

A brief Summary of peripheral defocus control Lens

减少旁中心远视离焦镜片的前世今生 – 连载 02

浅析几种减少周边远视离焦镜片的设计

近年来，以减少旁中心远视离焦为理论基础研发的青少年近视干预镜片，风靡国内市场，本文将从离焦理论及其框架眼镜化的演进过程、产品的发展与衍生、验配适应症等应用环节做简要叙述和对比，这当中的长短优劣均由读者自断。同时也想抛砖引玉，期望更多的同仁参与其中。

文 ◆ 姚飞 & 余浩墨 & 江德烽

造成近视眼周边远视离焦的原因及其种类

1. 近视眼裸眼存在的视网膜周边远视离焦

近年来多项研究证实近视眼裸眼存在视网膜周边相对性远视离焦。例如：在 2009 年，温州医学院金益分别将 37 人分为近视和正视两组，分别测量 3 米、33 厘米处黄斑中心及鼻颞侧 30° 的屈光值，发现正视眼周边呈相对近视离焦；近视眼周边呈相对远视离焦；周边散光呈鼻颞侧不对称，鼻侧低于颞侧，随调节增加而增加（见表 1）。^[1]

在使用单焦点近视镜片矫正黄斑中心视力后，这种周边相对远视离焦会转为绝对远视离焦，而近视眼儿童普遍存在的调节滞后现象将在近距离用眼时加剧这种绝对远视离焦。

2. 单焦点近视镜片本身的周边远视离焦

外界物体的光线通过单焦点近视镜片中心的部分在黄斑成像（见图 1），周边的光线会在视网膜后面成像（见图 2）。

通过镜片周边的光线无法在周边视网膜上正常聚焦，主要是因为镜片边缘的平均光焦度差（简称度差）和斜向散光光度差（简称斜散差）造成的。眼镜片光学中心实测平均光度（球镜度数加 1/2 柱镜度数）与任意半径点上人眼实际感知的平均光度差值，即度差（见图 3）。

镜片光学中心以外任意半径点的弧矢和子午方向光度

	等效球镜 (D)		散光 (D)	
	颞侧 - 中心	鼻侧 - 中心	颞侧 - 中心	鼻侧 - 中心
正视组	-0.437 ± 0.556*	0.155 ± 0.867	-1.530 ± 0.849*	-1.096 ± 0.553*
近视组	1.119 ± 1.028*#	1.592 ± 0.921*#	-1.401 ± 0.450*	-1.169 ± 0.393*

* 表示周边和中心的差值有统计学意义 (p<0.05)
表示近视组和正视组差异有统计学意义 (p<0.001)

表 1A: 视远时的周边屈光

	等效球镜 (D)		散光 (D)	
	颞侧 - 中心	鼻侧 - 中心	颞侧 - 中心	鼻侧 - 中心
3cm	-0.437 ± 0.556	0.155 ± 0.867	-1.941 ± 0.719	-1.507 ± 0.446
50cm	-0.505 ± 0.640	0.094 ± 0.936	-2.368 ± 0.698*	-1.820 ± 0.461*
33cm	-0.541 ± 0.729	0.052 ± 0.906	-2.513 ± 0.706*	-1.994 ± 0.405*
25cm	-0.596 ± 0.923	-0.143 ± 0.846	-2.694 ± 0.795*	-2.169 ± 0.410*

* 表示调节时和视远 (3m) 时有统计学显著的差异 (p<0.05)

表 1B: 正视组在调节时的周边屈光

	等效球镜 (D)		散光 (D)	
	颞侧 - 中心	鼻侧 - 中心	颞侧 - 中心	鼻侧 - 中心
3cm	1.119 ± 1.028	1.592 ± 0.921	-1.710 ± 0.413	-1.478 ± 0.366
50cm	1.078 ± 1.073	1.439 ± 0.954	-2.083 ± 0.481*	-1.820 ± 0.336*
33cm	0.962 ± 1.027	1.318 ± 1.037	-2.162 ± 0.453*	-2.024 ± 0.441*
25cm	0.950 ± 1.101	1.322 ± 0.950	-2.353 ± 0.514*	-2.076 ± 0.468*

* 表示调节时和视远 (3m) 时有统计学显著的差异 (p<0.05)

