



光伏组串IV扫描与智能诊断 技术白皮书

北京鉴衡认证中心、华为技术有限公司联合发布

2020年8月

前言

前，华为技术有限公司（以下称“华为”）智能IV诊断功能已进入规模应用阶段。截至目前，华为智能IV诊断应用已超过5GW，广泛应用于各类不同站址条件、系统和设备形式。

为证实IV扫描与智能诊断技术的性能水平，受华为委托，北京鉴衡认证中心（以下称“鉴衡”）对该技术进行了技术评审和性能验证。结果表明：依据CGC/GF 177:2020《光伏组串IV扫描与智能诊断评价技术规范》、IEC61446-1: 2016《并网光伏系统 第一部分：系统文件、试运行测试和检查要求》，**华为开发的智能IV诊断技术，综合性能水平达到“L4”，可以较好地满足应用需求。**

为使业界全面了解IV在线扫描和智能诊断技术，鉴衡和华为联合发布“光伏组串IV扫描与智能诊断技术白皮书”，较为详尽地介绍了IV扫描与智能诊断技术的开发背景、技术特点及现有技术的性能水平，旨在：

- 1) 为电站开发企业及其他相关方准确地了解和使用智能IV诊断功能提供参考；
- 2) 基于现状及不断变化的应用需求，为开发和应用企业的技术提升提供依据。





01

技术开发背景

单机容量小，占地广是光伏发电的典型特点。以装机容量为50MW的电站为例，按目前的组件效率和系统安装形式，占地面积大多在100公顷以上，安装组件数量在12万块以上。

对光伏发电而言，一块组件即相当于一台小型发电设备，概率上讲，每块组件、每处电气连接都可能发生故障。图1-1以组串式逆变器为例，给出了光伏方阵典型电气结构及潜在故障类型示例。

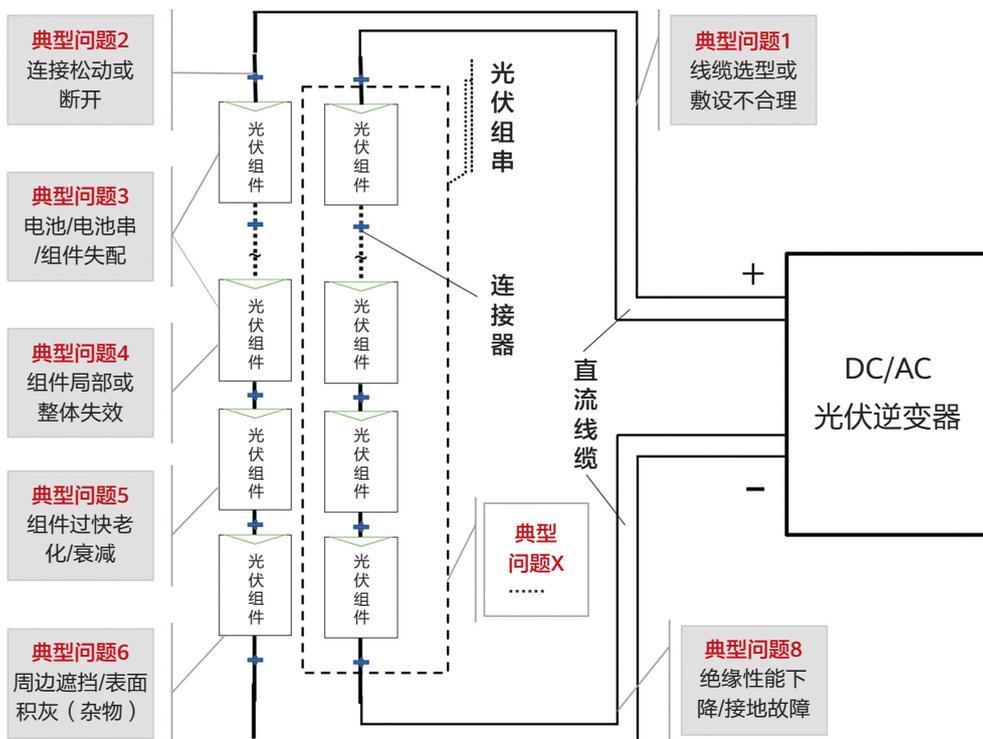


图 1-1. 光伏发电阵（组串式逆变器）典型电气结构及潜在故障图示

点多面广、复杂多样是光伏发电的故障特点，如何高效、及时、精准地发现并处置电站运行中存在的故障，是电站运维需要破解的难题之一。图1-2、图1-3为根据鉴衡对150个样本电站的检测结果，给出的统计期内故障发电量

