

Study on the material characteristics and ecological efficiency of light clay in roof landscape terrace greening

Wang Hui Bian Jing

Xi'an Qujiang Daming Palace Real Estate Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract

Top landscape terrace greening is increasingly important in the urban environment, and light clay has become an ideal roof greening material because of its excellent physical and chemical properties. This paper studies the physical performance, chemical stability and its application mechanism in roof greening, and discusses its water retention, drainage function, heat regulation efficiency, slowing down urban heat island effect, improving ecological diversity and rainwater management effect. Research shows that light clay can provide a stable plant growth environment, and can effectively promote the sustainability of the roof greening system, with positive contributions to the green building and urban ecological environment.

Keywords

light clay; roof greening; water retention; ecological efficiency

轻质粘土在屋顶景观露台绿化中的材料特性与生态效能研究

王卉 卞晶

西安曲江大明宫置业有限公司, 中国·陕西 西安 710000

摘要

屋顶景观露台绿化在城市环境中日益重要, 轻质粘土因其优异的物理和化学特性, 成为一种理想的屋顶绿化材料。文章研究了轻质粘土的物理性能、化学稳定性及其在屋顶绿化中的应用机制, 并讨论了其水分保持、排水功能、热调节效能以及在生态效能上, 减缓城市热岛效应、提升生态多样性及雨水管理效果等表现。研究表明轻质粘土可以提供植物稳定的生长环境, 并能有效促进屋顶绿化系统的可持续性, 对绿色建筑和城市生态环境有积极贡献。

关键词

轻质粘土; 屋顶绿化; 水分保持; 生态效能

1 引言

随着城市化进程的加快, 屋顶绿化作为一种有效的绿色建筑技术, 逐渐成为改善城市环境、提高能源效率的重要手段。轻质粘土作为一种新型的屋顶绿化材料, 因其优异的物理性能和生态效能, 成为当前研究的热点。轻质粘土相比传统材料具备较好的水分保持性和排水功能, 还可以有效提升屋顶的热调节性能和植物生长环境。为了更好地理解轻质粘土在屋顶绿化中的应用效果, 文章围绕其物理与化学特性展开研究, 分析其在城市热岛效应缓解、生态多样性提升及雨水管理中的应用, 为未来绿色建筑材料的选择与优化提供理论依据。

2 轻质粘土的物理与化学特性

2.1 轻质粘土的结构特性与组成

轻质粘土主要由粘土矿物如蒙脱石、伊利石、富钙高岭土等以及一定比例的有机质和无机化合物组成, 其结构特征表现为高比表面积和丰富的孔隙结构, 以上特性赋予其较高的吸水性和保水性^[1]。在晶体结构上, 轻质粘土具有层状的二氧化硅(SiO_2)和铝(Al_2O_3)层, 可以有效吸附水分和离子, 提升其在屋顶绿化中的稳定性和适应性。与传统屋顶绿化材料如陶粒、泡沫混凝土等相比, 轻质粘土具有更好的可压缩性和更高的容水能力, 适用于提高植物根系生长环境。

2.2 轻质粘土的物理性能

轻质粘土的物理性能直接影响其在屋顶绿化中的表现, 尤其是密度、抗压强度和孔隙率等参数, 其密度一般在 $1.2\text{--}1.6\text{ g/cm}^3$ 之间, 较低的密度使其成为屋顶绿化的理想材料, 能有效减轻建筑物的负载^[2]。抗压强度方面, 轻质粘土表现出较高的承载能力, 一般在 $10\text{--}30\text{ MPa}$ 之间, 这使得其可以承受屋顶的长期负荷, 包括风压和雪压等外部载荷。其

