

南禅寺大殿重建背景、材分营造制度分析及建筑像设空间布局研究

Historical Context of Reconstruction, Modular Design System, and Statue Arrangement of Nanchansi Main Hall

张 荣 王一臻 王 麒 李玉敏

ZHANG Rong, WANG Yizhen, WANG Qi, LI Yumin

摘 要：南禅寺大殿是我国现存最早的唐代木结构古建筑。文章梳理分析了唐建中三年南禅寺大殿建筑与像设重建的历史、政治、文化背景。笔者团队对南禅寺大殿建筑、像设进行了全面而精确的数字化测绘勘察。通过解读南禅寺大殿建筑的实测数据，发现了南禅寺大殿斗拱单材、足材材厚不同的做法，推断出南禅寺大殿的材分、营造尺以及建筑的营造模数和建造逻辑。本文同时对大殿建筑、像设的空间布局进行了测量分析，提出基于视线控制的唐代佛殿建筑像设布局之“高三距五猜想”。在对比南禅寺大殿和佛光寺东大殿后，本文最终对中晚唐时期佛殿建筑像设营造逻辑与南禅寺大殿的价值进行了总结。

关键词：南禅寺大殿；材分；营造尺；像设；高三距五猜想

【文章编号】2096-9368 (2022) 02-0005-19

【中图分类号】TU-092.1/7

【文献标识码】A

【修改日期】2022-03-18

【作者简介】

张荣，北京国文琰文化遗产保护中心有限公司高级工程师，清华大学建筑学院博士研究生，主要从事古建筑和石窟寺保护与研究。

王一臻，北京国文琰文化遗产保护中心有限公司工程师，硕士，主要从事古建筑保护与研究。

王麒，北京国文琰文化遗产保护中心有限公司高级工程师，硕士，主要从事古建筑和石窟寺保护与研究。

李玉敏，北京国文琰文化遗产保护中心有限公司高级工程师，硕士，主要从事文物数字化测绘研究。

Abstract: The main hall of Nanchansi is the earliest extant wooden structure in China. This article analyzes the origin of the monastery's name, given during the rebuilding in 782 (Tang dynasty), and the historical, political, and cultural background of the statues installed inside the hall. Furthermore, through analysis of the data obtained through digital survey, the article identifies the *dancai* and *zucai* of *dougong*, and elaborates how the carpenters defined these standard units (material division; construction ruler, module, and logic). Then, the article presents a survey of the spatial layout of the hall and its statues, and suggests that the builders used the design pattern of “three-times the height, five-times the distance”. Finally, through comparison with the second Buddhist monastery that has survived from the Tang dynasty on Mount Wutai (Foguangsi), the article concludes that the designs of the two monasteries' main halls can be correlated with each other. This will not only help to demonstrate the significance of the main hall of Nanchansi but also of the statues in a mid- and late-Tang Buddhist monastery.

Keywords: Nanchansi main hall; *cai-fen* system; construction ruler (*chi*); statues; three-times the height, five-times the distance

1 南禅寺大殿保护研究概述

南禅寺位于山西省忻州市五台县东冶镇阳白乡李家庄西侧的土岗上，四周群山环绕。寺院坐北朝南，由正院、

东跨院及后院组成。南禅寺大殿面阔进深各三间，平面近正方形，单檐歇山顶，举折平缓。殿内佛坛上现存 14 尊唐代彩塑（原有 17 尊），整组雕塑场面宏大，造型精美。

1953 年，山西省文物管理委员会上报南禅寺大殿可能

为唐代建筑,经过著名文物保护专家陈明达、杜仙洲、祁英涛等实地考察,确认该建筑为我国最古老的唐代木结构建筑。^[1]

1961年南禅寺大殿被国务院公布为第一批全国重点文物保护单位。

1966年邢台地震后,南禅寺大殿梁架歪闪,檐头前倾,木构件脱榫劈裂尤为严重,保护状况十分严峻。1972年根据国务院《关于云冈石窟等三项全国重点文物保护单位急需抢修保护问题的批复》精神,山西省文物工作委员会组织力量,由祁英涛主持方案设计、柴泽俊负责工程实施。1973年8月完成维修方案设计。施工前(1972年)还对大殿台明进行了发掘清理。1974年8月开始施工,1975年8月工程告竣。南禅寺大殿大部分大木结构构件得到了保留,其大木构造及尺度基本未发生变化,仍保留了始建特征和大部分的历史信息。大殿建筑、像设尺度与空间关系未发生改变。对于此次修缮,祁英涛和柴泽俊《南禅寺大殿修复》^[2]、柴泽俊《南禅寺大殿修缮工程竣工技术报告》^[3]有详尽的记录(图1~图3)。

后继学者根据测绘成果对南禅寺大殿形制做法、材分尺度开展了研究。如傅熹年在《日本飞鸟、奈良时期建筑中所反映出的中国南北朝、隋唐建筑特点》^[4]中绘制了南禅寺大殿材分图,在《中国早期佛教建筑布局演变及殿内像设的布置》^[5]中提出了南禅寺大殿、佛光寺东大殿像设布局与视线的关系。张十庆在《古代建筑的尺度构成探析(一)——唐代建筑的尺度构成及其比较》^[6]中提出了南禅寺大殿的营造尺推测。吴锐在《古建筑营造尺度真值复原研究刍议》^[7]中提出了古建筑理论中营造尺度系统的研究方法。张志兰《从南禅寺屋角部分做法分析其它的屋角部分的发展演变》^[8]、段智钧《南禅寺大殿大木结构用尺与用材新探》^[9]从南禅寺修缮实测数据出发,根据柱头平面、梁架间距、用砖尺寸等推算营造尺可能为300毫米。

多位学者还对南禅寺大殿的像设等进行了较为深入的研究,并比较了南禅寺大殿与佛光寺东大殿塑像艺术的异同。如赵云旗《论南禅寺的雕塑艺术》^[10]、谭树桐《敦煌唐塑和南禅寺彩塑艺术的比较研究》^[11]、负安志《中国古代建筑的瑰宝——南禅寺与佛光寺彩塑艺术分析》^[12]、李裕群《五台山南禅寺旧藏北魏金刚宝座石塔》^[13]、崔元和《五台山南禅寺唐代护国文殊与新样文殊造像解读》^[14]等。

2 南禅寺大殿始建历史背景分析

2.1 南禅寺始建历史分析

五台山原为神仙方士修行场所,被称为紫府,为“洞天福地”之一。东汉明帝时期,佛教开始传入中国。北魏时期五台山佛教及寺院建筑群达到了第一次繁荣,成为中国佛教圣地之一。隋唐两代,随着《华严经》的流行,文殊菩萨崇拜异常盛行,作为文殊菩萨道场的五台山成为全国佛教中心。

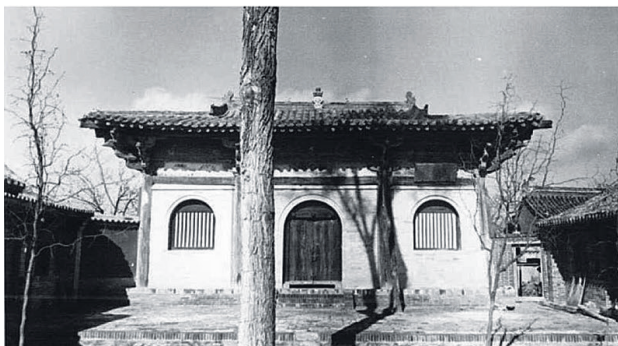


图1 南禅寺20世纪50年代照片

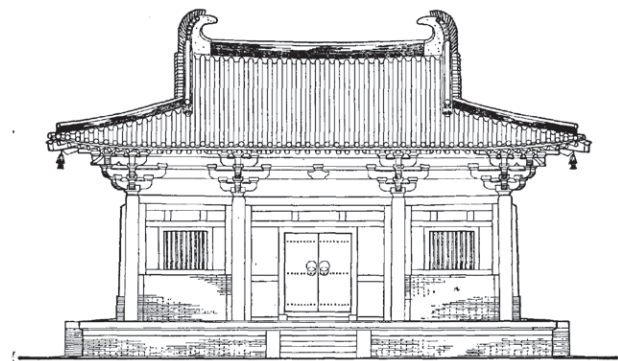


图2 南禅寺正立面设计图
(祁英涛、柴泽俊《南禅寺大殿修复》)



图3 南禅寺现状正立面照片
(王麒 摄)

从太原经石岭关、定襄县、东冶镇、五台县到达五台山,是唐代佛教信徒朝觐五台山的经典路线。日本僧人圆仁的《入唐求法巡礼行记》^{[15]304-310}记载了圆仁在唐开成五年(840)走这条路线的经历。南禅寺位于五台县东冶镇,处在从太原朝台的经典路线之上,南禅寺的始建以及历史上多次重建重修,应与这条朝圣路线密切相关。

南禅寺旧藏一座小佛塔^①,高51厘米,底边长26厘米。佛塔青石质,平面方形,五层仿木楼阁式,塔刹不存。塔体各层四角设方柱,阑额上施一跳华栱,承托各层塔檐。塔座四角各有一座覆钵形小佛塔,尚存三座,大塔居台座

① 该小佛塔于2012年被盗。

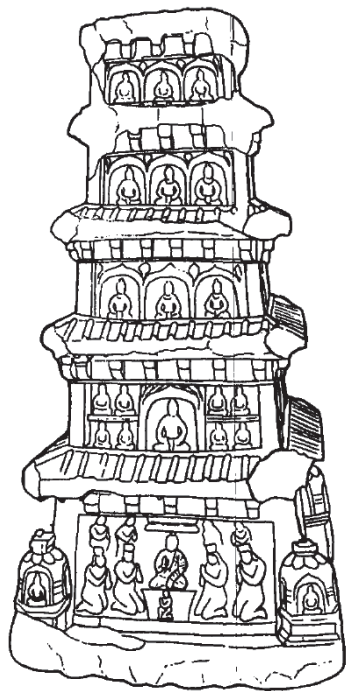


图4 南禅寺旧藏金刚宝座石塔线图
(李裕群《五台山南禅寺旧藏北魏金刚宝座石塔》)

中央，四角四座小塔，共同构成一座金刚宝座塔（图4）。

李裕群将南禅寺小佛塔与云冈第2窟中心塔柱的三层仿木结构佛塔、第6窟中心塔柱上层四角九层佛塔等进行对比研究，认为小佛塔雕造年代约为北魏孝文帝太和时期。^①由小塔的时代推测南禅寺寺院的最初兴建应与北魏孝文帝时期五台山佛教兴起密切相关，其始建年代可能不晚于5世纪末期。

南禅寺大殿西侧四椽檐下墨书题记曰：“因旧名耆大唐建中三年岁次壬戌月居戌申丙寅朔庚午日癸未时重修殿法显等谨志”。根据该题记，学界公认南禅寺大殿重建于唐建中三年（782）。大殿重建为“安史之乱”（755—763年）之后。唐代宗广德元年（763），吐蕃攻陷长安，唐代宗命郭子仪收复长安。《清凉山志》卷四“第五帝王崇建”记载：“代宗广德元年十一月，土蕃攻陷京师，帝在华阴，文殊现形，以狄语授帝。及郭子仪克复京师，驾还长安，诏修五台山文殊殿。铸铜为瓦，造文殊像，高一丈六尺，镀金为饰。”^②受到文殊显圣的影响，唐代宗下令在五台山广建供养文殊菩萨的庙宇。在该历史背景下，临近五台山并位于朝觐要道附近的南禅寺大殿得以重建。

