

# 德国城市建筑环境大面积植被化研究

## Large Area Vegetarieren of Building in Germany

戎安 (北京建筑工程学院建筑系, 北京 100044)

**摘要** “城市建筑环境大面积植被化”工程, 运用生态学观念和城市生态工程原理, 通过理论研究并在此基础上开发相应的应用技术和工艺措施; 通过城市设计, 将开发出来的生态技术及措施运用到相应的城市项目中, 有效地改善城市环境质量, 控制城市环境向良性循环方向发展, 重新恢复或再造生态良好的城市生存空间。作为城市生态建设的一种有效途径, 这是生物科学与建筑科学结合的产物, 也是在城市化进程中的一场“生物学-建筑学”革命。

**关键词** 城市化 城市板结现象 城市建筑大面积植被化

城市发展对自然资源的过度开发, 铺天盖地的硬化城市覆盖面等建设, 人为地割断了城市环境中的自然循环链。城市排放的废气在城市上空形成一个雾罩, 使城市空气中的辐射热量无法散去, 形成“温室效应”。城市成了“钢筋混凝土”的森林, 城市水泥表面层形成了城市硬化覆盖面层: (1) 热辐射被硬质覆盖层贮存和释放, 城市普遍存在“热岛”现象; (2) 雨水无法自然返回大地, 严重破坏了自然土地的保水能力, 致使城市的地下浅层水源干枯、地表水面萎缩; (3) 城市排水管网负荷与日俱增, 城市基础设施不堪重负, 城市建设价格不断上涨。城市内部交通拥堵、噪音、粉尘充斥, 城市失去了良性的自然生态循环, 自然调节力极度下降。城市机能效率逐渐低下……。这一系列现代城市问题被统称之为城市化过程中的“城市板结现象 (Phaenomen der Agglomeration)”)。

### 1 克服“城市板结现象”的对策

通过什么手段才能因地制宜和切实可行的恢复城市良性生态功能? 如何才能克服“城市板结现象”这个城市可持续发展中的主要矛盾? 回答是: “城市建筑环境大面积植被化”堪当此重任!

在城市建筑环境中, 运用生态理念和科技手段对

本文在形成过程中得到德国友人, 德国城市生态专家, 鲁道夫博士教授 (Dr.Prof.Rodulf) 的指点、帮助和支持, 包括他的柏林城乡生态工程有限公司 (GASP-Berlin) 所组织的欧洲城市生态专业考察和他所提供的技术资料, 特在此表示衷心感谢。

城市三维空间的表面实施大面积植被化, 尽可能多地在各种城市建筑环境表面覆盖植被; 例如: 在城市建筑物的立面、屋面, 城市公路的防噪板墙面、城市轨道交通的路基上、城市高架立交桥桥体表面, 城市空间中的维护栅栏、隔断、围墙以及坡道; 在所有城市建筑环境中垂直的、水平的、斜向的多维空间中尽可能多地强化栽培各种植被覆盖层, 利用植物生态特性和其特有的对环境的调节功能, 来消解由于“城市板结现象”所带来的城市热岛效应, 消解城市环境污染、缓和气候反常等一系列影响城市可持续发展的“大城市病”, 这是世界先进国家采取的主要对策。

“城市建筑环境大面积植被化”是鉴于植物的光合作用, 蓄水特性和滤水性能等植物生态习性, 利用它对温度的、辐射的和空气湿度的调节能力、吸尘能力, 以及它对城市季风运动的影响和消解城市噪音等的功效来改善城市小环境的生态和气候。“城市建筑环境大面积植被化”可以起到: 软化城市空间, 净化城市环境; 整合城市形态, 协调城市景观; 丰富城市物种, 美化城市生活的功效。

“城市建筑环境大面积植被化”将针对所确定的建筑环境, 因地制宜地选用能够适应所在地的城市气候的、土生土长的、具有较强洁净环境能力的、最易栽培、易成活、耐寒、耐旱、最少养护需求、四季都发生环境效应的植被物种, 将建筑环境外维护结构的单一维护性功能, 转变为在维护的同时又具有光合作用。被大面积植被化的城市建筑环境包括城市地面和建筑空间, 其植被覆盖层的空间整合, 它将可以连接城

