

风对大型铸造铜像的作用力

国营群力铸锻厂 沈伯奎*

摘要 以模型风洞测试数据为基础,分析大型铸造铜像承力构件的应力分布,用于解决结构设计中的实际问题。我厂制作的34 m观音铜像,安装于槟城,承受风载效果良好。模型风洞试验为确定大型铜像风力载荷提供了可靠的依据。

关键词: 铸造铜像 风 作用力

中图分类号: TG249.9 文献标识码: B 文章编号: 1001-244X(2000)06-0073-03

高20 m以上的铸造铜像,基本上是露天安放,都是永久性的金属结构建筑。在所承受的外载荷中,主要是结构自重、风载和地震能量。由于自重是稳定的静载荷,便于进行计算,准确度高,易于控制。结构抗地震的能力,主要取决于地基基础的抗震强度,这将在土建基础设计中解决。风载的大小、方向都是不断变化的,欲想准确计算,其难度较大,如果考虑不周,容易造成铸造铜板的塑性变形、裂纹或内部支架倾斜、损坏。对铜像的承力构件——铜壁板、副支架、主支架等设计时,风的作用力是必须予以重视的一种主要外载荷。

我厂1998年安装竣工的高34 m的槟城观音铜像,耸立在海滨的山坡上,山谷风力较其他处大,尽管建成时间不长,但其间也曾遭遇过8~9级阵风,未曾听到过结构内部发出过任何声响,也未感到铜像头顶部有可见的水平位移,初步看来,在承受风载上效果良好。在这尊铜像的结构设计过程中,对它所承受的风载,进行了试验、数据分析和选取。

1 设计风速

根据当地数十年的气象资料,对曾经出现过的最大风速适当加放安全系数,最后选定该像的设计风速为30 m/s,并规定风向与 $-y$ 轴夹角 β 为风向方位角, $\beta=0^\circ$ 为正面迎风, $\beta=90^\circ$ 为铜像右侧风, $\beta=180^\circ$ 为背面风, $\beta=270^\circ$ 为左侧风。

2 模型风洞测试

利用缩尺模型在风洞中进行模拟测量是研究结构风载特性的有效方法,

观音像身高30 m,莲花座高4 m,观音像身迎风面的投影面积为224.2 m²(不含莲花座),模型像高为1.1905 m,模型比例1:25.2,用玻璃钢制作,试验在10~100 m/s的低速风洞中进行,将模型沿高度分14个截面,测试风向角变化范围0~360°,每隔15°在每个截面上读取一次30 m/s风速下的测量数据,对模型所受阻力、升力、侧力、扭动力矩、横倾力矩、俯仰力矩进行实际测量,通过模拟测量从而确定铜像表面风力压力场分布和整像气动力。

2.1 压力测量

像身表面各测点由于气流绕流而产生压力或吸力,通常用系数 C_p 表示,在14个截面上测量了共计5750个测点数据,测得 $|C_p| \leq 1.0$ 者,共4371个,占总数的82.2%,以 $|C_p| \geq 3.0$ 为最大值,共有14个点,占总数的0.24%,用测得的 C_p 值按比例绘制出各个截面的风力压力场分布图,图1就是其中的一个模型高0.8 m处的截面,它模拟了20.16 m(0.8 m×25.2)高处铜像截面的风力压力场。将压力场各点的 C_p 值,放到像身铜板相应的有限元网格上,便可进行像身表面承受风力大小

