

文章编号: 1673-2049(2008)04-0023-08

特高压大跨越输电塔动力特性和风振响应分析

邓洪洲, 司瑞娟

(同济大学 建筑工程系, 上海 200092)

摘要: 针对特高压大跨越输电塔跨越档距大、塔体高且负荷重的特点, 从材料选取、导线排列方式、结构动力特性以及风振响应等几个方面对 1 000 kV 特高压双回路跨越输电塔进行分析, 总结了所研究塔型的动力特点, 对其风振系数进行了计算和讨论, 并根据动力特性分析提出了结构设计中风振系数的取值方法。结果表明: 风振系数具有较大的离散性, 不同塔身高度应取不同的值进行计算; 该方法为特高压大跨越输电塔的结构设计提供了参考。

关键词: 特高压; 大跨越输电塔; 动力特性; 风振系数; 风振响应

中图分类号: TU311.3 **文献标志码:** A

Analysis of Dynamic Behavior and Wind-induced Response of UHV Long-span Transmission Towers

DENG Hong-zhou, SI Rui-juan

(Department of Architectural Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Aimed to ultra high voltage (UHV) long-span transmission tower being characterized with long-span, high-rise and heavy load, material selecting, conductor arranging and dynamic characteristic and wind-induced response, 1 000 kV UHV double circuit long-span towers were analyzed. Dynamic characteristics of these kinds of long-span transmission towers were summarized. Wind-induced vibration coefficient were calculated based on the wind load time history response, and according to the analysis of dynamic behavior, a reasonable wind-induced vibration coefficient in construction design was proposed. Results show that wind-induced vibration coefficient has discreteness and different values of coefficients should be chosen according to different heights of towers. The method can provide some references for the design of UHV long-span transmission towers.

Key words: UHV; long-span transmission tower; dynamic behavior; wind-induced vibration coefficient; wind-induced response

0 引言

“十一五”期间, 中国电网公司将在晋东南—南阳—荆州 1 000 kV 特高压交流单回路输电线路工程的基础上, 开工建设淮南—芜湖—浙北—沪西特高压交流双回路输电线路工程, 该线路有淮河

和长江 2 个大跨越段。

大跨越线路段往往是送电线路的瓶颈, 而特高压双回路跨越塔的设计要求更是比一般线路要严格, 对安全的要求也更高, 其结构选型与计算是大跨越工程设计中的一个关键环节。在特高压线路中, 导线加长导致荷载增大, 塔高增加使风荷载作用

收稿日期: 2008-08-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(50078040)

作者简介: 邓洪洲(1960-), 男, 黑龙江宾县人, 教授, 博士研究生导师, 工学博士, E-mail: denghongzhou@online.sh.cn。

增大,风振响应更加明显^[1],由于横担长度的增大,塔身质量分布愈加不均,当前该行业规定已显现出明显的不足,传统的角钢塔也已不能适应这些特殊要求。国外的特高压线路中大跨越工程较少,而中国 1 000 kV 特高压线路建设现处于尝试阶段,对于特高压双回路跨越塔的结构选型与设计,目前几乎没有工程经验可供借鉴,初步设计阶段塔的结构选型与分析在特高压双回路工程的设计中将具有十分重要的意义。

原则上,塔的结构选型取决于线路的电压等级、回路数、地形条件和使用条件等,还要通过技术、经济的比较择优选用。笔者主要从材料选取、导线排列方式、结构动力特性及其风振响应等几方面对 1 000 kV 特高压双回路跨越塔进行分析,通过对其动力特性和风振系数的计算,指出所研究塔型的动力特点,并对目前设计中风振系数的取值方法提出了建议,以期对特高压大跨越铁塔的结构设计提供参考。

1 大跨越钢管塔

在中国的输电线路中,钢管塔的应用仍不普遍。多数情况下,设计人员倾向于选择角钢塔,这主要是因为角钢加工及安装方便。对于一般的铁塔来说,角钢结构具有明显的优越性,但对于特高压大跨越塔,则具有明显的弱点。随着特高压工程建设的开展,跨越塔塔高的增加、承受负荷的骤然增大使得传统的角钢塔形式已不能满足设计要求,钢管塔的应用逐渐增多。20 世纪 80 年代,许多国家在开发特高压线路时,将钢管型材用到了铁塔结构中,出现了以钢管为塔体主材的钢管塔^[2-5]。在日本,1 000 kV 的特高压线路及高塔中几乎全部使用了钢管塔。借鉴国外经验,中国在 500 kV 双回路铁塔和四回路铁塔中也已使用了钢管型材,由于其具有优越的性能,因此取得了显著的经济效益。

总体来看,与角钢塔相比,钢管塔的应用主要基于其以下几个方面的特点:

(1)可以减小塔身风压。对于特高压双回路大跨越输电塔来说,由于塔体高度高,风荷载效应更为明显,因此,减小塔体自身的风阻力,采用挡风面积小、体型系数小的构件形式,以减小塔身的风荷载效应已成为设计时考虑的首要问题。在承受同等条件风荷载时,钢管的体型系数为角钢构件的 0.6~0.8 倍,挡风面积较角钢小 20%~40%,塔身所受的风荷载将明显减小。

