变换圆和它在光学谐振腔设计中的应用

南开大学物理系　张光寅

为了更好地处理复杂谐振腔中的问题，在模象理论和传播圆作图法的基础上发展了变换圆作图法。引入两种变换圆：一为 f 变换圆，它是以透镜的焦距为半径所作的切光轴于透镜处的一个圆。可以证明，以光轴上一点物 S 和对应的一点象 S' 为直径所作的半圆必是与 f 圆相切。利用 f 变换圆，可以方便地描写光轴上一点物的物象变换关系。另一为 t 变换圆。它的作法是：如光轴上有两点物 S_1 和 S_2，以这两点物为直径作一"物"圆，则 t 圆为与该圆相切、同时又在透镜处与光轴相切的一个圆。可以证明，不论透镜的焦距为何值，以与两点物 S_1 和 S_2 对应的两点象 S_1' 和 S_2' 为直径所作的"象"圆也必是和 t 圆相切的。利用 t 变换圆，可以方便地描写光轴上两点物的一种特殊的变换关系。

运用模象理论和上述变换圆作图法，我们可以把高斯光束通过透镜的变换用图解的方法加以描写。可以确定，高斯光束通过透镜变换时，其在"物"方的任一"物"波面的 σ 圆与其在"象"方的对应"象"波面的 σ' 圆必同切于 t 圆。事实上，只需把这里的 σ 圆看作是前述的"物"圆，把 σ' 圆看作是"象"圆，则高斯光束的这一变换关系就可直接导出。

运用变换圆作图法，我们处理了中小功率固体激光器的基模热稳腔问题。分析表明，基模热稳腔的一个最主要的特点是，热透镜（即激光棒）处的 π 圆和谐振腔的端镜之一的 σ 圆相切。若按自孔径选模的要求，预先确定了 π 圆，则我们就可以根据这一特点方便地设计各种基模热稳腔。进一步分析表明，基模热稳腔不仅对腔内热扰动不敏感，而且还具有补偿热畸变和热双聚焦效应对光模的波前影响的作用。因此利用基模热稳腔可使光模波面整形；因而可望获得更为理想的弱波面象差的输出激光束。利用变换圆作图法，我们还处理了球面镜折迭腔中象散的调整与消除问题，并获得了输出光束消象散的条件解。总之，利用变换圆作图法可以十分直观简便地处理较为复杂的谐振腔问题，并能迅速地确定它们在满足多种要求下的最佳设计问题。

谐振腔中透镜的波前分解法

中国科学院上海光机所　凌君达

本文依据高斯光束通过透镜的波前变换关系提出透镜的波前分解法，并进一步阐明，一个透镜或一个凹面镜可以分解为两个凹面镜，从而将一个内含透镜的平平腔分解为两个背靠背的凹平腔，并给出这两个凹面镜曲率的解析式

$$r_1=\frac{\left(\frac{f}{d_1}+\frac{f}{d_2}-2\right)}{\left(\frac{1}{d_2}-\frac{1}{f}\right)} \tag{1}$$

$$r_2=\frac{\left(\frac{f}{d_1}+\frac{f}{d_2}-2\right)}{\left(\frac{1}{d_1}-\frac{1}{f}\right)} \tag{2}$$

光束是连续地通过透镜，透镜的焦距为 f。光束在透镜处有最大半径，在两端平腔片上形成最小光腰半径 w_{01} 和 w_{02}，透镜 f 至左侧腔片的距离为 d_1，至右侧 R_2 为 d_2。平平腔时 $R_1=R_2=\infty$，由(1)和(2)两式可计算得 r_1 和 r_2 值，即可将这两个相互联系的平凹腔的半共焦参量 $b_1/2$ 和 $b_2/2$ 计算得到。这样光束的一切性质都清

楚了。

当 $d_1<f$，并为固定值时，增大 d_2，w_{02} 随 d_2 的增大而逐渐变小；w_{01} 随着 d_2 的增大而逐渐变大。当 d_2 趋近 f 时，w_{01} 增长很快，接近临界状态。则左侧腔接近平平腔，而右侧接近半球心腔，如果晶体中心的光斑半径扩大到工作棒半径 a 的一半时，就可以获得自孔径化单模工作状态，光束两端有不同的光腰，就有不同的发散角，我们应采用平平腔一端作输出端。

