

# 彩色显像管地磁影响与屏蔽

管业鹏<sup>1</sup>, 童林夙<sup>1</sup>, 温佩琳<sup>2</sup>

(1. 东南大学电子工程系, 江苏南京 210096; 2. 中南大学资源环境与建筑工程学院, 湖南长沙 410083)

**摘要:** 采用球冠谐和分析方法, 首次得到了单个运动电子在全球的受力分布. 为减小地磁场对彩色显像管的影响, 提高彩色显像管质量, 本文提出了一种实用有效屏蔽地磁场的装置. 同时, 为了能更有效地提高屏蔽效能, 提出了将振荡法同磁屏蔽装置一起共同使用的新方案. 此外, 就屏蔽效果与现行屏蔽方式作了对比分析, 证实此装置是有效、可行的. 采用该装置, 彩色显像管的地磁场裕度可得到大幅度提高, 其成果可应用于彩色显像管的生产中, 具有降低成本, 增进效益的实用价值.

**关键词:** 地磁场; 彩色显像管; 影响; 装置; 屏蔽; 地磁场裕度

**中图分类号:** TN141.3<sup>+</sup>2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112(2002)03-0317-04

## The Geomagnetic Effect and Shield on the Color Picture Tube

GUAN Ye-Peng<sup>1</sup>, TONG Lin-Su<sup>1</sup>, WEN Pei-Lin<sup>2</sup>

(1. Dept. of Electronics Engineering, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China;

2. College of Resources, Environment and Civil Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China)

**Abstract:** The global magnetic force distribution of single moving electron is firstly obtained by means of spherical cap harmonics analysis. In order to reduce the geomagnetic effect on the color picture tube and improve the image quality of the color picture tube, a kind of equipment that can practicably and effectively shield geomagnetic field is put forward in this paper. A new scheme that combines this new equipment with oscillation method is put forward to more effectively improve the shielding efficiency also. Besides, comparing the shielding result of this new equipment with that of the current shielding style, it is shown that the new equipment is effective and practicable. The geomagnetic tolerance of the color picture tube can be loosened to a large degree after this equipment is used. The achievement in this paper can be applied to the manufacture of the color picture tube. Moreover, it has the practical value to reduce the production cost and increase the benefit.

**Key words:** geomagnetic field; color picture tube; effect; equipment; shield; geomagnetic tolerance

### 1 引言

地球是一个大磁体, 在地球的表面和地球以外的直接观测都证明地球的周围存在磁场, 这就是地磁场<sup>[1,2]</sup>. 带电粒子在磁场中运动时, 将会受到洛仑兹力的作用使带电粒子偏离其原来的运动轨迹.

彩色显像管是依靠电子束激发荧光粉, 使之发出不同颜色的光来显示图像的. 为了能正确显示彩色图像, 就要求彩色显像管中的三个电子束能正确着屏, 即以最佳位置打在各自对应的荧光粉上, 否则, 就会产生较大的会聚误差, 引起色纯偏差及白场不均匀性, 从而直接影响彩色电视的观看效果. 因此, 在彩色显像管的生产制造中, 需要对全球各地区的地磁场分别加以调整, 使彩色显像管在各地区的不同地磁场影响下三电子束仍能正确打在各自的荧光粉上. 在自会聚彩色显像管<sup>[3]</sup>中, 即使电子束沿上下移动, 也不会出现着屏误差而产生混色(指彩色显像管荧光粉呈条状排列), 但如果受到垂直地

磁场的作用, 电子束便会在洛仑兹力的作用下发生水平横向移动, 从而产生光点偏移, 导致混色; 水平地磁场的作用影响, 取决于电视的摆放方向, 摆放位置的不同, 所受地磁场影响也就不同. 本文采用球冠谐和分析方法<sup>[4-7]</sup>, 计算得到了全球地磁场的连续分布, 进而得到了单个运动电子在全球的受力分布, 为研究地磁场对彩色显像管运动电子的影响奠定了基础. 本文还提出了屏蔽地磁场对彩色显像管影响的方法, 并对屏蔽效果进行了计算和实验. 实验结果表明, 本文所提出的屏蔽方法是有效的.

