

德国太阳能光伏建筑的发展及应用

GERMANY'S DEVELOPMENT AND APPLICATIONS IN BIPV

张彧, 李小燕 /ZHANG Yu, LI Xiaoyan

摘要: 近年世界各国光伏产业迅猛发展, 光伏建筑一体化 (BIPV) 正面临前所未有的发展机遇, 德国在世界太阳能光伏技术及光伏建筑一体化应用方面保持着全球领先的地位, 了解它的发展及应用, 对我国光伏建筑一体化 (BIPV) 的发展和具有借鉴意义。

Abstract: In recent years, the photovoltaic industry has developed rapidly in the world. BIPV industry has faced an unprecedented opportunity for development as well. The German photovoltaic industry and BIPV applications have been the first position all the time. It is essential to understand the development and application of German photovoltaic industry that could provide a development direction of our country's BIPV industry.

关键词: 德国, 太阳能, 光伏建筑一体化 (BIPV)

Key words: Germany, Solar energy, Building-Integrated photovoltaic (BIPV)

自 1990 年代以来, 光伏产业是世界上增长最快的高新技术产业之一, 随着世界各国对可再生能源的重视以及光伏建筑技术的不断进步和革新, 世界光伏建筑市场的发展超过了工业历史上已有的任何一次突破, 光伏建筑一体化 (BIPV) 正面临一次前所未有的发展机遇。

德国是世界上太阳能光伏发电利用最多的国家, 也是绿色建筑技术发展最先进的国家, 了解近年德国太阳能光伏建筑的发展及应用, 可以为我国新能源发展和绿色建筑设计提供有益借鉴。

1、德国光伏产业发展概况

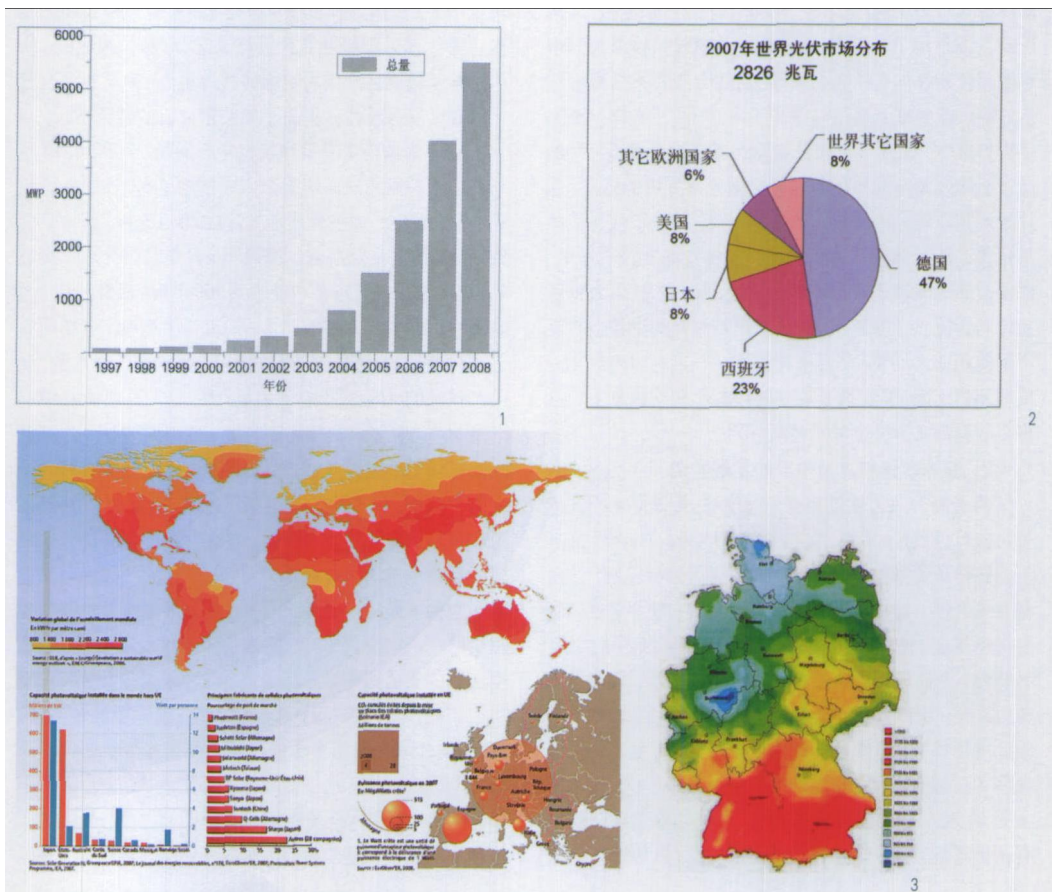
德国对太阳能光伏发电的利用可追溯到 1970 年代, 1974 年石油危机以来, 太阳能光电技术的研究和应用被紧迫地提上日程, 1999 年随着“十万太阳能屋顶计划”的启动, 德国太阳能光电技术得到快速发展, 2004 年德国颁布了新的可再生能源法, 使光伏建筑补贴进一步稳定下来, 自此, 德国光伏市场更是迅猛发展, 迈上了一个新台阶 (图 1)。到 2006 年底, 德国已有拥有太阳能发电设备 30 万套, 总装机容量达 2.5 Gwp。2007 年, 德国太阳能发电系统的发电量, 比 2006 年增长了 60%, 增

