# 第八章 2 重力势能

## 问题？

初中我们已经定性地学习了重力势能，物体的质量越大、所处的位置越高，重力势能就越大。



这一节我们来进一步定量地研究重力势能。你认为重力势能的表达式应该是怎样的呢？

## 重力做的功

当物体的高度发生变化时，重力做功，势能发生变化：物体下降时重力做正功，势能减小；物体被举高时重力做负功，势能增大。因此，重力势能与重力做功密切相关，认识重力势能不应脱离对重力做功的研究。

设一个质量为 *m* 的物体，从与地面高度为 *h*1 的位置 A，竖直向下运动到高度为 *h*2 的位置 B（图 8.2–1 甲），这个过程中重力做的功是

*W* G = *mg*Δ*h* = *mgh*1 − *mgh*2

再看另一种情况。质量为 *m* 的物体仍然从上向下运动，高度由 *h*1 降为 *h*2，但这次不是沿竖直方向，而是沿着一个斜面向下运动到 B′，再水平运动到 B（图 8.2–1 乙）。

图 8.2–1 研究物体运动时重力做的功

A

B

A

*mg*

*mg*

*θ*

*l*

*h*2

*h*1

Δ*h*

B′

B

Δ*h*

*h*1

*h*2

甲

乙

物体沿斜面运动的距离是 *l*，在这一过程中重力做的功是

*W*G =（*mg*cos *θ*）*l* = *mg*Δ*h* = *mgh*1 − *mgh*2

从 B′ 沿水平方向运动到 B 的过程中，重力不做功。

斜面是否光滑对计算“重力做的功”有影响吗？

上面两种情况中，尽管物体运动的路径不同，但高度的变化是一样的，而且重力做的功也是一样的。

分析表明，**物体运动时，重力对它做的功只跟它的起点和终点的位置有关，而跟物体运动的路径无关**。也就是说，只要起点和终点的位置不变，不论物体沿什么路径运动，重力所做的功都相同。功等于物体所受的重力跟起点高度的乘积 *mgh*1 与跟终点高度的乘积 *mgh*2 两者之差。

看起来，物体所受的重力 *mg* 与它所处位置的高度 *h* 的乘积 *mgh*，具有特殊的意义。

## 重力势能

*mgh* 的特殊意义在于它一方面与重力做的功密切相关，另一方面它随着高度的增加而增加、随着质量的增加而增加，恰与前述重力势能的特征一致。因此，我们把 *mgh* 叫作物体的**重力势能**（gravitational potential energy），常用 *E*p 表示，即

*E*p = *mgh*

与其他形式的能一样，重力势能也是标量，其单位与功的单位相同，在国际单位制中都是焦耳，符号为 J。

1 J = 1 kg·m·s−2·m = 1 N·m

有了重力势能的表达式，重力做的功与重力势能的关系可以写为

*W*G = *E*p1 － *E*p2

其中 *E*p1 表示物体在初位置的重力势能，*E*p2 表示物体在末位置的重力势能。

当物体由高处运动到低处时，重力做正功，重力势能减少，即

*W*G > 0，*E*p1 > *E*p2

当物体由低处运动到高处时（图 8.2–2），重力做负功，重力势能增加，即

*W*G < 0， *E*p1 < *E*p2

图 8.2–2 物体向上运动时重力势能增加

*G*

***v***

严格说来，重力势能是地球与物体所组成的“系统”所共有的，而不是地球上的物体单独具有的。

### 思考与讨论

若重力做的功与路径有关，即对应于同样的起点和终点，重力对同一物体所做的功，随物体运动路径的不同而不同（图8.2–3），我们还能把 *mgh* 叫作物体的重力势能吗？为什么？

