

# 汽车零部件用感应器的结构设计

上海恒精机电设备有限公司 (201707) 林信智

当感应淬火设备确定之后,感应器的结构(尺寸)与零件的感应淬火的质量和效率有直接的关系。从某种意义上讲感应器是感应淬火技术的核心。现结合部分汽车零部件举例说明之。

## 一、凸轮轴

4缸汽油机凸轮轴的形状见图1,它有8只凸轮要求感应淬火,淬火层深度0.76~5.59mm,表面硬度>55HRC。它可用三种感应器进行感应淬火(电流频率8000Hz)。



图1 4缸凸轮轴形状

### 1. 单圈感应器

单圈感应器的结构形式如图2所示,其有效圈是一个圆环,内表面半径 $R=R_{max}+2(\text{mm})$ ,式中 $R_{max}$ 为凸轮尖部最大半径,两侧加有屏蔽环。用这种感应器,一根凸轮轴要淬火8次。

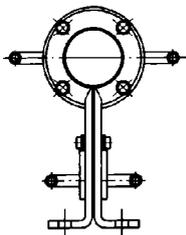


图2 凸轮轴单圈感应器

### 2. 双圈感应器

双圈感应器的结构如图3所示,它有两只水平串联的有效圈,同时淬火两根凸轮轴,因此它的生产效率比单圈感应器要提高一倍。

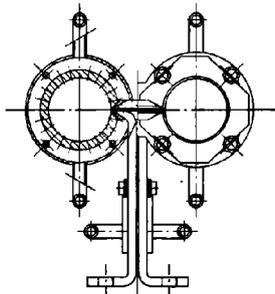


图3 凸轮轴双圈感应器

### 3. 8圈感应器

8圈感应器(图4)能同时淬火8只凸轮,从而大大提高了生产率,并能大量节约能源。该感应器的技术关键是阻抗计算,输出功率的调整和各凸轮加热温度的均匀性的调整。

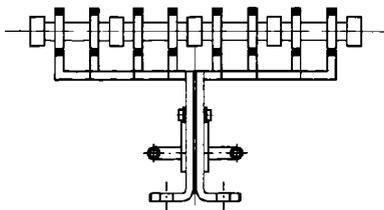


图4 8圈同时淬火感应器

现比较三种感应器淬火能耗和生产效率(见表1)。

表1 三种感应器效果比较

感应器	淬火参数				淬火一根轴		淬火十万根轴	
	频率/Hz	功率/kW	加热时间/s	工艺时间/s	耗能/kW·s	工艺时间/s	耗能/kW·s	工艺时间/h
单圈	8000	50	5	10	2000	80	55 555.6	2 222.2
双圈	8000	80	5	10	1600	40	44 444.4	1111.1
8圈	8000	230	5	14	1150	14	31 944	388.9

从表1中数据中可以看到，8圈感应器与单圈及双圈感应器相比，节电分别为42.5%和23.1%，生产率分别提高了4.71倍和1.86倍。因此大量生产的厂家使用8圈感应器，将获得很大的经济效益。

## 二、半轴

半轴是传动扭矩的零件，要求有高的静扭屈服强度和扭转疲劳强度，因此零件必须全长淬火，而且淬火层要均匀连续。

### 1. 圆环感应器

使用图5所示圆环感应器对半轴全长连续扫描淬火，这是半轴感应淬火的传统工艺。但该感应器能产生磁场偏移，形成花键过渡段软带，并且由于淬火冷却激烈，极易产生淬火裂纹。还有淬火过程零件基本冷透，内应力很大，需要进行低温回火。尽管存在这些问题，但用圆环感应器进行连续淬火工艺简便易行，设备投资较少，因此在批量生产的半轴工厂仍在较多地应用。

