

上海大众宁波分厂
三期 17MW 分布式光伏发电项目
电能质量评估报告

国网浙江综合能源服务有限公司

2020年3月

摘要

受宁波悦晟能源发展有限公司委托，国网浙江综合能源服务有限公司对上海大众宁波分厂三期 17MW 分布式光伏发电项目接入电网并网点的电能质量做出评估分析。计算结果表明光伏电站运行时，不会影响并网点谐波、电压偏差、电压波动和闪变、电压不平衡度、直流分量的供电电能质量。

关键词：谐波、电压偏差、电压波动和闪变、三相不平衡、直流分量、电能质量

目录

1. 概述.....	1
2. 评估依据与标准.....	1
3. 评估资料.....	2
3.1. 光伏发电项目情况.....	2
3.2. 变电站设置情况.....	2
3.3. 周边电力系统现状.....	3
3.4. 并网方案.....	3
3.5. 主要设备参数.....	5
4. 电能质量评估.....	6
4.1. 评估指标.....	6
4.2. 谐波.....	6
4.2.1. 谐波电压允许值.....	6
4.2.2. 谐波电流允许值.....	7
4.2.3. 谐波分析.....	8
4.3. 电压偏差.....	9
4.3.1. 电压偏差标准要求.....	9
4.3.2. 电压偏差分析.....	10
4.4. 电压波动和闪变.....	11
4.4.1. 电压波动和闪变标准要求.....	11
4.4.2. 电压波动和闪变分析.....	12
4.5. 电压不平衡度.....	12
4.5.1. 电压不平衡度标准要求.....	13
4.5.2. 电压不平衡度分析.....	13

4.6. 直流分量.....	14
4.6.1. 直流分量标准要求.....	14
4.6.2. 直流分量分析.....	14
4.7. 无功容量需求.....	14
5. 结论与建议.....	16
5.1. 电能质量评估.....	16
5.2. 配置动态无功补偿装置.....	16

1. 概述

随着电力电子技术的发展，非线性电力电子器件和装置在现代工业中得到了广泛应用，这些设备的运行使得电网中电压和电流波形畸变越来越严重，谐波水平不断上升。另外，冲击性、波动性负荷，例如光伏发电等，运行中不仅会产生大量的谐波，而且还会产生电压波动、闪变、三相不平衡等电能质量问题。另一方面，随着各种复杂的、精密的、对电能质量敏感的用电设备不断普及，用电设备对电能质量的要求越来越高。电能质量问题的出现会造成供、用电双方或其他电力用户设备运行效率降低或无法正常运行、运行成本上升等诸多危害。

为了有效预防各类用电负荷并网后对公用电网电能质量造成不良影响，在并网前通过仿真分析就新增负荷对公用电网电能质量影响进行分析评估，是确保供、用电双方及周边其他电力用户各类电力设备正常运行的必要环节。

受宁波悦晟能源发展有限公司（以下称委托方）委托，本报告就上海大众宁波分厂三期 17MW 分布式光伏发电项目并网后对电网公共连接点的电能质量影响进行评估分析。

2. 评估依据与标准

本评估依据以下技术标准及委托方提供的相关技术文件开展，包括：

- 1) GB/T14549-1993 电能质量公用电网谐波
- 2) GB/T12325-2008 电能质量供电电压偏差
- 3) GB/T12326-2008 电能质量电压波动和闪变
- 4) GB/T15543-2008 电能质量三相电压不平衡
- 5) CNCA/CTS0004-2009A 并网光伏发电专用逆变器技术条件

- 6) GB/T19964-2012 光伏电站接入电力系统技术规定
- 7) GB/T19939-2005 光伏系统并网技术要求
- 8) GB/T50866-2013 光伏电站接入电力系统设计规范
- 9) Q/GDW617-2011 光伏电站接入电网技术规定
- 10) 上海大众宁波分厂三期 17MW 分布式光伏发电项目接入系统报告
- 11) 上海大众宁波分厂三期 17MW 分布式光伏发电项目可研报告
- 12) 上海大众宁波分厂三期 17MW 分布式光伏发电项目电气图纸
- 13) 阳光电源股份有限公司的 SG1250/1500UD 逆变器参数

