

赵实说
赵直说



电力市场环境下： 高利用率高调节型 光热发电技术

PHOTOTHERMAL POWER GENERATION TECHNOLOGY

国网山西省电力公司 赵俊屹

电话：15333666161（微信同号）

邮箱：zhaojunyi@sina.com



目录
ontents

1

电力市场发展势头良好

2

光热发电技术优势

3

现存光热项目收益低原因点析

4

高利用率及高调节性光热发电技术

5

结束语

01

PART ONE

全国电力市场 建设有序推进

一、全国电力市场建设有序推进

1.1 电力市场发展势头良好

电力市场

电能量市场

(中长期电量市场、现货市场)

辅助服务市场

(调频调峰、调压调相、备用及黑启动等)

随着新型电力系统逐步推进，电量市场和辅助服务市场双头并进，快速发展，电量市场解决能量流和平衡问题，辅助服务市场克服新型电力系统安全稳定裕度下降电能质量稳定问题。后者愈发凸显，亟待加强

2021年

首批现货市场试点省份（八家）取得初步成效基础上

2022年

推广省份继续扩大试验示范范围

2023年

有望更大范围全面实施

一、全国电力市场建设有序推进

1.2 各省现货市场

各省电力现货市场：现货反映生产成本变化和供需形势，调剂余缺，促进新能源充分消纳，极端天气电力供应紧张时期，保障了有序供电。

山西

山东

甘肃

等实施新能源参与现货交易的电力市场

经历了**高温寒潮**、**重大保电**、**疫情防控**、**供需紧张**等多种场景的考验，保障全省及外供电需求的同时，促进了新能源充分消纳，同时积极引导用户侧消费习惯。

现货实践结果



一、全国电力市场建设有序推进

1.2 各省现货市场

基本上提高了具备优质调节能力的常规电源电价，促进了新能源发电量。

新能源大发时段

(供大于求)

以新能源边际价格为结算价格，
促进火电等常规电源压产减发，
为新能源让出空间。



新能源小发时段

(供小于求)

以煤电边际价格为结算价格，
提升常规机组发电积极性，
保障系统供电能力。

一、全国电力市场建设有序推进

1.3 现货试点成效显著，辅助服务市场蓄势待发

各试点省份
基本成效

山西、山东

解决了火电等常规机组
常年亏损运行问题。

甘肃

提高（保证）了新能源消纳水
平，利用率保持在95%之上。

浙江、福建、四川等

提升了保供能力，克服了极
端天气下电力供应紧张问题。



一、全国电力市场建设有序推进

1.3 现货试点成效显著，辅助服务市场蓄势待发

山西、山东、西北多省等部分省级电力市场逐步研究设计辅助服务市场规则和平台建设

国家能源局山西监管办公室文件

晋监能市场规〔2022〕1号

山西能源监管办关于印发《山西电力一次调频市场交易实施细则（试行）》的通知

国网山西省电力公司，山西电力交易中心有限公司，各发电集团山西公司、晋能控股电力集团有限公司、山西国际能源集团有限公司，各电厂、新能源场站、储能企业：

为落实碳达峰、碳中和目标，构建新型电力系统，激励市场主体积极参与电力一次调频市场，保障电力系统的安全、优质、经济运行，依据《中共中央国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见》（中发〔2015〕9号）及其配套文件，《电力并网运行管理规定》（国能发监管〔2021〕60号）、《电力辅助服务管理办法》（国能发监管〔2021〕61号）、《电力系统网源协调技术规范》（DL/T 1870-2018）、

山西电力一次调频市场交易实施细则 （试行）

第一章 总则

第一条 为落实碳达峰、碳中和目标，构建新型电力系统，激励市场主体积极参与电力一次调频市场，保障电力系统的安全、优质、经济运行，结合山西实际，特制定本细则。

第二条 本细则制定依据《中共中央国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见》（中发〔2015〕9号）及其配套文件，国家能源局《电力并网运行管理规定》（国能发监管〔2021〕60号）、《电力辅助服务管理办法》（国能发监管〔2021〕61号）、《电力系统网源协调技术规范》（DL/T 1870-2018）、《并网电源一次调频技术规范及试验导则》（GB/T 40595-2021）以及国家有关政策规定及行业标准。

第三条 本细则适用于获得市场准入后的市场主体参与电力一次调频市场交易的行为，市场主体须履行基本一次调频义务，基本义务以外的一次调频能力方可参与一次调频市场交易，获得补偿。

