

文章编号: 1007-6301 (2001) 04-0378-06

# 测定城市建筑容积率的遥感方法研究

查 勇

(南京师范大学地理科学学院, 南京 210097)

**摘要:** 基于航片测定城市建筑容积率, 首先需要确定建筑物的高度或楼层数, 旨在比较利用直接法、投影法、阴影法和高差法估算城市容积率的精度, 本文在 1:2500 和 1:4000 航片上测定了 21 个建筑物的高度/楼层数。比较分析表明: 直接法估算城市容积率的精度最低, 高差法在测定地物高度时最精确, 阴影法和投影法在估算楼层数时最精确。航片比例尺对容积率的影响因量测方法而异, 随比例尺减小, 直接法精度提高, 投影法精度几乎不变, 但阴影法和高差法精度明显下降。

**关键词:** 城市建筑容积率; 遥感方法; 误差分析

**中图分类号:** F292      **文献标识码:** A

## 1 引言

城市建筑容积率或建筑面积密度, 是指建筑物总建筑面积与所占用地面积的比例, 它是衡量城市土地开发利用强度的一项重要指标。建筑容积率越大, 土地开发利用强度越高, 空间使用率也越高<sup>[1]</sup>。建筑容积率也是确定城市地价的重要因素之一, 它直接影响土地价格, 甚至可以引起地价成倍升涨或降落<sup>[2]</sup>。城市建筑容积率还影响城市人口密度、人类居住环境及人们的生活质量。此外, 城市建筑容积率也是造成城乡间和城市内部热场温度差异的主要因素。因此, 精确地测定城市建筑容积率, 对于城市总体规划、地价评估、建筑工程造价预算、人口数量和密度估算, 以及揭示城市建成区土地利用动态变化特征和指导土地利用优化配置都有着重要的意义<sup>[3]</sup>。

城市建筑容积率的确定需要首先测算建筑总面积和该建筑物的占地面积。对绝大部分建筑物来说, 只要知道每层楼的面积以及该建筑物的总楼层数, 就可以求出其建筑总面积。常规量测建筑物面积、高度的方法是实地测量, 此法除费时费力外, 还受到人们无法接近某些建筑物的限制。与此相反, 从航片上量测这些参数速度快、成本低, 且不受地物不可接近性影响。建筑占地面积和建筑物平面面积均可在航片上量测, 然后依像片比例尺转换成实地面积(这种量测方法简便、成熟, 不是本文讨论的重点)。又因为每层楼平面面积相同, 只要知道楼层数即可确定建筑总面积。楼层数(对单个建筑物而言, 楼层数即是该建筑物的容积率)可以通过从航片上测量楼房高度, 再按每层楼的高度来推算。从航片上测

收稿日期: 2001-08; 修订日期: 2001-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40171007)

作者简介: 查勇 (1963-), 男, 副教授, 在职博士生。主要从事“3S”技术的应用研究。

E-mail: yzha@njnu.edu.cn

定建筑物高度的方法有好几种, 本文试图研究这些方法对建筑容积率估算的精度, 以及利用不同比例尺的航片可能对精度产生的影响。

## 2 建筑物高度的确定方法

从航片上确定建筑物高度的方法多种多样, 通常使用的是直接法、投影法、阴影法和高差法<sup>[4]</sup>。

(1) 直接法。该法通过从移了位的某个楼房侧面, 直接数垂直方向窗口数来确定楼层数, 不必量测其高度。它具有快速、简便的特征, 但精度直接受建筑物移位幅度或其距像主点距离影响。

(2) 投影法。此法基于量测建筑物在航片上的投影差  $\delta h$  及其距像主点的距离  $r$ , 按以下公式来计算:

$$h = \delta h \cdot H / r \quad (1)$$

式中:  $H$  为所用像片的航高。

(3) 阴影法。航片上的阴影有本影与落影之分, 阴影法利用建筑物的落影长度  $l$  及成像时的太阳高度角  $\theta$  来计算建筑物高度  $h$ 。其公式为:

$$h = l \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot M \quad (2)$$

式中:  $M$  为所用航片的比例尺分母。

(4) 高差法。此法需用同一地区的立体像对, 通过视差杆读取某建筑物底部与顶部间的左右视差较  $\Delta p$  来确定其高度, 计算公式为:

$$h = \Delta p \cdot H / (b + \Delta p) \quad (3)$$

式中:  $b$  为所用立体像对的平均基线长。

本研究试验区位于南京市清凉山周围, 总面积约  $2 \text{ km}^2$ 。区内地形不平坦, 起伏高差在  $50 \text{ m}$  左右。其内土地利用类型多样, 建筑物用途广泛, 具有一定的代表性。所用的航片有两种, 第一种比例尺为  $1:2500$ , 摄于 1995 年 1 月。第二种比例尺为  $1:4000$ , 摄于 1986 年秋季。两者尺寸均为  $23 \text{ cm} \times 23 \text{ cm}$ 。它们的反差适中, 无云覆盖。这些像片的航向重叠为  $60\%$ , 旁向重叠为  $30\%$ , 可以进行立体观测。

## 3 结果与讨论

### 3.1 量测数据的分析

在本研究中, 共量测了 21 个建筑物的高度/楼层。按用途分: 住宅为 12 个, 教学楼为 3 个, 医院为 4 个, 图书馆和办公楼各 1 个。这些楼房的高度在  $7.0 \text{ m}$  与  $34.0 \text{ m}$  之间。取决于建筑物的用途, 每层楼的高度在  $2.7 \text{ m}$  与  $5.2 \text{ m}$  之间变化。在用投影法获取的 21 个高度中, 12 个比实测数据小, 9 个大, 其中最大正残差为  $5.6 \text{ m}$ , 最小负残差为  $6.4 \text{ m}$ , 平均残差是  $0.3 \text{ m}$ 。在阴影法获取的结果中, 8 个观测值比实际高度小, 13 个大, 它们的残差均值为  $0.0$ 。用高差法获得的高度有 14 个比实际值小, 7 个大, 平均残差为  $1.3 \text{ m}$ 。这些统计参数值表明量测高度不含显著偏差, 除高差法外, 其余两组观测数据都服从正态分布。在三个残差范围中, 阴影法的范围 ( $14.9$ ) 最大, 投影法 ( $12.0$ ) 次之, 高差法 ( $8.6$ ) 最小。

这说明在前两组量测数值中,个别值受随机因素的影响较大。在阴影法中主要限制因素为地形起伏状况,在投影法中则为所测地物在像片上的位置差异。

三组观测值的均方差分别为 3.0 m、3.0 m 和 2.2 m,最大均方差值约为一层楼高。这些均方差值表明阴影法和投影法的精度相等,高差法的精度相对高些。这是因为前两种方法依靠量测地物在像片上的阴影/投影来确定高度。阴影长度随地形起伏以及太阳高度角而变,在不平坦地带,地形起伏造成同样高度的建筑物阴影不等长,降低量测精度。投影法依靠量测垂直方向同一位置在像片上的移位来确定高度。尽管移位幅度随地物在像片上位置而变,但总的来说,这种幅度甚小,故更难精确地测定。高差法通过观测地物的立体像来确定高度,不受地形起伏、地物在像片上位置这类随机因素的影响,故精度较高。

### 3.2 容积率估算精度的对比分析

表 1 列出了实际楼层数和利用四种高度确定法推算出来的楼层。所测建筑物的最高楼层为 10,最低为 2,绝大部分楼房是 4~6 层的住宅。除直接法的结果是通过数垂直方向窗口数确定外,其他三种方法获取的结果是用各建筑物高度除以每层楼的高度推算得到的。在计算过程中,楼层数用四舍五入法近似到整数位。这些观测值的统计结果列于表 2,观测值与实际值之间的关系按相同、相差一层、相差两层以及相差三层四大类来考虑,表中还有一项为误估层数目的总和。

