

第七章 库存管理

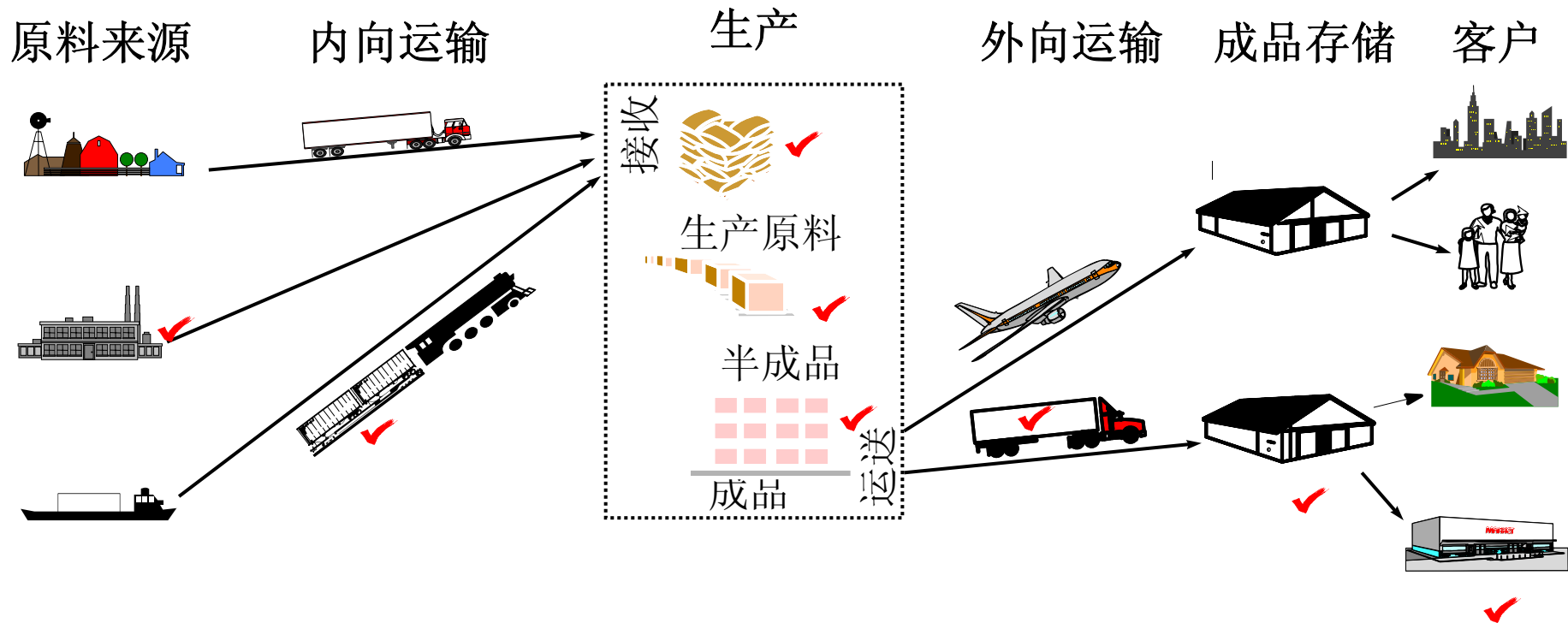
School of Management
Fudan University



内容提要

- 库存系统与库存管理
- 库存控制的基本策略
- 库存控制的基本方法

库存在哪里？



✓ 库存选址

什么是库存？

- 堆积品：

- 原材料
- 零部件
- 半成品
- 成品
- 供给品

- 堆放在：

- 仓库
- 堆场
- 商店库房
- 运输设备
- 零售商店的货架上

库存的作用

- 商业库存：
 - 改善客户服务，使产品保持一定的可得率；
 - 调节生产和消费的时空差异；
 - 调节生产和消费方式的不同；
 - 对不确定事件缓冲。

库存的作用

- 物流业库存：
 - 降低物流成本，提高服务水平。
 - 集中(**Consolidation**);
 - 拆装(**Break Bulk**);
 - 加工(**Processing**)。
 - 提供信用保证;
 - 缓冲物流系统中计划外或意外的突发事件;
 - 提供现货交易的场所。

库存的作用

- 制造业：
 - 保证生产的连续性
 - 隔离生产阶段
 - 促进生产、采购和运输的经济效益
 - 节约订货和缺货成本
 - 对不确定事件缓冲(物流和生产两方面)
 - 利用库存避开不利价格
 - 大宗采购节约成本

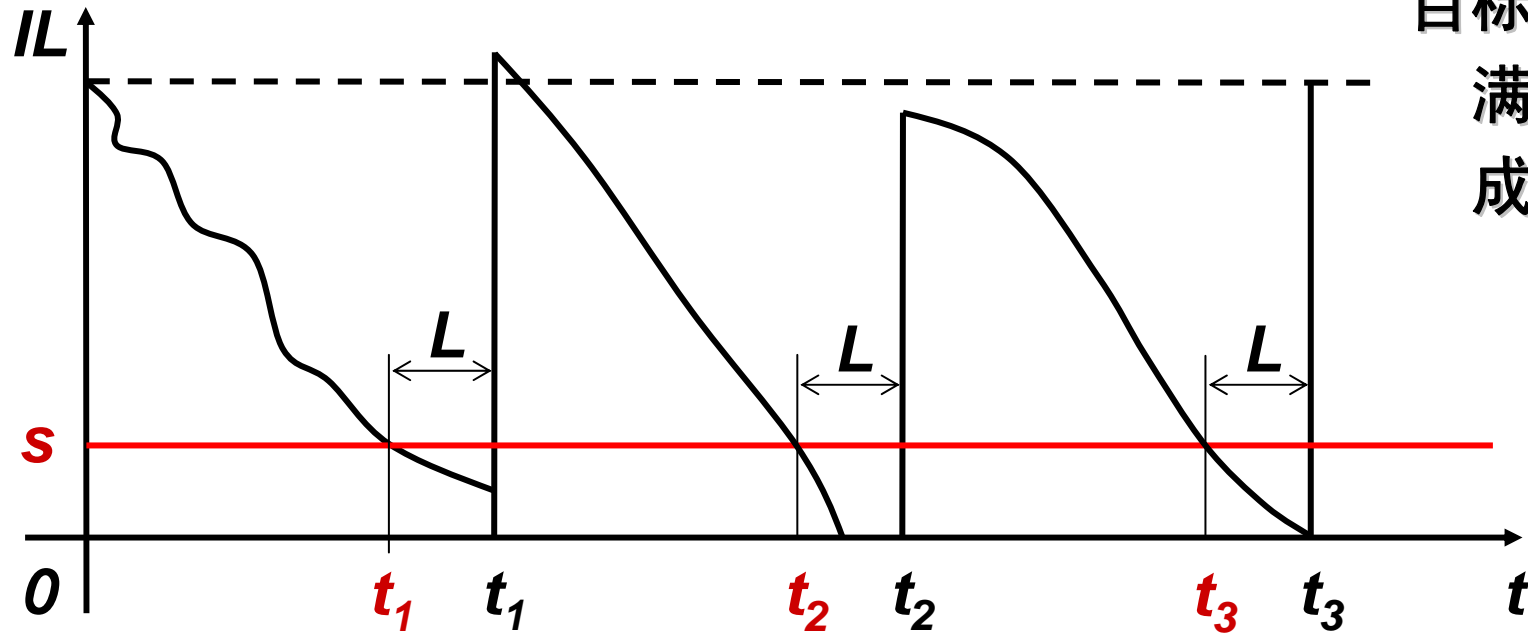
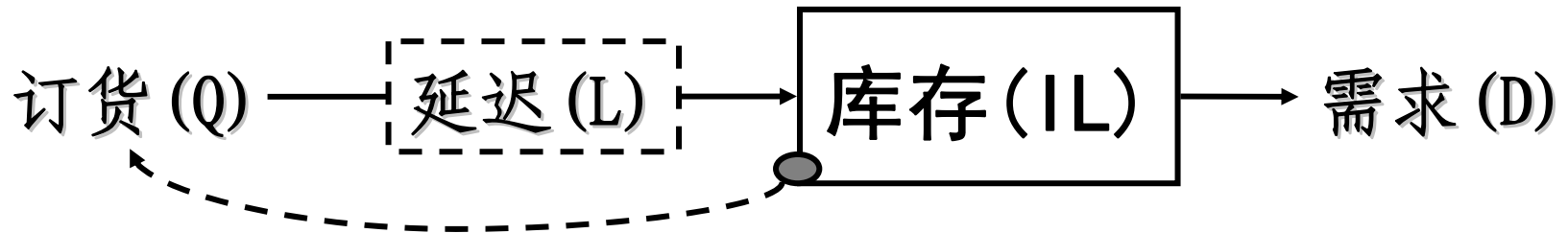
反对保有库存的原因

- 库存耗费了那些可以有更好用途的资本。
- 库存可能掩盖质量和管理问题。
- 保有库存鼓励人们以孤立的观点来看待生产和物流渠道整体的管理问题。

库存的分类

- 流通渠道中的库存：
 - 供应渠道各层级之间运输工程中的库存；
 - 制造过程中的半成品等。
- 周期性库存：
 - 匹配规模效益和正常运作需求的库存。
- 安全库存：
 - 为防范需求和补货提前期变动而建立的库存；
- 投机库存：
 - 例如：价格投机。

库存系统



目标:

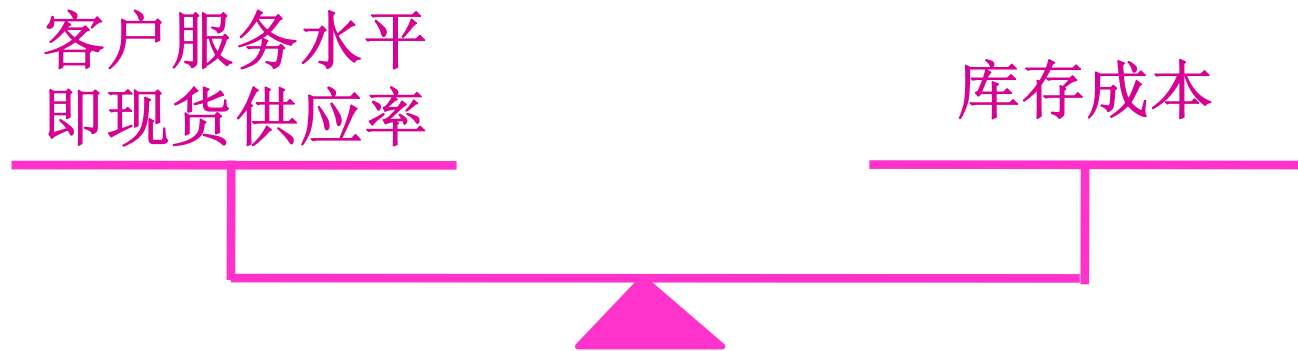
满足需求
成本最低

库存管理的概念

- 库存管理是根据外界对库存的要求和企业的特点，通过预测、计划等手段，确定一种策略，并执行这种策略对库存进行补充的控制行为。
- 库存过多的结果：
 - 任何一个企业，原则上都需要有某种程度的库存；
 - 库存商品占用的资金越多，可供营运的资金易于陷入周转不灵的局面；
- 库存过少的后果：
 - 不能及时供应市场需要，又会增加订货的次数，增加订货或出货的手续费；
 - 为了满足订单，制造厂商会因为抢时间生产而出现产品质量下降的现象；
 - 订货者因没有及时的补货而陷于停产或转向其它供应商。

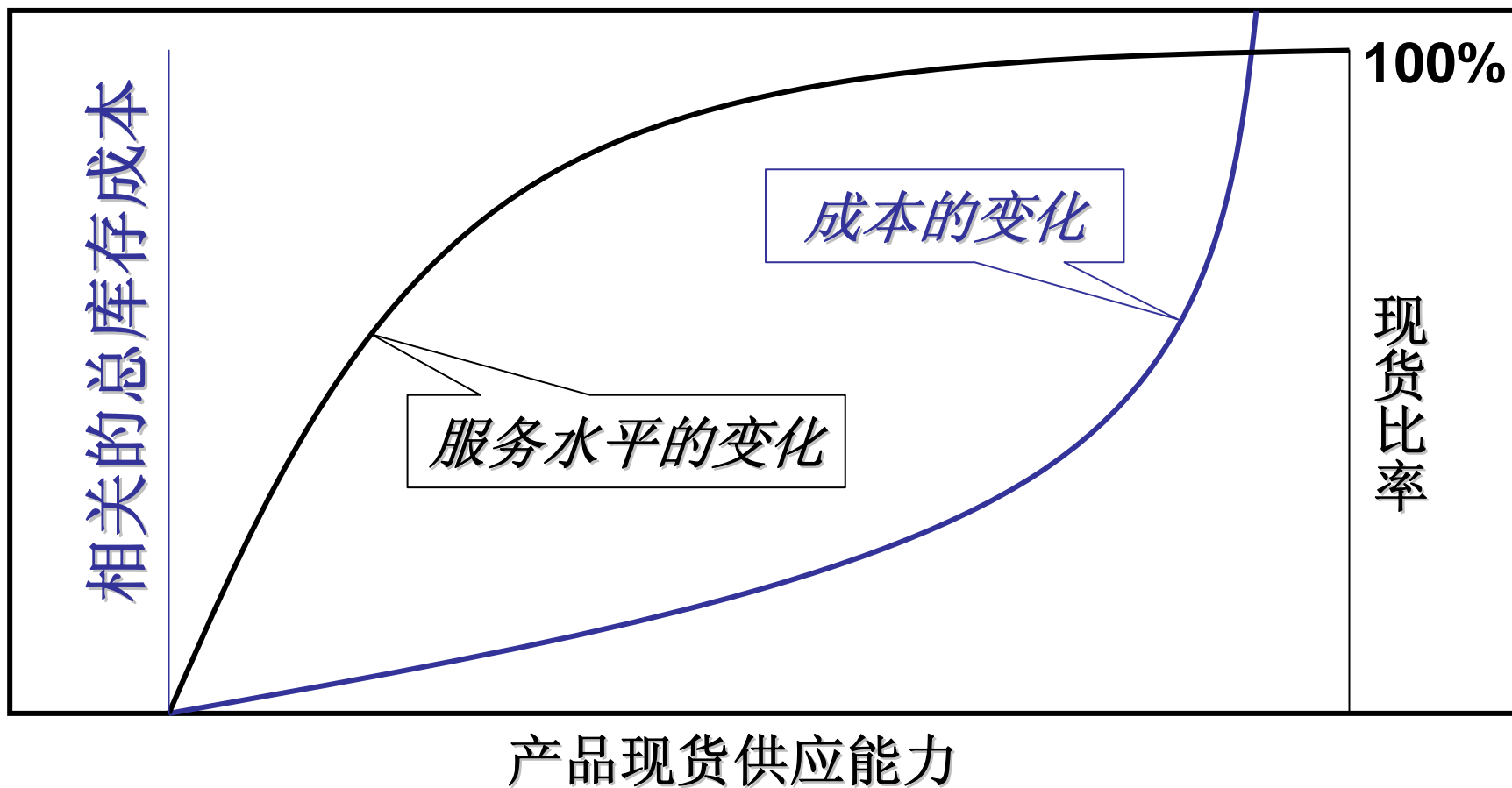
库存管理目标

- 库存管理需要在产品的现货供应比率与支持该现货供应能力的成本之间进行权衡。



- 服务目标：
 - 设定库存服务水平，将缺货控制在一定的比例之内；
- 成本目标：
 - 平衡冲突，找到最经济的补给量和补给时间。

库存目标



现货供应比率

- 服务水平:

$$SL = 1 - \frac{\text{每年产品缺货件数的期望值}}{\text{年需求总量}}$$

加权平均订单履行比率(Weighted Average Fill Rate)的计算

| 订单上的产品组合 | 订单上出现的频率 | 完全履行订单的概率 | 边际值 |
|----------------|------------|--------------------------------|----------------|
| | (1) | (2) | (1)×(2) |
| A | 0.1 | 0.95 | 0.095 |
| B | 0.1 | 0.90 | 0.090 |
| C | 0.2 | 0.80 | 0.160 |
| A, B | 0.2 | 0.95 × 0.90=0.855 | 0.171 |
| A, C | 0.1 | 0.95 × 0.80=0.760 | 0.076 |
| B, C | 0.1 | 0.90 × 0.80=0.720 | 0.072 |
| A, B, C | 0.2 | 0.95×0.9×0.8 =0.684 | 0.137 |
| 总计 | 1.0 | WAFR | 0.801 |

