

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

中外科学家发明家丛书

刘焯



一、刘焯生活的时代

刘焯，字士元。生于公元 544 年。信都昌亭（今河北冀县）人。是隋代著名的天文学家。

刘焯的主要生活时代是隋朝（581——618）。隋朝是杨坚（541——604）篡夺北周（557——518）政权建立的。

杨坚的父亲杨忠，是北周开国功臣，府兵十二大将军之一，赐姓普六茹氏，封随国六。

杨坚的妻子独孤氏，是鲜卑大贵族、府兵八个柱国大将军之一独孤信之女。

杨坚的女儿又是周宣帝宇文赧的皇后。这种家世使杨坚得以篡夺北周权力。

公元 580 年，周宣帝死，继位的静帝年仅八岁，杨坚以大丞相的身份辅政，掌握了朝中大权。

杨坚辅政后，北周的地方大员尉迟迥、司马消难、王谦等曾起兵反对，但不久即被平定。在朝廷上，北周宗室诸王也谋推翻杨坚，而均遭杀戮。

公元 581 年，杨坚即废周静帝自立，建国号为隋（因为父亲杨忠封随国公，所以改国号为随，又因为厌恶“随”字带“走之”，所以去走之为隋），改元开皇，定都长安，历史上称他为隋文帝。

隋文帝即位后，便积极准备灭陈（557—589），统一全国。

公元587年，隋文帝首先灭掉建都江陵（今湖北江陵）的后梁（557—587），扫除了向江南进军的障碍。

公元588年，隋文帝命儿子杨广（569—618）领兵51.8万人，大举攻陈。这时陈的政治腐败已达到极点，陈后主（陈叔宝，553—604）荒淫无度，日夜同一群妃嫔佞臣赋诗纵酒作乐，过着醉生梦死的生活。他善于作宫体诗，其内容充满了花月、酒色、脂粉的气味。他的《玉树后庭花》、《三妇艳》便是代表作。当隋朝大兵临江时，边将飞章告急，陈叔宝还毫不为意。

589年初，隋将韩擒虎（538—592）、贺若弼（544—607）率兵渡江，分为两路进攻陈都建康（今江苏南京），迅即破城而入。

陈亡之后，岭南（今广东、广西一带）地方也很快地归附隋朝。

岭南地方首领冼夫人是南朝梁高凉（治所在今广东阳江）太守冯宝之妻，所统部落有十多万家，实力很强。

冯宝死、陈朝亡后，冼夫人受到岭南数郡的拥戴。

隋文帝遣韦洸安抚岭南，她即派人迎接韦洸入广州，于是岭南尽入隋朝版图，隋朝

册封她为谯国夫人。这样，自东汉末年以来400年间的分裂局面结束了，全国复归于统一。

隋朝的统一，是当时历史发展的必然趋势。在南北朝的后期，这种趋势已经出现。

在南北朝时期，无论北方或南方，都出现了各族人民大融合的情景。居住在北方的匈奴、鲜卑、羯、氐、羌等各族人民；居住在南方的蛮族、僚族、俚族、僚族等各族人民，这时已基本上和汉族融合在一起了，无论在经济方面，文化语言方面，风俗习惯方面，他们已基本上和汉族一样了。这种民族间的大融合，是促成全国重新统一的重大因素。

在南北朝时代，南北方的经济都有了相当的发展。北方黄河流域的经济在五胡十六国时期（304——439）曾受到很大的破坏，但自北魏实行均田制以来，又得到了恢复与发展。南方长江流域在劳动人民的辛勤开发之下，经济上也有了很大的提高，已经赶上了黄河流域，并且快要超过黄河流域了。这种南北方经济的进一步发展，迫切要求加强南北经济的联系和交流，结束政治上南北对峙的局面。因此，南北方经济上的发展，是促使全国统一局势到来的又一重大因素。

南北朝以来，南北方的阶级关系也在发生变动，原来统治社会各方面的门阀大族的

势力逐渐趋向没落，而一般寒族地主的力量则在逐步上升，这种情形也有利于中央集权的统一国家的出现。

在南北分裂局面下，最后北方北周的经济、政治与军事力量的上涨超过了南方的陈，打破了南北力量的均势。

杨坚继承北周的优势建立隋朝后，又实行若干改革措施，进一步扩大了南北力量的差距。这样就造成了由隋灭陈，由北方统一南方的形势。

秦汉时期是我国历史上第一次大统一局面。从此以后，统一便成为历史的主流，而割据分裂只是暂时的，不管封建割据如何得势，最后总是归宿于统一。

隋唐时期是我国历史上的第二次大统一局面，而这次大统一局面首先是由隋朝建立的。

隋朝的统一，是在更坚固的基础上出现的，是建立在南北朝以来民族大融合的基础上，建立在黄河流域和长江流域的经济都有发展的基础上。因而这种统一比以前更加巩固、更加提高了。而这种统一的出现，又促进了中国封建经济文化的进一步的发展，为唐朝经济文化的昌盛打下了基础。所以隋朝统一国家的建立，在中国历史上是有积极作用的，尽管它存在的时间很短。

隋文帝灭亡陈朝以后，将陈朝的皇室大

臣及豪族等迁入长安。这些南方豪族离开原来乡土以后，他们的力量便大大削弱下来。

公元 590 年，南方各地的豪族不满于隋朝统一的变革，纷纷起来发动叛乱。隋文帝派大将杨素（？——606）率兵讨伐，很快将武装叛乱平定下去，不仅彻底击溃了陈朝的残余力量，而且沉重打击了南朝的门阀世族。

隋文帝即位以后，在中央机构方面，废除北周仿效《周礼》的六官，将两汉、魏晋、南朝各代的中央官职作了一次大综合，建立了三省（内史省、门下省、尚书省）六部（吏部、民部、礼部、兵部、刑部、工部）制度。从此直到清末，六部制基本未变。

在地方组织方面，隋文帝把东汉以来的州、郡、县三级制，改变为州、县两级制。后来隋炀帝又改州为郡，实行郡、县两级制。这种地方行政机构的简化，节省了经费开支，提高了行政效率，加强了中央对地方的控制。

在州县属吏的任用方面，隋朝废除了秦汉以来地方官就地自聘僚属的制度，规定凡九品以上的地方官吏，一律由中央的吏部任免，又规定州县佐官要三年一换，不得重任，并且须用外地人，不得使用本地人。这样，把地方官用人之权完全收归中央，防止地方政权为豪强所把持，进一步加强了中央

对地方的控制。

魏晋以来实行九品中正制度，做官要凭门第，仕途完全为门阀大族所把持。

隋文帝明令废除了九品中正制度，实行州县地方官荐举人才的办法，如曾命诸州每年举送三人。到隋炀帝时，开始设立进士科，用考试方法来选取进士。进士科的设置，标志着科举制度的成立。科举制度在隋朝还在形成的过程中，而到了唐朝，便进一步地发展和完备起来了。

隋文帝即位后，曾两次命人修定刑律，制正《开皇律》。唐律即根据隋律而来。

隋文帝继续颁布均田令，推行于全国各地。隋朝经济的繁荣，均田制的施行是一个重要的原因。

在继续实行均田的基础上，隋文帝对租调力役也作了规定。租调力役的减轻，有利于提高农民的生产积极性，促进农业生产的发展；也有利于封建国家把豪强地主控制下的农民争取过来，使之成为国家编户，增加国家掌握的人口。

