

Economic analysis on the design of photovoltaic bracket purlins

Lifeng Liu¹ Chao Wang²

1. Shanghai Electric Power Machinery Co., Ltd., Shanghai, 200245, China

2. Shanghai Electric Power Machinery Co., Ltd., Shanghai, 200245, China

Abstract

This article focuses on the economic analysis of photovoltaic bracket purlin design, taking C-section and zinc magnesium aluminum plate purlins as research objects. By constructing functional formulas such as cross-sectional area, weight, production unit price, and total cost, the impact of various factors on cost is deeply explored. Research has found that, under the condition of constant total cost, the length of cross-sectional expansion is inversely proportional to the cost of raw materials. For enterprises, cost control is the key to obtaining projects. When designing purlins, it is necessary to comprehensively consider the cross-sectional values and yield strength of raw materials while meeting the requirements of bearing capacity and specifications, in order to achieve the lowest total cost and provide economic optimization ideas for the design of photovoltaic support purlins.

Keywords

photovoltaic bracket; Purlin design; Economic analysis; cost control

关于光伏支架檩条设计的经济分析

刘立峰¹ 王超²

1. 上海电力机械有限公司, 中国·上海 200245

2. 上海电力机械有限公司, 中国·上海 200245

摘要

本文聚焦光伏支架檩条设计的经济分析,以C型截面和锌镁铝板材质的檩条为研究对象,通过构建截面面积、重量、制作单价和总成本等函数公式,深入探究各因素对成本的影响。研究发现,在总成本不变的情况下,截面展开长度与原材料费用呈反比关系。对于企业而言,成本控制是获取项目的关键,设计檩条时需在满足承载力和规范要求的前提下,综合考虑截面取值与原材料屈服强度,以实现总成本最低,为光伏支架檩条设计提供经济层面的优化思路。

关键词

光伏支架; 檩条设计; 经济分析; 成本控制

1 引言

随着全球对清洁能源的需求持续增长,光伏发电作为重要的可再生能源利用方式,其应用规模不断扩大^[1]。见图1,光伏支架在光伏系统中扮演着关键的角色,其主要作用是支撑和固定光伏组件,防止其受到外界损坏,要确保光伏组件在各种天气条件下减少因风、沙、雨、雪等因素的影响。光伏支架特点,技术低,体量大,所以在每个光伏项目上,对光伏支架的设计旨在降低安装、维护和成本,提高整体的经济效益,故在设计光伏支架即要满足基本承载要求,同时又要兼顾成本,在“大”和“省”之间取得平衡点,保证经济效益最大化。

2 研究方向

光伏支架作为光伏系统的重要支撑结构,通常由立柱、前后斜撑、檩条等多个关键部分协同组成。在整个光伏支架体系中,每个部分都肩负着独特且不可或缺的使命。本次研究将重点聚焦于檩条的设计领域。

檩条在光伏支架安装环节中占据着举足轻重的地位。它宛如整个光伏组件的坚实“脊梁”,不仅要稳稳承担起光伏板自身的重量,还要抵御来自风雨、沙尘、暴雪等各类自然灾害所带来的强大冲击力,其核心作用在于为光伏组件提供稳固的支撑与可靠的固定,确保光伏组件在复杂的自然环境下能够持续稳定地运行,最大程度减少外界因素对光伏组件发电效率和使用寿命的不利影响。

从材料和形状的维度来看,檩条有着丰富多样的选择^[2]。在材质方面,常见的有钢制、锌镁铝、玻璃钢等材料。钢制檩条具有较高的强度和良好的韧性;锌镁铝材质凭借其卓越的耐腐蚀性在光伏领域逐渐崭露头角;玻璃钢檩条则具有轻

【作者简介】刘立峰,男,回族,中国上海人,本科,工程师,从事能源电力研究。

质、绝缘等独特优势。在形状方面，檩条又可分为矩形、工字型、C型等不同形状。不同形状的檩条在力学性能、加工工艺以及成本等方面均存在差异。

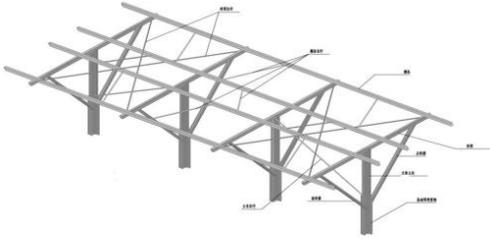


图1 单组光伏支架三维图

而本文的研究重点，是深入探讨在檩条不同“C”型截面和不同材质锌镁铝板之间如何进行科学合理的设计与选择。之所以聚焦于此，是因为在实际的光伏项目中，成本控制与性能保障是两大核心要点。在确保檩条满足强度要求，能够安全可靠地承载光伏组件并应对各种自然挑战的前提下，实现成本的最小化，进而获取最大的经济效益，这对于提升光伏项目的整体竞争力，推动光伏产业的可持续发展具有重要的现实意义。

