

关于汉代的黄道坐标测量 及其天文学意义

孙小淳

(中国科学院自然科学史研究所, 北京, 100010)

摘要 黄道是太阳在天球上的周年视运动的轨道。两汉时期, 黄道概念及黄道坐标被引入了天文历法的理论与推算。文章分析两汉时期对冬至点位置、黄赤交角、二十八宿黄道距度等黄道坐标基本要素的测量, 论述黄道概念在汉代天文学发展中的作用及其意义。文章还对中国最早的恒星位置的黄道坐标——“石氏星经”中的恒星“黄道内外度”进行了初步的数据分析和历史考证, 认为可能是在东汉时期测定的。最后文章从黄道坐标测量的角度, 简要论述汉代天文学发展的一个重要特点, 即从盖天说到浑天说的转变。

关键词 黄道 黄赤交角 黄道距度 黄道内外度 浑盖革命 汉代天文学
中图分类号 P1-092
文献标识码 A **文章编号** 1000-0224(2000)02-0143-12

中国古代认识黄道是较早的。所谓“二十八宿为日、月舍”, 说明早在形成二十八宿体系的时候就已经有黄道概念的萌芽了^[1]。到了汉代, 对黄道已经有比较仔细的观测, 认识也相当明确。《史记·天官书》在描述星官时有“心为明堂”、“太微, 三光之廷”、“昴、毕间为天街”之类的占星术文, 实际上是指示了黄道在星空的位置。又说到“月行中道”, “中道”即黄道^[2]。《汉书·天文志》则说得更明确: “日有中道, 月有九行。中道者, 黄道, 一曰光道。光道北至东井, 去北极近; 南至牵牛, 去北极远; 东至角, 西至娄, 去极中。”^[3]这说明至迟到东汉初就已经对黄道有了准确的认识。汉代的两种主要宇宙学说——盖天说和浑天说, 都在各自的宇宙模型下对黄道进行描述, 其中浑天说的黄道概念是同近现代天文学中天球上的黄道概念是完全一致的。东汉时, 著名天文学家贾逵在“论历”时就阐述了黄道在天文测量中的优越性^[4]。

黄道作为天文坐标系的基本圈, 就有一些基本要素的测量, 也有一些以黄道为基准数据即黄道坐标测量。本文依次探讨两汉时期冬至点位置、黄赤交角、二十八宿黄道距度的测量, 最后对“石氏星经”中的恒星“黄道内外度”进行初步的分析, 目的是从黄道坐标测量的角度揭示汉代天文学发展的一个重要特点, 即从盖天说到浑天说的转变。

收稿日期: 1999-01-24; 修回日期: 1999-09-29

作者简介: 孙小淳, 1964年生, 博士, 中国科学院自然科学史研究所副研究员, 现在美国宾州大学科学史系攻读学位。

1 冬至点位置

黄道与赤道相交,其两交点为二分点,黄道上与二分点相距 90° 的两点为二至点,在赤道南的那点为冬至点,在赤道北的那点为夏至点。太阳在冬至时刻沿黄道运行到了冬至点,故古代称冬至点位置为冬至日所在。我国古代天文历法推算日月五星位置是以冬至点为起算点,因此,测定冬至点的位置是我国古代天文观测的重要课题。冬至点的位置是用“入某宿某度”表示。我国古代天文测量起初采用赤道坐标,因此“某宿某度”是指沿赤道度量的冬至点的宿度。大约是从西汉末、东汉初开始,由于浑天说的发展,天文测量开始有使用黄道坐标的情况,这时冬至点的位置又多了一种沿黄道度量的宿度,即黄道宿度。

1.1 西汉时的冬至点位置测量

战国时代的四分历都是把冬至定在牵牛初度,这个数值到西汉制定《太初历》、《三统历》时仍被采用^[5]。但是,冬至点由于岁差的原因是在星空中缓慢西移的,太初改历时的冬至点实际上已不在牵牛初度,而是西退到了斗宿之内。有些文献说西汉太初改历的冬至点位置在斗22度^[6],这当是在二十八宿古度系统下说话。二十八宿古度系统以斗宿为22度,斗22度即为牵牛初。《尚书纬考灵曜》所谓“斗22度无余分”就是这个意思。东汉时定冬至点在斗 $21\frac{1}{4}$ 度,与所谓的“斗22度无余分”有本质的不同,这是在太初改历期间定的二十八宿“今度”体系下说话。这时斗宿距星改动,距度变为 $26\frac{1}{4}$ 度,所以斗 $21\frac{1}{4}$ 度在牵牛初西有5度。后文引“贾逵论历”第一条正说明这一点。

