

[德] Ingrid Hermannsdörfer Christine Rüb 著  
沈辉 褚玉芳 王丹萍 张原 译

# 太阳能光伏建筑设计

——光伏发电在老建筑、城区与风景区的应用



科学出版社

# 太阳能光伏建筑设计

——光伏发电在老建筑、城区与风景区的应用

[德] Ingrid Hermannsdörfer Christine Rüb 著

沈 辉 褚玉芳 王丹萍 张 原 译

科 学 出 版 社

北 京

图字：01-2011-0925

## 内 容 简 介

能源与环境问题已成为人类社会可持续发展面临的主要问题，日益引起了国际社会的广泛关注。太阳能作为一种重要的可再生能源，具有清洁、无污染、储量丰富的特点，已成为未来能源发展的必然方向。本书简述了太阳能光伏技术方面的基础知识，以及在研究项目 PVACCEPT 支持下研发的新型太阳电池与组件在光伏建筑中的应用。不仅从建筑师的角度介绍了光伏发电技术在建筑，特别是在已有建筑方面应用的丰富实例，同时阐述了一种与众不同的设计概念与应用模式，拓宽了光伏发电技术的应用范围与创新思路。

本书内容涉及光伏技术知识与先进建筑设计新概念，并列举了世界上较知名的太阳能光伏建筑实例等各方面的资料，内容丰富，图文并茂、深入浅出，对于研究机构和高等院校的可再生能源相关学科的教师及学生、太阳能企业的管理和技术人员、建筑行业的从业人员以及光伏技术爱好者，是一本具有重要的理论指导与实用价值的技术参考书。

Hermannsdörfer, Ingrid/Rüb, Christine: Solar Design. Fotovoltaik für Altbau, Stadtraum, Landschaft. © 2005  
by lovis Verlag GmbH, Kurfürstenstrasse 15/16, D - 10785 Berlin, Germany, www.jovis.de

本书中文翻译版权由科学出版社独家出版发行。

版权所有，违者必究。未经本社许可，数字图书馆不得使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

太阳能光伏建筑设计：光伏发电在老建筑、城区与风景区的应用 / (德) 赫曼斯杜费 (Hermannsdörfer I) 等著；沈辉等译. —北京：科学出版社，2013  
ISBN 978-7-03-036156-1

I. ①太… II. ①赫… ②沈… III. ①太阳能发电—太阳能建筑—建筑设计 IV. ①TU18

中国版本图书馆CIP数据核字 (2012) 第296675号

责任编辑：刘宝莉 / 责任校对：张怡君

责任印制：张倩 / 封面设计：文思莱

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码 100717

<http://www.sciencep.com>

保定市中画美凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013年1月第 一 版 开本：889 × 1194 大16开

2013年1月第一次印刷 印张：8 3/4

字数：200 000

定价：60.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

# 前言

目前，在现有建筑上主动利用太阳能是备受关注的课题。太阳能发电设备（光伏系统）在新建建筑上应用，不管是从技术上还是造型上来看都是可行的，但对于在现有建筑中利用光伏设备，从建筑学的视角来看往往不能令人满意。为了实现现代技术器件与老建筑、纪念性建筑的规模、色彩设计、材料和装饰元素的匹配，必须寻找一些创新的方法。

本书的作者，两位女建筑师想要通过此书与对太阳能建筑感兴趣的建筑师、专业工程师、建筑商、建筑管理部门的代表和城镇管理机构实现对话，让他们能够对于光伏发电设备在已有建筑、老建筑的外观和自然景观中的新型应用的可能性有所了解。

在此，介绍了各式各样的应用和方案以及创新构造的光伏组件，并且对光伏系统的功能和组成进行了简要的说明。本书的重点是描述了超过 30 多个各式各样的并以极高美学标准建造的应用实例。

