# 19．拔河比赛中，可以说两队之间的作用力是相互作用力吗？

两个人甲和乙手拉手进行“拔河”，可以说甲对乙的力与乙对甲的力是一对相互作用力，而两队进行的拔河比赛，则不能这样说，这是因为拔河用的绳子很粗大，其质量一般不能忽略。甲（或乙）对绳的力与绳对甲（或乙）的力是一对作用力与反作用力。以绳子为研究对象，设它的质量为 *m*，它两边分别受到甲队队员和乙队队员的作用力 *F*甲和 *F*乙，根据牛顿第二定律有 *F*甲 − *F*乙 = *ma*。不难看出，只有当*m* = 0 或 *a* = 0 的情况下，才有 *F*甲 = *F*乙。

作用力与反作用力大小相等、方向相反、作用在一条直线上，但什么是作用力与反作用力呢？

## 一、什么是作用力与反作用力？

牛顿第三定律说的作用力与反作用力，指的是直接发生相互作用的两个物体间的作用力。弹力和摩擦力，都属于接触力，接触力只有在直接接触的两个物体间才会发生。甲、乙二人手拉手进行“拔河”，甲对乙的力与乙对甲的力是一对作用力与反作用力，但两队队员的拔河是通过一根绳子相互作用的。设甲队队员对绳子的作用力（合力，下同）为 *F*甲，乙队队员对绳子的作用力为 *F*乙，绳子的质量为 *m*，如图 1 所示。甲队队员对绳子的拉力 *F*甲与绳子对甲队队员的拉力 *F*ʹ甲是一对作用为与反作用力；乙队队员对绳子的拉力 *F*乙与绳子对乙队队员的拉力 *F*ʹ乙是一对作用力与反作用力。*F*甲与 *F*乙都是作用在绳子上的力，它们不是作用力与反作用力。

图 1 两队拔河时绳子在水平方向的受力示意图

*F*甲

*F*乙

*m*

如果 *F*甲 ≠ *F*乙，将产生加速度，设产生的加速度为 *a*，则根据牛顿第二定律有

*F*甲 − *F*乙 = *ma*

上式有两种情况使得 *F*甲 与 *F*乙 大小相等。一种情况是加速度 *a* = 0，即绳子处于平衡状态；另一种情况是 *m* = 0，即绳子根本不存在，两队队员直接手拉手对拉，或者绳子的质量很小，小到可以忽略。当然这在拔河比赛的实际场景中是不存在的。

在中学物理教学中，常常会出现“轻绳”“轻弹簧”“轻杆”等说法，这是在告诉我们，相比于它们两端的物体而言，它们的质量很小，可以忽略。在这种情况下，绳、弹簧、杆等，都可以看作两端物体相互作用的一种媒介，作用在它们两端并且沿同一直线上的两个力，满足大小相等、方向相反的条件，常常也把这样通过媒介相互作用的两个力看作一对作用力与反作用力。

还有一类力，是非接触力，也称场力，即两物体间通过场物质而相互作用，例如甲、乙两个电荷间通过电场相互作用，由于两个电荷相距较近，电场可以看作两个电荷相互作用的媒介，这两个电荷间的静电力可以看作相互作用力。对于万有引力，也是如此，一般情况下可以把引力场看作相互作用的媒介，而认为通过引力场作用的是一对作用力与反作用力。但对于相距非常遥远的两个星球，例如，相距几千光年的两个星球，可能其中一个星球的引力波传播到另一个星球时，前者早已发生爆炸而不存在了，也就无法谈反作用力了。

## 二、决定拔河比赛胜负的因素是什么？

首先要明确，参与拔河比赛的是人，人不能看作质点，也不能看作刚体。

先从最简单的两个人手拉手地拔河开始讨论。图 2 是二人拔河的示意图。

图 2 两人拔河示意图

（a）两人手拉手拔河

（b）系统所受外力

（c）甲乙各自所受外力

甲

乙

*N*甲

*f*甲

*G*甲

*G*乙

*f*乙

*N*乙

甲

乙

*N*甲

*f*甲

*G*甲

*G*乙

*f*乙

*N*乙

*F*乙对甲

*F*甲对乙

把研究对象选为这两人组成的系统，受到的外力有重力 *G*甲 和 *G*乙、地面对人的支持力 *N*甲 和 *N*乙、地面对人的静摩擦力 *f*甲和 *f*乙，如图（b）所示。甲、乙两人间的相互作用力为系统的内力，它们大小相等而方向相反，图中没有画出。

假设甲取得了胜利，我们来分析一下甲取胜的原因。分别选择甲和乙作为研究对象，他们受到的外力如图（c）所示。

对乙来说，除了图（b）中已经画出的 *G*乙、*N*乙和 *f*乙以外，还要增加甲对他的拉力 *F*甲对乙，其中 *G*乙和 *N*乙 是一对沿顺时针方向转动的力偶，其力矩大小为 *M*乙顺；而 *F*甲对乙和 *f*乙是一对沿逆时针方向转动的力偶，其力矩大小为 *M*乙逆。当 *M*乙逆 > *M*乙顺时，乙将失去平衡并产生角加速度，他将以脚与地面的接触点为轴沿逆时针方向发生转动，这就是他失败的开始。

