

文章编号:1673-2049(2006)04-0006-09

土木工程专家系统的应用和发展趋势

苏 键¹, 谭 平², 周福霖²

(1. 广州大学 土木工程学院, 广东 广州 510405; 2. 广州大学 工程抗震研究中心, 广东 广州 510405)

摘要:从专家系统的定义、组成、特点以及专家系统和一般计算机程序的区别、专家系统的开发与应用等方面介绍了专家系统的基本原理。阐述了专家系统在项目评估、诊断、决策和预测、建筑设计及优化、项目管理、施工技术以及一些特殊领域的应用。对土木工程领域专家系统的研究成果和应用情况进行总结和归纳,分析了现有土木工程专家系统存在的几个问题。在此基础上展望了专家系统在土木工程领域的应用和发展趋势,可以预见随着计算机应用的日益普及,专家系统在土木工程领域将有更为广阔的发展前景。

关键词:人工智能;专家系统;土木工程;知识库;推理机;发展趋势

中图分类号:TU17 **文献标志码:**A

Application and Development Tendency of Expert System in Civil Engineering

SU Jian¹, TAN Ping², ZHOU Fu-lin²

(1. School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510405, Guangdong, China;

2. Earthquake Engineering Research and Test Center, Guangzhou University, Guangzhou 510405, Guangdong, China)

Abstract: Authors introduced the fundamental principles of the expert systems, general concepts, characteristics, elements of the expert systems and the applications and development of expert system. The relationship of expert systems with other methods of programming was also discussed herein. Secondly, authors introduced the applications of expert systems on project evaluation, diagnosis, decision and prediction, building design, optimum design, project management, construction technology and other special domains in civil engineering. Finally, some important conclusions were reached and the outlook for future development of expert systems was pointed out based on the state-of-the-practice of the expert systems in civil engineering. It can be predicted that the development prospect of expert system will be wide in the field of civil engineering along with the popularization of computer application day by day.

Key words: artificial intelligence; expert system; civil engineering; knowledge base; inference engine; development tendency

0 引言

当今世界三大尖端技术是空间技术、能源技术

和人工智能。人工智能(Artificial Intelligence)作为一门新兴的学科至今尚无统一的定义,文献[1]中列举了 11 种定义,概括起来,可以这样理解:人工智

收稿日期:2006-11-17

基金项目:国家科技部重大基础研究前期研究专项项目(2004CCA03300);广州市科技攻关计划项目(2004Z1-E0051)

作者简介:苏 键(1975-),男,广东潮安人,工学硕士研究生,E-mail:sjbox@21cn.com。

能是关于人类智能活动规律的研究和应用的科学。经过近 50 a 的发展,人工智能已经成为一门广泛的交叉和前沿学科。目前人工智能的主要应用在专家系统、知识库系统、智能数据库系统、智能机器人系统等领域。专家系统(Expert System)是人工智能应用研究中一个最早、最广泛、最活跃也是最有成效的领域,它被称为“21 世纪知识管理和决策的技术”^[2-7];而在土木工程领域,许多问题不仅仅需要数学、物理、力学等计算,还需要依靠从业人员的经验,特别是在工程设计、施工管理、方案决策等方面,受到众多因素的影响,情况复杂,而且不确定因素多,人们常常需要凭经验解决问题。这些知识和经验在数理逻辑上不完备、不严密,是无法用传统的程序来处理的,而专家系统在处理这类问题上有其自身的优越性。专家系统技术可以实现模拟专家解决复杂问题,达到专家水平,给土木工程人员解决这类问题提供帮助,在土木工程的实践中有着很广阔的应用前景。

1 专家系统的原理

1.1 定 义

专家系统是一个智能计算机程序系统,其内部含有某个领域的具有专家水平的知识与经验,应用人工智能技术,利用人类专家的知识、经验和解决问题的方法来进行推理和判断,模拟人类专家的决策过程,从而解决该领域需要专家决定的复杂问题。简单地说,专家系统是一个模拟人类专家解决专业领域问题的计算机程序系统。按照要解决问题的性质,专家系统主要分为以下几种类型:诊断型、预测型、解释型、规划型、设计型、监视型、教学型、决策型与控制型。

专家系统解决问题的能力大小取决于该系统所拥有的知识。这种基于知识的计算机程序系统,必须事先将有关专家的知识 and 经验总结出来,形成一系列规则,并将它们以适当的形式存入计算机,建立起相应的知识库,然后采用适合的控制策略,按输入的原始数据选择一定的规则进行推理、演绎,从而作出判断和决策,因此,专家系统比较适合于处理那些没有公认的理论和方法、数据不精确、信息不完整、人类专家短缺或专门知识十分昂贵的诊断、监控、预测、规划和设计等工作。

