

·“双清论坛”专题:大型风洞设计建设中的关键科学问题·

风洞结构振动的基础研究综述

陈振华 廖文林* 聂旭涛 刘宗政

(中国空气动力研究与发展中心, 绵阳 621000)

[摘要] 国家在“十三五”期间启动设计建设大型低温高雷诺数风洞、大型连续式跨声速风洞、大型低速风洞等一批世界顶尖风洞设备,可以全面提升国家航空航天领域的创新能力。面向国家大型风洞设计建设中的重大需求,国家自然科学基金委员会第185期“双清论坛”凝练并提出了相关领域的关键科学问题,其中风洞结构振动是迫切需要解决的科学问题之一。本文围绕风洞结构振动的现象和规律,提炼出多场耦合诱导风洞结构振动的形成机理、传递过程和控制方法等基础理论和关键技术中极具挑战的若干问题,并针对大型风洞设计建设中面临的结构振动问题,给出了相关领域未来需要重点发展的方向建议。

[关键词] 大型风洞;结构振动;多场耦合

先进大型风洞是支撑飞行器自主研发,促进航空航天领域技术发展,引领空气动力学及其相关学科创新发展的战略性基础设施。为满足国家发展大型客机/运输机、先进战斗机、重型运载火箭等重大工程需求,瞄准构建一流的风洞试验设备体系目标,国家决定在“十三五”期间启动设计建设一系列世界先进水平的大型风洞设备。世界先进水平风洞研制的难度极大,需要对气动、结构、材料、工艺、热力学等多个学科领域技术进行系统集成,是对我国风洞设计建设能力、国内加工制造水平的综合考验。相关基础问题亟待多科学研究领域的学者联合攻关解决,其中风洞结构振动及抑振是急需通过联合研究取得突破的关键技术之一。

1 研究意义与背景

为满足风洞设备试验特殊功能需求,风洞结构需要承受气动力、气动热、机械载荷等多物理场耦合的复杂环境^[1,2],这些耦合环境容易诱导风洞结构产生相应的物理效应和现象。振动是风洞结构系统中普遍存在的一种多场耦合诱发的物理现象,剧烈的振动往往会对结构寿命、风洞性能和运行环境造成极大的负面影响^[3]。很多风洞结构振动问题都是在

风洞建成后才发现,且后期整改的难度大、成本代价高,需要在设计阶段就能解决风洞结构振动的基础难题,从而指导机械结构设计的整个过程。以往人们都是在两个或者少数几个物理场相互作用的层次上解释相关的科学问题,但有关研究做得还远远不够,对设计过程的指导性作用非常有限。因此,探索风洞结构振动的成因及控制方法对提升风洞研制水平和风洞性能具有重要的科学意义和现实价值。

本文围绕风洞结构振动的科学问题,剖析了风洞结构振动的现象和规律,提出了解决风洞结构振动需要面对的技术挑战,凝练了风洞结构振动的形成原理、传递过程和控制技术等关键性理论和方法的若干问题,并针对大型风洞设计建设中面临的结构振动问题,给出了相关领域未来需要重点发展的方向建议。通过有关科学问题的解决,有望系统地形成风洞结构振动成因、测量、传播、控制及振动疲劳的理论。

2 振动现象及研究现状

风洞属于典型的大型特种复杂机械设备,一般由多达数十个的部段(系统)组成,其部段的基本单元主要以钢结构零部件为主。在极端气动载荷、高

低温多变工况、强烈瞬态冲击等复杂条件下工作,复杂的气动力、热、结构、机械载荷、振动、噪声等多物理场作用极易诱导风洞结构的振动,其中极具代表性的振动结构包括压缩机转子系统、气源管道系统、洞体机械结构等。

2.1 压缩机转子系统振动

轴流压缩机是连续式风洞的动力源,主要是驱动风洞回路气流流动,为风洞试验提供所需的高速气流。转子系统是压缩机的心脏,主要由压缩机转子、联轴器、中间长轴、电机转子等组成,通常大型风洞压缩机的轴功率往往高达几百兆瓦,轴系长度达到数十米,其安全服役和稳定运行至关重要^[4]。由于转子上聚集着巨大的能量,压缩机运行中的复杂载荷作用容易将其转化成其他有害的能量,有害能量的累积容易导致系统重大故障的发生,其中转子系统振动是比较突出的问题^[5]。

