

文章编号: 0451-0712(2010)07-0085-06

中图分类号: TU446

文献标识码: A

# 红黏土地区地基承载力的可拓综合评测方法

柏巍<sup>1</sup>, 万智<sup>2</sup>

(1 中国科学院武汉岩土力学研究所岩土力学与工程国家重点实验室 武汉市 430071;

2 湖南省交通科学研究院 长沙市 410015)

**摘要:** 从室内物理力学性能指标出发, 考虑天然含水率、容重、液限、液性指数、压缩系数、黏聚力、内摩擦角等多个影响因素, 通过可拓学理论建立了红黏土地基承载力可拓评测模型, 并对其进行了综合评测, 结果表明: 可拓综合评测方法所预测的结果与现场原位试验所得到的地基承载力特征值和模量的分布规律较为一致, 并且其他区域红黏土地基承载力运用此方法也能得出准确的结果, 说明可拓综合评测方法在红黏土地基承载力预测上的应用是可行的。

**关键词:** 红黏土; 承载力; 可拓学; 载荷试验

红黏土是一种广泛分布在我国的贵州、广西、云南、湖南等省(自治区)的特殊性土类<sup>[1-3]</sup>, 具有高天然含水率、高液限、高塑性指数、高孔隙比等基本特征。但其却有较高的力学强度和较低的压缩性, 这与具有类似指标的一般黏性土的规律完全不同。红黏土地基承载力的评价, 一般是基于静载试验、静力触探或预钻式旁压试验等原位测试资料的经验法<sup>[3]</sup>, 但也存在一些缺点或需要改进的地方, 如静载试验较耗时间、人力、物力, 静力触探机理尚未明确, 预钻式旁压试验对钻孔的成孔质量要求较高等。而且红黏土地基承载力值受众多因素的影响, 如试验手段、荷载种类、土性参数等, 各种因素与承载力

呈现复杂的非线性关系。因此是否可以在分析时将多种因素综合考虑, 建立可以从定量和定性两个角度去综合评测的模型, 再结合适量的原位试验验证, 得出一种适宜于红黏土地区推广的简便的评判模型呢? 近年来学者做出有益的尝试, 如提出模糊评判等分析方法<sup>[4]</sup>, 从而实现了从定性分析到定量评价的转化。但模糊数学的隶属函数仅属于 $[0, 1]$ , 有可能导致相关属性占优, 从而造成隶属度出现偏差等问题。本文从室内物理力学性能指标出发, 引入关联函数为 $(-\infty + \infty)$ 的可拓综合评测方法, 以期建立一种简便且精度更高的红黏土地基承载力的综合评测模型。

基金项目: 西部交通建设科技项目, 项目编号 200631878530

收稿日期: 2010-03-03

rockfall which is well investigated. And it is recommended that priority can be given to support technique and be careful to adopt removal measures. The passive mitigation techniques is suitable for the protection of thread-like project threatened by rockfall hazards. Its advantage is the technique can fully and effectively intercept the moving rockfall. But subject to restrictions its interception capability, the passive mitigation techniques is often used to intercept rockfall which size is below a few cubic meters. The effective design of passive mitigation techniques depends on the reliability of calculation results of rockfall motion parameters, such as the movement path, jumping height, velocity, kinetic parameters. The rockfall restraining nets and semi-rigid rockfall retaining wall, avoiding some shortcomings for traditional rigid rockfall retaining wall, are better measures for passive mitigation. For specific rockfall mitigation project, combination use of active and passive mitigation techniques is worthy of recommendation.