本书展示了光伏设备如何能够以引人注目的方式精巧地被用于建筑设计。本书目的在于减少在已有建筑和纪念性建筑上安装光伏设备对建筑美学的影响，以及激发建筑学家、投资人和建筑保护部门对这种环境友好型技术采取更宽松和创新的态度。

# 目 录

1. 太阳能建筑	1
2. PVACCEPT: 研究项目	3
3. 应用领域	11
4. 设计与构造	21
5. 创新的太阳电池和组件	27
6. 成功的实际范例	37
7. 光伏技术基础	115
图片来源	127
译后记	131
外语词汇索引	133

# 1. 太阳能建筑

在工业化国家，平均有将近总能源消费量的一半（在中国、欧洲，建筑能耗约占三分之一。——译者注）被分摊到建筑的能源供应，即加热、冷却和通风，并为它们提供电力。这些所需的能量，仍然是来自不可再生的化石燃料，并且在能量转化过程中会产生对环境有害的废气。

鉴于即将或已经出现的化石能源枯竭和气候变化等原因，合理和有效地利用能源已成为世界范围内首要的政治和社会目标。我们要以一种负责任的态度对待环境和利用可再生能源，例如，在建筑设计时利用太阳能也必须成为首要考虑的因素。

为了实现这一目标，建筑师、建筑业主和管理机构这些起到实质性作用的部门需要做出迅速而全面的考虑。这也意味着，除了其他考虑因素，专业培训、融资的模式、标准规范和

法律必须适用于这个新的目标。这些调整已在着手进行之中。

建筑的设计应该始终坚持遵循尽可能节能的原则。对于新的建筑，通过适当的方位（被动利用太阳能）和材料的选择（同样注意在生产过程中能源消耗），是可以做到的。对于旧的建筑，通过使用隔热的建筑材料、安装有更好隔热特性的窗户，以及优化供暖系统等，就可明显减少能源消耗。其余的能源需求应考虑由使用环保能源的主动式系统来满足。

在德国，举例来说，有大约 70% 的建筑的建筑年龄已超过 25 年，在所有建筑中它们合计消耗约 70% 的电能和约 95% 的热能。因而对现有的建筑进行维修和整改将是规划师、建筑师和建筑行业在今后几年的主要任务。事实上这个行业现在也是如此。因此，翻修旧建筑比建造新的建筑更能决定减少建筑

能耗和使用可再生能源的成功。减少能源消耗以及利用可再生能源，两者都是同样重要的。可再生能源的利用是不可替代的，更是以节省能源为目的的现代化可持续发展的一个完善补充。

然而，目前来看，利用可再生能源，主要是作为一个新建建筑范围内的目标，这也包括太阳能建筑。如果太阳能光热和光伏设备与建筑作为一个整体一起规划，它们能很好地与建筑融合。总的来说，只是在最近，现有建筑采用太阳能设备这个主题才越来越多地被提及。

1995年由众多著名建筑师签订的“在建筑与城市规划中利用太阳能的欧洲宪章”，明确承认太阳能广泛应用于未来建筑的特别作用，并强调规划和设计理念的重要意义。通过令人信服的建筑直观化及现实化，这些理念为提高公众对太阳能建筑的接受度做出了贡献。

在改造现有建筑时，如果在其上面安装一个太阳能设备，可以提供能源增加效益并且节省大量的翻修费用。例如，如果一个屋顶已经被太阳能设备完全重新覆盖，可以节省砖瓦，同时，安装公司可以利用翻修

过程中所需的基础设施（如脚手架等）。太阳能设施也很容易被集成到规划的扩建中，如建造温室。

不仅把太阳能设备视为以产生电力和热能为目的的技术系统，而且必须把它们视为建筑设计的重要组成部分，这是相当重要的。由此可见，它可以丰富建筑式样，并把它从大量建筑中强调和区别开来；在同时保存传统特点的情况下可以体现适应性和变革或者现代性；并且可以给建筑和建筑所有者增添正面的形象。

