

但是这种结构却丧失了自动向线路中心复位的能力,轮对会始终靠一侧钢轨运行,造成磨损和增加运行阻力。为此在车轴上两轮之间设置了一个耦合器,用一个控制系统来控制耦合力的的大小,使轮对在直线上既有高的蛇行失稳速度,又有向线路中心复位的能力;在曲线上两轮间可自动产生差动旋转速度,实现良好的曲线通过性能。目前德、意、法、日等国家都在大力开展这一方面的研究工作,人们称之为 21 世纪的轮对,为下一世纪有轨车辆时速达到 400—500 km/h 而作准备,此外适用在小半径曲线线路上开行高速列车的车体可自动倾斜的摆式车辆、磁浮车辆均为可控动力学应用实例。

7 高速列车的噪音及振动的传播

国外在发展高速铁路的过程中都曾遇到噪音和振动对环境的影响问题。日本新干线的振动及噪音干扰曾受到公众的强烈反对,因而在其投入运行后不得不采取一系列措施进行补救。法国 TGV 由于噪音超标而不得不在一些局部线路区段限速运行。当今世界各国在高速铁路的进一步发展中都将防治噪音污染作为重要课题进行研究。对高速铁路所产生的噪音和振动的治理方法上,主要是研究降低噪音源本身的声级;其次是研究防治噪音传播的有效措施。

高速列车运行噪音声源主要来自轮轨间的滚动及冲击、空气动力和机械三个方面。轮轨间的滚动和冲击噪音主要是由于在轮轨滚动时轮轨间的不平顺使车轮、钢轨、道床或桥梁等产生高频振动所引起,因此本质上也是结构振动问题。这种噪声通过车辆本身向车内,通过钢轨向地基,通过空气向四周传播。因此要研究轮轨噪声产生的机理,噪声传播的特性,建立物理和数学模型进行噪音的计算和预测,并在车辆与轨道结构设计时一并给予考虑。空气噪音主要由受电弓、转向架、车厢连接及门窗外部在高速气流下所产生,因此在研究列车气动外型时要加以考虑;机械噪音以制动装置所产生的最大,因此对制动装置的频响特性要进行研究。

还要研究控制噪音的传播这种被动的方式来减少噪音对铁路沿线环境和车厢内部环境的影响。在这方面要开展各种防噪结构物和吸音材料的研究。目前正在发展的噪音主动控制技术,在高速列车噪音控制中将会有广阔的应用前景。

SOME MECHANICAL PROBLEMS IN HIGH SPEED RAILWAYS

He Qiyong

(China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

风工程力学和大跨度桥梁的空气动力学问题

项海帆

(土木工程防灾国家实验室,同济大学,上海 200092)

1 引言

现代桥梁向长、轻、柔方向发展,使抗风研究日益成为设计者最关心的问题。对大跨度桥

梁在强风下严重毁坏的事故,最初人们只认识到考虑静风载的必要性,直到1940年美国Tacoma悬索桥的风毁事故,才使工程界注意到桥梁风致振动的重要性。在土木工程,航空、气象和力学各学科的研究人员的共同努力下,以Tacoma桥风毁为起点,经过近半个世纪的发展,已形成了一门新兴的边缘学科——风工程学。

按照国际风工程协会的定义,风工程这一学科主要研究“大气边界层中的风与人类在地球表面的活动及其劳动成果之间的相互作用”。包括以下主要方面:(1)大气边界层内的风特性;(2)风对建筑物和构筑物的作用(风载,风振,对采暖通风的影响等);(3)风引起的质量(气体、液体或固体形式)迁移(如污染、扩散以及风沙、风雪);(4)运输车辆及水上船舶的空气动力特性;(5)风能转换和利用;(6)局部风环境和环境风特性;(7)风对社会和经济的影响(对风灾的预防和减灾措施等)。

国际著名的风工程专家A. G. Davenport教授援引联合国的统计资料指出:“约半数以上的自然灾害与风有关”。暴风及其派生的潮涌和暴雨洪灾常常使人民的生命财产遭受严重损失。我国是世界上受台风和龙卷风袭击较多的国家之一。自改革开放以来,我国大跨度桥梁日益增多,许多城市已形成高层建筑群、建造了许多百米以上的烟囱、化工塔、冷却塔和电视塔。这些大跨高耸结构的兴建提出了大量风载、风振、风干扰和风环境等一系列风工程问题。

风工程力学就是为解决上述风工程问题中的许多空气动力学课题,发展起来的一个力学分支。风工程力学的核心问题是建筑空气动力学所研究的近地紊流风对建筑钝体(单体或群)的作用以及环境空气动力学所研究的质量迁移问题。由于大气边界层风特性和钝体气动特性的复杂性,建筑空气动力学在理论上还不能建立起完善地描述实际风工程问题的数学模型,而只能通过半理论和半实验的途径寻求问题的近似解答,因此风洞模拟试验,现场实测和理论分析是三个不可缺少的相互依赖的研究手段。换言之,与其他工程力学分支相比,风工程力学在其发展过程中更加需要理论和实验两个方面的共同努力。