第四条 山西能源监管办负责电力一次调频市场的建设、交易管理和对市场成员的监督管理。

-1-



出台全国首个一次调频市场运营规则，释放积极信号。



开展独立储能参与现货和辅助服务市场试点。

一、全国电力市场建设有序推进

1.4 适合光热发展区域，电网及电源特性较强

适合光热发电技术应用的西北、蒙西、吉林等地，受地域及发展沿革历史影响



01

西北及内蒙电网网架结构相对较弱

02

常规电源支撑不足

03

风光等新能源总体规模超大

04

自身用电规模有限

原本网架结构稳定性不足、电源支撑较弱，当面临大量外送（交直流）问题时，对自身系统稳定性要求更高。

02

PART TWO

光热发电技术优势



二、光热发电技术优势

随着“**双碳目标**”实施，电力系统作为减碳第一战线，向清洁低碳目标发展深度和速度将不断刷新历史和可预测的高度。



光热作为能源系统中最适应“两个转变”发展前景的清洁低碳发电且具备系统稳定的基础要素电力生产技术，极具发展潜力和应用需求。

二、光热发电技术优势

01

对环境无不可逆公害

02

全生命周期无稀缺资源消耗

03

有较长稳定运营期
(相对其他风光资源利用项目)

光热
发电

光热发电同时具备以下优良品质

04

可再生清洁能源转换

05

同步发电技术

06

热电能量流天生解耦

03

PART THREE

现存光热项目 收益低原因点析



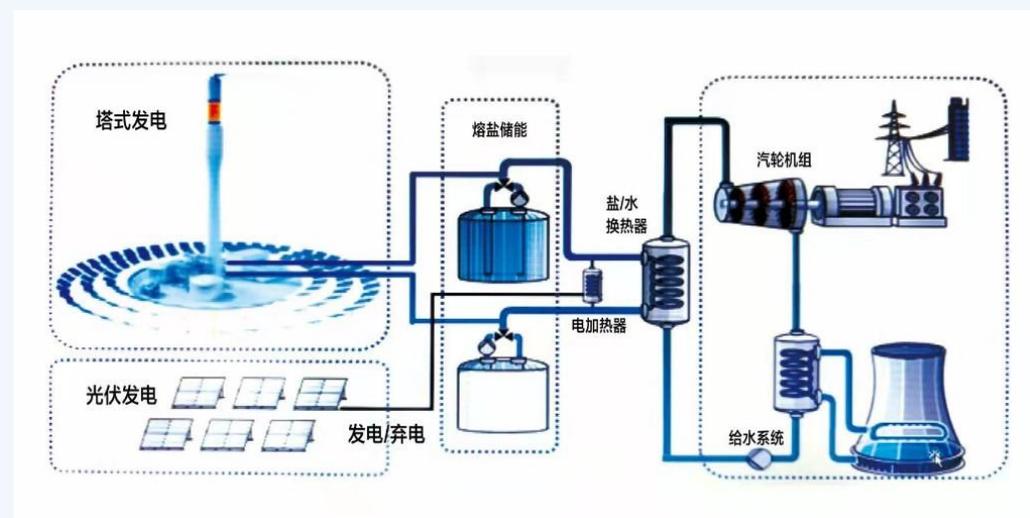
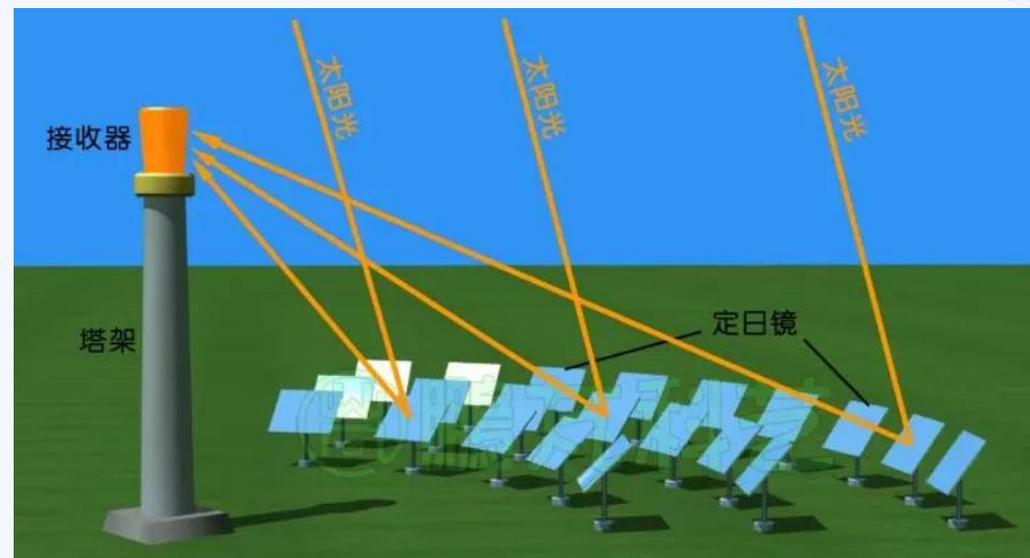
三、现存光热项目收益低原因点析

