

唐宋时期星表精度初探^{*}

郭 盛 炽

(中国科学院上海天文台, 上海 200030)

提 要

中国古代的星表工作在唐宋时期有了明显的进步。分析表明,一行观测得到的恒星去极度数据精度是不高的。这可能是这些数据未能反映实际精度的缘故。一行发现了在不同时期观测得到的恒星位置数据之间存在差异,虽然并未认识到这是由岁差现象引起的,但由此人们开始了对恒星位置的经常性观测,这一发现具有相当重要的意义。宋代的两本星表精度有显著的提高。皇祐星表的精度接近 $0^{\circ}.5$,与数据的读数精度相当,基本上反映了当时恒星观测的精度水平。

主题词: 中国古代星表 — 精度 — 系统误差

分类号: P1—092

1 引 言

唐宋时期,我国古代天文学获得较为明显的发展,星表工作亦是如此。唐初,李淳风制作的浑仪就已经采用了内外三层互相套叠的结构^[1],作为观测恒星位置重要手段的大型天文仪器已经基本定型。唐中期著名天文学家一行与梁令瓚合作制成的黄道游仪又在结构上作了不少改进,将其提高到一个新的水平^[1]。北宋时又有多架著名的浑仪问世,其结构及安装技术屡有改善。沈括还对浑仪的有关问题进行了探讨^[2],从而使浑仪的设计、使用更趋合理。这些都为编制相对精确的恒星位置表提供了技术基础,使星表的精度水平有相当的提高。

2 唐代一行对恒星位置的观测

在新旧唐书的天文志中均记述有一行使用黄道游仪观测得到的一些恒星位置数据^[1],这仅是与以前人们所获数据之不同者,应只是观测数据之一部分。它包括二十八宿距星的去极度数据、部分宿度数据、某些星的入宿度或黄道、赤道内外度数据。有些并未列出具体的数据,只是有关恒星与二十八宿、黄道、赤道相对位置情况的描述。从所涉及的恒星数目和数据的完整性上来看,这些记述与严格意义上的星表还是有相当大的差距的,不过也同样包含当时恒星观测情况的有关信息。

表1列出了二十八宿的有关数据。宿度数据取自《新唐书·历志四上》;《旧唐书·历志三》中也有完全相同的数据。《旧唐书·天文志上》中宿度数据不完整,其中有数宿不同,疑有舛错。距星去极度数据取自《新唐书·天文志一》;《旧唐书·天文志上》中除心宿为111度、参宿为92度外,其它数据完全相同,表明它们是同源的。利用岁差公式可以计算出当时二十八宿的宿度和距星的赤纬值,分别列于表1的第三、第七列。第四、第八列则是相应数据与计算值的偏离。由表可见宿度和距星去极度数据的最大偏离分别为2度和3°.5左右。其均方误差分别为0.96度和1°.47。这样的精度当然是相当差的。同样的情况出现在某些恒星的入宿度、赤道内外度或黄道内外度数据上,勿庸赘述。笔者曾分析过唐代《开元占经》中所列《石氏星经》数据,确定其观测年代是在西汉早期,其恒星去极度数据的精度已达1度多的水平^[3]。如果扣除常数系统误差,则精度约为±0°.87。唐代的恒星观测精度水平如与其相当也是难以想象的。看来,唐代距星去极度数据中较大的误差可能源于恒星证认的不准确。由于中国古代使用以二十八宿为基础的赤经坐标体系,要确定恒星在东西方向上的位置必须事先知道各宿距星在赤经方向上的位置情况即各宿的宿度,并标示在浑仪的赤道环上,故宿度数据很可能是利用了前人的观测结果。这就可能形成了宋代以前宿度数据除个别调整外尽可能沿用旧数据的传统做法^[4]。唐代的宿度数据与距星去极度数据就不会是同时观测所得。用它们来证认当然易于出错,有的去极度数据误差较

