# 论轴载在汽车衡承载台结构设计中的重要性

# 查玉娟,吴惠芳,周海军,李锦利 梅特勒-托利多(常州)测量技术有限公司

[摘要] 一直以来,汽车衡的关键指标之一是最大秤量,但最大秤量对于汽车衡承载台的结构设计并无真正的实际意义,因为它无法明确车辆是以怎样的方式对承载台面施加载荷。当车辆行驶在承载台上时,车辆质量因重力产生的载荷是通过各个轮轴分配后作用在承载台上的。对轮轴载荷(简称轴载,包括单轴和轴组)进行分析,将其作为汽车衡承载台的力学模型中的重要信息,可以直观地对承载台进行强度和刚性的计算、校核。

[关键词] 汽车衡,最大秤量,轴载

#### 1. 引言

梅特勒-托利多新推出的汽车衡产品,为满足不同客户的个性化使用需求,设置了丰富的可选配参数,客户可以针对其使用工况合理选择配置。其中,很重要的一个参数就是轴载,轴载的大小决定了汽车衡产品的承载台结构的承载能力,也直接关系到产品的使用质量和寿命。

#### 2. 汽车衡称量能力的关键指标之轴载的引入

在汽车衡应用领域,最大秤量是最关键的参数指标之一,这决定了汽车衡的称量范围的上限。因此,客户在产品选型时,往往将此作为首选的的基本参数,而制造商也将此作为制定售价的参数依据之一(另一个关键参数就是汽车衡尺寸)。

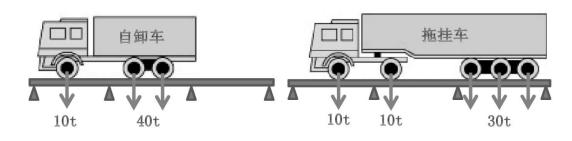
事实上,决定汽车衡称量能力的要素,除了最大秤量,还有另一个真正重要的指标:允许轴载。什么是轴载?轴载是指车辆在静止状态下,由于重力作用,车辆总质量产生的通过各轴或轴组施加到支承平面的垂直载荷,所有轴或轴组载荷的总和为车辆总载荷,最大轴载是指车辆的其中某个单轴或轴组的最大载荷。汽车衡的允许轴载是指可以承受的通过车辆的最大轴载。允许轴载对汽车衡承载台的设计和使用至关重要,其实际意义

上己经超过最大秤量。为描述方便,下文均以简称"轴载"来替代允许轴载。

为了对此观点进一步阐明,请看以下例子。

两台相同的最大秤量为 60t 的汽车衡,承载台面尺寸为 3.4m(宽) x18m(长),均为三节台面组成,共有 8 个传感器支承。正常使用情况下的过衡车辆质量均为 50t 左右,差异在于:其中一种常用过车为自卸车,另一种为普通拖挂车。哪台汽车衡的使用工况更恶劣呢?

由于汽车衡承载台面不可能制作得很长来容纳整个车辆长度,必须拆分成多个台面,每个台面长度一般不超过 7m, 因此, 车辆轮轴就分布到不同的承载台面上了。如图一所示, 在某个瞬间, 单节承载台面承受的最大载荷就是汽车的最大轴载质量产生的, 而不是由汽车总质量产生。自卸车最大轴载 40t, 拖挂车的最大轴载为 30t。在整个行驶过程中, 车轮轴是移动的, 因此汽车衡各个承载台面均会受到来自最大轴载产生的载荷的作用。显然, 前者的汽车衡使用工况较为恶劣。



图一车辆总质量的分配

从以上简单的力学分析看,车辆总质量其实掩盖了汽车衡台面承载状况的真实面貌,最大秤量对于汽车衡的实际承载强度而言并不直接相干,因为这并没有提及载荷是如何施加在汽车衡上的。但是,如果将汽车总质量分解到每个轴或轴组上,台面的承载受力模型就变得非常明确,其强度、刚性等力学计算就比较直观。因此,需要将最大秤量转化成对应的轴载参数指标。

