

热带气旋风场模型影响因素和精确度验证方法研究

赵文晴

(天津市建筑工程职工大学, 天津 300074)

摘要 热带气旋会给人们带来许多灾害和损失, 为了减少其对人们生活产生的影响, 可采用热带气旋风场建模的方法来减少甚至避免不必要的损失。随着科学技术的不断更新和发展, 对模型的精确度提出了进一步的要求, 因此对热带气旋风场模型进行验证也是必不可少的环节。本研究分析热带气旋风场模型的发展历史, 总结热带气旋风场的建模步骤和影响因素, 同时提出模型精确度的验证方法。

关键词 热带气旋; 风场模型; 风速; 气压

中图分类号: X16

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2023)12-0058-03

热带气旋的形成主要是由于海面温度相对较高, 为了避免或减少热带气旋带来的损失, 各国学者开始建设模拟热带气旋风场。现在热带气旋风场建模方法在世界各地各领域广泛用于估算建筑结构应承受的最大风速并进行结构设计, 同时被业界用于评估热带气旋风险、估算保险费率。热带气旋风场建模也可助于开发风暴潮模型, 用于评估沿海洪水, 有助于确保建筑物楼层的最低标高, 避免不必要的损失。

1 气旋风场模型的发展历史

模型的演变包括三个主要部分: 单站点概率模型、热带气旋路径模型和热带气旋风场模型。

单站点概率模型最早由Russel在他的文献中提出, 他提出并描述了模拟方法。从那时起, 不断有其他学者改进这种方法, 包括Trygvason、Batts、Georgiou、Neumann以及Vickery和Twisdale等。使用这种方法的过程是相似的, 包括获得热带气旋关键参数的统计数据, 使用蒙特卡罗方法分析统计参数和样本的分布, 记录建模风速, 并使用数学方法画一条线来表示采样的数据。

Vickery研究团队在2000年首次提出了热带气旋路径模型。他们提出了一种模拟热带气旋路径的方法^[1]。热带气旋路径建模方法将研究范围扩大到更大的范围, 而不是特定的小区域。跟踪模型可以对热带气旋沿海岸线的整个运动轨迹的风速和风险进行建模。还有其他人对这种方法进行了改进和扩展, 包括Powell、Hall和Jewson、James和Mason, Emanuel、Lee和Rosowsky。

热带气旋风场建模有三个步骤。首先, 利用中心压力、最大风半径、平移速度等关键参数来估计梯度高度的风速, 假设这个速度等于平均风速。其次, 利用大气边界层的概念, 假设中性点的稳定性, 使梯度风速满足特定高度的平均风速。最后, 使用阵风系数来调整平均风速取决于地形和平均时间。Georgiou是第一个使用热带气旋风场建模的人, Vickery等人也使用这种方法对热带气旋进行了建模。

2 热带气旋风场建模的意义

热带气旋风场模型用于估计热带气旋造成的风险^[2]。热带气旋的风险很多, 包括经济风险、洪水风险、安全风险和其他风险^[3]。在现代国家, 热带气旋风场模型被应用于许多领域。

一是这个模型可以用于测试风速。将该速度与风洞试验数据相结合, 利用估计的风荷载设计台风区的结构。这种方法可以使设计的结构更加安全和稳定。估计的风速也可以帮助政府确定将用于建筑标准的设计速度。

