

七级偏转象差中的 Trilemma 效应¹

张晓兵 赵 琴 尹涵春 童林凤

(东南大学电子所 南京 210096)

摘 要 Trilemma 效应是偏转系统实现自会聚的一个重要判据,对高级偏转象差的校正,需要考虑高阶 Trilemma 效应的影响,本文从多极场偏转象差校正理论出发,应用区域分割的方法,对直至七阶的 Trilemma 效应进行了分析,给出了各阶 Trilemma 常数的表达式,其中七阶 Trilemma 常数可以作为大偏转角偏转象差校正的判据。

关键词 显象管, Trilemma 效应, 七级偏转象差

中图分类号 O463.1, TN141

1 引 言

在自会聚彩色显象管中,存在 Trilemma 效应^[1]:偏转角在 70° 以内时,当调节磁场分布使两边束沿 X 轴及 Y 轴达到会聚后,则在隅角位置的垂直方向得不到会聚。反之要保持隅角处会聚,则 X 轴及 Y 轴上又得不到会聚,偏转象散的某种组合是一与偏转线圈的绕线分布无关的常数。这个常数可以表示为

$$T_r = X_{BR3} - X_{BR12} + Y_{BR2}, \quad (1)$$

T_r 为 Trilemma 常数, X_{BR} 表示屏上某点的蓝束的 X 坐标减红束的 X 坐标, Y_{BR} 表示屏上某点的蓝束 Y 坐标减红束的 Y 坐标,下标 12、2、3 表示在相应时钟 12 点、2 点、3 点处的点。这里用 Trilemma 效应表示象散或象散系数的组合为一常数的现象,用 Trilemma 常数表示具体的表达式及常数值。

(1) 式所表示的 Trilemma 常数在小偏转角时应用三级偏转象差理论得到了解释^[2,3]。当偏转角达到 90° 甚至更高时,(1) 式所表示的 Trilemma 常数不再守恒。文献 [4] 从五级偏转象差理论出发,给出了在 110° 大偏转角下的五阶 Trilemma 常数的表达式,五阶 Trilemma 常数在五级偏转象差的校正中是十分重要的。

本文应用多极场象差校正理论,从多极场的角度出发,应用区域分割的方法,对三阶、五阶、七阶 Trilemma 效应进行分析。在进行分析之前,先对 Trilemma 常数进行定义,对后面所用到的一些参数进行说明。

2 Trilemma 常数的定义

采用文献 [4] 对 Trilemma 常数的定义: n 阶 Trilemma 常数就是一些象散或象散系数的线性组合,这些象散或象散系数受偏转磁场的 n 次谐波的影响非常灵敏,而它们的组合却近似与 n 次谐波及更高次谐波无关。用 T_m 表示由象散系数组合成的 n 阶 Trilemma 常数, T_{rn} 表示由屏上读得象散值组合而成的 n 阶 Trilemma 常数。

¹ 1996-05-06 收到, 1996-12-30 定稿

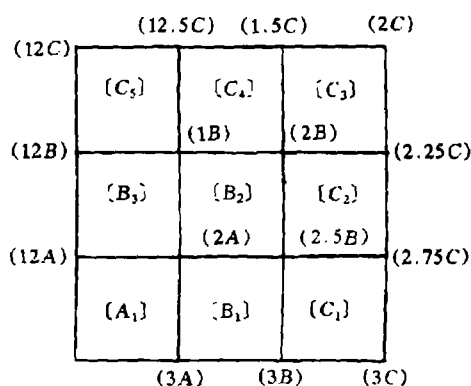


图 1 屏幕的区域划分及格点标定

按照这个定义, 文献 [1] 中所表示的 Trilemma 常数因为将 (1) 式应用到大偏转角下, 它将被六极场、十极场所影响, 所以它既不是三阶 Trilemma 常数, 也不是五阶 Trilemma 常数。

