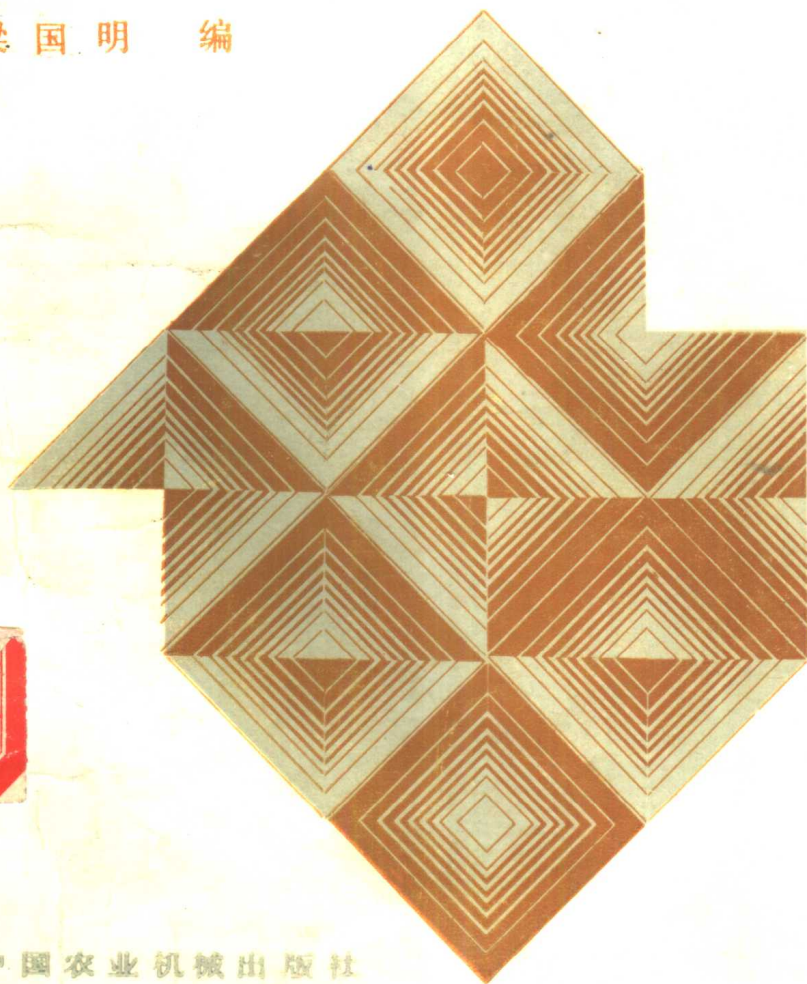


# 表面光洁度的测量

梁 国 明 编



中国农业机械出版社

G84

# 表面光洁度的测量

梁国明 编

中国农业机械出版社

# 表面光洁度的测量

梁国明 编

中国农业机械出版社出版

北京市海淀区阜成路东钓鱼台乙七号

北京市海淀区北下关印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

787×1092 32开  $2^{1/2}/_{16}$ 印张 60千字

1983年3月北京第一版 1983年3月北京第一次印刷

印数: 00,001—16500 定价: 0.25元

统一书号: 15216·145

科技书目: 44—122

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 引 言 .....                       | 1  |
| 第一章 表面光洁度的测量基准和表征参数 .....       | 4  |
| 第一节 表面光洁度的测量基准 .....            | 4  |
| 第二节 表面光洁度的表征参数 .....            | 6  |
| 第三节 各表征参数之间的关系 .....            | 12 |
| 第四节 光洁度的标注及表征参数值 .....          | 15 |
| 第二章 表面光洁度的测量 .....              | 18 |
| 第一节 用比较法检验表面光洁度 .....           | 21 |
| 第二节 用光学法测量表面光洁度 .....           | 24 |
| 第三节 用针描法测量表面光洁度 .....           | 56 |
| 第四节 用印模法测量表面光洁度 .....           | 72 |
| 参考文献 .....                      | 75 |
| 附表 1 ISO 及部分国家的表面光洁度标准 .....    | 76 |
| 附表 2 我国的表面光洁度标准 GB1031-68 ..... | 82 |
| 附表 3 9~14级表面光洁度细分级别 .....       | 83 |
| 附表 4 加工痕迹及其代号 .....             | 84 |