然而，到目前为止，太阳能概念在翻修建筑上没有成功实现，因为难以用符合美学的方式使太阳能设备的先进技术和已有建筑的规模、材料和装饰元素协调一致。在这方面缺乏能适应设计多样性的合适产品。

这正是德国 - 意大利研究和示范项目 PVACCEPT 的出发点，其结果展示在这本书里：在 2001 ~ 2004 年间，PVACCEPT 在光伏领域，这一太阳能技术的分支，专门为旧的和作为文物保护对象而登记入册的建筑发展了创新的产品和设计的潜力。

## 2. PVACCEPT：研究项目

PVACCEPT 是一个跨学科的、德国 - 意大利联合研究与示范的项目，由少数几位具有首创精神的柏林建筑师在 2000 年提出，他们在柏林艺术大学发展和实践了这项计划。2001 ~ 2004 年，研究项目属于第五次框架计划下的“创新和鼓励参与的中小型企业”，由欧盟委员会资助。此外，合作伙伴，特别是相关的企业和科研院所，资助贡献相当大。PV (photovoltaics)；

代表光伏，ACCEPT: 即英文 acceptability, 表示接受认可的能力。人们往往低估了美学设计的重要性，美学设计是使光伏技术为人们所接受的重要因素，优化美学设计和发展多样性的设计可以开拓新的应用可能，特别是在现有建筑、古迹的外观上的应用。该项目主要针对这一问题，重点研究开发新的设计方法。

---

注：研究项目“PVACCEPT”得到欧盟委员会的财政资助。



## 合作与分工

合作与分工反映了项目的复杂结构：

项目的全局协作以及各项设计工作由柏林艺术大学建筑师团队承担。

（团队成员：Ingrid Hermann-sdörfer, Christine Rüb, Ingo F. Schneider）

建筑师定义和追求各种创新的方法来设计开发，并与位于内卡（Neckar）河畔的马尔巴哈（Marbach）城的太阳能企业 Würth Solar 和位于康斯坦茨（Konstanz）的光伏公司 Sunways 的技术人员密切合作，合作伙伴的选择决定不同的技术方案：Würth Solar 生产铜钢硒（CIS）薄膜组件，而 Sunways 生产晶体硅太阳能电池。在项目开始时，阿恩施塔特（Arnstadt）的企业 ANTEC Solar 也曾参与生产薄膜组件（碲化镉技术），但是在 2002 年由于公司自身的因素而离开。因此和 ANTEC Solar 合作开发的产品那时仅仅停留在早期测试阶段。

意大利博洛尼亚（Bologna）城的企业 BUSI IMPIANTI，积极规划和构建完整的光伏设施，

负责技术设计和在意大利安装示范工程，同时提供必要的技术部件，德国的示范工程是由 Würth Solar 公司来安装。

一个重要的任务，是对来自不同方面的人进行太阳能设施的可接受性研究调查，接受调查的是非专业人员（市民）和专家（建筑师、建筑管理部门代表、政界人士）。调查工作分别在德国和意大利进行，由德国柏林的 IÖW（生态经济研究所）和意大利罗马的 Ambiente（建筑环境实验室）负责。在项目的前六个月阶段，他们的焦点是对于光伏设施的总体可接受度的建筑设计重要性，尤其是安装在受保护的古迹上的光伏装置。示范工程建设完成后进行调研，评估它们的创新设计的被接受程度和评价。调查包括随机采访游客对于在利古里亚（Liguria）地区展示的第一次设计的示范项目的看法和意见，以及询问游客对已建示范项目的看法和意见。两项调查均由柏林艺术大学的建筑师团队设计和执行。