(2)截面性能好。因角钢截面的力学性能各向异性,有时为避开最小轴回转半径起控制作用,必然引起多支撑的设置,从而进一步导致了结构构造的复杂和材料用量的增加,在加大加工和安装难度的同时塔身的受风面积也相应增大,这样又使塔身风荷载进一步增加。然而,在截面面积相等的情况下,圆管的回转半径比角钢大 20%左右,对于受压杆件来讲,圆截面构件的稳定承载能力要明显优于角钢构件。此外,钢管截面各向回转半径相同,因此钢管塔中几乎不用设置辅助材料来保证杆件的稳定性,也节省了材料。

(3)提高结构承载能力。目前中国生产的热轧等边角钢的最大规格为 200 mm×24 mm,其截面面积为 9 066 mm²,组合四角钢的最大承载力在 8×10³ kN 左右,当主材内力超过该值时,再采取减小支撑长度来降低长细比的措施已不能提高其本身的承载能力,可以说角钢构件的承载能力存在先天不足。钢板卷压而成的钢管的最大截面面积要远远大于热轧角钢,其承载力可明显提高。特高压大跨越塔高度高、负荷大,塔身主材的内力已相当大,采用角钢形式无法满足承载要求,此时,钢管塔的使用不失为一个好的选择。

在材料上,中国《钢结构设计规范》(GB 50017—2002,以下简称钢结构规范)^[6]规定,对于钢管桁架结构,热加工管材和冷成型管材不应采用屈服强度超过 345 MPa 以及屈服强度比值大于 0.8 的钢材,且钢管壁厚不宜大于 25 mm。其中,钢结构规范对钢管壁厚规定的说明是因为存在加工上的困难,实际上,钢管塔的绝大部分构件都是在工厂用钢板自行卷制而成,其截面为多边形,近似圆形,现有些工厂已完全可以加工 30 mm 厚的钢管。崖门大跨越输电塔中已成功应用了 30 mm 厚的钢管,其主材的最大规格为 1 580 mm×30 mm, Q345B 钢材。此外,钢结构规范对钢材屈服强度 345 MPa 的规定使得中国的大跨越塔大多仍在使用中低强度的钢材,钢管塔的承载能力受到一定程度的约束也影响了钢管塔的广泛应用。在美国、日本等国家,高强度钢在输电塔中的应用已很普遍,欧洲钢结构规范也把钢管的屈服点提高到了 460 MPa。中国 2004 年建成的吴淞口大跨越钢管塔塔身主材采用了 Q390 高强度钢,取得了显著的经济效益。研究表明^[7],高强度钢的使用可减小塔的质量,具有较为明显的技术经济优势。

各国钢管塔的成功应用为中国的大跨越钢管塔

设计提供了宝贵的经验。钢管塔已成为中国大跨越塔设计时的首选,正在设计的淮南—上海1 000 kV特高压线路和向家坝—上海±800 kV特高压线路中便主要使用了钢管塔。

2 导线排列方式和塔型

对于高压输电塔,通常采用导线垂直排列的鼓型塔。鼓型塔是双回路塔并架线路中的常用形式,在中国的输电线路建设中已被广泛应用。日本东京电力公司建设的1 000 kV输电线路中采用的便是导线垂直排列的自立式双回路铁塔^[8]。导线垂直排列时,每根横担上悬挂1根导线,在满足电气间隙要求的情况下,横担长度最短,但同时该排列方式却使得输电塔的高度较高,从而直接导致塔的质量增加。

为改善这一情况,考虑可降低塔高的导线水平排列的塔型。对于特高压双回路塔,双层横担的干字型塔可有效降低塔身高度,在降低耗钢指标的同时也提高了防雷水平。但是,在导线水平排列时,由于1根横担上需挂两相导线,相对来说,横担的长度较导线垂直排列时要长。横担长度的增加进一步加大了塔体质量分布的不均匀性,这将使输电塔在风荷载下的动力响应变得非常复杂。因此,究竟哪一种塔型更为适用,还需要结合工程实际从经济性和动力特性方面做进一步的研究。

荻港大跨越输电塔是淮南—上海1 000 kV特高压线路的重点工程之一,其在初步设计阶段分别采用了这2种导线排列方式,塔型布置如图1所示。该工程跨越档距1 850 m,跨越塔呼高216 m,导线垂直排列时[图1(a)],跨越塔全高为302 m;导线三角形排列时[图1(b)],跨越塔全高为268 m,横担总长度102 m。采用8分裂导线,基准设计风速为 $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。风荷载、导线荷载、塔身自重共同构成了该跨越塔的主要设计荷载。组合角钢已经不能满足主材受力的要求,故这2种导线排列方式均采用了钢管塔形式。

