

“十一五”国家重点图书出版规划项目

21世纪
科技与社会发展丛书
(第三辑)

丛书主编 徐冠华

网络资源的经济配置模型

黄飞雪 李志洁 / 著



科学出版社
www.sciencep.com

“十一五”国家重点图书出版规划项目
大连理工大学软件+X研究基金(DUT842301)

大连市软科学资助出版项目

21世纪
科技与社会发展丛书
(第三辑)

丛书主编 徐冠华

网格资源的经济配置模型

科学出版社
北京

内 容 简 介

网格系统的资源管理十分复杂,这是制约网格计算技术走向实用的关键因素之一。本书从资源分配模型、资源分配算法和模拟实验三个层次对基于经济模型的网格资源优化配置进行了研究,目标是解决网格资源分配中的供需双方的均衡价格问题,主要建立了网格串行或并行任务分配的效用函数模型、网格任务调度的时间-费用模型、网格资源分配的序贯博弈和进化博弈模型。

本书既可作为高等院校信息与经管相关专业研究生的教材,也可作为相关工作人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

网格资源的经济配置模型 / 黄飞雪,李志洁著. —北京:科学出版社, 2010. 6

(21 世纪科技与社会发展丛书)

ISBN 978-7-03-027882-1

I. ①网… II. ①黄…②李… III. ①互联网络-资源利用-研究
IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 109998 号

丛书策划: 胡升华 侯俊琳

责任编辑: 宋旭 陈超 房阳 / 责任校对: 陈玉凤

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 黄华斌

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 6 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2010 年 6 月第一次印刷 印张: 10 1/2

印数: 1—2 000

字数: 192 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

“21 世纪科技与社会发展丛书” 第三辑

编委会

主 编 徐冠华
副主编 张景安 曲晓飞
委 员 刘晓英 胥和平 胡 珏
杨起全

编辑工作组组长 刘晓英
副组长 赵 刚 赵人楠 胡升华
成 员 侯俊琳 李 军 邹靖白
张 宁

总 序

进入 21 世纪，经济全球化的浪潮风起云涌，世界科技进步突飞猛进，国际政治、军事形势变幻莫测，文化间的冲突与交融日渐凸显，生态、环境危机更加严峻，所有这些构成了新世纪最鲜明的时代特征。在这种形势下，一个国家和地区的经济社会发展问题也随之超越了地域、时间、领域的局限，国际的、国内的、当前的、未来的、经济的、科技的、环境的等各类相关因素之间的冲突与吸纳、融合与排斥、重叠与挤压，构成了一幅错综复杂的图景。软科学为从根本上解决经济社会发展问题提供了良方。

软科学一词最早源于英国出版的《科学的科学》一书。日本则是最早使用“软科学”名称的国家。尽管目前国内外专家学者对软科学有着不同的称谓，但其基本指向都是通过综合性的知识体系、思维工具和分析方法，研究人类面临的复杂经济社会系统，为各种类型及各个层次的决策提供科学依据。它注重从政治、经济、科技、文化、环境等各个社会环节的内在联系中发现客观规律，寻求解决问题的途径和方案。世界各国，特别是西方发达国家，都高度重视软科学研究和决策咨询。软科学的广泛应用，在相当程度上改善和提升了发达国家的战略决策水平、公共管理水平，促进了其经济社会的发展。

在我国，自十一届三中全会以来，面对改革开放的新形势和新科技革命的机遇与挑战，党中央大力号召全党和全国人民解放思想、实事求是，提倡尊重知识、尊重人才，积极推进决策民主化、科学化。1986 年，国家科委在北京召开全国软科学研究工作座谈会，时任国务院副总理的万里代表党中央、国务院到会讲话，第一次把软科学研究提到为我国政治体制改革服务的高度。1988 年、1990 年，党中央、国务院进一步发出“大力发展软科学”、“加强软科学研究”的号召。此后，我国软科学研究工作体系逐步完善，理论和方法不断创新，软科学事业有了蓬勃发展。2003 ~ 2005 年的国家中长期科学和技术发展规划战略研