该项目完成了对创新组件和装置的寿命周期评估，先后分析了能量循环以及组件对环境的影响，而该项目的主要进程也在意大利锡耶纳大学的化



欧盟委员会（European Commission）

提供资金



柏林艺术大学

协调 + 设计 + 规划



德国 Würth Solar 有限公司

生产光伏组件



德国 Sunways 光伏技术公司

生产太阳能电池



意大利 BUSI IMPIANTI SpA 公司

制作展示物品



意大利锡耶纳大学  
生命周期分析



意大利罗马建筑环境实验室  
接受性研究



德国柏林生态经济研究所  
接受性研究



欧洲观察员  
撰写成果可转让性报告



德国与意大利地方议会与政府  
示范工程合作

学系同步进行。

欧洲观察员参与了该项目的关键阶段，以保证成果顺利转让。尤其是在联合研讨会和最后一次大会上，他们的关键反馈为研究提供了重要的支持。欧洲四国的代表出席了会议：

法国

巴黎建筑科学技术中心

巴黎矿业学院能源中心

荷兰

国际城市环境研究所（代尔夫特）

欧洲设计中心（埃因霍温）

奥地利

维也纳旅游与发展研究所

维也纳 17 & 4 机构咨询有限公司

西班牙

哈恩省能源局

## 产品开发

这项研究基于建筑师与太阳能企业之间紧密合作（产品设计者“柏林 Craftsmen 设计公司”也给予了支持），按照不同的发展方向进行：包括不同规格的半透明电池及组件，通过表面印刷方法改变颜色，实现无反光或少反光的表面以及设计多功能产品。

该项目的宗旨是开发适销对路的产品，以满足特定设计要求，安装在旧建筑及景观区。他们的目标是提供一个高档次的灵活设计，同时，在安装过程中要求尽可能的少对现有建筑进行改动。示范样品都用于

适合的示范地点，并根据实际情况进行测试。某些标准，像对项目的选择上，限制了组件变化的可能，并要求设计师和太阳能公司都做出一些让步。联合开发的示范样品会在章节“创新的太阳电池和组件”中详加介绍。

## 与地方社团、政府合作

规划和建设示范工程要求柏林艺术大学建筑师团队和有关社团与官方机构，包括古迹保护机关密切合作，其目标是达成协议。讨论过程冗长而费时，部分原因是由于选址的复杂性。该示范设备的安装一般设置在

显眼的地点，并且必须在项目计划中和财政预算内。选址都在不可能应用标准光伏组件的地方，因此，需要一种创新做法和高层次审美的融合。由于把旅游业视为推广渠道，作为旅游业用途的光伏设施要比标准组件有更高要求。另外，这方面设计的解决方案将可以应用到欧洲别的国家同样的情况下。

