

The Method of the Science of Action of Studying Instability and Equilibrium

Changyi Wang

Land and Resources Bureau, Penglai, Shandong

Email: wyc59528@126.com

Abstract

The theory applied at home and abroad is mainly the force balance theory and the moment balance theory. The theory of mechanical equilibrium is flawed: it cannot measure equilibrium or instability. Mechanics can only describe equilibrium or instability, and cannot be measured. In the 1980s, there was a Science Of Action in China. It lays the foundation for establishing the correct balance theory. This paper focuses on the study the method of Action Science of unbalanced and balanced phenomena.

Keywords

instability; balance; measure; method of Action Science

Subject Areas Math & Physics

研究失稳、平衡现象的作用学方法

王昌益

中国山东蓬莱市国土资源局, 山东 蓬莱

Email: chzffx@qq.com

收稿日期: 2018年3月16日; 发布日期: 2018年3月26日

摘要

当前国内外应用的平衡理论主要是受力平衡理论和力矩平衡理论。力学平衡理论存在缺陷: 不能度量平衡或失稳现象。力学仅仅能够描述平衡或失稳现象, 不能对之进行度量。20世纪80年代, 在我国产生了作用学。作用学为建立正确的平衡理论奠定了基础。本文着重阐述研究失稳、平衡现象的作用学方法。

关键词

失稳; 平衡; 度量; 作用学方法

1 序言

在当前国内外科学基础理论中, 研究平衡和失衡现象的理论叫平衡理论。依据理论特点、研究领域、研究方法、应用范围等方面的差别, 目前国内外的平衡理论可划分为三种: 基本力学平衡理论、分析力学平衡理论、能源科学平衡理论。

基本力学平衡理论主要是受力平衡理论和力矩平衡理论。其中，受力平衡理论的核心内容由受力平衡方程构成。即

$$\sum F_i = 0。$$

力矩平衡理论的核心内容由力矩平衡方程构成。即

$$\sum M_0(F_i) = 0。$$

功能平衡理论是分析力学的一个理论，其核心内容：

受理想双面约束的质点系，其平衡的充分必要条件是系统内所有主动力对于质点系的任意虚位移所作的元功之和为零。即

$$\sum_{i=1}^n F_i \delta r_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中， F_i 为作用在质点 P_i 上的主动力， δr_i 为该质点的虚位移。这叫虚功原理。虚功原理可用广义坐标表表述：受理想双面约束的质点系，其平衡的充分必要条件是系统内所有与广义坐标对应的广义力为零。其直角坐标形式为

$$Q_j = \sum \left(F_{xi} \frac{\partial x_i}{\partial q_j} + F_{yi} \frac{\partial y_i}{\partial q_j} + F_{zi} \frac{\partial z_i}{\partial q_j} \right) \quad (j = 1, 2, \dots, m)。$$

P_i 的直角坐标为 (x_i, y_i, z_i) ，作用在 P_i 点的主动力的直角坐标分量为 (F_{xi}, F_{yi}, F_{zi}) 。

有势力系统的平衡稳定性：若质点系在平衡位形上的势能函数具有极小值，则该平衡位形是稳定的；若势能函数具有极大值，则该平衡位形是不稳定的，这叫拉格朗日定理。即质点平衡的充分必要条件是

$$\frac{\partial V}{\partial q_i} = 0。$$

势能函数 $V(r_1, r_2, \dots, r_n) = V(x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \dots, x_n, y_n, z_n)$ ，广义坐标势函数 $V = V(q_1, q_2, \dots, q_n)$ ，有势的广义力势函数 $Q_j = -\frac{\partial V}{\partial q_j}$ ， $(j = 1, 2, \dots, m)$ 。

很显然，功能平衡理论绕的弯子很大，其中包含着多余的思维研究过程，并且，其最终的研究结果也只是确定一个平衡条件，并不讨论平衡与失稳过程，对平衡和失稳程度不进行度量，不确定平衡函数和失稳函数。

