交通行业标准
《振动压实成型机》
(征求意见稿)

编制说明

《振动压实成型机》编制组

2017 年 9 月 12 日

目　录

一、工作简况 1
二、标准编制原则和标准主要内容 2
三、主要试验（或验证）的分析、技术经济认证或预期的经济效果 6
四、与国际、国外同类标准水平的比较情况 11
五、与有关现行法律、法规和其他强制性标准的关系 12
六、重大意见分歧的处理结果和依据 12
七、其他应予以说明的事项 12

一、工作简况

1.1 任务来源

根据交通运输部文件交科技发[2015]114 号《关于下达 2015 年交通运输标准化计划的通知》，由交通运输部科学研究院负责起草制定本标准，计划编号为 JT 2015-163。

1.2 协作单位

在本标准的修订过程中，开展了广泛的调研和大量的试验验证工作，得到了相关单位的支持、协助，取得了大量试验数据和标准制定建议，保证了标准的修订质量。协作单位名单如下：

⑴天津市交通科学研究院

负责单电机配重加载型设备的调研、试验及标准的编写等工作。

⑵北京今古神箭测控技术研究所

负责同步电机气压加载型设备的调研、试验及相关标准条文的编写工作。

1.3 主要工作过程

（1）2015 年 6 月至 2015 年 12 月，对国内外振动成型压实机生产厂家进行调研，了解各厂家产品的性能及质量；

（2）2015 年 12 月至 2016 年 12 月，对国内部分使用振动压实成型机的科研院所和工程单位进行走访调研，掌握振动成型压实机在使用过程中存在的问题以及使用者关心的主要技术参数及检验方法；

（3）2016 年 12 月至 2017 年 5 月，通过室内试验，进一步掌握振动压实成型机使用过程中振动压实参数对压实效果的主要影响因素及影响程度。同时在不同厂家生产的设备进行对比试验，积累试验数据，并验证相关技术参数设置的合理性与可靠性；

（4）2017 年 5 月至 2017 年 8 月，研究并分析整理振动压实成型机影响因

素，归纳技术参数，并最终编写相关条款，形成征求意见稿。

1.4 主要起草人及其所做的工作

本标准主要起草人：王志军、常嵘、严二虎、周震宇、孟庆营、李鑫、彭司卉、姚利花、郭海生

各起草人员主要工作如下：

——王志军主要负责组织、协调，并参与标准编写工作。

——常嵘、严二虎主要负责振动成型击实仪产品的调研，参与技术标准的编写。

——周震宇负责国内外振动成型击实仪应用情况调研、技术标准资料的收集和整理，参与标准的编写工作。

——孟庆营、李鑫提供了大量试验数据，参与单电机配重加载型产品试验方法的编写工作。

——彭司卉、姚利花、郭海生负责同步电机气压加载型产品技术要求及试验方法的编写工作。

二、标准编制原则和标准主要内容

2.1 标准编制原则

①协调性原则。做好与相关标准、规范的协调、衔接，保证本标准与现行公路沥青路面施工技术规范等相关行业标准统一性和一致性。

②可操作性原则。起草的条文应明晰、规范，试验方法中仪器、关键步骤等内容应详细、明确，可操作性强。

③成熟性原则。标准须进行充分技术论证或试验验证，应依据充分，理论正确，验证可信，确保技术成熟性、可靠性。

④代表性和先进性原则。标准即满足确保国内市场上大部分产品能够满足标准要求；同时能够引导工程上产品的改进、完善，从而有利于行业的持续进步。

2.2 标准的主要内容的说明

本标准为《振动压实成型机》，是对原标准《振动压实成型机》（JT/T 739-2009）的修订，主要包括范围，术语和定义，产品类型与结构，技术要求，试验方法，检验规则，以及标志、包装、运输和储存等内容。