## 引 言

在金属切削中，机床-刀具-工件系统有振动，刀具与工件之间有摩擦，再加上切削用量、刀具的几何参数等因素的影响，使加工后的零件不能获得理想的几何形状。零件实际表面的几何形状对其理想表面几何形状的变动量，称为表面几何形状误差。图 1 是加工后零件实际表面的状态。

表面几何形状误差的基本特征是凸凹不平，凸起处称为波峰，凹下处称为波谷。相邻波峰与波谷之间的距离称为波幅  $H$ 。

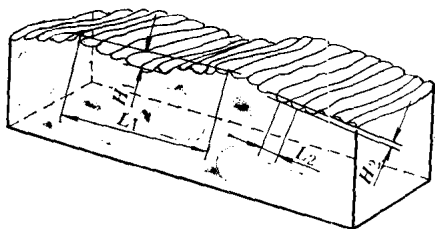


图 1

两相邻波峰或波谷之间的距离称为波距  $L$  (见图 1)。根据波幅对波距的比值大小，表面几何形状误差又可分为宏观、中间和微观几何形状误差。一般认为：

$L/H > 1000$ ，称为宏观几何形状误差，简称形状误差；

$50 < L/H < 1000$ ，称为中间几何形状误差，或称为表面波纹度，简称波纹度；

$0 < L/H < 50$ ，称为微观几何形状误差，或称表面光洁度，简称光洁度。

波幅和波距可以从零件的截面轮廓放大图上测量。图 2 是零件截面轮廓放大图。实际波幅和波距为：

$$L_1 = 0.35 \text{ 毫米}$$

$$H_1 = 0.0011 \text{ 毫米}$$

$$L_2 = 0.02 \text{ 毫米}$$

$$H_2 = 0.00045 \text{ 毫米}$$

波幅对波距的比值为：

$$\frac{L_1}{H_1} = \frac{0.35}{0.0011} \approx 318 \quad \text{即} \quad 50 < \frac{L_1}{H_1} < 1000$$

$$\frac{L_2}{H_2} = \frac{0.02}{0.00045} = 44.4 \quad \text{即} \quad 0 < \frac{L_2}{H_2} < 50$$

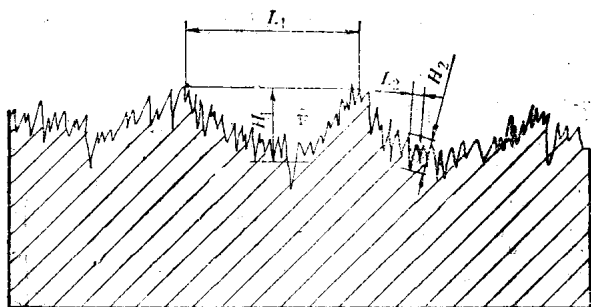


图 2

可见，图上大波形 ( $L_1$ 、 $H_1$ ) 属波纹度，小波形 ( $L_2$ 、 $H_2$ ) 属光洁度。

在同一加工表面上，往往同时存在形状误差、波纹度和光洁度三种几何形状误差，它们互相重叠在一起。它们的特点不同，对机械零件的工作性能和使用寿命的影响也不同。对于重要的机械零件，上述三种几何形状误差要分别提出要求。在测量中，用机械或电气滤波的方法对它们分别进行评定。图 3 是用机械滤波法将零件表面滤波后的情况。