速高于任何其他可再生能源^[1]。在全球, 大约 25% 的太阳能电池板和 40% 的太阳能转换整流器是德国制造的, 德国还是太阳能光伏系统应用的最大市场, 2007 年世界太阳能新装机容量达 2.8Gwp, 其中德国约占 47%, 西班牙约占 23%, 日本约占 8%, 美国约占 8% (图 2)。^[2]

2、德国发展光伏建筑的资源条件

德国虽然是世界光伏发电应用的最大市场, 但其发展光伏建筑的自然资源条件较世界许多国家却并不理想。德国年平均光照时间为 1528 个 h, 不到总白昼时间的 1/3, 光照时间和伦敦差不多, 比意大利佛罗伦萨少 1/3, 仅是美国圣地亚哥的 1/2, 是我国拉萨的 1/2。这样的光照条件使得德国太阳能系统的效率相对较低, 也使它在太阳能光伏建筑发展领域的增长更为显著 (图 3)。

虽然日照条件并不理想, 德国社会仍十分倾向于使用太阳能, 德国普通民众在利用太阳能方面有自己的理念, “我们不在乎从太阳里面拿到太多, 我们拿到我们该拿的就可以了”^[3]。德国人完全是以一种环保的理念——我们利用太阳能发电不会减少什么, 太阳能是大自然赋予人类的免费财富。



作者简介: 张彧, 东南大学建筑学院
李小燕, 东南大学能源与环境学院
收稿日期: 2010-05-10

- 1 德国光伏装机总量图 (笔者依据德国环境部数据绘制)
- 2 2007 年世界太阳能新装机容量各国比例图 (世界资源研究所绿色能源开发部主任, 亚历克斯·佩雷拉 (Alex Perera), 2009《创建可持续的再生能源市场——金融危机背景下光伏产业的发展国际研讨会》)
- 3 世界太阳能资源质量图谱及德国图形化的阳光量测数字——南部比北端好 (<http://www.tomshardware.com>)

3. 德国发展光伏建筑的政策措施

德国发展太阳能光伏建筑的自然资源条件并不理想，却拥有世界上最大的光伏应用市场，得益于德国人对待可再生能源的态度以及德国发展光伏建筑的政策措施。德国发展光伏建筑的政策鼓励措施体现在以下方面：

3.1. 可再生能源法

为了推动和保证光伏能源为核心内容的新能源计划的实施，作为1991年“电力费返退法”的延续和拓展，德国政府颁布了“可再生能源法”，于2000年4月1日正式生效。2004年7月，颁布了新的可再生能源法，法律规定，自2004年7月起，在全国，利用可再生能源的发电设施，优先并入公共电网。可再生能源法对并入公共电网的可再生能源及各自不同的收购电价进行了详细规定。德国《可再生能源法 EEG》给太阳能产业的发展提供了先决条件。