（1）关于标准名称

本标准沿用了 JT/T 739-2009 的标准名称。

（2）产品分类

编写组调研了目前国内外大多数振动成型机产品，目前国内行业领域内根据加载方式的不同，主要分为单电机配重加载型和同步电机气压加载型两种结构型式。不论哪种加压方式，其基本原理都是由两个在垂直平面上对称布置的振动器施加振动力。振动器用两个自位轴承把偏心块支撑在振动轴的轴承上，通过偏心块的高速旋转对被压材料施加呈正弦规律变化的激振力。两个振动器的偏心块转速相等但方向相反，当振动轴带动偏心块高速旋转时，两个偏心块产生的离心力的水平分量相互抵消，垂直分量相互叠加，从而形成垂直方向的正弦激振力。使振动系统在理论上产生垂直振动，减少横向力的剪切作用，保证压实设备的稳定性。

单电机配重加载型主要采用添加配重块的方法实现上下车重量的调整，从而实现静压力的调整；同时采用单电机通过传动杆和万向节实现动力的传递；这种类型也是目前《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》所推荐的模式。同步电机气压加载型采用加载气缸进行静压力的加载，同时采用同步电机加载激振力。这种方式具有明显的优势，首先采用加载气缸调整静压力能够比较灵活方便；使用同步电机可实现较高的频率控制精度和提供更高的激振力。目前来看，两种方式在国内均有应用，因此，本行业标准对两种加压设备都进行了相应规定。

（3）产品参数

①静压力参数

现有的大多数可用于路面、路基压实的大中型振动压路机的静线压力为 300N/cm 左右。用于路基压实的大中型压路机的轮径已趋于一致，一般在 1500mm 左右，滚轮接地面积可用 $b=2R\sin\beta$ 计算，由此可计算出接地宽度 b 为 23.04cm。振动压路机产生的接地压力为 140kPa 左右。

振动压实成型机的静压力由振压系统的自重和配重提供。单电机配重加载型振动压实成型机基本按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》规定的参数没有进行改变。同步电机气压加载型振动压实机配重由压力加载气缸调节，静压力控制在（0～10000）N 范围可变，精度为±1%，可模拟现有振动压路机的压实效果相应的静压力。

②振动频率、激振力、振幅参数

根据振动压实理论，每一种材料都有不同的自振频率，激振频率与自振频率一致时可达到最好的压实效果。振动压路机设计频率一般比被压材料的自振频率的变化范围大一些。目前市场上用于压实的大中型振动压路机的振动频率的范围是：压实路基 25～30Hz，压实底基层 25～40Hz，对压实粒状材料和结合料的稳定基层为 33～55Hz。而且从常用的振动压路机的参数来看，压路机的常用振动频率为 30、35、40Hz 等，最大为 48Hz。因此振动设备振动频率实现 50Hz 以内可调可基本达到要求，两种类型振动压实成型机均规定采用变频器来控制，在（0~50）Hz 范围内实现无极可调，频率变化率为±1Hz。

振幅直接影响压实深度，同样的振动质量及振动频率时，提高振幅可以增加压实效果的影响深度。但振幅过高会对减震带来困难。根据长期试验及施工经验，结合施工要求及压实对象，振动压路机振幅选择如下：压实路基：1.4～2.0mm，压实次基层：0.8mm～2.0mm，对压实粒状料和结合料的稳定基层取振幅为 0.4～0.8mm。振动压路机常用振幅有 1.7mm、0.8mm、0.4mm 等。为能够模拟常用振动压路机的振幅，振动成型压实机的振幅设计的可变范围为 0.4mm～2.5mm。但是对于设备本身来说，单电机配重加载型振动压实成型机的振幅控制比较复杂，一般情况下只能通过仪器进行监测。同步电机气压加载型可通过控制同步振动电机的振幅参数进行控制，同时需要进行过程控制监测。

激振力是影响压实效果的主要参数之一。高激振力下的振动作用很快转化为冲击作用，振实的效果很不稳定。激振力合适的取值范围是 6000N～8000N。《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》规定：对无机结合料稳定粒料一般选用静压力约为 0.1Mpa，激振力约 6800N，振动频率为 28~30Hz 的振实条件。对级配碎石材料来说，通常采用静压力约为 140kPa、激振力约 6950N、振动频率为 28~30Hz 的振实条件。因此需特别检测在振动频率 29Hz±1 Hz 条件下，激振力是否符合

