

桥梁建设抗风设计气候可行性论证 技术规范

Technical specification for climate feasibility demonstration
of wind resistant design of bridge construction

地方标准信息服务平台

2021 - 08 - 29 发布

2021 - 10 - 29 实施

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般规定	3
5 气象观测塔建设及观测	3
6 参证气象站选取及资料收集	4
7 桥位区气候特征与气象灾害分析	5
8 设计风速推算	5
9 桥位区近地层湍流特征值及风攻角计算	6
10 桥位区风参数数值模拟	7
11 报告编制	7
附录 A (规范性) 桥梁建设抗风设计气候可行性论证技术流程图	8
附录 B (规范性) t 检验方法	9
附录 C (资料性) 比值法	10
附录 D (资料性) 概率分布函数	11
附录 E (资料性) 地表粗糙度系数分类	14
附录 F (资料性) 三维超声风速仪有效数据判别	15
附录 G (资料性) 脉动风速的计算方法	16
附录 H (资料性) 湍流功率谱密度的计算方法	17
参考文献	18

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由湖南省气象局提出。

本文件由湖南省气象标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：湖南省气候中心、湖南省交通规划勘察设计院有限公司、湖南省气象科学研究所。

本文件主要起草人：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。

地方标准信息服务平台

桥梁建设抗风设计气候可行性论证技术规范

1 范围

本文件规定了大型桥梁建设抗风设计气候可行性论证的工作流程、气象观测塔建设、资料收集及处理、数值模拟、设计参数推算及报告编制等内容。

本文件适用于大型桥梁建设抗风设计气候可行性论证。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 35221—2017 地面气象观测规范 总则
- GB 50009—2012 建筑结构荷载规范
- GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范
- GB 50135—2019 高耸结构设计规范
- JTG/T 3360—01—2018 公路桥梁抗风设计规范
- QX/T 118 地面气象观测资料质量控制
- QX/T 423—2018 气候可行性论证规范 报告编制
- QX/T 426—2018 气候可行性论证规范 资料收集
- QX/T 436—2018 气候可行性论证规范 抗风参数计算
- QX/T 438—2018 桥梁设计风速计算规范
- QX/T 449—2018 气候可行性论证规范 现场观测
- QX/T 469—2018 气候可行性论证规范 总则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

风速时距 **wind speed interval**

计算平均风速所使用的时间间隔。

[来源：QX/T 438—2018，2.1]

3.2

地面粗糙度 **surface roughness**

反映地表起伏或地物、植被等高矮、稀疏的程度。

[来源：QX/T 438—2018，2.2]

3.3

重现期 **return period**

某一事件重复出现的平均间隔时间。

[来源: QX/T 438—2018, 2.4]

3.4

参证气象站 **reference meteorological station**

气象分析计算所参照或引用的桥梁所在地区或者邻近地区具有长年代气象数据的国家气象观测站。

注1: 长年代一般不少于30年。

注2: 国家气象观测站包括GB/T 485—2019《气象观测站分类及命名规则》中定义的气候观象台、基准气候站和基本气象站。

[来源: QX/T 423—2018, 3.1, 有修改]

3.5

基本风速 **basic wind speed**

参证气象站10m高度、重现期100年、10min平均的年最大风速。

[来源: JTG/T 3360—01—2018, 2.1.1, 有修改]

3.6

桥梁设计基本风速 **basic wind speed at bridge site**

桥址地面或水面以上10m高度、重现期100年、10min平均的年最大风速。

[来源: JTG/T 3360—01—2018, 2.1.2, 有修改]

3.7

设计基准风速 **reference wind speed**

桥梁或构件基准高度、重现期100年、10min平均的年最大风速。

[来源: JTG/T 3360—01—2018, 2.1.3, 有修改]

3.8

桥梁设计基准风速 **bridge reference wind speed**

特指桥梁主梁基准高度处的设计基准风速。

[来源: JTG/T 3360—01—2018, 2.1.4]

