湖 南 省 地 方 标 准

 DB 🞨🞨/🞨🞨-2021

《湖南省桥梁建设抗风设计气候可行性论证技术规范》

**编制说明**

编 制 组

2021年6月

**目 录**

**1工作简况 1**

**2编制原则 4**

**3确定标准主要内容的论据 4**

**4与现行有关法律、法规和强制性标准的关系 26**

**5重大分歧意见的处理经过和依据 27**

**6标准作为强制性标准或推荐性标准的建议 28**

**7贯彻标准的要求和措施建议 29**

**8废止现行有关标准的建议 30**

**9其它应予说明的事项 31**

# 1工作简况

现代大桥跨度越来越大，主塔和主梁越来越高，建筑材质越来越轻，风压与风灾成为了现代大桥设计中最重要的限制因子，抗风设计参数等方面的研究已经成为桥梁跨度进一步扩大的关键。因此，桥梁建设抗风设计和抗风措施的研究对大跨度桥梁的设计具有十分重要的意义。

1.1 任务来源

《湖南省桥梁建设抗风设计气候可行性论证技术规范》标准为2020年度湖南省地方标准制修订项目，由湖南省气候中心负责起草。

本标准为新起草标准。

本标准附录A附录为规范性附录，B-G均为规范性附录。

本标准由湖南省气象局提出并归口。

本标准起草人员：曾向红、吴浩、李瑜、蒋元华、杜东升、段丽洁、吴贤云、汤亦豪、郭凌曜、崔剑锋。

本标准为首次发布。

1.2 编制目的

桥梁作为大气边界层内的建筑物，其规划、设计、施工、营运均受到气象条件的影响和制约。大跨度桥梁由于其跨度大、重量轻等特点，使结构刚度减小，对风更加敏感。风荷载在桥梁设计中至关重要，成为大跨径桥梁设计的控制荷载。对于大跨度桥梁而言，强烈的风致振动是失效破坏的主要形式，尤其在施工悬臂拼装阶段，风荷载等气象因素更是关系到桥梁塔毁、桥面断裂重大事故安全的重要因素。例如，苏格兰的泰河大桥由于在设计阶段未考虑风荷载作用，在暴风雨中桥梁断裂，导致重大人员伤亡。1940年美国的塔科马大桥由于大风与桥梁结构的耦合作用导致风毁事故。我国上海杨浦斜拉桥由于缆索的涡振耦合作用导致索套损坏。现代大桥跨度越来越大，主塔和主梁越来越高，建筑材质越来越轻，风压与风灾成为了现代大桥设计中最重要的限制因子，抗风设计参数等方面的研究已经成为桥梁跨度进一步扩大的关键。因此，桥梁建设抗风设计和抗风措施的研究对大跨度桥梁的设计具有十分重要的意义。

桥梁在选址、建设、运营的各个阶段都与天气、气候密切相关，因此，在选址时要了解当地的气候背景、气候灾害对项目的影响；在规划阶段，需要了解当地的气象灾害发生频率及其累年极端值，以推算合适的气象参数，以免参数过大，造成设计成本浪费，或者参数偏小，规避不了气象灾害风险，给安全带来隐患；在建设运营阶段，需要针对气象灾害制定应急响应预案或者灾害知晓手册，最大程度降低安全损失。

由于风的静力作用和动力作用对桥梁结构的影响不同，在分析大风对其可能造成的影响及防范措施时，没有配套的桥梁建设抗风设计气候可行性论证技术规范，工作难度大。标准编制完成后，可统一规范我省区域桥梁建设抗风设计气候可行性论证工作的范围、内容、流程、方案、技术方法、报告编写和报告评审等，有助于规范和指导桥梁建设抗风设计气候可行性论证工作，有效提高桥梁设计的气象防灾减灾能力，为桥梁设计、施工及运营的安全及气象防灾减灾提供有力的技术支撑。

**1.3 主要编制过程**

（1）2021年3月，按照《湖南省市场监督管理局关于下达2021年度第一批地方标准制修订项目计划的通知（湘市监标函[2021]33号）》，湖南省气候中心成立《标准》起草小组，明确目标任务，确定编写技术方案与分工，制定工作进度计划。

（2）2021年3-4月，编写组进行相关调研、文献查阅、资料收集；开展抗风设计参数、湍流参数特征参数分析。

（3）2021年5－6月，编写标准及标准说明。

（4）2021年6-7月， 标准初稿基础上进行细化、修改，完成本标准的征求意见稿, 开展标准评审工作。

（5）2021年8月 , 处理回复意见；召开标准审查前的研讨会，对标准作进一步修正，发布地方标准。

**1.4标准主要起草人及其所做的工作**

（1）本标准主要起草人

曾向红，项目负责人。负责标准的技术方法研究和标准撰写工作及参加编制说明编写。

吴浩，　主要参加人员。参与标准研究、参加编制说明编写。

李瑜，　参加人员。参与标准研究。

蒋元华，主要参加人员。参与标准研究、参加编制说明编写。

杜东升，主要参加人员。参与标准研究、参加编制说明编写。

段丽洁，参加人员。参与指标分析。

吴贤云，参加人员。负责技术方法指导。

汤亦豪，参加人员。参与数据统计。

郭凌曜，参加人员。参与数据统计。

崔剑锋，参加人员。参与指标分析。

（2）本标准负责单位

湖南省气候中心。

# 2编制原则

(1) 抗风资料准确可靠

大风资料是桥梁设计风速推算的基础，应以所建观测塔风资料和国家气象站气象站风资料为依据，并结合周边地区区域自动气象站风资料，对所采用的风资料进行完整性、合理性和一致性检验，确保所用资料真实可靠。