6850N±50N 的振实条件。

③其他

其他如振动压头、试模未进行调整，仍按原标准的技术要求。这主要是需要与其他规程如《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》的规定相协调一致。底座和减振器进行了部分修改，主要强化了产品的减震效果，主要是由于在调研中发现，产品在使用过程中产生的振动干扰太大会影响试验的效果，因此需要强化产品的减震效果。电气控制箱也未进行修改，主要是电气控制箱对试验本身影响不大，原标准的要求完全能够满足产品试验的需要。

（4）技术性能试验方法的确定

①外观

外观的检测采用的方法是目测，主要是主机的外观进行评测，包括主机应在明显固定位置设有产品标牌，标牌应包括产品型号、名称、产品主要技术参数、出厂日期、出厂编号和制造厂名称。此外外观应平整、光滑，不应有毛刺、深镀层脱落或油漆表面色彩明显不均匀现象。

②几何尺寸

几何尺寸的测量包括前面所规定的设备要求尺寸和试模尺寸。测量采用的量具为钢直尺和游标卡尺，规格分别游标卡尺 0 mm ~300mm，分度值为 0.02mm；游标卡尺 0 mm~500mm，分度值为 0.05mm；钢直尺 0 mm ~500mm，分度值为 0.05mm。

采用框式水平仪：200×200mm，精度：0.02mm 测量 仪器的平行度，包括导向滑柱与支撑框架立柱的平行度，上、下配重箱顶面与底面平行度，两偏心轴的平行度等。

采用磁力表座检测振动压头上、下平面平行度。

③质量、硬度、粗糙度

采用电子秤：10kg，感量 0.lg 或电子台秤：200kg，感量 100g 检测质量参数，包括配重板质量、偏心块质量等。

采用便携式洛式金属硬度计测量导向滑动柱的表面硬度、振动压头硬度；采用橡胶硬度计检测橡胶减振块硬度。

采用表面粗糙度样块（铣工工序）检测粗糙度，包括导向滑柱表面的粗糙度，配重板表面粗糙度，底座上平面粗糙度和试模内壁的粗糙度等。

④静压力

静压力采用标准测力仪，分别设定静压力最大量程的40%、60%、80%进行加载，记录标准测力仪的标准值与设定值进行比较，应符合精度为±1%的规定。

⑤振动频率

振动频率主要采用转速测量仪测定，将反光膜贴在电动机的轴上；启动电机，将转速测量仪发射光装置对准反光膜，进行轴转速测量，连续测量三次，记录转速测量仪显示的标准值。计算转速测量仪每分钟检测的转速标准值的平均值，然后计算振动频率，振动频率按下式计算：

振动频率=转速测量仪检测的转速标准值的平均值/60

查看计算的振动频率是否与仪器设定的频率一致，应符合频率变化率为±2%的规定。

⑥激振力

激振力采用激振力专用试验台测定，先拆卸试模及振动压头，清洁底座上平面和安装振动压头的平面；在两平面之间安装激振力专用试验台；启动振动电机，调节振动频率为29Hz±1 Hz，记录激振力专用试验台的示值，应符合6850N±50N的规定。

⑦振幅

振幅试验采用加速度计，将加速度计安装在振动电机上，使之与振动电机同步振动；启动振动电机，调节振动频率为29Hz±1 Hz，持续振动15min，记录振幅范围，应满足0.4mm～2.5mm的规定。

三、主要试验（或验证）的分析、技术经济认证或预期的经济效果

（1）主要试验分析

振动压实机作为试验设备，不可能在机械组成上完全模拟振动压路机，但必须使其压实效果能与现场压路机的现场压实效果等效。为了使振动成型压实机能模拟施工现场振动压实效果，振动成型压实机的“振动成型压实机－被压材料”的动态响应必须和“振动压路机－被压材料”的动态响应模型基本相同。

