

X线摄影学

袁聿德 主编

人民卫生出版社

X 线 摄 影 学

袁 聿 德 主 编

袁聿德 曹厚德 燕树林 编写

范 焱 主 审

人 民 卫 生 出 版 社

责任编辑 姚 冰
封面设计 王士忠

X 线 摄 影 学
袁 聿 德 主 编

人 民 卫 生 出 版 社 出 版
(100078 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼)

河北省遵化市印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

ISBN 7-117-01897-6



9 787117 018975 >

787×1092 毫米 16 开本 16 印张 363 千字
1993 年 3 月第 1 版 1998 年 6 月第 1 版第 3 次印刷
印数: 6 121-9 120

ISBN 7-117-01897-6/R · 1898 定价: 20.00 元

前 言

《X线摄影学》是为全国高等医学院校五年制医学影像专业编写的参考书。

本书是根据高等医学院校医学影像专业教学计划，参考国内外有关资料，结合教学人员的教学和临床实践经验而撰写的。编写中力求突出其科学性、先进性和实践性。

本书主要包括四部分：X线摄影基础理论、X线照片冲洗化学、X线摄影位置学、实验等。

医学影像专业，是随着电子技术的进步而出现的多种现代化影像检查手段，而逐步形成的新专业、新学科。本书首次编写，书中一定有很多不足之处，希望使用本参考书的老师、同学及广大读者，提出宝贵意见，以便再版时修改，使之不断完善，不断提高。

袁聿德

1992.8

目 录

第一篇 X线摄影学理论

第一章 影像论	1
第一节 概论	1
第二节 光学传递函数简介	1
一、空间频率和调制度	1
二、光学传递函数的定义	3
第三节 卷积计算成像和光学传递函数的数学表达式	6
一、点扩散函数 (PSF)	6
二、线扩散函数 (LSF)	7
三、卷积计算成像	11
四、光学传递函数的数学表达式	12
五、X线成像系统的非线性及其线性变换	17
六、单脉冲函数的付氏变换的物理意义	17
七、成像系统的 MTF	18
八、测定方法	19
第二章 X线照片影像的形成	29
第一节 X线对比度	29
一、概念	29
二、影响X线对比度的因素	31
三、对比度指数	31
四、X线对比度的观察法	32
第二节 X线影像传递与照片的形成	32
第三节 光学对比度	33
一、概念	33
二、影响光学对比度的因素	34
第三章 X线照片模糊分析	38
第一节 几何学模糊	38
一、X线管焦点	38
二、X线管焦点成像性能的主要参量	45
三、几何学模糊	51
第二节 X线量与像质	59
第三节 散射线	57
一、散射线引起的照片对比度损失	57
二、被照体的厚度与散射线	59
三、照射野和散射线	60
四、散射线的抑制	60
五、散射线的排除	61
第四节 被照体的运动	69

一、运动产生的模糊	69
二、运动的 MTF	70
三、运动模糊的应用	71
第五节 感光系统产生的模糊	72
第六节 分辨率	74
一、影像的锐利度	74
二、分辨率	74
第四章 X 线摄影条件	77
第一节 X 线摄影效果与 n 值	77
第二节 X 线摄影条件基本因素和应用	78
一、管电压和管电流量	78
二、管电流和摄影时间	79
三、摄影距离	79
四、增感屏和胶片	80
五、滤线器和照射野	81
第三节 X 线摄影条件表	81
一、变动 kV 法	81
二、固定 kV 技术	81
三、Siemens 条件表及 X 线摄影条件规范化	81
第五章 体位设计	89
一、头部的 Towne 摄影法	89
二、胸骨正位像的摄影法	91
第六章 优质 X 线照片的条件	91
第一节 照片斑点	92
第二节 适当的密度	93
第三节 显明的对比度	94
第四节 良好的锐利度	94
第七章 X 线检查的体位和方向	95
第一节 解剖学的基准线、面	95
第二节 身体各部位的方向和位置	95
一、一般的方向和位置	95
二、四肢的方向和位置	96
第三节 体位	96
一、基本体位	96
二、四肢体位	98
第四节 摄影方向	99
一、一般的摄影方向	99
二、四肢的摄影方向	100
三、头部的摄影方向	100
四、其它方向	100
第五节 头部摄影用的基准点、线、面	100
一、基准点	100

