

# 太阳能光伏陶瓷瓦在粮食仓库 屋面研究与应用

黄志军<sup>1</sup>, 金建德<sup>2</sup>, 张云峰<sup>2</sup>, 刘林生<sup>2</sup>, 沈波<sup>2</sup>

(1. 浙江省储备粮管理有限公司, 浙江 杭州 310006; 2. 浙江省粮食局直属粮油储备库, 浙江 杭州 310006)

**摘要:**通过在粮食仓库屋面铺设太阳能光伏陶瓷瓦, 建成完整的封闭式太阳能光伏建筑屋顶与分布式光伏并网电站, 达到建筑一体化、隔热降温、光伏发电、节约土地资源等多位一体的功能, 为粮食仓储行业设施升级及粮库进行保鲜储粮作出了有益的尝试。

**关键词:**粮库; 太阳能光伏陶瓷瓦; 隔热; 控温

中图分类号: TS 379.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2015)05-0110-04

## Research and application of solar photovoltaic ceramic tile on the roofs of grain warehouse

HUANG Zhi-jun<sup>1</sup>, JIN Jian-de<sup>2</sup>, ZHANG Yun-feng<sup>2</sup>, LIU Lin-sheng<sup>2</sup>, SHEN Bo<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Grain Reserves Management Co. Ltd., Hanzhou Zhejiang 310006;

2. Grain and Oil Depot of Zhejiang Grain Bureau, Hangzhou Zhejiang 310006)

**Abstract:** Solar photovoltaic ceramic tiles were laid on the roof of grain warehouse to build an integrated closed-end solar PV building roof and distributed photovoltaic grid connected power station, which possessed the functions of building integration, heat insulation and cooling, photovoltaic power generation, conservation of land resources and many others. It made a beneficial attempt for grain storage industry to upgrade facilities and fresh keeping storage.

**Key words:** grain depot; solar photovoltaic ceramic tile; heat insulation; temperature control

当前, 国家对粮食安全问题非常重视, 提出了“以我为主、立足国内、确保产能、适度进口、科技支撑”的国家粮食安全新战略。作为粮食仓储企业, 是确保国家粮食安全的重要组成部分, 是切实做好“广积粮、积好粮、好积粮”三篇文章的主要载体, 通过科技创新驱动发展, 确保国家储备粮数量真实、质量良好、储存安全。

浙江地处中温高湿储粮区, 若要克服自然条件对储粮带来的不利影响, 不仅需要有良好的仓房设施, 而且要有效地控制储存环境, 特别是温度环境, 从而确保库存储粮安全, 保持粮食品质。如采用传统的制冷、补冷技术进行降温, 不仅难以达到理想的均衡效果, 而且能耗高、费用大、企业负担重, 同时对

环境也将造成一定的影响, 与节能减排背道而驰。因此绿色生态储粮、低碳经济储粮、节能降耗已成为我国粮食仓储行业转型升级的突破口、技术革命的标杆。

国家专利产品太阳能光伏陶瓷瓦作为新一代光伏建材产品, 已在民用建筑上得到了使用, 起到建筑一体化光伏发电的作用, 将该产品应用于粮食仓库屋面, 并与保粮实践需求相结合, 为粮食仓储行业转型升级及储粮节能减损提供有力支撑, 对确保粮食安全具有重要意义。

## 1 太阳能光伏陶瓷瓦特点

### 1.1 光电建筑一体化

光伏瓦以无色差的外观、细腻平滑的色泽、均匀一致的内外材质, 使整个屋面既保持传统瓦片的建

收稿日期: 2015-03-27

作者简介: 黄志军, 1966年出生, 男, 高级工程师。

通讯作者: 张云峰, 1972年出生, 男, 高级技师。

筑风格,又保证前后屋顶高度的一致性,增加建筑的视觉美感。而且一旦安装后,不再需要调整。

### 1.2 隔热降温

光伏陶瓷瓦屋顶建成后,有效降低了太阳光对原屋顶的直接照射,并将20%左右热能转化为电能,减少了热量的积聚辐射。同时,建成后的光伏陶瓷瓦屋顶与原拱顶之间新增一个隔热层,减少了屋顶热量向仓内的传导。通过多年来的实践证明,造成仓房内粮食温度升高的热量70%来自屋顶。因此建成光伏陶瓷瓦屋顶后,能降低外温对粮食温度的影响,有效延缓粮温上升速率,从而可达到低温(准低温)储粮的目标,确保粮食在储存期间的品质安全,符合绿色生态储粮的要求。

