南京大报恩寺出土琉璃建材的分类及成分分析 *

唐雪梅　于璐　李合　丁银忠

内容提要　为揭示南京报恩寺遗址考古发掘出土明代早期琉璃构件的胎釉成分特征、制釉技术的时代特征，并进一步探讨报恩寺建筑用琉璃胎体原料来源问题，本文在对所选标本进行分类的基础上，采用X射线荧光能谱仪（EDXRF）对南京报恩寺考古发掘出土的明代早期琉璃标本以及相关窑址标本、制瓷原料进行了测试研究。结果表明：以南京报恩寺遗址出土明代早期琉璃为代表的官式琉璃铅釉技术继承了元代琉璃釉的配比，但从明代至清代早期琉璃釉的配比发生了变化。南京报恩寺遗址出土琉璃标本根据胎体特征可分为三大类，其中白胎琉璃采用了安徽当涂的制瓷原料烧制而成，深红色胎体琉璃则采用了南京方山地区的红土烧制，瓷质构件来自景德镇。此外，红胎琉璃标本推测采用了安徽白土掺和方山红土烧制而成。

关键词　报恩寺　琉璃　分类　制釉技术　胎体原料　成分　能谱仪

大报恩寺遗址位于南京正南门外的长干里。2007至2018年，为配合大报恩寺遗址公园的建设，南京市考古研究所对该遗址进行了全面、系统的考古发掘。2011年，该项考古工作获评全国十大考古新发现，遗址随后被列入全国第七批重点文物保护单位。作为明代皇家寺院，大报恩寺有使用琉璃装饰的特权，著名的琉璃塔即是以五彩琉璃为外部装饰。据统计，大报恩寺遗址考古发掘共出土1.6万件明代琉璃标本，种类丰富，不仅有宫殿建筑通用的脊砖、脊兽、板筒瓦、滴水、勾头、花砖等，还有寺院建筑构件，特别是大报恩寺特有的须弥座台基构件、琉璃塔拱门、栏板、斗拱构件等。这些琉璃标本质地坚实、制作精良，是研究明代琉璃制造工艺以及皇家寺院建筑和装饰艺术极为难得的实物材料。

与南京明代宫殿使用的琉璃一样，大报恩寺所用琉璃主要由南京窑岗村琉璃窑场烧制[1][2]。根据文

*　本文得到国家社科基金重大项目“南京大报恩寺遗址考古发现与研究”（项目编号：18ZDA221）子课题“大报恩寺遗址出土明代琉璃研究”的资助，系该项目的阶段性研究成果。本文系2021年国家社会科学基金中国历史研究院重大历史问题研究专项招标项目“隋唐洛阳城遗址考古发掘资料的整理和综合研究”（项目编号：LSYZD21019）的阶段性成果。

‹1›　南京博物院《明代南京聚宝山琉璃窑》，《文物》1960年第2期。

‹2›　郑州大学历史学院、南京师范大学文物与博物馆学系、南京市考古研究所《江苏南京雨花台窑岗村明代琉璃窑址发掘简报》，《文物》2015年第10期。

献记载，明代南京各官式建筑所用主要是以安徽当涂白土为胎体原料烧制的琉璃构件[1][2][3][4]。前期的科技分析工作证实了南京报恩寺塔琉璃构件的白色胎体原料来自于安徽当涂[5]。考古发掘表明，报恩寺琉璃标本中存在一些用红泥做坯的深红色琉璃标本，王志高基于明代方以智《物理小识》卷八“南京报恩寺琉璃塔中具五色，则方山冈琉璃门泥土所作也”的记载，考证报恩寺遗址出土深红色胎体琉璃构件的胎体原料可能来自南京南郊的方山[6]。同时，在南京报恩寺遗址出土了大量瓷质构件，根据其胎釉特点和制作工艺特征推测来自景德镇地区[7][8]。基于此，本文在前期工作基础上，对南京报恩寺考古发掘出土的部分明代早期琉璃标本以及相关窑址标本、制瓷原料进行分类与测试研究，并将其与安徽当涂、景德镇等地的琉璃标本测试结果进行对比，以期通过科学分析的手段揭示南京报恩寺遗址考古发掘出土明代早期琉璃构件的胎釉成分特征、制釉技术的时代特征以及琉璃胎体原料来源等问题，同时更加系统地揭示明早期官式琉璃标本的胎体原料来源和明代早期官式琉璃技术的发展脉络。

一　实验样品与方法

（一）样品分类与简述

本文在近年大报恩寺考古发掘出土的众多琉璃标本中，选取典型标本进行分类与实验检测。大报恩寺出土琉璃标本可以分为以下两大类：

第一类是陶胎琉璃标本。这类标本以陶土制胎，胎呈红色或白色。所见大报恩寺出土陶胎琉璃标本有素烧标本和施釉标本两种。

素烧琉璃标本（实验样本）编号NJ-1至NJ-8〔图一〕。素烧典型标本NJ-2：胎色白。残件尺寸长宽约为13厘米×12.5厘米。为圆形瓦当残件，中间饰龙纹。典型标本NJ-7：胎色红。残件尺寸长宽约为9厘米×5.5厘米。

施釉各色琉璃标本（实验样本）编号NJ-9至NJ-26、NJ-28，典型标本NJ-19：胎色红，施红釉。长方

‹1›　《明会典》卷一九〇记载：“洪武二十六年定：凡在京营造，合用砖瓦，每岁于聚宝山置窑烧造，如烧造琉璃砖瓦，所用白土，例于太平府采取。”

