



# 基于光伏组件精益生产水平指标评价体系的探讨

阜宁协鑫集成科技有限公司 ■ 王磊\* 赵书宝 李宗佰 朱功 王春成 吕其丹

**摘要:** 精益生产水平是企业实施精益生产活动的重要手段,也是企业后期实施精益生产的重要依据。通过精益生产水平评价原则分析,制定光伏组件精益生产水平指标评价体系及评价标准,解决了光伏组件精益生产评价标准及评价体系的不确定因素;针对评价体系及评价结果制定行之有效的精益活动,可提升光伏行业的精益制造水平。

**关键词:** 精益生产;光伏组件;评价体系;评价方法

## 0 引言

近年来,因光伏组件生产的人工成本与材料成本及固定租赁等费用不断增长,且产品价格不断探底,导致工厂端的利润持续下降,大量制造企业只能亏损经营,这迫使企业必须探索一种降低成本和提高效率的方法<sup>[1]</sup>。伴随精益生产在欧、美、日的大面积使用,让国内众多制造企业看到了成功的希望。但精益生产导入国内制造企业并未取得明显成功,究其原因主要是对精益生产的实施水平及实施效果缺乏数据支持,同时缺乏较为完善的评价体系,导致制造企业缺乏等待的耐心,暂停或取消了精益生产活动的开展<sup>[2]</sup>。查阅历年的科研文献后发现,其中不乏精益生产工作应用到企业的案例,但对于工厂端的精益生产水平评价缺乏系统性,无法准确客观地评述工厂精益生产活动前后的改变。虽有个别案例建立了精益生产水平评价体系,但因评价体系的指标量较小,同时相关指标又是以定性指标来衡量,人为因素影响较大,因此实用价值不大。

因近年来欧美“双反”及国内逐年降低对光伏发电的补贴,再加上国内光伏组件扩张明显但装机容量却有限,导致光伏组件的销售价格持续下跌,组件成本中加工成本占比持续上升,组件行业利润率屡创新低。作为光伏行业的领军企业,协鑫(集团)控股有限公司(下文简称协鑫集团)在精益生产方面做了很多工作,启动了品质管理圈(Quality Control Circle, QCC)、质量改善小组(Quality Improvement Team, QIT)、合理化建议(Rationalization Suggestions, RS)及提案改善(Proposal Improvement, PI)等精益生产工具,着眼于精益生产的实施,但如何对下属工厂的精益生产水平进行准确评估尚未有具体评价体系。

本文根据光伏组件的生产方式及精益生产推行现状,构建了光伏组件精益生产水平指标评价体系。该评价体系由评价原则、指标要素与评价标准及评价方法构成。

## 1 精益生产水平评价原则

精益生产涉及的范围大且内容广,以“精益

收稿日期: 2018-10-19

通信作者: 王磊(1988—),男,硕士、IE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

生产做减法”为基本原则，以“更科学、更有效、更精准”为评价目的<sup>[3]</sup>，评价体系中设置的评价内容应适用于所有类型的光伏组件工厂。评价原则应遵循“四性质”与“四结合”。

### 1.1 四性质

1) 相关性。指标评价要素应紧密结合光伏组件精益生产现状，能够明确体现工厂端的精益生产水平，或者说能够直接促进光伏组件精益生产的推进及改善工作。

2) 代表性。因精益生产涉及面广，如果指标要全部涉及，将会是一个庞大的指标群，不仅会造成繁琐的评价过程和巨大的工作量，同时也不利于突出重点。因此在指标选取中要明确重点和提炼具有代表性的指标，应以少量、多维、具有代表性的指标要素体现工厂端的精益生产水平。

3) 独立性。要求在选取指标时不出现明显类似及相同，确保选取的指标能够从一定程度上反映光伏组件工厂精益生产水平的实施情况。独立性指标并不要求指标要素选择过程两两完全独立，仅指相对独立。

4) 评价性。不管是定性指标还是定量指标，其目的均是为了客观评价工厂端的精益生产水平现状，因此要求指标要素选择过程中要注重指标的可评价性，不宜选取模糊性或人为主观性过于明显的指标要素，减少评价结果的主观性和模糊性，便于工厂端采集数据的便捷性及准确性。