表 1C: 近视组在调节时的周边屈光

表 1: 不同调节刺激下人眼周边屈光状态的研究

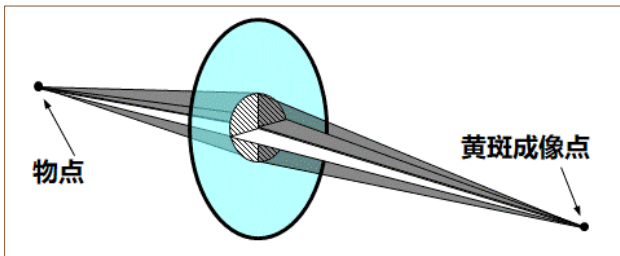


图 1: 物体光线通过单焦点镜片的中心正常聚焦

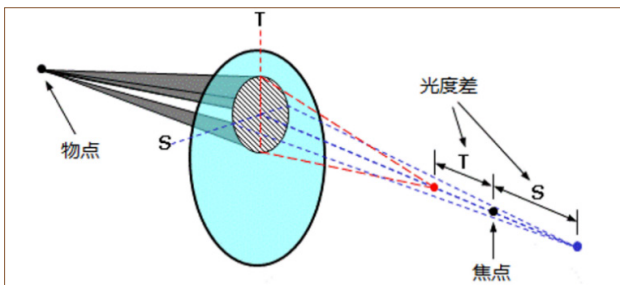


图 3: 镜片的度差

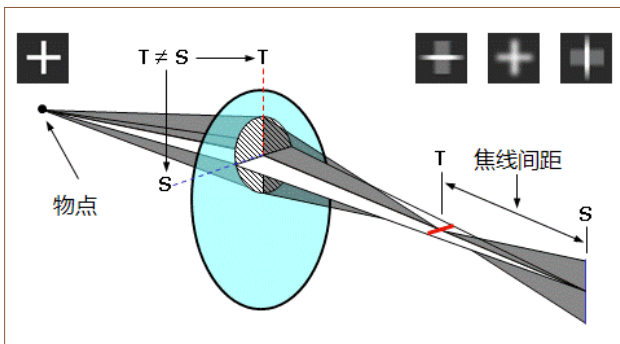


图 4: 镜片任意半径点上的斜散差

差(可简单理解为两个随机的主子午线方向),即斜散差(见图4)。

以上偏指球面镜片造成的周边远视性离焦,当下流行的非球面镜片某种程度上弥补了这种不足,但镜架佩戴的倾斜角,镜片制造中的材料收缩变形因素,使多数非球面镜片的实际补偿值往往低于成像在视网膜上的理论值,且戴镜后水平视野上的周边屈光度($M=S+C/2$)和相对周边离焦量(RPRE: relative peripheral refractive error)比裸眼有所加剧^[2](见图5)。