3.9

风攻角 **wind attack angle**

风的来流方向与水平面产生的夹角。

[来源: JTG/T 3360—01—2018, 2.1.5, 有修改]

3.10

风切变指数 **wind shear exponent**

用于描述风速随高度变化的幂函数中的指数。

[来源: QX/T 436—2018, 3.6]

3.11

风速标准差 **standard deviation of wind speed**

一组风速值与其平均值的离差平方和的算术平均数的平方根。

注: 它反映一组风速值的离散程度。

[来源: QX/T 436—2018, 3.7]

3.12

湍流强度 **turbulence intensity**

风速标准差与平均风速的比率。

注: 用同一组测量数据和规定的周期进行计算。

[来源: QX/T 436—2018, 3.8]

3.13

阵风风速 gust speed

1 s~3 s 时距的瞬时风速值。

[来源: QX/T 436—2018, 3.9]

3.14

阵风系数 gust factor

由平均风速推算阵风风速的比例系数, 通常采用 3 s 最大阵风风速与 10 min 平均风速的比值。

[来源: QX/T 436—2018, 3.10]

4 一般规定

4.1 桥位区设计基准风速的推算主要是(水平方向)风速放大系数和(垂直方向)风切变指数的计算或确定;数值模拟结果主要用于确定桥位区无气象观测或观测资料代表性不好时放大系数和风切变指数的确定。

4.2 主要技术内容包括:桥址处气候特征分析,重点是风的气候特征;主要气象灾害的调查,重点是大风灾害;设计基准风速的推算;大气湍流参数计算分析等。

4.3 桥梁建设抗风设计气候可行性论证技术流程见附录 A。

5 气象观测塔建设及观测

5.1 观测点选址

5.1.1 观测点宜按下述原则选址:

- 1) 选择在桥位附近四周开阔,不受遮挡,能代表桥位区域大风特征,且不受桥梁建设工程施工与运行影响的位置。
- 2) 人员较容易到达、无线传输信号较好且不影响施工的位置。

5.1.2 按 QX/T 449—2018 要求进行塔址勘察。

5.1.3 观测塔宜建在大桥的跨中附近,根据桥址处的地形特征对备选观测塔位置的气候特征进行评估后,筛选确定观测塔最终位置。如果跨越峡谷、地形复杂,宜在大桥两岸分别建立观测塔。

5.2 观测设计技术要求

5.2.1 观测塔高度以 70~150 m 为宜。观测层次 5~6 层,其中应包括 10 m 层和桥面高度附近层。三维超声风速仪宜安装在与桥面等高的位置处。

5.2.2 观测内容包括:逐时 10 min 平均风速、风向;逐时瞬时最大风速、风向;逐日 10 min 平均最大风速、风向;极大风速、风向;温度;湿度;气压;降水;三维超声风速仪观测三维瞬时风速、风向等。

5.2.3 不宜少于两年的现场观测。观测期间如果没有出现当地强风事件,应延长观测时间。

5.2.4 观测塔的技术要求包括:

- 1) 观测塔结构宜为桅杆式或塔架式,塔体结构强度按照 GB 50135—2019 设计。
- 2) 根据 GB 50057—2010 的要求安装专用避雷系统,观测塔接电电阻应小于 4 Ω。
- 3) 观测塔应悬挂明显的安全警示标志,观测塔位于航线下时,根据航空部门的要求决定是否安装航空信号灯。
- 4) 观测塔仪器应按 QX/T 449—2018 的要求进行风速传感器、风向传感器、温度传感器、湿度传

传感器和三维超声测风仪安装。

- 5) 选择取得国家或国际相应行业质量认证和计量认证的观测仪器，仪器性能基本参数应考虑测量范围、分辨力、采样频率、最大允许误差、灵敏度等。
- 6) 观测仪器布设要求必须配置稳定的供电系统，避免在盛行风下受观测塔或桥梁架构、施工机械等其他物体的干扰。