‹2›　《太平府志》卷一三记载：“白土山当堡姑孰乡广济圩白云山，一曰白土山。取土白色烧瓦，瓦坚白。”

‹3›　《天工开物》载“若皇家宫殿所用……其土必取于太平府造成”。

‹4›　卢茂村《当涂县明代琉璃窑考察记》，《东南文化》1996 年第1 期。

‹5›　丁银忠、段鸿莺等《南京报恩寺塔琉璃构件胎体原料来源的科技研究》，《中国陶瓷》2011年第47卷。

‹6›　王志高总纂《江宁历史文化大观》，南京出版社，2008年，第299页。

‹7›　北京大学考古文博学院等《景德镇出土明代御窑瓷器》，文物出版社，2009年，第111－113、115页。

‹8›　张露胜《景德镇珠山官窑遗址出土的折角白瓷塔砖研究》，《博物馆研究》2018年第2期。

形残件，尺寸约8厘米×2.5厘米×3.5厘米。典型标本NJ-39〔图二〕：方形残件，尺寸约13厘米×13厘米。饰有龙纹，施红、黄、绿三色釉。这里以NJ-39〔图二〕为代表的多色釉琉璃标本，从残件断面可见红色釉的施釉区域多为红褐色胎，与其他釉色下的胎土颜色有别。

第二类是瓷胎标本。这类标本胎体为瓷制，胎质相比陶制胎体者更加细密、胎色更浅。瓷胎琉璃标本（实验样本）编号NJ-27、NJ-29至NJ-37和NJ-45。典型标本NJ-32〔图三〕：圆形瓦当残件，饰有龙纹。尺寸约7厘米×9厘米。施白釉。NJ-30〔图三〕：圆形瓦当残件，饰有龙纹。尺寸约16.5厘米×6厘米。黑地，龙身施蓝釉。

同时，为揭示报恩寺琉璃胎体原料来源，选用了安徽当涂琉璃标本和景德镇产琉璃标本进行对比分析。

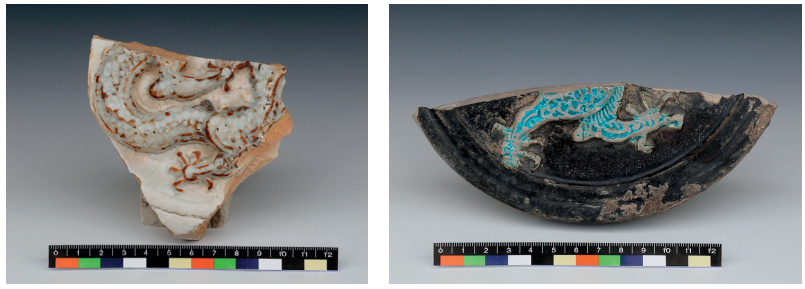
〔图一〕素烧琉璃标本（NJ-2和NJ-7）
报恩寺出土



〔图二〕各色琉璃标本（NJ-19和NJ-39）
报恩寺出土



〔图三〕瓷胎琉璃标本（NJ-32和NJ-30）
报恩寺出土



（二）测试方法

采用美国EDAX公司的EAGLE Ⅲ XXL大样品室能量色散X射线荧光－光谱仪对瓷片标本的胎、釉成分组成含量进行测试。实验测试条件为：主次量元素采用的电压为25kV，电流600μA，束斑0.3mm，测量时间600s，经标准样品校准校正后得到近似定量分析结果。微量元素采用的电压为40kV，电流400μA，束斑0.3mm，测量时间200s，半定量分析结果。所测报恩寺出土琉璃和瓷质构件标本的釉层成分含量分别列于[表一]和[表二]。所测报恩寺出土琉璃和瓷质构件标本的胎体组成含量分别列于[表三]和[表四]。

［表一］报恩寺琉璃铅釉的成分含量（wt%）

编号	釉色	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	PbO	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	CuO
NJ-9	黄	0.79	0.68	8.04	41.47	46.03	1.23	0.33	0.22	0.00	1.05	0.04
NJ-10	黄	0.98	0.25	4.53	43.63	47.35	1.32	0.34	0.15	0.00	1.32	0.09
NJ-11	绿	1.52	0.23	7.26	39.84	46.83	0.83	0.41	0.34	0.28	1.37	1.02
	黄	0.80	0.37	4.85	41.30	49.32	0.77	0.57	0.16	0.07	1.56	0.15
NJ-12	绿	1.05	0.48	5.40	40.78	47.47	1.21	1.30	0.16	0.01	0.62	0.97

