

# 道路网自动选取方法研究

陈波<sup>1),2)</sup> 武芳<sup>1)</sup> 钱海忠<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(信息工程大学测绘学院,郑州 450052) <sup>2)</sup>(72515 部队,济南 250014)

**摘要** 道路网自动选取是自动制图综合中的难点和重点工作之一,已有的自动选取方法在选取过程中没有将全图的道路网作为一个整体来考虑,道路网结构特征保持不明显。通过一系列的实验,利用图论的不同方法对道路网进行自动选取,并对结果进行了分析和比较,构造出了一种较好的道路网自动选取方法。根据平面图形的网络特征将道路网分为两种类型(乡村型和城市型),并针对每种类型的道路网提出了不同的选取方法。实验结果表明,选取效果较好,能够满足道路网自动制图综合的需要。

**关键词** 道路网 自动综合 选取 图论

中图法分类号: P283 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)12-2388-06

## Study on Road Networks' Auto-selection Algorithms

CHEN Bo<sup>1),2)</sup>, WU Fang<sup>1)</sup>, QIAN Hai-zhong<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>( Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052)

<sup>2)</sup>(72515 Troops, Jinan 250014)

**Abstract** Road networks' auto-selecting is important but difficult in auto-generalization. All roads in the map have't been regarded as whole in present selecting methods. So the characteristic of road networks can't be kept. A series of experiments have been done that road networks have been auto-selected by different methods using graph theory. The results have been analyzed and compared, and then a better method has been proposed for road selecting. Through these experiments, the effect is better and it fits the necessity of road networks auto-generalization.

**Keywords** road networks, automatic map generalization, selection operator, graph theory

## 1 引言

选取是制图综合中基础性的环节,几乎所有要素的综合都离不开选取这一过程。它是在地图比例尺缩小的情况下删繁就简、舍末逐本,以达到地图内容的详细性与清晰性的对立统一、几何精确性与地理适应性的对立统一的对地图要素的一个取舍过程。道路网遍布全图,形状多样、关系复杂、等级繁多,它是所有地图要素中比较重要、使用频率较高的数据层,有着重要的经济和军事意义,因此,道路网自动选取是一个十分复杂且重要的过程。

早期的道路自动选取方法主要是基于道路等级的简单选取,只考虑道路的等级、长度等<sup>[1]</sup>。特殊时,按照条件——结论规则进行选取<sup>[2]</sup>,该方法在选取过程中需要作业员参与的工作量大,且仅仅把每条道路作为单个对象考虑,没有考虑整幅图的整体特征,因此,综合结果的好坏与作业员的经验有较大关系。

使道路保持良好的连通性来进行道路网的综合<sup>[3,4]</sup>,从人的视觉感受出发,引入了“stroke”概念,将连通性最好的若干道路作为一个“stroke”,然后对所有“stroke”进行排序,选取时按“stroke”的大小依次进行。该方法未将道路网进行拓扑生成,没有

基金项目:国家自然科学基金项目(40471115,40671162,40620130438);国家高技术研究发展计划(863)项目(2007AA12Z211)

收稿日期:2006-05-12;改回日期:2007-07-19

第一作者简介:陈波(1979),男,工程师,2006年于信息工程大学获理学硕士学位。主要研究方向为地理信息系统开发与应用、数字地图自动制图综合等。E-mail: lkdmg@sohu.com

断链,且过于强调道路的完整性,不能保证选取结果保持原来的空间分布。该方法和基于道路等级和长度的选取方法<sup>[2]</sup>有相同之处,只是后者将数条相对连续的道路看作一个整体进行选取,当然,这数条道路突破了等级的限制,但并没有考虑以全图的道路作为一个网状结构时道路的相互关系,只是做到局部选取的合理。

利用图论方法按道路网眼结点强度值选取的基本思路为<sup>[5]</sup>:考虑到道路的连通性、道路等级、道路网眼面积大小等因素的道路网综合,模型化表述为: $y = f(DL, \bar{P}, WH, \dots)$ 。其中  $y$  为道路路段的总强度值,  $DL$  为道路等级对总强度值的影响,  $\bar{P}$  为道路路段的强度值对总强度值的影响,  $WH$  为道路网眼面积对总强度值的影响。还有另一种运用图论进行道路网选取的方法<sup>[6]</sup>认为,道路的交叉点处通常为居民地,定义为节点并进行编号,然后建立节点的邻接矩阵;将道路的边值定义为铁路、公路、大车路 3 级;然后根据方根模型求出的数量从大到小选取节点,连接这些节点的道路即为所选。

