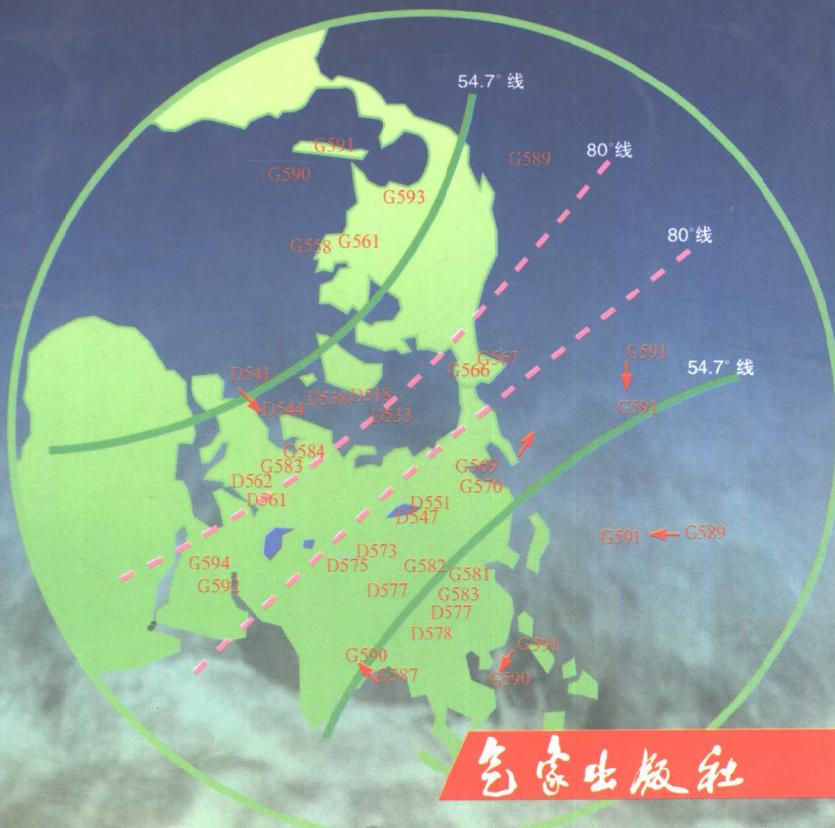


长江上游致洪暴雨天文天气耦合 预报方法研究及应用

任振球 技术指导

刘尧成 陈少平等编著



气象出版社

长江上游致洪暴雨天文天气耦合 预报方法研究及应用

任振球 技术指导
刘尧成 陈少平 等编著

17V3

气象出版社

内 容 提 要

本书从天文引潮力着手,系统地讲述了天文天气预报原理及操作方法。内容涉及天文引潮力共振对天气的影响,共振区域查算,长江上游致洪暴雨天文天气背景及引潮力共振减压预测,天文天气耦合中短期预测方法等。通过对1998~2000年三峡坝址洪水和长江上游的若干重大天气事件的剖析和预测检验,介绍了长江上游干支流致洪暴雨天文天气耦合预报客观方法研究成果。此外,还阐述了天文天气预测方法的要领及操作步骤,为长江上游致洪暴雨的中长期预报提供了一套有效的预报手段和方案。

本书可供从事长、中、短期天气预报和水文预报的技术人员进行严重暴雨和其他天气突变的研究、预报的参考,以及在校大学生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

长江上游致洪暴雨天文天气耦合预报方法研究及应用
/刘尧成,陈少平等编著. —北京:气象出版社,2001. 3
ISBN 7-5029-3111-2
I. 长… II. ①刘… ②陈… III. 暴雨-天气预报-长江
流域-上游河段 N. P457. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 12349 号

责任编辑:王小甫 终审:周诗健
封面设计:尹春喜 责任技编:刘祥玉 责任校对:刘丽华
气象出版社出版
(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)
新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

* * *

北京市白河印刷厂印刷

开本:787×1092 1/32 印张:4.875 字数:109千字

2001年6月第一版 2001年6月第一次印刷

印数:1~1000

ISBN 7-5029-3111-2/P·1102

定价:10.00元

序

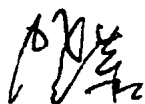
“上知天文、下知地理”一直是古代文人政客追求的最高学问境界和治国平天下的理想境界。所谓“上知天文”就是知兴衰、知未来、知天气变化。排除迷信的成份，从科学的角度讲“上知天文”实际上就是知天气，能预测天气变化。