1. 推算方法科学合理

极值风速的概率计算采用四种方法：Gumbel分布（极值I型分布）、Weibull分布、皮尔逊Ⅲ型分布和广义极值分布。根据当地年最大风速分布特点，采用柯氏拟合适度指标、剩余方差、拟合相对偏差对拟合效果进行检验，选择最适合该地的推算方法，确保所选推算方法科学合理。

# 3确定标准主要内容的论据

**3.1 术语的定义**

JTG∕T 3360-01-2018 公路桥梁抗风设计规范相关术语定义如下：

1. 基本风速
桥梁所在地区开阔平坦地貌条件下，地面以上10m高度、重现期100年(即100年超越概率63.2%).10min平均的年最大风速。
2. 桥梁设计基本风速
桥位地面(或水面)以上10m高度、重现期100年(即100年超越概率63.2%)、10min平均的年最大风速。
3. 设计基准风速
桥梁或构件基准高度、重现期100年(即100年超越概率63.2%)、10min平均的年最大风速。
4. 桥梁设计基准风速

特指桥梁主梁基准高度处的设计基准风速。

1. 风攻角

风的主流方向与水平面之间的夹角。

1. 阵风系数
时距为1-3s的瞬时风速与时距为10min的平均风速之间的比例系数。
2. 地表粗糙高度
反映大气边界层中地表起伏或地物高矮稀疏程度的参数，

桥梁建设抗风设计气候可行性论证技术指南（第1版）相关术语定义如下：

1. 风速
空气微团的移动速度。根据测量时距的长短，包括瞬时风速、平均风速、极大风速和最大风速，单位为米/秒(m/s)。

2)瞬时风速
空气微团的瞬时移动速度，通常指小于3秒钟的平均风速。也称阵风风速。

1. 极大风速
瞬时风速的最大值。
2. 最大风速
指10分钟平均风速的最大值。
3. 风向

指风的来向，单位为角度(°)，通常以十六方位表示，静风以C表示。

1. 主导风向
在风观测中，风向以方位表示时，出现频率最高的风向即为主导风向。
2. 参证气象站
桥址处进行设计风速计算时所参照的具有长序列测风观测的气象站。参证气象站应与桥址处于同一天气系统控制下，气候特征相同或相似。

8)设计风速
桥址处地面或水面以上10m高处100年重现期的10分钟平均最大风速。即利用参证气象站历年10分钟平均最大风速经概率统计所计算的风速，再考虑桥址处地形地貌影响，经过订正得到。

9)设计基准风速
在设计风速基础上，考虑桥位处地面粗糙度影响，桥梁结构或结构构件基准高度处100年重现期的10分钟平均最大风速。

10)风速订正系数
一定风速阈值下，桥位最大风速与参证气象站最大风速的比值。用于利用参证气象站重现期风速推算桥位设计风速。

11) 阵风系数
本指南中指3秒平均极大风速与10分钟平均最大风速的比值。

12)风切变指数
风速随高度变化的幂定律指数。反映风速随高度增加的快慢，其大小主要与地面粗糙度、大气稳定度、风速大小等有关。

13)湍流强度
为某时距脉动风速的均方根与该时距平均风速之比,无量纲。表征风的脉动特征。

14)湍流功率谱
描述湍流能量在不同尺度水平上的分布。表征风的脉动特征。

15)风攻角
风的来流方向与水平面产生的夹角。

《JTG∕T 3360-01-2018 公路桥梁抗风设计规范》和《桥梁建设抗风设计气候可行性论证技术指南（第1版）》有关术语的定义基本相同，本标准综合两者的定义后给出了相关术语。

**3.2 气象观测塔建设及观测的要求**

大跨径桥梁为大气边界层内的建筑物，其长、轻、高、柔的结构特点决定其在规划、设计、施工、营运各阶段均受到天气气候影响。尤其风荷载是大跨度桥梁控制设计的关键性荷载。客观合理的确定大型桥梁风参数取值，以确保桥梁抗风的稳定性，同时能避免投资过高而造成浪费；建立大跨径桥梁气象保障服务系统，保证大桥施工的顺利进行。而目前，在大跨径桥梁设计风参数研究与应用及对大桥施工气象安全保障中仍存在诸多的问题需要进一步研究。①忽视了桥位与气象站的差异。根据风压定理，风是受局地地理环境影响较大的气象要素，由于桥位特殊的中小尺度地理环境，桥位风与常规推算结果存在较大差异，特别是局地性的强风。采用的不是根据桥位实测风所得出来的设计风结果给桥梁留下安全隐患或因风参数估算过高造成投资巨额浪费或是无法防御在施工、运营期间出现的气象灾害而造成损失；②风速极值的推算要求年最大风速序列在30年以上，由于桥位绝大多数不在气象站，所以其基础资料不存在。如何合理推算桥位极值值得研究；③风攻角等风参数受局地的影响明显，需要在桥位区进行实地观测。目前，仍有不少桥梁设计采用的风参数由于观测仪器限制无法获取桥位区现场的而是从规范查取，这些风参数明显不合理，不能反映具体桥位区的特性；④桥址工程区一般天气气候复杂，灾害性天气频繁，需要研制针对性的大跨径桥梁施工气象安全保障系统。

因此，有必要在桥址处建立气象观测塔，并通过桥位风观测资料建立桥位风速与周边气象台站的关系，推算桥位设计风速；获得大风风剖面指数；对桥面高度处湍流度、风攻角、功率谱密度等进行分析；获得大跨径桥梁施工气象安全保障系统所需的实时资料。

