

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界科技全景百卷书 (81)

天文学家

 **eBOOK**
网络资源 免费下载

天文学家

张衡

勤学不倦

张衡这个响亮的名字，至今仍回荡于宇宙。他就是我国 1800 多年前出现的一位伟大的科学家，是天文学的奠基者，是地震学的鼻祖。人民为了纪念这位伟大的科学家，于 1956 年重新修复了“平子读书台”和张衡墓。1970 年国际天文台把月球背面的一座环形山命名为“张衡山”，1977 年又把太阳系中一个编号为 1082 的小行星命名为“张衡星”，以此来纪念张衡为人类做出的重大贡献。然而，令人遗憾的是，这位伟大的科学家仅仅活了 62 岁，他这短暂的一生是为科学奋斗的一生。他给人类留下的不只是丰硕的科学成果，而更珍贵的则是他那种身在逆境之中，置个人荣辱于不顾，冲破世俗观念，为科学奋斗的精神，至今仍是鼓舞人们奋进的航标。

张衡，字平子，东汉建初三年（公元 78 年）生于南阳郡西鄂县石桥镇（今河南省南阳县）。祖父张堪曾任过蜀郡太守和渔阳郡太守，为政清廉，劝民耕种，发展农业，深受人民的爱戴，去职后家无余财。张衡虽然生在官宦之家，但是，家境却很贫寒，生活清苦维艰，时常靠亲友的救济渡日。贫寒的生活条件是磨炼坚强意志的最好武器，而成功往往产生于困苦的磨炼之中。所以，贫苦的生活对张衡的成长不无益处，使他亲身体会到封建社会下层人民的疾苦，从小养成坚韧不拔的品格，为后来在逆境中奋斗打下了良好的基础。张衡是乡里有名的聪慧好学的少年。他学习非常刻苦，在小油灯底下，一学便是通宵，废寝忘食，不知疲倦，有人称赞他的学习精神“如川之逝，不舍昼夜”。此时他喜爱文学，精读了许多儒学典籍。正是他这种刻苦追求知识的精神，使他成为伟大的科学家。

张衡有着超出时人的苦心孤诣地追求真理的意志。他不满足书斋求知，不效仿摇头晃脑地背诵教条，也不拘泥于经卷所云。当他十六七岁时便走出“书斋”，辞别家人，开始游历，进行实际考察，以增强知识，开拓视野，了解民情。他游历了京都“三辅”，踏遍名山大川，考察自然景物、风俗人情。登骊山，观秦王墓，感慨万千。他对人民的饥苦，时政的弊端，官吏的骄奢，看在眼里，用心思索，仿照班固的《两都赋》精思十年，写出著名的《二京赋》，以丹青妙笔揭露时弊，讽谏当朝。

张衡的求知欲驱使他去洛阳访各家名儒，参观太学。太学是封建社会的最高学府，当时，若想上太学，必须由县令举荐才行。张衡则勇敢地跑到京都毛遂自荐。因张衡求学心切，学识超群，又很谦虚，感动了各位名儒，便破例收他就读于太学。张衡在太学府精心研读了“五经”、“六艺”。依照当时读书人的惯例，学习了“五经”、“六艺”作官是足够用了，可是，张衡有志，读书不为追逐高官厚禄，而是为寻求真理，追求知识。所以，他求知的欲望永无满足，他又潜心研读了杨雄的《太玄经》。《太玄经》是一部讲天、地、人的道理并带有朴素的唯物主义观点的哲学著作，这涉及天文、历法、数学等知识，这引起张衡的极大兴趣。其中，杨雄朴素的唯物主义观点，对他的影响尤深，它改变了张衡的命运，从此，把他引上了科学之路。他很崇拜《太玄经》，把它与圣人留下的经典相提并论，撰写了《玄经注》，还绘制了《玄经图》，可见张衡对这本哲学著作研究之深湛。功夫不负有心人，知识总是把最高的恩典赐给专心致志为它献身的人，所以张衡成为知识

全面而精深的人。他于黄老、儒墨、道家之外，自成一家，走上了为科学奋斗的道路。尤致思于天文、阴阳、历法，时人称其为勤学不倦的“南阳通人”。

逆境中奋斗

张衡的行动，已无声地宣告他为科学献身的决心。他选择了一条艰难而光明的道路。他的一生是处在“图讖”邪说盛行，世俗小人妒忌，宦戚权贵们诬陷诽谤的逆境之中。由于张衡正直，聪慧的品格和渊博的学识给了他无限的勇气和智慧，使他敢于向恶势力挑战。张衡作了《二京赋》之后，名声大振，安帝（刘祜）听说张衡有才华，便下诏指名要张衡进京初任郎中。元初三年（公元115年）又升为太史令。太史令负责朝廷观测星象，编制历法，候望气象，调理钟率和编撰史书等工作。张衡在朝为官总是以求实的科学态度对待一切事情，凡事都有独到的见解，不随波逐流，也不人云亦云。他冒着犯上违背刘氏皇祖圣命的危险，向推崇“图讖”邪说的权势们挑战，凭借他的渊博知识，无情地揭露这股势力的虚伪性，以当时的事实批驳“图讖”邪说。

“图讖”邪说兴起于西汉衰败之际，当时统治者日趋奢侈，朝政腐败，对人民的剥削加重，加之自然灾害连年不断，致使民不聊生，起义时有发生。统治者为了强化他们的统治，以挽救衰败局面，邪说四起，“图讖”邪说兴于此时。讖有图有字，所以又叫“图讖”。它是鬼神学说，用它来解释书经典籍，预卜吉凶，主要宣扬“王权神授”、“天人感应”等唯心思想，以此欺骗人民，很受统治者的青睐，被尊为“朝章国典”。

东汉初年，汉光武帝刘秀也非常崇尚“图讖”邪说，奉为圣典，致使讖学之说久兴不衰，直到安帝时这股邪说仍然盛行，把“图讖”之学说成是先王的经典。当时读书人要升官发财，除博贯五经以外，还要“兼明图讖”之说，这是仕途的章法，可见“图讖”之学在宦海之中的价值。

张衡任太史令时，推行的是“四分历”，权贵们借“图讖”反对“四分历”。张衡把自己的升迁置之度外，逆流而上，凭借他的学识和科学的态度，勇敢地批驳了“图讖”邪说，揭露大肆宣扬“图讖”者虚妄，并向安帝提出《请禁绝图讖疏》。他在上疏中以不可争辩的事实指出图讖学的虚伪之处：“图讖”不是圣人之法，而成于衰、平之际。指斥“图讖”是那些虚伪之徒为了追求功名利禄编造出的谎言。严正指出，言讖学者，不研究实际学问，只讲邪说诬语，就像画工不肯画犬马，只愿画鬼怪一样，因为犬马是实实在在的实物，人人可见，画得不象，就要受到指责。鬼怪无形，随意涂抹，谁也无法挑剔，这是虚妄之徒的骗人术。张衡以形象的笔触深刻地揭露出讖学及其推崇者的虚伪实质，并大胆提出废除“图讖”，“一禁绝之”。张衡有根有据的批驳令皇帝折服，提升张衡为侍中。

张衡自永初五年（公元114年）入朝为官，至顺帝阳嘉元年（公元126年）前后任郎中、太史令、公车司马令等中下官职。他不慕官位，也不投机钻营巴结权贵，所以，多年不能晋职。对此有人就张衡下知人事，上知天命，有能力辅佐皇帝治理百姓，作事忠实知理明德，应该想办法使职位不断腾达，奉禄日增，高官厚禄，光宗耀祖才是大事业。另一些人说，撰写科学著作，研究天文，对升官晋职，谋取利禄毫无用处。更有甚者嘲讽张衡：你能命令三轮自转，使木鸡独飞，可你自己却“垂翅故栖”，至今还是个史官，你何

不谓其机关也高飞呢？为什么不让你自己飞黄腾达呢？面对世俗小人们的议论与诽谤，张衡作《应闲赋》予以铿锵有力的回答：“君子不患位之不尊，而患德之不崇；不耻禄之夥，而耻智之不博。”这有力地表现了张衡为科学奋斗的坚强决心。对于高官厚禄他无所求，他说：“捷径邪至，我不忍以投步；干进苟容，我不忍以歛肩，”即决不巴结权势，以不正当的手段谋取高官厚禄。《应闲赋》是张衡一生不求功名利禄，为科学献身的伟大誓言。这正是一个科学家的博大胸怀。没有这种博大的胸怀，就不会干出宏伟的事业。

张衡鄙视权贵。早年掌握朝政大权的皇戚邓鹭听说他有才华，为了笼络士人，扩大自己的势力，多次派人请张衡做幕僚，都被张衡拒绝了。永初五年应诏入朝出任郎中、太史令时，他对官戚倾轧，争权夺利，时政腐败等现象，屡次上疏讽谏，提醒皇帝：宦戚分权，群臣作威作福，不顾人民的饥苦，加上连年自然灾害，朝庭不思政事，如果不整敕，再不改变这种状况，是很危险的。但是张衡的正确意见没有被采纳，皇帝昏庸，明暗不分；佞党对张衡的记恨与诬蔑越来越猖狂，使张衡的处境更加困难，欲干不能，欲罢不忍，非常苦闷。在愤懑之中，他又作《思玄赋》思索做人的道理，怀念先圣之德，慕古人的节操，恨当时之人的虚伪相互争斗，相互攻击，表明自己竭力守义，贫穷不移的浩然正气。

东汉安、顺二帝无能，喜听谗言，在历史上是有名的。《后汉书·五行志三》中记载：“安帝信谗无辜死者多”。张衡被谗，于永和年间（公元136年）调离京都洛阳，任河间相。当时的河间王骄奢荒淫，勾结豪强，横行乡里，为非作歹。百姓深受其苦。张衡到任后严惩不贷，捉拿惩办了一批豪强奸党，为受迫害的人民昭雪申冤，释放无辜，深受人民的称颂。但是，不久张衡便发现，被惩办者皆是从犯，而那些主犯、要犯都逃之夭夭，“多避帝郡”。这使张衡认识到时政污浊，“天下渐弊”，豪强互相勾结，串通一气，一时一地怎能解决朝政腐败呢？上疏讽谏政事不被采纳，开始感到对纠正时弊无能为力，忧愤不止，作《四愁诗》以宣寄苦闷和忧虑：“我所思兮在太山，欲往从之梁父艰”；“我所思兮在桂林，欲往从湘水深”；“我所思兮在汉阳，欲往从之陇阪长”；“我所思兮在雁门，欲往从之雪纷纷”。表明张衡志向高迈，思虑深远，可是道路艰难，无法达到，只暗自悲伤。于是写了《归田赋》，决心辞职还乡，撤出这块不洁之地。然而，皇帝未准辞职，又将张衡调入京城任尚书。

天文学和地震学上的成就

张衡一生处有逆境之中，但他抱定为科学献身的远大志向。持之以恒，致使他才思超群，成绩卓著，给后人留下了丰硕成果。在天文学上研究颇深，他创制了“浑天仪”，撰写了《浑天仪图注》和著名的天文理论著作《灵宪》等。

《浑天仪》是张衡任太史令期间，认真研究前人留下来的天文学知识，经长期观察、记录，反复推算制作出来的，是科学的结晶。《浑天仪》就是水运浑象，恰似现代的天球仪。主体是球体模型，代表天体。球体表面列出28宿及其他恒星的位置。球绕轴转动一周便是一昼夜。《浑天仪》能形象地演示出天体运动情形，人们在屋子里看着这个仪器便可知道某星在某时间所处的方位。《浑天仪》的制造在我国天文学史上具有划时代意义。表明张衡

已精通天文，掌握了深湛的推算方法和科学的机械传动原理，《浑天仪》是世界上第一架用水力发动的天文仪器。为了说明水运浑天仪的整个系统和作用，张衡特意写了《浑天仪图注》。通过《浑天仪》计算时间，测出“周天为三百六十五度又四分度之一”，这与近代天文学家测定的 365 天 5 小时 48 分 46 秒的数据相近，可见张衡天文学研究的水平是很高的。

《灵宪》一部阐述天地日月星辰生成和它们运动的天文学理论性著作。在《灵宪》中，第一次提出月亮不发光，月光是太阳光反照的结果，揭示了月食的奥秘；提出了宇宙无限的伟大思想；测出太阳和月亮的角直径。“其径当周天七百三十六分之一”，与现在测出的太阳的角直径平均是 $31\ 59\ 26$ ，月亮的角直径平均是 $31\ 5\ 2$ 的误差不大；记录了当时在中原洛阳观察到的恒星 2500 颗与近代天文学家观测的结果也是相近的。但必须指出的是张衡在《灵宪》中对天地日月星辰的起源问题的阐述犯了唯心主义的错误。

《灵宪》是张衡多年来对天文学呕心研究的结晶，是一部划时代的天文学名著，代表了当时世界上天文学的最高水平，因此，张衡不愧为天文学的奠基者。

东汉时期经常发生地震。根据《后汉书·五行志》记载，从公元 92 年至 125 年的 33 年中，就发生 26 次较大的地震。《张衡传》记载：“时地震连年，山崩地坼，江河泛滥，房屋倒塌，”它给人民的生命财产带来严重损失，张衡对此有亲身感触。他以科学家的头脑研究地震灾害。他认为人是可以掌握地震动向的，为测报地震动态，他决心研究地震学。于是，在顺帝元年公元 126 年辞职回家，潜心研究长达 5 年之久。顺帝阳嘉六年（公元 131 年）张衡复职后的第一年制造出世界上第一台测报地震的仪器——“地动仪”。就地动仪的结构而言，张衡已经掌握了水平摆的原理，利用物体运动的惯性来拾取地震的动波，进行测报远距离的地震，这具原理至今仍然被采用。从当时测报地震的情形看，这架地动仪能测报千里之外，包括人毫无感觉的地震（最低能测报地震烈度为 3 度左右的无感地震）。如在顺帝永和三年（公元 138 年）二月初三地动仪报震，当时洛阳城内人们毫无感觉，于是一些人议论纷纷，说地动仪不灵验。没过几天，陇西有人飞马来报，证实了二月初三那里发生了地震，使朝人信服。陇西距洛阳千里之外，地动仪测报准确，表明这架地动仪测报灵敏和准确度都是比较高的。可见张衡在当时科学极不发达的情况下，能制造出如此精密的仪器，真是奇迹，这在世界上也实属罕见。直到一千多年后古波斯才制造出与“地动仪”相类似的仪器，1880 年欧洲才出现利用水银溢流来记录地震的仪器，人们称张衡是地震学的鼻祖是理所当然的。

公元 138 年张衡与世长辞了。张衡的一生追求科学的意志坚韧不拔；贫困不阿、蔑视贵权的精神难能可贵。人民怀念、称颂他，“数术穷天地，创作造化。瑰辞丽说，奇技伟芳。磊落焕炳，与神合契”。这是当之无愧的。

郭守敬

勤奋少年

我国元朝大科学家郭守敬生于1231年(元太宗三年、金哀宗正大八年)。家乡在今河北省邢台县。

邢台地方本来属宋朝,1128年(宋高宗建炎二年)被金朝夺去,到1220年(金宣宗兴定四年)又为后来建立元朝的蒙古贵族占领。所以郭守敬是在元朝统治时期出生的。后来元朝在1234年灭金,到1279年又灭了宋,统一中国,郭守敬也逐渐成长为一位杰出的科学家。

早些时候,金朝北边的蒙古人还过着游牧的生活,处在奴隶社会阶段。那时他们在金朝北方一带骚扰,进行的战争具有极大的掠夺性和破坏性。当地的农田水利遭到了严重的破坏,人口大量减少,生产急剧下降。这种状况对于元朝的建立统治是十分不利的。以元世祖为首的蒙古统治集团觉察了这一点,于是在华北地区封建势力代表人物的支持下,逐步进行了一些改革,改变了一些野蛮的杀掠方式,实行了一些鼓励农桑增产的措施。因此,在元世祖的时代,华北一带的农业生产才逐渐恢复起来。农业生产必须适应天时,农田排灌需要水利建设,于是对天文历法和水利工程的研究,就成为迫切的要求。同时,国家统一了,中外交通范围比以前扩大了,更给科学技术的发展提供了新的因素。因此,元朝的天文学和水利学,在金、宋两朝的基础上,有了进一步的发展。郭守敬正是在这个时期,在这两门科学方面作出了许多贡献。

郭守敬父亲的名字,从现有的历史记载中已查不出来。他的祖父倒还留下名字,叫郭荣。郭荣是金元之际一位颇有名望的学者。他精通五经,熟知天文、算学,擅长水利技术。郭守敬就是在他祖父的教养下成长起来的。

老祖父一面教郭守敬读书,一面也领着他去观察自然现象,体验实际生活。郭守敬自小就喜欢自己动手制作各种器具。有人说他是“生来就有奇特的秉性,从小不贪玩耍”。其实,由于他把心思用到制作器具上,所以就不想玩耍了。

郭守敬在十五六岁的时候就显露出了科学才能。那时他得到了一幅“莲花漏图”。他对图样作了精细的研究,居然摸清了制作方法。

莲花漏是一种计时器,是北宋科学家燕肃在古代漏壶的基础上改进创制的。这器具由好几个部分配制而成。上面有几个漏水的水壶。这几个水壶的水面高度配置得经常不变。水面高度不变,往下漏水的速度也就保持均匀。水流速度保持均匀了,那就在一定时间内漏下的水量一定不变,不会忽多忽少。这样,就可以从漏下的水量指示出时间来了。燕肃留下的莲花漏图,就画着这样的一整套器具。

配制这套器具的原理不很浅显。燕肃所画的图,构造也不很简单。仅仅依据一幅图就想掌握莲花漏的制造方法和原理,对一般成年学者来说也还不是一件容易的事情。年纪才十几岁的郭守敬居然把它弄得一清二楚,这就足以证明郭守敬确是一个能够刻苦钻研的少年。

在邢台县的北郊,有一座石桥。金元战争的时候,这座桥被破坏了,桥身陷在泥淖里。日子一久,竟没有人说得清它的所在了。郭守敬查勘了河道上下游的地形,对旧桥基就有了一个估计。根据他的指点,居然一下子就挖

出了这久被埋没的桥基。这件事引起了很多人的惊讶。石桥修复后，当时一位有名的文学家元好问还特意为此写过一篇碑文。这时候，年青的郭守敬已经能对地理现象作颇为细致的观察了。那一年，他刚刚 20 岁。

郭荣为了让他孙儿开阔眼界，得到深造，曾把郭守敬送到自己的同乡老友刘秉忠门下去学习。刘秉忠精通经学和天文学。当时他为父亲守丧，在张有读书。郭守敬在他那儿得到了很大的教益。更重要的是，郭守敬在他那儿结识了一位好朋友王恂。王恂比郭守敬小四五岁，后来也是一位杰出的数学家和天文学家。这一对好朋友后来在天文历法工作中亲密合作，做出了卓越的贡献。

修水利显身手

郭守敬在刘秉忠门下学习的时间不长。1251 年，刘秉忠被元世祖忽必烈召进京城去了。刘秉忠离开邢台之后，郭守敬的行踪如何，史书上没有明白的记载。只知道后来刘秉忠把他介绍给了自己的老同学张文谦。1260 年，张文谦到大名路（他河北省大名县一带）等地作宣抚司（管理地方行政的官署）的长官，郭守敬也跟着他一起去了。在那儿，他把少年时代试作过的莲花漏铸了一套正规的铜器，留给地方上使用。后来，元朝政府里的天文台也采用了这种器具。

郭守敬跟着张文谦到各处勘测地形，筹划水利方案，并帮助做些实际工作。几年之间，郭守敬的科学知识和技术经验更丰富了。张文谦看到郭守敬已经渐趋成熟，就在 1262 年，把他推荐给元世祖忽必烈，说他熟悉水利，聪明过人。元世祖就在当时新建的京城上都（今内蒙古多伦附近）召见了郭守敬。

郭守敬初见元世祖，就当面提出了六条水利建议。第一条建议修复从当时的中都（今北京）到通州（今通县）的漕运河道；第二第三条是关于他自己家乡有地方城市用水和灌溉渠道的建议；第四条是关于磁州（今河北磁县）、邯郸一带的水利建议的意见；第五第六条是关于中原地带（今河南省境内）沁河河水的合理利用和黄河北岸渠道建设的建议。这六条都是经过仔细查勘后提出来的切实的计划，对于经由路线、受益面积等项都说得清清楚楚。元世祖认为郭守敬的建议很有道理，当下就任命他为提举诸路河渠掌管各地河渠的整修和管理等工作，下一年又升他为银符副河渠使。

1264 年（元世祖至元元年）张文谦被派往西夏（今甘肃、宁夏及内蒙古西部一带）去巡察。那里沿着黄河两岸早已修筑了不少水渠。宁夏地方（今银川一带）的汉延、唐来两渠都是长达几百里的古渠，分渠纵横，灌溉田地的面积很大，是西北重要的农业基地之一。当年成吉思汗征服西夏的时候，不知道保护农业生产，兵马到达的地方，水闸水坝都被毁坏，渠道都被填塞。这种情况，张文谦当然是知道的。他巡察西夏，一方面要整顿地方行政，另一方面也想重兴水利，恢复农业生产。所以他带了擅长水利的郭守敬同行。

郭守敬到了那里，立即着手整顿。有的地方疏通旧渠，有的地方开辟新渠，又重新修建起许多水闸、水坝。当地人民久旱望水，对这样具有切身利益关系的大事自然尽力支持。由于大家动手，这些工程竟然在几个月之内就完工了。开闸的那一天，人们望着那滚滚长流的渠水，心里有多么喜悦啊。

修完了渠，郭守敬就离开了西夏。在还京之前，他曾经逆流而上，探寻

黄河的发源地。以往史书上虽也有些河源探险的记载，但都是些将军、使臣们路过这个地区，顺便查探，写下的一些记述，并不是特意进行的科学考察结果。有些记载只是从传闻得来，还不免失实。以科学考察为目的，专程来探求黄河真源的，要推郭守敬是第一个人。很可惜，郭守敬探查河源的结果没有记载流传下来。后来到了1280年，又有一位探险家都实奉元世祖之命专程前去考察河源。这次探索的经过记录在一部《河源记》的专著里，其中有着不少有价值的结果。毫无疑问，作为先驱的郭守敬考察对于都实是有相当影响的。

1265年，郭守敬回到了上都。同年被任命为都水少监，协助都水监掌管河渠、堤防、桥梁、闸坝等的修治工程。1271年升任都水监。1276年都水监并入工部，他被任为工部郎中。

巧制天文仪器

我国是天文学发达的国家之一。西汉以后，国家天文台的设备和组织已经达到相当完善的地步。它的主要任务之一是编制历法。我国古代的历法，内容是十分广泛的。包括日月运动及其位置的推算、逐年日历的编制、五大行星的位置预报、日食月食的预推等等。历法关系到生产、生活甚至政治活动等很多方面。因此，历来对这项工作都是相当重视的。一种历法用久了，误差就会逐渐显著，因而需要重新修改。跟着每次重大的历法修改，总带来一些创造革新的进步，像基本天文数据的精密化、天文学理论的新成就或计算方法上的新发明等等。历法的发展可说是中国天文学发展史中的一条主线。

元朝初年沿用当年金朝的“重修大明历”。这个历法是1180年（金世宗大定二十年）修正颁行的。几十年以来，误差积累日渐显著，发生过好几次预推与实际现象不符的事。再一次重新修改是迫切需要的事了。

1276年（至元二十年），元军攻下了南宋首都临安（今浙江杭州），全国统一已成定局。就在这一年，元世祖迁都大都，并且采纳已死大臣刘秉忠的建议，决定改订旧历，颁行元朝自己的历法。于是，元政府下令在新的京城里组织历局，调动了全国各地的天文学者，另修新历。

这件工作名义上以张文谦为首脑，但实际负责历局事务和具体编算工作的是精通天文、数学的王恂。

当时，王恂就想到了老同学郭守敬。虽然郭守敬担任的官职一直是在水利部门，但他的长于制器和通晓天文，是王恂很早就知道的。因此，郭守敬就由王恂的推荐，参加修历，奉命制造仪器，进行实际观测。从此，在郭守敬的科学活动史上又揭开了新的一章，他在天文学领域里发挥了高度的才能。

郭守敬首先检查了大都城里天文台的仪器装备。这些仪器都是金朝的遗物。其中浑仪还是北宋时代的东西，是当年金兵攻破北宋的京城汴京（今河南开封）以后，从那里搬运到燕京来的。当初，大概一共搬来了3架浑仪。因为汴京的纬度和燕京相差约4度多，不能直接使用。金朝的天文官曾经改装了其中的一架。这架改装的仪器在元初也已经毁坏了。郭守敬就把余下的另一架加以改造，暂时使用。另外，天文台所用的圭表也因年深日久而变得歪斜不正。郭守敬立即着手修理，把它扶置到准确的位置。

