

杨 娜 著

藏式古建筑木结构 基本力学性能



科学出版社

藏式古建筑木结构 基本力学性能

杨 娜 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

藏式古建筑饱含浓郁的地域特色,具有极高的历史、文化与艺术价值。藏式古建筑木结构是藏式古建筑的重要组成部分。系统认识藏式古建筑木结构的基本力学性能、获取其基本力学特征参数、掌握其结构传力机理和破坏模式,是进行古建筑结构状态评估、加固维修的重要依据,也对古建筑保护工作具有重要的意义。

本书介绍了作者近年来在藏式古建筑木结构基本力学性能分析方面开展的相关研究工作,全书共9章,主要包括:藏式古建筑结构构造特征,藏式古建筑常用木材藏青杨的力学性能,藏式古建筑典型梁柱连接的力学性能,藏式古建筑楼盖的基本动力特性,人致荷载对藏式古建筑楼盖力学性能的影响,藏式古建筑木结构残损特征与成因分析等。

本书可为藏式古建筑的研究提供必要的基础信息,为藏式古建筑的保护提供科学依据;可供高等院校高年级本科生和研究生学习藏式古建筑木结构基本知识,还可供建筑、结构等相关领域科研与工程技术人员借鉴参考。

图书在版编目(CIP)数据

藏式古建筑木结构基本力学性能 / 杨娜著. —北京:科学出版社,2017.3
ISBN 978-7-03-051939-9

I. ①藏… II. ①杨… III. ①藏族-民族建筑-古建筑-木结构-力学性能-中国 IV. ①TU366.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 040476 号

责任编辑:杨向萍 张晓娟 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 伟 / 封面设计:左 讯

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年3月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017年3月第一次印刷 印张:10

字数:201 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

藏式古建筑是中华民族的艺术瑰宝,具有极高的历史、文化及科学价值,针对其开展深入的研究并掌握其物理力学性能,对于合理保护我国历史文化遗产具有重要意义。由于建造年代久远,藏式古建筑长期受到地震、风、雨等外界环境的侵蚀作用,再加上结构材料性能的退化,结构构件承载力及稳定性均会有所下降。近年来,前往西藏参观的游客人数不断增多,加剧了结构的损伤,给古建筑保护工作带来了更加严峻的挑战。因此,如何科学有效地保护藏式古建筑是目前亟待解决的问题,而获取结构的基本力学性能是进行古建修缮保护的重要前提与研究基础,也是开展后续工作的理论依据,具有非常重要的价值。

近十余年来,作者在藏式古建筑木结构基本力学性能分析方面开展了很多的研究工作,特别是2007年对布达拉宫进行实地考察后,相关研究工作得到了国家自然科学基金委员会、科技部、西藏自治区建设厅与文物局、布达拉宫管理处、西藏自治区“三大工程办”等部门和机构的大力支持,作者的研究团队在藏式古建筑木结构的研究与保护方面承担了多项重要课题。为向广大对藏式古建筑木结构感兴趣的读者介绍相关研究成果,特撰写此书。全书共9章,主要介绍藏式古建筑的结构构造特征、常用木材特性、典型梁柱连接的力学性能、结构动力特性以及结构残损特征与成因分析等相关内容。本书涉及的内容是作者及合作者在相关研究领域所开展的工作,主要针对藏式古建筑木结构的结构特征与力学性能;许多学者对藏式古建筑文化艺术特征进行过分析,读者可参阅相关文献。

本书的主要内容源于以下科研项目的部分成果:国家自然科学基金优秀青年基金项目“结构工程”(编号:51422801),北京自然科学基金重点项目“古建筑木结构的基本力学性能与剩余寿命研究”(编号:8151003),国家自然科学基金重点项目“古建木构状态评估、安全极限与性能保持”(编号:51338001),国家自然科学基金面上项目“藏式古建木结构的力学性能研究”(编号:51178028),国家科技支撑计划项目“古建筑结构监测与状态评估关键技术研究”(编号:2015BAK01B02)等。