（续表一）

编号	釉色	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	PbO	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	CuO
NJ-13	绿	1.59	0.24	2.96	41.01	49.62	1.39	0.41	0.18	0.00	0.59	1.40
NJ-14	绿	1.14	0.61	5.63	41.16	47.75	0.94	0.63	0.22	0.04	0.63	0.76
NJ-15	绿	1.24	0.99	6.94	38.67	47.99	0.60	1.94	0.07	0.00	0.46	0.76
NJ-16	绿	1.50	0.44	7.94	41.85	42.81	1.60	1.73	0.13	0.00	0.72	1.15
NJ-17	红	0.76	0.24	3.96	38.58	52.14	0.61	0.44	0.15	0.01	2.98	0.05
NJ-18	酱	0.65	0.70	11.01	44.55	37.61	2.35	0.64	0.26	0.07	1.92	0.08
NJ-19	红	0.97	0.82	8.62	38.51	47.35	0.75	0.38	0.17	0.00	2.28	0.05
NJ-20	红	1.00	0.74	6.54	37.72	50.25	0.71	0.35	0.10	0.00	2.30	0.05
NJ-21	黑	1.57	0.68	7.40	39.98	45.39	0.92	0.57	0.24	0.37	1.10	1.28
NJ-22	黑	1.34	0.39	8.72	38.43	46.84	0.91	0.64	0.23	0.28	1.28	0.86
NJ-23	黑	1.42	0.31	12.91	41.20	39.40	1.35	0.36	0.29	0.24	1.43	1.00
NJ-24	黑	1.47	0.43	7.36	37.83	47.82	0.84	0.56	0.22	0.19	1.12	1.10
NJ-25	黑	1.32	0.57	9.45	37.77	46.59	0.99	0.47	0.25	0.25	1.27	0.93
NJ-26	黑	0.96	0.25	5.29	37.93	50.96	0.83	0.54	0.09	0.21	1.29	0.79
NJ-27	黑	1.32	0.53	9.87	36.58	47.66	0.86	0.35	0.19	0.49	1.11	0.91
NJ-28	黑	1.46	0.63	6.24	37.38	50.12	0.82	0.31	0.18	0.19	0.95	1.01
NJ-30	黑	1.28	0.44	13.24	42.26	37.97	1.56	0.18	0.27	0.54	1.26	0.79
NJ-30	蓝	2.94	0.55	5.24	61.21	17.79	3.45	0.54	0.24	0.00	0.49	2.47
NJ-31	黑	1.18	0.27	8.24	36.05	51.08	0.54	0.10	0.18	0.45	1.13	0.74
NJ-39	红	0.64	0.24	8.50	41.88	45.04	0.90	0.28	0.21	0.00	2.16	0.05
	黄	0.83	0.24	6.90	40.72	47.31	1.01	0.56	0.10	0.00	1.98	0.19
	绿	1.27	0.51	4.89	42.09	48.14	0.79	0.44	0.13	0.00	1.05	0.59
NJ-40	白	0.75	0.58	6.47	45.80	41.02	0.59	4.29	0.08	0.00	0.34	0.05
	红	0.84	0.25	6.28	39.83	48.69	1.01	0.60	0.21	0.00	2.21	0.05
	黄	0.73	0.25	5.30	42.27	48.81	0.55	0.50	0.11	0.00	1.32	0.06
	绿	1.34	0.25	5.71	47.89	42.08	0.79	0.61	0.10	0.00	0.35	0.75
NJ-41	黄	0.84	0.84	5.76	41.28	46.86	1.47	0.84	0.14	0.01	1.85	0.08
	绿	1.30	0.30	4.92	42.29	47.22	1.75	0.45	0.19	0.02	0.56	0.82
NJ-42	红	0.60	0.25	6.98	42.59	46.37	0.79	0.41	0.21	0.00	1.69	0.05
	黄	0.83	0.24	7.37	40.21	48.47	0.95	0.46	0.21	0.00	1.16	0.04
NJ-43	红	0.75	0.24	7.35	39.09	48.79	0.86	0.42	0.15	0.00	2.13	0.05
	黄	0.83	0.76	7.05	40.98	46.24	0.91	1.20	0.10	0.00	1.73	0.06
NJ-44	黄	0.86	0.39	4.90	42.36	47.18	1.19	0.45	0.20	0.02	2.10	0.07
	蓝	2.20	0.64	4.85	58.20	20.72	4.39	0.36	0.11	0.00	0.75	1.97
NJ-45	黄	0.93	0.64	7.02	42.61	45.89	0.74	0.53	0.09	0.01	1.50	0.04

［表二］报恩寺瓷质标本釉的成分含量（wt%）

编号	釉色	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3
NJ-29	黑	0.87	2.15	15.06	66.05	2.68	5.93	1.89	0.59	3.79
NJ-29	白	2.26	0.24	18.74	69.40	4.92	2.48	0.12	0.10	0.75
NJ-32	白	2.22	0.10	16.44	71.80	4.35	3.12	0.08	0.14	0.75
NJ-33	白	3.66	0.12	17.41	71.27	3.39	2.31	0.08	0.11	0.64
NJ-34	白	2.40	0.02	16.51	72.24	4.72	2.40	0.07	0.10	0.55
NJ-35	白	4.55	0.13	15.99	71.22	3.78	2.44	0.07	0.12	0.71
NJ-36	白	3.92	0.49	17.05	70.19	3.94	2.67	0.10	0.10	0.54

［表三］报恩寺出土琉璃标本的胎体组成含量（wt%）

编号	胎色	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	Rb_2O	SrO	Y_2O_3	ZrO_2
NJ-1	白	0.55	0.81	21.67	69.28	4.18	0.25	0.99	0.02	1.26	0.0144	0.0040	0.0055	0.0165
NJ-2	白	0.67	1.03	21.66	67.73	4.66	0.43	1.20	0.02	1.60	0.0151	0.0046	0.0058	0.0163
NJ-3	白	0.54	0.90	22.43	67.89	3.99	0.28	1.42	0.02	1.54	0.0160	0.0096	0.0061	0.0221
NJ-4	白	1.92	0.96	21.16	68.21	4.01	0.33	0.96	0.02	1.44	0.0134	0.0065	0.0075	0.0235
NJ-5	白	0.67	1.18	21.81	68.35	4.17	0.56	0.84	0.02	1.40	0.0172	0.0054	0.0040	0.0203

