

中国文化遗产研究院

中央级公益性科研院所基本科研业务费专项成果丛书·2017年

文物保护科技专辑 V

—— 材料与检测

中国文化遗产研究院 编

 文物出版社

中国文化遗产研究院

中央级公益性科研院所基本科研业务费专项成果丛书·2017年

文物保护科技专辑 V

——材料与检测

中国文化遗产研究院 编



文物出版社

中国文化遗产研究院《中央级公益性科研院所基本科研业务费专项成果丛书·2017年》编辑委员会

主 任 柴晓明
委 员 马清林 许 言 乔云飞 曹兵武
孙 波 于 冰 李向东 赵 云
李 黎 张晓彤 郑子良

本 辑 编 委 马清林 詹长法 王金华 陈 青

图书在版编目 (CIP) 数据

文物保护科技专辑. 5, 材料与检测 / 中国文化遗产研究院编. —
北京: 文物出版社, 2017. 12

(中央级公益性科研院所基本科研业务费专项成果丛书)

ISBN 978 - 7 - 5010 - 5490 - 9

I. ①文… II. ①中… III. ①文物保护 - 研究 - 中国
IV. ①K87

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 288424 号

文物保护科技专辑 V

——材料与检测

编 者 中国文化遗产研究院

封面设计 周小玮

责任印制 苏 林

责任编辑 吕 游 王 戈

出版发行 文物出版社

地 址 北京市东直门内北小街 2 号楼

邮政编码 100007

http: //www. wenwu. com

E - mail: web@wenwu. com

印 刷 北京鹏润伟业印刷有限公司

经 销 新华书店

开 本 889 × 1194 1/16 印张 30. 75

版 次 2017 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5010 - 5490 - 9

定 价 298. 00 元

序



在财政部和国家文物局的关心下，中国文化遗产研究院自 2007 年起，持续获得中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金支持，可根据重点工作和主要业务领域自主设置项目。2007 年至 2017 年，总计获得基本科研业务费专项资金 4226.5 万元，先后设立了 152 个科研项目。这些项目涉及文物保护科技、文物保护工程与规划、人文社会科学等诸多学科领域，内容广泛，对本院基础建设和学科发展起到了重要的推动作用。在中央级公益性基本科研业务费专项资金的支持下，中国文化遗产研究院探索、建立了结合文物工作和文物保护实际需求开展科研工作的应用性科研模式，逐步形成了文化遗产价值认知、文物保护技术研发与应用、技术培训与推广有机结合的公益性科研体系。在文物政策与理论研究、中国世界文化遗产监测和申遗文本编制、大型古建筑结构监测、潮湿环境墓葬壁画保护、石质文物保护、南方潮湿环境贴金彩绘与岩画保护、海洋出水文物保护、遗址保护管理与展示等方向取得了一批开创性成果，培养了一批高素质的文化遗产研究、保护、修复、展示的青年学术带头人，形成了文化遗产研究、水下文化遗产保护、世界文化遗产保护与监测、大遗址保护展示、石质文物保护修复等专业化科研团队。

进入“十三五”以来，作为国家文化遗产保护领域具有较大影响力的重要专业力量，中国文化遗产研究院以积极探索实践符合国情的文物保护利用之路，努力践行传承中华优秀传统文化为己任，以强烈的新时代使命感，继续为社会提供优秀文物保护研究成果。2017 年，根据国家文物局部署，按照财政部进一步完善中央财政科研项目资金管理等政策的有关要求，中国文化遗产研究院结合自身实际，修订颁布了《基本科研业务费项目管理办法（试行）》，重点按照以下原则促进我院科研工作。

一是坚持职责使命导向。作为公益性应用型科研机构，中国文化遗产研究院始终将文物保护科学研究作为立院之本，坚持把社会效益放在首位，积极发挥公益类业务、科研事业单位作用。为此，我们将中央级基本科研业务费集中于有效发挥文物工作政策与基础理论研究的智库作用、世界文化遗产保护、监测与研究的总平台作用、文物保护工程实施与研究示范作用、文物保护修复科学技术研究的引领作用和文化遗产教育培训的基地作用等方面上来。在全面提升文物保护利用和服务社会水平、全面推进文物事业科学发展的新形势下，积极面对诸多新的挑战，深刻领会创新驱动内涵，发挥综合优势、提升专业竞争力，不断开创科学发展的新局面。

