

# 电子吊秤的机械安全性分析

浙江省计量科学研究院 钱筱林 尚贤平

**【摘要】** 本文从设计、制造和使用维护三个环节分析了电子吊秤在机械安全方面存在的若干问题，并举了几个案例加以说明，提出应该按起重机械的相关标准来要求电子吊秤，以提高电子吊秤的机械安全水平。

**【关键词】** 电子吊秤；机械安全；螺纹；偏心载荷；疲劳；分析

## 一、电子吊秤机械安全的重要性

随着社会和经济技术的不断发展，安全问题越来越受到人们的重视，对产品安全性的要求也越来越高。其中，起重机械安全又是国家质检总局关注的重点之一。其所以成为关注重点，与最近几年发生的多起重大起重安全事故有关。电子吊秤作为起重机械的一个中间环节，也应该引起我们的关注。

电子吊秤在中国出现也就是近三十年的事，比其它起重机械要晚很多，应用范围也小一些，又是以计量产品的身份出现，归计量部门管理。计量部门关注的更多是计量性能，因此，至今还未形成像起重机械那样的机械设计规范和安全监管制度。这就需要我们关注的又一个原因。我们知道，0.5t 及以上的电子吊秤通常都是在起重机上使用的。电子吊秤上接起重机，下接吊具索具。作为起重机械使用中的一个中间环节，无疑应该具有与起重机和吊具索具相当的安全性能，才能保证整个起重机械系统的安全水平。

电子吊秤的机械安全事故的表现形式大致不外乎以下几种：连接失效或连接件断裂；称重传感器断裂；吊钩断裂。电子吊秤作为衡器，主要用于商品交换过程中的计量，但是也用于工业生产过程中的工艺控制，因此，计量的对象可能是一般的商品，也可以是熔融的液态金属一类的危险品。电子吊秤的安全事故造成损害可能就不仅是摔坏货物，而是有可能产生更为严重的后果。所以，我们必须对电子吊秤的安全性给予足够的关注，防患于未然。

## 二、起重机械相关零部件和吊具的安全要求

与电子吊秤上部和下部相连接的起重机械相关零部件和吊具，说得具体一点就是各类吊钩和各类吊具。各类吊钩和各类吊具的技术标准、安全规程以及使用维护注意事项等具体内容很多，按设计、制造、使用三个阶段来划分，可概括如下：

### 1、设计阶段

- ①承载结构应力求简单，受力明确，传力直接，减少应力集中的影响。
- ②设计时应考虑动载、磨损、腐蚀、温度、工作环境等因素对安全性能的影响。
- ③承载结构应有足够的强度、刚度和稳定性。

④承载结构的材料通常推荐使用延伸率高，冲击功较大的低合金钢等钢材。

## 2、制造阶段

①承载件表面与内部应无足以影响使用的缺陷，且应有良好的抗疲劳性能。

②锻件纤维走向、轧制件轧制方向应力与受力方向保持一致。对采用气割等方法加工表面形成的热影响区必须予以消除。

③制造材料、外购零部件必须有制造单位的合格证等技术证明文件，否则应进行检验，查明性能合格后方可使用。

④高强螺栓连接应按技术设计要求使用专用工具拧紧。

⑤经检验合格的产品，制造单位应在其适当位置作出不易磨损的标记，并签发合格证。标记内容至少应包括：额定起重量(极限工作载荷)、检验标志、生产编号、制造日期、制造单位；合格证内容应包括主要技术性能参数；产品售出时，应附有安全使用、维护保养说明书。

