



# 中华人民共和国工业和信息化部 有色金属计量技术规范

JJF（有色金属）XXX—XXXX

## 油膜测厚仪校准规范

Calibration Specification for Oil Film Thickness Gauges

（报批稿）

2024-XX-XX 发布

2024-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

# 油膜测厚仪校准规范

Calibration Specification for Oil Film  
Thickness Gauges

JJF（有色金属）XXX—XXXX

归口单位：中国有色金属工业协会

主要起草单位：西南铝业（集团）有限责任公司

参加起草单位：上海韵鼎国际贸易有限公司

广东省科学院工业分析检测中心

山东南山铝业股份有限公司

西安汉唐分析检测有限公司

延安检验认证集团有限公司

本规范委托有色金属行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

张国栋（西南铝业(集团)有限责任公司）

瞿楷东（西南铝业(集团)有限责任公司）

包超强（西南铝业(集团)有限责任公司）

殷来所（上海韵鼎国际贸易有限公司）

陈 雅（广东省科学院工业分析检测中心）

高 毅（山东南山铝业股份有限公司）

郑 铤（西安汉唐分析检测有限公司）

谭本清（西南铝业(集团)有限责任公司）

沙夜龙（延安检验认证集团有限公司）

# 目 录

引 言 .....	(II)
1 范围 .....	(1)
2 引用文件 .....	(1)
3 术语 .....	(1)
3.1 油膜厚度 .....	(1)
4 概述 .....	(1)
5 计量特性 .....	(1)
5.1 示值误差 .....	(2)
5.2 示值重复性 .....	(2)
6 校准条件 .....	(2)
6.1 环境条件 .....	(2)
6.2 测量标准及其他设备 .....	(2)
6.3 其他条件 .....	(2)
7 校准项目和校准方法 .....	(2)
7.1 准备工作 .....	(2)
7.2 示值误差 .....	(3)
7.3 示值重复性 .....	(4)
8 校准结果表达 .....	(5)
9 复校时间间隔 .....	(5)
附录 A 油膜测厚仪校准原始记录参考格式 .....	(6)
附录 B 油膜测厚仪校准证书内页参考格式 .....	(7)
附录 C 油膜测厚仪示值误差测量不确定度评定示例 .....	(8)

# 引 言

JJF 1071 《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001 《通用计量术语及定义》和JJF 1059.1 《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。本规范为首次发布。

# 油膜测厚仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于油膜测厚仪的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 1036 电子天平

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

## 3 术语

下列术语适用于本规范。

### 3.1 油膜厚度（oil film thickness）

每平方米油膜的质量，计量单位为 $\text{mg}/\text{m}^2$ 。

## 4 概述

油膜测厚仪是由光源、透镜、光电位敏接收器、信号处理机、测量结果显示系统和测量软件等组成的测量仪器，可以对油膜/润滑剂厚度进行测量。其工作原理是：当红外光穿过被测物质时，一部分红外光线被材质吸收导致强度减弱，油膜测厚仪利用红外光线穿透物质时的红外吸收效应，通过对比不同波长红外光线的衰减量，得到被油膜所吸收的光线强度，进而根据测量数值及光线穿过油膜的路径换算成油膜厚度，实现非接触式测量薄膜类材料的厚度。其工作原理示意图见图1。

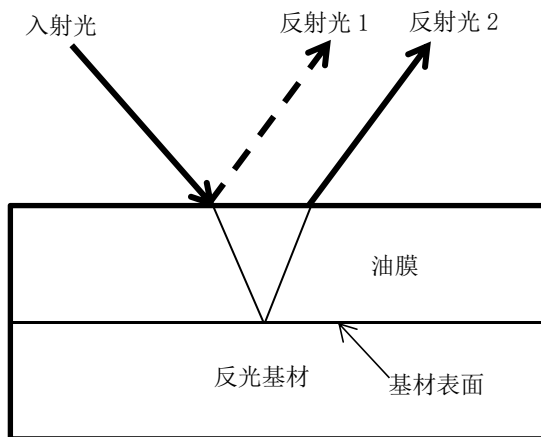


图1 油膜测厚仪工作原理示意图

## 5 计量特性

### 5.1 示值误差

最大允许误差为 $\pm 100 \text{ mg/m}^2$ 或读数的 $\pm 10\%$ ，取二者中较大值。

### 5.2 示值重复性

示值重复性不大于 $100 \text{ mg/m}^2$ 。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