压缩机的转子系统时常处于高参数(高压比、大功率、高流量、极端温度环境)下运行,涉及“变频器+电机+传动轴系+流体负载”的共同作用^[5],复杂的工况环境会使得振动问题更加突出。一方面,在不均匀的温度场和不规则气体来流作用下,高速旋转的超长转子系统动不平衡、轴系不对中、叶片颤振等问题将凸显,可能会引起转子系统的剧烈弯曲振动,转子系统弯振可能导致轴瓦异常温升和磨损、轴承磨损,以及叶尖间隙减小带来的潜在危害等;另一方面,压缩机的超长转子系统在兆瓦级变频驱动和多场耦合载荷作用下,由于变频器和电机的电磁谐波引起转子系统的输入扭矩脉动,同时气流不稳定又引起转子系统输出扭矩脉动,从而极易引起转子系统的扭振,增加轴系疲劳损伤,降低使用寿命,严重时可能导致机组轴系损坏或断裂,影响机组的安全可靠运行。大型风洞超长、超重转子系统的结构和激励源复杂,如何揭示动力装置转子系统的动力学行为,探明其对激励载荷的响应规律,实现转子系统弯/扭振的实时监测,以及轴系损伤累积的预测,对压缩机转子系统的设计和运行管理提出了挑战。

以往在小型引导风洞建成后,为解决压缩机转子系统振动问题,比较有效的方法就是获得优良的现场动平衡品质,运行时使工作转速避开或快速振动较大的临界转速,并且通过优化变频器设计,降低不规则谐波对轴系振动的影响,在转子轴系的减振工程应用方面取得了一定的效果。但是,鉴于压缩机的转子系统运行环境的多场耦合作用,以及大型风洞超长轴系的弯/扭振复杂性,在小型引导风洞中

获得的经验和方法不能简单地移植应用于大型风洞轴系的设计和建造。

国内外学者在转子动力学方面已经做了大量的研究工作,对开展压缩机转子系统振动的研究具有非常好的借鉴作用。国外学者 Muszynska^[6]建立了转子系统在不同工况下的动力学模型,并结合实验研究,给出了异常振动现象的动力学解答; Marshall^[7]综述了透平压缩机转子上由于不同工况下气流导致的转子振动的机理与特征。国内以东北大学^[8]、上海交通大学^[9]、西安交通大学^[10]、北京化工大学^[11]为代表的研究团队,在一般转子系统、航空发动机、汽轮机和透平机械等的振动问题方面积累了丰富的理论与实验经验,取得了一批高水平的研究成果。然而,针对大型风洞特殊的多场耦合复杂多变环境,还需要做进一步的研究,以满足压缩机超长转子系统设计建设的需求。

2.2 气源管道系统振动

国内跨超/高超声速风洞大多以暂冲式为主,风洞运行时通过空气配气间提供的中/高压气源形成试验所需的高速气流。通常暂冲式风洞采用集中供气方式,集中储气系统需要同时给多座风洞提供气源,连接储气罐和风洞的管道将构成错综复杂的气源管道系统。由于风洞大小不同、运行工况多,因此管路内部流动参数范围宽,极易与管路结构耦合,产生大幅振动,带来严重的安全隐患和事故风险。

气源管道系统的管道较长、网络复杂,紊乱气流条件下容易引起结构振动,甚至是系统共振,其振动激励主要包括:(1)跨超/高超风洞吹风试验通过阀门的打开和关闭来实现,此过程中的快速阀动作将对管道产生较大的气流瞬时冲击振动;(2)管路内部的气流紊乱,压力脉动较大,特别是紊乱的高速气流流经弯管头、阀门或变径等元件时,会对管道结构产生较大的激振力;(3)高速气流的压力脉动的频率范围较宽,容易与结构自振频率相重叠,从而发生共振现象。管道系统的振动一般都比较明显,特别是高压气源管路中,冲击振动的幅值会达到几十毫米,冲击加速度甚至高达 20~30 g,容易造成管路连接部件的松动、泄漏和裂纹等动强度失效问题,剧烈的振动甚至会引起气源管道疲劳,造成结构破坏,影响风洞试验的顺利完成。

实际工程中,解决气源管道系统振动问题主要是通过建立管道系统的三维模型,对结构的动态力学特性和冲击气流的流动特性进行分析,从而确定管道结构的静态强度刚度、结构模态和结构动力响

