

某动平衡机减振防振系统的构建分析

汤立生

(河北燕山钢铁有限公司 河北 唐山 064400)

摘要: 应企业生产及发展需要,某机修车间引入动平衡检测系统。本文根据动平衡机特性及转子平衡相关理论,结合厂房内外振源实际,基于被动隔振理论,以优化动平衡机基础结构为出发点,从口字形闭环隔振沟、隔振层、加强基础结构的设计及施工等方面,针对性地采取防控措施,设计了简易、实用、经济的动平衡机防振隔振系统,为动平衡机的检测精准度提供了有效保障。整套动平衡系统已投入使用,并达到预期效果。该防振隔振系统的构建对动平衡厂房及基础结构的防振、隔振设计施工和改善动平衡机精度有一定的指导及补充作用。

关键词: 动平衡; 防振闭环隔振沟; 隔振层; 加强基础

1 平衡系统的引入

某公司属于大型钢铁联合企业,涵盖整个钢铁冶炼流程,机械设备多样化、大型化,其中包含大量做旋转运动的转子,如各种电动机和汽轮机、水泵、风机的叶轮等。

各设备运行工况比较复杂,包括连续运转、高温、高腐蚀性气体、高粉尘,在长期运转过程中,转子会产生磨损、热变形,或因粘附除尘灰而腐蚀,这些因素将导致转子在旋转时,其上每个微小质点产生的离心惯性力不能相互抵消。离心惯性力通过轴承作用到机械设备及其基础上,引起振动,产生噪音,加速轴承磨损,缩短机械设备寿命,影响工人健康。当风机转子振动超出设备允许范围时,风机会自动跳车,影响整个生产工序的连续稳定。可见,转子振动的危害对设备稳定运转、生产的连续性构成威胁。

综上,引入动平衡系统意义重大。某公司根据生产设备相关参数需求,选用2台平衡转速范围宽、支承刚度大的动平衡机,同时将动平衡机规划至机修车间内。这2台动平衡机的传感器检测信号与支承的振动力成正比,其最小可达剩余不平衡量 $e_{\text{mar}}=0.5\text{gmm/kg}$,不平衡量减少率达95%以上。

2 振动干扰的产生及危害

动平衡机属于精密测量设备,在转子旋转状态下,对转子进行动平衡检测,根据转子不平衡作用于支承的振动力来测量不平衡量及位置,进而校正及提高转子平衡精度,以达到减小转子及设备振动幅度、并保证机械设备正常运转的目的。

动平衡机的工作环境须免于振动干扰。动平衡厂房

附近主要有轧钢轧机振动、交通(铁路运输、重型车辆)振动、天车行走、水泵运转、除尘风机振动、机械加工及铆焊件加工作业振动等人工振源。这些振源都属于影响动平衡机检测的振动干扰。振源产生的振动波通过基础或地坪传至动平衡机,会干扰其检测系统,降低动平衡机工作效率,影响检测灵敏度,影响平衡效果,甚至根本无法平衡,同时能够造成工程结构损坏及寿命降低。此外,当平衡机系统所受激励的频率与该系统的固有频率接近或相同时,系统振幅将显著增大,即产生共振。共振不仅传递能量,且具有放大传递、长距离传递的特性,带来的破坏和危害更为严重,在项目设计时要着重考虑。

因此,为使动平衡机正常运转,达到理想的动平衡校验效果,结合动平衡厂房周围振源的性质及特点,在项目建设初期开展研究防控振动干扰工作,主要从控制振源,切断振动传递途径和改进动平衡机基础等三个方面入手。

3 振源的控制

3.1 厂房内的振源

3.1.1 振源数量控制

由于动平衡机防振等级要求较高,为其设立单独厂房,与机械加工车间及铆焊件制作区域分开。在保证各道工艺正常运行的前提下,精简厂房内设备及附属设施,保留工艺范畴内的必要设备(电焊机、空压机、高压清洗机、轴流风机等),并将数量压缩至最低,其他设备搬离厂房,减少振动干扰的产生。

