

# 交通行业标准

## 《旋转压实仪》

(征求意见稿)

### 编制说明

《旋转压实仪》标准起草组

2017年8月21日

## 目 录

一、工作简况.....	3
二、标准编制原则和标准主要内容.....	5
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.....	21
四、与国际、国外同类标准水平的比较情况.....	21
五、与有关现行法律、法规和其他强制性标准的关系.....	22
六、重大意见分歧的处理结果和依据.....	22
七、其他应予以说明的事项.....	22

## 一、工作简况

### 1 任务来源

随着美国 SuperPave 技术在中国的推广应用，旋转压实仪作为其技术的关键设备得到普遍应用。该设备自开发以来，国内已有多家设备生产厂家。旋转压实仪是沥青混合料配合比设计、生产质量检验和保证的关键，同时沥青混合料旋转压实仪设备对于检测结果的稳定性和准确性影响较大。为此交通运输部已组织制定了《旋转压实仪 JT/T 724-2008》标准，该标准基本上参考了美国 AASHTO T312 早期版本编写；而新颁布的《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20-2011 结合 AASHTO T312, ASTM D6925 和 EN 12697-31, 以及我国实践编写, JTG E20-2011 较 JT/T 724-2008 在主要指标的定义、标准值的规定以及主要参数的标定方法上都有差异，因此需要进行旋转压实仪标准进一步完善、修订。

基于此，交通运输部科技司在《交通运输部关于下达 2015 年交通运输标准化计划的通知》(交科技发[2015]114 号)中下达了《旋转压实仪》标准修订工作，该工作由交通运输部公路科学研究院主持，计划编号：JT 2015-169。

本标准立项名称为《旋转压实仪》，鉴于目前沥青混合料旋转压实仪设备的多样性，《旋转压实仪》标准主要在 2008 年原标准的基础上，进一步明确了内旋转角、试模内径等关键控制参数的测定方法。

### 2 协作单位

- (1) 福建省高速公路建设总指挥部
- (2) 南京东永神富科技有限公司

### 3 主要工作过程

交通运输部公路科学研究院接到标准修订计划任务后，立即着手进行标准修订工作，主要工作过程如下：

(1)2015年3月~2015年5月,交通运输部公路科学研究所牵头成立了标准起草组。课题组广泛收集了国内外主要旋转压实仪产品,及国家、行业或企业标准等资料,进行了技术分析,提出了标准修订的原则、编写思路及人员分工,编写了标准制定大纲。

(2)2015年6月~2015年8月,编写组主要人员赴欧美主要国家进行标准、试验方法的调研。

(3)2015年9月~2016年5月,对比分析不同类型旋转压实仪设备的技术差异性,确定其关键控制参数。

(4)2016年6月~2016年12月,进行大量室内试验,并进行工程上旋转压实仪应用情况调研。

(5)2017年1月~2017年8月,整理数据,编写标准征求意见稿初稿,进行标准起草组内部的讨论和初稿完善。

#### 4 主要起草人及其所做的工作

本标准主要起草人:严二虎、周震宇、曾俊铖、王志军、常嵘、吴晓东。

各起草人员主要工作如下:

——严二虎主要负责组织、协调,并参与标准编写工作。

——周震宇、曾俊铖主要负责国内外旋转压实仪应用情况、技术标准资料的收集和整理,参与旋转压实仪技术标准的编写。

——王志军、常嵘、吴晓东负责进行旋转压实仪标准试验验证工作,提供了大量试验数据,参与旋转压实仪试验方法的编写工作。

## 二、标准编制原则和标准主要内容

### 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**。本标准与公路工程沥青及沥青混合料试验规程有所不同，在公路工程沥青及沥青混合料试验规程中旋转压实仪的试验方法规定重点讲了旋转压实法成型混合料的试验过程，而对于试验仪器本身的关键参数测定方法、试验步骤不明确；为便于工程应用，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**。标准必须能够满足工程上对旋转压实仪产品的基本性能要求，同时也必须考虑产品的代表性，确保验证产品能够覆盖工程上所采用国内外产品的 90% 覆盖率，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 标准的主要内容的说明

本标准为《旋转压实仪》，属于修订标准，包括范围，规范性引用文件，术语和定义，结构，技术要求，试验方法，检验规则，标志、包装、运输和储存等内容。

本标准借鉴《旋转压实仪》(JT/T 724-2008)、《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)以及欧美相关标准。

#### 2.1 本次修订内容

—修改了旋转压实仪的定义（见 3.1；2008 年版 3.1）

—修改了内旋转角的定义（见 3.2、3.3、3.4；2008 年版 3.2、3.3、3.4、3.5）；

- 删除了工作原理，并修改了系统组成的描述（见 4、2008 年版 4.1）；
- 删除了扭矩的定义（2008 年版 3.7）
- 增加了一般要求（见 5）；
- 修改了对于有效内旋转角的技术要求（见 6.5.3.2、2008 年版 5.4.3.4）；
- 增加了环境条件（见 7.1）；
- 增加了产品判定的内容（见 8.3）；
- 修改了动态内旋转角的检测方法，并作为附录 A 列出；
- 修改了试模内径的检测方法，并作为附录 B 列出。

## 2.2 主要内容的说明

本文件除了术语中的几个概念、内旋转角的动态标定方法与试模内径测量方法内容外，其他内容沿用了原标准内容或对其仅做编辑上的调整。

### (1) 旋转压实仪定义

关于旋转压实仪的定义，本次修订主要考虑到将仪器的工作原理融入其中，同时与室内其他沥青混合料进行区分，如marshall击实仪，GTM试验机等都对应着沥青混合料不同的设计方法与成型方式，自然而然，这两种成型方式也是沥青混合料生产质量检验和质量保证的工具。为了与之区分，突出旋转压实仪的特殊性，此次修改为“在室内试验条件下，沥青混合料通过揉搓方法作匀速旋转运动，达到设定压实次数或高度的试件成型设备。”

