

EPIC 202060577的双星解轨和物理参数研究*

赵世杰¹ 付建宁^{1†} 王江涛¹ 李春乾^{2,3} 王佳鑫¹ 宗伟凯¹

(1 北京师范大学天文系 北京 100875)

(2 中国科学院国家天文台 北京 100101)

(3 中国科学院大学 北京 100049)

摘要 EPIC 202060577是一个包含B型子星的食双星系统。根据K2测光数据获得了45个次极小时刻，确定其轨道周期为1.019648 d并给出了历元公式。基于大天区面积多目标光纤光谱望远镜(Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope, LAMOST¹，又称郭守敬望远镜)的光谱数据，使用ROTFIT程序获得了目标系统的主星光谱型、有效温度、金属丰度与表面重力加速度，并计算得到了视向速度曲线。通过PHOEBE(Physics Of Eclipsing Binaries)建模程序和emcee(Affine Invariant Markov chain Monte Carlo Ensemble Sampler)拟合程序，对EPIC 202060577进行了轨道求解并分析了Rossiter-McLaughlin效应对视向速度曲线的影响。最终结果表明EPIC 202060577是一个质量比 $q=0.11$ 的分离结构食双星系统($q=M_2/M_1$, M_1 、 M_2 分别为主星和伴星质量)，主星的光谱型为B2/3，主星和伴星的质量、半径和有效温度分别为 $M_1=12.56M_\odot$ 和 $M_2=1.39M_\odot$, $R_1=4.58R_\odot$ 和 $R_2=1.85R_\odot$, $T_1=18979$ K和 $T_2=8710$ K, M_\odot 和 R_\odot 分别为太阳质量和半径。根据所获得的物理参数，对EPIC 202060577的演化阶段进行了讨论。

关键词 双星：掩食，技术：测光，技术：光谱，方法：数据分析

中图分类号：P144； 文献标识码：A

1 引言

根据目前我们对恒星的认识，银河系中超过半数的恒星存在于双星或多星系统中^[1]。按不同的观测方式，双星可以分为：目视双星、天体测量双星、光谱双星、食双星。当互相绕转的双星系统满足一定的视线角度，观测者将会看到它们互相掩食，称之为食双星。食双星系统的轨道平面与视线方向几乎平行，这导致食双星系统需要合适的轨道倾

2020-08-04收到原稿, 2020-09-25收到修改稿

*国家自然科学基金项目(11833002)资助

†jnfu@bnu.edu.cn

¹郭守敬望远镜(大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜, LAMOST)是由国家发展和改革委员会资助，由中国科学院承建的重大科学工程项目。LAMOST望远镜由中国科学院国家天文台负责运行和管理。

角才可以被观测发现。食双星的数目只占双星的 $<0.3\%$, 却有着重要意义。它们是恒星基本参数的重要来源^[2], 也是重要的天体物理实验室。

大质量恒星通常是O型或B型星, 是银河系中非常亮的天体。通过紫外波段观测, 人们发现这一类恒星拥有强大的星风物质损失, 这对恒星内部结构及演化会产生重要影响。食双星中有非常少的一部分包含光谱型为O型和B型的子星, 其主要原因是OB型恒星演化相对较快, 观测到的数量较少。求解此类食双星系统轨道, 例如: GT Cephei^[3]、GU CMa^[4], 一定程度上帮助我们了解了其双星系统中的星风物质损失以及潮汐效应等物理过程, 进而更加细致地了解包含大质量恒星的双星系统的演化规律。这对于一些基本物理问题的认识, 如恒星级大质量黑洞形成、引力波源等都具有重要意义。为了得到双星系统及恒星的相关信息, 需要使用各种观测手段获得数据, 例如测光观测、光谱观测、视向速度测量、天体测量等, 不同的观测手段可以获得不同的物理参数。结合多种观测手段, 获得一系列参数对构建食双星系统理论模型加以限制, 将对食双星解轨提供很大的帮助。随着大规模巡天的开展, 例如SDSS^[5] (Sloan Digital Sky Survey)、大天区面积多目标光纤光谱望远镜(Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope, LAMOST, 又称郭守敬望远镜)^[6]、Kepler^[7]等, 人们获取的高精度测光数据和光谱数据呈指数级增长。这一类巡天项目提供的数据库, 包含了恒星、星系、类星体等目标, 为研究人员提供了选源的便利、高质量的数据并节省了观测时间。