本文中对荻港大跨越输电塔在2种导线排列方式时的塔体结构进行了分析:对于302 m高导线垂直排列的跨越塔,如仍采用传统的四边形自立式铁塔,其管径将大于2 m,厚度大于30 mm,都将开创国际先例,但同时也给生产及加工带来极大的困难。为此,在塔身腰部以上采用四边形,而在腰部以下则通过过渡段转换为八边形,以减小管径。鉴于30 mm厚的钢管在崖门大跨越输电塔中的成功应用,该工程的钢管厚度最大也可达到30 mm。考虑

电梯井筒后,导线水平排列时塔质量2 130 t,垂直排列时塔质量达到3 150 t,比导线水平排列的塔质量增加了近1 000 t。从经济的角度来看,导线水平排列的塔型明显优于导线垂直排列的塔型。

淮河大跨越塔是淮南—上海1 000 kV特高压输电线路的另一个重点工程,其初步设计方案采用了导线水平排列的塔型,见图2。该塔呼高146 m,塔全高188.3 m,横担总长87 m,6分裂导线,基准设计风速 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

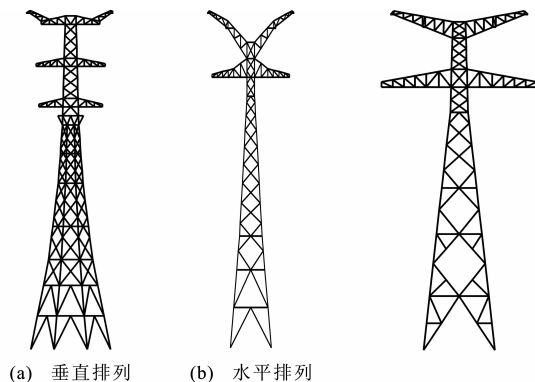


图1 荻港大跨越塔

图2 淮河大跨越塔

Fig. 1 Digang

Fig. 2 Huaihe

Long-span Tower

Long-span Tower

水平排列方式的塔型可有效降低塔高,减小风荷载作用,使塔质量明显减小而获得显著的经济效益,是一种可选择特高压大跨越塔形式。但由于该塔型横担长度大,塔头质量更为集中,其在风荷载下的动力性能将显得极为重要,是设计中必须重视并妥善处理的问题。

3 输电塔的计算模型

3.1 力学模型的处理

大跨越钢管塔的塔身主材由于规格相对较大,连接多采用刚性法兰,同时由于考虑了统材,主材杆件的受力更像梁。塔身斜材与主材相连时,多采用柔性法兰或U型插板,与主材相比,其受力性能介于梁与杆之间。对于交叉斜材,2根斜材通过法兰连接成为一个整体,中间节点刚度的影响亦不可忽略。而横隔面内的杆件一般均起构造作用,受力较小,连接也相对简单,其受力表现更接近于杆。

此外,交叉斜材和再分式杆件采用杆单元进行模拟时,计算中不计入中间节点刚度的影响。因为加入中间节点后,该点在平面外没有约束,为几何可变的,若就近设置附加杆件对其约束,虽不影响整体模态,但该区域的局部模态将被约束;若采用弹簧单

元对其进行约束,弹簧刚度的计算及其设置均成为比较复杂的问题,在工程分析中难以解决。因此,在采用有限元软件分析输电塔时,如何根据塔架结构的受力状态和结构杆件所在部位的构造形式合理地选取梁单元或杆单元成为一个首要的问题。

3.2 有限元模型的建立

为了能更合理地分析输电塔的动力特性,本文中建立了桁架模型(杆单元)、刚架模型(梁单元)和各混合模型(杆单元和梁单元的组合),并对这 3 种有限元模型进行了对比分析,得出以下结论:

(1)就塔的整体模态来说,桁架模型与刚架模型几乎无差别。桁架模型与其他几种模型的 x 、 y 向及扭转振型的 1~3 阶自振频率的相对误差不大于 5%;只要塔身主材采用梁单元模拟,不论何种模型,不论是否考虑交叉斜材中间节点,其整体模态的相对误差都不大于 1%。

(2)在分析局部模态时,交叉斜材中间节点刚度的影响必须考虑。

(3)当把隔面内的一些次要杆件由梁单元转换为杆单元后,隔面本身的振动频率相对误差超过了 20%。就构造及受力来说,隔面内次要杆件几乎仅起支撑作用,可处理为杆单元;而隔面的外围杆件对内部杆件不仅起支撑作用,而且起转动约束作用,宜处理为梁单元。

(4)塔身 K 型材以及横担的其他类杆件,不论是取为梁单元还是杆单元,对塔的整体模态及该处局部模态的影响均不大。

综上所述,本文中在有限元计算时对模型做如下处理:塔身主材、横担主材和隔面外围杆件采用空间梁单元模拟;为考虑中间节点刚度的影响,采用梁单元模拟交叉斜材和再分式杆件;其余杆件则全部采用杆单元进行模拟。此外,在塔脚边界处采用固结的连接方式。