3.1.2 必要设备选型

必要设备在选型时不仅要考虑其工艺性、可靠性、经济性、工作效率等,还要考虑其工作时的振动量,因

此要选择工艺技术较先进、制作精密、体量小，降噪降噪效果好的设备，将这些设备的振动量控制到最低。

3.1.3 必要设备位置

对必要设备进行合理布局。振动在介质中传递时，能量的扩散和传递介质等对振动能量的吸收随着距离的增加而逐渐衰减，因此必要设备要尽可能远离动平衡机。

3.1.4 附属设施振动防控

水、暖、气管路会因介质冲击、热胀冷缩等原因，产生管路振动。采用柔性连接和弹性支撑，首末两端设置减振吊架，减少管路振动及传递。为避免工作人员走动产生的微量振动影响动平衡机检测，采用混凝土地坪，且其厚度不小于 0.6m，并采用地坪漆代替木地板。

3.2 厂房外的振源

车间与轧钢厂相邻，但轧钢作为主体生产工艺，运转的设备多样数量大，倒运车辆的随机性强，均不在可掌控范围内，难以消除或减少振源，只能对动平衡系统实施被动隔振，对振动传递途径进行切断。

4 切断振动传递途径

周围振源将振动通过大地传递至动平衡机基础，再通过支座传递至检测系统，从而影响动平衡机的检测精度，因此考虑将 2 套动平衡机及整个基础与大地隔离开来，切断振动传递的途径。这种隔振措施可视为被动隔振。目前精密设备常用的隔振器主体为空气弹簧、钢螺旋圆柱弹簧、钢碟形弹簧等，对于微幅精密隔振的隔振效果并不理想，难以实现 0.5Hz 以下的固有频率，并且由于动平衡机体积较大、自重及所承载转子的总质量较大，采用一般隔振器难以满足动平衡机的承载要求，因此不再考虑利用现有隔振器切断动平衡厂房周围振源的振动传递途径，针对振动传递途径的方向来源，分别设置水平隔振和竖向隔振。

4.1 水平隔振

隔振沟可作为水平隔振措施用于防振设置，即在动平衡机基础四周设置隔振沟。已有研究表明，隔振沟的隔振效果主要与其深度有关，而宽度对隔振效果影响不大，据相关文献研究的隔振沟隔振效果与沟深成正比的结论，隔振沟深度越大，振动位移幅值衰减的越大，且介于 20 ~ 100Hz 的振动均大幅降低。与无隔振措施时地表位移相比，经隔振沟隔振后的最大位移幅值降低百分比见下表。由此可见，对于频率大于 20Hz 的振动干扰，尤其是中高频振动，采取隔振沟有较好的隔振效果。

考虑到实际施工难度随着沟深增加而加大，且其沟壁的支护结构造价高，同时还存在沟内排水、坠落安全等问题。结合上表，综合考量动平衡机设计要求、厂房现场实际情况、施工能力以及经济效益等因素，最终决定采用沟深 5m 的隔振沟设计并确定隔振沟的位置为动

表 隔振效果与隔振沟深度关系

振源频段	隔振沟深度			
	3m	5m	7m	9m
20 ~ 100Hz	60%	60%	65%	65%
10 ~ 20Hz	55%	60%	80%	60%
10Hz 以内	约 50%（基本相同）			

平衡机的混凝土基础四周，成口字形闭环结构。同时，考虑到隔振沟的宽度对隔振效果影响不大，沟太宽会占用厂房的空间，缩减厂房的使用面积，太窄则增加施工难度，综合考虑，确定隔振沟的宽度 0.5m。

隔振沟中若填充弹性材料，如砂子、粉煤灰、泡沫、橡胶等填充物，时间久了可能会出现结块硬化现象，进而降低隔振作用，同时增加材料及施工成本。因此，隔振沟内取消材料填充，做空沟使用，同样可切断振动传递。此外，出于安全考虑，在隔振沟上口铺盖活动盖板，但不设盖板槽，盖板与隔振沟两侧的接触面铺垫具有阻尼效果的橡胶垫，盖板上不得放置其他物品，避免振动跨沟传递。

