

权利要求书

1. 一种自动辅助标定装置，包括标定钢球（1），其特征在于：所述标定钢球（1）的外表面套接有辅助器（3），所述辅助器（3）包括套环（31），所述套环（31）的后表面装配有连接柱（33），所述套环（31）的后端边缘处开设有倒角（32），所述连接柱（33）的外表面套接有标定管（2），所述标定钢球（1）包括定位钢珠（11），所述套环（31）的前表面开设有套槽（34），所述套槽（34）套接在钢珠（11）的外表面，所述定位钢珠（11）的外表面装配有连接杆（12），所述标定管（2）的外侧端装配有机械臂（4）。

2. 一种自动辅助标定装置的标定方法，该方法应用于权利要求 1 中的一种自动辅助标定装置中，其特征在于以下方法：

A. 将标定管（2）安装在机械臂（4）末端法兰外表面；

令法兰坐标系的中心 O_f 的坐标系数值为 $\{X_f, Y_f, Z_f\}$ ，

同理，令机械臂（4）基坐标系的中心 O_r 的坐标系数值为 $\{X_r, Y_r, Z_r\}$ ，

同理，标定管（2）末端的坐标系的中心 O_t 的坐标系数值为 $\{X_t, Y_t, Z_t\}$ ；

B. 在机械臂（4）坐标系中固定一个半径为 r_b 的标定钢球（1），即标定钢球（1）与机械臂（4）需要保持严格的相对固定，同时将标定管（2）安装在机械臂（4）末端法兰的外表面；

C. 将辅助器（3）安装在标定管（2）的内表面，并将辅助器（3）扣在标定钢球（1）外表面，此时以标定管（2）的轴线 O_1 为高线，标定钢球（1）的球心为顶点，生成一顶角为 120° 的圆锥曲面，该圆锥曲面与标定钢球（1）球面的交线即为标定管（2）的运动路线；

D. 将机械臂（4）设置为阻抗模式，并沿着标定管（2）轴线 O_1 朝向钢球的方向施加一定的力，标定管（2）即被扣在钢球表面，此时以标定管（2）轴线 O_1 为 L_1 ，圆锥曲面的母线为 L_2 ；

$$L_1 \text{ 在空间中的位姿数据为 } T_1 = \begin{bmatrix} rL_1 & 0 & 0 & t_1 \\ 0 & rL_1 & 0 & t_2 \\ 0 & 0 & rL_1 & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$L_2 \text{ 在空间中的位姿数据为 } T_2 = \begin{bmatrix} rL_2 & 0 & 0 & t_1 \\ 0 & rL_2 & 0 & t_2 \\ 0 & 0 & rL_2 & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

由于两直线在球心相交，看作位于同一位置，但是方向不同，所以机械臂（4）执行的运动量为 $T_3 = T_2^{-1} * T_1$;

E. 在机械臂（4）的运动轨迹上，每间隔一定的角度采集一次法兰的位姿数据，每 4 个位姿数据为一组，并通过四点法求得 TCP 数据。当两组 TCP 的误差小于容许值后，计算停止，否则重复以上自动运动步骤 A-D。

3. 根据权利要求 2 所述的一种自动辅助标定装置的标定方法，其特征在于：未使用辅助器（3）时，标定管（2）TCP 点的物理位置位于重合于标定管（2）轴线 O_3 。
4. 根据权利要求 2 所述的一种自动辅助标定装置的标定方法，其特征在于：使用了辅助器（3）时，标定管（2）TCP 点的物理位置位于重合于标定管（2）轴线 O_3 。
5. 根据权利要求 4 所述的一种自动辅助标定装置的标定方法，其特征在于：所述辅助器（3）安装在标定管（2）前端后将辅助器（3）上的球面的球心作为工具中心点。
6. 根据权利要求 5 所述的一种自动辅助标定装置的标定方法，其特征在于：所述辅助器（3）的内壁截面为圆形。
7. 根据权利要求 4-6 中任一项所述的一种自动辅助标定装置的标定方法，其特征在于：所述辅助器（3）被配置为使用凹球面与同尺寸的标定钢球（1）配合以帮助工具确定一个不在工具表面的点作为工具中心。
8. 根据权利要求 3 或 4 所述的一种自动辅助标定装置的标定方法，其特征在于：标定管（2）的顶面 A_3 与内壁相交的部分为标准圆，标准圆扣在球面上可以保证经过圆心，向圆所在平面的法向延伸的直线，必定通过标定钢球（1）球心，且球心与圆心距离不变。
9. 根据权利要求 8 所述的一种自动辅助标定装置的标定方法，其特征在于：所述标定管（2）为直筒类的标定管（2）。
10. 根据权利要求 9 所述的一种自动辅助标定装置的标定方法，其特征在于：将通过辅助器（3）扣在标定钢球球面的标定管（2）和标定钢球（1）看作一个整体，命名为工具，所述辅助器（3）安装在套筒前端后将辅助器（3）上的球面的球心作为工具中心点。
11. 根据权利要求 10 所述的一种自动辅助标定装置的标定方法，其特征在于：工具 TCP 点的物理位置与标定管（2）的轴线 O_3 相重合，距离标定管（2）顶面 A_3 存在一定偏移，偏移

方向为远离工具的方向。

12. 根据权利要求 11 所述的一种自动辅助标定装置的标定方法, 其特征在于: 工具 TCP 点物理位置距离标定管 (2) 顶面 A_1 的偏移距离为 $\sqrt{r_b^2 - r_s^2}$, 位于远离标定管 (2) 的一侧, r_s 为套筒内壁的半径。

13. 根据权利要求 11 所述的一种自动辅助标定装置的标定方法, 其特征在于: 工具 TCP 点距离标定管 (2) 顶面 A_1 的偏移距离, 由辅助标定工具尺寸 L_a 决定, L_a 为标定管 (2) 装上辅助器 (3) 后标定管 (2) 顶面 A_1 距离辅助装置凹球面球心的距离。

14. 根据权利要求 2-13 中任一项所述的一种自动辅助标定装置的标定方法, 其特征在于: 在使用时, 所述机械臂 (4) 在所述标定管 (2) 的轴向方向施加适当大小的力, 并设此方向为 Z 轴方向; 同时, 将所述机械臂 (4) 设置为阻抗模式, 此时各方向的转动和平移阻尼减小, 使其可以较为自由地运动; 接下来根据提前设定好的轨迹开始在球面上进行相对运动; 此时可以将通过辅助工具扣在所述标定钢球 (1) 球面的标定管 (2) 和钢球看作一个整体, 也就是一个新的工具, 那所述标定管 (2) 绕钢球表面的相对转动也可以看作新工具的定点运动, 其中相对运动为绕 X, Y 轴方向的转动, 并且将平移量设置为 0; 此时, 由于存在沿所述标定管 (2) 的力, 所述机械臂 (4) 阻尼较小, 并且在辅助工具的帮助下, 所述标定管 (2) 不容易脱落, 所以所述标定管 (2) 在不需要位姿数据的情况下开始做绕球面的自动运动, 并实时采集位姿数据, 采用四点法解算 TCP 数据。

15. 根据权利要求 14 所述的一种自动辅助标定装置的标定方法, 其特征在于: 当多个 TCP 数据之间的差值小于允许误差时, 运动停止, 输出计算结果。