二、基准线	101
三、基准面	101
第八章 X线造影检查概要	101
第一节 造影剂的种类及用途	101
第二节 药敏试验及造影中发生意外及急救措施简介	104
一、药敏试验	104
二、造影中发生意外及急救措施简介	105
第九章 X线特殊检查概要	106
第一节 体层摄影	106
一、概述	106
二、原理	107
三、背景模糊度	111
四、体层厚度	116
五、体层面厚度的测定	116
六、同时多层体层摄影	117
第二节 高千伏摄影	118
一、原理	118
二、设备	119
三、优缺点	119
第三节 软X线摄影	120
一、原理	120
二、设备	121
第四节 X线放大摄影	122
一、放大率的计算	122
二、焦点与放大率的关系	123
三、设备	125

第二篇 X线照片冲洗化学

第十章 概 论	126
第一节 摄影的发明与发展	126
一、摄影的发明	126
二、摄影技术的发展与感光工业的诞生	126
第二节 X线信息影像形成与传递的过程	127
第三节 感光材料简介	127
一、银盐感光材料分类	128
二、非银盐感光材料	131
第十一章 医用X线胶片及其感光测定	132
第一节 医用X线胶片种类	132
第二节 医用X线胶片结构	132
一、乳剂层	133
二、片基	136
三、附加层	137

第三节 医用X线胶片的感光测定	137
一、概述	137
二、光学密度及其测定	137
三、医用X线胶片感光测定	140
第十二章 增感屏	145
第一节 增感屏的结构与种类	146
一、增感屏的结构	146
二、增感屏的种类	148
第二节 增感屏的性能	149
一、增感作用	149
二、影响增感作用的因素	149
三、增感屏对影像效果的影响	150
第十三章 感光机理	153
第一节 感光原理与潜影的形成	153
一、感光原理	153
二、潜影的形成	154
三、X线照射下的潜影特点	155
第二节 感光现象	156
一、互易律失效	156
二、间歇曝光效应	156
三、反转现象	157
四、亚尔培特效应	157
五、静电效应	157
六、压力效应	157
第十四章 显影	157
第一节 显影液的组成	157
一、显影剂	158
二、显影液辅助成分	160
三、PQ型X线胶片显影液性能	161
四、常用X线胶片显影液配方	163
第二节 显影反应与机理	163
一、显影反应	163
二、显影机理	165
三、显影的进行过程	166
第十五章 显影的后处理	168
第一节 中间处理	168
第二节 定影	169
一、定影的意义	169
二、定影液的组成	169
三、定影的化学反应	171
四、定影速率	171
五、常用X线定影液配方	173

第三节 水洗与干燥	174
一、水洗的目的	174
二、水洗速率	174
三、水洗效果的判断	175
四、干燥	175
第十六章 照片自动冲洗技术	176
第一节 自动冲洗技术的概述	176
一、自动冲洗机	176
二、自动冲洗的X线胶片	178
三、自动冲洗套药	179
第二节 照片自动冲洗显影药液的管理	181
一、显影液的配置	181
二、显影管理的内容与方法	181
第三节 自动冲洗显影后处理的管理	185
一、定影的管理	185
二、水洗的管理	186
三、干燥的管理	186

第三篇 X线摄影位置学

第十七章 骨骼系统摄影	188
第一节 上肢	188
手后前位	188
手侧位	188
手后前斜位	188
手前后斜位	189
腕关节后前位	189
腕关节侧位	189
尺、桡骨前后位	190
尺、桡骨侧位	190
肘关节前后位	190
肘关节侧位	191
肱骨前后位	191
肱骨侧位	191
肩关节前后位	191
肩关节侧位	191
肩胛骨前后位	192
肩胛骨侧卧位	192
锁骨后前位	192
肩锁关节后前位	192
第二节 下肢	193
足前后位	193
足前后内斜位	193