我们通过K2变星星表^[8]与LAMOST DR7 (第7次数据释放)交叉匹配, 得到K2 Campaign 0天区一个含B型子星的食双星系统: EPIC 202060577 (赤经为06:12:19.19, 赤纬为 $+25^\circ 34' 53.07''$, V波段星等为10.47^[9])。第2节介绍了观测数据; 第3节利用Observed minus Calculated (O-C)算法分析光变曲线确定了轨道周期, 并给出了45个次极小时刻; 第4节对光谱数据进行了分析, 获得了恒星的光谱型、有效温度等参数和视向速度; 第5节使用PHOEBE^[10](Physics Of Eclipsing Binaries)对EPIC 202060577进行建模与轨道求解, 并在文章最后进行了总结与讨论。

2 观测数据

EPIC 202060577的测光数据来自于Kepler空间望远镜K2阶段^[7]的长曝光测光数据, 如图1 (a)所示, 采样时间为1800 s, 数据长度约76 d, 观测时间为2014年3月12日至2014年5月27日。Luger等^[11]消除了原始测光数据的系统性误差, 处理后的测光数据如图1 (b)所示。我们从MAST (Mikulski Archive for Space Telescopes)网站下载了Luger等人处理后的测光数据。从图1 (b)可以看出测光数据右侧部分具有一定的整体趋势, 我们使用一阶函数对本文第3节得到的次极小时刻拟合后对右侧整体进行了去趋势化处理, 如图1 (c)–(d)所示。由于测光数据左侧部分存在误差, 在叠加相位时使光变曲线整体弥散, 并且右侧测光数据覆盖了足够的相位, 因此本文解轨工作中使用测光数据右侧部分, 如图1 (d)所示。

EPIC 202060577的光谱数据来自LAMOST DR7中信噪比大于20的28条低分辨率光谱。LAMOST的原始观测数据是二维CCD (Charge Coupled Device)图像, 每次曝光得到32 (红蓝端各16)帧图像数据, 每帧250个原始光谱, 其中良好的CCD图像才会被抽取为一维光谱。抽取一维光谱使用的方法是孔径抽谱法, 程序为LAMOST 2D pipeline.

与中分辨率光谱处理不同的是, 对低分辨率光谱将多次曝光合并后再把红蓝端合并^[12]. 本文使用的单条低分辨率光谱波长覆盖范围是3690–9100 Å, 分辨率约为1800, 单次曝光时长为600 s. 图2展示了其中一条光谱, 观测日期为2016年11月28日, r波段信噪比为809.43.

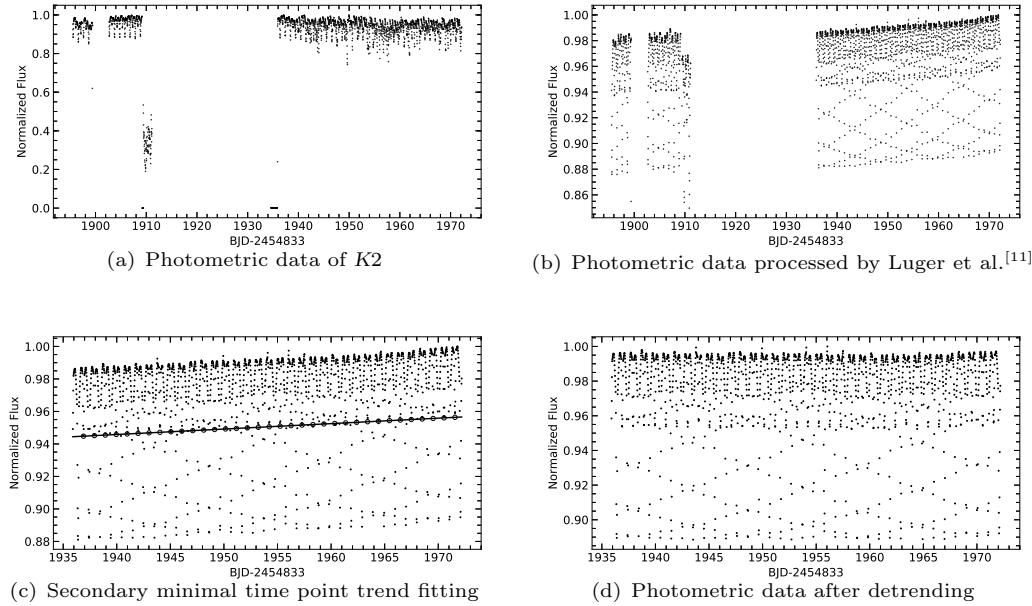


图 1 EPIC 202060577测光数据, BJD为质心儒略日.

