

五件敦煌遗书纸张所含矿物情况初步分析

□ 杨凡 国家图书馆古籍馆

国家图书馆收藏的敦煌遗书原卷中,有一部分破损状况较为严重。国家图书馆对其中的六件进行了保护修复工作:吐蕃统治时期写本《无量寿宗要经》(编号 BD02727)、吐蕃统治时期写本《梵网经卢舍那佛说菩萨心地戒品第十卷下》(编号 BD04136)、吐蕃统治时期写本《维摩诘所说经义记(拟)》(编号 BD03909)、南北朝写本《摩诃僧祇律卷五》(编号 BD05274)、唐天宝三载(744)写本《妙法莲华经度量天地品》(编号 BD05671)及归义军时期写本(编号 BD13204)。参考专家意见,修复人员保持归义军时期写本(编号 BD13204)现状原样不变,同时修补其他五件藏品以恢复它们的完整外观。

对这五件敦煌遗书原件纸张中存在矿物的情况进行分析,可以为保护修复中准备补纸的工作提供依据,同时也可以帮助推测敦煌遗书的纸张制作工艺。

一、扫描电子显微镜观察与测试

(一) 吐蕃统治时期写本《无量寿宗要经》(编号 BD02727)

使用扫描电子显微镜观察吐蕃统治时期写本《无量寿宗要经》(编号 BD02727)样品正面(图1)。若与实验室抄制的未做其他处理的麻纸在扫描电子显微镜下的图像(图2)做对比,可以看到明显区别。

