

中国传统木构建筑结构、构造与空间关联分析路径初探

吴国源, 蔡楠, 李陆斌

(西安建筑科技大学 建筑学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 中国传统建筑大木作的深入研究, 需要切实把握结构、构造与空间的内在关联路径, 为此, 以关中化羊庙献殿为具体案例, 展开了有针对性的综合探索。通过对其结构体系的分析, 判定化羊庙献殿具有殿堂建筑结构性质。运用与结构体系关联的构造系统分析, 在学界已有探讨基础上更为明确地提出献殿构造层的划分方式为屋面层、截面层、柱框层, 并形成了相应的分析模式。初步探索出古代大木建筑空间与结构、构造关联分析的方法路径: 首先, 把握法式“缝”线构造设计与空间界面关联表达, 为古代木构建筑内部空间研究提供了较为合理的概念框架; 其次, 运用这套概念框架发现了化羊庙献殿构造形态与其空间个性或地方性关联的诸多特征。上述考察与阐释, 提出并应用了一套具有一定普遍意义的结构-构造-空间关联分析路径与相应的概念逻辑系统, 为传统大木研究提供新的有启发意义的研究范式。

关键词: 化羊庙献殿; 结构体系; 构造系统; 空间特征; 关联分析

中图分类号: TU366.2

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2023)06-0871-11

Study on structure, construction and spatial correlation of ancient Chinese architecture

WU Guoyuan, CAI Nan, LI Lubin

(School of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech. Xi'an 710055, China)

Abstract: The in-depth study of large wooden works of traditional Chinese wooden architecture requires a firm grasp of the internal connection path between structure, construction and space. For this reason, a targeted comprehensive exploration has been carried out with the specific case of Guanzhong Sacrifice Hall of Huayang Temple. Through the analysis of its structural system, it is determined that the Sacrifice Hall of Huayang Temple has the structural properties of a palace. Using the structural system analysis related to the structural system, it is proposed that the hall is divided into roof layer structure, cross-section layer structure and column-frame layer structure. In the specific study of the case, the method path for the analysis of the relationship between the space, structure and structure of ancient large wooden buildings is initially explored. First, the Fashi “Feng” structural design and spatial interface expression should be grasped to provide a more reasonable conceptual framework for the study of the internal space of ancient wooden buildings; secondly, this conceptual framework should be used to find many features related to the structure of Sacrifice Hall of Huayang Temple and its spatial personality or locality. The above investigation and interpretation put forward and applies a set of structure-construction-spatial correlation analysis path and corresponding conceptual logic system with certain universal significance, which provides a new enlightening research paradigm for traditional wood research.

Key words: Sacrifice Hall of Huayang Temple; Structural System; Construct System; Spatial Characteristics; Association Research

中国传统建筑大木作的深入研究, 需要切实把握结构、构造与空间的内在关联路径, 一方面有助于将结构设计、构造设计与建筑设计的研究结合, 建立一套可供有效沟通的分析基础。一般

大木作的法式研究是以构造的构件特征、连接方式、构造形态与形制的尺度比例、形式构成规律、类型制度等为核心的研究思路, 而对于结构研究则常与上述构造研究相混淆。对于中国古代

收稿日期: 2022-10-23

修回日期: 2023-01-08

基金项目: 国家社会科学基金重点项目(19AZD030)

第一作者: 吴国源(1973—), 男, 博士, 教授, 主要从事建筑历史与理论方面的研究。E-mail: wgyshlg@163.com

建筑内部空间特征及其相应的分析方法,长期少有类似于建筑学空间理论及其操作路径的专题研究,亟需将空间与结构、构造建立明晰的关联分析思路。在前期研究基础上^[1],我们以关中化羊庙献殿为具体案例,对此展开有针对性的综合探索。

化羊庙位于关中秦岭北麓化羊峪口(陕西省西安市鄠邑区),其献殿为元代遗构,为第八批全国重点文物保护单位,见图1、图2。



图1 化羊庙主要院落测绘模型图

Fig. 1 Mapping model of main courtyard of Huayang Temple



图2 献殿正面(北)照片

Fig. 2 Front (north) photo of Hall building

基于这一案例的现场体验调查、实测数据整理与建筑模型综合分析,首先从结构体系的视角,重新考察案例所反映的殿堂结构性质(1.1节)与地方营造中呈现的整体结构特性(1.2节),并与法式研究的构造分析给予比较探讨(1.3节);其次从构造视角的构造系统与构造形态,考察案例的缝线构造设计与空间界面的关联特征(2.1节);最后综合应用上述路径,深入探析案例所具有地方性的构造特征与空间个性。在案例探索过程中,明确了结构分析与构造分析的区别及联系^[2],并且将它们作为建筑内部空间分析的可操作概念工具,从而把握到结构、构造与空间的内在关联路径。

1 献殿结构与构造特征分析

殿堂式结构特征按传统结构表述,基本上以竖向分层来解释。这类解释将殿堂结构的经验理解与法式构造的逻辑认知相结合,形成了中国建筑技术史的常识问题。本文尝试运用结构体系的总体系与分体系划分方式,来讨论化羊庙献殿的殿堂结构特征问题。化羊庙献殿的结构体系划分类型,按竖向维度非常清晰地表现为屋面层、截面层、柱框层的三层结构分体系,荷载自上而下层层传递,形成以受压为主的力流传递系统。这符合殿堂建筑通常的竖向分层与抬梁层叠的基本认知,但又具有对结构力学深层的理解,尤其表现为我们所划分出的化羊庙献殿截面层^[3]。其截面层的结构性能表现为由铺作斗拱层与铺作连枋层构造连接的五架梁整体抗侧并承受弯矩,达成双向“梁”(纵横两向的梁、枋、檩等构件形成定型连接^[4],共同发挥着现代力学意义上梁的作用)受力传递系统。它是由纵横两向的“梁”相互交叉,两个方向的“梁”发挥着同等重要的受力作用,同时由于交叉组合形成的整体性,它就构成了水平向的结构分体系^[5],见图3。

