

# 直插式弹簧连接工艺的可靠性研究

Research on Reliability of In-line Spring Connection Technology

★北京广利核系统工程有限公司 郝爱霞, 李刚, 王连春, 李俊卿, 柏祥基, 冯四军

**摘要:** 核电站DCS仪控设备的电气接线工艺方法较多, 其中最常见的连接工艺为螺钉紧固方式。其紧固力矩不仅保证了设备之间电气连接的可靠性, 还可实现连接导线拆、接操作维护的方便性, 但也存在螺钉紧固力矩应力释放, 以及旋松或旋紧操作造成螺钉拧花、溢扣、断裂等质量问题。因此, 对核电站DCS仪控设备电气端接采用直插式弹簧连接工艺方法进行了研究, 报告了直插式弹簧连接工艺在核电站DCS仪控设备电气端接中的应用现状; 按照核安全法规对安全级物项制造工艺过程控制要求, 对电气端接连接质量的可靠性进行了影响分析, 通过测试验证的方式, 证明了直插式弹簧连接工艺的可靠性。直插式弹簧连接工艺相较于螺钉紧固操作, 更为简单、易于控制, 不仅能规避螺钉紧固连接的质量问题, 还可提高接线操作效率, 提出了直插式弹簧连接工艺在核电站安全级DCS仪控设备电气端接中应用的建议。

**关键词:** 电气端接; 直插式弹簧连接工艺; 可靠性; 机械强度; 弯曲测试; 拔出测试; 振动试验

**Abstract:** There are many electrical wiring process methods for DCS instrumentation and controlling device in nuclear power plants, among which the most common connection process is screw fastening. The fastening torque not only ensures the reliability of the electrical connection between equipment, but also realizes the convenience of operation and maintenance of disconnection and connection of connecting wires. However, there are also quality problems, such as the stress release of the screw tightening torque, and the screw to twist, overflow, break caused by tightening or loosening operation. Therefore, the use of in-line spring connection technology for the electrical termination of DCS instrument and controlling device in nuclear power plants is studied, and the application status of the in-line spring connection process in the electrical termination of DCS instrument and control equipment in nuclear power plants is reported. Therefore, the use of in-line spring connection technology for the electrical termination of DCS instrument and controlling device in nuclear power plants is studied, the application status of the in-line spring connection process in the electrical termination of DCS instrument and control equipment in nuclear power plants is reported, and controlling requirements of safety-

level items, the reliability of the electrical termination connection quality is analyzed in accordance with the nuclear safety regulations on the manufacturing process. The Test verification proved the reliability of in-line spring connection process. Compared with the screw fastening operation, the in-line connection spring connection process is simpler and easier to control. It can not only avoid the quality problems of screw fastening connection, but also improve the efficiency of wiring operation. Finally, we propose the suggestions on the application of in-line spring connection technology in the electrical termination of safety-level DCS instrumentation and control equipment in nuclear power plants.

**Key words:** Electrical termination; In-line spring connection process; Reliability; Mechanical strength; Bending test; Pull-out test; Vibration test

## 1 引言

核电站DCS仪控设备的电气端接工艺主要取决于设备物理硬接线的集成密度和端接点数。导线端接最常见的连接工艺为螺钉紧固方式, 不仅保证了电气端接的连接可靠性, 还方便于电气接线的检修和维护。但也不可避免地存在螺钉紧固后应力释放、螺钉偶然松动和紧固过程中螺钉拧花、溢扣、断裂等质量问题。特别是对于小信号的导线连接, 其紧固螺钉多为M3及以下规格的铜合金材质, 在改造或检修多次拆、接操作的情况

下,存在螺钉损伤的质量问题。为此,对电气端接采用直插式弹簧连接工艺进行研究,通过对连接工艺的可靠性测试,证明了该连接工艺是安全、可靠、符合标准要求的,且拆、接线操作简单,方便检修维护,因而提出了在核电站安全级DCS仪控设备中推广应用的建议。

## 2 直插式弹簧连接工艺简介及应用现状

经调研了解,直插式弹簧连接工艺的操作机理是导线插入时,将导线端头垂直插入弹簧夹紧件槽位,且使操作人员有插入到位的力度感,通过弹簧卡紧导线端头,实现电气端接的机械可靠性连接;导线拔出时,使用普通螺丝刀向下按压助拔销,操作进程只要3mm,即可打开弹簧夹紧件,释放拔出导线,相对螺钉紧固操作,更为简单、省力,如图1所示。