2.2 “新样文殊”造像分析

南禅寺大殿佛坛上彩塑共17尊（现存14尊），供奉的主尊造像为华严三圣，是盛唐最为流行的崇拜偶像。主尊为释迦牟尼佛的法身像——毗卢遮那佛，身旁两弟子、两胁侍

菩萨，身前两尊莲座上各有一供养菩萨。右侧文殊菩萨造像为我国现存最早的“新样文殊”塑像组合^③，左侧为普贤菩萨造像。佛坛左右两端各有天王像一尊。南禅寺大殿佛坛上，文殊菩萨前的驭狮者^④与普贤菩萨身前驭狮者的形象完全不同。普贤菩萨驭狮者黑面卷发上半身裸露，为典型的黑人奴隶——昆仑奴的形象；而文殊菩萨驭狮者为头戴凤帽、足踏长靴、腰系战袍的胡人形象，该形象为于阗王。于阗王为唐代镇守西域要员，是参与唐王朝抗击吐蕃攻掠和平定内乱的关键人物。“上元初，亲率子弟首领七十人来朝。击吐蕃有功，帝以其地为毗沙都督府，析十州，授伏雄都督。”^⑤

南禅寺文殊菩萨上身内着贴体交领内衣，外着螺旋纹胸甲和腹甲，胸腹间系丁字形甲绊，表情严肃刚毅，与普贤菩萨及其他四尊胁侍菩萨外形柔美身着袈裟璎珞的装束完全不同。这尊文殊为“护国文殊”造型，代表着护国破敌之意。这与前文所说唐代宗在华阴遇见文殊显形，其后郭子仪复克长安密切相关。唐代宗时期文殊信仰具有降敌破阵护国救民的涵义。

这尊护国文殊与于阗王、童子、胁侍共同组成的“新样文殊”，正是安史之乱平定之后，唐代宗大力推行文殊信仰最重要的实物例证。“新样文殊”组合在佛光寺东大殿的塑像和敦煌莫高窟的壁画、印经中都有实物遗存（图5）。

同位于五台山地区的唐代建筑佛光寺东大殿主佛坛上共有唐代彩塑34尊，中间三尊主佛分别为阿弥陀佛、释迦牟尼佛、弥勒佛。释迦牟尼佛身旁两弟子、两胁侍菩萨，身前



图5 敦煌莫高窟220窟新样文殊壁画
(数字敦煌 <https://www.e-dunhuang.com/>)

① “从南禅寺塔中的佛像造型看，造像体型丰壮，身着袒右式袈裟或者通肩袈裟，在云冈石窟中属于第二期佛像的旧样式，因此，南禅寺小塔的雕刻年代也应大体相同。从上述几个方面考察，我们初步推断南禅寺小塔的雕造年代约在北魏迁洛前的孝文帝太和时期，即公元477—494年间。”参见李裕群《五台山南禅寺旧藏北魏金刚宝座石塔》，第87页。

② 参见释镇澄修、释阿王老藏重修《清凉山志》卷第四，“第五帝王崇建篇”，中华民国刻本，中国国家图书馆古籍馆藏。

③ “目前，学术界比较认可的‘新样文殊’典型标志，是作为文殊眷属之一的驭狮者，由原来的昆仑奴换作于阗王。”参见赵云旗《论南禅寺的雕塑艺术》，第14~18页。

④ 该塑像与两尊莲台上的供养菩萨像于1999年被盗。

⑤ 参见《新唐书》卷二百二十一上，列传第一百四十六上，西域上，“于阗”。

两尊莲座上各有一供养菩萨。阿弥陀佛和弥勒佛两弟子改为两胁侍菩萨,即共四尊胁侍菩萨,其余配置与释迦牟尼佛完全一致。三尊主佛右边为骑狮的文殊菩萨,左边为骑象的普贤菩萨,文殊普贤各有胁侍菩萨两名,驭狮者、童子各一名。佛坛左右两端各有天王像一尊。普贤菩萨身旁还有供养人像一尊。东大殿文殊菩萨身着盔甲装束,且身前的驭狮者也是胡人装束的于阗王,亦为典型的“新样文殊”(图6)。^{[17]36-37}

南禅寺大殿像设共分为三组,佛光寺东大殿像设共分为五组,南禅寺大殿正中的主佛及胁侍塑像与佛光寺东大殿明间主佛及胁侍塑像的身份、造型、数量、位置完全相同。南禅寺大殿左右两组文殊、普贤菩萨塑像与佛光寺东

大殿左右两端两组塑像的主题、造型、数量、位置也基本相同,只是由于空间所限,南禅寺大殿文殊、普贤菩萨各少一尊胁侍菩萨像。南禅寺大殿塑像与佛光寺东大殿塑像的姿态、衣饰、璎珞、头冠的造型也非常相似,尤其是后期重妆改动较少的胁侍菩萨(图7)。

唐建中三年(782),在五台山区域重建的南禅寺大殿及殿内的“新样文殊”塑像,代表着中唐时期安史之乱之后五台山地区文殊信仰的盛行。唐大中十一年(857)建造的佛光寺东大殿主佛坛像设,尤其是“新样文殊”组合应该同样受到该历史背景影响,甚至有可能直接参考了南禅寺大殿的像设主题与组合。



图6 佛光寺东大殿主佛坛点云图
(笔者团队采集)



图7 南禅寺大殿主佛坛点云图
(笔者团队采集)

3 南禅寺大殿始建材分、营造尺与营造做法分析

3.1 南禅寺大殿建筑测绘精度与研究不确定性分析

研究团队对南禅寺大殿建筑、像设及其他文物建筑与周边环境均采用航空倾斜摄影测量、三维扫描以及数字近景摄影测量相结合的数字化方法进行勘察记录。为大殿材

分与营造尺分析提供了基础数据。

南禅寺大殿三维点云点密度2毫米,单点精度为0.3毫米,随着拼接增多误差累计,整体点云的误差不大于3毫米。对于南禅寺大殿材分分析的重要构件,如铺作材厚、材高等数据,采用游标卡尺进行手工测绘,测绘精度控制在0.1毫米。

由于南禅寺大殿历史上经过多次修缮,特别是20世纪

70年代的修缮工程又对其有较大改变，因此部分原始尺度推算上可能存在较大不确定因素。

大殿存在两种柱子，西山面三根方柱，其余为圆柱，做法差别较大，应该不是同一时期的构件。柱子的差别使得柱径甚至柱高、生起的推测都存在不确定性。

修缮工程前大殿檐椽较短，出檐很小，显然不是唐代重建时的样貌。复原工程根据台明距离、檐出与柱高关系将其复原为234厘米，但也存在较大推测成分，因此本文的研究也无法将其作为檐出设计复原的有效参考。

修缮工程进行了落架大修，还拆除脊檩下的驼峰、短柱、大斗，仅保留大叉手，这些措施很有可能对屋架结构产生影响，改变了原有尺寸，本文中按照现状数据推测的举屋高度、下折高度等也就存在了不确定性因素。

3.2 铺作实测数据分析与材分计算

《营造法式》中的材等制度将材高（足材高、单材高）和材厚作为建筑尺度的基本模数。根据以往研究，唐宋建筑大多遵从这一模数规律。南禅寺大殿为偷心造，且有扶壁泥墙，不便测量泥道拱厚度，可测量横拱的仅有令拱，不具有普遍参考性。因此本次研究的手工精细测量以结构性拱件——柱头铺作华拱为主，集中在材厚、足材高等数值。铺作位置轴网编号见图8。

研究团队以游标卡尺手工测绘取得的57组大殿华拱材

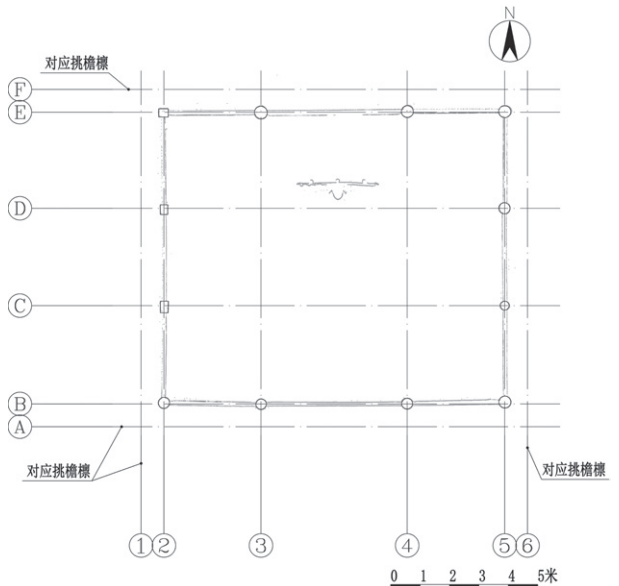


图8 南禅寺大殿测绘轴网分布
(王一臻 绘)

厚数据见表1。

将这些数据进行对比（表2），发现不同部位材厚大小存在差异。根据现场观察，可以看出南禅寺大殿的华拱做法分为单材和足材两种。柱头铺作第一跳、转角铺作的角华拱第一跳、明间柱头铺作第二跳为足材做法，其余华拱

表1 南禅寺大殿材厚统计表 (单位：毫米)

测量对象	材厚	足 / 单材	测量对象	材厚	足 / 单材
2-B 外一跳	172	单材	2-B 外二跳	161.8	单材
3-B 外一跳	176.64	足材	3-B 外二跳	181.14	足材
4-B 外一跳	184.26	足材	4-B 外二跳	187.34	足材
5-B 外一跳	170.6	单材	5-B 外二跳	169.82	单材
东南斜华拱外一跳	179.38	足材	东南斜华拱外二跳	151.18	单材
B-5 外一跳	171.38	单材	B-5 外二跳	152.78	单材
C-5 外一跳	184.72	足材	C-5 外二跳	165.1	单材
D-5 外一跳	190.24	足材	D-5 外二跳	168	单材
E-5 外一跳	163.02	单材	E-5 外二跳	151.76	单材
东北斜华拱外一跳	181.58	足材	东北斜华拱外二跳	161.64	单材
5-E 外一跳	162.2	单材	5-E 外二跳	171.44	单材
4-E 外一跳	169.66	足材	4-E 外二跳	185.68	足材
3-E 外一跳	177.76	足材	3-E 外二跳	175.78	足材
2-E 外一跳	165.18	单材	2-E 外二跳	158.74	单材
西北斜华拱外一跳	173.34	足材	西北斜华拱外二跳	163.6	单材
E-2 外一跳	166.46	单材	E-2 外二跳	158.36	单材
D-2 外一跳	179.38	足材	D-2 外二跳	165.62	单材

测量对象	材厚	足 / 单材	测量对象	材厚	足 / 单材
C-2 外一跳	188.14	足材	C-2 外二跳	141.62	单材
B-2 外一跳	171.08	单材	B-2 外二跳	153.28	单材
西南斜华拱外一跳	169.76	足材	西南斜华拱外二跳	161	单材
3-B 内一跳	186.08	足材	3-B 内二跳	现场条件限制未测量	
4-B 内一跳	187.46	足材	4-B 内一跳	现场条件限制未测量	
东南斜华拱内一跳	185.24	足材	东南斜华拱内二跳	151.74	单材
C-5 内一跳	187.56	足材	C-5 内二跳	171.44	单材
东北斜华拱内一跳	182.06	足材	东北斜华拱内二跳	170.54	单材
4-E 内一跳	171.48	足材	4-E 内二跳	现场条件限制未测量	
3-E 内一跳	194	足材	3-E 内二跳	现场条件限制未测量	
西北斜华拱内一跳	179.74	足材	西北斜华拱内二跳	162.16	单材
D-2 内一跳	181.12	足材	D-2 内二跳	167.72	单材
C-2 内一跳	186.84	足材	C-2 内二跳	现场条件限制未测量	
西南斜华拱内一跳	180	足材	西南斜华拱内二跳	167.22	单材

表 2 南禅寺大殿材厚数据分组方差分析表

差异源	SS	df	MS	F	P-value	F crit
位置不同两组拱宽	5283.943	1	5283.943	98.12646	8.18E-11	4.182964
误差	1561.601	29	53.8483			
总计	8005.585	59				

