

新疆传统大空间建筑的夏季热环境实测分析^{*}

Measurement and Analysis of Summer Thermal Environment of Traditional Large-Space Buildings in Southern Xinjiang

李涛¹, 郭华², 李慧斌³, 樊思恺⁴
LI Tao, GUO Hua, LI Hui-bin, FAN Si-kai

开放科学 (资源服务)
标识码 (OSID)



[本文引用格式] 李涛, 郭华, 李慧斌, 等. 新疆传统大空间建筑的夏季热环境实测分析[J]. 南方建筑, 2019(4): 66-71.

摘要 为了解典型干热气候下新疆地区传统大空间建筑的夏季室内外热环境, 选取喀什阿帕克霍加麻扎建筑群中的主墓室、大清真寺内殿、侧殿、外殿和室外环境作为研究对象, 对其温度和相对湿度进行了实测。通过测试结果的分析发现: 喀什地区夏季室外昼夜温差大, 主墓室的热稳定性明显优于大清真寺内殿和外殿, 围护结构材料热惰性大、开口面积小, 建筑体型系数小, 内部有热缓冲区是主墓室热稳定性好的主要原因; 大清真寺外殿出挑深度与太阳角度关系密切; 室外绿化、水体作为下垫面的降温 and 加湿效果优于广场。结论可为当地现代大空间建筑室内外环境的气候适应性设计提供参考。

关键词 新疆地区; 传统大空间建筑; 夏季热环境; 实测分析; 气候适应性

ABSTRACT In order to understand the indoor and outdoor summer thermal environments of traditional large-space buildings in southern Xinjiang under the typical hot-arid climate, the temperature and the relative humidity of the main tomb, inner hall, side hall, and outer hall of the Grand Mosque, and the outdoor environment in the Apakh Khoka Mazar in Kashgar were measured. We found that the temperature difference between day and night outside was remarkable during the summer days in Kashgar, and the thermal stability of the main tomb chamber was better than that of the inner and outer halls of the Great Mosque. The main reasons for the good thermal stability of the main tomb chamber were the large thermal inertia of the enclosure structure materials, the small opening area and building shape coefficient, and the thermal buffer zone inside. The protruding depth of the outer hall of the Great Mosque was closely related to the angle of the sun. Outdoor greening and water as an underlying surface had better cooling and humidifying effects than the square. The results could serve a reference for the indoor and outdoor climate response design of local modern large-space buildings.

KEY WORDS Southern Xinjiang; traditional large-space buildings; summer thermal environment; field measurement and analysis; climate response

*** 基金项目:** 国家自然科学基金青年项目 (51708439); 新疆传统伊斯兰建筑自然通风的科学机理及设计应用研究; 十三五国家重点研发计划项目子课题 (2017YFC0702400); 西北荒漠区绿色建筑模式与技术体系研究; 西安建筑科技大学 2018 年国家级大学生创新创业训练计划项目 (201809036); 新疆传统伊斯兰建筑调查研究。

中图分类号 TU111.19

文献标志码 A

DOI 10.3969/j.issn.1000-0232.2019.04.066

文章编号 1000-0232 (2019) 04-0066-06

作者简介 ¹ 博士后, 电子邮箱: 182171912@qq.com; ² 副教授; ^{3&4} 本科生; ^{1&2&3&4} 西安建筑科技大学建筑学院

引言

我国南疆地区具有典型的干热气候特征,这里常年干燥少雨、夏季高温炎热,冬季寒冷。在这极端的气候环境下,清真寺大殿和麻扎等传统的大空间建筑在整体布局、空间组织、围护结构、景观配置等方面形成了应对气候环境的丰富智慧。然而随着当前南疆地区城镇化和现代化的推进,火车站、汽车站、展览馆等大量建设的现代大空间建筑却抛弃了传统大空间建筑的气候适应性经验,盲目依赖集中空调系统,造成了当地建筑地域特征的消失和资源环境负担的增加。借助科学的方法挖掘传统大空间建筑的气候适应性经验,定量分析其科学机理,对于传统大空间建筑气候适应经验的传承以及现代大空间建筑的气候适应性设计具有重要意义。

