

宋代工程图学的成就

刘 克 明

宋代是我国古代工程图学发展的鼎盛时期，当时的许多科学技术专著都附有图样，数量虽有多有少，但大多绘制精细，体例谨严。其中具有代表性的如曾公亮的《武经总要》、苏颂的《新仪象法要》、吕大临的《考古图》、李诫的《营造法式》、王黼的《宣和博古图录》以及佚名的《续考古图》等。本文拟通过对宋代工程制图在各个领域中的应用情况及其技术水平的考察，阐述宋代在工程图学方面所取得的成就。不当之处，尚祈方家指正。

一、宋代工程制图在各个领域的应用

宋代学者郑樵在《通志》中“论图谱”一文里说：“今总天下之书，古今之学术，而条其所以为图谱之用者，十有六。一曰天文，二曰地理，三曰宫室，四曰器用，五曰车旗，六曰衣裳，七曰坛兆，八曰都邑，九曰城筑，十曰田里，十一曰会计，十二曰法制，十三曰班爵，十四曰古今，十五曰名物，十六曰书。凡此十六类，有书无图不可用也。……在天成象，在地成形。星辰之次舍，日月之往来，非图无以见天之象；山川之纪，夷夏之分，非图无以见地之形；天官有书，书不可以仰观，地理有志，志不可俯察也。……稽之人事，有宫室之制，有宗庙之制，有明堂辟雍之制，有居庐堊室之制，有台省府寺之制，有庭雷户牖之制。

凡宫室之属，非图无以作室。有尊彝爵斚之制，有簠簋俎豆之制，有弓矢铍钺之制，有圭璋璧琮之制，有玺节之制，有金鼓之制，有棺槨之制，有重圭之制，有明器祭器之制，有钩幡之制，凡器用之属，非图无以制器。……凡此十六种，可以类举。”郑樵在同书“索象”篇中还进一步强调：“图至约也，书至博也。……索象于图，索理于书。……未有无图谱而可行于世者。”这正表明宋人已认识到图样与文字资料具有同等的重要性。郑樵的这些论述，是对我国古代图学的作用和重要性的首次全面总结，也是图学发展到鼎盛时期的必然反映，具有一定的科学性和系统性。

宋代工程图学的应用领域十分广泛，包括各种科技专著和各种工程实践，现分述如下：

(一) 科技专著方面

《武经总要》等书中的图样，代表了宋代工程图学的主要成就，是反映宋代工程图学技术水平的代表作，现将这些著作的作者、年代、图样数量表列如下：

书 名	作 者	成书年代	图样数量(幅)
武经总要	曾公亮	1040年	160
新仪象法要	苏 颂	1068年	42(星图除外)
考古图	吕大临	1092年	228
营造法式	李 诫	1100年	223(6卷)
宣和博古图录	王 黼	1107年	926
续考古图	佚 名	1162年	96

这些科技专著中的工程图样，无论是建筑制图、机械制图，还是考古制图，在表达方式的丰富性和绘制技术水平方面，均超

过以往任何时期，而趋近于现代工程制图。它们之所以能达到这样高的水平，与宋代图学家们所具有的较为科学的编撰思想有关。如李诫在《营造法式》序中说：“其逐作造作名件内，或有须于画图可见规矩者，皆别立图样，以明制度。”这即是说，根据工序，凡是有要求的构件，都应单独画出其图样，以说明其规格；这当然也是图样使用的原则。曾公亮在《武经总要》卷十二“器图”中说：“历代异宜，形制有异，今但取当世兵械，绘出其形，以纪新制云。”卷十“攻城法”中说：“今采历代攻城之器可施设者，图形于左，以备用云。”表明在《武经总要》中绘制图样是为了记录形制，以备它日作为制作的依据。又如吕大临在编撰《考古图》之前，曾做了大量的测绘工作。他在《考古图》序言中写道：“每得传摹图写，浸盈卷轴，尚病窥启，未能深考。暇日论次成书，非敢以器为玩也。”其编撰目的在于：“探其制作之原，以补经传之阙亡，正诸儒之谬误。”既反映了他们用图的意旨，也体现了他们严肃求实的科学态度。