### 2 地磁场对彩色显像管电子运动轨迹的影响

在垂直地磁场的作用影响下, 自会聚彩色显像管电子束会发生水平横向移动, 产生光点偏移, 因此, 文中主要就垂直地磁场进行讨论. 假设管中电子束所受到的垂直地磁场力为一常数 $f$ (管中垂直地磁场是均匀的), 电子束将在其作用下, 投射到水平面(或 $zx$ )上的运动轨迹为圆形(见图1), 其半径

$$R = 2eE_b / [f(1 - \sin^2\theta \sin^2\phi)^{-1/2}]^{[8]}$$

式中:  $E_b$  为阳极电压,  $e$  为电子电荷,  $\theta$  是偏转角,  $\phi$  是被偏转的电子束的方位角(在水平面上,  $\phi = 0$  或  $\pi$ )

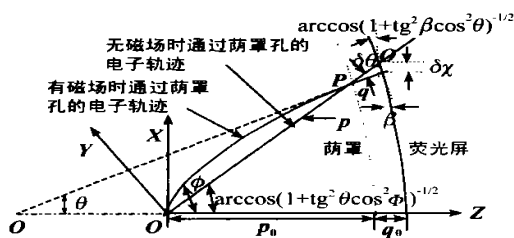


图 1 垂直磁场力作用下的电子轨迹

图 1 中,  $p$  为起始偏转点到荫罩之间的投射电子束轨迹( $\overline{OP}$ ),  $q$  为荫罩到荧光屏之间的电子轨迹( $\overline{PQ}$ ),  $\beta$  为入射点上荧光屏表面与垂直于管轴平面之间的倾角。电子束在磁场力的作用下, 将在荫罩处水平投影面上产生角位移  $\delta\theta$ ,  $\delta\theta = p/(2R)$ , 因而在  $x$  方向(垂直管轴平面的水平方向)上的总位移为:

$$\delta x = [q/(2R)](p+q)(1 + \text{tg}^2\theta \cos^2\phi)^{1/2} / (1 + \text{tg}\beta \text{tg}\theta \cos^2\phi) \quad (1)$$

对于平面荧光屏和荫罩,

在  $\beta = 0$ ,  $p = p_0 \sec\theta (1 - \sin^2\theta \sin^2\phi)^{1/2}$ ,  $q = q_0 \sec\theta (1 - \sin^2\theta \sin^2\phi)^{1/2}$  时, 上式可简化成:  $\delta x = (p_0 + q_0) q_0 \sec^3\theta / (2R_0)$  (2)

其中:  $R_0 = 2eE_b/f$ , 得:  $\delta x = (p_0 + q_0) q_0 \sec^3\theta / (4eE_b)$  (3)

从式(3)可以看出, 光点偏移量正比于电子束的受力大小  $f$ 。例如有一只 54cm 管子,  $p_0 + q_0 = 400\text{mm}$ ,  $q_0 = 13.6\text{mm}$ ,  $E_b = 25\text{kV}$ ,  $f = 6.0 \times 10^{-16}\text{N}$  (中纬度地区), 当  $\theta = 0$  时, 则得  $\delta x = 0.204\text{mm}$ 。而 54cm 彩色显像管其相邻荧光粉的间距为 0.20~0.32mm (指荧光粉呈条状排列)。可见, 电子束在磁场的作用下, 产生了较大的着屏偏移, 其偏移量达到了一个荧光粉条宽度, 足以使整个电视画面出现严重的色彩失真, 说明地磁场的影响不容忽视。

54cm 彩色显像管正常工作 ( $E_b = 25\text{kV}$ ) 时, 单个运动电子全球受力分布, 如图 2 (其中力的单位为  $10^{-16}\text{N}$ )

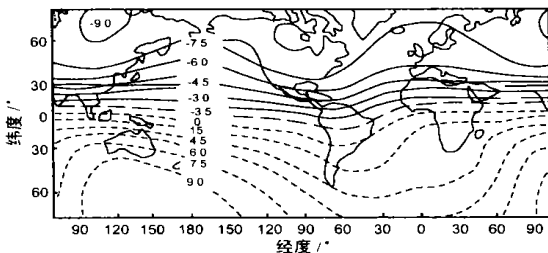


图 2 单个运动电子全球垂直磁场受力图

图中实线为单个电子在北半球的受力大小分布, 虚线为电子在南半球的受力大小分布。从图 2 可以看出: 54cm 彩色显像管在其正常工作时, 电子的受力情况在世界各地差异甚大, 使电子在管中运动时, 偏离量互不相同, 甚至差距很大, 且在南北半球, 因其受力方向相反, 导致电子束在管中朝着相反