目前国内外对于传统建筑热环境的研究均以小空间的民居建筑为主^[1-12],对传统大空间建筑热环境的研究则相对较少。张颀等对北方寺庙大殿的建筑热环境进行了实测,挖掘了其气候适应性措施^[13];赵西平等对青海回族清真寺大殿的室内热环境进行了分析,提出了相应的改善策略^[14];黄凌江等探讨了西藏寺院经堂天窗对室内气候的影响机制^[15],然而目前对气候特征极端、地域特征显著的南疆地区传统大空间建筑热环境的研究还很少见。本文以南疆地区最具典型性的传统大空间建筑——喀什阿帕克霍加麻扎作为研究对象,通过现场实测分别了解了夏季室内外热环境的客观规律,进一步分析了影响室内外热环境的主要因素,为该地区现代大空间建筑的气候适应性设计提供借鉴。

1 研究对象概述

南疆地区的传统大空间建筑主要包括了维吾尔族清真寺和麻扎建筑,该地区是我国维吾尔族清真寺和麻扎数量最多和分布最为集中的地区^[16],这里的传统大空间建筑在极端气候和民族文化的多重影响下形成了与内地传统大空间建筑迥异的空间和环境特征^[17],比如:建筑布局对外封闭、对内开敞,由一系列开敞程度不同的空间构成,形成“内外殿”的空间形制,采用厚重的生土和砖作为围护结构,庭院中心常常设置了水体、绿化和高大乔木。

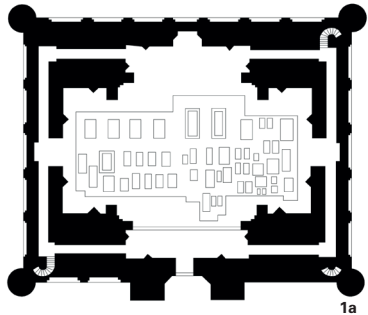
在对比和分析大量南疆地区传统大空间建筑的基础上,选择喀什的阿帕克霍加麻扎建筑群作为具体研究对象。该建筑群由大小不同的4座清真寺、一座主墓室和室外环境构成,主墓室、大清真寺、室外环境分别代表了南疆地区典型麻扎建筑、开敞式清真寺大殿和室外环境的空间布局模式。

主墓室坐北朝南,采用长方形平面,其上覆盖集中的大穹顶,建筑面积约1236m²。建筑内部空间极为封闭,仅通过入口2m宽的门和穹顶上的4扇小窗与外部连通。主墓室全部采用生土材料建造,外墙最薄处厚2m,建筑夹层内环绕墓室空间四周设置走廊,形成双层墙体结构(图1)。

大清真寺坐西向东,采用“三合院”式布局,分为西侧的内殿、南侧殿、北侧殿和外殿,总建筑面积为2486m²。西内殿、南侧殿和北侧殿均为长方形平面,采用砖石结构建造,墙厚1.5m,顶上覆盖连续的小穹顶,朝向外殿和庭院侧设置拱门。外殿采用木结构,向庭院完全敞开(图2)。

建筑群外部环境由广场(图1~2)、花园和水池(图3)3种不同类型的下垫面构成。广场位于墓室和清真寺

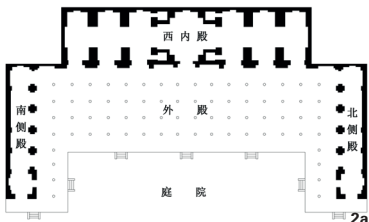
图 1a 主墓室平面图
图 1b 主墓室外观
图 1c 主墓室内部
图 2a 大清真寺平面图
图 2b 大清真寺外殿
图 2c 大清真寺内殿
图 2d 大清真寺北侧殿
图 2e 大清真寺南侧殿



1a

1b

1c



2a

2b

2c

2d

2e

前，其上无遮挡；花园位于墓室和清真寺之间的空地上；水池共有3座，分别位于大清真寺的庭院中和建筑群的入口处。

2 测试方案设计

通过气候分析软件 Climate Consultant 读取喀什地区的典型气象年数据^[18]，生成全年的温度分布如图4所示^[19]。分析得出，喀什地区全年温度差将近50℃，7月份是夏季最热月，日平均最高温度35℃。课题组选择在此期间对喀什阿帕克霍加麻扎的墓室、大清真寺和室外环境进行连续的现场实测，以获得典型热环境数据。测试时间为2018年7月26日下午3:50至7月29日下午3:50，测试周期为3天，共计72h。