本书的成果是作者与合作者及研究生共同完成的,主要包括:北京交通大

学杨庆山教授、罗邵湘教授、常鹏副教授、卢明奇副教授、王娟博士,以及作者指导的博士研究生郭婷、戴璐、白晓彬、秦术杰、李鹏、曹璞琳、吕梦宁,硕士研究生闫会春、淦鹏、王阳、朱蕾、胡浩然等。在此,要特别感谢博士研究生郭婷在此书的整理过程中所付出的努力,她孜孜不倦、踏实细致的工作态度使得本书得以顺利出版。

本书的现场试验工作和计算分析工作得到了布达拉宫管理处的大力支持,特别是觉旦和土登次仁,在此表示衷心的感谢。本书研究工作也有幸得到中国文化遗产研究院查群女士的指导,她在藏式古建筑及其保护方面的精深造诣给作者很大帮助,在此一并感谢。

本书是对我们前期研究工作的总结,难免存在不足之处,真诚地希望广大读者提出宝贵意见。

希望本书可以为藏式古建筑的研究提供必要的基础信息,引起更多对藏式古建筑的关注,为藏式古建筑的研究和保护工作添砖加瓦。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景、目的和意义	1
1.2 研究历史和现状	2
1.3 本书的研究思路和研究方法	3
1.4 本书的主要研究内容	4
参考文献	5
第 2 章 藏式古建筑木结构的建筑与结构特征	7
2.1 建筑特征	7
2.2 结构特征	8
2.2.1 基础	9
2.2.2 墙体	10
2.2.3 木构架	11
2.2.4 楼盖	14
参考文献	15
第 3 章 藏式古建筑常用木材的力学性能	16
3.1 力学性能概述	16
3.2 力学性能试验	17
3.2.1 试验对象	17
3.2.2 试验目标	18
3.2.3 试验过程	18
3.2.4 试验结果及分析	20
3.3 藏青杨强度	23
3.3.1 构件设计强度的确定	23
3.3.2 构件时变强度	27
3.4 有限元分析时木材材性参数的建议	30

参考文献	32
第4章 梁柱连接竖向荷载作用下的传力机理	34
4.1 结构分析模型的建立	34
4.2 概念分析	35
4.3 静载试验	37
4.3.1 相关参数的确定	37
4.3.2 试验装置与加载制度	40
4.3.3 测试内容及测点布置	41
4.3.4 试验过程及现象	42
4.3.5 试验结果及分析	43
4.4 有限元分析	51
4.4.1 有限元模型的建立	51
4.4.2 受力状态分析	52
4.4.3 梁柱连接的破坏模式	58
4.5 试验结果与数值模拟结果趋势分析	60
4.5.1 试验模型与有限元模型差异	60
4.5.2 结果趋势分析	63
4.6 小结	65
参考文献	66
第5章 梁柱连接竖向荷载作用下的转动机理	67
5.1 结构分析模型的建立	67
5.2 微小荷载作用下梁柱连接转动性能概念分析	68
5.3 梁柱连接转动性能试验	70
5.3.1 试件设计	70
5.3.2 试验装置与加载制度	72
5.3.3 测试内容及测点布置	74
5.3.4 典型试验过程及现象	75
5.3.5 试验结果及分析	76
5.4 梁柱连接转动刚度求解	83
5.4.1 各试件数值模拟结果	83

5.4.2 转动刚度的影响因素分析	93
5.5 试验结果与数值模拟结果趋势分析	94
5.5.1 变形形态及现象	94
5.5.2 梁柱连接转动刚度	96
5.6 小结	96
参考文献	97
第6章 梁柱连接滞回性能	98
6.1 有限元模型的建立	98
6.1.1 模型建立依据	98
6.1.2 有限元分析设置	99
6.2 数值模拟结果	100
6.2.1 受力分析	100
6.2.2 滞回曲线和骨架曲线	100
6.2.3 恢复力模型	102
6.2.4 能量耗散能力	104
第7章 楼盖动力特性分析	106
7.1 楼盖构造	106
7.2 楼盖动力参数识别	106
7.2.1 现场实测	107
7.2.2 动力参数识别方法	111
7.2.3 楼盖动力特性分析	114
参考文献	123
第8章 楼盖人致荷载试验	124
8.1 试验概况	124
8.1.1 试验对象	124
8.1.2 试验测点布置	126
8.1.3 荷载工况	128
8.1.4 测试内容	130
8.2 试验结果及分析	131
8.2.1 楼板间的相互影响	131