Fig. 1 Photometric data of EPIC 202060577, BJD is barycentric Julian day.

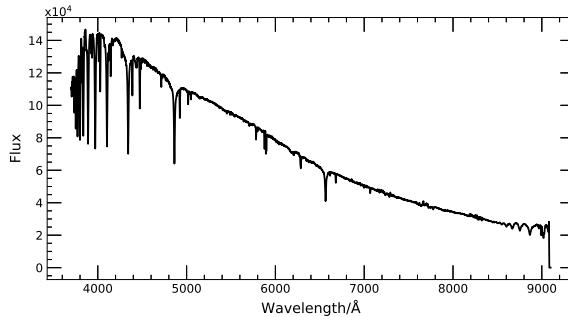


图 2 EPIC 202060577的低分辨率光谱举例

Fig. 2 A low resolution spectrum of EPIC 202060577

3 轨道周期

目前常用计算食双星轨道周期的方法, 是计算光变曲线至少两个主极小(次极小)时刻的差值得到轨道周期, 这一方法非常适合高精度、连续的Kepler数据^[13]. 如果观测

数据中存在多个极小时刻,便可以通过最小二乘法: $B_j - B_k = nP$ 得到系统的周期,其中 B_j 和 B_k 为两个极小时刻, n 为整数,通常为圈数 E , P 为轨道周期. EPIC 202060577 的长曝光数据在主极小和次极小掩食部分的数据点均为 8 个且主极小掩食更深,在多项式拟合确定极小时刻时,获得的主极小时刻误差显著大于次极小时刻,因此我们使用二阶多项式拟合光变曲线的次极小掩食部分确定次极小时刻,然后利用 O-C 算法得到了精确的轨道周期 1.019648 d, 图 3 为 O-C 图, 表 1 是得到的 45 个次极小时刻. 我们计算出 EPIC 202060577 的历元公式:

$$\text{Min.II} = \text{BJD}2456729.1067 + 1.019648(5)E, \quad (1)$$

其中 Min.II 为次极小时刻, $T_0 = \text{BJD}2456729.1067$ 为测光数据中我们获得的第 1 个次极小时刻, 括号中的数字表示有效数末位的误差. 由于测光数据长度仅有 76 d, 因此不再进一步估算 EPIC 202060577 的周期变化率.

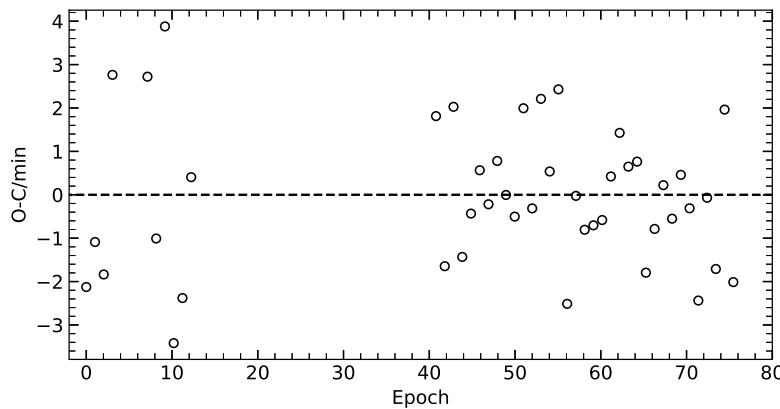


图 3 EPIC 202060577 的 O-C 图. 空心点为 O-C 数据点.

Fig. 3 The O-C diagram of EPIC 202060577. The open circles are the O-C residuals.

视向速度是 Li 等² 光谱处理所得. 其原理为计算不同视向速度(多普勒位移)下模板光谱与观测光谱的 Cross-Correlation Function (CCF)^[14] 并使用多项式拟合 CCF 的峰值以确定视向速度. CCF 的定义积分公式为:

$$\text{CCF}(h) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\lambda) w(\lambda + h) d\lambda, \quad (2)$$

其中 f 是归一化观测光谱, w 是归一化模板光谱, λ 是波长, h 是视向速度对应的波长. 在实际运算时我们使用离散的归一化 CCF 值计算:

$$R = \frac{\sum_{l=1}^N (O_l - \bar{O})(C_l - \bar{C})}{\sigma_o \sigma_c}, \quad (3)$$

其中 R 是归一化的交叉相关值, l 和 N 是采样点和光谱总采样点数, O_l 和 C_l 是归一化观测与理论光谱流量, σ_o 和 σ_c 代表两个光谱流量的标准差. 对于每个视向速度值, 均需要使

