

甘肃能化庆阳 2×660MW 煤电项目  
初步设计阶段

---

**BIPV 专题报告**

中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司

Northwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group

2024 年 11 月 西 安

## 目 录

1	概况 .....	1
2	厂址处光资源分析 .....	1
3	设计方案与布置规划 .....	2
4	光伏投资与收益分析 .....	8
5	结论 .....	8

## 【内容摘要】

本工程考虑利用厂区建筑屋顶布置分布式光伏系统，对降低厂用电率、绿色低碳发电等方面具有重要意义。本专题报告结合火电机组总平面布置方案，对厂区建筑屋顶光伏布置位置、光伏装机、方案设计与设备选型、接入系统方案、投资与收益进行分析论证。综合考虑厂区建筑屋顶可用情况，本工程在运营期 25 年内累计发电量 14869.86 万 kWh，年平均发电量为 594.79 万 kWh，年平均利用小时数为 1092.73h；光伏投资约为 1905.12 万元，按照 0.45 元/kWh 的上网电价折算，资金回收期为 7.18 年。

## 1 概况

### 1.1 工程概述

甘能化庆阳电厂（2×660MW 机组）工程为新建工程为甘肃能化九龙川煤矿配套建设煤电一体化项目，本期拟建设 2×660MW 超超临界间接空冷燃煤机组，厂址位于甘肃省宁县境内。

甘肃省陇东地区是国家规划的 14 个大型煤炭基地之一，境内煤炭资源丰富，探明资源量 359.8 亿吨（其中庆阳 271.8 亿吨），保有资源量 184 亿吨。九龙川矿井地处西北地区甘肃省宁县，资源储量丰富，煤质好，开采条件较好，适宜建设现代化大型矿井。本工程所在宁县具备建设大规模煤电基地的有利条件，电源建设成本及发电成本相对较低。

宁县地方工业弱小，没有大型工业企业支撑，本项目的建设将有力带动全县财政税收、建筑建材、商贸服务、餐饮、住宿、食品加工、运输、基础建设等众多行业的发展，有效地推动当地经济建设的发展，缓解就业压力，增加居民收入，提高生活水平，对地方经济的发展具有重要意义。

本期工程，供煤煤矿已具备建设条件；供水水源利用城市中水和煤矿疏干水；主机采用高参数大容量空冷机组。高效节能环保型电厂是本工程的建设目标。

本工程计划在 2024 年 12 月开工，第一台机组计划于 2027 年 5 月建成投产，第二台机组计划于 2027 年 6 月建成投产。

## 2 厂址处光资源分析

本工程厂区地理位置代表年太阳水平总辐射量为 1400.5kWh/m<sup>2</sup>，各月平均太阳总辐射量为 116.7kWh/m<sup>2</sup>。参考《太阳能资源评估方法》（GB/T 37526-2019），其相应

年水平面总辐射量等级为“很丰富”，即“B级”。

站点	甘肃庆阳电厂光伏项目（中国）					
数据源	Meteonorm 8.1 (1991-2000), Sat=100%					
	水平面总辐射量	水平面散射辐射量	温度	风速	大气浑浊因子	相对湿度
	kWh/m²/mth	kWh/m²/mth	°C	m/s	[-]	%
1月	75.2	34.2	-3.2	2.10	5.369	50.7
2月	86.0	47.5	0.2	2.19	6.772	53.5
3月	127.1	64.3	6.6	2.49	7.479	45.3
4月	144.6	80.5	12.3	2.60	7.411	46.8
5月	153.2	89.4	17.0	2.50	6.661	51.9
6月	138.2	83.4	20.7	2.30	6.312	57.3
7月	162.2	89.0	22.9	2.30	6.265	66.5
8月	150.2	83.1	21.0	2.10	6.983	73.8
9月	115.2	64.3	15.7	2.00	6.432	78.4
10月	100.3	55.2	10.3	2.00	6.340	71.0
11月	71.2	39.9	4.1	2.09	5.457	60.0
12月	77.2	33.6	-1.8	2.10	4.806	51.7
年	1400.5	764.2	10.5	2.2	6.357	58.9
	粘贴	粘贴	粘贴	粘贴		
	水平面总辐射量 年际变化 6%					

图 2-1 厂址太阳辐照资源

### 3 设计方案与布置规划

本工程光伏的主要用途为以下两点：一是利用光伏清洁能源发电为厂用负荷供电，最大限度降低厂用电率，从而提高电厂上网电量；二是探索建立光伏与火电机组的多能源耦合方式，提升火电机组运行灵活性。

根据本工程总平面可利用空地情况，光伏主要考虑利用厂区建筑房屋顶布置。光伏安装位置选为汽机房、封闭煤棚、蓄水池 3 栋建筑屋顶空地。现阶段预估光伏总装机为 5443.2kWp，本工程厂内光伏装机情况见表 3-1，具体各地块光伏装机待厂区各建筑屋顶实际可利用尺寸确认后在设计阶段确定。

