

物体受力分析常见错误小议

中央电大力学教研组 丁 新

对物体进行受力分析、对力系进行简化和研究物体的平衡规律是理论力学第一篇静力学部分的教学重点内容, 其中受力分析的正确与否是求解理论力学问题的关键。此文从电大学生在学习过程中常出现的错误入手, 提出一些正确进行受力分析的建议, 供大家参考。

例1. 学生在画图1所示梯子的整体受力图时, (A 为光滑铰链, 地面与梯子之间光滑接触, EF 之间系以柔软绳索。)常有如图1(a)、(b)、(c)、(d)、(e)等多种结果。

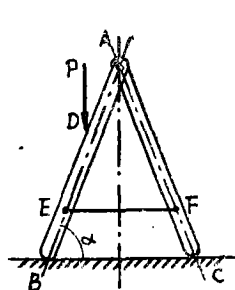


图 1

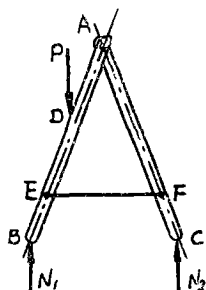


图 1(a)

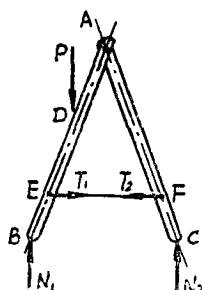


图 1(b)

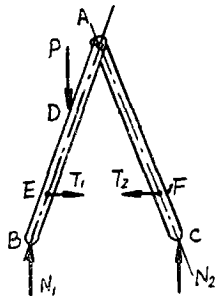


图 1(c)

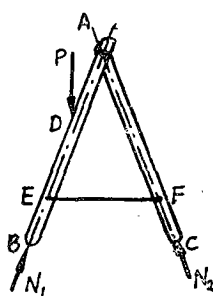


图 1(d)

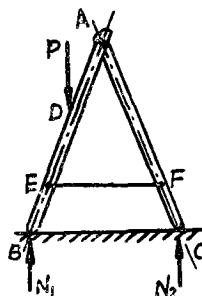


图 1(e)

不难分析, 只有图1(a)是正确的。图1(b)和(c)、(e)所反映的错误, 主要是对受力分析的对象不清, 即错误出在“取研究对象”上。这是我们要谈的第一个问题, 也是一个容易受到忽视的问题。研究对象又称隔离体、分离体。为了清晰地表示物体的受力情况, 把需要研究的物体(受力体)从它周围的物体(施力体)中分离出来, 单独画出它的结构简图, 这个过程称为“取研究对象”或“取隔离体”, 这是受力分析的第一步。例1所要求取的研究对象是“整体”, 即包括绳索 EF 的整个梯子。这就要求将其与周围物体(地面)分离开来, 画出简图。因而图1(e)是错误的; 图1(c)的研究对象不是整体, 不符合题意。有人认为图1(b)的错误仅仅是多画了一对内力。我们说, E, F 两处的内力如果画出来, 应该是两对(即4个), 也就是说不是多画了内力(为避免混乱, 我们规定不画内力), 而是虽然在形式上取整体做研究对象, 画了包括绳索的简图(去除了地面约束), 但在分析受力情况时, 其研究对象又游移为去除了绳索的如图1(c)所示的梯子。错误的原因是研究对象的不确定。类似的错误在电大理论力学试卷中屡见不鲜, 是一个需要重点解决的问题。

解题时同学们一定要明确研究对象: 是整体(整个系统)呢? 还是某些构件组成的局部? 抑或是单个构件? 应明确地取隔离体, 画出其简图, 研究对象确定之后, 内力与外力就截然分清了。下面我们再从另一个角度来看取研究对象的重要性。

例2. 画出图2所示桁架中 AB 杆和 BC 杆的受力图。

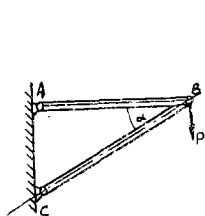


图 2

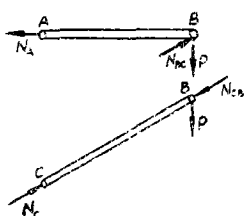


图 2(a)