*h*

图 8.2–3

### 拓展练习

**物体沿曲面滑下时重力做的功**

假设一个物体沿曲面向下运动，高度由 *h*1 降为 *h*2（图 8.2–4），重力所做的功是否还一样呢？

A

B

Δ*h*3

Δ*h*2

Δ*h*1

A1

A2

A3

Δ*h*

*h*1

*h*2

图 8.2–4 研究物体沿曲面运动时重力做的功

我们把整个路径分成许多段很短的间隔，经过的路程分别为 AA1，A1A2，A2A3，…，由于每一段都很小，因而都可以近似地看作一段倾斜的直线。设每段小斜线的高度差分别是Δ*h*1，Δ*h*2，Δ*h*3，…，则物体通过每段小斜线时重力做的功分别为 *mg*Δ*h*1，*mg*Δ*h*2，*mg*Δ*h*3，…物体通过整个路径时重力做的功，等于重力在每小段上做的功的代数和，即

*W*G = *mg*Δ*h*1 + *mg*Δ*h*2 + *mg*Δ*h*3 + …

= *mg*（Δ*h*1 + Δ*h*2 + Δ*h*3 + …）

= *mg*Δ*h*

= *mgh*1 − *mgh*2

## 重力势能的相对性

物体的重力势能总是相对于某一水平面来说的，这个水平面叫作参考平面。在这个水平面上，物体的重力势能取为 0。选择哪个水平面为参考平面，可视研究问题的方便而定。通常选择地面为参考平面。

选择不同的参考平面，物体重力势能的数值是不同的，但这并不影响问题的研究。因为在与重力势能相关的问题中，有价值的是重力势能的差值，而选择不同的参考平面对这个差值没有影响。

对选定的参考平面而言，上方物体的高度是正值，重力势能也是正值；下方物体的高度是负值，重力势能也是负值。负值的重力势能，表示物体在这个位置具有的重力势能要比在参考平面上具有的重力势能小。如图 8.2–5，以二楼的地面作为参考平面，二楼房间里 A 处的物体具有正的重力势能，一楼房间里 B 处的物体具有负的重力势能。

A

B

参考平面

图 8.2–5 重力势能与参考平面的选取有关

## 弹性势能

拉长或压缩的弹簧、卷紧的发条、拉开的弓、正在击球的网球拍、撑竿跳高运动员手中弯曲的竿（图 8.2–6），等等，这些物体都发生了弹性形变，每个物体的各部分之间都有弹力的相互作用。发生弹性形变的物体的各部分之间，由于有弹力的相互作用，也具有势能，这种势能叫作**弹性势能**（elastic potential energy）。

弹性势能跟形变的大小有关系。例如，在弹性限度内，弹簧的弹性势能跟弹簧被拉伸或压缩的长度有关。被拉伸或压缩的长度越长，恢复原状过程中对外做的功就越多，弹簧的弹性势能就越大。另外，弹簧的弹性势能还跟弹簧的劲度系数有关。不同的弹簧发生同样大小的形变，劲度系数越大，弹簧恢复原状过程中对外做的功就越多，因而弹簧的弹性势能就越大。

图 8.2–6 撑竿跳

势能也叫位能，与相互作用的物体的相对位置有关。重力势能是由地球和地面上物体的相对位置决定的，弹性势能是由发生弹性形变的物体各部分的相对位置决定的。我们以后还会学到其他形式的势能。

## 练习与应用

本节共 4 道习题，要求学生知道重力做功与路径无关，理解重力势能的概念，明确重力做功与重力势能变化的关系。知道重力势能具有相对性和系统性，能用重力势能的定义式进行计算。

1．图 8.2–7 中的几个斜面，它们的高度相同、倾角不同。让质量相同的物体沿斜面从顶端运动到底端。试根据功的定义计算沿不同斜面运动时重力做的功，它的大小与斜面的倾角是否有关？

*m*

*m*

*m*

*θ*1

*h*

*θ*2

*θ*3

图 8.2–7

【参考答案】1．设斜面高度为 *h*，对应于倾角为 *θ*1、*θ*2、*θ*3 的斜面长分别为 *l*1、*l*2、*l*3。由功的公式可知，在倾角为 *θ*1 的斜面，重力与位移的夹角为 ，重力所做的功为 *W*G = *mgl*1cos= *mgl*1sin*θ*1 = *mgh*。

