

LCOE Evaluation Report 度电成本评估报告 No. TRHZHPVS11003/21TC/04

Applicant: 晶科能源股份有限公司
申请者 上海市闵行区申长路 1466 弄 1 号晶科中心

File No.: HZHHPVS11003/21TC
文件编号

Designed: by:
编制

Reviewed: by:
审核

All copyright and joint copyrights with respect to studies, assessments, test results, calculations, presentations, etc., drafted by TÜV NORD (Hangzhou) Co., Ltd. shall remain the property of TÜV NORD (Hangzhou) Co., Ltd. TÜV NORD (Hangzhou)'s contractual partner may use assessments, studies, test results, calculations, presentations, etc., drafted within the scope of the contract only for the purpose agreed in the contract or agreement. It is not permissible to pass on to third parties the reports, assessments, test results, calculations, presentations, etc., drawn up by TÜV NORD (Hangzhou) Co., Ltd. or to publish them in abridged form, unless the parties to the contract have concluded a written agreement on the passing on, presentation or publication of extracts from them.

所有通过杭州汉德质量认证服务有限公司起草的版权及联合版权方面的研究, 评估, 测试结果, 计算, 演示等内容, 由杭州汉德质量认证服务有限公司所持有。杭州汉德质量认证服务有限公司的合约伙伴仅允许在合同、合约所约定允许的范围内使用该评估, 研究, 测试结果, 计算, 演示等内容。除非双方有书面协议达成一致, 该报告, 评估, 测试结果, 计算, 演示等内容, 不得传递, 演示, 出版给任何第三方

LCOE Evaluation Report



File No.: HZHVPVS11003/21TC

Test Report No.: TRZHVPVS11003/21TC/04

Applicant..... : 申请人	晶科能源股份有限公司 上海市闵行区申长路 1466 弄 1 号晶科中心
Order No..... : 申请编号	HZHVPVS11003/21TC
Date of Application : 申请日期	2021 年 11 月 01 日
Evaluation data 评估资料	主要系统设备清单（组件&逆变器） 项目配置方案 PVsyst 仿真报告 初始投资（EPC）成本报价 运维费用、土地租赁成本明细

Partly copying is not permitted without explicit agreement of the owner.

未经本报告所有者明确同意外，不得部分复制本报告内容

目录

1. 研究背景.....	4
2. 项目方案介绍.....	5
2.1 项目地及光照资源简介	5
2.2 光伏系统端设计对比	6
2.3 初始投资成本估值对比	9
2.4 后期发电收益对比	11
3. 项目财务模拟.....	12
3.1 财务模型条件	12
3.2 度电成本（LCOE）对比.....	14
3.3 内部收益率（IRR）对比.....	16
4. 分析结论.....	18
附录 项目布局图.....	20

1. 研究背景

目前 N 型技术逐渐成为光伏市场上主流的产品技术，而这样的技术正引领着整个行业的大变革。N 型技术所带来的利好，不仅表现在组件功率有所提升，还表现在组件自身效率的大幅提高以及系统端的成本大幅降低。本报告以 120MW 直流侧（100MW 交流侧）的项目作为研究对象，通过技术方案审核与财务收益对比，分别对晶科 N 型高效组件 JKM610N-78HL4-BDV (下文用 182-78N-610W 表示) 和 JKM565N72HL4-BDV (下文用 182-72N-565W 表示)，以及市面上主流的其他同级别高效组件（下文分别用 210-66-665W, 210-60-605W, 210-55-555W 表示）进行经济性分析，判断最终的收益是否满足投资者和 EPC 公司的需求。本评估报告将围绕如下两个方面进行展开：

- 比较项目初始投资方案，尤其是 EPC 成本的差别
- 比较项目执行全生命周期之中，度电成本与内部收益率的差别

2. 项目方案介绍

2.1 项目地及光照资源简介

为了公正客观地评估不同类型光伏组件应用于项目的表现，本报告选取 2 处项目场地（国内外各 1 处）作为研究对象，旨在体现在不同地理位置及气象条件下，晶科两款 N 型产品的表现情况。

场址基本信息如下：

表 2-1-1 青海共和塔拉滩项目地信息

项目地	青海共和塔拉滩
项目容量	120MW
安装方式	1P 平单轴跟踪支架
GPS 坐标	100°37'59"E (100.6331), 36°5'48"N (36.0969)
年水平辐照小时数	1647.6
海拔高度	2870 米
平均环境温度	3.8°C

表 2-1-2 西班牙 Lorca, Murcia 项目地信息

项目地	西班牙 Lorca, Murcia
项目容量	120MW
安装方式	2P 平单轴跟踪支架
GPS 坐标	-1°53'25"W (-1.8904), 37°43'44"N (37.7290)
年辐照小时数	1788.8
海拔高度	509 米
平均环境温度	19.5°C