**Key words:** rockfall; active mitigation techniques; passive mitigation techniques

### 1 可拓学综合评测理论体系

由中国学者蔡文等人(1983)提出的可拓学,为红黏土地基承载力评价提供了一种比较可行的途径<sup>5</sup>。可拓学综合评测方法以可拓集合理论为基础,可以根据实际情况,构造合适的经典域和节域物元,从而建立考虑多类别、多指标参数的综合评测模型,使预测结果具有更高的精度,因此在各个领域都有应用。目前,可拓学也逐步引入到了岩土工程和地质工程中,如对工程岩体质量进行分级,对边坡工程的稳定性进行研究等等<sup>6</sup>。

可拓学是研究事物的可拓性以及可拓的规律与方法,并用以解决不相容矛盾问题的学科。其理论体系主要由基元理论、可拓集合理论和可拓逻辑3个部分组成。基元理论根据事物基本的物元、事元和关系元,提供描述事物变化和矛盾转化的形式化语言;可拓集合理论提供事物量变与质变过程的定量化工具;可拓逻辑是研究矛盾问题向不矛盾问题变换和推理规律的科学,是可拓学的逻辑基础。利用可拓学理论对红黏土地基承载力进行综合评测

的基本步骤如下:(1)选择评测对象和建立评价指标体系;(2)确定经典物元和节域物元;(3)确定各取样点待测物元;(4)确定待测样本各因子与各类别的关联度;(5)确定评价指标权重和待测样本与各类别的隶属度;(6)待测样本所属类别的判定。

### 2 红黏土区域地基承载力可拓评测模型

#### 2.1 影响红黏土地基承载力的因素及评价标准选择

前文已提到,红黏土地基承载力受众多因素的影响,如试验手段、荷载种类、土性参数等,其中土性参数为最根本和最直接的因素。土性的主要物理力学参数有天然含水率、容重、孔隙比、液限、塑性指数、液性指数、压缩系数、压缩模量、变形模量、旁压模量、黏聚力、内摩擦角等等。本文根据红黏土室内各种物理力学性能试验,选取的评价指标分别为: $c_1$ 天然含水率  $w$ 、 $c_2$ 容重  $\gamma$ 、 $c_3$ 液限  $w_L$ 、 $c_4$ 液性指数  $I_L$ 、 $c_5$ 压缩系数  $\alpha_{1-2}$ 、 $c_6$ 黏聚力  $c$ 、 $c_7$ 内摩擦角  $\varphi$ 。建立的综合评价指标等级如表1所示。

表1 红黏土地基承载力综合评价指标等级

评价指标	等级 1	等级 2	等级 3	等级 4	等级 5
$c_1$ 天然含水率 $w/\%$	$\leq 20.0$	20.0~30.0	30.0~40.0	40.0~50.0	$\geq 50.0$
$c_2$ 容重 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	$\geq 20.0$	16.0~20.0	13.0~16.0	10.0~13.0	$\leq 10.0$
$c_3$ 液限 $w_L/\%$	$\geq 75.0$	60.0~75.0	45.0~60.0	30.0~45.0	$\leq 30.0$
$c_4$ 液性指数 $I_L$	$\leq 0.0$	0.0~0.33	0.33~0.67	0.67~1.0	$\geq 1.0$
$c_5$ 压缩系数 $\alpha_{1-2}/\text{MPa}^{-1}$	$\leq 0.1$	0.1~0.23	0.23~0.36	0.36~0.5	$\geq 0.5$
$c_6$ 黏聚力 $c/\text{kPa}$	$\geq 100.0$	67.2~100.0	46.6~67.2	20.0~46.6	$\leq 20.0$
$c_7$ 内摩擦角 $\varphi/(\text{^\circ})$	$\geq 30.0$	21.0~30.0	12.0~21.0	3.0~12.0	$\leq 3.0$

根据相关的规范和手册<sup>7-8</sup>及所取原状土样的室内物理力学性能试验,本文将各评价指标做5级定量划分,并规定从第1级到5级评价程度分别为很好、好、一般、较差、差,评价等级所对应的数值如表1所示。

#### 2.2 确定经典物元和节域物元

可拓学通过引入由事物、特征以及对应特征的量值构成的物元作为描述事物的基本元素,事物的名称  $I$ 、特征  $c$  和量值  $X$  称为物元  $R$  的三要素。物元  $R$  表示如下:

$$R = (I, c, X) \tag{1}$$

如果事物  $I_i$  具  $n$  个特征向量值  $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$

时,则  $R$  为  $n$  维物元:

$$R_i = (I_i, C, X) = \begin{bmatrix} I_i & c_1 & X_{i1} \\ & c_2 & X_{i2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n & X_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_i & c_1 & (a_{i1}, b_{i1}) \\ & c_2 & (a_{i2}, b_{i2}) \\ & \dots & \dots \\ & c_n & (a_{in}, b_{in}) \end{bmatrix} \tag{2}$$