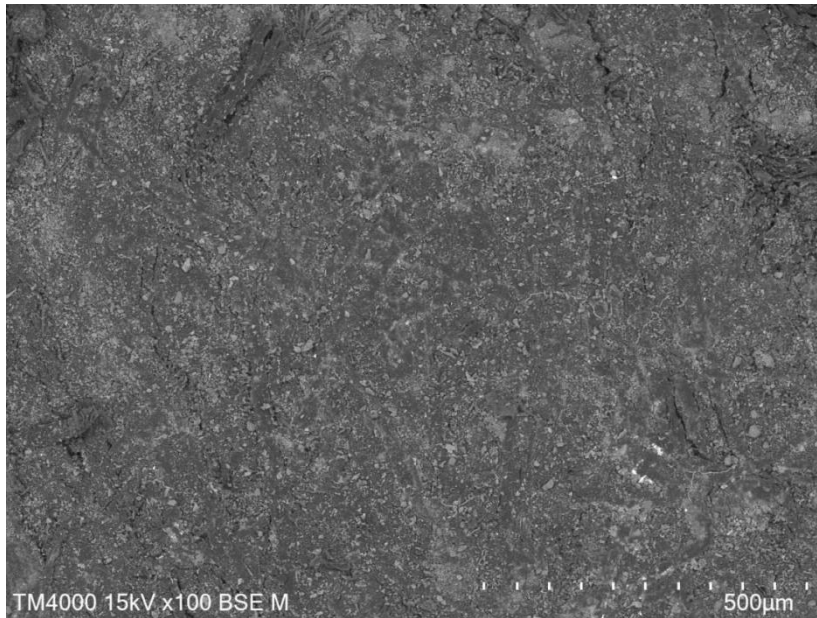


图1 吐蕃统治时期写本《无量寿宗要经》(编号 BD02727)样品正面的显微图像

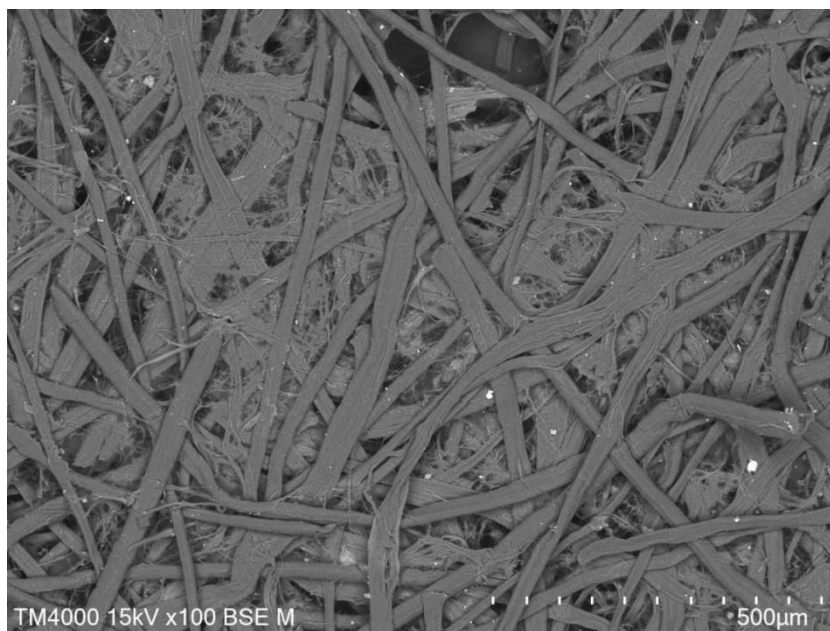


图2 实验室抄制未做其他处理的麻纸的显微图像

在实验室抄制的未做其他处理的麻纸的图像中,可以清晰看到纸张表面交错的纤维及其间的空隙,但在吐蕃统治时期写本《无量寿宗要经》(编号 BD02727)样品的图像中,纸张表面的纤维被部分覆盖,大部分空隙都被填满。

放大观察填充物区域(图3),可以看到小于5微米的小片状颗粒为多数,杂有一些稍大的片状颗粒,数量占比较少。使用EDS能谱分析元素组成,可知填充物区域的主要元素组成(排除碳、氢、氧等轻元素之后)为硅、铝、钙、钾、硫、镁、铁等,大致含量如表1。

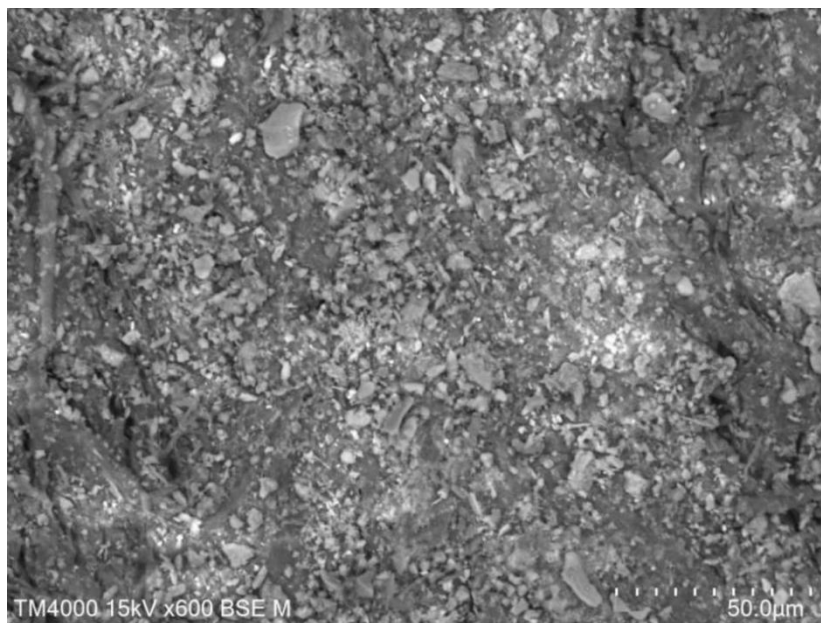


图3 吐蕃统治时期写本《无量寿宗要经》(编号 BD02727)样品正面填充物区域的显微图像

表 1 吐蕃统治时期写本《无量寿宗要经》(编号 BD02727) 样品正面填充物区域元素组成
(排除碳、氢、氧等轻元素)

元素	原子数百分比	元素	原子数百分比
Si	36.88	Mg	6.18
Al	18.81	Fe	6.09
Ca	10.82	Na	2.97
K	8.79	Cl	0.85
S	8.61		

(二) 吐蕃统治时期写本《梵网经卢舍那佛说菩萨心地戒品第十卷下》(编号 BD04136)

