

# 2006年4月11—13日湖北省 大风致灾分析

李 兰 陈正洪

(武汉区域气候中心,430074)

**提 要:** 2006年4月11—13日湖北省各地出现大风天气,给农业、供电、城市公共设施造成极大破坏。根据《建筑结构荷载规范》,利用各站逐时风速资料,对该过程所产生的基本风压和结构风压进行了详细计算并与历史个例进行对比。结果表明,该过程产生的在离地10m高度造成的最大风压(瞬时)为 $0.53\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ,30m铁塔最大结构风压(瞬时)高达 $2.60\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ,其破坏力比基本风压放大了5倍,足以对铁塔、房屋、广告牌等构筑物产生严重破坏。

**关键词:** 风灾 风压 风荷载

## Evaluation on Disaster Caused by Extreme Wind on 11-13 April, 2006 in Hubei Province

Li Lan Chen Zhenghong

(Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074)

**Abstract:** The extreme wind on 11-13 April, 2006 in Hubei Province caused serious losses in agriculture, electricity appliance and public accommodation of city. According to "Specification of Architectural Structure Load", the basic wind pressure and the structural wind pressure are calculated by using the hourly wind speed data at the meteorological stations, and compared with historical data. The results show that the greatest (instantaneous) wind pressure at the height of 10m above the ground is  $0.53\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ , and the greatest structural pressure acting on 30m tower reaches  $2.60\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ , 5 times more than the basic wind pressure, so it easily damage the towers, buildings and billboards.

**Key Words:** disaster caused by wind wind pressure wind load

## 引 言

严重的风灾损害建筑物,破坏输电线路、威胁人民生命安全。近年来广大气象工作者在风灾的影响评估方面做了大量的工作并获得了可喜的成果<sup>[1-4]</sup>。但对灾情的评估大多依据风灾造成的实际损失对大风灾害进行定性分级,且主要依据经济损失、人口伤亡等,作为未来风灾预评估的依据,但在风灾的损失中,易损性房屋结构损坏、建筑物损害引起的损失占很大一部分。所以,对各种易损性建筑物在风灾中所承受的风压和风荷载进行计算,可以为今后开展风灾的客观定量评估奠定基础。2006年4月11—13日,受地面冷空气南下及中低层低涡的共同影响,湖北省出现了大风、降温和降水天气。全省27县市出现8~9级大风,大风过程最大瞬时风速为 $29.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (11级),出现在金沙站,14站次10分钟平均风速超过 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,全省34个县(市、区)521万人受灾,死亡11人;因灾倒塌房屋8906间,特别是葛洲坝至江夏凤凰山50万伏线路的铁塔倒塌,严重影响湖北电网的稳定运行。本文对11—13日风灾过程中大风出现的频次、时间变化,风压、以及本次灾害中损害最严重的几种典型建筑物的风荷载进行了计算。其目的是为建立风灾影响的定量评估模型提供参数。

### 1 资料来源与参数选取

计算所用风资料来自湖北省自动气象站4月11—13日逐时风资料。风压高度变化系数、各种建筑物风荷载形体系数则根据国家标准《建筑结构荷载规范(GB 50009-2001)》来确定。

### 2 大风空间分布与代表站大风统计特征

一般认为10分钟平均风速达到 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

将导致灾害发生,利用湖北省各地自动站逐时风速资料对各站10分钟平均风速 $\geq 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的频次进行统计并绘图(图1),统计原则为各站逐时的10分钟平均风速中,凡出现大于等于 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的风速即进行统计。由图1可见,大风频次有2个中心,一个位于鄂南的金沙附近,另一个位于鄂东北与江汉平原交界的应城、孝感附近。最大频次为12,位于金沙,表明本次过程致灾大风出现时间长。大风过程的主要影响区为鄂南、江汉平原、鄂东北及武汉。根据观测资料,主要风灾发生在2个大风频次中心及其附近。

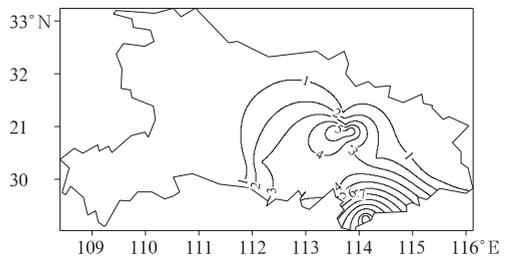


图1 4月11—13日10分钟平均风速 $\geq 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 频次分布图