这些仪器终究是太古老了，虽经修整，但在天文观测必须日益精密的要求面前，仍然显得不相适应。郭守敬不得不创制一套更精密的仪器，为改历工作奠定坚实的技术基础。

古代在历法制定工作中所要求的天文观测，主要是两类。一类是测定二十四节气，特别是冬至和夏至的确切时刻；用的仪器是圭表。一类是测定天体在天球上的位置，应用的主要工具是浑仪。

圭表中的“表”是一根垂直立在地面的标竿或石柱；“圭”是从表的跟脚上以水平位置伸向北方的一条石板。每当太阳转到正南方向的时候，表影就落在圭面上。量出表影的长度，就可以推算出冬至、夏至等各节气的时刻。表影最长的时候，冬至到了；表影最短的时候，夏至来临了。它是我国创制最古老、使用最熟悉的一种天文仪器。

这种仪器看起来极简单，用起来却会遇到几个重大的困难。

首先是表影边缘并不清晰。阴影越靠近边缘越淡，到底什么地方才是影子的尽头，这条界线很难划分清楚。影子的边界不清，影长就量不准确。

使用圭表时的第二个难题就是测量影长的技术不够精密。古代量长度的尺一般只能量到分，往下可以估计到厘，即十分之一分。按照千年来的传统方法，测定冬至时表影的长，如果量错一分，就足以使按比例推算出来的冬至时刻有一个或半个时辰的出入。这是很大的误差。

还有，旧圭表只能观测日影。星、月的光弱，旧圭表就不能观测星影和月影。

对这些困难问题，唐、宋以来的科学家们已经做过很多努力，始终没有很好地解决。现在，这些困难又照样出现在郭守敬的面前了。怎么办呢？郭守敬首先分析了造成误差的原因，然后针对各个原因，找出克服困难的办法。

首先，他想法把圭表的表竿加高到 5 倍，因而观测时的表影也加长到 5 倍。表影加长了，按比例推算各个节气时刻的误差就可以大大减少。

其次，他创造了一个叫做“景符”的仪器，使照在圭表上的日光通过一个小孔，再射到圭面，那阴影的边缘就很清楚，可以量取准确的影长。

再其次，他还创造了一个叫做“窥几”的仪器，使圭表在星和月的光照下也可以进行观测。

另外，他还改进量取长度的技术，使原来只能直接量到“分”位的提高到能够直接量到“厘”位，原来只能估计到“厘”位的提高到能够估计到“毫”位。

郭守敬对圭表进行了这一系列的改进，解决了一系列的困难问题，他的观测工作自然就能比前人做得更好。

郭守敬的圭表改进工作大概完成于 1277 年夏天。这年冬天已经开始用它来测日影。因为观测的急需，最初的高表柱是木制的，后来才改用金属铸成。可惜这座表早已毁灭，我们现在无法看到了。幸而现在河南省登封县还保存着一座砖石结构的观星台，其中主要部分就是郭守敬的圭表。这圭表与大都的圭表又略有不同，它因地制宜，就利用这座高台的一边作为表，台下用 36 块巨石铺成一条长 10 余丈的圭面。当地人民给这圭表起了一个很豪迈的名称，叫“量天尺”。

圭表的改进只是郭守敬开始天文工作的第一步，以后他还有更多的创造发明呢！现在就来谈谈他对浑仪的改进。

浑仪至迟在公元前第二世纪就已由我国天文家发明了，唐、宋以来历代

都有发展。它的结构完全仿照着当时的人们心目中反映出来的那个不断转动着的天体圆球。在这圆球里是许多一重套着一重的圆环。这些圆环有的可以转动，也有不能旋转的。在这些重重叠叠的圆环中间夹着一根细长的管子，叫做窥管。把这根细管瞄准某个星球，从那些圆环上就可以推定这个星球在天空中的位置。因为这个仪器的外形像一个浑圆的球，所以称为浑仪。它是我国古代天文仪器中一件十分杰出的创作。在欧洲，要到 16 世纪左右，才有与我国北宋浑仪同样精细的仪器。

但是，这种浑仪的结构也有很大的缺点。一个球的空间是很有限的，在这里面大大小小安装了七八个环，一环套一环，重重掩蔽，把许多天空区域都遮住了，这就缩小了仪器的观测范围。这是第一个大缺点。另外，有好几个环上都有各自的刻度，读数系统非常复杂，观测者在使用时也有许多不方便。这是第二个大缺点。郭守敬就针对这些缺点作了很大的改进。

郭守敬改进浑仪的主要想法是简化结构。他准备把这些重重套装的圆环省去一些，以免互相掩蔽，阻碍观测。那时候，数学中已发明了球面三角法的计算，有些星体运行位置的度数可以从数学计算求得，不必要在这浑仪中装上圆环来直接观测。这样，就使得郭守敬在浑仪中省去一些圆环的想法有实现的可能。

郭守敬只保留了浑仪中最主要最必需的两个圆环系统；并且把其中的一组圆环系统分出来，改成另一个独立的仪器；把其他系统的圆环完全取消。这样就根本改变了浑仪的结构。再把原来罩在外面作为固定支架用的那些圆环全都撤除，用一对弯拱形的柱子和另外四条柱子承托着留在这个仪器上的一套主要圆环系统。这样，圆环就四面凌空，一无遮拦了。这种结构，比起原来的浑仪来，真是又实用，又简单，所以取名“简仪”。简仪的这种结构，同现代称为“天图式望远镜”的构造基本上是一致的。在欧洲，像这种结构的测天仪器，要到 18 世纪以后才开始从英国流传开来。

郭守敬简仪的刻度分划也空前精细。以往的仪器一般只能读到一度的 $1/4$ ，而简仪却可读到一度的 $1/36$ ，精密度一下子提高了很多。这架仪器一直到清初还保存着，可惜后来被在清朝钦天监（掌管天文历法的官署）中任职的一个法国传教士纪理安拿去当废铜销毁了。现在只留下一架明朝正统年间（1436~1449 年）的仿制品，保存在南京紫金山天文台。

郭守敬用这架简仪作了许多精密的观测，其中的两项观测对新历的编算有重大的意义。

一项是黄道和赤道的交角的测定。赤道是指天球的赤道。地球悬空在天球之内，设想地球赤道面向周围伸展出去，和天球边缘相割，割成一个大圆圈，这圆圈就是天球赤道。黄道就是地球绕太阳作公转的轨道平面延伸出去，和天球相交所得的大圆。天球上黄道和赤道的交角。就是地球赤道面和地球公转轨道面的交角。这是一个天文学基本常数。这个数值从汉朝以来一直认定是 24° ，1000 多年来始终没有人怀疑过。实际上这个交角年年在不断缩减，只是每年缩减的数值很小，只有半秒，短期间不觉得。可是变化虽小，积累了 1000 多年也就会显出影响来的。黄、赤道交角数值的精确与否，对其他计算结果的准确与否很有关系。因此，郭守敬首先对这沿用了千年的数据进行检查。果然，经他实际测定，当时的黄、赤道交角只有 $23^\circ 90'$ 。这个是用古代角度制算出的数目。古代把整个圆周分成

$365\frac{1}{4}$ 度，1度分作100分，用这样的记法来记这个角度就是 $23^{\circ}90'$ 。

换成现代通用的 360° 制，那就是 $23^{\circ}33'23.3$ 。根据现代天文学理论推算，当时的这个交角实际应该是 $23^{\circ}31'58.0$ 。郭守敬测量的角度实际还有 $1'25.3$ 的误差。不过这样的观测，在郭守敬当年的时代来讲，那已是难能可贵的了。

另一项观测就是二十八宿距度的测定。我国古代在测量二十八宿各个星座的距离时，常在各宿中指定某处星为标志，这个星称为“距星”。因为要用距星作标志，所以距星本身的位置一定要定得很精确。从这一宿距星到下一宿距星之间的相距度数叫“距度”。这距度可以决定这两个距星之间的相对位置。二十八宿的距度，从汉朝到北宋，一共进行过五次测定。它们的精确度是逐次提高的。最后的次在宋徽宗崇宁年间（1102~1106年）进行的观测中，这二十八个距度数值的误差平均为 $0^{\circ}.15$ ，也就是 $9'$ 。到郭守敬时，经他测定的数据，误差数值的平均只有 $4'.5$ ，比崇宁年间的那一次降低了一半。这也是一个很难得的成绩。

在编订新历时，郭守敬提供了不少精确的数据，这确是新历得以成功的一个重要原因。

在改历过程中，郭守敬创造了近20种仪器和工具。我们再介绍一件郭守敬独创的仪器，来看看他的技术成就。

这件仪器是一个铜制的中空的半球面，形状像一口仰天放着的锅，名叫“仰仪”。半球的口上刻着东西南北的方向，半球口上用一纵一横的两根竿子架着一块小板，板上开一个小孔，孔的位置正好在半球面的球心上。太阳光通过小孔，在球面上投下一个圆形的象，映照在所刻的线格网上，立刻可读出太阳在天球上的位置。人们可以避免用眼睛逼视那光度极强的太阳本身，就看明白太阳的位置，这是很巧妙的。更妙的是，在发生日食时，仰仪面上的日象也相应地发生亏缺现象。这样，从仰仪上可以直接观测出日食的方向，亏缺部分的多少，以及发生各种食象的时刻等等。虽然伊斯兰天文家在中古时候就已经利用日光通过小孔成象的现象观测日食，但他们只是利用一块有洞的板子来观测日面的亏缺，帮助测定各种食象的时刻罢了，还没有像仰仪这样可以直接读出数据的仪器。

王恂、郭守敬等同一位尼泊尔的建筑师阿你哥合作，在大都兴建了一座新的天文台，台上就安置着郭守敬所创制的那些天文仪器。它是当时世界上设备最完善的天文台之一。

由于郭守敬的建议，元世祖派了14位天文家，到当时国内26个地点（大都不算在内），进行几项重要的天文观测。在其中的6个地点，特别测定了夏至日的表影长度和昼、夜的时间长度。这些观测的结果，都为编制全国适用的历法提供了科学的数据。这一次天文观测的规模之大，在世界天文学史上也是少见的。

经过王恂、郭守敬等人的集体努力，到1280年（元世祖至元十七年）春天，一部新的历法宣告完成。按照“敬授民时”的古语，取名“授时历”。同年冬天，正式颁发了根据《授时历》推算出来的下一年的日历。

很不幸，《授时历》颁行不久，王恂就病逝了。那时候，有关这部新历的许多算草、数表等都还是一堆草稿，不曾整理。几个主要的参加编历工作的人，退休的退休，死的死了，于是最后的整理定稿工作全部落到郭守敬的

肩上。他又花了两年多的时间，把数据、算表等整理清楚，写出定稿。其中的一部分就是《元史·历志》中的《授时历经》。

在《授时历》里，有许多革新创造的成绩。第一，废除了过去许多不合理、不必要的计算方法，例如避免用很复杂的分数来表示一个天文数据的尾数部分，改用十进小数等。第二，创立了几种新的算法，例如三差内插内式及合于球面三角法的计算公式等。第三，总结了前人的成果，使用了一些较进步的数据，例如采用南宋杨忠辅所定的回归年，以一年为 365.2425 日，与现行公历的平均一年时间长度完全一致。《授时历》是 1281 年颁行的；现行公历却是到 1576 年才由意大利人利里奥提出来。《授时历》确是我国古代一部很进步的历法。郭守敬把这部历法最后写成定稿，流传到后世，把许多先进的科学成就传授给后人，这件工作，就称得起是郭守敬的一个大功。

王恂去世不久，郭守敬升为太史令。在以后的几年间，他又继续进行天文观测，并且陆续地把自己制造天文仪器、观测天象的经验和结果等极宝贵的知识编写成书。他写的天文学著作共有百余卷之多。然而封建帝王元世祖虽然支持了改历的工作，却并不愿让真正的科学知识流传到民间去，把郭守敬的天文著作统统锁在深宫秘府之中。那些宝贵的科学遗产几乎全都被埋没了，这是多么令人痛惜的事！

开凿水道

从 800 多年前的金朝起，北京就成了国家的首都。元朝时候，它称为大都，更成为当时全国政治经济中心的大城市。

大都城内每年消费的粮食达几百万斤。这些粮食绝大部分是从南方产粮地区征运来的。为了便于运输，从金朝起，在华北平原上利用天然水道和隋唐以来修建的运河建立了一个运输系统。但由于自然条件的关系，它的终点不是北京，而是京东的通州，离开京城还有几十里路。这段几十里的路程只有陆路可通。陆路运输要占用大量的车、马、役夫；一至雨季，泥泞难走，沿路要倒毙许多牲口，粮车往往陷在泥中，夫役们苦不堪言。因此在金朝时候，统治者就力图开凿一条从通州直达京城的运河，以解决运粮问题。

通州的地势比大都低，因此要开运河，只能从大都引水流往通州。这样，就非在大都城周围找水源不可。大都城郊最近的天然水道有两条：一条是发源于西北郊外的高粱河，另一条是水源从西南而来的凉水河。然而这两条河偏偏都水量很小，难以满足运河的水源需要。大都城往北几十里，有清河和沙河，水量倒是较大，却因地形关系，都自然地流向东南，成为经过通州的温榆河的上源。水量最大的还数大都城西几十里的浑河（今永定河）。金朝时候，曾从京西石景山北面的西麻峪村开了一条运河，把浑河河水引出西山，过燕京城下向东直注入通州城东的白河。但这条运河容纳了浑河水中携带来的大量泥沙，容易淤积。到夏、秋洪水季节，水势极其汹涌，运河极易泛滥。这样，运河对于京城反是一个威胁。开凿之后只过了 15 年，就因山洪决堤，不得已又把运河的上游填塞了。这是一次失败的经验。

然而，陆运耗费的巨大，始终在促使着人们去寻求一条合适的水道。这个任务，到郭守敬的时候才得到完成。

郭守敬的开河事业也不是一开始就顺利进行的。他也经过了多次的失败，最后才找到了正确解决的办法。

金朝开挖的那条运河，正流经大都城城墙的南面。利用这条被废弃的运河，当然是最经济最简捷的办法。至少，大都城以东的那一段是完全可以利用的。因此，摆在郭守敬面前的问题就是如何解决这段运河的水源。

郭守敬提出的第一个方案就是他在 1262 年初见元世祖时所提出来的六条水利建议中的第一条。

在大都城的西北，有座玉泉山。玉泉山下迸涌出一股清泉。这股清泉流向东去，并分成南北两支。南面的一支流入瓮山（今万寿山）以南的瓮山泊（今昆明湖的前身）。又从瓮山泊东流，绕过瓮山，与北面的一支会合，再向东流，成为清河的上源。郭守敬的计划是使进入瓮山泊的这支泉水不再向东，劈开它南面高地的障碍而引它向南，注入高粱河。高粱河的下游原已被金人拦入运河。这样，运河的水量就得到了补充。

当时，元世祖接受郭守敬的建议，下令实施这个计划。但是结果并不合于理想。因为引来增加水源的究竟只有一泉之水，流量有限，对于数额巨大的航运量仍难胜任。事实上，引来的泉水只够用来增加大都城内湖池川流的水量，对于恢复航运没有多大帮助。这又是一次失败的经验。

郭守敬仔细研究了这次失败的原因。显然，关键问题还是在于水量不足。他想：京郊河流中水量最大的是那条浑河，为什么不利用浑河的河水呢？3 年以后，就在他从西夏回来以后的那一年，他提出了开辟水源的第二个方案。他认为可以利用金人过去开的河道，只要在运河上段开一道分水河，引回浑河中去；当浑河河水暴涨而危及运河时，就开放分水河闸口，以减少进入运河下游的水量，解除对京城的威胁。这算得是个一时有有效的办法。所以说“一时有效”，那是因为这里还有个泥沙淤积问题，日子一久还是要出岔子的。看来，郭守敬也考虑到了这一点，所以他并没有在运河上建立闸坝，因为闸坝会阻碍泥沙的冲走。但是接着又发生了一个他所估计不足的问题。原来从大都到通州这段运河的河道，虽不如大都以上一段那样陡峻，但那坡度却仍然是相当大的。河道坡度大，水流就很急，没有水闸的控制，巨大的粮船自然无法逆流而上。结果，这条运河在 1276 年开成以后，只能对两岸的农田灌溉以及从西山砍取木材的顺流下送，起相当的作用；至于对大都运粮，还是无济于事。

两次工程都没有达到预期的效果。郭守敬并没有灰心，却更深入细致地分析了两次失败的原因。他认识到过去的设计思想带有颇大的片面性，今后的计划必须把水量、泥沙及河道坡度等种种因素结合起来，作一个通盘的考虑。在以后的几年中，他仔细地勘测了大都城四郊的水文情况和地势起伏。只是后来他被调去修历，才把运河工程的规划搁了下来。

1291 年（至元二十八年），有人建议利用滦河、浑河作为向上游地区运粮的河道。元世祖一时不能决断，就委派正在太史令任上的郭守敬去实地勘查，再定可否。郭守敬探测到中途就发觉这些建议都是不切实际的。他乘着报告调查结果的机会，同时向政府提出了许多新建议。他这许多建议中的第一条就是大都运粮河的新方案。

这个经过实地勘测、再三研究而提出的新方案，仍然利用以前他那个试行方案中凿成的河道，但是要进一步扩充水源。扩充的办法是把昌平地方神山（今凤凰山）脚下的白浮泉水引入瓮山泊，并且让这条引水河在沿途拦截所有原来从西山东流入沙河、清河的泉水，汇合在一起，滚滚而下。这样一来，运河水量可以大为增加。这些泉水又都是清泉，泥沙很少，在运河下游

可以毫无顾虑地建立一系列控制各段水位的闸门，以便粮船平稳上驶。

这是个十分周密的计划。元世祖对它极为重视，下令重设都水监，命郭守敬兼职领导，并且调动几万军民，在 1292 年（至元二十九年）春天，克日动工。

这条从神山到通州高丽庄，全长 160 多华里的运河，连同全部闸坝工程在内，只用了一年半的时间，到 1293 年秋天就全部完工了。当时，这条运河起名叫通惠河。从此以后，船舶可以一直驶进大都城中。那时大都城里作为终点码头的积水潭（今此潭还在，只是已经淤缩成一个小池潭了）上，南方来的粮船云集，热闹非常。这样，非但解决了运粮问题，而且还促进了南货北销，进一步繁荣了大都城的经济。

从科学成就上来讲，这次运河工程的最突出之点是在于从神山到瓮山泊这一段引水河道的路线选择。

从神山到大都城的直线距离是 60 多华里。白浮泉发源地的海拔约 60 米，高出大都城西北角一带最高处约 10 米。看起来，似乎完全可以沿着这条最短的直线路径把水引来。但实际上这条直线所经地区的地形不是逐渐下降的。由沙河和清河造成的河谷地带，海拔都在 50 米以下，甚至不到 45 米，比大都城西北地带的地势都低。如果引水线路取直线南下，泉水势必都将顺着河谷地带一泻东流，无法归入运河。郭守敬看到这一点，所以他所选定的线路就不是直通京都的。他先把白浮泉水背离着东南的大都引向西去，直通西山山麓，然后顺着平行山麓的路线，引往南来。这样，不但保持了河道坡度逐渐下降的趋势，而且可以顺利地截拦、汇合从西山东流的众多泉水。从后来通航的事实证明，舍弃那条直线，采取这条迂回西山下的线路，确是十分合理的。要知道，在 60 多华里长的路程上，仅仅几米的高低起伏，那实在是非常微小，不是人眼所能直接看出的。从这取舍之间，可以看出郭守敬对大都城和它四周地区的地形测量，是下过很深的功夫的。

通惠河开通以后，郭守敬一直兼任天文和水利两方面的领导工作。

1294 年，他升知太史院事。但是关于水利方面的工作，当时政府仍经常要征询他的意见。

1298 年（元成宗大德二年），政府决定在上都附近开一道渠，元成宗召郭守敬去商议。郭守敬就去当地查勘了地形，了解了雨量情况，发现这条河道近山，所经地区的年雨量虽不多，却很集中，大雨连日的时候山洪非常凶猛。他认为，纵然河道平时的流量不大，河道本身也一定要宽达 50~70 步。当时主管其事的官员目光短浅，认为郭守敬把雨季的流量估计得太大，处理这事太小心了，竟把郭守敬所定的宽度消减了 1/3。河渠开通的下一年，一到大雨时节，山洪顺河直冲下来，河身狭窄，容纳不下洪水，两岸泛滥成灾，漂没了人、畜、篷帐不计其数，几乎冲毁了元成宗的行宫。元成宗被迫北迁避水时，想起了郭守敬去年的预言，不由得对左右叹道：“郭太史真是神人呐。可惜没有听他的话！”

从此以后，郭守敬的声望更加高了。1303 年，元成宗下诏，说凡是年满 70 岁的官员都可以退休，独有郭守敬，因为朝廷还有许多工作都要依靠他，不准他退休。

元成宗之后，元朝政权迅速腐朽，统治集团内部斗争日益剧烈，生活上穷奢极欲，荒唐到极点，把元世祖时代鼓励农桑的这点积极因素抛弃净尽了。在这种情况下，郭守敬的创造活动自然也受到极大的限制。同他当时不断提

高的名望相对照，他晚年的创造活动不免太沉寂了。除了在 1298 年建造了一架天文仪器——灵台浑仪以外，就再没有别的重大创制和显著表现了。

可以设想，如果他晚年能够有较好的社会政治条件，可能还有更大的贡献哩。

1316 年（元仁宗延祐三年），为祖国的科学事业辛劳了 60 多年的郭守敬去世了，享年 86 岁。

明安图

有利的条件

明安图，字静庵，清代蒙古正白旗人。大约生于清康熙三十一年（公元1692年），卒于清乾隆三十年（公元1765年），终年74岁。他是出现在18世纪中国的一位杰出的蒙古族科学家。在天文学、地理测绘学和数学等科学领域里，在实践和理论上，都做出了巨大的贡献，其中尤以数学更为突出。他的成就在我国科学技术发展史上占据着重要的地位。

明安图之所以能够成为这样一位既是蒙古少数民族又是中华民族的杰出科学家，并非是偶然的。除他自身主观因素起了决定作用之外，当时特定的历史条件同他所得的成就也应当说有着密切联系的。

国家在政治上空前的统一，为出身于蒙古族的明安图创造了加入先进科学技术队伍的条件。在这一时期里，清朝统治者，在国内先后平定了“三藩”即吴三桂、尚之信、耿精忠的叛乱；平定了厄鲁特蒙古准噶尔部上层分裂势力的叛乱；平定了西藏、青海大农奴主和四川大、小金川土司的叛乱；平定了“回部”布那敦、霍集占集团的叛乱；解决并统一了郑氏孤悬海岛的台湾割据政权。对外则击退了沙皇俄国对我国北部和西北部边境的继续蚕食；同时也制止了来自英国殖民主义者和罗马教皇对我国内政的干涉。从而在政治上出现了一个空前统一的局面，使我国统一多民族的封建国家，在过去发展的基础之上，获得了进一步巩固和发展。诚然，这种封建性的统一，有着它巩固封建统治和加强对人民剥削压迫的一面。但是，这个统一局面，对于加强国内各地区各民族间的联系及进一步发展社会经济和科学文化；对于维护国家的统一和巩固祖国的边疆；对于防御西方资本主义国家的侵略保卫领土完整，毫无疑问都是起到了积极作用的。

对于上述统一局面所产生的积极意义，此处不拟作全面的论述，想就其中一点稍加说明，即这种政治上空前统一的局面对社会经济和科学技术发展所起的作用，说明的目的在于导出它为少数民族科学技术人才的成长所提供的前提条件。关于这个方面的道理，是显而易见的。众所周知，在我国清代所以能够出现这样政治上空前统一的局面，它自然是社会经济发展的一个积极的政治后果，而作为这种政治后果的空前统一局面，也必然进一步促进国内各地区各民族间的经济、文化联系和交流。在这种经济、文化联系和交流的不断扩大和深入之中，也就促进了整个社会经济的更进一步发展，其中包括对边疆地区的开发。在这种社会经济进一步发展的要求之下，自然会加强各地区各民族之间在科学技术上的相互学习、相互吸收和相互渗透的历史趋势，尤其是汉族的先进科学技术对边疆地区少数民族的影响会更迅速地加强起来。在这种社会历史条件之下，自然会扩大少数民族成员参预科学技术活动的机会和条件，因而也就使一些少数民族的优秀青少年在这个统一的国家里有条件有可能把自己锻炼成为一代出色的科学家。历史事实正是这样，由于时代所惠于少数民族的这一不可忽视的社会环境，确实使在当时的少数民族之中，涌现出一些有成就的科学家，如满族水利工具家麟庆、数学家博启等。明安图就是当中的杰出者之一。

