

氢燃料电池原材料订购模型的研究

刘 眇 (武汉绿动氢能能源技术有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘要: 针对氢燃料电池企业原材料库存金额高的问题, 优化库存管理模式。采用库存 ABC 分类法以及定期、定量、改进型 ROP 订货模型制定不同的物料订货策略, 有效降低公司库存管理成本, 提升企业市场竞争力。

关键词: 氢燃料电池; 安全库存; 再订货点; 订货模型; 库存管理

中图分类号: F253.4 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 027-0019-04

Study on the Ordering Model of Hydrogen Fuel Cell Raw Materials

Liu Pan(Wuhan Green Power Hydrogen Energy Technology Co., LTD. Wuhan Hubei 430000,China)

Abstract: In view of the problem of high raw material inventory amount in hydrogen fuel cell enterprises, the inventory management mode is optimized. The ABC inventory classification method and the regular, quantitative and improved ROP ordering model are adopted to formulate different material ordering strategies, which can effectively reduce the inventory management cost of the company and improve the market competitiveness of the enterprise.

Key words: hydrogen fuel cell, safety inventory, reorder point, ordering model, inventory management

基于国家宏观政策的驱动与引导, 我国氢能已逐步建立起制储运加工等重点环节较完整的产业链, 初步具备了规模化发展的基础。氢燃料电池行业作为氢能产业链的核心应用环节, 近年来在政策推动和技术进步下快速发展, 但仍面临成本高、商业化落地难等挑战。相较于锂电池 4.6 次 / 年的库存周转率水平, 氢能行业 0.5~1 次 / 年的库存周转率水平远低于其他新能源行业。因此优化公司的库存管理模式, 根据物料的价值、供货期、供货稳定性以及可替代性等特征, 确定合适的安全库存、物料再订货点以及订货量, 对于降低公司存货金额, 提高库存周转率, 防范公司经营财务风险起到至关重要的作用。

1 物料分类管理 (ABC 法)

对于制造型企业, 生产物料的分类管理是优化库存水平、降低采购成本和提升物资管理效率的关键手段。常见的物料分类管理方法有: 按物料性质分类, 按物料重要性分类, 按供应链风险分类以及按供应商分类。其中物料性质分类方法忽略了物料的价值差异, 供应链风险分类方法需准确评估供应风险和利润贡献, 实施成本较高, 供应商分类方法则因过度依赖供应商分类可能导致供应商切换响应速度不足等问题。因此, 笔者所在公司采用按物料重要性分类的方法进行物资库存管理。

公司将生产原材料根据其重要性 (通常以价值为主要衡量标准) 分为 A、B、C 三类^[1]。其中 A 类物料价值高, 需求相对较少, 但对公司产品的影响重大; B 类物料价值和重要性次之; C 类物料价值低, 需求较多。公司生产原材料需求量基于生产计划以及产品

BOM 表, 在目前低迷的氢燃料电池市场背景下, 公司整体原材料需求不确定性较大。同时公司核心原材料较多依赖进口, 其采购周期相比国产化物料较长。一方面需有效控制公司原材料数量, 以降低库存金额, 另一方又要保证合适的原材料库存以满足生产需求以及预防潜在的原材料进口采购周期风险, 因此需对公司库存物料进行分层管理, 针对不同类别的物料采取不同的库存采购策略, 具体如下表 1 所示:

表 1: 公司物料库存采购策略

类别	采购策略	监控频率	适用物料举例
A 类	安全库存 + 月度订单	月度	进口物料, 如质子膜, 碳纸等
B 类	定期订货		燃料电池电堆、系统零部件
C 类	定量采购		包装箱, 通用螺丝, PET 辅材等

2 安全库存设置

安全库存^[2](Safety Stock, 简称 SS), 又称缓冲库存, 是指为了防止由于不确定性因素 (如需求预测不准确、供应商交货延迟、生产过程中的意外中断、运输故障等) 而导致缺货, 企业额外储备的一定数量的库存。

安全库存的设置根据供给和需求波动性有三种计算方式。其一为服务水平方法计算, 适用于同时考虑供给和需求的波动, 并考虑客户服务水平的情况, 计算公式 $SS=z \times \delta d \times \sqrt{L}$, 其中 z 代表服务水平系数 (95% 对应 1.65, 99% 对应 2.33), δd 为需求标准差, L 为采购提前期的平均值, 可用采购提前期代替; 其二为传统计算方法, 适用于供给稳定, 需求波动情况,

