

5G 应用解决方案成熟度评价

指标体系白皮书

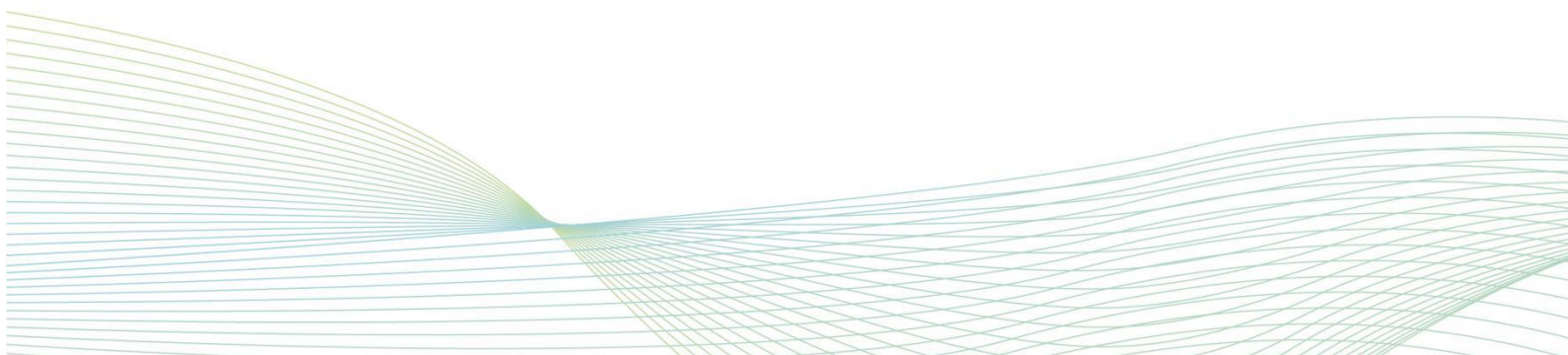
5G

5G



版权声明

本白皮书版权属于 5G 应用产业方阵，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：5G 应用产业方阵”。违反上述声明者，本方阵将追究其相关法律责任。



目录

一、概述	1
1.1 研究背景	1
1.2 产业发展现状	1
1.3 产业发展态势	2
1.4 研究目的和意义	3
二、成熟度评估体系研究	4
2.1 典型成熟度评估体系研究	4
2.2 现有成熟度评估体系分析	7
三、5G 应用解决方案成熟度评价体系	9
3.1 指标选取依据	9
3.2 指标体系建立	9
四、5G 应用解决方案成熟度评价案例	12
4.1 中兴：5G+工业自然导航 AGV 解决方案	12
4.2 上海山源：5G+矿山远程控制解决方案	13
4.3 微创医疗：5G+腹腔内窥镜手术解决方案	15
附件	17

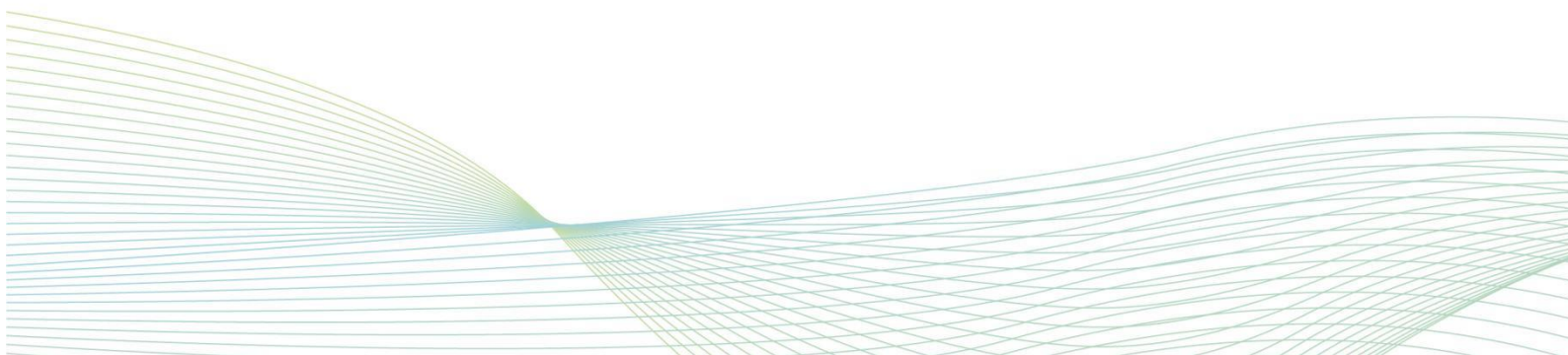


前言

5G 应用解决方案是 5G 应用在行业落地的载体和集中体现，是连接垂直行业及信息通信产业的关键纽带。当前各类 5G 应用解决方案快速进入市场，面对参差不齐的各类解决方案，行业用户如何选择既能适配于自身需求，又能获得可靠有效服务保障的解决方案，成为当前阶段行业用户关注的重要问题。

为解决 5G 应用解决方案评估难的挑战，5G 应用产业方阵联合产业界搭建 5G 应用解决方案成熟度评估体系，开展 5G 应用解决方案成熟度评估，为用户选择 5G 应用解决方案产品提供客观、真实、可靠的选择依据，助力成熟 5G 应用解决方案的规模复制推广。

本白皮书主要编写单位：中国信息通信研究院、中国电信股份有限公司、中国移动通信集团有限公司、中国联合网络通信有限公司、中电信数智科技有限公司、中移物联网有限公司、中讯邮电咨询设计院有限公司、中兴通讯股份有限公司、中电科普天科技股份有限公司、浙江大华技术股份有限公司。