（二）工程实践方面（以宋代建筑工程制图为例）：

宋代的宫廷建筑和历代的建筑施工相比，工程图的作用更为重要。任何一项大的工程建筑，都是先进行调查，绘制图样，然后经过审查修改，按图施工，图样予以保存等程序，符合工程技术的一般方法和原则，这在许多历史文献中都有所反映。如《玉海》中即有不少关于建筑用图的记载：“祥符七年（1014），建南京，诏即衙城为大内正殿，以归德为名，虽降图营建而未尝行。天禧中，玉曾为守，请减省旧制，别为图以进……。”“绍兴三年正月（1133），命守臣赵鼎营建康行宫，十一日，鼎以图来上，命孟庾经画。五年五月戊午，命帅漕臣缮治行宫，修城壁及省部百司仓库，具图来上，务从简约。”

再如宋初建汴京宫殿，不少史籍都记载有绘制宫殿图的情况。如《宋史·地理志》：“东京，汴之开封也，……宋因周之

旧为都。建隆三年，广皇城东北隅，命有司画洛阳宫殿之制，按图修之，而皇居壮丽矣。”在《宋朝会要》、《邵氏闻见后录》、《玉海》等书中对此事也都有所反映。在岳珂的《程史》卷一里，还记载了汴京故城的修筑经过。从中可以了解在当时建筑汴京故城的设计过程中，审查设计方案、修改图纸和图纸存档的情况：“开宝戊辰（968），艺祖初修汴京，大其城址，曲而宛如蚓曲焉。耆老相传，赵中令鸠工奏图，初取方直，四面皆有门，坊市经纬其间，井井纯列。上览而怒，自取笔涂之，命以幅纸作大圈，行其纵斜，旁注曰：‘依上修筑’。”宋太祖“宸笔所定图，宋承平时藏秘阁，今不复存。”上述记载，都说明了工程制图对营建汴京城池及宫殿所起到的重要作用。

二、宋代工程制图的技术水平

宋代工程制图的表达方式和水平，是反映宋代工程图学成就的重要方面。著名的中国科技史专家李约瑟先生对《营造法式》中的工程图样有过这样的评述：“为什么1103年的《营造法式》是历史上的一个里程碑呢？书中所出现的完善的构造图样颇见重要，实在已经和我们今日所称的‘施工图’相去不远。李诫绘图室的工作人员所作出的框架组合部分的形状表示得十分清楚，我们几乎可以说是今日所要求的施工图——也许是任何文化中第一次出现。我们这个时代的工程师常常对古代和中世纪时候的技术图样为什么这样坏而觉得不解，而阿拉伯机械图样的含糊就是众所周知的事。中世纪的大教堂的建筑者是没有较好的制图员的，十五世纪的德国，即使是达·芬奇本人，只不过是提供较为清楚的草图，虽然有时候也是十分出色的。西方是无法可与《营造法式》相较量的。”李约瑟先生通过东西方图学的比较对《营造法式》作出的评价，也可视为对宋代工程制图所取得的成就所作出的客观评价。从宋代工程制图的技术水平看，宋人已能

正确地运用图示法表现出建筑物、器物、机械设施的形状、大小、规格和材料等内容，并按一定的投影方法和技术规定表达在图纸上，完全脱离了绘画和粗略的示意图的形态，可以说，工程图学已成为当时一门相对独立的学科。

（一）图样表现方式的多样化

宋代工程制图的表现方式包括正投影、斜投影和透视投影等。根据对象的不同，有的用轴测图或透视图，有的用单面视图或组合视图，并有零件图、装配图、部件装配图、装配示意图、展开图等形式。为了清晰地显示物体的结构和表面的装饰，还注意了器物放置的方位。这些都与现代工程制图的表现方法相接近。

1.轴测图形式。如《考古图》、《重修宣和博古图》等书中的方鼎，冰鉴等。其中有的采用正等测投影绘制，如《续考古图》中的“文辛鼎”。有的是斜二测投影，且宽度使用了左或右两个方位，如《考古图》中的“东宫方鼎”。有的采用斜投影法，如《营造法式》中的“剔地起突华”、《武经总要》中的“行天桥”、“杷车”及《续考古图》中的“王伯鼎”等等（参见图一）。

2.透视图形式。如《营造法式》中的构件形状为平面体或旋转体，或两者组合而成的“仰覆莲华”、“宝莲华”以及《考古图》等金石学著作中的鼎、鬲、甗、壶、簋、簠、敦等等（参见图二）。

3.单面视图和组合视图形式。单面视图如《考古图》、《重修宣和博古图》中的鉴、磬，《新仪象法要》中的环形构件“天常单环”、“阴纬单环”等。有些图样，不仅画出主要投影面的单面视图，而且还注明了物体的尺寸和厚度。如《重修宣和博古图》中的“周雷磬”，其注文为：“器长一尺四寸五分，阔八寸三分，厚五分五厘，重十有五斤。”再如《新仪象法要》中的