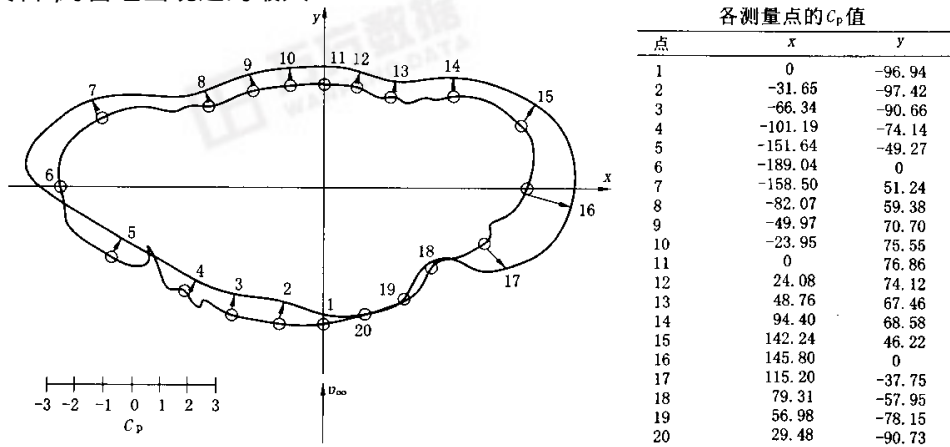


图1 高20.16 m处的风力压力场

的计算。

2.2 整像气动力的测量

2.2.1 风力特性

X 向风力的大小,以阻力系数 C_X 表示, Y 向、 Z 向与此类同,从所测数据中可看出:以 $\beta = 0^\circ$ 时, C_X 有最大值,图 2 为 $C_X - \beta$ 曲线,从图 2 中可看到曲线基本上相对於 180° 呈对称变化, $\beta = 0^\circ$ 时, $C_X = 0.845\ 4$, 同样测得 $C_Y = -0.468\ 0$, $C_Z = 0.503\ 3$, 在这三个分量中, C_X 值最大,它是主要分量,将此值转换成风轴的阻力系数后,即可用於结构件的强度计算。

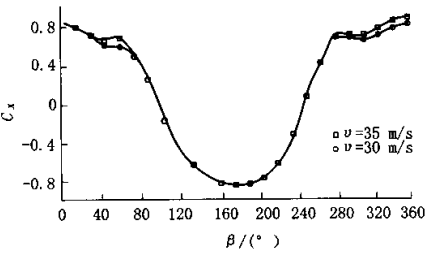


图 2 $C_X - \beta$ 曲线

2.2.2 风力矩特性

在风力特性中,已知 $C_X > C_Y > C_Z$, 由 C_X 产生的俯仰力矩 M_Z , C_Z 产生的侧倾力矩 M_X , C_Y 产生的扭转力矩 M_Y , 对同一压力中心而言,便有 $M_Z > M_X > M_Y$, M_Z 为主分量,图 3 是俯仰力矩 $M_Z - \beta$ 曲线, M_Z 是由 C_X 产生的,故而 $M_Z - \beta$ 曲线与图 2 $C_X - \beta$ 曲线形状相似。

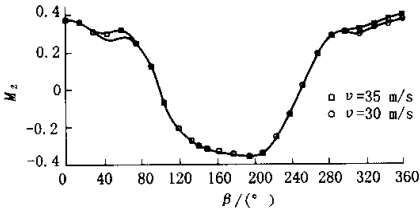


图 3 俯仰力矩 $M_Z - \beta$ 曲线

测量得到的 C_X , C_Y , C_Z 和 M_X , M_Y , M_Z 数据便可计算合力系数和合力矩系数,像身各向的投影面积为已知,从而可计算出各向的实际风载。

3 结构承力

3.1 风力大小、方向

外载荷作用于铜壁板、副支架和主支架上这些承力构件在有限元应力分析中,以铜壁板作为壳单元,副支架、主支架作为杆单元进行计算。所承受的载荷分为静、动载荷两种,静载荷为铜像结构自重及自重加稳态风载。动载荷通过结构自振频率分析,计及到结构附加重力载荷及风载的动力因素,分别各取一个放大系数后再用于结构设计。稳态风载方向取 $\beta = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$,

