

供应链可持续尽职调查 ——基于综合计算工时工作制的供应商年生产能力测算方法

马杰

(奥瑞威士顿科技大学, 墨西哥 下加利福尼亚州 提华纳市 22044)

摘要: 随着中国制造业在全球消费品市场的持续扩张, 供应链风险管理面临愈加复杂的挑战, 其中供应商虚报产能与非授权分包已成为导致交付延误与合规风险的重要因素。供应商尽职调查因此被视为保障供应链稳定与透明的关键环节, 而科学准确的生产能力测算则是其核心基础。本文基于综合计算工时工作制, 构建了一套适用于单一产品、多生产线及多产品组合企业的年生产能力测算方法。该方法以瓶颈工序识别和时间定额测算为核心, 结合多产品折算与时间占比分配等策略, 实现了在统一时间基准下的产能评估, 兼顾操作性与适用性。研究不仅验证了该方法在供应链尽职调查中的实用价值, 还探讨了其在动态生产环境下的调整机制, 并展望了与物联网、大数据及智能制造相结合的未来发展方向。该研究为采购方识别虚报产能、优化资源配置及提升供应链透明度提供了可行的技术路径与决策支持。

关键词: 供应链尽职调查; 产能测算; 综合计算工时工作制; 瓶颈工序; 供应链风险管理

DOI: doi.org/10.70693/jyxb.v1i2.57

一、引言

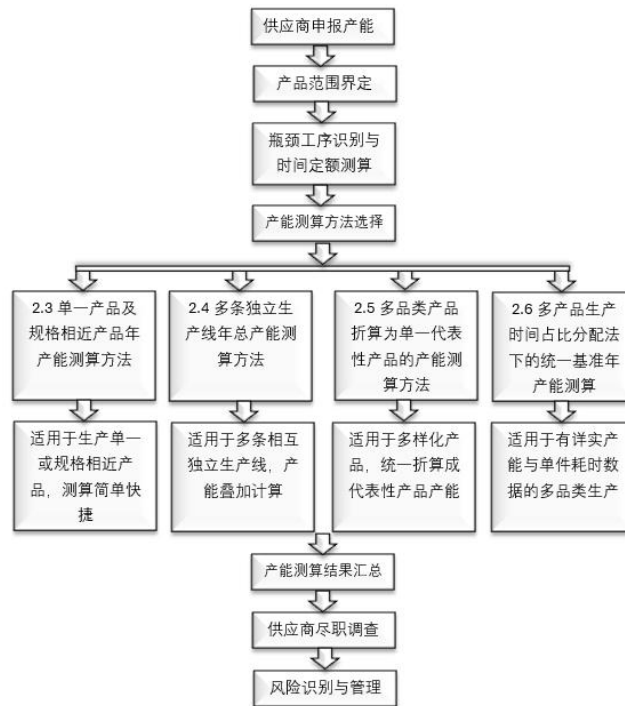
中国制造业作为全球消费品市场的重要支柱, 凭借优良质量和合理价格获得了广泛的国际认可, 吸引众多国际零售商将中国设为主要采购基地。然而, 伴随采购规模扩大, 供应链风险日益凸显, 尤其是供应链透明度不足的问题愈发严峻。^[1]具体表现为供应商虚报产能, 导致交货延期和供应链中断; 非授权分包普遍存在, 进而引发产品质量难以得到保障及潜在的合规风险; 更有部分非授权分包链条涉及劳动权益侵害、环境污染及冲突地区原材料采购等严重问题。此类风险不仅影响采购效率, 也对品牌声誉和法律合规性造成重大威胁。

在全球供应链风险日益复杂的背景下, 供应商尽职调查已成为采购方风险管理的核心, 而准确的生产能力测算则是实现供应链透明、合理评估供应商能力的关键基础。构建科学、合规且具有可操作性的产能测算方法, 不仅能够有效支撑采购决策, 降低交付风险, 还能提升供应链整体的稳健性与可持续发展水平。本文基于综合计算工时工作制, 提出了一套适用于多产品企业的年产能测算方法, 覆盖单一产品、多生产线及多产品组合折算等多种场景, 在统一时间基准下实现可比性和准确性评估, 旨在为供应链尽职调查提供系统性的技术工具与决策依据。