3. 评估资料

3.1. 光伏发电项目情况

上海大众宁波工厂三期 17MW 分布式光伏发电项目拟建场址位于上海大众汽车有限公司宁波分公司厂区内停车场。

本项目建设规模为 17.29MW_p，分为 4 个光伏子站，规模分别为 4.8MW、4.99MW、3.6MW、3.9MW，共计安装 315W_p 单晶硅组件 54915 块。光伏电站以 4 回 10 千伏电缆线路接入 110 千伏大众变 10 千伏配电装置，采用“自发自用、余电上网”的模式，10 千伏并网线路截面采用 185mm² 和 120mm² 电缆。

3.2. 变电站设置情况

上海大众宁波工厂现有 110kV 电压等级变电站两座：大众变和汽车变。现状 110 千伏大众变于 2012 年 10 月建成投产；主变容量现状及远景均为 2×40 兆伏安；2019 年最高负荷为 6.0 万千瓦，110 千伏主接线现状及远景均采用线变组接线，进线 2 回，现状采用 2 回 110 千伏线路接入双浦变，拟于 2020 年实施《大众第二电源工程》，届时 2 回电源 1 回

来自 220 千伏双浦变、1 回来自 220 千伏建中变（已于 2019 年批复，预计 2020 年投产）；10 千伏采用单母线分段接线，现状出线 28 回，远景出线 32 回。

现状 110 千伏汽车变于 2017 年 7 月投产，主变容量现状及远景均为 2×31.5 兆伏安；2019 年最高负荷为 2.5 万千瓦，110 千伏主接线现状及远景均采用单母分段接线，进线 2 回，双 T 接 110 千伏大众变 2 回线；10 千伏采用单母线分段接线，现状出线 24 回，远景出线 28 回。上海大众宁波工厂一期已安装 32 兆瓦分布式光伏，通过 110 千伏大 14 众变 10 千伏母线并网；二期已安装 19.17 兆瓦分布式光伏，通过 110 千伏汽车变 10 千伏母线并网。

3.3. 周边电力系统现状

随着国民经济的快速增长和人民生活的不断提高，宁波杭州湾新区电网也得到较大的发展，截止到 2018 年底，杭湾区已建成以 3 座 220 千伏（莲花变、双浦变、建中变）变电站为供电电源，10 座 110 千伏（滨海变、白鹭变、越瓷变、海星变、庵东变、海星变、虹桥变、富强变、盘棋变、闻涛变）变电站为支撑的、基本适应当前杭州湾新区经济发展的输、变、配电网。

具体规模如下：220 千伏公用变 3 座，主变 6 台，容量 132 万千伏安；110 千伏公用变 10 座，主变 20 台，容量 100 万千伏安。

2018 年，新区网供最高负荷 59.34 万千瓦，同比增长 10.05%；全社会用电量 34.56 亿千瓦时，同比增长 11.85%，负荷和电量增幅均处于宁波大市各区（市）县首位。

3.4. 并网方案

根据上海大众宁波工厂现状变电站配置情况及今后发展规划，本光伏电站按照“自发自用、余电上网”的模式进行建设，现状上海大众宁波工厂仅有 2 座 110 千伏变电站具备接入条件。目前大众变已有 32MW（20MW+12MW）分布式光伏接入，汽车变已有 19.17MW 分布式光伏接入。考虑大众变负荷约 6.0 万千瓦，汽车变负荷 2.5 万千瓦，为了光伏发电量能够更好就地消纳，因此考虑本期新建 17.29MW 分布式光伏项目接入 110 千伏大众变。届时，大众变 10 千伏光伏并网总容量达到 49.29MW，最大出力达到 39.4MW(光伏出力按 80%考虑)。

上汽大众宁波工厂 17.29MW 分布式光伏项目正常输出功率为 13.83MW。本期新建 4 回 10 千伏线路接入 110 千伏大众变 10 千伏母线。新建电缆线路长度约 1+0.8+0.7+0.2 公里，电缆截面采用 185mm²、185mm²、120mm² 和 120mm²。