式中:  $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}$  分别为  $c_1, c_2, \dots, c_n$  的取值范围,即为经典域,且有  $X_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}) (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 。

将评判等级(很好、好、一般、较差、差)分别记为  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$ , 相应的影响因子分别记为  $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7$ 。结合物元概念,由表1可构造

出红黏土地基承载力综合评价指标等级的经典物元如下:

$$R_1 = \begin{bmatrix} I_1 & c_1 & (15\ 0, 20\ 0) \\ & c_2 & (21\ 0, 25\ 0) \\ & c_3 & (75\ 0, 85\ 0) \\ & c_4 & (-0\ 12, 0\ 1) \\ & c_5 & (0\ 05, 0\ 10) \\ & c_6 & (100\ 0, 110\ 0) \\ & c_7 & (30\ 0, 35\ 0) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} I_2 & c_1 & (20\ 0, 30\ 0) \\ & c_2 & (19\ 0, 21\ 0) \\ & c_3 & (65\ 0, 75\ 0) \\ & c_4 & (0\ 1, 0\ 33) \\ & c_5 & (0\ 1, 0\ 25) \\ & c_6 & (67\ 2, 100\ 0) \\ & c_7 & (21\ 0, 30\ 0) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} I_3 & c_1 & (30\ 0, 40\ 0) \\ & c_2 & (16\ 0, 19\ 0) \\ & c_3 & (55\ 0, 65\ 0) \\ & c_4 & (0\ 33, 0\ 67) \\ & c_5 & (0\ 25, 0\ 4) \\ & c_6 & (46\ 6, 67\ 2) \\ & c_7 & (12\ 0, 21\ 0) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} I_4 & c_1 & (40\ 0, 50\ 0) \\ & c_2 & (14\ 0, 16\ 0) \\ & c_3 & (45\ 0, 55\ 0) \\ & c_4 & (0\ 67, 1\ 0) \\ & c_5 & (0\ 4, 0\ 55) \\ & c_6 & (20\ 0, 46\ 6) \\ & c_7 & (3\ 0, 12\ 0) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} I_5 & c_1 & (50\ 0, 60\ 0) \\ & c_2 & (10\ 0, 14\ 0) \\ & c_3 & (35\ 0, 45\ 0) \\ & c_4 & (1\ 0, 1\ 1) \\ & c_5 & (0\ 55, 0\ 70) \\ & c_6 & (10\ 0, 20\ 0) \\ & c_7 & (0\ 0, 3\ 0) \end{bmatrix} \quad (7)$$

令  $P$  为红黏土区域地基承载力评价类别全体,  $X_{p1}, X_{p2}, \dots, X_{pm}$  为  $P$  关于  $c_1, c_2, \dots, c_n$  的取值范围, 即节域, 如式(8)所示:

$$R_p = (P, C, X_p) = \begin{bmatrix} P & c_1 & X_{p1} \\ & c_2 & X_{p2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n & X_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & c_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & c_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \dots & \dots \\ & c_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix} \quad (8)$$

则建立的节域物元如式(9)所示:

$$R_p = \begin{bmatrix} P & c_1 & (15\ 0, 60\ 0) \\ & c_2 & (10\ 0, 25\ 0) \\ & c_3 & (35\ 0, 85\ 0) \\ & c_4 & (-0\ 12, 1\ 1) \\ & c_5 & (0\ 05, 0\ 70) \\ & c_6 & (10\ 0, 110\ 0) \\ & c_7 & (0, 35\ 0) \end{bmatrix} \quad (9)$$

