

# 3S 技术在栈道研究中的应用

## I: 地理、地质和历史背景

[澳] 贾大卫 李布朗 [中] 李锐 冯岁平

### 摘要

从古代起,人们就在关中或陕西的“关内之地”和四川平原(古代的蜀)之间流动。秦岭和大巴山脉对交流形成了强大的屏障,但是古代人们仍然通过不断地实践和总结,根据这里的地形条件发明了被称为“栈道”的技术,从而发展了贯穿南北的有效的通商交通路线。本论文的主旨是揭示 3S 技术在对这些事件的研究中如何提供帮助。论文的第一部分将主要讲述这一地区的历史、地理和地质概况,作为我们研究工作的背景,也给英文读者提供一些背景资料。论文的第二部分将重点讲述 3S 技术的应用。

### 引言

翻越东西走向的秦岭、米仓山和大巴山屏障的道路在历史上统称为蜀道,它们将北边的渭河流域(关中,古都长安,即今西安)和南边的四川平原(古都蜀,即今成都)连接起来。其中的许多道路是在秦(公元前 221—前 206 年)、汉(公元前 206—公元 220 年)时期建成的,利用了更早前先人们所发现的天然地形走廊,有些道路甚至经过维修、加固保留至今。要形成这些重要的交通路线,需要人称“栈道”(见图 1)的筑路技术的支持,将阁架固定在石壁,才能穿越深谷陡壑。蜀道以及与其相关的历史事件是中国古代和现代文化的一部分。



图 1: 重建的四川北部明月峡的古栈道

秦岭和大巴山之间是汉中盆地,汉水穿过盆地流到湖北武汉汇入长江,自古以来汉中盆地是关中和蜀地的主要通道。汉中博物馆保存、保护着该地区包括古栈道文化、历史在内的丰富的遗产资源。本文作者目前正在开展一个试验课题,采用现代遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)技术,确定历史上的某一时期、某个地域内蜀道的位置。课题的目的是开发一个空间信息系统,帮助博物馆和其它机构管理、保存、保护散布在各地的古迹;为学者、旅游者等提供有关历史上道路交通线的地理地形信息。本文首先针对英语读者,介绍了相关的地理、历史和文化背景;然后简要说明了在中国被称为“3S”(RS、GIS

和 GPS) 的技术是如何来帮助研究、管理和保存历史资料, 满足当代日益增长的中国历史旅游的兴趣。

### 蜀道和秦岭的地理、地质和地貌特征

中国东西走向的山脉由青藏高原的昆仑山, 延伸到华北平原, 到达东海岸, 秦岭和大巴山就是其中得一部分。它将中国的环境、气候、历史和文化分成南方和北方, 形成了如Mostern 和Meeks [S. 4]<sup>1</sup> 所言的历史边界地区。南、北方的分异在中国西部由蜀道连接的封闭盆地里表现得尤其明显。最北边的位于陕西的渭河及其支流流域, 长时间被称作关中(关内之地), 是一个史前文明所在地, 是西周(公元前 1100—前 771 年)、秦、汉、隋(公元 581—618 年)、唐(公元 618—907 年), 和其他许多北方异族发端扩展, 征服和统治中国或部分中国的地方。长安(今西安)是中国历时最久的政治中心。关中因周围山上的 5 个重要关口和许多其它小关口而得名。这些关口是通过山区屏障进入关中的门户和天然要塞。

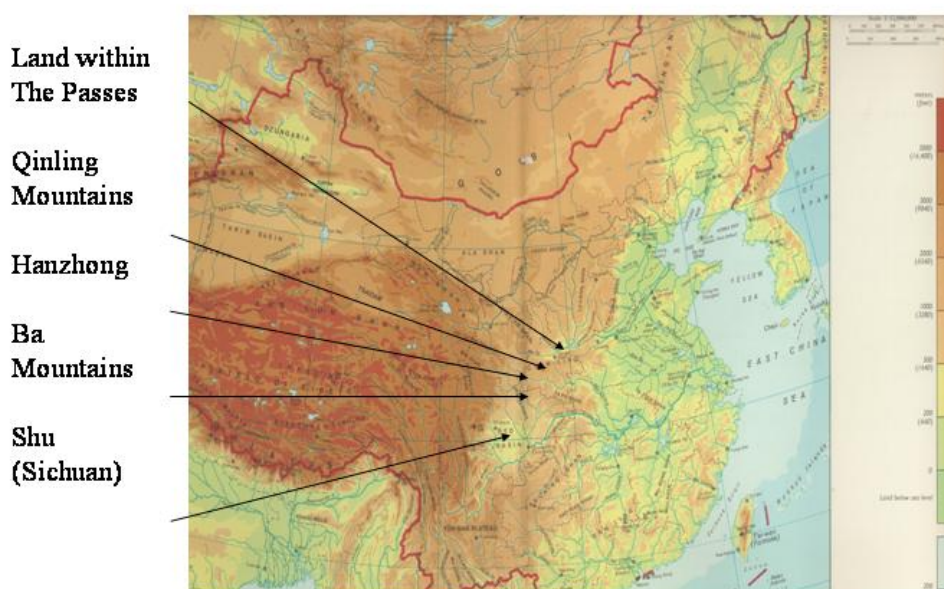


图 2: 三个“关内之地”——关中、汉中和蜀

虽然关中最为出名, 它的南边还有另外两个“关内之地”。最南边, 越过秦巴山脉, 是四川盆地。尽管它不如关中那么众所周知, 但是也孕育了跟北边、东边的文明比肩并行的古代文明。四川富饶肥沃, 有高山天然保护, 常常躲过它东边地区所发生的动乱。但是, 也正是为了它丰富的资源, 战国时(公元前 481—前 221 年)秦国的军队修筑山路, 越过秦岭, 征服了蜀国; 并采用先进的灌溉工程, 发展农业生产。

介于这两个地区之间, 在秦岭高山以南, 大巴山、米仓山以北的, 是汉中盆地。秦岭将北边较干燥的小麦生长区和南边较湿润的水稻生长区隔开, 汉中的气候、农业、以及野生动物、天然植被均介于北方、南方的过渡区。汉中盆地自然资源丰富, 古称“玉盆”; 因为位置适中, 当越来越多的人穿山越岭、来往于关中和蜀地, 或利用汉水连接蜀地、关中和长

<sup>1</sup> 本文的参考资料分为文集内文献(排序以 S.开头)和其它文献(排序以 R.开头), 在文末分别列出。

江下游地区后，汉中就成了一个交通枢纽。这些沟通南、北交通的道路就是蜀道（见冯岁平 [R. 3]）。

从地质上看（孟庆任和张国伟 [R. 5]），南秦岭和北秦岭（大巴山属于南秦岭）是由于华北和华南板块的碰撞，在较新的地质时代形成的。剧烈的褶皱和造山运动导致华北、华南气候不同，华北变干，形成黄土，长江流域和黄河流域完全分开。随后的河流对东西向结构的切割作用，包括横向切割和纵向切割，形成了由花岗岩山脉分隔深谷的地貌特征。山地剥蚀物质就沉积在山谷和小盆地—比如汉中盆地里。尽管南秦岭的地质构造跟北秦岭的不同，那里的山地同样尖峰险峻，沟壑陡峭，水流湍急。

很明显，物资的运输、人员的流动和信息的交流要穿过这样的屏障会困难重重。但是，一个屏障能否被通过的决定因素，不在于它有多陡，而在于它是否存在一条可以连通起来的路线，以及人们能否成功地穿过陆地、海洋艰险，进行贸易和交流。在秦岭地区，先人们肯定早就找到了沟通南北的途径。李焯 [S. 2] 和史党社、周振鹤 [S. 6] 给出了自新、旧石器时代（早于公元前 2000 年）和商、周（早于公元前 1000 年）时代起这里就存在频繁交通的证据。从中国其它地方入蜀的道路通常应该顺河道、谷地而行，因为山岭非常陡峭。这就意味着要尽可能地在大河用舟船（施昌成和张树军 [S. 5] 谈汉水），也利用河流切割的谷地。但由于河流都被限制在流域内部，这就有必要从山鞍部穿过分水岭，将各条通道连接起来，这样就形成了蜀道。流域分水岭上的重要地形部位则构成了蜀道史上非常重要的“门”或“关”。