使用扫描电子显微镜观察吐蕃统治时期写本《梵网经卢舍那佛说菩萨心地戒品第十卷下》(编号 BD04136) 样品正面 (如图 4), 同样与实验室抄制的未作其他处理的麻纸做对比, 纤维之间的空隙也是被填满的。

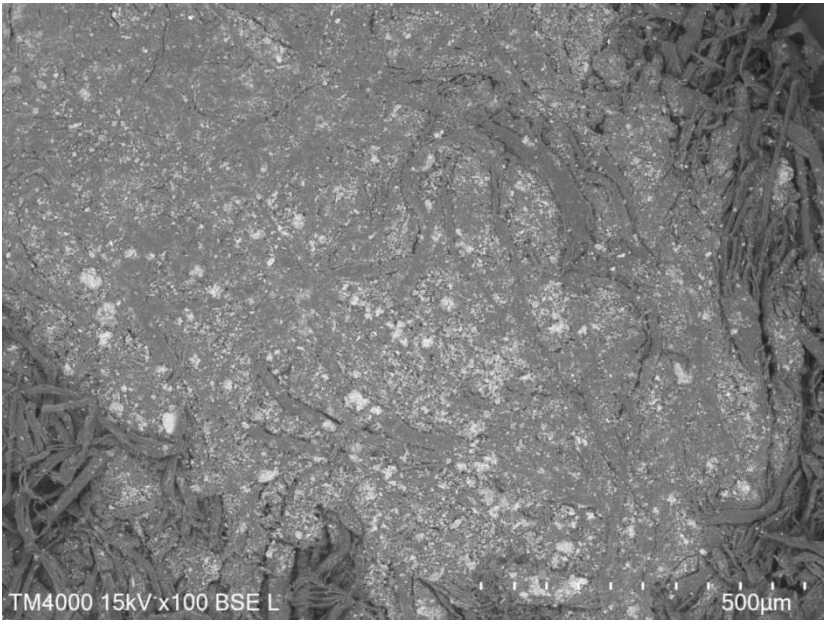


图 4 吐蕃统治时期写本《梵网经卢舍那佛说菩萨心地戒品第十卷下》(编号 BD04136)
样品正面显微图像

放大观察填充物 (图 5), 形态上主要分为两种, 一种是片状颗粒, 多小于 5 微米, 也有稍大颗粒混杂其间, 另一种显示出较大的团簇状轮廓 (以框标出部分)。使用 EDS 能谱分析元素分布, 发现硫、钾、钙元素明显在团簇状矿物区域较为集中, 含量高于片状矿物区域, 其中硫、钾集中程度更高 (图 6)。

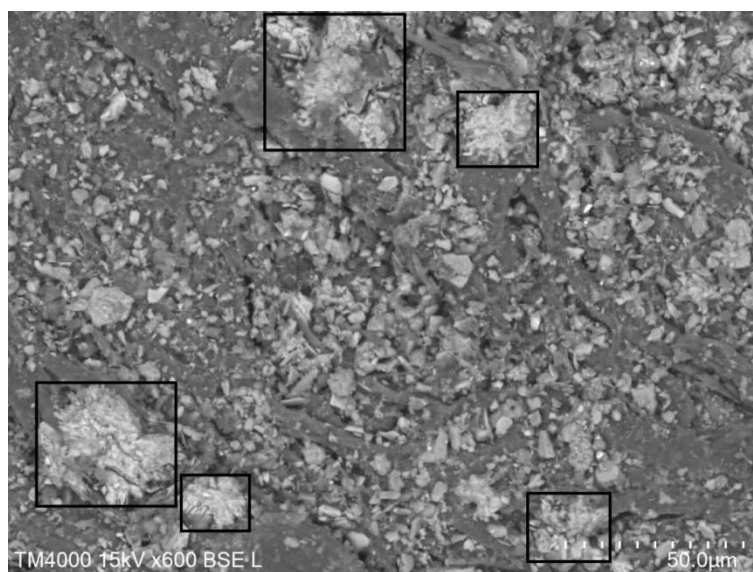
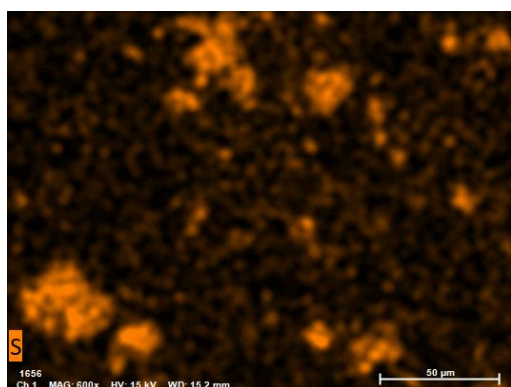
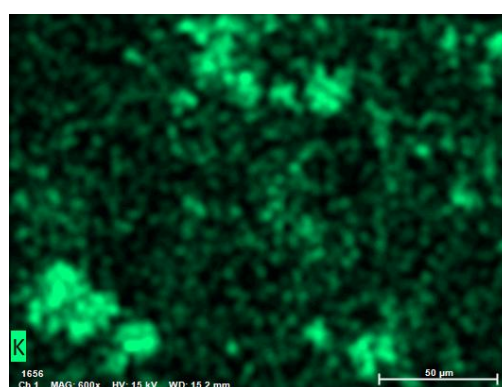