### 1.2 四结合

1) 效率与效益相结合。精益思想应贯穿整个评价指标设置，突出效率优先，通过不断改善生产水平来减少成本倾注，增加资本价值，减少资源浪费，提高运营效率。

2) 过程与结果相结合。过程评价注重过程控制，结果评价注重管理有效性和科学评价控制水平。

3) 定性定量相结合。将定性定量指标有机结合，借用综合评价结果推进企业在薄弱指标方面不断改善。

4) 实用性与引领性相结合。评价方法不仅要

匹配企业生产需求，与行业发展保持一致，同时还要着眼于未来，注重指标的引导作用，提高精益管理的有效性。

## 2 光伏组件精益生产水平指标评价体系与评价标准的建立

初步建立的光伏组件精益生产水平指标评价体系分为6个二级指标要素，具体为：队伍建设、氛围营造、工具使用、降本增效、专利文件和精益营销，如图1所示；同时建立17个三级指标要素，分别对二级指标要素进行细化。

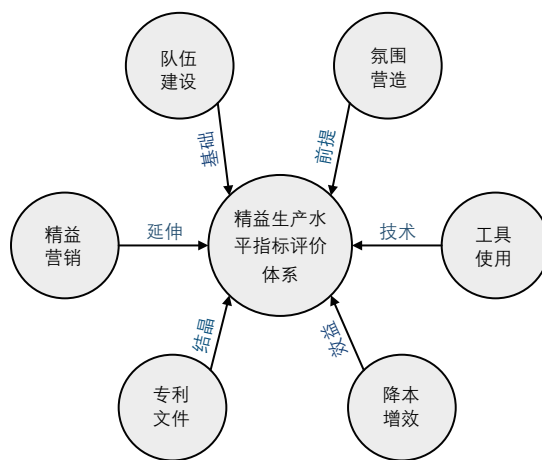


图1 光伏组件精益生产水平指标评价体系

### 2.1 指标要素

#### 2.1.1 队伍建设

精益人才队伍是推行精益生产的根本，精益指导是企业实施精益生产的关键所在。精益导师的向上工作是指其给工厂端管理层论述精益生产的推行计划与精益培训，给工厂端的中高层进行精益思想的灌输，争取中高层领导的支持；中间工作是指要尽可能的培养精益讲师，由工厂端的精益讲师维持后续的精益生产推行，精益讲师的质量和数量决定了一个工厂精益生产推行的进度及效果；向下工作是指对各部门工程师级人员进行精益管理方法和精益工具的培训，让各部门工程师级人员使用精益工具完成精益项目，实现降本增效。由此可确定精益生产水平指标评价体系中，队伍建设的3个三级指标要素，分别为精益



梯队、精益培训和精益项目。

### 2.1.2 氛围营造

精益氛围建设是促进精益生产的前提，氛围营造分为外部和内部的精益宣传方式。外部宣传是以在集团公司的杂志、报纸（如《协鑫》《协鑫人》《鑫读者》）及工厂对外的网站等的刊发为主，并以年度精益文献发布数量考核外部宣传工作；内部宣传以全员精益知识普及为主，对普通员工进行精益管理及精益生产方式等知识的普及性教育，通过抽查员工对精益知识的了解情况来确定工厂内部精益生产的宣传情况。

### 2.1.3 工具使用

协鑫生产方式（GCL Production Way, GPW）推行的精益工具目前有4种，分别为QIT、QCC、RS、PI，是协鑫持续改善管理（CIM）的重要手段。QIT是以岗位技术尖兵组成的改善小组，采用DMAIC等活动程序，重点实施降本增效措施的改善活动；QCC是指以现场品质管理为主的人员采用“7大手法”“8D原则”等方式改善产品品质的活动；PI是指非生产人员对提升效率、改善流程等提出意见及想法并协同解决；RS是指直接生产人员对现场的作业工具、作业手法等提出的建议和意见。

### 2.1.4 降本增效

在实际生产过程中，由于原材、辅材的价格及数量受事业部供应链管控，工厂端并无直接的参与权与建议权，因此工厂端实际掌握的费用只有加工费用，具体包含直接人工费用、固定费用（细分为固定折旧和其他）和变动成本（包括间接人工费用、水电费、物料消耗、维修费用及其他费用）。固定费用已产生并折摊到月度费用，因此月度固定费用基本不变；维修费用和其他费用在月度折摊时因费用较少且每月变化趋势较小，因此无需考虑。因工厂端的特殊性，实施降本增效需要从直接人工、间接人工、水电费和机物料消耗4个方面进行，同时要考虑线体产能、效率、良率、材料改善等方面。