（续表三）

编号	胎色	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	Rb_2O	SrO	Y_2O_3	ZrO_2
NJ-6	深红	0.80	1.64	17.82	66.94	2.62	1.84	1.11	0.11	6.12	0.0126	0.0131	0.0047	0.0255
NJ-7	深红	1.61	1.53	15.88	69.88	2.44	1.38	1.08	0.11	5.08	0.0158	0.0139	0.0050	0.0361
NJ-8	深红	0.58	2.00	17.71	67.20	2.69	1.86	1.41	0.17	5.39	0.0107	0.0142	0.0069	0.0360
NJ-9	白	0.71	0.96	21.40	69.43	3.67	0.59	0.88	0.03	1.31	0.0152	0.0041	0.0066	0.0281
NJ-10	白	0.80	1.14	23.06	67.11	4.16	0.45	0.93	0.04	1.33	0.0156	0.0078	0.0033	0.0358
NJ-11	白	1.15	1.01	22.97	67.03	4.01	0.40	1.08	0.02	1.33	0.0163	0.0092	0.0082	0.0163
NJ-12	白	0.39	1.20	21.47	68.94	3.88	0.51	0.97	0.03	1.62	0.0148	0.0090	0.0072	0.0355
NJ-13	白	0.57	1.02	20.94	69.36	3.81	0.36	1.28	0.04	1.63	0.0163	0.0094	0.0055	0.0216
NJ-14	白	0.65	0.93	19.66	70.60	3.53	0.44	1.07	0.04	2.07	0.0147	0.0082	0.0068	0.0209
NJ-15	白	0.80	0.92	21.70	69.02	3.89	0.27	0.96	0.02	1.42	0.0140	0.0054	0.0059	0.0184
NJ-16	白	1.23	0.63	20.78	69.94	3.89	0.40	0.86	0.01	1.27	0.0164	0.0087	0.0081	0.0255
NJ-17	红	0.80	1.13	19.42	68.94	3.21	0.50	1.19	0.07	3.74	0.0139	0.0091	0.0059	0.0347
NJ-18	白	0.51	0.94	20.93	69.45	3.85	0.36	1.17	0.04	1.75	0.0137	0.0067	0.0064	0.0202
NJ-19	红	1.07	1.34	19.75	67.48	3.57	0.76	1.19	0.06	3.79	0.0136	0.0074	0.0044	0.0212
NJ-20	红	0.98	1.45	18.97	69.05	3.17	0.58	1.35	0.08	3.38	0.0133	0.0100	0.0070	0.0263
NJ-21	白	0.61	1.00	21.68	68.74	3.75	0.44	1.20	0.03	1.54	0.0158	0.0094	0.0066	0.0262
NJ-22	白	1.77	0.92	21.52	68.25	3.74	0.52	1.10	0.03	1.15	0.0126	0.0032	0.0053	0.0246
NJ-23	白	1.18	1.06	22.51	66.82	4.12	0.47	1.51	0.03	1.30	0.0158	0.0068	0.0061	0.0159
NJ-24	白	0.56	1.18	22.81	67.69	3.89	0.46	0.99	0.01	1.40	0.0144	0.0052	0.0031	0.0182
NJ-25	白	0.65	1.16	21.67	68.96	4.03	0.39	0.96	0.02	1.17	0.0160	0.0083	0.0068	0.0239
NJ-26	白	0.85	0.97	22.13	68.02	3.83	0.33	1.12	0.02	1.74	0.0158	0.0062	0.0052	0.0168
NJ-28	白	0.79	1.02	22.59	67.70	4.01	0.35	1.17	0.03	1.35	0.0172	0.0091	0.0032	0.0203
NJ-39	白	1.45	1.06	22.28	64.74	4.10	3.75	0.68	0.03	0.91	0.0238	0.0074	0.0058	0.0170
	红	0.76	1.10	17.22	70.63	3.00	1.05	1.86	0.04	3.33	0.0165	0.0085	0.0055	0.0311
NJ-40	白	0.97	1.02	22.17	67.96	4.15	0.46	0.98	0.02	1.26	0.0132	0.0047	0.0033	0.0169
NJ-41	白	0.68	1.04	21.64	69.05	3.95	0.26	1.13	0.02	1.23	0.0135	0.0056	0.0065	0.0264
NJ-42	红	0.80	1.12	16.94	70.88	3.71	0.52	1.02	0.06	3.95	0.0137	0.0089	0.0051	0.0290
	白	0.55	2.71	23.05	65.93	3.74	0.69	0.95	0.03	1.35	0.0135	0.0087	0.0065	0.0169
NJ-43	红	0.72	1.59	19.10	69.27	3.24	0.69	0.90	0.07	3.42	0.0156	0.0078	0.0072	0.0223
NJ-44	白	0.70	1.14	23.43	67.02	3.78	0.44	1.05	0.02	1.42	0.0139	0.0070	0.0054	0.0192