“天常单环”，其注文为：“右天常单环，直径六尺七寸八分，阔九分，厚五分……。”这已是现代工程制图规定画法的先导。

《营造法式》中的“正样”、“侧样”，则相当于主视图和侧视图，其画法也合乎现代建筑制图的规定。

采用单面视图的形式，简洁明晰。而对形状复杂、不对称的物体，采用组合视图的形式就更好些，有利于克服轴测图或透视图仅从一个方向投影及单面视图难于从各个方向表达各部形状的缺点。如《考古图》里的“玉带钩”、“璊玉璫”，采用了主视图与左视图和主视图与右视图等形式，而“玉杯”、“双鱼四钱大洗”则采用了直观图与俯视图相结合的表现方法。《武经总要》中的“旁牌一种二色”和“骑兵旁牌”，也都采用了组合视图的画法，且两个视图分别注有“正”、“里”二字，相当于现代制图中的主视图和后视图。此外，《营造法式》中的“梁椽飞子”也采用了组合视图的形式，两个视图互为补充。这些反映物体空间形状的组合视图，各个部位的相互对应已相当准确。从透视图或轴测图发展到组合视图，这是宋代工程制图较为突出的成就之一（参见图三）。

4. 装配图。如《新仪象法要》中的机械图，除了总装图外，还有零部件装配图，且有的已同如现代机械制图中假想拆去零件的装配图的表示方法。《考古图》中的“雁侯敦”、“周敦”等，图面上敦体和敦盖拉开一定的距离，敦盖位于敦体的上方，这种画法可以说是开现代装配示意图的先河（参见图四）。

5. 用选择器物的放置方位的方法来弥补透视图或轴测图的局限。如《考古图》中同样大小的两个“秦权”，采用改变其中一个放置的方位，使画在同一个图上的“秦权”的各面形象更好地表现出来（参见图五）。

（二）图样的文字说明已初具现代工程制图的基本技术要素。

宋代工程制图的文字说明部分，不但包括每一物体的名称、高度、宽度、长度、厚度，以及容量与重量等，有些还包括了物体的材料、工艺加工技术及装配方法，已初具现代工程制图应有的基本技术要素。如《武经总要》卷十二“旋风砲”的注文：“右旋风砲，用冲天柱一，长一丈七尺，径九寸，下埋五尺。别置夹柱木一，长一丈七尺，径九寸，下埋五尺。别置夹柱木二。夹木二，长八尺五寸，阔八寸，厚五寸。轴一，长四尺五寸，径八寸，两头用铁叶裹包。”再如《重修宣和博古图》中的“周叔彝”注文：“高五寸七分，深二寸七分，口径五寸三分，座自方四寸八分，下有响铎，容二升，重四斤五两。”又如《新仪象法要》卷下“天轮”图注文：“右天轮，直径三尺八寸，上安六百牙距，其毂贯于铁轴，于天束上与浑象天运轮相接，于轮之南上，冲天轴之所以运天轮。”在《考古图》等金石学著作中的文字说明，其涉及的范围已由古器物本身扩大到它们的产区及流传的考订方面，除款识外并兼及器物的形制与纹饰。在《营造法式》中建筑图的文字说明，详细地列举了殿阁、屋舍、步架、举架分数，有的还直接标注在图样上。

（三）制图技术趋向于标准化和规范化。

宋代工程制图虽无专门的技术规范性文献，但从我们所列举的这些科技专著中，可以看出宋代工程制图已形成了一定的技术规范 and 标准，并在绘图时作为准则来遵循。主要反映在以下几个方面：

第一，在完整、清晰表达物体形状的前提下，图形一般绘制在图面的稍下方，图样的名称位于右上方。如《考古图》、《重修宣和博古图》、《新仪象法要》中的图样均是如此。图上的文字说明，字体整齐浑朴，多用欧阳询、颜真卿及柳公权等名家字体，使图面更加美观，开我国工程制图所用字体标准的先声。宋版书的字体是后世各种印刷字体的源泉，而我国现行机械制图、