2.2 光伏系统端设计对比

本报告系统设计时假定光伏电站地面平坦，适合大型电站建设（忽略环境和生态影响），且场地附近有高压电网方便并网。同一项目地的不同方案，均假定建造在一个近似相等的土地面积上，容配比相近，以减小发电量差异。系统端设计基本信息如下：

表 2-2-1 青海共和塔拉滩项目系统端设计

光伏系统（青海共和塔拉滩项目）			
序号	方案 1	方案 2	方案 3
组件选型	182-72N-565W	210-55-555W	210-60-605W
尺寸（mm）	2278×1134×30	2384×1096×35	2172×1303×35
功率温度系数	-0.30%/°C	-0.34%/°C	-0.35%/°C
最大功率（P _{max,STC} ）	565Wp	555Wp	605Wp
最佳工作电压（V _{mp,STC} ）	42.14V	31.90V	34.60V
最佳工作电流（I _{mp,STC} ）	13.41A	17.40A	17.49A
开路电压（V _{oc,STC} ）	50.83V	38.10V	41.70V
短路电流（I _{sc,STC} ）	14.19A	18.39A	18.42A
组件效率	21.9%	21.4%	21.4%
双面率	85%	70%	70%
组件数量/串	26	34	32
组件数量	212394	216240	198368
组串数量	8169	6360	6199
组串数量/支架	3	2	2
支架数量	2723	3180	3100
阵列间距（米）	7.50	7.85	7.14
地面覆盖率（GCR）	30.4%	30.4%	30.4%
直流侧容量（MW）	120.00	120.01	120.01
逆变器选型	SG320HX	SG320HX	SG320HX
MPPT 电压范围	500V~1500V	500V~1500V	500V~1500V

表 2-2-1 青海共和塔拉滩项目系统端设计 (续前表)

光伏系统 (青海共和塔拉滩项目)			
序号	方案 1	方案 2	方案 3
组件选型	182-72N-565W	210-55-555W	210-60-605W
最大输入电流	480A	480A	480A
MPPT 数量	14	12	12
额定输出功率 (交流)	320kW	320kW	320kW
逆变器数量	312	312	312
交流测容量 (MW)	99.84	99.84	99.84

表 2-2-2 西班牙 Lorca, Murcia 项目系统端设计

光伏系统 (西班牙 Lorca, Murcia 项目)		
序号	方案 4	方案 5
组件选型	182-78N-610W	210-66-665W
尺寸 (mm)	2465×1134×35	2384×1303×35
功率温度系数	-0.30%/°C	-0.34%/°C
最大功率 (Pmax,STC)	610Wp	665Wp
最佳工作电压 (Vmp,STC)	45.73V	38.30V
最佳工作电流 (Imp, STC)	13.34A	17.39A
开路电压 (Voc,STC)	50.04V	46.10V
短路电流 (Isc,STC)	14.11A	18.50A
组件效率	21.8%	21.4%
双面率	85%	70%
组件数量/串	26	30
组件数量	196725	180450
组串数量	7567	6015
组串数量/支架	6	4

表 2-2-2 西班牙 Lorca, Murcia 项目系统端设计 (续前表)

光伏系统 (西班牙 Lorca, Murcia 项目)		
序号	方案 4	方案 5
组件选型	182-78N-610W	210-66-665W
支架数量	1262	1504
阵列间距 (米)	16.22	15.68
地面覆盖率 (GCR)	30.4%	30.4%
直流侧容量 (MW)	120.00	120.00
逆变器选型	SG320HX	SG320HX
MPPT 电压范围	500V~1500V	500V~1500V
最大输入电流	480A	480A
MPPT 数量	14	12
输出功率 (交流)	320kW	320kW
逆变器数量	312	312
交流测容量 (MW)	99.84	99.84

2.3 初始投资成本估值对比

根据 2.2 节的基本设备信息，结合 TÜV NORD 对于市场上现有项目的类比分析，考虑相同地理位置、电站类型、气象条件、地面覆盖率、电站设计原则，可预估推导出不同组件方案对应的初期投资成本，其中包含了项目前期开发费用、EPC 成本和并网费用。