## 3、使用阶段

①强调使用过程中的定期安全检查。

②有明确的报废标准。

## 三、用起重机械的安全标准来审视电子吊秤

### 1、设计

电子吊秤的机械设计可分为结构设计和强度设计，两者对安全都很重要。这里想就结构设计多说两句。

电子吊秤的结构形式很多，本文也只能选择其中两种常见的形式加以分析比较。以传感器的受力方式来分：

第一类结构：传感器受拉力，例如使用 S 型传感器、LN 拉式传感器。

第二类结构：传感器受压力，例如使用扭环式传感器、轮辐式传感器。

在传感器受拉力的吊秤中，又可以分三种：

①采用通用型的 S 型传感器，即两端内螺纹的 S 型传感器，再通过上、下连接件分别连接卸扣和吊钩（上部也有直接连接吊环螺钉的）。多用于 10t 及以下量程。

②采用通用型的 LN 型拉式传感器，即两端外螺纹的 LN 型传感器，再通过上、下连接件分别连接卸扣和吊钩。多用于 1~50t 量程。

③整体式 S 型传感器和 LN 型拉式传感器，即取消上下螺纹，将上、下连接件和传感器做成一个整体，可以直接连接卸扣和吊钩。

前两种结构都有螺纹连接承载全部载荷。我们知道，螺纹是机械连接中应用最为广泛的一种。可能是因为应用太普遍了，在当今科学技术迅猛发展的今天，人们往往自然地偏重高技术，象螺纹连接这类“一般技术”往往不被重视，忘记了这是应予特别注意的零部件，忽视了不少技术细节。螺纹是一种复杂的表面，影响其疲劳寿命的因素比较多，可靠性就比较低。具体到电子吊秤中，主要受力结构件的承载螺纹而言，可能的影响因素有：

①采用高强材料，缺口敏感性强。制造过程中材料的热处理，机械加工的表面粗糙度、圆角，乃至原材料中的杂质多少和形态都会对螺纹的使用寿命产生影响。

②拧紧力矩的控制不当，使螺纹受到过大的预紧力。

③由于连接件设计不当，或机械加工精度低，或使用不当，都有可能在使用中使螺纹受到偏心载荷，恶化螺纹的受力状况。

同是传感器受拉力，采用通用型的 S 型传感器和 LN 传感器的设计，同是螺纹连接，其安全性也有所不同。

①笔者查阅了国内主要传感器厂家的产品样本，同样量程，S 型传感器的螺纹直径几乎都小于 LN 传感器的螺纹。这可能是因为通用型的 S 型传感器普遍采用的是内螺纹，传感器的厚度必须保证螺母的基本尺寸要求，但是传感器的厚度又不可能增加太大。

②S 型传感器与下连接件的连接通常采用的是紧螺纹连接，LN 传感器与上下连接件的连接都是松螺纹连接。在紧螺纹连接中，需要施加预紧力，无疑就减小了螺纹的有效载荷裕量。紧螺纹连接需要更大的安全系数才能保证安全，特别是不使用扭矩扳手控制预紧力的场合。

在电子吊秤中，S 型传感器的连接通常是短螺纹连接。短螺纹连接还有应力幅值偏大的问题应该关注。

③由于传感器性能的需要，传感器的弹性元件硬度相对比较高。也就是说，S 型传感器上的内螺纹硬度比较高。这与通常要求螺母硬度低于螺杆硬度改善螺纹间的应力分布的要求相背，在一定程度上会降低螺纹连接的疲劳寿命。

正是考虑到螺纹连接的缺点，有些厂家设计了专用的整体式的 S 型传感器、整体式 LN 型拉式传感器，取消了螺纹连接，在一定程度上提高了安全性。

上述第一类结构的三种设计还有一个共同的特点，就是整个系统的安全性不可能高于传感器自身的安全系数。虽然理论上也可以另外设计过载保护结构，但是由于成本将大大增加，事实上采用的很少。而传感器作为信号源，为了保证测量准确度又不允许灵敏度太低，这就限制了传感器的安全系数不可能太高。