综上所述，气象观测塔的建设及桥址工程区实时资料的获取是桥梁抗风设计等重要基础。本部分强调了气象观测塔的选址、气象观测塔的设计要求及竣工验收、观测数据的采集与质量控制及运行管理三方面的问题。

**3.2.1气象观测塔的选址**

　　气象观测塔选址要求遵守代表性好，施工可行的原则，并考虑建设位置走向、桥址所处的位置走向、桥址附近地形特点，已有自动气象站分布和大桥工程建设的需求。选址应按QX/T　449-2018要求进行塔址勘察，跨越峡谷、地形复杂的大桥，需要在跨中附近及大桥两岸都建立测风塔开展现场观测。

**3.2.2气象观测塔的设计要求及竣工验收**

观测塔应根据大桥建设需要确定高度和层次的设计、观测内容及观测时间的确定。观测塔应按相关要求进行安装，并安置专用避雷系统。观测仪器安装完毕，要进行竣工验收。

**3.2.1观测数据的采集与质量控制及运行管理**

观测数据除采取实时传输的方式，如果通讯条件不好，至少一个月去现场读取一次数据。超声风资料数据应定期去现场读取，强风事件出现后，应立即去现场读取超声风数据，并且对运行情况进行实时监控。还应定期维护观测仪器和观测塔，以保证观测系统正常运行。

对气象观测塔获取的现场实测数据应依照中国气象局制定的《地面气象观测规范》总则（GB/T 35221-2017）、风电场风能资源评估方法（GB/T 18710-2002）,进行整理、审核。数据合理性检验和精度控制流程如下：

（1）二维风速仪测试数据合理性检验

一般检验：0m/s≤风速≤60m/s；0°≤风向≤360°；

特殊检验：对于梯度观测站，根据各观测层次数据的一致性、合理性进行判断；对同时段各测风站观测数据的一致性、合理性进行判断。

（2）超声测风仪数据合理性检验

数据采集系统在工作中有时会产生一些“虚假的数据”通常称之为“野点”，观测资料的野点可能是由于飞虫等污染物、电源的不稳定脉冲或感应元件的不稳定工作造成的，尤其是当环境温度过热或过于潮湿时会造成失真据，对这类数据的判别，主要根据数据的一致性和连续性特征来剔除“野点”。

对观测塔实测数据进行一致性、合理性审核外，还应依据GB/T 18710-2002计算测风有效数据的完整率，有效数据完整率应达到90 %

 有效数据完整率按式(1)计算:



式中：应测数目－测量期间小时数；

　　　缺测数目－没有记录到的小时平均值数目；

无效数据数目－确认为不合理的小时平均值数目。

**3.3参证气象站选取及资料收集**

**3.3.1参证气象站选取**

桥梁建设抗风设计需要计算桥梁所在地区中的开阔平坦地面以上10m高度处100年重现期的10min平均年最大风速作为基本风速，并且在桥梁所在地区基本风速的基础上，考虑桥位局部地表粗糙度影响的桥面高度处100年重现期的10min平均年最大风速。而基本风速的计算至少需要有30年以上的风观测资料，为了获取高质量、长序列的观测资料，需要选取桥梁所在地区附近的国家地面气象台站作为参政站，来进行资料分析；参政站的选取主要依据资料序列的代表性、准确性和一致性三个方面；应选择与桥址距离较近，地形、地貎较为相似的地面气象观测站，测风环境基本保持长年不变或具备完整的迁站对比测风记录；与气象观测塔同期强风风速样本（宜为10m/s以上）的相关显著性应通过0.05信度检验等条件选择为参证气象站。

**3.3.2资料收集**

（1）参政气象站资料收集

收集参证气象站的基本信息，包括气象站经度、纬度、海拔高度、建站时间、迁站时间、测风高度变化、测风仪器型号、观测场地环境变化、距离桥址最短距离和相对位置；

收集参证气象站建站以来逐年及月平均风速、各风向频率及各风向平均风速、10 分钟平均最大风速、风向、极大风速及风向、大风日数；收集参证气象站年极端最高温度、年极端最低温度、年雷暴日、年最大降水量、年最小降水量、年平均降水量、月最大降水量、日最大降水量。

（2）气象灾害调查、收集

通过查阅地方志、灾害大典、网络信息、报纸、文献、行业个等渠道收集桥位区域附近典型大风（包括雷雨大风、寒潮大风、飑线大风、龙卷风、超低空急流）危害情况，包括风速、风向及陆面建筑物和水面船只等毁坏情况。收集桥位区域附近其他主要气象灾害危害的典型事例情况，包括暴雨、高温、雷电、冰雹、大雾、路面结冰、冰冻、积雪等。对近几年出现的极端大风危害情况进行现场调查。

**3.4桥位区气候风险分析**

为满足大桥设计、建设过程及营运对气象灾害防御的要求，我们首先需要了解桥位区的气候背景。基于所选参证站多年的气候资料分析桥位区的主要气候特征；分析桥位区主要灾害天气并开展危害情况调查；分析造成桥位区的主要天气系统。

**3.4.1　桥位区域主要气候特征分析**

利用桥位区气象观测塔观测数据资料，分析桥位区气温、气压、降水量、风况等气象特征；利用参证站资料分析桥位区域主要气候特征；分析造成桥位大风的主要天气系统。

**3.4.2　桥位区域主要灾害天气分析**

对桥位区主要灾害天气及危害情况开展调查，给出桥位区主要灾害类型、发生频率、危害等概况。

**3.4.3　风的统计特征**

统计风的累年及月平均风速，累年风向频率，绘制风向频率玫瑰图；统计累年逐月最大风速、极大风速及出现的风向，逐年最大风速、极大风速及出现风向；统计累年及月大风日数；统计累年各风向的平均风速及最大风速，绘制风速玫瑰图。例如：图1为开展岳阳洞庭湖大桥建设气候可行性论证时绘制的参证站的风玫瑰图，表1及表2为选取的参证站岳阳站的风向、风速统计特征。