对于青海共和塔拉滩项目，总投资如表 2-3-1 所示（表中所有价格均以人民币¥元/瓦为单位）

表 2-3-1 青海共和塔拉滩项目总投资

组件选型	182-72N-565W	210-55-555W	210-60-605W
项目总投资	¥4.2197	¥4.2576	¥4.2705
1 项目开发费用	¥0.1000	¥0.1000	¥0.1000
2 EPC 费用	¥4.1197	¥4.1576	¥4.1705
2.1 设计费	¥0.0200	¥0.0200	¥0.0200
2.2 组件成本	¥1.8500	¥1.8500	¥1.8500
2.3 BOS 成本	¥2.2292	¥2.2585	¥2.2763
2.3.1 逆变器	¥0.1300	¥0.1300	¥0.1300
2.3.2 平单轴跟踪支架	¥0.5393	¥0.5480	¥0.5647
2.3.3 支架安装成本	¥0.0790	¥0.0782	¥0.0849
2.3.4 直流侧线缆*	¥0.0224	¥0.0234	¥0.0231
2.3.5 直流侧线缆安装	¥0.0130	¥0.0094	¥0.0093
2.3.6 交流侧线缆	¥0.0904	¥0.1051	¥0.0957
2.3.7 交流侧线缆安装	¥0.0410	¥0.0477	¥0.0434
2.3.8 箱变	¥0.0667	¥0.0667	¥0.0667
2.3.9 电气设备安装及基础	¥0.0200	¥0.0200	¥0.0200
2.3.10 组件安装成本	¥0.0372	¥0.0378	¥0.0463
2.3.11 土地成本	¥0.0902	¥0.0924	¥0.0923
2.3.12 其他与组件选型不相关成本	¥1.1000	¥1.1000	¥1.1000
2.4 运费	¥0.0205	¥0.0291	¥0.0242

对于西班牙 Lorca, Murcia 项目，总投资如表 2-3-2 所示（表中所有价格均以\$美元/瓦为单位）

表 2-3-2 西班牙 Lorca Murcia 项目总投资

组件选型	182-78N-610W	210-66-665W
项目总投资	\$0.7507	\$0.7604
1 项目开发费用	\$0.1095	\$0.1095
2 EPC 费用	\$0.6412	\$0.6509
2.1 设计费	\$0.0156	\$0.0156
2.2 组件成本	\$0.3000	\$0.3000
2.3 BOS 成本	\$0.3183	\$0.3271
2.3.1 逆变器	\$0.0273	\$0.0273
2.3.2 平单轴跟踪支架	\$0.1250	\$0.1319
2.3.3 支架安装成本	\$0.0200	\$0.0212
2.3.4 直流侧线缆*	\$0.0058	\$0.0072
2.3.5 直流侧线缆安装	\$0.0048	\$0.0046
2.3.6 交流侧线缆	\$0.0362	\$0.0350
2.3.7 交流侧线缆安装	\$0.0152	\$0.0146
2.3.8 箱变	\$0.0255	\$0.0255
2.3.9 电气设备安装及基础	\$0.0015	\$0.0015
2.3.10 组件安装成本	\$0.0100	\$0.0110
2.3.11 土地成本	\$0.0141	\$0.0144
2.3.12 其他与组件选型不相关成本	\$0.0330	\$0.0330
2.4 运费	\$0.0072	\$0.0081

*备注：为了保证所有方案直流线缆损失相近，因此电流相对较小的 182-72N-565W, 182-78N-610W 选用的直流电缆规格为 PV1-F 4.0 mm²；电流相对较大的 210-55-555W, 210-55-555W, 210-66-665W 选用的直流电缆规格为 PV1-F 6.0 mm²。

2.4 后期发电收益对比

通过将上述组件方案的参数带入到 PVsyst 软件中，可仿真模拟计算出每个方案的首年发电量。为了方便对比，假设每种组件运维成本相同。

表 2-4-1 项目发电量对比

场地类型	青海共和塔拉滩			西班牙 Lorca, Murcia	
组件类型	182-72N- 565W	210-55- 555W	210-60- 605W	182-78N- 610W	210-66- 665W
质保（年）			30		
首年衰减	1%	2%		1%	2%
次年起线性衰减	0.40%	0.45%		0.40%	0.45%
首年运维成本		¥60.7/kW/年			\$9.5/kW/年

3. 项目财务模拟

3.1 财务模型条件

表 3-1-1 青海共和塔拉滩项目财务模型条件

项目地址	青海共和塔拉滩项目		
组件选型	182-72N-565W	210-55-555W	210-60-605W
股本金与债务比		30/70	
贷款利息（年）		4.9	
贷款年限		15	
增值税		13%	
城市建设维护税		5%	
教育附加税		5%	
企业所得税		25%	
折现率		7%	
项目残值		5%	
上网电价		¥0.3160/度	

表 3-1-2 西班牙 Lorca, Murcia 项目财务模型条件

项目地址	西班牙 Lorca, Murcia 项目	
组件选型	182-78N-610W	210-66-665W
股本金与债务比		30/70
贷款利息（年）		4.1
贷款年限		15
增值税		21%
企业所得税		25%
折现率		7%
项目残值		5%
上网电价		\$0.0550/度

3.2 度电成本 (LCOE) 对比

LCOE，全称为平准化度电成本 (Levelized Cost of ENergy)，就是对项目生命周期内的成本和发电量进行平准化后计算得到的发电成本，即生命周期内的成本现值/生命周期内发电量现值。

