

都江堰水利工程的GIS建设与展示

刘建国

社科院 考古研究所

【摘要】都江堰位于四川省都江堰城区西北，川西北高原与成都平原交接处，岷江出山口约2千米、岷江冲积扇顶端处。都江堰水利工程始建于战国时期，包括引水、分洪、排沙相结合的渠首工程和有分有合、排灌兼用的渠道体系，是经历代多次维修、加固和扩展、改造而成的一项水利工程体。都江堰是古代先民智慧的结晶，更杂糅了中国传统文化和水文化的精神内涵。

都江堰水利工程范围内地形复杂，信息丰富，是运用GIS技术建立多重数据信息库的最好素材。都江堰周边的地形、地貌、植被、历代修缮、扩建、文献史料、相关考古信息等集成在一起，能够探究都江堰水利工程的特点、形成条件以及历代发展变化的过程。然后结合GIS分析数据和实地采集的影像、视频等材料，进行全方位的都江堰水利工程展示。

一、都江堰概述

人类社会发端之初，就开始认识和掌握不同河流的特征，选择在适合的河道附近繁衍生息，并对河道进行一定程度的改造。随着人类文明的发展演进，人们的治水能力不断增强，留下了众多大型的水工遗迹。中国历史

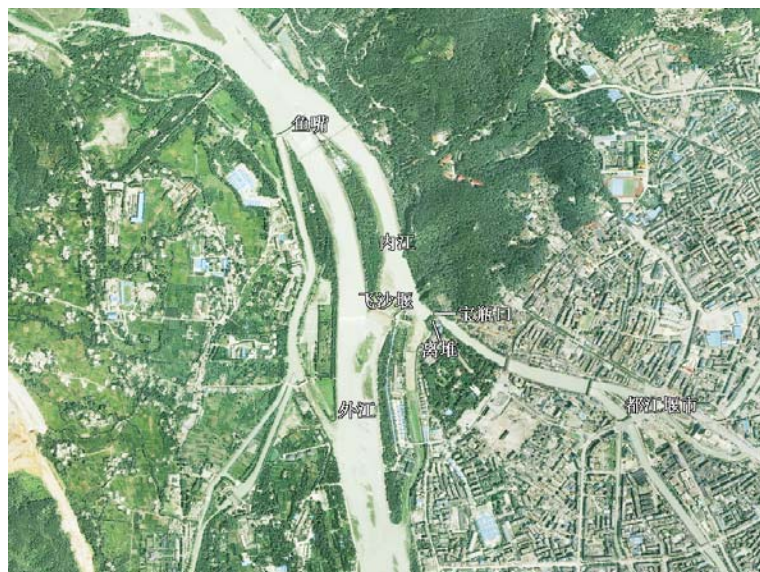


图1 都江堰引水工程的主体结构

上修建的都江堰、郑国渠、灵渠、大运河、邗沟等大型水利工程，对社会发展和文明进步都发挥了至关重要的作用。

都江堰位于今四川省都江堰城区西北，川西北高原与成都平原交接处，岷江出山口约2千米、岷江冲积扇顶端处。岷江之东为龙门山系余脉灵岩山，岷江之西为邛崃山系余脉赵公山。自渠首以下分内外二江，内江东岸为玉垒山，松茂古道沿江边穿主要文化遗产斗犀台、凤栖窝、玉垒关、二王庙蜿蜒北上，外江两岸不远处为佛耳岩、陈家山、老君岩等景点。离堆（伏龙观）在渠首下1,500米处，隔宝瓶口与斗犀台相望。离堆之南，内江两岸为今都江堰市市区（图1）。

都江堰始建于战国时期，其后历代有维修、增筑。秦昭王在位后期，蜀郡太守李冰父子在灌口西北，玉垒关外，岷江之中，设分水鱼嘴，分引岷江水为内、外江，分支流以资灌溉，是为都江堰。都江堰水利工程包括引水、分洪、排沙相结合的渠首工程和有分有合、排灌兼用的渠道体系，是都江堰自建成以来经多次维修、加固和扩展、改造而成的一项水利工程体。