根据业主提供资料，主变型式：三相两圈降压结构有载调压电力变压器；容量：4500 千瓦（4 台）；接线组别：Dyn11；电压分接头：10.5 ±2×2.5%/0.36 千伏；短路阻抗：6.5%。

光伏电站并网方案接线示意图见图 3.1。

光伏电站接入后周边局部电网地理接线图见图 3.2。

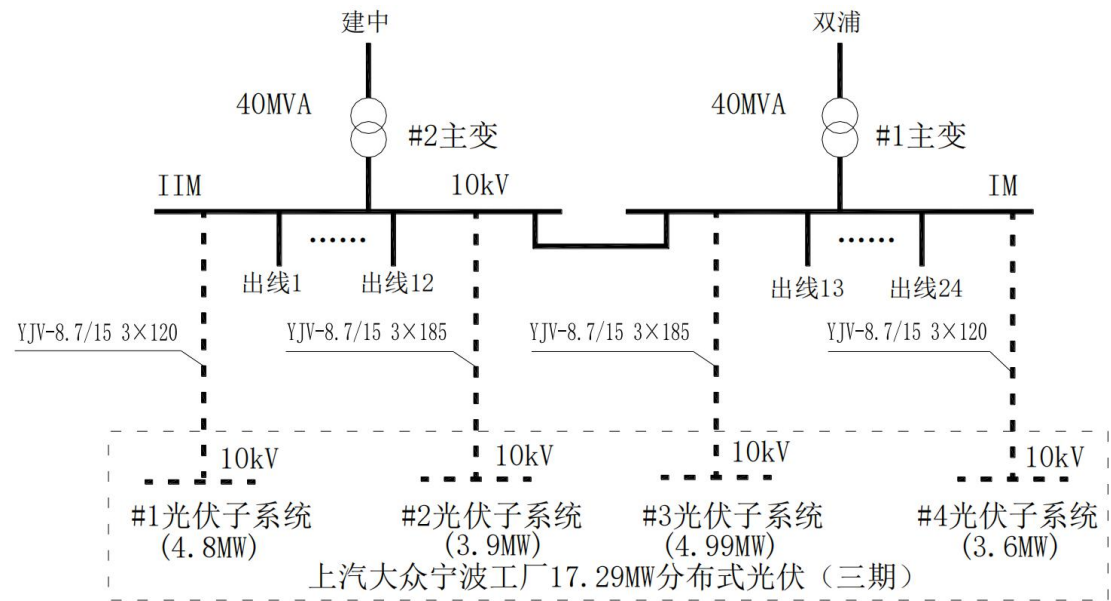


图 3.1 光伏电站并网方案接线示意图

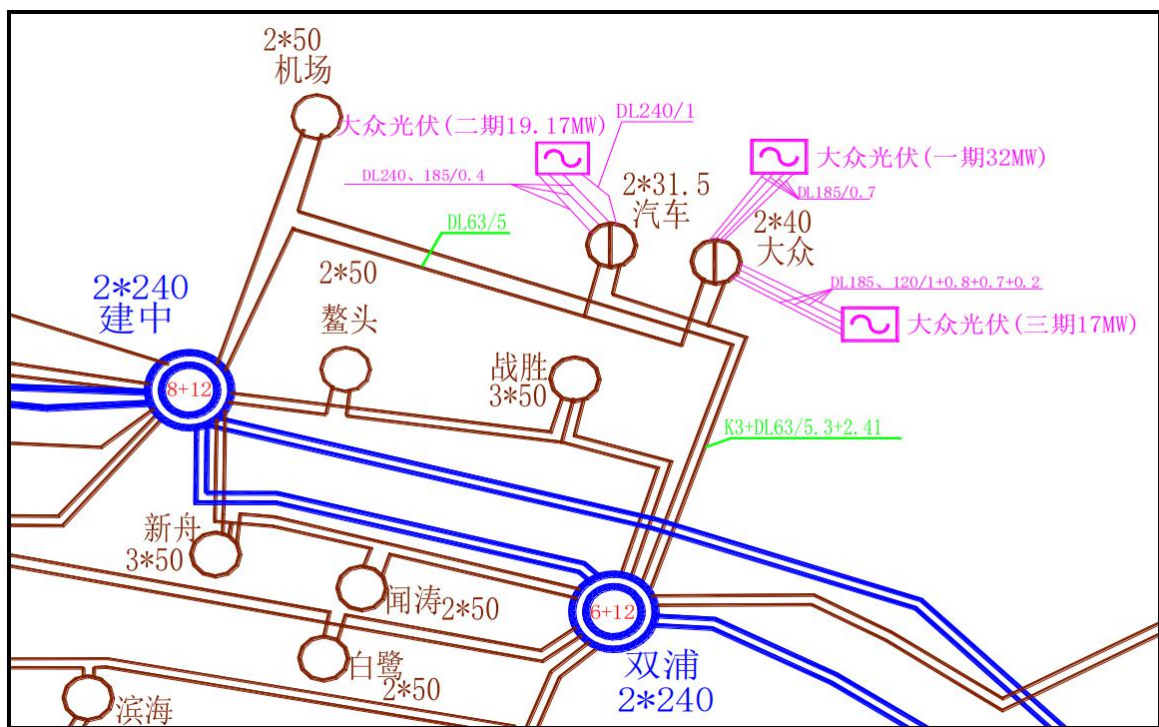


图 3.2 光伏电站接入后周边局部电网地理接线图

3.5. 主要设备参数

上海大众宁波工厂三期分布式光伏发电项目总安装容量为 17.29MW_p，每组发电单元由若干升压变、若干汇流箱、若干逆变器和若干光伏阵列组成、各器件间一次连接导体为电力电缆。

表 3-1 光伏组件参数

型号	285W
最大输出功率 (P _m)	285W _p ±3%
开路电压(V _{oc})	38.80V
短路电流 (I _{sc})	9.56A
最大工作电压 (V _{mp})	31.20V
最大工作电流 (I _{mp})	9.13A
组件效率 (%)	17.4
最大系统电压	DC1000V
外形尺寸(A×B×C)	1650mm×992mm×35mm
电池片类型	单晶硅
电池片数量	60pcs

表 3-2 逆变器参数

项目	型号	SD1250UD
直流输入	最大输入电压	1100V
	最大输入电流	2*1399A
	满载 MPPT 电压范围	520V-1000V
交流输出	额定功率	1260kW
	额定输出电压	414V
	输出最大电流	2222A
