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

郭守敬

BOOK

内部资料 非卖品

郭守敬——我国元代杰出的科学技术专家。他具有多种学识和才能，在地形测量、机械构造、仪器制作、农田水利建设、河道工程修建，以及算学与天文历法等方面，都取得了辉煌成就。

一、勤奋学习的少年

我国元朝大科学家郭守敬，号若思，蒙古大汗窝阔台 3 年（公元 1231 年，即南宋理宗赵昀绍定四年）出生在邢台市一带，也就是现在的河北省邢台县。13 世纪初叶，我国北部主要为金朝所统治，南方则处在南宋王朝的统治之下。金朝统治地区的北部，过着游牧生活、处于氏族部落后期的蒙古族正日益强大，不断向外扩展。1206 年，成吉思汗统一蒙古各部建立蒙古汗国以后，率兵南下攻打金朝。1214 进逼金京中都（今北京市西南部）北郊。金宣宗完颜珣自中都迁都到开封。成吉思汗元年（1215 年），便占领了中都，改称燕京。5 年后的 1220 年，蒙古兵攻入邢台。成吉思汗死后，第三子窝阔台于 1229 年继位做了大汗。窝阔台 6 年（金哀宗完颜守绪天兴 3 年）的时候，蒙古大汗与南宋合兵，攻下蔡州（今河南省汝南），灭了金朝，统治了整个北方。

此后，窝阔台的继承者和南宋对峙了数十年。成吉思汗的孙子蒙哥于 1251 年当上大汗时，将大沙漠以南领土上的军事大事，都嘱托交给了忽必烈。蒙哥是成吉思汗第四子拖雷的长子。忽必烈是蒙哥的弟弟，拖雷的第四子。忽必烈开府于滦河上游之地，于是我国北部便处于忽必烈的统治之下。忽必烈在 1260 年蒙哥死后抢位自立为大汗，依中原制度称皇帝，并且采用年号纪年，称为中统。中统 5 年（1264 年）又改号为至元元年，并在至元 8 年（1271 年）正式建立国号，称为“大元”。不久，元兵继续南进，灭南宋，并在至元 16 年（1279 年）完全略定了南宋。从此，南北统一，建立了一个统一的多民族国家。郭守敬就是在元朝统治下出生和成长的。

郭守敬的父亲大概在早年去世，具体情况和经历已不详。郭守敬从小是跟着祖父长大的。他的祖父郭荣，号鸳水，学识丰富，不但通晓五经，还精于数学、天文、水利等多种学术，经常和当地一些士大夫在一起谈论研究学问。在中小地主阶级的家庭中，在祖父的教育影响下，郭守敬小时候就很喜欢学习科学自然等知识。郭守敬志于学而笃于行，他在童年时不爱和年岁相若的孩子们嬉戏，而常常热衷于观察周围自然界发生的各种现象；对书本里讲到的一些事物，他总想搞清楚其中的奥妙。在老祖父的亲自管教下，他继承祖业，每天用心念书，有时候也弄些容易到手的材料做些自己有兴味的玩意。

郭守敬有个老朋友，名叫刘侃，字仲晦，后来改名为刘秉忠。此人知识面很广，精研古代的《易经》和宋代邵雍的《皇极经世》，深通天文、算数、地理、音律、三式（术数）等各类学识。他生于邢州，由于不得志，青年时代便出家到武安（今河北武安）丛山中的天宁寺当和尚，法名子聪，自号藏春散人。后来他随一个很受蒙古人信任的海云和尚北上。海云是受封于蒙哥汗掌管天下佛教的一个有权势的僧人。经海云介绍，子聪见到忽必烈。忽必烈甚为器重他，找他在藩邸当顾问，经常向他咨询国家大事。子聪原是与郭荣谈得来的熟朋友，郭荣则对他的博学多识，十分钦佩。大约在郭守敬十多岁时，子聪的父亲死了，子聪回到邢州奔丧。三年服丧期间，他在邢州西南

一百四十里的磁州（今河北磁县）武安县的紫金山，与老朋友张文谦，张易一起读书，还带了个原籍唐县（今河北唐县）的少年王恂在一起研习。郭荣趁机叫郭守敬到紫金山去随子聪等一同学习。金末元初，北方民间讲学之风相当盛行。虽然处在战乱年代，各地却常有一些志同道合之士，聚在一起研讨各种学问。所以，元初出仕的那些士大夫中，颇有一些杰出的人才。特别是王恂，他字敬甫，中山唐县（今河北省唐县）人，他比郭守敬小四、五岁，博学多识，是我国历史上出类拔萃的天文数学家。在紫金山研习的这几个人，后来相继进入元廷。有的在政务上做出贡献，有的在科学方面有所发明。这三年中，郭守敬在天文、算学，历法等各方面的学问，都有很大长进。尤其是算学，那是研究天文历法的重要工具和基础，郭守敬和同学在共同学习和钻研中，在继承和发展前人成果方面，造诣更深。这对他以后的事业有着重大影响。

郭守敬十五、六岁的时候，曾获得一幅拓印的《莲花漏图》。莲花漏是一种构造并不简单的仪器。它是北宋时期燕肃在前代漏壶的基础上加以改进而发明创造的。这是一种利用滴水来计量时间的仪器，是我国古代一种比较精确的漏壶。这种计时仪器由一整套的水箱、水壶、吸水管、带有刻度的箭，以及其它一些部件组成。壶中水位的高低，水质的洁净与否，都影响到水从壶嘴流出的速度。采取一套箱壶，使主要的那只大壶里的水保持常满，让水均匀地漏到箭壶里，流速保持稳定，可使插在壶中的箭逐步均匀上升。看箭杆上的刻度读数，便可知道是什么时刻了。由于水壶的若干部分以及箭都制成了莲花、莲蓬和莲叶的形状，因此，取名莲花漏。又因燕肃是在宋仁宗赵祯天圣 9 年（1031 年）创制的，又叫天圣莲花漏。4 季中气温有所变动，水的温度也就不同，这使水的粘滞性有所变化。粘性的变化又会影响水的流速和流量，这就关系到漏壶计时的准确性。再则，地球绕太阳公转时，地轴是倾斜的，犹如陀螺旋转时它的轴会倾侧，其理相同。地球在轨道上的运行又是冬天略快，夏天略慢（对北半球而言）。因此，一年中每天日子的长短不一样。冬夏两季稍长，春秋两季略短，最长和最短的日子可差 50 秒钟。现在每天用 24 小时来计时，是取个平均值，叫做平太阳日。由于这许多因素，主要是昼夜时刻长短不同的因素，莲花漏壶中使用上漆的桐木箭，全套共有 48 支。白天和黑夜分别依其时间长度各用一支，又随 24 个节气变化而更换使用。古代的计时把一天分成一百刻。莲花漏的四尺长箭上，一刻又分成 60 分，每分约合现代的 14.4 秒。所以它就有较高的准确性。燕肃为了推广他对漏壶的这种改进，曾在许多地方将莲花漏的图样刻在石碑上，好让大家容易见到。宋金时代，莲花漏流传得相当广泛，很多地方的城墙的谯楼上都放置着一套莲花漏，给当地的居民做为计时的依据。

动乱的战争年代，到处遭破坏，莲花漏变得很稀罕、极少见到了。单凭一张图，成年人也弄不清它的原理和构造。少年郭守敬得到这幅图后，认真加以琢磨。他很快就弄懂了莲花漏的原理，并能讲得清清楚楚。聪明在于勤奋。并不是郭守敬的天赋特别高，而是他具有善于思考，不畏困难，而且刻苦钻研的顽强精神。他用竹篾仿照古图扎制浑天仪，并且运用它来进行实际观测。正是在这一段少年时期，郭守敬勤奋学习并能结合实际，学以致用。

元朝统治的北方农业地区，掳掠破坏极为严重。由于遭到长期的战争破坏，大片农田废弃，不少被圈作牧场。民族压迫深重，生产急剧下降。这就不利于元朝贵族对一个比较先进的封建国家的统治。忽必烈在辖领北方之

初，曾网罗了一批汉族地主阶级中的上层知识分子，担任重要职务或当参谋。其中比较有名的，就有刘秉忠，以及他所推荐的张文谦（忽必烈任用他为王府书记），还有许衡、姚枢、窦默等人。这些人从地主阶级的根本立场和长远利益出发，根据历来封建统治阶级治理天下的一些基本政策，为忽必烈制订了若干政治经济措施。

在金代，邢州本来人口繁盛，经济殷实，计有 700 多户，但是，经过战争的破坏，农业极度衰退。而到贵由汗年间（1246—1284 年），只剩下 500 余户了。在这种情况下，张文谦向忽必烈建议：派良吏去治理居南北要冲的邢州，以为其它地方示范。忽必烈同意了，设立邢州安抚司，由脱兀脱、张耕任安抚使。刘肃任商榷使，张、刘等到任后，采取了一些安抚措施，如兴办冶铁作坊，招集流散的百姓，进行恢复生产等工作。