从 Trilemma 常数的定义可以得出, 对三级、五级、七级偏转象差分别起主要作用的情况, 分别有三阶、五阶、七阶 Trilemma 常数, 为便于分析, 将屏幕进行划分及标定。将屏幕的右上四分之一部分划分为 A、B、C 三个区域, 如图 1 所示。A 区为屏幕的中心部分, 包括一个子区 A_1 , 主要是三级偏转象差起作用; B 区属大偏转角区域, 它又包括三个子区 B_1 、 B_2 、 B_3 , 主要是五级偏转象差起作用; C 区属超大偏转角区域, 它又包括五个子区 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 , 主要是七级偏转象差起作用 (图中子区域用方括号 [] 表示)。同时对图 1 中的各网格节点按相对所在区域中的时钟位置进行了标定 (用圆括号 () 表示), 如: 12.5C 表示该点处于 C 区域外围相对时钟为 12 点半的位置; $X_{BR12.5C}$ 、 $Y_{BR12.5C}$ 表示该点的水平、垂直象散。为了表示方便, 图中 C 区域的节点标定仅为近似的时钟位置。

文献 [5] 中指出, 在大偏转角偏转象差的校正中束夹角 α 的高次项不能忽略, 由于束夹角 α 的一次项在总的偏转象差中占主要部分, 束夹角 α 的高次项只有在 α 的一次项得到一定校正后才变得比较明显, 同时, 由于 Trilemma 常数是一近似值, 为简化 Trilemma 效应的分析, 暂不考虑束夹角 α 的高次项的影响, 仅对偏转象差中占主要部分的束夹角 α 的一次项进行分析。若在超大偏转角下偏转象差中束夹角 α 的高次项必须考虑时, 应首先采用文献 [5] 介绍的方法对束夹角 α 的高次项进行校正, 再考虑 Trilemma 效应的影响。

3 三阶和五阶 Trilemma 效应

在区域 A 中, 三级偏转象差起主要作用, 忽略束夹角 α 的高次项的影响, 则三级偏转象差的象散项可写为

$$X_{BR} = -2(b_2 I_h^2 + b_0 I_v^2)\alpha, \quad Y_{BR} = -2b_1 I_h I_v \alpha. \quad (2)$$

b_0 、 b_1 、 b_2 为三级象散系数, 它们同时受二极场和六极场的影响, 所以三级象散系数又可写为

$$b_0 = b_{0(2p)} + V_{6p}, \quad (3)$$

$$b_1 = b_{1(2p)} - H_{6p} + V_{6p}, \quad (4)$$

$$b_2 = b_{2(2p)} + H_{6p}. \quad (5)$$

下标 np 表示对应的多极场, $b_{0(2p)}$ 、 $b_{1(2p)}$ 、 $b_{2(2p)}$ 表示二极场对象差系数的影响, H_{6p} 、 V_{6p} 表示六极场对象差系数的影响, 六极场影响的系数可以从文献 [6] 中的表 3 同时考虑文献 [7,8] 所采用多极场表达式与文献 [6] 的不同 (下面的分析均采用文献 [8] 所用的多极场形式) 得到. 在文献 [6] 中, 用到了下面近似:

$$X_G = f(z)I_h, \quad Y_G = f(z)I_v. \quad (6)$$

当 (6) 式完全成立且 I_h 、 I_v 相等时, (3)、(4)、(5) 式是完全成立的, 否则是近似成立的. 对实际的偏转线圈, 这种近似是可行的.

将 (3)、(5) 式代入 (4) 式, 消去六极场的影响, 得到与六极场无关的、由象散系数表示的三阶 Trilemma 常数:

$$T_{c3} = -(b_1 - b_0 + b_2). \quad (7)$$

根据文献 [6] 的表 3 和区域 A 中各点的相对关系, 又可以将三级 Trilemma 常数用屏上的象散值来表示:

$$T_{r3} = X_{BR3A} + Y_{BR2A} - X_{BR12A^0}. \quad (8)$$

在大偏转角的区域 B, 当三级偏转象差被校正之后, 五级偏转象差起主要作用, 不考虑束夹角 α 的高次项的影响, 将文献 [7] 中的五级偏转象差中的象散项写为

$$\left. \begin{aligned} X_{BR} &= -2(e_4 I_h^4 + e_2 I_h^2 I_v^2 + e_0 I_v^4) \alpha, \\ Y_{BR} &= -2(e_3 I_h^3 I_v + e_1 I_h I_v^3) \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