市郊区原野——产生新鲜空气和冷气流的生态库和由高密度硬化建材覆盖的城市中心热效应区，筑成“城市冷桥”空间，形成城市“植被走廊”，植被走廊可以与城市水体体系相结合构成城市结构中的“城市生态廊道”。城市生态廊道和城市冷桥空间将为城市提供舒适的新鲜空气，消减城市热岛和温室效应对城市环境影响，修复城市业已被破坏的城市生态链。

在城市中，相对于人在城市建设和城市发展时有意识或无意识地破坏自己所生存的自然和人文环境的行为，“城市建筑环境大面积植被化”则是一种在发展中改善环境的有益尝试。在城市化过程中，它是一项运用城市生态工程和景观生态学的科学原理，为城市核心地区的可持续发展提出的革命性城市生态宣言。

## 2 城市建筑环境植被化的生态学原理和生态功能

### 2.1 利用植被光合作用特性，有效地控制城市温室效应

针对城市空间的板结所导致的城市温室效应，利用植被光合作用特性（表1），能够有效的调节城市核心地区的碳化合物气体的浓度、为城市生产氧气；大量吸收城市辐射，调节空气温度和湿度，改善城市气候环境。

表1 植物叶片光合作用\*

植物吸收	通过光合作用	生成植物物质基础	植物排放
$6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$	光辐射能量	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	$+6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
二氧化碳	水	碳水化合物	氧 水

\* Kord Baemer 著.《Allgemeiner Pflanzenbau》3.Auflage, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 1992

### 2.2 利用植被蓄水特性，缓解城市市政管网压力

雨水落在植被化屋面上，50%~90%将被植被的根系吸收储存（表2），剩余的小部分，通过檐口和落水

表2 屋顶植被化后1986—1988年间雨水贮存和排放量统计表（德国汉诺沃大学测定）<sup>②</sup>

基层厚度/cm	植被物种形式	雨水贮蓄量/减少向市政管网排放的雨量/%		
		春、秋 (冷季节)	夏 (热季节)	总时间 阶段中
2	苔藓类植被	40~50	55~65	48~58
4~6	苔藓类、草本、 草类植被	45~50	60~70	52~62
8~10	草本、草类植被	45~50	65~75	55~65
14~16	草本、草类植被	50~60	80~90	65~75

\*Jens Drefahl 著.《Dach Begrueung》1995, P17 Tabelle5.1.

管排出。这部分雨水一些可以直接返还自然地面补给地下水，另一些可以排给社区水面形成城市生态循环链。同时这个措施将大大缓解城市排水管网不足的压力，节约城市市政管网的建设投资。

### 2.3 利用植物的光合作用，消解热岛现象

由于植物的光合作用性能所产生的植物光合驱动力，植物泵可将大部分集水从根系输送到叶面在通过叶面蒸发到空气中，在蒸发中带走热量植被叶面的向阳面和背阳面有着明显的温差效应（表3），植物泵的驱动也消耗掉许多热能。利用这个特性可大量吸收城市辐射热，调节空气温度和湿度，改善城市气候环境。

表3 植被叶面以及日光下的建筑表面温差测定\*

表面	太阳下不同物体表面的温度比较		
	温度 /°C	空气温度 /°C	太阳辐射 /(W/m <sup>2</sup> )
树叶阴面	30.5	31.2	430
阴影下的混凝土	39.5	35.5	420
日光下的绿色树叶表面	35.2	35.5	980
日光下的紫色树叶表面	37.1	35.5	980
日光下的白色树叶表面	33.0	35.6	975
日光下的枯死的树叶表面	45.2	35.6	983
日光下的混凝土地面	55.2	35.5	1010
日光下的土地面	43.4	35.3	1000
日光下的砖墙面	53.3	35.5	1015