农业生产与水利关系密切，张、刘二人也就从事一些水道的整治工作。当时邢州城北有三条河流。南面一条最大的名潦水，靠城流经 2、3 里后，东向流入蔡水。金元战争的混乱年代，河渠水道无人管理，河水破堤而出，四散漫淹，城北低洼处一片沼泽，连冬天也不见干涸。北面有两道小河，近潦水的叫达治泉，稍外一条名野孤泉。在漫流的泥沙堆积下，它们又一起淤塞了。出邢州城北门原有三座石桥跨越三条河流，是城北道衢大路。中间达治泉上那座古老的小石桥，战乱后倾没在大片沉积的泥沙中。30 年过去了，连踪影也见不到了。人们行经那里时，不得不提起衣裳涉水而过。后来有些好心人在达治泉与野狐泉渡口处安上了几根木梁作桥，暂时应付一下，常架常坏，问题根本没有解决。这时，张耕和刘肃便邀请年青的郭守敬到城北的现场。年仅 21 岁的郭守敬，在察勘之后，按照水位、流量和灌溉需要等条件，进行了治理设计工作。他规定了河道的位置，拟订了路线，确定了堤岸的尺寸，核算了需要的工时等。并提出治理规划。疏浚工程开始，把三条河水导向下游。在郭守敬指出应该设桥的地方，挖出了原来的小石桥。从此，潦水依然沿旧河道由南桥下流去，不再泛滥。修整的新石桥与北桥分别引二泉东去，汇合于柳公泉。北去燕京的大路上，过往的行人再也不用跋涉于泥淖之中了。农田得到了灌溉之便，大大促进了当地生产的恢复。郭守敬规划的这一项河道工程，只征调了 400 多人，干了 40 多天，就顺利完工了。办了这件事，解决了 30 年来的老问题，对人民生活有很多好处。于是事迹在邢台市周围传播开去，郭守敬的技能才干得到了大家的赞扬。

二、修复唐来、汉延等河渠

在忽必烈那里当顾问的子聪和尚，颇得忽必烈的赏识和信任。1253 年，在忽必烈进兵大理，途经六盘山的时候，子聪又介绍了只有十九岁的王恂给忽必烈。忽必烈对王恂大为赏识，派他做次子珍戬的伴读。与此同时，当年在紫金山与郭守敬同学的一班人，差不多都相继担任官职。不过郭守敬暂时还未进入仕途。他是个好学的人，这段时期，他潜心学术，积累知识，为以后的科研工作打下基础。

忽必烈总管漠南地区以来，曾两度驻在背靠沙漠的草原南缘，原金代桓州的东部。蒙哥汗 6 年（1256 年），忽必烈叫子聪在这一带踏勘地形，选定滦河上游龙冈的南侧，即现在正蓝旗境内敦达浩特东约 20 公里的闪电河北岸的一百零八庙营造宫室城廓，作为他的根椐地。3 年后，正当这首府建成的

时候，蒙哥汗于 9 年（1259 年）初秋攻打四川合川的战役中阵亡了。元军撤围北退，回到那时的都城和林（今蒙古人民共和国额尔德尼桑图附近鄂尔浑河上游西岸喀喇和林）。忽必烈也于年底从鄂州（湖北武昌）前线回师北返。第二年春天，军回龙冈，一场争夺皇位的斗争展开了。忽必烈在一些蒙古军事首领的支持和汉族地主士大夫的策划下，打破大汗应由贵族会议推选的蒙古传统，抢先自立为汗。接着他采纳了子聪的建议，下诏建立纪元称中统，并将龙冈驻地命名为开平府，作为都城；设立中央政权机构，称做中书省。他任命王文统为“平章政事”，张文谦为“左丞”，作为中央机关政权最高负责的官员。

没有多久，王、张二人渐渐发生了矛盾。正好这时忽必烈将我国北方地区分为十路，各设宣抚司，任命了一批宣抚使，作为地方政府机构的负责人。于是，张文谦被外放，以原官职兼任大名路与彰德路（今河北大名地区西部至河南安阳地区东部）宣抚司的宣抚使，转到地方上去了。张文谦是邢台南面 50 里的沙河人。他想起老朋友子聪和尚的学生郭守敬来了。于是，30 岁的郭守敬应邀，告别家乡，随同张文谦上任去了。那时候，忽必烈的军事力量主要用于漠北，同他的汗位争夺者阿里不哥和海都打内战，因此急需巩固他的漠南后方。大名、彰德一带人民虽然逐渐恢复定居，但赋税繁重，又逢天气干旱，生活极端困苦。郭守敬深知水利是恢复农业的根本问题之一，他认真察看大名、彰德地区河流水渠的分布，仔细估量地势地形，周密地考虑引哪条水，修哪些渠，计算着能够增加多少灌溉耕地，可以给农业生产带来多大的好处等等。经过实地考察，在他头脑中酝酿了一整套整治水利的地区规划和设想。

张文谦在大名等地工作不到一年，次年春天回京朝见忽必烈，由于当时王、张矛盾暂时缓和，便又被留下来担任左丞。

在大名、彰德路期间，郭守敬公务之余，并没有放弃他所擅长的天文仪器方面的研制工作。他本已弄懂了计时仪器莲花漏的原理，只是苦于没有力量仿制。现在他在宣抚司官署襄办重要事务，顶头上司又是深通天文历法的旧日师友，乘着这个机会，他就亲自动手，带领工匠，开炉熔铜，按照早年所见图样，浇铸了一套正规的铜漏壶，想给地方上使用。

中统三年（1262 年）春，张文谦向忽必烈推荐了郭守敬。忽必烈正在采取一些整治水利、鼓励农桑和发展经济的政策措施，急需要收罗各种人材，所以很快把郭守敬召到开平府接见。而郭守敬铸造的那套漏壶正好已完成，他给起名“宝山漏”，并把漏壶送到了燕京，献给元政府。因为这套计时仪器构造相当精巧，水的流动速度比较均匀，计量时间也比较准确，后来元代的司天台（即国家天文台）上也采用了漏壶作为计时的工具。

郭守敬进入元朝政府，最初被任命为提举诸路河渠，后来升任都水少监、都水监以至工部郎中，都是主管水利的。

郭守敬在开平府被召见的那天，他就向忽必烈谈起了华北平原的河渠灌溉情况和急需兴修的水利工程。他根据自己勘察的结果，针对当时农业生产的具体情况和经济上的需要，提出了六项治理建议，并详细地阐述了每一项建议中的工程方案及其效用。他提出：

一、燕京东面，金代原有一条运送粮米的漕运河，直通通州（今北京市通县），接连南北运河，但由于水浅淤塞，已不能行船。当时南方来的运粮船到了通州，得改用马车等将粮食送到燕京，路程有 50 里长。如果以燕京西

北玉泉山的泉水作水源，引到旧漕河，使之通船，一年可节省车运费用 60000 缗（m0n）。如果再从通州南面的蔺榆河口蒙村（今河北香河河西务东）拉直开凿一条运河，到杨村（今天津市西北武清），可以避免淤浅、远绕和风浪等各种不便。

二、将邢州城北的达治泉水引进城中，然后分成三条河道引出城东，可灌溉邢州东部一带农田。

三、邢州的沣河（今沙河）原东流至任城（今河北省任县东）的一段，故道淤塞，水流漫溢，淹没农田 1300 多顷。如果重新修复河道，不仅这一大片农田可以重新耕种，而且河流从小王村经滹沱河最后导入御河（今卫河一段），还可以通船，便利交通。

四、在磁州（今河北省磁县）东北滏水与漳水会合处，开引一条河道经由滏阳（为磁州州治所在地，即今磁县）、邯郸、洛州、永年再过鸡泽，使其流入沣河，就可以灌溉这个地区的 3000 多顷土地。

五、怀孟的沁河（今河南省的沁阳境内），虽然灌溉了两岸的农田，但还有多余的水流穿过土堰向东与丹河的余水相汇合。若开渠引水东流到武陟（今河南武陟隔河之南故城）之北，注入御河（今卫河），就能灌溉农田 3000 多顷。

六、在孟州（今河南省孟县）西面黄河北岸，引河水修一条水渠，先北流穿过新旧孟城之间再沿黄河北岸东下到温县重新流入黄河。这样，可以灌溉田地 3000 多顷。

郭守敬首次晋见忽必烈时提出的这些意见，除了有关解决燕京漕运问题外，主要都与华北平原如何增加农业生产和安定民生有关。这个地区是忽必烈当时重要的粮食供应基地之一，是他十分重视的地方。那时他正在实行子聪、姚枢、许衡等人提出的务农桑、兴学校、恢复经济、发展文化的政策。他听着郭守敬这些以实际出发的治理办法，非常满意。他当即任命郭守敬担任提举诸路河渠的职务，让他经办各地的河道水利事宜。

到了中统 5 年（1264 年），忽必烈更改年号为至元元年，中统和至元初年他陆续在行政管理机构等方面进行改革。如在地方设立“行中书省”，这是我国地方设省的开始。他命令子聪和尚还俗，恢复姓刘，更名刘秉忠，封给他封建社会的最高爵位“太保”，一同参与中央政府的中书省和枢密院的工作。元朝的政权机关在逐步强化和完备起来。

这年初夏的 5 月，忽必烈派蒙古人唆脱颜与郭守敬二人到西夏一起去视察河渠水道，还要求他们绘出地图向他们汇报。这一片原属西夏的地方，就是现在内蒙古自治区中西部至宁夏回族自治区北部和甘肃的中部，沿黄河上游的河套平原西半部一带，历来是西北重要的农耕地区。黄河两旁，早在汉、唐各代就开凿了许多河渠，引黄灌溉，单是干渠就有 12 条。最长的是黄河西岸中兴州（即今银川东南）的唐来渠，长达 400 里；其次是汉延渠，长有 250 里。大大小小的支渠总共有 68 条之多。这些渠道在河套西部构成一片水利网，灌溉着 90000 多顷的良田，是西北一个极为重要的产粮基地。但是常年的战乱，使土地荒废，渠道失修，河身淤浅，水坝水闸等设施都被破坏或倾废了，收成毫无保证，人民纷纷外出逃荒。

