

互换性与测量技术

第 5 章 表面结构及其检测



第5章 章节内容

- 5.1 表面粗糙度的含义及其影响
- 5.2 表面粗糙度的评定
- 5.3 评定参数的选用及标注
- 5.4 表面结构的检测

由尺寸的偏离、实际形状相对于理想（几何）形状的偏离以及表面的微观值、中间值的几何形状误差综合形成。各实际的表面轮廓都具有其特定的表面特征称为零件的**表面结构**。

零件的实际表面轮廓，除了要控制其尺寸、形状、方向和位置误差外，还应控制由于表面的微观值和中间值的几何形状误差所引起的表面粗糙度、表面波纹度等。

本章将以相关国家标准 (GB/T) 为依据，介绍表面粗糙度的相关知识。

5.1 表面粗糙度的含义及其影响

5.1.1 表面粗糙度的含义

在机械制造工业生产中，无论是采取机械加工方法，还是用其它方法得到的机械零部件的表面，除存在尺寸误差外，还会存在各种几何形状误差。

零部件加工表面的几何形状误差通常分为三类：

- （1）宏观几何形状误差—形状误差，如直线度误差等。
- （2）中间几何形状误差—表面波纹度。
- （3）微观几何形状误差—表面粗糙度。

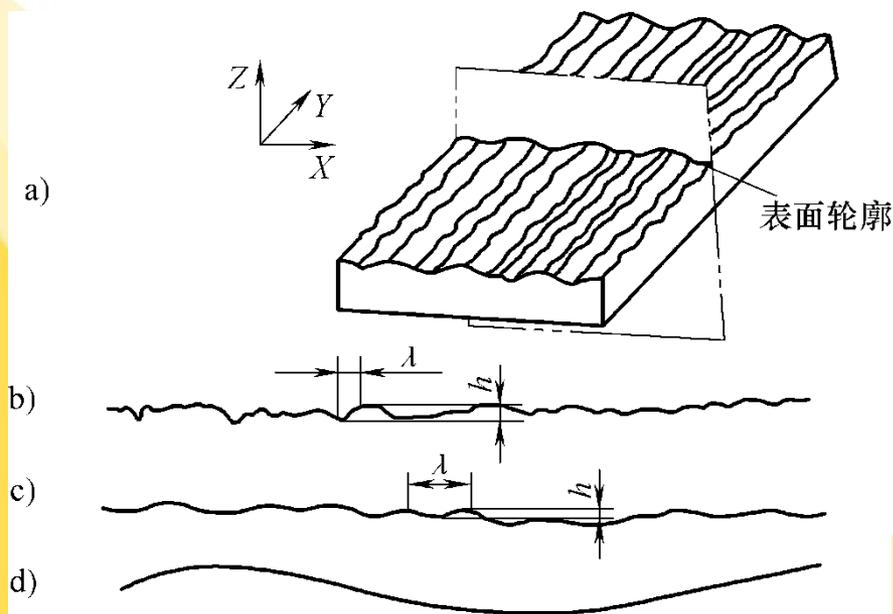
下图为一加工平面的实际轮廓放大图， λ 表示波纹度波距， h 表示波纹度波高。

按照波距的大小划分这三类误差：

波距 $\lambda < 1\text{mm}$ ，大致呈现周期性变化的属于表面粗糙度；

波距 $\lambda \sim 10\text{mm}$ ，波形呈现周期性变化的属于表面波纹度；

波距 $\lambda > 10\text{mm}$ 属于形状误差范围。



5.1.2 表面结构对机械产品性能的影响