1.2 组成及特点

一般专家系统由知识库、数据库、推理机、解释程序、人机接口和知识获取 6 部分组成,图 1 为典型

专家系统的基本结构。

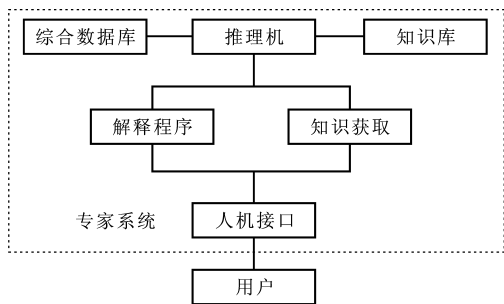


图 1 专家系统的基本结构

Fig. 1 Basic Structure of Expert System

由图 1 可知,知识库存储人类专家特定的领域知识,包括逻辑性知识和启发性知识。知识库直接关系到专家系统的性能,要求具有可用性、正确性及完整性。把人类专家的知识转化为计算机可以存储和利用的形式需要使用知识表示方法,知识表示就是研究在计算机中怎样用合适的形式对问题求解过程中所需要的各种知识进行组织、存储、检索、使用、增删、修改、推理和判断。

推理机的作用主要是按照一定的控制策略,根据用户提出的问题和输入的有关数据或信息,按专家解决问题的方法和经验,利用知识库的知识进行推理,得到问题的答案。知识库和推理机是专家系统最基本的框架。综合数据库用于存放专家系统运行过程所需要和产生的所有信息,包括用户输入的事实、已知事实、推理过程所需要的中间信息及最终结论。解释程序的作用是向用户解释专家系统的行为和结果,让用户了解系统推理的步骤,使用户容易接受系统作出的建议和决策。知识获取为系统修改知识库中原有知识和扩充知识提供手段。

专家系统基本特征是:①启发性,即能运用专家的知识与经验进行推理、判断和决策;②透明性,即能够解释本身推理过程并回答用户提出的问题;③灵活性,就是能不断扩充、修改和完善原有的知识。

专家系统作为知识型程序,相对于传统计算机程序,其不同点在于:

(1)从处理问题的性质看,专家系统善于解决那些不确定性的、非结构化的、没有算法解或虽有算法解,但在现有的机器上无法实施的困难问题,主要用于知识信息处理,而不是数值信息处理。

(2)从处理问题的方法看,专家系统主要依靠知识表达技术、知识推理与知识收集和编码技术、知识存储和编排技术,建立知识库及其管理系统,利用专家的知识 and 经验,求解专门问题,而不是用数学描述的方法来解决。它是基于知识的智能的问题求

解系统。

(3)从系统的结构来看,专家系统强调知识与推理的分离,以使系统具有很好的灵活性和可扩充性。

(4)从知识的推理能力看,专家系统的工作是在环境式驱动下的知识推理过程,而不是在固定程序控制下的指令执行过程。

(5)从咨询解释能力看,专家系统不仅对用户的提问给出解答,而且能够对答案的推理过程作出解释,提供答案的可信度估计。

(6)从程序的自我完善能力看,专家系统能对自己的知识进行不断扩充、完善和提炼。这点是传统程序所无法比拟的。

1.3 开发和应用

专家系统应用领域问题的难度和规模是开发专家系统的一个关键问题。如果领域问题的难度和规模太小,会使开发专家系统失去意义;如果领域问题的难度和规模太大,则会使专家系统难以建立,即使建立了专家系统,其处理效率也比较低,而且领域专家在其边界区域的知识水平会下降。一个实用的专家系统所处理的问题一般应限制在一个相对较窄的领域内,而不能太宽。另外,有高水平的领域专家参与以及专家知识的可获得性是开发专家系统的重要条件。要使专家系统解决问题的能力达到专家水平,需要经过多年的学习和完善,这样的专家系统才有使用价值。受人工智能技术发展水平的限制,专家系统在知识获取、知识表示、知识处理与应用方面还有待发展。

目前的专家系统,在咨询任务,如化学和地质数据分析、计算机系统结构以及医疗诊断等方面,其质量已经达到很高的水平。还有许多研究集中在使专家系统具有解释它们的推理能力,从而使咨询更好地为用户所接受,同时能帮助人类专家发现系统推理过程中出现的差错。

2 土木工程专家系统的应用

土木工程的特点是:工程不确定因素多、影响因素复杂,每项工程既有类似工程的共性,又有其个性,在特殊环节和情况下专家作用显著。近20 a来,在土木工程领域,专家系统的开发和应用取得了不少的成果,主要应用在项目评估、诊断、决策和预测、建筑设计及优化、项目管理、施工技术以及一些特殊领域。