在切削加工中，由于影响的因素不同，加工后零件表面的几何形状误差也不一样。有些零件表面波纹度极微，主要

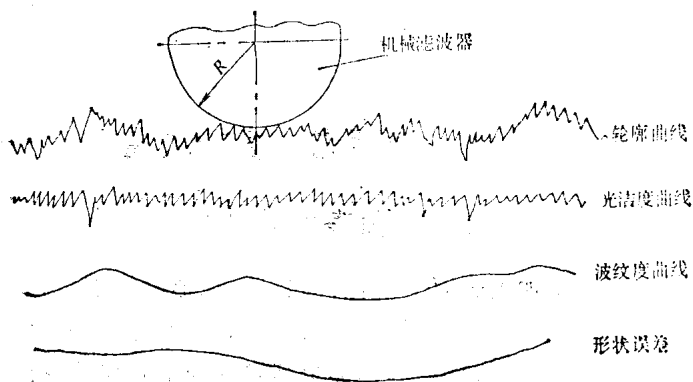


图 3

是形状误差和光洁度，有些表面上的形状误差极微，主要是波纹度和光洁度，有些表面的形状误差和波纹度均极微，主要是光洁度。

光洁度是评定机械零件表面质量中的重要指标，它影响机械零件的强度、耐磨性、耐腐蚀性，也影响机械设备的工作精度、使用性能、动力消耗、噪音以及寿命。因此，在检验机械零件质量时，光洁度是必不可少的检验项目。另外，在金属切削加工工艺研究中，在调整或验收机床中，也都要评定零件的光洁度，以判断机床和加工条件的好坏。在测绘机械设备时，如不知道零件表面的加工方法，可测量表面光洁度、分析表面的加工纹理（痕迹）形状，推论出表面的加工方法。

当前，对机械零件的表面质量的要求越来越高，正确而迅速地评定表面光洁度，是高产优质低消耗地制造机械设备的重要条件之一。

本书详细地介绍了测量表面光洁度的各种方法和做测量工作要涉及到的一些技术标准。

# 第一章 表面光洁度的测量

## 基准和表征参数

在同一个加工表面上，往往同时存在形状误差、波纹度和光洁度三种几何形状误差，它们可以互相重叠。所以，在测量表面光洁度时，为限制和减少其它几何形状误差，特别是表面波纹度对表面光洁度测量结果的影响，应该在一段规定的长度内进行测量，所规定的长度称为基本长度，用  $l$  表示。

采用不同的加工方法，表面上的微小峰谷会不一致。就是用同一种方法加工，表面上的微小峰谷也不完全一致。为了充分合理地反映表面光洁度的特性，在测量时所必需的最小长度称为测量长度，用  $L$  表示。根据不同的加工方法，测量长度可取一个或数个基本长度。

在测量光洁度时，通过选择适当的基本长度，可最大限度地 将形状误差和波纹度滤掉。

## 第一节 表面光洁度的测量基准

我国的表面光洁度国家标准（GB1031-68）规定，以轮廓中线作为测量表面光洁度数值的基准线。这种制度，称为中线基准制，即 M 制。除中线基准制外，还有包络线基准制，即 E 制。长期以来这两种基准制同时存在，但自国际标准化组织（ISO）于 1966 年公布“表面粗度参数与特性”建议案（ISO/R468-66）至今，除少数国家使用包络线基准制外，大多数国家采用了建议案中推荐的中线基准制。还有极

少数国家同时使用上述两种基准制。

### 一、中线基准制 (M 制)

轮廓中线  $m$  的几何形状和被测表面一致 (如直线、圆弧线等), 并将测量轮廓加以划分。按 GB1031-68 规定, 在基本长度范围内, 使被测轮廓上的各点至轮廓中线距离 ( $y_1, y_2, \dots, y_n$ ) 的平方和为最小 (图 4)。轮廓中线是一条理想线, 也称为平均线。

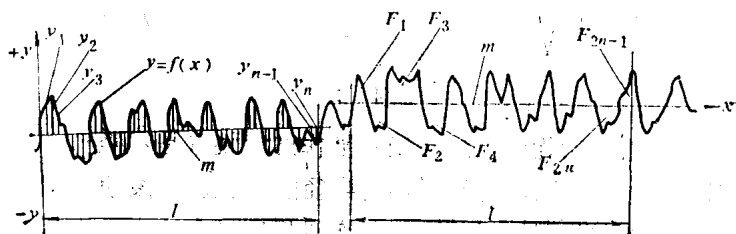


图 4

轮廓中线具有下列特点: 1) 在被测截面内, 轮廓中线的几何轮廓形状与被测表面几何形状一致, 若被测表面是平面, 则轮廓中线是一直线; 若被测表面是圆形, 则轮廓中线是个圆; 若被测表面是弧形, 则轮廓中线是段弧线。2) 轮廓中线永远在被测表面轮廓内。3) 轮廓中线具有唯一性, 即同一被测截面只有一条中线。轮廓中线的缺点是, 人工求作中线很麻烦。