相比之下,图论对网络图形更能清晰准确地表示,能很容易分析出道路的边和结点、结点和网眼、网眼和边的关系,同时基于图论的道路网选取方法不仅考虑到道路的等级、长度和网眼大小,而且还考虑到图面整体的特征,因此更合理一些。一些学者对此已做了一些工作,主要有:按点权值大小进行结点选取从而对道路进行选取<sup>[6]</sup>,按边权值对道路网进行选取,综合考虑道路网的等级、长度、网眼大小等因素的选取方法<sup>[5]</sup>。但无论哪种方法,所考虑道路的等级、长度、网眼大小等因素之间的关系很难确定,因而就每个道路对象的总的权值难以确定,从而影响道路最后的选取。下面将对这个问题进行讨论,并提出相应的解决方案。

## 2 对道路网自动选取的探索

本文用图论方法进行道路网选取的第一步工作,是对道路网的拓扑构建,建立起道路的结点、边和网眼之间的关系。其基本思路是:在数据处理过程中,选取具有连通性的道路进行拓扑构建,如公路和其他道路等,由于铁路与公路不具有连通性,只对其断链处理,不组织成面。

### 2.1 利用点权值的大小进行道路网的自动选取

文献[6]中的方法没有考虑网眼的大小等因

素,该方法考虑了道路的网眼面积、等级、长度因素对结点的影响。主要步骤为:

(1) 求出每个结点对应的面积比率:

$$R_p^s = \frac{P \text{ 点对应的面积}}{\text{整个图幅的面积}}$$

点的面积取值就是边界包含  $P$  点的域的面积之和。度为 1 的点(悬挂链的端点),其面积约定为 0。 $R_p^s$  反映了该点周围的网眼对该点的影响程度。

(2) 求出每个结点对应的代码比率:

$$R_p^c = \frac{P \text{ 点对应的代码值}}{\text{全图道路类型总数}}$$

取等级最高的道路代码为该点代码。排序全图所有点的代码,等级最低的值设为 1,代码每增加一次其值增加 1。 $R_p^c$  反映道路等级对结点的影响程度。

(3) 求出每个结点对应的道路长度比率:

$$R_p^l = \frac{P \text{ 点对应的道路长度值}}{\text{全图道路总长度值}}$$

用每条道路的长度乘以该条道路的等级值(步骤(2)中所述)之和,记为  $P$  点的长度,它反映了道路长度对结点的影响程度。

(4) 设结点  $P$  的权值为  $W_p$ , 约定:

$$W_p = R_p^s \times R_p^c \times R_p^l$$

将  $W_p$  的值从大到小排序,求取的道路选取数目  $n$ , 在  $W_p$  的序列中依次选取结点,选取当前结点的同时选取该结点所关联的道路。当选取道路数据等于  $n$  时,所选的道路即为所求。

