

重大工程选址区域地壳稳定性评价 专家系统(CRUSTAB)

殷跃平 胡海涛 康启达 著

地震出版社

重大工程选址区域地壳稳定性评价专家系统 (CRUSTAB)

殷跃平 胡海涛 康启达 著

71.216
2761

社

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

本书是作者多年来对区域地壳稳定性专家系统研究成果的总结。共分七章,第一、二、三章评述了专家系统及区域地壳稳定性研究的发展历程;第四章介绍了区域地壳稳定专家系统(CRUSTAB)的结构及各子知识库格架;第五、六、七章分别叙述了该专家系统在工民建场址、水电站坝址和核电站厂址区域地壳稳定性评价的初步应用结果。

本书可供工程地质、地震工程、环境地质、人工智能应用等领域的科技工作者和教学人员参考。

重大工程选址区域地壳稳定性评价专家系统(CRUSTAB)

殷跃平 胡海涛 康宏达 著

责任编辑 周国云

*

地震出版社出版

北京民族学院南路9号

中国原子能工业公司翻译部排版

科普印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经销

*

787×1092毫米 16开本 9印张 200千字

1992年9月第一版 1992年9月第一次印刷

印数 0001—2000

ISBN 7-5028-0744-6/TP·6

(1137) 定价:6.00元

前 言

本书包括三大部分:

一、专家系统及区域地壳稳定性评价的基础理论及技术方法

本书回顾了专家系统发展历程及其在工程地质学中的应用前景。运用结构矩阵法建立了综合且优化的区域地壳稳定性评价专家知识结构模型,并探讨了专家知识定量表述的心理物理学实验理论与技术,为专家知识的获取和表示提供了基础。

二、区域地壳稳定性评价专家系统(CRUSTAB)的建立

运用专家系统工具 M. 1 开发了用于重大工程选址区域地壳稳定性评价专家系统(CRUSTAB),含 610 条规则,200 个事实,属于中型专家系统。本书对区域地壳稳定性的若干重要问题进行了深入研究,并提出了独到的见解。

三、CRUSTAB 专家系统的应用

运用 CRUSTAB 专家系统对福建马尾开发区场址,黄河黑山峡大柳树坝址和广东核电站厂址区域地壳稳定性进行了评价,为这些场址评价提供了更为完善的依据。

本书是在《重大工程选址区域地壳稳定性评价专家系统(CRUSTAB)》研究课题基础上编著而成。“CRUSTAB 系统研制与开发”于 1989 年元月在中国科学院地质所工程地质开放实验室立项。胡海涛教授任课题指导,殷跃平副研究员(博士)为课题负责人,康宏达助工协助系统开发。以胡海涛教授的知识结构为主,兼收其他专家的思路,以福建马尾开发区场址规划和广东核电站厂址选择为应用基地,于 1990 年 10 月完成系统总体开发,并提交中间成果(殷跃平博士论文:重大工程区域地壳稳定性评价专家系统)。经一年多调试,并运用于黄河黑山峡大柳树坝址区域地壳稳定性评价中,取得了良好结果。

著者

1992 年 9 月

CRUSTAB: AN EXPERT SYSTEM OF
GEOLOGY AND SEISMOLOGY FOR SITING
OF KEY FACILITIES AND URBAN PLANNING

Dr. Yin Yueping; Prof. Hu Haitao; Mr. Kang Hongda
(Institute of Environmental Geology, Beijing, China)

