

# 从大木尺度现象看柳林香严寺毗卢殿 建造年代之复杂性\*

Dating Pilu Hall of Xiangyan Temple in Liulin County Based on  
the Hall's Timber Framing Dimensions

赵萨日娜 赵寿堂 李大卫

ZHAO Sarina, ZHAO Shoutang, LI Dawei

**摘要:** 毗卢殿是山西柳林香严寺中的重要建筑, 构架简明, 却又在细节设计上存在独特和矛盾之处。本文基于三维激光扫描和手工补测, 对毗卢殿的建筑平面、架道、材分<sup>o</sup>设计等大木尺度设计进行了解读和还原, 发现毗卢殿的设计中采用了 310 毫米和 318~319 毫米两种不同长度的营造尺。两把营造尺反映出其建造年代的复杂性, 毗卢殿始建于元代, 明清时期经历修缮, 但其斗拱仍然保留了元构的尺度和造型特征。

**关键词:** 香严寺毗卢殿; 大木尺度; 营造尺; 材分<sup>o</sup>制; 建造年代

**Abstract:** Pilu Hall is an important (undated) building at Xiangyan Temple in Liulin county, Shanxi province. The timber-framed structure appears clear and simple, but there are some contradictions and inconsistencies in its design. Based on data acquired via 3D laser scanning and manual measurement, this paper restores the proportional design of the timber frame and interprets the column layout, the beam framework, and the (*caifen*) unit-based modular system. The authors suggest that two types of construction rulers were used at Pilu Hall; one measuring 310 mm in length and the other one, 318-319 mm. The existence of two rulers reflects the complex issue of determining the construction date. Most likely, Pilu Hall was built in the Yuan dynasty; it was repaired in the Ming and Qing dynasties, but its *dougong* retained the original (Yuan) dimensions and structural characteristics.

**Keywords:** Pilu Hall of Xiangyan Temple; timber framing dimensions; construction ruler; modular (*caifen*) system; construction date

【文章编号】2096-9368 (2021) 03-0068-24

【中图分类号】TU-092.1/7

【文献标识码】A

【修改日期】2021-07-11

【作者简介】

赵萨日娜, 清华大学建筑学院博士研究生, 主要从事古建筑研究与保护。

赵寿堂, 清华大学-故宫博物院文化遗产联合研究中心科研助理, 博士, 主要从事古建筑研究与保护。

李大卫, 清华大学建筑学院博士研究生, 主要从事古建筑研究与保护。

\* 国家社会科学基金重大项目“《营造法式》研究与注疏”(17ZDA185), 清华大学自主课题“《营造法式》与宋辽金建筑案例研究”(2017THZWYX05)

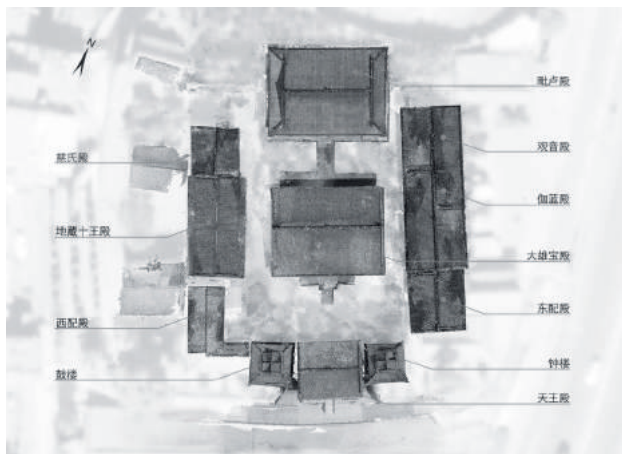


图1 柳林香严寺主院落总平面图示意图  
(侯欣江 制)

香严寺，位于吕梁市柳林县城中，建于山坡之上，俯瞰三川河，是县境内的著名寺院。寺院现存格局完整，中轴线上建有天王殿（山门）、大雄宝殿、毗卢殿，其两侧建有伽蓝殿、地藏十王殿等配殿，围合出两进院落（图1）；主院落西侧有跨院，建藏经殿、崇宁殿、七佛殿。

## 1 毗卢殿概况及研究现状

毗卢殿作为香严寺中轴线最北端的建筑，坐落于高台之上，面阔五间，进深三间六架椽，单檐歇山顶，殿内中后部供奉佛像三尊。建筑前檐五间的开间尺寸接近，其中中部三间辟为前廊；而在殿内，中部三间的面阔尺寸均向外拓宽，柱网相对于前檐有所偏移，殿内仅设后金柱两根，空间开阔。这一移柱、减柱做法或许是基于对设像的考虑，但以往所见移柱造建筑大多仅移内柱，毗卢殿则同时移动了檐柱与内柱，建筑前后部分形成两套完全不同的柱网轴线。毗卢殿的梁架采用了简明的四椽袱前后割牵的形式，各缝梁架均与建筑后半部的轴线对位，与前檐的结构构件存在错位关系（图2）。

毗卢殿用五铺作外檐斗拱共30朵，四铺作内檐斗拱共8朵。除后檐稍间外，外檐每间均设补间铺作一朵，且在山面上，梁枋构件均由补间铺作承托，柱头铺作反而不起结构作用。部分外檐斗拱用真昂，昂尾上彻下平搏，此处有两点细节颇值得注意：一是毗卢殿的下平搏处采用两搏并置的形式，即内檐斗拱的泥道分位和外跳分位上各有一根搏，昂尾所彻为外跳下平搏，且昂尾在到达泥道下平搏分位前即被截断；二是昂尾上目前虽安置蜀柱，但其保留的凹槽痕迹的侧边呈弧形，原应与斗顛相咬合，蜀柱也许并非最初营建时的设计，同时昂尾末端多有被砍断的痕迹（图3）。

针对柳林香严寺的研究以《柳林香严寺：研究与修缮报告》<sup>[1]</sup>和《山西柳林香严寺保护与修缮初探》<sup>[2]</sup>最为全面深入。前者提供了香严寺多座单体建筑的现状描述、详细实测记录及修缮设计和施工方案，但对毗卢殿只从建筑形制角度进行了简要描述；后者以个别建筑为例提出保护建议，并未对毗卢殿进行单独介绍。目前针对毗卢殿建筑



图2 毗卢殿室内  
(赵寿堂 摄)



图3 毗卢殿前檐斗拱里跳(昂尾有凹槽痕迹)  
(赵萨日娜 摄)

单体的研究仍是空白，公开资料中更未见任何毗卢殿的建筑实测数据。

鉴于毗卢殿在大木结构上存在独特和反常之处，笔者对其进行了三维激光扫描和手工补测，试图以此为基础，讨论香严寺毗卢殿大木尺寸的设计特点及其营缮历史。

## 2 实测情况说明及数据汇总

本文分析所采用的实测数据主要来源于2019年10月三维激光扫描所得的点云文件，本次扫描共设16站（图4），采集数据包括开间尺寸、斗拱出跳、构件截面、下昂斜度等内容。另外在现场对个别拱、昂等构件的材厚进行了手工测量，可作为点云数据的辅证或补充。

根据测量对象本身特点，笔者将实测数据分为间架尺寸、斗拱构件、大木比例三类，下面就实测过程及统计结果进行说明。

### 2.1 间架尺寸

从三维激光扫描点云中提取的平面尺寸，主要包括柱头开间尺寸、斗拱间距及架道平长。

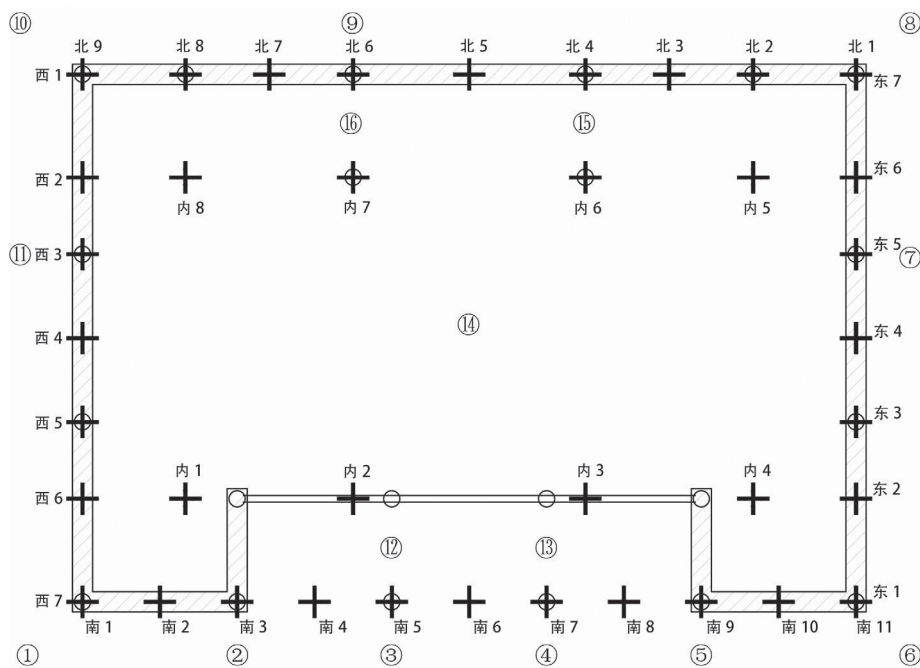


图4 香严寺毗卢殿三维激光扫描测站分布示意  
(赵萨日娜制)

### 2.1.1 开间尺寸

理想状态下，开间值的测定对象为各柱头之间的轴线

距离，但因柱头间距难以直接准确测定，故以柱头铺作一跳华棋的边到边距离代替，实测值整理如下（表1，表2）。

表1 面阔方向开间实测值汇总<sup>①</sup>

(单位: 毫米)