3.2. 市场激励计划

光伏发电设备投资贷款计划：该计划针对太阳能发电设备的新建和扩建，由德国复兴信贷银行提供设备投资全额的优惠贷款，最高限额为每户5万欧元，还贷期可延续到20年。

居住空间现代化计划：针对现有住房的改善计划，如果在改善计划中增添太阳能发电和供热设备，可获得5万欧元10年期的优惠贷款。

3.3. 促进行动——10万太阳能屋顶计划

1998年9月在欧洲“百万太阳能屋顶计划”的战略框架下，德国政府宣布从1999年1月起实施“10万太阳能屋顶计划”。其目标是到2003年底安装10万套光伏屋顶系统，总容量在300MW~500MW，每个屋顶约3KW~5KW。德国联邦经济技术部为此计划提供了总共约4.6亿欧元的财政预算^[4]。

德国环境部的数据显示，到2006年德国已拥有超过30万个太阳能系统，远超过10万个。这些系统每年约产出300万KW电力，是德国1990年太阳能发电量的1000倍。目前全德国太阳能发电量相当于一个大城市的使用量。已有4%的德国家庭利用了清洁环保、用之不竭的太阳能。

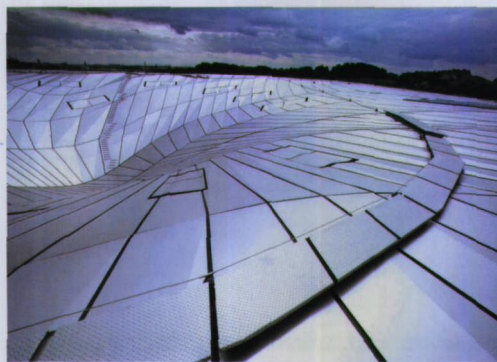
4. 德国光伏建筑一体化 (BIPV) 应用案例

目前，德国80%左右的光伏发电应用是与建筑相结合的，即光伏建筑一体化 (BIPV——Building-Integrated Photovoltaic)。BIPV直译为“建筑物整合太阳光电系统”，简言之，其主要内容在于“将光伏板视为一种建筑构件的空间元素而产生的构筑技术的实践”。^[5]

除了私人住宅、工厂、文化娱乐建筑外，德国的太阳能光伏发电还广泛应用于大型公共建筑上，如：德国



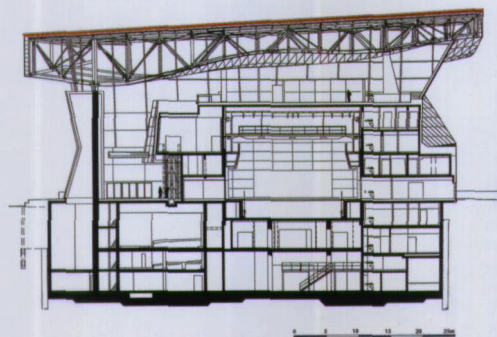
4



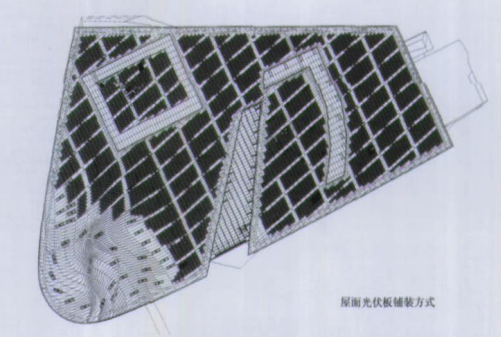
5



6



7



屋面光伏板铺装方式

8

柏林中央火车站、德国议会大厦、慕尼黑（弗莱堡）贸易展览中心等建筑，而光伏组件与建筑结合的形式亦各不相同，创造出许多光伏建筑一体化应用的经典案例。

4.1 德国宝马世界中心（图4-8）

由蓝天组（Coop Himmelb）设计并于2007年10月建成的德国宝马世界（BMW Welt）是世界上最著名的光伏建筑一体化应用案例之一，整个建筑占地2.5万m²，总建筑面积约7.3万m²。作为建筑的第5个立面，宝马