PUBLISHING HOUSE OF SEISMOLOGY
BEIJING CHINA

ISBN 7-5028-0744-6/TP·6
(1137) 定价: 6.00元

目 录

绪论	(1)
第一章 专家系统评述: 理论、方法与实践	(3)
第一节 专家系统回顾	(3)
第二节 专家系统意义及基本结构	(4)
第三节 专家系统的哲学涵义	(5)
第四节 几种典型的专家系统	(6)
第二章 区域地壳稳定性研究的专家知识结构模型	(9)
第一节 区域地壳稳定性研究的发展及几种评价方法	(9)
第二节 区域地壳稳定性专家知识的结构模型解	(9)
第三节 结果讨论	(15)
第三章 区域地壳稳定性研究的专家知识表示	(16)
第一节 专家知识表示的认知问题	(16)
第二节 知识表示的认知模型	(17)
第三节 知识表示的心理物理学实验之一: 口语报告	(18)
第四节 知识表示的心理物理学实验之二: 恒定刺激法	(20)
第五节 知识表示的心理物理学实验之三: 信号检测法	(24)
第六节 知识表示的心理物理学实验之四: 心理量表的制作	(29)
第七节 专家知识表示的主观贝叶斯问题	(31)
第四章 区域地壳稳定评价专家系统(CRUSTAB)的建立	(35)
第一节 专家系统工具 M. 1 一般特征	(35)
第二节 CRUSTAB 系统的推理机制	(37)
第三节 CRUSTAB 系统知识库总体结构	(40)
第四节 CRUSTAB 系统——断裂活动性评价 (FAULT) 知识库结构	(42)
第五节 CRUSTAB 系统——潜在震源估计 (POTES) 知识库结构	(45)
第六节 CRUSTAB 系统——地面运动估计 (GRMO) 知识库结构	(49)
第七节 CRUSTAB 系统——地块性状 (LANDMASS) 知识库结构	(50)
第八节 CRUSTAB 系统——地质灾害潜在评价 (GEOHZD) 知识库结构	(52)
第五章 福建马尾开发区区域地壳稳定性专家系统评价	(54)
第一节 区域地质构造特征及场区地质概况	(54)
第二节 区域地球物理场特征与深部构造	(59)
第三节 区域地震活动特征	(62)
第四节 区域地壳稳定性专家系统评价	(67)
第五节 CRUSTAB 系统的验证: 与模式识别法之比较	(74)
第六章 黄河黑山峡大柳树水库坝址区区域地壳稳定性专家系统评价	(79)
第一节 区域断裂活动性分类	(79)
第二节 坝区及附近地表断裂地震工程地质评价	(79)

第三节	坝区所在地块特征	(84)
第四节	部分强震区坝址与大柳树坝址地震工程地质条件类比	(88)
第五节	区域地壳稳定性专家系统评价结果	(93)
第七章	广东大亚湾核电站厂址区域地壳稳定性专家系统评价	(96)
第一节	核电站厂址区域稳定性特征	(96)
第二节	区域地壳稳定性专家系统评价结果	(101)
结语		(104)
附录	CRUSTAB 系统使用说明	(105)
主要参考文献		(115)
英文提要		(120)

CONTENTS

PREFACE	(1)
1 EXPERT SYSTEM REVIEW; THEORY, METHODOLOGY AND APPLICATION	(3)
1. 1 History of expert system and artificial intelligence	(3)
1. 2 Significance and basic structure	(4)
1. 3 Philosophy of expert system	(5)
1. 4 Evolution of expert system and basic types	(6)
2 STRUCTURAL MODEL OF EXPERT KNOWLEDGE FOR REGIONAL CRUSTAL STABILITY	(9)
2. 1 The state-of-art of the regional crustal stability and methodology	(9)
2. 2 Structure model analysis of expert knowledge representation	(9)
2. 3 Discussion	(15)
3 COGNITION OF EXPERT KNOWLEDGE REPRESENTATION AND PSYCHOPHYSICS EXPERIMENT	(16)
3. 1 Cognition of knowledge representation	(16)
3. 2 Cognitive model of knowledge representation	(17)
3. 3 Psychophysics experiment 1; Verbal report	(18)
3. 4 Psychophysics experiment 2; Constant stimulation	(20)
3. 5 Psychophysics experiment 3; Signal detection test	(24)
3. 6 Psychophysics experiment 4; Curves of psychophysics measurement	(29)
3. 7 Subjective Bayes method of expert knowledge representation	(31)
4 ESTABLISHMENT OF EXPERT SYSTEM OF REGIONAL CRUSTAL STABILITY (CRUSTAB)	(35)
4. 1 Outline of expert system shell M. 1	(35)
4. 2 Inference engine of CRUSTAB expert system	(37)
4. 3 Overall structure of CRUSTAB expert system knowledge base	(40)
4. 4 Sub-knowledge base of CRUSTAB expert system; “fault activity evaluation”(faultev. ml)	(42)
4. 5 Sub-knowledge base of CRUSTAB expert system; “potential earthquake estimation”(potes. ml)	(45)
4. 6 Sub-knowledge base of CRUSTAB expert system; “ground motion estimation”(grmo. ml)	(49)
4. 7 Sub-knowledge base of CRUSTAB expert system “landmass feature”(landmass. ml)	(50)
4. 8 Sub-knowledge base of CRUSTAB expert system “geologic hazard assessment”(geohzd. ml)	(52)
5 EXPERT SYSTEM EVALUATION OF REGIONAL CRUSTAL STABILITY FOR CITY-PLANNING OF MAWEI HABOUR, FUZHOU, FUJIAN PROVINCE	(54)

