

# 高效高精度五轴加工中心 精度检验

## 1 范围

本文件规定了高效高精度五轴加工中心的几何精度、定位精度和重复定位精度、工作精度的检验要求、检验方法以及相应的公差。

本文件适用于线性轴线行程至3000mm的高效高精度五轴加工中心（以下简称机床）。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 17421.1—2023 机床检验通则第 1 部分：在无负荷或准静态条件下机床的几何精度(ISO 230-1:2012, IDT)

GB/T 17421.2—2023 机床检验通则 第 2 部分：数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定

GB/T 17421.7—2016 机床检验通则 第 7 部分：回转轴线的几何精度(ISO 230-7:2006, IDT)

GB/T 34880.2—2017 五轴联动加工中心检验条件 第 2 部分：立式机床精度检验

GB/T 20957.2—2007 精密加工中心检验条件 第 2 部分 立式或带垂直主回转轴的万能主轴头机床几何精度检验（垂直 Z 轴）

GB/T 19660—2005 工业自动化系统与集成 机床数值控制坐标系和运动命名(ISO 841:2001, IDT)

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 高效 Efficient

采用龙门框架式结构，并配置高刚性大扭矩 45° 斜摆头，能够实现主轴立卧状态快速切换，提升了整机刚性和斜摆头及主轴的扭矩特性。

### 3.2 高精度 high-precision

定位精度满足以下条件：

$$(3 + 2 \times L/m) \mu < \text{定位精度} \leq (5 + 2 \times L/m) \mu$$

式中：L 为行程，取整数，单位：米；“/m”表示每米。

### 3.3 五轴加工中心 5-axis machining center

具有至少五个数控轴线，即三个线性轴线(X、Y、Z)和两个回转轴线(A、B、C 任意组合)，可实现五轴联动切削的加工中心。

## 4 一般要求

### 4.1 测量单位

本文件中所有线性尺寸及相应公差单位为毫米（mm），角度尺寸的单位为度（°），角度偏差和相应的公差用比值表示，但在某些情况下为了清晰，可用微弧度（ $\mu\text{rad}$ ）或角秒（"）表示。表达式的等效关系如下：

$$0.01/1000=10\times 10^{-6}=10\ \mu\text{rad}\approx 2''$$

## 4.2 执行标准

使用本文件时应按照GB/T 17421.1—2023、GB/T 17421.7—2016的要求执行，尤其是机床检验前的安装，主轴和其他运动部件的预热、检验方法和检验工具的推荐精度及检验结果的评定和表示。

## 4.3 检验顺序

本文件所给出的检验项目的顺序，并不表示实际检验顺序。为了使装拆检验工具和检验方便，可按任意次序进行检验。

## 4.4 检验项目

检验机床时，根据机床的结构特点确定检验项目，并不是必须检验本部分中的所有项目。为了验收目的而要求检验时，可由用户取得供货方（或制造厂）的同意，选择一些感兴趣的项目进行检验，但这些检验项目必须在机床订货时明确提出。

## 4.5 检验工具

本文件所规定的测量方法和检验工具仅为例子，可以使用相同指示量和具有至少相同精度或更小精度的其它检验工具。线性位移测量仪应具有 0.001 mm 或2" 的分辨力。

## 4.6 工作精度

工作精度检验应在精切加工后进行。

## 4.7 软件补偿

当软件设备能补偿某些几何偏差时，相关的检验项目可以按制造厂和用户的协议，在用或不用这些补偿的情况下进行检验。当使用软件补偿时，宜在检验项目中标明。

## 4.8 机床结构

本文件中的机床的坐标和运动方向按 GB/T19660-2005的规定，图1包含了显示部件沿三个线性轴线和两个回转轴线运动的五轴立式加工中心结构型式及其坐标、运动方向的示例。