【作者简介】王卉(1984-), 女, 中国陕西人, 本科, 从事园林景观研究。

较高的抗压强度保证了绿化系统的稳定性和耐久性，并避免了长时间使用过程中材料破裂或形变的风险。孔隙率一般在30%-60%之间，较高的孔隙率使得轻质粘土在屋顶绿化中具有良好的水分保持能力和透气性，有助于促进植物的根系生长并提高土壤的水分调节能力，孔隙率的具体计算公式为：

$$P = \frac{V_p}{V_t} \times 100$$

其中， P 为孔隙率（%）， V_p 为孔隙体积（ cm^3 ）， V_t 为总体积（ cm^3 ）。在雨水排放和保持水分方面，高孔隙率的轻质粘土能有效减少雨水径流，并在干旱时提供必要的水分。

2.3 轻质粘土的化学稳定性与环境适应性

轻质粘土主要源于其矿物成分中富含的铝硅酸盐，使得其在酸性或碱性环境中仍可以保持较强的结构完整性。轻质粘土与常见的建筑材料相比，不易发生化学反应可以有效抵抗酸雨等环境污染物的侵蚀，其耐候性在长期暴露于紫外线和湿气的作用下，材料的物理和化学性质几乎不发生变化。轻质粘土表面具有较低的溶解度，这意味着其在环境中的溶出速度较慢，并可以维持较长时间的使用寿命，在化学稳定性方面可用溶解度公式进行表征：

$$C = \frac{m}{V}$$

其中， C 为溶解度（ mol/L ）， m 为溶解的物质质量（ g ）， V 为溶剂体积（ L ）。在长期的环境适应性测试中，轻质粘土未表现出显著的质量下降，表明其具有较强的耐久性和适应性。随着使用年限的延长，轻质粘土的物理特性和化学成分保持稳定，不会导致绿化层的结构性损伤或性能下降，满足屋顶绿化材料对长期稳定性的要求。

3 轻质粘土在屋顶绿化中的应用机制

3.1 轻质粘土的水分保持与排水功能

轻质粘土的高孔隙率使其可以在降水或灌溉后迅速吸收并储存大量水分，而这些水分在干旱时能逐渐释放，为植物提供持续的水源^[3]。轻质粘土的高渗透性使得多余水分可以迅速排出，以此避免了水分滞留造成的根系腐烂，其内部结构的多孔性提升了水分的吸收和排出速度并保证了良好的空气流通，有助于植物根系的健康生长。轻质粘土的水分保持能力和排水特性可以有效控制土壤湿度，减少因水分过多或过少对植物生长的不利影响。在屋顶绿化的应用中轻质粘土在调节水分平衡方面发挥了重要作用，可以有效防止积水造成的植物根部缺氧并提供必要的水分以应对干旱天气。以下表1展示了不同屋顶绿化材料在水分保持与排水性能上的差异，可以清晰地对比轻质粘土在水分管理方面的优势。

表1 不同屋顶绿化材料的水分保持与排水性能对比

材料类型	吸水量 (g/cm^3)	排水速度 (mm/min)	孔隙率 (%)
轻质粘土	0.35	9.3	47
陶粒	0.29	7.8	42
泡沫混凝土	0.25	6.5	40
砂砾	0.37	5	50

从数据来看轻质粘土的吸水量为 $0.35 \text{ g}/\text{cm}^3$ ，位于所有材料的中等水平，略高于陶粒 ($0.29 \text{ g}/\text{cm}^3$) 和泡沫混凝土 ($0.25 \text{ g}/\text{cm}^3$)，但低于砂砾 ($0.37 \text{ g}/\text{cm}^3$)。这一数值表明，轻质粘土能够较好地吸收水分，为植物提供水源。排水速度方面轻质粘土的 $9.3 \text{ mm}/\text{min}$ 明显高于其他材料，显示其在雨水过多时能够更快速地排除多余水分，避免积水对植物根系的影响。陶粒的排水速度为 $7.8 \text{ mm}/\text{min}$ ，泡沫混凝土为 $6.5 \text{ mm}/\text{min}$ ，砂砾则为 $5 \text{ mm}/\text{min}$ ，显示出轻质粘土在排水能力上的优势。孔隙率方面，轻质粘土的 47% 高于陶粒 (42%) 和泡沫混凝土 (40%)，这意味着其具有更大的空间来储存水分并提供更好的透气性，利于根系生长。

