

# 互感器用铁氧体磁芯的磁化曲线分析

蒋大维, 陆小辉

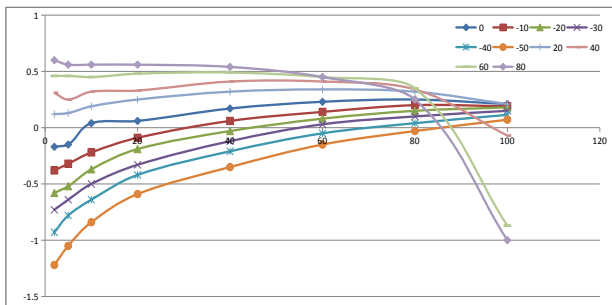
江阴市星火电子科技有限公司

铁氧体这种材料,在磁材中价格相对比较便宜,又有不错的导磁率及磁饱和强度,所以现在应用在很多的电流互感器中,而在开合式电流互感器中又常常根据客户需求的一样从而选择不同材质的铁氧体,比如PC40及高导铁氧体,我们知道,PC40有一定的导磁率,又有较高的磁感应强度,而高导铁氧体磁感应强度较低,但有较高的磁导率,可以制作出线性度较优,但电流范围或者负载能力较低点的电流互感器,但这两种材质在电流互感器中的高低温环境中的表现如何,本文就是要作这样一个探讨。

这次测试采用开合式电流互感器,分别用了T10和T16两种型号,PC40和12K两种材质,每种材质各两只,匝数都是2000T,(补偿匝数等已经考虑)分别在0、-10、-20、-30、-40、-50、20、40、60、80℃测试其互感器准确度数据和磁化曲线数据,数据量较大,不易直观,所以为了方便分析,将数据处理成典型曲线。

这次试验为了相对准确,采用两两对比法,相互参照,所以试验数据一切都是双数,如:T10和T16对比,PC40和12K进行对比,磁化曲线和互感器数据对比,同规格同材质的样品都准备了两只,防止试验数据有误。

## 1 T10 PC40 互感器数据(比差)分析

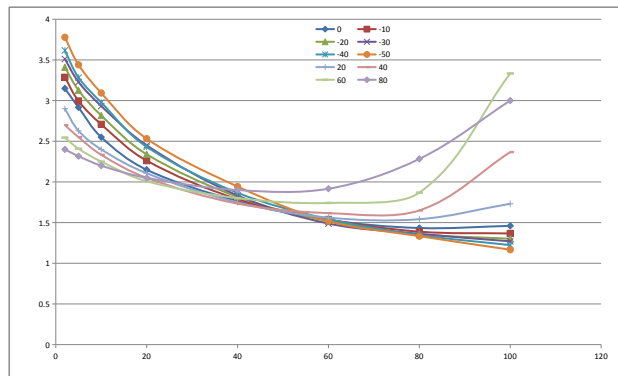


横坐标是电流范围(单位A),纵坐标是比差(单位%)。

可以看出0-20℃互感器的线性度最佳,从40℃开始,电流至80A开始饱和,并且越往上情况越严重;同时温度越高,磁芯的磁导率越高,因为误差都往正方向去跑(见后 $\mu$ -B曲线分析);在低温下,-10℃开始越往下线性度开

