

屋顶绿化对建筑能耗的影响分析

时真男 高旭东 张伟捷

(河北工程学院 城建学院 邯郸 056038)

摘要：简要地介绍了建筑能耗及其对大气环境破坏的程度和趋势，阐述了城市绿地特别是屋顶绿化对减少建筑能耗和保护大气环境所起的重要作用，尤其是夏季，这种作用就更加明显。论证了如果屋顶绿化得到普及，建筑能耗尤其是建筑空调能耗将大大地降低，建筑空调设备的容量和系统运行的时间和强度将大大地削减，建筑空调设备系统的环境负荷会大为下降，我们城市的大气环境也将得到极大的改善。

关键词：建筑能耗 大气环境 屋顶绿化 空调系统 环境负荷

EFFECT OF BUILDING ROOF AFFORESTATION ON BUILDING ENERGY CONSUMPTION

Shi Zhennan GaoXudong ZhangWeijie

(School of Urban Construction, Hebei Institute of Engineering Handan 056038)

Abstract: The situation and tendency of building energy consumption and the destructive effect on air environment due to this building energy consumption are introduced. If afforestation on the building roof had been widespread, building energy consumption (especially in summer) and the destructive effect on air environment due to this building energy consumption could be greatly lowered, also the capacity of air conditioning services, the operational time and intensity of air conditioning system, the environmental load from the air conditioning services and system could also be lowered, our air environment could be better upgraded.

Keywords: building energy consumption air environment afforestation on building roof air conditioning system environmental load

1 建筑能耗及其对大气环境的破坏

建筑离不开能源的使用和消耗，尤其是现代化建筑，更是能源消耗大户。在国民经济总能耗中，建筑业能耗所占比例很大，发达国家一般在40%左右，我国也占25%以上。建筑业能耗包括建材生产、建筑施工、建筑日常运转等能耗。建筑日常运转能耗又称民生能耗，也称建筑能耗，它包含采暖、通风、空调、热水供应、照明、电梯、烹饪等的能耗。建筑能耗在建筑业能耗中占了绝大部分，约80%以上，其中绝大部分能量用于采暖、通风与空调。从1998年的统计数字看，我国一次能的产出量为 1214×10^9 t标准煤，年一次能消耗量为 1312×10^9 t标准煤，我国已成为世界第三大能源产出国和第二大能源消费国，建筑能耗占国民经济总能耗的12%~20%，巨大的能源消耗的后果导致了环境负荷的急剧上升。1999年，全国二氧化硫排放总量为 1857×10^4 t，烟尘排放总量为 1159×10^4 t。1998年，全国二氧化碳排放总量为 28193×10^8 t，我国已成为世界上仅次于美国的第二大温室气体排放国，1998年，我国温室气体排放量占世界总排放量的1218%

(美国是24%)。随着我国城市化的进程的高速发展和建筑面积的急剧增加(我国是目前世界上最大的建筑工地，每年竣工的建筑面积达 $16 \sim 19 \times 10^8$ m²，在未来10年中，我国仅住宅面积就将达到 115×10^8 m²，增加 58×10^8 m²)，建筑能耗量将更加巨大，城市热岛现象将更加严重，人居热湿环境将更加恶化，为了实现我国可持续发展战略，建筑节能势在必行，刻不容缓。

2 屋顶绿化对环境及建筑节能的影响

为改善城市的生态环境，城市就需要绿化。而城市大都建筑密集，其他地面也都被沥青和钢筋混凝土所覆盖，可绿化的面积减少。而城市建筑屋顶的面积占城市总面积的比例相当可观，而且还会不断增加。城市建筑屋顶大都由钢筋混凝土、沥青、砂石所覆盖，并且闲置着没有得到充分利用。绿色植物调节气温的作用十分明显，绿色植物的根系从

第一作者：时真男 女 1969年8月出生 讲师

收稿日期：2005-03-10

土壤中吸收水分，通过蒸发作用向空气中释放水分，提高空气的湿度，空气的气温高达 35℃ 时，树荫下的气温却只有 22℃ 左右。而照在浓密绿色植物表面的太阳光有 70% 左右被绿叶吸收，20% 左右被绿叶反射回去，通过绿叶的透射光只有 10% 左右，被绿化的屋顶在夏天的降温和增湿作用十分明显。

一座城市的屋顶面积，大约为整个居住区面积的 1/5。被绿化的屋顶除了在夏天对室外环境具有十分明显的降温和增湿作用以外，还可以大大降低屋顶外表面的平均辐射温度 MRT(一般可降低 10℃ ~ 20℃)，从而进一步改善了城市的热环境；屋顶的绿色植物具有滞尘、杀菌和吸收低浓度污染物以及增加空气中负离子的作用，具有很强的空气净化能力和清新能力；屋顶的绿色植物还有降低城市噪音的作用，最大减噪量可达 10dB。所以增加屋顶的绿化面积，对改善城市的生态环境和增加城市整体美感意义重大。以北京为例，在规划的市区内，有近千万平方米以上的建筑平屋顶未被利用，如果将其中的一半实施屋顶绿化，即可增加近 5 × 10⁶ m² 的绿化面积，相当于新建 3 个龙潭湖公园，而不占一寸土地。据科学测定，667m² 绿色植物一年能产生氧气 1414t，吸收二氧化碳 2116t，一个城市如果把屋顶都利用起来进行绿化，那么这个城市中的 CO₂ 较之没有绿化前要少 85%(平均值为减少 70%)。为此，日本的东京市议会于 2000 年 4 月通过一项议案，要求东京市内的所有面积在 1000m² 以上的建筑必须进行屋顶绿化，目前东京市的屋顶绿化率已达 41%。