### 1.3 节能降耗

粮库应用光伏技术,由于太阳能屋顶的吸热隔热以及发电作用,可以减少粮堆制冷补冷技术的应用,达到节能降耗的目的。

### 1.4 防台风防渗漏

光伏陶瓷瓦具有普通瓦的形状和一般属性,且结构坚固、相对面积大、自身重量重,另外外形设计合理,安装时相互间搭接牢固,可以有效抵抗台风及暴雨的侵袭;同时致密性高,渗水率仅为0.5%,只有普通瓦的十几分之一,雨水的渗透率极低,具有良好的防渗漏特性。

### 1.5 节约土地资源

由于储粮工艺特征,粮食仓库多为平房仓,具有丰富的屋面且多为闲置。利用闲置的屋面,开发建设光伏电站,不仅有效推动了再生能源的开发利用,而且节省了大量的宝贵土地资源,为国家新能源的开发建设提供了重要的途径。同时,充分利用光照资源,不与农业、渔业争资源。

### 1.6 维护费用低

太阳能光伏电站技术成熟,设备、工艺简单,自动化程度高,因此日后维护费用低廉。

## 2 光伏陶瓷瓦在直属库开发与应用技术条件

### 2.1 地理位置

直属库位于东经120.2度,北纬30.3度,地处余杭区良渚街道勾庄西谢村,东濒著名的京杭大运河,西临杭州市区的上塘高架勾运路出口处,仓库地

理位置优越,周边没有高大建筑物阻挡,拥有极好的光照条件,非常适合开发利用太阳能。

### 2.2 气候条件

杭州属亚热带季风气候,冬温夏热,春秋较短,冬夏较长,温暖湿润,四季分明,全年平均气温15.3~16.2℃。从气候条件来看,杭州地区有比较好的光照,年平均辐射量达3.80 kWh/m<sup>2</sup>/d,峰值日照时间为3.85 h,属于太阳能资源比较丰富地区,适合应用太阳能来发电。

### 2.3 仓房闲置屋面

项目单位占地面积165亩,共建有拱板平房仓34幢,建筑面积33 365 m<sup>2</sup>,仓房屋顶长期处于闲置状态,仓房坐北朝南,且屋面结构简单,适合大面积应用太阳能光伏发电,而不必重新购置土地,因此可以节省大量的土地资源和土地征用费用。

### 2.4 建设时机

一是当前直属库正在对包装储藏式粮食仓库进行散装化升级改造。结合升级改造,对仓房基础进行适当加固,使其能承受太阳能光伏建筑屋面荷载,然后再进行建筑太阳能光伏发电系统建设。二是针对国家对空气环境日益恶化现状的高度重视,以及大力发展和利用再生能源的政策导向,建设太阳能光伏发电系统工程顺应国家发展战略方向,达到节能减排目标。因此,进行光伏陶瓷瓦应用试点,可以达到一举多得的效果,并使有限的资金发挥最大的作用。

## 3 太阳能光伏陶瓷瓦在直属库的应用

通过对原拱板平房仓基础进行适当加固,在原拱形屋面安装“人字形”光伏方阵钢构支架,在其南坡面安装太阳能光伏陶瓷瓦,北坡面安装普通建筑陶瓷瓦,形成一个完整的封闭式太阳能光伏建筑屋顶;按照“发电自用,余电上网”的原则,通过光伏并网逆变器、交流配电柜、环境监控系统等构成分布式并网光伏电站。

### 3.1 系统规模

根据直属库的仓房实际情况,选择一幢仓库进行建筑屋顶与太阳能光伏陶瓷瓦发电系统的安装和建设,该仓房长54 m,宽18 m,高7 m,共安装峰值功率为20 W的太阳能光伏陶瓷瓦2 352片,总装机容量为47.04 kW。