在 (9) 式中有五个象散系数 $e_0 \sim e_4$ 在完好会聚时, 这五个象散系数都应为 0, 但是直接对这五个象散系数起作用的只有偏转线圈的行、帧十极场, 这就意味着在五个象散系数中只有两个可以用十极场将它们消为 0, 这就是五阶 Trilemma 效应问题. 考虑二极场、六极场、十极场的影响, 五级偏转象差的象散系数又可以写为

$$e_4 = e_{4(2p,6p)} + H_{10p}, \quad (10)$$

$$e_2 = e_{2(2p,6p)} - 3H_{10p} + 3V_{10p}, \quad (11)$$

$$e_0 = e_{0(2p,6p)} - V_{10p}, \quad (12)$$

$$e_3 = e_{3(2p,6p)} - 3H_{10p} + V_{10p}, \quad (13)$$

$$e_1 = e_{1(2p,6p)} + H_{10p} - 3V_{10p}, \quad (14)$$

其中 $e_{4(2p,6p)}$ …… 表示二极场、六极场对象散系数的影响, H_{10p} 、 V_{10p} 表示行、帧十极场对象散系数的影响, 它的系数可以从文献 [7] 的表 1 得到. (10) ~ (14) 式成立的条件与三阶 Trilemma 常数中成立的条件相同. 由于 (9) 式有五个象散系数, 而只有两个可以利用的十极场参数, 所以将 (10)、(11)、(12) 式代入 (13)、(14) 式可以得到三个互不相关的、由象散系数表示的 Trilemma 常数:

$$T_{c51} = -(e_4 + \frac{3}{8}e_3 + \frac{1}{8}e_1), \quad (15)$$

$$T_{c52} = -(e_2 - \frac{3}{4}e_3 + \frac{3}{4}e_1), \quad (16)$$

$$T_{c53} = -(e_0 - \frac{1}{8}e_3 - \frac{3}{8}e_1). \quad (17)$$

这三个 Trilemma 常数分别对应 B_1 、 B_2 、 B_3 三个子区域的 Trilemma 常数, 同样, 根据文献 [7] 的表 1 和区域 B 中各点的相对关系, 这三个 Trilemma 常数也可以用屏上读得的象散值表示为

$$T_{r51} = X_{BR3B} + \frac{2}{3}Y_{BR2A} + \frac{2}{3}Y_{BR2.5B}, \quad (18)$$

$$T_{r52} = X_{BR2B} - X_{BR12B} - X_{BR3B} + 2Y_{BR1B} - 2Y_{BR2.5B}, \quad (19)$$

$$T_{r53} = X_{BR12B} - \frac{2}{3}Y_{BR2A} - \frac{2}{3}Y_{BR1B}. \quad (20)$$

第二个 Trilemma 常数 T_{r52} 是 B 区角部的 Trilemma 常数, 它是五级偏转象差校正中作用最显著及有意义的 Trilemma 常数, 由于从屏上读得的 2B 点处的象散值容易受七次和更高次谐波的影响, 为减弱它们的影响, 它又可以写为

$$T_{r52} = DX_{BR1B} + DX_{BR2.5B} + 0.5DX_{BR2B} + 2Y_{BR1B} - 2Y_{BR2.5B}, \quad (21)$$

其中 DX 表示测试点的 X 方向象散减去该点对应的 X 轴及 Y 轴上点的 X 方向象散。

从多极场角度出发, 应用区域分割法得到的三阶、五阶 Trilemma 常数的表达式与文献 [2,4] 是一致的, 三阶和五阶 Trilemma 常数在实际设计中的应用可参考文献 [4]。

4 七阶 Trilemma 效应

在区域 C 超大偏转角下进行偏转象差的校正时, 应考虑七阶 Trilemma 效应, 七阶 Trilemma 效应决定了是否能在超大偏转角下实现自会聚。不考虑束夹角 α 的高次项, 文献 [8] 中的七级偏转象差的象散项为

$$\begin{aligned} X_{BR} &= -2(n_6 I_h^6 + n_4 I_h^4 I_v^2 + n_2 I_h^2 I_v^4 + n_0 I_v^6)\alpha, \\ Y_{BR} &= -2(n_1 I_h I_v^5 + n_3 I_h^3 I_v^3 + n_5 I_h^5 I_v)\alpha. \end{aligned} \quad (22)$$