此种情况下因需求端的不确定性，导致生产计划波动较大，即物料单位时间内需求的波动较大，这种波动可能击穿库存，造成停工待料，计算公式 $SS = (\text{预计单位时间内最大消耗量} - \text{平均单位时间内消耗量}) \times \text{采购提前期}$ ；其三为统计学观点公式，适用于需求稳定，供给波动情况，此种情况下因供给端的不确定性，导致实际采购周期变长，即使在稳定用量的情况下，也可能在下批物料合格入库前，已击穿库存，造成停工待料，计算公式 $SS = \text{单位时间平均用量} \times \text{紧急采购周期}$ 。

上述三种计算公式下需求标准差，采购提前期，单位时间内消耗量对应时间周期必须一致，如日需求标准差对应的采购提前期单位为天。具体选用哪种安全库存计算方式可根据物料的供给特性选择。

3 公司物料订货模型设定

3.1 定期订货模型^[3]

此模型适用于需求相对稳定且可预测的产品或者产品价值不高的情况，如氢燃料电池电堆、系统的零部件，供货周期相对较短。定期订货模型是按照固定的时间间隔来订货（公司采购决策时间是每月 1 号），每次订货量根据当前库存水平和预计到下一次订货时的需求来确定。

计算公式： $Q=D(T+L)+SS-I$

其中：Q 是订货量；D 是平均月需求量；T 是订货周期（两次订货之间的时间间隔，以月为单位，对于笔者公司 T=1）；L 是采购提前期（从订货到货物收到的时间，以月为单位）；SS 是安全库存；I 是现有库存。

3.2 改进型 ROP（再订货点）模型

ROP（再订货点）模型是企业为了保证生产和销售的正常进行，在库存水平下降到某一数量时需要再次订货的订货点模型。再订货点模型是企业库存管理的一个重要的工具，通常会考虑物料需求、采购提前期等因素，通过数学公式计算出再订货点。当库存水平下降到 ROP 时，就需要发出订单进行补货。

理论 ROP（再订货点）模型^[4]适用于需求相对平稳、补货提前期较长、价值高且对库存水平要求严格的产品，如氢燃料电池进口原材料质子膜、碳纸等。

计算公式： $ROP=D \times L+SS$

其中：ROP 是再订货点；D 是平均月需求量；L 是采购提前期（从订货到货物收到的时间，以月为单位）；SS 是安全库存。

再订货点（ROP）模型到达补订点后，订货量的计算采用经济订货量（EOQ）模型^[5]。经济订货量（EOQ）模型的目标是通过平衡订货成本和持有成本，确定使

总成本最小化的每次订货数量。当使用再订货点模型且企业采用 EOQ 模型来确定订货量时，一旦库存水平下降到再订货点，订货量就等于经济订货量。计算公式 $EOQ = \sqrt{2DS/H}$ ，D 代表公司物料年度需求量，S 代表每次物料订货成本，H 代表单位物料年保管费用。

EOQ 模型适用于需求相对稳定、成本结构清晰且库存持有成本和订货成本易于确定的物料，如一些标准化的办公用品等。对于氢燃料电池行业，基于市场实际需求波动相对较大，公司技术研发投入持续，原材料迭代减值等因素，公司暂未能形成稳定持续的产品生产线，原材料年持有成本较难估算，暂不具备 EOQ 计算条件。因此可根据实际的库存需求和库存持有策略来确定订货量。此时，订货量的目标是将库存补充到一个预定的目标库存水平，也称为最高库存水平，用 M 表示。M 可以考虑为 $ROP+$ （两次决策时间间隔的需求量）。订货量计算公式： $Q=M-I$ ，其中，I 是当前库存水平（包括已订购但尚未收到的货物）。

对于定期订货模型和改进型 ROP（再订货点）模型均基于公司实际库存需求情况，差异在于订货触发点不一致。前者 $I < D(T+L)+SS$ ，触发订货，订货量 $= D(T+L)+SS-I$ ；后者 $I < ROP$ 时，触发订货，订货量 $= ROP+$ （两次决策时间间隔的需求量）-I。也就是两种模型下，再订货触发点时间不一致，但是触发后订货量一致。如果采购物料存在最小订货量 MOQ 的要求，则上述计算的订货量需与 MOQ 进行比对，取大者下订单。

3.3 定期定量订货模型（固定订货量模型，可使用最小订货量）

此种订货模型相较再订货（ROP）模型差异在于当库存水平下降到预先设定的再订货点时，直接按照固定的订货量进行货物补充。它更强调订货量的固定性，且对库存进行连续监控，不考虑订货周期。此种订货模型适用于需求量极大且补货提前期较短的产品，如产线上的辅材、耗材等。

4 公司物料订货案例分析

2024 年 12 月 31 日公司某物料库存为 800 件，2025 年年度生产计划预计每月消耗 200 件，8-9 月高峰期 300 件 / 月，物料采购周期 3 个月。采购决策时间为每月 1 日，决策后立即下达采购订单。物料的 MOQ 值为 500 件；物料月度需求波动标准差为 20%，服务水平 95%，采用定期订货模型和再订货点（ROP）模型进行两种模型下 2025 年月度订单计划的计算。

