

# 第3章 数据库设计

## Part 2: 数据库设计过程



# 主要内容

- 数据库设计概念
- 数据库设计方法
- 数据库设计步骤

# 一、什么是数据库设计

- 对于给定的应用环境，构造最优的数据库模式，并利用现成的**DBMS**，建立数据库及其应用系统，使之能够有效地存储数据，满足各种用户的需求
  - 面向特定应用
  - 逻辑设计
  - 物理设计

## 二、数据库设计方法

- 数据库设计是一种方法而不是工程技术，缺乏科学的理论支持，很难保证质量
- 规范化设计方法：运用软件工程的思想方法进行数据库设计
  - 新奥尔良方法（New Orleans）
    - ◆ 需求分析、概念设计、逻辑设计、物理设计
  - 基于ER模型的方法
  - 基于关系模式的设计方法
  - 基于3NF的设计方法
  - 计算机辅助数据库设计方法

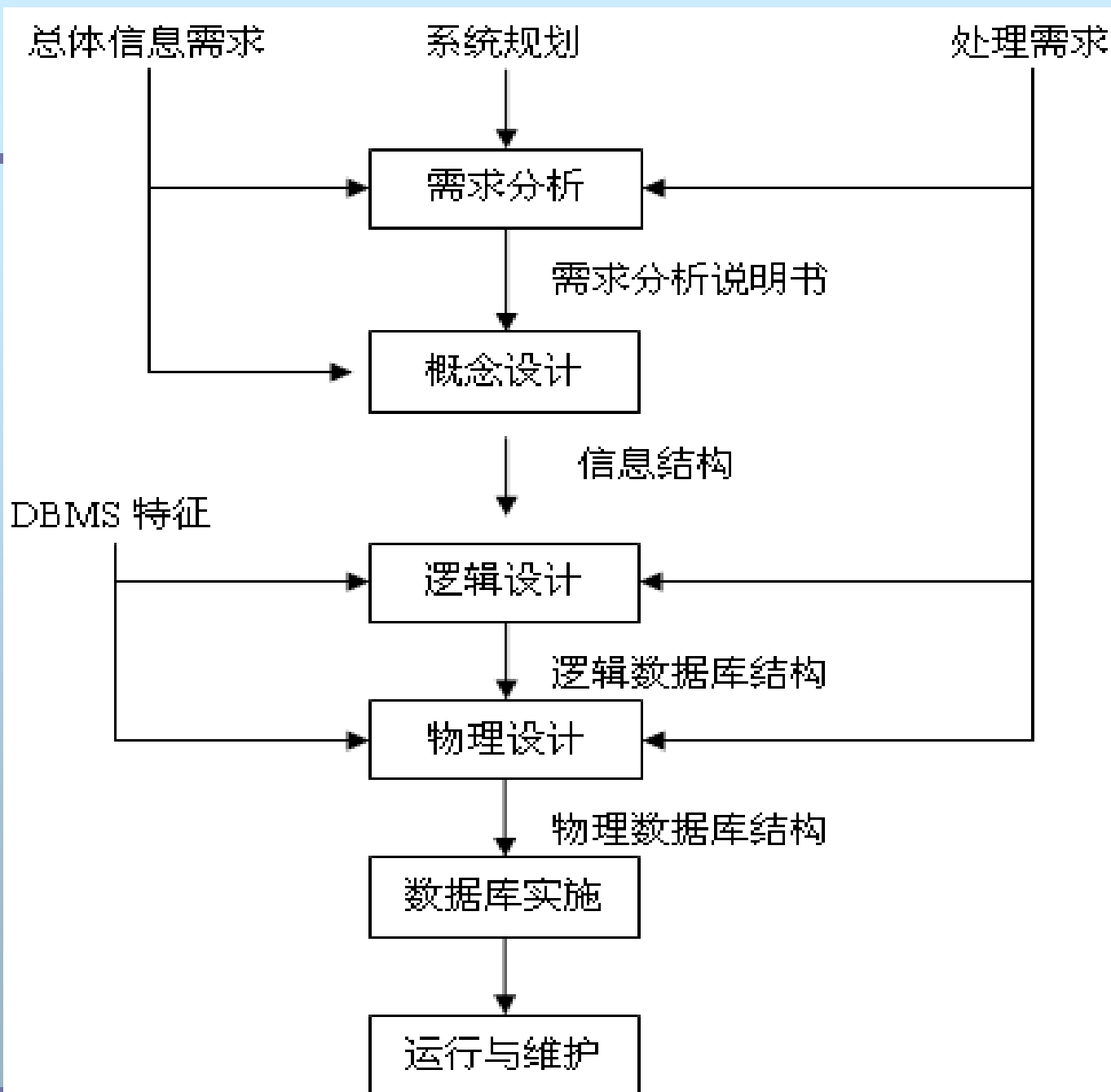
数据库设计不同阶段上的具体实现技术和方法

# 我们的选择

- 以新奥尔良方法为基础，基于ER模型和关系模式，采用计算机辅助进行数据库设计
  - 概念设计：基于ER模型
  - 逻辑设计：基于关系模式设计
  - 计算机辅助设计工具
    - ◆ ERWIN (CA)
    - ◆ PowerDesigner (SYBASE)
    - ◆ Workbench (MySQL)
    - ◆ VisibleAnalyst (Visible)
    - ◆ Navicat Data Modeler (PremiumSoft)
    - ◆ .....

# 三、数据库设计步骤

- 需求分析
- 概念设计
- 逻辑设计
- 物理设计
- 数据库实施
- 数据库运行与维护

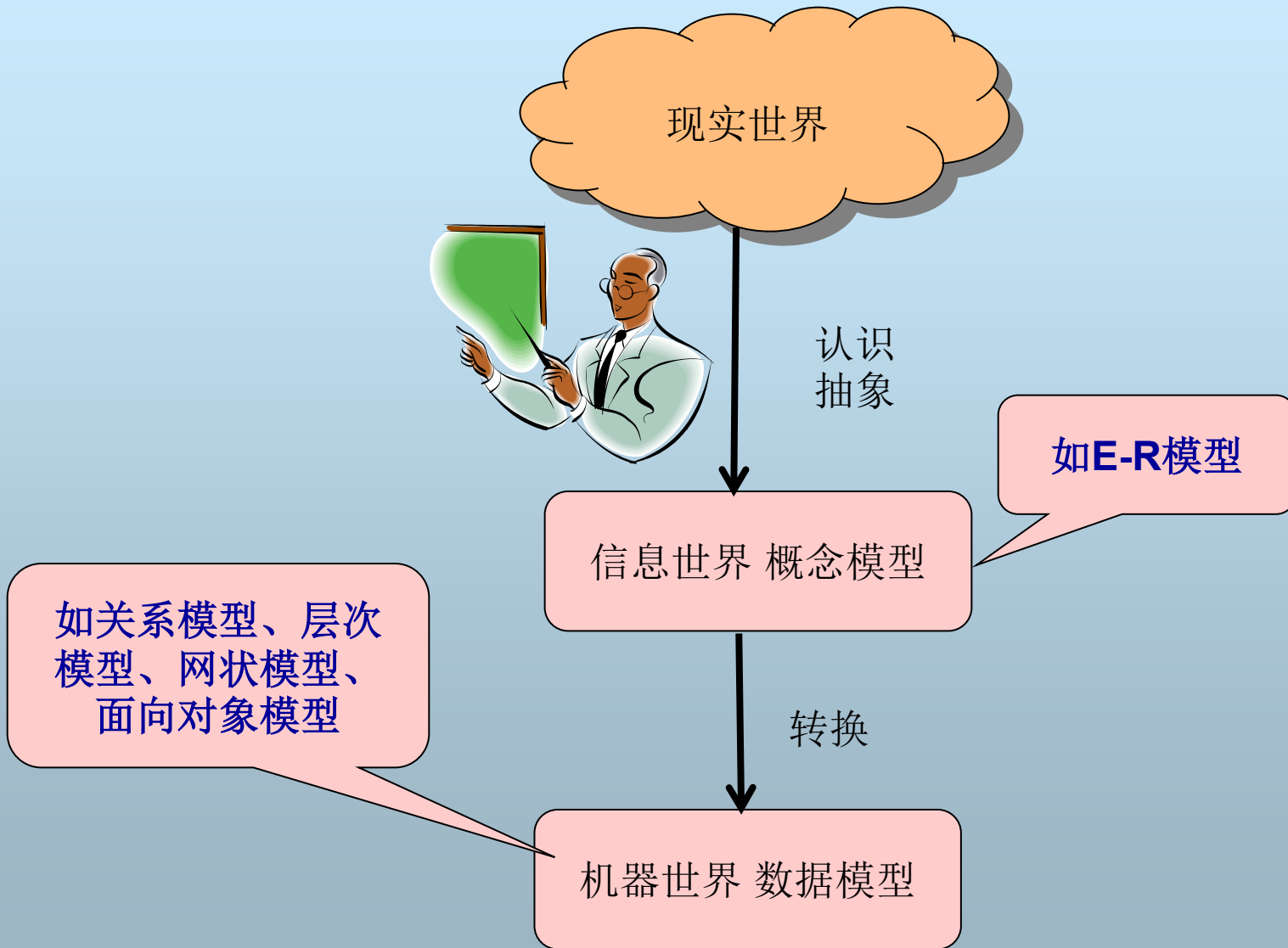


# 四、概念设计（ER模型设计）

- 产生反映组织信息需求的数据库概念结构，即概念模型
  - 概念模型独立于数据库逻辑结构、DBMS以及计算机系统
  - 概念模型以一组ER图形式表示
- 概念设计侧重于数据内容的分析和抽象，以用户的观点描述应用中的实体以及实体间的联系



# 回顾：数据抽象的层次



# 1、ER模型的概念

- ER模型(Entity-Relationship Model)
  - 1976, Peter .P. Chen (陳品山) 提出的概念设计方法
  - 以ER图的方式表达现实世界实体及实体间的联系