4.2 竖向隔振

设计动平衡机基础隔振层作为竖向隔振。动平衡机基础底部铺隔振层，对能量的吸收系数大，有吸振作用，可有效消减和隔离中高频振源的影响。根据车间实际情况因地制宜地选择隔振材料，并合理地进行结构布置，以便取得良好的隔振效果。其选材要求实施简便，经济性好。下层为厚度 200mm 细砂，中层为 200mm 碎石，上层为 200mm 钢渣（钢渣为企业炼钢工艺产生的废渣），钢渣层与动平衡机基础之间全部为回填原土，共计 4 层。

针对横向、纵向振波来源，通过采用隔振沟和隔振层共用的联合隔振措施，充分发挥土体及深度的隔振吸振作用，延长振源的传递路线，使大部分中高频振动被隔振系统隔离或削弱。

5 改进动平衡机基础

隔振沟和隔振层能够对中高频振动实现有效隔离或削弱，但对 20Hz 以下低频扰动效果不够明显，仍要防止其振动的放大作用（共振），即防止动平衡机及基础对振动源的响应，将动平衡机基础的固有频率控制到 0.5Hz 以下。

改进动平衡机基础的主要措施是增大基础重量。因为动平衡机的基础承受动平衡机及转子的全部载荷，首先要具有足够的强度、刚度和稳定性，并以此保证动平衡机的良好运转，确保检测精度和使用寿命。依《动力机器基础设计规范》（GB 50040-2020），平衡机的基础固有频率越低越好，防止共振的首选方法是改变设备的结构和总体尺寸，或采用局部加强法，以降低其固有频率。采用大于动平衡机及所载转子总质量 3 ~ 5 倍的基