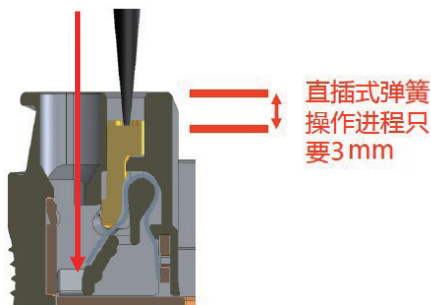


图1 直插式弹簧连接工艺操作机理

直插式弹簧连接工艺在轨道交通、航天、化工等自动化工业领域均有应用,当前阶段在核电站非安全级DCS系统设备的电气端接中也有应用,但在安全级DCS仪控设备中尚未使用。安全级DCS系统设备作为核电站的安全、重要物项,其制造过程的质量保证应符合HAF003“8.工艺过程控制”<sup>[1]</sup>和HAD003/08“3.4工艺鉴定”<sup>[2]</sup>要求。法规中明确指出了机、电设备制造中所使用的诸如电气端接(卡接、绕接等)工艺时,对现有标准尚未涉及的工艺领域,未做规范之处必须另行规定。因此,直插式弹簧连接工艺作为电气端接的一种工艺形式,重点研究了直插式弹簧连接工艺的连接质量可靠性。

## 3 连接工艺的可靠性分析

通过对GB/T 14048.7-2006中螺钉紧固机械性能试

验和GB/T 2423.10-2008环境试验中机械振动试验的应用分析,结合核电站安全级DCS仪控设备电气端接的操作特点,确定了影响电气端接质量可靠的主要因素有接线操作频次、受力影响和机械振动。因此,需采用同螺钉紧固相同的试验方法和验收准则对直插式弹簧连接工艺进行可靠性验证,见表1。

表1 电气端接连接工艺可靠性分析

序号	影响因素	影响分析	验证方法
1	拆、接频次	多次拆、接导线后,夹紧件对导线的紧固强度有无失效。	机械强度测试 <sup>[3]</sup>
2	受力影响	导线连接后在偶然受力或损坏的情况下,连接导线有无从夹紧件中脱落或松动。	弯曲测试 <sup>[3]</sup>
3		导线连接后,在拉拔受力的情况下,导线有无从夹紧件中脱落或松动。	拉出测试 <sup>[3]</sup>
4	机械振动	上电后,在机械振动情况下,导线有无从夹紧件中脱落,或虚接断电等情况。	振动测试 <sup>[4]</sup>

## 4 直插式弹簧连接工艺的可靠性验证

### 4.1 工艺验证流程

按照GB/T 14048.7-2006“8.2一般要求”,每项试验都在新的、独立的样品上进行。同时,标准中规定“导线接到夹紧件上的弯曲试验和导线接到夹紧件上的拔出试验规定在同一样品上进行”<sup>[3]</sup>,直插式弹簧连接工艺可靠性验证试验流程如图2所示。

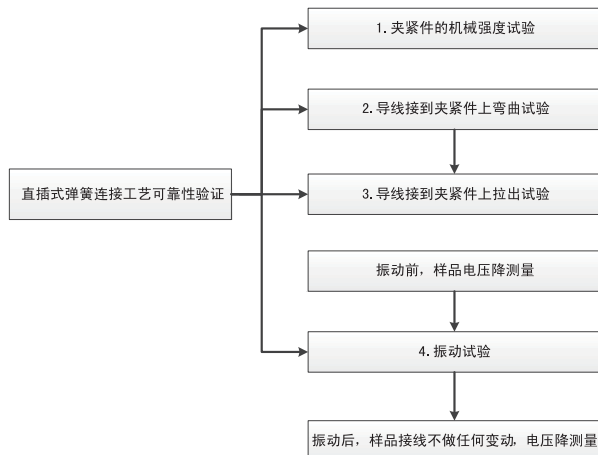


图2 直插式弹簧连接工艺可靠性验证试验流程

## 4.2 连接可靠性试验

本次研究的试验样品选取2组12种规格，线径范围 $0.25\text{mm}^2\sim 10\text{mm}^2$ ，样品接线分单根和双根两种形式，共完成42项测试，下文所述描的试验过程仅以典型试验样品进行说明。其试验样品以菲尼克斯PT端子为例。

