

Grottoes Conservation
Zui Xiong Li

李最雄
石窟保护论文集



甘肃民族出版社

号 50 蒙字登簿(甘)

李最雄

石窟保护论文集



甘肃民族出版社

(甘)新登字第 02 号

责任编辑:赵兰泉

封面设计:马 强

巨岩云

N39-

李最雄石窟保护论文集

梁尉英 主编

甘肃民族出版社出版发行

(兰州第一新村 81 号)

天水新华印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 19.5 插页 6 字数 45 万字

1994 年 8 月第 1 版 1994 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—1,000

ISBN 7-5421-0318-0/N·2 定价:32.00 元



一九八七年春，在东京国立文化财
研究所进行敦煌壁画修复材料筛选试验

前 言

我国是世界上的文物大国之一,各种文物丰富多彩,都是无价之宝。其中有大批石质和土质文物,诸如石器、石碑、石雕、岩画、石窟等等。特别是许多无法移动的大型文物,如龟兹石窟、敦煌石窟、云岗石窟、乐山大佛、交河古城、万里长城等等,长期日晒、风吹、雨打、风化,损伤十分严重。国内外专家已进行过各种各样保护探索,一直还没有找到理想的科学办法。李最雄同志在前人探索的基础上,对石质文物的保护理论和方法进行了长期研究,获得了突破性的进展,发明了 PS—C 粘结剂加固砂岩石雕的技术,取得了很好的效果。经我国专家鉴定而认可,获得了 1988 年文化部科学技术成果二等奖,并将此技术直接用于榆林窟加固工程。

李最雄是我院、也是我国第一位文物保护科学博士,1990 年被聘为国家文物局科技进步奖评审委员。

他在敦煌壁画颜料变色的科学理论及修复材料方面也进行了深入研究,取得了国际水平的研究成果。在与美国专家和日本专家合作对壁画病害课题的研究中,也取得了前所未有的成果。这本论文集就是李最雄先生近一二十年在文物保护研究和实践中取得的科学成果。论文集的出版,对我国文物保护科学技术的研究将起到积极的促进作用,特誌数语,以资祝贺。

段文杰

1994 年 6 月 14 日
于敦煌莫高窟

PREFACE

China's priceless cultural relics are famous throughout the world. Many of them, however, are subjected to erosion by natural phenomena, like wind, rain, and sunlight. At sites throughout China, a great number of stone and earthen cultural relics — for example, stoneware, stone tablets, stone carving, and rock painting — are threatened. These sites include the Kucha, Dunhuang, and Yungang grottoes, the ancient city of Jiaohe, and the Great Wall. Many specialists from China and abroad have been working towards developing methods to conserve these important sites. To date some scientific progress has been made.

Mr. Li Zuixiong, a Dunhuang Research Institute scholar, is the first person in China to receive a doctorate in relics conservation. He has developed a method (PS — C method) for consolidating eroding rock carvings. This method was used to help reinforce the Yulin Grottoes. In 1988, the Ministry of Culture awarded Mr. Li second prize for Achievements in Science and Technology. He was also named as a member of the National Bureau of Cultural Relics Commission for Achievements in Science and Technology.

Mr. Li has also attained international recognition for his research on discoloration in Dunhuang murals, and for developing color restoration materials. In cooperation with experts from the United States and Japan, Mr. Li's on work mural painting diseases has broken new ground.

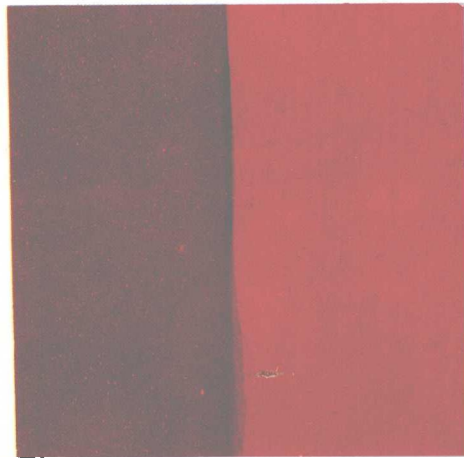
Grottoes Conservation contains Mr. Li's scientific writings spanning more than decade. This collection is an important achievement that will serve to promote further studies in the field.