²Li C Q, Shi J R, Yan H L. in prep, 2021

用下式改正多普勒效应导致的模板光谱移动:

$$\lambda = \lambda_0(1 + v/c), \quad (4)$$

c 为光速, 视向速度 v 的取值范围为 $-500\text{--}500 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, 步长为 $1 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. 在计算光谱得到的视向速度值处, CCF会有一个峰值. 对EPIC 202060577的每条低分辨率光谱, 计算光谱中巴尔末线系部分的CCF值, 并使用多项式拟合巴尔末线系的CCF峰值位置后计算平均值和标准差给出视向速度和误差.

表 1 EPIC 202060577的次极小值时刻及O-C值

Table 1 Secondary minimal times and O-C residuals of EPIC 202060577

BJD (Min.II)	E	O-C/d	BJD (Min.II)	E	O-C/d
2456729.1067	0	-0.0015	2456783.1499	53	0.0004
2456730.1271	1	-0.0008	2456784.1708	54	0.0017
2456731.1462	2	-0.0013	2456785.1871	55	-0.0017
2456732.1690	3	0.0019	2456786.2084	56	-0.0000
2456736.2476	7	0.0019	2456787.2275	57	-0.0006
2456737.2647	8	-0.0007	2456788.2471	58	-0.0006
2456738.2877	9	0.0027	2456789.2670	59	-0.0004
2456739.3023	10	-0.0024	2456790.2873	60	0.0003
2456740.3226	11	-0.0017	2456791.3077	61	0.0010
2456741.3442	12	0.0003	2456792.3268	62	0.0005
2456769.8953	40	0.0013	2456793.3465	63	0.0005
2456770.9126	41	-0.0011	2456794.3644	64	-0.0012
2456771.9348	42	0.0014	2456795.3847	65	-0.0005
2456772.9520	43	-0.0010	2456796.4051	66	0.0002
2456773.9724	44	-0.0003	2456797.4242	67	-0.0004
2456774.9927	45	0.0004	2456798.4446	68	0.0003
2456776.0118	46	-0.0002	2456799.4637	69	-0.0002
2456777.0322	47	0.0005	2456800.4818	70	-0.0017
2456778.0513	48	-0.0000	2456801.5031	71	-0.0000
2456779.0705	49	-0.0004	2456802.5216	72	-0.0012
2456780.0920	50	0.0014	2456803.5438	73	0.0014
2456781.1100	51	-0.0002	2456804.5608	74	-0.0014
2456782.1314	52	0.0015			

4 光谱数据处理

我们使用ROTFIT程序^[15]对光谱进行了模板拟合和计算, 确定了恒星基本参数, 如

光谱型为B2/3、有效温度约为19000 K、表面重力加速度为3.76 dex和金属丰度为−0.02 dex等, 表2为具体分析结果.

表2 ROTFIT程序分析结果
Table 2 ROTFIT program analysis results

LMJD	Spectral class	T_1 /K	σ_{T_1} /K	$\lg[g/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-2})]/\text{dex}$	$\sigma_{\lg g}/\text{dex}$	[Fe/H]/dex	$\sigma_{[\text{Fe}/\text{H}]}/\text{dex}$
57407	B2IV-V	19087	900	3.76	0.12	−0.03	0.11
57716	B2.5V	18855	976	3.76	0.12	−0.02	0.11
57719	B2.5V	18712	1114	3.76	0.11	−0.01	0.11
57721	B2V	18999	897	3.76	0.12	−0.02	0.11
57724	B3V	18935	852	3.76	0.12	−0.02	0.11
57725	B3V	19014	880	3.76	0.12	−0.03	0.11
57728	B2IV-V	19050	943	3.76	0.12	−0.02	0.11
57740	B3V	18728	1103	3.75	0.12	−0.02	0.11
57749	B2V	18993	909	3.76	0.12	−0.02	0.11
57758	B3V	18956	1107	3.75	0.12	−0.02	0.11
57759	B2.5V	18617	1155	3.75	0.12	−0.02	0.11
57760	B2.5V	18829	991	3.76	0.11	−0.02	0.1
57782	B2.5V	18640	1157	3.75	0.12	−0.02	0.11
57788	B2V	19048	941	3.76	0.11	−0.01	0.11
57789	B2IV-V	18673	1094	3.76	0.11	−0.02	0.11
57798	B2IV-V	19040	924	3.75	0.12	−0.02	0.11
57799	B3V	19031	882	3.76	0.11	−0.02	0.11
57811	B3V	19007	906	3.76	0.12	−0.03	0.11
57822	B2.5V	19051	951	3.76	0.11	−0.01	0.1
57823	B2.5V	19125	936	3.75	0.12	−0.02	0.11
57828	B3V	18935	836	3.75	0.12	−0.02	0.11
57840	B3V	19079	1044	3.76	0.12	−0.02	0.11
58076	B2IV-V	19010	913	3.75	0.12	−0.02	0.11
58077	B2IV-V	19008	917	3.75	0.12	−0.02	0.11
58099	B2IV-V	19062	944	3.76	0.11	−0.02	0.11
58105	B2IV-V	19006	901	3.75	0.12	−0.02	0.1
58109	B2IV-V	18986	914	3.75	0.12	−0.02	0.11
58135	B2IV-V	19008	952	3.76	0.12	−0.02	0.1