库存系统的基本参数

- 不可控参数：
 - **需求量(D)**: 用户到仓库来提货的数量。有时称做需求率，指单位时间的需求量。
 - **提前期(L)**: 从进行补充订货或采购之时开始算起，经过办理订货采购手续，厂商备料发运，直到物资进库验收为止的一段时间。

库存系统的基本参数

- 可控参数：
 - **订货量(Q)**: 仓库根据需求, 为补充某种物资的库存量而向供货厂商一次订货或采购的数量。
 - **订货点/订货间隔期(T)**: 库存量降到这个水平或以下就订货/两次订货之间的间隔时间。
 - **安全库存量(SS)**: 由于需求量(D)、提前期(L)都可能是随机的, 因此需求量和库存量都可能是随机变量。为了防止这部分不可预知的随机因素造成的缺货, 就必须有一部分储备, 这部分储备称为安全库存量。

库存系统的基本参数

- 绩效参数:

- **服务水平**: 从理论上讲仓库不可能绝对不缺货, 绝对不缺货在实际中也是不经济的, 因为这样要保持过大的安全储备。因此要根据具体情况, 恰如其分地确定安全库存量, 使用户的需求满足到一定程度。
- **成本**: 采购成本、持有成本、缺货成本。
- **库存周转率**: 库存年供应金额被年平均库存占用金额除, 即年周转率, 或年周转次数。

库存相关成本

- 采购成本(**Procurement Cost**)
- 持有成本(**Carrying Cost**)
 - 空间成本(**Space Cost**)
 - 资金成本(**Capital Cost**)
 - 库存服务成本(**Inventory Service Cost**)
 - 库存风险成本(**Inventory Risk Cost**)
- 缺货成本(**Out-of-Stock Cost**)

相关成本

- 采购成本

- 订单准备成本；
- 订单传输成本；
- 生产的启动成本；
- 在收货地点的所有物料搬运或商品加工成本；
- 商品价格。

相关成本

- 库存持有成本

- 一段时期内存储或持有商品而发生的费用；
- 主要包括库存占用的资金成本、仓耗、保险、个人财产税和存储费用；
- 费用范围大约为商品价值的**40%**每年。 平均是库存商品价值的**25%**每年。

库存持有成本各成本因素的相对比重

| No. | 项目 | 百分比 |
|------------|-----------|---------------|
| 1 | 利息和机会成本 | 82.00 |
| 2 | 仓耗 | 14.00 |
| 3 | 仓储和搬运 | 3.25 |
| 4 | 财产税 | 0.50 |
| 5 | 保险 | 0.25 |
| 6 | 总计 | 100.00 |

相关成本

● 缺货成本

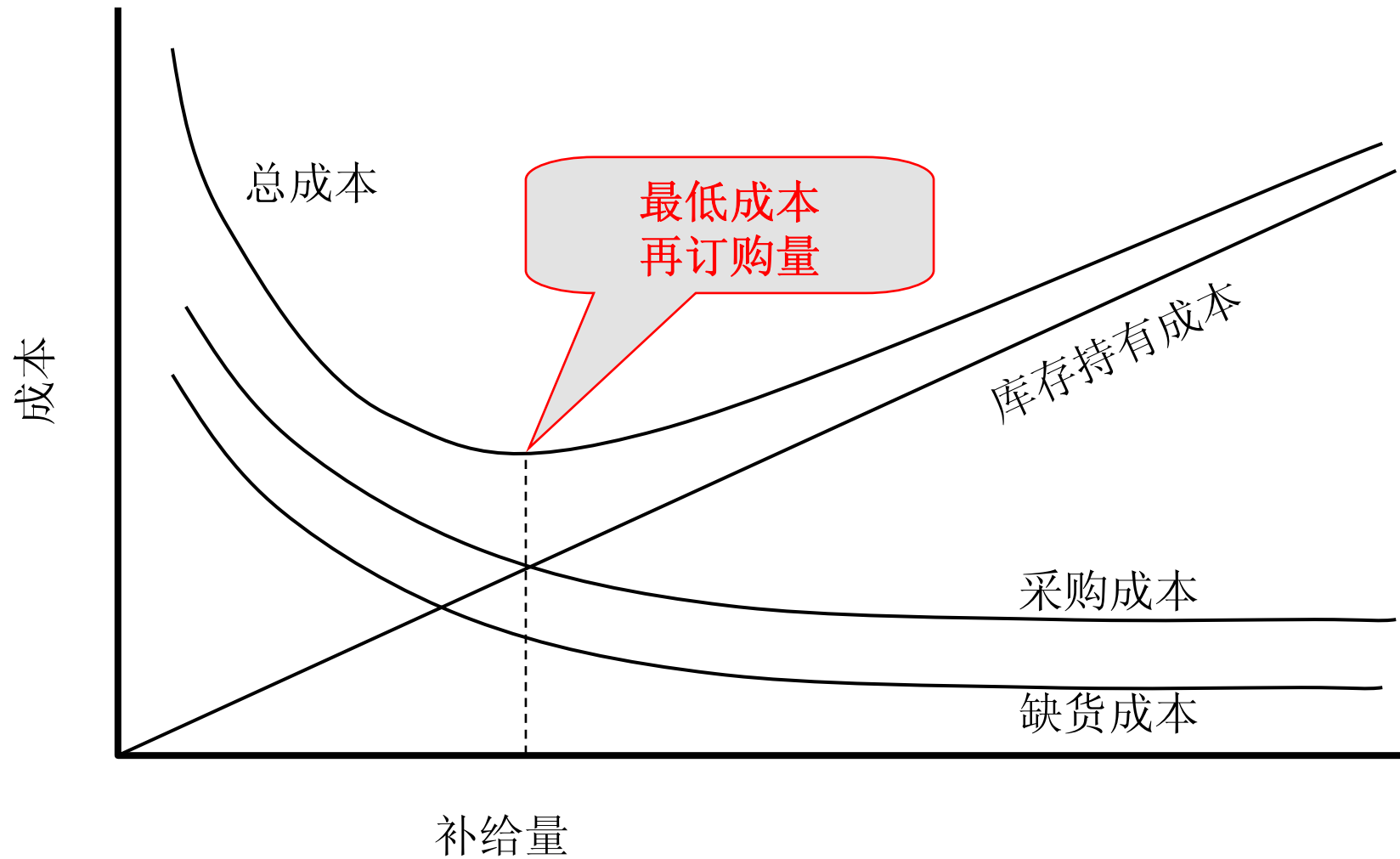
- 失销成本 (Lost sales cost)

- › 本应获得的这次销售的利润
- › 缺货对未来销售造成的消极影响

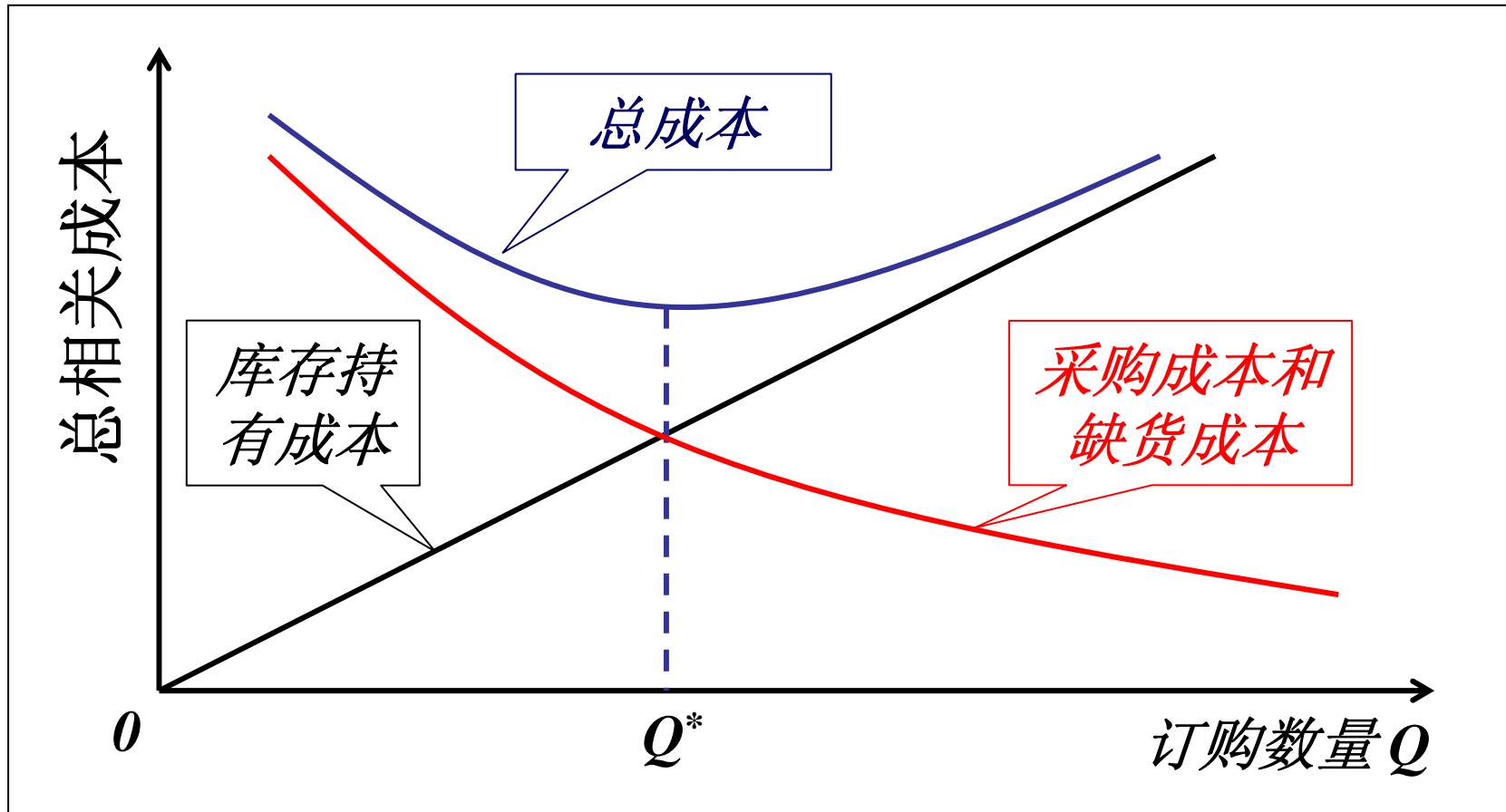
- 保留订单成本 (Backorder cost)

- › 额外的订单处理成本
- › 额外的运输和操作成本
- › 可能的额外启动成本

库存的冲突费用图



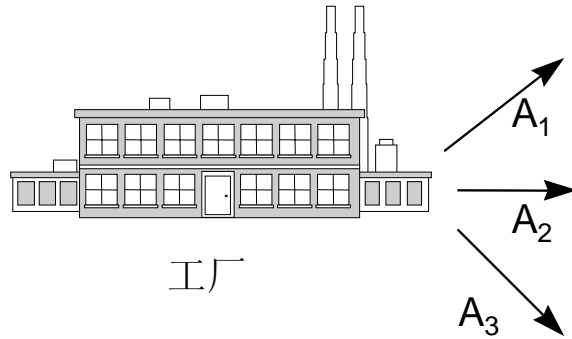
订购量与相关库存成本之间的悖反关系



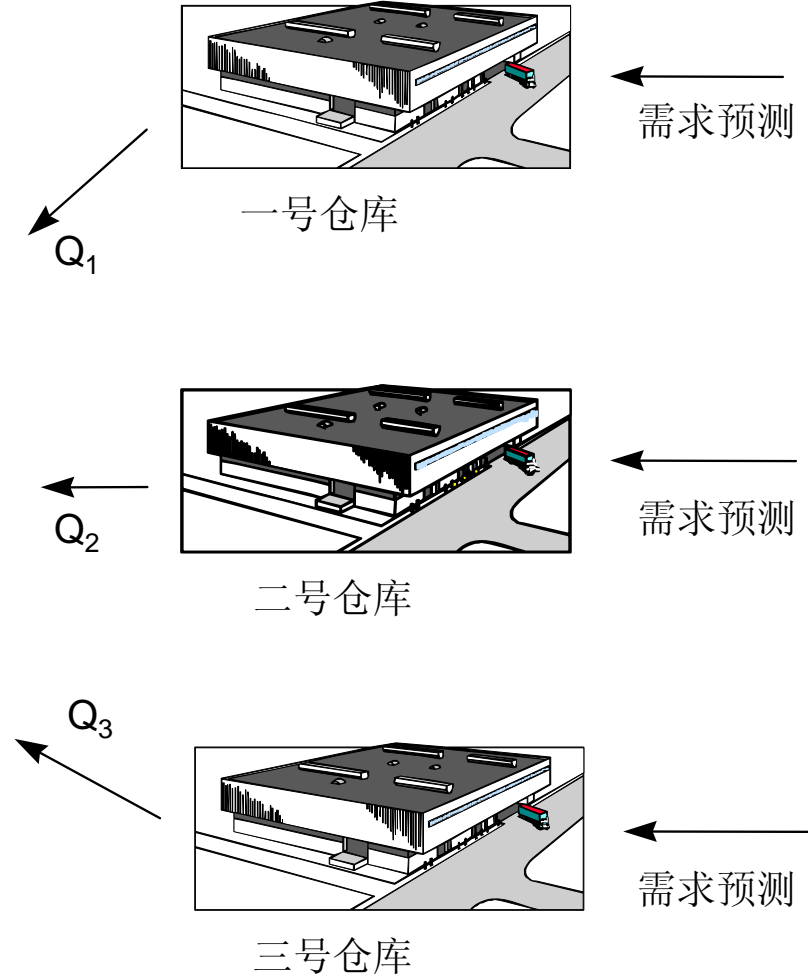
拉动 vs 推动库存思想

推动式库存管理法——基于每个仓库的预测将供给分配给各个仓库

拉动式库存管理法——基于每个仓库的特定需求以一定的订货批量补足库存



A = 将产品分配到各个仓库
 Q = 每个仓库需要的补货量



推动式库存管理

- 通过预测或其它手段确定从现在到下一次生产或采购期间的需求量；
- 找出每个仓储点的现有库存量；
- 设定每个仓储点的现货供应水平；
- 计算总需求。即：预测值加上为防备预测中的不确定性而额外准备的库存量；
- 确定净需求。即：总需求与所持有库存量之差；
- 在平均需求速度(预测需求)的基础上，将超过总净需求的部分分配到各仓储点；
- 用净需求加上分摊的超量部分得到分配到各个仓储点的货物总量。

