# 35．机械能守恒与不守恒跟哪些因素有关？

一个确定的研究对象（系统），如果没有非保守内力做功，那么其机械能是否守恒，就决定于是否有外力做功。而外力是否做功，与参考系有关。

是外力还是内力，与研究对象的选取有关，只要把施加外力的物体包括到所选择的系统之内，外力就变成了内力，如果该内力是保守力，则系统的机械能可能守恒。

能量守恒定律是自然界普遍适用的重要的守恒定律，机械能守恒定律是能量守恒定律在力学范围内的表现形式，它的适用范围比能量守恒定律要窄，条件也更严苛。那么机械能守恒定律成立的条件是什么呢？

## 一、机械能守恒条件的不同表述

由赵凯华、罗蔚茵合著的《新概念物理教程力学》第 2 版第 113 页中是这样表述的：一个保守系总机械能的增加等于（未计入保守外场部分的）外力对它所做的功；如果从某个参考系看来，这部分外力做功为 0，则该系统的机械能不变。这便是机械能守恒定律。

中学物理教科书一般是这样表述的：在只有重力或弹力做功的系统内，动能和势能可以互相转化，而总的机械能保持不变。这叫作机械能守恒定律。

二者相比较，中学教科书的表述中，没有“保守系”，不谈外力与内力，也不涉及参考系，而是强调“只有重力或弹力做功”。这种表述只适用于讨论地球表面附近小范围内物体间的相互作用及运动情况的问题，这种情况中的保守力只有重力和弹力，当讨论的范围扩大到卫星的发射与运转等问题时，就谈不上重力了，而是万有引力做功，这时是否机械能依然守恒，则没有回答。因此中学教科书的这种表述，是从中学物理教学的实际出发的一种不得已而为之的表述方式。

## 二、机械能是否守恒是对一个系统而言的

虽然我们平时课堂教学或日常生活中，常常说“某物体的机械能”，但必须明确，那只是一种通俗的说法，由于机械能包括动能和势能两种形式，而势能是属于系统的，因此谈论机械能是不是守恒的问题，是对一个系统而言的。例如，重球在空气阻力可以忽略的情况下做自由落体运动或其他抛体运动，我们常说重球的机械能守恒，但实际上指的是重球与地球组成的系统机械能守恒。

对一个确定的物理过程而言，如果不明确选定谁为研究对象，而问学生机械能是否守恒，是不恰当的。例如，对于甲、乙两个金属球发生弹性碰撞的过程，如果只选择甲球（或乙球）为研究对象，则碰撞过程中机械能不守恒，如果选择甲、乙两球作为一个系统，则碰撞过程中机械能守恒。

## 三、如何理解弹力做功？

“在只有重力或弹力做功的系统内，机械能守恒”，这里的弹力是指什么力？有人认为这应该是指弹簧弹力，即应该改为“在只有重力或弹簧弹力做功的系统内，机械能守恒”，他们常常举出类似下面的例子来说明上述说法的正确性：如图 1 所示的在竖直面内振动的弹簧振子，对重球做功的有重力和弹簧弹力，振动过程中重球（包括地球在内，下同）和弹簧组成的系统的机械能是守恒的；如图 2 所示的重球在绳的牵引下向上做加速运动，对重球做功的除了重力以外，还有绳的拉力，虽然绳的拉力也属于弹力，但重球的机械能不守恒，因此有必要强调机械能守恒的条件是“只有重力或弹簧弹力做功”。

图 1 弹簧振子的振动

图 2 细绳牵引重球向上加速运动

其实绳的弹力与弹簧的弹力并无本质的不同，它们都是发生弹性形变的物体要恢复原状而产生的力，只是弹簧的形变简单得多。弹簧的形变只需考虑伸长或缩短，并且其弹力的大小与弹簧的伸长或缩短的长度成正比，即满足 *F* = *k*Δ*x*；而绳的形变属于微小形变，肉眼看不出绳长度的变化，在绳拉重球的过程中，它一定会发生形变，而一旦它不拉重球了，其形变也会恢复。图 1 中的重球与弹簧系统的机械能守恒，而图 2 中重球的机械能不守恒，不守恒的原因不在于前者是弹簧的弹力而后者是绳的弹力，而在于图 1 中的弹簧振子是把重球与弹簧作为系统，弹簧对重球的弹力与重球对弹簧的作用力是一对内力，而图 2 中的研究对象是重球而不包括绳，绳对重球的拉力属于外力。

