

附件 3

# PM<sub>2.5</sub> 切割器切割效率测试 技术要求

(试行)

# 目录

前 言 .....	II
1 适用范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 计量特性 .....	1
5 测试条件 .....	2
6 系统组成 .....	2
7 测试方法 .....	3
8 质量保证与质量控制 .....	5
9 测试结果与表示 .....	5
附录 A (资料性附录) PM <sub>2.5</sub> 切割器切割效率测试原始记录	错误! 未定义书签。
附录 B (资料性附录) PM <sub>2.5</sub> 切割器切割效率测试报告 .....	错误! 未定义书签。
附录 C (资料性附录) 透过率曲线拟合示例 .....	错误! 未定义书签。

## 前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国大气污染防治法》，实施《环境空气质量标准》（GB 3095）、《环境空气颗粒物（PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>）采样器技术要求及检测方法》（HJ 93），规范环境空气中细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）切割器的性能、质量，制订本技术要求。

本技术要求规定了PM<sub>2.5</sub>切割器切割效率计量特性、测试条件、系统组成、测试方法、质量保证和质量控制、测试结果表达。

本技术要求附录A~C为资料性附录。

本技术要求由中国环境监测总站和中国计量科学研究院共同编制。

本技术要求主要起草人：师耀龙、王瑜、王万里、吕怡兵、张文阁。

本技术要求由中国环境监测总站解释。

# PM<sub>2.5</sub> 切割器切割效率测试技术要求

## 1 适用范围

本技术要求适用于进气口流量为16.67L/min（工况流量）的细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）切割器切割效率的测试，其它流量范围的PM<sub>2.5</sub>切割器切割效率的测试也可参考本技术要求。

## 2 规范性引用文件

HJ 93 环境空气颗粒物（PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>）采样器技术要求及检测方法

HJ 653 环境空气颗粒物（PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>）连续自动监测系统技术要求及检测方法

GB/T 31159 大气气溶胶观测术语

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本方法；凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本方法。

## 3 术语和定义

### 3.1 空气动力学直径 aerodynamic diameter

与所表征粒子具有相同的运动速度，密度为1g/cm<sup>3</sup>球形粒子的直径。（引自GB/T 31159-2014 大气气溶胶观测术语）

### 3.2 切割器 cutter

具有分离大气中不同粒径粒子功能的装置。（引自HJ 653 环境空气颗粒物（PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>）连续自动监测系统技术要求及检测方法）

### 3.3 50%切割粒径（D<sub>a50</sub>） cut-point diameter（D<sub>a50</sub>）

指切割器对颗粒物的透过率为50%时所对应的粒子空气动力学直径。

### 3.4 透过率的几何标准偏差（ $\sigma_g$ ） geometric standard deviation of sampling efficiency（ $\sigma_g$ ）

切割器透过率的几何标准偏差分为 $\sigma_{g16}$ 和 $\sigma_{g84}$ 。其中， $\sigma_{g16}$ 为16%透过率对应的粒子空气动力学直径 $D_{a16}$ 与50%透过率对应的粒子空气动力学直径 $D_{a50}$ 的比值； $\sigma_{g84}$ 为50%透过率对应的粒子空气动力学直径 $D_{a50}$ 与84%透过率对应的粒子空气动力学直径 $D_{a84}$ 的比值。

## 4 计量特性

### 4.1 50%切割粒径（D<sub>a50</sub>）：（2.5±0.2）μm

4.2 透过率的几何标准偏差 ( $\sigma_{g16}$ 和 $\sigma_{g84}$ ) : 1.2±0.1

## 5 测试条件

### 5.1 环境条件

环境温度: (15~30) °C

环境湿度: ≤85%RH;

### 5.2 测试系统及其他设备

#### 5.2.1 标准粒子

采用 8 种空气动力学直径范围为(1.5~4.0) $\mu\text{m}$  的单分散标准聚苯乙烯 (PSL) 粒子, 标准粒子标称的空气动力学直径应具有计量溯源性, 如采用 PM<sub>2.5</sub> 监测仪检测用国家标准物质(如 GBW 13642 ~ 13649 等)。粒径范围详见表 1。

