

# 光伏组件项目建设方案效益评价指标体系的研究及应用

王 磊<sup>\*</sup>, 陈晓东, 吴孙阳, 李宗佰, 王春成

(阜宁协鑫集成科技有限公司, 阜宁 224400)

**摘 要:** 为了科学有效地评价光伏组件项目的投资效益, 以先进性、代表性、优先性和引领性为原则, 建立了多主栅半片光伏组件项目建设方案效益评价指标体系, 采用网络层次分析法 (ANP) 把定性指标和定量指标相结合, 从项目投资费用、投资收益、产品延展性、产品风险性和产品竞争力这 5 个主要指标 (19 个细分指标) 对光伏组件项目建设方案进行效益评价, 并对 M6 和 M12 多主栅半片光伏组件项目的投资效益进行对比分析, 得出 M6 多主栅半片光伏组件项目建设方案的效益与 M12 的相比具有一定优势, 为光伏企业进行项目建设方案效益分析提供了参考。

**关键词:** 光伏组件; 评价指标; 网络层次分析法; 效益评价

**中图分类号:** F424.2

**文献标志码:** A

## 0 引言

随着光伏市场规模的不断扩大, 客户对于光伏产品的技术创新需求日趋增大, 同时对降低每瓦除光伏组件以外的系统成本, 即光伏平衡系统 (Balance of System, BOS) 成本的要求也更加迫切。由于逆变器、支架、电缆等材料价格降低有限, 且光伏发电系统容量设计优化难度较大, 受此影响, 光伏产品的降本需求重新回归到通过提升光伏组件功率和规格来实现 BOS 成本摊薄。

从 2019 年下半年开始, 隆基乐叶光伏科技有限公司、通威股份有限公司等光伏企业重点推出了 M6(尺寸为 166 mm×166 mm) 太阳电池和光伏组件, 而天津中环半导体股份有限公司、东方日升新能源股份有限公司、广东爱旭科技有限公司、天合光能股份有限公司等光伏企业则隆重推出了 M12(尺寸为 210 mm×210 mm) 太阳电池和光伏组件。这 2 种规格的太阳电池和光伏组件使业界对于未来大尺寸硅片的最佳尺寸的争执达

到了顶峰。

目前, 国内外专家针对光伏电站项目的效益分析较多, 比如, 张梅<sup>[1]</sup>从项目方案、财务效益和项目风险等方面对毛里求斯光伏电站的投资进行了必要性和效益分析; 宁抒达<sup>[2]</sup>从地理资源、技术条件、经济、社会和环境等 5 个方面构建了分布式光伏发电项目效益评价体系, 通过 TOPSIS 综合评价法对该项目进行了综合评价分析; 张延涛<sup>[3]</sup>利用对比分析法等建立了投资决策模型, 并对 X 公司光伏发电项目进行了科学化的投资决策应用。

通过对现有的光伏发电项目效益分析方式进行综合考虑, 发现存在以下不足之处: 1) 效益评价指标缺乏系统性, 指标仅针对单一项目可行; 2) 指标选取不合理, 未建立在定性指标和定量指标相结合的前提下; 3) 指标之间相互关联性不强, 评价结果失真。基于此, 本文提出了一种光伏组件项目建设方案效益评价指标体系, 从项

收稿日期: 2020-04-23

基金项目: 江苏省盐城市社科基金资助项目——光伏产业链可持续高质量发展研究 (20szfsk48)

通信作者: 王磊 (1988—), 男, 硕士、高级工程师, 主要从事工业工程与智能制造等方面的工作。15951463654@163.com



目投资费用、投资收益、产品延展性、产品风险性和产品竞争力等方面体现建设方案的总体特点。该体系将定量处理和定性分析相结合,可为准确把握光伏组件未来发展方向、指导光伏组件项目建设、制定光伏组件项目规划等提供理论基础。