01 ◆ 弱强度资源收集、聚热系统成本高

02 ◆ 工艺环节多，系统复杂

03 ◆ 发电量少、设备利用率低

04 ◆ 高调节性的同步技术优势未体现



三、现存光热项目收益低原因点析

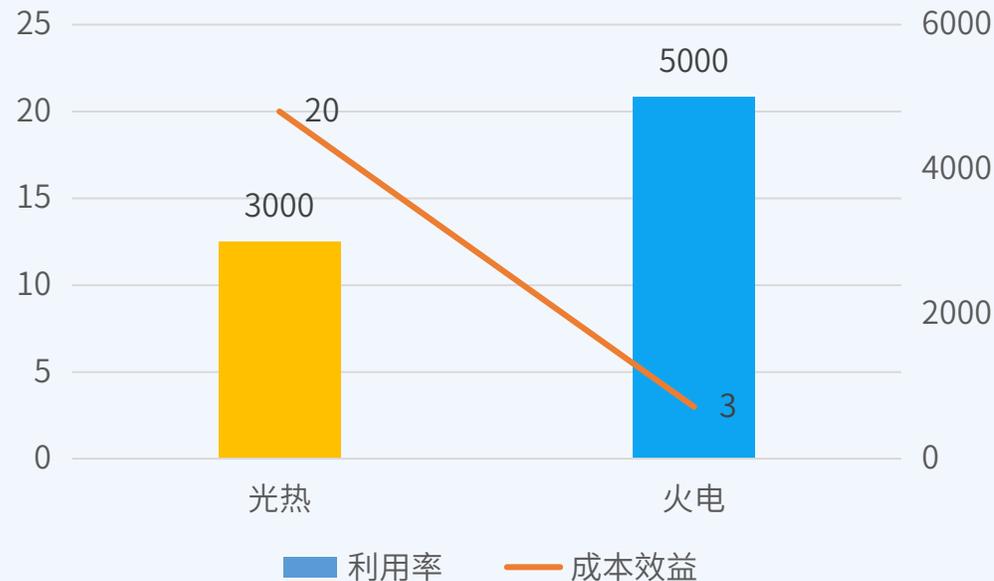
01 ◆ 弱强度资源收集、聚热系统成本高

02 ◆ 工艺环节多，系统复杂

03 ◆ 发电量少、设备利用率低

04 ◆ 高调节性的同步技术优势未体现

光热与火电利用率、成本效益对比图



三、现存光热项目收益低原因点析

◆ 光热发电技术受到光热采集工艺和技术路线的制约，其规模化生产的成本效益一直难以体现。

统计全国已投产光热发电项目发现：

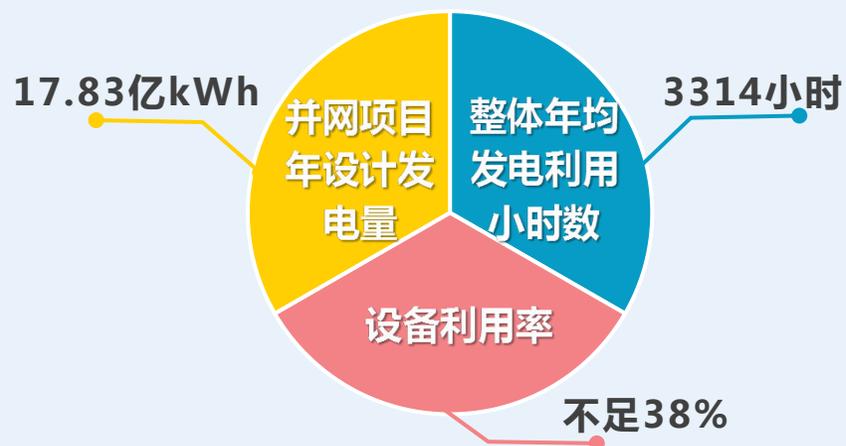
太阳能光热产业技术创新战略联盟CSTA统计信息显示

➤ 截止2022年底

全国规模以上（10MW及以上）