[Louisiana State University](#)

Peter Chen. The Entity-Relationship Model--Toward a Unified View of Data. *ACM Transactions on Database Systems*, Vol. 1(1), p.9-36,1976

# 1、ER模型的概念

## ■ ER模型要素

### ● 实体 Entity

- ◆ 包含实体属性

### ● 实体与实体间的联系 Relationship

- ◆ 包含联系类型和联系属性

# (1) 实体与联系

## ■ 实体 (Entity)

- 现实世界中可标识的对象
- 如学生、学校、发票、教室、系、班级.....
- 物理存在的实体（教室、学生）、代表抽象概念的实体（课程）
- 应用中的数据以实体的形式呈现
- 一个实体具有唯一的标识，称为码 (Key)

## ■ 联系 (Relationship)

- 实体和实体之间发生的关联
- 一个实体一般都与一个或多个实体相关

## (2) 联系的类型

### ■ 1对1联系 (1:1)

- 学校和校长、学生和个人简历.....
- **A和B是1:1联系指一个A只有一个B与其关联，并且一个B也只有一个A与其关联**

### ■ 1对多联系 (1:N)

- 公司和职工、系和学生、客户和订单.....
- **A和B是1:N联系指一个A可以有多个B与其关联，但一个B只有1个A关联**

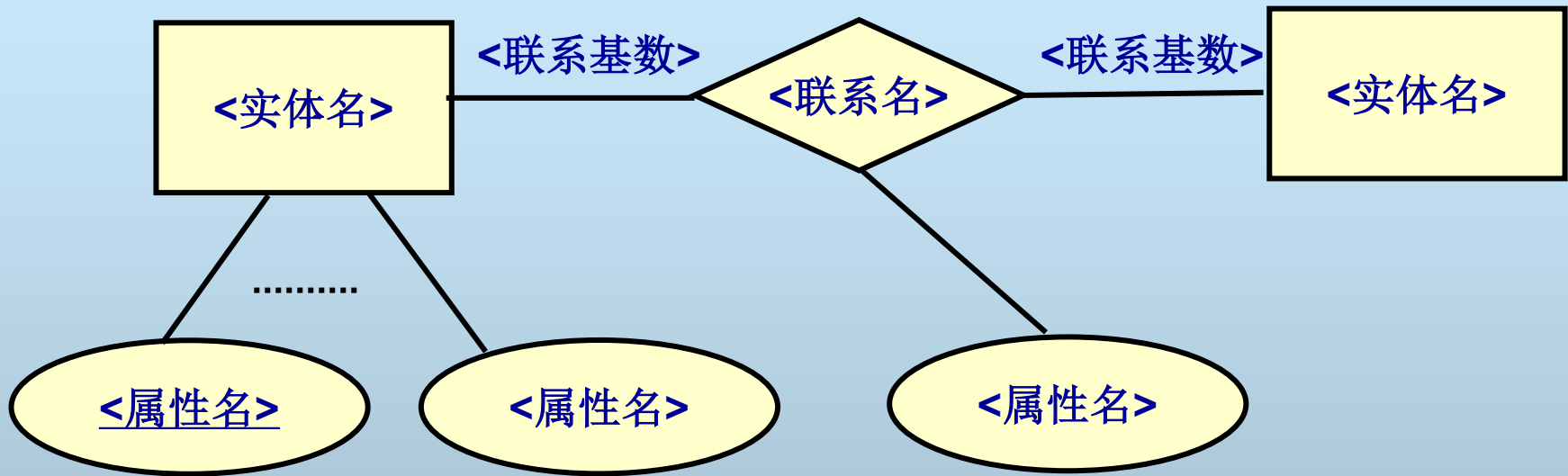
### ■ 多对多联系 (M:N)

- 学生和课程、教师和课程、医生和病人.....
- **一个A可有多个B对应，一个B也可有多个A对应**

## (3) 联系的确定

- 联系的确定依赖于实体的定义和特定的应用，同样的实体在不同应用中可能有不同的联系
  - 部门和职工：若一个职工只能属于一个部门，则是1:N，若一个职工可属于多个部门，则是M:N
  - 图书馆和图书：若图书的码定义为索书号，则为M:N（一个索书号可能有几本相同的书）；若图书的码为图书条码，并且每本书有一个唯一一条码，则为1:N联系

# (4) ER图的符号



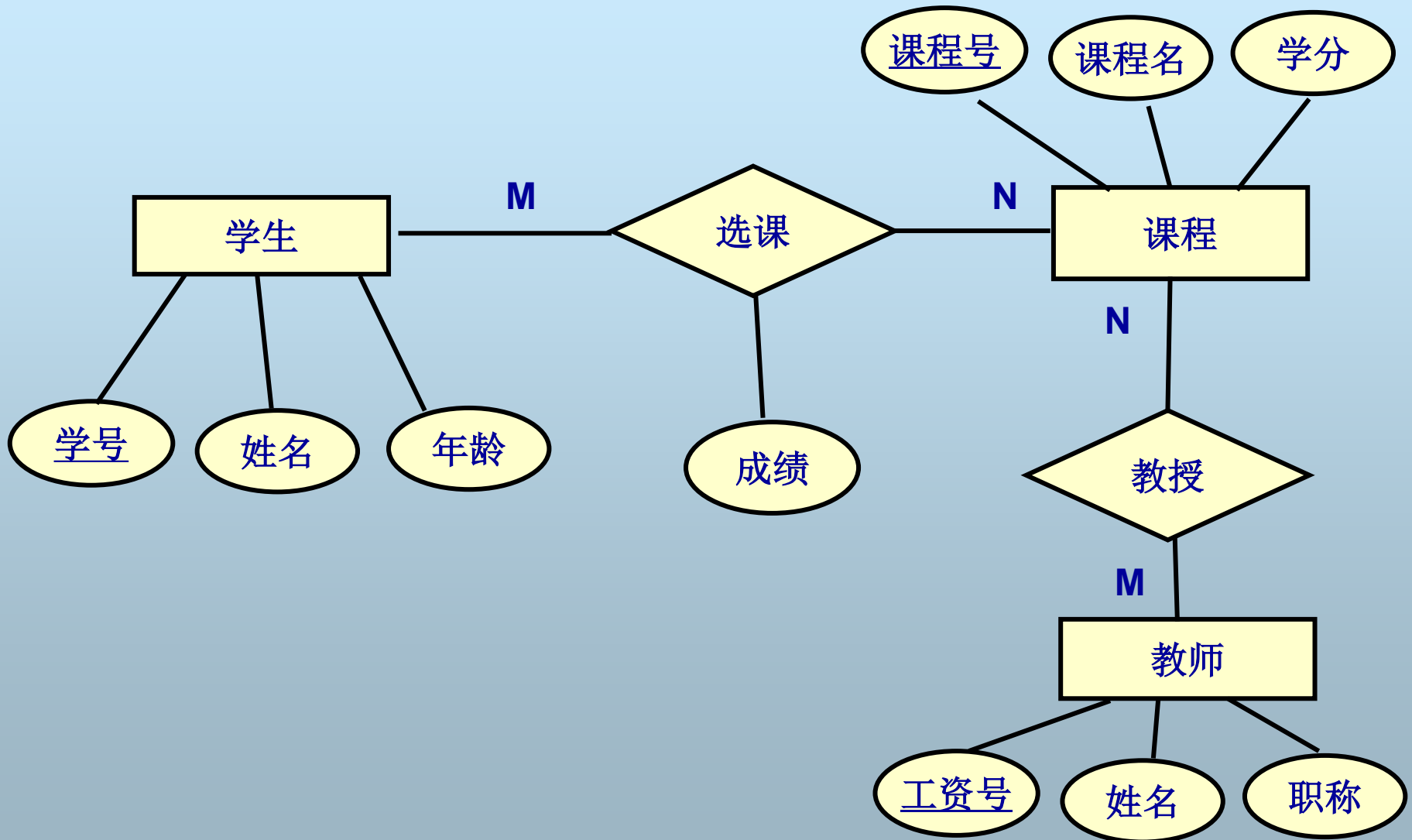
矩形：表示实体

菱形：表示联系，两端写上联系的基数

(1:N, M:N, 1:1)

