



# Rome Reborn 再造罗马城

古罗马消亡千年后，一座数字古罗马城以几近真实的姿态横空出世，是什么人这么“大胆”，他们又是凭借什么证据，将这座帝国都城从瓦砾上重建起来？它是真正的罗马重现，还是一个虚拟的幻象？

俯瞰罗马，城市依台伯河而诞生、繁盛。城中的街道城墙，民居庙宇，在一千多年前已经如此错落有致。而最显眼的当属建于古罗马城心脏位置的圆形古罗马竞技场。竞技场是罗马的心脏，罗马是西方世界的心脏，这种扩张的格局仿佛象征着它不断扩张的崇武精神。如果这一切得到复原，将是怎样一种盛况！

**俗**话说“罗马不是一天建成的”，那么，到底是多久呢？在公元前 753年，古老世界上建起了一座新城，传说中的建设者天神罗穆卢斯用一个夜晚完成了这项伟业，并给它一个和自己名字很相近的名字——罗马。此后的一千多年里，它不断地扩张、繁盛，终于建立了西方世界迄今为止唯一统一的帝国。后世的研究者、旅行家来到这里，尽管看到的都是废墟，但脑海中浮现的仍然是它曾有的辉煌。当然，没有人相信一夜建成的神话，今天，借助现代科技，跨国界、跨学科的两百多位科学家们“重建”了罗马，他们花费的时间是 10 年。

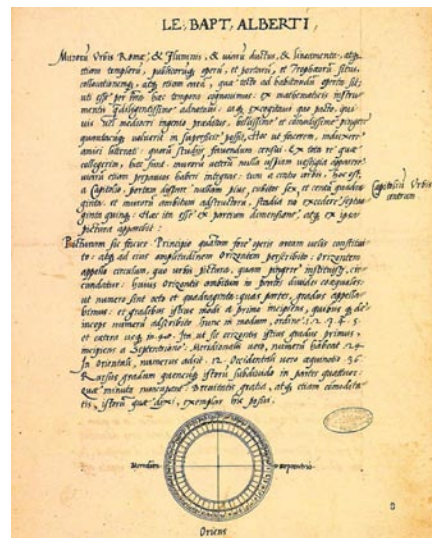
## 回到了公元 320 年

你可以进入举世闻名的竞技场，游走于每一个房间，体验人兽之战的刺激与残酷；也可以逡巡于古罗马广场，想象着西塞罗正在慷慨地发表自己的想法；或者走入恢宏的马森提乌斯集会堂，感受阳光的明媚与宗教精神的神圣。无论是神庙会堂，还是浴场民宅，都充分体现着古希腊柱式构造，古罗马凯旋门上的浮雕和刻字清晰得让人不禁伸手触碰。而这一切都可以用你的眼睛而不是想象感受得到！

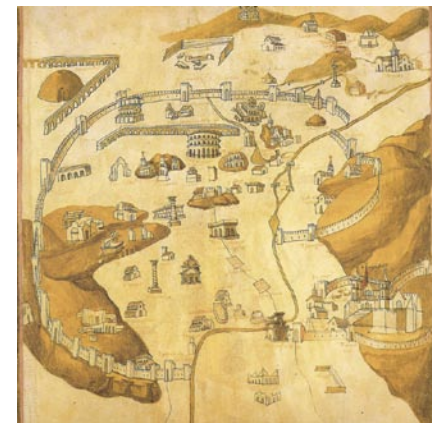
10 年前，美国佛吉尼亚大学、加州大学伯克利分校以及意大利米兰科技大学的研究者发起组成实验团队，并向全世界的 3D 建模人才、博物馆以及研究者抛出了橄榄枝，当时任教于加州大学伯克利分校的古典学教授 Bernard Frischer 作为牵头人。这个成果在 2006 年 6 月公开之时，引起了巨大的轰动，“我们仿佛坐着时空机器，回到了公元 320 年时的罗马。”