8.2.2 不同人群密度对结构的影响	134
8.2.3 不同人群活动类型对结构的影响	136
第9章 藏式古建筑木结构残损特征与成因分析	138
9.1 藏式古建筑木结构的主要残损和变形	138
9.1.1 梁的残损	138
9.1.2 弓木的残损	142
9.1.3 垫木的残损	143
9.1.4 柱的残损	144
9.1.5 椽子的残损	146
9.1.6 梁柱连接的歪闪变形	148
9.2 藏式古建筑木结构残损机理探讨	148
9.2.1 木材材质缺陷及材性退化的不利影响	149
9.2.2 结构自身构造的影响	151
9.2.3 长期复杂外力的作用	152
参考文献	152

第1章 绪 论

1.1 研究背景、目的和意义

藏式古建筑是中国古代建筑的重要组成部分,具有极高的历史、艺术及科学价值,它们当中的许多已被列为国家重点文物保护单位,有些甚至被评定为世界文化遗产。这些建筑不仅是藏族人民的财富、中华民族的瑰宝,也是世界文明的重要组成部分。

由于建造年代久远,藏式古建筑尤其是一些著名的古建筑工程,多数为历经多年的古老结构,千百年来,受到地震、腐蚀等自然外力作用以及结构材料性能的退化,结构、构件的承载力和稳定性均有所下降,威胁着结构的安全,其中许多古建筑结构曾出现多次严重险情。近年来,随着越来越多的建筑作为旅游景点对外开放及青藏铁路的通车,从各地前往西藏观光的游客日益增多,加剧了古老结构的损伤;青藏高原由于印度板块与欧亚大陆板块的碰撞而不断隆升,地质灾害频繁发生,也给藏式古建筑的抗震能力提出了严峻挑战。因此,如何科学地保护藏式古建筑以保证其安全使用以及久远传承是当前亟待解决的问题,具有重要的科学意义和社会价值。藏式古建筑结构有其独特性,研究此类结构的力学性能、掌握结构的传力机理和破坏模式等,是更好地保护民族文化遗产的前提与基础,也是开展后续修缮等工作的重要依据。

藏式古建筑结构体系大多外刚内柔,即外部多采用石墙或夯土等承重墙,内部采用木梁柱的混合结构形式,木结构在荷载传递上发挥重要作用。由于木材较砖、石的强度低、弹性模量小、易腐朽,其所面临的安全形势更为严峻,因此,木结构的力学性能研究是藏式古建筑结构性能研究的重要部分。在把握结构材料特性及其变化规律的基础上,对藏式古建筑木结构力学性能进行探讨,为今后藏式古建筑的深入研究及保护提供一定的理论依据和参考,是一项十分有意义的工作。

1.2 研究历史和现状

由于地域限制和文化差异,目前国内外关于藏式古建筑的研究成果较少。在对藏式古建筑的研究初期,大部分研究集中在它的建筑风格、装饰艺术及宗教意义,也有一些对其结构做法的考察与研究,而从受力的角度对结构残损状况、破坏原因等方面进行总结,并初步开展藏式古建筑整体结构及局部构件(梁、柱、连接等)的力学性能的研究较少。