	额定频率	50HZ
	功率因数	0.8 超前...0.8 滞后
保护	输入直流开关	支持
	反孤岛保护	支持
	输出过流保护	支持
	输入反接保护	支持
	直流浪涌保护	支持
	交流浪涌保护	支持
	绝缘阻抗检测	支持

4. 电能质量评估

4.1. 评估指标

国家标准《GB/T19964-2012 光伏发电站接入电力系统技术规定》第 10 条和国家电网企业标准《Q/GDW617-2011 光伏电站接入电网技术规定》第 5.1.1 条规定，光伏电站向电网发送电能的质量，在谐波、电压偏差、电压波动和闪变、电压不平衡度等方面应满足 GB/T14549、GB/T24337、GB/T12325、GB/T12326、GB/T15543 的要求。

国家电网企业标准《Q/GDW617-2011 光伏电站接入电网技术规定》第 5.6 条对直流分量的限值进行了规定。

4.2. 谐波

4.2.1. 谐波电压允许值

国家标准《电能质量公用电网谐波》（GB/T14549-1993）对公用电网不同电压等级的谐波电压水平进行了规定。根据该标准规定，本项目并网后公共连接点（PCC）应满足下表所示的公用电网谐波电压限值。

表 4-1 公用电网谐波电压限值

电网标称电压 (kV)	谐波电压总畸变率 (%)	各次谐波电压含有率 (%)	
		奇次	偶次
10	4.0	3.2	1.6

4.2.2. 谐波电流允许值

国家标准《电能质量公用电网谐波》（GB/T14549-1993）对公用电网不同电压等级公共连接点的全部用户注入电网的谐波电流进行了规定。根据该标准规定，本项目并网后公共连接点的全部用户注入电网的谐波电流允许值如下表。

