关于大望远镜卡焦 R-C 系统像场改正镜设计的研究

潘君骅
（苏州大学现代光学技术研究所，苏州 215006）

摘要 研究了大望远镜卡焦 R－C 系统视场改正透镜的设计。以 2 米级口径的望远镜为例，卡氏焦点的焦比为 F/9，采用 F/3、F/2.5、F/2 及 F/1.5 四种主镜焦比，得到各自的优化结果。其最大像斑尺寸分别为 0″.290，0″.418，0″.934 及 1″.784。研究结果表明，卡焦 R-C 系统视场改正镜设计的难度取决于主镜的焦比，主镜焦比在 F/3 左右是很容易设计好的，而若小于 F/2.5,则设计难度增加很快。

关键词 卡氏焦点、R-C 系统、视场改正镜、焦比

1. 引 言

天文光学望远镜中，卡氏焦点是最常用的一个焦点，例如我国的 2.16 米望远镜。经典的卡塞格林系统视场受限于彗差，R-C 系统消除了初级彗差，但由于像散未消，视场仍不能很大。为了进一步扩大视场，办法是在像面之前加上透射的视场改正镜组。研究后发现，视场改正镜的设计难易，主要取决于主镜的焦比，而主镜焦比大，镜筒就长，从而圆顶的尺寸也大，造价就高。因此，主镜焦比的选择是关系到望远镜整个工程，应予以全面考察。我们从统一的限制条件，即同样的系统焦比 F/9，同样的视场大小，同样的使用波段，相同的改正镜片数，都采用球面，都要求平像面出发，设计比较了四种不同主镜焦比的 R-C 系统改正镜，得到很有规律性的结果。这对于今后在天文或空间光学系统中用到类似的系统时如何设计是很有参考价值的。

2. 设计的系统参数，公共的限制条件及结构的初始数据

我们设计的望远镜口径定为 2160mm，卡氏焦点焦比为 F/9,即系统焦距为 19440mm。焦点离主镜顶点距离为 1250mm。改正镜组由两片熔石英组成，均使用球面(不用非球面)，设计波段为 365nm 至 1400nm，视场范围 2ω＝52′(0°.86667)。系统结构如图 1 所示。

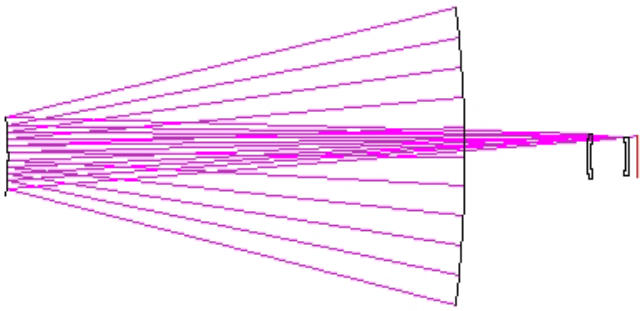


Fig. 1 Optical layout of the R-C system with corrector

我们针对主镜的焦比为 F/3,F/2.5,F/2 及 F/1.5,用两镜系统理论【1】解出了这

转载

四种情况未加改正镜时的系统参数，列于表 1。

Table 1. The primary construction data of the systems

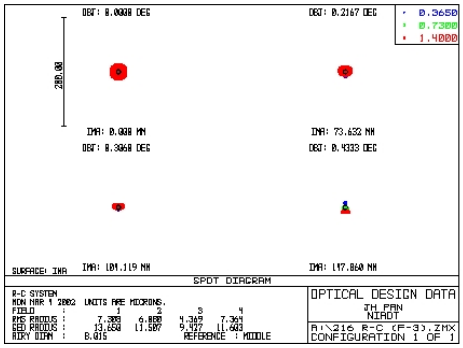
主镜焦比	F/3	F/2.5	F/2	F/1.5
主镜顶点曲率半径 R_1(mm)	-12960	-10800	-8640	-6480
副镜顶点曲率半径 R_2(mm)	-5797.5	-4003.34	-2604.16	-1539.43
两镜间距离 d(mm)	-4547.5	-3954.35	-3307.27	-2598.57
主镜非球面系数 e_1^2	1.094435	1.056418	1.030243	1.013713
副镜非球面系数 e_2^2	5.068719	3.689589	2.743578	2.079696
副镜位置参数 α	0.2982253	0.2677134	0.2344276	0.1979718
副镜放大率 β	-3	-3.6	-4.5	-6
三级像差系数 S_{III}	2.964252	3.355430	3.902853	4.7136160
三级像差系数 S_{IV}	3.706339	6.111878	10.429983	19.256122