离焦镜片的设计原理

1. 设计基点

如上所述,减少周边远视性离焦需对镜片的平均光焦度和斜散光度做补偿,降低镜片周边远视性离焦的同时形成近视性离焦。

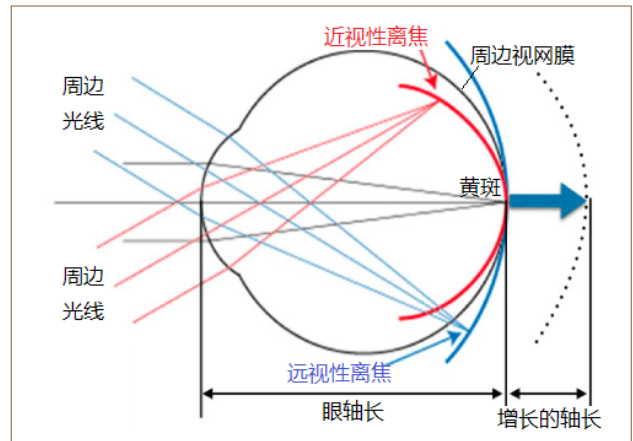


图 2: 单焦点近视镜片的周边远视离焦状态

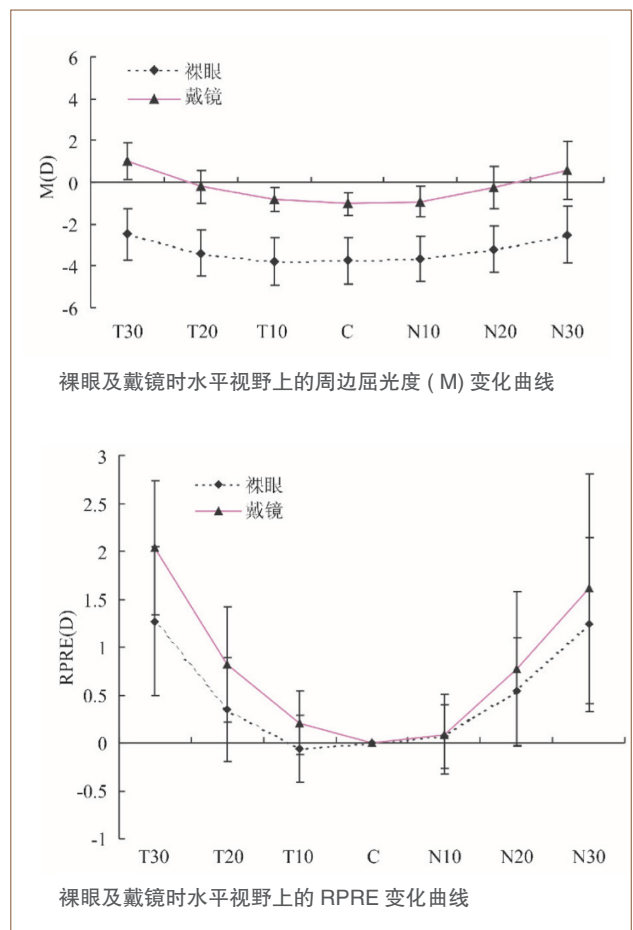


图 5: 近视儿童配戴单光镜后的周边屈光改变

1.1 度差和斜散差的补偿值

这种补偿即以相同或不同的比例来设计镜片光学中心外不同半径点的球镜、斜散度数及其改变趋势。在实际测量中表现为镜片周边球镜度数(SE值)渐趋下降、散光渐

中心光度	平均光焦度 补偿值	斜散补偿值	镜片类型 (-3.00DS)	水平向 (以光心为起点自左而右) 光度变化			垂直向 (以光心为起点自上而下) 光度变化		
				实测范围 mm	球镜	柱镜	实测范围 mm	球镜	柱镜
-2.00D	0.60D	0.40D	成长乐左眼 非对称设计	左 0.10~30.21	-2.86~-1.03	-0.08~-0.60	上 0.40~13.82	-2.85~-1.35	-0.09~-1.10
-3.00D	0.75D	0.52D		右 0.51~28.93	-2.84~-0.94	-0.06~-0.70	下 0.09~25.79	-2.87~-0.58	-0.08~-1.15
-4.00D	0.75D	0.52D		旋转对称设计	左 20.12、 右 20.12	-1.95~-1.11	-0.90~-1.43	上 20.31、下 20	-1.24~-1.31
-5.00D	0.80D	0.56D	横椭圆形设计		左 25.90、 右 27.59	-1.92~-2.08	-0.90~-0.75	上 21.05、下 20.06	-1.90~-1.88
-6.00D	0.85D	0.55D		微正镜阵列设计 -4.50DS	左 23.07、 右 21.27	-4.38~ -4.51~-4.33	-0.15~ -0.00~-0.13	未测量	未测量
-7.00D	1.00D	0.63D							
-8.00D	1.10D	0.70D							
-9.00D	1.20D	0.74D							
-10.00D	1.30D	0.80D							

