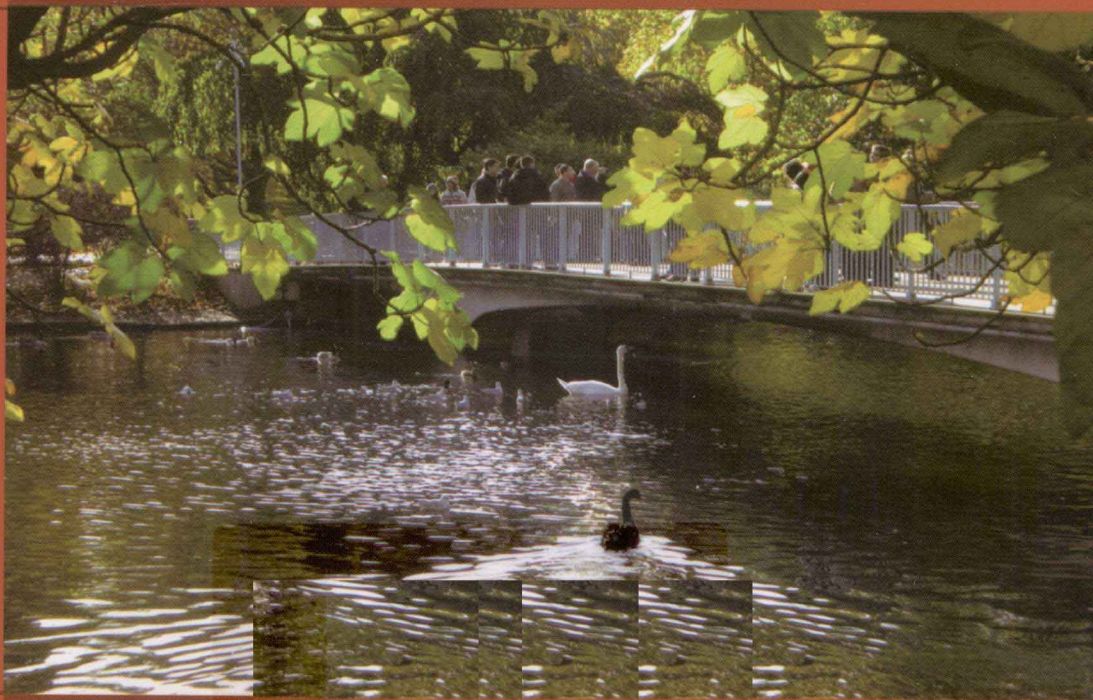


“十二五”国家重点图书
新能源与建筑一体化技术丛书

光伏建筑一体化工程

Engineering Projects of Building-Integrated
Photovoltaics



杨洪兴 ○ 著

中国建筑工业出版社

“十二五”国家重点图书
新能源与建筑一体化技术丛书

光伏建筑一体化工程

Engineering Projects of Building-Integrated Photovoltaics

杨洪兴 ○ 著

中国建筑工业出版社

出版说明

能源是我国经济社会发展的基础。“十二五”期间我国经济结构战略性调整将迈出更大步伐，迈向更宽广的领域。作为重要基础的能源产业在其中无疑会扮演举足轻重的角色。而当前能源需求快速增长和节能减排指标的迅速提高不仅是经济社会发展的双重压力，更是新能源发展的巨大动力。建筑能源消耗在全社会能源消耗中占有很大比重，新能源与建筑的结合是建设领域实施节能减排战略的重要手段，是落实科学发展观的具体体现，也是实现建设领域可持续发展的必由之路。

“十二五”期间，国家将加大对新能源领域的支持力度。为贯彻落实国家“十二五”能源发展规划和“新兴能源产业发展规划”，实现建设领域“十二五”节能减排目标，并对今后的建设领域节能减排工作提供技术支持，特组织编写了“新能源与建筑一体化技术丛书”。本丛书由业内众多知名专家编写，内容既涵盖了低碳城市的区域建筑能源规划等宏观技术，又包括太阳能、风能、地热能、水能等新能源与建筑一体化的单项技术，体现了新能源与建筑一体化的最新研究成果和实践经验。

本套丛书注重理论与实践的结合，突出实用性，强调可读性。书中首先介绍新能源技术，以便读者更好地理解、掌握相关理论知识；然后详细论述新能源技术与建筑物的结合，并用典型的工程实例加以说明，以便读者借鉴相关工程经验，快速掌握新能源技术与建筑物相结合的实用技术。

本套丛书包括：《低碳城市的区域建筑能源规划》、《地表水源热泵理论及应用》、《光伏建筑一体化工程》、《风—光互补发电与建筑一体化技术》、《蓄冷技术与系统设计》、《太阳能空调工程设计与实践》、《太阳能热利用与建筑一体化》、《村镇太阳能及住宅设备标准化设计》以及《地源热泵与建筑一体化技术》。