表面粗糙度指加工表面上具有较小间距和峰谷所组成的微观几何形状特性，它是由加工方法本身或其它因素形成的。

表面粗糙度是衡量产品质量的一项重要指标，对产品的使用性能影响较大。

当机械零部件加工表面不能达到表面粗糙度的精度要求时，主要会产生下列影响：

- ◆ 摩擦表面容易产生磨损；
- ◆ 影响零件的配合性质；
- ◆ 影响零件的疲劳强度和接触刚度；
- ◆ 影响零件的耐腐蚀性、密封性及外观。

5.2 表面粗糙度的评定

5.2.1 评定用术语

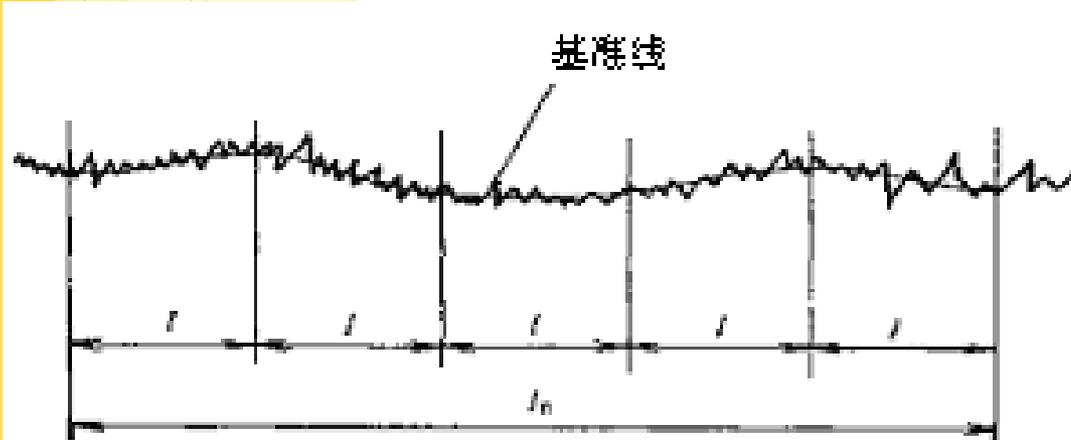
(1) 取样长度 l

指测量或评定表面粗糙度时所规定的一段基准线长度。规定取样长度的目的在于限制或减弱表面波度对测量结果的影响。

(2) 评定长度 l_n

指评定表面粗糙度所需要的一段长度。被测表面上各处的表面粗糙度不一定很均匀，在一个取样长度上往往不能合理地反映被测表面的粗糙度，需要在几个取样长度上分别测量，取其平均值作为测量结果，国标推荐 $l_n=5l$ 。

对均匀性好的表面，可选 $l_n < 5l$ ，对均匀性较差的表面，可选 $l_n > 5l$ ，如图所示。



(3) 基准线

指评定表面粗糙度参数值的一条参考线。基准线有两种。

① 轮廓最小二乘中线 (m)

指在取样长度内，使轮廓线上各点的轮廓偏距 y_i （在测量方向上，轮廓上各点至基准线的距离）平方和为最小的线，即为最小。

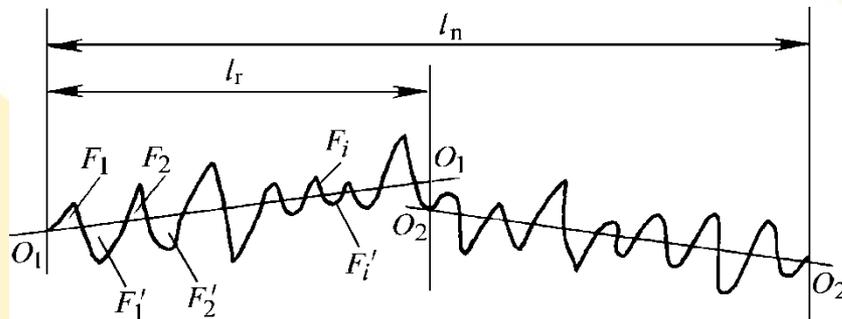
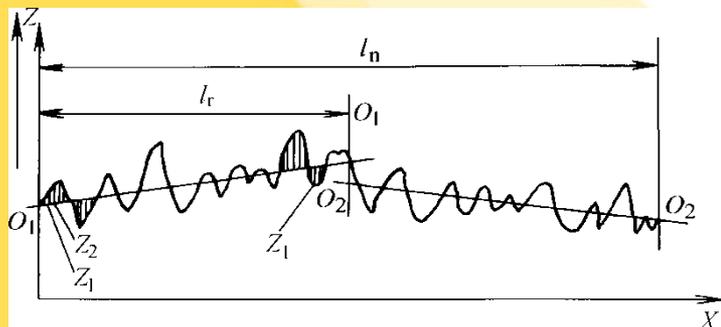
图中所示 O_1O_1 、 O_2O_2 线为最小二乘中线。