表 1 实际楼层数与用不同方法测定的楼层数

Tab. 1 Actual floors and floors measured with different methods

序号	实际楼层数	1 2 500				1 4 000			
		直接法	投影法	阴影法	高差法	直接法	投影法	阴影法	高差法
1	2	1	2	2	2	1	2	3	0
2	2	1	4	2	1	1	1	2	1
3	2	2	3	2	1	2	2	2	1
4	2	1	2	2	3	2	2	2	4
5	3	2	3	3	2	3	3	3	3
6	3	1	2	3	3	1	4	3	2
7	3	2	2	4	2	2	2	3	3
8	4	3	3	2	3	3	3	3	3
9	4	4	4	5	3	4	5	5	5
10	4	2	3	4	3	4	4	5	3
11	4	3	5	5	5	3	5	6	5
12	4	3	4	4	4	4	5	4	4
13	5	4	4	5	4	4	4	5	4
14	5	4	5	5	5	4	6	6	2
15	5	4	4	5	5	4	5	5	6
16	6	6	7	6	6	6	7	8	6
17	6	3	5	5	5	5	6	5	5
18	6	5	6	7	6	6	6	6	4
19	6	5	5	6	5	5	6	5	4
20	7	6	7	7	8	7	7	8	6
21	10	10	12	9	10	10	13	9	11
	93	72	92	93	86	81	98	98	82

在用直接法获取的 21 个楼层观测值中, 仅有 4 个与实际楼层数相吻合, 差异为一层的观测值有 14 个, 两层的 2 个, 差异最大的是三层 (第 17 个观测值)。观测到的楼层数与实际楼层的差异, 在各个楼层均存在, 且观测值比实际值小。直接法往往低估实际楼层数一、两层, 这些楼层都是底层。它们在量测时被忽视, 主要有两个原因: 第一, 底层楼一般被临近楼房的物体 (如花木) 所环抱, 在航片上其影象不清晰。若投影与阴影方向相反, 底层则处于楼房本身的阴影中, 很难识别; 第二, 很多楼房的底层与其上楼层的用途不尽相同, 它 (们) 没有类似其上楼层的窗口特征, 引起在量测时被忽视。在研究区内, 前一种因素的影响占主导地位。用投影法获取的结果中, 8 个观测值的楼层数与实际值相符, 差值为一层的观测值有 11 个, 最大差值只有两层。在这些差值中, 估算楼层比实际楼层大的观测值为 5, 两者相差为两层的观测值分别为 2 和 21。在阴影法中, 三分之二的估算楼层数与实际值相同, 差值为一层和两层的观测值分别为 6 (4 个偏高, 两个偏低) 和 1。高差法获取的结果中, 8 个观测值的楼层数与实际值一样, 两者之间相差一层的观测值有 13 个, 其中 10 个偏低, 3 个偏高, 差值为两层或两层以上的观测值不存在。

四种方法的对比表明, 在观测值与实际值相吻合这一类, 阴影法的观测数 (14) 最多, 远远超出直接法 (4) 和投影法/高差法 (8)。与此相反, 在相差层数为 1 这一类, 阴影法的观测数 (6) 只有其他方法的一半。只在差值为两层或两层以上这两类, 高差法的观测数才较少。若用误估总层数来衡量, 阴影法的 8 层也比高差法的 13 层要小很多。总之, 阴影法在估算城市建筑容积率时精度最高, 直接法的精度最低, 高差法与投影法的精度不相上下。高差法中由于量测的高度距实际值不太大, 造成差值为一层的观测值较多。阴影法的个别观测值受随机因素的影响严重, 有些观测楼层数目偏离实际值两层。

### 3.3 像片比例尺对容积率估算的影响

像片比例尺对容积率估算的影响可通过表 1 来看出。比例尺的减小对每种方法的影响不同。就直接法而言, 实际楼层与观测楼层两者相等的观测数目在 1 : 4 000 的结果中明显增高。相反, 相差两层或两层以上的观测数目大为减少。结果造成总误估楼层数由原来的 21 减为 12。比例尺影响直接法精度, 并不是因为比例尺小, 更多的影像细节显示出来的缘故。其实, 真正原因是小比例尺像片上, 所测楼房离像主点的距离更远了, 移位也加剧了, 楼房侧面的影像得以更加清晰地显现出来。比例尺对投影法的精度影响轻微, 在 1 : 2 500 与 1 : 4 000 的各项对应统计参数值大同小异, 误估总层数也只会从 15 稍减为 13。这是因为建筑物在像片上的投影移位主要受制于其本身高度, 其次才是像片比例尺, 公式 (1) 也显示建筑物高度与比例尺间无直接关系。因所试验的两个比例尺相近, 量测结果随比例尺变化不大。