人工求作轮廓中线的方法有: 最小二乘法、面积相等法和目估坐标法。用最小二乘法作中线, 需要进行复杂的计算, 只在高精度测量中使用。一般是将目估坐标法和面积相等法结合起来使用。中线的求作方法见第二章轮廓仪测量  $R_z$  一节。

### 二、包络线基准制 (E 制)

用半径为  $R$  的圆在垂直于被测截面上作纯滚动，滚圆中心的运动轨迹称为包络线（图 5）。

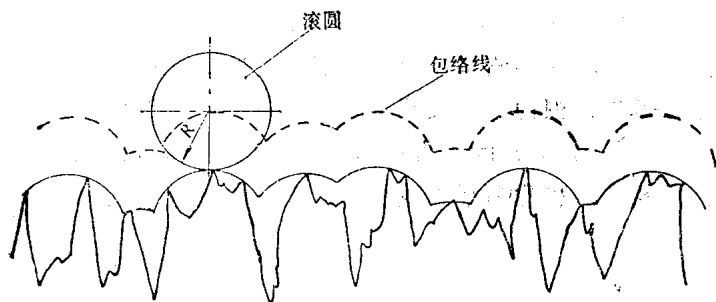


图 5

包络线的优点是包络线容易作出，缺点是不唯一。因为对同一被测截面，可以用不同半径的圆在其上滚动，相应得到不同的包络线。用不同的包络线作测量光洁度数值的基准线时，测量结果的数值不同。包络线与被测截面的几何形状不一致，且包络线在被测轮廓之外。

滚圆相当于机械滤波器。如果滚圆的半径选择得合适，可减少波纹度对光洁度测量结果的影响。为了选择最佳的滚圆半径，在测量前必须知道被测表面的实际轮廓相对于其理想形状的位置。要做到这一点是有困难的。目前要设计制造实现这一目的的测量仪器，还存在许多问题。这是包络线基准制不能获得广泛应用的主要原因。

## 第二节 表面光洁度的表征参数

表面光洁度的基本特征是微几何体，它既有线值的特征，又有几何形状的特征。人们利用一些参数来表示这些特征，这些参数称为表面光洁度的表征参数。

由于人们对光洁度的认识不一，测量方法不同，以及对

机械零件的使用要求和使用条件不同，因此提出了许多表征参数。尽管表征参数很多，但至今没有一个表征参数能把光洁度的特征完全表达清楚。因此，有些人又提出一些补充系数。

ISO/R468-66 建议案中提出三个表征参数：轮廓的平均算术偏差  $R_a$ 、不平度平均高度  $R_z$  及不平度最大高度  $R_{max}$ 。我国的表面光洁度国家标准 GB1031-68 采用  $R_a$  和  $R_z$  作为评定光洁度标准。规定在一般情况下，表征参数  $R_a$  和  $R_z$  可以任意选用。当对某一表面光洁度级别的评定结果有不同意见时，5~12 级以  $R_a$  分级为准，1~4 级和 13 级、14 级以  $R_z$  的分级为准。

### 一、轮廓的平均算术偏差 $R_a$

$R_a$  是光洁度所有表征参数中最基本的，已被许多国家采用。

$R_a$  的定义：在基本长度内，被测轮廓上各点至轮廓中线距离 ( $y_1, y_2, \dots, y_n$ ，取绝对值) 的总和的平均值 (见图 4)。

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx \quad (1)$$

近似为：

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n} \quad (2)$$

$R_a$  的几何意义即工件表面的截面轮廓曲线，可以用  $y=f(x)$  表示 (图 6)。

曲线上各点到中线  $m$  的距离是  $y_1, y_2, \dots, y_n$ 。根据  $R_a$  的定义， $R_a$  值就是这些距离的绝对值的总和的算术平均值。但是，要逐个将  $y_1, y_2, \dots, y_n$  测出来是很麻烦的，

