

用光学滤波抽取图像中的方向结构

逯小靖 赵淑清

(中国科学院长春光学精密机械研究所)

提 要

本文用二维傅里叶级数分析某些目标的方向特性。对一些典型目标的傅氏系数作了数值计算，并用光学滤波把它们抽取出来。而后对地面的卫星照片作了光学方向滤波。给出了一些实验结果。

一、引 言

在一些图像中,比如卫星照片,常常有某些在特定方向上的结构。抽取或突出这些结构对于地质学家来说是有意义的,因为这些方向结构使地质学家更容易找出他们感兴趣的地貌构造,如断裂带等,也便于他们对地质构造作应力分析。一个简单实用的方法是采用光学方向滤波来抽取这种结构。M. B. Dobrin 曾经用光学方向滤波处理地震数据^[1]。D. G. Falconer 用光学滤波处理过气泡室的粒子轨迹底片^[2]。H. H. Arsenault 用光学方向滤波器处理过航磁图^[3]。这些图像都是单个线条构成的,并且是二元图像(只有黑白两个等级)。本文用二维傅氏级数具体分析了两个典型目标频谱的方向特性,并将它们从图像中抽取出来。而后用光学方向滤波器从多灰度的卫星照片中抽取某些特定方向的结构。

二、目标的方向特性

一个被准直相干光照明的正透明片的振幅透射率 $\tau(x, y)$ 可以用二维傅氏级数表示:

$$\tau(x, y) = \sum_{m, n=-\infty}^{\infty} C_{m, n} \exp[i 2\pi(m x / 2l + n y / 2h)], \quad (1a)$$

$$C_{m, n} = (4lh)^{-1} \iint_{-l, -h}^{l, h} \tau(x, y) \exp[-i 2\pi(m x / 2l + n y / 2h)] dx dy$$
$$(m, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots), \quad (1b)$$

式中 $2l, 2h$ 分别是 $\tau(x, y)$ 在 x 和 y 方向的宽度。 $C_{m, n}$ 是傅氏系数, 它和 $\tau(x, y)$ 的傅氏变换 $\tilde{\tau}(u, v)$ 有下面关系^[4](扩展到二维情况):

$$C_{m, n} = \tilde{\tau}(m/2l, n/2h) / 4lh, \quad (m, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (2)$$

即目标的傅氏系数表示在点 $(u = m/2l, v = n/2h)$ 上的频谱值(差一个比例常数)。

表 1 给出了余弦带形和棱形周期结构的振幅透射率和傅氏系数的表达式。据此我们计算了两个典型目标(见图 3(a)和图 4(a))的傅氏系数, 并画出这些傅氏系数在 $m > 0, n > 0$ 象