表 1 单分散粒子有证标准物质的粒径要求

<i>i</i>	1	2	3	4
$D_{ai}$ ( $\mu\text{m}$ )	1.5±0.25	2.0±0.25	2.2±0.25	2.5±0.25
<i>i</i>	5	6	7	8
$D_{ai}$ ( $\mu\text{m}$ )	2.8±0.25	3.0±0.25	3.5±0.25	4.0±0.50

#### 5.2.2 标准粒子发生装置

可发生粒径为 (1.0~5.0)  $\mu\text{m}$  的聚苯乙烯 (PSL) 标准粒子。

#### 5.2.3 粒径谱仪

粒径测量范围为 (0.5~10.0)  $\mu\text{m}$ , 0.5 $\mu\text{m}$  粒径档的最大检测浓度每立方厘米不小于 10000 个, 颗粒计数效率 (100±20) %。

#### 5.2.4 标准流量计

量程为 (2~20) L/min, 准确度等级优于或等于 1 级。

## 6 系统组成

切割效率测试系统由零气发生装置、标准粒子发生装置、切割器上下游控制系统、流量控制系统和粒径谱仪组成 (图 1)。零气分别通入雾化器、静电消除器和稀释管路, 分散于去离子水中的单粒径 PSL 标准粒子通过雾化器形成雾化微粒, 雾化后的微粒与稀释零空气、静电中和气混合后通过加热除水装置, 通过高温气化微粒中的液态水后, 进入到底部铺有硅胶干燥管的圆柱形混匀腔, 形成浓度均匀、稳定、干燥的标准粒子气体。混匀腔下方连接切

割器上下游控制系统，未连接切割器的一侧管路为上游管路；连接切割器的另一侧管路为下游管路。在分流装置后端连接气溶胶粒径谱仪，分别测试切割粒子数量浓度 $C_{dij}$ 和未切割的粒子数量浓度 $C_{uij}$ ，并通过质量流量控制器控制采样流量。