## 1 光伏组件项目建设方案效益评价指标的选取及体系的构建

### 1.1 评价指标的选取原则

近年来,在光伏市场驱动和技术进步等条件的共同作用下,我国光伏产业发展迅速,产品的迭代时间越来越短,硅片尺寸从156 mm×156 mm到156.75 mm×156.75 mm、158.75 mm×158.75 mm、166 mm×166 mm,甚至到210 mm×210 mm,仅用了不到5年的时间;而在这期间,随着硅片尺寸的增大,单块光伏组件的功率也从300 W突破到490 W,实现了63.33%的功率提升,年复提升率达到了10.3%,产品迭代速度加快。2019~2020年期间计划建设与实际建设的太阳能级硅片、太阳电池和光伏组件项目合计已超过120 GW,如此大的建设规模,需要对建设方案进行效益评价并进行精确定位,以降低错误的建设方案所带来的损失。因此,在进行建设方案效益评价时,指标的选取应建立在合理先进性、综合代表性、结果优先性和超前引领性<sup>[4]</sup>的原则上。

1) 合理先进性。指标选取时应根据光伏组件项目建设中的重点考虑因素,结合企业的项目商业计划书,选出对该项目而言具有典型先进水平的指标。

2) 综合代表性。选取的指标应兼容光伏组件项目效益评价的所有类型,并且具有典型代表性。

3) 结果优先性。选取的指标应具有一定对比性,或能够直接得到精确数据,模糊性和不确定性的指标不宜选取。

4) 超前引领性。在指标选取过程中要考虑未来市场的需求变化,选取的指标应具备前瞻性。

### 1.2 评价指标体系的构建

在进行光伏组件建设方案的效益研究时,首先必须构建科学的评价指标体系,并根据企业需求解决项目资本支出、效益评估、风险评估等方面的冲突关系。建立科学的评价指标体系能够帮助光伏组件生产企业在现有的资源条件下准确判断现行的项目建设方案行为是否符合市场发展的客观需求,并优化和调整建设方案,实现现有资源条件的充分利用,确保建设方案方向的正确性。

根据项目建设总体需求,充分考虑市场、资金等相关因素,提出光伏组件项目建设方案涉及的5个主要方面,分别为:投资费用、投资收益、产品延展性、产品风险性和产品竞争力,其相互关系如图1所示。

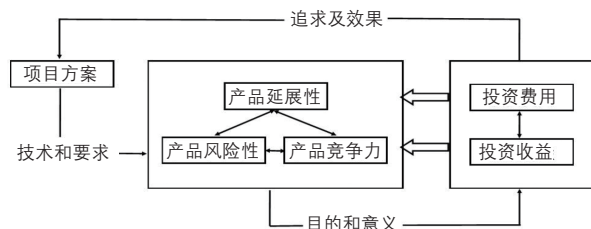


图1 光伏组件项目建设方案5个主要方面的关系图  
Fig. 1 Diagram of five main aspects of construction scheme of PV module project

在坚持合理先进性、综合代表性、结果优先性和超前引领性的原则下,结合目前光伏组件项目建设的商业计划书和立项报告等资料,并考虑到实际建设过程中的经济和效益因素,构建了光伏组件项目建设方案效益评价指标体系,如表1所示。

光伏组件项目建设方案效益评价指标体系主要分为2个层级,第1个层级为系统层,包括5个指标;第2个层级为指标层,涉及19个指标,其中,定性指标为7个(表1中的 $C_{10} \sim C_{15}$ 、 $C_{18}$ )、定量指标有12个(表1中其他指标)。

本文中的定量指标是根据光伏组件项目建设方案中项目的总规模和地区的项目费(主要是指土地出让金,以江苏省盐城市阜宁县单位土地



表 1 光伏组件项目建设方案效益评价指标体系  
Table 1 Index system of benefit evaluation of PV module construction scheme