二是坚持目标需求导向。以“实际需求导向，重点领域突破”为科研基本原则，抓住新的发展机遇，力争将中国文化遗产研究院打造成为在国内具有较强影响力，在国际代表中国文物研究、保护利用水平和特色的现代综合性科研机构。为此，我们将中央级基本科研业务费项目在两个方面突出发力：一方面深化国内、外合作交流，关注重点研究领域的国际文化遗产前沿的同时，分享中国文物保护理念、方法和技术的实践体验；另一方面促进学科建设与发展，联合开展代表学科发展方向，体现前瞻布局的相关学科领域的招生与培养工作，优化完善本院已基本形成的人文社会科学、自然科学、工程技术科学交叉融合的文化遗产研究、保护和应用体系，将各类学科知识转化为文物保护所需的智慧和创造力。

三是坚持实践问题导向。事业的科学持续发展，人才队伍建设是关键要素。面对艰巨的文物保护与利用任务，需要在人才总量、应用型高层次人才质量、专业结构布局、后备力量储备等方面需要开展顶层设计和总体谋划。为此，我们将中央级基本科研业务费集中于积极实施行业领军人才计划和青年学术带头人（科研骨干）培养计划，给予更大的科研决策权、经费支配权、合作单位选择权、以及人力与薪酬资源调配权；在岗位聘用、年度评优、承担国家级项目、申报科研奖励、国际学术交流与合作、人才培养和团队建设、成果出版等方面予以优先支持。

本专辑将我院已结项的基本科研业务费专项成果结集出版，既是对工作的阶段性总结，也想借此将我们的收获认识分享给大家。我们衷心感谢财政部、国家文物局的关心和支持，也衷心希望及时得到同行们的指正与批评。

2017年11月

PREFACE

Chai Xiaoming

Chinese Academy of Cultural Heritage (CACH), under the concern of the Ministry of Finance (MoF) and State Administration of Cultural Heritage (SACH), has been receiving the earmarked fund support for central welfare scientific research institutes since 2007 and can independently initiate projects based on their key work and business fields. From 2007 to 2017, CACH has obtained the basic scientific research funds of 42.265 million yuan and established 152 projects which cover the extensive fields of cultural relic conservation science and technology, cultural relic conservation projects and planning, cultural and social sciences and play an important role to boost CACH's basic construction and academic development. With the earmarked fund support for central welfare scientific research institutes, CACH has explored and established an applied scientific research mode in consideration of the actual demands of cultural conservation work and cultural relic conservation, and gradually set up a welfare scientific research system that properly combines the cultural heritage value recognition, cultural relic conservation technical R&D and application, technical training and publicity. In the aspects of cultural relic policies and theoretical research, China world cultural heritage monitoring and compilation of world cultural heritage nomination script, monitoring of large-size ancient building structures, conservation of murals for tombs under moist environment, conservation of stone cultural heritage, gilded colorful painting and rock painting conservation in southern moist environment, conservation of ocean water heritage, and site conservation management and exhibition, CACH has obtained a series of pioneering achievements, nurtured a group of high quality young academic leaders in the research, conservation, restoration and exhibition of cultural heritage, and set up a professional scientific research team in terms of cultural heritage research, submerged cultural heritage conservation, world cultural heritage conservation and monitoring, Dayizhi conservation and exhibition and stone cultural relics conservation and restoration.