注：如果 F 大于 F crit，表明有差异；若 P-value 大于 0.01，小于 0.05，表示差异显著；若 P-value 小于 0.01，则表示差异极显著。如果 F 小于 F crit，P-value 高于 0.05，则表示两组数据无差异。本次分析中，F=98.12646 远大于 F crit=4.182964；P-value=8.18E-11 远小于 0.01，说明两组数据差异极显著。

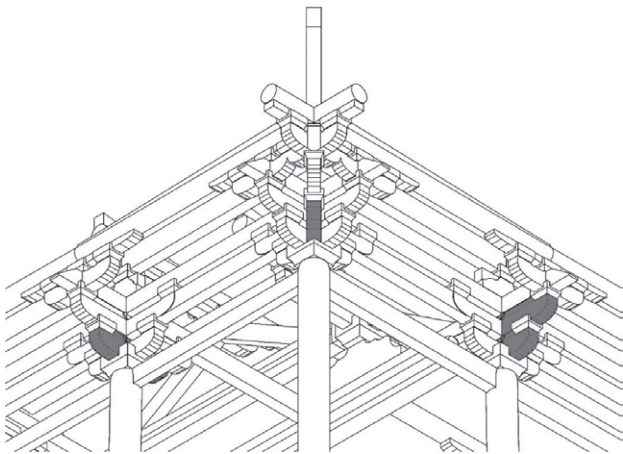


图 9 南禅寺大殿足材（标为红色）斗拱位置示意图（王一臻 绘）

为单材做法（图 9）。将足材华拱材厚的 27 组数据挑出，与剩余单材华拱材厚数据进行方差分析，发现两组数据之间存在显著差异，证明南禅寺大殿的足材和单材华拱在材厚上存在两种做法。

上述足材拱宽均值 181.72 毫米，其余位置单材拱宽均值 162.95 毫米，比值 1.115，约为 1.1，因此初步推测上述位置足材华拱材厚为 11 分°，其余单材华拱材厚为 10 分°。

此外手工测量了外檐柱头铺作的足材高数据，足材高均值为 345.36 毫米，与单材拱宽比值为 2.12，初步推测足材高为 21 分°（表 3）。

根据单材、足材两种不同材厚以及足材高比例，分别推测三者为 10 分°、11 分°、21 分°。为提高准确性，将数据导入 SPSS 软件中计算，发现三组数据均符合正态分布，之后求出排除异常值后的均值，从而得出三种可能分值（图 10）。

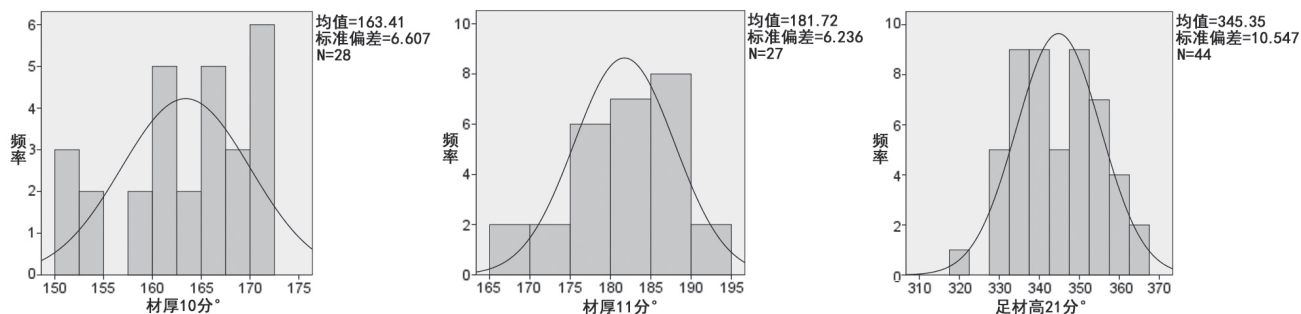


图 10 南禅寺大殿材分数据正态分布分析图

如图 10 所示, 材厚 10 分°、11 分°和足材高 21 分°三组数据排出异常值后的均值分别为 163.41 毫米、181.72 毫米、345.35 毫米, 得出的分值分别为 16.3 毫米/分°、16.5 毫米/分°、16.4 毫米/分°, 可以初步判断南禅寺大殿分值应在 16.3~16.5 毫米之间。

表 3 南禅寺大殿足材高统计表 (单位: 毫米)

测量对象	外一跳高	外二跳高	内一跳高	内二跳高
2-B	347.8	345	/	/
3-B	346.9	354.1	344.1	/
4-B	342.9	344.8	354.7	/
5-B	348.8	343.1	/	/
B-5	336.7	352.9	/	/
C-5	367.7	344.2	340.5	358
D-5	360.9	331.1	361.8	335.2
E-5	338.5	346.2	/	/
5-E	335.8	347.3	/	/
4-E	352.5	340.1	329.4	/
3-E	351.2	335.5	353.6	/
2-E	332.2	348.5	/	/
E-2	339.5	347.5	/	/
D-2	348.7	345.9	343.3	357.5
C-2	348.5	332.3	357.9	331.5
B-2	330.8	340.4	/	/

3.3 营造尺计算与材等分析

根据三维扫描切片测量得到平面开间、进深尺寸和柱高数据 (表 4~表 6)。

表 4 南禅寺大殿柱网进深尺寸表 (单位: 毫米)

进深	西次间西缝	明间西缝	明间东缝	东次间东缝
第一进	3265.1	/	/	3283
第二进	3315.7	/	/	3314.8
第三进	3294.4	/	/	3289.5
通进深	9875.3	9927.4	9941.6	9887.4

表 5 南禅寺大殿柱网开间尺寸表 (单位: 毫米)

位置	西次间	明间	东次间	通面阔
B 柱列	3304.7	4964.8	3322.7	11591.1
C 柱列	/	/	/	11575.7
D 柱列	/	/	/	11576.8
E 柱列	3311.2	4983.1	3313.5	11607.9

表 6 南禅寺大殿柱高尺寸表 (单位: 毫米)

位置	西次间西缝	明间西缝	明间东缝	东次间东缝
B 柱列	3927	3897.7	3885	3927.3
C 柱列	3911.2	/	/	3918.7
D 柱列	3911.1	/	/	3967.2
E 柱列	3937.9	3911.4	3946	4009.5

注: 明间前檐东侧檐柱 (4-B) 柱础顶面为标高正负 0 点。

古代建筑营造过程中, 为了控制关键尺寸、方便施工, 平面开间进深和平柱高很可能设置为整尺或半尺。如宋代周必大《思陵录》(图 11) 中记载的南宋高宗攒宫形制, 上宫献殿的明间面阔一丈六尺, 次间一丈二尺, 平柱高一丈二尺^①。宋代沈括《梦溪笔谈》(图 12) 引述《木经》中相关论述, 指出柱高与台基高度具有比例关系, 如柱高一丈一尺, 则台基高四尺五寸^②。这些记述都印证了以上观点。该观点由张十庆在《中日古代建筑大木技术的源流与变迁》^[18] 最早提出, 我国唐宋木构和日本奈良时期木构的相关研究也多支持这一观点。因此先假设南禅寺大殿也采用了此种整尺半尺控制方法, 再代入实测数据加以验证。

为更准确地求取整尺半尺规律下的营造尺, 采用分布一致性检验的方法^{[19]65}。假设采集到 k 个柱间距或柱高数值, 即 L_1 到 L_k , 由于开间进深和平柱高多用整尺或半尺, 则两倍的数值尺数应当为整数。假设营造尺长度 x 毫米, 理想状态下如果此值准确并且施工准确无误, 则 $2 \times L_i / x$ 为整数, 即这些尺寸满足一个半尺倍数的多项分布, 实际情况下则 $2 \times L_i / x$ 与 $2 \times L_i / x$ 四舍五入取整值

① 参见周必大《庐陵周益国文忠公集》卷一百七十三, 清道光二十八年 (1848) 刻本, 北京图书馆藏。

② 参见沈括《梦溪笔谈》, 卷十八“技艺”, 上海涵芬楼影印明刊本, 上海图书馆藏。

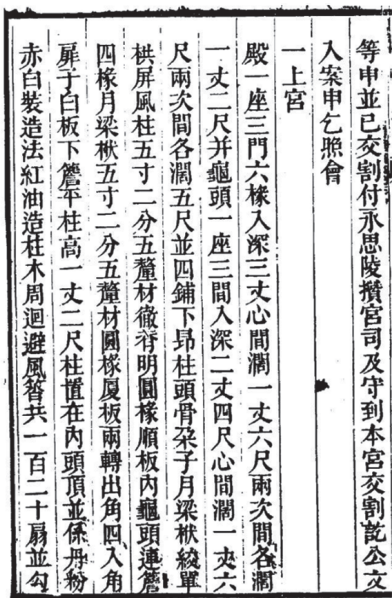


图 11 《思陵录》中相关记载
[周必大《庐陵周益国文忠公集》清道光二十八年(1848)刻本]

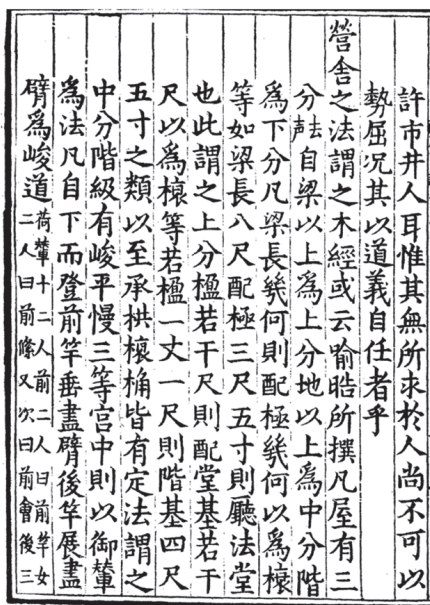


图 12 《梦溪笔谈》中相关记载
(沈括《梦溪笔谈》上海涵芬楼影印明刊本)

ROUND $(2 \times L_i / x, 0)$ 存在差值。差值的大小就反映了此假定营造尺下的误差。将不同假想营造尺下的差值求标准差 σ 并互相比对, 即进行一致性检验, 如果标准差相差不大或分布无规律, 则可能尺寸分布不符合整尺半尺规律; 若出现高低起伏曲线, 则可得标准差最小值附近的营造尺值, 此即为此建筑所使用的营造尺可能分布的区域。求标准差公式如下:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [2L_i / x - \text{ROUND}(2L_i / x)]^2}{n}}$$

将实测的南禅寺大殿开间进深、平柱高数据代入公式中, 计算范围在 270~305 毫米内假想营造尺下的标准差, 得到标准差分布曲线如下(图 13)。

可以看出, 波谷位于 276 毫米、286 毫米、301 毫米处, 即为营造尺最可能分布的区域。

《营造法式》中规定了材分八等, 南禅寺大殿分值如前推算在 16.3~16.5 毫米之间, 材厚应在 163~165 毫米之间, 因此南禅寺大殿最可能使用的材等是一等、二等。按照这两等材规定的材高材厚, 代入推算的三种分值, 得出 6 种可能的营造尺值, 见表 7。



图 13 不同营造尺标准差示意图

表 7 《营造法式》一、二等材下根据分值推算营造尺
(单位: 毫米)

依据	分值	一等材	二等材
拱宽 10 分°	16.3	272	296
足材高 21 分°	16.4	273	298
拱宽 11 分°	16.5	275	300

再与分布一致性检验得出的营造尺可能分布区域比较, 发现分值 16.5 毫米下营造尺为 275 毫米或 300 毫米, 最接近波谷, 是最有可能的分值和营造尺值。

275 毫米营造尺下, 明间、次间(进深)、平柱高理想状态分别为 18 尺、12 尺、14 尺; 300 毫米营造尺下, 则分别为 16.5 尺、11 尺、13 尺。同时平面尺寸的理想值还分别满足明间 300 分°、次间与进深 200 分°。因此唐代工匠在设计时同时考虑了整尺半尺和整百分值两种因素。这种情况下, 275 毫米/尺或 300 毫米/尺都能满足以上设计要求(表 8)。