前行的科学研究成就，为明安图提供了较高的科学研究的起点。在这一时期里，从世界上看，欧洲一些先进国家的历史发展，已经走到了封建社会

的尽头，开始进入资本原始积累阶段，并逐步向资本主义社会飞跃。当时中国的历史条件的特殊性，业已发展两千余年的封建制度却仍然顽固地统治着古老的中国。资本主义萌芽虽然于明代中叶以后就已经产生，但它的发展极为缓慢，这一新萌发的社会力量，尚不足以突破旧封建制度的桎梏而使中国社会发生质变。在当时的社会历史条件之下，清朝统治者从社会实际条件出发，采取了诸如“更名地”、“垦荒令”、“地丁制”和废除“贱民”籍及匠籍等一些调整生产关系的措施。同时还采取了诸如兴修水利，改进生产技术、生产工具和推广高产农作物等一些发展生产的措施。这样，就在一定程度上促进了社会生产的发展，也促进了商品经济和资本主义萌芽的某些发展。在农业、纺织业、矿冶业、陶瓷业等许多生产部门的生产，都比过去有所发展。这种社会经济的发展，自然要求不断地进行总结和提高生产经验与科学技术的水平。尽管当时科学技术的发展仍然受到封建制度的严重束缚，它的发展呈现着一种缓慢的状态。但在这一时期里，科学技术毕竟在前代的基础之上仍有一些新的发展。如在天文学、数学、农学、水利学、医学等许多科学领域里，都相对地取得一些新成就。这种科学有所发展的形势，它就为从事进一步科学技术研究活动的一些科学家们，积累和准备了可作为进一步研究起点的科学成果与资料，并为之提供了必要的物质的和技术的条件。从而也就促使了科学技术在前代发展的基础之上有所前进。同时在这种科学技术的发展过程之中，一些科学家在扬弃前行科学成果的基础之上，进一步取得新成就，而使自己成长起来。如王锡阐、梅文鼎等。明安图也正是在前行科学成就为其提供较高的科学研究起点之上发扬光大的。

西学传入中国，为明安图中西兼学采长补短，能以在科学技术上获得新突破提供了条件。在这一时期里，东西交往日臻频繁。随着这一交往的日益扩大，继之而来的是西方进步的科学技术，通过西方传教士断续地传到中国。自耶稣会教士意大利人利玛窦在明代来到中国后西方传教士接踵而来。他们不遗余力地宣传耶稣教的教义并广为吸收教徒。为了打开中国大门，他们传播科学技术作为敲门砖。虽然他们传播科学技术的主观目的是为了侵略，但在客观上却使中国人扩大了眼界，同时也冲击了中国传统的科学技术的保守性。当时就有某些先进人物主动地去了解世界，开始向西方学习先进的科学技术，因而出现一些以中国传统科学技术为主，中西兼学、采长补短的科学家。明安图就是在当时的那种形势下，在精通中国传统科学技术的基础之上，勇于学习和探索西方科学技术，从而进一步做出成绩的一个人。

清统治者提倡发展科学的政策，为明安图创造了良好的机遇。在这一时期里，中国的统治者是康熙、雍正、乾隆，他们在中国历史上都是较有作为的皇帝。康熙皇帝比较开明而且有些远见。他一方面重视中国的传统科学技术，同时也颇热心于学习和运用西方的科学技术。康熙皇帝所推行的提倡科学技术的政策，尽管不及同一时代俄国彼得大帝改革的那样全面和彻底，因为各有自己的不同国情。但他的政策，在中国的具体历史条件之下，确实为发展当时的科学技术创造了较为良好的条件，并为其前进奠定了一定的基础。康熙皇帝经常召集在中国的一些西方传教士，如徐日升、张诚、白晋、安多等到皇宫里轮班讲解一些自然科学。当时所晋讲的科目，有数学、天文学、人体解剖、物理学、机械学、地理测绘学以及制炮术等。与此同时，西方传教士也经常为康熙皇帝作些实验和进行一定规模的实地演习。康熙皇帝也颇注意科学技术的应用。自己也常常进行一些实验。即使在每次外出巡狩

的时候，也总在自己的身边带着一些精通科学技术的官员，备作顾问，随时咨询，以及时地解决他所遇到的科学技术上的问题。康熙皇帝尤为重视培育科学技术人才。他曾多次下令，挑选汉人及八旗优秀子弟送到国子监学习，同时也送一些到钦天监去学习算学和天文学等自然科学。国家的最高统治者多次颁发选拔培育科学技术人才的敕令，这就为汉族同时也为满、蒙古等少数民族青少年提供了学习科学技术的机会和条件。明安图就是于康熙年间，在康熙皇帝所颁发的在八旗子弟中选拔天文生的敕令之下，使他能够获得一个机会走进钦天监里学习天文历法的。

在这里特别指出的是，作为少数民族出身的科学家明安图，若非时代冲破了民族地区的政治、经济上的闭塞，他势将被排斥在科学研究队伍之外。因此，上述时代所给予他的种种条件和机遇，毫无疑问，是他所以能够成长为一名杰出科学家的重要客观因素。

优异的学业

明安图自康熙四十八年至五十二年（公元 1709 ~ 1713 年）在钦天监里学习，在这一学习期间，由于自己的勤学苦练，而成为一名成绩优异的天文生。

关于明安图的家世出身的问题，至今仍不得详考。我们设想如果他出身于蒙古王公显宦家庭的话，对他的门第当会有不少歌功颂德的记录，史家对此也一定是会多挥洒一些笔墨的。从他身世记载的简略，可以推知，他大概出身于一般家庭，不过是一名普通的蒙古族子弟。如果是这样，他就得不到父祖辈的余荫，也不会得到什么贵戚亲友的提携。他所以在青少年时期，能够得到良好的学习机会，并在学习上不断有所长进，这完全是来自他自身的刻苦学习。

明安图在少年时期，由于自己的勤奋苦学，通过“院试”一级的考试，使自己以得了生员（俗称秀才）的资格。他所取得的这个生员资格，显然和那些由恩荫、捐纳得来的什么恩监生、荫监生和例监生是有所不同的，他是需要花费许多力气，使自己学识达到一定水平时才可以取得的。根据清朝的考试制度，首先是童生参加县级的考试，在县级考试合格之后，参加府级考试，只有通过县、府两级考试合格，才有资格参加院试。通过院试合格之后，称为“入学”，合格的童生就为生员。取得生员资格之后则由国家发放一定的“禄俸”，这时就居为国家所养的士人了。可见明安图在取得生员资格之前，显然是经过了县、府两级考试合格的。至于明安图之所以能够被选入钦天监学习，也应当是在他院试合格之后，在“岁考”中成绩优秀被选为贡生，然后以贡生的资格才将其送入国子监学习的。看来，明安图能进入钦天监学习，并不是一件容易的事情。他自 18 岁起来到了钦天监学习，从此他就作为一名天文生开始专门攻读天文历法。

钦天监是清政府专门管理和研究天文历法的中央机构，也是培养天文历法人才的学校。监里是天文历法人才荟萃的地方，其中有著名的中国天文历法家，也有掌握近代科学知识的西方传教士在那里任职；监里收藏着丰富的天文历法以及数学等图书和资料；还设有当时国家水平的各种天文仪器。这些就为明安图在从事天文历法的学习和研究时，提供了丰富的图书资料和作为观测的仪器，并可直接向监内的西方传教士学习近代科学知识。这种环境对明安图的学习来说是非常有利的。明安图就是在这样一个环境中，以强烈

的求知欲望和坚韧不拔的毅力，把书本知识和对天象的实地观测结合起来，进行了学习和研究，使自己学业日有所进。

当时康熙皇帝热心学习西方科学技术。常在宫廷中开设西方自然科学的专题讲筵。明安图又经常以官学生的身份到皇宫里去听讲。对此，明安图的弟子陈际新在回忆他的师长时曾说：“明静庵先生自童年亲受数学于圣祖仁皇帝，至老不倦”。可见他亲自得到过康熙皇帝的教诲。

由于明安图在钦天监学习成绩十分突出，深得康熙皇帝的赏识。康熙五十一年（公元1712年），康熙帝曾陪同皇太后去热河避暑山庄。在临行时组织了一个随行队伍，其中包括著名历算学家，如梅文鼎之子梅穀成，苏州府教授陈厚耀，钦天监五官正何君锡之子何国柱、何国宗，钦天监监副成德等人。当时明安图也在随行人员之中。在那个队伍当中，只有他是一个无名小辈，是仅有的一名官学生。可见当时他在钦天监中，无疑是一位出类拔萃的高材生了。

当时人们称道明安图的学识，“精奥异人”。正因如此，在康熙五十二年（公元1713年），当他22岁学习期满时，就被留在钦天监任职了。

勤于本职

明安图自康熙五十二年至乾隆二十八年一直在钦天监任职。他热心于本职工作，认真观测天象和编制《时宪书》，使自己的科学技术水平与日俱增。在天文历法的实践和理论研究上，都取得了突出的成就。

明安图在钦天监任职整整51个春秋。其间前47年里一直是任钦天监时宪科的五官正。直到乾隆二十四年（公元一七五九年），他已经是68岁了，由于赴新疆测绘任务的需要，才被破格提升为钦天监的监正。此后，他仅作了为时5年的本监长官，就因为病离职了。乾隆三十年（公元1765年），不幸与世长辞。

钦天监设有监正和监副为本监的长官，统辖和管理监内的政务和技术工作。在监内设有时宪科、天文科、漏刻科、主簿厅等部门机构，分别掌管监内的各种业务和行政管理工作。时宪科掌：编制《时宪书》，推算日月食，选择祭祀的吉日；天文科掌：观测天象，测量日月五星的形体，汇录纪注晴雨风雷和流星；漏刻科掌：用漏刻报时报更，选择各项典礼的吉日，选择营建都邑、宫室的地形；主簿厅掌：钦天监的奏章、文移、颁发各项应用物品，保管图书，大文生的升补，吏员的任用和工役的管理等。在科、厅之中，根据职掌不同，分别设有五官、灵台郎、保章正、挈壶正、司晨博士等职。

当年明安图是在钦天监时宪科里任职。他所担任的五官正一职，工作内容是非常繁重和复杂的。明安图以勤奋的工作态度，渊博的学识和高超的技艺，几十年如一日，年复一年地出色地完成自己的本职工作。在晚年被提升为监正的五年当中，他除了负责监内全面工作作为一名精通专业技术的本部门长官之外，其所从事的科学技术活动，大体仍是他任五官正时的那些工作内容。

明安图经常性的本职工作，可以把它概括为三个方面：（一）参预一年一度刊出的《时宪书》的编制工作。《时宪书》是一种历书，俗称黄历、也叫皇历。其中着重记入有关天文历法和农时节气等，这些对于指导生产特别是农事有着重要意义；书中宣扬皇恩浩荡及封建道德等忠孝思想。此外，还

有迷信的“宜忌”、“宜迎”等，如某日忌出行，某日宜祭祀，某日某时在何方迎财神或喜神等。当时，对《时宪书》的制定，皇帝是非常重要的。钦天监首先要把所制定出的《时宪书》样式晋呈给皇帝审批，经过皇帝审批之后，正式定稿印刷，然后将正式出版的《时宪书》颁行全国。明安图从事这项工作的最早记载，是在《大清康熙六十一年时宪法》上，有“食员外郎俸五官正明安图”的字样。在这以前的《时宪书》上都没有他的署名。这很可能是因为在钦天监任职的最初几年，即奉命参加了编写《律历渊源》一书，似乎在那段时间里他还没有参预这一编制《时宪书》的工作。其后，在历年的《时宪书》上，几乎都有他的署名，直至他离监那年所编成的《大清乾隆二十九年岁次甲申时宪书》上，也还有他的名字。可见编制《时宪书》一事，是他一生当中的一项经常性的工作。（二）明安图参预汇制题本的工作。明安图要经常参预把他们观测的各种天文现象的结果汇制成为题本进呈给朝廷。这也是他经常性的业务活动的内容。在这些题本中，除进呈上述《时宪书》样式的题本之外，大量是预报“日月食”或“观候事”的题本。这类题本上呈的次数很多，有时进呈之频，一年之中竟是月连月，甚至一月之内日连日。这项工作既是琐碎又是科学性很强的，稍有不慎就会出现错误。要做好它，非勤奋精明之人，是难以胜任的。就预报日月食来说，在当时科学技术的条件下，能够把这种预报作得准确无误，确实是一件非常不易的事情。特别是在当时君主专制的下面，要担负着很大风险。雍正七年正月十七日（公元1729年2月14日），发生了月食。在这次月食发生之前，在监正明安图的主持下，共同进呈了两次预报月食的题本。在题本中，预报了这次月食在北京地区的初亏和复圆的时刻，同时绘制了在北京地区月食的起复方位图像，还预报了在各省月食初亏先后的不同时刻。可见要准确地预报一次月食，其中涉及到许多科学性和技术性的问题，它是要花费很多精力的。明安图就是这样一次又一次的预报了日、月食以及其他一些天文现象的。由于他技术纯熟和工作细心谨慎，几十年中没有出现过什么大的错误，大都出色的完成了任务。（三）明安图另外还参预将《时宪书》翻译成蒙古文的工作。我国是个一多民族的国家，所制定的《时宪书》是面向全国，汉文版之外，还要翻印成几种民族文字的版本，颁发到少数民族地区。明安图出身于蒙古族，将《时宪书》翻译成蒙古文的任务，就成为他责无旁贷的一件事。由于明安图对这项翻译工作做得出色，乾隆皇帝曾赐他“翻译进士出身”的荣誉。

明安图一生的时光和精力，几乎全部都是在钦天监里度过和耗尽的。其间虽然有几次奉命调出参预编书和测绘地图，尽管在这些方面所做出的成绩甚至超越了他的本职工作，然而那些工作对他来讲毕竟是暂时性的工作。明安图常年在钦天监里孜孜不倦的埋头于本职工作，是一名勤于本职工作的天文官。虽然关于他在理论建树方面不见记载，但从实践角度看，他在天文历法方面所从事的活动，确实为当时社会生产和生活的实际需要，一次又一次地作出自己的贡献，他在这一方面的功绩是不可磨灭的。

编制历法

明安图在本职工作之外，还参预了康、雍时期所编的《律历渊源》和乾隆时期所编的《历象考成后编》、《仪象考成》等几部大型天文历法著作的集体编纂工作。在编书当中，他一方面积极工作，对编书作出自己应有的贡

献。同时认真学习使自己的科学技术水平不断向高峰迈进。

(一)《律历渊源》的编写。它是在康熙皇帝敕令之下，由集体编纂的一部官修的、内容以天文历法为主的巨作。当时所以要编这部书，其原因很多，主要是出于当时天文历法实践的需要。在清初，依照《崇祯历书》和《西洋历法新书》两部天文历法书中的理论，指导当时的天文历法的实践。《崇祯历书》，是在明末由徐光启等人，将西方传入的一些天文、数学等书籍进行翻译和编纂而成的一部书。随着科学的进步，到这时它已显得陈旧了，例如：对黄道和赤道的交角，是采取了过时的丹麦天文学家地谷的 $23^{\circ} 31' 30''$ 的数据。《西洋历法新书》是清初在《崇祯历书》的基础之上改写的一部书。它虽然比原书有些进步，其所介绍的内容也并不是先进的。例如：书中没有介绍著名的意大利天文学家伽利略的《天文对话》、《力学对话》的内容，甚至连他的名字也未曾提及；书中也没有介绍波兰伟大天文学家哥白尼先进的“日心说”，其中只介绍了陈旧的丹麦天文学家地谷的“地心说”。由于这两部天文历法书，都已不能适应当时天文历法实践和日常生活的需要，所以才有编写《律历渊源》一书之举。

《律历渊源》全书包括三大部：《历象考成》、《数量精蕴》、《律吕正义》，计 100 卷。《历象考成》，是专讲天文历法的；《数理精蕴》，是专讲数学的；《律吕正义》，是专讲乐律理论的。这部大型的以天文历法为主要内容的书，从康熙五十二年着手编写，至雍正元年（公元 1723 年）止，历时 11 年，才修纂完毕。

在《律历渊源》编写的过程中，对全书的编写工作，做了比较严密的分工；（1）总纂，由和硕庄亲王允禄及和硕诚亲王允祉充任；（2）汇编，由日讲官起居注詹事府少詹事兼翰林院持讲学士何国宗及翰林院编修梅毂成担任；（3）分校，由原任湖南巡抚都察院右副都御史魏廷珍、编修王兰生、原进士方苞担任；（4）考测，会考府郎中成德、参领阿齐图、原任吏部员外郎顾琮、工部员外郎加一级照海、食员外郎俸钦天监五官正明安图、兵部主事加一级平安等人担任；（5）校标，由兵部郎中兼管钦天监右监副事加二级何国柱等人担任；（6）校录，由翰林院侍读吴孝澄等人担任。

编写这部《律历渊源》巨著的工作，早在明安图于钦天监毕业之前就已经开始了。明安图在学生时期是否参加了这项工作，应当是无疑的。到全书编完的时候，他已经是 33 岁了。在编书期间，他虽然任职于钦天监，但主要是在从事这项编书工作。《律历渊源》中的《历象考成》一书，是全套书中的重要组成部分。在这部书中载入了许多新的实验资料 and 新的数据，使这部书有了新的进步。例如：黄道与赤道交角，在《崇祯历书》中，采用地谷的 $23^{\circ} 31' 30''$ ，这部书将通过实地观测的 $23^{\circ} 29' 30''$ 新数据写入其中，这个数据就比过去精确了。另外，在观测方法上，虽然仍广泛地使用我国传统的天文观测方法，如测量两至（夏至、冬至）和两分（春分、秋分）时的太阳高度时，依旧采用立杆日影的方法求其数据，但这时已经开始采用西方的观测方法了。总观全书固然有很大进步，但它仍然没跳出《西洋立法新书》的窠臼。书中还是没有采用先进的“日心说”。这部书在编写当中之所以有这样的进步，在很大程度上，是由于参加编书人员作了大量的观测，并将其观测所得的新资料新数据写进书内的一个结果。明安图所分担的考测工作，就是对天象进行各种实地观测索求新数据的工作，正由明安图等人所作的大量观测为编书提供了许多素材，因而保证了编书的质量。明安图参加为时 11

年的编书工作，就其个人来说是刚从钦天监毕业的年轻人，也是破天荒的第一次参加编书工作的。他除自己努力工作对编书作出应有的贡献之外，同时也是他难得的一个学习和锻炼机会。所以，这次编书实践，就为他以后从事科学研究，打下了大踏步前进的坚实基础。

（二）《历象考成后编》与《日躔月离表》的编写。当时所以要编写，是由于《历象考成》一书的缺点随着实践的发展而日益扩大。该书编写时虽是按照西法制定的，但当时存在着微差，经过十年的实践，所谓积微差渐成分秒。由于这种时差的增长，就与天体实际运行不相符合了。同时书中“图与表不合，而解多隐晦难晓”。由于有了这些情况的变化，它就不适合于历法实践的需要了。于是钦天监于雍正八年（公元1730年）上书皇帝，请求编制《日躔月离表》和全面修订《历象考成》一书。在得到皇帝批准之后，便着手进行了编制。

《日躔月离表》，就是太阳和月亮运行的天文表。这次编表，是在西洋人戴进贤主持下进行的。明安图是否参加此表的编写，没有确切记载，但却有关于他能够使用这个表的记载。据记载说：当时能够使用这个表的人，除监正戴进贤和监副徐懋德二人外，中国人只有五官正明安图会使用它，可能明安图参与了这项制表工作。即使没有参加，也说明他已达到了能够编制此表的科学水平了。

《历象考成后编》，是自乾隆二年（公元1737年）顾琮上书请编此书开始，至乾隆七年止，历时4年编写完毕。这部书由明安图担任副总裁。他和总裁戴进贤、副总裁徐懋德共同主持了这部书的编纂工作。他把全部精力都倾注于编写的工作之中。《历象考成后编》，是在《历象考成》的基础之上，经过了编者“尽心考验，增补图说”精心编制成功的。它比前编的《历象考成》，有许多提高。最主要的进步，是书中写进了刻卜勒的定律。虽然刻卜勒定律早已传入中国，但在历法书并未采用，而是采用地谷的学说。这次是首次将其写入历法书中。之所以如此，是因为经过了长期实地观测天象，在从地谷和刻卜勒的计算方法的比较中，发现刻卜勒的定律更为正确些。最明显的例证，是在雍正八年（公元1730年）的日食当中，天文工作者用地谷方法计算日食的食分为 $9\frac{22}{100}$ ，用刻卜勒方法计算为 $8\frac{10}{100}$ ，两者相比，用刻卜勒方法求得的数据和实际更为密合，因此才确定把刻卜勒定律写入《历象考成后编》之中。这是我国历法史上第一次正式采用刻卜勒定律，也是这次编书中的一项突出的成就。但是书中没有采用刻卜勒的地球在椭圆轨道上运行，太阳在椭圆的焦点上的新体系，仍然继续采用太阳在椭圆轨道上运行，地球在椭圆焦点上的旧体系。其中只采用了刻卜勒三个定律中的第二定律。这不能说不是这部书的缺点。但其进步还是应当肯定的。

（三）《仪象考成》的编写。之所以要编写这部书，正如记载所说：“近年来，累加测验，星官度数，《仪象志》尚多未合；又星之次第多不顺序，亦宜厘正，于是逐星测量，推其度，观其形象，序其次第，着之于图。”其中所指出的原因是很明显的。就是经过一段时间的天文实践，过去由西洋人南怀仁主持下所制造的几件天文仪器及对它所撰写的说明书——《灵台仪象志》，上面所记入的数据已经和实际发生了很大出入。同时在天文实践中对天体的认识不断加深并进一步积累了一些新资料。为此钦天监倡修《仪象考成》一书，以便纠正前书的错误和补充新的内容。

这部书是从乾隆九年（公元1744年）至十七年（公元1752年），经历

了8年的时间将书编成的。全书共32卷。书中有一些篇章是为了说明天文仪器而撰写的，其余大量篇幅是各种星表。在这次测量的前后，英国和德国也都进行了同样的测量，中国所进行的这次测量，在时间上正处于西欧两国之间，它是当时世界上对恒星所进行的三次在规模测量中的一次。就《仪象考成》所载星表中的星数来看，它多于英、法两国星表中的星数，是当时世界载入星数最多的星表。可见这次编写《仪象考成》一书，所进行的实地测量工作，其浩繁程度，可以说是空前的。明安图参加了这部书的编写和测量工作，记载中说，这部书是在西洋人刘松令、鲍友管的主持之下，“率同监员明安图等详加测算，着之于图”的。那进明安图已是61岁了，他的学识更加渊博，经验更加丰富，这次编书所进行的大量测量和计算以及绘制星表的工作毫无疑问，明安图是投入了很大精力的。

明安图在上述编写工作中，作了大量的实地测量、计算和编绘工作。尽心尽职，作出了自己应有的贡献。与此同时，他自己的科学技术水平随着编书的实践而不断获得提高和深化。他在天文历法方面，从实际工作到理论阐发，都做出了重要的贡献。

绘制地图

明安图除参加上述大型天文历法书的编写之外，他还奉命参加了康、乾时期的三次测量地貌、绘制地图的工作。在地理测绘学方面，也做出了巨大的贡献。

（一）康熙对全国性的地貌勘测与地图绘制工作。清政府从康熙四十七年（公元1708年）开始。至康熙五十五年（公元1716年），进行了一次全国性大规模的地貌测量和地图绘制工作。

清政府所以要开展这项工作，原因之一，是中国古代虽然有多次绘制地图之举，但由于受到历史和技术条件的局限，所编制的地图存在着严重的缺点，尤其在西方近代地图测绘法传入中国之后，其缺点就更显得突出；其二，中国长期存在的封建割据，呈现着交通不便和边疆地区闭塞的状况。中央政府所制定的地图，未能实际测量，一些地名、地形、气候传闻，所绘地图，常有误谬失真之处。因此，为了采用西方绘图法并进行实际测量，以便编出一幅比较确切和科学的全国地图，康熙下令进行一次全国性的地貌测量和地图绘制工作。

在这次测绘之中，全国测定了600余处经纬点，其规模之大，是世界各国所不能与之比拟的。这次勘测和绘制工作，是任用西洋人采用西法进行的。采用了“三角法”进行测量；还采用经纬图梯形投影以及比例尺（1：1400000）等新法。图中内地各省地名用汉字标记，满、蒙地名用满文标记。最后，将这次实地考察的成果，绘制成为《皇舆全图》。它是我国运用近代科学测量法绘制的第一幅全国地图。但这次勘察的地区，仍有局限，因为当时新疆地区，正处在厄鲁特蒙古上层分裂势力的叛乱之中，所以那里只勘察到哈密，其西部地区未得进行。