2．优化设计结果

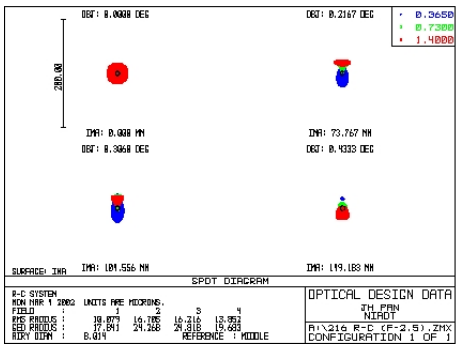
用两镜系统理论解出的结果，对轴上点及近轴区而言，有足够好的像质，为扩大视场，可以直接加入两片熔石英改正镜进行优化。ZEMAX 程序的功能很强，不必先求出改正镜组的初始结构，用平行平板输入即可。我们已知，后工作距离对像差校正的影响很大，因此不对它加以限制，尽量以像质好为准。优化后的结构数据列于表 2，其像斑点列图列于图 2。

Table 2. The data of correcting system for various F/# of the primary

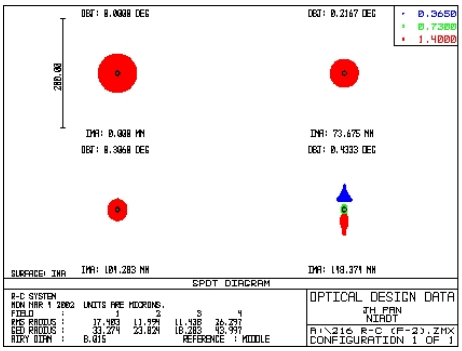
主镜焦比	F/3	F/2.5	F/2	F/1.5
副镜至第一面距离	5434	4850	4190	3470
r_1	3924.493	-3140.452	848.3936	767.7021
d_1(熔石英)	30	30	30	30
r_2	-4722.627	-1253.81	1147.871	1130.619
d_2(空气)	174.3699	220.742	252.1052	267.9355
r_3	-833.7293	-471.0449	-615.3328	-440.7116
d_3(熔石英)	18	18	18	18
r_4	-7145.577	-1598.012	4749.44	1302.992
ι′(后工作距离)	142.1095	86.2145	62.2171	49.8334



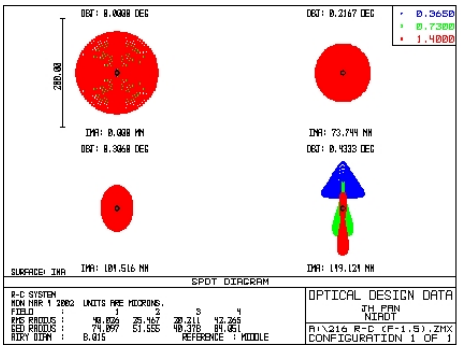
(a)primary F/3



(b)primary F/2.5



(c)primary F/2



(d)primary F/1.5

Fig. 2 The spot diagrams for various primary F/#

从图中数据可知，在全波段、全视场范围内的最大像斑，当主镜 F/3 时为 27.3μm,主镜 F/2.5 时为 49.64μm，主镜 F/2 时为 88μm，主镜 F/1.5 时为 168.1μm。如用角秒计(像斑尺寸/总焦距)则分别为 0″.290，0″.418，0″.934，1″.784。最佳结果像斑大小和主镜焦比的关系列于图 3，从图上曲线可以清楚看出明显的规律性。