此外，隋文帝还实行“大索税阅”与“输籍之法”，使政府掌握的纳税户口大为增加。

随着户口的增加，耕地面积也随之扩大，府库充实，社会经济得到了发展。

公元604年，杨广派人杀死隋文帝再杀

死哥哥杨勇，登上了皇帝的宝座。历史上称他为隋炀帝。

隋炀帝营建东都，开凿大运河，实行残暴统治。

二、两次历争的失败

刘焯出身于一个小官吏的家庭，他的父亲刘洽曾为郡功曹（掌人事，与闻一郡的政务），家境并不富裕。

刘焯天资聪敏，深沉好思。他青少年时最好的朋友是刘炫。

刘炫字光伯，河间景城人，天资也很聪敏，他们共同学《诗经》于同郡的刘轨思，受《左传》于广平（今河北鸡泽）的郭懋当，问《周礼》于阜城（今河北阜城）的熊安生。

刘焯三处受业都未满期便辞别老师另求新知。随后，他得知武强（今河北武强）的刘智海家中有大量藏书，便与刘炫结伴就读于刘智海家，闭门读书，虽衣食不继，仍自得其乐。这十年苦读，使他成为饱学之士，于是以儒学知名，为州博士（掌经学的传授）。

约公元 583 年，冀州刺史赵昺聘刘焯为冀州从事（刺史的僚属）。不久又举秀才（荐举人员科目之一），到京都长安（今陕西西安）与著作郎王邵同修国史，兼参议律历之事。这时刘焯已经是年近 40。虽然官微位卑，还是积极参加了这时的历法论争。这一年，他献上了经苦心钻研和实测而得的、自信能够会通古今、符允经传、稽于庶类、信而有证的新历法。

公元 584 年，隋文帝决定颁用他的宠臣张宾所献的开皇历，这大大出乎刘焯的意料，他就和当时著名的天文学家刘孝孙一起反对张宾的开皇历，指出开皇历不用岁差法、定朔法等六条重大失误。

岁差就是回归年和恒星年每年之间的差别。回归年就是由于地球绕日自转轴与公转轴倾斜，使地球上日照的倾角发生周期性的变化。从而发生季节变化，它的变化周期可以用中午日影长度的变化度量。恒星年是利用季节星象判断季节。回归年和恒星年每年相差不到一分，叫做岁差。中国天文学产生的初期，是利用星象判断季节的。但是由于中国古时的度量系统是赤道式的，而且采用二十八宿入宿度这种以赤经差计量的特殊表达方式，致使古人不知存在差异，发现岁差比较晚。

约 330 年，东晋的虞喜（281——356）发现，依照《尧典》的记载，冬至时的昏中星为昴星，而到了虞喜的时代，冬至昏中星为壁 9 度。这就是说，从帝尧到东晋这段时间内，冬至昏中星已从昴宿，经胃宿 14 度、娄宿 12 度、奎宿 16 度、退行至壁宿 9 度，合计退行 51 度。虞喜估计唐尧时代相距 2700 年，由此可以求得约 53 年岁差一度。

虞喜发现岁差，在中国天文学发展史上具有划时代的意义。显然，古历把节气与星

度相等同是不正确的，寒暑变化一周不等于太阳在恒星间运行一周，也就是说周天与周岁是不同的概念，太阳在黄道上运动，经过一岁之后并未回到原处、还差 $1/53$ 度（赤经差）。

张宾的开皇历，在虞喜发现岁差 200 多年后仍然不用岁差法，显然是落后于天文学发展水平的。

定朔法是和岁差联系在一起的。在没有发现岁差以前，人们不清楚太阳和月亮的运动是不均匀的，所以那时采用的是手朔，朔是不能真正反映合朔时刻的，要想解决这个问题就要根据日月运动的不均匀性考虑一个定朔的办法来解决，而开皇历也没有这种定朔法，所以不可能不引起刘焯等人的激烈反对。

刘焯和刘孝孙据理力争，批评多切中要害，表现了极大的坚持真理的勇气和很高的天文学素养。但是，事与愿违，刘孝孙却因此被扣上非毁天历，率意迂怪的大帽子，刘焯也被加上妄相扶证，惑乱时人的罪名。这对于刘焯来说是一次沉重的打击，也给他的仕途蒙上了浓暗的阴影。虽然是这样，刘焯能够和刘孝孙交往和共事，对于他在历算研究方面的长进还是获益非浅的。

刘焯在参加第一次历法之争失败以后，被调到门下省，以备皇帝顾问。随后不

久又被授予员外将军之职。后与诸儒于秘书省考订儒家经典，并曾一度返回故乡，县令韦之业请他做了功曹之职。

公元 586 年，刘焯复返京师，奉命与刘炫等共同考定由洛阳运到长安的文字磨灭的石经，以补正这些磨损的部分，可见刘焯对儒家经典深有研究，而且在当时颇孚众望。其后，在国子监与左仆射杨素、吏部尚书牛弘、国子祭酒苏威（534—621）、国子祭酒元善、博士萧该、何妥、太学博士房晖远、崔崇德、晋王文学苏夔等群儒共论古今经籍的滞义，前贤不能做出确切解释的，每次入座后，都要论难蜂起，刘焯以他的精博，使众不能屈，杨素等人都不得不佩服他。

公元 590 年，刘焯在国子监举行的祭奠孔子的典礼上，和刘炫一起与群儒辩难、深挫诸儒，为一些人所忌恨，于是有人上呈奏章，谤其非是，他就被革职为民了。这件事是他被革职的直接原因，深层的背景可能是他少年前在历法之争中的原因。

刘焯只得回到了故里，专以教授，著述为业，孜孜不倦，前后共 10 多年。在儒家经典方面，他主要研究的是贾逵、马融、郑玄等古文经学家所留下的典籍，匡正讹误，阐发新义，著有《五经述议》一书；一方面他又着力研习东汉前期的《九章算术》、西

汉中期的《周髀 (bì) 算经》、《七曜历书》等 10 余部历算名著，无论究其根本，穷其秘奥，把天文历算的研究引向深入。著有《稽极》10 卷，是关于前代历家同异的比较研究成果，因为其书早佚，我们无法知道这部书的详细内容。还著有《历书》10 卷，这部书的主要内容就是刘焯后来上呈的皇极历。

刘炫也是聪明博学的人，但是名气排在刘焯之后，所以当时的人就称他们两人为二刘。在研究、著述的同时，刘焯还从事大量的教育工作，天下名儒后进，质疑授业，不远千里而至者，不可胜数。人们认为，几百年以来，博学博儒，没有比他更强的了。但是他空怀旷世之才，又因为家境不富裕，没有交给他吏修（干肉条，学费的代称，源于孔子）的学生，他不能尽心尽力地去进行教诲，所以也有人因为这件事而批评他。

刘焯虽然身居乡里，对于当时历算界的动态及其进展却十分关心和了解，并多次参与改革历法的争论。

当时有个叫张胄玄（526 - - 612）的天文学家，勃海湾（河北景县）人，博学多通，尤其精于天文历算之学，久居于民间，一直未被朝廷所知。

公元 585 年，张胄玄和李文琮一起曾编制了一部历法准备上献给朝廷，由于当时刚刚颁行张宾的开皇历，所以他们的历法未被

采纳。但是，他们的历法却在民间得到了广泛的流传和应用。

公元 590 年，经由冀州刺史赵斐的推荐，年过六旬的张胄玄才开始到京师长安的太史任职，授为云骑尉，参议天文历法之事，也曾与刘孝孙一起对张宾的开皇历提出了尖锐的批评意见。

