

高原低氧环境下建筑设计对人体健康的适应性策略研究

刘珈言

西安欧亚学院人居环境学院, 陕西省西安市, 710065;

摘要: 高原地区独特的低氧、严寒、强紫外线、昼夜温差大等环境特征, 对人体生理机能与心理健康构成显著挑战, 而建筑作为人类在高原长期居住、工作的核心载体, 其设计合理性直接影响人体对高原环境的适应能力与健康水平。本文以高原低氧环境为核心切入点, 结合国内外最新研究成果及地方技术标准, 分析低氧环境对人体健康的多维度影响, 梳理当前高原建筑设计中存在的适配性问题, 从规划布局、空间设计、设备系统、材料应用及文化适配五个维度, 提出针对性的建筑设计适应性策略, 为高原地区健康建筑的设计、建造与运维提供理论支撑与实践参考。

关键词: 高原低氧; 建筑设计; 人体健康; 热舒适

DOI: 10.69979/3029-2727.26.04.025

引言

高原地区通常指海拔高于 2500 米的区域。随着海拔升高, 大气压强呈指数级下降, 氧分压同步降低, 形成低氧环境, 海拔每升高 1000 米, 大气压约降 11%, 氧分压同步下降, 以拉萨为例, 其氧分压仅为海平面地区的 64%, 人体呼吸摄入氧气显著减少。我国高原面积 250 万平方公里, 涵盖多省区, 居住数千万群众, 同时承载着国防、科考、旅游等重要功能。

长期处于低氧环境中, 人体易出现高原反应等健康问题, 轻度表现为头痛等, 重度可引发高原肺水肿甚至危及生命。在此背景下, 建筑作为人类抵御环境不利因素的核心载体, 其设计合理性直接影响人体对高原环境的适应能力与健康水平。与此同时, 《西藏自治区好住宅技术标准》等地方规范出台, 以及高海拔建筑等新技术的落地, 为高原健康建筑设计提供新思路。然而, 当前部分高原建筑仍沿用平原地区设计模式, 未充分考虑低氧环境的特殊性, 难以有效保障人体健康。因此, 本文聚焦高原低氧环境下建筑设计与人体健康的适配关系, 探索科学的适应性设计策略, 具有重要的理论与现实意义。

1 高原低氧环境对人体健康的核心影响

1.1 生理层面的影响

生理层面的影响是低氧环境对人体最直接的作用, 主要体现在呼吸系统、循环系统、神经系统等多个器官系统, 分为急性适应与慢性损伤两个阶段。

在急性适应阶段, 人体进入高海拔低氧环境后, 会

启动代偿机制应对缺氧挑战, 即高原习服过程。呼吸系统通过加深加快呼吸增加通气量, 循环系统通过心率加快、心输出量增加及红细胞代偿性增生提升携氧能力, 细胞水平则可能发生线粒体功能与毛细血管密度的适应性改变。但这种代偿存在限度, 当缺氧程度超过个体生理代偿能力, 便会出现急性高原反应, 常见症状包括头痛、头晕、乏力、恶心、食欲减退、心跳加快、呼吸急促等, 严重时可引发高原肺水肿、脑水肿, 表现为咳嗽带粉红色泡沫痰、极度呼吸困难、意识模糊等。

在慢性损伤阶段, 长期暴露于低氧环境会导致人体生理机能出现不可逆的损伤。呼吸系统方面, 长期过度通气会增加呼吸肌负担, 引发慢性支气管炎、肺气肿等疾病; 循环系统方面, 红细胞过度增生会导致血液粘稠度增加, 加重心脏负荷, 诱发高血压、冠心病等心血管疾病; 神经系统方面, 长期缺氧会影响大脑供氧, 导致记忆力下降、注意力不集中、睡眠障碍等问题, 严重时还会影响认知功能。此外, 低氧环境还会影响人体免疫力, 使人体易受感染, 同时加速肌肉萎缩、骨骼钙质流失, 影响身体机能。

值得注意的是, 不同人群对高原低氧的耐受度存在差异, 健身爱好者、运动员等耗氧量大的群体, 以及哮喘、高血压患者等心肺功能较弱的人群, 更易出现高原反应, 而孕妇、儿童、老年人等特殊群体则需重点防护。