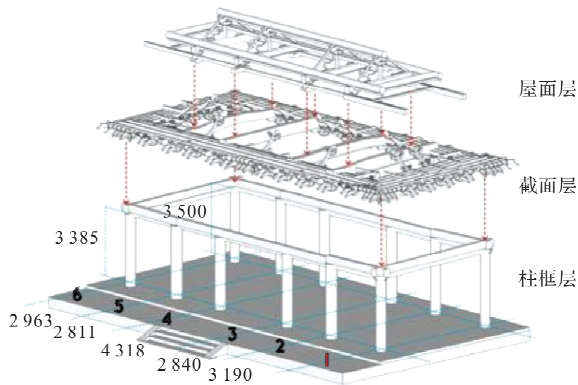


图3 献殿结构体系分层图(mm)

Fig. 3 Hierarchical diagram of Hall building system/mm

在此意义上,引入截面层的概念用来专指传统木构发挥抗侧推圈层结构作用的整体构造现象,是形成结构跨度与稳定性的核心,可作为木构殿堂类结构体系的基本特征与标志。

1.1 结构体系特征分析

依上述,献殿的结构体系(殿堂式)按竖向维度分为三层:柱网、大檐额和随额枋交圈形成承重与抗侧推力的柱框层(简称:柱框层);五架梁、铺作斗拱层与铺作连枋层^[6]形成作为结构核心的截面受力层(简称:截面层);檩、三架梁、蜀柱形成屋面荷载承接与传递层(简称:屋面层),见图3、图4。

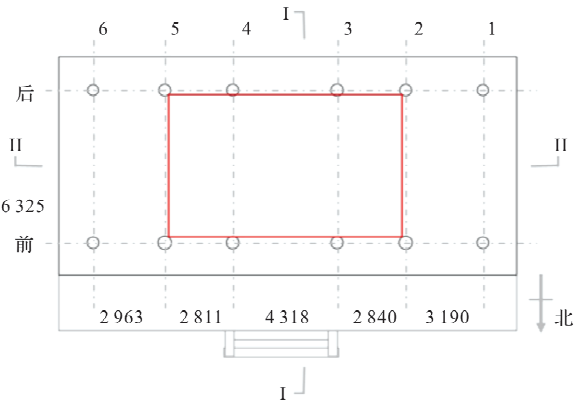


图 4 献殿平面图(mm)

Fig. 4 Plan of Hall building/mm

上述献殿力学结构的受力抽象特征，在传统实践的营造技艺中更多表现为对构造系统的理性操作与形态表现。献殿的构造系统按已有古代官式建筑术语，宋《营造法式》表述为“四架椽屋通檐用二柱”、清《工程做法》表述为“五檩川堂大木”，整体呈现为特殊建筑类型的平面构成单一性，而以檐柱圈层围合出的内部活动空间也具有无槽构造的单一性。对于化羊庙献殿来说，其精彩特异之处在于：内部活动空间(柱框层)的单一性，因与上部结构空间(截面层和屋面层)的构造丰富性(多重构造层次、复杂细部表现)形成氛围交融的空间(形态、尺度)与体验(视知觉、身体性)关联，体现出古代建筑地方礼祀公共空间值得关注的设计表现特质。

献殿结构体系的各层其实发挥着相互关联而侧重不同的空间作用。献殿作为殿堂结构体系，其柱框层明确划分出行为功能空间；其截面层的内檐铺作构造、连枋系统与四道五架梁构成行为功能空间的上部视觉界面，也是屋面层的下部构造形态界面；其屋面层不仅具有建筑结构的空间构成性，而且因为其彻上明造的排架形态，也具有视觉空间的性质，见图 5。

首先，化羊庙献殿柱框层具有殿堂建筑结构性质，柱位对应、柱身等高，柱径、柱高、楹数及柱间距决定着建筑的空间高度和建筑规模，柱头大檐额不仅拉结柱网整体稳定而且与铺作层建立

直接的联系关系。总之，柱框层涵括了结构设计、构造设计和建筑设计等诸多基本问题。

其次，结构意义上的截面层与构造意义上的铺作层对于殿堂建筑而言，具有空间形态的重合性。在化羊庙献殿中表现为：铺作层、五架梁、连枋构成一个水平空间界面，对应于其结构意义上的截面层，并与柱框层共同限定空间领域与视觉空间界面。

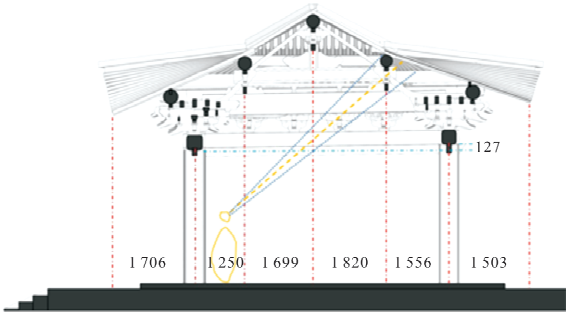


图 5 献殿 I-I 剖面图

Fig. 5 I-I section of Hall building

第三，结构意义上的截面层与屋面层通过构件组合和构件形态，限定出上部有序的结构空间(真实的结构)，也具有适应于彻上明造的视觉空间意义(感觉的结构)，同时屋面层的构造系统对于建筑外部整体形态也具有类型化的决定作用。

1.2 与结构受力关联的构造特征与建造现象

化羊庙献殿结构体系具有非常明晰的竖向分层，基于这一划分方式我们发现并分析到献殿中与结构体系紧密相关的构造特征与建造现象，其中存在着很多值得深入探析的具体建筑问题。

首先，柱网、大檐额和随额枋交圈形成了化羊庙献殿结构的柱框层，其结构性能表现为整体受力荷载的传递汇聚以及维持整体稳定的抗侧推力。从结构总体系的角度看，其平摆浮搁的构造基本特征决定了古代木构建筑结构的截面层与屋面层之间独有的整体性问题(包括柱框层、截面层、屋面层各自的构造整体性问题，也包括柱框层与截面层、截面层与屋面层之间的构造整体连接问题，见表 1。

表 1 献殿柱径表(mm)

Tab. 1 Column diameter table of hall building/mm

南侧(后)	柱 1	柱 2	柱 3	柱 4	柱 5	柱 6	平均
柱径	464	484	508	492	490	450	481
北侧(前)	柱 1	柱 2	柱 3	柱 4	柱 5	柱 6	/
柱径	480	544	500	514	556	480	512
差值	-16	-60	8	-22	-66	-30	-31