公元 593 年，为鉴别各家历法的优劣，太史提出古今日食观测记录 25 事，依张宾的开皇历推算，合者甚少，依刘孝孙法推算，合与不合各半；而依张胄玄法所推大多符合。这引起了隋文帝的重视，又因为张胄玄称言入隋以来白昼时间增长等瑞兆，隋文帝大悦，就命令张胄玄、袁充等参定新术，制定新历法。

刘焯闻讯后，便在刘孝孙历法的基础上，增损改进，献上了《七耀新法》以备选用（这时刘孝孙已去世。但是，刘焯的《七耀新法》与张胄玄的历法，矛盾比较多，因为张胄玄和袁充都有宠于隋文帝，两个人合起来排斥刘焯，刘焯只好作罢。这是刘焯参与的第二次历争，也以失败告终。

三、皇极历（一）

公元 600 年，皇太子杨广征召全国的历算专家，都集中在东宫，共同商议历法的事情。

刘焯也在杨广这次征召的人员之内，这回他献上了经过几十年研究的皇极历，并且驳正张胄玄历法的错误。

刘焯在他的皇极历中，给出了一批十分精确的天文数据，在他以前各历法所取近点月长度值的误差多大 5 秒左右。甚至有达 10 多秒的，而他所取的值

为 $27 \frac{1255}{2263}$ 日，误差 0.8 秒，精度远远地超过前人，而且与后世的

比较，这个值的精度也属于上乘。对于月亮每天的平均行度，他取 13.36879 度，与这个数字相应的恒星月长度则是 27.321675 日，误差为 1.3 秒，它比较前代各个历法（误差多为 5 秒左右）的精度也高得多。他取食年长度为 346.619338 日，误差为 24 秒，这个精度也是前所未有的，后世也只有唐末边风的崇玄历（公元 892 年完成，误差 15 秒）和北宋末姚舜辅（活跃于 1102—1110 年）的纪元历（1106 年造，误差 7 秒）。

这刘焯还最早提出了黄道岁差的概念和具体数值，这一概念是从他的先辈所发明

的赤道岁差概念引申出来的。在计算太阳行度时，计入黄道岁差的影响。比较用赤道岁差入算要科学和合理得多，这个原因可能就是阐明和采用黄道岁差概念的出发点。

刘焯所用的黄道岁差值是1年差 $\frac{6095}{46644}$ 度，这相当于76.3年

与这个数值相对应的赤道岁差值是 83.5 年差 1 度，这个数值的精度比前代各家都要高，而且对唐代以及北宋一些历法产生了很大的影响。对于其他一系列的天文数据，皇极历也都是各取新值，它们的精度也大部分和前代的历法持平。

关于天文表格的编制，皇极历也有所改良或创新。譬如对于月亮运动不均匀改正数值表（月离表）的定量分析表明：他的月亮过近日地点时间的误差为 0.47 日，达到了历史上比较高的精度；他的月亮每日实行度的测算误差为 9.4 ，精度高于前代各个历法（误差在 10.5 至 27.1 不等），以后也只有唐末崇玄历的精度（误差为 7.0 ）超过了它。可见皇极历的月离表是历代最优秀的历表之一。

皇极历是我国古代现存最早的给出完整的太阳运动不均匀改正数值表 1（日躔 Chán 表）的历法。

东汉时的天文学家刘洪（129——210）

在依照他的乾象历（公元 206 年审定）对一批交食食时的预推和实测记录之间的时间差作分析时发现，该时间差的正负、大小，与交食所发生的月份有较稳定的关系，并归纳出一年中各个不同月份应加（或减）的各不相同的时间修正值，此即所谓“消息术”：在依乾象历推算得的食时的基础上，加（或减）该修正值，如规定当交食发生在 11 月份时，应加一辰，发生在 7 月份时应减一辰，等等，便可得到更准确的食时。依“消息术”计算，在公元 221——223 年的 5 次日、月食食时的误差为 0.6 时辰，这个精度比较乾象历又有明显的提高。

刘洪的这一发现和相应方法，对于交食研究具有非常重要的意义，他是发现了这些时间差的正负、大小、与交食所发生的节气存在稳定的关系，而节气是太阳处于它的运行轨道上某一个特定位置的标志。所以，产生上述时间差的主要原因，应是太阳运动有迟有疾，也就是太阳运动的不均匀性。在 11 月份时，太阳视运动速度快，真切的食时应该推迟一段时间；7 月份时，太阳视运动速度慢，真切的食时应该超前一段时间，再对照上面“消息术”的规定，事实和刘洪的发现在总体上是吻合的。这些情况都说明，刘洪的这些发现和相应的方法，实质上是大体正确地反映了太阳运动不均匀性对食时推

算的影响。刘洪实际上已经叩击了太阳运动不均匀性这一重大发现的门扉，可是他并不自觉，未能迈出关键的一步。

中国古代发现太阳运动不均匀的现象比古希腊晚得多的主要原因，是由于中国古代的浑仪主要用以测量天体的赤道坐标为主，当用浑仪观测太阳时，太阳每日行度的较小变化往往被赤道坐标与黄道坐标之间存在的变换关系所掩盖，所以刘洪的后者不解他的工作中的奥妙，以致在以后的 300 多年中渐被人们遗忘。

北齐时的天文学家张子信（主要活动于 6 世纪 20 到 60 年代）经由两个不同的途径发现了太阳运动不均匀的现象：

第一：从冬至到平春分和从夏至到平秋分都历时 91 天多，而从冬至到真春分（升交点）历时 88 天多，从夏至到真秋分（降交点）历时 93 天多，所以张子信用浑仪可以测算知：在平春分和平秋分时，太阳的一个去极度都比一个象限要小一度多。由此便不难推知，自平春分到平秋分（也是时经半年）视太阳所走过的黄道速度，也就是说自平春分到平秋分视太阳的运动速度要小于自平秋分到平春分视太阳的运动速度，这就是张子信所说的：“日行春分后则迟，秋分后则速。”

刘焯的皇极历很可能受到张子信、刘孝

孙等人有关方法的影响。对他的日躔表的定量分析显示：二十四节气太阳实行度分与平行度分之差的测算误差为 25.2 ；因太阳运动不均匀而加于平朔的日分改正值的误差为 3.4 刻，到唐一行（683 - - 727）太衍历（728 年一行死后颁行）以后的日躔表才从总体上超过这一水平。

皇极历的日躔表也存在三个大缺陷：

第一：皇极历的日躔表以春分、秋分 and 夏至、冬至时太阳的盈缩度相同；

第二：对春分、秋分前两个节气太阳盈缩度的测算存在着极大的误差；

第三：对太阳中心差极值的测算也偏大。

这三个大缺欠都极大地损害了对太阳运动不均匀性的整体规律的描述，也降低了日躔表的整体精度。在皇极历中，对二十四节气昼夜漏刻长度、昏旦中星度及月亮入交去黄道（即求月亮极黄纬）等表格也作了重新测算，其精度仅仅保持在前代的水平上。

皇极历的又一重大特色，是发明和应用崭新的数学方法。皇极历的新法主要有等间距二次差内插法、等差级数法和坐标变换法三种。

我们先来概括一下等间距二次差内插法的算式：

$$T = T_0 + \frac{t}{2} \cdot \frac{1 + \frac{t}{2}}{2} + \frac{t}{2} (T_1 - T_2) - \frac{t^2}{2t^2} (T_1 - T_2)$$