［表四］报恩寺出土瓷质构件标本的胎体组成含量（wt%）

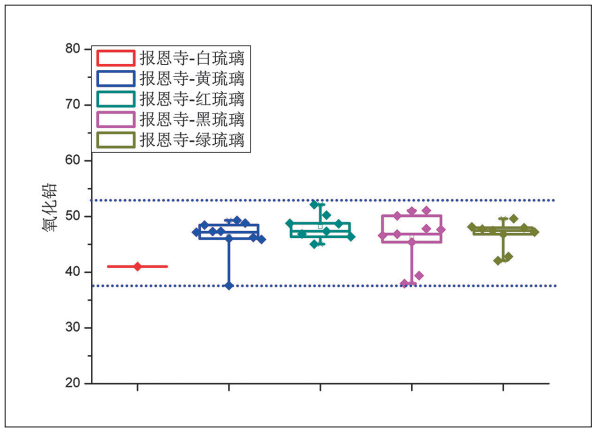
编号	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	Rb_2O	SrO	Y_2O_3	ZrO_2
NJ-27	0.65	0.57	19.42	73.33	2.67	0.15	0.97	0.02	1.21	0.0139	0.0042	0.0046	0.0271
NJ-29	0.57	0.49	20.63	71.16	2.84	0.14	1.63	0.03	1.51	0.0132	0.0059	0.0019	0.0151
NJ-30	0.61	0.64	20.40	71.73	3.09	0.19	0.86	0.03	1.45	0.0139	0.0033	0.0037	0.0188
NJ-31	0.46	0.34	20.60	71.78	2.85	0.15	0.87	0.03	1.91	0.0125	0.0075	0.0053	0.0209
NJ-32	1.56	0.49	19.42	71.63	3.13	0.86	0.36	0.05	1.49	0.0206	0.0059	0.0043	0.0148
NJ-33	1.09	0.23	22.26	70.79	3.01	0.26	0.16	0.08	1.13	0.0297	0.0044	0.0047	0.0084
NJ-34	2.88	0.19	19.44	72.42	2.95	0.34	0.15	0.07	0.57	0.0267	0.0040	0.0029	0.0058
NJ-35	1.35	0.25	18.33	74.56	3.26	0.28	0.17	0.06	0.74	0.0239	0.0019	0.0051	0.0077
NJ-36	3.09	0.10	17.36	74.48	2.95	0.27	0.07	0.08	0.61	0.0253	0.0063	0.0047	0.0056
NJ-37	2.15	0.22	17.73	74.90	2.86	0.32	0.12	0.08	0.62	0.0270	0.0042	0.0033	0.0041
NJ-45	1.32	0.22	19.91	72.65	3.04	0.36	0.35	0.07	1.08	0.0195	0.0039	0.0037	0.0098

二　实验结果

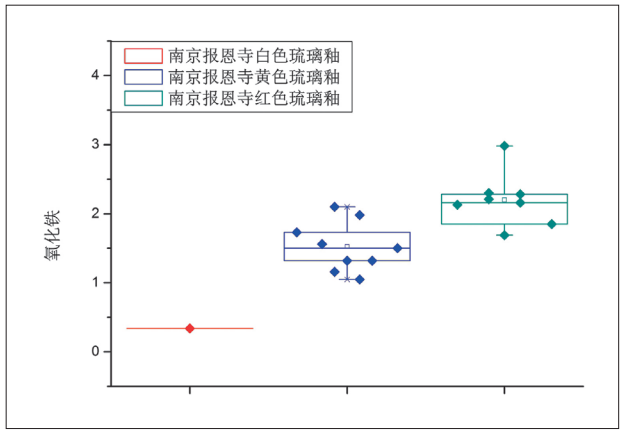
（一）报恩寺琉璃标本釉的成分特征

琉璃釉为低温色釉，主要是以氧化铅为助熔剂，以铁、铜、钴、锰的氧化物为着色剂，再配以硅质原

〔图四〕报恩寺琉璃各色铅釉的氧化铅含量范围



〔图五〕报恩寺白、黄和红琉璃釉的铁含量



料制成[1]。南京报恩寺遗址出土琉璃釉色有白、黄、红、绿以及蓝之别，由[表一]可知不同釉色的琉璃釉中氧化铝、氧化硅、氧化铅的含量变化范围较小，起助熔作用的氧化铅的含量基本在40%－50%左右波动〔图四〕，即各色琉璃釉的基础配方是类似的，仅呈色元素不同。其中白、黄和红色琉璃釉的颜色差异主要与釉中氧化铁含量高低相关，其中白釉中铁含量最低、黄釉次之、红釉则最高〔图五〕。此外，胎体颜色也对釉的呈色有所影响，如报恩寺遗址出土红色琉璃釉通常施在红色胎体上。绿色琉璃釉的主要着色元素为铜，其氧化铜的平均含量为0.91%。蓝色琉璃釉中除了氧化铅助熔外，还含有一定量的氧化钠和氧化钾成分，其着色元素为铜。黑色琉璃釉以锰、铁和铜三种元素混合着色。

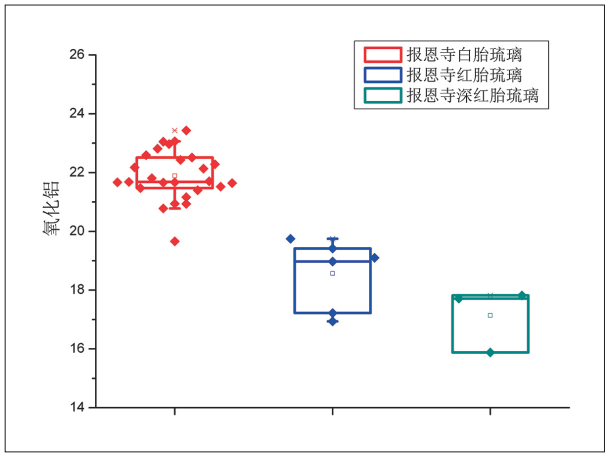
从[表二]可知，报恩寺遗址出土瓷质建筑构件白釉中平均含有17.02%的氧化铝、71.02%的氧化硅，助熔成分主要为2.57%的氧化钙、4.18%的氧化钾以及3.17%的氧化钠，符合中国传统碱钙釉特征。相比之下，瓷质黑釉的助熔成分与白釉类似，只不过黑釉中氧化钛、氧化锰和氧化铁等着色成分的含量更高，故呈黑色。