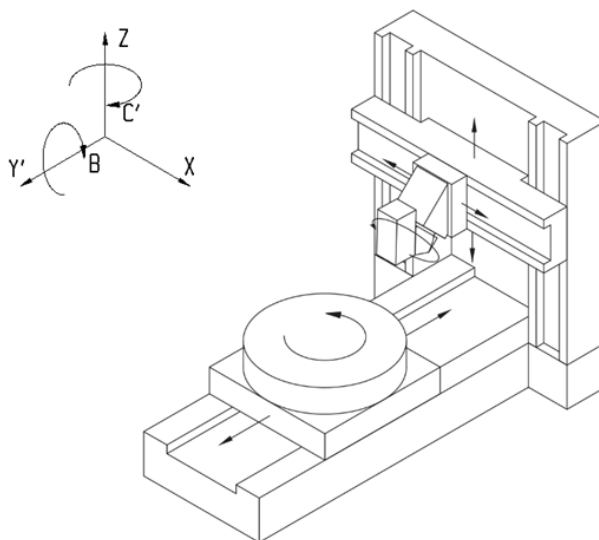


图1 高效高精度五轴加工中心结构型式图

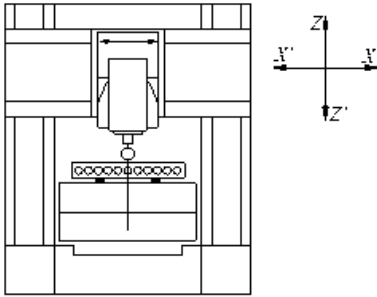
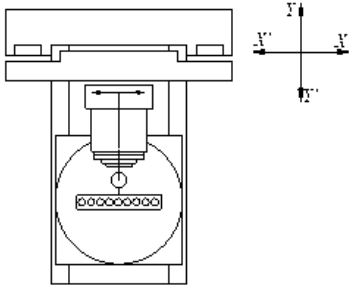
#### 4.9 最小公差

本部分中，所有公差值均为指导值。在机床验收时，也可由用户和制造商/供应商协商确定其他公差值。在订购机床时应明确说明所需/商定的公差值。

当实测长度与本文件规定的长度不同时，公差应根据GB/T 17421.1-2023中4.1.2的规定进行折算。折算结果小于 0.005 mm 时，仍按 0.005 mm 计。几何精度检验

### 5 几何精度检验

#### 5.1 线性运动的直线度误差

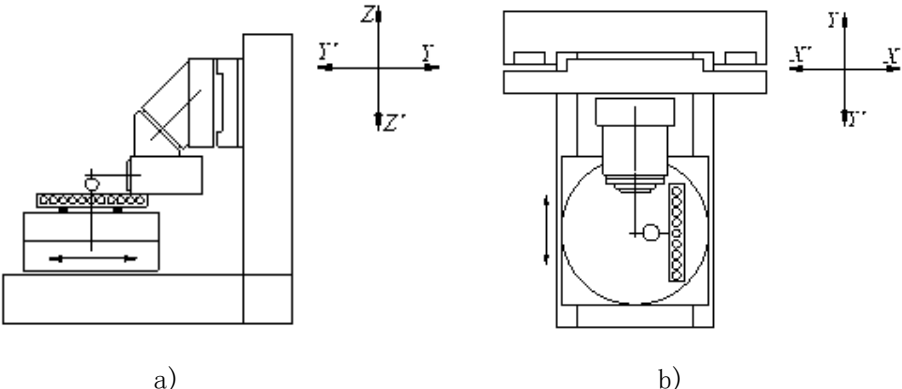
<p><b>检验项目</b></p> <p><i>X</i> 轴线运动的直线度：</p> <p>a) 在 <i>ZX</i> 垂直平面内；</p> <p>b) 在 <i>XY</i> 水平面内。</p>	G1										
<p><b>简图</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b)</p> </div> </div>											
<p><b>公差</b></p> <p style="text-align: center;">a) 和 b)</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td><math>X \leq 500</math></td> <td>0.006</td> </tr> <tr> <td><math>500 &lt; X \leq 800</math></td> <td>0.010</td> </tr> <tr> <td><math>800 &lt; X \leq 1250</math></td> <td>0.013</td> </tr> <tr> <td><math>1250 &lt; X \leq 2000</math></td> <td>0.016</td> </tr> <tr> <td><math>2000 &lt; X \leq 3000</math></td> <td>0.025</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">局部公差：在任意 300 测量长度上：0.005。</p>		$X \leq 500$	0.006	$500 < X \leq 800$	0.010	$800 < X \leq 1250$	0.013	$1250 < X \leq 2000$	0.016	$2000 < X \leq 3000$	0.025
$X \leq 500$	0.006										
$500 < X \leq 800$	0.010										
$800 < X \leq 1250$	0.013										
$1250 < X \leq 2000$	0.016										
$2000 < X \leq 3000$	0.025										
<p><b>检验工具</b></p> <p>a) 平尺和线性位移测量仪或光学方法；</p> <p>b) 平尺和线性位移测量仪或钢丝和显微镜或光学方法。</p>											