表 1

<p>图 形</p>		
<p>振 幅 透 射 率</p>	$\tau_0(x, y) = \begin{cases} 1 & A \cos \frac{\pi x}{2} - d + p_1 c \leq y \leq A \cos \frac{\pi x}{2} \\ & + d + p_1 c - l_1 \leq x \leq l_1 \\ 0 & \text{其余的 } x, y \end{cases}$ <p>其中 $p_1 = 0, \pm 1, \dots, \pm q_1, h_1 = q_1 c + A + d$</p>	$\tau_1(x, y) = \begin{cases} 1 & -\frac{b}{a}x + 2b(p' + p) \leq y \leq \frac{b}{a}x + 2b(p' - p); \\ & (2p + \frac{1}{2})a \leq x \leq (2p + 1)a; \\ 1 & \frac{b}{a}x + 2b(p' - p - 1) \leq y \leq -\frac{b}{a}x + 2b(p' + p + 1); \\ & (2p + 1)a \leq x \leq (2p + \frac{3}{2})a \\ 0 & \text{其余的 } x, y \end{cases}$ <p>其中: $p = 0, 1, \dots, q - 1; -1, -2, \dots, -q,$ $p' = 0, \pm 1, \dots, \pm q', l_2 = (2q - 1/2)a,$ $h_2 = (2q' + 1)b$</p>
<p>傅 里 叶 系 数</p>	$C_{m,n}^0 = \frac{d}{h_1} \left[1 + 2 \sum_{p_1=1}^{q_1} \cos \pi n \frac{p_1 c}{n_1} \right] \sin c \left(\frac{nd}{h_1} \right) \times \left\{ \sin c(m) J_0 \left(\pi \frac{nA}{h_2} \right) + I_{n_1}(A) \right\} \quad (3)$ <p>其中: $I_{n_1}(A) = \begin{cases} (i)^{n_1} J_{n_1} \left(\pi \frac{nA}{h_1} \right) & n_1 = \frac{2m}{l_1} = 2, 4, 6, \dots \\ (-1)^{\frac{l_1}{2}} (i)^{n_1} J_{n_1} \left(\pi \frac{nA}{h_1} \right) & n_1 = 1, 3, 5, \dots \\ 0 & m = 0 \text{ 及其它 } m \end{cases}$</p> <p>式中 $m, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ l_1 为偶数 $J_c(x)$ 和 $J_{n_1}(x)$ 是零阶和 n_1 阶的第一类贝塞尔函数。</p>	$C_{m,n}^1 = \frac{ab}{4l_1 h_1} \sum_{p=0}^{q-1} \cos \pi m \frac{a}{l_2} (2p + 1) \left[1 + 2 \sum_{p'=1}^{q'} \cos 2\pi n p' \times \frac{b}{h_2} \right] \times \left\{ \sin c(R_1) \sin c(R_2) \cos \frac{\pi n}{2} \frac{b}{h_2} + \sin c \left(\frac{nb}{2h_2} \right) \times [\sin c(R_1) \cos(\pi R_2) + \sin c(R_2) \cos(\pi R_1)] \right\} \quad (4)$ <p>其中: $R_1 = \frac{1}{4} \left(m \frac{a}{l_1} - n \frac{b}{h_2} \right), R_2 = \frac{1}{4} \left(m \frac{a}{l_1} + n \frac{b}{h_2} \right)$ $m, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$</p>

限中的分布 ($m, n > 0$ 象限相当于 $u, v > 0$ 象限, 只不过有个比例上的差别 $n/m = v \cdot h/u \cdot b$)。图 3(a) 是两个频率相同但振幅 A 不同的余弦带形。根据表 1 (3) 式并令 $P_1 = 0$, 一个振幅为 A 的余弦带形的傅氏系数 $C_{m,n}^A$ 是:

$$C_{m,n}^A = (d/h) \sin C(nd/h_1) [\sin C(m) J_0(\pi n A/h_1) + I_m(A)], \quad (5)$$

作数值计算时取 $d = 0.5, l_1 = 22, h_2 = 10.5$, 具体计算公式是:

$$\begin{aligned} C_{0,n}^A &= \sin C(nd/h_1) J_0(\pi n A/h_1); & C_{11,n}^A &= -i \sin C(nd/h_1) J_1(\pi n A/h_1); \\ C_{22,n}^A &= -\sin C(nd/h_1) J_2(\pi n A/h_1); & C_{33,n}^A &= i \sin C(nd/h_1) J_3(\pi n A/h_1); \\ & & & (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \end{aligned} \quad (6)$$

图 1 表示振幅 $A = 1$ 和 $A = 10$ 的余弦带形的傅氏系数在 $m, n > 0$ 象限中的分布 $|C_{m,n}^A|$ 。图 1(a) 是小振幅 ($A = 1$) 余弦带形的傅氏系数, 它在 n 轴 (即 v 轴) 上有较强的分布, 其余的傅氏系数大体分布在一条与 m 轴 (u 轴) 成角度 θ ($\theta \approx 15^\circ 30'$) 的直线周围。 $A = 10$ 的余弦带形