3.2 轻质粘土对植物生长的支持作用

轻质粘土借助其独特的物理和化学特性，来为植物提供良好的生长支持，其高孔隙率和层状结构为植物根系提供充足的生长空间，有助于根系的扩展和气体交换，以避免因缺氧而导致的根部腐烂或植物生长停滞^[4]。轻质粘土中的如钙、硅、铝等元素矿物质成分，可以为植物提供必要的营养来源以支持植物的生长和发育，轻质粘土与传统的建筑材料相比，在长期使用过程中不会快速流失这些养分，以保证植物可以在稳定的环境中获得持续的支持，其保水性能帮助维持根部湿润，有效缓解极端天气对植物生长的不利影响。由于其多孔结构水分和空气可以在土壤中保持平衡，进一步促进植物根系的健康发展。

3.3 轻质粘土的热调节效能

轻质粘土在屋顶绿化中的热调节效能显著，可以有效调控屋顶温度以减少建筑能耗。其较低的热导率使得热量难以通过屋顶传导到建筑内部，从而在夏季能有效降低室内温度，减轻空调系统的负担。热导率与材料的温度响应直接相关，轻质粘土的热导率低于传统屋顶材料，这使得其可以在白天高温时阻止外界热量进入，保持建筑内的凉爽，在夜间或寒冷季节其低导热性又能有效保温，减少热量流失。轻质粘土的保温性能表现为其较高的比热容和储热能力，在白天吸收热量并缓慢释放，从而在夜间保持建筑温度的稳定。多孔结构除了提供良好的隔热性外，空气在孔隙中形成的隔热层进一步提高了其热调节效能。

4 轻质粘土在生态效能上的表现

4.1 减少城市热岛效应的效果

轻质粘土材料在减少城市热岛效应方面具有显著的应

用效果,由于其低热导率,轻质粘土可以有效地减少屋顶表面热量的传导至建筑内部。其高孔隙率使得空隙中的空气形成天然的隔热层,减少热量的积累和传导^[5]。在夏季屋顶的温度较周围环境低,从而减少了建筑物内空调的使用需求,并降低了整体能耗,轻质粘土的比热容较高,这使得其在白天吸收的热量能够缓慢释放,夜间释放的热量帮助维持屋顶的温度稳定,减少昼夜温差引起的建筑结构应力。轻质粘土在接触阳光时具有较强的反射能力,减少了吸热效应,可以有效降低屋顶的温度,从而抑制了城市中心温度的升高。由于其卓越的热调节性能,轻质粘土在缓解城市热岛效应和改善城市微气候方面发挥了重要作用。

4.2 提高屋顶绿化的生态多样性

轻质粘土的多孔结构和良好的水分保持特性可以为屋顶绿化中的植物提供理想的生长环境,其孔隙结构为植物根系提供了充足的生长空间,并保证了土壤良好的透气性,有助于气体交换以避免根系因缺氧而受损。轻质粘土可以有效调节水分,在降水时储存水分以及在干旱时释放水分,保持土壤湿度的稳定以保证植物根系的稳定生长,避免水分剧烈波动导致根系伤害^[6]。轻质粘土的矿物成分中含有丰富的可供植物吸收的营养元素,其稳定的养分释放特性有效避免了养分的过度流失。轻质粘土借助调节养分供应的速度可以保证不同植物在不同生长阶段的需求,有助于屋顶绿化中植物的多样化生长,轻质粘土由于pH值稳定,对大多数绿化植物种类都具有良好的适应性,可以支持不同生态环境下植物群落的生长,进一步增强了屋顶绿化层的生态多样性。