我们也知道，太阳和月亮可以引起海水的潮汐，这是天文引潮力作用的结果。自古以来，我国劳动人民就总结摸索出许多天文与气象之间关系的谚语，这些谚语仍在民间和气象界流传，而且屡试不爽，表现了强大的生命力。如“月之从星，则以风雨”，又如“月丽于毕，俾滂沱矣”等，意即当月亮跟随一个很亮的星体时，容易刮风或下雨；当月亮走到毕宿五附近徘徊少动时，雨将下得很大。古人总结的二十四节气，几千年来一直指导着人们从事农耕生产。依据日月星辰的位置推测天气变化，指挥行军打仗，并取得胜利的事例更是不胜枚举，像诸葛亮借东风就是名垂青史的天文天气预报杰作。天文引潮力对大气运动到底有什么作用？作何解释？如何应用？本书从实际应用入手作了开创性的探讨，系统地介绍了天文天气预报原理和具体操作步骤，是对古代天文天气预报谚语有力的理论注解，为天文天气预报方法的推广和普及创造了条件。

长江三峡工程坝址以上流域面积达 100 万 km^2 ，地域广阔，气候复杂，致洪暴雨多发，特别是暴雨和特大暴雨引起的大洪水，对三峡工程建设、水利枢纽运行、长江防汛造成重大危害。因

3-1-116

此对上游致洪暴雨的预报要求很高,也采用了很多预报手段,均不能解决中长期预报的精度要求。用天文引潮力预报方法在1998年长江大洪水预报中进行试报,取得了较好效果。有鉴于此,中国长江三峡工程开发总公司组织专家对长江上游暴雨天文天气预报方法进行了专题研究和预报服务,通过对长江上游若干重大天气事件的剖析研究和致洪暴雨个例普查分析,系统地、创新性地研制出长江上游致洪暴雨预报天文天气耦合预报客观模式。研制的天文天气耦合客观预报方法在1999年和2000年进行了预报,表现了较强的预报能力和较高的水平,极大地促进了三峡工程防汛气象服务工作。同时也为建成后的三峡水库调度及中长期水情预报创造了条件。



(贺恭)

2001年1月18日

前 言

从古到今,洪水一直是危害极大、发生最频繁的自然灾害,在某种程度上制约着人类的繁衍和文明社会的生存和发展。长江三峡工程坝址的洪水主要由金沙江、岷沱江、嘉陵江、乌江、三峡区间等流域的降水造成。除金沙江外,其他流域距坝址都比较近,产汇流快,预见期短,对工程施工和防汛形成了极大的威胁。而流域性致洪暴雨预报难度大,目前投入业务运行的主要预报方法对致洪暴雨特别是异常、特大致洪暴雨的预报存在一定的欠缺。

为了提高致洪暴雨预报的准确性,为洪水预报提供可靠的技术保障,中国长江三峡工程开发总公司和湖北省三峡气象服务中心签订了“三峡地区致洪暴雨天文引潮力中长期预报方案开发与服务合同”。天文天气预报方法源远流长,有着悠久的历史,是古代最主要的天气预报方法,在农业生产和军事斗争中得到了非常好的应用。总结提炼的天气谚语至今仍在民间广为流传,但在气象领域则没有得到系统的发掘继承和有计划的研究发展,也没有该方面的专著,制约了天文天气预报方法的深入研究和日常天气预报应用。

项目的签定为天文天气预报方法的发掘继承和研究应用创造了条件。本项研究由陈少平主持,参加研究的有居志刚、龙利民、秦承平、毛以伟、于大峰、饶传新、王彩琳、马世飞、王建国、王运高等。为了完成研究任务并达到较高水平,我们特聘请这方面