究，是新世纪我国规模最大的一次软科学研究，也是最为成功的软科学研究之一，集中体现了党中央、国务院坚持决策科学化、民主化的执政理念。规划领导小组组长温家宝总理反复强调，必须坚持科学化、民主化的原则，最广泛地听取和吸收科学家的意见和建议。在国务院领导下，科技部会同有关部门实现跨部门、跨行业、跨学科联合研究，广泛吸纳各方意见和建议，提出我国中长期科技发展总体思路、目标、任务和重点领域，为规划未来 15 年科技发展蓝图做出了突出贡献。

在党的正确方针政策指引下，我国地方软科学管理和研究机构如雨后春笋般大量涌现。大多数省、自治区、直辖市政府，已将机关职能部门的政策研究室等机构扩展成独立的软科学研究机构，使地方政府所属的软科学研究机构达到一定程度的专业化和规模化，并从组织上确立了软科学研究在地方政府管理、决策程序和体制中的地位。与此同时，大批咨询机构相继成立，由自然科学和社会科学工作者及管理工作者等组成的省市科技顾问团，成为地方政府的最高咨询机构。以科技专业学会为基础组成的咨询机构也非常活跃，它们不仅承担国家、部门和地区重大决策问题研究，还面向企业提供工程咨询、技术咨询、管理咨询、市场预测及各种培训等。这些研究机构的迅速壮大，为我国地方软科学事业的发展铺设了道路。

软科学研究成果是具有潜在经济社会效益的宝贵财富。希望“21 世纪科技与社会发展丛书”的出版发行，能够带动软科学的深入研究，为新世纪我国经济社会的发展做出积极贡献。

徐冠华

2009 年 2 月 11 日

第三辑序

随着经济与社会的发展，软科学研究的体系和成果为经济与科学决策提供了重要支撑。“21 世纪科技与社会发展丛书”的出版，旨在充分挖掘国内地方软科学研究的优势资源，推动软科学研究及其优秀成果的交流互补和资源共享，实现我国软科学研究事业的健康发展，为我国经济与社会发展的科学决策做出积极贡献。

大连市有着特殊的地缘位置，地处欧亚大陆东岸、辽东半岛最南端，东濒黄海，西临渤海，南与山东半岛隔海相望，北依东北平原，是东北、华北、华东及世界各地的海上门户，与日本、韩国、俄罗斯、朝鲜等国往来频繁。作为著名的港口、贸易、工业、旅游城市，大连市的经济社会发展对于东北地区、全国乃至整个东北亚地区都有着重要的战略意义。这个大背景为大连市软科学的发展提供了肥沃的土壤，同时大连市还拥有众多大学、科研院所及高水平的科研队伍，因此，大连市发展软科学有着得天独厚的优越条件。近年来，大连市的软科学事业发展很快，已经在产学研合作、自主创新、体制改革、和谐社会建设、公共管理、交通运输、文化交流等领域，开展了深入而广泛的软科学研究，取得许多令人瞩目的成绩。

通过“21 世纪科技与社会发展丛书”的出版，大连市软科学研究的优秀成果及资源得到了科学整合。一方面，能够展现软科学事业取得的进步，凝聚软科学研究人才，鼓励多出高质量、有价值的软科学成果，为更多的决策部门提供借鉴和参考；另一方面，能够通过成果展示，加强与其他城市和地区软科学研究人员的沟通和交流，突破部门、地方的分割体制，改善软科学研究立项重复、资源浪费、研究成果难以共享的状况，有利于我国软科学研究的整体健康发展。

第三辑编委会

2010 年 2 月 5 日

前 言

20 世纪 90 年代初，SUN 微系统公司的合作创建者约翰·盖奇提出了著名的“网络就是计算机”的观点。今天，随着因特网的快速普及，要解决的一个主要问题就是如何使一个人使用多台计算机就像“透明”地使用一台计算机一样，这就需要网格技术来解决。也许将来有一天，我们就像今天方便地使用电力一样使用网格中的“计算力”资源。