光热项目合计装机容量588MW



➤ 2020 年前



十三家电站中年发电利用小时数3000-4000小时6家，3000小时以下1家，占到家数的一半，合计发电容量450MW，容量占比83.6%。

三、现存光热项目收益低原因点析

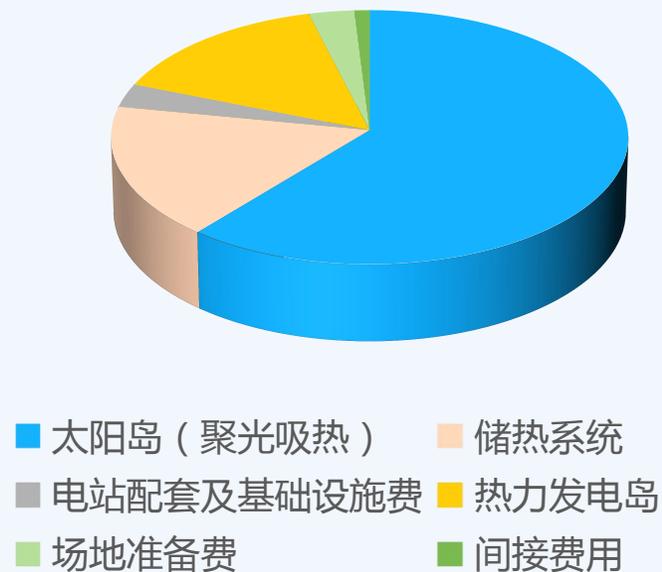
以50MW光热项目测算 >>

建设成本**12**亿，高居常规火电近**5**倍，光热电站设计年利用小时数不足**3000**小时，发电机组设备利用率低，只有常规火电利用率的**55%**。

按照设计工况 >>

以年有效利用小时数**3000**小时分析，与常规火电投资合理回报小时数**5500**小时相去甚远。折合每天全额利用发电**6**小时，折合全年全时长利用率只有**34%**，在可利用有效时长中（7300小时）的利用率也不足**40%**。形成较大设备闲置浪费，导致光热发电技术的经济性严重落后的主要原因之一。