测站	当心间 (南)	西次间 (南)	东次间 (南)	西稍间 (南)	东稍间 (南)	当心间 (北)	西次间 (北)	东次间 (北)	西稍间 (北)	东稍间 (北)
scan001		3833		3827						
scan002	3818	3833	3843	3826						
scan003	3813	3822	3843	3828						
scan004	3820	3834	3832	3817	3826	5738				
scan005	3814		3838		3828					
scan006			3837		3826					
scan007								4142		2587
scan008										
scan009						5748	4139	4145	2560	2586
scan010						5749	4141		2559	
scan011										
scan012	3800	3844	3852			5750				
scan013	3802	3838	3855			5748				
scan014	3777 <sup>②</sup>	3817	3815			5735	4121	4153		
scan015						5733	4144	4153		
scan016						5738	4144	4148	2559	
平均值 1	3811.2	3831.6	3839.4	3824.5	3826.7	5742.4	4142	4148.2	2559.3	2586.5
平均值 2	3827.9						4145.4		2570.2	

① 空白栏表示未能量取该数据。

② 表中标灰的数据表示特异值，计算平均值时将其剔除。当数据离散性过大时，则不剔除任何数值，仅做简单的算术平均运算。

表 2 进深方向开间实测值汇总

(单位: 毫米)

测站	前廊	当心间	南次间	北次间	测站	前廊	当心间	南次间	北次间
scan001		4145	4460		scan010				
scan002	2553				scan011		4145	4453	4437
scan003	2536				scan012	2552			
scan004	2529				scan013	2539			
scan005	2530				scan014		4150	4449	4441
scan006		4158	4422		scan015				4473
scan007		4166	4437	4476	scan016				4477
scan008		4158		4474	平均值 1	2539.8	4153.7	4444.2	4463
scan009					平均值 2			4454.5	

实测数据反映出毗卢殿柱网设计的基本规律: 建筑沿南北向轴线对称布局, 同时两山面沿东西向轴线对称; 前檐的檐柱和金柱二列在面阔方向上各间尺寸相同; 后檐两次间与山面当心间尺寸相同, 后檐两稍间面阔与前廊进深尺寸相同(图 5)。将设计尺寸相同的各间的数据合并计

算统计, 得到前檐各间开间间广为 3827.9 毫米, 后檐当心间面阔为 5742.4 毫米, 后檐两次间及山面当心间间广为 4148.7 毫米, 山面两次间间广为 4454.5 毫米, 后檐两稍间面阔及前廊进深为 2559 毫米。

### 2.1.2 斗拱间距

毗卢殿所用外檐斗拱共 30 朵, 均为五铺作计心造, 其中转角铺作 4 朵, 柱头铺作 12 朵, 补间铺作 14 朵, 除后檐两稍间不设补间铺作外, 其余各间均设一朵补间铺作。经测量, 前后檐补间铺作均对其所在开间取中, 山面当心间补间铺作亦取中, 仅次间补间铺作未居中布置, 特将其间距整理开列为表 3<sup>①</sup>。经算术平均统计后, 得到山面次间补间铺作到转角铺作的间距为 2537.2 毫米, 到柱头铺作的间距为 1917.8 毫米。

### 2.1.3 架道平长

毗卢殿为歇山顶的六架椽屋, 各缝架道均为四椽栿前后割牵的形式。理想状态下, 架道水平长度应测量榑条轴线的间距, 但由于榑条形状不规则, 且建筑结构变形明显, 多处榑条有外翻现象, 故采用内外檐斗拱及攀间斗拱的泥

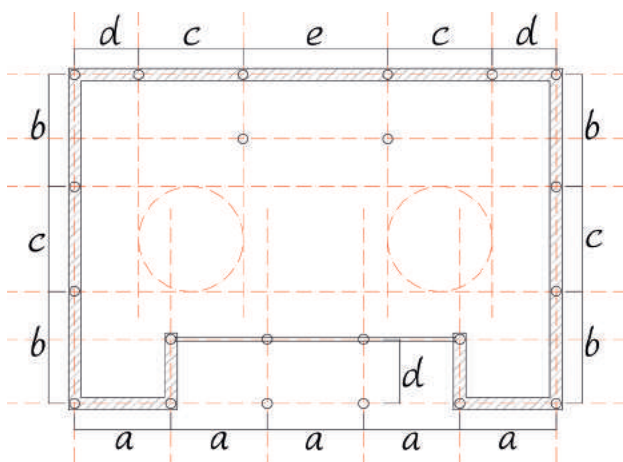


图 5 毗卢殿平面尺寸分布规律示意  
(赵萨日娜 制)

表 3 毗卢殿山面斗拱间距实测值及尺寸校验

(单位: 毫米)

位置	补间—转角				补间—柱头			
	东 1- 东 2	东 6- 东 7	西 1- 西 2	西 6- 西 7	东 2- 东 3	东 5- 东 6	西 2- 西 3	西 5- 西 6
scan001				2532				1927
scan006	2519				1903			
scan007	2537	2549			1900	1927		
scan008		2556				1918		
scan009								

① 自西南角其逆时针编号, 分别为南 1- 南 11、东 1- 东 7、北 1- 北 9、西 1- 西 7、内 1- 内 8, 外檐各面首末两号为转角铺作在该立面正出方向上的拱只。

位置	补间—转角				补间—柱头			
	东 1- 东 2	东 6- 东 7	西 1- 西 2	西 6- 西 7	东 2- 东 3	东 5- 东 6	西 2- 西 3	西 5- 西 6
scan010			2519	2529			1922	1921
scan011			2525	2532			1912	1921
scan014					1919	1926	1916	1921
scan015		2541				1927		
scan016			2570				1907	
均值	2528	2548.7	2538	2531	1907.3	1924.5	1914.3	1922.5
总均值	2537.2				1917.8			

道拱外皮间距代替。自南向北分别以架道 1 至架道 6 代指前檐柱心至前金柱心、前金柱心至上平搏、上平搏至脊搏、脊搏至上平搏、上平搏至后金柱心、后金柱心至后檐柱心几段距离（图 6）。由于殿内塑像遮挡较为严重，采集数据有限，仅对其进行简单的算术平均运算（表 4，表 5）。

考虑到山面架道与前后檐檐步架道应采用相同设计值，将相应数据合并计算，其中有 3 个实测值低于 2489 毫米，明显偏离大部分数据的分布区间，将其剔除后得到均值 2546.3 毫米。根据前后檐对称关系合并计算后，得到金柱心至上平搏距离为 1947.5 毫米，上平搏至脊搏距离为 2062.8 毫米。值得注意的是，檐柱心至金柱心、金柱心至上平搏两距离相加，所得结果接近山面两次间的开间尺寸，而前后两处上平搏之间的距离与山面当心间开间尺寸基本相同，说明架道设计与平面柱网设计之间具有一定的对应关系。

#### 2.1.4 斗拱出跳值

从三维激光扫描点云中分别提取斗拱内外两侧的出跳

值，因无法确定构件中线的准确位置，以泥道拱至瓜子拱、瓜子拱至令拱的外皮的距离代替，实测结果整理为表 6，表 7。

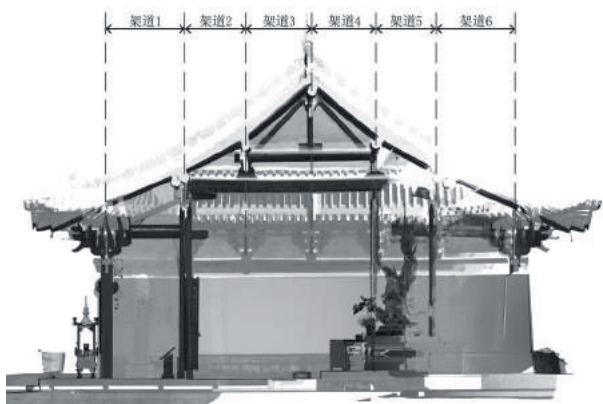


图 6 毗卢殿梁架剖面示意图  
(赵萨日娜制)

表 4 进深方向步架水平方向尺寸统计

(单位: 毫米)

测站	间缝位置	架道 1	架道 2	架道 3	架道 4	架道 5	架道 6
scan013	东次间东缝	2565					
scan014	东次间东缝		1941	2050	2084	1965	2483
scan014	西次间西缝		1969	2045	2087	1950	2485
scan012	明间西缝	2557					
scan013	明间西缝	2561					
scan014	明间西缝		1931	2051	2066	1946	2545
scan015	明间西缝		1945	2043	2070	1949	2539
scan012	明间东缝	2538					
scan014	明间东缝		1954	2058	2082	1928	2489
scan016	明间东缝		1949	2041	2076	1943	2506
均值		2555.3	1948.2	2048	2077.5	1946.8	2507.8
檐柱心至金柱心均值		2526.8					
金柱心至上平搏均值		1947.5					
上平搏至脊搏均值		2062.8					

表5 两山步架尺寸统计

(单位: 毫米)

测站	位置	柱心至山面屋架水平距离
scan014	东山南乳楸	2534
scan014	西山南乳楸	2539
scan014	东山北乳楸	2547
scan015	东山北乳楸	2551
scan014	西山北乳楸	2565
scan016	西山北乳楸	2555
均值		2548.5

表6 毗卢殿外檐斗拱出跳值

(单位: 毫米)

	斗拱	头跳	二跳	总出跳		斗拱	头跳	二跳	总出跳
外跳	南 1	379	322	701	里跳	南 3	387	303	689
	南 2	380	332	712		南 4	379	305	684
	南 3	371	310	682		南 5	374	311	685
	南 4	387	326	713		南 6	371	319	690
	南 5	384	318	701		南 7	375	314	689
	南 6	385	322	707		南 8	385	309	694
	南 7	385	314	698		南 9	373	316	690
	南 8	381	334	715		东 2	381	313	694
	南 9	379	313	692		东 3	382	306	688
	南 10	377	326	703		东 4	384	307	691
	南 11	379	324	702		东 5	376	318	694
	东 1	368	321	689		东 6	378	320	698
	东 2	378	331	708		北 1	377	330	707
	东 3	381	315	696		北 2	362	298	660
	东 4	383	331	714		北 3	379	312	691
	东 5	390	308	698		北 4	378	307	685
	东 6	382	322	704		北 5	388	316	704
	东 7	373	320	693		北 6	381	319	700
	北 1	380	308	689		北 7	374	320	693
	北 2	391	316	706		北 8	369	309	679
	北 3	387	329	716		北 9	376	327	704
	北 4	373	321	694		西 1	391	328	719
	北 5	367	331	698		西 2	383	318	701
	北 6	382	319	702		西 3	380	318	698
	北 7	384	328	712		西 4	379	302	681
	北 8	393	322	715		西 5	384	307	691
	北 9	379	321	700		外跳最大值	393	334	716
	西 1	390	314	704		外跳最小值	367	308	682
	西 2	388	309	698		外跳均值	381.1	321.2	702.3
	西 3	385	312	697		里跳最大值	391	330	707
	西 4	376	334	710		里跳最小值	369	302	679
	西 5	384	317	701		里跳均值	379.4	314.6	692.5
	西 6	373	328	701		总均值	380.4	318.2	698.2
	西 7	383	323	706					