② 轮廓算术平均中线

在取样长度内，与轮廓走向一致并划分实际轮廓为上、下两部分，且使上部分面积之和与下部分面积之和相等的基准线。

用公式表示即：

$$\sum_{i=1}^n F_i = \sum_{i=1}^n F'_i$$



5.2.2 评定参数

为满足对零件表面不同的功能要求，国家标准从表面微观几何形状的幅度、间距和其他相关规定了相应的评定参数。

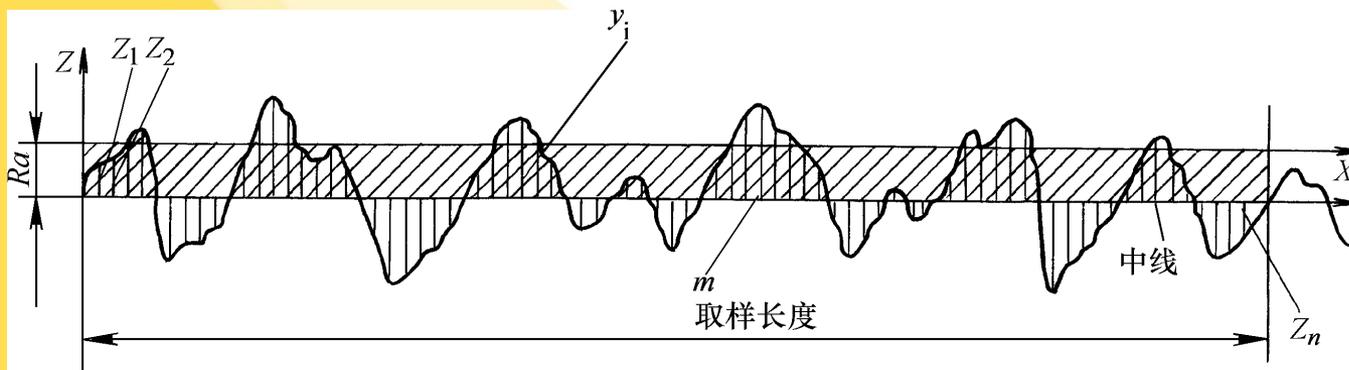
1. 评定表面结构幅度参数

(1) 轮廓算术平均偏差 R_a

在一个取样长度内，纵坐标绝对值的算术平均值。

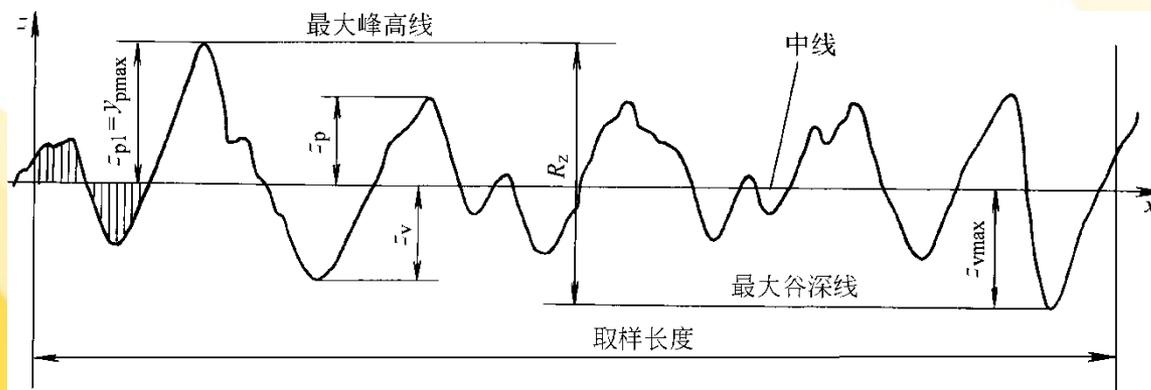
测得的 R_a 值越大，则表面越粗糙。 R_a 能客观地反映表面微观几何形状误差，但因受到计量器具的限制，不宜用作过于粗糙或要求太高的表面评定参数。