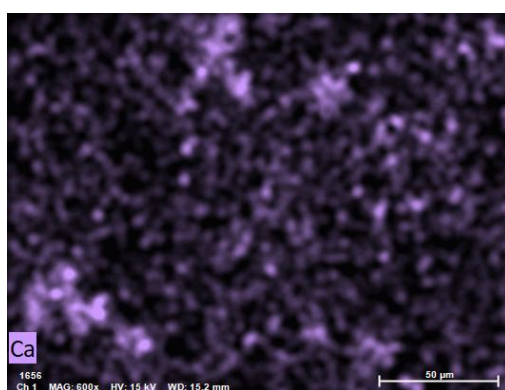
图 5 吐蕃统治时期写本《梵网经卢舍那佛说菩萨心地戒品第十卷下》(编号 BD04136)
样品正面填充物区域的显微图像



(a) 硫元素分布



(b) 钾元素分布



(c) 钙元素分布

图 6 填充物区域显微图像

使用 EDS 能谱分析元素组成, 可知片状矿物区域的主要元素组成 (排除碳、氢、氧等轻元素之后) 为硅、铝、钙、硫、钾、镁等, 大致含量如表 2。而团簇状矿物区域的主要元素组成 (排除碳、氢、氧等轻元素之后) 为硫、钾、钙、硅、铝等, 大致含量如表 3。

表 2 吐蕃统治时期写本《梵网经卢舍那佛说菩萨心地戒品第十卷下》(编号 BD04136) 样品
正面片状矿物区域的元素组成 (排除碳、氢、氧等轻元素之后)

元素	原子数百分比	元素	原子数百分比
Si	35.72	Mg	7.03
Al	16.55	Na	4.99
Ca	10.40	Fe	3.78
S	9.35	Cl	3.07
K	9.11		

表 3 吐蕃统治时期写本《梵网经卢舍那佛说菩萨心地戒品第十卷下》(编号 BD04136) 样品
正面团簇状矿物区域的元素组成 (排除碳、氢、氧等轻元素之后)

元素	原子数百分比	元素	原子数百分比
S	30.00	Na	2.85
K	26.94	Mg	2.83
Ca	17.05	Fe	1.83
Si	9.21	Cl	1.35
Al	7.93		

(三) 吐蕃统治时期写本《维摩诘所说经义记 (拟)》(编号 BD03909)

吐蕃统治时期写本《维摩诘所说经义记 (拟)》(编号 BD03909) 纸张分为两种, 状态不同, 使用扫描电子显微镜分别观察两种纸张区域 (称为区域 A、B) 的正面 (图 7、图 8)。