明安图是否参加了这次地貌勘测和地图绘制工作，缺乏明确记载。据朱希祖在《乾隆内府舆图·序》中所写：“康熙地图似全赖西士费隐、雷孝思等九人之功，而费、雷二人竟道历全国，始终其事，其功尤巨，然吾国之明天算者，如何国宗、国栋兄弟，亦尝预于其事；穆克登且任复勘之役。惜乎

教会所记仅显扬西方教士之功，不载中土董率之人。盖以乾隆时代测绘之例观之，则康熙时亦必有如何国宗、明安图等明天算者董率前往，无可疑也，中土既失记载，遂令斯事全归于教士，一若中土无一人预于斯役者，虽有何国宗，穆克登等零星记载，亦隐约而弗彰，此吾所以特表而出之也。”根据他的推测，明安图可能是参加了这次全国性的测绘工作的。这一项工作，是从康熙四十七年开始的，第二年明安图进入钦天监学习，至康熙五十二年他从钦天监毕业后留在钦天监任职，至康熙五十五年，这次测绘才基本完成。在开展这项测绘工作期间，基本上是和明安图在钦天监学习和初期的任职时期相平行的。由于这项工作任务极其复杂和艰巨，它不是一两个西洋人所能完成的。从当时钦天监所处的地位来看，当有许多钦天监的科学技术人员参预这项工作。明安图也可能参加了一些具体的测量、计算和编绘等工作。

其后，明安图在乾隆时期，前后参加了按照乾隆皇帝指令所组成的勘测队，两次前往新疆，测量当地的地貌和绘制地图。

（二）第一次新疆之行。乾隆二十年（公元 1755 年），由乾隆皇帝下令组成勘测队，前往疆西北部勘测该地的地貌和绘制地图，以进一步完成其祖父康熙在测绘地图上的未竟之业。第二年便组成了以何国宗为礼部侍郎、左都御史，为了这次工作上的方便，也表示对这项工作的重视，乾隆皇帝特给何国宗在原官之上加授了尚书衔。一反过去以西洋人为主的状况，这次除有个别西洋人参加之外，大都是本国技术人员，明安图参加了这次的勘测工作，他是仅次于何国宗的一名重要科学技术官员。另外，还有那海、努三、富德等人，担任队务和保安工作。

这次新疆测量地貌的主要目的，一是填补《后舆全图》缺载的新疆部分；二是测量气象。乾隆皇帝指令勘测队，测出新疆地方二十四节太阳出没的时刻，为编制《时宪书》提供资料。为了达到上述目的，提出实测的具体要求：（1）测量“北极高度，东西偏度”，也就是测量各地点的经度和纬度；（2）测量方位的距离；（3）测定各地昼夜长短和二十四节的日出日没的时刻；（4）采访当地风土地貌。

勘测队于乾隆二十一年（公元 1756 年）春天从北京出发。

他们到达新疆之后，在巴里坤开始分南北两路前进：南路由何国宗等人率领，越托东岭进入吐鲁番盆地；北路由努三等人率领，沿天山山脉北麓至伊犁一带，勘测范围达数千里。在这数千里内，测定了许多地点的经纬度以及每个地点的二十四节气以及太阳出没的时刻。

勘测工作，经过了夏、秋两季，大约进行了半年的时间。在当年的冬天踏上归途，于次年（乾隆二十二年）正月，回到北京。由于当时在天山山脉南麓的广大地区里，清政府正处在用兵平定厄鲁特蒙古分裂势力阿睦尔撒纳叛乱的战争之中，对许多地方都难于进行勘测，结果只完成了天山北麓的勘测工作，天山南麓勘测工作只好待日后完成。

（三）第二次新疆之行。乾隆二十四年（公元 1759 年），乾隆皇帝再次下令派人赴新疆，继续完成因战争耽误的天山南麓的勘测工作。

这次赴新疆的勘测队，是以明安图为首以傅作霖为副组成的。乾隆皇帝所以任命明安图担任这次勘测队的领队官员，首先是由于明安图有优越的个人条件。明安图前次曾参加过三部大型天文历法巨著的编写，又前后两次参加地貌测量和地图绘制工作。他在这几次编书的测绘的工作中，都能勤奋工作，做出自己应有的贡献，关在其中不断增长了学识和才干。这时他已具有

高超的科学技术水平和丰富的工作经验。正因为如此，他深得同僚和乾隆皇帝的信任；其次，天文历法学老将何国宗，当时正受到其弟何国栋贪污一案的牵连，不便再委其前往新疆。这种情况使得明安图自然成为这次领队官的合适的人选了。

在勘测队临行之前，为了更好地发挥明安图领队的指挥作用，乾隆皇帝特破格提升他为钦天监的监正。参加之次勘测队的成员，从西洋人看，除钦天监副傅作霖作为明安图副手前往之外，还有西洋人高慎思。在清朝政府中，则派出了二等侍卫什长乌林太、乾清门行走蓝翎侍卫德保等。

这次对新疆的勘测，所进行的测绘点，分布是比较广泛的。大体从哈喇沙尔以西开始，沿着塔克拉玛干大沙漠西北、西、西南部边缘有人烟的地带，经库车、阿克苏、喀什以达和阗，又折而西向，测绘了当时属我国、今日属俄罗斯的一些地点。在这次测量之中，广泛地应用了“三角法”的近代测量方法，它在我国测绘史上，继康熙以后的又一次应用。这次勘测，把实地测量工作时间和往返行程所用的时间加在一起，大约经历了一年的时间。勘测队于乾隆二十五年（公元 1760 年）三、四月间，在领队官明安图率领之下回到了北京。

这次勘测工作和以往几次一样，也做出了重要贡献。（1）通过这次测量补充了过去未测完的地方，填充了康熙时所编的《皇舆全图》的空白，并在其基础上，进一步编成了《乾隆内府舆地全图》；（2）为编制《时宪书》准备了实验资料 and 新的数据。将其所测量的 26 个经纬点，写入了乾隆二十六年（公元 1767 年）的《时宪书》中；（3）通过实际勘测，改正了过去由传闻产生的错误，使地形、地名以及各地的二十四节更加与实际相切合。

明安图参加了上述三次勘测地貌和绘制地图的工作，他所起的作用是一次比一次更大的。在康熙主持第一次全国性勘测工作时，明安图还很年轻，仅做了许多具体的测量工作，在工作中提高了学识，增长了才干；第二次，他首赴新疆勘测时，已经 65 岁了，科学技术水平业已非常高超，因而他成为这次勘测的重要成员；第三次他再赴新疆时，已经 69 岁高龄，是作为领队官员参预此行的，对测绘工作的完成起了重要作用。

明安图在历次测绘的实践之中，能和其他勘测人员在中国传统科学技术的基础之上，注意吸收西方的科学技术和科学方法，作出了自己的卓越贡献。所取得的新成就，为中国地理测绘学开辟了新的蹊径，使中国地理测绘学的面目为之一新。因此，这几次勘测和绘制地图工作，在中国地图绘制史上具有划时代意义。

明安图以六、七十岁的高龄，两次奉命前往新疆测绘地图。在数千里的广大地区里进行了野外的测量工作，任务是非常艰巨的。在此期间，他历尽了千辛万苦，奔忙在数千里的地面之上，攀越了为数不尽的高山和狭谷。充分表现了中国科学家的那种为真理、为科学而献身的高贵品质。

创割圆术

天文学研究的基础学科是数学，明安图在这方面取得了更为突出的成就。他结合本职工作对数学进行了长期的研究，创立了割圆术。这一大放异彩的科学研究成果，由其弟子最后整理编成为《割圆密率捷法》一书。这部书在我国数学发展史上，占有重要的地位，并产生了深远的影响。

明安图进行深入钻研和探讨数学，大约是从雍正五年（公元 1727 年）开始的。他所以要发奋深研数学，是有其具体原因的。首先是他所从事的天文历法工作是和数学有着密切的关系的。数学是进行天文历法工作和研究的工具。诸如观测天体和星象；计算星球间的距离；计算星球的面积和体积以及测量太阳的高度等等，都是离不开数学的。为把天文历法工作搞得更好，研究得更深，就必须对数学有高深的修养。就这样，明安图在运用数学不断解决天文历法问题的时候，自然对数学逐渐产生兴趣，终于成为他所酷爱的一门科学。此外还有一个重要因素，那就是他为了国家民族的尊严。正当明安图参预编写《律历渊源》一书的时候，由法国传教士杜德美将欧洲数学中的三个无穷级数传入中国，并由当时我国数学家梅毂成译成中文，称为“西士杜德美法”。这个方法实际上是格列高里和牛顿发现的，并不是杜德美所发现，仅仅是由他将其传入中国而已。当时只传来公式的证明。据说是杜德美有意“藏匿根数，秘而不宣”，“故作繁难，以炫异欺愚”的。明安图面对西洋人的这种故弄玄虚蔑视中国人的齷齪行为，感到极大的愤慨。决心以自己的研究成果来还击杜德美的挑战。

明安图深入钻研数学，是从探讨这三个无穷级数的根数开始的。他“欲自立一法，以观异同”。明安图以惊人的毅力坚持了对数学的研究。他不论严寒和酷暑，在京师还是在外地，在白日还是夜晚，年复一年地进行了持久的钻研和探索。就连他奉命到新疆测绘地图的时候，对数学的研究也从未间断过。就这样经过他自己“积思三十余年”，终于取得了前人所未曾取到的新成果。

明安图首先自己独立地论证了杜德美秘而不宣的“圆径求周”；“弧背求正弦”；“弧背求正矢”三个公式的“立法之原”，从而揭示了杜德美所“藏匿”的根数。他在钻研这三个公式的同时，自己又发现和创立了超越当时世界科学水平的六个新公式：即弧背求通弦；弧背求矢；通弦求弧背；正矢求弧背；矢求弧背。将原杜德美的三个公式和他新发现的六个公式相加起来，共为九个公式，后人通称为“九术”。明安图自豪地说：“以上九法，皆至精至密”。实际上这些公式都不外是弧、弦和正弦之间的相互关系的问题。由于在证明上述九个公式的过程中，在数的计算上极为繁琐，为了简化计算的程序，进而采取了三角变换的方法，由此又创出四个公式：即余弧求正弦正矢；余弦余矢求本弧；借弧背求正弦余弦；借正弦余弦求弧背。总称割圆十三术。

明安图的割圆术，是采用连比例的归纳方法来证明的。所谓割圆连比例方法，就是使用若干相联的等腰相似三角形对应边成比例的关系，连续采用比例三角形进行推算的。由此推算就可得：十分弧，百分弧，千分弧，万分弧，以至“析之至于无穷”。他这种无穷求和的思想，用公式表示：

当 $n \rightarrow \infty$ 时， λ_n （这里 λ 为 \widehat{BC} 上对位弦之长）

如果以 $2a$ 表示全弧 \widehat{BC} 的长度

则为 $2a = \lim (n\lambda)$

当 n 分弦数无限增大时， BC 上 $n\lambda$ 对位弦之长，就越接近 BC 的全长。

这种以直线求圆线，以圆线求直线的思想，很明显是和西方微积分有同等意义的。他所发现的无穷级数和收敛级数的数学思想，是在世界数学史上一次较早的记录。明安图的这桩数学成就，几乎和瑞士数学家欧拉（公元

1707~1783年)同时出现。其可贵之处,在于他所得的结果,完全是由自己独立发现的。他的这种收敛极数思想,在欧洲也才刚刚开始出现,就当时来说,它是一个很先进的数学思想。

明安图在数学上所取得的成就,得到了人们的很高评价。当代就有人说他的数学成就,可以和汉代杰出的数学家刘徽和南朝杰出的数学家祖冲之父子相媲美。他的割圆术被清代学者誉为“明氏新法”,是“弧矢不祧之宗”。日本数学史家三上义夫和英国科技史家李约瑟都曾对他做过很高的评价。

令人遗憾的是,如此巨大的研究成果明安图生前只写出了《割圆密律捷法》的草稿,未及将书定稿就逝世了。在他临终的时候,将手稿交予他的弟子陈际新并嘱托他“续而成之”。陈际新与明安图之子明新以及明安图的另一弟子张良亭等,共同将书续写完成。

《割圆密率捷法》,全书共四卷,第一卷为“步法”;第二卷为“用法”;第三卷为“解法”上;第四卷为“解法”下。书中的一、二卷是明安图自己的遗稿,三、四卷是陈际新、明新、张良亭等人“辑共解,并述其意”。这部书共有四种版本:首先是以抄本流传,直到道光十年(公元1839年)岑建功根据传抄本刊印出版;同年罗士琳将此书收入自己编写的《观我生室汇稿》中;次年有陈氏刊本问世;清末刘铎编纂《古今算学丛书》时,也将其收入他的丛书之中。

明安图的数学成就,在中国数学史上产生了巨大的影响。(1)他的三角函数和反三角函数为我国解析研究开辟了新的途径;(2)为19世纪初我国著名数学家项名达的以割圆连比例求椭圆周长法提供了前行思想;(3)其数学方法,也被广泛地运用到天文推步和地理测绘方面,对我国天文学、地理测绘学的发展起到了一定推动作用。明安图的这一数学成就,大放异彩,在我国近代数学史上,是具有划时代意义的。

明安图将他的毕生精力,全部贡献给了祖国的科学事业,对祖国科学技术的发展做出了巨大的贡献。

明安图在学习上的恒心和坚强的毅力;在治学方法上的严谨;在工作态度上的勤奋和耐心;尤其是年近古稀,进入暮年,尚能壮心不减,仍不断地攻坚,力求进取;他所表现的这种精神,为我们后代人树立了可资效法的榜样。

开普勒

找定了目标

伽利略的望远镜为哥白尼体系提供的论据是令人信服的，但毕竟还是间接的，只有定性意义。因为人们“坐地观天”，能够直接观察到的只是行星在恒星天球上垂直于视线方向的位移，而不是它们在空间的“真实”运动。要直接论证哥白尼体系，必须探求行星的“真实轨道”，并加以严格考证。

另外，哥白尼首创的日心体系还残留着托勒玫体系的若干成分，没有完全摆脱经院哲学思想的束缚，认为天体只能作简单的匀速圆周运动。因此，为了解释行星运行中存在较小的不均匀性，仍然保留了托勒玫的一部分本轮和偏心圆的设计。哥白尼的日心宇宙理论无疑是正确的，但他的体系是有缺陷的，很快就被推翻了。

竟哥白尼事业之功、揭开行星运动之谜的是不朽的德国天文学家约翰·开普勒（1571～1630）。

开普勒出生在德国南部的瓦尔城。他的一生颠沛流离，是在宗教斗争（天主教和新教）情势中渡过的。开普勒原是个新教徒，从学校毕业后，进入新教的神学院——杜宾根大学攻读，本想将来当个神学者，但后来却对数学和天文学发生浓厚兴趣和爱好。

杜宾根大学的天文学教授米海尔·麦斯特林（1550～1631）是赞同哥白尼学说的。他在公开的教学中讲授托勒玫体系，暗地里却对最亲近的学生宣传哥白尼体系。开普勒是深受麦斯特林赏识的学生之一，他从这位老师那里接受哥白尼学说后，就成为新学说的热烈拥护者。他称哥白尼是个天才横溢的自由思想家，对日心体系予以很高评价。

开普勒能言善辩，喜欢在各种集会上发表见解。因而引起学院领导机构——教会的警惕，认为开普勒是个“危险”分子。学院毕业的学生都去当神甫，开普勒则未获许可。他只得移居奥地利，靠麦斯特林的一点帮助在格拉茨高等学校中担任数学和天文学讲师及编制当时盛行的占星历书。

占星术是一门伪科学，开普勒不信这一套。他不相信天上那些星辰的运行和地上人类生息的祸福命运会有什么相干！他曾为从事此项工作自我解嘲说：“作为女儿的占星术若不为天文学母亲挣面包，母亲便要挨饿了。”

从那时起，开普勒开始从事研究他毕生最感兴趣，也是他尔后获得最大成就的问题了。

宇宙模型

开普勒平生爱好数学。他也和古希腊学者们一样，十分重视数的作用，总想在自然界寻找数量的规律性（早期希腊学者称为和谐）。规律愈简单，从数学上看就愈好，因而在他看来就愈接近自然。他之所以信奉哥白尼学说，正是由于日心体系在数学上显得更简单更和谐。他说：“我从灵魂深处证明它是真实的，我以难以相信的欢乐心情去欣赏它的美。”他接受哥白尼体系后就专心探求隐藏在行星中的数量关系。他深信上帝是依照完美的数学原则创造世界的。

开普勒在他早期所著的《神秘的宇宙》（1597）一书里设计一个有趣的、

由许多有规则的几何形体构成的宇宙模型。开普勒试图解释为什么行星的数目恰好是六颗，并用数学描述所观测到的各个行星轨道大小之间的关系。他发现六个行星的轨道恰好同五种有规则的正多面体相联系。这些不同的几何形体，一个套一个，每个都按照某种神圣的和深奥的原则确定一个轨道的大小。若土星轨道在一个正六面体的外接球上，木星轨道便在这个正六面体的内切球上；确定木星轨道的球内接一个正四面体，火星轨道便在这个正四面体的内切球上；火星轨道所在的球再内接一个正十二面体，便可确定地球轨道……照此交替内接（或内切）的步骤，确定地球轨道的球内接一个正二十面体，这个正二十面体的内切球决定金星轨道的大小；在金星轨道所在的球内接一个正八面体，水星轨道便落在在这个正八面体的内切球上。

开普勒也因循自亚里斯多德、托勒玫直至哥白尼以来的固有见解，没有跳出圆形轨道的框框。

这种设计得到的各个球的半径比率与各个行星轨道大小的已知值相当吻合。有规则的正多面体是具有相同平面的对称体。这种具有对称平面的多面体只能作出五个，因此开普勒确信太阳系的行星只有六颗。

这一“发现”给开普勒带来极大喜悦，他写道：“我从这个发现所得到的极度喜悦是无法用语言来表达的。我不怕任何麻烦，我不辞辛劳、日以继夜地进行计算，直到我能够看到是否我的假设符合哥白尼的轨道，或者是否我的喜悦要落空”。

开普勒模型的数学关系纵然如此美妙，但若干年后开普勒分析第谷的观测数据、制定行星运行表时，它们却毫无用处。开普勒就摒弃了它。

1598年奥地利暴发宗教冲突。天主教徒用凶残的惩罚来恫吓开普勒。他被迫离开奥地利，逃到匈牙利隐蔽起来。不久，他接到在布拉格路德福国王宫廷内任职的第谷的邀请，去协助整理观测资料和编制新星表。开普勒欣然接受，1600年携眷来到布拉格，任第谷的助手。

具有讽刺意味的是，这两位学者，一个始终是哥白尼体系的反对者，另一个则是该体系的衷心拥护者。但他们毕竟撮合在一起了，并且戏剧般地成为天文学史上合作的光辉典范！

这是开普勒最快乐的时代，他不再为生活而发愁，专心从事天文学研究。然而很不幸，他们相处没有多久，第谷便于第二年（1601）去世。开普勒遭到一次很沉重的打击。这位被称为“星学之王”的天文观测家把他毕生积累的大量精确的观测资料全部留给了开普勒。他生前曾多次告诫开普勒：一定要尊重观测事实！

开普勒继任第谷的工作，任务是编制一张同第谷记录中的成千个数据相协调的行星运行表。虽然他得到“皇家数学家”的头衔，但宫廷却不发给他应得俸禄，他不得不再从事星相术来糊口。

第谷的观测记录到了开普勒手中，竟发挥意想不到的惊人作用，使开普勒的工作变得严肃起来。他发现自己的得意杰作——开普勒宇宙模型，在分析第谷的观测数据、制订行星运行表时毫无用处，不得不把它摒弃。不论是哥白尼体系、托勒玫体系还是第谷体系，没有一个能与第谷的精确观测相符合。这就使他决心查明理论与观测不一致的原因，全力揭开行星运动之谜。为此，开普勒决定把天体空间当做实际空间来研究，用观测手段探求行星的“真实”轨道。

巧夺天工

开普勒要解决的问题包括两方面：第一，用什么方法测定行星（包括地球）运动的“真实”轨道，如同观测者能从“天外”看行星绕太阳运行一样；第二，分析行星运动遵循什么样的数学定律。

如今已很少有人想到，开普勒如何从行星的使人眼花缭乱的视行中推出它们的“真实”轨道？只要想到人们永远不可能看到行星的真实运动，而只能从运动着的地球上看到它们在天空的什么方向，就知道问题困难了。倘使行星所作的是简单的匀速圆周运动，从地球上看去，还比较容易地察觉这种运动该是怎样的；可是实际情形比这要复杂得多，而且地球本身同样是以某种未知方式绕太阳运动。这就使问题变得无比复杂和困难了。

开普勒用一个绝妙方法把这种杂乱无章的现象理出一个完整清楚的头绪来。他同哥白尼一样，敏锐地领悟到，“要研究天，最好先懂得地”，他也把着眼点放在地球上，力图先摸清地球本身的运动，然后再研究行星的运动。

但是这样做的时候，并没有排除行星存在的必要性。假如天空中只有太阳和恒星而没有别的行星存在，那要找出地球的“真实”轨道，还是办不到的。因为在那种情形下，除了太阳的周年视行外，其他就没有什么东西可以从经验上来确定。它虽然也能帮助我们确定地球绕太阳运行的方式，譬如地球向径（日地连线）在一个相对恒星是静止的平面（黄道面）上运动，这种运动的角速度在一年中呈现有规律的变化……。但是，光知道这些并没有多大用处，关键是必须确定地球同太阳之间的距离在一年中是怎样变化的？只有当人们弄清这种变化后，才能确定地球轨道的真实形状及它的运行方式。

其实，开普勒所用的方法就是普通的三角测量法。

在大地测量工作中，常常要测定那些由于某种自然障碍而无法直接到达的目标的距离。假定需要测定 A 地到对岸塔 C 的距离，因 A、C 两地被大河阻隔，无法直接去测量这段距离的长度。为了解决这个困难，观测者可在河的这岸另择一点 B，AB 的距离是可以直接丈量的。这段经过选定的、已知其长度的线段 AB，用测量学的术语来说，叫做“基线”。基线确定后，可在它的两端用测角仪分别测定 A、B 两角的大小。于是，在三角形 ABC 中，已知两角大小和它们所夹的边（基线）长，三角形的其他角和边，就可以计算出来。应用这个简单方法可以求得无法达到的目标的距离。

实际上，天文学家们也是用这个方法测定天体距离的。只不过这个问题对天文学家说来更加困难些，因为天文学家们要布设一条“基线”不那么容易。开普勒所遇到的正是这个困难。

开普勒要测定地球（在其轨道上）与太阳的距离。在这里，太阳好比是上述例证中的 A 地，地球则是河对岸的那座塔 C。为了布设“基线”，还需要另找一个定点 B。可是，在行星系统里，除了太阳是唯一“静止”的中心天体外，再也找不出第二个这样的“定点”。这要由开普勒另行觅取。

我们设想在地球轨道平面的某处有一盏明亮的天灯 M，它有足够的明亮度，并且永远悬挂在那里，以使地球上的观测者在每年任何日期都能看到它；又假定这灯距太阳比地球还要远些。如果具备这些条件，它就成了我们所需要的第个定点。太阳与灯的连线就是我们所要布设的“基线”。借助这样一盏灯，就能用下述办法测定地球的轨道。

譬如，每年都会有这样一个时刻，地球（E）正好在太阳（S）和灯（M）

的连线上。这时，从地球上来看灯，我们的视线 EM 就会同 SM（太阳~灯）重合，我们可以把后者在天空中的位置（它指向某一恒星）记录下来。

以后，在另一个时刻，地球运行到轨道上的另一位置 E'，这时它同太阳和那盏灯的位置形成一个三角形 SE'M。

在这个三角形中，SM 边是事先选定的“基线”；e 角的大小可以从地球上同时观测太阳和灯 M 来确定；S 角就是地球向径（SE''）同基线 SM 所夹的角，其大小也可以通过对恒星的观测来确定。有了这些已知条件，便可以得知三角形 SE'M 中 SE'' 的距离，或者说地球 E' 相对于基线 SM 的位置完全可以确定。

因此，只要在纸上任意画一条基线 SM，凭着我们观测到的 e 和 S 的角度，就可以作出三角形 SE'M 来。我们可以在一年中经常这样做，每次都会在纸上得到地球 E' 对于那条基线 SM 的不同位置，并且给它们逐个注上日期，然后把这些点连成曲线……。这样，我们就从经验上确定了地球的轨道。虽然其大小还是相对的，然而却是“真实”的。