图 3 所示为物块甲与斜面乙相互作用过程的示意图，甲与乙间、乙与水平地面间的摩擦都可以忽略。开始时甲位于乙的斜面顶端，甲、乙都处于静止状态，释放后甲沿斜面滑下，同时乙要向后滑动。图中虚线所示为过程中间及结束时二者的位置。

图 3 甲与乙组成的系统机械能守恒

甲

*F*弹（乙对甲）

*F*弹（甲对乙）

Δ*l*

乙

甲和乙之间有相互作用的弹力，方向垂直于斜面，图中的 *F*弹（乙对甲） 和 *F*弹（甲对乙） 是一对作用力与反作用力。把甲和乙作为一个系统，则它们是一对内力，其中 *F*弹（乙对甲） 做负功，*F*弹（甲对乙） 做正功，由于沿作用力方向的位移相等（都等于图中标注的 Δ*l*，它表示沿相互作用的弹力方向的位移大小），因此这一对弹力做功的代数和为零，对整个系统而言，只有甲的重力做功，因此系统的机械能守恒。但如果只选择物块甲为研究对象，则对甲做功的除了重力以外，还有 *F*弹（乙对甲） 做负功，此时物块甲的机械能不守恒。

## 四，参考系对机械能是否守恒有影响

如图 4 所示，在一列以速度 *v*0 沿水平面匀速运动的列车车厢里固定着一个斜面乙。把物块甲放在斜面顶端，开始时甲与斜面相对静止，释放后沿斜面滑下，甲与斜面间的摩擦可以忽略。讨论物块甲（包括地球）的机械能是否守恒。

甲受到的作用力有竖直向下的重力以及垂直于斜面向上的支持力（弹力）。若选择地面参考系，重力对甲做正功，支持力也对甲做正功，重力属于保守内力，而支持力属于外力，由于有外力做功，因此机械能不守恒（增加）。

图 4 物块甲在车厢里沿斜面滑下

甲

乙

*v*ʹ

*v*0

若选择匀速行驶的车厢为参考系（仍是惯性系），则只有重力做功，外力（支持力）不做功，因此机械能守恒。这正是赵凯华先生的《力学》中所说的：如果从某个参考系看来，这部分外力做功为 0，则该系统的机械能不变。

对于以车厢为参考系物块的机械能守恒，学生感觉好理解，因为它相当于车厢静止时从地面参考系看问题：重力对甲做正功，减少的重力势能等于甲增加的动能，如果物块甲的质量为 *m*，这过程中物块下落的高度为 *h*，甲到达斜面底端时的速度为 *v*ʹ，则有 *mgh* = *mv*ʹ2。

当车厢以速度 *v*0 匀速运动时，仍以地面为参考系，则甲的初速度为 *v*0，方向水平向右，末速度为沿斜面向下的 *v*ʹ 与水平方向的 *v*0 的合成，如图 5 所示。甲的动能增量为

Δ*E*k = *mv*末2 − *mv*02 = *m*（*v*ʹ2 + 2*v*ʹ*v*0cos*θ*）

显然，动能增量大于势能减少量，机械能总量的确是增加的。

*v*ʹ

*v*0

*θ*

图 5 地面参考系中甲的末速度

*v*末

物块甲的机械能增加，可以说是乙对它的支持力做功的结果，但能量的来源并不是斜面乙。乙对甲的支持力与甲对乙的压力是一对作用力与反作用力，如果把乙“扩容”进研究对象的系统中，则这是一对内力，它们分别对两个物体做功的总和是零，这说明乙不是能量的来源，而只是能量的“二传手”。这其实很好理解，在这个过程中，斜面乙一直保持在水平面上做匀速运动，它的动能与势能都没有发生变化。当我们把甲、乙和地球作为一个系统时，车厢对斜面乙的作用力就是外力，正是这个外力做功才使得乙保持匀速运动状态不变。

同样，车厢对斜面沿水平方向的作用力做功使得系统的机械能增加，车厢也不是能量的来源地，真正的能量来自机车，如果没有机车牵引力做功，列车不可能维持匀速运劫。如果把机车包括在整个列车之内作为一个系统，则谈不上牵引力，而是内力做功，能量来自发动机，如果是内燃机车，消耗的是燃料燃烧释放的化学能，如果是电力机车，消耗的是电源的电能。

简单小结一下：当我们讨论机械能是否守恒的问题时，首先要明确研究对象，这样才好区分外力与内力，内力中若只有保守力做功，才有可能机械能守恒；其次还与参考系的选择有关，在选定的（惯性）参考系中看，如果外力不做功，则系统的机械能守恒。