测试仪器采用了日本TR-72U双通道温湿度自计仪，测量精度为±0.3℃，±5%RH，时间间隔设置为10min，主要用于记录室内外不同空间的温度和相对湿度。在建筑群中共布置8个测点（图5），各测点对应的编号和位置如表1所示。所有仪器均置于距地面1.5m高处，室外测试仪器采用铝箔纸包裹并两侧留通风口。

测试期间喀什地区的天气状况由晴天转为为阴雨天气，其中7月26日晴，7月27日阴，从7月28日凌晨1点开始突降小雨，持续了半天，7月29日多云^[20]。通过对喀什地区2018年7月和8月共计61天的天气情况统计可知，晴天占到44%，多云天占到38%，阴雨天气占18%^[20]，由此可知在当地夏季出现频率较高的天气是晴天和多云天，阴雨天气虽偏少，但也占到一定的比例，本文主要讨论当地夏季典型阴雨天气下建筑室内外热环境变化规律，晴天和多云天气留待后续研究。

3 实测结果与分析

3.1 室外热环境基本情况

主墓室前广场的温度和相对湿度测试结果如图6所示。从图中可以看出，随着喀什的天气从晴转阴，阿帕

克霍加麻扎室外广场上的温度整体呈下降走势，而相对湿度整体呈增加的走势；受到7月28日凌晨突然降雨的影响，夜间00:00~上午12:00间的温度下降幅度较大，最小值为15.5℃；空气相对湿度显著增加，最大值甚至超过90%。室外广场的空气温度和相对湿度呈昼夜周期性波动规律，温度和相对湿度呈现反向波动。白天最高温度和夜间最低温度之间相差约24℃；相对湿度相差高达81%以上。由此可知，喀什地区在夏季典型阴雨天气下昼夜温度和相对湿度相差较大，室外热环境受天气条件影响明显^[21]。

表1 各测点对应的空间位置和属性

编号	测点位置	空间性质	空间朝向	下垫面类型
01	大清真寺内殿	半封闭	东向	——
02	大清真寺外殿	半开敞	东向	——
03	大清真寺北侧殿	半封闭	南向	——
04	大清真寺南侧殿	半封闭	北向	——
05	大清真寺庭院水池旁	——	——	水体
06	墓室内	全封闭	南向	——
07	墓室外广场	——	——	硬质铺地
08	花园葡萄架下	——	——	绿化

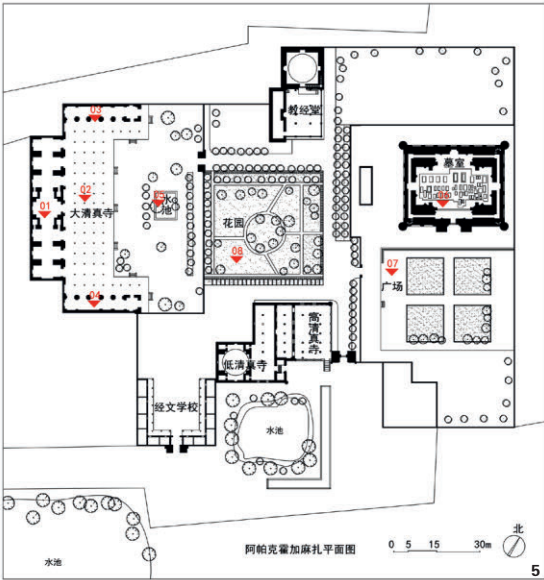
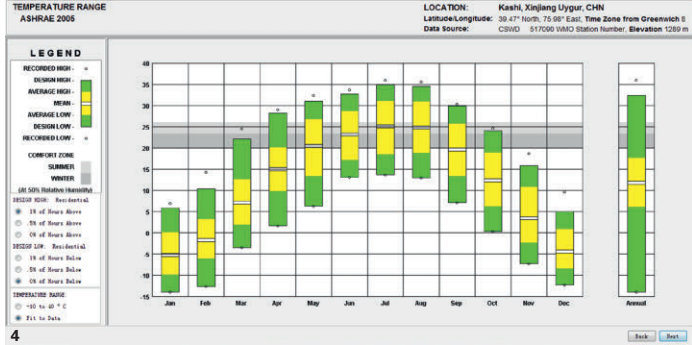