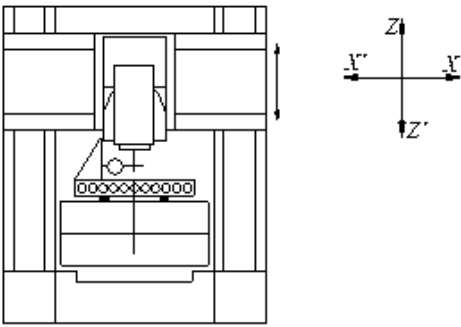
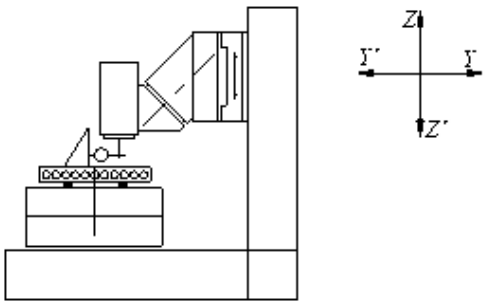
### 检验方法

按 GB/T 17421.1—2023 中 3.4、3.4.4、3.9.2、4 和 8.2 的规定和下列要求进行检验。

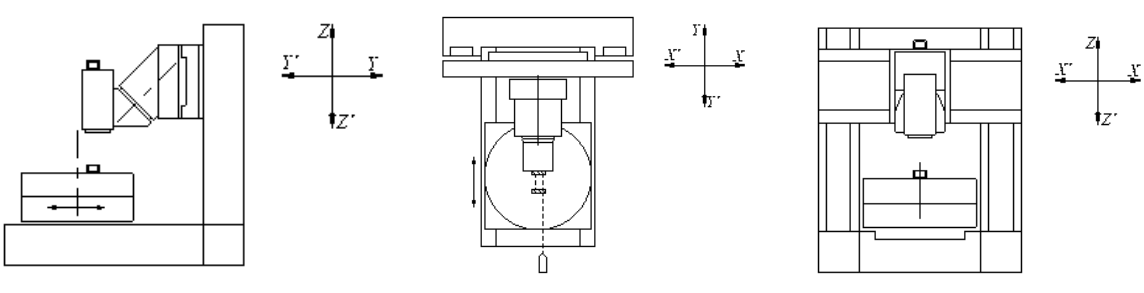
平尺或钢丝或直线度反射器都应置于工作台上。如主轴能锁紧，则线性位移测量仪或显微镜或干涉仪可装在主轴上，否则检验工具应装在机床的主轴箱上。

测量线应尽量靠近工作台。

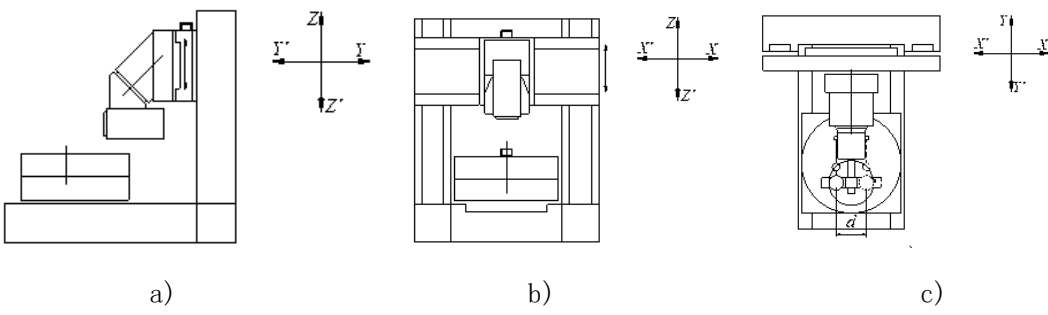
<p><b>检验项目</b></p> <p><math>Y</math> 轴线运动的直线度：</p> <p>a) 在 <math>YZ</math> 垂直平面内；</p> <p>b) 在 <math>XY</math> 水平面内。</p>	G2										
<p><b>简图</b></p>  <p style="text-align: center;">a) <span style="margin-left: 200px;">b)</span></p>											
<p><b>公差</b></p> <p style="text-align: center;">a) 和 b)</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td><math>Y \leq 500</math></td> <td>0.006</td> </tr> <tr> <td><math>500 &lt; Y \leq 800</math></td> <td>0.010</td> </tr> <tr> <td><math>800 &lt; Y \leq 1250</math></td> <td>0.013</td> </tr> <tr> <td><math>1250 &lt; Y \leq 2000</math></td> <td>0.016</td> </tr> <tr> <td><math>2000 &lt; Y \leq 3000</math></td> <td>0.025</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">局部公差：在任意 300 测量长度上：0.005。</p>		$Y \leq 500$	0.006	$500 < Y \leq 800$	0.010	$800 < Y \leq 1250$	0.013	$1250 < Y \leq 2000$	0.016	$2000 < Y \leq 3000$	0.025
$Y \leq 500$	0.006										
$500 < Y \leq 800$	0.010										
$800 < Y \leq 1250$	0.013										
$1250 < Y \leq 2000$	0.016										
$2000 < Y \leq 3000$	0.025										
<p><b>检验工具</b></p> <p>a) 平尺和线性位移测量仪或光学方法；</p> <p>b) 平尺和线性位移测量仪或钢丝和显微镜或光学方法</p>											
<p><b>检验方法</b></p> <p>按 GB/T 17421.1—2023 中 3.4、3.4.4、3.9.2、4 和 8.2 的规定和下列要求进行检验。</p> <p>平尺或钢丝或直线度反射器都应置于工作台上。如主轴能锁紧，则线性位移测量仪或显微镜或干涉仪可装在主轴上，否则检验工具应装在机床的主轴箱上。</p> <p>测量线应尽量靠近工作台。</p>											