能源科学平衡理论，也称能量平衡理论，它与上述两种力学平衡理论不属于同一个范畴。能量平衡理论主要涉及体系输入能量与有效能量、损失能量之间的平衡关系。它的理论依据是热力学第一定律。在能量的利用过程中，其利用率不可能达到 100%，输入的能量一部分被有效的利用了，其余部分则损失掉了。根据能量守恒的原理，输入的能量必然等于被有效利用的能量与损失能量之和。其能量平衡方程式：

$$\text{输入能量} = \text{有效能量} + \text{损失能量}。$$

能量平衡理论主要用于能源管理研究领域，涉及国家或地区能量平衡，企业能量平衡，工序和设备能量平衡，其研究对象主要是热平衡，电平衡、煤平衡、油平衡等。

基本力学平衡理论和功能平衡理论主要讨论平衡稳定条件，对于平衡和失稳现象不能给予完整系统的定量研究，在理论与方法上都存在一定缺陷。而能量平衡理论不涉及受作用点、受作用体受作用稳定性的科学内容。具体一些来说，当前的平衡理论存在如下一些缺陷：

- ①不涉及变化与其控制因素之间的统一关系问题，不适用于力学平衡研究领域。
- ②片面性强，不涉及平衡运行过程和不平衡运行过程以及两种运行过程的统一关系规律。
- ③力学的功能概念与定量取值方法具有人为规定性、脱离能量与作用量之间具有客观统一关系规律的缺陷，从而使能量平衡理论的科学性质大大减弱。
- ④能量与作用量之间具有当量统一关系。作用量属于矢量，而功能平衡理论中的能量概念是标量。所以，功能平衡理论在深入、统一的科学研究中不适用。
- ⑤能量平衡理论不涉及平衡和失衡与其控制因素之间的关系问题，不能度量平衡和失衡程度，不能描述平衡和失衡过程，不适用于力学平衡或作用学平衡和失衡问题研究。

本文涉及的平衡和失衡问题主要是作用控制下的受作用点或受作用体的平衡和失衡问题，属于力学平衡研究领域，也属于作用学平衡研究领域。它涉及平衡与失衡现象与运动、作用和变化现象之间的统一关系规律，这种平衡与失衡规律研究不仅在工程建设中具有重要意义，

而且在科学预测、灾害防治中都意义重大。因此，平衡与失衡问题并非是力学平衡理论中所描述的那样简单的问题。

平衡或失衡都属于现象，要正确认识平衡或失衡现象也需要建立正确的平衡和失衡理论。20 世纪 80 年代，在我国产生了作用学。作用学为建立正确的平衡理论奠定了基础。本文着重阐述作用学的平衡理论和失衡理论以及研究平衡和失衡现象的基本方法。

2 作用学的平衡和失衡理论

作用学用于描述自然物运动、作用和变化（包括各种变化现象如运动变化、变形、关系变化、生物生长等等现象）之间统一一般关系规律的是一个简单的方程组，叫作用对立统一规律方程组，其数学表达式为

$$\begin{cases} A = A_T + A_F \text{ (即作用量 = 虚作用量 + 实作用量)} \\ A_F = EA \text{ (即虚作用量 = 虚度} \times \text{作用量)} \\ A_T = TA \text{ (即实作用量 = 实度} \times \text{作用量)} \\ E + T = 1 \text{ (即虚度 + 实度 = 1)} \end{cases}。$$

作用学的平衡理论和失衡理论都被包含在这个方程组中。其中，由方程 $A_T = TA$ 导出的方程

$$T = \frac{A_T}{A}$$

是用于度量和计算平衡程度的参数或方程，该方程构成了作用学平衡理论的核心内容；而由方程 $A_F = EA$ 导出的方程

$$E = \frac{A_F}{A}$$

是用于度量和计算失衡程度的参数或方程，它构成了作用学失衡理论的核心内容。

在作用学理论中，符号 T 叫实度，是完整性、坚固性、密实度、刚度、硬度、弹性程度、阻挡率如电阻率等等正向性质的统称；而符号 E 叫虚度，是破碎程度、软弱程度、松散程度、塑性、韧性、通率、传导性等等负向性质的统称。在平衡与失衡问题研究中，符号 T 仅代表平衡程度，而符号 E 仅代表失衡程度。平衡程度和失衡程度都可以构成一个不变的常数，但一般都构成变数，在问题中多以函数的形式出现。

3 平衡和失衡问题研究的两种作用学方法

根据作用学研究发现，平衡和失衡现象研究都有两种基本方法，分别被称为理论法和函数法。这两种方法都根据作用学理论研究产生，其最主要的理论依据是作用学对立统一方程组：

$$\begin{cases} A = A_T + A_F \\ A_F = EA \\ A_T = TA \\ E + T = 1 \end{cases}。$$