### (2) 内旋转角定义

关于内旋转角的名称，一般有三个名称，内部角，内部旋转角，内旋转角。《旋转压实仪》(JT/T 724-2008)将旋转压实仪旋转角称为内部角，《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)中则称为内旋转角，包括顶部内旋转角、底部内旋转角及有效内旋转角等。美国 AASHTO T344 等称为 top internal angle 内旋转角或内部旋转角。

本标准规定旋转压实仪旋转角，均为内旋转角，同时包括有顶部内旋转角、底部内旋转角及有效内旋转角，与试验规程内容相对应，因此本标准中内旋转角的定义为，试模在旋转压实仪旋转压实过程中，试模内部直径与试模上、下压盘之间的夹角。

### (3) 结构

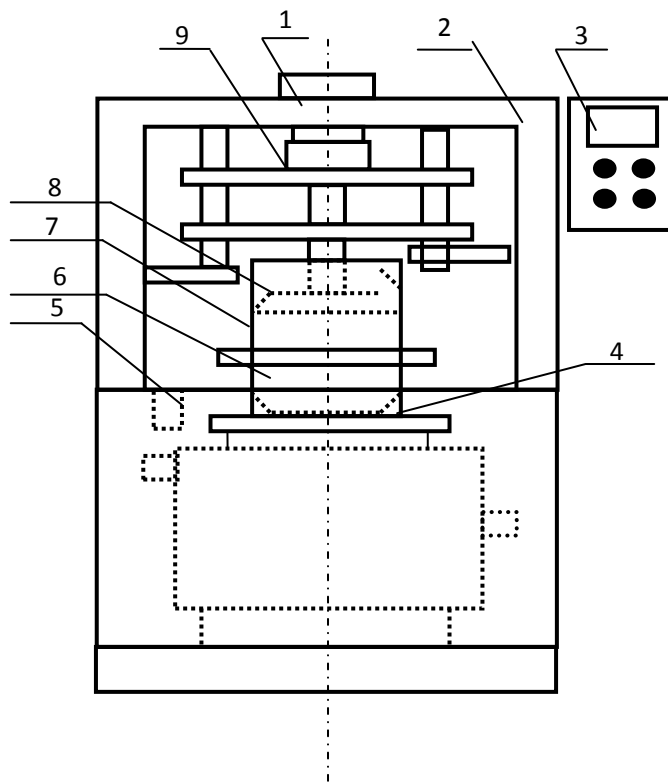
旋转压实仪室内成型圆柱体沥青混合料试件的一种设备，是沥青混合料设计、生产检验和质量控制的工具。将一定质量的沥青混合料装入试模，置于旋转压实仪中，通过上、下压盘给混合料作用恒定垂直压力。由于试模内部直径与上、下压盘之间具有一定角度，在试模旋转过程中上、下压盘会对混合料产生剪切应力，因此沥青混合料在垂直压力及剪切应力作用下不断被压实。旋转压实到设定的压实次数或要求的试件高度结束。旋转压实过程中，试模内部直径与上下压盘之间的夹角、垂直压力及旋转速度恒定。

如美国的 Pine 旋转压实仪，如下图 1 所示。



图 1 Pine 旋转压实仪

旋转压实仪可以是电动或者电-液压传动或者电-气动的，具有以下主要系统：反力架、加载装置、旋转基座、旋转室、变速装置、测力装置和测位移装置、底座、控制系统等。必要时还可配置剪应力测试系统和压头加热系统。图 2 为一般旋转压实仪结构示意图。



说明:

- |         |          |         |
|---------|----------|---------|
| 1—加载装置; | 4—旋转基座;  | 7—试模;   |
| 2—反力架;  | 5—测位移装置; | 8—上压盘;  |
| 3—控制装置; | 6—下压盘;   | 9—测力装置。 |

图2 旋转压实仪结构示意图

我国沥青路面中应用旋转压实仪主要是进口设备包括 EDCO、PINE、Rainhart、Troxler 及其它制造商。还有国内部分厂家，如北京航天航宇生产的国产旋转压实仪。澳大利亚、法国等欧盟有自己的一套旋转压实设备，美国主要是 SHRP 计划中研发的 SGC 旋转压实仪。随着高性能沥青路面技术在中国的普遍推广，旋转压实仪的需求将有所增加。

### (3)技术要求

对于旋转压实设备，如果压实参数不相同，其压实效果肯定有差异，因此对于一个以旋转压实仪为设计体系的设计方法必须统一旋转压实仪的基本参数，这样才能保证试验结果具有良好的重复性和再现性。影响试验结果的三个主要参数是：旋转压实角，垂直压力和旋转速度。另外这些主要参数的允许波动范围、试



模(包括压盘)等对试验结果也都有影响。表 1 列出了国外旋转压实设备的相关参数及其技术要求。

表 1 不同设计方法体系中旋转压实仪参数对比表

参数		欧洲	SHRP	GTM	澳大利亚
旋转角, °		有效内旋转角 0.82±0.02	有效内旋转角 1.16±0.02(外旋转角 1.25±0.02)	外旋转角1 (ASTM D3387新标准将调整为2)	2-Φ100mm 3-Φ150mm
垂直荷载或压力	压力, kPa	-	前 5 次 600±60, 之后 600±18	根据需要设定	240
	荷载 (N)	Φ160mm:12500±1000 Φ150mm:10000±1000 Φ100mm:4700±200	Φ150mm:10600±310	-	-
旋转速度, rpm		30 (1±10%)	30±0.5	12~18	60
试模		洛氏硬度不小于 48HRC, Ra 不大于 1μm, 直径: 150.0mm±0.1mm 160.0mm±0.1mm 100.0mm±0.1mm	洛氏硬度不小于 48HRC, rms 不大于 1.6μm, 直径: 149.90mm~150.00mm	-	-
压盘(压头)		洛氏硬度不小于 55HRC, Ra 不大于 0.8μm。 压盘外径与试模内径差值为 0.1~0.6mm。	洛氏硬度不小于 48HRC, rms 不大于 1.6μm, 直径: 149.50mm~149.75mm	-	-

