





CCTV 天工开物

古代建筑中的科学知识

主编 刘胜华



上海科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

天工开物·古代建筑中的科学知识 / 刘胜华主编. —
上海: 上海科学技术文献出版社, 2011.3
(教科文丛书)
ISBN 978-7-5439-4787-0

I. ①天… II. ①刘… III. ①科学知识-普及读物
IV. ①Z228

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 020945 号

责任编辑: 张 树

封面设计: 徐 炜

天工开物·古代建筑中的科学知识

刘胜华 主编

出版发行: 上海科学技术文献出版社

地 址: 上海市长乐路 746 号

邮政编码: 200040

经 销: 全国新华书店

印 刷: 江苏常熟市华顺印刷有限公司

开 本: 787×960 1/16

印 张: 9.5

字 数: 104 000

版 次: 2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5439-4787-0

定 价: 25.00 元

<http://www.sstlp.com>

天工总有开物时（代序）

刘民朝

如果把《天工开物》作为一个新词典里的词条，它应该有两项解释。一是明代宋应星所著的科技专著；一是中央电视台科教频道里的科普栏目。诚然，作为电视栏目的《天工开物》是无法与历史名著《天工开物》相提并论的，但它却为大众所知，并赢得了不少有识之士的青睐。就目前在社会上的影响而论，也几乎与宋应星的《天工开物》不相上下。

该栏目创办于“科教频道”开办之初，其名称有意沿袭了祖先的书名，其含义是“认识自然规律，展开发明创造”，其初衷是系统展示中国古代的创造发明，以激发国人的科学精神、创造热情和民族自信心，栏目组在后来的表现也的确不俗：开播不到一年，由于制作精细，节目不但在大陆受到好评，还销往了境外，被推荐到国际上评奖。其推出的系列节目《古代器物》，尤其叫好又叫座，反映出栏目组对节目类型创作规律的清醒认识和把握。在创作手法上，摆脱了传统专题片的束缚，引进了动画、模型、实验、调查、复原、再现和主持人现场讨论等多种手段，不少节目活灵活现地介绍了古人的巧夺天工，令人过目不忘，真正起到了启迪智慧、激发创造的功效。在选题范围上，栏目也突破了单纯着眼中国古代的界限，而拓展为古今中外，无所不包。其中还开始注重了我国少数民族发明创造的挖掘和当代百姓的创造

革新的反映，已经不是老生常谈的“四大发明”，而是应接不暇、闻所未闻的奇思妙想。栏目组也因此应接不暇地接到观众的来信、来电和E-mail，或讨论问题，或索要节目光盘。从这一点上说，宋应星的《天工开物》在科普传播效果上，就比不上后代这个电视的《天工开物》了。

平心而论，《天工开物》栏目在科教频道中收视率并不算低，并且富有特色，也属频道中的应有之义。惜乎由于各种原因，还没有形成规模传播效益。大概也因为这一点，科教频道在此次改版中将她暂隐到后台以待来时。我到国外同类电视台访问，看到他们特设一种“季播栏目”，就是经过一段精心的筹备制作之后，在一年的某一季度集中推出，而后又偃旗息鼓，到后台准备去了。你别说，这种播法还真有让人翘首企盼的特殊效果。

我们也企盼着《天工开物》再次登台！

2006年5月8日

天工开物：有待开掘的富矿

刘胜华

给《天工开物》系列节目出书，一直是节目组计划之内的工作，然而令人想不到的是，书稿完成的同时，这套节目却被从十套节目中撤出，不能不让人感到沮丧和伤心，也许拿到这套书时，也只剩“此情可待成追忆，只是当时已惘然”的遗憾了。

当初创办《天工开物》这套节目的灵感，来源于一个关于中国古人利用声音的波长确定尺度的小故事，这个故事深深打动了我，让我在感叹古人聪明智慧的同时，也深感我们对自己祖先了解的肤浅和狭隘。过去，我们大都只停留在“四大发明”的层次上，其实，中国人的智慧和创造力远不止于此，于是我们萌发了制作一档表现中国古代科学技术、发明创造的节目的想法，我们为这套节目找了个现成名字——《天工开物》，希望借古人的影响力创造新的辉煌。