表 2: 减少周边远视离焦镜片 r=20mm 处的设计补偿值

表 3: 四种设计的近视性离焦镜片旁中心球柱镜光度变化

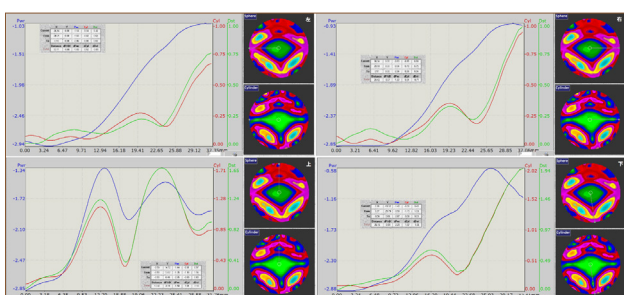


图 6A: 成长乐左眼 -3.00DS 球镜、柱镜光度演变

-3.00DS	光学中心周边实测范围 /mm	干扰散光
非对称设计 成长乐左眼	水平向上方, 左 20.86 上 12.65 ~ 右 23.67 上 7.38	-2.72~-1.63
	水平向下方, 左 11.73 下 19.20 ~ 右 14.77 下 17.26	-2.96~-3.21
旋转对称设计 不分眼别	左 20.12、右 20.12 上 20.31、下 20	-0.90~-1.43 -1.41~-1.36
横椭圆形设计 不分眼别	左 25.90、右 27.59	-0.90~-0.75
	上 21.05、下 20.06	-1.05~-1.09
微正镜阵列设计	左 23.07、右 21.27	~

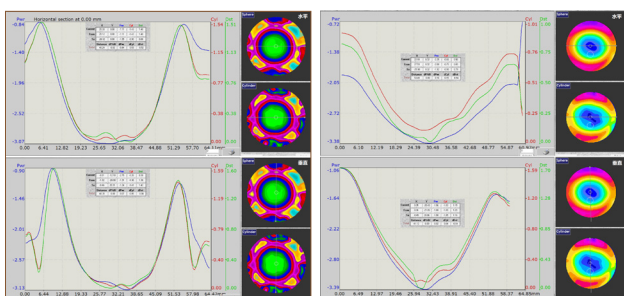


图 6B: 旋转对称设计类镜片 -3.00DS 水平、垂直方向球镜、柱镜光度演变
图 6C: 横椭圆形设计类镜片 -3.00DS 水平、垂直方向球镜、柱镜光度演变

表 4: 四种设计的减少周边远视性离焦镜片旁中心干扰散光光度变化

0.12DS 精度分析四种设计的减少周边远视性离焦镜片 (标称光 -3.00DS), 得知旁中心球柱镜光度变化数据 (见表 3、图 6A、B、C、D)。

1.2 减少周边远视性离焦镜片附带的干扰散光

在对普通单焦点近视镜片的斜散差做出补偿后, 出现了设计意图之外的、高于补偿值的、无特定轴位的干扰性不规则散光, 呈旁中心方向增量趋势。但是, 目前的镜片设计能力无法很好的解决这个问题。

四种设计的减少周边远视性离焦镜片旁中心干扰散光光度变化 (见表 4)。旋转对称和横椭圆形设计的近视性离焦镜片测量结果 (见图 6B、C)。非对称设计类的成长乐镜片测量结果 (见图 7)。微正镜阵列设计 -4.50DS 镜片测量结果 (见图 6D)。

上述图表数据是基于测量事实, 限于篇幅, 未一一列举市面上旋转对称设计和横椭圆形设计的不同品牌镜片数据, 两种设计内尚有多种差异, 但干扰散光量值相当。对比四种设计的散光干扰大小依次是: 非对称设计 > 旋转对称设计 ≈ 横椭圆形设计 > 微正镜阵列设计。

2. 设计要素

2.1 足够清晰的远视力

趋增加, 但这种增加的散光是为了降低或抵消镜片原有的斜散差 (见表 2)。

我们用 ROTLEX 轮廓仪 CLASS PLUS 测量, 并以

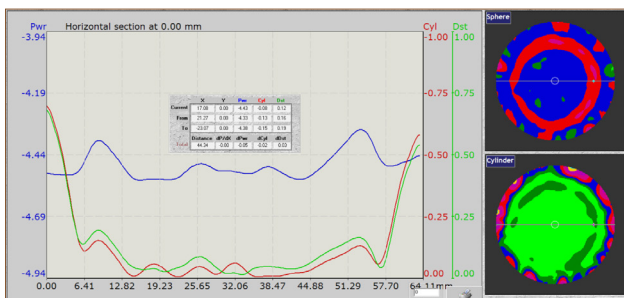


图 6D: 微正镜阵列设计 -4.50DS 扫描图

-3.00DS	水平方向 /mm	垂直方向 /mm	视野分布形态
成长乐左眼非对称设计	左 8.59、 右 6.94	上 1.29、 下 4.59	颞侧 > 鼻侧 > 下侧 > 上侧；横宽纵窄，下侧向鼻侧内偏的菱形状态
旋转对称设计	左 12.98、 右 8.73	上 9.91、 下 10.62	各向相当；同心圆形态
横椭圆形设计	左 13.59、 右 13.59	上 10.77、 下 12.31	上下对称，左右对称，水平和垂直不对称；横宽纵窄，横椭圆形态

