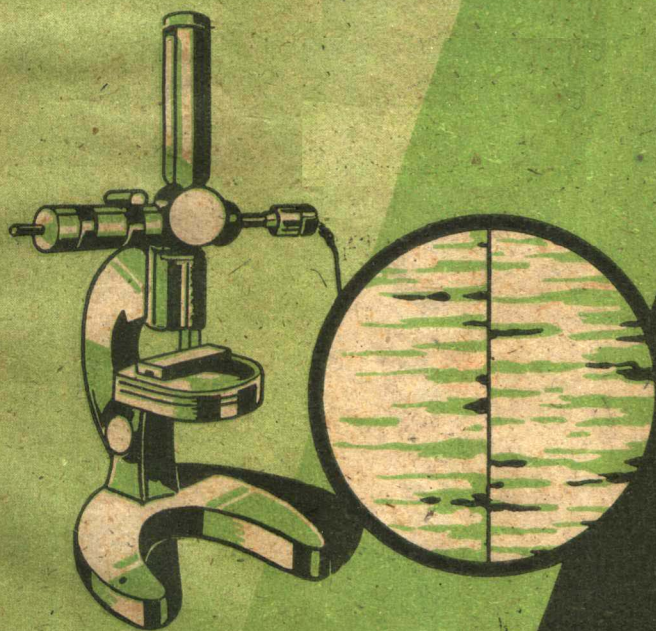


技術知識叢書

表面光潔度

朱廣頤著



科技卫生出版社

內 容 提 要

一个另件表面太粗糙，机器运转时就容易损坏；光洁度过高，加工成本太大，经济上不合算。因此选择适当的光洁度，就具有非常重要的意义。本书先对光洁度的重要性，光洁度的标准，检查方法和仪器作了说明，最后介绍一些资料。以供选择光洁度时的参考应用。

本书是上海科普协会机械学组委员会的講演稿，适合一般机械工人、检查員、計量檢定員、車間工艺員等工作中参考；也可以作为学习班的教材。

表 面 光 洁 度

著 者 朱 广 頤

*

科技卫生出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市書刊出版業營業許可証出 093 号

上海市印刷六厂印刷 新華書店上海发行所总經售

*

(原科普版印4,800册)

开本 787×1092 1/32 印張 1 1/8 字數 24,000

1958年9月新1版

1958年11月第2次印刷 印數 2,001-7,000

統一書号：15119·814

定 价：(9)0.14元

目 次

一、表面光洁度的重要性

机械强度.....	
耐磨性和配合的紧固性.....	3
油膜潤滑.....	4
刀具.....	7

二、表面的几何性质和表面光洁度的标准

表面的几何性质.....	8
表面光洁度的数值表示.....	10
表面光洁度的标准.....	13

三、检查表面光洁度的方法和仪器

直接测量.....	16
(1) 接触式仪器.....	16
(2) 光学仪器.....	19
和样板比较.....	23
印模法.....	26
利用其他特性来测量表面光洁度的方法.....	26

四、表面光洁度等级的选择

金屬加工面的表面光潔度，就是指它的表面光糙程度。加工面光滑平整的，表面光潔度就算是高的，加工面粗糙不平的，表面光潔度就算是低的。對於表面光潔度的重要性，只是在近三十年来才有比較明確的認識，才用精密的儀器來測量表面光潔度的數值，把表面光潔度科學地分成等級，規定在產品設計圖紙上和施工中各個操作的工藝文件上。現在，如果在設計和工藝工作中，對於表面光潔度不加考慮、不作規定、不實行檢驗，就只能算是落後的機械製造了。

一、表面光潔度的重要性

關於這一點就我們最熟悉的幾件事情來說明。

機 械 強 度

過去以為機器零件的強度，單單是由金屬的物理、化學性能和機械性能決定的，可是實際上，機械零件的表面光潔度，對於零件的強度有很大影響。因為零件在機械加工後，加工表面上往往留下凹痕，當零件所受的應力變動時（當負荷的量或方向改變，就會產生應力變動，譬如齒輪上的某一個牙齒，在傳動時所受力量的方向是不固定的，而且齒輪每轉一轉，這個牙齒才和相嚙合的齒輪嚙合一次，也就是它所受的力量有時是