4 动力特性分析

4.1 塔型的动力特性

大量分析表明^[9-10],建立单塔模型动力特性分析时可不考虑导线、绝缘子、金具等附加质量的影响。根据第 3.2 节的建模原则,现利用 ANSYS 有限元程序,采用子空间迭代法对获港大跨越塔的动力特性进行分析。导线垂直排列和水平排列塔型方式分别见图 3、4。图 3 中频率 $f_1 \sim f_{10}$ 分别为 0.487、0.487、1.041、1.050、1.059、1.802、1.526、1.880、2.016、2.212 Hz;图 4 中频率 $f_1 \sim f_{10}$ 分别为

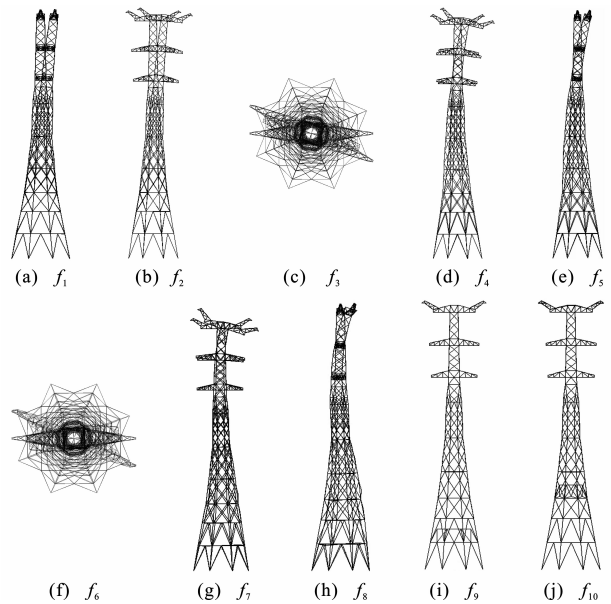


图 3 导线垂直排列塔型的振型

Fig. 3 Vibration Shapes of Tower with Conductors Arranged in Vertical Direction

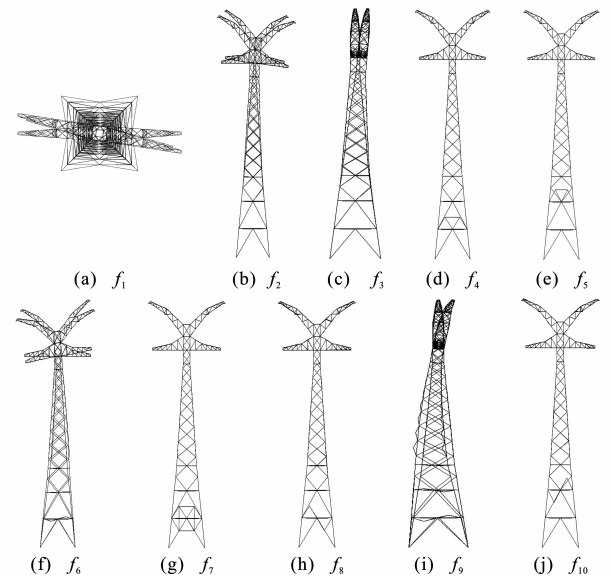


图 4 导线水平排列塔型的振型

Fig. 4 Vibration Shapes of Tower with Conductors Arranged in Horizontal Direction

0.578、0.626、0.638、0.905、1.043、1.153、1.195、1.195、1.261、1.045 Hz。

由图 3 可以看出,导线垂直排列塔型的 1、2 阶振型分别出现在 x 向和 y 向,且频率相当接近,相对误差不超过 1%。同时,扭转振型出现在 x 向与 y 向振型之后,频率与 x 、 y 向的 1 阶振型相差较大,几近 1 倍,与一般输电塔的动力特性相似^[11]。随之出现的是 x 向与 y 向的 2、3 阶振型及扭转 2 阶振型,且其频率都相对较高。对以 1 阶振型为主的输

电塔设计来说,这是比较理想的情况。

由图4可以看出,导线水平排列的塔型中最先出现扭转振型,其次是 x 向与 y 向的1阶振型,频率相差仅10%。从输电塔设计的角度讲,一般以 x 向或 y 向的第1振型为主,故不倾向于第1振型为扭转振型。同时,1阶的扭转振型频率也应与 x 向或 y 向的塔身1阶频率有一定的差距。

经过分析,塔头质量大、塔身瓶口尺寸不足、塔头部分主材及隔面的杆件规格太小等造成塔头部分的抗扭刚度小,是引起导线水平排列塔型扭转振型提早出现的主要原因。为此,通过增大塔身瓶口尺寸、加大塔头部分主材及隔面规格等对该塔进行了调整。调整后的计算结果显示,首先出现 x 向(0.589 Hz)及 y 向(0.596 Hz)的1阶振型,接着才出现扭转振型(0.768 Hz),且横向振型与扭转振型的频率相差30%左右,已体现出比较明显的差别,达到了工程上较为满意的效果。