始变差,直到-50℃,线性度误差超过了1%,温度越低磁导率应该越低,导致线性度较差。

## 2 T10 PC40 互感器数据(角差)分析

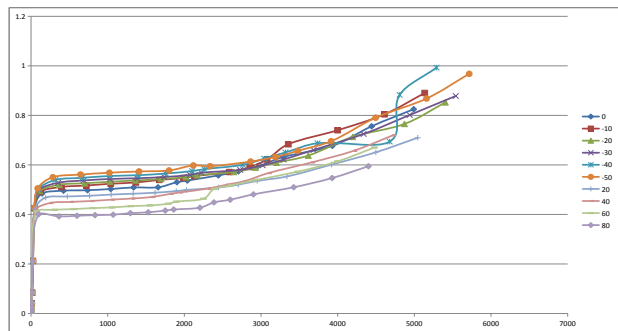


横坐标是电流范围(单位A),纵坐标是角差(单位°)。

角差就是比差的以X轴的镜像面,高温磁导率高,角差线性度优,但容易饱和,低温磁导率低,线性度差,但不易饱和。

下面来看下T10 PC40的B-H曲线。

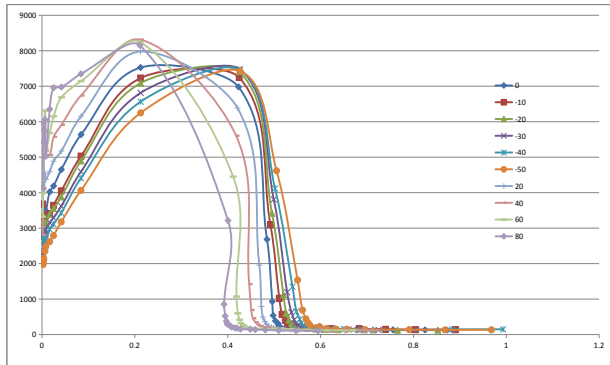
## 3 T10 PC40 的B-H曲线分析



横坐标是磁化电流(单位A/M),纵坐标是磁密(单位B)。(曲线有波动,应该是记录有误,但不影响整体,以下同理。)

这幅图可以验证互感器的性能,很明显高低温下磁密磁密低,低温时的磁密高。T10 PC40材质80℃的B值约0.4T,到-50℃的B值约0.55T。(这个待会和PC16 PC40的来对比)

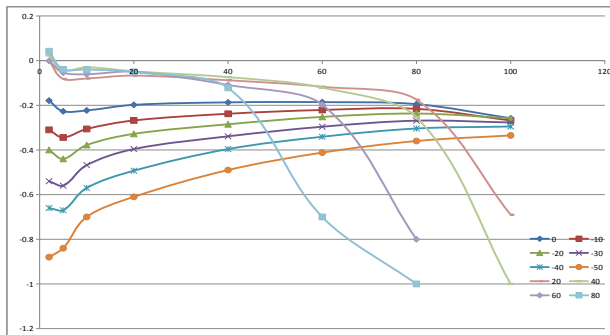
#### 4 T10 PC40 的 $\mu$ -B 曲线分析



横坐标是磁密 (单位 B), 纵坐标是导磁率  $\mu$

高温时导磁率相对较高, 虽然高温在 0.4T 饱和, 但最磁导率佳工作点在 0.2T 左右; 低温时导磁率较低, 虽然 0.55T 左右饱和, 但最佳工作点在 0.4T。

#### 5 T10 12K 互感器数据 (比差) 分析

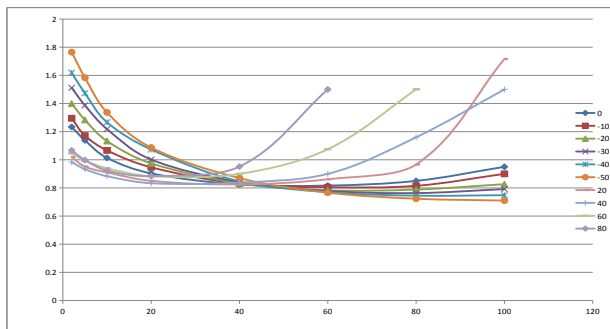


横坐标是电流范围 (单位 A), 纵坐标是比差 (单位 %)

基本遵循 PC40 一样的比差曲线变化。高温时不同温度时的误差一致性较好, 但高温下的电流范围急剧变化, PC40 还接近 80A, 到了 12K, 80°C 差不多只有 30A。在低温时, 不存在饱和问题, 同时线性误差反倒温和了许多, 从 PC40 的 -50°C 超过了 1%, 但 12K 则在 1% 以内, 可以说 12K 对低温相对友好一点。

