

# 创新屋顶光伏智能运维技术

韦仕庆

广西自然资源职业技术学院 广西南宁

**【摘要】**光伏发电是目前实现国家“双碳”目标的重要举措，其中屋顶光伏电站的建设将进一步加强分布式光伏发电的环保示范效应。新技术、新材料、新应用与光伏的深度融合，将成为我国光伏产业创新发展新的助推力。本文结合近期设计的屋顶光伏发电项目，并参阅部分生产厂家技术资料，提出屋顶光伏智能运行维护的技术思路和应用方案，供同行探讨。

**【关键词】**创新；屋顶光伏；智能；运维

## Innovative rooftop photovoltaic intelligent operation and maintenance technology

Shiqing Wei

Guangxi Natural Resources Vocational and Technical College, Nanning, Guangxi

**【Abstract】** Photovoltaic power generation is currently an important measure to achieve the national "dual carbon" goal, among which the construction of rooftop photovoltaic power stations will further strengthen the environmental demonstration effect of distributed photovoltaic power generation. The deep integration of new technologies, new materials, new applications and photovoltaics will become a new driving force for the innovation and development of my country's photovoltaic industry. Based on the recently designed rooftop photovoltaic power generation projects, and referring to the technical data of some manufacturers, this paper proposes the technical ideas and application plans for the intelligent operation and maintenance of rooftop photovoltaics for peer discussion.

**【Keywords】** Innovation; rooftop photovoltaic; Intelligence; Operation and maintenance

### 前言

自实施“金太阳示范工程”以来，国家已出台了一系列的分布式光伏激励政策。截至 2021 年 6 月底，光伏发电累计装机容量 268GW，其中分布式光伏 85.96GW<sup>[1]</sup>。屋顶光伏建设渐入佳境，运维管理技术也取得长足的进步，当前数字化已经成为工业生产的核心技术之一，加强“互联网+”与光伏、AI 技术与光伏的深度融合，实现数字信息技术、通信技术、互联网技术、大数据技术与光伏运维技术的高度融合，将极大地助推屋顶分布式光伏产业创新发展，对振兴经济持续发展、确保国家政策有效落地具有重大意义<sup>[2]</sup>。

### 1 屋顶光伏发电系统典型设计

#### 1.1 接入系统设计

(1) 光伏电站的接入系统方案应以国家电网公

司分布式光伏发电接入系统典型设计、电网现状及规划接线为基础，并与既有供电现状相结合。接入系统方案应保证电网和电厂的安全稳定运行，技术、经济合理，便于调度管理。

(2) 光伏电站接入系统方案应充分考虑并网太阳能电站的特殊性及其对电网的影响并采取有效的防范措施。接入系统应满足 GB/Z19964-2012《光伏电站接入电力系统技术规定》、GB/T19939-2005《光伏系统并网技术要求》、GB/T12325-2008《电能质量供电电压允许偏差》、GB/T15543-2008《电能质量三相电压允许不平衡度》等国家技术标准，以及国家电网公司 Q/GDW617-2011《光伏电站接入电网技术规定》<sup>[3]</sup>。

#### 1.2 发电系统设计:

(1) 目前国家电网已基本完成行业的全覆盖，

采用并网发电是分布式光伏发电最直接最有效的供电方式，电站即发即用余电上网，系统结构简单，主要由太阳能电池板和逆变器组成。

(2) 并网运行光伏系统需保证向交流负载提供的电能质量始终受控。在与公共电网在低压端并接时，光伏系统自控装置对公共电网的电压、相位、频率等参数进行采样，并以采样值实时调整逆变器的输出，保证并网光伏发电系统与公共电网的同步运行。