LCOE 的计算公式如下：

$$LCOE = \frac{C + \sum_{t=1}^n \frac{(L_t + M_t + T_t)}{(1+r)^t} - \frac{R}{(1+r)^n} + \sum_{t=1}^n I_t}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

C: 项目总投资金额；

N: 电站运行年限，一般为 25 年；

L_t : 第 t 年的土地租金费用；

M_t : 第 t 年的运维成本费用；

T_t : 第 t 年的发电征收税费；

R: 电站残值；

I_t : 第 t 年的还贷利息；

E_t : 第 t 年的发电量；

r: 期望折现率；

根据晶科提供的项目数据明细，TÜV NORD 分别核算了几套方案的度电成本。

其中，青海共和塔拉滩项目使用 182-72N-565W 组件的方案成本最低，每发 1 度电折合成本为 ¥0.2955，如图 3-2-1 所示。

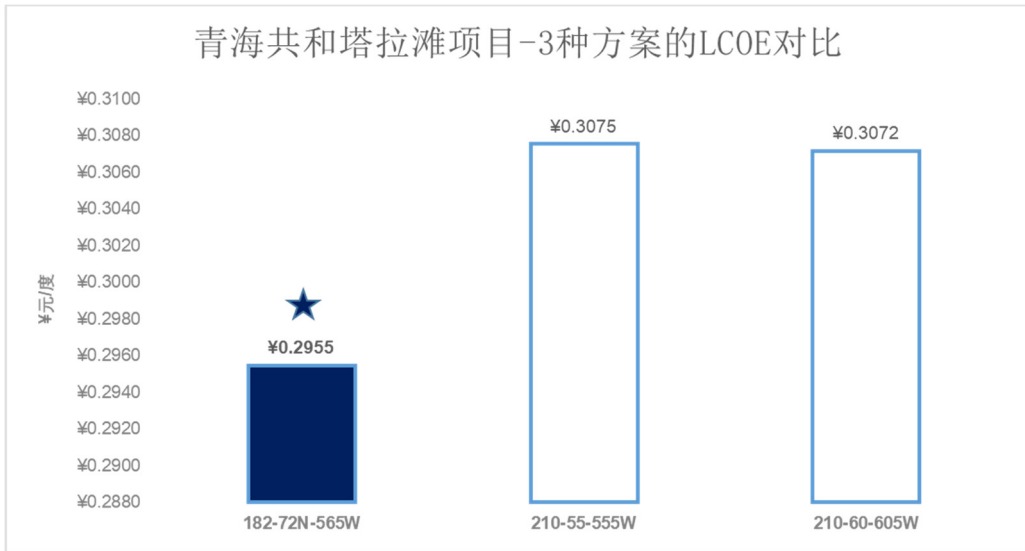


图 3-2-1 青海共和塔拉滩项目 LCOE 对比

在西班牙 Lorca, Murcia 项目，使用 182-78N-610W 组件的方案成本最低，每发 1 度电折合成本为\$0.0480，如图 3-2-2 所示。