### 4.2.1 夹紧件接线机械强度测试

#### 4.2.1.1 试验要求

(1) 试验样品编码：#01、#02、#03、#04、#05，安装固定在试验架上。

(2) 连接导线：

- 额定截面： $2.5\text{mm}^2$ ，软铜多股导线，导线端头压接AI2.5-8管状端头；

- 连接长度：1m/根。

(3) 试验电流：2.4A DC。

#### 4.2.1.2 试验操作

将带管状端头的 $2.5\text{mm}^2$ 单根导线垂直插入每个试验样品的夹紧件槽位，每个夹紧件槽位反复插、拔5次。试验前、后，按照GB/T 14048.7中8.4.4电压降测试方法<sup>[3]</sup>对每个试验样品的夹紧件槽位进行电压降测试。

#### 4.2.1.3 试验结果

(1) 试验前、后测量夹紧件电压降见表2。

表2 试验前、后夹紧件电压降测量数据

试验样品	#01	#02	#03	#04	#05	判定结果
试验前，测量电压降： $\leq 3.2\text{mV}$ ，如图3所示。	0.606	0.589	0.579	0.586	0.582	合格
试验后，夹紧件不作任何变动，电压降不得超过试验前测量值的150%(mV)，如图4所示。	0.613	0.649	0.583	0.582	0.580	合格



图3 试验前电压降测量



图4 试验后电压降测量

(2) 过程观察结果见表3。

表3 机械强度测试过程观察记录

观察项	结果				
	#01	#02	#03	#04	#05
试验时连接导线与样品夹紧件都不应松动。	合格	合格	合格	合格	合格
试验后不应有影响继续使用的损坏，夹紧件弹簧变形，样品结构形变形。	合格	合格	合格	合格	合格

### 4.2.2 导线接到夹紧件上的弯曲试验

#### 4.2.2.1 试验要求

(1) 试验样品编码：#06，安装固定在试验架上。

(2) 连接导线：

- 最小截面： $0.5\text{mm}^2$ ，软铜多股导线，导线端头压接AI0.5-8管状端头，单根。

- 最小截面： $0.5\text{mm}^2$ ，软铜多股导线，导线端头压接AI0.5×2-8管状端头，双根。

- 最大截面： $6.0\text{mm}^2$ ，软铜多股导线，导线端头压接AI6.0-8管状端头，单根。

- 不同截面： $1.5\text{mm}^2+2.5\text{mm}^2$ ，软铜多股导线，导线端头压接AI2.5×2-8管状端头，双根。

(3) 弯曲试验参数见表4。

表4 弯曲试验参数<sup>[5]</sup>

导线截面 ( $\text{mm}^2$ )	衬套孔直径 (mm)	高度H (mm)	配重质量 (kg)	拉力 (N)
0.5	6.5	260	0.3	20
1.5	6.5	260	0.4	40
2.5	9.5	280	0.7	50
6.0	9.5	280	1.4	80

#### 4.2.2.2 试验操作

按照表4规定，在试验样品的夹紧件上接入不同截面、数量的导线，配置对应质量挂在导线末端，试验方法按照GB/T 4048.1中第8.2.4.3条款<sup>[5]</sup>执行，如图5、图6、图7、图8所示。

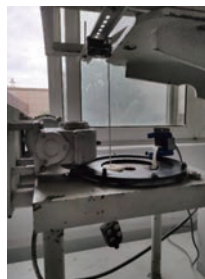


图5 最小截面导线单根弯曲测试

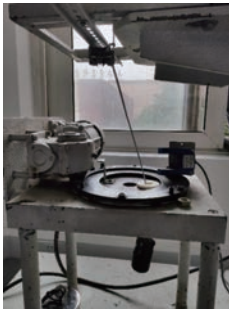


图6 最小截面导线双根弯曲测试



图7 最大截面导线单根弯曲测试

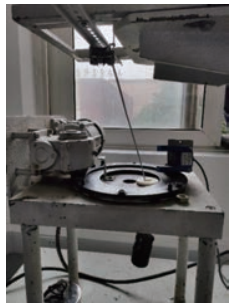


图8 不同截面导线双根弯曲测试

## 4.2.2.3 试验结果 (见表5)

表5 弯曲试验过程观察记录

观察项	#06样品结果			
	最小截面积(单)	最大截面积(单)	最小截面积(双)	不同截面积(双)
试验时连接导线即不应脱出样品的夹紧件, 又不在夹紧件处拉断。	合格	合格	合格	合格
试验后样品的夹紧件应无损伤。	合格	合格	合格	合格

