

CNIC-01665  
CAEP-0127

电磁内爆靶制备技术  
——自适应式 Z-箍缩丝阵负载制备技术  
THE FABRICATION TECHNIQUES OF  
Z-PINCH TARGETS  
——TECHNIQUES OF FABRICATING SELF-ADAPTED  
Z-PINCH WIRE-ARRAYS  
(*In Chinese*)

中国核情报中心  
China Nuclear Information Centre

CNIC-01665  
CAEP-0127

# 电磁内爆靶制备技术

## ——自适应式 Z-箍缩丝阵负载制备技术

邱龙会 魏 芸 刘德斌 孙祚科 袁玉萍  
(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 绵阳, 621900)

### 摘 要

为了满足 Z-箍缩物理试验对丝阵负载的需求, 开展了以下几方面的研究工作: 初步用熔融法拉制出直径  $30 \sim 100 \mu\text{m}$  的氘代聚乙烯纤维; 初步在钨丝上电镀上厚约  $1 \sim 1.5 \mu\text{m}$  的金层; 设计了具有自适应能力的丝阵负载, 分别利用弹簧预压缩和橡皮筋与拉伸这两种方案, 设计出了能自动适应靶室阴阳极间距动态变化的两种平面丝阵负载和四种环形丝阵负载的机构和装配方案, 并且用直径  $5 \sim 24 \mu\text{m}$  的钨丝分别制备出对应的实际丝阵负载, 经测试均能满足实际应用要求。

关键词: 电磁内爆靶 丝阵负载 超细钨丝 氘代聚合物纤维

**The Fabrication Techniques of Z-pinch Targets**  
**——Techniques of Fabricating Self-adapted Z-pinch Wire-arrays**  
*(In Chinese)*

QIU Longhui WEI Yun LIU Debin SUN Zuoke YUAN Yuping  
(Centre of Laser Fusion Research, CAEP, Mianyang, 621900 )

**ABSTRACT**

In order to fabricate wire arrays for use in the Z-pinch physical experiments, the fabrication techniques are investigated as follow: Thickness of about  $1\sim 1.5\ \mu\text{m}$  of gold is electroplated on the surface of ultra-fine tungsten wires. Fibers of deuterated-polystyrene (DPS) with diameters from 30 to 100 microns are made from molten DPS. And two kinds of planar wire-arrays and four types of annular wire-arrays are designed, which are able to adapt to the variation of the distance between the cathode and anode inside the target chamber. Furthermore, wire-arrays with diameters form  $5\sim 24\ \mu\text{m}$  are fabricated with tungsten wires, respectively. The on-site test shows that the wire-arrays can self-adapt to the distance changes perfectly.

**Keywords:** Z-pinch target, Wire-array, Ultra-fine tungsten wire, Deuterium-polystyrene fiber

## 前 言

Z-箍缩物理实验所使用的丝阵负载的结构及种类较多,有单丝负载和多丝负载,多丝负载又分为平面排列丝阵负载和圆柱面排列丝阵负载,圆柱面排列丝阵又进一步分为单层柱面丝阵和同轴多层柱面丝阵,不论丝阵负载的结构如何,都由直径均匀的负载丝按照物理实验需求的方式排列构成。在 Z-箍缩物理实验现场,将丝阵负载固定在阴阳电极上,在高电流作用下产生向内快速箍缩,形成均匀的等离子体壳层,但是,由于靶室抽成真空时位于其间的阴阳电极之间的距离会发生变化,负载丝本身很细很软(直径 $<100\ \mu\text{m}$ ),无法支撑和克服这种变化,使位于阴阳电极之间的负载丝阵发生弯曲和变形,破坏了丝阵负载丝的特定分布,影响 Z-箍缩物理实验结果。为了克服这种变化带来的不利影响,大多采用在负载丝阵下端每根负载丝上悬挂重物,而另一端固定在电极上,使每根负载丝在重物作用下绷紧而保证丝阵形状不变<sup>[1]</sup>,这种方法仅适用于阴阳电极呈垂直方向排列的靶室结构。若电极呈其它方向排列时,它存在两个缺点:第一,对多丝柱面状丝阵及其它非平面分布丝阵的负载不适用;第二,接触电阻大,同时,存在丝阵因电极间距变化而引起的形变。在丝阵负载的装配、调试、储存和运输过程中,也存在许多困难。

