



新能源类专业教学资源库
NEW ENERGY TEACHING RESOURCE LIBRARY

职业教育新能源类专业教学资源库共建共享联盟专业调研报告

光伏材料制备技术

新能源类教学资源库共建共享联盟



一、确定课题调研方式

以实地访谈、问卷调查和电话访谈的形式针对研究人员、专家、企业工程师、技术人员、部门负责人等开展调研；对往届毕业生或正在省外实习基地进行实习的学生，通过网络、电话等形式开展调研。国家政策及权威研究机构发布的国家规划、国家政策及各类研究成果、行业发展动态等以网络查询方式开展调研。

二、调研内容

（一）国家光伏材料制造的政策调研

（1）国家层面出台的政策调研

光伏产业始于我国 80 年代快速发展于 21 世纪初，2010 年我国一跃成为光伏材料制造大国，光伏材料产业主要以出口导向型为主，后历经欧洲、美国等海外市场的“双反”，井喷式发展的光伏产业经历了产业重大重组，很多企业破产。在 2013 年 7 月我国出台了《国务院关于促进光伏产业健康发展的若干意见》（国发〔2013〕24 号）后，光伏产业正式列入全球能源科技和产业的重要发展方向，是具有巨大发展潜力的朝阳产业，也是我国具有国际竞争优势的战略性新兴产业，提出“要坚定信心，抓住机遇，开拓创新，毫不动摇地推进光伏产业持续健康发展”。光伏产业进入新一轮快速发展，由此光伏产业作为战略性新兴产业是依托于国家政策驱动性很强的产业，相应产业的政策性风险是产业发展首要风险，其次是来自于市场竞争、贸易壁垒、资本运作等方面的风险。因此，作为光伏人才的培养首先要研究国家对光伏产业的政策导向。



在光伏行业发展支持和发展规划方面，我国出台了大量政策，2021 年是我国开启碳达峰、碳中和计划的元年，国家及各省市对于光伏行业的装机规划、能源消纳、用电补贴、光伏技术立项政策等均出台了大量政策内容涉及我国光伏发电规模及占比、光伏能源储能政策、光伏企业经济扶持政策等。截止 2021 年 6 月，我国光伏行业相关发展支持政策及规划如下：

表 1 近 5 年国家主要政策一览表

序号	发文名称	文号	发文部门
1	关于印发《2021 年能源工作指导意见》的通知		国家能源局
2	国家能源局关于 2021 年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知	国能发新能〔2021〕25 号	国家能源局
3	关于报送整县屋顶分布式光伏开发试点方案的通知		国家能源局
4	关于引导加大金融支持力度 促进风电和光伏发电等行业健康有序发展的通知	发改运行〔2021〕266 号	发展改革委
5	关于报送“十四五”电力源网荷储一体化和多能互补工作方案的通知		国家能源局综合司
6	关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见	发改能源规〔2021〕280 号	发展改革委 能源局
7	《西部地区鼓励类产业目录(2020 年本)》		国家发展改革委
8	关于 2021 年可再生能源电力消纳责任权重及有关事项的通知	发改能源〔2021〕704 号	国家发展改革委 国家能源局
9	《关于 2021 年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知		国家能源局
10	关于开展第二批智能光伏试点示范的通知	工信厅联电子〔2021〕32 号	工业和信息化部办公厅 住房和城乡建设部办公厅 交通运输部办公厅 农业农村部办公厅 能源局综合司 国家乡村振兴局综合司
11	推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见	交规划发〔2020〕75 号	综合规划司



12	关于2020年风电、光伏发电项目建设有关事项的通知	国能发新能〔2020〕17号	国家能源局
13	关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见	财建〔2020〕4号	财政部 发展改革委 能源局
14	关于开展智能光伏试点示范的通知	工信厅联电子〔2019〕200号	工业和信息化部办公厅 住房和城乡建设部办公厅 交通运输部办公厅 农业农村部办公厅 国家能源局综合司 国务院扶贫办 综合司
15	关于2019年风电、光伏发电项目建设有关事项的通知	国能发新能〔2019〕49号	国家能源局
16	关于建立健全可再生能源电力消纳保障机制的通知	发改能源〔2019〕807号	国家发展改革委 国家能源局
17	关于积极推进风电、光伏发电无补贴平价上网有关工作的通知	发改能源〔2019〕19号	国家发展改革委 国家能源局
18	清洁能源消纳行动计划(2018-2020)	发改能源规〔2018〕1575号	国家发改委 国家能源局
19	《关于无需、国家补贴光伏发电项目建设有关事项的函》	国能综函新能〔2018〕334号	国家能源局综合司
20	《关于积极推进电力市场化交易 进一步完善交易机制的通知》	国能综函新能〔2018〕1027号	国家发改委 国家能源局
21	《关于贯彻落实2018光伏发电相关政策是通知》	国家电网财〔2018〕571号	国家电网
22	《关于做好光伏发电相关工作的紧急通知》	国能综函新能〔2018〕93号	国家能源局综合司
23	《2018年光伏发电有关事项的通知》	发改能源〔2018〕823号	国家发展改革委 财政部 国家能源局
24	《关于印发进一步支持贫困地区能源发展助推脱贫攻坚行动方案(2018-2020)的通知》	国能发规划〔2018〕42号	国家能源局
25	《关于减轻可再生能源领域企业负担有关事项的通知》	国能发新能〔2018〕34号	国家能源局
26	关于印发《智能光伏产业发展行动计划(2018-2020)的通知》	工信部联电子〔2018〕68号	工业和信息化部 住房和城乡建设部 交通运输部 农业农村部 国家能源局 国务院扶贫办



27	关于印发《光伏扶贫电站管理方法》的通知	国能发新能【2018】29号	国家能源局 国务院扶贫办
28	关于公布可再生能源电价附加资金补助目录（光伏扶贫项目）的通知	财建（2018）25号	财政部 国家发展改革委 国家能源局 国务院 扶贫办
29	关于印发 2018 能源工作指导意见的通知	国能发规划【2018】22号	国家能源局
30	国家能源局关于建设清洁能源示范省（区）监测评价体系（试行）的通知	国能发新能【2018】9号	国家能源局
31	关于上报光伏扶贫项目有关信息的通知	国能综通新能【2018】10号	国家能源局 国家扶贫办
32	清洁能源消纳行动计划（2018-2020）	发改能源规【2018】1575号	国家发改委 国家能源局
33	《关于无需、国家补贴光伏发电项目建设有关事项的函》	国能综函新能【2018】334号	国家能源局综合司
34	《关于积极推进电力市场化交易进一步完善交易机制的通知》	国能综函新能【2018】1027号	国家发改委 国家能源局
35	《关于贯彻落实 2018 光伏发电相关政策是通知》	国家电网财【2018】571号	国家电网
36	《关于做好光伏发电相关工作的紧急通知》	国能综函新能【2018】93号	国家能源局综合司
37	《2018 年光伏发电有关事项的通知》	发改能源【2018】823号	国家发展改革委 财政部 国家能源局
38	《关于印发进一步支持贫困地区能源发展助推脱贫攻坚行动方案（2018-2020）的通知》	国能发规划【2018】42号	国家能源局
39	《关于减轻可再生能源领域企业负担有关事项的通知》	国能发新能【2018】34号	国家能源局
40	关于印发《智能光伏产业发展行动计划（2018-2020）的通知》	工信部联电子【2018】68号	工业和信息化部 住房和 城乡建设部交通运输部 农业农村部国家能源 局 国务院扶贫办
41	关于印发《光伏扶贫电站管理方法》的通知	国能发新能【2018】29号	国家能源局 国务院扶贫办



42	关于公布可再生能源电价附加资金补助目录（光伏扶贫项目）的通知	财建（2018）25号	财政部 国家发展改革委国家能源局 国务院扶贫办
43	关于印发2018能源工作指导意见的通知	国能发规划【2018】22号	国家能源局
44	国家能源局关于建设清洁能源示范省（区）监测评价体系（试行）的通知	国能发新能【2018】9号	国家能源局
45	《关于2017年光伏发电领跑基地建设有关事项的通知》	国能发新能【2017】88号	国家能源局
46	关于开展分布式发电市场化交易试点的补充通知	发改办能源【2017】2150号 发改办能源【2017】1901号	国家发改委国家能源局
47	关于2018年光伏发电项目价格政策的通知	发改价格【2017】2196号	国家发改委 国家能源局
48	2017年度光伏发电市场环境监测评价结果	国能发新能【2017】79号	国家能源局
49	印发《解决弃水弃风弃光问题实施方案》的通知	发改能源[2017]1942号	国家发展改革委 国家能源局
50	关于支持光伏扶贫和规范光伏发电产业用地的意见	国土资规[2017]8号	国土资源部 国务院扶贫办 国家能源局

国家出台的“十四五”规划或国家/区域十四五规划中提及到行业的部分。国务院发布《“十四五”国家战略性新兴产业发展规划》，重点颁发了12个方面的重点发展领域，在该规划中，关于风电光伏产业的发展，发现非化石能源被重点提及；“十四五”规划指出，要构建现代能源体系，推进能源革命，建设清洁低碳、安全高效的能源体系，提高能源供给保障能力。加快发展非化石能源，坚持集中式和分布式并举，大力提升风电、光伏发电的规模。持续推动光伏发电成本下降是“十四五”期间我国光伏发电全面实现平价上网的重要条件。