<p><b>检验项目</b></p> <p>Z 轴线运动的直线度：</p> <p>a) 在 ZX 垂直平面内；</p> <p>b) 在 YZ 水平面内。</p>	G3										
<p><b>简图</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b)</p> </div> </div>											
<p><b>公差</b></p> <p style="text-align: center;">a) 和 b)</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td><math>Z \leq 500</math></td> <td>0.006</td> </tr> <tr> <td><math>500 &lt; Z \leq 800</math></td> <td>0.010</td> </tr> <tr> <td><math>800 &lt; Z \leq 1250</math></td> <td>0.013</td> </tr> <tr> <td><math>1250 &lt; Z \leq 2000</math></td> <td>0.016</td> </tr> <tr> <td><math>2000 &lt; Z \leq 3000</math></td> <td>0.025</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">局部公差：在任意 300 测量长度上：0.005。</p>		$Z \leq 500$	0.006	$500 < Z \leq 800$	0.010	$800 < Z \leq 1250$	0.013	$1250 < Z \leq 2000$	0.016	$2000 < Z \leq 3000$	0.025
$Z \leq 500$	0.006										
$500 < Z \leq 800$	0.010										
$800 < Z \leq 1250$	0.013										
$1250 < Z \leq 2000$	0.016										
$2000 < Z \leq 3000$	0.025										
<p><b>检验工具</b></p> <p>角尺和线性位移测量仪或钢丝和显微镜或光学方法。</p>											
<p><b>检验方法</b></p> <p>按 GB/T 17421.1—2023 中 3.4、3.4.4、3.9.2、4 和 8.2 的规定和下列要求进行检验。</p> <p>角尺或钢丝或直线度反射器都应置于工作台中央。如主轴能锁紧，则线性位移测量仪或显微镜或干涉仪可装在主轴上，否则检验工具应装在机床的主轴箱上。</p>											

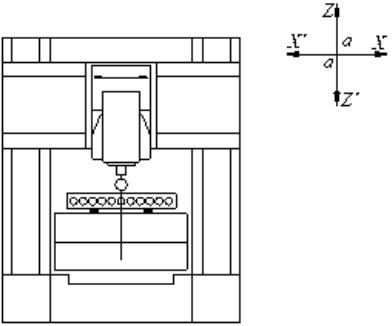
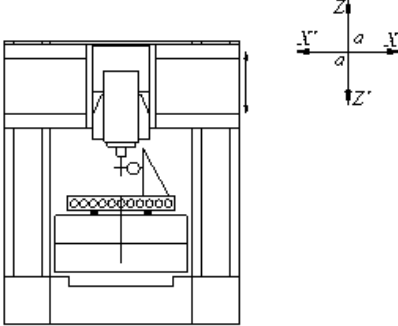