在第二类结构中，选用扭环式传感器或轮辐式传感器，利用反向器实现和卸扣、吊钩的连接。多用于 20t 及以上量程。

与第一类结构相比，第二类结构有三个优点：

一是承载环节没有采用螺纹连接，而是只有轴销连接，结构的可靠性和安全性相对要好不少。

二是反向器可以采用起重机械安全标准推荐的低合金钢材料。这类材料有较大的延伸率，较好的抗冲击性能。

三是反向器可以设计更大的安全系数，即使传感器过载损坏时，机械系统仍可以是安全的。有些教科书中称之为“无限寿命设计”。

可以说，这是电子吊秤最安全的机械结构。

以上仅仅是针对当前市场上的常见产品结构所做的分析比较，实际情况当然要复杂一些。即使采用同样的传感器，实际连接可以不止一种设计。比如通过球铰或通过十字轴销过渡再连接吊钩，可以减小连接螺纹可能受到的弯矩，提高了安全水平。

## 2、制造

制造过程也是保证机械安全性的关键。

①材料自身的质量对产品的安全性影响不可轻视。笔者曾对钢材市场上的不同厂家的 40Cr 棒材做过分析，其质量差别还是很明显的。对于起重结构件来说不能仅仅看其化学成分和机械性能，金相检验也是必要的。这对有缺口敏感性的高强材料而言，钢材的晶粒度、钢材中夹杂物的等级对结构件疲劳寿命的影响更明显。

②制造技术对吊秤机械安全的影响是不言而喻的，主要体现在主要受力结构件的锻打、热处理、机械加工三个方面，部分大量程产品可能会有焊接。衡器生产企业规模通常都不大，往往不具备锻打和热处理能力。需要选择合格的专业生产厂家，并注意加强产品的验收环节。

这里特别强调一下连接螺纹的加工。电子吊秤中主要受力结构件的承载螺纹与直柄吊钩上的螺纹受力状况其实是相当接近的。直柄吊钩国家标准中对相关螺纹和螺母有详细的要求，包括材质、热加工、切削加工以及检验方法和要求。一些电子吊秤厂家只按照普通紧固件的要求加工螺纹是达不到起重机械的安全要求的。

③产品标识和安全使用维护说明。电子吊秤作为计量产品，相关的准确度等级、计量器具制造许可证等标志清楚，有关计量的使用的说明也很详细。但是，很少有厂家标明电子吊秤的起重工作级别，尽管电子吊秤的国家标准中规定“与起重机配合工作的电子吊秤应按 GB/T 3811-1983 中 4.1.3 确定其工作级别”。笔者不止一次发现，用户在使用非常频繁的起重机上使用普通的电子吊秤，导致断裂事故的发生。

至于其它使用过程中有关机械安全的注意事项，电子吊秤厂家明确列出的也不多。而且，与其它起重吊具不同的是，电子吊秤通常有外壳将部分机械结构和电子仪表罩起来，一般的起重工自然难以用常规方法进行安全检查，安全隐患也就更难以发现。

一般电子吊秤也没有采取措施限制使用次数或规定使用期限，实际上也是一种安全隐患。

## 3、使用

除了上面提及的因为制造商产品标识和安全使用维护说明上的不足引起的安全问题以外，也有用户方面原因引起的，例如：

①起吊过程中斜拉，使得电子吊秤受力状况恶化。

②配套的下部吊具不当，使得电子吊秤受力状况恶化。

③配套使用的上部吊钩太大，限制了电子吊秤在吊钩中自由转动，可能使电子吊秤受到弯矩作用，对于结构中有螺纹连接的吊秤尤为不利。

#### 四、断裂事故案例分析

##### 1、材料缺陷引起的 10t 吊秤下连接件连接螺钉断裂

连接螺钉为 M36，材料为 40Cr 锻件，热处理状态为调质，硬度 HRC28—32。

断裂螺钉的金相见图 1。对照 GB3077-1999 合金结构钢标准可以看出，所用材料夹杂大小明显超过标准。这类较大的夹杂对材料力学性能的影响主要是降低材料的塑性、韧性和疲劳性能，特别是在高强钢内部，这类夹杂形成的应力集中在较低的应力水平下也能形成裂纹！而裂纹一旦出现，就会迅速扩大，最终导致构件断裂。此外，该材料还有比较明显的偏析，也降低了材料强度。



