

谈大型衡器承载器的设计思路

山东金钟科技集团股份有限公司 沈立人

【摘要】大型衡器承载器质量的优劣是保证衡器能够长期应用的首要条件，传统设计是按照被称车辆参数进行计算承载器的结构，本文介绍美国联邦公路管理局桥梁管理要求，和美国国家标准和技术研究所（NIST）发布的 44 号手册中，采用的集中载荷（CLC）对车辆衡器检测方法；介绍我国轨道衡相关标准、型式评价大纲和检定规程，采用砝码小车检测承载器，从而保证轨道衡承载器的质量的方法。

【关键词】大型衡器 承载器 集中载荷 砝码小车

一、引言

对于一台大型衡器来讲，只要车辆的总重不大于衡器的最大秤量值，就应允许其上衡称量，所以通常在设计大型衡器的时候，都是先了解被称车辆的参数，然后按照被称车辆的参数的最大值，采用材料力学的规定进行计算衡器承载器的结构尺寸。随着运输业的发展需求，大吨位的车辆特别是单轴承载量很大的车型越来越多。这样，设计时应选择集中载荷量值较大的车型进行验算，同时选择承载器的型材规格及结构型式。下面以两种相同载荷的车辆为例，一种是五轴的半挂式车辆，一种是三轴式自卸车。

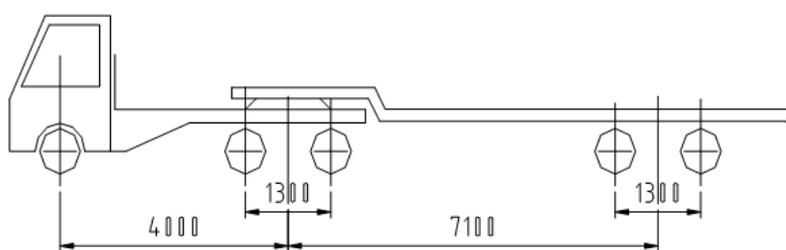


图 1 五轴半挂式车辆

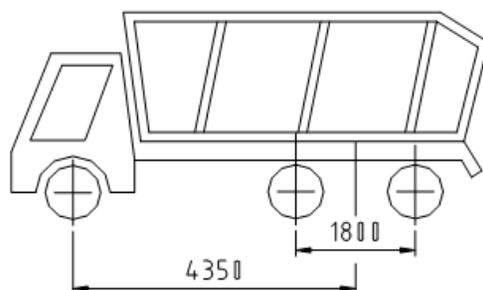


图 2 三轴自卸式车辆

五轴半挂式车辆的主要载荷是由中后四个轴承载，而自卸式车辆的主要载荷是由后面的两个轴承载。这样对于相同载重量的车辆相对来讲，半挂式车辆的轴载就比自卸式车辆的轴载就大大减少。如果说自卸式车辆对承载器的作用力是集中载荷，半挂式车辆对承载器的作用力就是局部集中载荷。

而按照检定规程使用相同载荷的标准砝码，对衡器进行检定时，砝码都是比较均匀地排放在承载器上面，这样对于承载器的作用力就是均布载荷。

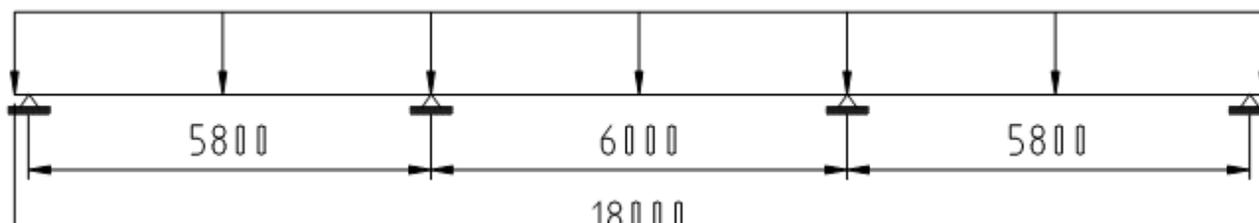


图3 砝码在承载器上均布

从以上介绍的情况，可以非常清楚的看到，我们设计衡器的依据是根据被称车辆参数，而不是依据检定时的加载载荷量。以上三种加载方式所得出结果来看，以自卸汽车的加载方式对承载器的影响最大，因为它将 100t 的绝大部分载荷都作用在两根后轴上了，且是以动载荷的方式作用在承载器上的；而以砝码均布的加载方式对承载器的影响最小。它不但是以静载荷的方式作用于承载器上，而且将砝码均匀的分布于承载器的整个面积上。

二、设计的思路

美国联邦公路管理局更普通的描述是称这种桥梁设计应该考虑伞形载荷，如同图 4。假设按桥梁使用最严酷度使用条件设计，足以承载伞形载荷，以及使用该种桥梁设计以后车辆通过带来的过载影响。