即使可以从关口通过分水岭，但有些河谷，或部分河谷却常常过于陡峭、不稳定，充满危险；所以随着古代交通的发展，一个独特的沿山崖连接河谷，能让人、物安全通过的技术出现了，这就是“栈道”。栈道就是在悬崖绝壁上凿孔，插入木梁或石梁，铺设栈架组成道路，使商旅、军队和文化得以移动，而这通常要求道路的宽度能容许两挂马车相向通过。各处的蜀道都广泛采用栈道。李约瑟爵士 [R. 7] 的《中国科学技术史》认为渭河流域与四川盆地间的栈道是“秦汉筑路工人最杰出的工程成就”，它是对栈道技术细节讨论最多的英文书之一。他的赞美之辞已经被证明，其中包括这样一个事实的证明：尽管秦岭将中国分成南方和北方，对中国历史有过影响，但并没有阻碍中国形成它的文化和历史特征。

### 蜀道和中国的历史、文学与文化

在山区，河谷用栈道技术修成了通道，相邻流域之间分水岭鞍部也可以是山区的通道，正如杨东晨 [S. 7] 明确指出的，人们往来南北所选择的道路不是仅仅由地形决定的，还有政治、征服、权力、文化、贸易以及人的相互影响因素。在地理、历史和文化的共同影响下，形成了沟通南北的蜀道体系。公认的主要路线有七条，其中有四条穿越秦岭，三条穿越南部的大巴山和米仓山（见图 3）。其名称由西往东，北边四条分别是故道（即陈仓道）、褒斜道、子午道和傥骆道。南边三条是金牛道、米仓道和洋巴道（即荔枝道）。另有一段路（连云道）将陈仓道和褒斜道连了起来。这些路经常地出现在与该地区有关的记载和历史资料里，其地理位置如以下图 3 所示，沿途的现代主要城镇用线条连接。确定这些道路在不同历史时期的具体位置的方法将在后面谈及。





图 3: 一张普通的穿越秦岭的蜀道路线(连接起来的地点)图, 在现在的西安、汉中和成都之间。

第一条大道应该是秦国在战国时期修建的, 可能包含了后来所称的陈仓道和金牛道。传说蜀国同意修建这么一条路以便秦国可以把礼物“金牛”送过去, 结果只是把秦军引入而被并吞。虽然这场征战经过了近百年的时间, 直到公元前 4 世纪中期才完成, 但它极大地增强了秦的国力。秦国开发了蜀地的资源, 包括修建重要的都江堰灌溉工程(史记, 29 [R. 9]), 将蜀变成了秦的粮仓。蜀道穿山越岭, 给秦国供应了必要的物资, 使它在公元前 221 年统一中国, 建立了秦朝。

在秦、汉和三国(公元 220—230 年)时期, 高质量的栈道在秦岭和大巴山脉得到大规模的修筑、修复和扩展。上述七条大路, 可能除了洋巴道外, 都是这个时期修筑、使用的。《史记》29 [R. 9] 记录了西汉时期有些大臣和水工如何说服皇帝支持大型河渠工程, 扩展褒斜道, 以便将稻米和其它物资通过汉水和褒水、斜水, 经由五里坡分水岭一小段陆路连接, 运到关中。根据司马迁的记载(Burton Watson [R. 9] 翻译), “道果便近, 而水湍石, 不可漕”。

公元前 206 年, 秦朝被六国联军推翻后, 发生了一件跟蜀道有关的历史大事。由于霸王项羽担心其他的将领在关中靠近现西安的秦都咸阳立足, 就把他的主要竞争对手刘邦封为汉王, 统治汉(今汉中)、蜀(今四川)和巴(今重庆)。尽管诸将曾经立约, “先入定关中者王之”, 最后是刘邦先入, 但项羽争辩说“巴、蜀亦关中地也”(史记 7 [R. 9]), 打发刘邦到汉中, 希望他常驻。

刘邦带着他的军队, 包括谋士张良(一个挺熟悉秦岭地区的人, 今天在靠近留坝县的连云道上有张良庙))经栈道到达汉中后, 就烧毁栈道, 以防他人来袭, 也使项羽相信他无意返回关中。汉中博物馆所在的汉台, 就是刘邦的宫廷。后来也是在汉台, 刘邦派遣军队统一了中国, 建立汉朝, 当了汉朝的第一个皇帝。这里有太多值得谈论的话题, 有更好的值得探明的地方。感兴趣的英语读者可以从中文书籍比如《史记》[R. 9] 的英文译本中, 或从 Twitchett and Loewe [R. 10] 的通俗历史介绍中探究当时所发生的事情。

惊人相似的一幕发生在公元 220 年, 汉朝最后灭亡以后。这时候, 中国已分成魏(拥有关中和洛阳)、吴(都城在今南京)、蜀(都城在今成都)三国。刘备称帝, 以汉室正统自居, 国号汉, 史称“蜀汉”。正如他的先祖有个能干的谋士张良, 刘备也有个更聪明的丞相诸葛亮, 字孔明, 号卧龙。生前被封为“武乡侯”(武乡在汉中北面), 死后被蜀汉后主追

谥为“忠武侯”。至今在他的祠庙中被称作“武侯”。诸葛亮几乎完全仿效刘邦成功的先例，越过秦岭，多次进攻关中，可是没有成功。不过，当时的故事被写进著名小说《三国演义》里，已经成为中国文化的一部分。Moss Roberts [R. 4]将它翻译成“Romance of the Three Kingdoms”。想知道蜀道如何成为惊心动魄的历史演义和英雄建功立业的舞台，再没有比读这本小说更好的了。对于这个地区的历史及汉末的历史事件，de Crespigny [R. 1; R. 2] 的书籍和其它根据当时更准确的历史纪录翻译的出版物有更准确的英文描述。

唐朝（公元 618—907 年）时候，关于栈道的文字依然出现在文学和历史中，因为有些政客和诗人，比如李白，曾被放逐到远离长安、洛阳朝廷的蜀地。李白写过一首著名的诗《蜀道难》，读者可以从 Minford 和 Lau [R. 6]的翻译里，体会那个年代穿越秦岭的滋味。李白在诗中把栈道称为“天梯”：

地崩山摧壮士死，  
然后天梯石栈相钩连。

当时的皇帝唐玄宗在叛军攻占京城时，也经此路逃往四川。当从金牛道回来时，已经退位，也没有最宠爱的杨贵妃的陪伴。她在军队退往四川的路上早已经被迫自尽了。据说洋巴路早年就是为了给奢侈的杨贵妃把荔枝从南方送到西安而修建的。下面图 4 中的这幅宋代的画《明皇幸蜀图》描绘了皇帝去四川的“地图”，画的左侧部分可以看见栈道在悬崖峻岭间盘绕。

