

# 机器人腕部结构

- 腕部是臂部和手部的连接件，起支承手部和改变手部姿态的作用。

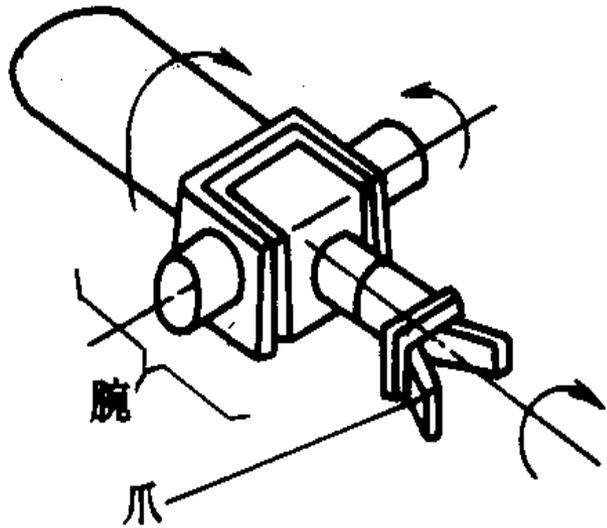
**(1) 作用：**调整或改变工件的姿态（方位），因而它有独立的自由度，已使机器人手部适应复杂的动作要求。

**(2) 自由度：**一般需要三个自由度

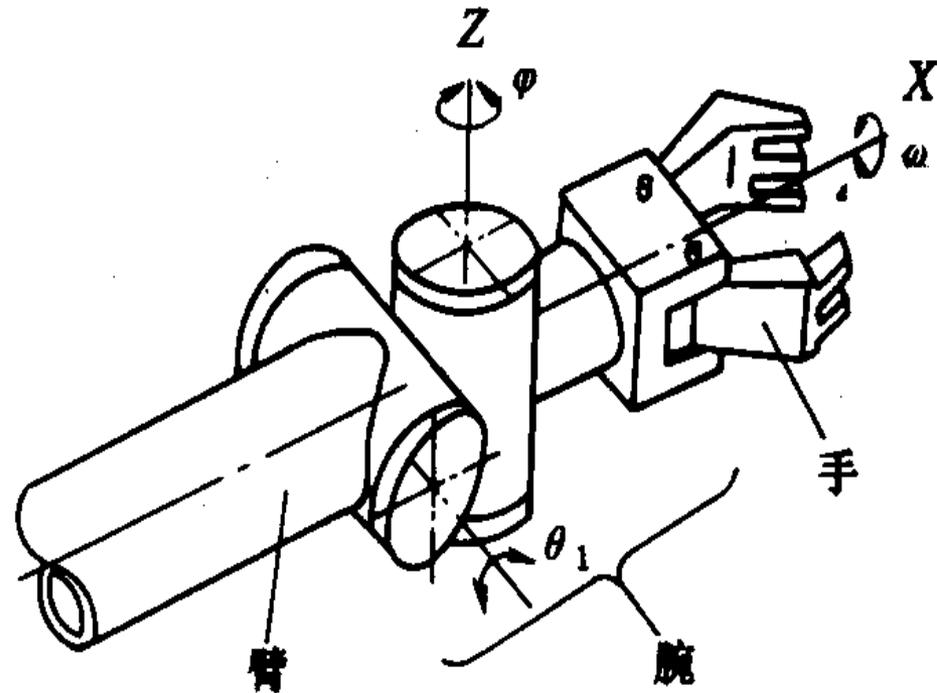
要确定手部的作业方向，一般需要三个自由度，这三个回转方向为：

- 1 ) 臂转 绕小臂轴线方向的旋转。
- 2 ) 手转 使手部绕自身的轴线方向旋转。
- 3 ) 腕摆 使手部相对于臂进行摆动

手腕结构多为上述三个回转方式的组合，组合的方式可以有多种形式，常用的手腕组合的方式

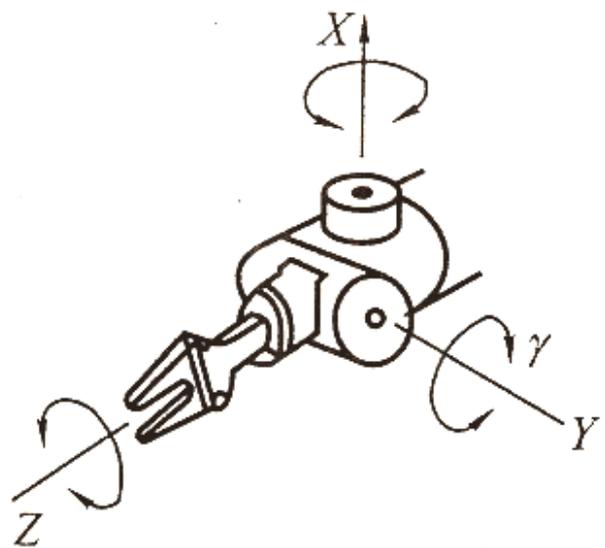


臂转、腕摆、手转结构  
结构

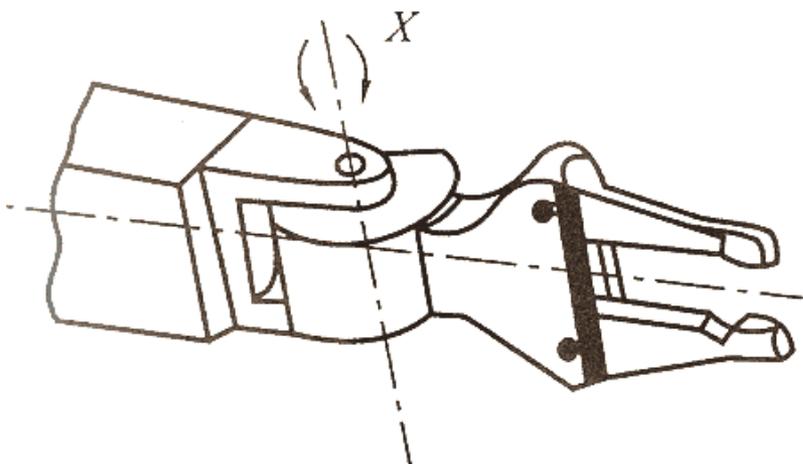


臂转、双腕摆、手转

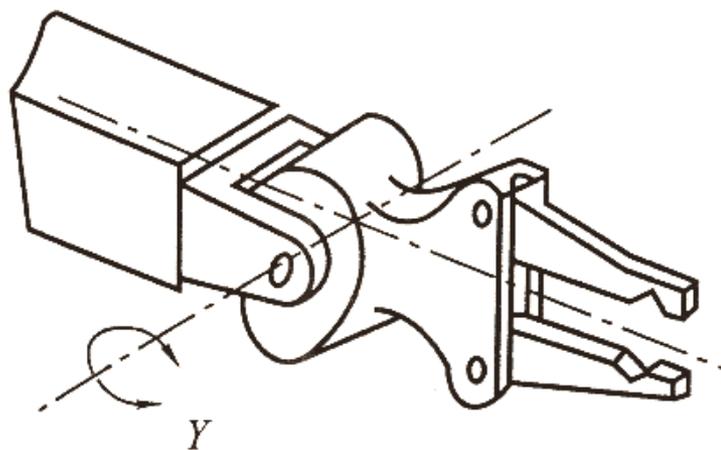
腕部实际所需要的自由度数目应根据机器人的工作性能要求来确定。在有些情况下，腕部具有两个自由度：翻转和俯仰或翻转和偏转。一些专用机械手甚至没有腕部，但有的腕部为了特殊要求还有横向移动自由度。



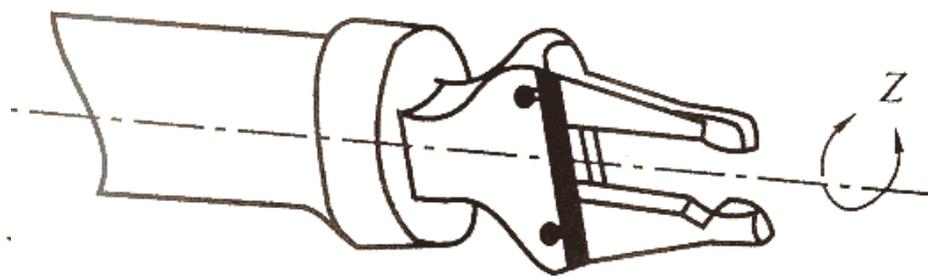
腕部坐标系



手腕的偏转



手腕的俯仰



手腕的回转

## 二、手腕的设计要求

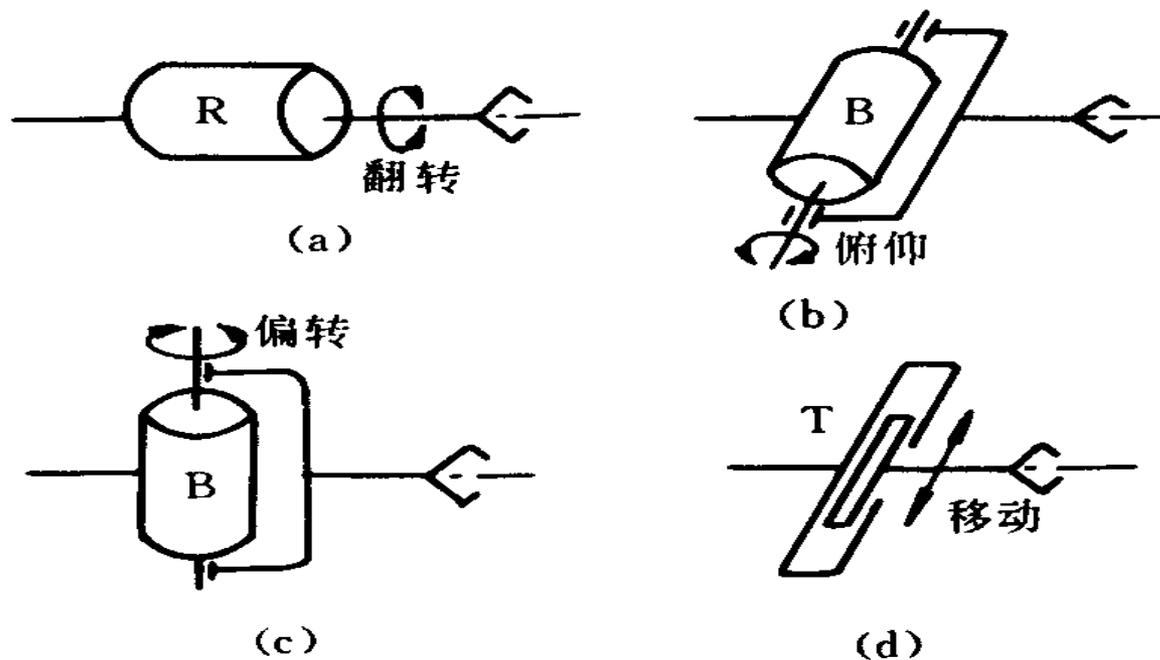
- 结构紧凑、重量轻；
- 动作灵活、平稳，定位精度高；
- 强度、刚度高；
- 与臂部及手部的连接部位的合理连接结构，传感器和驱动装置的合理布局及安装等。

# 手腕的分类

1 ) 按自由度数目来分类:

- 单自由度手腕
- 二自由度手腕
- 三自由度手腕

# (1) 单自由度手腕

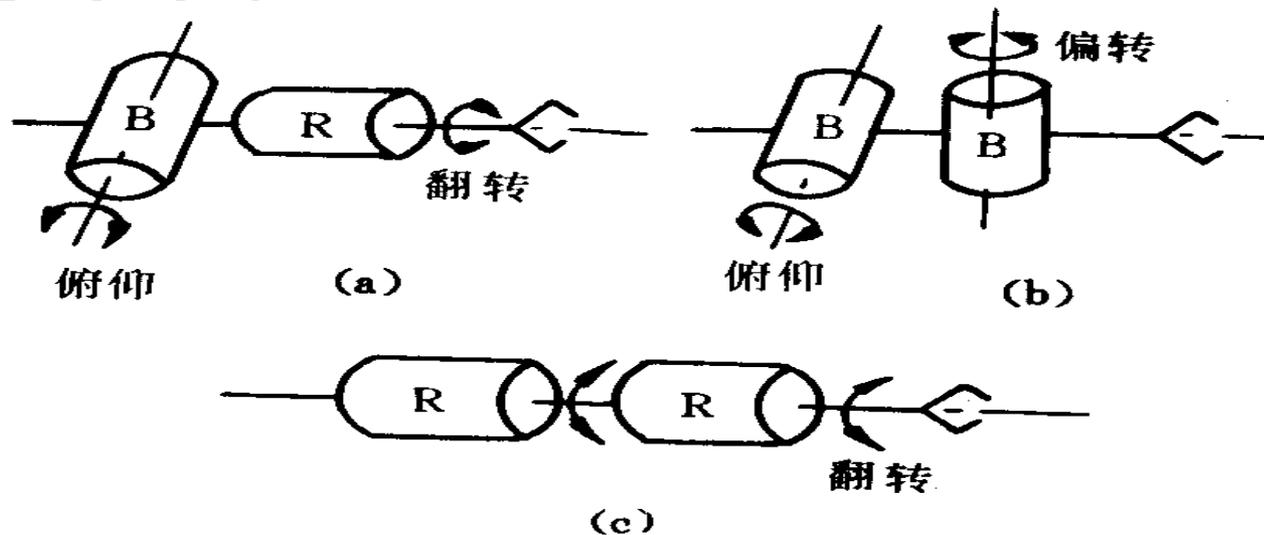


## 单自由度手腕

(a) R 手腕； (b)、(c) B 手腕； (d) T 手腕

## (2) 二自由度手腕

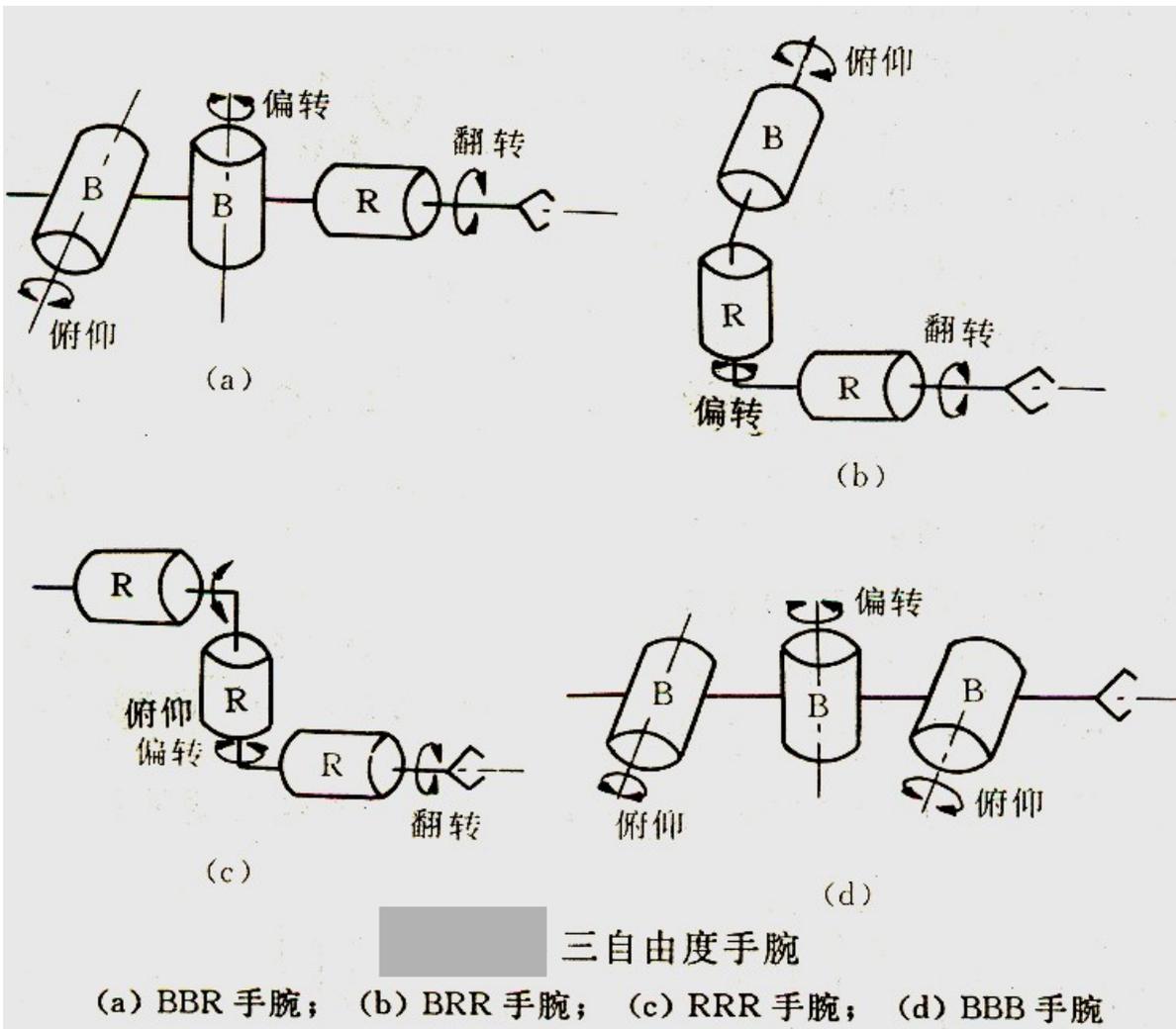
如下图：二自由度手腕可以由一个 R 关节和一个 B 关节组成 **BR** 手腕 [(a)]；也可以由两个 B 关节组成 **BB** 手腕 [(b)]。但是，不能由两个 R 关节组成 **RR** 手腕，因为两个 R 关节共轴线，所以退化了一个自由度，实际只构成了单自由度手腕



( ) 二自由度手腕

(a) BR 手腕； (b) BB 手腕； (c) RR 手腕

### (3) 三自由度手腕



如左图所示。三自由度手腕可以由 B 关节和 R 关节组成许多种形式。此外，**B 关节和 R 关节排列的次序不同，也会产生不同的效果，也产生了其它形式的三自由度手腕。**为了使手腕结构紧凑，通常把两个 B 关节安装在一个十字接头上，这对于 BBR 手腕来说大大减小了手腕纵向尺寸。

## 2) 柔顺手腕结构

在用机器人进行的精密装配作业中，当被装配零件之间的配合精度相当高，由于被装配零件的不一致性，工件的定位夹具、机器人手爪的定位精度无法满足装配要求时，会导致装配困难，因而，需要柔顺性装配。

柔顺性装配技术有两种。一种是从检测、控制的角度，采取各种不同的搜索方法，实现边校正边装配；有的手爪还配有检测元件，如视觉传感器、力传感器等，这就是所谓主动柔顺装配。另一种是从结构的角度，在手腕部配置一个柔顺环节，以满足柔顺装配的需要，这种柔顺装配技术称为被动柔顺装配。

# 柔顺手腕

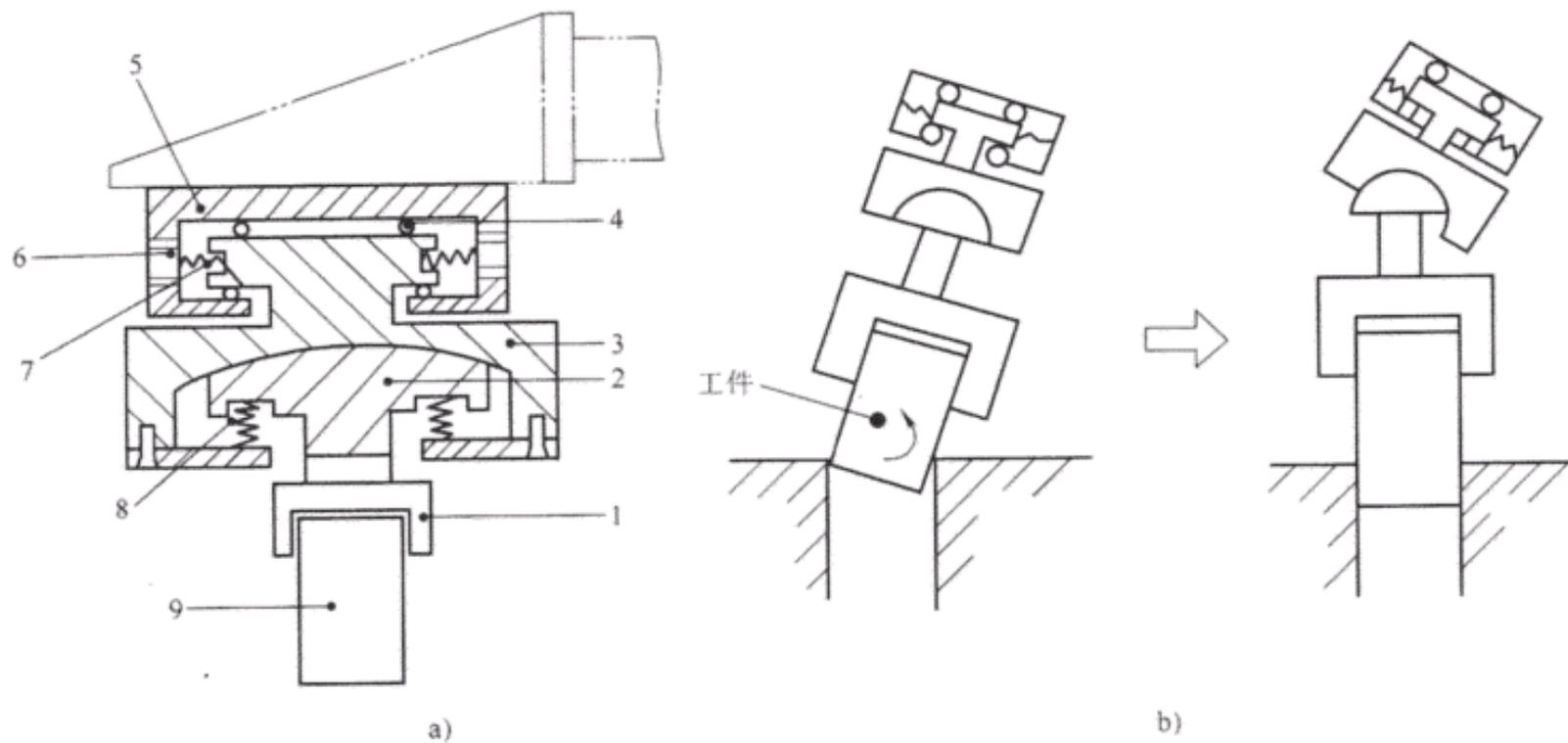


图 2-12 柔顺手腕

a) 柔顺手腕结构 b) 柔顺手腕动作过程

1—机械手 2—下部浮动件 3—上部浮动件 4—钢珠 5—中空固定件 6—螺丝 7、8—弹簧 9—工件



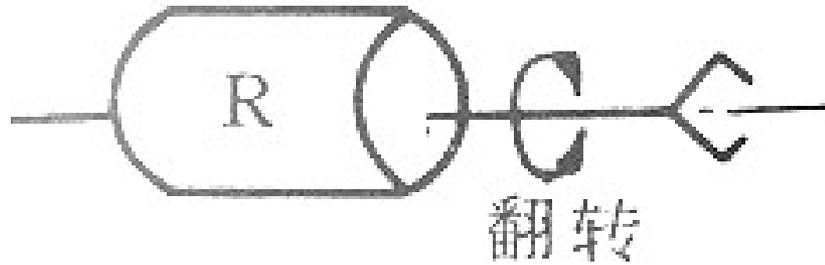
# 1. 按自由度的数目分（1）：

- 单自由度手腕：

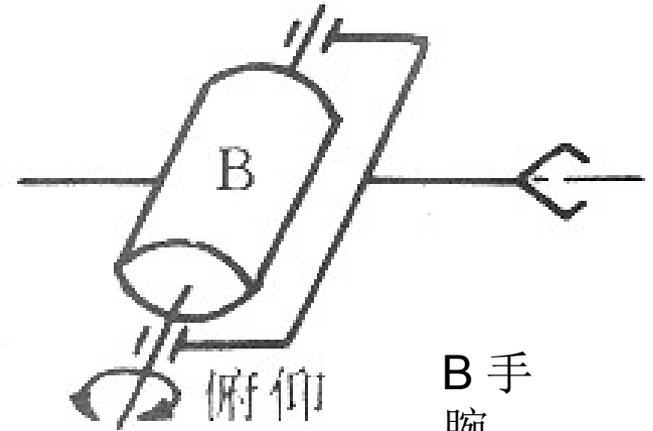
- 手腕在空间可具有三个自由度，也可以具备以下单一功能：

- 单一的翻转功能：手腕的关节轴线与手臂的纵轴线共线，常回转角度不受结构限制，可以回转  $360^\circ$  以上。该运动用翻转关节（R 关节）实现。
    - 单一的俯仰功能：手腕关节轴线与手臂及手的轴线相互垂直，转角度受结构限制，通常小于  $360^\circ$ 。该运动用折曲关节（B 关节）实现。
    - 单一的偏转功能：手腕关节轴线与手臂及手的轴线在另一个方向上相互垂直；转角度受结构限制，通常小于  $360^\circ$ 。该运动用折曲关节（B 关节）实现。