椭圆形：表示属性，实体的码加下划线，联系也可有属性

# (5) ER图例子：教学应用



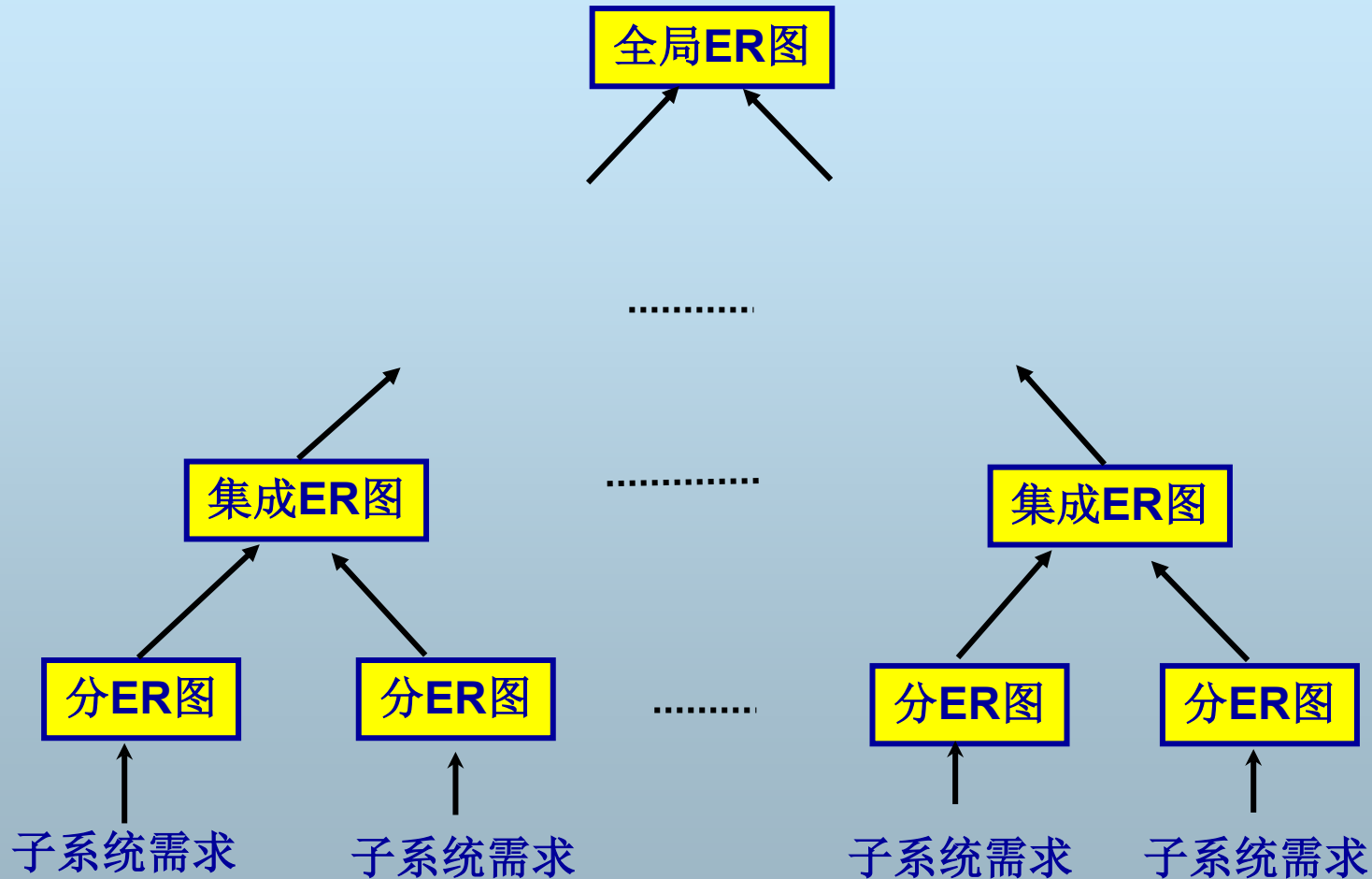


## 2、ER设计的步骤

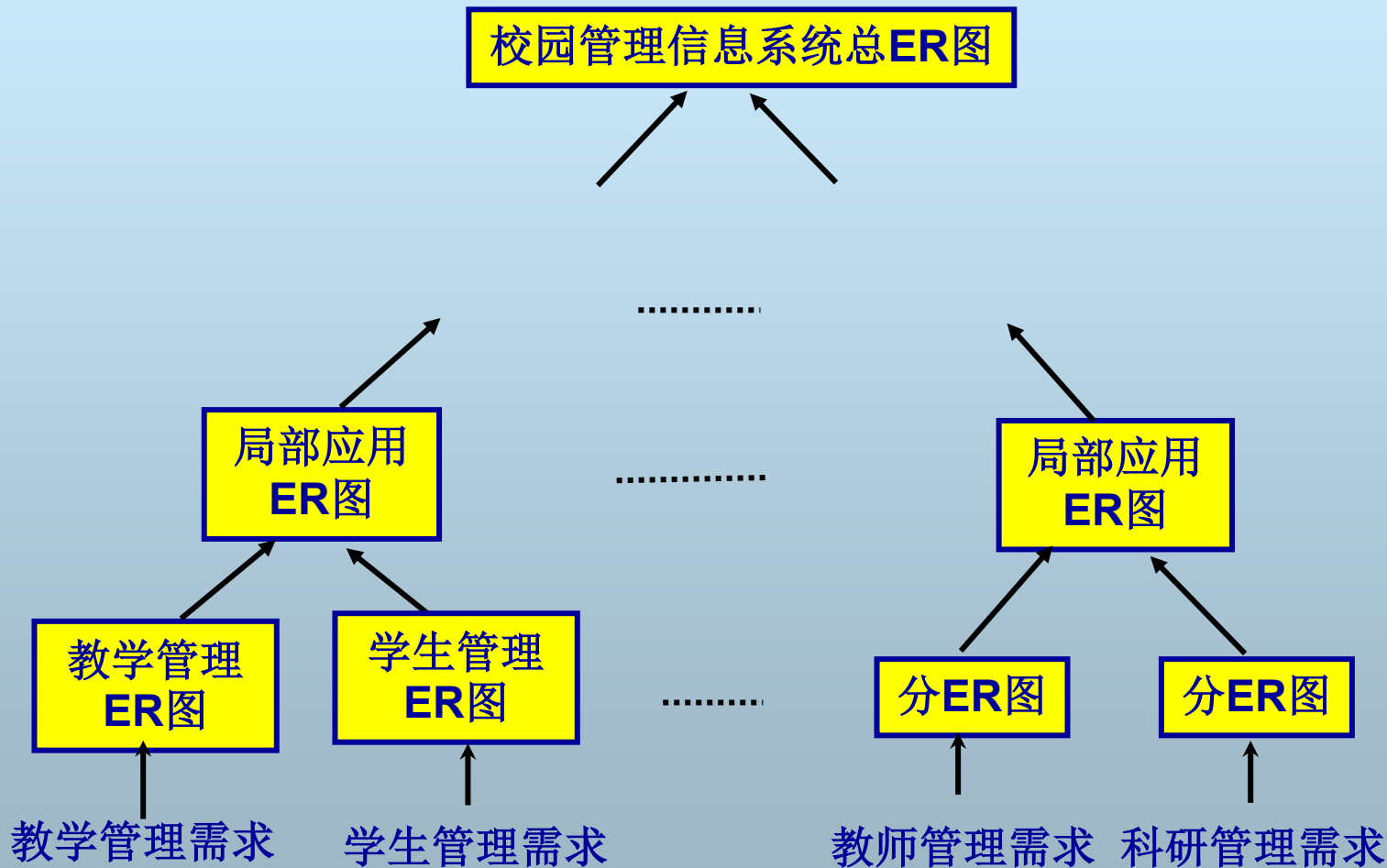
- 自顶向下进行需求分析，自底向上进行ER设计
  - 分ER模型设计（局部ER图）
  - ER模型集成
  - ER模型优化

如果应用比较简单则可以合为一个步骤

# (1)ER设计的步骤示意



## (2) ER设计步骤例子



# (3) 分ER设计

- 通过实体、联系和属性对子系统的数据进行抽象，产生分ER图
  - 确定实体
  - 确定实体属性
  - 确定联系和联系属性
- 设计原则
  - 实体要尽可能得少
  - 现实世界中的事物若能作为属性就尽量作为属性对待

# A) 确定实体

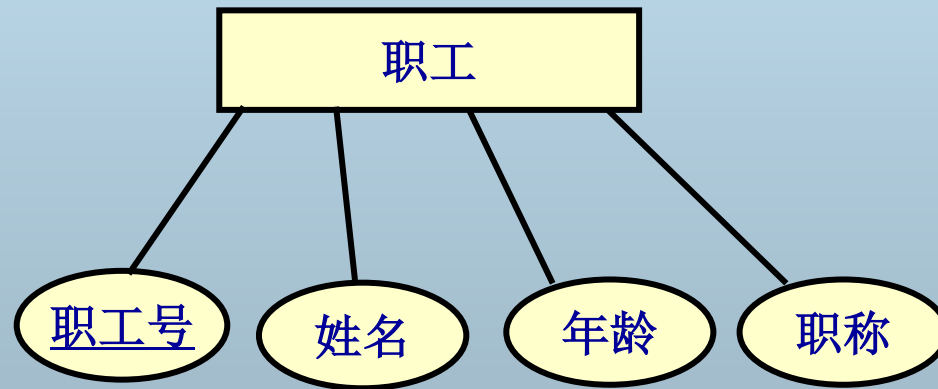
- 实体是一个属性的集合
- 需求分析阶段产生的数据字典中的数据存储、数据流和数据结构一般可以确定为实体
  - 数据字典五个部分：数据项、数据结构、数据流、数据存储和数据处理

## B) 确定实体属性

- 实体和属性之间没有形式上可以截然划分的界限
- 首先确定实体的码
- 只考虑系统范围内的属性
- 属性应具有域
- 属性一般要满足下面的准则
  - 属性必须不可分，不能包含其它属性
  - 属性不能和其它实体具有联系