表 5：三种设计的减少周边远视性离焦镜片远用光度稳定区域

减少周边远视性离焦镜片不论如何设计，必须保证能矫正戴镜者的看远视力，镜片上必须有一个能用光度计测量得到的远用矫正光度稳定点、远用矫正光度的稳定区域范围。表 5、图 8A、B、C、D 是用 CLASS PLUS 测量和以 0.12DS 精度分析三种近视性离焦镜片（标称光度 -3.00DS）远用光度稳定区域的数据。

微正镜阵列设计镜片 9.4mm 范围的远用光度稳定区域。

2.2 足够的横向、纵向视野

人左右眼的水平向视野相当，垂直向的下方视野大于上方视野，水平向整体视野大于垂直向（见图 9、图 10）。

上述四种设计的减少周边远视性离焦镜片横向和纵向视野范围见上（见表 3 ~ 表 5 及图 6ABCD），对比后得知，整体视野范围大小依次是：横椭圆设计 > 旋转对称设计 > 微正镜阵列设计 > 非对称设计。

旋转对称设计、微正镜阵列设计并不考虑人眼对横向视野更敏感这一因素，因而在同等离焦量下，横椭圆形设计和非对称设计提供了足够的横向视野，显然提高了戴镜舒适度，并能通过适当提高部分区域的补偿值，进一步提高舒适度。对比四种设计的近读生理舒适度可知：非对称设计 > 横椭圆形设计 > 旋转对称设计 > 微正镜阵列设计。

2.3 合理的远用离焦量补偿

近视离焦量补偿到多少最为合适呢？各厂家思路和做法不尽相同，各有创见。但就此类镜片的设计目的地而言，多数离焦镜片的离焦量差强人意（见表 6）。

注：成长乐是测量单侧光度最低到最高值范围并计算其变量，旋转对称和横椭圆形设计是以中心球柱镜光度为准，表示其范围并计算变量，

旋转对称设计和横椭圆形设计的事实离焦量值接近，因镜片品牌众多，此处不一一列举；对比四种设计的离焦量补偿值后得知：微正镜阵列设计 > 非对称设计 > 横椭圆

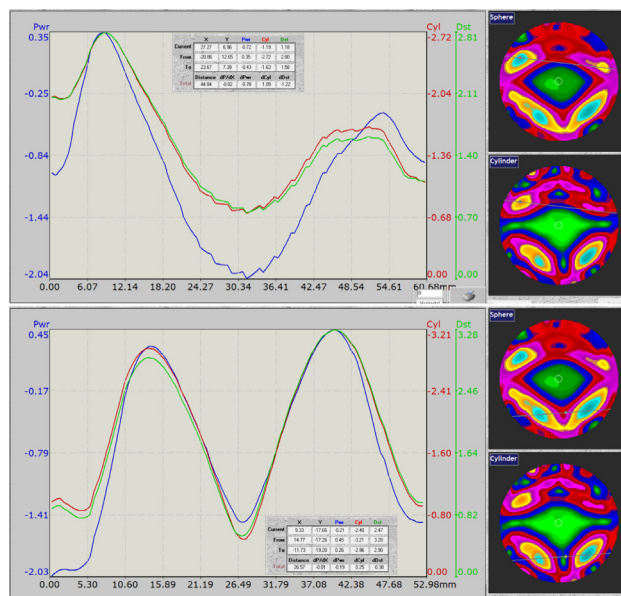


图 7：成长乐左眼 -3.00DS 水平向上下方干扰散光光度变化

形设计 ≈ 旋转对称设计。

2.4 须适应眼球内下旋的内偏设计

减少周边远视性离焦镜片必须考虑到，当戴镜者近读时，镜片鼻侧内下方的近用矫正光度区域范围必须足够大，这在以上四种设计中都得以体现（见上述各图及图 11）。

旋转对称设计、微正镜阵列设计、椭圆形设计并没有设计专门的近读光学区域，非对称设计对眼球内旋下转、鼻颞侧离焦量差异、双眼单视的设计和优化显然优于前三者，其鼻颞侧差异化的视野区域必然产生显著高于前三种设计的剧烈散光干扰区，这是各有取舍的结果。微正镜阵列设计的镜片，其中心向外 4.7 ~ 16.5mm 半径范围的正镜附加区域即可作为近读区域，散光干扰几乎可以忽略不计，这是另外三种设计无法达到的。