损失的估算结果。图中给出的数据虽不具广泛代表性，但可以说明：及时发现和处置电站运行中存在的各类故障是电站运维的重中之重。

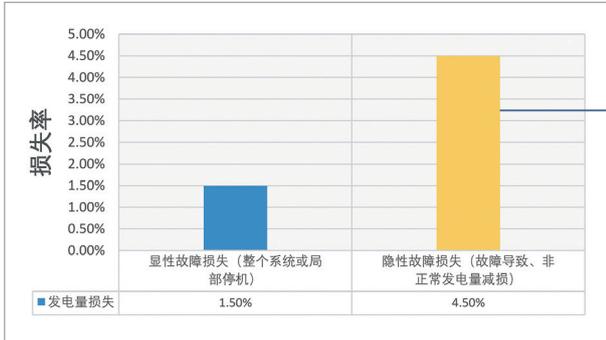


图 1-2. 故障发电量损失

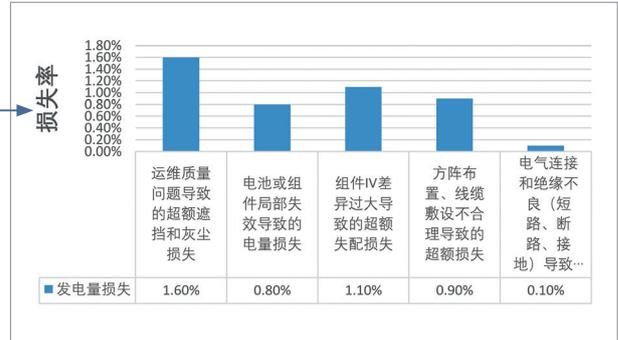


图 1-3. 隐性故障发电量损失分类

目前，光伏发电系统及其设备故障检测主要采用两种方式，一是通过运行监控系统中的数据检查分析，即线上检查；二是按一定线路进行人工检查，即线下巡检。现有监控系统中，线上检查部分尚处初级阶段，能够提供的故障信息有限；另外，光伏发电特点决定，对线下巡检，多数情况下，只能走马观花。利用现代技术，特别是智能化手段，提高光伏发电系统故障识别效率和准确度，以及故障修复的自动化程度，已是不二选择。

对光伏发电而言，组件、组串、方阵理想的 IV 输出等同于理想的发电状态。各种异常运行环境和电气设备（含连接）问题都会导致 IV 输出变化。图 1-4 为典型故障与组件 IV 异常表象对应关系图例。各类异常运行条件、系统（含设备）故障与组串 IV 输出变化有较强的对应关系，意味着，理论上可以通过组串 IV 监测结果，分析判断系统中存在的问题。

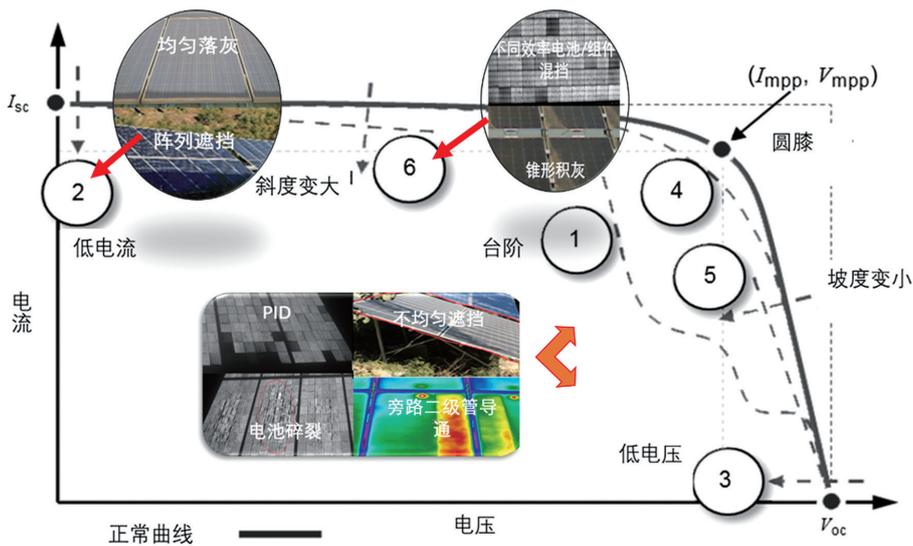


图 1-4. 典型组串 IV 异常表象与致因对应关系图例

逆变器最大功率跟踪实现方式是在其设定电压范围内连续测量方阵输出电流、电压，通过计算比较来确定最大功率点。只要扩大扫描范围，即可实现接近全范围的 IV 扫描（方阵或组串级）。基于上述分析：**以现有逆变器 MPP 跟踪**