由于物理实验需要钨丝多丝聚爆负载,环形多丝内爆负载,以及其中增加氘代聚合物纤维的负载等多种丝阵负载,而且,提出用镀金的方式解决钨丝的氧化和电接触不良等问题,因此,我们即时开展了以下几方面的研究和制备工作。

### 1 超细钨丝

由于钨丝制备设备尚未完成安装调试,所以没能制备出 $3\sim 10\ \mu\text{m}$ 的超细钨丝,但作了以下几方面的工作。

#### 1.1 外协制备钨丝

根据目前的 Z-箍缩物理试验的用靶要求,需要 $5\sim 24\ \mu\text{m}$ 的钨丝。其中, $8\sim 24\ \mu\text{m}$ 的钨丝可以购买到,而 $5\ \mu\text{m}$ 和 $7.5\ \mu\text{m}$ 的钨丝只能通过外协制备。现在我们已经准备到位 2002 年物理试验需要的多种规格的钨丝;我们对钨丝进行了质量检测,用扫描电镜分析测试了钨丝的形貌和直径,见图 1~6,从钨丝形貌看,表面都存在明显的竖状槽。

表 1 钨丝拉断强度测定值

样品	直径	负荷	误差	拉断载荷	拉断强度	离散系数
	$/\mu\text{m}$	$/\text{N}$	$/\text{N}$	$/\text{g}$	$/\text{GPa}$	$/\%$
1 <sup>#</sup>	5.1	0.056	0.005	5.7	2.74	8.8
3 <sup>#</sup>	7.7	0.131	0.005	13.4	2.81	2.8
4 <sup>#</sup>	10.4	0.251	0.004	25.6	2.95	1.7
5 <sup>#</sup>	12.3	0.457	0.010	46.5	3.85	2.2

用万能测力仪对钨丝的拉断强度进行了测定,测定依据为: GB/T 228-1987,测定条件: 夹距 300 mm, 拉伸速率  $v=10\ \text{mm}/\text{min}$ , 载荷精度 $\pm 0.25\%$ ,  $T=21\ ^\circ\text{C}$ ,  $\text{RH}=80\%$ 。

测定结果见表 1，其中 5<sup>#</sup>样品是制备其余三种样品（1<sup>#</sup>，3<sup>#</sup>，4<sup>#</sup>）的原料丝，从四种样品的拉断强度看，5<sup>#</sup>最大，4<sup>#</sup>，3<sup>#</sup>，1<sup>#</sup>依次减小，原因可能是电解抛光法制备超细钨丝的过程中，产生了应力，而且三种样品经过电解腐蚀的次数随 4<sup>#</sup>，3<sup>#</sup>，1<sup>#</sup>增加，因此，可能应力逐渐累积。

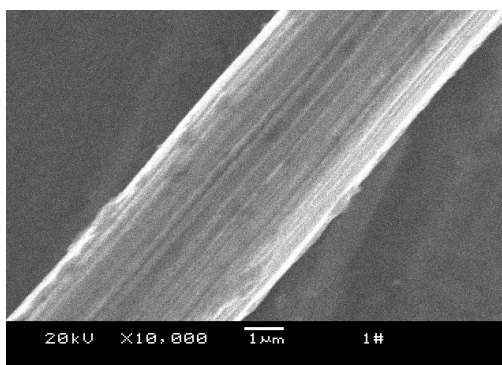


图 1 外协钨丝 SEM 图片 (5.1 µm)

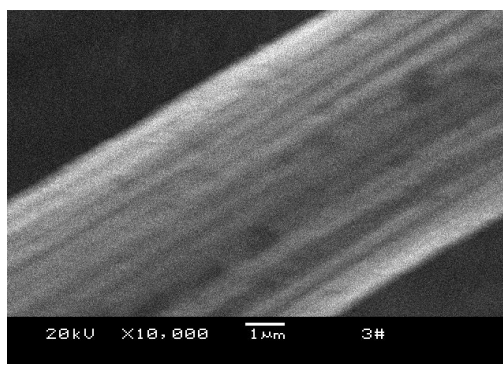


图 2 外协钨丝 SEM 图片 (7.7 µm)