2.1 评估、诊断、决策和预测

在建筑物的诊断及项目的评估、决策和预测方

面,需要考虑如规范、技术、经济等诸多因素。在这方面专家系统的应用较多。

杨玉成等建立了多层砌体房屋震害预测专家系统 PDSMSMB-1^[8],该系统具有评估现有房屋地震危害程度和进行决策分析的功能。采用扩张的确定性系数法使不确定性问题寓于确定的推理过程中。经震例检验和实际应用表明,该系统使用方便,可信度高,预测结果可达到专家级水准。朱长春等从振动测量的角度识别建筑物的模态参数,利用模态参数结构抗震规范对现存建筑物抗震安全性进行评估,在此基础上开发了建筑物抗震安全性评估专家系统^[9]。张继庆等建立了钢筋混凝土结构破坏的检测专家系统^[10],该系统从沉降、倾斜、损坏级别、结构损坏率4个因素对结构进行安全评估。但这4个因素的考虑比较笼统,判断标准等均有主观的因素。吴宇红采用产生式规则的知识表达方式,正向推理策略设计了对已有砖混结构诊断加固专家系统^[11],该系统可以对加固改造提供优选方案。黄全义研究了人工神经网络在专家系统开发的应用,开发了大坝变形预报神经网络专家系统^[12]。王磊综合运用不确定推理方法、知识工程和模糊数学知识,发展了一种决策方法对钢筋混凝土构件的可靠性进行评估,并在此基础上建立了专家系统评估钢筋混凝土构件的可靠性^[13]。孙成双提出了建设项目风险动态分析和评价方法,并且对建设项目风险评价指标体系进行了一系列研究,给出了建设项目风险分析专家系统(CPRA-ES)的总框架^[14]。潘毅等结合近年来各国钢筋锈蚀耐久性研究方面的成果,将定量计算和定性分析相结合,进行了锈蚀混凝土构件耐久性评定方法的研究,并编制了一种基于构件耐久性综合评定方法的现役钢筋混凝土结构耐久性评估专家系统^[15-16]。

此外,刘晓燕运用 C-ADVISOR 工具开发了住宅建筑设计方案评价专家系统、住宅房屋安全鉴定专家系统、抗震结构最优设防水平决策专家系统^[17]。裘实研究了砖-混住宅质量评估及作价专家系统^[18]。赵典锋研究开发了现役结构可靠性诊断专家系统^[19]。陈帆等研究了基于应力波反射法和机械阻抗法的 BP 网络模型,建立了基桩质量诊断专家系统 PDES^[20-21]。他们都对专家系统在建筑物诊断及项目的评估、决策和预测方面的应用作了有益的探索和实践。

2.2 建筑设计和优化

建筑设计和优化是一项创造性的工作,需要考

虑技术水平、经济效益、用户需求等因素,这些因素千头万绪,因此,经验对于设计人员来说是十分重要的,这一领域也吸引了许多研究人员进行专家系统的开发。

宋应文研制开发的 IDSGI 地基处理智能辅助设计系统,可辅助岩土工程进行地基识别、选择和设计地基处理方案^[22]。李楚舒等开发了高层建筑结构初步设计专家系统(HIPRED)^[23],它是一个系统集成系统;通过人工神经网络(ANN)技术存贮专家的设计经验来确定高层建筑的结构体系;利用能连续化地反映高层建筑结构参数分布的基于悬臂梁的结构简化模型,并结合常微分方程求解器 COLSYS 很好地从速度和精度两方面的匹配来进行力学反应分析;通过人机交互和知识库的引入,系统能够对设计的结构反应参数(位移、周期和地震力)做出评价及对结构做出相应的修改。HIPRED 能够帮助设计者在一个较高的层次上进行高层建筑结构的初步设计。此外还开发了基于神经网络的高层建筑结构体系选择的专家系统^[24]、基于事例推理的高层建筑结构初步设计专家系统^[25-26]。冯俊强等针对基础方案选型知识的特点,开发出高层建筑基础方案选型专家系统^[27],对高层建筑基础方案的选型进行咨询,辅助工程设计人员进行决策。李校兵等进行了基坑支挡结构设计专家系统的研究,开发研制了基坑支挡结构的计算机绘图子模块^[28-29]。彭观良以按耐久性设计混凝土为中心思想,研究了把各子系统集成为一个整体的混凝土安全性专家系统^[30]。马华建立了挡土墙设计专家系统,引入约束非线性离散变量优化与连续变量优化方法,建立了适用于重力式挡土墙设计的优化方法,并且开发了挡土墙优化设计软件^[31]。晏致涛研制开发出一个能够辅助工程设计人员进行基础选型及设计的智能决策支持系统——高层建筑基础设计智能决策支持系统(TBFDSS),并通过工程实例验证了该程序的实用性、有效性和可靠性^[32]。

此外,冯夏庭等开发了采矿巷道围岩支护设计专家系统^[33]。欧进萍等建立了高层钢筋混凝土结构抗震选型的模糊专家系统^[34]。王曙光等研究了在基坑工程设计中引入专家系统的可行性^[35]。许晋平研究了采用专家系统解决轻型门式刚架的设计及优化问题^[36]。杨石飞建立了基于范例推理的上海地区岩土工程优化设计(桩基)专家系统^[37]。潘昊等研究了钢管混凝土专家系统中的轴心受压构件的强度计算模块的功能及设计与实现问题^[38]。