20 世纪 80 年代末以来,伴随着国家对西藏文物保护的逐步重视,在一系列的大型修缮保护工程中,一些学者开始了对藏式建筑的研究。

1994 年,姜怀英等^[1]对藏式建筑的杰出代表——布达拉宫在一次维修前的破坏情况进行了总结:包括结构和构件的破坏形式、残损部位及残损程度。比较详细地介绍了布达拉宫的建造方式和结构构成特点,从受力的角度简单评价了藏式木结构连接的优点;给出了布达拉宫典型梁柱连接的尺寸详图,这对今后进行深入的结构分析很有帮助。木雅·曲吉建才^[2]根据藏汉文典籍和调研经验,从功能上和结构上分别对藏式古建筑进行分类,并按时间线索详细描述了藏式古建筑的发生和发展。贾中^[3]从地理环境和文明发展的角度阐述了藏式建筑的形成和演化进程,对民居、园林、寺庙和宫殿等主要建筑类型的设计思想和布局特点做了研究。杨嘉铭和赵心愚^[4]详述了藏式建筑的发展历程,并对藏式建筑的历史分期进行了常识性的分析,介绍了各个历史时期的重要建筑,同时还对各个历史时期的重要建筑类型、藏式建筑的技术与工艺、外来建筑文化对藏式建筑的影响及藏式建筑文化在国内的传播等专题进行了探讨。徐宗威^[5]全面和系统地总结了藏式传统建筑的建造技术和建筑风格。阿旺罗丹等^[6]对藏式建筑的类型进行了概括,从结构组成、建筑材料、装饰艺术及施工工艺等多个角度对藏式建筑的特点进行了详细探讨。陈耀东^[7]从历史、文化的角度详细阐述了藏式建筑体系的形成和发展,全面讨论了藏式建筑文化和建筑技术成就。汪永平和吕伟娅^[8]从建筑布局、装饰艺术方面研究了典型藏式建筑中的园林艺术的杰作——罗布林卡。

在藏式古建筑材料研究方面,赵涇峰等^[9]对西藏布达拉宫、罗布林卡古建筑 20 个椽材试样进行了树种鉴定,以及纤维长度和基本密度的测定。尚大军等^[10]对西藏布达拉宫和罗布林卡不同地方更换下来的杨木、沙棘和白叶柳旧木构件进行了 PILODYN 现场无损检测,得到了木构件腐朽与虫蛀程度的定量

结果。

在结构性能分析方面,靳文强^[11]利用非线性有限元方法,对一柱式藏式古建筑木构架进行了静力分析,得到了各构件应力、应变分布特点及破坏方式。范宇飞等^[12]运用数值模拟方法,进行了地震对拉萨藏式古建筑地基稳定性的影响分析,计算了不同地震烈度下地基的稳定性。邓传力等^[13]以试验为基础,研究了碳纤维布加固西藏传统建筑木梁的性能。

北京交通大学藏式古建筑保护课题组于2007年赴藏,对一重要的藏式古建筑结构进行实地勘察以了解藏式古建筑的结构特点,同时对藏式古建筑结构进行了一系列研究,至今取得了一些研究成果。

李鹏等^[14~16]基于实地调研,总结了藏式古建筑的结构特点及典型的残损类型,并从理论上做出了初步解释;建立了典型藏式古建筑梁柱连接的有限元模型,得到其破坏模式。他还探讨了暗销在梁柱连接中的作用,并将空间弹簧单元理论引入典型藏式梁柱连接中分析,进而探讨了简化模型的结构自振特性,为动力分析提供了参考依据。Yang等^[17]对退役木材进行力学性能试验,深入分析了试验结果,探讨了古木材材性退化规律和试样指标的变异性,为理论计算和有限元模拟提供了依据。

杨娜和闫会春^[18~20]以现场调研为依据,建立了典型藏式梁柱连接的分析模型,在此基础上完成了典型藏式古建筑木结构梁柱连接在竖向荷载作用下受力性能的试验,获得了结构的延性系数,并明确了构件的破坏顺序和破坏模式;另外,建立了典型藏式古建筑木结构梁柱连接的有限元模型,并与试验数据进行对比,分析了存在差异的原因;完成了梁柱连接转动性能的试验研究,得到了梁柱连接的弯矩-转角曲线;对梁柱连接进行滞回性能数值模拟,对比已有的古建筑木结构连接试验结果,验证了模拟的正确性并对结论进行了修正。闫会春和杨娜^[21]还以藏式古建筑为例,在北京交通大学古建保护课题组研究成果的基础上,总结了如何克服古建木材材性参数的离散性和模糊性问题,以设计古建筑木结构监测系统。