5.3 竣工验收

5.3.1 现场测试观测设备运行是否正常，检查建设设施是否与设计文件相符、数据记录与存储是否正确、备品备件是否齐全、后备电源是否满足设计要求等。

5.3.2 对建设过程的设计文件、过程记录文件、设备检定和校准报告等进行审查。

5.4 观测数据采集

5.4.1 采取无线实时传输和现场采集两种方式。如果通讯传输条件差，可到现场读取数据，且时间不超过一个月。

5.4.2 三维超声测风数据应定期到现场读取，并对运行情况进行实时监控。

5.4.3 强风事件(≥ 10.8 m/s)出现后，应及时获取三维超声风数据。

5.4.4 观测数据应进行初步质量检验和预处理后及时入库。

5.5 数据质量控制

5.5.1 各气象要素的极值范围、内部一致性、时间一致性应按照 GB/T 35221—2017 进行合理性审核。

5.5.2 对观测记录进行完整性审查，给出数据的完整性描述。有效数据完整率不应小于 95%。

有效数据完整率按式 (1) 计算：

$$\text{有效数据完整率} = \frac{\text{应测数目} - \text{缺测数目} - \text{无效数据数目}}{\text{应测数目}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

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。

5.6 观测运行管理

5.6.1 定期检查和维修观测仪器及观测塔，并做好详细记录。

5.6.2 制定观测运行监控值班制度，安排专业技术人员定期监控设备运行状态，检查观测数据接收情况并及时对数据进行审核、处理。

6 参证气象站选取及资料收集

6.1 参证气象站选取

6.1.1 参证气象站应有 30 年以上的风观测资料。

6.1.2 参证气象站与桥址距离较近，地形、地貌较为相似。

6.1.3 参证气象站测风环境宜保持长年不变或有完整的迁站对比测风记录。

6.1.4 参证气象站与观测塔同期强风风速样本的相关显著性应通过 0.05 信度检验。

6.2 资料收集

6.2.1 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。

6.2.2 参证气象站建站以来逐年及月平均风速、逐年及月 10 min 平均最大风速、风向、逐年极大风速及风向、逐年及月大风日数、逐年及月各风向频率及各风向平均风速。

6.2.3 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。

6.3 气象灾害收集、调查

6.3.1 收集桥位区附近雷雨大风、寒潮大风、偏南大风、飏线大风、龙卷风、超低空急流等典型大风危害情况，包括风速、风向及陆面建筑物、输电杆（塔）和船只等毁坏情况。

6.3.2 对极端大风危害情况进行灾害调查。

7 桥位区气候特征与气象灾害分析

7.1 桥位区主要气候特征分析

7.1.1 利用观测塔数据分析桥位区平均气温、极端最高气温、极端最低气温、平均气压、极端最高气压、极端最低气压、降水量、风速、风向等气象特征。

7.1.2 利用参证气象站资料按 QX/T 469—2018 分析桥位区主要气候特征。

7.1.3 分析造成桥位大风的主要天气系统。

7.2 风的统计特征

7.2.1 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。

7.2.2 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。

7.2.3 统计累年及月大风日数。

7.2.4 统计累年各风向的平均风速及最大风速，绘制风速玫瑰图。

7.3 桥位区大风及相关气象灾害分析

分析桥位区雷雨大风、寒潮大风、偏南大风、飏线大风、龙卷风、超低空急流等典型大风灾害天气 7.3.2 的发生频率、危害程度。

8 设计风速推算

8.1 基本风速推算方法

8.1.1 建立参证气象站年最大风速序列

- 1) 对参证气象站的历年最大风速进行高度和时距订正。订正后的序列采用 T 检验法进行均一性检验，检验方法见附录 B；
- 2) 采取比值法对测风环境变化引起的年最大风速序列的不均一性进行订正，订正方法见附录 C；
- 3) 构建离地 10 m 高 10 min 平均年最大风速序列。