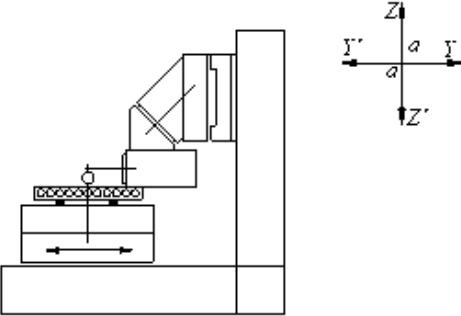
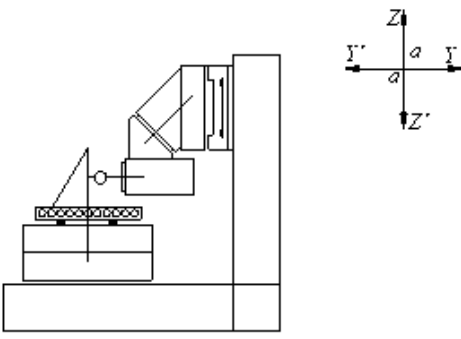
<b>检验项目</b> <b><i>Y</i> 轴线运动的角度偏差：</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) 在平行于移动方向的 <i>YZ</i> 垂直平面内（俯仰）；</li> <li>b) 在 <i>XY</i> 水平面内（偏摆）；</li> <li>c) 在垂直于移动方向的 <i>ZX</i> 垂直平面内（倾斜）。</li> </ol>	G5
<b>简图</b> 	
<b>公差</b> <p style="text-align: center;">a) 、 b) 和 c)</p> <p style="text-align: center;">0.040/1000</p>	
<b>检验工具</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) 精密水平仪或光学角度偏差测量工具；</li> <li>b) 光学角度偏差测量工具；</li> <li>c) 精密水平仪。</li> </ol>	
<b>检验方法</b> <p>按 GB/T17421.1-2023 中 3.4.16 和 8.4 的规定和下列要求进行检验。</p> <p>检验工具应置于运动部件上：</p> <p>a)（俯仰）纵向；b)（偏摆）水平；c)（倾斜）横向。</p> <p>当 <i>Y</i> 轴线运动引起主轴箱和工件夹持工作台同时产生角运动时，这种角运动应分别测量并给予标明。在这种情况下，当使用水平仪测量时，基准水平仪应置于机床的非运动部件（主轴箱或工件夹持工作台）上。</p> <p>沿行程在等距离的五个位置上检验。</p> <p>应在每个位置的两个运动方向测取读数，最大与最小读数的差值应不超过公差。</p>	

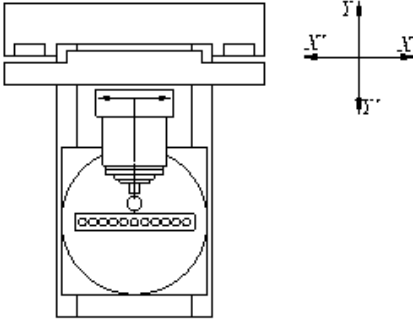
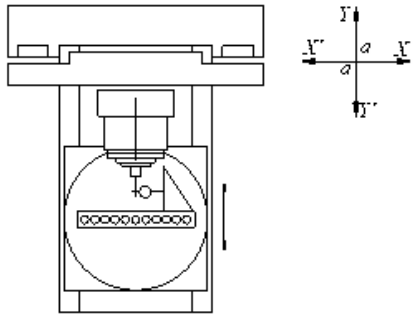


