

# 高层建筑基础选型专家系统研究<sup>\*</sup>

晏致涛, 李正良, 邓安福

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

**摘要:**通过对高层建筑基础选型设计影响因素的分析,针对基础选型知识的多层次性和不确定性,利用产生式规则和面向对象知识表达方法,实现了高层建筑基础方案选型领域知识的分级构造以及对知识的混合表达、不精确描述和推理。在此基础上利用专家系统工具 CLIPS 建造了高层建筑基础选型专家系统 TBFES。

**关键词:**高层建筑; 基础选型; 专家系统; 知识表达

**中图分类号:** TU470

**文献标识码:** A

高层建筑基础选型是高层建筑基础设计的第一步,也是高层建筑基础设计的关键。因此,合理选择基础型式是必不可少的一个重要环节。结合上部结构特征和地质条件等因素合理选择基础型式,对提高结构可靠性,降低工程造价,具有非常重要的意义。

高层建筑基础选型涉及的因素众多,包括建筑场地的水文地质条件、建筑物的使用要求、上部结构体系类型、荷载特点、施工技术条件、周围的环境要求、造价、工期等等,综合考虑这些因素,不仅要具备深厚的理论基础,还要有长期的工程经验。它是一个需要大量专家经验控制的复杂过程。在实际设计过程中,常常需要经过设计、计算、修改、再次计算等多次反复进行,耗费的时间人力,经费都很大,效率较低。随着人工智能、专家系统的发展,存储人类的经验知识成为可能。借助于专家系统技术进行基础方案的选型,不仅能减轻设计人员的计算工作量,更具特色的是能将一些经验性的判断分析以及查找规范条文等繁琐的工作交由计算机完成,从而提高了基础选型的效率 and 设计质量。

## 1 系统框架设计

### 1.1 系统框架概况

通过人工智能技术与基础选型设计的综合应用,结合人机交互技术,本文建立了一个高层建筑基础选型专家系统(TBFES)来确定合理的基础类型。系统基于 Windows 98 平台,采用可视化编程工具 Visual C++ 6.0 开发,用面向对象的语言 C++ 来统一表示各个主要部件,实现对不同知识的表示形式的有机集成。其中系统数据库管理由 Microsoft Access 实现,数据库与专家系统的接口由数据库标准接口 ODBC 完成。系统推理机的实现是通过内嵌美国国家航天局提供的通用推理机 CLIPS,并将其封装成对象类。由于各主要部件统一采用面向对象技术,它们之间的接口转化为统一的对象间消息传递,实现起来简单方便。系统按功能分区分为人机交互接口、知识预处理模块、知识库模块、数据库模块、推理机、解释机、知识获取(修改)机、地基与基础设计及数值分析等几个部分。系统详细组成结构及相互关系如图 1 所示。

### 1.2 系统的层次构造

\* 收稿日期:2001-08-31

基金资助:重庆市科委攻关项目资助(渝科委计[2000]25号)

作者简介:晏致涛(1978-),男,江西人,硕士生,主要从事高层建筑基础智能决策支持系统研究。

由实际基础工程的选型过程可知,高层建筑基础选型是一个分层次选型的过程。因此,本专家系统的知识库也有明显的层次性,是一个复杂的多级系统,主要包括基础初步选型专家系统、桩型选择专家系统、桩基础形式选择专家系统。在各级专家系统中还包括一些子系统,如基础埋深确定子系统、桩端持力层确定子系统等(见图2)。下面分别予以简单介绍:

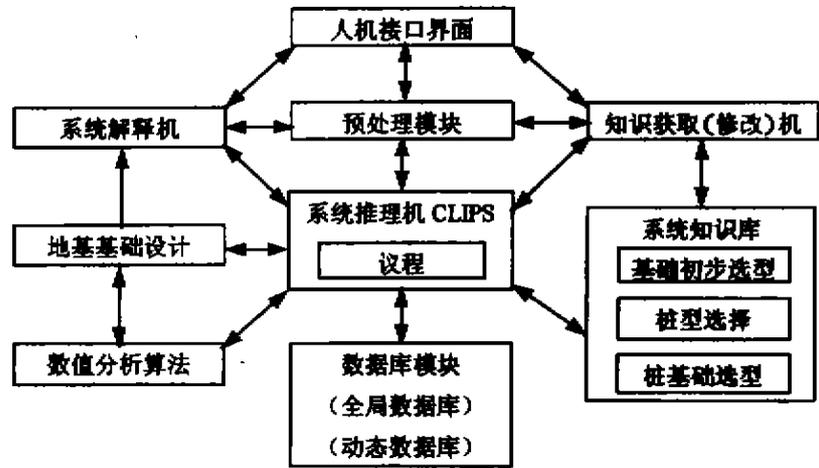


图1 系统组织结构图

1) 高层建筑基础初步选型系统。此系统根据工程地质条件,地震条件,建筑安全等级,上部结构高度、类型、层数,上部荷载均匀性、大小,施工环境条件,造价,工期等因素(如图3)初步选定各种基础类型。初步选型基础类型有以下几种:柱下条形基础、柱下十字交叉条形基础,筏型基础,箱形基础,桩基础。

