

《教学用杠杆秤》（征求意见稿）编制说明

1 起草工作简要过程

1.1 任务来源

根据全国教育装备标准化技术委员会力学、热学仪器分技术委员会 2022 年教育行业标准制修订计划承担本项目。项目编号：Jyzblr-2022-09。

1.2 起草本文件所做的工作

起草人接到起草教学用杠杆秤标准的项目后就着手收集杆秤样品和资料和市场商贸用的杆秤产品。研究该产品结构，并专门走访了生产贸易用杠杆秤的生产企业，了解产品生产的全过程。发现他们生产的全部都是双提钮的，有秤钩和秤盘两种。唯一没有单提钮的。杆秤的秤杆大多数收集木制的，也有少量的秤杆是铝合金的。秤杆基本上是圆锥体的。戥子秤的材料基本是铜的，牙和骨制的现基本少见。

我们现在用在教学实验中的杠杆秤与其差别很大，将贸易用的双纽秤改为单纽秤，从而不致于在这些方面干扰对杠杆秤是杠杆原理应用的认识。

2 杠杆秤和戥子在教学中的用途和要求

2.1 在过去的初中物理教学仪器配备标准中没有此产品。

在 JY/T 0619—2018 中增加了杠杆秤（量程 2.5kg）和戥子（量程 250g）的配备（选配），在“实践活动建议”中有如下内容：“了解传统测量工具，尊重中华民族的优秀文明成果，具有文化自信。了解新型测量工具，将物理知识运用于探究与实践，有学习掌握技术的兴趣和意愿。（技术应用）”。这是用于了解传统测量工具的，在历来的教材中杠杆应用均未提到杆秤，课程标准中也无此内容。

既然要配实物，总得要能实际测量。要测量，总要有某种准确度要求，因此好像就变成一种教学用测量仪器了。其实这不是教学用测量仪器，因为测量物体质量的仪器已有天平。如果把教学用杠杆秤和戥子秤作为示杠杆原理应用的模型类教具则比较贴切。

杠杆秤的原理与天平相同，都是利用杠杆平衡。戥子仅是小量程的杠杆秤。

教材中提到天平只是“等臂杠杆”。杠杆秤是等臂和不等臂杠杆。初中有杠杆平衡的实验，并且得出的结论是：动力×动力臂=阻力×阻力臂。做了这个实验以后再来理解杠杆秤就没有难度，这是杠杆平衡的具体应用。用杠杆秤作为杠杆平衡的应用有利于联系实际。

2.2 中学物理在研究杠杆平衡问题时是不考虑杠杆本身质量的，即把杠杆本身简化为“轻质杠杆”。初中物理没有涉及力矩平衡的问题，也没有严格明确“力臂”的概念（力臂是支点到力作用线的垂直距离，在杠杆位于非水平位置时，力臂并不是杠杆上某一段的长度）。但是初中物理教材中只是模糊地用“动力臂”、“阻力臂”，用于省力杠杆和费力杠杆，移动距离大小。

初中物理知识没有涉及一个问题，也无法分析回答以下问题：

图 1 中悬挂点 A 、 B 与支点距离相等，但是杠杆左侧向下倾斜，说明左侧重物质量 m_1 略大于右侧重物质量 m_2 ，就是力矩 $F_1L_1 > F_2L_2$ 。问题：那么杠杆为什么不继续倾斜以致彻底翻倒，而会在略倾斜的情况下静止呢？

原因是图中当杠杆悬挂重物以后，系统（杠杆和重物）共同的质心下移，例如在 P 点（在

杠杆下方的空间)。当杠杆左端向下倾斜时, 杠杆和重物系统的质心 P 偏离竖直位置, 从而产生一个顺时针方向的转动力矩, 因此杠杆并没有彻底翻倒。

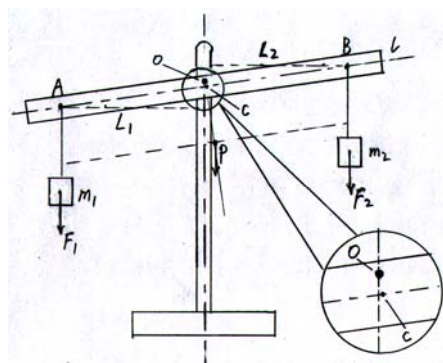


图 1 杠杆平衡

杠杆支点 O 距离中心线 l 的距离约大 (或者悬挂重物的线越长) 越稳定, 但是灵敏度也越低; 反之灵敏度越高, 也越不稳定。这些内容都不可能向初中学生讲。

因此作为初中物理杠杆的运用的案例不要复杂化, 不适合引入初中知识不涉及的内容。因此初中教学用杠杆秤的结构与实用的杠杆秤应该是不同的, 因此实际的市场贸易用秤直接作为教学用不适用, 具体原因有三:

第一, 实用的杠杆秤秤杆是圆锥体, 即一头粗一头细, 原因是因为秤杆右端短, 左端长, 为了秤杆本身的平衡。左端秤杆甚至还要包铜 (实际是配重)。但是这种结构将把学生的注意力引导到思考秤杆本身为什么一头细一头粗的具体结构上去, 并且涉及到初中没有讲授的知识。

第二, 秤纽就是支点, 如果一个力点的零位在另一个力点的同一侧, 这样将给初中学生理解带来复杂化。杠杆的一个力点的零位在另一个力点的同一侧, 怎么能够平衡呢?

第三, 两个秤纽就是两个支点, 也给初中学生理解带来困难。

两个秤纽用于大小不同的两个量程, 其实质是把大小两个量程的秤做在一起了, 原因是杆秤的分度数不可能很大, 小量程用于小的分度值, 大量程用于大的量限 (双纽秤有两个标尺)。同样原理, 完全可有三个或更多的秤纽, 把几种不同量程的秤做在一起。贸易用戥子也是两个纽的。

一个秤纽 (即一个量程) 的杠杆秤分度数是有限的。既然是一个量程, 分度值需要根据标尺上可能的情况确定。

如果分度值过小, 分度长也非常小, 测量误差将很大, 失去了小分度的实际意义。

2.3 教学用模型有三类:

a) 显示形态结构的模型, 例如生物模型;

这类模型要求形态结构、位置和相互关系符合真实, 不能任意改动, 当然为了可见度, 可以放大。

b) 显示动作原理的模型, 例如汽油机、柴油机模型;

这类模型要求动作原理、与原理有关的基本结构以及动作顺序符合真实设备, 次要部分结构可简化或省略, 动作的过程也往往是采用模拟方式 (例如汽油机模型的动作采用手动, 蒸汽机模型的动作采用压缩空气)。

c) 既显示结构, 又显示动作原理的模型, 例如太阳能电池的教具、氢氧燃料电池教具。

这类模型使用真实的太阳能电池或氢氧燃料电池, 但是规格是缩小的, 目的只是显示动作, 要求有真实的现象, 并无实用价值。其余配套外围设备 (例如用电设备) 也往往简化。

教学用模型还往往需要有适当的可见度, 或者采用半剖式结构。

根据以上对教学用模型的分析, 可以认为教学用杠杆秤和戥子秤是一种模型类教具, 基本

属于上述第三类模型。

教学用杠杆秤的用途不是代替天平，而只是作为杠杆实际应用的案例，严格说是一种教学模型，当然这个模型是能够实际称一下的。

2.4 因此教学杠杆秤和戥子的要求是：

- a) 结构简明，容易理解“动力×动力臂=阻力×阻力臂”时杠杆平衡；
- b) 能够称量已知质量的物体，有基本的准确度；
- c) 并不是教学实验用的测量仪器。

因为杠杆秤的测量准确度无法与天平相比，因此杠杆秤只是一种杠杆应用的模型类教具，并不是在其他实验中用于测量物体质量的仪器。

当然不涉及上述 2.2 中的杠杆平衡问题。

3 标准技术指标的说明

3.1 结构

本文件用总体要求明确规定了教学用杠杆秤和教学用戥子的特征：

- a) 圆柱体秤杆（直径相同）；
- b) 单提纽（零点纽），单量程；
- c) 零点与承载器（秤盘或秤钩）位于零点纽两侧。

建议稿中对秤杆的长度提出了不等臂一种方案。

等臂方案的优点是彻底避免了对秤杆本身的注意，缺点是不像杆秤。不等臂的优点是像杆秤，缺点是秤杆短的一段需加配重，无论采用何种方案，都可能引起学生关注，然而这种关注是不必要的，无益的。

