铜管涡流探伤技术

无氧铜管、精炼铜管和铜合金管，材料中含铜量占较大比例的管子，统称为铜管，它们具有优良的导电性能和导热性能。所以，发电厂里的各种零部件、化工设备中的热交换器配管，以及空调装置中的冷却管道等，往往采用这种类型的铜管。

（1）探伤方法及装置

铜和铜合金管的涡流检测方法，按使用的探头形式分类，有穿过式线圈法、旋转式点探头法、内插式线圈法三种。

由于铜和铜合金管的生产速度较高（有 100 米 / 分以上），所以特别适合于穿过式方法的涡流检查。除了可做成品阶段的探伤外，因为生产过程中管的尺寸变化、材质温度变化等对探伤的影响都很小，所以也很容易在中间品阶段进行探伤检查。中间品阶段的探伤一般是放在热处理之后定尺切断之前进行。铜及铜合金的穿过式探伤一般使用自比式线圈，这种线圈对沿管线方向分布的长条状缺陷的检出灵敏度较低。

穿过式的探伤装置包括：涡流探头，涡流探伤仪，打标装置，报警，好坏管的分料机构。如果是离开生产作业线的探伤，还应包括传送装置和上下料机构等。

（2）对比试样

铜及铜合金管涡流探伤使用的标准样管的人工缺陷通常采用国家所规定的标准。穿过式探伤使用的人工缺陷大都是通孔或半通孔。

对于一般的穿过式涡流探伤，需要确定的检测参数有探伤速度、填充系数、探伤频率、放大器增益、检波相位、滤波频带、报警电平等。对于铜及铜合金管的涡流探伤，由于它们的材质特性和较高的探伤速度，所以在上述诸条件中，探伤频率和填充系数的选定尤为重要。

①探伤频率的选择

探伤频率与检出缺陷灵敏度关系较大，在选择探伤频率的时候，除了要考虑所需检出缺陷的位置（内壁或外壁）、形状和大小，还要兼顾考虑检测线圈的长度、探伤速度等因素。

经验告诉我们，对于铜和铜合金管的探伤，在采用穿过式线圈时，探伤频率一般选择在 1~100kHz 范围。

在使用穿过式方法进行探伤时，对于不同直径和壁厚的铜和铜合金管，探伤频率的选择亦不一样。一般来说，管径越大，壁厚越厚，使用的频率越低，反之则越高。表 1 推荐了一些不同直径和壁厚铜管使用的探伤频率，供参考。

表 1　直径、壁厚与频率的关系

外径（mm）	壁厚（mm）	频率（kHz）
20 以下	小于 1.5	16
20 以下	大于 1.5	8
20－28	大于 1.5	8
28－50	大于 1.5	4

注：以上介绍的直径、壁厚与频率关系适用于在线探伤，而对役探伤的探伤频率则要高几倍才有较好的相位分离角。

②填充系数的选择

一般来说，填充系数 η 越大，探伤灵敏度越高，但擦伤管子表面的可能性也越大。故最佳填充系数 η 的选择，要综合考虑探伤灵敏度、探伤速度、管子的直径大小和管子的弯曲度等各种因素。对于铜和铜合金管，由于探伤速度较高，一般标准中规定 η 达到 60％就够了。表 2 给出了不同口径的铜及铜合金管选择填充率的参考值。

表 2　线圈直径的选择

d_o(mm)	$D-d_o$(mm)
＜ 10	1.5 以下
10-15	2.0 以下
15-25	2.5 以下
25-35	3.0 以下
35-50	4.0 以下

D：线圈内径　　d_o：管外径

（4）影响因素

通常影响涡流探伤结果的因素很多，材质变化、工件和检测线圈的尺寸、缺陷的形状及所处位置、探伤条件等等，都影响着对探伤结果的正确评价。在铜及铜合金管的涡流探伤中，大多以穿过式线圈方法为主，现就各种影响因素简述如下：

①缺陷：包括缺陷的深度、长度和宽度、缺陷所处的位置（内表面、外表面）、缺陷的种类（孔、槽）等。

②材质：铜及铜合金管的材质对涡流探伤的影响主要体现在电导率方面，同一合金成分的材质中，偏析、残留应力等都会引起电导率的差异。

③管的尺寸和填充系数：管径变化直接影响填充率的大小。

④管壁厚度：铜管壁厚变化时引起的噪声信号。

⑤管与检测线圈相对位置：当铜管在穿过式线圈内部通过时难免有振动发生，这种振动会使管子与线圈之间的相对位置发生变化。

⑥速度波动：铜及铜合金管的涡流探伤以每分钟 100 米或更高的速度进行。当管子运动速度发生变化时也影响着缺陷的指示。举例来说，传送速度在 120m/min 的情况下，速度的波动应不大于±10%。