#### 3. "集中载荷承受能力" (CLC) 的定义

"集中载荷承受能力"(Concentrated Load Capacity)(简称 CLC)是美国国家标准及技术研究院(NIST)和美国国家型式评估程序(NTEP)所要求的一个规范指标。美国国家标准及技术研究院的"NIST Handboo k44"(第 44 号手册)中对此规范指标有概述,它适用于美国和其它承认该规范要求的地区,由衡器生产厂家自行定义,并且在产品的

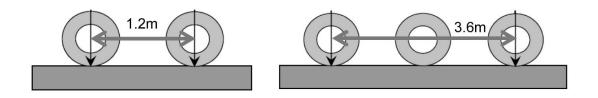
使用和测试中均用到此概念。

对于公路上行驶车辆的质量限制,通常表示为一个双联轴(两个紧挨着的轴,其位置固定在一个大约为 2.5mx1.2m 的面积内,双联轴间距 1.2m)的最大允许质量。集中载荷承受能力(CLC)也作为厂家设计的汽车衡所能承受的双联轴的最大质量。

由于实际车型不仅仅只有双联轴,多联轴与双联轴有个大致的换算关系,目的是计算和测试变得简化。如果是间距为 3.6m 的三联轴,则可承受等效成 1.324 倍双联轴 CLC 的作用。也就是说,3.6m 间距的三联轴的质量对汽车衡台面产生的作用,等效于 1.324 倍 1.2m 间距的双联轴的作用。例如,如承载台面的设计指标为双联轴 CLC 值为 40t,则也可承受三联轴 CLC 值 53t (40\*1.324-53)。

当然,对于不同间距的多联轴,需要根据具体的承载台面尺寸详细换算才更科学, 不能一概而论。

下图二为双联轴、三联轴间距示例:



图二 车辆双联轴和三联轴间距示例

# 4. 中国境内的轴载标准

在我们国家,在桥梁道路及其它构造物设计方面,也将车辆轴载作为设计指标的依据,见《公路工程技术标准 JTGB01-2014》。那么,轴载究竟如何取值呢?这就需要了解相关的法规要求。

为加强对超限运输车辆行驶公路的管理,维护公路完好,保障公路安全畅通,根据《中华人民共和国公路法》及有关法规,二〇〇〇年二月十三日,国家交通部颁布了 2000年第 2 号令 (简称 2 号令),其中,关于超限运输车辆的界定,除长、宽、高以及总质量之外,对于车辆轴载做出了明确的范围规定,任意一条超过以下规定轴载的均纳入超限车辆范围,具体见表一。

表一 2号令规定的公路运输轴载限值

轴型	图样	轴型代码	额定轴载(t)
单轴单轮		1	6
单轴双轮	<del>H H</del>	2	10
双轴单轮		3	10
双轴单双轮		4	14
双轴双轮	H—H	5	18
三轴单轮		6	12
三轴双轮		7	22

表二是七部委在全国开展车辆超限超载治理工作期间颁布的"超限超载车辆认定标准图解",其关注点在于整车载重限制。对于不同车型,按自然轴计数(此处的轴仅指单轴,而非轴组),将表一中的轴组值相加并与表二比较,发现七部委关于总质量超限的界定略微宽泛些,简单理解为单根轴限值 10t。不同的省份在道路车辆超限管理方面可能稍有不同,但均以此两种法规作为依据。

表二 超限超载车辆认定标准图解

轴车	车型图解	总重限制
		(t)
2 轴车		20
3轴车		30
4 轴车		40
5 轴车		50
6轴车		60

结合 2 号令和七部委的超限认定的相关内容,中国境内车辆轴载的限定,可以简单地大致总结如表三,作为相关桥梁道路等的设计参考依据:

 軸型名称
 軸型图
 轴载限值(t)

 単轴
 10

 双联轴
 20

 三联轴
 30

表三 轴(或轴组)载限值

# 5. 世界其它国家轴载标准

世界上有一百多个国家制订了车辆轴载限值标准。他们在制订设计车辆荷载标准及车辆轴重限值时,除了考虑本国的国民经济发展水平外,同时考虑了采用重型汽车提高轴重限值而获得的运输经济效益与相应增加的公路基本建设投资及原有公路网的补强改造费用之间的合理平衡。由于提高轴重对公路投资的影响十分惊人,长期以来,各国政府都采取了极其慎重的态度。世界多国的轴载限值标准如下表四、表五的部分摘录。