首先计算安全库存 $SS=1.65 \times (200 \times 20\%) \times \sqrt{3} \approx 114$ 件，考虑 8-9 月高峰期物料需求，安全库存取值 150 件。

表 2: 2025 年全年月度订单计划 (定期订货模型)

月份	月初库存	消耗量	在途订单量	可用库存	理论采购量	实际订单	到货时间	月末库存	库存状态
1月	800	200	0	800	150	500	4月1日	600	安全
2月	600	200	500 (4月1日)	1100	0	0	-	400	警戒
3月	400	200	500 (4月1日)	900	50	500	6月1日	200	临界
4月	700	200	500 (6月1日)	1200	0	0	-	500	安全
5月	500	200	500 (6月1日)	1000	0	0	-	300	警戒
6月	800	200	0	800	350	500	9月1日	600	安全
7月	600	200	500 (9月1日)	1100	0	0	-	400	警戒
8月	400	300	500 (9月1日)	900	250	500	11月1日	100	黄色报警
9月	600	300	500 (11月1日)	1100	0	0	-	300	警戒
10月	300	200	500 (11月1日)	800	150	500	1月1日	100	黄色报警
11月	600	200	500 (1月1日)	1100	0	0	-	400	警戒
12月	400	200	500 (1月1日)	900	50	500	3月1日	200	临界
1月	600	200	500 (3月1日)	1100	0	0	-	400	警戒

表 3: 2025 年全年月度订单计划 (改进型 ROP 模型)

月份	月初库存	消耗量	在途订单量	可用库存	是否触发 ROP	理论采购量	实际订单	到货时间	月末库存	库存状态
1月	800	200	0	800	否	0	0	-	600	安全
2月	600	200	0	600	是	350	500	5月1日	400	警戒
3月	400	200	500 (5月1日)	900	否	0	0	-	200	临界
4月	200	200	500 (5月1日)	700	是	250	500	7月1日	0	红色报警
5月	500	200	500 (7月1日)	1000	否	0	0	-	300	警戒
6月	300	200	500 (7月1日)	800	是	350	500	9月1日	100	黄色报警
7月	600	200	500 (9月1日)	1100	否	0	0	-	400	警戒
8月	400	300	500 (9月1日)	900	是	250	500	11月1日	100	黄色报警
9月	600	300	500 (11月1日)	1100	否	0	0	-	300	警戒
10月	300	200	500 (11月1日)	800	否	0	0	-	100	黄色报警
11月	600	200	0	600	是	350	500	2月1日	400	警戒
12月	400	200	500 (2月1日)	900	否	0	0	-	200	临界
1月	200	200	500 (2月1日)	700	是	50	500	4月1日	0	红色报警

4.1 定期订货模型月度订单计划测算

每次订货量 = $\text{MAX}(\text{MOQ}, \text{D}(\text{T}+\text{L})+\text{SS}-\text{I})$ 可用库存 $\text{I} = \text{现有库存} - \text{已分配库存} + \text{在途库存} - \text{待出库库存}$

其中现有库存：指仓库中实际存在的存货数量；已分配库存：指已经分配给特定订单，但尚未实际发货的库存数量，为简化计算，本案例假定已分配库存为 0；在途库存：指已经采购但尚未到货，处于运输途中的货物数量；待出库库存：指已经确定要从仓库中发出，但还没有实际发出的库存数量，为简化计算，本案例假定待出库库存为 0。

$$\text{D}(\text{T}+\text{L})+\text{SS}=200 \times (1+3)+150=950 \text{ 件}$$

按照定期订货模型逻辑，演算 2025 年全年月度订单计划如下表 2 所示。

上述 8 月和 10 月末库存状态出现黄色报警情况，如在途订单到货时间出现偏差，公司生产可能发生断料风险。因此为更好应对生产高峰期物料需求，针对未来 3 个月预测需求波动率 >50% 的情况，可设定一个需求缓冲系数 E ，此系数大于 1，用于对订货量公式进行修正。修正后订货量 = $\text{MAX}(\text{MOQ}, \text{D}(\text{T}+\text{L})+\text{SS}-\text{I}) \times E$ 。

4.2 改进型 ROP (再订货点) 模型月度订单计划测算

$$\text{ROP} = \text{D} \times \text{L} + \text{SS} = 200 \times 3 + 150 = 750 \text{ 件}$$

每次订货量 = $\text{MAX}(\text{MOQ}, \text{ROP} + (\text{两次决策时间间隔的需求量}) - \text{I}) = \text{MAX}(\text{MOQ}, 950 - \text{I})$