例：怎样将125000磅金枪鱼分配到三个基层仓库？

| 仓库 | 所持库存 | 预测需求 | 预测误差 (标准差) | 库存现货 供应水平 |
|----|-------|--------|---------------|--------------|
| 1 | 5000 | 10000 | 2000 | 90% |
| 2 | 15000 | 50000 | 1500 | 95% |
| 3 | 30000 | 70000 | 20000 | 90% |
| 总计 | - | 130000 | - | - |

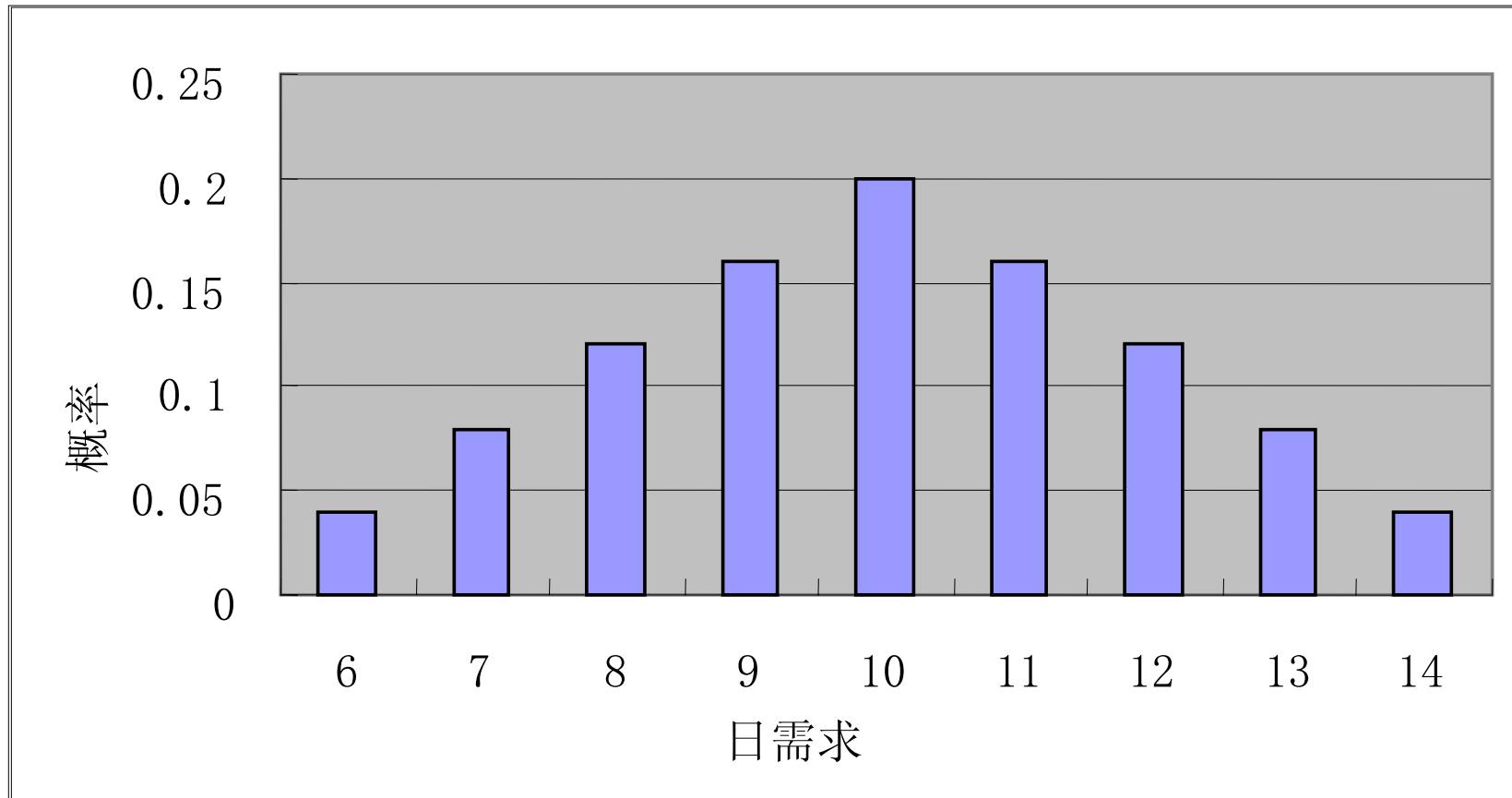
时间单位：月

理解不确定性

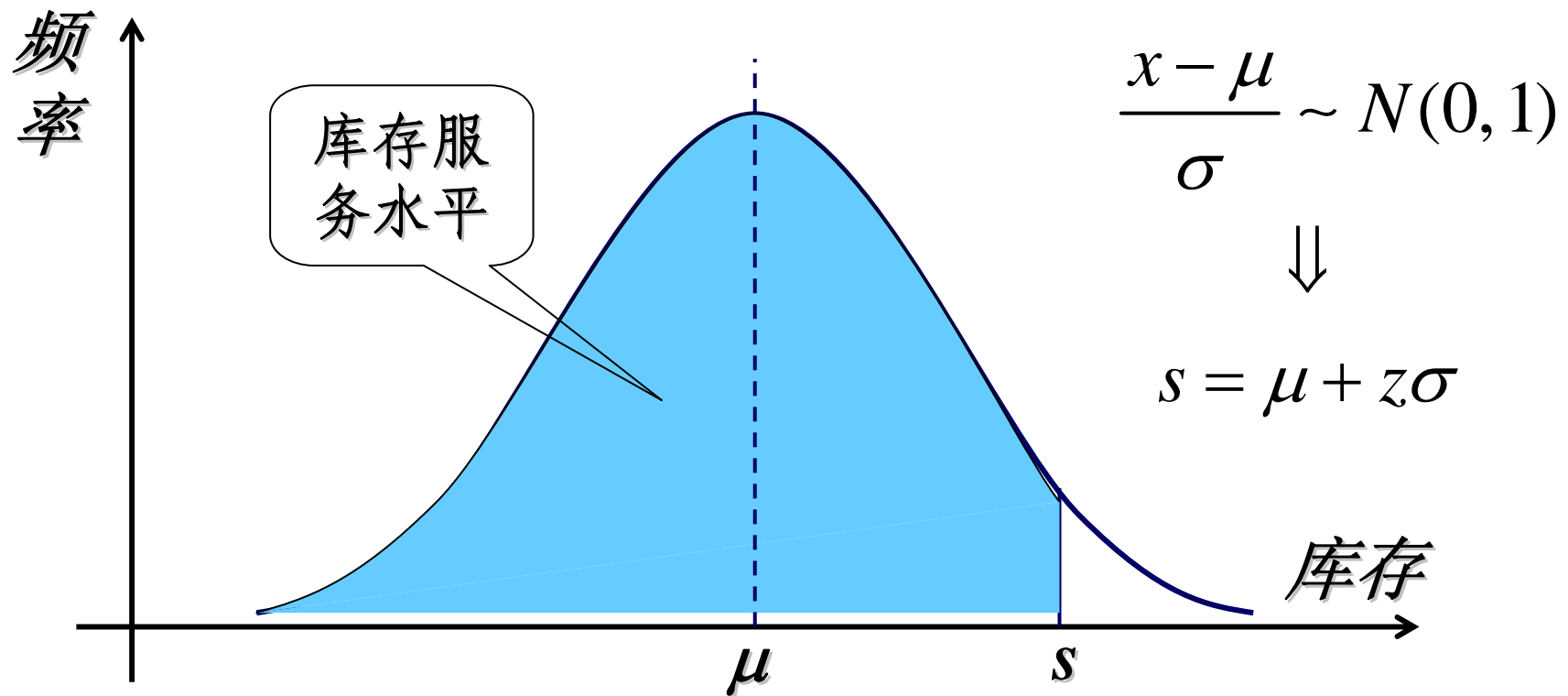
| (1)日需求 | (2)频数 | (3)概率 | (4)=(1)*(2) | [(1)-μ] ² *(2) | |
|---------------|-----------|-----------|-------------|---------------------------|------------|
| 6 | 2 | 0.04 | 12 | 32 | |
| 7 | 4 | 0.08 | 28 | 36 | |
| 8 | 6 | 0.12 | 48 | 24 | |
| 9 | 8 | 0.16 | 72 | 8 | |
| 10 | 10 | 0.20 | 100 | 0 | |
| 11 | 8 | 0.16 | 88 | 8 | |
| 12 | 6 | 0.12 | 72 | 24 | |
| 13 | 4 | 0.08 | 52 | 36 | |
| 14 | 2 | 0.04 | 28 | 32 | |
| Total: | 90 | 50 | 1.00 | 500 | 200 |

$$\mu = \frac{\sum x_i f_i}{\sum f_i} = \frac{500}{50} = 10; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2 f_i}{\sum f_i}} = \sqrt{\frac{200}{50}} = 2$$

