# 32．如何比较动能与势能？

动能是物体由于运动而具有的能量，它的数值与参考系有关。势能是由于系统内物质间存在着相互作用，并且由各部分物质间的相对位置而决定的能量，它属于系统所共有，它的数值与参考系无关。

力学中的势能主要包括引力势能与弹性势能两种，其中引力势能是相互作用的两个物体组成的系统所共有的，例如，地球与卫星相互作用的引力势能就属于地球与卫星组成的系统。弹性势能是弹性物体发生弹性形变而产生的，它由弹性物体内部各质元的相对位置决定，因此属于整个弹性物体所有。

在力学范围内，物体的能量一般指机械能，它包括动能和势能两种。

## 一、动能属物体所有，势能属系统所有

动能是物体由于运动而具有的能量，它的定义式是 *E*k = *mv*2，其中 *m* 是物体的质量，它是物体本身的属性，*v* 是该物体的速度，这就是说，动能是物体所具有的。

势能是由于系统内部物质间存在着相互作用，并且由内部各物质间的相对位置决定的能量。机械能中的势能主要分为引力势能和弹性势能两种，引力势能是由于系统内各质元间存在着万有引力的相互作用，而万有引力是保守力，因此存在着由它们相对位置决定的能量，即引力势能。以质量分别为 *m*1 和 *m*2 的两个质点组成的系统为例，以它们相距无穷远时为势能零点，当它们间距离为 *r* 时引力势能为 *E*p = − *G*，其中 *m*1 和 *m*2 代表组成该系统的两个物体（质点），而 *r* 则是它们之间的相对距离，因此，引力势能是属于系统所有的。弹性势能是由于弹性物体内部各质元间存在着相互作用的弹性力，而且弹性力也是保守力，因此存在着由内部各质元间的相对位置决定的势能。以弹簧为例，如果其劲度系数为 *k*，以其原长时为势能零点，当它形变量为 Δ*x* 时的弹性势能为 *E*p = *k*Δ*x*2，其中 *k* 是该弹簧的劲度系数，它是该弹簧整体的性质，而 Δ*x* 是整个弹簧长度的变化，它是内部各质元相对位置发生改变的宏观表现，因此弹性势能是属于弹簧这个由众多质元组成的系统所具有的。

关于势能，还有一些其他的表述方法，例如，引入保守力场的概念，质点在保守力场中，存在着由它在场中的位置决定的势能。地面上的物体处于地球的引力场中，这些物体都具有由它所在空间位置决定的势能。我们常常说势能是物体的，这样说当然是可以的，但从本质上说，势能仍是物体与地球的相互作用势能，只不过我们讨论物体的运动及它与其他物体的相互作用等问题时，常常省略地球不说罢了。

还有关于外势能与内势能的提法，我们仍以地面上的物体与地球为例。地球对于地面上的一般物体而言，是真正的庞然大物，物体对地球的反作用力对地球运动的影响完全可以忽略，因此我们常常选择地面上的物体为研究对象，而把地球排除在外，那么地球就是外部物体，地球对物体的引力就是外力，地球与物体间由于引力作用而具有的引力势能就可以称为外势能。这里有一个问题，虽然把重力作为外力，但计算这“外力”做功时必须以地球为参考系，只有如此才能把它与引力势能挂上钩，这就说明这个“外势能”仍然属于地球与物体组成的系统。

## 二、动能与参考系有关，势能与参考系无关

在牛顿力学范围内，物体的质量 *m* 是不变的，而速度 *v* 则与参考系有关，因此动能是与参考系有关的物理量。引起物体动能变化的决定因素是其他物体对它的作用，即力所做的功，而功 *W* = *Fl*cos*θ*，其中位移 *l* 也是与参考系有关的。但是，从一个惯性参考系转换到另一个惯性参考系，虽然功与动能的增量都会发生变化，但动能定理仍然成立。