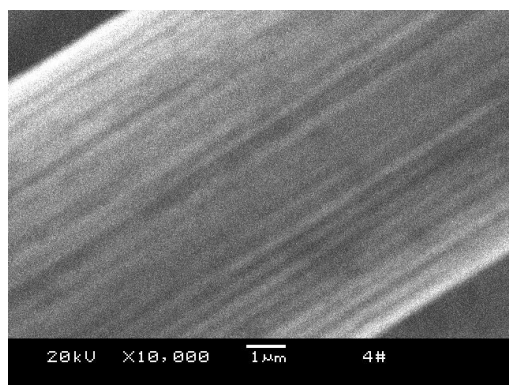


图 3 外协钨丝 SEM 图片(10.4 µm)

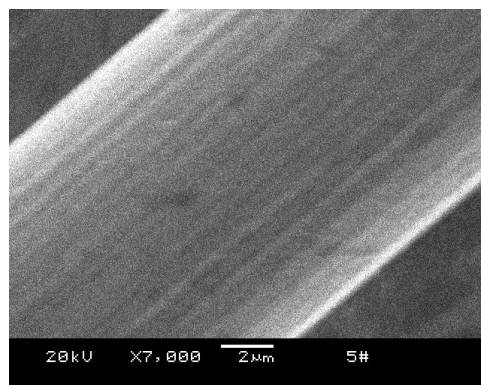


图 4 外协钨丝 SEM 图片(12.3 µm)

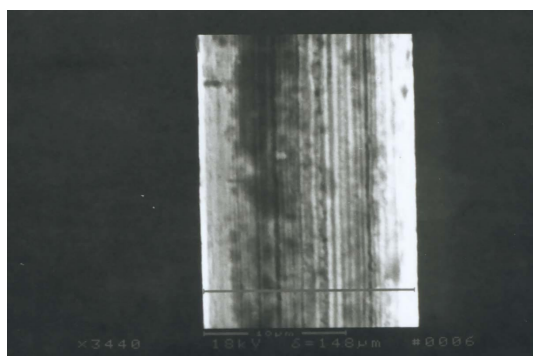


图 5 外协钨丝 SEM 图片(14.8 µm)

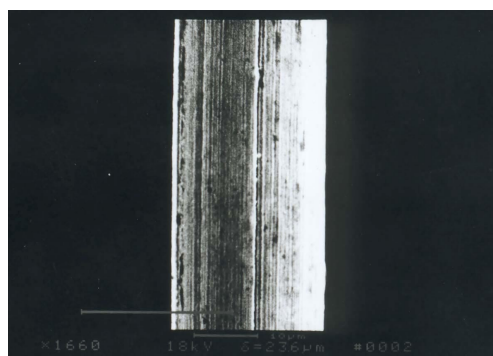


图 6 外协钨丝 SEM 图片(23.6 µm)

## 1.2 方案设计

根据超细钨丝制备设备的特点，我们对制备超细钨丝的工艺原理和方法进行了大量调研，拟定了用电解抛光法和超细钨丝制备设备，制备直径  $3\sim 10\ \mu\text{m}$  的超细钨丝的工艺实验研究方案和技术路线。

## 2 超细钨丝表面镀金

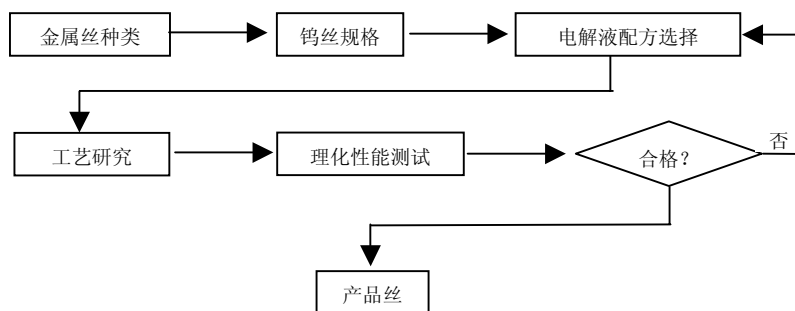


图7 超细金属丝研制技术流程

利用无氰脉冲电镀方法，对直径为  $23.6\ \mu\text{m}$  的钨丝进行了初步的镀金试验，从试验结果看，用小电流 ( $0.5\ \text{A}$ )，外加辅助阴极的方式，电镀时间约  $20\sim 30\ \text{min}$ ，镀层厚度和质量分别用扫描电子显微镜和原子力显微镜进行了测试，镀层厚度约  $0.5\sim 1.5\ \mu\text{m}$ ，除镀层表面有少量气泡等缺陷外，总体上看，镀层比较均匀致密，表面光滑，局部表面形貌如图 8 所示。