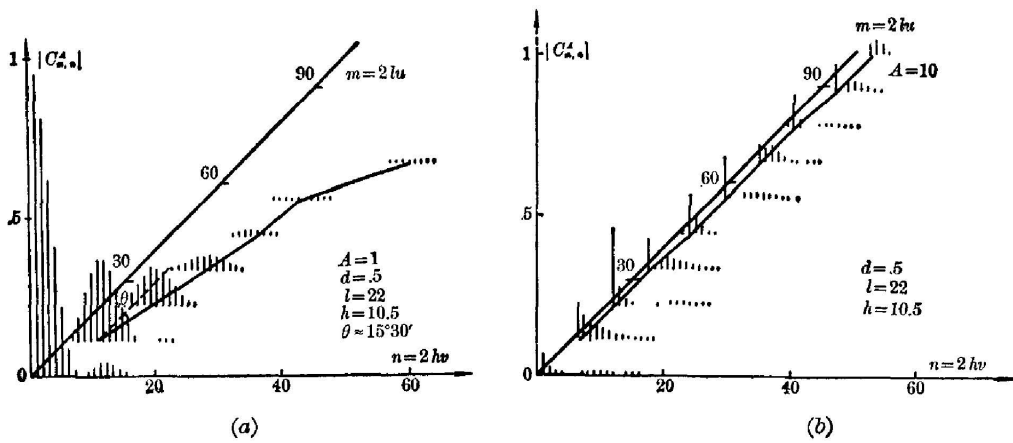


图 1 傅里叶系数在 $m, n > 0$ 象限中的分布
 (a) 小振幅余弦带形; (b) 大振幅余弦带形

Fig. 1 Distribution of Fourier coefficient in quadrant $m, n > 0$
 (a) small amplitude sinusoid; (b) large amplitude sinusoid

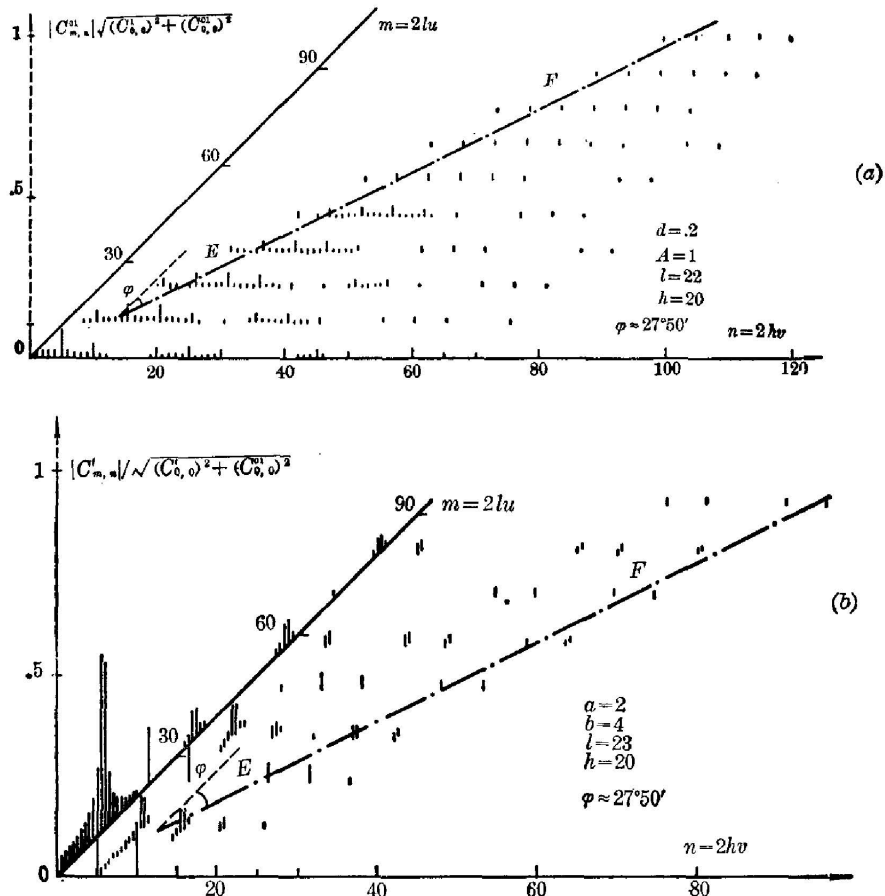


图 2 傅里叶系数在 $m, n > 0$ 象限中的分布
 (a) 棱形周期结构; (b) 四条余弦带形

Fig. 2 Distribution of Fourier coefficient in quadrant $m, n > 0$
 (a) periodic pattern; (b) four sinusoids

的傅氏系数在 n 轴上的数值随 n 增大而迅速减小, 其余的分布在 n 段平行于 m 轴并且靠近 m 轴的直线附近。显然, 小振幅余弦带形和大振幅余弦带形的傅氏系数在方向上有明显差别。

