



# 大极差情况下荷载试验承载力取值计算

牛根波<sup>1</sup>, 刘克华<sup>2</sup>, 刘福臣<sup>3</sup>

(1. 东营市经济技术开发区管理委员会, 山东 东营 257091;  
2. 东营市宏达测绘有限公司, 山东 东营 257091; 3. 山东水利职业学院, 山东 日照 276826)

**摘要:** 对于荷载试验的大极差, 各种规范没有给出统一的规定, 试验数据的处理比较随便, 造成不经济或不安全。当极差大于 30% 平均值或最大值与最小值之比大于 1.3 时, 承载力取值可采用离群值剔除法、变异系数折减法确定。案例计算分析表明, 给出的计算公式合理、计算简单方便, 可用于各种荷载试验确定承载力。

**关键词:** 荷载试验; 极差; 承载力; 离群值; 变异系数

中图分类号: TU 473      文献标志码: A      文章编号: 1002-4972(2015)07-0184-03

## Calculation of bearing capacity for loading test in large range condition

NIU Gen-bo<sup>1</sup>, LIU Ke-hua<sup>2</sup>, LIU Fu-chen<sup>3</sup>

(1. Dongying Economic and Technological Development Management Committee, Dongying 257091, China;  
2. Dongying Hongda Surveying and Mapping Co., Ltd., Dongying 257091, China;  
3. Shandong Water Polytechnic, Rizhao 276826, China)

**Abstract:** Loading tests in large range condition are not uniformly prescribed in various standards and treatment of experimental data usually runs diseconomy or unsafe. When the range is larger than 30% of the average value or the ratio of maximum and minimum is bigger than 1.3 the calculation for bearing capacity value, we can use methods such as outliers rejecting method or variation coefficient strength reduction method to calculate. Various examples show that the given formula is reasonable and easy to calculate, which can be used for determining the bearing capacity of various kinds of loading tests.

**Keywords:** loading test; range; bearing capacity; outliers; variation coefficient

荷载试验是工程地质勘察的主要原位试验之一, 在工程中得到广泛的应用。各种规范对荷载试验的承载力取值计算给出了具体的规定, JGJ 106—2003《建筑基桩检测技术规范》<sup>[1]</sup>、GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》<sup>[2]</sup>对单桩竖向抗压极限承载力统计值作了如下规定: “当极差不超过平均值的 30% 时, 取其平均值为单桩竖向抗压极限承载力; 当极差超过平均值的 30% 时, 应分析极差过大的原因, 结合工程具体情况综合确定, 必要时可增加试桩数量, 对桩数为 3 根及 3 根以下的柱下桩台, 取最小值”;

JTS 167-4—2012《港口工程桩基规范》<sup>[3]</sup>规定, 当采用单桩静荷载试验确定单桩轴向极限承载力标准值时, 当试桩数量大于 2 根时, 且各桩的极限承载力最大值与最小值之比小于等于 1.3 时, 取平均值作为单桩轴向极限承载力标准值, 其比值大于 1.3 时, 经分析确定。

GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》的浅层平板荷载试验、深层平板荷载试验以及 JGJ 79—2012《建筑地基处理技术规范》<sup>[4]</sup>的复合地基荷载试验对地基承载力的取值给出如下规定: “同一土层参加统计的试验点不应少于 3 点, 各试

收稿日期: 2014-11-15  
作者简介: 牛根波 (1970—), 男, 工程师, 从事建筑工程施工、管理工作。

验实测值的极差不得超过其平均值的 30%, 取此平均值作为该土层的地基承载力特征值”。

以上各规范对承载力的取值计算是有条件的, 即当极差小于 30% 平均值或最大值与最小值之比小于等于 1.3 时, 取其平均值为单桩竖向抗压极限承载力。但由于地质条件的复杂性, 加之测试手段、测试人员、测试环境的不同, 测试数据必然存在离散性, 在实际工作中常常会遇到极差超过平均值 30% 或最大值与最小值之比大于 1.3 的情况, 在这种情况下, 各种规范并没有给出具体的规定, 工程技术人员无所适从, 数据处理随意性大, 给工程造成安全隐患或不经济。如有的将大值舍弃, 用剩余值的平均值作为承载力; 有的将小值舍弃, 用剩余值的平均值作为承载力; 还有的将大值、小值同时舍弃, 用剩余值的平均值作为承载力。由于载荷试验耗时长、成本高, 属于小样本检测, 检测数据不能随意取舍, 因此有必要探讨大极差情况下承载力取值计算方法。

