对于电厂里一些非动力设备基础重要结构部位,仍然可以采用弹簧隔振技术,如在汽机房屋面支座、冷却塔基础等处设置弹簧隔振器,能够大大降低上部结构的地震反应,尤其是在高烈度区采用隔振技术,具有明显的经济效益和社会效益^[19]。

4 结 语

本文总结了弹簧隔振的各项力学性能,介绍了弹簧隔振在火力发电厂中汽轮发电机、汽动给水泵组、碎煤机中的应用,并指出了弹簧隔振在应用中存在的一些问题及不足,对其未来研究和应用方向提出了一些建议。尽管弹簧隔振的应用还有许多困难,但由于弹簧隔振在技术和经济上的优势,符合火力发电厂绿色环保和可持续发展的要求,在大型火力发电厂中有着广泛的应用前景,值得继续进一步研究和推广应用。

参考文献:

- [1] 邵晓岩,周建章,尹学军,等. 汽轮发电机组弹簧隔振基础模型试验研究—动力特性试验[J]. 武汉大学学报(工学版), 2011,44(10):364-368.
- [2] 安栋,孙昕,屈铁军,等. 汽轮发电机组弹簧隔振基础模型试验模态分析[J]. 北方工业大学学报, 2012. 24(3): 84-88.
- [3] 隔而固(青岛)振动控制有限公司电站设备应用案例图[OL]. (2010-6-20) [2014-12-20], <http://www.gerb.com.cn>.
- [4] 朱彤,陈春雷. 动力机器框架式基础的隔振研究[J]. 振动与冲击, 2010,29(2):121-124.
- [5] 朱建成,蒋家红,朱哲. 汽动给水泵使用弹簧隔振的经济效益调查与讨论[J]. 电力建设, 2005,26(8):45-47.
- [6] 李天,李杰,沈祖炎. 电力系统地震灾害分析[J]. 世界地震工程, 2000,16(4):19-24.
- [7] 周锡元,阎维明,杨润林. 建筑结构的隔震、减振和振动控制[J]. 建筑结构学报, 2002,23(2):2-12.
- [8] 方学文,谈志春. 汽轮机弹簧支承隔振基础[J]. 电力建设, 2000. 23(6):15-18.
- [9] 徐嗣华. 汽轮机及基础整体抗震性能评估方法[J]. 热力透平, 2011,40(2):90-93.
- [10] GB50040-1996 动力机器基础设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1996.
- [11] 彭翠芳,何志刚. 弹簧隔振在大型火力发电厂磨煤机基础中的应用[J]. 长沙电力学院学报(自然学科版), 2004, 19(3):72-75.
- [12] DL5022-2012 火力发电厂土建结构设计技术规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [13] DL/T5188-2004 火力发电厂辅助机器基础隔振设计规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [14] GB50463-2008 隔振设计规范[S]. 北京: 中国机械工业出版社, 2008.
- [15] 宫永良,王伟强,沙曾忻. 火电厂主、辅机弹簧隔振基础设计的几个问题[J]. 电力建设, 2005. 26(9):41-44.
- [16] 马武伟,杨先健,张翠红,等. 新型阻尼弹簧隔振器研制及应用[J]. 工业建筑, 2008,38(s1):406-410.
- [17] 王维,李爱群,周德恒,等. 新型三维多功能隔振支座设计及其隔振分析[J]. 东南大学学报(自然学科版), 2014, 44(4): 787-792.
- [18] 罗国澍,房俊喜,王建. 汽轮发电机组弹簧隔振基础的抗震性能[J]. 武汉大学学报:工学版, 2009,42(10): 436-442.
- [19] 刘英利,党希滨,杨平,等. 基础隔震结构的非线性动力分析[J]. 世界地震工程, 2007. 23(2):107-111.

(编辑 罗 敏)