

[首页](#) [本所概况](#) [现场传真](#) [学术动态](#) [学术研究](#) [创新专栏](#) [重大课题](#) [学术资料](#) [考古人物](#) [考古园地](#) [考古论坛](#) [内网入口](#)

2022年3月15日 14:41 星期二 农历壬寅年(虎) 正月廿 未时

站内搜索: 

信息反馈

当前位置: [首页](#) > [考古园地](#) > [考古随笔](#)[考古随笔](#)

## 刘建国: 石窟三维重建中的控制测量

发布时间: 2022-03-11 文章出处: “文博中国” 公众号 作者: 刘建国

石窟遗址是依山势从山崖壁面向内部纵深开凿的古代寺庙建筑, 单个石窟的平面一般呈长方形、马蹄形、方形等, 有时中部有中心柱。石窟是佛教建筑与佛教文化发展、演变的载体, 内部往往装饰有雕凿或泥塑的佛像, 中心石柱雕造有佛龛与佛塔, 内壁往往绘制有表现佛像或佛教故事的精美壁画等等。

佛教自东汉时期传入我国, 与本土文化深度融合, 历朝历代受到了高度关注。南北朝时期新疆、河西等地开始大规模兴建石窟寺院, 晦涩难懂的佛经、故事通过石刻、彩塑、壁画等形式在石窟内呈现出来, 以通俗易懂的方式传播佛教思想, 留下独具风格的佛教文化遗产。石窟遗址的研究需要精确测量并绘制石窟的平面、剖面、壁面立面、中心柱立面等图形, 体现石窟的建筑风格和壁画内容。传统手工量测方式测绘石窟遗址的精度低, 速度慢, 成果单一, 很难满足石窟研究的需求。近年开展石窟遗址三维重建工作成效显著, 能够导出各种平面、立面、剖面的正射影像图, 为石窟遗址的考古研究、绘制线图、数字存档与虚拟展示等提供大力支持。

石窟的三维重建可以通过三维激光扫描、干涉条纹成像和多视角摄影等方式来实现。手持三维激光扫描与干涉条纹成像等方式可以获得非常高的局部点云精度, 不足之处在于点云与高分辨率纹理很难严格对应, 在制作石窟立面、壁画等的正射影像图与虚拟现实展示等方面受到一定的局限。多视角影像三维重建技术是运用普通数码相机依次获取石窟内外各个面的多角度数字影像, 然后根据计算机视觉和数字摄影测量原理, 在高性能计算机中对全部数字影像进行相互匹配, 生成被拍摄石窟的表面三维点云, 再自动生成高精度纹理后得到具有真实纹理的石窟数字三维模型。多视角三维重建方法速度快, 成本低, 操作简单, 能够满足对大量石窟快速进行三维重建、生成平面与立面正射影像图等的的需求。多视角三维重建只能建立石窟的相对空间关系, 必须实施精确的控制测量, 才能恢复石窟内空间点之间的准确位置关系, 导出高精度的平面、剖面、立面等正射影像图。但是在很多实际运用中, 石窟的控制测量工作没有引起足够的重视。

### 石窟的控制测量

石窟遗址的控制测量中, 整个石窟寺院遗址的控制点应该采用标准的大地坐标系, 以便确定遗址内每个石窟的分布特征, 以及与周边自然环境和其他石窟遗址之间的位置关系。单个石窟三维重建时, 考虑到需要生成各个壁面、中心柱等立面的正射影像图, 可以使用相对坐标系。

大型石窟的控制测量, 控制点应该布设在空间较为开阔的环境中。可以在窟内地面四角附近摆放4个10厘米×10厘米的控制点标志板(图1), 使用电子全站仪的激光测距模式, 在同一个测站上依次测量控制点标志板中心位置的相对三维坐标, 同时拍摄每个控制点标志所处位置和全站仪测量的三维坐标数值, 避免手工记录产生笔误的可能性。为了便于后续快速导出立面正射影像图, 设置测站点坐标系的时候, 应该考虑坐标轴方向与窟内主要壁面的方向一致。

小型石窟、窟龛等的控制测量可以使用高精度测量控制板。制作的控制板应该选择浅灰色图案, 设置有4个红、黄标志的控制点和4个黑、黄标志的检查点(图2), 使用彩色激光打印机将图案打印在聚酯薄膜材质上, 然后与铝合金鼠标垫一类的高平整度合金板材粘帖在一起。干燥成型后再使用数字显示的游标卡尺精确量测各控制点、检查点之间的距离, 计算各控制点、检查点相对坐

