

# GB/T 5291 《电火花成形机床 精度检验》新旧国标对比分析\*

吴悦, 王应, 吴强, 胡书珺, 杨媛  
(苏州电加工机床研究所有限公司, 江苏苏州 215011)

**摘要:** 针对 2022 年和 2023 年修订发布的两项电火花加工机床国家标准 GB/T 5291《电火花成形机床精度检验》, 对比旧版本标准, 分析新版标准在整体架构、技术指标以及内容上的差异, 论证了检验方法的科学性和指标的先进性, 并着重探讨了新版标准在几何精度和定位精度允差值的合理性。经过对标准的详细解读, 为促进中国企业电火花成形机床研制水平和机床质量的提升、更好地理解和使用标准提供统一的规范化指导。

**关键词:** 电火花成形机床; 几何精度; 定位精度; 国际标准; 解读

**中图分类号:** TG661      **文献标识码:** A

**DOI:** 10.19287/j.mtmt.1005-2402.2025.05.008



全文在线

## Comparison and analysis of new and old edition of GB/T 5291 Die sinking electro-discharge machines—testing of the accuracy

WU Yue, WANG Ying, WU Qiang, HU Shujun, YANG Yuan

(Suzhou Electromachining Machine Tool Research Institute Co., Ltd., Suzhou 215011, CHN)

**Abstract:** In view of the two national standards GB/T 5291 *Die sinking electro-discharge machines—testing of the accuracy*, which were issued in 2022 and 2023, the differences in the overall structure, technical indicators and contents of the new version compared with the old one are analyzed, and the scientificity of the inspection methods and the progressiveness of the indexes are demonstrated. Meanwhile, the rationality of the new standard in terms of geometric accuracy and positioning accuracy tolerance is focused. After a detailed interpretation of the standards, unified standardized guidances are provided to promote the development level and quality of die sinking electro-discharge machines in Chinese enterprises, and to better understand and use of the standard.

**Keywords:** die sinking electro-discharge machines; geometric accuracy; positioning accuracy; international standard; interpretation

### 1 标准修订的必要性

随着科学技术的高速发展与生产生活的需要, 各类难加工的新材料层出不穷, 对工件的加工精度要求也越来越高, 传统的机械加工手段难以满足需求。电火花加工技术因其独特的非接触加工方式、无宏观切削力成为现代制造技术不可或缺的手段之一, 广泛应用于航空航天、仪器仪表、汽车电子等

领域, 在难加工材料、复杂型面、低刚度零件的加工和制造领域占有重要地位<sup>[1]</sup>。电火花成形加工是电火花加工的一个重要分支, 是利用在工具和工件之间产生脉冲性火花放电时的电腐蚀现象来蚀除多余的金属, 以达到零件技术要求所规定的尺寸、形状及表面质量的加工方法, 在航空航天、医疗器械、精密制造等重点领域显示出独特优势<sup>[2-5]</sup>。

电火花成形机床是利用电火花成形方法加工型

\* 江苏省工业和信息产业转型升级专项项目“航空发动机叶片电火花加工智能生产线”; 苏州市科技计划项目“精密微小孔数控电火花加工设备的研发及产业化”(SGC2020025)

腔、型体、型孔和型面的电火花加工机床，主要针对传统切削加工不易实现的难加工材料、复杂型面<sup>[6-7]</sup>。据中国机床工具工业协会特种加工机床分会统计，2021年、2022年、2023年电火花成形机床的销售量分别占国内电火花加工机床的19.76%、20.72%和17.95%，市场需求稳定<sup>[8-10]</sup>。在国内，最早的电火花成形机床可追溯到1958年，由中科院电工研究所、第一机械工业部北京机床研究所和第九研究所等单位联合研发设计的DM554型电脉冲机床，经小批量生产并投入市场，而后在几代人的努力下电脉冲机床逐渐发展成为现在的电火花成形机床，在各重点应用领域发挥作用。中国于1976年首次制定发布机械行业标准JB 1768—76《电火花成型机床精度与刚度》，1985年废止行业标准、制定发布国家标准GB/T 5291—85《电火花成型机床精度》，并在2001年和2003年分别针对单立柱和双立柱2种型式的电火花成形机床进行采标修订，实施期间对于规范机床生产和提高质量做出巨大贡献。随着工艺技术革新、产业发展以及适用场景和功能的增加，原标准的技术指标难以满足发展的需要，随着新版国际标准ISO 11090-1:2014和ISO 11090-2:2014的发布，全国特种加工机床标准化技术委员会组织相关单位提出了等同采用国际标准、同步修订国家标准的项目建议。新版国标的发布与实施，将对中国电火花成形机床的设计、制造、采购、检测、使用和维护等全生命周期管理起到标准化支撑作用，也有利于形成国内电火花成形技术改革与创新的必要环境，起到引导和规范电加工行业健康发展的积极作用<sup>[11]</sup>。