系统层	指标层
投资费用 (B <sub>1</sub> )	工程费用 (C <sub>1</sub> )
	设备费用 (C <sub>2</sub> )
	土地费用 (C <sub>3</sub> )
	运营资金 (C <sub>4</sub> )
投资收益 (B <sub>2</sub> )	静态回收期 (C <sub>5</sub> )
	动态回收期 (C <sub>6</sub> )
	平均运营收入 (C <sub>7</sub> )
	平均毛利率 (C <sub>8</sub> )
	平均净利率 (C <sub>9</sub> )
产品延展性 (B <sub>3</sub> )	产品兼容性 (C <sub>10</sub> )
	适用范围 (C <sub>11</sub> )
	旧线改造效益 (C <sub>12</sub> )
产品风险性 (B <sub>4</sub> )	产品量产风险 (C <sub>13</sub> )
	资金需求风险 (C <sub>14</sub> )
	市场周期风险 (C <sub>15</sub> )
产品竞争力 (B <sub>5</sub> )	单位产品加工费 (C <sub>16</sub> )
	市场占比 (C <sub>17</sub> )
	质量长期可靠性 (C <sub>18</sub> )
	投入产出比 (C <sub>19</sub> )

出让金为基础)来确定的;定性指标是以 M6 和 M12 多主栅半片光伏组件的应用范围、市场调查结果、相关专家的意见作为基础,通过综合比较后进行确定。

需要对指标层指标进行数据处理,通过等宽区间定量法把定量指标进行统一标准量化处理(以符合国家标准判定为 100 分,最低分为 0 分;如果采取对比法,以较好值作为满分 100,本文采用对比法);通过邀请行业 12 位专家(或相关部门的专业领导),去掉最高分和最低分后,取 10 个数据,针对定性指标进行评价打分,并做好数据记录。

## 2 网络层次分析法的介绍

层次分析法(AHP)<sup>[5]</sup>由运筹学教授萨蒂于 20 世纪 70 年代提出,并应用在层次权重决策的相关领域,但该方法存在定性指标多、可信度

低等缺陷。在 21 世纪初,萨蒂教授针对层次分析法的缺陷进行了优化,提出了网络层次分析法(ANP)<sup>[6]</sup>,ANP 突出了内部平级指标的关联性和上下层指标的反馈关系。由于光伏组件项目建设方案的系统层与指标层存在上下层的反馈关系,而且指标层数据间存在一定的关联性,因此本文采用 ANP 作为光伏组件项目建设方案效益评价指标体系的评价方法。

### 2.1 影响网络的构建

根据建立的评价指标体系,确定指标层指标间的相互关系、系统层指标间的相互关系、指标层指标与系统层指标间的相互关系,构建指标关系影响网络。

### 2.2 指标判断矩阵的构建

以指标层的指标为基础,邀请行业内 12 位专家(或相关部门的专业领导)针对定性指标进行评价打分,并做好数据记录。去掉最高分和最低分后,取 10 个数据,对指标相对重要度进行独立衡量,专家衡量评估值分别为  $U_{ij}^1, U_{ij}^2, \dots, U_{ij}^{10}$  ( $1 \leq i \leq 10, 1 \leq j \leq 10$ ),并以此建立几何平均数  $a_{ij}$ ,具体计算方法参考式(1),即可建立在指标层  $C_q(1 \leq q \leq 19)$  条件下  $n(1 \leq n \leq 19)$  个指标的判断矩阵  $A$ ,如式(2)所示。

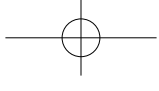
$$a_{ij} = \sqrt[10]{\prod_{k=1}^{10} U_{ij}^k} \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

建立的判断矩阵  $A$  需要通过一致性检验来确认数据的可靠性。假设  $\omega$  是该判断矩阵的排序向量,  $\lambda_r, \lambda_{\max}$  分别为该判断矩阵的第  $r$  个特征值和最大特征值,  $CI$  为该判断矩阵的一致性指标,  $RI$  为该判断矩阵的随机性一致性指标均值,  $CR$  为一致性比率,则这些参数间的相互关系如式(3)~式(5)所示。

$$CI = \frac{\sum_{r=1}^n \lambda_r}{n-1} \quad (3)$$

$$RI = \frac{CI_1 + CI_2 + \cdots + CI_n}{n} \quad (4)$$



$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

一般情况下,当  $CR < 0.1$  时,认为该判断矩阵的一致性符合要求,判断矩阵的数据可以使用;否则需要重新进行打分。

### 2.3 指标加权矩阵的构建

通过判断矩阵  $A$  可得到指标层  $C_q$  条件下  $m(1 \leq m \leq 5)$  个指标之间的相关重要程度,则可得到指标层  $C_q$  条件下第 1 个指标相对于其他指标的权重关系为  $\{b_{11}, b_{21}, b_{31}, \dots, b_{m1}\}$ ,同样也可以计算出其他指标的权重值,构建成加权矩阵  $D$ ,如式 (6) 所示。

$$D = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & \dots & b_{mm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