理解不确定性

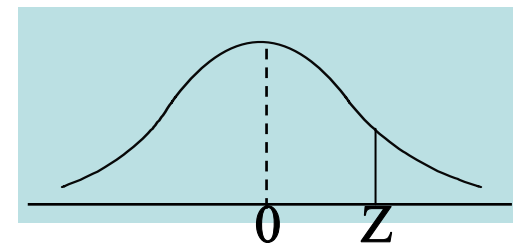


库存和仓库现货供应率水平



- z 是在给定库存现货供应率水平的情况下正态分布的标准差

正态分布表



| Z | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0.0 | 0.5000 | 0.5040 | 0.5080 | 0.5120 | 0.5160 | 0.5199 | 0.5239 | 0.5279 | 0.5319 | 0.5359 |
| 0.1 | 0.5398 | 0.5438 | 0.5478 | 0.5517 | 0.5557 | 0.5596 | 0.5636 | 0.5675 | 0.5714 | 0.5753 |
| 0.2 | 0.5793 | 0.5832 | 0.5871 | 0.5910 | 0.5948 | 0.5987 | 0.6026 | 0.6064 | 0.6103 | 0.6141 |
| 0.3 | 0.6179 | 0.6217 | 0.6255 | 0.6293 | 0.6331 | 0.6368 | 0.6406 | 0.6443 | 0.6480 | 0.6517 |
| 0.4 | 0.6554 | 0.6591 | 0.6228 | 0.6664 | 0.6700 | 0.6736 | 0.6772 | 0.6808 | 0.6844 | 0.6879 |
| 0.5 | 0.6915 | 0.6950 | 0.6985 | 0.7019 | 0.7054 | 0.7088 | 0.7123 | 0.7157 | 0.7190 | 0.7224 |
| 0.6 | 0.7257 | 0.7291 | 0.7324 | 0.7357 | 0.7389 | 0.7422 | 0.7454 | 0.7486 | 0.7517 | 0.7549 |
| 0.7 | 0.7580 | 0.7611 | 0.7642 | 0.7673 | 0.7703 | 0.7734 | 0.7764 | 0.7794 | 0.7823 | 0.7852 |
| 0.8 | 0.7881 | 0.7910 | 0.7939 | 0.7967 | 0.7995 | 0.8023 | 0.8051 | 0.8078 | 0.8106 | 0.8133 |
| 0.9 | 0.8159 | 0.8186 | 0.8212 | 0.8238 | 0.8264 | 0.8289 | 0.8315 | 0.8340 | 0.8365 | 0.8389 |
| 1.0 | 0.8413 | 0.8438 | 0.8461 | 0.8485 | 0.8508 | 0.8531 | 0.8554 | 0.8577 | 0.8599 | 0.8621 |
| 1.1 | 0.8643 | 0.8665 | 0.8686 | 0.8708 | 0.8729 | 0.8749 | 0.8770 | 0.8790 | 0.8810 | 0.8830 |
| 1.2 | 0.8849 | 0.8869 | 0.8888 | 0.8907 | 0.8925 | 0.8944 | 0.8962 | 0.8980 | 0.8997 | 0.90147 |
| 1.3 | 0.90320 | 0.90490 | 0.90658 | 0.90824 | 0.90988 | 0.91149 | 0.91309 | 0.91466 | 0.91621 | 0.91774 |
| 1.4 | 0.91924 | 0.92073 | 0.92220 | 0.92364 | 0.92507 | 0.92647 | 0.92785 | 0.92922 | 0.93056 | 0.93189 |
| 1.5 | 0.93319 | 0.93448 | 0.93574 | 0.93699 | 0.93822 | 0.93943 | 0.94062 | 0.94179 | 0.94295 | 0.94408 |
| 1.6 | 0.94520 | 0.94630 | 0.94738 | 0.94845 | 0.94950 | 0.95053 | 0.95154 | 0.95254 | 0.95352 | 0.95449 |
| 1.7 | 0.95543 | 0.95637 | 0.95728 | 0.95818 | 0.95907 | 0.95994 | 0.96080 | 0.96164 | 0.96246 | 0.96327 |
| 1.8 | 0.96407 | 0.96485 | 0.96562 | 0.96638 | 0.96712 | 0.96784 | 0.96856 | 0.96926 | 0.96995 | 0.97062 |
| 1.9 | 0.97128 | 0.97193 | 0.97257 | 0.97320 | 0.97381 | 0.97441 | 0.97500 | 0.97558 | 0.97615 | 0.97670 |
| 2.0 | 0.97725 | 0.97778 | 0.97831 | 0.97882 | 0.97932 | 0.97982 | 0.98030 | 0.98077 | 0.98124 | 0.98169 |
| 2.1 | 0.98214 | 0.98257 | 0.98300 | 0.98341 | 0.98382 | 0.98422 | 0.98461 | 0.98500 | 0.98537 | 0.98574 |
| 2.2 | 0.98610 | 0.98645 | 0.98679 | 0.98713 | 0.98745 | 0.98778 | 0.98809 | 0.98840 | 0.98870 | 0.98899 |
| 2.3 | 0.98928 | 0.98956 | 0.98983 | 0.9 ² 0097 | 0.9 ² 0358 | 0.9 ² 0613 | 0.9 ² 0863 | 0.9 ² 1106 | 0.9 ² 1344 | 0.9 ² 1576 |
| 2.4 | 0.9 ² 1802 | 0.9 ² 2024 | 0.9 ² 2240 | 0.9 ² 2451 | 0.9 ² 2656 | 0.9 ² 2857 | 0.9 ² 3053 | 0.9 ² 3244 | 0.9 ² 3431 | 0.9 ² 3613 |
| 2.5 | 0.9 ² 3790 | 0.9 ² 3963 | 0.9 ² 4132 | 0.9 ² 4297 | 0.9 ² 4457 | 0.9 ² 4614 | 0.9 ² 4766 | 0.9 ² 4915 | 0.9 ² 5060 | 0.9 ² 5201 |
| 3.0 | 0.9 ² 8650 | 0.9 ² 8694 | 0.9 ² 8736 | 0.9 ² 8777 | 0.9 ² 8817 | 0.9 ² 8856 | 0.9 ² 8893 | 0.9 ² 8930 | 0.9 ² 8965 | 0.9 ² 8999 |
| 3.5 | 0.9 ³ 7674 | 0.9 ³ 7759 | 0.9 ³ 7842 | 0.9 ³ 7922 | 0.9 ³ 7999 | 0.9 ³ 8074 | 0.9 ³ 8146 | 0.9 ³ 8215 | 0.9 ³ 8282 | 0.9 ³ 8347 |
| 4.0 | 0.9 ⁴ 6833 | 0.9 ⁴ 6964 | 0.9 ⁴ 7090 | 0.9 ⁴ 7211 | 0.9 ⁴ 7327 | 0.9 ⁴ 7439 | 0.9 ⁴ 7546 | 0.9 ⁴ 7649 | 0.9 ⁴ 7748 | 0.9 ⁴ 7843 |

计算总需求

$$x = \mu + z\sigma$$

- 仓库1的总需求:
=10000+1.28×2000=12560
- 仓库2的总需求:
=50000+1.65×1500=52475
- 仓库3的总需求:
=70000+1.28×20000=95600

计算净需求

- **NR(净需求)=TR(总需求)-CSL(所持库存)**
- 仓库1的净需求:
=12560-5000=7560
- 仓库2的净需求:
=52475-15000=37475
- 仓库3的净需求:
=95600-30000=65600

分配高于净需求部分的产品

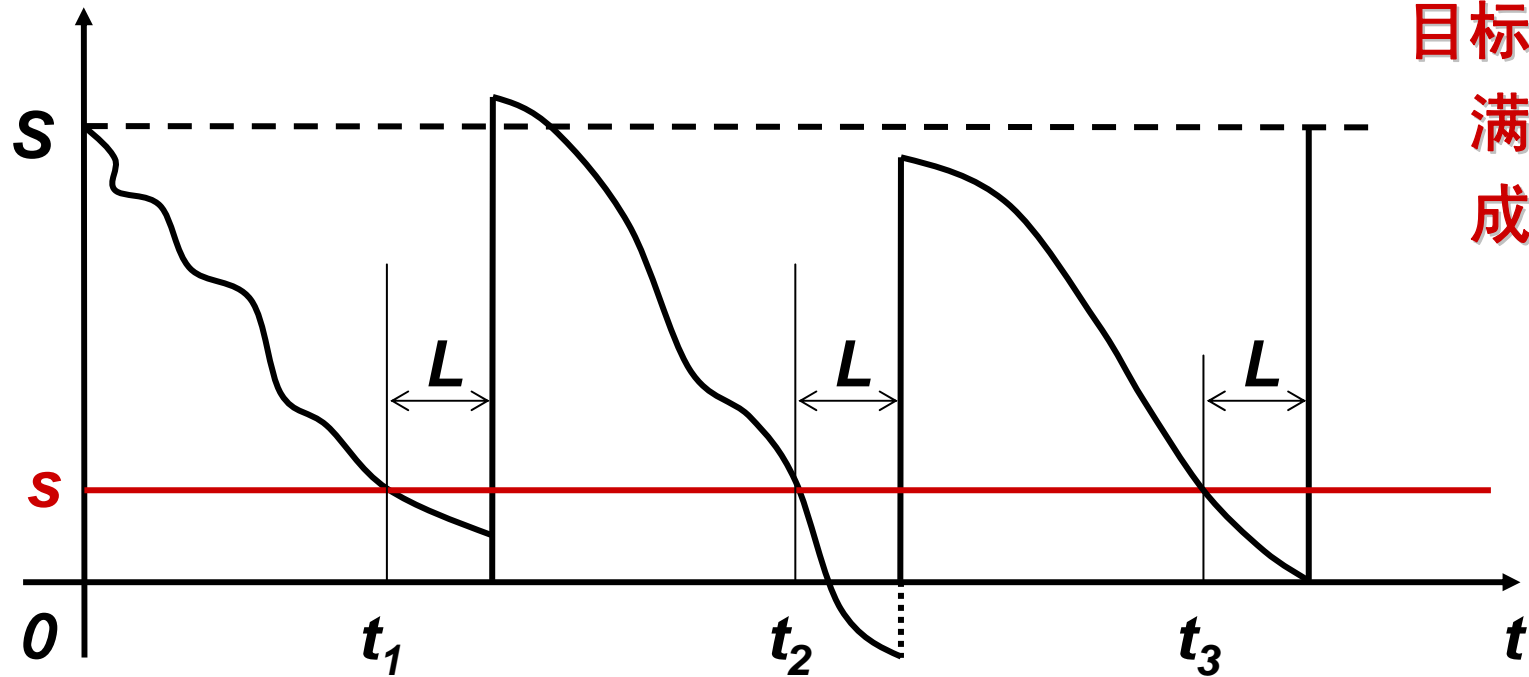
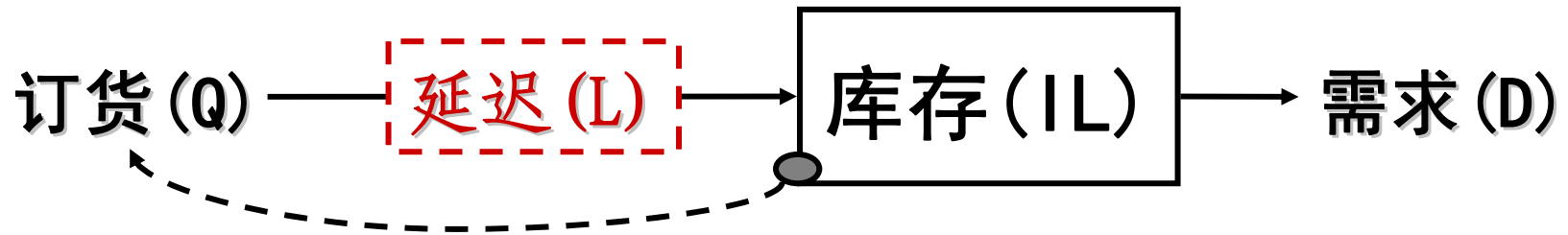
- 总净需求：
 $=7560+37475+65600=110635$
- 过剩产品：
 $=125000-110635=14365$
- 分配过剩产品：
 - 仓库 1= $14365*1/13=1105$
 - 仓库 2= $14365*5/13=5525$
 - 仓库 3= $14365*7/13=7735$

最终分配

| 仓库 | 总需求 | 所持库存 | 净需求 | 过剩部分分摊 | 分配总量 |
|----|--------|-------|--------|--------|--------|
| 1 | 12560 | 5000 | 7560 | 1105 | 8665 |
| 2 | 52470 | 15000 | 37475 | 5525 | 4300 |
| 3 | 95600 | 30000 | 65600 | 7735 | 73335 |
| 总计 | 160635 | 50000 | 110635 | 14365 | 125000 |