### 1 离群值剔除法

导致极差偏大的主要原因是观测数值中出现了离群值, 离群值就是在一组平行测定数据中, 有时会出现个别值与其他值相差较远的值。大极差情况下承载力的取值, 应对观测数据中的离群值进行剔除, 用剩余值的平均值作为承载力。

将载荷试验测定数据由小至大排列  $x_1 < x_2 < x_3 < \cdots < x_{n-1} < x_n$ , 其中可疑值可能为小值  $x_1$  或大值  $x_n$ , 从大值、小值两个端部构建统计量<sup>[5]</sup>:

大值端部的统计量:

$$Q_{\text{计}} = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} \tag{1}$$

小值端部的统计量:

$$Q_{\text{计}} = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1} \tag{2}$$

根据样本数  $n$  和所要求的置信水平查表 1 确定临界值  $Q_{\text{表}}$ <sup>[5]</sup>, 如  $Q_{\text{计}} > Q_{\text{表}}$ , 则舍弃可疑值; 如  $Q_{\text{计}} < Q_{\text{表}}$ , 则保留可疑值。需要注意的是, 如果某值作为离群值舍弃后, 还应用剩下的观测值重新进行检验, 直至排除所有的可疑值为止, 用剩

余值的平均值作为承载力。

| 表 1 90%、95% 置信水平临界值 $Q_{\text{表}}$ |         |         |
|------------------------------------|---------|---------|
| 样本数                                | 90% 临界值 | 95% 临界值 |
| 3                                  | 0.90    | 0.97    |
| 4                                  | 0.76    | 0.83    |
| 5                                  | 0.64    | 0.71    |
| 6                                  | 0.56    | 0.63    |
| 7                                  | 0.51    | 0.57    |
| 8                                  | 0.47    | 0.61    |
| 9                                  | 0.44    | 0.56    |
| 10                                 | 0.41    | 0.53    |

在一定置信水平下, 离群值的剔除有两种可能: 一是该值为离群值予以剔除, 被剔除的离群值有可能为大值, 也有可能为小值; 二是该值不是离群值无法剔除, 按照规范的规定仍然无法确定承载力, 在这种情况下可对大值进行强制剔除, 是偏于安全的考虑, 如 JGJ 106—2003 《建筑基桩检测技术规范》的条文说明中“若低值承载力出现的原因并非偶然的施工质量造成, 且基础形式为柱下单桩承台, 出于安全考虑, 依次去掉高值后取平均, 直到极差满足 30% 或最大值与最小值之比小于等于 1.3 的条件”, 这种处理实际上是对大值强制进行舍弃。离群值剔除法方法简便、概率意义明确, 大极差情况下可用于各种载荷试验承载力的取值。

### 2 变异系数折减法

极差过大情况下, 说明观测数据离散性大, 其指标的变异系数大, 可采用变异系数折减方法来确定承载力。高大钊<sup>[6]</sup>对桩静载荷试验极差为 30% 时的变异系数进行了研究, 无论 3 根试桩或 4 根试桩, 相当于极差为 30% 的变异系数最大值为 0.17, 根据桩的静载荷试验, 单桩极限承载力标准值按下式计算:

$$R_k = R_m [1 - \xi_p (\delta - 0.17)] \tag{3}$$

式中:  $R_m$  为根据原始数据统计得到的单桩极限承载力平均值;  $\delta$  为根据原始数据统计得到的变异系数, 当变异系数小于 0.17 时取 0.17;  $\xi_p$  为与试桩数有关的系数, 查表 2<sup>[6]</sup>。

表 2 计算系数  $\xi_p$

| 试桩数     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| $\xi_p$ | 1. 67 | 1. 20 | 0. 95 | 0. 87 |

