

新疆吐峪沟石窟遗址出土罗织物形貌与材质特征研究*

傅 星¹, 刘大玮², 衣卫京^{1*}, 夏立栋³, 王 龙⁴

1. 北京服装学院 服装艺术与工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830046

2. 中国社会科学院 科技考古与文化遗产保护重点实验室, 北京 100710

3. 中国社会科学院 考古研究所, 北京 100105

4. 吐鲁番学研究院, 新疆 吐鲁番 838099

摘要:以新疆吐鲁番吐峪沟石窟遗址出土的土红色罗织物残片(文物编号:TYGB2017-1-13)为研究对象,运用扫描电子显微镜、超景深三维显微镜、手持式显微镜等多种现代科技手段,对该织物纤维形貌、纱线工艺、织物结构进行检测、分析。同时,利用傅里叶红外光谱仪对该织物纤维进行检测,其特征峰与桑蚕丝纤维相符。但是,其酰胺I代发生偏移,并且—Gly—Ala—Gly—钛链结构存在一定降解,推测上述现象系文物埋藏时间和环境等因素所导致的纤维老化。研究明确了新疆吐峪沟石窟遗址出土的土红色罗织物残片的纤维成分和加工工艺,丰富了汉唐时期出土文物的实物研究数据。

关键词:吐峪沟石窟寺;纺织考古;纺织文化遗产;罗织物

中图分类号:K876.9;TS136

吐峪沟石窟位于新疆维吾尔自治区吐鲁番市鄯善县吐峪沟乡吐峪沟麻扎村,地理坐标为东经89°33'、北纬42°51',是连通火焰山南北的重要通道之一,也是古代丝绸之路上一处重要的佛教地点^[1]。20世纪以来此石窟遗址出土了大量纺织品,是研究古代社会礼制、阶级的重要实物资料^[2],也是传承中华优秀传统文化、增强民族凝聚力的重要途径。研究的土红色罗织物是2017年发掘出的其中一个文物样本,织物呈不

规则残片状态、边缘破损,部分存在断裂。

罗织物作为承载着中国传统丝绸制造技术中带有独特工艺标志的一种织物,见证着中国古代文化传播以及中外交流的历程。现在的研究中有对罗织物的结构和工艺研究、罗织物品种的演变^[3],但缺少对可作为实际证据的罗织物类文物进行精确的分析与研究,使理论上的知识无法与考古实物进行精确结合。现有考古工作对实际文物的研究缺少系统且深入的解析。

基于此,研究以新疆维吾尔自治区吐峪沟石窟东区北侧挖掘的土红色罗织物残片为研究对象,综合利用扫描电子显微镜分析纤维材质和老化状态,使用哈氏切片器配合超景深三维显微镜观察纤维截面以及红外光谱仪得出红外光谱图确认纤维类型,采用手持式电子数码显微镜dino-lite观察织物结构和纱线细节以辅助分析还原织物加工工艺。利用现代科技手段,旨在深入厘清样本的形貌结构特征和纤维属性,同时为新疆吐峪沟石窟考古工作和纺织历史研究提供可靠的数据支撑。

1 实验部分

1.1 样品

出土织物残片如图1所示,呈现皱缩的几块分离的团块状,表面布满泥土污垢色泽暗淡且分布不均,无法看出织物本身的颜色和状态。因此经过一定手段对织物进行处理,对其进行除尘和软化,利用温和试剂清洗表面污垢,同时避免损害织物本身。清洗后的织物再采用轻柔手法展平,分清理顺经纬并利用丝网技术固定,确保织物残缺破损的部分也固定在原本其在织物的位置。经处理后的织物便于开展特征研究,同时收集在修复整理期间遗落的丝线作为检测的样本,

*基金项目:中宣部科技考古与文化遗产保护重点实验室学科发展扶持项目“中国古代出土纺织品保护与阐释研究”(S20250311);北京服装学院服装艺术与工程学院“服装文化遗产传承与创新”微专业(110105000515)