图8 外协钨丝 SEM 图片 ( $23.6\ \mu\text{m}$ )

## 3 氘代聚苯乙烯纤维

用氘代苯乙烯单体，首先通过聚合反应制备出氘代聚苯乙烯原料，并用凝胶渗透色谱 (Waters 515 系列，2410 检测器) 测试，其数均分子量为 50 万，重均分子量为 110 万。

聚合物的拉丝通常有热熔融法和溶剂法两种，我们通过试验选择了热熔融法作为简易

纤维拉制方案，由于氘代原料价格昂贵，因此，我们用非氘代同种原料进行工艺条件的选择试验，经过系列试验，选择出制备直径 20~100  $\mu\text{m}$  的聚苯乙烯纤维的条件，温度为(220 $\pm$ 5)  $^{\circ}\text{C}$ ，拉伸线速率为 5~25 m/min，然后，在相同条件下，利用氘代聚苯乙烯制备出直径 30~100  $\mu\text{m}$  的氘代聚苯乙烯纤维，单丝长度大于 30 cm。能满足物理试验用靶要求。

## 4 钨丝丝阵负载

为了满足 Z-箍缩物理实验当前用靶需求，我们提出了一种新的丝阵负载设计和装配方案<sup>[2]</sup>，能解决这两个缺点。

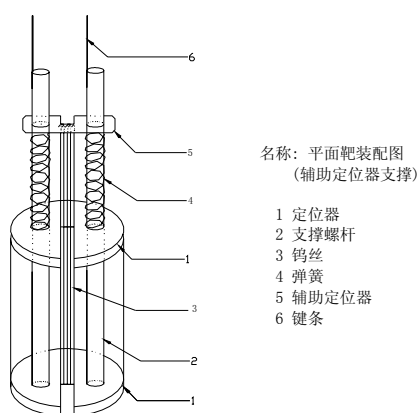


图 9 平面多丝聚爆靶装配图(弹簧支撑)

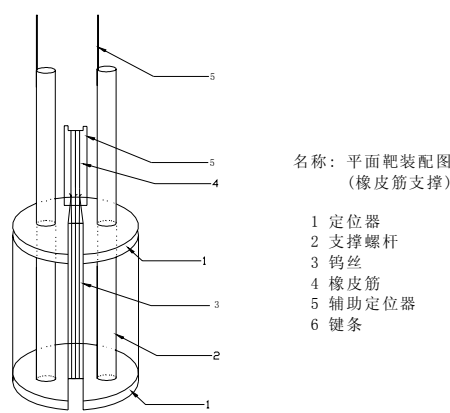


图 10 平面多丝聚爆靶装配图(橡皮筋拉伸)

### 4.1 平面多丝负载

Z-箍缩物理实验中，多丝聚爆丝阵是一种常用的靶型，其主要构造方式为将直径 3~24  $\mu\text{m}$  的金属丝并行排列在同一平面上，丝的直径、间距和长短根据需要而定。为此，我们采取的装配方案有两种，一种方案是：用弹簧预压缩，当去掉预压缩力后，靠弹簧的张力将金属丝拉直，当靶装配到靶室之后，即使在靶室中抽真空时其阴阳电极间距缩短的情况下，靶上的金属丝仍然处于绷紧状态，原理及装配如图 9 所示。另外一种方案是：将橡皮筋预先拉长，靶上的丝与其相连，当阴阳电极之间的间距缩短时，依靠橡皮筋的收缩仍将金属丝拉紧，原理及装配如图 10 所示。

这两种方案均可很好解决 Z-箍缩靶的使用和运输问题。我们分别用这两种方案装配出了一种平面聚爆靶，分别见图 11 和图 12，经过到靶室现场安装、调试和抽真空实验测试，这两种方案均可行。图 9 和图 10 中的键条和支撑螺杆在靶装配到靶室的阴阳极上之后去掉。