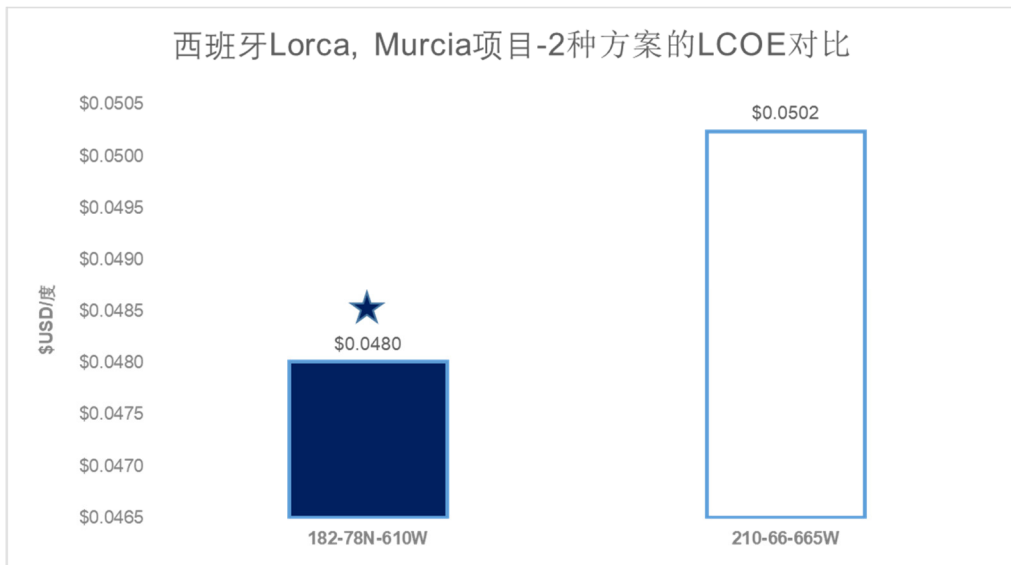


图 3-2-2 西班牙 Lorca, Murcia 项目 LCOE 对比

3.3 内部收益率 (IRR) 对比

IRR，全称为内部收益率 (Internal Rate of Return)，被普遍认为是项目投资的盈利率，反映了投资的使用效率，概念清晰明确。比起净现值与净年值来，各行各业的经济工作者更喜欢采用内部收益率来对项目进行评估。内部收益率指标的突出优点就是在计算时不需事先给定基准折现率，避开了这一既困难又易引起争论的问题。内部收益率不是事先外生给定的，是内生决定的，即由项目现金流计算出来的，当基准折现率不易确定其准确取值，而只知其大致的取值区间时，则使用内部收益率指标就比较容易判断项目的取舍。IRR 对比的优越性是显而易见的。

投资项目现金流出量与流入量相等时的折现率，即为 IRR 值，公式如下：

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} - I_0 = 0$$

CF_t: 第 t 年的现金流；

N: 电站运行年限，一般为 25 年；

I₀: 项目初始投资金额；

根据晶科提供的项目数据明细，考虑了银行资本杠杆因素后，TÜV NORD 分别核算了几套方案的内部收益率。

其中青海共和塔拉滩项目使用 182-72N-565W 组件的方案股本 IRR 最高，达到 13.79%：

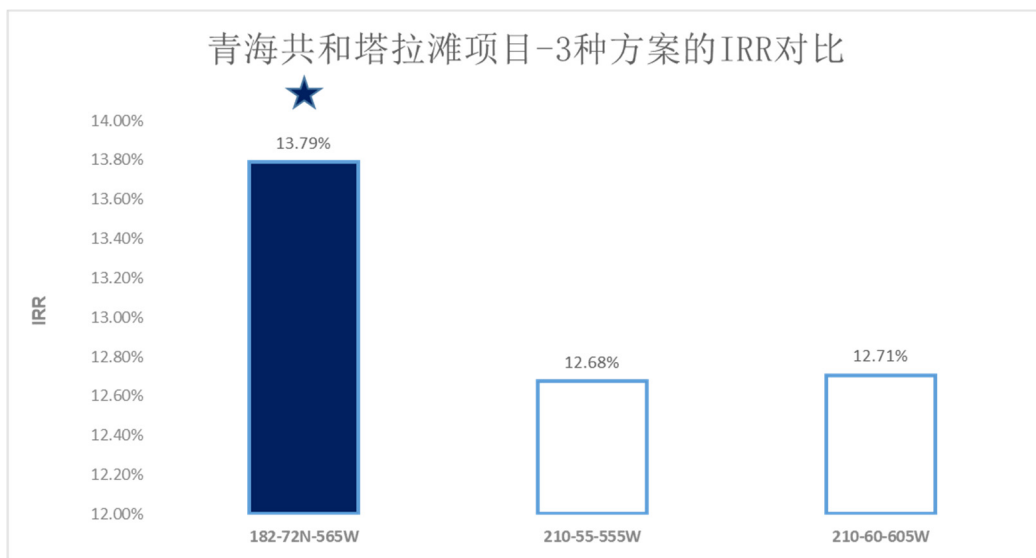


图 3-3-1 青海共和塔拉滩项目 IRR 对比

西班牙 Lorca, Murcia 项目使用 182-78N-610W 组件的方案股本 IRR 最高，达到 15.80%:

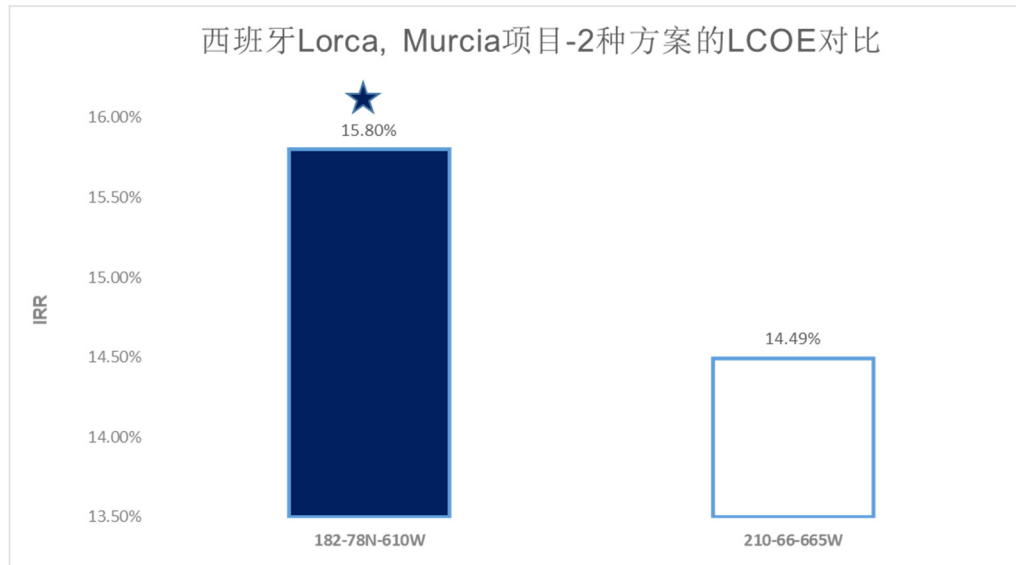


图 3-3-2 西班牙 Lorca, Murcia 项目 LCOE 对比

4. 分析结论

从本次分析结果来看，在统一直流侧容量，土地可利用性，系统设计原则和组件价格均确定的情况下，晶科 N 型产品在国内及西班牙大型地面电站项目的度电成本和投资回报率上都有很大的优势。晶科 N 型组件优势主要体现在：

1、高效组件可以大大降低项目初始投资成本（组件，BOS 设备采购成本，EPC 施工成本等）；

2、可以节约电站使用面积，从而降低每年土地租赁成本的支出；

3、晶科 N 型组件有更低的衰减率（首年 1%，线性 0.4%），更高的双面率（85%）。基于 **TÜV NORD 户外实证项目数据，N 型组件 kW 发电能力相比同类型 P 型组件最高可达 5.26%***。因此 N 型组件生命周期内发电量增加，大幅度降低了度电成本。

以下是青海共和塔拉滩项目 3 种方案的对比汇总：

表 4-1-1 青海共和塔拉滩项目方案对比汇总

方案	方案 1	方案 2	方案 3
组件选型	182-72N-565W	210-55-555W	210-60-605W
组件功率 (W)	565	555	605
组件效率	21.9%	21.4%	21.4%
首年发电 (MWh)	251,335	244,681	245,556
直流/交流比	1.2	1.2	1.2
组件数量	212,394	216,240	198,368
串数	8,169	6,360	6,199
EPC 每瓦	¥4.1197	¥4.1576	¥4.1705
总投资 (元)	¥506,378,030	¥510,956,865	¥512,506,604
股本金投资 (元)	¥151,913,409	¥153,287,059	¥153,751,981
度电成本 (元/度)	¥0.2955	¥0.3075	¥0.3072
股本 IRR	基准	91.96% (比例)	92.17% (比例)

以下是西班牙 Lorca, Murcia 项目 2 种方案的对比汇总:

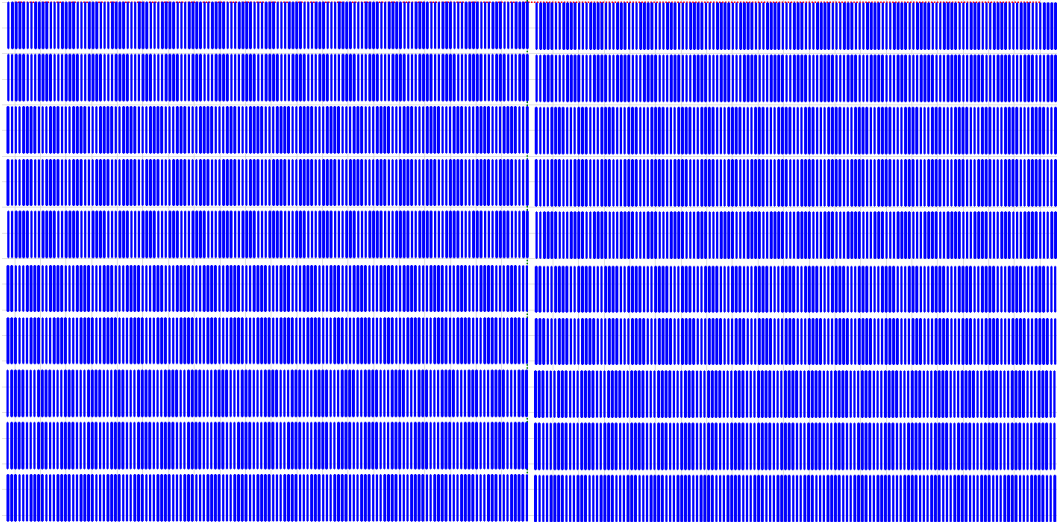
表 4-1-2 西班牙 Lorca, Murcia 项目方案对比汇总

方案	方案 4	方案 5
组件选型	182-78N-610W	210-66-665W
组件功率 (W)	610	665
组件效率	21.8%	21.4%
首年发电 (MWh)	260,084	252,619
直流/交流比	1.2	1.2
组件数量	196,742	180,450
串数	7,567	6,015
EPC 每瓦	\$0.6412	\$0.6509
总投资 (美元)	\$90,088,807	\$91,244,009
股本金投资 (美元)	\$27,026,642	\$27,373,203
度电成本 (美元/度)	\$0.0480	\$0.0502
股本 IRR	基准	91.70% (比例)