## 2 标准的整体架构

### 2.1 标准名称与适用范围

表1所示为4个版本电火花成形机床标准名称

表1 4个版本电火花成形机床标准名称与适用范围对比

Tab. 1 Comparison of the names and applicable scopes of four versions of die sinking electro-discharge machines standards

制修订情况	版本号	标准名称	适用机床范围
行标制定	JB 1768—76	电火花成型机床精度与刚度	一般模具
国标制定	GB/T 5291—85	电火花成型机床精度	工作台移动式、主轴头升降式
国标第1次修订	GB/T 5291.1—2001	电火花成形机精度检验第1部分：单立柱机床	十字工作台型、固定工作台型
	GB/T 5291.2—2003	电火花成形机精度检验第2部分：双立柱机床	移动主轴头型、十字工作台型
国标第2次修订	GB/T 5291.1—2023	电火花成型机床精度检验第1部分：单立柱机床	十字工作台型、固定工作台型
	GB/T 5291.2—2022	电火花成型机床精度检验第2部分：双立柱机床	移动主轴头型

对比情况，2001年后根据机床的支撑机构分成单立柱机床和双立柱机床两类，且因“成型”与“成形”词义相近，为适应语言文字约定俗成、删繁就简、避难就易的自然趋势，达到语言文字规范化、标准化的目的，业界统一为“成形”一词<sup>[12-13]</sup>。在新标中，单立柱机床包括十字工作台型和固定工作台型，双立柱机床特指移动主轴头型而删去2003版的十字工作台型，这可能是由于国际上十字工作台型双立柱机床行程受立柱限制、浪费加工行程而遭淘汰。

### 2.2 正文框架

新版两部分国标框架基本相同，都由“范围”“规范性引用文件”“术语和定义”“坐标轴的术语及命名”“概述”“几何精度检验”“数控轴定位精度检验”“加工检验”“附录”“参考文献”等章节构成。

“范围”明确标准的适用范围，并概括了标准的技术内容，如前文所述。

“规范性引用文件”根据GB/T 1.1—2020的要求，修改了规范性引用文件的引导语，给出标准中引用的文件目录；此外，对ISO国际标准有一致性对应关系的国内文件进行了说明，方便各方在使用过程中查询参照。

“术语和定义”给出了电火花加工机床、电火花成形机床、电火花线切割机床等3项术语及其定义，为规范标准技术要求和实验内容提供便利。

“坐标轴的术语及命名”给出了适用范围内的3种类型机床，并通过示意图方式规定了机床主要部件名称。

“概述”部分共有10项子条，规定了相关提示性要求，以利于各方更好地使用标准。

“几何精度检验”“数控轴定位精度检验”“加工检验”部分为标准的主体内容，其中几何精度检验提出了直线运动轴、工作台、主轴头、主轴和旋

转轴的几何精度检验方法及允差要求，数控轴定位精度检验提出了 X、Y、Z、C 轴的定位精度、重复定位精度和定位反向差值的检验方法及允差要求，加工检验提出了精加工条件下加工孔的间距精度和直径差的检验方法及允差要求。W 轴的定位精度检验不包括在内，这是由于 W 轴的移动通常是用来调整主轴头的位置，必要时可与 Z 轴按相同方法进行检验。

### 3 主要技术差异与内容差异

#### 3.1 技术差异

##### 3.1.1 几何精度检验

为保证电火花成形机床的工作精度，在生产制造、购买验收、定期检验、修理后及使用中怀疑精度有问题时，都应进行相应的精度检验并测试主要技术指标<sup>[4]</sup>。机床的几何精度是指在空载条件下，机床静止或运动速度很低时各主要部件的形状、相互位置和相对运动的精确程度。几何精度是评价机床品质的基本指标，直接影响工件的加工精度，其主要取决于机床的结构设计、制造和装配质量，拥有良好的几何精度有利于提高机床全行程运动的平稳性<sup>[15]</sup>。