## 4.2.3 导线接线夹紧件上的拉出试验

## 4.2.3.1 试验要求

如图2所述, 弯曲试验后对#06样品夹紧件上连接的最小截面积 $0.5\text{mm}^2$ 、最大截面积 $6.0\text{mm}^2$ 导线按照表4对应拉力立即进行拉出试验。

## 4.2.3.2 试验操作

拉力沿导线轴向方向平稳的持续作用 $1\text{min}^{[5]}$ , 如图9所示。



图9 拉出试验

## 4.2.3.3 试验结果 (见表6)

表6 拉出试验过程观察记录

观察项	最小截面积 $0.5\text{mm}^2$		最大截面积 $6.0\text{mm}^2$	
	拉力	20N	拉力	80N
试验时连接导线既不应脱出样品的夹紧件, 又不在夹紧件处拉断。	合格		合格	
试验后样品的夹紧件应无损伤。	合格		合格	

## 4.2.4 振动试验

## 4.2.4.1 试验要求

(1) 振动试验前, 按照GB/T 14048.7中8.4.4试验方法对每个试验样品夹紧件进行电压降测试<sup>[3]</sup>。

(2) 将试验样品分A、B两组, 安装固定在振动试验台上。

A组试验样品编码: #07、#08、#09、#17、#18、#19、#32、#33、#34、#42。

B组试验样品编码: #57、#70、#71、#72、#83、#84、#85、#98、#99、#100。

(3) 同一组试验样品的夹紧件之间使用带有管状端头的导线串联, 接入1个1A指示灯。

(4) 24VDC电源给每组试验样品供电, 并接入示波器实时监测电压波形。

· 试验等级。

· 振动频率:  $10\sim 500\text{Hz}$ 。

· 振幅:  $0.075\text{mm}/1\text{g}$ 。

· 扫频速率:  $10\text{ct}/\text{min}$ 。

· 每个轴线方向上扫频循环次数: 10次。

· 振动方向: X、Y、Z轴向, 每个轴向分三个阶段: 共振频率探查阶段、扫频耐久阶段、定频耐久阶段。



段，如果没有找到任何共振频率，则对100Hz进行定频耐久试验。

#### 4.2.4.2 试验操作

振动试验前，给两组试验样品组通电，如图10所示。

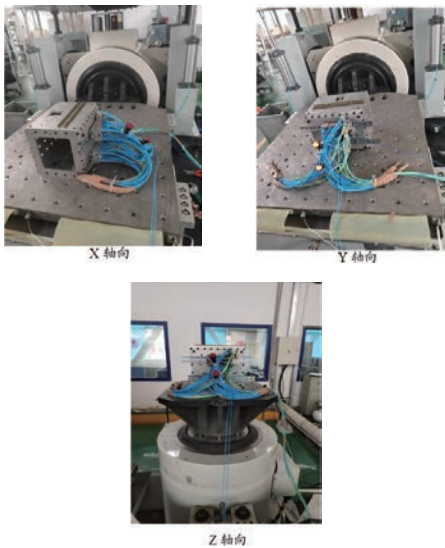


图10 振动试验

#### 4.2.4.3 试验结果

(1) 振动前，电压降测量结果见表7。

表7 振动前电压降测量结果

分组	振动试验前，电压降合格标准： $\leq 3.2\text{mV}^{[3]}$										
A组	#07	#08	#09	#17	#18	#19	#32	#33	#34	#42	结果
	0.561	0.576	0.576	0.653	0.664	0.660	0.654	0.657	0.664	0.601	合格
B组	#70	#71	#72	#83	#84	#85	#98	#99	#100	#108	结果
	0.396	0.342	0.356	0.749	0.728	0.752	0.933	0.804	0.847	0.668	合格



图11 振动前电压降测量列举

(2) 振动试验结果见表8。

表8 振动试验结果

观察项	A组	B组
试验时，连接导线既不应脱出样品的夹紧件，又不在夹紧件处拉断。	合格 如图12中1号扫波所示；电压监视波形如图13中1#波形所示。	合格 如图12中2号扫波所示；电压监视波形如图13中2#波形所示。
试验时，指示灯常亮，电压监视无断点。		