二、都江堰水利工程 GIS 建设

都江堰水利工程的灌溉范围非常广泛，从都江堰的分水鱼嘴开始，往东、东南、南等方向经过多级分水闸口，沿各渠道体系贯穿整个成都平原，往东至龙泉山脉西麓，往南至新津县境内，所以整个成都平原为本项目的主要研究范围，总面积大致为 20 个 1:5 万比例尺

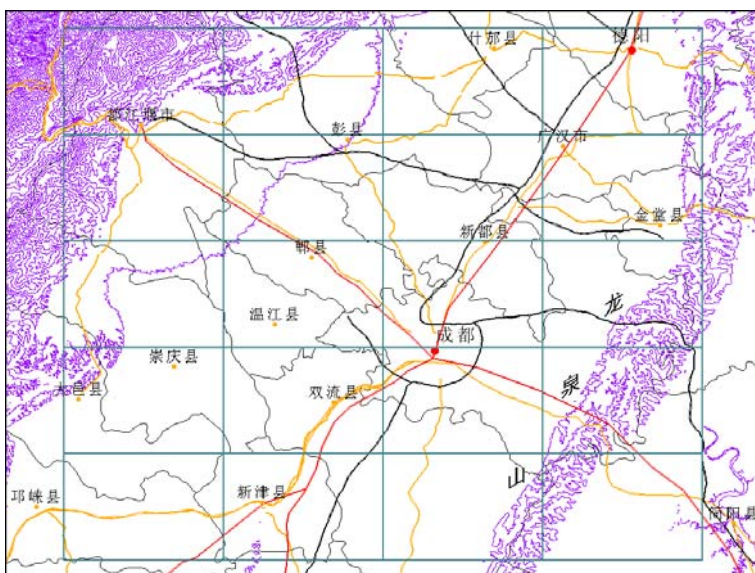


图 2 都江堰水利工程的主要灌溉范围

地形图图幅(图2)。经度范围是 $103^{\circ}30' \sim 104^{\circ}30'$ ，纬度范围 $30^{\circ}30' \sim 31^{\circ}20'$ 计算，

东西约 100 余公里，南北约 90 余公里。

本项目收集的资料包括成都平原的 20 幅 1:5 万比例尺地形图,2.5 米空间分辨率的卫星影像；其中都江堰市区与部分重要考古遗址还收集了 1:1 万比例尺地形图和 1 米以内空间分辨率的卫星影像。此外还收集了都江堰水利工程的历代维修、扩建记录与重要考古发现地点的资料。同时，为了能够分析岷江水系的整体特征，收集了成都平原与都江堰以上岷江水系范围内的 1:25 万比例尺地形图和 30 米空间分辨率的卫星影像（图 3）。

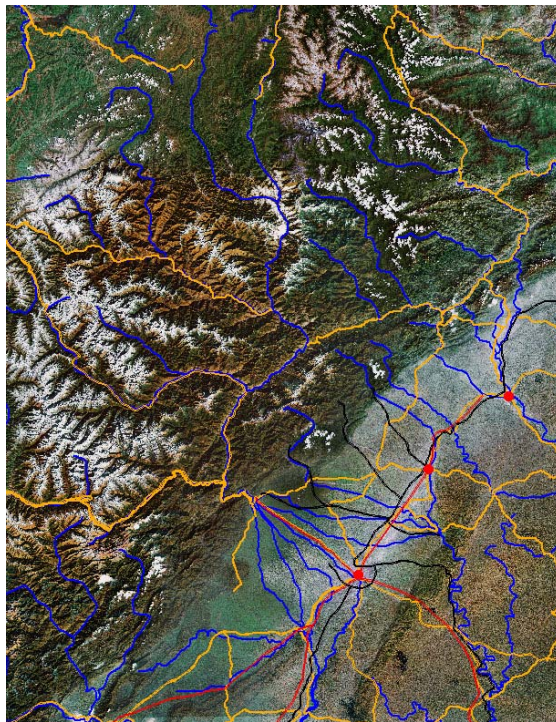


图 3 本项目收集的卫星影像与地形图资料

全部资料经过一系列的预处理之后，在 ARCGIS 软件中逐项加载各种数据，建立都江堰水利工程的 GIS 数据库，并且进行一些水文分析等处理。都江堰水利工程的 GIS 数据，将为今后的都江堰保护、维修、展示提供最全面、最精确的支持。