表 1 唐代二十八宿宿度和距星去极度数据

Table 1 The data of 28 lunar mansions in Tang Dynasty

宿次	宿 度			距星去极度				距星 对应星
	数据 (度)	计算值 (度)	偏离 (度)	数据 (°)	化成赤纬 (°)	计算值 (°)	偏离 (°)	
角	12	12.95	−0.95	93.5	−2.16	−4.24	2.08	α Vir
亢	9	8.09	0.91	91.5	−0.18	0.54	−0.73	ι Vir
氏	15	16.44	−1.44	98	−6.59	−10.14	3.55	α ₂ Lib
房	5	4.76	0.24	110.5	−18.91	−18.13	−0.78	δ Sco
心	5	6.13	−1.13	111	−19.40	−21.60	2.19	σ Sco
尾	18	18.95	−0.95	124	−32.22	−30.93	−1.28	ε Sco
箕	11	10.46	0.54	120	−28.28	−29.28	1.00	γ Sgr
斗	26	25.49	0.51	119	−27.29	−27.17	−0.12	φ Sgr
牛	8	9.29	−1.29	104	−12.51	−15.61	3.10	α ₂ Cap
女	12	10.27	1.73	101	−9.55	−9.63	0.08	4 Aqr
虚	10	9.17	0.83	101	−9.55	−10.53	0.98	β Aqr
危	17	15.74	1.26	97	−5.61	−6.00	0.39	α Aqr
室	16	16.95	−0.95	83	8.19	8.63	−0.43	α Peg
壁	9	10.77	−1.77	84	7.21	8.12	−0.91	γ Peg
奎	16	14.01	1.99	73	18.05	16.38	1.67	η And
娄	12	13.03	−1.03	77	14.11	14.18	−0.07	β Ari
胃	14	13.64	0.36	72	19.03	21.38	−2.34	41 Ari
昂	11	11.25	−0.25	72	19.03	19.29	−0.25	17 Tau
毕	17	17.71	−0.71	76	15.09	15.43	−0.34	ε Tau
觜	1	0.46	0.54	82	9.18	8.11	1.07	λ Ori
参	10	9.80	0.20	92	−0.68	−2.15	1.47	δ Ori
井	33	33.34	−0.34	68	22.98	22.07	0.91	μ Gem
鬼	3	3.00	0	68	22.98	21.52	1.46	θ Cnc
柳	15	14.03	0.97	80.5	10.66	9.35	1.31	δ Hya
星	7	6.47	0.53	93.5	−2.16	−3.74	1.58	27 Hya
张	18	17.26	0.74	100	−8.56	−9.38	0.82	υ ₁ Hya
翼	18	18.55	−0.55	103	−11.52	−11.79	0.28	α Crt
轸	17	17.21	−0.21	100	−8.56	−10.47	1.91	γ Crv

大当不奇怪。如果距星证认有错,则由恒星的入宿度计算的相应赤经也就会出错。另外,史籍的编撰并非一定源于原始观测记录,除后者本身也可能有错误外,在誊清、传抄、翻刻等环节上都有可能出现差错。只有剔除了上述错误数据,才能真实反映唐代星表观测的精度。可将去极度数据误差大于 2° 者视为错误予以剔除,所余23条数据求得均方误差为 $0^\circ.92$ 。若剔除大于 1° 者,则仅余下15条数据,相应的均方误差才降至 $0^\circ.63$ 。这是否是精度水平的真实反映看来还是难下定论的。勿庸讳言,出现误差较大的情况,可能是一行参予制作的黄道游仪并不如想象中那么成功所造成的。为了适应岁差造成的变化和对月亮的观测,黄道游仪可能采用了可多处调节的结构^[5],使其稳定性大受影响,也就会产生较大的误差。不过由于宿度数据是两颗相距不太远的恒星之赤经差,在观测所需时间不长的情况下可视该误差对两星位置的影响相仿,从而可抵消大部分误差,使毕宿、觜宿两宿的宿度观测值能以较高的精度保存在新、旧唐书的天文志中^[4]。

虽然唐代一行发现的恒星位置变化现象已被证实不是恒星自行引起的^[6,7],但它毕竟改变了人们对恒星位置终古不变的认识,开创了官方天文机构经常性观测恒星位置的先河。从此以后,历代官方天文机构都将恒星位置的观测视为天文学工作的基础,从而留下了一些重要的星表。唐代星表观测的精度虽然难以肯定已有所提高,但它对古代星表工作的意义是相当重大的。

3 北宋景祐星表

北宋时制作了六台浑仪,并用其对恒星位置进行过七次观测^[8]。但只有在景祐和皇祐年间进行的两次恒星位置观测数据相对完整地保留下来。

北宋景祐星表的有关情况在史籍中少有介绍,只是在《宋史·天文志》中述及二十八宿的有关数据时常以“景祐测验”的字样列出了相应的数据,并提到了《乾象新书》中的数据。在《玉海》中则收辑有《景祐乾象新书》中“御制序”的叙述,内容涉及景祐年间恒星观测与该书的编撰情况,从而可对景祐星表的编制过程有一简单的了解。虽然《乾象新书》已无留存,但其主要数据被南宋李季编撰的《乾象通鉴》收录而得以传世。潘鼎先生根据《乾象通鉴》的上海图书馆藏的明代蓝格本和北京图书馆藏上海广雅书局精抄本对这些数据进行了整理校定^[8],我们的讨论也就建立在潘先生所做工作的基础之上。