西汉时的冬至点位置是实际测量情况又是如何呢?看来是用昏旦中星法测量的,即根据昏旦中星的宿度推定冬至的位置。《汉书·天文志》记载:“日行不可指而知也,故以二至、二分之星为候。日东行,星西转。冬至昏,奎八度中;夏至,氐十三度中;春分,柳一度中;秋分,牵牛三度七分中。此其正行也。”这是昏中星观测记录,据此就可以推算冬至点的位置,所需条件有二个:一是要有周天二十八宿的距度,一是要知道“昏明时刻”,即日出、日落前后多少刻为所谓的旦和昏。二十八宿距度在汉太初改历以前就有所谓“古度”,太初改历时又有测量,故不成问题。古代昏明时刻,大体上是秦汉以前采用三刻,汉代开始改三刻为二刻半^[7]。由于汉代处于转变时期,情况比较复杂,可能三刻和二刻半二种昏明时刻都有采用。汉代文献多有提到昏旦各三刻的说法,如蔡邕《月令章句》称:“日入后漏三刻为昏,日出前漏三刻为明,星辰可见之时也。”又称:“星见为夜,日入后三刻,日出前三刻皆属夜。”据此可以认为昏明时刻为三刻^[8]。采用《汉书·律历志》中的二十八宿今度,即可根据《汉书·天文志》中记载的二分、二至时昏中星度分别推得冬至点宿度的四个数值如下:

冬至昏,奎八度中——冬至在斗19度;

夏至,氐十三度中——夏至在井29度——冬至在斗24度;

春分,柳一度中——春分在娄初——冬至在斗24度;

秋分，牵牛三度七分中——秋分在角 3 度——冬至在斗 18 度。

平均起来，冬至点在斗 21.25 度。

可见，西汉时的昏中星实测，已表明冬至点已不在牵牛初，而是在斗 21 度左右，这是相当准的。但是《太初历》、《三统历》仍用牵牛初，原因是对测量冬至点位置的精度还没有多大把握，历家不敢轻易否定古值。上述用昏中星推算的冬至点位置，取决于昏明时刻、太阳运动不均匀性等不定因素，不可能十分精确。而且据二分、二至时昏中星推算得到的冬至点位置又各不相同，所以说当时对冬至点的位置没有十分的把握。事实上，虽然刘歆在《三统历》中仍以冬至在牵牛初，但他同时已经意识到冬至点的变动，说经过一元之后，日月五星“进退于牵牛之前四度五分。”^[9]这实际上是含蓄地承认了冬至点已不在牵牛初。用“进退”二字，说明刘歆当时对于冬至点的位置仍然是没有把握而感到为难的。

1.2 东汉时的冬至点位置测量

东汉元和二年（公元 85 年）颁布编訢、李梵等人所编《四分历》（即《后汉四分历》），把冬至点位置改到斗二十一度又四分度之一。这个数值与当时的实际位置还偏东约 2 度（表 1），相当于西汉末时的冬至点位置，但是比起牵牛初来是准确了许多。当时对岁差理论没有认识，而且二分、二至时昏旦中星测量本来就有昏明时刻、太阳运动不均匀性等不定因素，因而用昏旦中星法测量的冬至点宿度就不太准，所以东汉初时认定西汉末的测量数值是极为可能的。

《续汉书·律历志》中记载诸家论历都以为冬至点应在斗二十一度四分之一，或略去斗分称二十一度。而以“贾逵论历”讨论得最详细，其中说到冬至点位置的有以下诸条^[10]：

- 1 《太初历》冬至日在牵牛初者，牵牛中星也。古黄帝、夏、殷、周、鲁冬至日在建星，建星即今斗星也。《太初历》斗二十六度三百八十五分，牵牛八度。案行事史官注，冬、夏至日常不及《太初历》五度，冬至日在斗二十一度四分度之一。
- 2 《石氏星经》曰：“黄道规牵牛初直斗二十度，去极百一十五度。”于赤道，斗二十一度也。
- 3 《四分法》与行事候注天度相应。《尚书考灵曜》：“斗二十二度，无余分，冬至在牵牛所起。”又编訢等据今日所在未至牵牛中星五度，于斗二十度四分一，与《考灵曜》相近，即以明事。
- 4 元和二年（公元 85 年）八月，诏书曰：“石不可离”，令两候，上得算多者。太史令玄等候元和二年至永元元年，五岁中课日行及冬至，斗二十度四分一，合古历建星《考灵曜》日所起，其星间距度皆如石氏故事。他术以为冬至日在牵牛初者，自此遂黜也。
- 5 《春秋保乾图》曰：“三百年斗历改宪。”史官用太初邓平术，有余分一，在三百之域，行度转差，浸以谬错。璇玑不正，文象不稽。冬至之日日在斗二十一度，而历以为牵牛中星。

此种情况说明《后汉四分历》选定的冬至点位置是当时一致认同的。

1.3 关于冬至点的黄道宿度

上引《石氏星经》文（第 2 条）还给出了冬至点的黄道宿度，这说明黄道已经成为

天文位置测量的基本圈。这和浑天说有关。张衡《浑仪》(或《浑天仪注》、《浑仪注》)中对黄道有明确的描述,代表了浑天家对黄道的认识。讨论黄道进退,说本应当以铜仪日月度之,但比较难观测,所以在小浑上度量,代替测量。《浑仪》说:

“冬至在斗二十一度少半,最远时也,而此历斗二十度,俱百一十五,强矣,冬至宜与之同率焉。夏至在井二十五度半强,最近时也,而此历井二十三度,俱六十七度,强矣,夏至宜与之同率焉。”^[11]

其中说“此历斗二十度”和《石氏星经》所说“黄道规牵牛初直斗二十度”都是指冬至点位置若以黄道度量为斗二十度。相应地若以赤道度量为二十一度少半或二十一度四分之一。据表1可知这个黄道度也不是东汉时的实际测量值,而是和赤道度量值斗二十一度相对应的黄道度;而且我们还可以判断此黄道度应为“极黄经”。这里也说明了张衡《浑仪》中的冬至点位置数据也是依据前汉所测。

表1 公元前200至公元250年间的冬至点入斗宿度

年份	赤道度	极黄经度	真黄经度	年份	赤道度	极黄经度	真黄经度
-200	23.08	21.30	20.72	50	19.22	17.70	17.21
-150	22.31	20.58	20.02	100	18.44	16.98	16.50
-100	21.54	19.86	19.31	150	17.66	16.26	15.80
-50	20.77	19.14	18.61	200	16.89	15.54	15.10
0	19.99	18.42	17.91	250	16.11	14.81	14.39

2 黄赤交角

黄道和赤道相交有一个倾角,天文学上叫做黄赤交角。黄赤交角在我国古代以两种形式的测量值体现出来:一种是圭表景长(即影长);另一种是黄道在冬、夏至点时去极度。前者同盖天说有关。盖天说采用“七衡六间”的几何模型来说明黄道,没有像浑天说那样明确的天球上的黄道。但是黄赤交角的值可以从冬、夏至的景长推算出来。《周髀》记述冬至8尺表景长1丈3尺5寸,夏至表景长1尺6寸,据此可以算出黄赤交角为24.38度。按现代天文学推算,当时的黄赤大距实际数据应为24.07度。两者相差不远,但这并不说明《周髀》对黄道有正确的认识。《周髀》中的冬、夏至景长固然是从实测来的,但其它节气的景长并不是依据,而是依据“七衡六间”的黄道模型虚构出来的。这可以从春、秋分时的景长数值一眼就可以看出来,它们是取冬、夏至景长之平均值,只有在盖天说“七衡六间”的模型下才是这样,实际情况并不如此。

我们把汉代一些文献中二分、二至点的列在表2中,发现《汉书·天文志》、《周髀》^[12]、《易纬》^[13]中的春、秋分景长都是取冬、夏至景长之平均,说明它们都是采用盖天说。而《续汉书·律历志》^[14]中的春秋分景长则不然,很明显是基于实测。这个情况说明到了后汉,关于景长的理论和测量已经摆脱了盖天说模型的影响,很可能是受了浑天说的影响而转向依靠实测。

表 2 一些汉代文献中记载的二分二至时的景长

单位：寸

数据来源	冬至	夏至	春分	秋分	说 明
《周髀》	13.5	1.6	7.55	7.55	春秋分数据非实测，系盖天模型所需
《汉书·天文志》	13.14	1.58	7.36	7.36	盖天
《易纬》	13	1.48	7.24	7.24	盖天
《续汉书·律历志》	13	1.5	5.25	5.5	实测

黄赤交角另一种表达形式是冬夏点时黄道的去极度。《周髀》中给出的数相当于：牵牛去极 115.87 度；娄与角去极 91.31 度；东井去极 66.76 度。这显然不是指这四宿的去极度^①，而是黄道二分、二至点的去极度。由此可知《周髀》在这里所用的黄赤交角为 24.55 度。《周髀》中引进的这些二分、二至点去极度值，同它本身的模型在数值上是矛盾的，很明显是引用别的系统的数据。由于恒星的去极度是汉代的浑天家测量的，据此可以认为盖天家在这里借用的浑天家的测量数据。这样又和盖天说原来的模型冲突，所以《周髀》就提出北极璇玑四游等说法，硬拼凑调和，结果还是自相矛盾。关于这一点薄树人先生曾做过仔细的研究^[15]，这里不再重复。

张衡《浑仪》说冬至黄道最远时去极 115 度、夏至黄道最近是去极 67 度，据此得出的黄赤交角分别为 23.69 度和 24.31 度。看来浑天家的黄赤交角定得比较粗糙，不如从盖天家景长数据推得的值准，原因可能是浑天家的黄赤交角是直接度量而得，精度受观测仪器精度的限制。