三、区域水文分析与研究

根据大范围内的数字地面模型数据，可以分析都江堰水利工程的水文情况。在 ARCGIS 软件的支持下，运用规则格网的数字高程模型生成流向图 统计汇流累积量之后，再生成河网和流域模型（图 4）。

根据生成的流域模型，可以统

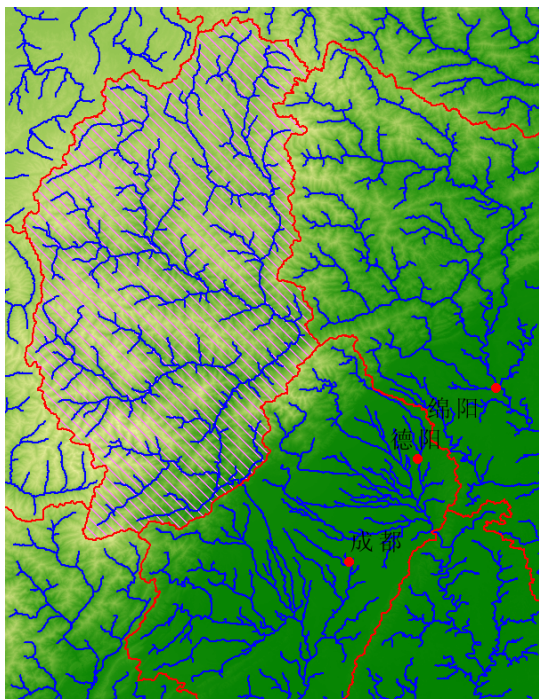


图 4 水文分析提取的河网与流域模型

计岷江在都江堰以上部分的流域面积近 23,000 平方公里（图 4 中有斜线部分），积水面积非常广阔，其中不乏终年积雪的高山，确保岷江拥有充足的水源补给。

将成都平原上数字高程模型提取的河网与都江堰水利工程的引水渠道系统数据叠加之后，可以发现二者在很多地区都是相互重合的，这说明很多引水渠道都是利用原有的自然河道加以改造而成，为整个工程的建设节约了大量的人力和物力。同时，从遥感影像上可以看出很多地段的引水渠道有明显的改道痕迹，这些是两千多年来都江堰水利工程不断优化完善的印记。

四、都江堰水利工程的科学性

都江堰水利工程经过两千多年的洗礼，历久不衰，体现了工程本体的多项科学性。都江堰经过鱼嘴分水、飞沙堰溢洪排沙、宝瓶口引水等简单的主体工程，发挥主河道分流、泄洪排沙、引水灌溉的重要作用，成功地制服了岷江洪灾，使成都平原枯水不缺，洪水不淹，成为真正的天府之国。

鱼嘴分水堤将岷江水引入内江和外江，其中内江深而窄，外江浅而宽。枯水季节，水位降低，岷江中大约 60% 的水进入较深的内江，40% 的水排入外江；洪水季节，水位升高，60% 的水排入较宽的外江，40% 的水引入内江。都江堰建于岷江拐弯处，螺旋前进的江水流至鱼嘴分水堤前，由于外江入口的凸岸附近水流较慢，会产生泥沙聚积，将洪水冲下来的沙石大部分从外江排走。进入内江的水流，利用伸向江心的虎头岩的支引、宝瓶口的节制和「离堆」的顶托，并且再次运用凸岸水流较慢产生泥沙聚积的特点，将大部分的沙石从飞沙堰、人字堤排入外江，使进入宝瓶口和灌区干流的水流含沙量较低，减少泥沙淤塞。宝瓶口下宽上窄，枯水期能够尽可能多地将水引入内江灌区，洪水期间水位上涨，宝瓶口上部变窄，防止了过量洪水涌入内江灌区，使成都平原免受洪涝灾害。所以都江堰能自动调节进入灌区的水量，确保成都平原「水旱从人」。

都江堰水利工程建设，是古人长期观察、总结河水流动特征并加以利用的结果，两千多年前人们可能还不能完全解释河水凹岸掏挖、凸岸沉积的原理，但是确能很好地利用这一现象，成功地在自然弯曲的河道中进行引水、泄洪、排沙，

