

数字指示轨道衡如何选用称重传感器

□山东金钟科技集团股份有限公司 沈立人

【摘要】一种衡器产品应该怎么设计，是保证是否能够成功的根本。影响产品质量的因素是多种多样的，对于数字轨道衡来讲，即包括承载器、称重指示器、称重传感器、基础以及两端的线路。本文从实际使用可能出现的极端角度和与之关联的结构方面来考虑数字指示轨道衡称重传感器的选用问题。特别是保障机车车辆在较高速度通过轨道衡时，即使出现突然刹车等极端情况下所选用的称重传感器，也能保证正常运行，而且计量性能也能保证不改变。

【关键词】数字指示轨道衡；称重传感器选型

文献标识码：B 文章编号：1003-1870（2023）07-0005-05

概述

数字指示轨道衡如何选择称重传感器这个话题，现在可能有人感到不屑一顾，认为目前这不是一个什么问题，数字指示轨道衡都是采用30t的称重传感器，这有什么可以讨论的！

在1991年我们公司领取了国内首个数字指示轨道衡（当时称为“静态电子轨道衡”）制造许可证^[1]后就有人向我咨询，问为什么要选择用30t的称重传感器？

因为，当时从国外引进的动态（自动）轨道衡大部分采用的是20t的柱式称重传感器（额定输出1mV/V）、剪切轮辐式、剪切悬臂式称重传感器（额定输出2mV/V），个别的是采用70t的柱式称重传感器（额定输出3mV/V）。为什么这些国外企业要这样选择轨道衡的称重传感器？其中有什么道理？

R76《非自动衡器》^[2]国际建议在附录F中规定：修正系数Q考虑了偏载(NUD)、承载器的静载荷(DL)、初始置零范围(IZSR)及添加皮重(T+)可能产生的影响，对于固定安装的衡器修正系数Q为50%Max。

$$Q = (Max + DL + IZSR + NUD + T) / Max$$

从以上这个公式所考虑的参数来看是比较全面的，唯独衡器最大秤量Max可能有一些问题。按照修

正系数Q为50%Max来计算，对于最大秤量100t，称量长度为13m的数字指示轨道衡，采用8只称重传感器，每只称重传感器最大秤量应该约为20t。如果是采用4只称重传感器，那么每只称重传感器最大秤量应该约为40t。

但是实际上，一台数字指示轨道衡如何选择影响到其产品性能的关键部件——称重传感器，不仅仅需要考虑以上这些问题，必须要与实际使用中可能出现的问题，特别是应该将一些特殊情况考虑到。

1 选择的依据

1.1 机车过衡问题

因为在机械轨道衡的主流年代，铁路车辆通过轨道衡时只允许时速为7km/h。在我们公司获得数字指示轨道衡制造许可证后不久，当时一家冶金企业的计控处长来公司调查轨道衡情况，向我提出，是否能够允许机车牵引一列货物列车以30km/h速度通过数字指示轨道衡后数字指示轨道衡是否仍能保证称量性能？我根据公司数字指示轨道衡产品结构特点，将一张计算数据交给这位处长，告诉他这些设计数据是在考虑了机车可能于30km/h时，在数字指示轨道衡承载器上刹车时的状态上计算出来的，然后这位处长一次就与我们公司签订了三台数字指示轨道衡的采购合同。

根据质量计量丛书《轨道衡》^[3]所提供的各类机车过衡时最大静负荷数据见表1。

表1 各类机车过衡时最大静负荷数据

机车	长度	承载器长度及所受最大静负荷值		
		12m	13m	14m
主蒸汽机车		123t	137t	143t
一般蒸汽机车		133t	137.7t	152.5t
内燃机车		113t	126t	126t
电力机车		92t	115t	115t

蒸汽机车（因为上世纪90年代这种机车还是主力机车）两个承重点间最大静载荷72t，其中动轴最大重量23.9t，而主动轮轴距1600mm。而内燃机车主动轮轴距2100mm，电力机车主动轮轴距2300mm，其主动轮轴的重量与蒸汽机车相同，对于称重传感器的作用力也没有蒸汽机车大，所以以当时主力机车的蒸汽机车为例说明此问题，见图1。