8.1.2 基本风速推算

基于参证气象站年最大风速序列，宜采用极值分析方法，推算出 10 年、30 年、50 年、100 年不同重现期 10 min 平均最大风速，基本风速的推算应确保有 99% 的保证率。推算方法见附录 D。

8.2 桥梁设计基本风速推算方法

8.2.1 风速订正系数确定

采用观测塔与参证气象站不少于一年同步 10 分钟平均日最大风速资料，用比值法计算风速订正系数。订正方法见附录 C。

8.2.2 桥梁设计基本风速推算

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，计算得到桥位处的设计风速。

8.3 设计基准风速推算方法

8.3.1 风切变指数的确定

根据桥位风梯度实测资料，选取观测塔各层逐日的日最大风速大于等于某阈值的样本，采用最小二乘法，利用风随高度变化的指数公式，得到风切变指数 α 计算值，并与地表粗糙度系数分类表进行比较，综合分析确定风切变指数（见附录 E）。

8.3.2 设计基准风速的推算

根据桥位区设计风速，按照指数公式计算得到桥位处设计基准高度的设计基准风速。设计基准高度应由委托方确定。

8.3.3 桥梁设计基准风速推算

按照 JTG/T 3360—01—2018 公路桥梁抗风设计规范计算。

9 桥位区近地层湍流特征值及风攻角计算

9.1 三维超声测风数据处理

根据三维超声风速仪的数据判别码，剔除无效数据。再进行数据中的野点判别。还应进行脉动风样本数据提取。三维超声测风数据质量控制和脉动风速的计算见附录 F 和附录 G。

9.2 阵风系数计算

根据桥位气象观测塔实测资料，选取大风样本资料，计算极大风速与 10 min 平均最大风速的比值，得到阵风系数。

$$G = \frac{V_{\max}}{V_{10\min}} \dots\dots\dots (2)$$

式中 V_{\max} 为瞬时最大风速，这里时距取为 3 秒， $V_{10\min}$ 为 10 min 最大平均风速。

9.3 湍流强度计算

选取代表当地不同天气系统影响下的几次大风天气过程,计算某时距的脉动风速标准方差与平均风速的比值,得到湍流强度。计算公式如下:

$$I = \frac{\sigma}{V_{10\min}} \dots\dots\dots (3)$$

I 为湍流强度,无量纲数; σ 为 10 min 风速标准差,单位为 m/s; $V_{10\min}$ 为 10 min 平均风速,单位为 m/s。

9.4 湍流功率谱密度计算

按照附录 H 计算。

9.5 风攻角计算

风攻角按下式计算:

$$U = \sqrt{\overline{u(t)^2} + \overline{v(t)^2}} \dots\dots\dots (4)$$

$$W = \overline{w(t)} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{WAA} = \arctg \frac{W}{U} \dots\dots\dots (6)$$

式中 W 、 U 为某一时距(明确时距)垂直方向和水平方向的平均风速。

10 桥位区风参数数值模拟

10.1 模拟方案设计

根据桥位区气象观测塔以及参证气象站观测到的大风过程,确定数值模拟的起始时间。宜根据模拟区域地形以及气候特征,设计大风过程数值模拟方案。模拟方案设计包括网格划分、合适的初边值条件、参数化方案等,应同化或融合当地气象观测资料。

10.2 结果订正

如果模拟结果与实际观测存在明显差异,应调整模拟方案或采用比值法、差值法对模拟结果进行订正。订正后的结果仍需与观测结果进行对比,当两者量值接近,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,模拟结果可用于桥梁抗风设计气候可行性论证工作中。