《景祐星表》的数据是在景祐年间由杨惟德主持观测所得,故潘先生又称其为《杨惟德星表》。星表涉及星官283座共1462颗恒星。但实际述及只有341颗,且有七颗未列位置数据,故星表实际上只包含334颗恒星的位置数据,其中还有三颗缺少入宿度数据、四颗缺少去极度数据。数据大致记录到度,少数达半度。其观测年代虽比《石氏星经》晚千余年,但仍是我国古代保存相对完整的第二部最古老的星表。

我们首先对《景祐星表》中的恒星进行了证认。其方法与潘鼎先生在《中国恒星观测史》中所采用的大致相同^[8]。先对二十八宿距星进行了证认,即将相应恒星在景祐元年(公元1034年)时的赤经差和赤纬值与星表中二十八宿宿度和距星去极度值对照以确认。然后根据恒星所入宿距星当时的赤经值将星表中与其相应的入宿度数据归算为赤经值,并将去极度数据归算为赤纬值,再用岁差公式算出恒星1950.0时的平位置,据此就可在GC星表中找出相应的对应星。以两者的角距离不超过 2° 为准。由于古代系裸眼观测,对应星的亮度一般控制为亮于

6mag,但考虑到古代大气的质量较高、经过挑选的观测者视力较强等因素,在无较亮对应星的情况下略暗于6mag 的恒星也被认可。即便如此,仍有少数恒星无法找到对应星,这可能是其位置数据本身存在较大误差甚至错误,这也许系传抄中的讹错所致。对于数据相差整十度、入宿度相差一整宿等有规律的情况则尽可能对原数据进行校订。实在无法证认者则可在数据处理过程中因误差过大而被剔除。因篇幅有限,恒星证认结果暂不赘述。

利用岁差公式可以归算得到《景祐星表》中各恒星在当时的位置,进而求得星表中所列数据与它的偏离,在剔除偏离大于 $1^{\circ}.5$ 的数据后,则由325颗恒星的入宿度数据和322颗恒星的去极度数据得到相应的均方误差为 $1^{\circ}.19$ 和 $1^{\circ}.01$ 。这显然是相当差的。可能是由较大的系统误差所致。近代星表工作中常采取将恒星赤经、赤纬数据的误差按赤经、赤纬进行分区平均的方法,使偶然误差能互相削弱,从而使系统误差的变化规律显露出来。由于《景祐星表》所包含的星数尚不够多,数据又可能存在较大的偶然误差,采取上述方法得到的结果并不能呈现理想的效果。表2列出了相应的数据。二十八宿距星的赤经是以角宿距星当时的赤经为初始值,依次加上

表 2 《景祐星表》数据的偏离按赤经、赤纬分区平均

Table 2 Grouping according to the right ascensions and the declinations of stars, the average deviations of Jing You Catalogue's data

	平均范围 ($^{\circ}$)	星数	赤经或赤 纬平均($^{\circ}$)	星表数据偏离的分区平均值及均方误差($^{\circ}$)	
				入宿度数据	去极度数据
赤 经	—15~15	21	—0.40	—0.11 $\pm$ 0.97	—0.25 $\pm$ 0.92
	15~45	22	29.45	—0.23 $\pm$ 0.85	0.05 $\pm$ 1.05
	45~75	28	60.60	—0.01 $\pm$ 0.71	—0.48 $\pm$ 0.89
	75~105	21	89.10	0.21 $\pm$ 0.71	0.22 $\pm$ 0.69
	105~135	18	118.75	—0.04 $\pm$ 0.71	0.04 $\pm$ 0.89
	135~165	25	153.06	—0.39 $\pm$ 0.98	0.11 $\pm$ 0.90
	165~195	28	179.88	0.23 $\pm$ 0.93	0.35 $\pm$ 0.77
	195~225	23	210.00	—0.01 $\pm$ 0.61	—0.29 $\pm$ 1.01
	225~255	29	240.88	—0.17 $\pm$ 0.97	—0.16 $\pm$ 0.82
	255~285	20	267.17	0.03 $\pm$ 0.98	—0.40 $\pm$ 0.86
赤 纬	285~315	36	299.74	0.31 $\pm$ 0.74	—0.12 $\pm$ 0.92
	315~345	25	326.80	—0.01 $\pm$ 0.95	—0.02 $\pm$ 1.06
	—55~—40	10	—45.62	0.15 $\pm$ 0.76	0.25 $\pm$ 1.08
	—40~—25	42	—34.00	—0.26 $\pm$ 0.81	—0.17 $\pm$ 1.03
	—25~—10	53	—17.81	0.18 $\pm$ 0.82	—0.06 $\pm$ 0.83
	—10~5	38	—2.63	—0.01 $\pm$ 0.91	0.13 $\pm$ 0.91
	5~20	51	13.01	—0.01 $\pm$ 0.82	—0.07 $\pm$ 0.92
	20~35	41	27.03	—0.07 $\pm$ 0.80	—0.37 $\pm$ 0.74
	35~50	24	41.74	0.16 $\pm$ 0.85	—0.16 $\pm$ 0.65
	50~65	23	56.60	—0.16 $\pm$ 1.01	0.02 $\pm$ 1.01
	65~80	12	71.98	0.28 $\pm$ 0.53	—0.14 $\pm$ 1.12