表 8 南禅寺大殿两种可能营造尺下的平面与柱高

营造尺长 (毫米)	明间(尺)		次间(尺)		柱高(尺)	
	实际	理想	实际	理想	实际	理想
275	18.087	18	12.036	12	14.15	14
300	16.58	16.5	11.033	11	12.97	13
分值	明间(分°)		次间(分°)		柱高(分°)	
16.5	301.45	300	200.61	200	235.84	/

根据相关研究, 现存唐尺实物, 长度在 280~313 毫米之间, 且只有一例是 280 毫米, 其余均在 290 毫米以上^{[20]208-236}, 因此南禅寺使用的营造尺为 275 毫米的可能性很小。同时

对比同在五台山地区的唐代木构建筑佛光寺东大殿，根据最新研究，其营造尺为 300 毫米 / 尺^①。由此推断，南禅寺大殿的营造尺为 300 毫米 / 尺。

根据前述的研究与推断，南禅寺大殿所采用的材分与营造尺为：

1 分°=16.5 毫米；

1 营造尺=300 毫米；

铺作采用二等材，材广 15 分°，八寸二分五厘（247.5 毫米），单材材厚 10 分°，五寸五厘（165 毫米），足材高 21 分°，一尺一寸五分五厘（346.5 毫米）。

3.4 铺作做法

南禅寺大殿前后檐斗拱为五铺作双杪偷心造，批竹状耍头，令拱上承替木再承撩檐榑；里转一跳偷心承托四椽栿；扶壁泥道单拱上承两层柱头枋（第一层柱头枋上隐刻泥道重栿），上承驼峰再承牛脊枋。山面斗拱五铺作偷心造，外檐、扶壁同前后檐斗拱；里转两跳承托丁栿。转角

铺作五铺作偷心造，令拱鸳鸯交手出斜耍头相列。

南禅寺大殿外檐铺作的一个重要特点是华栿分为单材、足材两种，不同于绝大多数唐宋建筑斗栱材厚统一，南禅寺大殿前后檐柱头铺作华栿、山面柱头铺作第一跳华栿、角铺作第一跳角华栿为足材做法，且材厚加宽了 1 分°，为 11 分°。这些足材华栿是承托梁、四椽栿、丁栿或者角梁的构件，是铺作主要的受力部位。这些位置的华栿采用足材并且材厚加宽，使关键承重结构构件加强，整体结构更加稳固。这种做法与明清时期柱头科、角科上翘及昂的栱宽加宽做法类似，目的都是更好地承托上面的梁，而不受力的横栱以及平身科栱宽则相对较小。

通过测量三维扫描点云切片，得到南禅寺大殿外檐斗栱出跳长度实测数据如表 9 所示。

由实测数据得出的理想分值可以看出，大殿外檐斗栱第一跳华栿外部长度 34 分°，出跳长度约为 27 分°（以承托的散斗中心线为准，散斗底长约 14 分°，34 分°-7 分°=27 分°）。与《营造法式》中“每跳之长，心不过三十分°”^[21]记述相符。

表 9 南禅寺大殿外檐斗栱出跳长度统计表

测量对象	外一跳华栿 (毫米)	外二跳 (毫米)	外两跳总长 (毫米)	前后檐内一跳 华栿(毫米)	山面内一跳 华栿(毫米)	山面内二跳 (毫米)	山面内两跳 总长(毫米)
2-B	558.1	343.7	901.8	/	/	/	/
3-B	557.1	306.8	863.9	630.4	/	/	/
4-B	539.4	318.4	857.8	655.5	/	/	/
5-B	587.7	327.8	915.5	/	/	/	/
B-5	552	336.8	888.8	/	/	/	/
C-5	553.9	322.1	876	/	709.4	398.9	1108.3
D-5	572.9	333.6	906.5	/	702	365.8	1067.8
E-5	556.1	325.6	881.7	/	/	/	/
5-E	558.1	313.7	871.8	/	/	/	/
4-E	552.4	315.1	867.5	645.8	/	/	/
3-E	554.6	331.6	886.2	642.8	/	/	/
2-E	589.9	307.1	897	/	/	/	/
E-2	557.2	343.4	900.6	/	/	/	/
D-2	559.2	338.4	897.6	/	703.2	359.5	1062.7
C-2	578.2	356.8	935	/	683.8	301.9	985.7
B-2	564.3	305.4	869.7	/	/	/	/
均值	561.94	326.64	888.59	643.63	699.6	356.53	1056.13
16.5 毫米 / 分° 下的分值	34.06	19.8	53.85	39.01	42.4	21.61	64.01
理想分值	34	20	54	39	42	22	64

① 笔者团队在 2020 年 10 月 17 日的“纪念中国营造学社成立 90 周年”学术会议上曾做题为《佛光寺东大殿建筑、像设营造制度与空间关系研究》的报告。

但在里转上，南禅寺大殿斗拱显示出了不同寻常的规律。无论是唐宋等早期木构建筑，还是明清官式建筑，绝大部分斗拱华拱内外出跳长度相等。但是南禅寺大殿前后檐第一跳华拱里转长 39 分°，出跳长 32 分°，比外檐长 5 分°；而山面第一跳华拱里转长 42 分°，出跳 35 分°，比外檐长 8 分°，且均超过了“心不过三十分°”的《营造法式》规定和一般规律。山面外檐斗拱里转两跳华拱的总长更是达到了 64 分°，出跳长度 57 分°。里转伸长的华拱增加了承托四椽栿、丁栿的长度，应该是工匠出于结构稳定性考虑进行的优化设计。

手工测量的外檐斗拱栿斗实测数据见表 10。

从理想分值推测结果来看，栿斗宽 29 分°、深 26 分°、高 18 分°，其中耳平欹分别为 7 分°、4 分°、7 分°。相比于《营造法式》“施之于柱头，其长与广，皆三十二分°……高二十分°；上八分°为耳；中四分°为平；下八分°为欹”^{[21]103}，南禅寺大殿栿斗尺寸上均有缩减。

根据点云切片测量值推测的外檐斗拱泥道拱、令拱、隐刻泥道重拱理想分值分别为 70 分°、70 分°、114 分°，与《营造法式》规定的 62 分°、72 分°、92 分°相比，泥道拱、重拱较长，令拱略短。佛光寺东大殿泥道拱、令拱、泥道重拱分别为 62 分°、58 分°、104 分°，南禅寺大殿横

拱长度均长于东大殿横拱，且与早期木构建筑令拱短于泥道拱的规律不相符。

此外，一跳华拱及前后檐二跳华拱的拱头安交互斗处，刻半个银锭榫，以避免小斗散失^{[2]69}；各朵柱头斗拱的第二层柱头枋上，施小驼峰、皿板、散斗承托牛脊枋，此种形式后代少见^{[2]67-68}。结合华拱加宽做法、里转伸长做法，可以看出南禅寺大殿斗拱做法相当灵活多变，并且探求结构上的优化。

根据实测数据，外檐斗拱从栿斗底皮至檐檐椽上皮的总高理想分值为 95 分°，其中每跳高度均为正常足材高 21 分°，栿斗抬升高度为平欹高 11 分°，较一般建筑栿斗的 12 分°小。

南禅寺大殿无补间铺作，仅有柱头上施斗拱，为五铺作双杪偷心造。做法基本与《营造法式》相符，为二等材。根据计算可以看出南禅寺大殿斗拱都是严格按照整材分设计制作而成的，但在华拱材厚、华拱内跳长度、泥道拱长度、令拱长度、栿斗平欹高等材分数据上又都与《营造法式》的标准斗拱不完全一致。尤其是承重足材华拱材厚放大到 11 分°，加强了关键节点的承重能力。前后檐第一跳华拱内跳的加长，也可以看出是为加强承托四椽栿结构的稳定性。由此可以看出，在中唐时期铺作斗拱做法已

表 10 南禅寺大殿外檐斗拱栿斗尺寸统计表 (单位: 毫米)

测量对象	宽	深	高	耳高	平欹高
2-B	/	432.1	303	110	193
3-B	483	429.5	287	115	172
4-B	482	440.1	282	119	163
5-B	/	417	292	120	172
B-5	458	449.4	278	110	168
C-5	481	425.5	318	117	201
D-5	450	410.2	293	113	180
E-5	486	507.9	308	114	194
5-E	/	426.8	324	120	204
4-E	480	425.2	300	121	179
3-E	472	433.1	291	123	168
2-E	/	420.1	288	113	175
E-2	448	459.3	303	110	193
D-2	476	417.2	290	109	181
C-2	480	433.5	302	116	186
B-2	486	483.2	288	113	175
均值	473.5	432.65	296.6875	115.1875	181.5
16.5 毫米 / 分° 下的分值	28.69697	26.22121	17.98106	6.981061	11
理想分值	29	26	18	7	11

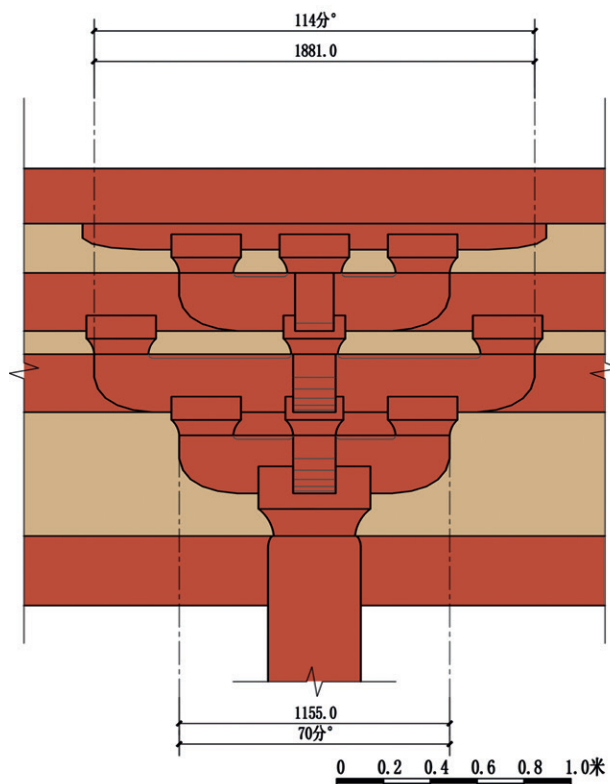


图 14 南禅寺大殿前后檐柱头铺作复原材分立面图
(王一臻 绘)

经有了较为充分的材分考量，同时在材分的尺度把握上有着更为灵活的运用，使之更加符合结构与材料力学的特性（图 14~图 16）。

3.5 平面布局与柱高做法

根据上文的研究，推测南禅寺大殿柱头平面开间进深同时满足分值取整百数和尺寸取整尺或半尺。从分值上看，明间正好为 300 分°，次间为 200 分°，进深也均为 200 分°，都是整百分值；从营造尺角度看，明间为 16.5 尺，次间和进深为 11 尺，满足整尺半尺的设计规律。因此在平面设计上，南禅寺大殿巧妙地通过取整百分值和半尺的公倍数，使得布局极为规整（图 17）。

以明间前檐东侧檐柱（4-B）柱础顶面为标高正负 0 点，测量点云切片得到的柱头标高见表 11。

表 11 柱标高数据统计表

位置	高度（毫米）	位置	高度（毫米）
2-B	3927	2-D	3911.9
3-B	3897.7	5-D	3967.2
4-B	3885	2-E	3937.9
5-B	3927.3	3-E	3911.4
2-C	3911.2	4-E	3946
5-C	3918.7	5-E	4009.5