从国家光伏产业政策看，无论是来自于国家能源结构战略的调整需要还是绿色环保的压力，国家都将大力发展以太阳能为主多种清洁能源为补充的新



能源产业，并将太阳能作为未来 20 年最重要的新能源组成部分。2013-2021 年，为鼓励和扶持光伏产业的发展，国家发改委、财政部、工信部、国家能源局、住房和城乡建设部等机构密集出台支持和规范光伏产业发展的政策性文件，其范围包括了生产、销售、财税、补贴、土地政策等产业发展的各个相关方面。目前，中国光伏产业经过多年的发展，产业链完整，制造能力和市场占比均居全球第一，从光伏发电应用来看，随着政策支持和技术进步，我国光伏产业成长迅速，成本下降和产品更新换代速度不断加快。2020 年初疫情导致的停工停产潮严重影响了行业的发展。度过春节假期后，随着《关于 2020 年风电、光伏发电项目建设有关事项的通知》的出台，行业逐步平稳并开始恢复性发展。2020 年光伏补贴共计 15 亿元，其中户用光伏 5 亿元、竞价项目 10 亿元，户用光伏迎来了新的发展机遇。

光伏和风电都是清洁无公害的可再生能源，“十四五”期间将进一步发展，预计 2021 年到 2025 年光伏累计装机量的平均复合增长率约为 18.9%，年平均新增 67.4GW，到 2025 年，累计达 581GW。2030 年的碳达峰与 2060 年的碳中和大目标的提出，是对光伏行业的巨大鼓舞。为了到达这一目标，目前国家发改委与国家能源局就“十四五”与“十五五”期间，光伏、风电的新增规模进行研究，推动示范项目的建设，促进光伏加储能、光伏治沙、光伏直供、光伏制氢等新行业新业态的成熟，促进光伏发电的发展。“十四五”时期，我国新能源装机将呈现倍速增长，转型任务十分艰巨。要确保做到 2025 年形成以清洁能源为主，加强建设“三色三强三优”世界一流清洁能源企业奠定坚实的基础。更是提出“两线两化”的战略布局，为祖国西北和东南两线插上一双绿色的能源翅膀，突出基地化、规模化、一体化发展模式，为海上风电发展探索一条精准化发展之路。



除了国家正在制定的扶持政策外，多个省市陆续出台的“十四五”规划和 2035 年远景目标中，也写入了清洁能源、可再生能源、光伏、风电、氢能、新能源汽车等关键词，奠定了未来 5-10 年的能源发展基调。（摘自 2021 年中国及 31 省市光伏行业政策汇总与解读）

过往十年，中国的光伏产业可谓经历了跌宕起伏。2011-2012 年间，美国和欧盟相继对中国的光伏行业征收高幅度的“反倾销”和“反补贴”税，中国光伏产业面临 10 年来的最大困境；在 2013 年 7 月我国出台了《国务院关于促进光伏产业健康发展的若干意见》（国发〔2013〕24 号）后，光伏产业正式列入全球能源科技和产业的重要发展方向，是具有巨大发展潜力的朝阳产业，也是我国具有国际竞争优势的战略性新兴产业，提出“要坚定信心，抓住机遇，开拓创新，毫不动摇地推进光伏产业持续健康发展”。随后，中国光伏产业应用市场快速在国内启动，光伏产业进入新一轮快速发展。受益于国内积极的政策环境，数年间我国的光伏新增装机和累计装机迅速飙升，在全球遥遥领先。2018 年光伏新政出台，给高速狂飙的行业来了个急刹车，自此开始由高速发展向高质量发展转变；2020 年，一场“黑天鹅事件”不期而至，国内复工复产延迟，海外出口面临重重阻碍，光伏产业将会进入一个新的历史阶段，进入技术引领、跨界合作、协同发展的新时代。

（二）光伏材料制造行业调研

1、中国光伏产业现状

制造行业处于光伏产业中上游，主要是指晶硅制备（拉棒）、硅片切割（切片）、光伏电池生产及光伏组件生产环节。在经历了初期发展和成长期之后，目前



我国光伏产业逐渐成长为年产值超过 4000 亿元的新能源产业，并逐步达到了产业规模全球第一、生产制造全球第一、技术水平全球第一和企业实力全球第一的全面领先水平，是我国为数不多的在国际上具有主导优势的战略新兴产业。（来源于 CPIA）

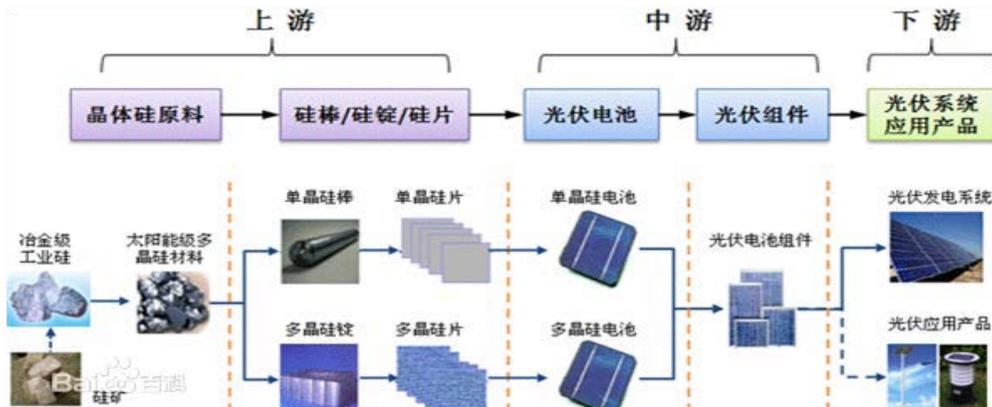


图 1 光伏产业链示意图

（1）光伏产业规模现状（摘自光伏产业发展路线 2020）

产业规模持续扩大：“十三五”期间，产业规模持续扩大，我国光伏产业制造段实现翻倍增长，制造端四个主要环节实现两位数增长。2020 年，全国多晶硅产量达 39.2 万吨，同比增长 14.6%。其中，排名前五企业产量占国内多晶硅总产量 87.5%，其中 4 家企业产量超过 5 万吨。连续 10 年位居全球首位；硅片方面，2020 年全国硅片产量约为 161.3GW，同比增长 19.7%。其中，排名前五企业产量占国内硅片总产量的 88.1%，且产量均超过 10GW。晶硅电池片方面，2020 年，全国电池片产量约为 134.8GW，同比增长 22.2%。其中，排名前五企业产量占国内电池片总产量的 53.2%，其中前 4 家企业产量超过 10GW。全国组件产量达到 124.6GW，同比增长 26.4%，以晶硅组件为主。连续 14 年位居全球首位。

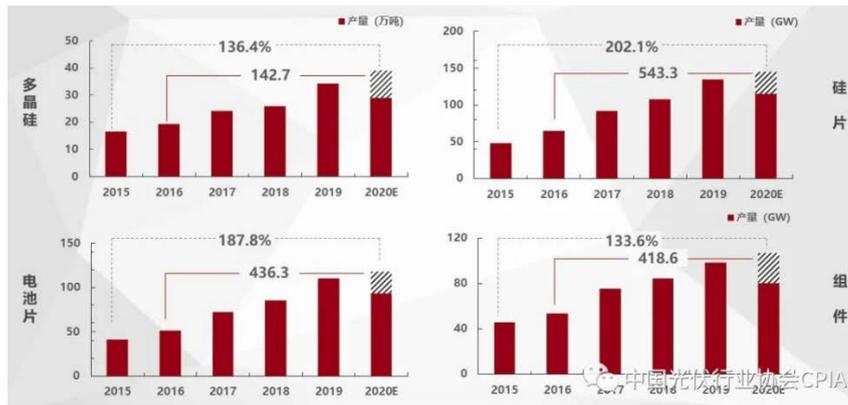


图 2 2015 年-2020 年光伏产业制造段产量数据 (截至 2020 年, 来源 CPIA 王勃华报告)

应用市场恢复性增长：根据国家能源局统计数据显示，2017 年，我国光伏发电新增装机容量为 53.06GW，创造历史新高。2018 年开始，我国光伏产业开始由高速发展向高质量发展转变。2020 年，我国光伏新增和累计装机容量继续保持了全球第一，国内光伏新增装机规模达 48.2GW，连续 8 年位居全球首位，创历史第二新高，同比增长 60%，特别是集中式电站同比增长了近 83%；截至 2020 年底，光伏累计并网装机量达 253GW，同比增长 23.5%，连续 6 年位居全球首位。全年光伏发电量 2605 亿千瓦时，同比增长 16.2%，占我国全年总发电量的 3.5%，同比提高 0.4 个百分点。

技术创新活跃：十三五期间，光伏产业技术迭代更新迅速。2020 年是中国光伏行业的关键年，技术革新与产品升级不断涌现。多晶硅方面：从 2015 年到 2020 年底，行业主流技术任然以改良西门子法为主，2015 年多晶硅关键技术还原炉主流技术为 18 对棒—36 对棒。到 2020 年，行业普及水平为 40 对棒以上；冷氢化能力提升 2-3 倍，多晶硅产品品质提升为太阳能 1 级到电子级 3 级；硅片方面：单晶炉投料量提升 5 倍，成本进一步降低；2018 年金刚线切割完全替代传统的砂浆切割，硅片成本降低、质量提高、更具有环保性，硅片产品向薄片化、大硅片方向发展；电池方面：2016 年 perc 电池市场占比为 19.5%，其中单晶电池市场占比为 9%，量产平均效率为 20.5%；到 2020 年 perc 电市场占比为 90.2%，超过替代铝背场晶硅电池 (BSF 电池)。单晶



硅产品市场占比为 78.9%，反超多晶硅产品。单晶 perc 电池量产平均效率达到 22.8%，部分领先企业产品效率超过 23%。2020 年，光伏组件功率从 2016 年的 250W 提升到 450W+，行业目前的产线上采用的技术是 MBB+半片技术。应用段来说，逆变器向智能化，高功率化发展。