各宿的宿度值,并扣除它们与用岁差公式计算所得当时相应的赤经之差的平均值而得到的。从而保证了这些值在平均效果上与计算值尽可能接近,而不只接近作为起始宿的角宿距星。虽也可由星表中各星的 $\Delta\alpha\cos\delta$ 取平均求得星表的分点改正为 $0^{\circ}.01$,但由于中国古代赤经系统并非以春分点为量度的起点,而是分别以二十八宿距星在天赤道上的投影作起点的,实际上也就无所谓分点改正,这应是明末以前中国古代星表的共同特点。表2所列数据偏离的分区平均值并不随赤经、赤纬的变化而呈现某种规律性,这可能是数据本身偶然误差较大、系统误差随观

测情况有较大变化等原因造成的。如将各分区平均值视为区内的常数系统误差予以扣除,则按赤经分区平均后入宿度和去极度数据的均方误差分别为 $0^{\circ}.81$ 和 $0^{\circ}.85$,按赤纬平均后的相应值为 $0^{\circ}.80$ 和 $0^{\circ}.86$,这与各分区取平均时的均方误差是相仿的。由于观测不同的恒星时仪器状况互不相同,从而引起观测数据中的系统误差的影响也有差异,并呈复杂的变化,要有效地消除它们几乎是不可能的,故《景祐星表》的观测误差应比上述均方误差小得多。

4 北宋皇祐星表

《皇祐星表》收集了北宋皇祐四年(公元1052年)由周琮等人主持观测获得的恒星位置数据,潘鼐先生又称其为《周琮星表》。在北宋重修的《灵台秘苑》和《文献通考》、《象林》、《天文大成管窥辑要》、《天元历理》等古籍中均保存有其数据。潘先生根据有关的六种资料对其进行了对照校定^[8],为研究它们提供了方便。星表中共列出360颗恒星的位置数据,其中有两星缺入宿度数据。数据记录至半度者较《景祐星表》多。

利用上节所述的方法,也对《皇祐星表》中所包含的恒星进行了证认。同样,剔除了误差大于 $1^{\circ}.5$ 的数据后分别由357颗恒星的入宿度数据和358颗恒星的去极度数据得到相应的均方误差为 $0^{\circ}.91$ 和 $0^{\circ}.64$ 。类似地进行分区平均的结果列于表3。将各分区平均值视为各区的常数系统差加以扣除后得到按赤经分区平均的入宿度、去极度数据的均方误差分别为 $0^{\circ}.67$ 和 $0^{\circ}.54$ 。

表 3 《皇祐星表》数据的偏离按赤经、赤纬分区平均

Table 3 Grouping according to the right ascensions and the declinations of stars, the average deviations of Huang You Catalogue's data