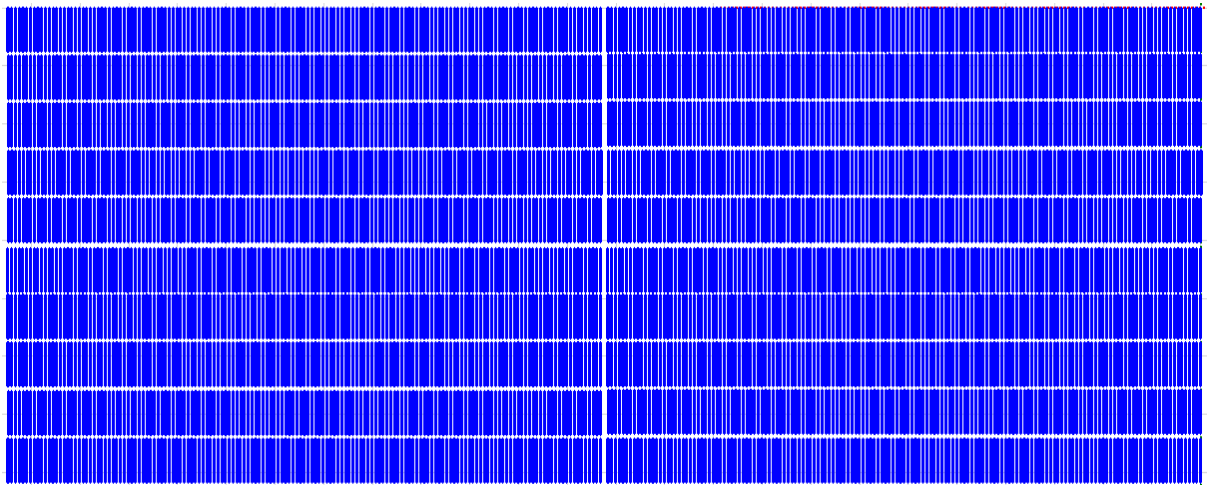
*备注: 发电量数据来自 TÜV NORD 中国银川户外实证基地, 04/22/2017 - 07/08/2017 期间内, 安装在固定支架上的相同尺寸的 N 型组件和 P 型组件。