图 1 X100

在另一起类似事故中，我们发现金相组织中有魏氏体存在。魏氏体的存在使钢的强度、塑性、韧性都大幅度降低，尤其是对冲击韧性影响最大，甚至降低 50—70%。所以在比较重要的产品中是不允许魏氏体存在的。

##### 2、偏大的吊钩导致的 10t 吊秤下连接件连接螺杆断裂

这是一个与吊秤机械结构和使用都有关的问题。吊秤的机械结构见图 2。结构的上部使用的是吊环螺钉。尽管用户声称实际称重量从未超过 10t，但还是发生了断裂事故。

经过观察事故吊秤，发现螺杆系疲劳断裂。疲劳源左右对称，但是裂纹扩展区并不对称，断裂区约为整个截面的三分之一。断口初步观察表明，断裂区面积较小，断面致密，说明材料质量和热处理状态基本正常。螺杆受到了弯矩作用，才是导致断裂的主要原因。问题在于，弯矩何来？

进一步仔细观察发现，吊环螺钉内环面上方有两处明显的压痕，疑是与吊钩的接触压痕。压痕距吊环的中心线比较远，见图 3。

经与用户沟通，该秤常在在一台 15t 的吊车上使用。也就是说，吊钩尺寸较大而吊环相对较小。在两者的接触处，吊钩的曲率半径大于吊环的曲率半径，所以就形成了两个接触点。这就使得吊环螺钉受力以后不容易自动找到铅垂位置，容易形成图二所示的情形。在这种情况下，螺纹在受到拉力的同时，又经常受到一个附加弯矩的作用，也可以说，螺纹是因为承受的是大小不确定，但是方向确定的偏心载荷而最终导致断裂。

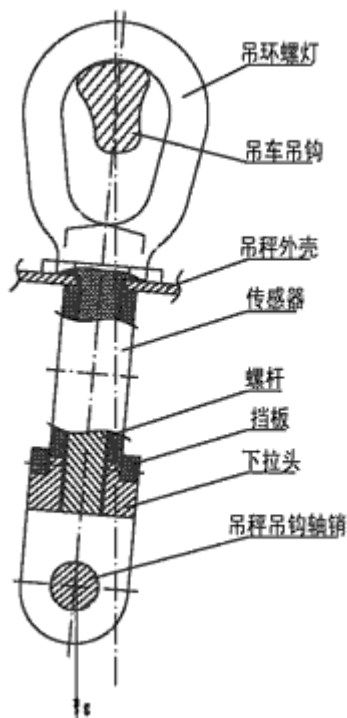


图 2

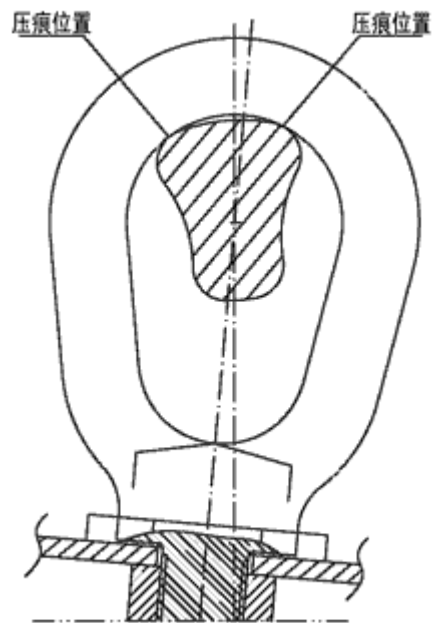


图 3

### 3、C 型吊钩直接连接下拉头导致传感器螺纹断裂

这是一家金属制品厂的技改项目，专用于钢卷的搬运。额定起重量为 20t，实际起重量连 C 型吊钩总共 18t 左右。使用不到一年时间，传感器螺纹处断裂。

经了解该厂起重操作规范，不存在操作失误。而传感器是用 40CrNiMoA 制造，热处理规范，螺纹直径 M52X3，似乎也不应该发生这样的事故。只好请金属材料检测中心做断口分析。

