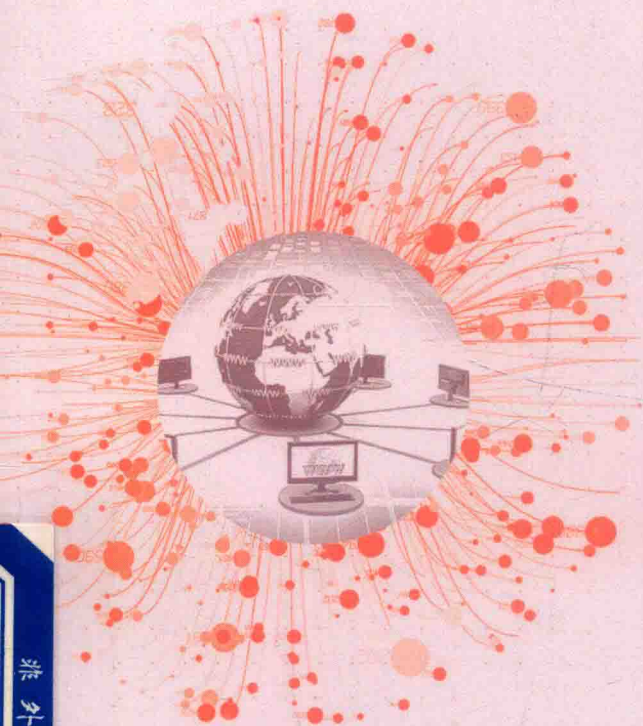


复杂网络视角下的

知识扩散

张理 魏奇锋 著

Knowledge Diffusion:
the Perspective of Complex Network



张外借

中国财经出版传媒集团



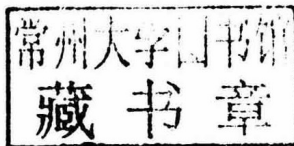
经济科学出版社
Economic Science Press

国家自然科学基金项目（项目编号：71602012）

成都理工大学哲学社会科学研究基金资助（项目编号：YJ2020 - ZH002）

复杂网络视角下的 知识扩散

张 理 魏奇锋 著



中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

复杂网络视角下的知识扩散/张理, 魏奇锋著.

—北京: 经济科学出版社, 2019.9

ISBN 978-7-5218-0931-2

I. ①复… II. ①张…②魏… III. ①知识管理—
研究 IV. ①G302

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 200964 号

策划编辑: 王 娟

责任编辑: 张立莉

责任校对: 靳玉环

责任印制: 邱 天

复杂网络视角下的知识扩散

张 理 魏奇锋 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 010-88191217 发行部电话: 010-88191522

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http://jjkxcbs. tmall. com](http://jjkxcbs.tmall.com)

北京季蜂印刷有限公司印装

710×1000 16开 9.25印张 200000字

2020年4月第1版 2020年4月第1次印刷

ISBN 978-7-5218-0931-2 定价: 58.00元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010-88191510)

(版权所有 侵权必究 打击盗版 举报热线: 010-88191661)

QQ: 2242791300 营销中心电话: 010-88191537

电子邮箱: [dbts@ esp. com. cn](mailto:dbts@esp.com.cn))

前 言

受制于技术创新的动态复杂特征，企业完全依靠自主研发手段来获取技术优势的难度愈来愈大。实践中创新过程也更多地发生在资源互补的合作伙伴之间，即创新主体在不断地寻求与多个知识互补的合作伙伴进行协调和配合。来自不同行业的企业、大学与相关科研机构、政府以及中介服务机构等联结成知识网络（knowledge networks），以促进技术溢出和知识共享。复杂网络理论被广泛应用于不同的研究领域，例如，社交网络、股票市场、研发网络、航空网络、流行病的传播等。知识扩散是知识生产过程中的核心环节，对知识继承和创新存在重要作用与价值。大量研究表明，知识网络具有复杂网络特性，基于复杂网络模型对知识网络的知识扩散过程进行仿真研究，探寻知识扩散规律，对实践中加强知识网络的管理和提升知识扩散效率具有重要意义。