的方向运动。

### 3 彩色显像管的地磁屏蔽

为了减小地磁场对彩色显像管运动电子的影响, 在彩色显像管的管锥或管内一般设置由磁性金属材料构成的屏蔽罩。管内的称为内磁屏蔽罩, 管外的称为外磁屏蔽罩。所谓屏蔽<sup>[9~11]</sup>, 是指用于减弱由某些场源所产生的空间某个区(不包含这些源)内的电磁场结构。内磁屏蔽罩因其结构小、材料少、较实用而在目前被广泛采用。显像管装置内磁屏蔽罩后, 管中电子束所受地磁场的作用影响将会得到减小, 电子束在荧光屏上的着屏情况会得到一定程度的改善。但彩色显像管内支持荫罩的金属框架、支架及金属件在运输和用户使用过程中, 极易磁化, 这些磁化的磁场往往会影响管子的性能。为防止这种影响, 就需要对彩色显像管充分消磁。为能更好地消磁, 在内磁屏蔽罩上开有很多孔洞, 根据屏蔽理论可知, 这样会产生漏磁, 从而影响屏蔽效果; 另外, 对于该内磁屏蔽罩, 其屏蔽效能(设其起始磁导率很大):

$$M \approx 0.22\mu_i [1 - (1 - t/r)^3] \quad (4)$$

式中,  $\mu_i$  为起始磁导率,  $t$  为屏蔽体厚度,  $r$  为等效球面半径。由于  $r$  一般为 20cm,  $t$  为 0.2mm, 故  $M$  为  $6.6\mu_i \times 10^{-4}$ 。一般地  $\mu_i < 10^5$ , 可见, 屏蔽效能不高。为了获得较高的屏蔽效能, 可增加屏蔽体厚度, 但这种办法很不经济。根据以上分析, 本文在现有内磁屏蔽的基础上, 设计出了一种更为实用有效的屏蔽地磁场的屏蔽装置。其屏蔽机理是利用铁磁性材料的高磁导率对地磁场进行磁分路, 使其表现出足够低的磁阻, 而使地磁场的绝大部分磁通在其内流通。同时, 将振荡法同该屏蔽装置一起共同使用。振荡法的基本思想是: 在铁磁性材料上加一个足够强的交变磁场, 使铁磁材料的平均磁化沿着无磁滞或理想磁化曲线进行, 以提高铁磁材料的磁导率, 从而增强屏蔽效果。

详细的分析研究表明: 磁场在荫罩面上所引起的光点偏移较敏感, 在偏转中心及荧光屏上则线性地减小到零, 因此, 屏蔽体应覆盖位于荫罩和从荫罩区域向外延伸的区域<sup>[8]</sup>。同时发现: 在荧光屏角部的色纯误差比较大, 将屏蔽体设计成沿端部向外延伸, 覆盖荧光屏角部相当大部分区域, 这样管子角部的地磁场影响也就明显减弱了。由于设计的磁屏蔽体具有高磁导率, 比空气的磁导率高很多, 再则由于彩色显像管管锥的大部分被该屏蔽体所覆盖, 使地磁场磁力线在一个较大的区域内流通, 同时, 该屏蔽体也会吸收靠近显像管锥体一侧较大范围内的地磁场磁力线, 使得进入管中的地磁场磁力线被大大削弱。

此外, 该屏蔽体还遮盖了管锥边缘部分, 所以可提供一部分分侧屏蔽, 并能吸收一部分地磁场磁力线。见图 3 屏蔽层屏蔽的计算。

图 3 表示外界磁场均匀投射到屏蔽体上, 屏蔽体的外半径为  $a$ , 内半径为  $b$ , 厚度为  $t$ , 材料的磁导率为  $\mu_1$ , 设被屏蔽的区域内放置有实心球, 半径为  $c$ , 材料的相对磁导率为  $\mu_0$ , 并设实心球与屏蔽体球壳同心。

设  $u_{m1}, u_{m2}, u_{m3}$  和  $u_{m0}$  分别表示四个区域的标量磁位函数, 它们满足拉普拉斯方程  $\nabla^2 u_m = 0$ .