3 二十八宿黄道距度

3.1 为什么要测黄道距度

日月是循黄道运行的，如果以赤道度量月行，测量值就和月亮实际沿黄道的运行有差异。因此，起初人们没有认识到日月运动的不均匀性，认为日月运行（尤其是月行）不均匀是由测量方法造成的假象，因而提出要沿黄道度量日月行。贾逵在其《论历》中提到，在他之前有傅安等人用黄道度量日月行度，据以推得的弦、望时刻就比较准；而史官用赤道度量日月行度，测量结果就与日月实际运行不同，历法据以推得的弦、望时刻与实际情况差一日以上，因此就认为是变异，认为是“日却缩退行”。贾逵认为傅安的做法是正确的，只要用黄道度量日月行，就不会有这种情况。他肯定《五纪论》中说法：“日月循黄道，南至牵牛，北至东井，率日日行一度，月行十三度十九分度七”，认为没有什么“日却”的问题。认为当时的史官测量到“日却”是因为黄、赤道因倾斜相交，造成了在“斗、牵牛、东井、舆鬼，赤道得十五，而黄道得十三度半；行东壁、奎、娄、轸、亢，赤道七度，黄道八度”这种情况。而这正是黄、赤道投影造成的现象，贾逵明确地说：“黄道值牵牛，出赤道南二十五度，其直东井、舆鬼，出赤道北地十五度。赤道者为中天，去极俱九十度，非日月道，而以遥准度日月，失其实行故也。”^[16]贾逵最后根据实测资料证明，以黄道度量日月弦望，结果比用赤道度量更准，与天相合。于是他在永元

① 当时这四宿的去极度在《石氏星经》中有记录，分别是角 91 度，牵牛 110 度，娄 80 度，东井 70 度。

四年(公元92年)明确提出应该用黄道度量日月运行,这就势必要求用黄道度量二十八宿距度。到了永元十五年(公元103年),皇帝就下诏书造“太史黄道铜仪”,黄道环上刻有二十八宿黄道距度,数值记载在《续汉书·律历志》中。

3.2 二十八宿黄道距度分析

永元十五年(公元103年)造太史黄道铜仪,黄道环上的二十八宿距度是“以角为十三度,亢十、氏十六,房五,心五,尾十八,箕十,斗二十四度四分度之一,牵牛七,须女十一,虚十,危十六,营室十八,东壁十,奎十七,娄十二,胃十五,昴十二,毕十六,觜三,参八,东井三十,舆鬼四,柳十四,星七,张十七,翼十九,轸十八,凡三百六十五度四分之一。冬至在斗十九度四分度之一。”我们对这黄道距度进行了误差分析,并同时赤道距度也进行了误差分析,以便对照。分析结果列在表3之中。

表3 二十八宿黄道、赤道距度误差分析结果

宿名	距星 证认 ^[17]	赤道距度			黄道距度				
		原值	计算值	误差	原值	极黄	误差	真黄	误差
角	α Vir	12.00	11.88	-0.12	13.00	12.97	-0.03	10.79	-2.21
亢	κ Vir	9.00	8.90	-0.10	10.00	9.65	-0.35	10.71	0.71
氏	α Lib	15.00	14.97	-0.03	16.00	15.90	-0.10	18.15	2.15
房	π Sco	5.00	5.38	0.38	5.00	5.57	0.57	4.93	-0.07
心	σ Sco	5.00	4.59	-0.41	5.00	4.68	-0.32	8.49	3.49
尾	μ Sco	18.00	19.32	1.32	18.00	19.03	1.03	15.33	-2.67
箕	γ Sgr	11.00	10.45	-0.55	10.00	9.89	-0.11	8.99	-1.01
斗	ϕ Sgr	26.25	26.72	0.47	24.25	24.61	0.36	24.24	-0.01
牛	β Cap	8.00	7.86	-0.14	7.00	7.22	0.22	7.81	0.81
女	ϵ Apr	12.00	11.91	-0.09	11.00	11.09	0.09	11.85	0.85
虚	β Aqr	10.00	9.54	-0.46	10.00	9.09	-0.91	10.12	0.12
危	α Aqr	17.00	16.52	-0.48	16.00	16.32	0.32	20.46	4.46
室	α Peg	16.00	16.80	0.80	18.00	17.43	-0.57	15.89	-2.11
壁	γ Peg	9.00	8.47	-0.53	10.00	9.07	-0.93	11.68	1.68
奎	ζ And	16.00	16.03	0.03	17.00	17.44	0.44	13.44	-3.56
娄	β Ari	12.00	11.08	-0.92	12.00	12.06	0.06	13.18	1.18
胃	35Ari	14.00	14.94	0.94	15.00	15.97	0.97	12.63	-2.37
昴	17Tau	11.00	11.23	0.23	12.00	11.63	-0.37	9.12	-2.88
毕	ϵ Tan	16.00	18.02	2.02	16.00	17.87	1.87	15.52	-0.48
觜	ϕ Ori	2.00	1.20	-0.80	3.00	1.15	-1.85	-1.37	-4.37
参	δ Ori	9.00	7.83	-1.17	8.00	7.46	-0.54	13.11	5.11
井	μ Gem	33.00	33.24	0.24	30.00	30.69	0.69	30.93	0.93
鬼	θ Cnc	4.00	4.06	0.06	4.00	3.74	-0.26	4.70	0.70
柳	δ Hya	15.00	14.99	-0.01	14.00	13.96	-0.04	17.26	3.26
星	α Hya	7.00	6.81	-0.19	7.00	6.48	-0.52	8.53	1.53
张	υ Hya	18.00	17.32	-0.68	17.00	17.06	0.06	18.56	1.56
翼	α Crt	18.00	18.21	0.21	19.00	18.90	-0.10	17.04	-1.96
轸	γ CrV	17.00	16.98	-0.02	18.00	18.32	0.32	13.17	-4.83
绝对误差				0.48			0.50		2.04
标准差				0.69			0.69		2.47