按照改进型 ROP (再订货点) 模型逻辑，演算 2025 年全年月度订单计划如下表 3 所示。

上述 8、9 月物料高峰需求通过对 6 月、8 月 ROP 值重新设定来启动订单采购。其中 6 月 $\text{ROP}=850$ 件，通过 6~8 月总需求量以及安全库存 SS 计算得出，8 月 $\text{ROP}=950$ 件，通过 8~10 总需求量以及安全库存 SS 计算得出。针对全年出现的黄色和红色报警，可考虑对 3 月和 6 月订单量进行修正。

ROP 值的设定必须考虑采购提前期是否覆盖需求高峰期，如覆盖，ROP 值需根据实际需求值调整。

4.3 改进型 ROP (再订货点) 模型月度订单计划二次测算

前面两次模型测算基于物料 MOQ 值较大，实际订单量均为 MOQ 量，不能较好体现模型订货量运用效果。现降低 MOQ 值为 200 件，采用改进型 ROP 模型重新进行月度订单计划测算。 $\text{ROP} = 750$ 件不变，考虑采购提前期覆盖需求高峰期。当可用库存下降至 ROP 值时，在 MOQ 值较小的情况下，重新演算 2025 年全年月度订单计划如下表 4 所示。

上述计算模型下仓库月末库存金额较小且比较稳定，但是面临订单频繁的情况。

通过章节四订货模型案例分析可看出，采用本文定期订货模型和改进型 ROP (再订货点) 模型进行公司物料管控可将公司期末库存降低 50%~80%，公司库存周转率可提升 1.25~2 倍。

5 结语

目前，我国氢燃料电池行业正处于从“政策示

表 4: 2025 年全年月度订单计划 (改进型 ROP 模型二次演算)

月份	月初库存	消耗量	在途订单量	可用库存	是否触发 ROP	理论采购量	实际订单	到货时间	月末库存	库存状态
1月	800	200	0	800	否	0	0	-	600	安全
2月	600	200	0	600	是	350	350	5月1日	400	警戒
3月	400	200	350 (5月1日)	750	是	200	200	6月1日	200	临界
4月	200	200	550 (5月1日和6月1日)	750	是	200	200	7月1日	0	红色报警
5月	350	200	400 (6月1日和7月1日)	750	是	300	300	8月1日	150	黄色报警
6月	350	200	500 (7月1日和8月1日)	850	是	300	300	9月1日	150	黄色报警
7月	350	200	600 (8月1日和9月1日)	950	是	200	200	10月1日	150	黄色报警
8月	450	300	500 (9月1日和10月1日)	950	是	200	200	11月1日	150	黄色报警
9月	450	300	400 (10月1日和11月1日)	850	是	200	200	12月1日	150	黄色报警
10月	350	200	400 (11月1日和12月1日)	750	是	200	200	1月1日	150	黄色报警
11月	350	200	400 (12月1日和1月1日)	750	是	200	200	2月1日	150	黄色报警
12月	350	200	400 (1月1日和2月1日)	750	是	200	200	3月1日	150	黄色报警

范驱动型”向“场景商业化驱动型”转变的关键时期，短期氢燃料电池企业的财务压力与长期技术突破并存，因此优秀的库存管理能力和核心技术优势将成为企业突围的关键。本文通过ABC分类方法对公司库存物料进行分层管理，在此基础上针对不同类别的物料采取不同的库存采购策略，尤其改进型 ROP 模型中订货量 M 的选择设定更适合氢能行业需求不稳定、成本结构不清晰的现状。笔者所在公司通过物料订货模型的优化选择，公司平均库存量明显下降，被积压的流动资金得到有效释放，仓储管理成本也同步降低。当然在实际订货模型应用中，根据企业市场销量计划的变动，客户订单的推迟以及产品迭代更新等，企业订货模型和订货策略需持续作适应性调整，从而进一步降低企业存货金额，改善企业经营状况。

参考文献:

- [1] 朱自民. ABC 分类法在供应链管理中的应用 [J]. 现代营销, 2017(11):44-45.
- [2] 刘贵生. 安全库存及其量的确定 [J]. 江苏经贸职业技术学院学报, 2008(4):15-17.
- [3] 陈晓东、罗章涛. 基于库存论的定期订货模型研究 [J]. 重庆文理学院学报, 2009(3):10-16.
- [4] 卢建华. 经济订货批量模型 (EOQ) 下再订货时间的决策 [J]. 商场现代化, 2011(19):56-58.
- [5] 柳健. 基于零售业不同库存形态的经济订货批量策略 [J]. 物流技术, 2012, 31(2):132-134.

作者简介:

刘盼 (1985-) , 女, 汉族, 湖北汉川人, 硕士, 注册电气工程师, 公司职务: 主持公司物资与采购工作。