### 2.1.5 专利文件

作为精益智慧的结晶，专利是精益生产水平的重要体现。鉴于实际情况，光伏组件的生产涉及较少的外部设计。因此，从授权发明专利和授权实用新型专利出发，从事业部和工厂端方面着手，制定专利的评价标准。

### 2.1.6 精益营销

精益营销是精益思想在市场营销领域的拓展和创新性应用。其在秉承精益思想的基础上，结合了营销理论中的4C、4P和4R等理论，以独特的视角丰富了营销理论和精益思想，因此对工厂端精益生产水平进行评价分析时，应引入精益营销。

## 2.2 精益生产水平指标评价体系的制定及评价标准

根据上文提出的各评价指标、协鑫集成精益考核方式及相关行业精益生产水平评价标准，制定了精益生产水平指标评价体系及评价标准，具体内容如表1所示，括号中为权重值。

采用层次分析法（AHP），表1中得分标准为：

- 1) 精益生产水平值 $\geq 85$ 分，代表精益生产水平处于行业领先地位；
- 2)  $70 \text{分} \leq \text{精益生产水平} < 85 \text{分}$ ，代表精益生产水平处于行业中等水平；
- 3)  $60 \text{分} \leq \text{精益生产水平} < 70 \text{分}$ ，代表精益生产水平处于行业偏低水平；
- 4) 精益生产水平 $< 60$ 分，代表精益生产水平处于行业较低水平。

## 3 评价方法及案例分析

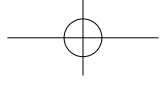
### 3.1 评价方法简介

目前指标评价已有多种方法，如层次分析法（AHP）<sup>[4]</sup>、网络分析法（ANP）<sup>[5]</sup>、模糊综合评价（FCE）<sup>[6]</sup>、TOPSIS<sup>[7]</sup>、数据包络分析（DEA）<sup>[8]</sup>、灰色综合评价（GCE）<sup>[9]</sup>和人工神经网络评价（ANN）<sup>[10]</sup>等方法，将定性定量相结合的指标数据均具有一定核算价值；另外在实验设计（DOE）中，田口设计结合马氏距离（马田系统）<sup>[11]</sup>也具有较好的指标数据处理能力。相同的指标数据使用不同的方法核算会得到不同的结果，因此，在实际工作中需要确定某一种评价方法，然后以该方法衡量所有工厂端的精益生产水平。