本套丛书可供能源领域、建筑领域的工程技术人员、设计工程师、施工技术人员等参考，也可作为高等学校能源专业、土木建筑专业的教材。

中国建筑工业出版社

2011年2月

前 言

众所周知，能源问题已成为制约社会发展的重要因素。长期以来，我国建筑节能的观念较为淡薄，现有建筑的不节能以及大量高耗能建筑的兴建使得建筑能耗一直在社会总能耗中占据较大比例。随着我国社会经济的继续发展和人民生活水平的不断提高，这个比例还会不断增长，因此减少建筑能耗显得尤为迫切。

我国太阳能资源丰富，开发利用太阳能对调整能源结构、节能减排意义重大。近年来，在政府的大力扶持下，太阳能光伏发电已应用于我们生活的各个方面。将光伏发电巧妙地融入到建筑中，即所谓光伏建筑一体化（Building-integrated photovoltaic, BIPV），不仅为光伏技术开辟了新的应用领域，而且可以真正地减少建筑能耗，达到建筑节能的目的。

光伏建筑一体化是城市里发展光伏发电技术的最好方式。光伏系统可以安装在建筑物的屋顶或外墙上，作为建筑外围护结构。光伏组件可以和建材相结合，衍生出新型结构和功能的建材，如太阳能瓦、光伏玻璃幕墙、遮阳篷、采光顶、光伏窗和护栏等节能建材。这样光伏组件在利用太阳能发电的同时，还作为建筑的一部分满足建筑的基本功能要求。光伏发电本身无噪声、无污染、无二氧化碳排放，维修费用很低。而光伏与建筑的结合可以减少对常规电力消耗，补偿建筑物高峰用电负荷，降低建筑物的冷负荷。

在光伏建筑一体化领域，德国、美国、日本等发达国家早已进行了前期探索，积累了丰富的经验。在我国，《可再生能源法》的颁布和实施为太阳能利用产业的发展提供了政策保障。我国能源战略的调整，使得政府加大对可再生能源发展的支持力度，这些都为我国太阳能利用产业的发展带来极大的机会。2009年3月23日，财政部、住房和城乡建设部联合出台《关于加快推进太阳能光电建筑应用的实施意见》，决定开展光伏建筑应用示范，实施“太阳能屋顶计划”，并颁布了《太阳能光电建筑应用财政补助资金管理暂行办法》，决定有条件地对部分光伏建筑进行每瓦最多20元的补贴。特别值得注意的是，这两个文件是专门针对光伏建筑一体化的补贴政策，不与建筑结合利用的光伏电站则不在该补贴范围之列。从这个角度上讲，国家给予了光伏建筑一体化足够的重视，极大地肯定了光伏建筑这一利用形式，无疑为我国光伏建筑一体化的发展创造了良好的政策环境。我国可以借鉴境外成功的经验，结合国内实际情况，走出一条适合自己的道路。我们有理由相信，随着光伏技术和建筑制造业的发展，随着光伏建筑设计的进步，光伏建筑一体化一定会展现出强劲的发展势头，为全社会营造一个良好的建筑节能氛围。

本书图文并茂，通俗易懂，强调实用，内容涵盖了光伏建筑一体化的基本知识、系统设计方法、工程招标验收、案例分析、经济性分析及政策解读等。书中提供了多个国内外光伏建筑的经典工程案例，并且有针对性地做了详细介绍，内容丰富详实，目的是让读者更加直观地认识光伏建筑一体化，直接感受它的独特魅力。

本书由杨洪兴教授编著，其领导的可再生能源研究小组成员吕琳、周伟、韩俊、李洪、满意、孙亮亮、马金花、周惠、王昆、曾汉威、陈曦和罗伊默等，均参与了收集资料或部分编写工作。我们希望此书能够为光伏建筑一体化的推广普及起到积极的促进作用，推动我国建筑节能的发展，为我国可持续城市化发展贡献一点力量。

2011 年 11 月

目 录

第 1 章	光伏建筑一体化系统的概念	1
1.1	光伏建筑的概念	1
1.1.1	光伏建筑的概念和发展概况	1
1.1.2	光伏建筑的优越性	1
1.1.3	光伏建筑基本要求	2
1.1.4	光伏建筑设计原则与步骤	4
1.2	光伏建筑一体化系统分类	5
1.2.1	按照光伏系统储能方式分类	5
1.2.2	按照光伏与建筑相结合的类型分类	7
1.2.3	按照光伏组件类型分类	15
1.3	光伏建筑一体化系统主要部件	17
1.3.1	太阳能电池组件	17
1.3.2	蓄电池	19
1.3.3	充、放电控制器	20
1.3.4	逆变器	21
第 2 章	光伏建筑系统的设计、招标和验收	23
2.1	光伏建筑构件最优倾角和朝向的确定	23
2.1.1	关于最佳倾斜角的研究及不足之处	23
2.1.2	最佳倾斜角的数学模型	24
2.1.3	全年最佳倾斜角	25
2.1.4	季节性以及每月的最佳倾斜角	26
2.1.5	不同晴空指数下的最佳倾斜角	26
2.2	水平面倾斜光伏阵列最小间距的确定	27
2.2.1	阴影对光伏系统的影响	27
2.2.2	光伏阵列最小间距的确定	28
2.3	光伏建筑工程招标文件与招标程序	28
2.3.1	光伏建筑工程招标文件	29
2.3.2	光伏建筑工程招标程序	32
2.4	光伏建筑工程验收	33
2.4.1	分项工程验收	33
2.4.2	竣工验收	33