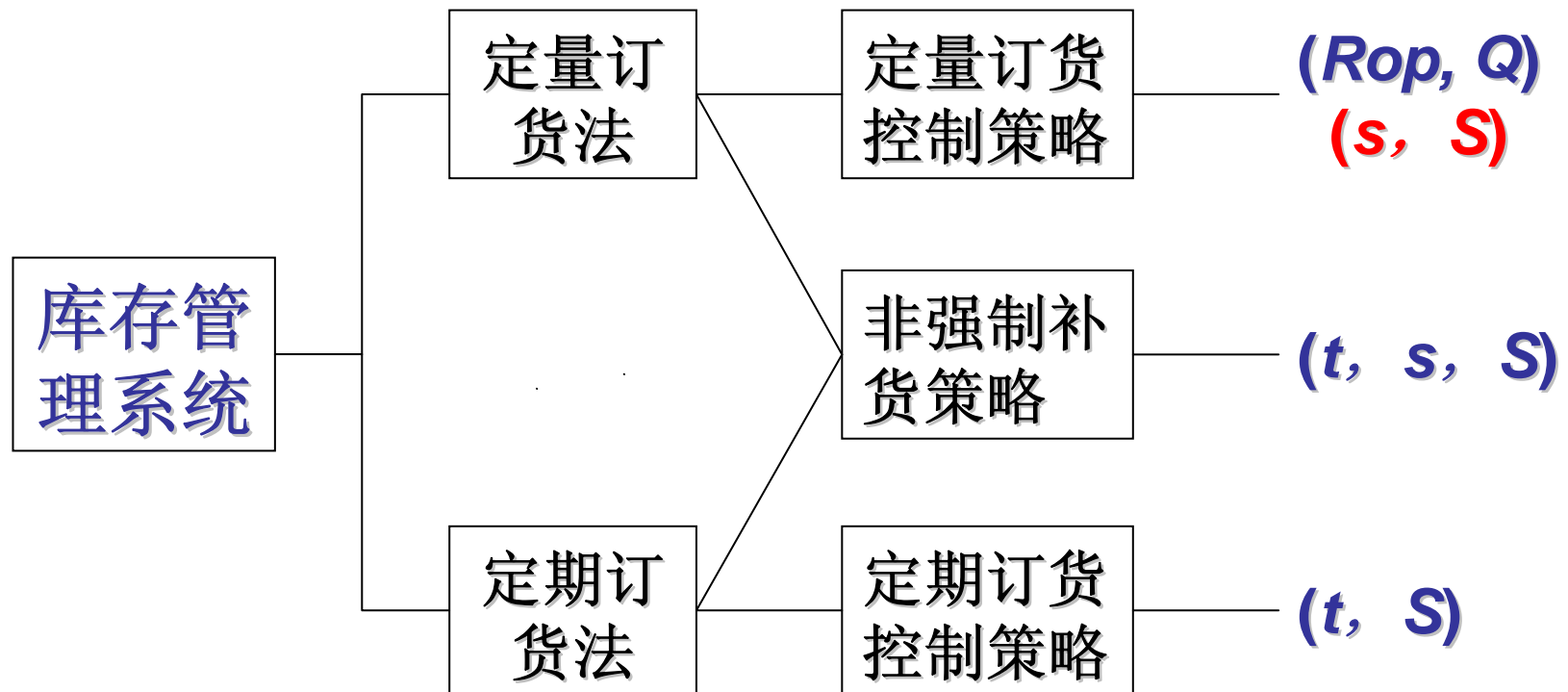
拉动式库存管理

库存系统-回顾



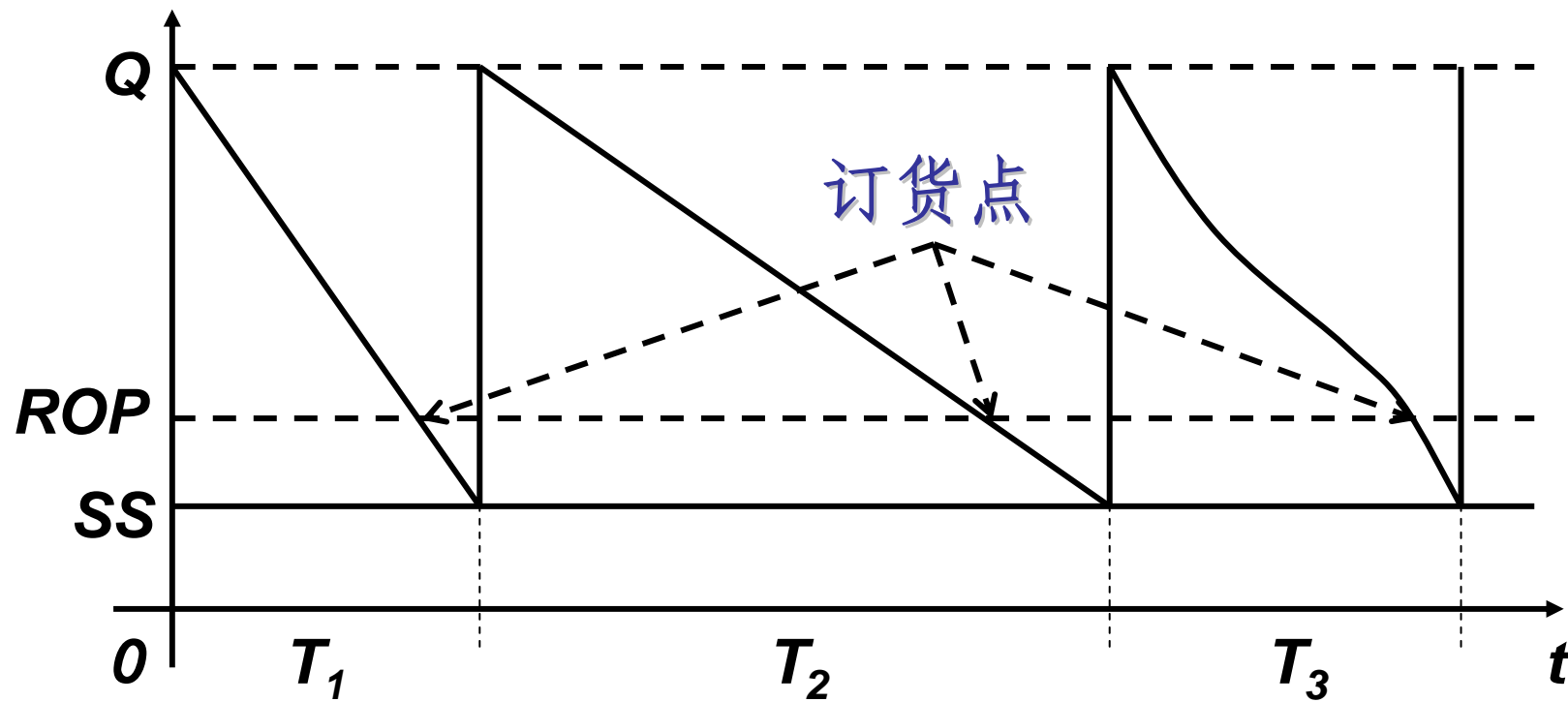
目标：
满足需求
成本最低

拉式库存控制的基本策略



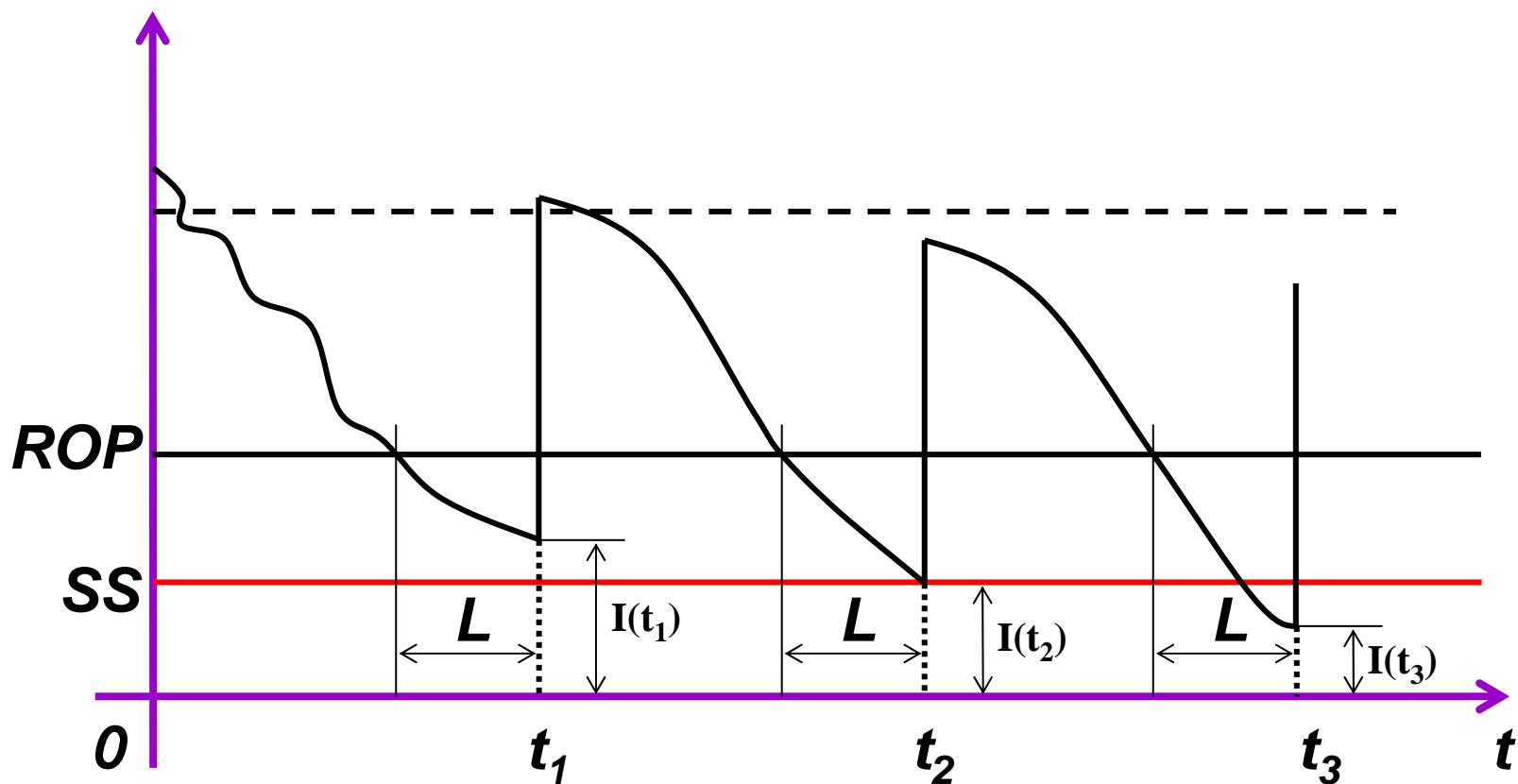
定量订货策略：ROP/Q策略

- 以数量为基础进行库存管理模式，当库存降至或低于一定水平时，就发出订单进行补货。**确定型需求。**



定量订货策略: $(ROP, Q)/(s, S)$

- 以数量为基础进行库存管理模式，当库存降至或低于一定水平时，就发出订单进行补货。随机需求。



定量订货系统的理解

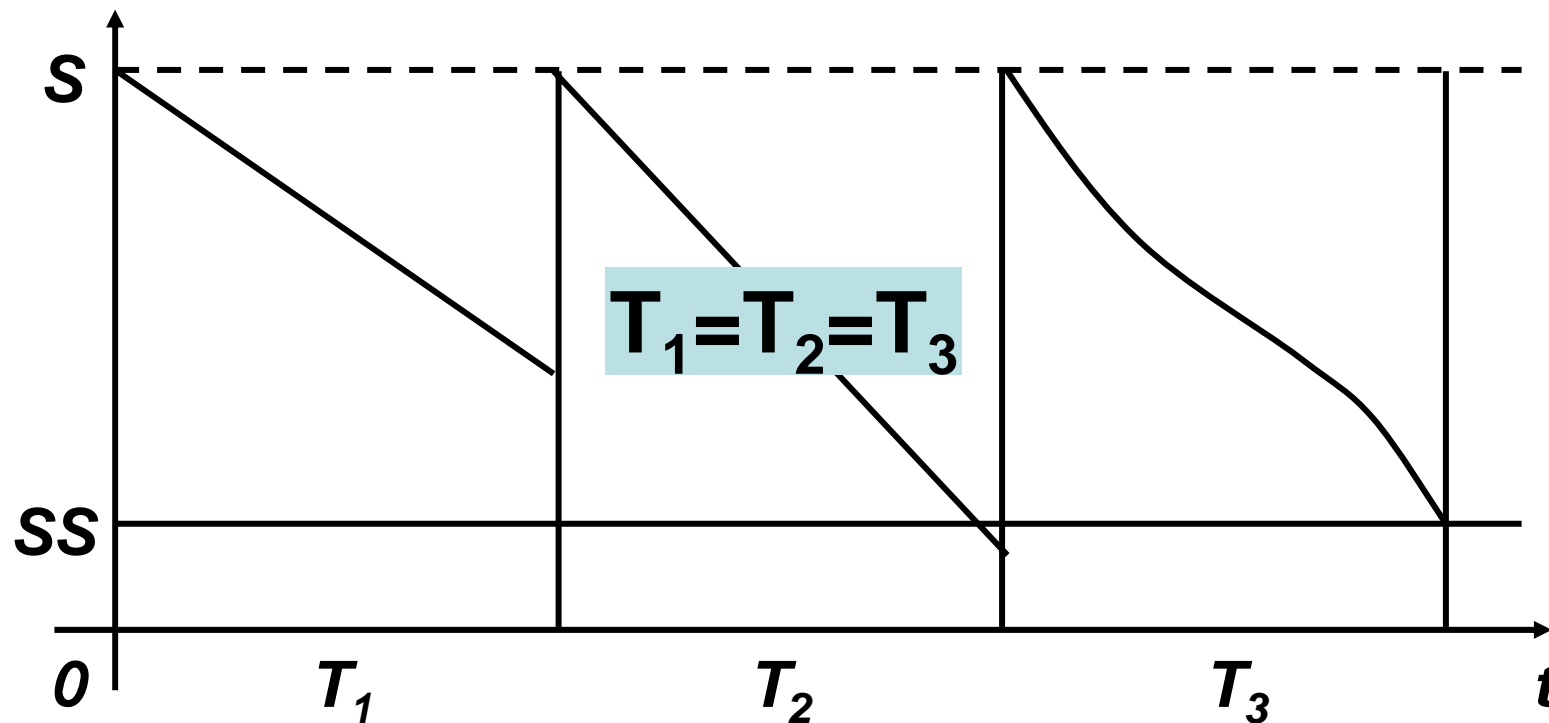
- 每当物品出库就要对出库量记录，并将存货余额同订货点进行比较。若存货余额等于或低于订货点，便要按物品的预定规则进行订货；若存货余额高于订货点，则不采取行动。
- 定量订货管理系统中，要对所管理的物品进行经常或连续盘点和监视，以确定是否应发出订单，所以又称为“连续”法。

定量订货系统的优缺点

- 对预测值和参数的变化相对不敏感，可以较准确地控制库存量；
- 大量单独的订货可能造成很高的运输和订购成本；
- 合并订货规模订货往往可以得到供应商的折扣，但是在定量订货系统中，不得不放弃获得折扣的机会。

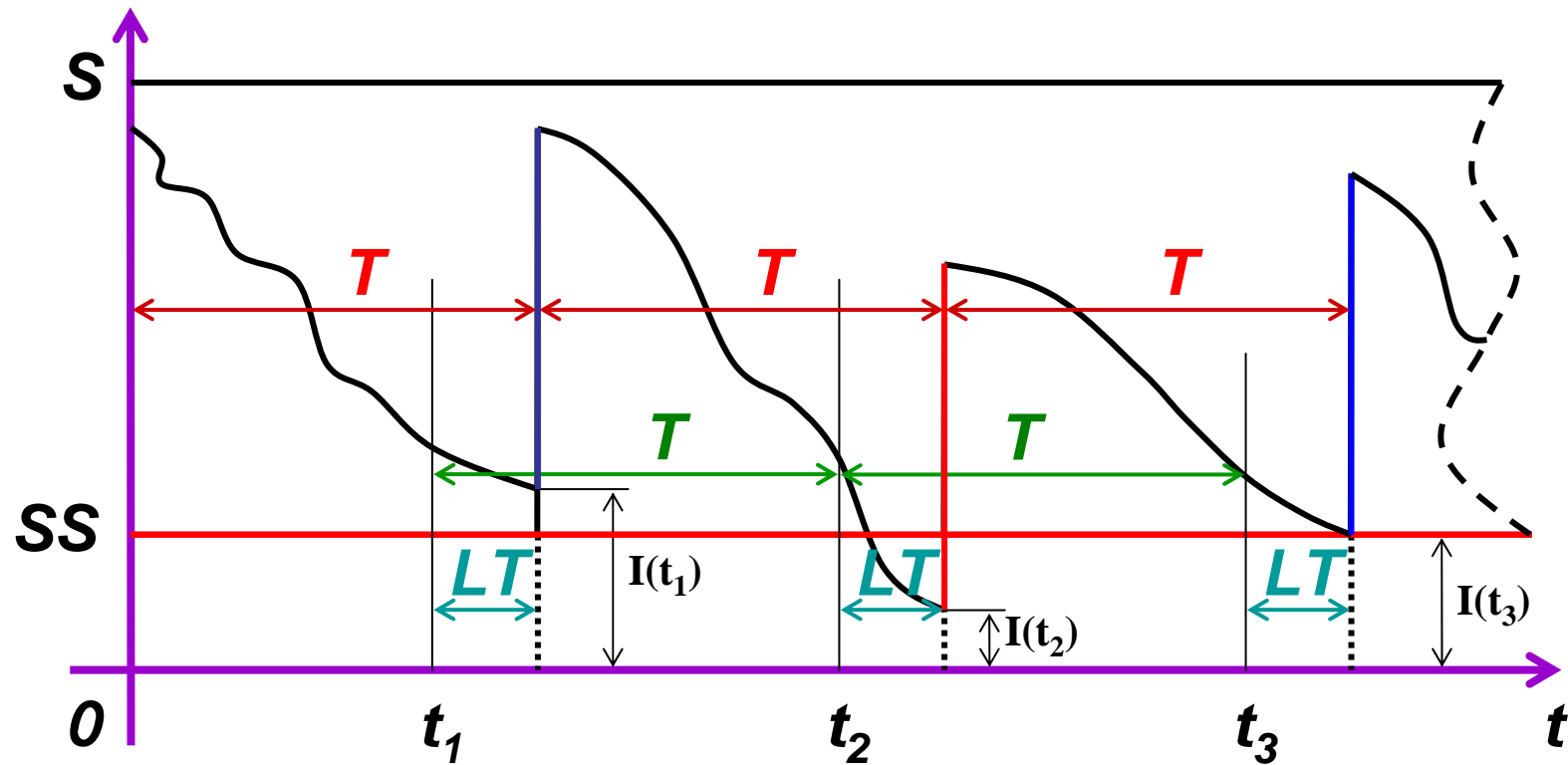
定期订货策略: Periodic Review

- 按固定的间隔期检查库存量并组织订货, 将库存补充到一定的水平。确定型需求。



定期订货策略: (T, S) Policy

- 按固定的间隔期检查库存量并组织订货, 将库存补充到一定的水平。随机需求。



定期订货管理系统的优点

- 定期订货可以按某种相关方式将多种物资联合订购，因此可以带来如下好处：
 - 多种物品一起办理订购，可以降低订购成本；
 - 多种物品一起订购，当购买量超过一定金额时，可以享受供应商提供的折扣；
 - 多种物品一起运输，规模化运输可以降低运输成本。