在以往的作用学研究中，主要涉及作用与变化关系问题，没有涉及平衡和失稳现象与运动之间的关系规律。本文进一步阐明了平衡和失稳现象与运动、作用和变化之间的关系规律，指出虚度包含了失稳概念，实度包含了平衡概念。

3.1 平衡和失衡研究的理论法

根据作用学基本理论公式直接计算平衡和失衡参数或确定平衡和失衡函数的方法叫平衡和失衡研究的理论法。这种方法与步骤是：

$$\text{首先根据作用学关于作用对立统一规律方程组} \begin{cases} A = A_T + A_F \\ A_F = EA \\ A_T = TA \\ E + T = 1 \end{cases} \text{中的方程确定作用量 } A、\text{虚}$$

作用量 A_F 和实作用量 A_T 与运动、变化现象之间的关系函数，即首先确定作用函数、虚作用函数和实作用函数，然后根据方程

$$E = \frac{A_F}{A} \text{ 和 } T = \frac{A_T}{A}$$

来确定失稳程度值或失稳函数和平衡程度或平衡函数。

在具体问题研究中，需要根据实际问题进行力学和作用学分析研究，针对不同的作用与变化关系来具体确定作用函数、虚作用函数和实作用函数。这些函数的确定步骤如下：

第一步，确定被研究的受作用点；第二步，确定各种主动作用传递到被研究作用点处的作用量或作用函数；第三步，确定被研究受作用点接受的各种主动作用或驱动作用的合成函数；第四步，研究确定受作用点接受的虚作用函数和实作用函数；第五步，根据方程

$$E = \frac{A_F}{A} \text{ 和 } T = \frac{A_T}{A}$$

和实际问题给出的条件确定具体的失衡方程和平衡方程。

3.2 平衡和失衡研究的函数法

根据作用学基本理论，首先确定受作用点的运动方程，然后在运动方程中找出其中包含的平衡和失衡函数或平衡和失衡参数，这种方法被叫做平衡和失衡研究的函数法。这种方法与步骤如下：

首先，根据作用学的作用对立统一方程组
$$\begin{cases} A = A_T + A_F \\ A_F = EA \\ A_T = TA \\ E + T = 1 \end{cases}$$
 中的方程 $A_F = EA$ 和作用量 A 、虚

作用量 A_F 与受作用点运动距离 x 、质量 m 、初速度 v_0 、加速度 a 、时间 t 之间的关系来确定被研究受作用点的运动方程

$$x = \int_0^t \frac{A_F dt}{m};$$

再根据实际问题确定受作用点的虚作用函数；然后将虚作用函数代入上述运动方程，便获得了受作用点的实际运行方程；最后在该受作用点的运行函数中可以找出平衡和失稳函数，进而用于计算平衡程度和失稳程度。

4 实例

以上理论方法很简单，相应，其具体应用方法也很简单，只是由于人们长期应用力学方法，对作用学给出来的这种方法还有些陌生或不太习惯，所以，这里通过实例来进一步阐明其具体应用方法如下：

例 1：如图 1 所示，一质量为 m 的物体放在倾角为 α 的斜面上，请分析该物体在斜面上的稳定性。假设摩擦阻力为 R 。

解：如图 1 所示，控制物体运行的作用力和作用量由重力产生，两者分别为

$$F = G = mg \text{ 和 } A = Ft = mgt。$$

式中， A 和 F 分别表示驱使物体运动的作用量和作用力； G 表示物体所受的重力； g 表示重力加速度； t 表示物体接受作用的时间。控制物体是否运行的作用力和作用量是始终存在的，