表7 毗卢殿内檐斗拱出跳值

(单位: 毫米)

测站	斗拱	出跳
scan012	内 2	311
scan013	内 3	313
scan015	内 5	305
scan016	内 6	310
scan015	内 7	314
scan014	内 7	310
scan016	内 8	314
均值		311
去特异值均值		312

外檐斗拱内外均出两跳，头跳出跳值明显大于第二跳。其内外两侧的头跳平均值极为接近，对二者取平均可得外檐斗拱头跳出跳值为 380.4 毫米；内外侧的第二跳出跳值相差较大，将所有测值合并整理，计算所得均值为 318.2 毫米；直接量取的总出跳值为 698.2 毫米，与计算所得两跳出跳值之和仅有微小偏差。

内檐斗拱出跳值样本量较少，均值为 312 毫米，与外檐斗拱第二跳的出跳值有可能采用同一设计尺寸。

## 2.2 斗拱构件

毗卢殿外檐斗拱因所在位置不同，在形制上有所差别（图 7）：单杪单下昂用真昂的斗拱共有 12 朵，均为补间铺作，分别位于前檐各间、后檐当心间及次间、山面当心间及南次间。单杪单下昂用假昂的斗拱共有 6 朵，为前檐转角铺作及柱头铺作。其余 12 朵为双杪五铺作，分别为后檐转角铺作、山面及后檐柱头铺作、山面北次间补间铺作。此外，部分斗拱采用了抹斜的拱只：前檐柱头及补间铺作、

东山面当心间补间铺作、西山面当心间及南次间补间铺作的外跳均使用了抹斜的瓜拱和慢拱，其中前檐各斗拱还使用了抹斜的令拱。

殿中另有内檐斗拱 8 朵，四角的四朵斗拱坐落于角梁后尾上，中心的四朵斗拱坐落于金柱上方的普拍枋上，后檐两斗拱位于后金柱柱头上方，前檐两斗拱则与后檐斗拱对位，并未落于前金柱柱头上，从而保证了各缝梁架结构自身的稳定。

### 2.2.1 材截面设计

斗拱设计中普遍运用材分°制，通过模数设计来精准、简洁地控制下昂斜度、斗拱出跳等尺寸及比例。对斗拱材分°值和昂制的研究，是解读斗拱几何设计规律的关键，也有助于揭示建筑设计意图。对毗卢殿斗拱点云逐一进行测量，并以手工测量数据为补充，得到材厚（表 8，表 9）、单材广（表 10，表 11）、足材广（表 12，表 13）的实测数据。



图7 毗卢殿外檐斗拱（左：前檐柱头与补间铺作；右：东山面斗拱）  
（左：赵萨日娜 摄；右：赵寿堂 摄）

表 8 毗卢殿外檐斗拱材厚统计表<sup>①</sup>

(单位: 毫米)

	斗拱	头跳华拱	昂	华头子	二跳华拱	瓜子拱	慢拱	令拱
外跳	南 1	123.2	123.6	无	无	122.4		122.7
	南 2	124.6	124.3	124.2	无	123.9		124.6
	南 3	123.2/125 <sup>②</sup>	119.5/120	无	无	121	117.5	119.6
	南 4	125.7	119.5	121.2	无	124.8	120.3	119.7
	南 5	121.9	116.8	无	无	123.8	120.9	119.8
	南 6	117.5	119.4	119.7	无	122.5	122.7	122.7
	南 7	119.3	115.3	无	无	120.7	117.8	123.2
	南 8	125.9	117.8	118	无	120.4	123.1	123.8
	南 9	120.1/123	118.0/117	无	无	123.9/125	117	116.4
	南 10	124.2	114.5	118.7	无	119.5	116	119.1
	南 11	125.5	114.8	无	无	121.6	118.7	122.8
	北 1	117.6	无	无	118.9	120.7		121
	北 2	116.2	无	无	115.4	118.7	116.9	115.8
	北 3				无	116.8	124.1	115.2
	北 4	110.8	无	无	112.5	114.4	115	117.8
	北 5	118.9	112.9	115.3	无	121.7	120.3	121.3
	北 6	124	无	无	116.8	119	118.8	122.6
	北 7	117.5	115.4	126.6	无	122.5	126.3	121.6
	北 8	119.8	无	无	120.4	121.2	118.1	121.9
	北 9	118.1	无	无	112.8	120.6		123.2
	东 1	127.7	115.8	无	无	117.4		124.7
	东 2	121.6	109.7	113.6	无	123.6	116.7	118.5
	东 3	114.6	无		114.1	115.5	119.7	117.7
	东 4	120.2	115.5	117.2	无	118.9	116.9	118.1
	东 5	124.1	无	无	120.4	119.9	119	120.2
	东 6	118.1	无	无	115.7	121.9	121.9	122.3
	东 7	117.8	无	无	125.4	121.7	118.9	120
	西 1	117.2	无	无	121.6	119.4	121.5	119.1
	西 2	123.8	无	无	117.5	122.4	121.1	121
	西 3	117.8	无	无	119.3	116	120.6	117.3
	西 4	118.3	118.7	119.5	无	117.8	121.7	119.3
	西 5	118.1	无	无	115.1	120.5	120	119.7
西 6	123	118.4		无	123.2	123	119.6	
西 7	121.1	114.6	无	无	123.4		120.5	

① 空白栏表示未能量取该数据,“无”表示测量对象中不存在该项数据,后文各表同。

② “/”前方数字为三维激光扫描点云测量数据,后方数字为手工测量补充数据,后文同。

续表

	斗拱	头跳华拱	昂	华头子	二跳华拱	瓜子拱	慢拱	令拱
里跳 <sup>①</sup>	南 3			无		121.2	121.1	120
	南 4	123.6			119.7	121	118.5	119.5
	南 5	124.5		无	116.5	123.4	121.4	116.6
	南 6	116.9			117.3	124.3	123.3	120.4
	南 7	121.9		无	119.2	116.4	114.8	119.4
	南 8	123.5			118	121.5	115.6	121.7
	南 9			无		124.2	125.2	122
	东 2	118.5			118.4			
	东 3	120.7	无	无	118.7			
	北 1		无	无		118.2	119	108.6
	北 2	121.5	无	无	114.1	119.4	119.9	116.5
	北 3	119.4			117.1	121.4	118.4	120.9
	北 4	117.8	无	无	120.7	124.3	115.6	118.4
	北 5	122.1			121.2	123.4	125.2	122.9
	北 6	125.3	无	无	114.6	123.7	120.9	119.4
	北 7	108			123.3	122.6	124.6	126.1
	北 8	112.8	无	无	118.4	117.9	117.9	113
	北 9					125.6	115.2	124.3
	西 2	120.7	无	无	117.9	114	105.5	121
	西 3	113	无	无	120.1	113.3	121.6	117.9
西 5	119.1	无	无	117.8				
最大值	127.7	124.3	126.6	125.4	125.6	126.1	126.1	
最小值	110.8	109.7	113.6	112.5	113.3	114.8	113	
均值	120.6	117.2	119.4	118.2	120.7	119.8	120.3	

表 9 毗卢殿内檐斗拱材厚统计表

(单位: 毫米)

测站	斗拱	华拱	泥道拱	慢拱	替木
scan012	内 2	123.2			
scan013	内 3	126.2			
scan015	内 5	123.3		118.7	119.5
scan016	内 6				116
scan016	内 7		122.6	118.6	116.9
scan014	内 7	119.4			
scan016	内 8		115.4	127.1	126.4
均值		123	119	121.5	119.7
总均值		121.0			

① 毗卢殿外檐斗拱的假昂和华头子在里跳均表现为华拱, 故将其计入“二跳华拱”下。

外檐斗拱中，平行建筑方向构件的材厚值略大于出跳方向的构件，但并未反映出明显的设计值差异，可视为采用同一设计尺寸，材厚总均值为 119.9 毫米。内檐斗拱样本

量较少，经过简单的算术平均计算后得出材厚为 121 毫米。内外檐斗拱材厚设计应相同。

表 10 外檐斗拱单材广统计表

(单位: 毫米)