表 3-1 各区域光伏装机总表

序号	布置位置	设计容量(kWp)	逆变器（kW）	新增光伏箱变（kVA）
1	汽机房	852.7	2*230+1*320	1*2000
2	工业消防蓄水池	966.2	2*320+1*230	
3	封闭煤棚	3714.9	10*320	2*1600
	合计	5443.2	3*230+13*320	1*2000+2*1600

3.1 光伏组件选择

本工程推荐选用单晶硅光伏组件，单晶硅太阳能电池组件的功率规格较多，组件功率从 5Wp 到 610Wp+均有生产厂商生产，且产品应用较为广泛。由于本工程厂区内可供布置光伏的面积较小，为尽可能的多装光伏，同时需考虑市场成熟度高、应用广泛的光伏组件，以减少占地面积和安装量。因此现阶段推荐采用单晶硅 610Wp 型单晶双玻组件。具体参数见表 3-2。

表 3-2 610Wp 型单晶双玻组件参数

序号	型号	单位	数值
1	最大输出功率	Wp	610
2	开路电压（Voc）	V	52.81
3	短路电流（Isc）	A	14.69
4	最佳工作电压	V	44.48
5	最佳工作电流	A	13.72
6	组件全面积光电转换效率	%	22.8
7	峰值功率温度系数	%/℃	-0.28
8	开路电压温度系数	%/℃	-0.23
9	短路电流温度系数	%/℃	+0.05
10	工作温度范围	℃	-40~+85
11	最大系统电压	V	DC1500
12	重量	kg	31
13	光伏组件尺寸	mm	2376×1128×5

3.2 光伏支架选择

对于光伏组件，不同的安装角度接受的太阳光辐射量是不同的，发出的电量也就不同。安装支架不但要起到支撑和固定光伏组件的作用，还要使光伏组件在特定的时间以特定的角度对准太阳，最大限度的利用太阳光发电。安装方式主要固定式和跟踪式，采用固定式支架方案初始投资较低，支架系统基本免维护；跟踪式支架方法虽然能增加一

定的发电量，但跟踪式支架在屋面安装困难，给后期的运行维护增加很多的工作量。

对于封闭煤棚，考虑煤棚采用高铝锌铝镁金属屋面板，表面无涂层，采用明钉式穿透屋面板与檩条固定，满足防腐防渗漏性能，垂直于压型金属屋面板，压型方向需进行压槽，以满足光伏组件穿线需求。由于此板型波峰高及板肋特殊成型的工艺，相比常规板型防水效果及承载力显著提高。

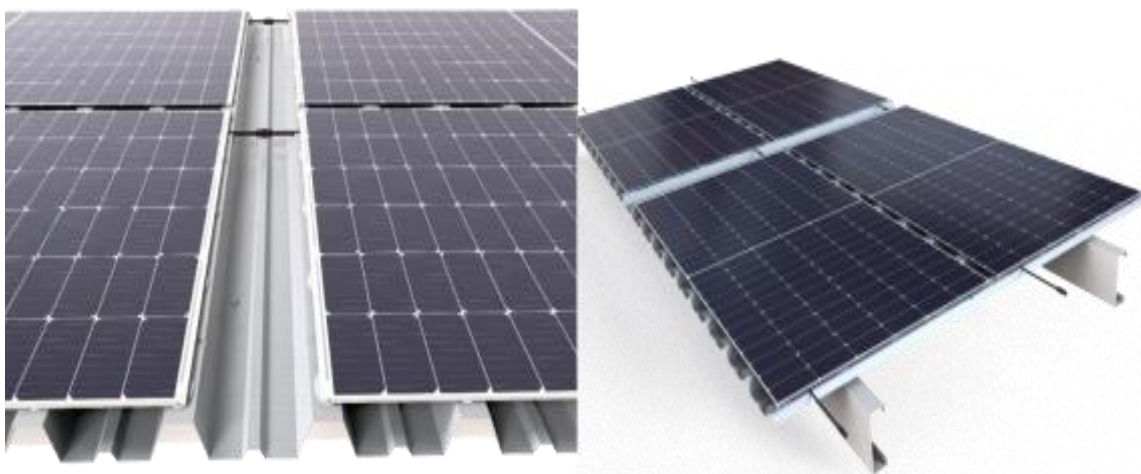
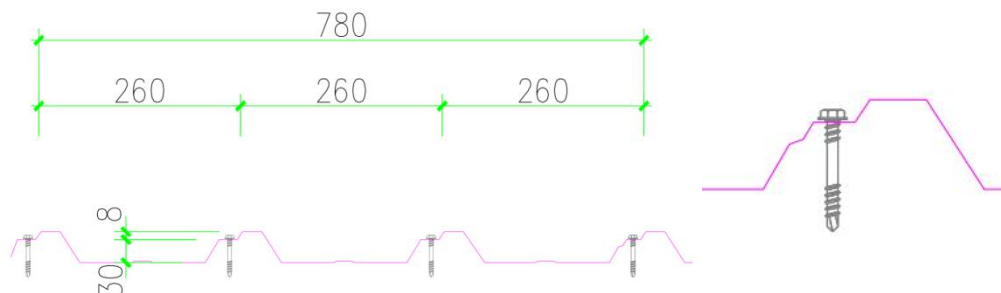