一、概述

1.1 研究背景

5G 应用解决方案是基于 5G 技术，结合人工智能、大数据、云计算等新一代信息技术，构建满足行业特定应用场景需求的端到端系统方案，可支撑行业企业数字化改造，实现降本增效。

5G 应用解决方案是连接 5G 产业链上下游的关键纽带。5G 与行业的深度融合已逐渐催生出由终端、网络、平台、应用解决方案、安全五大板块构成的新型 5G 融合应用产业支撑体系。其中，应用解决方案是 5G 应用产业链在行业落地的载体和集中体现，是连接垂直行业及信息通信产业的关键纽带。

我国高度重视 5G 应用解决方案产业发展。2019 年 11 月，工信部印发的“5G+工业互联网”512 工程推进方案中提出，培育“5G+工业互联网”解决方案供应商。2021 年 7 月，工信部联合中央网信办、国家发改委等 9 部门印发的《5G 应用“扬帆”行动计划（2021-2023 年）》中指出，5G 应用生态环境持续改善，要培育一批具有广泛影响力的 5G 应用解决方案供应商，形成 100 种以上的 5G 应用解决方案。2021 年 11 月，工信部印发《“十四五”信息通信行业发展规划》，指出要培育一批 5G 行业应用解决方案供应商，繁荣 5G 应用产业生态。当前我国 5G 应用规模化进程持续推进，应用成熟度进一步提升。据“绽放杯”统计，第六届“绽放杯”实现“解决方案可复制”的项目数量已超过 6300 个，同比增长近六成。

1.2 产业发展现状

我国 5G 应用解决方案供应商主要由三大阵营组成。

第一阵营是以基础电信运营商、设备商为代表的 ICT 企业，通常作为面向垂直行业的整体解决方案商参与 5G 应用场景创新及应用落地。这类企业的典型代表为电信、移动、联通、华为、中兴等，其主要依托自身在 5G 网络及技术领域的基础，同时结合行业需求，为行业提供定制化、集成化技术方案，是目前 5G 解决方案最重要的参与者。其中，运营商一般基于其解决方案子公司的产品和解决方案研发运营能力，以及各行业军团在行业的市场基础，以总集成角色为行业用户提供端到端的 5G 应用整体解决方案。设备商以提供 5G 网络解决方案和重点场景解决方案为主，解决行业的定制化网络需求。以中国电信为例，中电信数智科技牵头设立卫健、应急、乡村振兴等 12 个产业研究院，依托母公司中国电信的融合行业数字平台、AI、云计算、大数据、物联网等服务应用，同时研发 5G 定制网综合管理平台、轻量化 MEC/UPF，开展智慧电力、智慧矿山、智慧化工、智慧运输、智慧工地、智慧园区等场景化 5G+创新应用解决方案。中国移动以

5G 为抓手，云为驱动，能力为内核，安全为保障，构建“连接+算力+能力”的新型信息服务体系，推动大数据、物联网、人工智能等新一代信息技术逐步应用到生产。聚焦能源、交通、医疗、农业、党政、商业等细分行业，打造了超百个典型行业 5G 应用解决方案。以中国联通为例，中国联通面向垂直行业设立行业“军团”，聚合“5G+云大物智链安”核心能力，面向行业市场提供“联接+感知+计算+智能+安全”的算网一体化服务，推进 5G 虚拟行业专网、5G 行业应用、5G 应用解决方案等的场景创新及应用落地。

第二阵营是各行业的数字化解决方案企业，一般作为行业智能化改造整体解决方案商或重点应用场景解决方案供应商负责 5G 应用解决方案的落地。典型代表有工业领域的卡奥斯工业智能研究院、采矿领域的上海山源电子、视频监控领域的大华等。这类企业对行业具有较深的技术及专业能力积累，以及行业生态资源，已有较为成熟的行业数字化解决方案经验，正积极探索利用 5G 为代表的新一代信息通信技术实现行业数字化解决方案的升级，寻求新的业务增长点。以山源科技为例，山源科技重点布局煤矿、非煤矿山与石油石化三大领域，并积极融入 5G 生态。目前，山源科技的 5G 产品包括为“一网两端”：“一网”即 5G 的无线网和承载网，“两端”即“平台端”和“终端端”。“平台端”即 5G 调度平台、5GMEC、IoT 管理平台、网管平台、电力调度平台和 AI 平台。在终端侧，山源科技主要是对终端集成 5G、并进行防爆改造，包括 5G CPE、5G 模组、5G 矿灯（智能个人终端）、5G 车载终端等。以大华为例，大华作为全球前二的视频安防厂家，提供以视频为核心的 5G 应用解决方案，覆盖园区安防管理，作业安全监督，工业视觉质检等各个领域，积极拓展各行业的 5G 视频融合应用。

第三阵营是新型数字技术企业，通常聚焦于特定技术方向或行业领域，致力于技术创新与专业深耕，为 5G 应用提供云服务、人工智能等通用支撑技术；同时，腾讯、阿里等新型数字技术也依托自身在云、软件、AI 等新型数字技术上的优势，整合上下游产业资源，积极布局远程控制、自动驾驶、AI 质检等应用场景。随着 5G 技术与大数据、人工智能、云计算等技术不断融合，越来越多的高新技术企业将加入该阵营。以腾讯云为例，腾讯云基于其在音视频、云计算、大数据、人工智能等方面的技术优势，发布了基于 5G 的远程实时操控产品与解决方案“腾讯云无界”，能够把实时视频画面的传输延时降低至 100 毫秒以内，从而实现对车辆的集中远程实时控制，目前已衍生出超 100 个场景应用实践。腾讯云依托自身生态体系优势，携手裸眼 3D、车载网关、驾驶舱、摄像头等领域的生态合作伙伴，联合电信企业与垂直行业领域集成商，以主动或被动集成的方式，为行业企业提供全套的解决方案。