元朝政府规定，官员的正职都派蒙古人充任，汉人只任副职。虽然如此，唆脱颜与郭守敬来到西夏后，实际上是担任副使的郭守敬完成了考察工作。这年 8 月，元政府颁布了陕西、四川、西夏中兴等处新建行中书省的条格（办

事规则）。张文谦就在这时出任西夏行省行政长官，于是郭守敬就在张文谦的领导下，着手整治西夏古渠。采取了“因旧谋新”的方针，在故道的基础上设计规划，加以疏理修整。这项工程得到了广大人民群众的拥护。在当地人民的大力支持下，迅速动工了。在疏浚（j*n 疏通）古渠道的过程中，许多用来控制和调节水位与流量的水坝和水闸，坏了的重新设置，倒了的予以修复。另外还开挖了一些新渠道。没多少时间，几十条河渠都畅通无阻。这样，不过一年光景，这一带又呈现出一片生机勃勃的景象：渠水四达，稻麦丰收，恢复了这个灌区的旧貌。西夏人民衷心感谢郭守敬，特意在当地建立了一座生祠，来纪念他的功绩。得到老百姓的如此爱戴，是一种多大的荣誉啊！第二年，郭守敬回到中都，忽必烈升任他为都水少监，也就是掌管全国河渠、堤防、水利、桥梁、闸堰等事务的高级官员。

郭守敬从西夏回京的路上，为了调查考察各地的水利灌溉情况，曾特地率领随从人员，专程坐船，自中兴州沿着河套迂回地顺黄河而下。走了四天四夜，从中兴州一直航行到大同府所属的东胜（今内蒙古自治区托克托）。他肯定了这一段水路完全可以通航。这时，忽必烈派遣的调查黄河水程航运的官员，也到达东胜。听到这消息，他们赶忙派人飞马驰奔中都，向忽必烈汇报。从此，自富饶的粮仓河套地区运送粮食到中都，有长长一段路程能用船只运输了，大为省便。考察途中，郭守敬还发现东胜西边的查泊兀郎海（今内蒙古自治区乌梁素海）附近的许多古渠，均可重新修复，用以灌溉。他回到中都向忽必烈报告此行的经过时，亦谈到此事。忽必烈当即表示赞同。

郭守敬完成了修渠任务之后，便离开了西夏，在还京之前，他曾经逆流而上，探寻黄河的发源地，以往史书上虽然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，顺便探察，写下一些记载，并不是特意考察。以科学考察为目的，专程探求黄河真源的，要推郭守敬是第一人。很可惜，郭守敬探察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，其中有不少有价值的结果。毫无疑问，作为先驱的郭守敬对都实的考察是有很大影响的。

郭守敬西夏之行归来，除了提出关于河套北端的水利建议外，又提出了关于增辟中都水源这个问题。他说，金代曾在京西的麻峪村，开引泸沟河（今永定河，元代称浑河）水穿西山东出，称为金口。这支水流曾经灌溉了金口以东、中都以西迤北的许多良田，对京郊农业的发展，颇有好处。过去，有关官员唯恐出事情，就用大石块堵塞了。现在，如果把原来的河道加以开挖，那末，上游西山的物产就得以运来中都，下游的水流增大，可以便利漕运。不过，泸沟河的河水是非常难以控制的，它的含沙量大，春冬少雨的时候，容易沉积泥沙，而到夏季秋季洪水季节，水势汹涌，常会泛滥成灾，所以古来称为无定河。为此，郭守敬同时指出，应该在金口西岸预先开好一条溢洪道，先向西南再折而绕回到泸沟河中。并且还要开得深一些和宽一些，以防涨水时节大水横溢突然冲向中都。忽必烈听了认为很有道理，而且他恰正需要西山的木材来营造宫殿，于是就批准了。

这条河恢复之后，虽然引水解决漕运问题并无显著效益，但对西郊农田灌溉却颇起作用。所以几年后，宫殿都城虽已营建完成，建筑材料的运输锐减，但金口河仍维持不废。然而，永定河水灾的威胁毕竟是严酷的。30 多年后，到忽必烈的儿子铁穆耳大德 2 年（1298 年）时，山水大发，为害居民，

都水监就将金口以下的闸板闸住，使水不进金口河而向永定河下游泄去。大德 5 年（1301 年），郭守敬已 70 岁了，那年又是洪水暴发。他恐怕河水实在过大，阻拦不住，冲没金口河两旁的田舍，波及都城，又提请将金口河上部河身用砂石杂土全部堵塞。这条河一共使用了 35 年，起了一定的作用，到后来便废弃了。

郭守敬汇报了西夏之行的经过，接着又解决了河套一带的漕运通航问题，引起了忽必烈的注意。他对靠近蒙古族发祥地的这块重要地区自然不会不重视。至元 4 年（1267 年）秋天，便在从中兴路到东胜间数百里长的一段黄河上，新添设了 10 所水上驿站，使其接通原有的驿站，专办西夏到上都和中都的军政通讯事宜。就在这年，忽必烈为了巩固政权建设，命刘秉忠于中都故城西北郊，在原宫城之外兴工修建起一座规模巨大的新城。城内按照我国都市建设的传统原则，有计划地划定街区分布。经行工部尚书也迭山设计，宫室居中，前朝后市，道路横平竖直，犹如棋盘。这工程比营建上都还要浩大，前后延续了好多年，直至至元 11 年，忽必烈才正式坐上新完成的宫殿接受朝贺。而大都的城垣，要到至元 20 年（1283 年）发动侍卫军 10 000 人助修，方始竣工。这就是现今北京的前身。

至元 8 年（1271 年）时，忽必烈采纳刘秉忠的建议，仿前朝正式建立国号，“ 大元 ”。将中统年号改为“ 至元 ”。接着把正在建造的新都城改称大都，以前称中都。从此，中都和大都并称。也就在这年，郭守敬被任命为都水监，负责掌管全国河渠水利的经营治理工作。

至元 11 年，这时北方已经稳定。忽必烈在遣兵东征的同时，派太尉同知枢密院事的大将伯颜自襄樊南下，开始大举伐宋。年底占领鄂州。第二年年初，水陆并进沿长江东下，陆续攻下黄州（今湖北黄冈）、安庆、太平州（今安徽当涂）。他一面分兵西攻江陵，一面相继东进建康（今江苏南京）、镇江，并汇合华北南下人马，接连取得了长江南北各处重镇。7 月间，对峙在镇江、瓜州周遭的宋、元水陆主力大军，各以战舰万艘，围绕长江江心的焦山进行了一场空前的决战。最后，宋军大败，伯颜回京师述职，忽必烈升任他为中书右丞相，命他率领诸将继续南征，不使宋室有喘息的机会，直趋南宋都城临安（今浙江杭州）。

元朝向来重视驿站。这次伯颜为了便于就扬子江南北的军政大事与大都方面的联系，并取得华北平原对前方的军需供应，商议在原有陆路驿站之外，设立水路驿站，相互配合以提高通信和交通效能。他委派郭守敬去考察今河北、山东、江苏等地区的水道交通情况，确定水路交通路线。至元 12 年（1275 年），郭守敬经过必要的实地视察，定下了中原地区这样五条河渠干线：

一、自陵州（今山东济宁市）至大名（今河北大名东南），那里有马颊河及卫河通运河。

二、自济州（今山东济宁市）至沛县（今江苏沛县），又南至吕梁（在今江苏徐州东 28 公里废黄河北），那一段有山阳湖（今昭阳湖），在运河旁，并和微山湖相接。

三、自东平（今山东东平）至纲城。

四、自东平至清河（故址在今山东东平西北黄河之南），向北越过黄河故道，接御河。

五、自卫州（今河南辉县）通御河至东平，又自东平西南的梁山泊再回通到御河。

于是，大都南方，华北平原的中心，及其四周一大片地区与御河及大运河连接成水道交通网，由郭守敬筹划描绘下来上报。最后由伯颜呈准忽必烈，决定西起卫州，中以东平为枢纽，东连鲁中、南，南迄徐州，吕梁的黄河下游，北接运河直到杨村，建立水驿。这在相当程度上便利了元朝中央政府的指挥联系和军事运输，加强了伯颜南下攻宋的力量。

此后不久，都水监并到工部，郭守敬随之转入工部改任郎中官职，仍旧负责河工水利。尔后，他还对黄河中游地区的地形以及京汴沿途的大地水平进行了测量，这段时间，他在工作中的成绩是很突出的。

长期负责河工水利，使郭守敬思想中逐渐形成了一个地形相对高度的概念。测量地形高低需要一个基准，以作比较。郭守敬根据他所得的资料，曾经以大都东边的海平面为基准，将大都的水平高度与海平面作了比较。他进而又将大都至开封一线上的逐段与海平面作了比较。他所做的，确是一项重大而紧要的大地水平测量工作。他得出的结论是：开封离海很远，高程差的较多，致水湍急；大都距海极近，高程相差甚小，故水流缓慢，这是我国首次创设了用海平面以上的标高来表达地形高低的办法，在地理学与测量学上有重要的意义，即使在世界上亦远比西方早多了。

三、创制仪器观天文

我国是天文学很发达的国家之一。西汉以后，国家天文台的组织和设备已达到相当完善的地步。它的主要任务之一是编制历法。我国的古代历法，内容是十分广泛的。它包括日月运动及其位置的推算、逐年的日历编制、五大行星位置的预报、日食、月食的推算等等。历法关系到生产、生活甚至政治活动等很多方面。因此，对这项工作历来都是相当重视的。一种历法用久了，误差就会逐渐显著，因而需要重新修改。跟着每次重大历法的修改，总会带来一些创造革新的进步，象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。历法的发展可以说是中国天文学发展史上的一条主线。