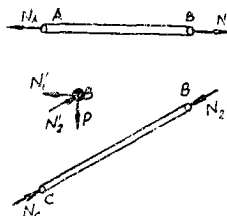


图 2(b)

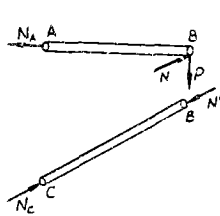


图 2(c)

不难看出,图 2(a)是错误的。这个错误的出现也是研究对象不清的反映。很明显,学生不明确他所取的研究对象 AB 杆和 BC 杆的 B 孔所包含的内容,不清楚主动力作用在铰链上的约定。在理论力学中,约定作用在铰链上的主动力被认为是作用在圆柱销上的。当将 AB 杆和 BC 杆作为分离体取出时,就应解除 B 铰链的约束。这就产生了一个 B 圆柱销的归属问题。因而 AB 杆和 BC 杆的 B 孔中是否包括圆柱销 B ,就决定了主动力 P 是否应该在其受力图上画出。如果两杆的 B 孔均不含圆柱销 B ,则正确的受力图应如图 2(b)。两杆均为二力构件。如果取研究对象时将圆柱销 B 包括在 AB 杆的 B 孔中,则受力图应如图 2(c),此时 BC 杆中的 B 孔就是空的。(这样做并不改变两杆作为二力构件的实质,请读者自己思考)。由此可见取研究对象的重要性。现在请大家完成下列问题:如果取包括圆柱销 B 在内的 BC 杆为研究对象,两杆的受力图应如何画?

有些学生提出:学习普通物理时,我们已经练习过画受力图了,为什么学习理论力学时还要反复训练呢?这正是我们要说明的第二个问题,其原因主要是理论力学详细讨论了约束和约束力。下面再看个例题。

例 3. 图 3 中 C, D 为光滑固定铰链, AC 杆和 BD 杆之间为光滑接触,已知 m_1 , 求在图示位置平衡时 $m_2 = ?$ 。

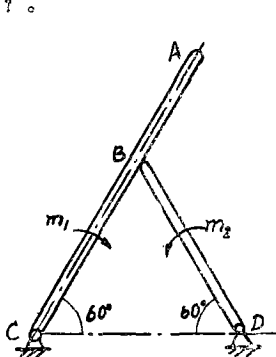


图 3

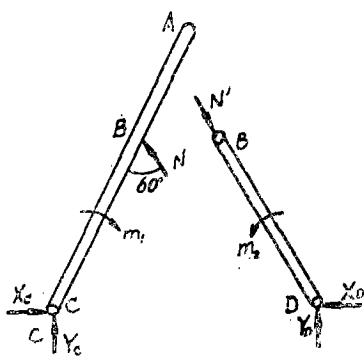


图 3(a)

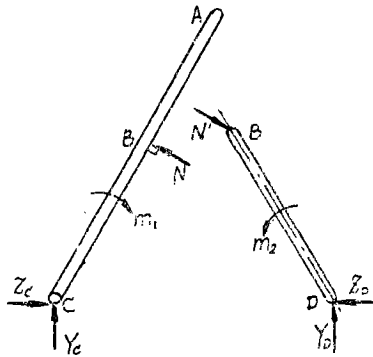


图 3(b)

为求解需要,分别取 AC 杆和 BD 杆为研究对象,为数不少的学生将 AC 杆和 BD 杆的受力图,画成图 3(a)。由此分析下去,将得出 $m_2 = 0$ 的荒唐结论。错误的产生是由于学生非常习惯、非常自然地把 AC 杆和 BD 杆之间的相互作用力“想象”成是沿 BD 杆轴向的。前面例 1 中图 1(d) 的错误性质与此完全一样,这种现象相当普遍。