### 2.4 初始超矩阵的构建

根据 ANP 构建影响网络后,构建系统层  $P(1 \leq P \leq 5)$  个指标的超矩阵  $W_{\text{超}}$ ,具体如式 (7) 所示。

$$W_{\text{超}} = \begin{bmatrix} W_{11} & \dots & W_{1P} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{P1} & \dots & W_{PP} \end{bmatrix} \quad (7)$$

### 2.5 加权超矩阵的构建

加权矩阵  $D$  的每个单独因素与超矩阵  $W_{\text{超}}$  中相对应的元素相乘,可得到一个加权超矩阵  $W'_{\text{超}}$ ,如式 (8) 所示。

$$W'_{\text{超}} = D \cdot W_{\text{超}} = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & \dots & b_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{11} & \dots & W_{1P} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{P1} & \dots & W_{PP} \end{bmatrix} \quad (8)$$

### 2.6 评估极限超矩阵权重

为了保证加权超矩阵  $W'_{\text{超}}$  收敛,通过软件 Matlab R2019a 对加权超矩阵  $W'_{\text{超}}$  进行平方乘积的计算,即,  $W'_{\text{超}} \cdot W'_{\text{超}} = W'^4_{\text{超}}$ ,  $W'_{\text{超}} \cdot W'^4_{\text{超}} = W'^8_{\text{超}}$ ,  $W'^8_{\text{超}} \cdot W'^8_{\text{超}} = W'^{16}_{\text{超}}$ ,等,直到加权超矩阵  $W'_{\text{超}}$  最终收敛,得到一个收敛成固定值的矩阵,然后对该矩阵每一列进行归一化处理,得到各自对应的指标权重。

### 2.7 计算光伏组件项目建设方案效益评价指标体系的综合指数

为了得到最终的效益评价指数,采用加法加

权法<sup>[7]</sup>计算光伏组件项目建设方案效益评价指标体系的综合指数  $K$ ,计算式为:

$$K = \frac{\sum_{t=1}^s \gamma_t W_t}{\sum_{t=1}^s W_t} \quad (9)$$

式中,  $\gamma_t$  为第  $t$  个指标的评价结果;  $s$  为指标的数量;  $W_t$  为第  $t$  个评价指标的权重。

## 3 案例分析

从 2018 年下半年至今,光伏行业扩张趋势明显,对降低光伏发电系统单位建设成本的要求逐步提高,对项目建设期及资金回收期等均提出了更高要求。以光伏组件行业为例,1 条组件生产线从传统的 200 MW 增至如今的 400 MW 以上;电池的尺寸也从 156 mm×156 mm 增至 158.75 mm×158.75 mm、166 mm×166 mm 及 210 mm×210 mm,组件尺寸也随之不断增大,以便实现“项目投资少、回收周期短”的目标。

如今的项目建设以 M6 和 M12 这 2 种规格的光伏组件为主,因此本文以 M6 和 M12 多主栅半片光伏组件项目(以下简称“M6 光伏组件项目”和“M12 光伏组件项目”)建设方案为例进行效益对比分析。

### 3.1 假设前提

1) 项目建设规模以目前主流的 5 GW 为例,按照 12 条生产线规划设计(M12 光伏组件项目单线体可达到 480 MW, M6 光伏组件项目单线体可达到 420 MW),车间厂房均以 3 栋计算,仓库及相关辅房按照同等规格建设。