对于整体动力特性,导线垂直排列的塔型优于导线水平排列的塔型。但通过加大塔身瓶口尺寸和增大塔头部分主材及隔面主材的规格等提高塔头部分的抗扭刚度措施,可有效改善导线水平排列塔型的动力性能;再加上高度低、承受风荷载小、质量轻等特点,导线水平排列的塔型在特高压大跨越输电塔工程中也是值得考虑的一种形式。

4.2 风振系数的计算

风荷载是特高压大跨越双回路塔的主要荷载,其计算的准确性直接影响着线路的安全性和经济性。动力特性分析表明:导线水平排列塔型的频率相对较低,且前多阶频率均处于对风较为敏感的频率区间;同时,由于塔头部分的质量集中大、横担外伸长度长,风振系数存在较大的突变,根据规范取单个的风振系数用于设计时,很可能使设计偏于不安全;另外,特高压双回路塔的塔头间隙和横担长度大,风振响应更加强烈。因此,对风振系数如何合理地取值成了工程设计中迫切需要解决的问题。

按照《架空送电线路杆塔结构设计技术规定》(DL/T 5154—2002)^[12],在脉动风荷载下输电塔风振响应用风振系数来考虑,并给出了60 m以下输电塔风振系数的取值。对于一般线路,塔高一般不超过60 m,该规范基本能满足设计要求,但当塔高超过60 m时,中国规范没有相应的条文规定。电力行业规范中指出,当杆塔全高超过60 m时,应按《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001,以下简称荷载规范)采用由下到上逐段增大的数值,加权平均

值不小于1.6,而荷载规范仅适用外形、质量、刚度沿塔高连续变化的结构;对于结构外形或质量有较大突变的高耸结构,风振计算应按随机振动理论进行。为考察导线水平排列塔型风振系数的特点,本文中以淮河大跨越塔为例,用数值方法模拟脉动风荷载时程^[13],对该塔进行了风振响应的时程计算。计算采用线性滤波法,基于AR自回归模型,利用Matlab程序模拟生成塔身节点的脉动风速时程。风速功率谱为Davenport谱,10 m高度处的基本风速为 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,B类地貌,风场湍流度为20%,结构阻尼比为0.02,风荷载时间步长为0.02 s,持时700 s。根据节点的风速、平均风速、塔身分段和荷载分配节点数,进一步得到节点的风力时程,并将模拟所得的风力时程施加在计算模型的相应节点上进行风荷载时程计算。

限于篇幅,这里仅给出塔顶和横担高度处模拟的风速时程(图5)和对该处节点计算所得的位移、速度、加速度时程曲线(图6、7)。

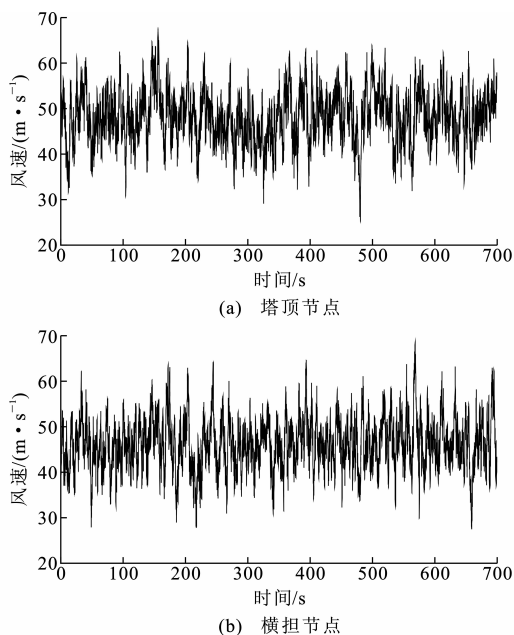


图5 节点的风速时程曲线

Fig. 5 Time History Curves of Wind Speed of Joints

根据风振响应时程计算的结果,风振系数 β 可直接根据其定义,按下式计算^[14]

$$\beta(z) = 1 + \frac{gm(z)\sigma_a(z)}{\mu_s\mu_z\omega_0 A(z)}$$

式中: $m(z)$ 、 $\sigma_a(z)$ 、 $A(z)$ 分别为高度 z 处的集中质量、加速度方差和挡风面积; g 为保证系数,取 $g=2.2$; μ_s 为体型系数; μ_z 为风压高度系数; ω_0 为基本风压。塔身各分段高度处的风振系数计算结果见表