一定的大小，有时却等于零，这个牙齿的内部就存在着应力变动），这种凹痕就是另件开始损坏的地方。因此加工表面粗糙的另件，它的疲劳强度就比较低。譬如拉力强度是 50 公斤/平方公厘的碳素钢另件，车制表面的疲劳强度比抛光表面的疲劳强度低12%；拉力强度是110公斤/平方公厘的合金钢另件，那就要降低24%。但对于铸铁和软合金，象锡和铅基的轴承合金等，表面光洁度的影响就比较小。

耐磨性和配合的紧固性

图 1 是一个磨光表面放大后的情况。从图上可以很清楚的

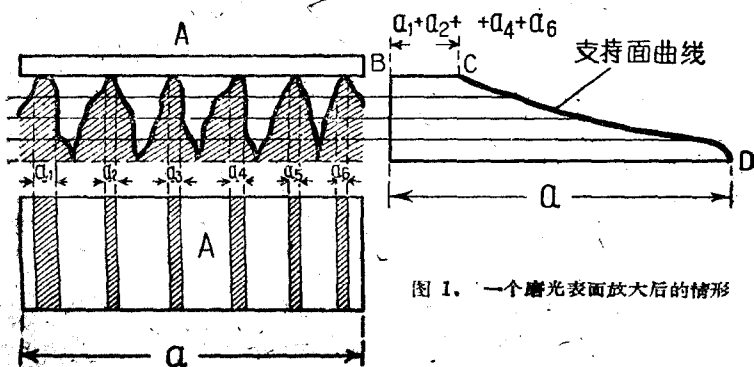


图 1. 一个磨光表面放大后的情形

看出，当这个表面和别的表面接触时，接触面只是在许多凸出小峰的顶上，接触面积比另件表面面积小得多。因此，如果这个表面和另一另件表面之间有相对的运动，这个表面就会很快的磨损下去。如果这个表面和别的另件的关系，是紧固性的配合，这些小峰的顶部接触面积虽然因为受力变形而增大，但是

要比全部表面面积小得多。結合件的表面經過精磨后，这些小峰頂部的接触面积也只有全部表面面积的一半左右，接触面还是很容易磨損，所以配合的紧固性也就不如理想。

关于磨耗的詳細情形，將在下一节里来談。

油 膜 潤 滑

我們先来研究一下軸承的原理。图2的A和B是互相傾



图 2.

斜的两个面。如果A和B相对运动，那么附着在A、B面上的两薄层潤滑油，基本上仍旧附着在这两个表面上，也是相对地运

动着。可是在这两薄层之間的潤滑油，却被帶着作剪切式的运动。因为A面是順着图2中箭头方向移动，本来处在两面間距离較大一端a处的油，就要被A面逐渐地帶到两面間距离較小一端b，油的压力就增高。图3中画的是軸A在軸承B中按箭头方面快速旋轉时的情形。軸A自己会采取象图3中表示的向左下方偏斜的位置。軸A和軸承B之間从a点到b点的关系和图2上A面和B面之間的楔形关系相似；軸A和軸承B間空隙較大处a的油，被軸A的面帶到軸A和軸承B間空隙較小处b，油的压力从a点到b点逐渐增高。这种軸和軸承間的油压承担着軸傳来的負荷，把軸和軸承挤开，使它們不至互相接触，这样就起了潤滑的作用。如果沒有这种因楔形作用而产生的巨大油压，軸上的負荷就要把軸和軸承間的油挤出去而使它們接触，轉动阻力就会很大。在負荷变动时，軸的位置也將发生变动。負荷增加的时候，軸的位置較低，楔形間

隙就减小，油压就增加；反之，负荷减轻的时候，轴的位置较高，楔形间隙就加大，油压就减小（图3中虚线表示负荷减轻后轴的位置）。由于这样的作用，油压就能适应轴传来的负荷变动，并承担起这个负荷来。从以上的道理来看，如果轴要承担特别高的负荷，或者轴在旋转时由于负荷变动所引起的位置变动必须很小的话（如精密磨床的砂轮轴），轴和轴承之间的间隙就必须很小，也就是两者的半径弧度必须相差很少才行。在这样的要求下，根据下面所述的原理，轴和轴承的表面光洁度就成为一个影响很大的因素。

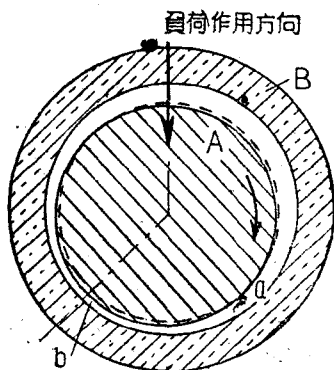


图 3.