## 示范基地

在 2004 年，该项目成功完成了四个位于德国南部（图 1）和意大利利古里亚（Liguria）（图 2）的不同的示范工程，其中有三个安装在作为文物保护单位象

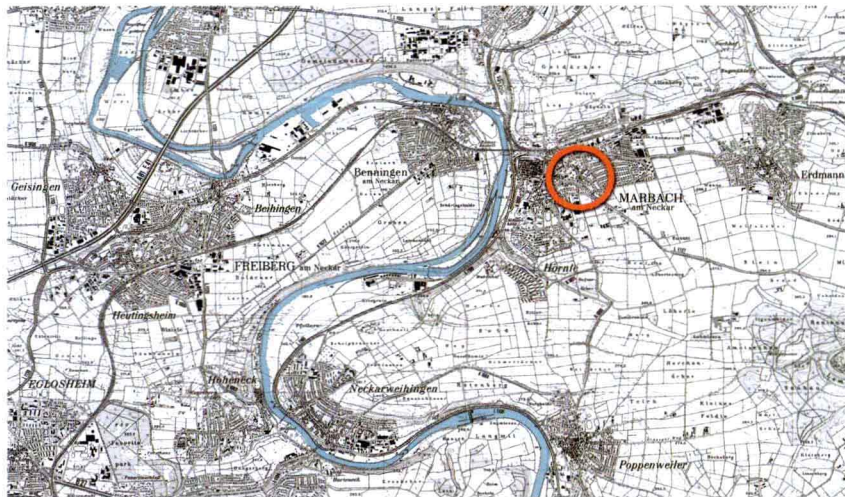


图 1 德国南部地区示范点示意图

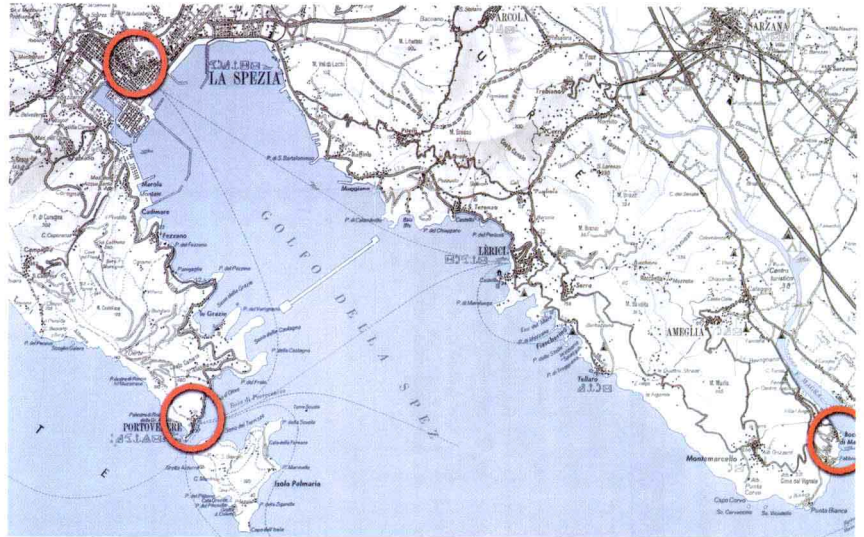


图2 意大利古里亚三处示范点示意图

而登记入册的建筑上：

一个带有诗人名言的太阳能电池组件安装在德国内卡（Neckar）河畔的马尔巴哈（Marbach）城墙上，该城是德国诗人弗里德里希·席勒（Friedrich Schiller）的出生地。