1.3 本书的研究思路和研究方法

本书针对典型藏式古建筑木结构体系,将实地勘察、理论分析、实验室试验、现场试验、数值模拟等多种研究手段相结合,对藏式古建筑木结构展开力学性能研究。具体研究方法如下:

(1)实地勘察。课题组赴西藏现场调研典型藏式古建筑木结构的结构特点、残损现状,对勘察结果进行归纳总结。

(2)理论分析。以材料力学、弹塑性力学、数理统计方法等为理论基础,研究藏式古建筑木结构常用木材藏青杨的力学性能;以材料力学、结构力学等为理论基础,研究梁柱连接的传力机理与破坏模式。

(3)实验室试验。完成藏式古建筑木结构常用木材藏青杨退役旧材和新材的力学性能试验;完成两组足尺典型藏式古建筑木结构梁柱连接的竖向静载试验,分析梁柱连接在竖向静载作用下的传力机理和转动机理。

(4)现场试验。完成典型藏式古建筑楼盖结构的现场振动实测试验,获得加速度时程响应曲线,进行楼盖系统的动力参数(频率、阻尼比、振型)识别;完成典型藏式古建筑楼盖结构的人致荷载试验,分析静态人致荷载作用下构件的受力特点及楼板间的相互影响,讨论不同人群活动类型对楼盖结构竖向振动的影响。

(5)数值模拟。采用三维实体单元和接触单元,建立典型藏式古建筑木结构梁柱连接的数值模型,分析梁柱连接在竖向荷载作用下的传力机理、转动机理和滞回性能。

1.4 本书的主要研究内容

本书基于典型藏式古建筑木结构,依托理论分析、试验研究和数值模拟,探究了藏式古建筑木结构的基本力学性能,具体研究内容如下:

第1章,绪论。

第2章,藏式古建筑木结构的建筑与结构特征。通过查阅目前藏式古建筑的相关文献资料,结合实地调研、勘察结果,阐述了结构整体、各个构件(基础、墙体、梁、柱)及重要连接形式(梁柱连接)的结构特征。

第3章,藏式古建筑常用木材的力学性能。进行藏青杨退役旧材和新材的力学性能试验,获得两种木材的基本物理力学性能指标;基于试验结果探讨古木材材性退化规律和试样指标的变异性,研究木构件的时变强度,提出数值模拟中木材材性参数的建议数值。

第4章,梁柱连接竖向荷载作用下的传力机理。完成足尺典型藏式古建筑木结构梁柱连接的静载试验,分析梁柱连接各构件在竖向静载作用下的受力状态和破坏模式;依据试验试件尺寸,建立有限元模型,运用数值模拟进行相同力

学分析;对比数值模拟结果与试验结果,并分析二者存在差异的原因。

第5章,梁柱连接竖向荷载作用下的转动机理。完成足尺典型藏式古建筑木结构梁柱连接的转动性能试验,分析梁柱连接各构件在转动模式下的受力状态和破坏模式,得到梁柱连接弯矩-转角曲线,求解梁柱连接的转动刚度,探讨构件尺寸与位置变化对梁柱连接转动刚度的影响;依据试验试件尺寸,建立有限元模型,运用数值模拟进行相同力学分析;对比数值模拟结果与试验结果,并分析二者存在差异的原因。

第6章,梁柱连接滞回性能。利用数值模拟进行梁柱连接的滞回性能研究,分析各构件在加载过程中的受力状态;得到相关滞回曲线、骨架曲线、恢复力模型和能量耗散能力。

第7章,楼盖动力特性分析。选取西藏拉萨地区某典型藏式古建筑木结构的回廊楼盖,进行楼盖的加速度响应实测,采用随机子空间法识别楼盖的前三阶振型、频率和阻尼比;对比随机子空间法、基于方差下界法、基于方差上界法这三种方法识别得到的阻尼比结果。

第8章,楼盖人致荷载试验。选取西藏拉萨地区某典型藏式古建筑木结构的三层楼盖进行人致荷载试验,分析静载作用下构件的受力特点及楼板间的相互影响,静态人群密度对楼盖结构响应的影响;采用多点激励方式进行人群动态荷载试验,研究不同动态人群密度对楼盖结构响应的影响,讨论不同人群活动类型对楼盖结构竖向振动的影响。