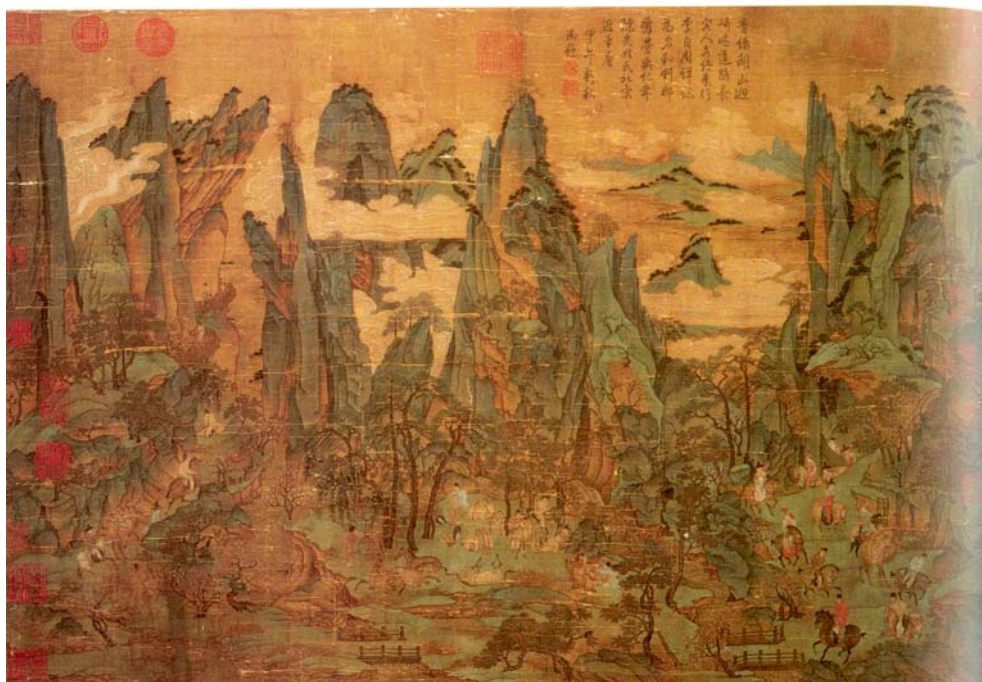


图 4：唐明皇 蜀道路线（美国国会图书馆）

在结束流亡生活，从四川返程至川北剑门关时，明皇曾作了首诗（大概自责自己不是个明君）<sup>2</sup>：

剑阁横云峻 銮舆出狩回  
翠屏千仞合 丹嶂五丁开  
灌木萦旗转 仙云拂马来  
乘时方在德 嗟尔勒铭才

及至宋（960—1279 年）、元（1271—1368 年）、明（1368—1662 年）、清（1662—1911 年）各朝，蜀道都是南、北交通的重要路线，随着时间的推移也得到了更好的整修、

<sup>2</sup> 由 Red Pine 翻译成英文“Reaching Sword Gate Pass after touring the Land of Shu”。



加固。西安到成都的主驿道循连云道和褒水谷地而行。这段路直到民国时期（公元 1912—1949 年）还是穿越秦岭的主要道路。文学艺术作品、书法、游记、石碑，尤其是“方志”（记录当地发生的所有事和有关人）记录了蜀道 2000 年的历史。这些记录有很多地理信息，但不是现代制图学意义上的地图，这就给 3S 技术的应用带来了 Brian Lees [S. 1] 所讲的问题。而且，李之勤[S. 3]发现很多记录也不吻合，他根据多种记载和资料澄清了真相。尽管如此，这些记录仍然不失为独特而重要的蜀道书面资料。

古老的工程创举和进取精神，一直激励着当代中国人；现代“蜀道”的建设也展现了新时代道路工程同样伟大的壮举。据英语报纸 *Shanghai Sunday Times* (1932 年 11 月 12 日)<sup>3</sup>报道，1932 年四川省仅有 1269 英里（2040 公里）的公路和 235 辆汽车，陕西省有 1808 英里（2910 公里）的公路和 414 辆汽车，全中国有 39350 英里（63350 公里）的公路和 43834 辆汽车；1952 年时，全国道路里程翻了一番，达到 126700 公里；与此形成对照，1997 年底，中国的公路里程达到 1 百 22 万 6 千公里（约是 1952 年的 10 倍），铁路达 57570 公里<sup>4</sup>。从那时到现在，全国的高速公路进一步大规模增加，包括横穿秦岭的隧道和立交桥。这个变化是巨大的。

成都西安之间的许多路，在 1932 年并不比清朝时好多少。汉中博物馆里保存的老照片真实地记录了它们当时的状况。



图 5：20 世纪 30 年代从宝鸡旅行到汉中（来自 Frank Moore 的收藏）

因为抗日战争的需要，上世纪 30 年代末、40 年代初，修建了汉中到宝鸡的公路（宝汉公路），它沿着元代起就是主要驿道的蜀道。从老照片上看，蜀道依然“难”（见图 5）。从武汉到汉中的铁路也是为了抗战而修的。1949 年后，修建了宝鸡到成都的干线铁路，大部分路段循着原故道（陈仓道）。沿着原先的一些蜀道，开展了大规模的筑路活动，付出了巨大的努力，经历了极度的艰难。在褒斜道的两端，也同时修起了大水库，灌溉农田，提高粮食产量。“栈道精神”肯定在其中起到了积极的作用。现在可以两个小时从汉中到达西安，经过是现代化的隧道，而不是古老的栈道。

<sup>3</sup> G. B. Cressy 引用在“China’s Geographic Foundations”, McGraw-Hill, 1934。这本书提供了日本入侵前的中华民国的很多资源信息。

<sup>4</sup> 1949 年后的数据源自中国国家统计局的统计年鉴和其它资料。

## 结论

这是本文的第一部分，是第二部分（谈论地理信息科学和空间分析技术，简单说明它们对正在进行的蜀道研究项目的应用）的基础。在这里我们还对蜀道作了一番英文介绍，希望有助于增加英语读者接触更多信息的兴趣，喜欢这些论文和摘要，它们多方面的展示了促进蜀道和栈道研究和教育的机会。

自古以来，山川湖泊都是中国文学和艺术作品的主题。对蜀道历史而言，地形起了决定性作用，而河流则是交通和道路变化的原因。地形图和后来的数字高程模型（DEM）记录了秦岭、米仓山和大巴山的地形信息，从中可以得到坡度、流域范围、流水线、潜在的分水岭关口通道、等高线、地貌类型和地貌结构。在此基础上，还可以根据以往的记录和现代遥感图像推出地表和土地覆盖随着时间的改变情况，很多不一致之处就解释清楚了。例如，在很多地方，从方志记载中（张浩良[R. 11]），能够找到各历史时期森林范围和变化周期的资料。新近的（不必全部是最新的）土地覆盖可以用 Google earth 查找，而以前可能的土地覆盖则有时可以从地形和气候推出，提供一个历史背景；历史上，气候的变化比地形的变化更快。

道路和遗址的位置在历史上改变很多。历史记录虽然有助于追踪这些变化，但这些记录不总是完整的。而在地形和土地覆盖信息库，就可以把考古的发现纳入现代制图体系。利用最重要的地形控制，结合当地和区域的有关纪录，以及对尚存遗址的实地考察，就可能把地形、地图、土地覆盖、考古成果、和可能的交通路线，采用全球定位系统技术，纳入一个精确的空间和（有些情况下的）时间信息系统框架。将非地图性的地理资料（多数当地资料都如此）综合起来不是个简单的工作（Lees [S. 1]），但一般是可行的；而在工作进展时，通常会发现新的信息。

基于地图的信息可以在地理信息系统（GIS）里处理。有关的数据及其与历史和环境的联系可以用多种形式来显示和直观化 - 比如采用方便的 Google earth。然而，正如本介绍所示，跟时间密切相关的地名、历史、位置和空间相互作用等内容是一个信息系统的难点所在。为研讨会提交的这一组英文论文涵盖了这样一个系统的许多关键方面，适合政府和旅游等部门管理数据的利用。

现代道路建设和交通的发展，既给蜀道研究提供了新的内容，又凸现了蜀道的历史和考古管理的迫切性。在很多地方，道路使得遗址消失湮没了；另有些地方，归功于一些部门或个人的努力，遗物保存在博物馆，有时是照片、摹本和拓片，而非原物的形式。本文第二部分，概述基于地图的当代 3S 技术和地理信息科学对此工作所能提供的帮助，这些在本研讨会的数篇文章有所讨论。