Duan Wenjie

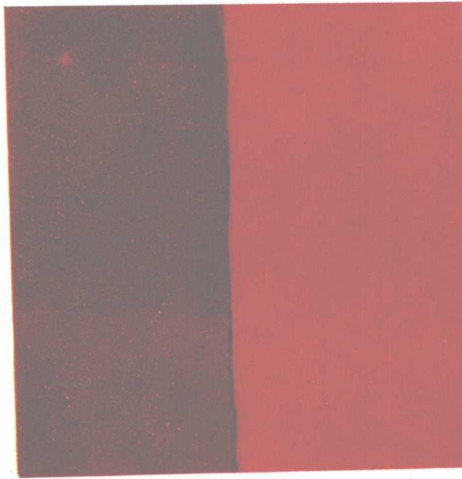
Director — Dunhuang Academy

June 14, 1994

↓ 朱砂



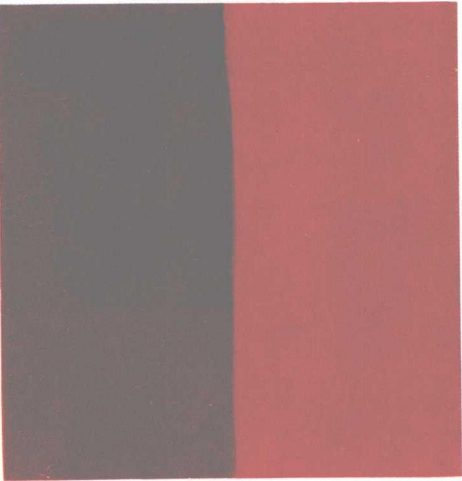
↑ 铅丹



遮光罩遮挡

紫外线滤膜遮挡

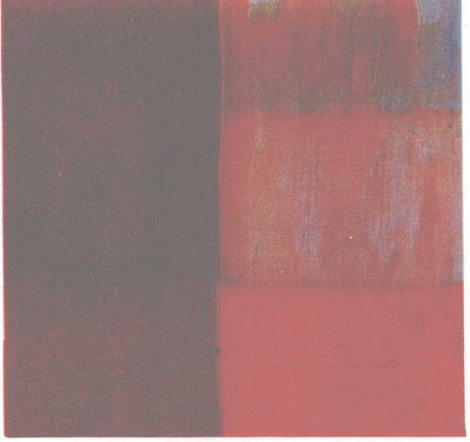
暴光