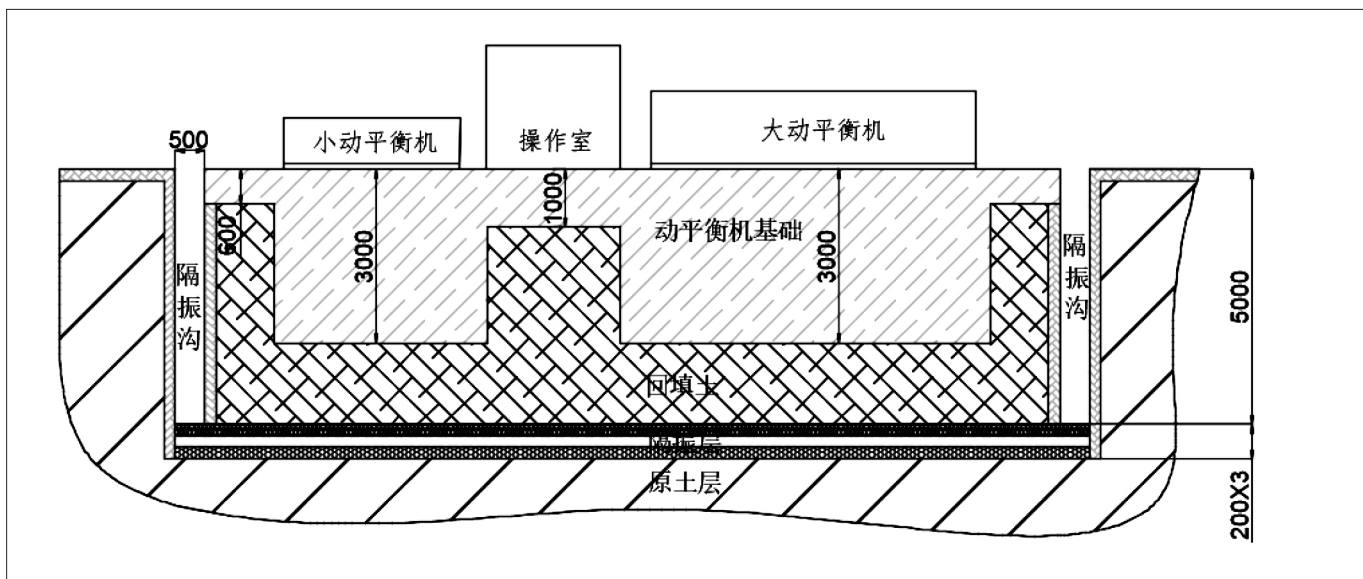


图 1 动平衡基础结构示意图

础质量作为辅助质量,能够起到吸收振动能量以达到减振的目的。通过计算当动平衡机基础的混凝土厚度达3m厚时,基础质量相当于动平衡机及所载最大转子总质量的12倍之多,在不须采用其它隔振措施的情况下就可以取得较好的吸振作用,同时可取得较好的经济效益。采用大质量基础时,固有频率不超过0.2Hz,已远离厂房附近低频振源的频率。

6 隔振系统及大质量基础的实施方案

结合车间场地、设备、工艺、施工能力等现实情况,确定隔振系统及大质量基础的实施方案:

(1) 先将口字形隔振沟及其内部的土方挖净,降土方深度5m,底面夯实后,做隔振沟的外隔离墙,墙体采用钢混结构;

(2) 按顺序铺好细沙、碎石、钢渣三层隔振层材料后,在外隔离墙内侧间隔0.5m位置,按自下而上的顺序分段对隔振沟内墙进行浇筑施工,每段的高度可在1m左右,为保证隔振效果,将隔振沟内墙建于隔振层之上;

(3) 回填原土,夯实,做动平衡机及操作室的混凝土基础,动平衡机基础深3m,操作室基础深1m,三个基础相互连接;

(4) 最后浇筑地坪,隔振沟以内的地坪厚度0.6m,隔振沟以外的地坪厚度为0.2m。

在(2)~(4)施工时要注意保证隔振沟内不得落入杂物,尤其是混凝土,因为混凝土凝固后将外隔离墙和内墙连接,将降低隔振沟的隔振效果。动平衡机基础、隔振沟、隔振层的基本结构及参数参见图。

7 结语

本文结合某企业实际情况,针对钢铁企业复杂

的振动环境,从多角度考虑,采取综合防振隔振措施,构建了经济、有效的动平衡机防振隔振系统,严控内部振源,削弱振动干扰、增强基础吸能作用。目前,2台动平衡机已投用3年多,完成对510多个转子的检验工作,并达到理想效果,证实了隔振沟、隔振层设计的合理性,验证了防振措施及加大基础结构的有效性,达到了动平衡机的设计及使用要求,对于以后工程项目中设备及基础的防振、隔振设计具有参考价值。

参考文献:

- [1] 朱石坚,楼京俊,等. 振动理论与隔振技术[M]. 北京:国防工业出版社,2006.
- [2] 盛美萍,王敏庆,孙进才. 噪声与振动控制技术基础[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [3] 冯苗锋,杨毅萌,袁姗姗,等. 计量精密设备的防微振设计[J]. 桂林理工大学学报,2012,32(03):122-125.
- [4] GB 50040-96, 动力机器基础设计规范[S].
- [5] 蒋渤鸥,杨克己,贾叔仕. 动平衡机支承系统的研究[C]. 第三届全国流体传动及控制工程学术会议论文集(第二卷),2004:128-130+163.
- [6] 王亚秀. 隔振沟对加速度衰减的影响[J]. 内陆地震,1989(01):58-61.
- [7] 孙宁,左汉文,颜枫. 低频敏感设备隔振基础设计探讨[J]. 噪声与振动控制,2018,38(01):307-310.
- [8] 张帅,陈清军. 水平振动激励下的层状软土振动及其隔振分析[J]. 结构工程师,2014,30(02):67-73.

作者简介:汤立生(1982-),男,河北迁安人,本科,工程师,研究方向:机械设计制造及其自动化。