表 4-2 公共连接点谐波电流允许值

标称电压 (kV)	基准 短路 容量 (MV A)	各次谐波电流允许值 (A)											
		26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9
10	100	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1
		26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9

《电能质量公用电网谐波》中明确当公共连接点处最小短路容量不同于上表对应的基准容量时，按下式对谐波电流允许值进行修正。

$$I_h = \frac{S_{K1}}{S_{K2}} I_{hp} \quad (\text{式 4-1})$$

式中 S_{K1} ——公共连接点的最小短路容量，MVA；

S_{k2} ——基准短路容量，MVA；

I_{hp} ——上表中的第 h 次谐波电流允许值，A；

I_h ——短路容量为 S_{k1} 时的第 h 次谐波电流允许值，A。

同一公共连接点的每个用户向电网注入的谐波电流允许值按此用户在该点的协议容量与其公共连接点的供电设备容量之比进行分配。

$$I_{hi} = I_n (S_i / S_t)^{1/a} \quad (\text{式 4-2})$$

式中 I_n ——第 n 次谐波电流允许值，A；

S_i ——第 i 个用户的用电协议容量，MVA；

S_t ——公共连接点的供电设备容量，MVA；

a ——相位迭加系数，按下表取值。

表 4-3 相位迭加系数

谐波次数	3	5	7	11	13	9、>13、偶次
a	1.1	1.2	1.4	1.8	1.9	2

根据《电能质量公用电网谐波》规定，本项目注入电网公共连接点（PCC）的谐波电流允许值如下表所示。

表 4-4 本项目注入公共连接点的谐波电流允许值

	各次谐波电流允许值（A）											
谐波次数	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
谐波电流(A)	11.05	6.27	5.67	6.68	3.76	5.41	2.80	3.02	2.28	3.94	1.91	3.39
谐波次数	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
谐波电流(A)	1.45	1.64	1.25	2.37	1.12	2.10	0.99	1.18	0.92	1.78	0.85	1.64

4.2.3. 谐波分析

在并网变电站以小方式运行的情况下，本项目并网后公共连接点主要次谐波电压含有率及谐波电压总畸变率如表 7-1 所示。以 5 次、7 次、11 次、13 次谐波电压为主，谐波电压含有率分别为 2.15%、1.83%、1.36%、0.88%，谐波电压总畸变率为 1.4%，各次谐波电压含有率及谐波电压总畸变率均满足标准《电能质量公用电网谐波》（GB/T14549-1993）对公共连接点谐波电压水平的要求。

表 4-5 谐波电压评估分析结果

谐波次数	谐波电压含有率(%)	国标限值 (%)
5	2.15	3.20
7	1.83	3.20
11	1.36	3.20
13	0.88	3.20
THD	1.4	4.00

在并网变电站以小方式运行的情况下，本项目并网后注入公共连接点的主要次谐波电流如表 7-2 所示。以 5 次、7 次、11 次、13 次谐波电流为主，分别为 4.51A、3.78A、1.60A、1.34A，各次谐波电流均满足标准《电能质量公用电网谐波》（GB/T14549-1993）对用户注入电网的谐波电流水平要求。

表 4-6 谐波电流评估分析结果

谐波次数	谐波电流含量(A)	国标限值 (A)
5	4.51	6.68
7	3.78	5.41
11	1.60	3.94
13	1.34	3.39

4.3. 电压偏差

4.3.1. 电压偏差标准要求

标准《GB/T12325-2008 电能质量供电电压偏差》第 4.2 条规定, 20kV 及以下的供电电压偏差为标称电压的±7%。

4.3.2. 电压偏差分析

国家电网企业标准《Q/GDW617-2011 光伏电站接入电网技术规定》第 6.1.2 条规定, 光伏电站有功功率变化包括 10min 有功功率变化和 1min 有功功率变化。光伏电站有功功率变化最大限值参照下表。

表 4-7 光伏电站有功功率变化最大限值

电站类型	10min 有功功率变化 (MW)	1min 有功功率变化
小型	装机容量	0.2
中型	装机容量	装机容量/5
大型	装机容量/3	装机容量/10
注: 太阳光辐照度快速减少引起的光伏电站输出功率下降不受上述限制		

