

文章编号:1673-9469(2010)01-0088-04

## 基于粗糙集的载体桩质量核心影响因素分析

李万庆<sup>1</sup>,李继萍<sup>1</sup>,孟文清<sup>2</sup>,石华旺<sup>2</sup>

(1.河北工程大学 经济管理学院,河北 邯郸 056038;2.河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**针对载体桩质量不容易控制的特点,在剖析载体桩承载机理的基础上,分析了影响载体桩质量的各因素,并引入粗糙集理论,建立了影响因素约简模型。以邯郸地区载体桩工程为例,通过模型约简得出最小的影响因素集,从而确立了影响载体桩质量的核心影响因素,为载体桩的质量预测和控制提供理论依据。结果显示该方法克服了目前人们以主观和定性分析为主的缺点,可信度较高。

**关键词:**载体桩;质量;核心影响因素;粗糙集

**中图分类号:** TU473.1

**文献标识码:** A

## Study on the core factors affecting the quality of pile with bearing base based on rough set

LI Wan-qing<sup>1</sup>, LI Ji-ping<sup>1</sup>, MENG Wen-qing<sup>2</sup>, SHI Hua-wang<sup>2</sup>

(1. School of Economics and Management, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** Based on the characteristics of quality of pile with bearing base difficult to control, the influencing factors of pile quality are analyzed, and the reduction model of influencing factors is established according to the rough set theory. With the example of the pile project with bearing base in Handan city, the minimal influencing factors set are obtained, and the core influencing factors of pile with bearing base quality are built, which provides theoretical basis for quality prediction and the control of pile with bearing base. The results show that the method overcomes the subjective and qualitative factors and achieves with high reliability.

**Key words:** pile with bearing base; quality; core influencing factors; rough set

载体桩是针对夯击式沉管扩底桩存在的问题发展起来的,突破了传统的桩基础和地基处理观念,避开浅部软弱松散的土层,是一种具有中国特色的新桩型<sup>[1-3]</sup>。随着载体桩的广泛使用,如何确保成桩质量成为桩基工程面临的重大问题。目前人们对影响载体桩质量的研究仍停留在最初阶段,仅仅是找出所有影响因素,而在多数情况下,载体桩的质量却是被少数几个重要因素决定的。找出这些重要因素是确保成桩质量的关键。粗糙集理论提供了处理这种问题的工具—知识约简<sup>[4]</sup>。本文将通过引入粗糙集理论,建立约简模型,利用邯郸地区载体桩的历史数据对所有影响

载体桩质量的因素进行处理,去掉冗余信息,确立核心影响因素集,以期更好的指导施工,确保成桩质量。

### 1 粗糙集理论简介

粗糙集理论<sup>[5-8]</sup>是波兰科学家 Pawlak 教授在1982年提出的一种数据推理方法,为处理不精确、不确定与不完全数据并从数据中挖掘出需要的知识,提供了一种有效的途径。该理论从数据中推理逻辑规则作为知识系统的模型,可以输出定性、定量或混合性信息;定义条件属性和决策属性间

的依赖关系及输入空间与输出空间的映射关系是通过简单的决策表约简得到的,而且通过去掉冗余属性,可以大大简化知识的表达空间维数,描绘知识表达中不同属性的重要性。粗糙集的核心概念如下:

**定义 1 决策表:**决策表是一类特殊而重要的信息系统。设  $S = (U, A = C \cup D)$  是一个信息系统,  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  是论域,  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  是属性集合,  $C$  称为条件属性集,  $D$  称为决策属性集。同时含有条件属性集和决策属性集的知识表达系统称为决策表。

**定义 2 核:**核是不能消去的条件属性的集合。令  $C$  和  $D$  为等价关系族,  $R \in P$ , 若  $POS_{(C-1R)}(D) = POS_{(C)}(D)$ , 则称  $R$  为  $C$  中  $D$  不必要的。否则,  $R$  为  $C$  中  $D$  必要的。  $C$  中所有  $D$  必要的原始关系构成的集合称为  $C$  的  $D$  核, 简称为核, 记为  $core_D(C)$ 。

## 2 载体桩质量影响因素分析

载体桩的单桩质量是否合格, 主要指单桩竖向承载力和桩身完整性是否符合要求。采用粗集理论可以对所有影响因素进行知识约简, 有效去除冗余信息, 从而找出核心因素集, 实现对载体桩质量的有效控制。本文将影响载体桩单桩质量的影响因素概括为以下几个方面: 持力土层的土体特性、桩体影响、施工设备、时间和空间效应等。