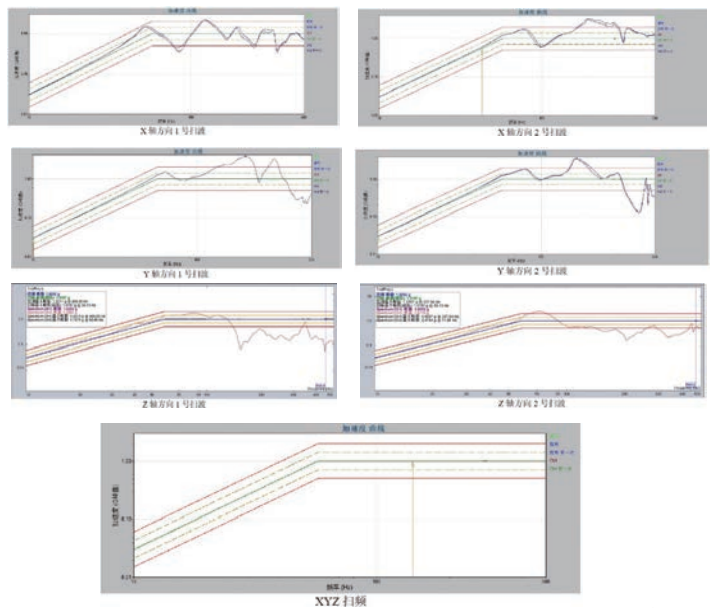


图12 振动试验曲线



图13 示波器监测电压波形

(3) 振动后，电压降测量结果见表9。

表9 振动后电压降测量结果

分组	振动试验后，样品夹紧件接线不作任何变动，测量电压降合格标准： $\leq 3.2\text{mV}^{[3]}$										
A组	#07	#08	#09	#17	#18	#19	#32	#33	#34	#42	结果
	1.10	1.09	1.09	0.639	0.637	0.663	0.686	0.650	0.679	0.611	合格
B组	#70	#71	#72	#83	#84	#85	#98	#99	#100	#108	结果
	0.524	0.475	0.506	0.562	0.554	0.577	0.601	0.579	0.606	0.531	合格



图14 振动后电压降测量列举

## 4 结论

本次研究所使用的试验样品为核电DCS仪控设备中常用的单层、双层组合端子，其连接导线为核电常用的低烟无卤阻燃多股软铜导线，并压接与之匹配的管状端头。综上试验结果，证明了直插式弹簧连接工艺在多次拆、接线操作、承受外力、机械振动等应用工况下，其连接是安全、可靠的，相对螺钉紧固连接工艺，直插式弹簧连接工艺操作更为便捷。建议在核电站安全级DCS仪控设备产品电气端接中应用，不仅能规避螺钉紧固力矩释放或断钉的质量问题，还可提高接线操作效率。

同时，基于研究过程中的接线操作，还总结了以下两点操作建议：

(1) 连接导线端头导体长度要与夹紧件槽位深度匹配，尽可能长，增大导线导体长度与夹紧件导体之间的接触面积，以保证在承受外力的情况下，机械连接更为可靠。

(2) 连接导线端头压接时，尽可能选用与夹紧件接线槽位结构形状一致的压模工具，如夹紧件槽孔为四

方形时，优先选用四方形的压模工具，相对其它压模工具压接后，导线插、拔操作更为省力。**AP**

### 作者简介：

**郝爱霞**（1981-），女，工程师，学士，现就职于北京广利核系统工程有限公司，主要从事核电仪控设备装配工艺设计。

**李刚**（1983-），男，工程师，学士，现就职于北京广利核系统工程有限公司，主要从事核电仪控设备装配管理。

**王连春**（1972-），男，工程师，学士，现就职于北京广利核系统工程有限公司，主要从事核电仪控产品制造技术管理。

**李俊卿**（1982-），男，工程师，硕士，现就职于北京广利核系统工程有限公司，主要从事核电仪控系统设计与制造管理。

**冯四军**（1983-），男，学士，现就职于北京广利核系统工程有限公司，主要从事核电仪控设备装配工艺工作。

### 参考文献：

- [1] HAF003-1991 核电厂质量保证安全规定[S].
- [2] HAD003/08-1986 核电厂物项制造中的质量保证[S].
- [3] GB/T14048.7-2006 低压开关设备和控制设备 第7-1部分: 辅助器件 铜导体的接线端子排[S].
- [4].GB/T2423.10-2008 电工电子产品环境试验 第2部分: 试验方法 试验Fc: 振动(正弦)[S].
- [5] GB/T14048.1-2006 低压开关设备和控制设备 第1部分: 总则[S].