罗马 1200 多年的历史，从和平到混战，从繁盛到衰亡，最耀眼的当属梦幻般的公元 320 年，那正是繁花将败的怒放期。这一时刻罗马人口达到高峰——100 万。罗马人虽然仍旧按贵族和平民的划分等级，但民主思想已经盛行。举目望去，角斗场蔚为壮观，标

# 终于，科学家们找到了逆向建模这种最适合“重建罗马”的技术，但现在最大的问题是，重建罗马的证据从哪儿来？



几位重要人物几乎在同一时间展开重建罗马的努力。除了教皇的秘书 Flavio Biondo 在 1446 年出版的《重建罗马》，伟大的建筑师里奥·阿尔贝蒂也描绘了如何测量罗马城中建筑与建筑之间的距离，以及如何呈现在地图上，但此时仍停留在文字阶段。（上图）阿尔贝蒂迈出了从文字到二维图像的重要一步，罗马城墙和建筑被精确地排列。不久，意大利人马撒奥用同样的方法，将著名地理学家托勒密关于罗马城的假说描绘成图（下图）。



志性的古罗马广场是千年后西方马克思主义者理想中的公共领域，170 座神庙遍布各地，台伯河上横跨着 8 座桥梁，400 座哨塔贴着奥勒良城墙蔓延 19 公里。如果这一时期罗马的恢宏能够得到复原，无论对考古界还是普通旅行者，都将是极大的福音。

## 重建罗马的证据从哪儿来？

这是最大的疑问。过去 600 多年里，从文字到二维地图再到三维模型，历史学家和科学家一直在试图进行重建。

1446 年，文艺复兴时期的人文主义者、教皇秘书 Flavio Biondo 出版了《重建罗马》。这本书以广泛的资料罗列和对古迹的熟悉为基础，第一次系统地呈现了古罗马的地形地貌，Biondo 也因此被后人称为“现代地形学的奠基人”。后来关于罗马的绘画与雕塑层出不穷，巴黎建筑师 Etienne Du Perac 在 1574 年进行了一个古罗马的计划，出版了一本名为《罗马废墟绘画及古代样貌》的书。

这种努力达到高峰是一个 250 平方米的塑料微缩古罗马城，它准确地还原了这个城市在公元 4 世纪康斯坦丁大帝时期的情况，微缩景观中的建筑用蔬菜纤维和金属加固。从 20 世纪 30 年代开始，制作了 40 年，凝聚了建筑师 Italo Gismondi 和众多罗马大学顶级人类学家的心血。这个模型收藏在罗马文明博物馆中，今天我们看到的绝大部分有关罗马的电影都是依据这一模型来拍摄。

对罗马的重建被视为是泽被后世的人文工程。人类学、历史学、考古学

和虚拟现实技术紧密地结合在了一起，并遵照严格的方法论在实验室进行。Bernard Frischer 曾用一篇论文详细阐述了虚拟现实的标准——《Ename 宪章》。这既是一个虚拟现实项目成功与否的科学标准，又是着手一个虚拟现实项目的指导方法。这一宪章要求任何对于现实的虚拟再造，都要以宪章中的准则为依据，时刻贯彻科学精神。