In the 13th Five-year Plan period, CACH, as an important professional force with greater influence in the national cultural heritage conservation field, has been actively exploring the cultural heritage conservation and utilization road suitable to China's state situation, striving to pass on the brilliant tradition and culture of the Chinese nation and continuing offering outstanding cultural relic conservation achievements for the society with the strong sense of responsibility in the new era. In 2017, in accordance with the deployment of the SACH and the requirements of MoF's policies on further improving the management of the funds for the scientific research projects supported with the central budget, CACH, taking its actual situation into consideration, revised and publicized the *Management Methods for Projects Supported by Basic Scientific Research and Business Funds* (trial) to boost its work with the focus on the principles as follows:

First, we will insist on the principle of sense of mission and responsibility. As a welfare institute for applied scientific research, CACH has regarded the scientific research on cultural relic conservation as the

fundamental mission, insisted on the primary importance of social benefits, actively given full play of the role as a welfare professional scientific research institution. Therefore, we have applied the central basic scientific research and business funds in the aspects of effectively give play of the think tank role in cultural relic policy and basic theory research, the general platform role in world cultural heritage conservation, monitoring and research, the demonstration role for cultural relic conservation projects' implementation and research, the leading role in researches on cultural relic conservation science and technology, and the role as a cultural heritage education base. Under the new situation of improving cultural heritage' s conservation, utilization and service to the society and boosting the scientific development of the cultural relic undertaking in an all - round mode, CACH will actively meet all new challenges, deeply understand the connotation of innovation - driving development, give play the comprehensive advantages, improve its professional competitiveness and constantly carve out the new situation for scientific development.

Second, we will insist on the direction of actual demands. With the basic scientific research principle of "with actual demands as the direction, making breakthroughs in key fields", CACH strives to build itself into a modern comprehensive scientific research institution that has relatively strong domestic influence and represents China' s cultural heritage research, conservation and utilization levels and characteristics in the world. So, concerning the projects supported by central basic scientific research and business funds, we' ll make special efforts in two aspects; on one hand, we' ll deepen domestic and foreign cooperation and exchanges, focus on the cutting - edge practices of the concepts, methods and technologies of international cultural heritage field and the sharing of Chinese practices in the field; on the other hand, we' ll promote discipline construction and development, jointly carry out the recruitment and cultivation of academic talent who represent the direction of academic direction and embody the foresighted layout of relevant disciplines, optimize and improve the cultural heritage research, conservation and application system basically built by CACH for the combination of humanitarian and social sciences, natural science, engineering and technological sciences, and the wisdom and creation necessary for transforming various knowledge into cultural relic conservation.

Third, we will insist on the direction of practices. Talent team development is a critical element for the scientific and sustainable development of business. In face of arduous cultural relic conservation and utilization tasks, top - level design and overall planning are necessary in the aspects of total volume of talent, design of discipline establishment and reserve force preparation etc. Therefore, we' ll mainly spend the central basic scientific research funds on actively carrying out the Industrial Leading Talent Plan and the Young Academic Leader (scientific research cadres) Cultivation Plan, authorize them greater rights on scientific research decision, expenditure allocation, partner selection and remuneration resource dispatch, and give support priority to talent appointment, annual outstanding personnel, state - level projects, scientific research award application, international academic exchanges and cooperation, talent cultivation and team building, and publications etc.

The publication of the achievements of the completed projects supported by the basic scientific research and business funds is both a stage summary of the work and sharing of the knowledge we obtained. We extend our sincere gratitude to the concern and support of MoF and SACH. We also hope to receive the timely comments and corrections from our peers.

November, 2017

目录 | Contents

- 003 X 射线检测技术在古代佛像保护中的应用
宗树 陈青 胡源 杨森
Application of X-ray Detection Technology in Ancient Buddha Statues Protection
Zong Shu, Chen Qing, Hu Yuan, Yang Miao
- 084 文物材质样品的激光拉曼光谱数据库建设
沈大娟 吴娜 张亦弛 王志良
Development of Cultural relic Samples' Raman Database
Shen Dawa, Wu Na, Zhang Yichi, Wang Zhiliang
- 111 灰岩质石窟寺岩体渗水裂隙灌浆材料研究
李黎 邵明申 陈卫昌 刘建辉
Research on Cracks Grouting Materials and Its Assessment and Application on Conservation on Carbonate Caves
Li Li, Shao Mingshen, Chen Weichang, Liu Jianhui
- 223 水硬性石灰在土遗址加固修复中应用研究
孙延忠
Application and Research of Hydraulic Lime in Reinforcement and Restoration on Earthen Sites
Sun Yanzhong
- 278 文物保护有机高分子材料抗菌性研究
葛琴雅
Studies on Biodeterioration of Polymers used in Conservation
Ge Qinya