\*资料来源: Department of Architecture, The Chinese University of Hong Kong, Liao Zaiyi, Tsou Jinyeu. 笔者翻译并加工。

### 2.4 利用植被可吸收辐射热的特性，改善建筑物老化

植被有大量吸收辐射热的特性（表4），利用植物覆盖为城市建筑物附加保温和维护层，软化城市形象。在强烈的辐射热、严寒或酷暑气候条件下，对建筑物表面造成的戏剧性的巨大温差变化，特殊自然现象如冰雹的袭击等，都会加速建筑材料特别是建筑防水层的老化，严重的损害建筑外维护面特别是屋面质量寿命。当建筑屋面防水层结构被置于植被化的覆盖层下时，因受到植被层的保护，建筑材料的寿命将会大大增加，因此也可以大大减少城市建筑一般性维修费用。

植被叶面又好像为城市建筑穿上了一层可调节城市气候的可呼吸的绿色外装。这件外套成了建筑物的附加保温层，通过这个措施可以改善建筑保温隔热性能，同时减少城市能源消耗和因能耗所联生的环境污染问题。大面积植被覆盖层，可以为城市建筑穿上绿色的外衣，软化目前城市建筑“水泥化”所造成的城市形象的僵硬感，随着四季的变化，大面积的植被饰面，可以在大格调和谐统一的前提下，大大美化城市，城市的面貌将丰富多采，城市空间将充满诗情画意。

表 4 随日光变化的植被化屋面的能量分布\*

光辐射或反射通量单位:  $(\mu\text{mol})/(\text{mm}\cdot\text{s})$

日进程	太阳总辐射量	非植被化屋面			植被化屋面			灌木群体		
		反射量	反射率	反射量	吸收量	吸收率	反射量	吸收量	吸收率	
6	340	38	23.38	20.4	319.6	94.0				
7	615	55	22.33	41.5	573.5	93.2				
8	1473	119	20.21	90.3	1382.7	93.9	131.1	1341.9	91.1	
9	2738	202	18.45	160.2	2577.8	94.2				
10	3063	232	18.94	165.1	2897.9	94.6	248.1	2814.9	91.9	
11	3295	184	18.08	152.2	3142.8	95.4				
12	3645	258	17.72	180.1	3464.9	95.1	273.4	3371.6	92.5	
13	2635	211	20.02	130.6	2530.0	96.0				
14	1665	144	21.56	99.4	1565.6	94.0	148.2	1516.8	91.1	
15	1563	125	20.00	70.0	1493.0	95.5				
16	1015	85	20.96	48.4	966.6	95.2	75.1	939.9	92.6	
17	453	38.6	21.28	21.7	431.3	95.2				
18	355	30	21.20	16.0	339.0	95.5				
平均值	1758.0	132.4	20.32	91.3	1666.7	94.8	144.2	1613.8	91.8	

\*资料来源: 刘怡.城市屋面绿化植被的能量反应.广州市果树科学研究所

### 2.5 利用植被吸附、凝结能力, 降解城市大气污染

“建筑物大面积植被化”可以用其大面积的植被叶面吸附大气中的 10%~20% 的粉尘污染, 部分吸收空气中和雨水中所含的硝酸盐或其他有害物质, 植被生长还可以大量的消费碳氧化合气体放出氧气, 改善城市空气质量。那些被吸附和凝结的污染物将被植被部分的作为营养利用和吸收。

### 2.6 利用植被吸收与发散声能效能, 降低城市噪音

植被叶面分布是多方向性的, 对从一个方向来得声波具有发散作用。其软质覆盖面与建筑外表面之间形成的夹层, 可以有效的消耗城市噪音能量, 吸收部分城市噪音, 降低噪音对城市生活的干扰。被自然化的建筑可以改善其反射 3dB, 并可以提高 8dB 防噪层的防噪效率。尤其地处航空的空中走廊或舞厅等娱乐设施所在地等强烈噪声源旁的建筑都有较强的防噪要求。植被化的建筑可以充分体现出其防噪优越性。