3.2 技术指标

3.2.1 最大称量

按照 JY/T 0619—2019 的要求，杠杆秤为 2.5kg，戥子为 250g。

但是起草人认为既然这是模型类教具，不是需要真实使用的测量仪器，那么没必要用 2.5kg 和 250g，如果杆秤最大称量为 1kg，分度数仍为 50，分度值为 20g，戥子秤最大称量为 100g，分度数为 100，分度值为 1g，那么实际的最小测量质量都可减小，例如杆秤测量 100g，戥子秤测量 10g 时就比较准确。另一种方案的规格和允许误差见表 1。

表 1 技术规格及允许误差

类别	最大称量 (Max)	分度值 d (零点纽)	分度数 (n)	秤杆长 (mm)	秤砣		秤盘（或秤钩）	
					质量 (g)	允许误差 mg	质量 (g)	允许误差 mg
杠杆秤	1kg	20g	50	≥ 500	100	± 50	100	± 50
戥子	100g	1g	100	≥ 280	40	± 25	25	± 25

注：（检定）分度数是最大称量与检定分度值之比，用 n 表示。

这种方案秤杆的刻线（或星点）示值形式如下：

- a) 教学用杆秤：最大称量 1.0kg，每 100g 为长线，每 50g 为中线，分度值 10g 为短线，均匀分布，分度值的间距应不小于 5mm；
- b) 教学用戥子：最大称量 100g，每 10g 为长线，每 5g 为中线，分度值 1g 为短线，均匀

分布，分度值的间距应不小于 3mm。

当然，如果认为不需要有比较准确测量能力，那也无妨。

正文中表 1 的秤盘直径是为了避免越做越小。

现就两种方案征求意见，请讨论。

3.2.2 主要技术指标

杆秤的主要技术指标有：

最大称量、分度数、分度值、标尺长度及分度长度、零位位置、秤砣质量、秤盘质量。

这些指标是相互牵制的，且与杆秤的平衡密切相关。因此首先需要分析杆秤的平衡。

3.2.3 杆秤的平衡

3.2.3.1 概述

杆秤（包括戥子秤，戥子秤是小量程的杆秤）平衡包括秤杆本身的平衡和秤砣与称盘（或称钩）加被称物体的平衡。

3.2.3.2 秤杆的平衡

3.2.3.2.1 秤纽两侧长度相等，见图 1。

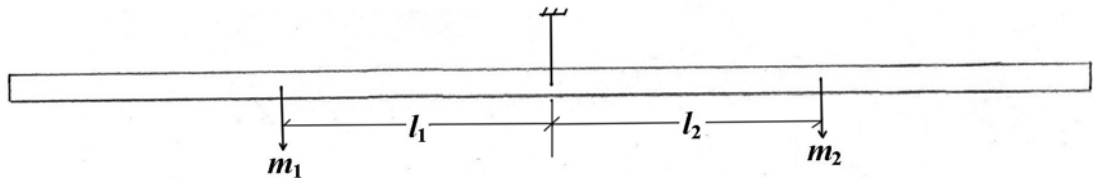


图 1 秤纽两侧长度相等的示意图

秤杆为各处直径（或边长）相等的材料。秤纽两侧的秤杆长度相等。秤纽（支点）两侧秤杆的质心在每段的几何中心， $m_1 = m_2$ ， $l_1 = l_2$ 。必有 $m_1 l_1 = m_2 l_2$ 。

如果秤杆采用这种结构，优点是秤杆本身的平衡简单，缺点是不像杆秤。

3.2.3.2.2 秤纽两侧长度不等，见图 2。

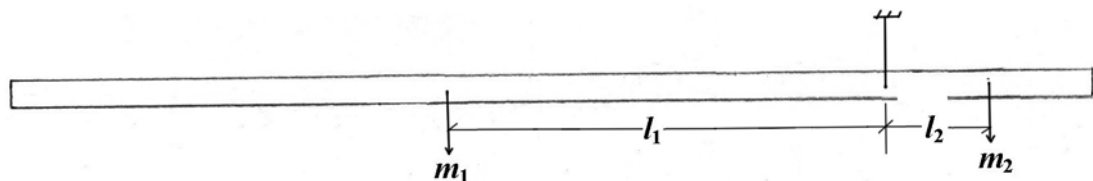


图 2 秤纽两侧长度不等的示意图

秤杆为各处直径（或边长）相等的材料，但是秤纽两侧的秤杆长度不等。秤纽（支点）两侧秤杆的质心在每段的几何中心，因为 $m_1 > m_2$ ， $l_1 > l_2$ 。因此 $m_1 l_1 > m_2 l_2$ ，秤杆不能平衡。