注: 欧洲 2007 年前采用 1°外旋转角, 垂直压力 600kPa, 2007 年后调整为有效内旋转角, 并采用垂直荷载。SGC 早期均采用 1.25°±0.02°的外旋转角, 2007 年 ASTM 增加了内旋转角, 而 2004 年 AASHTO 增加内旋转角, 2008 年只采用外旋转角。

### ①旋转角的影响

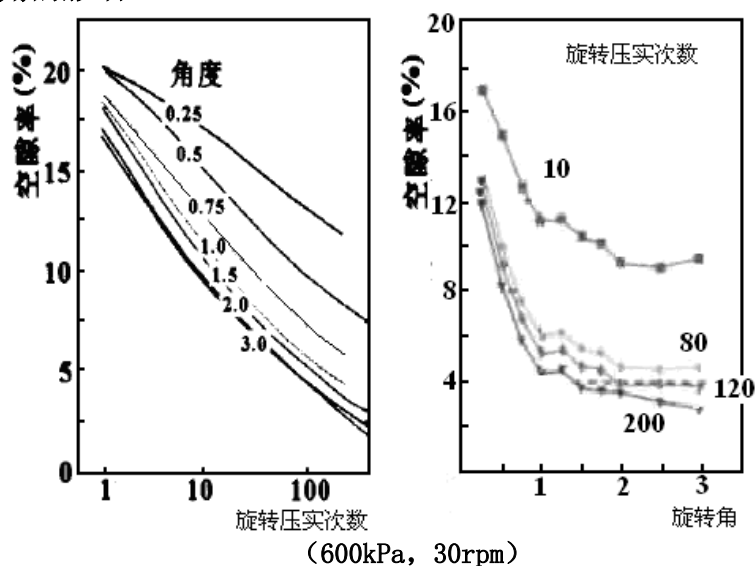


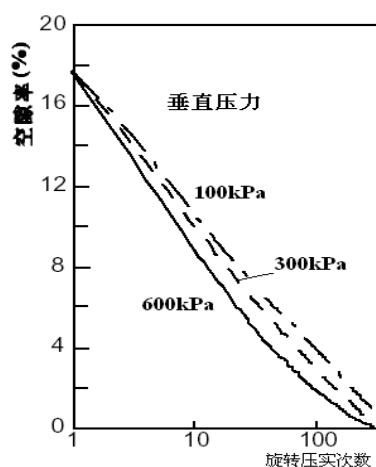
图3 外旋转角对成型试件空隙率的影响

保持垂直压力和旋转速率一定, 改变旋转压实角(0.25°~3°), 可以得到

在不同角度下旋转压实次数与空隙率的关系曲线,如图 3 所示。从图中可以看出,对于同一压实次数,旋转角度越大,则获得空隙率越低,说明增加旋转角可以提高压实效果,但是在旋转角大于  $1^\circ$  时,这种增加幅度明显降低,在  $2^\circ \sim 3^\circ$  之间似乎有一稳定区域。同时旋转角太低时,压实效果很不理想。旋转角对压实有着重要的影响。欧洲国家的早期研究表明:在较小的角度下进行压实,得到的结果更精确。SHRP 研究发现:较大的角度如  $5^\circ$  会使压实过程过快,不符合实际现场压实情况,而且数据采集存在较大困难;较小的角度如  $1^\circ$  会使压实不充分,并且对于劲度模量大的沥青混合料,在加载时还容易引起机器元件松动,从而导致压实过程中旋转角变小,所以 SHRP 在制订压实规范时,采用了  $1.25^\circ$  的旋转角。

### ②垂直压力的影响

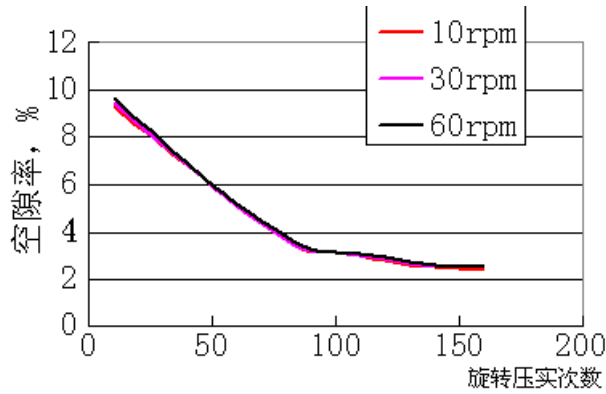
保持角度和旋转速率恒定,改变垂直压力的大小,得到垂直压力与空隙率的关系曲线如图 4,从图中可以发现在同一压实次数下,随着垂直压力的增加,空隙率会降低,说明增加垂直压力,会增加试件的旋转压实效果。一般认为,垂直压力应尽可能的取较大值,使试件充分压实,避免试验结果出现较大的变异性,减少试件的热损失,缩短试验时间。



(外旋转角  $2^\circ$ , 30rpm)

图 4 垂直压力对成型试件空隙率的影响

### ③旋转速率的影响



(2° , 30rpm)

图 5 旋转速率对成型试件空隙率的影响

旋转速率对空隙率的影响在所考虑参数中应该说是比较小的，保持其他参数恒定，改变旋转压实速率，分别选择 10 rpm，30 rpm 和 60rpm ，试验结果如图 5 所示。尽管采用了不同的旋转速率，但是所得的结果变化很小，采用不同的旋转角时可得到同样的规律。采用较高的旋转速率可以减少试验过程中的热量损失，同时减少试验时间，但是同时对动力要求就会增加。当然如果拥有很好的绝热设施或温控室，也可以消除热量损失带来的影响。