表 3 中二十八宿赤道、黄道距度“原值”都是据《续汉书·律历志》。“计算值”是按岁差理论反推到公元 100 年的值。由于距度是相邻两宿距星的赤经差或黄经差，所以受岁差影响微乎其微，几百年中的变化都可以忽略不计。因此公元 100 年的计算值不仅适合于对公元 103 年测量值的分析，而且适合于前后二三百年的距度数据分析。关于中国古代的黄道距度和黄道内外度，蕞内清早已证明黄道距度是指“极黄经度”（表 3 中以“极黄”表示），是我国古代特殊的黄道坐标^[18]。我国古代没有黄极概念，故以过天极与某天体的赤经圈和黄道相交的点来确定黄道经度，与真正的黄经（表 3 中以“真黄”表示）不同。同时黄道内外度是指“极黄纬”，是沿赤经圈度量某天体离开黄道的度数，与真正的黄纬也不同。表 3 显示，黄道距度如与真黄经度相比，绝对误差为 2.04 度，标准差为 2.47 度；而与极黄经度相比，绝对误差为 0.50 度，标准差为 0.69 度。前者误差太大，显然是不可能的。这就证明了蕞内氏的观点是正确的。

与此同时，我们注意到黄道距度的误差与赤道距度的误差几乎相同。这是否意味着两者之间有某种关系呢？赤道距度是西汉末落下闳等所测^[19,20]，黄道距度《续汉书·律历志》并没有说明是什么年代所测，只是说永元十五年造黄道铜仪时采用了这个数据。因此，黄道距度可能是永元十五年所测，也可能是在这以前所测，或者是根据以前所测的赤道距度换算而来。由于黄道铜仪“以至冬在斗十九度四分度之一”，对照表 1 可知这是对应当公元前 50 至 100 年间的冬至点的黄道入斗度，所以后一种可能性更大。张衡《浑仪》所说的小浑，实际上就可以用来进行这种换算。进行黄道距度直接测量实际上是很困难的，如《续汉书·律历志》所说：“仪，黄道与度转运，难以候，是以少循其事。”因此可以推测，《续汉书·律历志》中的二十八宿黄道距度是从西汉测定的二十八宿赤道距度换算而得到的，也就是说还是采用西汉时的观测数据。这同《石氏星经》、《浑仪》中的冬至点宿度的情况是一样的。

4 关于“石氏星经”中的黄道内外度

这里要说明一下，所谓“石氏星经”，实际上不是指某一部书。汉代文献中所引《石氏星经》或“石氏”和唐代文献中所引《石氏星经》或“石氏”在内容上有很大的不同，不可能全是战国时石申的东西，关于这一点钱宝琮已有过考证^[21]。不过汉唐文献，特别是唐代的《开元占经》、《天文要录》、《天地瑞祥志》等所引《石氏星经》或“石氏”的天文星占数据资料很可能是出于一个传统的学派，称之为“石氏学派”。所以为方便起见，我们把这些引用的天文星占数据资料统称为“石氏星经”。应该理解，这些资料可能是来源于唐以前的任何时代，关键要通过天文数据分析来确定原始资料的观测年代。

唐《开元占经》引“石氏”的内容中有一份星表数据^[22]，我们称之为“石氏星星表”或“石氏星表”，包括二十八宿及石氏星官（共 92 个星官）的距度、入宿度、去极度、黄道内外度等数据。关于“石氏星表”中的“去极度”，笔者曾做过分析^[23]，认为是西汉时太初改历时鲜于妄人等所测，测定年代约在公元前 78 年。关于“黄道内外度”，由于这个坐标不因岁差而改变，或者说变化极微，所以用岁差分析确定年代的方法就不适用，因此目前对这个问题没有定论。

笔者想对这个问题进行一些讨论。《开元占经》系瞿昙悉达编撰，他约卒于开元十二年（公元724年）。就理论上的可能性而言，黄道内外度可能是在此以前直至西汉太初改历期间任何一个年代观测。与瞿昙悉达同时代，一行（公元663~727年）和梁令瓚在开元九年至十二年间造黄道游仪，并在制造过程中木样进行观测恒星的位置^[24]。《旧唐书·天文志》介绍了一行的恒星位置测量，相对于一行的“今测”值，有“旧经”值。二十八宿去极度的“旧经”值，与《开元占经》中所引“石氏星经”值基本相同。关于黄道内外度，“旧经”值是否也是指《开元占经》中“石氏星经”值呢？《旧唐书·天文志》中记有若干个星官的“旧经”和“一行今测”黄道内外度数据，与《开元占经》中所引“石氏”（即“石氏星表”）的数据比较，三者都不相同（表4），说明“石氏星表”的黄道内外度数据既非一行所测，也非“旧经”之值。《旧唐书·天文志》中黄道内外度的“旧经”值有可能是李淳风（公元602~670年）测量的数据，因为一行曾说过：“近秘阁郎中李淳风著《法象志》，备载黄道浑仪法。”这只是推测，无从定论。