以B点为0点，动载荷系数2.3是根据车辆速度30km/h时在承载器上刹车时对承载器的冲击量而初步确定的。

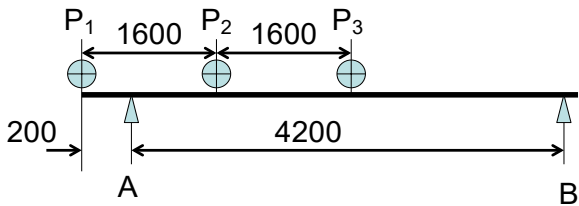


图1 机车主动轴载荷示意图

$$P_i = 0.5 \times 2.3 \times 24t = 27.6t$$

以支点B为0点：

$$4200 \times P_A = 1200 \times P_3 + 2800 \times P_2 + 4400 \times P_1$$

$$P_A = \frac{1200 \times P_3 + 2800 \times P_2 + 4400 \times P_1}{4200} =$$

$$\frac{1200 \times 27.6t + 2800 \times 27.6t + 4400 \times 27.6t}{4200} = 55.2t$$

30t 桥式称重传感器的允许过负荷能力是150%F.S，那么允许过负荷量就是45t，极限过负荷200%F.S，就是60t，都大于使用中最大可能的过负荷41.75t和冲击过负荷量55.2t。所以我们选择了最大称量为30t的桥式称重传感器。桥式称重传感器的传力机构

是球面结构，其面接触应力大大高于机械杠杆式接触式的应力，冲击载荷对衡的作用力不会产生破坏性影响，所以能够保证机车过衡时的抗冲击力。

铁路车辆的车型通常是由两组转向架，总载重量在100t之内，每个车轮的载重量是12.5t之内。所以在日常使用时在单个称重传感器所承受的载荷见图2。

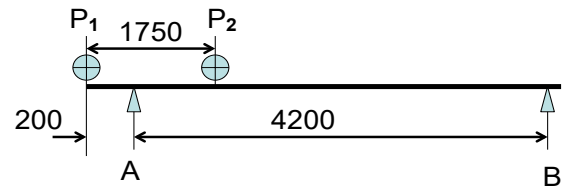


图2 转向架载荷示意图

以支点B为0点：

$$4200 \times P_A = 2650 \times P_2 + 4400 \times P_1$$

$$P_A = \frac{2650 \times P_2 + 4400 \times P_1}{4200} = \frac{2650 \times 12.5t + 4400 \times 12.5t}{4200} \approx 21t$$

这个21t 小于桥式称重传感器的最大称量30t。

1.2 称重传感器的理论计算^[4]

桥式称重传感器的载荷计算，见图3、图4。

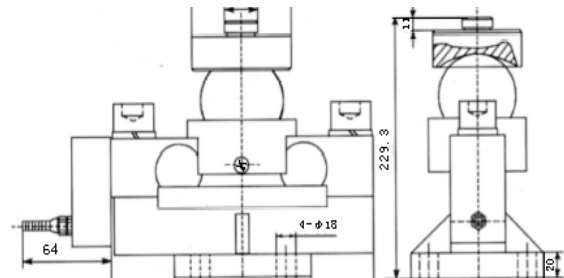


图3 桥式称重传感器示意图

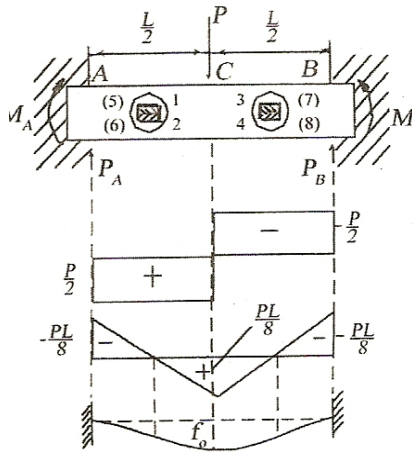


图4 桥式称重传感器受力示意图

支点反力: $P_A = P_B = P/2$;

最大弯矩: $M_C = PL/8$;

支点矩: $L = 200\text{mm}$;

40CrNiMoA 的强度极限: $\sigma_b = 1080\text{MPa}$;

40CrNiMoA 的屈服极限: $\sigma_s = 850\text{MPa}$;