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 20 年）修正颁行的。几十年来误差积累日渐显著，发生过好几次预测与实际天象不符的事。再一次重修是迫切需要的事了。

元世祖迁都大都（今北京），采纳了已死大臣刘秉忠的建议，决定改定旧历，颁行元王朝自己的历法。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。

忽必烈把建立太史局的具体工作，交给了当时负责教育工作的王恂，王恂认为当时的治历人员都只知编历的方法，不明制历的原理，在他的建议下，元政府把已告老回乡的许衡召回来，主持改历工作。为了郑重其事，又派昭文馆大学士张文谦，总管改历工作。郭守敬虽然在水利部门任职，但他精通天文历算，早已众所周知，在老同学王恂的推举下，忽必烈将郭守敬抽调出来，到太史局与王恂一起主办改历事宜。从此，在郭守敬的科学活动史上又揭开了新的一章，使他在天文学领域里有机会发挥出高度的智慧和才能。

治历一开始，郭守敬首先指出：“历之本在于测验，而测验之器莫先仪表”。就是说治历的根本在于实际观测，观测要有工具，就得先准备适用的仪表。这同许衡的见解是一致的。郭守敬首先与许衡到大都南城外金朝时期

的司天台，检查那里的仪器设备。其中浑仪还是北宋时代的东西，是当年金兵攻入北宋的京城汴京（今河南开封）以后，从那里搬运燕京来的。这台浑仪当年远道颠沛，在转运途中免不了有些损伤，加上长期放置，更是环圈锈结，转动不灵。而且，这座浑仪原是在开封使用的，仪器的北极出地高度是当时所测得的地理纬度 35 度。大都的地理纬度比开封高得多。金朝将这座仪器运到中都后，并没有把仪器指向天球南北极方向的轴的位置很好加以调整。如果仍使用这座旧浑仪，测得的数据自然不会准确。郭守敬通过夜晚的观测来检验这座浑仪，查得其南北极轴的方向，与天球北极差了大约四度。按地理位置，中都与开封的北极出地高度，相差应有五度多，可见仪器已经走了样。郭守敬就把它加以改造，暂时使用。台上的圭表也由于年久失修，变得倾侧歪斜，不成样子。使用这样的仪器，怎样测得制历所需的大量天文数据呢？郭守敬对这些旧仪器一件件做了仔细的检查，并加以必要的校正和修复。经过一番修整之后，必需的测量工作，总算可以进行了。但是，在实际观测中，郭守敬感到这些陈旧的仪器操作起来很不方便，存在着好些不足之处，测量的精度又很不准，不能满足他的严格要求。他对浑仪原是颇有研究的，年少时还亲自做过一架竹篾扎的浑天仪。在对旧仪器的缺点作了深入的分析之后，他下决心按照自己的理想重新设计和制造新的天文仪器。以适应实际观测的需要。那时郭守敬已经 46 岁了，职位也相当高了，可是他依旧象以前那样，积极从事实际具体工作。在许衡的赞助下，他殚精竭虑设计出一件又一件新仪器，太史局又招进了一批技术优秀的工匠，以便进行冶铸和制作。

自古以来，人们就注意到冬至那天，太阳在南天的位置最低，正午时投射在地面上的影子也最长。人们根据冬至前后影子的长短来定出冬至的日子和时刻，而测太阳影长的仪器就是圭表。它是我国最古老也是最简单的天文仪器之一。“表”并不是我们现在用的钟表，而是一根直立的铜制标竿。早先曾用过木竿，更原始的还有采用石柱的。“圭”是从表跟向北方延伸的一条石板，上面有着读数用的刻度，实际上是一条正南北方向的长尺。它是以古代早期量地以及夏至日正午日影用的尺演变而来的，古代称之为土圭。每天正午，当太阳走到天空正南方时，表的影子刚好落在圭面上。一年中，日影最长的那天是冬至，日影最短的那天是夏至。多少年来，我们的历算家就是从仔细测量冬至与夏至前后若干天的日影长短变化，推算出每年冬至与夏至的准确时刻。接连测量若干年的冬至时刻，就可算出一年的回归长度。回归年就是太阳从天上的冬至点（或春分点）运行到下一年冬至点（或春分点）所需的时间。用圭表测量的日影长度，说起来简单，做起来却不那么容易。要得到比较精确的数据，也不那么简单。

首先是表影边缘不那么清晰。阴影越靠近边缘越淡，到底什么地方才是影子的尽头，这条界线很难分清楚。影子的边界不清楚，影子就量不准确。

使用圭表时的第二个难题就是测量影长的技术不够精密。古代量长度的尺只能量到分，往下可以估计到厘，即 1/10 分。按照千年来的测量方法，测定冬至时刻表影的长，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。这个误差是很大的。

还有，旧圭表只能观测日影。星、月光弱，旧圭表就不能观测星影和月影。

郭守敬凭着他深厚的数学基础与渊博的科学知识，仔细探讨了前人的成

果，深入思考了这些问题。他一边使用传统的圭表进行观测，一边在实践中摸索改进其不足之处。他终于取得了成功。

为了解决误差大这个问题，他首先想办法把圭表的表竿加高到五倍于原来的高度，因而观测的表影也加高到五倍于原来的高度，因而观测的表影也加长到五倍。表影加长了，按比例推算各个节气的误差就大大减少了。

其次，他创造了一个叫“景符”的仪器，使照在圭表上的日光通过一个小孔，再照射到圭面上，这样，阴影的边缘就很清楚，可以量取准确的影长，比以前测量的结果又增加了两位有效数字，因而他的工作是极为精密的。

郭守敬的圭表改进工作大概完成于 1277 年，这年冬天已由它来观测日影。因观测的急需，最初的表竿是木制的，后来才攻成用金属制的。可惜，这座圭表已毁灭，我们已无法再看到它了。幸而现在河南省登丰县还保存着一座砖石结构的观星台，其主要部分是郭守敬制造的圭表。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 多丈的圭面。当地人给这圭表起了一个很豪迈的名字，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和发明！下面就谈一谈他对浑仪的改进。

早在战国时代，我国便已有了自己的测天仪器——浑仪。浑仪也叫浑天仪，是由 7、8 层环圈套叠起来的一种大型仪器，形状象征着天球。天球是什么东西呢？当人们抬头观看四周天空时，天穹似半个圆球覆盖着大地，地平线下似乎还有半个圆球。太阳和月亮好象在这个圆球上东升，西落，并且不断地在星空背影上交换着位置，星星也好似是缀附在这个圆球面上转动。这种从视觉反映出来的表面现象，并不代表着实际运动。为了便于记录、计算和探讨天体运行的现象，就把这天穹叫天球，实际上是不存在的。浑仪便是模拟天球的测天仪器。仪器上的各个环，有的代表地平线和南北子午线，有的代表着赤道和黄道等等。仪器中心有轴，两头指向天球的北极和南极。这些环，有些是固定的，有些则能转动。有的环上刻有刻度、时刻或方位。最里面的一道叫四游环，能围绕南北极的枢轴旋转。双环中间夹着一根空长管，外方内圆，能在环缝之间转动，叫做窥管。窥管犹如近代的天文台上的望远镜，只是没有透镜罢了。若是东西转动四游环，同时南北向转动窥管，能从窥管中瞄准天球上的任何一点，随便观测哪个天体。

浑仪的作用虽大，却美中不足。用它进行观测，主要靠那根窥管和四游环。然而，这内环之外，还有 6、7 道重重套叠围箍着的外环！外层几道环称为 6 合仪，中层几道环称为三辰仪，最里面的四游环亦叫四游仪。这些环都有 1、2 寸的宽度。人在窥管下好端端地观测时，常常发现要瞄准的天体被一道环挡住了，实在不方便。有时，会把一个难得的或很巧的观测机会错过去，那是很遗憾的。这种仪器自发明以来，由简单趋向复杂，已经有着大约 16 个世纪之久。郭守敬根据自己的实际观测经验，针对浑仪的不足之处做了大胆的革新创造。

郭守敬改造浑仪的主要想法是简化结构。他把这些重重叠叠套装的圆环省去一些，以免互相掩蔽，阻碍观测。那时候已发明了球面三角法的计算，有些星体的运行位置可以从数学计算求得，不必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得以实现。

郭守敬只保留了浑仪中最主要也是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，改成另一独立的仪器；把其它圆环完全取消。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完全撤除，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的圆环系统。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，又实用，又简单，所以取名叫“简仪”。简仪的这种结构，同现代称为“夹图式望远镜”的结构基本上是一致的。在欧洲，象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化也空前精细。以往的仪器只能读到一度的 1/4，这简仪却可读到一度的 1/36，精度一下子提高了好多。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）中任职的一个法国教士纪理安拿去当废铜销毁了。

郭守敬用这架简仪作了许多精密的观测，其中的两项对新历的编纂具有重要的意义。

一项是黄道和赤道的交角的测定。赤道是指天球的赤道。地球是悬在空的天球之内，设想地球的赤道面向四周伸展出去，和天球的边缘相割，割成一个大圆圈，这个大圆圈就是天球的赤道。黄道是指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。这个数值从汉代以来一直认为是 24°，1000 多年来，始终没有人怀疑过。实际上这个交角年年都在不断地减少，只是每年减少的数值很小，只有半秒，短期时间察觉不到罢了。可是变化虽小，积累了一千多年也会显出影响来的。黄、赤交角的数值的精确与否，对其它计算结果的准确与否很有影响。因此，郭守敬首先对这沿用了千年的数据进行了检查。果然，经过他实际测定，当时的黄、赤交角只有二十三度九十分。这是用古代角度制算出的数值。根据现代天文学理论的推算，当时的这个交角实际上应该是 23°31′58″。郭守敬测量的角度实际上只有 1′25″.3 的误差。不过，这样的观测，在郭守敬当时的时代，是很难能可贵的。