A 和 F 是控制物体是否失稳即是否滑动的主导因素，但是，至于物体是否平衡稳定或是否失稳运行，还受滑面的性质控制。滑面能够产生一种阻止物体沿滑面运行的阻碍作用力 R 和阻碍作用量 A_R ，还产生阻止物体运行的支承力 N 和支承作用量 A_N ，其中，

$$\text{阻碍作用量 } A_R = Rt, \text{ 支承作用量 } A_N = Nt。$$

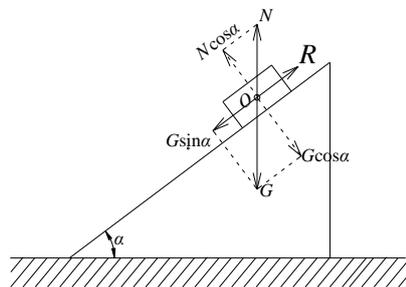


图1

(1) 方法一

根据作用学，物体接受的实作用力等于阻止物体沿滑面运行的各种力的和的负值，即

$$F_T = -(R + N \sin \alpha),$$

其实作用量为

$$A_T = -(A_R + A_N \sin \alpha) = -(R + N \sin \alpha)t;$$

物体接受的虚作用力为

$$F_F = ma,$$

式中， a 表示物体即质量 m 沿斜面运行的加速度（假设为匀加速度）；其虚作用量为

$$A_F = mat。$$

在滑行方向上，物体接受的作用力为 $F = mg \sin \alpha$ ，物体接受的作用量为 $A = mgt \sin \alpha$ 。

根据作用学关于平衡稳定性度量值 T 和失稳特征值 E 的求解方法一，

$$T = \frac{A_T}{A} = -\frac{-(R + N \sin \alpha)t}{mgt \sin \alpha} = \frac{F_T}{F} = \frac{-(R + N \sin \alpha)}{mg \sin \alpha} = 1 - \frac{a}{g \sin \alpha}$$

和

$$E = \frac{A_F}{A} = \frac{mat}{mgt \sin \alpha} = \frac{mv_t}{mgt \sin \alpha} = \frac{F_F}{F} = \frac{ma}{mg \sin \alpha} = \frac{a}{g \sin \alpha}。$$

式中， v_t 被称为即时滑动速度。在实际问题研究中，只要通过观测研究得到了函数式中的各种物理量，就能够确切评价物体在滑面上的稳定性程度或不稳定、失稳特征。其评价方法如下：

当 $T=1$ 、 $E=0$ 时，物体在滑面上处于受作用平衡、稳定静止状态；当 $T < 1$ 、 $E > 0$ 时，物体在滑面上处于失稳、下滑运动状态； T 值越大、 E 值越小，物体在滑面上的平衡稳定性越高；反之，亦反。

(2) 方法二

首先给在作用控制下运行的物体建立运动方程，然后找出平衡稳定函数和失稳运动函数，最后计算和评价受作用物体的稳定性。

根据力学，物体在滑面上下滑运行属于匀加速度运动，其方程为

$$x = v_0 t + \int_0^t \left[\int_0^t \left(\frac{mg \sin \alpha - R - N \sin \alpha}{m} \right) dt \right] dt = \int_0^t \left[\int_0^t \left(\frac{mg \sin \alpha - R - N \sin \alpha}{m} \right) dt \right] dt = v_0 t + \frac{1}{2} at^2;$$

根据作用学，

$$x = \int_0^t \left[\int_0^t \left(v_0 + \frac{EF}{m} \right) dt \right] dt = v_0 t + \frac{1}{2} at^2。$$

因此，有 $EF = ma = mg \sin \alpha - R - N \sin \alpha$ 。由于控制 m 下滑的驱动力为 $F = mg \sin \alpha$ ，所以，

$$E = \frac{ma}{F} = \frac{mg \sin \alpha - R - N \sin \alpha}{mg \sin \alpha} = 1 - \frac{-(R + N \sin \alpha)}{mg \sin \alpha} = \frac{ma}{mg \sin \alpha} = \frac{a}{g \sin \alpha}。$$

根据作用学， $T = 1 - E$ ，所以

$$T = 1 - E = 1 - \frac{ma}{F} = 1 - \frac{R + N \sin \alpha}{mg \sin \alpha} = 1 - \frac{a}{g \sin \alpha}。$$

由此得到计算斜面滑行物体的虚实度函数，进而可以计算平衡稳定特征值和失稳特征值，最后对下滑性质做出准确评价。

例 2：如图 2 所示，杠杆在支点 O 处的支承力 N 、 P 点处的重力 $G_1=mg$ 和 Q 点处的重力 $G_2=Mg$ 的共同作用下转动， $OP=b$ ， $OQ=c$ ，请分析 P 点的平衡稳定性，计算其平衡稳定性特征值，给出其失稳条件。