遮光罩遮挡

紫外线滤膜遮挡

暴光



遮光罩遮挡

紫外线滤膜遮挡

暴光

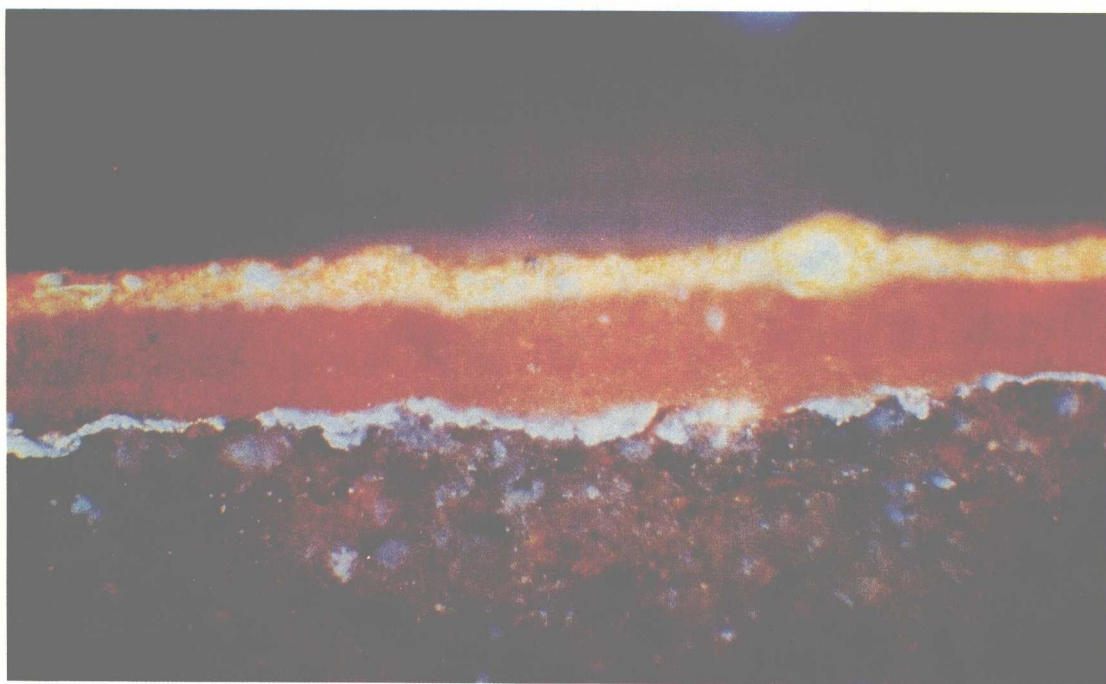
A. 原始样品

B. 相对湿度 0 %

C. 相对湿度 48 %

D. 相对湿度 90 %

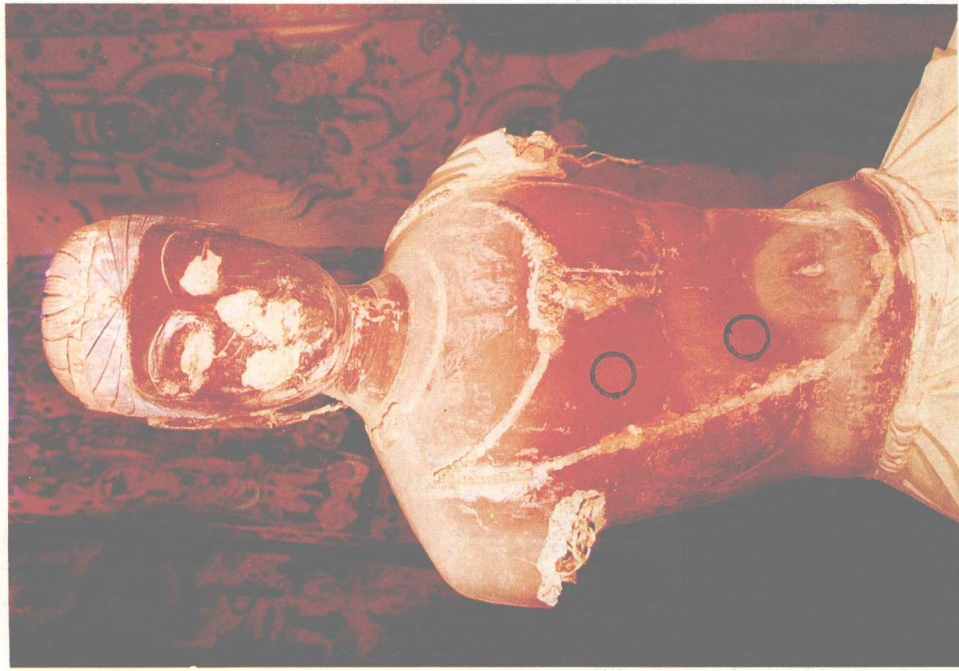
彩版 1 朱砂、铅丹的光照变色对比试验,光照 96 天后