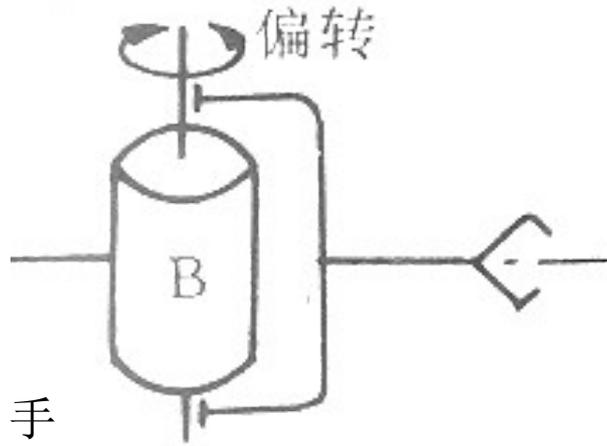
# 单自由度手腕图例：



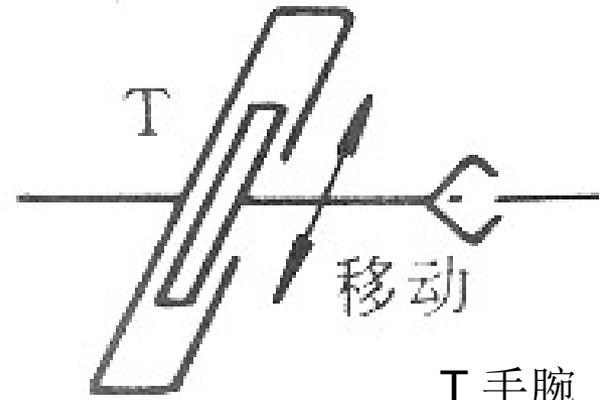
R 手腕



B 手腕



B 手腕



T 手腕

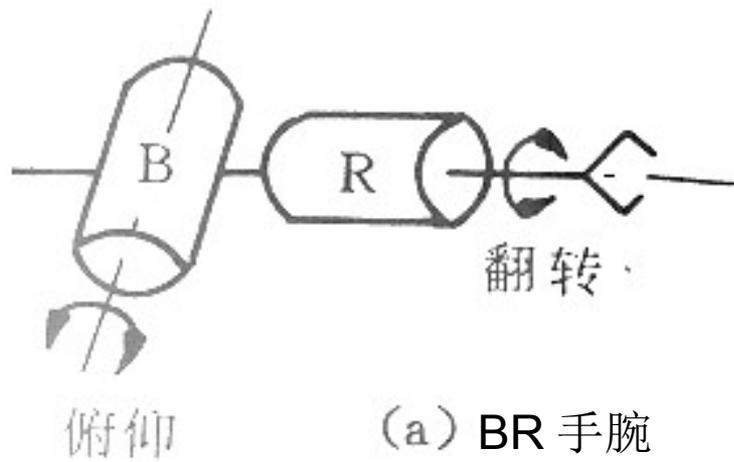


# 1. 按自由度的数目分（2）：

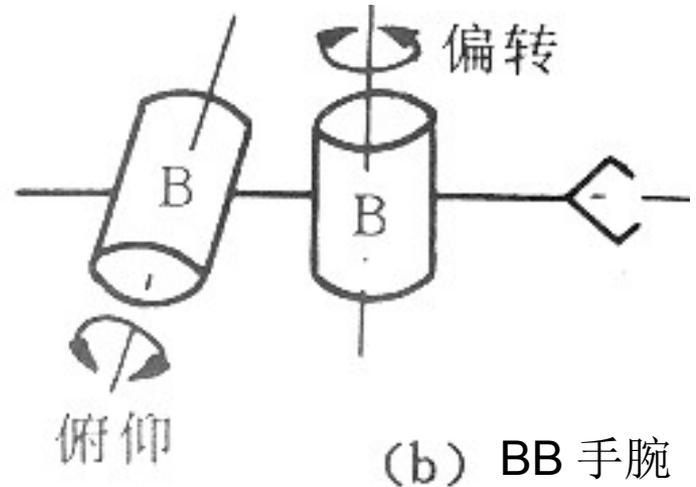
- 二自由度手腕：

- 可以由一个 R 关节和一个 B 关节联合构成 BR 关节实现，或由两个 B 关节组成 BB 关节实现，但不能由两个 RR 关节构成二自由度手腕，因为两个 R 关节的功能是重复的，实际上只起到单自由度的作用。

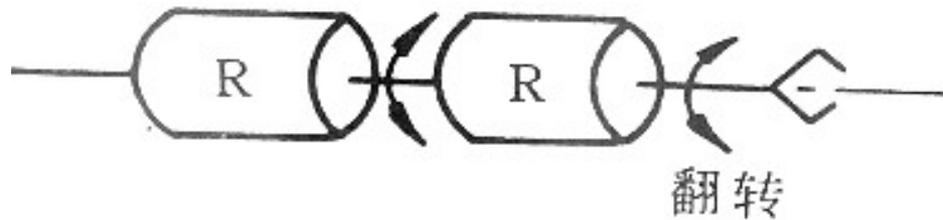
# 二自由度手腕图例：



(a) BR 手腕



(b) BB 手腕



(c) RR 手腕 (属于单自由度)

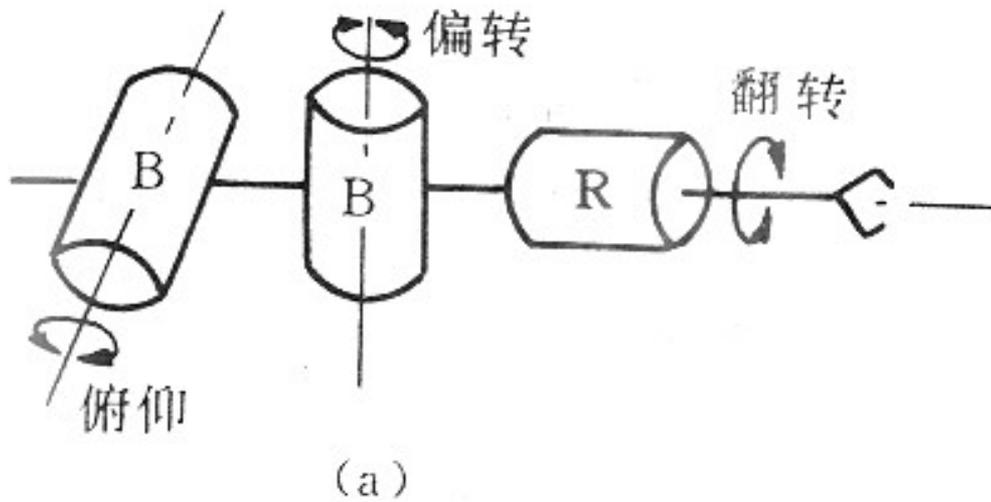


# 1. 按自由度的数目分（3）：

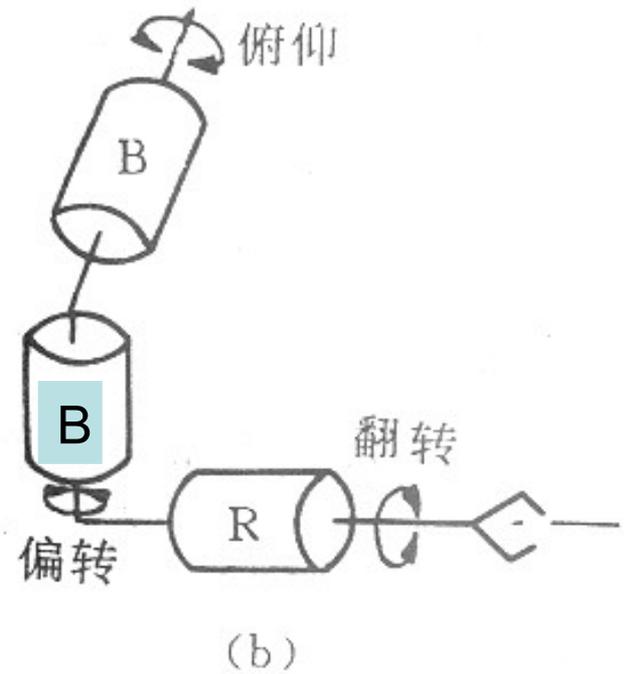
- 三自由度手腕：

- 有 R 关节和 B 关节的组合构成的三自由度手腕可以有多种型式，实现翻转、俯仰和偏转功能。

# 三自由度手腕图例：



BBR 手腕



BBR 手腕



## 2. 按手腕的驱动方式分:

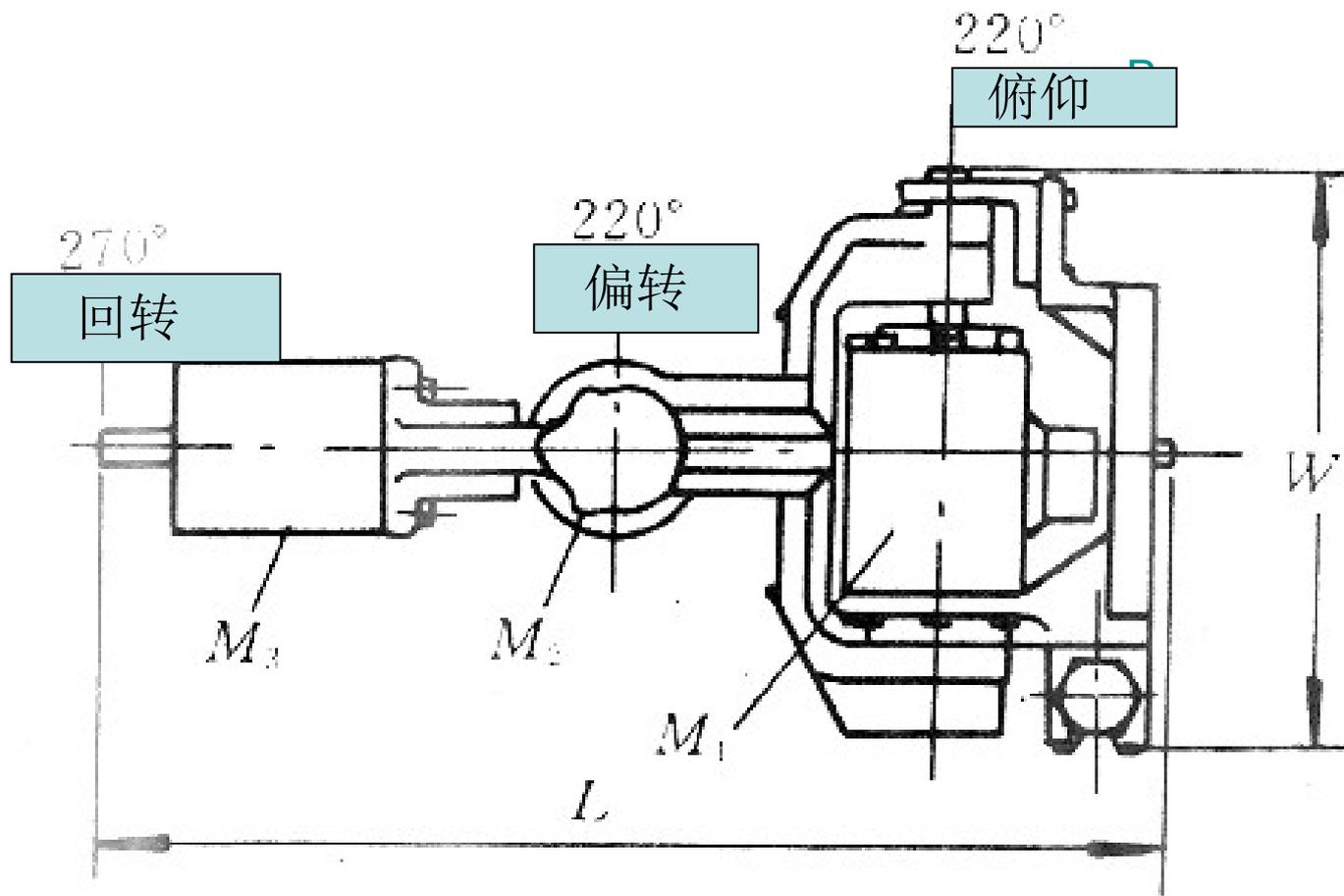
- 直接驱动手腕:

- 驱动源直接装在水腕上。这种直接驱动手腕的关键是能否设计和加工出尺寸小、重量轻而驱动扭矩大、驱动性能好的驱动电机或液压马达。

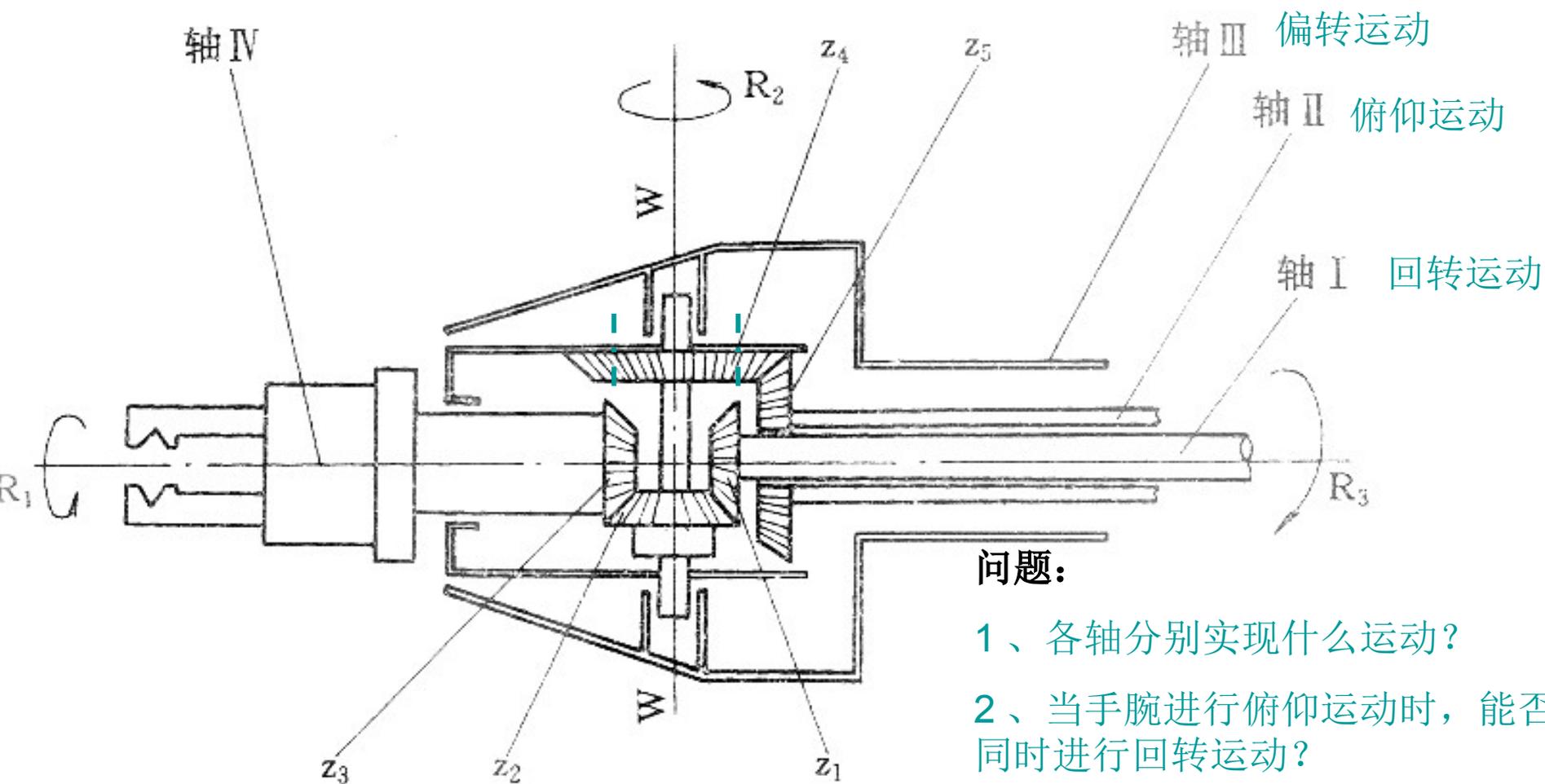
- 远距离传动手腕:

- 有时为了保证具有足够大的驱动力，驱动装置又不能做得足够小，同时也为了减轻手腕的重量，采用远距离的驱动方式，可以实现三个自由度的运动。

# 液压直接驱动 BBR 手腕图例：



# 远距离传动手腕图例：

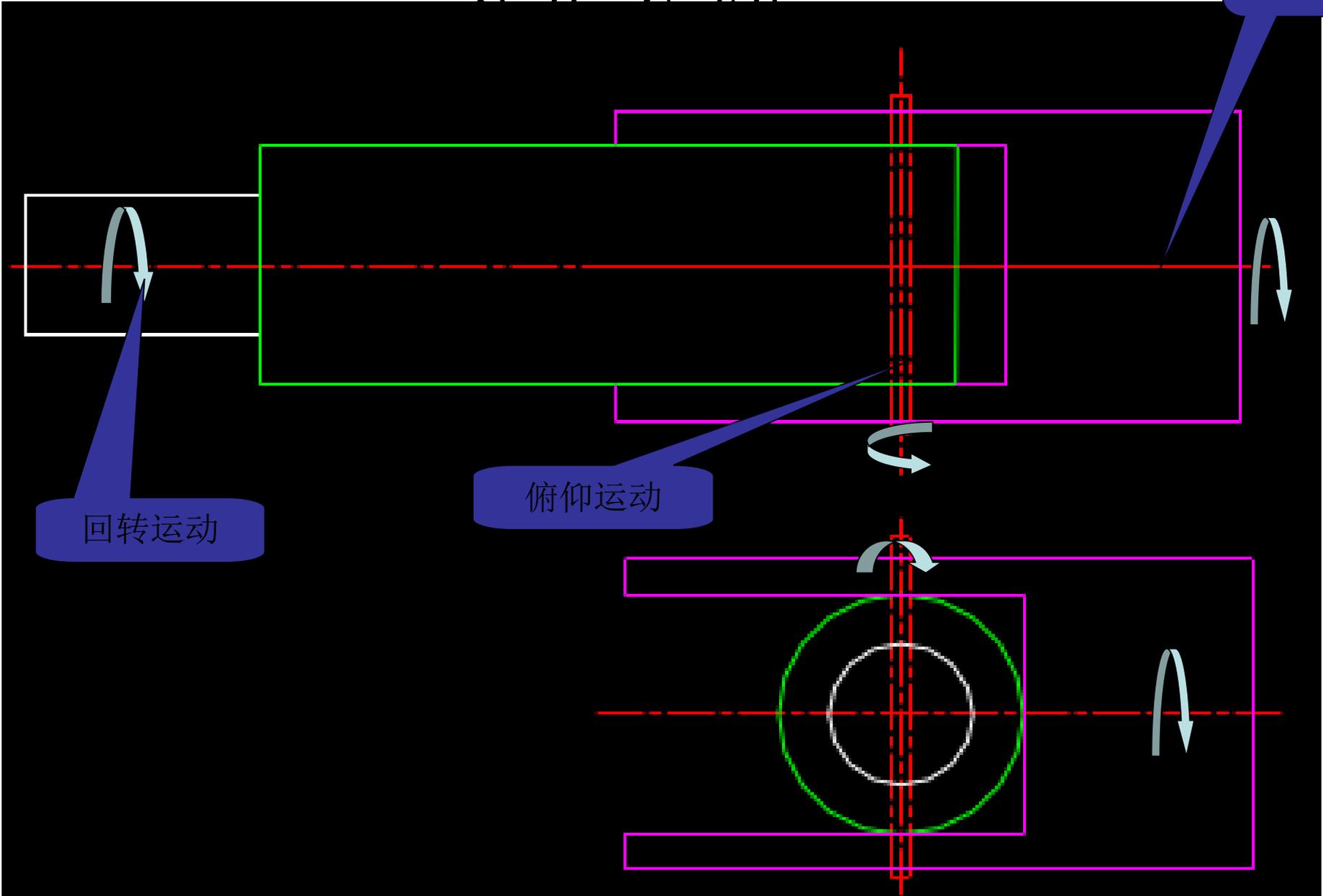


偏转运动

回转运动

俯仰运动

回转运动



## 四、典型结构

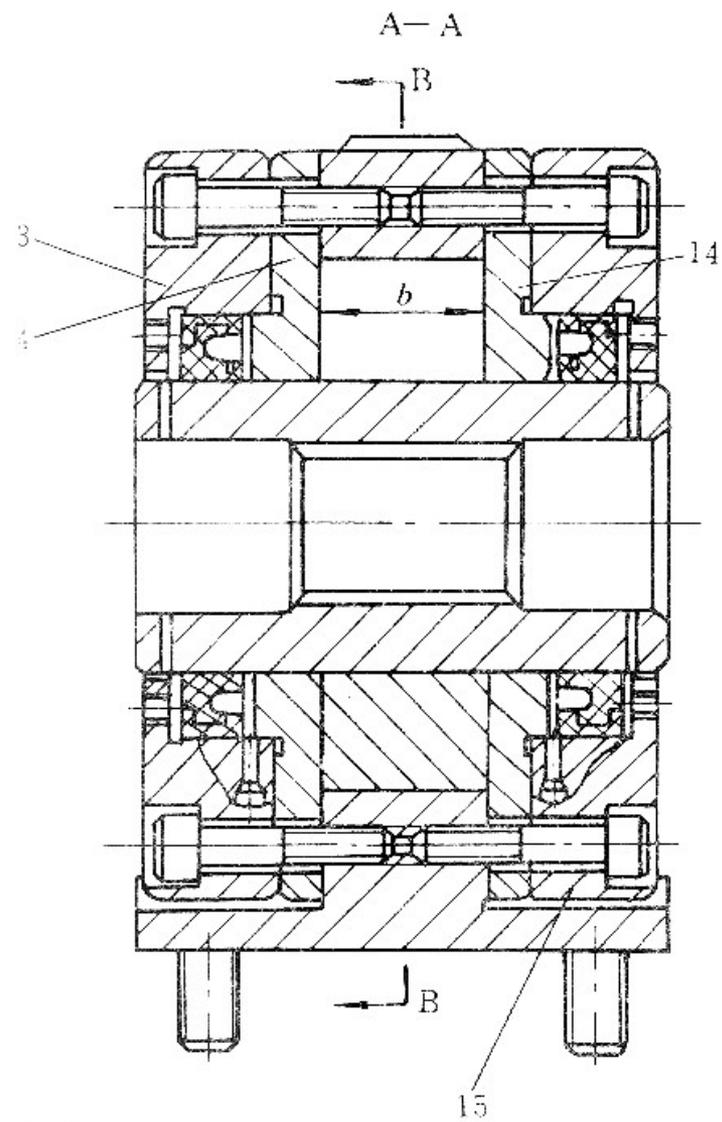
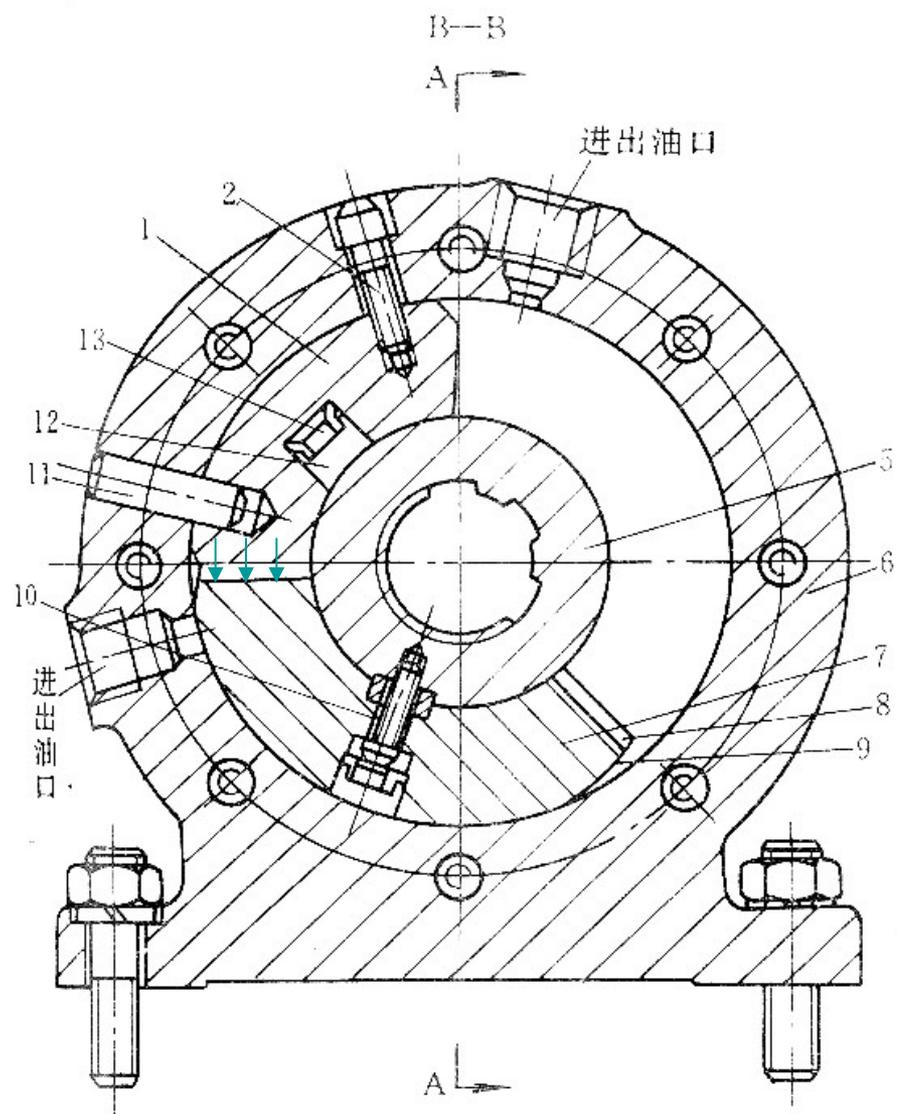
# 1. 摆动液压缸（又称回转液压缸）：