注：标下划线为方柱，其余为圆柱。

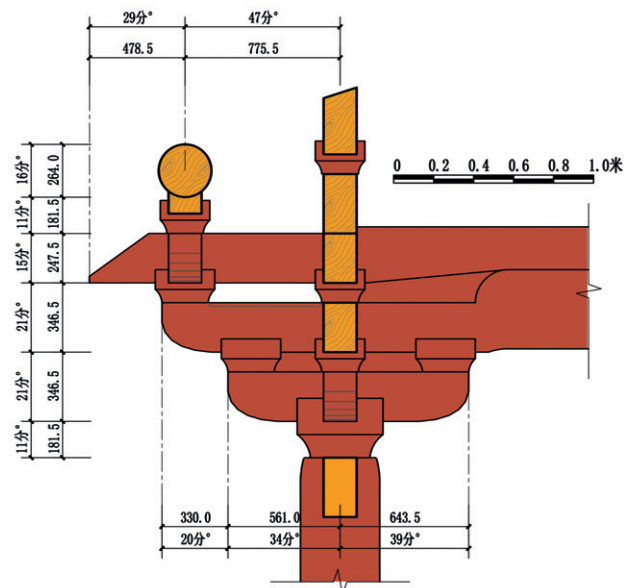


图 15 南禅寺大殿前后檐柱头铺作复原材分剖面图
(王一臻 绘)

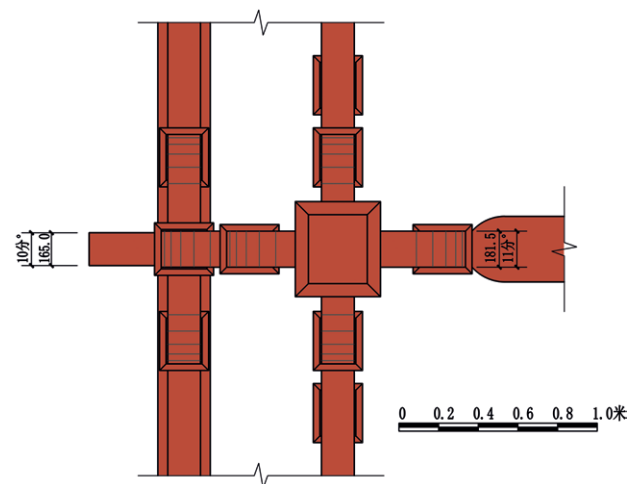


图 16 南禅寺大殿前后檐柱头铺作复原材分仰视图
(王一臻 绘)

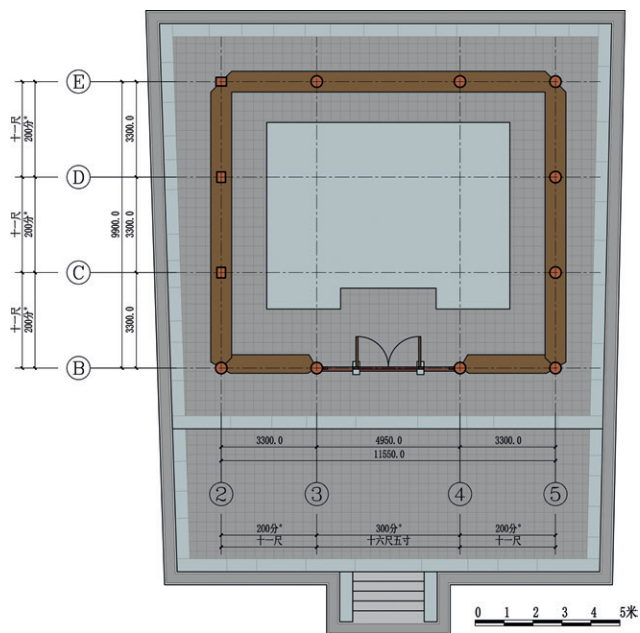


图 17 南禅寺大殿柱头平面复原材分营造尺图
(王一臻 绘)

在平面图上标记如图 18 所示。

可以看出，大殿柱高整体上北侧较高，东北角最高，前檐柱高分布相对整齐。根据前文的研究，以前檐间檐柱为基准，平柱高理想值为十三尺（3900 毫米）。从柱高分布来看，角柱相对于平柱的生起是十分明显的。如果根据前檐柱列判断生起高度，实测数据前檐角柱比平柱平均高出 35.8 毫米，则生起可能为 2 分°（33 毫米）或一寸二分（36 毫米）。如果以做法明显不同的方柱为准，西侧第二、三进檐柱为平柱，西北角柱比平柱平均高出 26.35 毫米，则生起可能为 1.5 分°或八分。《营造法式》卷五中规定“至角则随间数生起，三间生高二寸”^{[21]137}，南禅寺大殿生起相对更加平缓。

柱径实测数据见表 12。

表 12 南禅寺大殿柱径数据统计表

位置	柱径（毫米）	位置	圆柱柱径 / 方柱截面（毫米）
2-B	379	2-D	251.2 × 330.5
3-B	373.9	5-D	361.6
4-B	383.4	2-E	324.2 × 282.3
5-B	400.8	3-E	464.1
2-C	266.5 × 394.8	4-E	410.7
5-C	314.1	5-E	369.8

注：标下划线为方柱，其余为圆柱。圆柱柱径均值 384.16 毫米。

《营造法式》中规定“凡用柱之制，若殿阁，即径两材两架至三材；若厅堂柱即径两材一架，余屋即径一材一架至两材”^{[21]136-137}，所以柱径很有可能用分值控制。方柱数量较少且数值不规律，无法判断其可能分值。圆柱柱径也存在较大波动，以均值 384.16 毫米计算，按 16.5 毫米/分°，合 23.3 分°，可能为 23 分°或 24 分°，在《营造法式》中余屋的用材范围内。

3.6 屋架做法

根据点云切片实测数据得出的大殿举架数据见表 13。可以看出，由于进深三间每间为 200 分°，总进深 600

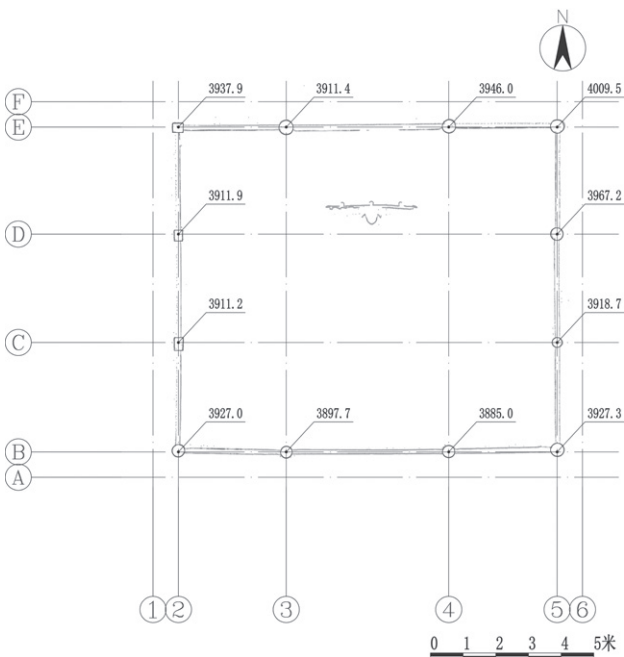


图 18 南禅寺大殿柱高实测图（王一臻 绘）

分°，大殿梁架为四架椽屋，使得椽架距离为 150 分°，数据规整。牛脊枋与檩檐椽的水平距离等于外檐斗拱两跳出跳距离 47 分°。举屋总高（檩檐椽上皮至脊枋上皮高度）理想分值则为 130 分°，平椽下折 10 分°。这样南禅寺大殿通过平柱高 13 尺、斗拱层高 95 分°、举屋总高 130 分°三个比较规整的数字控制了纵向高度。

《营造法式》规定“举屋之法，如殿阁楼台，先量前后檐檐枋心相去远近，分为三分……从檐檐枋背至脊枋背举起一分”，“以举高尺寸，每尺折一寸”^{[21]157-158}。南禅寺大殿前后檐檐枋中心间距理想值为 694 分°，然举屋高度仅 130 分°。按举屋高度 130 分°，平椽下折应为 13 分°，实际 10 分°，均比《营造法式》规定平缓。

南禅寺大殿屋架的总举折比为 1 : 2.67，佛光寺东大殿前后檐檐枋间距 1028 分°，檐檐枋至脊枋总高 231 分°，屋架的总举折比为 1 : 2.23^{[22]112-126}。两者相较，南禅寺大殿更加平缓。这两座相差不到百年的唐代中晚期建筑，体现了中国古代建筑屋顶举折由平缓趋于陡峻的发展规律。

表 13 南禅寺大殿举架数据统计表

位置	檐檐枋至牛脊枋水平距离（毫米）	牛脊枋至平椽水平距离（毫米）	平椽至脊枋水平距离（毫米）	檐檐枋上皮至脊枋上皮高度（毫米）	平椽上皮与脊枋、檐檐枋连线高差（毫米）
明间西缝前檐	789.4	2505.5	2506.9	2164.9	135.1
明间西缝后檐	804.6	2444.9	2470.1	2141.1	197.9
明间东缝前檐	808.3	2467.6	2482.3	2151.4	162.2
明间东缝后檐	732.3	2499.1	2493.9	2095	155.5
均值	783.65	2479.28	2488.3	2138.1	162.68
16.5 毫米 / 分° 下的分值	47.49	150.26	150.81	129.58	9.85
理想分值	47	150	150	130	10

3.7 南禅寺大殿建筑唐代营造制度小结

根据以上推断,可以基本勾勒出南禅寺大殿建中三年(782)重建时的原始设计尺寸。大殿整体遵照材分制度设计建造,同时使用整尺半尺来控制平面柱网尺寸。整体设计十分规整,在斗拱等细部做法上又相当灵活。

南禅寺大殿使用的营造尺为300毫米/尺。

大殿斗拱为单材材厚五寸五分材(《营造法式》二等材)。以单材材厚(165毫米)的十分之一作为材分基本模数单位,1分°=16.5毫米。

足材华拱(柱头铺作第一跳华拱、转角铺作的角华拱第一跳、明间柱头铺作第二跳华拱)材厚加宽,为11分°(181.5毫米)。

材高15分°(247.5毫米),足材(一材一桪)为21分°

(346.5毫米)。

栌斗平杓高11分°(181.5毫米)。

柱头铺作第一跳华拱外跳均为27分°,第二跳20分°;前后檐柱头铺作里转第一跳32分°,山面柱头铺作里转第一跳35分°、第二跳22分°,里转均长于外跳。

泥道拱、令拱、隐刻泥道重拱分别为70分°、70分°、114分°。

平面柱网材分及整尺半尺制度为:

明间开间300分°,十六尺半;次间开间200分°,十一尺;山面三间每间进深200分°,十一尺。平柱高十三尺,角柱生起2分°,柱径24分°。

屋架举折材分制度为:

牛脊枋、平枋、脊枋枋距均为150分°,前后檐檐总间距694分°,举屋总高130分°,平枋下折10分°(图19~图21)。

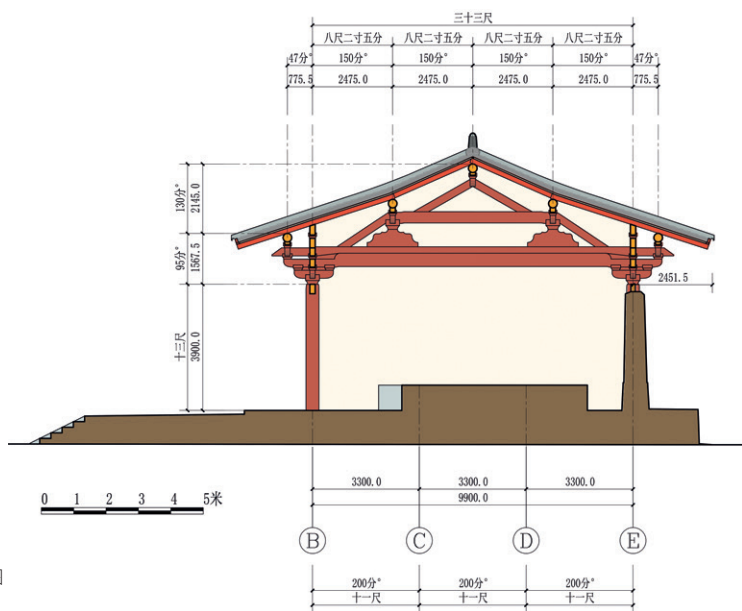


图19 南禅寺大殿横剖面复原材分营造尺图
(王一臻 绘)