本书以新一代网络的计算基础设施——网格技术为背景，研究如何利用经济学原理来优化网格资源的配置方案。研究目标是解决网格资源分配中的用户出价问题，并验证所提方法的有效性。本书从资源分配模型、资源分配算法和模拟实验三个层次对基于经济模型的网格资源分配进行了研究，内容主要包括并行任务的资源分配、优化用户效用的资源分配、基于负载预测的资源分配以及有限理性下的资源分配。

本书尝试从经济的视角将网格资源分配中的概念、工具、方式等进行解释与分析，将新的国际成果、IT 技术与中国国情融为一体，注重运用表格与图形来说明问题，并在理论论述后配有实验分析，侧重利用理论来分析与解决实践问题。

本书的特色：

- 1) 内容新颖。通过引入经济学的相关成果对网格资源进行优化配置，并注重书中内容的与时俱进。
- 2) 侧重比较。书中涉及的重要概念、方法尽量采用比较的方式阐述，从而与易混淆的相关内容区分开来。
- 3) 图文并茂。强调图表，能用数字与图表表示的部分，尽量采用图表，注重逻辑推理。
- 4) 结果具有可重复性。注重实验的数据来源与预处理的可靠性，方法与过程的科学性，结果的可重复性，理论应用到实际的适用性。

全书的主要内容如下:

1) 提出了一种基于最大熵方法的网格资源分配策略,改善了并行任务的网格资源分配中用户作业的时间优化问题。具有并行任务的多个用户竞争同一资源的时间优化是一个极大极小的难解问题,利用最大熵方法将这个难解的问题转化为一个可微的优化问题,通过二分搜索最优解可得到用户出价的优化方案。讨论了用户出价函数的特征,证明了该方案的存在性和唯一性。结果表明,该方案具有较低的时间复杂度,适于优化大粒度的并行网格任务的执行时间。

2) 提出了一种基于效用函数优化的分配策略,改善了网格用户需求的异构性问题。利用综合的效用函数来考虑所有网格用户的效用优化,通过柯布-道格拉斯效用函数对网格资源进行合理分配和管理,综合考虑了用户作业执行费用和执行时间两方面的因素,较好地反映了经济模型中各变量之间的权衡,给出了网格用户效用函数的两种可行的优化方案,即基于预算约束的效用优化和基于时限约束的效用优化,并使用拉格朗日方法解决网格用户效用函数的优化问题。结果表明,该策略可使网格用户在能估计资源节点拥塞度并能完成其所有任务的前提下,产生一个合理的出价方案。

3) 提出了一种基于序贯博弈的网格资源分配策略,改善了网格资源的负载预测问题。资源负载预测是实现资源优化分配的关键环节,该策略克服了资源的异构性和动态性对判断资源负载状态的不利影响,将正比例资源共享的网格环境中多用户竞争同一计算资源的问题形式转化为一个多人序贯博弈,通过寻求该序贯博弈中各个阶段博弈的纳什均衡解,预测资源负载;然后利用此负载信息生成所有用户的最优出价组合和资源的优化价格;最后根据各用户出价按比例分配资源的计算能力,实现了资源的优化分配。结果表明,该策略能够得到合理的用户出价,降低资源占用时间,较好地适应了网格环境下异构资源的动态性。

4) 提出了一种基于进化博弈的网格资源分配策略,改善了有限理性用户竞争资源的策略均衡问题。该策略运用进化博弈论对用户出价策略的演进进行研究,将网格用户视为有限理性的博弈群,建立了用户出价进化博弈的一般模型。该模型定义了用户出价策略的效用矩阵,然后利用复制动态方程求解网格用户策略选择比例的进化稳定点,并详细讨论了各种用户评估函数对进化稳定点的影响,得到的网格用户出价演化的均衡策略即是进化稳定策略。结果表明,进化博弈方法虽然不能直接选择最优策略来实现纳什均衡,但能通过反复博弈,使用户动态地学习并调整自己的策略,克服有限理性的制约,逐步达到稳定均衡,从而实现网格资源的优化分配。