图 3-1 煤棚屋顶固定式安装



煤棚光伏组件顺应屋面坡度平铺铺设，组件纵向间隔 224mm，横向间隔 50mm，相较常规组件铺装方式，增加装机量 20%~25%。光伏组件使用专业结构胶直接胶粘在金属屋面板上。该安装方式，利用胶粘的柔性连接方式解决了组件风振的问题，整体抗风揭测试达-11.2KPa，相当于抵御 17 级以上狂风。

### 3.3 光伏逆变器选择

目前光伏项目中常见的逆变器型式有两种，分别为集中式并网逆变器和组串式并网逆变器，组串式逆变器可精细跟踪光伏组件最大功率点运行，因而可获得更高的发电量，由于本工程光伏组件安装于厂区多个建筑屋顶，每个安装位置装机容量较小，因此推荐选用组串式逆变器，厂区建筑屋顶光伏选用额定功率 320kW 与 230kW 两种型号组

串式逆变器。逆变器技术参数见表 3-3。

表 3-3 逆变器主要技术参数表

序号	名 称	技术参数	
1	逆变器型号	320kW	230kW
2	最大输入电压（V）	1500	1500
3	启动电压（V）	550	500
4	每路最大输入电流（A）	≥30/40	≥30
5	MPPT 电压范围（V）	500～1500	500～1500
6	MPPT 数量	14/16	12
7	每路 MPPT 最大输入组串数	≥2	≥2
8	额定交流输出功率（kW）	320	230
9	额定电网电压（V）	AC 800	AC 800
10	允许电网电压（V）	640-920	640-920
11	额定电网频率（Hz）	50	50
12	允许电网频率（Hz）	45≤f≤55/ 55≤f≤65/	45≤f≤55/ 55≤f≤65/
13	功率因数	0.8 超前～0.8 滞后	0.8 超前～0.8 滞后
14	电流总谐波畸变率 THD(%)	<3%	<3%
15	直流分量	<0.5%In	<0.5%In
16	最大逆变器效率	≥98.52%	≥99.0%
17	夜间耗电（W）	≤6	≤6
18	散热方式	强制风冷/自然冷却	强制风冷/自然冷却
19	通信接口	RS485/PLC	RS485/PLC
20	外壳防护等级	≥IP66	≥IP66
21	尺寸（长×宽×高）（mm）	1136*870*361	1125*770*384
22	重量（kg）	116	99
23	允许环境温度范围	-30℃~60℃	-30℃~60℃
24	工作湿度范围	0%～100%	0%～100%
25	最高海拔高度	5000m（>4000m 降额）	5000m（>4000m 降额）

3.4 光伏方阵设计

本工程推荐采用光伏电池板竖排布置方案，采用两种组串方式分别匹配 320kW 与 230kW 组串式逆变器，具体组串配置见表 3-4。

表 3-4 光伏组串配置表

方式		方式一	方式二
组件功率	Wp	610	610
组件重量	kg	31	31
单面/双面		单面	单面

方式		方式一	方式二
逆变器功率	kW	320	230
组件串联个数	块	26	26
组串功率	kWp	15.86	15.86
逆变器接入组串数	个	24	17
逆变器直流侧功率	kWp	380.64	269.62
容配比		1.19	1.17

