

问题：在考虑力的做功时，位移应是力的作用点的位移还是物体的位移？

解答：一般都笼统的说是物体的位移，也有说作用点的位移。需要仔细讨论一下。

其实考察一下牛顿定律的对象就清楚了，牛顿定律的对象是质点，或者说它需要质点这种模型。质点是没有体积概念的，所以对于质点，作用点就是物体的质心，这时“力的作用点的位移”和“物体的位移”是一回事。如果物体不能当作质点，比如物体存在转动行为，则力做功需要仔细探究，比如后面要讲的刚体的平面平行运动：一个力做的功一部分会转化成质心平动能，一部分会转化为绕质心轴的转动能。对于质心平动能的计算，“力的作用点的位移”显然和“物体的位移”（或“质心的位移”）不一样，需要用质心的位移进行计算，将作用到物体上的外力全部平移到质心上，求出所作的功。对于绕质心轴的转动能的计算，“力的作用点的位移”和“物体的位移”（或“质心的位移”）就更不是一回事了，力做功等效成力矩做功，力的作用点不同，力矩就不样，力矩做功就不一样。所以“在考虑力的做功时，位移应是力的作用点的位移还是物体的位移”与此时物体能不能当作质点有关，能当做质点，没区别，不能当作质点，则区别大大的。

那么“用力的作用点的位移计算功”是不是就一定不对呢？不一定，需要准确理解。下面这个问题是值得认真思考的：对于刚体，如果用“力的作用点的位移计算功”将是什么？如果把刚体看成质点系，答案是非常清楚的，此时力是作用到了作用点处的质元上，作用点的位移就是该质元的位移，“用力的作用点的位移计算功”计算的就是这个力对作用点处的质元做的功。那么根据质点系动能定理有：**这个力对该质元作的功 + 刚体各质元之间内力作的功 = 刚体所有质元的动能增量**。由于刚体各质元之间内力作的功为零，所以有：**这个力对该质元作的功 = 刚体所有质元的动能增量**，即“**用力的作用点的位移计算功**” = **刚体所有质元的动能增量**。对于：（1）作定轴转动的刚体，刚体所有质元的动能增量 = 刚体的定轴转动动能增量；（2）作平面运动的刚体，刚体所有质元的动能增量 = 刚体质心平动能增量 + 刚体绕质心轴的转动能增量；（3）对任意运动的刚体，刚体所有质元的动能增量 = 刚体质心平动能增量 + 刚体绕质心定点转动能增量。

对于作用到物体上的力，从动力学角度考虑是：（1）使物体质心产生平动，对于质心平动，力是“平移矢量”，可以统一平移到质心，然后求合力，对应的是质心运动定理；（2）使物体发生绕质心的转动，这是力矩的效果，对转动，力是“滑移矢量”，只能沿着自身作用线滑动（保持力臂不变），不可随便平移。所以描述刚体动力学行为两个重要定理：（1）质心运动定理，（2）绕质心的定点转动的角动量定理。刚体的平衡条件就是：（1）合力为零（力当作平移矢量）；（2）合力矩为零（力当作滑移矢量）。

还得多补充2点：

（I）刚体各质元之间内力做功 = 0，可从物质内部的能量理解，物质内部的能量主要是由电子、原子核之间的相互作用能和它们的热运动能量决定的，电子、原子核之间的作用主要是静电相互作用、量子力学效应以及它们之间的万有引力作用（引力作用相比较而言是微乎其微的）。这样只要物体保持恒温，则内部相互作用能就不变。这些认识是人类对于物质不断探索后形成的，所以对于物质内部的相互作用不同时期就有不同描述：（1）经典的连续力学描述，把物体看成是一种空间的质量连续分布，没有电子原子概念，各质元之间的相互作用由应力-应变关系描述（中学学过的胡克定律是其特例），研究物体在外力作用下形变、强度等问题，对具体材料，应力-应变关系可通过实验测量（如测弹性模量，杨氏模量等），另外也有一些规律可循；（2）基于量子理论的原子模型描述，把电子、原子核之间的相互作用能等效成原子之间的一种有效相互作用势能，这样物质就被看成是原子集合，其内部能量就是原子之间有效势能和原子热运动能量，最后采用的仍然是牛顿力学和经典统计方法；（3）一些唯象理论；（4）严格的量子力学描述，需要求解量子力学方程，运用量子统计方法，很复杂。实际上从应用角度讲，材料大概分两种，一种结构材料，强调其力学性能，一种是功能材料，强调其电磁、光电等特性。现代材料特点是成分、结构复杂，其性能常常和工艺过程有关（特别是结构材料）。如何使用经典理论和量子理论描述都面临巨大挑战，特别是最

近十多年的纳米科技的发展在向人们不断提出这方面的问题。

$$(II) \text{ 刚体绕定轴的转动能} = \frac{1}{2} J \omega^2$$

$$\text{刚体绕质心的定点转动能} = \frac{1}{2} \vec{L} \cdot \vec{\omega}$$