下面的分析认为大众变 10kV 母线电压始终保持在标称电压。

电力线路的电压降落公式如下:

$$\Delta U = (\Delta P \cdot R + \Delta Q \cdot X) / U \quad (\text{式 4-3})$$

表 4-8 不同运行方式下电压偏差

名称	10min 有功变化	1min 有功功率变化				
运行有功变化方式	停发-满发	100%-80%	80%-60%	60%-40%	40%-20%	20%-停发
最大变化量比例	100%	20%	20%	20%	20%	20%
额定发出视在功率 MVA	17.29	17.29	17.29	17.29	17.29	17.29
三相有功功率变化 MW	-17.29	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46
升压变无功功率变化 Mvar	-0.67	0.47	0.31	0.20	0.13	0.10
电压损耗 Kv	-0.122	0.086	0.056	0.036	0.024	0.020
电压偏差	-1.22%	0.86%	0.56%	0.36%	0.24%	0.20%

由上表可知, 当光伏电站在 10min 有功功率变化最大限值条件下, 从停发到满发时, 计算出线路的电压降落值为 122V, 电压偏差为 1.22%。

因电站处于发电状态, 所以电压偏差为负值, 即光伏电站在发电时, 提升了并网点的电压 1.22%。当光伏电站在 1min 有功功率变化最大限值条件下, 计算出线路的电压降落值为 86V, 电压偏差为 0.86%。电站发出的有功对电压提升作用小于变压器的无功对电压的减小作用, 所以电压

偏差为正值，即光伏电站在发电时，并网点降低了电压 0.86%。所以电压偏差值为 $1.22\%+0.86\%=2.08\%$ 。

对照标准要求的 7%，最大电压偏差值为 2.08%，在并网点电压偏差满足要求。

4.4. 电压波动和闪变

4.4.1. 电压波动和闪变标准要求

国家标准《电能质量电压波动和闪变》（GB/T12326-2008）对公用电网不同电压等级下波动负荷用户在电网公共连接点产生的电压波动限值规定如下表。

表 4-9 电压波动限值

变动频度 $r/(\text{次/h})$	$d/(\%)$	
	LV、MV	HV
$r \leq 1$	4	3
$1 < r \leq 10$	3*	2.5*
$10 < r \leq 100$	2	1.5
$100 < r \leq 1000$	1.25	1
注 1：很少变动频度（每日少于 1 次），电压变动限值 d 还可以放宽，但不在本标准中规定。 注 2：对于随机性不规则的电压波动，表中标有“*”的值为其限值。 注 3：参照 GB/T156-2007，系统标称电压 U_N 等级按以下划分： 低压（LV） $U_N \leq 1\text{kV}$ 中压（MV） $1\text{kV} < U_N \leq 35\text{kV}$ 高压（HV） $35\text{kV} < U_N \leq 220\text{kV}$ 对于 220kV 以上超高压（EHV）系统的电压波动限值可参照高压（HV）系统执行。		

对于随机性不规则的电压波动，由于光伏电站并网点电压为 10kV，选择波动频度为 $1 < r \leq 10$ ，其电压波动限值为 3。选择波动频度为 $10 < r \leq 100$ ，其电压波动限值为 2。。

标准第 5 条规定在电力系统公共连接点的长时间闪变值 Plt 应小于 1。

4.4.2. 电压波动和闪变分析

电压变动的表达式为：

$$d = \frac{\Delta U}{U} \times 100\% \quad (\text{式 4-4})$$

公式中 ΔU 引用前面分析电压偏差的计算用公式 4-3，但是式中的等效阻抗和等效电抗包括系统和线路两个部分。对于 10min 有功功率变化时，满足电压波动频度为 $1 < r \leq 10$ ，对于 1min 有功功率变化时，满足电压波动频度为 $10 < r \leq 100$ 。将输电线路等效参数、系统等效参数、升压变压器参数和光伏电站的运行功率数据代入公式 4-3、公式 4-4，求出各参数如下表所示。