足前后外斜位	193
足外侧位	194
足趾前后位	194
足趾内斜位	194
跟骨底跟轴位	194
跟骨外侧位	194
踝关节前后位	195
踝关节外侧位	195
胫骨和腓骨前后位	196
胫骨和腓骨外侧位	196
膝关节前后位	196
膝关节后前位	196
膝关节外侧位	197
股骨前后位	197
股骨侧卧侧位	197
髌关节前后位	198
髌关节和股骨颈侧位	198
髌关节和股骨颈后前斜位	198
第三节 头部	198
头颅后前位	200
头颅前后位	200
头颅侧位	200
枕骨和颞骨岩部前后位	200
颅底颌下顶位	201
蝶鞍侧位	202
蝶鞍后前位	202
视神经孔后前位	202
面骨后前 45° 角位	203
面骨前后位	203
颧弓顶颌斜位	203
眼眶后前位	203
鼻骨轴位	204
鼻骨侧位	204
下颌骨俯卧侧位	205
下颌骨体部后前位	205
下颌骨体部、支部和颞颌关节后前位	205
颞颌关节侧位	205
颞骨乳突侧位——劳氏 (LaW) 位	206
颞骨乳突伦氏 (Runström) 位	206
颞骨岩部轴位——梅氏 (Mayer) 位	207
颞骨岩部后前斜位——斯氏 (Stenvers) 位	207
颞骨岩部前后位——汤氏 (Towne) 位	207
颞骨茎突前后位	207

颞骨茎突侧位(张口)	207
鼻窦—瓦氏(Waters)位	208
鼻窦柯氏(Caldwell)位	209
鼻窦侧位	209
蝶窦顶颌位(张口)	209
第四节 脊柱	209
第一和第二颈椎前后位	211
第三至第七颈椎前后位	211
颈椎侧位	212
颈椎椎间孔前后斜位	212
胸椎前后位	212
胸椎侧位	212
腰椎前后位	213
腰椎侧位	213
腰椎椎弓根和椎间关节前后斜位	214
腰骶关节前后位	215
腰骶关节侧位	215
骶骨前后位	215
骶骨侧位	215
尾骨前后位	216
尾骨侧位	216
骶髂关节前后位	216
骶髂关节前后斜位	217
第五节 胸骨和胸锁关节	217
胸骨后前斜位	217
胸骨侧位	218
胸锁关节后前斜位	218
胸锁关节侧位	218
第六节 肋骨	218
膈上肋骨后前位	218
膈上肋骨前后位	219
膈上肋骨前后斜位	219
膈上肋骨后前斜位	219
膈下肋骨前后位	220
膈下肋骨前后斜位	220
第七节 骨盆	220
骨盆前后位	220
骨盆侧位	221
耻骨和坐骨后前位	221
第十八章 呼吸系统 摄影	221
肺后前位	221
肺前后位	222
肺仰卧前后位	222

肺侧位	222
肺侧卧后前位	223
肺仰卧侧位	223
肺前凸位	223
第十九章 消化系统摄影	224
腹部前后位	224
腹部前后立位或后前立位	224
先天性肛门闭锁摄影法	225
右上腹部后前位(胆囊区)	225
第二十章 循环系统摄影	225
心脏和大血管后前位	225
心脏和大血管侧位	225
心脏和大血管右前斜位	226
心脏和大血管左前斜位	226
第二十一章 泌尿系统摄影	226
尿路仰卧前后位	226
尿路后前立位	227
尿路侧卧位	227
膀胱仰卧前后位	228
膀胱左斜位	228
膀胱右斜位	228
膀胱侧位	228
尿道前后位	229
实验一 X线管有效焦点的测试	230
实验二 X线管焦点的极限分辨率和伪影的测试	231
实验三 管电压在摄影中的作用	233
实验四 高千伏摄影	234
实验五 体层摄影原理及照射角和体层厚度的关系	235
实验六 X线管运行轨迹与方向依赖性的测试	236
实验七 乳突许氏位及梅氏位摄影	237
实验八 气管、支气管体层摄影	238
实验九 X线胶片特性曲线的制作	239
实验十 X线胶片特性值的测定	240
实验十一 显影液的特性测定	241
教学大纲	242