5. 1 General geology	(54)
5. 2 Regional geophysic field	(59)
5. 3 Pattern of earthquake activity	(62)
5. 4 Expert system evaluation for siting of Mawei Harbour	(67)
5. 5 Validation; Comparision with pattern recognition results	(74)
6 EXPERT SYSTEM EVALUATION OF REGIONAL CRUSTAL STABILITY FOR SITING OF DALIUSHU DAM, THE HEISHANXIA GORGE, YELLOW RIVER	(79)
6. 1 Classification of regional fault activity	(79)
6. 2 Earthquake engineering geology assessment for surface fault in and around the dam site	(79)
6. 3 Landmass feature of the dam site	(84)
6. 4 Condition comparision between Daliushu dam site and some sites in the strong earthquake zones	(88)
6. 5 Expert system evaluation for siting of Daliushu dam	(93)
7 EXPERT SYSTEM EVALUATION OF REGIONAL CRUSTAL STABILITY FOR SITING OF DAYA BAY NUCLEAR POWER STATION, GUANGDONG PROVINCE	(96)
7. 1 Regional crustal stability characteristics of Daya bay nuclear power station	(96)
7. 2 Expert system evaluation for siting of Daya bay nuclear power station	(101)
CONCLUSION AND ACKNOWLEDGEMENT	(104)
APPENDIX; GUIDE FOR CRUSTAB EXPERT SYSTEM USE	(105)
REFERENCES	(115)
ABSTRACT IN ENGLISH	(120)

绪 论

七十年代以来,工程地质已进入了模型化研究阶段,形成了由地质模型→物理模型→数学模型的发展过程,但是,数学模型的建立并不是工程地质研究的极终形式。工程地质的许多问题,与其说是数值计算,还不如认为是符号推理,这种推理过程是形式逻辑、多值逻辑,乃至模糊逻辑难以完全表达的,因为它依赖的往往是专家实际经验表征出来的专业直觉。几乎不可能用一般的数学方法有效地建立这种思维过程的数学模型。人工智能方法将人和计算机都视为完善的物理符号系统,提出了用计算机模拟专家思维的可行性,也就是,用计算机模型来弥补数学模型的不足(值得指出的是,计算机模型与数学模型不尽相同)。作为人工智能重要研究内容的专家系统已在工程地质中得到应用。本书是在中国科学院工程地质力学开放实验室基金课题《重大工程选址区域地壳稳定性专家系统(CRUSTAB)》基础上编著而成的,其出发点在于,通过建立专家系统这一计算机模型,力求弥补数学模型的不足,在理论上,使区域地壳稳定性评价方法更为完善,在实践上,结合我国重大工程选址地质地震评价及城市规划的需要,提供更为合理可靠的方法。

所谓专家系统,指能象某学科的专家进行推理和处理问题,并能说明其缘由的计算机系统(或软件),它更适合于处理诸如地学、医学和社会学等非确定或不完整的问题。著者开发的区域地壳稳定性评价专家系统(CRUSTAB)的价值在于:可以在计算机上,以直观的符号再现该学科领域不同权威专家的推理和决策过程,吸收其合理的知识结构,寻求该学科领域优化的技术路径。其次由于该学科的许多问题是单一专家难以胜任的,因此,可以建立计算机模型来有机地和优化地结合相关学科不同专家的知识进行推理与决策。同时,通过专家系统,可以使一般的技术人员运用专家的知识,以提高决策水平,并最大限度地减低费用和节省时间;也可以用它来培训新手和更新长期从事一般实际工作的技术人员的技术人员的知识结构。CRUSTAB 系统还可以作为该领域权威专家的知识储存库,以在他离职时仍能参鉴其知识。作为本领域的专家,CRUSTAB 系统也不失意义,他一方面可以在系统的帮助下得益于其他学科专家的知识,同时,也可提高效率 and 连贯地运用自己的知识。

在 CRUSTAB 系统开发中,引入 M. 1 专家系统工具运行推理机和用户接口,著者着重于知识库的开发。十多年来,著者先后完成了广东核电站、福建马尾开发区和黄河黑山峡大柳树水库等重大建设工程项目的区域地壳稳定性评价工作。这些都为 CRUSTAB 系统在理论上的概括,并将理论指导实践奠定了基础。

在 CRUSTAB 专家系统的研究与开发中,所取得的主要成果如下:

1. 开发了区域地壳稳定性评价专家系统(CRUSTAB)。该系统共含规则 610 条,事实 200 个,属于中型专家系统。系统结合了不同工程结构类型,既可进行一般性工程评价,又能针对工程特点评价,其中,更为偏重对核电站工程、水电站和城市工民建工程类型区域稳定性评价。系统共含 9 个次级知识库,并采用模块化编程,因此,系统既可对场址进行综合性评价,亦可进行单项评价,使 CRUSTAB 系统能适应不同工程类型、不同层次的要求。这一成果在国内外并不多见。