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx \quad \text{or} \quad R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$



(2) 轮廓最大高度 R_z

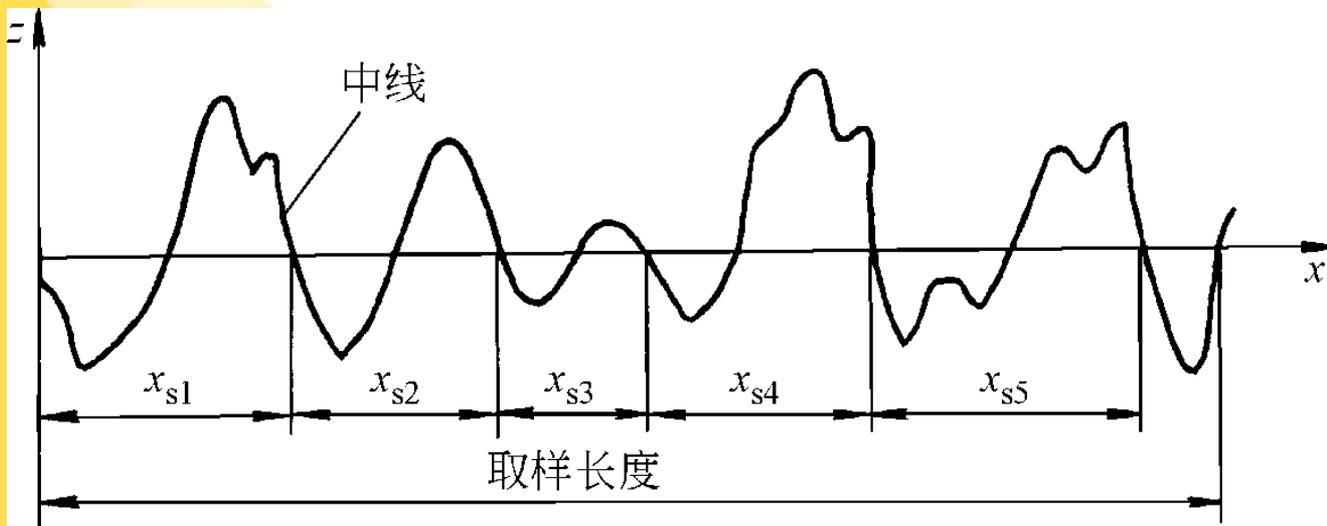
在一个取样长度，最大轮廓峰高线和最大谷深线之和。



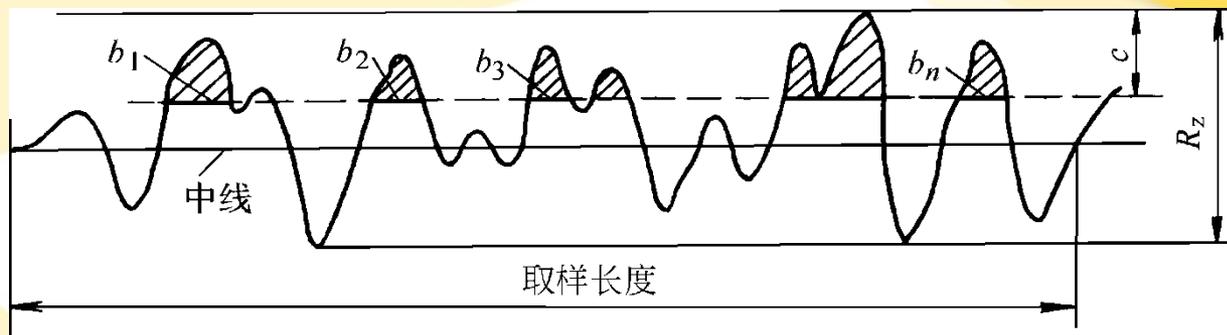
在 GB/T3505 以前的版本中， R_z 曾用于表示“微观不平度十点高度”。实际使用中，一些表面粗糙度测量仪器大多测量的是旧版本规定的 RZ 参数。因此，当使用现行的技术文件和图样时必须注意这一点，因为使用不同类型的仪器、按照不同的定义计算所得到的结果也可能存在着不可忽略的差别。