Note: LMJD is local modified Julian date; T_1 is effective temperature of the primary star; g is surface gravitational acceleration; [Fe/H] is metal abundance; σ_{T_1} , $\sigma_{\lg g}$ and $\sigma_{[\text{Fe}/\text{H}]}$ are the corresponding error.

由于观测时间不同等原因会给视向速度计算造成一定的系统误差,因此需要对视向速度进行定标。我们使用Huang等人2018年所发表的标准星视向速度星表^[16]与LAMOST DR7中相同日期、相同plate中的恒星进行交叉匹配,再利用匹配得到的标准星的低分辨率光谱计算其视向速度,并与APOGEE (APO Galactic Evolution Experiment)标准星视向速度进行一次拟合,以标准星视向速度误差的方差倒数作为权重,对EPIC 202060577的视向速度进行定标改正。表3为定标后的EPIC 202060577视向速度。

表3 EPIC 202060577的视向速度
Table 3 Radial velocity of EPIC 202060577

BJD	Phase	V_p /(km·s ⁻¹)	σ /(km·s ⁻¹)	BJD	Phase	V_p /(km·s ⁻¹)	σ /(km·s ⁻¹)
2457407.1232	0.3748	-2.7	14.9	2457789.0979	0.9892	24.1	11.1
2457716.2875	0.5818	43.3	7.4	2457798.0195	0.7388	64.7	9.5
2457719.2523	0.4894	20.1	10.2	2457799.0444	0.7440	61.8	5.9
2457721.2621	0.4605	15.8	11.4	2457811.0142	0.4831	28.5	11.1
2457724.2490	0.3898	1.2	10.5	2457822.0118	0.2688	-26.3	10.9
2457725.2546	0.3760	-6.4	13.9	2457822.9874	0.2256	-16.4	17.1
2457728.2408	0.3047	-16.8	9.6	2457827.9932	0.1349	-9.0	8
2457740.2126	0.0458	4.4	9.4	2457839.9830	0.8937	38.7	9.3
2457749.2099	0.8697	62.0	5.9	2458076.2407	0.5989	49.0	4.1
2457758.1868	0.6737	54.6	9.1	2458077.2776	0.6158	49.1	1.9
2457759.1799	0.6476	55.5	7.8	2458099.2077	0.1232	3.0	10.6
2457760.1847	0.6331	56.8	9.3	2458105.1716	0.9723	42.6	5.7
2457782.0810	0.1075	-5.1	10.9	2458109.1640	0.8878	61.0	8.8
2457788.0890	0.9996	21.0	14.4	2458135.0914	0.3155	-1.0	4.7

Note: V_p is the radial velocity of primary star; σ is error.

5 解轨与建模

结合高精度K2测光数据和LAMOST视向速度,我们使用PHOEBE(v2.2)^[10]对EPIC 202060577进行了轨道求解。由于只有单条视向速度曲线,无法直接确定质量比 q ($q = M_2/M_1$, M_1 、 M_2 分别为主星和伴星质量),为了寻找合适的质量比,假定质量比位于0.05–1.0之间,步长间隔为0.05。根据光变曲线选择分离模型运行PHOEBE,并记录每个生成模型与测光数据的残差平方和。因为残差平方和在0.3之后是递增的,所以图4仅展示了0.05–0.3之间的质量比搜寻,并在0.05–0.15之间使用步长为0.01进行进一步计算。通过质量比搜寻确定 q 的可能值在0.11附近。我们将0.05–0.15作为质量比 q 的取值范围后使用emcee (Affine Invariant Markov chain Monte Carlo Ensemble Sampler)^[17]对光变