2) 由于工程建设费用和土地购置费与各地区的经济发展水平有关,本文以江苏省盐城市阜宁县为方案背景。

3) 暂不考虑建设环境中的横向及纵向规模影响,即不考虑产品上、下游企业和周围相同类型企业对建设方案的影响。

4) 暂不考虑当地政府对建设方案的影响,假设容积率等因素均满足政府规划许可。





### 3.2 建设方案效益评价指标对比

#### 3.2.1 投资费用

投资费用包括工程费用、设备费用、土地费用和运营资金 4 个指标。

1) 工程费用又可细分为建筑费用、安装费用和二次配费用。建设费用和安装费用是根据生产厂房和辅助性房间的建筑面积确定的,二次配费用是根据车间所需的用电量、用气量、环境温度等需求决定的。

2) 设备费用包括串焊机、叠焊机、排版机、层压机、 $I-V$  测试仪及流水线的投资。

3) 土地费用是指企业购买商业用地的费用,该费用与项目所属区域有关。

4) 运营资金根据组件生产周期、回款周期等确定,目前财务提供数据认为,按照资金 3 个月周转一次为主,运营资金核算方式为年产值的 1/4。

针对案例进行分析:M12 光伏组件项目的车间建筑面积比 M6 光伏组件项目的约大 15%。M12 光伏组件项目的串焊机必须是新型设备,价格贵,但数量需求少;M6 光伏组件项目的串焊机价格低,但需求量是 M12 光伏组件项目的 1.5 倍,因此,M12 光伏组件项目的串焊机费用整体比 M6 光伏组件项目的贵 20%。从其他设备整体费用来看,M12 光伏组件项目的比 M6 光伏组件项目的高 15%。M12 光伏组件项目的土地需求面积及费用比 M6 光伏组件项目的大。由于同为 5 GW 规模,2 种光伏组件项目的运营资金相同。

#### 3.2.2 投资收益

投资收益分为静态回收期、动态回收期、平均运营收入、平均毛利率和平均净利率 5 个指标。

从目前对比数据来看,M12 光伏组件的功率增益比 M6 光伏组件的多 9.64%;但与 M6 光伏组件相比,M12 光伏组件的电池成本、辅材成本和加工费成本累计增加了 5.33%。因此,M6 光伏组件项目的静态回收期比 M12 光伏组

件项目的短 11.42%,M6 光伏组件项目的动态回收期比 M12 光伏组件项目的短 12.25%,这是因为 M12 光伏组件属于新品,达产速度慢。

M6 光伏组件项目的平均运营收入比 M12 光伏组件项目的少 2.11%;平均毛利率比 M12 光伏组件项目的低 1.46%;平均净利润比 M12 光伏组件项目的低 2.03%。

#### 3.2.3 产品延展性

产品延展性包含产品兼容性、适用范围和旧线改造效益 3 个指标。

M12 光伏组件可向下兼容 M10、M6 等型号的光伏组件,M6 光伏组件却无法向上兼容 M12 光伏组件。M6 光伏组件有家用、商用 2 种;而 M12 光伏组件重,屋顶承压压力大,因此主要应用于商业。现有的更小尺寸线体经过改造可满足 M6 光伏组件的生产条件,但不具备 M12 光伏组件的生产能力。

#### 3.2.4 产品风险性

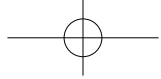
产品风险性包含产品量产风险、资金需求风险和市场周期风险 3 个指标。

目前 M6 光伏组件已达到单班量产 1200 件的水平,2020 年 2 月 M12 光伏组件已成功下线;M12 光伏组件项目的资金需求比 M6 光伏组件项目多 5.47%。目前,M6 光伏组件已初具市场规模,M6 光伏组件配套设备及相关上、下游供需更能满足需求,投入产出比更高,客户接受度更高,短期量产能够快速回收成本;而 M12 光伏组件的市场还正在培育,成本回收期会更长。另外需要警惕的是,除 M6 光伏组件和 M12 光伏组件外,其他新型光伏组件可能会侵占市场。