#### ④其他参数

由于旋转角、垂直压力和旋转速率对旋转压实效果影响很大，在制定具体参数数值时，还必须规定这些参数的允许波动范围，以控制试验精度。同时试模厚度、试模的刚度、试模的垂直度和试模与压盘的间隙等对旋转压实均有较大影响。SHRP 确定旋转角的允许波动为 $\pm 0.02^\circ$ ，此波动范围在于控制旋转角变异影响旋转压实效果，使得设计的沥青用量变异小于 0.1%，目前这一指标欧洲和美国是一致的。在所有指标中旋转角要求是最苛刻的，这样会增加设备的成本 10000 以上美元。SHRP 根据工程经验确定垂直压力允许波动为 $\pm 10\text{kPa}$ ；旋转速度允许波动为 $\pm 0.5\text{rpm}$ ，相应的欧洲标准会偏低一些，根据垂直荷载反算垂直压力允许波动约为 $\pm 60\text{kPa}$ ，而旋转速度允许波动为 $\pm 3\text{rpm}$ 。

在美国使用中又发现随着试模在使用中不断磨损会影响旋转压实效果。图 6 为试模与压盘的间隙示意图，在使用中会导致试模直径变大而压盘直径变小，会使得间隙变大，当间隙太大时会导致成型试件的毛体积相对密度急剧降低，根据 Pine 公司 2002 年试验结果，毛体积相对密度随间隙 2C 的变化率达到 0.025/mm。为了减小试模尺寸变化对旋转压实影响，SGC 对相关尺寸进行严格规定，要求试

模直径为  $149.90 \sim 150.00\text{mm}$ ，压盘直径为  $149.50 \sim 149.75\text{mm}$ ，这样就可以使得间隙(试模内直径-压盘外直径)控制在  $0.15 \sim 0.50\text{mm}$  之间。同时为了降低试模壁对旋转压实效果影响，要求试模壁必须光滑；而且在旋转压实过程中试模和压盘不变形，对试模厚度，试模和压盘刚度都要有要求。试模和压盘，相应欧洲的标准会高一些。

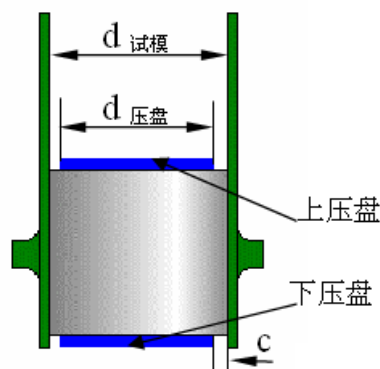


图 6 试模与压盘的间隙示意图

随着不同旋转压实仪厂家的增加和新型压实仪的产品更新，发现虽然按照相同的参数生产的旋转压实仪其压实效果均有差异，因此，SHRP 规定对于新厂家或者新型旋转压实仪，必须与 Pine 和 Troxler 最早的旋转压实仪标准进行比较，即将需要比对的新旋转压实仪与标准的旋转压实仪分别成型 4 种代表混合料，每个成型 6 个，然后进行密度对比，要求密度差值不得偏差某一直，后来形成标准，即 AASHTO TP4。2000 年，FHWA 对美国 30 个现场混合料进行对比试验，发现 Pine 试件较 Troxler 毛体积相对密度平均偏大 0.005，从而揭示了虽然外旋转角一致，而内旋转角不同是造成不同旋转压实仪压实效果差异的重要原因，外旋转角和内旋转角示意图见图 7，可以看出外旋转角指试模侧壁相对于主旋转轴线的倾角；而内旋转角为试模侧壁相对于压盘(或压头)垂直线的倾角，一般将底部内旋转角和顶部内旋转角的平均值称为有效内旋转角；只有上下压盘平行且水平，才能保证内外旋转角相等，图 6 中所示压盘安装不正确或者旋转压实过程中荷载作用下压盘产生弯曲导致上下压盘不平行、不水平，外旋转角与内旋转角就可能不相等。2003 年 Prowell 等人发现，在外旋转角满足要求情况下，内旋转角会在  $0.98^\circ \sim 1.19^\circ$  内变化，且底部内旋转角大于顶部内旋转角。由于各旋转压实仪几乎都是采用了外旋转角，因而各设备间的内旋转角很难一致，因此旋转压实试件毛体积相对密度复现性差异会较大，很多现场试验表明不同旋转压实仪试件毛体积相对密度复现性难以达到 AASHTO T166 规定的  $0.02^\circ$  要求。