另据有关测定，建筑物的屋顶绿化对于降低建筑物周围环境的气温的作用十分明显，气温降低的幅度可达 0.5~ 4℃，而建筑物周围环境的气温每降低 1℃，建筑物内部的空调容量可降低 6%。对大面积的低层建筑物(特别是一些工业厂房建筑)，由于屋面面积比壁面面积大，夏季，从屋面进入室内的得热量往往占总围护结构得热量的 70% 以上，夏季实测的结果表明，绿化的屋顶外表面最高温度比不绿化的屋顶外表面最高温度(可达 60℃ 以上)可低 20℃ 以上，从而使从屋面传入室内的热量减少到 1/4 左右，绿化屋顶不仅可以在夏季对室内环境隔热保凉，而且可以在冬季对室内环境隔冷保暖，在极端天气对缓冲和削减极端温度起着突出的作用，以此可以看出，屋顶绿化对建筑设备节能和改善顶层房屋室内热舒适环境(顶层屋面内表面平均辐射温度 MRT 不会太高或太低)也具有重大意义。

3 屋顶绿化对建筑空调系统运行的节能分析

我们国家一方面建筑能源需求量很大，另一方面在建筑节能方面，首先是在建筑围护结构保温方面与发达国家存在着较大的差距，外墙的传热系数为发达国家的 2~ 3 倍，外门、外窗的传热系数为发达国家的 1~ 2 倍，屋顶的传热系数为发达国家的 4~ 5 倍。所以实施屋顶绿化，一方面由于绿色植物的作用，可以降低屋顶外表面温度，同时由于绿色植物和覆土的联合作用，增大了屋面的热阻，进一步降低了屋面的传热系数，进而降低了屋顶内表面温度，也大大降低了通过屋顶屋面进入室内的冷(热)负荷，从而可以很大程度地削减和降低建筑设备的容量及其运行能耗。

对 ? 类型的屋面，冷负荷计算温度的最大值为 60.19℃，最小值为 26.15℃(北京地区的气象参数)，室内空气计算温度为 24℃，此时，屋面瞬变传热引起的逐时冷负荷为：

$$Q_c(S) = AK(60.19 - 24)$$

式中 A))) 屋顶屋面的面积，m²；

K))) 屋顶屋面的传热系数，W/(m²·℃)。

屋顶绿化后，冷负荷计算温度的最大值为 40.19℃(按降低 20℃ 计算)，屋面的传热系数降到原来的 1/4，此时屋面瞬变传热引起的逐时冷负荷为：

$$Q_c(S) = 0.125AK(40.19 - 24)$$

则通过屋顶的冷负荷的最大值下降了

$$G = 1 - Q_c(S) / Q_c(S) = 88.155\%$$

如果各逐时冷负荷按一定比例降低，且通过屋顶的冷负荷占顶层房屋总冷负荷的 70%，由此可以推出，对顶层的空调设备容量、空调设备耗电量、空调设备夏季显热排放量、折算的一次能消耗量、折算的 CO₂ 排放量、折算的 SO_x 排放量、折算的 NO_x 排放量等均可降低 40% 左右，节能效果和环境效益非常明显。另外，未绿化的 ? 类型屋顶外表面冷负荷计算温度波动的振幅为：

$$60.19℃ - 26.15℃ = 34.04℃$$

按非稳态传热学相关原理计算，可知屋顶内表面温度波动的幅度可达 4℃ 以上，而绿化后的屋顶内表面温度波动的幅度可降到 1℃ 以内，屋顶内表面平均辐射温度 MRT 变化不剧烈，比较适中，从而大大改善了顶层房屋的室内热舒适环境。

4 结论

屋顶绿化作为城市的重要组成部分，有其不可

(下转第 22 页)

阳板、遮阳篷及适当增加南向阳台的挑出长度都能起到一定的遮阳效果。在窗户内侧，设置如窗帘、百页、热反射帘或自动卷帘等可调节的活动遮阳装置，以便夏季减少太阳辐射得热，冬季又得到日照，比如设置镀有金属膜的热反射织物窗帘，在玻璃和窗帘之间构成约 50mm 厚的流动性较差的空气隔层，能取得很好的热反射隔热效果。将纺织物的多孔绝热特点和金属的优良反光特性结合起来制成的复合材料做成的窗帘，可以对窗户起到良好的绝热作用。表 3 列出锦辉缎、红平绒与尼龙绸窗帘的隔热效果。其隔热效率比单层玻璃提高 441.1% ~ 471.3%，节能效果显著。窗帘的悬挂方式对于隔热效果影响也很大，据报道，窗户内侧挂百叶窗帘可使能量透过率下降 43%，而将百叶窗帘挂在窗户的外侧可取得良好的隔热效果，比单层玻璃窗的透过能量下降 88%。但是也要考虑这些措施给直接采光带来的影响。