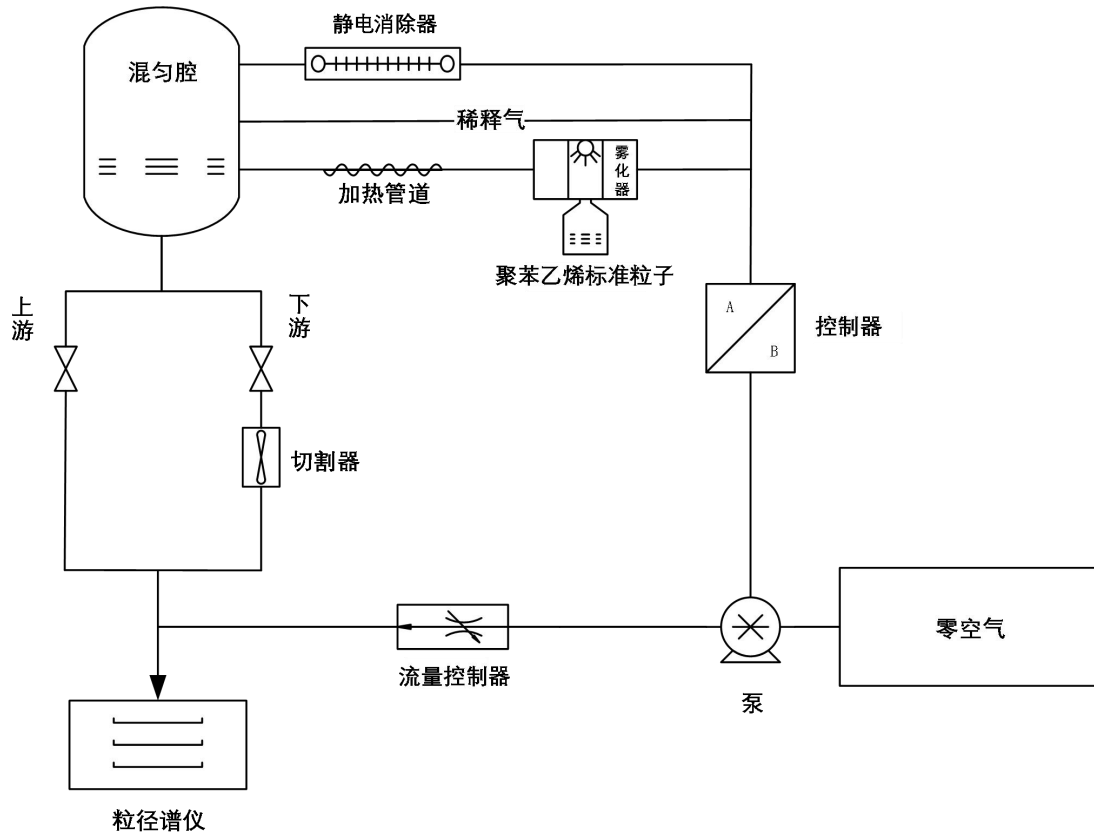


图 1 切割效率测试系统组成示意图

## 7 测试方法

### 7.1 透过率测试方法

7.1.1 将切割器以垂直于水平面的状态放置在标准粒子测量装置中。

7.1.2 利用切割效率测试系统测量切割器上游和下游的标准粒子数量浓度，启动零气发生装置和抽气泵，打开上游开关，关闭下游开关，发生表 1 中  $1.5\mu\text{m}$  ( $i=1$ ) 粒径的 PSL 标准粒子，测量其数量浓度 ( $C_{uij}$ )，不少于 30s 采集一次数据。上游测试完成后，关闭上游开关，打开下游开关，测量其数量浓度 ( $C_{dij}$ )，不少于 30s 采集一次数据，重复操作四次 ( $j=1, 2, 3, 4$ )，分别记录为  $C_{uij}$  和  $C_{dij}$ ，按公式 (1) 计算得到该粒径透过率，并按公式 (2) 计算出平均透过率；

$$\eta_{ij} = \frac{C_{dij}}{C_{uij}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\bar{\eta}_i = \frac{\sum_{j=1}^4 \eta_{ij}}{4} \quad (2)$$

式中： $i$ ——粒径序号 ( $i=1, 2\dots 8$ )；

$j$ ——测量次数 ( $j=1, 2, 3, 4$ )；

$C_{uij}$ ——切割器上游的固态单分散标准粒子数量浓度，个/cm<sup>3</sup>；

$C_{dij}$ ——切割器下游的固态单分散标准粒子数量浓度，个/cm<sup>3</sup>；

$\eta_{ij}$ ——每个粒径点单次测量的透过率 ( $j=1, 2, 3, 4$ )，%；

$\bar{\eta}_i$ ——每个粒径点透过率的平均值，( $i=1, 2\dots 8$ )，%。

7.1.3 按表 1 依次对其他 7 种粒径进行测量，重复 7.1.2，按公式 (1) 和 (2) 计算得到 8 组 32 个透过率的数据以及每个粒径粒子对应的透过率的平均值  $\bar{\eta}_i$ 。

7.1.4 按公式 (3) 计算每个粒径点的透过率相对标准偏差  $SD_i$ ，如果  $SD_i$  超过 10%，则该粒径点的透过率测量应重做。

$$SD_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^4 (\eta_{ij} - \bar{\eta}_i)^2}{3}} \times 100\% \quad (3)$$

式中： $RSD_i$ ——每个粒径点透过率的平均标准偏差 ( $i=1, 2\dots 8$ )，%；

$\eta_{ij}$ ——每个粒径点单次测量的透过率 ( $j=1, 2, 3, 4$ )，%；

## 7.2 曲线拟合与计算

7.2.1 将得到的 8 组透过率平均值及空气动力学直径通过拟合曲线方程式 (4) 计算，确定拟合参数  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 。

$$\bar{\eta}_i = a + b \left\{ 1 - \left[ 1 + \exp x \left( \frac{D_{ai} + d \ln(2^{\frac{1}{e}} - 1) - c}{d} \right) \right]^{-e} \right\} \quad (4)$$