2.5 光伏建筑系统并网技术要求	39
2.5.1 规定概述	39
2.5.2 系统设计	40
2.5.3 测试和检查	40
2.5.4 运作	40
2.5.5 电压和功率因子的控制	41
2.5.6 短路电流	41
2.5.7 测量和远程测量装置	41
2.5.8 互连和断路开关的位置	41
2.5.9 通信渠道	42
2.5.10 变频	42
2.5.11 同步	42
2.5.12 失真和干扰	42
2.5.13 接地系统	42
2.5.14 绝缘设施	43
2.5.15 稳定	43
2.5.16 保护	43
2.5.17 须提交给电力公司的资料	43

第3章 光伏建筑工程实例	45
---------------------	-----------

3.1 香港理工大学李绍基楼光伏屋顶工程实例	45
3.1.1 设备选型	45
3.1.2 工程验收	46
3.1.3 数据采集	49
3.2 香港嘉道理农场光伏屋顶工程实例	50
3.2.1 设备选型	52
3.2.2 屋顶冷负荷的减少	52
3.2.3 五年后的测试分析结果	53
3.3 深圳国际园林花卉博览园 1MWp 并网光伏电站项目	55
3.3.1 系统主要部件	56
3.3.2 综合展馆子系统	56
3.3.3 花卉展馆子系统	57
3.3.4 游客服务管理中心子系统	57
3.3.5 南区游客服务中心子系统	58
3.3.6 北区东山坡子系统	58
3.3.7 电网质量保证和安全措施	58
3.3.8 “孤岛效应”防护手段	59
3.3.9 光伏电站交直流侧的电气隔离	59

3.3.10	监测手段	59
3.4	北京火车南站太阳能光伏发电系统	59
3.5	香港湾仔大楼光伏玻璃幕墙工程	61
3.6	香港马湾小学光伏建筑工程	65
3.6.1	系统1——露台遮阳光伏子系统	66
3.6.2	系统2——采光顶光伏子系统	67
3.6.3	系统3——天篷光伏子系统	68
3.6.4	系统性能分析	68
3.6.5	光伏发电的估计和分析	68
3.7	武汉日新科技光伏工业园综合楼光伏工程实例	71
3.7.1	光伏系统的安装形式	71
3.7.2	光伏系统的设备选型	73
3.7.3	综合楼光伏系统设计	74
3.7.4	园中其他光伏建筑系统	75
3.8	香港机电工程署总部大楼上的光伏屋顶	78
3.9	香港科学园光伏玻璃幕墙工程	81
3.10	日本典型光伏建筑项目	84
3.10.1	概述	84
3.10.2	系统简介	84
3.10.3	系统性能	85
3.11	美国典型光伏建筑项目	86
3.12	英国典型光伏建筑项目	88
3.12.1	诺丁汉可再生能源中心的光伏建筑项目	88
3.12.2	生态能源房屋的光伏建筑项目	89

第4章 光伏建筑经济性补贴	93
----------------------	-----------

4.1	德国的补贴政策	93
4.1.1	德国光伏并网发电的进程	93
4.1.2	德国光伏产业补贴政策	93
4.1.3	德国光伏发电近期经济政策的调整	95
4.2	日本的补贴政策	96
4.2.1	日本光伏并网发电的进程	96
4.2.2	日本光伏发电近期经济政策的调整	97
4.3	美国的补贴政策	97
4.3.1	美国开发利用太阳能的政策	97
4.3.2	美国光伏发电近期经济政策的调整	99
4.4	中国台湾的补贴政策	100
4.4.1	台湾地区能源发展状况及相关政策	100

4.4.2	台湾地区光伏发电补贴政策	102
4.4.3	台湾地区可再生能源补贴新政策	103
4.5	中国内地的补贴政策	103
4.5.1	太阳能资源发展潜力	103
4.5.2	太阳能资源利用发展目标	104
4.5.3	中国现行的光伏发电补贴政策	105
附录 1	中国各地太阳辐射数据	106
附录 2	电线尺寸估算表	111
附录 3	光伏建筑第三者保险条款实例	112
附录 4	光伏建筑一体化常用中英术语对照	113

第 1 章 光伏建筑一体化系统的概念

1.1 光伏建筑的概念

1.1.1 光伏建筑的概念和发展概况

光伏建筑是利用太阳能发电的一种新形式,通过将太阳能电池安装在建筑的围护结构外表面或直接取代外围护结构来提供电力,是太阳能光伏系统与现代建筑的完美结合。

光伏地面系统最初只用于偏僻无电网地区,如游牧地区、孤岛等。直到 20 世纪 80 年代末 90 年代初,光伏地面系统逐渐流行,开始应用于一些独立用户、联网用户和商业建筑中。1991 年,世界能源组织(IEA)提出了光伏建筑的具体概念,意味着光伏发电进入了在城市大规模应用的阶段。尤其是 20 世纪 90 年代后半期,常规能源的日益枯竭、人类环境意识的日益增强和逐步完善的法规政策,都促进了光伏产业进入了快速发展时期。一些发达国家都将光伏建筑作为重点项目积极推进。例如实施和推广太阳能屋顶计划,比较著名的有德国的“十万屋顶计划”、美国的“百万屋顶计划”以及日本的新阳光规划等。