可是从哪里去找这盏灯呢？要知道行星系统里除了中心天体——太阳外，所有能看得见的客体都不是静止的，它们的运动在细节上都是未知的。开普勒毫不费事地找到这盏灯。它就是火星，一盏天上的“红灯”。

人们不禁要问：火星不也是在运动吗？

一点不错，火星确是在运动。然而聪明的开普勒想出一条“动中取静”的妙计。那时人们对火星的视运动已经知道得非常清楚，它绕太阳运行的周期（一个“火星年”）是精密地测定了的。既然它是在闭合的轨道上运行，就总会有这么一个时刻，即太阳、地球和火星处在同一直线上，而且每隔一个“火星年”之后，它总又要回到天空的同一位置上来。因此，火星虽然是动的，但在某些特定的时刻，SM 总是表现为同一条基线；而地球呢？在这些时刻，它会到达自己的不同位置。这时，对太阳和火星同时进行观测，就成为开普勒测定地球轨道的手段；火星这时就起着所设想的那盏灯的作用。

“天公斗巧乃如此，令人一步千徘徊”。开普勒就是这样以令人赞叹的巧妙手法把地球轨道的形状测了出来。地球的轨道一经测定，地球及其向径（SE）在任何时刻的实际位置和距离变化，也就成为已知条件。反过来，以地球向径作为基线，从观测数据中推求其他行星的轨道和运动，对开普勒来说不再是太困难的事了！

8 分误差改变整个天文学

行星轨道从经验中算出来了，下一步要弄清楚的问题是行星运动究竟遵循什么数学定律？

乍看，第一个问题解决后，搞清楚第二个问题该是轻而易举的事。然而你马上就会看到，要从经验的数据里推出运动定律要比解决第一个问题艰巨得多。

开普勒首先需要了解行星轨道所描出的曲线的几何特征是什么？为此，他必须先作某种假设，然后把它用到一大堆数字上去试试，看它是否能同第谷的数据吻合。如果不是，再找另外的假设进行探索，直到合乎观测事实为止。

开普勒的目光首先盯住火星。这是因为第谷的数据中对火星的观测占有

最大篇幅。恰好，就是这个行星的运行与哥白尼理论出入最大。开普勒按照传统的偏心圆来探求火星的轨道。他作了大量尝试，每次都要进行艰巨的计算。在大约进行了 70 次的试探之后，开普勒才算找到一个与事实相当符合的方案。使他感到惊愕的是，当超出他所用数据的范围继续试探时，他又发现与第谷的其他数据不符。火星还是不听他的摆布……。

开普勒诙谐地写道：“我预备征服战神马尔斯，把它俘虏到我的星表中来，我已为它准备了枷锁。但是我忽然感到胜利毫无把握……，这个星空中狡黠的家伙，出乎意料地扯断我给它戴上的用方程连成的枷锁，从星表的囚笼中冲出来，逃往自由的宇宙空间去了。”

开普勒计算出来的火星位置和第谷数据之间相差 8 分，即 1.133 度（这个角度相当于表上的秒针在 0.02 秒瞬间转过的角度）会不会是第谷弄错了呢？或是寒冷的冬夜把第谷的手指冻僵了，以致观测失误了呢？不会！开普勒完全信赖第谷观测的辛勤与精密，即使是这样微小的数值，第谷也是不会弄错的。他说：“上天给我们一位像第谷这样精通的观测者，应该感谢神灵的这个恩赐。一经认识这是我们使用的假说上的错误，便应竭尽全力去发现天体运动的真正规律，这 8 分是不允许忽略的，它使我走上改革整个天文学的道路。”可见，这两位天文学大师的工作在当时已达到何等惊人的精确性！

当开普勒意识到始终无法找出一个符合第谷观测数据的圆形轨道后，他就大胆摒弃这种古老的、曾寄希望的匀速圆周运动的偏见，尝试用别的几何曲线来表示所观测到的火星的运动。开普勒认为行星运动的焦点应在施引力的中心天体——太阳的中心。从这点出发，他断定火星运动的线速度是变化的，而这种变化应当与太阳的距离有关：当火星在轨道上接近太阳时，速度最快；远离太阳时，速度最慢。他并且认为火星在轨道上速度最快与最慢的两点，其向径围绕太阳在一天内所扫过的面积是相等的。然后，他又将这两点外面积的相等性推广到轨道上所有的点上。这样便得出面积与时间成正比的定律。

随后，开普勒看出火星的轨道有点像卵形（幸运的是，他首先选中火星，而火星轨道的偏心率在行星中比起来是相当大的），在连接极大与极小速度两点方向的直径似乎伸得长些。这样，终于使他认识到火星是在椭圆的轨道上运动。

椭圆是人们比较熟悉的几何图形。我们可以从木工师傅那里学到它的机械画法：在木板上先定出两个点，钉上钉子，取一段定长而无伸缩性的线，把它的两端固定在钉子上，用铅笔套在里面，然后把线拉紧，慢慢移动铅笔，这样画出来的曲线便是一个椭圆。

这个画法告诉我们，椭圆上的任何一点到两个定点的距离之和保持不变。它的数学定义便是：若平面上动点到两定点的距离之和是常量，动点的轨迹叫做椭圆。两个定点叫做椭圆的焦点，焦点之间的距离叫做焦距。

椭圆的变化情形可用偏心率 e 来表示。椭圆的偏心率是它的焦距与它的长径的比率， e 通常是用下式来表示的。

$$e = \frac{c}{a} \quad (c \text{ 是半焦距, } a \text{ 是半长径)}$$

$$c < a, \quad e < 1$$

可以看出，焦距越大， e 的值越接近于 1，椭圆形状越扁；反之，焦距越小， e 的值越接近于零，椭圆形状越变浑圆；当焦距为零，偏心率 $e=0$ 时，

椭圆也就转化为圆。从这个意义上说，可以把圆看作是椭圆的一种特殊情形，即两个焦点重合的椭圆。

太阳系各个行星轨道的具体形状稍有不同。一般说来，它们的偏心率都很小，同圆形只有微小的差异。所以行星轨道可以近似地看作圆形，太阳的位置也可以近似地看作位于轨道的中心。这便是当年使开普勒绞尽脑汁的原因。

这一回又是几何学帮了天文学的大忙。假使没有古希腊人对圆锥曲线(平面截割圆锥所形成的曲线)的研究，这些美妙的定律也许不可能被发现。由于椭圆是圆锥曲线的一种，它那种圆而带扁的形状使开普勒想到火星可能在这样一种曲线的轨道上运动。跟着，利用古代几何学家对圆锥曲线寻找出来的许多性质，他肯定自己所作的假设是正确的，并将这两项发现推广到所有行星。

1609年，开普勒发表了《新天文学》一书和《论火星运动》一文，公布了两个定律：

(一)所有行星分别在大小不同的椭圆轨道上运动。太阳的位置不在轨道中心，而在轨道的两个焦点之一。

这是行星运动第一定律(也叫轨道定律)。

(二)在同样的时间里，行星向径在其轨道平面上所扫过的面积相等。

这是行星运动的第二定律(也叫面积定律)。

开普勒虽然摒弃行星等速度运动的偏见，但仍维护这一原则，只是把线速度相等换了个“面速度”相等。这使开普勒感到分外高兴。有了这个定律，可以计算任何时刻行星在轨道上的位置。

这两个重要的定律相继发现后，编制星表一事便轻而易举了。不仅“行踪诡秘”的火星永远逃不出星表的“囚笼”，驯服地沿开普勒给定的椭圆轨道运行，其余各个行星也都相继“被俘”。

奇妙的“2”和“3”

开普勒并不满足已取得的成就，他感到自己远远没有揭开行星运动的全部奥秘。他相信还存在着一个把全部行星系统连成一个整体的完整定律。

古人给了他启示，行星运行的快慢同它们的轨道位置有关，较远的行星有较长的运行周期。第二定律也表明，即使在同一轨道上，行星速度也因距太阳远近而变化。沿着这条思路，开普勒确信行星运动周期与它们轨道大小之间应该是“和谐”的。他要找出其间的数量关系来。

开普勒是怎样寻找这个关系的呢？他面对的只是一些观测数据，现在要在它们背后找出隐藏着的自然规律来，这就要求这位天文学家具有高度惊人的毅力和耐心。

开普勒和哥白尼一样，并不知道行星与太阳之间的实际距离，只知道它们距太阳的相对远近。他把地球作为比较标准：以日地平均距离(天文单位)为距离单位；以地球绕太阳运动周期(一年)为时间单位。把各个行星的公转周期(T)及它们与太阳的平均距离(R)排列成一个表，以探讨它们之间存在什么数量关系。

行星名称	公转周期(T)	太阳距离(R)
水星	0.241	0.387
金星	0.615	0.723
地球	1.000	1.000

火星	1.881	1.524
木星	11.	862 5. 203
土星	29.457	9.539

从这个表中可知，对水星而言，公转周期是 0.241 年，距离是 0.387 天文单位；而对金星来说，则分别为 0.615 年和 0.723 天文单位……余类推。这么一堆乱七八糟的数字能反映出什么规律性呢？像做数字游戏一样，开普勒对表中各项数字翻来复去作各式各样的运算：把它们互相乘、除、加、减；又把它们自乘；时而又求它们的方根……。这样，在很少有人了解和支持的困难情况下，他顽强地苦战达 9 年之久。经过无数次的失败，他终于找到一个奇妙的规律。他在原来的那个表里增添两列数字：

行星名称	公转周期 (T)	太阳距离 (R)	周期平方 (T ²)	距离立方 (R ³)
水星	0.241	0.387	0.058	0.058
金星	0.615	0.723	0.378	0.378
地星	1.000	1.000	1.000	1.000
火星	1.881	1.524	3.54	3.54
木星	11.862	5.203	140.7	140.85
土星	29.457	9.539	867.7	867.98

从这个表的后面两列数字里，我们可以看出这个奇妙的规律：行星公转周期的平方与它同太阳距离的立方成正比。

即：

$$T^2=R^3$$

这就是行星运动的第三定律（也叫周期定律）。

由此可知，行星同太阳的距离，可以根据该行星公转的恒星周期来计算，即：

$$R = \sqrt[3]{T^2}$$

这个谜一经猜破，似乎十分简单。但在谜底揭开之前，它着实叫开普勒耗尽心血。这对奇妙的“2”和“3”得来并非容易！

开普勒在获得这一成就时喜不自禁的写道：“……（这正是）我十六年以前就强烈希望要探求的东西。我就是为这个而同第谷合作……现在我终于揭示出它的真相。认识到这一真理，这是超出我的最美好的期望。大事告成，书已写出来了，可能当代就有人读它，也可能后世才有人读，甚至可能要等待一个世纪才有读者，就像上帝等了六千年才有信奉者一样。这我就管不着了”。他写得多么得意呀！

如果开普勒当时能知道对数运算的话，问题就要简单得多。若取表中各个行星的周期 (T) 和距离 (R) 的对数（见下表右边两栏列出的数字）进行比较：

行星名称	周期 (T)	距离 (R)	lgT	lgR
水星	0.241	0.387	0.62	0.41
金星	0.615	0.723	0.21	0.14
地星	1.000	1.000	0	0
火星	1.881	1.524	0.27	0.18
木星	11.862	5.203	1.07	0.72
土星	29.457	9.539	1.47	0.98

那就用不着开普勒那样高超的智慧，任何人都会立即看出：

$$lgT \quad lgR=3 \quad 2$$

这是一个十分重要的自然定律。不仅行星遵循着它，连同行星的卫星以及太阳周围的其他天体概无例外。从而可以确定，太阳和它周围的所有天体不是偶然的、没有秩序的“乌合之众”，而是一个有严密组织的天体系统——太阳系。

给天空立法

为纪念开普勒在天文学上的卓著功绩，上述行星运动三大定律，被称“开普勒定律”。它一经确立，本轮系彻底垮台，行星的复杂运动，立刻就失去全部神秘性。它成了天空世界的“法律”。后世学者尊称开普勒为“天空立法者”。

不知是什么原因，开普勒的这些重大发现却没有引起与他同时代的伽利略的足够重视。两人毕生都为哥白尼学说而奋斗，他们又是朋友，时有书信往来，然而对于开普勒的这一决定性的进展，伽利略一生和著作中竟没有留下任何痕迹。这也是科学史上的一桩怪事！

开普勒定律在天文学上有十分重大的意义：

首先，开普勒定律在科学思想上表现出无比勇敢的创造精神。远在哥白尼创立日心宇宙体系之前，许多学者对于天动地静的观念就提出过不同见解。但对天体遵循完美的均匀圆周运动这一观念，从未有人敢怀疑。开普勒却毅然否定了它。这是个非常大胆的创见。哥白尼知道几个圆合并起来就可以产生椭圆，但他从来没有用椭圆来描述过天体的轨道。正如开普勒所说，“哥白尼没有觉察到他伸手可得的财富”。

其次，开普勒定律彻底摧毁了托勒玫的本轮系，把哥白尼体系从本轮的桎梏下解放出来，为它带来充分的完整和严谨。哥白尼抛弃古希腊人的一个先入之见，即天与地的本质差别，获得一个简单得多的体系。但它仍须用三十几个圆周来解释天体的表观运动。开普勒却找到最简单的世界体系，只用七个椭圆说就全部解决了。从此，不须再借助任何本轮和偏心圆就能简单而精确地推算行星的运动。

第三，开普勒定律使人们对行星运动的认识得到明晰概念。它证明行星世界是一个匀称的（即开普勒所说的“和谐”）系统。这个系统的中心天体是太阳，受来自太阳的某种统一力量所支配。太阳位于每个行星轨道的焦点之一。行星公转周期决定于各个行星与太阳的距离，与质量无关。而在哥白尼体系中，太阳虽然居于宇宙“中心”，却并不扮演这个角色，因为没有行星的轨道中心是同太阳相重合的。

由于利用前人进行的科学实验和记录下来数据而作出科学发现，在科学史上是不少的。但像行星运动定律的发现那样，从第谷的20余年辛勤观测到开普勒长期的精心推算，道路如此艰难，成果如此辉煌的科学合作，则是罕见的。这一切都是在没有望远镜的条件下得到的！

除了发现行星运动定律外，开普勒在天文学上还作出有益的贡献。他没有辜负第谷的嘱托，于1627年刊布他终身的最后杰作——《路德福星表》。这是天文史上值得称赞的一部星表，它的完备和准确度远胜过前人。在以后的百余年间，该表一直被天文学家和航海家们奉为至宝。它的形式几乎没有改变地保留到现在。我们现在可从《天文年历》或同类书刊中查知天体过去

或未来的运动和准确位置。开普勒正是这方面工作的先驱。

开普勒自幼就损坏视力，没能成为一位天文观测家。他是“借别人的眼睛”作出自己的科学发现。可是他在光学理论和光学仪器研究方面却作过重大贡献。伽利略虽在望远镜的操作上有所改进，但他的望远镜原则上同荷兰眼镜匠制造的没有什么两样，由一块凸镜片（物镜）和一块凹镜片（目镜）合成。开普勒（比伽利略稍晚些）则设计出一种新型望远镜。他把伽利略式望远镜的凹镜片目镜改用一个小凸透镜，把长焦距的透镜和短焦距的透镜配合在一起，这好比给放大镜“戴上一付眼镜”，其倍率按物镜和目镜的焦距之比来决定。所成的像则是倒立的，这对天文学家来说，没有什么不方便。开普勒式望远镜的特点是把目标放在两透镜的公共焦点上，能够测定微小角度。它后来被广泛应用于天文望远镜。

如同伽利略奠定实验力学的基础一样，开普勒则奠定了近代实验光学的基础。他看到光从已知光源以球面辐射出来，直觉地提出了光度随距离减弱的平方反比定律。

这样一位为科学发展开拓道路的勇士，一生却是在极端艰难的条件度过的。连年的战争，长期漂泊，生活贫困以及来自教会的迫害，不断困扰着他。在他花甲之年，为向宫廷廷取 20 余年的欠薪，他长途跋涉去拉提明，于 1630 年 11 月 15 日染伤寒死在途中，只留下几件衣服和一些书籍。

哥白尼

所处的时代

哥白尼的科学成就，是他所处的时代的产物，又反过来推动了时代的发展。

十五、六世纪的欧洲，正是从封建社会向资本主义社会转变的关键时期，在这一二百年间，社会发生了巨大的变化。14世纪以前的欧洲，到处是四分五裂的小城邦。后来，随着城市工商业的兴起，特别是采矿和冶金业的发展，涌现了许多新兴的大城市，小城邦有了联合起来组成国家的趋势。到15世纪末叶，在许多国家里都出现了基本上是中央集权的君主政体。当时的波兰不仅有像克拉科夫、波兹南这样的大城市，也有许多手工业兴盛的城市。1526年归并于波兰的华沙已成为一个重要的商业、政治、文化和地理的中心，在16世纪末成了波兰国家的首都。

与这种政治经济变革相适应，文化、科学上也开始有所反映。当时，欧洲是“政教合一”，罗马教廷控制了许多国家，圣经被宣布为至高无上的真理，凡是违背圣经的学说，都被斥为“异端邪说”，凡是反对神权统治的人，都被处以火刑。新兴的资产阶级为自己的生存和发展，掀起了一场反对封建制度和教会迷信思想的斗争，出现了人文主义的思潮。他们使用的战斗武器，就是未被神学染污的古希腊的哲学、科学和文艺。这就是震撼欧洲的文艺复兴运动。文艺复兴首先发生于意大利，很快就扩大到波兰及欧洲其他国家。

与此同时，商业的活跃也促进了对外贸易的发展。在“黄金”这个符咒的驱使下，许多欧洲冒险者远航非洲、印度及整个远东地区。远洋航行需要丰富的天文和地理知识，从实际中积累起来的观测资料，使人们感到当时流行的“地静天动”的宇宙学说值得怀疑，这就要求人们进一步去探索宇宙的秘密，从而推进了天文学和地理学的发展。1492年，意大利著名的航海家哥伦布首次航行到美洲，1519~1522年，麦哲伦和他的同伴绕地球一周，证明地球是圆形的，使人们开始真正认识地球。

在教会严密控制下的中世纪，也发生过轰轰烈烈的宗教革命。捷克的爱国主义者、布拉格大学校长扬·胡斯（1369~1415年）在君士坦丁堡的宗教会议上公开谴责德意志封建主与天主教会对于捷克的压迫和剥削。他虽然被反动教会处以火刑，但他的革命活动在社会上引起了强烈的反应。捷克农民在胡斯党人的旗帜下举行起义，这次运动也波及波兰。1517年，在德国，马丁·路德（1483~1546年）反对教会贩卖赎罪符，与罗马教皇公开决裂。1521年，路德又在沃尔姆国会上揭露罗马教廷的罪恶，并提出建立新教的主张。新教的教义得到许多国家的支持，波兰也深受影响。

就在这样一个大变革大动荡的年代里，1473年2月19日哥白尼在维斯瓦河畔的托伦城诞生了。他的父亲是个当议员的富商，他有一个哥哥和两个姐姐。哥白尼10岁的时候，他的父亲死了，他被送到舅舅务卡施大主教家中抚养。务卡施是一个人文主义者，他和当时波兰进步的知识界来往极为密切，并与意大利卓越的革命家、人文主义者菲利普·布奥纳克西是挚友。在哥白尼念中学的时候，务卡施就带着他参加人文主义者的聚会。1491年，按照舅父的安排，哥白尼到克拉科夫大学去学习天文和数学。

当时，波兰已经产生了一些有名的天文学家，如马尔卿·克洛尔，他于

1450年写成《亚尔峰斯星象表订正》一书，并在许多国家讲学。又如著名的天文学家沃伊切赫，曾编制天文历表，他就在克拉科夫大学讲课，是哥白尼求学时的数学和天文教授。哥白尼的“太阳中心学说”就是在克拉科夫大学求学时孕育起来的。

在神权统治的中世纪欧洲，天体被称为“圣岸”、“圣角”，是属于神学而不是属于科学的。照神学家的荒诞说法，天空充满“各种等级的天使和一个套着的一个的水晶球”，而“静止不动的地球”，就居于这些水晶球的中心。太阳围绕着地球运转，因为“上帝”创造太阳的目的，就是要照亮地球，施恩于人类。至于天体的运转，照意大利神学家托玛斯·阿奎那的解释，是因为每一个天体都有一个“天使”在推着它走。天体的运转取决于“天使”的意志，而“天使”的意志是人类无法揣摩的。阿奎那还说：“如果人类有时候也能了解一些问题，那是上帝通过天使对我们作了启示。”

神学家所说的天空是迎合当时封建主的利益的。他们扬言，封建等级制度是上天等级制度的反映和延续。“上帝”统治“天使”，所以封建主统治农民。阿奎那说：“人类如果不了解封建制度的卓越性，过错在于人类，因为人类的智慧是有限的。”这样一来，封建制度就成了神圣不可侵犯的了。

为了巩固封建统治，天主教会的宗教裁判所烧掉了许多珍贵的科学著作，有时一天竟烧掉20大车。1327年，意大利天文学家采科·达斯科里被活活烧死，他的“罪名”就是违背圣经的教义，论证地球呈球状，在另一个半球上也有人类存在。

但是，到了15世纪末叶，这个神学家的天空，因为科学的发展而面临着摇摇欲坠的局面，宗教裁判所罪恶的火焰和酷刑，也不能挽救它的命运。

伟大学说

在那个“科学成了神学的婢女”的年代，许多学说都被歪曲和阉割了，被用来为封建统治服务。在中世纪的欧洲，很少有人了解古代科学典籍的真实内容。这时，科学工作者的一个重要课题，就是发掘古代的文化遗产，那是未沾染神学毒素的文化宝库。

古希腊的大天文学家托勒密，在公元二世纪时，总结了前人在400年间观测的成果，写成《天文集》（即《至大论》）一书，提出“地球是宇宙中心”的学说。这个学说为神学家所利用和把持，流传了1400多年。

托勒密认为，地球静止不动地坐镇宇宙的中心，所有的天体，包括太阳在内，都围绕地球运转。但是，人们在观测中，发现天体的运行有一种忽前忽后、时快时慢的现象。为了解释忽前忽后的现象，托勒密说，环绕地球作均衡运动的，并不是天体本身，而是天体运动的圆轮中心。他把环绕地球的圆轮叫做“均轮”，较小的圆轮叫做“本轮”。为了解释时快时慢的现象，他又在主要的“本轮”之外，增加一些辅助的“本轮”，还采用了“虚轮”的说法，这样就可以使“本轮”中心的不均衡的运动，从“虚轮”的中心看来仿佛是“均衡”的。托勒密就这样对古代的观测资料作出了牵强附会的解释。

但是在以后的许多世纪里，大量的观测资料累积起来了，只用托勒密的“本轮”不足以解释天体的运行，这就需要增添数量越来越多的“本轮”。后代的学者致力于这种“修补”工作，使托勒密的体系变得越来越复杂，而

对天文学的研究也就一直停留在这个水平上。

“地球是宇宙的中心”的说法，正好是“神学家的天空”的基础。中世纪的神学家吹捧托勒密的结论，却隐瞒了托勒密的方法论：托勒密建立了天才的数学理论，企图凭人类的智慧，用观测、演算和推理的方法，去发现天体运行的原因和规律，这正是托勒密学说中富有生命力的部分。因此，尽管托勒密的“地球中心学说”和神学家的宇宙观不谋而合，但是两者是有本质区别的，一个是科学上的错误结论，一个是愚弄人类、妄图使封建统治万古不变的弥天大谎。哥白尼对此作出正确的评价，他说：“应该把自己的箭射向托勒密的同一个方向，只是弓和箭的质料要和他完全两样。”

哥白尼曾十分勤奋地钻研过托勒密的著作。他看出了托勒密的错误结论和科学方法之间的矛盾。哥白尼正是发现了托勒密的错误的根源，才找到了真理。

哥白尼认识到，天文学的发展道路，不应该继续“修补”托勒密的旧学说，而是要发现宇宙结构的新学说。他打过一个比方：那些站在托勒密立场上的学者，从事个别的、孤立的观测，拼凑些大小重叠的“本轮”来解释宇宙的现象，就好像有人东找西寻地捡来四肢和头颅，把它们描绘下来，结果并不像人，却像个怪物。

哥白尼早在克拉科夫大学读书时，就开始考虑地球的运转的问题。他在后来写成《天体运行》的序言里说过，前人有权虚构圆轮来解释星空的现象，他也有权尝试发现一种比圆轮更为妥当的方法，来解释天体的运行。