二是这种方法可以模拟沿海风险。例如, 使用此方法可以评估风暴潮高程和波高。为了使生活在台风地区的人们免受危险, 测试数据可用于确定建筑物楼层的标高。

三是热带气旋风场模型可以用于获得保险损失估计。银行和保险领域可以使用它来估计损失和评估保险费率。

四是这种方法可以提高结构和设施的要求。由于

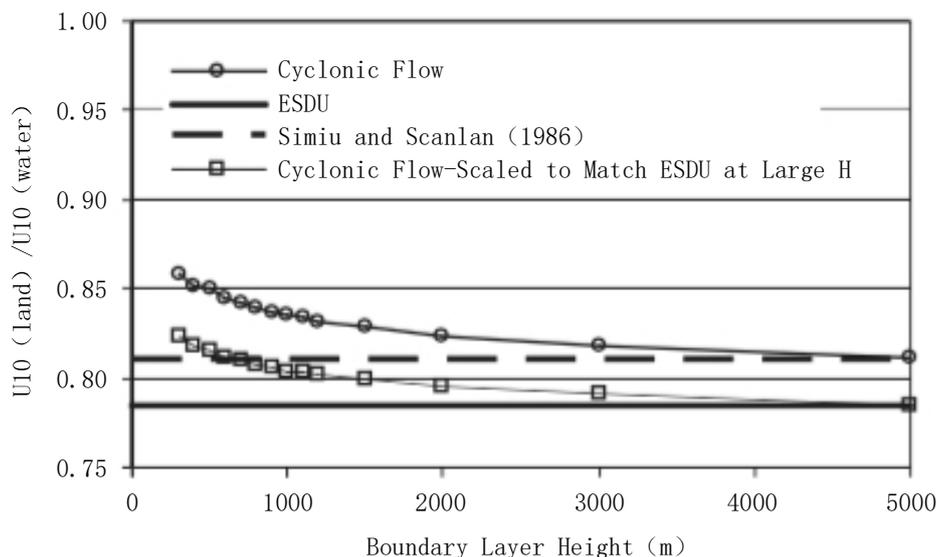


图 1 过渡风速的比值随边界层高度的变化而变化

人们可以使用这种方法来估计危险区域的最大损失，因此设计师需要进行更精确的设计，以提高基础设施的稳定性。精确的设计可以尽可能地减少损坏，提高安全性。

3 气旋风场模型精确度影响因素

3.1 折减系数与海陆过渡

在获得梯度风场模型后，确定 V_g ，即梯度高度的平均风速。所得到的风速需要根据表层速度进行调整，选择相应的高度为海面或地面上 10m。为了实现速度调整，可以使用边界层模型和折减系数。

海面上流动风的折减系数从 0.950 到 0.650 不等。Schwerdt 给出了最高值 0.950，Sparks 和 Huang 给出了最低值 0.650，Batts 在估算中选择了 0.865 的值，Georgiou 对远离云墙和靠近云墙的区域分别采用了 0.750 和 0.825 的值。

至于与地面相对应的折减系数，上述四个例子与海上因素不同。在内陆 19km 的地区，对于 Schwerdt 的研究，折减系数降至 0.745。在其他研究者的结论中，折减系数也均有所下降，分别为 Sparks 和 Huang 得出 0.450、Georgiou 研究中的 0.620 和 Batts 采用的 0.740。对比折减系数的变化，可以发现在风从海洋向地面移动的过程中，风速有所降低。速度降低了 11%~22%。不过这个样本数据没有提到地面的粗糙度，但实际上，地面上是有粗糙度影响存在的。

在 Powell 的研究中，一开始使用 80% 的边界层风

速作为平均表面风速来进行建模，相应的折减系数 $V_{10}/V_g=0.73$ ，但数值会因风速的变化而发生变化。在 Powell 后续的研究中，他们将比例从 80% 改为 78%。在海陆过渡过程中，采用了无上限阻力系数模型来评估海面的粗糙度，然后使用地形转换模型来确定平均风速的降低。这些数据的选用是来源于对探空仪数据的分析，得出的五点信息：第一，在较低的 200m 处，边界层内的风速剖面看起来是对数廓线；第二，海面 10m 高度处的平均风速等于 500m 以下时平均边界层风速的 78%；第三，10m 高度的平均风速等于梯度风速的 71%；第四，海面的阻力系数随风速的变化而变化，当平均风速低于 40m/s 时，阻力系数随着风速的增加而增加，当平均风速超过 40m/s 时，阻力系数随着风速的增加而减小；第五，边界层的高度随着风速的增加而减小。

Vickery 在研究中也分析了探空仪数据，结果是边界层的高度随着惯性稳定性的增加而减小。将他们的结果与 Powell 的分析进行比较，第一点是相同的，这意味着边界层在较低的 200m 处是风速与高度是对数相关的。

Vickery 研究给出的平均风速的计算公式为^[4]：

$$U(z) = \frac{u^*}{k} \left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - 0.4\left(\frac{z}{H^*}\right)^2 \right] \quad (1)$$

对于陆地风速的分析，探空仪数据帮助不大，因此需要使用有效的模型来估计边界层的情况。Vickery 通过研究使用并修改了 Kepert 在 2001 年提出的 BL 理