本书将知识网络的演化过程视为复杂网络的演化过程，根据不同研究背景设计不同的网络生成演化模型和建立不同的知识扩散模型，利用 MATLAB 和 R 等软件进行数值仿真研究，从而探究不同网络背景下的知识扩散规律以及提升知识扩散效率的方法。本书主要研究内容及结论包括以下几个方面。

(1) 介绍复杂网络模型相关概念。首先，基于平均路径长度、聚类系数和度分布三个复杂网络的统计特征，介绍了复杂网络中四大网络演化模型：规则网络、随机网络、小世界网络、无标度网络；其次，介绍了复杂网络的中心性度量方法：度中心性、紧密中心性、介数中心性、流介数中心性、特征向量中心性；最后，讨论了在不同网络环境中复杂网络中心

性的应用，如社会网络、交通网络、病毒传播网络。

(2) 介绍知识扩散机制的相关研究成果。首先，介绍了知识扩散的复杂性和组织行为、知识扩散的两种模式（交易模式和广播模式）；其次，介绍了知识扩散的系统流程；最后，提出基于知识主体异质性的知识扩散模型和社团内部的知识扩散模型。

(3) 研究基于无标度网络模型的协同创新网络的知识扩散。基于 BA 无标度网络模型，将协同创新网络的演化视作复杂网络演化过程。在考虑网络主体的知识水平、知识吸收与创新能力、知识类型等方面的异质性特征基础上，构建协同创新网络演化理论模型。运用 MATLAB 软件，利用数值仿真方法探究网络中整体知识与不同种类知识知识扩散效率差别，由此探讨对协同创新网络的实践管理启示。研究结果表明，在整体知识扩散方面，采用无标度网络结构的协同创新网络在演化过程中其整体知识水平持续上升，知识增长速度也不断提高并趋于稳定，知识资源配置较为公平。在各类知识的扩散效率方面，随着网络的演化，不同知识的增长速度呈现出“加快—减缓—稳定趋于一致”的过程。单个主体中各类知识的存量则受到其初始知识存量、自身吸收能力和合作对象等因素的显著影响。

(4) 研究复杂网络结构对跨组织知识扩散效率的影响。基于无标度网络、小世界网络、随机网络和规则网络四种复杂网络演化算法，将知识网络的演化视为复杂网络的演化过程。在考虑知识主体的知识水平、知识吸收和创新能力、知识类型等方面的异质性的基础上，构建组织间合作领域知识网络演化理论模型，运用 MATLAB 软件进行数值仿真，分析不同的网络结构对网络中整体知识扩散效率和各类知识扩散效率的影响，从而探讨对知识网络的实践管理启示。仿真结果表明，在整体知识扩散方面，采用小世界网络结构的知识网络在前中期整体知识水平虽低于随机网络，在后期整体知识水平接近于最高水平，且整体知识增长速度维持在四种网络中的较高水平，知识水平分布的均匀性最佳。在各类知识扩散方面，采用小世界网络结构的知识网络中的不同类型的知识之间的差距最均匀，且演化初期的优势行业在演化过程中继续保持。

(5) 研究知识扩散源选择对知识网络中知识扩散效率的影响。提出基

于合作对象吸收能力的知识扩散源选择方法，以加快知识网络社群内部知识扩散效率。利用 R 软件生成不同参数设置的随机网络、规则网络、小世界网络和无标度网络，对生成的复杂网络作社团检测以提取出知识网络中的社团。采用基于合作者吸收能力、接近中心性、中介中心性、度中心性的 5 种知识扩散源选择方法从社团内部选择知识扩散源节点实施知识扩散仿真，知识扩散模型采用本书第 3 章提出的社团内部知识扩散模型，探究知识扩散源选择方法对知识扩散效率的影响。

本书得到国家自然科学基金和成都理工大学哲学社会科学研究基金的资助。在此，特向国家自然科学基金委员会和成都理工大学表示衷心的感谢！

张 理 魏奇锋

2019 年 7 月成都理工大学商学院

目 录 CONTENTS

第1章 概述	1
1.1 研究背景	1
1.2 国内外研究现状综述	2
1.3 研究目的和意义	5
1.4 本书内容与章节安排	6
第2章 复杂网络模型	9
2.1 图论简介	9
2.2 网络演化模型	12
2.3 复杂网络统计特性	22
第3章 知识扩散机制	33
3.1 知识扩散的理论基础	33
3.2 知识扩散模式	38
3.3 知识扩散的系统流程	44
3.4 基于知识主体异质性的知识扩散模型	50
3.5 创新集群内部知识扩散模型	54
第4章 基于无标度网络模型的协同创新网络知识扩散	56
4.1 协同创新网络	57