第一篇 X线摄影学理论

第一章 影 像 论

第一节 概 论

多年来,我们总是用测量影像的最高可分细节来评价影像的质量。用这种方法仅能给出成像系统的极限分辨率($L, P/mm$)。一般地说,人们在影像上能分清的线对数越多,则显示的影像细节越清楚。这个方法简单、方便、意义明确,能够用一个数目去表示,便于比较好坏程度。可惜,它只能表达细节,不能分辨出界限,对于较粗线条的成像质量,不能作出定量的评价。也就是说,两个分辨率一样的成像系统,明晰程度可能不一样。显然,仅用分辨率不能真正地反映出成像系统质量的好坏。再说这种极限分辨率是因人而异的,与人的主观因素有关。因此,仅有极限分辨率这一指标就不能科学地、全面地评价一个成像系统的特性。1946年,法国杜费(Dnffieux)发表了《付里埃积分及其在光学中的应用》一书,该书以付氏变换的数学手段,用光学传递函数来评价像质。但真正应用于实际,那是60年代的事。1962年,德国放射界把光学传递函数引入X线成像系统,并借用通讯技术中的“调制”概念,用调制传递函数来评价影像质量的方法更加科学,更加客观。

近年来,我国放射界已开始应用光学传递函数来评定成像元件的成像质量。

用光学传递函数来评价像质,可以看作是用分辨率法的进一步发展。光学传递函数可以看作是对成像系统的扩散或线扩散的定量说明,这个说明不是用一个数字来表征,而是用一个函数去表达,即用光学传递函数来表达,这种表达就更加细致,更容易明确成像的质量。根据光学传递函数的定义,所设想的检验方法是用多组黑白线条相间的测试卡,类似分辨率测试卡,这就是光学传递函数和分辨率测试法的相似之处,不但相似,而且数值也很相近。光学传递函数包含着分辨率,但从分辨率不能得知光学传递函数。现在,光学传递函数有办法计算,分辨率也就能计算出来了。当然,计算光学传递函数的步骤比较麻烦,所用仪器结构也很复杂,但现已有数字电子计算机和光电转换技术,运用光学传递函数已不是很困难的事了。

第二节 光学传递函数简介

一、空间频率和调制度

光学传递函数是以空间频率(周波数)为变量的函数。为便于理解光学传递函数,先介绍一下二维空间的空间频率(周波数)的概念。

现在测试成像元件分辨率的器件,是一种矩形波测试卡(图1-1),矩形波测试卡如图1-1(A)那样,线条黑白相间,宽度相同。黑的是均匀的,白的也是均匀的,

如将这个图案沿X方向亮度分布画出来，就是图1—1(B)的样子。这个样子和电学上的矩形波一样，所以称矩形波测试卡。光学传递函数的测试卡与矩形波测试卡不同，它的样子如图1—2所示。沿X轴方向亮度分布也如图1—2那样，这曲线的样子是抬

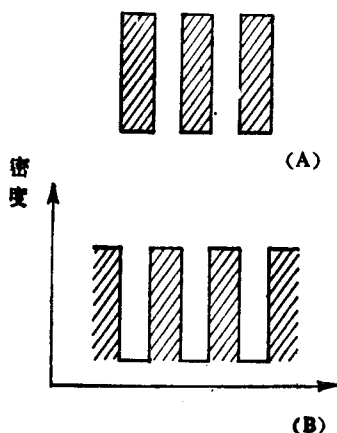


图1—1 矩形波测试卡和输出密度分布

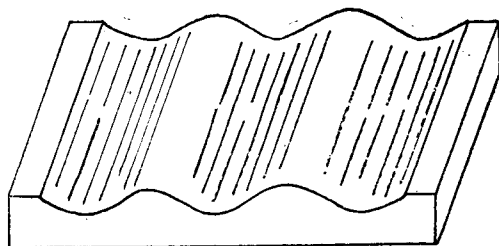


图1—2 正弦波测试卡实验体

高了正弦曲线。不管是矩形波测试卡，还是正弦波测试卡，都按线条的间隔距离分成许多组，每组三个线条。

显然，“矩形波”和“正弦波”是借用通讯工程学上的名词。其实，余弦函数所描绘的曲线也是正弦曲线，因为可以把它看作是正弦函数移动 $\frac{\pi}{2}$ 的相位得来的（表示式更多地使用余弦函数）。