(3) 结合近期设计(规划)的项目，主要为学

校、园区(厂区)的屋顶项目。以 10000 m<sup>2</sup> 的大型屋顶为例，可装机约 1MW，设计思路如下：(见图 1)。

①配置 6 台 196KTL 光伏逆变器，每 3 台逆变器经过 1 个 3 进 1 出的交流汇流箱汇流；

②配置 2 台交流汇流箱，汇流箱接入到厂房的低压配电柜；

③光伏电站的发电信息等运行状况经 1 台智能数采通过无线接入到智能光伏管理系统。

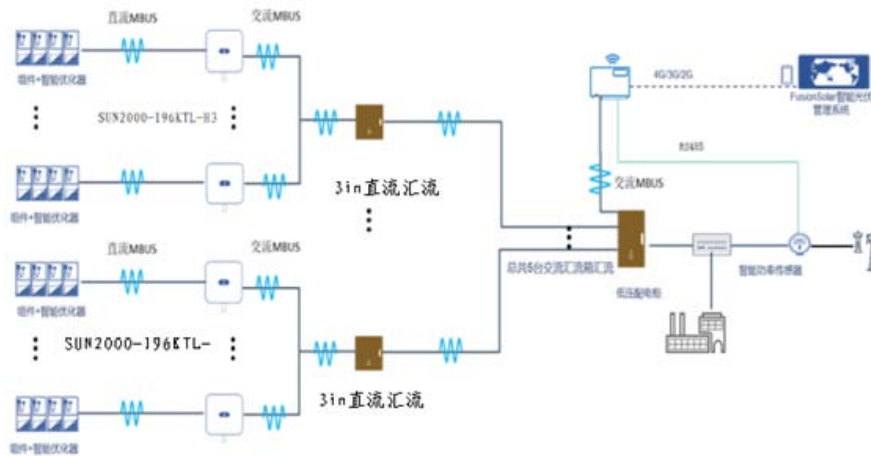


图 1

表 1 典型大型屋顶配置表

子部件	主要参数	数量
光伏优化器	智能型，600W-P/1300W-P	与组件数量一致
光伏逆变器	智能型，196kTL	6
通信模块	/	1
功率传感器	智能型，支持 RS485 通信电表，推荐 PZ96L	1
直流线缆	PVSOL 1*4mm <sup>2</sup> (红色 PV+/黑色 PV-)	若干
逆变器到配电箱交流线缆	25mm <sup>2</sup> 户外铜芯线缆	若干
3 进 1 出交流汇流箱	标准配置 (分支断路器、主断路器、防雷器等)	2
低压配电柜	低压配电柜，不少于 5 路支路输入	1
其他辅料	支架、端子、套管等	若干

## 2 运维技术方案

### 2.1 智能运维平台技术

屋顶分布式光伏电站具有数量多、分布广的特点，而且具有一定的独立性，项目在设计阶段需充

分考虑智能运维平台，通过集中管理系统和移动运维平台将电站运维专家集中固化管理，通过分析自动生成运维建议和电子工作票，指导远程运维，实现远端电站的“无人值班”和“少人值守”。

## 2.2 无人机巡视技术

在电站巡检方面，可适当根据厂（站）区实际情况采用先进的无人机运维技术，节省人力，提高运维效率，降低电站运维成本。利用无人机运维系统执行一系列光伏相关的巡检任务，包括（组件、线缆及其他部件）视觉成像、红外热成像，同时可