## 致谢

澳大利亚-中国理事会给予了本项目和汉中“栈道历史研究与 3S 技术应用国际研讨会”宝贵的支持。Rafe de Crespigny 教授阅读了本论文这部分初稿并提出了宝贵的建议，图 3 的 Google Earth 图像系由 Google 公司授权的 Google Earth Pro 软件生成。美熹德加州大学的 Ruth Mostern 提供了图 4。图 5 是由 Frank Moore 的慷慨允许下提供的。图 2 来自于 Herrmann 的一本书中，这在本论文的第二部分中提供了参考资料。澳大利亚的张美怡和李领涛为本文和其他英语文章做了优秀的翻译，中国的谢红霞对翻译做了编辑并提出了一些建议。汉中博物馆的工作人员和中国科学院水土保持研究所的学生在工作中提供了重要的支持和帮助。

## 参考资料

### 研讨会文集文献

- [S. 1] Lees, Brian. The language and grammar of maps.
- [S. 2] 李焯，汉中盆地史前时代交通蠡测
- [S. 3] 李之勤，秦岭古道历史资料辑校 12 则

- [S. 4] Mostern, Ruth and Elijah Meeks. The Qinling Frontier and the Construction of Empire in China: Three Examples from Early and Middle Period History.
- [S. 5] 施昌成、张树军, 清代汉江中上游航运海事
- [S. 6] 史党社、周振鹤, 故道的早期历史——以考古材料为主的论证
- [S. 7] 杨东晨, 论交通道路是秦巴山区的命脉

### 其它参考文献

- [R. 1] de Crespigny, R. (1984). *Northern Frontier - The politics and Strategy of the Later Han Empire*. Faculty of Asian studies, Australian National University, 1984.
- [R. 2] de Crespigny, R. (1991). The Three Kingdoms and Western Jin: A history of China in the Third Century. *East Asian History*, 1, 1-36; 2, 143-164.
- [R. 3] Feng, Shuiping (2003). *The Northwest's Little South China - Hanzhong*. Three Qin Press, Xi'an, Nov. 2003. (In Chinese).  
西北小江南—汉中 冯岁平著。西安：三秦出版社，2003. 11。
- [R. 4] Luo Guanzhong (fl. 1360). *Three Kingdoms*. (Novel: Sanguo Yanyi) Translated by Moss Roberts. Foreign Languages Press, Beijing, 1994.  
《三国演义》，罗贯中(1360)著，Moss Roberts 翻译，北京，外文出版社，1994。
- [R. 5] Meng, Qingren, and Zhang, Guowei (2000). Geologic framework and tectonic evolution of the Qinling orogen, central China. *Tectonophysics*, 323(3-4), 183-196
- [R. 6] 闵福德、刘绍铭, 主编 (2001), “含英咀华”(上卷: 远古时代至唐代), 香港中文大学, 中文大学出版社, 2001。
- [R. 7] Needham, J., Wang, L. & Lu G.D. (1971). *Science and Civilisation in China. Volume 4. Physics and Physical Technology, Part III, Civil Engineering and Nautics*. Cambridge University Press.
- [R. 8] Red Pine (translator). (2003). *Poems of the Masters. China's Classic Anthology of Tang and Sung Dynasty Verse*. Copper Canyon Press.
- [R. 9] 司马迁 (公元前 120), 史记, Burton Watson 翻译. *Records of the Grand Historian*. Three Volumes (Revised 1993): *Qin Dynasty, Han Dynasty I, Han Dynasty II*. Columbia University Press.
- [R. 10] Twitchett, D. and Loewe, M. (Eds). (1986). *The Cambridge History of China. Vol I, The Ch'in and Han Empires (221 B.C. - A.D. 220)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [R. 11] 张浩良 (1990). 绿色史料札记: 一巴山林木碑碣文集, 云南大学出版社。



# 3S 技术在栈道研究中的应用

## II .3S 技术与澳中合作项目

[澳] 贾大卫 李布朗 [中] 李锐 冯岁平

### 摘要

本论文第二部分介绍 3S 技术及其在栈道和蜀道历史地理研究中的应用。地图、GPS、遥感、GIS、3D 模型和地形分析是研究地形在一个区域历史上作用的重要工具，特别是可以满足人们管理和保存遗迹方面中不断增长的需求，这些遗迹是为沟通中国南方、北方而发展起来的独特技术的知识。这部分还将描述现在的信息技术如何给大众提供机会来参与研究和增加大众这方面的知识。最后还将介绍澳大利亚-中国理事会 (ACC) 项目。ACC 项目为在这次研讨会介绍 3S 技术提供了大力的支持。并且正与汉中博物馆进行两个试点项目。参加研讨会的国内外专家向本次研讨会递交了论文，。

### 介绍

此文续接论文的前一部分。第一部分中简介了秦岭和大巴山的地理情况、关于穿越这些崎岖山脉、连接中国南北的道路的一些历史和故事、地形在这一区域的交通中所起的重要作用，以及人们为了克服这种地形障碍而发明的独特的栈道技术。论文的第二部分将讲述 3S 的一些应用技术和我们的一个研究项目。这个项目吸引了一批在历史、地理信息科学、考古和旅游方面感兴趣的专家参与了这次关于栈道研究现状的国际研讨会<sup>5</sup>。这个在澳大利亚由澳中理事会资助的项目进行了一些具体的试点研究，展示了 3S 技术在栈道研究中的应用，这些都将在本文的最后一部分予以介绍。

### 使用 3S 技术支持蜀道研究

#### 什么是 3S?

“3S” 是全球定位系统 (GPS)、遥感 (RS) 和地理信息系统 (GIS) 的总称。GPS 尽管出现的最晚，但在这三者中现在是最出名的。现在许多汽车、笔记本电脑和手机都使用了 GPS 技术。一个年轻人可以打电话给他的朋友，用 GPS 确定自己所在位置，将位置信息和连同一张周围环境的数码照片发送给该朋友，而朋友的车载 GPS 就可以计算出最佳的路径，并将驾车人导航到对方打电话的地方。随着 GPS、手机电话（特别是短信）和互联网、Google Earth[R.12]和其它软件的普及，再加上它们易于和其它现代移动技术接轨的特性，遥感与 GIS 普及程度也越来越高，并被得到广泛应用。

这些技术开发最重要的方面就是使很多人都能够使用这些工具。人们利用这些技术来处理这方面的工作。这篇文章介绍了一些可利用的 3S 的工具，它们对这次研讨会所讨论的考古和历史研究都是有帮助的。

#### 地图和海图

现代 3S 技术的基础是非常古老的制图技术。人类从古代就开始制作并使用地图了。中国和西方的制图传统虽然有些不同，但他们的历史差不多同样久远 (Needham 和 Wang, 1959 [R.22], Yan 等, 1998 [R.26])。地图以图形的形式包含了空间位置信息，指示了如何从一个地方到达另一个地方，这些都是 3S 应用的最重要的基础。地图的种类有很多，把最符合应用目的的信息表现出来的方法也有很多。西方的陆地地图和航海海图有着很大的区别。海图一般是对观察地点实际观察到的信息的整理汇集——即使我们并不知道这些信息的准确性。而地图倾向于观测得来有特定的制图精确度的数据，但在成图中并不显示基础数据。举

<sup>5</sup>栈道历史研究与 3S 技术应用国际学术研讨会，陕西汉中市，2007 年 5 月 16-18

个例子来说，在过去，海图记载着所有实际测深以及航海日志记载的观察资料，但是除了作为背景以外，它很少使用等深线。在地形图中，等高线是主要信息，而用于生成等高线的观测信息则很少包含，或提供。这两种表现空间数据的方法都适合于历史数据。