表 2 献殿柱高表(mm)
Tab. 2 Column height table of hall building/mm

南侧(后)	柱 1	柱 2	柱 3	柱 4	柱 5	柱 6	平均
高度	3 603	3 518	3 500	3 465	3 442	3 470	3 500
北侧(前)	柱 1	柱 2	柱 3	柱 4	柱 5	柱 6	/
高度	3 486	3 420	3 373	3 325	3 332	3 373	3 385
差值	117	98	127	140	110	97	115

其次,五架梁、铺作斗拱层与铺作连枋层形成的截面层,由于柱框层在高度上整体呈现南高北低的现象(表 2)并延伸至室内结构部分,致使其铺作连枋层也并不在一个水平面上,可以确定连枋层在整体结构中并不充分具有为上部结构找平的作用,而主要起到拉结作用:一方面将单一斗拱拉结成圈层整体,形成类似圈梁的结构;另一方面将梁体与单一斗拱的连接更为紧密地与其他斗拱拉结在一起,形成一个稳定受力整体的截面层.从结构总体体系的角度看,截面层起到具有弹性的抗侧推力圈层结构作用^[7],与柱框层的平摆浮搁和屋面层的刚性稳定整体形成殿堂建筑独有的结构性能.在构造形态上,形成建筑室内单一的跨度空间,并达成结构空间与活动空间的身体体验关联.第三,三架梁与金檩通过枋木的构造连接不仅具有截面受力作用,同时它们结合蜀柱与脊檩共同构成了结构分体系的屋面层,其结构性能表现为承接与传递屋面荷载.从结构总体体系的角度来看,屋面层是中国古代木构建筑的主要恒荷载并具有稳定的刚性结构作用^[8].

1.3 与法式研究对照的构造特征分析

上述结构体系的分析对于中国古代木构建筑而言,属于隐性的、抽象的理性知识,对于它们的把握在古代营造过程中更多表现为长期积累的经验知识,两者之间尚需研究者给予主动自觉的结构诠释.而构造是空间界面及建筑形式的实体表现,更是结构体系隐性知识与抽象知识的显性表达,同时,构造与形态知识系统、与建造工艺环节保持着直接而密切的关联,因而有必要对其展开基本描述与特征分析.

化羊庙献殿在殿堂竖向分层结构体系的具体建造经验中,其构件系统在三层的表现为:柱框层由柱网、大檐额和随额枋交圈而组成;截面层由五架梁、铺作斗拱层与铺作连枋层而组成;屋面层由檩、三架梁、蜀柱而组成.这一划分,与陈明达、傅熹年、潘谷西等学者对殿堂建筑构造特征所形成的基本共识(柱框层、铺作层和屋盖

层)有所不同^[9-11](图 6~8).结合 1.1 节讨论的结构思维问题,本节在简要辨析殿堂建筑构造系统不同划分方式的基础上,对化羊庙献殿的构造特征给予探析.

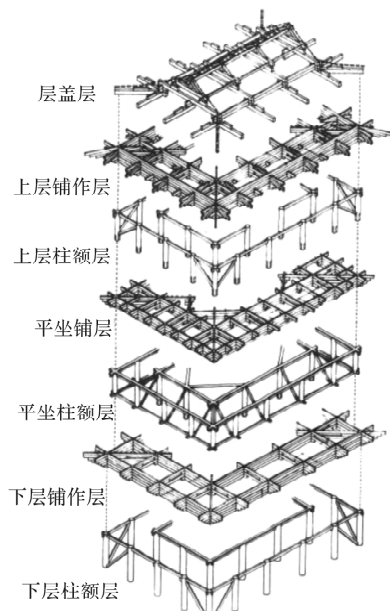


图 6 (蓟县独乐寺)分层构造分析图
Fig. 6 Analysis map of stratified structure
(Dule Temple, Jixian)

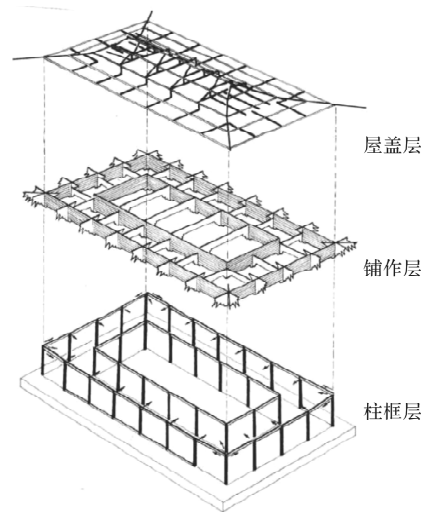


图 7 山西五台山佛光寺大殿木构架分层示意图
Fig. 7 Schematic diagram of layered wooden frame of
Foguang Temple hall, Wutai mountain, Shanxi

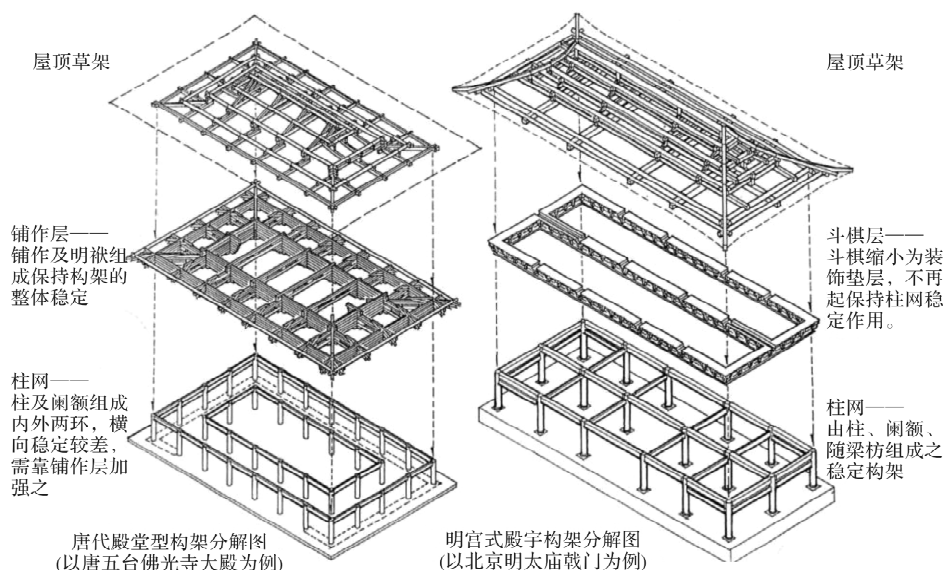


图 8 唐代殿堂型构架分解图/明官式殿宇构架分解图

Fig. 8 Tang dynasty palace structure decomposition diagram/Ming dynasty official palace structure decomposition diagram