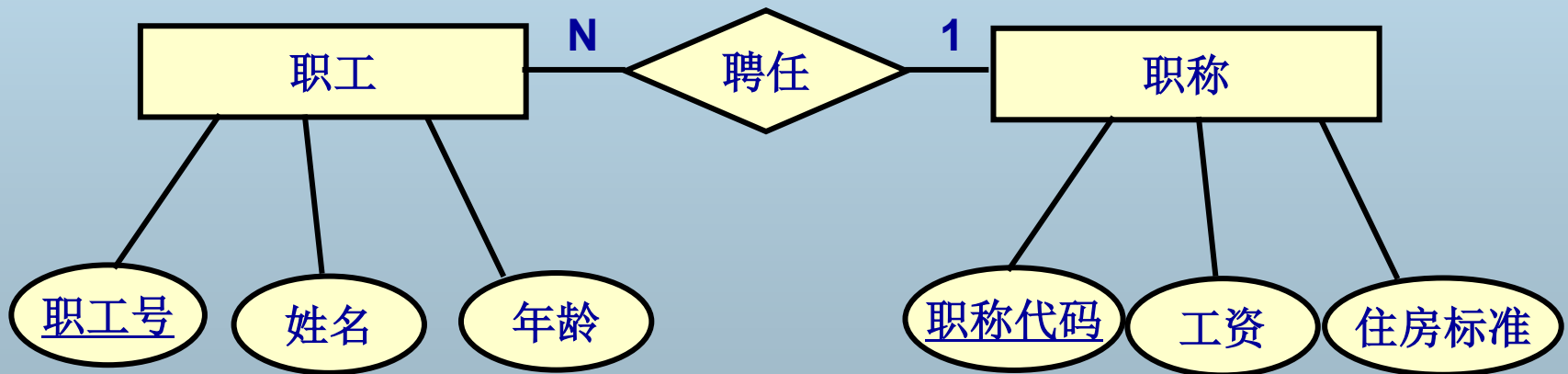
# 属性设计例子1

- 职工是一个实体，职工号、姓名、年龄是职工的属性，如果职工的职称没有进一步的特定描述，则可以作为职工的属性



# 属性设计例子1

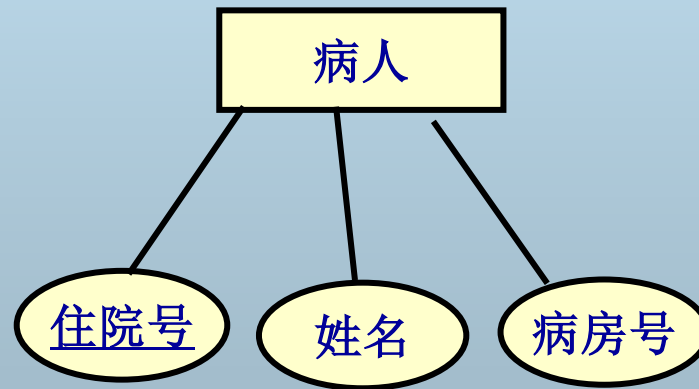
- 如果职称与工资、福利等挂钩，即职称本身还有一些描述属性，则把职称设计为实体比较恰当





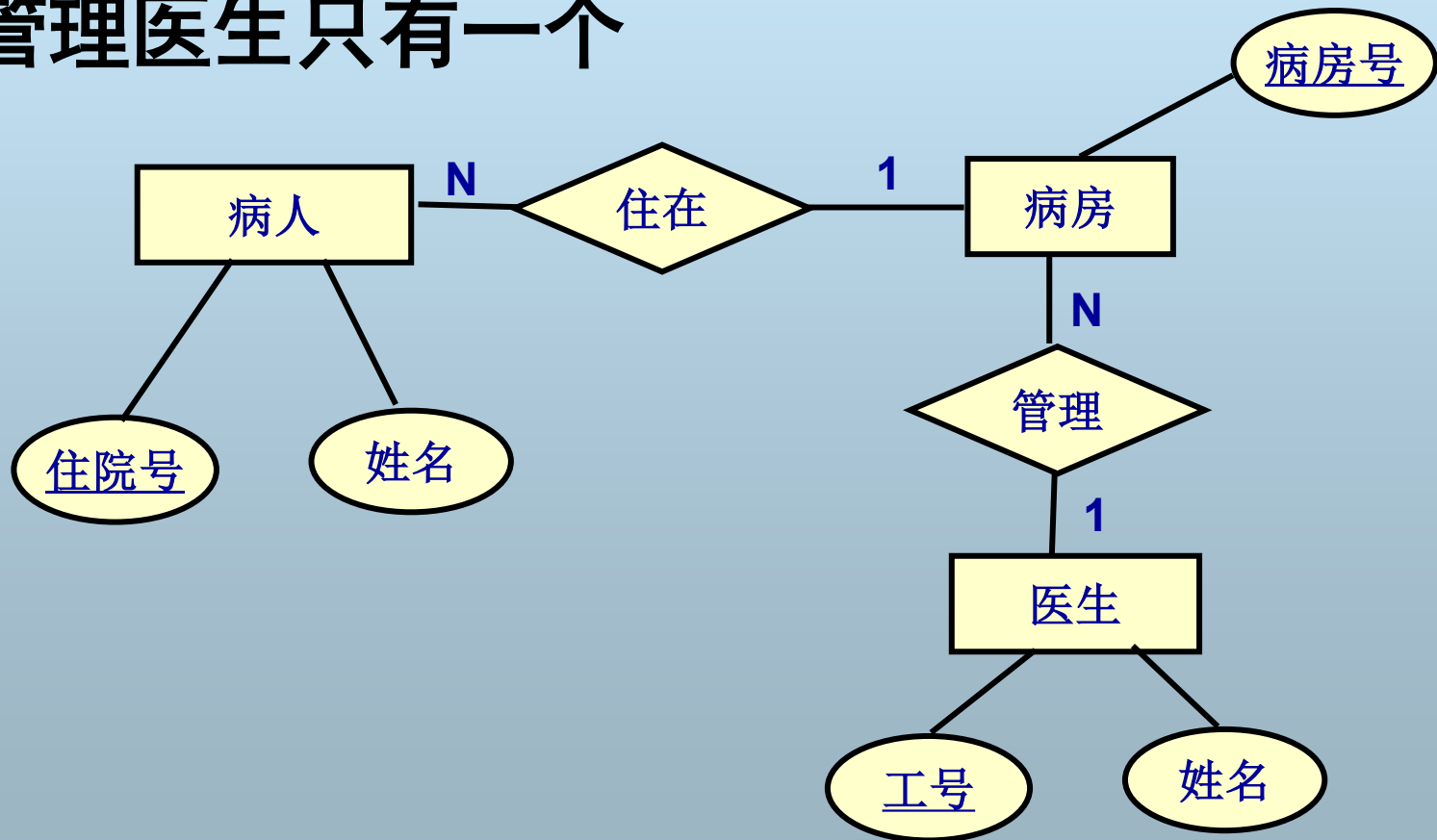
# 属性设计例子2

- 医院管理中，一个病人只能住在一个病房里，因此病房号可以作为病人实体的一个属性



# 属性设计例子2

- 但如果病房与医生实体存在负责联系，即一个医生要负责管理多个病房，而一个病房的管理医生只有一个



# C) 确定联系和联系属性

## ■ 根据数据需求的描述确定

### ● 数据项描述

- ◆ {数据项名, 数据项含义说明, 别名, 数据类型, 长度, 取值范围, 取值含义, 与其它数据项的逻辑关系, 数据项之间的联系}

### ● 参考书: “系统分析与设计” 或 “软件工程”

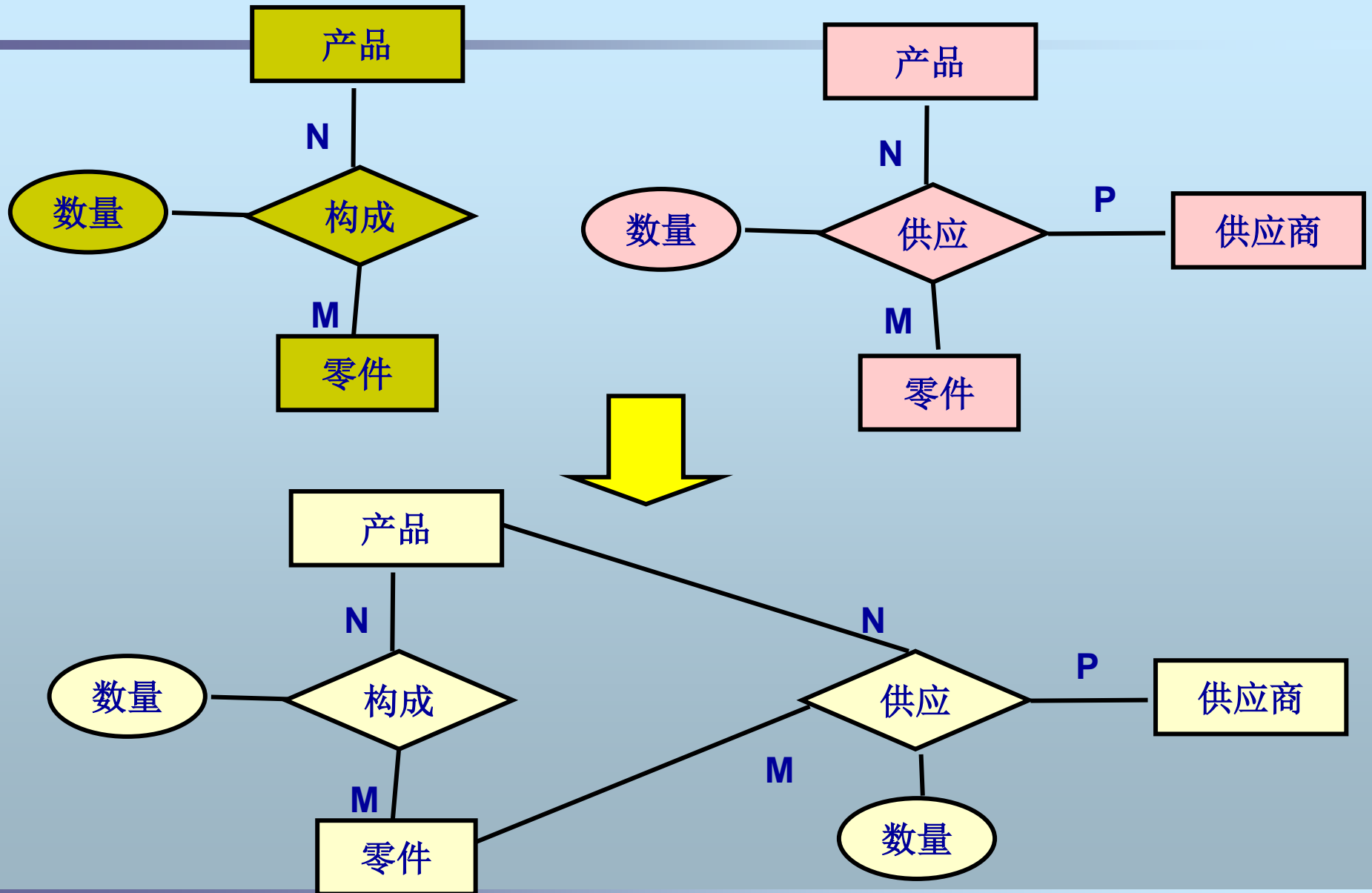
## ■ 联系的基数

- 0个或1个 (国家和总统: 1个国家可以有0个或1个总统)
- 0个或1个或多个 (学院和系)
- 1个或多个 (班级和学生)
- 1个 (公司和法人)
- 确定的k个 (候选人和推荐人: 一个候选人必须有3个候选人)