哥白尼观测天体的目的和过去的学者相反。他不是强迫宇宙现象服从“地球中心”学说。哥白尼有一句名言：“现象引导天文学家。”他正是要让宇宙现象来解答他所提出的问题，要让观测到的现象证实一个新创立的学说——“太阳中心”学说。他这种目标明确的观测，终于促成了天文学的彻底变革。

哥白尼的观测工作在克拉科夫大学时就有了良好的开端。他曾利用著名的占星家玛尔卿·布利查(约1433~1493年)赠送给学校的“捕星器”和“三弧仪”观测过月食，研究过浩瀚无边的星空。

哥白尼在克拉科夫大学学习三年就停了学，而到意大利去学习“教会法”了。这是他舅父卡施的主意。因为当时盘据在波兰以北的十字骑士团经常侵犯边境，为非作歹，而和他们作斗争，就必须有人精通“教会法”。哥白尼认为抗击十字骑士团是义不容辞的责任。他说：“没有任何义务比得上对祖国的义务那么庄严，为了祖国而献出生命也在所不惜。”所以他同意了卡施的建议。为了取得出国的路费和长期留学的生活费用，他再次接受他舅父的安排，决定一辈子担任教会的职务。1496年秋天，哥白尼披上僧袍，动身到意大利去了。

他在意大利北部的波伦亚大学学习“教会法”，同时努力钻研天文学。在这里，他结识了当时知名的天文学家多米尼克·玛利亚，同他一起研究月球理论。他开始用实际观测来揭露托勒密学说和客观现象之间的矛盾。他发现托勒密对月球运行的解释，正像雷吉蒙腾所指出的那样，一定会得出一个荒谬的结论：月亮的体积时而膨胀时而收缩，满月是膨胀的结果，新月是收缩的结果。1497年3月9日，哥白尼和玛利亚一起进行了一次著名的观测。那天晚上，夜色清朗，繁星闪烁，一弯新月浮游太空。他们站在圣约瑟夫教堂的塔楼上，观测“金牛座”的亮星“毕宿五”，看它怎样被逐渐移近的娥

眉月所淹没。当“毕宿五”和月亮相接而还有一些缝隙的时候，“毕宿五”很快就隐没起来了。他们精确地测定了“毕宿五”隐没的时间，计算出确凿不移的数据，证明那一些缝隙都是月亮亏食的部分，“毕宿五”是被月亮本身的阴影所淹没的，月球的体积并没有缩小。就这样，哥白尼把托勒密的地心说打开了一个缺口。

1500年，哥白尼由于经济困难，到罗马去担任数学教师。在这个“圣都”里，种种见闻使他透过教会统治的重重黑幕，看到罗马教廷只不过是一个虚伪荒淫的场所。第二年夏天，哥白尼回国，后因取得教会的资助，秋天又到意大利的帕都亚学医。1503年，哥白尼在法腊罗大学取得教会法博士学位。

这时，哥白尼还努力研读古代的典籍，目的是为“太阳中心学说”寻求参考资料。他几乎读遍了能够弄到手的各种文献。后来他写道：“我愈是在自己的工作中寻求帮助，就愈是把时间花在那些创立这门学科的人身上。我愿意把我的发现和他们的发现结成一个整体。”他在钻研古代典籍的时候，曾抄下这样一些大胆的见解：

“天空、太阳、月亮、星星以及天上所有的东西都站着不动，除了地球以外，宇宙间没有什么东西在动。地球以巨大的速度绕轴旋转，这就引起一种感觉，仿佛地球静止不动，而天空却在转动。”

“大部分学者都认为地球静止不动，但是费罗窝斯和毕达哥拉斯却叫它围绕一堆火旋转。”

“在行星的中心站着巨大而威严的太阳，它不但是时间的主宰，不但是地球的主宰，而且是群星和天空的主宰。”

这些古代学者的卓越见解，在当时被认为是“离经叛道”的，但是对哥白尼来说，却好比是夜航中的灯塔，照亮了他前进的方向。

1506年，哥白尼结束了在意大利十年留学的生活，动身回国。

《运行》的诞生

哥白尼在一个秋雨绵绵的日子离开意大利。当时天空出现了彗星断天的异象，广大地区瘟疫流行。正在这时，罗马教皇亚历山大又误喝了谋害别人的毒酒而丧命。意大利教会就趁机提出种种“警告”，招摇撞骗，愚弄人民。当哥白尼回到波兰时，天空出现另一个罕见的星象，教会也在大肆活动，闹得首都克拉科夫乌烟瘴气。

原来，教会宣告天空将连续出现四次土星和木星“会合”的异象，说这是上天对世人的一个严重警告。世上将出现一个冒牌的先知，洪水和瘟疫将接连而来，并将引起社会骚乱和国家崩溃。这种种谣言闹得人心不安，有钱的人拚命寻欢作乐，希望摆脱对于未来的恐惧；穷苦的老百姓为了向教会购买“赎罪符”，更是弄得倾家荡产，难以活命。天空一向是教会敲诈勒索的摇钱树，他们把“天堂中的位置”装在自己的钱包里，大量兜售“赎罪符”，搜括民财。当时波兰赫赫有名的宗教裁判官铁哲尔就说过，向他孝敬钱财的人可以消灾免祸，连死去的人也可以赎洗罪孽。他的口头禅是：“银钱投入圣柜，灵魂升入天堂！”

这时，哥白尼和他的朋友们也在克拉科夫研究两星“会合”的问题。哥白尼发现教会的说法包含数据的错误，显然是妖言惑众。于是，他和朋友们

决定各自在不同的地区进行观测，以便一起来揭发教会的邪招。

当第四次“会合”发生的时候，哥白尼正在赫尔斯堡他舅父务卡施的主教官邸，主持与十字骑士团的斗争，虽然政务繁忙，哥白尼仍然坚持观测星象。

观测的结果证实了哥白尼的预见。“会合”的日期，和教会所说的不符，而和哥白尼的推算却是相符的——它提前了一个多月。哥白尼的朋友们也观测到同一个星象。科学给了教会当头一棒。

在赫尔斯堡，由于朋友们不断催促，哥白尼把他的“太阳中心学说”写出了个提纲，取了一个朴素的名字，叫《试论天体运行的假设》，抄送给他的几个心腹朋友。它宣布：“所有的天体都围绕着太阳运转，太阳附近就是宇宙中心的所在。地球也和别的行星一样绕着圆周运转。它一昼夜绕地轴自转一周，一年绕太阳公转一周……。”

哥白尼所宣布的是一个巨大的学说体系的轮廓，它在参加聚会的朋友中间引起了许多争论。哥白尼对许多疑问都作了解答。在结束辩论的时候，他引用了古罗马大诗人西塞罗的话：“没有什么东西赶得上宇宙的完整，赶得上德行的纯洁。”他用这句话表明了一具信念，那就是：宇宙是完整的、对称的、和谐的，是具有可以理解的规律和秩序的。

《试论天体运行的假设》是哥白尼学说的第一块基石，但要在这块基石上建立起宏伟的理论大厦，还需要做许多准备工作。

1512年，务卡施病死，哥白尼离开了赫尔斯堡，迁居到教区大教堂所在寺的弗隆堡。弗隆堡濒临波罗的海，是个小小的渔港。哥白尼在弗隆堡定居以后，就买下城堡的一座箭楼。这座箭楼本来是作战用的，三角形的楼顶向前倾侧，几乎伸到围墙的外边。楼顶的最上层有三个窗口，那里是哥白尼的工作室。下面两层是卧房，各有一个射击用的枪眼。从最上层的窗口可以向四面八方观测天象。遇到楼顶妨碍观测的时候，外边的露台就成了他的观测台。他在这里一直住到去世。

这时，哥白尼已将他未来的著作取名为《运行》。在他看来，运动才是生命的真谛——运动存在于万物之中，上达天空，下至深海。没有什么东西是静止的，一切东西都在生长、变化、消失，千秋万代继续不停。《运行》这一著作，就是要揭示大自然这一最本质的秘密。哥白尼的这一观点，肯定了客观世界的存在和它的规律性，闪耀着朴素的唯物主义哲学的光辉。

哥白尼对地球的形状，曾多次作过间接的观测。早在1500年11月6日，他就在罗马近郊的一个高岗上观测月食，研究地球投射在月球表面的弧状阴影，从而证实了亚里士多德关于地球呈球状的论断。在定居弗隆堡时，他曾多次站在波罗的海岸边观察帆船。有一次，哥白尼请求一艘帆船在桅顶绑上一个闪光的物体，他站在岸边看着这艘帆船慢慢驶远。他描写这次观察的情况说：“随着帆船的远去，那个闪光的物体逐渐降落，最后完全隐没，好像太阳下山一样。”这次观察使他得出一个结论：“就连海面也是圆形的。”

在阴湿多雾的波罗的海的岸边，逢到严寒的冬夜，天空没有云影，星星在蓝天闪烁着耀眼的寒光，哥白尼总是利用这种难得的机会，穿上皮袄，束紧风帽，把仪器搬到箭楼的露台上，进行通宵达旦的观测。他所用的仪器都是自己动手做的，一共有三种。测量行星距离的“三弧仪”，是用枞树杆削成的，用墨水划上刻度，照准器也是雕出来的。测量月球和行星位置的“捕星器”，是用六根树条绕成圆圈做成的。测定太阳中天时高度的“象限仪”，

是一块很大的正方形木板，右上角装着带刻度的木环，搁架上有“水准仪”，其实只是一个盛了水的玻璃管。观测日食本来要在水里观测倒影，为了减少提水上箭楼的麻烦，他打破常规，改用一块带孔眼的护窗板把日影映到墙上。哥白尼就是利用这些简陋的设备，在弗隆堡前后进行了有纪录可查的50多次观测，其中包括日食、月食、火星、金星、木星和土星的方位等等。这些观测在望远镜发明以前能做得那么精确，是很不容易的，难怪后来许多杰出的天文学家都非常钦佩。

1516年秋天，盘据在波兰以北的十字骑士团，屡次进犯边境。教会借重哥白尼的声望和才学，派他担任俄尔斯丁教产总管，去对付大军压境的强敌。

就在那烽火连天的岁月里，哥白尼开始撰写他的不朽著作——《运行》。他在俄尔斯丁城堡的哨塔上布置了一个简单的观测台，并随身带去一些必要的资料。当时整部著作的内容已有个轮廓了，全书计划写成八卷（出版时是六卷）。第一卷已经动笔了，但是进展很慢，这是因为大敌当前，哥白尼必须全力以赴地对付敌人的挑衅和骚扰。

1519年秋天，哥白尼辞去教产总管的职务，又回到弗隆堡，用他的全部精力来撰写《运行》。但是，战争的风暴很快席卷到这里，弗隆堡陷入十字骑士团的重围之中。敌人烧杀虏掠，断绝粮草，企图迫使守军投降。这时，教堂的神父都逃跑了，有的甚至叛国投敌。但哥白尼仍旧留在城中，同居民一起支援守军作战。他们还修筑运河，兴修水利，哥白尼设计修建的水闸和水磨，在当时对支持战争和繁荣经济是具有重大意义的。

第二年秋天，哥白尼再度担任俄尔斯丁教产总管。这时十字骑士团已经侵占了附近的许多城堡，直逼俄尔斯丁。哥白尼把他保管的钱财全部拿出来支援作战，并亲自布署防务，登城督战。十字骑士团用燃烧弹攻城，哥白尼叫人用浸湿的皮子去捂灭敌人的燃烧弹。经过五天五夜的激烈战斗，城市依然屹立着。十字骑士团大公霍亨伦恼羞成怒，特地派人到弗隆堡去，把他的藏书、手稿和仪器一把火烧光。但哥白尼始终坚守城堡，霍亨伦无可奈何，只好撤军，同意休战。战后，波兰国王齐格蒙特论功行赏，委派哥白尼为俄尔斯丁的行政长官。

1525年秋天，哥白尼写作《运行》的工作，才在弗隆堡全力展开。这时，哥白尼的箭楼上来了一个女管家，名叫安娜。安娜出身名门，性情娴淑，衷心爱慕哥白尼，毅然抛弃世俗的成见，和被教会剥夺了结婚权利的哥白尼同居。哥白尼在安娜的帮助和照顾下，书桌上的手稿迅速地一叠叠地增加起来了。

《运行》的第一卷，鸟瞰式地介绍了宇宙的结构。在论证的开始，哥白尼列举了许多观测资料来证明地球是圆形的。接着他指出了地球呈圆状的理由。他说：“所有的物体都倾向于将自己凝聚成为这种球状，正如同一滴水或一滴其他的流体一样，总是极力将自己形成一个独立的整体。”“物体呈球状的原因在于它的重量，即在于物体的微粒或者说原子的一种自然倾向，要把自己凝聚成一个整体，并收缩成球状。”他对这个问题的解答，给一百多年以后牛顿发现万有引力开辟了道路。

关于原子他还写了这样一段：“所谓原子，是最细微的、不能再分割的微粒，它们重叠地或是成倍地相聚在一起，但由于它们看不见，并不立即形成看得见的物体；可是它们的数量可以增加到了这种程度，足够累积到可以看见的大小。”这一段话是针对唯心主义者的论调而说的，他们借口“原子无

法看见”而抹煞原子的存在。在唯心主义者的唆使下，这一段话在《运行》出版时被删去了；在以后 300 年间的三中版本里都不见一个字。

《运行》的第二卷介绍了有关的数学原理，其中平面三角和球面三角的演算方法都是哥白尼首创的。这里陈述了三角形的规则，即从三角形的已知某些边和角去推算其他边和角的规则。这包括了三边是直线的平面三角形和三边是球面上圆弧作成的球面三角形。

第三卷是恒星表。第四卷介绍地球的绕轴运行和周年运行。

第五卷论述了地球的卫星——月球。哥白尼非常重视研究月球，特别是月食。他认为在月食的时候，人们可以从月球、地球和太阳的相对位置，得到关于宇宙的真实结构的暗示。“因为，当宇宙别的部份都是澄明的和充满日光的时候，所谓黑夜就不是什么别的东西，而只是地球本身的阴影。这个阴影形成一个圆锥形，尾端尖削。月亮一接触到这个阴影，就会失去光泽，而当它出现在阴影正中央时，它的位置正好和太阳相对。”

他的最后一卷准备写关于行星运行的理论。

《运行》的不朽的贡献，在于它根据相对运动的原理，解释了行星运行的视运动。在哥白尼以前，这一原理从来没有被人这样详尽地阐述过，也没有人从这一原理得出过这样重要的结论。

哥白尼对这个问题是这样说：“所有被我们观测的物体的位置变动，不是由于被观测的物体的运动所引起，就是由于观测者的运动，或由于物体和人的不一致的变动所引起的。”既然地球是我们在它的移动中进行观测的基地，那么我们观测到的天空中的运动，例如太阳的运动，就可能是一种表面的运动，是一种由于地球本身的运动所引起的幻觉，而其他天体的运动，就可能是那个天体以及地球的不一致的运动所引起的结果。因此，如果承认‘地球从西向东地自转’，那么显然会觉得好像是太阳、月亮、和星辰在升起和降落。”

“事情正是像维吉里乌斯所阐明的，”哥白尼写道，“他让伊尼斯说：‘我们驶出港埠，而陆地和城市却在后退’。因为船只驶过风平浪静的海面时，所有外界的东西，在船上的人看来，正好象它们在按照船只的运动移动着，只是方向相反——他们觉得，他们自己和身边的东西都留在原处。这同一情况毫无疑问可能出现在地球运动的现象中，并引起整个宇宙都在旋转的印象。”

哥白尼还论证说：“地球虽是一个巨大的球体，但比起宇宙来却微不足道。”他注意到地平线把天球剖分为均匀的两半，曾利用这一现象来证实宇宙是无限的这个论断。“根据这一论断，可见宇宙跟地球相比是无法测度的，它是一个无边无际的庞然大物。”哥白尼还认为太阳是行星中相对不动的中心。

哥白尼的功绩在于：他用科学的太阳中心说，推翻了在天文学上统治了 1000 多年的地球中心说。这是天文学上一次重大的革命，引起了人类宇宙观的革新。

艰难的出版

哥白尼在 1506 ~ 1515 年间已经写成“太阳中心学说”的提纲——《试论天体运行的假设》，可是《运行》一书却直到 1543 年他临终时才出版。他在

《运行》一书的“序言”里提到这种情况时说：“在漫长的岁月里，我曾经迟疑不决。”

哥白尼对于这本著作的出版，为什么要“迟疑不决”呢？原因就在于教会对科学和进步思想的疯狂迫害。

早在哥白尼旅居意大利的时候，教皇亚历山大六世就重新颁布“圣谕”，禁止印行未经教会审查的书籍，可疑的书籍一律焚毁。

1506年哥白尼从意大利归国时，就亲眼看到宗教裁判官对胡斯分子的血腥镇压，许多密谋聚会的人都被抓起来活活烧死。在哥白尼的一生里，波兰国境内至少进行过300次以上的宗教裁判活动。哥白尼也经常受到威胁和迫害，在他担任弗隆堡大教堂修士的瓦尔米亚教区，他舅父务卡施大主教死后，几个继任的大主教都三令五申地“查禁邪教”并对修士们严加监视。他们认为哥白尼是个“叛教者”，直到他临终时，身边还有上司所布置的密探和奸细。

主使迫害哥白尼的，是波兹南宗教裁判官堆霍兹乌施，他是一个焚书的狂徒，后来升任波兰大主教。他连哥白尼的亲戚朋友都看成眼中钉，恣意迫害，其中包括修士亚历山大·斯古尔捷特和女管家安娜。

斯古尔捷特虽是个修士，却信奉无神论，自己不做圣功，别人做圣功他还嘲笑。他对哥白尼十分钦佩，两人很快就成为知己。这就引起霍兹乌施和新任主教扬·丹提谢克的猜忌。丹提谢克是个很阴险的家伙，他看出如果《运行》出版，他所维护的神学殿堂就会土崩瓦解。于是，丹提谢克开始向哥白尼步步进逼。他首先要哥白尼和斯古尔捷特断绝往来遭到哥白尼的严词拒绝。斯古尔捷特后来遭到罗马教廷拘捕。

不久，丹提谢克又根据弗隆堡教长的告密，强迫哥白尼和安娜脱离关系。哥白尼和安娜同居已近十年，感情很深。哥白尼向丹提谢克这个无理的要求提出抗议，但丹提谢克胡说安娜已使哥白尼“失魂落魄”，为了他的“灵魂得救”，他勒令安娜立即迁出弗隆堡。哥白尼在悲愤之下，几次要扯下身上的僧袍，扬言要还俗。为了使哥白尼的写作工作能继续下去，安娜忍痛离开了箭楼。不久，她又被驱逐出境。

这一期间，罗马教廷对哥白尼的学说也很感惊慌。1533年，教皇克雷蒙七世曾叫人阐述“太阳中心学说”的基本原理。哥白尼学说的革命内容使教皇大为震惊，他决定想办法把哥白尼的手稿控制起来。1536年，一个红衣主教写信向哥白尼索取手稿，哥白尼拒绝了。教廷急于要他的手稿，这促使他拿定主意，一定要抢在教廷插手以前将著作付印。

哥白尼遭受的迫害是残酷无情的。意大利天文学家伽利略（1564～1642年）曾经说过：“我一想起我们的教师哥白尼的命运，就感到心惊胆颤。”但是，教会的迫害并不能阻止《运行》的出版，哥白尼的斗争得到了不少人的支持。

1539年春天，一个青年学者带着许多珍贵的书籍，千里迢迢地来到弗隆堡，拜哥白尼为师。他就是德国威滕堡大学的数学教授列提克，后来成为哥白尼唯一的门生。在列提克的鼓励和支持下，哥白尼很快就振奋起来了。他们一起修订《运行》的原稿，积极准备出版。这时，丹提谢克听说哥白尼收留了一个“邪教徒”，就命令搜查修士们的住宅，看看“是否藏有充满路德教派毒素的书籍”。

积极支持哥白尼出版《运行》的，还有他的朋友铁德曼·吉哲，铁德曼

当初是弗隆堡的修士，早就了解哥白尼并一直支持他的科学研究工作。后来，铁德曼升为柳瓦巴教区的主教。他看到哥白尼的困境，就邀请哥白尼和列提克到柳瓦巴教廷作客，以便他们集中精力完成定稿工作。丹提谢克立即对铁德曼进行恫吓，宗教裁判官霍兹乌施还说在铁德曼的著作里发现了什么“荷兰邪教”，企图加罪于他。

这时，哥白尼的学说在社会上也引起了不少的非难。新教徒（路德派）比旧教徒更为敌视哥白尼的学说。马丁·路德曾挖苦说：“这个傻瓜想要推翻整个天文学！”《宗教宣言》的执笔人菲利普·梅兰赫东也指责哥白尼“不顾眼前的事实而想入非非。”

在埃尔布郎格城里还上演了一幕闹剧。它讽刺一个装腔作势的天文学家把自己的著作锁在柜子里，满嘴胡言乱语，最后被魔鬼套上大车送进了地狱。这个剧本当然是影射哥白尼的。原来，哥白尼那篇阐明当时连续出现彗星完全是大自然的现象、和人们的生活毫不相干的论文的发表，得罪了教会，教会就采取这种卑鄙的伎俩对哥白尼进行公开的侮辱。

尽管环境很险恶，哥白尼并没有妥协。1541年，他最后下决心将他的著作付印。

哥白尼将他几十年来心血的结晶——《运行》的手稿，交给他的朋友铁德曼，铁德曼又转交列提克。列提克因被来比锡大学请去教书，便将这本书的出版工作交给他的朋友、纽伦堡的一个出版商奥塞安德尔。奥塞安德尔曾学过天文学，他在新教领袖梅兰赫东的授意下，篡改了原稿，千方百计地阉割哥白尼学说的唯物主义内容，力求使科学迁就神学。

1543年5月24日，当这部巨著印好并送到弗隆堡时，久病的哥白尼已危在旦夕。御医梭尔法把书放到被子上，并把哥白尼的手放到书上，哥白尼用他的无力的手痉挛地抓住书本。哥白尼已到弥留的时刻，一小时以后他就与世长辞了。

《运行》带着遍体鳞伤，在人世间流传了300多年。

直到19世纪中叶，《运行》的原稿才在布拉格一家私人图书馆里被发现。1873年，出版了增补哥白尼原序的《天体运行》，但有关原子说的章节仍未补入。1953年，《天体运行》出第四版时，才全部补足原有的章节。这时哥白尼已经逝世了410年。

最终的胜利

在《运行》将要出版的时候，罗马教廷正在考虑对策。1541年，红衣主教施福治向教皇休罗献策：“我建议不要理睬这种渎神的言论，因为既然恶魔已点了火，你再去给它煽风，火就会烧得更大。最好是不闻不问。”罗马教廷很赏识这个建议。同时，由于哥白尼的著作是用拉丁文写的，而且只有懂数学的人才能看懂，在市民阶层中影响不大，因此，罗马教廷在70多年间没有对哥白尼的著作明令取缔。

早在1605年，就曾有人指出了奥塞安德尔宣扬不可知论的伪撰序言的卑劣手段，这个人就是伟大的德国天文学家开普勒。开普勒本来在丹麦天文学家第谷·布刺赫手下研究天文学。布刺赫当初很崇拜哥白尼，他曾经打发人访问弗隆堡，并取回一幅哥白尼的自画像和他生前用过的一架“捕星器”。布刺赫看到这个仪器时大为惊诧，哥白尼竟是用这么简陋的仪器来考察“天

体的奥妙”。他毕恭毕敬地把哥白尼的遗像供在上位，还在遗像下题词：

“力大无比的巨人能够搬过一座山来加到另一座山上，可是雷的劈击却能把巨人制服——比起所有这些巨人，哥白尼一个人不知要坚强多少，伟大多少，幸福多少。他把整个地球连同所有的山岳举起来迎向群星，雷的劈击却不能把他制服。”但是这个丹麦人到头来并没有接受哥白尼的学说，只是崇拜而已。跟这个丹麦人相反，他的年轻的助手开普勒，却衷心信奉哥白尼的学说。他利用自己发明的望远镜，把有关宇宙结构的科学向前推进了一步。他着重说明行星以椭圆形的轨迹运转，而太阳就处于这个椭圆形的两个焦点之一的地位。这样一来，他就把哥白尼学说中所残留的托勒密理论的痕迹一举肃清了，从而发展了哥白尼的理论。