德国是太阳能发展速度最快的国家。早在 1999 年,德国政府就开始大范围实施“十万屋顶计划”,要求在 2003 年年底完成安装十万套光伏屋顶系统,实现总发电容量 300MW 的目标,并在计划时间之前就完成了这一目标。光伏建筑在美国和日本也得到了很大的发展。美国政府的“百万太阳能光伏发电屋顶计划”提出在 2001 年前为 100 万个家庭每户安装 3~5kW 太阳能光伏发电屋顶。日本政府 2000 年推出“新阳光规划”,对光伏屋顶系统实行强有力的补贴政策,使得其居民光伏屋顶系统数量最近 5 年都保持着平均年增长率 96.7% 的速度,而日本也成为目前世界光伏发电的最大市场。

我国光伏建筑的开发与应用也取得了很大的发展。“九五”期间,我国在深圳和北京分别成功建成 170kW 和 7kW 的光伏发电屋顶并实现并网发电。“十五”和“十一五”期间,北京、上海、武汉、广州和深圳等地相继建成了多个光伏建筑一体化工程,如北京火车南站、北京首都博物馆、武汉日新科技有限公司厂区、深圳国际花卉博览园、上海市崇明县太阳能光伏电站、青岛火车站、广州凤凰城高档别墅、海南三亚瑞亚国际公寓等。目前,香港地区已建成的光伏建筑一体化系统的安装容量接近 2MW,这些系统分别坐落在香港理工大学校园、多个特区政府示范工程、竹篙湾消防站和警察分局、机电工程署、圣保罗小学、马湾仔小学和尖沙嘴商业区环保大厦等地。

1.1.2 光伏建筑的优越性

光伏发电本身具有很多独特的优点,如清洁、无污染、无噪声、无需消耗燃料等。从建筑学、光伏技术和经济学等方面来分析,光伏发电和建筑相结合具有如下优点:

(1) 我国建筑能耗约占社会总能耗的 30%，而香港特区的建筑能耗则是社会总能耗的 50%。如果把太阳能光伏发电技术与城市建筑相结合，实现光伏建筑一体化，可有效地减少城市建筑物的常规能源消耗。

(2) 可就地发电、就近使用，一定范围内减少了电力运输过程产生的费用。

(3) 有效利用建筑物的外表面积，不需占用额外地面空间，节省了土地资源。

(4) 利用建筑物的外围护结构作为支撑，或直接代替外围护结构，不需要为光伏组件提供额外的支撑结构，减少了部分建筑材料费用。

(5) 由于光伏阵列一般安装在屋顶，或朝南的外墙上，直接吸收太阳能，避免了屋顶温度和墙面温度过高，降低了空调负荷，并改善了室内环境。

(6) 白天是城市用电高峰期，利用此时充足的太阳辐射，光伏系统除提供自身建筑内用电外，还可以向电网供电，缓解高峰电力需求，解决电网峰谷供需矛盾，具有极大的社会效益和经济效益。

(7) 使用光伏组件作为新型建筑围护材料，给建材选择带来全新体验，增加了建筑物的美观，令人赏心悦目。

(8) 光伏发电没有噪声，没有污染物排放，不消耗任何燃料，安装在建筑的表面，不会给人们的生活带来任何不便，是光伏发电系统在城市中广泛应用的最佳安装方式，集中体现了绿色环保概念。

(9) 利用清洁的太阳能，避免了使用传统化石燃料带来的温室效应和空气污染，对人类社会的可持续发展意义重大。

1.1.3 光伏建筑基本要求

光伏器件用作建材必须具备坚固耐用、保温隔热、防水防潮等特点。此外，还要考虑安全性能、外观和施工简便等因素。下面结合光伏建筑的特殊性，对用作建材的光伏器件进行分析。

(1) 建筑对光伏组件的力学要求

光伏组件用作建筑的外围护结构，为满足建筑的安全性需要，其必须具备一定的抗风压和抗冲击能力，这些力学性能要求通常要高于普通的光伏组件。例如光伏幕墙组件，除了要满足普通光伏组件的性能要求外，还要满足幕墙的实验要求和建筑物安全性能要求。

(2) 光伏建筑物的美学要求

不同类型的光伏组件在外观上有很大差别，如单晶组件为均一的蓝色，而多晶组件由于晶粒取向不同，看上去带有纹理，非晶组件则为棕色，有透明和不透明两种。此外，组件尺寸和边框（如明框和隐框、金属边框和木质、塑料边框等）也各有不同，这些都会在视觉上给人以不同的效果。与建筑集成的光伏阵列的比例与尺度必须与建筑整体的比例和尺度相吻合，达到视觉上的协调，与建筑风格一致。如能将光伏组件很好地融入建筑，不仅能丰富建筑设计，还能增加建筑物的美感，提升建筑物的品位。