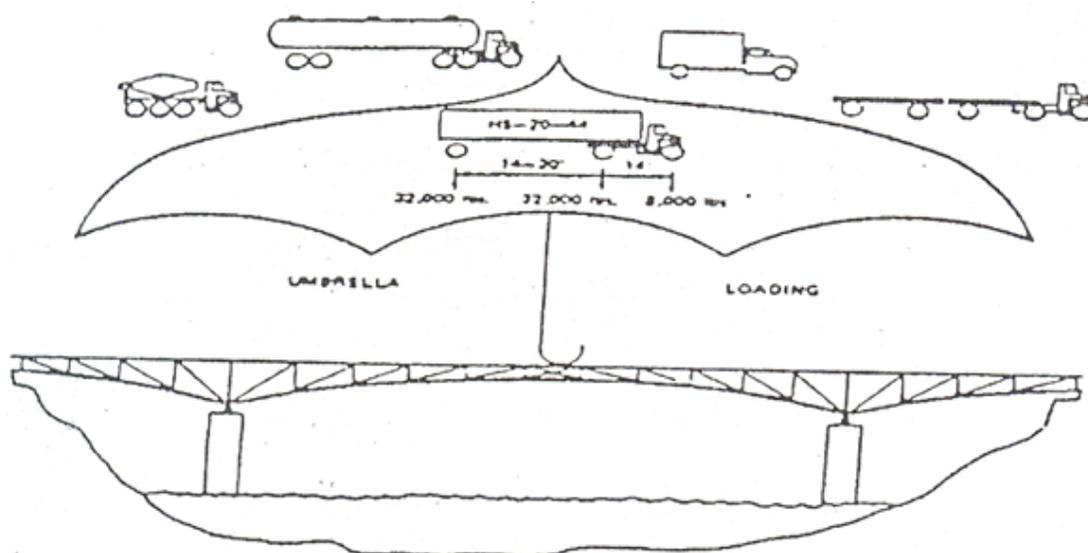


图4 伞形载荷

伞形载荷描述如图 4，用于州际高速公路桥梁的设计，美国于 1944 年开始采用，轴重和跨距如图示，通过几年的努力，人们开始限制轴载和总重在法定的范围内。并且通过联邦修正案，各州因为称重法规的实施开始关心起轴跨距的问题。

轴跨距的问题与轴载重的问题在桥梁设计中具有同等重要性，这就如同一个人试图走过冰层，而冰层厚度刚好能支持起他 / 她的重量一样，这个人很可能要掉下去，如果同样那个人伸展身体俯卧在同样的冰层上迅速滑走，他就不可能掉下去。这是因为后者的负荷或重量分布在较大的面积上，同样道理，车辆通过桥梁时 [见图 5 (A)、(B)]，如图 5 (A) 长的车辆通过桥梁时的压力比短车要小（假如车辆同样重量和同样轴载），如同上述的人伏在冰上滑走一样。那个短车就如同一人站立在冰面上，全部载荷集中于有限的面积上。

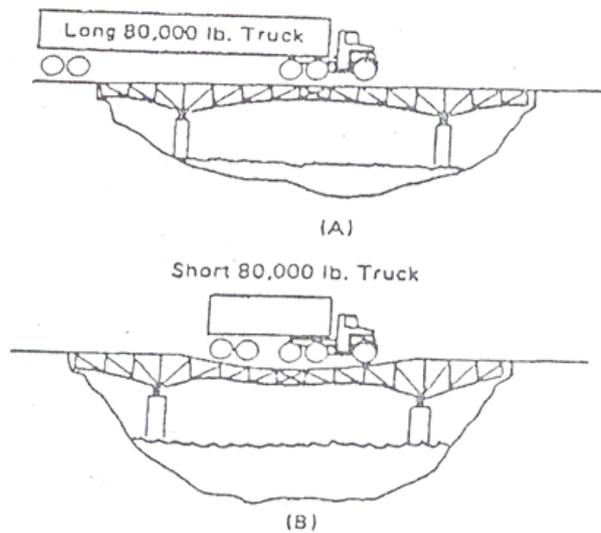


图 5 车辆载荷对桥梁的压力

以下是美国联邦公路管理局 (FHWA) 桥梁承载力计算公式：

$$\text{桥梁上重量的计算公式 } W = 500 \left(\frac{LN}{N-1} + 12N + 36 \right)$$

其中：L——轴间最大距离 (ft)

N——轴的数量

W——车辆总重量 (lb)

桥梁公式在《联邦代码 23》§ 127，桥梁公式确信载重车允许重量与轴间距有关，换句话说，防止走类似人直立于薄冰上的效果。当总重和每个独立的轴载超出限制范围时，过压可能发生。