（见表 3 ~ 表 5 及图 6ABCD ~ 图 11），对比四种设计的内偏合理性可知：非对称设计 > 横椭圆形设计 > 旋转对称设计 ≈ 微正镜阵列设计。

对比四种设计中散光干扰的佩戴适应性可知：微正镜阵列设计 > 横椭圆形设计 > 旋转对称设计 > 非对称设计（参见下文：2.5、合理的近用离焦量补偿）。

2.5 合理的近用离焦量补偿

基于人眼近读时的调节，青少年群体用眼强度高、时间长及眼球尚未定型的特点，减少周边远视性离焦镜片近读区域需要做更大的光度差及斜散差补偿，以解决大于看远时的远视性离焦（见图 6ABCD ~ 图 8ABCD 及表 6）。对比四种设计的离焦量补偿值后得知：微正镜阵列设计 >

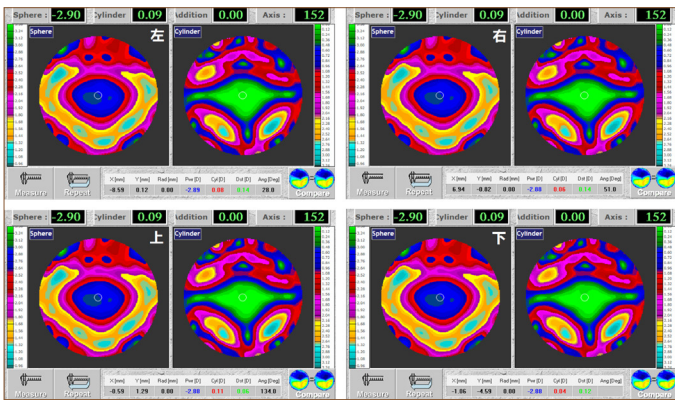


图 8A: 成长乐镜片的远用光度稳定区域

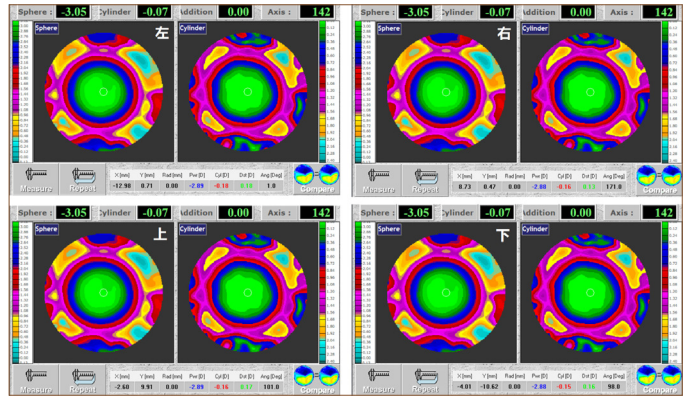


图 8C: 横椭圆形设计类镜片 -3.00DS 的远用光度稳定区域

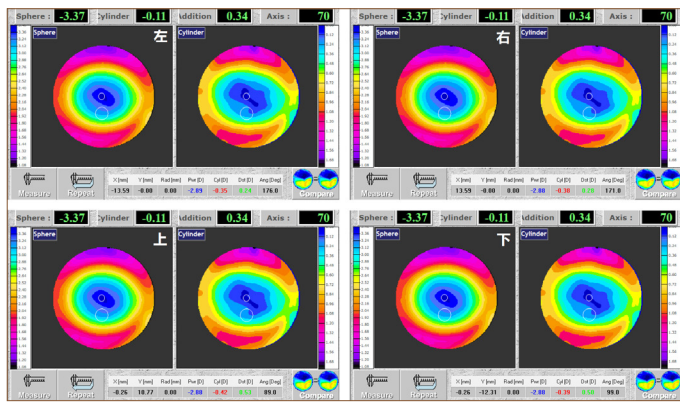


图 8B: 旋转对称设计类镜片 -3.00DS 的远用光度稳定区域

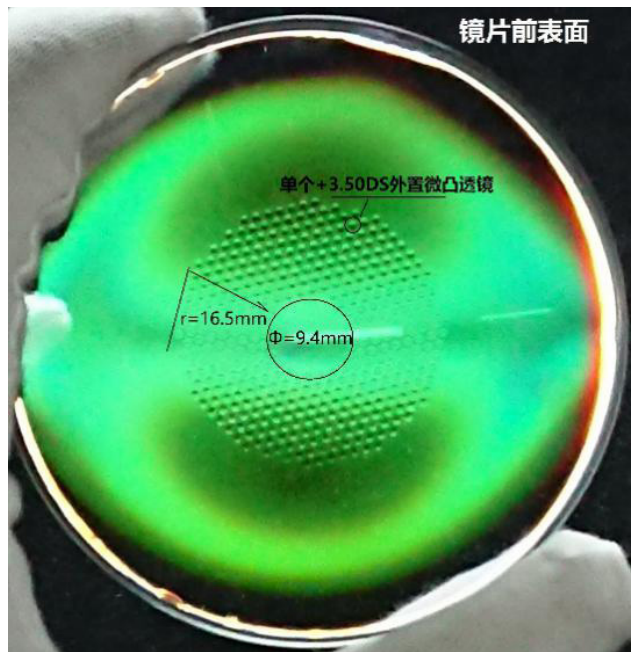


图 8D: 微正镜阵列设计镜片视野分布简图

非对称设计 > 横椭圆形设计 ≈ 旋转对称设计。