温度为 $(15\sim 35)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于85%。

### 6.2 测量标准及其他设备

校准用测量标准及其他设备的技术要求见表1。

表1 测量标准及其他设备技术要求

序号	测量标准	技术要求	用途	备注
1	电子天平	①级，检定分度值 $e=0.1 \text{ mg}$	称取油膜的质量	可选用满足计量要求的其他设备
2	标准基板	涂油面面积最大允许误差： $\pm 1\%$	制作油膜厚度标准板	一般为厚度 $(1\sim 2) \text{ mm}$ ，外形尺寸 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的正方形，也有圆形基板，常与油膜测厚仪配套使用

### 6.3 其他条件

油膜测厚仪外形结构完好，外露件等不应损坏或脱落，各开关、按键、显示器等部件不应有影响正常工作的机械碰伤。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 准备工作

7.1.1 油膜测厚仪在校准前应通电预热，预热时间一般不少于 $30 \text{ min}$ 。

7.1.2 选择与被校油膜测厚仪反光基材牌号一致的标准基板，基板表面应无划伤、破损、腐蚀、皱折，工作表面应平整。

7.1.3 在制作油膜厚度标准板前，需准备一个标准基板固定装置，用于放置标准基板，其内腔尺寸以恰好能放入标准基板为宜，内腔深度与标准基板厚度相同，示意图见图 2。

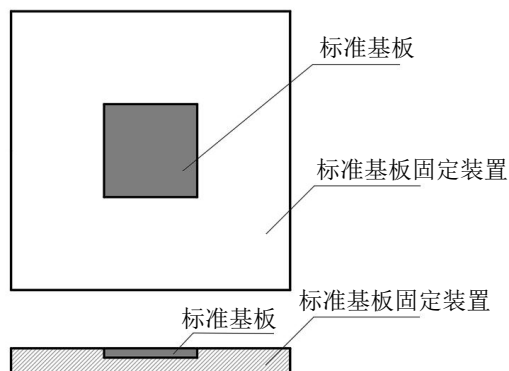


图2 标准基板固定装置示意图

7.1.4 提前准备好奎克 6130 润滑油、无水乙醇、无纺纸和涂油辊等。

## 7.2 示值误差

### 7.2.1 校准点选择

油膜厚度示值误差的校准点一般不少于3个，校准点应覆盖测厚仪使用范围的上限及下限，也可根据用户要求选择校准点。校准时应按油膜厚度从大到小的顺序进行校准。

### 7.2.2 标准基板质量称取

7.2.2.1 用无水乙醇将标准基板及涂油辊表面清洁干净，用无纺纸将标准基板及涂油辊表面上残留的无水乙醇擦试干净并晾干。

7.2.2.2 将电子天平置零。

7.2.2.3 将晾干后的标准基板用电子天平称得质量  $m_0$ 。

### 7.2.3 油膜厚度标准板制作及质量称取

7.2.3.1 将标准基板放在基板固定装置的内腔内，涂油面朝上，使用涂油辊将润滑油均匀涂在标准基板上，得到油膜厚度标准板。

7.2.3.2 将油膜厚度标准板放在电子天平上称得质量  $m_i$ 。

### 7.2.4 校准方法

7.2.4.1 将油膜测厚仪置零，选择基材牌号、奎克 6130 润滑油测量通道。

7.2.4.2 在刚制作好的油膜厚度标准板上均匀选取 9 个校准点,校准点的选取应保证油膜测厚仪的测量光斑在标准板内,且尽量覆盖整个测量光斑。使用油膜测厚仪对各校准点进行油膜厚度测量,方形和圆形的油膜厚度标准板取点示意图分别见图 3a) 和 b)。