同理可证，在倾角分别为 *θ*2、*θ*3 的斜面上，重力所做的功都等于 *mgh*，与斜面倾角无关。

提示：通过物体沿不同的斜面下滑时重力做功大小的计算，认识重力做功的特点，形成重力做功与路径无关，只与始末位置有关的正确观念。

2．如图 8.2–8，质量为 *m* 的足球在地面 1的位置被踢出后落到地面 3 的位置，在空中达到的最高点 2 的高度为 *h*。重力加速度为 *g*。

1

3

*h*

2

图 8.2–8

（1）足球由位置 1 运动到位置 2 时，重力做了多少功？足球的重力势能增加了多少？

（2）足球由位置 2 运动到位置 3 时，重力做了多少功？足球的重力势能减少了多少？

【参考答案】2．− *mgh*，*mgh*；*mgh*，*mgh*

提示：（1）足球由位置 1 运动到位置 2 时，重力所做的功为 – *mgh*，足球的重力势能增加了 *mgh*。

（2）足球由位置 2 运动到位置 3 时，重力做的功为 *mgh*，足球的重力势能减少了 *mgh*。

以足球做曲线运动为情景，加深对重力做功与重力势能改变的关系的认识。重力势能的变化是与重力做功相对应的，重力做了多少功，重力势能就变化多少。重力做正功时重力势能减少，重力做负功时重力势能增加。

3．以下说法是否正确？如果正确，说出一种可能的实际情况；如果不正确，说明这种说法为什么错误。

（1）物体受拉力作用向上运动，拉力做的功是 1 J，但物体重力势能的增加量不是 1 J。

（2）物体受拉力作用向上匀速运动，拉力做的功是 1 J，但物体重力势能的增加量不是 1 J。

（3）物体运动，重力做的功是 − 1 J，但物体重力势能的增加量不是 1 J。

（4）没有摩擦时物体由 A 沿直线运动到 B，重力做的功是 －1 J ；有摩擦时物体由 A 沿曲线运动到 B，重力做的功大于 − 1 J。

【参考解答】3．（1）正确。物体在拉力的作用下向上运动，如果做匀加速直线运动，这时拉力的功大于重力势能的增加量。如果物体做匀减速直线运动，这时拉力的功小于重力势能的增加量。

（2）错误。物体匀速上升，拉力的大小等于重力的大小，拉力的功一定等于重力势能的增加量。

（3）错误。根据 *W*G = *E*p1 – *E*p2 可知，重力做 − 1 J 的功，物体重力势能的增加量为 1 J。

（4）错误。重力做功只与起点和终点的位置有关，与路径无关，A、B 两点的位置不变，从 A 点到 B 点的过程中，无论经过什么路径，是否还受到其他的力，重力的功都是相同的。

提示：通过辨析在不同情景下拉力、摩擦力和重力做的功，强调重力势能的变化只与重力做功相对应，让学生在解决实际问题的过程中进一步理解重力做功与重力势能改变的关系，理解重力做功与物体的运动状态、运动路径、是否与其他的力做功无关。

4．如图 8.2–9，质量为 0.5 kg 的小球，从A 点下落到地面上的 B 点，*h*1 为 1.2 m，桌面高*h*2 为 0.8 m。

*h*2

*h*1

A

B

图 8.2–9

（1）在表格的空白处按要求填入数据。

（2）如果下落时有空气阻力，表中的数据是否会改变？

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 所选择的参考平面 | 小球在 A 点的重力势能 | 小球在 B 点的重力势能 | 整个下落过程中重力做的功 | 整个下落过程中小球重力势能的变化量 |
| 桌面 |  |  |  |  |
| 地面 |  |  |  |  |