本文基于结构体系的结构思维, 认为学界作为常识的铺作层主要是针对中国古代木构特殊构造方法与构造形态而提出的, 尚不能反映古代殿堂建筑的结构体系特征, 而按本文上述研究思路, 如果铺作层加上五架梁则形成能够体现真实结构体系意义上截面层的整体构件系统, 见图 3。学界对铺作层的划分, 主要指斗拱和斗拱间连枋形成的构件系统, 就此而言, 这一构件系统在结构上主要发挥着构造连接和荷载传递的作用, 由于缺乏上层由梁、枋连接的圈层固件, 所以铺作层这一构造概念不能体现结构体系意义上的抗侧推力圈层结构作用。同样, 学界对屋盖层的划分, 主要指铺作构造层以上支撑坡屋面荷载的梁-枋构件系统, 其中大梁这一层组件具有结构、构造与空

间多重功能及意义, 学界是从构造系统意义将其纳入屋盖层, 按本文上述观点则从结构体系的意义将其纳入截面层。

献殿柱框层的构造系统表现为无槽通檐用二柱(四架椽屋), 由阑额和大檐额将前后两排共 12 根檐柱连接成一个单圈柱网, 形成了一个单一的矩形空间。献殿面阔五间, 明间檐柱间距最大, 次间、稍间逐渐减小, 通面阔与前后檐柱进深间距形成宽比约为 2.5 : 1 的横长矩形平面, 见图 9。献殿柱框层构件系统的特殊性, 表现为具有元代地方特点的柱头大檐额, 明间和两次间的四根柱头上架设一根通长的大檐额, 后文将会看到, 这一构件特征对于塑造化羊庙献殿空间界划具有隐性意义, 见图 3 和图 4。

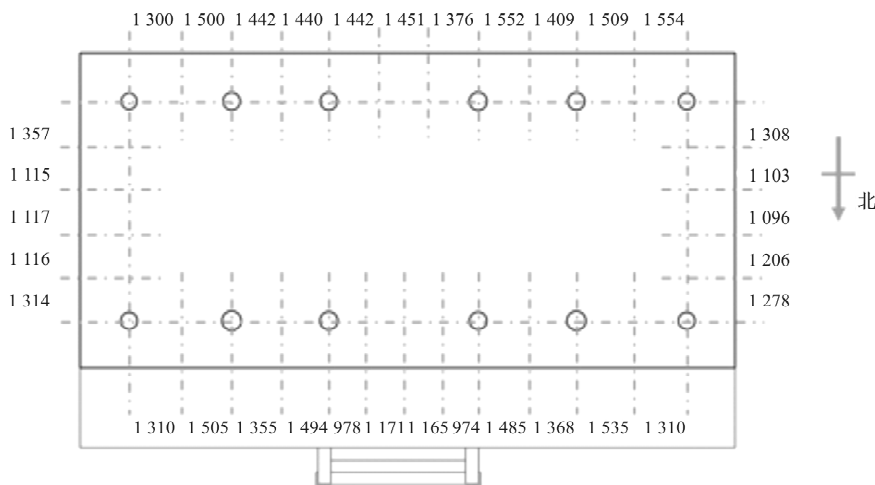


图 9 献殿铺作中缝布置图

Fig. 9 Layout plan of pavement seam of Hall building

献殿截面层的构造系统表现为柱框层上的一圈斗拱与四根五架梁的交叉组合。斗拱与柱框层

对应, 形成一个矩形圈层。斗拱均为五铺作双下昂(下昂均为假昂), 其中柱头铺作与五架梁十字

交叉连接,梁头截面变小作耍头伸出,由垂直梁身方向的多道连枋穿插,形成稳定的连接。而补间铺作假昂伸出后尾(清称秤杆),跨过一椽架斜插入金枋与金枋的空隙中。多个补间铺作后尾形成一圈由外向内倾斜向上的斜向构件层。五架梁显示出元代建筑的特征,其截面平均为478 mm,最大达到587 mm,见表3。在建筑整体构架中显得十分粗大,且用材在外形规整度上并不考究,呈现出明显的不规则弯曲走向。

表3 献殿五架梁尺寸表(mm)

Tab. 3 Five-purlin beam size table of hall building/mm

	梁2	梁3	梁4	梁5	平均值
端头(北)	501	421	491	440	/
高度中部	587	458	485	485	/
端头(南)	503	423	480	462	/
平均值	530	434	485	462	478
宽度	480	540	480	410	478

献殿屋面层的构造系统表现为没有推山的单檐庑殿顶构造形态。屋内为彻上明造,使得构造形态得以充分表现,能够参与室内空间的塑造。屋面整体构造由四道对应五架梁位置的三架梁、叉手、蜀柱等组成的横向构架平行排列形成,再由脊枋、金枋及各枋枋将四道横向构架纵向连接,形成纵横双向的交叉连接,使屋面构成一个整体。庑殿顶在无推山的情况下,吻兽的重量通过次间外侧一缝的蜀柱和叉手垂直传递至三架梁,再传递至五架梁和柱。相比一些有推山的庑殿增加一道三架梁的间接传递方式(如佛光寺东大殿),献殿减少了受弯构件的使用,其传递路径更直接,见图10。

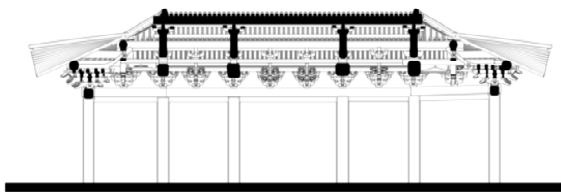


图10 献殿 II-II 剖面图

Fig. 10 Section II-II of Hall building

这样的屋顶构造特征,在建筑内部空间形态上,表现出匀质渐变的榑圈组合,其受力传递和对应的构造方式逻辑清晰,呈现出屋面构架组合和形态的简洁性,成为缝线在建筑纵向和部分横向的落位线。同时,屋面层上四道三架梁(平梁)和截面层的四道五架梁(四椽栿)形成缝线在室内的横向落位线,以此形成纵横缝线的交叉组合的基本布局。