此时仍要求 $m_1 l_1 = m_2 l_2$ ，因此秤纽右侧的秤杆只能加配重。

如果秤杆采用这种结构，优点是像杆秤，缺点是秤杆本身的不能平衡，必须加配重（当然加配重的方案可有各种（明的、暗的），戥子秤秤盘侧加了配重与秤盘的刀承与刀子做在一起），如图 A.3。

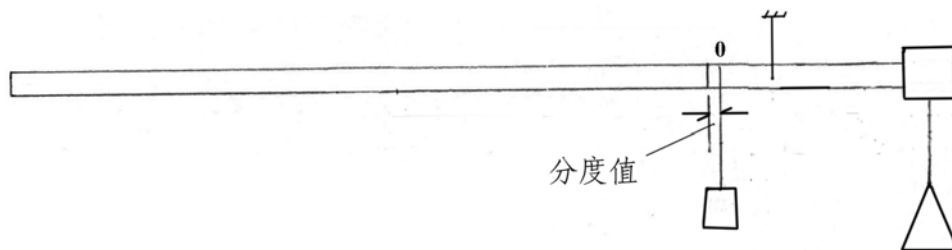


图3 戥子秤的结构

3.2.3.3 秤杆平衡的计算如下：图 A.2 中，秤杆平衡的条件是：

$$m_1 l_1 = m_2 l_2 \dots\dots\dots (1)$$

设秤杆为圆柱形，外径为 d ，圆柱的截面面积为 $\frac{\pi}{4} \cdot d^2$ 。材料密度为 ρ ，单位长度秤杆的质量 m 为 $\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot l \cdot \rho$ 。

如果采用秤杆两端材料密度不同的方案，设两端的材料密度分别为 ρ_1 和 ρ_2 ，因此(1)式成为：

$$\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot l_1 \cdot \rho_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot l_2 \cdot \rho_2$$

因此有：

$$\frac{l_1}{l_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} \dots\dots\dots (2)$$

图3（戥子秤）的平衡计算：

如图4，秤杆左端质量为 m_1 ，位于几何中心，平衡时力臂长 l_1 。秤杆右端质量为 m_3 （未加配重时），配重质量为 m_4 ，加配重后右端总质量为 m_2 。

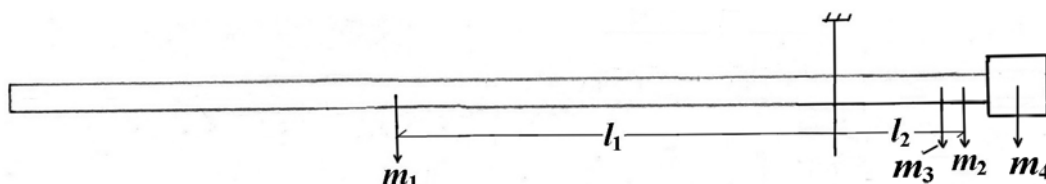


图4 戥子秤秤杆的平衡关系示意图

设秤杆右侧长度为全长的 $1/n$ ，秤杆均匀，因此 $m_3 = \frac{1}{n-1} m_1$ （ m_3 为秤杆 $1/n$ 长度的质量）。

秤杆右侧加配重 m_4 后的总质量为 m_2 ， $m_2 = m_3 + m_4$ 。此时 $m_1 l_1 = m_2 l_2$ 。要使 l_2 尽量大一些，例

如 l_2 长为杆秤右端全长的 $\frac{k-1}{k}$ （ k 为某一整数），即等于秤杆全长的 $\frac{k-1}{nk}$ ，于是要求加配重后

的 m_2 等于 $n m_1$ ，因此配重质量 $m_4 = \frac{n^2 - n - 1}{n - 1} m_1$ 。实际情况还会有出入（配重的长度将影响秤