曲线、视向速度曲线和PHOEBE生成的模型进行拟合。emcee是一个基于Markov Chain Monte Carlo (MCMC)原理开发的程序，利用贝叶斯框架计算参数集、拟合模型的后验概率，确定参数值是否为范围内最佳拟合值^[18]。

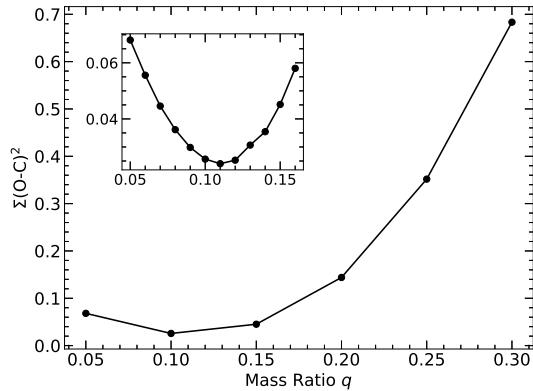


图 4 EPIC 202060577的质量比搜寻。 $\Sigma(O-C)^2$ 为拟合残差平方的求和，最小值在0.11附近。

Fig. 4 The q -search for EPIC 202060577. $\Sigma(O-C)^2$ is the sum of fitting residual squares with a local minimum found around 0.11 as zoom in the inside box.

我们使用PHOEBE的分离双星模型，输入了质量比、轨道倾角、半长轴、周期、主星及伴星有效温度、半径、热反照率(A_1 和 A_2)的参数范围。emcee共对200个参数链进行2800次迭代后生成560000个模型，收敛情况良好。我们注意到图5中光变曲线掩食部分的拟合残差不均匀，根据Clark Cunningham等^[19]2019年工作中对这一问题的解释，可能是由恒星自转或临边昏暗导致。我们参考van Hamme^[20]1993年工作中的对数公式和PHOEBE理论模型对光变曲线的拟合情况，将主星和伴星的临边昏暗系数分别调整为0.35和0.44，并对主星的同步自转系数在0.9–1.1区间进行微调，获得的最优值为0.95。我们根据最终模型获得了理论参数并通过高斯拟合emcee在参数区间的取值情况^[21]给出参数误差。最优模型参数及误差如表4所示，最优理论模型与光变曲线拟合情况如图5所示。可以看到，理论计算光度变化几乎与K2观测数据一致，残差的弥散度大致为0.001。

Rossiter-McLaughlin效应取名于Rossiter和McLaughlin共同发表的文章，这一效应解释了掩食对视向速度产生的多普勒效应(Doppler reflex motion)^[22]，在视向速度曲线上的影响表现为收窄和变宽。我们分别给出是否考虑Rossiter-McLaughlin效应对视向速度曲线的影响，见图6。可以看出考虑此效应对视向速度拟合程度的改善不大。图7为理论模型分别位于相位0和0.25的构形示意图。

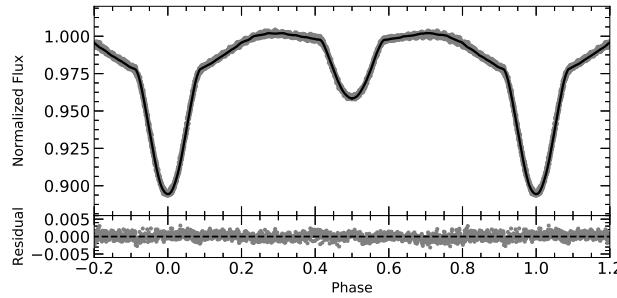


图 5 EPIC 202060577的光变曲线. 点代表观测数据, 实线是理论光变曲线. 主极小和次极小掩食部分拟合残差的趋势可能是由恒星自转或临边昏暗所致.

Fig. 5 Light curves of EPIC 202060577. The points represent observational data and the solid lines show theoretical light curves. The trend of the fitting residuals of the primary minimum and the secondary minimum eclipse may be caused by the rotation of the star or the limb darkening.