(3) 电学性能相匹配

在设计光伏建筑时，要考虑光伏组件本身的电压、电流是否适合光伏系统的设备选型。比如，在光伏外墙设计中，为了达到一定的艺术效果，建筑物的立面会由一些大小、形状不一的几何图形构成，这样就会造成各组件间的电压、电流不匹配，最终影响系统的

整体性能。此时需要对建筑立面进行调整分隔，使光伏组件接近标准组件的电学性能。

(4) 光伏组件对通风的要求

不同材料的太阳能电池对温度的敏感程度不同，目前市场上使用最多的仍是晶体硅太阳能电池，而晶体硅太阳能电池的效率会随着温度的升高而降低，因此如果有条件应采用通风降温。相对于晶体硅太阳能电池，温度对非晶硅太阳能电池效率的影响较弱，对于通风的要求可降低。就用于幕墙系统的光伏组件而言，目前市场上已经出现了各种不同类型的通风光伏幕墙组件，如自然通风式光伏幕墙、机械通风式光伏幕墙、混合式通风幕墙等。它们具有通风换气、隔热隔声、节能环保等优点，改善了光伏建筑一体化组件的散热情况，降低了电池片温度以及组件的效率损失。

(5) 建筑隔热、隔声要求

普通光伏组件的厚度一般只有 4mm，隔热、隔声效果差。普通光伏组件如不做任何处理直接用作玻璃幕墙，不仅会增加建筑的冷负荷或热负荷，还不能满足隔声的要求。这时可以将普通光伏组件做成中空 Low-E 玻璃形式。由于中间有一空气层，既能够隔热又能隔声，起到双重作用。此外，大部分光伏玻璃幕墙都有额外的保温层设计，如使用岩棉或聚苯乙烯做保温层等。

(6) 建筑对光伏组件表面反光性能要求

有别于前述的建筑美学要求，建筑对光伏组件具有特殊的颜色要求。当光伏组件作为南立面的幕墙或天窗时，考虑到电池板的反光而造成光污染的现象，对太阳能电池的颜色和反光性提出要求。对于晶体硅太阳能电池，可以采用绒面的办法将其表面变成黑色或在蒸镀减反射膜时通过调节减反射膜的成分结构等来改变太阳能电池表面的颜色。此外，通过改变组件的封装材料也可以改变太阳能电池的反光性能，如封装材料布纹超白钢化玻璃和光面超白钢化玻璃的光学性能就不同。

(7) 建筑对光伏组件采光的要求

光伏组件用于窗户、天窗时，需具有一定的透光性。选择透明玻璃作为衬底和封装材料的非晶硅太阳能电池呈茶色透明状，透光好而且投影均匀柔和。但对于本身不透光的晶体硅太阳能电池，只能将组件用双层玻璃封装，通过调整电池片之间的空隙或在电池片上穿孔来调整透光量。

(8) 组件要方便安装与维护

由于与建筑相结合，光伏建筑组件的安装比普通组件的安装难度更大、要求更高。一般将光伏组件做成方便安装和拆卸的单元式结构，以提高安装精度。此外，考虑到太阳能电池的使用寿命可达 20~30 年，在设计中要考虑到使用过程中的维修和扩容，在保证系统的局部维修方便的同时，不影响整个系统的正常运行。

(9) 光伏组件寿命要求

光伏组件由于种种原因不能达到与建筑相同的使用寿命，所以研究各种材料尽量延长光伏组件的寿命十分重要，例如光伏组件的封装材料。如使用 EVA 材料，其使用寿命不超过 50 年。而 PVB（聚乙烯醇缩丁醛）膜具有透明、耐热、耐寒、耐湿、机械强度高、粘结性能好等特性，并已经成功地应用于制作建筑用夹层玻璃。BIPV 光伏组件如能采用 PVB 代替 EVA 能有效延长使用寿命。我国关于玻璃幕墙的规范也明确提出了“应用 PVB”的规定。但目前掌握这一技术的厂商并不多，还有很多技术上的难题有待解决。

1.1.4 光伏建筑设计原则与步骤

光伏建筑不是简单地将光伏板堆砌在建筑上。它既要节能环保又要保证安全美观的总体要求。由于光伏系统的渗透应用,建筑设计之初就需要将光伏发电系统纳入到建筑整体规划中,将其作为不可或缺的设计元素,例如从建筑选址、建筑朝向、建筑形式等方面考虑如何能够使光伏系统更好地发挥能效。特别需要注意的是光伏建筑的主体仍是建筑,光伏系统的设计应以不影响和损害建筑效果、结构安全、功能和使用寿命为基本原则,任何对建筑本身产生损害和不良影响的设计都是不合格的。建筑与光伏发电一体化是艺术与科学的综合,我们所要寻找的是两者之间的一个平衡点,使光伏与建筑相得益彰。

从一体化的设计、一体化制造和一体化安装的经营理念出发,光伏建筑一体化的设计通常可按如下步骤进行:

(1) 建筑初级规划

光伏建筑的设计首先要分析建筑物所在地的气候条件和太阳能资源,这是决定是否应用太阳能光伏发电技术的先决条件;其次是考虑建筑物的周边环境条件,即镶嵌光伏板的建筑部分接收太阳能的具体条件,保证光伏阵列能最大限度地接收太阳光,而不会被其他障碍物遮挡,如周围建筑或树木等,特别是在正午前后 3h 的时间段内。如果条件不满足则也不适合选用光伏建筑一体化应用。

(2) 全面评估建筑用能需求,辅以各种节能技术,力求最大节能效益

光伏建筑一体化的目的是要减少建筑对常规能量的需求,如公共电网电能,以实现节能的目的。因此在设计过程中要考虑建筑负载情况和能量需求,首先应使用常见的节能技术,不节能的光伏一体化建筑是不可取的。这就需要综合多学科的一体化设计理念,比如通过改进建筑外墙,减少能量损耗;通过透明围护结构,实现自然采光;通过自然通风设计,减少对空调的依赖;使用低能耗电器,减少耗电量,等等。全面评估建筑用电需求,采用绿色技术与环境友好的设备将其降至最低,这样建筑运行成本将会得到有效控制,光伏发电在整个供电量中所占的比例达到最大,使得该建筑成为真正的节能建筑,即低能耗建筑。

(3) 将光伏融入建筑设计

将光伏发电纳入建筑设计的全过程,在与建筑外在风格协调的条件下考虑在建筑的不同结构中巧妙地嵌入光伏发电系统,如天窗、遮阳篷和幕墙等。使建筑更富生机,体现出盎然的绿色理念。

(4) 系统设计

光伏建筑一体化要根据光伏阵列大小与建筑采光要求来确定发电的功率和选择系统设备,因此其系统设计要包含三部分:光伏阵列设计、光伏组件设计和光伏发电系统设计。

与建筑结合的光伏阵列设计要符合建筑美学要求,如色彩的协调和形状的统一,另外与普通光伏系统一样,必须考虑光照条件,如安装位置、朝向和倾角等。

光伏组件设计涉及太阳能电池的类型(包括综合考虑外观色彩与发电量)与布置(结合板块大小、功率要求、电池板大小进行),组件的装配设计(组件的密封与安装形式)。

进行光伏发电系统设计时,要综合考虑建筑物所处地理位置和当地相关政策,如是否接近公共电网,是否允许并网,是否可以卖电给电网以及用户需求等各方面信息来选择系

统类型，即并网系统或独立系统。如果城市电网供电很可靠，很少断电，则应考虑并网光伏发电系统，这样可以避免使用昂贵的蓄电池和减少维修运行费用，在有些地方还可以获得上网优惠电价。如果建筑远离电网或者电网常断电，则应考虑使用独立发电系统，需要配置蓄电池，初投资和维修运行费用昂贵。除了确定系统类型外，还要考虑控制器、逆变器、蓄电池等设备的选择，防雷、系统综合布线、感应与显示等环节设计。

(5) 结构安全性和构造设计

建筑的寿命一般在 50 年以上，光伏组件的使用寿命也在 20 年以上，因此光伏建筑的结构安全性不可小觑。首先要考虑组件本身的结构安全。如高层建筑屋顶的风荷载较地面大很多，普通光伏组件的强度能否承受，受风变形时是否会影响电池片的正常工作及造成安全隐患等。如玻璃幕墙技术规范中指出，中间的夹层密封材料应用 PVB 膜，它具有吸收冲击的作用，可防止冲击物穿透，即使玻璃破损，碎片也会牢牢粘附在 PVB 膜上，使产生的伤害可能减少到最低程度，不会脱落伤人，保证建筑物的安全性能。此外，还要考虑固定组件连接方式的安全性，组件的安装固定需对连接件固定点进行相应的结构计算，并充分考虑使用期内的多种最不利情况。

构造设计关系到光伏组件的工作状况与使用寿命。在与建筑结合时，光伏组件的工作环境条件发生了变化，其构造需要与建筑相结合，以求经济、实用、美观和安全。

(6) 与其他节能技术有机结合

在光伏建筑设计过程中，要将光伏技术与其他节能技术进行结合，如通风技术、围护结构保温隔热技术等。太阳能电池板发电时自身温度也会迅速上升，而温度的升高导致太阳能电池的发电效率降低，如果条件许可，可在光伏组件的背面附加合适的通风结构，以利于热量扩散。

除了利用通风设计，还可以收集利用电池板产生的热能，设计成光电/光热混合系统，如在太阳能电池板背面铺设水管，在降低太阳能电池板组件温度及对环境热影响的同时还可以生产热水，一举两得。

1.2 光伏建筑一体化系统分类

光伏建筑一体化系统的分类方法有很多，如按照光伏系统储能方式、与建筑结合类型、光伏组件类型等，以下将逐一介绍。

1.2.1 按照光伏系统储能方式分类

按照储能方式的不同，光伏系统分为独立系统（stand-alone）、并网系统（grid-connected）和混合系统（hybrid）。

1. 独立系统

独立系统是不与常规电力系统相连而独立运行的发电系统，它以蓄电池作为储能元件。在白天阳光充足时，光伏组件将产生的电能通过控制器直接给负载供电，若系统中含有交流负载，则增加逆变器将直流电转换为交流电，或者在满足负载需求的情况下将多余的电力给蓄电池充电进行能量储存。当光照不足或者夜晚时，则由蓄电池直接提供直流电或通过逆变器转换为交流电维持负载正常运转。图 1-1 所示为独立系统示意图。