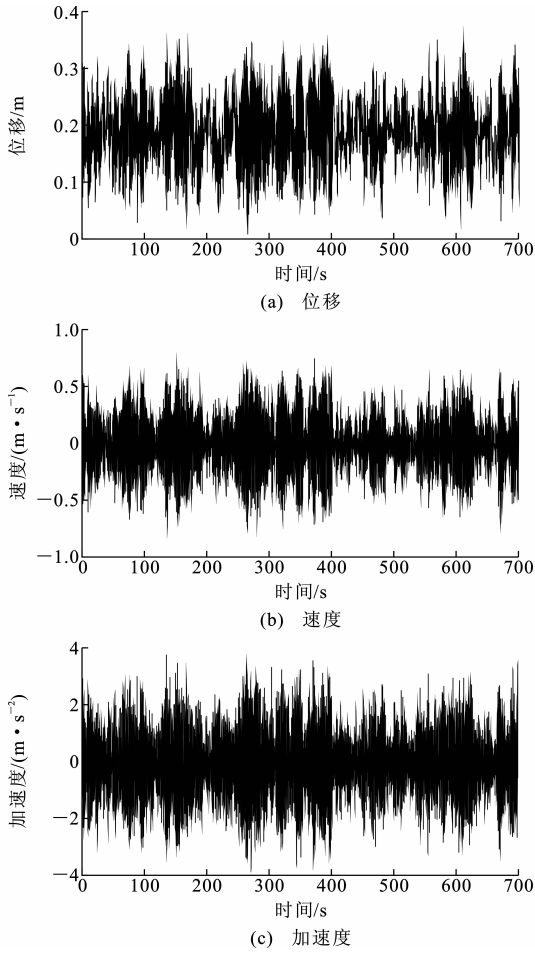


图 6 塔顶节点响应的时程曲线

Fig. 6 Time History Curves of Response of Tower Top Joints

1,图 8 为塔身 x 、 y 向风振系数值的对比情况,其中 y 向表示顺导线方向, x 向表示垂直导线方向。

由表 1 和图 8 可以看出:①由于横担的存在,塔身迎风面积及质量出现突变,横担处塔身的风振系数均存在一定的突变,塔身 x 向显得尤为突出,变化亦较 y 向明显,以上横担为例,该段较相邻段的风振系数增大 32.7%, y 向由于横担面积较大,风振系数反而较相邻段减小约 4%;②虽然在横担处,塔身 y 向风振系数较 x 向小,但在塔身其他部位, y 向风振系数则较 x 向大。这主要是因为横担引起了塔身正侧面迎风面积的不同导致荷载差异较大,而计算风振系数时,仅横担部分的迎风面积有所减小,而塔身其他部分的迎风面积未有明显变化。

4.3 风振系数的取值

对于长横担的特高压大跨越塔而言,横担处的质量突变大,从而导致风振系数值在横担处的突变尤为明显,同时由于该类塔高度高,频谱相对密集,不同高度处的风振系数值存在较大的离散性,此时

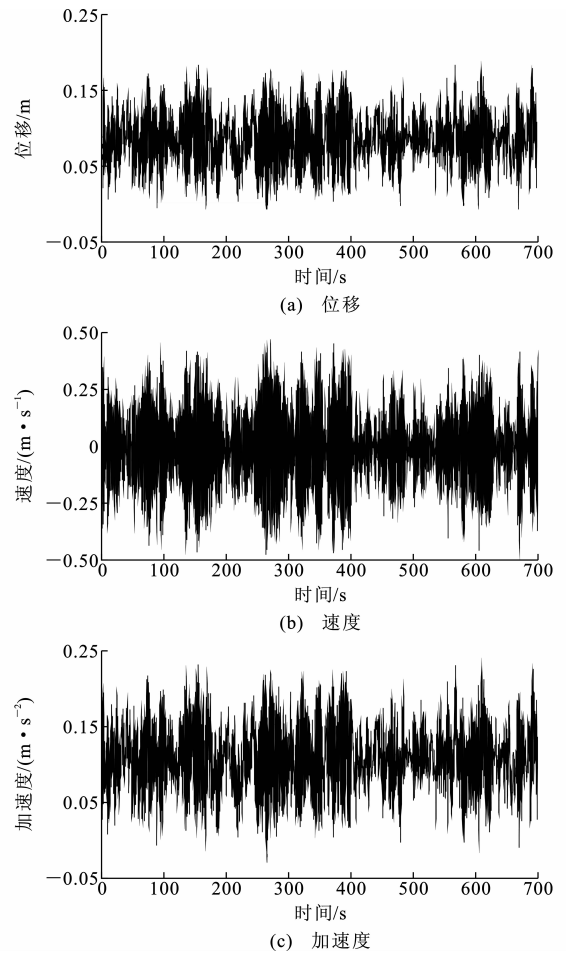


图 7 横担节点响应的时程曲线

Fig. 7 Time History Curves of Response of Cross Arm Joints

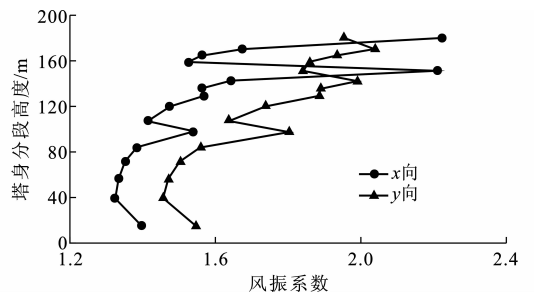


图 8 单塔各分段风振系数的对比

Fig. 8 Comparisons of Wind-induced Vibration Coefficients of All Subsections of Tower