2. 通过对专家系统理论、方法及其实践的回顾,从自然辩证法的观点探讨了专家系统的方法论问题。专家系统是人脑的行为模型,是人脑原型的一种简化,因此,不可能取代人本

身。专家系统是一种计算机模型,可以用之弥补数学模型研究非确定和不完整问题时的不足,为著者后续的研究提供了正确的科学思维方法。

3. 区域地壳稳定性研究涉及到众多学科,著者运用图论的结构矩阵方法,充分吸收了五种专家的知识,并建立了相应的专家知识结构模型。这一成果对于大中型专家系统开发中知识库框架的建立具有重要价值,所建立的结构模型在区域稳定评价中具有参考意义。

4. 研究了专家求解问题时的知识表示问题,实际上是信息加工的认知过程。因此,著者引入实验心理物理学和现代认知心理学方法,对专家知识表示和推理过程、经验的专业直觉进行了较为深入的心理分析。著者认为,可以通过“口语报告”和心理物理学实验研究这一过程进行知识定量表示的阈限划分。这一方法可以解决 R. O. Duda 等在经典的地质勘探专家系统(PROSPECTOR)开发中用主观贝叶斯技术确定规则充分必要条件(LS, LN)时的随意性。这种方法在工程地质乃至地质学领域分类问题定量化研究中均具普遍意义。

5. 在 CRUSTAB 系统知识库总体结构建立的基础上,对次级知识库的结构进行了深入的研究。其中,对断裂活动性地震工程地质评价、潜在震源的综合识别、地震空区与相对稳定地块(安全岛)的鉴别、水热活动与地震等领域进行了较为深入系统的研究。

6. 著者对 Cora-3 模式识别法进行改进,使之适合于区域地壳稳定性评价,运用 10 个学习样本建立了评价公式和门限值,并对马尾所在区域进行了定量化评价。所建立的公式和门限值适用于其他工程场址评价。模式识别法也是人工智能的一个重要领域。通过与专家系统的比较,著者认为:区域地壳稳定性评价应该将传统的评价方法与能充分吸收各种专家知识,并能揭示其推理过程的专家系统分析方法和能充分吸收已有成果,并能综合地进行定量化评价的模式识别法相结合。这种综合评价方法在国内外工程场址选择中地质地震问题评价(即区域地壳稳定性评价)中并不多见。

7. 在传统方法和模式识别评价的基础上,著者运用 CRUSTAB 系统对福建马尾开发区区域地壳稳定性问题进行了综合评价,其成果为马尾开发区的城市规划提供了更为可靠的依据。运用 CRUSTAB 系统对黄河黑山峡大柳树水库坝址区域地壳稳定性进行了综合评价,所得结论为该水库坝址工程地质前期论证提供了更加全面深入的结果。此外,著者用广东核电站等国内近十个重大工程对系统进行了检验,使之更为成熟可靠。

第一章 专家系统评述：理论、方法与实践

本章在追述专家系统发展历程的基础上，力图用自然辩证法观点剖析专家系统的方法学问题，为 CRUSTAB 系统的建立提供科学的思维方法。

第一节 专家系统回顾

六十年代以来，人工智能技术在探讨专家思维方式，开发其技术路径方面已取得很大成功，集中表现在许多范围窄小的高技术学科的专家系统开发。这些系统处理问题的水平已经超过了本学科一般技术人员。综合 Buchanan, Shortliffe 和 R. O. Duda 等人的研究成果，我们定义，所谓专家系统，指能模拟某学科的专家进行推理和处理问题，并能说明其缘由的计算机系统(或软件)。它更适用于处理诸如地学、医学和社会学等非确定或不完整的问题。

专家系统是人工智能的应用成果。所谓人工智能，简单地说，就是使计算机具有可以类似人进行思考的能力的一种方法。它通过研究人在进行决策和解决问题时如何思考，分解这些思维过程为若干步骤而得以实现。Waltz 将人工智能的研究领域分解为 13 个范畴：专家系统、自动化编程、数学推理和定理证明、知识表达、人工智能语言和软件、计算机学习、自然语言处理、求解问题、机器人、机器翻译、智力的结构模型化和心理学研究、专门化的人工智能组构学、社会和哲学问题。而专家系统与这些研究领域的区别在于：

1. 专家系统通常要求相当数量的专家知识，且更强调该专业解决问题的策略。
2. 专家系统要求具有高速可靠的运行能力。
3. 专家系统具有解释判断结果和建议的能力，也就是，运用系统本身的知识论证它的推理过程，并为所得结果作出解释和提供证据。