1.2 心理层面的影响

高原低氧环境不仅影响人体生理健康, 还会通过生理不适间接影响心理健康, 同时受高原地区特殊的地理

环境、人文环境影响，易引发心理层面的问题。长期处于低氧环境中，人体因生理不适会产生烦躁、焦虑、抑郁等负面情绪，而高原地区人口密度低、交通不便、生活单调，进一步加剧了这种负面情绪。

此外，部分人群对高原环境存在恐惧心理，即“高原恐惧症”，表现为持续的精神紧张、焦虑甚至恐慌，通过神经-内分泌-免疫轴引发心率过快、呼吸急促等生理反应，反而增加耗氧量，加重缺氧症状。长期的负面情绪会影响人体内分泌系统，进一步降低身体对低氧环境的适应能力，形成“生理不适-心理焦虑-适应能力下降”的恶性循环。

2 高原低氧环境下建筑设计的现状与问题

2.1 规划布局缺乏低氧适配性

部分高原建筑规划布局沿用平原地区设计思路，未充分考虑低氧环境对人体健康的影响。一方面，建筑选址未充分结合高原地形、气候特征，部分建筑选址在通风不畅的低洼地带，导致建筑内部空气流通不畅，氧气浓度难以提升，加重室内缺氧状况；另一方面，建筑间距、朝向设计不合理，部分建筑未优先采用南向或南偏东/偏西 15° 以内的朝向，导致室内日照不足，不仅影响人体维生素D的合成，还会降低室内温度，增加人体御寒负担，间接加剧缺氧不适。此外，部分高原城镇建筑密度过高，导致区域内空气流通受阻，进一步降低了局部环境的氧气浓度。

2.2 空间设计未兼顾缺氧适应需求

高原建筑的空间设计往往注重使用功能，忽视了低氧环境下人体的生理需求。研究表明，不同停留时间与不同原居地海拔的人群对氧浓度的需求存在显著差异，提示空间设计需考虑人群异质性。当前问题主要体现在：室内空间布局不合理，部分建筑采用狭长型设计，导致空气流通受阻，氧气分布不均，易形成局部缺氧区域；另一方面，室内层高设计不足，多数高原建筑层高与平原地区一致，未考虑低氧环境下人体需要更多的空气空间来保障氧气摄入，导致室内空气压力不足，影响人体呼吸舒适度。此外，部分建筑缺乏专门的休息空间、吸氧空间设计，无法满足人体在缺氧状态下的休息、缓解需求，尤其是针对老人、儿童等特殊群体的空间适配性不足。

2.3 设备系统适配性不足

设备系统是缓解高原低氧、保障室内健康环境的核心，但目前部分高原建筑的设备系统存在明显的适配性问题。供氧系统不完善是首要问题，多数高原建筑未设置专门的供氧设施，仅少数建筑配备简易的便携式吸氧设备，无法实现全屋均匀供氧，且缺乏分海拔高度的供氧设计标准；通风系统设计不合理是另一突出问题。部分建筑采用自然通风为主，未结合高原低氧、昼夜温差大的特征设计机械通风系统，导致室内空气流通不畅，同时无法有效控制室内温湿度，加重人体不适；此外，供暖系统与供氧系统缺乏协同设计，高原地区严寒与低氧并存，但部分建筑供暖系统仅注重温度提升，未考虑供暖对室内氧气浓度的影响，导致供暖过程中室内空气干燥、氧气消耗加快，进一步加剧缺氧。另外，部分建筑的管线防冻措施不足，给排水、供热等外露管线易受严寒影响损坏，间接影响设备系统的稳定运行。

2.4 材料应用与文化适配缺失

在建筑材料应用方面，部分高原建筑盲目选用平原地区常用材料，未考虑高原低氧、严寒、强紫外线的环境特征，导致材料性能下降，同时可能释放有害物质，影响室内空气质量。例如，部分建筑采用的保温材料耐低温性能不足，易出现开裂、老化，影响建筑保温效果，增加人体御寒负担，间接加剧缺氧不适；部分装修材料释放甲醛、苯等有害物质，在低氧环境下，人体免疫力下降，对有害物质的耐受度降低，进一步危害人体健康。

在文化适配方面，部分高原建筑忽视了当地民族的居住习惯与文化传统，盲目追求现代化设计，导致建筑与地域文脉脱节。例如，未结合藏式建筑的墙体色彩、门窗装饰、屋顶形式等风貌特点进行设计，不仅影响建筑的地域适应性，还会降低当地居民的居住认同感，间接影响心理健康。