应,以及流体变化引起的冲击载荷、气流速度等气动特性;然后,利用振动响应测试和模态实验等方法,获取实际的结构振动特性,如振动加速度、幅值、频率、振型和阻尼等,从而对理论的动力学分析结果与实验结果进行对比验证;基于上述的理论和实验结果,确定整个管路系统中剧烈振动的主要部位,通过增强局部管道支撑刚度、优化支座布局和安装减振装置等方式,对管道系统结构振动进行抑制。上述方法对气源管道系统振动具有一定的减振效果,能够将振动的幅值从几十毫米量级控制在几个毫米以内。但是,如果能在风洞设计建设阶段,建立气源管道系统的振动理论和评估方法,在设计阶段就能解决振动问题或者预留振动抑制措施,无论是建设成本,还是减振效果,都将获得很大的改善。

管道系统振动问题的研究在石油化工、核电、输配水和航天航空等工程领域具有广泛的应用背景,促使管道振动研究取得了较大的进展,并呈现由线性振动不断向流固耦合非线性振动深入研究的趋势。自 Blevins^[12]于上个世纪中叶提出流致振动的概念以来,流致振动已经逐渐发展成为包含流体动力学、结构动力学和流固耦合动力学的系统性学科。其研究内容覆盖了从细小的血管流致振动到长距离输水气液两相流管道振动,从换热器管路振动到飞机空中加油管道振动等工业应用领域的方方面面^[13]。但目前关于管道振动现象的研究,关注的大多都是低速流体流动导致的流致振动,与高速气流诱发的风洞气源管道振动现象有明显的区别,特别是对运行参数范围宽、高速气流冲击、压力脉动复杂条件下的结构振动机理缺乏系统的研究。

2.3 洞体机械结构振动

洞体机械是风洞系统的主体结构,对风洞试验中马赫数调节精度、流场品质和测试环境起到决定性的作用。然而,在风洞复杂工况和耦合环境下,洞体机械结构振动现象比较明显,影响了机械结构的功能实现,会对风洞试验带来干扰信号,甚至导致关键结构的疲劳破坏,复杂洞体机械结构振动问题已经成为困扰风洞性能提升的关键难题。

气流在洞体中高速流动时,复杂洞体机械结构需要承受剧烈高速气流冲击和脉动等较大的交变载荷,由此产生一系列复杂的流固耦合效应,比较典型的例子包括阀门瞬时开启时的冲击振动、引射器和二喉道的流致振动、模型支撑系统振动等问题。首先,为了实现特定功能,风洞结构在复杂耦合场作用下需要经受强烈的冲击载荷,比如阀门瞬间开启的

高压气流冲击、引射器喷射高速气体的冲击和气体混合导致的剧烈压力脉动,以及二喉道中心体调节片的气体分离和湍流作用;其次,风洞结构设计需要满足一定的气动条件,在结构形状和尺寸的强约束条件下,难以提高结构的刚度和采取减/抑振措施,例如二喉道中心体的大型薄壁结构和模型支撑系统的悬臂梁结构,在非正常气动载荷作用下不可避免地会产生结构的振动;此外,风洞结构还存在许多执行机构,包括喷管段的驱动机构、二喉道调节片及中心体驱动机构、攻角驱动机构等等,结构件与驱动设备的连接链中使用了大量的铰链、螺栓,在交变载荷作用下,容易导致结构连接松动、装配间隙变大的问题,从而加剧结构的振动、交变载荷的冲击。振动直接影响了洞体结构的使用寿命和风洞的试验环境,如何揭示结构振动的成因,探索空间尺寸强约束条件下的结构减振方法,对改善风洞的性能意义重大。

洞体机械结构振动的激励机理复杂,并且受到结构尺寸/形状的限制,难以解决实际应用过程中遇到的洞体机械结构振动问题。对于洞体结构振动导致的结构破坏,通常采用补焊处理,只是延长了使用寿命,没有从根源上解决振动疲劳问题;为避免执行机构驱动系统在振动环境下失效,需要选用耐冲击的编码器、直线位移传感器等传感器,但其在冲击振动环境下的使用寿命也非常有限;另外,受到结构形状和尺寸的强约束,即使对洞体结构形式及其驱动方式进行优化,可以在一定程度上提高结构的刚度,但是减振效果并不是很明显。由此可见,由于风洞结构复杂、多场耦合作用、结构尺寸/形状受限等因素,洞体结构的振动现象往往难以避免,需要开展洞体结构减振/抑振新方法的探索性研究。