2. 评定表面结构的间距参数

国家标准规定的评定表面粗糙度的间距参数主要是轮廓单元的平均宽度 R_{Sm} 。轮廓单元是指轮廓峰和相邻轮廓谷的组合。轮廓单元的平均宽度 R_{Sm} 指在一个取样长度内，轮廓单元宽度 x_s 的平均值。



3. 评定表面结构的其他相关参数



其它相关参数主要介绍轮廓支承长度率 $Rmr(c)$ 。它是指轮廓的实体材料长度 $MI(c)$ 与评定长度的比率。轮廓的实体材料长度 $MI(c)$ 指用平行于中线且和轮廓峰顶线相距为 c 的一条直线，相截轮廓峰所得的各段截线 b_i 之和，用公式表示。即

$$R_{mr(c)} = \frac{M_{l(c)}}{l_n} = \frac{1}{l_n} \sum_{i=1}^n b_i$$

5.3 评定参数的选用及标 注

5.3.1 标准规定的参数值

GB/T1031-2009 中规定了表面粗糙度的参数首先从幅度参数 R_a 、 R_z 两项中选取，

R_a 和 R_z 的数值（摘自 **GB/T1031—2009**）（单位： μm ）

R_a 的数值	基本系列	0.012, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.3, 12.5, 25, 50, 100
	补充系列	0.008, 0.010, 0.016, 0.020, 0.032, 0.040, 0.063, 0.080, 0.125, 0.160, 0.25, 0.32, 0.50, 0.63, 1.00, 1.25, 2.0, 2.5, 4.0, 5.0, 8.0, 10, 16, 20, 32, 40, 63, 80
R_z 的数值	基本系列	0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.3, 12.5, 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600
	补充系列	0.032, 0.040, 0.063, 0.080, 0.125, 0.160, 0.25, 0.32, 0.50, 0.63, 1.00, 1.25, 2.0, 2.5, 4.0, 5.0, 8.0, 10, 16, 20, 32, 40, 63, 80, 125, 160, 250, 320, 500, 630, 1000, 1250

5.3.2 评定参数的选用

1. 评定参数的选用原则

选择时，既要满足零件的功能要求，又要考虑零件加工的工艺性。在满足功能要求的前提下，尽可能地选择较大的参数值，以减少加工困难，降低生产成本。选择时需注意以下几点：

- ▶ 同一零件上工作表面比非工作表面粗糙度精度要求高。
- ▶ 摩擦表面比非摩擦表面的要求高。
- ▶ 受交变负荷时，特别在零件圆角、沟槽处，表面粗糙度要求愈高。
- ▶ 配合质量要求高的表面、小间隙的配合表面以及为了保证连接可靠，承受重载荷的过盈配合表面，其表面粗糙度要求高。要求密封性能好的表面也应选择较高的表面粗糙度要求。
- ▶ 配合性质相同、公差等级相同、小尺寸比大尺寸、轴比孔的表面粗糙度要求要高。
- ▶ 食品和卫生设备的表面粗糙度一般要求较高，以保证光滑的表面，方便清洗。
- ▶ 采用类比法选择表面粗糙度时，可以参考经过实践检验的实例来选择。

2. 评定参数的选用实例

在工程实际中，表面粗糙度的选用常采用类比法，参考经过实践检验的实例来选择。

表 5-5 表面粗糙度与公差等级的对应关系

公差等级	基本尺寸(mm)							
	>6~10	>10~ 18	>18~ 30	>30~ 50	>50~ 80	>80~ 120	>120~ 180	>180~ 250
	表面粗糙度 R_a 不大于(μm)							
IT6	0.2	0.4		0.8		1.6		3.2
IT7	1.6					3.2		
IT8	1.6				3.2			
IT9	3.2					6.3		
IT10	3.2			6.3				
IT11	3.2	6.3					12.5	
IT12	6.3					12.5		