# (4) ER集成

- 确定公共实体
- 合并分ER图
- 消除冲突
  - 属性冲突：类型冲突、值冲突
    - ◆ 例如性别、年龄
  - 结构冲突：实体属性集不同、联系类型不同、同一对象在不同应用中的抽象不同
  - 命名冲突：同名异义、异名同义
    - ◆ 实体命名冲突、属性命名冲突、联系命名冲突

# ER集成示例



# (5) ER模型的优化

- 目标：实体个数要少，属性要少，联系尽量无冗余
- 合并实体类型
- 消除冗余属性
- 消除冗余联系

# A) 合并实体

- 一般**1:1**联系的两个实体可以合并为一个实体
- 如果两个实体在应用中经常需要同时处理，也可考虑合并
  - 例如病人和病历，如果实际中通常是查看病人时必然要查看病历，可考虑将病历合并到病人实体中
    - ◆ 减少了联接查询开销，提高效率

## B) 消除冗余属性

- 分ER图中一般不存在冗余属性，但集成后可能产生冗余属性
  - 例如，教育统计数据库中，一个分ER图中含有**高校毕业生数**、**在校学生数**，另一个分ER图中含有**招生数**、**各年级在校学生数**
  - 每个分ER图中没有冗余属性，但集成后“**在校学生数**”冗余，应消除

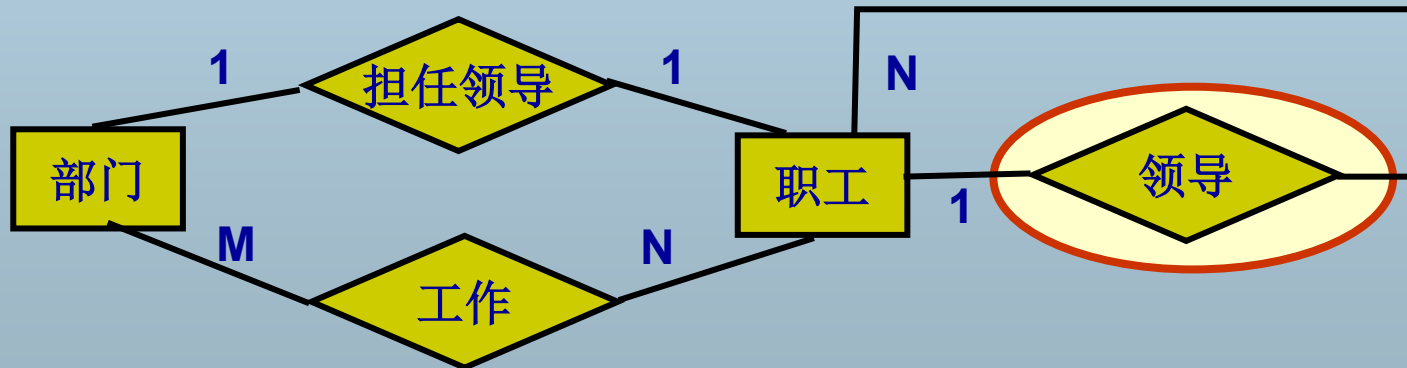
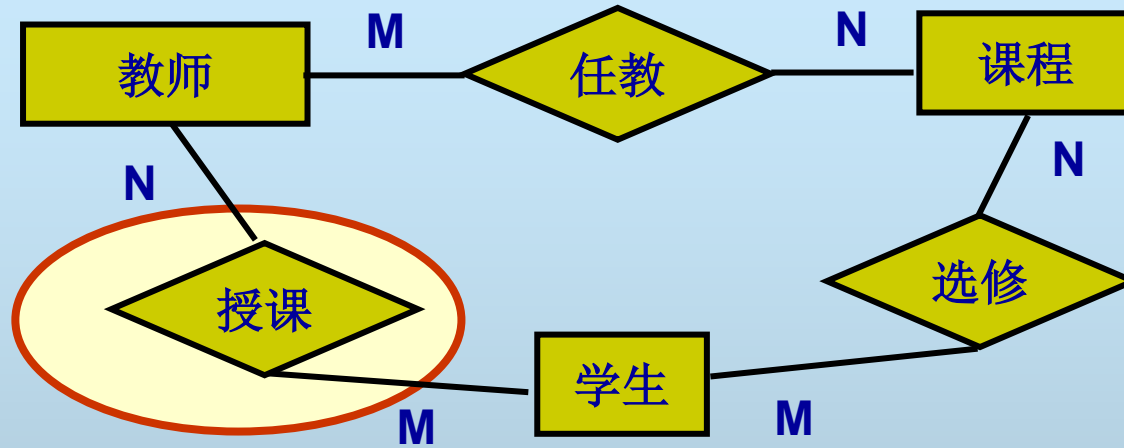


# B) 消除冗余属性

## ■ 冗余属性的几种情形

- 同一非码属性出现在几个实体中
- 一个属性值可从其它属性值中导出
  - ◆ 例如出生日期和年龄

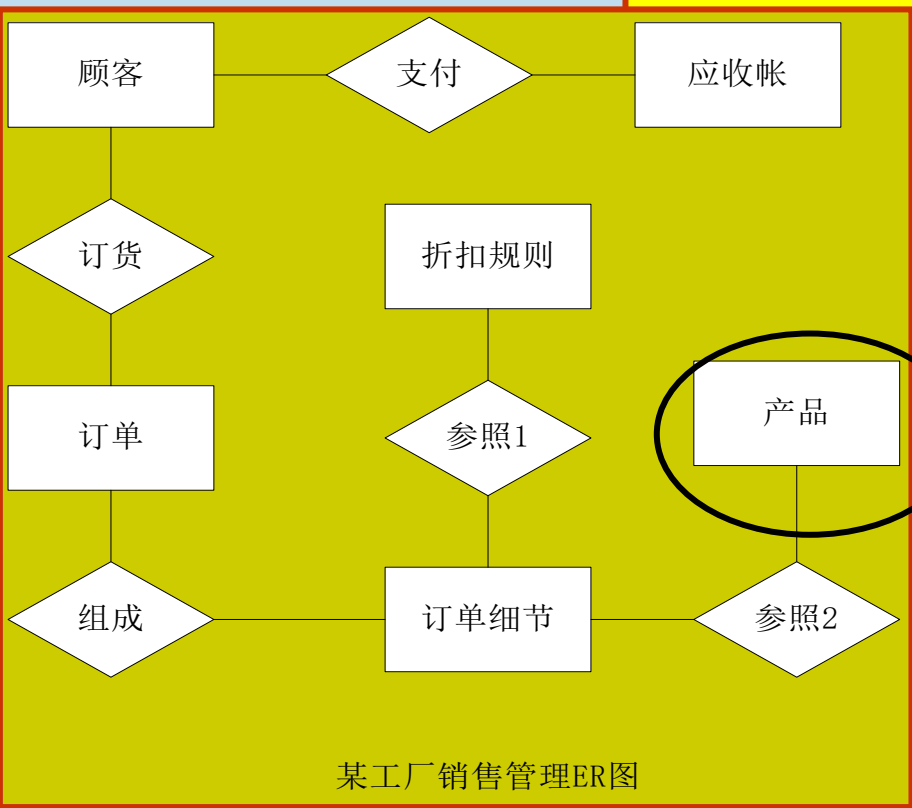
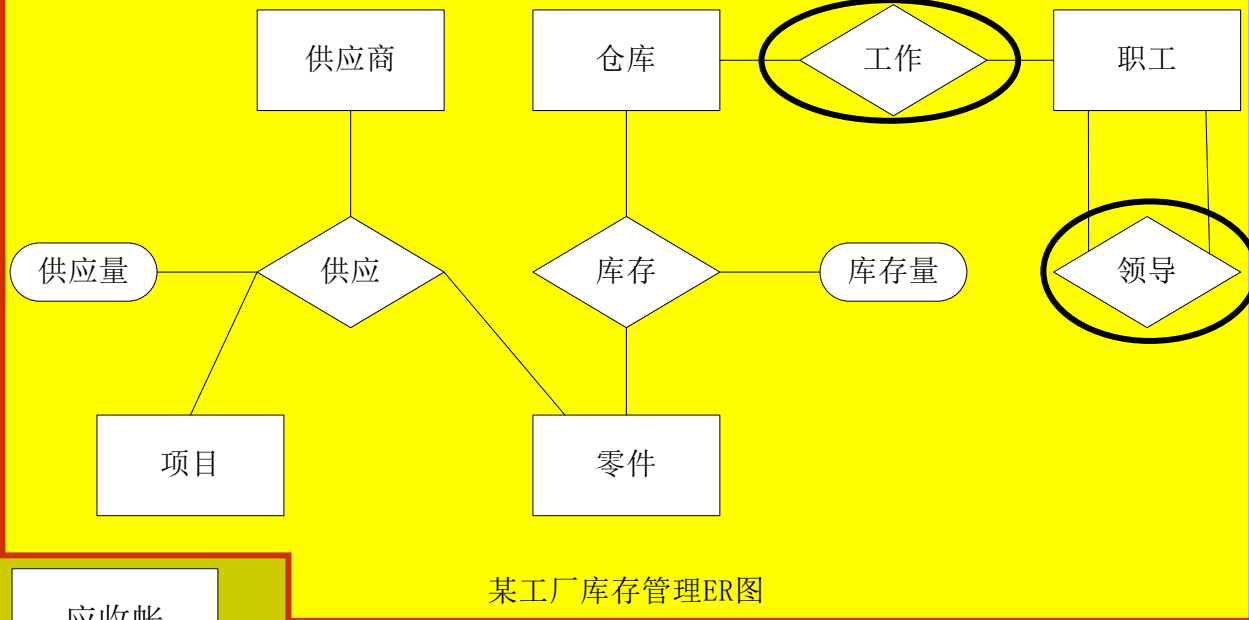
# C) 消除冗余联系