【参考解答】4．（1）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 所选择的参考平面 | 小球在 A 点的重力势能 | 小球在 B 点的重力势能 | 整个下落过程中小球重力做的功 | 整个下落过程中小球重力势能的变化量 |
| 桌面 | 5.88 J | − 3.92 J | 9.8 J | 9.8 J |
| 地面 | 9.8 J | 0 | 9.8 J | 9.8 J |

（2）如果下落过程中有空气阻力，表格中的数据不变。

提示：让学生体会“重力势能跟零势能面的选取有关，而重力势能的变化跟零势能面的选取无关”，进一步形成重力做功跟是否有其他的力做功无关的正确观念。

# 第 2 节 重力势能 教学建议

## 1．教学目标

（1）通过不同路径重力做功的分析，归纳出重力做功与路径无关的特点。

（2）理解重力势能的表达式。通过重力做功与重力势能变化的关系体会功能关系。

（3）知道重力势能的大小与参考平面的选取有关，即重力势能具有相对性，但重力势能的变化量与参考平面的选取无关。

（4）了解弹性势能的决定因素。

## 2．教材分析与教学建议

“重力势能”是建立功能关系，体现“功是能量转化的量度”这一思想的重要一节。上一节学习的功的概念的重要意义在于它可以决定能量的变化。教材对力学中功能关系的讨论给予了极大的重视。

本节从重力做功和重力势能的变化视角，讨论功能关系。在得出重力势能表达式的过程中，不仅要告诉学生结论，更为重要的是该结论是怎样得出来的。这就是科学思维之路，对培养学生的逻辑思维能力和研究方式都是非常重要的。

教材以节前“问题”复习初中所学过的关于重力势能的知识。物体的质量越大、所处的位置越高，重力势能就越大。在此基础上让学生猜想重力势能的表达式，以体现科学探究中“提出问题、形成猜想和假设、获取和处理信息、基于证据得出结论”等要素。

本节教学的重点与难点为“重力做功与路径无关”“重力势能表达式的得出过程”“重力势能的相对性及系统性”。主要原因有以下几个方面：①从概念建立的逻辑上讲学生感觉比较困难。为什么只有认识了重力做功与路径无关后，才能引入重力势能。②重力势能的概念及重力做功与重力势能变化的关系较难理解。③重力势能的相对性和重力势能属于物体和地球组成的系统等知识较难分析。

因此教师应在教材内容的基础上，针对难点的突破进行教学设计。可以从以下几个问题开展教学。

### （1）问题引入

教材没有生硬地给出“功是能量转化的量度”，而是让学生根据“重力势能与物体的质量及位置有关”猜想重力势能的表达式。这是想让学生经历理论探究的过程来认识重力势能的概念，为后来根据物理规律定义重力势能奠定基础。

### （2）重力做功的特点

功和能的变化是紧密联系的，教师应通过对物体下落过程的分析，引导学生发现物体的高度发生变化时，重力要做功。重力势能随高度的变化而变化，两者有紧密联系。让学生认识到研究重力势能可以从重力做功的角度入手，通过研究重力做功来探究重力势能的概念。教材由浅入深地逐步设置情景，以得出重力做功与路径无关的特点。

**教学片段**

**重力做功的特点**

物体所在的高度发生变化时，重力要做功。物体下降时重力做正功，重力势能减少。物体被举高时重力做负功，重力势能增加。认识重力势能不应脱离对重力做功的研究。关于重力做功的特点可以从以下几个问题逐步开展，循序渐进。

问题 1．如图 8–5 甲所示，一个质量为 *m* 的物体，从与地面高度为 *h*1 的位置 A，竖直向下运动到高度为 *h*2 的位置 B，这个过程中重力做的功是多少？

问题 2．质量为 *m* 的物体仍然从上向下运动，高度由 *h*1 降为 *h*2，但这次不是沿竖直方向，而是沿着一个斜面向下运动到 Bʹ，再水平运动到 B（图 8–5 乙）。物体沿斜面运动的距离为 *l*，在这一过程中重力做的功是多少？