图 3 光伏产业技术迭代图（截至 2020 年，来源 CPIA 王勃华报告）

实验室方面，2020 年 4 月，晶科研发的多晶硅（Multicrystalline）电池片实验室效率达到 23.3%，并被收录于 NREL 电池片转换效率纪录表中，随后阿特斯宣布将该效率提高至 23.81%。7 月，晶科宣布其研发的 N 型单晶硅单结电池片效率达到 24.79%，2021 年 1 月，将该纪录再次刷新到 24.90%，创造了新的大面积 N 型单晶钝化接触电池片效率世界纪录。我国除了在晶硅电池技术方面领先全球外，钙钛矿、有机电池等电池片实验室效率也走在世界前列，2020 年 7 月，杭州纤纳光电以 18.04%的钙钛矿小组件光电转换效率的成绩，第七次蝉联了钙钛矿小组件世界纪录榜首。目前 NREL 电池片转换效率纪录表中，除晶科的多晶硅电池片外，上海交大/北航、中科院化学所和汉能分别研发的有机电池、有机叠层电池和薄膜电池仍保持着世界纪录。（摘自中国光伏行业 2020 年回顾与 2021 年展望）



2、中国光伏产业发展趋势调研

中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中指出，广泛形成绿色生产生活方式，碳排放达峰后稳中有降，生态环境根本好转，美丽中国建设目标基本实现。2020年9月习近平主席提出力争2030年前实现“碳达峰”，2060年前实现“碳中和”的目标。2020年中央经济工作会议明确将做好碳达峰、碳中和工作列为今年八项重点任务之一。2021年上半年，在全行业的共同努力下，中国光伏产业克服重重困难、继续取得优异成绩，产业链各环节增长显著。从2021年第一季度来看，国内的光伏行业发展态势良好。从生产端看，2021年一季度，我国多晶硅产量超过10万吨，同比增长4%，组件产量超过30GW，同比增长超40%，新增装机量同比增幅也在40%以上。从应用端看，根据能源局发布的1-3月份全国电力工业统计数据，光伏累计装机量达到259GW，新增装机约为5.33GW，同比增长35%。。另一方面也要看到，我国光伏产业发展仍然面临内外诸多挑战：同质化竞争比较严重，基础研发有待提升，前瞻技术储备相对不足，供应链协同亟待加强，发电消纳面临诸多挑战，国际贸易环境依然复杂等。未来光伏产业发展存在着挑战，更充满了机遇。习近平总书记提出了碳达峰碳中和的宏伟目标，以及到2030年风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿千瓦以上的具体目标，为光伏产业指明了前进方向。产业将呈现持续增长的趋势，人才的培养明显滞后于产业的增长。长期看光伏市场潜力巨大，是国家朝阳性战略性新兴产业，光伏材料制备技术人才培养有广阔的市场前景。



图 4 光伏全产业链降本和技术发展方向 (来源正泰新能源网络资料)

多晶硅硅料环节：行业技术方面“降本、增效”任然是不变主题，尤其是技术竞争将进一步加剧，未来 10 年，改良西门子法任是高纯多晶硅的主流技术，硫化床颗粒硅的市场份额会增加。改良西门子法技术中，冷氢化平均电耗到 2030 年有望下降至 4.7kWh/kg-Si 以下。技术进步的手段包括反应催化剂的开发、提高工艺环节中热能回收利用率、提高反应效率等，预计未来冷氢化电耗仍将稳步下降。还原技术随着气体配比的不断优化、大炉型的投用和稳定生产、以及单晶厂家对于菜花料的试用，还原电耗仍将呈现持续下降趋势，到 2030 年还原电耗有望下降至 44kWh/kg-Si；水耗方面，预计到 2030 年，通过余热利用降低蒸发量，精馏塔排出的物料再回收利用降低残液处理水耗等措施，可将耗水量控制在 0.09t/kg-Si 的水平。蒸汽耗量，在新疆等寒冷地区蒸汽耗量较其他地区高。随着企业还原余热利用率提升、提纯、精馏系统优化等，2030 年企业蒸汽耗量将降至 18kg/kg-Si。

切片环节：拉棒方面直拉单晶继续进行技改，RCZ、CCZ、均匀掺 Ga、热场优化等方面。单晶拉棒电耗是指直拉法生产单位合格单晶硅棒所消耗的电量，可



以通过改善热场、保温性能、提升设备自动化、智能化程度、提高连续拉棒技术等方法，降低拉棒生产电耗预计到 2025 年，有望下降至 21.4kWh/kg。主要是由于多晶硅片市场需求减缓，企业技改或系统升级动力不足，铸锭炉机型仍以 G7 系统为主，预计未来铸锭电耗下降也将呈持续放缓趋势。拉棒单炉投料量是指一只坩埚用于多次拉棒生产的总投料量，其中坩埚使用时间为关键因素之一。随着坩埚制作工艺、拉棒技术的不断提升以及坩埚使用的优化，投料量仍有较大增长空间。

硅片方面：切片仍以金刚线切割为主流，向更细的金刚线、更薄、更大的硅片技术方向发展。薄片化有利于降低硅耗和硅片成本，但会影响碎片率。目前切片工艺完全能满足薄片化的需要，但硅片厚度还要满足下游电池片、组件制造端的需求。硅片厚度对电池片的自动化、良率、转换效率等均有影响。随着硅片尺寸的增大，硅片厚度下降速度将减缓。切割线母线直径及研磨介质粒度同硅片切割质量及切削损耗量相关，较小的线径和介质粒度有利于降低切削损耗和生产成本。2020 年，金刚线母线直径为 48-57 μm ，用于单晶硅片的金刚线母线直径降幅较大，且呈不断下降趋势。由于多晶硅片中缺陷及杂质较多，细线容易发生断线，因此用于多晶硅片的金刚线母线直径大于单晶硅片，且随着多晶硅片需求减缓，用于多晶硅片的金刚线母线直径降幅趋缓。



图 5 (a) 不同类型高纯多晶硅市场占比预测 (b) 不同类型硅片市场占比预测



图 5 (c) 不同电池市场占比变化

(d) 不同组件市场占比变化

电池方面：PERC 技术仍为电池片企业的技术主流。N 型电池（主要包括异质结电池和 TOPCon 电池）未来市场份额增大，未来随着生产成本的降低及良率的提升，N 型电池将会是电池技术的主要发展方向之一。江苏中来、天津中环筹等企业加速布局

N 型电池领域。HIT 电池开始加速产业化，晋能、隆基、通威等企业开始推动 HIT 电池产业化生产。数字化、智能化的产业升级改造也开始加速，行业超常的技术进步和产业升级对光伏材料制备技术的人才培养提出了新的要求。

组件方面：半片组件市场份额仍然最大，叠瓦组件的市场占比增加，高功率组件、双面组件是未来的发展方向。未来几年，随着技术的进步，各种类型组件功率基本上以 $\geq 5W/$ 年的增速向前推进。（摘自 2020 年中国光伏产业发展路线图）

3、全球光伏行业发展调研

自 2015 年，美、英、德、日、瑞士、印度各国纷纷出台相应的太阳能光伏产业政策以来，全球光伏的市场化的需求正在兴起。系统投资与度电成本均在过去 2 年实现了较大幅度的下降。组件从 2016 年年初 55 美分/瓦快速降至 2017 年 34 美分/瓦，系统投资成本也从 7.5 元/瓦下降至 6-6.5 元/瓦。2017 年第一季度，部分国家光伏上网招标电价中已经出现了 24.2 美分/kwh 的招标电价；此外，BNEF 测算的光伏成本已经低于火电成本。市场化需求在全球范围内出现了



明显的上升，长尾效应逐步体现，小国聚沙成塔。以智利为例，在没有补贴的情况下，每年新增 700-1000MW。

在我国宣布碳中和目标后，日本、韩国等国家相继作出碳中和承诺，美国宣布重回《巴黎协定》，世界上大多数国家和经济体都已经做出了在 2050 年和 2060 年前后实现碳中和的承诺。国际应对气候变化行动全面加速，推动能源转型，扩大可再生能源的应用是一个全球性的趋势。根据 IHS Markit 的最新 2020 年全球光伏（PV）需求预测，未来十年，全球太阳能安装量将继续保持两位数的增长率。2020 年全球新增太阳能光伏装机将达到 142 吉瓦，比上一年增长 14%。IHS Markit 2020 全球光伏需求预测中的区域要点。中国将继续保持领先地位，成为太阳能装置的整体领导者。但是这十年将看到东南亚，拉丁美洲和中东出现新的市场。

中国：2020 年的太阳能需求将低于 2017 年 50GW 的历史安装高峰。随着市场向无补贴的太阳能发展并与其他发电方式竞争，中国市场的需求处于过渡阶段，明年将公布第十四个五年计划，等待期间存在一些不确定性。

美国：预计安装量将在 2020 年增长 20%，巩固美国作为全球第二大市场的地位。加利福尼亚州，德克萨斯州，佛罗里达州，北卡罗来纳州和纽约州将成为未来五年美国需求增长的主要推动力。

欧洲：在 2019 年的安装量几乎翻了一番之后，预计欧洲在 2020 年仍将持续增长，增量超过 24GW，比 2019 年增长了 5%。西班牙，德国，荷兰，法国，意大利和乌克兰将是主要的需求来源，占来年欧盟总安装量的 63%。

印度：由于政策不确定性和进口关税对太阳能电池和组件的影响，在 2019 年表现平平之后，装机量预计将再次增长，并在 2020 年超过 14 吉瓦。（相关报



告：IHS：2020年全球光伏预计新增装机 142GW)

(三) 光伏材料制造企业调研

课题调研组针对目前国内一流光伏材料制造企业从技术先进性、地域的分布方面选择了位于江西的晶科新能源科技有限公司、位于江浙的海润光伏科技股份有限公司、正泰新能源科技有限公司、位于四川成都的通威太阳能科技有限公司几家大型企业以及中小型新能源科技有限公司开展了实地调研。调研内容主要包括员工规模、企业主要产品、公司未来人才需求、薪酬、工作岗位的基础性调研，以及针对人才培养应具备的知识、能力、综合素质调研。