表4 《旧唐书·天文志》与“石氏星表”中的恒星黄道内外度数据的比较

星名	据《旧唐书·天文志》		据《开元占经》
	“旧经”所载	一行“今测”	“石氏星表”
天关	南4度	当黄道	外2.75度
天江	黄道外	当黄道	外2.5度
建星	北0.5度	北4.5度	内1度

《旧唐书·天文志》中还有云雨、虚梁、外屏、长垣、天桴、天高、狗国、罗堰、天尊等9个星官的黄道内外度记录。这些星官都属于甘氏或巫咸星官，其形成要比石氏星官要晚，在《开元占经》中，甘、巫星官并没有黄道内外度记录，此种情况也可作为旁证说明《开元占经》中所引的“石氏”黄道内外度数据是比较早的。另外《开元占经》之前有萨守真于麟德三年（公元666年）编撰的《天地瑞祥志》，其中也有石氏星官的黄道内外度数据^[25]。笔者曾参照星图仔细核对过其数据，在约120个数据中，有10个数据与《开元占经》数据不同，而且其中4个明显是《天地瑞祥志》的笔误，如相星《开元占经》作37度，但《天地瑞祥志》作47度，而看星图即知后者，而不是前者，为笔误。其它5个差别在1度以内，1个差为2度。可见《天地瑞祥志》的数据是和《开元占经》同源，只是前者传抄错误明显更多。

唐代以前，三国时的陈卓（约230~约320年）是有可能测量过恒星位置的。甘、石、巫三家星官的划分就是由他最后确定的。以后的文献述三家星官都是依据他的划分体系。《开元占经》中星官是以石、甘、巫三家星官的顺序加以叙述的，基本上保持了陈卓划分的三家星官的特征^[26]。但是现有文献中没有提到过陈卓曾作过黄道浑仪，因而他是否测量过黄道内外度就不得而知。

至于在汉代，如前面所述，黄道浑仪是在贾逵的主张下才有制作，其后不久又有张衡作《浑仪》，阐述浑天说的黄道概念。这些都发生在后汉四分历的改历及其引起的天文学争论过程之中。这是最能促进新的天文观测的背景，如同西汉末的太初改历时期一样。而且还有一点，在汉代，“石氏学派”似乎和浑天家更为密切（关于这一点，下文还要论

述)，因此我们认为，“石氏星经”的黄道内外度很可能是在这一时期测量的。如果不是直接测量，则可能和二十八宿“黄道距度”一样，黄道内外度数据也是从西汉末落下闳、鲜于妄人等测量的入宿度、去极度数据用“小浑”换算而来。

有必要指出，虽然笔者更倾向于“石氏星经”黄道内外度是在两汉时期测定，但并不排除汉代以后特别是唐代观测的可能性。唐代文献中的数据有不少差异，所以唐代的数据可能有不同的系统，而有的系统的数据是有可能新测的。如《天文要录》中载录的二十八宿黄道内外度，和《开元占经》很大的不同（这一点由拙文匿名审者指出，是很值得注意的，特以致谢）。这个问题需要进一步研究，这里不多讨论。这里还是强调一下汉代观测的可能性。事实上，西汉时对月行的描述已经采用相当于黄道内外度的量，《史记·天官书》说：“月行中道，安宁和平。外北三尺，阴星。北三尺，太阴。……近三尺，远五尺。”^[27]到东汉末，刘洪已在《乾象历》中使用月去黄道度数表^[28]。这些都说明在两汉时期测量黄道内外度是完全可能的。

5 略论汉代天文学从盖天到浑天的转变

以上关于汉代冬至点位置、黄赤交角和二十八宿黄道距度等黄道坐标要素的分析，以及关于“石氏星经”黄道内外度测量的探讨，使我们对汉代黄道坐标的测量有了比较清楚的了解。但是，本文的目的不仅仅限于此。我们在这里看到，汉代天文学发展的一个重大特点就是天文学理论从盖天到浑天的转变。下面根据上文的分析对此论点作简略的论证。

5.1 关于景长测量

如上所述，《周髀》中的景长数据，除了冬、夏至两个数据是可能来自实测，其它二十二个节气的景长实际上是从这两个数据按线性比例求得，与冬、夏至两气对称的节气的景长是相等的。这正是由《周髀》盖天说关于黄道的“七衡六间”模型所决定的，根本不是依据实测，而且与实际情况相差太远，显示了其模型的根本错误。《汉书·天文志》、《易纬》中记载的二十四节气景长数据虽然有所不同，但获得数据的原理同《周髀》完全一样，所有数据也是从冬、夏至两个景长推算而来，只不过冬、夏至景长与《周髀》所记稍有不同。这说明《汉书·天文志》、《易纬》中关于景长的认识与《周髀》一样是属于盖天说的。《汉书·天文志》所反映的当是西汉时的天文学知识，而《易纬》这种纬书，一般认为也是产生于西汉末，所以这也说明西汉时期盖天说对景长理论有着深刻的影响。