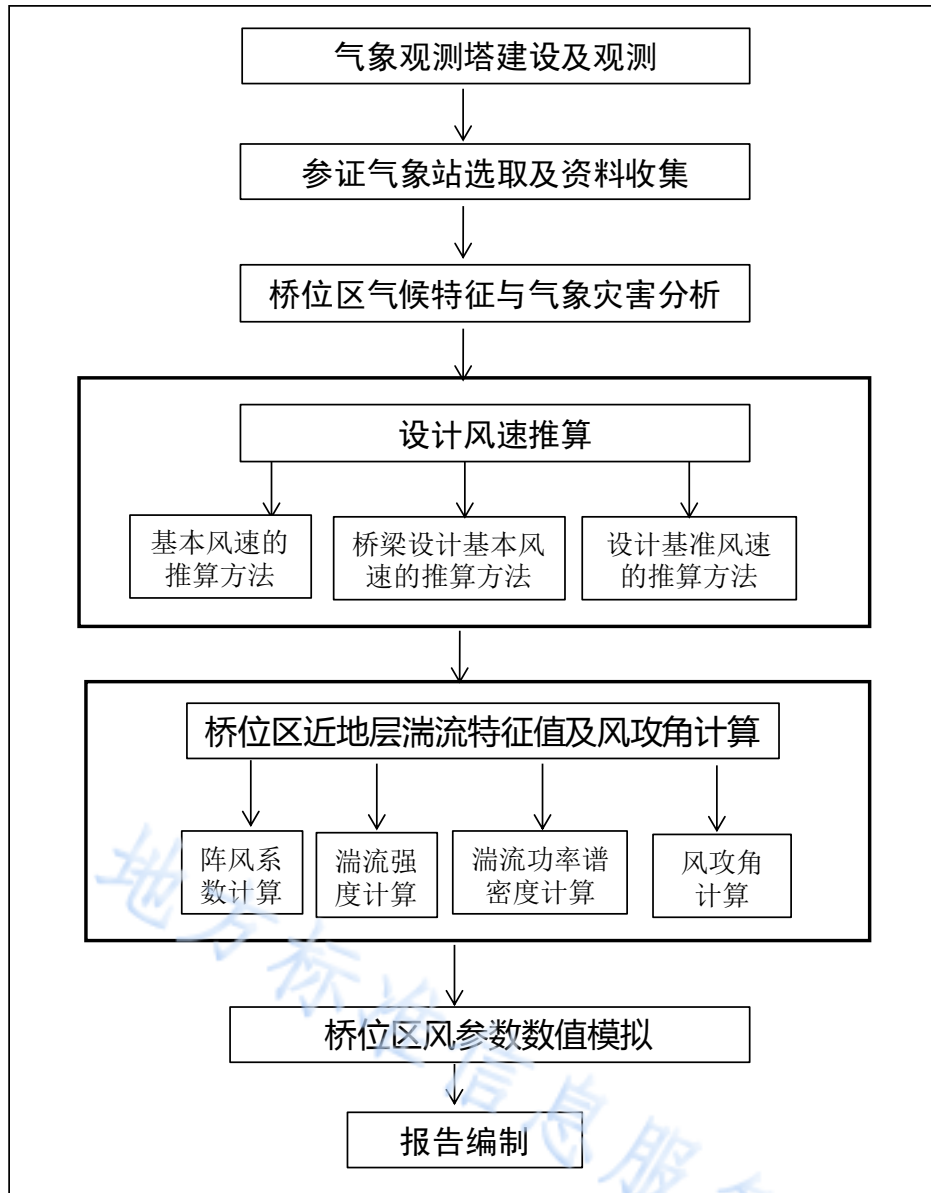
11 报告编制

按照 QX/T 423—2018 进行编制。

附录 A

(规范性)

桥梁建设抗风设计气候可行性论证技术流程图



附 录 B
(规范性)
t 检验方法

检验假设: $X_1 = X_2$

按式 (B.1) 计算统计量:

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

t : t 检验值, 无量纲数;

x_1 : 前一段随机要素的平均值, 单位为该随机要素的单位;

x_2 : 后一段随机要素的平均值, 单位为该随机要素的单位;

n_1 : 前一段随机要素的样本数, 无量纲数;

n_2 : 后一段随机要素的样本数, 无量纲数;

S_1 : 前一段随机要素的标准差, 单位为该随机要素的单位;