### 2.3 确定各取样点待测物元

待测物元  $R_x$  可由式(10)建立, 红黏土地基承载力各取样点的待测物元分别为  $R_{x1}, R_{x2}, R_{x3}, R_{x4}, R_{x5}$ , 列举  $R_{x1}, R_{x3}, R_{x5}$  如式(11)~式(13)所示:

$$R_x = (P, C, X) = \begin{bmatrix} P_x & c_1 & x_1 \\ & c_2 & x_2 \\ & c_3 & x_3 \\ & c_4 & x_4 \\ & c_5 & x_5 \\ & c_6 & x_6 \\ & c_7 & x_7 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$R_{x1} = \begin{bmatrix} P_{x1} & c_1 & 29.2 \\ & c_2 & 16.8 \\ & c_3 & 61.3 \\ & c_4 & -0.16 \\ & c_5 & 0.75 \\ & c_6 & 67.0 \\ & c_7 & 21.1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$R_{x3} = \begin{bmatrix} P_{x2} & c_1 & 25.8 \\ & c_2 & 16.8 \\ & c_3 & 57.7 \\ & c_4 & -0.09 \\ & c_5 & 0.71 \\ & c_6 & 79.3 \\ & c_7 & 14.3 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$R_{x5} = \begin{bmatrix} P_{x3} & c_1 & 28.9 \\ & c_2 & 17.5 \\ & c_3 & 75.2 \\ & c_4 & -0.24 \\ & c_5 & 0.17 \\ & c_6 & 38.6 \\ & c_7 & 34.1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

### 2.4 确定待测样本各因子与各类别的关联度

在可拓学中,为了描述各类别内事物的区别,引入了距的概念,即根据距值不同来描述点在区间内的位置的不同,再运用关联函数即可表示事物符合某项评价指标的程度,从而将定性描述拓展为定量描述。构造关联函数如式(14)所示:

$$K_i(x_j) = \begin{cases} \frac{-\rho(x_j, X_{ij})}{|X_{ij}|} & (x_j \in X_{ij}) \\ \frac{\rho(x_j, X_{ij})}{\rho(x_j, X_{pi}) - \rho(x_j, X_{ij})} & (x_j \notin X_{ij}) \end{cases} \quad (14)$$

其中:

$$\rho(x_j, X_{ij}) = \left| x_j - \frac{(a_{ij} + b_{ij})}{2} \right| - \frac{(b_{ij} - a_{ij})}{2} \quad (15)$$

$$\rho(x_j, X_{pj}) = \left| x_j - \frac{(a_{pj} + b_{pj})}{2} \right| - \frac{(b_{pj} - a_{pj})}{2} \quad (16)$$

根据关联函数即可计算待测样本与各类别的关联度,记为矩阵  $K$ ,则可得到的  $K_{x1}$ 、 $K_{x2}$ 、 $K_{x3}$ 、 $K_{x4}$ 、 $K_{x5}$ 。列举  $K_{x1}$ 、 $K_{x3}$ 、 $K_{x5}$  如式(17)~式(19)所示:

$$K_{x1} = \begin{bmatrix} K_1(x_1) & K_1(x_2) & \dots & K_1(x_7) \\ K_2(x_1) & K_2(x_2) & \dots & K_2(x_7) \\ K_3(x_1) & K_3(x_2) & \dots & K_3(x_7) \\ K_4(x_1) & K_4(x_2) & \dots & K_4(x_7) \\ K_5(x_1) & K_5(x_2) & \dots & K_5(x_7) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0.393 & -0.382 & -0.366 & -0.182 & -1.083 & -0.434 & -0.390 \\ 0.080 & -0.244 & -0.135 & -1.182 & -1.111 & -0.005 & 0.011 \\ -0.053 & 0.267 & 0.370 & -1.089 & -1.167 & 0.010 & -0.007 \\ -0.432 & -0.105 & -0.210 & -1.051 & -1.333 & -0.322 & -0.396 \\ -0.594 & -0.292 & -0.408 & -1.036 & -0.333 & -0.522 & -0.566 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$K_{x3} = \begin{bmatrix} -0.349 & -0.382 & -0.433 & 0.136 & -1.017 & -0.403 & -0.523 \\ 0.420 & -0.244 & -0.243 & -0.864 & -1.022 & 0.369 & -0.319 \\ -0.280 & 0.267 & 0.270 & -0.933 & -1.033 & -0.283 & 0.256 \\ -0.568 & -0.105 & -0.106 & -0.962 & -1.067 & -0.516 & -0.232 \\ -0.691 & -0.292 & -0.359 & -0.973 & -0.067 & -0.659 & -0.926 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$K_{x5} = \begin{bmatrix} -0.390 & -0.318 & 0.020 & -0.545 & -0.368 & -0.682 & 0.180 \\ 0.110 & -0.750 & -0.020 & -1.545 & 0.467 & -0.500 & -0.820 \\ -0.073 & 0.250 & -0.510 & -1.267 & -0.400 & -0.219 & -0.936 \\ -0.444 & -0.167 & -0.673 & -1.152 & -0.657 & 0.301 & 0.961 \\ -0.603 & -0.318 & -0.755 & -1.107 & -0.760 & -0.394 & -0.972 \end{bmatrix} \quad (19)$$