根据《中华人民共和国劳动法》、原劳动部《关于企业实行不定时工作制和综合计算工时工作制的审批办法》(劳部发〔1994〕503号)和国家有关规定, 实行综合计算工时工作制的企业每位员工年总工作时间为2416小时。该标准为本文的年生产能力测算提供了统一且合规的时间参数基础。

二、企业年生产能力测算原理与步骤

2.0 研究方法框架图



2.1 产品范围界定

根据企业的生产实际情况，产品范围可划分为以下两类：① 单一或相似产品。② 多品类差异产品。

2.2 瓶颈工序产能测算及动态调整方法

瓶颈工序是限制企业整体产能的关键环节，其时间定额是衡量该工序生产效率的重要技术指标，定义为单位时间（如每小时）内该工序可完成的产品数量。^[2]时间定额的测算主要依赖企业提供的生产数据和现场观察，重点采集单位时间（如每小时、每分钟或每秒）内的产出数量，以确保数据的准确性和代表性。作为系统中的资源约束，瓶颈工序的最大产能受到线性规划中的资源约束限制，其数学表达为：

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} x_j \leq b_i$$

其中： a_{ij} ：单位产品 j 消耗的瓶颈资源 i 时间（小时/件）； x_j ：产品 j 的计划产量（件）； b_i ：瓶颈资源 i 在一定期间的总可用时间（小时）。

该约束确保总资源消耗不超过瓶颈资源的可用时间，从而限定产品产能的最大值。时间定额可以从不同维度理解。单人时间定额指单个操作工在瓶颈工序单位时间内（通常以小时计）可完成的产品数量，反映人工作业效率。单机时间定额指单台设备在相同时间单位内可完成的产品数量，体现设备的生产能力。根据实际情况，瓶颈工序的总时间定额可分别按人员或设备计算。按人员计算：总时间定额 = 单人时间定额 × 工序操作人数；按设备计算：总时间定额 = 单机时间定额 × 设备台数。以上方法确保对瓶颈工序产能的准确量化，为后续产能测算提供关键参数。

表 1：总时间定额（件/小时）案例示例

生产方式	单位产能（件/小时）	单位数量	总产能（件/小时）
人工	20	200 人	4000
设备	20	200 台	4000

需要指出的是，瓶颈工序并非在所有时间段内均保持恒定不变，其受生产计划调整、设备维护、员工技能水平、原材料供应状况以及生产异常等多种因素影响，存在一定的动态变化和波动性。因而，单一静态时间定额难以全面、准确反映实际生产能力。为更合理地测算产能，应结合以下策略。1) 时间序列数据分析，通过持续监

测瓶颈工序的实际产出数据, 计算平均产能及其波动区间 (如标准差), 识别瓶颈的动态趋势和周期性波动。2) 预留安全裕度, 基于波动幅度, 适当降低测算产能, 留有余量以应对突发状况和生产波动, 避免过度乐观估计。3) 分时段测算, 对不同生产时段或批次分别测算瓶颈产能, 综合得出更加精准的年度产能估算。4) 动态调整模型设计, 应结合实时生产数据, 设计基于机器学习或统计模型的动态调整机制, 定期更新瓶颈工序的时间定额参数。^[3]该模型可包括异常检测、趋势预测及波动补偿功能, 以适应生产环境的变化, 提升产能预测的准确性和实用性。通过上述措施, 可以较好地兼顾瓶颈工序的动态性, 提升产能测算的准确性和实用性, 避免因忽视波动导致的风险。

2.3 单一产品及规格相近产品年产能测算方法

针对单一产品或规格相近的产品, 其年产能可通过以下公式进行测算: 年产能 = $C \times$ 瓶颈工序总时间定额。其中: C : 年总工作时间 (小时), 依据综合计算工时工作制取值为 2416 小时; 瓶颈工序总时间定额: 以件/小时为单位, 反映该工序单位时间内的最大产能。1) 瓶颈工序总时间定额 = 单人时间定额 $\times$ 工序操作人数; 2) 瓶颈工序总时间定额 = 单机时间定额 $\times$ 设备台数。^[3]

案例示例: 假设某产品单件在瓶颈工序上的加工时间为 0.05 小时/件, 则单位时间定额为: $1 \div 0.05 = 20$ 件/小时。若该工序共有 200 名员工同时作业, 则瓶颈工序总时间定额为: 20 件/小时 $\times 200$ 人 = 4000 件/小时。该产品的年产能计算为: 2416 小时 $\times 4000$ 件/小时 = 9,664,000 件/年。此外, 若企业生产多种不同产品, 且需共用同一条生产线完成某一通用部件或工序, 当该生产线为瓶颈工序时, 其产能决定整体产能, 此时可直接采用上述公式进行年产能测算。

