

# 炳灵寺石窟 171 窟大佛发髻上蓝色颜料的分析与讨论

闫海涛 周双林

**摘要：**本文使用傅里叶变换红外光谱及电子扫描电镜等方法，分析了炳灵寺石窟 171 窟大佛发髻上蓝色颜料的成分及胶料种类。

**关键词：**蓝色颜料 胶料

## 一、炳灵寺 171 石窟现状简介

炳灵寺石窟的 171 窟是一尊石雕泥塑的唐代大佛（图 1），高 27m，为贞元十九年（公元 803）所造弥勒佛倚坐像，以石刻造型并加泥增塑，其中上部为凿山而成，下部多为泥土修筑。龕前原有附山而建的 7 层木构大阁，如今已经不复存在。现泥层多已剥落，20 世纪曾对佛像的下半部进行了修复处理。

171 大佛历代破坏严重，其中上部由于有山体遮挡风雨且人难以达到而保存较好。为了较详细了解病害情况，2008 年底对大佛进行自上而下的保护调查，发现了佛像螺髻上鲜艳的蓝色，对其进行了较为深入的分析（图 2）。

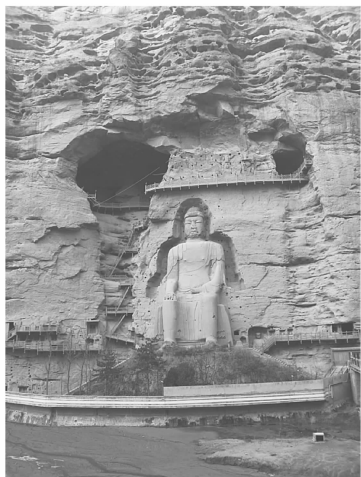


图 1 171 大佛



图 2 发髻上蓝色颜料

## 二、样品和分析方法

### (一) 样品

取样位置：图 2 中蓝色即样品的取样位置。取样方法：用手术刀小心刮掉蓝色粉末少许放到样品管中以便分析检验。

### (二) 样品分析方法

#### 1. 傅里叶变换红外光谱 (FTIR)

红外光谱可确定无机样品和有机样品的大致成分。

仪器：德国 Bruker 公司的 VECTOR22 傅里叶变换红外光谱仪，配合红外显微镜。

#### 2. 电子扫描电镜 (SEM)

扫描电镜分析的作用是观察样品的显微结构，特点是放大倍率高，可以达到几万倍，景深大，不需要平整的样品。配合能谱可以对样品局部进行元素分析，确定物质的组成元素进而推断成分。

分析仪器：荷兰 FEI 公司的 FEI Quanta 200 FEG 环境电子扫描显微镜。

## 三、分析结果

### (一) 红外光谱分析

经过对样品进行分析，其红外光谱见图 3。

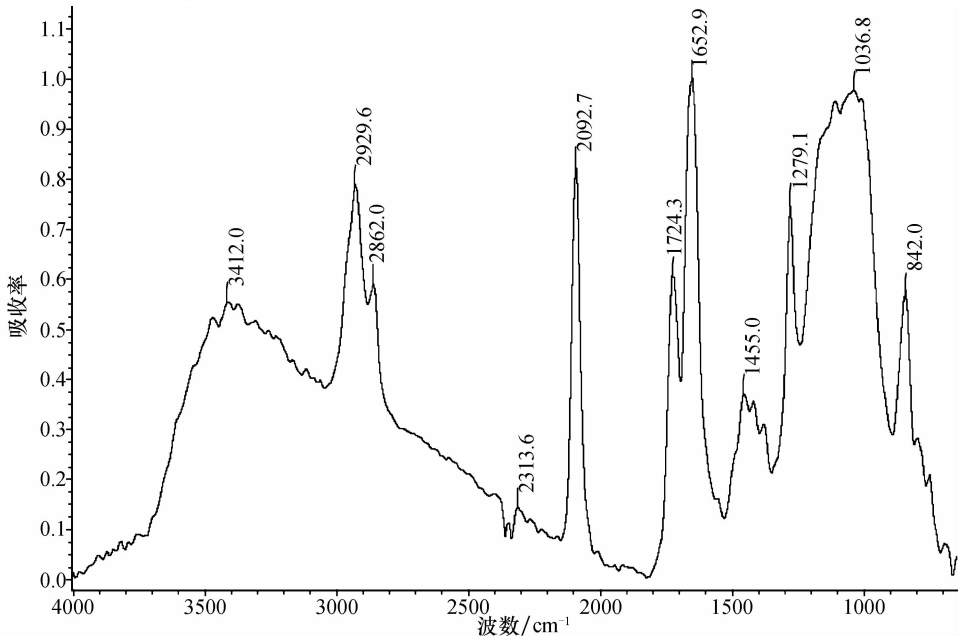
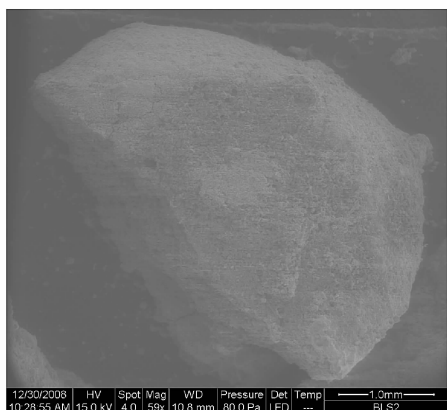