### 2.5 确定待测样本对各类别权系数

待测样本各因子对各类别权系数可以根据各个因子与对应的特征向量经典域中上限值的比值所占此类别各因子与对应特征向量经典域中上限值比值之和的比例来确定。同时为了避免负权重系数的出现,可以采用距的概念对论域和待测样本区域进行平移,采用式(20)计算。

$$\lambda_{ij} = \frac{x_j}{b_{ij}} \bigg/ \sum_{j=1}^n \frac{x_j}{b_{ij}} \quad (20)$$

计算各类别对应每个因子的权系数  $\lambda_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, 5; j=1, 2, \dots, 7$ ) 后,便可得到  $\lambda_{x1}$ 、 $\lambda_{x2}$ 、 $\lambda_{x3}$ 、 $\lambda_{x4}$ 、 $\lambda_{x5}$ 。其中将  $\lambda_{x1}$ 、 $\lambda_{x3}$ 、 $\lambda_{x5}$  列于式(21)~式(23):

$$\lambda_{x1} = \begin{bmatrix} \lambda_1(x_1) & \lambda_1(x_2) & \dots & \lambda_1(x_7) \\ \lambda_2(x_1) & \lambda_2(x_2) & \dots & \lambda_2(x_7) \\ \lambda_3(x_1) & \lambda_3(x_2) & \dots & \lambda_3(x_7) \\ \lambda_4(x_1) & \lambda_4(x_2) & \dots & \lambda_4(x_7) \\ \lambda_5(x_1) & \lambda_5(x_2) & \dots & \lambda_5(x_7) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.118 & 0.055 & 0.058 & 0.062 & 0.608 & 0.049 & 0.049 \\ 0.128 & 0.105 & 0.108 & 0.083 & 0.395 & 0.088 & 0.093 \\ 0.105 & 0.127 & 0.136 & 0.073 & 0.270 & 0.144 & 0.145 \\ 0.076 & 0.136 & 0.144 & 0.054 & 0.176 & 0.186 & 0.228 \\ 0.033 & 0.081 & 0.091 & 0.027 & 0.072 & 0.225 & 0.472 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\lambda_{x3} = \begin{bmatrix} 0.110 & 0.057 & 0.058 & 0.071 & 0.607 & 0.062 & 0.035 \\ 0.119 & 0.111 & 0.107 & 0.095 & 0.393 & 0.110 & 0.066 \\ 0.098 & 0.134 & 0.135 & 0.083 & 0.269 & 0.179 & 0.103 \\ 0.071 & 0.145 & 0.145 & 0.063 & 0.178 & 0.235 & 0.164 \\ 0.033 & 0.092 & 0.098 & 0.033 & 0.077 & 0.303 & 0.364 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$\lambda_{x5} = \begin{bmatrix} 0.214 & 0.104 & 0.131 & 0.102 & 0.252 & 0.052 & 0.144 \\ 0.173 & 0.150 & 0.180 & 0.103 & 0.122 & 0.069 & 0.204 \\ 0.123 & 0.157 & 0.197 & 0.077 & 0.072 & 0.098 & 0.276 \\ 0.078 & 0.148 & 0.185 & 0.051 & 0.042 & 0.112 & 0.384 \\ 0.028 & 0.072 & 0.097 & 0.021 & 0.014 & 0.112 & 0.657 \end{bmatrix} \quad (23)$$