- 结构：

- 由缸体、隔板、叶片、花键套等主要部件构成。其中叶片 7 固定在转子上，用花键将转子与驱动轴连接，用螺栓 2 将隔板与缸体连接。

- 工作原理：

- 在密封的缸体内，隔板与活动叶片之间围成两个油腔，相当油缸中的无杆腔和有杆腔。液压力作用在活动叶片的端面上，对传动轴中心产生力矩使被驱动轴转动。摆动缸转角在  $270^\circ$  左右。



## 2. 单自由度回转运动手腕：

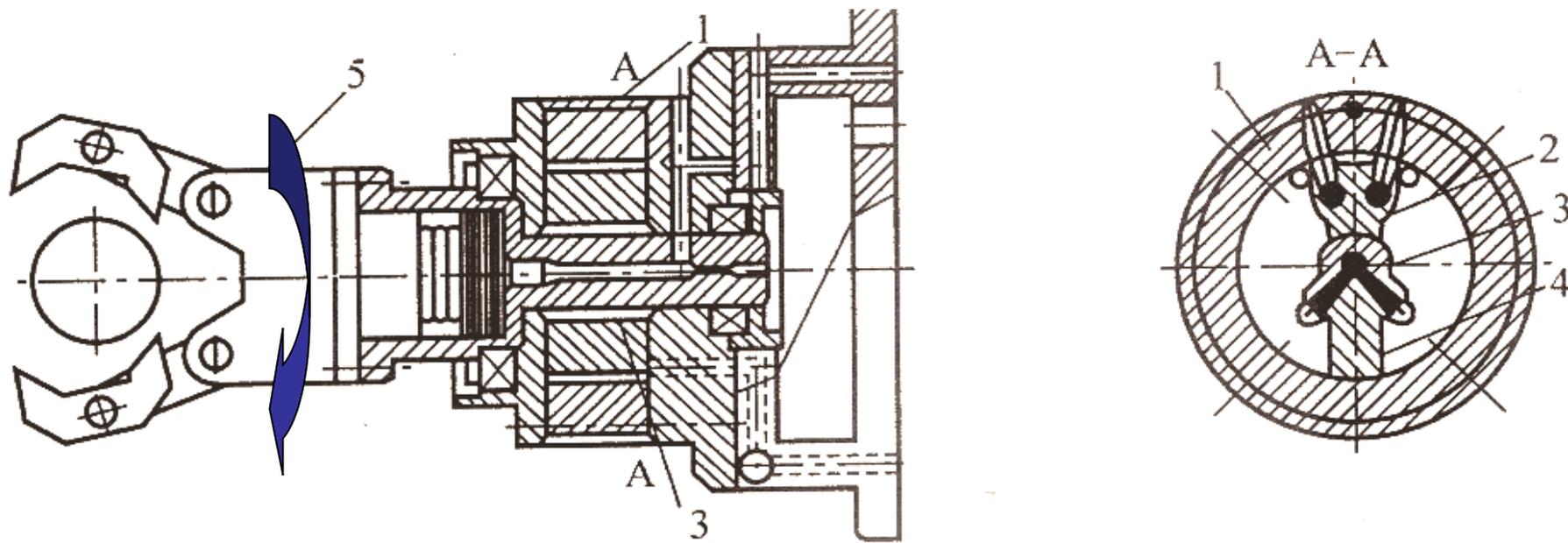
- 结构特点：

- 机器人手部的张合是由汽缸驱动的，而手腕的回转运动则由回转液压缸实现。

- 工作原理：

- 将夹紧汽缸的外壳与摆动油缸的动片连接在一起，当摆动液压缸中不同的油腔中进油时，即可实现手腕不同方向的摆动。

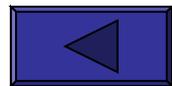
# 单回转油缸驱动手腕图例：



1—回转缸；2—定片；3—腕回转轴；4—动片；5—手部

问题：

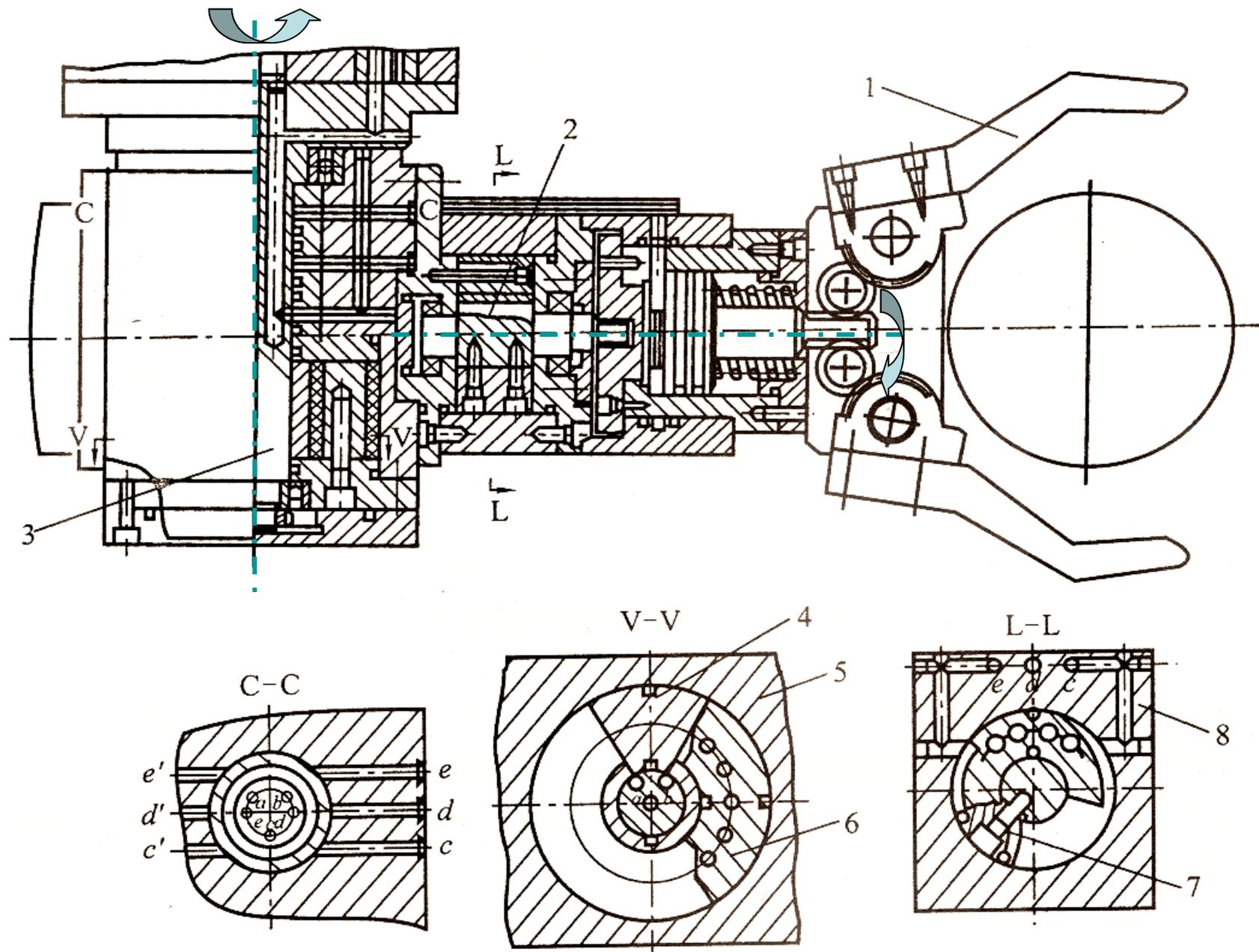
手部转轴是与油缸的什么部件相联？



### 3 . 双回转油缸驱动手腕 :

- 结构特点:

- 采用双回转油缸驱动，一个带动手腕作俯仰运动，另一个油缸带动手腕作回转运动。
- V-V 视图表示的回转缸中动片带动回转油缸的刚体，定片与固定中心轴联结实现俯仰运动； L-L 视图表示回转缸中动片与回转中心轴联结，定片与油缸缸体联结实现回转运动。



1—手部；2—中心轴；3—固定中心轴；4—定片；5—摆动回转缸；6—动片；7—回转轴；8—回转缸

# 3. 轮系驱动的二自由度 BR 手腕

:

- 结构特点:

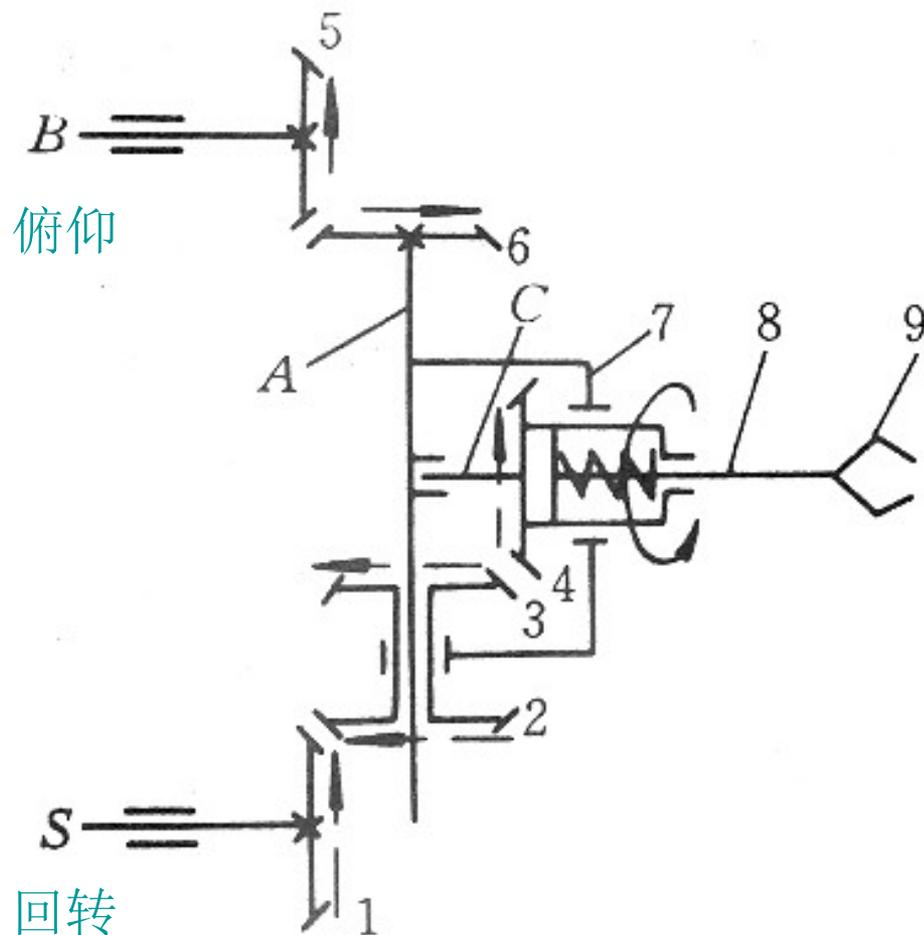
- 由轮系驱动可实现手腕回转和俯仰运动，其中手腕的回转运动由传动轴 S 传递，手腕的俯仰运动由传动轴 B 传递。

# 轮系驱动二自由度手腕图例（1）

:

- 回转运动:

轴 S 旋转 → 锥  
齿轮副  $Z_1$ 、 $Z_2$  →  
锥齿轮副  $Z_3$ 、 $Z_4$  →  
手腕与锥齿轮  $Z_4$  为  
一体 → 手腕实现绕  
C 轴的旋转运动

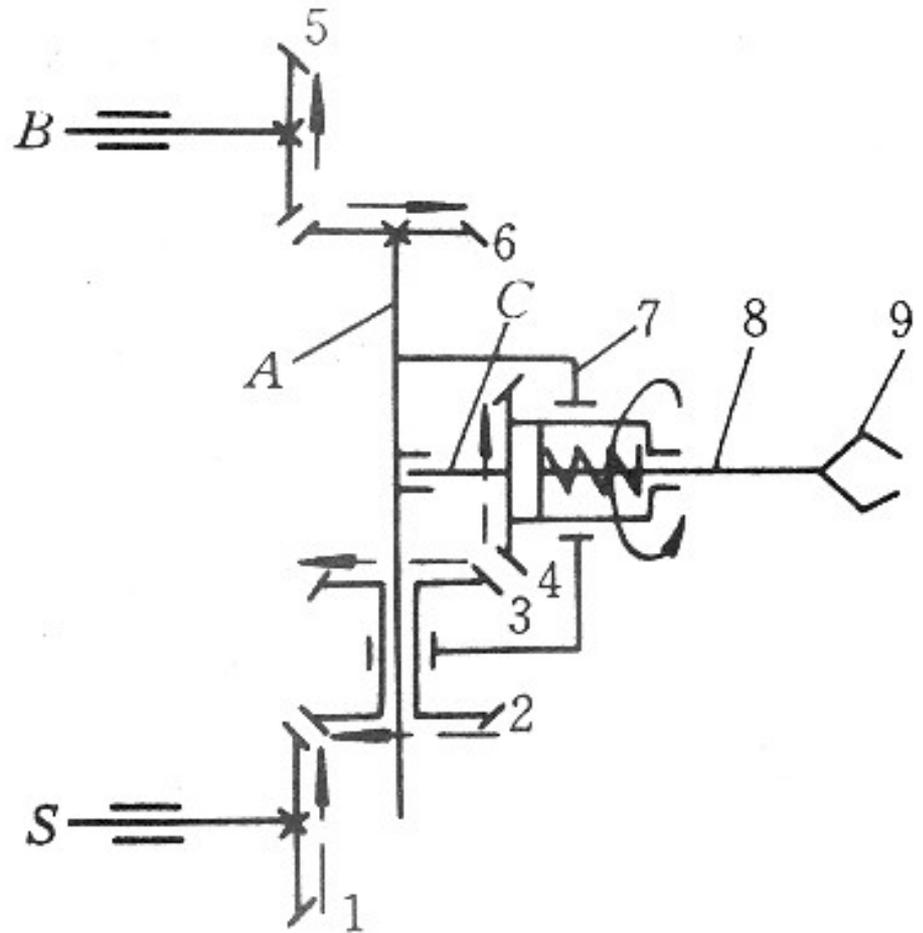


# 轮系驱动二自由度手腕图例（2）

:

- 俯仰运动:

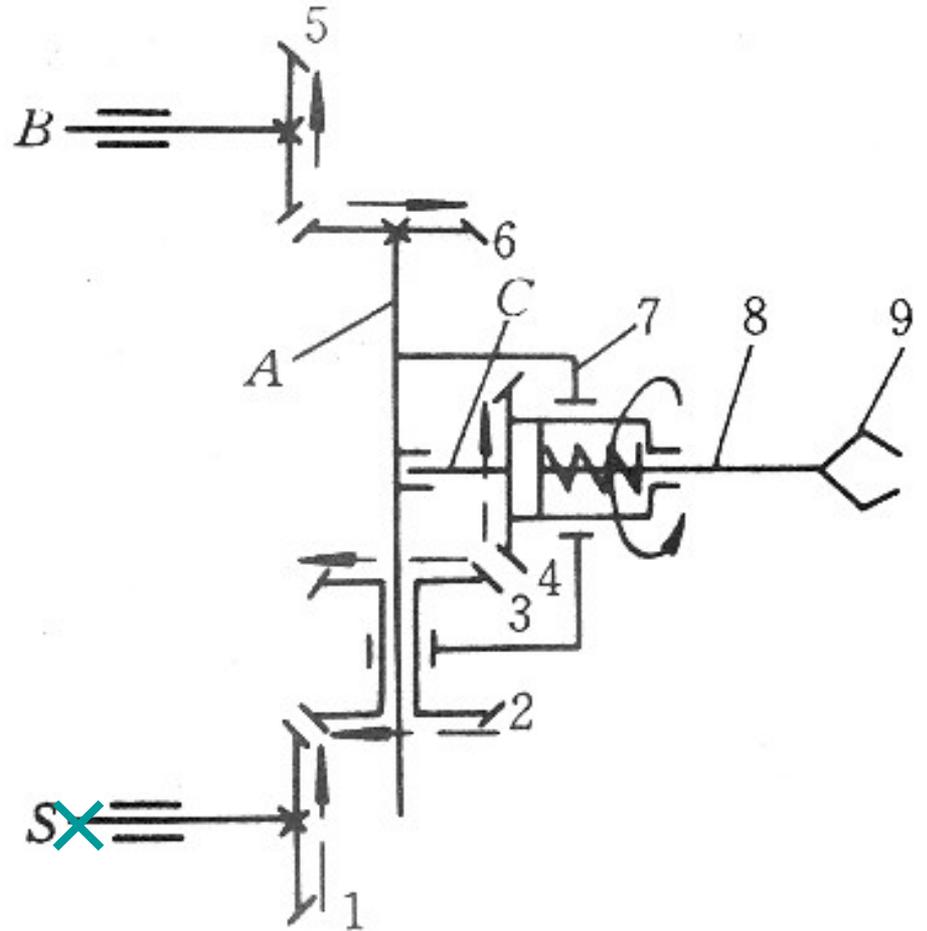
轴 **B** 旋转 → 锥齿轮副  $Z_5$ 、 $Z_6$  → 轴 **A** 旋转 → 手腕壳体 **7** 与轴 **A** 固联 → 手腕实现绕 **A** 轴的俯仰运动



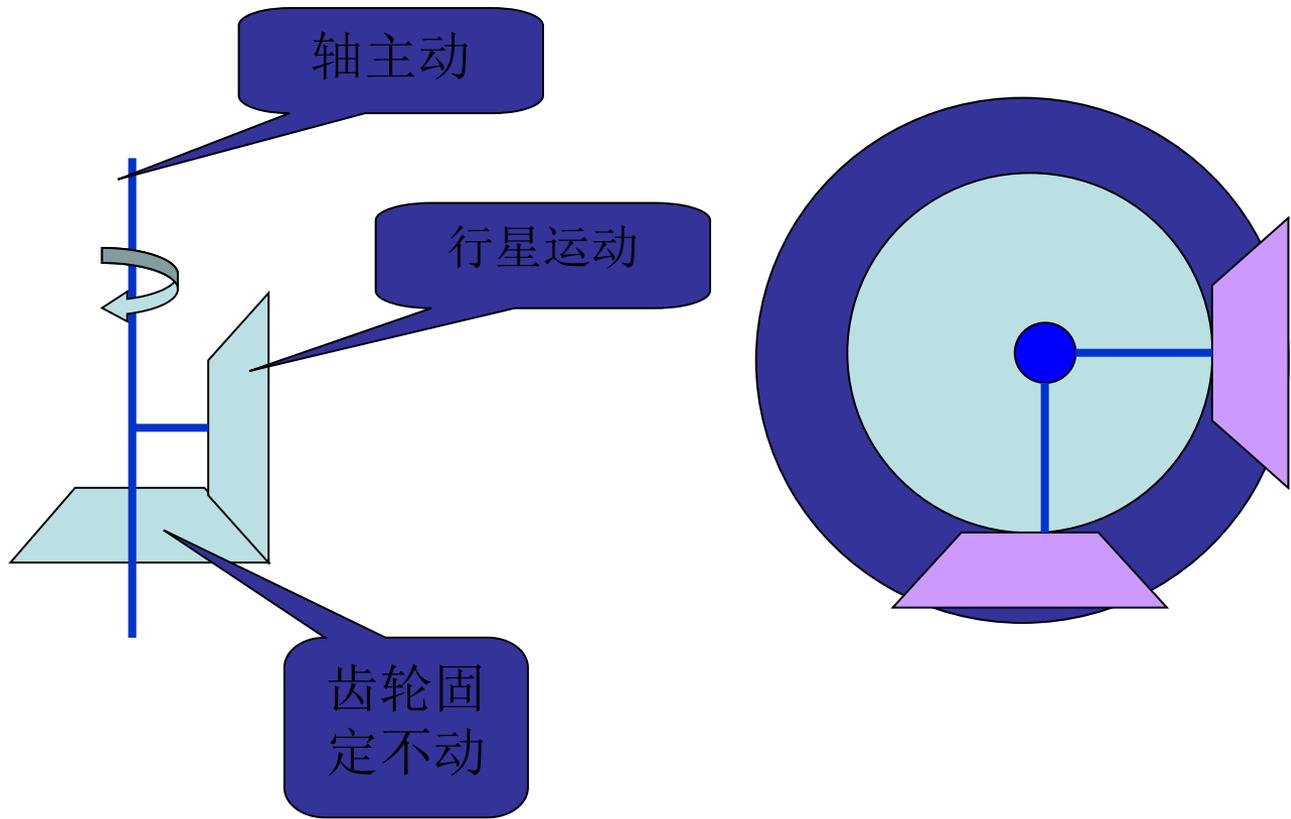
# 轮系驱动二自由度手腕图例（3）

:

- 附加回转运动：  
轴 **S** 不转而 **B** 轴回转  
→ 锥齿轮  $Z_3$  不转 → 锥齿轮  $Z_3$ 、 $Z_4$  相啮合 → 迫使  $Z_4$  绕 **C** 轴线有一个附加的自转，即为附加回转运动。
- 附加回转运动在实际使用时应予以考虑。必要时应加以利用或补偿。