图 4(a) 的图形由棱形周期结构和 4 个余弦带形组成, 它的傅氏系数 $C_{m,n}^B$ 是: $C_{m,n}^B = C_{m,n}^1 + C_{m,n}^{01}$, 其中 $C_{m,n}^1$ 是棱形周期结构的傅氏系数, 见表 1 的公式(4)。另据表 1(3) 式并令 $P_1 C = -11, -3, 5, 13, 4$ 条余弦带形的傅氏系数 $C_{m,n}^{01}$ 是:

$$C_{m,n}^{01} = (2d/h_1) \exp(-i\pi n/h_1) [\cos 4\pi n/h_1 + \cos 12\pi n/h_1] \sin C(nd/h_1) \times [\sin C(m) J_0(\pi n A/h_1) + I_m(A)] \quad (7)$$

为了作比较实际计算的是: $C_{m,n}^1/\sqrt{(C_{0,0}^1)^2 + (C_{0,0}^{01})^2}$, $C_{m,n}^{01}/\sqrt{(C_{0,0}^1)^2 + (C_{0,0}^{01})^2}$ 。图 2 画出了它们在 $m, n > 0$ 象限中的分布。图 2(a) 是 $|C_{m,n}^1|/\sqrt{(C_{0,0}^1)^2 + (C_{0,0}^{01})^2}$ 的分布, 棱形周期结构的傅氏系数在 m 轴上有很强的分布, 其它大部分都在直线 EF 和 m 轴之间。图 2(b) 是 $|C_{m,n}^{01}|/\sqrt{(C_{0,0}^1)^2 + (C_{0,0}^{01})^2}$ 的分布, 它在 n 轴上有很强的分布, 其它的基本上都分布在 EF 和 n 轴之间。这两个傅氏系数基本上分布在直线 EF 的两侧, 可见棱形周期结构和余弦带形有不同的方向特性。当然它们也有相互重迭的部分, 在靠近原点处比较严重。

三、光学方向滤波

实验中使用的相干光学处理器与一般的光学处理器稍有不同, 它的两个傅氏镜头有不同的焦距。第一个镜头的焦距 $f_1 = 1200$ mm, 第二个镜头的焦距 $f_2 = 850$ mm。采用长焦距镜头的目的是要使图像的频谱大一些, 以便于制作滤波器。实验所用的方向滤波器可以改变角度, 即能改变允许通过的频谱的角度范围, 可以宽一些, 也可以窄一点。根据需要可以允许零级谱通过, 也可以将其挡住。

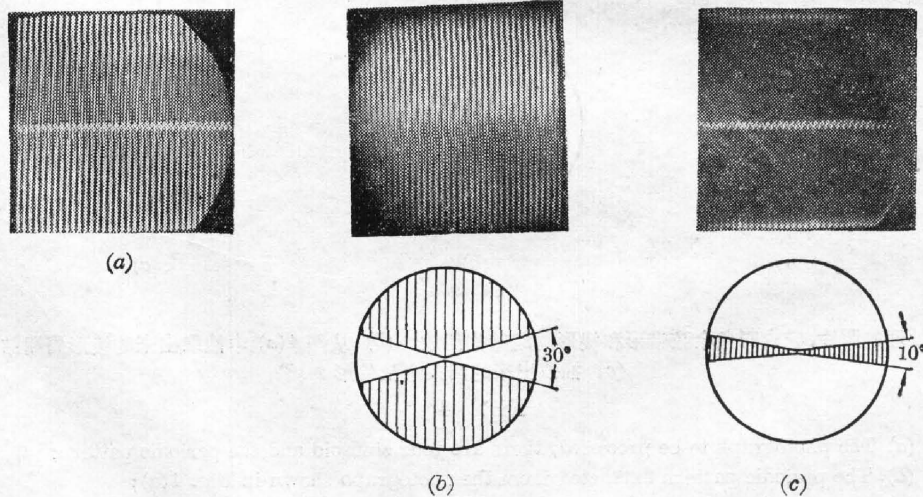


图 3

(a) 从示波器上拍摄下来的照片; (b) 用下面滤波器抽取出来的大振幅余弦带形;
(c) 抽取出来的小振幅余弦带形

Fig. 3

(a) photograph taken from the oscilloscope; (b) A large amplitude sinusoid extracted by the filter from the photograph shown in Fig. 3(a); (c) Extracted small amplitude sinusoid