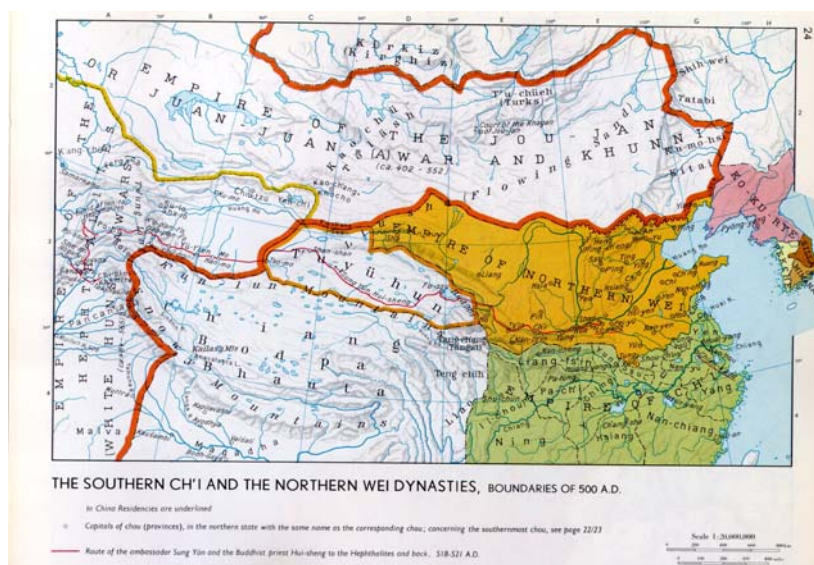


图 1: 选自 Herrmann 地图 (1935, 1966 版), 地图的背景显示了“海图”似的的注释和信息整理

宋代刻在石碑上的地图遗迹曾是中国古代地图少有的表现形式。然而，新近在天水发现的秦朝的地图 (Yan等, 1998 [R.26]) 和马王堆的西汉地图 (Yan等, 1998 [R.26]) 表明，画在木材、丝绸和 (后来的) 纸上的古代地图是包括了地形 (山峰、山脊和沟谷)、河流、湖泊和交通线的实用地图。毫无疑问地，这些地图是一个好的将军或农业灌溉管理者当时所必须的，但遗憾的是只有极少数被保留下来并有助于现在的栈道研究。尽管现代关于中国历史或涉及中国历史的书籍中广泛地使用地图 (如Blunden和Elvin, 1983, [R.4])，但是在西方，符合制图体系的综合性的中国历史地图集相对来说很少能见到。欧洲的一部著名的中国历史地图集是Herrmann地图 (1935, [R.16])，于 1966 年更新，尽管关于它的准确性的争论有很多，但还没有被彻底修订并加入现代的知识，其原因之一可能是由于它包含了许多不同来源的数据 (见图 1)，Herrmann地图更像“海图”，而不像是以地图的形式显示的、从数据衍生的结果。最著名的中国历史地图集是由谭其骧主编的《中国历史地图集》(Tan, 1966, [R.25])。这本地图集是一本地名空间展示的辞典，它包含了从古代至清朝的地名、地点和疆域范围，是研究历史的非常好的一个依据<sup>6</sup>。

## GPS

Navstar GPS 是全球导航卫星系统 (GNSS) 中的一种，也是唯一完全正常运行的一种。GPS 使用精确追踪的轨道卫星和原子钟，只要 24 颗主卫星中的三颗以上 (通常是四颗) 在这个地点的观察范围内，在任何地点都可以测量位置和时间。如果缺少先验信息，就需要四颗卫星根据遥远的恒星组成的参照系来确定相对于地球中心的位置 (x,y,z) 和时间(t)。和任何测绘一样，要把这些坐标转换成对水手、飞行员和土地测量员有意义的坐标，还需要基准面和基线的选择。

GPS 设备供应商为卫星系统提供了非常详细的说明文件 (例如 Garmin 有限公司[R.11] 提供的非常好的入门指南)。GPS 接收器可以把一连串卫星数据 (数据以每秒一个观测值的频率抵达) 解析成“航点” (在可以分辨“单个人”的尺度记录下来的位置点) 或“航迹” (一系列记录下来的位置点，代表在设备或车辆移动过程中，其位置和时间的真实踪迹)。

<sup>6</sup>请参考[R.14]列出的中文历史地理资料参考书目，其中包括地名词典和古代地图集

航点可以是单一的时间采样值，也可以是平均值。对航迹数据的分析可以得出航向、速度和其它惯性信息；航迹并不一定要位于地表上，它可以采取任意的空间/时间的轨迹形式。

支撑GPS的实用价值的是地图。GPS和地图被完全结合于车辆导航系统中，所以在离车辆最近的一条路上追踪它，而不是在测量到的地点；航点可以在地图上确定，就像用GPS测量真实地点一样容易<sup>7</sup>。在这种结合中还经常用到另一个词“路线”。路线是一连串的航迹，系统需要沿地图上任意可用的路线尽可能频繁地导航。在考古领域，GPS已经是大家熟悉的（即使不是必须的）勘测过程中记载活动、定位遗址和潜在遗址的工具。在实地考察之后，GPS数据被用来结合测量数据或照片（以时间为坐标）形式的数据集，并把实地考察得来的信息和地图与其它数据融合到一起，或被用于Google Earth或类似的展示系统中表现其位置和活动。

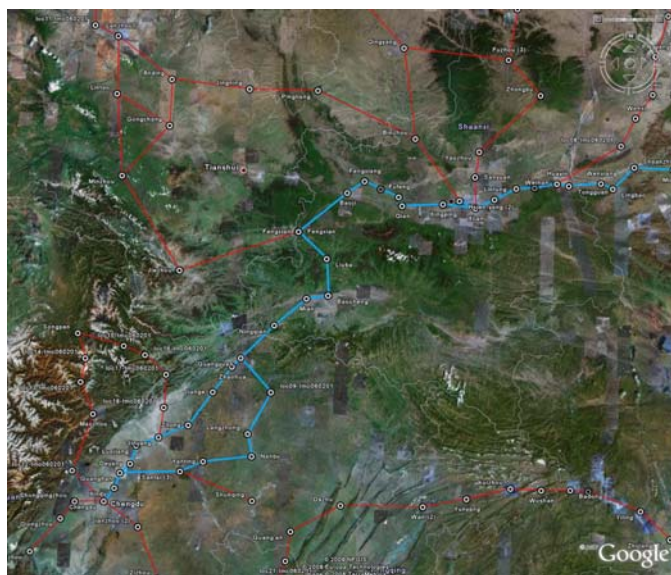


图 2：来自 OWTRAD 网站的明驿道在 Google Earth 上显示为一系列的 GPS 路线

GPS 数据结构形式和运输、交通以及交通历史都有着特殊的密切关系。航点可以是区域内有历史意义的地点或是人们感兴趣的时间段。路线可以是在某一时间段内按一定顺序从一个地方到另一个地方的旅行、交通，例如通商路线（见旧世界商路网站[R.7]描述的结构）。航迹可以是旅程的实际路径的呈现，通常比路线更难验证。在这个例子中的时间不是 GPS 时间，而是信息的一个自身组成部分，而且可以是时间间隔。蜀道的一般地图可以很容易地用这样的“GPS”体系来管理和展示。

对于古遗址的制图来说，GPS 通常并不够精确。如果不采用增强并从多个可接收到的卫星中选取最好的四颗卫星的方法，一个高质量的野外 GPS 可以达到平均小于 5m 的精确度。而车载 GPS 记录的航迹即使在良好的条件下，并且在车顶装有天线，使用高频率采样的时候，也只能给出 10-15m 的精确度。在秦岭和大巴山地区有很多地方，古遗迹或深谷里的路段只能收到很弱的卫星信号或是根本收不到信号。在这种情况下，要么需要使用差分 GPS（简称 DGPS，[R.13]），要么使用精确的现场传统测量方法，或同时使用两种。DGPS 要求在附近的某一固定地点放置一个特别配置的设备，该地点需要有很好的面向天空的开放视野（例如山顶）；或者在附近使用某种增强手段(比如“增强型 GPS 广域差分系统” Wide Area Augmentation Scheme，简称 WAAS)。这些都是比较深入的内容，本文将不再讨论。