新版国标的几何精度检验包括线性运动轴、工作台、主轴头、主轴和旋转轴等部分，检验结果的有效性很大程度取决于检验方法的科学性与可操作性，而允差值的客观性则反映了标准的科学性与合理性。新旧版本的几何精度检验项目对比情况见表 2，其中新版指国标 2023/2022 年版（第 2 次修订），旧版指 2001/2003 年版（第 1 次修订），1976 年版行标和 1985 年版国标因年代久远未作对比。此外，由于两部分国标相同项目的指标全相同，故合并展示。

由表 2 可知，新版直线运动轴及电极安装板的几何精度指标相较旧版提高了 33%~50%，Z 轴和 W 轴运动的角度偏摆更是提高了 230%，这对于机床的结构设计与装配质量提出了更高的要求。在此基础上，新版标准增加了 G3 项“在水平面、垂直面 Z 轴运动直线度的检查”，并要求允差值在任意 500 mm 测量长度范围内为 0.01 mm，检测方法类似于 G1、G2 项。此外，新版标准删除了旧版 G9 项“工作台基准 T 形槽或基准面在 X 方向上直线度的检查”、G10 项“工作台基准 T 形槽或基准面与 X 轴运动之间平行度的检查”，这主要是由于

表 2 新旧版标准几何精度对比

Tab. 2 Comparison of geometric accuracy between new and old standard versions

mm

部件	项目	数值	
		新版	旧版
直线运动轴	水平面、垂直面 X 轴运动直线度	0.010/500	0.015/500
	水平面、垂直面 Y 轴运动直线度	0.010/500	0.015/500
	水平面、垂直面 Z 轴运动直线度	0.010/500	—
	Y 轴与 X 轴运动的垂直度	0.010/300	0.015/300
	Z 轴运动与 X 轴运动、Y 轴运动之间垂直度	0.015/300	0.020/300
	W 轴运动与 X 轴运动、Y 轴运动之间垂直度	0.015/300	0.015/300
	Z 轴运动/W 轴运动角度偏差	0.012/200	0.04/200
工作台	工作台表面平面度	0.03/1 000；测量长度任意增加 1 000，允差值增加 0.01	
	工作台面与 X 轴运动、Y 轴运动之间平行度	0.015/300；最大允差值 0.04	
	工作台基准 T 形槽或基准面在 X 方向上直线度	—	0.02/500；最大允差值 0.05
	工作台基准 T 形槽或基准面与 X 轴运动之间平行度	—	0.015/300；最大允差值 0.04
主轴头、主轴和旋转轴	电极安装板与 X 轴运动、Y 轴运动之间平行度	0.010/200	0.015/200
	(a) 旋转轴轴端； (b) 距轴端 100 mm 处旋转轴轴线的跳动	(a) 0.005；(b) 0.01	
	在水平面、垂直面旋转轴和 Z 轴运动间平行度	0.01/100	
	X 方向、Y 方向主轴与工作台侧向间隙	—	0.04

目前市场上典型机床中T形槽的可用性受限；同时，删除了旧版G14项“X方向、Y方向主轴与工作台间侧向间隙的检查”。

### 3.1.2 定位精度检验

机床的定位精度和重复定位精度是利用激光测量仪或线性标尺测量的导轨实际运动距离，是反映轴运动精度稳定性最基本的指标。新旧版本的定位精度和重复定位精度检验项目对比情况见表3，版本指向同上。由于目前市场主流的电火花成形机床都已更迭为数控轴操纵方式<sup>[16]</sup>，因此新版标准取消对手动操纵轴的定位精度检验。

由表3可知，对于数控轴的定位精度和重复定位精度、反向差值系列指标并未做出太大的调整；而放宽了双向定位系统偏差和平均双向定位偏差的指标，主要是考虑到机床的实用性与标准体系相关数据的协调性，有利于标准的贯彻执行。