一个太阳能信息板安装在历史上著名的意大利拉斯佩齐亚城（La Spezia）圣乔治奥（San Giorgio）城堡上，这是博物馆所在地。

一种被称为“太阳旗”的光伏装置安装在意大利维纳斯港（Porto Venere）多利亚城堡（Castello Doria）的庭院内。

三个应用透光光伏组件的太阳能绿廊设置在意大利阿美利亚（Ameglia）自治区 Bocca di Magra 的游艇码头上。

这些工程将在“成功的实际范例”一章中讲述，并标明为 PVACCEPT 示范项目。

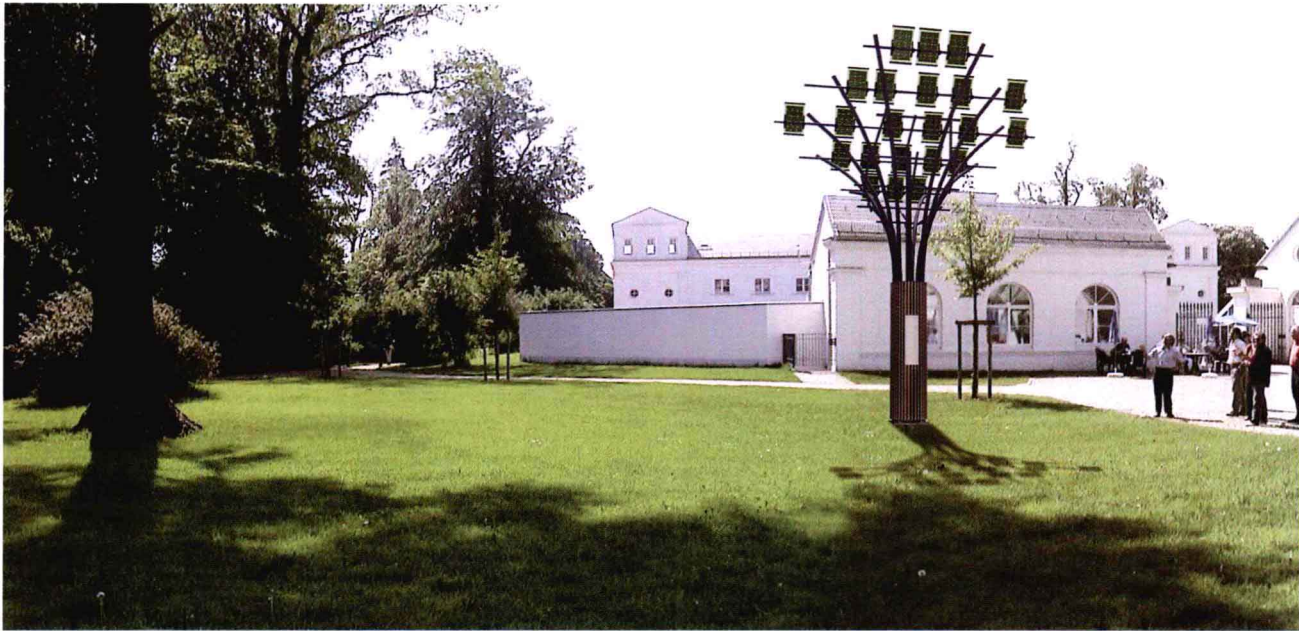


图3 “太阳树”（位于德国普特布斯的橘园前）

## 可接受性的研究结果

该项研究的结果证实了作为研究基础的关于可接受性的设计重要性的主要观点：2001年底在意大利一半的受访者和在德国十分之一的受访者表示，他们发现在市场上适用的标准组件并不美观。同时，有三分之二的意大利受访者和四分之三的德国受访者表明：如果电池组件设计的技术经过适当的调整改进，在历史建筑上安装光伏设备是有可能的。

在2004年9月，一项对游客和当地居民的调查显示，就这四个示范工程的建设，都显示出了高度的认同。视设备的类型而言，57%~98%的受访者认为“这些设备很好地与建筑融合”，77%~98%的受访者认为“用这种形式设计太阳能电池组件是一个好的想法”，而54%~86%之间的受访者同意“太阳能设备也应安装在受保护的建筑上”。

事实上，由PVACCEPT开发和应用的创新的组件都是不

引人注意的（图3、图4），调查证实了这个结果：29%的受访者并没有立即辨认出“太阳旗”是光伏设施。62%受访者未能辨认出博物馆上的太阳能信息板。84%的受访者未能辨认出城墙上的太阳能语录板，53%的受访者未能辨认出太阳能绿廊上的光伏装置。

## 总结

由合作成员、欧洲观察员和外国专家参与的最后一次会

议于 2004 年 11 月在柏林举行，一致认为：把光伏与建筑相结合的做法有相当大的潜力，不仅是对于新建建筑，而且还适用于已有建筑，而且这种潜力应该加以利用。由 PVACCEPT 提出的创新设计理念和开发的产品可以进一步推广应用。

项目的结果（包括了令人鼓舞的寿命周期评估结果）可促使产品开发的技术人员认识到：在经济效益之内，把光伏产品开发的重点从仅仅关注能源效率转向更多地关注出色的设计这一营销因素。对于销售各种

产品，审美设计都是一个重要的因素，许多消费者和投资者都愿意为更好的设计及其带来的更佳的形象多付些钱。这并不意味着设计可以忽略经济方面的问题，因多样的设计会产生相应的需求和由制造量的增加带来成本的下降。