杆右侧的质心位置），可用试验方法确定。在未装秤砣和秤盘（或秤钩）时秤杆应能平衡。

3.2.3.3 秤砣与秤盘（或秤钩）的平衡

支点两侧秤杆的质量分别为 m_1 、 m_2 。秤砣质量为 m_3 ，秤盘质量为 m_4 。秤盘（或秤钩）与秤纽的距离为 l_4 ，标尺零位与秤纽距离为 l_3 ，标尺分度长为 l_5 ，分度质量为 Δm 。示意图如图 5。

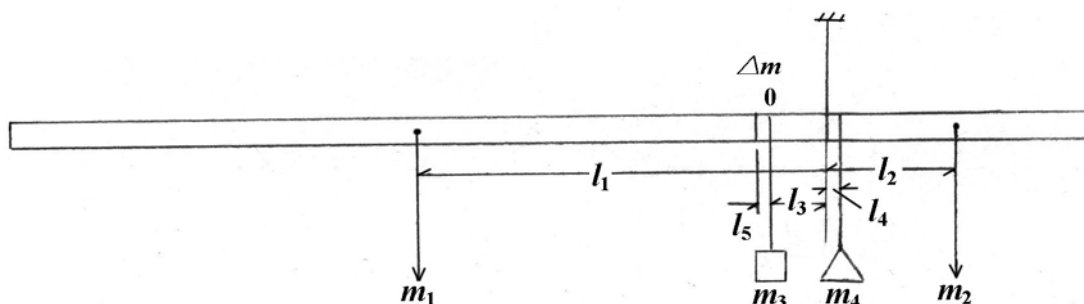


图5 秤砣与秤盘（或秤钩）的平衡示意图

确定杆秤基本参数步骤如下：

- a) 根据测量需要确定最大称量，一般都为整数；
- b) 选择杆秤的参数：
 - 1) 统筹考虑秤杆全长、秤杆的秤砣侧长 $2l_1$ 、分度值 Δm 和分度标尺全长、零位与秤纽（支点）长度 l_3 和标尺最大称量位置与秤杆末端的距离；
 - 2) 确定秤砣质量 m_3 ， m_3 为最大称量的若干分之一；
 - 3) 根据单纽杆秤的秤杆长和分度长，确定分度数，分度数均为整数，分度长一般都为若干毫米，如果分度长过小，则读取砣系（秤砣的吊线）位置误差就很大。一般分度长 l_5 至少为砣系直径的 3 倍~5 倍；
 - 4) 选择适当的 l_4 数值；
 - 5) 确定秤盘（或秤钩）质量 m_4 的值，需要考虑以下(5)式和 (6)式的关系，使根据 (A.5) 式计算得到的零位与秤纽的距离 l_3 为步骤 1) 预定的范围。

计算如下：

设秤杆位于平衡（水平）位置， m_1 、 m_2 、 m_3 、 m_4 的力臂分别为 l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 。

分度质量为 Δm ，分度长为 l_5 。

秤砣和秤盘的平衡： $m_3 l_3 = m_4 l_4$ 。此时秤砣在“0”位，秤盘位置 (l_4) 是固定的。

当秤盘 m_4 中加载质量 Δm ，此时秤砣移动到 l_5 处杆秤平衡，因此有：

$$m_3(l_5 + l_3) = (m_4 + \Delta m) l_4 \quad \dots\dots\dots (3)$$

即：
$$m_3 l_5 + m_3 l_3 = m_4 l_4 + \Delta m l_4 \quad \dots\dots\dots (4)$$

因为 $m_3 l_3 = m_4 l_4$ ，所以 (3) 式成为 $m_3 l_5 = \Delta m l_4$ ，

因此
$$l_4 = \frac{m_3}{\Delta m} \cdot l_5 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$l_3 = \frac{m_4}{m_3} \cdot l_4 \quad \dots\dots\dots (6)$$

3.2.4 标准（建议稿）中的技术规格

标准（建议稿）中的表 1、表 2 给出了教学用杆秤和戥子秤的两种方案，其中一种是按 JY/T 0619—2019 中的要求（最大称量分别为 2.5kg 和 250g），另一种是 1.0kg 和 100g。

