

何克清教授

科研成果集

何克清 等著



科学出版社

何克清教授科研成果集

何克清 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本论文集共收录何克清教授科研团队于 1986—2017 年期间在国内外主流学术期刊和会议上发表的 50 篇论文（其中，中文 21 篇，英文 27 篇，日文 2 篇）。论文共分为五个部分：软件建模、软件网络、服务需求工程、服务发现与推荐、语义互操作，涵盖了何克清教授三十多年来在软件工程领域的主要成果。

本书可供对软件工程领域感兴趣的研究人员和工程技术人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

何克清教授科研成果集 / 何克清等著. —北京: 科学出版社, 2018.1
ISBN 978-7-03-055740-7

I. ①何… II. ①何… III. ①软件工程-科技成果-汇编
IV. ①TP311.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 293608 号

责任编辑: 任 静 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张克忠 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 1 月第 一 版 开本: 787×1 092 1/16

2018 年 1 月第一次印刷 印张: 56 1/2 插页: 2

字数: 1 380 000

定价: 298.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)





何克清教授近照



科研团队(部分成员)，2009



研制国际标准系列的部分青年教师，2015



ISO 颁布执行的软件异构模型语义互操作性治理技术的国际标准系列，2015



何克清在软件工程国家重点实验室建室 20 周年庆祝大会上做学术报告，2005



国际标准化组织 ISO/IEC JTC1 SC32 的学术交流会议，2004



天伦之乐——与孙子在一起，2014

前 言

从 1970 年我 22 岁从武汉大学数学系毕业后留校任教，从事科研教学工作至今已有 48 年了。最初，我参与了武汉大学“工农兵(GNB)”型计算机系列的硬件系统设计组装与调试，学习并分析了武汉钢铁公司引进的西德冷轧过程控制计算机操作系统的汇编语言程序，进入了计算机系统领域。

在中国改革开放的国策下，我有幸成为教育部首批赴日留学的研修生。1979 年 12 月，进入了被国际软件工程著名专家叶祖尧教授(美国马利兰大学计算机系主任)评价为当时世界上三大真正的软件工厂之一——拥有 5 万名软件技术及工程管理人员的日立公司软件工厂学习。从程序到软件、再到软件工程化的一线研发和学习，从此我进入了计算机软件工程的领域。

1982 年 1 月，我回到武汉大学开始了我的软件工程科研和教学的生涯。1982 年申请并创建了经教育部批准成立的武汉大学软件工程研究所，开设并主讲了“计算机软件工程学”课程；1983 年出版了《计算机软件工程学》一书；1984 年申请、1985 年创建了经国家计划委员会批准成立的软件工程国家重点实验室(武汉大学)，并担任了 10 年的主任、8 年的常务副主任；1987 年获得了湖北省人民政府的计算机优秀软件奖一等奖。从此，开始了我与软件工程国家重点实验室的创建、发展、壮大，以及将科技成果服务于企业社会、并成功推向国际的 32 年。其中，包含着我和团队的多少酸、甜、苦、辣的科研历程。我虽然坚持一年 360 天都在上班、坚守在实验室努力工作，但成就说不上，自己感觉算得上成绩的，也屈指可数。到现在，虽常有志向再解决点科技关键问题、再做点什么，也偶然能成功做出点什么，但是更多的时候知道“22 + 48”意味着什么。

承现任软件工程国家重点实验室主任及副主任们的盛意，李兵、王健、梁鹏、马于涛、何扬帆等诸君的全力支持和参与，出版了这本科研成果集的 50 篇主要论文。连同 2008 年科学出版社出版的专著《本体元建模理论与方法及其应用》、《网络式软件》、《软件网络》，1983 年武汉大学出版社出版的《计算机软件工程学》，以及 2015 年 10 月 ISO 正式颁布执行的互操作性元模型框架 (metamodel framework for interoperability) MFI-3 “本体注册元模型”、MFI-5 “过程模型注册元模型”、MFI-7 “服务模型注册元模型”、MFI-8 “角色和目标模型注册元模型”和 MFI-9 “按需模型选择方法”所组成的 ISO/IEC 19763-3/5/7/8/9 国际标准技术系列，研制的 8 项国家推荐标准系列，再加上授权的 14 项国家发明专利，11 项计算机软件著作权，大致能反映出我们曾经走过的路、喝过的水、摔过的跤以及偶有所得。本书的整理过程中，常自觉浅陋，解决科学技术的关键问题太少、成果太少，但这都已成为历史。