（二）报恩寺琉璃标本胎体成分特征

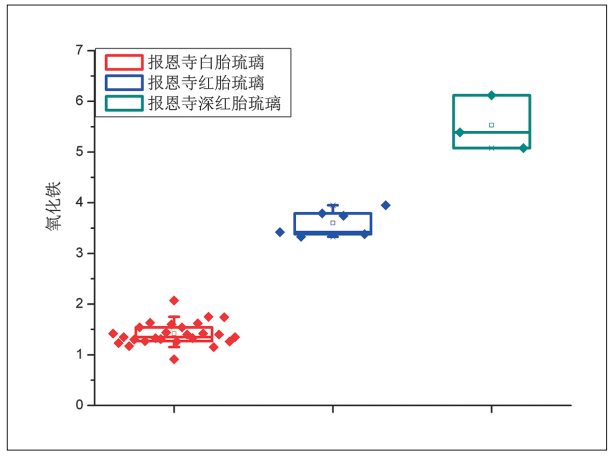
从[表三]可知，报恩寺遗址出土琉璃标本胎体颜色不同，其成分也存在差异。其中白色胎体中氧化铝含量较高，平均值为21.93%；红色胎体的平均值仅有18.57%，深红色胎体的平均值仅有17.14%〔图六〕；此外，白色胎体中氧化铁含量最低，平均值仅为1.40%；红色胎体的平均值则为3.60%，深红色的平均值则为5.53%〔图七〕。由此可知，报恩寺遗址出土明代琉璃标本白胎、红胎以及深红胎的制瓷原料可能不同。相对而言，报恩寺遗址出土瓷质构件胎体中氧化铝平均含量为19.59%，氧化硅平均含量为72.68%，氧化铁平均含量为1.12%，与[表一]琉璃胎体成分存在一定的差异。

‹1› 李家治《中国科学技术史·陶瓷卷》，科学出版社，2007年。

〔图六〕报恩寺琉璃白胎、红胎和深红胎的氧化铝含量箱式图



〔图七〕报恩寺琉璃白胎、红胎和深红胎的氧化铁含量箱式图



三　讨论

（一）明代早期官作琉璃釉的时代特征与发展轨迹

为了科学揭示明早期官式琉璃釉的时代特征以及发展脉络，本文将南京报恩寺明早期琉璃釉与北京元代琉璃釉、安徽当涂明代琉璃釉、景德镇明代琉璃釉、故宫明代琉璃釉以及故宫清代早期琉璃釉的成分进行了对比研究。根据[表五]可知，报恩寺明代早期琉璃釉与北京元代琉璃、安徽当涂明代琉璃釉、景德镇明代琉璃釉、故宫明代琉璃釉以及故宫清代早期琉璃釉的成分类似。为直观表征上述不同地区琉璃釉的成分特征和发展规律，根据[表一]和[表五]相关数据，分别计算出报恩寺琉璃釉、北京元代琉璃、安徽当涂明代琉璃釉、景德镇明代琉璃釉、故宫明代琉璃釉以及故宫清代早期琉璃釉的铅硅比（氧化铅与氧化硅含量的比值），结果见〔图八〕。

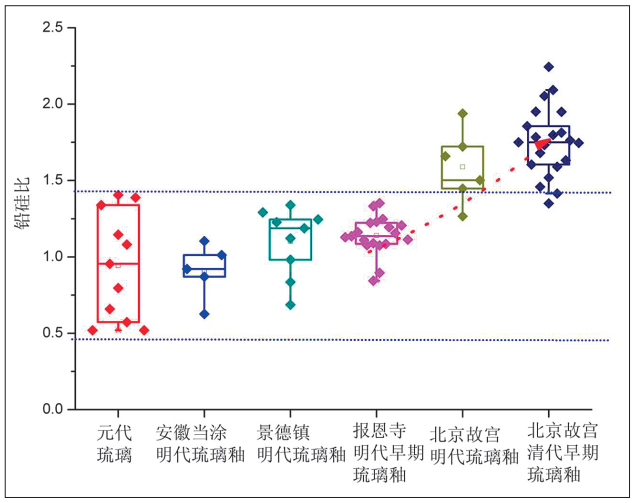
［表五］元代至清代典型窑口琉璃釉的成分含量平均值（wt%）

类别	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	PbO	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3
报恩寺明代琉璃	0.81	0.46	6.71	41.34	46.88	0.98	0.72	0.16	1.77
北京元代琉璃	1.03	0.72	9.44	44.85	40.53	0.99	1.00	0.19	0.86
当涂明代琉璃	0.66	0.41	7.39	46.92	41.98	0.72	0.30	0.16	1.39
景德镇明代琉璃	0.74	0.32	4.39	44.21	47.80	0.54	0.17	0.11	1.58
北京故宫明代琉璃	0.35	0.27	2.13	35.78	56.28	0.31	0.48	0.18	4.20
北京故宫清代琉璃	0.21	0.28	4.36	32.99	57.21	0.58	0.78	0.22	3.23