1、光伏领域职业岗位设置情况及行业人才结构现状调研

从企业调研情况看，经历了两轮行业的调整重组后的光伏材料制造企业都呈现规模化、智能化发展，课题组重点开展了以下调研。

(1) 企业组织机构设置调研

(2) 企业技术岗位设置调研

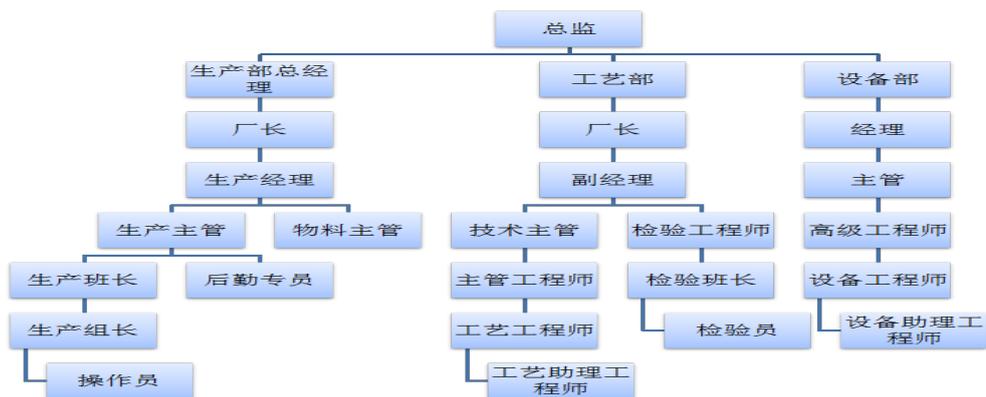


图 6 企业组织机构图



表 2 光伏行业岗位设置统计表

晶体硅拉棒铸锭 岗位	硅片制备岗位	晶硅太阳能电池制备岗 位	光伏组件制造岗 位	薄膜制备电池制备岗 位
研发	硅片工艺	光伏电池工艺	光伏组件工艺	薄膜电池研发
工艺	硅片质量	光伏电池质量	光伏组件质量	薄膜电池工艺
质量	硅片生产	光伏电池生产	光伏组件生产	薄膜电池质量
设备	硅片研发	光伏电池研发	光伏组件研发	薄膜电池设备
生产	硅片检验	光伏电池检验	光伏组件检验	薄膜电池生产
检验	硅片销售	光伏组件销售	光伏组件销售	薄膜电池检验
销售	硅片设备	光伏组件设备	光伏组件设备	薄膜电池销售
其他	其他	其他	其他	其他

(3) 行业人员结构现状调研

从调研企业数据看，目前企业人员数量最多的是高职高专学历员工，占比为 55.5%；其次是中职学历员工，占比为 35.6%；本科及以上学历员工占比为 15.9%；企业现有员工学历层次不高。未来需求员工数量最多的是高职高专学历人员，占比为 47.9%；其次是本科及以上学历人员，占比为 39.5%。中职学历需求占比为 12.6%，需求量最少。从同学历人员需求增量变化看，未来 5 年需要的本科及以上学历人员是同学历人员的 63.3%，高职专科人员需求是同学历人员的 37%，中职人员需求是同学历人员的 19.4%。从分析可得：(1) 中职学历人员未来 5 年需求量和同学历增量降低。(2) 高职专科学历人员未来 5 年需求量最大，但是同学历增量不大。(3) 本科以上层次人员未来 5 年需求量增大，同学历增量最大，表明未来光伏材料企业学历层次变高，开始高质量发展道路。

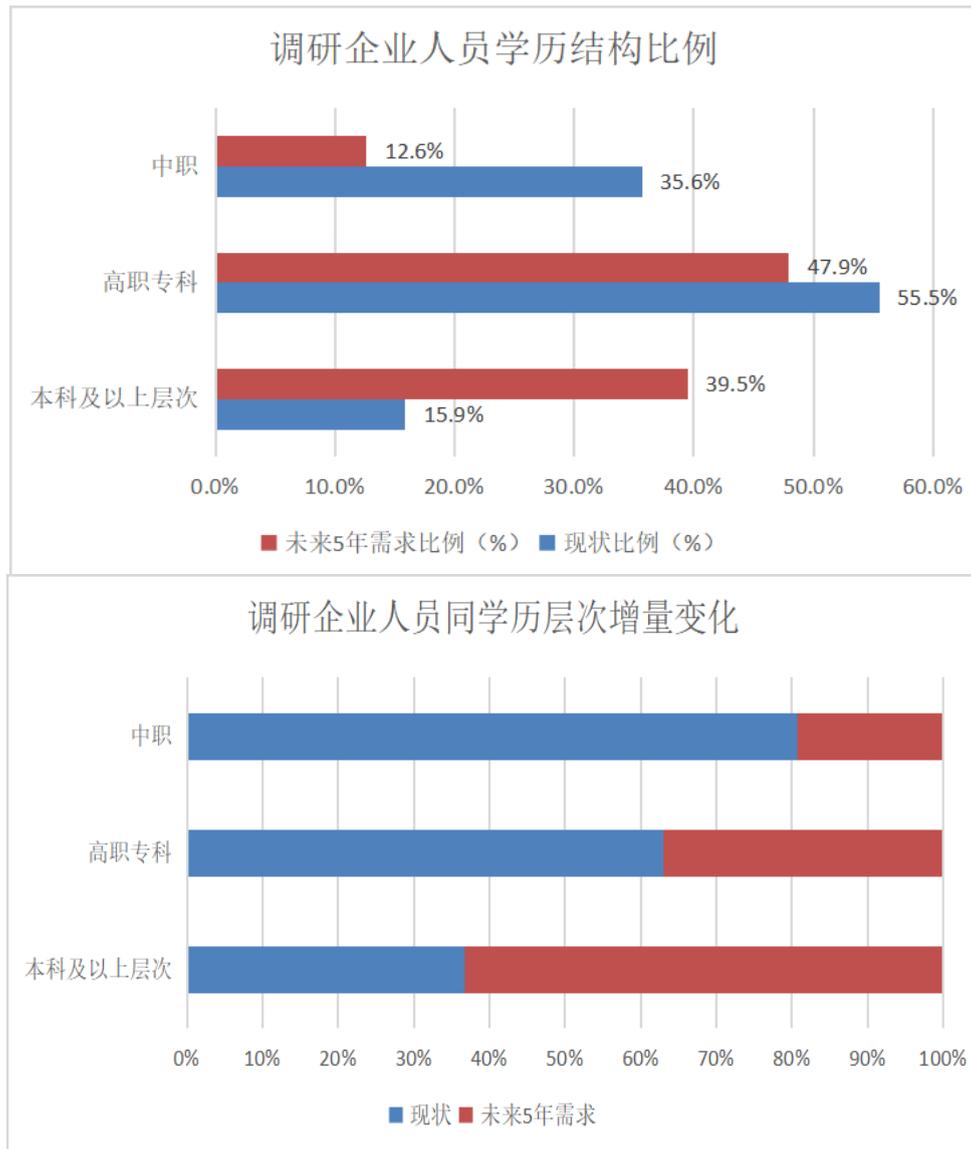


图 7 行业人员结构调研结果图

2、企业技术人才的知识、能力、素质调研

产业化技术方面，截止 2020 年底，多晶硅生产综合电耗已降至 66.5kWh/kg-Si，单炉致密料占比提升为 70%-80%；硅片方面，单晶炉单炉投料量提升至 1900kg，较 2019 年的 1300kg 有大幅提升；158.75mm 和 166mm 尺寸占比合计达到 77.8%，182mm、210mm大尺寸硅片正在逐步进入市场；晶硅电池方面，规模化生产的 P 型单晶电池均采用 PERC 技术，平均转换效率达到 22.8%，较 2019 年提高 0.5 个百分点，先进企业转换效率已达到 23%；



组件方面，166mm、72 片单晶 PERC 组件主流功率为 450W。

2021 年是“十四五”规划的开局之年，也是我国光伏发电进入平价上网的关键之年。将以推动我国太阳能产业化技术数字化、智能化升级为目标，推进全产业链的原辅材、产品制造技术、生产工艺及生产装备国产化水平提升。光伏发电重点支持 PERC 技术、N 型单晶等高效率晶体硅电池、新型薄膜电池的产业化以及关键设备研制；太阳能热发电重点突破高效率大容量高温储热、高能效太阳能聚光集热等关键技术，研发高可靠性、全天发电的太阳能热发电系统集成技术及关键设备。

表 3 企业典型岗位群、职业能力分析表

核心工作岗位	职业能力要求
单晶硅制备	<ol style="list-style-type: none"> 1 能正确识别工艺加工单，明确应承担的加工任务 2 能判断硅芯质量是否符合要求 3 能进行线圈的拆装 4 能判断预热环的质量 5 能对原料进行分类 6 能正确配制腐蚀液 7 能对硅料进行腐蚀、清洗和烘干 8 能进行皮肤上溅着腐蚀液的应急处理
铸锭多晶硅制备	<ol style="list-style-type: none"> 1 能按操作规程安全地进行拆炉、取晶体、清炉和装炉等操作 2 能按操作规程进行抽真空和熔化料的操作 3 能按工艺要求进行引晶、放肩、转肩等直径控制、收尾和停炉冷却等操作 4 能进行原料挂边、搭桥和硅跳的判断及处理 5 能对原料结晶的原因进行分析及故障排除 6 能进行回熔、提肩和取棒操作 7 能进行热场的拆、装和清洁工作 8 能清除真空管道内的氧化物 9 能按操作规程进行粘渣提盖操作 10 能分析塌升、塌转和籽晶轴升降不稳的原因。 11 能识别热场装配图并进行热场装配