作者简介:傅星,女,北京服装学院硕士在读,研究方向为服饰技术。

*通信作者:衣卫京,男,教授,博士,研究方向为纺织功能材料。

减少对文物本身的损害。



图1 出土织物残片(文物编号:TYGB2017-1-13)

修复后样品如图2所示,整体为不规则的片状,经过经纬整理后拼接摆放,主体尺寸为长26 cm、宽11 cm。观察织物可发现大量破损与残缺,且织物已经多处断裂但织物左侧有完整明显的布边保留。织物整体色彩为土红色,经纬结构清晰、孔隙明显。

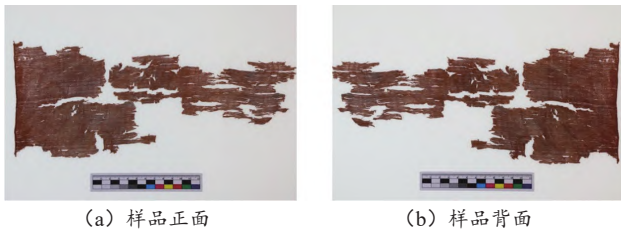


图2 修复后样品图

1.2 电子显微镜

观察纤维表面的微观形貌,采用 Thermo Scientific Phenom XL G2 台式扫描电子显微镜,辅助分析纤维的材质以及老化状态等。取纤维片段,并在表面喷导电膜增加导电性后放置在样品台。在电子加速电压为15 kV 的条件下拍摄纤维表面微观状态图像。

1.3 三维显微镜

为实现对纤维横截面的观测,首先利用哈氏切片器制备纤维切片,再使用 Keyence 基恩士超景深三维显微镜,通过调节旋钮使纤维横截面处于视野中心并且换至超景深成像模式。根据纤维截面尺寸调节放大倍数,观察放置于显微镜载物台的切片并拍摄照片,确保纤维截面结构清晰,并利用仪器配套软件标注截面的尺寸。

1.4 红外光谱仪

将织物处理过程中掉落收集起来的纤维作为样品,在 Thermo Scientific Nicolet iS50 FTIR 型傅里叶变换红

外光谱仪上进行测试。先对仪器外置小圆盘进行乙醇棉片消毒以及完成背景检测后,将纤维用镊子放置在圆盘中心并轻放压杆进行测试,最终得到纤维的红外吸收光谱图。这有助于后续对实际测试谱图的特征峰进行分析,从而判定确认纤维类型。

1.5 电子数码显微镜

利用 AM7013MZT (R9) 手持式电子数码显微镜 dino-lite 可在相同放大倍数下对修复前后的织物组织结构形态进行对比,以及对织物的捻回捻向进行观测。捕捉清晰的织物结构和纱线状态图像,为后续还原工艺过程提供支撑。

2 实验结果与讨论

2.1 丝线结构特征

2.1.1 表面与截面观测

通过观察织物丝线的横截面及纤维结构的直径数据可达到辨别丝线种类的目的,故采用超景深三维扫描和扫描电子显微镜对织物丝线的微观形态进行观测。

丝线切片横截面如图3所示,呈现不规则的扁平状且近似三角形,纤维之间虽然排列紧密但也存在一定缝隙,随机测量五处尺寸分别为12.78 μm 、10.51 μm 、14.70 μm 、6.40 μm 和 8.62 μm ,长径均较短。根据其扁平有棱角、无中腔的形状,明显区别于麻和棉的有中腔或其他纤维横截面,因此可将纤维确定为蚕丝。根据其扁平的纤维截面区别于家蚕丝不扁平的三角形状,应该将此纤维分类为天然野蚕丝。但是,天然蚕丝的长径通常在15 μm 及以上,可本纤维截面的长径均小于15 μm ,属于桑蚕丝的长径,但并不符合桑蚕丝平滑三角形的截面结构特征。根据织物整体样本观察发现,织物整体已存在严重破损,且长时间的埋藏也会使纤维因时间和挤压等因素出现老化和断裂。同时,观察截面图会发现大部分结构确实存在边上多次断裂以及挤压形成的模糊无法清晰看出截面结构。大部分结构可根据挤压状态看出其原本三角形状,被挤压导致边缘断裂弯折成为近似梯形的结构,且空隙越小、挤压越严重的部分长径越长。观察挤压不严重的部分且空隙较大处其原本三角形态的痕迹更为明显,结合其长径与桑蚕丝匹配的前提,初步判定为桑蚕丝。