		斗拱	头跳华栱	瓜子栱	慢栱	令栱						
外跳	南 1	190.5	181.2	184.4	186.1	里跳	南 3	188	198.1	180.4	184.7	
	南 2	188.9	185.6	185.7	186.5		南 4	188.6	181.1	181.3	185.6	
	南 3	186.7	185.3	192	187.1		南 5	185.2	187.3	191.2	190.2	
	南 4	182	185.1	185.9	189.3		南 6	186.7	186.2	186.6	185.3	
	南 5	182.7	188.1	183.3	185.3		南 7	193	193.3	188.2	191.3	
	南 6	182.6	186.9	186.1	183.9		南 8	195.9	191.5	187.8	187.7	
	南 7	188.6	188	189.1	189		南 9		185.9	188.6	187.8	
	南 8	185.8	189.2	186.2	186.3		东 2		184	179.2	189.1	
	南 9	183.6	185.5	184.4	185.4		东 3	188.2	181.2	188	189.3	
	南 10	187.6	187.4	190.4	187.2		东 4		179.2	178.5	171.8	
	南 11	190.8	187.7	182.2	187.7		东 5		170.5	197.9	176	
	东 1	185.9	194.3	192.2	184.3		东 6	186.4	166.1	158.3	172.8	
	东 2	187.4	185.3	185.1	185.1		北 1	182.7	177.1	187	184.2	
	东 3	187.7	177.6	185.2	187.4		北 2	187.1	187.3	189.2	182	
	东 4	191	186.4	182.2	187.4		北 3	185.8	190.9	189.8	184.1	
	东 5	187	193.1	190.7	188.5		北 4	193.1	187.3	186.4	189.1	
	东 6	187.9	189.3	185.4	188.7		北 5	190.4	190	186	187.4	
	东 7	181.6	175.5	172.1	187.3		北 6	193.7	182.9	187.7	184	
	北 1	179.9	170.1		189		北 7	185.7	186.7	188.2	187.2	
	北 2	180.5	191.7	189.3	188.8		北 8	191.2	186.6	179	176.4	
	北 3	185.8	182.4	180.3	180.4		北 9	189	174.1	186.7	185.1	
	北 4	187.6	188	183.3	180.5		西 1	188.5	186		182.5	
	北 5	183.2	179.4	185.4	193.3		西 2	194.6	186.1	173.2	175.6	
	北 6	187.8	186.9	186.4	189.9		西 3	189.4	181.3	171.9	183.6	
	北 7	186.6	187.2	188.2	184.2		西 4		179.5	180	185.7	
	北 8	177	183.4	183.8	180		西 5	185.7	179.9	180.2	186.3	
	北 9	183.8	186.6	185.5	183.6		最大值		195.9	194.3	192.2	193.3
	西 1	188.4	186.9	187.8	186.7		最小值		179.7	170.1	171.9	171.8
	西 2	190.7	187.4	186	182.7		均值		187.2	185.0	184.8	185.3
	西 3	188.2	185.7	182.5	191.6		总均值				185.6	
	西 4	185	182.5	182.9	184.9							
	西 5	189.6	191.9	179.8	183							
	西 6	189.4	185.6	185.9	187.8							
	西 7	181.6	186.6	185.3	185.1							

表 11 内檐斗拱单材广统计表

(单位: 毫米)

测站	斗拱	华拱	泥道拱	慢拱
scan012	内 2	181.4		
scan013	内 3	191.9		
scan015	内 5	189.7		
scan016	内 6	184.7		172.5
scan015	内 7	184.9		129.3
scan016	内 8	182	176.4	183.5
均值		185.8	—	178

表 12 外檐斗拱足材广统计表

(单位: 毫米)

	斗拱	泥道上足材高 <sup>①</sup>			一跳上足材高		令拱处足材高
		一	二	三	一	二	
外跳	南 1	266	256.9	269.8	261.8	267.2	261.1
	南 2	267.3	265.1	262.8	261.8	266.9	261.3
	南 3	265.7	259.4	260	267.9	263.7	262.8
	南 4	268.1	256	261.4	264.1	262.6	263.2
	南 5	261.2	260.4	265.2	264.9	262.9	263.5
	南 6	263.5	259.1		265.4	264.6	261.3
	南 7	269.1	253.2	266.1	265.5	265.5	265
	南 8	267.5	265.4	262	264.7	264.3	263.7
	南 9	259.8	252.7	262.9	261.7	259.8	258.8
	南 10	269.5	257.4	276.4	265.4	268.7	263.1
	南 11	275.6	258.8	266.9	259.2	264.5	258.2
	东 1				256.8	271.5	262.4
	东 2	255.7	263.6	268.5	259.5	264.4	253.1
	东 3	258	261	260.3	258.8	265.4	260
	东 4	254	258.3	255	261.9	262.7	261.6
	东 5	265.9	266	261.2	267.3	257.1	258.8
	东 6	263.8	259.6	271.1	268	269.2	263.7
	东 7	252.9	262.9	269.1	263.4	269.2	273.5
	北 1	254.3	277.3	247.3	269.2	265.2	268.5
	北 2	260.4	263.3	275.7	264.3	262.7	257.4
	北 3	256.4	270.4		262	258.4	258.6
	北 4	261.7	262.5		258.7	272.4	258
	北 5	252	257.6		261.7	268.2	271
	北 6	259.1	261.5	259.9	265.7	260.3	259.6
北 7	264.4	261.2	257.2	267	260.6	265	
北 8	265.1	260.8	265.6	259.1	264.2	255	

① 泥道和一跳上足材高度自下而上依次测量, 即泥道上一代表泥道瓜拱高度上足材高, 二代表泥道慢拱高度上足材高, 三代表耍头高度上足材高; 一跳上一代表瓜拱位置足材高, 二代表慢拱位置足材高。

	斗栱	泥道上足材高 <sup>①</sup>			一跳上足材高		令栱处足材高
		一	二	三	一	二	
外跳	北 9	255.3	269.8	264	264.8	273.7	256
	西 1	263.3	262	263.4	264.5	259.5	260.9
	西 2	268.2	258.1	266.3	266.8	267.9	258.7
	西 3	261.6	256.2	263.6	259.5	269.4	264.9
	西 4	264.5	259.1	257.4	263	262.4	259.6
	西 5	264.6	262.8	258.5	266.4	264.1	264.3
	西 6	268.2	258.7	281.3	261.8	271.3	259.4
	西 7	265	259.9		258.6	260	262.8
里跳	南 3	257.3	262.1	258.5	263.9	264.3	267.8
	南 4	265.7	260.3	262.9	263.3	262.1	264
	南 5	258.7	261		257.1	260.7	267.3
	南 6	262.8	260.8	261.5	266.5	255.5	259.6
	南 7	266.7	256.8	261.9	265	256.3	265
	南 8	266.3	273.3	262.7	264.3	258.3	262.2
	南 9		262.1	267.6	262.7	264.3	263.3
	东 3	267.7	260.6	252.1	272.6		250.6
	东 4		260.2		268.7	244.4	264.1
	东 6	256.3	275.4		279.1		265.2
	北 1	256.4	273.2	271	259	280.7	280.3
	北 2	255	260.9	267.6	266	251.9	254.1
	北 3	267.6	264.7	263	267.9	264.3	265.1
	北 4	268.7	259.8	266.5	265.3	262.5	262.6
	北 5	267.8	269.4	268.9	263.8	261.2	270.1
	北 6	263.4	263.1	265.5	263.7	262.8	267.3
	北 7	263.7	268.4	256.7	267.2	264.8	265.7
	北 8	260.7	260.8	270	265.9	255.7	260.2
	北 9	281	260.3	261.1	252.4	271.9	287.2
	西 2	265.3	271.8	257.5	272.4	272.8	266.9
	西 3	267.5	256.1	260.1	272.1	251.7	258.4
	西 4	269.5	265.3		268.5	271.1	275.5
	西 5	270.1	281.8	250.2	270.1	263.9	261.7
最大值		270.1	277.3	276.4	272.6	273.7	275.5
最小值		252	252.7	250.2	252.4	251.7	250.6
均值		263.2	262.2	263.1	264.3	263.9	262.4
均值 2		262.8			263.9		—
总均值		263.2					

表 13 内檐斗拱足材广统计表

(单位: 毫米)

测站	斗拱	足材广
scan012	内 2	266.6
scan013	内 3	265.3
scan015	内 5	263.6
scan016	内 6	249.9
scan015	内 7	262.1
scan016	内 8	258.2
均值		263.2

经测量计算, 外檐斗拱单材广平均值为 185.7 毫米, 足材广为 263.2 毫米。内檐斗拱华栱处单材广平均值为 185.8 毫米, 足材广为 263.2 毫米, 与外檐数据基本一致。

由计算结果可知, 斗栱材截面设计中包含明确的比例关系, 足材广与单材广的比例略大于 7:5, 单材广与材厚的比例接近于 3:2, 说明斗栱设计中很有可能运用了材分° 制。

### 2.2.2 栌斗与栱长

采用材分° 制进行设计的斗栱, 其构件可能同样以

分° 值为基本模数, 故量取构件尺寸以便与分° 值进行校核。本次测量对象包括外檐斗栱栌斗看面宽度及各栱只的长度。

栌斗看面宽度的测量仅针对栌斗平行于殿身方向的顶面宽度, 对转角处栌斗仅测量面阔方向的宽度, 因其进深方向为木材截纹方向, 干缩变化大, 故不作参考。实测结果除 1 个特异值外, 分布集中, 其均值为 372.8 毫米 (表 14)。

表 14 栌斗看面宽度统计

(单位: 毫米)

位置		测值	位置		测值
外跳	南 2	375.1	外跳	西 3	377.9
	南 3	377.8		西 4	374.6
	南 4	377.1		西 5	372.9
	南 5	375.2		西 6	363.1
	南 6	375.7		南 4	373.5
	南 7	377.2		南 5	374.6
	南 8	376.5	南 6	367.2	
	南 9	372.5	南 7	372.6	
	南 10	374.2	南 8	375	
	东 2	364.6	北 2	364.2	
	东 3	358.3	北 3	382.7	
	东 4	383.2	里跳	北 4	376.7
	东 5	380.5		北 5	363.6
	东 6	373.7		北 6	382.2
	北 2	364.8		北 7	377.9
	北 3	347.5		北 8	366.4
	北 4	360.4		西 2	373.2
	北 5	364.8		西 3	370.7
	北 6	378.4		西 5	362.5
	北 7	378.2		最大值	383.2
北 8	371.1	最小值		358.3	
西 2	372.7	均值	372.6		

由于测量条件及三维激光扫描范围的限制，无法直接测得一跳华拱的完整拱长，故对内外跳长度分别测量。泥道拱和泥道慢拱则直接从点云中测量完整拱长。内外两侧的拱只长度未反映出明显的设计差异，将里跳、外

跳测值合并计算后，得到一跳华拱自泥道至外缘的平均长度为 408.8 毫米，则可折算出一跳华拱的拱长为  $2 \times 408.8 + 119.9 = 937.5$  (毫米)；泥道拱与泥道慢拱的拱长均值分别为 794.4 毫米和 1201.7 毫米 (表 15)。

表 15 一跳华拱、泥道拱长度统计

(单位: 毫米)