的专家任振球教授担任该项研究的技术指导,任教授作为技术指导还参加了该项目的具体研究。本书就是该项目的研究成果,由刘尧成、陈少平主编;任振球教授对该书逐字逐句进行了非常认真的审查与修改,而且亲自撰写了本书第三章;参加编写的还有居志刚、龙利民、秦承平、毛以伟等。该书从介绍引潮力天气预报基本原理入手,着重研究了天文引潮力与长江上游致洪暴雨之间的关系,建立了长江上游干支流致洪暴雨天文天气耦合预报客观模式,是国内第一本系统介绍天文天气预报方法和研究天文引潮力与致洪暴雨关系方面的专著,填补了这方面的空白,为探索致洪暴雨预报的新方法与新途径起到了抛砖引玉的作用。其研究方法和预报模式可供预报员直接借鉴应用,其原理可供气象、水文和其他有兴趣的研究者以及在校大学生学习参考。

由于我们水平有限,再加上时间仓促,缺点错误在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2001年1月

目 录

序

前言

第一章 引言.....	(1)
第二章 基本天文常识.....	(4)
2.1 常用天文名词与术语	(4)
2.2 《太阳、月亮、行星位置表》的编写和使用说明	(9)
2.2.1 主要内容	(9)
2.2.2 计算说明.....	(13)
第三章 天文引潮力与天文天气耦合预报的基本原理 ...	(16)
3.1 经典引潮力.....	(16)
3.1.1 引潮力定义.....	(16)
3.1.2 引潮力公式的推导.....	(16)
3.2 非经典引潮力的发现.....	(26)
3.3 非经典引潮力的共振效应.....	(34)
3.3.1 垂直引潮力共振.....	(34)
3.3.2 水平引潮力共振.....	(35)
3.3.3 引力波共振.....	(36)
3.3.4 引力驻波共振.....	(38)
3.4 引潮力共振区查算具体操作方法.....	(38)
3.5 天文引潮力天气预报方法的应用及主要进展.....	(41)
第四章 天文引潮力与长江上游特大致洪暴雨	(48)

4.1	天文引潮力特大致洪暴雨预测方法的基本原则 及引潮力分析要领.....	(48)
4.1.1	天文引潮力致洪暴雨预报方法的基本原则	(49)
4.1.2	引潮力分析要领.....	(51)
4.2	长江上游特大洪水天文背景的统计分析.....	(53)
4.3	“81.7”四川特大致洪暴雨个例剖析.....	(55)
4.3.1	“81.7”致洪暴雨天气形势的形成与引潮力 共振的关系.....	(55)
4.3.2	“81.7”特大致洪暴雨的引潮力共振条件.....	(57)
4.4	长江上游历史特大洪水与引潮力共振条件.....	(58)
4.4.1	历史上特大致洪暴雨天气形势的建立与引 潮力共振之间的关系.....	(59)
4.4.2	历史上特大致洪暴雨持续期间所遇的引潮 力共振减压条件.....	(62)
4.5	长江上游致洪暴雨天文天气耦合预报的一般操 作步骤及要领.....	(66)
4.5.1	长期预报操作步骤及要领.....	(66)
4.5.2	短期预报操作步骤及要领.....	(69)
第五章	长江上游干支流致洪暴雨天文天气耦合预报 模式	(71)
5.1	资料说明及致洪暴雨标准.....	(71)
5.1.1	资料说明.....	(71)
5.1.2	致洪暴雨标准.....	(72)
5.2	致洪暴雨基本情况.....	(72)
5.2.1	致洪暴雨月季分布.....	(72)

5.2.2	致洪暴雨流域分布·····	(72)
5.3	天气学条件分析·····	(73)
5.3.1	西太平洋副热带高压·····	(73)
5.3.2	低层切变·····	(74)
5.3.3	低空急流·····	(75)
5.3.4	地面冷空气情况·····	(76)
5.4	天文引潮力条件分析·····	(76)
5.4.1	天文因子分类和影响情况的统计分析·····	(76)
5.4.2	天文因子出现的几个关键区域及影响·····	(78)
5.4.3	几种典型的天文天气形势配置分析·····	(80)
5.5	致洪暴雨天文天气耦合预报模式·····	(88)
5.5.1	强致洪暴雨模式·····	(88)
5.5.2	一般致洪暴雨模式·····	(92)
5.6	耦合模式的预报水平·····	(97)
5.6.1	天气模式的预报水平·····	(97)
5.6.2	耦合模式的预报水平·····	(99)
5.7	天文引潮力在长江上游致洪暴雨预报应用中 的经验和教训·····	(100)
5.7.1	应用比较成功的例子·····	(100)
5.7.2	几次预报效果不好的个例及原因分析·····	(102)
5.7.3	耦合预报模式在三峡区间降水预报中的 应用·····	(104)
附表·····		(108)
参考文献·····		(145)