表 1 桥梁公式的参数

两个或多个连续轴 间的极端距离 (ft)	两个或多个连续轴组的任何一种的最大载荷 (lb)							
	2 轴	3 轴	4 轴	5 轴	6 轴	7 轴	8 轴	9 轴
4	34,000							
5	34,000							
6	34,000							
7	34,000							
8 及以下	34,000	34,000						
8 以上	38,000	42,000						
9	39,000	42,500						
10	40,000	43,000						
11		44,000						

60				85,500	90,000	95,000	100,500	105,500

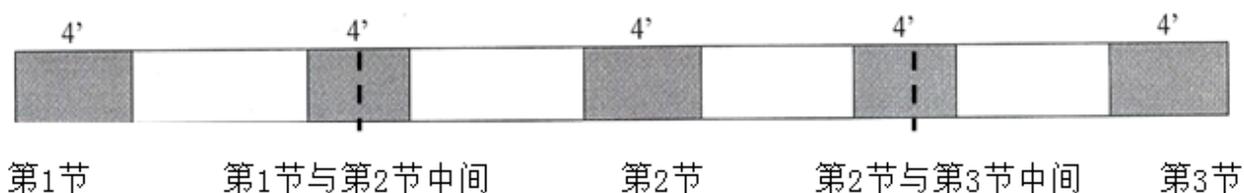
这些情况也佐证了美国联邦公路管理局，对车辆载荷所提出要求，我们完全可以应用于大型衡器结构的设计思路。

三、在大型衡器设计中的应用

1. 集中载荷法

在美国国家标准与技术研究院 (NIST) 颁布的 44 号手册的 2.20 节，在车辆衡、轴重仪及组合式汽车 / 牲畜衡器的规定试验区域及加载值中，规定的正常试验区域应为长度为 1.2m (4ft) 和宽度为 3.0m (10ft) 或者宽度为承载器的区域，以较小的为准。按照车辆衡、轴重仪及组合式汽车 / 牲畜衡器加载预防措施，对衡器加载进行试验时，为了防止承载器出现翘起现象，在一侧加载前，试验区域的另一侧应加载不超过集中载荷一半的试验载荷。试验载荷施加的区域可以小于 1.2m (4ft) × 3.0m (10ft) 或承载器宽度，取其小者；对于长度小于 1.2m (4ft) 的试验区域，最大加载应满足公式： $[(\text{试验车辆的轴距或试验载荷的长度除以 } 48\text{in}) \times 0.9 \times \text{CLC}]$ 。施加到每个试验区域的最大试验载荷不能超过衡器的集中载重量。

允许的试验区域的实例如下图所示。



试验区域超过 1.2m (4ft) 时，施加的最大试验载荷不能超过集中载荷 (CLC)，乘以表 2 “用于试验载荷包括区域的长度的最大秤量载荷” 中的最大 “r” 系数。这个表 2 就是在美国联邦公路管理局给出的“桥梁公式”基础上编写的。

表 2 最大载荷的比率系数

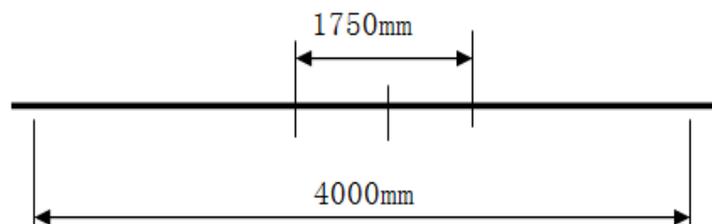
两个或多个连续轴 间的极端距离 (ft)	CLC 与任意两个或多个相邻轴组上最大载荷的比率 (“r” 系数)							
	2 轴	3 轴	4 轴	5 轴	6 轴	7 轴	8 轴	9 轴
4	1.000		说明： 1. 测定衡器承载器的 CLC； 2. 数出规定跨距内的车辆轴数，并且测定此车首轴与尾轴之间的距离，单位为英尺； 3. 将 CLC 乘以表中的相应系数； 4. 得出的数值就是根据车辆秤量的最大载荷。 本表根据下面的公式生成，为了便于使用，在某些情况下这些数据可以化整。 $W = r \times 500 \left[\left(\frac{LN}{N-1} \right) + 12N + 36 \right]$					
5	1.000							
6	1.000							
7	1.000							
8 及以下	1.000	1.000						
8 以上	1.118	1.235						
9	1.147	1.257						
10	1.176	1.279						
11	1.206	1.301						

60				2.515	2.647	2.794	2.950	3.110

2. 专用检测设备法

在我国轨道衡行业执行的检测方法，是采用 JJG567 《轨道衡检衡车》对轨道衡进行检定。进行偏载检测时，是选择 40t 重量的砝码小车对轨道衡承载器进行，特别是要求加载于承载器两个支撑点中间部位。为什么说此项检测是一项比较严酷的试验？那么就通过车辆与检衡砝码小车对承载器的加载情况来看：