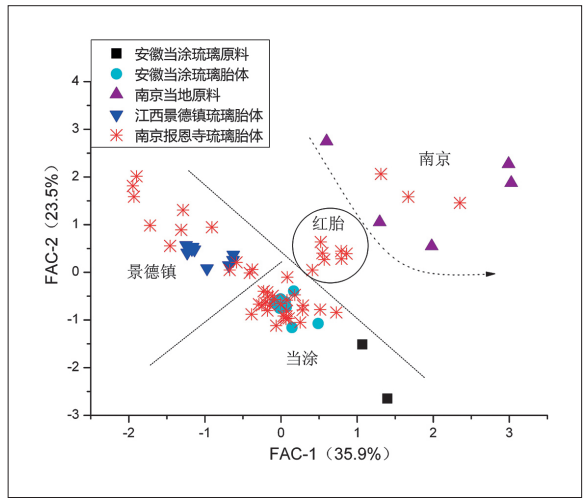
我国古代琉璃釉配方在宋代《营造法式》第二十七卷中有详细记载：“造琉璃瓦并事件，药料每一大料用黄丹二百四十三斤，每黄丹三斤，铜末三两，洛河石一斤。”照此计算，宋代琉璃釉中黄丹和洛河石（石英）的比例约为3:1。明代万历年间的《工部厂库须知》记载的琉璃黄釉配方为“黄丹306斤、马牙石102斤、黛赭石8斤”[1]。即明代官式建筑黄色琉璃釉料的黄丹（或铅末）和马牙石（石英）的比例亦为3:1。由此

‹1›　李全庆《中国古建筑琉璃技术》，中国建筑工业出版社，1987年，第17—18页。

〔图八〕历代琉璃釉的铅硅比变化规律



〔图九〕琉璃胎体的主成分分析方法
报恩寺遗址出土



可知明代官窑琉璃釉配方与宋代《营造法式》中配方是一致的。从〔图八〕可知，所测北京元代琉璃釉的铅硅比大体在0.5至1.5之间，波动范围较大。相比之下，安徽当涂明代琉璃、景德镇明代琉璃釉以及报恩寺遗址出土琉璃釉的铅硅比基本处在元代琉璃釉的波动范围之内，但明代早期琉璃釉的铅硅比波动更小。由此可推知明代早期不同窑址的琉璃釉技术是一样的，且明显继承了元代琉璃技术，即元明时期琉璃釉技术有明显的继承性；相比之下，明代琉璃釉的制作技术相比元代更加稳定。此次测试分析结果从琉璃釉制作角度佐证了明代官式建筑琉璃的管理制度更加严格和规范，亦佐证了从宋代至明代琉璃釉的烧制技术已臻成熟且未发生明显变化的文献记载。此外，从〔图八〕可知，从报恩寺明代早期琉璃釉、北京故宫明代琉璃釉直至清代早期琉璃釉，其铅硅比呈现逐渐升高的趋势，即官式建筑琉璃釉从明代到清代早期官式建筑琉璃釉配比可能发生了一些调整变化。事实上，古代琉璃釉料的配方不是简单墨守成规、因循守旧的，琉璃釉配方在技术进步、窑炉、政治经济、等级审美观念的多重影响下可能不断发生变化[1]。

（二）报恩寺遗址出土琉璃胎体原料溯源

为科学揭示南京报恩寺遗址出土琉璃标本制胎原料种类及来源，本文采用SPSS分析软件中的主成分分析方法对南京报恩寺遗址出土琉璃、安徽当涂琉璃和景德镇琉璃构件胎体成分以及从安徽当涂、南京方山采集的制瓷原料成分进行分析，结果见〔图九〕。

从〔图九〕可知，所测南京报恩寺遗址出土琉璃标本胎体成分可明显分为三大类：1)大部分南京报恩寺遗址出土琉璃标本胎体成分与安徽当涂琉璃胎体以及当地两个原料数据聚在一起，表明这些标本的

‹1› 李合、丁银忠、陈铁梅、苗建民《北京明清建筑琉璃构件黄釉的无损研究》，《中国文物科学研究》2013年第2期。

胎体原料来自安徽当涂。这进一步佐证了文献记载和相关研究结论[1]。2）南京报恩寺遗址出土瓷胎琉璃标本成分与景德镇琉璃胎体成分聚在一起，由此表明这些瓷质构件的胎体原料与景德镇窑类似。推测这些瓷质琉璃构件可能在景德镇烧制完成后运输至南京用于报恩寺塔的建造。3）编号为NJ-6、NJ-7和NJ-8的三块深红胎样品，其成分接近南京当地的胎体原料。由此推测这三块琉璃标本的制胎原料来自南京方山地区，其结论与王志高考证的"南京报恩寺琉璃塔中具五色，则方山冈琉璃门泥土所作也"的结论相符[2]。

此外，从〔图九〕中还可以看出，报恩寺遗址出土红色胎体琉璃标本成分特征介于采用安徽当涂原料烧制的白胎成分与南京当地原料烧制的深红胎体成分之间。根据[表三]计算可知，这些红胎标本的胎体成分平均值介于白胎与深红胎成分之间且与理论计算的成分[3]相符[表六]。

[表六] 报恩寺不同颜色胎体成分含量平均值和理论计算结果（wt%）

名称	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	Rb_2O	SrO	Y_2O_3	ZrO_2
白胎	0.84	1.07	21.89	68.20	3.95	0.55	1.06	0.03	1.42	0.0153	0.0069	0.0058	0.0217
深红胎	1.00	1.72	17.14	68.01	2.58	1.69	1.20	0.13	5.53	0.0130	0.0137	0.0055	0.0325
红胎琉璃	0.86	1.29	18.57	69.38	3.32	0.68	1.25	0.06	3.60	0.0144	0.0086	0.0059	0.0274
理论计算	0.92	1.40	19.51	68.10	3.27	1.12	1.13	0.08	3.47	0.0142	0.0103	0.0057	0.0271