7小时储热50MW
塔式太阳能光热电站投资组成



三、现存光热项目收益低原因点析

◆ 光热发电技术机器系统工艺天生具备自解耦特性，
可增设储热系统，实现多储增量，同时平移发电时段参与系统日调节。

统计全国已投产光热发电项目发现：

➤ 截止2022年底

全国规模以上（10MW及以上）
光热项目合计装机容量588MW



➤ 2022 年前

已投运电站大多以“示范”政策、“价格”保护，放弃市场主体身份，不参与电力市场，放弃调节性能及其补偿收益。



比光伏刚性
比光伏昂贵

三、现存光热项目收益低原因点析

截止2022年底光热发电站规模

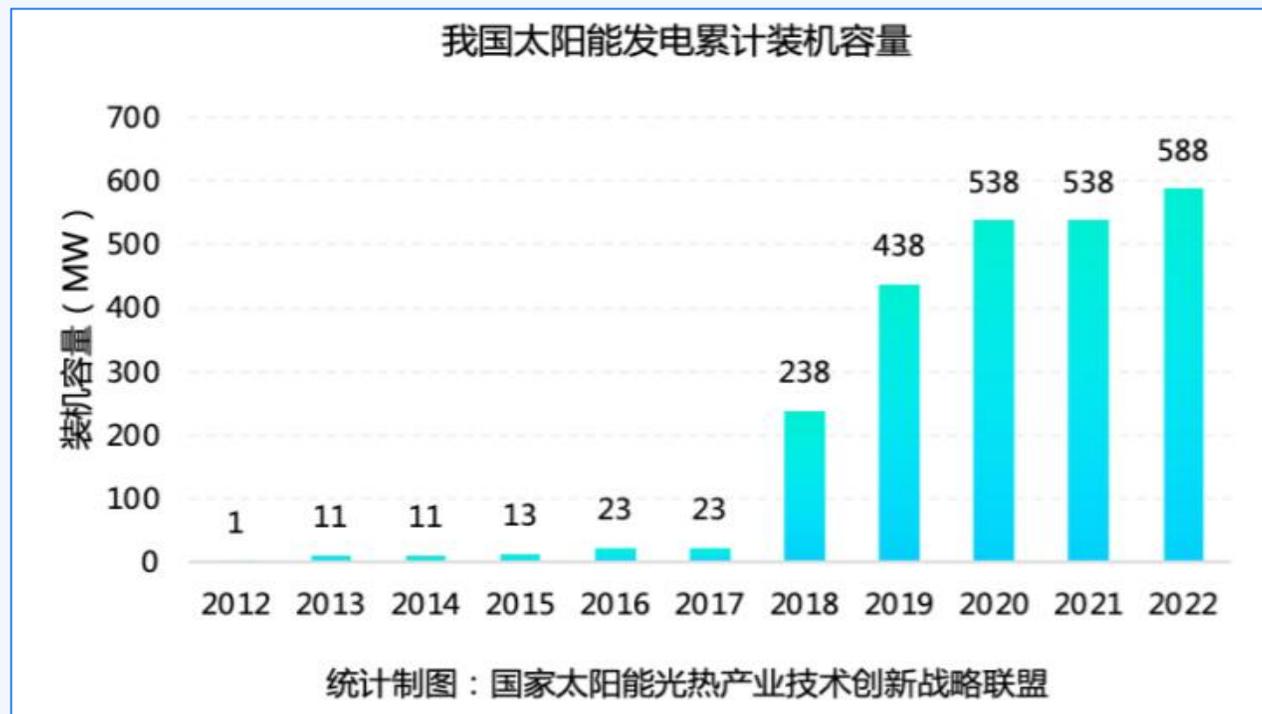
配建太阳能
热发电项目
29个

总装机
容量约
330万千瓦

集中在

青海、甘肃、

新疆维吾尔自治区、吉林内蒙。



数据源自：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

04

PART FOUR

高利用率及高调节性 光热发电技术



四、高利用率及高调节性光热发电技术

“太阳能热发电站发电量和经济性与前端太阳能资源输入直接相关，---”

(—— 2020蓝皮书，3、系统设计、设备选型和运行经验需要进一步积累)

设计开发年利用小时数在**4000--5000**小时、功率调节范围在**20%-100%**之间的光热发电站。

提高

设计年发电利用小时数

发电机组利用率



四、高利用率及高调节性光热发电技术

01 解决方案：

通过加大光热电站镜场面积，提高光热采集容量，辅以超过机组满功率发电**10小时以上**的储热容量系统。

保证设计年发电有效利用小时数
4000-5000小时

以此提高发电设备利用率

保证机组全天候发电能力

增加电量电度收益



按照发电机组额定容量之**80%**的调节能力配置高调节型的储热系统，（高光时段吸热量存储至高峰用电时段）保证发电机组参与系统调峰并维持全天候运行能力。

提高发电机组日调峰调节能力
参加现货交易或调峰辅助服务

为系统提供全天候调压调相事故
备用辅助服务

四、高利用率及高调节性光热发电技术

02 具体做法：

1

增加光热电站镜场投资，按照发电机组设计年有效利用小时数**4000--5000**小时（甚至更高**5500**小时，视系统消纳平衡测算结果）配置镜场光热采集容量规模。

以某电网峰平谷时段划分为例：

00:00--06:00
11:00--14:00
22:00--24:00

每日低谷时段
共计**11**小时

06:00--09:00
14:00--18:00

每日平峰时段
共计**7**小时

09:00--11:00
18:00--22:00

每日高峰时段
共计**6**小时

如此高峰时段电站发电功率按照全容量**100%**运行，平峰段**70%**、低谷段**20%**，全天候运行不停机方式，全日折合利用率**55%**。合理设计年利用小时数达到**4037**小时。