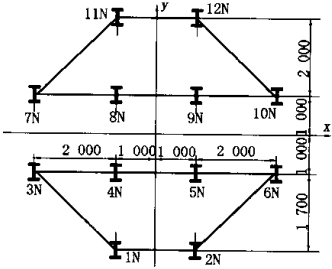
270° 等 4 种情况分别进行计算,风洞试验中测得的风力压力场数据,用插值法得出铜壁板上各壳单元的风压载荷,以此计算出的结果,再与试验测得的合力大小进行比较,表 1 是用计算法得到的 4 种风载合力与风洞试验中测得的数值(均未加放大系数)对比后可看出二者十分接近。

表 1 合力数值比较

风力合力方向		计算值/kN	风洞测量值/kN
$\beta = 0^\circ$	Y 向合力	98.85	98.77
$\beta = 90^\circ$	X 向合力	56.00	56.18
$\beta = 180^\circ$	Y 向合力	-98.45	-98.33
$\beta = 270^\circ$	X 向合力	-56.34	-56.18

3.2 承力构件应力

铜壁板上的风载及自重,通过副支架的传递,全部由主支架承受,主支架便是整个结构安全承载的关键承力构件。34 m 观音铜像主支架中的主承力柱呈“#”字形排列,在主支架柱脚与地基接合面上的排布位置及各接合点的最大支反力如图 4。另外也计算出了组合成整像后的结构在自重加风载下的应力(均为最大值);主支架应力 25.3 MPa,副支架 30.0 MPa,铜壁板 31.4 MPa,铜像顶点的水平位移 1.6 cm,以上各项数值,均在材料安全使用范围内。对动载荷下主支架的自振频率进行了分析,图 5 是主支架前后向的一阶振型,频率 $f = 4.581\text{ Hz}$ 。主、副支架、铜壁板组合成一体后的动载分析更接近使用的实际情况,组合成一体后,整像前后向的一阶振型 $f = 3.064\text{ Hz}$,左、右向的二阶振型(图 6) $f = 3.699\text{ Hz}$,三阶扭动振型(图 7) $f = 6.038\text{ Hz}$,以上振频数据均在金属结构安全使用范围内。



柱号	1N	2N	3N	4N	5N	6N	7N	8N	9N	10N	11N	12N
Q_X/kN	14.93	-20.99	218.2	0	0	-221.2	205.0	0	0	-189.1	-34.53	-20.42
Q_Y/kN	483.7	397.6	-11.23	-171.7	-127.8	-13.40	-59.85	124.4	-176.4	7.012	-442.4	-543.4
N_{-}/kN	-1.337	-1.117	-781.4	-889.7	-967.3	-857.7	-795.3	-979.4	-928.9	-699.7	-862.0	-105.3
N_{+}/kN	882.4	745.0	406.6	400.6	450.8	426.9	489.9	651.7	583.3	423.4	716.3	849.4
$Q_X/\text{kN}-x$ 向剪切力 $Q_Y/\text{kN}-y$ 向剪切力 N_{-}/kN —向上轴力 N_{+}/kN —向下轴力												

图 4 主支架柱脚排布及各点最大反力

以上计算结果所选用的各项数据,均源自模型风洞试验测量所得,使用的测试模型,是放大到 1:1 铜像的小样,它们的几何形状高度相似,又将计算结果与测量

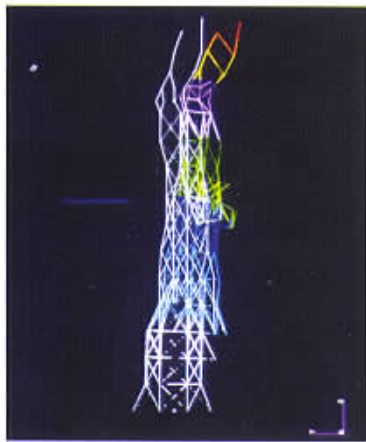


图 5 主支架前后向一阶振型



图 6 铜像左、右向二阶振型



图 7 铜像扭动三阶振型

结果进行了对比,二者十分接近,因而以上计算结果的可靠性高,用这些数据设计出来的结构,在使用上应已

足够安全。

万方数据

(编辑 张振斌)