采用偏光显微镜对上述三类样品胎体的微观结构进行观察。从〔图十〕可知，南京报恩寺白胎琉璃胎体（NJ-2）中存在大量的石英颗粒，大小不一，部分石英颗粒较大（大于50μm）。深红胎琉璃（NJ-7）胎体中虽存在大量石英颗粒，但大小比较均匀（20—50μm）；此外，深红胎琉璃的胎体中存在一些呈片状的彩色解离矿物，推测为云母类矿物[4]。相比之下，红胎琉璃（NJ-19）胎体中的颗粒种类及大小均符合两种胎体原料混合的特征。因此，根据胎体成分以及显微结构特征推测这些红胎琉璃可能由安徽当涂白土与南京方山红土原料混合配制而成。混合两种胎料的目的是为了烧制纯正的红色琉璃构件，即窑工采用了红色胎体配合铁含量较高的釉料配方相结合的方式，体现了明代高超的官式琉璃烧制技术。

由上分析可知，南京报恩寺遗址出土琉璃标本根据胎体原料来源可分为三大类，其中白胎琉璃采用了安徽当涂的制瓷原料由南京雨花台附近的聚宝山琉璃窑烧制[5][6]；报恩寺塔所用瓷质构件来自景德镇地区；深红色胎体则采用了南京方山地区的红土烧制。此外，红胎琉璃可能采用了安徽白土掺和方山红土的形式烧制而成。

‹1› 前揭丁银忠、段鸿莺等《南京报恩寺塔琉璃构件胎体原料来源的科技研究》。

‹2› 前揭王志高总纂《江宁历史文化大观》，第299页。

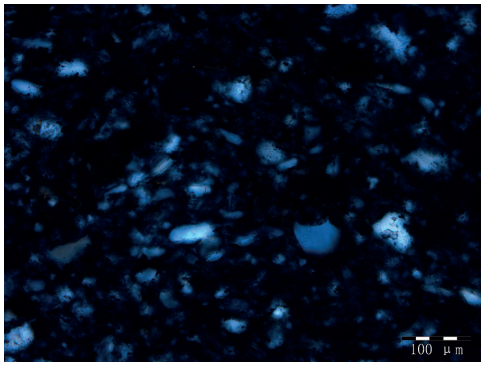
‹3› 理论计算成分=报恩寺白胎平均值含量×50%+报恩寺深红胎平均值含量×50%，即1:1等比例混合配制。

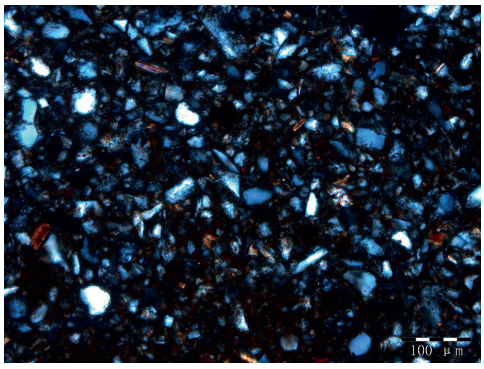
‹4› W.S Mackenzie, A.E. Adams. *A Color Atlas of Rocks and Minerals in Thin Section*, Manson Publishing, 2011.

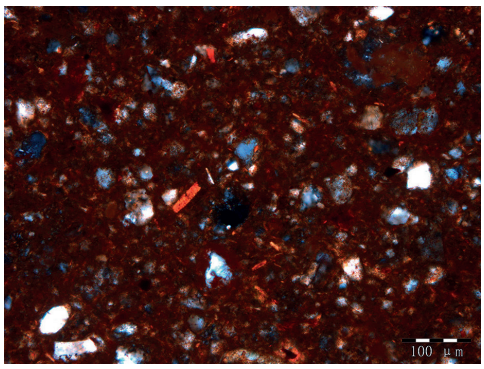
‹5› 前揭南京博物院《明代南京聚宝山琉璃窑》。

‹6› 前揭郑州大学历史学院、南京师范大学文物与博物馆学系、南京市考古研究所《江苏南京雨花台窑岗村明代琉璃窑址发掘简报》。

〔图十〕典型报恩寺琉璃胎体显微结构
（依次为NJ-2、NJ-7、NJ-19）







四　结论

本文对大报恩寺遗址出土的部分典型琉璃构件进行了取样分析，测试结果基本验证了文献记载与考古发现中的结论。南京报恩寺遗址出土琉璃标本根据胎体特征可分为三大类，其中白胎琉璃胎体采用了安徽当涂的制瓷原料烧制而成；深红色胎体琉璃则采用了南京方山地区的红土烧制；而报恩寺塔所用瓷质构件来自景德镇地区。此外，实验结果还表明南京报恩寺遗址出土红胎琉璃标本可能采用了安徽白土掺和方山红土烧制而成，显示出了科学分析对已有结论的有力补充。

测试结果表明，南京报恩寺遗址出土明代早期各色琉璃釉的基础配方是类似的，仅是呈色元素不同。其中白、黄和红色琉璃釉的颜色差异主要与釉中氧化铁含量高低相关，其中白釉中铁含量最低、黄釉次之、红釉则最高。以南京报恩寺遗址出土明代早期琉璃釉为代表的官式琉璃铅釉技术继承了元代琉璃釉的配比；相对而言，明代官式琉璃釉配方更加稳定。明代官式琉璃釉从明早至清代早期，其琉璃釉配比逐渐发生了调整变化，其原因有待今后进一步研究。测试分析的结果从琉璃釉制作角度佐证了明代官式建筑琉璃的管理制度更加严格和规范，亦佐证了从宋代至明代琉璃釉的烧制技术已臻成熟且未发生明显变化的文献记载。

附记：本工作获得南京考古研究院祁海宁等领导与同行的大力支持，谨致谢忱。

［作者单位：唐雪梅，故宫博物院器物部；
于璐，潍坊市博物馆；李合、丁银忠，故宫博物院文保科技部］

（责任编辑：张　露）