### 3.1.3 加工精度检验

新版本的加工精度在检测方法和允差值方面基本沿用了旧版本，仅仅是表示方法上有所不同：旧版本为将两端测量中绝对值的较大值取为允差值，新版本为两端测量都需符合允差要求。

### 3.1.4 精度验证

为验证新版国际标准各精度允差数据的科学性和可靠性，试验验证显得尤为重要。在国标修订期间，机械工业特种加工机床产品质量监督检测中心对实力雄厚的两家国内企业和一家外资企业提供的单立柱电火花成形机床进行精度验证，选取部分具有代表性的数据绘制成表4。由于各机床的行程并不完全相同，故部分实测结果经等比换算而得。

根据上表的数据，3家企业的单立柱成形机床

都能够很好地满足精度要求，证明了标准的科学性和合理性，这也能督促其他生产厂商提升技术。相较而言，外资企业生产的机床具有更好的精度，部分精度的冗余比例达到800%。

## 3.2 内容差异

### 3.2.1 概述

新版标准中将“说明”一章修订为“概述”，并在其中增加“机床调平”和“软件补偿”章节。机床调平是指机床安装后，以床身导轨作为安装水平的检验基础，利用水平仪对机床进行调校水平，以此保证机床各部分的静态精度。设置软件补偿是通过软件的实时补偿功能，以降低伺服系统及机械系统引发的数控轴动态误差的影响<sup>[17]</sup>。

### 3.2.2 检验仪器

为尽量与国际标准协调统一，新版标准中对国内使用如平尺、角尺、千分表的检验仪器更改为直线度校正仪、垂直度校正仪、线性位移传感器的国际统称，促进标准的科学化、规范化、国际化。

### 3.2.3 垂直度检查

新版标准对三项垂直度检查的统计方法表述做了实质性修改，此处以X轴运动和Y轴运动之间的垂直度检查为例做说明。在工作台面上放置垂直度校正仪，主轴上固定线性位移传感器，并使传感器的触头触及垂直度校正仪，在整个测量长度上移动Y轴并逐步记下读数。在旧版标准中，垂直度误差为若干次检测读数的最大差值，这无形中对测量的准确度提出过高的要求；在新版标准中，对垂直度误差的统计方法作出了调整，表述为“读数轨迹参照直线对垂直基准线的斜度为垂直度误差”，其中斜度是夹角的正切值。图1所示为新版标准的垂

表3 新旧版标准定位精度对比

Tab. 3 Comparison of positioning accuracy between new and old standard versions

数控轴	测量长度	数值													
		双向定位精度		单向重复定位精度		双向重复定位精度		反向差值		平均反向差值		双向定位系统偏差		平均双向定位偏差	
		新版	旧版	新版	旧版	新版	旧版	新版	旧版	新版	旧版	新版	旧版	新版	旧版
X轴、Y轴/mm	测量长度 $L \leq 500$ mm	0.012	0.011	0.005	0.005	0.010	0.009	0.008	0.008	0.004	0.004	0.010	0.006	0.006	0.002
	$500 \text{ mm} < \text{测量长度} L \leq 1000$ mm	0.016	0.015	0.008	0.007	0.012	0.012	0.010	0.010	0.005	0.005	0.012	0.007	0.008	0.003
Z轴/mm	测量长度 $L \leq 500$ mm	0.012	0.011	0.005	0.005	0.010	0.009	0.008	0.008	0.004	0.004	0.010	0.006	0.006	0.002
	$500 \text{ mm} < \text{测量长度} L \leq 1000$ mm	0.016	0.015	0.008	0.007	0.012	0.012	0.010	0.010	0.005	0.005	0.012	0.008	0.008	0.003
C轴/(°)	—	80	80	40	45	55	55	40	40	20	20	65	40	40	25