回溯五十年代人工智能的工作对于了解专家系统的发展很有帮助。1950 年，英国数学家 A. M. 图灵(Turing)提出了一种无限记忆自动机——“图灵”机器的抽象线路，这种自动机在原则上适用于实现任何算法，这意味着，在机器上能够实现把原始数据变换为所求结果的任何运算。美国数学家哥德尔和丘奇对这一问题的研究也证明存在一些在原理上是不可能建立有效算法的类型。苏联数学家 A. A. 马尔科夫和诺维科夫已给出了算法上不可解的问题具体实例。这种在机器(即计算机)上由原始数据变换为所求结果的解的存在性讨论正是建立专家系统的理论基础。尔后，Joseph Weizenbaum 于六十年代中期建立了称为 Eliza 的计算机程序——第一位精神病机器医生，这可称为最原始的专家系统之一。Eliza 模拟了一位精神病医生的谈话风格，将接受试验的大学生分为两组，其中一组通过电传打字机与 Eliza 进行对话，而另一组通过电传打字机与实际的精神病医生对话，然后询问学生他们是在与人还是与机器交流。统计结果表明，与 Eliza 对话的那组学生几乎都认为他们在与某一位具体的人进行接触，而拒绝相信它是计算机程序。这是早期的用计算机模拟某一学科专家思路的工作。毫无疑问，这一成果激动人心，但也产生了幼稚的想法：仅利用几条推理，计算机就可以产生专家的行为。可称之为专家系统研究的第一阶段。

七十年代是专家系统发展的第二阶段。随着 DENDRAL, SAINT, HEARSAY, MYCIN 和 PROSPECTOR 等专家系统的开发，一些学者开始致力于综合的知识表示理论的研究，并将

它与一般的系统理论相结合。但在短短几年内,这种努力受到了限制。究其原因,首先,作为研究目标,“知识”显得太庞杂;另外,知识表示的几种不同方法已足以适应一般专家系统的开发。可用控制论专家 J. F. 诺伊曼的话来概括:“大脑的语言不是数学语言”。作为大脑语言的知识,是难以用惯常的数学语言表达的。专家知识是专家系统的核心,知识的表示与推断方案提供了运用知识的工具。

专家系统的第三阶段以专家系统外壳的推广和商业化其特征。80 年代以来,意识到计算机的局限性和开发知识表示的困难,专家系统开发者将注意力转向推理机和用户接口上,并将之作为一整体模块。因此不需要再用不同的方法对推理机、知识表示方案 and 用户接口进行过多的实验,相反,可集中更多的力量于某一待开发的专家系统知识的获取上,然后,运用得到认可的外壳开发者的策略表示知识,并运行系统。在理论和实践上,正反映出专家系统从原始数据转换为所求结果最佳算法的有限性,但相对于不同的学科,专家知识确是无限的。

综合我们的评述,专家系统实际上是某学科专家思维的行为模型。模型尽管与原型相似,但只能是一种简化。它不可能取代人本身,但可以帮助人改进工作方式和提高效率。

第二节 专家系统意义及基本结构

专家系统建立的理论价值首先在于:在计算机上,以直观的符号再现某学科专家的推理和决策过程,吸收合理的知识结构,寻求该学科最佳的技术路径;其次,由于知识的膨胀,许多问题是单一学科专家难以单独胜任的,愈来愈要求有机地和最优地结合不同学科专家的知识进行推理和决策。专家系统的迅速推广,主要在于实用价值:一个最显著的特点是,通过专家系统,可以使一般技术人员或普通人员运用专家的知识,以提高推理和决策水平,并最大限度地降低费用。成功的专家系统都具有严密完整且具规范化的知识结构,并具有较强的解释说明功能,用它来培训新手和更新长期从事一般实际工作的技术人员知识。专家系统可以作为专家的知识储存库,以在它离职时仍能参鉴他们的知识。对于专家本身来说,也富有意义,现已开发的许多学科领域极为“狭小”的专家系统,正反映了这一点。所谓狭小,实际上是由于众多学科相互交集而成,涉及到不同学科的专有词汇,概念和思维方式,显然这样的系统很难为“外行”或一般技术人员所接受,而仅供专家使用。它除了具很高的理论意义外,在实用上,能使专家知识、推理和决策具一致性而不相互矛盾;此学科领域的知识往往是若干不同学科专家智慧的结晶,因此,通晓其中某几门学科知识的专家可以在系统的帮助下获取另外学科专家的知识。Hayes—Roth 等将知识分为公共和私人知识两类。前者包括该学科已出版的教科书和文献中典型定义、事实和理论,后者涉及到专家处理问题时自身的技能或技巧,主要由启发式的生成规则所组成。启发式规则能够作出训练有素的推测,识别问题的前题,以及有效地处理出错或不完整的数据。阐明和在计算机上再现这样的专家知识是专家系统的中心任务。因此,专家系统的关键在于知识的获取,在知识表示中和推理中采用的算法居次。显而易见,专家系统的水平首先取决于该学科的发展水平。如果该学科未具一套较为完整可行的概念、推理和决策方法,那么,所建立的专家系统必然是低水平或不合理的,尽管采用了非常严密的算法推理。目前,专家系统在医学诊断和治疗(Shortliffe 和 Buchanan, 1979 等),化学结构解释(Buchanan 和 Feigenbaum, 1971, 1978 等),符号数学