硅片加工	<ol style="list-style-type: none"> 1 能正确识别工艺加工单，明确应承担的加工任务 2 能判断硅片制备各工序中产品质量是否符合要求 3 能对原料进行分类 4 能进行简单的设备维护 5 能处理常见异常情况 6 能正确配制腐蚀液 7 能对硅料进行腐蚀、清洗和烘干 8 能进行皮肤上溅着腐蚀液的应急处理
晶体硅太阳电	1 具有安全使用盐、硫、硝酸、氢氟酸、磷酸、冰乙酸、氢氧化钠、氯化钠、纯

核心工作岗位	职业能力要求
池片生产	<ol style="list-style-type: none"> 水制备的能力； 2 具备硅片清洗腐蚀剂配制和安全操作能力； 3 具备扩散源的正确使用和防护能力； 4 具有等离子刻蚀和化学气相沉积设备的安全操作能力； 5 具有丝网印刷机操作和烘干炉及烧结炉的参数设置和操作能力； 6 具有使用测试分选机操作并具有数据分析能力。
光伏组件生产	<ol style="list-style-type: none"> 1 具备电池组件电极正确焊接能力； 2 具有操作层压设备和中间测试能力； 3 具备层压机参数设置和具体操作能力； 4 具有层压、封装材料基本知识； 5 具有组件封装机和维修能力； 6 具备操作使用光伏组件模拟器测试组件伏安特性能力； 7 具有安全用电能力； 8 具有电器元件正确装接的知识； 9 具有电器元件的电路原理知识。
产品检验与测试	<ol style="list-style-type: none"> 1 具备正确使用测试仪器、设备能力； 2 具有硅片、电池片、组件检测标准及测试条件知识； 3 具有测试结果进行分析和判断能力； 4 具备应对突发事件及处理能力。
品质控制与管理	<ol style="list-style-type: none"> 1 了解质量管理的基本概念和发展过程； 2 树立品质管理意识； 3 基本理解八项质量管理基本原则； 4 通掌握基于自动化光伏材料制造产线上来料、制程和出货的质量控制所需的知识和技能，能运用基本的七种质量管理工具对光伏制造企业开展 SPC 管控分析，并能开展有效的质量改进。 5 掌握 ISO9000 标准的应用要求； 6 能具备参与编制质量管理体系文件的能力；了解质量管理体系内部审核的基本概念与实施过程。



表 4 光伏材料企业最看重员工的知识、技能、素质统计表

分类	排序 (非常重要★★★重要★★一般重要★)	
知识	来料、制程和成品质量检测、控制与改善方面的知识	★★★
	生产工艺过程、工艺改进的原理知识	★★★
	生产设备结构及工作原理方面的知识	★★★
	硅材料理化、太阳能电池发电基础理论知识	★★★
	安全生产知识、劳动保护及环境保护方面的知识	★★★
	电工电子、PLC 控制的基本知识	★★★
	行业新技术方面的知识	★★★
	思想政治理论、科学文化基础知识	★★
	光伏最新的国家政策及国家标准	★★
	自动控制原理方面的知识	★★
	硅材料、晶硅电池、光伏组件、电站制造方面的知识	★★
	信息化、数字化、智能化相关知识	★
	专业相关的法律法规	★
技能	具有数据录入、处理和分析能力	★★★
	具备产品质量检测、控制与改善的能力	★★★
	具备工艺调试、运行和改进能力	★★★
	具备生产、工艺和质量异常识别、排查和处理能力	★★★
	探究学习、终身学习和分析解决问题能力	★★★
	具备工艺、设备、人员安全管理与隐患处理	★★★
	具备工程图纸识读与计算机辅助绘图能力	★★
	具备计算机办公与信息检索能力	★★
	具备生产一线的组织协调与现场管理能力	★★
	具备设备管理、运维和安全隐患排查能力	★★
	自动化控制技能	★★
	具备交流沟通与应用写作能力	★★
素养	吃苦耐劳, 诚信友善, 勇敢坚韧, 敢于担当的品质	★★★
	具有安全意识、环境意识、成本意识和法律意识	★★★
	人格完整, 心态健康, 具有较好自控力	★★★
	良好的执行能力	★★★
	积极主动的工作态度和团队协作精神	★★★
	正确的政治方向, 正确的世界观、人生观和价值观	★★★
	具有健康的体魄和良好的身体素质, 能适应一线工作	★★★
	良好的学习习惯	★★
	追求细节的工匠品质和不断创新的工匠精神	★★
	具有良好的信息素养	★★
	热爱劳动	★★
英语阅读与应用能力	★	



有一定的审美和人文素养，能够形成 1~2 项艺术特长或爱好	★
-------------------------------	---

表 5 光伏材料企业最看重专业课程、毕业生特色及职业资格证书统计表

分类	排序 (非常重要★★★重要★★一般重要★)	
课程	光伏材料理化实用基础	★★★
	晶体硅太阳能电池生产技术	★★★
	光伏组件生产技术	★★★
	光伏材料检测技术	★★★
	电力电子技术	★★★
	电气控制与 PLC 可编程控制器	★★★
	机械制图及 CAD	★★
	光伏物理	★★
	光伏企业质量控制与管理	★★
	光伏组件生产技术实训	★★
	班组建设与 QC 活动	★★
	电工技能实训	★★
	晶体硅制备技术	★★
	EHS 企业管理	★★
	信息化技术基础	★★
	硅片加工技术	★★
	大数据技术	★
	python 开发	★
光伏专业英语	★	
毕业生特色	吃苦耐劳	★★★
	工作态度主动、执行力强	★★★
	具有突出的自我学习的素质和发展的潜质	★★★
	强烈的职业道德感与社会责任感	★★★
	能适应多个岗位	★★
	对单位高度忠诚	★★
	能直接上岗	★★
	能在企踏实工作 3 年以上	★★
拥有行业类从业资格证或职业技能等级证	★	
职业资格证书	电工证	★★★
	光伏组件制造工证书	★★★
	英语等级证书 (4 级)	★★
	计算机证书	



(四) 院校调研

课题组重点对开办过光伏材料制备技术专业的高职院校进行了专业人才培养调研。光伏材料制备技术专业高职层次的人才培养始于 2008 年，由乐山职业技术学院、江西新

余冶金专科学校（现新余学院）两所高职院校率先在全国开设。历经行业跌宕起伏，院校的人才培养也起起伏伏，其中在行业调整最为艰难的 2010 年，有部分高职院校因招生困难暂停了此专业的招生，如四川省的成都职业技术学院、四川科技职业技术学院，开办的光伏材料制造技术专业就因招生困难停招。2013 年后随着光伏材料制造产业稳步增长，不断有新的院校包括本科院校也开办了光伏材料科学工程的本科生和研究生培养，如四川大学、浙江大学、上海交通大学、中南大学等，也有新的高职院校顺应本地光伏产业的需要新开了光伏材料制备技术专业。目前在全国已基本形成以光伏材料制备技术领域研究生、本科生、高职专科的人才培养体系。2016 年有 22 所院校开办光伏材料制备技术专业，2017 年只有 19 所高职高专院校开了光伏材料制备技术专业。其中云南国防工业职业技术学院、江西工业工程职业技术学院、滁州职业技术学院停招了该专业。2017 年的 19 所院校中，其中有三所院校由于学院升为本科院校，停招了专科层次专业，实际招收光伏材料制备技术高职专科层次的院校只有 16 所，2021 年调研的 16 所院校中，其中银川能源学院升为本科院校，停招了专科层次专业。锦州师范高等专科学校、酒泉职业技术学院和兰州职业技术学院 3 所学校因为其它原因停招。湖南理工职业技术学院专业调整为光伏工程（光伏材料方向）。截止 2021 年 7 月实际招收光伏材料制备技术高职专科层次的院校只有 11 所，共有在校生 4600 多人，每年毕业不到 2000 人。部分院校升为本科后从各院校光伏材料制



备技术专业人才培养的情况看，开办院校主要集中在光伏产业集中的江西、江苏和西部，体现了产业对接专业的高职办学理念。

表 5 高职院校光伏材料制备技术开设统计表（2021 年）

省份	学校代码	学校名称	年限	招生数	备注
山东省	14242	山东理工职业学院	3		
江西省	13873	赣西科技职业学院	3		
	12943	江西现代职业技术学院	3		
	14166	江西新能源科技职业技术学院	3		
江苏省	13107	徐州工业职业技术学院	3		
	13102	常州工程职业技术学院	3		
	11462	扬州市职业大学	3		
内蒙古自治区	12674	内蒙古机电职业技术学院	3		
山西省	12888	山西机电职业技术学院	3		
河北省	13072	河北化工医药职业技术学院	3		
湖南省	13923	湖南理工职业技术学院	3		光伏工程技术专业（光伏材料方向）
四川省	5168 和 5568	乐山职业技术学院	3		
合计		12 所			

1、各院校专业人才培养定位有较大偏差

在调研中，各院校由于 2015 年进行相关专业目录的调整，有些院校的光伏材料制备技术专业在原来的新能源应用技术专业的基础上改名调整过来的，各院校的人才培养规模和课程体系也有较大差别，如某院校光伏材料制备技术专业培养目标偏重于光伏发电技术应用专业，核心主干课程也是服务于光伏系统设计、安装调试与运维岗位。



2、各院校光伏材料制备技术专业规模偏小

各院校光伏材料制备技术专业规模总体不大，其中办学规模在 300 人以上只有乐山职业技术学院，其他院校专业规模 120-200 人之间。很多院校都将光伏材料制备技术作为重点学科来建设，其中本专业列入省级示范重点专业建设的院校有 10 所，光伏材料制备技术专业呈现小重专业特色，整体人才培养严重跟不上行业的人才需求。为寻求人才的支撑，企业主动对接高职院校，通过订单培养、定向培养的形式与高职院校合作共育人才。如山东理工学院、乐山职业技术学院、常州工程职业技术学院等。