台式扫描电子显微镜在15 kV 的电子加速度下,纤维电镜(2 400 \times)如图4所示,纤维表面有细微条纹且部分纤维之间排列有许多空隙,结构较为疏松,以及标志6处尺寸为7~11 μm ,与横截面测量的尺

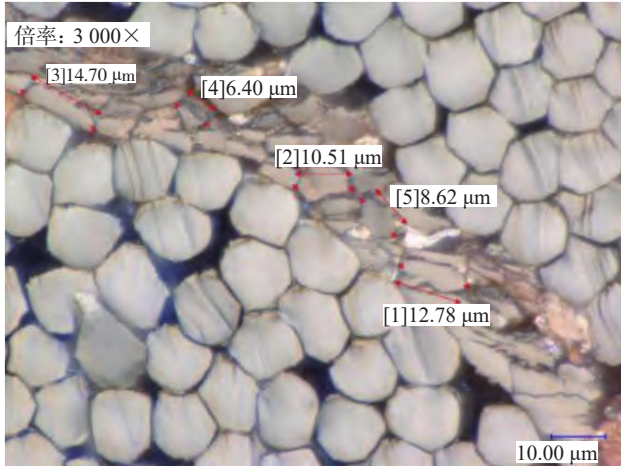


图3 丝线切片横截面图(3 000×)

寸区间一致不符合野蚕丝的尺寸范围。同时观察到, 纤维表面存在大量杂质以及部分纤维之间结构紧密。综上, 可进一步证实此为桑蚕丝, 但时间过长老化导致表面不完全平滑且埋藏挤压导致纤维空隙不均, 但不影响推测其大概率为桑蚕丝的结论。

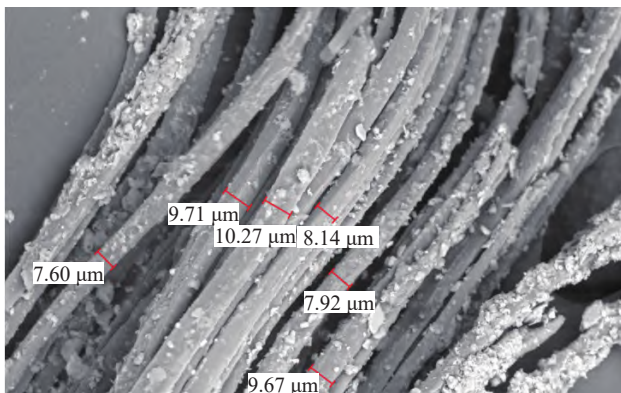


图4 纤维电镜(2 400×)图

2.1.2 成分确定

根据切片截面和微观表面尺寸数据以及各类环境、时间因素的分析, 可得出此纤维大概率为桑蚕丝。为进一步证实其为桑蚕丝的推论, 对纤维进行红外检测, 纤维红外谱如图5所示。在 $1\ 619.63\ \text{cm}^{-1}$ 处的酰胺I代、 $1\ 518.69\ \text{cm}^{-1}$ 处的酰胺II代和 $1\ 232.71\ \text{cm}^{-1}$ 的酰胺III代, 可以确认为蚕丝^[4]。且酰胺II代、酰胺III代、 $1\ 445.79\ \text{cm}^{-1}$ 处的VC—H、 $1\ 409.19\ \text{cm}^{-1}$ 处的VC=O的峰值特征与桑蚕丝完全匹配, 可确定其为桑蚕丝。但存在两处与标准桑蚕丝红外图不匹配的地方, 酰胺I代与桑蚕丝标准峰值区别过大, 且作为蚕丝应在 $960\sim 1\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 处有明显象征的—Gly—Ala—Gly—钛链结构在本织物红外图完全没有体现。这两个特殊峰值会随织物老化程度有明显的变化: 酰胺I代的特