3年多的努力，我们制作完成了400多期节目，这些节目生动形象地介绍了历史上的科学发现和技术发明。如最初采用纪录片形式制作的《算筹》、《悬空寺》、《小罇光景》等，随着播出时间的固定和收视的需要，我们在形式上有了新的调整：采用主持人串联的方式活跃节目形态；在内容上进行主题分类：比如以介绍成语中的古代科技为内容的“成语科考”系列，以及“古代器物”系列，等等。

“成语科考”对成语中涉及的科学技术进行了深入有趣地探讨和分析，从新的角度认识、理解成语，比如“丝丝入扣”形象地道出了纺织机上经线的挂织方法；“来龙去脉”中有着古人对居住环境的科学认识；“作茧自缚”准确地道出了蚕吐丝结茧的过程；“百炼成钢”实际上是源自我国古代的一种炼钢技术，而“如胶似漆”这个成语则反映了古人对“漆”的特性有了深入地了解。

2005年，在不断摸索、不断总结经验的基础上，我们推出了“用现代文明视野，关注古代器物”的系列节目，从科技角度探讨古代器物的出现、使用情况、制作工艺、成分分析等等，从中折射出古代科技的发展和进步。这套节目策划精细，深入浅出，受到观众欢迎。可惜的是，由于频道改版，这套节目刚进入开篇就草草收场。

《天工开物》可以挖掘的东西十分广泛和深厚，从中国传统科技、文化的丰富内涵，从物质文明积淀的角度看，《天工开物》是一个绝对的富矿。就以古代器物来说，它贯穿了整个历史长河，仅从器物的材料看就有陶器、青铜器、铁器、瓷器、漆器、木器等很多方面，细加分析都有令人赞叹的精妙。实际上，《天工开物》早已不局限于中国古代发明，而是拓展到古今中外的发明创造，并且正在尝试把视野放到人类大文明的背景下，进行中西发明的比较，进而提升到理性层面。这也正是《天工开物》的优势所在。

《天工开物》承载了中华民族的传统文化，传播着科学知识、科学方法和科学思想，节目以一批高水准的专家学者为后盾，以文物、古籍、留存的技艺为资源，内涵丰富，表现生动，是一档没有播出时限的长线节目。对于提高公民的科学素养，培养文化品位都有积极意义，《天工开物》应该是有永久生命力的。

《天工开物》——一座有待开掘的富矿。

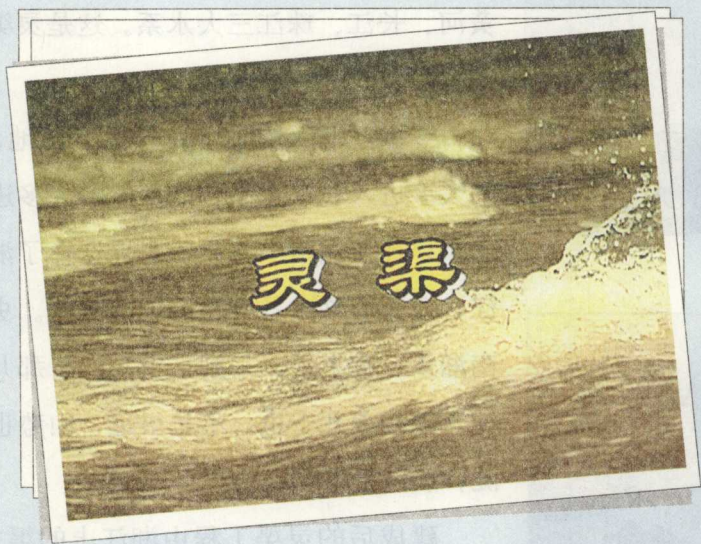
2006年4月

目 录

1. 灵渠	1
2. 文艺复兴建筑	8
3. 哥特式建筑	13
4. 巴洛克建筑	20
5. 禁锢的想象——拜占庭建筑	24
6. 秩序的意义——古罗马建筑	29
7. 出生与建构——小亚细亚和希腊	34
8. 神秘与想象——古埃及	39
9. 天人合一话皇城	45
10. 永定河与北京城	50
11. 运河与北京城	54
12. 面南而居北京城	58
13. 昆明湖——北京最早的水库	63
14. 河湖见证的北京城	68
15. 京师九门	72