定期订货管理系统的缺点和改善

- **缺点：**定期订货管理系统对每一给定物品比连续系统需要更大量的安全存货。
- **改善：**为了降低安全库存，定期订货管理系统中，在每种存货的货位上挂一卡片，显示该产品的最低库存数量，货物拣选员发现货物库存已达到最低限额，便通知管理人员，决策是立即订货还是到下一个计划订购日期订货。
- **适用：**定期订货管理系统最适宜在供货渠道较少或货源来自中心仓库时的库存控制。

非强制补货管理系统

- 非强制补货管理系统是定量系统和定期系统的混合。按固定的间隔期对库存量进行检查，在检查日库存余额高于订货点，便不订货；若在检查日库存余额等于或低于订货点，便进行订货。**(t, s, S)**策略。
- 非强制补货系统需要**相当大的安全存货量**。若在检查时的库存水准微高于订货点，则安全存货期需要一个订货间隔期再加提前期时间。
- 安全存货量通过分析在包括**订货提前期**和**检查周期**的期间内发生的需求量的偏差来确定。

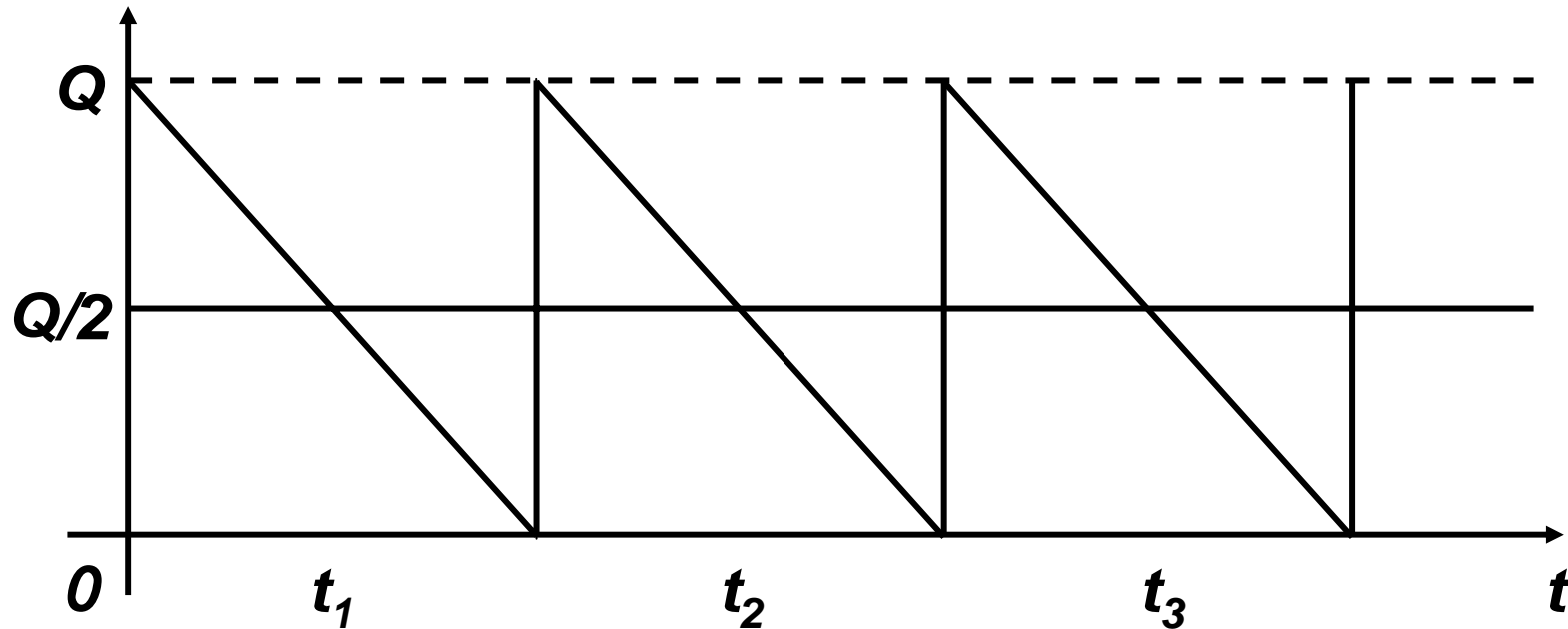
库存策略的适用场合

- 连续盘点/定量控制：
 - 经常盘点，适用于 **A** 类物品；
- 定期盘点/定期控制：
 - 方法简单，适用于 **B**、**C** 类物品
- 非强制补货法：
 - 方法简单，适用于 **C** 类物品

即刻补货：EOQ

- **EOQ** (基本经济订货批量): 使总成本最小化的定货量。
 - **TC**: 每年总的相关成本(元);
 - **Q**: 补充存货的订单批量(件数);
 - **D**: 对库存产品的年需求量(件数);
 - **S**: 采购成本(元/订单);
 - **C**: 库存产品的价值(元/件); **$H = I * C$**
 - **I**: 库存持有成本占产品价值的比例(%/年);
 - **H**: 单位产品单位时间的保管费(元/件/年)

即刻补货：EOQ

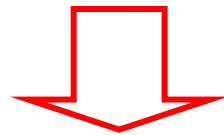


- 订货次数： $n = D/Q$
- 平均库存量： $Q/2$
- 采购成本： $S \times n$
- 年库存成本： $H \times Q/2$

即刻补货：EOQ

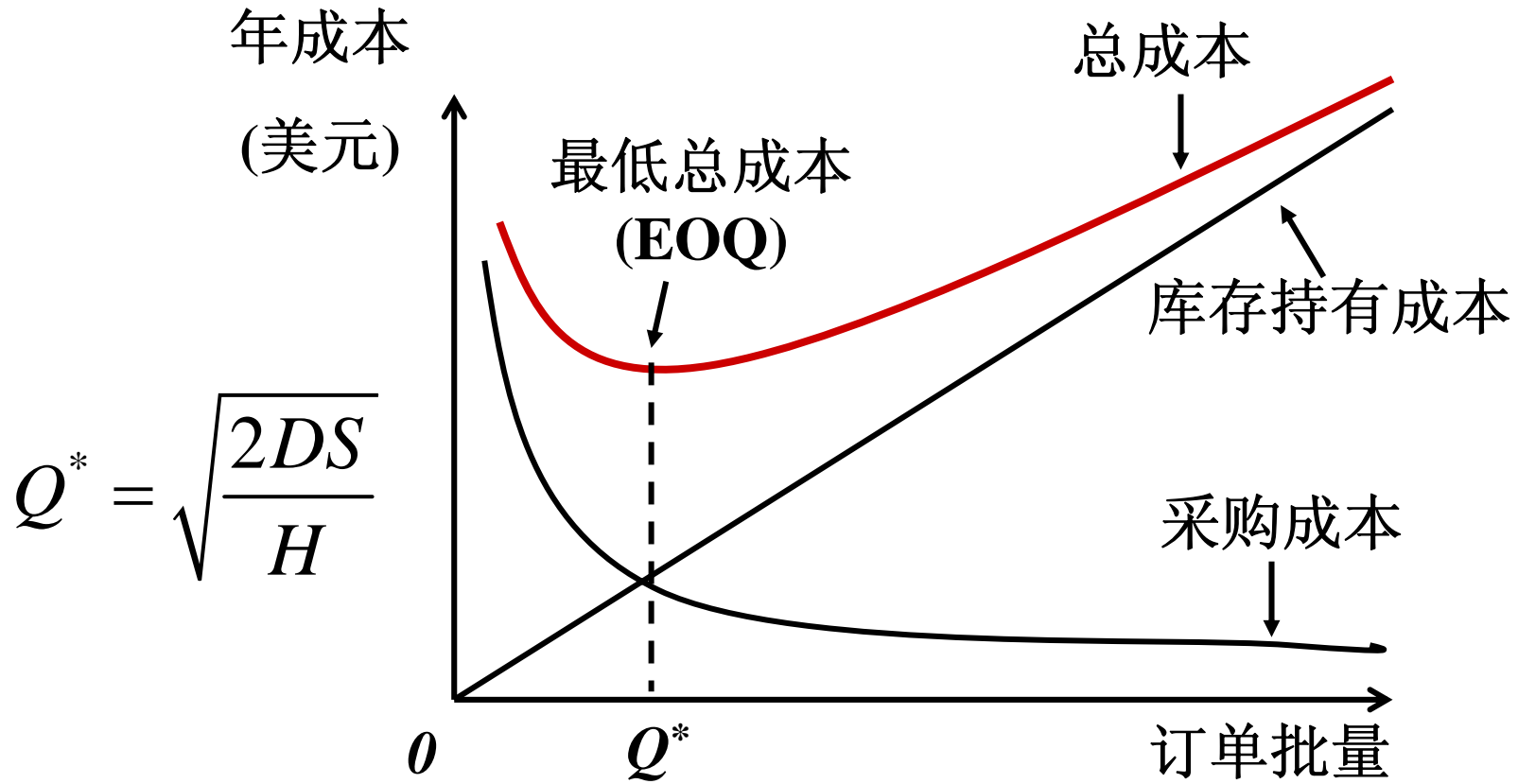
- 总成本 = 采购成本 + 库存持有成本

$$TC(Q) = Sn + H \frac{Q}{2} = S \frac{D}{Q} + H \frac{Q}{2}$$



$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}}; \quad T^* = \frac{Q^*}{D} = \sqrt{\frac{2S}{HD}}$$

即刻补货：EOQ



Example

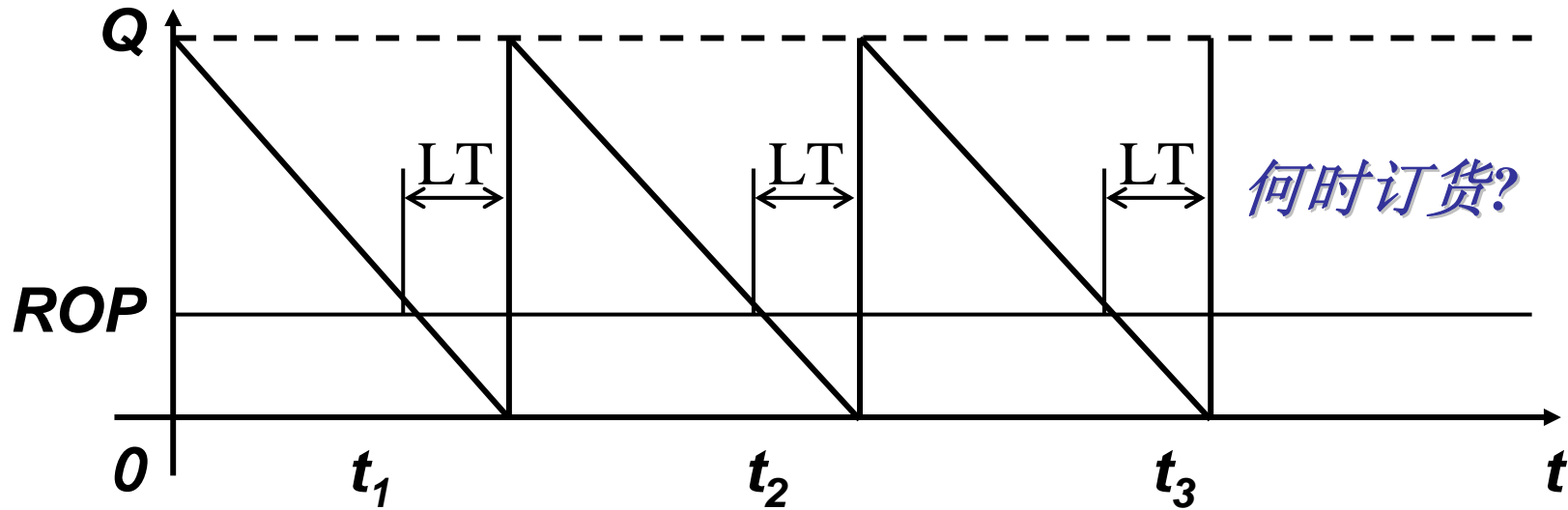
- 如果：
 - **D=4800 units/year;**
 - **S=40 dollar/order;**
 - **H=25 dollar/unit/year.** } **Q = ?**

$$\begin{aligned} Q^* &= \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2 \times 4800 \times 40}{25}} \\ &= \sqrt{15360} = 124 \text{ units} \end{aligned}$$

Example

| 订货量 Q | 订单次数 D/Q | 采购成本 40*D/Q | 库存持有成本 25*Q/2 | 总成本 |
|-----------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|--------|
| 40 Units | 120 times | \$4800 | \$500 | \$5300 |
| 60 | 80 | 3200 | 750 | 3950 |
| 80 | 60 | 2400 | 1000 | 3400 |
| 100 | 48 | 1920 | 1250 | 3170 |
| 120 | 40 | 1600 | 1500 | 3100 |
| 140 | 35 | 1400 | 1750 | 3150 |
| 160 | 30 | 1200 | 2000 | 3200 |
| 200 | 24 | 960 | 2500 | 3460 |
| 300 | 16 | 640 | 3750 | 4390 |
| 400 | 12 | 480 | 5000 | 5480 |

有提前期的补货



订货点: $ROP = D * LT$

Where:

$ROP =$ 再订货点(件数)

$LT =$ 平均提前期(时间单位)

例：有提前期的补货

- 某工厂机床厂用仓库库存来供应需更换的零件。其中某零件的年需求预计为 **750 units**。生产该零件的机器启动成本为 **\$50**，库存持有成本是每年 **25%**，每个在库零件的价值为 **\$35**。假设需要 **1.5 weeks** 的时间准备生产、制造零件。
- 计算最佳订货量(**Q**)和订货点(**ROP**)

例：有提前期的补货

- 最佳订货量：

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{IC}} = \sqrt{\frac{2 * 750 * 50}{0.25 * 35}} = 93 \text{ units}$$