2.4 多条独立生产线年总产能测算方法

当企业拥有多条相互独立、分别生产不同产品的生产线时, 可以分别对各条生产线进行年产能测算, 然后将各条生产线的产能加总, 得到企业整体的年生产能力。具体方法如下: $x_k = T_k \times N_k \times C$ 。其中: T_k : 第 k 条生产线瓶颈工序中单个操作工的时间定额 (单位时间内单人最大产能, 件/小时); N_k : 第 k 条生产线瓶颈工序的操作工人数; C : 年总工作时间 (小时); x_k : 第 k 条生产线的年产能 (件)。企业总体年产能 X 则为所有生产线年产能之和, 满足线性叠加原理:

$$X = \sum_{k=1}^M (T_k \times N_k \times C)$$

其中: M : 生产线数量; X : 企业所有生产线的总体年产能 (件)。

假设企业拥有两条生产线, 操作工人数均为 200 人, 年总工作时间 $C = 2416$ 小时。生产线 A 单人时间定额为 $T_a = 15$ 件/小时, 操作工人数 $N_a = 200$; 生产线 B 单人时间定额为 $T_b = 7.5$ 件/小时, 操作工人数 $N_b = 200$ 。则各生产线瓶颈工序的总时间定额 (即整条生产线每小时最大产能) 为:

表 2: 各生产线瓶颈工序的总时间定额案例示例

生产线	单人时间定额 T_k (件/小时)	操作工人数 N_k (人)	总产能计算 /小时)	(件
A	15	200	3,000	
B	7.5	200	1,500	

表 3: 所有生产线的总体年产能案例示例

生产线	总产能 (件/小时)	年总工作时间 C (小时)	年产能 x_k (件/年)
A	3,000	2,416	7,248,000
B	1,500	2,416	3,624,000
合计	—	—	$X = 10,872,000$

2.5 多品类产品折算为单一代表性产品的产能测算方法

对于产品种类较多且规格差异较大的企业, 为简化产能测算, 通常将多种产品折算为单一代表性产品, 进行统一分析。具体步骤如下: 确定代表性产品的生产速度 T_0 (单位: 件/小时) 及其年产能; 获取其他各类产品 i 的生产速度 T_i (单位: 件/小时) 及对应的年产能; 对多样化产品进行分类, 建议选取企业内具有代表性的 3 至 5 种产品 (可依据产能、营业额或主推产品), 或通过归类合并, 将规格或属性相近的产品归为 3 至 5 类, 以简化品类, 提升测算的操作性; 计算各产品的换算系数 K_i , 定义为: $K_i = T_i / T_0$ 。该系数反映产品 i 相对于代表性产

品单位时间内的生产速度比例。生产速度越快，单位产品所需时间越短，时间资源消耗相对较少。换算时，将产品 i 的年产能乘以换算系数 K_i ，折算成代表性产品的等效年产能：折算年产能 $Q_{i,eq} = \text{年产能}_i \times K_i = \text{年产能}_i \times (T_i / T_0)$ 。企业总体折算年产能可为：

$$Q_{eq, total} = Q_0 + \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \frac{T_i}{T_0}$$

其中： Q_0 为代表性产品年产能； Q_i 为其他产品年产能； n 为其他不同产品种类数量。

需要指出的是，换算系数基于单位时间产能（生产速度），生产速度越快，产品折算后产能越大，合理反映了其时间资源占用相对较少的事实；反之耗时长、速度慢的产品折算后产能相对减少。这种换算方法有助于统一不同产品在时间资源消耗上的等效贡献，便于多品类企业进行产能分析和规划。同时，换算过程中选取代表性产品及分类标准带有一定主观性，建议结合实际生产情况谨慎应用，防止误差影响产能判断。若企业生产多种不同产品，且需共用同一条生产线完成不同部件或工序，当该生产线为瓶颈工序时，其产能决定整体产能，此时亦可直接采用本节公式进行测算。