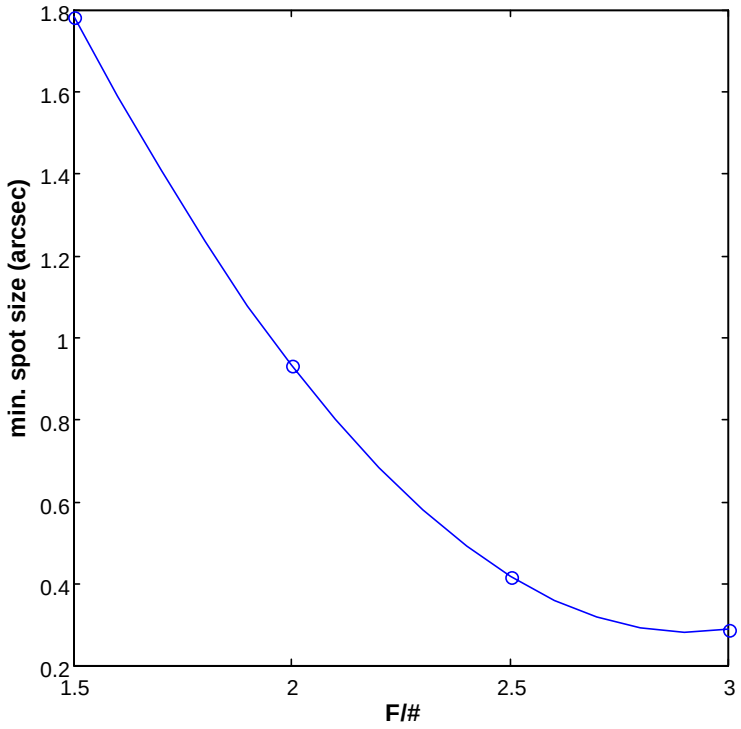


Fig.3 Spot size vs. F/# of the primary mirror

3. 讨论与结论

在上世纪 50 年代以前，由于非球面工艺方面的原因，大望远镜卡氏系统或 R-C 系统主镜焦比往往取得比较大，认为容易加工些。但主镜焦比大了，导致镜筒长，从而安装望远镜的圆顶室尺寸也大，造价也高。20 世纪后半世纪，由于工艺方面的进步，主镜的焦比可以做得很小，从而可降低望远镜的造价。在空间用的光学系统中，仪器的总尺寸往往是关键性的参数，从而主镜焦比的取舍更显得重要。主镜焦比小，改正镜设计难度大。从表 1 可知，难度主要来自三级像差系数 S_{III}及 S_{IV}的增大，尤其是 S_{IV}增大得很快。这也是主镜焦比小时，后工作距离变短的原因。上世纪 70 年代，国际上对大天文望远镜主焦点视场改正镜的研究较多【2】,【3】,【4】，同时也顾及卡氏焦点改正镜的设计【5】。那时从设计主焦点改正器的角度，十分注重降低主镜焦比的可能性，没有注重主镜焦比对卡氏焦点改正镜设计的影响。现在卡氏焦点除了天文之外，也受到空间光学的关注，所以，弄清其关系是有现实意义的。通过研究，可以得到以下几点结论：

1)卡氏焦点改正镜的设计难度取决于主镜焦比。主镜焦比在 F/3 左右，是很容易设计好的，如我国 2.16 米望远镜，若小于 F/2.5，其难度增加很快。

2)加改正镜后的卡焦 R-C 系统的后工作距离，随主镜焦比降低而减小。

3)要想进一步改善小焦比主镜时的象质，改正镜的片数必须增加，甚至采用非球面。

参考文献

【1】 光学非球面的设计、加工与检验，潘君骅，科学出版社，1994
【2】 C.G. Wynne, Appl. Opt. , Vol. 4,1885(1965)
【3】 D. H. Schulte, Appl.Opt.,Vol.2,141(1963)
【4】 S. Rosin, Appl.Opt.,Vol.3,151(1964)
【5】 D.H.Schulte,Appl.Opt.,Vol.2,(1966)

Research on the field corrector design for the R-C system of the large telescope

Cassegrain focus

PAN Jun-hua
(Modern Optical Tecnology Institute of Suzhou University,Suzhou 215006;China)

Abstract

The R-C system of Cassegrain focus needs corrector for extending the effective field with good image quality. The result of optimization is sensitively depends on the focal ratio of the primary mirror of the telescope. Four sets of correctors are designed for various F/# of the primary mirror of a 2-meter telescope:F/3, F/2.5, F/2,and F/1.5. The optimized spot of each corrector are:0.29,0.418,0.934 and1.784 arcsec respectively. The conclusion is: for the F/3 primary, it is very easy to design the field corrector, but if the primary F/# goes down to F/2.5, the corrector

should be complicated more than to use two elements.

Key: Cassegrain focus; R-C system; field corrector; focal ratio(F/#).