下面看下角差曲线。

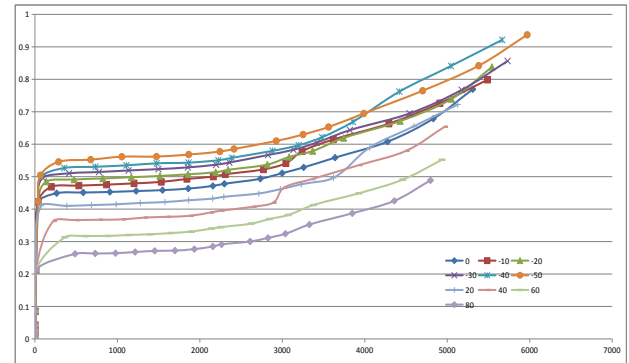
#### 6 T10 12K 互感器数据 (角差) 分析



横坐标是电流范围 (单位 A), 纵坐标是角差 (单位  $^{\circ}$ )。角差就是比差的以 X 轴的镜像面, 只做辅助判断。

下面来看下 T10 12K 的 B-H 曲线

#### 7 T10 12K 的 B-H 曲线分析

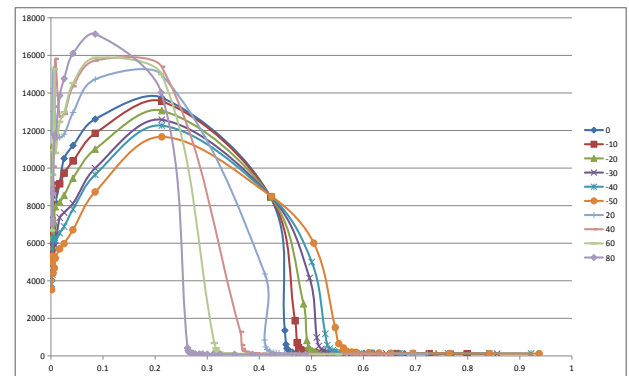


横坐标是磁化电流 (单位 A/M), 纵坐标是磁密 (单位 B)。(曲线有波动, 应该是记录有误, 但不影响整体, 以下同理。)

T10 PC40 材质 80°C 的 B 值约 0.4T, 到 -50°C 的 B 值约 0.55T。

T10 12K 材质 80°C 的 B 值约 0.25T, 到 -50°C 的 B 值约 0.55T, 低温时两种材质 B 值变化不大。

#### 8 T10 12K 的 $\mu$ -B 曲线分析



横坐标是磁密 (单位 B), 纵坐标是导磁率  $\mu$

T10 PC40 高温在 0.4T 饱和, 但最佳工作点在 0.2T; 低温时导磁率较低, 虽然 0.55T 左右饱和, 但最佳工作点在 0.4T。

T10 12K 高温在 0.25T 饱和, 但最佳工作点在 0.1T; 低温时导磁率较低, 虽然 0.55T 左右饱和, 但最佳工作点在 0.2T, 但在 0.4T 也有不错的导磁率。

结论:

(1) PC40 和 12K 材质使用时侧重点不一样, 在高温

下, PC40 抗饱和能力相对稳定, 虽然 PC40 也有所下降, 但是远没有 12K 下降的严重。

(2) 如果客户要求电流范围相对较小, 可以控制在 0.1T 以内, 那么在高温环境下反倒是 12K 材料占优 (磁导率变化不大)。

(3) 在低温下, 由于抗饱和能力相差不大, 但是 12K 材料的线性度优于 PC40, 所以在低温条件下, 12K 材料占优。

(4) 在没有客户特别定制的要求时:

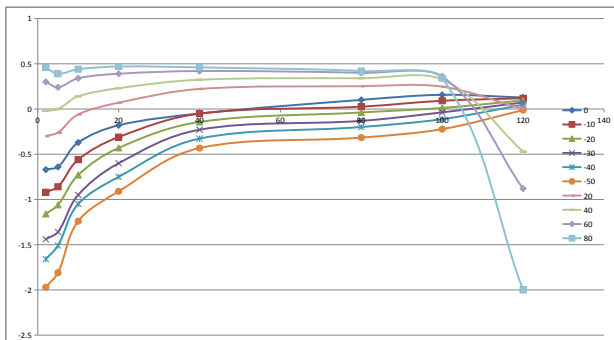
① T10 12K 材料建议工作温度在 40℃ 至 -40℃, 同时将饱和点设定在常温饱和点的 60%。

② T10 PC40 材料建议工作温度在 60℃ 至 -40℃, 同时将饱和点设定在常温饱和点的 80%。

③ 如果客户有特别定制的要求时, 可以根据本文的曲线来严加选择。

接下来再看 T16 的数据, 一是用来相互印证, 同时也看下 T16 的互感器性能。

## 9 T16 PC40 互感器数据 (比差) 分析

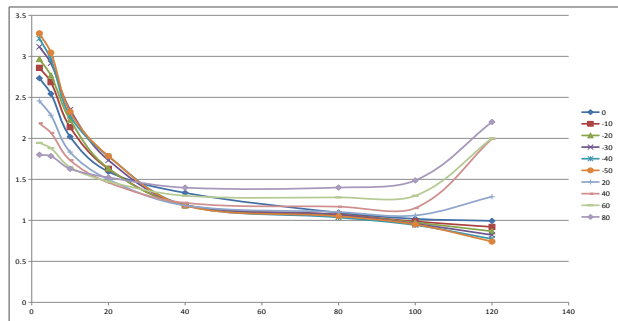


横坐标是电流范围 (单位 A), 纵坐标是比差 (单位 %).