### 2.6 确定待测样本对各类别的隶属度及预测结果

在取得待测样本各因子对各类别的关联度和权系数之后,即可得到待测样本  $P_x$  对某类别  $I_i$  的关联度,由式(24)计算:

$$K_i(P_x) = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} K_i(x_j) \quad (24)$$

其中,待测样本  $P_{x1}$ 、 $P_{x3}$ 、 $P_{x5}$  各类别的关联度  $K(P_{x1})$ 、 $K(P_{x3})$ 、 $K(P_{x5})$  如式(25)~式(27)所示:

$$K(P_{x1}) = [K_1(P_{x1}), K_2(P_{x1}), K_3(P_{x1}), K_4(P_{x1}), K_5(P_{x1})]$$

$$= [-0.800, -0.567, -0.315, -0.519, -0.516] \quad (25)$$

$$K(P_{x3}) = [K_1(P_{x3}), K_2(P_{x3}), K_3(P_{x3}), K_4(P_{x3}), K_5(P_{x3})]$$

$$= [-0.736, -0.467, -0.335, -0.480, -0.659] \quad (26)$$

$$K(P_{x5}) = [K_1(P_{x5}), K_2(P_{x5}), K_3(P_{x5}), K_4(P_{x5}), K_5(P_{x5})]$$

$$= [-0.272, -0.400, -0.477, -0.606, -0.829]$$

(27)

根据最大关联原则  $K_i = \max K_i(P_x)$ , 即可得到红黏土各取样点的地基承载力的评测等级。待测样本对各类别的隶属度和可拓综合评测结果列于表2。

表2 红黏土取样点处地基承载力可拓综合评价隶属度及预测结果

取样点	桩号	位置描述	$K_1(P_x)$	$K_2(P_x)$	$K_3(P_x)$	$K_4(P_x)$	$K_5(P_x)$	$\max K_i(P_x)$	预测结果
1	K166+520	距路中线-8 m, 高程+333 m, 坡脚处, 清表后	-0.800	-0.567	-0.315	-0.519	-0.516	-0.315	III
2	K166+495	距路中线-8 m, 高程+335 m, 坡中处, 清表后	-0.390	-0.279	-0.141	-0.171	-0.374	-0.141	III
3	K166+420	距路中线+8 m, 高程+326 m, 坡脚处, 清表后	-0.736	-0.467	-0.335	-0.480	-0.659	-0.335	III
4	K170+380	距路中线+8 m, 高程+323 m, 坡谷, 清表后	-1.248	-1.088	-1.165	-1.258	-0.652	-0.652	V
5	K170+460	距路中线-8 m, 高程+332 m, 开挖4.5 m后	-0.272	-0.400	-0.477	-0.606	-0.829	-0.272	I

注: 在距路中线+8 m 或-8 m 中, “+”表示左, “-”表示右。

### 3 原位试验验证

为了验证可拓综合评测方法所预测结果的准确性, 在红黏土各取样点采用平板载荷试验对地基承载力进行原位测试。平板载荷试验采用的是面积为  $0.30 \text{ m}^2$  的刚性承压板及逐级加荷方式, 稳定标准采用《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001) 中的相对稳定法, 终止试验的条件为荷载-沉降 ( $P-S$ ) 曲线出现明显的陡降段或承压板周围土体出现明显侧向挤出隆起或径向裂缝持续发展。平板载荷所得到的承载力和模量整理于表3。

由表2可知, K166+520、K166+495、K166+420 评测等级为 III级, K170+380 的评测等级为 V级, K170+460 的评测等级为 I级。该结果与表3中的现场平板载荷试验所得到的地基承载力特征值和模量的分布规律较为一致, 说明可

表3 红黏土取样点处平板载荷试验的承载力与模量

试验点	桩号	平板载荷试验	
		承载力特征值/kPa	变形模量/MPa
1	K166+520	204.2	9.98
2	K166+495	296.2	14.48
3	K166+420	251.9	12.31
4	K170+380	97.1	4.76
5	K170+460	416.5	20.36