3 高原低氧环境下建筑设计的人体健康适应性策略

3.1 科学规划布局，提升区域氧气环境

规划布局是高原建筑健康适配基础，核心是科学选址、合理布局，提升建筑区域氧气浓度与空气流通性。科学选址应选择通风良好、地势较高、无遮挡区域，避开低洼、生态敏感与地震危险地段，尊重原生生态系统，采取生态补偿措施。如西藏、青海等地可优先选向阳、通风缓坡地带。合理设计建筑朝向与间距，建筑优先选

南向或南偏东/偏西 15° 以内朝向, 利用太阳能提升室温、保证日照时长, 促进人体维生素 D 合成、增强免疫力。建筑间距结合高原日照角度设计, 确保冬季底层建筑充足日照, 预留通风廊道, 提升氧气浓度。此外, 应控制城镇建筑密度, 避免空气流通受阻, 合理规划公共空间, 植树造林、种本地耐旱植物, 优化微气候, 提升空气质量, 减轻呼吸系统环境压力。

3.2 优化空间设计, 适配人体缺氧适应需求

空间设计核心是合理布局、层高设计, 优化室内空气流通与氧气分布, 提供舒适空间缓解缺氧不适。

优化空间布局, 采用方正、通透设计, 避免狭长、封闭空间, 确保空气流通, 如住宅客餐厅通透、公共建筑开放式空间, 促进氧气均匀分布。明确新建住宅二层及以上设电梯, 既有住宅四层及以上鼓励加装, 提升便利性、减少体力消耗。

适度提高层高, 住宅提升至 2.9 - 3.1 米、公共建筑提升至 3.3 - 3.6 米, 增加空气容量与氧气储备, 缓解人体呼吸不适。

设置功能分区, 在建筑内专门设置休息、吸氧空间, 预留吸氧区并配备设备, 满足人体在缺氧状态下的休息与缓解需求。

优化门窗设计, 采用大尺寸门窗, 选气密性不低于 6 级外门窗, 兼顾保温通风需求; 门窗开启方式可结合推拉与平开式设计, 并设遮阳设施。此外, 鼓励低层住宅宅配不小于 10% 面积阳光间, 提升温度与舒适度。

3.3 完善设备系统, 构建健康室内微环境

设备系统是缓解高原低氧、保障室内健康环境的核心, 需构建“供氧 - 通风 - 供暖”协同系统, 结合分海拔设计标准, 精准调控室内微环境。

建立分海拔供氧系统, 基于不同海拔制定差异化标准。海拔超过 3000 米地区设置供氧设施或预留供氧条件。住宅宜采用全屋弥散式供氧, 控氧浓度在 24% - 26% 之间; 医院等重点场所可增设高压氧舱; 公共建筑可在重点区域设局部供氧设备。借鉴高海拔增压式建筑技术, 通过建筑增压调整室内气压与含氧浓度至平原水平。

优化通风系统设计, 采用“自然通风 + 机械通风”结合方式, 白天可利用自然通风, 夜间采用机械通风并过滤污染物, 同时配备空气净化设备。

构建协同供暖系统, 采用清洁能源供暖, 保证室内温度不低于 16℃, 供暖系统与供氧系统协同设计, 增设加湿功能, 将室内湿度控制在 40% - 60% 舒适区间。外露管线应采取“保温层 + 电伴热”防冻措施。同时, 推广智能控制系统, 实时监测室内环境参数并动态调控设备, 提升系统效率、降低能耗。

3.4 科学选用材料, 保障室内环境安全

建筑材料选用需兼顾高原环境适应性与人体健康安全。优先选用耐低温、抗紫外线、环保无污染的材料, 避免性能下降与有害物质释放, 保障室内空气质量。

围护结构材料方面, 墙体、屋面应选用耐低温、抗开裂、保温性能好的材料, 如加气混凝土砌块、聚氨酯保温板等。研究表明, 优化外墙保温可使建筑热工性能显著提升, 满足地方标准限值要求。门窗应选用断桥铝合金、双层中空 Low-E 玻璃等, 兼顾保温、隔音与抗紫外线性能。

装饰装修材料方面, 优先选用符合国家环保标准的涂料、板材、家具等, 减少甲醛、苯等有害物质释放。鉴于低氧环境下人体对污染物的耐受度降低, 装修后应充分通风, 经检测达标后方可投入使用。地面、墙面材料应注重防滑、易清洁等性能, 降低使用风险。