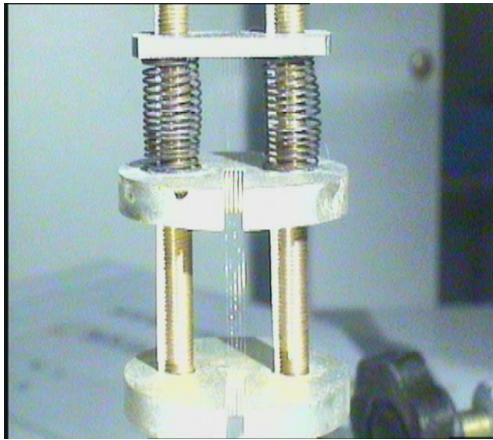


图 11 平面多丝聚爆靶(弹簧支撑)

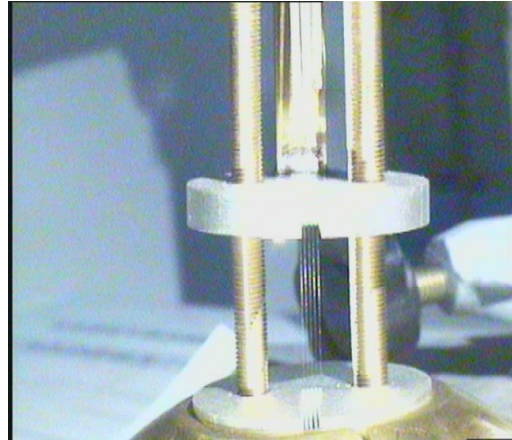


图 12 平面多丝聚爆靶(橡皮筋拉伸)

#### 4.2 环形多丝负载

Z-箍缩物理实验所使用的环形多丝丝阵负载要求某种规格的金属丝沿圆柱面母线方向均匀分布排列，在靶制备中同样需要考虑解决两个问题，即：要求负载能自适应靶室中电极间距的移动，并且靶具有支撑定位系统，以便于装配、储存、运输和安装调试。基于平面靶的自适应式原理进行靶的装配设计，类似地，采用弹簧预压缩和橡皮筋预拉伸两种方案，其原理和结构分别如图 13 和图 14 所示。通过试验测试，四种装配方式均可行。但图 14b 的方式较好。我们根据图 14b 的装配原理，装配出了 Z-箍缩靶型之一的多丝内爆试验用靶，见图 15 和图 16，经靶室现场测试表明，能够完全满足用靶要求，很好地解决了 Z-箍缩靶必须解决的两个问题。

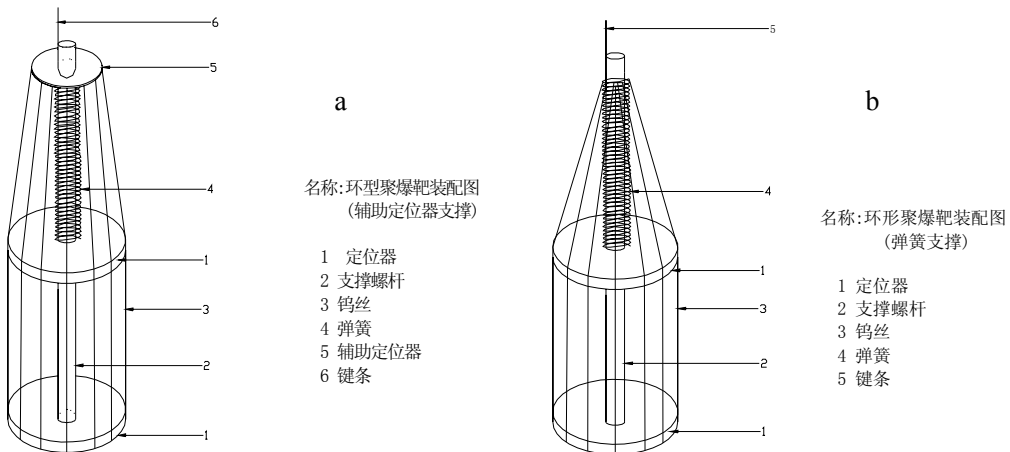


图 13 环形多丝丝阵负载靶(弹簧支撑)