<p><b>检验项目</b></p> <p><math>Z</math> 轴线运动的角度偏差：</p> <p>a) 在平行于 <math>Y</math> 轴线的 <math>YZ</math>垂直平面内；（俯仰）</p> <p>b) 在平行于 <math>X</math> 轴线的 <math>ZX</math>垂直平面内；（偏摆）</p> <p>c) 在 <math>XY</math>水平面内。（倾斜）。</p>	G6
<p><b>简图</b></p>  <p style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>a)</span> <span>b)</span> <span>c)</span> </p>	
<p><b>公差</b></p> <p style="text-align: center;">a) 、 b) 和 c)</p> <p style="text-align: center;">0.040/1000</p>	
<p><b>检验工具</b></p> <p>a) 和 b) 精密水平仪或光学角度偏差测量工具；</p> <p>c) 圆柱形角尺、精密水平仪和线性位移测量仪或量块和线性位移测量仪。</p>	
<p><b>检验方法</b></p> <p>按GB/T17421.1-2023中3.4.16和8.4的规定和下列要求进行检验。</p> <p>应沿行程至少在等距离的五个位置进行检验，在每个位置的两个运动方向测取读数，最大与最小读数的差值应不超过公差。</p> <p>检验工具应置于运动部件上：</p> <p>a)（俯仰）纵向；b)（倾斜）横向；c)（偏摆）水平。</p> <p>当<math>Z</math> 轴线运动引起主轴箱和工件夹持工作台同时产生角运动时，这种角运动应分别测量并给予标明。在这种情况下，当使用精密水平仪测量时，基准水平仪应置于机床的非运动部件（主轴箱或工件夹持工作台）上。</p> <p>对于 c)（倾斜）：将圆柱形角尺近似平行于<math>Z</math>轴线放置在工作台上，使装在专用支架上的线性位移测量仪的测头触及角尺。记录线性位移测量仪的读数并在角尺的相应高度上做出标记。沿轴<math>X</math>线移动工作台并回转专用支架使线性位移测量仪测头在主轴箱另一侧沿相同高度重新触及角尺。应考虑<math>X</math>轴线运动可能引起的倾斜偏差并进行测量。线性位移测量仪应重新调零，且应在上述角尺的高度处重新测量并记录读数。算出每个测量高度两个读数的差值，选择这些差值中的最大值与最小值，且（最大值－最小值）/<math>d</math> 的计算结果应不超过公差。“<math>d</math>”为线性位移测量仪两位置间的距离。</p>	

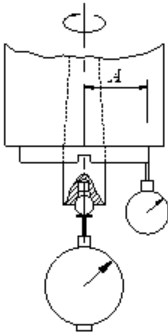
## 5.3 线性运动间的垂直度误差

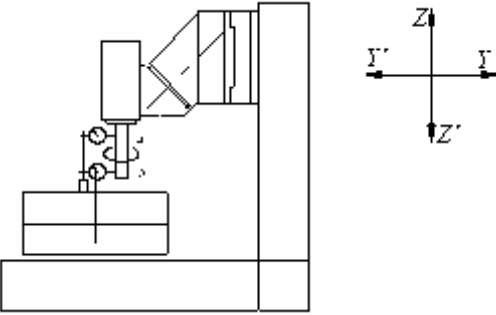
<p>检验项目</p> <p><math>Z</math> 轴线运动和 <math>X</math> 轴线运动间的垂直度。</p>	G7
<p>简图</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b)</p> </div> </div>	
<p>公差</p> <p style="text-align: center;">0.012/500</p>	
<p>检验工具</p> <p>平尺或平板、角尺和线性位移测量仪。</p>	
<p>检验方法</p> <p>按GB/T17421.1-2023中10.3.3的规定和下列要求进行检验。</p> <p>步骤1：平尺或平板应平行于 <math>X</math> 轴线放置。</p> <p>步骤2：应通过直立在平尺或平板上的角尺检查 <math>Z</math> 轴线。</p> <p>如主轴能锁紧，则线性位移测量仪可装在主轴上，否则线性位移测量仪应装在机床的主轴箱上。应记录角度 <math>\alpha</math> 的值（小于、等于或大于 <math>90^\circ</math>），用于参考和可能进行的修正。</p>	

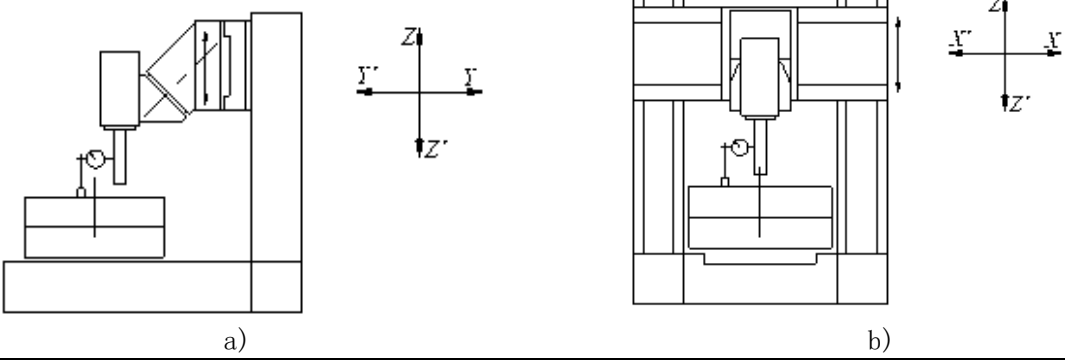
<p><b>检验项目</b></p> <p>Z轴线运动和Y轴线运动间的垂直度。</p>	G8
<p><b>简图</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b)</p> </div> </div>	
<p><b>公差</b></p> <p style="text-align: center;">0.012/500</p>	
<p><b>检验工具</b></p> <p>平尺或平板或角尺和线性位移测量仪。</p>	
<p><b>检验方法</b></p> <p>按 GB/T17421.1-2023 中 10.3.2 的规定和下列要求进行检验。</p> <p>步骤 1: 平尺或平板应平行于 Y 轴线放置。</p> <p>步骤 2: 应通过直立在平尺或平板上的角尺检查 Z 轴线。</p> <p>如主轴能锁紧, 则线性位移测量仪可装在主轴上, 否则线性位移测量仪应装在机床的主轴箱上。</p> <p>应记录角度 <math>\alpha</math> 的值 (小于、等于或大于 <math>90^\circ</math> ), 用于参考和可能进行的修正。</p>	