2.3 项目管理

项目管理由于涉及的面较广,这方面的专家系统研究目前还比较少。白举科通过将专家系统的方法引入工程质量事故的处理,建立了钢筋混凝土常见事故知识存储结构框架模型及相应的推理机制,对混凝土裂缝事故处理、分析建立了知识库,并编写了应用程序,实现了钢筋混凝土工程质量事故处理及分析的微机处理^[39]。许长青开发出建筑工程监理施工阶段质量控制专家系统,可辅助监理工程师完成建筑工程施工阶段质量控制工作,从而提高了工作效率和施工质量^[40]。

2.4 施工技术

在施工行业,根据不同的具体情况,往往需要解决许多实际的问题,专家系统在这个领域里可以大量地节省处理问题的时间。

为了实现给缺乏经验的用户提供设计与施工咨询,陈勤等在对工程设计经验系统整理的基础上,研究了斜拉桥设计与施工专家系统的建立问题^[41]。吕林女开发了泵送混凝土、高强混凝土专家系统^[42],该系统由配合比设计、施工技术、质量控制、文献检索和帮助 5 个子系统组成。张厚记开发了混凝土抗钢筋锈蚀专家系统^[43],该系统可以实现包括辅助设计、评估诊断、预防修补、文献检索和帮助等功能。高沛峻研究了混合式人工智能在深基坑支护选型系统中的应用,建立了深基坑支护选型专家系统^[44]。朱元青等结合厦门工程的特点,探讨了深基坑支护智能选型专家系统知识库和数据库的建立方法^[45]。叶亚齐研制开发了理论可靠、实际可行的深基坑开挖与支护咨询专家系统^[46]。

2.5 其他领域

除了传统的领域外,专家系统在一些比较特殊的领域也取得了不少研究成果。

吴景坤等在地质灾害诊治领域建立了滑坡识别与分类专家系统^[47],该系统可以完成对滑坡的识别和分类工作。常春等开发了露天矿边坡稳定性分析集成智能系统,对边坡稳定性进行综合分析判断,提高了边坡稳定性分析的合理性与可靠性^[48]。

高岗等开发了拆除爆破设计的智能系统^[49]。叶海旺等开发了拆除爆破专家系统,该系统由四大模块组成:板(块)体拆除爆破、楼房框架拆除爆破、高耸建筑物拆除爆破、薄壁容器类构筑物拆除爆破^[50-52]。舒思齐等开发了高耸建筑物控制爆破拆除的可视化设计系统^[53]。周建中从广义混合控制入手,基于模糊-神经元的抗震结构智能混合控制,建

立了抗震结构智能混合控制方案选择模糊专家系统的基本理论^[54]。

3 存在的问题

目前大多数的专家系统还没有得到广泛运用,这除了人工智能技术本身还有待不断发展和完善外,主要有 4 个原因。

(1) 使用者对专家系统的认识存在误区

对专家系统认识有两种误区:一种是对专家系统期望过高,认为专家系统能解决领域内的所有问题,把专家系统神化;另一种是认为专家系统只是一个数据库,只能作为查询规范和资料用。过高或过低地评估专家系统的作用,使得专家系统在推广和使用中无法正确地定位。

(2) 专家系统不具有专家水平

由于知识库知识的不完备,使得专家系统解决具体问题时出现许多局限性。知识的获取途径多数是通过整理文献和资料获得的,往往难以触及那些较难用书面表达的问题。另外,专家系统是解决领域内需要专家经验的问题,而有些专家系统所能解决的问题,不需要通过专家系统就能得到比较好的解决,这样开发出来的系统应用效果不好。

(3) 专家系统的老化

专家系统的老化问题主要体现在两方面:一是领域知识需要不断地更新和补充,由于领域知识的获取是一个动态的过程,不可能等知识都收集完备了再开发系统,这就需要对专家系统知识库的知识作定期的更新;另一方面是专家系统的技术日新月异,知识的表达和推理方法不断有新的发展,需要对原有的专家系统进行升级和改进,以寻求更好地模拟专家解决问题的途径。总之,专家系统的开发和使用是一个动态的过程,有如人类专家对复杂问题的不断求真。

(4) 专家系统推理过程的不透明

由于人工智能和专家系统是前沿的学科,一些专家系统的推理机制不能为用户所理解和掌握,而专家系统解决的又往往是带有方向性、决策性的问题,对专家系统所提供的问题解答,用户不了解系统的推理过程,心中没底,一般不敢大胆使用,因此专家系统需要有良好的自解释功能,避免成为一个黑盒子,这也有利于工程人员复核系统的问题解答的正确性,并为及时发现系统存在的问题提供方便。

4 现状与展望

在土木工程领域,就目前的情况来看,专家系统

的研究和开发还只是刚刚起步,远远未能发挥其应有的作用。专家系统与面向对象、神经网络、模糊技术以及互联网相结合是专家系统技术发展的总趋势。未来专家系统在土木工程领域的发展有:

(1) 加深对不确定问题的认识和寻求合适的推理机制是首要的任务。只有对拟开发专家系统的领域的知识有较深入的把握,才能开发出实用的专家系统。

(2) 根据使用要求继续研究和开发专家系统。土木工程领域还有许多问题需要建立专家系统。由于土木工程领域的特点,决定了它有许多领域适合建立专家系统,如工程管理、施工管理、项目可行性评估、地质勘探等。