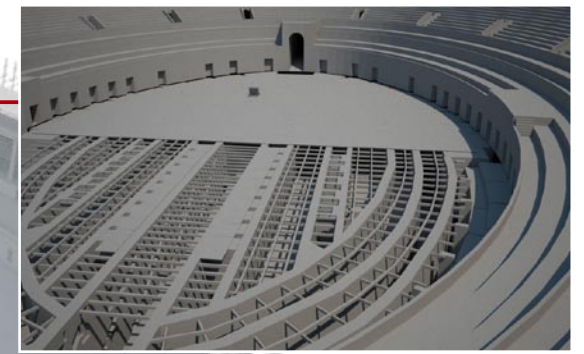
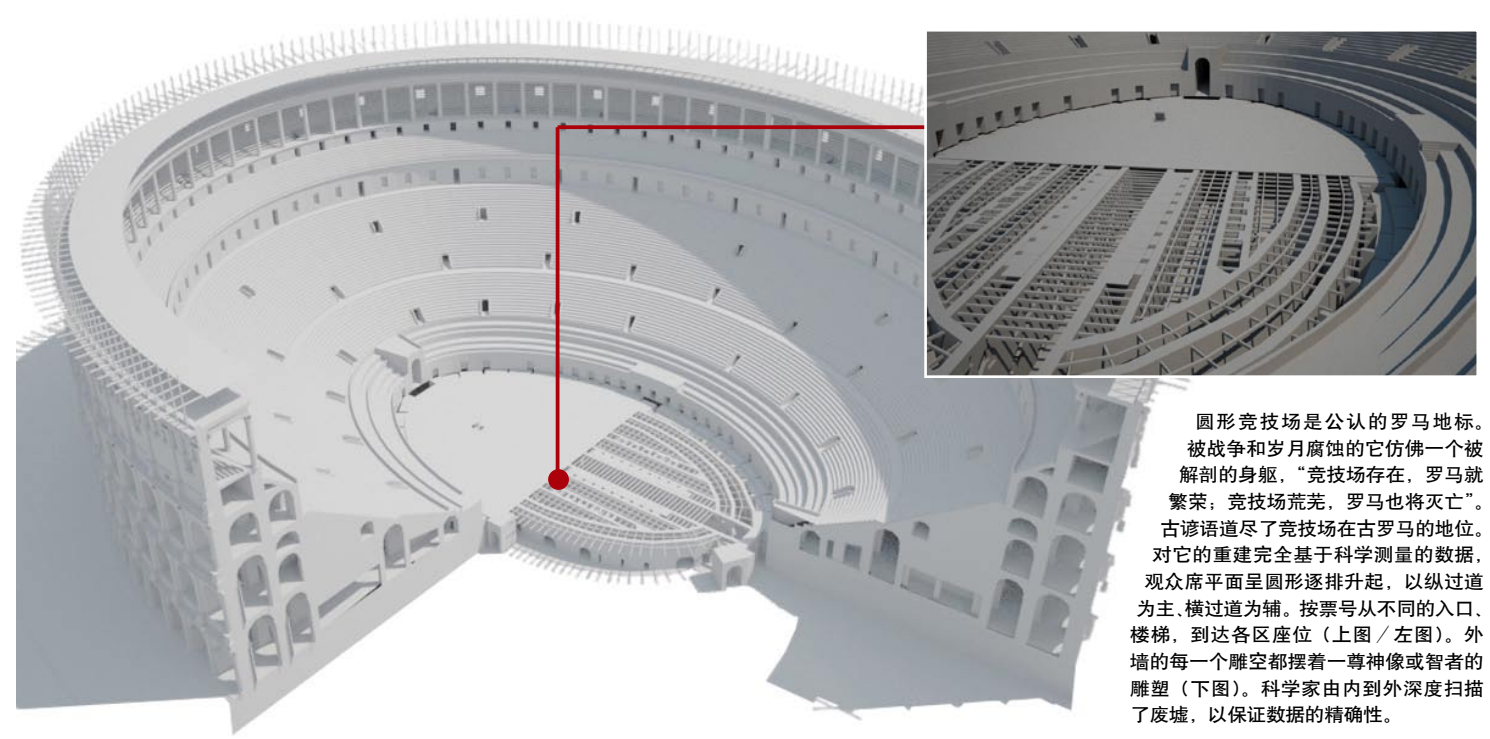
重建罗马不是拍摄好莱坞大片，也不是设计新款的 3D 网络游戏，任何恢宏的场面都要屏除想象，尽量精确。以对古罗马竞技场重建为例，竞技场的大小、高度、内部结构、外部装饰都要以一系列数据作为依据。