该法考虑了检测数据的离散性，充分利用了所有检测数据的信息，根据变异系数的大小对单桩承载力进行修正。对于浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验、复合地基载荷试验大极差情况下，地基承载力也可按上述方法确定。

3 算例

某工程实测桩基承载力为 1 900、2 043、2 106、2 110、2 650 kN，按离群值剔除法、变异系数折减法确定单桩承载力。

极差为 750 kN，平均值为 2 162 kN，极差超过平均值的 30%，属于大极差情况，分别用离群值剔除法、变异系数折减法确定单桩承载力。

1) 离群值剔除法。

5 组检测数据中，经检验最小值 1 900 kN 不是离群值；而最大值 2 650 kN 与其他数值相差较大，初步怀疑为离群值，根据式(1)计算统计量  $Q_{\text{计}}=0.72$ ，根据  $n=5$ ，90% 置信水平查表 1 得到的  $Q_{\text{表}}=0.64$ ， $Q_{\text{计}} > Q_{\text{表}}$ ，2 650 kN 属于离群值应剔除。舍弃后对剩余的 4 组数据中的大值 2 110 kN 进行离群值检验，检验结果 2 110 kN 应予保留。剩余的 4 个数据的平均值为 2 040 kN，极差为 200 kN，满足小于 30% 平均值的要求，故单桩竖向抗压极限承载力标准值取平均值 2 040 kN。

2) 变异系数折减法。

采用原始检测数据计算的平均值  $R_m=2\ 162\text{ kN}$ ，标准差  $\sigma=285.84\text{ kN}$ ，变异系数  $\delta=0.13$ ，变异系数小于 0.17 时取 0.17，由表 2 查得计算系数  $\xi_p=0.95$ ，由式(3)计算得到单桩极限承载力标准值  $R_k=2\ 162\text{ kN}$ 。

离群值剔除法、变异系数折减法两种方法得到的单桩极限承载力标准值并不相等，其相对误差为 5.6%，其相对误差在容许范围内。由于此例检测数据的变异系数小于 0.17，故单桩极限承载力标准值取其平均值 2 162 kN。如果变异系数大

于 0.17，由式(3)计算得到的单桩极限承载力标准值必然小于平均值 2 162 kN，两种方法计算值将接近，其相对误差将变小。因此在大极差情况下，离群值剔除法、变异系数折减法计算结果将趋于一致。

在工程设计中为安全起见，可取离群值剔除法、变异系数折减法计算结果的小值作为单桩极限承载力标准值。

4 结论

1) 单桩静载荷、地基浅层平板载荷、深层平板载荷、复合地基等载荷试验，当极差大于 30% 平均值或最大值与最小值之比大于 1.3 时，如存在离群值，可将离群值剔除，用剩余值的平均值作为承载力。所剔除的离群值可能为大值，也可能为小值，也可能同时为大值和小值。

2) 当极差大于 30% 平均值或最大值与最小值之比大于 1.3 时，但不存在离群值时，无法将离群值剔除，可依次对大值进行强制剔除，这样处理是偏于安全的。

3) 单桩静载荷试验，当极差大于 30% 平均值或最大值与最小值之比大于 1.3 时，也可采用变异系数折减法确定单桩极限承载力标准值。

4) 离群值剔除法、变异系数折减法两种方法得到的单桩极限承载力标准值并不相等，其相对误差在容许范围内。如果变异系数大于 0.17，离群值剔除法、变异系数折减法计算结果将趋于一致。可取离群值剔除法、变异系数折减法计算结果的小值，作为单桩极限承载力标准值。

参考文献：

[1] JGJ 106—2003 建筑基桩检测技术规范[S].

[2] GB 50007—2011 建筑地基基础设计规范[S].

[3] JTS 167-4—2012 港口工程桩基规范[S].

[4] JGJ 79—2012 建筑地基处理技术规范[S].

[5] 马祥配, 刘福臣. 岩土工程检测常见问题处理[J]. 中国勘察设计, 2013(3): 96-98.

[6] 高大钊. 岩土工程勘察与设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.

(本文编辑 武亚庆)