理论力学对物体的受力分析不能凭主观想象画受力图,不能完全照搬普通物理那一套。例 3 中的错误告诉我们:约束力不能随意画出。首先,一定要根据约束的性质,在解除外部约束的地方,逐一画出约束力。例 3 中的两杆,约束性质是光滑面接触,这种典型约束的约束力方向沿二者接触面的公法线。故正确的画法应如图 3(b)。图 1(d) 的错误原因及纠正方法是一样的。不根据约束性质,凭习惯和想象画约束力,正是学生在受力分析中的常出现的错误,因而有必要在复习各类型约束及其约束反力的方向时,有意识地强化这种训练。其次,如果仅仅根据约束性质,尚不能确定约束力的方向时,有时可根据最简单的平衡条件,进一步确定约束力的方向。一般来讲,有下面几种情况:

1. 在处于平衡的物体上共作用了三个力时,其中有两个力的作用线已相交于一点,根据三力平衡汇交原理,可确定第三个力的作用线也一定汇交于此点,如图 5(a)中 N_A 方向的确定。
2. 平衡物体上如果只作用有一力偶和两个力。其中一个力的方向已确定(或能够确定),则另外一个力

必然与其构成一力偶与已知力偶平衡。由此可确定这个力的方向与指向,如图5(b)中 N_A 方向和指向的确定。再看图3(b)中 C 、 D 两铰链孔处的约束力,也可以根据上面的理由,直接确定其方向和指向。这样做,可使比较复杂的受力图变得很简单,给解题带来了方便。

3. 双铰链刚杆连接约束(即二力构件)。刚杆上只有两处用光滑铰链与其它物体连接,则此

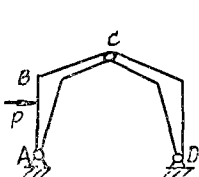


图 4

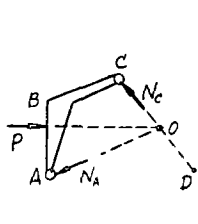


图 5(a)

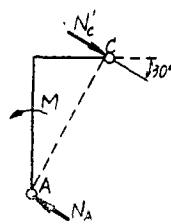


图 5(b)

构件就对其它物体构成了一种复合约束。例如图2中的 BC 杆,图6中的 CD 杆等。略去杆重,构件上又无其它主动力作用,就称为二力构件。二力构件在形状上不拘一格,但二力构件给所连物体的约束反力必然沿二铰链连线。作为复合约束,我们规定,可以不对二力构件再作受力分析,可以当做典型约束看待,根据其约束性质直接给出约束反力。正确判断二力构件,会使受力图简单,给解题带来方便;误判二力构件,则会造成错误。因此在教学中要注意引导学生对二力构件的判断,注意不要过分强调判断出二力构件的便利。例如图4和图6中的 CD 杆为二力构件,要求学生能迅速判断,取 AC 杆为研究对象,直接按二力构件复合约束的特性画出 N_C 或 N'_C ,其受力图如图5(a)和图5(b)所示,这样解题过程将变得很简单。如果判断不出,受力图和解题过程将比较复杂,但只要仔细去做,还是可以解出的。

从上例我们看到,有些约束力的方向可以根据作用力与反作用力的规律来确定。但在处理作用力、反作用力问题时还应避免出现下面的情况:在求解如图6所示的平衡问题时,有些学生把其分离体的受力图,画成如图6(a)所示的那样。

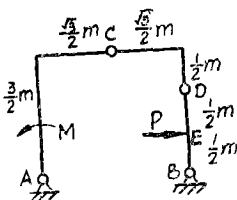


图 6

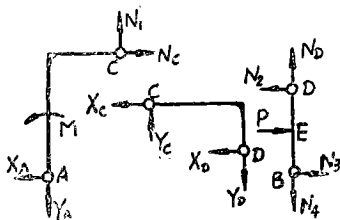


图 6(a)