第一章 引言

在中国古代,天文和气象是不分的,两者本为一体。我国古人总结的一直沿用至今的“二十四节气”,在几千年的农业生产中发挥了重要作用。它就是根据一年中太阳在黄道上的运行规律,在不同季节里的气候变化特点及其对农作物的不同影响,逐渐总结完善的。二十四节气实际上是天文学、气象学、农学、地理学等许多学科融合交叉的综合集成。另一方面,中国人预测天气变化,有许多是依据天文现象进行的,他们主要依据月亮运动的相对位置来预测未来天气变化。成书于 2500 年以前的《尚书》,就有“月之从星,则以风雨”的记载,意即当月亮跟随一个很亮的星体时,容易刮风或者下雨。著名的古籍《诗经》记载:“月丽于毕,俾滂沱矣”,意即当月亮走到毕宿五(黄道面一颗一等亮星)附近徘徊少动(此处 的“丽”为附着之意)时,雨将下得很大。中国古代军事家也是依据月亮的位置来预测天气变化,用以行军打仗的。例如《三国演义》中曾谈到诸葛亮和司马懿在陈仓会战,两人都观察到“太阴(即月亮)缠于毕,月内必有大雨”,预测未来将下大雨无法打仗,双方都撤兵了;《孙子兵法·火攻篇》有云:“发火有时,起火有日。时者天之燥也;日者,月在箕、壁、翼、轸(均为二十八宿之一)也”。尤其是《孙臆兵法·月战篇》更进一步地说:“十战六胜,以星也。十战七胜,以日者也。十战八胜,以月者也。十战九胜,月有……而十胜”(虚点为长沙马王堆出土竹简中,被盗墓者焚毁部分)。认为根据月亮预测天气指挥作战效

果最好。古巴比伦也有“轸宿为风星,昴宿为雨星”的记载。

在中国古代,将自然界、天地人视为相互联系的统一体。“有天地,然后有万物。有万物,然后有男女。”“仰以观于天文,俯以察于地理,故知幽明之故”。这种整体观方法论正是中国传统文化精髓。中国古代的大军事家,由于他们“上知天文,下知地理”,观天识地,知己知彼,因而指挥打仗往往能够得心应手。随着现代气象科学的兴起,气象学家都热衷于用数学物理方法研究、预报各种天气现象,往往忽略了天文因子对天气的影响,这种具有中国特色的传统测天经验却没有被很好地继承下来。不过那些天文天气预报的民谚至今仍在民间广为流传,如华北地区有“月傍星,不是刮风就是下雨”;东南沿海有“大星逼月易变天”;西北地区有“星月相碰要变天”。这些流传了数千年、分散在各地、说法不同内容却相同而且至今仍屡试不爽的测天经验,看来很难说成是一种偶然巧合,其中有可能隐含着新的物理内涵。

20 世纪 60 年代后,我国和世界上各种严重自然灾害频繁发生,中国一些科学工作者开始思考特大自然灾害预测的出路问题,他们继承前人经验中的合理部分,在现代科学的基础上,就天文因素尤其是月亮运动与灾害性天气之间的关系,开展了艰苦的探索研究^[1],在某些方面取得了显著进展。以中国气象科学研究院任振球研究员为代表的科研工作者,集中研究了大气潮汐尤其是月亮运动的奇异位置与突发性天气灾害的关系^[2],他们首先抓住天文大潮(朔望)和台风强度变化的关系^[3],通过典型剖析后,再进行普查和反查,得到朔望对台风强度变化的影响,严格地取决于朔望发生时刻的月亮引潮力的垂直分量,统计检验的信度达 0.01。并且得到当太阳系的大行星(冥王星除外)或者黄道面 8 颗一等亮星(毕宿五等)或者黄道面 3 颗最强宇宙