式中： $D_{ai}$ ——标准粒子的空气动力学直径 ( $i=1, 2\dots 8$ )， $\mu\text{m}$ ；

$\bar{\eta}_i$ ——实验获得的每个粒径点透过率的平均值 ( $i=1, 2\dots 8$ )，%；

$a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ ——拟合参数。

7.2.2 通过式 (5) 计算透过率为 16%、50% 和 84% 对应的切割粒径  $D_{a16}$ 、 $D_{a50}$  和  $D_{a84}$ 。由式 (6)、(7) 计算得到透过率的几何标准偏差  $\sigma_{g16}$  和  $\sigma_{g84}$ ，计算示例参见附录 C。

$$D_a = c + d \left\{ \ln \left[ \left( \frac{b}{a+b-\eta} \right)^{\frac{1}{e}} - 1 \right] - \ln \left( 2^{\frac{1}{e}} - 1 \right) \right\} \quad (5)$$

式中： $D_a$ ——计算得到的切割粒径， $\mu\text{m}$ ；

$\eta$ ——透过率，%；

$a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ ——拟合参数。

$$\sigma_{g16} = \frac{D_{a16}}{D_{a50}} \quad (6)$$

$$\sigma_{g84} = \frac{D_{a50}}{D_{a84}} \quad (7)$$

式中： $\sigma_{g16}$ ——16% 透过率的几何标准偏差；

$\sigma_{g84}$ ——84% 透过率的几何标准偏差；

$D_{a16}$ ——16% 透过率对应的粒子空气动力学直径， $\mu\text{m}$ ；

$D_{a50}$ ——50% 透过率对应的粒子空气动力学直径， $\mu\text{m}$ ；

$D_{a84}$ ——84%透过率对应的粒子空气动力学直径， $\mu\text{m}$ 。

## 8 质量保证与质量控制

### 8.1 流量检查

测试前需对测试系统进行流量和气密性检查。启动粒径谱仪和抽气泵，关闭上游开关，打开下游开关，测量下游端口工况流量是否满足 16.67L/min（误差 $\pm 2\%$ ）；下游测试完成后，关闭下游开关，打开上游开关，测量上游端口工况流量是否满足 16.67L/min（误差 $\pm 2\%$ ）；若未在要求范围，调节流量控制单元直至满足流量要求。

### 8.2 上下游管路平行性测试

每季度或在每批次测试前测试标准粒子数量浓度在切割/未切割管路的一致性。去除下游管路的切割器，启动零气发生装置和抽气泵，打开上游开关，关闭下游开关，发生表 1 中  $1.5\mu\text{m}$  ( $i=1$ ) 粒径的 PSL 标准粒子，测量其数量浓度 ( $C_{1i}$ )，不少于 30s 采集一次数据。上游测试完成后，关闭上游开关，打开下游开关，测量其数量浓度 ( $C_{2i}$ )，每次发生时间不少于 30s，重复操作四次 ( $j=1, 2, 3, 4$ )，通过公式 (8) 计算各次上下游相对偏差，并计算 4 次偏差的平均值表征切割/未切割管路中数量浓度的一致性，相对偏差平均值应小于 5%。

$$\text{相对偏差} = \frac{C_{2i} - C_{1i}}{C_{1i}} \times 100\% \quad (8)$$

### 8.3 量值溯源和传递要求

切割效率测试装置中使用的粒径谱仪，流量检查使用的流量计，应按相关计量检定规程或校准规范的要求进行周期性的计量检定或校准，所有设备均应在有效期内使用。

## 9 测试结果与表示

对测试后的  $\text{PM}_{2.5}$  切割器出具测试报告。测试报告格式见附录 B，测试报告应包括以下信息：

- 标题：“测试报告”；
- 实验室名称和地址；
- 测试地点；
- 测试报告编号、页码及总页数的标识；
- 客户名称；
- 被测仪器的制造单位、名称、型号及编号；
- 测试单位测试专用章；
- 测试日期；
- 测试所依据的技术规范名称及代号；