### 2.7 利用植物群落关系, 再塑城市生态链

植被化所建立的人造生态小生境, 为城市小生物提供了可生存空间, 昆虫和其他小生物、小动物, 都可以在“城市建筑环境大面积植被化”所提供的的基床上建立自己的家园, “城市建筑环境大面积植被化”为他们的生存提供了空间, 而他们又为飞禽鸟类提供了食物来源, “城市建筑环境大面积植被化”弥合了

生态圈内已断裂的食物链。

### 2.8 “建筑环境植被化”亦为消防措施

植被叶面对飞星火种或强烈的辐射热所引起的火灾现象有一定的防护作用。故德国建筑规范 (DIN4102 第 7) 将“建筑物大面积植被化”也作为一种城市消防措施。

### 2.9 “建筑环境植被化”可再次开发城市建筑屋面

城市建筑屋面将被作为城市立体空间的休闲场所被继续开发成: “空中苗圃”、“空中花园”、“空中菜园”; “屋顶植物园”、“屋顶咖啡”、“屋顶酒吧”、“屋顶游乐场”等各种屋面利用形式。它为市民提供了更多样化的空间活动立体场地。在需要时屋顶还可以为城市提供蔬菜、水果或变成屋顶操场。

## 3 德国城市问题的对策和经验

回顾历史, 发达国家在“城市化”进程中也同样出现过城市“水泥化”不断蔓延, 城市边界无控制地不断向外扩张所导致的“城市板结”现象。德国每年被建筑所吞噬的良田面积就高达 2000  $\text{hm}^2$ 。从生态学角度来看, 这是一个十分值得关注的大问题。针对发展和环境保护的矛盾, 德国科技界提出了“建筑物大面积植被化”这一城市生态工程方案。它的提出本身就是对已往“建筑罪孽”的反叛, 是人类修复建设性破坏的一剂良药。

在德国, 很早以前就开始了“建筑物大面积植被化”的探讨和研究。建筑师拉比兹·卡尔, 早在 1867 年巴黎的世界博览会上, 就展现了他创作的“屋顶花园”模型, 在当时引起了极大轰动。柏林 20 年代起就已完成了大约 2000 个屋面的植被化工程。1927 年, 在柏林的卡尔斯达 (Karstadt) 超市连锁百货公司的 4000 $\text{m}^2$  的屋顶上创造了当时世界上最大的屋顶花园。从此后, 德国一直保持着在这个技术领域世界中世界领先城市的地位。时至今日, 全德近 1 亿  $\text{m}^2$ 、首都柏林近 45 万  $\text{m}^2$  的建筑物屋顶已被植被覆盖, 许多建筑物表面完成了立体植被化。

为了改善一个小生态气候以及城市水环境而贯彻实施建筑物大面积植被化是在对植物社会学、地理学和城市生态学的分析基础上, 建构城市生态立法的和行政条例的纲领性条件的有利契机, 是对法制建设以

及行政工作手段的综合效益的回顾、展望和有效的考验。建筑物大面积植被化能得以贯彻实施,也是上述诸多要素的综合作用的结果。“城市建筑环境大面积植被化”是城市生态工程的一项以可持续的城市发展为目标,并基于国家经济发展和资源状况,切实可行的城市生态工程科研项目。它结合运用生物或植物技术对城市进行城市设计、建筑设计和景观设计,进而在城市中实施。旨在改善城市生存空间的气候、改善空气卫生状况并部分的消解城市污染问题。

在德国,按照科学研究的成果,科学地建立了生态环境平衡体系,并为保证环境资源的生态平衡制定了详尽的开发标准。建房必须偿还因建设所损失的自然环境,偿还有两种办法,一种是通过法定的原则,向国家管理部门缴纳补偿费,由国家统一采取补偿措施;另一种是由投资者自行按照规定的统一标准,做出环境修复和补偿方案,比如采取与建设同步的各种强化的绿化措施、雨水回收措施等,可以按规定以此来减免缴纳的环境开发补偿费。环境修复和补偿方案要上报有关管理部门审批并监督执行。对建筑环境的各个界面的立体化大面积植被化是其主要补偿措施之一,在德国 85%的建筑物表面的植被化都受到国家法律保护。