图3a 花园 3b 水池
图4 喀什地区的全年温度分布
图5 阿帕克霍加麻扎的室内外观和测点分布



3.2 室内热环境测试结果与分析

3.2.1 温度

建筑室内温度的实测结果如图7所示。可以看出,与室外温度呈现较大波动所不同,室内温度波动相对较小。其中,主墓室内的温度波动最小,测试期间除了7月28日中午12点左右主墓室内温度短时间下降到24℃,其余时间室内温度基本上保持在26~30℃之间,温度最大差值仅为6℃,平均温度为27.8℃。大清真寺南侧殿和北侧殿的温度波动大于主墓室,在23~33℃之间,两者温度最大差值均为10.2℃;其中南侧殿的平均温度为27.3℃,略高于北侧殿的平均温度27.1℃。大清真寺西内殿和外殿的温度波动最大,西内殿的温度在20.5~32.2℃之间,温度最大差值为11.7℃;外殿的温度在20.3~34.4℃之间,温度最大差值为14.1℃;西内殿与外殿的平均温度均为25.2℃。由此可知,室内温度稳定性的排序是:主墓室>大清真寺北侧殿=大清真寺南侧殿>大清真寺西内殿>大清真寺外殿。

3.2.2 相对湿度

建筑室内相对湿度的测试结果如图8所示。可以看出,与室外相对湿度呈现较大波动所不同,室内相对湿度波动较小。其中,主墓室的相对湿度最为稳定,除了7月28日中午12:00左右有短时间相对湿度达到55%以上,其他时间基本上在22.6~54.5%之间,相对湿度的最大差值为31.9%,平均相对湿度为37.36%。大清真寺的南侧殿和北侧殿空气相对湿度波动幅度大于主墓室,其中北侧殿的相对湿度波动在15.3~65.6%之间,相对湿度最大差值50.3%,平均相对湿度43.23%;南侧殿的相对湿度

波动在16.5~69.9%之间,相对湿度最大差值53.40%,平均相对湿度44.89%。大清真寺的西内殿和外殿的空气相对湿度波动大于南北侧殿,其中大清真寺内殿的相对湿度波动在16.5~75.1%之间,最大差值58.6%,相对湿度平均值47.54%;外殿相对湿度波动在16.2~75.3%之间,最大差值59.1%,相对湿度平均值为48.35%。由此可知,室内相对湿度稳定性的排序是:主墓室>大清真寺北侧殿>大清真寺南侧殿>大清真寺西内殿>大清真寺外殿。

综上可知,主墓室和大清真寺的夏季室内热环境中,主墓室的热稳定性最好,大清真寺的侧殿和内殿次之,大清真寺外殿的热稳定性最差;南北侧殿的热稳定性大于西向内殿。

3.3 室外热环境测试结果与分析

3.3.1 温度

阿帕克霍加麻扎室外环境的温度实测结果如图9所示。可以看出,广场、花园和水池测点的温度波动呈现相似的规律。其中广场的温度波动幅度最大,在15.4~39.4℃之间,温度最大差值为24℃;平均温度为23.5℃。花园和水池的温度波动幅度相对偏小,最大差值分别为20.7℃和21.7℃,花园和水池的平均温度分别为22.7℃和21.7℃。其中,水池的平均温度比花园约低1℃,花园比广场温度约低1℃。由此可以看出绿化和水体作为下垫面对室外温度的影响。