表 4 不同厂商生产机床的精度验证

Tab. 4 Accuracy verification of machines produced by different manufacturers

mm

精度	检验项目	允差值	实测结果		
			国内企业1	国内企业2	外资企业
几何精度	X轴运动在XY平面内的直线度	0.010/500	0.004	0.003	0.003
	X轴运动在ZX平面内的直线度	0.010/500	0.003	0.003	0.003
	Y轴运动和X轴运动的垂直度	0.010/300	0.005	0.002	0.004
	Z轴垂直运动与X轴运动的垂直度	0.015/300	0.008	0.006	0.004
	Z轴垂直运动与Y轴运动的垂直度	0.015/300	0.010	0.006	0.004
	XY平面内Z轴运动角度偏差	0.012/200	0.003	0.006	0.003
	工作台面的平面度	0.030/1 000	0.020	0.010	0.005
	工作台面与X轴运动的平行度	0.015/300	0.005	0.004	0.003
	工作台面与Y轴运动的平行度	0.015/300	0.005	0.003	0.005
定位精度	X轴运动的双向定位精度	0.016/1 000	0.009	0.007	0.007
	X轴运动的单向重复定位精度	0.008/1 000	0.008	0.005	0.004
	X轴运动的反向差值	0.010/1 000	0.002	0.000 3	0.001 2
加工精度	X方向的直径差	0.020	0.008	0.007	0.003
	Y方向的直径差	0.020	0.007	0.008	0.002

直度误差测量方法中，对测得的数值进行参考线拟合，通过将拟合线与垂直基准线的夹角换算为垂直度误差（ $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 为拟合线与X轴、Y轴之间的夹角），由此降低了单次过大偏差引起的垂直度误差超限，更大程度体现检测方法的科学性与客观性<sup>[18-20]</sup>。为消除间隙及与伺服相关因素的影响，推荐在低速进给下进行360°双向检验，并采用最小二乘拟合软件处理<sup>[21]</sup>。

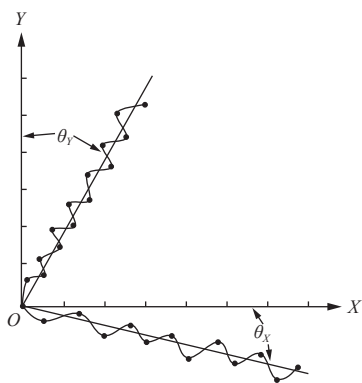


图 1 垂直度误差测量的数据分析

Fig. 1 Data analysis of verticality error measurement

### 3.2.4 坐标轴术语语种

新版标准中删去了坐标轴术语的俄文翻译，并在附录中增加了波斯文和日文的等效术语。

## 4 结语

电火花成形加工技术是实现难加工材料、复杂零件精密加工的有效手段，在制造业领域占有重要地位。GB/T 5291.1—2023《电火花成形机床 精度检验 第1部分：单立柱机床（十字工作台型和固定工作台型）》和GB/T 5291.2—2022《电火花成形机床 精度检验 第2部分：双立柱机床（移动主轴头型）》是电加工行业的重要标准，该系列标准通过等同采用国际标准，对促进行业技术进步、加快与国际先进接轨、提高产品质量和市场竞争能力具有重要意义。两项标准的发布与实施，将为电火花成形机床的精度检验活动提供坚实的标准支持，为进一步提高中国制造的产品质量和国际竞争力贡献力量。

### 参 考 文 献

- [1] 翟力军, 伏金娟, 刘建勇, 等. 电火花成形加工技术的现状与挑战 [J]. 金属加工: 冷加工, 2016(21): 1-7.
- [2] 李智, 阿达依·谢尔亚孜旦. 基于胡麻油工作液电火花成形加工可行性研究 [J]. 制造技术与机床, 2024(7): 48-54.
- [3] 秦月霞, 胡德金. 基于开放式数控系统三轴联动电火花铣削加工的研究 [J]. 机械与电子, 2003(5): 9-10.
- [4] SADAGOPAN P, MOULIPRASANATH B. Investigation on the influence of different types of dielectrics in electrical discharge machining [J]. The