根据大风的空间分布情况,选取钟祥、云梦、汉口、武昌、金沙5个代表站,分别绘制10分钟平均风速、瞬时极大风速的时间变化曲线(图2)。可以看出,除汉口外,其他4个站的10分钟平均风速均超过了 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,金沙站最大值达到 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;从瞬时最大风速图上可以看到大风过程从11日20时左右持续到13日02时左右,瞬时最大风速最大达到 $29.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,除武汉站外其它站点瞬时最大风速都超过 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

### 3 大风过程风压与结构风压(风荷载)的计算

风压是垂直于气流平面上所受的风的压强,一个建筑物上所受到的风压大小和建筑

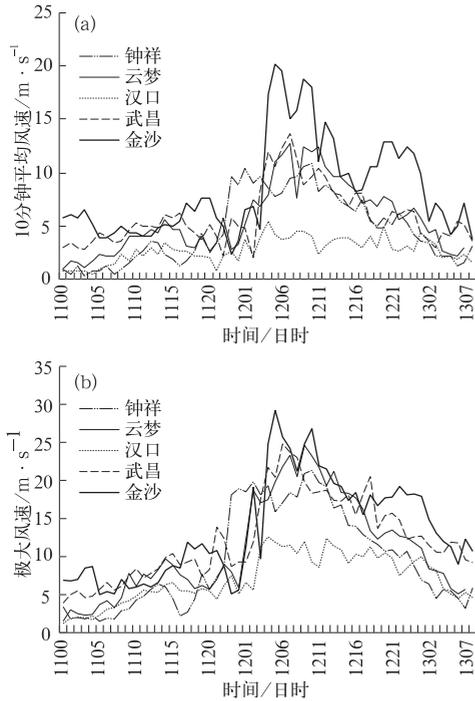


图 2 5 个代表站逐小时 10 分钟平均风速 (a)、瞬时极大风速 (b) 的时间演变图

物的体形、高度等有关,建筑物实际受到的风压称为结构风压(风荷载)。

### 3.1 风压的计算

风压  $\omega_0$  计算公式如下<sup>[5]</sup>:

$$\omega_0 = \frac{r}{2g} V^2 \quad (1)$$

其中,  $\omega_0$  是基本风压 ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  $\frac{r}{2g}$  称风压系数,在标准大气下:  $r = 0.012018 \text{k} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $g \approx 9.8 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,由于各地的地理位置不同,  $r$  和  $g$  的取值也有所不同,湖北的风压系数以武汉为代表,可近似取  $\frac{1}{1610}$ <sup>[5]</sup>。所以:

$$\omega_0 = \frac{r}{2g} V^2 = \frac{V^2}{1610}$$

经过计算,大风过程在离地 10m 高度造成的最大风压(瞬时)为  $0.5295 \text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$ (见图 3),相当于以 0.53 吨的重物以加速度

$1 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  作用于  $1 \text{m}^2$  受力面,足以对结构不稳定的建筑造成破坏。同时,由于这次大风持续时间长,增加了本次过程的破坏性。



图 3 金沙站两种风速对应的风压时间演变图

### 3.2 风荷载的计算

根据国家标准<sup>[6]</sup>,分类计算了这次在大风中损坏较多的几种建筑物承受的风荷载:低矮的房屋、电线杆、广告牌、高压输电铁塔。

#### 3.2.1 主要承重结构风荷载计算方法

$$W_k = \beta_z \mu_s \mu_z \omega_0 \quad (2)$$

式中  $\beta_z$ : 高度  $z$  处的风振系数,  $\mu_s$ : 风荷载体形系数,  $\mu_z$ : 风压高度变化系数,  $\omega_0$ : 基本风压。

#### 3.2.2 维护结构风荷载计算方法

$$W_k = \beta_{gz} \mu_s \mu_z \omega_0 \quad (3)$$

式中  $\beta_{gz}$ : 高度  $z$  处的阵风系数。

#### 3.2.3 参数的选取

##### (1) 风振系数、阵风系数

低矮的房屋忽略风振,取  $\beta_z = 1$ ; 广告牌、电线杆按维护结构计算,阵风系数  $\beta_{gz}$  直接由表查出: 电线杆 (15m)  $\beta_{gz} = 1.72$ , 广告牌 (10m)  $\beta_{gz} = 1.78$ 。