随便拿一块表面平滑的金属，很好的涂上润滑油后，再用火油或汽油把润滑油擦去，看上去这块金属的表面好象很乾淨没有润滑油的油迹了；但是，如果滴上几滴水，水仍旧会很快地滚去，金属的表面仍旧是乾的。这是因为润滑油已经被这块金属的组织所吸收，形成了油膜，不容易被火油或汽油擦去的缘故。就是由于润滑油的分子对于金属表面有这样的附着力量，才使润滑油能够支持负荷。如果这块金属是一根表面很毛糙的轴，油的分子将附着在许多凸出的小峰上，也充满在许多凹下去的划痕里面。附着在小峰上面的油的分子，由于缺乏邻近分子的支持，受到了压力，就很容易被压开而使油膜破坏，失去润滑作用。可是，如果这根轴的表面很光滑，那么各处油的分子

可以由相鄰近的分子互相支持，因而在受到了压力的时候，也不致被分开。

此外，从图4和图5我們还可以来看軸和軸承的表面光洁

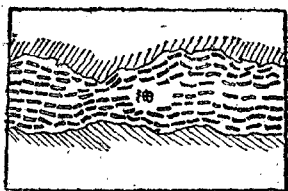


图 4.

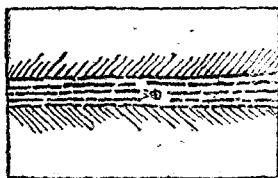


图 5.

度对潤滑油运动的影响。前面說过，它們之間的潤滑油是作剪切式运动的，如果表面毛糙（图4），軸和軸承間潤滑油的分子排列很不整齐，当軸和軸承作相对运动时，油分子的运动是很混乱的，因而阻力就比較大，容易引起局部潤滑油温度升高，破坏油膜潤滑作用。如果表面光滑（图5），油的分子有次序的排列着，附着在两个表面上的分子和相鄰近的油分子保持着吸引力，剪切式的运动是規則的、順当的，其結果則是油膜承受着負荷，而不致有不正常温度的升高。

机械加工后留在軸表面上的凸起小峰，在使用中虽然会逐漸磨耗下去，但是軸的表面并不是逐漸变得更光滑，而是露出了許多新的毛糙的痕迹；这正是由于上面所述的表面光洁度影响潤滑作用的結果。因为潤滑作用破坏了，軸面上的小峰凸破油膜而和軸承相接触，造成局部温度的暫時升高，使凸起的小峰金屬断裂或融化，由于这种断裂是不整齐的，所以在使用中軸的表面上会露出新的毛糙痕迹。所以对于軸的表面，我們

应当采取以下的方式来处理；在軸表面經過机械加工后，再經一次精細的表面加工，除去其表面上凸起的不堅牢的一層，這樣所得的表面，具有最大的支承面，而遺剩下來的小微的凹痕，正可用來盛油，幫助油分子附着在軸的表面上。

4. 刀 具

刀具在切削韌性金屬時，切屑一般是連續地從刀具的刃口延着刃口的前面捲曲滑離，這種情形和上面所講油膜軸承的情況有些相似，切削液在刀具和切屑之間起着潤滑作用。如果刃口的前面是毛糙的，則切屑壓在這個表面許多小峰上的壓力很大，在這些小峰地方潤滑油膜就被破壞，局部溫度很高；高溫和高压配合，就使切屑和刃口的前面暫時黏合了；可是切屑仍不斷地繼續滑動，這就使這種暫時的黏合又要被拉開，在拉開時，不會是有規則的，因而刃口的前面也就拉毛了。切屑在拉毛了的刃口前面滑動時，將產生較高的溫度，這就要縮短刀具的壽命，同時也要增加切削時所消耗的電力。除了上面講的幾種常見的現象以外，表面光潔度對於另件的其他影響也很多，例如表面毛糙的另件對於氣體或水蒸氣的抗蝕性差，飛機機翼的表面光滑程度對於飛行速度有很大的影響等。

二、表面的几何性质和 表面光洁度的标准

表面的几何性质

一个平面另件的不平程度，一个圆柱形另件的橢圓度、錐度、鼓形和鞍形程度等，(图 6)叫做这个另件的宏观几何形状。

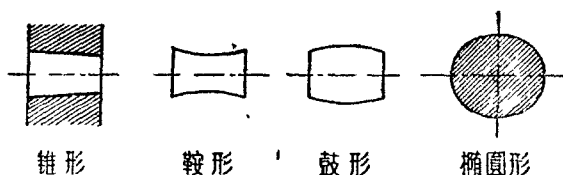


图 6.