S_2 : 后一段随机要素的标准差, 单位为该随机要素的单位;

$|t|$ 反映在给定信度 α 条件下两段随机要素的平均值差异的显著程度, 当 $|t| > |t_\alpha|$ 时拒绝原假设。

地方标准信息服务平台

附录 C
(资料性)
比值法

相邻两测站风速 y 与 x 之间通常构成以下关系：

$$\frac{y}{x} = k(x) \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

y ：测站 1 风速，单位为米每秒 (m/s)；

x ：测站 2 风速，单位为米每秒 (m/s)；

k ：比值系数，无量纲数。

由于工程抗风设计关注大风，当 x 较大时， k 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 \geq 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 ≤ 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，用于桥位处设计风速的推算。

地方标准信息服务平台

附录 D
(资料性)
概率分布函数

目前气象数据处理中常用的极值分析方法有极值 I 型 (Gumbel) 分布, 威布尔分布 (Weibull) 分布, 皮尔逊 III 型 (P-III) 分布等。

D.1 极值 I 型 (Gumbel) 分布函数

分布函数:

$$F(x) = \exp(-\exp(-a(x-u))) \quad (a > 0, -\infty < u < \infty) \quad \text{..... (D.1)}$$

公式中 a 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:

$$x_R = u - \frac{1}{a} \ln[\ln(\frac{R}{R-1})] \quad \text{..... (D.2)}$$

它的参数估计有三种方法:

① 矩法

一阶矩 (数学期望):

$$E(x) = \frac{\gamma}{a} + u \quad \text{..... (D.3)}$$

其中: $\gamma \approx 0.57722$

二阶矩 (方差):

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2}{6a^2} \quad \text{..... (D.4)}$$

由此得到:

$$a = \frac{1.28255}{\sigma} \quad \text{..... (D.5)}$$

$$u = E(x) - \frac{0.57722}{a} \quad \text{..... (D.6)}$$

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: $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$

则经验分布函数为:

$$F^*(x_i) = \frac{i}{n+1} \quad i=1,2,\dots,n \quad \text{..... (D.7)}$$

取如下序列:

$$y_i = -\ln(-\ln(F^*(x_i))) \quad i=1,2,\dots,n \quad \text{..... (D.8)}$$

可得:

$$a = \frac{\sigma(y)}{\sigma(x)} \quad \text{..... (D.9)}$$

$$u = E(x) - \frac{E(y)}{a} \quad \text{..... (D.10)}$$

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:

$$f(x) = F'(x) = a \exp[-a(x-u) - \exp(-a(x-u))] \dots\dots\dots (D. 11)$$

当观测资料 x_1, x_2, \dots, x_n 给定时,作极大似然函数并取得对数,得:

$$\ln L = n \ln a - \sum_{i=1}^n a(x_i - u) - \sum_{i=1}^n \exp(-a(x_i - u)) \dots\dots\dots (D. 12)$$

将 a 、 u 看作变量,将上式分别对 a 、 u 求导并令其为 0,得:

$$n \exp(-au) = \sum_{i=1}^n \exp(-ax_i) \dots\dots\dots (D. 13)$$

参数 a 、 u 可用迭代法求解。

$$n(\bar{x} - \frac{1}{a}) \exp(-au) = \sum_{i=1}^n x_i \exp(-ax_i) \dots\dots\dots (D. 14)$$

D.2 韦布尔 (Weibull) 分布函数

分布函数:

$$F(x) = 1 - \exp(-\frac{x^k}{c}) \quad x > 0 \dots\dots\dots (D. 15)$$

其超过保证率函数为:

$$P(x) = \exp(-\frac{x^k}{c}) \dots\dots\dots (D. 16)$$

超过保证率 P 对应的重现期值为:

$$x_p = \exp(\frac{1}{k} \ln[-\ln(P)] + \ln c) \dots\dots\dots (D. 17)$$

其形状参数 k 及尺度参数 c 的估计多采用矩法:

$$k = (\frac{s}{v})^{-1.086} \dots\dots\dots (D. 18)$$

$$c = \frac{\bar{v}}{\Gamma(1+1/k)} \dots\dots\dots (D. 19)$$

D.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:

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-a_0)} \dots\dots\dots (D. 20)$$

式中: $\Gamma(\alpha)$ 为 α 的伽玛函数; α 、 β 、 a_0 分别为皮尔逊III型分布的形状尺度和位置未知参数, $\alpha > 0$, $\beta > 0$ 。

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 \bar{x} 、 C_v 、 C_s 具有如下关系:

$$\alpha = \frac{4}{C_s^2} \dots\dots\dots (D. 21)$$

$$\beta = \frac{2}{\bar{x}C_v C_s} \dots\dots\dots (D. 22)$$

$$a_0 = \bar{x} \left(1 - \frac{2C_v}{C_s}\right) \dots\dots\dots (D. 23)$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n}} \dots\dots\dots (D. 24)$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot \sigma^3} = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{n \cdot C_v^3} \dots\dots\dots (D. 25)$$

其中：

C_v ：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。 C_v 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。

C_s ：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， $C_s > 0$ （P-III曲线）。当其他参数不变时， C_s 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。

D.4 置信区间计算

假设母体分布含有未知参数 x ，若由子样确定的两个统计量 \hat{x}_1 和 \hat{x}_2 ，对于给定值 $\alpha (0 < \alpha < 1)$ ，满足：

$$p(\hat{x}_1 < x < \hat{x}_2) = 1 - \alpha \dots\dots\dots (D. 26)$$

则称随机区间 (\hat{x}_1, \hat{x}_2) ，为 x 的 $100(1-\alpha)\%$ 的置信区间，真值 x 在此区间的可能性为 $100(1-\alpha)\%$ 。

根据渐近理论，当样本容量 $n \rightarrow \infty$ ， \hat{x}_T 的分布近似服从正态分布，则重现期 T 的风速计算在置信水平 $100(1-\alpha)\%$ 下的置信区间为：

$$\hat{x}_L = \hat{x}_T \pm u_{1-\alpha/2} \hat{s}_T$$

式中 \hat{x}_L 为置信区间， \hat{x}_T 为某重现期风速估算值， α 为显著性水平， $u_{1-\alpha/2}$ 为标准正态分布在 $1-\alpha/2$ 的分位数， \hat{s}_T 为 \hat{x}_T 的均方差。

当 $\alpha=0.01$ 时，基本风速的推算确保有 99% 的保证率区间为 \hat{x}_L 。

附 录 E
(资料性)
地表粗糙度系数分类

E.1 地表粗糙度系数分类

表 E.1 地表粗糙度系数分类

地表类别	地表状况	地表粗糙度系数
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	0.15
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

E.2 风切变指数计算

利用风随高度变化的指数公式，根据桥位风梯度实测资料，选取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，计算可得到大风情况的风切变指数 α 。并与表 D.1 中的地表分类进行比较，综合分析后取值。

在近地层内，风速随高度变化的指数公式为：

$$u = u_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^\alpha \dots\dots\dots (E.1)$$

式中： u 为 z 高度处的风速（m/s）；

u_1 为 z_1 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。对式（D.1）作变换并等号两边取对数，即得：

$$\ln\left(\frac{u}{u_1}\right) = \alpha \ln\left(\frac{z}{z_1}\right) \dots\dots\dots (E.2)$$

$$\text{令 } y = \ln\left(\frac{u}{u_1}\right), x = \ln\left(\frac{z}{z_1}\right) \dots\dots\dots (E.3)$$

则得到线性方程：

$$y = \alpha x \dots\dots\dots (E.4)$$

将实测资料序列代入（D.3）式，得到序列： $y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n, x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ 用最小二乘法拟合回归系数，得到指数 α 的计算公式：

$$\alpha = \frac{\sum \bar{x}_i \bar{y}_i}{\sum x_i^2} \dots\dots\dots (E.5)$$

附录 F

(资料性)