空间频率是为了与通讯工程学中的时间频率对称而定义的物理量。我们把正弦波测试卡图像上亮度分布相邻两条黑线（或白线条）的距离，称作一个波长，用符号 λ 表示，起名叫空间周期（与时间周期T对称），单位是mm（图1—3），这里的“空间”是与

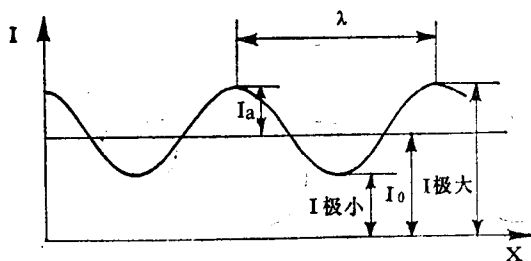


图1—3 正弦波测试卡图象

“时间”对称。在物理上许多波动（例如电磁波，交流电）都是对时间来说的，每变动一周的时间叫做周期（单位常用S）。在这里所说的正弦波测试卡图像亮度分布随着距离（空间）而变化，这种波可叫空间波，所以周期可用距离来表示，且叫空间周期，我们就把单位距离内（单位多用mm）所包含的空间周期数，叫空间频率。空间频率也可以看作是每毫米内包含的黑线条数或白线条数，为不致含混起见，相邻的一根黑线条和一根白线条叫做一个“线对”，所以空间频率 ω 单位就用线对/毫米（L·P/mm）来表

示, 由空间频率的定义, 可知空间频率与空间周期 λ 有如下的关系:

$$\omega = \frac{1}{\lambda} \quad (1.1)$$

为了在正弦函数或余弦函数中省掉 2π , 可定义空间圆频率 ν 为:

$$\nu = 2\pi\omega = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1.2)$$

ν 的单位是 弧度/毫米, 即为 rad/mm 。

为了表达图像的明暗程度, 引用一个对比度(Contrast)的物理量来描述, 由于译名不统一, 也有叫反衬度和反差的。它的定量表示, 是用调制度, 应用图1-3所标明的各值, 调制度 M 定义为:

$$M = \frac{\frac{1}{2}(I_{\text{极大}} - I_{\text{极小}})}{\frac{1}{2}(I_{\text{极大}} + I_{\text{极小}})} = \frac{I_1}{I_0} \quad (1.3)$$

$$\text{式中的 } I_1 = \frac{I_{\text{极大}} - I_{\text{极小}}}{2}, \quad I_0 = \frac{I_{\text{极大}} + I_{\text{极小}}}{2}$$

调制度这个词, 是从无线电波调幅程度转义过来的。

由图1-3可以看出, 正弦波测试卡图像的亮度分布 $I(x)$ 可以看作是由一个均匀的平均亮度 I_0 (用电学上的词汇来说, 也叫做直流分量) 加上振幅 I_1 的正弦曲线而成。空间频率为 ω 的正弦波测试卡图像的亮度分布表示式为:

$$I(x) = I_0 + I_1 \cos 2\pi\omega x \quad (1.4)$$

$$\begin{aligned} \text{或 } I(x) &= I_0 \left(1 + \frac{I_1}{I_0} \cos 2\pi\omega x \right) \\ &= I_0 (1 + M \cos 2\pi\omega x) \end{aligned}$$