再分析甲，他也受到四个外力的作用，其中 *G*甲和 *N*甲是一对沿逆时针方向转动的力偶，其力矩大小为 *M*甲逆；而 *F*乙对甲 和 *f*甲是一对沿顺时针方向转动的力偶，其力矩大小为 *M*甲顺。当 *M*甲逆 > *M*甲顺时，将失去平衡并产生角加速度，他也将以脚与地面的接触点为轴沿逆时针方向发生转动，而这是他取得胜利的开始。

由于 *F*甲对乙和 *F*乙对甲是一对作用力与反作用力，它们一定大小相等而方向相反，则 *M*甲顺 = *M*乙逆，从而可以知道甲之所以能战胜乙，其原因是 *M*甲逆 > *M*乙顺，即 *G*甲与 *N*甲 产生的力矩大于 *G*乙与 *N*乙 产生的力矩。决定这两个力矩大小的是重力的大小（体重）和由身体的结构、姿势造成的脚和地面的接触点与身体重心间的水平距离。

再来看两队拔河问题，与前面两人手拉手拔河不同的是，两队之间多了一段绳子，而且这绳子的质量不能忽略。如果把甲、乙二人及绳子作为整体（系统），它们所受外力仍然只有重力、地面对人的支持力及静摩擦力，如图3（a）所汞。如果拆分开来，分别对甲、乙二人进行受力分析，每人都受到四个力的作用，如图 3（b）所示，与图 2（c）不同的是 *F*绳对甲与 *F*绳对乙不是一对作用力与反作用力，在甲拉动乙运动取得胜利的过程中，总有一段时间绳在向左做加速运动，这时 *F*甲对绳 > *F*乙对绳，因此 *F*绳对甲 > *F*绳对乙。

图 3 两队拔河示意图

（a）两队拔河所受外力

（b）甲乙各自所受外力

甲

乙

*N*甲

*f*甲

*G*甲

*G*乙

*f*乙

*N*乙

甲

乙

*N*甲

*f*甲

*G*甲

*G*乙

*f*乙

*N*乙

*F*绳对乙

*F*绳对甲

如果选取绳子为研究对象，甲取胜的原因就是 *F*甲对绳 > *F*乙对绳。如果选取整个系统为研究对象，甲取胜的原因仍是 *M*甲逆 > *M*乙顺，即 *G*甲与 *N*甲产生的力矩大于 *G*乙与 *N*乙产生的力矩。决定这两个力矩大小的仍是重力的大小（体重）和由身体的结构、姿势造成的脚和地面的接触点与身体重心间的水平距离。这与两人手拉手拔河所得的结论相同。

还要说明两点：①以上分析是很简略的分析，做了很多简化处理。例如，我们认为绳处于水平位置，两人对绳的作用力方向沿水平方向；我们只考虑失败的一方的脚在地面上没有产生滑动；等等。②在甲拉动乙运动而最终取得胜利的过程中，做功的是人体的内力而不是外力。外力中只有甲受到的静摩擦力 *f*甲方向向左，但静摩擦力是不做功的。人的内力是人体内骨骼和肌肉的共同作用而产生的，内力做功消耗的是人体内的化学能。

## 三、弹簧测力计只适合在平衡状态下测量力

关于拔河比赛的分析可以给我们一些启示。

弹簧测力计是由金属制作的以弹簧为主体的测力装置，一般情况下弹簧本身的质量是不能忽略的。设某弹簧的质量为 *m*，两端分别受到方向相反的拉力 *F*1 和 *F*2 作用，根据牛顿第二定律，有 *F*1 – *F*2 = *ma*。*F*1 与 *F*2 大小相等的条件是 *ma* = 0，在 *m* ≠ 0 的情况下，只有*a* = 0 才可以。这就是弹簧测力计只适合在平衡状态下测量力的原因。

如果弹簧测力计在测量过程中做加速运动，则弹簧两端的弹力大小不相等，通过它的长度变化而读出的数据只是各部分弹力的平均值，不能准确地测量某个力。

在我们做测量物体的滑动摩擦力的实验时，最直接的方法是把被测量的物体（例如木块）静止放在水平桌面上，用弹簧测力计沿水平方向拉动它做匀速运动，则测力计的示数就等于物体与桌面间的滑动摩擦力。但在实验过程中，会发现测力计的指针来回跳动，很难读出稳定的数据，这是因为弹簧测力计很难保持做匀速运动。改进的办法如图 4 所示，把木块放在一块长木板上，弹簧测力计一端固定，另一端连接到木块上，用手拉动木板，尽量使上面的木块与弹簧测力计保持静止状态，这时下面的木板是否做匀速运动就不重要了。由于上面的木块及与它相连接的弹簧测力计总是处于静止状态，它的示数是稳定的，它表示的是弹簧的弹力大小，也就等于测力计对木块的拉力，而木块处于平衡状态，测力计的拉力与木块受到的滑动摩擦力的大小相等，这样就比较准确地测出了木块与木板间的滑动摩擦力的大小。

图 4 弹簧测力计保持静止时测量准确

*v*