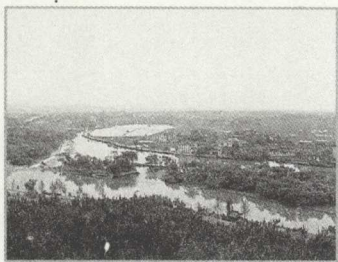
16. 烽火台与驿站	77
17. 应县木塔	85
18. 歙砚	90
19. 印刷术起源	94
20. 雕刻出来的印刷	99
21. 泥活字的诞生	103
22. 活字印刷技术的演化	108
23. 套印出来的色彩	112
24. 复制中国画	116
25. 宣纸	120
26. 古籍装帧	124
27. 从井水到自来水	127
28. 天坛回音的奥秘	132
我真喜欢《天工开物》	王知 137
回想《天工开物》	王雪纯 139
一份值得珍藏的记忆 (代跋)	戴吾三 140

LING QU



「片头

在广西桂林的兴安县境内，有一条静静流淌的人工运河，这就是秦朝著名的水利工程——灵渠。两千多年前，秦灭六国统一中原后，为向秦岭以南的广袤地区继续扩张而修筑了这条运送粮草的水渠。为什么修渠而没有筑路呢？在没有火车飞机的秦朝，由于粮草运输量大，走陆路翻山越岭困难重重。而走水路，顺流而下，比陆路省时、省力。一个叫



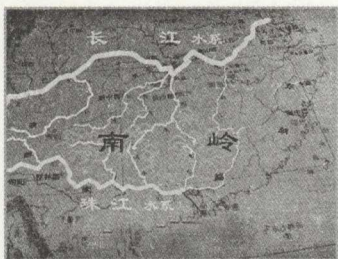
灵渠全景



群山



水路



南岭水系图

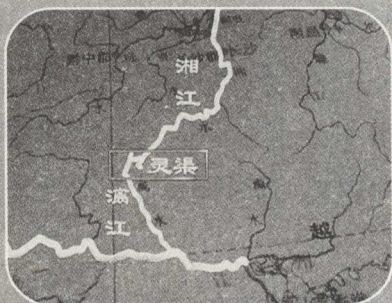
史禄的人受命设计这条贯通南北的航运路线。考察之后，他决定在桂林兴安县内开挖灵渠。千里迢迢的水路，为什么单单选择在这里开渠？史禄和历代的工程师们又是如何一步步将设想付诸实施的呢？

从秦朝所在的关中平原到岭南地区要横跨黄河、长江、珠江三大水系。这是灵渠选址的基本要求。

专家：“南岭是众多河流的发源地，向北流的大多进入长江水系，向南流的大多进入珠江水系。连接这两个水系，史禄选择了湘江和漓江，今天看来这是最短的连接方法。史禄从湖南湘水一直上去，来到兴安县内。那儿湘水和漓水就相差几十里，不是很远，山势也不是很陡，所以他选择在那里开灵渠。”

建成后的灵渠工程由湘江上的渠首工程、引向漓水的南渠和重新连接湘江的北渠三部分组成。两千多年来，虽经多次维修改造，这三部分在整体上并没有大的变化。

在灵渠的起始部位，一座人字型的拦河大坝映入眼帘。斜向南渠的一侧叫小天平，斜向北渠的一侧叫大天平。有意思的是，这座坝是溢流坝，即一部分来水可以从坝顶越坝而过，



■ 灵渠位置图

选择恰当的坝顶高度就可以控制水位，平衡水量，取名天平形象地说明了这一特征。人字型的天平坝，古时称铎堤，因为它的外形像犁铧而得名。在大小天平的连接处有一道分水石堤叫作铎嘴，它是天平坝重要的辅助建筑。那么，铎嘴有什么作用呢？

史禄为什么舍弃普通的一字型拦水坝而修筑不对称的人字型溢流坝呢？

专家：“人字型大坝把扑面而来的江水正压力变成侧压力，增强了它自身的强度。人字型长短边之比是3：7，江水也按这个比例被分开，水满时恰好使得南北渠两边水量一致，都是1.5米深。适量分水，使多余的水越坝流回湘江故道，这就是溢流坝的作用。同时，在洪水来临的时候，它也可以保护坝身不被冲垮。铎嘴则是最好的分水工具。上游来水经此能通顺平稳地流入南北渠，从而保证建筑和行船的安全。”