可以看出 0-20℃ 互感器的线性度最佳, 从 40℃ 开始, 电流至 90A 开始饱和, 并且越往上情况越严重, 同时温度越高, 误差都往正方向去跑, 且变化不大; 再分析低温, -10℃ 开始越往下线性度越差, 直到 -50℃, 线性度误差基本达到了 2%, 导致线性度较差。

基本和 T10 PC40 的温度变化趋势一样, 只是高温时, 电流变化的范围从 80A 变成了 90A, 低温线性度误差从 1%, 变成了 2%, 下面看下角差。

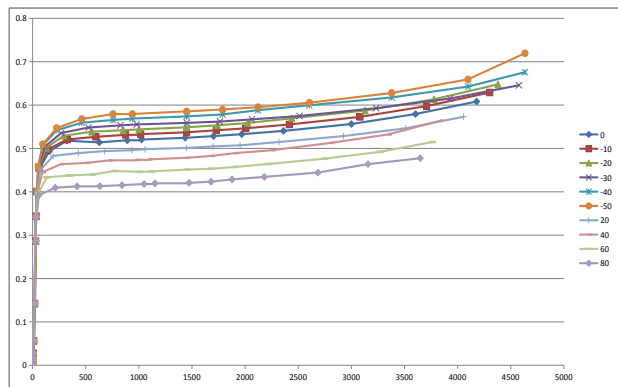
## 10 T16 PC40 互感器数据 (角差) 分析



横坐标是电流范围 (单位 A), 纵坐标是角差 (单位 °)。

角差就是比差的以 X 轴的镜像面, 高温磁导率高, 角差线性度优, 但容易饱和, 低温磁导率低, 线性度差, 但不易饱和。下面来看下 T16 PC40 的 B-H 曲线。

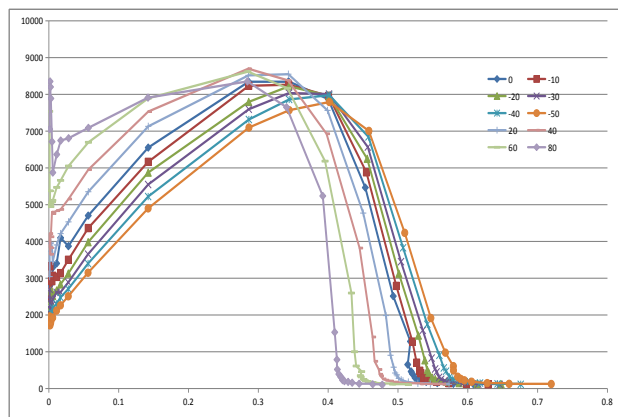
## 11 T16 PC40 的 B-H 曲线分析



横坐标是磁化电流 (单位 A/M), 纵坐标是磁密 (单位 B)。

高低温下磁密时变化的, 高温时的磁密低, 低温时的磁密高。T16 PC40 材质 80℃ 的 B 值约 0.4T, 到 -50℃ 的 B 值约 0.55T。(这个磁化曲线就和 T10 的一模一样。)

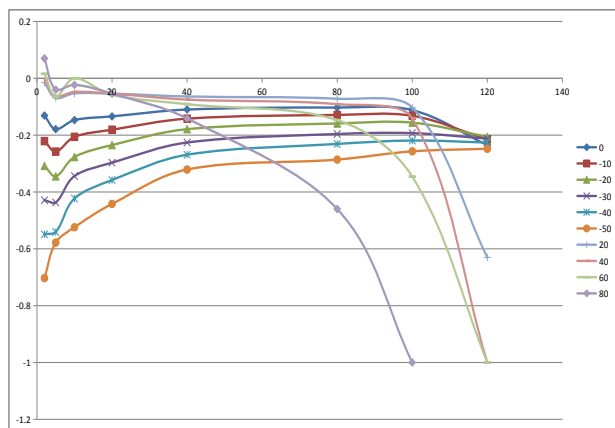
## 12 T16 PC40 的 $\mu$ -B 曲线分析



横坐标是磁密 (单位 B), 纵坐标是导磁率  $\mu$

对比 T16 PC40 的  $\mu$ -H 曲线, 高温时导磁率相对较高, 高温在 0.4T 饱和, 但最佳工作点在 0.3T (T10 PC40 在 0.2T, 略有变化); 低温时导磁率较低, 虽然 0.55T 左右饱和, 但最佳工作点在 0.4T (和 T10 PC40 变化不大)。