选取所用的原图的局部如图 1 所示,利用点权值方法进行选取的结果如图 2 所示。从图 2 可以看出,这种方法大部分地区选取后网络特征保持较好,

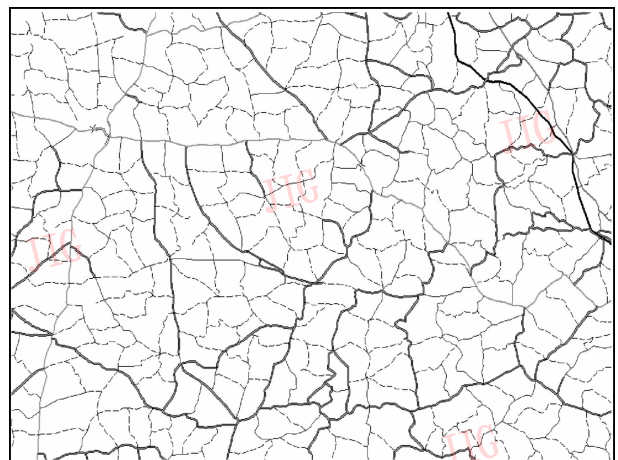


图 1 某地区道路网局部原图

Fig. 1 Local original road networks

但该方法也可能把道路等级较高的地方断开(如图中圆圈处),造成道路不连通。

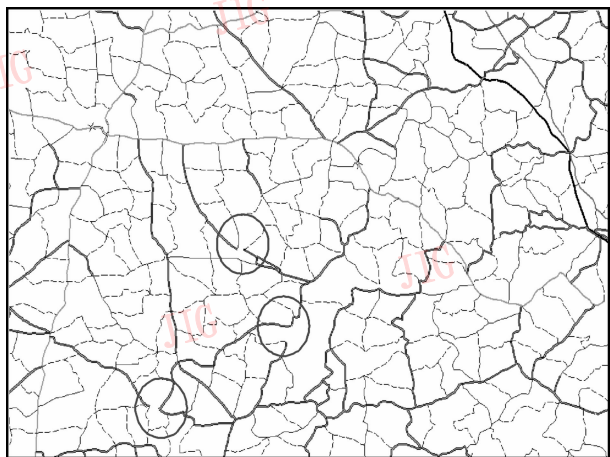


图 2 某地区道路网的点权值选取图

Fig. 2 Selecting by node's weight of road networks

## 2.2 利用边权值的大小对道路网进行自动选取

本方法同样考虑了道路的网眼面积、等级、长度因素对结点的影响。主要步骤为:

(1) 求出每条边对应的面积比率:

$$R_i^s = \frac{l \text{ 的左面面积} + l \text{ 的右面面积}}{\text{整个图幅的面积}}$$

对于悬挂链,其  $R_i^s$  值为 0。 $R_i^s$  反映了网眼面积对每条道路的影响程度。

(2) 求出每条边的代码比率:

$$R_i^c = \frac{l \text{ 代码的等级值}}{\text{全图道路类型总数}}$$

找出全图道路所有的代码并排序,每条道路根据其代码按等级取值,最小值为 1,最大值为代码种类的个数,等级越高,其值越大。它反映了道路等级对道路的影响程度。

(3) 求出每条边对应的长度比率:

$$R_i^l = \frac{R_i^c \times L \text{ 的长度}}{\text{全图道路总长度值}}$$

它反映了该条道路对全图的重要性。

(4) 设道路边  $l$  的权值:

$$W_l = R_i^s \times R_i^c \times R_i^l$$

将  $W_l$  的值从大到小排序,求取道路选取数目  $n$  后,在  $W_l$  的序列中依次选取直到选取的道路总数为  $n$ ,所选道路即为所求。图 1 利用边权值方法选取后的结果如图 3 所示。该方法也造成了不少高等级道路不连通的情况,如图 3 圆圈处(未全部标出)。

## 2.3 利用面权值的大小对道路网进行自动选取

上述两种方法进行道路网选取,都出现了高级

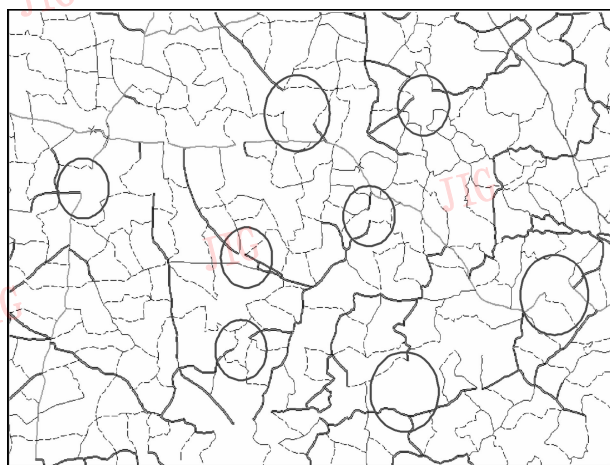


图 3 某地区道路网的线权值选取图

Fig. 3 Selecting by edge's weight of road networks

道路不连通的情况,而这是道路网综合中不应该出现的。具体分析如下:

(1) 不同因素之间的转换关系不能明确。在上述方法中,当考虑道路等级因素时,是以道路的等级值来衡量的,当考虑到道路长度时也加入了等级值的影响,考虑网眼大小因素时,用的也只是相对值。对于这 3 个因素,如果不用相对值而用直接值,则选取结果会更紊乱。但在这中间存在一个很难确定的等价关系,如图 4 所示: $P$  是度为 3 的点,周围的面积为区域 I、II 和 III,连接着两条省道和一条乡村路, $Q$  是度为 4 的点,周围的面积为区域 IV、V、VI、VII,连接着两条乡村路和两条小路,全图道路共有道路 5 级(省道、县道、大车路、乡村路、小路),假如设全图的面积为  $S_M$ ,道路总长度为  $L_M$ 。通过计算得出, $P$  点的权值  $W_P = 198\ 039.8 / (S_M \times L_M)$ , $Q$  点的权值  $W_Q = 40\ 328\ 664.5 / (S_M \times L_M)$ 。由此,应该保留  $Q$  点而舍去  $P$  点,此时高等级道路  $P$  处就出现了不连通情况。但事实上根据制图经验,如果两点必舍其一的话,应保留  $P$  点舍去  $Q$  点,而这里  $P$  点的权值之所以比  $Q$  点大,只是因为  $Q$  点周围的网眼面积比

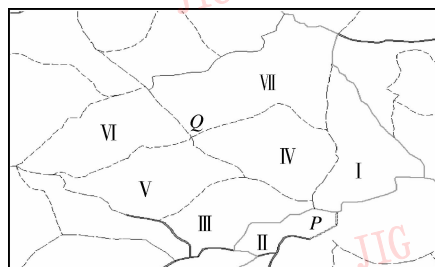


图 4  $P$ 、 $Q$  点的权值计算示例

Fig. 4 Example of calculation of point  $P$  and  $Q$ 's weight

$P$  点周围大。通过对道路边的权值的计算也会出现类似的情况。由此可以看出,在确定  $W_p$  或  $W_q$  时,难以确定孰轻孰重,这是造成上述情况的主要原因。

(2) 相同因素之间的关系间隔取值不能确定。这点很容易理解,例如对于道路的等级,在上述方法中,是按每等级间取级差为 1 进行赋权的,但根据道路的重要性,这种级差值的分配合理与否,还值得进一步商榷。

鉴于以上原因,本文构造出根据面权值大小进行选取的方法,该方法也考虑了道路的等级、长度、网眼面积来进行自动选取,但在选取过程中成功避免了上述赋权过程复杂的情况。其主要步骤为:

① 记录道路网所有网眼并从小到大排序。

② 提取面积最小的面,找出组成该面的边,找出这些边中等级最低的一条或几条道路。若等级最低的只有一条道路,则舍去该条道路;若等级低的道路大于 1,则通过判断找出长度最短(或最长,可根据需要设定)的道路舍去。

③ 合并当前面和舍去的道路的另一侧的面的面积。若此时舍去的道路数目等于设定值,则退出;否则转到步骤①。

该方法可以保证,如果在一条道路附近没有比它等级更高的道路,它不会被断开。利用该方法进行选取的效果图如图 5 所示。可以看出,选取结果较好。

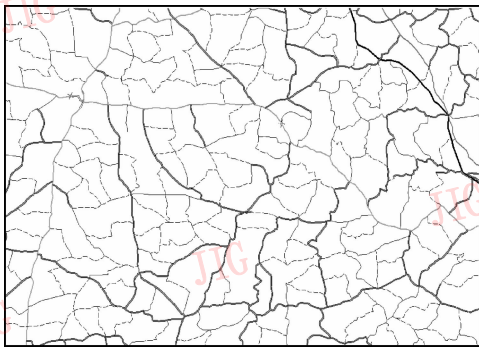


图 5 某地区道路网的面权值选取图

Fig. 5 Selecting by mesh's weight of road networks

但面权值方法并不适用所有情形,也会出现选取效果不好的状况,如图 6 圆圈处的选取并不尽如人意。在图 6 中 1 处,几条平行的街道(悬挂链)应间隔选取,但却未作处理,若按长度选取,则该处几条街道长度相当,根据限差,这些平行街道要么全舍要么全留,但无论全舍还是全留显然都不合适;在图 6 中 2 处,比较重要的街道断开也不合适;在图 6 中