- 最佳订货间隔：

$$T = \frac{Q}{D} = \frac{93}{750} = 0.12 \text{ year} = 6.4 \text{ weeks}$$

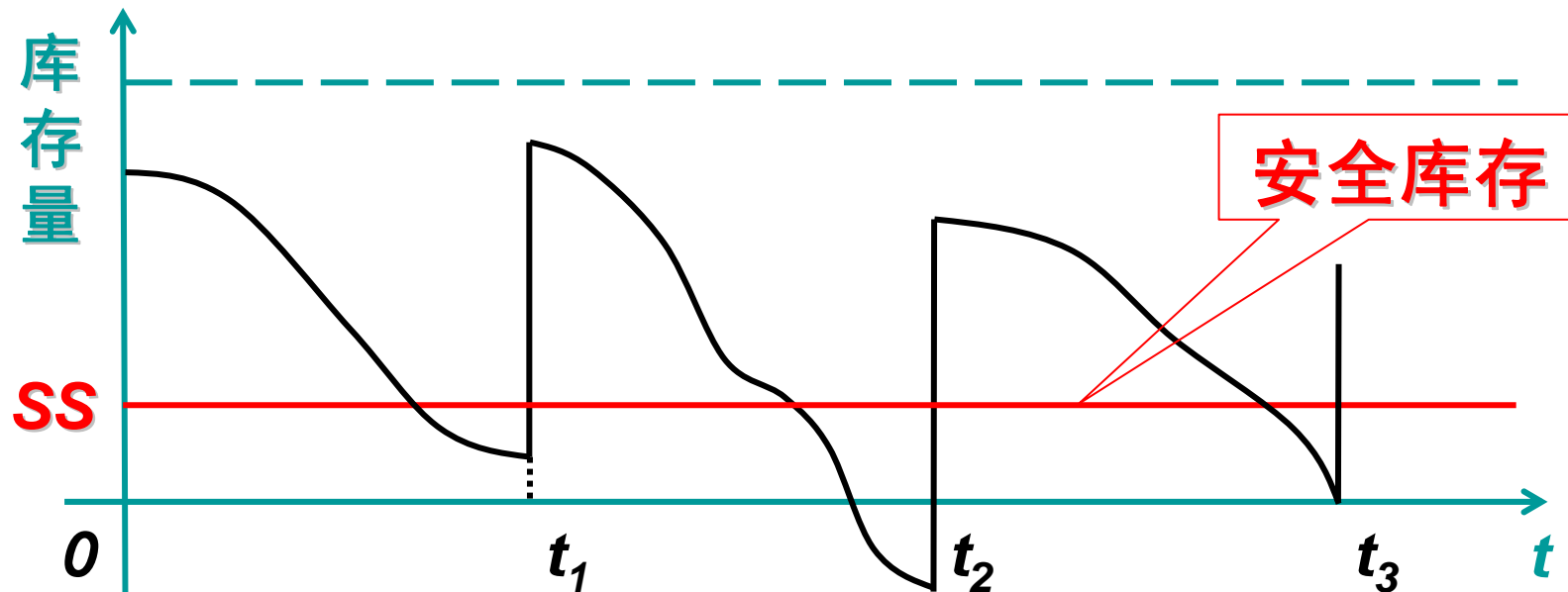
- **Demand Rate=750units/52weeks=14units/week**
- **Order Point=1.5weeks*14units/week=22units**

需求为不确定型的库存管理

- **EOQ** 模型的假定条件：
 - 需求是一个常量并且是已知的。
 - 订单准备成本、库存持有成本和提前期是常量并且已知。
- 实际中存在着许多不确定性：
 - 需求不能确切地知道；
 - 提前期不能确切地保证。

安全库存及其必要性

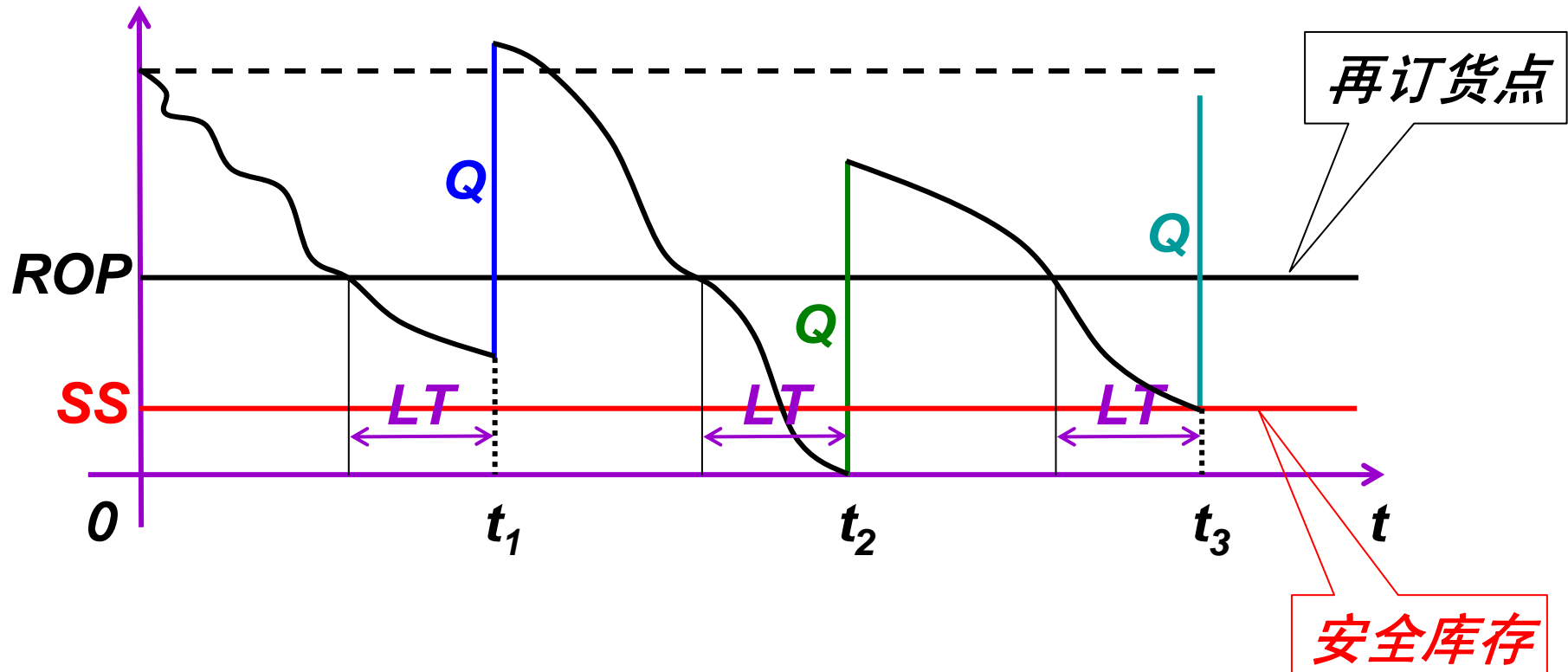
- 当需求或提前期不确定时，增加库存对于控制缺货发生率是必要的。安全库存就是应对由于“需求量”或“提前期”的变动而设定的满足“平均需求”和“平均提前期”以外而增加的额外的库存。



定量盘点法

- 安全库存是由于需求或提前期的变动，满足平均需求和平均提前期以外而增加的额外的库存。
- 对安全库存的理解：
 - 安全库存的作用是防止缺货
 - 缺货只发生在提前期内
- 需求不确定情况下库存控制参数的计算方法：
 - 根据需求的平均值确定定货量(Q)；
 - 根据需求的标准差、提前期和库存服务水平确定安全库存(SS)；
 - 根据订货提前提(LT)和安全库存确定再订货点(ROP)。

定量盘点法

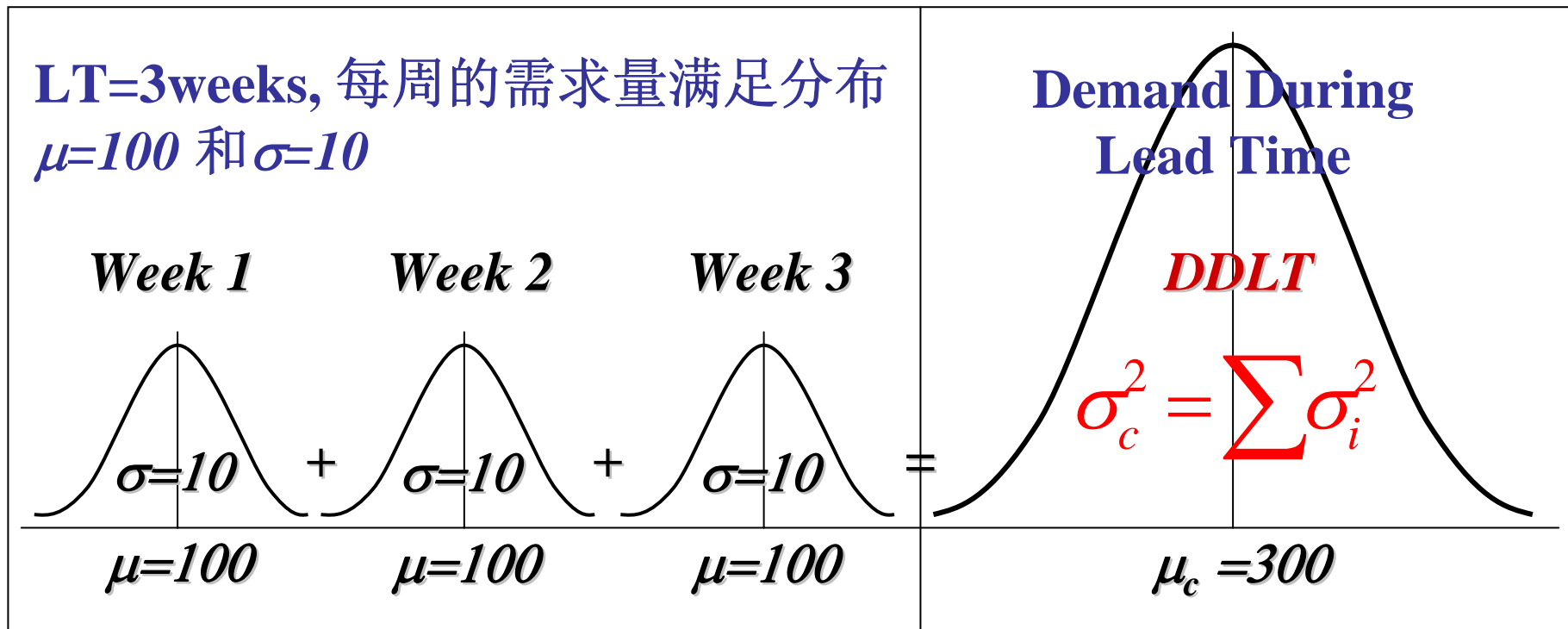


定量盘点法控制参数计算

- Economic Order Quantity: $Q = \sqrt{2\mu S / H}$
- Safety stock: $SS = z\sigma_c = z\sigma\sqrt{LT}$
- Reorder Point: $ROP = \mu(LT) + SS$
- Service Level: $SL = 1 - \sigma\sqrt{LT}E(z) / Q$
- Total Cost: $TC = \frac{D}{Q}S + (\frac{Q}{2} + SS)H$

计算安全库存需求

- 将一个时期的需求分布叠加为提前期内需求（**Demand During Lead Time**）分布。



Calculate Service Level

- As it is stated previously:

$$SL = 1 - \frac{\text{Expected number of units out of stock annually}}{\text{Total annual demand}}$$

$$= 1 - \frac{(D / Q) \sigma_c E(z)}{D}$$

$$= 1 - \frac{\sigma_c E(z)}{Q}$$

$$= 1 - \frac{\sigma \sqrt{LT} E(z)}{Q}$$

for normal distribution

Calculate Relevant Cost

- Total Cost = Order Cost + Carrying Cost of Regular Stock + Carrying Cost of Safety Stock

- i.e. $TC = OC + CCRS + CCSS$

$$= \frac{D}{Q}S + \left(\frac{Q}{2} + SS\right)H$$

Example:

- Tie bar is a U-bolt used on truck equipment, data collected for it held in inventory are as follow:

| | |
|---|---|
| Monthly demand | $d=11107\text{units}, s_d=3099\text{units}$ |
| Replenishment LT | 1.5 months |
| Item value | $\$0.11/\text{unit}$ |
| Order cost | $\$10/\text{order}$ |
| Carrying cost | $20\%/year$ |
| In-stock probability during Lead Time: $75\%(z=0.67)$ | |

Calculate Q , SS , ROP and AIL

$$Q = \sqrt{\frac{2dS}{IC}} = \sqrt{\frac{2 * 11107 * 10}{(0.2/12) * 0.11}} = 11008 \text{ units}$$