图 7 吐蕃统治时期写本《维摩诘所说经义记 (拟)》(编号 BD03909)
样品正面区域 A 显微图像



图8 吐蕃统治时期写本《维摩诘所说经义记(拟)》(编号BD03909)
样品正面区域B显微图像

显然,两个部位纸张情况并不相同。图7所示纸张区域A含有较多填充物,放大观察填充物区域,如图9,可见许多不大于5微米的小片状颗粒,也有稍大的块状和片状颗粒,使用EDS能谱分析元素组成,可知填充物区域的主要元素组成(排除碳、氢、氧等轻元素之后)为硅、钙、铝、镁、铁、钾等,大致含量如表4。而图8所示纸张区域B上除了纸张纤维外只观察到稀疏的矿物颗粒。

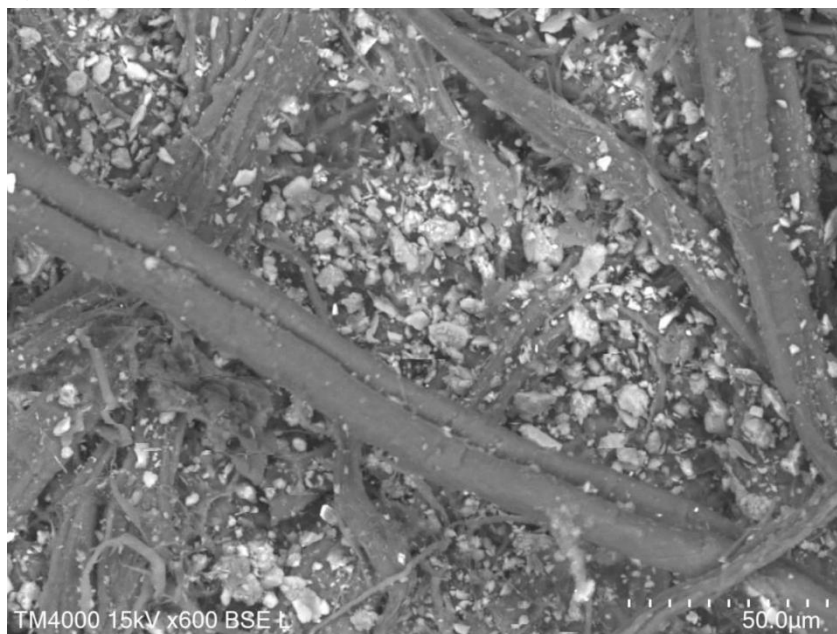


图9 吐蕃统治时期写本《维摩诘所说经义记(拟)》(编号BD03909)
样品正面区域A填充物显微图像

表 4 吐蕃统治时期写本《维摩诘所说经义记（拟）》（编号 BD03909）样品
正面区域 A 填充物元素组成（排除碳、氢、氧等轻元素之后）

元素	原子数百分比	元素	原子数百分比
Si	33.20	K	6.18
Ca	20.42	Na	2.27
Al	20.06	S	2.19
Mg	7.49	Cl	1.95
Fe	6.26		

（四）南北朝写本《摩诃僧祇律卷五》（编号 BD05274）

使用扫描电子显微镜观察南北朝写本《摩诃僧祇律卷五》（编号 BD05274）样品正面，如图 10，与实验室抄制的未作其他处理的麻纸做对比，显然样品表面有部分纤维被覆盖，空隙基本被填满。