彩版2 莫高窟天王堂塑像衣褶处红色 Pb_3O_4 横切面的显微镜照片, 约 $\times 200$



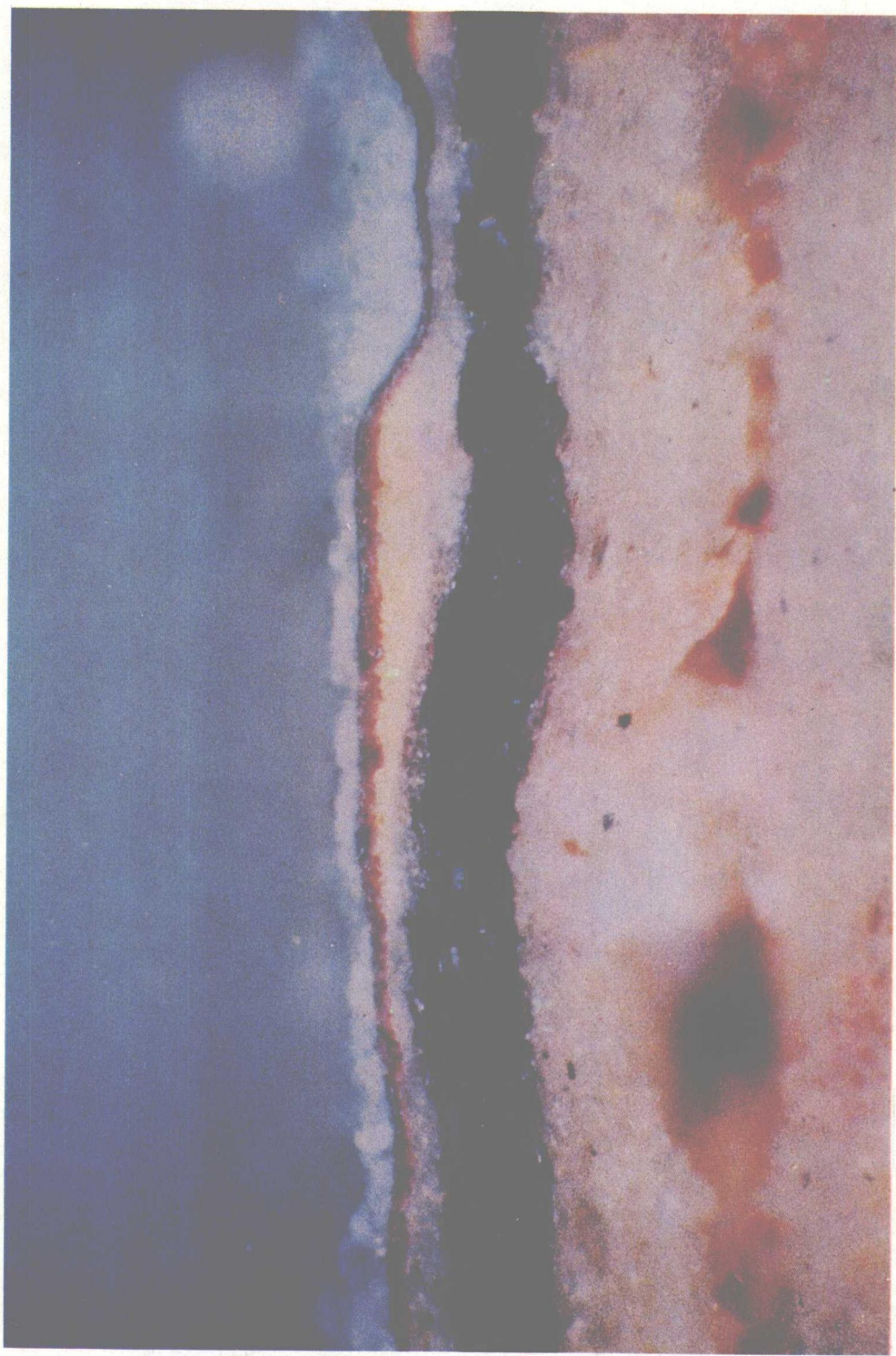
彩版3 莫高窟初唐时期的220窟里, 甬道北壁上, 覆盖在下层, 离洞口很近的五代壁画《文殊变》, 甬道是1975年搬迁的, 历时十多年后, 其菩萨衣褶处和面部肤色的铅丹(O 取样) 仍然鲜艳如新($\text{Pb}_3\text{O}_4 + \text{HgS}$)。