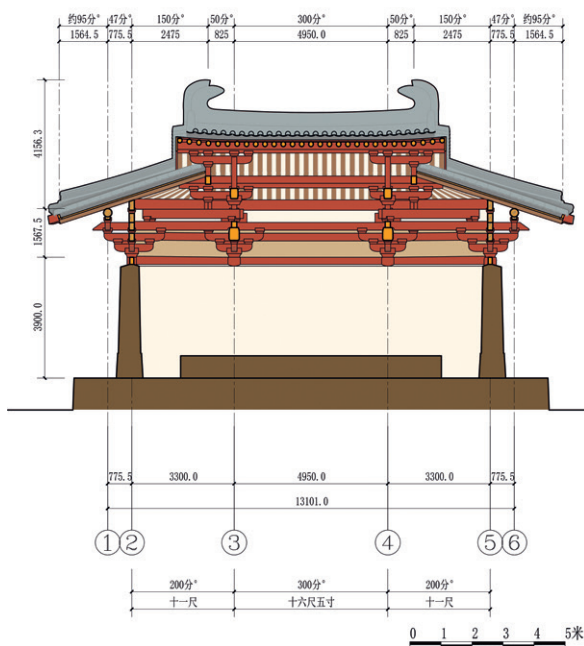


图20 南禅寺大殿纵剖面复原材分营造尺图
(王一臻 绘)

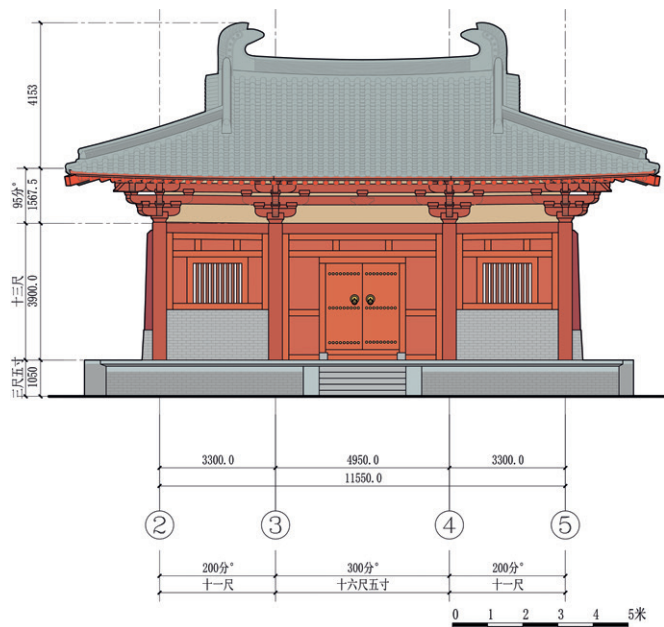


图21 南禅寺大殿立面复原材分营造尺图
(王一臻 绘)

4 南禅寺大殿建筑与像设空间分析

4.1 南禅寺大殿像设高度分析

根据三维激光扫描点云数据,测量佛坛上现存的14尊彩塑高度,并以南禅寺营造尺(1尺=300毫米)对塑像高度进行唐代尺度的换算,结果见表14。

表14 南禅寺大殿彩塑高度表

塑像	高度 (毫米)	营造尺 (300毫米/尺)	分值 (16.5毫米/分°)
佛坛	720	2.4	43.64
毗卢遮那佛	3986	13.29	241.58
主佛背光	5195	17.32	314.85
阿难	2135	7.12	129.39
迦叶	1976	6.59	119.76
右童子	988	3.29	59.88
左童子	1021	3.4	61.88
左昆仑奴	1220	4.07	73.94
右一胁侍	2393	7.98	145.03
左二胁侍	2439	8.13	147.82
文殊	3026	10.09	183.39
普贤	3065	10.22	185.76
右二胁侍	2576	8.59	156.12
左二胁侍	2647	8.82	160.42
右天王	2719	9.06	164.79
左天王	2864	9.55	173.58

注:高度为佛像头顶或冠顶至佛坛平面的距离。

南禅寺佛坛高720毫米,合二尺四寸。佛坛上主佛身边的阿难、迦叶分别高七尺一寸和六尺六寸,除去佛像脚下的莲座(阿难莲座高约五寸五分,迦叶莲座高约四寸五分),两尊弟子像基本上同常人身高。主佛毗卢遮那佛高一丈三尺三寸,恰好是迦叶身高的两倍。主佛背光高一丈七尺三寸。

《中天竺舍卫国祇洹寺图经》对佛殿塑像有较详细的描述:“当阳殿中大立像者,碧玉为身金银雕镂,往昔文殊菩萨在拘楼秦佛时自运手造。普光趺高一丈八尺。……佛在人倍人,人长八尺佛则丈六。”^{[23]17, 21}即指殿内佛身长是人的二倍,高一丈六尺,加上背光总高为一丈八尺。对比南禅寺主佛毗卢遮那佛塑像可知,主佛身旁迦叶基本按照人高塑造,毗卢遮那佛高度基本按照两倍人高塑造。主佛背光高度也基本符合一丈八尺的高度记载。

另外值得关注的是,主佛两侧的胁侍菩萨身高八尺,文殊、普贤的高度为整一丈,右侧天王身高九尺,左侧天王身高九尺五寸,昆仑奴高四尺。以上彩塑身高都基本与南禅寺营造尺整尺或半尺规则对应,以此也可作为本文关于南禅寺营造尺推断的旁证。同时也可以看出塑像高度直接由营造尺确定,与材分无明确的对应关系。

4.2 31°视角分析

傅熹年先生在《中国早期佛教建筑布局演变及殿内像设的布置》^{[5]140-142}一文中,专门分析了南禅寺大殿、佛光寺东大殿内建筑像设布局与观者视线30°角的关系(图22)。

在此基础上,本文进一步分析南禅寺大殿塑像与建筑空间尺度关系。本文选取与傅熹年先生相同的人视点高度1.6米^{[24]65}①进行分析,按照南禅寺营造尺,该视点高度为五尺三寸。以观者的行进路线,总结南禅寺大殿明间纵剖面研究视线与建筑及像设的关系如下:

- 1)人登上大殿台基边缘,向前平视,人眼看到大殿完整斗拱,即视线至檐檐椽下皮的角度恰好是31°。
- 2)人走到南禅寺大殿大门位置,向前平视,以31°视角恰好完整看到主佛背光,同时视线高度恰好到达右天王眼睛。
- 3)人走入南禅寺大殿殿内,在距大门六尺处、“凹”字形佛坛外缘连线正中(此处也是殿内视角最舒适的区域)向前平视,以31°视角恰好看到主佛头顶,同时视线高度恰好到达右二胁侍菩萨的眼睛。

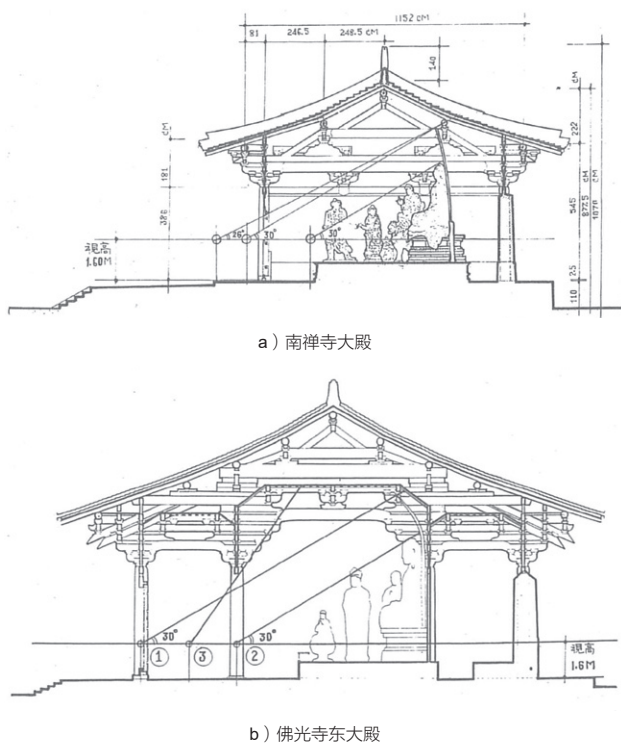


图22 南禅寺大殿、佛光寺东大殿建筑像设布局与视线关系
(傅熹年《傅熹年建筑史论文集》)

① 根据近年北京地区唐代人骨考古研究,男性平均身高为165.37厘米,加上鞋子的高度,基本与人视点1.6米相符。

4) 人再向前走两尺五寸, 至“凹”字形佛坛内缘边缘 (此处为殿内距离佛坛最近的观赏位置) 向前平视, 以 31° 视角恰好看到主佛双眼, 同时视线高度恰好到达文殊、普贤菩萨冠顶。

在这条动线上, 人来到南禅寺大殿前, 以最舒适的平视视角观看, 行进过程中视角无需改变就可以看到南禅寺大殿大木结构全貌, 然后看到一组完整佛龕, 直至看到主佛全貌, 最后恰好看到主佛的眼睛。

可以惊喜地发现, 以视线关系分析, 南禅寺大殿建筑与像设的空间排布与另一座唐代建筑佛光寺东大殿如出一

辙。两座唐代建筑存在完全相同的“人体工程学”设计, 人眼视线与建筑像设始终保持最佳视角 31° (图 23, 图 24)。

通常人体工程学认为人平视最舒适的视角是 30° , 但通过佛光寺东大殿与南禅寺大殿建筑像设实测, 发现该角度的精确值是 31° 。

从视角上看 30° 与 31° 差别不大, 单纯从视线的舒适角度难于区分二者的差别。

可从数学逻辑角度仔细分析这两个角度的差别。已知 30° 角是等边三角形内角角度的一半, 即视线中佛像的高度是人眼到佛像头部距离的一半。用三角函数表达, 即正弦

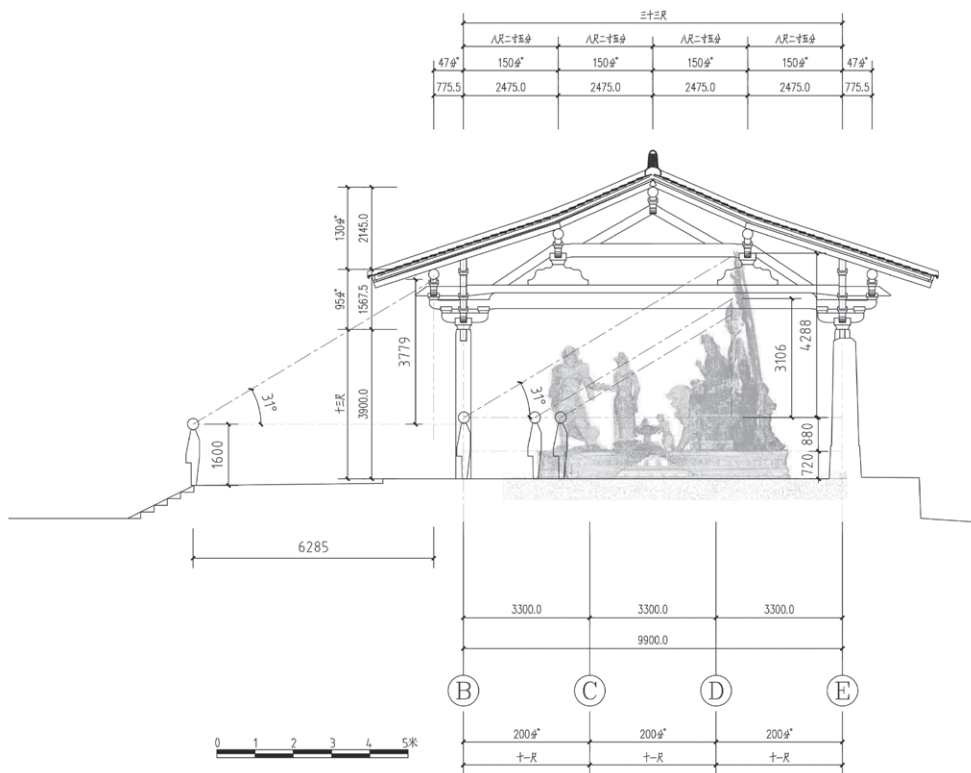


图 23 南禅寺大殿建筑像设布局与视线关系分析图
(李玉敏 绘)