1.3 产业发展态势

5G 应用解决方案发展按行业、融合深度二维梯次发展，通用性解决方案、重点行业解决方

案、新型领域解决方案成为未来产业重点方向。

（1）通用性 5G 应用解决方案

该类解决方案具有多行业适配性、通用性，市场空间大等特点，硬件部分普适性强，主要差异体现在上层算法，如 5G+无人机、5G+安防监控等。典型解决方案有 5G+机器人解决方案、5G+无人机解决方案、5G+安防监控解决方案、5G+XR 解决方案等。

（2）重点行业 5G 应用解决方案

据 2022 “绽放杯” 5G 应用征集大赛统计，工业、智慧城市、智慧消费等领域可复制项目较多，市场空间大，面向该类垂直领域的应用解决方案将是发展重点。该类解决方案也将根据 5G 与行业融合深度梯次发展。工业领域的 5G+AGV、5G+机器视觉等单系统优化业务方案，智慧城市领域的 5G+机器人巡检、5G+疫情防疫等应用方案，将是第一阶段的发展重点。工业领域的 5G+掘进机、5G+远程操控等控制类业务、5G+部分柔性产线等局部协同优化业务方案，以及智慧城市领域的 5G+智慧交通、5G+应急联动等业务方案，将是第二阶段的发展重点。工业领域的 5G+柔性产线、5G+数字孪生等整体协同优化业务，以及智慧城市领域的 5G+城市孪生务解决方案，将是第三阶段的发展重点。

（3）新兴领域 5G 应用解决方案

面向海洋、轨道交通、教育等新兴领域的 5G 应用解决方案也将逐渐成为产业发展方向。首先，海洋行业的 5G+渔业监测等应用解决方案，以及轨道交通行业 5G+PIS 监控、5G+闸机等应用解决方案将是第一阶段发展重点。其次，海洋行业的 5G+远程渔业等应用解决方案，以及轨道交通行业的 5G+列车控制等应用解决方案，由于涉及与行业系统融合及联动，将成为第二阶段的产业发展重点方向。

1.4 研究目的和意义

开展 5G 应用解决方案成熟度评估是破解产业需求侧难题的“突破口”。当前行业用户在选择 5G 应用解决方案时存在“选择难”的问题。目前各类 5G 应用解决方案快速进入市场，面对参差不齐的各类解决方案，行业用户如何选择既能适配于自身需求，又能获得可靠有效服务保障的解决方案，成为当前阶段行业用户的重要问题。一方面，解决方案产品宣传夸大成分居多，实际效果相差很远，由于缺乏功能、性能等客观证明，导致行业用户无法辨别。另一方面，不同供应商在提供运维服务、售后保障等方面的能力不同，行业用户缺少对解决方案商在运维保障、供应链稳定性等方面的认知参考。

为解决 5G 应用解决方案评估难的挑战，5G 应用产业方阵联合产业界搭建 5G 应用解决方案成熟度评估体系，开展 5G 应用解决方案成熟度试评估，为用户选择 5G 应用解决方案产品提供客观、真实、可靠的选择依据，助力成熟 5G 应用解决方案的规模复制推广。

二、成熟度评估体系研究

2.1 典型成熟度评估体系研究

1、软件能力成熟度评估模型 SW—CMM

软件能力成熟度模型 SW—CMM (Capability Maturity Model for Software) 是美国卡耐基·梅隆大学软件工程学院提出的，用于评估企业在软件开发过程中的管理能力和工程能力的模型。软件能力成熟度分为五个等级，分别为初始级、可重复级、已定义级、已管理级、优化级。

后来针对各种专业化的能力成熟度模型，进一步提出能力成熟度模型集成 CMMI 框架 (Capability Maturity Model Integration)。包括软件工程 SW—CMM、系统工程 SE—CMM、集成产品与过程开发 IPPD—CMM、采购 SSCMM 等在内的多个模型，可用于指导企业内部跨项目、跨部门或者整个组织的过程改进。

2、研发运营一体化 DevOps 能力成熟度模型

研发运营一体化 (DevOps) 能力成熟度模型覆盖端到端软件交付生命周期全流程，是一套体系化的方法论、实践和标准的集合，面向企业开展软件研发效能度量成熟度评估。DevOps 能力成熟度模型由中国信通院牵头，联合百度、阿里云、腾讯、中国农业银行、中信银行等 30 余家企业单位共同制定的研发运营一体化 (DevOps) 效能度量模型标准，是目前业界最完整、最权威、最具行业指导性的软件研发效能度量评估标准。《YD/T 1753T——2018 研发运营一体化 (DevOps) 能力成熟度模型》等系列标准由中国信通院牵头，已在 CCSA 立项，主要标准在 2021 年结项。