在理论研究方面,流体环境下的机械结构振动研究与管道结构相同,国内外学者也主要集中在流致振动方面的研究。哈尔滨工程大学研究团队^[14]和上海交通大学研究团队^[15,16]对舰船结构进行了有限元计算,为预报舰船结构的流致振动特性提供了有效途径;上海东方明珠电视塔^[17]在设计阶段就进行了流致振动特性的数值分析和风洞试验验证,确保了结构的可靠性;中国空气动力研究与发展中心^[13]正在探索风洞引射器结构的流致振动问题,期望在引射器流致振动特性、振动机理和振动抑制方法方面获得进展。在减/抑振方面,风洞模型支撑系统振动的主动控制获得了较为突出的进展,NASA Langley 研究中心的 Robert^[18]在 F/A-18 缩比模型垂尾布置压电作动器,使其根部应变的均方根值减

小了50%；德国ERAS公司^[19]采用压电陶瓷材料研制主动抑振系统，有效降低了欧洲跨声速风洞试验模型的振动；在国内，中国空气动力研究与发展中心的聂旭涛^[20]等人基于压电材料机电耦合行为和振动主动控制原理，设计压电组件嵌入式风洞模型支撑系统，在风洞模型支撑系统减振技术上获得了一定的进展。从目前的研究进展来看，流致振动理论可以揭示洞体结构的一些振动现象，但是以往学者都是考虑简单物理场的耦合效应，缺乏系统的理论研究。此外，智能材料的应用为风洞结构主动减振提供了很好的思路，不过如何推广应用还需要进行更深入的研究和探索。

3 技术与科学挑战

综上所述，固体—流动耦合的流致振动理论、旋转机械的转子动力学和机械结构减/抑振等研究取得了若干较大的进展，为风洞结构振动研究奠定了坚实的基础，同时也面临着一系列的科学难题和技术挑战。

(1) 在结构振动机理方面，有待系统深入研究多物理场耦合环境下的结构振动理论，为揭示结构振动现象和规律提供理论依据。

为满足风洞设备试验需求，风洞结构往往在复杂的工况条件下持续运行，此过程诱导产生的结构振动现象涉及气动力、气动热、气动噪声、机械载荷、电磁、材料和结构之间复杂的多物理场耦合作用，只是从两个或者少数几个物理场相互作用的层次上解释相关的科学问题，已经明显不能满足要求。

转子动力学方面，在综合考虑“变频器+电机+传动轴系+流体负载”的共同耦合作用下，如何揭示动力装置轴系复杂系统动力学行为，探明流体—热—电磁—结构多场作用下转子和叶片的耦合振动机理，掌握弯—扭—轴向激励力共同作用下叶片—转子—支撑结构的振动规律。流致振动方面，结合风洞实际运行的复杂工况，如何构建气动力、热、结构、机械载荷、振动、噪声等多物理场下的振动理论，建立计入间隙、摩擦、碰撞等非线性环节的风洞结构振动模型，揭示风洞结构的振动形成机理、工况参数与振动特性的映射关系，以及多物理场耦合的相互影响规律。振动溯源及传递路径方面，由于风洞结构复杂、运动传动链较多，且激励源多，应考虑如何建立振动传播的数学模型和分析方法，提出有效的振源定位和振动传递路径的辨识技术，分析复杂传动链对振动传播的影响规律。相关科学问题的研

究，将为解决大型风洞结构振动问题提供重要的理论支撑。

(2) 在振动测试和分析方面，有待提出针对风洞复杂环境的先进振动测试技术和数据处理方法，为系统研究结构振动和寿命评估提供强有力的大数据支撑。

风洞设施的结构普遍具有布局紧凑、形状多样的特点，同时还需要承受高速气流流动时多物理场的载荷作用，不仅受到狭小测试空间的限制，而且存在温度、压力、振动、噪声等多参数的互相干扰，对风洞结构振动测试和信号处理非常困难，提出有效的振动测试技术，并对大数据的提取和处理显得尤为重要。