跟这个开普勒一样，意大利伟大的哲学家布鲁诺（1548～1600年），也是哥白尼学说的信奉者和宣扬者，他也曾发现奥塞安德尔的序言是一篇伪作。他愤慨地指出：“这是一个其蠢如驴、不学无术、狂妄自大的脚色，给哥白尼的著作附加一张废纸。”布鲁诺曾先后到过欧洲十几座著名的城市，宣传哥白尼的理论，借以打击神学的世界观。他去讲学的地方有信奉新教的国家，也有天主教的国家，即使被人驱逐，他也毫不在乎。但是，当布鲁诺发表著作介绍哥白尼学说的时候，教廷就采用了严厉镇压的手段。这是因为，布鲁诺写的是明白晓畅、人人都懂的意大利文，文笔优美而犀利，讽刺了那些拚命维护“地球中心学说”的神学家，并揭示了哥白尼学说的全部唯物主义的意义。布鲁诺推崇哥白尼为最伟大的天文学家。他在《哥白尼的光辉》一诗中写道：

你的思想没有被黑暗世纪的卑怯所沾染，
你的呼声没有被愚妄之徒的叫嚣所淹没，
伟大的哥白尼啊，你的丰碑似的著作
在青春初显的年代震撼了我们的心灵。

他在《大斋节晚餐》一文中写道：

“我们对哥白尼感激不尽，因为他把我们居于统治地位的庸俗哲学中解放出来，……只有那种坚定不移地站在反宗教的潮流中的人，才能充分评价并颂扬他的精神。……他给自己找到坚实的立场，并毫不含糊地宣称：承认地球对于宇宙的运动，终究是一件不可避免的事，因为这比认定无数天体（其中许多都比地球更为光辉而庞大）把地球当作中心的说法，要合情合理得多。”

布鲁诺联系古代唯物主义者学说，到处宣传哥白尼的革命理论，而且在宇宙的无限性和运动的永恒性方面发展了哥白尼的学说。他在重述地球只是许多行星中的一颗这个论点时，进一步指出，被地球和其他行星绕行的太阳，只是无数恒星中的一颗，它不是宇宙的中心，宇宙是没有中心的，是无限的。后来，布鲁诺被宗教裁判所诱捕下狱，惨遭酷刑，监禁达8年之久。1600年2月17日，在罗马的百花场上，布鲁诺被教会活活烧死。

另外一个伟大的意大利学者伽利略（1564～1642年），也是哥白尼学说的热烈信奉者。他利用自制的能放大30倍的望远镜，观测到许多足以说明哥白尼学说的现象，如金星绕太阳转动、月亮上的山和“海”，看到了繁星密聚的银河、木星的四个卫星以及太阳表面变动不定的黑子。他的许多新发现，有力地证明了哥白尼的日心学说。

伽利略曾经写信给开普勒，信上说：

“我信服哥白尼的观点已经有很多年了，我根据他的观点，发现了自然界很多现象的原因。我写过许多驳斥对立论点的文章……”

为了让教会当局也相信这种学说，伽利略献上他的望远镜，叫他们亲自去观测天空的秘密。可是教会当局不愿意相信自己的眼睛，凡是违背圣经的事他们一概表示怀疑。他们的借口是，望远镜会产生种种幻象，看到的东西都不实在。其实他们担心的是，哥白尼学说的传播会对教会产生不堪设想的后果。教皇乌尔本三世曾忧虑重重地说：“哥白尼的学说可能产生比路德教派更可恶的后果。”

1616年2月，宗教裁判所宣布伽利略的著作为异端邪说。3月5日，图书审查协会又宣布哥白尼的《天体运行》为禁书，禁止印行。

从此之后，教徒们不准阅读这部禁书，更不准信从哥白尼的学说。就在这种险恶的情势下，伽利略不顾禁令，在十多年间仍然坚持研究哥白尼的理论，并且用意大利文写成《对话》一书。《对话》以浅显生动的文笔，通俗地介绍哥白尼的学说。这样，哥白尼的学说就在广大市民阶层中推广开来，信从哥白尼学说的人日益增加了。就在《对话》出版以后，罗马的宗教裁判所传讯伽利略。70岁高龄的伽利略当时正在生病，他请求延期审讯，但是别人警告他，如果拒不听命就要加上镣铐，押解送审。有人奉教皇之命对他进行威胁，就要像烧死布鲁诺那样对付他。他受到了监禁，在地牢里关了4个月。这时他染上重病，精神颓丧，就向宗教裁判官递了一份供状，上面写道：

“我以严重的邪教嫌疑罪被捕，这种邪教就是……太阳是宇宙的中心……而地球在动。……”

相传当他念到最后几个字的时候，曾经在天上跺着脚，自言自语地说：

“可是地球的确是在动啊！”后为他被判处终身监禁。

在这以后106年的漫长岁月里哥白尼的著作一直被列为禁书。直到1822年罗马教廷才颁布教令，宣布“那些讨论地球运转和太阳静止不动的著作，根据目前天文学家们一致的意见，准予印行”。

17世纪中叶后，自然科学日益进展，哥白尼学说的正确性日渐巩固，内容也有了很大的发展。在这方面起决定作用的，是物理学家牛顿（1642~1727年）。他写成《自然哲学的数学原理》一书，用万有引力的原理解释了行星的运行，给地球的绕日公转提供了更有力的证明。此外，科学家们还做过很多实验，证明了地球的自转和公转。人类对宇宙的现代观念逐渐形成。在这同时，欧洲很多高等学校都公开讲授哥白尼的学说。例如在哥白尼的母校克拉科夫大学，18世纪末（1782年）担任天文学教授并讲授哥白尼学说的，就是当时波兰启蒙运动的倡导人之一扬·希涅德茨基。

1830年，正当欧洲的革命风暴震撼着华沙的时候，华沙斯塔锡茨广场前竖立起哥白尼的纪念像。在揭幕典礼上，波兰著名诗人尤里安·乌尔辛·涅姆柴维基致词说：“这个喜庆的日子终于来临了！哥白尼曾以半个世纪的工夫凝眸注视太阳，今天太阳终于把它仁慈的光芒倾注在他的身上……。”

这时候，从广场的回廊上响起民族剧院艺术家们的歌声：“欢迎啊，欢迎啊，大地的儿子！……”

1939年，这尊塑像曾被入侵的德国法西斯捣毁，但战后又重建起来。

在1953年2月19日哥白尼诞生480周年的时候，人们曾经广泛而隆重地展开过各种纪念活动。哥白尼的不朽之作《运行》的手稿，在他的母校克拉科夫大学展出。内容完整的《天体运行》第一卷，也在这时候出版了。

哥白尼受到全体进步人类的愛戴和敬仰。

戴文赛

难割故乡情

南京大学天文系的办公楼坐落在一个绿树环绕，环境幽雅的院子里。建筑物的两旁和中间隆起了三个高高的圆屋顶，那是学校的三座天文观察台。人们看到这几座天文台的时候，都不禁要怀着敬意，想起我国天文学界的一代学者，著名的戴文赛教授。1979年4月30日，这位勤奋热诚的科学家不幸去世了。他的学生是最理解他的。他生前为我国的天文事业熬尽了心血，死后，这探索茫茫宇宙的高台也正是他最适宜的归宿。

戴文赛教授是我国天文事业的拓荒者。他长期从事天体物理的研究工作，在恒星光谱，恒星天文，星系结构和太阳系的起源和演化方面都取得了卓越的成就。晚年，他分析和评价了国外40多种太阳系起源的学说，利用了最新的观测资料，进行了一系列研究，提出了太阳系起源的新学说——新星云说。他的学说比较全面、系统、有内在联系地论述了太阳系主要特征的由来及各类天体的起源。关于提丢斯—波德定则的说明，对木星、土星、天王星的卫星、环带的形成以及角动量分布等问题他都提出了完全不同于前人的解释，因而获得了我国首届科学大会的奖励。他从1954年起到南大天文系任教，接着主持全系工作，他亲自动手编写教材，逐步形成了我国自己的天文学教材体系。数十年来，他循循善诱，诲人不倦，为培养新一代的天文工作者鞠躬尽瘁。

四十载春风化雨英才遍海内百世令名君不朽

百万言呕心沥血宇宙探化育七旬扼腕我凄然

我国天文界老前辈李珩同志的这副挽联为戴文赛的一生作了概括的写照。

戴文赛同志是福建省漳州人，生于1911年12月19日。他的父亲是个基督教的牧师，也当过小学教员。戴文赛自幼聪慧勤奋，功课成绩优异，17岁时即考取北京协和大学的数理系。由于家境清寒，他一面在大学图书馆当职员，一面读书。毕业以后，又留校当助教。1937年，在抗日战争爆发前夕，他考取了中英庚款留学生，赴英国剑桥大学攻读天文。他的导师是英国著名的学者爱丁顿教授。戴文赛第一次去见这位声名显赫的学者不免感到拘束。他穿上了燕尾服，执礼甚殷，他发现那位教授平易近人，并不是古板的英国绅士。屋子里乱七八糟地到处堆满了书。教授显然一下子就喜欢上了这个来自东方的青年人。谈了一会儿，他笑嘻嘻地指着戴文赛的燕尾服说：“你下次到我这儿来，就不一定穿这个了。”接着他征求了戴文赛对研究工作的意见。文赛表示希望先做点观测工作，他立刻表示同意，并且很坦率地说：“搞观测并不是我的专长，我另外替你找一位导师给你指导吧！”文赛固然知道爱丁顿是研究基础理论的，但却万万没有想到，像他这样一位有地位的大学者居然会在自己这个初来乍到的年轻人面前承认自己学识的不足。这件小事给了文赛极其深刻的印象。以后，他在自己的研究、教育工作中始终如一地贯穿着“知之为知之，不知为不知”的实事求是态度，这决不是偶然的。

年轻的戴文赛很快在研究中心表现出卓越的才能。他获得了剑桥大学1937年的天文学奖金。他的博士论文的课题是《特殊恒星光谱的光度分析研究》。这项研究在当时尚属开创性的工作。后来到了60年代才有了很大发展，

人们还在论文中引用他的研究成果。戴文赛在 1940 年获得博士学位后，爱丁顿教授曾热情挽留他在剑桥继续工作。但是他婉言谢绝了。他渴望能把自己学到的知识为祖国服务。他的祖国正在遭受日本军国主义的蹂躏，故乡的明月比哪儿都可爱啊！他明知道，在烽火千里的土地上，他将不可能找到像剑桥这样的工作条件，但他是个中国人，他毅然决然回来了。他来到了当时从南京内迁的中央研究院天文研究所的所在地昆明。名义上，他担任了研究员的职务，事实上根本无法进行真正的研究工作。他的遭遇比他归国前预计的还要糟。抗日战争胜利以后，他只好转到了教育工作的岗位上去。他来到了故都北平，在燕京大学教起来数学来。他走的正是一条他那个时代的许多知识分子走过的道路。他们怀抱着科学救国的理想，盼望自己的祖国进步富强，但在冷酷的现实面前，他们的理想抱负全都化成了泡影。只有在中国共产党领导之下，在社会主义新中国成立以后，他们的才学才获得了施展的天地。

天文吸引了爱情

北平解放那年，戴文赛才 38 岁，还年轻。他精力充沛多才多艺。他喜爱文学艺术，也爱好滑冰、游泳。基督教家庭的环境从小培养了他对音乐的兴趣。他会弹钢琴，会唱歌，偶或兴之所至，也爱谱写几支曲子。他还有一颗很发达的数学头脑，打起桥牌来十有八九能稳操胜券。在燕京园里，他算得上是个“文娱”活动分子，虽然身为教授，却经常参加学生们的团体活动，和学生们在一起唱歌，跳舞，做游戏。但他最最热爱的毕竟还是天文，一张口就爱谈天说星，他把团体活动也当成了天文科学的讲坛。甚至他的恋爱，也是通过天文做媒介的呢！

他回国以后，就经常写点科普文章，他对这工作越做越感兴趣。北平解放的前夕，他写了一本《太阳与太阳系》，书写完后想找人抄写。当时燕京学生会为了帮助家境贫寒的学生，正在组织同学工作自助。学生会就给他介绍了两位女同学，其中一位便是外语系的刘圣梅。刘圣梅也常参加团体活动，他们本来就认识，但由于帮他抄写了书，他俩的关系才进一步密切起来了。

这本书出版了，戴文赛给圣梅送去了一本。当时，刘圣梅已经离开燕京，在一所中学里教书了。中学在城内，燕京在西郊，两个离得较远，他们便开始了书信往返。遇到星期天或节假日，文赛便进城去看她。他们在一起散步，谈心。每一次，他总要告诉她一些令人振奋的好消息：“解放了，大家都忙了。现在，好多机关、学校都来请我去做报告，要我讲天文。看来共产党很重视科学。我这个‘冷门’也开始热起来了……”

文静娴雅的圣梅总是很认真地听他讲。他比自己年长，他有学问，她喜欢他的朝气蓬勃的事业心。

“唔，多有意思！”文赛的眼睛里闪烁着兴奋的光芒：“这么多的人，从白发苍苍的老人到戴红领巾的小孩子都一股劲儿的追问：地球是从那儿来的，月亮怎么会绕着地球转的，太阳这个火球会不会熄灭……这在解放以前是不可能想象的。”

“真有趣！”

“可惜的是，我讲来讲去只能介绍古人和外国人的学说，康德，拉普拉斯，布封……要不就苏联的施密特学派怎么说，费森柯夫，萨弗郎诺夫怎么说，就是没有哪一个中国人怎么说。说起来，我们还是古天文学最发达的国

家……”

文赛越说越高兴，他说呀，说呀，突然，他停了下来看了圣梅一眼，他意识到圣梅陪他出来散步可不是听他的学术报告的。他天真地哈哈大笑起来。

渐渐地，文赛认识到，他不应该老是用天文来填塞他俩之间的恋爱生活，他竭力避免在圣梅跟前无休止地谈论天文了。他可以谈的话题多着哩！解放以来，学校里展开了思想改造运动，他学了许多新鲜名词，他有了不少的心得。他作了几首钢琴曲，抒发自己的心情，抒发他对新社会的喜爱。曲子是明快、轻松的。他弹给圣梅听。圣梅问他：“思想改造不是要批判旧思想吗？挖自己的旧思想不是很痛的吗？你怎么还能轻松得起来？”

“挖的时候当然有点痛，可挖出来以后就心情舒畅了。”

“你是怎么挖的呢？”

“我吗？我挖得不好。”文赛不满意地摇了摇头：“我们的总支书记批评我哩！”

“唔？”

“他也是我过去教过的学生。他对我说：‘戴先生，你怎么把鸡毛蒜皮的事都往上写呀！’……”

这回，轮到圣梅哈哈大笑。她笑他的书呆子气。一个不懂得掺假人的往往是显得滑稽可笑的。可是她爱他的恰恰正是这种憨厚、老实的气质。他们终于结婚了。

1953年，戴文赛作为抗美援朝慰问分团长，访问了朝鲜。这是一次使他终生难忘的经历。他所看到听到的一切使他激动不已，使他感到做一个中国人的骄傲。但另一方面，他又觉得和英雄的中国人民志愿军比较起来，他自己对祖国的贡献实在太微小了。所以，当他从朝鲜回来的时候，心里已经暗暗下定决心：他不应该在北京住下去了，他应该到南京去，因为我国天文工作的主要基地是在南京，那里有南京大学的天文系，有紫金山天文台。他要改变自己的生活。谁也没有强迫他这么做，一个科学家的责任心，一个爱国者的良心迫使他非这么做不可。他把他的想法告诉了圣梅。

圣梅一听感到为难了。北京是她的故乡，她习惯了北京的生活，舍不得离开。离开北京，对她来说还意味着放弃她热爱的工作岗位。她犹豫了好久，但文赛还是把她说服了。有什么办法呢？服从发展天文事业的需要现在也变成了她这个英语教师的义务了。

雨点的“凝聚中心”

南大校园坐落在喧闹的市区，但一到夜晚，那空旷的大操场却是个幽静的去处。遇到天气晴朗，繁星灿烂的时候常有一群群青年人在这儿漫步游荡。他们一会儿抬头仰望，一会儿又喁喁低语。站在他们中间的是一个中年男子。他手执电筒，又用一块红布遮住电筒的亮光，在夜空中指指划划，于是青年人都一齐围拢在他的身旁，听他说话。他便是南大的天文系主任戴文赛。他是带领新入学的学生来认星座的。他用清晰缓慢而略带福建口音的普通话娓娓而谈，他讲解星座的名称，星等，谱型，还常常穿插一些希腊的神话故事，同学们听得津津有味，留连忘返。这个工作，本来完全可由青年助教担任的，但戴文赛喜欢和青年人交谈交谈。他不仅教给他们知识，而且还教给他们爱，像热恋的情人一样去爱科学、爱事业、爱祖国。他的深沉的感情，强烈地感染了他的学生。多少年以后，当这些学生成长为科学战线上的中坚力量的时

候，这几个在星空下漫步的夜晚依然铭刻在他们珍贵的记忆中。

戴文赛来到南大的时候，心里已经绘好了一张“蓝图”，发展我国的天文事业，必须从培养人才着手。荒芜的园地需要有志之士去开垦，去播种。他甘愿当一名辛勤的园丁。

他忙着给学生上课，忙着给研究生安排学习计划，忙着指导他们写论文。研究生写的读书笔记，他都逐字逐句地审阅，修改。有一年，他自己在北京社会主义学院学习，研究生把读书笔记和文章寄去，他不但看得很仔细，而且还一次次跑到北京图书馆去查阅了有关的原著，经过检验核对，才给寄回。他到南大以后进行的一项重要的工作是编写一套适合我国具体情况的天文教材。他全力以赴，承担了主要的编写任务，同时又充分发挥了青年教师的力量。他把各方面的力量组织起来，胜利完成了天文教学上的一项“基本建设”工作。有人因此把他比拟成“雨点的凝聚中心”。雨是怎样落下来的呢？因为天空中存在着尘埃，尘埃吸收周围的水蒸汽，凝聚成一颗颗的水珠子。当重量超过空气的浮力时，便落到地面上来了。戴文赛就是给百废待兴的天文教育事业下了一阵及时雨。

他是一个学识渊博的学者，但他从不固步自封。他喜欢和晚辈后生亲近，学习别人的长处，所以他自己能不断地吸收新鲜事物，同时也在系内培养了一种平等讨论，互相取长补短的学术风气。他编写的《恒星天文学教程》脱稿了，感到有些数学上的计算需要检验，他就把稿子交给自己原来的学生曲钦岳同志说：“稿子中涉及到‘富利叶变换’，这方面你比我熟悉，请你仔细看看。”就像当年他的导师爱丁顿教授在青年人面前实事求是地承认了自己的学识的不足。1961年，南大物理开了“电动力学”课，主讲的是位讲师，教授戴文赛也带了笔记本认真地去听课。但他社会活动比较多，不能课课准时，有时到得晚了一些，便悄悄从教室的边门走进去。正在讲课的讲师看见他进来，出于对尊敬，还特意停下来向他微微地鞠一躬。但有一次，班上有个学生迟到了，讲师批评得很严厉：“你要是下次再迟到，就不要进来了！”戴文赛听了以后，也联想到了自己。从此，他总是尽量提前到教室，万一有接待外宾之类的活动赶不上课，也不再半途走进教室了。

当然，他一点也没有忘记自己的科研计划。他雄心勃勃地企图在天体演化的领域内建立起我国自己的学派，他坚持不懈地收集着资料，进行着紧张的研究。他的这个雄心壮志在坚实土地上，前进一步，就是接近目标一分。

现在，他的生活比过去在北京时紧张多了。他很少有时间弹琴，下棋，游泳了。他把时间表排得满满的，成天伏在桌子上写呀，算呀。圣梅怕他劳累过度，故意支使他做点家务：“文赛，你上街去，帮我买点东西。”

他头也不抬的回答：“星期天！”

圣梅现在在南大的图书馆工作了。她工作上遇到了烦恼，需要找他谈谈。他的回答还是：“星期天！”

好不容易，总算等到了星期天，圣梅提醒他：“今天，咱们一块儿上街去。”他挑起两条眉毛说：“不是跟你说了，等星期天吗！”圣梅简直不知该怎么再跟他说下去了。

浩劫年代

60年代，是天文科学取得飞跃发展的时期，由于观测手段的进步，国外

天文学家获得了一系列的新发现，其中类星体、脉冲星、微波背景辐射和星际有机分子被称为 20 世纪 60 年代天文学的四大发现。在这个时期，我们却发现 960 万平方公里的土地被红色的海洋淹没了。于是心绪浩渺驰骋于无垠宇宙的教授也被命令去探索自己的“罪行”了。

这是怎么回事？他试图用他的科学头脑对这一切现象作出解答。他熟读自然辩证法，他精通科学推理学问，他智慧高超。他能猜透天上的玄妙奥秘，然而他终于陷入了目瞪口呆的困境，可悲的是他相信了一切美丽动人的辞藻，不懂得世界上会有伪装真理的谎言。他的诚实给他招来了更多的麻烦。

“戴文赛，你老实交代！你和帝国主义有哪些勾搭？”一伙至高无上的“法官”开始对他进行“审讯”了。

戴文赛想起了他在解放初期参加思想改造运动的经验他觉得自己应该“相信群众相信党”，他应该“襟怀坦白，无事不可对党言”。他详详细细地说出了他和国外人士的交往。他在燕京大学时出席过司徒雷登的宴会，他和某一外籍教授的私人交往比较密切……如此等等。他又一次“把鸡毛蒜皮都写上了”。他还真以为在“经风雨见世面”哩！他踏进了“牛棚”，接着又被送到大桥工地上去劳动了。他仍然相信这对他是一种“锻炼”。他推起了小车子跑得飞快。白天推小车，晚上挨批斗，他的脚踝骨在泥泞的路上跌折了。

在床上躺了好几个月。家里的墙上也贴着斗大字的标语：“坦白从宽，抗拒从严！”他还有什么地方讲得不够清楚呢？他探索了又探索。骨折还没有痊愈，他又被迫拄着拐杖下放到溧阳的农村去了。他和其他一些“牛鬼”被安排在一间农舍里，在潮湿的烂泥地上滚地铺。离开了家，离开了妻子，这下可真的需要锻炼了。圣梅也来溧阳了，可是住在十里以外的村子里，照料不到。他衣服脏了，只好自力更生。可是这里用的水，是同志们从几里路以外挑来的，他舍不得用。他把衣服浸湿了，擦上肥皂——这一点他是懂的，然后咬牙打一盆别人挑来的水，把衣服在盆子里漂上一漂，就晾到绳子上去了，旁边的同志告诉他：“戴先生，你这样洗衣服是洗不干净的！”他指指水桶说：“我的脚不好，我又不能去挑，怎好多浪费水呢？”同志们说：“这不叫浪费，你尽管用好了。”他摇摇头：“不了，不了，这样很好的。”

他在溧阳，既不能下田劳动，又不能看书写字，只好每天每天坐在地铺上发呆，他心里还在探索一个问题，这一切究竟为了什么？探索的结果，他仍然像一个天真的孩子对魔术师的戏法一样的不理解。

1972 年，戴文赛又重新工作了。这一年，他正好年满花甲。学校是一个烂摊子，他的圣梅得了一身的病，他的研究工作还远远没有完成。有道是：“人生七十古来稀，他还能有多少时间呢？”

一想起这些，真恨不得把身上每一个细胞的能量都调动起来。他从事天体演化的研究已经 20 年了。这是一项重大的基本理论研究。1956 年制订全国科学规划时，是他自告奋勇地承担了编写天体演化资料的任务。不完成这项工作，他是死难瞑目的。如今，他已取得了不少成果，但还有许多难关需要攻克。所以他在恢复工作以后，就像一部开足了马力的机器一样，日夜不停地飞转。他常常为了解决一个问题，把自己搞得神思恍惚。

一天早晨，他到盥洗室里去刷牙洗脸，忽然大声喧嚷起来：“圣梅！圣梅！我的毛巾到哪里去了？”“嘿！真新鲜，你的毛巾不是好好地挂在架子上的吗？”“没有啊！你来帮我找一找吧！”圣梅进去一看，简直哭笑不得，

“我的天哪！你怎么把毛巾扔到马桶里去了？”

他回到天文系，看了看久违了的国外资料，看到人家这几年中所取得的成就，心里更加焦急了。他决定要把周围的人推动起来抓业务，再充当一次“雨点的凝聚中心”。他首先倡议南京的一些科学工作者举行跨单位的小型活动，接着又在1975年发起了“南京地区天体物理讨论班”。这就是天文学界所谓“南片”活动。（后来扩大到安徽、上海、云南等地。）

在“四人帮”还没有被粉碎的时候，发起组织这样的活动，是得冒一定的政治风险的。但戴文赛却想得很天真。他说：国家宪法明文规定，公民有集会结社的自由，我们集会讨论学术问题——而且是远离地球亿万公里之外的问题，怎么会会有什么风险呢？