#### 3.2.5 产品竞争力

产品竞争力包含单位产品加工费、市场占比、质量长期可靠性和投入产出比 4 个指标。

M12 光伏组件的加工费比 M6 光伏组件的低 1.67%;M6 光伏组件的市场占有率比 M12 光伏组件高;M6 光伏组件的质量长期可靠性较 M12



光伏组件的高；M6 光伏组件的投入产出比较 M12 光伏组件的要高。

对 M6 光伏组件项目和 M12 光伏组件项目建设方案的效益评价指标权重进行打分并量化数据对比，然后进行归一化处理（量化数据折算到单位 GW 规模上），权重比例经过 ANP 处理，具体如表 2 所示。

表 2 M6 光伏组件项目和 M12 光伏组件项目建设方案效益评价指标权重及其项目得分

Table 2 Benefit evaluation index weights and project scores of M6 and M12 PV modules project construction schemes

系统层	指标层	M6 光伏组件项目得分	M12 光伏组件项目得分
B <sub>1</sub> (0.22)	C <sub>1</sub> (0.07)	100	92
	C <sub>2</sub> (0.05)	100	90
	C <sub>3</sub> (0.02)	100	100
	C <sub>4</sub> (0.08)	100	100
B <sub>2</sub> (0.26)	C <sub>5</sub> (0.03)	100	89
	C <sub>6</sub> (0.03)	100	88
	C <sub>7</sub> (0.05)	94	100
	C <sub>8</sub> (0.06)	95	100
	C <sub>9</sub> (0.09)	94	100
B <sub>3</sub> (0.12)	C <sub>10</sub> (0.05)	86	100
	C <sub>11</sub> (0.03)	100	90
	C <sub>12</sub> (0.04)	100	87
B <sub>4</sub> (0.18)	C <sub>13</sub> (0.07)	100	96
	C <sub>14</sub> (0.05)	100	97
	C <sub>15</sub> (0.06)	91	100
B <sub>5</sub> (0.22)	C <sub>16</sub> (0.04)	93	100
	C <sub>17</sub> (0.09)	100	93
	C <sub>18</sub> (0.03)	100	98
	C <sub>19</sub> (0.06)	100	99

将指标层权重带入权重比中计算，可得到 M6 光伏组件项目和 M12 光伏组件项目建设方案效益评价的综合得分，分别为 97.34 和 96.25（数据对比时以两者较好者得满分，同时设置及格分）。由此可知，目前投资 M6 光伏组件项目更

易获得令人满意的回报。

将表 2 中 2 种光伏组件项目每个系统层中各自的指标层权重与其对应的项目得分相乘然后求和，得到该项目的系统层水平分值，将其汇总到雷达图中，并与系统层的理想水平分值对比，以反映建设方案在这 5 个指标的优劣情况，具体如图 2 所示。从雷达图中可以看出，M6 光伏组件项目在投资费用和产品竞争力方面相对于 M12 光伏组件项目具有一定优势，M12 光伏组件项目在投资收益方面相对于 M6 光伏组件项目有微弱优势，在产品风险性和产品延展性方面两者差异较小。

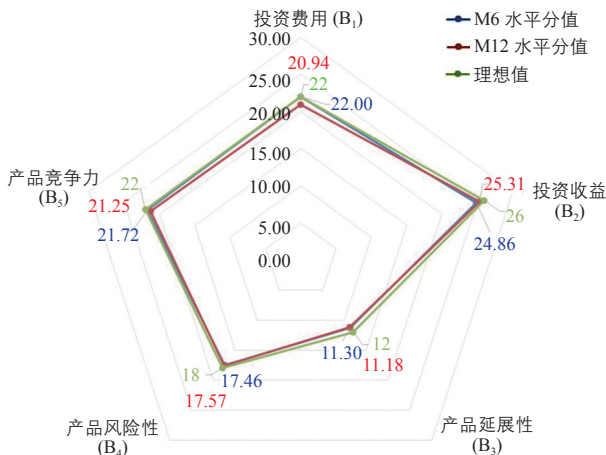


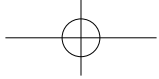
图 2 M6 和 M12 光伏组件项目建设方案系统层水平分值雷达图

Fig. 2 Radar chart of system layer level score of M6 and M12 PV module schemes

#### 4 结论

本文以江苏省盐城市阜宁县为方案背景，对 M6 光伏组件项目和 M12 光伏组件项目建设方案的效益状况进行了分析。结果显示，2 种光伏组件项目的效益均较高，但是从现阶段项目建设角度来看，M6 光伏组件项目总体上存在一定优势，尤其是在项目投资费用、产品竞争力等方面，但优势不明显；M12 光伏组件项目在投资收益等方面具有微弱优势。具体表现在：