首先，大型的风洞结构件的结构复杂、尺寸大，特别是诸如喷管柔板此类的大型薄壁结构，如采用传统振动传感器方式进行振动测试，所需传感器数量众多、布线困难，且抗电磁干扰能力有限，应考虑如何对结构振动测点进行选择 and 获得大范围的振动数据，从而对整个结构的振动特性进行分析；其次，对于空间受限的结构，例如二喉道中心体，传感器安装空间非常有限，且从结构振动传递到运动驱动装置的距离较长，应考虑如何实现狭小空间的长距离振动测试；此外，在温度、压力、振动、噪声等多参数互相干扰下，如何在获取的大数据基础上对有效信号进行提取和分析，从而得到结构振动的关键特性参数。针对风洞的特殊环境，提出先进的振动测试和数据处理技术，将对研究风洞结构部件的振动问题具有重要的应用价值。

(3) 在结构抑振/减振方面，有待提出风洞结构几何尺寸和形状约束条件下的主动/被动减振方法，为结构振动的控制提供有效的技术支撑。

由于气动条件对风洞结构设计具有非常强的约束要求，特别是在结构空间尺寸和形状上进行了严格的限制，例如引射器喷嘴的支撑整流板、二喉道的中心体，期望简单地通过提高结构刚度和阻尼的方法进行减振，其效果将非常有限。为解决风洞结构振动问题，需要突破强空间约束条件下的主动/被动减振难题。

为解决上述问题，需要重点考虑如下几个方面的问题：(1) 在不破坏气动型面要求的有限空间条件下，如何切实有效地对风洞机械结构及其驱动进行优化，整体提升结构的动态性能、刚柔匹配程度，以及降低结构的动态响应；(2) 新型材料和器件在结构减振方面有大量的应用，例如金属夹层复合材

料和磁流变阻尼器等,针对风洞特殊功能的机械结构,如何利用新型材料和器件设计出有效的减振结构;(3)风洞结构振动的激励源复杂,同时受到力、热、振动、噪声、电磁的耦合作用,如何在大负载的复杂环境下实现主/被动减振;(4)在结构振动疲劳方面,有待提出基于多信号融合的结构健康管理技术,实现振动环境下的结构状态实时监测和振动疲劳评估方法。

风洞运行的极端气动载荷和多变的复杂工况,大气动载荷、大机械力和剧烈振动的作用,使得大型风洞结构面临着严峻的失效和故障危害,开展风洞结构状态实时监测的研究,建立集力学、热、振动、噪声等环境于一体的分析和管理系统,提升风洞结构失效的预判能力和健康管理水平,对于提升风洞的高效安全运行意义重大。

实现风洞的结构健康管理,需要综合考虑多场耦合载荷的作用,利用获取的多信号数据,对结构的可靠性和振动特性进行预判和分析,重点从以下几个方面入手:(1)在集成气动力/热/结构/机械载荷/振动/噪声多场耦合的基础上,建立风洞结构失效的理论模型、数值仿真及其试验验证方法;(2)基于多信号的检测数据,提取有效的结构状态信息,结合结构失效的理论和模型,形成风洞结构寿命和可靠性评估技术;(3)研究早期结构失效特征信号的识别方法,通过实时智能诊断,快速查明多干扰、复杂工况的结构失效原因和因果链,并且建立结构状态实时监测和诊断系统。

4 重点研究方向建议

(1)多场耦合作用下的结构振动形成理论及其传播路径的辨识方法。综合考虑气动力、热、结构、机械载荷、振动、噪声等多物理场的作用,建立多场耦合的流致振动和转子动力学基础理论体系,揭示典型结构振动的现象和规律,掌握结构振动的传播路径及其辨识方法。

(2)研究先进的振动测试技术和数据处理方法。针对高速气流流动的风洞特殊环境,提出大型构件和特殊结构的先进振动测试技术,并在温度、压力、振动、噪声等多信号互相干扰下,对获取的大数据进行有效信号的提取和处理。

(3)强空间尺寸/形状约束下的结构振动主动/被动控制技术。在气动条件对风洞结构尺寸和形状的限制条件下,基于振动的自愈调控、新型减振材料/器件和机构优化设计等新方法和新技术,开展结

构主动/被动减振方法的研究。

(4)建立基于多信号融合的结构振动疲劳寿命评估方法。开展多场耦合作用下的结构失效机理和辨识方法的研究,结合提取的多参量结构状态信息,形成风洞结构寿命和可靠性评估技术,构建集力学、热、振动、噪声等信号于一体的结构状态管理系统。