- 302 南京太平天国历史博物馆藏吴煦档案材料工艺分析和保护修复研究
王珊 张亦弛 王珏
Study on the Materials and Paper - making Process of Wu Xu Archives in Nanjing Historical Museum of Taiping Heavenly Kingdom and Their Conservation and Restoration Method
Wang Shan, Zhang Yichi, Wang Jue
- 373 山东定陶王墓地（王陵）M2 汉墓黄肠题凑脱水保护环境控制实验研究
成倩 沈大娟 马清林 罗敏
Study in Conservation and Environmental Control of the Waterlogged Wooden Tomb of the Han Dynasty in Dingtao, Shandong Province
Cheng Qian, Shen Dawa, Ma Qinglin, Luo Min
- 412 山东定陶汉墓（M2）黄肠题凑外围遗存保护与展示研究
王乐乐 马清林 徐树强 王菊琳
A Study on Preservation and exhibition of the Peripheral soil size of Huangchangticou tomb (M2) of Dingtao in Shandong
Wang Lele, Ma Qinglin, Xu Shuqiang, Wang Julin
- 484 后记
Postscript

目录 | Contents

- 003 X 射线检测技术在古代佛像保护中的应用
宗树 陈青 胡源 杨森
Application of X - ray Detection Technology in Ancient Buddha Statues Protection
Zong Shu, Chen Qing, Hu Yuan, Yang Miao
- 084 文物材质样品的激光拉曼光谱数据库建设
沈大娟 吴娜 张亦弛 王志良
Development of Cultural relic Samples' Raman Database
Shen Dawa, Wu Na, Zhang Yichi, Wang Zhiliang
- 111 灰岩质石窟寺岩体渗水裂隙灌浆材料研究
李黎 邵明申 陈卫昌 刘建辉
Research on Cracks Grouting Materials and Its Assessment and Application on Conservation on Carbonate Caves
Li Li, Shao Mingshen, Chen Weichang, Liu Jianhui
- 223 水硬性石灰在土遗址加固修复中应用研究
孙延忠
Application and Research of Hydraulic Lime in Reinforcement and Restoration on Earthen Sites
Sun Yanzhong
- 278 文物保护有机高分子材料抗菌性研究
葛琴雅
Studies on Biodeterioration of Polymers used in Conservation
Ge Qinya

- 302 南京太平天国历史博物馆藏吴煦档案材料工艺分析和保护修复研究
王珊 张亦弛 王珏
Study on the Materials and Paper - making Process of Wu Xu Archives in Nanjing Historical Museum of Taiping Heavenly Kingdom and Their Conservation and Restoration Method
Wang Shan, Zhang Yichi, Wang Jue
- 373 山东定陶王墓地（王陵）M2 汉墓黄肠题凑脱水保护环境控制实验研究
成倩 沈大娟 马清林 罗敏
Study in Conservation and Environmental Control of the Waterlogged Wooden Tomb of the Han Dynasty in Dingtao, Shandong Province
Cheng Qian, Shen Dawa, Ma Qinglin, Luo Min
- 412 山东定陶汉墓（M2）黄肠题凑外围遗存保护与展示研究
王乐乐 马清林 徐树强 王菊琳
A Study on Preservation and exhibition of the Peripheral soil size of Huangchangticou tomb (M2) of Dingtao in Shandong
Wang Lele, Ma Qinglin, Xu Shuqiang, Wang Julin
- 484 后记
Postscript