已很难再用统一的风振系数值来表示整个结构的风振响应特征。因此,建议设计时对塔身各分段高度采用不同的风振系数值,同时,以塔身主材受力作为出发点,在实际设计中风振系数宜按 y 向的计算取值,考虑到塔头部分主材的安全性,建议横担处的风振系数参考 x 向的数值适当放大。

全塔风振系数沿塔身高度的加权平均值是衡量

表1 单塔的加速度方差和各分段的风振系数

Tab.1 Acceleration Variances and Wind-induced Vibration Coefficients of All Subsections of Tower

z/m	x 向		y 向	
	$\sigma_a(z)$	$\beta(z)$	$\sigma_a(z)$	$\beta(z)$
15.000	0.100 7	1.398	0.138 3	1.547
39.000	0.116 3	1.324	0.164 0	1.456
56.250	0.158 1	1.334	0.219 5	1.471
71.250	0.191 4	1.353	0.251 7	1.503
84.000	0.198 3	1.384	0.288 7	1.559
97.500	0.218 3	1.540	0.324 6	1.803
107.000	0.257 0	1.416	0.394 2	1.638
120.000	0.300 0	1.475	0.466 9	1.739
129.000	0.326 5	1.569	0.508 9	1.886
135.500	0.358 2	1.563	0.564 9	1.888
142.500	0.393 2	1.644	0.629 7	1.990
151.000	0.449 2	2.208	0.741 5	1.840
158.883	0.491 9	1.527	0.817 7	1.859
164.650	0.543 8	1.562	0.904 7	1.935
170.417	0.712 4	1.675	1.004 3	2.037
180.050	0.733 3	2.223	1.193 9	1.954

输电塔结构设计风振力大小的重要指标。对淮河大跨越塔计算所得的 x 、 y 向风振系数加权平均值分别为 1.514 和 1.688, 见表 1。文献[7]中要求加权平均值不小于 1.6, 对于该跨越塔, 其风振系数沿塔身高度的加权值不宜小于 1.7。

仍以淮河大跨越塔的计算为例, 本文中 对风振系数取值方法的建议可具体表述为: 风振系数取值按 y 向加权至 1.7, 但是在横担高度处 (151.0、180.5 m) 取 x 向的计算值。塔各分段高度处的风振系数建议值见表 2。

5 结 语

(1) 特高压大跨越输电塔跨越档距大、塔体高度高, 风振响应显著, 因此宜选用杆件体型系数小、空气动力性能好的钢管构件。为有效减小风荷载对特高压大跨越塔的影响, 可降低塔的高度。就导线排列方式而言, 水平排列型塔的高度明显低于垂直排列型塔, 因而具有明显的经济性。

(2) 导线水平排列型塔的横担长度大, 1 阶扭转频率较低, 低频频谱相对密集, 结构响应宜考虑多阶振型的影响。表征结构风振响应特征的风振系数具有较大的离散性, 不同塔身分段高度应取不同的值进行计算, 以塔身主材受力作为出发点, 建议风振系数按 y 方向的计算取值, 同时考虑到塔头部分主

表2 塔身各段风振系数的建议值

Tab.2 Suggestion Value of Wind-induced Vibration Coefficient of Every Subsection

z/m	分段高度/m	β 计算值		β 建议值 (加权至 1.7)
		x 向	y 向	
15.000	30.000	1.398	1.547	1.568
39.000	18.000	1.324	1.456	1.476
56.250	16.500	1.334	1.471	1.491
71.250	13.500	1.353	1.503	1.523
84.000	12.000	1.384	1.559	1.580
97.500	10.000	1.540	1.803	1.827
107.000	14.000	1.416	1.638	1.660
120.000	12.000	1.475	1.739	1.763
129.000	6.000	1.569	1.886	1.911
135.500	7.000	1.563	1.888	1.913
142.500	7.000	1.644	1.990	2.017
151.000	10.000	2.208	1.840	2.208
158.883	5.767	1.527	1.859	1.884
164.650	5.766	1.562	1.935	1.961
170.417	5.767	1.675	2.037	2.065
180.050	9.000	2.223	1.954	2.223
β 加权值		1.510	1.678	

材的安全性, 建议横担风振系数参考 x 向的数值适当放大。

(3) 1 000 kV 特高压输电线路建设目前正处于起步阶段, 塔的选型除了材料、导线排列方式和结构动力性能外, 还受到其他诸多因素的制约。另外, 鉴于特高压双回路跨越塔的风振响应的复杂性, 有必要进行风洞试验对其动力性能和风振系数做更为深入的研究, 并对数值计算的结果进行检验。

参考文献:

References:

- [1] 邓洪洲, 朱松晔, 王肇民. 大跨越输电塔线体系动力特性及风振响应[J]. 建筑结构, 2004, 34(7): 25-28.
DENG Hong-zhou, ZHU Song-ye, WANG Zhao-min. Study on Dynamic Behaviour and Wind-induced Vibration Response of Long Span Transmission Line System[J]. Building Structure, 2004, 34(7): 25-28.
- [2] 白桦, 李加武, 胡兆同, 等. 近流线型断面静力三分力系数的雷诺数效应识别[J]. 建筑科学与工程学报, 2007, 24(1): 60-64.
BAI Hua, LI Jia-wu, HU Zhao-tong, et al. Identification of Reynolds Number Effect of Tri-component Force Coefficient of Streamline-liked Section[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2007, 24(1): 60-64.