4.2	知识扩散模型	58
4.3	研究设计	58
4.4	仿真结果及结论	60
4.5	结论与启示	70
第5章	网络结构对知识扩散效率的影响	73
5.1	知识网络生成演化算法	73
5.2	知识网络中知识扩散模型	75
5.3	研究设计	75
5.4	仿真结果与分析	77
5.5	结论与启示	87
第6章	知识扩散源选择研究	90
6.1	知识网络知识扩散源选择与知识扩散模型	90
6.2	不同社团检测算法在复杂网络中的社团检测结果	91
6.3	随机网络中的知识扩散源选择	95
6.4	规则网络中的知识扩散源选择	102
6.5	小世界网络中的知识扩散源选择	108
6.6	无标度网络中的知识扩散源选择	114
6.7	结论与启示	120
第7章	研究结论与展望	122
7.1	研究结论与启示	122
7.2	研究的主要创新	125
7.3	研究局限与未来展望	126
参考文献	128

第 1 章

概 述

1.1 研究背景

在组织间合作领域，普遍认为知识网络是由共同解决技术问题、提供技术支持与开发的企业之间、企业与大学以及科研机构等组织之间合作形成的网络结构，它是一个转移与创新相关知识的网络^[1]。现实世界中的大多数通信/运输系统都可以表示为复杂的网络，其中节点是系统的基本组成部分，边缘连接着相互交换信息的节点。举几个例子：在互联网中，节点是路由器，而边缘（或弧）是连接路由器的电缆；在电网中，节点是变电站（发电机或配电变电站），边缘是输电线路；在城市道路系统中，节点是交叉口，边缘是道路；在大范围的交通系统中，节点是城市，边缘是连接几个城市的高速公路。复杂网络理论如今被广泛应用于不同的研究领域^[2]，例如，社交网络^[3-5]、股票市场^[6,7]、研发网络^[8,9]、航空网络^[10,11]、流行病的传播^[12,13]，等等。通过技术的国际转移能够帮助企业积累有价值的知识并促进技术扩散，从而缩小地区之间的技术差距。更多的组织参与到协作中，知识增值的增幅会更大。知识水平也就由个体水平上升至组织水平，甚至跨越组织升至更高水平。从目前发展形势看，如何更科学地管理知识网络，如何提高网络中的知识存量与知识流动效率是当前亟须解决的问题。

知识网络中，机构来自不同的行业，机构性质也具有较大差别，在知



识类型、网络主体吸收与创新能力和知识存量均具有较大的异质性，设计怎样的知识扩散模型能兼顾知识主体的异质性和网络演化规律？现实中的知识网络存在小世界或无标度效应，不同的网络结构是否对知识扩散效率产生影响？合作密切的创新集群中的知识类型与自身行业知识类型更为接近，且更容易被吸收和利用，如何从整体网络中识别出创新集群，并加强集群内部的知识扩散效率？知识扩散源的位置是否对知识扩散效率产生影响？在本书的研究中主要解决上述问题。

1.2 国内外研究现状综述

从知识网络、合作创新网络的复杂网络特性、网络环境中的知识扩散、科研合作网络知识扩散等几个方面的国内外研究现状进行综述。

1.2.1 知识网络相关研究

知识网络研究始于20世纪90年代中期^[14,15]。贝克曼（Beckmann）^[14]于1995年最先提出“知识网络”概念，指的是为从事科学知识的生产和传播的机构或活动。当前，根据构成知识网络的节点属性的不同，知识网络可以被划分为知识元网络^[16-17]、知识主体网络^[18-19]、知识物质载体网络、知识元、知识主体与知识物质载体混合网络^[20-21]等^[22]。由于研究视角的不同，知识网络的类别划分也不同。例如，从动态演化视角被划分为自然网络和人工网络；从管理模式视角被划分为业余爱好网络、专业学习网络、最佳实践网络、商业机遇网络；从交换特征视角被划分为知识社区网络、知识链网络、知识供给网络、知识市场网络等^[23]。早期的知识网络相关研究主要关注知识网络构成要素、形成机理、组织边界与合作机制等内容。