1) 从投资角度看，M12 光伏组件项目建设成本高，设备价格明显高于 M6 光伏组件项目；



M12 光伏组件项目建设方案的单位成本效益比 M6 光伏组件项目的低, 需要扩大设备选型对比, 降低设备采购价格; 另外, 因 M12 光伏组件项目对车间面积需求更大, 需要考虑采用混流线等方案以减少厂房面积, 缩小其与 M6 光伏组件项目的建设成本差距。

2) 从单位收益角度来看, 与 M6 光伏组件相比, M12 光伏组件的功率增益率比其的其他成本累计增加率高, 导致生产相同产能时, M6 光伏组件项目的单位成本的平均毛利率低于 M12 光伏组件项目的。若要缩短 M6 和 M12 光伏组件项目在成本上的差异, 就要提升单班产能及控制制程辅材损耗。

3) 从产品竞争力来看, M6 光伏组件的上、下游衔接更为紧密, 设备及物料选择性更大, 市场接受度更高。需要提升 M12 光伏组件市场占有率以提升产品上、下游衔接能力, 同时提升制程能力控制, 提高产品良率。

4) 从产品风险性来看, M6 光伏组件的市场接受度暂时更好, 市场占有率也更高, 短期量产能够快速回收成本; M12 光伏组件正逐步受到客户信赖。但同时需要预防新型组件侵占 M6 和 M12 光伏组件的市场, 特别是近期新推出的 M10 光伏组件。

#### 【参考文献】

- [1] 张梅. D 公司毛里求斯光伏电站投资项目评估研究 [D]. 宁波: 宁波大学, 2018.
- [2] 宁抒达. 分布式光伏发电项目综合效益评价研究 [D]. 保定: 华北电力大学, 2018.
- [3] 张延涛. X 公司光伏发电项目投资优化决策研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
- [4] 刘冰. 技术预见在区域高新技术产业发展中的应用研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2007.
- [5] 邓雪等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究 [J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93 - 100.
- [6] 孙永河等. 复杂系统 ANP-BOCR 立体网络结构建构新方法 [J]. 中国管理科学, 2016, 24(2): 144 - 152.
- [7] 陈森. 森林抽样调查中标准差计算方法介绍 [J]. 云南林业调查规划, 1982(1): 33 - 37.

## RESEARCH AND APPLICATION OF BENEFIT EVALUATION INDEX SYSTEM OF PV MODULE PROJECT CONSTRUCTION SCHEME

Wang Lei, Chen Xiaodong, Wu Sunyang, Li Zongbai, Wang Chuncheng

(Funing GCL System Integration Technology Co., Ltd., Funing 224400, China)

**Abstract:** In order to scientifically and effectively evaluate the investment benefit of different PV modules, according to the principles of advanced nature, representativeness, priority and guidance, a benefit evaluation index system of PV modules with multiple busbar and half-chip modules project construction scheme has been established. Combined with qualitative indicators and quantitative indicators, analytic network process (ANP) was used to evaluate the efficiency of the PV module construction scheme from a total of 5 main indicators (19 subdivision indicators) in terms of project investment cost, investment income, product extensibility, product risk and product competitiveness. By comparing and analyzing the investment benefits of PV modules M6 and M12 multi-busbar half-chip projects, it is concluded that the M6 multi-busbar half-chip module has certain advantages over M12, and provides reference suggestions for PV companies to carry out project benefit evaluation.

**Keywords:** PV module; evaluation index; analytic network process; benefit evaluation