研发运营一体化 (DevOps) 能力成熟度模型，共分为 5 个级别，每个级别中按照不同程度说明，呈现递进的方式，高级别内容宜包含低级别内容，无需重复引用。

表 1 DevOps 能力成熟度模型

级别	英文	中文	定义
----	----	----	----

1级	Initial Level	初始级	在组织局部范围内开始尝试DevOps活动并获得初期效果
2级	Fundamental Level	基础级	在组织较大范围内推行DevOps实践并获得局部效率提升
3级	Comprehensive Level	全面级	在组织内全面推行DevOps实践并贯穿软件全生命周期获得整体效率提升
4级	Excellent Level	优秀级	在组织内全面落地DevOps并可按需交付用户价值达到整体效率
5级	Fabulous Level	卓越级	在组织内全面形成持续改进的文化并不断驱动DevOps在更大范围内取得成功

3、数据管理能力 DCMM 成熟度评估模型

数据管理能力 DCMM 成熟度评估模型是由全国信息技术标准化技术委员会提出的国家标准 (GB/T 36073—2018)，评估对象为企业的数据管理能力。该模型按照组织、制度、流程、技术对数据管理能力进行了分析、总结，提炼出组织数据管理的八大过程域，即：数据战略、数据治理、数据架构、数据应用、数据安全、数据质量管理、数据标准、数据生命周期。这八个过程域共包含 28 个过程项，441 项评价指标。

该模型将组织的数据能力成熟度划分为初始级、受管理级、稳健级、量化管理级和优化级共 5 个发展等级，帮助组织进行数据管理能力成熟度的评价。



图 1 数据管理能力 DCMM 成熟度评估等级

4、工业 4.0 成熟度指数模型

2017 年 4 月，在德国国家科学与工程院的推动下，亚琛工业大学、德国人工智能研究中心和弗朗恩霍夫研究院等合作联合推出《工业 4.0 成熟度指数》报告，提出工业 4.0 成熟度指数模型，旨在帮助企业判断当前的工业 4.0 成熟度阶段。

该模型将工业 4.0 的发展路径分为六个逐步递进的发展等级，分别为计算机化、连接性、可见性、透明度、预测能力和自适应。



图 2 工业 4.0 成熟度等级划分

5、智能制造能力成熟度评估模型

智能制造能力成熟度评估模型是由工信部出口的国标《智能制造能力成熟度模型》（GB/T 39116—2020），是评估企业现有工厂的信息化、数字化、智能化能力和指导企业智能工厂建设的重要工具之一。该标准适用于制造企业、智能制造系统解决方案供应商和第三方开展智能制造能力的差距识别、方案规划和改进提升。

成熟度等级规定了制造业企业智能制造在不同阶段应达到的水平。成熟度等级分为五个等级，自低向高分别为一级（规划级）、二级（规范级）、三级（集成级）、四级（优化级）、五级（引领级）。

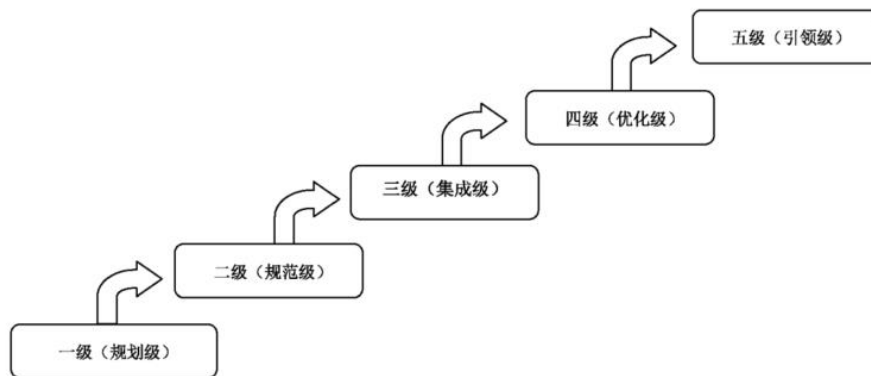


图 3 智能制造能力成熟度评估等级

2.2 现有成熟度评估体系分析

通过梳理国内外已有的成熟度模型，已有成熟度模型的评估对象主要包括两类。

一是评估对象为企业，评估参数多围绕企业在软件开发、数据管理、智能制造、上云水平等相关领域的能力，通过考察在各模块的能力水平（如智能化水平）来判别成熟度，这类成熟度模型不适用于产品级的成熟度评估。例如《工业 4.0 成熟度指数模型》由亚琛工业大学、德国人工智能研究中心和弗朗恩霍夫研究院等合作联合推出，用于帮助企业判断当前的工业 4.0 成熟度阶段，该模型将工业 4.0 的发展路径分为六个发展等级，分别为计算机化、连接性、可见性、透明度、预测能力和自适应。

二是评估对象为解决方案等产品，评估参数主要聚焦于某具体解决方案产品的评估，目前缺乏针对 5G 应用解决方案普适应的评估模型。例如对于《集成了 5G 与物联网的抵质押物管理技术方案（TR/CBA 104—2022）》，该方案聚焦于 5G 与物联网的抵质押物管理技术方案，无法适用于其他类型的 5G 应用解决方案产品。各类成熟度模型的具体情况如表 2 所示。

表 2 国内外已有的成熟度模型

序号	名称	评估主体	评估对象	评估参数	评估结果
1	软件能力成熟度评估模型 SW—CMM	美国卡耐基·梅隆大学软件工程学院	企业在软件开发过程中的管理能力和工程能力	——	初始级、可重复级、已定义级、已管理级、优化级