## 数字重建的核心技术

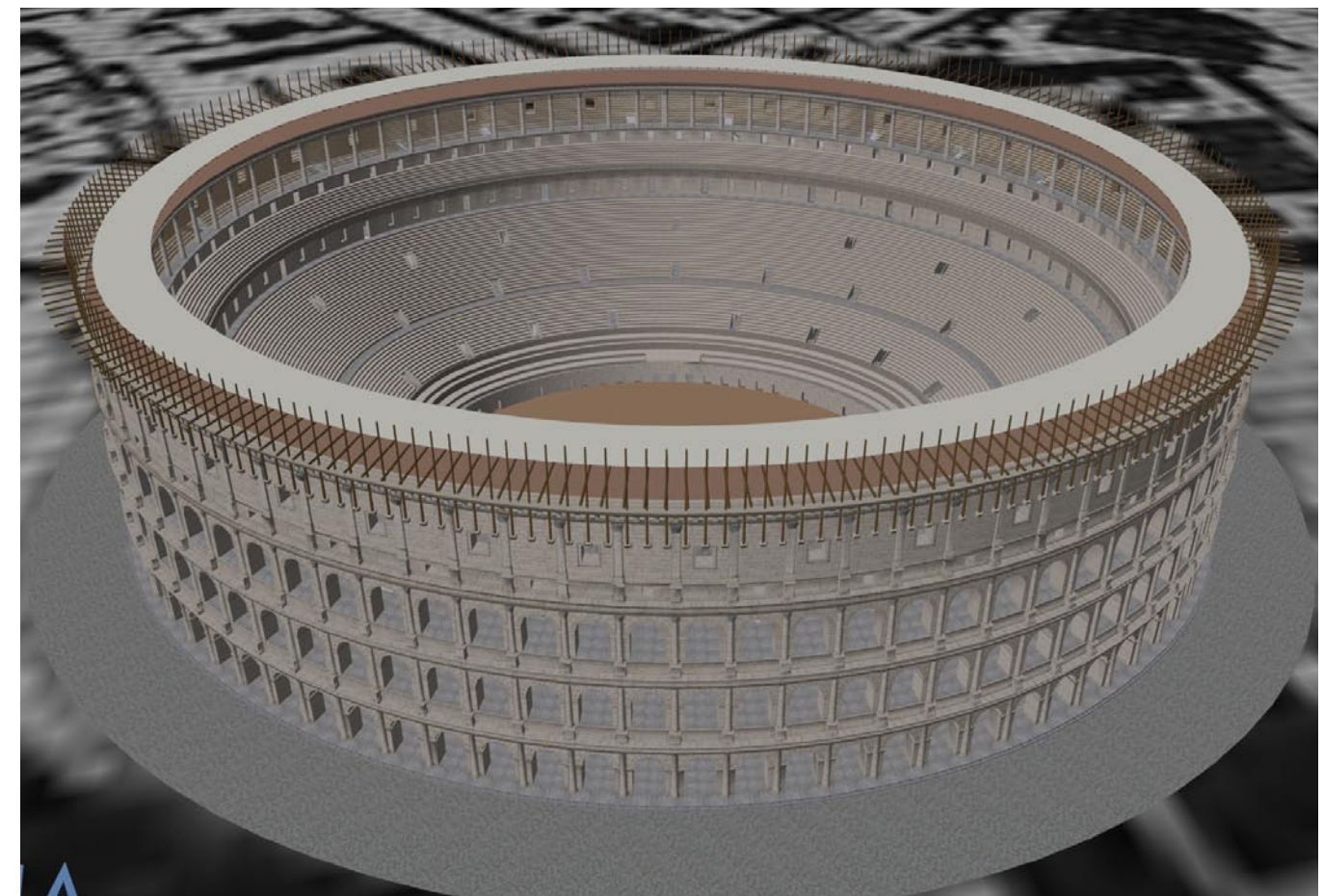
需要重建的大致可以分为几类：罗马全景、宏大的建筑、建筑的内部构造以及体积适中的物体。在重建中，都需要用激光雷达和数码相机，不同的是，由于物体的体积不同，扫描仪和被扫描物体的距离会发生变化。