另件在加工时，会发生沿着刀具切削方向的振动，这样，就在另件表面上，沿着刀具运动的方向，形成正弦曲线似的波浪形(图 7)。这种尺寸大概相似的有规律的宏观偏差的多次重复，叫做表面的“波度”。图中 L 是节距 H_B 是波高。

在另件表面上还有相互交替的凹痕和凸纹，数量很多但很微小，一般目力看不清楚，这种几何形状的变化，叫做“微观几何形状”上的偏差。在图 7 中 H_0 和 L_0 所表示的变化就是这种偏差。 H_0 是和切削方向垂直的波纹的高度， L_0 是节距(等于车制另件时的走刀量)。另件表面的微观几何形状和其他我

們目力能够看得出的一些特性，象反射光綫的能力、另件上的紋路和斑点等，合在一起就叫“表面光洁度”。因为表面的微观几何形状，对于反射光綫的能力有一定程度的决定作用，同时其他视觉能够觉察到的特性，象紋路、斑点等，也是由微观几何形状决定的，所以微观几何形状是表面光洁度的基本特性。并且由于这个特性可以用数值很清楚的表示出来，所以一般用它来作为另件表面质量的指标。

这里不能不说明微观几何形状的高低波紋和表面波度间的区别問題。它們之间的区别可以这样来说明：首先，这些表面的几何特性虽然都是由于机械加工而来的，但是表面波度一般是正弦曲綫性质的，而微观几何形状则不是；其次，表面波度的节距比较大，简单地可以划这样一个界限：节距小于1公厘的是微观几何形状，大于1公厘的是表面波度；此外由于机械加工的特性，表面波度的节距和波高的比率比较大（即图7中的 $L : H_B$ ），而在微观几何形状中这个比率就比较小（即图7中的 $L_0 : H_0$ ）。一般來說，比率在50~1000范围内的，就是表面波度；比率在50以下的，是微观几何形状上偏差。

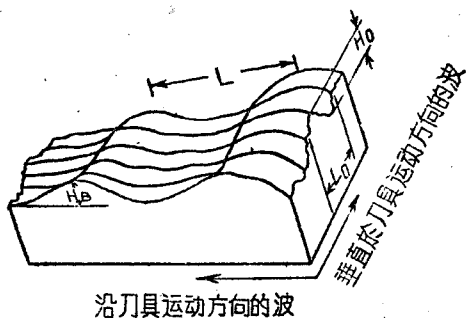


图7. 另件表面上的波浪形

表面光潔度的數值表示

雖然從第一節里我們知道，對於一般另件來說，表面光潔度總是高一些的好。但是，要製造一個光潔度較高的另件，一定要消耗較多的勞動力和機床的時間，結果一定增加成本。因此我們不能對另件的表面光潔度要求得太高，只要它合於使用條件就可以了，而且有時表面光潔度太高反而會有害；例如機床的導軌和滑板的表面，如果過於光滑，就會緊貼在一起，在相對移動時，表面就容易擦傷。

從前機械製造工作還很簡單的時候，圖紙上對於另件的表面光潔度是不作任何規定的。工人和工長不僅僅製造機器的另件，而且一般也了解這些另件在機器運用中的作用，和它需要達到的準確度，他們就憑自己的判斷，在製造時給各個另件以各種表面光潔度。但是機器的結構越來越複雜，機械製造工廠內部的分工也越來越細，工人和工長往往只專門負責很少一部分另件的製造、或很少一部分工序的施工，他們不容易知道機器結構的詳細情況，和機器在運用中對於某一另件的具體要求，他們就不能判斷另件所需要的表面光潔度了。由於設計人員對於機器另件的工作條件和裝配情況是通盤考慮的，所以在圖紙上由設計人員規定出另件的表面光潔度便成為通行的做法了。

要由設計人員在圖紙上把表面光潔度規定出來，就必須把表面光潔度的高低分成等級，或者用數值來表示才行。過去有許多國家都把表面光潔度約略地分成幾等，在歐洲曾經用一個、兩個及三個三角形（即▽、▽▽、▽▽▽）來表示三種等級的表面光潔度，有時並增加文字說明。但是在人們更加了解