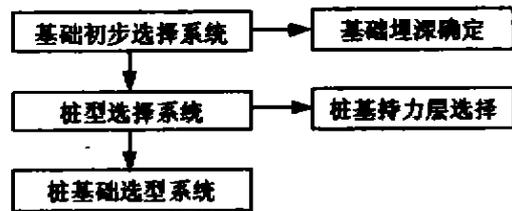


图2 系统选型层次

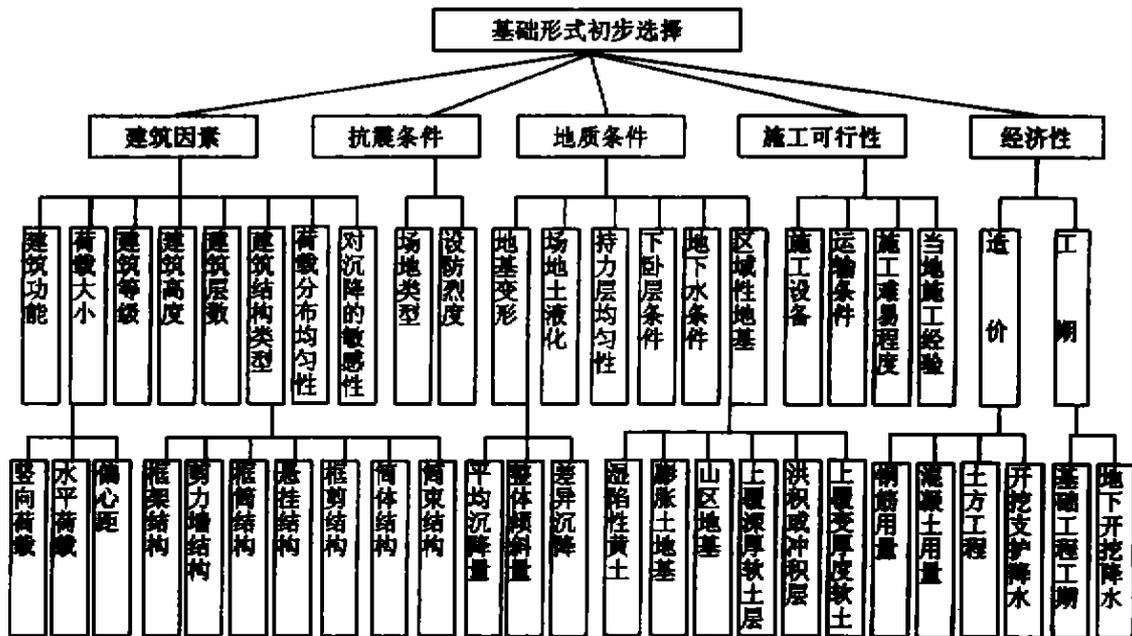


图3 基础初步选型影响因素图

2) 确定基础埋深子系统。此系统主要是根据工程地质和水文地质条件、相邻建筑的影响、地基冻胀和融陷的影响、作用在地基上的荷载大小和性质、地基变形的要求、基础的型式、建筑物的用途以及高层建筑的稳定性要求、地下空间的利用、抗滑抗浮要求等确定浅基础埋深。确定基础埋深过程与基础选型过程既相互独立,又相互关联,是一个反复选择、计算的过程。

3) 桩型选择系统。此系统是根据各种桩型特点,就地质条件、建筑结构特点及荷载大小、施工技术条件和环境条件、工期和制桩材料、当地施工经验及技术经济效果的因素进行综合分析比较和

确定桩型。根据桩基技术规范所提供的 30 余种桩型,系统实现桩型选择的不确定性推理。系统可选桩型包括预制混凝土桩、预应力钢筋混凝土桩、钻(冲)孔灌注桩、人工挖孔桩、钢管桩、大直径及嵌岩灌注桩、H 型钢桩及其组合桩、内击式沉管灌注桩、钻孔压浆桩、沉管灌注桩及其组合桩等。

4) 桩端持力层选择子系统。它是根据上部结构荷载条件、场地冻融条件、周围环境条件、工程地质条件、综合桩承载力、桩的布置、成桩可能性、桩基沉降等方面综合确定。一般可预先根据常规和经验选择几种方案进行技术经济比较确定。桩型和持力层的选择也是一个反复选择、验算过程。