X 射线检测技术在古代佛像保护中的应用

中国文化遗产研究院文物保护工程所 宗树 陈青 胡源

中国文化遗产研究院文物保护修复所 杨淼

摘要: 我国有大量的佛教造像, 其中很多是古代艺术宝库中的珍品。这些古代佛像, 从艺术形态的角度分析, 以木胎和泥胎的佛像最为典型。这两种类型的佛像多采用雕塑与贴金彩绘相结合的工艺。现阶段我国大部分寺庙中保存的古代佛像多处于自然劣化、结构失稳的状态。本课题研究通过 X 射线无损检测技术针对承德安远庙、殊像寺和北京智化寺三处木胎、泥胎佛像的整体制作工艺、内部保存状况、病害程度进行了详细测试、剖析和研究。确定这些佛像胎体的制作材料、结构、工艺以及与保存状况及病害的关系, 探索保护方法, 为我国同类型的古代佛像研究、保护与修复提供可靠的经验和依据支持。利用 X 射线成像技术可以揭示出制作工艺以及保存中的内在问题, 可以避免修复过程中的盲目性, 为修复工作提供针对性的指导。

关键词: X 射线成像技术 古代佛像 工艺材料 结构 保存状况

Application of X-ray Detection Technology in Ancient Buddha Statues Protection

Zong Shu, Chen Qing, Hu Yuan, Yang Miao

Abstract: The full of variety of Buddha statues in China is the gem of the ancient arts treasury. As far as the analysis of the art forms is concerned, the wooden-cored and earth-bodied in the ancient Buddha statues is the most typical statue, which is the quintessence combination of China sculpture and technique of gild gold leaf with colored drawing. Nowadays, most of large numbered Buddha statues in temples in China are under the natural degradation and structural instability. The research topic is to getting the information, analysis and research of the whole making technique, the inside status as well as the extent of disease by the means of harmless X-ray detecting technique on the wooden-cored and earth-bodied statues in Anyuan Temple, Shuxiang Temple in Chengde and Zhihua Temple in Beijing. The research is not only revealing the

relevance of the status maintenance and disease with the materials the structure as well as the technique of making core of the Buddha statues, but also making it possible to research protection and restoring the same typical ancient Buddha statues. The application of X-ray imaging technique helps us to reveal the making technique and inside problem, to avoid the blindness in the process of restoring and to give us the guidance of the restoring works.

Key words: X-ray imaging technique, ancient Buddha statues, process material, structure, status maintenance

1 概述

本课题针对承德安远庙普度殿二层两尊菩萨像整体、承德殊像寺山门哼哈二将的局部、北京智化寺梵王和金刚立像整体进行了前期调查研究和制作材料的分析检测,初步掌握了所拍摄佛像的制作材料。通过X光片的拍摄,以及X光片的数字化处理、拼接和解析对制作工艺有了初步了解,对内、外形貌及内部结构组成也有了较为明确的认识。

三处寺庙佛像的前期调查研究和X光片拍摄解析工作全部完成后,进行同材质佛像之间的各方面情况的比对和分析研究。

2 研究成果与应用前景

对承德安远庙、殊像寺和北京智化寺进行了前期现场调查研究,得到了前期调查成果和佛像制作材料的分析检测结果,以及三处寺庙四尊佛像整体及两尊佛像局部共300余幅X光片的拍摄。完成安远庙两尊佛像和智化寺两尊佛像整体X光片及殊像寺两尊佛像局部的拼接和解析,得到佛像结构分析图7张,对不可移动文物的调查及调查方法的改进有了质的提高。根据X光片的解析和研究对佛像制作工艺及内部病害有了初步了解,对内、外形貌及内部结构也有了较为明确的认识。将应用X光片成像分析得出的研究结果与日本同类型佛像的X光片的结构进行了分析对比。

本课题通过对承德安远庙、殊像寺和北京智化寺三处佛像的现场调查、病害分析研究以及X光片拍摄方法方面取得了一定的成果。经过后期解析和研究后,总结了X光片的拍摄经验和对同样材质佛像的内部结构的了解,以及将X光片显示的病害调查的结果运用到佛像修复中去,使这些宝贵遗产延年。