2	研发运营一体化 DevOps 能力成熟度模型 (YD/T 1753T)	中国信通院	企业软件研发效能度量成熟度	过程、应用设计、安全风险、管理、评估方法和系统和工具技术要求	初始级、基础级、全面级、优秀级、卓越级
3	数据管理能力 DCM 成熟度评估模型 (GB/T 36073—2018)	全国信息技术标准化技术委员会	企业的的核心数据管理能力	数据战略、数据治理、数据架构、数据应用等 28 个过程项	初始级、受管理级、稳健级、量化管理级和优化级
4	工业 4.0 成熟度指数模型	德国国家科学与工程院	企业的工业 4.0 成熟度阶段	资源、信息系统、组织结构、文化等	计算机化、连接性、可见性、透明度、预测能力和自适应
5	工业互联网应用成熟度评估模型	中国信通院	企业的工业互联网应用水平	基础支撑升级、战略组织重塑、产品服务创新、生产运营优化、商业模式变革五大评估模块	可视、监控、诊断、预测、洞察
6	智能制造能力成熟度评估模型 (GB/T 39116—2020)	中国电子技术标准化研究院	企业的智能制造能力	人员、技术、资源、制造等四大模块	一级 (规划级)、二级 (规范级)、三级 (集成级)、四级 (优化级)、五级 (引领级)
7	企业上云效果成熟度评估方法 (T/CCSA 323—2021)	信息化主管部门	企业的上云水平	企业用云量、上云程度、上云效益、上云典型性与可推广性等四大维度	一级至五级

8	集成了 5G 与物联网的抵质押物管理技术方案(TR/CBA104—2022)	中国信通院	解决方案	功能、性能、安全等方面	无分级
9	软件行业解决方案评估指南(TSIA016-2019)	中国软件行业协会	软件行业解决方案	企业情况、解决方案情况(新颖性等)、安全性、可靠性等	无分级
10	技术成熟度 TRL	美国航空航天局	产品的技术成熟程度	——	TRL1-TRL9

三、5G 应用解决方案成熟度评价体系

3.1 指标选取依据

在需求侧，用户往往关注产品本身的情况，例如 5G 应用解决方案是否好用，功能及性能能否满足行业用户的需求、产品是否有较完善的售后保障等。在供应侧，5G 应用解决方案供应商一般会从企业维度对产品进行宣传，例如企业的售后体系、项目经验、上游供应稳定性等。综合考虑需求侧和供应侧对 5G 应用解决方案的关注重点，并综合现有成熟度模型，在充分征求行业专家意见的基础上，白皮书从功能成熟度、性能成熟度、售后成熟度、部署成熟度、供应成熟度五个维度选取相关指标，构建 5G 应用解决方案成熟度评价体系，全面客观评估 5G 应用解决方案的成熟度情况。功能成熟度和性能成熟度聚焦产品本身的能力，从解决方案产品的基本功能及性能完成情况、运行的可靠性、安全性等方面进行考察；售后成熟度、部署成熟度、供应成熟度侧重企业侧能力，考察解决方案商在运维售后的保障能力、相关解决方案产品的落地情况、供应体系稳定性等。

3.2 指标体系建立

在评价工作开展过程中，开展指标选取、指标量化、权重确定、等级划分等步骤，构建 5G 应用解决方案成熟度评估体系。

1. 指标选取：根据上述指标选取依据，在征求专家意见的基础上，从功能成熟度、性能成熟度、售后成熟度、部署成熟度、供应成熟度五个维度搭建 5G 应用解决方案成熟度指标体系，

如图 1 所示。该指标体系共包括 5 个一级指标、9 个二级指标。

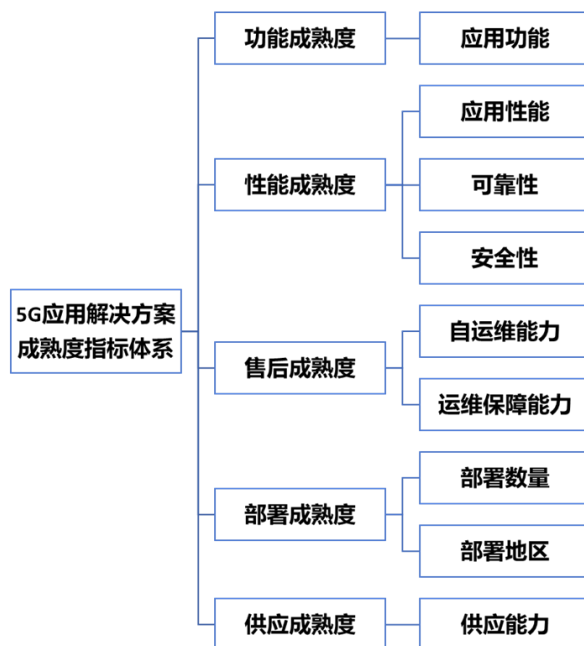


图 4 5G 应用解决方案成熟度指标体系

2. 指标量化：在广泛调研、行业研讨的基础上，白皮书针对指标体系构建了指标分级量化标准，如表 2 所示。每个二级指标被分为四个等级，专家将根据被评估的 5G 应用解决方案实际情况，选择对应的层级，评估对应的得分。

表 1 5G 应用解决方案成熟度指标体系分级标准

一级指标	二级指标	分级标准			
		L1 (0-30 分)	L2 (31-60 分)	L3 (61-80 分)	L4 (81-100 分)
功能成熟度	应用功能	应用系统通过 5G 网络进行数据传输，且相关功能在实验室环境通过验证	应用系统通过 5G 网络进行数据传输，且相关功能在应用现场环境通过验证	应用系统通过 5G 网络进行数据传输，且相关功能在应用现场环境通过验证，并具有商业合同	应用系统通过 5G 网络进行数据传输，且相关功能在应用现场环境通过验证，并具有 4 个以上商业合同
性能成熟度	应用性能	应用系统通过 5G 网络进行数据传输，且相关应用性能在实验室环境通过验证	应用系统通过 5G 网络进行数据传输，且相关应用性能在应用现场环境通过验证	应用系统通过 5G 网络进行数据传输，且相关应用性能在应用现场环境通过验证，并具有商业合同	应用系统通过 5G 网络进行数据传输，且相关应用性能在应用现场环境通过验证，并具有 4