1.2.2 合作创新网络的复杂网络特性

在创新网络模型构建与数值仿真的相关研究中，大量研究证明了合作

创新网络具有复杂网络的特性。例如,朱和王 (Zhu and Wang)^[24] 通过研究创新网络的结构与公司能力异质性,验证了不同策略下的演化态势,以及不同创新策略下何种激励政策最为有效。刘向和马费成^[25] 构造了知识网络的一种特定结构形成的过程模型,兼顾了知识的内聚性和知识创造者的领域限制,并用实证数据验证模型的有效性。张和吴 (Zhang and Wu)^[26] 在动态演化、产业联盟、复杂网络竞争以及 BBV 网络模型的局限性分析的基础上,构建了一个具有竞争性和择优性的动态演化模型。不但考虑了新节点的加入,也考虑到旧节点的删除与重连以及旧连接的删除,通过使用连续理论和平均场理论,构建了相关演化公式。张延禄和杨乃定^[27] 则基于复杂网络理论建立了 R&D 网络的自组织演化模型,并利用诺基亚的数据验证了模型的正确性。里塔拉和赫伊津 (Ritala and Huizingh)^[28] 研究了公司在参与 R&D 网络进程中的搜索与整合知识的行为,在网络主体应当如何认识紧张局势,以及不同类型的网络应利用何种紧张局势的化解机制等问题上给出独特见解。约安尼季斯和瓦尔凯利斯 (Ioannidis and Varsakelis)^[29] 研究了不可靠知识网络中的错误信任问题,研究发现,错误信任在知识动力学上无显著影响,并且会导致知识的“野蛮”波动,通过改变选择连接的规则等方式则能避免选择到不可靠的交流渠道。

1.2.3 网络环境中的知识扩散

随着研究的不断深入,有关知识网络中知识扩散的研究成果日益增多。知识扩散发生在科学与技术之间^[30]、人与人之间^[31]、相互合作的组织之间^[32],等等。有不少研究侧重于探讨网络环境中的知识扩散问题。知识扩散的相关研究主要包括如何提升知识扩散绩效^[33]、知识扩散模式^[34]、特定知识扩散模型的构建与仿真^[35-36]等。例如,考恩和乔纳尔 (Cowan and Jonard)^[37] 将知识扩散模拟为一个物物交换过程,节点之间交换不同种类的知识,且发现该系统呈现小世界特性。林和李 (Lin and Li)^[38] 基于四种典型网络模型研究了知识创新与扩散的过程,并提出了生长扩散时间的定义,实验得出,无标度网络能实现最佳的知识传输性能。黄玮强、庄新田和姚爽^[39] 构建了一个综合知识扩散绩效与创新合作关系



距离的知识扩散模型，考虑了创新网络中知识的间接扩散效应，通过四种典型网络模型的仿真结果表明，具有无标度特征的创新合作网络能达到最高的知识扩散绩效。张薇和徐迪^[40]分析了动态异质性网络上多种知识的累积过程。李和张（Li and Zhang）^[41]用复杂网络传输动态理论构建了两种合作学习网络的知识扩散模型，扩展了经典的流行病模型；他们的研究表明，在领导者的灵感的帮助下，减小知识扩散过程的阈值，更大比例的接受者的知识变得统一。周和贾（Zhou and Jia）^[42]提出了一种在网络中基于知识扩散预测连接的方法，仿真结果表明，该方法与已有方法相比能达到更高的预测精度。王（Wang）等^[43]则在相关研究的基础上，构造出了一个兼顾自学习机制的知识传输模型，在无标度网络 and 同构网络上的仿真结果表明，自学习因素对知识传输效率存在明显的推动作用，且无标度网络在知识传输上更高效。此外，对知识扩散的研究还涉及分析影响知识传输的因素^[44-45]，知识传输对组织绩效的影响^[46-47]，以及促进知识传输的方法与工具^[48-49]等方面。刘和周（Liu and Zhou）提出了社交网络中受交互频率驱动的知识扩散模型，仿真结果表明，该模型的知识扩散速度比传统模型更快^[50]。曹和韩（Cao and Han）^[51]将复杂网络中知识传输中的遗忘等级结合到新建立的模型中，仿真结果表明，在更好的文化氛围下知识富集人群的占比会增加。王（Wang）等^[52]根据知识传输系统中知识遗忘人群可通过学习手段重新获取知识这一规则，提出了VEA知识传播模型，并在四种代表性网络模型中进行数值仿真，仿真结果表明，复习机制对于四种网络的知识传输有积极影响，无标度网络传输知识则快于另外三种网络。尽管存在流行病扩散和知识扩散之间的类比，流行病传播模型常被用于描述知识传输过程^[53]。文献^[54]将复杂网络中知识传输中的忘记等级结合到新建立的模型中，仿真结果表明，在更好的文化氛围下有知识的人群的比例会增加。知识传输系统不同于流行病传输系统，其中忘记知识的人们可通过学习重新获取它。为了分析一个复习机制，杨（Yang）等提出了VEA知识传播模型。分别在同质和异质网络中导出了知识传输模型，用平均场理论描述知识传输模型。在同质网络中，获取到了系统的稳定状态解决方法。在异质网络中，得到了基本的复制数 R_0 ，这里复制