论,用来估计边界层高度的变化^[5]。图1显示了过渡风速的比率随边界层高度的变化而变化。

上述研究是关于将风速转换为10m高度的表面风速。当风在陆地上移动时,会有另一个系数来显示陆地变化所造成的影响,常用的是使用阵风系数。

3.2 热带气旋阵风系数

在许多计算中,需要使用的风速并不是平均风速。例如,在估计峰值阵风、短时平均风和其他一些风时,需要使用阵风系数。因此,阵风因子模型已经用于热带气旋风场建模。

Batts等人在1980年使用的阵风模型由Durst于1960年出版。Kramer和Marshall(1992)描述了另一个阵风模型,该阵风因子模型的测试数据表明,热带气旋的阵风因子大于与热带气旋外风速有关的阵风因子。施罗德等人(2002)和施罗德和史密斯(2003)的研究使用了热带气旋邦妮的信息,也表明了与Kramer和Marshall(1992)相同的热带气旋阵风因素。

还有一些人有不同的意见。Sparks和Huang(1999)描述说,根据大量的风速记录,几乎没有任何证据表明热带气旋阵风因素大于温带风暴的因素。Vickery和Skerlj(2005)通过使用Kramer和Marshall(1992)使用的数据得出了相同的结论。事实上,Sparks和Huang(1999)以及Vickery和Skerlj(2005)的研究都认为,热带气旋的阵风因素更大是由于陆地的粗糙,他们认为,陆地的粗糙度大于开放区域的粗糙度,这是导致阵风系数更大的原因。Miller(2006)同意Vickery和Skerlj(2005)的观点。Masters(2005)还分析了大量热带气旋的数据,得出的结论是热带气旋阵风因子与温带风暴因子没有差异,这支持了Vickery和Skerlj(2005)的结论。

4 气旋风场模型验证方法

4.1 气旋风场模型验证步骤

模型精确度的验证方法:

第一步是对比梯度风场建模 V_g 。梯度风场建模涉及的因素包括热带气旋的平移速度、Coriolis参数、旋转风速、中心压差等,然后还需要考虑风速衰减系数 V_{10}/V_g 和海陆过渡。风速的降低与表面粗糙度或其他一些折减系数有关。

第二步是使用热带气旋阵风系数来确定阵风风速的估计值。因为在许多模型应用中,需要使用的风速与平均风速不同。阵风系数模型将用于热带气旋风场建模。

最后一步是进行热带气旋风场模型验证。验证的第一种方法是将模型估计的风速与实际风场中测得的风速进行比较。验证应包括平均风速、阵风风速、风向和压力的比较。另一种验证方法是在同一特定时间拍摄真实热带气旋风场和模拟风场的快照。比较这两个快照中的所有观察值。这种方法中采用的真实热带气旋风场图是根据H*Wind分析得出的。

4.2 实际风速与模拟风速比较

在热带气旋风场建模过程中,一件重要的事情是使用该模型来测量风速,并将结果与真实热带气旋中记录的风速进行比较。Georgiou(1985)在热带气旋风场模型中测试了风速和风向随时间的变化^[6]。Vickery和Twisdale(1995b)以及Vickery等人(2000a)的研究对平均风速和阵风风速进行了测试。在接下来的研究中,还检查了表面压力,这可以确保模型能够模拟风场,而不会影响压力场。

精确的验证可以验证模型中的误差,但一些良好的验证可能会受益于建模中使用的其他因素。在验证中,选择了表面风速,而不是梯度风速。因此,验证只能验证表面风速,而对于高空风则无法进行检查。然而,在某些情况下,例如高层建筑的估计,由于表面风和高空风之间的差异很大,因此高空风的验证很重要。在观测到的和模拟的峰值阵风风速的比较中发现,模拟峰值阵风风速的结果与观测到的结果相似。但由于许多因素,如高度、土地条件、参数Holland B和RMW的估计值等,模型值和观测值之间存在细微差异。

参考文献:

- [1] Vickery PJ, Skerlj PF, Steckley AC, Twisdale LA (2000a) Hurricane wind field model for use in hurricane simulations. *J Struct Eng ASCE* 126(10):1203-1221.
- [2] 郑倩,高猛.西北太平洋热带气旋生成客观预测模型[J].*应用气象学报*,2022,33(05):594-603.
- [3] 李文韬,张明洁,张京红,等.基于模糊综合评价法的海南热带气旋灾害经济损失影响评估[J].*热带农业科学*,2022,42(09):133-139.
- [4] Vickery P J, Wadhwa D, Powell M D, et al. A hurricane boundary layer and wind field model for use in engineering applications[J].*Applied Meteorology and Climatology*, 2009(48):381-405.
- [5] 同[4].
- [6] Georgiou, P Nicholas. Design wind speeds in tropical cyclone-prone regions[D]. London: The University of Western Ontario, 1985.