

## 敦煌壁画数字图像处理与存贮

李震 孙文新 冯学智 曾群柱

**摘要** 敦煌壁画的保护是文物工作者面临的重要问题。本文讨论了利用计算机技术和摄影测量技术获取壁画的数字图像,并对数字图像进行几何纠正与色彩校正的方法。同时介绍了图像数据库的存贮及系统的编码内容,指出了建立敦煌壁画数字图像信息系统的实验过程。

**关键词** 壁画图像处理 失真纠正 图像数据库

### 一、前言

敦煌莫高窟是人类宝贵的文化遗产,始建于公元366年,现有洞窟492个,壁画面积约 $4.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,彩塑2000多身。1961年被列为国务院重点文物保护单位。经过一千多年的历史,由于自然风化的破坏和重大自然灾害的影响,这个人类艺术宝库变得非常脆弱。研究和保护这一文化遗址,是当前文物工作者非常迫切的任务。

随着现代科技的迅猛发展,尤其是计算机技术和摄影测量技术的发展,使实现敦煌壁画的计算机存贮与管理成为可能。为实现保存敦煌壁画的艺术价值提供了新的途径。目前,摄影测量技术与数字图像处理技术用于文物保护方面的研究已有报道。利用近景摄影测量进行文物几何形态的恢复也有较成熟的理论<sup>[1]</sup>,而文物保护研究的计算机管理系统在国外亦有应用。因此,利用计算机图像处理技术,不仅能够实现敦煌壁画的数字图像存贮与管理,而且能为石窟考古和石窟艺术的研究提供新的技术手段和方法,有着很高的科学价值和社会意义。

### 二、数字图像处理

建立计算机数字图像处理与存贮系统,必须将壁画实体转换为数字表示的数据集,它包括数字图像文件和有关的描述参数文件。敦煌壁画系统的建立主要包括数字图像处理与数字图像存贮二部分(图1):

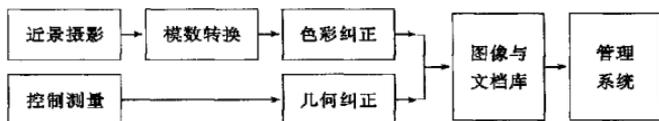


图1 敦煌壁画计算机处理与贮存工作流程图

Fig.1 The diagram of the computer processing and storage of the Dunhuang Wallpainting

敦煌壁画数字图像处理主要包括:模数转换后的几何失真纠正处理和色彩失真校正处理,以及将纠正后的图像传输到数字图像库。

### 1. 模数转换

获取近景摄影照片后,利用扫描仪对照片进行扫描,完成模数转换工作。为保证图像有足够的分辨率,扫描线数设置为1200DPI,经扫描后获得三幅RGB的单个图像数据。由于每幅图像的数据量非常大,必须对图像进行分幅处理,以满足计算机容量的要求。以第45号窟南墙图像为例,扫描后的数据量为18兆,将其分割为12幅二维正规数字矩阵文件,对每幅图像进行纠正后,再进行数字镶嵌。

### 2. 几何纠正

进行文物的计算机存贮,最重要的一点就是保存文物摄影原图,将几何与色彩失真降到最低程度,使之做到准确的再现。敦煌石窟主要以壁画和彩塑为主,对它们进行计算机存贮的关键技术之一就是几何失真的纠正。

对壁画的纠正相对简单,因为它是以平面为主,将摄影获取的影像及建立的控制点坐标,利用二次多项式方程,以最小二乘原理求取方程系数,就可利用该方程对壁画的影像重采样,完成几何纠正的工作。

对塑像而言,由于它是立体的画面,需利用近景摄影中的近似正直摄影方法获取立体像对,并进行控制测量。进行几何纠正时,利用近似正直摄影照片的扫描数据和控制参数进行几何纠正。纠正时主要利用共线方程式<sup>[2]</sup>:

$$X - x_0 = -f \frac{a_1(x - x_s) + b_1(y - y_s) + c_1(z - z_s)}{a_3(x - x_s) + b_3(y - y_s) + c_3(z - z_s)}$$

$$Y - y_0 = -f \frac{a_2(x - x_s) + b_2(y - y_s) + c_2(z - z_s)}{a_3(x - x_s) + b_3(y - y_s) + c_3(z - z_s)}$$

式中:  $x_0, y_0, f$ ——内方位元素;

$x_s, y_s, z_s$ ——外方位元素;

$a_i, b_i, c_i$ ——方向余弦值,  $(i=1, 2, 3)$ ;

$X, Y$ ——象元的象空间坐标;

$x, y, z$ ——象元的物空间坐标。

将控制点的坐标值,利用上述方程,按最小二乘法迭代计算内外方位元素,最后计算出像点的改正坐标值,构成所测目标的数字模型。

本试验采用的近似正直摄影方法,大大减少了外方位元素计算的复杂性,从而使纠正的工作量大为减少。

### 3. 色彩纠正

恢复壁画与塑像的色彩失真足存贮图像的另一技术要求。由于光线不同,成像和扫描过程中诸多因素的影响,会造成色彩的失真。如何解决数字图像的色彩失真,使其与画面原貌一致,是色彩纠正要解决的主要问题。