当 d_2 接近 f 值时，光频腔将趋向非稳态这一点可从式(1)或式(2)反映出来，式中分母无论 d_1 或 d_2 接近 f 时，谐振腔都要变成非稳腔。

如果谐振腔两端不是平片而是任意曲率的凹面镜 R_1 和 R_2，也可得到 r_1 和 r_2 的解析式。

$$r_1=\frac{\dfrac{1}{d_1}+\dfrac{1}{d_2}-\dfrac{2}{f}-\dfrac{1}{(R_1-d_1)}-\dfrac{1}{(R_2-d_2)}}{\dfrac{1}{d_2f}-\dfrac{1}{f^2}-\dfrac{1}{d_2(R_2-d_2)}-\dfrac{1}{f(R_2-d_2)}-\dfrac{1}{d_1(R_1-d_1)}} \tag{3}$$

$$r_2=\frac{\dfrac{1}{d_1}+\dfrac{1}{d_2}-\dfrac{2}{f}-\dfrac{1}{(R_2-d_2)}-\dfrac{1}{(R_1-d_1)}}{\dfrac{1}{d_1f}-\dfrac{1}{f^2}-\dfrac{1}{d_1(R_1-d_1)}-\dfrac{1}{f(R_1-d_1)}-\dfrac{1}{d_2(R_2-d_2)}} \tag{4}$$

当 $R_1=R_2=\infty$ 时，上两式中包括 R_1 和 R_2 的项消失，上两式就蜕化为(1)和(2)两式。如果在折迭腔中放置凹面镜，其曲率半径为 R，仅将上式中的 f 代以 $\dfrac{R}{2}$ 就可以适用。

既然上述的两个相互联系的凹平腔各有其等效半共焦参量和最小光斑等，也应各有其 G 因子和菲涅耳数，左侧凹平腔以 R_1 平面为镜面 r'_1 是 r_1 的镜象。r_1R_1 腔是 $r_1r'_1$ 腔的一半，工作物质直径 $2a$ 是对称腔 $r_1r'_1$ 的有效孔径；所以 $r_1r'_1$ 腔的菲涅耳数 N_1 和其 G 因子 G_1 为，

$$N_1=\frac{a^2}{2\lambda d_1},\quad G_1=\left(1-\frac{2d_1}{r_1}\right)$$

$r_1r'_1$ 腔的单程损耗将是凹平腔 R_1r_1 的双程损耗，对右侧腔可同理类推求得 N_2 和 G_2。

这种方法的物理图象清晰，计算方法简单，可以用来分析光频腔中含有透镜、热透镜和凹镜等光学系统，并可进一步用这基本概念来分析串接的光频腔和多级腔。

环形光学谐振腔和折迭式谐振腔的矩阵解

浙江大学光仪系　陈钰清

本文利用矩阵法求解含有四块球面反射镜的环形谐振腔和折迭式谐振腔高斯光束的参量 R 和 w，并给出稳定条件。利用此法可推广到任意多块球面反射镜光束参量的计算。

1．环形谐振腔

激光束在光学谐振腔两球面镜之间来回反射，经历一种周期性的聚焦作用。所以，我们可以用一个周期性的薄透镜序列来代替这两块球面反射镜，它组成了一个光学传输线。因为此传输线是线性关系，故可用 $ABCD$ 矩阵表示。对于一个环形谐振腔，同样等效于一个周期性的薄透镜序列。

根据自洽场原理，光束在腔内往返前后复光束参数 q 必须不变，并满足共振条件，亦即在腔内的场往返一次后能再现。所以该透镜序列的输出复光束参数 $q_{出}$ 和输入复光束参数 $q_{入}$ 之间的关系为 $q_{出}=\dfrac{Aq_{入}+B}{Cq_{入}+D}$。根据自洽场原理，$q_{出}=q_{入}$，最后可得到环形谐振腔输出平面处的光束参数：

$$R_{出}=\frac{2B}{D-A},\quad w^2_{出}=\frac{\lambda}{\pi}\frac{2B}{\sqrt{4-(A+D)^2}}$$