为基础，通过技术升级和功能扩展，实现光伏组串 IV 在线测量和故障诊断，有较强的现实需要，技术上可行，经济上合理。



02

技术说明

2.1 华为智能 IV 诊断技术功能和原理介绍

华为智能 IV 诊断特性是充分利用组串式逆变器采集的组串电流及电压数据，结合大数据挖掘及 AI 识别算法，来确认光伏组串的故障类型。智能 IV 诊断特性可实现一键式启动，通过数据采集器将 IV 扫描指令下发给逆变器，逆变器完成组串完整的 IV 曲线数据采集后，将 IV 曲线数据通过数采

上传到管理系统，管理系统内置故障诊断及识别算法，自动生成故障诊断报告。

电站应用场景，光伏组串的伏安特性与经典单二极管模型类似，电流 / 电压之间关系，可采用如下经典公式表示：

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(V + IR_s)}{nkT} \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{sh}}$$

上述公式中，各关键电性能参数解释如下：

- » I: 光伏组串工作电流；
- » I_L : 光伏组串光生电流；
- » I_0 : 二极管反向饱和电流；
- » n: 二极管理想因子；
- » V: 光伏组串工作电压；
- » R_s : 光伏组串串联电阻；
- » R_{sh} : 光伏组串并联电阻；
- » q: 单电子电量；
- » k: 玻尔兹曼常数；
- » T: 热力学温度。

华为智能 IV 诊断功能特性的迭代及演进，以光伏电站中海量光伏组串数据为基础，结合经典二极管模型，深入学习光

伏组串在电站应用场景中可能的故障失效模式，针对光伏组串不同的失效模式，建立对应的故障识别及诊断模型，并实现故障识别模型的迭代升级；逆变器将采集的 IV 曲线上报给管理系统的 IV 故障识别算法模块，IV 算法模块以当前故障识别模型，判定组串是否存在故障。

另外，为了确保 IV 扫描曲线数据的准确性，降低扫描过程中，环境因素的影响，华为智能 IV 诊断特性，从逆变器 IV 曲线采集，到故障算法识别及判定均植入了稳定算法，以提升智能 IV 算法故障判定的鲁棒性。

基于对光伏组串典型 IV 特性参数的分析，能够识别组串的不同缺陷信息，并用于判断组串是否存在异常。例如，组串内存在电流失配时，组串 IV 曲线就会发生图 2-1 所示的变形。