但充分的近视离焦由于光度补偿值远大于普通非球面镜片的补偿比例，因此而增加的散光在框架眼镜佩戴位置、眼球内旋等因素干扰下，很可能造成并加剧佩戴不适，所以市面上的普通减少周边远视性离焦眼镜实际无法达到角膜塑形镜矫枉过正的效果。

对非对称设计而言，可以结合旁中心离焦测量仪测量人眼离焦量，并依据镜架配戴位置等个性化参数进行一对一设计，进一步在耐受性可以承受的基础上提高近视性离焦量值，增强近视性离焦的功能性（如台湾的南鹏亨泰），这或将是此类镜片的发展趋势之一。

微正镜阵列设计通过金属模具雕刻微凸透镜，突破了离焦量增加导致散光值增加造成的不适，是目前近视离焦量最充分的光学镜片，并能造成一定的翻转拍效应。但这种环形鳞状分布的多个微透镜造成的眩光、多点反光以及高色散 PC 材质在生产 and 割边过程中造成的内应力，也是不

能回避的问题。

2.6 足够且光度稳定的近读视野范围

减少周边远视性离焦镜片务必要保证远、近视力的稳定性、持久性和舒适性，因设计目地不同于一般单焦点非球面镜片，由此带来的干扰性散光及使用群体的特殊性也就显得特别重要，分别体现在光度稳定性、稳定光度的范围广度和光度变化的平缓性及低散光干扰。

基于青少年群体近读用眼时间长、强度高、眼球尚未定型的特点，减少周边远视性离焦镜片需要有相较于远用范围更大的近读光度矫正区，以适应其用眼需求，这是减少周边远视性离焦镜片设计的归结点，也是实现良好的近