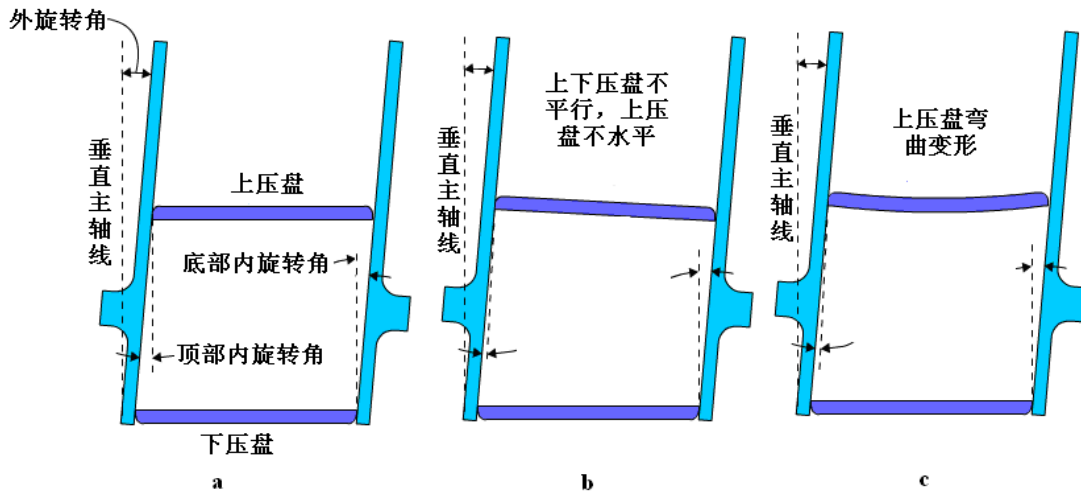


图 7 外旋转角和内旋转角示意图

目前，对于旋转压实仪的使用过程中发现，之前要求角度均为外部角，即试模壁旋转角。在经过外部角标定的仪器上，同一技术员压实同一沥青混合料，空隙率差值仍可能达到 1%；且都没有一个通用的旋转角标定系统。我国《旋转压实仪》(JJG 087-2008) 中同样采用了内部角的要求，即  $1.16^\circ \pm 0.02^\circ$ ，但目前对于内部角的测量与标定，却是极少的计量检定单位能够掌握的，采用何种标定方法，也缺乏像 FHWA 推荐采用 DAV 测量内部角的要求。

现在在美国至少有 6 家 SHRP 的 SGC 旋转压实仪生产商，多种型号。每个型号的旋转角的设置都很独特，每个厂家都有自己的标定系统，一般都是试模壁旋转角，即外旋转角，且都没有一个通用的旋转角标定系统。FHWA 出于统一旋转角标定方法，特别是为了解决内旋转角标定方法，最早开发了内旋转角的标定工具和方法，在此基础上制定了内旋转角的标定方法，即 AASHTO PP48。内旋转角需要在动态过程测定，这是与外旋转角最大不同，因此内旋转角又称为动旋转角。

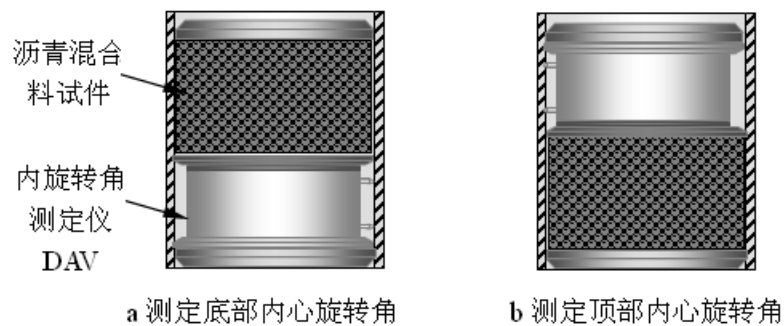


图 8 AASHTO PP48 内旋转角测定方法

AASHTO PP48 在内旋转角测定时需要利用沥青混合料试件，发现这种方法存在一些问题，一个是沥青混合料试件不是稳定的(非标准物质)，另外标定块和沥

青混合料试件高度太高，标定的数值需要外推到标准高度时的内旋转角。为此后来又研发了模拟加载新内旋转角标定方法，一种方法为采用自动快速内旋转标定器 RAM 进行；另外一种是在 PP48 基础上采用沥青混合料模拟器替代沥青混合料试件，即 DAV/HMS，如下图 9 所示。ASTM 和 AASHTO 先后制定了这种方法，分别为 ASTM D7115 和 AASHTO TP 71。



图 9 用于模拟荷载测定内旋转角的仪器 DAV/HMS 和 RAM

2008 年 AASHTO T312-2008 取消了 AASHTO PP48 和 TP4 方法，旋转压实仪的标定方法统一采用 AASHTO TP 71-2007，也取消外旋转角标准，统一为内旋转角方法。但是对于模拟荷载方法在美国还是存在一些争论，主要上下压盘是否需要加热到高温条件，另外采用 DAV/HMS 和 RAM 方法，测量结果存在一定差异。另外 ASTM 旋转压实仪旋转角还是规定外旋转角和内旋转角两个指标，但是内旋转角没有采用自己的 ASTM D7115-2005 标准，而是 AASHTO PP48 标准，有报道说 ASTM 正在修订，也是向内旋转角上靠，采用 ASTM D7115-2005。美国各州目前基本上按 AASHTO 标准，即采用模拟荷载测定内旋转角方法作为标准方法。

欧洲旋转压实仪评价方法与美国方法基本接近，在 EN 12697-31:2007 中规定了 3 种方法，A、B 和 C，分别对应 AASHTO TP4、PP48 和 TP71。其中 A 方法是一般性要求，主要是利用混合料评价不同旋转压实仪的差异，为研究时用，内旋转角的标定则一般按照 B 或 C 进行。B 方法与 PP48 几乎相同。C 方法与 TP71 基本相同，只是试验条件稍有差异。C 方法与 TP71 均要求采用垂直压力  $600\text{kPa} \pm 18\text{kPa}$ ，TP71 要求采用偏心距  $e$  为 22mm 条件进行标定，而 C 方法要求分别采用

力矩  $M(=F \times e)$  为  $240N \cdot m \pm 10N \cdot m$  和  $425N \cdot m \pm 10N \cdot m$  进行标定。

通过以上分析，对于评价旋转压实仪的方法主要有 3 个，即 AASHTO TP4、PP48 和 TP71 或者 EN 12697-31 中的 A、B 和 C，但是用混合料评价旋转压实仪的方法，如 AASHTO TP4 和欧洲的 A 方法，已经不是标准旋转压实仪标定方法，目前关于内旋转角的标定，采用模拟荷载的方法将成为趋势，美国很多州均采用模拟荷载的方法。值得注意的是，ASTM D7115-2005 的标准规程，很多典型的旋转压实仪，如 Pine、Troxler 和 IPC 旋转压实仪，其有效内旋转角为  $1.014^\circ \sim 1.290^\circ$ ，重复性误差为  $0.03^\circ$ ，复现性误差为  $0.04^\circ$ ，为此美国一些研究建议将有效内旋转角标准降低为为设定值的  $\pm 0.03^\circ$ 。