### 2.1 土性因素分析

载体桩属于端承桩, 避开浅部软弱松散的土层, 选择下部土性较好的土层作为持力土层, 因此持力土层土性的好坏主要决定其是否能够提供端承载力。当其土性较好时, 桩承受的荷载通过桩端阻力传到深层地基上, 其承载力可大幅度提高。持力土层的天然孔隙比  $e$  用来评价土的密实程度, 液性指数  $I_L$  用来判断土的软硬程度,  $e, I_L$  的高低将直接影响到载体桩的单桩竖向承载力。

### 2.2 桩体因素分析

载体桩本身可将承受的荷载向持力土层传递并相应减少桩间土承担的荷载。应力由桩身通过连接层传向夯扩体, 并由夯扩体的扩散作用, 消除桩端的应力集中现象, 将应力逐层(夯实干硬性砂、夯实填充料、挤密土体、影响土体)传递并逐层

降低天然持力土层能够承受的程度。桩体本身具有良好的透水性, 还有一定的排水作用, 这种作用有利于孔隙水压力的消散, 有效应力的增长, 桩间土强度在形成夯扩体的过程中对其所在的土层进行有效地加固挤密, 形成“深层复合地基”可较大幅度地提高承载力<sup>[9]</sup>。

影响载体桩桩身的参数指标选取桩径、桩长、桩身强度和混凝土坍落度。

影响夯扩体的参数指标有干硬性砂的投入量、填充料的投入量、三击贯入度等。

### 2.3 施工设备因素分析

载体桩属专利技术, 施工工艺基本一致, 施工设备也大同小异。主要区别在于护筒的沉降方式有所不同。相对于利用副卷扬机反压沉管的液压步履式夯扩桩机而言, 护筒顶带有振动装置的液压步履式夯扩机成桩后桩身完整性更好些。

### 2.4 时间和空间效应影响因素分析

在进行载体桩施工时, 由于桩锤的锤击及振动作用, 将对桩周土产生扰动。对于高灵敏度土, 会导致结构强度丧失, 强度降低, 当恢复期过后, 结构强度逐渐恢复。施工时应采取合理的打桩顺序, 以减少正在施工桩对已经施工完成桩的影响。施工过程中一般采用跳打的方式, 以避免对已成桩桩体的影响, 确保桩身的完整性及单桩承载力。

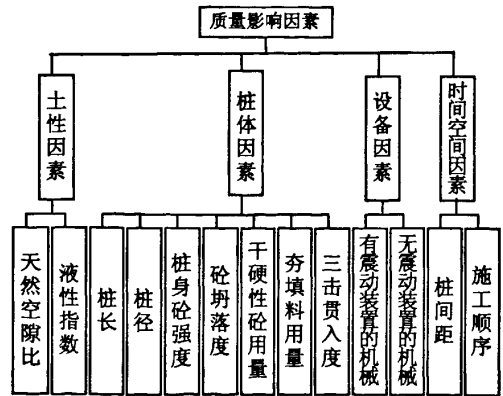


图1 载体桩质量影响因素

Fig.1 Factors affecting the quality of pile with bearing base

桩的布置对桩土应力比和桩土荷载分担比有较大影响, 桩间距不宜小于 1.6~2.0m; 持力层为粉土或砂土应取小值, 含水量较高的粘性土应取大值<sup>[1]</sup>。若桩间距过小, 夯扩体形成过程中产生