引起势能变化的决定因素是保守内力做的功，内力的功指的是一对相互作用的内力做功的总和，由于保守内力做功与运动路径无关，只决定于始末相对位置的变化，而相对位置的变化与参考系的选择无关，因此势能是与参考系的选择无关的物理量。

动能和势能都可以称为相对量，但这里“相对”的意义不同：动能是相对于参考系而言的，即变换参考系时，物体动能的数值一般会发生变化；势能的“相对”性，指的是势能的数值与势能零点的选择有关。势能零点，从理论上说是可以任意选择的，但选择某个特定的势能零点，可以使势能的表达式变得简单，这就是为什么两个质点组成的系统的引力势能选择二者相距无穷远时为势能零点、弹簧的弹性势能选择弹簧原长时为势能零点的原因。如果选择另外的势能零点，势能的表达式会变得复杂，但对某一个确定的变化过程而言，其势能的变化量却与势能零点的选择无关。对于势能，我们更关注的是势能的变化量，而不是某时刻势能的具体数值，这就是我们说“理论上势能零点的选择可以是任意的”的原因所在。

## 三、重力势能与引力势能的关系

首先要明确什么是重力，它与地球对物体的引力是什么关系。

对此，有两种不同的看法：一种看法认为地球对地球表面附近物体的引力近似等于物体的重力，理由是我们在讨论地球表面小范围内物体的运动及相互作用的问题时，都以地面为参考系，而且认为地面参考系是近似程度很高的惯性系，这就意味着不必考虑地球自转引起的效应，而认为地面是静止的。另一种看法则认为重力与地球引力必须严格区分。在地面上用细线悬挂一个重物，当它静止时细线的方向称为竖直方向，重物受到的沿竖直向下的力称为重力。它与地球引力并不相等，因为地球在自转，地面附近的一切物体都在随地球自转，这时的地面参考系是转动的非惯性系，重力实际上是地球引力与惯性离心力的合力，它的方向竖直向下，并不指向地心。

按照后面一种认识：①地面参考系不是惯性系，而是转动的非惯性系；②重力不是地球引力，而是地球引力与惯性离心力的合力，既然如此，重力没有反作用力；③重力势能不是引力势能。

再说重力场与地球引力场的关系。重力场是匀强场，重力场强度就是重力加速度 *g*，如果用重力场线描述，它是间隔均匀的平行线。而地球的引力场则是有心力场，如果用引力场线描述，它呈放射形，并指向地心。如果我们认为重力是地球引力的近似，那么重力场就是地球引力场在小范围内的一种近似。引力场是物质场，即相互作用场，最近用仪器探测到的引力波，是它的物质性的直接证明。如果把重力看作地球引力的一种近似，那么重力场也就是物质场。但如果非要严格地把重力与地球引力区分开来，那么重力场就不好说是一种相互作用场了，它只是一种数学场，即是一种物理量在空间分布的描述。

我个人的意见：在讨论地面附近小范围物体的运动及相互作用等问题时，可把重力看作地球引力的近似，从而重力场是地球引力场的近似，重力势能就是引力势能的近似，这与当前的教学实际相符，说重力的反作用力（近似）是物体吸引地球的力也就顺理成章了。但在讨论空间范围更大、相互作用时间更长的问题时，例如，讨论人造卫星的发射与运转、太阳系行星和卫星的运动等问题时，就不宜再使用重力概念，也就不谈重力势能而只谈引力势能了。

最后，谈一谈地球的引力场。当我们把地球视为质量分布均匀的球体时，它的引力场是真正的有心力场，那么地球表面各处的引力场强都应该大小相等（*E*引力 = *G*），各处的引力势也应该相等（*φ*引力 = − *G*）。但实际上，地球不是真正的球体，质量分布也不均匀，这就造成地球表面各处的引力场场强和引力势都不真正相等，既然我们把重力场看作地球引力场的近似，那么地球表面不同位置的重力场强度（*g*）及重力势（*gh*）也各不相等，具体体现在重力加速度 *g* 在地球表面不同的地方各不相同。