具体做法是在摄影过程中设置标准色卡,在处理过程中利用标准色卡来建立与摄影图像的对应关系,进行色彩的失真纠正。其步骤是,首先用分光光度计分别测出色卡和显示器中三原色各自的三个色系数<sup>[3]</sup>。然后利用所测系数建立如下色彩纠正公式:

$$R' = 1.21R - 0.35G - 0.36B$$

$$G' = -0.10R + 2.02G - 0.56B$$

$$B' = -0.15R - 1.36G + 2.81B$$

式中: $R', G', B'$ ——纠正后象元的三原色亮度值;

$R, G, B$ ——纠正前象元的三原色亮度值。

根据上式即可将经几何纠正的  $R, G, B$  三幅单色图像进行色彩纠正,分别形成三幅新的  $RGB$  单色图,最后彩色合成出色彩纠正后的数字图像。

## 三、图像存贮

对数字图像进行存贮与管理是建立该系统的主要目的,如何有效的存贮与管理处理后的数字壁画图像,使系统得到有效的利用,是考察一个系统是否完备的指标。针对文物存贮与管理的特点,可利用对分幅图像进行编码的方法,构成多层次编码检索图像库,并连接与每幅图像对应的文字档案库。

### 1. 数字编码

由于每幅图像进行分块存贮,并附以相应的文件名,因此,就以每个文件名形成编码,并赋予一个序号以说明图像间的连接关系,使序号按其所代表的图像位置进行序号排列,这样就能方便的组成整体画面。其编码表由表1所示。

对文字档案按树状结构编码<sup>[4]</sup>。对每幅图像所属的创作年代、完好情况和对应文献等文字材料分别赋码。通过编码,构成多层次检索功能,使图像与文字档案库有机联接。

表 1 图像库编码表

Table 1 Encoding table of digital image database

码位	第 1—3 位	第 4 位	第 5—6 位	第 7—8 位	编码全貌
含义	窟 号	方 位	朝 代	分幅号	
举例	045	2	08	10	04520810
备注	第 45 窟	南壁	唐代	第 10 分幅	

## 2. 数字图像库

处理后的图像数据采用图像数据库的数据结构进行分层存贮,其图像存贮格式包括文件格式和数据格式。文件格式有 ASCII、BINARY 和 PACKED BINARY 三种;数据格式包括 BYTE、INTEGER 和 REAL 三种。

数据库还可提供数据格式的相互转换功能,使其方便与外部接口,做到既保持图像库内部数据格式的统一,又能够与其它系统进行数据交换。同时,定义图像的参数,如特征名、行列数、比例尺、数据属性、注释等等,将图像编码、文字档案编码和图像参数等分别建立存贮索引文件,由管理软件进行连接,实现对图像数据的检索、查询、增加和修改。

## 3. 文字档案库

该库的主要目的是为壁画存贮图像提供辅助性文字说明,主要包括每一壁画图像的一般性解释和说明,已有的研究成果和文献等。它将通过编码与图像数据相连接,使图像存贮与管理系统的功能更加完善,为数字图像的进一步分析、处理和应用程序提供方便。

## 四、讨 论

本项工作正处于积累经验过程中,本文所论述的是一些初步的研究成果。随着工作的进一步深入,壁画图像的几何纠正和色彩纠正精度还有待进一步提高,同时,图像库和文档案的内容还有待进一步完善。敦煌莫高窟共有四百多个洞窟。目前,主要选择了几个有代表性的洞窟进行试验,为大规模建立敦煌壁画图像信息系统提供技术与方法。如何对数量庞大的图像数据进行存贮与管理,分级建立包括图像档案、保护档案和考古档案在内的敦煌莫高窟信息系统,还需要进一步研究。

## 参 考 文 献

- (1) 冯文灏. 非地形摄影测量. 北京: 测绘出版社, 1985
- (2) 杨帆等. 遥感图象处理原理与方法. 北京: 测绘出版社, 1988
- (3) 俞清裕. 摄影与空中摄影. 北京: 测绘出版社, 1985
- (4) 严蔚敏. 数据结构. 北京: 国防工业出版社, 1982

## DIGITAL IMAGE PROCESSING AND STORAGE OF DUNHUANG WALLPAINTING

Li Zhen, Sun Wenxin, Feng Xuezhi and Zeng Qunzhu

### Abstract

It is very important work to protect Dunhuang Wallpainting. With the development of modern techniques, computer digital image proceeding and storage can be applied for preservation of ancient art. The method to get digital image of Dunhuang Wallpainting and correct geometric and color distortion using the technique of computer and photogrammetry was discussed in this paper. For the plane paints of Dunhuang, bivariable interpolation used for the geometric correction. Meanwhile, the collinearty equation used for the geometric correction of the carve. The color distortion was corrected using the corresponding relation between the standard color card and the digital image. In order to establish the information system of Dunhuang Wallpainting, the image database and wordfile base were set up with the encoding technique. It is very convenient for storage and inquiry of Wallpainting in the information system.

**Key words:** Wallpainting image processing, Correction of distortion, Image database