3 主要内容

“C”字形横截面，从名称上便能直观理解其形状特征，它的两侧有着对称分布的平行边，外口部位向内进行对称折边处理，最终呈现出酷似字母“C”的形状，具体可参考图一。这种独特的结构设计赋予了该截面诸多显著优势，主要体现在以下四个方面：

其一，强度高。“C”型截面具备出色的强度与刚度，在力学性能方面表现卓越。当承受较大荷载时，其特殊的几何结构能够有效分散应力，确保自身结构稳定，不易发生变形或损坏，为光伏组件提供坚实可靠的支撑。在强风、暴雪等恶劣天气下，檩条能够承受更大的压力，保障光伏组件的安全运行。

其二，重量轻。相较于其他形状的截面，“C”型截面在保证结构强度的同时，重量相对较轻。这一特点带来了多重益处，一方面节省了原材料的使用量，降低了生产成本；另一方面，较轻的重量使得安装过程更加便捷高效，减少了人力和物力的投入，提高了施工效率。

其三，施工方便。该截面在施工过程中展现出了极高的灵活性。由于其形状规则，可根据实际工程需求进行精准切割和焊接，方便施工人员进行现场组装。无论是复杂的光伏电站布局，还是特殊的场地要求，大大缩短了施工周期。

其四，稳定性好。“C”型截面的形状决定了它在承受荷载时，能够更好地维持自身的稳定性。在受到外力作用时，其结构可以有效抵抗变形，保持整体的平衡状态，为光伏组件的长期稳定运行提供有力保障。

在当前的光伏支架行业中，“C”型截面因其诸多优点，

成为了檩条设计的主流选择。不过，由于不同的光伏项目在规模、场地条件、承载要求等方面存在差异，在具体参数的设计上，这种截面檩条也会有所不同^[3]。比如，大型地面光伏电站可能需要更大尺寸、更高强度的檩条；而分布式光伏项目，因安装环境较为复杂，可能更注重檩条的轻量化和可加工性，这就要求设计师根据实际情况进行合理的设计与调整。“C”型截面见下图2所示。

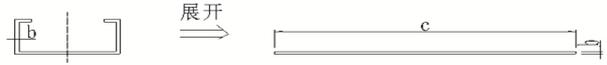


图2 “C”型截面展开图

公式(1)

我们用 $A(c, b)$ 函数表示其截面面积—— $A(c, b) = c * b$ (单位 mm^2)

c ——檩条展开长度 mm

b ——檩条厚度 mm

注解：在 b 不变的前提下， A 函数大小取决 c ，即取决于截面的展开长度。故是一元函数（如图3）

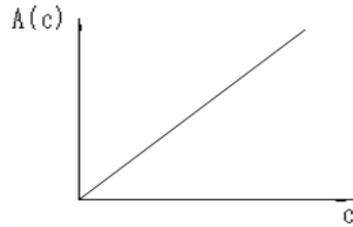


图3 光伏支架单价函数图

公式(2)

我们用 T 表示檩条重量—— $T = A * l * \rho$ (单位 kg)

l ——檩条长度 m

ρ ——碳钢的密度 $7.85kg/cm^2$

在本研究中，檩条所采用的材质为锌镁铝。锌镁铝这种材料，从其成分构成来看，是在锌的基础上，添加了1.5%-11%的铝、1.5%-3%的镁以及微量的硅。它是一种应用于冷轧薄板的高耐腐蚀性镀层工艺，在行业内，大家通常将其称为“锌铝镁板”。从本质上讲，锌铝镁板属于碳钢加上独特镀层工艺的产物。依据不同的屈服强度要求，锌铝镁板衍生出了 Q420、Q355、Q235 等几种不同规格，以满足多样化的工程需求。

锌铝镁板具有一系列显著的特性，使其成为光伏支架檩条的理想材质。

首先是卓越的耐腐蚀性。在锌铝镁板的镀层中，铝、镁、硅等合金元素发挥了关键作用，极大地增强了缓蚀效果。与传统的热镀锌钢板相比，锌铝镁板的缓蚀能力要高出 10 - 20 倍。这意味着使用锌铝镁板制作的檩条，在户外复杂的环境中，能够更有效地抵御雨水、风沙、潮湿空气等侵蚀，延长檩条的使用寿命。