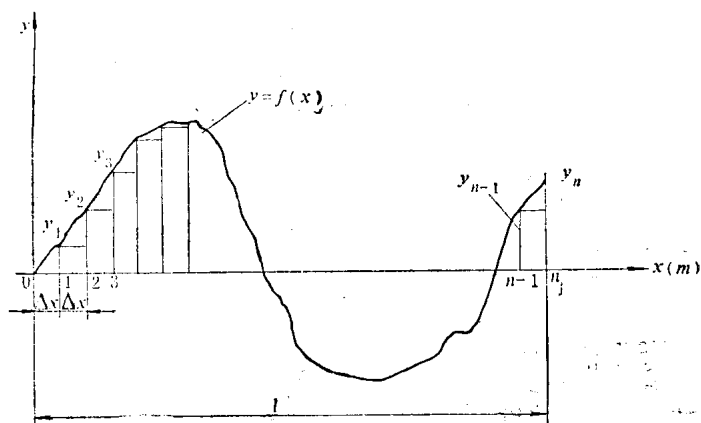


图 6

而且也不可能测无限多个点。如果在  $x$  轴上在基本长度  $l$  范围内每隔  $\Delta x$  取一  $y$  值，且以  $\Delta x$  和  $y$  为边作一矩形。如图 6 所示，则曲线  $y = f(x)$  和  $x$  轴围成面积之和等于：

$$S_n = \Delta x y_1 + \Delta x y_2 + \cdots + \Delta x y_n = \Delta x (y_1 + y_2 + \cdots + y_n) \quad (3)$$

而  $y_1 \rightarrow y_n$  的算术平均值为（取绝对值）：

$$\bar{y} = \frac{1}{n} (y_1 + y_2 + \cdots + y_n) \text{ 即 } n\bar{y} = y_1 + y_2 + \cdots + y_n \quad (4)$$

将式 (4) 代入式 (3) 得：

$$S_n = \Delta x \cdot n\bar{y} = n\Delta x \cdot \bar{y} = l\bar{y}$$

故  $\bar{y} = \frac{S_n}{l} = R_n$ 。此式说明  $R_n$  值等于上述各小块矩形

面积之和被底边（基本长度）除所得的商。当  $n$  无限增大（即分点无限增多）而每个小区间的长度  $\Delta x$  无限缩小时，由曲线  $y = f(x)$  和  $x$  轴围成曲边梯形面积  $S$  为  $S_n$  的极限值，即：

$$S = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{n \rightarrow \infty} |y_1 + y_2 + \dots + y_n| \Delta x = \int_0^l |y| dx$$

故  $R_a = \frac{S}{l} = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$ 。即  $R_a$  为被测轮廓曲线的纵坐标的绝对值对中线进行积分，积分区域是基本长度。

在测量光洁度的电动仪器中，通过电路处理后直接给出  $R_a$  的积分值，很方便。所以 ISO/R468-66 建议案将  $R_a$  作为基本表征参数向各国推荐。正因为  $R_a$  用电路很容易进行处理，迅速得出测量结果，这是中线基准制获得广泛应用的根本原因。

## 二、不平度平均高度 $R_z$

在基本长度内，从平行于轮廓中线的任意一条线起，到被测轮廓的五个最高点（峰）和五个最低点（谷）之间的平均距离（图 7）：

$$R_z = \frac{(h_2 + h_4 + \dots + h_{10}) - (h_1 + h_3 + \dots + h_9)}{5} \quad (5)$$

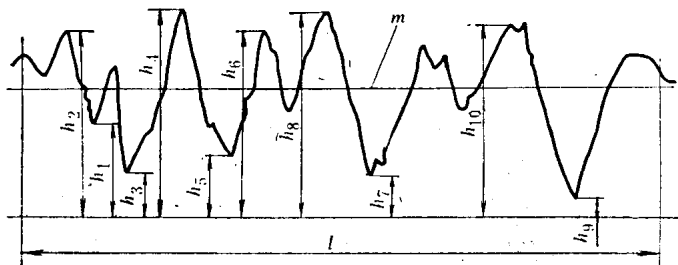


图 7

$R_z$  又称十点平均高度，它在轮廓图上很直观。但它有如下缺点：

1. 在轮廓仪上不能自动显示出  $R_z$  值；
2. 在光学仪器上用人工目测  $R_z$  值时，受目测观察误差的影响；
3. 在小面积的零件上不能测量  $R_z$ ，因为在小面积上可使用的基本长度内可能不具备五个最高点和五个最低点，不能充分反映被测表面的光洁度特征。