建筑师可以被视为进一步推广技术的助推器，他们作为客户的顾问扮演着重要的角色，一方面要考虑技术与能源要求，另一方面要兼顾建筑与审美需要。

## 展览

PVACCEPT 组织了一次用作信息和培训资料的展览。它提供了有关在旧建筑、城市空间和景观区应用光伏的信息资料，展示了新的光伏利用可能性设计以及它们的技术背景。这次展览采用德语、英语和意大利语。任何有兴趣的机构，例如城市的管理者、建筑商会机构、工艺品的商会机构及教育机构都可以使用。在这个项目的网页 [www.pvaccept.de](http://www.pvaccept.de) 可以找到更多资料。

图 4 “瓷砖组件”（位于德国普特布斯的 Marstell 建筑上）





### 3. 应用领域

目前，在现有的或具有历史价值的建筑上，也和新建筑一样，有一系列广泛的光伏发电应用实例。然而，与新建筑相比，光伏发电设施在现有建筑上的安装不可避免地更分散，因为它们必须与现有建筑保持一致，标准化的产品往往不适用，所以亟待推出创新性的光伏发电设备。这不仅涉及组件本身的设计，举例来说，也涉及适当的次级结构的设计，尤其适用于那些受保护登记入册的建筑，鉴于技术介入对建筑结构的影响应被降到最低，在风景区安装光伏发电设施是需要创新办法

的；其中最重要的是，组件的颜色要与现有的自然环境相适宜，而对于现有的建筑，古迹和风景区主要的要求是把一个相关的技术和谐的融合到特定的背景下，焦点是在城市中应用的光伏设备拥有更多新的额外的功能。

下一章是各种可能的应用实例的简要描述，主要强调相关的设计和一般性方面。它没有提到详细的结构细节，因为前面提到的应用领域相关的建筑设计（与新建筑截然不同）必须从各自的情况出发。因此，设计和结构不能走标准化模式。



## 光伏屋顶

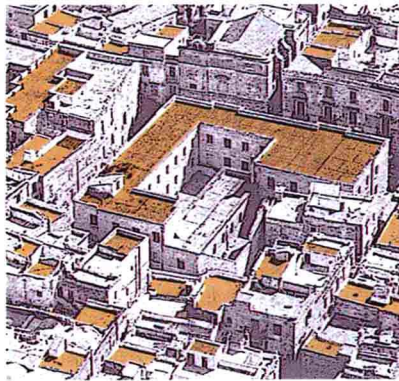
由于建筑的屋顶大多是在没有被遮挡的位置，所以屋顶区域最适合用来安装光伏组件。不仅适用于坡屋顶，也同样适用于平屋顶。在此背景下，现有的建筑仍然为光伏的进一步发展提供了巨大的潜力。

平屋顶对于安装光伏设备是一个很好的选择（图 5(a)）：它们能提供大面积空旷表面区域，组件的方位和倾角的设置可根据技术要求来确定。此外，安装和维修不需要用到脚手架。对于相当高的平屋顶的建筑，从下面看几乎无法看到太阳能

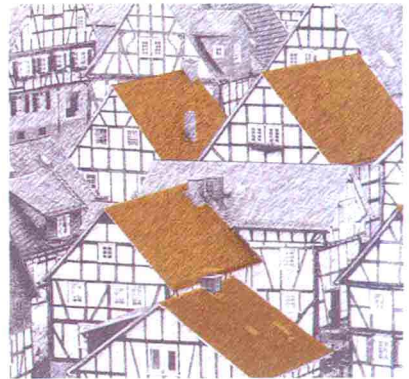
设施。因此，用标准的现货供应的产品是没有问题的。太阳能绿廊是一种实用的替代方案，在屋顶上面它可以提供遮阳保护。

光伏设备安装在倾斜屋顶上（图 5(b)），当朝向正确的方位，也同样有好的能量输出。目前市场上出售的屋面附着构件以及屋顶集成光伏系统等产品都是可用的。在通常情况下，外部附着的光伏组件的安装，并不因为额外重量的增加而要求改变现有建筑屋顶的结构。

光伏设备甚至可以安装在圆顶部位（例如桶形屋顶）（图 5(c)），条件是组件尺寸相应改



(a)



(b)