					个以上商业合同
	可靠性	功能及性能验证通过	提供功能及性能 24 小时正常运行证明	提供功能及性能 72 小时正常运行证明	提供功能及性能长期正常运行证明
	安全性	有针对安全防护的策略	拥有正规的防护软件, 并进行安全配置和补丁管理	有全面的安全防护规范, 定期开展安全评估, 针对安全问题有补充修复的机制	有针对深包解析等功能的专用设备, 有冗余测试平台对现场设备进行安全测试
售后成熟度	运维管理	具有售后服务体系和管理制度	具有较为完善的售后服务体系和管理制度	具有完善的售后服务体系和管理制度	具有完善的售后服务体系和严格的管理制度, 且实施运维管理工具和监控系统
	运维人员保障	运维交付团队人员低于 20 人	运维交付团队人员不少于 20 人	运维交付团队人员不少于 50 人	运维交付团队人员不少于 100 人
部署成熟度	部署数量	未实现商业部署	已商业部署 1-10 套	已商业部署 11-30 套	已商业部署 30 套以上
	部署地区/行业	未实现商业部署	已商业部署至 1-3 个省, 或 1-3 个垂直行业	已商业部署至 4-8 个省, 或 4-8 个垂直行业	已商业部署至 8 个省以上, 或 8 个垂直行业以上
供应成熟度	供应能力	上游国产化程度较低, 供应商较单一	上游国产化程度较低, 具有多供应商	上游国产化程度较高, 具有多供应商	上游国产化程度高, 供应商丰富

3. 权重确定: 采用专家咨询与层次分析法相结合的方式确定各级指标权重。层次分析法是根据分析对象的数据性质, 将决策过程层次化、系统化呈现, 建立体系和结构清晰的指标评价体系的方法。在应用过程中, 同一层级的指标以上层指标为准则进行两两比较, 构造比较矩阵, 并对比较结果进行一致性检验。此外, 通过结合文献分析及专家咨询, 通过专家打分的形式, 根据专家提供的内容信息判断各指标因素的相对重要性, 具体过程如附件所示。依照该方法, 指标体系的各类指标权重计算结果如下。

表 2 权重计算结果

一级指标	功能成熟度	性能成熟度	售后成熟度	部署成熟度	供应成熟度
------	-------	-------	-------	-------	-------

权重	31%	31%			19%		10%		9%
二级指标	应用功能	应用性能	可靠性	安全性	运维管理	运维人员保障	部署成熟度	部署地区/行业	供应能力
权重	100%	52%	28%	20%	52%	48%	51%	49%	100%

4. 等级划分：基于指标量化评估结果、指标权重，可得出最终 5G 应用解决方案成熟度评估结果，最终结果分为 L1-L4 四个等级。

L1：验证级，得分<40，处于该阶段的 5G 应用解决方案基本功能和性能得到验证，但未形成应用规模，配套和供应能力待完善；

L2：示范级，得分 41-60，处于该阶段的 5G 应用解决方案主要功能完整、基本性能稳定，并在一定范围内实现应用示范，具备初步保障和供应能力；

L3：商业级，得分 61-80，处于该阶段的 5G 应用解决方案功能完整，性能稳定，具有一定规模的商业应用，保障及供应能力较完善；

L4：规模级，得分 81-100，处于该阶段的 5G 应用解决方案功能完善，性能可靠，规模应用成体系，保障能力强，供应稳定。

四、5G 应用解决方案成熟度评价案例

4.1 中兴：5G+工业自然导航 AGV 解决方案

中兴 5G+工业自然导航 AGV 解决方案采用融合导航模式，通过激光+IMU 在常规场景下进行导航定位，并可以通过 CCD 摄像机和传感器，在 AGV 行驶过程中动态获取车辆周围环境图像信息，并通过 5G 网络传送到 MEC 边缘云端进行统一处理、决策，调度管理系统也部署于边缘端。该解决方案系统由 AGV 本体、5G 网络和 AI 大数据平台三部分组成。AGV 本体作为底层无线执行器单元，仅负责速度、转向控制和安全避障等功能；顶层控制器单元部署在云端，实现定位、导航、图像识别及环境感知等功能。