### 3.5 光伏子阵设计

#### 3.5.1 光伏组件串并联设计

##### （1）光伏组件串联数量

每串光伏组件数为 26 片，采用满铺布置。

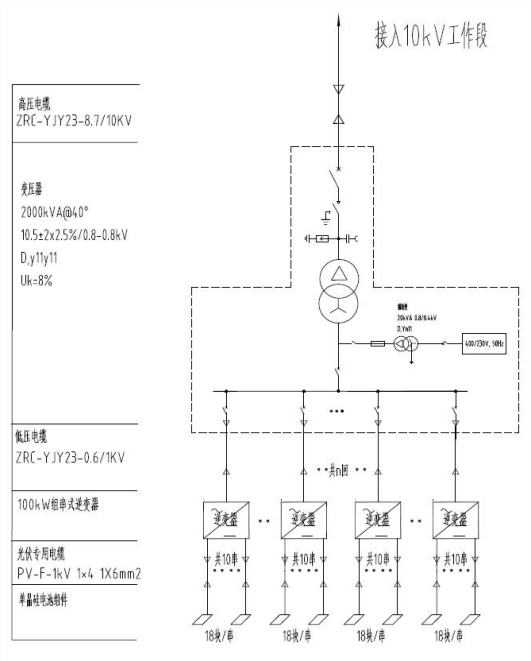
##### （2）光伏组件并联数量

现阶段单台 230kW 组串式逆变器接入数量为 17 串，单台 320kW 组串式逆变器接入数量暂定为 24 串，在设计阶段根据实际场地布置情况进行调整。

### 3.6 光伏接入方案

本工程光伏接入厂用电系统，从而实现光伏发电并网。由于光伏布置场地较为分散，光伏考虑以下接入形式：建筑屋顶光伏逆变器交流输出侧接入本次新增光伏箱变，经箱变升压后接入厂区 10kV 配电室，如下图 3-2 与表 3-5 所示。封闭煤棚配置 10 台 320kW 逆变器，光伏就地设台 2 台 1600kVA 的光伏箱变。工业消防蓄水池配置 2 台 320kW 和 1 台 230kW 逆变器，汽机房配置 2 台 230kW 逆变器和一台 320kW 逆变器，工业消防蓄水池和汽机房部分就近设 1 台 2000kVA 箱变。光伏发电经升压至 10kV 后接入厂用电系统。光伏具体接入回路待现场考察后在设计阶段确定。





经光伏箱变升压后接入

图 3-2 光伏接入厂用电系统方式

表 3-5 光伏组串接入位置		
序号	布置位置	接入位置
1	汽机房	汽机 400V PC
2	工业消防蓄水池	供水 400V PC
3	封闭煤棚（南侧）	输煤 10kV 段

3.7 光伏发电量估算

利用 PVsyst 软件建模计算，本工程 25 年运营期内理论发电量见表 3-6。本工程在运营期 25 年内累计发电量 14869.86 万 kWh，年平均发电量为 594.79 万 kWh，年平均利用小时数为 1092.73h。

表 3-6 建筑屋顶光伏 25 年运营期发电量估算表			
年份	组件衰减系数	实际发电量估算（万度）	可利用小时
第 1 年	99.00%	625.10	1148.41
第 2 年	98.60%	622.58	1143.77
第 3 年	98.20%	620.05	1139.13
第 4 年	97.80%	617.53	1134.49
第 5 年	97.40%	615.00	1129.85
第 6 年	97.00%	612.47	1125.21
第 7 年	96.60%	609.95	1120.57

第 8 年	96.20%	607.42	1115.93
第 9 年	95.80%	604.90	1111.29
第 10 年	95.40%	602.37	1106.65
第 11 年	95.00%	599.85	1102.01
第 12 年	94.60%	597.32	1097.37
第 13 年	94.20%	594.79	1092.73
第 14 年	93.80%	592.27	1088.09
第 15 年	93.40%	589.74	1083.45
第 16 年	93.00%	587.22	1078.81
第 17 年	92.60%	584.69	1074.17
第 18 年	92.20%	582.17	1069.53
第 19 年	91.80%	579.64	1064.89
第 20 年	91.40%	577.11	1060.25
第 21 年	91.00%	574.59	1055.61
第 22 年	90.60%	572.06	1050.97
第 23 年	90.20%	569.54	1046.33
第 24 年	89.80%	567.01	1041.69
第 25 年	89.40%	564.49	1037.05
25 年平均发电量:		594.79	1092.73
25 年总发电量		14869.86	

#### 4 光伏投资与收益分析

本工程屋顶光伏投资初步按照 3.5 元/Wp 考虑，总投资为 1905.12 万元，光伏收益按照降低厂用电量，从而提升机组上网电量考虑，机组上网电价按照 0.45 元/kWh 考虑；光伏年利用小时数按照 25 年平均利用小时数 1092.73h 考虑，则光伏年收益计算如下：

光伏年收益=光伏装机（kW）\*年利用小时数（h）\*电价（元/kWh）

=5443.2\*1092.73\*0.45=2676576.5712 元≈267.66 万元

投资回收期=投资/年收益=1905.12/267.66=7.18 年

#### 5 结论

本工程考虑利用厂区建筑屋顶布置分布式光伏系统，本工程在运营期 25 年内累计发电量 14869.86 万 kWh，年平均发电量为 594.79 万 kWh，年平均利用小时数为 1092.73 h。

光伏投资约为 1905.12 万元，按照 0.45 元/kWh 的上网电价折算，资金回收期为 7.18 年。建设光伏项目技术方案可行，对降低厂用电率、绿色低碳发电等方面具有重要意义。