射电源,当其中任意 1 颗天体与月亮、地球三星成直线(视赤经相等或相差 180°) 时,当时月亮的引潮力的垂直分量对台风的强度变化,也有明显影响。此外,月亮相对于地球运动时的转折点发生时刻的月亮引潮力,对台风的强度变化也有一定影响。此种三星一线效应(其中必须有月亮或者太阳,另一颗天体要求在黄道面附近)称之为“奇异天文点佯谬”(Strange Astropoint Paradox,简称奇异天文点)。进一步研究表明,在此种奇异天文点的发生时刻,还存在着 4 种不同类型的共振区。当短期内多个奇异天文点共振满足特定组合时,可以触发灾害性天气的发生。但它是通过大气内部条件而发生作用。例如,当某一地区已经具备暴雨天气形势时,在遇到引潮力共振减压的当天,暴雨中心将加强为大暴雨或特大暴雨(日降水达 $100\sim 200\text{mm}$ 以上)。反之,当并不具备明显的降水天气形势时,即使遇到引潮力共振减压,或者明显降水区不处在共振减压区时,当天也不致于发生大暴雨或特大暴雨过程。总之,只有当内外因耦合时,即只有当明显降水天气形势这种内因和外来引潮力共振减压触发的不断出现并且相耦合时,方可发生致洪暴雨甚至是持续性的大暴雨或特大暴雨过程。实践表明,持续干热天气、台风突变和大地震临震等特大自然灾害的发生,同样都必须具备内外因相耦合,其基本原理都是一致的。

可以说,从古代的“上观天文,下察地理”,发展到当今的“内外因耦合”预测自然灾害,这种古今结合,运用现代科学对古代测天经验的系统发掘和理论探讨,是值得我们重新研究提高的重要课题。

第二章 基本天文常识

天文天气预报方法是一个古老的气象预报方法,涉及许多天文名词和术语,为了更好地论述天文天气预报方法,使没有专门学习过天文知识的读者能方便地阅读和应用本方法,在此先介绍一些天文名词和术语(其中右上角带*号的名词是根据最近的天、地、生交叉研究提出的)。

2.1 常用天文名词与术语^[4]

1. 三星一线* 这里的三星一线特指黄道面的特定天体和月亮(或太阳)、地球三个天体成直线时的现象。其中必须有地球、月亮或太阳(但机会较少);特定天体必需在黄道附近,可以是太阳系的大行星(冥王星除外)、黄道面的一等亮星或黄道面最强宇宙射电源。三星一线是一种通俗称谓,严格地说,它是指黄道面的此种天体和月亮(或太阳)的视赤经相等或相差 180° 之时,但两者的视赤纬可略有差异。本文所提到的三星一线都是这种情况。由于三星一线时存在非经典引力的一系列地球物理效应,难以用目前的万有引力定律和广义相对论解释,一些科学家认为它有可能与此时隐含着某种新的物理规律(如量子引力)有关。

2. 月亮相对运动转折点* 月亮对地球做相对运动时的转折点。包括月亮离地球最近或最远、月亮通过赤道(或黄道)及其最南或最北、上弦或下弦、日月同纬等。

3. 奇异天文点* 从地球物理效应来看主要是指三星一线时的天文现象,同时也包括月亮相对运动时的转折点。

4. 朔、望 朔,又称新月。为月亮和太阳位于地球的同一侧,两者的地心黄经相等之时,发生在农历初一。望,又称满月。为月亮和太阳位于地球的两侧,两者的地心黄经相差 180° 之时,一般出现在农历的十五、十六、或十七几天。朔和望,通俗地说,都是太阳和月亮对地球在经度方向成直线之时(但两者在纬度方向可略有差异)。

5. 上弦、下弦 月亮和太阳对地球成直角,两者黄经分别相差 90° 和 270° 之时,分别为农历的初七或初八、二十二或二十三。它们在经典潮汐理论中为小潮时期。但此时日月引潮力水平分量在月下点(或日下点)的合力之日际变化达最大,也是地球公转速度在周月内的转折变化时期。

6. 行星合月、冲月* 行星合月和行星冲月分别是行星和月亮的赤经相等和相差 180° 之时,都是两者对地球成直线(两者的赤纬可略有差异)的时候。行星合月的周期,一般为 26~33 天,大多为 28 天左右。

7. 行星合日、冲日 行星合日和行星冲日分别为行星和太阳的黄经相等或相差 180° 之时。其中,内行星(指地球公转轨道以内的水星和金星)在近地时合日,称为下合日;在远地时合日,称为上合日。行星合日的会合周期,一般为 3 个月(水星合日)至 2 年多(火星合日)不等。外行星冲日,一般是该行星处在近地点附近,反之,其合日为其处在远地点附近。