位置		华拱	泥道拱	泥道慢拱	位置		华拱	泥道拱	泥道慢拱
外跳	南 1	402.9			里跳	南 3	411.6	829	
	南 2	409	786.4	1200.7		南 4	402	793.8	1199
	南 3	410.2	790.7	1192.7		南 5	415	790.1	1208.2
	南 4	409.5	791.5	1204.1		南 6	413	789.9	1210.5
	南 5	400	797.4	1207.5		南 7	408.1	807.9	1205.5
	南 6	408.5	785	1192		南 8	414.1	804.5	1199.3
	南 7	406.7	797.9	1199.5		南 9	400.1		
	南 8	414.5	799.6	1197		东 2	404.9		
	南 9	415.2	798.5	1210		东 3	404.1		
	南 10	413.7	780.7	1193		东 4	412		
	南 11	408.7				东 5	405.7		
	东 1	403.5				东 6	409		
	东 2	408.1	791.1	1192.6		北 1	409.2		
	东 3	412.7	806.8	1211.2		北 2	408.8	808.9	1230.9
	东 4	408.1	796.2	1205.6		北 3	410.9	786.8	1187
	东 5	408.9	802.1	1211.1		北 4	403.9	788.1	1212
	东 6	413.6	790.3	1201.9		北 5	410.4	789.2	1187.3
	东 7	403.9				北 6	410	795.5	1199.7
	北 1	407.7				北 7	396.2	786.2	1202.3
	北 2	408.2	787.4	1214.2		北 8	410.1	802.6	1218.8
	北 3	413.9	790.1	1187		北 9	411.7		
	北 4	407.7	791.6			西 2	406.6		
	北 5	405.4	814.1	1201.1		西 3	404.9	792.8	1235.6
	北 6	405.3	794	1207.6		西 4	408.2		
	北 7	408.2	786	1189		西 5	408.8		
	北 8	412.8	787.7	1205.7		西 6	403.2		
	北 9	408.9				外跳最大值	415.2	802.1	1211.2
	西 1	419.2				外跳最小值	400	785	1187
	西 2	407.4	791.8	1197.3		外跳均值	408.8	792.2	1200.9
	西 3	412.6	796.7	1210.7		里跳最大值	415	808.9	1212
	西 4	410	785.7	1203.9		里跳最小值	400.1	786.2	1187
	西 5	410.2	788.4	1200.5		里跳均值	408.3	797.5	1201.1
	西 6	406.4	793.4	1200.4		总均值	408.5	794.2	1201
	西 7	406.9							

瓜拱、慢拱、令拱中都有部分拱只两侧做抹斜处理,对两类拱只的长度分别统计。未抹斜的拱只在里外跳上未体现出明显的设计差异,将所有测值合并计算后(表16),

得到拱只长度均值为瓜拱 789.7 毫米、慢拱 1199.7 毫米、令拱 888.9 毫米。瓜拱长度与泥道拱接近,慢拱长度与泥道慢拱基本一致,应采用了相同的设计尺寸。

表 16 瓜拱、慢拱、令拱长度统计

(单位:毫米)

位置		瓜拱	慢拱	令拱	位置		瓜拱	慢拱	令拱
外跳	东 2	788.6	1190.1	886.6	里跳	北 7	782.6	1187	864.8
	东 3	787.2	1213.8	894		北 8	798.6	1227.2	895.7
	东 4			883.2		西 2	827.6	1192.5	890.9
	东 5	789.2	1207.6	883.2		西 3	789	1226.8	876.9
	东 6	788.9	1196.6	885		西 6			876.2
	北 2	786.8	1207.4	900		南 3	786.2	1204.6	886.6
	北 3	791.6	1200.5	900.3		南 4	799.2	1201.4	879.4
	北 4	794.6	1193.2	884		南 5	787.1	1213.5	884.4
	北 5	790.7	1185.2	864.4		南 6	792.6	1198.2	894.1
	北 6	791.5	1195.6	889.8		南 7	786.2	1194	881.4
	北 7	790.8	1189.9	890.7		南 8	894.9	1201.9	885.7
	北 8	788.8	1208.1	894.7		南 9	815.1	1224.9	902.7
	西 2	791	1197.6	891.7		北 2	780.5	1188.7	882.1
	西 3	785.7	1209.5	885.8		北 3	787	1204.4	901.2
	西 4			879.3		北 4	788	1212.8	908.6
	西 5	787.5	1212.6	890.4		北 5	791.5	1191.5	891.3
	西 6			893.8		北 6	791.3	1203.8	889.8
	里跳	南 3	786.2	1204.6		886.6	北 7	782.6	1187
南 4		799.2	1201.4	879.4	北 8	798.6	1227.2	895.7	
南 5		787.1	1213.5	884.4	西 2	827.6	1192.5	890.9	
南 6		792.6	1198.2	894.1	西 3	789	1226.8	876.9	
南 7		786.2	1194	881.4	西 6			876.2	
南 8		894.9	1201.9	885.7	外跳最大值	794.6	1213.8	900.3	
南 9		815.1	1224.9	902.7	外跳最小值	785.7	1185.2	879.3	
北 2		780.5	1188.7	882.1	外跳均值	789.5	1200.6	889.5	
北 3		787	1204.4	901.2	内跳最大值	799.2	1213.5	902.7	
北 4		788	1212.8	908.6	内跳最小值	780.5	1187	876.2	
北 5		791.5	1191.5	891.3	内跳均值	789.2	1199.6	887.9	
北 6		791.3	1203.8	889.8	总均值	789.4	1200.1	888.7	

抹斜的拱只仅见于前檐及山面,前檐斗拱外跳瓜拱、慢拱、令拱均抹斜,山面则仅在瓜拱、慢拱处用抹斜做法。通过对实测值进行均值计算,得到各类拱只内

外缘的长度及抹斜处理的水平长度。三种斗拱的抹斜长度数值接近,将测值合并计算后得到均值为 171.8 毫米(表 17)。

表 17 抹斜拱只长度统计

(单位: 毫米)

位置	瓜拱		慢拱		令拱		抹斜		
	外缘	内缘	外缘	内缘	外缘	内缘	瓜拱	慢拱	令拱
南 2	832.8	999	1254.1	1429.7	942.6	1113.5	166.2	175.6	170.9
南 3	832	1003.5	1261.2	1415.9	939.6	1093.1	171.5	154.7	153.6
南 4	837.1	1009.3	1233.1	1406.7	935.7	1098.8	172.2	173.6	163.1
南 5	850.3	1006	1253.1	1437.4	904.8	1094.5	155.7	184.3	189.7
南 6	837.3	1009.5	1223.8	1397.5	942.4	1121.4	172.2	173.7	179
南 7	851.6	1012.4	1284.5	1448.7	942.5	1118.3	160.8	164.2	175.8
南 8	822.7	1000.5	1231.5	1402.9	914.1	1087.5	177.8	171.4	173.4
南 9	868.3	1054.4	1242.5	1405	931.5	1104.9	186.2	162.6	173.4
南 10	835.4	989.6	1193.8	1380.7	911.9	1087.8	154.2	186.9	175.9
东 4	824.5	994.3	1241.1	1397.9	无	无	169.8	156.8	无
西 4	848.9	1012.8	1235.1	1412.2	无	无	163.9	177.1	无
西 6	824.5	1004.6	1242	1421.8	无	无	180.1	179.8	无
最大值	851.6	1012.8	1261.2	1448.7	942.6	1121.4	186.2	186.9	189.7
最小值	822.7	989.6	1223.8	1397.5	911.9	1087.5	154.2	154.7	153.6
均值	836.1	1003.8	1241.8	1416	932.5	1102.2	169.2	171.7	172.8

## 2.2.3 下昂相关测值

对于使用了真昂的斗拱, 下昂设计解读是大木尺度分析中不可或缺的环节, 下昂作为斜向构件, 与其余正交构件有着复杂的交接关系, 同时其斜度设计往往对建筑屋面的坡度设计具有直接影响。

一般来讲, 下昂斜度设计可以直接体现于华头子形状上, 在斗拱侧立面上, 泥道、下昂和华头子形成了一个直角三角形, 下昂抬高高度与华头子平长分别为两条直角边, 二者的比例关系直接控制了的下昂斜度。在实际测量中, 将华头子与泥道的交点定为 A, 下昂下皮与泥道的交点定为 B, 华头子底边延长线与下昂交点定为 C, AB/AC 的比值即为下昂斜度。同时, 下昂斜度也会在耍头处有所体现, 用下昂上皮与泥道的交点 (X)、下昂上皮与耍头下皮的交点 (Y)、两点引出正交线的交点 (Z) 所构成的耍头三角形的斜度测量值辅助校验 (图 8)。需要说明的是, 此处的华头子三角形和耍头三角形是为了计算下昂斜度而人为选

定的, 匠人在实际建造中是否将其作为设计约束尚待商榷 (表 18)。

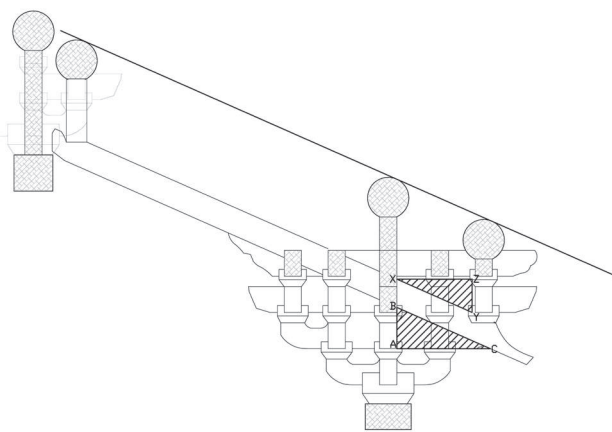


图 8 毗卢殿前檐补间铺作示意图 (赵萨日娜制)

表 18 下昂尺寸统计及校验

(单位: 毫米)

斗拱	昂真高	昂斜高	AB	AC	AB/AC	XZ	YZ	YZ/XZ
南 2	184.6	205.5	308.4	683.1	0.4515	580.9	273.5	0.4708
南 4	184.7	205.3	303.9	691.1	0.4397	574.6	271	0.4716
南 6	186.3	206.4	308.6	702.1	0.4395	578.5	263.3	0.4551