3.3.2 相对湿度

阿帕克霍加麻扎室外环境的相对湿度实测结果如图10所示。可以看出,广场、花园和水池的相对湿度也呈

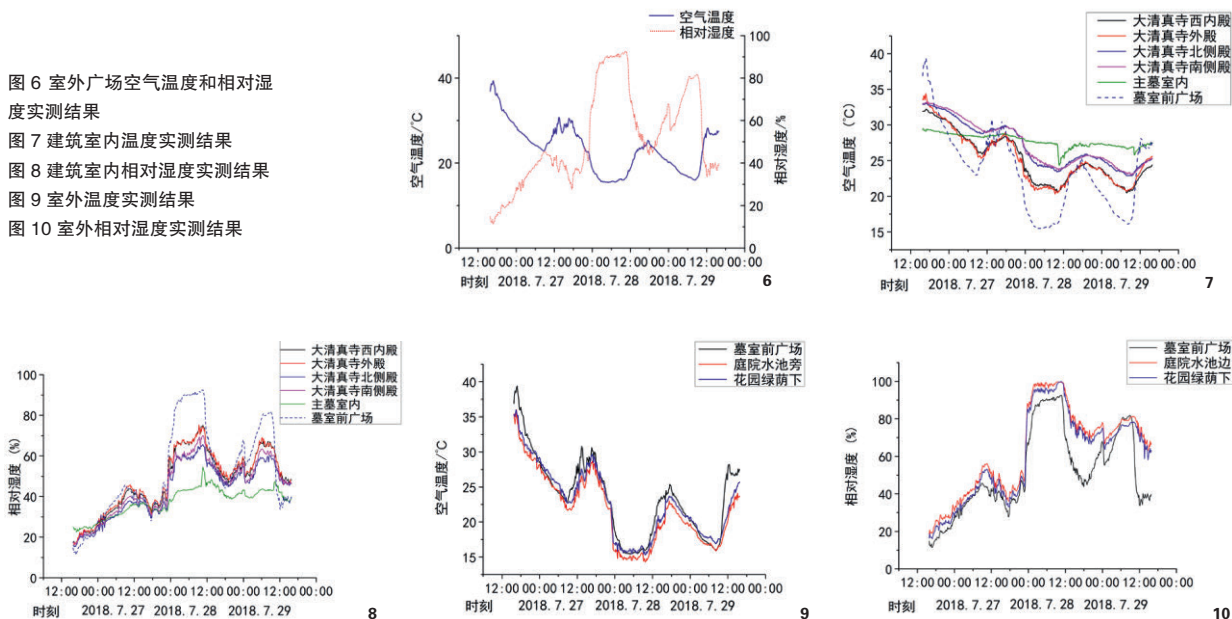
图6 室外广场空气温度和相对湿度实测结果

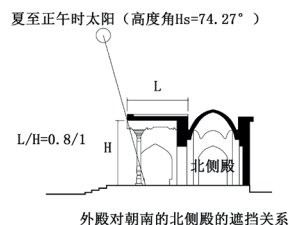
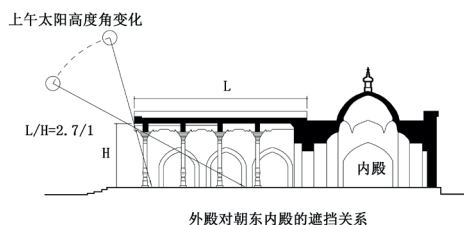
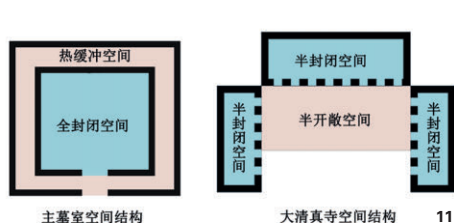
图7 建筑室内温度实测结果

图8 建筑室内相对湿度实测结果

图9 室外温度实测结果

图10 室外相对湿度实测结果





现相似的波动规律。3 种不同类型下垫面相对湿度波动均大，最大差值都在 80% 以上。其中，广场的相对湿度平均值最小，为 51.78%，花园的相对湿度平均值大于广场，为 60.66%；水池边的相对湿度平均值最大，为 61.64%。由此可知，喀什典型阴雨天气下，室外环境相对湿度波动大，绿化和水体作为下垫面相对湿度大于广场。

综上所述，阿帕克霍加麻扎的室外环境中，绿化和水池作为下垫面对室外热环境具有明显的降温和增湿作用。

4 新疆地区传统大空间建筑夏季热环境的影响因素分析

4.1 室内热环境的影响因素分析

4.1.1 围护结构

围护结构是影响主墓室和大清真寺室内热环境的重要因素之一。围护结构对室内热环境的影响进一步由围护结构的材料、厚度和建筑对外开口面积三者决定。从围护结构的材料和厚度上来看，主墓室采用了厚度约 2m 的生土材料建造，大清真寺的内殿和南、北侧殿采用了厚度约 1.5m 的砖石材料建造，厚重的生土材料和砖石材料都具有非常好的隔热和蓄热能力，能够抵御外界的温度变化，因此室内空间相比于一侧没有围护结构的外殿有更好的热稳定性。从围护结构对外界的开口面积上来看，主墓室围护结构的开口面积最小，入口和穹顶小窗加起来仅占外墙总面积的 0.3%；大清真寺内殿和南、北侧殿的围护结构虽然采用了砖石建造，但其开口面积较大，朝向外殿拱门的开口面积之和占外墙总面积的 11.8%；大清真寺的外殿侧面没有围护结构，向庭院完全敞开。因此，外部太阳辐射和通风对主墓室热环境的影响最小，对大清真寺外殿的影响最大。