比率是一个重要的参数，此外，我们分析此系统并证明：如果 $R_0 < 1$ ，模型的知识顺势均衡全局渐渐稳定；如果 $R_0 > 1$ ，知识是永恒的。另外，为了完成理论分析，数值仿真被运行在四种代表性网络模型中：随机规则、小世界、随机生长、无标度网络。仿真结果表明，复习机制对于四种网络的知识传输有一个清楚的积极影响。例如，高的付息率会导致福音派节点更高的最终密度，另外，仿真结果表明，无标度网络传输知识快于另外三种网络^[55]。知识传输是一个循环动态的扩散过程。基于是否或接受者没有提前持有知识，知识的接收率不同。王（Wang）等的文章中，知识传输过程被分成了一个初始的和重传输过程，每一个都有它自己的传输和自主学习参数。基于流行病传输模型，提出了 VEA 知识传输模型，并导出平均场^[56]。此外，知识扩散效率的影响因素包括知识源的位置^[57]、企业年销售收入和竞争合作关系^[58]、网络结构^[59]等。

1.2.4 国内外研究现状总结

对本书的相关研究领域，即知识网络、合作创新网络的复杂网络特性、网络环境中的知识扩散等几个方面的国内外研究现状进行综述。目前对知识网络的知识扩散的相关研究中普遍忽略了知识类型的异质性这一因素，且大多知识扩散的仿真研究以整体网络背景为研究对象，而加快合作关系密切的创新集群内部的知识扩散效率更有利于企业对本行业知识的吸收创新。

1.3 研究目的和意义

1.3.1 研究目的

本书主要研究知识网络中的知识扩散问题，从复杂网络视角建立协同创新网络、组织间合作知识网络、科研合作网络等不同研究背景下的知识扩散模型和知识扩散效率的度量指标。通过运用 MATLAB、R 等软件对复



杂网络环境下的知识扩散过程进行数值仿真，探寻知识网络中的知识扩散规律，研究加快知识扩散效率的方法。

1.3.2 研究意义

通过对知识扩散过程的仿真分析，总结知识网络中的知识扩散规律为实践中加强知识网络的管理，以提高知识扩散中的网络整体知识水平、知识增长速度和网络中知识分布的均匀性，从而促进创新扩散与经济发展。

1.4 本书内容与章节安排

1.4.1 主要内容

本书以复杂网络结构的知识网络为研究对象，定义基于知识主体异质性的知识扩散模型，探讨协同创新网络中的知识扩散情况和网络结构对知识扩散效率的影响；通过选择正确的知识扩散种子使知识扩散效率最大化。

1.4.2 章节安排

本书结构安排如下。

第1章为绪论，介绍本书的研究背景，对国内外现状按知识网络、创新合作网络的复杂网络特性、网络环境中的知识扩散和科研合作网络的知识扩散四个方面进行综述；介绍研究目的和意义、课题来源等。