建筑制图的文字采用“仿宋字”作为标准，就是仿照宋刻版本上的字体加工而成。

第二，宋代工程图中使用的尺寸名称已形成特定的概念，各类图中所用名称也基本一致，具有专业特点的都另有补充，解决了建筑、考古、机械制图中专业术语不统一的矛盾。图样上虽一般未直接标注尺寸，但每一物体的图样都有较为详尽的文字说明，并注明了总体和部分的尺寸、名称等等，有些还包括容积、重量。通常使用的有高、深、径、长、阔、厚等。如《考古图》中空心旋转体“罍”的文字说明为：“器高九尺九寸，首围三尺一寸七分，底径二尺七寸一分，厚二分，重三十六斤。”“首围”是指旋转体最大部位的直径，“底径”，是指底部直径，有的还使用了“口径”、“腹径”等名称。底部呈球面的器物，则注“口至底隔深六寸八分”，对在图上不易显示的内空的部分，则注上“足中皆空”。

第三，在图线使用方面，一般采用一种实线，也有些图样上采用了粗实线和细实线两种。从宋人绘制的图样实物来看，是采用单线勾勒、界尺作线的。主要轮廓线用粗实线，器物的纹饰用细实线。

规范化、标准化是工程制图发展到一定程度的产物，也是随着科学技术的发展，对图样提出的更高要求，它既是古代科学技术渐趋发达的标志，也对古代科学技术和手工业的发展起着重要的推动作用。宋代工程制图中的规范化、标准化倾向表明，宋代工程制图已完全脱离了绘画的形式，奠定了我国古代工程图学进一步发展的基础。

（四）数学方法对宋代工程图学的指导作用

数学方法作为工程图学的一种有力工具，早在汉代就已开始运用。在宋代，更受到图学家们的普遍重视。如李诫在《营造法式》看详“举折”里说：“看详——今来举屋制度。以前后檐檐方心相

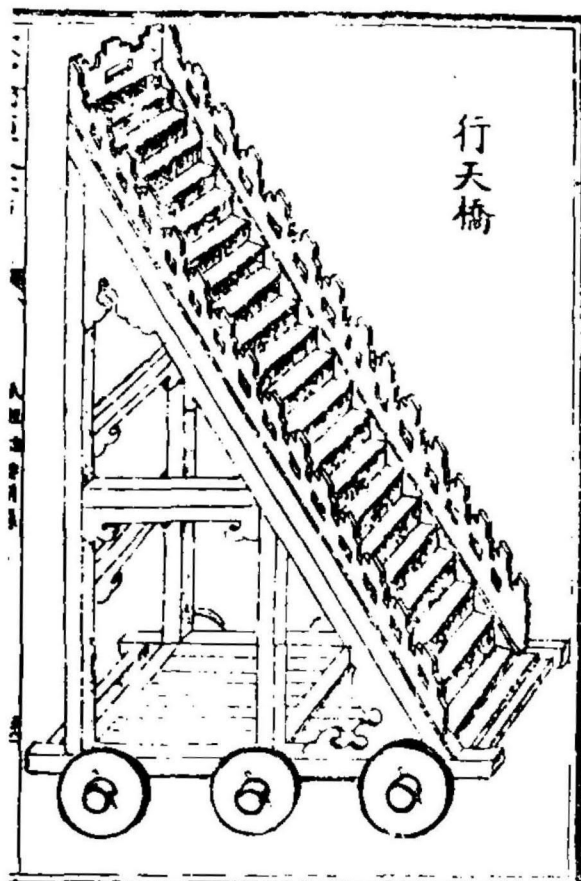
去远近，分为四分。自檼檐背上至脊榑背上，四分中举起一分。虽殿阁与厅堂及廊屋之类，略有增加，大抵皆以四分举一为祖，正与经传相合。”“举折之制，先以尺为丈，以寸为尺，以分为寸、以厘为分，以毫为厘，侧画所建之屋于正壁上，定其举之峻慢，折之圆和，然后可见屋内梁柱之高下，卯眼之远近。”

“举折”即是一种取得屋盖斜坡曲线的数学方法。李诫在这里讲述了举屋制度中尺寸变化的关系，即先按房屋进深，定屋面坡度，将脊榑先“举”到预定的高度，然后从上而下逐架“折”下来，计算出各架榑的高度，形成曲线和曲面。作图前首先要使用作图比例，然后画出房屋的侧视图。《营造法式》中还采用了直角坐标定点连线法，如该书卷四讲“大木作制度”中的栱：“一曰华栱，足材栱也。两卷头者，其长七十二分，每头以四瓣卷杀，每瓣长四分，与泥道栱相交，安于栌料内。”“二曰泥道栱，其长六十二分，每头以四瓣卷杀，每瓣长三分半。与华栱相交，安于栌料口内。”卷三十二谈“华栱”和“泥道栱”则说明了在坯料上绘制具体轮廓曲线图样的数学方面的要求。《营造法式》是颁行全国的“建筑规范”，从中我们可以看到应用数学已成为宋人从量的方面绘制图样的重要工具。