$n_0 \sim n_6$ 为七级象散系数, 考虑十四极场的影响, 七级偏转象差的象散系数可写为

$$n_6 = n_{6(2p,6p,10p)} + H_{14p}, \quad (23)$$

$$n_4 = n_{4(2p,6p,10p)} - 10H_{14p} + 5V_{14p}, \quad (24)$$

$$n_3 = n_{3(2p,6p,10p)} + 10H_{14p} - 10V_{14p}, \quad (25)$$

$$n_2 = n_{2(2p,6p,10p)} + 5H_{14p} - 10V_{14p}, \quad (26)$$

$$n_0 = n_{0(2p,6p,10p)} + V_{14p}, \quad (27)$$

$$n_5 = n_{5(2p,6p,10p)} - 5H_{14p} + V_{14p}, \quad (28)$$

$$n_1 = n_{1(2p,6p,10p)} - H_{14p} + 5V_{14p}. \quad (29)$$

(23) ~ (29) 式成立的条件与五阶 Trilemma 效应分析时所用的一样, 十四极场对象散系数影响的系数可以从文献 [8] 表 2 得到, 在 (22) 式的七个象散系数中, 只有两个可由十四极场作用使它们为 0, 将 (23) ~ (27) 式分别代入 (28)、(29) 式, 消去十四极场对七级象散系数的影响, 可以得到五个与十四极场无关的互不相关的 Trilemma 常数:

$$T_{c71} = -(-n_6 + (1/24)n_1 - (5/24)n_5), \quad (30)$$

$$T_{c72} = -(-n_4 + (15/8)n_5 + (5/8)n_1), \quad (31)$$

$$T_{c73} = -(n_3 + (5/3)n_5 + (5/3)n_1), \quad (32)$$

$$T_{c74} = -(n_2 + (5/8)n_5 + (15/8)n_1), \quad (33)$$

$$T_{c75} = -(n_0 + (1/24)n_5 - (5/24)n_1), \quad (34)$$

这五个 Trilemma 常数可以分别看作对应区域 C 中子区域 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 中的 Trilemma 常数。根据文献 [8] 的表 2 和区域 C 中各点的相对关系, 这五个 Trilemma 常数同样也可以用屏上读得的象散值来表示为

$$T_{r71} = -X_{BR3C} + 0.253(-Y_{BR2.75C} - 16Y_{BR2.5B} + 155Y_{BR2A}), \quad (35)$$

$$T_{r72} = -0.75(16DX_{BR2.75C} - DX_{BR2.25C}) - 6.75Y_{BR2.25C} + 16.552Y_{BR2B} + 14.766Y_{BR2.75C} \quad (36)$$

$$T_{r73} = -0.92Y_{BR2C} + 3.24Y_{BR1.5C} + 3.24Y_{BR2.25C}, \quad (37)$$

$$T_{r74} = 0.75(16DX_{12.5C} - DX_{1.5C}) - 6.75Y_{BR1.5C} + 16.552Y_{BR2B} + 14.766Y_{BR12.5C}, \quad (38)$$

$$T_{r75} = X_{BR12C} + 0.253(-Y_{BR12.5C} - 16Y_{BR1B} + 155Y_{BR2A}). \quad (39)$$

T_{r73} 反映了角部的七级偏转象差的会聚问题, 当七级偏转象差的垂直象散系数中的 $n_5 = n_1 = 0$ 时, 它表示在角部 2C 点的垂直象散, 当 $T_{r73} \neq 0$ 时, 不能被完全校正。因为这个 Trilemma 常数反映 C 区角部的会聚情况, 因此它是七阶 Trilemma 常数中最重要的一个。在大偏转角下对七级偏转象差校正时, 应首先使 $T_{r73} = 0$, 再调整十四极场校正七级偏转象差, 并进一步调整各次多极场使五个七阶 Trilemma 常数都在较小值的范围。在 (35) ~ (39) 式中的五个七阶 Trilemma 常数决定了在超大偏转角下是否可以实现偏转的自会聚。在超大偏转角下对七级偏转象差进行校正时必须在三阶、五阶、七阶 Trilemma 常数都为 0 或为较小的值时, 调整偏转线圈的绕线分布, 才有可能实现自会聚, 达到良好的会聚效果。七阶 Trilemma 常数可以作为大偏转角和超大偏转角下偏转象差校正的判据。