第一：欲求任一时日月亮的极黄纬值，上式中的 T 即为该 10 倍。 t 系每日该时月与最临近的一次月亮过黄白交点时刻之差， $t = 7356366$ （“交法”） T_0 为该日的月亮极黄纬值， T_1 和 T_2 分别为该日后相邻两日的 T_0 值之差。 T_0 （“衰积”）、 T_1 和 T_2 （“去交衰”）均可由月亮入交去黄道表查得。

第二：欲求任一时日太阳实行度与平行度之差 T （后用 T_s 表示），式中的 t 系指某节气初日与所求时日的间距。 t 为一节气的日数，对于秋分后到春分前的各节气， $t = \frac{16}{11} \times 10 = 14.54$ 日；对于春分后到秋分前的各

$t = \frac{17}{11} \times 10 = 15.45$ 日。它们分别是秋分到春分，和春分到秋分的

节气日数平均值的约数，它的准确值应分别为 14.76 日和 15.68 日。 T_0 指某节气太阳实行度与平行度之差。 T_1 和 T_2 （“衰总”）、 T_1 和 T_2 （“躔衰”）均可由日躔表查得。

第三：欲求因太阳运动不均匀导致的平

朔到定朔的改正值 T (后用 T 示之)。式中的 t 系指某节气初日与平朔时刻的间距, t 的含义同第二, T_0 为某节气因太阳运动不均匀导致的平朔的定朔的改正值, Δ_1 和 Δ_2 分别为某节气后相邻两节气的 T_0 之差。 T_0 (“迟速数”)、 Δ_1 和 Δ_2 (“陟降率”) 也可由日躔表查得。

第四：欲求因月亮运动不均匀导致的平朔到定朔的改正值 T (后用 $T_{月}$ 表示)。式中的 t 系指该日平朔时刻与最临近的一次月亮过近地点时刻之差, $t = 1$ 日, T_0 为同该日月亮实行度与平行度之差相应的时刻值, Δ_1 和 Δ_2 分别为同该日后相邻两日 T_0 值有关的数值。 T_0 (“脱朏积”)、 Δ_1 和 Δ_2 (“加减”) 都可由月离表中查得。

有了以上二术, 则有

$$\text{定朔时刻} = \text{平朔时刻} + T + T_{月}$$

这就是皇极历计算定朔的方法, 是我国古代最早同时虑及日、月运动不均匀对真正合朔时刻影响的定朔法, 在我国古代历法史上占有很重要的地位。等间距二次差内插法对于提高天文量计算的精度也起了良好的作用。

四、皇极历（二）

皇极历还首创了等差级数的表述和计算。如在应用 0 一方法。昼夜漏刻长度表计算任一时日的昼夜漏刻长度 (K) 时，刘焯给出了二十四节气初日的初数 (L)，又给出相邻两节气间每日增或减的等差数 ()，如“每日增大”、“每日减少”等等。已知该日所入节气及入该节后的日数 (t₀) 即可求出

$\sum_0^{t_0} t_0 = 0.1, \dots, 15$)。由昼夜漏刻表查得该节气初日的夜半漏刻长度 (K₀)，则

$$K = K_0 \pm \frac{1}{a} (t_0 L \pm \sum_0^{t_0} t_0)$$

式中 a 为一常数。在坐标变换、交食和五星运动计算的有关问题中，也应用了等差级数的表述与算法。该法与等间距二次差内插法一样，具有同等重要的意义。

东汉的张衡 (78——139) 发明了黄赤道差的算法。张衡的黄赤道差算法是先准备好一个天球仪，再用一根竹蔑，穿在天球两极。蔑的长度正与天球半圆周相等。将竹蔑从冬至点开始，沿赤道一度一度移动过去，读取竹蔑中线所截的黄道度数，将此

数与相应的赤道度数相减，即得该赤道度数（或黄道度数）下的黄赤道差。

刘洪将张衡黄赤道差的算法首次引入到历法以后，沿用了几百年，到刘焯的皇极历又有了新的算法。

张衡的黄赤道差的算法以每经赤道五度为一限，刘焯以四度为限，在这一点上没有什么本质区别。但刘焯以为每一限黄赤道差的数值是以等差级数变化的，如“每限增一”、“每限损一”等等，这就比张衡以每一限黄赤道差为一个常数有所改进。

刘焯黄赤道差算法的误差为 0.24° ，与张衡法的水平相当。

刘焯在坐标变换法方面更主要的贡献是首创了黄白道差（黄道度与白黄度之差）算法。对黄白道差算法的描述方式与黄赤道差算法相同，误差为 0.13° 。这些新算法也对以后产生了很大影响。

张子信曾经在一个海岛上，制作了一架浑仪，专心致志地观测，研究日月交食的发生时刻，发现了太阳运动的不均匀性、五星运动的不均匀性和月亮视差对日食的影响。

张子信的这三大发现，以及给出这三大发现具体的、定量的描述方法，把我国古代对于交食等天文现象的认识推进到一个新的阶段，为一系列历法问题计算的突破性进

展开拓了道路。

刘焯在吸取了张子信等前人的研究成果，并经过自己的长期探索以后，创立了一整套日月交食的推算法。

刘焯首先是创立了月亮入交定日 (p) 和太阳入会定日 (q) 的计算法：

$$P = \text{入交平日及余} \pm T \pm \frac{\text{交率}}{\text{交数}} \times T_{\text{月}}$$

$$q = \text{入会平日及余} \pm T_{\text{月}} \pm \frac{\text{交率}}{\text{交数}} \times T$$

以这两个公式计算月亮、太阳与黄白交点的时距 (p 和 q) 时，既考虑了太阳、月亮运动不均匀性的影响，又虑及了黄白交点退行的影响。它的天文概念十分准确和清晰。

其次，刘焯扩充了交食食限的概念和改进了食分的计算法。

皇极历给出的月食食分 (g_月) 的算式为

$$g_{\text{月}} = \frac{\text{望差} = \{ \text{去交日分} - [3K_{\text{至}} + 2(10 + S) + 2K_{\text{分}}] \}}{96}$$

式中望差为朔望月长度与交点月长度之差的一半。去交日分即上述 P 值。K_至为发生在春分 (或秋分) 前、后的望日所值节气距夏至的节气数 (0 - 12) ; K_分为发生在

春分(或秋分)前的望日所值节气距春分(或秋分)的节气数(0-6),如果望日在春分(或秋分)后, $K_{分}=0$ 。s为去交日分所相当的时辰

数(0-14)。因为望差 = $1439 \frac{4205.5}{5923} = 96 \times 15$, 则上式可以改

$$g_{月} = \frac{\text{望差} - P}{\text{望差}} \times 15 + \frac{3K_{至} + 2K_{分}}{96} + \frac{2S}{96} + \frac{20}{96}$$