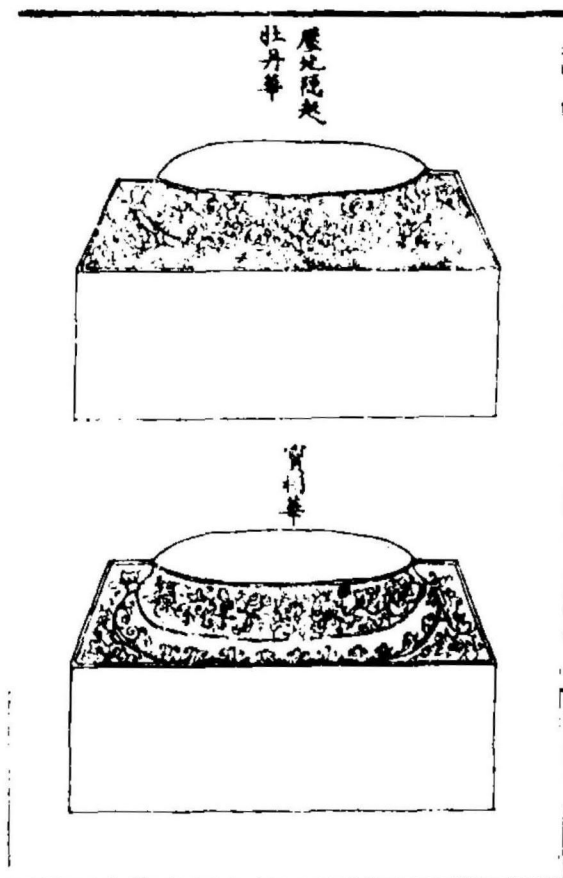
数学方法的应用，使宋代工程制图的精度不断提高，如《续考古图》卷二“攻耑驰尊玉”一图，较准确地按比例作图，符合原图的注文“以黍尺校之，通长六寸，中方长四寸，径三寸，上下圆口，各出一寸，径三寸，外方内圆”所标明的尺寸，具备了现代零件图的基本要素。采用数学方法，从定性的描绘到定量的计算，是宋代工程制图从绘画和粗略的示意图中分离出来的先决条件。而工程图学在宋代取得的成就也是与数学方法的应用分不开的。