(3) 升级原有的专家系统。人工智能技术日新月异,一些早期建立的专家系统,需要进行知识库增强和推理机制的改进,以及人机接口优化等。

(4) 集成综合性专家系统。对某类相关的问题,可以进行将多个功能单一的专家系统整合,集成为综合性的专家系统,拓展专家系统解决问题的能力。

(5) 专家系统的推广及商品化。把专家系统投入到实际运用中,只有在实际运用中才能检验专家系统的可靠性和充分发挥专家系统的作用,并使专家系统得到进化。在专家系统的商品化方面,国外有不少成功的例子,已经为企业及社会带来了相当可观的效益。

5 结 语

专家系统可以帮助缺乏经验的用户解决工程问题,也可以帮助有经验的用户提高工作效率,更可以在团队中通过专家系统共享各成员的经验。人工智能、模糊技术^[55-56]、神经网络^[57-58]和面向对象等新技术日新月异,计算机应用日益普及,可以预见专家系统在土木工程领域将有更为广阔的发展前景。

参考文献:

References:

- [1] 蔡自兴,徐光祐. 人工智能及其应用[M]. 3 版. 北京:清华大学出版社,2004.
CAI Zi-xing, XU Guang-you. Artificial Intelligence and Its Applications[M]. 3rd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [2] JOSEPH C G, GARY D R. Expert System, Principles and Programming[M]. 4th ed. Boston: Course Technology, a Division of Thomson Learning Inc, 2005.
- [3] 何广乾. 面向 21 世纪的高层建筑结构[J]. 建筑科学,

- 2001,17(1):1-4.
- HE Guang-qian. On the 21st Century of High Rise Building Structures [J]. Building Science, 2001, 17 (1):1-4.
- [4] 廉师友. 人工智能技术导论[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2002.
- LIAN Shi-you. Introduction to Artificial Intelligence Technology [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2002.
- [5] 邢传鼎,杨家明,任庆生. 人工智能原理及应用[M]. 上海:东华大学出版社,2005.
- XING Chuan-ding, YANG Jia-ming, REN Qing-sheng. Principles and Application of Artificial Intelligence [M]. Shanghai: Donghua University Press, 2005.
- [6] 程伟良. 广义专家系统[M]. 北京:北京理工大学出版社,2005.
- CHENG Wei-liang. General Expert System[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2005.
- [7] 敖志刚. 人工智能与专家系统导论[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2002.
- AO Zhi-gang. Introduction to Artificial Intelligence and Expert System[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2002.
- [8] 杨玉成,李大华,杨雅玲,等. 投入使用的多层砌体房屋震害预测专家系统 PDSMSMB-1[J]. 地震工程与工程振动,1990,10(3):83-90.
- YANG Yu-cheng, LI Da-hua, YANG Ya-ling, et al. An Applicable Expert System PDSMSMB-1 for Predicting Earthquake Damage to Multistory Masonry Buildings[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 1990, 10(3):83-90.
- [9] 朱长春,何彩英,张景绘. 建筑物抗震安全性评估专家系统[J]. 地震工程与工程振动,1997,17(2):113-119.
- ZHU Chang-chun, HE Cai-ying, ZHANG Jing-hui. Expert System of Seismic Safety Evaluation for Existing Buildings[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 1997, 17(2):113-119.
- [10] 张继庆,于占琴. 结构安全度专家系统[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,1999,18(3):332-334.
- ZHANG Ji-qing, YU Zhan-qin. The Expert System of Construction Safety[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science Edition, 1999, 18(3):332-334.
- [11] 吴宇红. 已有砖混结构房屋诊断加固专家系统研究[D]. 长沙:湖南大学,2000.
- WU Yu-hong. Research on System Design of Expert System for Strengthening Schemes of Existing Brick-Masonry Structure[D]. Changsha: Hunan University, 2000.
- [12] 黄全义. 大坝变形预报神经网络专家系统方法研究[D]. 武汉:武汉大学,2001.
- HUANG Quan-yi. Study on Expert System for Dam Deformation Prediction Using Artificial Neural Network[D]. Wuhan: Wuhan University, 2001.
- [13] 王 磊. 不确定推理及其在钢混构件可靠性评估专家系统中的应用研究[D]. 济南:山东大学,2001.
- WANG Lei. Application of Uncertain Reasoning in Reliability Assessment of Reinforced Concrete Component Expert System[D]. Jinan: Shandong University, 2001.
- [14] 孙成双. 建设项目风险分析及其专家系统的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2002.
- SUN Cheng-shuang. Study on Construction Project Risk Analysis and Its Expert System[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2002.
- [15] 潘 毅. 锈蚀混凝土构件的耐久性评定方法研究[D]. 重庆:重庆大学,2003.
- PAN Yi. The Research on Durability Assessment Method of Corroded Reinforced Concrete Structural Members [D]. Chongqing: Chongqing University, 2003.
- [16] 潘 毅,陈朝晖,张 攀. 锈蚀混凝土构件耐久性评定专家系统[J]. 工业建筑,2005,35(增1):855-901.
- PAN Yi, CHEN Chao-hui, ZHANG Pan. The Research on Expert System for the Durability Assessment of Corroded Reinforced Concrete Structural Members[J]. Industrial Construction, 2005, 35 (S1): 855-901.
- [17] 刘晓燕. 土木工程评估型专家系统开发工具与应用研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨建筑大学,2000.
- LIU Xiao-yan. Research and Application of Expert System Developing Tool for Evaluation in Civil Engineering[D]. Harbin: Harbin Architecture University, 2000.
- [18] 裘 实. 砖混住宅质量评估及作价专家系统[D]. 长春:吉林大学,2001.
- QIU Shi. Study on Flat Quality Assessment and Price-Making Expert System[D]. Changchun: Jilin University, 2001.
- [19] 赵典锋. 现役结构可靠性诊断专家系统的研究与开发[D]. 西安:西安交通大学,2001.
- ZHAO Dian-feng. Research and Development of an Expert System for Present Structure Reliability Diagnosis[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 2001.