同时将成都平原的河网进行改造利用，设立多处分水闸口，进行有效的水量控制与调节，成就了旱涝保收的成都平原。

都江堰水利工程是我国古代水利工程的伟大创举。它是一处因地势修造的水利工程体，一直发挥着防洪、航运（包括漂木）、灌溉三大功能。因此，都江堰建成后，不但消除了洪水灾害，而且将成都平原的河流恰当地控制起来，形成了一个灌溉水系，并兼有航运的作用，在社会和经济发展中发挥着重要的作用（图5）。在建成以后的两千多年历史中，它不再是一处简单的水利工程体，而是与成都平原、都江堰灌区的历史与文化息息相关，越来越深地蕴涵了浓厚的、具有我国特色的水文化，在绵延不绝的历史进程中，演绎着丰富的「天人合一」、「道法自然」的古代哲学思想。

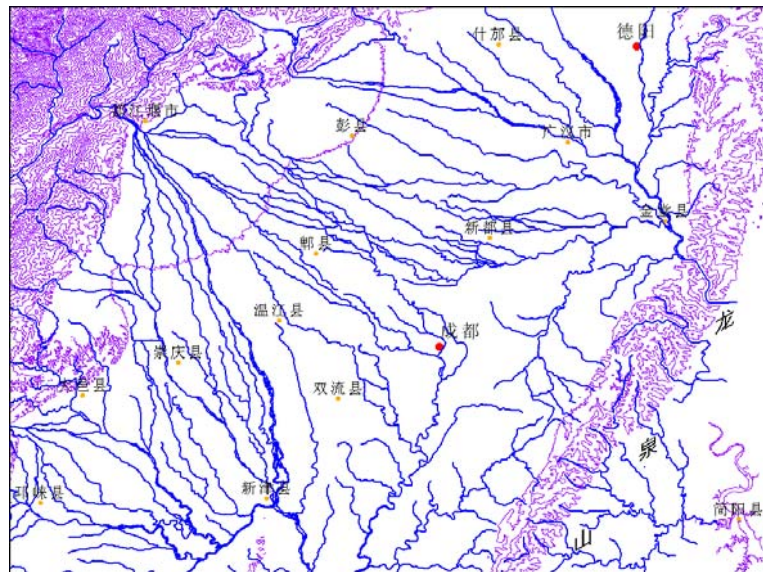


图5 成都平原上的水利系统

都江堰水利工程修筑之后，其经济与文化价值随时间推移而愈加彰显，形成了良好的维护管理系统。秦修都江堰之后，各朝代不断扩大灌溉面积，并加强了工程的维护和管理。宋代之后，形成了每年春冬枯水季节断流岁修的制度。都江堰渠首、灌溉系和分水口、河道堤防与护岸工程，每年洪水之后，都有不同程度的损坏和淤积，必须利用当年的枯水期修复，清除堰口和河段的淤积，这样一年一度常规的工程维修，称为岁修。这也是都江堰确保都江堰历久不衰的重要措施之一。这一制度的形成与维持，将都江堰与成都平原的经济、政治制度紧密地联系在一起，研究其价值、解读其含义对于当代都江堰的管理和维护仍有重要的借鉴意义。

都江堰水利工程修筑之后，其经济与文化价值随时间推移而愈加彰显，形成了良好的维护管理系统。秦修都江堰之后，各朝代不断扩大灌溉面积，并加强了工程的维护和管理。宋代之后，形成了每年春冬枯水季节断流岁修的制度。都江堰渠首、灌溉系和分水口、河道堤防与护岸工程，每年洪水之后，都有不同程度的损坏和淤积，必须利用当年的枯水期修复，清除堰口和河段的淤积，这样一年一度常规的工程维修，称为岁修。这也是都江堰确保都江堰历久不衰的重要措施之一。这一制度的形成与维持，将都江堰与成都平原的经济、政治制度紧密地联系在一起，研究其价值、解读其含义对于当代都江堰的管理和维护仍有重要的借鉴意义。

五、都江堰水利工程的展示

都江堰水利工程的创建，以不破坏自然资源，充分利用自然资源为人类服务为前提，调岷江水灌溉成都平原，有效地控制洪水灾害，使人、地、水三者高度协合统一，是全世界迄今为止仅存的一项伟大的「生态工程」，开创了中国古代水利史上的新纪元，标志着中国水利史进入了一个新阶段。在世界水利史上写下了光辉的一章，都江堰水利工程，是中国古代人民智慧的结晶，是中华文化划时代的杰作。