表面光洁度之后，对于过去的鑑定符号已經不够滿意，更精确地表示表面光毛程度的数值就成为必需的了。

現在通用的計算表面光洁度的方式有三种；(1)均方偏差，以 H_{ck} 代表；(2)均峰谷高差，以 H_{cp} 代表；(3)均数学偏差，以 H_{ca} 代表。图 8 表示一个表面的放大断面图，OL 表示这个表面的“平均面”。一个表面的“平均面”是这样决定的，

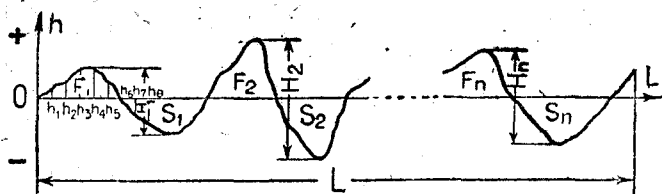


图 8. 一个表面的放大断面图

就是使表面上各点离开这个“平均面”的正高度（就是高出平均面的高度）和負高度（就是低于平均面的高度）的总和等于零。用算式来表示的话，就是：

$$h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + \dots + h_n = 0$$

$h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ 表示表面上各点离开这个“平均面”的高度。按照数学上的道理，这个式子和下式的意义是一样的：

$$F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n$$

这个式子是說“平均面”上面各圈的面积 F_1, F_2, F_3 等的总和，和“平均面”下面各圈面积 S_1, S_2, S_3 等的总和相等。这两个式子中的任何一个，都可以用来决定“平均面”的位置。

有了“平均面”之后，均方偏差 H_{ck} 和均数学偏差 H_{ca} 就

可以用下面两个式子計算出来:

$$H_{ck} = \sqrt{\frac{1}{n}(h_1^2 + h_2^2 + h_3^2 + h_4^2 + \dots + h_n^2)},$$

$$H_{ca} = \frac{1}{n}(|h_1| + |h_2| + |h_3| + |h_4| + \dots + |h_n|)$$

在 H_{ca} 的式子里, $|h_1|$ 、 $|h_2|$ 、 $|h_3|$ ……表示 h_1 、 h_2 、 h_3 ……的绝对值, 不管它是正是负, H_{ck} 和 H_{ca} 不同, H_{ck} 对于离开“平均面”較大的各点, 給以比較大的比重。这样計算对于表現表面光洁度的性質, 是比較恰当些。这句话的意义可以用下面这个例子来说明: 图9 是两个假定表面的放大断面, 其中

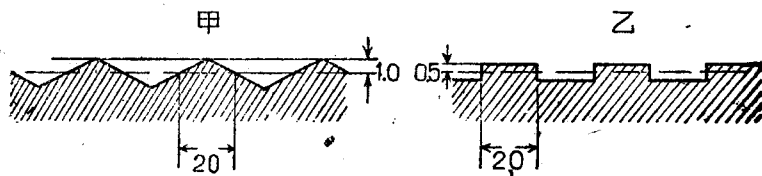


图9. 两个假定表面的放大断面

甲是三角形似的, 乙是长方形似的; 用上面两个式子来计算, 我們得出: 甲表面的 H_{ck} 等于 0.577, H_{ca} 等于 0.5, 而乙表面的 H_{ck} 和 H_{ca} 都是 0.5。这就是說, 如果用 H_{ck} 来計算的話, 甲表面的光洁度比乙表面差, 如果用 H_{ca} 来計算的話, 則两者相等。

均峰谷高差 H_{cp} 不是用 h_1 、 h_2 、 h_3 ……来计算, 而是用小峰峰頂到划痕谷底的高度 H_1 、 H_2 、 H_3 ……的平均数来計算的。用算式来表示就是:

$$H_{cp} = \frac{1}{n}(H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n)$$

表面光潔度的標準

對於表面光潔度的標準，蘇聯規定得最有系統和最完善。蘇聯已經研究出測定表面光潔度的各種方法和儀器，並且大量地製造了這些儀器，其全面性也是其他國家所不及的。所以現在我們只介紹蘇聯國家標準。蘇聯對於表面光潔度有三種分類方法：