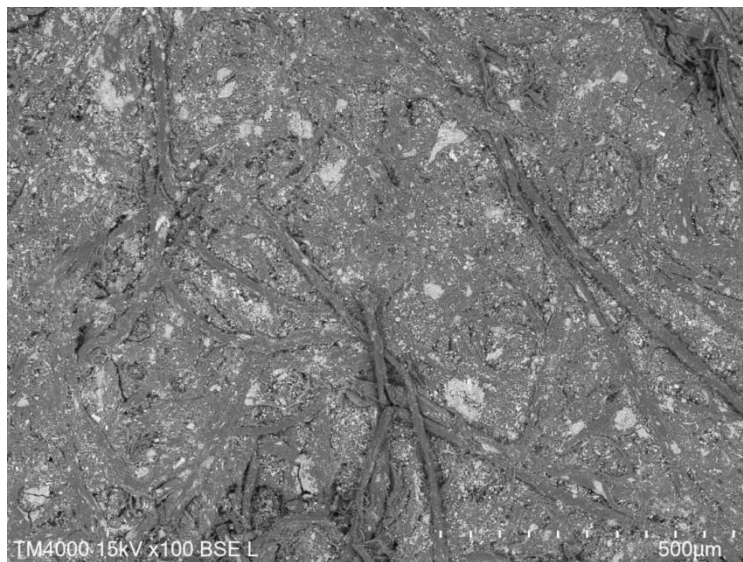


图 10 南北朝写本《摩诃僧祇律卷五》（编号 BD05274）样品正面显微图像

放大观察填充物区域（图 11），明显可以看到两种不同颗粒。一种是小片状颗粒，绝大部分小于 5 微米，另一种是画面上部的大颗粒。使用 EDS 能谱分析元素组成，可知小片状颗粒区域的主要元素组成（排除碳、氢、氧等轻元素之后）为硅、钙、铝、硫、镁等，大致含量如表 5。而大颗粒区域的主要元素组成（排除碳、氢、氧等轻元素之后）为钙、硫、硅、铝等，大致含量如表 6。

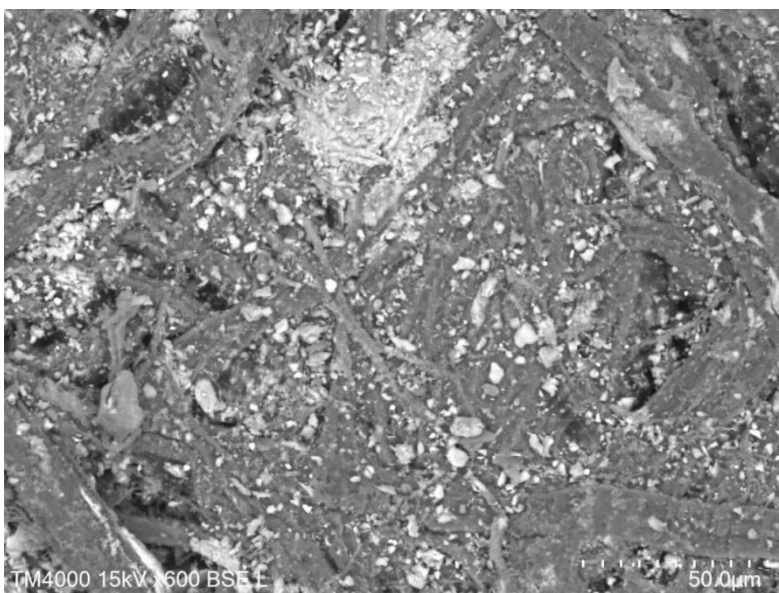


图 11 南北朝写本《摩诃僧祇律卷五》(编号 BD05274) 样品正面填充物区域显微图像

表 5 南北朝写本《摩诃僧祇律卷五》(编号 BD05274) 样品小片状颗粒区域元素组成
(排除碳、氢、氧等轻元素之后)

元素	原子数百分比	元素	原子数百分比
Si	24.01	Cl	7.02
Ca	17.41	K	6.91
Al	12.90	Fe	6.19
S	10.01	Na	6.01
Mg	9.54		

表 6 南北朝写本《摩诃僧祇律卷五》(编号 BD05274) 样品大颗粒区域元素组成
(排除碳、氢、氧等轻元素之后)

元素	原子数百分比	元素	原子数百分比
Ca	38.43	Na	2.92
S	32.18	K	2.29
Si	8.85	Cl	2.26
Al	6.38	Fe	2.09
Mg	4.60		

(五) 唐天宝三载 (744) 写本《妙法莲华经度量天地品》(编号 BD05671)

使用扫描电子显微镜观察唐天宝三载 (744) 写本《妙法莲华经度量天地品》(编号 BD05671) 样品正面, 如图 12, 与实验室抄制的未作其他处理的麻纸做对比, 样品表面有一部分纤维被覆盖, 空隙也被填充。