创造 3D 模型一个最简单的方法就是：激光形成一道光谱，用旋转镜面对物体进行扫描。然后用一部 CCD 相机将所有的形象收集起来。这种方法将不确定性降低到了十分之一毫米。对一个大型物体，比如一个一人高的雕塑，需要从不同的角度进行大量扫描，然后将所有这些不同角度结合在一起，形成一个统一整体。

在重建罗马的过程中，由于这个模型是一个不规则形状，环绕模型的



圆形竞技场是公认的罗马地标。被战争和岁月腐蚀的它仿佛一个被解剖的身躯，“竞技场存在，罗马就繁荣；竞技场荒芜，罗马也将灭亡”。古谚语道尽了竞技场在古罗马的地位。对它的重建完全基于科学测量的数据，观众席平面呈圆形逐排升起，以纵过道为主，横过道为辅。按票号从不同的入口、楼梯，到达各区座位（上图/左图）。外墙的每一个雕空都摆着一尊神像或智者的雕塑（下图）。科学家由内到外深度扫描了废墟，以保证数据的精确性。

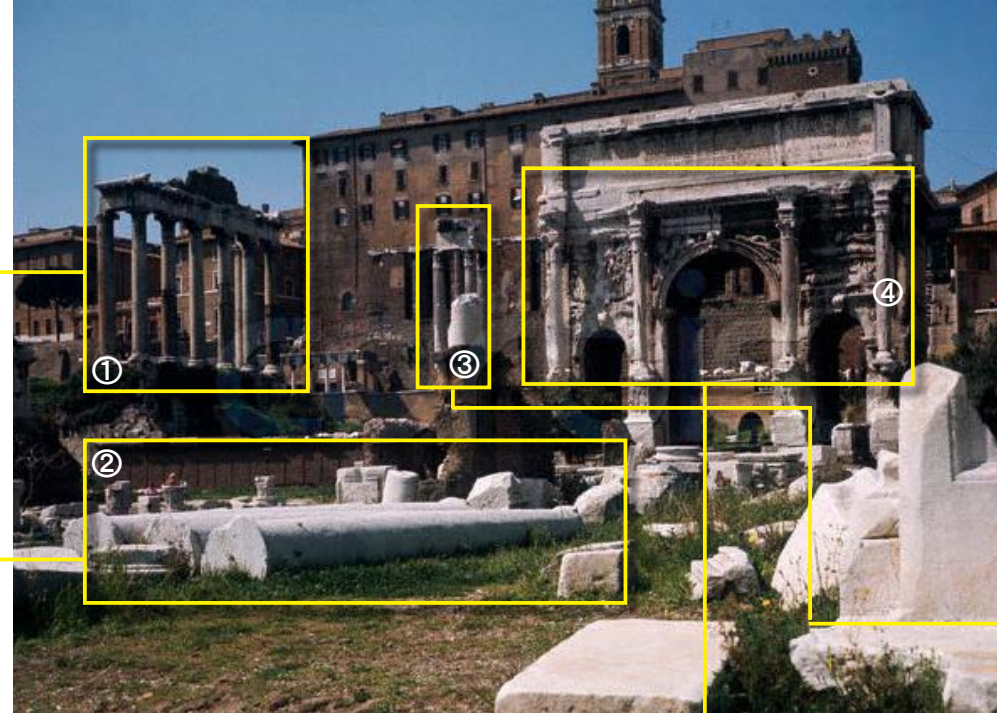
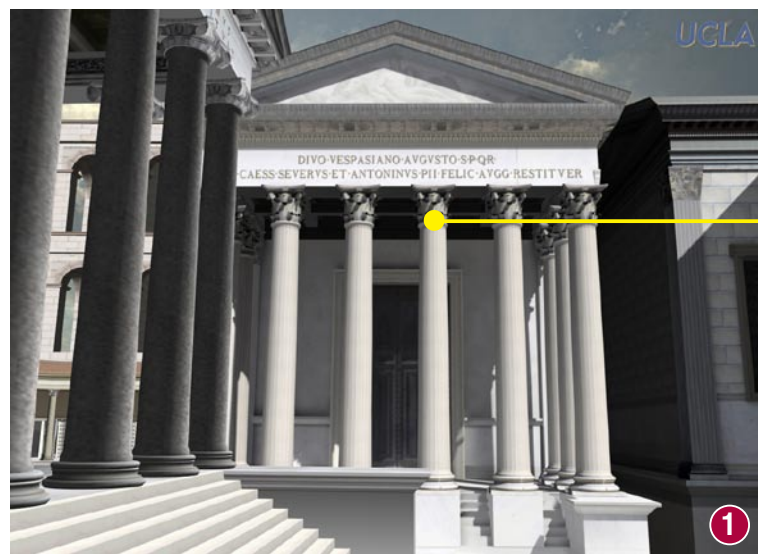