5) 提出了将信息经济学原理引入网格,应用价格机制,将任务调度的重点放在了任务的时间截止期和费用约束上,针对相互独立的并行任务,给出了任务调度模型,将网格中的任务调度问题转化成树的遍历问题。由于当问题规模变得极大时,树的遍历问题转化成 NP-Hard 问题。因此,引入剪枝策略,将用户对时间和费用的限制转化为剪枝函数,通过剪枝函数,将不满足用户要求或得不到最优解的调度舍弃,使问题规模大幅度缩小,问题变得可解。

在写作过程中,我的内心总存感激前人之情,是前人们不断努力创造了大量成果,我们才有参阅的机会;除了在参考文献中列出的以外,还有许多无法一一列出。在此,谨向所有使本人受益的前人们致以诚挚的感谢,正是站在他们的肩膀上才有了本书的出版。

在此书完成之际,诚挚地感谢大连科技局对本书的资助,感谢科学出版社的编辑宋旭和陈超女士,感谢为此书的出版做出贡献的相关人员。

“始生之物,其形必丑”。诚挚地感谢读者朋友,由于水平有限,加上时间仓促,书中难免存在不足与疏漏,敬请读者批评斧正。

作者

2010年6月21日

目 录

总序/i

第三辑序/iii

前言/v

第一章 绪论 / 1

第一节 网格的内涵与外延 / 1

第二节 网格的演进 / 8

第三节 网格研究现状 / 11

第四节 网格资源管理 / 14

第五节 研究内容 / 21

第二章 网格资源分配的优化问题 / 24

第一节 构建网格资源分配的经济模型 / 24

第二节 系统框架 / 26

第三节 分配策略 / 27

第四节 优化目标 / 29

小结 / 31

第三章 网格并行任务分配模型的最大熵算法 / 32

第一节 问题的提出 / 32

第二节 最大熵方法 / 32

第三节 并行任务的网格资源分配方法 / 36

第四节 实验结果与讨论 / 42

小结 / 45

第四章 网格串行任务分配的效用函数模型 / 46

- 第一节 问题的提出 / 46
- 第二节 柯布-道格拉斯效用模型 / 46
- 第三节 基于效用函数的网格资源分配方法 / 51
- 第四节 实验结果与讨论 / 57
- 小结 / 61

第五章 网格任务调度的时间-费用模型 / 62

- 第一节 网格任务调度模型的构建 / 62
- 第二节 子集树算法性能评估 / 71
- 第三节 排列树算法调度模型 / 80
- 第四节 整体性能评估 / 89
- 小结 / 92

第六章 网格资源分配的序贯博弈模型 / 94

- 第一节 问题的提出 / 94
- 第二节 博弈框架 / 95
- 第三节 序贯博弈的纳什均衡 / 97
- 第四节 网格资源分配的动态优化策略 / 99
- 第五节 实验结果与讨论 / 106
- 小结 / 112

第七章 网格资源分配的进化博弈模型 / 113

- 第一节 问题的提出 / 113
- 第二节 演化博弈模型 / 118
- 第三节 网格资源分配的进化博弈方法 / 121
- 第四节 实验结果与讨论 / 131
- 小结 / 135

第八章 结论与展望 / 137

- 第一节 主要结论 / 137
- 第二节 展望 / 139

参考文献 / 141

附录：缩略语索引表 / 151

第一章 绪 论

第一节 网络的内涵与外延

一、什么是网络与虚拟组织

(一) 什么是网络

网络技术^[1~4]诞生于 20 世纪 90 年代中期，其思想来源于电力网络。人们在使用电力资源时，无须区别是水电、火电，还是核电，也不用考虑这些电站位于何处，因为它们构成了电力网络^[5]。借鉴这种思想，网络技术发展迅速，从最初将超级计算机连接成为一个可远程控制的元计算机系统（meta computers），发展到目前试图提供一种能够聚集网络上的各种高性能计算机、服务器、PC、信息系统、海量数据存储和处理系统、应用模拟系统、仪器设备和信息获取设备等广泛分布的各种资源，进行大规模计算和数据处理的通用基础支撑结构，为各种应用开发提供底层技术支撑，将因特网变为一个功能强大、无处不在的计算设施。尤其是 2001 年，Ian Foster 领导的 Globus 项目小组把网络技术建立在网络服务（Web Service）技术之上，并推出基于开放式网络服务体系结构 OGSA 的 GT3，在全世界范围内掀起了包括科技界和工业界的网络研究热潮。