如此特殊的大坝，秦朝的能工巧匠们又是怎样将它修筑成功的呢？地质勘测的结果表明，水下有疏松的鹅卵石，大水不断地冲击会掏空大坝下面的卵石层，大坝会在瞬间崩溃。今天的办法是清除这层卵石层，对下面更为坚硬的岩石层进行施工。在这一层打入钢筋，浇筑混凝土坝身，建造高达十几米的大坝。然而，秦朝人是无法这样筑坝的。那么，怎么修呢？1975年重修大小天平坝的时候，从水下打捞出许多木头，谜底一步步被揭开。古人模拟盖房子的方法，在沙



■ 灵渠大坝

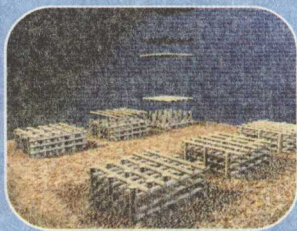
石里面打下井字型松木桩，然后将石料砌筑在此基础上。松木桩就是顶梁柱。摩擦增加了地基的承受能力，它还可以牢牢抓住下面松软的鹅卵石层。或许这就是大坝历久弥新的原因。回想当时，史禄带领着十万能工巧匠日以继夜地开山挖石、伐木做桩，耗费数年才使这天平坝浮出水面。

坝身由许多巨石砌筑而成。这些石板每块重达千斤，即便如此，在滔滔洪水之下也会被轻易掀起，只有石板彼此牢固的连接才能抵抗大水的冲击。这些巨石是如何连接的呢？在两块巨石之间人们凿出一个“X”形石槽，并形象地称之为燕尾槽，然后在燕尾槽里搁上铁锭，用铁锭把两块石头锁紧。洪水冲击的时候，“X”形铁锭可以有效分解这种冲击力，确保两块石头始终紧密相连。每一块石头都用这样的办法锁紧之后，整个大坝就浑然一体。

漫过大坝的江水奔流而下，透过水面，可以发现在大坝后面的倾斜面上竖插着高高低低、参差不齐的石头，这是自然形成还是能工巧匠们的又一杰作？根据物理原理可以知道，直竖砌筑而成的石头在江水的冲击下，阻挡了水流中夹带的泥沙，使它们更为牢固。这样就分担了江水对坝身的冲击。这就是为保护大坝而专门设计的鱼鳞石。它们在大坝上



■ 石子阻挡泥沙



■ 林木地基



■ 石块实景



■ 都江堰

错落有致的样子，远远望去正像鱼儿背上的鳞片。

小小一座天平坝竟然蕴涵了这么多奇思妙想，人们不禁向秦朝高超的水利工程技术投去崇敬的目光。

眼前是两条截然相反的渠道，是大小天平坝将湘江水一分为二的结果。

这弯弯曲曲的河道中隐藏了什么玄机？这清澈见底的渠水又将指向何方？

始建于秦朝的长城，作为抵御外敌入侵的重要防御工事，早已为世人熟知。然而，很少有人了解，同是秦朝诞生的灵渠也是因战争而建造的。不同的是，灵渠主要担负着运送粮草的任务。时至今日，长城早已不具备当初瞭望防御的功能，而灵渠却仍然灌溉着万亩良田。是什么原因让这使用了两千多年的人工运河还能长流不息呢？

灵渠渠首是被称为大小天平坝的拦水大坝，将湘水一分为二，一部分经由南渠流入漓江，从而达到分湘入漓，连接长江水系和珠江水系的作用。而另一部分则曲折一段之后回到湘江的主河道。根据两点间直线最短的道理，这样曲折的路线并不是最近的方案。为什么要舍近求远呢？

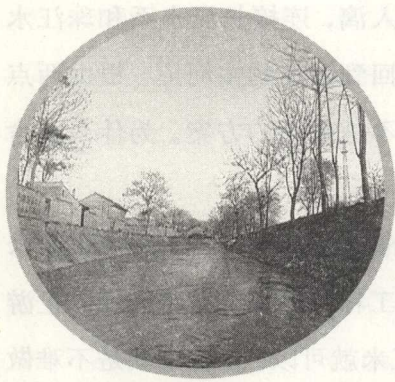
因为落差。湘江和漓江这条小支流的落差是7米，意味着要建7米以上的大坝，这在当时是不可能的。秦朝工程师的做法是将大坝向上游移，这里地势更高些，大坝高度只需两三米就可以。这在秦朝是不难做到的。代价是增加南北渠的长度。不仅如此，北渠被开掘成弯弯曲曲的