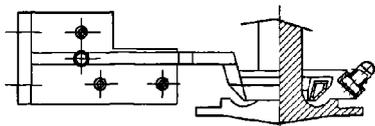


图5 半轴圆环连续淬火感应器

### 2. 矩形感应器

现在大量生产半轴的工厂大都采用矩形感应器对半轴进行纵向加热整体淬火。它几乎克服了圆环感应器淬火存在的全部缺点，而且还具有生产效率高和大量节约能源等优点。

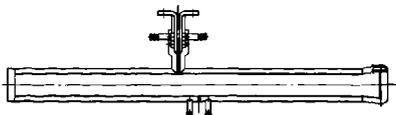


图6 半轴矩形感应器

上述两种感应器都能使半轴达到感应淬火的技术要求，但在能量消耗和生产率方面却存在巨大差异，详见表2。由表2我们可以看到，矩形感应器与圆环感应器相比，能量消耗减少23.3%，生产率提高了两倍。

表2 两种感应器比较

感应器	淬火能耗			回火能耗 /kW·h	总能耗 (kW·h/件)	生产率 (件/h)
	功率 /kW	时间 /s	能耗 /kW·h			
圆环	90	195	4.85	0.56	5.44	12
矩形	300	50	4.17	0	4.17	36

某种汽车的外半轴(见图7)，感应淬火层要求4~7mm，表面硬度为52~63HRC。该半轴可用三种感应器进行淬火，但其淬火质量的差异是很大的。这三种感应器分别是：圆环式感应器(见图5)；螺旋式感应器(见图7)；矩形感应器(见图6)。

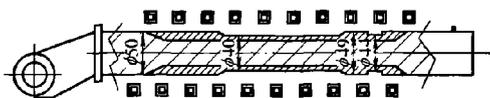


图7 汽车外半轴螺旋管感应器

现在，用表3说明这三种感应器淬火质量的情况。

表3 三种感应器淬火质量比较

感应器	φ49mm台肩			φ44mm台肩		淬火变形情况
	加热温度	淬火层	裂纹情况	加热温度	淬火层	
圆环	高	很深	裂纹	很低	无	不严重
螺旋	较高	较深	裂纹少	低	较浅	严重
矩形	正常	合格	无	正常	合格	基本不变形

## 三、曲轴

曲轴是发动机产生扭矩的重要零件，要求其各轴颈有高的耐磨性和弯曲疲劳强度，曲轴自1936年起大量采用表面淬火，至今感应淬火技术已有很大发展，但作为感应器而言，基本上还是两种类型，即圆环感应器和鞍形感应器。

### 1. 圆环感应器

曲轴圆环感应器又称为分合式感应器，有手工操作感应器和自动淬火机床用感应器，两者结构基本相同。手工操作的曲轴感应器如图8所示。圆环感应器淬火的主要缺点是轴颈淬火层的宽度与厚度不均匀，曲柄外侧淬火层宽而厚，曲柄内侧淬火层窄而薄。由于淬火层厚度不均，使曲轴淬火弯形很大，有时中间主轴颈跳动达4mm左右。

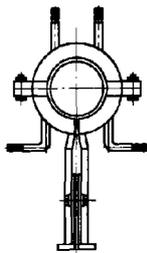


图8 分合式曲轴感应器

### 2. 鞍形感应器

鞍形感应器（见图9）淬火有以下优点：

(1)轴颈淬火层厚度和宽度均匀。

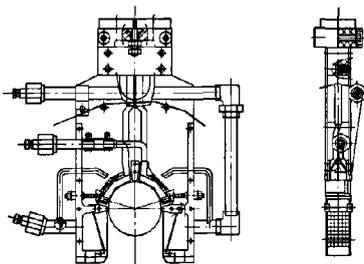


图9 曲轴鞍形感应器

(2)能减少曲轴淬火变形。大量试验表明，用鞍形感应器淬火的曲轴中间主轴颈最大跳动1.1mm，平均跳动0.6mm，大量跳动为0.5mm以下；淬火后大多数曲轴可不校直或轻微校直，因此提高了曲轴的疲劳强度。