表 4：多品类产品折算为单一代表性产品的产能测算案例示例

产品	生产速度 T_i (件/小时)	年产能 (件)	换算系数 $K_i = T_i / T_0$	折算年产能计算 公式	折算年产能 (件)
代表性产品	3 (生产速度 T_0)	400,000	—	—	400,000
产品 1	3	800,000	$3 / 3 = 1.00$	$800,000 \times 1.00$	800,000
产品 2	5	1,200,000	$5 / 3 \approx 1.67$	$1,200,000 \times 1.67$	2,004,000
产品 3	6	2,000,000	$6 / 3 = 2.00$	$2,000,000 \times 2.00$	4,000,000
合计	—	—	—	—	7,204,000

案例示例说明：产品 2 和产品 3 生产速度更快，在瓶颈工序上每件产品所需时间更短，因此对时间资源的占用相对较低。折算后等效年产能高于其原始产能，合理体现了其在统一时间资源框架下对整体产能的更高等效贡献。

2.6 多产品生产时间占比分配法下的统一基准年产能测算

在实际生产运营中，企业往往在年度内同时生产多种产品。若已掌握各产品的历史产能及单件生产时间，可计算其年度总生产时间，并依据该时间占企业全年总生产时间的比例，将年度可用生产时间进行分配，从而在统一时间基准下测算各产品的年产能。企业总可用生产时间计算公式： $H_{total} = C \times N$ 。其中： $C = 2416$ （单个员工年可用工作时间，小时）； $N = 100$ （生产员工总数）。案例示例： $H_{total} = 2416 \times 100 = 241,600$ 小时。各产品过去 12 个月生产时间公式： $T_j = Q_j \times t_j$ 。其中： Q_j ：产品 j 年产能（件）； t_j ：产品 j 单件生产时间（小时/件）。

表 5：各产品年度生产时间消耗案例示例

产品	年产能 Q_j (件)	单件时间 t_j (小时/件)	生产时间 $T_j = Q_j \times t_j$ (小时)
A	200,000	0.5	100,000
B	150,000	0.8	120,000
C	100,000	1.2	120,000
合计			$\Sigma T_j = 340,000$

计算生产时间占比公式：

$$p_j = \frac{T_j}{\Sigma T_j}$$

其中： p_j ：产品 j 占总生产时间比例。

表 6：生产时间占比案例示例

产品	生产时间 T_j (小时)	时间占比 $p_j = T_j \div \Sigma T_j$
A	100,000	$100,000 \div 340,000 \approx 0.30$
B	120,000	$120,000 \div 340,000 \approx 0.35$
C	120,000	$120,000 \div 340,000 \approx 0.35$
合计		$\Sigma p_j = 100\%$

分配标准化年工时公式： $H_j = p_j \times H_{total}$ 。其中： H_j ：分配给产品 j 的标准化年工时（小时）。

表 7：各产品标准化年工时分配案例示例

产品	时间占比 p_j	标准化年工时 $H_j = p_j \times H_{total}$
A	0.30	$0.30 \times 241,600 = 72,480$ 小时
B	0.35	$0.35 \times 241,600 = 84,560$ 小时
C	0.35	$0.35 \times 241,600 = 84,560$ 小时
合计		241,600 小时

计算等效年产能公式： $Q_{j,year} = H_j / t_j$ 。其中： $Q_{j,year}$ ： 产品 j 的等效年产能（件）。

表 8：各产品等效年产能测算案例示例

产品	标准化年工时 H_j (小时)	单件时间 t_j (小时/件)	等效年产能 $Q_{j,year} = H_j \div t_j$ (件)
A	72,480	0.5	144,960
B	84,560	0.8	105,700
C	84,560	1.2	70,467

计算企业总体等效年产能公式：

$$Q_{Total, year} = \sum_j Q_{j, year}$$

案例示例： $Q_{Total, year} = 144,960 + 105,700 + 70,467 = 321,127$ 件。

此方法基于统一的 2416 小时标准时间基准，消除了年度工作日差异和实际出勤波动的影响，便于跨年度、跨企业对产能进行比较和优化分析。通过按生产时间占比分配资源，合理反映了各产品对整体产能的贡献，为企业多品类产品的产能测算和资源分配提供了科学依据。