**表 2 模拟荷载法标定旋转压实仪内旋转角对比**

标准名称	条件	测量次数	要求
AASHTO TP 71-2007	600kPa $\pm$ 18kPa, 30 $\pm$ 0.5 rpm, e=22mm。试模加热, 也可以不加热	底部和顶部各测量 2 次 (如果 2 次差值大于 0.02 $^\circ$ , 必须重新测), 共 4 次测量。	有效内旋转角为 $1.16^\circ \pm 0.02^\circ$
ASTM D7115-2005	600kPa $\pm$ 18kPa, 30 $\pm$ 0.5rpm, e=22mm, M=466.5N $\cdot$ m。试模加热, 也可以不加热	底部和顶部各测量 3 次, 共 6 次测量。	有效内旋转角为 $1.16^\circ \pm 0.02^\circ$
EN 12697-31: 2007 C	M=240N $\cdot$ m $\pm$ 10N $\cdot$ m 和 425N $\cdot$ m $\pm$ 10N $\cdot$ m, 试模不加热。	底部和顶部各测量 4 次, 包括两种力矩, 共 16 次测量。	1) 4 个单值的内旋转角差值小于 $0.5^\circ$ ; 2) 有效旋转角为 $0.82^\circ \pm 0.02^\circ$ ; 3) 底部和顶部内旋转角平均值的差值小于 $0.10^\circ$ ; 4) 不同力矩下的内旋转角平均值的差值小于 $0.10^\circ$ 。

综上所述，对于旋转压实仪的标准参数，需要借鉴国内外相关技术标准，同时充分考虑了目前国内外技术与产品质量现状，特别是国产旋转压实仪的质量现状，其具体应用过程中，根据试验条件按照本文件中推荐的方法进行参数调整。

#### (4) 试验方法

对于试验方法部分，在参考原标准《旋转压实仪》(JT/T 724-2008)的基础上主要增加了试验的环境条件，规定了环境温度与相对湿度；对于旋转压实仪中内旋转角的测定进行了不同测试方法对比，并给出了标准方法；试模内径及压盘直径采用三点内径千分尺进行测定。两种试验方法单列为本文件附录A与附录B。

##### ① 内旋转角

旋转压实仪的内旋转角，国外技术标准中已经介绍了不同的测定方法，FHWA 出于统一旋转角标定方法，特别是为了解决内旋转角标定方法，最早开发了内旋转角的标定工具和方法，在此基础上制定了内旋转角的标定方法，即 AASHTO PP48。但此方法由于技术局限性并未推广开。后来研发了采用模拟荷载方法进行内旋转角标定。由此提出的方法主要有美国 AASHTO T344，欧盟 prEN 12697-31 等。

旋转压实仪内旋转角是将动态内旋转角测量装置放入旋转压实仪试模内进行动态测量的。在将动态内旋转角测量装置放入旋转压实仪中在测量内旋转角同时产生荷载和扭矩，其模拟加载状态与旋转压实仪进行成型混合料试件时状态相似。

对于试验方法部分，在参考原规程《旋转压实仪》(JJG(交通) 087-2008)的基础上主要增加了试验的环境条件，规定了环境温度与相对湿度；除了内部旋转角标定方法、试模内径测定与原规程有所区别外，其他检定方法一律按原规程执行。

#### **内旋转角动态检测方法：**

旋转压实仪的内旋转角，国外技术标准中已经介绍了不同的测定方法，FHWA 出于统一旋转角标定方法，特别是为了解决内旋转角标定方法，最早开发了内旋转角的标定工具和方法，在此基础上制定了内旋转角的标定方法，即 AASHTO PP48。但此方法由于技术局限性并未推广开。后来研发了采用模拟荷载方法进行内旋转角标定。由此提出的方法主要有美国 AASHTO T344，欧盟 prEN 12697-31 等。

旋转压实仪内旋转角是将动态内旋转角测量装置放入旋转压实仪试模内进行动态测量的。在将动态内旋转角测量装置放入旋转压实仪中在测量内旋转角同时产生荷载和扭矩，其模拟加载状态与旋转压实仪进行成型混合料试件时状态相似。根据旋转压实仪的使用及相应精度技术指标要求，内旋转角的测定方法规定如下：

(一)有效内旋转角的动态检测准备工作：

- a) 对于每个试模，均需要标定内旋转角，当采用不同的上、下压盘时也需要重新标定。将试模上、下压盘和动态内旋转角测量装置的表面清理干净、无碎片。
- b) 若试模内壁或者上、下压盘接触混合料的表面有划痕，则舍弃不得再用。
- c) 动态内旋转角测量装置需定期进行校准。使用前检查探针尖端与接触环有无缺陷。



(二)有效内旋转角的动态检测步骤如下:

a) 将动态内旋转角测量装置组装好, 放进试模中, 调整探针或标准基座, 使能够测量顶部内旋转角, 将试模放入旋转压实仪中, 同时注意将试模和上、下压盘进行对中。也可以先将试模放入旋转压实仪、对中后, 再将动态内旋转角测量装置放入试模。

b) 根据不同设计方法和体系, 设定有效内旋转角、垂直压力和旋转速率(如 Superpave 设计方法要求有效内旋转角为  $1.16 \pm 0.02^\circ$ , 垂直压力为  $600\text{kPa} \pm 18\text{kPa}$ , 旋转速率为  $30\text{r}/\text{min} \pm 0.5\text{r}/\text{min}$ )。微调降低旋转压实仪上压盘, 启动旋转压实仪进行旋转压实, 使试模和动态内旋转角测量装置一起作旋转运动。