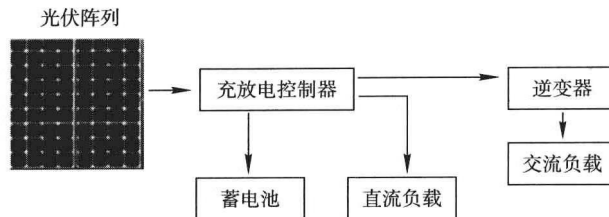


图 1-1 独立光伏发电系统示意图

2. 并网系统

并网系统与常规电力系统相连，以公共电网当作储能元件，光伏组件产生的直流电经过并网逆变器转换成符合市电网要求的交流电后直接接入公共电网，光伏系统相当于一个小型电站。在有光照时，光伏系统产生的电力首先供自身负载使用，多余电力则传输到公共电网，或者直接将产生的全部电力并入电网。而当光伏系统所产生的电力无法供应自身负载正常运转时，公共电网给予补充。图 1-2 为并网系统示意图。

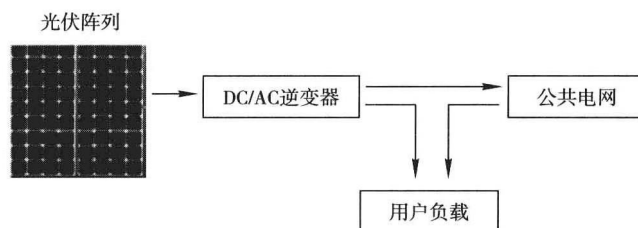


图 1-2 并网系统的结构示意图

光伏并网系统按照容量大小又可分为集中式大型并网系统和分散式小型住宅光伏并网系统。与建筑结合的光伏建筑一体化系统通常属于后者，它的特点是白天光伏系统的发电量大而负载耗电量小，晚上光伏系统不发电而负载耗电量大，因此与电网相连，白天将多余的电力“存储”到电网中，待用电时随时取用，避免了配备储能蓄电池。

并网系统是光伏发电的发展目标，是大规模商业化应用的必由之路，和独立系统相比，并网发电具有诸多优点：

(1) 无需配置蓄电池，降低了系统成本及运行维护费用，减少了蓄电池充放电带来的能量损耗，避免了废旧蓄电池造成的环境污染。

(2) 光伏系统可始终工作在最大功率点，所发电能可被充分利用，提高了光伏发电效率。

(3) 并网光伏系统可对公共电网起到调峰作用。

3. 混合系统

常说的混合系统包括两种类型：一种是指既与常规电力网络相连，同时又配备蓄电池储能的光伏发电系统；另一种更为广泛的混合系统是为了综合利用各种发电技术的优点，除了利用太阳能光伏发电外，还使用风力和柴油机发电等作为备用发电的发电系统。混合系统既可与公共电网相连形成并网系统，也可配备蓄电池形成独立系统。

风能和太阳能都属于可再生能源，风光互补是一种很好的综合发电方式，特别是应用在独立型光伏发电系统上。晴朗的白天一般风力比较小，因此可充分利用太阳光，以太阳

能发电为主；而夜间无法利用太阳能发电，风力却往往比白天大，可利用风力发电，这样形成了昼夜互补的发电形式。此外，风光互补也通常具有季节互补作用。在很多地方的冬季风速比较高，但阳光不好，而夏季则相反。相比单独的风力或太阳能发电，风光互补发电系统显然具有明显的优势，但单独风力发电和光伏发电都容易受天气状况的影响，造成输出不稳定。对于比较重要的或供电稳定性要求较高的负载，还需要考虑采用备用的柴油发电机，形成风力、光伏和柴油发电机一体化的混合供电系统，降低电力输出对天气的依赖性，供电稳定性和可靠性将大为提高。这种混合系统比较适合在边远地区、海岛地区使用。

1.2.2 按照光伏与建筑相结合的类型分类

广义的光伏与建筑相结合有以下两种形式：一种是直接镶嵌型，即在现有建筑屋面或新建的屋面或墙面上直接把光伏板镶嵌到其上面，使光伏与建筑相结合；另一种是建筑构件型，是将光伏板与新建的建筑屋面或墙面有机结合，使得光伏板成为建筑围护结构的一部分。早期光伏建筑以前者为主，近期光伏建筑则逐渐向后者发展。在本书中，如无特别说明，光伏建筑采用的是广义的定义一体化，包括以上两种类型。

1. 光伏与建筑直接镶嵌型

光伏与建筑直接镶嵌型就是将封装好的太阳能电池组件安装在建筑物的表面，再与逆变器、蓄电池、控制器、负载等装置相连，建筑物作为电池组件的载体，起支撑作用。此时建筑中的光伏组件只是通过简单的支撑结构附着在建筑上，取下光伏组件后，建筑功能仍完整。