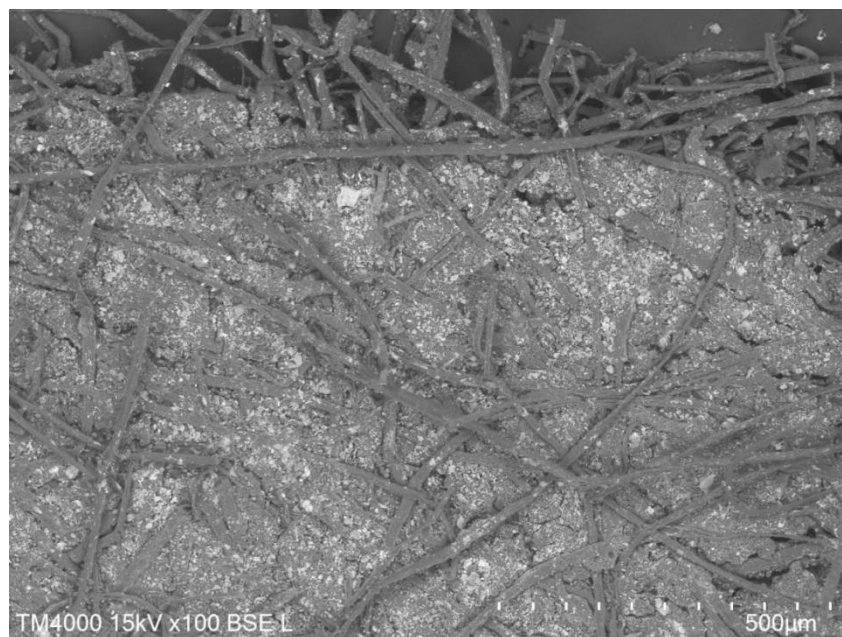


图 12 唐天宝三载（744）写本《妙法莲华经度量天地品》（编号 BD05671）
样品正面显微图像

放大观察填充物区域，能清晰地看到小于 5 微米的小片状颗粒与稍大的片状颗粒混杂，以及轮廓稍不清晰的另一形态填充物（以框标出），如图 13。使用 EDS 能谱分析元素组成，可知片状颗粒区域的主要元素组成（排除碳、氢、氧等轻元素之后）为硅、铝、钙、钾、镁等，大致含量如表 7。另一形态填充物区域主要元素组成（排除碳、氢、氧等轻元素之后）为钙、硅、硫、铝等，大致含量如表 8。

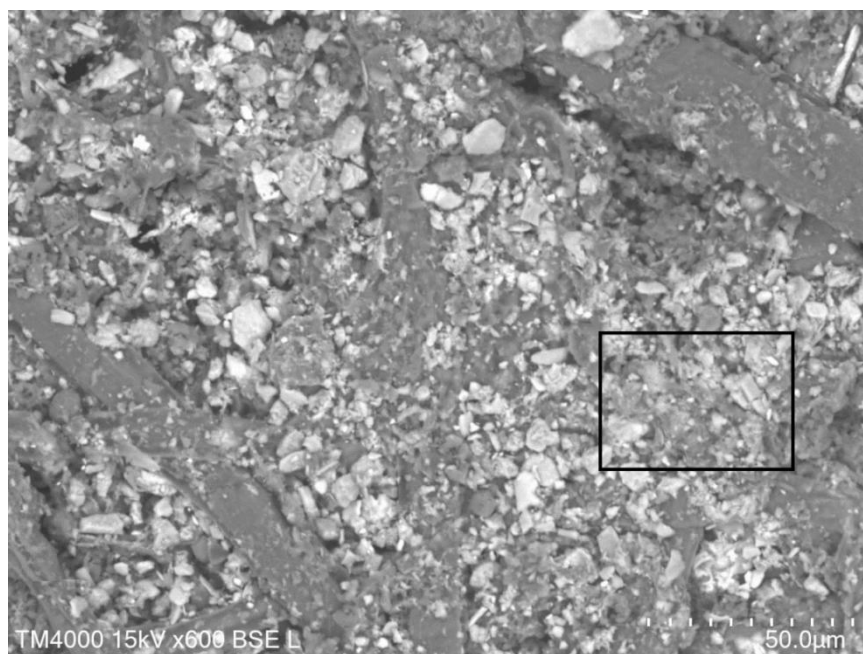


图 13 唐天宝三载（744）写本《妙法莲华经度量天地品》（编号 BD05671）
样品正面填充物区域显微图像

表 7 唐天宝三载（744）写本《妙法莲华经度量天地品》（编号 BD05671）样品
正面小片状矿物区域元素组成（排除碳、氢、氧等轻元素之后）

元素	原子数百分比	元素	原子数百分比
Si	38.30	S	5.98
Al	17.74	Na	5.48
Ca	9.40	Fe	4.23
K	8.12	Cl	4.14
Mg	6.60		