另一项观测就是 28 宿距度的测定。我国古代在测量 28 宿各个星座的距离时，要用一颗星作为标志，这颗星称为“距星”。因为要用距星作为标志，所以距星本身的位置一定要定得很精确。从这一颗距星到下一颗距星之间相距度数叫“距度”。这距度可以决定这两颗星之间的相对位置。28 宿的距度，从汉朝到北宋，一共进行过五次测量。它们的精度是逐次提高的。最后一次是在宋徽宗崇宁年间（1102—1106 年）进行观测的，这 28 距度数值的误差平均为 0°.15′，到郭守敬时，经他测定的数据，误差平均值只有 4′.5，比崇宁年间观测的误差降低了一半。这是一个了不起的成就。

为了测定制历所需的天文数据和以后进行经常性的天文观测并充实司天台的设备，光依靠简仪和高表，还是不够的。在许衡的帮助下，从至元 13 年（1276 年）起到至元 16 年（1279 年）的这 3 年中，郭守敬一共设计制作了大大小小 10 多种天文仪器。据记载，除以上两件外，还有：候极仪、浑天象、玲珑仪、仰仪、立运仪、证理仪、景符、窥几、日月食仪、星晷、定时仪、正方案、丸表、悬正仪和座正仪等许多件。这些仪器有的还留下了一些较详细的关于其结构、形态与作用的记述，至今可想见其当时的功效和创造的匠心，但也有些不知其究竟了。除了仪器之外，郭守敬还复制了仰规复矩图、异方浑盖图和日出入永短图等一批天文图，辅助仪器的使用，使操作人

员得以与实测结果相印证。由于元代禁止民间学习和藏有天文典籍，这些天文图也未能流传下来。现在我们再介绍一下一种较为重要的仪器。

“仰仪”，是个铜制的中空半球，形状象一口仰天放着的锅。半球的口上刻着东西南北方向。半球上面刻着与观测地纬度相应的纵横线网格。半球口上用一纵一横的两根竿子架着一块小板，板上开一小圆孔，孔的位置正好在在半球的球心上。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，立刻就可读出太阳在天球上的位置。人们可以避免用眼睛逼视那亮度极高的太阳本身，就能确定太阳的位置，这是很巧妙的。更妙的是在发生日食时，仰仪面上的日象也发生相应的亏缺现象。这样，从仰仪就可直接测出日食的方向，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公元 11 世纪时就已经利用日光通过小孔成象的办法来观测日食的亏缺，但他们只是利用一块有洞的板子来观测，帮助测定各种食象的时刻罢了，还没有象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合作，在大都兴建了一座新的天文台，台上就装备着郭守敬所创造的那些仪器。这座天文台是当时世界上最完善的天文台之一。

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

经过王恂、郭守敬等人的共同努力，到 1280 年（元世祖至元 17 年）春天，一部新的历法宣告完成，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、数表还都是一堆草稿，不曾整理。几个参加编历的主要人员，退休的退休，病逝的病逝，于是最后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》。

在《授时历》里，有许多革新和创造。第一，废除了过去许多不合理不必要的计算。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，改用十进制小数等。第二，创立了几种新的算法，例如插入法及球面三角法则等。第三，总结了前人的成果，使用了一些较为进步的数据，例如采用南宋杨忠辅所定的回归年，以一年为 365.2425 日，与现行的公历的一年时间完全一致。《授时历》是 1281 年颁行的；现行的公历却是 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，对后人来说是很有意义的。

王恂去世不久，郭守敬升为太史令。在以后的几年间，他又继续进行了天文观测，并陆续地把自己制造的天文仪器、观测天象的经验和结果等编写成为宝贵的书籍。他的天文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工作，却并不愿把真正的科学知识流传到民间去，就把郭守敬的天文著作统统锁在了深宫秘府中。那些科学遗产几乎全都被埋没了，这是多么令人痛惜的事！

四、设计制造“七宝灯漏”

《授时历》完成，以及大量有关新历的资料整理结束，这已是至元后期了。也就是到了忽必烈晚年时期，此时，朝政腐败，民不聊生，暴动和起义相继而起。在这种形势下，太史院和司天台的业务当然难于继续有所做为，只是奉行着逐年编历与日常观测的例行公事。但是，郭守敬具有多方面的才能，除了当时政府又要他参与都城的水利工程外，他还在机械制造和机械传动装置等方面下功夫，特别是在同天文学有密切联系的计时仪器制造上，进行了辛勤的工作。虽然这里也有继承前人的创造，但是它们也反映出中世纪时代我国机械制造的水平。

这时期，郭守敬制作过一座“七宝灯漏”。那是一座时钟。虽然主要是为了取悦于元世祖忽必烈，给其享乐的生活添加一件富丽堂皇的摆设，但它的构造确是不简单的。

这“七宝灯漏”，实际上是一架原动力为水力的精密的机械时钟。整个灯漏高 1 丈 7 尺，约 5.3 米。它的主体是一个大“灯球”，内部分成 4 层，各起各的作用。

顶部最高一层内，四方环列着“四神”，即代表日、月以及天上列宿中在天球上相差半周的参宿与辰宿。它每天自东向西转动一周，表示天体在做周日运动。第三层，按东、西、南、北方向布置着苍龙、白虎、朱鸟、灵龟，即代表 28 宿的四象的活动模型。它们按一定的时刻跳跃，舞蹈和鸣叫，与周日旋转运动相呼应。第二层四周刻有每日一百刻度的度数，又团团排列着代表 12 时辰的木制“12 神”。每神手中各执一块写明时辰名称的“时牌”，按时在一定门口出现，报告那时正是什么时辰。另外再有一个木人，立在门口，一直用手指明着刻数；当时是何时何刻一望便知。底层四角又是四个各执乐器的木人。每个时辰分“初”和“正”两段，每段各有四刻。这一层的木人，逢初刻鸣钟，到二刻打鼓，至三刻敲锣；最末四刻时击铙钹。一般说，在日常生活中，白天六辰还较容易区分，而每辰再细分的八刻则往往吃不准。以时牌报时，配以不同的声响报刻，这样巧妙的一具时钟，确是相当完美。

灯漏的动力装备，是一组水力机械。用水车注入水壶，通过类似漏壶的一组水箱，使一个水位恒定的漏壶中的水均匀地流出，依次冲击激动一个枢轮。枢轮旁边装有一套轮轴装置。利用凸轮机构与齿轮系统，使轮轴传动装置的一重重机轮带动灯球内四层中不同的物象，作出不同的反应。尤其是第三层内的四象模型，能按时鸣叫与舞跃，这是前所未曾有过的。

毫无疑问，机械传动装置内装有控制速度的擒纵器，使走速均匀，计时准确；并且还装有相当复杂的凸轮机构和齿轮系统，以带动这一整套的传动装置。

灯球上面，有一道“中梁”；中梁之上还设有一道“曲梁”。

曲梁上面刻有水槽，用以定水准。中部安设“云珠”一颗。左右两旁，分别布置“日球”与“月球”各一颗。曲梁两端用龙首作装饰，梁摆动时，能够口吻张开，目珠转动，好似凝视着曲梁架上的水平位置是否左右平准。云珠下面另挂一颗“大珠”，位于其下的中梁上左右盘旋着两条龙，成双龙戏珠之象。两龙又能随大珠的摇摆而俯仰转动，好象是在昂首察看水槽内的水是否平均稳定。这两根梁，两个龙头和两条龙都非为了单纯装潢而虚饰的，

而是供校正这座水力机械时钟的水平状态之用的。它好象具有自动反映校正水平的工作过程的性能。

“七宝灯漏”框架用的材料是以金子为主要成份的合金。灯球的四面都点缀着各种珠宝与金银饰物，华丽非凡。忽必烈得到它，非常高兴，将它安放在皇宫正殿大明殿上，因而又称为“大明灯漏”。元代，每逢皇帝即位、元旦朝贺、生日祝寿，册立皇后或太子，诸王与外国使节来朝及其它重大庆典，都在大明殿举行仪式。最高封建统治者，就是用点燃这座辉煌的灯漏来烘托那盛大典礼气氛的。

这种水力传动的机械装置，创始于 2 世纪前半期的张衡。经过唐代较多的改进，11 世纪末，北宋苏颂，韩公廉等人曾制造过一座雄伟高大的水运仪象台，高近 12 米。它上层安装浑仪，中层设浑象，底层有一座五层木阁，通过水力传动机构，能自动报时、报刻和夜漏更等，并能摇玲、扣钟、击鼓、打锣，以声响报道时刻。七宝灯漏，自然是承唐宋旧制而作，它基本上同水运仪象台下部木阁内的计时机制相同。可是，北宋复灭以来，南宋初年在临安考虑重作一座时，已无人能理解苏、韩二人的构造原理，也没有人能够看懂苏颂的遗著。苏、韩原器在金初迁燕京后早已毁损。郭守敬能重新制造出来，还增添新的内容，这是不简单的。况且，比欧洲 1386 年方出现的第一台机械时钟，终究还要早一个世纪。不难看出，郭守敬确实具有卓越的才能，对数学和机械学都有着深厚的基础。