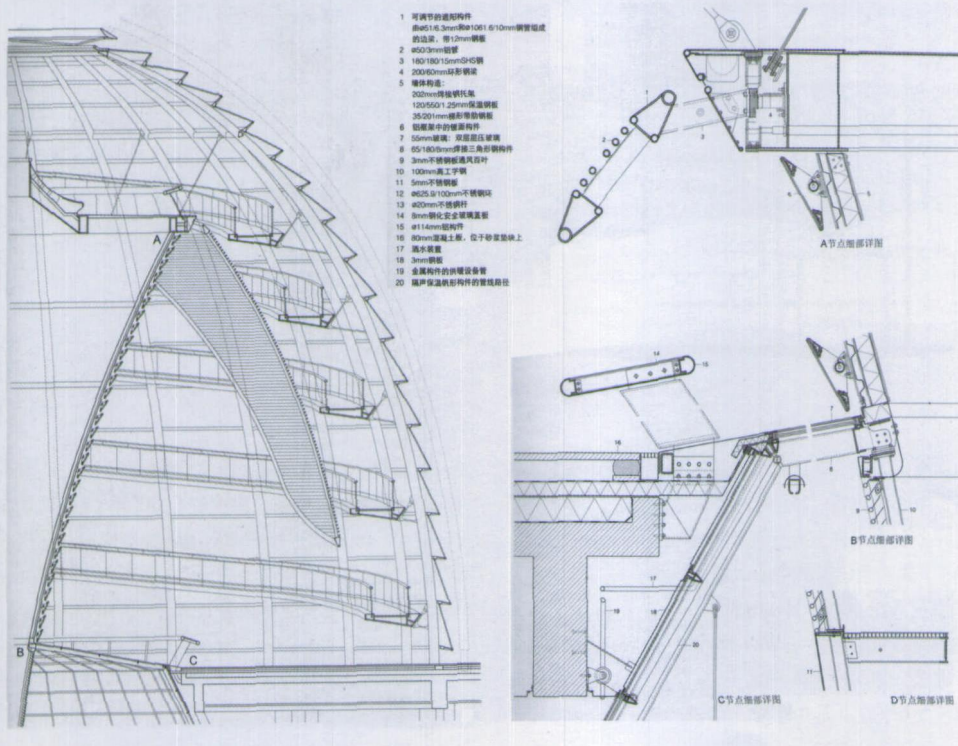
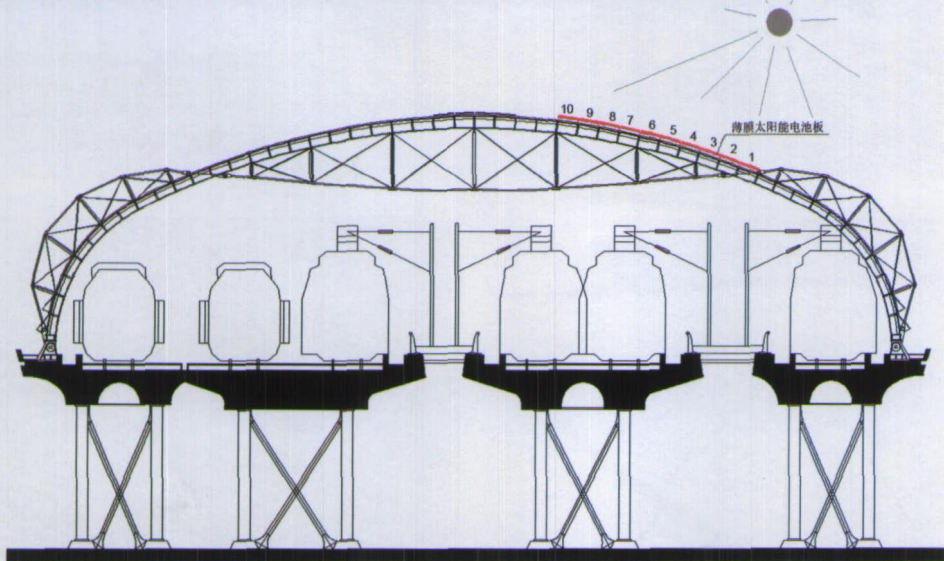
世界的屋顶充分应用了太阳能光电板系统，这套系统有3660块太阳能板，面积约8000m²，设计功率为810kWp。太阳能板被整合到不锈钢覆层中，这层不锈钢覆层在屋顶的排水层上方，这样就避免了可见光穿透屋顶，同时将排气结构隐藏起来。