压实过程是压路机和被压材料发生复杂的相互动态作用的过程，因而对压路机的特性研究不能脱离被压实材料，应将振动压路机和被压材料作为一个闭环系

统来考虑。对振动压路机的具体数学模型，1977 年，美国学者 E.T.seling 和 T.Syoo 进行了较系统的研究，在完全弹性理论的基础上建立了“振动压路机－被压材料”系统两个自由度的动力学模型。对振动压路机的压实机理及影响因素做了较为详细的分析，模型运动方程如下：

$$m_2\frac{d^2x_2}{dt^2}+(c_1+c_2)\frac{dx_2}{dt}+(k_1+k_2)x_2-c_1\frac{dx_1}{dt_1}-k_1x_1=F_0\sin\omega t$$

$$m_1\frac{d^2x_1}{dx_1{}^2}+c_1\frac{dx_1}{dt}+k_1x_1-c_1\frac{dx_2}{dt}-k_1x_2=0$$

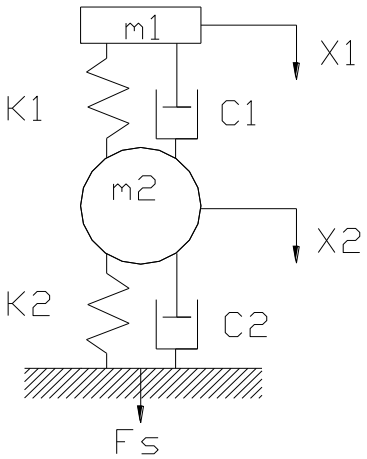

图 1 振动压实动力学模型

式中：

m_2：振动轮质量；

m_1：振动轮框架质量；

k_1：减震器刚度；

c_1：振动器阻尼；

k_2：被压实材料刚度；

c_2：被压实材料阻尼；

F_0：偏心轴旋转产生的离心力；

F_s：振动轮对被压实材料的作用力；

E.T.seling 和 T.Syoo 用振动压路机试验结果验证了此模型，大量的现场测试数据和研究工作都证实此模型的理论分析结果和实测结果是基本吻合的，可以真实反映“振动压路机－被压材料”系统的实际动态响应。

采用配重式振动成型机对级配碎石进行试验验证。具体试验过程如下：

振动成型仪的基本参数：

下车空载质量为 m_d =140.45Kg；上车空载质量 m_u =80.76Kg；

下车配重块质量为 4.41Kg；上车配重块质量为 6.95Kg；

活动偏心块质量 m_1 =2.0Kg；固定偏心块质量 m_2 =1.5Kg；

活动偏心块的直径 d_1 =0.106m；固定偏心块的直径 d_2 =0.106m；

活动偏心块的厚度 h_1 =0.036m；固定偏心块的厚度 h_2 =0.028m；

活动和固定偏心块的内孔直径（转轴直径）d =0.040m；

偏心块圆心和转动轴轴心距R =0.025m;

以轴心为基点（偏心块内孔圆心）将半圆等分为6等分，每档30度。

激振力和名义振幅的计算公式如下：

$$\left.\begin{aligned} M_1 &= \rho\pi r_1^2 h_1 \\ M_2 &= \rho\pi r_2^2 h_2 \\ \omega &= 2\pi f \\ f_1 &= M_1 R\omega^2 \\ f_2 &= M_2 R\omega^2 \\ F &= 2\sqrt{f_1^2 + f_2^2 - 2 f_1 f_2 \cos(180^\circ - \alpha)} \\ A &= F/m_e\,\omega^2 \\ a &= Af^2/g \end{aligned}\right\} \qquad \text{（式1）}$$

式中：M_1--活动偏心块的等效重量(Kg)，所谓等效质量就是偏心块本身质量加上空心体积相应得质量后的总质量；

M_2--固定偏心块的等效质量(Kg)；

h_1--活动偏心块的厚度(m)；　　h_2--固定偏心块的厚度(m)；

r_1--活动偏心块的半径(m)；　　r_2--固定偏心块的半径(m)；

R --单个偏心块的偏心距(m)；　　ρ--钢的密度(g/cm3)；

f--工作频率(Hz)；　　ω--角速度(rad/s)；

F--振动器的激振力(N)；　　α--偏心块的夹角(°)；

m_e--下车系统的质量(Kg)；　　a--振动加速度(g)；

A--名义振幅(m)