速度 30km/h 时的冲击量: $P = 55.2\text{t}$;

$$\sigma = \frac{M}{W_x} = \frac{PL}{8W_x} = \frac{55200 \times 20}{8 \times 18.92} \approx 729.4\text{MPa} < \sigma_s = 850\text{MPa}$$

因为,当机车车辆以 30km/h 的速度刹车时,产生的冲击量作用承载器上,然后传递到称重传感器上,其极限应力小于称重传感器材料的屈服极限值,所以称重传感器是安全的。

1.3 检定方法的改变

在进行国内第一台数字指示轨道衡样机试验时,是按照 QB/T1077《静态机械轨道衡》^[5] 规定的偏载量进行的,将质量为 20t 的装载砝码小车对承重点压载,性能满足要求。当时国家轨道衡计量站主任提出,将砝码小车的载荷加至 40t 进行试验,虽然被告知此项试验不作为检定内容,仅仅是一种摸底。

(1) 传统的机械轨道衡偏载检测方法

在考虑到机械轨道衡的支撑点为刀子与刀承接触,其接触应力比较小,为了保证产品的使用寿命和准确度性能,在 QB/T1077-1991《静态机械轨道衡》标准中,一是限制车辆通过承载器时的速度不大于 7km/h ,一是限制砝码小车的质量值为 20t 的装载砝码小车对承重点试验。

(2) 数字指示轨道衡偏载检测方法

在1992年2月批准,并自1993年1月1日起施行的《静态电子轨道衡检定规程》^[6] 规定,用 T_{6F} 检衡车使用质量为 $25\sim 30\text{t}$ 的砝码小车,对每对称重传感器输出一致性检定,直到2002年出版的 JJG781-2002《数字指示轨道衡》^[7],才将偏载检定时的载荷量值确定 T_6 型检衡车为 40t (见图5) 作为过渡,使用 T_{6F} 检衡车时为 24t 。

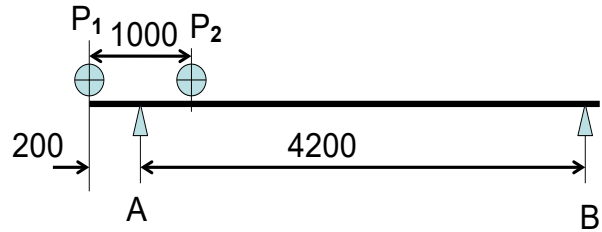


图5 T_{6F} 检衡车载荷示意图

以支撑点B为0点,砝码小车每个轮重 P_1 为 10t 。

$$4200 \times P_A = 3400 \times P_2 + 4400 \times P_1$$

$$P_A = \frac{3400 \times P_2 + 4400 \times P_1}{4200} = \frac{3400 \times 10\text{t} + 4400 \times 10\text{t}}{4200} \approx 18.57\text{t}$$

在7.5.8.2的偏载载荷和位置规定,将质量为 $38\sim 40\text{t}$ 的砝码小车由每个承载器一端开始依次推至各称重传感器的承重点及相邻两承重点的中间位置,记录示值,由另一端推离承载器,往返1次。如果承载器由几部分组成,适用于每个部分。

1.4 称重传感器结构形式的选择

当时自动轨道衡所使用的称重传感器一般都是选择柱式称重传感器。因为柱式结构型式的称重传感器具有结构紧凑、过载能力比较强、固有频率高、动态响应快、安装较方便、制造成本低等优点。同样也具有抗侧向和偏载能力较差(双膜片结构的较好)、线性度较差、称重传感器不易固定易旋转等缺点。

而桥式称重传感器的优点是,对加载点变化不敏感、抗偏载性能好、固有线性好、安装方便、称重传感器固定不旋转、制造成本低等,恰恰能够弥补柱式称重传感器的缺点。虽然桥式称重传感器的动态响应不如柱式称重传感器,但是对于静态称量的数字指示轨道衡来讲,这就不是一个问题了。