该式右边首项的分数部分的天文学含义是：月面直径被遮掩部分与月面直径的比，而15是指月面直径的总分数，这一项是继承了前代历家的传统算法。第二项是与望日所值节气有关的食分改正项，对皇极历所给定的 $K_{至}$ 和 $K_{分}$ 值的分析显示，它实际上已虑及了发生月食时，太阳与近地点(或远地点)相对位置不同对月食食分的影响，这是一个极其重要的发现。而第三项则是一个错误的改正值，因为当S大时 $g_{月}$ 应当小，所以加这一项改正是适得其反。如果令 $g_{月} = 15$, $K_{至}$, $K_{分}$ 和S皆为零，代入该式

$$\begin{aligned}
 15 &= \frac{96 \times 15 - P}{96 \times 15} \times 15 + \frac{20}{96} \\
 &= \frac{1440 - P}{1440} \times 15 + \frac{20}{96} \\
 &= \frac{1440 - P + 20}{96}
 \end{aligned}$$

$$1440 = 1440 - 1440 -$$

P+20

$$= 1460 - P$$

$$P = 1460 - 1440$$

$$= 20 \text{ (分)}$$

$$20 \text{分} = \frac{20}{1242} \text{日}$$

$$= \frac{20}{1242} \times 13.36879 \text{度} = 0.215^\circ$$

此为必定发生月全食的最大限度，这也正是该式中第四项的含义。在皇极历以前各历法，均以为只有当 $P=0^\circ$ 时，才发生月全食，也就是说， $g_{\text{月}}$ 可以大于 15，这又是一个极重要的发现。如果令 $g_{\text{月}}=15$ ， $K_{\text{至}}=12$ ， $K_{\text{分}}=6$ ， $S=14$ ，代入该式

$$\begin{aligned}
15 &= \frac{96 \times 15 - P}{96 \times 15} \times 15 + \frac{3 \times 12 + 2 \times 6}{96} + \frac{2 \times 14}{96} + \frac{20}{96} \\
&= \frac{1440 - P}{1440} \times 15 + \frac{36 + 12}{96} + \frac{28}{96} + \frac{20}{96} \\
&= \frac{1440 - P + 36 + 12 + 28 + 20}{96} \\
&= \frac{1536 - P}{96}
\end{aligned}$$

$$P = 1536 - 1440$$

$$P = 96 \text{分} = \frac{96}{1242}(\text{日})$$

$$= \frac{96}{1242} \times 13.36879 \text{度} = 1.02^\circ$$

这是可能发生月全食的最大限度，这一概念和数值的阐明，同样具有重要的意义。此外，在该式中，刘焯还包容了前人已经发明的可能发生月偏食和必定发生月偏食的最大限度的概念和数值：令 $g_{\text{月}}=0$, $K_{\text{至}}=12$, $K_{\text{分}}=6$, $S=14$,

代人该式

$$\begin{aligned}
0 &= \frac{96 \times 15 - P}{96 \times 15} \times 15 + \frac{3 \times 12 + 2 \times 16}{96} + \frac{2 \times 14}{96} + \frac{20}{96} \\
&= 1536 - P \\
P &= 1536 \text{分} = \frac{1536}{1242} \\
&= \frac{1536}{1242} \times 13.36879 \text{度} = 16.5^\circ
\end{aligned}$$

令 $g_{\text{月}}$ 、 $K_{\text{至}}$ 、 $K_{\text{分}}$ 、 S 均为 0，代入该式

$$\begin{aligned}
0 &= \frac{96 \times 15 - P}{96 \times 15} \times 15 + \frac{20}{96} \\
&= \frac{1440 - P + 20}{96} \\
&= 1460 - P + 20 \\
P &= 1460 \text{分} = \frac{1460}{1242} \text{日} \\
&= \frac{1460}{1242} \times 13.36879 \text{度} = 15.7^\circ
\end{aligned}$$

上述皇极历四种月食食限值的误差均在 4° — 5° 之间，其中后二种甚至不如前代历法准确，这是意义深远的开拓进程中的失误。

刘焯对于日食食分 (g)，也给出了类似的算式：

$$g = \frac{\text{望差} - \text{去交日分}}{\text{望差}} \times 15 \pm \frac{M}{96}$$

式中M的大小或正负与日食发生时所值的节气以及距午正辰刻的多少有关。月亮视差的大是与月亮天顶距的大小成正比的，月亮天顶距的大小则与所当节气及距午正辰刻的多少相关。这样看来，该式第二项应是虑及月亮视差对日食食的分的影响的。同样的道理，该式也包含有可能发生日偏食的最大限度、必定发生日偏食的最大限度和可能发生日全食的最大限度等日食食限的概念与数值。

刘焯还创立了从定朔时刻求日食食甚时刻的方法。首先，日食食甚时刻不等于定朔时刻这一命题本身，是刘焯对日食深入细致的观测与研究的成果。日食食甚时刻和定朔时刻的差异主要与月亮视差有关，刘焯所提出的算式正是表达了这样一种认识。刘焯的算式是月甚时刻=定朔时刻 $\pm N$ ，其中N的含义和日食食分算式中M的含义相类似，可见刘焯所创立的这种计算方法是合乎科学的。

五、皇极历（三）

刘焯还发明了日月食初亏和复圆时刻计算法。

算式是：初亏时刻=食甚时刻-H；复圆时刻=食甚对刻+H，日月食的全部见食时刻=复圆时刻-初亏时刻=2H。而

$$H = \frac{(300-d) \times 1242}{300 \times 103.5} = (12 - \frac{4}{25}) \text{刻}$$

d 则是与月食食分大小有关的数值，刘焯是以等差级数来描述它们之间的关系的，d 可由等差级数求和的方法求得，食分越小，d 越大，当食分=15 时，d=0 则

$$2H = 2 \times 12 \text{刻} = 24 \text{刻}$$

这个数值显然是偏大了，但它对以后的历法却产生了不小的影响。

刘焯对于日应食不食和不应食而食术也进行了十分认真 25 的讨论。

张子信在对交食现象作了长期认真的考察以后，曾经发现，对于日食而言，并不是日月合朔入食限就一定发生日食现象，入食限只是发生日食的必要条件，还不是充分条件。他指出，只有当这时月亮位于太阳之北时，才发生日食；若这时月亮位于太阳之南，就不发生日食。观测者在地面上所观测到的月亮视位置，总要比在地心看到的月亮真位置低，月亮视、真位置的高度差叫做月

亮视差。同理，太阳视、真位置的高度差叫做太阳视差，但它要比月亮视差小得多，几乎可以忽略不计。当合朔时，如果月亮位于太阳之北时，由于月亮视差的影响，月亮的视位置南移，使日、月视位置彼此接近；如果月亮位于太阳之南，同理，将使日、月相对视位置增大。这些就是张子信所发现的上述现象的原因所在。所以，张子信的上述发现实际上就是关于月亮视差对日食是否发生所产生的影响的发现。

刘焯列出了 9 种日应食不食和 7 种日不应食而食的判据，每一种判据又均与朔时月亮去交度分，所值季节和距午正时刻三种要素相关。

刘焯所列的 16 种判据都定性地与月亮视差对日食影响的原理相符合，这是对张子信当年发现的极重要的补充和发展。

刘焯还对交食亏起方位作了论述，分为月亮在黄道南、黄道北两种情况，每一种情况又分为交食发生在观测者的正南、正东、正西、东南和西南前后等 7 种不同的方向时，亏食起始的方位、亏食的走向及亏食终了的方位等内容。这是我国古代对交食亏起方位所作的最详尽的描述。

刘焯的这一整套交食推算法的创立，标志着我国古代交食研究进入了一个崭新的时代。与交食推算法具有同样划时代意义

的发明，是他所创立的五星位置计算的新方法。欲求任一时日（A）五星的黄道宿度，刘焯创立了以下步骤：

第一：求出历元到 A 的积日数，减去五星伏日数的一半，其差数以五星会合周期除之，所得余数（B）是为 A 与最临近的一次五星晨始见东方时刻（平凡日）间的时距。由于五星会合周期实际上是相当数量的实测五星会合时间的平均值，所以由它算得的平见日（A-B）可以认为是以五星和太阳均作匀速运动为基础求得的。又以积日数除以回归年长度，所得余数（C）则为所求年冬至夜半与 A 的时距，由此也可以知道 A 值的节气。