表 4-10 不同运行方式下电压波动

名称	10min 有功变化	1min 有功功率变化				
运行有功变化方式	停发-满发	100%-80%	80%-60%	60%-40%	40%-20%	20%-停发
最大变化量比例	100%	20%	20%	20%	20%	20%
额定发出视在功率 MVA	17.29	17.29	17.29	17.29	17.29	17.29
三相有功功率变化 MW	-17.29	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46
升压变无功功率变化 Mvar	-0.674	0.47	0.31	0.196	0.128	0.104
电压损耗 Kv	-0.146	0.103	0.067	0.043	0.029	0.024
电压偏差	-1.46%	1.03%	0.67%	0.43%	0.29%	0.24%

由上表可知，当光伏电站在 10min 有功功率变化最大限值条件下，从停发到满发时，电压波动为-1.46%。在 1min 有功功率从 100%降到 80%时，电压波动为 1.03%。

因电站处由于光伏发电最大功率点工作电压近似保持不变，故在光伏电站接入时系统可以不考虑闪变的问题。

对比标准数据，频度为 $1 < r \leq 10$ 电压波动要求 3，经计算为 1.46，频度为 $10 < r \leq 100$ 电压波动要求 2，经计算为 1.03，在并网点均满足要求。闪变指标满足要求。

4.5. 电压不平衡度

4.5.1. 电压不平衡度标准要求

根据《GB/T15543-2008 电能质量三相电压不平衡》标准第 4 条规定，电网正常运行时，接于公共连接点的每个用户引起该点负序电压不平衡度允许值一般为 1.3%，短时不得超过 2.6%。

4.5.2. 电压不平衡度分析

产品参数的数据如下表所示。

表 4-11 逆变器的不平衡度

功率点[%]	不平衡度[%]	限定值[%]
100	0.04	1.3
备注：100%输出功率		

每台逆变器的不平衡度为 0.04%。

以 10kV 计算，系统、线路和变压器的等效阻抗分别为 1.393、1.82 和 1.26。

不平衡度计算公式为：

$$\varepsilon_{u2} = \frac{U_2}{U_1} \times 100\% \quad (\text{式 4-5})$$

依据公式 4-5 推算出在并网点的电压不平衡度计算式如下：

$$\varepsilon_{u2} = \frac{Z_s + Z_L}{Z_s + Z_L + Z_f} U_L \% \quad (\text{式 4-6})$$

U_L 为升压变低压侧的不平衡度。

在计算时，认为升压变压器的负序阻抗与正序阻抗相等，把系统等效阻抗 Z_s ，输电线路等效阻抗 Z_L ，升压变压器等效阻抗 Z_f 各值代入公式 4-6，计算出并网点的电压不平衡度为 0.029%。

对照标准的数据，光伏电站运行时，并网点的电压不平衡度满足要求。

4.6. 直流分量

4.6.1. 直流分量标准要求

根据《Q/GDW617-2011 光伏电站接入电网技术规定》第 5.6 条规定，光伏电站并网运行时，向电网馈送的直流电流分量不应超过其交流电流额定值的 0.5%。

4.6.2. 直流分量分析

产品参数中的数据如下表。

表 4-12 逆变器的直流分量

输出功率	测量值[A]	限值[A]
100%	<0.5	0.5
备注：100%输出功率		

根据参数，逆变器在额定功率运行时，在低压侧产生直流分量小于为 0.5%，满足标准要求。

升压变压器为交流变压器，低压侧的直流分量不会通过升压变压器进入到 10kV 并网点，即在高压侧的直流分量为 0，不会影响系统。

对照标准数据，光伏电站运行时，在并网点的直流分量满足要求。

4.7. 无功容量需求

国标《GB/T19964-2012 光伏发电站接入电力系统技术规定》6.2.2 条规定，通过 10kV-35kV 电压等级并网的光伏发电站功率因数应能在超前 0.98-滞后 0.98 范围内连续可调。