由于对基本自振周期大于 0.25s 的工程结构(各种高耸结构等)要考虑风压脉动对结构发生顺风向风振的影响。风振计算应按随机振动理论进行,结构的自振周期按结构动力学计算<sup>[7-8]</sup>。由于输电铁塔为高耸结构,应先计算它的自振周期。

自振周期计算公式:

$$T_1 = (0.007 \sim 0.013) H \quad (4)$$

在公式(4)中,系数的单位为  $s \cdot m^{-1}$ ,按建筑物结构的不同而不同,对于钢结构取高值,钢筋混凝土结构取低值; $H$  为建筑物的高度,单位为  $m$ 。由于输电铁塔塔架为钢结构,故取高值。

铁塔自振周期:

$$T_1 = 0.013(s \cdot m^{-1}) \times 30(m) = 0.39s$$

由于  $0.39s > 0.25s$ ,铁塔的风振系数按  $\beta_z = 1$

+  $\frac{\zeta v \varphi_z}{\mu_z}$  计算。式中,  $\zeta$  为脉动增大系数,  $v$  为

脉动影响系数,  $\varphi_z$  为振型系数,  $\mu_z$  为风压高度变化系数,按地面粗糙度 B 类取脉动影响系数,由表查得:  $\zeta = 1.83$ ,  $v = 0.83$ ,  $\varphi_z = 0.525$ ,

故铁塔的风振系数  $\beta_z = 1 + \frac{\zeta v \varphi_z}{\mu_z} = 1.64$

(2) 风压高度变化系数

按照地面粗糙度的分类,湖北的平原地区和城市郊区可大致认为是 B 类(开阔空旷地区)。4 种建筑物高度:低矮的房屋:  $\leq 10m$ 、电线杆:  $15m$ 、广告牌:  $10m$ 、铁塔:  $30m$ ,实际工作中风压高度按铁塔高度  $\times 0.65$  计算。

按照国家标准,风压高度变化系数  $\mu_z$  (地面粗糙度 B 类)取值如下:

$$\mu_z = \begin{cases} 1 & H \leq 10m \\ 1.14 & H = 15m \\ 1.25 & H = 20m \end{cases}$$

(3) 风荷载体形系数

低矮的房屋体形按封闭式方型,电线杆为圆柱型,广告牌为方形或长形,塔架为角钢。

按照建筑结构荷载规范风荷载体形系数  $\mu_s$  查表得:

电线杆  $\mu_s = 0.6$ ; 广告牌  $\mu_s = 1$ ; 房屋  $\mu_s = 0.8$ ; 铁塔  $\mu_s = 2.4$

### 3.3 各种易损性建筑物风荷载计算结果

由公式(3)计算电线杆、广告牌的风荷载,由公式(2)计算房屋、铁塔的风荷载见表 1。

表 1 金沙各种建筑物风荷载( $kN \cdot m^{-2}$ )随时间的变化

时间/日时	房屋 (低矮)	电线杆 (15m)	广告牌 (10m)	铁塔 (30m)
1202	0.181	0.267	0.403	1.115
1203	0.047	0.069	0.104	0.288
1204	0.306	0.449	0.680	1.880
1205	0.424	0.623	0.943	2.606
1206	0.328	0.483	0.730	2.018
1207	0.291	0.428	0.647	1.790
1208	0.223	0.328	0.497	1.373
1209	0.306	0.449	0.680	1.880
1210	0.357	0.525	0.794	2.195
1211	0.238	0.350	0.530	1.466
1212	0.230	0.338	0.511	1.413
1213	0.191	0.281	0.425	1.174
1214	0.183	0.269	0.408	1.127
1215	0.150	0.221	0.335	0.925
1216	0.168	0.247	0.374	1.035
1217	0.119	0.176	0.266	0.734
1218	0.163	0.239	0.362	1.001
1219	0.139	0.204	0.308	0.852
1220	0.156	0.229	0.346	0.957
1221	0.157	0.232	0.350	0.968
1222	0.183	0.269	0.408	1.127
1223	0.163	0.239	0.362	1.001
1300	0.165	0.242	0.366	1.012