这段时期，郭守敬还试制过木牛和流马，进呈给忽必烈。凡看过小说《三国演义》的，都知道诸葛亮六出祁山伐魏的末期，曾制造过木牛、流马的故事。据史书记载，诸葛亮于蜀汉建兴 9 年（231 年）第五次出兵时，开始以木牛试作运输工具，下一年制造更多的流马和木牛。至建兴 12 年（234 年）他去世那年，第六次再出祁山，在艰险难行的栈道上使用大量木牛、流马，运送粮草及军用器材。但是这种木牛、流马的形状到底是怎样的？它的构造和性能又如何？却一向缺乏详细的记述。宋代，曾有人阐释道，木牛就是前面有两条车杠的小车子，流马即独轮推车。因为蜀道的山路崎岖险阻，大车难行，用这类小车子运粮，行动反倒便捷灵活，易于控制掌握。郭守敬进献的木牛流马，当时看到的人说，它们“虽不尽得诸葛旧制，亦自机妙”，使用起来甚为灵巧方便吧！

时光流逝，至元年间的末期，郭守敬已经六十岁左右了。回顾他的壮年时代，他曾在河工水利上作出过一番成就；中年以后，相当一段时间内，又在天文历法与仪器制造上做出了划时代的贡献。授时历的制订工作告一段落后，在负责太史院日常业务之外，他的精力又投入到大都城市建设的水道工程方面。这工作，即使到今天，仍有一定的参考价值。

五、让船舶驶入大都城

大都的城市变迁，亦有一段历史。早在金朝初期，金主完颜亮贞元元年（1153 年）从上京会宁府（今黑龙江阿城之南白城）迁来燕京，作为首都，称为中都大兴府。北方蒙古族进入中原，忽必烈于中统元年 12 月曾进驻燕京的近郊，以后又在燕京“分立省部”，并于至元元年改燕京为中都，在旧城东北陆续营建新都。至元 4 年，正式迁都新城；至元 9 年，又改中都为大都。大都的规模宏大，名副其实地成为全国政治、经济的中心。但美中不足的是，

它的水源问题一直未得到彻底的解决。

金朝的中都故址，原是古代蓟城；那时是将辽代的南京析津府加以扩建而成。金建都后，封建统治阶级为了满足其生活享受，于建造宫苑园林时，曾考虑到用水的需要。同时，为了维持其宠大的统治机构，每年要从它统治的华北平原地区输送粮食到京师，水运问题也得认真考虑。北京地区在地理构造上三面环山，犹如海湾，称为北京湾。它的地形，从西部山区逐渐向东倾斜下降。地区的降水量甚是充沛，可又缺少天然的大河和湖泊，所以地下渗积水颇为丰富，而地面上却缺乏适当的水系可资利用。

金代，曾把今莲花河水通入凉水河的中间一段，截引入城，历经宫苑园囿之间，解决了皇宫的用水问题。但皇室贵族的挥霍，封建统治机构的开支与军队的维持，主要都靠搜括的粮食。每年许多万吨粮食，车载船运，输送进京，在当时的条件下，当然唯有水运最称省便。可是，从南方来的粮食，即古代称为漕粮或漕米的，其水路运输——称为漕运，只能到达潞县（通州）。因为从地形来看，通州以南，靠华北水系可以把粮食集中到今天津附近；天津到通州一段，已是逆流而上了。再从通州到中都，路程虽不太长，仅有 50 里，却根本没有天然河道。况且中都的地势，相对说比通州大约高出 20 米，平均有将近 1‰的坡度。这坡度又不太匀称，有的地方坡势较平缓，有的处所又较陡峭。如果开凿一条人工运河，潞水的水是无法倒引上流的。

金大定 10 年（1170 年）曾有人从梁山（今石景山）北面麻峪村凿开芦沟河东岸，挖出一条人工河，引到中都城北的护城河，再向东注入通州城东的潞河（今白河），但开成以后，由于“地势高峻，水性浑浊”，激流冲毁堤岸，泥沙淤塞河床，终于毫无用处。郭守敬曾在中统 3 年和至元 2 年曾两次提出整治方案，想加以复活的正是这条废河；可惜均没有达到预期的效果。

当时中都北面有个小湖，地有潜流导致涌泉，它就是现今紫竹院公园中那个湖泊。从那里发源引出一条小河，名叫高梁河。古代高梁河流经中都东北郊一带的湖泊，即今积水潭同什刹海，又东南向注入今凉水河中游。金初，就曾在中都城北护城河处开凿一条河渠，直往通州潞水上游，大抵在今北运河尽端接连温榆河处。它的水源则是拦截高梁河水而来。高梁河南段就在这个时候断流。这条古高梁河，有些地方现在还留有残迹。例如，今日北京西直门北面的河上有一座高梁桥，桥北的道路叫高梁桥路。从桥下到紫竹院公园的一段河流，现在称南长河的，就是古时的高梁河。还有，从左安门向东南，经十里河而南，若隐若现地依稀有一条大约 40 米宽的河床故道，大致即古高梁河下游断流后的遗迹。

高梁河水来源有限，难以供给开河渠所需的流量。于是有人把脑筋动到小湖西北 15 里的一座小山脚下另一个小湖泊。这小山就是现在万寿山，山下小湖即是今昆明湖的前身。在金代，这小山和小湖叫什么，现已不为人所知，仅知到元代，被称为瓮山和瓮山泊。湖西二里还有玉泉山。这些山的山脚下都有泉水，一起汇入这个小湖。它在那时还未经开浚，湖面比现今要小得多。大体就在金代这个时候，在这小湖与紫竹院之间，穿过今万泉庄东南的一片高地，用人工开辟了一条引水渠道，将玉泉山附近的一带泉水，引入了紫竹院小湖。这即为今昆明湖通向紫竹院的长河。它增添了高梁河的水源，增加了新开河渠的水量，使之畅流到通州。由于沿河一路设闸，当时人们就将这条河称做“闸河”。这大概是在金迁都来燕京不久的天德年间（1149—1152）前后一段时期。可是即使这样，对于漕运来说，水量还嫌不足。再有，自通

州而上，地峻而水不留，其势易浅，不免时有淤阻，船不能行驶，十多年后，金世宗大定年间（1161—1190 年），这条河就湮塞不通了。于是只好改用车运，从陆路送粮到中都。

又过了 30 余年，已是金章宗泰和年间（1201—1208 年），13 世纪初了，又有人重新开挖疏通这条运河，用以通船。在金室避蒙古兵进迫而再迁都到汴京开封之前的短短 10 年中，又恢复了水运。水量不足终是一个关键问题，再加逆水行舟，一路过闸，虽然通航，粮船抵通州后，要花十几天的时间才能返回京城。平均每天，船只能行驶三里多一点，还须征发大量民夫沿岸拉纤，其艰苦也是不难想象的。随着金室于贞祐 2 年（1214 年）南迁，不久，蒙古军攻下中都，燕京废置，漕运停止，闸河又告堵塞。

半个世纪后，到了至元 26 年（1289 年），大都的城郭，宫室和园沼等建设，都已接近完成。因为新城移到了中都东北，莲花池附近的水，已退到城外，宫廷用水，改由金大宁宫旁边的积水潭来供应。那时的积水潭，比今日的积水潭加什刹海还要大许多。当时还曾开浚扩大湖面，起造琼华岛，形成了今北海与中南海的前身，并仿汉唐旧制，起名叫做太液池，建设了一片宫苑园林。新兴建的皇城，就是以这片园林为基点，规划经营而成。这一来高梁河也被圈入城内。

京都内居住的人口相当多，加上大批贵族、官员和吏卒等，需要消费大量的粮食。中统年间（1260—1263 年）及至元初期，漕运数量不多，矛盾还不太突出，但已经是个问题了。

原来，新城兴筑以来，以积水潭到太液池大片的水，很需充足的水源。斜穿城中的高梁河，虽主要是为了满足皇宫用水，同时也担负着城市居民日常生活用水的供应，当然显得紧张。那时曾开挖过一条起自玉泉山麓、从西直门南水门引入城内的专用河渠。这条河在城中的那段，现在虽然已不复存在，但 1965 年时，通过钻探，发现它在城内系经过一条弯曲的路线，在皇城西南角通过护城河，再引入太液池与皇城的南部。这条河叫金水河，专供皇宫使用，金水桥的名字恐怕与此有关。现在从玉泉山流经昆明湖南面注入长河的一段河道，还保留着旧名，叫“ 金河 ”，就是它的故迹。再往南一段已经泯灭无痕了。天安门前的外金水河是它的延伸，也是沿用旧称。这么一来，高梁河上游在紫竹院北一段的金新开河，水源便减少很多，并由此影响到下游的水量。这就是为什么有前述郭守敬两个整治方案的提出了。

全国统一后，元代的版图和统治机构都远比金朝大许多，对漕粮的依赖，也远超前代。史籍记载说：大都“ 百司庶府之繁，卫士编民之众，无不仰给于江南 ”。至元中期以后，每年粮食需用量以数 10 万石激增至 100 数 10 万石。至元 27 年（1290 年）竟高达 159 万余石。为此而造的船也越来越多，甚至有一次造 3000 艘。这些粮食基本上都是从江南浙西路（今长江，钱塘江三角洲一带）等地经海运或经隋代开凿的南运河连接到北运河运来大都的。为了河运方便，还在今山东、河北开了不少新渠。象最大的会通河，从须城、寿张、东昌到临清，再转入御河，规模相当大。至元 20 年（1283 年）开始在上海造船，从平江（今江苏省苏州）的刘家港（今江苏太仓浏河）海运到渤海湾的直沽（今天津市内海河上狮子林桥西端旧三汊口附近），再转往通州。海运比较便捷，运输量不断上升。至元 25 年（1288 年），甚至分成两个漕运司机构，一个管河运，一个管海运。但一到通州集中后，就得沿用金代中期的老办法，起岸装车，从旱路运入京城。每年要运输那么多粮食，前