- [International Journal of Advanced Manufacturing Technology](#), 2017, 92(1-4): 277-291.
- [5] 许晓琴, 王福元. 五轴联动虚拟电火花成形加工机床设计与应用 [J]. [制造技术与机床](#), 2010(8): 49-53.
- [6] 全国特种加工机床标准化技术委员会. GB/T 14896.2—2009 特种加工机床术语 第2部分: 电火花加工机床 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [7] KLOCKE F, HOLSTEN M, WELLING D, et al. Influence of threshold based process control on sinking EDM of a high aspect ratio geometry in a gamma titanium aluminide [J]. [Procedia CIRP](#), 2015(35): 73-78.
- [8] 吴国兴, 卢智良, 陆晓淳, 等. 2021年我国电加工机床行业经营情况分析 [J]. [电加工与模具](#), 2023(增刊1): 1-3, 13.
- [9] 吴强, 卢智良, 王晓娟, 等. 2022年电加工机床行业经营情况分析 [J]. [电加工与模具](#), 2023(增刊1): 1-4.
- [10] 吴强, 卢智良, 王晓娟. 2023年我国电加工机床行业经营情况分析 [J]. [电加工与模具](#), 2024(增刊1): 1-5, 17.
- [11] 吴悦, 王应, 吴强. GB/T 19361—2021《电火花线切割机床(单向走丝型)精度检验》解读 [J]. [电加工与模具](#), 2022(2): 32-36.
- [12] 胡亚民, 李建国. 关于“成形”与“成型”两词的运用辨析研究 [J]. [锻压设备与制造技术](#), 2003(4): 41-43.
- [13] 王良. 对形、型字的区别及使用方法的研究 [J]. [冶金管理](#), 2021(1): 157-158.
- [14] 夏小川, 曾丽霞. 激光切管机行业标准解读 [J]. [电加工与模具](#), 2023(增刊1): 47-49.
- [15] 单文举. 发动机缸体定位面双面卧式铣床的设计与研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- [16] 张天鹏, 云乃彰, 陈建宁. 电火花成形机床微细加工相关探索 [J]. [制造技术与机床](#), 2006(11): 73-75.
- [17] 张虎, 周云飞, 唐小琦, 等. 数控机床定位误差的软件补偿 [J]. [华中科技大学学报](#), 2001, 29(4): 47-49.
- [18] SANCHEZ J A, LOPEZ L N L D, LAMIKIZ A. A computer-aided system for the optimization of the accuracy of the wire electro-discharge machining process [J]. [International Journal of Computer Integrated Manufacturing](#), 2004, 17(5): 413-420.
- [19] ZHANG G J, CHEN Z, ZHANG Z, et al. A macroscopic mechanical model of wire electrode deflection considering temperature increment in MS-WEDM process [J]. [International Journal of Machine Tools and Manufacture](#), 2014, 78: 41-53.
- [20] Technical Committee ISO/TC 39, Machine tools, Subcommittee SC 2. Test conditions for metal cutting machine tools. ISO 230-1: 2012 Test code for machine tools—Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasi-static conditions [S]. Published in Switzerland, 2012.
- [21] 刘英华. 冶金工业产能数据的二乘拟合优化分析 [J]. [世界有色金属](#), 2016(1): 75-76.
- 第一作者: 吴悦, 男, 1988年生, 工程师, 全国特种加工机床标准化技术委员会秘书, 主要从事特种加工机床行业的标准化工作, 发表论文7篇、标准10余篇。E-mail: [616957786@qq.com](mailto:616957786@qq.com)
- 通信作者: 王应, 男, 1981年生, 高级工程师, 全国特种加工机床标准化技术委员会秘书长, 主要从事特种加工机床行业的标准化工作, 发表论文6篇、标准20余篇。E-mail: [sac\\_tc161@163.com](mailto:sac_tc161@163.com)
- (编辑 高扬)  
(收修改稿日期: 2024-11-12)

## 论文推荐

薛明, 吴光明, 刘惠强. 基于最小二乘法CNC无线测头智能检测控制系统设计[J]. [制造技术与机床](#), 2023(3): 76-84.



扫码获取全文

### 基于最小二乘法CNC无线测头智能检测控制系统设计

薛明 吴光明 刘惠强

东莞市技师学院智能制造学院

**摘要** 为提高CNC在机检测效率和质量, 针对现有的接触式测头各种检测误差, 研究一种基于最小二乘法曲线拟合插值方法的测量误差补偿模型, 该算法通过最小二乘法分别对测头模型标定、系统测量误差补偿模型构建, 设计了一套精度较高的CNC无线测头智能检测与控制系统, 达到在机测量零件尺寸精度和误差补偿。生产结果证明该系统误差补偿算法的可行性、有效性与优越性较高, 提高了生产效率、生产质量, 降低了次品率、生产成本, 能广泛适用于CNC数控铣削精密加工零件尺寸测量与误差补偿。

**关键词** 检测; CNC无线测头; 最小二乘法; 误差补偿; 曲线拟合