3 佛像制作材料与工艺调查的重要性与研究历史

3.1 佛像制作材料与工艺调查的重要性

在中国悠久的历史中出现很多佛造像,其中相当大一部分已经消亡。文物损毁的原因有很多,首先是自然的风化,再有害虫、霉菌、天灾、火灾、战争、偷盗等不可尽数,但依然有很多传世之品,把它们保存下去是一件非常重要的工作。最初还没有确立修复的方法,只能召集雕塑家、漆工和其他

的专业工匠，一边对他们的技法进行归纳，一边确立修复的技法。再经过反复试验，逐渐地建立了修复技术体系，让佛像的修复走上正轨。

在修复佛像等文物时，首先需要进行调查，前面提到的本课题所研究的佛像从外部很难观察到其内部胎体的结构和工艺。因此，在确保文物安全且保证调查结果准确性的前提下，尽量使用无损检测，为此我们近几年开始采用 X 射线透视进行观察。这次课题组主要展示了拍摄的资料以及为了解佛像制作技法所拍摄的 X 光片，目的在于让大家看到从外观看不到的内部。

在调查过程中，首先要进行肉眼观察，这是非常重要的，在此之后，需要做无损检测来搞清内部结构。无损检测的主要目的是要搞清结构（材料的接缝处所在，钉子、铜子的位置，糟朽、裂隙等病害状况等），还要确认有无装藏。但现在的条件还不能达到对整体毫无遗漏地进行拍摄，而且由于便携式 X 射线仪器本身的规格问题，使得一些佛像较厚的部位无法打透。在拼接和详细地解析时，就会发现有的地方没有拍摄完全，或者画面不够清晰，这些不足都有赖于将来技术的进步。

在 20 世纪开始修复雕塑文物时，具有丰富经验的修复者的眼睛和手就是有力的武器，修复现场也没有使用观察用的仪器。我们也不能只顾着称赞当时的修复技术是多么棒，这是因为当时的修复记录丢失，我们无法辨别在一些文物上是否进行过修复，或者哪些是修复过的地方，哪些是文物原来的地方。然而即使有疑问，也不能破坏文物，更加不能打开来看内部，这就需要我们使用无损非接触的检测手段进行严格的调查，重新调查这些文物。在缺乏当时制作、资料和记录的今天，为了知道制作的秘密，我们进行了 X 光拍摄的、无损的内部调查。最终明白，这些作品在制作上没有一点点的偷工减料，工艺非常严谨，所以制作的精良是他们在长久的时间过后也没有产生非常严重问题的重要原因。

课题组的拍摄工作使我们能看到内部的工艺和结构，这些是从外边根本看不到。而我们又想让尽量多的人了解这些珍贵的信息，让大家知道从外面看起来富有魅力的这些雕像，其内部也同样充满了魅力，从而为保护修复工作提供了有力的证据。

3.2 研究历史

绘画在中国古代文化艺术领域中占有崇高的地位，雕塑则不尽相同。从事雕塑创作是重体力劳动，历史上除戴逵、戴颙等人之外，很少有高层次的文化人参与雕塑创作，也没有文化人为中国古代雕塑梳理、研究、著录。塑匠们自身的创作经历、经验也未记录下来。杨惠之^[1]未能传世的《塑诀》，推测应是归纳为口诀的具体实践经验，未上升为理论。尽管历代工匠不重视传统工艺资料的整理，但是还是产生了像《营造法式》（宋代）、《髹饰录》（明代）这样的划时代的工艺技术专著。中国从历史上不太重视雕塑制作等历史资料的整理，早期的修复工作也是匠人们按照制作工艺进行非常自由的修复。

针对古代佛像的科技保护研究也较晚，保护技术也比较单调。虽然 X 射线成像技术在 20 世纪后期已经运用到文物保护方面，但该技术目前也只是在体量比较小、材质比较单一、构造比较简单的文物上运用。日本东京艺术大学的长泽市郎教授及其团队前几年将 X 射线探伤技术运用到拍摄完整大体量佛像上，研究佛像的内部构造和制作工艺当属首创。

目前，国内将 X 射线探伤技术运用在佛像这种制作材料多样、制作工艺复杂的文物上非常少，其中承德普宁寺的善财龙女保护研究应用了 X 射线探伤技术，对佛像内部调查进行了初步的研究，重庆