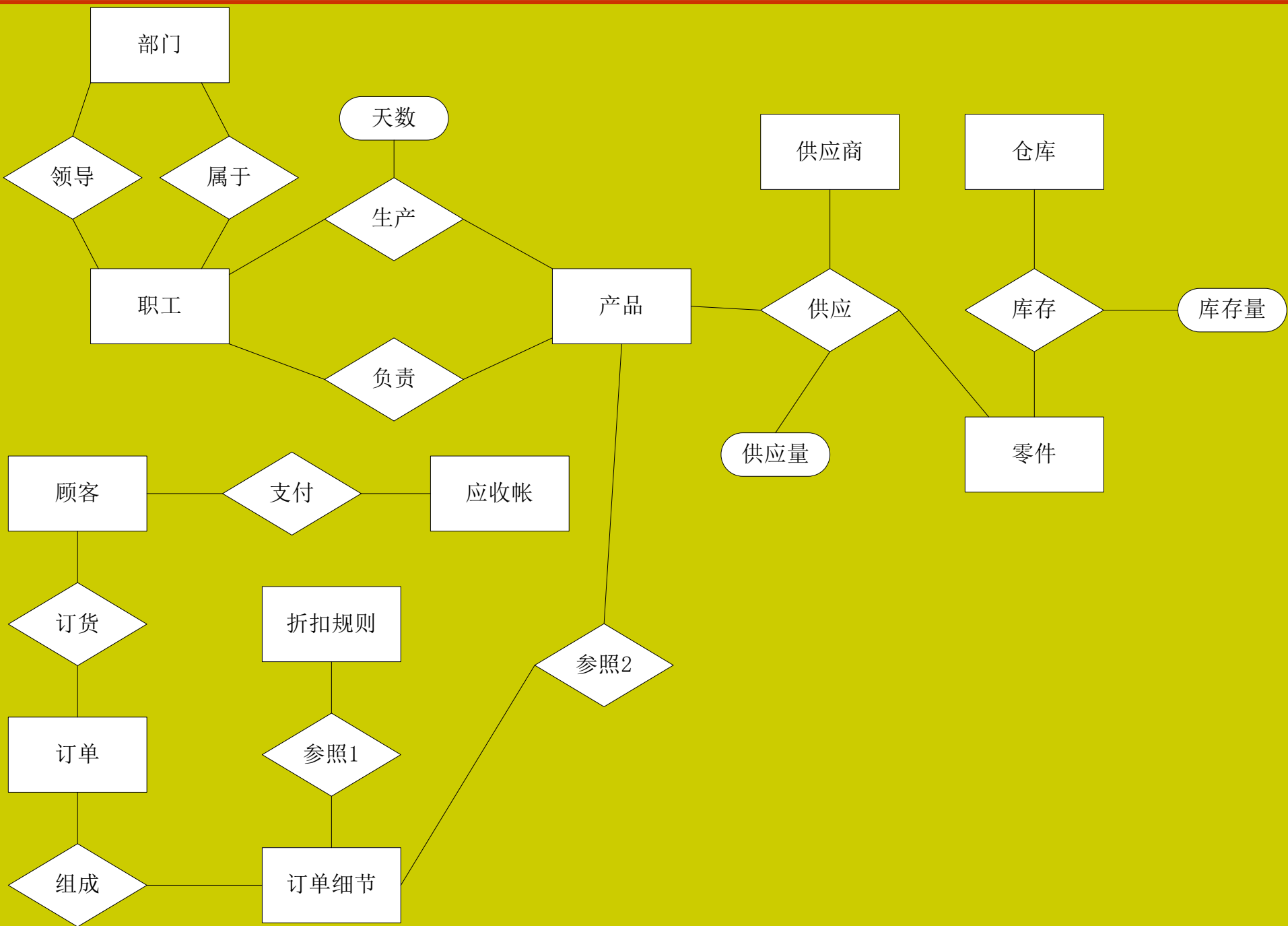


项目=产品

职工与仓库的联系冗余

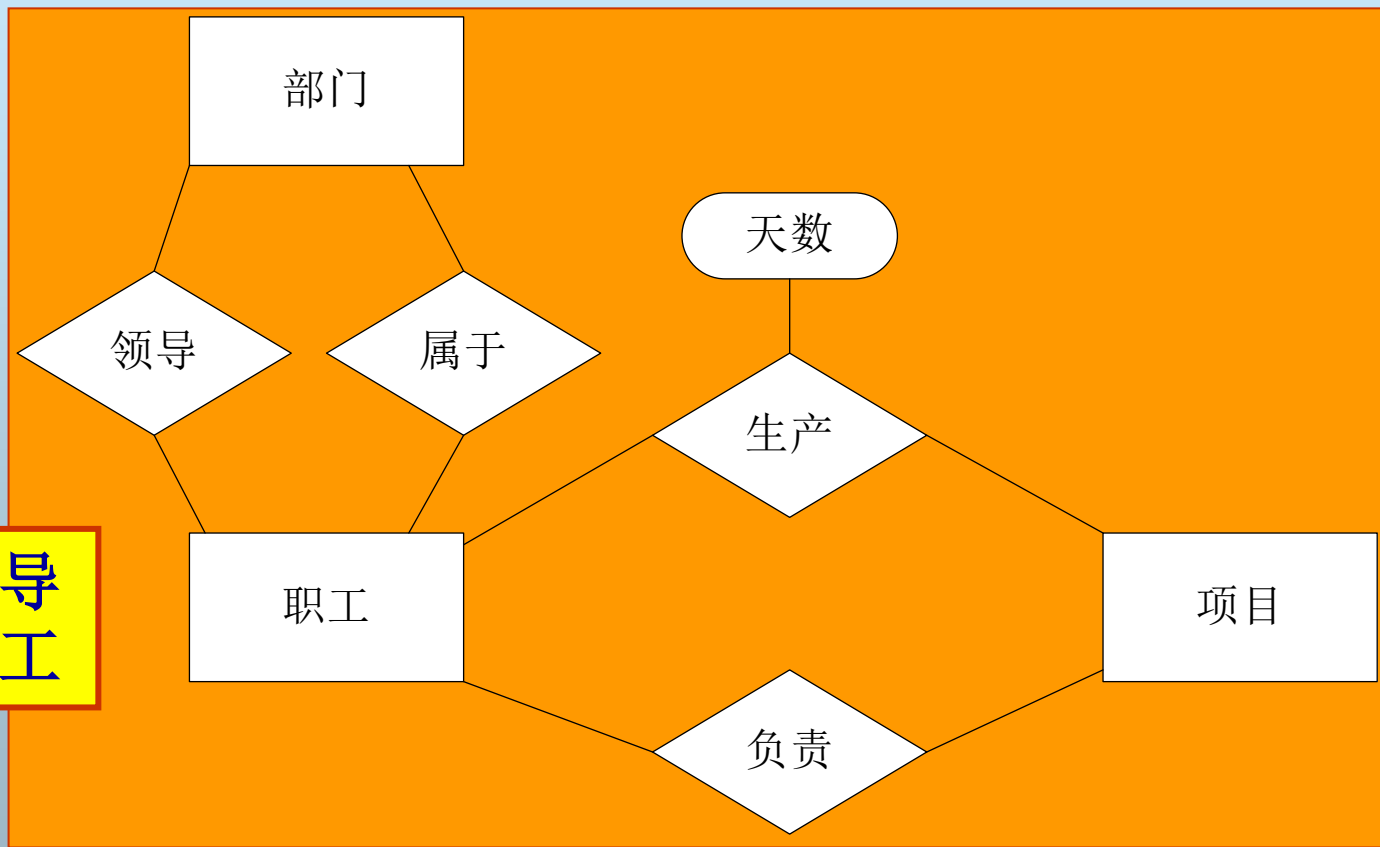
职工与职工的领导联系冗余





# 3、ER模型的扩展

- 传统的ER模型无法表达一些特殊的语义



# 3、ER模型的扩展

- 弱实体
- 子类（特殊化）与超类（一般化）

# (1) 弱实体 (weak entity)

- 一个弱实体的存在必须以另一实体的存在为前提
  - 弱实体所依赖存在的实体称为常规实体 (regular entity) 或强实体 (strong entity)
  - 弱实体有自己的标识，但它的标识只保证对于所依赖的强实体而言是唯一的。在整个系统中没有自己唯一的实体标识

# (1) 弱实体 (weak entity)

## ■ 弱实体的例子

- 一个公司的人事系统中，职工实体，职工的子女
- 子女是弱实体，职工是强实体
- 是否弱实体要看具体应用：例如在社区人口管理系统中，子女就不是弱实体，即使双亲都不存在了，子女仍应存在于人口系统中