技术指标项目有：最大称量 (Max)、零点组的分度值 d 、分度数 (n)、秤杆长、秤砣质量即允许误差、秤盘（或秤钩）质量及允许误差。

秤砣和秤盘质量的允许误差参照 JJJ 99—2006《砝码检定规程》的 M_3 级砝码。

5.3.3 条杆秤的标尺刻线示值形式也有两种方案，分别对应与上述两种方案。包括：最大称量、长线、中线、短线（分度值），分度值的间距。

在标准（建议稿）的附录中给出了杆秤（含戥子秤）的计算方法。其中示例的数据即正文中方案的数据。

3.3 关于技术指标的思考

3.3.1 最大称量、分度值、分度数

如果教学用杠杆秤的秤杆全长 480mm，承载器端用铜材，秤砣端用铝合金，秤杆为圆柱体（各处直径相同），则秤砣端长 360mm。除去零点与秤组间的长度和 2.5kg 标度到秤杆末端的长度，如果标度全长 300mm，分度数为 50，则最小分度值为 50g，秤杆上相邻分度间距为 5mm。此 5mm 中不可能再设 5g（甚至更小）的分度。同样，教学用戥子秤的秤杆全长 280mm，如果秤砣端长 210mm，标度尺全长 180mm，分度数 50，则最小分度值为 5g，相邻分度间距为 3.6mm，也不可能再分为 1g 甚至更小。

贸易用杠杆秤有两个秤组，一个零点组，用于确定秤的零点，另一个最大称量组，用于扩大秤的最大称量能力。教学用杠杆秤和戥子只设零点组，因此最大称量能力与分度值不可能兼顾。如果最大称量能力减小，则分度值也可减小。但永远不可能无限小。

任何测量仪器的测量能力都是有限的，再精密的天平的分度值也不可能无限小。

贸易用杠杆秤的分度数为 250~1000，是通过两个秤组完成的。

3.3.2 秤杆长

秤杆长是由权衡确定的，秤杆越长，分度数能够越大，但是越不方便，并且秤砣在接近秤杆末端时砣系偏离分度时造成秤的不稳定也越大。

3.3.3 秤砣

在未安装承载器（秤盘或秤钩）时秤杆本身平衡以后，秤砣和承载器的质量也决定了空秤平衡。

建议稿中的数据是根据试验样品得出的。

3.3.4 检定分度值和实际分度值

实际分度值在本文件中称为分度值。

参照天平、杆秤，一般都是检定分度值 (e) = 分度值 (d)，本文件也采用这样的规定。因此教学用杠杆秤的检定分度值为 50g（或 20g），教学用戥子秤为 5g（或 1g）。

3.3.5 与计量仪器的关系

本产品是示杠杆原理应用的模型类教具，因此不适用按照计量仪器要求。但是为了尽量准确，参照了 JJG 17—2016《杆秤检定规程》。具体说明如下：

- 没有摘录 JJG 17—2016 的相关术语，在涉及到这些概念时，采用条文注的方式加以说明，便于阅读；
- 仍然采用了检定分度值和实际分度值的概念；
- 参照 JJG 99—2006 规定了秤砣和秤盘（或秤钩）质量的允许误差；