与直接法和投影法不同, 阴影法和高差法的精度随比例尺的减少而降低。在阴影法中, 由于两者相同观测数目由 14 降为 10, 而差值为一层和两层的观测数分别增加了 3 和 1, 结果误估总楼层数由原来的 8 上升为 13。比例尺对阴影法的影响不难从公式 (2) 中建筑物的高度与比例尺分母之间的关系看出, 比例尺越小, 建筑物在像片上的阴影越短, 阴影长度的精确测定也更难。随着比例尺的减小, 高差法结果中差值为两层或三层的观测数明显增多, 结果误估总层数从 13 上升到 23。比例尺越小, 建筑物在像片上的影像也越小, 观察其立体更加困难, 这无疑会在量测结果中产生更大误差。

表 2 测定楼层数与实际楼层数的比较分析

Tab. 2 The comparative analysis between measured floors and actual floors

实际楼层数与 测定楼层数关系	1 2 500				1 4 000			
	直接法	投影法	阴影法	高差法	直接法	投影法	阴影法	高差法
相 等	4	8	14	8	10	10	10	4
相差一层	14	11	6	13	10	10	9	12
相差二层	2	2	1	0	1	0	2	4
相差三层	1	21	0	15	0	8	0	13
误估总层数	0	12	1	13	0	13	1	23

## 4 结 论

本研究利用直接法、投影法、阴影法及高差法等遥感方法,从 1 2 500 和 1 4 000 航片上量测了不同用途的 21 个建筑物的高度,并将其按每层楼的高度转换成楼层数。这些结果连同直接法获取的结果一起与实测值进行了比较,得出了如下一些新的认识:

(1) 利用直接法估算城市容积率往往低估实际楼层数 1~ 2 层,精度最低。在此法中,底层楼往往被临近建筑物及建筑物本身的阴影所遮掩,测算时容易被忽视;

(2) 在测算建筑物高度时,高差法最精确,因受一些随机因素的影响,投影法与阴影法的精度稍低且结果比较接近。但在估算楼层数时,阴影法和投影法精度最高,高差法次之;

(3) 航片比例尺对估算容积率精度的影响随着量测方法的不同而异。在一定范围内,比例尺的减小会大大提高直接法的精度。投影法的精度几乎不受比例尺影响,与此相反,比例尺的减小会大大降低阴影法和高差法的精度。因此,在测定城市建筑物容积率时,视视目标和任务的不同而合理选择适宜的量测方法。

## 参 考 文 献:

- [1] 何强为 容积率的内涵及其指标体系[J]. 城市规划, 1996, 20(1): 25-27.
- [2] 欧阳安蛟 容积率影响地价的规律及修正系数确定法[J]. 经济地理, 1996, 16(1): 97-101.
- [3] 刘彦随 区域土地利用优化配置中系列模型的应用[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 26-31.
- [4] 查勇, 刘彦随, 蒋建军 城市容积率确定的技术要点透视[J]. 人文地理, 1998, 13(1): 13-16

## A Study on Remote Sensing Methods in Estimating Urban Built-up Volume Ratio Based on Aerial Photographs

ZHA Yong

(College of Geographic Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

**Abstract:** The determination of the ratio of urban built-up volume requires the height information or the number of floors of a building. The purpose of this paper is to compare the accuracy of the ratio measured with the direct, the displacement, the shadow and the

parallax methods. The number of floors/height of 21 buildings is determined from 1:2500 and 1:4000 aerial photographs. The comparative analysis of these results shows that the direct method is the least accurate. Although the parallax method is the most accurate in determining height, its accuracy is next to that of the shadow method in estimating the ratio. The impact of the scale of the photographs used on the estimation of accuracy varies with the height determination methods. With the decrease of scale, the accuracy of the direct method improves, but the shadow and the parallax's accuracy worsens. Scale hardly affects the accuracy of the displacement method.

**Key words:** urban built-up volume ratio; remote sensing method; error analysis