应用分离变量法, 可求得在有屏蔽壳体时, 实心金属球体内的磁场强度  $H_0$ . 注意到  $\mu_r \gg 1, t/a \ll 1$ , 并令  $a - b = t, a = R_1, c = R_0$ , 得

$$H_0 = 3H / [(\mu_r + 2) + 2(\mu_r + 2)\mu_r t / (3R_1) + 2\mu_r(1 - \mu_r)R_0^3 t / (3R_1^4)] \quad (5)$$

而在无屏蔽球壳时, 可求得实心金属球体中的磁场强度为:

$$H_{00} = 3H / (\mu_r + 2) \quad (6)$$

故可得到屏蔽薄膜的屏蔽效能为:

$$SE = H_{00} / H_0 = 1 + 2\mu_r t / (3R_1) + 2\mu_r(1 - \mu_r)R_0^3 t / [3(\mu_r + 2)R_1^4] \quad (7)$$

当  $\mu_r = 1$  (或  $R_0 = 0$ ) 时, 即实心金属球为非导磁体 (或不存在), 有:

$$SE = 1 + 2\mu_r t / (3R_1) \quad (8)$$

因显像管锥部分近似象球壳, 因此, 可用上式近似计算屏蔽层的屏蔽效能. 从式(8)可见, 采用屏蔽壳体后, 如不考虑漏磁因素的影响, 屏蔽效能提高了  $[1 + 2\mu_r t / (3R_1)]$  倍.

### 4 屏蔽效果对比

采用本技术装置的彩色显像管, 可通过测量电子束着屏误差的方法, 来验证屏蔽效果. 众所周知, 彩色显像管屏幕尺寸越大, 其受地磁场影响也就越大. 如果采取相应的改善措施后, 能使较小屏幕 (如 54cm) 彩色显像管地磁场影响得到明显改善, 那么, 对于较大屏幕 (64cm 或以上) 彩管的改善将会更加明显. 因此, 文中选择 54cm 彩管作为研究对象, 既经济又具有很强的代表性和说服力.

在环境、测试设备、方法等都相同的条件下, 将管子屏面划分成 15(5×3) 个均匀区域, 见表 1

表 1 屏面位置划分

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15

对 54cm 彩色显像管分别进行不同屏蔽方式下的着屏误差测试. 在测试前, 先将彩管在  $B_e = 3 \times 10^{-5}T, B_h = 3 \times 10^{-5}T$  的地磁条件下进行 ITC, 调整到最佳状态. 采用全自动着屏误差测试仪(Self Display Analysis), 因此, 减小了人为主观因素对测试结果的影响. 测试仪系统误差为  $2\mu m$ .

因对于自会聚彩色显像管, 垂直地磁场会使电子束发生水平横向移动而产生色纯偏差, 甚至于混色, 所以在测试对比

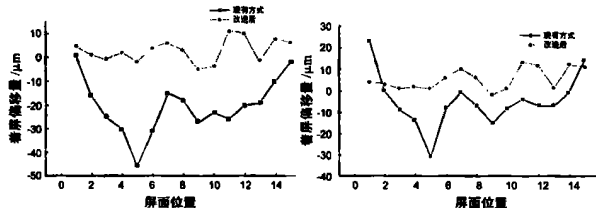


图 4  $B_e = 6 \times 10^{-5}T$  时, 电子束着屏误差; 图 5  $B_e = 4 \times 10^{-5}T$  时, 电子束着屏误差

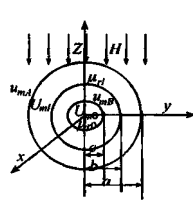


图 3 屏蔽层屏蔽效应的计算

中, 重点是改变垂直地磁场的大小和方向. 地磁场的大小和方向, 可通过高斯房来模拟. 高斯房由两个成一组的三组亥姆霍兹线圈构成. 三组亥姆霍兹线圈的轴线分别在空间坐标系中的  $x, y, z$  轴上. 在线圈中通入或改变电流, 便能在亥姆线圈构成的空间内产生或改变磁场. 该磁场可用来模拟地磁场. 改变模拟地磁场的垂直分量  $B_e$ , 使  $B_e$  分别为  $6 \times 10^{-5}T, 4 \times 10^{-5}T$  及  $-2 \times 10^{-5}T$  和  $-4 \times 10^{-5}T$ . 测试结果见图 4~ 7.

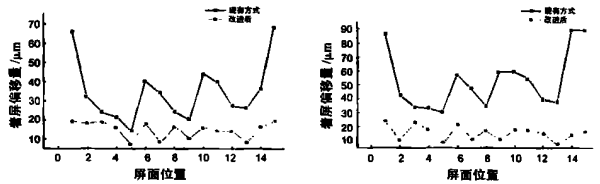


图 6  $B_e = -2 \times 10^{-5}T$  时, 电子束着屏误差; 图 7  $B_e = -4 \times 10^{-5}T$  时, 电子束着屏误差

需要说明的是:

(1) 本文所提出的屏蔽技术, 是在现有内磁屏蔽技术的基础上发展起来的, 即是对现有屏蔽技术的补充; 同时, 因受实验条件、场地等多种因素的影响和制约, 未能去除内磁屏蔽罩而单独就本文提出的屏蔽层屏蔽效果作对比、测试, 因此本文所提出的技术能否完全取代现有屏蔽技术, 需作进一步的研究;

(2) 该技术操作简便, 易于实现, 且成本低廉, 虽表面上增加了彩管成本, 但实质上, 如采用该技术成果, 可省略彩管生产过程中模拟与调整地磁场工序, 节省较多人力、物力和财力, 从而产生更大经济效益.