5) 桩基础型式选择系统。桩基础选型是根据桩型、工程地质和水文地质条件、上部结构使用功能要求、上部结构类型、环境条件、施工可行性、经济合理性和工期可行性等因素合理选择桩基础型式。根据规范规定和专家的经验,确定各因素对桩基础选型的影响的确信度。经过不精确推理,最终得出各基础型式确信度的排序,选其中确信度最高的桩基础型式为优选方案。本系统提供的桩基础型式有以下几种:桩—柱基础、桩—梁基础、桩—墙基础、桩—筏基础、桩—箱基础。

### 1.3 系统的推理流程

由于高层建筑基础的选型设计是一个经验性很强的过程,因此也是一个不断反复试选的过程,其中需要用户的参与。TBFES 在各个模块中都注意到人机交互,设计者可随时参与诸如确定地基承载力、确定基础埋深等过程,特别是方案最后的决定权在设计者手中,整个设计过程是设计者参与下在计算机上实现的。用户大体可以按以下推理流程操作:

1) 启动高层建筑初步选型系统,利用专家系统推理机 CLIPS,进行不确定性推理,求得各基础被选择的确信度。

2) 系统根据各基础的确信度由高到低排序,取确信度最高的基础进行初步设计。

3) 若所选为连续基础(柱下条形基础、箱形基础、筏形基础),进行连续基础确定埋深子系统的推理,确定埋深以及基础底面积。

4) 系统自动进行地基设计,判断是否存在软弱下卧层。若有则验算下卧层。若下卧层满足强度与变形要求,则进行下一步;若不满足,则取确信度次高的基础型式,重复 2~4 步。

5) 根据地基基础规范,调用基础设计与数值分析方法库中的各种方法进行沉降计算,验算基础的沉降,沉降差等是否满足要求。满足,则结束基础选型;不满足,则选确信度次高的基础,重复 2~5 步。

6) 若所选为桩基础,则进行桩型选择系统和桩基础型式选择系统的推理并同样进行桩基础以及地基设计与验算。

## 2 系统知识的表示和推理

领域知识是建造具有人类专家水平的问题求解器的关键,虽然推理方法很重要,但研究表明,专家并不是首先依赖推理来求解问题,专家系统的巨大功能在于其内在知识而不是编程技术。当前,知识处理问题趋于复杂、庞大,常常包含多方面的知识,要求有多种问题描述和问题求解的方法,走向合并已成为知识工程研究的趋势。系统充分利用产生式规则和面向对象方法的优点,将两者结合起来表达知识。它同时支持产生式规则语言的描述性特征和面向对象语言的结构化、信息隐藏、继承等特性,在知识的表示方面更加灵活。

### 2.1 产生式规则表示

高层建筑基础选型知识的特点是具有不确定性,影响基础选型因素众多,并且高层建筑经验知识多属因果知识判断。鉴于这些特点本系统采用产生式规则的表达方法(产生式规则定义详见<sup>[1]</sup>)。这种表达方法具有模块性、自然性、结构化和通用性等特点,是专家系统中使用最广泛的知识描述方法。系统规则采用 CLIPS 语言表示。例如,有以下规则:

IF 上部结构为框架结构

OR 上部结构为框剪结构

OR 上部结构为框筒结构

AND 桩型是端承桩

AND 基础型式是桩基础

THEN

有可能选桩—柱基础(0.75)

将上述规则用 CLIPS 语言翻译如下:

```
(defrule ZJCXX: :zhuang-zhu-xuan-xing "桩柱基础选型"
  (shangbujiegou (leixing ?leixing&KUANGJIA |KUANGJIA |KUANGTONG))
  (zhuangxing (leixing DUANCHEN))
  (jichu (name zhuangji))
  =>
  (assert (zhuangjileixing zhuang-zhu)
    (cf 0.75)))
```

CLIPS 语言是一种类似于 LISP 的解释语言。其中 ZJCXX 表示该规则是位于桩基础选型模块。defrule 表示定义规则。zhuang-zhu-xuan-xing 表示规则名。规则的优先级也应在规则中定义,上述规则默认优先级为零,通过优先级的使用可以使控制知识得到优先匹配。

## 2.2 面向对象的知识表示方式

TBFES 同时也将面向对象程序设计(OOP)的观点、机制引入到专家系统开发当中,采用了面向对象的语言 COOL 来表示知识。这样使得系统在知识表示方面更加灵活,便于描述结构化的现实事物。实现方法是首先定义类(类的具体定义参见文献<sup>[4]</sup>),然后产生实例对象。对象之间可以只通过消息传递来匹配,也可以通过规则匹配来实现。此时知识库由一个个对象组成(类及其实例对象),用户定义的类需要在系统类 USER 下继承,可以通过槽(slot),侧面(facet)及消息处理方法等进行刻画。系统定义类继承示例如下:父类:连续基础类,子类:柱下条形基础类、筏基类、箱形基础类;父类:桩基类,子类:桩筏基础类、桩箱基础类等。子类既继承父类的槽值,也拥有自己的槽值。