感谢收录的论文合作者——其中的绝大多数曾是我的博士生。我的面前常常浮现他们年轻、鲜活的面容。他们中间的绝大多数和我仍有经常的联系，虽然有的远隔千万里，有的在周围合作工作。做了 20 多年硕士生、博士生的导师，结交了 50 多位年轻的朋友，实乃一段人生值得回忆的经历和享受。

我出生于一个农民家庭，从小就养成了踏踏实实、埋头苦干的奋斗精神。在武汉大学数

学系学习的 5 年期间，虽然经历了艰苦的岁月，但一直坚持专业自学、外语自学、自强不息。1979 年 12 月到 1982 年 1 月，我通过教育部的选拔考试，有幸获得国家公派的首批赴日留学研修生的学习机会，深刻地认识到我国计算机工程技术与发达国家的差距和自己肩上的使命。发展我国软件科技的“开拓创新、敢为人先”的初心，成为我科研人生的动力。1982 年创建武汉大学软件工程研究所，1985 年创建软件工程国家重点实验室，2003 年创建武汉大学国际软件学院，得到了时任武汉大学校长刘道玉教授和刘经南院士的全力支持，还得到了长期担任软件工程国家重点实验室学术委员会主任的陈火旺院士、李德毅院士的指导。在日本留学期间，得到了时任日立公司软件工厂总工程师的菅野文友教授、北海道大学宫本卫市教授的指导。

在回顾往事的时候，再次向这六位大师表示我由衷的敬意。感谢我的夫人周玉珍女士，多年来任劳任怨，承担了全部家务，保证了我的工作时间。没有领导、大师、朋友和家庭的支持，我将一事无成。

我的全部工作时间，都在武汉大学软件工程国家重点实验室、武汉大学软件工程研究所度过。真诚地怀念软件工程国家重点实验室为我国经济社会发展、软件工程学科的创新建设，做出了应有的贡献。

何克清

武汉大学

2018 年 1 月于武汉市珞珈山

研究成果概述

概观本书所包含的论文，不难发现我的研究整体上属于软件建模的基础和应用基础的理论方法及技术范畴。第 1 部分的“软件建模”，主要反映出 20 世纪后期到 21 世纪初期的面向对象的软件建模研究。第 5 部分“语义互操作”问题导向研究，以 2017 年发表在计算机学报上《需求制导的业务协作及其软件模型服务的互操作技术》最后一篇研究长文为代表，中间经过长达 20 多年的“软件网络”、“服务需求工程”、“服务发现与推荐”等面向互联网上软件服务工程的“网络式软件”基础与应用基础研究。针对软件服务工程从软件资源复用到软件服务，领域系统纵向封闭的同构集成与协同到横向开放的异域跨界异构系统服务的松耦合互操作变革难题，揭示了传统的面向对象软件工程经典技术“模型驱动的架构 MDA”存在的问题，及其演进的必然性。研究提出了“互联网+”时代的软件服务工程中“模型交互驱动的架构 MiDA”，及其突破“异构集成”技术瓶颈的软件系统松耦合服务的语义互操作性治理技术。

1. 坚持问题导向研究

作为“互联网+”应用的重要技术引擎之一，网络化交互涵盖了人(包括涉众用户的业务及软件服务需求者)，信息物理系统 CPS(Cyber-Physical System)，现实世界中的业务内容以及虚拟空间中网页内容、模型、数据及其软硬件的资源三大世界中各种要素之间的无边界交互。交互衍生出的服务价值与意义更易获得广泛认可，这种全方位的交互需求已经初现端倪。支撑网络化交互的软件工程技术，首先是松耦合语义互操作及其能力的治理与管理技术。然而，与其相关的理论方法和技术还没有被高度重视，尚未成为目前研究的热点。导致信息化二十多年来，“信息孤岛”的“异构集成”问题始终没有得到真正解决。

十多年来，我们团队为化解“互联网+”云计算与大数据时代软件服务的“信息孤岛”危机，突破“互联网+”企业业务的“异构集成”软件技术瓶颈，在互联网实现了“互联、互通”的连接基础上，针对业务协作需求制导的异构软件系统之间松耦合语义互操作服务的科技难题，开展了问题导向型研究。