斗栱	昂真高	昂斜高	AB	AC	AB/AC	XZ	YZ	YZ/XZ
南 8	184.2	203.1	311.4	697.9	0.4462	573.4	247	0.4308
南 10	184.9	205.1	314.6	691	0.4553	583.5	270.1	0.4629
东 2	186.9	203.7	301.9	709.6	0.4255	590.9	247.8	0.4194
东 4	181.9	198.9	311.2	694.6	0.4480	565	238	0.4212
北 3	190.5	211.6	306.9	709.2	0.4327	590.2	242.4	0.4107
北 5	186	203.5	276.8	686.7	0.4031	567.1	261.7	0.4615
北 7	184.7	204.1	312	695	0.4489	585.4	257.6	0.4400
西 4	184.4	202.1	297.7	686.3	0.4337	579	251.2	0.4339
西 6	188.8	206.2	302.3	697.5	0.4334	582.3	249	0.4276
最大值	190.5	206.4	314.6	709.6	0.4553	590.9	273.5	0.4481
最小值	181.9	202.1	297.7	683.1	0.4031	565	238	0.4072
均值	185.7	204.5	307.2	695.3	0.4417	579.2	256.1	0.4421

下昂设计相关测值共计 12 组，数据有限，仅剔除明显偏差数值后进行简单的算术平均运算，计算结果为昂真高约 185.7 毫米，与前文算得的单材高近似，昂斜高 204.5 毫米，约为真高的 1.1 倍。华头子三角形与耍头三角形的斜度接近，下昂斜度约为四五举。

### 2.3 大木比例

除平面布局、斗栱设计之外，毗卢殿整体的立面比例似乎也精心设计，但因采集到的数据样本量过少，本文仅对大木比例相关测值进行简单的算术平均运算，并将结

果整理如下（表 19）。

室内部分，因三维激光扫描点云中的山面构架遮挡严重，仅测量前后檐的部分立面数据。整理后的数据中，前檐檐柱普拍枋标高略高于后檐，同时北侧架道总举高较南侧偏高，南北两侧的偏差应为结构变形所导致。

统计结果中有一个数据值得注意，前檐檐柱普拍枋上皮标高的平均值为 3819 毫米，此前平面数据整理中已知前檐五间的开间均为 3827.9 毫米，二者极为接近，应是采用了相同的设计尺寸，前檐五间在立面上均呈现为正方形。

表 19 立面控制尺寸整理

（单位：毫米）

测站	接缝位置	台明至檐柱普拍枋下皮		台明至檐柱普拍枋上皮		台明至金柱普拍枋下皮		台明至金柱普拍枋上皮	
		前檐	后檐	前檐	后檐	前檐	后檐	前檐	后檐
scan013	东次间东缝	3627		3814		5461		5631	
scan014	东次间东缝					5310		5584	
scan014	西次间西缝	3650		3762		5342		5570	
scan012	明间西缝	3616		3815		5321		5588	
scan013	明间西缝	3611				5313		5570	
scan015	明间西缝		3556		3746		5338		5541
scan012	明间东缝	3617		3828		5311		5587	
scan014	明间东缝		3581		3762		5364		5561
scan016	明间东缝		3556		3731		5338		5528
均值		3624.2	3564.3	3819	3746.3	5319.4	5346.7	5588.3	5543.3

### 3 营造尺及主要设计值复原

#### 3.1 由间架尺寸出发的营造尺推算

将前文统计所得的间架尺寸进一步整理，以 300 ~ 320

毫米<sup>①</sup>长的营造尺校验，所得结果见表 20。由校验结果可见，当每尺取 306 毫米、310 毫米或 318 ~ 319 毫米<sup>②</sup>时，柱头平面可以取得较规整的设计值。

表 20 毗卢殿开间尺寸校验<sup>③</sup>

	a	b	c	d	e	通面阔	通进深
均值 (毫米)	3828	4455	4149	2559	5742	19149	13058
306 毫米 / 尺	12.51	14.56	13.56	8.36	18.77	62.58	42.67
取整	12.5	14.5	13.5	8.4	18.7	62.5	42.5
吻合系数 (%)	99.92	99.59	99.57	99.56	99.65	99.88	99.59
310 毫米 / 尺	12.35	14.37	13.38	8.25	18.52	61.77	42.12
取整	12.4	14.25	13.5	8.25	18.5	62	42
吻合系数 (%)	99.58	99.15	99.13	99.94	99.87	99.63	99.71
318 毫米 / 尺	12.04	14.01	13.05	8.05	18.06	60.22	41.06
取整	12	14	13	8	18	60	41
吻合系数 (%)	99.69	99.93	99.64	99.41	99.68	99.64	99.85
319 毫米 / 尺	12	13.97	13.01	8.02	18	60.03	40.93
取整	12	14	13	8	18	60	41
吻合系数 (%)	99.99	99.75	99.96	99.73	99.99	99.95	99.84

毗卢殿大木构架的设计中，金柱分位上置内檐斗拱，斗拱承托下平枋，同时，山面南次间补间铺作承托的丁栿后尾插入金柱柱身中。因此，存在前廊进深（表 20 中 d 值）、檐部架道平长（表 21 中架道 1/6/ 山面）、山面次间补间铺作到转角铺作的距离（表 22），三项数据设计值相同的设计规律。对斗拱间距和架道平长进行校核时发现，当每尺取 306 毫米或 310 毫米时，三项数据取相同设计值时的吻合度不甚理想；每尺取 306 毫米时架道设计中出现了如 6.1 尺的奇零设计值，且后檐当心间 18.7 尺已不符合常规设计，故排除采用该尺长的可能性；每尺取 310 毫米时虽出现大量 0.25 尺长的尾数，但考虑到现存案例中这一

现象存在较为广泛，暂且保留这一尺长的可能性。而当每尺取 318 ~ 319 毫米时，三项数据均可取同，架道平长的设计值也可与斗拱间距对应，其吻合度明显更优。也就是说，仅就平面和架道尺寸而言，毗卢殿更有可能采用了每尺长度 318 ~ 319 毫米的营造尺。

按此营造尺折算，毗卢殿前檐各间开间尺寸为 12 尺，后半部当心间 18 尺、次间 13 尺、稍间 8 尺；山面当心间 13 尺、次间 14 尺，廊深 8 尺。架道平长若按柱心计，自檐步至脊步依次为 8 尺、6 尺、6.5 尺，山面架道 8 尺；若将檐步、金步架道平长的分界位置调整至外跳下平枋处，则檐步与金步的架道平长均为 7 尺。

表 21 毗卢殿架道平长尺寸校验

位置	架道 1/6/ 山面	架道 2/5	架道 3/4	通进深
均值 (毫米)	2546	1948	2063	13113
306 毫米 / 尺	8.32	6.36	6.74	42.85
取整	8.25/8.4 <sup>④</sup>	6.25/6.1	6.75	42.5
吻合系数 (%)	99.14/99.06	98.17/95.67	99.87	99.17

① 根据近年来学者们对北方地区建筑遗构的尺度研究，300 ~ 320 毫米的区间基本可以涵盖已知案例的尺长。

② 分别以 318 毫米和 319 毫米校核实测值时，所得结果及吻合程度极为接近，难以取舍，故将其作为取值范围一并列出。

③ 表中各字母所代指的开间参见图 5。

④ 本行中 8.25 和 6.25 是从测量位置和实测值本身出发的取整，8.4 和 6.1 是考虑大木构架设计规律后，依据柱头平面尺寸设定的取整。后表同。

位置	架道 1/6/ 山面	架道 2/5	架道 3/4	通进深
310 毫米 / 尺	8.21	6.28	6.65	42.3
取整	8.25	6	6.75	42
吻合系数 (%)	99.56	95.30	98.58	99.28
318 毫米 / 尺	8.01	6.12	6.49	41.24
取整	8	6	6.5	41
吻合系数 (%)	99.91	97.93	99.79	99.42
319 毫米 / 尺	7.98	6.11	6.47	41.11
取整	8	6	6.5	41
吻合系数 (%)	99.78	98.25	99.48	99.74

表 22 毗卢殿山面斗拱间距实测值及尺寸校验

位置	补间 - 转角				补间 - 柱头			
	东 1- 东 2	东 6- 东 7	西 1- 西 2	西 6- 西 7	东 2- 东 3	东 5- 东 6	西 2- 西 3	西 5- 西 6
均值 (毫米)	2528	2548.7	2538	2531	1907.3	1924.5	1914.3	1922.5
总均值	2537.2				1917.8			
306 毫米 / 尺	8.29				6.27			
取整	8.25/8.4				6.25/6.1			
吻合系数 (%)	99.5/98.71				99.72/97.26			
310 毫米 / 尺	8.18				6.18			
取整	8.25				6			
吻合系数 (%)	99.21				96.93			
318 毫米 / 尺	7.98				6.03			
取整	8				6			
吻合系数 (%)	99.73				99.49			
319 毫米 / 尺	7.95				6.01			
取整	8				6			
吻合系数 (%)	99.42				99.8			

### 3.2 由斗拱尺寸出发的营造尺推算

#### 1. 材分° 设定

斗拱设计中不仅可能受到营造尺的影响,更有可能受到材分° 制的约束。前文已述及斗拱材截面中,足材广:单材广略大于 7:5、单材广:材厚约为 3:2,即基本满足材厚为 10 分°、单材广为 15 分° 的设计规律,足材广则略大于 21 分°。

用平面尺寸校验中筛选出的两种营造尺长分别校验斗

拱材截面尺寸。当每尺取 310 毫米时,材厚约 3.9 寸,单材广为 6 寸,足材广约 8.5 寸,每分° 约合 0.4 寸;当每尺取 318~319 毫米时,材厚约 3.8 寸,单材广约 5.8 寸,足材广约 8.3 寸,每分° 约合 0.38 寸。从分° 值和材截面尺度的简洁性来看,以 310 毫米作为营造尺长更为合理。