4.1.2 空间布局

空间布局是影响主墓室和大清真寺室内热环境的另一因素。主墓室采用了近似方形的平面，建筑的体型系数较小，仅为 0.19；而大清真寺采用了“三合院”平面，内殿和南、北侧殿的面宽大、进深浅，建筑的体型系数为 0.43，超过了北方寒冷地区体型系数的限值 0.30。从节能的角度来看，主墓室的建筑形体更有利于节能。在建筑的内部空间布局上，主墓室在主体空间周围环绕一

圈回廊的空间布局模式，在双层墙体之间形成了热缓冲空间，进一步增加了内部空间的热稳定性（图 11）。

4.1.3 建筑朝向

建筑朝向与日照有关，因而也影响建筑的热环境。大清真寺受伊斯兰宗教礼制的约束建筑坐西向东，朝东的内殿是其最主要的使用空间，而南、北侧殿作为辅助的使用空间。外殿相当于一个较大的水平遮阳空间，用以应对夏季太阳辐射导致大殿内部过热的问题^[22]。大清真寺外殿在不同朝向上出挑深度不同，外殿对朝东内殿方向上出挑深度（L）与高度（H）的比值约为 2.7:1，其主要应对的是上午较低的太阳高度角，遮挡夏季上午过多的阳光进入内殿；外殿对朝南的北侧殿方向上的出挑深度（L）与高度（H）的比值约为 0.8:1，其主要应对的是正午较高的太阳高度角，遮挡夏季正午过多的阳光进入侧殿（图 12）。

4.2 室外热环境的影响因素分析

室外热环境的表现受到下垫面类型和是否有室外遮挡物的影响。新疆地区夏季炎热干燥，广场长时间暴露在无遮挡的太阳辐射之下，因此温度高，相对湿度低。绿化或水体作为下垫面能够通过植物和水体的蒸发作用降低空气温度，增加相对湿度，改善室外微环境。在新疆地区传统大空间建筑的庭院中心或室外空地上常常设置水池或花园，围绕水池四周种植高大的乔木，花园内则种植树木或设置葡萄藤架，通过景观下垫面和树木、藤架共同形成了立体的室外微气候调节系统。当外部的热空气进入庭院式，先经过阴影下的植物和水体的冷却之后再进入建筑内部，起到降温加湿效果（图 13）。

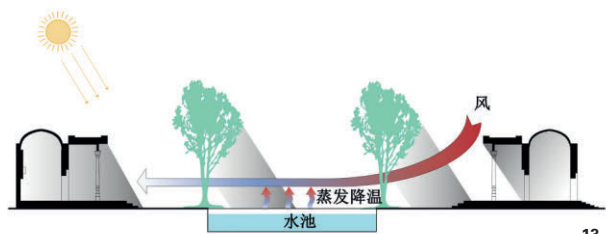


图 11 墓室和大清真寺的空间结构比较
图 12 外殿对不同朝向空间的遮挡关系
图 13 庭院中的绿化和水池组合

5 结论与启示

5.1 结论

(1) 通过对阿帕克霍加麻扎的夏季室外环境测试表明:在典型阴雨天气条件下,当地夏季室外环境温度和相对湿度变化均较大,昼夜最大温差约 24℃,相对湿度相差 81% 以上;绿化和水体作为下垫面对室外环境具有明显的降温和增湿效果,阴雨天气下,绿化比广场的平均温度至少低 1℃,相对湿度也大于广场。

(2) 在主墓室和大清真寺的内殿、南北侧殿和外殿当中,主墓室的热稳定性最好,测试期间温度波动幅度仅为 6℃,侧殿和内殿次之,外殿的热稳定性最差,测试期间温度波动约为 14℃,南北侧殿的热稳定性优于内殿。分析表明围护结构的材料、厚度、开口面积,建筑的空间布局以及朝向是影响墓室和清真寺内外殿室内热环境差异的重要因素。

5.2 对当地现代大空间建筑气候适应性设计的启示

新疆地区的现代大空间建筑虽在使用功能上与传统大空间建筑有所差异,但是在传统大空间建筑中蕴含的一些气候适应性设计原理同样值得借鉴,通过本文分析可得出如下对新疆地区现代大空间建筑设计的启示:

(1) 应当增强建筑外围护结构的保温隔热能力,在满足大空间室内采光通风的前提下,尽可能减小建筑的开口面积,尽量采用方整规则的建筑形体,减小建筑的体型系数,结合使用功能合理设置热缓冲区,通过以上手段增加室内的热稳定性。

(2) 应结合使用功能合理设置半室外的遮阳空间,满足季节性使用需求并节约成本;应根据建筑不同朝向合理设计半室外遮阳空间的出挑深度,减少夏季进入室内的日照以改善热环境。

(3) 在室外环境设计中,优先采用水体和绿化等下垫面类型,同时结合高大的乔木和植物廊架等形成立体的景观种植群落,通过遮阴和被动蒸发原理共同调节室外微气候。

图、表来源

图 5: 樊思恺绘制;

图 11、图 13: 李慧斌绘制;

其余图、表均为李涛拍摄和绘制。

参考文献

[1] A.S. Dili, M.A. Naseer, T. Zacharia Varghese. Passive environment control system of Kerala vernacular residential architecture for a comfortable indoor environment: A qualitative and quantitative analyses[J]. Energy and Buildings 42 (2010) 917-927.

[2] H.B. Rijal, H. Yoshida, N. Umemiya. Seasonal and regional differences in neutral temperatures in Nepalese traditional vernacular houses[J]. Building and Environment 45 (2010) 2743-2753.

[3] 林波荣, 谭刚, 王鹏, 等. 皖南民居夏季热环境实测分析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2002(8): 1071-1074.

[4] 解明镜, 张国强, 徐峰, 等. 湘北某民居夏季热环境实测分析[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2009, 36(3): 16-21.

[5] 曾志辉, 陆琦. 广州竹筒屋室内通风实测研究[J]. 建筑学报, 2010(S1): 88-91.

[6] 高云飞, 赵立华, 陈海铭. 殿堂式客家民居自然通风实测[J]. 南方建筑, 2012(1): 72-74.

[7] 陈晓扬, 郑彬, 傅秀章. 民居中冷巷降温的实测分析[J]. 建筑学报, 2013(2): 82-85.

[8] 黄志甲, 董亚萌, 程建. 徽州传统民居气密性实测研究[J]. 建筑科学, 2016, 32(8): 115-118.

[9] 郝石盟, 宋晔皓, 李珺杰, 等. 苏南民居室内物理环境实测研究[J]. 动感(生态城市与绿色建筑), 2016(1): 97-104.

[10] 方玲, 孟庆林. 新老民居外墙热工性能实测与分析[J]. 建筑技术, 2017, 48(7): 704-706.

[11] 王艺, 倪阳, 何江, 等. 湿热地区步行商业街夏季室外热环境实测分析[J]. 南方建筑, 2017(4): 120-123.

[12] 肖毅强, 林瀚坤, 惠星宇. 广府地区传统村落的气候适应性空间系统研究[J]. 南方建筑, 2018(5): 62-69.

[13] 张颀, 徐虹, 黄琼, 等. 北方古代大空间建筑气候适应性初探[J]. 新建筑, 2015(3): 110-115.

[14] 赵西平, 陈其龙, 马媛. 青海地区清真寺大殿冬季室内热环境改善研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2017, 49(1): 92-98.

[15] 黄凌江, 邓传力. 西藏寺院经堂天窗形式特点及对室内气候控制探析[J]. 建筑学报, 2016(S1): 142-149.

[16] 刘致平. 中国伊斯兰教建筑[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1985: 8-12.

[17] 张胜义. 新疆传统建筑艺术[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1999: 108-109.

[18] 中国气象局, 清华大学. 中国建筑热环境分析专用气象数据集[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 33-36.

[19] UCLA. Climate-consultant [EB/OL]. (2016-1-1) [2018-11-19]. <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>.

[20] 历史天气网. 喀什 [EB/OL]. (2018-7-30) [2018-12-19]. <https://lishi.tianqi.com/kashi/201807.html>.

[21] 周雪帆, 陈宏, 吴昀霓, 等. 基于移动测量的城市空间形态对夏季午后城市热环境影响研究[J]. 风景园林, 2018, 25(10): 21-26.

[22] 张德顺, 王振. 天穹扇区对夏季广场小气候及人体热舒适度的影响[J]. 风景园林, 2018, 25(10): 27-31.