在 973 项目首席科学家李德毅院士领导下，我们团队在承担国家 973 项目课题的研究中，发现了网络化服务需求的元描述中 4 大基本元素，即角色(Role)、目标(Goal)、过程(Process)和服务(Service)，构建了 RGPS 需求元模型及其之间 9 种语义关联关系，提出了 RGPS 需求元模型框架，及基于 RGPS 元模型的按需模型交互与选择服务的灵活互操作方法。2008 年开始，RGPS 元模型技术成功地推向了国际。时任美国伯克利劳伦斯国家实验室计算机主任科学家、ISO SC32 主席的 Bruce Bargmeyer 先生，2010 年在 ISO SC32 年会的主题报告中指出：“The signification role of RGPS(role-goal-process-service) metamodel framework has been recognized by ISO/IEC JTC1 SC32,and has been accepted as four standard projects - MFI-5, 7, 8,and 9”,“RGPS is regarded as four basic elements for cloud computing, and it will play a directive

role in the roadmap for the implementation of an open and interoperable information technology such as cloud computing.”

我们研究提出了基于 O-RGPS (Ontology-RGPS) 元模型的需求语义互操作性展开方法。有关论文在国际上发表后,得到了如法国国家科学技术与管理大学的 Jacky Akoka 教授等人的积极评价,在他们发表的论文中将 O-RGPS 方法列为国际上 4 种代表性需求元模型方法之一 (“Among them, let us mention the following meta-models: i^* , si^* , Tropos, Secure Tropos, O-RGPS and KAOS ”)。

2. 研究成果成功推向了国际

在 O-RGPS 新技术提案被 ISO 采纳后,受 ISO/IEC SC32 委托,我们成功研制了 5 项国际标准的系列 ISO/IEC 19763-3/-5/-7/-8/-9。在确认了标准化技术的不重复、不可替代性之后,2015 年被 ISO 正式颁布执行,全球推广应用。作为一个大学教授,我深刻体会到为了实现我国软件新技术的国际公认和产业化推广应用,面向国际、走国际标准化道路是一条有效的捷径。十三年磨一剑,基于 O-RGPS 的模型语义互操作性治理与管理技术,终于成为 ISO/IEC 19763 国际标准系列。长期以来,计算机软件技术的国际标准,一直被欧美及发达国家所垄断。我们的科研工作,首次向世界展示了中国软件工程科技的创新实力。

13 年的国际化历程,实乃人生值得回忆的一段有价值的经历。充分展现出我们团队“敢为人先、自主创新、开拓奋进、坚持不懈、追求卓越”的精神。美国亚利桑那州立大学 (Arizona State University, ASU) 计算机科学与工程系蔡维德教授说,作为一名大学教授,能够长期坚持细心地做好一件事,将自己的科研成果成功地推向国际标准化应用,实属不易。即使在美国,这也是一个了不起的成就。

团队青年教师何扬帆、王翀、王健、冯在文、何非,分别承担了这 5 项 ISO 标准的研制工作;刘婧、王健、马于涛等与金蝶软件(中国)有限公司张良杰首席科学家的团队,合作承担了国际 IT 业界技术开放群组 TOG 的云计算参考架构 CCRA 标准化研制,本成果的核心技术被确定为 CCRA 的基础技术。他们甘心“板凳要坐十年冷、文章不写一句空”,执拗坚守在创新性软件技术实现国际化的岗位,这在仅以发表论文论英雄的科研氛围中实属不易。十三年磨一剑,每个 ISO 标准从提案到正式颁布,必须经过规定的五个阶段,每个阶段平均产生四个修改版本,每个版本需获得三分之二以上 ISO 成员国专家评审的赞成票方可通过。近百个国际标准版本的形成及其修改说明的繁重工作,近百次严格的国际评审,赢得了国际同行的承认。同时,也培养和造就了一支敢于国际竞争、善于国际交流与合作团队的良好心态和务实精神。

ISO/IEC 19763-3/5/7/8/9 国际标准系列正式颁布执行后,到 2016 年 9 月止,仅 ISO 中心网站的统计数据,通过网上购买本标准系列文本的国际企业、大学、科研机构或个人,就已超过千套次。其中,由联合国环境署发文推广应用 ISO/IEC 19763-3,并在国际环境保护多语言 GEMET 系统中得到了成功应用。