面曾说起过，需要配备大量的车辆、牲畜和夫役，而秋季阴雨连绵之时，古代的路上更是泥泞难行，因此，驴马倒毙，役夫病亡，费用太大。而且，粮食却还总是难于及时送进都城，粮食供应不足，带来好多问题。矛盾这样尖锐，除了浚治南北大运河并扩充海运外，如何妥善解决从通州到大都这 50 里的运输，便是一个至关重要而且极其突出的问题了。至元 17 年（1280 年）2 月，就当新历初稿完成时，元世祖忽必烈曾发 3000 侍卫军亲自去疏通旧运河粮道，试图使旧道通航，这说明粮运问题很严重，而忽必烈又是非常的重视，这事已牵涉到封建统治阶级的命脉，所以至元 28 年（1291 年）又被提到议事日程上来了。

这次的契机，倒是为了上都开平府的供粮而引起的。忽必烈虽建设了大都，每年仍有一定的时间去到他的老根据地上都，住上一段时间。主要是为避暑，往往“ 4 月行幸，9 月始还 ”。这时的上都，“ 北控沙漠，南屏燕蓟 ”，既是北部政治、经济、文化中心，又是内地通往大漠的岭北行省的交通枢纽。当时，城郭宫室，早已建就，礼仪制度，亦都颁定。它不但有整套的衙署军戍，繁盛的商肆作坊，而且忽必烈每次到来，还要带上一大批随从官员。元初，官员并无俸禄，中统年间（1260—1263 年）逐步定了百官工薪制度以来，到至元 22、23 两年，又重新颁布了一套俸给条件。大小官员每月发给钞票若干贯及禄米若干石。例如都水监这种中级官员，月俸就定为银 2 锭 25 两（1 锭为 50 两），发钞 53 贯（两贯相当于 1 两白银），米六石。除了大量军士如宿卫、扈从、看守、巡逻等等以及当地镇戍军以外，还有为数众多的被征发役使的民夫工匠，食用耗费实在大得可观。据留传下来的记录，仅维持工匠微薄伙食的粮米一项，一年就需 15200 余石。何况上都又是一个大转运站。自中原向漠北输送的粮食、日用品等物资，都要先集运到上都。其中米粮一项，数量亦以万石计。

至元 28 年（1291 年），忽必烈正考虑如何解决从大都转运粮食到上都时，有人分别提出了两个不同的办法。一是想从永平（今河北卢龙）沿着滦河拉牵挽舟，一路逾越山岭高地，溯流而上，直达上都。另一个则认为从芦沟河位于石景山的西北部的麻峪村地方起，可以循河辗转通向接近上都的荨麻林。他们说的似乎有道理，忽必烈就命他们各自亲去踏勘一番，看看究竟如何。他又想到了精通水利的郭守敬，命他就近参加第二条线路的勘定。

关于第一条线路，由上都路总管姚演率领员工疏浚浚河，造船试航。他们只行驶到半途，就发觉河道确实无法通航，只好作罢。至于第二条路线，郭守敬他们乘坐的船只，行了一程被河中的砂石滩所阻，亦通不过去。于是他们都回道来到上都汇报，两种方案都行不通只好放弃。这次郭守敬偕行到上都，他已经 61 岁了。见了忽必烈，凭着他的见识和对水利事业的关注，他对如何兴办水利，另外提出了 11 个工程项目。其中主要的一项，就是关于那时最伤脑筋的打通通州到大都的粮运河工程。郭守敬在大都已工作了将近 30 年了，关于地理，水文情况自然更加熟悉和清楚了。在总结前两次失败的经验教训的基础上，经过多年的深思熟虑与实地勘测，他又提出了一个新的更周密的规划。

他的设想是这样的：离大都不远，昌平县东南的神山（今凤凰山）脚下，有较大的泉水，名叫白浮泉（今龙泉）。把这股泉水先引向西流，沿西山东麓折而向南，汇入瓮山泊。再从瓮山泊出发经原有的高梁河上游（今长河），从义和门（今西直门）北的西城墙下流进大都城，蓄入积水潭，尔后再从积

水潭引水南流，沿皇城东城墙出南水门，注入已废弃的金代运粮闸河，一直东下流往通州。地势相差过大的地方，可以设闸门调节。这样，一条新整修的河道就可与原有水系联接起来，南来的粮船就能直抵大都城了。

正在着急的忽必烈看了郭守敬的奏章，大为高兴，说：这事应该赶快办起来！于是这年 12 月重新设立了都水监机构。规定它执掌“治河渠并堤防、水利、桥梁、闸堰之事”。早年的都水监只有六名主要官员，这时扩大为八名，高源任都水监。次年正月初，忽必烈又派郭守敬以太史令原职，兼职主管都水监事务。治河工程开工那天，忽必烈为了突出他对浚治运粮河工程的重视，特地命令自丞相以下的所有百官统统都到工地去参加劳动，作为倡导。这些高官厚禄的人，对治河工程和劳动，原是什么也不懂，因此，忽必烈又规定一个个都要听郭守敬的指挥调度。由此可见这次工程对元朝封建统治的重要性，以及郭守敬在河工水利方面权威性了。

这次重新整治运粮河，从水源的开导到河床、闸坝的浚挖、设置，整个工程的经过大致犹如下述：

首先针对原由高梁河引入闸河的水量不敷航运所需，必须另找较丰沛的新水源这一关键，郭守敬在沿西山一带的天然泉水水源中，找到了大都西北相距六十里的昌平县东南白浮村神山脚下的白浮泉，水量比较充足。新水源找到后，他在规划中为什么不东南向把水径直引往大都，而是先使水道西行，再转而往南，然后折向东南到瓮山泊呢？设计这样一条迂回曲折的路线，原有两方面的作用。

一是北京西面的西山，自今妙峰山、香山、玉泉山至石景山、南山，一路上到处都有零股泉水和伏流。新开河道依山脚折向南行，昌平附近还有王家山泉、虎眼泉等，沿途又经县南的双塔河、孟村一亩泉、泄水河、萧家河及玉龙泉等处，可以拦截各处山泉，使水量更加充足。这些水又是较清澈的泉水，不至于很快地沉积泥沙，淤阻河身。

二是这样可以适合地形，使河床有较平缓的坡度。因为神山泉的标高，按现今黄海零点起算，约在+60 米上下。大都城的西北，标高近于+50 米，高程相差十余米之多。城北南部则下降到略超过+40 米。近年来在北京西直门处，对元代和义门瓮城的发掘表明，地面标高古今稍有变易，但相差并不太大。如果新渠径直取道辟向大都，那末先要在短短的 20 里内，下降到标高低于+40 米的沙河河谷。然后又在中间上升到+50 米的高地，随即再下降到标高约为+40 米的清河河谷。而在抵达大都城以前，还得上升好几米，才能进城。这样的高低起伏，两处的河谷的高程甚至低于大都，不但水流难以导入都城，而且会在中途沿两河河谷顺流东去，最后泄入榆水（今温榆河），大都城就落空了。

倘使河渠自神山先向西行，然后南下，渠水便可绕过比较复杂的河谷地形，大致沿着 50 米的等高线平稳地一路顺流向南。中间局部台地地势稍高。瓮山附近的标高，亦是+50 米。而且汇集了山旁的泉水，水量增加，下段的渠道，便可利用原有的河身。所以，兜了这么一个圈子，可以较有把握地保证运粮河和大都给水工程所需的水量。

由于西山山坡相当陡，有好几处在短短的几里路之内，便向东下降 30—40 米，郭守敬为此特地在 60 多里长的渠道东岸，修筑了一条土堤，一些由此东流的小河都被阻断，以便引水入渠，而不沿原有的溪涧横流注向东的榆水。这条堤堰，叫做白浮堰。

先前，整个金代，闸河水源始终未能得到圆满解决。现在，从昌平白浮引水辗转南来，这个长期存在的难题终于很好地解决了。郭守敬为此还曾作过大面积的地形测量和长矩离的水平测量，而他在这方面也是很有经验。昌平到大都的引水工程中，毫无疑问他是作了包括高度在内的全面地形测量，并在这个基础上进行规划设计的。不过，当时还缺乏长期降水量记录，也没有什么依日照与气候而变的蒸发量材料，以及随土质而定的渗积量的研究，与地形等因素有关的径流量计算这一类近代水文测验资料，所以难于得到流速、流量与水位等方面的全部数据。郭守敬只能靠实地踏勘和丰富的经验，作出判断。

这条河从神山到通州高丽庄，总长 164.5 里。全部工程，一共动员了兵士、工匠及囚犯 20 000 余人，用了 285 万个工日，耗费钱钞 152 万锭及粮食 38700 石。施工时间花了一年半。终于在至元 30 年（1293 年）秋天竣工。