在文献 [9] 中对具有多段磁极的、 110° 的大偏转角自会聚偏转系统的计算机辅助设计中, 采用直至七阶的 Trilemma 常数作为偏转象差校正的判据, 在优化结束后, 得到了良好的自会聚象差校正效果, 这时得到的由象散值表示的各 Trilemma 常数为

$$T_{r3} = 0.0122, \quad T_{r51} = -0.0102, \quad T_{r52} = 0.1264, \quad T_{r53} = 0.0870, \\ T_{r71} = 0.4024, \quad T_{r72} = 0.4218, \quad T_{r73} = -0.6404, \quad T_{r74} = -0.5417, \quad T_{r75} = 0.7457.$$

其各阶 Trilemma 常数都在较小值的范围, 由此可以得出应用七阶 Trilemma 常数作为大偏转角偏转象差校正的判据是可行的。

5 结 论

七阶 Trilemma 常数可以作为大偏转角偏转象差校正的判据, 在超大偏转角下对七级偏转象差的校正, 必须在三阶、五阶、七阶 Trilemma 常数都为 0 或为较小的值时, 才有可能通过调整偏转线圈的绕线分布实现自会聚, 达到良好的会聚效果。

参 考 文 献

- [1] Ando K, Hirota R, Akatsu M, Maruyama K. New selfconvergence yoke and picture tube system with 110° in-line feature. IEEE Trans. on CE. 1977, CE-23(3): 375-382.
- [2] Dasgupta B B. Is the Trilemma rule' useful for designing deflection yoke used in color picture tubes?. Proc. SID, 1984, 25(2): 99-104.
- [3] 丁守谦. 磁偏转线圈设计理论基础. 北京: 国防工业出版社, 1994, 137-140.
- [4] Seyno Sluyterman A A. Fifth-order Trilemma in deflection yoke design. Proc. SID. 1987, 28(1): 9-13.
- [5] 张晓兵, 等. 偏转象差中束夹角 α 的高次方项研究. 真空科学与技术学报, 1996, 16(4): 257-262.
- [6] Heijnemans W A L. The deflection coils of the 30AX colour-picture system. Philips Tech. Rev. 1979, 39(6/7): 154-171.
- [7] 张晓兵等. 大偏转角偏转象差的分析与校正. 东南大学学报, 1996, 26(3): 19-23.
- [8] 张晓兵等. 七级偏转象差的多极场分析与校正. 真空科学与技术学报, 1996, 16(2): 73-80.
- [9] 张晓兵. 大偏转角偏转象差校正理论研究与多磁极自会聚偏转系统计算机辅助设计: [博士论文]. 南京: 东南大学电子所, 1996, 75-102.

THE "TRILEMMA EFFECT" IN SEVENTH-ORDER DEFLECTION ABERRATION

Zhang Xiaobing Zhao Qin Yin Hanchun Tong Linsu

(Institute of Electronics, Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract Trilemma effect is an important criterion for the self-convergence deflection system. The influence of the higher order Trilemma effects should be taken into account for the correction of the higher-order deflection aberrations. In this paper, up to the seventh-order Trilemma effects are analyzed with region-cutting by means of the correction theory of the multipole field deflection aberration. The expressions of various orders of Trilemma constant are given, in which the seventh-order Trilemma constant can be used as a criterion of the deflection aberration correction at large deflection angle.

Key words Picture tube, Trilemma effect, Seventh-order deflection aberration

张晓兵: 男, 1968 年生, 博士, 现从事显示器件的 CAD 工作。

赵 琴: 女, 1972 年生, 硕士, 研究方向为显示器件。

尹涵春: 女, 1946 年生, 副教授, 从事的研究方向为电子器件的 CAD 和电子图象处理。

童林凤: 男, 1933 年生, 教授, 博士生导师, 从事电子束管、电子光学教学与科研工作。主要研究领域包括高分辨率彩色显像管、新型偏转线圈的开发、场致发射机理、电子光学系统计算机辅助设计等。