国家电网企业标准《Q/GDW617-2011 光伏电站接入电网技术规定》第 6.2.1 条规定，光伏电站宜充分利用逆变器的无功调节能力进行无功功率和电压调节。第 6.2.2 条规定，对于接于公共电网和用户内部电网的大中型光伏电站应根据项目工程特点，结合电网实际情况论证其配置无功装置类型及容量范围。

产品参数中的逆变器在额定工况时的功率因素为 0.99。

经计算，4.8MW 光伏子站满载运行时，容性无功功率的需求为 0.237Mvar，感性无功功率的需求为 0Mvar。在有功以满载方式运行时，补偿到滞后 0.98-超前 0.98 范围内的无功功率为感性 0.654Mvar 和容性 0.654Mvar。在光伏逆变器功率因数为 1 的运行条件下，容性无功功率的需求为 $0.237+0.654=0.891\text{Mvar}$ ，感性无功功率的需求为 0.654Mvar。

4.99MW 光伏子站满载运行时，容性无功功率的需求为 0.249Mvar，感性无功功率的需求为 0Mvar。在有功以满载方式运行时，补偿到滞后 0.98-超前 0.98 范围内的无功功率为感性 0.656Mvar 和容性 0.656Mvar。在光伏逆变器功率因数为 1 的运行条件下，容性无功功率的需求为 $0.249+0.656=0.905\text{Mvar}$ ，感性无功功率的需求为 0.656Mvar。

3.6MW 光伏子站满载运行时，容性无功功率的需求为 0.172Mvar，感性无功功率的需求为 0Mvar。在有功以满载方式运行时，补偿到滞后 0.98-超前 0.98 范围内的无功功率为感性 0.453Mvar 和容性 0.453Mvar。在光伏逆变器功率因数为 1 的运行条件下，容性无功功率的需求为 $0.172+0.453=0.625\text{Mvar}$ ，感性无功功率的需求为 0.453Mvar。

3.9MW 光伏子站满载运行时，容性无功功率的需求为 0.178Mvar，感性无功功率的需求为 0Mvar。在有功以满载方式运行时，补偿到滞后 0.98-超前 0.98 范围内的无功功率为感性 0.458Mvar 和容性 0.458Mvar。在光伏逆变器功率因数为 1 的运行条件下，容性无功功率的需求为 $0.178+0.458=0.636\text{Mvar}$ ，感性无功功率的需求为 0.458Mvar。

因此，4.8MW、4.99MW 光伏子站侧 10 千伏母线各配置一组容量为 1Mvar 的集中动态无功补偿装置、在 3.6MW、3.9MW 光伏子站侧 10 千伏母线各配置一组容量为 0.8Mvar 的集中动态无功补偿装置。

5. 结论与建议

5.1. 电能质量评估

从以上数据的分析,上海大众汽车有限公司宁波分公司 17MWp 光伏发电工程项目在投入后,光伏电站向电网发送电能的质量,在谐波、电压偏差、电压波动和闪变、电压不平衡度等方面满足 GB/T14549、GB/T24337、GB/T12325、GB/T12326、GB/T15543 的要求,结论如下表。

项目	国标要求	评估数据	评估结论
谐波	谐波电压	表 4-5	满足要求
	谐波电流	表 4-6	满足要求
电压偏差	正负偏差<7%	2.08%	满足要求
电压波动和闪变	频度 $1 < r \leq 10$, 限值 3	1.46	满足要求
	频度 $10 < r \leq 100$, 限值 2	1.03	满足要求
闪变	<1	<1	满足要求
电压不平衡度	<1.30%	0.029%	满足要求
直流分量	<0.50%	<0.50%	满足要求

另外,为更好的实时监测电压质量,本期在 10 千伏光伏电站各出线间隔装设电能质量动态监测装置一套。电能质量参数包括电压、频率、谐波、功率因素等。

5.2. 配置动态无功补偿装置

为了增强光伏电站的无功功率和电压支撑能力,建议光伏电站安装动态无功补偿装置。4.8MW、4.99MW 光伏子站侧 10 千伏母线各配置一组容量为 1Mvar 的集中动态无功补偿装置、在 3.6MW、3.9MW 光伏子站侧 10 千伏母线各配置一组容量为 0.8Mvar 的集中动态无功补偿装置。