(Martin 和 Fateman, 1971)和矿产勘探(Duda, R. O, et al; 1979)等领域已达到了专家水平,这首先取决于这些学科概念、推理和决策的完整与合理。

通常,专家系统分为知识库、推理机和用户接口三大部份(图 1.1)。知识库由某学科的专门知识所组成,包括该学科的简单事实,表述该学科关系或现象的规则,也可能包括解决问题的方法、推断和思路,主要储存以某种方式组织起来的信息;推理机为知识库中运用知识的策略集,它使系统能自如地运用知识;用户接口是系统与终端用户接触的一套方法,用问答和解释的方式使系统与用户之间能够畅通无阻地交流,并使用户能够明了推理机解决问题的过程。一般地,又把推理机和用户接口视为一体,称之为专家系统外壳。

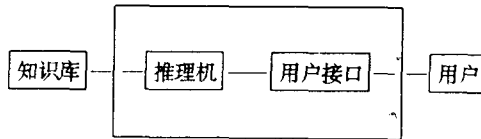


图 1.1 专家系统基本结构

第三节 专家系统的哲学涵义

在哲学上,专家系统的研究实际上可归结为这样的问题:机器能否代替人脑?思维的本质是什么?这似乎已成为哲学家们永恒的研究主题。在此我们将讨论,为什么若干世纪以来,自然科学和哲学大师们都力求将世界归结为一种完美的数学力学形式,但最终都以机械唯物和唯心论而告以失败,现今兴起的用计算机模拟人的行为的人工智能技术到底能走多远?这些问题至少可以上溯到 16 世纪末期。在文艺复兴时期,科学终于冲破神的束缚,但科学及其作用是什么仍不得而知。积自然科学和哲学为一体的巨人—弗朗西斯·培根表述自己的思想,他极力强调经验的,理性的思维是人的自由行动的最重要因素,主张任何科学都是实验的科学。模型化研究是实验的重要内容。与培根同时,新时代哲学奠基人之一的笛卡尔认为自然界是完全可以用数学力学规律加以解释的,全部物理、化学和生理的过程都可归结为机械模型。到了 17 世纪,伽利略继哥白尼之后对物理学进行了全面改造,试图把世界统统归结到几个公式之中,形成了对自然界作均一和谐描述的数学观点。牛顿更进一步,在其《自然哲学的数学原理》不朽著作中,对世界的力学描述达到了最终的经典形式。作为一个与牛顿同时创立微积分的伟大数学家,莱布尼茨第一个提出了人类思维的机器模拟的思想,并把“算法”、“同构”、“模型”这些概念引进了科学。18 世纪,二元论科学世界观的典型代表拉普拉斯极力主张可以用一个广泛的、包罗万象的数学公式把世界秩序中进行的全部都表示出来。著名的拉氏方程描述了一个稳恒态的世界秩序。

毫无疑问,这些力图将世界归结为唯理的数学和经验的物理体系中的努力,与当时的科学水平是相适应的,并且大都构成了文艺复兴以来到 19 世纪末科学革命前的主要哲学观——形而上学的思维方式。但是,他们仅仅考虑了宇宙体系的一个方面——熵增大原理(热力学第二定理),它暗示了世界的单方向变化,并最终将达到平衡状态。与之相悖,达尔文的进化论揭示了世界存在着由低级向高级,由简单到复杂的发展规律,而这种现象是不能用基

于机械运动的数学力学理论加以描述的。

康德(1724—1804)首先冲破了僵化的形而上学自然观,提出数学不适用于人脑内部的经验现象及其思维规律。他提出的“图式”概念现今成了认知心理学和人工智能的基本术语,他的思维方式为辩证唯物主义的创立提供了依据。

我们在前面回顾了作为人工智能重要内容的专家系统的发展,它的历程反映了机械的和形而上学的方法与辩证思维的争论。用机器(计算机)来反映人脑思维是极其艰巨的,但是人工智能和认知理论的权威西蒙(Simon, 1986)的工作反映了这一过程的可解性。他否定了用经典数学建立数学模型模拟人脑思维的有效性,提出了建立计算机模型模拟人脑的可行性,因为计算机的操作本身并不是数值运算,它的内部实际上是由电磁场、电网络和模式构成的,而人脑的运算是神经元的某种运动方式,二者均可视为完善的物理符号系统。下面的物理符号系统假设可作为人工智能的公理:

任何一个系统,如果它能表现出智能的话,就必须能执行输入、输出、存储、复制、建立符号结构和条件性迁移这六个方面的任务,或者说,具有这六种功能的系统就能表现出智能。由此产生三个推论:

1. 既然人具有智能,他就一定是个完善的物理符号系统。我们认为,人所以能够表现出智能,就是基于他的信息加工过程。

2. 既然计算机是一个完善的物理符号系统,它就一定能够表现出智能,这是人工智能的基本条件。

3. 既然人是一个完善的物理符号系统,计算机也是一个完善的物理符号系统,那么,我们就能用计算机来模拟人的活动。

实际上,人工智能(包括专家系统)的哲学基础正是依赖于现代认知理论,它从机械的和形而上学的观点超脱出来,并吸收了格式塔心理学系统论的合理成份。可以预料,人工智能将会对自然科学和哲学产生深远的影响。

第四节 几种典型的专家系统

目前,专家系统的应用遍及自然科学、社会和经济等众多领域。Hayes-Roth(1983)等将之分为十种类型:

1. 解释系统:从观察中推断情况。包括监测、语言理解、图象分析、化学结构推断和信号解释等。

2. 预报系统:从给定的情况推断可能的结果。包括气象预报、人口预测、交通预报、农作物估计和军事预报等。

3. 诊断系统:从观察推断系统的故障。包括医疗、电子、机械和计算机软件等。

4. 设计系统:在一定的约束条件下,构成目标。包括电路布局、建筑设计和预算等。

5. 规划系统:设计行动。包括计算机自动编程、机器人、通信等。

6. 监测系统:将系统行为的观测结果与计划的关键特性进行对比。多用于核电厂、空中交通、医学等。

7. 故障排除系统:用于故障的补救和修复。这些系统依赖于对改正问题的规范和推荐方案的规范和推荐方案的规划、设计和预报能力。

8. 修理系统:开发和执行规划以处理某些补救和修复措施。不包括排除故障、规划和执行任务等能力。

9. 教学系统:诊断和解决学生学习过程中的问题。能够根据学生的特点,制定合适的补习方案,并辅导学生学习。

10. 控制系统:解释、预报、修复和监测系统的行为。适于管理系统的各种行为。可用于空中交通控制、商业管理和战斗指挥等。

表 1.1 几种典型的专家系统的特征

系统开发	开发年代	主要特征	所含系统举例	开发者
DENDRAL	自 60 年代中起	DENDRAL 用于推断未知化合物的可能结构,通过分析质谱,核磁共振和其他化学实验数据,META-DENDRAL;在 DENDRAL 的基础上,通过处理和选择有机物结构的裂殖规则,如入分析知识。	DENDRAL, META-DENDRAL	Buchanan 等
SAINT	自 1961 年以 SAINT 开始,以 MACSYMA 达到顶峰	用于符号数学,能完成微积分运算,并擅长于简化符号的表示。	SAINT, SIN, MATILAB, MACSYMA	Slagle, Martin 等
PSC	自 60 年代早期开始	PSG 最初是研究和模型化人类认知的生成系统语言,并由此开发出了 OPS 系列,用于编制 DEC VAX 计算机的专家系统	PSG,OPS, OPS4, OPS5, R1	Newett McDermot Forgy 等
MYCIN 和 PROSPECTOR	自 60 年代早期开始	MYCIN 用于诊断处理血液疾病。TEIRESIAS 是 MYCIN 的分支。EMYCIN 辅助将专家的专门技能转换到知识库中。PROSPECTOR 运用语义网络知识表示方式,用于矿藏远景评价和勘探。	MYCIN, EMYCIN, PUFF, TEIRES, IAS,KAS, PROSPECTOR, KOSIE,等	Davis, Buchanan, Shortliffe, Duda 等

表 1.1 给出了具有代表性的专家系统的发展历程和基本特点。而下述二个系统是最为经典的专家系统:

1. 医学诊断专家系统(MYCIN): 为 1976 年 Shortliffe 等开发的用于血液病毒感染的系统。主要由会诊程序、说明程序和知识获得程序三部分组成。会诊程序是系统的核心,包括知识、生成规则、规则解释器等。它与医生进行磋商以获得有关病人的信息,提出诊断和治疗方案。早期系统共包含 500 多条规则,典型的生成规则为

IF Conditions THEN Actions

例:

- IF 1)“需要治疗的感染是脑膜炎”和
2)“已知有机体的污染”和
3)“已知有机体的生物形态学”和
4)“病人已被严重烧伤”