## 竞技场内部藏着什么秘密？

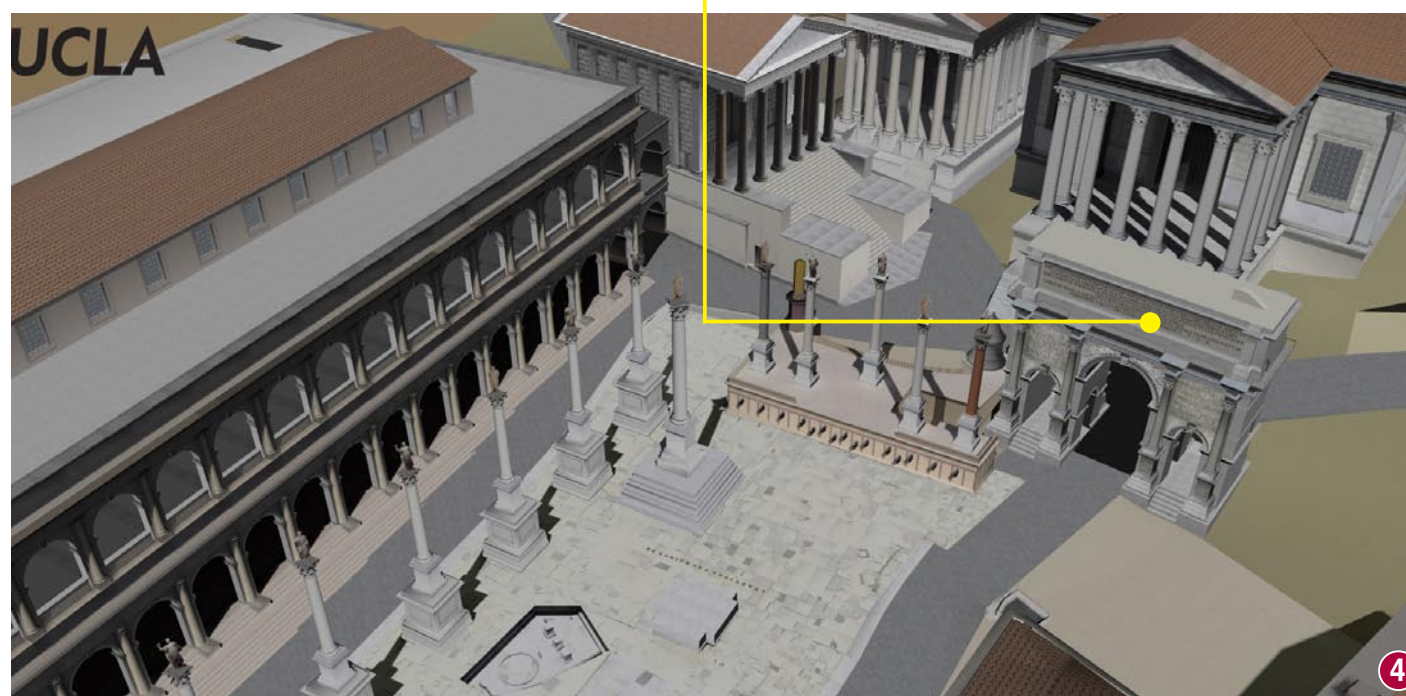
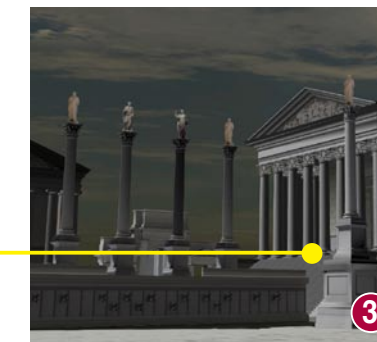
**竞** 技场内部有一套包含踏板、活盖、杠杆等的复杂的机械系统，由滑轮和绳索操控，根据地面传来的信号，通过杠杆牵引，奴隶们可以向舞台运送舞台背景、仿造的森林或城堡，最重要的是运送被关在地下室笼子里的野兽。奴隶们先是运用绳子和滑轮将野兽从地牢底部升到第二层，然后用杠杆打开兽笼，野兽便能通过一个斜面到达舞台。