对于大量的数值计算以及规范的各种规定,可以用高效的算法解决,用面向对象的语言 C++ 更加适合。本系统建立了一个地基与基础规范知识库供专家系统调用。该库将各种数据和各种地基沉降计算,软弱下卧层验算,各类基础设计方法等进行封装。在使用过程中,根据具体应用的需要,选择相应的类加以实例化即生成具体的对象。

## 2.3 不确定性知识的推理

系统推理机 CLIPS 内部没有处理不确定性的能力。然而,通过在事实和规则中放置一些处理不确定性的信息,可以实现对不确定性问题的推理。事实的不确定性采用确信度 CF(certainty factor)值表示,它的取值范围是:

$$-1 \leq CF \leq 1$$

对于不确定性推理,当某个结论的确信度不为 1 时,对于相同结论的其他规则仍然要进行推理,求出结论的确信度,并和已求出的该结论的确信度进行合并。推理和组合的部分规则如下:

(1)前提中 AND(与)连接时结论的确信度计算公式

规则的形式:

IF  $E_1 \wedge E_2 \wedge E_3 \wedge \dots \wedge E_n$  THEN H CF(R)

结论 H 的确信度为:

$$CF(H) = CF(R) \times \min\{CF(E_1), CF(E_2), CF(E_3) \dots CF(E_n)\}$$

即结论 H 确信度等于规则确信度乘以所有证据确信度的最小值。

(2)前提中 OR(或)连接时结论的确信度计算公式

规则形式:

IF  $E_1$  OR  $E_2$  THEN  $H$   $CF(R)$

对于 OR 连接的规则, 可以将它转化为等价的两条规则:

IF  $E_1$  THEN  $H$   $CF(R)$

IF  $E_2$  THEN  $H$   $CF(R)$

此两条规则确信度均为  $CF(R)$ , 这是由于它们是从一条规则中拆开形成的。

(3) 两条规则的合并

IF  $E_1$  THEN  $H$   $CF(R_1)$

IF  $E_2$  THEN  $H$   $CF(R_2)$

则结论  $H$  的确信度分别为:

$CF_1(H) = CF(R_1) \wedge CF(E_1)$

$CF_2(H) = CF(R_2) \wedge CF(E_2)$  合并为:

$CF(H) = CF_1(H) + CF_2(H) - CF_1(H) \times CF_2(H)$

为了提高推理的效率, 设置推理阈值为 0.2, 这将减少所激活的对假设仅仅弱支持的规则数目。TBFES 将不确定性推理规则作为元知识, 单独置于推理模块, 使之具有自动聚焦属性, 即优先级最高。这样就保证了两条结论  $H$  (具有不同确信度) 在被其他规则触发之前, 就已经组合了。

### 3 结语

1) 本文通过对高层建筑基础方案选型的研究, 以 Windows98 为平台, 采用编程工具 Visual C++6.0 初步建立了一个用于高层建筑基础方案选型的专家系统 TBFES。系统采用通用推理机 CLIPS 并将其封装成类对象, 集成到整个专家系统当中, 大大缩短了开发周期。建造的系统具有较好的灵活性、透明性。

2) 由于基础方案选型知识具有明显的层次性, 文章仔细分析了影响高层建筑基础方案选型知识的各种因素, 建立了一个层次分级化的基础选型知识库。

3) 系统利用产生式规则和面向对象方式结合起来表达知识。它同时支持产生式规则语言的描述性特征和面向对象语言的结构化、信息隐藏、继承等特性, 用一种自然而有效的方式开发了这两种语言的优点。另外, 针对高层建筑基础选型知识的不确定性, 系统实现了对不确定性知识的描述和推理。

### 参考文献:

- [1] 应鉴, 刘星成, 汤庸译. Joseph Giarratano Gary Riley. 专家系统原理与编程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [2] 李楚舒, 刘西拉. 高层建筑结构初步设计专家系统[J]. 工程力学, 1997, 15(4): 9-17.
- [3] CLIPS Reference Manual Volume II Advanced Programming Guide Version 6.10[M]. 1998.
- [4] CLIPS Reference Manual Volume I Basic Programming Guide Version 6.10[M]. 1998.
- [5] CLIPS Reference Manual Volume III Interfaces Guide Version 6.10[M]. 1998.
- [6] 辛金珉, 辛金璋. 高层建筑基础分析与作用——土与结构物共同作用的理论与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.