彩版 4 莫高窟盛唐时期的 205 窟里，离洞口较近，位于主室中心佛坛上（剖面图 A）的供养菩萨，其腹部肤色的铅丹（O 取样处）已变成棕红色（ PbO_2 大量 + Pb_3O_4 微量）



彩版 5 莫高窟盛唐时期的 205 窟里，离洞口较远，位于主室西南角上，光线非常阴暗处的壁画《文殊菩萨》（剖面图 B），其四肢和腹部肤色的铅丹（O 取样处）已变成棕黑色（ PbO_2 ）

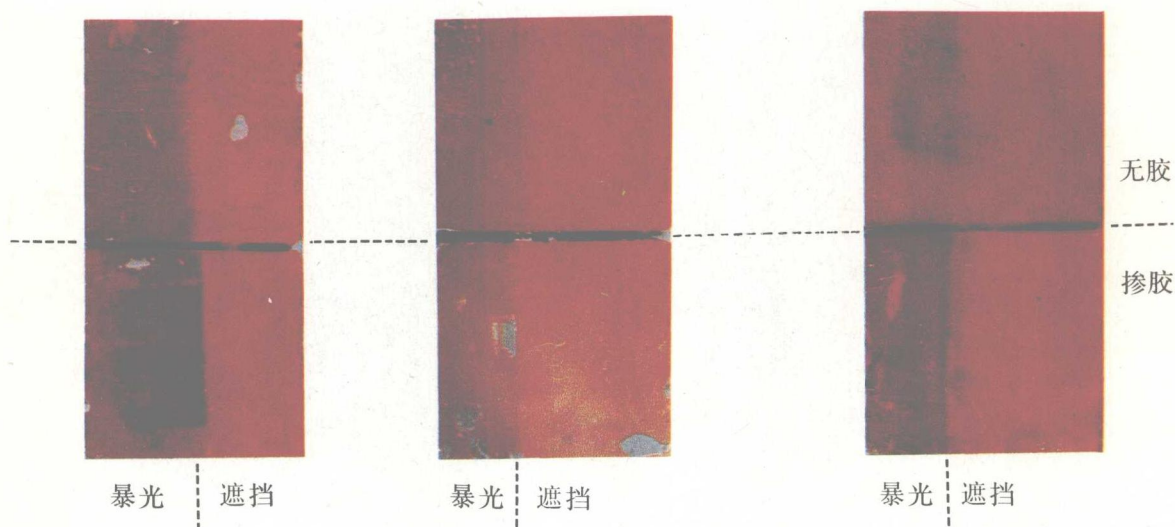


彩版 6 黄河沿岸的炳灵寺唐代 130 窟, 壁画中的铅丹变色非常严重, 几乎成黑色。其变色铅丹的横切
(Cross-Section) 显微镜照片里有一层黑色的 PbO₂, 约 $\times 200$