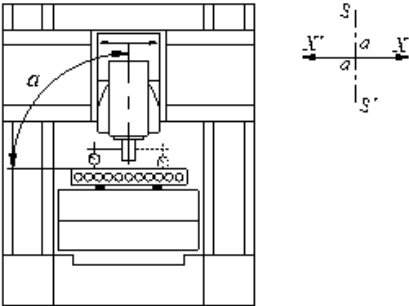
<p>检验项目</p> <p><math>Y</math>轴线运动和 <math>X</math>轴线运动间的垂直度。</p>	<p>G9</p>
<p>简图</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b)</p> </div> </div>	
<p>公差</p> <p style="text-align: center;">0.012/500</p>	
<p>检验工具</p> <p>平尺或平板或角尺和线性位移测量仪。</p>	
<p>检验方法</p> <p>按 GB/T17421.1-2023 中 10.3.3 的规定和下列要求进行检验。</p> <p>步骤 1: 平尺或平板应平行于 <math>X</math>轴线（或 <math>Y</math>轴线）放置。</p> <p>步骤 2:应通过放置在工作台上并一边紧靠平尺的角尺检验 <math>Y</math>轴线（或 <math>X</math>轴线）。</p> <p>也可以不用平尺来进行本检验, 将角尺的一边平行一条轴线, 在角尺的另一边上检查第二条轴线。</p> <p>如主轴能锁紧, 则线性位移测量仪可装在主轴上, 否则线性位移测量仪应装在机床的主轴箱上。应记录角度 <math>\alpha</math> 的值 (小于、等于或大于 <math>90^\circ</math> ), 用于参考和可能进行的修正。</p>	

## 5.4 主轴

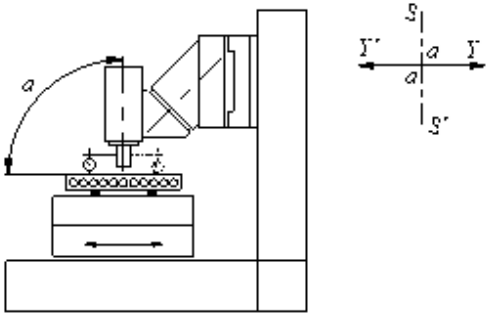
<p><b>检验项目</b></p> <p>a) 主轴的周期性轴向窜动； b) 主轴端面跳动。</p>	G10
<p><b>简图</b></p> 	
<p><b>公差</b></p> <p>a) 0.003 b) 0.006</p>	
<p><b>检验工具</b></p> <p>短检验棒、钢球和线性位移测量仪。</p>	
<p><b>检验方法</b></p> <p>按GB/T17421.1-2023中3.5.5和12.5.2的规定和下列要求进行检验。 应在机床的所有工作主轴上进行检验。 当使用非预加负荷轴承时，应施加轴向力。 检验b)时，<i>A</i>的数值应尽可能大。</p>	