表 1 精益生产水平指标评价体系及评价标准

项目	指标 明细	评分标准					考核 频次	备注
		10	8	6	4	0		
队伍建设 (25%)	精益 梯队 (20%)	精益讲师占比总人力≥1.00%	0.50%≤精益讲师占比总人力<1.00%	0.25%≤精益讲师占比总人力<0.50%	0.20%≤精益讲师占比总人力<0.25%	精益讲师占比总人力<0.20%	季度	人力资源制定规则
	精益 培训 (40%)	人均精益培训≥12次/年	8次/年≤人均精益培训<12次/年	6次/年≤人均精益培训<8次/年	4次/年≤人均精益培训<6次/年	精益讲师人均精益培训<4次/年		由培训部门指定培训课程
	精益 项目 (40%)	完成或指导项目≥4次/年	3次/年≤完成或指导项目<4次/年	2次/年≤完成或指导项目<3次/年	1次/年≤完成或指导项目<2次/年	完成或指导项目<1次/年		精益 QIT 项目
氛围营造 (15%)	外部 宣传 (60%)	精益文献≥12次/年	8次/年≤精益文献<12次/年	6次/年≤精益文献<8次/年	4次/年≤精益文献<6次/年	精益文献<4次/年	季度	案例和先进事迹进行宣传
	内部 宣传 (40%)	抽查回答准确率≥90%	80%≤抽查回答准确率<90%	70%抽查回答准确率<80%	60%≤抽查回答准确率<70%	抽查回答准确率<60%		员工了解精益文化
工具使用 (15%)	RS (15%)	月均提交占比总人力≥5%	4%≤月均提交占比总人力<5%	3%≤月均提交占比总人力<4%	2%≤月均提交占比总人力<3%	月均提交占比总人力<2%	季度	合理化建议提交比例
	PI (20%)	月均提交占比总人力≥3.0%	2.5%≤月均提交占比总人力<3.0%	2.0%≤月均提交占比总人力<2.5%	1.5%≤月均提交占比总人力<2.0%	月均提交占比总人力<1.5%		提案改善提交比例
	QCC (25%)	年度完成量≥3.0件/年/百人	2.5件/年/百人≤年度完成量<3.0件/年/百人	2.0件/年/百人≤年度完成量<2.5件/年/百人	1.5件/年/百人≤年度完成量<2.0件/年/百人	年度完成量<1.5件/年/百人		QCC 项目完成比例
	QIT (40%)	年度完成量≥2.0件/年/百人	1.5件/年/百人≤年度完成量<2.0件/年/百人	1.0件/年/百人≤年度完成量<1.5件/年/百人	0.5件/年/百人≤年度完成量<1.0件/年/百人	年度完成量<0.5件/年/百人		QIT 项目完成比例
降本增效 (30%)	降本 总额 (30%)	年度降本总额占比工厂生产能力≥5000万/GW	4000万/GW≤年度降本总额占比工厂生产能力<5000万/GW	3000万/GW≤年度降本总额占比工厂生产能力<4000万/GW	2000万/GW≤年度降本总额占比工厂生产能力<3000万/GW	年度降本总额占比工厂生产能力<2000万/GW	月度	年度降本总额占比工厂生产能力
	直接 人力 占比 (20%)	直接人力成本占比加工成本≤42%	42%<直接人力成本占比加工成本≤44%	44%<直接人力成本占比加工成本≤46%	46%<直接人力成本占比加工成本≤48%	直接人力成本占比加工成本>48%		直接人力体现省人效果
	间接 人力 占比 (20%)	间接人力成本占比加工成本≤16%	16%<间接人力成本占比加工成本≤17%	17%<间接人力成本占比加工成本≤18%	18%<间接人力成本占比加工成本≤19%	间接人力成本占比加工成本>19%		间接人力体现合并效果
	水电 费 占比 (15%)	水电费占比加工成本≤6.5%	6.5%<水电费占比加工成本≤7.5%	7.5%<水电费占比加工成本≤8.0%	8.0%<水电费占比加工成本≤8.5%	水电费占比加工成本>8.5%		水电费体现节能减排效果
	机物料 占比 (15%)	机物料占比加工成本≤7.5%	7.5%<机物料占比加工成本≤8.0%	8.0%<机物料占比加工成本≤8.5%	8.5%<机物料占比加工成本≤9.0%	机物料占比加工成本>9.0%		机物料体现节约效果
专利文件 (15%)	授权发 明专利 (65%)	年度完成量≥3.0件/年/千人	2.5件/年/千人≤年度完成量<3.0件/年/千人	2.0件/年/千人≤年度完成量<2.5件/年/千人	1.5件/年/千人≤年度完成量<2.0件/年/千人	年度完成量<1.5件/年/千人	年度	专利是精益思想的延伸，是公司品牌的保护
	授权实 用新型 专利 (35%)	年度完成量≥5件/年/百人	4件/年/百人≤年度完成量<5件/年/百人	3件/年/百人≤年度完成量<4件/年/百人	2件/年/百人≤年度完成量<3件/年/百人	年度完成量<2件/年/百人		
精益营销 (5%)	自产自销 (100%)	年自销占比年产能≥5%	4%≤年自销占比年产能<5%	3%≤年自销占比年产能<4%	2%≤年自销占比年产能<3%	年自销占比年产能<2%	年度	—





### 3.2 案例分析

协鑫集团是一家以清洁能源、新能源及能源相关产业为主的国际化综合性能源集团,是我国最大的非公有电力控股企业,全球最大的光伏材料制造商。其下属公司阜宁协鑫集成科技有限公司(下文简称阜宁集成)坐落于盐城市阜宁县开发区,是从事高效光伏组件生产的新能源企业,着眼于全球光伏产业的发展,致力为国内外一流光伏电站提供优质的组件产品。公司以技术为先导,致力于以国际化视野打造高科技环保节能生态产业园,全力打造有竞争力、生命力的新型国际化“产业社区”。