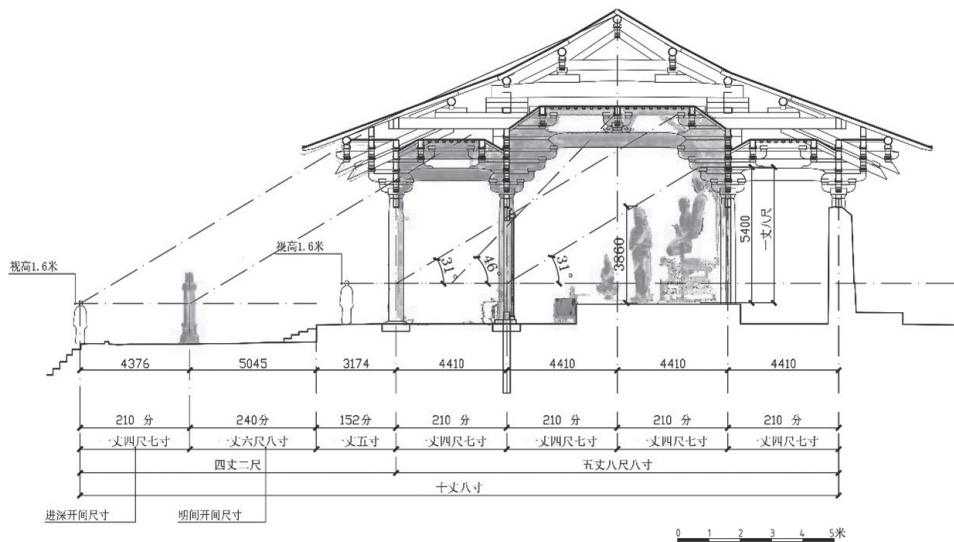


图 24 佛光寺东大殿建筑像设布局与视线关系分析图
(李玉敏 绘)

① 笔者团队所做《佛光寺东大殿建筑、像设营造制度与空间关系研究》报告。

函数 $\sin \angle 30^\circ = 0.5$ 。这一数据看起来虽整，但是对工匠来说人眼到佛像头部的距离，也就是三角形的斜边长度难以确定。

古代木工工匠做斜线时先确定两个直角边比值，然后连接两个直角边端点得到斜线，也就是视线中佛像的高度与人到佛像距离的比值。 30° 视角佛像高度与人到佛像距离的比值，用三角函数表达正切函数 $\tan \angle 30^\circ = 1/\sqrt{3} \approx 0.58$ 。这一数值难以取整，工匠使用起来并不方便。再计算一下 31° 的正切函数，精确到小数点后 4 位，数值为 0.6008，即 $\tan \angle 31^\circ \approx 0.6$ （图 25）。

31° 的正切函数值容易取整，即从人的视线望过去，佛像的高度（指人眼与佛顶之间的垂直距离）与人到佛像的距离（指人眼与佛顶之间的水平距离）的比例恰恰是 3：5，即如果佛像顶部与人眼的高差是六尺，人距离佛像恰好是一丈。

将前文分析的南禅寺大殿人视线端点高度与人到所观察建筑、像设的距离对比，可知人登上台基边缘看到檐檐榑下皮，视线高度为一丈二尺六寸，人与檐檐榑间距二丈一尺，视高与视距比正好是 0.6。人站在大门口看主佛背光，视线高一丈四尺三寸，人距背光二丈三尺三寸，视高与视距比为 0.61。人站在佛坛外缘看主佛头顶，视线高一

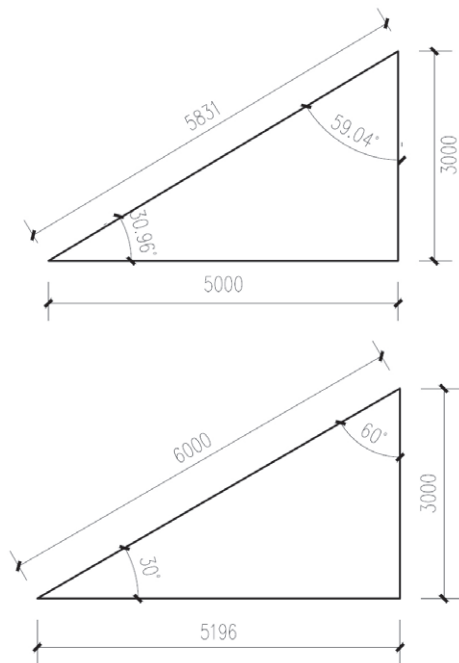


图 25 31° 与 30°
三角函数分析图
(李玉敏 绘)

丈三寸五，人距主佛一丈七尺一寸，视高与视距比为 0.6。站在佛坛凹处看主佛眼睛即文殊冠顶也基本符合这个比例（表 15）。

表 15 南禅寺大殿建筑像设视高与视距比例分析表

	视线高度 (毫米)	营造尺 (1尺=300毫米)	视线距离 (毫米)	营造尺 (1尺=300毫米)	视高与视距 比例
人在台基边缘看檐檐榑下皮	3779	12.6	6285	20.95	0.6
人在门口看主佛背光	4288	14.29	7003	23.34	0.61
人在佛坛外缘处看主佛头顶	3106	10.35	5135	17.12	0.6
人在佛坛凹口处看主佛眼睛	2623	8.74	4465	14.88	0.59
人在佛坛凹口处看文殊冠顶	2146	7.15	3708	12.36	0.58

4.3 “高三距五猜想”

根据南禅寺大殿建筑与像设的尺度布局关系分析可以推测，唐代工匠通过多年实践经验总结人眼视线与被观察对象的高度和位置关系，得出了一套佛殿建筑像设布局设计的方法，笔者猜想唐代工匠将像设尺度与布局总结为一句口诀：“佛高三人距五”（图 26）。不妨在这里称之为唐代佛殿建筑像设布局“高三距五猜想”。该猜想内容如下：

- 1) 以人视线高五尺三寸为基准点。
- 2) 人站在佛殿建筑正前方台基边缘观看建筑完整斗栱，视点位置在檐檐榑下皮（该高度也是一般观看建筑完整匾额的高度），视线高度（被观察点到人眼的垂直高度）与视线距离（被观察点到人眼的水平距离）的比例为 3：5，视线角度为 31° 。
- 3) 人站在佛殿正面前檐柱（大门位置）观看完整主佛坛，视点位置在主佛背光顶部，视线高度与视线距离的比

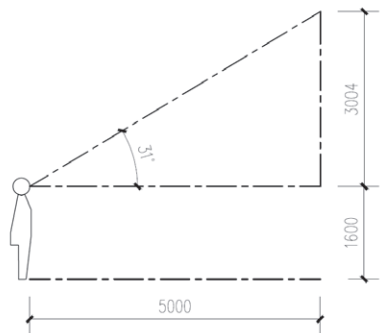


图 26 “高三距五”视线
示意图

例为 3：5。

4) 人站在佛殿正中最适宜位置，观看完整主佛（主佛塑像高度通常两倍于人高），视点位置在主佛头顶（或者主佛眼睛），视线高度与视线距离的比例是 3：5；主佛两侧主要塑像，也应按照视线高度与视线距离比例为 3：5 的规律排布。

唐代佛殿建筑的设计者与工匠，为烘托佛殿建筑庄严神圣的宗教氛围，创造出了一套巧妙精确的设计语言，佛殿建筑与像设营造都经过统一设计。建筑正立面视线高度与殿前台基空间视线距离的固定比例为3:5，主佛等像设视线高度与殿内空间视线距离的固定比例亦为3:5，让人始终都能以固定的最佳视角31°，瞻仰佛殿外观并由外而内进入佛殿空间欣赏佛坛偶像。

这种符合人体工程学和最佳视线角度的设计方法，通过一个直角边比例为3:5的31°角直角三角形实现。本文将以上设计方式称为唐代佛殿建筑像设布局“高三距五猜想”。

5 结论

5.1 南禅寺大殿、佛光寺东大殿建筑像设空间设计对比分析

对比五台山地区现存的两座唐代木构古建筑——南禅寺大殿与佛光寺东大殿，可知中晚唐时期佛教寺院设计不再以塔为寺院中心，而以供奉佛像的佛殿为寺院中心，佛殿内部以供奉佛像的主佛坛为中心。佛光寺东大殿大门原来位于内槽前金柱列^{[17]46}，主佛坛占据了佛殿内槽三分之二以上的空间。而南禅寺大殿主佛坛距离前坎墙内皮约五尺（1510毫米），距离两侧墙约四尺二寸（1265毫米），距离后墙约四尺四寸（1320毫米），主佛坛占据了佛殿内部最主要的空间，仅为四周留出一圈环廊。唐代《佛说右绕佛塔功德经》记载：“大威德世尊，愿为我等说。右绕于佛塔，所得之果报。”^①由此可见中晚唐时期信徒与僧人右绕佛塔或佛坛礼拜。佛光寺东大殿与南禅寺大殿主佛坛在建筑中布局方式正符合这种右绕礼佛的方式，佛殿内部并不提供举行大型礼佛活动或者讲经说法的空间。

南禅寺大殿为三进三间歇山顶厅堂式建筑，室内无柱，不影响宽大的主佛坛摆放，彻上明造不设天花板，为主佛及其背光预留了摆放空间（图27，图28）。佛光寺东大殿为七开间四进深的庑殿顶殿堂式建筑，平面采用金箱斗底槽，内槽后三分之二处摆放主佛坛，外槽前槽作为外廊，外槽后槽、左右两槽及内槽前三分之一空间作为右绕环廊，开间采用明五间等宽，刚好对应主佛坛五组佛像，尽间及进深等宽，便于角梁安放。东大殿使用平闇区分明栱草栱，用峻脚椽将内槽平闇抬升为盪顶形式，为主佛及其背光预留摆放空间。

根据《营造法式》记载，殿身五间至七间用第二等材，厅堂大三间用五等材。中国营造学社社长朱启钤先生对《营造法式》研究之后，认为书中所定之材有过小之嫌。“观《法式》卷四云，凡构屋之制，皆以材为祖，材有八等，度屋之大小，因而用之。其第一等，不过广九寸厚六寸，殿身九间至十一间则用之。以此推之，其局促可想。”^{[25]15}成书于宋代的《营造法式》所反映的宋代建筑体量及用材已经远远小于唐代，这里的材分八等已经不能涵盖中国古代建筑顶峰时期唐代的建筑材分等级了。佛光寺东大殿应采用超过《营造法式》第一等材的“特等材”厚七寸、广十寸五分。南禅寺所用材分则相当于《营造法式》的第二等材，厚五寸五分、广八寸二分五厘（图29）。