## (2) 弱实体的表示

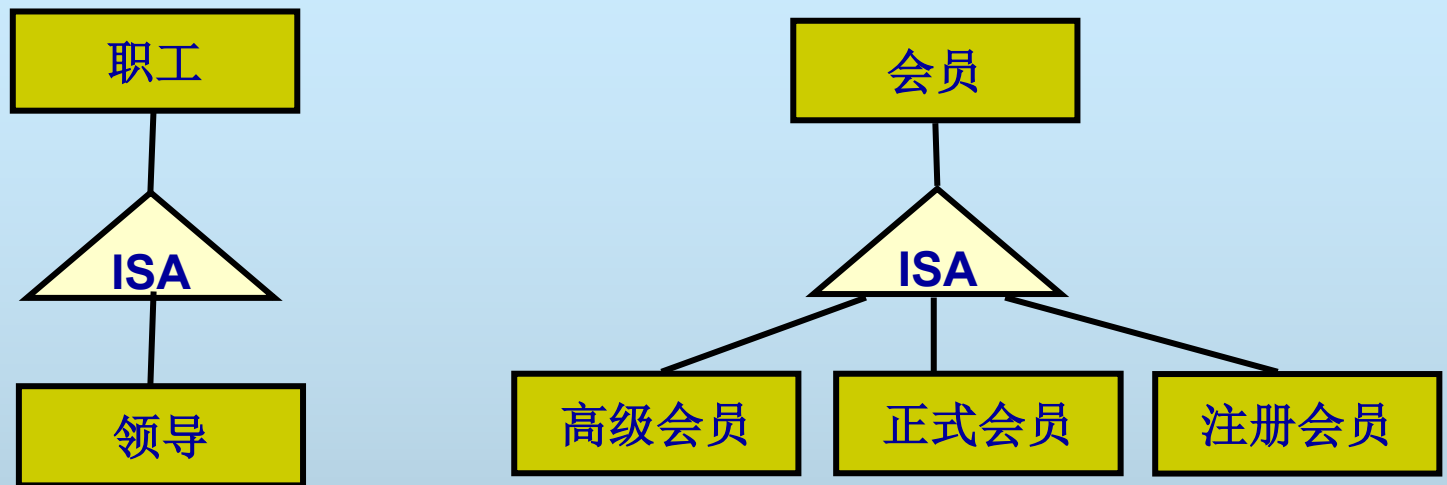


- 弱实体用双线矩形表示，存在依赖联系用双线菱形表示，箭头指向强实体

# (3) 子类（特殊化）与超类（一般化）

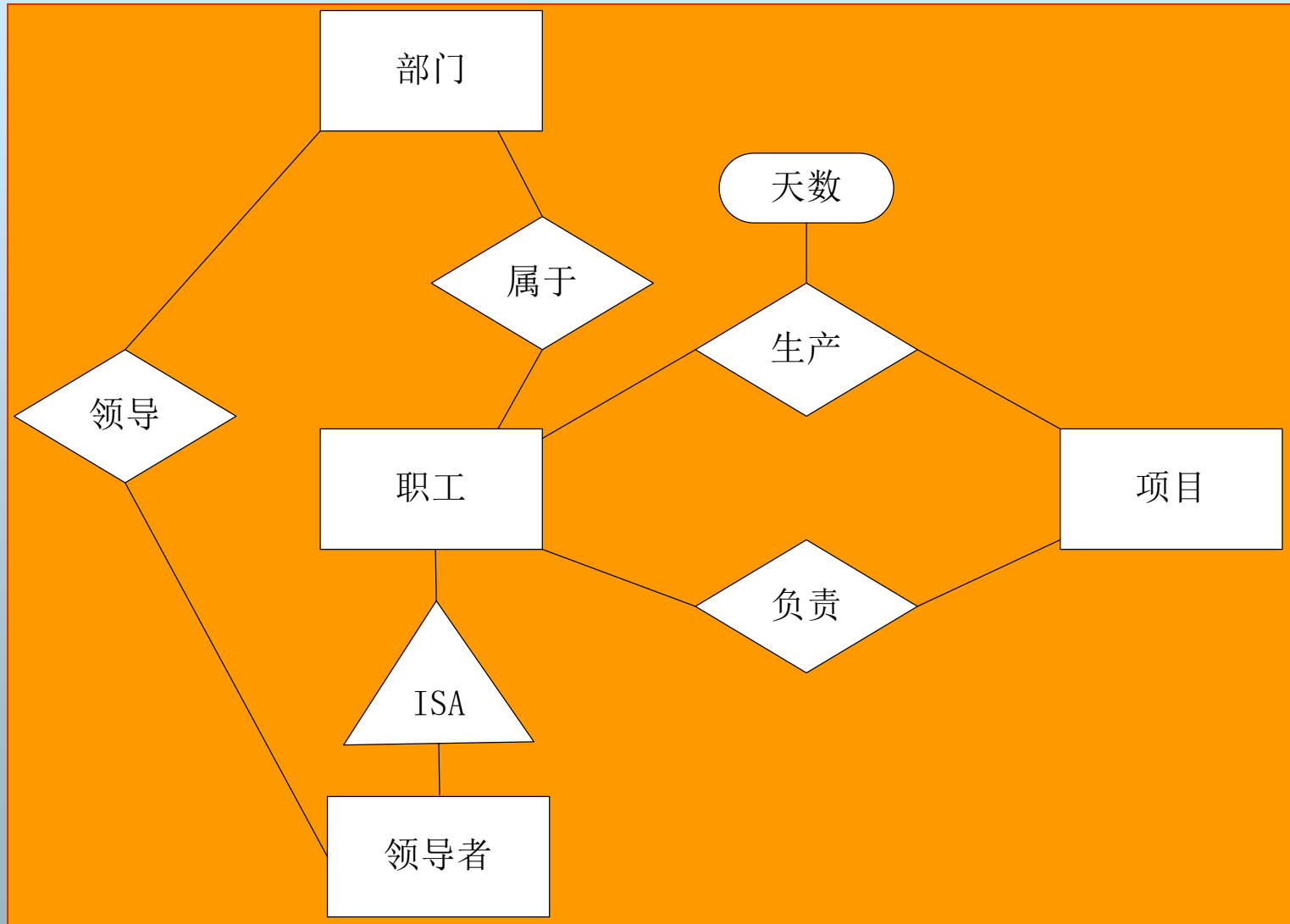
- 子类（Subtype）和超类（Supertype）
  - 两个实体A和B并不相同，但实体A属于实体B，则A称为实体子类，B称为实体超类
  - 子类是超类的特殊化，超类是子类的一般化
  - 子类继承了超类的全部属性，因此子类的标识就是超类的标识
  - 例如，研究生是学生的子类，经理是职工的子类
- 在ER设计时，可以根据实际情况增加子类，也可以根据若干实体抽象出超类

## (4) 子类符号



- **ISA表示子类与超类关系**

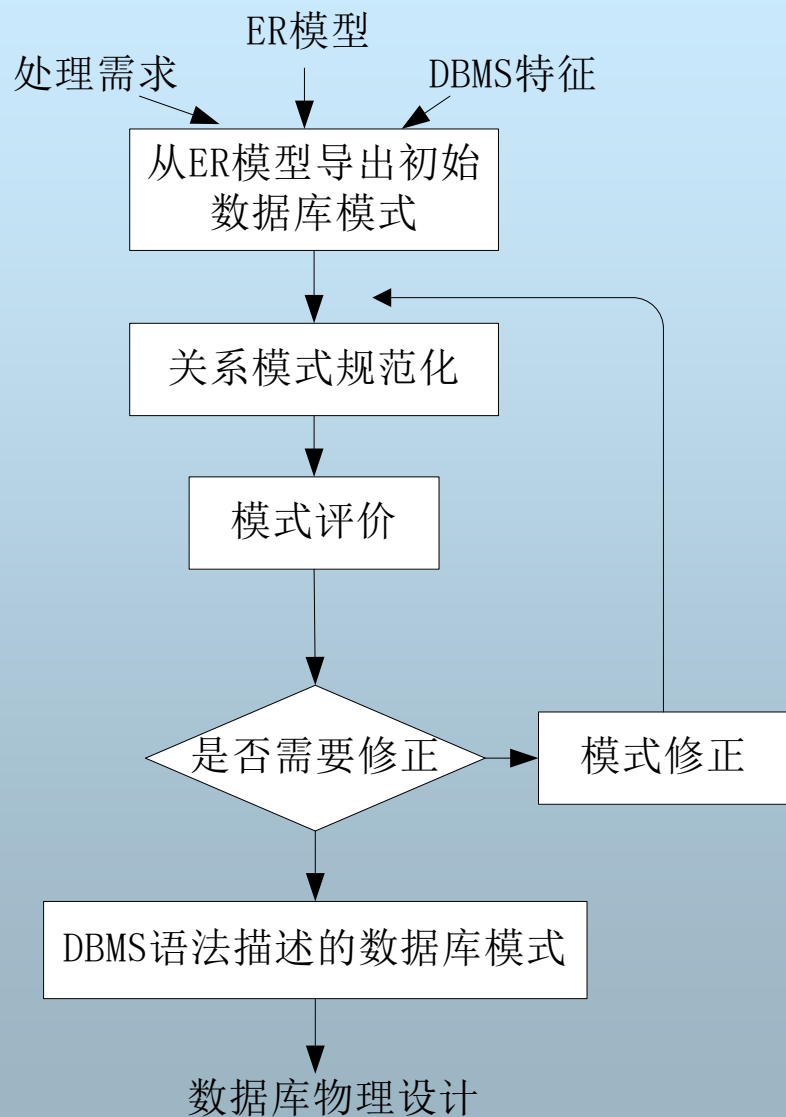
# (5) 子类例子



# 五、数据库逻辑设计

- 根据概念模型设计出与DBMS支持的数据模型相符合的数据库逻辑结构
- 主要工作
  - ER模型向关系模型的转换
  - 关系模型优化
  - 关系模型修正

# 1、数据库逻辑设计步骤



- ① ER模型转换成关系数据库模式
- ② 关系数据库模式的规范化
- ③ 模式评价
- ④ 模式修正
- ⑤ 最终产生一个优化的全局关系数据库模式
- ⑥ 子模式设计

## 2、ER模型向关系模型转换

- 基本ER模型的转换
- 扩展ER模型的转换

# (1) 基本ER模型转换到关系模型

## ■ 实体转换

- 每个实体转换为一个关系模式，实体的属性为关系模式的属性，实体的标识成为关系模式的主码

## ■ 联系转换

- **1:1**: 将任一端的实体的标识和联系属性加入另一实体所对应的关系模式中，两模式的主码保持不变
- **1:N**: 将1端实体的标识和联系属性加入N端实体所对应的关系模式中，两模式的主码不变
- **M:N**: 新建一个关系模式，该模式的属性为两端实体的标识以及联系的属性，主码为两端关系模式的主码的组合