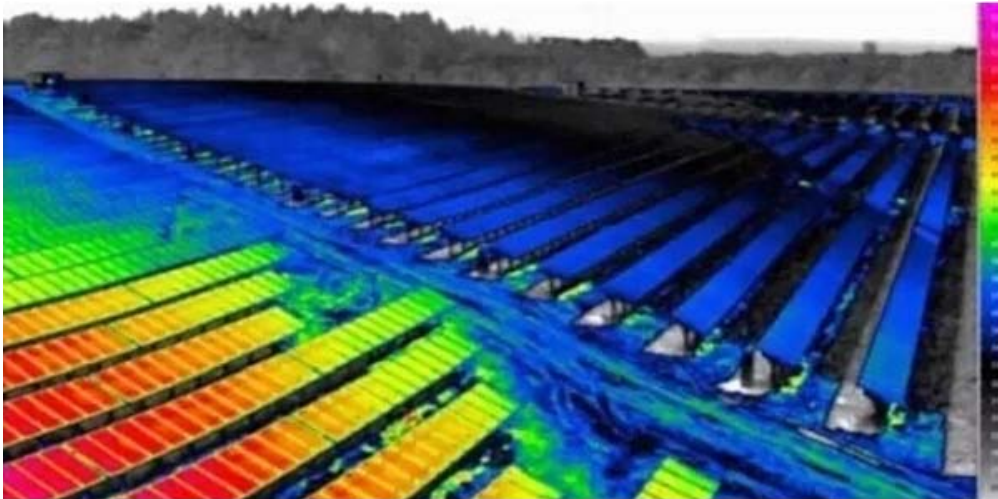


图2 无人机拍摄热成像照片

此外，将无人机与光伏电站管控平台、大数据平台进行结合，可实现平台巡检功能模块、手持巡检与无人机巡检的无缝融合，通过无人机画面实时传输并在管控平台上直观显示，同时可在数据分析、损耗对比方面，加入无人机故障定位元素、故障检测、区域排查等环节，为电站运行分析提供精准的数据依据。对于人员的优化、电站的巡检排查、提高发电效率等方面，都有重大作用<sup>[4]</sup>。

## 2.3 全天空成像仪应用技术

全天空成像仪是一种实现全自动、全色彩的天空成像系统，可提供实时处理和显示白天的天空状态。由观测人员采用传统人工观测再到方法报告天气状况，会造成很大的主观误差。全天空成像仪可全天候的代替观测人员对天空进行实时观测，既能计算云量和日照时数，又可存储观测数据并通过方便使用的网络浏览器界面传送给运维人员。

## 2.4 分光光度计

分光光度计是能够测量及计算光学厚度、散射系数、气溶胶分布、能量分布并带太阳传感器主动修正的一体化太阳跟踪器，可以用于测量直接太阳辐射，通过程序化的天空扫描进行散射和漫射测量，配合使用全天成像仪，能够较准确的预测云层厚度

节省车辆、人员、燃油等诸多成本。无人机设备配有红外线热感应摄像头，可通过热信号的生成来确定光伏组件受损情况，监测汇流箱、接线盒、逆变器等电子设备的温度，查看一定区域内光伏组件热斑效应等，调整组件倾角，确保组件效率最大化<sup>[4]</sup>。见图2。

和大气状况，可以较为准确的计算太阳能辐射量、系统综合效率和发电量。

## 2.5 光伏组件清扫机器

清扫机器配备蓄电池，可在光伏组件上自动移动的同时从清洗液罐向外洒水，使用旋转刷和刮板进行清扫，提高光伏组件表面污染修正系数，提高系统综合效率。机器配备有摄像头及多种传感器，无需铺设专用轨道即可自动移动，清洗能力可达每小时100平方米。机器采用可在5-30度的倾斜面上移动的设计，能满足在20度的光伏组件倾斜面上行走。另外设置机器移动滑板，可使机器能稳定跨越光伏组件之间50毫米以内、落差在±30毫米以内的间隙。

## 2.6 智能运维管理平台

智能运维平台实现对多个分布式电站进行集中管理，提高电站的管理和运维效率，提升发电量，降低管理成本：

(1) 平台基于大数据计算，具备管理100GW+数据能力，支持25年、TB级数据存储，以及完善的容灾备份机制，能够充分保证数据安全；

(2) 平台支持多地域多类型电站接入，可将位于不同地区的电站统一进行监控管理，实现对辖区

内多电站的数据监视、设备故障预警、事故分析、运维指导等功能，专家人员可通过系统远程指导一线人员作业，从而快速消缺、安全生产；

(3) 智能运维平台实现总调(中调)对所有电站的集中管控，功能包括生产监视、设备管理、物资管理、检修管理、安全管理、智能分析、辅助决策等；

(4) 平台具备数据分析功能，通过汇总电站生产运营运维数据，利用大数据处理与数据挖掘技术，提取价值数据，形成一整套跨电站的 KPI 指标来评估电站的运营情况，评估电站运行健康状态，快速找出短板、给出优化建议。分析电站运行情况、运维投入情况等，辅助总调开展决策分析。