征峰值会随老化的程度向小波数的方向发生偏移, —Gly—Ala—Gly—钛链结构则会随着蚕丝的老化渐渐断裂甚至完全降解^[5]。因此, 时间过长导致酰胺I代向小波数移动位于 $1\ 619.63\ \text{cm}^{-1}$, —Gly—Ala—Gly—钛链结构的降解使 $960\sim 1\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 处没有特殊峰。红外谱图的各项特征均说明此织物是由桑蚕丝织成的。

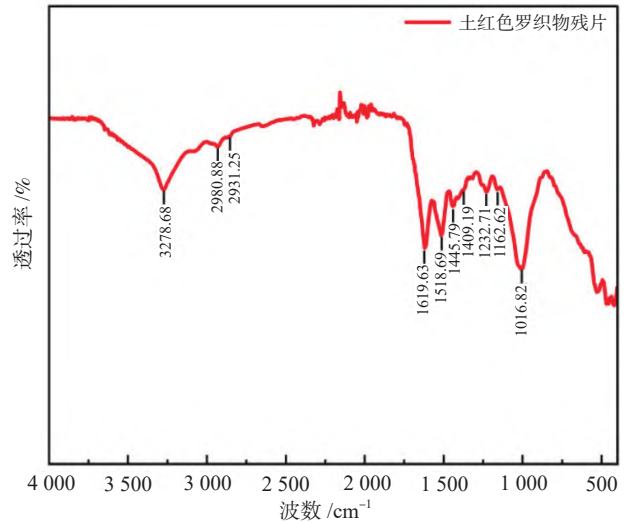


图5 纤维红外谱图

综上, 分析微观表面、切片截面和红外图像等的观察以及埋藏、老化等各方面因素, 可判断此纤维为桑蚕丝。

2.2 加工工艺分析

2.2.1 加工方式判断

利用手持式电子数码显微镜dino-lite, 修复前组织结构($56.6\times$)如图6所示, 因未经处理整体结构紧密, 纱线排列不平整, 存在局部纱线堆叠或错位的现象。织物表面分布不规则的细小空隙, 孔隙的形态模糊, 纱线明显呈现多股纤维捻和的形态, 可以看到部分纤维的散落断裂以及起毛的状态。

采用同样的显微设备和放大倍数观察修复后的织物, 修复后组织结构如图7所示。经过清洗、展开、经纬梳理、固定等方式处理后, 织物回到原始状态, 色彩也变得明显。整体的织物结构变得疏松, 孔隙变大变多, 可以明显看出纬线平行、经线扭绞, 同时在纱线扭绞处出现较大空隙, 这类平行的纬纱与扭绞的经纱形成的丝织物为罗。