(3) 由于在  $B_e = -4 \times 10^{-5}T$  时, 在改进后的屏蔽状态下, 虽说没有出现任何色纯不良现象, 但在现行屏蔽方式下, 彩色显像管屏面角部大面积范围内已明显出现了混色现象. 从图 4~ 7 可以看出: (1) 在相同的外界地磁场条件下, 两种不同屏蔽措施, 电子束所受地磁场的影响表现出明显不同. 在相同屏面位置上, 改善前的电子束着屏误差绝对值普遍都要大于改进后的电子束着屏误差; 在不同屏面位置上, 前者电子束着屏受地磁场影响明显, 且各点起伏变化大. (2) 地磁场  $B_e$  从  $6 \times 10^{-5}T$  变化到  $-4 \times 10^{-5}T$  时, 现行屏蔽方式下的电子束着屏相对移动量要远大于屏蔽措施改进后的电子束着屏相对移动量, 前者电子束着屏误差从主体负偏离全部变化成正偏离, 而后者电子束着屏误差却几乎没有什么变化, 进一步说明改进后的屏蔽措施, 有效地减弱 (或屏蔽) 了地磁场对管中电子束的影响.

### 5 结论

(1) 本文所提出的屏蔽措施有效地屏蔽了地磁场, 大幅度地削弱了地磁场对管中电子束运动的影响, 电子束光点偏移量大大低于现行屏蔽方式下的光点偏移量.

(2) 采用该技术措施, 可使彩色显像管的地磁场裕度大幅度提高, 使之能全球适用的愿望成为现实.

(3) 表明该屏蔽装置结构合理、有效且实用.

## 参考文献:

- [ 1 ] 管业鹏, 温佩琳. 地磁场与彩色显像管的研究 [ A ]. 湖南省地球物理理论丛 [ C ]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1999.
- [ 2 ] 温佩琳, 管业鹏. 地磁场对彩色显像管的影响及减小方法 [ J ]. 中南工业大学学报(自然科学版), 2000, 31(4): 290- 293.
- [ 3 ] 童林夙, 吴祖垠, 刘正忱. 彩色显像管 [ M ]. 北京: 国防工业出版社, 1996.
- [ 4 ] Haines G V. Spherical cap harmonic analysis [ J ]. Geophys. Res. 1985, 90( B3 ): 2585- 2591.
- [ 5 ] Haines G V. Magnet vertical field anomalies above 40N from spherical cap harmonic analysis [ J ]. Geophys. Res. 1985, 90( B3 ): 1593- 2593.
- [ 6 ] Desantis A, et al. Spherical cap harmonic analysis applied to regional modeling for Italy 1990 [ J ]. Geomag. Geoelectr, 42: 1019- 1036.
- [ 7 ] 安振昌. 地磁场模型和球冠谐和分析 [ J ]. 地球物理学进展, 1992, 7(3): 73- 79.
- [ 8 ] 管业鹏. 彩色显像管地磁屏蔽研究 [ D ]. 博士学位论文. 长沙: 中南大学, 2000.
- [ 9 ] 波皮罗. 电磁屏蔽的理论基础理论 [ M ]. 北京: 国防工业出版社, 1983.
- [ 10 ] 湖北省电磁兼容学会编. 电磁兼容原理及应用 [ M ]. 北京: 国防工业出版社, 1996.

- [ 11 ] 刘鹏程, 邱扬. 电磁兼容原理及技术 [ M ]. 北京: 高等教育出版社, 1993.

## 作者简介:



管业鹏 男. 1967 年 6 月生于湖北孝感. 1990 年、1996 年、2000 年分别获中南工业大学学士、硕士、博士学位, 2000 年入东南大学电子工程系作博士后研究, 主要从事电磁兼容、数字图像处理与分析、电路与系统等研究.



童林夙 男. 1933 年 12 月生于辽宁沈阳. 1955 年北京大学物理系毕业. 现任东南大学电子工程系教授, 博士生导师, 中国电子学会士, IEEE 资深会员, 复旦大学物理系兼职教授, 上海交通大学兼职教授.