采用桥式称重传感器的长承载器轨道衡,在使

用过程中其球状压头随着温度变化承载器长度变化，压头也在弹性体的球窝内沿长度方向滚动，使作用力加载方向偏移，从而产生偏载。虽然此类称重传感器的抗偏载性能比较好，但是位移量较大时也会影响一定的称量性能。在1991年我们在对13m长的数字指示轨道衡调试过程中，就遇到由于产品承载器比较长，当温度变化比较大时，多只称重传感器受热胀冷缩的因素影响而变化，为此申请了一个多个称重传感器的电子衡器实用新型专利^[8]。将称重传感器上压头设计成两种形式，一种是保留了原设计的球面形状，用于中间4只称重传感器，起到定位作用。一种是按照球面的最高点设计成平面形状，用于端部的称重传感器。无论热胀冷缩时承载器的长度如何变化，可以保证其承载器上的作用力总是垂直作用于称重传感器上（见图6）。后来也将这种型式嫁接到多于4只称重传感器的汽车衡产品上。

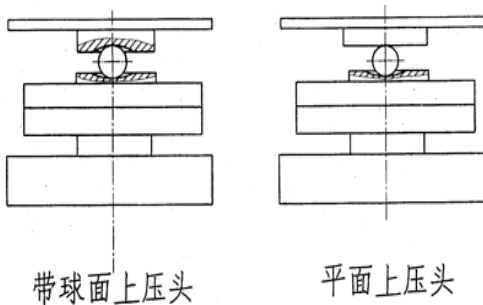


图6 多只称重传感器压头示意图

1.5 称重传感器的接触应力

钢球与球座接触问题的最大特点是，在接触区内出现相当高的应力，特别是在初始接触的情况下应力更高，但它有非常明显的局部应力性质。对于只产生压应力的特殊接触区来讲，尽管局部压应力很大，甚至达到材料的屈服极限，也只不过在这个局部发生塑性变形，由于没有拉压力，所以不可能发生断裂或破坏。因此，钢球与球座接触时，其接触局部塑性变形是完全允许的，不会影响称重传感器正常工作。

而相当于机械轨道衡中的刀子与刀承之间的线接触，钢球与球座之间的球面接触，接触应力就大大增加，也就提高了重载车辆过衡时的抗冲击能力。

2 关联结构的影响

在考虑称重传感器的结构要求的同时，我们也

已经考虑与承载力有关的其他方面的问题，例如承载器的结构问题、两端防爬轨架的结构问题、基础的结构问题。

2.1 承载器的刚度影响

在GB/T15561《静态电子轨道衡》国家标准^[9]中要求：承载器应结构牢固，当40%Max作用于钢结构承载器相邻两承重点的中间位置，其挠度不大于1‰；且稳定可靠，便于安装。

实际上这个对“承载器”的“不大于1‰挠度”，是对于轨道衡的最低要求。如前面所述，要考虑机车过衡时的极限情况，另外还要考虑承载器变形可能对轨道衡称量性能产生的影响。所以我们实际设计轨道衡承载器的刚度，一般是按照安装时各个称重传感器能够均匀地承受到承载器的静载荷。这样这个承载器的挠度大约在0.3‰，是远远高出标准要求的指标。

2.2 基础及基础板强度影响^[10]

由于轨道衡常年被通过的机车和车辆反复碾压，轨道衡的基础如果设计质量低劣就会断裂塌陷，直接影响到轨道衡的使用，这样无论选择何种结构的称重传感器，也不能保证称量性能。

2.3 称重传感器的匹配问题

(1) 功率匹配

称重指示器的激励电压为12V，最大工作电流为240mA；桥式称重传感器的输入电阻为800Ω，系统选用称重传感器的数量为8只。

那么：系统实际最大工作电流

$$\frac{12V}{\frac{800\Omega}{8只}} = 0.12A < 240mA = 0.24A$$

所以系统能够正常工作。

如果选择了柱式称重传感器，其输入电阻为360Ω，系统选用称重传感器的数量也为8只。

那么：系统实际最大工作电流

$$\frac{12V}{\frac{360\Omega}{8只}} = 0.27A < 240mA = 0.24A$$

系统不能够正常工作。

(2) 灵敏度的匹配

数字指示轨道衡的最大称量为100t，检定分度值为20kg，检定分度数为5000e；选用了8只最大称量

各为30t，额定输出为2mV/V 称重传感器；称重指示器的激励电压为12V，每个检定分度值对应的最小输入电压为1.2μV。

那么：测量范围信号电压

$$= \frac{12V \times 2mV/V \times 100t}{8 \times 30t} = 10mV$$

轨道衡实际每个检定分度值的输入电压

$$= \frac{10mV}{5000e} = 2\mu V/e > 1.2\mu V/e$$

从这个计算数据出来之后，同样也就能解释前面称重传感器最大秤量的选择问题了。如果我们选择最大秤量为40t的称重传感器，在保证称量性能的同时，对于整个轨道衡体系的可靠性更有帮助。