表 4 EPIC 202060577的轨道解
Table 4 The orbital solution of EPIC 202060577

Parameter	Range	Estimate
a/R_{sun}	(5, 15)	10.26 ± 0.02
q	(0.05, 0.15)	0.1106 ± 0.0024
$i/^\circ$	(60, 89)	65.87 ± 0.02
T_1/K	(18000, 20000)	18979 ± 25
T_2/K	(5000, 15000)	8710 ± 27
R_1/R_{sun}	(3, 6)	4.58 ± 0.01
$R_{1\text{max}}/R_{\text{sun}}$		5.93
R_2/R_{sun}	(1.5, 3.5)	1.85 ± 0.01
$R_{2\text{max}}/R_{\text{sun}}$		2.17
M_1/M_{\odot}		12.56
M_2/M_{\odot}		1.39
A_1		1.0 (fixed)
A_2	(0.6, 1)	0.68
P/d	1.019648	1.019648

Note: a is the semi-major axis of the orbit; i is the orbital inclination; 1 and 2 represent the primary star and the secondary star, respectively; R_{max} is the critical value of the equivalent radius for the given morphology; A is the albedo.

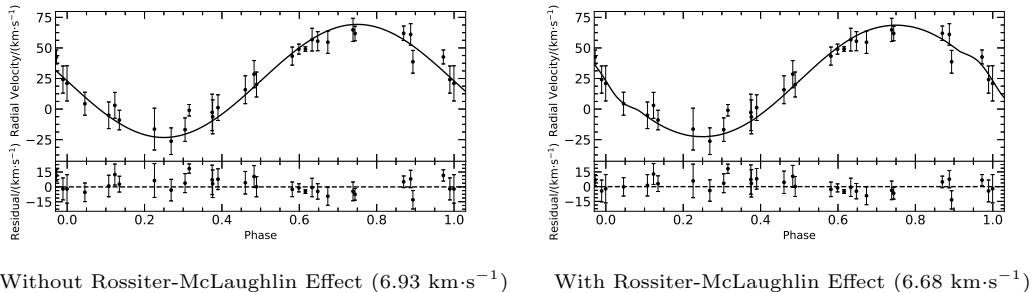


图6 EPIC 202060577的主星视向速度曲线. 点代表观测数据, 实线是理论视向速度曲线. 括号中数字为残差的标准差.

Fig. 6 Radial velocity curve of EPIC 202060577. The points represent observational data and the solid lines show theoretical radial velocities. The numbers in brackets are the standard deviation of the residuals.

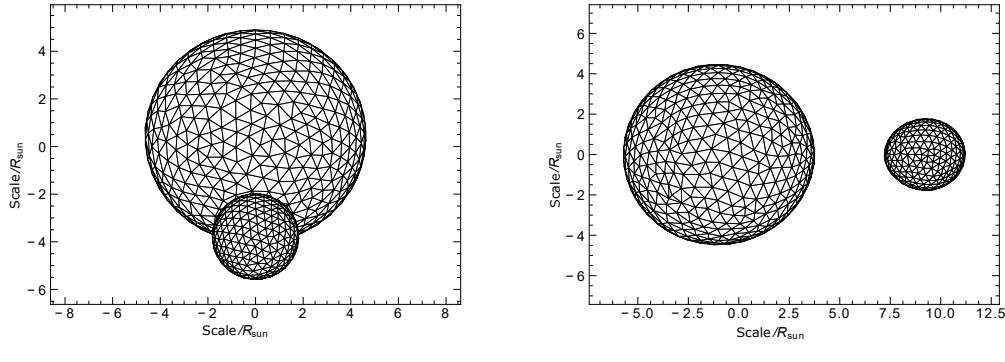


图7 EPIC 202060577的理论构形示意图. 半径大的为主星, 半径小的为次星. 所有单位均为太阳半径 R_{sun} .

Fig. 7 The theoretical orbit diagrams of EPIC 202060577. The star with big size is the primary star and the small one is the secondary. All units are in solar radius R_{sun} .

6 总结与讨论

我们结合K2测光数据和LAMOST的低分辨率光谱数据研究了食双星EPIC 202060577. 通过测光数据, 共收集到45个次极小时刻, 并据此给出系统的线性历元公式. 依靠光谱数据分析, 我们得到了主星的光谱型为B2/3、有效温度约为19000 K、表面重力加速度为3.76 dex和金属丰度为-0.02 dex, 并计算了主星的视向速度. 根据PHOEBE建模得到的几何结构和物理参数, 确定这是一个质量比为 $q=0.11$ 的分离结构食双星系统. 主星质量为 $12.56 M_{\text{sun}}$, 半径为 $4.58 R_{\text{sun}}$, 伴星质量为 $1.39 M_{\text{sun}}$, 半径为 $1.85 R_{\text{sun}}$.