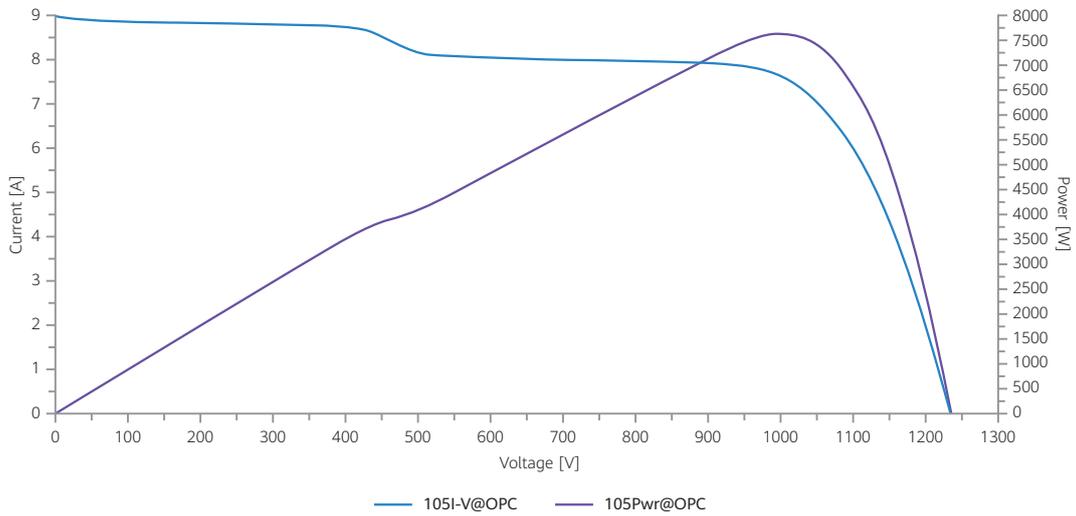
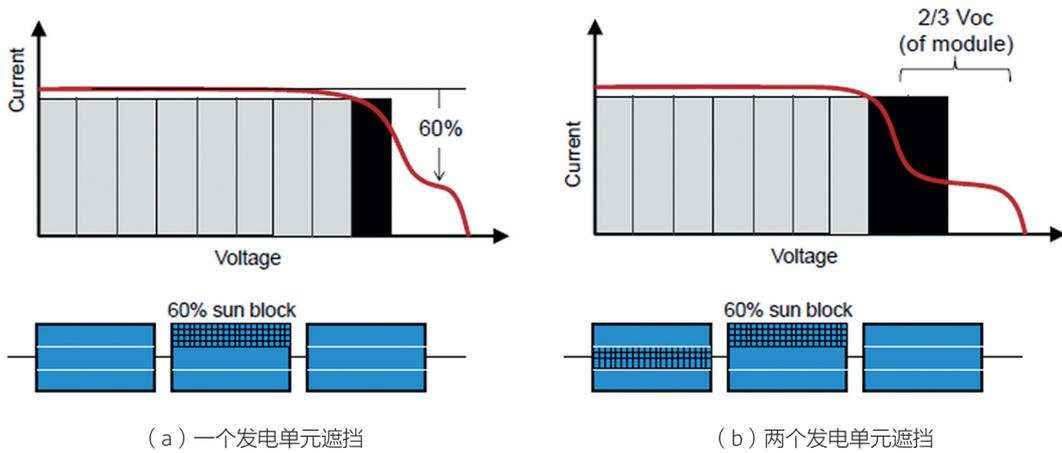


图 2-1. 组串中组件存在电流失配



(a) 一个发电单元遮挡

(b) 两个发电单元遮挡

因此，组串中组件存在的某类故障，都会在组串 IV 曲线上留下特征信号，且不同类型的组件故障在 IV 曲线上留下的信号不同。通过采用大数据挖掘 IV 曲线上的特征信号，就能够实现组串故障的精准判断。

华为智能 IV 诊断，在上述理论支撑的基础上，采用大数据挖掘、及 AI 识别算法，可实现光伏电站应用场景，组件典型故障及失效模式的识别及告警：如①组串内电流失配

(遮挡、灰尘、组件电流不一致)；②组件电流输出异常(遮挡、玻璃碎裂、热斑)；③组串电压异常(二极管短路、组件失效)；④组串并联电阻过低(PID 衰减、灰尘)；⑤组串开路；⑥组串串联电阻过高(线缆阻抗偏高、组件内阻异常)；⑦组串短路电流偏低(朝向异常、灰尘、组件衰减)。华为智能 IV 诊断功能，完成电站扫描任务后，自动生成 IV 诊断运维报告，针对不同的故障类型给出不同的运维建议。

2.2 技术难点

对大型电站，组串分布广，电性能数据容易受到光照、温度、湿度等环境条件及设备 and 系统形式的影响。如何快速、准确地获取组串电性能数据，并准确地识别组串故障，是IV诊断的难点。

在组串IV数据获取方面，为降低环境因素对组串数据采集的影响，保证采集数据的可比性，逆变器间可实现同步扫

描，且逆变器电流及电压检测精度达到0.5%，且逆变器内置曲线采集算法，降低扫描过程中环境因素的影响。

在故障识别算法方面，华为采用智能IV诊断算法，在深入理解组件故障及失效机理的基础上，基于当前5GW的规模应用数据，集成大数据挖掘、AI识别算法、自学习等技术，提高故障检测的准确性及重现性。