第二：求五星运动不均匀引起的改正值。在皇极历中给出了因所处节气不同，五星平见日或者是超前，或者是滞后的时间改正表。以 C 为引数，依照一次差内插法则可由这些表格算得相应的改正值（ t_0 ）。

刘焯称 $A-B \pm t_0$ 为常见日。

刘焯对金、水运动不均匀性改正的描述只是定性的；而对于木、火、土三星的近日点、远日点黄经测算和三星运动不均匀性改正的误差见表 1

从表 1 可知，这三项误差的精度还是比较低的。

第三：求太阳运动不均匀引起的改正

值。由日躔表依等间距二次差内插法求算之，以 $C \pm t_0$ 为引数，它相当于计算平朔到定朔的改正 (T) 值中的“平朔时刻”值。

星名	近日点误差	远日点误差	不均匀误差木星	+50.8°	-18.8°	1.1
火星	-9.2°	+22.2°	3.1°			
土星	+26.2°	+22.2°	2.4°			

表 1

刘焯称 $A-B \pm t_0 \pm T$ 为定见日 (E)。

第四：求定见日五星所在黄道宿度 (R)。

皇极历以历元年冬至夜半时太阳位于黄道虚宿一度，由此后推积年（自历元到所求年的年数）乘以黄道岁差度，可得所求年冬至夜半时太阳所在黄道宿度 (R_0)。又以 $C \pm t_0 \pm T$ 为引数，它相当于计算太阳实行度与平行度之差 (T_*) 值中的“所求时日”值。则定见日太阳所在黄道宿度为： $R_0 + C \pm t_0 \pm T \pm T_*$ 。又已知五星定见日与太阳的度距 (F) 分别为木星 14 度，火星 16 度，土星 16.5 度，金星 11 度和 28 水星 17 度，于是 $R = R_0 + C \pm t_0 \pm T \pm T_* \pm F_0$

第五：求所求时五星所在黄道宿度 (I)。以 $A-E$ 为引数，可由五星动态表求得定见日到 A 的五星行度值 (V)，于是

$$t = R + V_0$$

在皇极历以前各历法的五星动态表，均由五星晨见始，依次列出前顺、留、逆、留、后顺、伏等动态所经的日数和所行的度数，它们均与这些动态所值的节气无关。

皇极历的木、土二星动态表与以前的动态表相仿，而对火、金和水三星的动态表则作了重大的改进，对于前顺和后顺两个动态时段，均依照它们所值的节气不同，给出了不同的运动速率，这实际上就是虑及了这三个行星不均匀性的影响。此外，在皇极历的五星动态表中，对各不同动态时段的运动状况，还首次采用了等差级数的描述方法，这就比前代各历的均速运动描述法更切合五星运动的实际状况。譬如对于火星后顺时段，五星动态表中说：

“初日万六千六十九，日益疾百一十分，六十一日行二十度，分万五千四百九。”

其分母即

“气日法四万六千六百四十四”

29

已知等差级数求和公式为 $nh + \frac{(m-1)n}{2}$ ，上列数字中

$$h = \frac{16069}{46644}, \quad = \frac{10}{46644}, \text{ 代入求和公式}$$

$$61 \times \frac{16069}{46644} + \frac{(m-1)61 \times \frac{110}{46644}}{2}$$

计算结果是 $25\frac{15409}{46644}$ ，正与术合。因此推知，皇极历采用

求和公式。

由于皇极历精当新奇，驳文有理有据，很得杨广的称赞。可见，杨广这时刚刚定为太子，立足未稳，而且张胄玄仍是隋文帝的宠臣，所以不敢妄自改作历法，于是以皇极历没有获得考验做为理由搁置不用。对于刘焯也仅仅任以太学博士的职务。这时刘焯已经年近花甲，本来想这一回可以实现历法改革的愿望，并且主持天文历法的工作，可是历法没有被采用，仕途也没有理由升迁，身体情况又欠佳，于是以健康原因自动罢归乡里。这是刘焯参与历法之争的第三次挫折。

就在这次自动罢归乡里以后不久，发生了刘焯一生中最为悲惨的事件。在这一事件当中，刘焯的好友刘炫同时受难，使这次事件更具有了悲剧的色彩。

刘焯和刘炫都以聪明博学称著于世，被废的皇太子杨勇想召来使用。

隋文帝得知杨勇的想法，便敕令刘焯和刘炫入川服事蜀王杨秀，这可能是隋文帝和新立太子杨广惧怕满腹经纶、而且精于天算

之学的刘焯和刘炫被杨勇所使用，就会妨碍他们的政治安排，而作出的迅速果断的决定。也许是由于刘焯和刘炫都已经年老不愿意背井离乡去入川，也许是他们对杨秀有什么成见，都拖延不去，杨秀听说后大怒，便派人把刘焯和刘炫披枷带锁地押解到成都，把刘焯充军，把刘炫置于帐内，让他执杖做门卫，来羞辱他。以后才又命令刘焯和刘炫作典校书籍的工作。这样两位通儒大才因为和他们没有任何关系的政治斗争，蒙受了如此巨大的冤屈，不能不令人悲愤和哀伤。

六、历法之辩

公元 603 年底，蜀王因为犯罪被废掉后，刘焯和刘炫获准返回了京师，他们又和诸儒一起修订礼和律，刘焯被任以云骑尉之职，刘炫被任为旅骑尉。虽然经过了这样一次大的周折，刘焯仍然继续进行历法的研究，坚持必须改革历法的主张。

公元 604 年，刘焯又向皇太子杨广上书，一方面实事求是地指出张胄玄历法有可取之处，另一方面又尖锐地指出张胄玄历法的错误：

“其一曰，张胄玄所上见行历，日月交食，星度见留，虽未尽善，得其大较，官至五品，诚无所愧。但因人成事，非其实录，就而讨论，违舛甚众。

“其二曰，胄玄弦望晦朔，违古且疏，气节闰候，乖天爽命。时不从子半，晨前别为后日。白躔莫悟缓急，月极妄为两种，月度之转，辄遗盈缩，交会之际，意造气差。七曜之行，不循其道，月星之度，行无出入，应黄反赤，当近更远，亏食乖谁，阴阳无法。星端不协，珠璧不同，盈缩失伦，行度愆序。击极晷漏，应有而无，食分先后，弥为烦碎。测今不审，老古莫通，立术之疏，不可纪服。今随事纠驳，凡 536 条。

“其三曰，胄玄以开皇五年，与李文

琮，于张宾历行之后，本州贡举，即所造历拟以上应。其历在乡阳流布，散写甚多，今所见行，与焯前历不异。玄前拟献，年将六十，非是忽迫仓卒始为，何故至京为几，即变同焯历，与旧悬珠。焯作于前，玄献于后，舍已从人，异同暗会。且孝孙因焯，胄玄后附孝孙，历术之文，又皆是孝孙所作，则元本偷窃，事甚分明。恐胄玄握讳，故依前历为驳，凡 75 条，并前历本俱上。