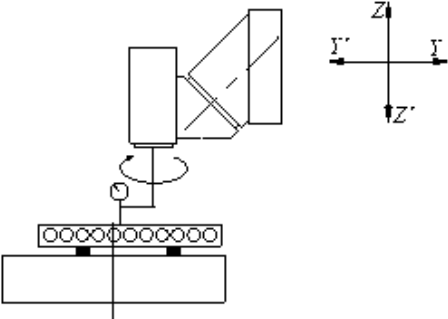
<p><b>检验项目</b></p> <p>主轴锥孔的径向跳动</p> <p>a) 靠近主轴端部；</p> <p>b) 距主轴端部 300 mm 处。</p>	G11
<p><b>简图</b></p> 	
<p><b>公差</b></p> <p>a) 0.004</p> <p>b) 0.010</p>	
<p><b>检验工具</b></p> <p>线性位移测量仪和检验棒。</p>	
<p><b>检验方法</b></p> <p>按 GB/T17421.1-2023 中 12.5.2 和 12.5.3 的规定和下列要求进行检验。</p> <p>应在机床的所有工作主轴上进行检验。</p> <p>根据 GB/T 17421.1—2023 中 3.9.7 的注 4，应至少旋转两整圈进行检验。</p>	

<p><b>检验项目</b></p> <p>主轴轴线处于竖直位置，主轴轴线和Z轴线运动间的平行度：  a) 在 <math>YZ</math> 垂直平面内；  b) 在 <math>ZX</math> 垂直平面内。</p>	G12
<p><b>简图</b></p> 	
<p><b>公差</b></p> <p>在 300 测量长度上：  a) 0.010  b) 0.010</p>	
<p><b>检验工具</b></p> <p>检验棒和线性位移测量仪。</p>	
<p><b>检验方法</b></p> <p>按 GB/T17421.1-2023 中 12.5.2 和 3.5.5 的规定和下列要求进行检验。</p> <p><math>X</math> 轴线置于行程的中间位置。</p> <p>对于 a)：如果可能，<math>Y</math> 轴线锁紧。</p> <p>对于 b)：如果可能，<math>X</math> 轴线锁紧。</p>	

<b>检验项目</b> 主轴轴线处于竖直位置，主轴轴线和 $X$ 轴线运动间的垂直度。	G13
<b>简图</b> 	
<b>公差</b> <p style="text-align: center;">0.010/300</p>	
<b>检验工具</b> 平尺、量块、专用支架和线性位移测量仪。	
<b>检验方法</b> 按GB/T17421.1-2023中12.4.1、12.4.4、12.4.7和12.4.8的规定和下列要求进行检验。 如果可能， $Z$ 轴线锁紧。 如果主轴可摆动时，首先要调到零位。 平尺应平行于 $X$ 轴线放置。 应记录角度 $\alpha$ 的值（小于、等于或大于 $90^\circ$ ），用于参考和可能进行的修正。	



<b>检验项目</b> 主轴轴线处于竖直位置，主轴轴线和 $Y$ 轴线运动间的垂直度。	G14
<b>简图</b> 	
<b>公差</b> <div style="text-align: center;">0.010/300</div>	
<b>检验工具</b> 平尺、量块、专用支架和线性位移测量仪。	
<b>检验方法</b> 按 GB/T17421.1-2023 中 12.4.1、12.4.7 和 12.4.8 的规定和下列要求进行检验。 如果可能， $Z$ 轴线锁紧。 如果主轴可摆动时，首先要调到零位。 平尺应平行于 $Y$ 轴线放置。或在测量中应考虑该平行度偏差。 此垂直度误差也能从检验项目 G8 和 G12a) 推出，其相关误差之和不超过这里所示的公差。 应记录角度 $\alpha$ 的值（小于、等于或大于 $90^\circ$ ），用于参考和可能进行的修正。	

<p><b>检验项目</b></p> <p>主轴轴线处于竖直位置，主轴轴线与工作台面的垂直度</p> <p>a) 在 <math>XZ</math> 平面内；</p> <p>b) 在 <math>YZ</math> 平面内。</p>	G15
<p><b>简图</b></p> 	
<p><b>公差</b></p> <p>0.01/0300。</p>	
<p><b>检验工具</b></p> <p>线性位移测量仪和角形表杆。</p>	
<p><b>检验方法</b></p> <p>按 GB/T17421.1-2023 中 12.4.1 和 12.4.8 的规定和下列要求进行检验。</p> <p>将带有线性位移测量仪的角形表杆装在主轴上，并将线性位移测量仪的测头调至平行于回转轴线，并触及工作台面。</p> <p>记录线性位移测量仪在相隔 <math>180^\circ</math> 的两个位置上的读数差值，这个误差要标明检具旋转的直径。</p>	

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/067102046044010005>