<sup>7</sup>记录 GPS 位置或某时段平均位置的“航点”与从地图上选定的“航点”的区别在 GPS 系统中很少被提到，但是它们实际上有非常大的区别。



## 遥感和图像

现代的遥感技术使用数码画幅相机和各种扫描与感应设备来给地球制图、监控地球表面的活动、测量环境状况，并监测全球变化。航空遥感图像的分辨率还是最高的，但已经面临商业卫星的竞争，如 Quickbird (3m 和 70cm 分辨率) 和 Ikonos (4m 和 1m 分辨率) 卫星图像。Satellite Imaging Corporation [R.23] 和 Digitalglobe [R.8] 的网站上有可获得的图像的清单、图像展示和包括考古方面的应用的实例。

使用和欣赏的内容。高分辨率的图像也使空间遥达到了一个新水平，成为一个能够充分满足很多考古应用的产品。在这次研讨会中，周 [S.6]、李 和黄 [S.3] 的论文中提供了一些遥感在这一背景下的应用方法的好例子。例如在 Google Earth 上，汉中市在标准背景的全球图像上以较低的分辨率显示，尽管汉中经常被云遮盖，我们还是可以得到高分辨率的图像。图 3 显示了 Digitalglobe Quickbird 下的汉中的图片，它使用了“假彩色”的成像，植被显示为红色。



图 3: 镶嵌于 Google Earth 中的汉中 Quickbird 图像具有近 1m 的分辨率

这张图片的分辨率足以看清街道上的车辆，它可以用在 Google Earth (如图 3 所示) 和其它系统上，以可以分清细部的精度来展示、分析汉中的信息。在后面的章节我们将涉及到更多的遥感数据的应用。

## 地形数据与DTM

随着机载遥感和立体照相的发展，地形图有了快速的发展。过去，绘制地形图靠手工跟踪等高线，或沿立体相片上的剖面线采取高程样本。比如本项目所使用的地形图 (见图 4) 全部从苏联 60 年代的航空调查提取。它们是后期根据从照片上收集的原始的点用机器生成等高线。地面调查程度的有限性引起了一些垂直水准测量和基准面方面的问题。现在这些问题正在研究中，以便使这些数据与基于 GPS 和卫星的数据一致。

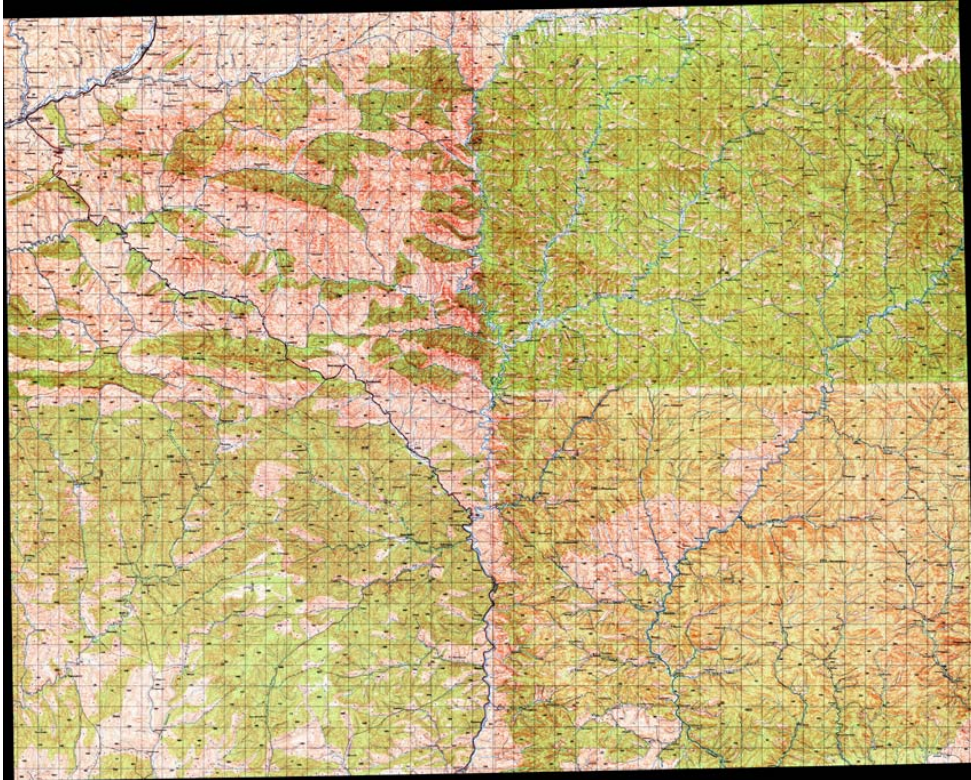


图 4：四幅苏联的 1:100,000 地形图的拼接图，中心点是姜窝子(在陕西留坝县)，等高距 20 米和 40 米，高斯-克吕格 (Gauss-Kruger) 投影。扫描图的分辨率是 6 米。

1960 年代以后，人们转而发展栅格形式的数字化地形，即数字高程模型 (DEM)，它的每一格点值是该点基于某基准面的高程，或某些相邻点的平均高程。以前这种数字化数据的生成方法是数字化已有的地形图上的等高线、流水线和高程点，这可能仍是生成秦岭地区高精度 DEM 的唯一可行的方法。但是，随着时间的推移，该地区更好的、基于航空照片或航天像片的 DEM 会出现。基于航天的 DEM 是从几个国家卫星所载的传感器提取的，这些卫星包括 SPOT, Ikonos 和 QuickBird。

航天飞机雷达地形测绘 (SRTM) [R.24] 的出现也使地形制图更进一步发展。SRTM 产品基于多普勒合成孔径雷达 (Doppler SAR radar) 遥感，测量对地距离和角度，得到全球表面地形图。SRTM 是直接观测到的数据，但不是高度的直接测量。90 米 (3 弧秒) 精度的 SRTM 数据对全世界无限制提供，在美国还可以得到 30 米 (1 弧秒) 精度的。SRTM 使得历史地理学家提出全球范围的地理和地形问题，Mostern 和 Meeks [S.4] 示范了如何利用连贯一致的全球数据，将历史地理研究推向前进。

根据合适的 DEM，经过图像处理可以生成数字地形模型 (DTM)。DTM 包含了高程和衍生的地形信息，如坡度、曲率、地形点、流水线、山脊线和等高线、流域、次级流域 (见图 5)。DTM 可用来选择新修道路的最佳位置，以及每种方案可能移动的土方量的信息。就我们所讨论的应用于历史，显然可以采用相似的办法，在适当的尺度上，确定潜在的贸易和货物流动路线。几乎可以肯定，新近建成的穿越秦岭的高速公路在规划时使用了表面和地下的 3D 地形模型。但是，跟当代工程人员不同，古代的修路工人没有开挖隧道这个方案可供选择。