 

图1 岳阳市全年及四季风向频率分布图

表1 岳阳市各月、年最大风速及风向、极大风速及风向

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 岳阳市（1971-2014） | 华容县（1993-2014） |
| 项目 | 风速 | 风向 | 年份 | 日期 | 风速 | 风向 | 年份 | 日期 |
| 1月 | 12 | NNE | 1983 | 7 | 19.9 | NE | 2009 | 23 |
| 2月 | 12.7 | NE | 1974 | 22 | 18.7 | S | 2009 | 12 |
| 3月 | 15.3 | WSW | 1979 | 29 | 21.7 | W | 2003 | 26 |
| 4月 | 21.2 | NW | 1998 | 23 | 29.8 | WNW | 2002 | 4 |
| 5月 | 19.3 | WSW | 1980 | 14 | 23.3 | NW | 2008 | 4 |
| 6月 | 19 | WNW | 1980 | 26 | 21.5 | WNW | 1997 | 6 |
| 7月 | 20 | WNW | 1973 | 23 | 24.4 | SW | 1995 | 1 |
| 8月 | 19.7 | W | 1973 | 4 | 24.5 | N | 2010 | 5 |
| 9月 | 12 | NW | 1974 | 29 | 21 | NE | 2008 | 8 |
| 10月 | 14 | NE | 1981 | 22 | 19.6 | NE | 2004 | 1 |
| 11月 | 13.4 | NNW | 2008 | 26 | 20 | NNE | 1997 | 16 |
| 12月 | 12 | NE | 1981 | 29 | 18.5 | NE | 2008 | 21 |
| 年 | 21.2 | NW | 1998 | 23 | 29.8 | WNW | 2002 | 4 |

表2 岳阳市各季、年最大风速大于6级、8级以上平均天数

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 站名 | 项目 | 春季 | 夏季 | 秋季 | 冬季 | 年 | 资料年限 |
| 岳阳市 | 6级以上 | 1.80 | 1.70 | 0.33 | 0.33 | 4.20 | 1981-2010 |
|  | 8级以上 | 0.13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.13 |

**3.5设计风速计算**

 由于近地面风速受地形和下垫面特征影响很大，因此在进行桥梁抗风设计时应通过桥址处的风速观测数据推算和确定桥梁的设计风速。但是一般桥址处没有或者缺少足够长时间的风速观测资料，无法直接推算桥梁的设计风速。由于气象部门气象台站分布范围广，风速观测时间长，数据质量高，且风速观测标准是开阔平坦地区的地面以上10m高度的10min平均风速。因此可以计算气象台站的风速资料与气象观测塔风资料的K值来推算桥位的设计风速。

3.5.1建立参证气象站年最大风速序列

构建参证气象站年最大风速序列时，由于风速观测仪器类型的更换、测风仪安装高度、迁站以及观测场周边环境变化等原因，导致年最大风速序列存在不均一性，因此必须通过时距订正、高度订正、迁站订正和测风环境变化订正重构地面气象站年最大风速序列，订正方法如下。

（1）时距订正

当年最大风速取自时距为2min的定时观测资料时，应将其订正到10min时距。利用定时观测的年最大2min平均风速和逐时观测的年最大10min平均风速的同步样本（当样本数小于15时，宜从月最大风速中选取样本）拟合的线性回归方程进行订正，公式如下：



（2）高度订正

当风速仪距观测场地面高度不等于10m，且观测场区域处于开阔平坦地表时，可按照幂指数公式将年最大风速订正到10m高度。利用风随高度变化的指数公式，根据各层逐日的日大风样本资料（即日最大风速≥某阈值的样本），采用最小二乘法，计算可得到大风情况的风廓线指数α。风廓线指数计算如下：

在近地层内，风速随高度变化的指数公式为：

 

式中：u为z高度处的风速（m/s）；

 u1为z1高度处的风速（m/s）；

α为风速随高度变化幂指数，其值的大小即表明了风速垂直切变的强度。对上式作变换并等号两边取对数，即得：

 

令 

则得到线性方程：

 

将实测资料序列代入，得到序列 ；，用最小二乘法拟合回归系数，得到指数α的计算公式：

 

如果无各层风资料，可根据地表状况选择合适的地表粗糙度系数α，见下表：

表1　地表粗糙度分类

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地表类别 | 地表状况 | 地表粗糙度系数α |
| A | 海面、海岸、开阔水面、沙漠 | 0.12 |
| B | 农地、田园、平坦开阔地；树木及地层建筑物稀少地区 | 0.16 |
| C | 树木及地层建筑物密集地区；中、高层建筑物稀少地区；平缓的丘陵地 | 0.22 |
| D | 中、高层建筑物密集地区；起伏较大的丘陵山地 | 0.30 |

（3）迁站订正

对迁站前、后两段年最大10min平均风速样本数据，采用T检验方法进行差异显著性检验，若无显著性差异，则迁站前、后两段数据可合并使用，无需订正。若存在显著性差异，可从迁站对比观测的日最大10min平均风速中选取较大值样本（宜为10m/s以上）构成全方位风速订正样本，采用将风场短期测风数据订正为代表年风况数据的方法，构成分方位风速订正样本，以此计算比值系数，采用比值订正法进行订正。方法如下：