标系的三维坐标数值。由于很多石窟内比较潮湿，使用纸质材料制作的控制板会因受潮变形而影响测量精度。使用过程中应该通过水准器将高精度测量控制板调整成水平状态，同时认真考虑坐标轴的方向，可以使控制板的边缘与石窟主要壁面的方向平行。

使用电子全站仪的激光测距模式，同一测站测量控制点的精度一般为2~3mm，高精度测量控制板上控制点与检查点的测量精度可以达到0.1mm，能够满足石窟测绘工作的需要。



图1 龙门2214窟控制点标志板位置图

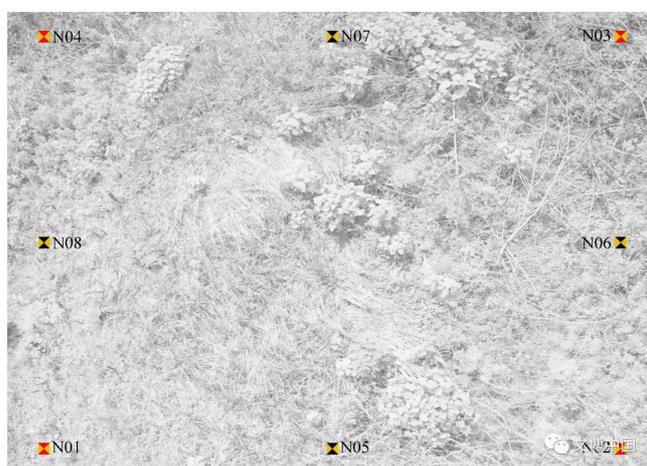


图2 高精度测量控制板

### 影像拍摄与数据处理

石窟内多视角影像拍摄过程中，应该在三维重建的全部多视角影像拍摄完成之后，再布设控制点标志板或高精度测量控制板进行单独拍摄。首先短焦距拍摄较大范围的周边环境与标志板或控制板的相互关系，然后较长焦距从不同角度小范围拍摄标志板或控制板。每个控制点标志板拍摄4~6幅影像，高精度测量控制板应该拍摄影像10幅左右。

为了避免控制点标志板或高精度测量控制板遮挡石窟本体而影响最终三维模型的效果，三维重建处理过程中，可以将石窟的影像与控制点的影像分两组进行三维重建，控制点影像完成三维重建后，精确标注每个控制点的位置，然后与石窟的三维点云模型进行拼合。后续处理过程中禁用拍摄有控制点的影像，生成密集点云、三角面和纹理完成石窟的三维重建。

目前三维重建的软件只能导出沿坐标轴方向的正射影像图，所以导出立面正射影像图时，坐标系方向的不同就会导致正射影像图产生差异。特别是很多石窟的平面并非呈规则的长方形，相邻两个壁面往往不是相互垂直，导出立面正射影像图时应该使用不同的坐标系，才能生成符合石窟每个壁面实际情况的正射影像图。为此，需要进行控制点坐标系旋转调整坐标轴的方向。具体方法是首先导出石窟底面的正射影像图，并在Photoshop等软件中打开，使用标尺工具量测需要导出立面的方向与坐标系横轴或纵轴方向的夹角。然后根据4个控制点的平面坐标数据在Auto CAD软件中绘制一个四边形，以西南角控制点为旋转基点，将四边形顺时针或逆时针旋转上述夹角数值之后，使得导出正射影像图的立面与某一坐标轴方向一致。再选中旋转后的四边形，分别点击旋转基点之外的三个控制点，记录状态栏左侧显示的平面坐标数值。并将三维建模软件中控制点坐标数值更改为旋转后的坐标数值进行设置，即可导出某一立面的正射影像图。

### 结语

在对石窟遗址进行三维重建过程中，需要有针对性地选择多视角影像的拍摄方法和合适的补光照明方式，实施精确的测量控制，才能快速而精确地制作具有真实纹理的数字三维模型，全面记录佛教文化遗产的空间信息，为石窟考古报告整理、数字博物馆展示等提供精准的数字材料。

石窟类文化遗产都已经经历了数百乃至上千年的时光洗礼，保存现状均不容乐观，急需将各个石窟制作成数字三维模型进行存档。多视角三维重建技术的运用恰逢其时，能够胜任各种石窟快速而精确的三维重建工作，稳步推进石窟考古报告的整理工作。同时，石窟作为一种特殊的文化遗产，现有的三维重建、数据处理、数字化呈现和展示等技术仍然存在很大的发展和完善空间。（作者单位：中国社会科学院考古研究所）

（图文转自：“文博中国”公众号）

---

分享到：

转载请注明来源：中国考古网

友情链接

版权所有：中国社会科学院考古研究所

地址：北京市朝阳区国家体育场北路1号（100101） E-mail:kaogu@cass.org.cn

备案号：京ICP备05027606号 