附录 项目布局图

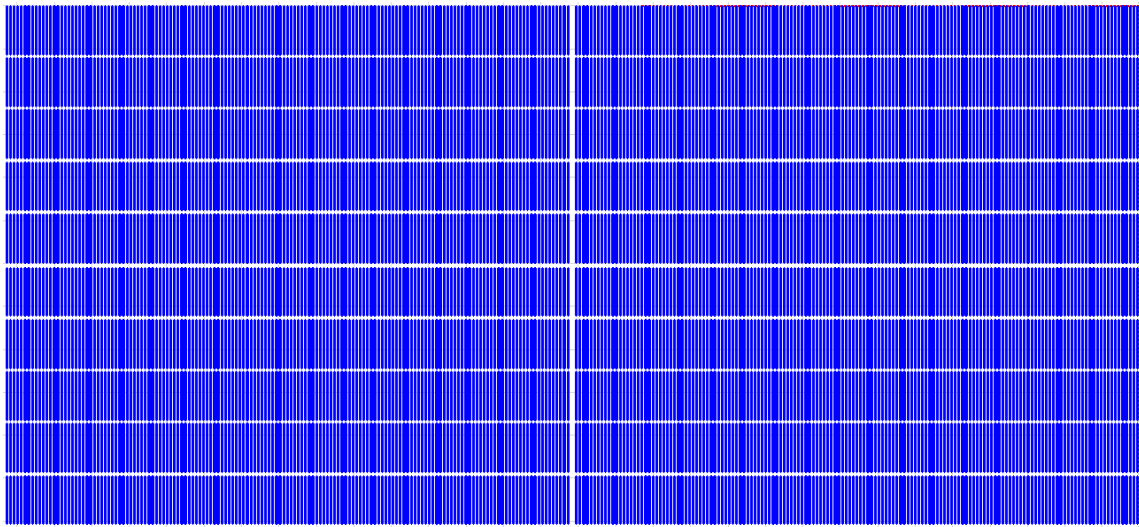
方案 1: 182-72N-565W 1P Tracker



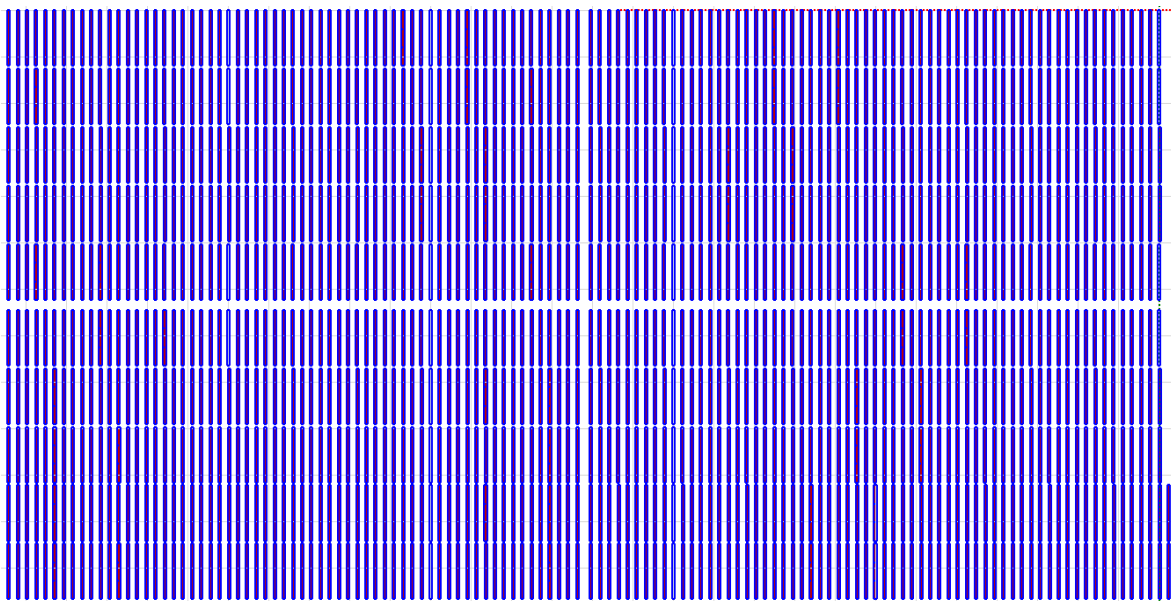
方案 2: 210-55-555W 1P Tracker



方案 3: 210-60-605W 1P Tracker



方案 4: 182-78N-610W 2P Tracker



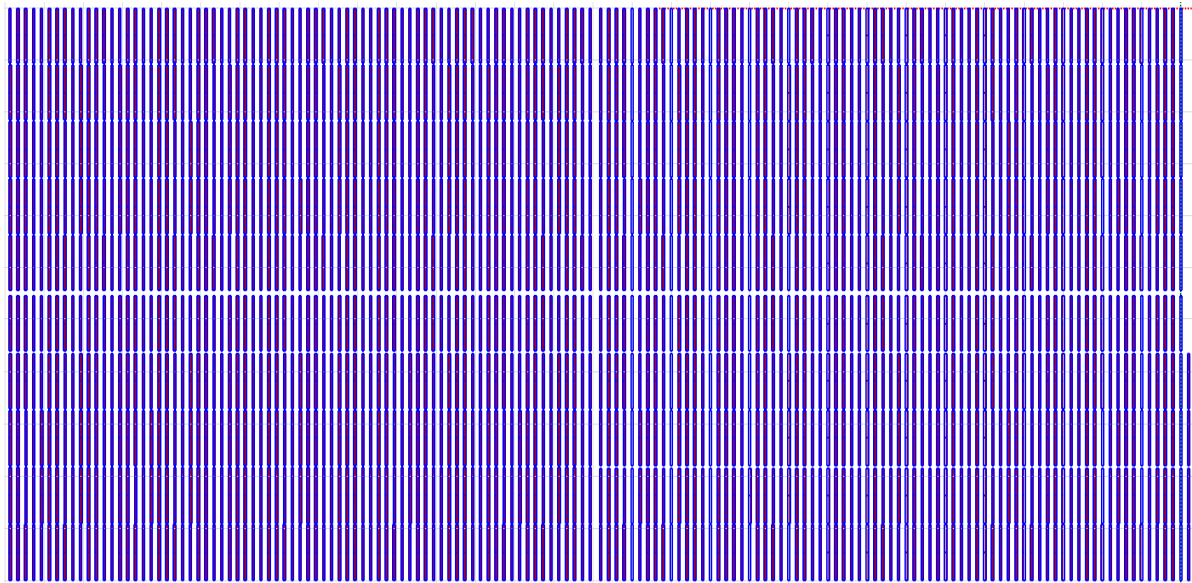
LCOE Evaluation Report



File No.: HZHVPVS11003/21TC

Test Report No.: TRZHVPVS11003/21TC/04

方案 5: 210-66-665W 2P Tracker



----- 报告结束 -----