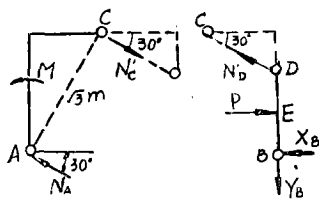


图 6(b)

图6(a)的错误并不在于对 CD 杆是二力构件没有作出判断,根本的错误是作用力和反作用力方向和符号上的混乱。按照这张受力图分析下去,由于求解平衡方程时可能出现负的结果,在联立方程求解的过程中就势必造成错误。由此可知,违背了作用力与反作用力这个静力学公理就要误入歧途。我们规定内力不画,但原系统两个互相接触连系部分的内力,在取局部为研究对象时,就成为新的研究对象所受的外力,它们是施力体和受力体之间具有的作用力和反作用力,确定了作用力,即可确定反作用力。在静力学问题中,要很好地利用这些关系,就必须在拆开局部画受力图时,使其方向和标注的符号协调起来。如作用力记作 N ,反作用力应记作 N' ,两个力矢的箭头(指向)应相反,共线。这样在联立方程时才能正确求解,因此上例的受力图的正确画法应如图6(b),在这里,我们按照复合约束的处理方法,略去了二力构件 CD 杆的受力图,使整个受力图更显得简练。

最后谈谈应如何避免漏画约束反力。建议在教学中指导学生检查一下研究对象在哪些地方被解除了约束,那么这几个地方一定作用有约束反力,然后逐一按约束性质及简单平衡条件和作用力、反作用力规律画出约束反力。这里要特别注意固定端约束的约束力。在解除固定端约束之后,除了有一个根据约束性质尚不能确定方向的约束力之外,还有一个转向同理不能确定的约束力偶。这个约束力偶常被遗忘,应引起大家的注意。

综上所述,对物体正确地进行受力分析应注意以下几点:

1. 应根据求解的需要选择研究对象,解除其外部约束,把它跟周围物件分离开来,画出它单独存在的简图。这样,什么是内力、什么是外力,就很清楚了。我们规定不画内力。

2. 画出全部主动力。

(下转 35 页)

势看,这道题似乎问得不合理。根据

$$\begin{aligned}\varphi_{\text{Br}_2/\text{Br}^-}^{\circ} &= +1.07 & \varphi_{\text{I}_2/\text{I}^-}^{\circ} &= +0.54 \\ \varphi_{\text{ClO}_3^-/\text{Cl}_2}^{\circ} &= +1.47 & \varphi_{\text{BrO}_3^-/\text{Br}_2}^{\circ} &= +1.51\end{aligned}$$

对于第一个反应,由于 $\varphi_{\text{Br}_2/\text{Br}^-}^{\circ} > \varphi_{\text{I}_2/\text{I}^-}^{\circ}$,因而 Br_2 能从含有碘离子溶液中将 I^- 氧化为 I_2 ,反应可以进行。而第二个反应, $\varphi_{\text{BrO}_3^-/\text{Br}_2}^{\circ} > \varphi_{\text{ClO}_3^-/\text{Cl}_2}^{\circ}$,似乎 ClO_3^- 不能与 Br_2 反应,也就是第二个反应不能进行,这样,似乎题目本身有问题。但若想到浓度对电极电势的影响时,对此就自然想通了。因为 $\varphi_{\text{BrO}_3^-/\text{Br}_2}^{\circ}$ 与 $\varphi_{\text{ClO}_3^-/\text{Cl}_2}^{\circ}$ 值很接近,当不断加入 Br_2 时,可使 $\varphi_{\text{BrO}_3^-/\text{Br}_2}$ 值减小,最后 Br_2 可将 ClO_3^- 还原为 Cl_2 ,所以这两件事并无矛盾。

对于第一个反应, Br_2 置换 I^- 为 I_2 ,起了氧化作用,而在第二个反应中, Br_2 从 KClO_3 中置换出 Cl_2 ,起了还原作用。可见条件不同, Br_2 的作用也不同。