a:带辅助定位片; b:无辅助定位片



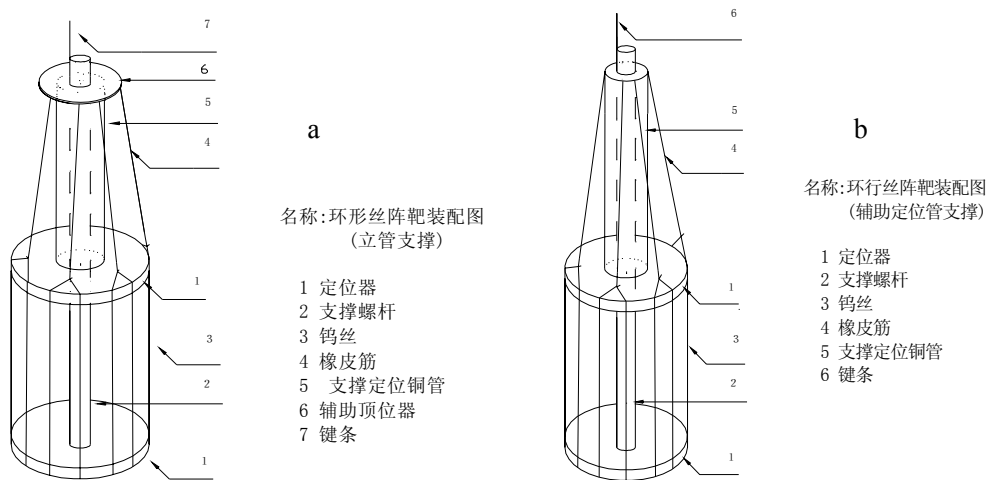


图 14 环形多丝丝阵负载靶(橡皮筋支撑)

a:带辅助定位片; b:无辅助定位片

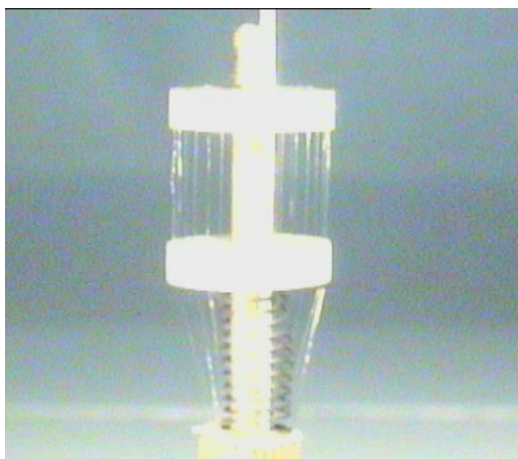


图 15 环形多丝丝阵负载靶(弹簧支撑)

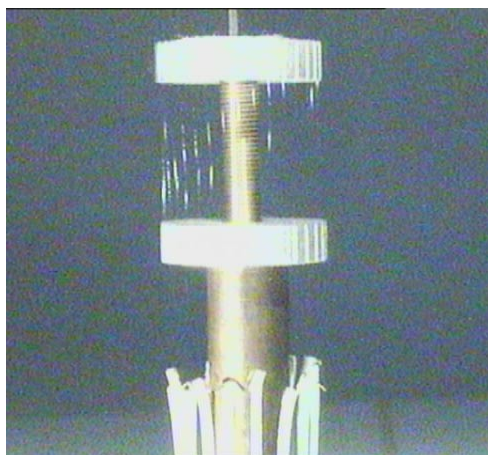


图 16 环形多丝丝阵负载靶(橡皮筋拉伸)

## 5 结论

设计了超细钨丝制备方案及其表面镀金的技术途径; 用熔融拉丝法制备出直径 20~100  $\mu\text{m}$  的氘代聚苯乙烯纤维; 成功地设计和装配出了能自动适应靶室电极间距变化的 2 种丝阵负载, 适应收缩的最大距离为 5 mm。

## 参考文献

- 1 Sanford T W L, Mock R C, Nash T J, et al. Systematic trends in X-ray emission characteristics of variable-wire-number, fixed-mass, aluminum-array, Z-pinch implosions. *Physics of Plasmas*, 1999,

6(4):1270~1293

- 2 邱龙会,唐永建,等. 一种 Z-箍缩丝阵负载及辅助装置. 中国专利,公开号:CN2500068. 申请日期: 2002. 9. 13, 公开日期: 2002. 7. 10

(QIU Longhui, TANG Yongjian, et al. A Kind of Z-pinch Wire Loads and Their Accessory. China, Patent No: CN 2500068. Appl. Date: 2001. 9. 13, Awarded date: 2002. 7. 10 )