下段 50 多里长的运粮河，它不象白浮村至大都西城前那一段平稳。其实，河道在进城之前的坡度变化已较大，而从大都到通州，按现代所测的地形，地面高度下降有 20 米左右，不利行船。为了便于通航和调节水流，从紫竹院进大都城这一段起，郭守敬按地形地貌变化及水位落差，每隔若干里，设置一道闸坝，闸坝上有放船进出的通道口，口的两端装有能上升下降的机构，一启一闭，两相配合，调整中间部分的水位，便可放行船只。从高丽庄到大都城下文明门处，大致十里一闸，共设闸坝 7 处。城内及积水潭西和义和门以上到紫竹院，又设闸坎三处，共有闸坝 10 处。有的地方设闸两座或三座，连同增设，共有闸坝 24 座。施工期间，运粮河上建设水闸的地方，往往掘出数十年前韩立所置闸门残留的砖木，闸坝地点的选择，前后不谋而合，使工地上的员工都情不自禁地感叹佩服。

从东便门到通州，河上还修建了 20 座桥梁，便利来往的行人。出东便门 5 里多，横跨河上的是大通桥，为南北交通要道。那附近有大通闸，就是原来的藉东闸，俗称二闸。这个地方清流萦回，繁花茂树，景物宜人。明清两代以来，成为北京居民泛舟游览的胜地之一。

至元 30 年（1293 年）8 月，工程全线完工。海运同河运两路粮船，顺利地一直驶进大都城，云集在湖水浩瀚的积水潭。原先陆运的颠沛困顿，耗工费财，从此可以避免了。那时候的积水潭，与今积水潭及什刹海相比，面积还要大得多，一眼望去，“ 汪洋如海 ”，大都人习惯称它为海子。完成没多久，忽必烈从上都回大都来，路过积水潭，只见湖中进进出出挤满南方来的粮船，船尾紧挨着船头，这情景，使他心中有说不尽的欢喜，于是给这个运河起名为“ 通惠河 ”，并赐给郭守敬 12500 缗钱钞，命郭守敬仍以太史令原职兼提调通惠河漕运之事。

通惠河开成后，不光漕运粮食大为省便，而且促进了南北物资交流，有益于人民生活。尽管忽必烈的目的只为了满足其财政所需，但客观上它对社会经济与生产发展，也起一定的作用。通惠河的名称，从此一直沿用到今天。由于其后数百年的人事沧桑，现在的通惠河只通到北京火车站东面的护城河凸角上。其中填没的建国门附近明清古观象台前面的泡子河，即是古通惠的一段残迹。

本来郭守敬还打算过，在海子南端的澄清闸东面，挖渠接通北坝河，并在丽正门（今天安门前面）西边设闸调节水位，使船只得在城墙四周宽广的护城河内环绕往来。这个设想虽对发展大都水路交通很有利，但可能跟皇室

的切身利害关系不大，忽必烈就没有重视和采用。不过，今天我们可以看出，郭守敬对待河工水利事业是多么认真负责，精益求精。

这条新河修成，虽然给粮运带来了便利，但也存在着一些问题。

西山的水都被拦截，清河与沙河等东流水，有的因此而断流，进榆河的水就更少了。流入大都西南方浑河的水也被截阻掉相当一部分。白河、榆河、浑河这三条大河，合流后称做潞水，素来通行舟船，也是京东、南两路漕运的通路。由于北部的水源减少，河水低浅，天旱时节京东地区的粮运就不能畅通。通州北面有几处粮仓，常因为水浅，增加了储运困难。

更主要的问题是，自神山至瓮山这一段引水渠，大致与西山山脚平行，雨季时，承受着山上大面积泻下的雨水。沿渠虽有专职人员守护，然雨水特大的年月，山洪骤涨，稍一疏忽，河身与堤堰，不免要遭冲毁。据记载，后来的大德 7 年（1303 年）6 月，一连十天昼夜降雨，终致大水漫流堤上，冲决了水口，大德 11 年（1307 年） 3 月，这条河堤，又被冲毁 30 余里。以后还发生过几次这样的事故。到了元代后期，朝政朽败，国势衰微，权贵豪势与各处寺观，又纷纷私下挖开堤堰，放水灌溉私田园圃，致令水流大减，妨碍漕运，甚至发展到皇帝亲自下旨，严禁偷决渠水，来保证下游水量。

至元 31 年（1294 年），郭守敬就凭着他在天文历算法，河工水利上的巨大业绩，而升任昭文馆大学士。这是元代一个级别较高但无实职的工作，授给汉族文职官员的虚衔，带有荣誉性。郭守敬就同当初的张文谦相访，以昭文馆大学士的身份知太史院事，原则上领导太史院的天文历法工作。就在这年，80 岁的忽必烈去世了。

六、晚年的声望

1298 年（元成宗大德 2 年），元政府决定在上都西北郊的铁幡岭脚下，开出一条河渠南向通到滦河，宣泄山洪。当时已是忽必烈的孙子铁穆耳继承皇位，称元成宗，元成宗召郭守敬到上都商议规划。郭守敬就去当地察勘了地形，了解了降雨量情况，发现这条河道近山，所经地区的年降雨量虽不多，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，河道本身一定要宽达 50—70 步。可是主管此事的官员目光短浅，舍不得在这上面多花钱，认为郭守敬把雨季流量估计得太大，处理这事过于小心了，竟把郭守敬所定的宽度削减了 1/3。

河渠开通的下一年，就碰上连日的倾盆大雨，山洪顺河直冲下来，河身狭窄，容纳不下洪水，两岸泛滥成灾，人畜帐幕被漂没了不计其数，汹涌的波涛还差点淹没元成宗铁穆耳在城北较高处龙岗下的行宫。元成宗被迫北迁避水时，想起了郭守敬去年的预言，禁不住慨叹地对周围官员们说：“ 郭太史真是料事如神啊！可惜没有听从他的话！ ”。从此以后，郭守敬的声望更加高了，那时他已 69 岁了。

如今，铁幡竿岭下铁幡竿的遗址还在。它是由于山上树立着一根高达数十丈的铁幡竿而得名。根据当地人的传说，铁幡是用来镇洪水的。这只不过是封建社会一种迷信的作法，其实哪里谈得上镇洪水。

1303 年，元成宗下诏，凡是年满 71 岁的官员都可以退休，唯有郭守敬，因为朝廷还有许多工作都要依靠他，不准他退休。郭守敬那时已 73 岁了。

郭守敬一生最后的 20 年中，建树甚为稀少。除了大德初年（1298 年）

建造一座水浑运浑天漏以外，以后就不再有新的成就。元朝的封建统治，到了元成宗铁穆耳时期，局面还能维持。继任的武宗海山与仁宗爱育黎，骄奢淫逸，对劳动人民的剥削也更加残酷。再加上朝政的腐败，以及贵族、地方豪强的种种剥削和掠夺，这一切，导致生产停滞不前，广大劳动人民反抗的情绪高涨，武装起义不断，很快动摇了蒙古族的统治。在这种情况下，郭守敬的创造活动自然也受到极大的限制。可以设想，如果他晚年能够有较好的社会政治条件，可能还会对社会有更大的作为。

1316 年（元仁宗延祐 3 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。按照封建社会长期来的风俗，归葬于他的故乡邢台。墓地在县城之北 30 里的地方。邢台人为了尊崇他，依传统习惯，把他列入“乡贤祠”，以作纪念。

郭守敬继承了祖父的学术家声，并发扬光大，有所创造发明。他的曾孙郭贵，在明朝天顺年间担任过钦天监春官正，参与了大统历的编制。这真可说得上，家学渊源，代有传人了。

七、多方面的成就

郭守敬的一生科学创造相当多。除了在天文和水利两方面的成就外，还有许多杰出的发明和创造。可以说，他是一位多方面的科学家，发明家。

郭守敬建造的七宝灯漏，是挂在一条梁架上的，形状好象一只灯球。实际上这是一台用水力推动的、相当复杂的机械报时时钟。还有灵台水浑，也是以水为动力的，它是表现天空中星辰的周转运动的天球仪。太阳、月亮的东升西落，在太空中运动的情景，可以在这仪器中看得清清楚楚。他在简仪中曾运用滚柱来减少仪器转动中的摩擦阻力，这也是一种新创的装置。凡此种种，都证明郭守敬在机械制造技术方面有很高的才能。

郭守敬也是一位出色的地质学家。他的水利工程设计，都是以他自己实际的地理勘测资料为基础的。他曾在巡视河北、山东河道时，对黄河附近一带几百里的水域进行过仔细的地形测绘，制成了一幅幅地图。他曾经以海平面为标准，来比较大都和汴梁地形的高低之差。这是地理学中一个重要的概念——“海拔”的创始。至于他在通惠河上游河道路线选择中所表现的地形测量的精确性，直到今天还引起学者们的惊叹和赞赏。他增辟了水源，开通了南北水道，对大都的城市建设和人民生活，以及南北物资的交流和社会经济的繁荣，作出了历史性的贡献。今天，北京市给水工程用的京密引水渠，自昌平经昆明湖到紫竹院一段，基本上还是沿用着郭守敬当初选的路线。

在制订新历中，郭守敬、王恂所应用的数学公式与计算方法，是我国数学发展史上的新创造。弧矢割圆术不仅割平圆，而且割浑圆为分图，实际上可以说是我国独特的球面三角学。三次差内播法的出现，早于欧洲约 4 个世纪。

总之，可以说，郭守敬是我国古代发明创造最多的科学家之一。他的创造大多数具有精密、灵巧、简捷、易于掌握等种种特点。

郭守敬的确作出了许多光辉的创造，但是由于他所处时代的历史条件和他的阶级地位，也不可避免地会有某些消极的东西。比如，他曾经编纂过几种讲述如何推算黄道吉日之类的书。占凶卜吉，本是太史院的例行公事，作为太史令的郭守敬，自己也很难逃避。尽管这样，我们应该看到，他对我国古代科学发展有很大的贡献，是我国历史上一位杰出的科学家。