大足千手观音的内部结构稳定性研究中也运用了该技术,不过这些研究并没有将其与制作材料和工艺的研究联系起来。2012年北京大学胡东波的著作《文物的X射线成像》出版。书中内容比较侧重于介绍X射线的理论和应用技术,并且在青铜器的铸造工艺和保存状况分析上做了非常细致的研究。该技术在本课题的研究对象——木胎、泥胎佛像的应用以及研究上面相对较少。

本研究课题运用X射线探伤技术对大体量古代木胎、泥胎佛像的整体制作工艺、保存状况、病害程度进行详细测试、剖析、研究与展示,并且分析制作材料、工艺与佛像保存现状、病害程度之间的关系,其中佛像内部的工艺结构与病害状况的分析为本课题的研究重点。这一研究将填补国内该领域的空白,相信X射线成像技术在未来同样材质的文物保护技术研究上得到普遍应用。

4 X光片的拍摄和图像的后期处理

4.1 拍摄所用仪器设备

在X射线成像技术最初运用到文物方面的调查时,并没有便携式的X射线探伤仪器,所用仪器都非常庞大、笨重,都是安置在实验室里不能移动的。当时只能对可移动的小体量文物进行拍摄,将这些文物移动至具有X射线拍照仪器的房间中进行操作。而且当时拍摄的X光片都是医院用的传统胶片,拍摄后不能马上看到图像,需要将胶片冲洗后才能显影,对于现场工作无法及时做出调整,工作周期较长。

之后由于便携式X射线探伤仪器的出现和计算机的加入,以及图像软件处理技术的显著进步,可以将X射线探伤仪器以及相关其他设备带到工作现场操作,使得对大体量的不可移动文物的拍摄成为可能。特别是拍摄北京智化寺两尊通高3.54m的大型木雕彩绘佛像,课题组也没有拍摄过体量如此大的佛像的X射线成像的先例。便携式X射线拍照仪器及配套设备对于本次大体量的佛像的拍摄工作带来了很大的便利。

4.1.1 拍摄所用便携式X射线探伤仪

本课题中所使用的X射线探伤设备有两种型号:

①日本SOFTEX公司的K-200型便携式X射线探伤仪(见表1),该设备用于拍摄承德安远庙和北京智化寺的佛像(图1)。

表1 日本SOFTEX公司K-200型便携式X射线探伤仪性能表

型号	K-200
最高电压	200kV
最低电压	60kV
电流	3mA
电源	220VAC \ 50Hz
拍摄距离	600mm
曝光时间	3min

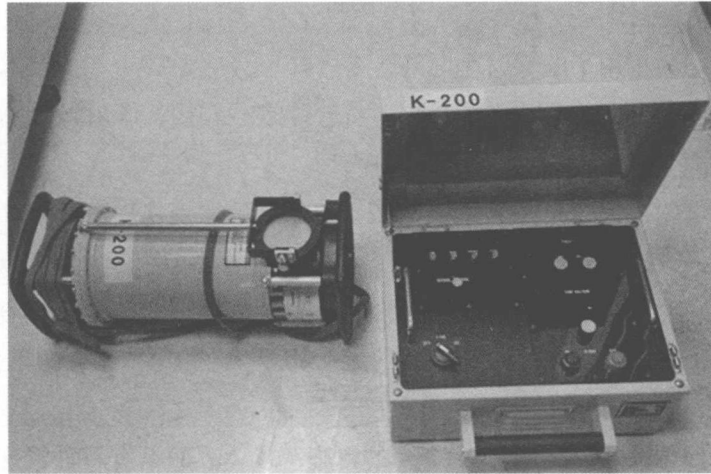


图1 K-200 型便携式 X 射线探伤仪

② 中国丹东市红星仪器厂的 XXG-3005 型便携式 X 射线探伤仪（见表 2），该设备用于拍摄承德殊像寺的佛像（图 2）。

表 2 红星仪器厂 XXG-3005 型便携式 X 射线探伤仪性能表

型号	XXG-3005
最高电压	300kV
最低电压	60kV
电流	5mA
电源	220VAC \ 50Hz
拍摄距离	600mm
曝光时间	5min



图2 XXG-3005 型便携式 X 射线探伤仪

4.1.2 拍摄所用电子胶片

为提高工作效率,此次采用了电子胶片得以迅速获取 X 光电子影像。该技术是将用电子胶片代替传统胶片,待 X 光拍摄后,运用专用电子扫描仪,将胶片进行扫描,即可马上在电脑中获得所拍摄部位的电子影像。