随着子星的内核燃烧,当主星(或伴星)率先膨胀并充满洛希瓣时,将通过拉格朗日点L1与另一颗子星发生物质交换,因此半相接结构可能会是EPIC 202060577的下一个演化阶段。这对了解含B型的大质量恒星的双星演化过程具有重要意义。由于EPIC 202060577的子星组成和演化阶段较为特殊,这项工作所获得的参数解只是我们基于目前的数据所获得的最可能的结果。因此,利用新的多色测光与中高分辨率光谱数据可以对这个系统进行进一步深入研究。

参考文献

- [1] Abt H A. ARA&A, 1983, 21: 343
- [2] Torres G, Andersen J, Giménez A. A&ARv, 2010, 18: 67
- [3] Çakırli Ö. NewA, 2015, 35: 71
- [4] Shokry A, Saad S M, Hamdy M A, et al. NewA, 2018, 59: 8
- [5] Stoughton C. AJ, 2002, 123: 3487
- [6] Zhao G, Zhao Y H, Chu Y Q, et al. RAA, 2012, 12: 723
- [7] Howell S B, Sobeck C, Haas M, et al. PASP, 2014, 126: 398
- [8] Armstrong D J, Kirk J, Lam K W F, et al. A&A, 2015, 579: A19
- [9] Høg E, Fabricius C, Makarov V V, et al. A&A, 2000, 355: L27
- [10] Prša A. Modeling and Analysis of Eclipsing Binary Stars: The Theory and Design Principles of PHOEBE. Bristol: IOP, 2018
- [11] Luger R, Agol E, Kruse E, et al. AJ, 2016, 152: 100
- [12] Luo A L, Zhao Y H, Zhao G, et al. RAA, 2015, 15: 1095
- [13] Zasche P, Wolf M. A&A, 2013, 558: A51
- [14] Merle T, Van Eck S, Jorissen A, et al. A&A, 2017, 608: A95
- [15] Frasca A, Molenda-Żakowicz J, De Cat P, et al. A&A, 2016, 594: A39
- [16] Huang Y, Liu X W, Chen B Q, et al. AJ, 2018, 156: 90
- [17] Foreman-Mackey D, Hogg D W, Lang D, et al. PASP, 2013, 125: 306
- [18] Jatmiko A T P, Yusuf M, Putra M. Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1127: 012048
- [19] Clark Cunningham J M, Rawls M L, Windemuth D, et al. AJ, 2019, 158: 106
- [20] van Hamme W. AJ, 1993, 106: 2096
- [21] Johnston C, Buysschaert B, Tkachenko A, et al. MNRAS, 2017, 469: L118
- [22] Triaud A H M J. The Rossiter–McLaughlin Effect in Exoplanet Research//Deeg H J, Belmonte J A. Handbook of Exoplanets. Cham: Springer, 2018: 1375-1401

Physical Parameters of the Eclipsing Binary System EPIC 202060577

ZHAO Shi-jie¹ FU Jian-ning¹ WANG Jiang-tao¹ LI Chun-qian^{2,3}
WANG Jia-xin¹ ZONG Wei-kai¹

(¹ Department of Astronomy, Beijing Normal University, Beijing 100875)
(² National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)
(³ University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

ABSTRACT EPIC 202060577 is an eclipsing binary system containing a B-type primary star. From the *K2* photometry, 45 secondary minimal times were obtained. The orbital period is determined to be 1.019648 days and the epoch formula is derived. Based on LAMOST (Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope) spectra, the ROTFIT program is used to obtain spectral class, effective temperature, metal abundance and surface gravity of the primary star, and calculate the radial velocities. Through the PHOEBE (Physics Of Eclipsing Binaries) modeling program and emcee (Affine Invariant Markov chain Monte Carlo Ensemble Sampler) fitting program, a solution of the orbital parameters is obtained and the influence of Rossiter-McLaughlin effect on the radial velocity curve is analyzed. The final solution shows that EPIC 202060577 is a detached eclipsing binary system with mass ratio $q=0.11$, the spectral class of the primary star is B2/3. The mass, radius and effective temperature of the primary and secondary stars are $M_1=12.56M_\odot$ and $M_2=1.39M_\odot$, $R_1=4.58R_{\text{sun}}$ and $R_2=1.85R_{\text{sun}}$, $T_1=18979$ K and $T_2=8710$ K, respectively, here M_\odot and R_{sun} are the solar mass and solar radius. According to the physical parameters, the evolutionary phase of EPIC 202060577 is discussed.

Key words binaries: eclipsing, techniques: photometric, techniques: spectroscopic, methods: data analysis