2 大跨度桥梁的风致振动

桥梁风致振动的早期研究在很大程度上借助于航空工程及机翼空气动力学的理论。但是,由于桥梁断面的非流线形特点,使研究者逐渐认识到不能简单地照搬势流理论的解,而必须采用理论和实验相结合,建立作用于复杂钝体截面上的空气作用力的模型。另一方面,由于近地自然风带有某种程度的紊流特性,为了研究的方便,一般都将自然风分解成平均风和脉动风来分析,由此引起的风振机理可分为四类:(1)自激振动(颤振或驰振)在平均风中的振动物体由于空气力的负阻尼效应而使结构能从空气中不断吸取能量,在一定临界风速下使振幅不断增大形成一种发散性的危险振动。(2)涡致振动 在平均风气流作用下,被绕流的结构物的周围或背后将交替发生旋涡脱落,并在脱落时的涡激力作用下引起结构的振动,当涡频接近结构基频时发生共振。(3)紊流风响应(抖振) 在随时间变化的脉动风作用下的一种随机强迫振动。(4)拉索的风振 在大跨度斜拉桥中拉索的局部横向振动也是日益被重视的一种现象。

实际上,平均风和脉动风是不可分的。因此,上述几种风致振动是同时发生的,而且不同的振动机制之间存在着相互作用和干扰。

3 桥梁颤振理论的新进展

目前,国际上普遍采用的大跨度桥梁颤振分析方法有两种:(1)基于薄板截面理论解的古典二自由度耦合颤振分析,并通过系列风洞试验给出非薄板截面的临界风速折减系数。

Kloppel 和 Thiele 编制了一套诺模图使计算实用化。Van der Put 在此基础上回归出一个近似公式,使方法更为简便。(2)对于大部份非流线形的桥梁截面,基于势流理论的薄板颤振解是不合理的。Scanlan 提出一种通过风洞试验对非流线形截面的气动力进行识别以代替薄板的 Theodorson 函数,而直接求解临界风速的方法。

应该说,桥梁颤振的驱动原理已基本清楚,而且从结构设计上,通过仔细的断面气动选型可以找到既满足气动稳定性又便于施工的断面形式,即使对于跨度达到 2000 米的超大跨度悬索桥也能通过开槽、设置稳定板等气动措施加以解决。

在颤振理论方面正在进行的工作有以下几个方面:(1)颤振导数识别技术的改进;(2)考虑紊流影响的随机稳定性分析;(3)有效稳定措施的空气动力学解释;(4)多振型耦合颤振的机理;(5)颤振后性能研究;(6)考虑各种随机风场因素对稳定性影响的概率性分析。

4 抖振是大气边界层中的紊流成份所激起的桥梁风致振动。

作为一种强迫振动,虽然它不像颤振那样的发散性的危险振动,但由于抖振发生的频度高,会引起结构的疲劳问题,过大的抖振振幅甚至会危及行车的安全,需要通过一些措施加以控制。

1962 年 Davenport 首先建立了桥梁抖振理论,他通过准定常假设建立了抖振力的模型,同时引入气动导纳函数考虑抖振力的非定常效应。70 年代 Scanlan 指出,由于紊流成份和平均风的风时作用,后者引起的空气阻尼,尤其是对一些桥梁钝断面的负阻尼作用,将影响抖振分析的精度。他提出了同时考虑自激力和抖振力的抖振分析方法。30 年代, Y. K. Lin 提出了抖振的时域分析方法,以克服频域分析法难以精确考虑大跨度桥梁的结构非线性和气动非线性,以及来流紊流成份和结构运动之间的相互作用。

桥梁的抖振响应是一个十分复杂的现象,目前的抖振理论虽然从工程应用观点来看已能解决桥梁的抗风设计问题,但从力学的角度看尚有待于精细化。正在进行的工作有以下几个方面:(1)紊流风场的各种参数的实测;(2)紊流对气动导数的影响;(3)桥梁断面气动导纳函数的识别;(4)紊流成份和各运动分量的相互作用;(5)运动分量之间的气动耦合,以及结构各振型的耦合问题;(6)时域分析中各种气动参数的时域表达。

5 桥梁的风振控制

结构振动控制可以采用主动控制装置、被动控制装置或介于两者之间的半主动控制装置。目前桥梁上常用的控制装置有下列几种:(1)吸能控制装置 在结构上安装一些由吸能材料(如阻尼橡胶)制成的部件(垫圈、垫板),利用材料的塑性变形和高阻尼性能吸收能量,以减小结构振动。(2)调频质量阻尼器(TMD)。(3)锚索控制装置 主要用于高层建筑中,也可以在锚索节点处安装控制成为一种主动控制装置。(4)可调液体阻尼器(TLD) 1983 年首次用于高层建筑中以抑制过大的风振响应。(5)可调液体管形阻尼器(TLCD) 1989 年由日本学者提出,可通过 U 形水管中段的调节孔优化其减振效果。

WIND ENGINEERING MECHANICS AND AERODYNAMICS OF LONG-SPAN BRIDGES

Xiang Haifan

(State Laboratory for Disaster Reduction in Civil Engineering Tongji University, Shanghai 200092, China)