2.3 华为解决方案及技术特点

华为智能IV诊断特性，由逆变器-数据采集器-智能光伏管理系统等关键网元构成。逆变器采集所有组串的完整IV数据，数据采集器上传IV数据到智能光伏管理系统，管理

系统内置光伏组串诊断及故障识别算法，可实现光伏电站组串的全量检测及故障识别，最终指导客户运维。整体方案如下：

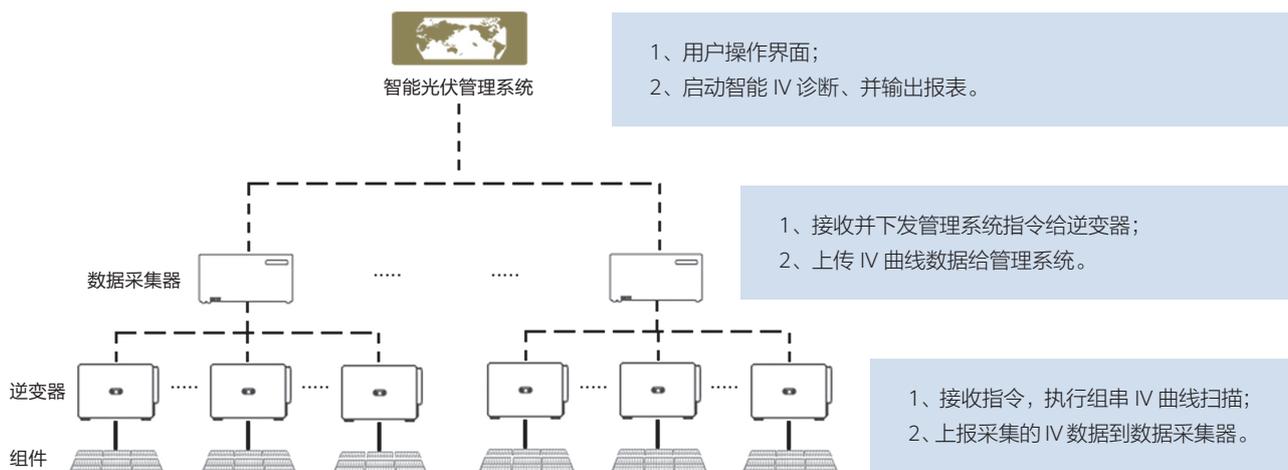


图 2-2. 华为智能IV诊断特性组网

- 1) 逆变器：接受管理系统下发的接收扫描指令，执行组串IV扫描，并将IV曲线数据通过数据采集器上传到管理系统；
- 2) 数据采集器：透传管理系统的指令，转发给逆变器，并

- 将逆变器扫描的组串IV曲线数据上传到管理系统；
- 3) 智能光伏管理系统：支持电站级参数配置，可实现电站/子阵/逆变器级启动IV诊断，支持输出诊断结果、故障类型分类统计，及运维报告导出，指导客户运维。