3 处,一条连贯的街道被断开也不合适。

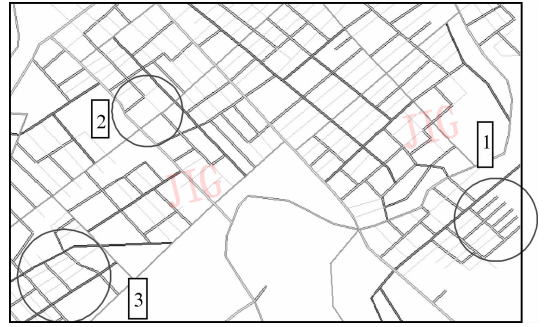


图 6 利用面权值进行城市道路选取结果图

Fig. 6 Selecting by mesh's weight of roads of grid-like pattern

由此可见,道路网络特征的类型对道路网的选取有很大影响,因此,本文对此做了进一步改进。

### 3 道路网网络特征分类及选取方法

#### 3.1 道路网络特征的分类

文献[7]将道路网的类型分为 3 类:辐射状、格网状和不规则状。由于辐射状的网络特征并不明显,而且实际的道路网中很难有典型的辐射状道路,因此,本文根据网络特征,在此将道路网分为两大类:城市道路网和乡村道路网。

城市型道路网主要是大比例尺地图中的城市街道,它的主要特点是道路大多互相垂直,且主要为三岔路口和十字路口。满足两种情况之一的线组成的区域可看作是城市道路网:(1)线的走向大致分为两个部分,且互相垂直;(2)构成面的边的顶点的度大多为 3 和 4;(3)拓扑构成的面的面积与最小外接矩形面积之比接近于 1。如图 6 所示。

在对道路网数据进行拓扑构建之后,道路网的类型根据交叉处道路是否垂直来判断最为简单实用,可利用垂直路口占全图所有路口的比例来判断道路网类型。这里关键是以多少百分比为界限来区分两种类型的道路。可以采用自动计算和作业员辅助判断相结合的方法。

#### 3.2 考虑道路网类型的道路选取

乡村型道路,由于道路的形状不规则,可根据前述面权值的大小进行选取。而城市型道路,由于具有明显的平行、垂直关系,可按照舍去最小间隔街道的方法进行选取,具体步骤如下:

(1) 对所有街道网进行重组,将等级相同且连贯的道路重新合并在一起。这一步操作和拓扑构建

的操作相反,类似于“stroke”的构建。

(2) 计算得出所有平行的道路之间的间隔,并从小到大进行排序。

(3) 对于间隔最小的两条街道进行比较,舍去等级低的,等级相同时舍去长度短的。若舍去的街道数量等于预先设定的参数,则退出;否则转步骤(2)。

图 7、图 8 是城市型道路网自动选取前后的对比图。此方法有些类似于乡村型道路中根据面权值大小进行道路选取的方法,不同的是一个是用道路面权值大小作为判断的标准,一个是用道路的间隔作为判断的标准。



图 7 城市型道路选取前

Fig. 7 Before selection of roads of grid-like pattern

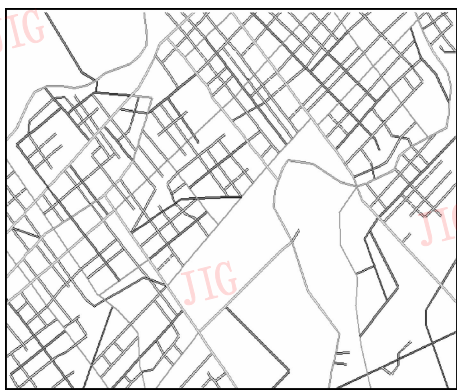


图 8 城市型道路自动选取后

Fig. 8 After selection of roads of grid-like pattern

## 4 结果分析

道路网自动选取的结果,除了制图人员充分利用专家的知识进行定性分析评价外,本文利用统计的方法定量进行分析,以确定实验结果的可靠性。实验利用两幅典型的乡村型道路网数据来进行:用

不同方法进行自动选取,同一幅图用相同的选取参数,即选取后线的条数相近;然后用原始的各等级线的条数和自动选取后的结果进行简单对比,分析不同选取方法的优缺点。

表 1 是蚌埠地区 1:25 万地图道路网的统计数据,用 3 种方法分别进行选取后道路的选取条数都保持在 71% ~ 72% 之间,等级 1 为最高等级,等级 16 为最低等级。