作者工作单位：华中理工大学自然辩证法研究室

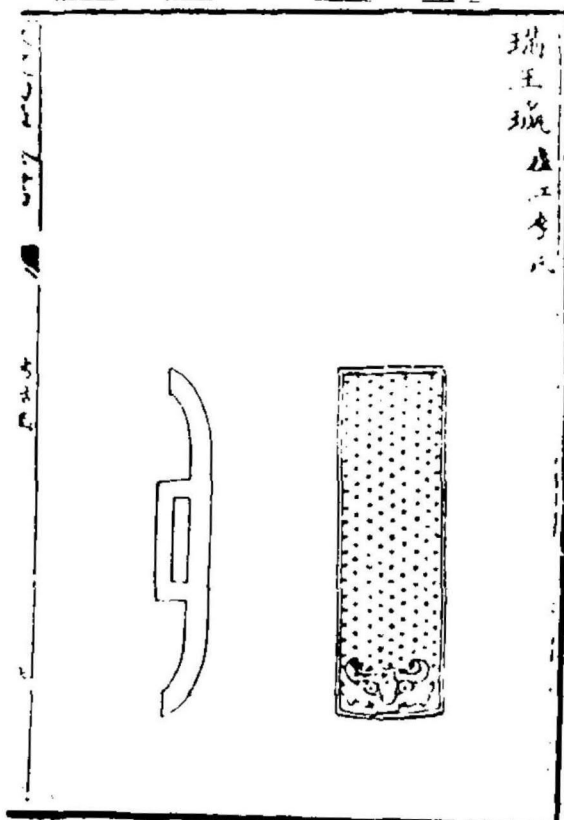
图一



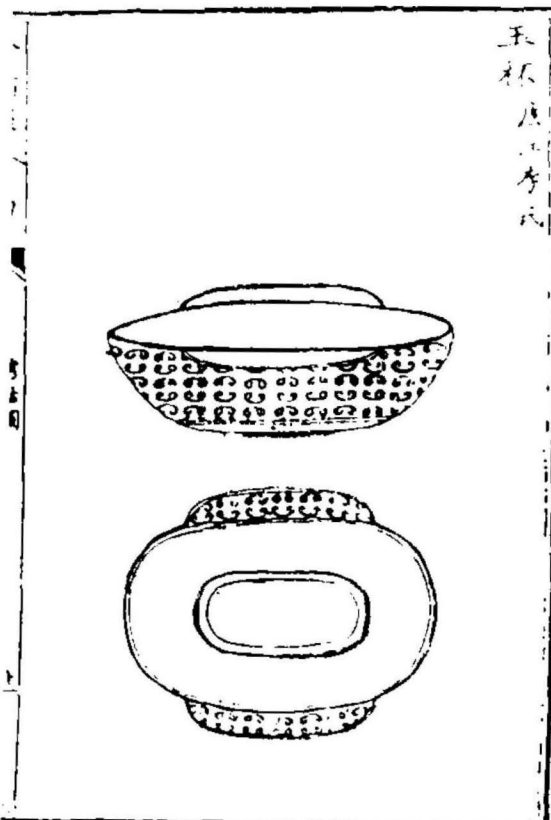
图二



图三A

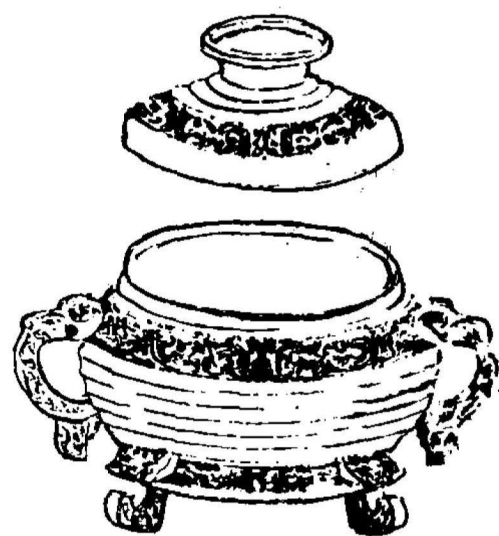


图三B



《宋代工程图学的成就》插图（见238页）

周敦 内藏



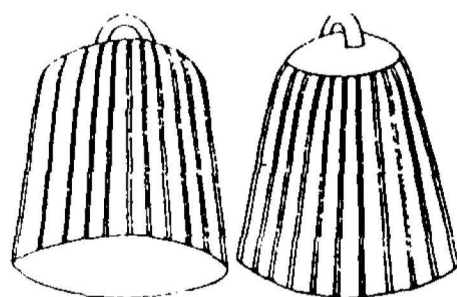
图四 A

玉带钩 江考六

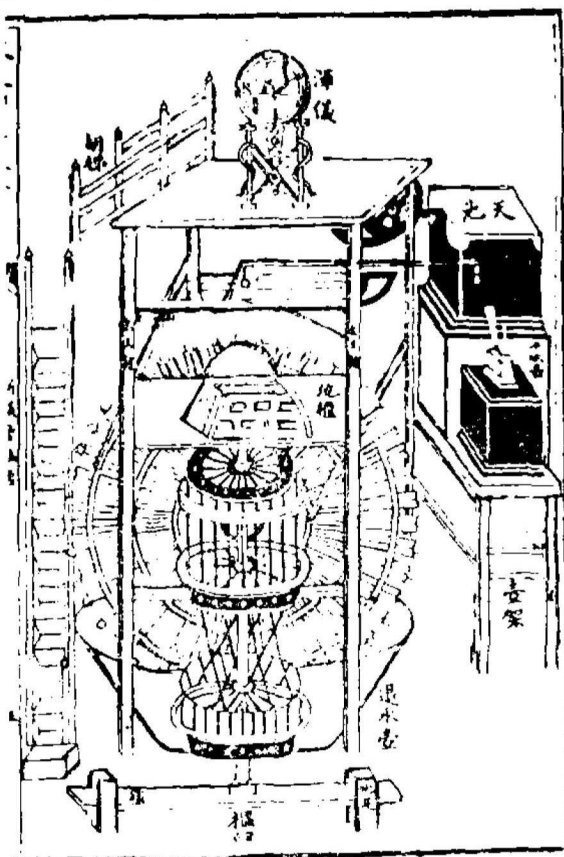


图三 C

秦權 河南考六
河東王八



图五



图四 B

封面题字：茅 盾

封面设计：红 焰