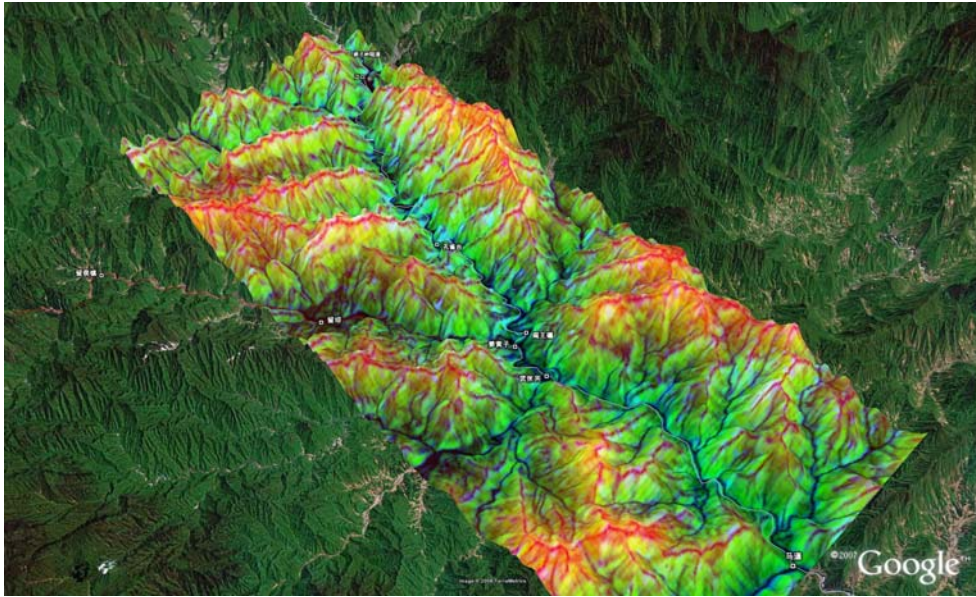


图 5: 3D 地形模型, 处理 SRTM 数据, 生成带有坡度、曲率的 DTM, 引入 Google Earth 显示。

### GIS 和空间信息系统

在过去, 一个 GIS 就是包括数据的输入、处理、显示、储存空间地物所含的信息的关系型数据库 (见 Burrough, 1988 [R.5], McGuire 等, 1991 [R.19]的例子)。但是近年来 GIS 与其它空间数据和图形处理系统, 比如图像处理和计算机辅助设计 (CAD) 的区别已变得很不明显。如今所使用的方法主要根据数据的分析需要和类型的不同而定。现代系统的发展, 已经可以将空间地物, 如建筑、地界或道路系统, 和图像数据综合起来分析、显示, 并以综合的形式可视化。考古学家, 像其它任何领域一样, 需要这样的综合。Zhou 的文章 [S.6] 论述了不同数据类型 (包括多媒体数据) 的合并; Li 和 Huang [S.3]给出了一个在历史 GIS 中嵌入那些曾经被认为是 CAD 三维建筑模型活动内容的例子。

考古和历史学上, 时间是关键的一维信息。相对来说多数的 GIS 都采用很简单的方法处理时间和时段问题, 但澳大利亚悉尼大学的科学家 (Johnson, 2004 [R.18]) 设计的 TimeMap 系统是一个例外。Andrew Wilson 在这次研讨会上展示了该软件。时间信息包括时间序列、时间间隔以及事件。像 GPS 数据一样, 历史数据也是以地点-时间 4D 结构形式存在的。许多中外科学家 (如哈佛燕京学院中国历史 GIS [R.15] 的工作<sup>8</sup>) 正在确定不同历史时期的, 与地点相关联的名称、位置和事件, 并制作地名辞典 (如 ADL Gazetteer, [R.1]) 来管理数据。GIS 技术能够处理这些信息的输入, 但在数据库生成前, 仔细的设计、考虑数据结构和数据处理, 则是关键。这是每一个参与者都应该做的事情。Digital Historian [R.27] 是一个有益的网络资源, 提供了一些起始阶段的实例和方法。

### 处理与展示

目前提供这些技术的工具多种多样, 由简单、免费的, 到复杂、昂贵的。专业软件比如 GIS 的 ArcGIS 和 ArcMap [R.10], 图像处理的 ERDAS [R.10], CAD 的 AutoCAD, 和其它 3D 可视化与展示的先进系统, 已是设备良好的咨询人员和研究人员使用的常见工具。运用这些工具, 地图、图像、DEM、照片和历史数据就可以整合到一个综合性框架中并进行分析和显示。3S 技术在秦岭的应用示范可能要使用这些专业系统, 起码在刚开始的时候。

<sup>8</sup> CHGIS 提供了中国历史数据库, 用户需要注册。在中国, 可以从上海的复旦大学历史地理中心得到这些资料。



在将来,数据和信息系统的用户,也可能希望在他们所得到的系统的基础上扩展、增加。这个功能可以经由特殊的方法和界面,允许(在更大的专业系统内)开发和扩展,也可以由有能力的用户从事自己的开发,与其它软件接口。现在系统开发的一个最引人之处就是相对便宜的工具也有了现成的接口,而从前它们只供专家、商业公司用于 GIS、CAD 和图像处理。

Google 公司收购了 Keyhole 公司后,于 2005 年发布了 Google Earth [R.12]。它的面世极大地提升了全球公众对空间地理技术的兴趣。Google Earth 和其它的类似系统,比如 NASA 的 Worldwind [R.21]和 Microsoft 的 Virtual Earth [R.20],都含有合成卫星像片,做为背景的全球 DEM(SRTM),带有添加 GIS 信息和 CAD 3D 结构的功能(例子可见 Google 3D Warehouse [R.12])。将来这些系统就是很多人参与 3S 在秦岭和蜀道历史研究应用和信息传播的主要平台。Zhang 和 Wang 的公众参与式地理信息系统(PPGIS)文章[S.5]讨论了有关广泛参与的这些方面和其它方面的问题。

尽管参与系统开发和研究的潜力令人激动,所选择的工具和参加的人员应该根据项目要求的详细程度和复杂程度而定。在目前,Li 和 Huang [S.3]提出历史体系结构模型的细节和质量要求可能需要复杂的系统和熟练的操作人员。同样地,SRTM 的精度对于遗址考古的许多应用来说太粗。提取适宜的 DEM 数据,并与其它空间数据包括现有的地图综合,在技术上仍有一定的难度,需要专家的投入和专业 GIS 工具。对于这类牵扯到地理校准的问题,Hill 的书(2006, [R.17])是个可贵的资料。

为了能够在众多的可选方案中找出一条成功之路,用户应当清楚他们工作的需要,和使用 GIS 进行历史研究的目的。一个重要的问题是:历史和文学究竟能否被纳入现代测地学的框架?很清楚,道路和事件存在于真实的、可制图的框架。问题是它们没有被记录和联系起来,也可能历史 GIS 生成的东西应该更接近传统的海员所用的海图,而非现代的地形图。不过,Mostern 和 Meeks 在其文章中[S.4]巧妙地成功地将历史文献和地理结合起来,给出了这方面工作的重要指南。不管做出了什么,由于有了多种可选方案,目前的形势向历史学家、考古学家和 3S 工作者展现了鼓舞人心的前景。

### 澳大利亚-中国理事会的 3S 技术应用项目

澳大利亚-中国理事会(ACC) [R.2]由澳大利亚政府于 1978 年设立,旨在促进双方的相互了解,鼓励民间往来。与汉中博物馆合作进行的本项目得到了他们的大力支持。将 3S 技术的介绍到这次研讨会是重要的一步,因为 3S 技术专家和栈道研究专家一起,展示了最新的历史、文化和地理知识,加强了 3S 技术在该项中研究的应用。



图 6: 演示稿草案: 与蜀道相关的现代城镇、村落、小径和道路

该项目也展示了在秦岭应用 3S 技术的两个示范。一个示范的目标是把主要蜀道的路线显示在 Google Earth 或者其它的 KML<sup>9</sup> (标注 5) 兼容系统上。在这个系统里, 照片和其它的基础信息储存在一个网络服务器上, 包含的地点都是蜀道历史上有过重要意义的城镇或考古遗址的当前位置。小径是由沿最接近原始蜀道路线的道路上获取的 GPS 数据中提取的航迹段组成。所有的地点由线条连接起来形成道路, 可以显示那些没有留下道路位置信息的蜀道的可能所在。其初稿如图 6 所示。