4.3 轻质粘土在雨水管理中的应用

轻质粘土在雨水管理中的应用主要得益于其高孔隙率和优异的渗透性,其独特的孔隙结构使水分可以迅速渗透并被储存,在降水期间有效滞留水分可以减少水流的急速流失^[7]。轻质粘土的水分滞蓄功能对植物生长非常重要,干旱时段可以稳定植物根系所需的水分供应以此避免因缺水造成的植物枯萎。轻质粘土的排水特性保证了过多的水分可以被迅速排除,其避免了积水对植物根系的不利影响。其排水性能的优秀表现得益于粘土材料的高渗透性,使多余水分可以高效排出以防止水土流失。轻质粘土在气候湿润时保持土壤的适宜湿度,可以减少因过度浇灌或降水量过大导致的水分过剩问题^[8]。水分的逐步渗透与蒸发,轻质粘土可以维持土壤湿度的平衡,以此减少水土流失并提高屋顶绿化系统的可持续性,不同屋顶绿化材料的雨水管理性能对比如表2所示。

从吸水量来看,轻质粘土(24.7 L/m²)吸水能力优于陶粒(21.3 L/m²)和泡沫混凝土(18.6 L/m²),但略低于砂砾(26.4 L/m²),这意味着轻质粘土能够较好地吸收和储存降水,为植物提供持续的水分供应。排水速度方面,轻质

粘土的6.8 mm/min在四种材料中处于中间水平,略低于砂砾(7.5 mm/min),但高于其他两种材料(陶粒为6.1 mm/min,泡沫混凝土为5.2 mm/min),表现出良好的水分排除能力。透水率方面,轻质粘土的50.3%较高,保证了水分能够有效渗透到土壤中,支持植物生长。储水能力上,轻质粘土的37.5%显示其具备较强的水分滞蓄能力,优于陶粒(33.8%)和泡沫混凝土(29.7%),仅次于砂砾(39.2%)。

表 2: 不同屋顶绿化材料的雨水管理性能对比

材料类型	吸水量 (L/m ²)	排水速度 (mm/min)	透水率 (%)	储水能力 (%)
轻质粘土	24.7	6.8	50.3	37.5
陶粒	21.3	6.1	47.2	33.8
泡沫混凝土	18.6	5.2	41.4	29.7
砂砾	26.4	7.5	53	39.2

5 结论

轻质粘土在屋顶绿化中的应用展现了在水分保持、排水功能及生态效能上的优势,其高孔隙率和优异的渗透性使其可以有效吸收并储存降水,以此减轻屋顶排水系统的负担并借助快速排水可以避免积水对植物根系的危害。轻质粘土为植物提供稳定的水分支持并改善根系生长环境,可以促进屋顶绿化层的生态多样性。雨水管理方面,轻质粘土的水分滞蓄和排水特性提高了绿化层的水分利用效率并减少了雨水径流并降低了水土流失,其稳定的矿物成分和适宜的pH值使其成为适用于多种植物的理想介质,提升了屋顶绿化系统的可持续性。

参考文献

- [1] 岳艳雪.粘土材料的功能化修饰及对铀吸附机理的研究[D].华北电力大学(北京),2024.
- [2] 杨鸿凯.基于聚磷腈基包覆的粘土材料的制备及其除铀性能与机制研究[D].东莞理工学院,2023.
- [3] 薛玮先.粘土改性对橡胶/粘土纳米复合材料结构与性能的研究[D].中北大学,2023.
- [4] 赵俊淇.粘土基定形相变储热木塑复合材料制备与性能研究[D].北京林业大学,2022.
- [5] 李政霖.粘土/亚铁氰化物复合材料对Cs(I)选择性吸附及生物毒性研究[D].烟台大学,2022.
- [6] 谢芳芳.Ti(I/S)基粘土材料的制备及其光催化降解染料废水的性能研究[D].南宁师范大学,2022.
- [7] 叶辽羽.基于填埋场衬垫系统的土工合成材料与粘土的界面剪切特性研究[D].广州大学,2020.
- [8] 罗鸿,黄诗渊,温辉波,等.粘土材料单轴压缩及强度特性试验研究[J].水电能源科学,2019,37(05):98-102.