由于亮度不能为负值 (在物理上无意义) 必然有:

$$I_1 \leq I_0$$

由(1.3)式可知:

$$M \leq 1$$

可见 M 的值最大为1, 其余情况为零点几, 最小是零, 不可能为负 (I_0 和 I_1 都是亮度, 不可能为负)。

为简化起见, 往往将 I_0 作为一个单位, 即让 $I_0 = 1$, 则(1.4)式可变化为:

$$I(x) = 1 + M \cos 2\pi\omega x \quad (1.5)$$

二、光学传递函数的定义

用正弦波测试卡作为物体成像, 只要尺寸适当, 经光学系统成像后, 它的样子仍是一个正弦波。物和像都是一样的, 它们都可用(1.5)式来表示。不过, 式子形式尽管一样, 而式内的参数可以不同。假若光学系统有个横向放大率 β , 那么正弦波测试卡像的宽度就是放大物体的 β 倍, 线条间也是物体的 β 倍。即

$$\lambda_{\text{像}} = \beta \cdot \lambda_{\text{物}} \quad (1.6)$$

式中 $\lambda_{\text{像}}$ 为正弦波测试卡像的空间周期； $\lambda_{\text{物}}$ 为正弦波测试卡的空间周期。将(1.1)式代入上式，得

$$\omega_{\text{像}} = \frac{\omega_{\text{物}}}{\beta} \quad (1.7)$$

式中 $\omega_{\text{像}}$ 表示正弦波测试卡像的空间频率， $\omega_{\text{物}}$ 表示正弦波测试卡的空间频率，由(1.7)式可知，物与像的 ω 值通常是不一样的。空间频率改变，只是几何属性，与像质无关。我们研究光学传递函数时，只研究实际成像同理想成像比较，不去直接与物体比较，理想成像就代表物体。 $M_{\text{物}}$ 即代表物体的调制度，同时也代表理想像的调制度。

理想像与实际像的像质是有差距的，实际像的对比度降低，像质变差(图1—4)。

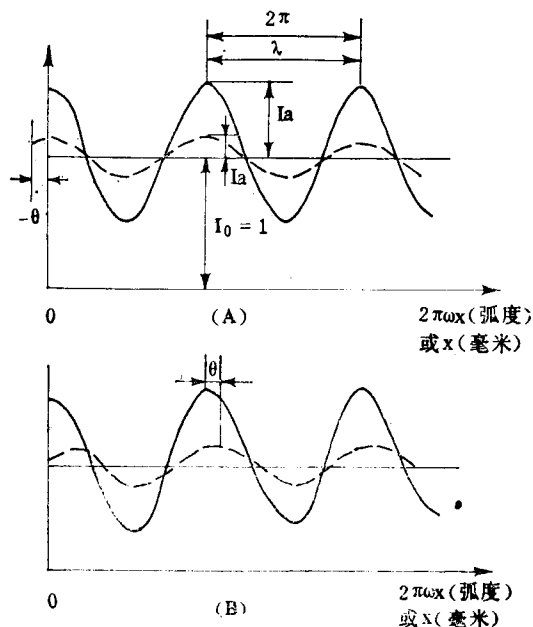


图 1—4 理想成像与实际像的差别

从图中可以看出：理想像和实际像的直流分量 I_0 都是一样的，但以实线代表理想像亮度分布，同以虚线代表实际像的亮度分布曲线比较就发现，实际像的亮线条会变暗，暗线条变亮一些。这样看起来，线条就没有原来那样明晰。实际像的正弦曲线振幅 I'_a 比理想像的正弦曲线振幅 I_a 小。设实际像的调制度为 $M_{\text{像}}$ ，由(1.3)式知：

$$M_{\text{物}} = \frac{I_a}{I_0}, \quad M_{\text{像}} = \frac{I'_a}{I_0}$$

因为 $I'_a \leq I_a$ ，可知

$$M_{\text{像}} \leq M_{\text{物}} \quad (1.8)$$

由(1.8)式可知，实际像的调制度只会降低，不会提高。而降低的程度，是由成像系统的好坏来决定的。对同一个成像系统来说，又因空间频率不同而不同。即 $M_{\text{像}}$ 是随空间频率不同而异。所以 $M_{\text{像}}$ 是空间频率 ω 的函数。调制度的降低程度要用 $M_{\text{像}}$ 和 $M_{\text{物}}$ 来比较，且定义某一空间频率 ω 的调制传递值 $H(\omega)$ 为：