网络技术旨在支持虚拟组织的资源共享与协同工作，它的重要基础是网络服务技术。网络将其中的所有资源都以服务的形式发布出来，并对其功能和访问接口加以标准化描述，然后在网络注册中心进行规范化登记。我们现在的网络时代可称为手工作坊式的网络时代，而网络技术能把网络上的各种资源综合起来，建立起一个全自动的网络时代，为构建具有高性能处理、海量数据存储和大量诸如传感器与移动设备等的 21 世纪人类社会的信息处理基础设施奠定技术基础。因此，网络被认为是继第一代的 TCP/IP、第二代的 Web 网页技术之后的第三代的因特网技术，将成为因特网信息技术的下一个浪潮。

网络的核心观念即“网络就是计算机”，这个网络可以大到整个因特网，小到一个家庭网。简单地讲，网络是把整个因特网整合成一台巨大的超级计算机，实现计算资源、存储资源、数据资源、信息资源、知识资源、专家资源的全面共享。当然，我们也可以构造地区性的网格、企事业内部网格、局域网网格，甚至

家庭网络和个人网络。最正统的网络研究来源于美国联邦政府过去十年来资助的高性能计算科研项目。早期还使用过另一个名词,即“元计算”^[6]。这类研究的目的是将跨越地域的多台高性能计算机、大型数据库、贵重科研设备、通信设备、可视化设备和各种传感器等,整合成一个巨大的超级计算机系统,支持科学计算和科学研究。

评判一个系统是否是网格,必须看此系统所能提供的应用、商业价值和科学结论,而不是它的系统结构。网格还处于发展时期,目前仍然没有一个能够被大家一致认同的概念。不同的人从不同的角度提出了多个不同的网格定义,其中以网络研究的权威科学家 Ian Foster 等提出的定义为代表。

1999 年, Ian Foster 和 Carl Kesselman 在《The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure》^[7]一书中尝试着给出了网格的定义:计算网格是一个软硬件的基础设施,提供了对高端计算能力可靠、一致、普遍并且廉价的访问。这个定义强调网格是由软件和硬件共同构建的。

2000 年, Ian Foster 等在文章“The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations”^[8]中将网格描述为:在动态的多机构的虚拟组织中协调资源共享和协同解决问题。这个定义提出了虚拟组织、资源共享和资源协同的思想,细化并发展了前面的定义。

2002 年, Ian Foster 单独撰写了一篇文章“What is the grid? A three-point checklist”^[9],其中明确定义了网格的概念,给出了判断是否为网格的三项标准。他认为前面定义的网格,其本质可以用一个简单的指标来鉴别,根据这个指标,网格实际上是这样一个系统:①协调非集中控制资源——网格整合各种资源、协调各种使用者,这些资源和使用者在不同控制域中;网格还解决在这种分布式环境中出现的安全、策略、使用费用、成员权限等问题。否则,只能算是本地管理系统而非网格。②使用标准、开放、通用的协议和界面——网格建立在多功能的协议和界面之上,这些协议和界面解决认证、授权、资源发现与资源存取等基本问题。否则,只算是一个具体应用系统而非网格。③得到不平凡的服务质量——网格允许它的资源被协调使用,以得到多种服务质量,满足不同使用者需求,如系统响应时间、流通量、有效性、安全性及资源重定位,使得联合系统的功效比其各部分的功效总和要大得多。

针对不同的应用领域,开发出了一些网格计算的系统,主要包括:计算网格^[10,11]、数据网格挖掘^[12~14]、知识网格^[15,16]、服务网格^[17~19]、经济网格^[20~22]和网格工具^[23~27]等。但是作为一个新兴的领域,网格计算仍然面临着许多挑战^[28],资源分配调度^[29~31]就是其中一个核心问题,其主要目标是要找到将一组任务按先后顺序条件安排到处理器上使得任务可被“最优”完成的一种方案,以满足各种服务质量(quality of services, QoS)需求。由于网格是一个异构,动