图 8–5

综上得出：物体运动时，重力对它做的功只跟它的起点和终点的位置有关（高度差），而跟物体运动的路径无关。功的大小等于重力跟起点高度的乘积 *mgh*1 与重力跟终点高度的乘积 *mgh*2 两者之差。对于学习基础较好的学生，可以让他们自主学习教材中“拓展学习”中的内容。

### （3）重力势能

通过重力做功与路径无关的特点，从而引出重力势能的表达式，然后让学生体会教材中所写的“看起来，物体所受的重力 *mg* 与它所处位置的高度 *h* 的乘积 *mgh*，具有特殊的意义”。它的特殊意义在于它一方面与重力所做的功密切相关，另一方面它随着高度的变化而变化，与前面的猜想相呼应。对学习基础较好的学生，可以让他们对教材中“思考与讨论”中的问题进行讨论。从而使学生理解，正是因为重力做功与路径无关，才引入了重力势能的概念，而对于摩擦力则不能引入相应的摩擦力势能的概念。

如果没有地球对物体的吸引，就不会有重力做功，也就不存在重力势能，所以重力势能是属于系统的。重力势能 *mgh* 中的 *m* 为物体的质量，*g* 为地球的重力场强度，*h* 为物体和地球的相对位置关系，所以表达式 *mgh* 充分表达了重力势能属于物体和地球组成的系统。平常所说的“物体”的重力势能，只是一种简化的说法。

关于重力势能的变化与重力做功关系的讨论可以创设问题情境，设计具体的问题，让学生算一算，重力做功与重力势能变化的关系。

**教学片段**

**重力势能变化与重力做功的关系**

教师将手中粉笔头（质量为 *m*）竖直上抛，上升的高度为 h。然后让学生分析其上升和下落过程中重力做功与重力势能的变化。可以看出，上升过程中，重力做功为 − *mgh*，重力势能增加 mgh；下落过程中，重力做功为 *mgh*，重力势能减少 *mgh*。还可以让学生分析上述情景中如有空气阻力存在（上升高度仍是 *h*），结论是否会发生变化。最后启发学生总结出以下结论：重力做多少正功，重力势能就减少多少；重力做多少负功，重力势能就增加多少。即重力做功等于重力势能的减少量。上述关系可表达为 *W*G = *E*p1 – *E*p2 = − Δ*E*p，等式左边是重力做的功，等式右边是重力势能变化量的相反数。

通过分析，还应让学生得出：重力势能的变化只与重力做功有关，和其他力做功无关，即重力势能的变化只是由重力做功引起的。

### （4）重力势能的相对性

重力势能的相对性和对势能为负值的理解是本节的难点之一。教师在分析重力势能具有相对性时，可结合实际例子先认识高度的相对性。高度的相对性决定了重力势能具有相对性。一般以解决问题时简便为原则来选择参考平面。同时要向学生说明，重力势能的变化与参考平面的选取是无关的。

**教学片段**

**重力势能的相对性**

由于高度有相对性，所以重力势能也应该有相对性，因此在研究一个物体重力势能时应该选择一个参考平面，在这个平面上物体的重力势能值为 0。

质量为 1 kg 的小球，从桌面上 *h*1 = 1.2 m 的 A 点落到地面上的 B 点，桌面高 *h*2 = 0.8 m。请按要求填写下表。（*g* = 10 m/s2）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 参考平面 | 小球在 A 点的重力势能 | 小球在 B 点的重力势能 | 小球下落过程中重力做功 | 小球下落过程中重力势能的变化 |
| 桌面 | 12 J | − 8 J | 20 J | 减少 20 J |
| 地面 | 20 J | 0 | 20 J | 减少 20 J |

重力势能总是相对于某个水平面来说的，这个水平面叫参考平面。参考平面选取不同，重力势能的数值就不同。可见，重力势能具有相对性。选择哪个水平面作为参考平面，可视研究问题的方便而定，通常选择地面作为参考平面。选择不同的参考平面，物体的重力势能的数值是不同的，但并不影响研究有关重力势能的问题，因为在有关的问题中，有确定意义的是重力势能的差值，这个差值并不因选择不同的参考平面而有所不同。