$$SS = z_{\sigma_d} \sqrt{LT} = 0.67 * 3099 * \sqrt{1.5} = 2543 \text{ units}$$

$$ROP = d * LT + SS$$

$$= 11107 * 1.5 + 2543 = 19203 \text{ units}$$

$$AIL = \frac{Q}{2} + SS = \frac{11008}{2} + 2543 = 8047 \text{ units}$$

Calculate Relevant Cost

$$TC = OC + CCRS + CCSS$$

$$= \frac{D}{Q} S + IC \frac{Q}{2} + I \times C \times SS$$

$$= \frac{11107 * 12}{11008} * 10 + 0.2 * 0.11 * \frac{11008}{2}$$

$$+ 0.2 * 0.11 * 2543$$

$$= \$298.11 \text{ per year}$$

Calculate Service Level

$$SL = 1 - \frac{\sigma \times \sqrt{L} \times E(z)}{Q}$$

$$= 1 - \frac{3099 \times \sqrt{1.5} \times 0.1503}{11008}$$

$$= 0.9482$$

$$= 94.82\%$$

**In-stock probability during
Lead Time is 75%**

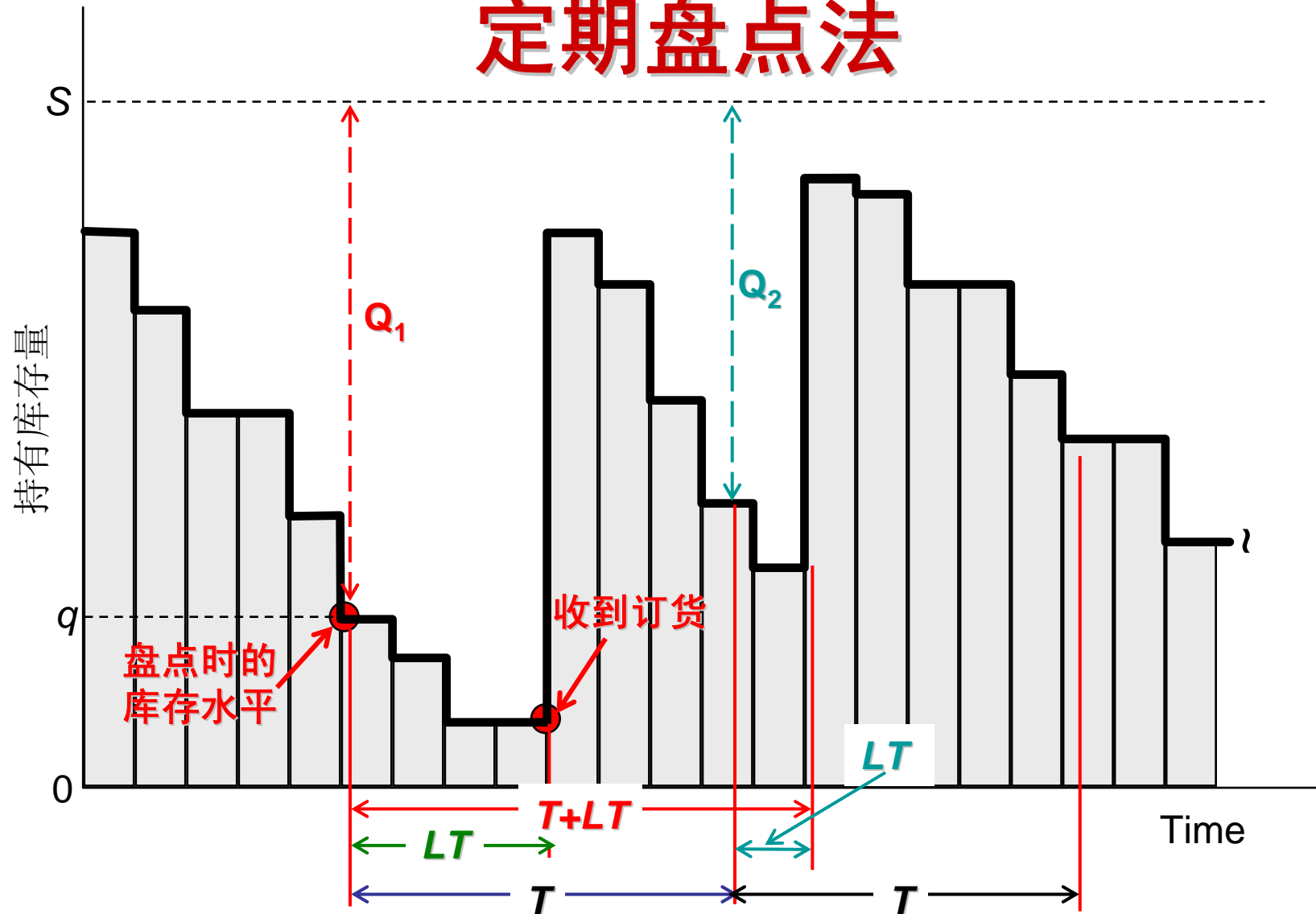
Unit Normal Loss Integrals

| Z | .00 | .01 | .02 | .03 | .04 | .05 | .06 | .07 | .08 | .09 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| .0 | .3989 | .3940 | .3890 | .3841 | .3793 | .3744 | .3697 | .3649 | .3602 | .3556 |
| .1 | .3509 | .3464 | .3418 | .3373 | .3328 | .3284 | .3240 | .3197 | .3154 | .3111 |
| .2 | .3069 | .3027 | .2986 | .2944 | .2904 | .2863 | .2824 | .2784 | .2745 | .2706 |
| .3 | .2668 | .2630 | .2592 | .2555 | .2518 | .2481 | .2445 | .2409 | .2374 | .2339 |
| .4 | .2304 | .2270 | .2236 | .2203 | .2169 | .2137 | .2104 | .2072 | .2040 | .2009 |
| .5 | .1978 | .1947 | .1917 | .1887 | .1857 | .1828 | .1799 | .1771 | .1742 | .1714 |
| .6 | .1687 | .1659 | .1633 | .1606 | .1580 | .1554 | .1528 | .1503 | .1478 | .1453 |
| .7 | .1429 | .1405 | .1381 | .1358 | .1334 | .1312 | .1289 | .1267 | .1245 | .1223 |
| .8 | .1202 | .1181 | .1160 | .1140 | .1120 | .1100 | .1080 | .1061 | .1042 | .1023 |
| .9 | .1004 | .09860 | .09680 | .09503 | .09328 | .09156 | .08986 | .08819 | .08654 | .08491 |
| 1.0 | .08332 | .08174 | .08019 | .07866 | .07716 | .07568 | .07422 | .07279 | .07238 | .06999 |
| 1.1 | .06862 | .06727 | .06595 | .06465 | .06336 | .06210 | .06086 | .05964 | .05844 | .05726 |
| 1.2 | .05610 | .05496 | .05384 | .05274 | .05165 | .05059 | .04954 | .04851 | .04750 | .04650 |
| 1.3 | .04553 | .04457 | .04363 | .04270 | .04179 | .04090 | .04002 | .03916 | .03831 | .03748 |
| 1.4 | .03667 | .03587 | .03508 | .03431 | .03356 | .03281 | .03208 | .03137 | .03067 | .02998 |
| 1.5 | .02931 | .02865 | .02800 | .02736 | .02674 | .02612 | .02552 | .02494 | .02436 | .02380 |
| 1.6 | .02324 | .02270 | .02217 | .02165 | .02114 | .02064 | .02015 | .01967 | .01920 | .01874 |
| 1.7 | .01829 | .01785 | .01742 | .01699 | .01658 | .01617 | .01578 | .01539 | .01501 | .01464 |
| 1.8 | .01428 | .01392 | .01357 | .01323 | .01290 | .01257 | .01226 | .01195 | .01164 | .01134 |
| 1.9 | .01105 | .01077 | .01049 | .01022 | .00996 | .00970 | .00945 | .00920 | .00896 | .00872 |
| 2.0 | .00849 | .00827 | .00805 | .00783 | .00762 | .00742 | .00722 | .00702 | .00684 | .00665 |
| 2.1 | .00647 | .00629 | .00612 | .00595 | .00579 | .00563 | .00547 | .00532 | .00517 | .00503 |
| 2.2 | .00489 | .00475 | .00462 | .00449 | .00436 | .00424 | .00411 | .00400 | .00388 | .00377 |
| 2.3 | .00366 | .00356 | .00345 | .00335 | .00326 | .00316 | .00307 | .00298 | .00289 | .00280 |
| 2.4 | .00272 | .00264 | .00256 | .00248 | .00241 | .00234 | .00227 | .00220 | .00213 | .00207 |
| 2.5 | .00200 | .00194 | .00188 | .00183 | .00177 | .00172 | .00166 | .00161 | .00156 | .00151 |
| 2.6 | .00146 | .00142 | .00137 | .00133 | .00129 | .00125 | .00121 | .00117 | .00113 | .00110 |
| 2.7 | .00106 | .00103 | .00099 | .00096 | .00093 | .00090 | .00087 | .00084 | .00081 | .00079 |
| 2.8 | .00076 | .00074 | .00071 | .00069 | .00067 | .00064 | .00062 | .00060 | .00058 | .00056 |
| 2.9 | .00054 | .00052 | .00051 | .00049 | .00047 | .00046 | .00044 | .00042 | .00041 | .00040 |
| 3.0 | .00038 | .00037 | .00036 | .00034 | .00033 | .00032 | .00031 | .00030 | .00029 | .00028 |
| 3.1 | .00027 | .00026 | .00025 | .00024 | .00023 | .00022 | .00021 | .00021 | .00020 | .00019 |
| 3.2 | .00019 | .00018 | .00017 | .00017 | .00016 | .00015 | .00015 | .00014 | .00014 | .00013 |
| 3.3 | .00013 | .00012 | .00012 | .00011 | .00011 | .00011 | .00010 | .00010 | .00009 | .00009 |
| 3.4 | .00009 | .00008 | .00008 | .00008 | .00007 | .00007 | .00007 | .00007 | .00006 | .00006 |
| 3.5 | .00006 | .00006 | .00005 | .00005 | .00005 | .00005 | .00005 | .00004 | .00004 | .00004 |

定期盘点法

- 按照一个周期 (T) 对库存进行盘点，以确定存货量(q)并订货将库存补充到一个目标库存量 S 。补货量 (Q) 是目标水平 S 和存货量(q)的差值。
- 为此，控制问题就是确定 S 和 T^* 。
- 此方法适合的产品类型：商品价值低；供应商只有一家；存在生产、购买和运输的规模经济。

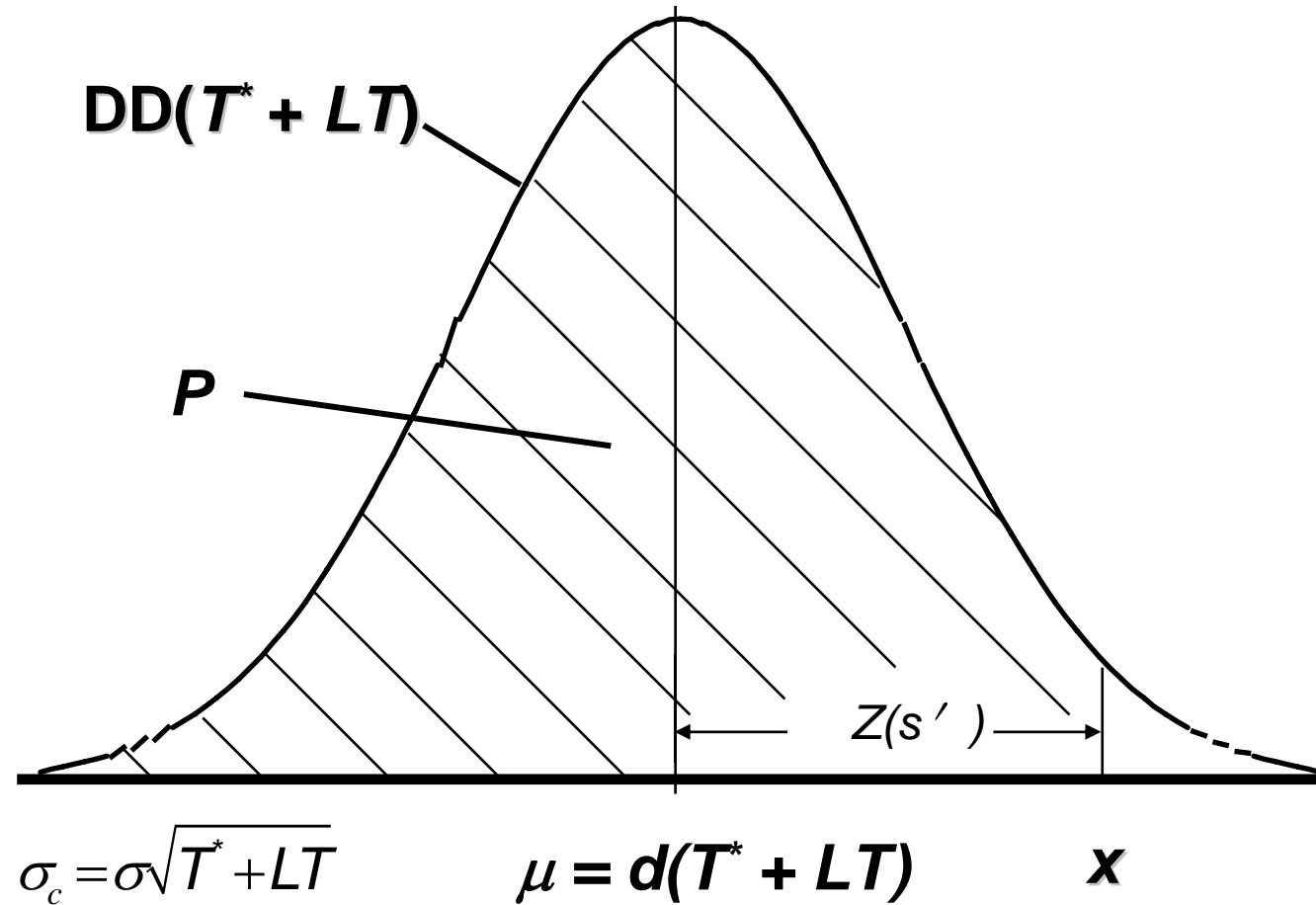
定期盘点法



S = 最高库存水平,

$S - q$ = 补货量, LT = 提前期, T = 盘点周期, q = 持有库存量, Q_i = 订购量

Periodic Review (Cont'd)



定期盘点法

- 计算盘点周期:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2\mu S}{H}}$$

$$T^* = \frac{Q^*}{D} = \sqrt{\frac{2S}{\mu H}}$$

Periodic Review (Cont'd)

$$SS = z\sigma_c = z\sigma\sqrt{T + LT}$$

$$S = d(T + LT) + SS$$

$$= \mu(T + LT) + SS$$

$$= \mu(\sqrt{2S/\mu H} + LT) + SS$$

$$= \sqrt{2\mu S/H} + \mu(LT) + SS$$

$$= Q + \mu(LT) + z\sigma\sqrt{T + LT}$$

定期盘点法控制参数计算小结

- 利用需求均值计算订货周期: $T^* = \sqrt{2S / \mu H}$
- 利用单位时间需求的标
准差、订货周期和提前
期计算安全库存: $SS = z\sigma\sqrt{T + LT}$
- 利用最优订货量、需
求均值、提前期和安
全库存计算 **S**: $S = Q + \mu(LT) + z\sigma\sqrt{T + LT}$
- 计算总成本: $TC = \frac{D}{Q}S + (\frac{Q}{2} + SS)H$

Example:

The inventory is reviewed at the time interval (T) to determine the quantity on hand. The replenishment quantity (Q) to be ordered is the difference between a target level called MAX and the quantity on hand. We need to find MAX and T^* .

Given:

$$d = 50 \text{ units/week}$$

$$C = \$5/\text{unit}$$

$$I = 10\%/\text{year}$$

$$S = \$10/\text{order}$$

$$s_d = 10 \text{ units/week}$$

$$LT = 3 \text{ weeks}$$

$$SL = 0.99$$

Example(Cont'd)

Find T, S:

$$T = \sqrt{\frac{2S}{IC\mu}} = \sqrt{\frac{2 \times 10 \times 52}{0.1 \times 5 \times 50}} = 6.45 \quad (Q = 322)$$

$$SS = z\sigma\sqrt{T + LT} = 2.33 \times 10 \times \sqrt{6.45 + 3} = 72$$

$$S = d(T + LT) + SS = 50 \times (6.45 + 3) + 72 = 543$$

Rule:

Review the inventory every 6.45 weeks and place an order for the difference between the *MAX* level of 542 units.

Example(Cont'd)

The total relevant cost for this design is:

$$\begin{aligned}TC &= DS/Q + IC(Q/2) + IC(SS) \\ &= (50)(52)(10)/322 + (0.10)(5)(322/2) \\ &\quad + (0.10)(5)(72) \\ &= \$196.96\end{aligned}$$

Note Compare this cost with that of the reorder point method to see that periodic review control carries a slight premium in cost due to more safety stock.