根据阜宁集成 2017 年的相关指标情况,绘制了其精益生产水平指标数据表,如表 2 所示。

表 2 阜宁集成精益生产水平指标数据表

项目	指标明细	2017 年实际情况	得分	合计得分
队伍建设	精益梯队	精益讲师占比 0.38%	6	2.4
	精益培训	人均精益培训 9.5 次/年	8	6.4
	精益项目	完成或指导项目 6.5 次/年	10	8
氛围营造	外部宣传	精益文献 7 篇	6	5.4
	内部宣传	抽查回答准确率 71.66%	6	3.6
工具使用	RS	月均提交占比总人力 7.94%	10	2.25
	PI	月均提交占比总人力 1.27%	0	0
	QCC	年度完成量 2.22 件/年/百人	6	2.25
	QIT	年度完成量 1.59 件/年/百人	8	4.8
降本增效	降本总额	年度降本总额占比工厂生产能力 2406 万/GW	4	3.6
	直接人力占比	直接人力占比加工成本 43.75%	8	4.8
	间接人力占比	间接人力占比加工成本 16.77%	8	4.8
	水电费占比	水电费占比加工成本 8.44%	4	1.8
	机物料(含低值易耗品)占比	机物料占比加工成本 6.33%	10	4.5
专利文件	授权发明专利	年度完成量 0 件/年/千人	0	0
	授权实用新型专利	年度完成量 3.49 件/年/百人	6	3.15
精益营销	自产自销	年自销占比年产能 3.59%	6	3

采用层次分析法(AHP)对阜宁集成上述指标进行分析,根据权重及得分得到阜宁集成精益生产水平值为 60.75 分,处于行业偏低水平。根据指标数据显示,提案改善及授权发明专利指标未得分,体现出公司在降本增效及专利文件方面尚有欠缺,需要重点在这两方面投入精力,提升精益生产水平。整体表现中,工具使用及专利这两块指标的平均得分较低,需要加强对提案改善和 QCC 等工具的使用能力,以及提升公司在专利水平方面的研发创新。

### 4 结语

精益生产水平是衡量一个工厂或公司精益生产活动进度的重要尺度,决定了一个工厂或公司在后期进行精益生产或智能生产的必要前提。全员精益是精益生产的最终目标,也是做精益生产的最重要的目的。应选择合适的指标评价体系,完整、详细的衡量一个工厂的精益生产水平,针对实际精益生产所处状态制定适合于工厂端的精益生产推进方案。

#### 参考文献

- [1] 黄蕾,胡锦文,董欣,等.航空制造企业精益生产管理能力提升案例研究[J].郑州航空工业管理学院学报,2018,36(3):1-7.
- [2] 杨辉.基于精益生产的H公司生产管理优化研究[D].上海:华东理工大学,2017.
- [3] 曹军.精益生产管理绩效评价研究[J].时代金融,2018,(2):266,275.
- [4] 郭金玉,张忠彬,孙庆云,等.层次分析法的研究与应用[J].中国安全科学学报,2008,18(5):148-153.
- [5] 宫俊涛,刘波,孙林岩,等.网络分析法(ANP)及其在供应商选择中的应用[J].工业工程,2007,10(2):77-80.
- [6] 郭雨晨.基于模糊综合评价的企业财务风险预警管理研究——以长城汽车股份有限公司为例[D].石家庄:河北师范大学,2017.
- [7] 俞立平,刘爱军.期刊评价中TOPSIS的漏洞研究——权重单调性[J].情报杂志,2014,33(11):131-135.
- [8] 李晓燕.基于数据包络分析的标杆管理理论及应用研究[D].南京:南京理工大学,2010.
- [9] 张强,程万洲,杨玉锋,等.多层次灰色综合评价法在管道风险评价中的应用[J].地质科技情报,2016,35(2):126-128.
- [10] 何璠.基于BP人工神经网络的环境质量评价模型研究[D].成都:四川大学,2006.
- [11] 牛俊磊,程龙生.基于全方位优化算法的改进马田系统分类方法[J].系统工程理论与实践,2012,32(6):1324-1336. 太阳能