态的分布式环境，所以当供需双方的规模变大时，资源的优化调度将变得十分复杂。

目前常用的资源分配调度方法有以下几种：

1) 基于群体智能 (swarm intelligence)^[32] 技术的资源调度，如粒子群优化算法 (particle swarm optimization)^[33,34]、蚁群算法^[35,36]等，使用智能的、分布式的方法解决组合优化问题，但往往此类算法的参数选取复杂，而且实现起来效率不高。

2) 基于启发式算法的资源调度^[37]，代表性的方法有遗传算法 (genetic algorithm, GA)^[38]、Min-Min 算法等。这类方法的特征是效率较高，但不一定能找到最优的分配方案，而且大多数情况下得到的是主观满意解。

3) 经济网格环境下，借鉴经济学原理^[39,40]，引入经济模型中的买和卖机制，试图通过“价格”这只无形的“手”，自动调节理性选择（个人效用最大化）的供需双方均衡，最终达到帕雷托 (Pareto) 最优，从而实现网格资源的动态优化调度。

为了深刻理解网格定义的内涵，下面继续讨论隐含在网格概念之中的特殊问题。

(二) 虚拟组织

网格最根本的目的就是要共享资源，但这种共享不是简单的文件交换，而是更强调对计算机、软件、数据及其他资源的直接访问，这种需求在工业、科学，以及工程界等许多领域都会遇到。这种共享必须是高度可控的，需要在资源提供者和消费者之间详细定义什么可以共享、哪些人可以共享、在什么条件下可以共享。虚拟组织 (virtual organization) 就是基于这样的共享规则，由一些个人或者团体形成的集合体。因此，网格问题基本上就是虚拟组织所遇到的问题。

图 1-1 描绘了两个虚拟组织。这里 R 表示资源，这些线把人和资源组合到一起，形成一个虚拟组织，这个组织可以动态地组合。组织里有的资源可能会失效，有的资源会被重复使用，这个虚拟组织可以一起解决问题。虚拟组织代表了一种网格计算的应用，包括了访问控制、授权、使用策略；共享包括不同种类的资源、程序、文件、计算机、传感器的数据、网络；使用模式包括从单用户到多用户、从对性能敏感到对代价敏感。因此虚拟组织涉及服务质量、时序安排、协同分配等问题，而当前的分布式计算技术并不涉及这些需要。

总的来说，现在的信息既不适应资源种类的多种多样，也不能提供建立虚拟组织所需要的资源共享的灵活性和可控制性。因此网格步入了舞台，在过去的五年里，网格界的研究成果提供了协议、服务和工具，正好可以应付我们在建设可升级的虚拟组织时所遇到的挑战。这些技术包括支持跨平台计算时证书和政策管

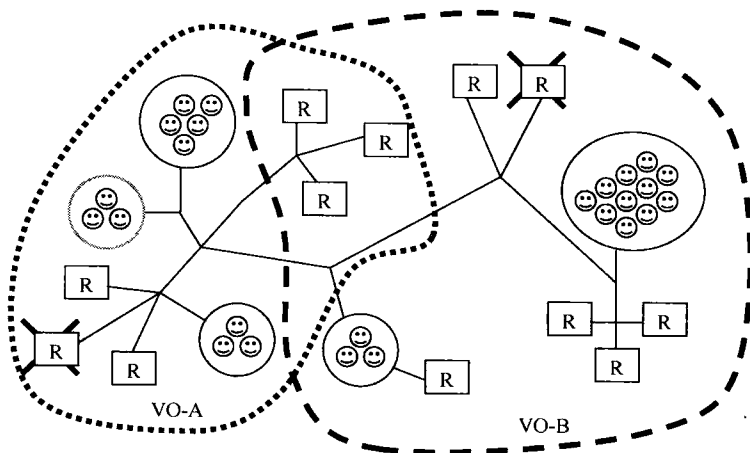


图 1-1 虚拟组织里的资源共享

注：VO-A 表示虚拟组织 A；VO-B 表示虚拟组织 B

R 表示资源；☺表示用户；○表示虚拟组织

理的安全解决方案；支持远程安全的访问计算、数据和其他资源的资源管理协议和服务；信息查询协议和服务提供了资源、组织、服务方面的构造和配置信息；数据管理服务在存储系统和应用软件之间查找和传输数据包。由于网格技术聚焦于动态的、跨组织的资源共享，所以不与其他的分布式计算技术形成竞争。