(1) 与建筑屋顶相结合

与屋顶相结合，是建筑与光伏系统相结合的常见形式，如图 1-3 所示。安装在建筑物屋顶的光伏板作为吸收太阳光的平面有其特有的优势：日照条件好，不易受遮挡；系统可以紧贴屋顶结构安装，减少风力的不利影响；太阳能电池组件还可以替代保温隔热层遮挡屋面；与屋顶一体化的大面积太阳能电池组件由于综合使用材料，不但节约了成本，单位面积上的太阳能转换设施的价格也可以大大降低。

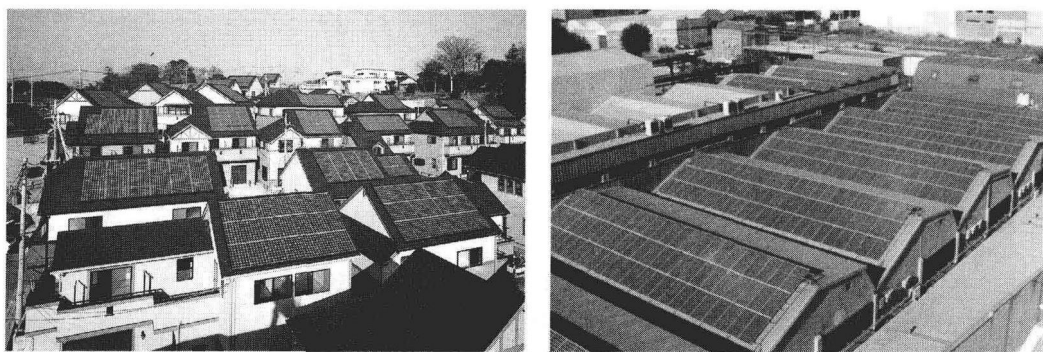


图 1-3 建筑屋顶光伏系统

图 1-4 所示是位于德国斯图加特的一个屋顶并网发电工程，由单晶硅太阳能电池组件构成，总容量为 454.07kW_p，2002 年 7 月建成，同年 9 月开始进入运行监控。经过精心设计，远看上去光伏系统如同与屋顶集成为一体，但实际上光伏板是安装在屋顶上的，

两者之间留有空隙，便于通风冷却，同时夏季还能减少室内的冷负荷。

图 1-5 所示是德国的一家大型家具厂房屋顶并网发电系统，整套系统由 5812 块单晶硅太阳能电池组件构成，覆盖了 38 个屋顶，总的额定输出功率为 494kWp，相当于每年减排 252 吨二氧化碳。

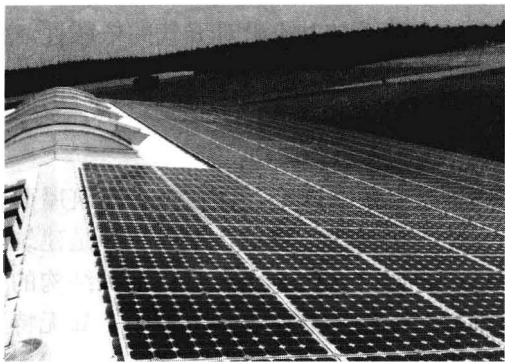


图 1-4 德国一个并网光伏屋顶



图 1-5 德国某家具厂屋顶发电系统

(2) 与建筑外墙相结合

建筑外墙是整个建筑中与太阳光接触面积最大的表面之一，特别是对于高层建筑而言。因此，应该充分利用外墙来收集太阳光。与光伏屋顶类似，将光伏板紧贴建筑外墙安装，一方面利用太阳能发电，另一方面也可以作为隔热层，降低建筑物室内的冷负荷。图 1-6 是瑞典科学技术博物馆安装在外墙的光伏系统，展示了建筑外墙和光伏系统相结合的实例。可以很明显地看出建筑外墙与光伏系统的关系，取下光伏系统后，建筑功能依然完整。

CIS 大楼 (Co-operative Insurance Tower) 高 118m，是英国曼彻斯特的第二高楼，建于 1962 年，经过了 40 多年的使用，建筑外墙损坏严重。CIS 要求为建筑外墙增加防雨结构，通风光伏幕墙成为首选，于是在 2005 年设计安装了这套系统，既满足了防风挡雨的初衷，还增强了建筑的外在观感，并能产生电能，图 1-7 所示为建筑外观。

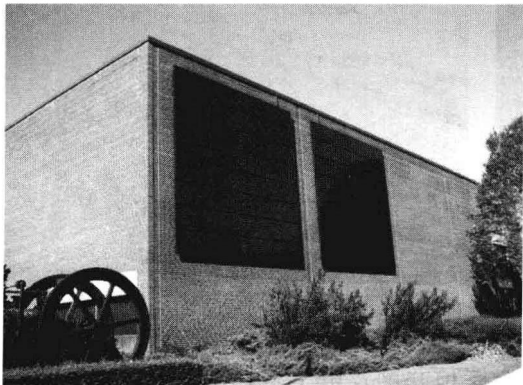


图 1-6 光伏系统与建筑外墙相结合的实例



图 1-7 英国曼彻斯特 CIS 大楼
光伏外墙 (来源 Fotothing)