1)作风场测站与对应年份的长期测站各风向象限的风速相关曲线。某一风向象限内风速相关曲线的具体作法是：建一直角坐标系，横坐标轴为长期测站风速，纵坐标轴为风场测站的风速。取风场测站在该象限内的某一风速值为纵坐标，找出长期测站各对应时刻的风速值，求其平均值作为横坐标即可定出相关曲线的一个点。对风场测站在该象限内的其余每一个风速重复上述过程，就可作出这一象限内的风速相关曲线。对其余各象限重复上述过程，可获得16个风场测站与长期测站的风速相关曲线。

2)对每个风速相关曲线，在横坐标轴上标明长期测站多年的年平均风速，以及与风场测站观测同期的长期测站的年平均风速，然后在纵坐标轴上找到对应的风场测站的两个风速值，并求出这两个风速值的代数差值（共有16个代数差值）。

3)风场测站数据的各个风向象限内的每个风速都加上对应的风速代数差值，即可获得订正后的风场测站风速风向资料。

比值订正法如下：

测风场风速y 与参证气象站风速x之间构成以下关系：

 

式中a、b 为经验系数。k是参照观测点风速x的线形函数。

由于工程抗风设计关注大风，当x较大时，k的变化很小，趋于常数。因此在计算风速订正系数时，在满足统计样本数量的前提下，选取大风样本（10分钟平均日最大风速≥某阈值，阈值的选取可根据当地大风情况及样本数来确定）进行相关分析，相关显著性检验信度不宜低于0.05，计算大风情况下测风场与参证站风速的比值，即为风速订正系数。

（4）测风环境变化订正

若参证气象站受测风环境变化影响导致年最大风速序列存在明显的突变时，宜采用适当的检验技术（如T检验方法），找出突变点，并对其原因进行考察分析确认，利用突变点前后两段年最大风速的平均值的比例关系进行比值法订正。

基于此四种订正方法构建的离地10米高的10分钟平均年最大风速序列符合设计规范要求，在前期气候可行性论证工作中重构了30多个气象台站长时间序列的年最大风速序列，数据科学可靠，得到专家一致认同。以下列举岳阳、临湘、华容三个国家站订正后的离地10米高的10分钟平均年最大风速序列以示说明。



图1 岳阳国家气象站1953-2017年年最大10分钟平均风速



图2 临湘国家气象站1956-2017年年最大10分钟平均风速



图3 华容国家气象站1973-2017年年最大10分钟平均风速

**3.5.2参证气象站重现期风速计算**

利用经过均一性检验和订正的离地10米高10分钟平均年最大风速资料，采用极值分析方法，推算气象站不同重现期（10、30、50、100 年）年最大风速。目前对极值风速的概率计算一般有以下四种方法：Gumbel分布（极值I型分布）、Weibull分布、皮尔逊Ⅲ型分布和广义极值分布**。**各地区应根据当地年最大风速分布特点，采用柯氏拟合适度指标、剩余方差、拟合相对偏差对拟合效果进行检验，选择最适合该地的推算方法。推算方法简介如下：

（1）极值Ⅰ型（Gumbel）分布函数

分布函数：

（a＞0，-∞＜u＜∞）

公式中α为分布的尺度函数，u为分布的位置参数。

重现期为R（概率为1/R）时：



它的参数估计有三种方法：

①矩法

一阶矩（数学期望）：

 ，其中：γ≈0.57722

二阶矩（方差）：



由此得到：

 ， 

②耿贝尔法

耿贝尔法是一种直接与经验频率相结合的参数估计方法。

假定数据有序序列：

则经验分布函数为：

 　i=1,2,...,n

取如下序列：

　i=1,2,...,n

可得：

 ，

③极大似然法

在统计学理论上，极大似然估计是一种较优的参数估计方法。极值Ⅰ型分布函数的概率密度函数为：



当观测资料x1,x2,...,xn给定时，作极大似然函数并取得对数，得：



将a、u看作变量，将上式分别对a、u求导并令其为0，得：



参数a、u可用迭代法求解。



（2）韦布尔（Weibull）分布函数

分布函数：

　x＞0

其超过保证率函数为：



超过保证率P对应的重现期值为：



其形状参数k及尺度参数c的估计多采用矩法：





（3）皮尔逊Ⅲ（P-Ⅲ）型曲线

皮尔逊Ⅲ型曲线又称P-Ⅲ型曲线，是一种单峰型正偏曲线，整体不对称。

①概率密度函数

皮尔逊Ⅲ型曲线是一条一端有限一端无限的不对称单峰、正偏曲线，数学上常称伽玛分布，其概率密度函数为：



式中：为α的伽玛函数；α、β、 分别为皮尔逊Ⅲ型分布的形状尺度和位置未知参数，α＞0，β＞0。

显然，三个参数确定以后，该密度函数随之可确定。可以推论，这三个参数与总体三个参数 、Cv、Cs具有如下关系：

 ，，，





其中：

Cv：变差系数，比较两个不同均值系列的离散程度时，采用均方差与均值之比值，用于衡量系列相对离散程度。Cv 越大，随机变量x 的分布越分散，概率分布曲线的左侧抬高，右侧降低；反之，左侧下降，右侧上抬。

Cs：偏态系数，反映密度曲线的对称特征，即衡量系列在均值的两侧分布对称或不对称（偏态）程度的系数。对于正偏，Cs>0（P-Ⅲ曲线）。当其他参数不变时，Cs值越大，则概率曲线的凹度越大，即两端都在正态直线以上，中间部分向下。

②皮尔逊Ⅲ型频率曲线及其绘制

计算中，一般需要求出指定频率P 所相应的随机变量取值xp，也就是通过对密度曲线进行积分，即:



求出等于及大于 的累积频率P值。直接由上式计算P值非常麻烦，实际做法是通过变量转换，变换成下面的积分形式:



式中被积函数只含有一个待定参数Cs，其它两个参数 、Cv都包含在Φ中。，是标准化变量，称为离均系数。Φ的均值为0，标准差为1。因此，只需要假定一个Cs值，便可从上式通过积分求出p与Φ之间的关系。对于若干个给定的Cs值，和p的对应数值表，已先后由美国福斯特和前苏联雷布京制作出来，皮尔逊Ⅲ型频率曲线的离均系数值表。由Φ就可以求出相应频率p的x值：



（4） 广义极值分布

广义极值分布的分布函数为：

， 

， 

式中：α为尺度参数；β为位置参数；k为形状参数。当时k=0，为Ⅰ型极值分布；当时k<0，为Ⅱ型极值分布；当k>0时，为Ⅲ型极值分布。

以岳阳、临湘、华容三个国家站重现期风速推算为例，对拟合效果进行检验，发现三个国家气象站风速极值频率分布与广义极值分布的拟合较好，且均通过拟合优度检验，岳阳站年最大风速序列为极值Ⅱ型(Frechet)分布，临湘站和华容站年最大风速序列为极值Ⅲ型(Weibull)分布。采用kolmogorov- Smirnov拟合优度检验方法，检验三站最大风速极值分布的拟合优度，在确定显著水平前提下，岳阳站、临湘站和华容站样本理论分布函数与经验分布最大的离差分别0.0981、0.1143和0.0969，都小于其对应的检验值小于检验值。

表2 岳阳、临湘、华容不同重现期极值风速（m/s）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 重现期 | 10a | 20a | 30a | 50a | 100a |
| 岳阳 | 18.6 | 20.9 | 22.3 | 24.1 | 26.7 |
| 临湘 | 17.2 | 18.2 | 18.6 | 19.1 | 19.6 |
| 华容 | 15.4 | 17.0 | 17.8 | 18.8 | 20.0 |

**3.5.3风速订正系数计算**

由于桥址处没有或缺少长序列lO 分钟平均年最大风速资料，不具备作概率统计的条件。因此，必须将气象站年最大风速值，通过风速订正，推算到桥址处。利用桥位气象观测塔与参证气象站至少一年同步10 分钟平均日最大风速资料，采用相关比值法计算风速订正系数。由于桥梁抗风设计关注大风，当x 较大时，k 的变化很小，趋于常数。因此在满足统计样本数量的前提下，选取大风样本（10分钟平均日最大风速≥某阈值，阈值的选取可根据当地大风情况及样本数来确定）进行相关分析，相关显著性检验信度不宜低于0.05，计算大风情况下桥位处与参证站风速的比值，即为风速订正系数；如果两地旬最大风速相关显著，可以用两地旬最大风速平均值的比值作为风速订正系数。此方法在湖南省多个园区气候论证的抗风参数设计时得到运用，方法科学。效果良好。

利用桥位区铁塔测风资料与岳阳国家气象站同时段的测风资料，计算观测期间大风日风速序列（30m日最大风速>=9m/s）岳阳站和铁塔10、30、50、60、70m各层的最大风速相关性系数，分别为0.385、0.623、0.610、0.620和0.570，可见岳阳站和铁塔30m高度层的最大风速相关性最好，其次60m高度层，在10m高度层相关性最低，各层相关系数在信度0.01的水平上都为显著的正相关。在大风日铁塔30m高度层与岳阳气象站的风速样本比值同为B=1.39，岳阳气象站各重现期的基本风速乘以系数B，即得到铁塔测风站30m高度不同重现期的10min平均年最大风速。

**3.5.4桥位处的设计风速的推算**

根据参证气象站资料计算得到的不同重现期最大风速，及桥位风速订正系数，计算可得到桥位处的设计风速。并计算其他不同重现期（10、30、50 年）10 分钟平均年最大风速 。

以洞庭湖大桥桥位区设计风速推算为例，大风日铁塔30m高度层与岳阳气象站的风速样本比值为B=1.39，根据岳阳站不同重现期风速与风速订正系数，可推算得到桥位处30m高度10a、20a、30a、50a、100a不同重现期的设计风速分别为：25.9m/s、29.1m/s、31.0m/s、33.5m/s、37.1m/s。

**3.5.5设计基准风速的计算**

根据桥位风梯度实测资料，选取气象观测塔各层逐日的日大风样本资料（即日最大风速≥某阈值的样本），采用最小二乘法，利用风随高度变化的指数公式，计算可得到大风情况的风廓线指数α。并与地表粗糙度分类表进行比较，综合分析后得到风廓线指数。然后根据桥位设计风速，按照指数律公式计算可得到桥位处各设计基准高度的设计基准风速。设计基准高度一般由委托方确定。地表粗糙度分类和风速随高度变化的指数公式参见3.5.1节中方法。

以洞庭湖大桥桥位区设计基准风速推算为例：铁塔测风站地面海拔为34m，根据大风样本计算得到的风切变指数＝0.130，利用幂指数公式将其推算到海平面上各规定高度层，结果见表3。大桥标高10m高度处（海拔44m）重现期为100年的计算风速为32.2m/s；大桥桥面处（海拔90.588m）重现期为100年的计算风速为40.2m/s；在大桥主缆顶点（海拔238.588m）重现期为100年的计算风速为47.5m/s。