样子，这无疑使工程量大大增加。这又是为什么呢？

落差对灵渠来说至关重要。直线行的渠道工程量小，但是落差大，顺流而下的船速度难以控制。对逆流而上的船，上陡坡更是难上加难。如何解决这个难题呢？秦朝工程师将南北渠道开掘成弯弯曲曲的样子，虽然工程量加大，但落差减小，水的速度减缓，行船变得很容易控制。在容易使用和容易施工之间，史禄和他的工匠们费尽了心思。

专家：“弯曲的渠道大大增加了工程量。有人曾粗略估算过灵渠的工程量，如果挖掘一条齐腰深的壕沟，从北京到上海一千多千米，这相当于灵渠的工作量。”

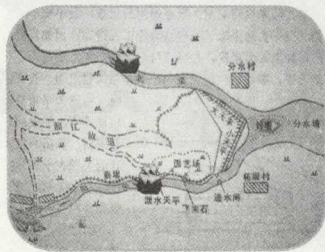
沿着南渠蜿蜒前行，这段渠道叫秦堤。历史上记载，这里屡屡决堤，因此是有名的险工段。这是为什么呢？答案还是落差。为了保证一定的水位，使从小天平坝下行的水能够直接流到漓江里去，这里的水位与湘江故道的水位落差有5~7米。由于落差很大，水的侧压力很大，一旦洪水暴发很容易把堤坝冲垮，从而增加了施工难度。传说在即将交工的时候，有两位工程师因为南渠秦堤神秘崩溃而相继被杀，而造成溃堤的



□ 郑国渠

罪魁祸首是江中的一条恶龙。第三个工程师李工匠求助于神仙，依据飞来石修堤。飞来石与基底岩石相连，用它做一个石桩来修堤，就可以抵抗很大的侧压力。即使渠水很满的时候，它也能抵抗住洪水的冲击。也许这只是个传说，但古人在没有钢筋水泥的年代就想方设法抗击洪水，确是事实。

秦朝的史禄带领工匠们呕心沥血，历时4年，方才大功告成。灵渠诞生不久，秦始皇就挥师南下，很快攻占了众多城池，并设置郡县，使岭南地区从蛮荒之地逐步发展繁荣起来。这其中，灵渠在经济往来、农业灌溉、边防固守等诸多方面扮演着至关重要的角色。



灵渠位置示意图

到了唐朝，由于灵渠是南北物资交流的要道而显得格外忙碌。新的问题随之而来。由于灵渠渠小水浅，一年有4个月枯水期不能通航，对经济影响很大。古人并没有因此向自然低头，他们设计了一个绝妙的机关，即使水浅至此仍然可以行驶万钧大船。这种使用了一千多年的设施被称为陡门。

今天，人们模拟了古人使用灵渠陡门的过程。首先将建造陡门用的松木、竹子类的材料进行加工。渠的底部有小孔用来固定小陡杠，它与面杠和底杠一起抗衡渠水的压力，绳子连接的三根竹竿称作麻脚，木片编织起的篱笆称为水拼，这是最为关键的陡垫。三者组成拦水的大门。绳子用来穿起所有的陡门材料，防止开启陡门时被水冲走，把绳子从牛鼻中穿出，如同预期的那样，水位缓缓上升。灵渠陡门是中国人使用的最早的运河船闸技术，它的原理与现代船闸完全一样，只是松木、竹子的陡门变成了钢铁的闸门。

时光荏苒，今天的灵渠虽然已失去了唐宋以来船只南来北往的繁忙景象，但仍灌溉着四周数万亩农田。它承载着历代能工巧匠的勤劳和智慧，正期待人们赋予它新的历史使命。

(范文吟)

文艺复兴建筑

WEN YI FU XING JIAN ZHU



「片名

有人说,建筑是一部石头的史书。这个说法也许不够确切,但建筑,无疑是人类文明和文化的最早记忆。熟悉中国历代辉煌宫殿和精巧园林的人们,不妨静下心来,用心灵去阅读古埃及森严的陵墓、古希腊秀美的神庙、罗马帝国雄伟的公共建筑和辉煌的拜占庭艺术、哥特教堂以及奢华的巴洛克、洛可可装饰风格,领略异域的文化渊源和社会发展。