(3)能消除油孔附近的淬火裂纹。

(4)淬火层的形状能够调整，甚至能得到包括轴颈两端R的淬火层，实现圆角淬火，从而显著地提高曲轴的疲劳强度。

## 四、电枢轴

汽车起动机的电枢轴要求表面淬火，我们分别用单圈感应器(见图10)和串联双圈感应器(见图11)进行高频淬火。我们发现在获得相同淬火层深度(0.6mm)情况下，双圈感应器使用了较低的阳极电压、较小的能量和较高的淬火速度，这说明双圈感应器较单圈感应器有较高的淬火效率。为了研究这种现象，我们将两种感应器的淬火参数、能量消耗及淬火层情况列于表4。

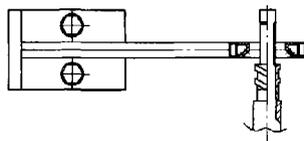


图10 电枢轴单圈感应器

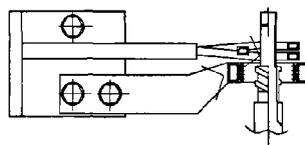


图11 电枢轴双圈感应器

表4 两种感应器的淬火和淬火结果

感应器	工艺参数				高频功率 /kW	淬火速度 /mm·s <sup>-1</sup>	淬火时间 /s	耗能 /kW·s	淬火层 /mm
	U <sub>a</sub> /kV	U <sub>g</sub> /kV	I <sub>a</sub> /A	I <sub>g</sub> /A					
单圈	12	6.5	1	0.2	11.05	7	10	110.5	0.6
双圈	10	7.2	1.3	0.3	15.9	18	3.9	62	0.6

## 五、同步器夹紧销

汽车变速器的同步器夹紧销(见图12)，其淬火区域长度为28.4mm，中间是直径8mm的圆柱，两端是圆锥面(大端直径11.6mm)，淬火层深度1~2mm，表面硬度要求640~780HV。这种零件可用三种感应器淬火。

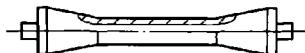


图12 同步器夹紧销零件

### 1. 圆环式连续淬火感应器

感应器形式与图5相似，只是尺寸小了一些。这种

感应器能实现淬火层仿形，但淬火移动速度必须变化，对速度的精度要求比较高，因此，只有数控淬火机床才能生产出合格的零件，生产效率也较低。

### 2. 圆筒式同时淬火感应器

—感应器有效圈是个简单的圆筒。这种感应器的阻抗很小，必然造成振荡回路阻抗很大，设备输出功率减少，因此，零件只能得到小的比功率，使加热速度较低，造成零件淬透的结果。

### 3. 集能式感应器

集能式感应器也称为变压器式感应器(见图13)，感应器具有高阻抗，进而提高设备的输出功率，使夹紧销获得大的加热比功率，缩短了加热时间，淬火层薄而均匀(1~2mm)地分布(见图12)。

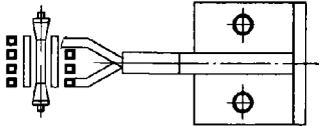


图13 集能式感应器

## 六、 刹车凸轮轴

某种载重汽车的刹车凸轮轴，它有三部分要求感应淬火，即凸轮和两段轴颈。轴颈部分的淬火感应器较为简单，本文将其省略，凸轮的轮廓表面淬火所用感应器问题较多，分别介绍如下。

### 1. 圆环感应器

凸轮表面淬火的圆环感应器(见图14)，其内径直径等于凸轮对角线长度 $L+6$ (mm)，这种感应器的优点是刹车凸轮不分左右，均可用同一只感应器进行淬火，而且操作简便，它的缺点是很难调整出经济合理的淬火

规范(见表5)。

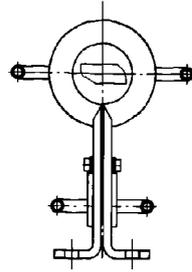


图14 刹车凸轮淬火的圆环感应器

研究表5我们发现， $P_2/P_1=59\%$ ( $P_2$ 调不大)，中频电机的功率利用很低是不经济的，它不仅浪费能源和投资，还降低了感应淬火的生产效率。解决这个问题的办法是使用仿形感应器。

### 2. 仿形感应器

刹车凸轮的仿形感应器(见图15)能解决圆环感应器所产生的问题，由于感应器空气隙减小，使中频发电机的功率利用率提高到87.2%，从而得到一个经济合理的工艺规范(见表6)。