最早用来演出的是公牛，但是它们很快就被那些带有异国情调的野兽取代了，骆驼、斑马、老虎、狮子、豹被从世界各地运送到意大利，它们的命运取决于角斗士的强弱。

科学还原罗马可不是拍摄好莱坞大片，也不是设计新款的3D网络游戏，任何恢宏的场面都要屏除想象，尽量精确



罗马广场是罗马城的核心，图中左侧是农神萨腾的神庙①，后面有白色圆柱的建筑是安托尼努斯皇帝在其皇后福斯提娜死后所建的维斯西巴安神殿②。庙宇之间的前方高台是罗斯特拉讲坛③，拱门是提图斯门④，是为“纪念”提图斯在公元70年镇压巴勒斯坦的反抗、洗劫耶路撒冷而建立的。根据遗址复原的对应数码图像再现了当年的恢宏景象。



▶ 观看台被人为地提升了约2.7米。因此，研究者需要调节扫描仪与模型的角度和距离，以保证扫描数据的准确。  
对塑料模型的扫描历时32天，扫描仪对整个模型作了环形扫描，每一次扫描包括5000万个扫描点，并可以从某个单一角度画出整个表面的3D图。然后从不同角度对物体进行拍摄，从而得出所有地方的3D形象图，这包括了从某些点看不到的区域。将这些照片输入电脑，经过软件处理，最后一个多角

模型的图象便诞生了。在将扫描中出现的多余的边角错误清除后，扫描的结果更加真实了。罗马的全景由此诞生了。  
接下来是城中的一砖一瓦，一屋一廊。对于保存比较完好的超大型建筑，如古罗马竞技场，需要运用Time of Flight (TOF) 技术结合激光扫描仪，即拉大扫描仪与被扫描物体的距离，以保证扫描的完整。这正如运用标准镜头拍摄庞然大物的全景，需要通过拉大镜头与物体的距离来呈现物体的全貌。▶

### 古罗马建筑特点

**古** 罗马人沿亚平宁半岛上伊特鲁里亚人的建筑技术，创造出柱式同拱券的组合，在公元1~3世纪达到西方古代建筑高峰。经典建筑包括罗马万神庙、维纳斯和巴尔贝克太阳神庙等宗教建筑；皇宫、剧场角斗场、浴场等公共建筑。古罗马建筑风格早在明末就已经由意大利传教士利玛窦通过三卷《罗马古城舆图》册传入中国，但这些书里的罗马角斗场、浴场和神庙的图画让那个年代尊崇天圆地方理念的中国人难以接受。



马森提乌斯集会堂是古罗马市场中最大的建筑物（上图）。当年穹顶设计的集会堂摆满雕塑，气势雄伟，黄白红相间的大理石铺满墙面和地板。穹顶辅以两侧筒形拱结构，实现了巨大的连续室内空间。大堂配侧厅的建筑物被称为 Basilica，这种罗马人发明的采光方式（左图），成了日后基督教堂的基本结构。