c) 旋转到设定次数(可根据动态内旋转角测量装置生产厂家要求设定)后停止, 待上压盘上升一定高度后, 取出试模; 从试模中取出动态内旋转角测量装置, 也可以采用脱模仪将动态内旋转角测量装置取出。完成一次内旋转角测量, 记录角度测量值, 准确到  $0.01^\circ$ 。

d) 按照以上 a) — c) 的步骤测定 4 个位置的顶部内旋转角, 分别记为  $\alpha_{t,i}$ 。每个位置测量一次; 然后关闭旋转压实仪, 沿顺时针方向转动动态内旋转角测量装置约  $90^\circ$  再次测定; 依次测定左右前后 4 个位置。4 个位置的顶部内旋转角最大值与最小值之差不大于  $0.05^\circ$ , 否则, 应重新测定。

e) 调整探针或标准基座, 使能够测量底部内旋转角。按照同样方法, 测定 4 个位置的底部内旋转角, 精确至  $0.01^\circ$ , 分别记为  $\alpha_{b,i}$ 。

f) 按公式(1)、(2)分别计算顶部与底部四个位置测定的内旋转角平均值, 公式(3)计算有效内旋转角:

$$\alpha_t = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \alpha_{t,i} \dots\dots\dots (1)$$

$$\alpha_b = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \alpha_{b,i} \dots\dots\dots (2)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_t + \alpha_b}{2} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$\alpha_t$ ——顶部内旋转角，单位为度（°）；

$\alpha_b$ ——底部内旋转角，单位为度（°）；

$\alpha_{t,i}$ ——顶部某位置内旋转角测定值，单位为度（°）；

$\alpha_{b,i}$ ——底部某位置内旋转角测定值，单位为度（°）；

$\alpha$ ——有效内旋转角，单位为度（°）

### 结果评价

有效内旋转角允许误差为 $\pm 0.02^\circ$ ，且顶部内旋转角与底部内旋转角之差小于 $\pm 0.10^\circ$ 。

### ②旋转压实仪试模的测定方法

与原标准《旋转压实仪》(JT/T 724-2008)不同的是此次对于试模的测定方法有所变化，之前对于试模内径采用量成为 50mm~200mm 的内径百分表、0mm~300mm 的游标卡尺及 75~100mm 的外径千分尺进行试模尺寸测量。在实际操作中发现，该测量方法的精度和平行试验结果的一致性较差。因而此次，参考 AASHTO T 312-2015 中的新方法进行试模内径尺寸测量。新测定方法采用的主要仪器设备为：

(1) 三点内径千分尺，最小分辨率为 0.0025mm；

(2) 校对环规，与试模内径相同的标准尺寸，最小分辨率为 0.001mm；主要是试模测量前对三点内径千分尺进行校核。

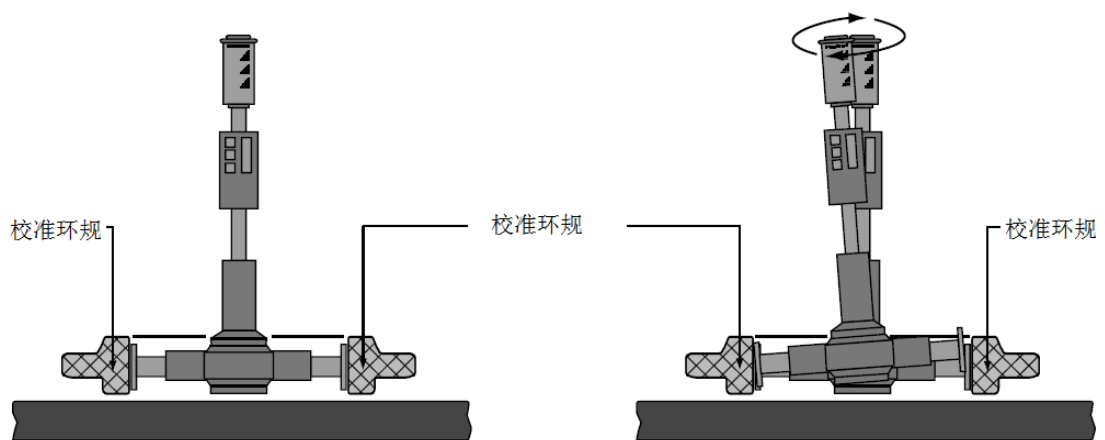


图 10 带有校准环规的三点内径千分尺

### 三点内径千分尺校核步骤:

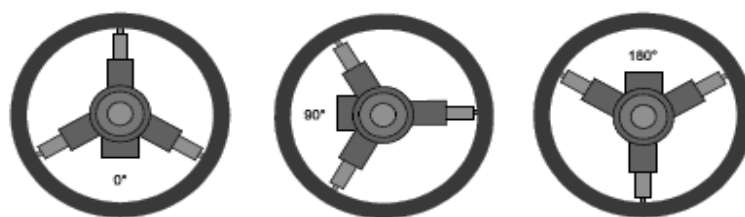
a) 将三点内径千分尺、校对环规在 18-28℃ 恒温 45min 以上;

b) 将校对环规放在平台上, 将三点内径千分尺放置在环内, 但测量爪不接触环表面。转动三点内径千分尺调节旋钮使测量爪向外伸展; 同时, 在内径量规上部进行小转动, 使其测量爪端部与校对环规内孔正好咬合; 然后降低环形运动幅度, 直至测量爪端部与校对环规内孔完全咬合上, 安装要紧, 但是不要太紧。

c) 将三点内径千分尺调零。对于无电子复位的机械式三点内径千分尺, 确认表的读数在校对环规的 0.0025mm 范围内。缩回测量爪, 将三点内径千分尺从校对环规取出。如果表的读数误差大, 则重新标定。