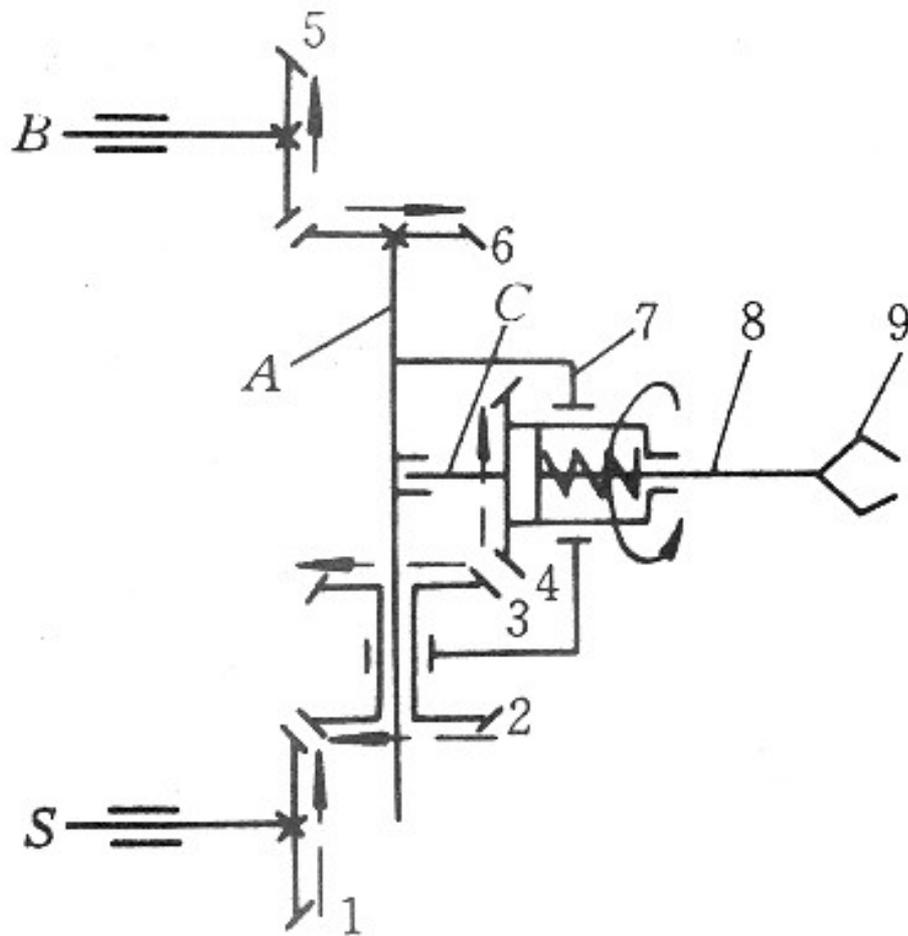
# 附加运动动作分解：



# 轮系驱动二自由度手腕图例（4）：

## • 思考题：

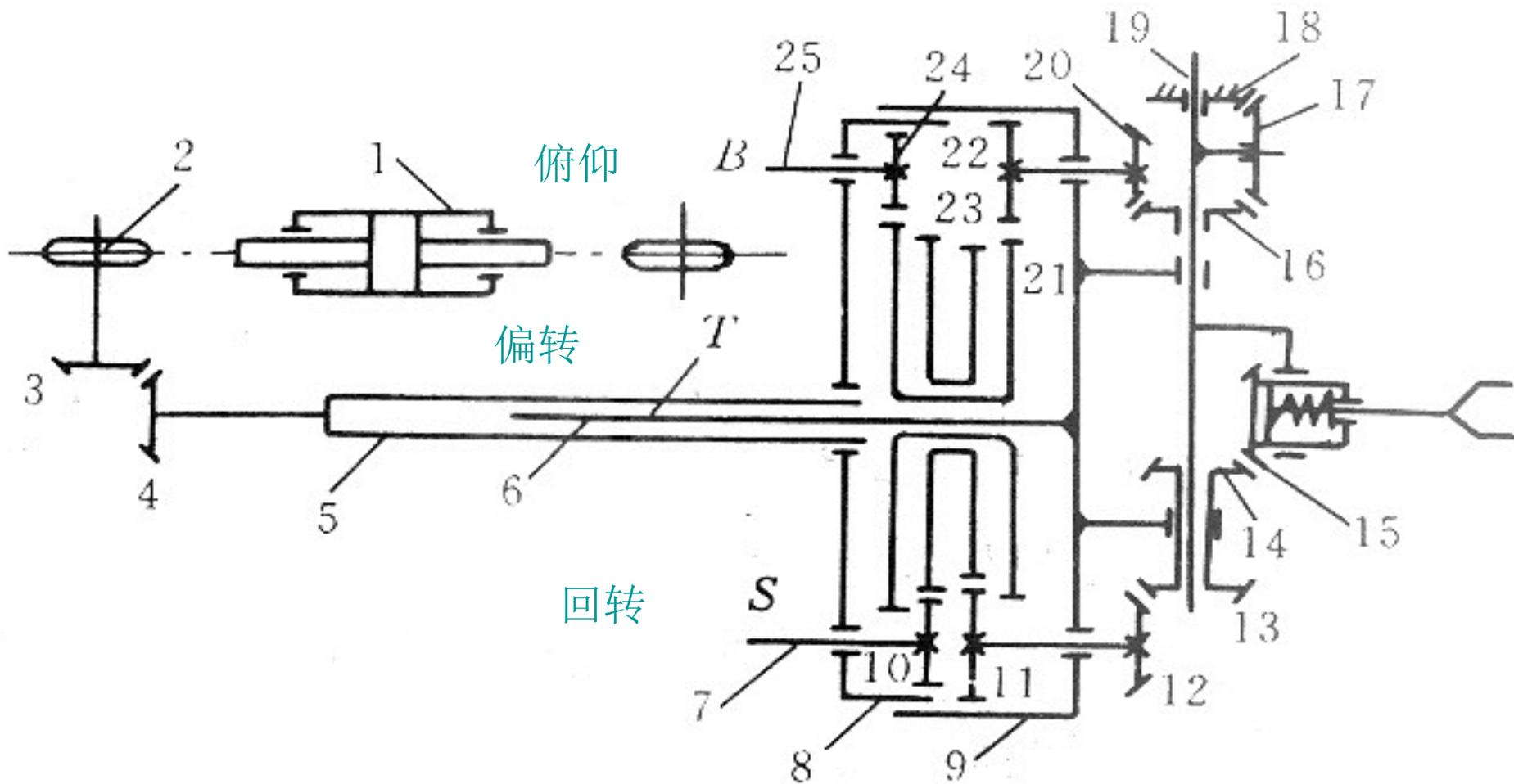
图中所示的情况，当 S 轴不输入，只有 B 轴输入时，腕部存在哪些运动，为什么？



## 4. 轮系驱动的自由度手腕:

- 结构特点:

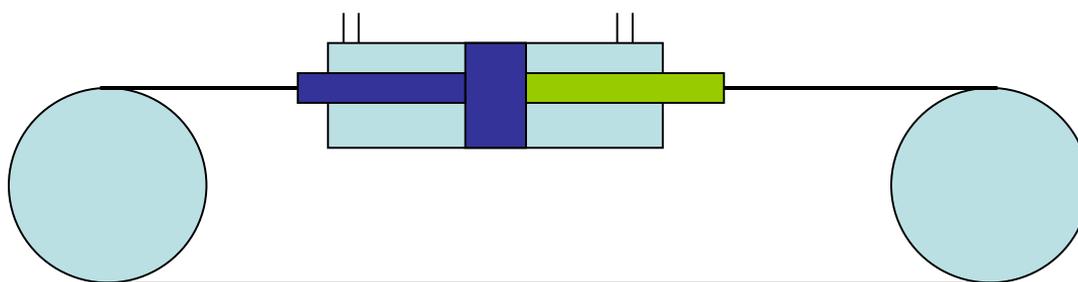
- 该机构为由齿轮、链轮传动实现的偏转、俯仰和回转三个自由度运动的手腕结构。

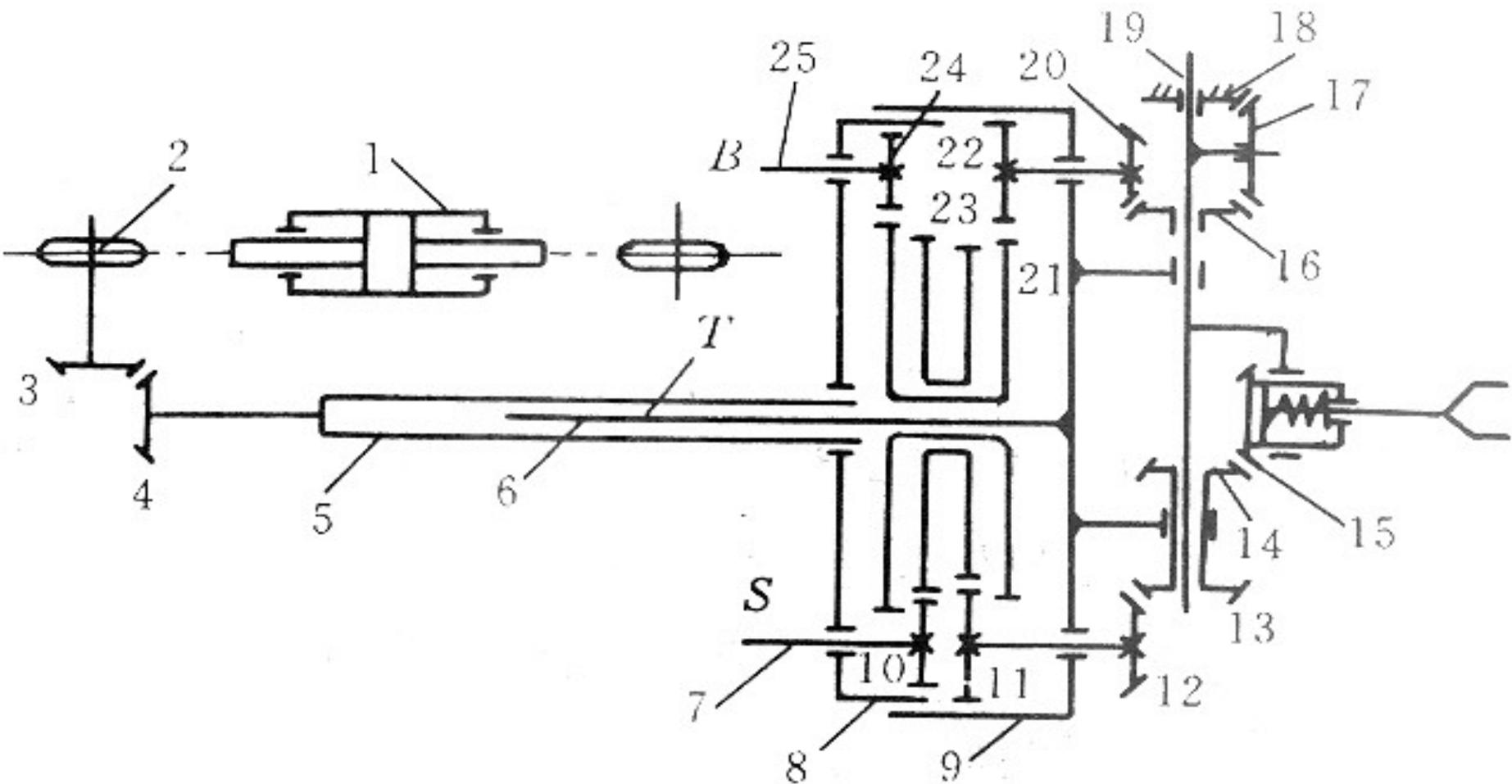


## • 回转运动:

- 轴  $S$  旋转  $\rightarrow$  齿轮副  $Z_{10}/Z_{23}$ 、 $Z_{23}/Z_{11}$   $\rightarrow$  锥齿轮副  $Z_{12}$ 、 $Z_{13}$   $\rightarrow$  锥齿轮副  $Z_{14}$ 、 $Z_{15}$   $\rightarrow$  手腕与锥齿轮  $Z_{15}$  为一体  $\rightarrow$  手腕实现旋转运动