不料，在远离地球亿万公里之外的宇宙中也包涵着敏感的政治问题，也存在着“两条路线的斗争”。

根据科学家对星系物理的研究，发现宇宙中的河外星系正以极大的速度，互相跑散开去，有的星系跑散开去的速度甚至达到光速的一半。天文学家中间存在着不同的意见。有的学者把这种现象称为“大爆炸”或“宇宙膨胀”。但在“四人帮”时期，这是个十分敏感的问题。在“四人帮”的文化专制主义的束缚下，有些人简单地从哲学上的“唯心”“唯物”的概念出发，笼而统之地把“大爆炸”或“宇宙膨胀论”斥为唯心主义，斥为“形而上学”，实际上就把宇宙学列为不准研究的禁区了。1976年8月间，“南片”在合肥举行学术讨论会。戴文赛打算就这个问题作学术报告。他倾向支持总星系膨胀的学说，反对笼统地以哲学代替自然科学的简单化做法。客观存在的物理现象总是不能靠政治术语来解决的。可哪里知道，会议刚开始，气氛就变得非常紧张。他的报告还没有做，会上就沸沸扬扬地传说，有人要对他进行批判了。他的几个学生担心他“政治上不够敏感”，连夜去向他通风报信，劝他别把观点都亮出去。

戴文赛在这些问题上的确不如他的学生们敏感。他也不是没有感觉到会场上“大批判”的气氛。（那时候的学术会议照例也是以“大批判开路”的。）但他仍然无动于衷。他挺心安理得地说：“这是一个学术问题嘛！我有什么观点，应该充分阐明，坚持真理。”他大胆在会上亮出了他的观点。他是一个科学家，人家都感到他有点书呆子气。可这回他能顶住压力，倒也幸亏他身上的这几分书呆子气。

“南片”的学术活动是富有成果的。它使天文学界在动乱过后迅速跟上了国际的步伐，在天文学界培植了浓厚的学术气氛。他的心血没有白费，他播下的种子现在已经在开花结果。我们国内过去在星系研究方面几乎是一片空白，如今全国却有了几十位天体物理、物理、数学、力学方面的学者以极大的热情在开展研究了，并已经在星系结构、高能物理、天体演化等领域内取得了一系列成果，引起了国际学术界的重视。再拿南大天文系来说，在“文化大革命”以前，一年都难得拿出一篇论文，可是在1979年一年他们发表的论文就多至30余篇。这是一个何等可喜的局面。

傻瓜伯乐

一次庄严的学术报告会正在进行。听讲的人一个个都瞪大眼睛，全神贯注地注视着黑板上的一大串公式。戴文赛教授也伏在课桌上，用心地记着笔

记。

报告人的名字叫陆埏。他在向“南片”的天文物理工作者介绍国内外对基本粒子研究的新动向，他是南京电讯仪器厂的一个技术人员，业余研究基本粒子理论，发表过一系列的论文。戴文赛便是读到了他的论文和他交朋友的。是他，把他推荐给了科学界，邀请他来参加“南片”的学术活动的。后来，南大又聘请他到天文系任教。

陆埏回忆戴文赛教授时，讲了一个科学史上的轶闻。

丹麦有位物理学家，名叫玻尔，是诺贝尔奖金获得者，名气很大，曾被人称为原子物理学的鼻祖。以玻尔为首的一个学派——哥本哈根学派，大多是由有成就的青年科学家参加的。玻尔曾应邀去苏联讲学。苏联人问他：“他是怎么把那么多有才华的青年人团结在身边的？”他回答道：“因为我不怕在年青人面前承认自己知识的不足，不怕承认自己是傻瓜。”不料当时担任翻译的李夫希兹把这句话翻成了完全相反的意思，变成了：“我不怕青年人是傻瓜，”于是引起了一场哄堂大笑。事情过后，苏联的卡皮察院士感慨万分地说了一句话：“李夫希兹一语之差的翻译，恰恰点出了玻尔学派和苏联的兰道学派的不同特征。

陆埏说，戴文赛教授对待晚辈后生的关心和爱护，使他自然而然地联想到了玻尔的那种风格。

戴文赛的家里是他的学生和天文爱好者经常出入之所。青年人写出了论文来请他看，他是最高兴不过的：“好！好！出成果了！”他一面这样说，一面把文稿摊到桌子上，细心地抚摸着，喜悦的心情，溢于言表。他自己写了东西，也常常送给学生看，和学生一同讨论。如果他的学生帮他做了工作，替他验算过数据，他就要在文章发表的时候，把学生名字一块儿具上。他在笔记本上，还记着天文系历届毕业生全部名单和通讯地址。别人问他，这有什么用。他说：“为了随时给他们帮助。”他一向主张，作为一个教师，不仅学生在校读书的时候应该关心，学生踏上了工作岗位以后仍应该对他们负责。“文化大革命”中，天文系不少毕业生被胡乱分配到工厂和农村，被迫改了行。他和他们中间的许多人一直保持着通讯，并且经常把学术报告等资料寄给他们看。这些同志后来能够归队，调到合适的工作岗位上工作，他也出了很多的力。有一个学生毕业后被分配在气象站工作，还顶着压力继续搞科研，写出了两本书。戴文赛一直非常关心他。自己生病以后，听说这个学生想考研究生，又担心家庭经济有困难，正在犹豫不决，他在病床上就念叨：“经济上有困难，我可以帮助他啊！”对于青年人，他真像一位慈爱的奶妈爱护自己哺育大的孩子一样。

来到戴文赛家里作客的，还有许多素昧平生的天文爱好者。因为他是一个深受群众欢迎的科普作家。他一生写了80万字的科普著作，所以全国各地都有大量来信，有的人慕名前来拜访。他除了热心解答他们的问题外，还招待吃饭，甚至资助路费，这些天文爱好者提出的问题也促使他在建立自己学说的时候把问题考虑得更周密，论证得更充实。他和不少天文爱好者交了朋友，并在他们中间发掘人才。有不少同志便是在他的热情关怀下走上天文工作岗位的。有人说，戴文赛是一位有心人，是个伯乐，这话决不是浮泛的溢美之辞。

鞠躬尽瘁

太阳贵庚？46亿岁！人生几何？不过数十年！以数十年的时间，去穷究数十亿年的历史，这是多么悬殊的对比！一个天文学家的分分秒秒，都是何等宝贵！

戴文赛在和时间赛跑。他要完成关于太阳系演化的新学说的研究，写完《太阳系演化学》；接着，他还想用自然辩证法的观点，以吸引和排斥这对矛盾去解释星系的演化，这又将是一部很厚的书。他是《中国大百科全书》天文分册的副主编和撰稿人，他有许多行政工作和组织工作要做。组织上给他配备了胡中为等几个得力助手。但是，正当严冬过尽万木春，任凭雄鹰展翅飞翔的时候，他突然病倒了，患的是结肠癌。经过手术，癌细胞又扩散到了肺部。

他一声声咳嗽着，仍旧伏在案头孜孜不倦地工作着。病魔一步步地夺去他的时间，迫使他一步步地退却，从每天工作五小时退却到四小时，三小时、半小时……他还是把助手们找到床前进行着学术讨论，让家属记下他的片断想法，以便将来作进一步研究。他大概连自己生的是什么病也没有功夫去想。妻子眼看他越来越不行了，便把他哥哥从上海请来，暗示他嘱咐遗言，但他却说：“哥，你放心回去，我有什么事再写信告诉你。……”

从他动手术到临终前的一年零九个月中，他写了十多万字的手稿，校完了《太阳系演化学》（上册）的原稿。他写了全国科学大会上的报告提纲和南大校庆会上的学术报告稿。1977年10月全国自然科学规划会议在黄山召开的时候，他已进医院了。但他说他还能当一个“通讯院士”，一连给大会写了四封长信，对八年规划的制订工作提了很多建议。他在病中发起了天体物理学丛书的出版筹备工作……令人难以想象的是：临终前的这一年零几个月的时间里，几乎是他在学术上取得丰收的季节。

从他病室的窗口，可以远远望见建筑在孝陵卫的一座太阳塔。这是我国第一座研究太阳活动区物理的新设备。为了建造这个太阳塔，他也曾到处奔走，费过许多心血。太阳塔建成了，他自己却被关进了医院。他一直想要到工地上去看一看，但已经不可能了。他天天站在病室的窗口，用一架望远镜朝它瞭望。

这天，他正在窗口站着，忽然发现楼下院子里来了一群孩子。他正在奇怪，病室的门被轻轻地推开了。护士领着这群孩子走了进来。原来他们是南京第十中学三年级的同学，一群科学爱好者。他们是专程来慰问病中的戴伯伯的。

“戴伯伯好！”孩子们恭恭敬敬地叫了一声。

戴文赛笑了。

一位小客人打开捧在手里的一卷宣纸，向他朗诵了一首他们自己写的诗：

神秘的宇宙啊，浩瀚无际，
空中的繁星啊，点点缀缀。
太阳是火球还是星点？
天空中到底有多少银河系？
宇宙的秘密数也数不清。
你——人民的天文学家，
把自己的每一点心血，

都倾注到这些秘密里，
熬过了多少不眠之夜，
迎来了一个个灿烂的黎明！
你书房里的灯光啊，
和闪烁的星星连成一片，
.....

戴文赛听着朗诵，他的眼眶润湿了。可惜，他现在已没有过去那样的精力，来跟孩子们讲述遥远的故事，让房间里充满银铃般的笑声了。

送走了孩子们，他在床上躺下来，轻声问陪在身边的圣梅：

“圣梅，你可还记得？”

“啊？”

“过去我们住在北京的时候，也常常有小朋友到我们家里来作客。”

“怎么不记得！有一次，我还给他们烧饭吃哩。”

“他们当中有几位，现在翅膀硬了，成了优秀的天文工作者了。唔，你还想得起来吗？”

圣梅扳起手指，一个个数了他们的名字。

他慢慢地合上了眼睛，脸上浮着安详的微笑。他睡着了。他做着美美的梦，梦见刚才看见的一个个可爱的小脸，小脸又化成了一朵朵鲜花。是啊！科学的鲜花，一定会把我们祖国的大地点缀得花团锦簇。大地的鲜花和天上的星空相互映辉，风光万千，群星灿烂。

张钰哲

“中华星”的发现者

1982年11月22日夜，美国叶凯士天文台爆发出一阵欢呼声。一个高挑儿身材，面庞清秀的中国小伙子一边摘下眼镜揩去激动的泪花，一边不禁地高喊着：“捉住了，捉住了！我终于把它捉住了……”他就是我国著名天文学家张钰哲。两年中，他一直在苦苦地追索，在茫茫地星海当中找寻一颗人类从未发现过的行星。这颗星溜得太快了，当它刚一进入张钰哲的眼帘时，又在转瞬之间躲进了茫茫的星海之中。

为了它，两年时间张钰哲从未睡过一个好觉，吃过一顿安静饭，伴随他的只有伸向星空的天文望远镜。多少个不眠之夜过去了，张钰哲熬红了双眼，深陷的面颊显露出苍白的容色，但他依然如故，仍在星海中搜寻。他相信自己的眼睛，他更相信自己的中国心。这是一颗凝聚着中华民族智慧和力量的心。有了这颗心，他虽然身在异国，却能创造出散发着老祖宗气息的奇迹。

经过连续的观测和精密的轨道计算，张钰哲确信两年前他发现的一颗星是从未有过纪录的新行星。今天，当这颗星再次进入他的观测网时，他轻按相机快门，终于将这颗新星留在了底片上。张钰哲的发现，很快就得到了“国际行星中心”的承认。依照国际惯例，发现者有权为它命名了。身处异国他乡的张钰哲，此时心潮澎湃：天文学乃是我国古学，其成就早就领先于世界各国。只是到了近代，我国才落后于西方，就天上闪烁的行星来说吧，没有一颗是中国人发现的。多少年来的梦想今天终于实现了，中国人发现了行星，中国的名字也将在太空遨游。“就叫它‘中华星’吧！”张钰哲坚定地说。

从此，一颗新发现的“中华星”带着海外游子的拳拳报国心闪烁在无垠的宇宙之中。

1902年，张钰哲出生在福建闽侯县城一个职员的家庭。他两岁丧父，家境贫寒。艰难的世道，磨练出他坚毅顽强的性格。他勤奋学习，刻苦钻研，成为学校里品学兼优的学生，无论在小学还是中学毕业的考试中，他都取得了全校第一名的成绩。1919年他又以优异的成绩考取了清华的留美预备班。

张钰哲多才多艺，他热爱文学，擅长美术。但他更希望发展祖国的工业。在清华园里，他攻读机械工程，准备有朝一日，使祖国的经济腾飞而起，不再受洋人的欺辱。

一天晚上，在同学的宿舍里，他偶然发现了一本小册子，而这本小册子却改变了他的一生，也改变了中国天文事业的命运。这是一本普通的天文科普读物，作者在卷首写了这样一段令人心泣的言语：

“天文学乃中国古学，在我国启昌独早，其研究规模，千年前即已灿然大备，惜后中落……近百年复受晚清腐败政治之影响和军阀的摧残，天文古学更日就消亡，几成绝响。诸君关心国粹，扶翼文明，想亦深同愤惜也。”

读到这里，张钰哲的心微微颤抖了一下，难道中国真的要沉沦下去？天文古国的雄风难道真的再也树不起来了？

1923年，张钰哲来到美国求学，经过一番深思熟虑之后，他毅然放弃了追求已久的机械工程专业，转而投考了芝加哥大学天文系。经过几年的努力，他发现了“中华星”，为中国的天文事业争得了荣誉，他的名字如同一颗升起的新星传遍了整个世界。

1929年夏，张钰哲获芝加哥大学天文博士学位。他放弃了美方提供的优厚报酬，轻装返回祖国。从此在这块生他养他的土地上，与中国的天文事业结下了不解之缘。

冒险抢国宝

“九·一八”事变后，日本帝国主义侵占了我国东三省并继续西犯，不久又占领了热河地区，矛头直指华北，直指平津。

1932年9月10日，正在南京紫金山天文台服务的张钰哲，受台长余青松的派遣，到北平将安放在古观象台上的四架古天文仪器抢运至南京，以免落入日本之手。

安放在北平古观象台上的四架古仪器，是我国的传世之宝，也是世界上罕见的古雕铸珍品。其中的两件——天象仪和圭表，曾遭八国联军的劫难，落入德、法侵略军之手，直到第一次世界大战结束后，由于我方是战胜国，才几经周折将宝物要回。难道让它们再次落入侵略者的手中？想到这里，张钰哲深感肩上担子的沉重，无论如何也要把国宝抢回来。人在国宝在，宝亡人也亡。张钰哲下定了决心，只身奔赴北平。

到了北平，他顾不得喘一口气，直奔古观象台。张钰哲令人将天象仪和圭表装入木箱内，然后运送到火车站，通过铁路运往南京。剩下的浑天仪和简仪竟是庞然大物。这两件铜铸仪器分别重8吨和7吨，像两座小山一样稳坐在古观象台上，难怪八国联军对它们都奈何不得！

张钰哲八方求援，跑遍了整个北平城，都找不到一辆可以运载它们的车辆。根据南京政府的密令，一旦北平危急，即将这两座古宝炸毁，决不落入日本人手。奔波了一天的张钰哲回到古观象台时，看到全副武装的士兵散站在两架仪器的旁边，正在筹划着炸毁仪器。

张钰哲一个箭步冲上去，又手抱住了浑天仪，热泪夺眶而出，口里重复着一句话：“等等，等等，你们要相信我……”此时，他的心像撕裂了一样疼痛。急切之中，他猛然想起了光绪年间浑天仪自钦天监紫微殿移到观象台，两地相距3公里之遥，这个庞然大物是如何过来的呢？经过了解，答案找到了，原来是在严冬季节，沿途百姓泼水成冰，100多个壮汉将仪器前呼后拥着自冰道上推过来的。

张钰哲茅塞顿开。早在中学时代，他就学过摩擦力的原理。早秋的季节自然是制不得冰道，但滚动的圆木却可以将摩擦力降低到最小限度。

第二天清晨，张钰哲叫来几十名工人。在两座古仪的底座下垫起了一排整齐的圆木杠，在一声声的吆喝中，两架古仪一寸一寸地移向大门口，穿过裱褙胡同，经西观音寺由东单移到前门车站。12华里的路程，竟用了整整3天的时间。

5天以后，4架国宝安全抵达南京。直到此时，张钰哲的脸上露出一丝笑容。

在日军轰炸下观测天象

1937年8月11日，张钰哲测得一项重要的太阳活动预报：1941年9月21日将有日全食带进入我国新疆。据张钰哲的测算，日食带将经甘肃、陕西、

湖北、江西，最后从福建北部入海。后来，经英国格林威治天文台证实，张钰哲率先测报的 1941 年 9 月 21 日在我国出现的日全食，是全球 400 年来罕见的天文奇观，其观赏价值和学术价值都超过了以往任何一次。

为了观测这次奇观，我国有关部门积极行动起来，进行了周密的部署。1940 年 1 月，中国日食观测委员会宣告成立，并购买仪器，绘制地图，安排交通给养，确保观测的顺利进行。

1941 年 4 月，中国日食观测队成立，张钰哲任队长，亲自带队到昆明集训。当时正值太平洋战争爆发的前夜，日军加紧了对香港及我国东南沿海地区的轰炸。观测队自德国购进的观测镜被日军炸毁，由于时间紧迫，再次从国外进口仪器设备已经不可能。张钰哲急中生智，将一架 6 寸口径摄影望远镜取下，配上自制的木架，外蒙黑布以代镜筒，另以 24 寸反光望远镜底片匣附于其后，用以摄取日冕图像。在中央大学、金陵大学和测量总局的大力协助下，总算配齐了必需的设备。这时，张钰哲才深深地松了一口气。

根据预测的情况，1941 年在我国出现的日食带，其覆盖地区大部分已沦为敌占区，所剩可观测的地区寥寥无几。这些地方离敌占区近，随时都会遇到日军飞机的狂轰滥炸。张钰哲深知这次观测意义的重大，这是我国进行的第一次有组织的现代日食观测，其记录将对世界天文科学产生深远的影响。为了使中国的天文事业跨入世界强手的行列，就是冒再大的风险，也要完成这次艰巨的任务。

张钰哲选定甘肃临洮县为观测地。他认为临洮县秋季晴天多，而且相距我国西北第一大城市兰州只有 100 公里，可以为观测队提供更多的方便。

1941 年 6 月 29 日，张钰哲率领观测队全体成员携带仪器设备，乘坐 2.5 吨的一辆军用卡车从昆明取道去临洮，开始了 3000 公里的行程。汽车行至重庆附近，遇到 27 架日机的轰炸。张钰哲和他的队员们跳下汽车，钻进农田，趴伏在地，头上飞机盘旋，周围烟火弥漫。所庆幸的是，观测队的成员无一伤亡。空袭过后，公路上弹痕累累，尸骨遍地。张钰哲目睹这一切，毅然驱车继续行驶。

经过 6 个星期的颠簸行程，观测队于 8 月 13 日抵达临洮。在当地军民的大力支持下，观测队在泰山庙戏台前的广场上建起了临时观测点。在安装调试仪器的日子里，观测队经常遇到日军的空袭。据《中央日报》统计，观测队抵达临洮以后，共遇日机空袭 25 次。有次日机空袭，正值张钰哲调试仪器，他立即跑到了旁边的树丛中躲藏起来，周围的群众都为他捏了一把汗。空袭过后，他又埋头紧张地工作起来。

9 月 21 日 9 时 30 分，全球瞩目的日全食初亏终于出现了。当时晴空万里，但见月亮的黑影从西侧开始侵入太阳。40 分钟后，太阳被“吃掉”了 1/3，天空也逐渐昏暗，气温下降。又过了半个多小时，太阳整个被“吃掉”了，月球遮住了整个日轮。又过了一会，全食的四周围射出万道金光，“日冕出现了！”在场群众欢声雷动。10 时 59 分，太阳开始生光，万物恢复到原来的状态。张钰哲和他的队友们观测和捕捉到珍贵的天文资料 170 多项，共摄得照片 200 余张，“五彩”影片 20 卷，重庆中央广播电台将实况通过无线电波转播到世界各地。

这次日食现象，历时 3 分钟，与张钰哲所预测的情况完全吻合。在中华民族遭受外国侵略之时，在中国本土上进行的这次成功的有组织的日食观测，其意义早已超出了“天文”的范畴。

心中只有中国

抗战胜利后，身为紫金山天文台台长的张钰哲怀着无比的喜悦，和他的同事们一起将天文台迁回南京。

为了更多地了解世界天文发展的动向，发展中国的天文科学，1946年，张钰哲前往美国、加拿大等国考察。凭借他在世界天文学领域中的影响，在国内外朋友的帮助下，他先后访问和考察了美国帕洛马山天文台、基特峰天文台、阿雷西博天文台、橡树岭天文台等以及加拿大维多利亚天文台。

在出国访问的过程中，张钰哲一方面注意考察美、加等国使用的遥遥领先的仪器设备和尖端的科学技术，另一方面向西方介绍了中国天文事业的发展状况及中国人对天文科学的贡献。他以实际行动向世界天文学界证明：别人家做的事，中国人也能做到；别人不能做到的事，中国人一定也能做到！他在美访问期间，以唯一的外籍代表身分被邀请参加在波士顿召开的美国天文学会年会。在会上他发表了“变星的速度曲线”和“大熊星座的光谱观测”两篇论文。他那严密的论证，透彻的分析获得了同行们的一致好评。论文很快地发表在美国《天体物理学》杂志上，那是美国很有权威性的一份刊物。当他再次来到使他发现“中华星”的叶凯士天文台时，张钰哲的名字又一次升上天空——他在变星照相观测中发现了一颗新的变星！张钰哲对天文学的贡献令外国人刮目相看，中国人的智慧令外国人惊叹。“张钰哲真了不起！中国人真了不起！”此时此刻，“张钰哲”与“中国人”联在一起。张钰哲是中国人，而中国人就是张钰哲。

正当外国朋友庆贺张钰哲的考察取得丰硕成果之际，国内传来了令人失望的消息：国民党外交部突然中断对他回国路费的承担。这消息如同当头一棒落在了正准备归国的张钰哲身上。此时此刻，他感到浑身冰凉，甜酸苦辣五味俱全，他的心在哭泣……

恰恰相反，美国及加拿大的同行们听到这个消息后却异常高兴，他们奔走相告，觉得再也找不到像这样一个说服张钰哲留美的好机会了。美国各大天文台向他发来了聘请书，加州大学立克天文台破例以优厚的待遇聘他去当台长，并答应安排好他夫人的工作。金钱、待遇，对他来讲，从来是不屑一顾的，唯一使他感兴趣的是美国天文学界那高精尖的仪器设备。但是这些，和祖国的需要比起来又算得了什么？

这一夜，张钰哲辗转反侧，他想起了18年前，当他通过博士论文答辩的时候，当时的生叶凯士天文台台长樊比博教授向他提出在该台任职的挽留，遭到了他的婉言拒绝。也是这样一个夜晚，他睡不着，披上衣服奋笔疾书，写下了这样两句诗言：“楚材岂能为晋用，相期神州建灵台！”此时，这两句话又在耳边作响。祖国毕竟是我的母亲呀，我的一切都是母亲给的。我虽不材，但岂肯为晋用？

主意已定，他婉言回绝了美国朋友和同行们的邀请，利用美国国家地理学会派队到我国浙江武康地区观测日食的机会，1948年初回到了祖国。

新中国成立后，张钰哲一直担任紫金山天文台台长。几十年来，他一直耕耘在祖国天文科学的园地上。

他不仅是一位杰出的科学家，同时也是一位富于才华的领导者。有人形象地比喻说，他的一只眼睛盯着星空，而另一只眼睛始终看着紫金山。这话

一点也不过分，他在勤奋地进行科学研究的同时，一直关心着对紫金山天文台的建设。

1949年10月，在张钰哲的努力下，紫金山天文台的观测仪器得到了修复。他又倾注心血，花去4年的时间建成了我国最先进的天文仪器厂——南京天文仪器设备制造厂。以后，他又亲率同行自制和引进了国际一流水平的科学仪器，使紫金山天文台，名享四海，它不仅恒星、行星进行观测，同时对空间天文学、射电天文学、实用天文学、历算和天文仪器等方面进行综合研究，这一切包含着张钰哲一生的心血。

从1928年张钰哲发现“中华星”起，到1986年张钰哲病逝，在半个多世纪中，他又陆续发现了“中国星”、“紫金山一号”、“紫金山二号”等400多颗在星历表上没有记载的新星，在它们当中，有81颗得到了国际行星中心的编号命名。张钰哲一生著作甚多，发表论文101篇，出版专著、译作10本。国际天文学界为了纪念他，将美国哈佛大学天文台1976年10月23日发现的一颗新星命名为“张钰哲星”。

1986年5月5日，《人民日报》为张钰哲发表了专题短评，称他是一颗“永不熄灭的星”。