4.2 德国柏林中央火车站（图9-12）

冯·格康及其合伙人事务所（GMP）设计的德国柏林中央火车站，于2006年5月完工。火车站位于柏林市

4-6 德国宝马世界中心（图片来源：Wolf D.Prix，宝马世界[J]，建筑技术及设计，2008（3）33-51）

7,8 德国宝马世界中心剖面及屋面光伏系统（图片来源：蔡为，云是怎么建成的——德国慕尼黑宝马世界[J]，时代建筑，2008（02））



- 1 可调节的遮阳构件
由45°、30°和105°的10mm厚铝板制成
- 2 400mm厚玻璃
- 3 180°和150°的铝制桁架
- 4 200mm厚铝制桁架
- 5 铝制桁架
- 6 100mm厚铝制桁架
- 7 120mm厚铝制桁架
- 8 65°和180°的铝制桁架
- 9 30mm厚铝制桁架
- 10 100mm高工字钢
- 11 5mm厚玻璃
- 12 400mm厚玻璃
- 13 400mm厚玻璃
- 14 8mm厚铝制桁架
- 15 14mm厚铝制桁架
- 16 80mm厚铝制桁架
- 17 铝合金桁架
- 18 3mm厚玻璃
- 19 金属桁架的铝制桁架
- 20 铝制桁架的铝制桁架

9.10 德国柏林中央火车站鸟瞰及透视 (图片来源: 麦哈德·冯·格康 (Meinhard von Gerkan), 柏林中央火车站[J], 建筑学报2009(04))
11 德国柏林中央火车站透明屋顶和太阳能电池板 (图片来源: 金福才、朱涛, 柏林中央火车站安全设计探析)
12 德国柏林中央火车站屋顶光伏板安装示意图 (图片来源: 根据安基国际设计传媒有限公司著, 交通建筑设计——冯·格康、玛格及合伙人建筑事务所[M], 北京: 中国水利水电出版社, 2007, P162页图改绘)

13 德国议会大厦穹顶剖面细部 (根据克里斯汀·史蒂西编, 太阳能建筑[M], 大连: 大连理工大学出版社, 2009, P151-153图改绘)
14-16 德国议会大厦穹顶 (图片来源: 澳大利亚 Images 出版公司编, 世界建筑大师优秀作品集锦, 诺曼·福斯特[M], 北京: 中国建筑工业出版社, 1999年)

中心施普雷河畔,是一个综合性的大型立体化换乘中心,从空中俯瞰,新建的火车站呈中文“草”字头结构,主体是一个十字交叉5层结构的换乘大厅,最下面一层是南北方向的地下站台,最上面一层是东西方向的高架站台,中间有3个换乘层,里面散布着各种商业餐饮小店,它将区域火车、地铁、轻轨及有轨电车有机的联系在一起。轨道最上层东西方向450m长的站台上覆盖着带有太阳能发电装置的拱形玻璃屋顶,拱形玻璃顶长320m,轻型钢外壳结构加索结构玻璃幕,采用全透光设计,由9117块防晒玻璃面板拼成,每块面板尺寸均不相同,为了更好地协调内部气候,在具备最有效防晒角度的区域,屋顶结构8.4%的面积(约1700m²)用光电模块覆盖。透明的、高性能的光电模块与玻璃窗完美结合,由7.8万个光伏元件组成的780个太阳能发电模块的装机容量是189kW,屋顶的太阳能板可供车站所需2%的电力。