$$H(\omega) = \frac{M_{\text{像}}(\omega)}{M_{\text{物}}(\omega)} \quad (1.9)$$

我们把包含各个空间频率的 $H(\omega)$ 就叫做调制传递函数(modulation transfer function缩写为MTF)。

由(1.9)式可知, $M_{\text{像}}$ 只会比 $M_{\text{物}}$ 小,因而其比值在0与1之间,即

$$0 \leq H(\omega) \leq 1 \quad (1.10)$$

$H(\omega)$ 小于1,只体现光能分配的改变,而不能看作是光能的损失。观图(1—4(A)),可知:亮线亮度降低所损失的光能(实线在上,虚线在下所夹的阴影面积),正好补偿到暗线用作增加亮度所需的光能(虚线在上,实线在下所夹的阴影面积)。 $H(\omega)$ 小于1,它表示成像系统(或元件)不能把输入影像全部再现出来。换句话说,凡是经过成像系统所获得的影像,都程度不同地损失了影像的对比度。

在这里需要说明的一点是,正弦波测试卡成像后,除了对比度降低外,还可能产生相位移动。所谓相位移动,就是实际成像的线条位置不在理想的成像线条位置上,而是沿着X方向移动了一段距离。这段距离用线量毫米表示或角度量弧度来表示都可以。图1—4中的横坐标也是用线量xmm表示或用角度量 $2\pi\omega x$ rad表示的,自变量都是X。两相邻亮线条或暗线条的距离(即一对线对的宽度),在横坐标用X表示时等于 λ mm(图1—4A),在横坐标用 $2\pi\omega x$ 表示时等于 2π rad。但对于表达实际像对理想的位移,要想知道对像质的影响,最好用弧度值表示,即用“相位”表示。无论 ω 值是多少, 2π 都表示变动一周(即一个线对)的位置。要是变动 π 位置,即表示黑线条移到原来的白线条位置上。实际成像的黑白线条则刚好与原来的图样(理想像)相反(黑的变白,白的变黑)。图1—4B表示的是虚线相位移动了 θ rad的情况。从图中看到虚线的峰值对实线的峰值移动了 θ 。这个位置相当于没有相位移动的图1—4(A)中的虚线($-\theta$)处的I值移到 $x=0$ 处,亦就是整个曲线往右移动了 θ 。这种现象叫“相位传递”,某个空间频率 ω 的移动量 θ 叫做相位传递值。包括各个空间频率 ω 的 $\theta(\omega)$ 叫做“相位传递函数”(phase transfer function缩写为PTF)。

综合调制传递和相位传递,由图1—4可知:由实线表示的理想成像亮度分布为:

$$I(\omega) = 1 + M_{\text{物}}(\omega) \cos(2\pi\omega x) \quad (1.11)$$

由虚线表示的实际成像亮度分布为:

$$I'(\omega) = 1 + M_{\text{像}}(\omega) \cos(2\pi\omega x - \theta)$$

这些变化概括起来用下式表示:

$$h(\omega) = H(\omega) e^{-i\theta(\omega)} \quad (1.12)$$

式中的 $H(\omega)$ 就是所说的调制传递函数,它表示 $M_{\text{像}}$ 与 $M_{\text{物}}$ 之比; $\theta(\omega)$ 表示相位传递函数,这个式子是一个复数式子。 $h(\omega)$ 表示光学传递函数(optical transfer function缩写为OTF)。由(1.12)式可知:光学传递函数包括两部分:调制传递函数和相位传递函数。

光学传递函数在发展过程中所用的名词,曾经很乱。光学传递函数也有叫作频率响应函数或频率对应特性的。OTF、MTF、PTF是按照国际统一规定的习惯用语,并且指出:若仅研究以空间频率 ω (L.P/mm)为变量的光学传递函数的绝对值部分内容的,称作调制传递函数(MTF);若仅研究以空间频率 ω (L.P/mm)为变量的光学传递