——参照 JJG 17—2016，规定了试验方法；

——标志：没有使用“教学示范专用计量仪器”标志 ，要求秤杆上应有以下标志：

- a) 产品名称（教学用杆秤或教学用戥子秤）；
- b) 生产企业名称（或商标）；
- c) 产品编号。

3.3.6 关于外形尺寸

杆秤本不需要规定外形尺寸。规定秤杆长度和秤盘直径的最小尺寸，是为了防止越做越小。

4 试验方法和检验规则

4.1 试验方法

4.1.1 试验条件

参照天平标准，采用 M_1 级砝码。最大允许误差：

2kg	100mg
1kg	50mg
500g	25mg
200g	10mg
100g	5.0mg
50g	3.0mg
20g	2.5mg
10g	2.0mg

4.1.2 硬度

刀子硬度应为 HRC45，刀承（吊环）硬度应为 HRC50。

4.1.3 空秤平衡

参照 JJG 17—2016，7.4.1.1。

4.1.4 准确度

参照 JJG 17—2016，5.3

4.1.5 灵敏度

参照 JJG 17—2016，5.6

4.1.6 重复性

参照 JJG 17—2016，5.5

4.1.7 稳定性

参照 JJG 17—2016，6.6

4.1.8 秤砣质量和秤盘质量

按 JJG 99—2006 《砝码检定规程》的 M_3 级砝码。

JJG 17—2016 规定杆秤游砣质量按 M_2 级砝码，本产品不是市场贸易用计量仪器调整为 M_3 级。

4.1.9 无承载器和秤砣的秤杆平衡

因为杆秤的平衡有秤杆本身的平衡和空秤平衡。因此秤杆本身的平衡需在未装承载器，已装提钮的秤杆固定悬挂，不挂秤砣，秤杆应能平衡。此项目应在未装承载器时试验。

4.2 检验规则

未装承载器和秤砣时秤杆平衡，以及秤盘（秤钩）质量需在装配前检验。
除外观以外，均为 A 缺陷。

5 国内外有关标准

没有教学专用模型类杆秤（及戥子秤）的标准。

6 示例图片

杆秤的示例图片见图 6，戥子秤的示例图片见图 7。

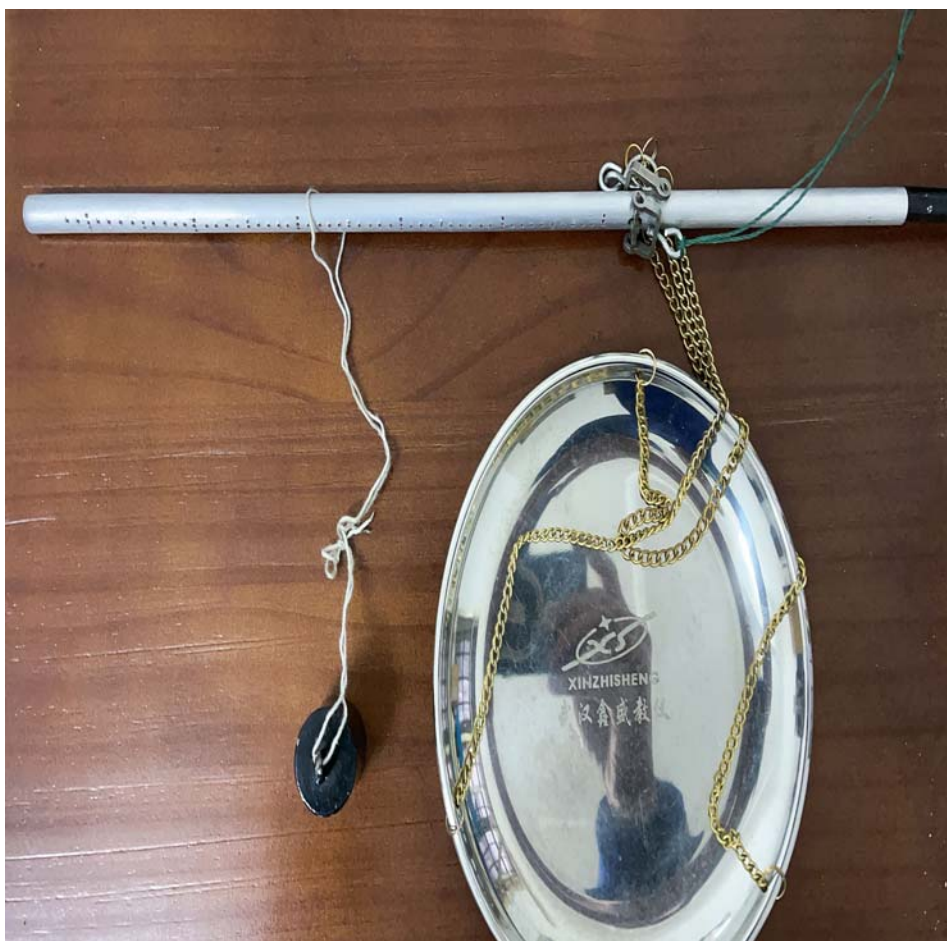


图 6 杆秤示例图片



图 7 戥子秤示例图片

起草人
二〇二三年八月十四日