此外,通过手工测量可知,前檐普拍枋厚度约为 185 毫米,栌斗平+欹高度约为 135 毫米,檁风榑下替木高度约为 130 毫米,则铺作总高约为 1239 毫米。以前述两种营造尺长分别校核,当每尺取 310 毫米时,铺作总高约为 4

① 本行中 8.25 和 6.25 是从测量位置和实测值本身出发的取整,8.4 和 6.1 是考虑大木构架设计规律后,依据柱头平面尺寸设定的取整。后表同。

尺；当每尺取 318~319 毫米时，铺作总高约为 3.9 尺。从整体立面设计简洁性的角度考虑，亦是斗拱处所用营造尺定为 310 毫米更为合适。

由此将分° 值校正为尺长为 310 毫米时的 0.4 寸，即 12.4 毫米。则材厚 10 分° 为 124 毫米，单材广 15 分° 为 186 毫米；足材广若取 21 分° 为 260.4 毫米，与实测值存在 3 毫米左右的偏差，可能是由于点云测量的误差及构件自身变形所导致，也有可能是为了实现铺作总高而对足材广进行了细微调整。

## 2. 出跳与构件尺寸

按每分° 12.4 毫米进行折算，内檐斗拱出跳为 25 分° ，

恰为 1 尺。外檐斗拱第一跳出 31 分° ，第二跳出 25 分° ，总出跳为 56 分° ，约合 2.25 尺（表 23）。以此反观前文架道丈尺，当以 310 毫米为营造尺折算时，檐柱心至金柱心的距离为 8.25 尺，略显奇零，加入斗拱出跳后得到撩风榑至下平榑的距离为 10.5 尺，则是较为规整的尺寸，而这种化零为整的步架设计在山西地区亦属常见做法。

此外，虽然 318~319 毫米长度的营造尺在分° 值设定上不甚合理，但若用其直接校验出跳值，仍能得到比较规整的数值。

用此分° 值校验构件尺寸。外檐栌斗广约为 30 分° ；昂真高为 15 分° ，其截面恰好为一单材；华拱长 76 分° ，

表 23 斗拱出跳值校验

	外檐头跳	外檐二跳	外檐总出跳	内檐
均值（毫米）	380.4	318.2	698.6	311
12.4 毫米 / 分°	30.68	25.66	56.34	25.08
取整	31	25	56	25
吻合系数（%）	98.96	97.35	99.4	99.68
310 毫米 / 尺	1.23	1.03	2.25	1
取整	1.25	1	2.25	1
吻合系数（%）	98.17	97.35	99.84	99.68
319 毫米 / 尺	1.19	1	2.19	0.97
取整	1.2	1	2.2	1
吻合系数（%）	99.37	99.75	99.54	97.49

泥道拱和瓜拱长 64 分° ，泥道慢拱和慢拱长 96 分°<sup>①</sup>，令拱长 72 分° （表 24）；抹斜拱只的总长较相应拱只长出 18 分° ，每侧各抹斜 7 分° （表 25）。

若折算为丈尺，每尺取 310 毫米时斗拱各构件更易取

得整尺寸。例如，栌斗看面宽为 1.2 尺，华拱全长可取整为 3 尺，抹斜瓜拱、慢拱、令拱的外缘长度依次可取整为 2.7 尺、4 尺、3 尺等。

表 24 毗卢殿外檐斗拱构件分° 值校验

	栌斗	昂真高	华拱 (泥道起算)	华拱 (全长)	泥道拱	瓜拱	泥道慢拱	慢拱	令拱
均值（毫米）	372.6	186	408.8	937.5	794.4	789.7	1201.7	1199.7	888.9
均值 2					792.8		1200.8		
12.4 毫米 / 分°	30.05	15	32.97	75.6	63.94		96.84		71.69
取整	30	15	33	76	64		96/98		72
吻合系数（%）	99.84	100	99.9	99.48	99.9		99.13/98.92		99.56
310 毫米 / 尺	1.2	0.6	1.32	3.02	2.56		3.87		2.87
319 毫米 / 尺	1.17	0.58	1.28	2.94	2.49		3.76		2.79

① 就测值而言 96 分° 与 98 分° 两种取值均合理，考虑到其与抹斜拱只的差值关系，选 96 分° 更优。

表 25 抹斜拱只长度统计及尺寸校验

(单位:毫米)

位置	瓜拱		慢拱		令拱		抹斜		
	外缘	内缘	外缘	内缘	外缘	内缘	瓜拱	慢拱	令拱
均值	840.9	1003.4	1244	1409.1	932.4	1103.5	172	173.6	172.3
12.4 毫米 / 分°	67.82	80.92	100.32	113.64	75.19	88.99	13.93 (按总均值 172.7 计算)		
取整	68	82	100	114	76	90	14		
吻合系数 (%)	99.74	98.68	99.68	99.68	98.93	98.88	99.5		
310 毫米 / 尺	2.71	3.24	4.01	4.55	3.01	3.56	0.56		
319 毫米 / 尺	2.64	3.15	3.9	4.42	2.92	3.46	0.54		

### 3.3 小结

综上,毗卢殿的现状尺寸中反映出了两种不同长度的营造尺,即 310 毫米和 318~319 毫米。前者主要应用于斗拱构件中,后者则可以使平面、架道等处尺寸更为简明;而在斗拱出跳、檐道架道平长等同时关系到斗拱和架道设计的数据上,两种营造尺均可给出合理解释。同时,310 毫米左右长度的营造尺在山西地区的金、元建筑中较为常见,318~319 毫米的尺长则与明清官尺的长度接近。

结合斗拱昂尾处明显的修缮痕迹,是否可以推断这两种营造尺分别对应了不同年代的营缮活动呢?

## 4. 毗卢殿营建年代讨论

### 4.1 史料所见香严寺毗卢殿的营建年代

目前关于香严寺营建历史的记载,主要见于方志和寺中碑刻。

据《香严寺重修石陵记》,“香严寺在州治青龙里,世传唐贞观中,尉迟敬德奉命督造。”“贞元年间唐德宗赐‘香严’,改旧名‘阁则寺’。”<sup>①</sup>金正隆、大定年间(1156—1170)曾重修<sup>②</sup>。

而据明成化十一年(1475)《山西通志》刻本卷五记载,香严寺“在石州<sup>③</sup>西六十里青龙村,元建。”说明元代应有大规模的修缮活动。元大德七年(1303)太原路、平阳路发生大规模地震,石州亦受到波及<sup>④</sup>。大雄宝殿西墙中曾发

现记有“大德九年七月十一日表墙修造”的方砖<sup>[1]10-11</sup>,此次营建恰好发生在地震之后,很有可能是因地震造成殿宇坍塌,故在原址上进行重建。毗卢殿位于寺院北端,背靠山体,更易遭到破坏,或许与大雄宝殿一同被毁并重建。

明宣德九年(1434),“本境青龙镇善人高增、郭才等遇见原称寺名:香严院阁则寺。为因年深,时逢天雨淋漓,樑木朽坏,琉璃宝瓦,少缺无存。墙壁损塌,佛像光稀……投烦良工巧匠,倩募人力,日昼不悉,一载之间,寺貌重修鲜完,鞏玉从新,尽可美矣。”<sup>⑤</sup>大雄宝殿明间脊樑底部仍留有“大明国宣德九年七月十三日吉时”题记。正统四年至六年(1439—1441),重妆正殿佛像<sup>⑥</sup>;景泰三年(1452)重建寺后宝塔<sup>⑦</sup>;据天顺元年(1457)刊立的香严寺经幢记载,寺院“自唐宋迄今,世革兴废代有建。正殿巍巍,廊堂齐整。东有伽蓝殿,时深木朽,墙壁崩颓,无人修葺。至今景泰初,西雪山寺僧悟贤……于正殿西楹地下基,方五七丈许,于基中起建五楹四椽三间殿一座。”弘治十八年(1505)“鸠工造柜四龕,琅函六百,内而盛经,外而朱漆”<sup>⑧</sup>,用以藏储大藏经,藏经阁的建造或在此前后。嘉靖四十二年(1563)修复七佛殿,万历四十二年(1614)年重修藏经殿<sup>[1]</sup>;崇祯二年(1629)重修石陵<sup>⑨</sup>。

清康熙三十四年(1695)、光绪五年(1879)重修地藏十王殿<sup>⑩</sup>,光绪二十一年(1895)重修藏经殿,宣统三年(1911)重修天王殿<sup>⑪</sup>。

关于毗卢殿建造年代的直接记载仅见于殿内题记。其脊樑下串的底面有墨书题记:“时大明正统拾一年岁次丙寅叁月建壬辰初一日戊辰朔越十七日甲申辛未吉时起建大

① 据清嘉庆十六年(1811)版《永宁州志》。

② 清乾隆三十六年(1771)《汾州府志》刻本卷二十四:“香严寺在永宁州西六十里,唐贞元中勅赐额,金正隆大定间重修,有碑。”光绪七年(1881)《永宁州志》刻本(以康熙四十一年(1702)本为底本)卷十一:“香严寺在州治西六十里,唐贞元中勅赐额,金正隆大定间重修,有碑。”

③ 据光绪七年《永宁州志》“卷三 沿革”,今柳林所在地区自唐乾元年间起称石州,明代初年州治在离石,辖宁乡县,隶太原府,属冀宁道;隆庆元年,太原府同知奏请更名为永宁;万历二十三年(1595),永宁改隶汾州府。

④ 据《默庵集》卷三记载,石州新修庙学“以癸卯地震之变而止”。

⑤ 据《重修香严院碑记》,碑刻现存于香严寺中。

⑥ 据《香严禅院重妆口碑记》,碑刻现存于香严寺中。

⑦ 据《重建千佛宝塔缘记》,碑刻散佚,碑文著录于《三晋石刻大全·吕梁市柳林县卷》中。

⑧ 据《香严寺讲经法主住持信公无疑临终遗嘱印取大藏宗经记》,碑刻现存于香严寺中。

⑨ 据《香严寺重修石陵记》,碑刻现存于香严寺中。

⑩ 据《重修地藏十王碑记》与《石佛塔龙泉井石碣》,碑刻现存于香严寺中。

⑪ 据《重修天王殿碑》,碑刻现存于香严寺中。



图9 毗卢殿脊檩下串底面墨书题记(局部)  
(侯欣江 摄)