项目的第二个示范是一个基于 DEM 的试验课题, 有西安科技大学的研究人员参加, 分两个阶段。第一阶段采用的是 SRTM 数据, 用合适的软件分析并显示。目前正在进行的工作结合苏制地形图 (1: 10 万, 等高距 20-40 米) 和野外调查, 以 Google Earth 作为平台显示。苏制地图提供了 1960 年前的道路位置和那些现在变成了大坝 (比如石门、斜峪关、白水等) 的地方的 DEM。第二阶段要在第一阶段数据基础上, 综合不同类型的数据, 生成更高精度的 DEM, 展示的内容的精度会更高。试验课题的设计是为了满足栈道历史研究的地理需要, 促进旅游。Mostern 和 Meeks [S.4], Zhou [S.6], Carter 和 Vargas [S.1] 的文章提供了有关的技术及其如何应用的重要实例。其目的在于提升各国的科研人员、旅游团体和一般民众对栈道的意识和兴趣。

## 结论

随着栈道技术的发展, 蜀道不断延伸直至沟通了南方和北方, 南北方的沟通是中国历史、文化的重要组成部分。本研讨会包括了该领域的最新研究成果和知识。本文的第一部分针对英语读者作了蜀道历史简要介绍, 讨论了地形的作用, 进而自然地论及到受到第二部分所讨论的 3S 技术的强力支持的历史地理。

<sup>9</sup> Keyhole 标记语言 (KML) 原来是用于 Google Earth 信息交换的开源 XML 语言, 现在已是数据展示系统的国际标准。

第二部分讨论的 3S 技术仅仅是可能应用的工具的一部分。希望本文大量引用的网络文献能使读者由这个简单介绍和本研讨会的 3S 论文出发, 朝向其它许许多多的想法和可能的技术。本文的重点在于数据显示方式, 和开发工具, 供用户参与。过去两、三年时间里, 用户参与的可能性有了极大的增加, 所以我们的研讨会实在是恰逢其时。在将来, 制图、遥感、GPS、GIS、3D 模型和地形模型都可能有助于栈道的研究和应用, 也会有助于历史的保存和保护, 发展文化和历史方面的内容, 丰富国内和国际的旅游业。

## 致谢

澳大利亚-中国理事会给予了本项目和汉中“栈道历史研究与 3S 技术应用国际研讨会”宝贵的支持。Rafe de Crespigny 教授阅读了本论文第一部分初稿并提出了宝贵的建议, SRTM 数据由 NASA 所有, 经许可从 JPL 的网站[R.24]得到。Google Earth 图像(图 2、图 3、图 5 和图 6)系由 Google 公司[R.12]授权的 Google Earth Pro 软件生成。图 3 的 Quickbird 图像由 Digital Globe 公司[R.8]授权使用。图 2 的数据乃经 Matthew Ciolek 许可, 从 OWTRAD 网站[R.7]获取, 它们是由澳大利亚国立大学的 Mark Elvin 教授上传的。为尊重商标和版权拥有者, 引用了适当的网址作为参考文献。澳大利亚的张美怡和李领涛为本文和其他英语文章做了优秀的翻译, 中国的谢红霞对翻译做了编辑并提出了一些建议。汉中博物馆的工作人员和位于杨凌的中国科学院水土保持研究所的学生在工作中提供了重要的支持和帮助。

## 参考资料

### 研讨会文集文献

[S.1] Carter, C. and Vargas, C.S. (1) The Royal Roads of the Inca; (2) Tourism and the Inca Trails.

[S.2] Lees, Brian. The language and grammar of maps.

[S.3] Li Hongba and Huang Bo. 3D Visualization and Real-time Simulation of Historic Sites.

[S.4] Mostern, Ruth and Elijah Meeks. The Qinling Frontier and the Construction of Empire in China: Three Examples from Early and Middle Period History.

[S.5] Zhang Guolun and Wang Peixin. Reconstructing historical sites: A web-based PPGIS Approach.

[S.6] Zhou Tianyin. Using Multi-Scale Spatial Data in Environmental Monitoring and Management.

### 其它参考文献

[R.1] Alexandria Digital Library Gazeteer  
<http://middleware.alexandria.ucsb.edu/client/gaz/adl/index.jsp>

[R.2] Australia China Council web site <http://www.dfat.gov.au/acc/>

[R.3] AutoCAD/AutoDesk Software  
<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/home?siteID=123112&id=129446>

[R.4] Blunden, C. and Elvin, M. (1983). *A cultural atlas of China*. Equinox (Oxford) Ltd.

[R.5] Burrough, P.A. (1988). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources assessment*. Clarendon Press, Oxford.



- [R.6] Center for Historical Geography, Fudan University, Shanghai  
<http://yugong.fudan.edu.cn/default.asp>
- [R.7] Ciolek, M. (1999) Old World Trade Routes (OWTRAD) at:  
<http://www.ciolek.com/owtrad.html>
- [R.8] Digitalglobe (Quickbird) home page <http://www.digitalglobe.com/>
- [R.9] Digital Historian (a group dedicated to the discussion of all issues relating to the use of technology for historical scholarship) [http://www.arts-humanities.net/digital\\_historian](http://www.arts-humanities.net/digital_historian)
- [R.10] ESRI GIS and Mapping Software <http://www.esri.com/>
- [R.11] Garmin Ltd. GPS Guide for Beginners  
[http://www8.garmin.com/manuals/GPSGuideforBeginners\\_Manual.pdf](http://www8.garmin.com/manuals/GPSGuideforBeginners_Manual.pdf)
- [R.12] Google Earth software and download site <http://earth.google.com/>
- [R.13] Information Note on Garmin GPS systems - DGPS  
<http://www.gpsinformation.org/dale/dgps.htm>
- [R.14] Hahn, T.H. Classified Bibliography of Reference Works on Chinese Historical Geography (web site) <http://www.gatheringmountains.net/Geoweb/>
- [R.15] Harvard University Yenching Institute China Historical GIS website at:  
<http://www.fas.harvard.edu/~chgis/>
- [R.16] Herrmann, A. (1966). *An Historical Atlas of China*. (Second revised Edition, originally published in 1935). Aldine Publishing Company, Chicago.
- [R.17] Hill, Lynda L (2006). *Georeferencing: The Geographic Associations of Information*. Cambridge, Massachusetts, USA: The MIT Press, 260p.
- [R.18] Johnson, I. (2004). Putting Time on the Map: Using TimeMap for Map Animation and Web Delivery. *GeoInformatics*, July/August 2004. (<http://acl.arts.usyd.edu.au/>)
- [R.19] Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (eds.) (1991). *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. Avon, Longman Scientific and Technical.
- [R.20] Microsoft Virtual Earth software and materials <http://www.microsoft.com/virtualearth/>
- [R.21] NASA World Wind gallery and software <http://worldwind.arc.nasa.gov/>
- [R.22] Needham, J. and Wang, L. (1959). *Mathematics and the Sciences of the Heavens and the Earth*. Volume 3 of *Science and Civilisation in China* (Joseph Needham, Ed), Cambridge University Press.
- [R.23] Satellite Imaging Corporation (Ikonos) home page  
<http://www.satimagingcorp.com/gallery.html>
- [R.24] Shuttle Radar Topography Mission home page <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
- [R.25] Tan Qixiang (Ed) (1996). *The Historical Atlas of China*. 8 volumes. China Cartographic Publishing House, Beijing.

[R.26] Yan Ping, Jin Yingchun, Zhou Rong, Sun Guoqing, Yin Junke, Qiu Fuke & Han Beisha (1998). *Treasures of Maps – A collection of maps in Ancient China*. Harbin Cartographic Publishing House.

[R.27] “Digital Historian” (a group dedicated to the discussion of all issues relating to the use of technology for historical scholarship) [http://www.arts-humanities.net/digital\\_historian](http://www.arts-humanities.net/digital_historian)