表3 桥位各海拔高度不同重现期的设计风速（m/s）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 高度/m | 10a | 20a | 30a | 50a | 100a | 200a |
| 44 | 22.5 | 25.2 | 26.9 | 29.0 | 32.2 | 35.5 |
| 50 | 23.9 | 26.8 | 28.5 | 30.9 | 34.2 | 37.7 |
| 60 | 25.4 | 28.5 | 30.4 | 32.8 | 36.4 | 40.2 |
| 64 | 25.9 | 29.0 | 30.9 | 33.5 | 37.1 | 40.9 |
| 70 | 26.5 | 29.7 | 31.7 | 34.3 | 37.9 | 41.9 |
| 80 | 27.3 | 30.7 | 32.7 | 35.4 | 39.2 | 43.2 |
| 90 | 28.0 | 31.5 | 33.5 | 36.3 | 40.2 | 44.3 |
| 90.588 | 28.1 | 31.5 | 33.6 | 36.3 | 40.2 | 44.4 |
| 100 | 28.6 | 32.1 | 34.3 | 37.0 | 41.0 | 45.3 |
| 120 | 29.6 | 33.2 | 35.4 | 38.3 | 42.5 | 46.9 |
| 150 | 30.8 | 34.6 | 36.8 | 39.8 | 44.1 | 48.7 |
| 180 | 31.7 | 35.6 | 37.9 | 41.0 | 45.5 | 50.2 |
| 200 | 32.3 | 36.2 | 38.6 | 41.7 | 46.2 | 51.0 |
| 220 | 32.7 | 36.7 | 39.2 | 42.3 | 46.9 | 51.8 |
| 238.588 | 33.1 | 37.2 | 39.6 | 42.9 | 47.5 | 52.4 |
| 250 | 33.4 | 37.4 | 39.9 | 43.2 | 47.8 | 52.8 |

**3.6桥位区近地层湍流特征值计算**

**3.6.1三维测风数据处理**

（1）质量控制

在计算桥位区近地层湍流特征值之前，需要对数据进行筛选。根据三维超声风速仪输出的质量控制信息文本来判识是否有效观测数据。当数据据质量控制信息标识为“0”时说明观测数据“可靠”，标识为“1～8”表示“存疑或者不可靠”数据，“9”表示缺测，“255”表示没有数据。选取质量控制信息文本中标识为“0”的观测数据，利用方差检验方法对观测时段的超声风原始数据进行野点值检验。

（2）数据预处理

三维超声风速仪每个观测样本包含的实测三维风速*u(t),v(t),w(t)*是超声风速仪坐标下*x, y, z*方向的3个实数序列，采用时间长度10min的基本时距进行分析，则水平平均风速U和风向角由下式计算：

 (1)

 (2)

垂直方向与仪器坐标*z*轴相同，因此垂直平均风速为：

 (3)

将仪器坐标旋转角，使仪器所测u与主风向一致。所得坐标*x, y, z*轴分别代表主导风*u(t)*、侧风*v(t)*和垂直风向*w(t)*（与仪器坐标相同），则*u(t)、v(t)*在*x,y*轴的投影****即为纵向（主风向）脉动风速、为横向（侧风向）脉动风速，由下式计算[20]：

 (4)

 (5)

垂直脉动风速由式（7）给出：

 (6)

**，，**即为用于湍流统计分析的基本湍流数据时间序列。

**3.6.2　阵风系数、湍流强度**

阵风系数是考虑到瞬时风较平均风大而乘的系数，一般定义是3s阵风风速与时距10 min的平均风速之比值，以确定任意给定时间内的最大（最小）阵风风速。湍流强度是脉动值标准差和平均风速的比值，是用以描述风速随时间和空间变化的程度，用来衡量风速脉动的相对强弱，是描述大气湍流运动特性的重要的特征量。一般地，湍流强度越大，阵风系数也越大，阵风持续时间越长，阵风系数越小。

以杭瑞高速岳阳洞庭湖大桥为例：2015年10月26日19:00~19:59时段强风时段（平均风速>=12m/s）的阵风系数范围是1.33~1.69，阵风系数和湍流强度Iu, Iv, Iw的平均值分别为1.44、0.17、0.15、0.08；小风时段（平均风速<=6m/s）的，阵风系数范围是0.55~0.86，阵风系数和湍流强度Iu, Iv, Iw的平均值分别为0.68、0.23、0.21、0.12。

2016年4月16日06:00~06:59时段强风时段（平均风速>=12m/s）的阵风系数范围是1.62~2.21，阵风系数和湍流强度Iu, Iv, Iw的平均值分别为1.84、0.18、0.16、0.09；小风时段（平均风速<=6m/s）的阵风系数范围是0.52~1.00，阵风系数和湍流强度Iu, Iv, Iw的平均值分别为0.74、0.19、0.17、0.09。

2017年3月30日15:00~15:59时段强风时段（平均风速>=12m/s）的阵风系数范围是1.71~2.32，阵风系数和湍流强度Iu, Iv, Iw的平均值分别为1.93、0.20、0.18、0.10；小风时段（平均风速<=6m/s）的阵风系数范围是0.73~1.95，阵风系数和湍流强度Iu, Iv, Iw的平均值分别为1.07、0.48、0.46、0.30。

**3.6.3　湍流功率谱密度**

湍流功率谱密度能够描述脉动风能量随频率的分布，在频域上的全积分等于对应脉动方向上的湍流动能。一般以1 min为基本时距分析湍流功率谱。

下表为杭瑞高速岳阳洞庭湖大桥2015年10月26日19:00~19:59时段、2016年4月16日06:00~06:59时段和2017年3月30日15:00~15:59时段三个大风过程的1min平均最大风速出现时的湍流功率谱密度平均值，这三个大风个例日的1min平均最大风速分别为13.23m/s、12.59m/s、12.85m/s。