2.7 企业年生产能力测算方法适用性总结表

表 9：企业年生产能力测算方法适用性总结表

方法名称	适用场景	优点	缺点
2.3 单一产品及规格相近产品年产能测算方法	企业生产单一产品或规格相近产品，瓶颈工序明确	参数明确、计算简便，适合快速评估单一产品产能	不适用于产品多样化，无法反映多品类产能差异
2.4 多条独立生产线年总产能测算方法	企业拥有多条独立生产线，生产线间无资源共享瓶颈	逻辑清晰，适合多生产线并行测算，计算准确度较高	需详细分线数据，计算复杂度增加，忽略产品间资源共享影响
2.5 多品类产品折算为单一代表性产品的产能测算方法	产品种类多、规格差异大，需统一产能基准	便于统一产能指标，简化分析，适合多样化产品	代表性产品选择有主观性，换算系数可能带来误差，忽略产品复杂度
2.6 多产品生产时间占比分配法下的统一基准年产能测算	年度内多品类产品生产，有详实历史产能和单件耗时数据	基于实际生产时间分配资源，合理反映各产品产能贡献，精度较高	依赖历史数据准确性，假设静态，缺乏动态调整机制

使用说明：若企业生产单一产品或规格相近产品且瓶颈工序明确，推荐采用 2.3 单一产品及规格相近产品年产能测算方法，操作简便、效果快速。若企业拥有多条互不干扰的生产线，建议采用 2.4 多条独立生产线年总产能测算方法，适合并行计算。对于产品多样化且需统一产能指标的企业，建议采用 2.5 多品类产品折算为单一代表性产品的产能测算方法，便于整合分析。若企业具备详实历史产能及单件耗时数据，且希望基于时间占比精细分配，推荐采用 2.6 多产品生产时间占比分配法下的统一基准年产能测算，提高测算精度。

2.8 产能的周期性测算

本文主要介绍了基于综合计算工时工作制的年产量测算方法。在实际供应链管理和供应商尽职调查过程中，采购方不仅需要了解供应商的年度生产能力，还需掌握不同周期的产能数据，如月产量、季度产量或特定订单周期产能，以满足生产计划与风险评估的多样化需求。基于年度产能测算公式，可将年度总工作时间及产量按周期进行分解。例如，将年度总工时除以 12 可得到月度工时，再结合实际生产节奏调整测算参数，从而获得不同周期内的产能估算。

在供应商尽职调查中的应用价值：周期性能测算可揭示供应商在不同月份或季度的产能波动，帮助采购方识别潜在的交付风险。例如，当某周期产能明显低于申报值时，可能提示生产瓶颈、设备维护或非授权分包问题。周期性能测算可评估供应商在特定周期内是否具备满足订单需求的能力，辅助制定合理的生产计划和交付安排。结合历史周期性数据，可建立供应商产能趋势分析和预警机制，实现供应链动态管理，及时调整采购策略或生产排期。周期性能测算提供更细化的数据支持，有助于采购方进行风险等级评估、优化供应商管理策略，并指导供应商在生产资源配置上进行改进。周期性能测算不仅继承了年产能测算的科学性和可操作性，还直接服务于供应商尽职调查的核心目标，为风险识别、交付保障和供应链优化提供量化依据。^[4]

三、产能测算方法的应用与局限分析

3.1 供应商尽职调查中的产能测算应用

供应链尽职调查旨在全面评估供应商的经营合规性与实际生产能力，防范虚报产能导致的交期风险及非授权分包相关隐患。^[5]基于本文方法测算的供应商年生产能力，可辅助风险评估流程。风险识别阶段，通过与供应商申报产能对比，结合现场调研数据，判定是否存在虚报产能情况。判定标准包括但不限于：申报产能明显高于通过瓶颈工序测算的最大产能；生产设备数量、工序布局与产能申报不符；生产线作业人数与申报产能不匹配；历史交付记录存在频繁延期或产能不足问题。核查重点应包括瓶颈工序的实际运行状况、关键设备利用率、操作人员出勤及技能水平、生产排班及设备维护记录、以及生产现场的实地观察与访谈，以判断产能申报的真实性。现场核查阶段，基于测算结果，重点核查瓶颈工序及关键资源利用率，确认生产能力的真实性。对异常数据和疑点进行重点询问，结合历史订单执行情况和生产计划，形成综合判断。风险等级评定，将测算产能与实际订单需求匹配，评估供应商交付风险等级，合理划分高、中、低风险等级，辅助采购决策和供应链管理。后续监控与改进，结合动态生产数据和生产异常反馈，调整产能预测模型，提升供应链透明度及应变能力，推动供应商持续改善。