在德国访问期间,德国成熟的技术、工艺和大量的研究成果都给我们留下了十分深刻的印象,他们研制开发了在从 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 的坡度上进行种植的先进行工艺技术。为了人工制造的植被环境所创造的植物种群能够形成有活力的生态系统,首先必须对植物品种进行筛选,选育能够适应所在地气候的、土生土长的、具有较强洁净环境能力的、最易栽培、易成活、耐寒、耐旱、最少养护需求、四季都发生环境效应的植被物种;并对植物品种进行合理的搭配,一般不少于八九个品种。屋面种植层的建筑构造和用料也非常考究。他们通过深入的科学技术研究,还开发出许多植物根系基层用料配方、级配方案和构造措施,如预植“植被地毯”工艺等,它们在生物和准生物领域与城市建筑领域相结合方面已完成了许多研究课题。

为了适应不同环境的需求,德国还为“城市建筑环境大面积植被化”开发了市场化、工业化的产品系列。如:种系列、防水层系列、培养基基层系列、通风和排水系列等。绿化实施后,种植层中特殊的孔隙形保水材料,可吸收 50%雨水供植被生长使用,因此植被屋面一般很少需要养护。被“建筑物大面积植被化”后的城市环境,美观、质朴、自然;空气的清新度、

湿度得到明显改善,郁郁葱葱的生活环境,为城市带来了活力和生机。“建筑物大面积植被化”以它所具备的,在社会、经济和生态效益等多方面的优越性独秀一枝。

#### 4 对解决我国城市问题的若干思考

由于我国土地资源有限,人口基数大,近十几年的高速发展,导致城市中心区已建成的城市空间密度远远大于世界上同等大城市的密度。如何面对城市板结现象,解决城市热岛和城市污染问题?已建成的城市中心区已无土地不可能再开发出大片城市绿地来代偿城市环境负担。通过什么手段才能因地制宜和切实可行的恢复城市良性生态功能?如何才能从某种程度上缓解和改善我国大城市的城市环境。

我们能否借鉴先进国家的经验,展开对城市建筑环境大面积植被化的科研和工程实践呢?笔者认为是完全必要的,通过对城市建筑环境大面积植被化的开发研究,也会取得很好的社会、经济、环境效益,研究课题内容可以包括:

(1) 定课题试点区域,对城市环境、气候、物种等展开调查、分析、研究,建立生态工程参照系。规划设计城市建筑环境植被化试点工程。

(2) 针对所确定的建筑物,因地制宜地选育能够适应所在城市气候的、土生土长的、具有较强洁净环境能力的、最易栽培、易成活、耐寒、耐旱、最少养护需求、四季都发生环境效应的植被物种。