四、高利用率及高调节性光热发电技术

02

具体做法：

1

具体项目还要
针需考虑项目

电站发电容量

采用传热导热介质

接入电网网情及资源情况

夏季全网发供电平衡典型日曲线特性

具体技术经济分析和优化计算，

总体均可验证**4000--5000**小时的高利用率方案可行性。

随着新能源占比不断提高，电力系统峰平谷的划分将不单单由用电负荷大小波动决定，
将结合新能源发电出力情况，由发供平衡余度动态趋势决定。

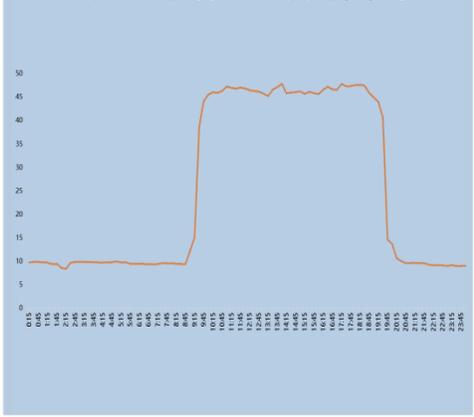
四、高利用率及高调节性光热发电技术

02 具体做法：

2

按照日调节原则，根据所在电网系统调节特性，测算电站的熔盐储能系统容量，要求既能满足增量后的总量储热条件下，同时满足机组错避峰的深度调峰需求的储热能力，适保留**10%**裕度，以适应季节和偶发极端气候影响。

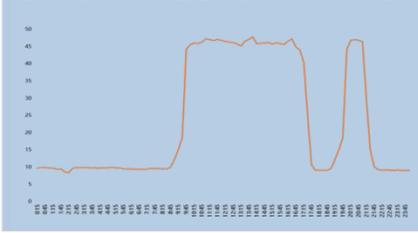
光热电站典型发电曲线



优化
储热时段



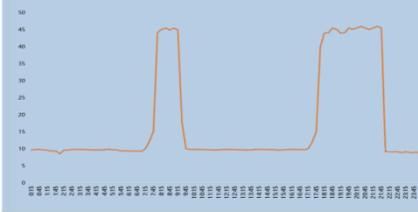
午段满发+晚高峰提供电力支援



优化
储热系统



午段让路光伏+早晚高峰支援



按照**20%--100%**调节范围（调峰深度80%），系统用电需求高峰时满负荷发电，平峰时**50--80%**调节运行，风光大发系统供电盈余时深度调峰，**20%**低负荷运行，保证全天24小时全天候运行，为系统提供调节电源、稳定电源和应急电源。同时可以参加现货交易，参与系统实时电力平衡调节，赚取高峰甚至尖峰高额电价收益。

四、高利用率及高调节性光热发电技术

02 具体做法：

2

按照日调节原则，根据所在电网系统调节特性，测算电站的熔盐储能系统容量，要求既能满足增量后的总量储热条件下，同时满足机组错避峰的深度调峰需求的储热能力，适保留**10%**裕度，以适应季节和偶发极端气候影响。



需要注意的是，目前投产的多数光热电站配置的熔盐储热系统普遍为增加非光照时段的发电能力增加的增发电量储热量，而非满足调节性延缓高光热时段发电（避峰）而增设的储热能力。

结合各省电力市场不同规则进行具体分析计算，总体可获得明显收益。

四、高利用率及高调节性光热发电技术

03 成效分析判断：

a >>

高利用率可行，收益显著提高。按照常规光热电站镜场及储热系统扩容投资占全场站投资50%测算，扩容倍率为一时，镜场投资翻番、储热系统投资不到一倍，运维成本增加不多，即可用1/2投资赢取100%电度电量收益。详细测算可据不同电站和电网情况、上网电价详细测算。

b >>

随着新型电力系统的不断发展深化，光热电站调节性需求和作用愈发显著，为系统提供同步性能和调节灵活性，即可参与辅助服务紧急备用、惯量调频（一次调频）、同时发电量参与现货交易具备选择性，之于系统和电站自身具有较好的亲和性和经济性。

c >>

全寿命周期的技术经济性好于光伏发电技术。

四、高利用率及高调节性光热发电技术

03 成效分析判断：

d >>

弱连接电网强支撑电源。

e >>

生态环境友好型，太阳能光热利用高效性能，光热效率高于光伏效率。

f >>

相对便利的电热联供方式。

05

PART FIVE

结束语

五、结束语

未来新型电力系统仍将以交流同步系统为主，随着风电、光伏为主要代表的新能源容量占比不断提升，电力系统需要一定容量的在线同步发电机组，维持系统稳定。（尤其类似西北风光自然资源优异、用电需求清淡、电网结构薄弱的地区）

- ✓ 光热发电技术是新能源高占比发展过程中，能够接替逐步退出的常规火电石化机组的最佳选择。
- ✓ 提高光热电站利用率和调节性，有利于电站自身技术经济性，同时满足新型电力系统发展需要。
- ✓ 光热电站许多技术亟待发展中有很大提升完善空间。

光热
电站

赵实说
赵直说



感谢聆听

敬请批评指正 欢迎质询

国网山西省电力公司 赵俊屹

电话：15333666161（微信同号）

邮箱：zhaojunyi@sina.com