其次，锌铝镁板具备自我修复的特性。当檩条在加工或使用过程中，其切削表面周围的涂层成分会持续溶出，进而形成一层由氢氧化锌、碱性氯化锌和氢氧化镁组成的致密保护膜。这层保护膜不仅导电性低，而且能有效抑制切割表面的腐蚀，即使檩条表面出现轻微损伤，也能通过这种自我修复机制保持良好的耐腐蚀性能。

再者，得益于其超强的抗腐蚀能力和切面的自愈效果，使用锌铝镁材质制作的部件拥有超长的使用寿命，一般情况下可达到30年以上。这对于光伏项目来说至关重要，能够减少后期频繁更换檩条的成本和麻烦，保障光伏电站长期稳定运行^[4]。

最后，锌铝镁钢板在加工方面也具有明显优势。它的镀层更为致密，在冲压过程中，不易产生镀膜玻璃等问题。无论是拉伸、冲压还是弯曲操作，锌铝镁钢板都能展现出优越的机械性能。而且，由于其涂层硬度较高，在面对恶劣的加工条件或使用环境时，具备良好的抗损坏性，方便加工成各种形状，满足不同的设计需求。

在光伏行业内，我们选用锌铝镁板作为我们檩条的主要材料，一般来说屈服强度越大，成本越高。

公式(3)

我们用 $K(d, e, f)$ 函数表示制作单价—— $K(d, e, f) = d + e + f$ (元/kg)

d ——原材料费

e ——加工费

f ——其他费，包括运输费，镀锌费，管理费等

注解：在 e 和 f 不变的前提下， K 函数简化为 $K(d) = d + \text{常量}(e+f)$ (如图4所示) 即取决于选用何种屈服强度原材料 d ，一般 $d_{420} > d_{355} > d_{235}$ ，即 $K_{420} > K_{355} > K_{235}$

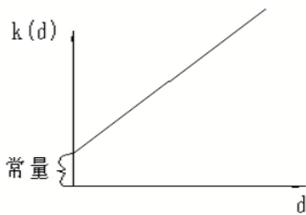


图4 屈服强度与成本的函数关系

在计算总成本的时候，将公式(2)*公式(3)，可以推导得出以下公式(4)：

我们用 G 表示总成本将—— $G = T * K$ (元)

再将公式(1)代入推导得出—— $G = A * l * \rho * K$ (元)

注解：在檩条长度 l 和碳钢密度不变的前提下，可简化公式 $G = A * K * \text{常量}(l * \rho)$ ，即 G 总成本取决于 A 函数和 K 函数的乘积。

4 结论

根据公式(1) A 函数取决 c 截面展开长度，公式(3) K 函数取决 d 原材料费，故推导在总成本 G 不变的前提下 $\frac{A1}{A2} = \frac{K2}{K1}$ 进而 $\frac{C1}{C2} : \frac{K2}{K1}$ 进而 $\frac{C1}{C2} : \frac{d2}{d1}$ ，互为反比。从中可以看出，截面 c 值和原材料 d 值在整个成本控制中起到了关键作用， c 值和 d 值越大，成本越高，而 c 值取小，则相应的 d 值要取大，才能满足强度要求。

对企业来说 G 总成本是必须要考虑的，在光伏支架行业内，成本的优势往往能否取得项目的决定因素，往往好的产品，好的设计在成本把控上也是独树一帜的。

所以，在设计檩条时，我们需要综合权衡多个方面。既要谨慎考虑截面 c 的取值，它会影响到檩条的强度和重量；又要兼顾符合承载力要求的屈服强度 d 所对应的材料费。从企业生产经营的角度出发，降低总成本 G 无疑是共同的追求。然而，这一切都要建立在满足承载力和规范要求的基础之上。在实际操作中，面对不同的项目需求，我们需要灵活地做出取舍，力求在各种条件限制下，将总成本控制到最低，以提升企业的经济效益和市场竞争能力。

参考文献

- [1] 董小虎,王士涛,周德淳.光伏跟踪支架檩条结构高刚性轻量化设计[J].中国机械工程, 2023, 34(10):1207-1213.
- [2] 咸瑀璇,李鹏辉,杨开琳,等.太阳能光伏固定支架檩条承载力影响参数分析[J].低温建筑技术, 2023, 45(3):63-66.
- [3] 王万军,李红有,迟洪明,李爱武.光伏支架系统中檩条的优化设计分析[J]. 2023.
- [4] 贺景峰,文锋,刘鸿.一种光伏支架及光伏支架中檩条的布置方法:CN201711284039.0[P].CN107800357A[2025-02-11].