所以都江堰水利工程的展示也将从自然环境入手，结合三维 GIS、三维数据采集和虚拟现实技术，自岷江源头，沿蜿蜒曲折的岷江河谷进行三维模拟展示（图 6）。都江堰的分水鱼嘴、飞沙堰、宝瓶口等重要工程是展示的重点，利

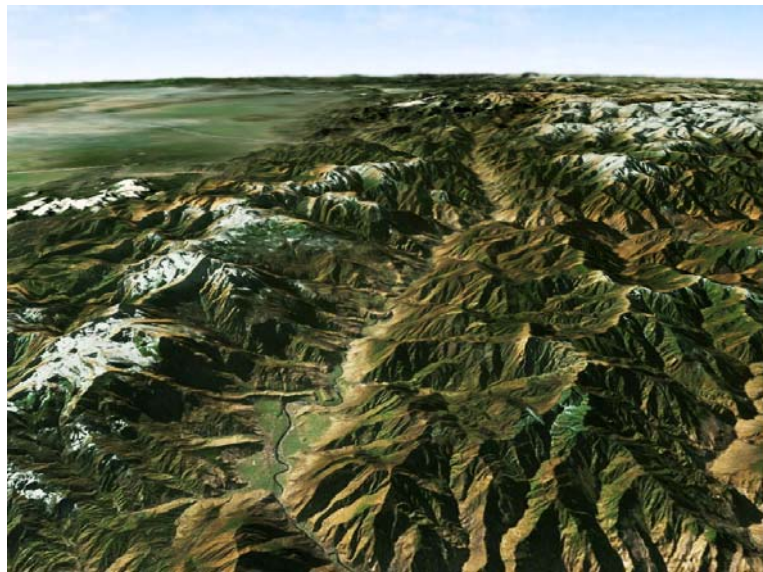


图 6 岷江上游河谷三维模型

用虚拟现实技术和实地摄像等手段，能够对各地点进行多全面的展示。其中的实地高清摄像方法不仅制作成本低廉，而且表现效果也最佳（图 7），应该值得推广。



图 7 高清摄像展示的都江堰水利工程

【作者简介】

刘建国 男

职 称：社科院 考古研究所 研究员

职 务：社科院 考古研究所「考古科技中心」副主任

研究领域：考古信息技术

个人简介：1985年9月至1989年7月就学于武汉测绘科技大学摄影测量与遥感系，毕业后到社科院考古研究所参加工作，从事考古测量、遥感、地理信息系统等方面的应用研究。2007年6月毕业于中国地质大学（北京）研究生院，获地学信息工程专业工学博士学位。自1995年起，受聘为北京大学考古系（现为考古文博学院）主讲《考古测量》课程，后来将课程名称更改为《考古信息技术》，2005年被定为北京大学的主干基础课程。此外还参与北大考古文博学院2003年和2005年的临淄「考古领队培训班」、2004年「所长培训班」等的教学。自2004年起，受聘为中国文化遗产研究院文物修复与保护培训中心举办的「第一期中意班」、「非洲班」、「所长、主任班」、「中日韩丝绸之路班」、「第二期中意班」、「阿拉伯班」等多个培训班主讲《信息技术》课程。

研究成果简介：参与并完成《夏商周断代工程》、《中华文明探源工程（一）》、《考古学多卷本》和《中国考古学的方法与技术》等重大课题中考古信息技术方面内容的研究和撰写任务。主持「十一·五」科技支撑计划《中华文明探源工程（二）》和《文物出土现场保护移动实验室研发》中的考古GIS与空间信息技术方面的专题。通过对河南洛阳盆地、山西临汾盆地、陕西七星河与美阳河流域等区域的古代聚落进行考古地理信息系统的研究，对各地域内古代人地关系进行推测与探究。已发表研究专著2部、研究论文30余篇、考古科技综述和译文10余篇。

联络电话：86-10-65275979（办）；86-13671238580

联络邮箱：jgliu@cass.org.cn