表1 邯郸地区载体桩工程历史数据

Tab.1 Historical data of pile with bearing base in Handan

序号	天然 孔隙比	液性 指数	桩长 /m	桩径 /mm	桩身 强度	坍落 度/cm	干砵 /m <sup>3</sup>	夯填 料/块	三击 /cm	桩 间距	施工 顺序	桩 质量
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$	$a_{10}$	$a_{11}$	$a_{12}$
1	0.659	0.6	7	400	C25	10	0.9	720	9	符合	符合	合格
2	0.635	0.38	9	400	C25	11	0.9	650	8	符合	符合	合格
3	0.659	0.6	6	400	C25	10	0.9	700	10	不符	符合	合格
4	0.635	0.38	8	400	C25	12	0.9	640	9	符合	符合	合格
5	0.717	0.5	10	400	C25	11	0.9	680	8	符合	符合	合格
6	0.734	0.45	11	400	C25	10	0.9	690	10	符合	符合	合格
7	0.734	0.45	12	400	C25	11	0.9	560	9	符合	符合	合格
8	—	—	7	400	C30	11	1.2	733	10	符合	符合	不合格
9	—	—	7	400	C30	10	1.2	720	10	符合	符合	合格
10	0.657	0.49	10	400	C35	12	1.2	580	11	符合	符合	合格
11	0.621	0.35	10	400	C35	14	1.2	480	13	不符	符合	不合格
12	0.657	0.49	6	400	C35	12	1.2	590	10	符合	符合	合格
13	0.621	0.35	6	400	C35	14	0.9	580	10	不符	符合	不合格
14	0.657	0.49	10	400	C35	13	1	480	13	符合	符合	不合格
15	0.657	0.49	10	400	C35	11	1.2	570	12	符合	符合	合格
16	0.621	0.35	10	400	C35	10	0.9	490	12	不符	符合	合格
17	0.621	0.35	6	400	C35	10	1.2	590	10	符合	符合	合格
18	0.657	0.49	6	400	C35	11	1.2	560	8	符合	符合	合格
19	0.657	0.49	6	400	C35	11	1.2	580	12	符合	符合	合格
20	0.621	0.35	6	400	C35	9	0.9	490	13	不符	符合	不合格

的侧向挤土压力可能导致邻桩夯扩体偏移,若桩长较短且土层抗剪强度较低,则夯扩效应可能导致土体剪切滑裂面的形成,使地面隆起,邻桩桩身上上浮成断桩或桩身与干硬性混凝土脱离等事故,这类事故的发生都会影响到载体桩的桩身完整性及竖向承载力<sup>[2]</sup>。

综上所述,载体桩质量影响因素如图1所示。

### 3 粗集约简模型的建立

#### 3.1 数据采集

对邯郸地区部分载体桩工程的数据进行采集,整理如表1所示,所有影响因素构成属性集合 $\{a_1, a_2, \dots, a_{11}\}$ 。

#### 3.2 信息完善

由于多种原因,数据的不精确甚至缺损是常见的。存在未知值的信息系统被称为不完备的信息系统。在数据处理前,首先应该将不完备的信息系统进行完善。方法一是将信息系统中未知值的对象全部删除,但是这种方法会造成资源的

浪费,而且会将潜在的信息丢失;方法二是将未知值作为一种特殊的值进行处理,从而得到完备的信息系统,但可能会改变原始信息系统<sup>[4]</sup>。本文采用统计的方法,依据 Mean Completer 算法<sup>[6]</sup>将信息表中的属性分为数值属性和非数值属性来分别处理:遗漏的属性值是数值型的,则根据该属性在其它实例的取值的算术平均值来补充该遗漏的属性值;遗漏的属性是非数值型则用该属性在其它所有实例上的取值次数最多的值即出现频率最高的取值来补充该遗漏的属性值。

#### 3.3 数据离散化

运用粗糙集理论处理决策表时要求所有的数据必须离散化。如果某些条件属性或决策属性的值域为连续值(如浮点型),则在处理前必须进行离散化处理;即使对于离散型的数据,有时也要通过将离散值进行合并得到更高抽象的离散值。

设决策种类的个数为 $r(D)$ ,属性 $a$ 的值域 $V_a$ 上的一个断点可以记为 $(a, c)$ ,其中 $a \in R, c$ 为实数集。在值域 $V_a = [L_a, r_a]$ 上的任意一个断点集合 $\{(a, c_1^a), (a, c_2^a), \dots, (a, c_k^a)\}$ 定义了 $V_a$ 的一

个分类  $P_a, P_a = \{[c_0^a, c_1^a], [c_1^a, c_2^a], \Lambda, [c_k^a, c_{k+1}^a]\}, l_a = c_0^a < c_1^a < \Lambda < c_k^a < c_{k+1}^a = r_a, V_a = [c_0^a, c_1^a] Y [c_1^a, c_2^a] Y \Lambda Y [c_k^a, c_{k+1}^a]$ 。因此,任意的  $P = \bigcup_{a \in R} P_a$  定义了一个新的决策表  $S^p = \langle U, P, V^p, f^p \rangle, f^p(x_a) = i \Leftrightarrow f(x_a) \in [c_i^a, c_{i+1}^a]$ , 对于  $x \in U, i \in \{0, 1, \Lambda, K_a\}$ 。