- [20] 陈帆, 刘锡军, 石卫华. 基桩质量诊断专家系统的研究和开发[J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2004, 19(4): 37-40.
CHEN Fan, LIU Xi-jun, SHI Wei-hua. Study and Development on Pile Quality Diagnosis Expert System[J]. Journal of Hunan University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2004, 19(4): 37-40.
- [21] 陈帆. 单桩完整性动测专家系统[J]. 土工基础, 2005, 19(1): 77-79.
CHEN Fan. Pile Integrity Dynamic Test Expert System[J]. Soil Engineering and Foundation, 2005, 19(1): 77-79.
- [22] 宋应文. 地基处理智能辅助设计系统[J]. 岩土工程学报, 1996, 18(1): 54-59.
SONG Ying-wen. Intelligent Design System on Ground Improvement[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1996, 18(1): 54-59.
- [23] 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, 1998, 15(4): 9-17.
LI Chu-shu, LIU Xi-la. Expert System of Structural Preliminary Design for High-Rise Buildings[J]. Engineering Mechanics, 1998, 15(4): 9-17.
- [24] 刘西拉, 李楚舒. 基于神经网络的高层建筑结构体系选择[J]. 建筑结构学报, 1999, 20(5): 36-41.
LIU Xi-la, LI Chu-shu. Selecting the Structural System of High-Rise Building Based on Neural Networks[J]. Journal of Building Structures, 1999, 20(5): 36-41.
- [25] 李楚舒, 刘西拉, 张之勇. 基于事例推理的高层建筑结构初步设计专家系统: 基础篇[J]. 建筑结构学报, 2003, 24(2): 76-82.
LI Chu-shu, LIU Xi-la, ZHANG Zhi-yong. Expert System for Structural Preliminary Design of High-Rise Buildings Using Case-Based Reasoning: Basis[J]. Journal of Building Structures, 2003, 24(2): 76-82.
- [26] 李楚舒, 刘西拉, 张之勇. 基于事例推理的高层建筑结构初步设计专家系统: 应用篇[J]. 建筑结构学报, 2003, 24(3): 82-90.
LI Chu-shu, LIU Xi-la, ZHANG Zhi-yong. Expert System for Structural Preliminary Design of High-Rise Buildings Using Case-Based Reasoning: Application[J]. Journal of Building Structures, 2003, 24(3): 82-90.
- [27] 冯俊强, 尚守平, 文学章. 高层建筑基础方案选型专家系统研究[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 1999, 26(增 1): 87-92.
FENG Jun-qiang, SHANG Shou-ping, WEN Xue-zhang. Research on Expert System for High-Rise Buildings Foundation Scheme[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 1999, 26(S1): 87-92.
- [28] 李校兵. 基坑支挡结构设计专家系统中结构设计模块的开发研制[D]. 沈阳: 东北大学, 2000.
LI Xiao-bing. Study on Module of Structural Design in Retaining Structures Expert System[D]. Shenyang: Northeastern University, 2000.
- [29] 朱浮声, 李校兵, 王韶群, 等. 基坑支挡结构设计专家系统的开发与研制[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2000, 21(3): 298-300.
ZHU Fu-sheng, LI Xiao-bing, WANG Shao-qun, et al. An Expert System Application to the Selection and Design of Retaining Structures[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2000, 21(3): 298-300.
- [30] 彭观良. 混凝土安全性专家系统集成研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2001.
PENG Guan-liang. Study on Integrated Concrete Security Expert System[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2001.
- [31] 马华. 挡土墙专家系统与优化设计方法研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2001.
MA Hua. Retaining Wall Expert System and Optimum Design Method Research[D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2001.
- [32] 晏致涛. 高层建筑基础设计智能决策支持系统研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2002.
YAN Zhi-tao. A Study of Intelligent Decision Support System for the Design of High-Rise Building Foundation[D]. Chongqing: Chongqing University, 2002.
- [33] 冯夏庭, 林韵梅. 采矿巷道围岩支护设计专家系统[J]. 岩石力学与工程学报, 1992, 11(3): 243-253.
FENG Xia-ting, LIN Yun-mei. An Expert System for the Design of Surrounding Rock Support System in Mine Entries[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1992, 11(3): 243-253.
- [34] 欧进萍, 张世海, 刘晓燕, 等. 高层钢筋混凝土结构抗震选型的模糊专家系统[J]. 地震工程与工程振动, 1997, 17(2): 82-91.
OU Jin-ping, ZHANG Shi-hai, LIU Xiao-yan, et al. Fuzzy Expert System for Determination of Lateral Load Resisting Systems of RC Tall Buildings[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 1997, 17(2): 82-91.
- [35] 王曙光, 陆培毅, 顾晓鲁. 基坑工程设计中的专家系统[J]. 岩土力学, 2000, 21(3): 278-280.