毗卢殿修造沙门正永<sup>①</sup>本院书梁僧祖整谨志”(图9),东四椽椽底面有“石州奉直大夫知州胡”<sup>②</sup>字样,证明其梁架为明正统年间(1436—1439)遗迹。另有学者研究认为,正统十一年至十四年(1446—1449)曾修缮毗卢殿,换绿琉璃瓦<sup>[1]10-11</sup>。其他史料中尚未发现关于毗卢殿营缮的直接记载,仅有两条史料可以作为其建成年代的佐证。其一,明景泰三年(1452)《重建千佛宝塔缘记》中有“盖闻本州古刹香严禅院,东有毗卢殿下龙泉之水,南观广济明山之寺,……上有祖师之□□,下有千佛宝塔”,说明景泰时毗卢殿早已建成。其二,清康熙三十四年(1695)《重修地藏十王碑记》中有“毗卢阁、大雄殿亦稍陵夷矣,今兹不葺,行将大坏”,结合建筑现状判断,毗卢殿在清康熙之后必定有过修缮活动,具体信息不详。

综上,毗卢殿的始建年代存疑,首次营建或许在元代;殿内现存上架大木结构为明代遗迹则确凿无疑。

## 4.2 基于相似案例比较的斗拱年代推测

毗卢殿斗拱做法独具特色,为五铺作重拱计心造(图10a),部分斗拱用真昂,昂尾上彻下平搏且下平搏处为两搏并置的形式,昂尾上目前安置蜀柱,但根据加工痕迹判断,原本应使用了襻间斗拱。

在距香严寺不足50公里的临县善庆寺大殿中采用了形制近似的斗拱(图10b)。善庆寺大殿为五开间悬山顶建筑,有前廊。据殿内题记载,善庆寺大殿的建造年代为“大朝至元六年己巳岁甲戌月……”,即公元1269年。就现存状况判断,应较好地保留了建筑原貌。其外檐斗拱为五

铺作重拱计心造,每间各设补间铺作一朵,用真昂,昂尾处设襻间斗拱上彻下平搏,昂尾随后收束,并未延伸至泥道处;同时金柱上方设内檐斗拱,为五铺作偷心造,下平搏即位于外跳第二跳之上。外檐斗拱外跳多用抹斜的横拱,内跳横拱则不抹斜。以上种种特征均与香严寺毗卢殿斗拱具有很高的相似性。

此外,在中国营造学社的调查记录<sup>[3]19-22</sup>中也存在着形制类似的斗拱。原位于汾阳市大相村的崇胜寺,与柳林香严寺的直线距离不足90公里。其正殿又名毗卢殿,为五开间硬山顶建筑,有前廊,前檐用五铺作重拱计心造斗拱,横拱抹斜。补间铺作在每间各设一朵,用真昂,昂尾上彻下平搏,且其所彻下平搏位于内柱柱心分位之外,昂尾也在到达内柱分位前被截断。根据留存的照片(图10c),暂无法判断崇胜寺是否使用了两根并置的下平搏<sup>③</sup>,也不知其是否使用了内檐斗拱,但在内柱上露出的梁头上则确实看到了隐刻的华拱及出跳的瓜拱和替木,说明照片中可见的下平搏是按位于内柱柱心外侧一跳的距离进行设计的,以上特点均与香严寺毗卢殿斗拱的特征相吻合。在学社的调查记录中,崇胜寺的中轴线上依次分布六座建筑:山门、天王门、天王殿、前殿、正殿(毗卢殿)和后殿(七佛殿)。根据当时寺中所存的弘治元年(1488)碑记载,元延祐四年(1317)建“后殿”,明宣德庚戌(即宣德五年,1430年)建“中殿”,成化乙未(即成化十一年,1475年)建天王殿。寺中另有《增修崇胜寺记》记载了“创建七佛殿七间……以万历十二年动工,至二十年落成<sup>④</sup>”,可知现存的后殿建造于弘治元年刻碑之后,则碑中记载的“后殿”仅指当时的最后一座殿宇,七佛殿建成后其被改称为“正殿”,即毗卢殿,其创建年代为元延祐四年(1317)。

既已发现在空间上与香严寺毗卢殿如此接近、且斗拱形制高度相似的两座大殿均建于元代,那么香严寺斗拱的建造年代应与之相去不远,至少仍然保留了元构的特征。

## 5 结语

香严寺毗卢殿在建筑形制、构造细节、大木尺度上均存在复杂性与矛盾性,这背后反映的是殿宇建造年代的复杂性。据文献史料记载,香严寺毗卢殿的梁架结构为明正统年间遗迹,殿身整体结构很可能在同期发生了较为明显的改变;但通过与相似案例的比较,判断其斗拱带有明显的元代构造特征。同时,在斗拱后尾与梁架交接处发现了明显的修缮痕迹,说明斗拱与梁架并非同一次设计及建造活动的产物,二者间存在割裂感。

这一矛盾性和割裂感在毗卢殿大木尺度设计中有明确的体现。经分析,毗卢殿的大木尺度设计运用了两套营造尺,分别是310毫米和318~319毫米。

310毫米长的营造尺主要应用于斗拱构件及其出跳尺寸

① “禅僧正永”名亦见载于明宣德九年(1434)《重修香严院碑记》中。

② 据光绪七年《永宁州志》“卷十五 职官”记载,“胡顺,零陵人,正统中知州事”,且历任永宁知州中惟此一人姓胡。

③ 《晋汾古建筑预查纪略》原文为“昂尾斜上,以承上一缝搏。”

④ 即建造于1584—1592年间。



a) 香严寺毗卢殿外檐斗拱

(左: 赵萨日娜 摄; 右: 赵寿堂 摄)



b) 善庆寺大殿外檐斗拱

(赵萨日娜 摄)



c) 崇胜寺正殿外檐斗拱

(林徽因, 梁思成《晋汾古建筑预查纪略》图版四)

图 10 香严寺毗卢殿外檐斗拱与相似案例对比

的设计中。毗卢殿斗拱采用了“以材为祖”的材分°制设计，每分°为12.4毫米，合0.4寸；标准材厚10分°，单材广15分°，足材广21分°强；外檐斗拱共出两跳，头跳出31分°，二跳25分°，二者合计56分°，折2.25尺；铺作总高折4尺整。此外已有研究表明，香严寺大雄宝殿所用营造尺为310~311毫米，斗拱和平立面的用尺一致，结合对大雄宝殿营缮年代的梳理及建筑保存状况判定，这一尺长很可能是其在金元时期建造时所用的营造尺。<sup>[4]509</sup>毗卢殿斗拱在营造尺应用和形制设计中均体现出早期特征，说明其确实存在创建于元代的可能性，时至今日，其斗拱仍保留了始建时的原状。

318~319毫米长的营造尺则主要用于平面和架道设计中。按这一尺寸推算，毗卢殿前檐各开间的面阔均为12尺，建筑后半部分当心间面阔18尺，次间13尺，稍间8尺；进深方向上当心间深13尺，次间14尺，廊深8尺；檐部、金步、脊步架道平长依次为8尺、6尺、6.5尺。而当以310毫米的尺长校验平面和架道尺寸时，无一处使用整尺，不符合简化设计的常理，因此基本可以确信毗卢殿

的梁架在后期经历了重新设计，且在这次设计营建中，换用了一把新的营造尺。318~319毫米的尺长与明清官尺尺寸极为接近，应是对应正统年间的营建活动。至于毗卢殿的平面是在此次修缮中调整为现状布局，还是在其建造初期便已基于像设考虑进行了灵活布局，仍有待进一步讨论。

这次结构调整的具体范围虽然尚不明确，但毫无疑问的是，毗卢殿早期建造时的斗拱被保留了下来，虽然昂尾的部分构件遭到替换，仍在很大程度上保存了原貌，成为暗示毗卢殿建造年代之复杂性的重要线索。

囿于测绘条件及技术手段的局限，本文对香严寺毗卢殿大木尺度和营缮历史的解读仍存在许多未竟之处。如果日后有机会引入碳十四测年等手段对毗卢殿进行勘测分析，或许将为其建造年代和营造用尺的判定打开新的局面。

（向北京国文琰文化遗产保护中心蔡孟璇、中国矿业大学姜铮、清华大学建筑学院侯欣江以及2021年参与香严寺测绘的同学们致以感谢。）

## 参考文献

- [1] 乔云飞. 柳林香严寺: 研究与修缮报告 [M]. 北京: 文物出版社, 2013.
- [2] 展海强. 山西柳林香严寺保护与修缮初探 [D]. 太原: 太原理工大学, 2003.
- [3] 林徽因, 梁思成. 晋汾古建筑预查纪略 [J]. 中国营造学社汇刊, 1935, 5 (3): 12-67.
- [4] 赵寿堂. 晋中南地区宋金下昂造斗拱尺度解读与匠作示踪 [D]. 北京: 清华大学, 2021.
- [5] 高继平. 三晋石刻大全: 吕梁市柳林县卷 [M]. 太原: 三晋出版社, 2013.
- [6] 刘畅, 孙闯. 少林寺初祖庵实测数据解读 [M]// 王贵祥, 贺从容. 中国建筑史论汇刊: 第1辑. 北京: 清华大学出版社, 2009: 129-157.
- [7] 刘畅, 刘梦雨. 平遥镇国寺天王殿大木结构解读 [M]// 贾琚. 建筑史: 第29辑. 北京: 清华大学出版社, 2012: 1-14.
- [8] 姜铮. 山西省长子县崇庆寺千佛殿实测尺度与设计技术分析 [M]// 贾琚. 建筑史: 第41辑. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018: 53-78.
- [9] 赵寿堂, 徐扬, 刘畅. 算法基因——山西高平两座戏台之大木尺度对比研究 [M]// 贾琚. 建筑史: 第42辑. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018: 47-69.