# 表四 世界各国单轴和双轴限定轴载一览表

	国家及地区	单轴	双轴		国家及地区	单轴	双轴
		(kN)	(kN)			(kN)	(kN)
	阿根廷	106	180		印度	125	147
	巴西	100	170		日本	100	
美洲	加拿大	100	191	亚洲	韩国	100	
大侧	哥伦比亚	82	145	<u> </u>	新加坡	100	200
	墨西哥	90	145		澳大利亚	90	164
	美国	109	200		中国香港	61	102
	法国	130			利比亚	100	160
	德国	100	160	非洲	马里	110	160
	英国	100	200		摩洛哥	130	
교수실대	意大利	120	190		尼日利亚	100	160
欧洲	荷兰	100	180		索马里	100	160
	西班牙	130	147		南非	82	162
	瑞士	100	140		坦桑尼亚	80	145
	俄罗斯	100	180		扎伊尔	80	120
				有关	泛美公路大会	80	145
					原经互会	100	180
				组织 推荐	亚太经合会	110	180
					53/3/EEC	110	180

表五 欧洲部分国家的货车车重标准

国家	承压轴	驱动轴	2轴货车	3 轴货车	4轴列车	5 轴及以上	5 轴及以上铰接车
芬兰	10	13	19	26	38	60	48
法国	13	13	19	26	38	40	40
德国	10	11.5	18	26	36	40	40
意大利	12	12	18	26	40	44	44
荷兰	10	11.5	21.5	33	40	50	50
俄罗斯	10		18	25	36	38	38
西班牙	10	11.5	18	26	36	40	40
瑞士	10	11.5	18	25	34	34	34
英国	10	11.5	18	26	36	40	40

与世界各国的数据对比,中国的超限认定标准相对较低(即,限值略偏高,放宽了运输要求),这在一定程度上是从发展中的国情出发,适度提高运输效益。

#### 6. 汽车衡设计时轴载参数确定

通过以上对轴载的限值分析,理论上说,汽车衡的轴载设计指标可以很容易获取了。按上述的描述,一般常规拖挂车最大质量不超过60t,但是,为何在中国境内,客户的实际需求往往超过60t,汽车衡最大秤量集中在80~100t,甚至120~150t的也屡见不鲜,特殊应用场合还超过200t呢?主要有几方面的原因:

- a. 超载现象依然严重。公路治超工作对高速公路效果明显,通过计重收费的杠杆调节作用,对超载车辆进行罚款收费,很大程度抑制了超载现象。但对于很多短距离(不上高速)运输的车辆,运输单位或个人为追求经济效益,甚至不惜进行车辆改装,达到多拉增效的目的。
- b. 短途运输车较多。如,下图三的自卸车就是一个非常典型的类别,国内多个自卸车厂生产的汽车,为满足客户要求,轴载能力远远超出限值标准,可以达到 60-80t。



图三

c. 厂矿内特种车较多,如下图四的矿石、混凝土搅拌站、钢厂等场合的车辆,车型和轴载都较特殊。



图四

基于以上的现状,汽车衡生产厂商,要提供客户符合使用要求的汽车衡,如果只考虑最大秤量,难以针对客户的实际情况进行设计。但是,即使引入轴载概念,如果按照相关的轴载限值标准来设计承载台,又经常不能适应实际使用,导致厂家和客户对产品质量上的歧义和纠纷。因此,笔者建议引入最大秤量和轴载双指标的设计参数,通过对最大秤量和过衡的车型进行分析,兼顾汽车衡长度,进行合理分配,以及满足多种车型称量的要求。

表六的最大秤量和轴载对应关系,仅供汽车衡厂家设计和计算参考。从下表看出,最大允许轴载有 30t 以上的现象,超出前面章节描述的车辆轴载的规定限制,也就是考虑到客户的不同应用,根据过衡车辆的车型制定的满足客户使用要求的配置。一种最大秤量的汽车衡,可以有不同的轴载参数供选择,用于客户不同的场合。