相覆盖的区域，且保证相互之间的覆盖面积不小于10%，拍摄六张照片。然后对这六张照片进行拼接。现有的软件，比如 photoshop，便足以完成这个任务。边缘相互的覆盖，是为了检测拍照中出现的变形或比例上的错误。因此，对六张照片的处理主要集中在调节变形和比例上，使它们最终成为一张天衣无缝的照片，墙面的样子也最终形成了。对于背景墙的处理，研究小组采取的做法是：擦去背景墙颜色，涂上中性的颜色，并制作成颗粒状效果。这种做法有两个目的：一来是将背景和废墟的其他部分区分开，二来防止电脑上背景墙的最后效果过于平滑——仿佛塑料表面——这是虚拟现实模型中一个普遍存在的审美问题。

来表达一种猜测。

Bernard Frischer 曾说：“哪怕是受过高等教育的游客，都会被弄清这座城市的艰巨任务吓怕。因此，人们越来越需要一种视觉上的辅助。”这就是“重建罗马1.0”的作用之一。

研究者们的主导思想是希望“重建罗马1.0”可以为后世的研究、教学和旅游作出辅助作用。他们的想法很远大，并将这个项目作为一个事业的开始，并坚信这个项目不会结束。因为随

**就是那些受过高等教育的游客，都会被弄清这座城市的艰巨任务吓怕，人们越来越需要一种视觉上的辅助**

来防止电脑上背景墙的最后效果过于平滑——仿佛塑料表面——这是虚拟现实模型中一个普遍存在的审美问题。最后组合成的图像精确到1毫米1像素，足够表现小的裂纹、小的细节以及最细微的颜色变化。

着人们会对古罗马的认识越来越多，有越来越多的东西亟待补充到项目之中。

重建历史是一项没有止境的任务。公元320年的罗马，只是漫漫历史长河中的一个点，而这对于罗马，远远不够。之所以给项目命名为“重建罗马1.0”，是因为他们相信，随着技术的发展和人类学研究的不断进步，会有更多更精确的信息不断补充到这个数字模型中。这个模型是不断升级、不断更新的。

世界无限大，留给人类的遗产永远不会有终点，而一个数字罗马只是这一切重建的开端。■ 撰文 / 王萃

▶ 对于所剩无几的废墟，则需要依赖那个模型，以及大量的文字资料。

建筑的外在面貌逐渐清晰了。接下来的工作是，研究者要走进每个建筑里，感受内部的装饰与震撼。古罗马的墙壁，地板，都是什么花纹呢？

拍照，是绝对的高招。把仍旧存在的墙面装饰进行拍照，根据对称的原则，用技术手段修补图案中的空白。一般来讲，对一面墙只照一张相是不行的，而是需要将一面墙分成六个边缘互

**“如果失去统一的标准，你将看到500个、5000个罗马！”**

**由** Bernard Frischer 教授创办的美国加利福尼亚州立大学虚拟现实实验室在世界上首次尝试利用计算机三维模型重建古迹。Frischer 教授最早在十年前就倡导全球不同门类的科学家联手合作，进行罗马数字重建的尝试。他自己领导的小组直接负责包括古罗马广场和古罗马竞技场项目的

重建。此前他已经在尝试进行将中世纪最大的修道院“圣加仑修道院”进行重建的计划以及虚拟美国最大殖民地威廉斯堡的计划，他同时还兼任了古罗马广场重建官网总编辑，热心解答全世界各地网友提出的奇怪问题。教授在自己撰写的七本专著中发表了大量关于视觉文化遗产、古典世界重建的

文章。试图提醒人们文化遗产对人类的意义。他说：“20年后我们会在哪里？我们的后代知道他们能看到什么吗？如果有500个或5000个罗马的局部数字模型——但它们技术上难以兼容、审美标准各行其是？或者，我们携手共同创造一个一体的模型，并作为一个里程碑馈赠给未来我们的孩子？”



**Bernard Frischer 教授**  
重建罗马项目负责人，数字技术运用于人文的领军人物