经计算得：

$$M_1 = \rho\pi r_1^2 h_1 = \frac{m_1}{\pi\left(\frac{d_1}{2}\right)^2 h_1 - \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 h_1} \times \pi\left(\frac{d_1}{2}\right)^2 h_1 = \frac{m_1}{d_1^2 - d^2} \times d_1^2 = \frac{2.0}{0.106^2 - 0.04^2} \times 0.106^2 = 2.3321 \qquad \text{（式2）}$$

$$M_2 = \rho\pi r_2^2 h_2 = \frac{m_2}{\pi\left(\frac{d_2}{2}\right)^2 h_2 - \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 h_2} \times \pi\left(\frac{d_2}{2}\right)^2 h_2 = \frac{m_2}{d_2^2 - d^2} \times d_2^2 = \frac{1.5}{0.106^2 - 0.04^2} \times 0.106^2 = 1.7491 \qquad \text{（式3）}$$

$$f_1 = M_1 R\omega^2 = 2.3321 \times 0.025 \times (2\pi f)^2 = 2.3017 f^2 \quad \text{（式 4）}$$

$$f_2 = M_2 R\omega^2 = 1.7491 \times 0.025 \times (2\pi f)^2 = 1.7263 f^2 \quad \text{（式 5）}$$

$$F = 2\sqrt{f_1^2 + f_2^2 - 2 f_1 f_2 \cos(180^\circ - \alpha)} = 2 f^2 \sqrt{8.2777 - 7.9466\cos(180^\circ - \alpha)} \quad \text{（式 6）}$$

$$A = F/m_e\,\omega^2 = 2\sqrt{(M_1 R)^2 + (M_2 R)^2 - 2M_1 M_2 R^2 \cos(180^\circ - \alpha)}/m_e$$
$$= \frac{2\sqrt{0.005311 - 0.005099\cos(180^\circ - \alpha)}}{140.45 + 4.41\text{x}} \quad \text{（式 7）}$$

$$a = Af^2/g = \frac{2 f^2 \sqrt{0.005311 - 0.005099\cos(180^\circ - \alpha)}}{(140.45 + 4.41x)g} \quad \text{（式 8）}$$

表 1　振动参数值表

夹角	0	30	60	90	120	150	180
F（N）	$8.06 f^2$	$7.79 f^2$	$7.00 f^2$	$5.75 f^2$	$4.15 f^2$	$2.36 f^2$	$1.15 f^2$
A	$0.204/m_e$	$0.197/m_e$	$0.177/m_e$	$0.146/m_e$	$0.105/m_e$	$0.060/m_e$	$0.029/m_e$
a	$\frac{0.204 f^2}{m_e g}$	$\frac{0.197 f^2}{m_e g}$	$\frac{0.177 f^2}{m_e g}$	$\frac{0.146 f^2}{m_e g}$	$\frac{0.105 f^2}{m_e g}$	$\frac{0.060 f^2}{m_e g}$	$\frac{0.029 f^2}{m_e g}$

表 2　激振力(N)

夹角	工作频率(Hz)						
	20	25	30	35	40	45	50
0	3222	5035	7250	9868	12889	16313	20140
30	3115	4867	7008	9539	12459	15769	19468
60	2800	4375	6300	8575	11200	14176	17501
90	2302	3596	5179	7049	9207	11652	14385
120	1660	2593	3734	5083	6639	8403	10374
150	945	1477	2127	2894	3781	4785	5907
180	460	719	1036	1410	1841	2330	2877

表 3　静面压力(KPa)

下车配重块数	下车系统重(Kg)	上车配重块数	上车系统重(Kg)	总重(Kg)	下车：总重	静面压力(KPa)
0	140.45	0	80.76	221.2	0.63	122.7
1	144.86	1	87.71	232.6	0.62	129.0