分析表明，传感器材料的金相组织以及机械性能基本达到标准要求，没有发现可能导致断裂的缺陷。断口形态属疲劳破坏，左右两个疲劳源，大体在对称位置，疲劳扩展区占了断面三分之二以上。最后断裂区电子显微镜扫描显示韧窝，属韧性断裂。

但是断口分析不能说明弯矩是怎样产生的所以还得从结构上找原因。

原设计结构简图见图 4。与我们通常的电子吊秤不同的是，C 型吊钩直接通过轴销与下拉头相连接，而不是把 C 型吊钩挂在电子吊秤的吊钩上。

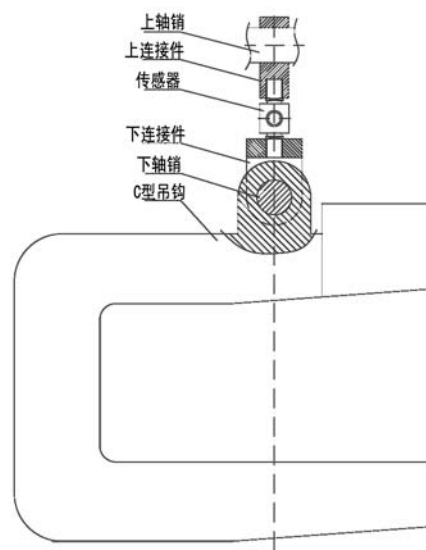


图 4

我们知道，在起重作业过程中，重物通常要作上下、左右、前后运动，有匀速运动，也要有加速、减速运动。电子吊秤除了承受重物的重量外，不可避免地受到各个方向的附加惯性力。这些附加力有多少会传到传感器上，取决于机械结构设计。图四的结构中，下轴销方向的附加惯性力不可避免地会传到传感器上，使传感器的螺纹受到弯矩作用。

这一分析后来又为另一起类似结构吊秤的断裂事故证实，断口形态也极为相似。

本案中传感器的螺纹保证载荷高达 150t，然而仅在不到 20t 的重物作用下断了。关键的问题是重物在水平方向运动时产生的惯性力直接作用到螺纹上，该惯性力与保证载荷的方向垂直，对螺杆而言是一个弯矩。在这个弯矩和重力载荷的反复作用下，最终发生疲劳破坏。

有关教科书中在谈到螺纹联结的抗疲劳设计时提到，“在涉及抗疲劳设计时，应该强调的是结构接头的疲劳特征，而不是它的静强度。”

这也是我们在设计时应该加以注意的。只要注意到了，也就是可以防范了。

## 五、结束语

电子吊秤是计量产品，当然应该重视计量性能。安全问题又是所有产品的最基本的要求，更应该给予足够重视。安全问题涉及到设计、材料、制造、使用、监管方方面面，本文也仅仅是限于个人一己之见，算是抛砖引玉，希望能引起行业的关注，采取必要的措施，完善电子吊秤的机械安全标准，提高电子吊秤的安全水平，促进这个行业的健康发展。

## 参考文献

1. GB3811-2008 起重机设计规范。
2. LD48-93 起重机械吊具与索具安全规程。
3. 廖景娱 <金属构件失效分析> 化学工业出版社 2003 年。
4. 凌武宝 <可拆卸联接设计与应用> 机械工业出版社 2006 年。

## 作者简介

钱筱林，高级工程师

电话：13067938619

电邮：[qx10301@yahoo.com.cn](mailto:qx10301@yahoo.com.cn)

尚贤平，高级工程师