### 3 技术创新

#### 3.1 组件智能化设计

##### (1) 组件智能化

光伏组件通常不支持多朝向安装，存在“短木

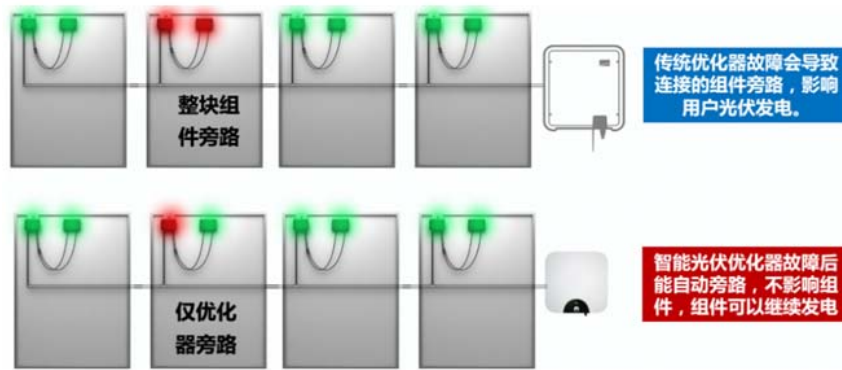


图 3



图 4

##### (2) 组件自动修复

PID 效应 (Potential Induced Degradation)，是电池组件的封装材料和其上、下表面的材料以及电池片与其接地金属边框之间的高电压作用下出现离子迁移，而造成的组件性能衰减的现象，其直接危害就

是大量电荷聚集在电池片表面，使电池表面钝化，从而导致电池组件功率逐年衰减直至组件失效<sup>[6]</sup>，对电站的发电效率和使用寿命影响极大。

通过技术创新，在逆变器内内置 PID 自动修复功能，可有效提升系统发电量约 3%。由于 PID 具有“桶”效应。通过技术创新，在分布式光伏系统中采用智能光伏优化器，使每块组件集成独立的发电单元 (MPPT)，组件间发电互不影响<sup>[5]</sup>。以华为技术公司等推出的新技术方案-采用智能光伏组件优化器为例，具有如下优势：

① 智能光伏优化器转换效率高，最高效率可达 99.6%，加权效率 99.0%，适配当前主流的多晶、单晶组件并支持未来的技术演进；

② 采用智能光伏电力载波通道，组网简单，内置高性能芯片，实现直流 PLC 高可靠通讯，传输距离可达 350m，传输距离大幅度提升，抗干扰能力强，信号传输稳定；

③ 优化器故障能自动旁路，不影响组件正常发电，(见图 3)；

④ 在阴影下也可以安装太阳能板，充分利用屋顶场地(见图 4)。

可逆性，雨天或夜间光伏组件不工作时，内置的 PID 修复模块启动，并在逆变器 PV-与大地之间施加一个直流偏置电压，从而抬升组件 PV-对地电势为正，达到 PID 修复功效（让白天向组件内部迁移的 Na+离子回流，恢复组件部分因 PID 效应而损失的发电能力）。见图 5。

### 3.2 创新技术、主动防护

#### (1) AI 加持直流拉弧检测，杜绝火灾隐患

短路出现火灾和直流拉弧是屋顶光伏发电系统的两大隐患<sup>[7]</sup>。

采用人工智能技术，通过采用 AI 加持组成智能电弧检测方案，是解决隐患的有效途径。华为技术

公司面向分布式光伏发电系统推出的直流拉弧智能检测技术（AFCI），主要利用电弧电流/电压频域，包括频点、能量、变化量等特征信息进行分析判断，提供一体化算法包，再通过不同阈值参数进行调试。AFCI 技术在源头设计逆变器即取消传统的熔丝，有效解决了传统熔丝在关掉逆变器功能时产生的持续直流拉弧短时间无法熔断的问题，而 AFCI 可在不到一秒钟即可分断，杜绝火灾发生。此外，通过 AI 和深度学习技术，使得检测模型具备不断学习未知频谱的能力，有效提升噪音适应性；同时通过提升模型泛化能力，使得模型能够有效识别不同场景的电弧特征，提升场景适应性。见表 2。