图 5 中兴 5G+工业自然导航 AGV 解决方案现场图

通过专家现场验证、材料审查等方式，对该解决方案的成熟度评估结果如图 6 所示。

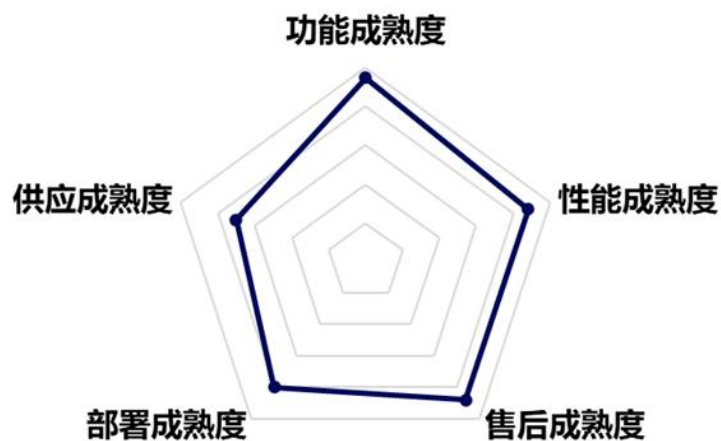


图 6 中兴 5G+工业自然导航 AGV 解决方案评估结果

- 总体成熟度等级：L4，规模级；
- 功能成熟度：L4，5G+自主导航、自主臂章、自主避障功能在工厂应用现场通过技术验证；
- 性能成熟度：L4，5G 自主导航重复定位精度等性能在工厂应用现场通过技术验证，具有长时间稳定运行能力；
- 售后成熟度：L4，具有较成熟的售后服务体系，运维保障能力强；
- 部署成熟度：L3，具有一定 5G 应用规模化部署，在多地的制造业工厂实现部署；
- 供应成熟度：L3，具备一定自主研发能力。

4.2 上海山源：5G+矿山远程控制解决方案

上海山源的 5G+矿山远程控制解决方案系统包括井上数字孪生平台、控制平台子系统、网络通信子系统、机车车载子系统、遥控控制子系统、远控监控系统等部分，适用于半煤岩巷道的高效掘进，整个系统安全性高。5G+远程控制解决方案可提高巷道掘进的机械化程度，提高掘进机开机率，减轻工人劳动强度，提高效率，促进矿山智能化发展。

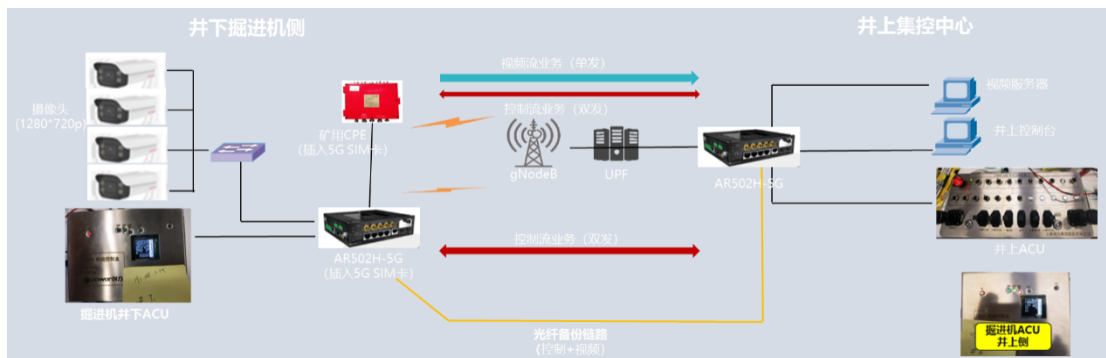


图 7 上海山源的 5G+矿山远程控制解决方案

通过现场验证、材料审查等方式，对该解决方案的成熟度评估结果如图 8 所示。

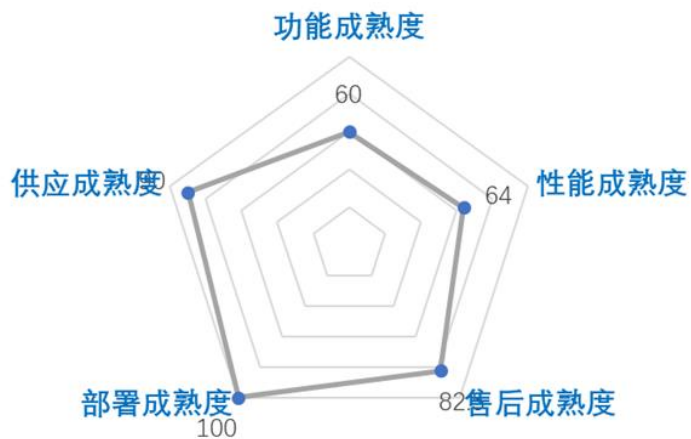


图 8 上海山源 5G+矿山远程控制解决方案成熟度评估结果

- 总体成熟度等级：L3，商业级；
- 功能成熟度：L2，5G+视频采集、远程访问等功能在实验室环境内通过验证，5G+采煤机运行等功能在应用现场通过验证；
- 性能成熟度：L2，多用户连接、可靠性等性能在实验室环境内通过验证，双发选收稳定性、

运行稳定性等性能在现场通过技术验证，具有一定安全防护策略；

- 售后成熟度：L4，具有较成熟的售后服务体系、较完备的运维交付团队保障；
- 部署成熟度：L4，已在全国多地开展 5G 应用部署，应用规模较广；
- 供应成熟度：L4，具备稳定的上游供应商，国产化程度高。
- 供应成熟度：L4，具备稳定的上游供应商，国产化程度高。

4.3 微创医疗：5G+腹腔内窥镜手术解决方案

微创医疗 5G+腹腔内窥镜手术解决方案通过 5G 网络大带宽、低时延特性，实现远程侧的外科手术专家通过一台控制台，控制异地的 5G 腹腔内窥镜机器人机械装置，实现远程腹腔内窥镜手术，功能和效果接近本地机器人辅助的腹腔内窥镜手术。