表六 汽车衡最大秤量和轴载指标对应关系

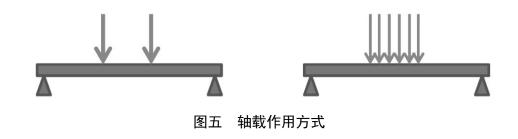
汽车衡最大秤量 (t)	最大允许轴载 (t)	轴型	轴间距 (m)	备注
10	7	单轴		限值范围适用
20	10	単轴		限值范围适用
30	20	双联轴	1.2	限值范围适用
50	20	双联轴	1.2	限值范围适用
60	30	三联轴	2. 4	限值范围适用
	30	三联轴	2. 4	限值范围适用
80	40	双联轴	1.2	特种车型适用、 一般超载适用
	60	三联轴	2. 4	特种车型适用、 一般超载适用
	40	双联轴	1.2	特种车型适用、 一般超载适用
100	60	三联轴	2. 4	特种车型适用、 一般超载适用
	80	三联轴	2.4	特种车型适用
100	60	三联轴	2.4	特种车型适用
120	80	三联轴	2. 4	特种车型适用
150	80	三联轴	2.4	特种车型适用
200	100	三联轴	2. 4	特种车型适用

如何利用这些设计指标?首先,要与客户进行充分沟通,了解客户的实际应用情况,过衡的车型主要有哪些,帮助客户进行归类分析,选择可能出现的最大轴载作为设计参

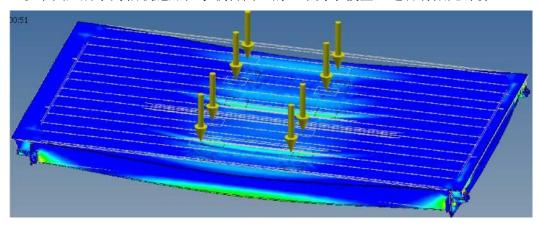
数,确保汽车衡的强度和使用寿命。这样处理的好处是:让客户获得符合实际使用要求的产品。如果允许轴载选取超过了实际应用,为达到汽车衡的强度和刚性设计需要,客户因此支付的成本也会高。反之,允许轴载的选取低于实际应用,那么承载台面会不堪重负,过早出现损毁等失效现象而无法继续使用。所以,笔者认为,合理的轴载确定,是确保汽车衡使用正常的重要因素之一。尽管汽车衡最大秤量一样,但选择了不同的轴载指标,结构设计也会有所不同。只有这样的针对性设计,产品质量才可以得到保障。

当然,各厂家可以自行规定允许轴载指标,在销售产品前与客户明确,利于产品符合实际使用要求。对于特种车辆,还需要了解详细的车型参数,与汽车衡台面尺寸进行匹配,设计出合理的解决方案。

计算汽车衡承载台面的强度和变形时,不仅考虑轴载大小和轴型,还需要考虑轴载的施加位置和范围。计算校核模型中,载荷应置于单节台面的中间,此时的工况最恶劣。一般来说,轴载载荷可以为点载荷,也可以是按照车轮的投影形成的面载荷,具体由设计人员掌握。施加范围可以根据具体的车型图,进行总结获得经验值。如下图五所示为简单的二维力学模型:



以下图六所示为轴载施加在承载台面上的三维力学模型,适合有限元计算:



图六 三维轴载作用示例

# 7. 汽车衡台面强度和变形的检测方法

在 GB/T7723《固定式电子衡》2008 年修订版本里,增加了大型衡器的承载器的相对变形的要求以及具体的检测方法。汽车衡一般为多个承载台面组成,每个台面应分别满足该要求。下图七和图八取自 GB/T7723 的相关章节,其推荐了最大秤量和检测载荷对应关系,这也为衡器厂家提供了一定的设计参考依据。当然,具体设计时,轴载的选取和加载区域可比此更加严酷,作为各厂家的产品内部指标,提高产品的竞争力。

# 6 技术要求

# 6.1 结构的一般要求

## 6.1.1 应用适用性

衡器的结构设计应符合预期的使用目的。根据 GB1589 的规定,对于目前国内正常使用的,最大秤量为 30t 至 150t 的大型衡器的承载器相对变形量按表 5 要求。