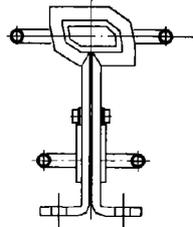


图15 刹车凸轮的仿形感应器

## 七、 进排气阀

进气阀和排气阀是大量生产的汽车配件，为提高气阀寿命，阀杆端头要进行感应淬火，淬火硬度大于50HRC，淬火层大于2mm，常用以下几种感应器淬火。

表5 圆环感应器中频淬火工艺规范

中频电机额定参数		工艺参数							
F/Hz	$P_1/kW$	$U_1/V$	$U_2/V$	I/A	$P_2/kW$	$\cos \varphi$	k	$T_H/s$	$T_c/s$
8000	200	750	700	188	118	-0.9	12/1	4.8	6.5

表6 仿形感应器中频淬火工艺规范

中频电机额定参数		工艺参数							
F/Hz	$P_1/kW$	$U_1/V$	$U_2/V$	I/A	$P_2/kW$	$\cos \varphi$	k	$T_H/s$	$T_c/s$
8000	100	375	380	270	87.2	-0.85	5/1	7	8

### 1. 夹缝式感应器

夹缝式感应器(见图16),这种感应器的加热效率很高,加热时阀杆端头的边缘迅速升温,而端面的中心升温很慢,基本上是靠热传导提高心部温度,直到加热終了,其中心温度或勉强达到淬火温度或仍低于淬火温度,我们称之为“黑心现象”。淬火后其边缘硬度高达60HRC以上,马氏体组织粗大,极易发生淬火裂纹,而心部往往只有40HRC左右,为不完全淬火组织。

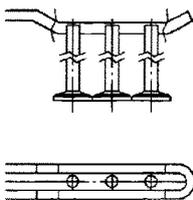


图16 夹缝式感应器

### 2. 加导磁体感应器

加导磁体感应器(见图17),这种感应器的加热效果很好,阀杆端面加热均匀,其淬火层深度和端面硬度分布也很均匀。但工作时导磁体发热严重,必须加导

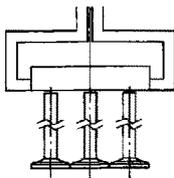


图17 加导磁体感应器

磁体的冷却装置,而冷却装置的制造和安装都比较麻烦,研制几次均不如人意。

### 3. 串联回线感应器

串联回线感应器(见图18)它有三只线圈,前两圈为预热圈,第三圈是加热圈。这种感应器克服了前两种感应器的缺点,即不加导磁体也能得到阀杆端面加热温度的均匀分布。但这种感应器的制作是很困难的。

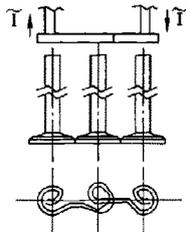


图18 串联回线感应器

### 4. 自身驱流式感应器

感应器的中间两根直导线的高频电流方向是相同的(见图19),它巧妙地利用了同向电流互相排斥的原理,使有效导线上的电流正好被排斥到工作面上,因而提高了加热效率。

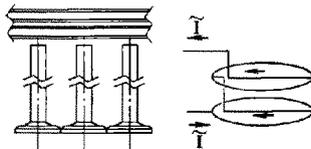


图19 自身驱流式感应器

4种感应器的优缺点如表7所示。

表7 四种感应器比较

感应器	淬火质量		优点	缺点
	淬火层	硬度		
夹缝式	边缘深、中心浅	边缘高、中心低	制作简单	淬火质量不好
加导磁体式	平直	均匀	淬火质量好	导磁体冷却困难
串联回线式	平直	均匀	淬火质量好	制作困难
自身驱流式	平直	均匀	淬火质量好	制作困难

## 八、结语

通过以上七种汽车零件所用不同结构感应器的论述,我们可以得到这样的结论:感应器的结构(尺寸)是感应淬火技术的核心问题,对零件的感应淬火质量、生产效率和能量消耗有着直接的影响。因此开发合适的



感应器是使感应淬火获得优质、高效、节能的重要途径。MW (20080821)