表 1 3 种方法选取后各等级道路条数统计  
Tab. 1 Statistic of each grade road after selected by three methods

等级	原始数目	面权值	线权值	点权值
1	185	181	151	122
2	0	0	0	0
3	337	331	286	278
4	59	56	55	45
5	1 674	1 470	1 389	1 321
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	126	76	80	20
9	6	1	3	0
10	1 030	702	712	727
11	5	1	2	2
12	1 865	920	1 280	1 362
13	0	0	0	0
14	3	2	1	1
15	74	30	8	19
16	0	0	0	0

由表 1 可以看出,按面权值方法进行选取后的高等级道路保留的数目比其他方法保留得多,相应地,低等级道路的数目保留得就相对较少。而在一幅地图上,高等级道路的重要性显然比低等级道路要高,因此,可以认为利用面权值方法进行自动选取结果较好。

蚌埠地区是等高线比较密集即山地特征明显的地区,本方法对平原地区、丘陵地区的道路网数据也做了上述分析,分析结果和上述结果类似。

## 5 结论

本文通过一系列实验结果的比较,将道路网划

分为乡村型和城市型两种并采用不同方法分别对其进行自动选取并分别对其进行了定量分析,选取后道路网的网络特性保持较好。本文研究的道路网自动选取方法主要有以下特点:

(1)道路网的连续性保持较好。利用点权值、线权值和面权值方法对道路网进行了自动选取实验,得出面权值选取后道路较连续的结论。

(2)道路网络的图形特征保持较好。利用图论的方法,将道路网分为两种网络类型(乡村型和城市型),针对不同的道路网类型采用不同的选取方法,选取过程从保持道路网平面图形特征的角度出发,兼顾了道路的等级、长度和网眼的面积因素,保证了不同类型的道路网特征的保持。

(3)算法易于理解和程序实现。算法思路清晰、稳定性好、可操作性强,文中方法已在 Visual C++ 中编程实现。

### 参考文献 (References)

- 1 Guo Jian. Generalization of Habitation and road Supported by 1:250000 Database[D]. Zhengzhou Institute of Surveying and Mapping of PLA,1993. [郭健. 1:25 万数据库支持下居民地道路的自动综合[D]. 郑州:解放军测绘学院,1993.]
- 2 Wang guang-xia. Research of Auto-generalization System and Realization of Auto-generalization for Habitation and road [D]. Zhengzhou: Institute of Surveying and Mapping of PLA,1994. [王光

霞. 自动制图综合系统的研究及居民地道路自动综合的实现 [D]. 郑州:解放军测绘学院,1994.]

- 3 Zhang qing-nian. Line generalization based on dynamic segmentation [J]. Acta Scientiarum Naturalum Universitatis Sunyatseni, 2004, 43(2):104 ~ 107. [张青年. 线状要素的动态分段与制图综合 [J], 中山大学学报(自然科学版),2004,43(3):104 ~ 107.]
- 4 Thomson R C, Richardson D E. The 'good continuation' principle of perceptual organization applied to generalization of road networks [A]. In: Proceedings of the ICA 19th International Cartographic Conference [C], Ottawa, Canada, 1999:1215 ~ 1223.
- 5 Wang jia-yao. Research of Cartography and Geographic Information Engineering[M]. Beijing: Science Press, 2005. 190 ~ 198. [王家耀. 地图学与地理信息工程研究[M]. 北京:科学出版社,2005: 190 ~ 198.]
- 6 He Zong-yi. Elements and Methods of Model for Cartographical Data Processing[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2004. [何宗宜. 地图数据处理模型的原理与方法[M]. 武汉:武汉大学出版社,2004.]
- 7 Zhan Qing-nian. Modeling Structure and Patterns in Road Network Generalization [EB/OL]. <http://aci.ign.fr/Leicester/paper/Zhang-v2-ICAWorkshop.pdf>,2008-09-10.
- 8 Wu Fang. Multiple Representation and Automated generalization for Special Data[M]. Beijing: PLA Press, 2003. [武芳. 空间数据的多尺度表达与自动综合[M]. 北京:解放军出版社,2003.]
- 9 Xu Jun-ming. Theory and Application of Graphs (Second Edition) [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2004. [徐俊明. 图论及其应用(第二版)[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2004.]