表 3 节能窗帘的绝热效果

窗帘类型	室内外温差 Pe						平均升温率 P (e #h) ⁻¹	隔热效率 P%
	1	2	3	4	5	6		
单层玻璃窗	25.0	31.0	34.0	35.0	35.5	35.5	5.9	
锦辉缎窗帘	11.5	16.0	18.1	19.1	19.6	19.9	3.3	44.1
红平绒窗帘	12.1	16.0	17.5	18.2	18.5	18.7	3.1	47.5
尼龙绸窗帘	13.0	17.1	18.6	19.2	19.5	19.5	3.3	44.1

注：实验台架的测试结果，试验条件为，环境温度固定，用红外辐射热源，定期测试窗内的温度，然后计算其隔热效率。

3.1.7 建立正确的节能观念培养良好的节能习惯

尽管可采用许多技术措施来提高门窗的保温隔热性能，降低建筑能耗和增加室内热舒适程度，但是仍需要小城镇居民建立正确的节能观念和使用方法，这样才能取得更佳的效果。在夏季，白天和夜间热流方式恰恰相反，白天的热流方向主要是从室外传入室内，尤其是空调建筑，因此，要加强隔热或遮

(上接第 15 页)

替代的作用，具有十分明显的美化城市、建筑节能和改善城市生态环境的作用。

对于屋顶绿化时所涉及的屋顶防水与增加荷载等技术问题，亦不难解决，国内外已有成熟的技术和经验。屋顶绿化一般分覆土栽培和无土栽培两种。覆土栽培以覆土层 0.15m 厚为宜，相应增加静荷载 3 ~ 15kN/m²；无土栽培技术中，日本鹿岛建设公司开发出表面可生长植物的混凝土，这种混凝土价格比普通混凝土仅高 10%，但强度不变，重量减轻了约 30%，这种吸水性混凝土内混有植物纤维，敷设数月后即可生长出杂草和水草，特别适合于建筑墙壁和屋顶绿化。

阳措施，这时一般不宜开窗。在夜间，室外气温下降，热流由室内流向室外，这时应将窗户打开，或采取强制通风的方法将白天的室内积蓄热量尽快排向室外，以利于降低室内温度，减少空调能耗，增加舒适度，此时应避免采用任何隔热措施。在冬季，热流的基本流向是从室内流向室外，故要特别注意室内保温，尤其是在夜间的保温（因室外气温很低），在保证人体健康所需的新鲜空气的前提下，应尽量少开窗。白天应尽可能地增加采光量（在不开窗的情况下），充分利用太阳辐射热提升室内温度，改善热舒适性。

4 结 语

在全球能源紧缺的大形势下，住宅节能已成为一项迫在眉睫的重要工作，好的窗户节能技术措施不仅能得到良好的室内热环境，而且也可以取得很大的节能效益。夏热冬冷地区小城镇住宅设计在小区规划、平面布局、外围护结构保温及利用太阳能等方面均存在着明显的不足之处，设计时也未重视门窗的节能。本文对门窗节能技术措施的分析，希望能对夏热冬冷地区小城镇住宅的节能设计起到抛砖引玉的作用，进而把一些节能措施综合地利用到小城镇住宅的节能设计中去，达到改善室内热环境同时节约能源的目的。

参考文献

- 1 付祥钊. 夏热冬冷地区建筑节能技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002
- 2 柳孝图. 建筑物理. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990
- 3 涂逢祥. 建筑节能技术. 北京: 中国计划出版社, 1996
- 4 俞善庆. 窗户节能材料和技术. 新型建筑材料, 1999(7): 24~ 25
- 5 吴雁, 余跃进. 对建筑物的窗墙比和窗户节能问题的探讨. 建筑节能, 2001(35): 98~ 103

屋顶绿化的造价应该不是问题，应该纳入城市总体规划之中，城市的绿地面积总是要增加的，屋顶面积的利用为城市绿化开辟了广阔的天地，城市综合的经济效益、社会效益、生态效益会大幅度提高。据美国学者的研究，绿化间接的社会经济价值是它本身直接经济价值的 18~ 20 倍，希望我国的城市在这方面能有大的发展，有关这方面的理论研究应该加强。

参考文献

- 1 西安建筑科技大学绿色建筑研究中心. 绿色建筑. 北京: 中国计划出版社, 1999
- 2 [德] 瓦尔特 # 科尔布, 塔西洛 # 施瓦茨. 屋顶绿化. 袁新民, 何宏敏, 崔亚平, 译. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002
- 3 绿色奥运建筑研究课题组. 绿色奥运建筑评估体系. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003
- 4 陆亚俊, 马最良, 邹平华. 暖通空调. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003