即经过离散化之后,原来的信息系统被一个新的系统代替。离散化的本质可归纳为利用选取的断点来对属性构成的空间进行划分的问题,把这个  $n$  ( $n$  为属性的个数)维空间化成为有限个区域,使得每个区域中的对象的决策值相同。假设某个属性有  $m$  个属性值,则在此属性上就有  $m - 1$  个断点可取,随着属性个数的增加,可取断点数将随着属性值的个数呈几个增长。选取断点的过程也是合并属性值的过程,通过合并属性值,减少属性值的个数,减小问题的复杂性。针对离散化问题,人工智能的研究者提出了很多方法,有等距离划分、等频率划分、适应离散法等等,本文所采取的为等距离划分法。由于本文所列举的工程中,载体桩均为顶端带有震动装置的液压桩机施工,且桩径均为 400mm,因此桩径、施工工艺及施工设备这两个指标并不具备分类能力,已删除。

### 3.4 约简结果与分析

对决策表进行属性约简,删除冗余的属性:  $pos_c(D) = \{1, 2, 3, \dots, 20\}$ , 其中

删去  $a_3$ , 则第 16 行与第 20 行条件相同而结论不同,即两者互相冲突,  $pos_{(c-\{a_3\})}(D) = \{1, 2, 3, \dots, 15, 17, 18, 19\} \neq pos_c(D)$ ;

删去  $a_6$ , 则第 8 行与第 9 行互相冲突,  $pos_{(c-\{a_6\})}(D) = \{1, 2, 3, 7, 10, \dots, 20\} \neq pos_c(D)$ ;

删去  $a_7$ , 则  $pos_{(c-\{a_7\})}(D) = \{1, \dots, 10, 12, \dots, 15, 17, \dots, 20\} \neq pos_c(D)$ ;

若删去  $a_9$ , 则  $pos_{(c-\{a_9\})}(D) = \{1, 2, \dots, 17, 20\} \neq pos_c(D)$ ;

若删去  $a_{10}$ , 则  $pos_{(c-\{a_{10}\})}(D) = \{2, 4, \dots, 20\} \neq$

$pos_c(D)$ 。

因此,  $a_3, a_6, a_7, a_9, a_{10}$  不可删去, 则最小影响因素集合为桩长、混凝土坍落度、干硬性混凝土的投入量、桩间距、三击贯入度。

由于本文所选用的工程均为邯郸地区近几年来施工的载体桩,地域特征差别并不明显,因此约简后的核心影响因素集合并不包含持力土层的土性指标。在施工过程中对,对核心影响因素集中的各指标有针对性的加以控制,较好的控制了载体桩的质量。

### 4 结论

通过约简模型对数据进行处理,找出了载体桩最核心的影响因素集合为桩长、混凝土坍落度、干硬性混凝土的投入量、桩间距、三击贯入度。通过在施工现场对这五个因素的有效控制,载体桩质量的合格率有明显提高,说明了该模型的可行性与有效性。

### 参考文献:

- [1] 苏贵峰, 杨启安. 复合载体夯扩桩施工过程中影响承载力因素的分析[J]. 施工技术, 2005(增刊): 79-82.
- [2] 沈保汉. 复合载体夯扩桩[J]. 施工技术, 2002, 31(2): 51-58.
- [3] 史三元, 陈明, 郭长印, 等. 碎石注浆桩复合地基技术及承载力分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版), 2008, 25(1): 14-16.
- [4] PAWLAK A, BUSSE G. Rough sets [J]. Communications on the ACM, 28(11): 89-95.
- [5] 王彪, 段禅伦, 吴昊, 等. 粗糙集与模糊集的研究及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [6] 曾黄麟. 粗集理论及其应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996.
- [7] PAWLAK Z, SKOWRON A. Rudiments of rough sets [J]. Information Sciences, 2007, 117(1): 3-27.
- [8] 肖智, 叶世杰. 短期电力负荷预测的粗糙集方法[J]. 系统工程学报, 2009, 24(2): 143-149.
- [9] 沈保汉. 我国夯扩桩的发展现状[J]. 工业建筑, 2004, 34(2): 45-49.

(责任编辑 马立)