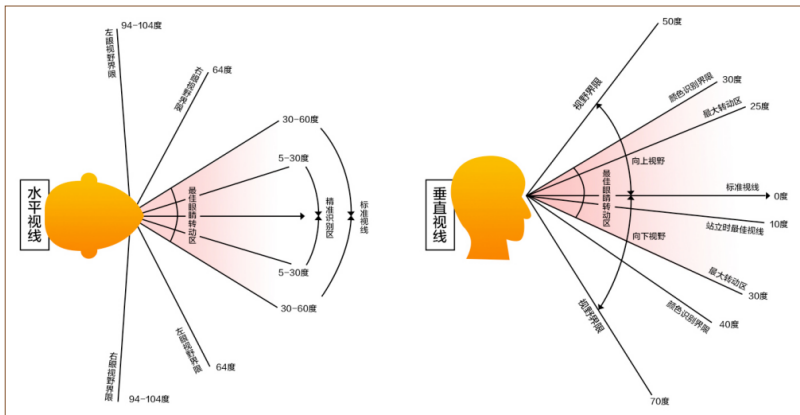


图 9：人眼视野（双眼水平视野与单眼垂直向视野）

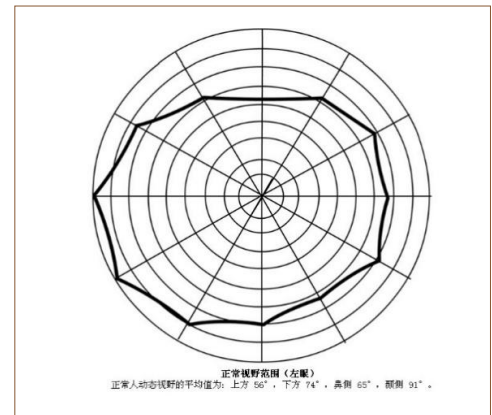


图 10：人眼视野（单眼水平和垂直向视野）^[3]

-3.00DS	平向光度变化（以光心为起点自左而右/mm）					垂直向光度变化（以光心为起点自上而下/mm）				
	测量范围及半径	球镜		柱镜		测量范围及半径	球镜		柱镜	
		范围	变量	范围	变量		范围	变量	范围	变量
成长乐非对称设计	左 0.10 ~ 30.21, 30.11	-2.86 ~ -1.03	-1.83	-0.08 ~ -0.60	-0.52	上 0.40 ~ 13.82, 13.42	-2.85 ~ -1.35	-1.50	-0.09 ~ -1.10	-1.01
	右 0.51 ~ 28.93, 28.42	-2.84 ~ -0.94	-1.90	-0.06 ~ -0.70	-0.64	下 0.09 ~ 25.79, 25.7	-2.87 ~ -0.58	-2.29	-0.08 ~ -1.15	-1.07
旋转对称设计	左 20.12, 右 20.12, 20.12	-1.95 ~ -3.05 ~ -1.11	-1.52	-0.90 ~ -0.07, -1.43	-1.095	上 20.31, 下 20, 20.155	-1.24 ~ -3.05 ~ -1.31	-1.775	-1.41 ~ -0.07, -1.36	-1.315
横椭圆形设计	左 25.90, 右 27.59, 26.745	-1.92 ~ -3.37 ~ -2.08	-1.37	-0.90 ~ -0.11 ~ -0.75	-0.715	上 21.05, 下 20.06, 20.55	-1.90 ~ -3.37 ~ -1.88	-1.48	-1.05 ~ -0.11 ~ -1.09	-0.96
微正镜阵列设计	在焦度计及轮廓仪上无法体现离焦变量，据称单个凸透镜为 +3.50DS，约产生 +2.50DS 离焦量									

表 6：四种设计的近视离焦镜片旁中心球柱镜补偿量



图 11：人眼近读时的内下旋眼位

视性离焦功能的基础。

（见图 9ABCD ~ 图 8ABCD 及表 6），对比四种设计的近视视野范围可知：微正镜阵列设计 > 非对称设计 > 横椭圆形设计 > 旋转对称设计。

结语：

光学设计是考虑和利用平均补偿值来缓解普通近视镜片的周边远视离焦（平均光度差和斜散差），目前视光临床测量得到的屈光度是眼睛的最大球镜值而非平均值，尚不足以给出普适性的旁中心（鼻颞侧及上下侧）周边远视

性离焦值的差异规律。

现有的减少周边远视性离焦镜片补偿值（多数为 +1.25DS）已解决普通单焦点镜片的离焦效应和部分近视眼本身的远视性离焦量，但其设计和加工仍有提升空间，那就是如何继续在提高现有多数镜片周边近视离焦量的基础上，保持镜片佩戴适应性的平衡。只有功能性和适应性达到一定的平衡点，才能降低对佩戴者使用镜片依从性的依赖，提高镜片理论设计功能在实践中的应用效果。

参考文献

- [1] 金益，不同调节刺激下人眼周边屈光状态的研究，温州医学院，硕士学位论文 2009 年 5 月 1 日
- [2] 戴宇森，林丹丹，吕平，陈浩，姜珺. 近视儿童配戴单光镜后的周边屈光研究，国际眼科杂志，2013 年 2 月第 13 卷第 2 期
- [3] 赵堪兴，杨培增.《眼科学》第七版 P39，人民卫生出版社，2008 年 6 月