5 结束语

面向国家“十三五”期间大型低温高雷诺数风洞、大型连续式跨声速风洞、大型低速风洞等一批世界顶尖风洞设备的设计建设需求,阐述了结构振动这一关键共性科学问题的重大工程应用背景,并且凝练出了多场耦合下风洞结构振动的基础科学问题,有望通过相关关键技术的攻关,建立风洞结构振动的基础理论体系,提出有效的结构振动控制方法,为设计阶段解决困扰风洞性能提升的结构振动问题提供有效的技术支撑。

参 考 文 献

- [1] 廖达雄,陈吉明,彭强,等.连续式跨声速风洞设计关键技术.实验流体力学,2011,25(4):74—78.
- [2] 熊波,林学东,杨洋,等.2m超声速风洞冲击载荷抑制方法研究.兵工自动化,2016,35(11):16—19.
- [3] 陈万华,王元兴,王超琪,等.基于有限元法的风洞结构故障诊断.实验流体力学,2011,25(2):63—67.
- [4] 张文,周恩民,刘恺,等.风洞轴流压缩机安全特性研究与运行保护.风机技术,2015,1:78—82.
- [5] 姚剑飞,王维民,杨佳丽,等.转子—轴承系统中电磁作动器的力学特性分析及实验研究.北京化工大学学报,2012,39(5):102—107.
- [6] Muszynska A. Rotordynamics. New York: Marcel Dekker Inc. 2005.
- [7] Marshall FD, Sorokes J. A review of aerodynamically induced forces acting on centrifugal compressors, and resulting vibration characteristics of rotors. Proceeding of the 29th turbomachinery symposium, Las Vegas NV, 2000, 263—280.
- [8] 闻邦椿,顾家柳,夏松波,等.高等转子动力学理论与应用.北京:机械工业出版社,2000.
- [9] 孟光.转子动力学研究的回顾与展望.振动工程学报,2002,15(1):1—9.
- [10] 顾家柳,丁奎元,刘启洲,等.转子动力学.北京:国防工业出版社,1985.
- [11] 高金吉,王维民,江志农.高速透平机械轴位移故障自愈调控系统研究.机械科学与技术,2005,24(11):1261—1264.
- [12] Blevins R. Flow-induced Vibration. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

- [13] 杨毅晟. 多喷嘴引射器流致振动特性研究. 中国空气动力研究与发展中心, 2017.
- [14] 王洋. 潜艇指挥台围壳模型流激振动噪声特性研究. 哈尔滨工程大学, 2008.
- [15] 金咸定, 夏利娟. 船体振动学. 上海: 上海交通大学出版社出版, 2015.
- [16] 吴仕昊. 桨-轴-艇耦合结构的振动和声辐射特性理论与试验研究. 上海交通大学, 2015.
- [17] 卢启煌. 高耸结构的风振响应研究. 长安大学, 2006.
- [18] Moses R. Active vertical tail buffeting alleviation on an F/A-18 model in a wind tunnel. NASA Conference Publication, NASA, 1999; 821—830.
- [19] Fehren H, Gnauert U, Wimmel R. Validation testing with the active damping system in the European transonic wind tunnel. AIAA, 2001; 01—0610.
- [20] 聂旭涛, 陈万华, 陈振华, 等. 压电组件嵌入式风洞模型支撑系统振动主动控制仿真. 振动与冲击, 2014, 33(9): 137—141.

Fundamental researches on structure vibration of wind tunnel

Chen Zhenhua Liao Wenlin Nie Xutao Liu Zongzheng

(China Aerodynamics Research and Development Center, Mianyang 621000)

Abstract During the 13th Five-Year Plan, our country launched the design and construction of serial advanced wind tunnels, including large cryogenic wind tunnel, large continuous transonic wind tunnel and large low speed wind tunnel, to improve the national capability in the field of aeronautics and astronautics. To meet the significant demands of these major engineering, the 185th Shangqing Forum was held by the National Natural Science Foundation of China to summarize the key scientific issues on the design and construction of large wind tunnels, where the structure vibration is an increasingly imminent problem to be resolved. Around the structure vibration phenomenon and regularities of wind tunnels, some challenging issues in the fundamental theory and key technology, such as the production mechanism, transfer process and control method of structure vibration, are pointed out in this work. Finally, some key research directions are suggested to resolve these key scientific issues.

Key words large wind tunnel; structure vibration; multi-field coupling