2010 年、2015 年先后获得 ISO/IEC 联合颁发的负责研制 ISO/IEC 19763-3 及 ISO/IEC 19763-5/7/8/9 标准系列的“特别贡献”国际奖。2011 年获得中国标准化协会颁发的首届中国标准化杰出(创新)人物奖。为国家实施标准化战略做出了贡献,实现了我国原创的软件技术成为 ISO 标准系列的首次实质性突破。

3. 研究成果的形态物化

为实现研究成果的集成与落地应用,软件工程方法和技术必须形态物化,形成具有创新价值取向的系统性自主知识产权尤其重要。首先,国际标准化是一条重要途径。而且,取得授权的发明专利及软件著作权,是不可或缺的手段。

我们团队十多年来成功实施了“专利标准化、标准专利化、标准国际化,标准与专利一体化结合”的国家策略(国办发[2015]67号文)。获得了14项国家发明专利授权,软件工具与软件服务平台的开发中取得了11项计算机软件著作权。它们与5项ISO国际标准、1项TOG国际标准及8项国家标准结合在一起,形成了为解决“需求制导软件模型级服务的语义互操作性治理与管理”与“按需、主动式推荐、精准高效的智能化云服务”的创新技术知识产权链。为化解供需互动的供给侧软件服务的“信息孤岛”,提供了系统性技术的金钥匙!

4. 研究成果的规模产业化推广应用

“产学研用”结合,是软件工程科技成果推广应用的必由之路。近20年来,我们团队与武汉钢铁工程技术(集团)有限公司、金蝶软件(中国)有限公司、武汉开目公司等成功建立了“产学研用”合作关系,2017年荣获“湖北省双创战略团队”称号。应用软件创新技术及其标准、专利,合作研发了制造业信息化软构件库的语义互操作性管理与服务平台、金蝶K/3云平台、武钢云管理平台、金蝶云之家等。在国内实现了规模产业化推广应用,取得了十分显著的经济与社会效益。感谢业界精英和朋友们的真诚合作与大力支持。

本书中的科研成果,有的入选2011年度、2013年度中国电子学会云计算专家委员会发布的《云计算技术发展报告》,有的被国家信息化专家咨询委员会2013年发布的《信息化蓝皮书:中国信息化形势分析与预测》列为我国软件服务业技术的代表性工作等。2009年,团队获得了国家科技进步奖二等奖,1987年、2008年、2011年、2015年,分别4次获得了湖北省科技进步奖一等奖,2014年获得了中国计算机学会科技进步奖一等奖,2008年获得了国家教育部自然科学奖一等奖,2016年获得了中国国际工业博览会高校展区优秀产品特等奖等。

5. 计算机软件工程是年轻人的事业

计算机事业是年轻人的事业,计算机软件工程尤其如此。我们的科研团队是一个以中青年科技人员为主体的创新集体。与这批学术思想敏锐、基础扎实、勇于并善于国际交流与竞争、甘坐冷板凳、埋头苦干的年轻人一起,工作30多年,实为人生的一件幸事。他们有的已经是教授、副教授,成为学院或研究机构的负责人,有的已经是企业的负责人,有的承担着国家重大重点科研项目课题,或是省部级双创战略团队的负责人等,有的已在领导自己的科研团队,继往开来地从事着更高水平的科技创新事业,为国民经济与社会的发展做出贡献。

2010年,“软件工程”正式被国家批准为一级学科。特别感谢软件工程国家重点实验室(武汉大学),提供了我们科技人生中的重要支撑平台,孕育了本书的科研成果。

何克清

2017年8月

目 录

前言	
研究成果概述	

第 1 部分 软件建模

程序设计方法——PAM	2
软件开发活动的基本控制结构的研究	12
一个可构造的反演状态模式	16
业务应用软件框架的一种分析方法	24
一个面向对象的集成化软件原型开发环境	32
角色 Use Case: UML 的一个更加完全的分析方法	43
Extended UML with Role Modeling	51
面向服务的本体元建模理论与方法研究	62
基于角色的设计模式的建模和实现方法	76
一种基于动作语义的 UML1.X-2.0 模型转换方法	91
ソフトウェアプロセスの基本制御構造	102
並行オブジェクト群による協調動作に対する型の定義	115