3.2 应用价值与局限性分析

基于企业年生产能力测算的方法在供应商尽职调查中，能够有效核实供应商的实际生产能力，从而降低因非授权分包所引发的供应链违规风险。该方法兼顾合规性和操作性，适合多数传统制造企业。然而，以下特殊生产模式可能存在局限，需谨慎使用或结合其他方法辅助评估。高度柔性制造企业，生产节奏与产品种类变化频繁，生产线经常切换，产能受多变工艺和小批量多样化订单影响，静态测算难以反映真实产能。季节性强企业，产能在不同季节波动明显，单一年度产能测算无法捕捉周期性变化，需结合分时段或动态数据分析。采用非传统工作制的企业，如实行轮班制、弹性工时或自动化无人值守工厂，综合计算工时标准及瓶颈资源定义可能需做特别调整。高度自动化及智能制造企业，产能受设备状态、系统联动及智能排产影响，传统基于人工工时的测算方法不完全适用。在此类企业中，产能测算可结合设备实时数据和系统排产计划进行修正。因此，采购阶段的产能测算更适合作为供应商能力的初步评估参考，实际生产排程应结合动态数据及具体运营情况进行调整和优化。^[2]

结语

本文基于综合计算工时工作制，提出了一套操作性强、符合法规且适用于多品类产品企业的年生产能力测算方法。该方法为供应链尽职调查中的供应商产能评估提供了科学、规范的技术支撑，能够有效辅助采购方识别潜在风险，提升供应链透明度和稳定性。

未来研究方向可聚焦于以下几个方面：结合物联网（IoT）数据实现动态产能测算，利用传感器和设备联网采集实时产线运行数据、设备利用率及生产异常信息，构建动态产能模型，实现对产能波动和瓶颈变化的实时监控。智能制造与大数据分析融合，通过智能制造系统集成生产计划、工艺流程与人力资源管理数据，结合机器学习算法预测产能趋势，优化资源配置。多维度风险识别体系构建，将产能测算与质量、合规及环境风险等多因素综合分析，形成更全面的供应商风险评估框架。扩展适用范围至新兴生产模式，针对柔性制造、季节性生产及高度自动化企业，开发适配其特征的产能测算方法，提升方法的通用性和精度。综上，未来产能测算方法将更加依赖智能化与数字化技术，推动供应链尽职调查向更加精准和动态化发展。

参考文献

- [1] Heizer J, Render B, Munson C. Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management. 13th ed. Pearson, 2020.
- [2] Slack N, Brandon-Jones A, Burgess N. Operations Management. 9th ed. Pearson, 2021.

- [3] Muchiri P, Pintelon L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE). *International Journal of Production Research*, 2008, 46(13): 3517–3535.
- [4] Chopra S, Meindl P. *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. 7th ed. Pearson, 2019.
- [5] Christopher M. *Logistics & Supply Chain Management*. 6th ed. Pearson, 2016.

Supply Chain Sustainability Due Diligence

——A Calculation Method for Assessing Annual Production Capacity of Suppliers Based on Comprehensive Working Hour Systems

Jie Ma¹

¹ *Universitario Tecnológico Universitam, 22044 Tijuana, B.C., Mexico*

Abstract: With the continuous expansion of China's manufacturing industry in the global consumer goods market, supply chain risk management is facing increasingly complex challenges. Among them, supplier overstatement of capacity and unauthorized subcontracting have become major factors leading to delivery delays and compliance risks. Supplier due diligence is therefore regarded as a key mechanism to ensure supply chain stability and transparency, with accurate production capacity estimation as its foundation. Based on the comprehensive working hours system, this paper develops an annual production capacity estimation method applicable to enterprises with single products, multiple production lines, and multi-product portfolios. The method centers on bottleneck process identification and time quota measurement, supplemented by multi-product conversion and time allocation strategies, to achieve capacity evaluation under a unified time benchmark while balancing operability and applicability. The study not only verifies the practical value of the method in supply chain due diligence, but also explores its adaptability in dynamic production environments and its future integration with IoT, big data, and smart manufacturing. This research provides a feasible technical pathway and decision support for buyers to detect overstated capacity, optimize resource allocation, and enhance supply chain transparency.

Keywords: Supply Chain Due Diligence; Capacity Measurement; Comprehensive Working Hour System; Bottleneck Process; Supply Chain Risk Management