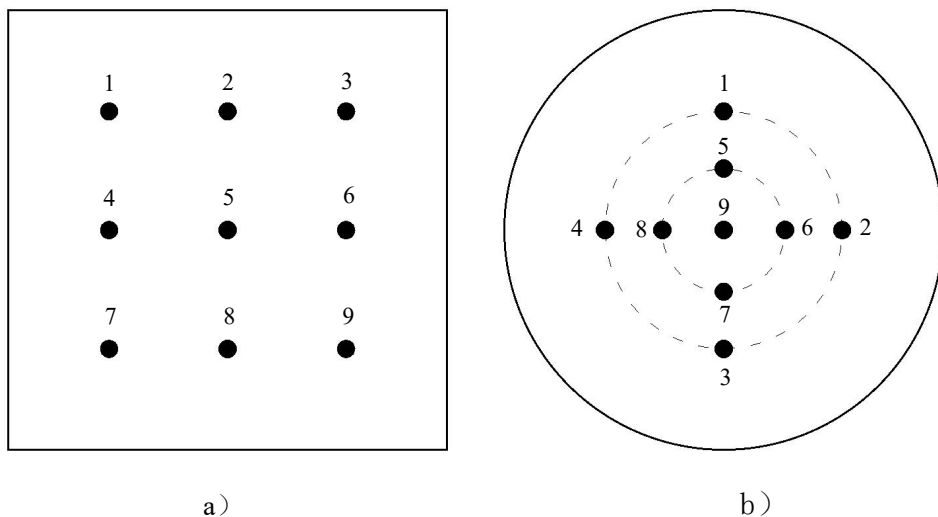


图3 油膜测厚仪示值误差校准示意图

7.2.4.3 按式(1)、式(2)、式(3)计算油膜厚度示值误差。

$$\Delta x = \bar{x} - X \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

$$X = \frac{m_i - m_0}{S} \quad (3)$$

式中:

$\Delta x$  ——油膜厚度示值误差,  $\text{mg}/\text{m}^2$ ;

$\bar{x}$  ——仪器测量示值平均值,  $\text{mg}/\text{m}^2$ ;

$X$  ——通过油膜质量及标准基板表面积计算的油膜厚度标准值,  $\text{mg}/\text{m}^2$ ;

$n$  ——测量点数,  $n=9$ ;

$x_i$  ——在第*i*测量点测量的仪器示值,  $\text{mg}/\text{m}^2$ ;

$m_i$  ——标准基板涂油后质量,  $\text{mg}$ ;

$m_0$  ——标准基板质量,  $\text{mg}$ ;

$S$  ——标准基板涂油面表面积标称值,  $\text{m}^2$ 。

7.2.4.4 重复 7.2.3.1~7.2.4.2, 校准下一个校准点, 直至最小校准点。

### 7.3 示值重复性

使用油膜测厚仪对油膜厚度标准板的同一个测量点进行油膜厚度测量。在重复性条件下重复测量6次，示值重复性以单次测量的标准偏差 $s$ 表示，按式（4）计算油膜厚度示值重复性。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^6 (x_j - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

式中：

$x_j$ ——第 $j$ 次仪器油膜厚度示值， $\text{mg/m}^2$ ；

$\bar{x}$ ——仪器6次油膜厚度示值平均值， $\text{mg/m}^2$ ；

$n$ ——测量次数。

## 8 校准结果表达

经校准的油膜测厚仪出具校准证书，校准结果应在校准证书上反映，校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- m) 校准证书批准人的签名或等效标识；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；

o) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

校准原始记录参考格式见附录A, 校准证书内页参考格式见附录B。

## 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过1年。油膜测厚仪使用频繁时应适当缩短复校时间间隔, 在使用过程中油膜测厚仪经过修理、更换重要部件的需要重新校准。

## 附录 A

## 油膜测厚仪校准原始记录参考格式

记录编号：

证书编号：

送校单位					制造厂							
仪器名称					规格型号							
仪器编号					校准地点							
校准依据					环境温度	℃	环境湿度	%RH				
校准用主要测量标准												
名称	型号规格	技术特征		仪器编号		证书编号		有效期至				
1 油膜厚度示值误差												
标准板油膜	校准结果 (mg/m <sup>2</sup> )											
厚度 (mg/m <sup>2</sup> )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	油膜厚度 值	示值误 差	扩展不确定度 $U, k=2$
2 油膜厚度示值重复性												
校准结果 (mg/m <sup>2</sup> )												
1	2	3	4	5	6	平均值		s				

## 附录 B

## 油膜测厚仪校准证书内页参考格式

## 校准结果

## 1 油膜厚度示值误差

 $\text{mg/m}^2$ 

标准板油膜厚度	仪器示值	示值误差	扩展不确定度 $U(k=2)$

2 油膜厚度示值重复性: \_\_\_\_\_  $\text{mg/m}^2$

## 附录 C

### 油膜测厚仪示值误差测量不确定度评定示例

#### C.1 概述

##### C.1.1 被测对象

油膜测厚仪，测量范围为（200~6000）mg/m<sup>2</sup>。

##### C.1.2 测量标准

其技术指标如表C.1所示。

表 C.1 测量标准主要技术指标

序号	测量标准	技术要求	用途
1	电子天平	①级，检定分度值 $e=0.1\text{ mg}$	称取油膜的质量
2	标准基板	（100×100）mm正方形标准基板，最大允许误差： $\pm 1\%$	制作油膜厚度标准板