由表 1 可见,金沙站 4 月 12 日 05 时风荷载最大,其中施加在广告牌上的瞬时最大结构风压(风荷载)达到  $0.9kN \cdot m^{-2}$ ,而  $30m$  铁塔的瞬时最大风荷载高达  $2.60kN \cdot m^{-2}$ ,其破坏力比基本风压放大了 5 倍,不仅如此,  $30m$  铁塔风荷载大于  $1.0kN \cdot m^{-2}$  的时数长达 17 个小时,增加了破坏性。

同时,从表 1 的数据分析可见,对低矮的房屋,能造成较严重破坏的风荷载约  $0.23kN \cdot m^{-2}$ ,造成电线杆倒杆约  $0.40kN \cdot m^{-2}$ ,广告牌倒塌约  $0.50kN \cdot m^{-2}$ ,而对铁塔造成威胁的风荷载约  $1.0kN \cdot m^{-2}$ 。

另外,我们还对 1983 年 4 月 25 日发生在湖北省的一次特大风灾过程风荷载进行了对比计算,该次过程实测极大风速为宜昌地区兴山  $34m \cdot s^{-1}$ ,计算当地低矮的房屋瞬时最大风荷载为  $0.57kN \cdot m^{-2}$ ,15 米电线杆最大风荷载为  $0.85kN \cdot m^{-2}$ ,10 米高广告牌最大风荷载为  $1.28kN \cdot m^{-2}$ ;30 米输电塔架最

大风荷载  $3.53\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ 。该过程宜昌地区 8 个县受灾,农作物受灾面积  $6.8\text{hm}^2$ ,柑桔树被吹断 6300 多棵,成材的树木被吹倒折断的共达 6.86 万棵,仅兴山受损房屋达 17289 间。由计算可见,过大的风荷载是风灾损失的重要原因。同时,由于湖北地理位置的特殊性,春季容易发生大风灾害。

#### 4 小结与讨论

(1) 本次大风过程逐小时 10 分钟平均风速  $\geq 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  出现的频次有 2 个高值中心,一个位于鄂南的金沙附近,另一个位于鄂东北与江汉平原交界的应城、孝感附近,最大频次为 12。大风过程从 11 日 20 时左右持续到 13 日 02 时左右,瞬时风速最大可达到  $29.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。主要灾害就发生在这 2 个大风频次高值中心和附近地区。

(2) 金沙站大风过程中在离地 10m 高度造成的最大风压(瞬时)为  $0.5295\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ,足以对结构不稳定的建筑造成破坏。10m 高处广告牌最大风荷载(瞬时)达到  $0.9\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ,而 30m 铁塔最大风荷载(瞬时)高达  $2.60\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ,其破坏力比基本风压放大了 5 倍,30m 铁塔风荷载大于  $1.0\text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$  时数

长达 17 个小时。

(3) 本文应用气象观测资料对春季湖北省一次特大风灾过程中受损最严重的建筑物的风荷载进行了计算分析,得出了一些有意义的结论。今后,若通过更多的大风灾害个例计算分析,将有可能分别对房屋、电线杆等建筑物受损程度分类建立风灾评估业务模型。

#### 参考文献

- [1] 肖风劲,徐良炎. 2005 年我国天气气候特征和主要气象灾害[J]. 气象,2006,32(4):78-83.
- [2] 杨元琴. 我国沿海台风百年遇重大灾害的 Poisson 分布特征[J]. 气象,2001,27(10):8-12.
- [3] 贺芳芳. 上海地区因热带气旋侵袭而产生的风灾[J]. 气象,1992,18(1):22-25.
- [4] 王秋香,李红军. 新疆近 20 年风灾研究[M]. 中国沙漠,2003,23(5):545-548.
- [5] 朱瑞兆主编. 应用气候手册[M]. 北京:气象出版社,1991:104-105.
- [6] 建筑结构荷载规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002:24-47.
- [7] 曹崇高,张相庭. 结构风灾经济损失模型的建立及其应用[J]. 安阳师范学院学报,2000,(2):32-34.
- [8] 范学伟,徐国彬,黄雨. 工程结构的风灾破坏和抗风设计[M]. 中国安全科学学报,2001,11(5):73-76.