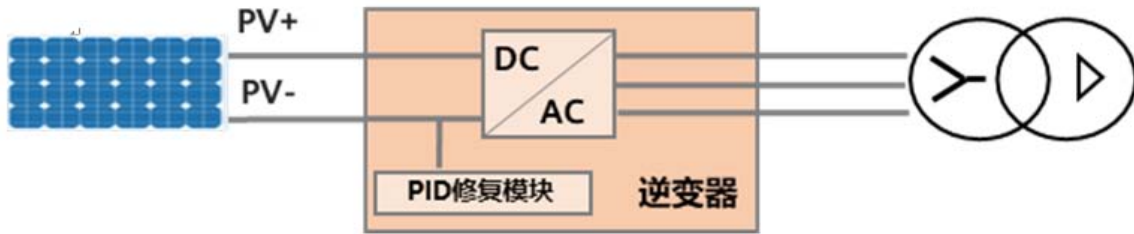


图 5 组件 PID 夜间自动修复工作原理

表 2 传统电弧检测方案与 AI 加持智能电弧检测方案对比

	传统电弧检测方案	智能电弧检测方案
噪声适应性	相似特征信号易产生误报	能够有效区分噪声和电弧特征 100%避免误报以及漏报情况
场景适应性	仅支持认证要求输入线缆长度 61m 仅支持认证要求输入电流 14A	能够支持最大输入线缆长度 200m 能够支持机型最大输入电流 26A 适配优化器，并可实现组件级的电弧故障位置定位

#### (2) 设置直流电压快速关断，保障运维安全

针对光伏发电系统存在的“直流高压风险”与“施救风险”两大安全隐患，行业协会、政府机构经多年试点，逐步推出安全标准，规范市场运行，提出了“快速关断”这一光伏电站安全保护概念<sup>[8]</sup>。

在传统的串型系统中，整串线路电压可达 600V~1000V 的高压，由于光伏组件接头接点松脱、接触不良、电线受潮、绝缘破裂等原因极易引起直流拉弧，而且当由于拉弧或因外部原因发生火灾时，对直流侧而言，只要存在光照组件就会发电，高电压一直存在，救火工作的危险就一直存在，并且在救援时由于屋顶带电，无法通过普通方式用水进行灭火，大大增加了救援难度。随着光伏市场的发展，

采用创新型智能光伏优化器，不仅可设置组件级快速关断，同时在安装中将优化器连接至每块组件，可控制每块组件输出端，在出现紧急状况时可自动或手动启动 0V 快速关断功能，逆变器会向优化器通过 MBUS 发出信号，让优化器进行快速关断使组件输出逐步降至 0V<sup>[8]</sup>。

### 3.3 云化集控、智能运营

#### (1) 实时监控、智能感知

智能摄像头系统实现全景 7×24h 实时监测，智能感知技术可支持烟火检测、温度检测、安全帽识别、周界安防、电子围栏等，保障运行安全、资产安全及规范作业，见图 6。