CaSO₄地仗

消石灰地仗

泥地仗

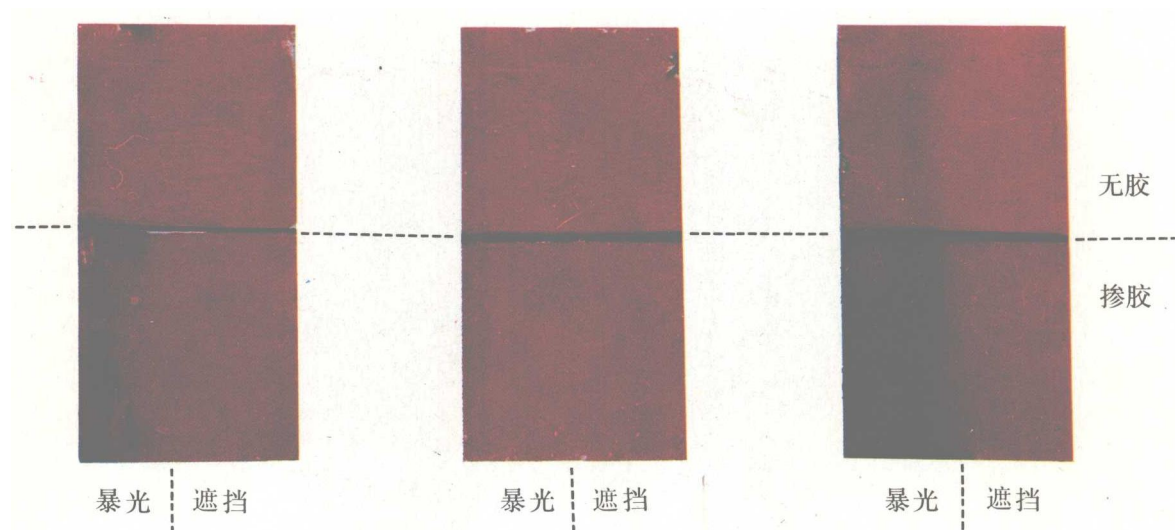


彩版 7 铅丹无胶和铅丹掺胶,分别以 CaSO₄、消石灰和泥做地仗,在相对湿度 RH=70%时,荧光照射 260 天后,模拟试样的变色状况

CaSO₄地仗

石灰地仗

泥地仗



彩版 8 朱砂无胶和朱砂掺胶,分别以 CaSO₄、消石灰和泥做地仗,在相对湿度 RH=70%时,荧光照射 260 天后,模拟试样的变色状况



彩版9 F₄₀₅地面轻混凝土抗压试块



彩版10 F₄₀₅、F₉₀₁地面人造陶粒轻骨料

目 录

一、石窟风化机理及加固材料研究

炳灵寺、麦积山和庆阳北石窟寺的风化研究	(1)
应用 PS-C 加固风化砂岩石雕的研究	(18)
用高模数硅酸钾加固多孔、脆弱石质文物的进一步研究	(31)
薄顶洞窟窟顶加固实验	(48)
莫高窟崖顶的化学固沙实验	(56)

二、砂砾岩岩体裂隙灌浆

PS-C 对砂砾岩石窟崖体裂隙灌浆的研究	(78)
砂砾岩石窟岩体裂隙灌浆的进一步研究	(89)
榆林窟东崖的岩体裂隙灌浆及其效果的人工地震检测	(108)

三、敦煌壁画颜料的变色及修复材料选择

光和湿度对土红、朱砂和铅丹变色的影响	(124)
湿度是铅丹变色的主要因素	(141)
铅丹、朱砂和土红变色研究的新进展	(159)
莫高窟壁画中的红色颜料及其变色机理探讨	(187)
敦煌壁画盐害及其地质背景	(206)
敦煌壁画中胶结材料老化初探	(218)
敦煌壁画加固材料的选择试验	(231)

四、中国仰韶时期的地面建筑材料研究

我国古代建筑史上的奇迹——关于秦安大地湾仰韶文化房屋地面建筑材料及其工艺的研究	(235)
世界上最古老的混凝土——中国仰韶时期建筑材料再研究	(246)
古代土建筑遗址的加固研究	(255)

CONTENTS

一、Weathering Mechanism and Consolidation

- A Study of the Weathering of the Bingling Temple Grottoes, the Maiji Shan Grottoes and the Qingyang Northern Grottoes (1)
- A Study on the Application of Potassium Silicate(PS to Strengthen Weathered Sandstone Sculptures (18)
- A Further Study on the Use of High—modulus potassium silicate to Strengthen Porous and Fragile Stone Relics (31)
- Use of Geosynthetics at the Mogao Grottoes for Reinforcing and Capping (48)
- Experiments on Chemical Consolidating Sands at the Mogao Grottoes (56)