三、在总结和归纳同一族、同一周期元素及化合物性质的变化规律时,还要注意某些元素的特性。如氟就具有不同于其它卤素的许多性质。

卤素的电子亲和能是按 $\text{Cl}-\text{Br}-\text{I}$ 顺序逐渐减小的,但氟却出乎异常地反比氟小,即比由 $\text{I}-\text{Br}-\text{Cl}$ 的电子亲和能外延直线所得值小 $110\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 左右。氟化物的键能也都比由其它卤化物键能的外延线所得值低许多。在化学性质方面,氟的氧化性最强,可以和所有的金属及大部分非金属剧烈地反应。

氟的这种特殊性,主要是因为氟原子的半径特别小,因此氟的原子核对最外层电子有最大的吸引力。但由于其电子密度特别大,当氟原子组成氟分子时,相邻两氟原子之间会产生较强的未成键电子对的互斥作用,使得氟分子的键是共价键中最弱的,因而氟是最活泼的非金属单质。并且在卤素性质的变化趋势上,从氟到氯有一个突变。

四、在总结归纳卤素及其化合物的性质时,要将所学的结构知识与性质的变化联系起来,以加深我们对规律性的认识。

例如, SiCl_4 易水解,而 CCl_4 难水解。这是由于C原子的电子层结构为 $1s^2 2s^2 2p^2$,而Si原子的电子层结构为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$,所以在 SiCl_4 中Si有空空的d轨道可以接受水分子提供的孤对电子,因而在水中易发生水解;可是在 CCl_4 中,C没有空的d轨道,它的配位数已经满足,所以难水解。当然这里与配位键的键能也有关系,Si—Cl键能比Si—O键的键能小得多,而C—Cl与C—O键的键能比较接近。所以前者易水解而后者难水解。

再如,为什么随着氯的氧化数的升高,氯的含氧酸酸性增强,而氧化性却减弱?这个问题从结构上去理解也是很容易的。在氯的含氧酸(HOClO_n , $n=0, 1, 2, 3$)中,随着氯的氧化数升高,氯离子的半径减小,对氧的极化力增强,从而减弱了氢氧间的作用力,所以有利于其进行酸式电离,故酸性增强。而含氧酸的氧化性主要决定于含氧酸根的稳定性,自 $\text{HClO} \rightarrow \text{HClO}_4$,随着氯的氧化数的升高和半径的减小,尽管其酸的稳定性愈来愈差,但由于含氧酸根愈来愈稳定,故氯的含氧酸及其盐的稳定性为 $\text{ClO}_4^- > \text{ClO}_3^- > \text{ClO}_2^- > \text{ClO}^-$ 。稳定性高的,氧化能力就弱。反之,氧化能力越强的,稳定性就差。所以氯的含氧酸,随氧化数的升高,酸性增强,氧化性却减弱。

无机化学是一门研究物质性质及其变化规律的学科,尽管它涉及的化学现象和各种反应式很多,但只要善于归纳总结,找出各元素及其化合物性质之间的内在联系,就能化繁为简,加深记忆,做到灵活运用,举一反三。

(上接 30 页)

3. 在解除外约束的地方,根据约束性质、画出全部约束力。切忌主观臆想。但可以根据简单的平衡条件和作用力、反作用力规律进一步确定仅由约束性质不能确定的约束力的方向与示向。使受力图尽量简单,为下一步求解提供方便。其中对二力构件,千万不要误判。

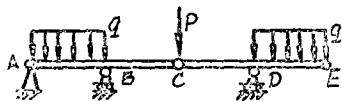


图 7

4. 在涉及多个物体的物体系统的力学问题中,画受力图时,要注意作用力和反作用力、方向符号上的协调。

下面请大家练习画图 7 和图 8 中各构件和整体的受力图。其中各铰链和接触面均是光滑的。

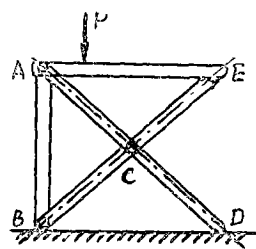


图 8