“其四曰，玄为史官，自奏亏食，前后所上，多与历违，今算其乖舛有 13 事。又前与太史令刘暉等校其疏密 54 事，云 53 条新。计后为历应密于旧，见用算推，更疏于本。今纠发并前，凡 44 条。

“其五曰，胄玄于历，未为精通，然孝孙初造，皆有意，征天推，事必出生，不是空文，徒为臆断。

“其六曰，焯以开皇三年，奉敕修造，顾循记注，自许精微，秦、汉以来，无所与让。寻圣人之迹，悟曩哲之心，测人曜之行，得三光之度，正诸气朔，成一历象，会通今古，符允经传，稽于庶类，信而有征。胄玄所违，焯法甚合，胄玄所阙，今则尽有，隐括始终，谓为总备。”

刘焯在这六条中，第一是指出了张胄玄历法中的 536 条大小失误，第二是用交食等古今天象对张胄玄的历法进行验算，发现了

它的 44 条乖谬。第三还尖锐地指出张胄玄的历法中有不少内容是取自刘孝孙的历法和他在公元 583 年所献的历法，共 75 条。

最后，刘焯又上启说：

“自木铎寝声，绪言成尽，群生荡析，诸夏沸腾，曲技云浮，畴宫雨绝，历纪废坏，千百年矣。焯以庸鄙、谬荷甄擢，专精艺业，耽玩数象，自力群儒之下，冀觐圣人之意。开皇之初，奉敕修撰，性不谐物，功不克终，犹被胄玄窃为己法，未能尽妙，协时多爽，尸官乱日，实点皇猷。请征胄玄答，验其长短。”

刘焯的这一封启和上文“其六曰”是叙述自己努力钻研天文学，有一技之长，在开皇三年（公元 583 年）奉敕修造 33 皇极历，费尽了心血，终于将历法修了出来，不想却被张胄玄所剽窃，因此，刘焯在最后提出了要和张胄玄当面进行辩论，并通过实际检验来判别两个人历法的优劣的要求。这些言语和辩论的要求都表现了刘焯极大的自信和实事求是的科学精神。

在这一年，刘焯还上呈了他论律吕的书，这是他关于音律学的研究成果。

公元 605 年，隋炀帝杨广杀死隋文帝登基后，著作郎王邵和诸葛颖两人在侍宴的时候，对隋炀帝说刘焯的历法“推步精审，证引阳明”，隋炀帝就命令刘焯和张胄玄二人

进行辩论。

张胄玄驳难刘焯中心是说皇极历在推求月朔时以定朔法进行计算，势必会出现连续三个大月或者是连续三个月的状况，不符合传统的月朔安排方法，他认为只有刘焯把他的平率取消，才能施行。

刘焯则是据理力争，以驳斥张胄玄的攻击，双方互相驳难，是非不决。这是刘焯参加的第四次历法之争受挫。

在我国古代，关于天体结构，有三种说法，一是宣夜说，认为天不是物质造成的，没有一定的形状，没有止境，但是这种学说已经失传。二是盖天说，西汉中期的《周髀算经》就采用这种学说，认为“天象盖笠，地法覆盘”。

《周髀算经》中还介绍过一个观测：用一根 8 尺高的竿子垂直立于地面，每当太阳过子午线时量竿影长度。当影长正为六尺时，用一根 8 尺长，孔径一寸的竹管观看太阳。此时太阳视圆面正好充满竹管。由此，《周髀算经》按照“千里差一寸”的比例关系，求得此时太阳距人目为 10 万里，进而求得太阳的线直径为 1250 里。由于“千里差一寸”等基本出发点都是错误的，因而《周髀算经》所得极为荒谬（太阳的线直径实际为 139.1 万公里）。

第三种天体结构的说法是浑天说，认为

天地之象如卵之裹黄，“天转如车毂之运也，周旋无端，其形浑浑，故曰浑天。”

刘焯是一位持浑天说观点的天文学家，他认为盖天说据以推算天地大小的夏至时日“影子里差一寸”这一基本数据是错误的。他从一位经学家的立场否定“寸差千里”的说法，认为这种说法没有可靠的典籍依据。他又指出：

交州和爱州与地中阳城的距离均不及万里，而夏至时交、爱二州日影长度为零，阳城日影长度为一尺五寸，所以应是约六百里日影差一寸，这是从一般人都承认的阳城与交、爱二州的实际距离和影长的事实予以驳斥。

刘焯还提出了进行检验的具体实测方案：

“请一水工，并解算术士，取河南，北平地之所，可量数百里，南北使正。审时以漏，平地以绳，随气至分，同日度影。得其差率，里即可知。”

3535

刘焯提出的这一个方案，从测量地点的选择，水平测量、时间量度器具和方法的选定，到日影长度的测量必须惜地同时进行等要求，考虑的相当周密，同时也是十分合理的和切实可行的。

刘焯本来是希望通过这一次实测来彻

底揭示夏至日影长差一寸，两地相距千里的谬误，并作为改良浑天学说的基础，可异他的这一个科学建议未被及时采纳。

在仁寿（602—604）、大业（605—617）之交，是刘焯对天文历法的研究达到炉水纯青的年代，但是，他的历法是否被采用依然悬而未决，他的重要建议也未被采用，他对于音律学的研究心得也不被重视，这些对于刘焯的打击是十分沉重的，刘焯对这种极不公正的现实进行的抗议只能是自动罢归故里，以等待历史的判决。

七、刘焯的去世

公元 608 年，隋炀帝到汾阳宫（故址在今山西宁武南管涔山上）去，太史稟奏说，张胄玄的历法推算日食失效，隋炀帝召见了刘焯，打算改行皇极历。可是，这时袁充正得到隋炀帝的宠幸，他和张胄玄一起力排皇极历，于是使隋炀帝这个昏君犹豫不决起来。

公元 610 年，刘焯这个隋代著名的天文学家空怀着一腔运动不均匀而加于平朔的日分改正值的误差为 3.4 刻，这两个数据的精度就都要比皇极历略低了，大业历对于太阳运动不均匀性的总体认识也不是那么好的。

大业历对于五星运动不均匀性改正的入气加减法是自成体系的，其中对于火星运动不均匀性的描述比皇极历还要优，对于火星远日点，近日点黄经的测算误差都要比皇极历小一些。关于月亮视差对于日食的影响，大业历所取的食差值和他的计算方法也是独树一帜的。对月食食分的计算，大业历所采用的算式也是独出心裁，而且与现代对于日食食分的定义也是基本吻合的。

大业历选取太阳距黄白交点 1.09° 为可能发生月全食的限度值，虽然精度还是比较低，但却要比皇极历的精度稍强一些。

大业历和皇极历一样，都带有浓厚的时代色彩，它们从不同的侧面反映了在张子信获得了三大发现以后，天文历法界力图优化历法的可贵努力。

张胄玄对于五星运动的研究也十分出色，他通过测算，得出的木、火、土、金、水五星的会合周期和它们的误差见表 2。

从表 2 可以看出，它的总体精度是历代最高的。

张胄玄对于五星在一个会合周期内的初态表也进行了改良，他应用了以等差级数来描述木星、火星和金星动态的方法，并应用了等差级数求和的公式。这些改良都使得对行星动态的描述比较接近真实的情况，对后世历法产生了很大的影响。

星名	会合周期	误差
木星	398.882 日	0.002 日
火星	779.926 日	0.011 日
土星	378.090 日	0.002 日
金星	583.922 日	小于 0.001 日
水星	115.879 日	0.001 日