### 试模内径测量步骤:

a) 确定测量的旋转方向。将试模放在平台上, 内壁垂直与平台。在试模端部做个记号, 第一个位置 A 为记号位置, 第二个位置 B 为 A 位置旋转 90°, 第三个位置 C 为 A 位置旋转 180°, 来识别测量时旋转方向。见下图 11 所示。



a) 测量位置标记 A      b) 测量位置标记 B      c) 测量位置标记 C

图 11 试模测量位置标记

b) 测量过程中, 沿着垂直方向在三个高度位置测量试模内径。三个高度位置自上而下分别记为 1、2 和 3; 第一个测试高度位置距试模顶部 50mm, 第二个测试高度位置距顶部 100mm, 第三个高度位置距离试模底部 50mm。具体见下图 B. 2;

c) 每个高度沿圆周方向三个位置测量 3 次, 最终得到 9 个内径测量结果。将三点内径千分尺放于第一个测点位置 1, 使其中的一个接触点与第一个记号位置 A 相对应, 测量结果记为 “1A” ;

d) 释放三点内径千分尺, 将其旋转 90° 与第二个记号位置 B 相对应, 测量结果记为 “1B” 。

e) 再次释放三点内径千分尺, 旋转 90° (与 1A 成 180° ) 与第三个记号位置 C 相对应, 测量结果记为 “1C” ;

f) 对于第二个与第三个高度位置的测量重复 c) — e) 过程，得到测量结果标记为“2A”、“2B”和“2C”以及“3A”、“3B”和“3C”。

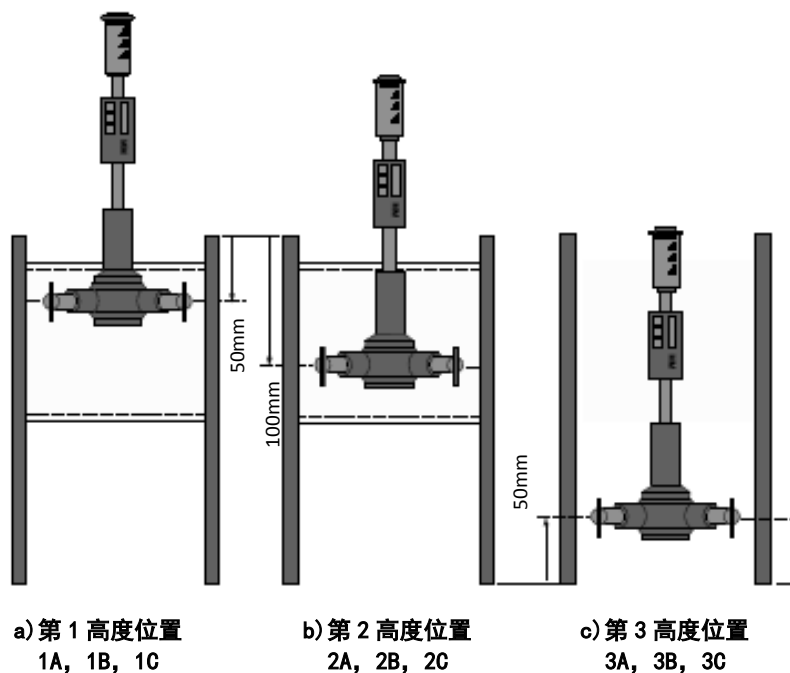


图 12 试模内三点内径千分尺测量位置

**试模内径计算：**

试模内径在 3 个高度位置测定值按公式（1）、（2）和（3）计算。

$$D_1 = \frac{D_{1A} + D_{1B} + D_{1C}}{3} \dots\dots\dots (1)$$

$$D_2 = \frac{D_{2A} + D_{2B} + D_{2C}}{3} \dots\dots\dots (2)$$

$$D_3 = \frac{D_{3A} + D_{3B} + D_{3C}}{3} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ ——试模内径在高度位置 1, 2, 3 的测定值，单位为毫米（mm）；

$D_{1A}$ 、 $D_{2A}$ 、 $D_{3A}$ ——试模内径在高度位置 1, 2, 3 对应的标记 A 位置的测定值，单位为毫米（mm）；

$D_{1B}$ 、 $D_{2B}$ 、 $D_{3B}$ ——试模内径在高度位置 1, 2, 3 对应的标记 B 位置的测定值，单位为毫米（mm）；

$D_{1C}$ 、 $D_{2C}$ 、 $D_{3C}$ ——试模内径在高度位置 1, 2, 3 对应的标记 C

位置的测定值，单位为毫米（mm）。

试模内径计算按公式（4）计算。

$$D = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 D_i \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$D$ ——试模内径尺寸，单位为毫米（mm）；

$D_i$ ——试模在高度位置  $i$  处的内径测定值，单位为毫米（mm）。

### 结果评价

每个高度位置的测量值平均值与内径范围要求进行比较，当任何单值不满足要求时，即该试模不合格。

## 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

目前越来越多的工程项目采用旋转压实仪成型沥青混合料试件，不仅仅应用于 SuperPave 混合料设计，也用于设计验证，因此，规范旋转压实仪设备的使用非常重要。本标准中规定了旋转压实仪关键技术参数的技术要求，特别是给出了目前对于内旋转角的测量与标定方法，从而确保了旋转压实试验的准确性、可靠性，为路面材料应用提供了更加精准的参数和试验条件，满足实际工程需要，具有较高的社会效益与经济效益。

## 四、与国际、国外同类标准水平的比较情况

目前旋转压实仪没有国际 ISO 相关标准，但是欧盟、美国等相关国家有旋转压实设备技术标准，本标准与国外标准相比较，有效内旋转角测定方法、试模内径测定评价等试验指标相同，但是部分参数指标值、设备仪器与试验方法稍有不同，不具有完全等效性。

## 五、与有关现行法律、法规和其他强制性标准的关系

本标准为您推荐性标准，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。