1.4 小结

上述从结构思维出发,进而探索化羊庙献殿构

造系统与构造形态的基本问题,这一过程为我们深入考察献殿殿堂建筑的结构、构造与空间的关联问题奠定了讨论基础。以结构体系为核心的结构思维,使得我们更好地把握构造系统的设计与建造特质,也能更好地把握历史建筑的隐性建造经验;相应的构造系统与构造形态的法式分析与现象描述,让我们更深入地理解历史建筑的显性建构逻辑、具体形式构成,这为我们把握与此关联的空间感知与表现问题提供了方法路径。而空间感知与表现又是整合结构与构造问题的建筑设计的理论诉求。

2 殿结构、构造与空间的关联分析

由上文引出献殿结构、构造与空间的关联分析考察点:结构体系与空间结构^[12];构造系统与空间布局、空间功能的关系;构造形态则与空间氛围、空间秩序、空间界面、空间品质、构图规则等产生更为丰富的关系。这些问题提供了结构设计、构造设计与建筑设计的关联思考。

从献殿结构体系与空间关联分析的角度来考察,直接表现为献殿空间结构的特征问题。献殿的空间结构由柱框层近似等高的柱网、大檐额和随额枋形成了整体建筑纵向通透性的下部矩形空间;对于截面层而言,它的构造形态、构件系统和力流系统之间保持了很大的重合度,因而在空间的塑造上形成了比较明确的上下结构空间和功能空间的均质等分关系;屋面层则以严谨的抬梁构造系统和以举折为核心的构造设计逻辑,形成建筑的上部覆斗形结构空间。因而,整体建筑的空间结构呈现为跨距约6.3 m、通长约15.7 m、梁下净高约4.1 m的矩形功能空间,与举高约1.9 m的长方形四向坡覆斗状结构空间,见图11。

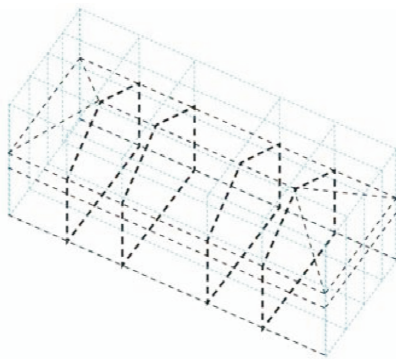


图11 献殿空间结构简化示意图

Fig. 11 Schematic diagram of simplified spatial structure of Hall building

2.1 构造系统与空间关联分析

从献殿构造系统与空间关联分析的角度来考

察,直接表现为献殿空间布局与空间功能的特征问题。如前所述,献殿构造系统表现为无槽通檐用二柱,形成了整体围合性的单一空间。尽管如此,上部构件系统与单圈柱网形成横向垂直界面的轴线对应关系,见图12。

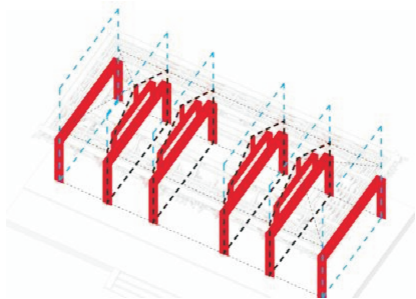


图12 献殿横向垂直界面分析图

Fig. 12 Horizontal and vertical interface analysis diagram of hall building

产生主次空间布局与功能划分关系;同时,铺作里跳组件与上部栱、枋组件形成纵向水平界面的圈层关系,见图13。

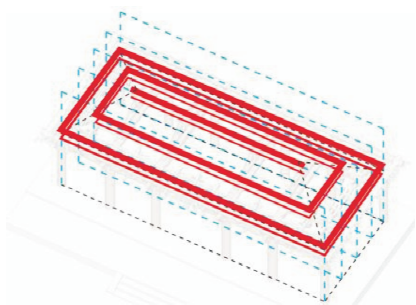


图13 献殿纵向水平界面分析图

Fig. 13 Analysis diagram of longitudinal and horizontal interface of hall building

产生中心-边缘空间布局与功能划分关系;最终,这两套由构造系统带来的轴线对应关系和圈层关系共同作用或交叠整合,塑造了内部空间布局与功能的总体划分方式,见图14。

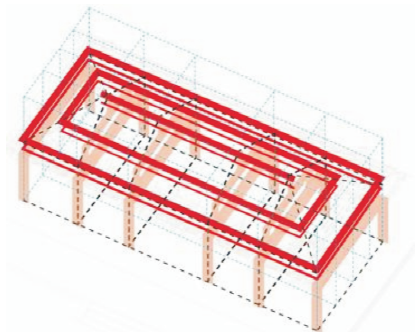


图14 献殿纵-横向交叠界面分析图

Fig. 14 Analysis diagram of longitudinal-transverse overlapping interface of hall building

它们都在视知觉与行为心理意义(与分槽类构造系统所产生的内柱划分空间方式不同)上打破了整体围合的单一性,形成了具有空间审美意义与行为功能意义的空间秩序。

具体而言,上述所述的轴线对应关系和圈层关系落实到构造系统的设计问题上,就引出中国古代建筑构造设计的缝线表达方法,诸如《营造法式》以“缝”来确定“铺作”、“举折”等构件组合控制中线。缝线控制着地盘的柱位、梁位、栱位、铺作位置等关系,同时控制着侧样举折之制中各组控制线的空间位置。基于这类构造设计的缝线控制表达方法,中国古代建筑的空间界面与空间限定得以准确理解。