三维超声风速仪有效数据判别

三维超声风速仪是利用超声波在大气中的传播速度随风速而变化的原理制成的测风仪器，能测量出 x 、 y 、 z 三个方向上的风速分量。

根据三维超声风速仪输出的质量控制信息文本来判断是否有效观测数据。分别用不同数据质量控制信息标识观测数据“可靠”、“存疑或者不可靠”、“缺测”、“无数据”。选取质量控制信息文本中标识为“可靠”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。其判断依据为：

$$|x_i - x| \geq n \times \sigma_x \cdots \cdots \cdots (F.1)$$

其中： x_i 是观测值； x 是30 min的均值； σ_x 是样本标准差； n 取值为4。

地方标准信息服务平台

附 录 G
(资料性)
脉动风速的计算方法

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：

$$u'(t) = u(t) \cos \Phi + v(t) \sin \Phi - U \cdots \cdots \cdots (G.1)$$

$$v'(t) = -u(t) \sin \Phi + v(t) \cos \Phi \cdots \cdots \cdots (G.2)$$

垂直脉动风速 $w'(t)$ 如下式：

$$w'(t) = w(t) - W \cdots \cdots \cdots (G.3)$$

气温扰动 $t'(t)$ 如下式：

$$t'(t) = t(t) - T \cdots \cdots \cdots (G.4)$$

$u'(t)$ ， $v'(t)$ ， $w'(t)$ 即为用于湍流统计分析的基本湍流数据时间序列。

地方标准信息服务平台

附录 H

(资料性)

湍流功率谱密度的计算方法

通过频域上的全积分得到脉动对应方向上的湍流动能。计算公式：

$$\int_0^{\infty} S_i(n) dn = \sigma_i^2, i = u, v, w \dots \dots \dots (H. 1)$$

n 为频率，秒 i 在频域上的分布可以描述湍流动能在不同的尺度水平上的比例。

依据《公路桥梁抗风设计规范（JTG/T 3360—01—2018）》，脉动风速在水平方向及竖向的功率谱密度函数按下式取值见《公路桥梁抗风设计规范（JTG/T 3360—01—2018）》：

$$\frac{nS_u(n)}{u_*^2} = \frac{200f}{(1+50f)^{5/3}} \dots \dots \dots (H. 2)$$

$$\frac{nS_w(n)}{u_*^2} = \frac{6f}{(1+4f)^2} \dots \dots \dots (H. 3)$$

$$f = \frac{nZ}{V(Z)} \dots \dots \dots (H. 4)$$

$$u_* = \frac{KV(Z)}{\ln \frac{Z-Z_d}{Z_0}} \dots \dots \dots (H. 5)$$

$$Z_d = \bar{H} - Z_0 / K \dots \dots \dots (H. 6)$$

式中 $S_u(n)$ ， $S_w(n)$ 分别为脉动风在主风向、侧风向、垂直向的功率谱密度函数；

n 为风的脉动频率(Hz)； u_* 为气流的摩擦速度(m/s)； K —无量纲常数， $K \approx 0.4$ ； Z —地面或水面以上的高度(根据实际情况取值)； $V(Z)$ —高度 Z 处的平均风速(m/s)； \bar{H} —周围建筑物的平均高度(根据实际情况取值)； Z_0 —地表粗糙度高度。

参 考 文 献

- [1] 曾向红, 杜东升, 吴贤云. 岳阳洞庭湖大桥桥位设计风速推算[J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (4) :89-93.
- [2] 袁正旋, 覃军, 曾向红, 吴浩. 湖南岳阳一次大暴雨过程近地层湍流特征分析[J]. 暴雨灾害, 2017, 36 (5) :431-439.
- [3] 关于印发《桥梁建设抗风设计气候可行性论证技术指南》的通知(气预函〔2011〕104号)附件-桥梁建设抗风设计气候可行性论证技术指南.
-

地方标准信息服务平台