- [3] 王春生,黄本才,俞欣,等. 钢桥塔的塔形力学特性分析[J]. 长安大学学报:自然科学版,2007,27(4):46-51.
WANG Chun-sheng, HUANG Ben-cai, YU Xin, et al. Mechanics Behavior Analysis on Steel Pylons of Bridge Structures [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(4): 46-51.
- [4] 刘旭政,黄平明,许汉铮. 独塔斜拉桥参数敏感性分析[J]. 长安大学学报:自然科学版,2007,27(6):63-66.
LIU Xu-zheng, HUANG Ping-ming, XU Han-zheng. Analysis of Parameters' Sensitiveness of Cable-stayed Bridges with Single Tower [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(6): 63-66.
- [5] 周月庭,吕令毅. 高层建筑三维非定常风场并行计算的数值模拟[J]. 建筑科学与工程学报,2007,24(1):42-46.
ZHOU Yue-ting, LU Ling-yi. Numerical Simulation of 3-D Unsteady Wind Field Around High-rise Building on Parallel Computation [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2007, 24(1): 42-46.
- [6] GB 50017—2002, 钢结构设计规范[S].
GB 50017—2002, Code of Design of Steel Structures [S].
- [7] 郭日彩,何长华,李喜来,等. 输电线路铁塔采用高强钢的应用研究[J]. 电网技术,2006,30(23):21-25.
GUO Ri-cai, HE Chang-hua, LI Xi-lai, et al. Research on Utilization of High-strength Steel in Transmission Towers [J]. Power System Technology, 2006, 30(23): 21-25.
- [8] 中村秋夫,冈本浩,曹祥麟. 东京电力公司的特高压输电技术应用现状[J]. 电网技术,2005,29(6):1-5.
NAKAMURA A, OKAMOTO H, CAO Xiang-lin. Introduction to 1 000 kV Transmission Technologies Conducted by Tokyo Electric Power Company [J]. Power System Technology, 2005, 29(6): 1-5.
- [9] 朱海维. 输电线路塔线耦合体系风振响应分析[D]. 上海:同济大学,2008.
ZHU Hai-wei. Analysis on Wind-induced Response of Transmission Line Systems for the Coupling Effect of Tower and Line [D]. Shanghai: Tongji University, 2008.
- [10] 吴静. 大跨越输电塔线体系静动力研究[D]. 上海:同济大学,2007.
WU Jing. Static and Dynamic Studies on Long Span Transmission Line Systems [D]. Shanghai: Tongji University, 2007.
- [11] 傅鹏程,邓洪洲,吴静. 输电塔结构动力特性研究[J]. 特种结构,2005,22(1):47-49.
FU Peng-cheng, DENG Hong-zhou, WU Jing. Analytical Studies in Dynamic Behavior of Transmission Towers [J]. Special Structures, 2005, 22(1): 47-49.
- [12] DL/T 5154—2002, 架空送电线路杆塔结构设计技术规定[S].
DL/T 5154—2002, Technical Regulation of Design for Tower and Pole Structures of Overhead Transmission Lines [S].
- [13] 邓洪洲,张永飞. 输电塔风振响应研究[J]. 特种结构,2008,25(2):9-13.
DENG Hong-zhou, ZHANG Yong-fei. Study for Wind-induced Vibration Response of Transmission Towers [J]. Special Structures, 2008, 25(2): 9-13.
- [14] 邓洪洲,吴响,刘万群,等. 大跨越输电塔结构风振系数研究[J]. 特种结构,2006,23(3):66-69.
DENG Hong-zhou, WU Yun, LIU Wan-qun, et al. Research on Wind-induced Vibration Coefficient of Long Span Transmission Towers [J]. Special Structures, 2006, 23(3): 66-69.

《建筑科学与工程学报》入选“中国精品科技期刊”

国家科技部委托中国科学技术信息研究所每年出版《中国科技期刊引证报告》,定期公布中国科技论文与引文数据库(CSTPCD)收录的中国科技论文统计源期刊的总被引频次、影响因子、即年指标、基金论文比、他引率等十几个科学计量指标。从1999年开始,以这些指标为基础,研制了中国科技学术期刊综合评价指标体系,该评价体系是业界公认的客观、全面和科学的期刊评价体系。采用层次分析法,由专家打分确定了重要指标的权重,并分学科对每种期刊进行综合评定,该评定结果客观公正,代表了中国科技期刊的最高学术水平。2008年共评选出300种“中国精品科技期刊”,《建筑科学与工程学报》入选“中国精品科技期刊”。