表 5-6 常用加工方法能达到的表面粗糙度

加工方法	表面粗糙度参数 $R_a(\mu\text{m})$										
	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05
砂铸、热轧		—	—								
锻造			—	—	—						
电火花加工				—	—	—					
冷轧、拉拔					—	—	—				
刨、插		—	—	—	—	—	—				
钻孔				—	—	—					
铣削				—	—	—	—				
车、镗				—	—	—	—	—			
拉削、铰孔					—	—	—				
磨削						—	—	—	—	—	
抛光								—	—	—	
研磨								—	—	—	—

5.3.3 表面结构要求的标注

1. 表面结构的图形符号

表 5-7 表面粗糙度图形符号及含义

图形符号		所指含义说明
基本图形符号		表示指定表面用任何方法获得。一般没有补充说明时不能单独使用，可用于简化代号标注。
扩展图形符号	(a)  (b) 	对表面粗糙度轮廓有指定要求（去除材料或不去除材料）的图形符号。 (a)图表示指定表面用去除材料的加工方法获得。如车、铣、刨、钻、磨、剪切、腐蚀、电火花加工、气割等。 (b)图表示指定表面用不去除材料的加工方法获得。如锻、铸、冲压、粉末冶金等；或表示使用原供应状态的表面，如型材的槽钢、工字钢、角钢等。
完整图形符号	(a)  (b)  (c) 	对基本图形符号和扩展图形符号扩充后的符号，用于对表面粗糙度轮廓有补充要求的标注。 在报告和合同的文本中用文字表达图示符号时，要求如下： <ol style="list-style-type: none"> 1.用 APA 表示图(a)，指定表面用任何加工工艺。 2.用 MRR 表示图(b)，指定表面用去除材料的加工方法获得。 3.用 NMR 表示图(c)，指定表面用不去除材料的加工方法获得。

2. 表面结构要求在图样上的标注

GB/T131-2006 规定，表面粗糙度轮廓要求对每一表面只标注一次，并尽可能标注在相应的尺寸及其公差在同一视图上。除非另有说明，一般情况下所标注的表面粗糙度轮廓要求是对完工零件表面的要求。

表 5-9 给出了表面粗糙度幅度参数的标注示例。具体标注方法如下：

1) 表面粗糙度轮廓要求的注写和读取方向应与尺寸的注写和读取方向一致，如图 5-10 所示。

2) 表面粗糙度轮廓要求可以标注在轮廓线上，或标注在轮廓线的延长线上，其符号的尖端应从材料外指向零件的表面，并与表面接触。必要时，也可以用带箭头或黑点的指引线引出标注，如图 5-11 和图 5-12 所示。

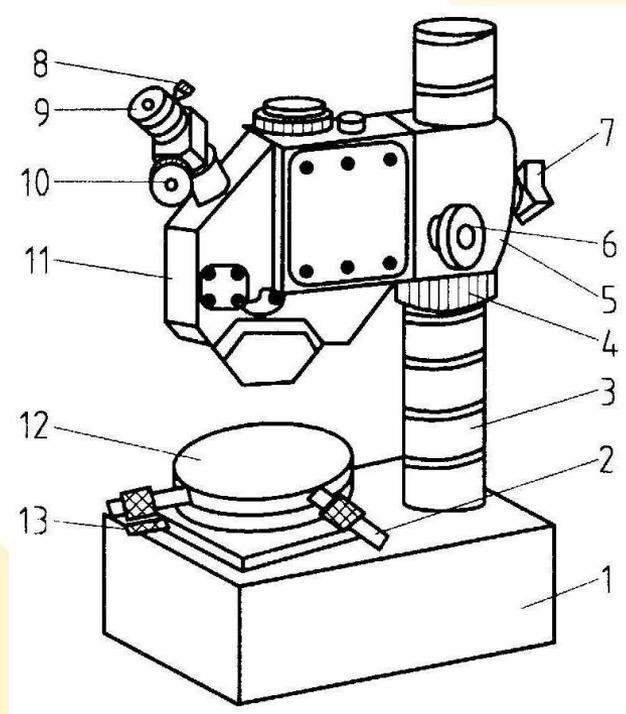
3) 其它

5.4 表面结构的检测

表面粗糙度的检测方法有：比较法、光切法、针描法和干涉法。

5.4.1 表面粗糙度的检测原则

5.4.2 几种常用的检测方法



谢谢！



互换性与测量技术