分析：杠杆 PQ 整体三点受作用，作用点分别位于 O 、 P 、 Q 三点，其作用力分别为 N 、 G_1 、 G_2 ，杠杆在这 3 个力作用下不变形，所以，该杠杆可被视为刚体。如果杠杆产生变形，它就是非刚体即变形体。下面根据作用学理论加以分析如下：

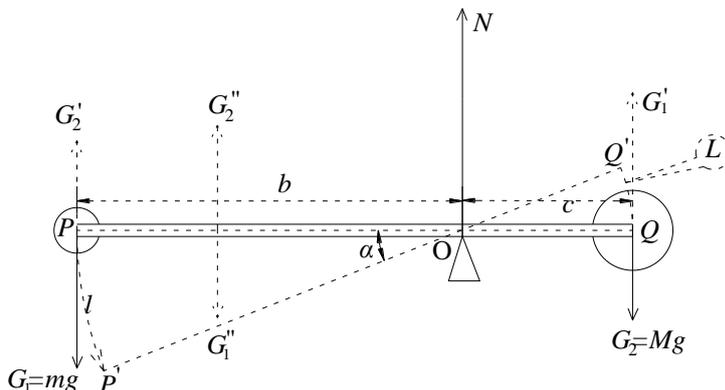


图2 转动、物质、空间、时间、运动、作用、变化统一关系示意图

(1) 整体受作用分析

a、在支点作用力 F 方向上的合作用分析：

如 2 所示，杠杆整体受作用实际上归结为受作用中心或变化中心点 O 的受作用。该中心在该作用体系中一般处于静止或相对静止区域的中心点，也是位移量最小的点，重心、质心往往构成受作用中心或变化中心，但也有时会按规律自然移位。在本问题中，变化中心位于支点 O ，整体的位移也就是 O 点的位移， O 点能代表整体。因此，无论体系中存在多少个作用，它们都是将作用传递到中心，在中心合成一个控制中心运行的作用合量。作用量向中心传递的现象属于自然现象，不需要力学简化。垂直于杠杆、作用于 P 点和 Q 点的两个作用力 G_1 和 G_2 在横向上通过杠杆等量传递到 O 点，大小和方向都不改变。所以，将作用于 P 点和 Q 点的两个作用力 G_1 和 G_2 都移到 O 点，然后，将 G_1 和 G_2 与支点 O 产生的作用力 F 合成，建立 O 点的综合受力方程，就得到整体受力方程：

$$F_{\text{合}} = N + G_1 + G_2 = N - mg - Mg = (m + M)a。$$

式中， a 表示整体的运动加速度（假设为匀加速度），即 O 点的运动加速度。

如果在三个作用下整体产生位移增量表示为 S ，杠杆质量忽略不计，那么，它的位移增量方程为

$$S = \int_0^t \left[\int_0^t \left(\frac{N + G_1 + G_2}{m + M} \right) dt \right] dt = \int_0^t \left[\int_0^t \left(\frac{N - mg - Mg}{m + M} \right) dt \right] dt = \frac{1}{2} at^2。$$

b、与杠杆平行方向上的整体受作用分析

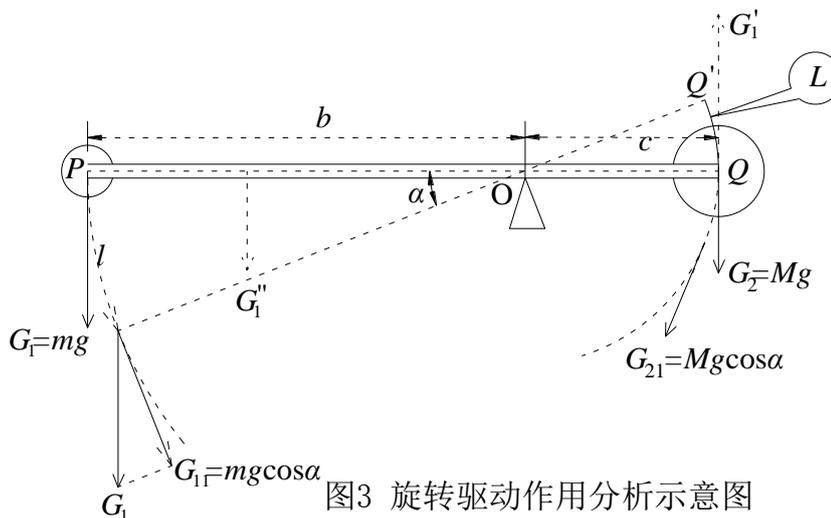


图3 旋转驱动作用分析示意图

如图 3 所示，作用于 P 点和 Q 点的作用力还生成指向杠杆长轴方向的拉动作用合力，从而使 P 、 O 、 Q 点位移，即使杠杆整体产生横向位移。若杠杆是不变形的刚体，那么，在杠杆长轴方向上 P 点、 Q 点、 O 点的位移量相同，即