下车配重块数	下车系统重(Kg)	上车配重块数	上车系统重(Kg)	总重(Kg)	下车：总重	静面压力(KPa)
2	149.27	1	87.71	237.0	0.63	131.4
3	153.68	2	94.66	248.3	0.62	137.7
4	158.09	2	94.66	252.8	0.63	140.2
5	162.5	3	101.61	264.1	0.62	146.5
5	162.5	4	108.56	271.1	0.60	150.3
6	166.91	4	108.56	275.5	0.61	152.8
7	171.32	4	108.56	279.9	0.61	155.2
6	166.91	5	115.51	282.42	0.59	156.6
8	175.73	4	108.56	284.3	0.62	157.7
8	175.73	5	115.51	291.2	0.60	161.5
9	180.14	6	122.46	302.6	0.60	167.8
10	184.55	6	122.46	307.0	0.60	170.3
11	188.96	7	129.41	318.4	0.59	176.6
12	193.37	8	136.36	329.7	0.59	182.9
13	197.78	8	136.36	334.1	0.59	185.3
14	202.19	9	143.31	345.5	0.59	191.6
15	206.6	10	150.26	356.9	0.58	197.9

注 1：重力加速度取 g=9.8m/s^2，试模直径 15cm。

2：$F_{静} = \dfrac{Mg}{\pi(d/2)^2} / 1000$，式中：$F_{静}$ 为静面压力（kPa）;M 为上下车的总重（Kg）;d 为接触面直径，即为试模内径（m）。

表 3 名义振幅(mm)

下车配重块数	下车系统重量(Kg)	夹角(°)						
		0	30	60	90	120	150	180
0	140.45	1.45	1.40	1.26	1.04	0.75	0.43	0.21
1	144.86	1.41	1.36	1.22	1.01	0.73	0.41	0.20
2	149.27	1.37	1.32	1.19	0.98	0.70	0.40	0.20
3	153.68	1.33	1.28	1.15	0.95	0.68	0.39	0.19
4	158.09	1.29	1.25	1.12	0.92	0.66	0.38	0.18

下车配重块数	下车系统重量(Kg)	夹角(°)						
		0	30	60	90	120	150	180
5	162.5	1.26	1.21	1.09	0.90	0.65	0.37	0.18
6	166.91	1.22	1.18	1.06	0.87	0.63	0.36	0.17
7	171.32	1.19	1.15	1.04	0.85	0.61	0.35	0.17
8	175.73	1.16	1.12	1.01	0.83	0.60	0.34	0.17
9	180.14	1.13	1.09	0.98	0.81	0.58	0.33	0.16
10	184.55	1.11	1.07	0.96	0.79	0.57	0.32	0.16
11	188.96	1.08	1.04	0.94	0.77	0.56	0.32	0.15
12	193.37	1.06	1.02	0.92	0.75	0.54	0.31	0.15
13	197.78	1.03	1.00	0.90	0.74	0.53	0.30	0.15
14	202.19	1.01	0.98	0.88	0.72	0.52	0.30	0.14
15	206.6	0.99	0.95	0.86	0.71	0.51	0.29	0.14

在固有频率下振动是达到最佳压实效果和节约压实能量的有效途经，一般认为 30Hz 是级配碎石的响应频率，因此选择 30Hz 作为成型方法的振动频率。高激振力下的振动作用很快转化为冲击作用，振实的效果很不稳定。激振力合适的取值范围是 6000N～8000N。可以通过增加偏心块夹角来减小激振力，试验证明 30Hz 下 0。夹角的激振力（7250N）能够达到较好的压实效果。在达到标准振实状态时停止振动，静面压力的变化对干密度的影响不大；S2X4（静面压力 140kPa)可以使振动时间延续到 2min~3min，能够充分发挥振动压实的作用，使得振动压实的干密度较高，压实效果稳定。

（2）预期的经济效果

本标准规定了振动压实成型机的主要产品结构参数和技术参数，能够很好的规范振动压实成型机的生产和应用，对于推广无机结合料材料和无结合料粒料材料的振动压实技术应用具有重要的作用，从而具有良好的经济效益和社会效益。

四、与国际、国外同类标准水平的比较情况

无。

五、与有关现行法律、法规和其他强制性标准的关系

本标准为推荐性标准，不涉及有关现行法律、法规和其他强制性标准。

六、重大意见分歧的处理结果和依据

目前本标准处于征求意见稿阶段，尚无遗留的重大意见分歧。

七、其他应予以说明的事项

无。