3、从生源结构来看

从专业招生来看，生源主要来自于本省市，专业近三年的平均就业率>93%，就业专业对口率平均>90%，学生毕业时取得的职业资格证书为 1-3 个，参考并使用了现行的专业教学标准，专业开展校企深度合作的模式有：订单式培养模式、企业有投入、实习就业。专业教学内容方面会定期更新太阳能电池、光伏组件最新技术、工艺等方面的内容。

4、从人才培养方案来看

从各院校的人才培养模式来看，毕业最低总学分 135-165 分，专业总学时 2600-3000 学时；其中实践教学学时占总学时的 50.0%以上，校内实践教学学时中生产性实践学时占 30%左右，顶岗实习 460-624 学时；顶岗实习时间 18-24 周，开设专业及专业基础课门，其中专业核心技术课程 5-8 门。主要的专业核心课程光伏发电原理、晶体硅制备技术、晶体硅太阳能电池生产技术、晶硅组件生产技术、光伏材料检测技术。



从专业校内实训来看，各院校都开设了电工操作、光伏组件制备实训。

5、存在的问题主要有：

核心主干课程硅片加工工艺、电池制备工艺等课程缺乏实训条件；从事本专业的学生就业一般在生产一线，大部分学生吃苦耐劳能力不强，企业忠诚度不够，给招生和对口就业造成困难；如何实现校中厂、厂中校的对接，如何构建基于“五个对接”现代企业学徒制？现行教学标准的使用与建议：各院校之间的教学资源能够实现共享；开发光伏材料制备技术相关课程的仿真软件及相配套的教学标准，可以弥补专业实训资源缺乏的不足。

(五) 毕业生调研

1、毕业生对学校教育评价调研

(1) 学生工作的单位：绝大多数学生主要在民营企业工作，占比例为60.53%，其各类型如下图所示：

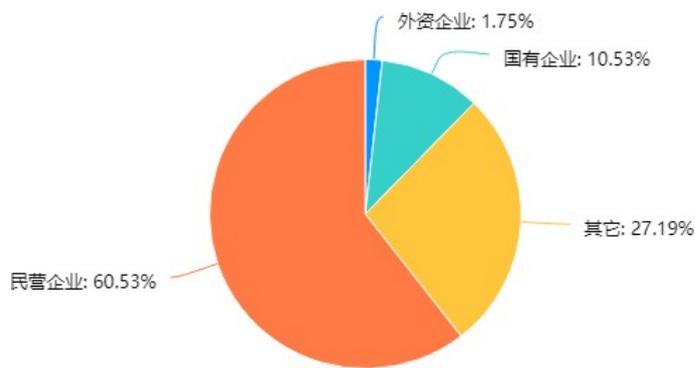


图 8 学生工作的单位

(2) 学生所在单位的员工人数：<500 人的企业占据 34.21%，>3000 人的企业占据 33.33%，学生主要在这两种类型的企业上班，具体数据如下图所示：