$$= \frac{12V \times 2mV/V \times 100t}{8 \times 40t} = 7.5mV$$

$$= \frac{7.5mV}{5000e} = 1.5\mu V/e > 1.2\mu V/e$$

但是在当时，由于技术水平等问题，我们所能选择的称重传感器只有20t、25t、30t等几种规格。

2.4 安装质量影响

按照GB/T15561《静态电子轨道衡》国家标准的规定，“防爬轨应高于秤量轨，高低差应小于2mm”。图7就是一个典型的错误安装实例，由于秤量轨高于防爬轨，所以每一个车轮通过时就会对秤量轨产生一次冲击。特别是当防爬轨因为一些结构变化的原因与秤量轨之间的高低差增大后所产生的冲击，就可能影响到称重传感器的性能指标。

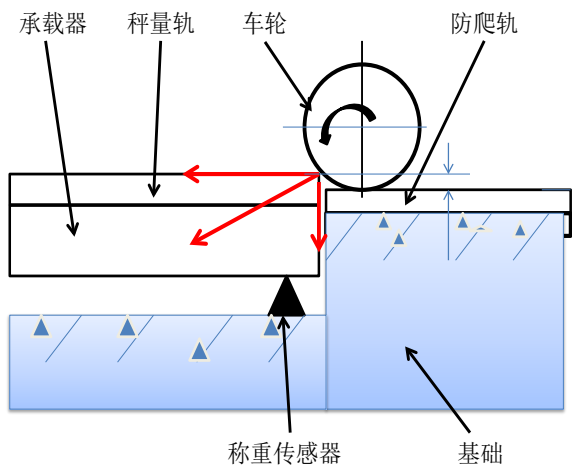


图7 防爬轨与秤量轨结构示意图

3 结语

根据以上的分析得出如下结论：

(1) 选择的桥式称重传感器必须是采用40CrNiMoA作为弹性体，支座材料必须是45#钢，压头和钢球的材料必须是GCr15，而且这些结构件的热处理也必须符合工艺要求，否则前面所说的极限指标是不能保证的。

(2) 本文的考虑基础是：称重传感器的灵敏度（额定输出）是建立在2mV/V上的。

参考文献

- [1] 型式评价证书号：CPA91F0116-37 GCS100 静态电子轨道衡.
- [2] OIML R76《非自动衡器》国际建议[S].
- [3] 金柞康等. 质量计量丛书 轨道衡. 中国计量出版社 1992[M].
- [4] 刘九卿. 电阻应变式称重传感器培训教材. 中国衡器协会 2006年12月[M].
- [5] QB/T1077-1991《静态机械轨道衡》[S].
- [6] JJG781-1992《静态电子轨道衡》[S].
- [7] JJG781-2002《数字指示轨道衡》[S].
- [8] 专利号：91 2 21886.X 多个称重传感器的电子衡器[P].
- [9] GB/T15561-2008《静态电子轨道衡》国家标准[S].
- [10] 沈立人. 边界条件对衡器性能影响问题的探讨. 衡器2012年7期[J].

作者简介

沈立人，1947年出生，高级工程师，原山东金钟科技集团股份有限公司员工。1968年参加工作，在金钟公司从事各种机械衡器和电子衡器设计、制造、标准和规程编写等工作50余年。曾主持公司汽车衡、轨道衡、台案秤，多种自动电子衡器的设计与生产、安装、检定工作；研发并申报了多项专利技术；参加了目前衡器行业全部产品标准、计量检定规程、型式评价大纲的编写和审定工作；主持制修订多种电子衡器标准；参加中国衡器协会组织的《衡器实用技术手册》《衡器装配调试工》培训教材；在国内相关计量技术的杂志上发表了百余篇论文。