对选定的参考平面而言，上方物体的重力势能是正值；下方物体的重力势能为负值。大小为负值的重力势能，表示物体在这个位置具有的重力势能要比在参考平面上具有的重力势能小。

### （5）弹性势能

在教学中可通过各种与弹性势能相关的情景，如观察弹簧、钟表或玩具里的发条，或分析拉弓射箭和撑竿跳高等过程，提出弹性势能的概念。关于弹性势能的决定因素，可结合教材，通过实验定性说明：弹簧的弹性势能与弹簧的劲度系数和形变量有关，劲度系数越大，形变量越大，则弹性势能越大。

## 3．“练习与应用”参考答案与提示

本节共 4 道习题，要求学生知道重力做功与路径无关，理解重力势能的概念，明确重力做功与重力势能变化的关系。知道重力势能具有相对性和系统性，能用重力势能的定义式进行计算。

1．设斜面高度为 *h*，对应于倾角为 *θ*1、*θ*2、*θ*3 的斜面长分别为 *l*1、*l*2、*l*3。由功的公式可知，在倾角为 *θ*1 的斜面，重力与位移的夹角为 ，重力所做的功为 *W*G = *mgl*1cos= *mgl*1sin*θ*1 = *mgh*。

同理可证，在倾角分别为 *θ*2、*θ*3 的斜面上，重力所做的功都等于 *mgh*，与斜面倾角无关。

提示：通过物体沿不同的斜面下滑时重力做功大小的计算，认识重力做功的特点，形成重力做功与路径无关，只与始末位置有关的正确观念。

2．− *mgh*，*mgh*；*mgh*，*mgh*

提示：（1）足球由位置 1 运动到位置 2 时，重力所做的功为 – *mgh*，足球的重力势能增加了 *mgh*。

（2）足球由位置 2 运动到位置 3 时，重力做的功为 *mgh*，足球的重力势能减少了 *mgh*。

以足球做曲线运动为情景，加深对重力做功与重力势能改变的关系的认识。重力势能的变化是与重力做功相对应的，重力做了多少功，重力势能就变化多少。重力做正功时重力势能减少，重力做负功时重力势能增加。

3．（1）正确。物体在拉力的作用下向上运动，如果做匀加速直线运动，这时拉力的功大于重力势能的增加量。如果物体做匀减速直线运动，这时拉力的功小于重力势能的增加量。

（2）错误。物体匀速上升，拉力的大小等于重力的大小，拉力的功一定等于重力势能的增加量。

（3）错误。根据 *W*G = *E*p1 – *E*p2 可知，重力做 − 1 J 的功，物体重力势能的增加量为 1 J。

（4）错误。重力做功只与起点和终点的位置有关，与路径无关，A、B 两点的位置不变，从 A 点到 B 点的过程中，无论经过什么路径，是否还受到其他的力，重力的功都是相同的。

提示：通过辨析在不同情景下拉力、摩擦力和重力做的功，强调重力势能的变化只与重力做功相对应，让学生在解决实际问题的过程中进一步理解重力做功与重力势能改变的关系，理解重力做功与物体的运动状态、运动路径、是否与其他的力做功无关。

4．（1）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 所选择的参考平面 | 小球在 A 点的重力势能 | 小球在 B 点的重力势能 | 整个下落过程中小球重力做的功 | 整个下落过程中小球重力势能的变化量 |
| 桌面 | 5.88 J | − 3.92 J | 9.8 J | 9.8 J |
| 地面 | 9.8 J | 0 | 9.8 J | 9.8 J |

（2）如果下落过程中有空气阻力，表格中的数据不变。

提示：让学生体会“重力势能跟零势能面的选取有关，而重力势能的变化跟零势能面的选取无关”，进一步形成重力做功跟是否有其他的力做功无关的正确观念。