第9章,藏式古建筑木结构残损特征与成因分析。根据现场调研与勘察结果,总结藏式古建筑木结构目前的主要残损和变形,探讨藏式古建筑木结构的残损机理。

参 考 文 献

- [1] 姜怀英,噶苏·彭措朗杰,王明星. 西藏布达拉宫修缮工程报告. 北京:文物出版社,1994.
- [2] 木雅·曲吉建才. 藏式建筑的历史发展、种类分析及结构特征//建筑史论文集. 北京:清华大学出版社,1999: 15-29.
- [3] 贾中. 藏式建筑研究. 武汉:武汉理工大学硕士学位论文,2002.
- [4] 杨嘉铭,赵心愚. 西藏建筑的历史文化. 青海:青海人民出版社,2003.
- [5] 徐宗威. 西藏传统建筑导则. 北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [6] 阿旺罗丹,次多,普次. 西藏藏式建筑总览. 成都:四川美术出版社,2007.
- [7] 陈耀东. 中国藏族建筑. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [8] 汪永平,吕伟娅. 藏式建筑与园林艺术的杰作——罗布林卡. 南京工业大学学报:社会科学

版,2002,1(1):75-79.

- [9] 赵泾峰,段新芳,冯德君,等. 西藏古建筑房椽木构件树种鉴定研究. 西北林学院学报,2007(6): 138-143.
- [10] 尚大军,段新芳,杨中平,等. 西藏部分古建筑腐朽与虫蛀木构件的 PILODYN 无损检测研究. 林业科技,2007,32(5): 53-55.
- [11] 靳文强. 一柱式藏式古建筑木构架结构静力分析. 兰州交通大学学报,2015,34(6): 45-48.
- [12] 范宇飞,李文俊,马虎超,等. 地震对拉萨藏式古建筑地基稳定性的影响分析. 四川建材,2015,41(4):82-83
- [13] 邓传力,蒙乃庆,贾彬. 碳纤维布加固西藏传统建筑木梁的性能研究. 四川建筑科学研究,2012,38(6): 89-92.
- [14] 李鹏,杨娜. 暗销在藏式古建筑木结构连接中的作用. 北京交通大学学报,2010,34(4): 112-116.
- [15] 李鹏,杨娜,杨庆山,等. 藏式古建筑木梁柱节点力学性能研究. 土木工程学报,2010,43(S2): 263-268.
- [16] 李鹏. 藏式古建筑木构架梁柱节点力学机理研究. 北京:北京交通大学硕士学位论文,2009.
- [17] Yang N,Li P,Law S S,et al. Experimental research on mechanical properties of timber in ancient Tibetan building. Journal of Materials in Civil Engineering,2012,24(6),635-643.
- [18] 杨娜,闫会春. 典型藏式古建木构梁柱连接传力机理分析. 北京交通大学学报,2012,36(4): 76-81.
- [19] 杨娜,闫会春. 典型藏式古建木构梁柱连接转动性能试验研究. 土木建筑与环境工程,2011,33(6): 112-119.
- [20] 闫会春. 藏式古建木构梁柱连接力学性能试验研究及有限元分析. 北京:北京交通大学硕士学位论文,2011.
- [21] 闫会春,杨娜. 古建木结构健康监测系统预警机制探讨. 武汉理工大学学报,2010,32(9): 266-270.

第2章 藏式古建筑木结构的建筑与结构特征

2.1 建筑特征

藏式古建筑历史源远流长,在长期的建筑实践中,藏族人民因地制宜,不断吸取多民族文化,发明和积累了十分宝贵的建造技术和建筑经验,创造了独具特色的藏式建筑风格,呈现出其独特魅力。

自然地理环境对建筑类型及其表现形式起着决定性作用。西藏地处青藏高原,平均海拔在4000m以上,被称为“世界屋脊”,是人类居住条件最严酷的区域之一^[1]。藏族人民在漫长的营造实践活动中,崇尚自然,适应自然,在建筑选址与布局、建筑材料、结构形式、建造技术等方面逐步形成了其独有的特征和艺术风格,以与严酷的环境和谐共存。