##### C.1.3 测量方法

按照本规范的方法制作油膜厚度标准板后，通过称量法得出标准基板上油膜厚度，用油膜测厚仪对其涂油表面进行测量，测得值与称重法计算出的油膜厚度值的差值即为油膜测厚仪示值误差。

##### C.1.4 测量环境

温度为15℃~35℃，相对湿度不大于85%。

#### C.2 测量模型

油膜测厚仪示值误差的测量模型见式（C.1）。

$$\Delta x = \bar{x} - X \quad (\text{C.1})$$

式中：

$\Delta x$ ——油膜厚度示值误差，mg/m<sup>2</sup>；

$\bar{x}$ ——仪器测量示值平均值，mg/m<sup>2</sup>；

$X$ ——通过油膜质量及标准基板表面积计算的油膜厚度标准值，mg/m<sup>2</sup>。

#### C.3 方差和灵敏系数

油膜测厚仪示值误差测量模型的方差见式（C.2）。

$$u_c^2(\Delta x) = c_1^2 \cdot u_{\bar{x}}^2 + c_2^2 \cdot u_X^2 \quad (\text{C.2})$$

则灵敏系数为：

$$c_1 = \partial \Delta x / \partial \bar{x} = 1$$

$$c_2 = \partial \Delta x / \partial X = -1$$

故：

$$u_c^2(\Delta x) = u_{\bar{x}}^2 + u_X^2$$

#### C.4 测量不确定度评定

##### C.4.1 测量不确定度来源

测量不确定度来源主要有来自输入量 $\bar{x}$ 引入的标准不确定度 $u_{\bar{x}}$ 和输入量 $X$ 引入的标准不确定度 $u_X$ 。

标准不确定度 $u_{\bar{x}}$ 的来源主要有测量重复性和仪器的分辨力。

输入量 $X$ 的不确定度来源主要有电子天平最大允许误差以及标准基板的面积偏差。

##### C.4.2 输入量 $\bar{x}$ 引入的标准不确定度 $u_{\bar{x}}$

###### C.4.2.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1$

测量重复性引入的标准不确定度采用A类方法进行评定。通过连续重复测量得到测量数据，按7.2.3.1~7.2.4.2中给出的步骤，得到油膜厚度示值误差作为测量结果，重复7.2.3.1~7.2.4.2，在同一校准点测量10次，得到10个测量结果，用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差 $s$ ，测量数据见表C.2。

表 C.2 重复性测量结果

mg/m<sup>2</sup>

校准点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
1500	20	33	26	40	19	24	34	30	32	27	29
900	29.2	19.8	32.4	19.1	25	19.6	24.4	12.2	26.4	21.1	23
300	19.5	15.1	10.4	9.6	20.8	23.4	15.1	18.4	18.6	9.1	16

以上测量点按照贝塞尔法计算其标准偏差

校准点为 1500 mg/m<sup>2</sup> 时：

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 6.57 \text{ mg/m}^2$$

校准点为 900 mg/m<sup>2</sup> 时：

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 5.79 \text{ mg/m}^2$$

校准点为 300 mg/m<sup>2</sup> 时：

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 4.99 \text{ mg/m}^2$$

实际校准时，是以一个校准点单次测量为校准值，即：

校准点为 1500 mg/m<sup>2</sup>时：

$$u_1 = 6.57 \text{ mg/m}^2$$

校准点为900 mg/m<sup>2</sup>时：

$$u_1 = 5.79 \text{ mg/m}^2$$

校准点为300 mg/m<sup>2</sup>时：

$$u_1 = 4.99 \text{ mg/m}^2$$

#### C.4.2.2 仪器分辨力引入的标准不确定度 $u_2$

仪器分辨力引入的标准不确定度采用B类方法进行评定。所选油膜测厚仪在测量范围小于1000 mg/m<sup>2</sup>时，分辨力 $\delta=0.1 \text{ mg/m}^2$ ；超出1000 mg/m<sup>2</sup>时，分辨力 $\delta=1 \text{ mg/m}^2$ 。由仪表分辨力 $\delta$ 引入的示值误差区间半宽为 $a=\delta/2$ ，取 $k=\sqrt{3}$ 。因此：

1) 测量范围<1000 mg/m<sup>2</sup>时：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{\delta}{2k} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.03 \text{ mg/m}^2$$

2) 测量范围 $\geq 1000 \text{ mg/m}^2$ 时：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{\delta}{2k} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{ mg/m}^2$$

由于重复性与分辨力有一定关联，在分辨力引入的不确定度小于重复性引入的标准不确定度时，只取重复性的影响，可得输入量 $\bar{x}$ 的标准不确定度 $u_{\bar{x}} = u_1$ 。