(1)按照实际铁路车辆情况计算：



承载器支撑点间距为 4000mm，车辆转向架轴距为 1750mm，按照目前车辆最大重量 80t，转向架单个轮载为 10t，承载器主梁的惯性矩 $J=124487\text{cm}^4$ (特定参数)。按照化学工业出版社出版的《机械设计手册》简支梁计算公式：

$$f_{\max} = \frac{Pal^2}{24EJ}(3-4\alpha^2)$$

其中：p——轮载荷（kg）；

a——加载点距支撑点距离（cm）；

l——两支撑点间距（cm）；

$$\alpha = \frac{a}{l} = \frac{1/2(400-175)}{400} = 0.28$$

E——弹性模量（kg/cm²）；

J——截面轴惯性矩（cm⁴）；

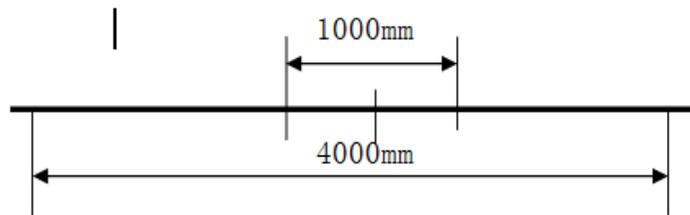
$$f_{\max} = \frac{Pal^2}{24EJ}(3-4\alpha^2) = \frac{10000 \times 112.5 \times 400^2}{24 \times 2 \times 10^6 \times 124487}(3-4 \times 0.28^2) = 0.08 \text{ cm}$$

如果按照传统的要求，增加 25% 载荷后承载器的变形量：

$$f_{\max} = \frac{Pal^2}{24EJ}(3-4\alpha^2) = \frac{12500 \times 112.5 \times 400^2}{24 \times 2 \times 10^6 \times 124487}(3-4 \times 0.28^2) = 0.1 \text{ cm}$$

刚度为： $\frac{f_{\max}}{l} = \frac{0.08}{400} = 2 \times 10^{-4}$ 或 $\frac{f_{\max}}{l} = \frac{0.1}{400} = 2.5 \times 10^{-4}$

(2)按照轨道衡检衡车砝码小车情况计算：



承载器支撑点间距为 4000mm，砝码小车轴距为 1000mm，单个轮载为 10t，承载器主梁的惯性矩 $J=124487\text{cm}^4$ （特定参数）。

$$f_{\max} = \frac{Pal^2}{24EJ}(3-4\alpha^2)$$

其中：p——轮载荷（kg）；

a——加载点距支撑点距离（cm）；

l——两支撑点间距（cm）；

$$\alpha = \frac{a}{l} = \frac{1/2(400-100)}{400} = 0.375$$

E——弹性模量（kg/cm²）；

J——截面轴惯性矩（cm⁴）；

$$f_{\max} = \frac{Pal^2}{24EJ}(3-4\alpha^2) = \frac{10000 \times 150 \times 400^2}{24 \times 2 \times 10^6 \times 124487}(3-4 \times 0.375^2) = 0.098 \text{ cm}$$

刚度为：
$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{0.098}{400} = 2.45 \times 10^{-4}$$

四、结束语

1. 大型衡器承载器的设计目标必须是满足使用要求和检定要求，美国 44 号手册中对于汽车衡、轴重仪及组合式汽车 / 牲畜衡器的试验，是采用集中载荷（CLC），目的是确保衡器在特殊车辆称量时的安全和计量性能；我国采用砝码小车对轨道衡进行检测，也是为了轨道衡的承载器，能够在超常规条件下满足刚度要求和保证计量性能。

2. 从以上计算可以清楚地看到，在铁路车辆计算公式中增加 25% 载荷的重量后的承载器变形量是 0.1cm，检衡车加载使承载器的变形量是 0.098cm。所以说，轨道衡只要按照砝码小车检测要求，就相当于在承载器上加载 125%Max 的载荷情况。但是，随着铁路上 C70、C80 等重载车辆的出现，是否砝码小车的重量也应该增加了呢？

3. 为了保证检定情况与实际使用情况的一致性，如同轨道衡的偏载试验方法，所有车辆衡器的偏载试验，建议都采用称量滚动载荷方法进行。因为只有这样才能迫使制造企业，在产品设计时考虑集中载荷的问题。

【参考文献】

- [1] JJG567-2012 检衡车
- [2] JJF1333-2012 数字指示轨道衡型式评价大纲
- [3] 美国国家标准和技术研究所（NIST）44 号手册
- [4] 美国联邦公路管理局《联邦代码 23》