- WANG Shu-guang, LU Pei-yi, GU Xiao-lu. Expert System in Excavation Engineering Design[J]. Rock and Soil Mechanics, 2000, 21(3): 278-280.
- [36] 许晋平. 单跨门式刚架设计专家系统的研究[D]. 深圳: 深圳大学, 2002.
- XU Jin-ping. The Single Span Portal Rigid Frame Expert System [D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2002.
- [37] 杨石飞. 上海地区岩土工程优化设计专家系统开发研究[D]. 上海: 同济大学, 2003.
- YANG Shi-fei. Study on Optimal Design of Geotechnical Expert System in Shanghai Area[D]. Shanghai: Tongji University, 2003.
- [38] 潘 昊, 饶友民. 钢管混凝土专家系统及轴心受压构件强度计算模块的设计与实现[J]. 工业技术经济, 2005, 24(8): 134-136.
- PAN Hao, RAO You-min. Study on Concrete-Filled Steel Tube Expert System and Realization of Axially Compressed Members Strength Calculation Module [J]. Industrial Technology & Economy, 2005, 24(8): 134-136.
- [39] 白举科. 钢筋混凝土结构质量事故专家系统[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2002.
- BAI Ju-ke. Study on Reinforced Concrete Structure Quality Accidents Expert System[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2002.
- [40] 许长青. 建筑工程监理施工阶段质量控制专家系统研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2003.
- XU Chang-qing. Study on Expert System for Quality Control of Building Construction in Construction Period [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2003.
- [41] 陈 勤, 钟万勰, 裴春航, 等. ICADC: 一个斜拉桥设计与施工专家系统[J]. 计算机结构力学及其应用, 1989, 5(2): 89-94.
- CHEN Qin, ZHONG Wan-xie, QIU Chun-hang, et al. ICADC: an Expert System for Design and Construction of Cable-Stayed Bridges[J]. Computation Structural Mechanics and Applications, 1989, 5(2): 89-94.
- [42] 吕林女. 泵送混凝土、高强混凝土专家系统的研究[D]. 武汉: 武汉工业大学, 1999.
- LU Lin-nu. Study on Pumped Concrete and High-Strength Concrete Expert System[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 1999.
- [43] 张厚记. 混凝土抗钢筋锈蚀专家系统的研究与设计[D]. 武汉: 武汉工业大学, 2000.
- ZHANG Hou-ji. Study on Expert System for Reinforcement Corrosion Resistance in Concrete[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2000.
- [44] 高沛峻. 混合式人工智能在深基坑支护选型系统中的应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2000.
- GAO Pei-jun. Study on Application of Hybrid Artificial Intelligence on Retaining and Protecting Type System for Deep Foundation Excavation [D]. Chongqing: Chongqing University, 2000.
- [45] 朱元青, 周海清, 陈正汉. 厦门深基坑支护智能选型专家系统知识[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(5): 867-870.
- ZHU Yuan-qing, ZHOU Hai-qing, CHEN Zheng-han. Expert System Knowledge of Intelligent Choice of Supporting Type for Deep Excavation in Xiamen [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(5): 867-870.
- [46] 叶亚齐. 深基坑开挖与支护咨询专家系统的研究与开发[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2004.
- YE Ya-qi. Research and Development of Expert System on Excavating, Retaining and Protection Consultancy of Deep Foundation Excavations[D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2004.
- [47] 吴景坤, 方 祁, 蔡军刚. 滑坡识别及分类专家系统[J]. 北方交通大学学报, 1993, 17(1): 73-77.
- WU Jing-kun, FANG Qi, CAI Jun-gang. An Expert System for Identification and Classification of Land Slide[J]. Journal of Northern Jiaotong University, 1993, 17(1): 73-77.
- [48] 常 春, 周德培, 王泳嘉, 等. 露天矿边坡稳定性分析集成智能系统[J]. 岩土力学, 1997, 18(3): 64-69.
- CHANG Chun, ZHOU De-pei, WANG Yong-jia, et al. Study on Integrated Intelligent System for Slope Stability Analysis[J]. Rock and Soil Mechanics, 1997, 18(3): 64-69.
- [49] 高 岗, 杨 军, 高文学. 拆除爆破设计的智能系统研究与开发[J]. 工程爆破, 1999, 5(4): 16-19.
- GAO Gang, YANG Jun, GAO Wen-xue. Research and Development on Intelligent System for Design of Demolition Blasting[J]. Engineering Blasting, 1999, 5(4): 16-19.
- [50] 叶海旺. 高耸建筑物拆除爆破专家系统研究与应用[D]. 武汉: 武汉工业大学, 2000.
- YE Hai-wang. Study and Application of Expert System of Towering Structure Demolition Blasting[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2000.
- [51] 房泽法, 叶海旺, 吴 薇, 等. 高耸建筑物拆除爆破专家系统研究与应用[J]. 武汉理工大学学报, 2002, 24(5): 75-78.
- FANG Ze-fa, YE Hai-wang, WU Wei, et al. Study and