表 5 衡器承载器相对变形

最大秤量/t	检测载荷/t	加载区域/m	衡器承载器的最大相对变形		
以が上が			新安装后的首次检测	使用中的随后检测	
30~40	15	1	≤1/800	≤1/600	
50~60	26	1.8	≤1/800	≤1/600	
80~100	40	2.6	≤1/800	≤1/600	
120~150	50	3	≤1/800	≤1/600	

图七

#### 7.1.11 承载器变形量测试

现场测试时,首先查阅产品随机文件,了解本产品在加载相应重量载荷后的变形量值。然后使用相应重量的载荷加载至单节承载器的中部(见图 1),将置于单节承载器中部的高度游标尺或百分表测量出此时的单节承载器的变形量,按单节承载器的尺寸计算出相对变形,应符合 6.1.1 的要求。

变形量的计算公式如下:

$$f_{\max} = \frac{qcl^3}{384EI}(8-4\gamma^2+\gamma^3)$$

式中:

q---局部单位长度上的平均载荷;

c---局部单位长度;

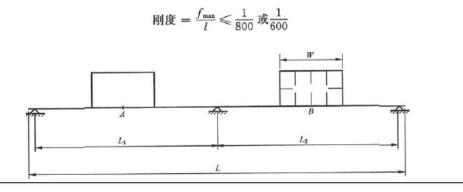
l---单节承载器两支撑点间距;

 $\gamma - \frac{c}{l}$ ;

E--弹性模量;

J---截面轴惯性矩。

刚度的计算公式如下:



图八

# 8. 汽车衡承载台面的使用寿命

汽车衡在使用过程中,承载台面一直处于重复的动载状态,结构产生的应力变化循环反复,疲劳破坏往往是主要的失效模式,因此疲劳寿命成为业内衡量产品最终质量好坏的重要因素。

疲劳寿命的计算比较复杂,受很多实际条件的限制,也受到很多因素影响,难以得出科学合理的结果。因此,往往需要通过疲劳试验来进行测算。

但对于外载荷比较直观、结构自身不太复杂的汽车衡承载台面,仍然可以通过一定 的理论计算预测其使用寿命。疲劳寿命与结构应力大小密切相关,而应力计算还是以轴 载作为基本的计算输入条件之一。

经过长期的试验验证,笔者推算出汽车衡承载台面的疲劳寿命与最大应力关系的经验公式。如果需要达到 100 万次,则承载台的最大应力不宜大于 130N/mm²。

简单说明如下:

$$\left[\Delta\sigma\right] = \left(\frac{C}{n}\right)^{\frac{1}{\beta}} = \left(\frac{2.18 * 10^{12}}{1.0 * 10^6}\right)^{1/3} = 130N / mm^2$$

公式中, n 即疲劳次数, 应力幅 $\Delta \sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min} = 130 \text{N/mm}^2$ 。

对于承载台面来说,据其截面特性和应力计算结果,出现最大拉应力处为秤台底面,该处不会出现压应力,且最小 $\sigma_{\min}=0$ ,则

$$\Delta \sigma = \sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}} = \sigma_{\text{max}} - 0 \leq 130 \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{max}} \leq 130 \text{N/mm}^2$$

如果己经计算出应力值为 150N/mm², 那么通过该公式, 也可预测其疲劳寿命:

$$\sigma_{\text{max}} = 150 = \left[\Delta\sigma\right] = \left(\frac{C}{n}\right)^{\frac{1}{\beta}} = \left(\frac{2.18 * 10^{12}}{n}\right)^{1/3}$$

$$n=0.64*10^{6}$$

即疲劳寿命为64万次。

当然,这仅仅是非常粗略的类比算法,仅供设计参考,最终的疲劳寿命还需要通过疲劳试验验证。

#### [参考文献]

- 1. 中华人民共和国交通部令 2000 年第 2 号
- 2. 七部委"招限招载车辆认定标准图解"
- 3. 《公路工程技术标准 JTG B01-2014》
- 4. 美国国家标准及技术研究院的第 44 号手册
- 5. GB/T7723《固定式电子衡》

第一作者简介:查玉娟,1968年出生,汉族,籍贯安徽省休宁县,高级工程师,学士学位,主要从事衡器产品的研发和管理工作。