表 2

大业历还首次明确给出了二十四节气出入时刻表，由这个时刻表可以算出二十四节气的昼夜漏刻长度值，这些长度值的平均误差是 6.1 分钟，与皇极历的精度不相上

下。

大业历取回归年的长度是 365.24303 日，误差是 65 秒，比皇极历精确，是历代所得到的比较好的数值。

大业历取恒星月的长度是 27.32166 日，误差只有 0.1 秒，是历代最好的数值。

张胄玄在消化、吸收前人和当时天文历法成就的基础之上，经过认真的观测与独立的研究，自成一家之言，也是一位有作为的天文学家。当然，他的总体成就，还是远远比不上同时代的刘焯的。

到了唐代、唐初的天文学家李淳风(602—670)所作的麟德历(665年行用)，在计算方法上有很多是依据刘焯的皇极历的。

李淳风主要引进的是皇极历的太阳不均匀运动、定朔法，以及用二次差内插法推算太阳和月亮的不均匀运动。

刘焯创立的定朔计算方法，在数学和历法上是一项杰出的成就，但是，皇极历在应用定朔算法时，还存在着一些缺点，这些缺点在麟德历中都一一作了改正。

麟德历还沿用了皇极历中推算五星运动的先进方法，它不但考虑到日行盈缩的影响，而且在历法计算中也考虑到五星的不均匀在各个季节的加减日数。譬如：麟德历所测木星近日点在春分，与当时木星的实际近

日点位置只有 7 度的误差。而皇极历和大业历都定在春分附近，误差达 30 度以上。可见麟德历不仅仅使用了皇极历创立的五星运动的计算方法，而且在数据精确度上也有了很大的提高。

唐代的著名天文学家一行（683—727）在他的大衍历（临死前写成初稿）中发明了不等间距二次差内插法，这个方法适用于以定气为基准的数值表格的计算，不等间距二次差内插法，实际上是一行对刘焯首创的等间距二次差内插法的发展与完善。

八、刘焯的启示

一行在他发起组织的四海测验工作中，重点测量了白马（今河南滑县）、浚仪（今河南开封）、扶沟（今河南扶沟）、上蔡（今河南上蔡）四处，这四处的测量工作实际上是对于刘焯提出来的检验“影千里差一寸”说法的实测方案的具体实施。

这四处地点是由一行等人精心选定，由另一位天文学家南宫说具体负责的。这四处地点正好位于黄河附近，并且都处在平原地区，而且它们大约位于同一经度线上，这些都符合刘焯提出来的测量地点选择的标准“取河南、北平地之所，可量数百里，南北使正”。测量的内容也包括用测绳丈量这四处间彼此水平距离的项目，这也是刘焯提出来的“平地以绳”的量度器具。测量的目的也是一样，都是验证前人关于南北距千里，夏至午中晷影差一寸的说法是否正确。

一行和南宫说等人通过实地测量，得到了大约南北相距 200 多里，夏至晷影便相差一寸的初步结论，从而证实了前人说法的谬误，了结了几百年以来的积案，达到了这次测量的初始目的，如果是世界上真有灵魂存在，刘焯在九泉之下也一定会得到慰藉的。

当然，一行并没有满足于这个测量的结果，他通过对所有的测量结果作了更深入的

分析研究后，得到了更重大的收获：

“大率三百五十一里八十步，而极差一度。”

一行的这个发现，实际上已经创立了子午线 1° 的长度，等于 131.11 公里，这个数值比现代的测量结果大约偏 20.17 公里，精度虽然不高，但是它在天文学中的含义是巨大的，因为他们进行的是在世界上第一次对子午线 1° 长度进行的实测工作（在国外，最早实测子午线的是阿拉伯天文学家阿尔·花刺子模等人在公元 814 年进行的，晚于我国 90 年）。

一行，南宫说等人当初在白马等四处进行测量时，并没有意识到这一工作的巨大天文学意义，那么，首次提出进行这样的测量工作的隋代天文学家刘焯就更不可能想象到他的建议会在天文学史上产生这样巨大的影响。

刘焯的一生，是一个封建社会的知识分子怀才不遇的一生，是悲剧性的一生。其实，在封建社会中，像这样的人也不会只出现刘焯一个。譬如：在清朝中期，有一个水利科学家叫郭大昌（1742——1815 年）也是一个例子。

齐大昌出生于一个普通老百姓的家庭，他 16 岁时，入河库道当贴书，历时 3 年，学习工程核算、料物管理方面的知识。

由于他聪明好学，很快就超过了老师。尤其对水情、溜势的变化有突出的观察能力，被提拔参与管理工作。河库道嘉漠极其器重郭大昌，遇事多听取他的建议。后嘉漠升任漕运总督，打算让郭大昌随同前往。淮扬道提出黄淮两河正值多事之时，向嘉漠请求留郭大昌助理河工。郭大昌从此客居河道署，后因事与南河总督吴嗣爵不和，于 1774 年 7 月迁居到清江浦的五圣庙。

郭大昌这个人虽然文化不高，但是性情非常刚直，不愿与当时贪污成风的河道官员们同流合污。虽然主管河道的官员往往在事情紧争时找他求教，但因为他不徇私情，工费预算往往接近实际需要量，治河官吏难以中饱私囊，因而郭大昌始终得不到重用。譬如 1796 年黄河在丰县（今江苏丰县）决口，负责堵口的官员申报工费 120 万两，南河总督觉得过多，打算减掉一半，找郭大昌商量，郭大昌认为再减一半也足够了，总督面有难色，郭大昌毫不客气地说：15 万两用来堵口，另外 15 万两你和其他官员分掉，还嫌少吗？河督大怒。从此，郭大昌决意不再与南河官员共事。

岁月磋砣，老年时的郭大昌“赤颧披颐，髯长七八寸，连鬓皆苍白”。《中衢一勺》的作者包世臣与郭大昌认识后，被他在河工方面的渊博学识所吸引，多次随郭大昌

考察河道情形，并屡次上陈郭大昌的治理意见。在考察过程中郭大昌将自己的河工知识及治理经验等向包世臣悉心传授，并由包世臣记载于《中衢一勺》中。譬如 1808 年 2 月，因治河官拟改黄河下游从射阳湖或灌河口入海，将使淮河下游受极大的威胁。郭大昌邀包世臣一同勘察黄淮下游河湖状况，请包世臣在朝廷使臣到来时陈明利害，包世臣欣然同意。他们历时两个月，勘察了上起徐州，下至射阳湖一带的黄、淮、运、湖形势。其间每至一地，郭大昌便为包世臣指点水性地势，现场总结前人的经验教训。回清江浦后，包世臣根据郭大昌的建议，向使臣长麟提出建议，后来几经挫折，终于使黄、淮水流畅通，运河水位有所下降。然而郭大昌却在 74 岁那年因风痹症去世了。

包世臣在和郭大昌的交往中，看到郭大昌不愿趋炎附势，似至不能尽施其才能，感叹地说：大禹之后数千年才有潘季驯（1521—1595），潘之后百年有陈潢（1637—1688），陈之后百年才有郭大昌。陈潢被重用，然而还未充分发挥。郭大昌则只能偶试锋芒，竟不见用，太可惜了。

在我们现在的社会主义四个现代化建设中，充分利用人才资源，仍然是很重要的一个问题，还需要我们社会各个方面共同努力，真正做到“人尽其才”，才能使我们的

社会主义建设事业更兴旺、发达。