但是到了后汉，情况发生了变化。《续汉书·律历志》中的景长显然同盖天说模型无关，其数值与实际情况基本相符。这种变化是由于受到了浑天说的影响，因为在浑天说的宇宙模型下，黄道是与赤道斜交的轨道，太阳在各个节气时的去极度决定各节气的景长。在这种情况下，景长数据就摆脱了“七衡六间”模型的约束，而是要在新的宇宙论指导下采用实测得到。冬、夏至前后对称的节气的景长也不相等，说明景长确实是基于实测。

所以，景长数据的变化反映了黄道概念的转变，就是从盖天说“七衡六间”到浑天

说地球模型的转变。

5.2 “石氏学派”与浑天说

从《续汉书·律历志》可以看出，汉代的“石氏”（我们不妨称之为“石氏学派”，见上文）的地位显得特别重要。首先，《石氏星经》中提出“黄道规”，并且给出冬至点的黄道入斗度，这说明“石氏”的黄道概念与浑天说的黄道概念完全相同；也就是说“石氏”是主张浑天说的。其次，“贾逵论历”中提到，关于冬至点的位置，元和二年（公元85年）曾有皇帝诏书说“石不可离”，太史令在其后五年中对日行、冬至点以及“星间距离”的测量结果“皆如石氏故事”。这说明“石氏”在当时是受到特别重视的，主张使用黄道测量的浑天家们必须要采用“石氏”理论和观测成果。因此可以说，汉代的“石氏”和浑天说的产生是密切相关的；明确地说，汉代的“石氏”是浑天家。

关于这一点，我们可以从“石氏星表”获得更有说服力的证据。对“石氏星表”中星官的去极度数据分析表明，去极度数据有约1度的系统误差^[29]，即恒星的去极度比实际值小1度。测量时采用了中天观测，测量仪器至少包含子午方向的立圆（可以说是后世浑仪的雏形）。系统误差可以用仪器北极方向有偏差来解释，也就是说，立圆的北极高度比实际的北极高度要高出1度。这是偶然的吗？不是。如果我们考虑到浑天说的宇宙模型，就会发现，仪器北极的高度实际上是按浑天说的模型设定的。汉代的浑天说，如张衡《浑仪》所述，认为北极出地高度为36度。而汉代天文观测的地点是在长安、洛阳一带，地理纬度近35度，仪器北极的高度也应如此，与浑天说所说的36度低1度左右。如果观测者以浑天说的北极高度设置仪器北极高度，中天观测的结果势必导致恒星的去极度测量值比实际值小1度。“石氏星表”去极度的系统误差就是这样造成的。这又说明“石氏星表”去极度数据是浑天家测量的。这个从数据分析得到的论据进一步加强了古文献中的证据。

这表明，浑天说在西汉末就在天文测量上有了反映。关于测量仪器浑天仪，扬雄（公元前53~公元18年）曾说，“落下闳营之，鲜于妄人度之，耿中丞象之。”^[30]“石氏星表”的去极度就是落下闳、鲜于妄人等浑天家观测的。

再来看“石氏星表”中黄道内外度。这是盖天说所不能有的坐标概念，而对于引进了黄道圈的浑天说来说又是自然而然地就有的概念。因此，黄道内外度的测量也可以看成是从盖天说到浑天说转变时的天文观测成果。如上文已经提出，观测时代很可能西汉末和东汉。

5.3 浑天说对汉代天文学发展的影响

关于汉代天文学从盖天说到浑天说的转变这个问题，有许多方面要进一步探讨。首先，就天地结构模型来说，盖天家和浑天家的争论，如扬雄“难盖天八事”^[31]、王充的辩解^[32]等，就是探讨浑天说替代盖天说的过程所要研究的问题。其次，浑天说提出以后，在天文观测上产生了一系列的创新和改进：黄道的采用、昼夜漏刻的重新测定^[33]、用昏旦中星法测量冬至点位置、景长测量等等。最后，也是最重要的，由于观测理论和方法的创新，浑天说最终导致了許多新的天文学理论的发现。用黄道度量月行发现月行迟疾变化，发明“九道术”；昏旦中星观测促进昼夜漏刻长度更为精确的确定；昏旦中星测量提示日行迟疾变化；冬至点位置的测量最终导致岁差理论的发现；等等。这些都可以说是

由于浑天说直接或间接引起的天文学的重大发现。人们都谈近代天文学从“地心说”到“日心说”的哥白尼革命，而在我国的汉代，可以说是发生了从“盖天说”到“浑天说”的革命^[34]。关于这个问题的深入探讨，容笔者另文叙述。