先从前文所述的横向垂直界面轴线对应关系来考察。献殿构件系统(见前文1.2节)由前后通檐柱中缝、柱头五铺作二跳中缝、五架梁与三架梁中缝等构成一系列槁架间缝,限定出内部一个横向垂直空间界面。依此,献殿单一的室内空间即使没有分槽内柱分隔,还是形成了具有强烈视知觉与行为心理意义上的主次空间形态序列。依照四列构造间缝达成的四组空间界面,献殿空间形体就形成下部连通、上部分隔的五组并联空间序列,并具有古代木构建筑空间秩序意义。具体来说,这五组并联空间序列有体量、功能、路径、意义、氛围等方面的差异,体现了古代空间异质同构特征。传统表述中的当心间、次间、稍间由此获得构造形态与空间关联的理解路径,也由此把握献殿单一室内空间布局与功能划分关系内涵,见图12。

再从前文所述的纵向水平界面的圈层关系来考察。献殿构件系统以脊栱中缝为轴心,由纵横铺作正心枋中缝、纵横铺作罗汉枋中缝、金栱与山面金栱中缝构成内部渐变抬升的三个构造圈层,在构造形态上限定出内部上方两个纵向水平空间界面。依此,献殿单一的室内空间又依照构造圈层达成的两组空间界面,形成下部空间的中心与边缘领域关系,补充并丰富了古代木构建筑空间秩序意义。具体来说,以上部构造圈层形态影射的下部空间中心与边缘领域感,虽然就化羊庙献殿而言仅具有视觉感知意义,但在古代更高等级的建筑构造如金厢斗底槽殿堂建筑中,却具有诸如像设中心陈设与瞻观边缘流线的行为功能作用,见图13。

最后从两套关系的共同作用或交叠整合来考察。《营造法式》地盘图大量运用纵横缝线来表达

建筑构造整体设计问题,在具体的深层意义上正体现了上述两套关系的共同作用.化羊庙献殿虽然不属于《营造法式》分槽殿堂建筑,仅为最为简单的无槽“四架椽屋通檐用二柱”,但如前文所述在结构体系上具备殿堂建筑的特性,在构造系统上也具有丰富有序的缝线控制关系,因而能够在单一的室内塑造出古代建筑内部空间视知觉与行为心理的基本形态秩序:主次并联序列与中心-边缘圈层,这两类形态秩序的交叠整合成为古代建筑内部空间布局与功能的综合划分及解释路径.化羊庙献殿构造系统纵横缝线的交叠组合布局,塑造了内部空间多维度视觉界面,从而达成内部空间形态与秩序的感知路径与解释方法,见图 14.

2.2 构造形态与空间关联分析

在上述构造系统与空间关联的整体路径基础上,献殿的构造形态也参与献殿空间个性或地方性的塑造过程中.

(1)无槽通檐用二柱的庀殿形态类型与空间秩序

现存化羊庙主要建筑群序列中,献殿选用庀殿屋顶形式,这种高等级的屋顶形式与其选用的“无槽通檐用二柱”构造系统似乎并不匹配.不过,献殿这类建筑在结构与形制上确实存在着很多灵活变通性,诸如山西太原晋祠金代献殿的单檐歇山、陕西韩城西原玉皇后土庙元代献殿的单檐悬山等.

庀殿建筑内部空间一般受地盘分槽的控制,而化羊庙献殿如前文所述则更多是构造系统与构造形态在视知觉与行为心理的空间界面控制,因而所形成的空间秩序揭示了古代建筑内部空间一类常易忽略的深层机制,即建筑上部结构的构造方式与构造形态对室内空间的塑造和视知觉心理具有关键作用.化羊庙献殿的庀殿建筑构造在稍间三坡面空间形态中,由于没有使用推山构造做法(在某种程度上反映了元代庀殿建筑构造的一般特点,如山西芮城永乐宫三清殿、山西洪洞广胜寺上寺毗卢殿),稍间横向垂直空间界面的构造保持与明间一致(不至于像庀殿推山建筑构造那样打破齐整缝线控制关系),因而塑成了内部空间并联序列的形态秩序,形成了稍间简洁直白的构造系统和四棱锥形三面坡的上部建筑空间,见图 10 和图 11.

(2)元代大木构件组合的粗犷风格与空间氛围

前文所述,献殿空间界面与空间限定是基于构造设计的缝线控制表达方法,由此可清晰地阐释献殿空间秩序的深层机制.不过,献殿缝线的构件组合形态与构件样式存在着时代性与地方性

的灵活变通做法,因而在相通的空间秩序机制中,生成了不同的风格与氛围.

通过构件测量数据的统计分析,献殿建筑构件存在着三个层级的尺寸:柱、五架梁核心承重构件的截面尺寸均 471 mm,三架梁、大檐额、各枋的截面尺寸均 345 mm,拱、枋的截面尺寸为 157 mm×94 mm,见表 4、图 15.

表 4 献殿构件类型尺寸与尺度表

Tab. 4 Component types, dimensions and scales of Hall building

构件名称	高度/直径/mm	宽度/mm	折合宋元尺
柱	480~510	/	1.5~1.6
梁	480~500	480~500	1.5~1.6
三架梁	330~350	290~300	1~1.1
枋	350~360	350~360	1.1
脊枋、金枋	340~350	/	1.1
金枋下枋	90~100	90~100	0.3
枋	90~100	160~170	0.3/0.5
金枋下枋与枋下穿枋的间距	320~330	/	1

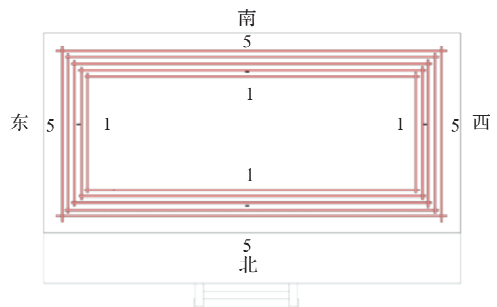


图 15 献殿连枋分布图(枋头交接关系为示意)

Fig. 15 Distribution diagram of connected crossbars
(The connection relation of connected crossbars is schematic) of Hall building

这一方面表明,相较于运用材份、斗口等模数关系控制整体构造,化羊庙献殿更注重构件尺度控制层面的营造技艺.另一方面,造成献殿大木构件组构形态给人以粗壮、敦实、厚重的感觉.柱、梁、通额、斗拱层等各个构件尺度均较为粗大,所占据的空间体量在三个维度上的尺寸均在半米及以上,这样的尺寸在尺度层面不仅在限定空间而且占据了空间,具有木构空间无法忽略的构件体量感,直接影响到空间氛围的塑造,形成了层次感分明且各构成要素具有体量感的建筑空间关系.室外空间界面由尺度巨大的构件所形成的粗壮感,在室内继续延伸,形成了各间方向性较强的空间感基调.主要构件样式的不规整性又在建筑整体的粗放尺度中得到一定程度的化解,产生内部空间雄浑质朴的空间氛围,见图 16.