(3) 研究植被坐床的建筑基层,无土栽培技术和相应的工程材料、技术、工艺流程等(图1)。

(4) 研究城市中心区的“中水”回用,利用中水灌溉“城市建筑环境植被化”的工艺流程和相关技术、设备控制手段,价格体系等工程和经济问题。

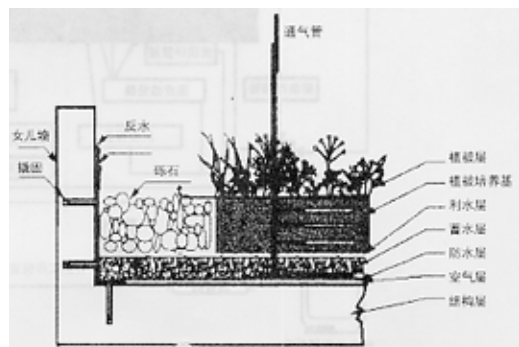


图1 植被座床的建筑基层构造示意图

(5) 开发城市建筑环境植被化设计所需的计算机控制系统程序。

(6) 针对城市生态工程展开政策法规研究，建立政策保障体系。

(7) 依托城市生态工程，拓展城市产业，开发新的城市消费市场，提供新的就业岗位，研究城市生态产业对开发城市新的就业市场和生产领域的影响。

(8) 总结工程设计经验，制定相应的标准、规范、规程和标准图集。

(9) 研究社区级利用可再生能源保护人工生态系统运行的科技体系和产品。

(10) 对改造前后社区的城市美学、居民生活结构、社会关系、环境心理等的环境影响进行调查、分析、研究。

(11) 对城市建筑物大面积植被化前、后的建筑物进行建筑物理的测定以及其建筑节能研究。

(12) 研究如何建立城市生态环境数字化信息监测系统（图2）。

### 5 结语：创建城市生态的一种有效途径

城市建筑环境大面积自然植被化，能够有效利用城市资源，保护环境，净化环境，亲和自然，美化环境，为城市生命种群提供得以生存的良好生态环境，为人们创造一种舒适、健康、安全、美好的城市生活

空间。当然，面对城市化现象中如此错综复杂和多变的城市环境问题，不是仅靠一项举措就能够彻底扭转局面。城市问题的最终解决还要依靠人类理性的反思和发展科学技术来对城市环境综合治理，恢复和再生良性循环的城市生态。但无论如何，“城市建筑环境大面积植被化”提供了一个城市生态的可实施性方面重要的例证，它证明人们能够运用生态学观念和城市生态工程原理，通过城市设计，并运用在上述理论基础之上，开发出来的相应技术措施，有效的控制和改善城市发展，重新恢复良好的城市环境质量，再造我们理想的城市生存空间。它是生物科学与建筑科学结合的产物，是在城市化进程中的一场“生物学-建筑学”革命，是创建城市生态的一种有效途径。（本文彩色图片见封三）

#### 参考文献

- 1 Jens Drefahl. Dachbegruenung 出版社：M Rudolf Mueller, 1995. ISBN 3-481-00745-0
- 2 H.Sukopp, R.Wittig Stadtökologie Gustav Fischer, 1993
- 3 James Wines. Gruene Architektur Taschen Lektorat:Koeln London Madrid New York Paris Tokyo 1992-98
- 4 3.Auflage, Kord Baeumer. Allgemeiner Pflanzenbau. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart 1992, SBN 3-8252-0018-3
- 5 戎安. 德国城市建筑环境大面积植被化. 世界建筑杂志社, 世界建筑 150 期, 122002, P59

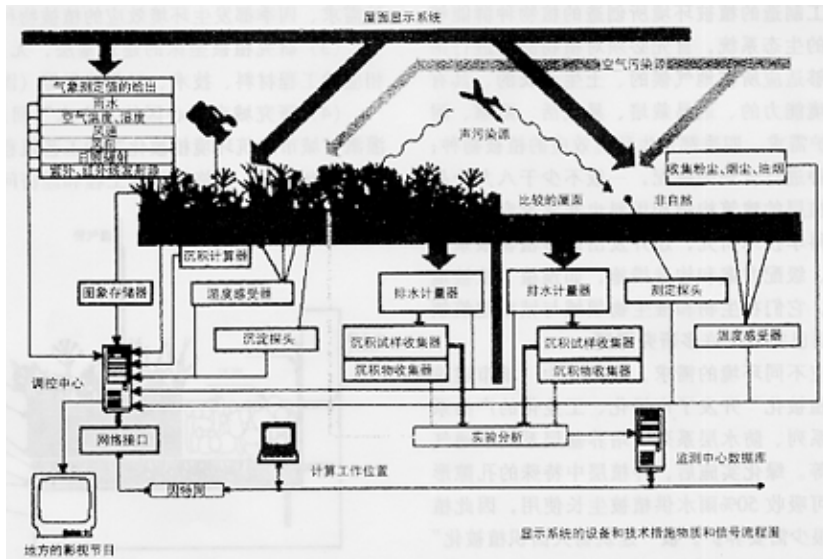


图2 城市生态环境监测系统示意图