#### (2) 光伏电站智能化体检

智能 IV 诊断，利用高精度数据采集，绘制组串 IV 曲线，根据 AI 技术对采集曲线所做的故障判定并给出修复意见。可实现对组串在线、全量体检，

精准的组串级故障定位、检测并提供发电量损失评估及修复建议，帮助提升运维效率及优化发电<sup>[9]</sup>。见表 3。

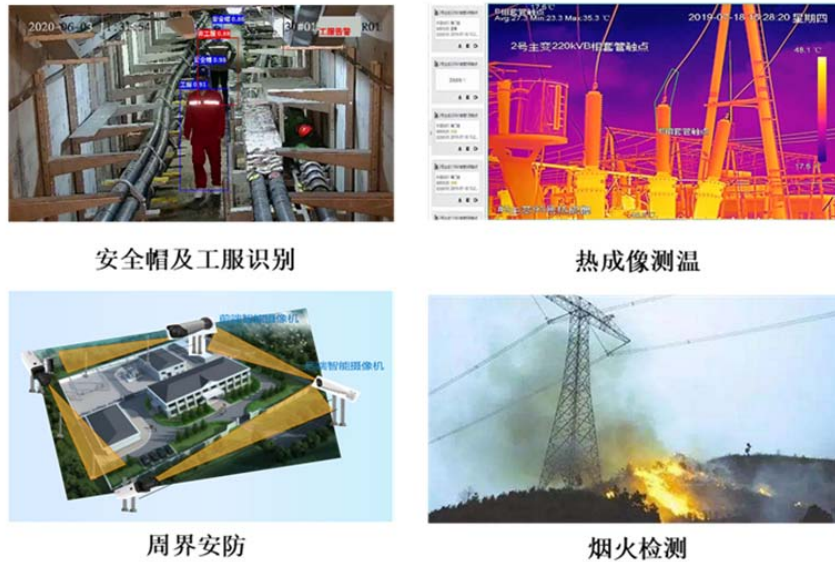


图 6

表 3 智能 IV 诊断与传统 IV 诊断对比表

项目	智能 IV 诊断	传统 IV 诊断	优势
方式	自动	人工	
扫描方式	100MW 扫描+传输+检测时间≤20 分钟	1MW 大概需要 2 天（上站+检测）	更高效：精准
扫描分辨率	128 点	120 点	
扫描精度	电流/电压精度≤0.5%	电流/电压精度≤1%	
扫描便捷性	在线操作	离线现场操作	
扫描一致性	支持超过 200 串同时扫描	逐串扫描	更方便：在线
扫描范围	全量采样	1%~10%抽检	
分析与报告	自动分析和报告	人工分析和报告	更智能：自动
电量损失	≈0kWh	100MW 电站，5%采样,5~7 天，>1000kWh	更经济：损失减少

(3) 5G 助推低延时通信

电力系统对分布式能源的并网要求是尽可能实现群控群调，而分布式光伏电站接入系统技术一直是该领域的“瓶颈”，5G 技术的应用，可实现广覆盖、低延时、切片特性，并可以满足电网公司的调度控制诉求，实现群控群调，且实现端、管、云全链路的控制安全、通信安全、计算安全等。

(4) 精细化管理，经营成果可视

传统资产管理对于大量的组件分布情况、故障情况、物理位置不可知、不可管。采用智能光伏优化器、电池模组优化器，可实现光伏侧的组件级、电池包级的资产可视，基于 AI 图像识别，自动生成组件级物理布局，实现资产可视。一旦组件故障或失窃，及时告警并上传云端，保障资产安全。

中调级管理指标包含实时功率、发电量与收益、发电量排名、实时功率、运维统计以及实时告警信息。电站级指标包含电站当月发电量、当月收益、实时功率、实时告警、社会贡献以及运维统计、PR 指标、IRR（辐照强度）&实时功率指标情况。全方面指标综合看板，辅助用户完成未来综合规划。

4 结语

与地面光伏电站的发电系统不同，屋顶分布式光伏发电系统在大规模推广的同时应结合运行维护的特点，创新运行维护及管理的技术应用。数字化已经成为工业生产的核心特征之一，加强“互联网+”与光伏、AI 技术与光伏的深度融合，实现现代数字信息技术、通信技术、互联网技术、大数据技术与光伏运维技术的高度融合，降低运维成本，提高屋顶光伏的可持续发展能力，将极大地助推屋顶分布式光伏产业创新发展，对振兴经济持续发展、确保国家政策有效落地具有重大意义。

参考文献

[1] 詹天津,谢玉荣. 国内分布式光伏发展形势分析及思考[J].华电技术,2021,43(12):60-65.  
 [2] 房超,李正风,薛颖,尤政. 基于比较分析的人工智能技术创新路径研究[J].中国工程科学,2020,22(04):147-153.  
 [3] 李绍震. 5MW 屋顶光伏电站设计与实现[D].哈尔滨工业大学,2016.  
 [4] 项东敏. 搭载红外热成像无人机在新能源发电设备中的应用[J].黑龙江科学,2022,13(04):68-69.

[5] 蒋月. 基于 MPPT 技术的组串功率优化器在光伏电站运维中的应用[D].东南大学,2019.  
 [6] 刘希璐,王华,赵科. 晶硅材料太阳能电池电势诱导衰减问题研究[J].电源技术,2017,41(08):1146-1147+1164.  
 [7] 边萌萌,张昕宇,李博佳,何涛,黄祝连,王聪辉. 整县屋顶分布式光伏发电系统应用的技术要点分析[J].太阳能,2021(11):41-47.  
 [8] 闫群民,穆佳豪,马永翔,王勇,孙阳阳. 分布式储能应用模式及优化配置综述[J].电力工程技术,2022,41(02):67-74.  
 [9] 杨娜. AI 加持,华为以更优 LCOE 引领平价上网[J].中国电业,2019(06):5.

收稿日期: 2022 年 7 月 8 日

出刊日期: 2022 年 8 月 22 日

引用本文: 韦仕庆, 创新屋顶光伏智能运维技术[J]. 资源与环境科学进展, 2022, 1(2): 7-13  
 DOI: 10.12208/j.aes. 20220017

检索信息: 中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