图 9 微创医疗 5G+腹腔内窥镜手术解决方案现场图片

通过专家现场验证、材料审查等方式，对该解决方案的成熟度评估结果如图 10 所示。

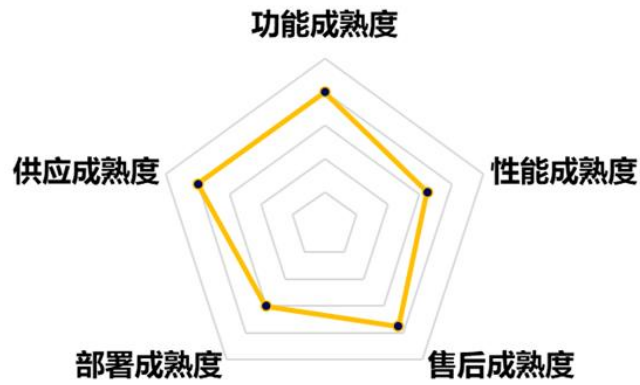


图 10 微创医疗 5G+腹腔内窥镜手术解决方案评估结果

- 总体成熟度等级：L3，商业级；
- 功能成熟度：L3，5G+远程控制、图像传输等功能在应用现场通过技术验证；
- 性能成熟度：L3，远程视频分辨率、远程图像左右眼时差等性能在应用现场通过技术验证，具有一定安全防护策略；
- 售后成熟度：L3，具有较成熟的售后服务体系，具备一定运维保障能力；
- 部署成熟度：L3，已实现 5G 应用部署，有一定的规模应用；
- 供应成熟度：L3，具备稳定的上游供应商，国产化程度高。

附件

在指标权重计算方面，本白皮书采用专家咨询与层次分析法相结合的方式确定各级指标权重。具体过程如下所示。

1、基于专家咨询结果建立比较矩阵

在确定各层不同因素相对于上一层因素的重要权数时，采用问卷形式向专家组咨询，专家组结合网络场景业务需求特征与测试经验对每层要素相对于上一层要素的影响程度两两对比进行打分，建立比较矩阵。比较矩阵 a_{ij} 表示第 i 个因素相对于第 j 个因素的重要程度比较，通常使用9标度法（如下表所示）。

表 3 比较矩阵元素建立方法

标度	含义
1	元素 i 和 j 相比较，同等重要
3	元素 i 和 j 相比较，前者比后者稍微重要
5	元素 i 和 j 相比较，前者比后者明显重要
7	元素 i 和 j 相比较，前者比后者强烈重要
9	元素 i 和 j 相比较，前者比后者极端重要
2、4	上述相邻判断 1~3、3~5 的中间值
6、8	上述相邻判断 5~7、7~9 的中间值
倒数	若元素 i 与 j 重要性之比为 a_{ij} ,那么元素 j 与 i 重要性之比为 a_{ji} , $a_{ij} = 1/a_{ji}$

基于各层评价指标的比较矩阵，分别得到每个专家对各层指标的权重评价。以第二层指标体系为例，假设有 j 个指标，专家 k 对 j 个指标重要程度的比较矩阵打分如下：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & \dots & a_{1j} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & \dots & a_{2j} \\ & & 1 & & \\ & & & 1 & \\ 1/a_{j1} & 1/a_{j2} & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

2、计算权向量

通过计算各因素判别矩阵的最大特征值及特征向量，可得出每个层次内部的排序数值，以

此类推获得指标层对于目标层的重要性数据序列，从而获得最终权重计算结果。将因素判断矩阵A中特征值对应特征向量进行归一化处理，即得出各个因素在目标层中所占的比重。针对矩阵A做如下处理：

将判断矩阵A进行列向量归一化处理： $\tilde{A} = \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \right)$

再将 \tilde{A} 按照行求和： $\tilde{W} = \left(\sum_{j=1}^n \frac{a_{1j}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \sum_{j=1}^n \frac{a_{2j}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \dots, \sum_{j=1}^n \frac{a_{nj}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \right)$

将 \tilde{W} 归一化得： $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$

计算矩阵A的最大特征值： $\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i}$

3、一致性检验

当数据过多时，为保证分析结果可靠性，需对最大特征值进行一致性分析。引入一致性比例 $CR = \frac{CI}{RI}$ ，其中 $CI = (\lambda - n)/(n - 1)$ ，RI为随机构造 n 个成对比较矩阵得到的一致性指标，可通过查表的方式获得，见下表。

当 $CR < 0.1$ 时，认为不一致程度在容许的范围之内，通过一致性检验，可用最大特征根 λ 的归一化特征向量 $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 作为权重向量，且 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ；当 $CI = 0$ 时，比较矩阵为完全一致阵，最大特征值为n；若 $CR \geq 0.1$ ，则需要重新构造比较矩阵，对 a_{ij} 加以调整。

4、专家权重计算

由于客观事物的复杂性和专家的主观判断和经验的不确定性，专家给出的判断矩阵往往是不一致的，从而会影响评估和决策的结果。因此本课题引入专家k的权重 $\beta^{(k)}$ ，用于在评估多专家打分决策过程的结果，使得最终权重计算更加客观有效。

假设 w_{ij} 表示经过步骤（1）-（3）计算出的专家i对指标j的权重，定义专家k的判断偏差为：

$d^{(k)} = \max \{d_{ij}^{(k)} | (i, j = 1, 2, \dots, n \text{ 且 } i \neq j)\}$ ，其中 $d_{ij}^{(k)} = |a_{ij}^{(k)} w_j^{(k)} - w_i^{(k)}| (i, j \in N)$ ， $d^{(k)}$ 表明判断矩阵 $A^{(k)}$ 的权重向量 $w^{(k)}$ 对完全一致性约束公式 $a_{ij}^{(k)} w_j^{(k)} = w_i^{(k)}$ 的满足情况， $d^{(k)}$ 越小，说明权重向量越能更好的满足上述约束，越能逼近判断矩阵的固有排序向量。