2.2.2 捻回捻向分析

纱线电镜($207.8\times$)如图8所示。基于对图像的观测可以发现, 纱线表面上并未呈现明显清晰的捻回状态。虽然整体呈现波浪状的弯曲形态, 但考虑到罗

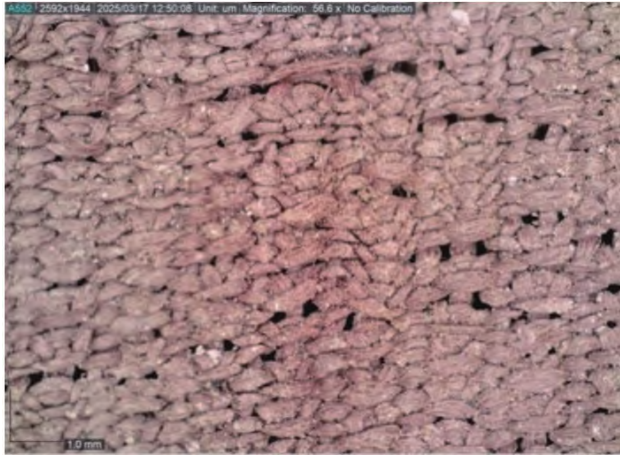


图6 修复前组织结构 (56.6×) 图



图7 修复后组织结构图

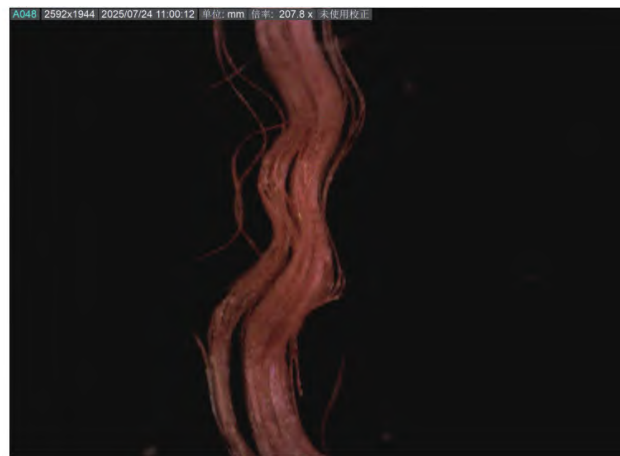


图8 纱线电镜 (207.8×) 图

织物本身的扭绞结构也会导致纱线有规律的弯曲。且若纱线本身有捻回捻向,其波浪间距应会有更小的间距。再结合古代丝质罗织物的工艺传统,高昌地区同期丝织物的股线捻向多为沿纱线轴向从左上向右下倾斜的螺旋捻合而成的Z捻,捻距通常控制在0.5~1.0 mm,以保证纱线的强度与柔韧性。但此纱线并未

产生明显的分散,且蚕丝在织造时容易断裂与松散,常需要加捻使其保持足够的强度,因而猜测该纱线应原本带有捻^[6]。

综上,当前图像中不清晰的捻回状态应是掩埋时间过长和罗织物的扭绞结构导致的捻回不清晰。因此,若需要证实此织物的纱线捻回捻向形态,应继续取样利用显微镜观察或者对相似的罗织物文物进行类比分析是否存在此规律^[7]。

3 结束语

研究利用现代仪器并结合文物属性,全面分析了吐峪沟石窟遗址出土罗织物的结构形态、成分构成和工艺特征。研究表明,经过长时间的埋藏,织物的纤维微观表面和切片横截面的形变,使其不再完全具有纤维本身的形貌,三角形截面变为了断裂的扁平状多边形,平滑的表面有着大量杂质以及部分细小破损。同时,官能团的质变表现在红外吸收光谱图上的结果是酰胺I代向小波数偏移和960~1000 cm⁻¹处的平滑即—Gly—Ala—Gly—肽链结构的降解。这些现象表明了在经过长时间埋藏后文物本身的脆弱以及变化的不确定性。进一步地,研究为新疆汉唐时期提供物质资料,表现当时桑蚕丝的传播和罗织物制造技术的发展进程。

参考文献

- [1] 苗利辉,王吉.新疆拜城县台尔石窟2022年发掘简报[J].敦煌研究,2025(5):1-19.
- [2] 刘大玮,谷雨珊.新疆吐峪沟石窟出土唐代捻金线形貌与材质特征研究[J].光谱学与光谱分析,2025,45(11):3216-3225.
- [3] 杭航,王亚蓉.中国古代纱罗织物品种体系及演变规律[J].丝绸,2022,59(12):126-135.
- [4] 姚之杰.新疆地区维吾尔族扎经染色技术流变及现代服装应用研究[D].上海:东华大学,2025.
- [5] 杜锦程,曹旭.新疆出土织物传统茜草染红技艺与丝绸之路传播路径研究[J].上海染料,2025,53(4):39-45.
- [6] 李佳.新疆出土汉唐丝织品研究史(1949-2000年)[D].兰州:西北师范大学,2024.
- [7] 玉龙,张海龙.新疆吐峪沟东区出土唐代刺绣花卉残片修复与保护研究[J].化纤与纺织技术,2024,53(8):1-4,11.