8. 恒星合月、冲月* 指黄道面一等亮星或黄道面最强宇宙射电源合月和冲月。恒星合月和恒星冲月分别为恒星和月亮的赤经相等或相差 180° 之时,都是两者对地球成直线(两者赤

纬可略有差异)的时候。

9. 恒星合日、冲日 指黄道面一等亮星或黄道面最强宇宙射电源合日和冲日。恒星合日和恒星冲日分别为恒星和太阳的黄经相等或相差 180° 之时,都是两者对地球成直线(两者黄纬可略有差异)的时候。

10. 黄道面一等亮星 指黄道面附近 8 颗一等亮星,均为恒星。包括:毕宿五(金牛座 α 星)、心宿二(天蝎座 α 星)、五车五(金牛座 β 星)、井宿三(双子座 γ 星)、北河二(双子座 α 星)、北河三(双子座 β 星)、轩辕十四(狮子座 α 星)和角宿一(室女座 α 星)。

11. 黄道面最强宇宙射电源 指黄道面附近的 2 颗最强宇宙射电源——M1(金牛座蟹状星云)和 M87(室女座星系团的中心,可能是一个超大黑洞),以及黄道面最强的 X 射电源——天蝎座 X-1。

12. 朔望月 月亮、太阳与地球的会合周期,即月亮圆缺变化(月相)的周期。周期为 29.53058885 天,整年的长周期为 19 年。朔望月的 235 倍与 19 个回归年仅差 0.08 天。

13. 恒星月 月亮相继两次通过黄道面同一颗恒星所间隔的时间。其周期为 27.32166155 天。

14. 回归月 又称分至月。月亮相继两次通过春分点(黄道对天球赤道的升交点)所间隔的时间,即是月亮在地球赤道南北摆动的月赤纬变化周期,也是对周月内地球自转速度变化的贡献最大者。其周期为 27.32158224 天, $1/4$ 周期为 6.83 天。

15. 交点月 月亮相继两次通过它的轨道(白道)与黄道相交的升交点(或降交点)所间隔的时间,也是月亮在黄道南北摆动的周期,即月黄纬变化的周期。其周期为 27.21222082 天。

16. 近点月 月亮相继两次通过月亮近地点(或远地点)所间隔的时间。其长度为 27.55454988 天。

17. 月相 狭义地说专指月亮的圆缺变化,即朔望月。广义地讲还包括回归月、恒星月、交点月、近点月。它们以及行星合月的主周期均为其半月周期,它们的 $1/4$ 周期都是准两周。它们的半月周期的公倍数误差比较小的有:205 天($\Delta 2.6$ 天)、150 天($\Delta 2.35$ 天)、180 天($\Delta 3.14$ 天)和 120 天($\Delta 3.78$ 天)。

18. 日月同纬 太阳和月亮两者的视赤纬(绝对值)相差 $\leq 2^\circ$ 之时(以月中天时为准)。

19. 黄道 地球上看来太阳一年内在众星之间所走的视路径,即地球绕太阳公转的轨道平面和天球(为了便于研究天体的位置和运动,假想以观测者为中心,以任意长为半径的假想球体。下同)相交的大圆。严格地说,黄道是地月系质心绕太阳系质心公转的平均轨道与天球相交的大圆。

20. 黄道坐标 太阳系内天体运动的一种坐标。以地球绕太阳公转的轨道平面(即黄道)为基准,表示天体在天球上的位置,由黄经(λ)和黄纬(β)组成。以地球为中心的黄经和黄纬称地心黄经和地心黄纬,以太阳为中心的黄经和黄纬称日心黄经和日心黄纬。

21. 黄经、黄纬 又称天文经度和天文纬度。黄经(λ)是黄道坐标中天体中心的黄经圈(通过该天体中心和南、北黄极的大圆)与春分点在黄道上的弧长,从春分点起算,沿黄道按反时针方向划分 360° 。黄纬(β)是黄道坐标中天体中心在黄经圈上与黄道之间的角距,黄纬以黄道为 0° ,至南、北黄极为 90° ,在黄道以北为正,以南为负,太阳系天体的黄纬值大多较小。天体在黄道坐标中的真位置(黄经和黄纬)加上光行差(由于地球的自转、