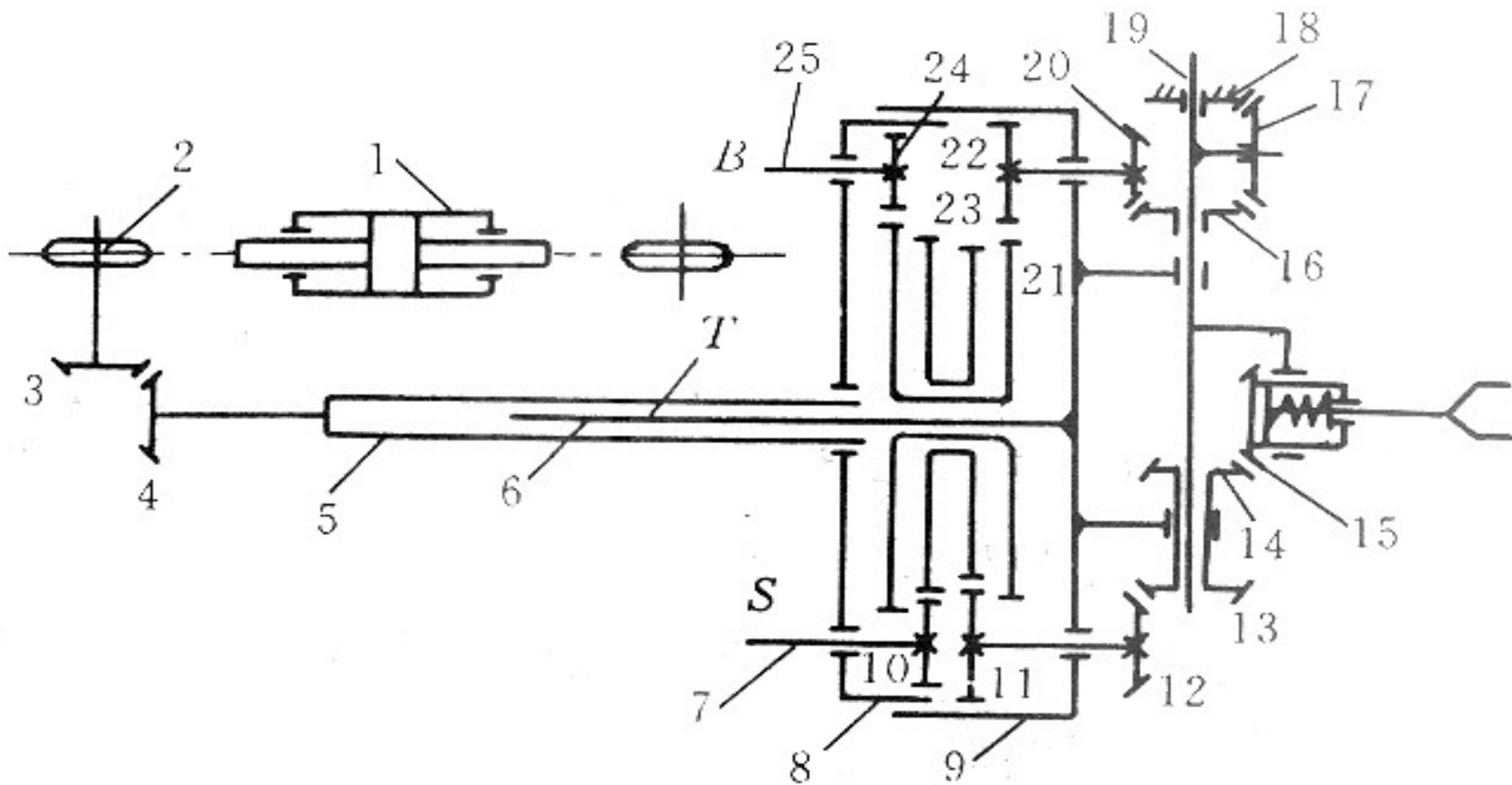
# 直线运动转化为旋转运动：





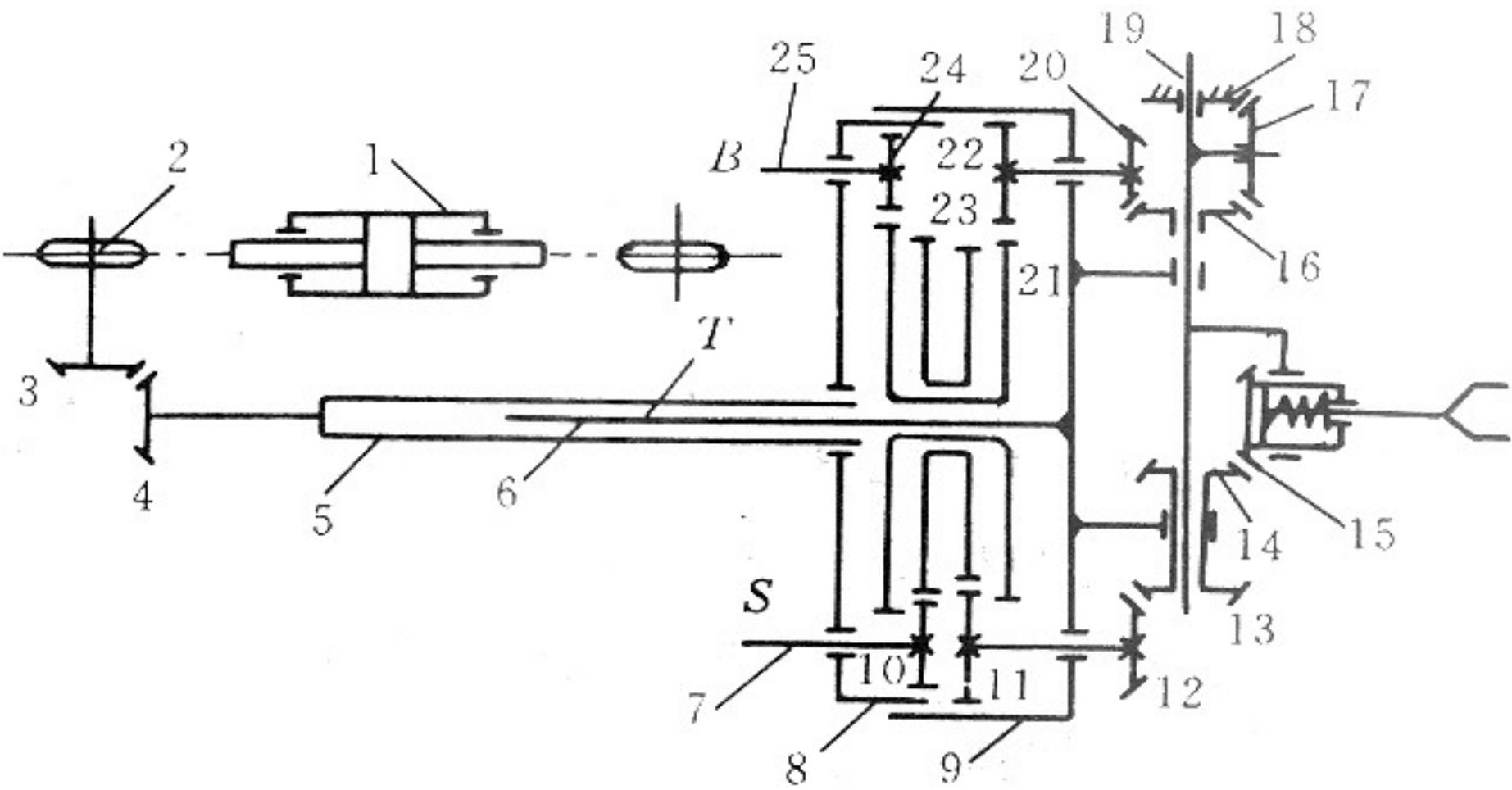
• **偏转运动:**

- 油缸 1 中的活塞左右移动 → 带动链轮 2 旋转 → 锥齿轮副  $Z_3/Z_4$  → 带动花键轴 5、6 旋转 → 花键轴 6 与行星架 9 连在一起 → 带动行星架及手腕作偏转运动



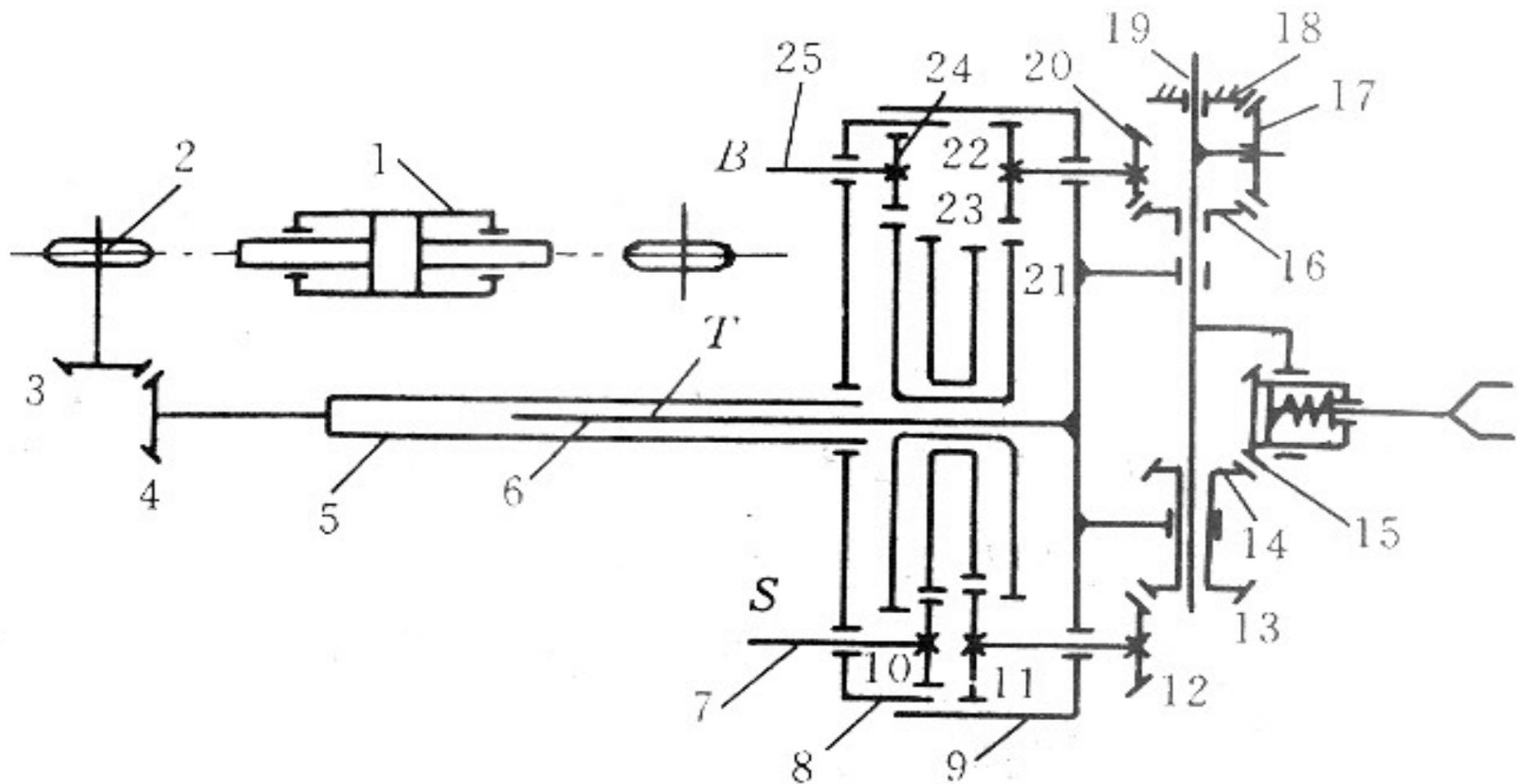
## • 附加俯仰运动:

- 轴 B、轴 S 不转而 T 轴回转 → 齿轮  $Z_{23}$ 、 $Z_{21}$  不转 → 当行星架回转时 → 迫使齿轮  $Z_{22}$  绕齿轮  $Z_{21}$  的过程中自转 → 经过  $Z_{20}$ 、 $Z_{16}$ 、 $Z_{17}$ 、 $Z_{18}$  实现附加俯仰运动



• 附加回转运动:

- 轴 B、轴 S 不转而 T 轴回转 → 齿轮  $Z_{23}$ 、 $Z_{21}$  不转 → 当行星架回转时 → 迫使齿轮  $Z_{11}$  绕齿轮  $Z_{23}$  的过程中自转 → 经过  $Z_{12}$ 、 $Z_{13}$ 、 $Z_{14}$ 、 $Z_{15}$  实现附加回转运动



## • 思考题:

- 1、当 B 轴、T 轴分别回转时，手腕存在哪些运动，为什么？
- 2、齿轮 24、22 所在的轴能否做成一体，为什么？
- 3、齿轮 17 作的什么运动？俯仰运动轮系属于什么轮系，试分析其运动。