第2章介绍了复杂网络模型的相关概念。首先，基于复杂网络度量参数的三个基本概念，介绍了复杂网络中四大网络演化模型：规则网络、随机网络、小世界网络、无标度网络；其次，介绍了复杂网络的中心性度量方法：度中心性、紧密中心性、介数中心性、流介数中心性、特征向量中心性；最后，讨论了在不同网络环境中复杂网络中心性的应用，如社会网络、交通网络、病毒传播网络。

第3章介绍了知识扩散机制的相关研究成果。首先，介绍了知识扩散

的复杂性和组织行为、知识扩散的两种模式（交易模式和广播模式）；其次，介绍了知识扩散的系统流程；最后，提出基于知识主体异质性的知识扩散模型和社团内部的知识扩散模型。

第4章研究了基于无标度网络模型的协同创新网络知识扩散情况。基于BA无标度网络模型，将协同创新网络的演化视作复杂网络演化过程。在考虑网络主体的知识水平、知识吸收与创新能力、知识类型等方面的异质性特征基础上，构建协同创新网络演化理论模型。运用MATLAB软件，利用数值仿真方法探究网络中整体知识与不同种类知识知识扩散效率差别，由此探讨对协同创新网络的实践管理启示。研究表明，在整体知识扩散方面，采用无标度网络结构的协同创新网络在演化过程中其整体知识水平持续上升，知识增长速度也不断提高并趋于稳定，知识资源配置较为公平。在各类知识的扩散效率方面，随着网络的演化，不同知识的增长速度呈现出“加快—减缓—稳定趋于一致”的过程。单个主体中各类知识的存量则受到其初始知识存量、自身吸收能力和合作对象等因素的显著影响。

第5章研究了复杂网络结构对跨组织知识扩散效率的影响。基于无标度网络、小世界网络、随机网络和规则网络四种复杂网络演化算法，将知识网络的演化视为复杂网络的演化过程。在考虑知识主体的知识水平、知识吸收和创新能力、知识类型等方面的异质性的基础上，构建组织间合作领域知识网络演化理论模型，运用MATLAB软件进行数值仿真，分析不同的网络结构对网络中整体知识扩散效率和各类知识扩散效率的影响，从而探讨对知识网络的实践管理启示。仿真结果表明，在整体知识扩散方面，采用小世界网络结构的知识网络在前中期整体知识水平虽低于随机网络，在后期整体知识水平接近于最高水平，且整体知识增长速度维持在四种网络中的较高水平，知识水平分布的均匀性最佳。在各类知识扩散方面，采用小世界网络结构的知识网络中的不同类型的知识之间的差距最均匀，且演化初期的优势行业在演化过程中继续保持。

第6章提出了基于合作对象吸收能力的知识扩散源选择方法，以加快知识网络社群内部知识扩散效率。利用R软件生成不同参数设置的随机

网络、规则网络、小世界网络和无标度网络，对生成的复杂网络作社团检测。采用基于合作者吸收能力、接近中心性、中介中心性、度中心性的5种知识扩散种子选择方法从社团内部选择知识扩散种子节点实施知识扩散仿真，知识扩散模型采用第3章提出的社团内部知识扩散模型，探究知识扩散种子选择方法对知识扩散效率的影响。

第7章为研究结论和展望，总结本书的研究结论和研究启示，列出本书研究的主要创新，总结研究局限，规划未来展望。

第 2 章

复杂网络模型

复杂网络是一个新兴的跨学科研究领域，在物理学、数学、生物学、计算机等多个学科均有运用。复杂网络能描述万维网、金融网络、神经网络等诸多智能高技术系统。在本章将重点介绍图论的基本概念和几种重要的复杂网络模型，以及复杂网络的中心性度量方法，这也是研究复杂网络的基础。

2.1 图论简介

2.1.1 网络的图表示

所谓“网络”，实际上就是节点和连边的集合。点集 V 、边集 E 所构成的图 $G = (V, E)$ 就可以成为一个网络。无向网络 (undirected network) 是指节点 (a, b) 和 (b, a) 对应的是同一条边，否则就称为有向网络 (directed network)。加权网络 (weighted network) 是指给每一条边赋予权重，反之就称为无权网络 (unweighted network) (这里假设在任何两个节点之间至多存在一条边，并且在一个节点处没有边缘开始和结束，即没有重边和没有自环)。图 2-1 为不同类型的例子。