4.3 德国柏林议会大厦

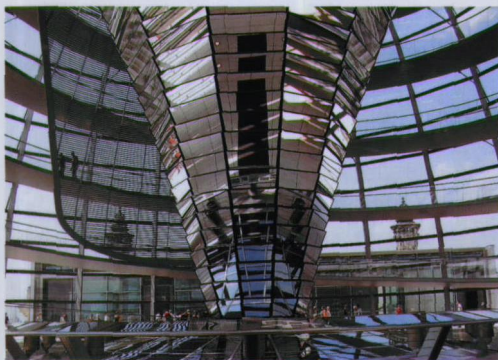
作为高技生态建筑代表的诺曼·福斯特也非常热衷于光伏建筑一体化设计,在他的众多建筑作品中采用了光伏发电技术,福斯特说:“太阳能建筑不是一种时尚,而是一种生存方式”。德国柏林议会大厦是其中的杰出代表,作为政府重要的办公建筑,它的象征性也许超过了它对光伏应用的实际效果。议会大厦的南侧屋面采用了大量单晶硅光伏组件,约300多m²,装机容量为37KWp,光伏模块的尺寸为3000mm x 1095mm和1505mm x 1095mm^[6]。同时在中央玻璃圆顶的部位将非晶硅薄膜光伏组件与建筑遮阳构件结合起来,它是当时世界上最大的与建筑结合的非晶硅薄膜太阳能系统(123KWp)。中央大厅的顶上覆盖着5500m²的锯齿状玻璃屋顶,6048块半透明光电板被安装在这个经典的屋顶上。这些光电板承担着覆盖建筑屋顶的积极作用,同时产生电能和控制着内部的光线与热环境。室内阴影产生于光伏模块彼此之间的定位,因此对光电模块的位置和系统的技术提出了严格要求,这一可随日光照射方向变化而自动调整方位的遮阳板,可以避免直射阳光的热量及炫目的光线对室内的影响(图13-16)。

4.4 德国弗莱堡太阳能工厂(图17-19)

由Rolf + Hotz建筑师事务所设计的德国弗莱堡太阳能工厂(Solar Fabrik)是欧洲第一个“零排放”太阳能电池组件生产厂,所需要的电和热全部由可再生能源提供。575m²的太阳能电池组件所发的电量为这幢“零排放”大楼提供了差不多1/5的电力需求,其中有210m²太阳能电池组件以一定的倾斜角度固定安装在建筑南立面上,旨在夏季太阳高度角最大时为这座玻璃建筑遮阳;当在冬季太阳高度角较低时,阳光可以穿透建筑来



14



15



16

加热建筑的咖啡廊和前厅。安装在建筑表面的太阳能电池组件每年发电量为 4.5 万 kWh，再加上由 100% 菜籽油驱动的联合发电机提供的 20 万 kWh 的电量，以及被动式房屋设计，这幢建筑几乎不需要外部能源的输入。

5. 光伏建筑在德国的发展前景

德国把太阳能产业作为朝阳产业，从政策、法规、研发等各方面支持，促进其发展，并制定未来发展规划和目标，德国目前太阳能占能源使用率超过了 10%，到 2010 年目标是 12.5%，2020 年是 20%，2030 年是 30%。太阳能给德国的经济带来强劲增长，已成为德国经济的新支柱，德国总理默克尔甚至称之为“第三次工业革命”。2008 年世界金融危机并未使德国的光伏产业遭受巨大冲击，相反在低碳经济时代，光伏建筑一体化 (BIPV) 将得到长足发展。□ (国家自然科学基金资助项目：50908040，绿色技术及其量化指标在长三角住区中的适宜性研究)

注释：

[1]孙国旺，德国太阳能领域发展现状[J]，《全球科技经济瞭望》，2008 (09)。

[2]世界资源研究所绿色能源开发部主任，亚历克斯·佩雷拉 (Alex Perera)，The Green Power Market Development Group[C]，2009《创建可持续的可再生能源市场——金融危机背景下光伏产业的发展国际研讨会》。

[3]沈辉，太阳能光伏建筑一体化的现状与发展[J]，中国新能源网，新能源论坛。

[4]孙国旺，德国太阳能领域发展现状[J]，《全球科技经济瞭望》，2008 (09)。

[5]叶世宗建筑师事务所，BIPV 的建筑视野与实践[J]，改造台南县政府立面。

[6] Carsten Hafermann，Innovative German Approaches in BIPV，World Climate & Energy Event，January 6-11，2002：115-122；



17



18



19

17-19 德国弗莱堡太阳能工厂 (图片来源：Solar Fabrik AG 公司官方网站)