表 8 唐天宝三载（744）写本《妙法莲华经度量天地品》（编号 BD05671）样品
另一形态矿物区域元素组成（排除碳、氢、氧等轻元素之后）

元素	原子数百分比	元素	原子数百分比
Ca	23.80	Na	5.97
Si	20.47	K	5.73
S	14.57	Cl	5.57
Al	13.36	Fe	3.83
Mg	6.70		

二、观察与测试结果初步分析

（一）五件敦煌遗书中矿物添加基本情况

五件敦煌遗书中，除了吐蕃统治时期写本《维摩诘所说经义记（拟）》（编号 BD03909）的纸张区域 B，其他所用纸张正面均有矿物覆盖或填充。从几乎填满表面纤维之间空隙的矿物量和填充的紧密程度来看，更可能是有意添加，而非在制作或保存过程中无意引入。吐蕃统治时期写本《维摩诘所说经义记（拟）》（编号 BD03909）的纸张区域 B 含有的矿物比较稀疏，同时纸张情况较差，纤维松散，较为糟烂，这使得纸张原始状态更难推测，难以判断矿物的来源，有可能这些稀疏的矿物颗粒是在制作或保存过程中无意引入。

（二）五件敦煌遗书中矿物成分初步分析

通过观察矿物颗粒形貌，使用能谱分析矿物元素组成，初步认为五件敦煌遗书的纸张中均存在混合的多种矿物。

其中，吐蕃统治时期写本《无量寿宗要经》（编号 BD02727）的纸张中所含矿物从形态和元素组成综合分析，小片状的形态和富含硅、铝的元素组成都是黏土矿物的典型特点^①，显示出其中可能多数为黏土矿物。

^①杨晓杰、郭志飏：《矿山工程地质学》，中国矿业大学出版社，2018 年，第 43、56 页。

吐蕃统治时期写本《梵网经卢舍那佛说菩萨心地戒品第十卷下》(编号 BD04136) 的纸张中,按前述分析同样可能含有黏土矿物,同时团簇状矿物部分可能聚集了富含硫、钾、钙元素的矿物。

吐蕃统治时期写本《维摩诘所说经义记(拟)》(编号 BD03909) 的纸张区域 A 中,可能含有黏土矿物,但黏土矿物颗粒区域同时钙元素含量较高,可能其中混杂富含钙元素的矿物。

南北朝写本《摩诃僧祇律卷五》(编号 BD05274) 的纸张中,同样出现可能含有黏土矿物但黏土矿物颗粒区域同时钙元素含量较高的情况,此外纸张中还有一些主要含钙、硫元素的大矿物颗粒。

唐天宝三载(744)写本《妙法莲华经度量天地品》(编号 BD05671) 的纸张中可能含有黏土矿物,及钙、硫元素含量较高的混合矿物。

(三) 五件敦煌遗书中矿物来源初步分析

按照前述分析,除了吐蕃统治时期写本《维摩诘所说经义记(拟)》(编号 BD03909) 的纸张区域 B,其他敦煌遗书纸张中的矿物更可能是加工过程中有意添加。

鉴于五件敦煌遗书的矿物组成中都含有较多黏土矿物,考虑南北朝至唐朝的实际技术水平,推测在当时的纸张加工过程中,添加的原料有可能是土壤或岩石粉末等。

扫描电子显微镜观察到的黏土矿物及少量颗粒更大的铝硅酸盐矿物等土壤、岩石里常见矿物,都可能来源于原料。而其他矿物,则既有可能来源于原料,也可能是在加工和保存过程中形成,需要后续进一步研究分析。