#### C.4.3 输入量X引入的标准不确定度 $u_x$

##### C.4.3.1 电子天平最大允许误差引入的标准不确定度 $u_3$

电子天平最大允许误差引入的标准不确定度采用B类方法进行评定。电子天平检定分度值 $e=0.1 \text{ mg}$ ，基板重量为40 g，其检定分度数为 $4 \times 10^5$ ，根据JJG 1036可得电子天平最大允许误差为 $\pm 1.5e$ 即 $\pm 0.15 \text{ mg}$ 。标准基板为 $(100 \times 100) \text{ mm}$ ，则由天平最大允许误差 $\pm 0.15 \text{ mg}$ 引入的油膜厚度偏差为：

$$\delta_1 = \frac{0.15}{0.1 \times 0.1} = 15 \text{ mg/m}^2$$

即电子天平最大允许误差区间半宽  $a=15 \text{ mg/m}^2$ ，服从均匀分布，取  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{15}{\sqrt{3}} = 8.66 \text{ mg/m}^2$$

#### C.4.3.2 标准基板的面积偏差引入的标准不确定度 $u_4$

标准基板的面积偏差引入的标准不确定度采用B类方法进行评定。标准基板的面积最大允许误差为 $\pm 1\%$ ，由于采用 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的标准基板，假设涂油量为 $T \text{ mg}$ ，那么由标准基板的面积偏差引入的油膜厚度偏差见公式（C.3）。

$$\delta_2 = \frac{T}{(0.1 \times 0.1) \times (1 - 0.01)} - \frac{T}{(0.1 \times 0.1) \times (1 + 0.01)} = 2T \text{ mg/m}^2 \quad (\text{C.3})$$

即标准基板的面积偏差引入半宽  $a = 2T/2 = T \text{ mg/m}^2$ ，服从均匀分布，取  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_4 = \frac{a}{k} = \frac{T}{\sqrt{3}} = 0.58T \text{ mg/m}^2$$

则在 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的标准基板上，各校准点对应的涂油量 $T$ 及引入的标准不确定度 $u_4$ 见表C.3。

表 C.3 各校准点的不确定度  $u_4$

校准点 ( $\text{mg/m}^2$ )	涂油量 $T$ ( $\text{mg}$ )	$u_4$ ( $\text{mg/m}^2$ )
1500	15	8.7
900	9	5.22
300	3	1.74

### C.5 合成标准不确定度

#### C.5.1 标准不确定度汇总

输入量的标准不确定度汇总见表C.4。

表 C.4 标准不确定度汇总

标准不确定度分量 $u_i$	不确定度来源	标准不确定度值 $u_i$ $\text{mg/m}^2$		灵敏系数 $c_i$	$ c_i  u_i$ $\text{mg/m}^2$
$u_1$	测量重复性	校准点 1500	6.57	1	6.57
		校准点 900	5.79		5.79
		校准点 300	4.99		4.99
$u_3$	电子天平误差	8.66		-1	8.66

$u_4$	标准基板面积偏差	校准点 1500	8.7	-1	8.7
		校准点 900	5.22		5.22
		校准点 300	1.74		1.74

### C.5.2 合成标准不确定度计算

输入量 $\bar{x}$ 、 $X$ 相互间彼此独立，所以合成标准不确定度见公式（C.4）。

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2} \quad (\text{C.4})$$

各校准点的合成标准不确定度分别为：

校准点为1500 mg/m<sup>2</sup>时：

$$u_c = 13.93 \text{ mg/m}^2$$

校准点为900 mg/m<sup>2</sup>时：

$$u_c = 11.65 \text{ mg/m}^2$$

校准点为300 mg/m<sup>2</sup>时：

$$u_c = 10.15 \text{ mg/m}^2$$

### C.6 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度见公式（C.5）。

$$U = k u_c \quad (\text{C.5})$$

各校准点的扩展不确定度分别为：

校准点为1500 mg/m<sup>2</sup>时：

$$U = k u_c = 2 \times 13.93 \text{ mg/m}^2 = 28 \text{ mg/m}^2, \quad (k=2)$$

校准点为900 mg/m<sup>2</sup>时：

$$U = k u_c = 2 \times 11.65 \text{ mg/m}^2 = 24 \text{ mg/m}^2, \quad (k=2)$$

校准点为300 mg/m<sup>2</sup>时：

$$U = k u_c = 2 \times 10.15 \text{ mg/m}^2 = 21 \text{ mg/m}^2, \quad (k=2)$$