图16 献殿室内东向视角照片

Fig. 16 Interior east view photo of hall building

(3) 通额的组构形态与空间界划特征

献殿柱框层构件系统的特殊性,表现为具有元代地方特点的柱头大檐额,尤其是明间和两次间的四根柱头上架设一根通长的大檐额,这一构件特征与相应柱径分布规律以及缝线控制的构造设计特征结合,对于塑造化羊庙献殿空间界划具有隐性意义,见图2、图3。

大檐额在前后檐皆贯通明间与两次间,通长约9.6m。大檐额前檐两次间外侧的落位柱径在整个柱网中数值最大,呈现出柱径分布规律的突变现象。具体而言,后檐柱径分布规律从中心向两侧逐级递减,而前檐柱径分布规律则在此基础上次间外侧两柱径突变为最大,见表1。次间前檐外侧两柱径最为粗大的突变现象,是由献殿庑殿屋顶构造的特性所致。化羊庙献殿庑殿屋顶山面坡不推山,导致吻兽和角梁一端的重量通过次间外侧一缝的蜀柱和叉手垂直传递至三架梁,再传递至五架梁和次间外侧两柱。从缝线控制的构造形态来看,柱径突变所在的2、5轴线上的两列槁架间缝,既是化羊庙献殿庑殿结构受力的竖向核心构造层,也因而构成两个核心垂直空间界面。值得注意的是,前后檐的两根通长大檐额恰好落位于柱径突变的柱位缝线处,形成连接前后檐各四柱的两道构造形态缝线,构成了一个隐性的水平圈层空间界面。这两套界面关系共同作用,构成一个由结构、构造引发的隐性空间形态,使得中部三间构成一个双坡面的空间形体,区别于稍间三坡面的空间形体。

(4) 榑下穿枋、顺脊串、里挑后昂等组构关系与空间品质

除上文所提到的构件组合形态和尺度方式外,便是室内上部梁架的视觉限定关系。献殿室内上部空间的构件组构中,最为引人注意并影响献殿空间品质的是金榑下的榑下穿枋、顺脊串、铺作里挑后昂等构件的增设,见图16。它们均依缝线控制其空间位置:榑下穿枋依据金榑中缝,顺脊串依据脊榑中缝,里挑后昂依据补间铺作中缝。

从视知觉意义上讲,金榑与脊榑属于构件尺

度的第二层级,通过添设第三层级尺度的榑下穿枋与顺脊串等构件,形成纵向水平圈层在垂直方向的空间界面,这一组构关系从多个层面影响和塑造了室内空间品质。首先,以视知觉构件组的方式实现了与柱、梁、铺作层等大尺度构件在构件尺度上的匹配,达成构件组构空间感知的统一性,使室内上部空间由单一榑所形成的视觉淡薄感被化解,见图16。其次,纵向圈层界面的金榑与榑下穿枋、脊榑与顺脊串等构件间的间距,与横向垂直界面的五架梁与三架梁的间距,均基本为一个榑径,这使得纵横构架通过构件尺度与构件间距的尺度关联控制,形成组构尺度秩序的纵横交叠关联,见图17~图19。第三,加强了金榑与山面金榑中缝纵向水平界面的垂直面域感知,使得纵向空间界面的水平延伸性更为明显地强调。第四,由上部构件组所强调的垂直空间界面,形成对下部室内空间视知觉的空间划分和空间限定,将室内空间沿进深方向划分为三个空间层次。最后,保持并加强了建筑整体雄浑质朴的空间氛围,同时由于构件组所形成的垂直空间界面,增加了化羊庙献殿室内空间感知丰富的层次性与趣味性。



图17 献殿当心间室内照片(红色为榑下穿枋)

Fig. 17 Interior photo of Hall building center

(red is the crossbar under purlin)



图18 献殿室内东向视角照片(红色为榑下穿枋)

Fig. 18 Interior photo of Hall building from eastward

perspective (red is the crossbar under purlin)

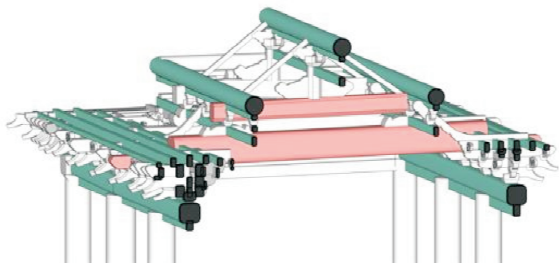


图 19 献殿当心间轴剖模型

Fig. 19 Axial cross-section model of Hall building center

里挑后昂的增设,一方面将连枋层、铺作层、大檐额与榑下穿枋、金榑下枋、金榑、后昂尾的一斗两升所构成的两个纵向水平错层空间界面进行了视觉连接,这一斜向构件所具有的视觉引导性,强化了两个空间界面的关联性。将截面层在室外空间所形成的空间界面印象,在室内进行了拓扑学和格式塔心理学意义上的视知觉再现。另一方面,通过使用一斗两升的构件样式,形成铺作组构关系的样式渐变,将铺作以构件表现性的渐变联系参与到空间表现和空间品质提升中,加强了纵横空间界面的交叠表现作用,见图 20、图 21。

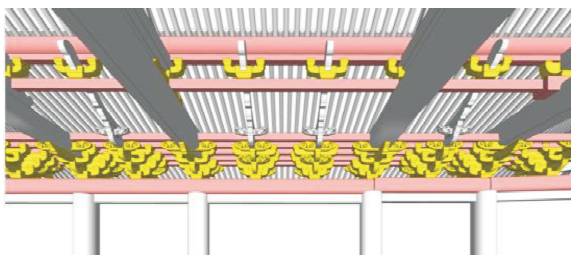


图 20 献殿纵向水平界面模型图

Fig. 20 Model diagram of longitudinal and horizontal interface

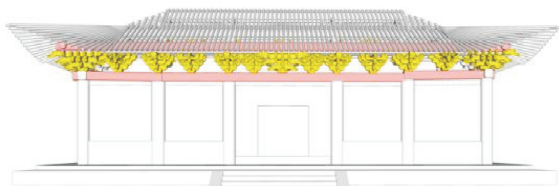


图 21 献殿正面模型图

Fig. 21 Frontal model diagram of Hall building

可见,里挑后昂、榑下穿枋、顺脊串的增设并不是基于结构合理的理性思维而是基于构造逻辑的设计思维,这是一种自觉的建筑空间设计,而它所遵守的设计思维是基于缝线的控制性、构造的逻辑性、尺度的整体匹配性、建构的秩序性。