THEN 有个专家建议(0.3)那个蓝色的绿色假单胞菌(绿脓杆菌)
为有机物之一,它可能引起感染。

数值 0.3 为医学专家意见中介于-1 至+1 之间的测量值,它表示规则的条件和其结论之间关系的紧密程度,即确定性因素。MYCIN 的规则解释器采用了回溯链搜索法。它通过从可能结论到有关先辈条件和从这些条件到有关数据。

2. 勘探者专家系统(PROSPECTOR):为 Duda 等人开发的用于矿藏远景评价和勘探的系统。早期的专家知识库仅包括黑矿型块状硫化矿、密西西比河谷型铅锌矿和斑岩型铜矿三种类型,现今已扩展为十多种。该系统涉及到两种不同的模式:第一步,勘探人员(用户)首先告诉系统有关已知或可能的地质建造,构造条件,以及各种岩矿类型和交代产物。系统将运行结果与各种矿床模型进行对比,指出其相似性,差异性以及遗漏的信息,然后要求地质人员给出有关的数据以作出远景矿产潜在评估。第二步,系统将“告知”描述矿化特征的大数据库,其目的是“遍历”数据库,以选定特定的矿种或作出矿产资源的区域评估。该系统的推理机制与 MYCIN 类似,但在专家知识的主观性研究方面更为深入。对专家知识的主观贝叶斯分析,以及利用“知识库”将模糊性与逻辑推理相结合等是 PROSPECTOR 至今仍为专家系统经典的重要原因。

小 结

本章着重阐述了专家系统的理论、方法及实践中的问题。人类进入文明社会以来,经历了三次飞跃。交通工具的开发,解放了人体的四肢;通讯手段的诞生,扩展了人类的感官。人工智能的应用可视为人类的第三次飞跃,使机器(计算机)模拟人脑成为可能,但是,它仅仅是作为原型的人脑的一种简化,不可能取代人本身。在专家系统开发中,最重要的是知识,而专家系统采用的推理和知识表示方案提供了运用知识的机制。有鉴于此,本书将着眼于知识库的开发,并将 CRUSTAB 系统视为区域地壳稳定性评价的一种方法。

第二章 区域地壳稳定性研究的专家知识结构模型

本章运用图论的结构矩阵法研究其专家知识结构框架,探求本学科专家知识结构的合理性和优化性,为进行综合评价打下基础。

第一节 区域地壳稳定性研究的发展及几种评价方法

区域地壳稳定性,指在工程建设场址区,地壳及其表层在地球内外动力作用下现今稳定程度。在我国,区域地壳稳定性研究大致经历了三个阶段(殷跃平,1990):

一、五十年代至七十年代初

区域地壳稳定性评价作为区域工程地质的一部分,主要起为国土整治和规划提供宏观的指导作用。其研究涉及到区域地质条件,历史地震活动和地质灾害事件,但大多偏重于定性分析,没有形成一套较为完整的方法。

二、七十年代中期至八十年代初

主要服务于大型水电站和核电站等重大工程的选址。其目的在于通过地质条件、地震活动和区域地球物理场的综合研究,作出区域地壳稳定分区评价图,以筛选出适合工程建设的相对稳定地块。并从数学模拟和物理模拟、模糊数学、概率论和随机理论等角度论证和深化区域地壳稳定性的定性评价结果。

三、八十年代中期至今

随着我国经济建设的发展,城市区域地壳稳定性评价工作极为重要。例如,深圳、西安等城市都遇到了不容忽视的区域地壳稳定性问题。但与前两阶段明显不同的是,其最终目的并不限于筛选出适合工程建设的场址—相对稳定地块,因为城市的位置业已确定,它更多地包涵设防抗灾(如地震)等。因此,在进行区域地壳稳定性分区评价以提供“分级”指标的同时,也应该甚至必须提供稳定程度的“量级”指标,不难看出,第三阶段区域地壳稳定性评价中,提供定量或定量化参数更有意义。

表 2.1 列出了几种区域地壳稳定性评价或与之有关的专家思路。这五种思路各具特点。我们认为,运用人工智能技术,模拟该学科中权威专家思维的模糊性和随机性,由此寻求最佳的技术路径是很有现实意义的。不妨将表 2.1 所涉及到的因素分为“区域地壳稳定性调查所考虑的因素和“区域地壳稳定性评价所考虑的因素”两类(表 2.2、表 2.3),而把这种离散化的因素称之为元素。

第二节 区域地壳稳定性专家知识的结构模型解

结构模型解是一种图论的分析方法。也就是将网络图(或复杂系统)元素之间的关系用矩阵表示,由此可揭示网络图中大量元素之间的内在关系(因果、上下、大小等),并可通过电