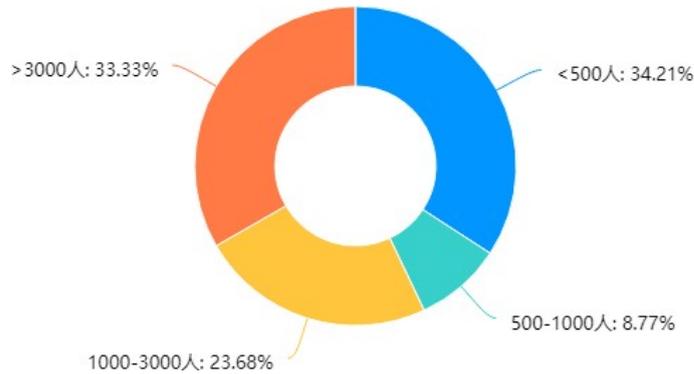


图 9 学生所在单位的员工人数

(3) 学生毕业后的薪资为：绝大多数学生工作待遇在 3000-5000 元之间，具体数据如下图所示：

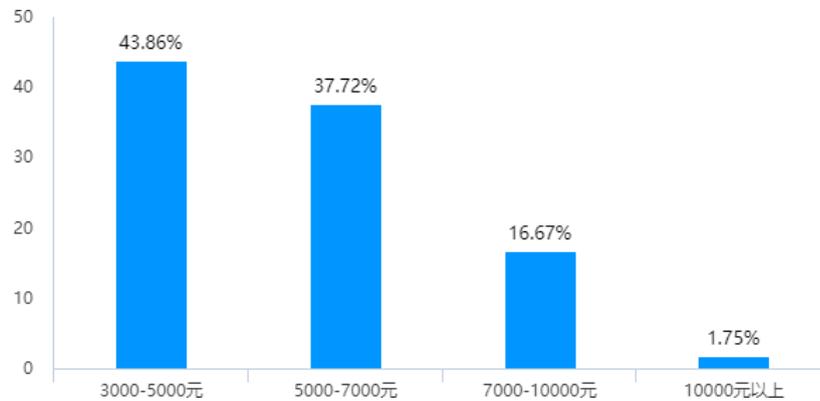


图 10 学生毕业后的薪资

(4) 学生毕业后就业的技术领域，绝大多数学生还是进入光伏产业链工作，根据字体大小来判断学生就业的技术领域如下图所示：



图 11 学生毕业后就业的技术领域

(5) 毕业生现从事岗位，绝大多数学生走向技术方向，大多数学生拿到助



理工程师证书，具体数据如下图所示：

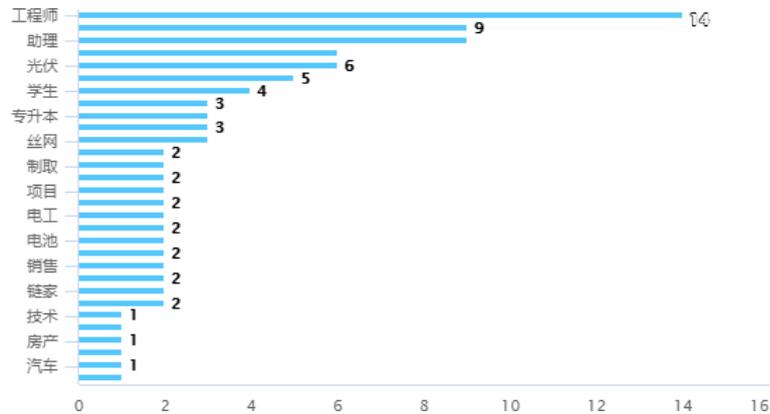


图 12 毕业生现从事岗位

(6) 毕业生在工作中遇到的主要困难，具体数据如下图所示：

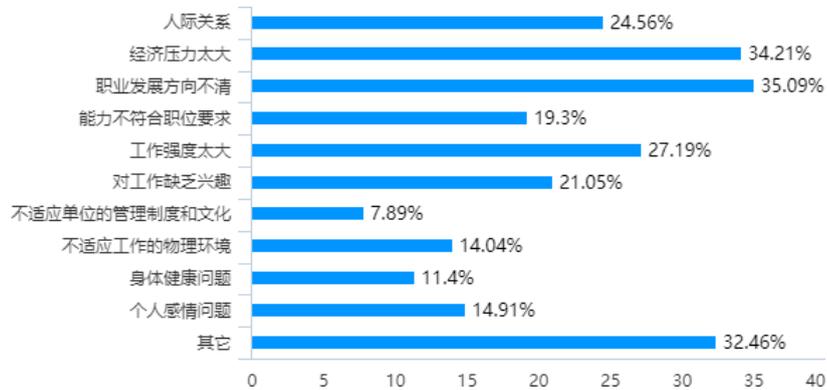


图 13 毕业生在工作中遇到的主要困难

(7) 毕业学生对学校的满意度，具体数据如下图所示：

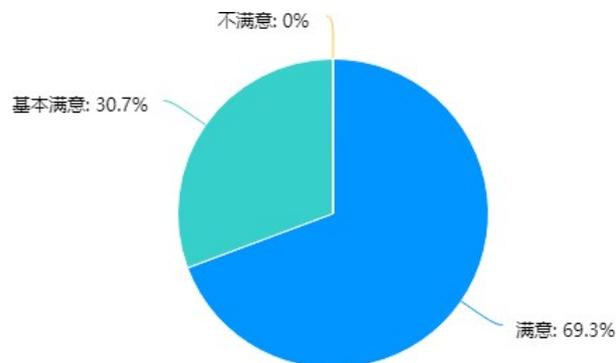


图 14 毕业学生对学校的满意度



(8) 毕业生是否愿意向亲朋好友推荐自己的学校，占 78.95% 的学生愿意推荐，具体数据如下图所示：

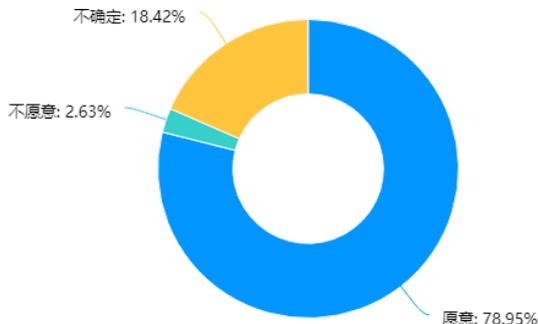


图 15 毕业生是否愿意向亲朋好友推荐自己的学校

(9) 养了学生哪方面的素质和能力，具体数据如下图所示：

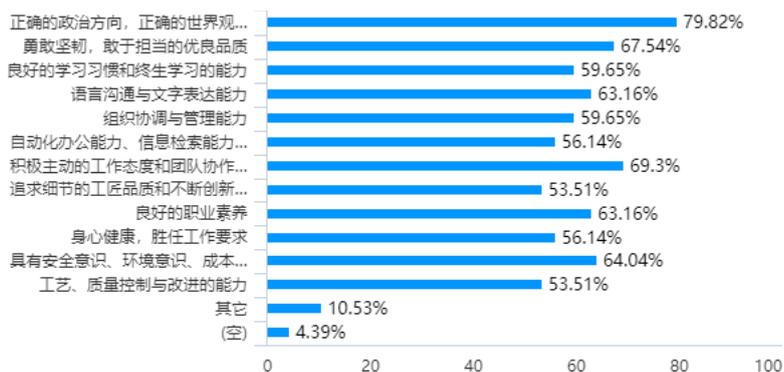


图 16 学校培养了学生哪方面的素质和能力

2、毕业生对教学工作的调研

(1) 哪些基础课程对学生的工作有帮助，具体数据如下图所示：

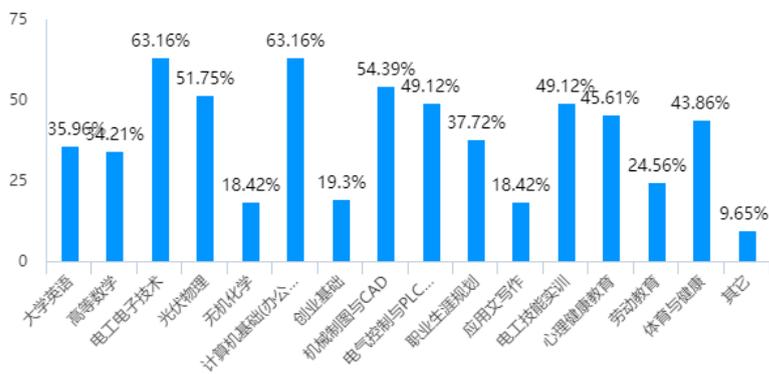


图 17 哪些基础课程对学生的工作有帮助



(2) 哪些专业课程对学生的工作有帮助，具体数据如下图所示：

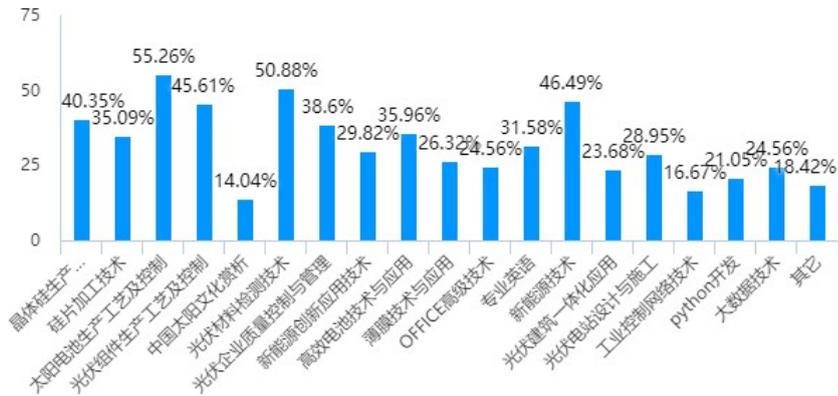


图 18 哪些专业课程对学生的工作有帮助

(3) 教学实践环节对学生的工作有帮助，具体数据如下图所示：

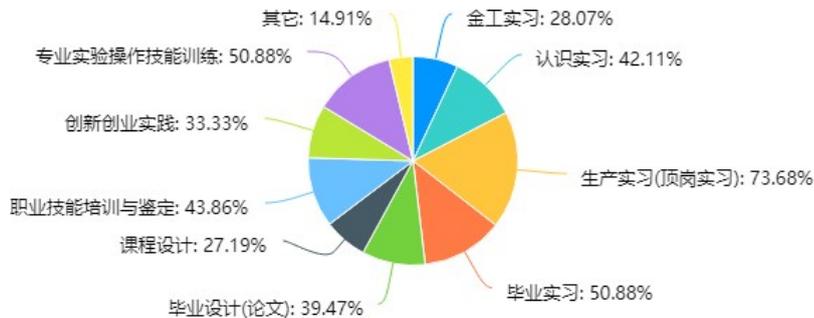


图 19 教学实践环节对学生的工作有帮助

(4) 毕业生希望学校重点培养学生哪方面的专业技能，具体数据如下图所示：



图 20 毕业生希望学校重点培养学生哪方面的专业技能

(5) 毕业生认为学生应具有哪些证书：(1) 计算机等级证书方面，具体数据如下图所示：

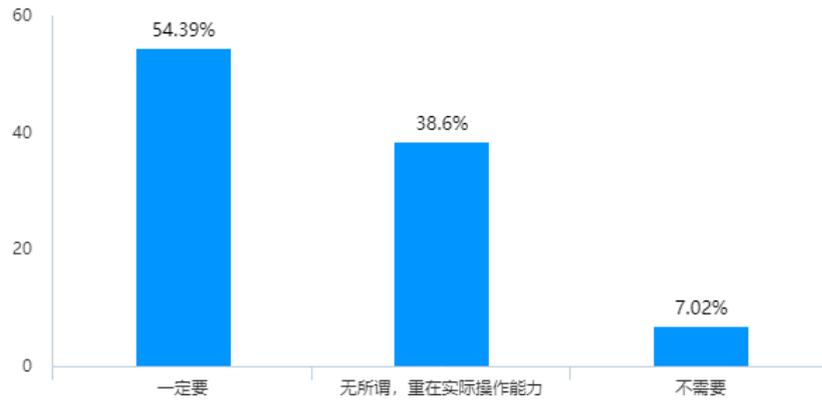


图 21 毕业生认为学生应具有哪些证书

(6) 毕业生认为学生应具有哪些证书：(2) 大学英语等级证书，具体数据

如下图所示：

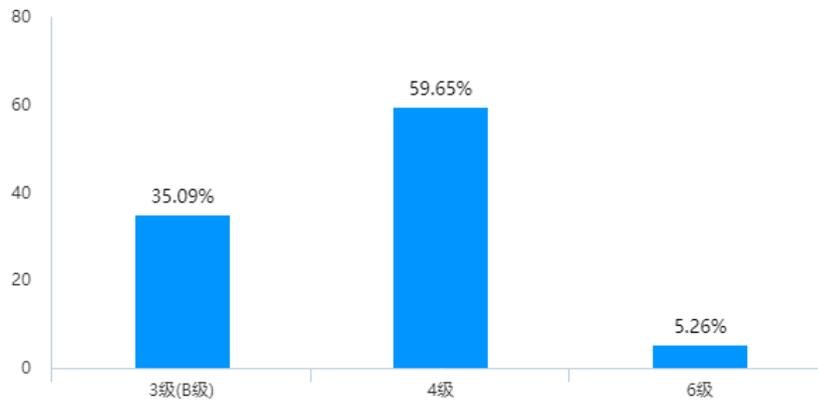


图 22 毕业生认为学生应具有哪些证书

(7) 毕业生认为学生应具有哪些证书：(3) 职业资格证书，具体数据如下

图所示：

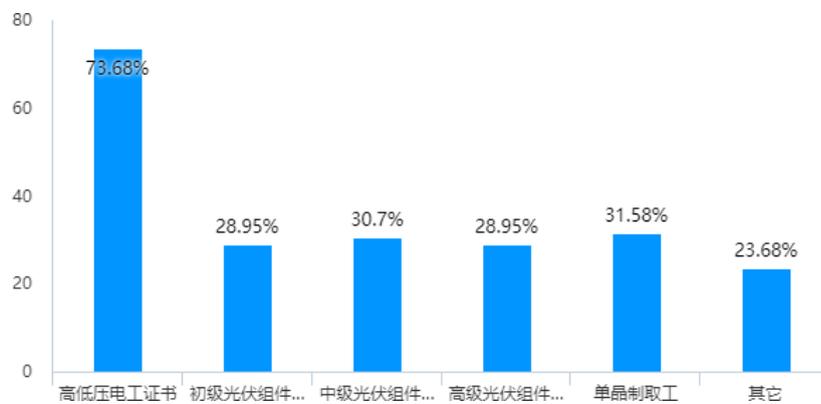


图 23 毕业生认为学生应具有哪些证书



(8) 毕业生认为哪些教学方法比较适合，具体数据如下图所示：



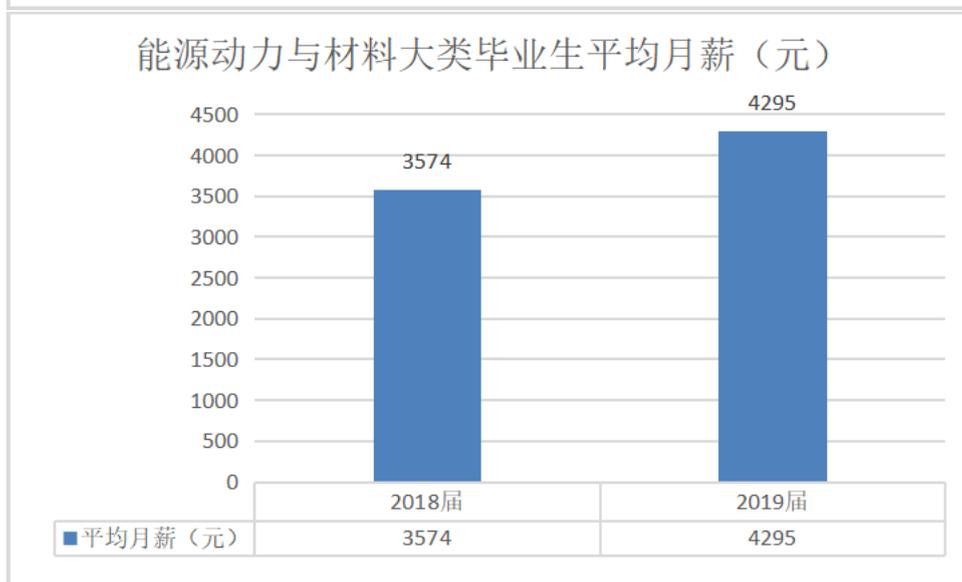
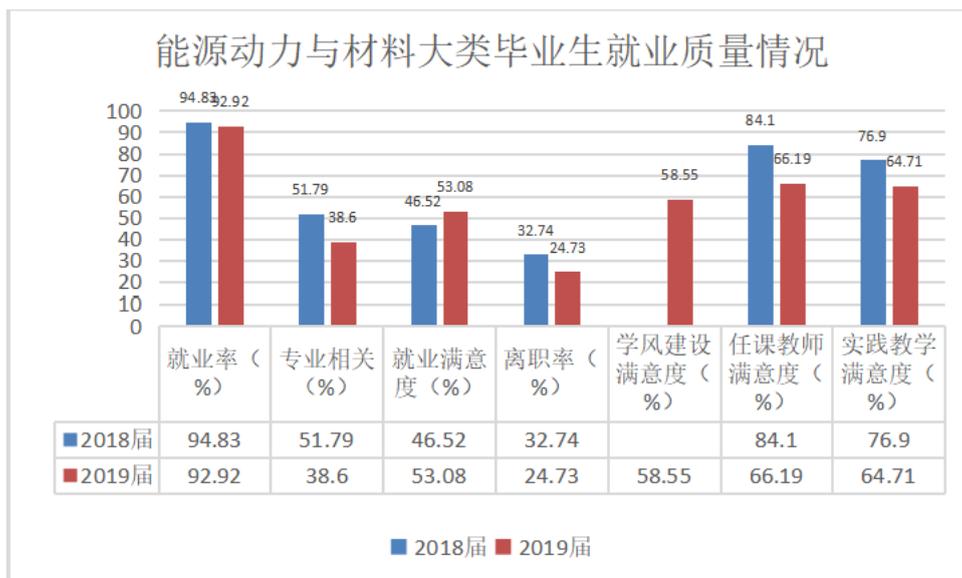
图 24 毕业生认为哪些教学方法比较适合

(六) 有关研究评价机构等调研

新锦城研究院发布的《大学生就业质量研究》2019、2020 报告中对能源动力与材料大类毕业生就业率、平均月薪、专业相关度、离职率和就业满意度、对母校人才培养等进行分析。

2019 届能源动力与材料大类专科毕业生就业满意度和月薪均高于 2018 届毕业生，离职率、就业率、就业专业相关和任课教师满意度、实践教学满意度均低于 2018 届毕业生。

2019 届毕业生就业率排名第 2 和平均月薪排名第 3 均靠前，离职率排名 12、专业相关度排名 14 和就业满意度排名 15 均靠后。其中，2019 届光伏材料制备技术专业毕业生就业满意度排名 12 (满意 67.31%、基本满意 28.25%、不满意 3.85%)，处于专业就业满意度前 50 名梯队。另外，实践教学满意度排名 10 居中，任课教师满意度排名 14，学风建设满意度排名 15 均靠后。目前，由于光伏材料产业专业人才的培养规模小，相关教育研究机构对该专业人才的评价资料较少，调研的样本较少等原因，数据仅供参考。



数据来源（新锦城研究院发布的《2019/2020 大学生就业质量研究》）

三、调研结果对专业教学标准修订的建议

（一）专业服务产业的定位

光伏产业链可分为以硅矿、多晶硅生产为主的产业上游，晶体硅制备、电池生产、组件制造环节的产业中游以及光伏发电应用推广为主的产业下游。本专业定位于产业中游，专业的就业岗位群主要包括硅片生产制造、多晶硅铸锭生产、单晶硅棒生产、晶硅太阳能电池生产设备操作与工艺控制、晶硅组件生产设备操作与工艺控制、光伏质量检测与分析及相关岗位。



(二) 培养目标