第 2 部分 软件网络

Design Methodology of Networked Software Evolution Growth Based on Software Patterns	130
Scale Free in Software Metrics	158
A Complexity Metrics Set for Large-scale Object-oriented Software Systems	168
Characterizing the Structural Quality of General Complex Software Networks	178
A Hybrid Set of Complexity Metrics for Large-scale Object-oriented Software Systems	190
网络化软件的复杂网络特性实证	218
基于复杂网络的软件复杂性度量研究	251

第 3 部分 服务需求工程

Requirement Emergence Computation of Networked Software	260
RGPS: A Unified Requirements Meta-Modeling Frame for Networked Software	270
A Unified RGPS-Based Approach Supporting Service-Oriented Process Customization	285
QoS-Aware and Multi-Granularity Service Composition	311
An Approach for Prioritizing Software Features Based on Node Centrality in Probability	

Network	332
RGPS 制导的按需服务组织与推荐方法	348
需求语义驱动的按需服务聚合生产方法	369
一种基于特征模型和协同过滤的需求获取方法	388
一种基于 RGPS 着色的 C-net 模型及其应用	404

第 4 部分 服务发现与推荐

Service Organization and Recommendation Using Multi-Granularity Approach	425
Integrating Implicit Feedbacks for Time-aware Web Service Recommendations	460
Leveraging Incrementally Enriched Domain Knowledge to Enhance Service Categorization	482
Towards Services Discovery Based on Service Goal Extraction and Recommendation	508
Leveraging Auxiliary Knowledge for Web Service Clustering	524
An On-demand Services Discovery Approach Based on Topic Clustering	538
Personalized Service Recommendation Based on Time and Tag merged Pseudo Ratings	558
WSGM-SD: An Approach to RESTful Service Discovery based on Weighted Service Goal Model	585
An Approach of Service Discovery Based on Service Goal Clustering	602
A Web Service Discovery Approach Based on Common Topic Groups Extraction	618
一种基于情境推理的语义 Web 服务发现方法	648
面向领域标签辅助的服务聚类方法	662
一种面向主题的领域服务聚类方法	677

第 5 部分 语义互操作

Semantic Interoperability Aggregation in Service Requirements Refinement	692
Facilitating Cloud Process Family Co-evolution by Reusable Process Plug-in: An Open-source Prototype	716
CCRA: Cloud Computing Reference Architecture	744
Web Service Clustering Using Relational Database Approach	760
Web Service Aggregation Using Semantic Interoperability Oriented Method	787
An Approach to Business Process Registration for Enterprise Collaboration: Using BPEL as an Example	803
一种目标感知的可配置业务流程分析方法	827
基于社会标注的 Web 服务语义自动浮现方法	840
需求制导的业务协作及其软件模型服务的互操作技术	857
附录 何克清教授主要科研成果目录	880
后记 深深的敬意与诚挚的感谢	890



第 1 部分



软件建模

程序设计方法——PAM^①

软件工程学领域的研究成果表明，降低开发成本和维护费用、提高程序质量的最重要的一点就是要抓住软件的设计和审查这个关键。因此，设计方法的研究在软件工程学领域中，已成为重要的研究课题之一。从目前软件设计方法的研究现状来看，一般把大规模的软件设计过程分成软件系统设计(定义模块，确定模块体系)和程序设计(模块内的程序设计)；对软件系统的设计来说，其设计方法大致可分为三种。一种是由 Dijkstra 和 Wirth 等提出的以功能为中心逐层使程序结构详细化的功能分解设计法；另一种是由 Jackson 和 Warnier 等提出根据数据结构来建立程序控制结构的数据结构设计法；第三种是由 Yourdon 和 Constantine 提出的根据数据流程图来建立程序结构的结构化设计法。对于程序设计来说，在结构化程序设计这个前提下，根据人们的思维过程以及数据结构的具体方式自顶向下地展开来构造程序。因此，软件系统设计法和程序设计法之间是有区别的，通过表 1 的比较可以看出这两类设计方法的区别。

问题分析法—PAM(Problem Analysis Method)以下简称(PAM)是在系统设计，例如，Yourdon 等的结构化设计完成后，下一步进行程序设计时所使用的一种比较有效的新方法。