### 三、不平度最大高度 $R_{max}$

在基本长度内，被测截面轮廓上经常出现的微观不平度的最高峰，称为不平度最大高度（图 8）。个别特别高的波峰可不计，因为个别特高峰在装配和使用中很容易磨掉，对零件的使用性能影响不大。

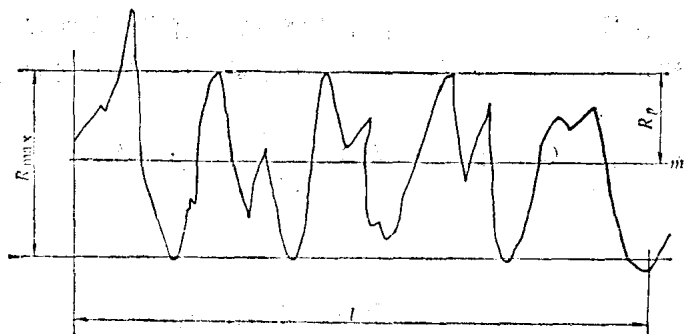


图 8

$R_{max}$  的求法：过波峰顶作峰顶线，过波谷底作谷底线，两条线间的垂直距离，即为  $R_{max}$ 。 $R_{max}$  很直观，也便于计算，所以获得应用。但由于在作峰顶线和谷底线时取点不同，作出的两条线的位置不同，造成测量误差。为减少这种误差，在作谷底线时，在基本长度范围内，谷底线应与三个以上的最深谷底相切。

不平度最大高度除用  $R_{max}$  表示外，还可用  $R_t$  符号表示。还有些用  $H_{max}$  符号表示。

除上述三个表征参数外,有些国家还采用平滑深度  $R_p$  和支承系数  $t_p$ 。

#### 四、平滑深度 $R_p$

在检测轮廓截面上,与中线平行的峰顶线到中线的距离称为平滑深度  $R_p$  (图 8)。

$R_p$  值越小,则表面越平滑,两配合表面接触面积越大,越耐磨;反之,接触面积越小,耐磨性越差。

#### 五、支承系数 $t_p$

两表面接触并作相对运动时,表面上的凸峰很快磨损,随着磨损的增加,它们间的接触面积增加。支承系数  $t_p$  能直观地说明这种现象,如图 9 所示。 $t_p$  用百分比表示。

从峰顶向下  $0.1R_{\max}$  处作一条直线平行于中线,该线与轮廓相交,其交线  $l_1, l_2, \dots, l_n$  称为支承长度。总支承长度  $L_p$  为:

$$L_p = l_1 + l_2 + \dots + l_n$$

总支承长度被基本长度除,称为支承系数:

$$t_p = \frac{L_p}{l} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{l} \times 100\% \quad (6)$$

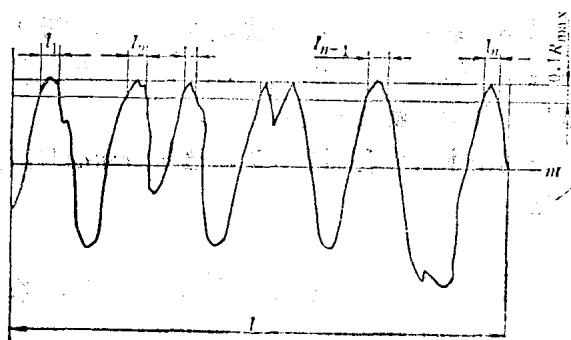


图 9

$r_p$  越大则  $L_p$  越大，两接触面的接触点越多，则承载能力强；反之，承载能力差。

上述几个表征参数的数值见附表 1。

1968年前，我国曾使用过机50-56、ZB051-58、JB178-60表面光洁度部颁标准，1969年颁布表面光洁度国家标准GB1031-68，统一了全国的光洁度的表征参数和数值。为便于查对，现将上述四个标准所用的表征参数列表如下。

| 表征参数<br>标准代号 | $R_a$ | $R_z$ | $H_{max}$ | $H_{jq}$<br>( $H_{cp}$ ) | $H_{jt}$<br>( $H_{ck}$ ) |
|--------------|-------|-------|-----------|--------------------------|--------------------------|
| 机50-56       |       |       |           | $H_{cp}$                 | $H_{ck}$                 |
| ZB051-58     |       |       | $H_{max}$ | $H_{cp}$                 | $H_{ck}$                 |
| JB178-60     |       |       |           | $H_{jq}$                 | $H_{jt}$                 |
| GB1031-68    | $R_a$ | $R_z$ |           |                          |                          |