图 3(a) 的照片是从示波器上拍摄下来的, 这两个余弦带形具有相同的频率, 但振幅不同。图 3(b) 是使用方向滤波器进行滤波后得到的结果, 照片上只有一个大振幅的余弦带形。可以看到处理结果是很好的, 但是也丢失了某些信息, 例如照片下面某些部分的带形联结在一起, 带形的上下两端变得很尖锐。图 3(b), 3(c) 左侧所示的是方向滤波器的示意图。图 3(c) 是抽取出来的小振幅余弦带形, 结果很好, 但在照片的上端和下端有两行白点, 它们是大振幅带形上下两端的水平部分。这些水平部分所产生的频谱在 v 轴上, 抽取小振幅余弦带形的方向滤波器正好让它们通过。从图 1 的 (a) 和 (b) 上也可以看到, 这两个傅氏系数在原点附近有较严重的重迭, 因此在用方向滤波器抽取其中一个带形时, 另一个带形不会被完全滤掉, 总会留下一些痕迹。

图 4(a) 的照片是模拟的, 几条余弦带形代表断裂带, 棱形代表山脉。图 4(b) 是滤波后抽取的棱形周期结构, 4 条余弦带形几乎完全被滤掉了。图 4(c) 是滤波抽取的 4 条余弦带形, 但是在照片上还有 5 个较宽的水平亮带。这些亮带可以看作是棱形结构在 x 方向变模糊所致, 说明方向滤波器(见图 4(b)、(c) 右侧的示意图, 它以 v 轴为中心的一定角度范围内的频谱通过)在 u 方向有一种变模糊作用。此外棱形周期结构的低频谱比余弦带形的低频谱强很多(见图 2 的 (a) 和 (b)), 它们的傅氏系数在低频有重迭, 因此遗留下这几个亮带。

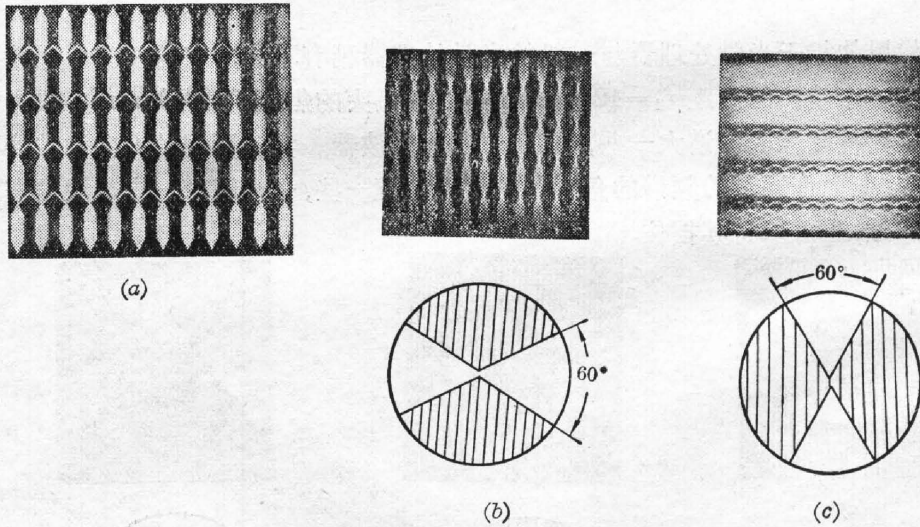


图 4

(a) 待处理的照片, 它由四条余弦带形和棱形周期结构组成; (b) 从图 4(a) 中抽取出来的棱形周期结构;
(c) 抽取出来的四条余弦带形

Fig. 4

- (a) The photograph to be processed, there are four sinusoid and the periodic pattern;
- (b) The periodic pattern extracted from the photograph shown in Fig. 4(a);
- (c) Extraced four sinusoids

我们用光学方向滤波对地面的卫星照片进行处理, 在使用方向滤波器时一般要使零级谱通过, 而尽量挡住某个方向的低频谱。图 5(a) 是一张地面的卫星照片。图 5(b) 是经过方向滤波后的照片, 突出在一定角度范围内以东西取向为中心的方向结构。图 5(c) 的照片突出以南北取向为中心的方向结构。比较这三张照片, 我们可以在图 5(b), 5(c) 中找到许