### 3.2 系统构成

建筑太阳能建筑屋顶:包括太阳能光伏陶瓷瓦、配套瓦、钢结构支承结构、电缆电线。

直流—交流逆变设备:二台 25 kW 并网逆变器。

配电避雷设备:建筑屋顶防雷、直流配电、交流防雷、交流配电、交流防电。

气象站:风速、风向检测仪,温度、湿度采集器等。

监测系统:包括系统控制装置、摄像机、电脑、LED 显示屏等。

### 3.3 封闭式光伏瓦建筑屋顶方案

将光伏瓦方阵钢构安装在檐墙上,钢构支架上铺设木望板,木望板上钉顺水条和挂瓦条,在南面铺设光伏陶瓷瓦,北面铺设普通陶瓷瓦,其它交接处用普通陶瓷配套瓦,山墙两端用砖墙砌筑,形成一个完整的封闭式光伏瓦建筑屋顶。

### 3.4 光伏电站方案

#### 3.4.1 光伏电站系统总体设计

本电站采用分布式电站“发电自用、余电上网”进行并网发电。电站由光伏陶瓷瓦组件、光伏并网逆变器、交流配电柜和监控系统等组成,采用分布式 400 V 单点并网方式。

#### 3.4.2 光伏瓦方阵最佳倾角和方位角设计

在光伏发电系统设计中,光伏瓦方阵的方位角和放置的倾斜角对光伏发电系统接收到的太阳辐射有重要影响,并能影响到光伏发电系统的发电效率。光伏发电系统最佳方阵安装倾角取决于诸多因素如:地理位置、全年太阳辐射分布、直接辐射与散射辐射比例、负载供电要求和特定的场地条件等。并网光伏发电系统方阵的最佳安装倾角采用 RET-screen 专业软件进行优化设计,经计算,确定为 26.67°,此角度为系统全年发电量最大时的倾角。本光伏电站系统作为自备电站,采用屋顶光伏阵列设计,需要满足全年发电量最大的要求,但是考虑到安装容量和现场的实际。本光伏电站采用屋顶 26.57°倾角南偏西 +6°安装方式。

#### 3.4.3 光伏瓦平面布置

屋顶南坡面积为 556.2 m<sup>2</sup> (10.3 m × 54 m),共安装 2 352 块光伏瓦,以横向为行,竖向为列,共分 14 列,28 行。平面布置如图 2。

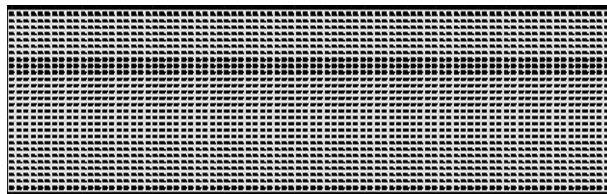


图2 屋顶光伏瓦阵列布置图

#### 3.4.4 光伏瓦组件串、并联设计

每两行光伏瓦组成一个串联组,每个串联组串联光伏瓦 168 片,共分 14 个串联组,即 14 个回路。

#### 3.4.5 并网光伏电站

通过太阳能光伏陶瓷的光电转换,输出直流电,汇入并网逆变器;由并网逆变器输出 0.4 kV 三相交流电,至原项目单位 0.4 kV 低压配电柜;通过二台双向智能电能计量表,对发电量、上网电量、用电量进行精确计量,并通过数据采集终端,实现属地电网公司远程抄表计量。

配备二台 25 kW 并网逆变器,每 7 个串联组(回路)接入一台逆变器。交流配电箱,选用 CPS DPA50K;低压配电柜,利用原有的 0.4 kV。

#### 3.4.6 光伏电站系统继电保护及安全措施

系统配备自动检测、自动并网、自动报警、自动控制等一系列功能,特别是具备防止“孤岛效应”的功能,以确保光伏系统和电网的安全。同时,光伏建筑屋顶,并网逆变器,配电柜等均安装防雷装置,所有的机柜设备都必须具备良好的接地保护。

#### 3.4.7 灰尘清洗系统

本光伏电站系统光伏瓦倾斜角度为 26.57°,靠自然降雨可以达到清洁的功能。

#### 3.4.8 监控管理系统

监控管理系统对光伏发电系统相关设备的综合数据进行处理。包括逆变器、环境气象站、测控单元、继电保护、电表等的综合采集和处理。既可通过组态逻辑实现自动闭环控制操作,也可实现人工控制操作。