二、Grouting of Cracks of Rocks

- A Study on Restoration Work of Fissured Gravel Rock—body in Grottoes Using PS—C Grouting (78)
- A Further Study on the Grouting of Cracks of the Grotto Conglomerate Rocks (89)
- Results of the Grouting of Cracks of the Eastern Face of the Yu Lin Grottoes and Artificial Earthquake Monitoring (108)

三、Colors Changes of Wall paintings and Restoration Materials

- Report on the Effect of Light and Humidity on the Discoloration of Hematite,vermillion and Red Lead at the Mogao Grottoes, Dunhuang (124)
- Humidity, the Prime Factor for Colour Change in Red Lead (141)
- New Developments in the Research of Color Changes in Red lead,vermillion and Hematite (159)
- Studies on the Red Pigments of the Mogao Wall Paintings and Their Discoloration Machanism as Well (187)
- The Salts Induced Disease of Wall Paintings in Mogao Grottoes at Dunhuang and Its Geological Background (206)
- A Preliminary Study of the Ageing of Glue in the Wall Paintings

of Mogao Grottoes, Dunhuang	(218)
A study in the Choice of a Suitable strengthening Substance for the Dunhuang Wall Paintings	(231)

四、Concrete the Chinese Neolithic Period

A Marvel in Chinese Architectural History; Studies of Techniques and Materials Used in the Construction of the Yangshao Floor at Dadiwan, QinAn	(235)
Further Study on the World's Oldest Concrete the Chinese Yang shao (Neolithic) Period Construction Material	(246)
Research on the Conservation of Ancient Earth—structure sites	(255)

炳灵寺、麦积山和庆阳 北石窟寺的风化研究

摘要——通过对甘肃炳灵寺石窟、麦积山石窟和庆阳北石窟寺石窟岩样的物理、力学试验,显微镜岩矿鉴定,光谱全分析,化学全分析以及对砂砾岩胶结物的X射线衍射鉴定、差热分析和电镜鉴定,同时通过对石窟所处自然环境和风化现状调查,找出这几个石窟风化的主要因素,以便进行风化和风化加固的研究。

绪 言

引起石窟岩石风化的因素是多方面的,但总的来说,不外乎两个方面的因素。一是石窟岩石的物理、化学性质(膨胀系数、孔隙度、吸水率、吸热程度、化学稳定性等),以及组成岩石的矿物种类,岩石的结构和构造,这些是引起石窟岩石风化的内在因素。二是引起石窟岩石风化的外界因素,即石窟所处的自然环境,例如气温的变化,水、大气的污染状况和生物的影响等。甘肃是全国石窟分布较多的省份之一,大小石窟近六十处。较大的石窟有敦煌莫高窟,永靖的炳灵寺石窟,天水的麦积山石窟,庆阳的北石窟寺等;就石窟岩石类型讲,以上这几个石窟均属沉积砂岩或砾岩。例如炳灵寺石窟属白垩纪岩屑长石石英砂岩,麦积山石窟属第三纪砾岩,而庆阳北石窟属白垩纪细粒长石石英砂岩。这些砂砾岩的结构松软,抗风化能力弱,就使得甘肃较大的几个石窟,经过千百年之后,遭到了相当严重的风化。但是在砂砾岩中,引起风化作用的主要因素是什么?这就要对上述引起石窟风化的两种因素进行具体的分析研究。