(1) 最粗的分類把表面光潔度分成四組：

第1組——表面上有明顯的加工刀痕，用一個三角形符號(▽)來表示。

第2組——表面上的加工刀痕不明顯，但目力還能看出，用兩個三角形符號(▽▽)來表示。

第3組——表面光滑，單憑眼睛看不出加工刀痕，用三個三角形符號(▽▽▽)來表示。

第4組——非常光滑的表面，用四個三角形符號(▽▽▽▽)來表示。

(2) 比較細的一種分法，把表面光潔度分成14級。它是組的進一步劃分，第1、第2、第3，三組各分成3個級，第4組分成5個級，所以一共有14個級。

(3) 最細的一種分法，是把第6級到第13級各分成三等，第14級分成2等。級用順序數字表示，象第1級、第2級、第3級是，等用a, б, в表示，象6a, 6б, 6в是。等和級都是愈排在前面的愈粗，即第1級比第2級粗，a比б粗。

對於表面光潔度的數值，蘇聯標準同時採用H_{ck}和H_{cp}二種計算方法，規定的數值如下：

光潔度的級別	符 号	Hck(公微)	Hep(公微)
第 1 級	▽1	大于50到100	大于125到200
第 2 級	▽2	大于25到50	大于63到125
第 3 級	▽3	大于12.5到25	大于40到63
第 4 級	▽▽4	大于6.3到12.5	大于20到40
第 5 級	▽▽5	大于3.2到6.3	
第 6 級	▽▽6	大于1.6到3.2	
第 7 級	▽▽▽7	大于0.8到1.6	
第 8 級	▽▽▽8	大于0.4到0.8	
第 9 級	▽▽▽9	大于0.2到0.4	
第10級	▽▽▽▽10	大于0.1到0.2	
第11級	▽▽▽▽11	大于0.05到0.1	
第12級	▽▽▽▽12	大于0.025到0.05	
第13級	▽▽▽▽13	大于0.012到0.025	大于0.06到0.12
第14級	▽▽▽▽14	大于0.006到0.012	大于0.06及小于0.06
附註：大于125并不包括125，到200是小于200并且包括200在內			

表中第三項是用 Hck 計算，每一級的最高界限和最低界限之比是 2，这是1925年苏联国家标准規定，因为接触式仪器可以很快地測出表面光潔度的 Hck 值。但是对于 1、2、3、4 各級的測量，还是用样板比較方便；对 13、14 兩級的測量用干涉显微鏡来得準確；所以1951年苏联国家标准中規定这六个級改用 Hep 来計算，即第四項所列，它是从第三項的 Hck 換算过来，所以它的最高界限和最低界限的比例是不規則的。

从 6 級到12 級又各分为三等，光潔度的数值是用 Hck 来計算的，每一等最高界限和最低界限之比是1.25。13和14兩級共分成五等，光潔度的数值是用 Hep 来計算，現在列表如下：

光潔度的級別	符 号	Hek (公微)	Hcp (公微)
6 a	▽▽ 6a	大于2.5 到3.2	—
6 6	▽▽ 66	" 2 " 2.5	—
6 B	▽▽ 6B	" 1.6 " 2	—
7 a	▽▽▽ 7a	" 1.25 " 1.6	—
7 6	▽▽▽ 76	" 1 " 1.25	—
7 B	▽▽▽ 7B	" 0.8 " 1	—
8 a	▽▽▽ 8a	" 0.63 " 0.8	—
8 6	▽▽▽ 86	" 0.5 " 0.63	—
8 B	▽▽▽ 8B	" 0.4 " 0.5	—
9 a	▽▽▽ 9a	" 0.32 " 0.4	—
9 6	▽▽▽ 96	" 0.25 " 0.32	—
9 B	▽▽▽ 9B	" 0.2 " 0.25	—
10 a	▽▽▽▽ 10a	" 0.16 " 0.2	—
10 6	▽▽▽▽ 106	" 0.125 " 0.16	—
10 B	▽▽▽▽ 10B	" 0.1 " 0.125	—
11 a	▽▽▽▽ 11a	" 0.08 " 0.1	—
11 6	▽▽▽▽ 116	" 0.063 " 0.08	—
11 B	▽▽▽▽ 11B	" 0.05 " 0.063	—
12 a	▽▽▽▽ 12a	" 0.04 " 0.05	—
12 6	▽▽▽▽ 126	" 0.032 " 0.04	—
12 B	▽▽▽▽ 12B	" 0.025 " 0.032	—
13 a	▽▽▽▽ 13a	—	大于0.1 到0.12
13 6	▽▽▽▽ 136	—	" 0.08 " 0.1
13 B	▽▽▽▽ 13B	—	" 0.06 " 0.08
14 a	▽▽▽▽ 14a	—	" 0.03 " 0.06
14 6	▽▽▽▽ 146	—	" 0.00 " 0.03