	平均范围 ($^{\circ}$)	星数	赤经或赤 纬平均($^{\circ}$)	星表数据偏离的分区平均值及均方误差($^{\circ}$)	
				入宿度数据	去极度数据
赤	$-15\sim 15$	17	-0.91	-0.35 ± 0.88	0.17 ± 0.50
	$15\sim 45$	17	29.20	0.33 ± 0.79	0.29 ± 0.60
	$45\sim 75$	26	60.03	-0.20 ± 0.67	0.24 ± 0.47
	$75\sim 105$	24	87.88	0.13 ± 0.58	0.20 ± 0.54
	$105\sim 135$	14	121.15	0.09 ± 0.65	0.08 ± 0.70
	$135\sim 165$	28	151.77	-0.20 ± 0.74	0.16 ± 0.56
	$165\sim 195$	38	179.26	-0.03 ± 0.55	0.33 ± 0.66
	$195\sim 225$	29	209.99	0.08 ± 0.67	0.39 ± 0.69
	$225\sim 255$	38	238.08	-0.03 ± 0.62	0.24 ± 0.46
	$255\sim 285$	34	268.10	0.03 ± 0.73	0.18 ± 0.43
经	$285\sim 315$	32	301.20	-0.11 ± 0.77	-0.07 ± 0.62
	$315\sim 345$	23	327.05	0.19 ± 0.56	0.02 ± 0.52
赤	$-55\sim -40$	10	-46.35	0.15 ± 0.63	0.04 ± 0.77
	$-40\sim -25$	40	-32.98	-0.26 ± 0.74	0.00 ± 0.56
	$-25\sim -10$	47	-18.20	0.10 ± 0.53	0.19 ± 0.50
	$-10\sim 5$	44	-2.36	0.01 ± 0.60	0.25 ± 0.53
	$5\sim 20$	59	13.00	-0.03 ± 0.61	0.20 ± 0.56
纬	$20\sim 35$	49	25.88	0.00 ± 0.68	0.14 ± 0.46
	$35\sim 50$	20	40.71	0.21 ± 0.71	0.45 ± 0.60
	$50\sim 65$	25	57.08	0.30 ± 0.71	0.56 ± 0.88
	$65\sim 80$	24	71.48	0.17 ± 0.99	0.08 ± 0.35

按赤纬分区平均则相应为 $0^{\circ}.67$ 和 $0^{\circ}.53$ 。从所列数据可知《皇祐星表》的精度确比《景祐星表》

有所提高,但偏离的分区平均值仍未呈现明显的规律性。两部星表的数据按赤经、赤纬分区平均以扣除常数系统差后的均方误差都是相仿的,这可能反映了两部星表中偶然误差和非常数系统误差综合影响的大小。《皇祐星表》中数据的读数精度为半度,而扣除常数系统差后的均方误差只比半度略大,估计可以大致反映该星表的精度水平。入宿度数据相应的均方误差稍大可能是它需要两次观测得到,其偏离实际上是两次观测误差的叠加,尽管有部分系统误差可以在求赤经差时部分相抵,最后的误差仍有所增加。另外在观测了距星后,将浑仪望筒指向被测恒星之间有一段操作时间,对于不是同时观测所求得的赤经差需对操作时间作改正,那时候是否进行了改正?改正是否合理?……都有可能引起误差,从而使入宿度数据偏差较大。《景祐星表》中只有少量的星有半度的字样,很可能当时的观测读数只有恰为半度才读到半度,其它均读到整度,这也可能就是其精度较低的缘故。当然,随着人们观测实践的积累,经验和知识不断丰富,观测精度的提高也是理所当然的。皇祐观测仅早于沈括在《浑仪议》中对浑仪观测中的问题进行总结约20年,人们的认识肯定已有所提高,观测精度也确有相应提高。

参 考 文 献

- [1] 新唐书,天文志一,原卷三十一;新唐书,历志四上,原卷二十八上;旧唐书,天文志上,原卷三十五;旧唐书,历志三,原卷三十四
- [2] 宋史,天文志一,原卷四十八
- [3] 郭盛炽,《石氏星经》观测年代初探,自然科学史研究,1994,13(1):18
- [4] 郭盛炽,北宋恒星观测精度刍议,天文学报,1989,30(2):208
- [5] 郭盛炽,开元黄道游仪的结构研究,中国天文学史文集(第五集),北京:科学出版社,1989,246
- [6] 席泽宗,僧一行观测恒星位置的工作,天文学报,1956,4(2):212
- [7] 潘大轶,关于唐代一行未发现恒星自行的再论证,上海天文台年刊,1980,2:211
- [8] 潘鼎,中国恒星观测史,学林出版社,1989年

A PRELIMINARY RESEARCH ABOUT PRECISION OF STAR CATALOGUES IN TANG AND SONG DYNASTIES

Guo Shengchi

(Shanghai Observatory, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030)

Abstract

The catalogues of ancient China had an evident progress in Tang and Song Dynasties. The analyses shown, the precision of north polar distance data observed by Yi Xing (一行) in Tang Dynasty was lower rather. Perhaps it is due to that those data could not show the real precision in that time. Yi Xing found that there are the difference between the data of same stars' positions observed in different epochs. Though he did not know that the precession set off this difference, this discovery have a historical significance yet. It is the beginning of the regular observing stars' positions in ancient China. The precision of two catalogues in Song dynasty is better obviously. The precision of Huang You (皇祐) Star Catalogue is nearly $0^{\circ}.5$. It is match for the reading error of the data. It represents the precision level of determining stars' positions in that time roughly.

Key words star catalogue of ancient China — precision — systematic error