$$F_x = mg \sin \alpha + Mg \sin \alpha + R_x = (M + m)a_x。$$

式中， F_x 表示在杠杆长轴方向上的驱动合力； R_x 表示 O 点产生的阻力； a_x 表示轴向变化加速度（假设为匀加速度）。

整体受作用平衡分析：

如果在作用控制下杠杆处于平衡稳定状态，即 $S = 0$ ，那么，根据力学，受作用平衡方程是

$$N + G_1 + G_2 = N - mg - Mg = 0 \text{ 或 } N = -(G_1 + G_2) = (m + M)g。$$

很显然，力学的这种平衡方程不能给出整体即 O 点的平衡稳定与失稳特性的度量值。

根据作用学，控制整体产生垂向位移的驱动作用力为 $F = (m + M)g$ ，控制 O 点运行的实度和虚度分别为 T 和 E ，阻止 O 点位移的作用力是 N ， F 与 N 分别被称为主动力和被动力，而 O 点在垂直向下方向上的实度与主动力和被动力之间的关系式为

$$T = \left| \frac{N}{F} \right| = \left| \frac{N}{(m + M)g} \right|,$$

式中，竖线 $| \cdot |$ 表示绝对值。相应，在垂直向下方向上的虚度即失稳特征值为

$$E = 1 - T = 1 - \left| \frac{N}{(m + M)g} \right|.$$

当 O 点产生变形位移时， $|(m + M)g| > |N|$ ， $E > 0$ ， $T < 1$ ，杠杆整体出现失稳位移现象。这种现象的产生一般是由支撑物变形引起。

在平行于杠杆方向上，主动力为 $F = (m + M)g \sin \alpha$ ，被动力是 R_x ，合力是 $F_x = (M + m)a_x$ ，因此，横向平衡稳定性度量值为

$$T = \left| \frac{R_x}{(m + M)g \sin \alpha} \right|,$$

横向失稳程度为

$$E = 1 - \left| \frac{R_x}{(m + M)g \sin \alpha} \right| = \frac{(M + m)a_x}{(m + M)g \sin \alpha}.$$

可见，在横向上是非常容易失稳的。

(2) 点 Q 和点 P 受作用分析

点 Q 和点 P 两点处的作用力 G_1 和 G_2 都属于偏心作用，是不平衡作用，它们分别产生转动减量和转动增量。这两点的作用对转动的控制是通过作用量的传递与合成来实现的。这种传递与合成遵守特有的规律：作用于杠杆上任意一点的作用力同时传递给杠杆上每个受作用点，作用于杠杆上不同点的作用力在任意点上的传递量相互合成、共同支配该点的运行。

如图 3 所示，作用于 P 点的作用力 G_1 传递到 Q 点变为 G'_1 ， G'_1 与作用于 Q 点的作用力 G_2 共同控制 Q 点的运行。根据作用学，假设 Q 点的位移是 L_1 ，则有 Q 点的运行方程

$$L_1 = \int_0^t \left[\int_0^t \frac{(G_{21} - G'_{11}) dt}{M} \right] dt = \int_0^t \left[\int_0^t \frac{\left(Mg - \frac{b}{c} mg \right) \cos \alpha dt}{M} \right] dt = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{bm}{cM} \right) g t^2 \cos \alpha。$$

Q 点受作用平衡分析:

根据方法二, 在上述 Q 点位移方程中出现的 $\left(1 - \frac{bm}{cM} \right)$ 描述 Q 点的失稳程度, 即式

$$E_1 = 1 - \frac{bm}{cM}$$

是描述 Q 点的失稳函数, 而 $\frac{bm}{cM}$ 度量 Q 点的稳定程度, 即

$$T_1 = \frac{bm}{cM}$$

是描述 Q 点平衡稳定性质的函数。E₁ 和 T₁ 分别构成了 Q 点动与不动性质评价的判据, 作用学称之为虚度和实度, 这两个参数是 Q 点质空关系特性描述的综合参数。根据

$$E_1 = 1 - \frac{bm}{cM} \text{ 和 } T_1 = \frac{bm}{cM},$$

当 $m = M$ 、 $b = c$ 时, $E_1 = 0$, $T_1 = 1$; 说明 Q 点受作用平衡, Q 点没有位移余地; 当 $E_1 \neq 0$, $T_1 \neq 1$ 时, Q 点受作用不平衡, 必然产生不平衡位移。

可见, Q 点位移受多因素控制, 这些因素包括物质量 m 和 M 、空间量 b 和 c 、倾斜角度 α 、时间 t 、重力加速度 g 以及运动、作用和变化三个基本现象, 所有这些因素共同控制了 Q 点的运行。

根据作用学的平衡与失稳理论, 即根据方法一, 作用于 Q 点的被动力即阻止 Q 点绕 O 点旋转的制约力 $G'_1 = \frac{b}{c} mg \cos \alpha$ 与作用于 Q 点的主动力即支配 Q 点绕 O 点旋转的驱动力 $G_2 = Mg \cos \alpha$ 之比值等于度量 Q 点平衡稳定性的实度, 即

$$T_1 = \frac{\frac{b}{c} mg \cos \alpha}{Mg \cos \alpha} = \frac{bm}{cM};$$

根据作用学失稳理论, Q 点的失稳程度 E₁ 等于 1 减 Q 点的稳定程度 T₁, 即

$$E_1 = 1 - T_1 = 1 - \frac{bm}{cM}。$$

可见, 通过方法一获得的虚度和实度函数与通过方法二获得的虚度和实度函数是完全相同的。

同理，作用于 Q 点的作用力 G_2 传递到 P 点变为 G'_2 ，与 P 点的作用力 G_1 共同控制 P 点的旋转运行， P 点的运行方程为

$$L_2 = \int_0^t \left[\int_0^t \frac{(G_{11} - G'_{21}) dt}{m} \right] dt = \int_0^t \left[\int_0^t \frac{\left(mg - \frac{c}{b} Mg \right) \cos \alpha dt}{m} \right] dt = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{cM}{bm} \right) g t^2 \cos \alpha。$$

P 点受作用平衡分析：

根据方法二，在 P 点的运行方程中出现的 $T_2 = \frac{cM}{bm}$ 代表阻止 P 点运行的制约因素产生的制约性参数，相当于 P 点的实度，即不可运行程度，它是评价 P 点稳定性的重要指标。而该式中 $E_2 = 1 - \frac{cm}{bM}$ 表述 P 点的失稳程度或不稳定程度，就是 P 点的虚度。 E_2 是评价 P 点失稳特性的指标。

根据方法一，同样可获得稳定函数 $T_2 = \frac{cM}{bm}$ 和失稳函数 $E_2 = 1 - \frac{cm}{bM}$ 。

该实例分析进一步证明：平衡稳定或失稳特性的度量函数可以根据作用学的平衡理论公式直接确定，也可以在其运行方程中找出。

5 结论

综上所述，作用学新理论确定了比传统力学更科学的平衡和失稳理论与方法，改变了过去只能描述平衡与不平衡现象、不能度量平衡稳定程度和失稳程度的现状，为人类带来了新时期的科学技术革命，为工程建设、科学预测、灾害防治提供了更有效的科学理论依据。

参考文献

- [1] C.Hartsuijker, J.W.Welleman, 吴永礼. 工程力学 第1卷 平衡[J]. 国外科技新书评介, 2007(11):2-3.
- [2] 石坚. 探讨《工程力学》中物体系统的平衡问题[J]. 商情, 2016(20).
- [3] 李永尧. 有关平衡的几个基本问题[C]// 中国兵工学会分析力学讨论会. 1985.

[4] 孙智刚, 田斌, 王耀琨,等. 能量平衡理论在电弧炉节电上的应用[J]. 工业加热, 2012, 41(1):13-14.

[5] 王昌益, 孙洁. 作用学概论[J]. 城乡建设, 2010(9):315-318.