3 总结

经过上述具体深入的理论阐释与案例实证研

究,提出一套具有一定普遍意义的结构-构造-空间关联分析路径与相应的概念逻辑系统,并对其分析框架与诸多新问题的科学解释模式有较为切实把握,也为传统木构建筑研究提供新的有启发意义的研究范式。这一路径使得我们不仅能够有效理解古代木构建筑营造中隐性的结构工程经验(1.1、1.3节)与显性的构造逻辑智慧(1.2-1.3节),而且能够有效考察大木作法式研究传统的问题界域(1.3节),更为重要的是能够清晰地阐释古代建筑内部空间的构造设计路径(2.1节)以及可操作的空间分析方法(2.1-2.2节)。在研究方法上,这类综合性的研究,将结构的理性分析、构造的技术分析与空间的体验分析结合,将实测数据的定量分析、构造形态的图式分析与建筑模型的空间描述结合,充分体现了结构思维与设计思维的应用方法与表达方式。

就案例本身所展开的实证分析与理论阐释,也获得了对化羊庙献殿建筑特征的诸多创新性发现:

(1)通过对其结构体系的分析,判定化羊庙献殿具有殿堂建筑结构性质。

(2)运用与结构体系关联的构造系统分析,提出献殿分为屋面层构造、截面层构造、柱框层构造,对学界已有探讨给予了完善并形成了相应的分析范式。

(3)运用结构-构造与空间的关联分析概念框架,发现了化羊庙献殿构造形态与其空间个性或地方性关联的诸多特征。

在结构、构造与空间的关联分析中,还拓展深化了诸多有理论探索价值的领域和应用前景。首先表现为结构体系与空间结构的学术概念结合,结构整体受力的力流分析与法式构造的技术分析结合,将会拓展深化建筑史学与结构工程两大学科领域对传统木构建筑研究的关联创新;其次,符合营造法式的缝线构造设计分析,并将法式“缝”线构造设计与空间界面分析有机结合,形成具有符合构造逻辑又利于空间形态分析的关联研究路径,为古代木构建筑内部空间研究提供了较为合理的概念框架和具有操作性的解释系统,具有较强的建筑理论探索价值;第三,对于木构建筑遗产价值阐释与展示所需的内在逻辑,提供了建筑形式构成与表达的可能应用前景,并对其建构逻辑提供一套基于结构、构造与空间内在关联的科学话语与设计话语系统。

参考文献 References

- [1] 李陆斌,吴国源,蔡楠. 韩城文庙明伦堂结构与空间的关联特征分析[J]. 建筑学报,2021(6):89-94.
LI Lubin, WU Guoyuan, CAI Nan. An analysis of the correlation features between the structure and space of Mingluntang of confucian temple in Hancheng City [J]. Architecture Journal, 2021 (6): 89-94
- [2] 阿德里安·福蒂. 词语与建筑物现代建筑的语汇[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2018.
ADRIAN Forty. Words and buildings: A vocabulary of modern architecture[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018.
- [3] 海诺·恩格尔. 结构体系与建筑造型[M]. 林昌明, 罗时玮译. 天津:天津大学出版社,2002.
HEINO Engel. Structural systems[M]. LIN Changming, LUO Shiwei Translated. Tianjin: Tianjin University Press, 2002.
- [4] 胡向磊. 建筑构造图解[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
HU Xianglei. Building construction graphics [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.
- [5] 林同炎,斯多台斯伯利 S D. 结构概念和体系[M]. 第2版,高立人,译,北京:中国建筑工业出版社,1999.
LIN Tongyan, STOTESBURY S D. et al. Structural concepts and systems for architects and engineers[M]. 2nd ed GAO Liren Translated, Beijing: China Architecture & Building Press, 1999.
- [6] 李剑平. 中国古建筑名词图解辞典[M]. 太原:山西科学技术出版社,2011.
LI Jianping. Illustrated dictionary of ancient chinese architectural terms[M]. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Publishing House, 2011.
- [7] 程大金,巴里·S.奥诺伊,道格拉斯·祖贝比勒. 图解建筑结构模式、体系与设计[M]. 张宇,陈艳妍,译. 天津:天津大学出版社,2015.
CHING Dai-kam, BARRY S. Onouye, DOUGLAS Zuberbuhler. Building structures illustrated: patterns, systems, and design [M]. ZHANG Yu, CHEN Yanyan Translated. Tianjin: Tianjin University Press, 2015
- [8] 陈平,姚谦峰,赵冬. 西安钟楼抗震能力分析[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),1998,30(3):75-77,81.
CHEN Ping, YAO Qianfeng, ZHAO Dong. An analysis on the aseismic behavior of Xi'an Bell Tower [J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. , (Natural Science Edition), 1998 ,30(3): 75-77,81
- [9] 陈明达,王其亨,殷力欣. 蓟县独乐寺[M]. 天津:天津大学出版社,2007.
CHEN Mingda, WANG Qiheng, YIN Lixin. Dule temple [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2007.
- [10] 潘谷西,何建中. 营造法式解读 [M]. 第2版,南京:东南大学出版社,2017.
PAN Guxi, HE Jianzhong. Interpretation of Yingzaofashi [M]. 2nd ed Nanjing: Southeast University Press,2017.
- [11] 傅熹年. 试论唐至明代官式建筑发展的脉络及其与地方传统的关系[J]. 文物,1999(10): 81-93.
FU Xinian, Official building and local architecture[J]. Cultural Relics,1999(10): 81-93.
- [12] 斋藤公男. 空间结构的发展与展望[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
MASAO Saito. Story of space and structure—structural design's future[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006.

(编辑 吴海西)