- Application of Expert System of Towering Structure Demolition Blasting[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2002, 24(5): 75-78.
- [52] 钱 虎. 框架结构楼房拆除爆破专家系统研究与应用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2004.
QIAN Hu. Study and Application of Expert System of Frame Building Demolition Blasting[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2004.
- [53] 舒思齐, 钟冬望. 高耸建筑物控制爆破拆除的可视化设计系统[J]. 武汉科技大学学报: 自然科学版, 2001, 24(1): 63-65.
SHU Si-qi, ZHONG Dong-wang. The Visual Design System for Controlled Blasting Demolition of Tower Buildings[J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2001, 24(1): 63-65.
- [54] 周建中. 基于模糊-神经元的抗震结构智能混合控制[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2003.
ZHOU Jian-zhong. Intelligent Hybrid Control of Aseismic Structure Based on Fuzzy-Neuron [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2003.
- [55] 汪益敏, 王秉纲. 公路土质路基边坡面冲刷稳定性的模糊综合评价[J]. 中国公路学报, 2005, 18(1): 24-29.
WANG Yi-min, WANG Bing-gang. Fuzzy Evaluation Method of Scouring Stability on Soil Subgrade Slope [J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(1): 24-29.
- [56] 金立生, 赵丁选, 黄运华, 等. 液压挖掘机节能用油门模糊控制器的开发研究[J]. 中国公路学报, 2004, 17(1): 119-122.
JIN Li-sheng, ZHAO Ding-xuan, HUANG Yun-hua, et al. Study of the Accelerograph Fuzzy Controller of Hydraulic Excavator Saving Energy[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(1): 119-122.
- [57] 王桂萱, 中村秀明, 晏班夫, 等. 基于模糊神经网络的桥梁诊断辅助系统研究[J]. 中国公路学报, 2005, 18(2): 45-50.
WANG Gui-xuan, HIDEAKI Nakamura, YAN Ban-fu, et al. Research on Bridge Diagnosis System with Fuzzy-Neural Network [J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(2): 45-50.
- [58] 刘沐宇, 袁卫国. 基于模糊神经网络的大跨度钢管混凝土拱桥安全性评价方法研究[J]. 中国公路学报, 2004, 17(4): 55-58.
LIU Mu-yu, YUAN Wei-guo. Research on Safety Assessment of Long-Span Concrete-Filled Steel Tube Arch Bridge Based on Fuzzy-Neural Network[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(4): 55-58.

《建筑科学与工程学报》2007 年征订通知

《建筑科学与工程学报》是由国家新闻出版总署和国家科技部批准, 国家教育部主管, 长安大学与中国土木工程学会共同主办的学术性期刊。《建筑科学与工程学报》秉承科学精神, 以促进学术交流, 推动科技进步, 提高工程建设水平为宗旨, 全面反映建筑科学与工程领域最新研究成果, 传播建筑设计的新理念, 报道建筑科学与工程领域新理论、新技术、新材料、新工艺, 介绍大型重点工程的设计与施工技术; 主要刊载建筑学、结构工程、防灾减灾、地下建筑与基础工程、建筑环境与设备工程等专业及相关领域的论文, 包括科研、设计、施工方面的研究成果与工程实践总结, 同时也刊登建筑材料、桥隧工程、市政工程、力学等专业中与上述学科交叉的论文, 并就一些热点和难点问题, 开设“专家论坛”和“院士讲座”。

《建筑科学与工程学报》的主要读者对象为: 建筑科学与工程领域的科研人员、工程技术人员、大专院校师生及管理决策人员。

《建筑科学与工程学报》为季刊, 大 16 开本, 96 页, 每期定价 10.00 元(含邮寄费), 全年共 40.00 元; 国内外公开发行, 邮发代号 52-140, 读者也可汇款至《建筑科学与工程学报》编辑部直接订阅。

开户行: 中行西安翠华路支行

账 号: 307034148598091001

账 户: 长安大学杂志社

电 话: (029)82337253

地 址: 西安市长安中路 161 号长安大学小寨校区《建筑科学与工程学报》编辑部

邮 编: 710061

E-mail: jzxb@chd.edu.cn; jzgc@chd.edu.cn