本课题中使用的电子胶片为感光成像 X 光电子软片,这种感光软片以感光度高、曝光宽容度大而著称,同时具有理论上可以反复拍摄上千次的优点。电子软胶片规格为 14in × 17in (36.56cm × 43.18cm)。课题组拍摄的数据图像经过简单的处理就得到了超过预期的鲜明的图像。在电脑上把数据图像拼接,得到一体化的全身图像,也能制作结构图,因此佛像内部构造的工作获得了有效的基础数据。

这种感光软片是一种柔软的、厚度为 0.6mm 的树脂薄片,表面涂有一种特殊的荧光体——以铈为催化剂的钡荧光卤化物。这种辉尽荧光体经 X 射线激活后会形成记忆,再用比荧光体的发光波长更长的光照射,就能因被照射的放射线量不同而发出不同强度的光。它存储的数据在摄影后几个小时之内会衰减到 70% 左右,但之后衰减程度很小,在几天之内都可以读出。我们利用专用扫描仪将胶片扫描,存储为数字图像。该胶片的特征在于它的对比度范围比普通的 X 射线胶片要大得多,前者是 1:500,后者是 1:5,所以拍摄一次,就能读出不同厚度的不同层次,并且摄影条件稍有偏差也不会出现很大的问题。另外还有一点,因为扫描得到的图像是数码数据,还可以通过图像处理改善画质。该胶片的感光度是工业用的 5~20 倍。

我们利用 X 射线透视摄影,目的是想知道物体内部的结构。如果物体内部构造物之间对 X 射线的吸收程度差异较大时,就需要用肉眼辨识这些微妙的差别。由于 X 射线本身具有高度的穿透力,使 X 射线胶片的感光度在实用时往往显得不够,为了改善感光度,课题组使用了增感屏。增感屏在接触 X 射线时能反光,配合使用上述能够对 X 射线感光的胶片将可以拍摄出效果更加明显的图像。

4.1.3 拍摄所用电子扫描仪和扫描分析成像软件

扫描仪器使用 14in × 17in 医用胶片的大型底片电子扫描仪,型号为美国 VMI 公司的 VMI5100S (美国产)。该仪器非常昂贵,而且体积庞大,重量也很大。如果要将全套装备运到拍摄现场,就需要专用车辆,我们租用了院里移动试验车负责运输这些沉重的拍摄设备。因为要拍摄的佛像体量较大,需要分部位拍摄上百张底片。由于胎体内部的厚度差异和复杂的结构,必须与上一个拍摄部位稍有重叠,不然就容易造成漏拍。为防止漏拍,我们必须当场出片,并尽量认真确认是否做到了上述重叠,因此现场需要系统中解读底片的电脑设备,整个过程非常缓慢。

基于以往的拍摄经验,我们利用专用电脑和扫描分析成像软件 VMISTARRVIEW 7.0 (美国)进行扫描和成像(图 3),以及后期图像处理软件 Adobe Photoshop CS5 (64bit) 解读数据化后的 X 射线图像,提高了工作效率,努力做出了较为鲜明的全身图像。

课题组将现有的 X 射线底片数据化,将每一尊佛像的数据都录入光盘。展示给大家的 X 射线图像都是基于上述成果,尽可能地利用数据化,经过图像处理使之达到效果鲜明。

4.2 拍摄方法及经过

以下内容以在北京智化寺的拍摄工作为例,将拍摄过程做一个简单的描述。由于智化寺的两尊佛