参 考 文 献

- 1 中国天文学史整理研究小组. 中国天文学史. 北京: 科学出版社, 1981. 47~48.
- 2 史记·天官书. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第1册. 北京: 中华书局, 1975. 9, 12, 27.
- 3 汉书·天文志. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第1册. 北京: 中华书局, 1975. 89.
- 4 续汉书·律历志中. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第5册. 北京: 中华书局, 1975. 1481~1484.
- 5 中国天文学史整理研究小组. 中国天文学史. 北京: 科学出版社, 1981. 91~92.
- 6 李鉴澄. 岁差在我国发现、测定和历代冬至日所在的考证. 见: 中国天文学史文集(第3集). 北京: 科学出版社, 1984. 124~137.
- 7 华同旭. 中国漏刻. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1991. 27.
- 8 潘鼐. 中国恒星观测史. 上海: 学林出版社, 1989. 89.
- 9 汉书·律历志下. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第5册. 北京: 中华书局, 1975. 1433.
- 10 续汉书·律历志中. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第5册. 北京: 中华书局, 1975. 1481~1484.
- 11 续汉书·律历志注. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第5册. 北京: 中华书局, 1975. 1530~1531.
- 12 海南国际新闻出版中心. 传世藏书本. 1996.
- 13 续汉书·律历志下注. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第5册. 北京: 中华书局, 1975. 1534~1535.
- 14 续汉书·律历志下. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第5册. 北京: 中华书局, 1975. 1532~1533.
- 15 薄树人. 再谈《周髀算经》中的盖天说. 自然科学史研究, 1989, 8(4): 297~305.
- 16 续汉书·律历志中. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第5册. 北京: 中华书局, 1975. 1482~1484.
- 17 SUN Xiaochun, Kistemaker J. *The Chinese Sky during the Han*. Leden: Brill, 1997. 46.
- 18 藪内清. 漢代における観測技術と石氏星經の成立. 東方學報(京都), 1959, 30冊.
- 19 晋书·天文志上. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第1册. 北京: 中华书局, 1975. 170.
- 20 旧唐书·天文志上. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第3册. 北京: 中华书局, 1975. 656.
- 21 钱宝琮. 周髀算经考. 见: 中国科学院自然科学史研究所编. 钱宝琮科学史论文选集. 北京: 科学出版社, 1983. 119~136.
- 22 [唐] 瞿昙悉达. 开元占经. 卷六十至六十三. 四库全书本.
- 23 孙小淳. 汉代石氏星官研究. 自然科学史研究, 1994, 13(2): 123~138.
- 24 旧唐书·天文志上. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第3册. 北京: 中华书局, 1975. 655.
- 25 潘鼐. 中国恒星观测史. 上海: 学林出版社, 1989. 56~59.
- 26 陈美东. 陈卓星官的历史嬗变. 见: 科技史文集(16). 上海: 上海科学技术出版社, 1992. 87~88.
- 27 史记·天官书. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第1册. 北京: 中华书局, 1975. 45.
- 28 陈美东. 刘洪的生平、天文学成就和思想. 自然科学史研究, 1986, 5(2): 129~142.
- 29 SUN Xiaochun, Kistemaker J. *The Chinese Sky during the Han*. Leden: Brill, 1997. 50.
- 30 [汉] 扬雄. 法言. 见: [宋] 李昉等撰. 太平御览. 卷二. 北京: 中华书局, 12.
- 31 隋书·律历志. 见: 中华书局编辑部. 历代天文律历志汇编. 第2册. 北京: 中华书局, 1975. 544~545.
- 32 [汉] 王充. 论衡.
- 33 陈美东, 李东升. 中国古代漏刻长度的计算法. 自然科学史研究, 1990, 9(1): 47~61.
- 34 李志超. 天人古义——中国科学史论纲. 郑州: 河南教育出版社, 1995. 105~130.

ON ECLIPTIC MEASUREMENTS AND THEIR ASTRONOMICAL IMPLICATION DURING THE HAN DYNASTY

SUN Xiaochun

(*Institute for the History of Science, CAS, Beijing 100010*)

Abstract The concept of ecliptic and ecliptic coordinate system were first introduced into astronomical measurement and calculation during the Han Dynasty. This paper investigates the Han measurements related to the ecliptic system; the position of the winter solstice, the obliquity of the ecliptic, and the longitudinal width of the 28 lunar mansions. In doing these we illustrate the role and implication of the ecliptic on astronomy during the Han Dynasty. The paper also studies the data of the *huangdao neiwai du* in the *Shishi Xingjing* star catalogue, the first star catalogue in China. Our analysis shows that the *huangdao neiwai du* is equivalent to the distance to the ecliptic as measured along the great hour circle, and the data are most probably measured during the Later Han Dynasty. In the end of this paper, we argue that the development of the ecliptic system was due to the influence of the *huntian* cosmographical theory, which was to replace the *gaitian* theory to start a revolution in ancient Chinese astronomy.

Key words ecliptic, obliquity, *huangdao qudu*, *neiwai du*, Huntuan-Gaitian revolution, Han astronomy

责任编辑: 艾素珍