多结构,它们和原来照片(图 5(a))上的结构几乎完全一样。在从卫星照片中抽取方向结构时,使用方向滤波器而不使用狭缝,是由于狭缝滤波仅能使一个特定方向的信息通过,因此处理过的图像中全都是在—个方向上的线条,无法与原来的照片对照。使用方向滤波器则允许通过的是在一个角度范围内的信息,狭缝只是方向滤波器的—个特殊情形。正如前面所分析的那样,经过方向滤波后底片上保留下来一些结构(不仅仅是线条),容易与原来照片进行比较。

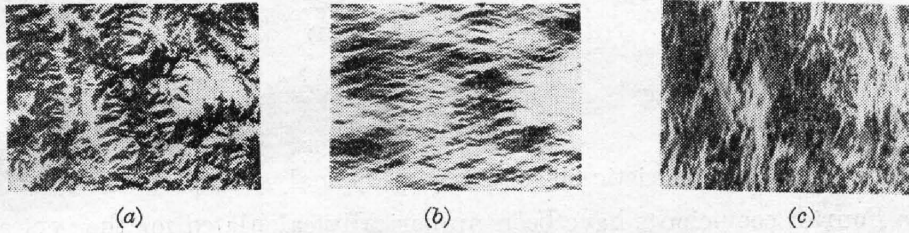


图 5

(a) 待处理的卫星照片; (b) 经过处理的卫星照片,照片上只有东西取向的结构;
(c) 经过处理的卫星照片,只有南北方向结构

Fig. 5

(a) The satellite-photograph to be processed; (b) Processed photograph, there is east-west directional construction; (c) Processed photograph, there is north-south construction

四、结 论

我们用二维傅氏级数分析目标的频谱,举例说明了某些目标确实有不同的方向特性。对这些目标作光学方向滤波,实验结果令人信服地说明适当的方向滤波器可以把它们从图像中抽取出来。我们的最终目的是对卫星照片进行方向滤波,按照地质工作者的要求从卫星照片中抽取各个方向的结构,这些处理结果对他们分析地质构造是有用的。

北京遥感所魏成阶同志提供了作地质分析的卫星照片,长春光学精密机械研究所龙继德同志提供了示波器照片,作者在此—并致谢!

参 考 文 献

- [1] M. B. Dobrin; *Appl. Opt.*, 1969, **8**, No. 8 (Aug), 1551.
- [2] D. G. Falconer; *Appl. Opt.*, 1966, **5**, No. 9 (Sep), 1365.
- [3] H. H. Arsenault; *Appl. Opt.*, 1974, **13**, No. 5 (May), 1013.
- [4] S. Goldman; *«Information Theory»*, (Prentice-Hall Inc., New York, 1954), 71~75.

Extraction of directional construction from photograph by optical filtering

LU XIAOJING AND ZHAO SHUQING

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica*)

(Received 10 September 1981)

Abstract

The directional characteristic of some objects is analysed by means of 2D Fourier series. The Fourier coefficients have been numerically calculated for the typical objects, and by using optical filtering the objects are extracted from pictures. Then, optical directional filtering for the satellite-photograph is performed. Experimental results are given.

.....

(上接第 307 页)

第六章是由哥伦比亚大学的著名化学家 K. B. Eisenthal 撰写的。他叙述了分子间的能量转移，液体中分子的定向弛豫，液体中的光离解和笼蔽效应，分子的电子转移现象，分子内转换和分子系统间的交叉等。这些研究课题对化学家来说是很感兴趣的。

最后一章是由洛斯·阿拉莫斯实验室的 A. J. Campillo 和 S. L. Shapiro 写的。目前这两人正从事光合作用原初过程的研究，取得了一系列有意义的结果。在这章中，叙述了用微微秒脉冲对光合作用的原初过程、血红蛋白、参予视觉过程的分子及 DNA 等所进行的研究。

超短光脉冲的研究发展很快，目前已成为许多国际会议的中心议题。本书对于从事这个领域研究的物理学家、化学家、生物学家都是有益的。

由于本书是由不同作者撰写的。因而个别部分有些重迭。如第二章和第三章在叙述测量方法上有些重复，另外本书主要采用归纳和综合方法，而没有进行深入的分析 and 推理，不可能有严整的理论体系，它主要反映了美国、英国和西德的工作，对苏联、意大利、法国、日本的工作没有体现。

(孟绍贤)