本专业培养德、智、体、美全面发展，践行社会主义核心价值观，具有一定的文化水平、良好的职业道德和人文素养，掌握本专业的基本知识和主要技术技能，面向光伏晶硅、光伏晶硅片和光伏晶硅电池制造，光伏组件与光伏产品设计与制造等技术领域，能够从事生产操作、工艺与控制、设备维护、光伏应用产品设计与技术服务等工作岗位，适应生产、技术、设备、服务一线需要的高素质技术技能人才。

(三) 培养规格

■ 素质

1、思想政治素质：热爱社会主义祖国，能够准确理解和把握社会主义核心价值观的深刻内涵和实践要求，具有正确的世界观、人生观、价值观，具有责任心和社会责任感。

2、文化素质：具有一定的人文艺术修养和必要的科学素养，具有合理的知识结构和一定的知识储备，具有不断更新知识和自我完善的能力，具有持续学习和终身学习的能力，具有一定的创新意识、创新精神及创新能力，具有良好的人际沟通能力。

3、职业素质：具有良好的职业道德与职业操守，具有较强的组织观念和集体意识，具有较强的执行能力和较高的工作效率，具有善于观察、用心思考、追求细节的工匠品质，具有克服困难、积极探索的工匠精神，具有安全意识、环境意识、成本意识和法律意识。

4、身心素质：人格完整，心态健康，具有较好自控力，能正确评价自己，具有发现克服缺点的能力。具有健康的体魄和良好的身体素质，拥有积极的人生态度，



具有良好的心理调适能力。

■ 知识

1、工具性知识

工具性知识包括通用英语阅读与写作基础知识、计算机基础知识、工具软件应用基础知识、识图与制图基础知识、数据检索基础知识等。

2、人文社会科学知识

人文社会科学知识包括文学素养、思想品德、职业规范、社交礼仪、法律常识、管理学常识、沟通与演讲技巧等。

3、自然科学知识

自然科学知识包括高等数学应用基础、概率与数理统计基础、物理学基础、化学基础等科学知识。

4、专业基础知识

- (1) 半导体硅材料晶体学基础知识；
- (2) 半导体材料物理与化学性能知识；
- (2) 太阳能发电原理知识；
- (3) 电工安全及电器设备的原理知识；
- (4) 光伏材料生产制备中强酸强碱的安全防护知识；
- (5) 最新的国家光伏政策等。

5、专业核心知识

- (1) 晶体硅晶向原理及热场原理知识；
- (2) 晶体硅生产制备工艺与流程知识；
- (3) 晶体硅片生产制备工艺与流程知识；



- (4) 晶硅太阳能电池生产制备工艺与流程知识;
- (5) 晶硅太阳组件生产制备工艺与流程知识;;
- (6) PLC 控制原理与控制方法的知识;
- (7) 光伏材料检测技术知识;
- (8) 质量控制与管理的知识;
- (9) 光伏材料生产设备的结构与工作原理方面的知识;
- (10) 国际、国内光伏行业标准等。

■ 能力

1、职业基本能力

- (1) 工程图纸识读与计算机辅助绘图能力;
- (2) 交流沟通与应用写作能力;
- (3) 计算与英语基础阅读、写作、交流能力;
- (4) 安全用电与电工基础操作能力;
- (5) 计算机办公与信息检索能力;
- (6) 危化品保管、安全使用及应急处理能力;
- (7) 组织协调与管理能力。

2、职业核心能力

- (1) 保持光伏单（多）晶棒（锭）、晶体硅片、晶硅电池、晶硅组件生产正常运行能力;
- (2) 生产优化与改进能力;
- (3) 生产原辅料、工装夹具的正确使用能力;
- (4) 生产过程监控与异常识别、排查、处理能力;



- (5) 数据记录、统计与初步分析能力；
- (6) 维持生产工艺稳定，管理现场工艺，保持生产畅通能力；
- (7) 设备正常运维、安全隐患排查能力；
- (8) 光伏产品的设计与开发能力。

3、主要的专业课程

为满足该专业人才培养至少应开设光伏发电原理及应用、光伏材料理化实用基础、晶体硅制备技术、硅片加工技术、太阳能电池生产技术、光伏组件生产技术、光伏材料检测技术、光伏企业质量管理等专业课程，其余课程各院校可根据自身的基础条件和人才培养需求增开。

4、人才培养中的建议

- (1) 加强终身学习体系的构建；
- (2) 注重院校、校企之间的资源整合；
- (3) 根据企业需求调整专业知识、技能、素养要求；
- (4) 思考如何构建虚实结合的实践实训条件；
- (5) 加强学习个人综合素质、综合技能的培养。

(四) 课程设置建议

主要包括公共基础课程和专业课程

1、公共基础课程一般包括思想政治理论课、军事课、大学语文、高等数学、公共外语、信息技术、体育、心理健康教育、职业生涯规划、职业指导、公共艺术、创新创业教育、职业素质教育、中华优秀传统文化等课程；还应开设国家安全、社会责任、节能减排、绿色环保、人口资源、海洋科学、金融知识、管理知识、劳动卫生、企业文化、行业发展趋势、国家政策解读等方面的课程或专题讲座（活动）。



2、专业课可包括专业基础课程、专业核心课程、专业拓展课程，并涵盖有关实践性教学环节。

专业基础课程应开设：光伏发电原理及应用、机械制图与 CAD、光伏材料理化实用基础、电工电子技术等。

专业核心课程应开设：晶体硅制备技术、硅片加工技术、太阳能电池生产技术、光伏组件生产技术、光伏材料检测技术、光伏企业质量管理等。

专业拓展课程应开设：专业英语、plc 控制系统与调试、薄膜太阳能电池生产技术、光伏产品设计与应用、光伏系统设计与应用、光伏电站运行管理等。

3、实践性教学环节建议有顶岗实习，职业基础技能训练、职业综合技能实训、课程实验，社会实践、毕业设计（论文）等。

实习实训主要包括校内外实训、顶岗实习、跟岗实习等多种形式，既是实践教学的重要组成部分，也是专业课程教学的重要内容，应注重理论与实践一体化教学。

创新创业教育内容要融入到专业课程教学和有关实践性教学环节中。