图 3 红外光谱图

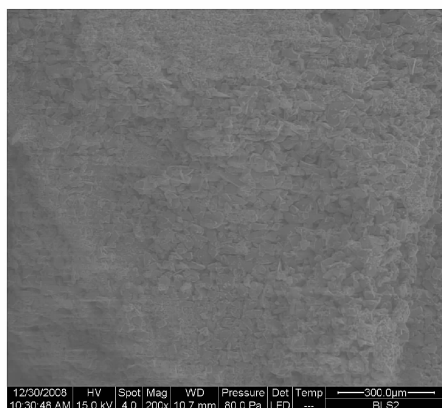
从图谱可以看出, 该蓝色颜料中有有机物, 还有其他矿物质。通过比对, 发现在以上的峰中, 蓝铜矿的吸收峰多存在, 如  $3\ 425\text{cm}^{-1}$ ,  $1\ 485\text{cm}^{-1}$ ,  $1\ 460\text{cm}^{-1}$ ,  $1\ 419\text{cm}^{-1}$ ,  $960\text{cm}^{-1}$ ,  $835\text{cm}^{-1}$ ,  $768\text{cm}^{-1}$ 等。其他的峰如  $2\ 929\text{cm}^{-1}$ ,  $2\ 862\text{cm}^{-1}$ ,  $2\ 313\text{cm}^{-1}$ ,  $1\ 652\text{cm}^{-1}$ ,  $1\ 279\text{cm}^{-1}$ 等可能是动物胶料的峰。推断出此蓝色样品是以蓝铜矿为主要呈色成分, 以动物胶为黏结剂。

## (二) 扫描电镜

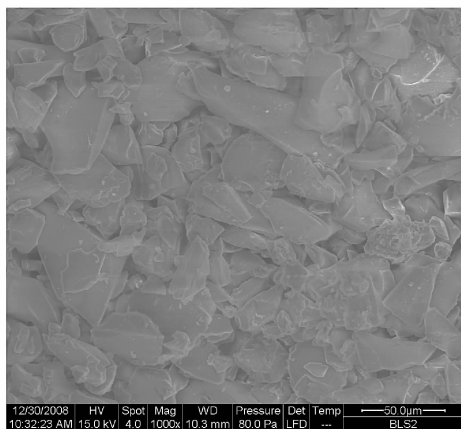
在电子扫描电镜下观察细部形貌结构, 见图4。



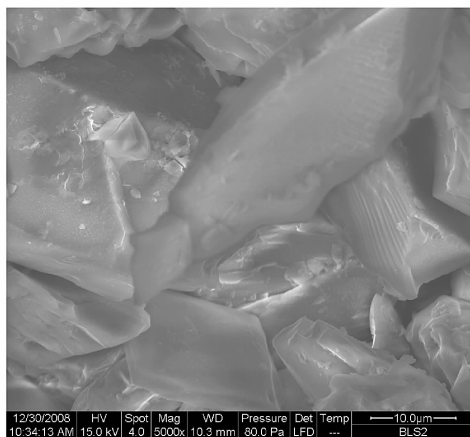
蓝色颗粒放大60倍



蓝色颗粒放大200倍



蓝色颗粒放大1000倍



蓝色颗粒放大5000倍

图4 扫描电镜图

从图4可以清晰看出样品的细微结构, 蓝色的颗粒处于样品的表面, 逐渐放大后可见颜料颗粒, 颗粒大小均一。高倍率下可见样品颗粒边角尖锐, 表面有贝壳状破碎痕迹, 说明颜料经过机械处理, 而且处理得很精细, 颗粒大小在  $5\sim 70\mu\text{m}$  之间。在扫描电镜下对颜料颗粒的能谱分析见表1。

从能谱分析结果上可以看出, 样品中存在较多的元素有 O、Cu、Si、Cl、Al、C 等, 其他元素较少, 如 S、K、Ca、Mg 等。铜的大量存在, 再次说明铜的化合物为呈色物质, 并且铜的化合物是蓝色的, 较常用的为蓝铜矿, 分子式为  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ , 其铜、碳、氧的重量比为 59:7:34, 而样品中的比例为 54:11:35, 基本接近, 只有碳的比例较高, 说明碳还存在其他结合态。

表 1 颜料颗粒的能谱分析表

元素	质量分数/%	原子百分比/%
C	08.89	19.57
O	27.36	45.20
Mg	01.09	01.19
Al	02.46	02.41
Si	06.48	06.09
S	00.57	00.47
Cl	07.72	05.76
K	00.65	00.44
Ca	00.57	00.38
Fe	01.93	00.91
Cu	42.28	17.59

## 四、结 论

(1) 通过以上两种自然科学方法的相互印证,大致可以确定该蓝色颜料呈色物质的主要成分为蓝铜矿,胶结材料可能为动物胶;

(2) 由以上观察分析发现,蓝色颜料颗粒表面尖锐,颗粒大小均匀,由此,可以大致推断,当时人们在使用该蓝色颜料之前是经过认真处理的。