03

技术验证和评价

为全面验证华为智能 IV 诊断的性能水平，2020 年 2 月~7 月，受华为委托，鉴衡组成验证小组，对该项技术进行了

全面验证和评估。图 3-1 为验证评估过程和内容框图，图 3-2 为评价指标框图和验证方法示例。



图 3-1. 技术验证和评估过程和基本内容



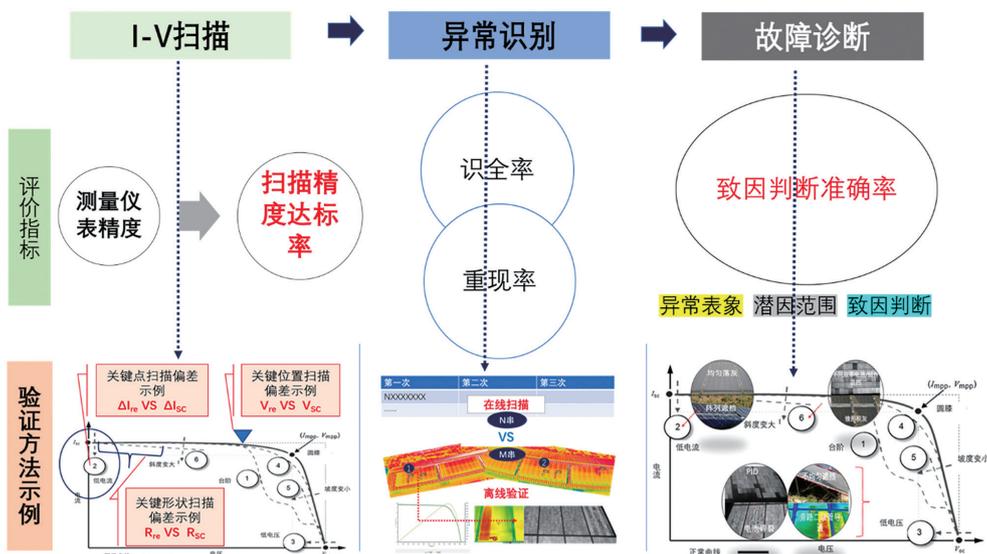


图 3-2. 评价指标框图和验证方法图示

3.1 技术评审结果

华为采用智能 IV 诊断技术为企业自主开发，并率先在行业上推广应用。通过评审，验证组认为：该技术对接应用需求，可适用于所有系统形式和应用场景。技术方案科学、合理，

可以实现预期目标。该技术的成功应用，有望解决电站运维中的难点问题。

3.2 性能验证

基于 IEC61446-1: 2016《并网光伏系统第一部分：系统文件、试运行测试和检查要求》中对组串 IV 曲线的解释，鉴衡组织制定了 CGC/GF 177:2020《光伏组串 IV 扫描与智能

诊断评价技术规范》文件。表 3-1 为规范中规定的验证指标及指标解释，表 3-2 为 IV 扫描和智能诊断性能等级评定标准。

表 3-1. 评价指标及指标解释

类别	验证指标	指标解释
IV 扫描	测量仪表精度	指逆变器组串或方阵电流、电压测量仪表的精度。
	扫描精度达标率	指抽样验证样本组串中，在线扫描拟合 IV 曲线与按标准测量方法测试结果比较，关键或选定点位、区段差异程度满足要求的组串数量与样本组串数量的比率。

类别	验证指标	指标解释
异常识别	识全率	指选定区域，扫描识出有因 IV 异常组串数与识出组串数和未识出但客观存在有因 IV 异常组串数之和的比率。
	重现率	指针对有因 IV 异常组串，致因未消除以前，相似运行条件下，不同时间点重复扫描，样本组中，重复识出的比率。
故障诊断	致因判断准确率	指抽样验证样本组串中，对 IV 异常（故障）组串，扫描判定结果与采用标准方法测试的判定结果比较，满足要求的组串数量与样本组串数量的比值。

表 3-2. 性能等级划分标准

性能等级	I-V 扫描		异常识别			故障诊断
	测量精度	扫描精度达标率	识全率		重现率	致因判断准确率
			I 类缺陷	II 类缺陷		
L1	电压、电流 ≤1.0%	≥70%	≥75%	≥70%	≥70%	≥70%
L2	电压、电流 ≤1.0%	≥80%	≥85%	≥80%	≥80%	≥80%
L3	电压、电流 ≤0.5%	≥85%	≥90%	≥85%	≥85%	≥85%
L4	电压、电流 ≤0.5%	≥95%	≥95%	≥90%	≥90%	≥90%
L5	组件类型、系统形式扩展预留					
综合等级：所有指标全部达到的性能等级。						

根据样本电站测试结果，测试机型 IV 诊断扫描精度达标率、识全率、重现率、致因判断准确率均超过 95%，综合性能等级达到“L4”。

3.3 综合评定

华为智能 IV 诊断技术已进入规模应用阶段，基于技术评审和性能验证结果，该项技术：

- 1) 综合性能等级达到 CGC/GF 177:2020《光伏组串 IV 扫描与智能诊断评价技术规范》中的“L4”；
- 2) 对接应用需求，可适用于所有系统形式和应用场景。技术方案科学、合理，可以实现预期目标。该技术的成功应用，有望解决电站运维过程的难点问题。

商标声明

 **HUAWEI, HUAWEI**,  是华为技术有限公司商标或者注册商标，在本手册中以及本手册描述的产品中，出现的其它商标，产品名称，服务名称以及公司名称，由其各自的所有人拥有。

免责声明

本手册可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本手册信息仅供参考，不构成任何要约或承诺，华为不对您在本手册基础上做出的任何行为承担责任。华为可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。

版权所有 © 华为技术有限公司 2020。保留一切权利。
非经华为技术有限公司书面同意，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本手册内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

华为技术有限公司

深圳龙岗区坂田华为基地
电话：+86 755 28780808
邮编：518129
www.huawei.com