表 1 软件系统设计法和程序设计法的比较

项目	软件系统设计法	程序设计法
分解对象及其单位	系统到模块	模块到子问题
对象应具备的特征	系统规模大，变更困难，所以要求： 1) 可以长期使用 2) 多少人共同工作	模块规模小(数十步~数百步)，由于容易受硬件变化的影响，所以要求： 1) 一般而言，与其说部分修改还不如重新制作要容易得多 2) 程序员一人的工作量
分解的主要标准	1) 系统的维护性 2) 模块的可再利用性 3) 模块功能的易理解性	1) 模块的易修改性 2) 正确度易确认性 3) 执行速度、程序空间等的效率
最终产物	1) 表现模块间关系的树结构 2) 各模块功能规格书	由子问题编织成的程序

1 PAM 的产生背景和基本思想

在目前现有的程序设计方法中，最有代表性的方法是自顶向下的方法和数据分析法。所谓自顶向下的程序设计方法，是荷兰的 Dijkstra 于 1969 年提出的，其基本原理是从直接反映问题功能体系的概念出发，逐步精细化、具体化，逐步补充细节，直到设计出程序为止；这

① 本文发表于《计算机研究与发展》，1986, 1: 40-48
合作者：毋国庆、张亮

种方法如图 1 所示，可将头脑中模糊的解决问题的过程程序化；但是这种方法不能给出“如何分解模糊问题”的解答，只能由各个程序员根据实际情况进行，亦即，自顶向下的方法并没有展示出称为程序设计方法的具体设计过程。

数据结构分析设计法是由 Jackson 和 Warnier 提出的根据输入输出数据的结构决定处理该数据的程序结构的方法，或称为数据结构设计法，其基本出发点为：程序是通过数据结构来表现问题结构，因此，以正确的数据结构表示的模型，一定可以变换为实际问题的正确模型；并且程序的结构可以反映数据结构。其设计步骤如下：

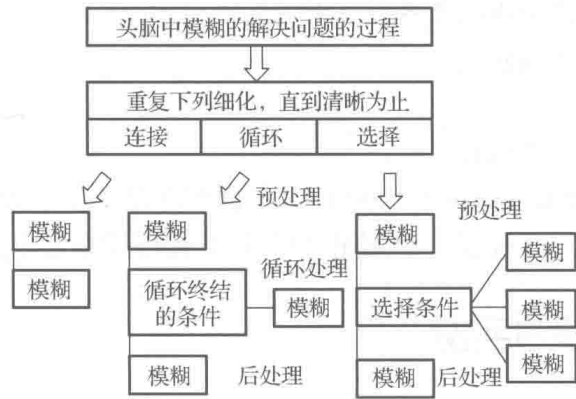


图 1 根据自顶向下方法开发程序的原理

- (1)描述输入输出数据的结构；
- (2)根据数据结构，决定程序的控制结构；
- (3)由输出数据结构反馈到输入数据结构，确定执行时的操作；
- (4)将(3)中所有的操作分配到(2)所示的程序控制结构中去。

这种分析方法要求首先必须明确地给出输入输出数据结构，而且还要求程序内部规格中保持数据结构和程序结构的一致性；但是，对于那些无法明确地给出输入输出数据结构的情况，该方法就显得无能为力了。我们通过表 2 来展示这两种方法以及这两种方法所存在的问题。

表 2 两种现有的程序设计方法以及各自存在的问题

方法名	方法或过程	主要工作	问题
自顶向下方法	按功能自顶向下地设计程序结构	控制结构的设计	并没有给出自顶向下展开的设计方法本身
数据分析方法	1)描述数据结构 2)根据数据结构决定控制结构 3)列出程序的操作 4)将(3)中所列举的操作分配到(2)的控制结构中去	输入输出数据结构的 设计	并没有给出设计数据结构的方法本身

为了改善上述设计方法存在的问题，日本日立公司的二村良彦先生等提出了程序设计的新方法，即 PAM，这种方法利用程序的输入输出数据结构对问题进行分割和综合，在分割的过程中又采用了具体化的自顶向下的分析方法。这是一种吸收了上述两种程序设计方法优点的新程序设计方法。在 PAM 中，其描述工具是 PAD (Problem Analysis Diagram)，因为 PAD 是一种可视的逻辑树图，它与流程图等原有的程序逻辑图相比，具有如下三个主要特点：

- (1)清晰、简洁地表现程序逻辑；
- (2)可视、程序逻辑透明，可与源程序对应；