## 4 经济效益

光伏发电。按照目前仓库用电价格平均约为 1.0 元/kW·h,因此至少可增加效益 4 万元。

政策补贴。按粮库所处辖区享受的各级政府政策,国家、省、市、区各级补贴共为 0.82 元/kW·h,因此可至少享受补贴收入 3.28 万元。

项目建设利用仓房屋顶,可以节省土地购置费用。

由于光伏陶瓷瓦作为建筑材料应用,可以节省原有屋顶的防水和隔热维护成本。

由于光伏建筑屋顶的作用,可以降低粮堆温度,延续粮食劣变速率,从而实现粮食销售价格,增加企业经济效益。

光伏瓦建筑屋顶直接吸收与反射太阳热量,因此降低了屋顶的隔热作用,减轻了用于低温储粮的制冷设备的负荷,减少了用电量。

按照分布式光伏电站实行“发电自用,余电上网”的原则,可以通过卖电产生经济效益。

## 5 环境效益

幢仓库每年太阳能光伏发电量为 40 000 kW·h,可以减少燃煤 13 230 kg,粉尘排放 102 81 kg,CO<sub>2</sub> 排放 37 687 kg,SO<sub>2</sub> 排放 1 134 kg,氮氧化物 567 kg,具有较大的社会环境效益。

太阳能光伏发电系统发电峰值期,正值社会用电高峰期,系统的建成,将减少用电高峰期外部电网的用电压力,不与其他行业争电,确保生产、生活的正常秩序。

建筑一体化,实现了粮库建筑外观的整洁美观,融入外部大环境,特别是处于城市边缘的粮库,可以与周边城市化建筑协调一致。

## 6 结论

采用光伏陶瓷瓦技术,功能集建筑一体化、光伏发电、隔热降温、防台风防渗漏等多种功能于一体,把储备粮库打造成“零能耗生态”粮库,对于粮食等易受高温、高湿环境影响的物资的储存具有重要意义,是一项利国利民的实事工程。

通过本项目的实施,在全国粮食行业树立标杆,起到表率作用,为今后我国粮库的新建和改造提供可操作的范例,引导粮食仓储行业在仓房新建、改建及技术改造时的设计理念。在新建仓房时,引入太阳能光伏屋顶设计,可减少屋顶支架和配套瓦的支出费用,减少项目总投资;在改建及技术改造时,不但提高仓房隔热性能,而且可光伏发电,增加投入产出比,为企业带来经济效益。

集成运用与推广价值。本项目在已有成熟的太阳能光伏发电的基础上将新材料、新能源、新技术、新工艺进行集成,为推动光伏技术在粮食仓储行业标准化、工业化,形成行业技术规程作出贡献,填补了国内外空白,推动了光伏行业在粮食仓储行业应用,具有很大的推广价值。

### 参考文献:

- [1] 祝诚宇. 浅谈太阳能光伏技术在粮库中的开发和利用. 中国粮油学报, 2006, 21(3): 461-466. 

---

# 《粮食加工》2016 年征订启事

《粮食加工》杂志创刊于 1976 年,为中文核心期刊,被中国知网、中文科技期刊、中国学术期刊等著名数据库收录,并以其学术性与实用性结合、内容详实、信息量丰富、发行面广、印刷精美,在全国粮食加工行业具有很大的影响力。刊物主要栏目有粮食经济论坛、小麦加工、稻米加工、玉米及小杂粮加工、粮食加工设备、粮食深加工、粮食研究与开发、粮食物流与仓储及粮食检测分析等。

《粮食加工》为国内外公开发行,双月刊(逢双月 1 日出版),8 元/期,全年定价:48 元。国际标准 A4 开本,全国各地邮局均可订阅。邮发代号:52-202,外发代号:BM2990。

地址:西安市莲湖区劳动路 138 号《粮食加工》杂志社

电话:029-88648175 传真:029-88631191

邮编:710082

E-mail: xibu98@sina.com lsjg2004@126.com

网址: <http://www.lsjg.cn>