绿色与高性能材料方面, 结合高原运输条件, 优先选用轻量化、高强度材料, 如高强度铝合金结构, 满足承压需求且便于运输。推广绿色建材应用, 提升建筑耐久性, 降低全生命周期碳排放。

3.5 强化文化适配, 兼顾心理健康需求

高原建筑设计不仅要保障人体生理健康, 还需通过融入地域文化、尊重民族习惯, 提升居民的居住认同感与幸福感, 缓解因环境不适引发的负面情绪。

融入地域文化元素, 结合当地建筑风格与居住习惯进行设计。如西藏地区可融入藏式建筑的风貌特点与装饰元素, 包括墙体色彩、门窗装饰、屋顶形式等; 青海、新疆等地应根据民族生活方式设计空间布局, 提升文化认同感。

优化采光与色彩设计, 充分利用高原日照优势, 优化室内采光设计, 减少阴暗空间。室内色彩宜选用温暖、柔和的色调, 布置绿色植物, 营造舒适宜人的室内氛围, 缓解因环境不适引发的焦虑、烦躁等负面情绪。

完善社区配套设施, 结合居民生活需求, 建设健身

场地、文化活动中心、医疗服务站等配套设施。健身场地应配备适合低氧环境的运动器材,鼓励居民适度运动;文化活动中心可举办民族文化活动,丰富精神生活;医疗服务站应配备专业人员与救治设备,提供健康服务保障¹。同时,制定涵盖灾害应对的应急预案,提升社区韧性与居民安全感。

4 结论与展望

高原低氧环境对人体生理与心理健康构成显著挑战,而建筑设计作为缓解这种挑战的重要手段,其适应性直接影响人体对高原环境的适应能力与健康水平。本文通过系统梳理高原低氧环境对人体健康的多维度影响,结合国内外最新研究成果,分析当前高原建筑设计中存在的主要问题,提出了规划选址、空间设计、设备集成、材料应用、文化融入五个维度的适应性策略。

研究表明,科学的高原建筑设计需基于对人体生理响应机制的深入认识。不同人群对氧浓度的差异化需求、环境参数与自主神经活动的量化关系、被动式设计策略的实际效果——这些研究成果为高原健康建筑设计提供了科学依据。在此基础上,构建“供氧-通风-供暖”协同的室内微环境调控系统,实现从被动适应到主动干预的转变,是未来高原建筑设计的重要方向。

展望未来,高原健康建筑设计仍需在以下方面深化研究:一是基于大样本长期追踪数据,建立更精细化的环境参数与健康指标关联模型;二是探索人工智能技术在设备系统协同控制中的应用,实现室内环境的动态自适应调节;三是结合气候变化趋势,研究建筑适应策略的长期有效性;四是推动地方设计标准与规范的迭代更新,将最新研究成果转化为可操作的设计导则。通过多

学科交叉融合与产学研协同创新,高原地区健康建筑将为实现“健康中国”战略与“住有优居”民生目标提供坚实支撑。

参考文献

- [1]唐晓惠,强巴央宗.藏鸡对高原低氧环境适应性的研究现状与展望[J].中国家禽,2015,37(18):4.
- [2]李晓菲.高原低氧环境复合健身运动对人体血脂影响的研究[D].青海师范大学[2026-03-02].
- [3]张枫.低纬高原温和地区热舒适修正性模型构建研究[D].昆明理工大学,2023.
- [4]王青,付雪婷,薛静,等.青藏高原气候与健康[J].国外医学医学地理分册,2004,25(2):92-94.
- [5]Liu Y, Huang L, Song C, et al. Effect of hypoxia on human cognitive ability and indoor oxygen environment demand for sojourners at high altitude[J]. Building and Environment, 2021, 194: 107678.
- [6]Zhu H, Wang H, Liu Z, et al. Experimental study on the human thermal comfort based on the heart rate variability (HRV) analysis under different environments[J]. Science of the Total Environment, 2018, 616: 1124-1133.
- [7]Sun W, Chen L, Zhang Y, et al. Thermal comfort and energy-saving retrofits: An empirical study in high-altitude regions[J]. Case Studies in Thermal Engineering, 2025, 72: 106220.
- [8]西藏自治区住房和城乡建设厅.西藏自治区好住宅技术标准:DB 54/T 0275-2023[S].拉萨,2023.