根据前文分析已知南禅寺大殿的营造尺为300毫米/尺，根据近年有关佛光寺东大殿营造尺的研究，可知其营造尺也为300毫米/尺^②，300毫米/尺应为中晚唐时期五台山地区乃至中国官式营造尺的标准长度。

采用五寸五分厚“二等材”的南禅寺大殿，1分°即为五分五厘，16.5毫米。采用七寸厚“特等材”的佛光寺东大殿，1分°即为七分，21毫米。



图27 南禅寺大殿建筑像设纵剖面点云图
(笔者团队采集)

① 参见释实叉难陀译《乾隆大藏经》十七经同函的景字六经同卷（景五）第二篇《佛说右绕佛塔功德经》，第7~8页，中国国家图书馆古籍馆藏。
② 笔者团队所做《佛光寺东大殿建筑、像设营造制度与空间关系研究》报告。



图28 南禅寺大殿建筑像设横剖面点云图
(笔者团队采集)

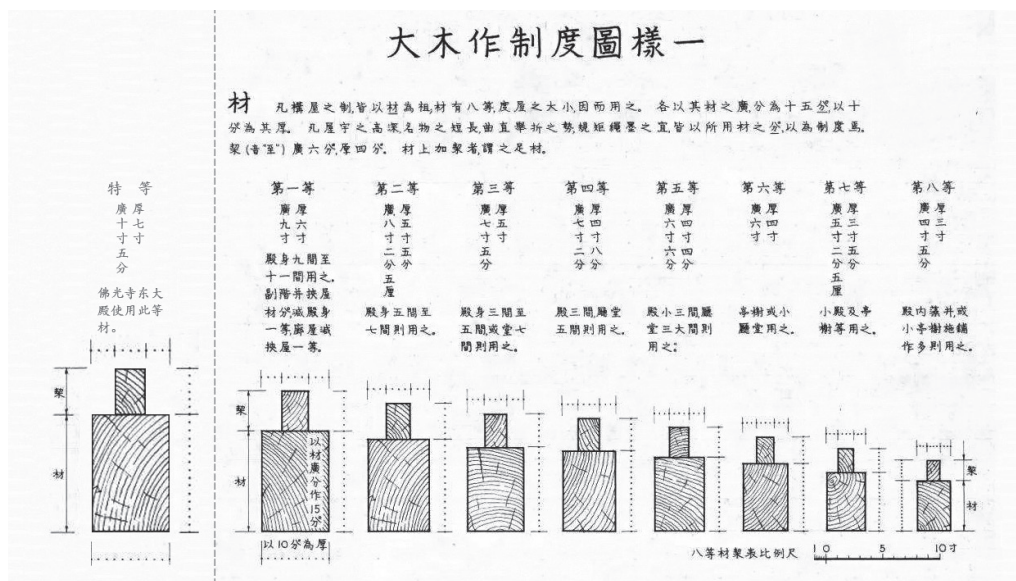


图29 《营造法式》与佛光寺东大殿材等对比示意图
(王一臻于《梁思成全集》第七卷“大木作制度图样一”添绘)

根据前文总结的南禅寺大殿建筑材分营造规律和佛光寺东大殿建筑材分^[22, 26]营造规律, 确定这两座唐代木构建筑基本分值后, 便有了南禅寺大殿和佛光寺东大殿的基本建造单位, 南禅寺大殿、佛光寺东大殿主要结构尺寸, 如进深开间、柱高、栱距、举高、铺作总高等, 皆以材分为基本模数, 采用整百整十分值, 以营造尺控制建筑大的开间进深尺度和空间布局。

根据前文提出的“高三距五猜想”, 建筑正立面的视线高度(视点至檐下皮高度)与建筑正立面到视点的距离(视点至檐下皮距离)的比例为3:5, 唐代工匠就此确定了南禅寺大殿台基前边缘的位置。由于佛光寺东大殿位于佛光寺第三层台地上, 台地边缘便是该视点的起始位置, 以第三层台地边缘的檐下皮视高的5/3倍距离, 便确定了东大殿前檐柱的位置。

唐代工匠站在南禅寺大殿大门口和佛光寺东大殿前檐柱的位置, 根据“高三距五猜想”中视点高度与视点距离

的3:5关系, 首先设计好主佛及其背光的位置, 并在计算2倍人高的主佛高度后, 确定好主佛坛的高度。再根据视线的比例, 确定文殊、普贤菩萨及其他胁侍塑像的布局位置 and 高度。

下面尝试还原唐代佛殿建筑的设计营造逻辑。

第一步: 功德主等出资人与寺院主持根据宗教和实际需求, 初步确定殿阁功能、规模和供奉像设内容。

第二步: 出资人、主持与建筑像设的总设计师——都料匠沟通, 确定选取适合的建筑等级规模以及像设布局尺度。

第三步: 都料匠与大木匠确定铺作材分做法, 建筑开间、进深、柱高等柱网尺度与屋架尺度做法, 并根据“高三距五猜想”确定台基与柱网位置关系, 与瓦匠一同为建筑放线, 建造台基。

第四步: 都料匠与负责塑像、壁画的雕漆匠、装漆匠根据“高三距五猜想”确定像设尺度与布局, 选取相应的塑像壁画粉本设计制作。

第五步：整体设计完成后，根据方案安排备料，并安排不同工种工匠按顺序进场营造。

中晚唐时期，佛殿营造已经形成了一套非常完整而严密的设计建造规制，其核心思想是从宗教功能出发，建筑与像设统一设计。以佛坛供奉像设为核心，以“高三距五猜想”的视点3:5比例联系建筑与像设布局，以营造尺控制建筑开间进深的大尺度，以材分模数制度进行具体的建筑木构件设计、加工、安装，整个佛殿建筑、像设系统地营造而成。而五台山地区现存的唐代南禅寺大殿和佛光寺东大殿就是这整套营造逻辑的典型代表。

5.2 南禅寺大殿价值总结

南禅寺寺院的兴建、大殿的重建与五台山两次佛教兴盛密切相关。尤其是唐建中三年（782）南禅寺大殿重建及像设营造，都明确反映出当时政治、宗教、军事、文化的重大变革。

南禅寺大殿建于唐代“安史之乱”平定之后、唐代宗教令天下普建文殊院的背景下。南禅寺大殿是五台山地区最早的文殊信仰建筑实物见证，是“会昌法难”后唯一的木构建筑幸存者，对研究我国佛教发展历史具有重要意义。

南禅寺大殿于唐建中三年（782）重建，为国内现存最古老的木构建筑，也是亚洲最早的木结构建筑之一，对于大木结构的材分模数与营造制度而言，南禅寺大殿是我国

最早的实物见证。其营造做法既与《营造法式》相印证，又有更加灵活的独特做法。南禅寺大殿与佛光寺东大殿使用同一营造尺尺度，并都使用材分与营造尺双模数制度设计营建，这两座五台山地区的唐代木构建筑反映出我国古代建筑顶峰时期法式制度体系的精巧与完善，是研究我国古代木结构建筑法式制度最早、最重要的实物案例。南禅寺大殿建筑、像设的营造制度可以与佛光寺东大殿相互印证，反映出我国中晚唐时期佛殿建筑以宗教功能为核心的一体化设计理念。并可据此分析出唐代工匠基于视线控制的佛殿建筑像设布局“高三距五猜想”设计方法。

南禅寺大殿殿内现存唐代彩塑14尊，是我国现存最早的寺观彩塑，堪称唐代雕塑艺术的珍品。主尊造像为华严三圣，是盛唐最为流行的信仰偶像，文殊菩萨造像为我国现存最早的“新样文殊”，与佛光寺东大殿塑像、敦煌莫高窟壁画、印经可互为佐证。

南禅寺大殿建筑、像设的设计建造与佛光寺东大殿可以相互印证，体现出中晚唐时期佛殿建筑官式营造思想与制度。南禅寺大殿是一座规制严谨、设计精巧的佛殿建筑，是我国唐代木结构建筑巅峰时期的杰出代表。

（感谢山西省开元文物保护基金会对本研究的资助，感谢山西省古代建筑与彩塑壁画保护研究院吴锐、任毅敏两位老师对本研究的指导与帮助。）

参考文献

- [1] 陈明达. 两年来山西省新发现的古建筑（节选）[M]// 陈明达. 陈明达古建筑与雕塑史论. 北京：文物出版社，1998：28-40.
- [2] 祁英涛，柴泽俊. 南禅寺大殿修复[J]. 文物，1980（11）：61-75，102.
- [3] 柴泽俊. 南禅寺大殿修缮工程竣工技术报告[M]// 柴泽俊. 柴泽俊古建筑文集. 北京：文物出版社，1999.
- [4] 傅熹年. 日本飞鸟、奈良时期建筑中所反映出的中国南北朝、隋唐建筑特点[J]. 文物，1992（10）：28-50.
- [5] 傅熹年. 中国早期佛教建筑布局演变及殿内像设的布置[M]// 傅熹年. 傅熹年建筑史论文集. 北京：文物出版社，1998：136-146.
- [6] 张十庆. 古代建筑的尺度构成探析（一）——唐代建筑的尺度构成及其比较[J]. 古建园林技术，1991（2）：30-33.
- [7] 吴锐. 古建筑营造尺度真值复原研究刍议[J]. 文物季刊，1989（2）：83-90.
- [8] 张志兰. 从南禅寺屋角部分做法分析其它的屋角部分的发展演变[J]. 古建园林技术，1993（2）：35-37.
- [9] 段智钧. 南禅寺大殿大木结构用尺与用材新探[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，2008：83-99.
- [10] 赵云旗. 论南禅寺的雕塑艺术[J]. 五台山研究，1987（6）：33-40.
- [11] 谭树桐. 敦煌唐塑和南禅寺彩塑艺术的比较研究（摘要）[J]. 敦煌研究，1988（2）：84-86，127.
- [12] 负安志. 中国古代建筑的瑰宝——南禅寺与佛光寺彩塑艺术分析[J]. 文博，1989（5）：31-39，97-100.
- [13] 李裕群. 五台山南禅寺旧藏北魏金剛宝座石塔[J]. 文物，2008（4）：82-89.
- [14] 崔元和. 五台山南禅寺唐代护国文殊与新样文殊造像解读[J]. 法音，2019（3）：14-18.
- [15] 圆仁. 入唐求法巡礼行记校注[M]. 白化文，李鼎霞，许德楠，校注. 北京：中华书局，2019.
- [16] 二十五史：新唐书 旧五代史 新五代史[M]. 2版. 影印本. 上海：上海古籍出版社，2018.
- [17] 张荣，雷娟，王麒，等. 佛光寺东大殿建置沿革研究[M]// 贾琨. 建筑史：第41辑. 北京：中国建筑工业出版社，2018：31-52.
- [18] 张十庆. 中日古代建筑大木技术的源流与变迁[M]. 天津：天津大学出版社，2004.
- [19] 王一臻. 绍兴兰若寺宋代墓园建筑复原研究[D]. 北京：北京大学，2018.
- [20] 郭正忠. 三至十四世纪中国的权衡度量[M]. 北京：中国社会科学出版社，1993.
- [21] 梁思成. 梁思成全集：第7卷[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2001.
- [22] 吕舟，张荣，刘畅. 佛光寺东大殿建筑勘察研究报告[M]. 北京：文物出版社，2011.
- [23] 释道宣. 祇洹寺图经（一卷）[M]. 影印本. 上海：商务印书馆，1923-1925（中华民国12-14年）.
- [24] 杨诗雨. 北京大兴三合庄墓地出土唐代人骨研究[D]. 长春：吉林大学，2019.
- [25] 朱启铃. 李明仲八百二十周年忌之纪念[J]. 中国营造学社汇刊，1930，1（1）：1-24.
- [26] 张荣，刘畅，臧春雨. 佛光寺东大殿实测数据解读[J]. 故宫博物院院刊，2007（2）：28-51，155-156.