### 13 T16 12K 互感器数据 (比差) 分析

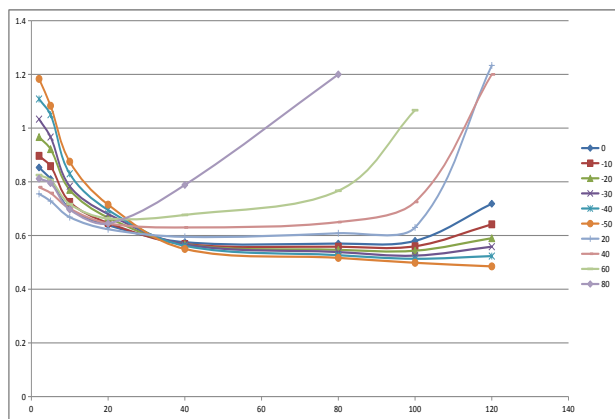


横坐标是电流范围 (单位 A), 纵坐标是比差 (单位 % )。

同 T10 12K, 高温在不饱和时, 不同电流的误差较一致, 但是温度越高, 线性度误差急剧变化, 80°C 差不多只有 20A。(比 T10 还低) 在低温时, 线性误差反倒温和了许多, 可以说 12K 对低温相对友好一点, 在 -50°C, T16 PC40 的非线性度误差还要 2%, 此时只有 1%。

下面看下角差。

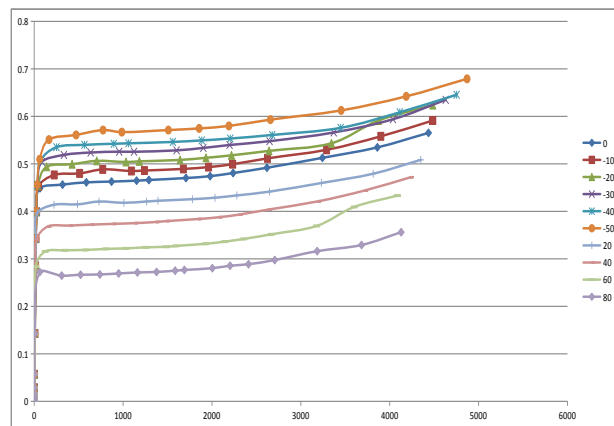
### 14 T16 12K 互感器数据 (角差) 分析



横坐标是电流范围 (单位 A), 纵坐标是角差 (单位  $^{\circ}$ )。

角差就是比差的以 X 轴的镜像面, 只做辅助判断, 在 80 摄氏度的确在 20A 就开始饱和。

### 15 T16 12K 的 B-H 曲线分析

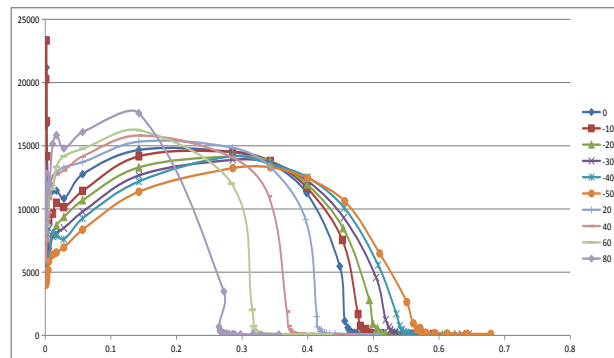


横坐标是磁化电流 (单位 A/M), 纵坐标是磁密 (单位 B)。

T10 PC40 材质 80°C 的 B 值约 0.4T, 到 -50°C 的 B 值约 0.55T。T10 12K 80°C 的 B 值约 0.25T, 到 -50°C 的 B 值约 0.55T。

T16 PC40 材质 80°C 的 B 值约 0.4T, 到 -50°C 的 B 值约 0.55T。T16 12K 80°C 的 B 值约 0.25T, 到 -50°C 的 B 值约 0.55T。基本一致。

### 16 T16 12K 的 $\mu$ -B 曲线分析



横坐标是磁密 (单位 B), 纵坐标是导磁率  $\mu$

T10 PC40 高温时导磁率相对较高, 同时虽然高温在 0.4T 饱和, 但最佳工作点在 0.2T; 低温时导磁率较低, 虽然 0.55T 左右饱和, 但最佳工作点在 0.4T。

T10 12K 高温时导磁率相对较高, 同时虽然高温在 0.25T 饱和, 但最佳工作点在 0.1T; 低温时导磁率较低, 虽然 0.55T 左右饱和, 但最佳工作点在 0.2T, 但在 0.4T 也有不错的导磁率。

T16 PC40 的  $\mu$ -B 曲线, 高温时导磁率相对较高, 高温在 0.4T 饱和, 但最佳工作点在 0.3T (T10 在 0.2T,

下转174页