**表1 三个大风过程1min平均最大风出现时间平均功率谱密度(单位:m2/s2)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 时间 | 低频部分（0.001~0.1 *Hz*） | 高频部分（2~5 *Hz*） |
| *Su* | *Sw* | *Su* | *Sw* |
| 2015-10-2619:24 | 19.08 | 3.24 | 8.14×10-3 | 4.73×10-3 |
| 2016-04-1606:50 | 19.08 | 3.24 | 8.14×10-3 | 4.73×10-3 |
| 2017-03-3015:26 | 22.06 | 3.64 | 9.94×10-3 | 5.90×10-3 |

**3.6.4**风攻角

风攻角是受到地形影响，近地层风的方向相对于水平方向产生倾斜，将风的主流方向与水平面的夹角定义成风攻角。一般强风下的平均风攻角在±3°之间。

杭瑞高速岳阳洞庭湖大桥桥位区2015年10月26日19:00~19:59大风时段风攻角在±4°之间变化，出现过一次-4.27°；2016年4月16日06:00~06:59时大风时段风攻角在±3°之间变化；2017年3月30日15:00~15:59时大风时段风攻角在±6°之间变化，有极个别的风攻角超过±7°。

3.6桥梁抗风设计数值模拟

桥位区风特征的观测分析受各种条件的限制，一般只进行了较短时间的现场观测，受观测样本的限制，不能完整地描述桥位区风的时间变化和空间分布特征，而数值模拟方法能较好弥补观测资料的这种不足。

数值模拟方法对较大格距的风场重现能力较好，但对大桥区域这类较小格距、极值风的模拟效果需要加以验证。由于桥位区风的野外观测时间一般较短，属短期观测，需要挑选观测时段的典型大风过程或大风日进行数值模拟，包括对大桥附近大风过程或大风日地面主导风速风向及风的垂直变化进行模拟。

针对大风过程，选择WRF等中尺度气象模式，对模拟区域进行合理的嵌套设置和网格空间分辨率划分，合理设置初边界条件和的物理过程参数化方案，同化或融合包括雷达和卫星观测资料等气象观测资料，确定最佳模拟方案。

模拟的地面风向、风速以及垂直风变化结果与地面观测、探空资料观测值进行对比，分析是否存在明显差异，应调整模拟方案或对模拟结果进行订正。当订正后的结果与观测结果两者量值接近，时空变化规律一致，且不影响模拟结果的时空分布连续性时，可用于桥梁抗风设计气候可行性论证工作中。

3.7桥位区气象安全保障系统

桥址工程区天气、气候复杂，灾害性天气频繁，桥梁建设施工期间将面临着各种不利天气条件，如暴雨、连阴雨、雷暴、台风、龙卷、冰雹、飑线、寒潮、霜冻、大风、大雪、大雾、高温、高湿等，这些不利天气将可能严重影响施工进度、施工质量，甚至对大桥安全造成严重危害。为避免或减少大桥建设和试运行期间遭受天气灾害的影响，有必要研制气象保障服务系统，为大桥建设施工提供针对强、精准的气象保障服务。

例如：杭瑞高速岳阳洞庭湖大桥研制了“云计算＋数值预报”桥位区气象安全保障系统。基于桥位区气象保障服务系统，项目组自大桥施工建设以来从未间断为其服务，包括桥位区遭遇过30多次强降水过程侵袭，特别是在大暴雨、特大暴雨过程频频出现、天气最为复杂6至8月，吊梁、合龙的关键时刻，提供针对性强、精准、及时气象预报预警，及时采取措施规避气象条件风险条件提供了决策依据，保障大桥顺利建成。

该系统进行了以下软件设计

1. 设计数据库管理模块（实时、历史资料数据库）；

(2) 数据监测与模拟：对桥位区同一地点不同高度（10米、30米、50米、60、70米）的逐时、逐分钟桥面上平均风速、最大风速、极大风速及对应风向，超声U、V、W，气温、气压、湿度、雨量进行监测；根据下层实况风向、风速，模拟各层（80米、100米、120米、180米、200米、238米）平均风速、最大风速、极大风速及对应风向；

(3) 天气预报：短临预报（0～12小时），桥位区及周边县市短期预报（未来7天），长期预报（旬、月、季度、年度），桥位区及周边县市未来10天（每12小时一段）气温、降雨、风向风速的定时、定点、定量的精细化数值预报；

(4) 预警信息：监测的气象要素（风速、气温、湿度、气压、水位、降水）超过阈值时，以红色滚动显示且在计算机上自动报警；

(5) 周边县市江河流域的水位查询；

(6) 周边县市与桥位区历史和实时气象要素的查询。

研制了集实况监测、数据查询、预报平台、应急预案及预警平台为一体气象保障服务系统。

# 4与现行有关法律、法规和强制性标准的关系

本标准将规定全省范围内各类大型桥梁建设抗风设计气候可行性论证的工作原则、工作程序、方案编制、报告编写、报告评审等内容和要求。，编制过程中遵循《中华人民共和国气象法》、《中华人民共和国标准化法》，与现行有关法律、法规和强制性标准没有矛盾。

# 5重大分歧意见的处理经过和依据

暂无

# 6标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

本标准规定了全省范围内各类大型桥梁建设抗风设计气候可行性论证的工作原则、工作程序、方案编制、报告编写、报告评审等内容和要求。主要包括桥位区气象观测塔建立、桥位区气候特征分析、主要气象灾害的调查、设计基准风速的推算、大气湍流参数计算分析、桥位区数值模拟技术研究、根据桥梁不同施工阶段需要提供定点定时的天气预报等内容。建议作为推荐性标准发布。

# 7贯彻标准的要求和措施建议

无

# 8废止现行有关标准的建议

**无**

# 9其它应予说明的事项

标准气候值需根据气候标准期的变更进行更新，更新周期为10年。