GB1031-68与机50-56、ZB051-58、JB178-60相比，具有下述特点：

1. 采用了ISO/R468-66建议案的  $R_a$  和  $R_z$  两个表征参数及其数值，有利于国际间的技术交往。

2. 采用中线  $m$  作为测量光洁度数值的基准线，而在旧标准中测量  $H_{jt}$  ( $H_{ck}$ ) 值时，是以中线作为基准，而测量  $H_{jq}$  ( $H_{cp}$ ) 值时，就没有基准线了。

3. 采用基本长度和测量长度，这是新标准与旧标准的最大区别之一。

### 第三节 各表征参数之间的关系

在生产中为充分利用光洁度的各种测量仪器，或作分析研究用，经常要知道各表征参数间的换算关系。但是，上述几

个表征参数之间没有严格的换算关系,只存在近似换算关系。

### 一、 $R_a$ 和 $R_z$ 之间的近似换算关系

$R_a$  和  $R_z$  是两个独立的数列, 它们之间有如下的近似换算关系:

在  $\nabla 1 \sim 7$  范围内,  $R_z = 4R_a$

在  $\nabla 8 \sim 14$  范围内,  $R_z = 5R_a$

一般表达式为:  $R_z = 4.5R_a^{0.971}$ 。利用这一关系作  $R_z - R_a$  算图 (图10) 在使用中很方便。

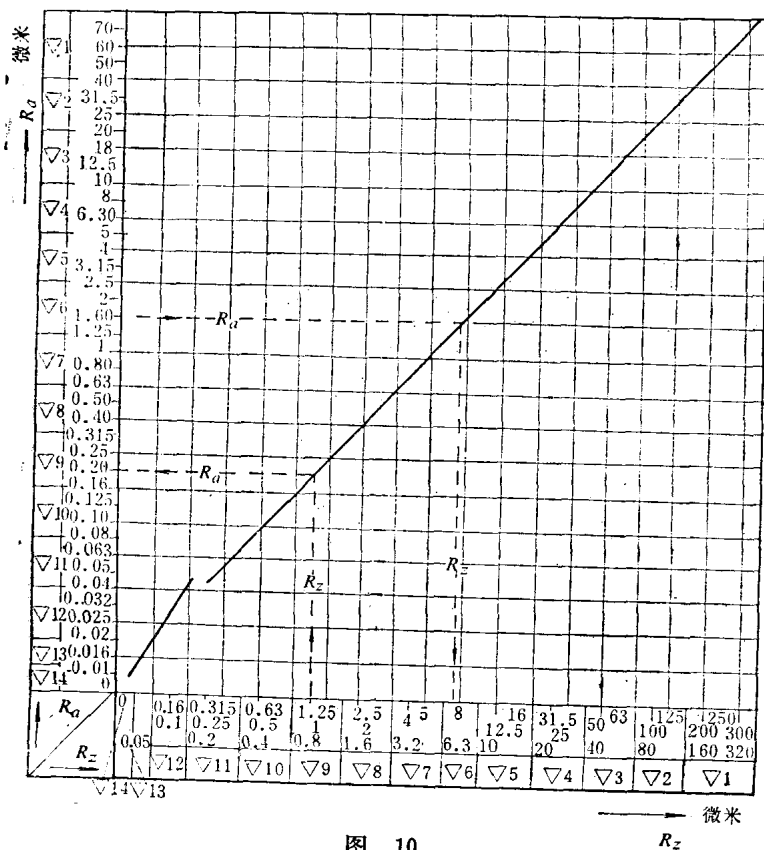


图 10