要对虚拟组织进行有效操作，需要我们能够任何潜在的成员之间建立共享联系。显而易见，互用性成为焦点。没有互用性，虚拟组织成员被迫采用双边共享安排，此时不能确保任何两个节点间使用的机制能够被其他的节点使用。没有这样的保证，就不能在一个统一的网络环境下构成动态的虚拟组织。互用性意味着共同的协议，虚拟组织的用户们通过这个协议来商议、建立、管理和开发分配关系。下面一节就来讨论网格体系结构，即构造网格时需要哪些协议，以及它们之间的关系。

二、网格体系结构

网格体系结构就是关于如何建造网格的技术。它给出了网格的基本组成和功能，描述了网格各组成部分的关系，以及它们集成的方式或方法，刻画了支持网格有效运转的机制。

到目前为止，比较重要的网格体系结构主要有两个：

第一个是 Foster 等在 2001 年提出的五层沙漏结构^[8]；

第二个是在以 IBM 为代表的工业界的影响下，在考虑到 Web 技术的发展与影响后，Foster 等结合了 Web Service 提出的开放网格服务体系结构（open grid

service architecture, OGSA)^[41]。

(一) 五层沙漏结构

五层沙漏结构由 Foster 等在网格发展的早期阶段提出, 是一种影响十分广泛的结构, 该结构的一个最重要的思想就是以“协议”为中心, 也十分强调服务与应用程序接口 (application programming interface, API) 和软件开发工具包 (software development kits, SDK) 的重要性。不过, 该结构主要侧重于定性的描述而不是具体的协议定义。图 1-2 是一个网格的五层沙漏结构模型。该模型根据各组成部分与共享资源之间的距离, 将对共享资源进行操作、管理和使用的功能分散在五个不同的层次。越往下层就越接近于物理的共享资源, 因此该层与特定资源相关的成分就比较多; 越往上层就越不能体现共享资源的细节特征。

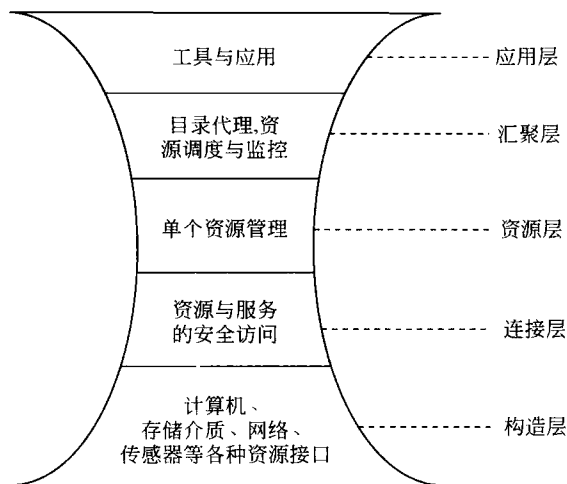


图 1-2 五层沙漏结构

沙漏模型自底向上分别是构造层 (fabric)、连接层 (connectivity)、资源层 (resource)、汇聚层 (collective)、应用层 (application)。构造层连接底层的本地资源和上层, 主要是用来为上层访问本地资源提供统一接口, 屏蔽各地资源的异构性。连接层的基本功能是支持便利和安全的通信, 它定义了在网络环境中的网络事务处理所需的核心的通信和认证协议。资源层的主要功能是实现对单个资源的共享, 建立在连接层的通信和认证协议之上。汇聚层建立在资源层和连接层形成的协议“瓶颈”之上, 主要负责协调多种资源的共享。应用层存在于虚拟组织中, 是根据任一层次定义的服务构造的。每一层的 API 都可以看作与特定服务交换协议信息的实现, 应用可以调用更高层的框架和 API 库。

五层沙漏结构的一个重要特点就是沙漏形状。其内在的含义就是各部分协议