藏族是一个全民笃信宗教的民族。随着藏传佛教的发展,藏传佛教各种教派逐渐形成,建筑也随之发生变化,开始向多样化发展。无论是神灵所在的寺庙建筑、权贵所居的宫殿,还是大量社会民众的居所,几乎所有的建筑都具有或浓或淡的宗教色彩^[2]。藏传佛教思想对藏式建筑的空间组织形式与平面布局、建筑造型、装饰艺术等方面产生了重要影响,进而形成了极具特色的藏式古建筑设计思想和营造理念。

藏式古建筑的建筑特征主要表现在坚固稳定、形式多样、装饰华丽、色彩丰富、文化交融五个方面^[3]。

收分墙体和柱网结构是构成藏式古建筑在视觉和构造上坚固稳定的基本因素^[3](详见2.2节中关于“结构特征”的描述)。由于居住在高海拔地区,藏式古建筑普遍采用厚重的墙体,不但可以抵御寒风的侵袭,而且可保持室内温度的相对稳定。墙体向上逐渐收分在实际功能上有稳固坚实的作用,在视觉心理效应上更有耸立向上而又稳定的效果^[4]。

藏式古建筑形式多样、富于变化、内容丰富。虽然藏式古建筑在结构形式、门窗套型以及建筑材料的使用等方面具有共性,但不同地区和不同类型的建

筑,又富有极其鲜明的个性。从空间上划分,有依山而建、平川建筑、峡谷建筑等;从结构形式划分,有土木结构、石木结构等;从建筑类型划分,有一层平房、多层楼房等;从屋面形式划分,有平顶房屋、坡面房屋等。窗是建筑立面的主要部分,窗的大小和窗在墙面的位置,主要根据房间的功能而定。建筑立面上窗的大小和排列的高低所具有的不规则性和随意性,突出体现了藏式古建筑形式多样的特点^[3]。

藏式古建筑装饰艺术集宗教艺术、文化艺术和建筑艺术为一体,运用了平衡、对比、对称、韵律、和谐和统一等构图规律和审美思想,艺术造诣深厚,工艺技术达到很高水平。藏式古建筑装饰中使用的主要艺术形式和手法,有铜雕、泥塑、石刻、木雕、绘画、布制材料缝剪等^[3]。

藏式古建筑的色彩运用,手法大胆细腻,构图以大色块为主,表现效果简洁明快。通常运用白、黄、红、黑四种单一颜色。藏式古建筑外墙的色彩,例如,民居、庄园、宫殿以白色为主,寺庙以黄色和红色为主,而民居、庄园、宫殿、寺院的窗户一般都使用黑色窗套^[3]。

西藏地处中原、印度两大文化区之间,古时候又受西亚以及阿拉伯文化的影响,因此客观上藏文化是交融文化,作为反映藏族文化的重要载体建筑艺术也不例外。在传统藏式建筑细部,木构件的装饰色彩、样式、图案绘制、雕琢等方面吸收外来文化,并与本土文化结合,创造出独具特色的藏文化特征^[3]。

2.2 结构特征

藏式古建筑按其用材来划分,主要有土木、石木、土石木混合结构,木制柱网结构形式是其最大特色。“结构体系大多为外刚内柔,即外部多采用石墙或夯土等承重墙,内部采用木梁柱构架的混合结构形式。每个单体建筑即为一个独立的结构单元,这些结构单元的平面大多是矩形或方形。平面内部按井字形(或近似井字形)布置若干上下贯通的墙体。在四周墙体内的空间,用梁柱组成纵向排架,梁上铺密椽,若需加大内部空间,则由数列纵排架组成。上下层建筑的梁柱排架,上下对齐在一条垂直线上,上下层一般不使用通柱”^[3]。

藏式古建筑的主要结构形式有“墙体承重结构”和“墙柱混合承重结构”两种^[3]。墙体承重结构,是用通长的木梁和木檩条架设楼层和屋面,每层屋面的