拓综合评测方法在红黏土地基承载力预测上的应用是可行的, 据此可得到评测等级所对应的红黏土地基承载力大致范围: I级、II级  $\geq 300 \text{ kPa}$ , III级为  $200 \sim 300 \text{ kPa}$ , IV级为  $100 \sim 200 \text{ kPa}$ , V级  $\leq 100 \text{ kPa}$ 。笔者将其他地区红黏土的土性参数<sup>[9-10]</sup>采用上述评测方法代入可以得到相似的结果, 如表4所示。

表4 其他地区红黏土物理力学参数承载力及评判结果

区域	红黏土物理力学参数							可拓综合评测					实测地基承载力/kPa	
	$c_1$ %	$c_2$ kN/m <sup>3</sup>	$c_3$ %	$c_4$	$c_5$ MPa <sup>-1</sup>	$c_6$ kPa	$c_7$ (°)	$K_1(P_x)$	$K_2(P_x)$	$K_3(P_x)$	$K_4(P_x)$	$K_5(P_x)$		评测结果
武广客运专线红黏土地基 DK1784+889	21.4	18.2	55.8	0.84	0.12	55.4	24.4	-0.288	-0.135	-0.127	-0.430	-0.586	III	260
兴义机场红黏土地基试验I区	42.25	16.8	70	0.01	0.41	60.6	13.9	-0.490	-0.197	0.034	-0.152	-0.439	III	240

#### 4 结语

(1)本文从室内物理力学性能指标出发,通过可拓学理论体系建立了红黏土地基承载力可拓预测模型,并对其进行了综合评测,所得结果与现场原位试验所得到的地基承载力特征值和模量的分布规律较为一致。并且其他区域红黏土地基承载力运用此方法也能得出较准确的结果,说明可拓综合评测方法在红黏土地基承载力预测上的应用是可行的。

(2)可拓综合评测方法在数学逻辑上比较严谨,可以定性定量地考虑多个影响因素,待测样本数量不受限制,预测结果精度较好。虽然在计算过程中可以避免主观因素的影响,但其评价等级的划分依然需依赖于大量的统计数据,也存在着关联函数较为简单的问题,这些还有待进一步的探索。

#### 参考文献:

[1] 谭罗荣,孔令伟.特殊岩土工程土质学[M].北京:科

学出版社,2006

[2] 赵颖文,等.广西原状红粘土力学性状与水敏性特征[J].岩土力学,2003,24(4):568—572  
 [3] 孟高头.土体原位测试机理、方法及其工程应用[M].北京:地质出版社,1997  
 [4] 石刚,等.黄土地基承载力的模糊评判方法[J].长安大学学报:自然科学版,2006,26(2):14—17  
 [5] 蔡文,杨春燕,何斌.可拓逻辑初步[M].北京:科学出版社,2003  
 [6] 原国红,陈剑平,马琳.可拓评判方法在岩体质量分类中的应用[J].岩石力学与工程学报,2005,24(9):1539—1544  
 [7] GB 50021—2001 岩土工程勘察规范[S].  
 [8] 常士骧,张苏民.工程地质手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.  
 [9] 周虎鑫,等.兴义机场红粘土地基强夯处理试验研究[J].公路,2003,(2):112—118  
 [10] 李珍玉.武广客运专线红粘土地基沉降数值分析及试验研究[D].中南大学,2009.

## Extension Comprehensive Prediction Method for Evaluation of Subgrade Bearing Capacity of Red Clay Area

*BAI Wei<sup>1</sup>, WAN Zhi<sup>2</sup>*

(1. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics,

Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China;

2. Hunan Communications Research Institute, Changsha 410015, China)

**Abstract:** On the basis of the physical and mechanical property index, including natural water content, unit weight, liquid limit, liquidity index, coefficient of compressibility, cohesion, internal friction angle, an extension comprehensive prediction model for evaluation of subgrade bearing capacity of red clay area is established. The prediction results of this method are consistent with the in-situ test results, and can reflect the regularity of bearing capacity characteristics and modules objectively and truly. The extension comprehensive prediction method presented a new feasible path for the evaluation of subgrade bearing capacity of red clay area

**Key words:** red clay; bearing capacity; extension theory; plate loading test