本次测试所用有证标准物质和主要测量设备名称、型号、准确度等级/不确定度/最大允许误差、仪器编号、证书编号及有效期；

测试时的环境温度、相对湿度；

测试结果；

对测试规范偏离的说明（若有）；

复测时间间隔的建议；

“测试报告”的测试人、核验人、批准人签名及签发日期；

测试结果仅对被校仪器本次测量有效的声明；

未经实验室书面批准，部分复制证书或报告无效的声明。

附录 A  
(资料性附录)  
PM<sub>2.5</sub> 切割器切割效率测试原始记录

送测单位: \_\_\_\_\_

仪器型号: \_\_\_\_\_ 仪器编号: \_\_\_\_\_ 制造厂商: \_\_\_\_\_

测量原理: \_\_\_\_\_

测试环境温度: \_\_\_\_\_ 测试环境湿度: \_\_\_\_\_

测试用标准物质:

标物名称	标物型号	标物不确定度	证书编号	有效日期

50%切割粒径 ( $D_{a50}$ ) 及切割器透过率的几何标准偏差 ( $\sigma_g$ )

直径范围 ( $\mu\text{m}$ )	测量值							
	1.5±0.25	2.0±0.25	2.2±0.25	2.5±0.25	2.8±0.25	3.0±0.25	3.5±0.25	4.0±0.5
标准粒径								
$\eta_{ij}$ (%)								
$\bar{\eta}_i$ (%)								
$C_{vi}$ (%)								
$\bar{\eta}$ (%)								
$D_{a16}$			$D_{a50}$			$D_{a84}$		
$\sigma_{g16}$					$\sigma_{g84}$			
$a$		$b$		$c$		$d$		$e$

测试员: \_\_\_\_\_

核验员: \_\_\_\_\_

附录 B  
(资料性附录)  
PM<sub>2.5</sub> 切割器切割效率测试报告

# 测试报告

报告编号: XXXX-XX-XXXX

客户名称: \_\_\_\_\_

器具名称: \_\_\_\_\_

型号/规格: \_\_\_\_\_

出厂编号: \_\_\_\_\_

生产厂商: \_\_\_\_\_

校准日期: \_\_\_\_\_

批准人:

---

地址:

邮编:

电话:

传真:

网址:

电子邮箱:

报告编号: XXXX-XX-XXXX

测试所依据/参照的技术文件(代号、名称)

测试环境条件及地点:

温度: °C

地点:

湿度: %RH

气压: kPa

测试使用的计量标准装置/主要仪器

名称	编号	测量范围	不确定度或最大允许误差	证书有效期至
PSL 标准物质	XXXXXXXX	粒径: (1.5-4.0) μm	U=(0.040-0.072) μm, k=2	XXXXXXXX
粒径谱仪	XXXXXXXX	浓度: (0-10000) cm <sup>2</sup>	U=3.2%, k=2	XXXXXXXX

报告编号: XXXX-XX-XXXX

# 测试结果

表一透过率记录表:

空气动力学直径标准值 ( $\mu\text{m}$ )	1.554	1.915	2.168	2.554	2.731	2.824	3.482	4.262
平均透过率 (%)								

透过率拟合曲线:

# 测试结果

表二拟合曲线参数:

a		b		c	
d			e		
r <sup>2</sup>					

拟合曲线方程式:

$$\bar{\eta}_i = a + b \left\{ 1 - \left[ 1 + \exp \left( \frac{(D_{ai} + d \ln(2^{\frac{1}{e}} - 1) - c)}{d} \right) \right]^{-e} \right\}$$

式中:  $D_{ai}$ ——标准粒子的空气动力学等效直径 ( $i=1, 2\dots 8$ );

$\bar{\eta}_i$ ——实验获得的每个粒径点透过率的平均值 ( $i=1, 2\dots 8$ ), 单位: %

$a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ ——拟合参数。

报告编号：XXXX-XX-XXXX

# 测试结果

表三测试结果：

测试项目		技术要求	测试结果	是否符合要求
50%切割粒径 ( $Da_{50}$ )		$(2.5\pm 0.2) \mu\text{m}$		
切割器透过率的几何标准差	$\sigma_{g16}$	1.2±0.1		
	$\sigma_{g84}$			