通过对炳灵寺石窟和庆阳北石窟寺岩样的物理、力学试验,显微镜岩矿鉴定,发现这些岩样抗压强度小,孔隙度大,吸水率大,抗风化能力弱。胶结物属于在水中易分散的泥质。对泥质进行差热分析、X射线衍射鉴定和扫描电镜鉴定,发现在胶结的泥质中蒙脱石的相对含量较高。由于蒙脱石易吸水膨胀,并崩散开,使得砂砾岩的胶结泥质受到破坏,导致砂砾岩风化。因炳灵寺石窟、麦积山石窟和庆阳北石窟寺砂砾岩的胶结泥质在组成上有这样一个特点,只要空气的湿度增大,或者当湿度随气温变化发生变化时,那怕是非常轻微的变化,这种风化作用就加速,特别是一些能直接淋到雨水的窟龛及一些有渗水的洞窟,风化破坏作用则更严重,其中以炳灵寺169窟和庆阳北石窟最严重。炳灵寺169窟是这个窟群中最最重要的一个洞窟,有严重的渗水,洞窟中相当潮湿,风化十分严重,除一些壁画和泥塑基本完好外,石雕像已全部风化破坏。北石窟的风化则更为惊人,这个石窟位于

庆阳蒲、茹两河交汇东岸的“覆钟山”石崖上,最早的洞窟开凿于北魏永平二年(即公元四〇九年)。六三年清理记录的一百五十余例题记中,经过暂短的十三年之后,已有二十六例题记风化消失,即是还尚存的题记,也因局部风化掉落,模糊不清,无法辨认。七七年石窟保管所对石窟的风化做了一些具体的调查,对石窟群中最重要的 165 窟顶部的风化速度做过这样的测定:

用一个面积为 $53 \times 38\text{cm}$ 瓷盘收集风化顶部的落沙,历时一年时间,按四季气候的变化,对收集的落沙进行称量分析,研究风化速度与湿度、温差等因素之间的关系。发现在夏季,由于天气变化异常,时阴时晴,温差大,相对湿度亦变化大,有时高达 90% 以上,有时只有 30% 左右,风化速度最大,平均每天每平方米风化落沙十点三克。这一年中,每天每平方米平均落沙四点四克。年平均风化深度 $1 \sim 2\text{mm}$ 。以这种风化速度推算,再经过近百年。整个石窟的面貌都会全非(照片 1)。

我们实验室也对北石窟的风化现状进行了一次调查。通过观测与机械钻探相结合的方法,对石窟的二百九十五处窟龕以风化程度不同分为四种类型:即风化极严重,风化严重,风化较严重,风化轻微。风化极严重者,只留下造像的痕迹,占整个窟龕的百分之六点四;风化严重者,造像的头、四肢已风化掉落,只留下身躯的轮廓,占整个窟龕的百分之二十二点七;风化较严重者,造像身躯基本完好,但五官残缺,四肢不全,占整个窟龕的百分之九;风化轻微者,造像基本完整,只有手、指、脚、衣褶的棱角等局部风化掉落,占整个窟龕的百分之六十一一点九。

实 验

1. 显微镜岩矿鉴定:

A、炳灵寺石窟——岩屑长石石英砂岩。

岩石由碎屑和胶结物两部分组成。碎屑成份主要是石英,其次是长石和岩屑。长石包括酸性斜长石和钾长石(正长石、微斜长石)两种。岩屑有石英岩岩屑、硅质岩岩屑、粘土岩岩屑及少量千枚岩岩屑。

碎屑粒度一般以 $0.08 \sim 0.15\text{mm}$ 占多数,其次是 $0.15 \sim 0.20\text{mm}$ 左右,为细微砂岩。碎屑分选性较好,圆度差一些,以次菱角状居多数,少数次圆状。碎屑约占岩石总含量的 85%。

砂岩以被氧化铁污染了的泥质胶结。含有少量方解石,少量鳞片状的黑云母及绿泥石。泥质绝大部分围绕碎屑颗粒呈薄膜状分布,少部分泥质充填在碎屑颗粒的孔隙间,以孔隙式胶结为主(照片 2)。

矿物成份:石英:45%

长石:25%

岩屑:15%

泥质:>15%

(包括方解石)

B、麦积山石窟——砾岩。

岩石由碎屑和胶结物两部分组成。碎屑成份为长石、石英及岩屑。长石包括钾长石