说明：

本次测试结果符合 PM<sub>2.5</sub> 切割器切割效率测试作业指导书的相关要求。

声明：

- 1、我单位仅对加盖“中国环境监测总站业务章”的完整报告负责。
- 2、本报告的测试结果仅对本次所检测的切割器有效。

校准员：

核验员：

附录 C  
(资料性附录)  
透过率曲线拟合示例

对某公司某型号（流量为16.7 L/min）的PM<sub>2.5</sub>切割器的切割效率进行测试。根据粒径谱仪测得8个粒径（ $D_{ai}$ ）气溶胶上游、下游浓度，计算出对应的平均透过率（ $\bar{\eta}_i$ ），结果见表C1。

表 C1 透过率记录表

空气动力学直径标准值 ( $\mu\text{m}$ )	1.554	1.915	2.168	2.554	2.731	2.824	3.482	4.262
平均透过率 (%)	96.69	92.85	88.11	56.57	45.47	31.60	7.77	0.21

以使用某软件进行曲线拟合为例。在软件中输入 $x$ （即标准粒子的空气动力学直径）与 $y$ （即实验获得的每个粒径点透过率的平均值），采用反向非对称S形方程（软件中方程代码：8092）进行拟合。曲线图如C1。

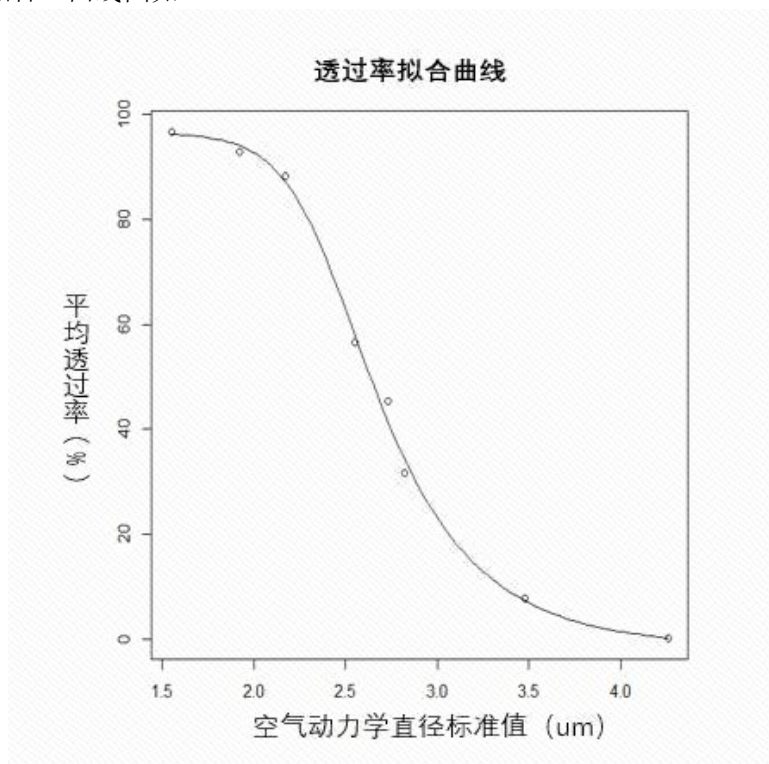


图 C1 切割效率-粒径的校准曲线

拟合参数  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $r^2$  与透过率为 16%、50% 和 84% 对应的切割粒径  $D_{50}$ 、 $D_{16}$ 、 $D_{84}$  结果见表 C2，16% 与 84% 透过率的几何标准偏差  $\sigma_{g16}$  和  $\sigma_{g84}$  结果见表 C3，切割器性能符合技术规定要求。



表 C2 拟合曲线参数表

a	96.44528	b	-97.606525	c	2.6608219
d	0.17164014		e	0.37912624	
$r^2$	0.99720057				
$D_{16}$	3.16	$D_{50}$	2.64	$D_{84}$	2.23

表 C3 切割器测试结果表

校准项目		技术要求	检测结果	是否符合要求
50%切割粒径 ( $D_{a50}$ )		$(2.5 \pm 0.2) \mu\text{m}$	2.6352	符合
切割器透过率的 几何标准偏差	$\sigma_{g16}$	1.2 $\pm$ 0.1	1.20	符合
	$\sigma_{g84}$		1.18	符合