## (2) 扩展ER模型转换到关系模型

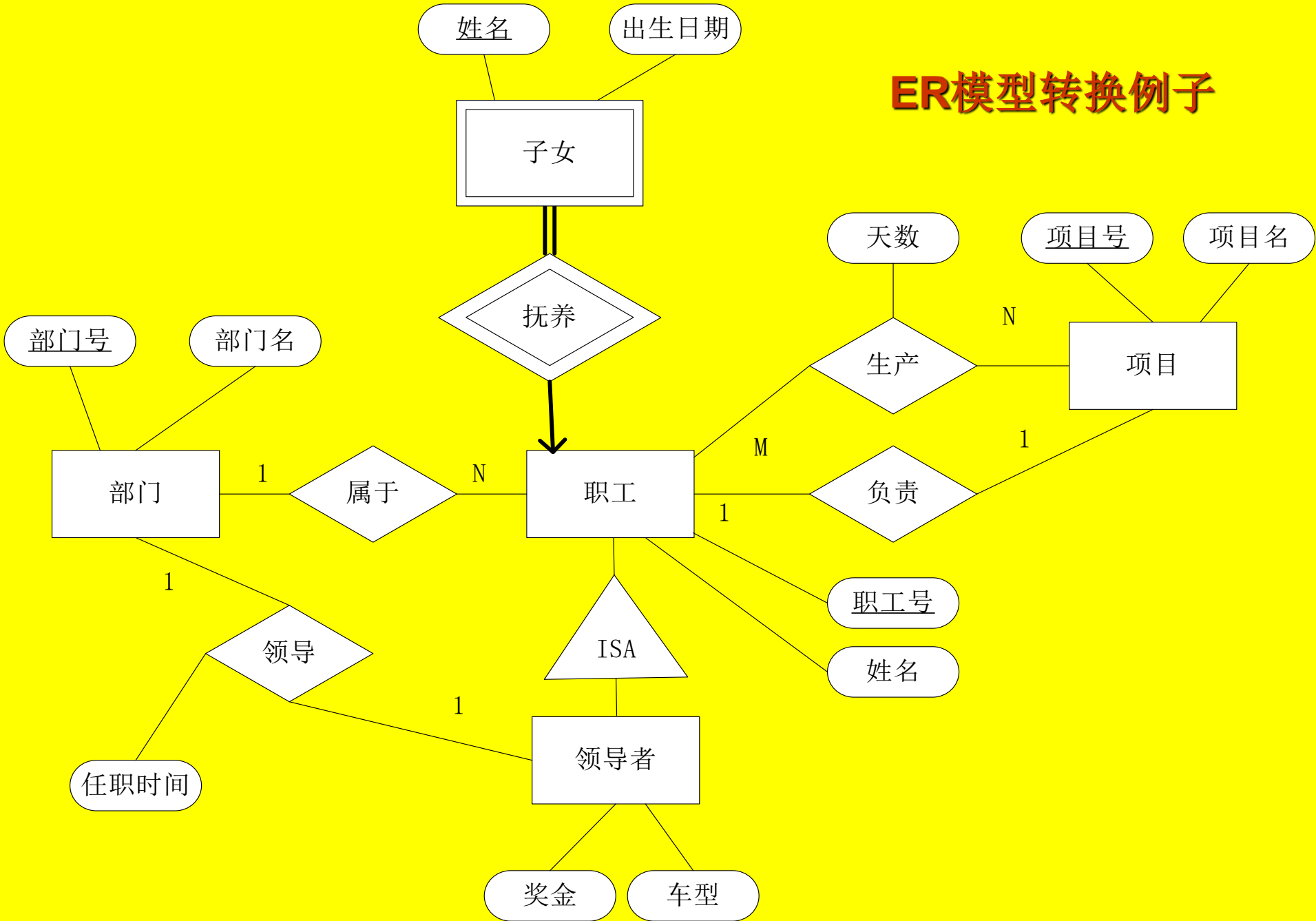
### ■ 弱实体转换

- 每个强实体转换为一个关系模式，强实体的属性成为关系模式的属性，实体标识成为主码
- 每个弱实体转换为一个关系模式，并加入所依赖的强实体的标识，关系模式的主码为弱实体的标识加上强实体的标识

### ■ 子类转换

- 父类实体和子类实体都各自转换为关系模式，并在子类关系模式中加入父类的主码，子类关系模式的主码设为父类的主码

# ER模型转换例子



# 转换实体

实体转换为关系模式：

- 1、部门（部门号，部门名）
- 2、职工（职工号，姓名）
- 3、项目（项目号，项目名）
- 4、领导者（奖金，车型）
- 5、子女（姓名，出生日期）

先考虑弱实体“子女”，加入“职工号”，并修改主码为“职工号+姓名”

- 5、子女（姓名，出生日期，职工号）

在考虑子类“领导者”，加入父类标识“职工号”作主码

- 4、领导者（奖金，车型，职工号）

# 转换联系

## 实体转换得到关系模式：

- 1、部门（部门号，部门名）
- 2、职工（职工号，姓名）
- 3、项目（项目号，项目名）
- 4、领导者（奖金，车型，职工号）
- 5、子女（姓名，出生日期，职工号）

## 考虑每个联系：

- 1、部门:领导者（1:1）：领导者（奖金，车型，职工号，部门号，任职时间）  
或者 部门（部门号，部门名，职工号，任职时间）
- 2、部门:职工（1:N）：职工（职工号，姓名，部门号）
- 3、职工:项目（1:1）：项目（项目号，项目名，职工号）
- 4、职工:项目（M:N）：增加模式：职工\_项目（项目号，职工号，天数）

# 得到初步的关系数据库模式

1. 部门 (部门号, 部门名)
2. 职工 (职工号, 姓名, 部门号)
3. 项目 (项目号, 项目名, 职工号)
4. 领导者 (奖金, 车型, 职工号, 部门号, 任职时间)
5. 子女 (姓名, 出生日期, 职工号)
6. 职工\_项目 (项目号, 职工号, 天数)

# 3、关系数据库模式的规范化

- 确定范式级别
- 实施规范化处理

# (1) 确定范式级别

## ■ 范式级别的确定

### ● 根据数据依赖确定已有的范式级别

- ◆ 根据需求写出数据库模式中存在的函数依赖
- ◆ 消除冗余数据依赖，求出最小的依赖集
- ◆ 确定范式级别

# (1) 确定范式级别

## ■ 范式级别的确定

- 根据实际应用的需要（处理需求）确定要达到的范式级别
  - ◆ 时间效率和模式设计问题之间的权衡
    - 范式越高，模式设计问题越少，但连接运算越多，查询效率越低
    - 如果应用对数据只是查询，没有更新操作，则非BCNF范式也不会带来实际影响
    - 如果应用对数据更新操作较频繁，则要考虑高一级范式以避免数据不一致
  - ◆ 实际应用中一般以3NF为最高范式



## (2) 规范化处理

- 确定了初始数据模式的范式，以及应用要达到的范式级别后
- 按照规范化处理过程，分解模式，达到目标范式

# 4、模式评价

- **检查规范化后的数据库模式是否完全满足用户需求，并确定要修正的部分**
  - **功能评价：检查数据库模式是否支持用户所有的功能要求**
    - ◆ 必须包含用户要存取的所有属性
    - ◆ 如果某个功能涉及多个模式，要保证无损连接性
  - **性能评价：检查查询响应时间是否满足规定的需****求。**
    - ◆ 由于模式分解导致连接代价
    - ◆ 如果不满足，要重新考虑模式分解的适当性
    - ◆ 可采用模拟的方法评价性能

# 5、模式修正

- 根据模式评价的结果，对已规范化的数据库模式进行修改
  - 若功能不满足，则要增加关系模式或属性
  - 若性能不满足，则要考虑
    - ◆ 逆规范化
    - ◆ 分库分表
    - ◆ 使用存储过程
    - ◆ 缓存加速
    - ◆ .....

# 常用优化策略

- 逆规范化
- 分库分表
- 使用存储过程
- 缓存加速

# 1、逆规范化

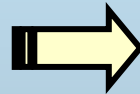
## ■ 逆规范化

- 模式合并
- 增加冗余属性

分行号	名称	电话	存款总额	贷款总额
001	北京分行	6360111	123456	54321
002	上海分行	6360111	22344	112334
003	南京分行	6360111	4564	2123
004	重庆分行	6360222	1236788	88723
005	天津分行	6360222	345612	2312
006	广州分行	6360333	5788622	675323

## 2、分库分表

学号	.....	所在系
01		1
02		2
03		6
.....		.....



学号	.....	所在系
01		1
12		1
13		1
.....		.....

学号	.....	所在系
02		2
18		2
45		2
.....		.....

.....

## 2、分库分表

### ■ 冷热数据划分

- **80/20原则**：一个关系经常被使用的数据只占20%
- 将**20%热数据**单独划分为一个模式，使得大部分的查询都可以在较小规模的数据集上执行
- 减少了应用处理的数据量，提高效率

## 2、分库分表

- 把关系模式按属性集垂直分解为多个模式
- 在实际中，应用可能经常存取的只是关系的某几个列，可考虑将这些经常访问的列单独拿出组成一个关系模式
- 若一个关系中，某几个属性的值重复较多，并且值较大，可考虑将这些属性单独组成关系模式，以降低存储空间



## 2、分库分表

50万种商品

商品号	.....	商品说明书 (4KB)

商品表约减少了  
2GB数据量

商品号	.....	说明编号 (2B)

说明编号	商品说明书

# 3、使用存储过程

从A账号转帐  
100到B账号

Total 5  
客户端多次计算  
多次网络传输

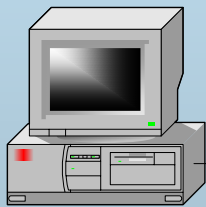
SQL

客户机

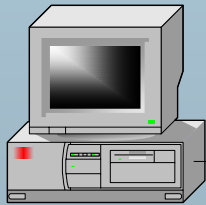
- 1、通过SQL查询账号A是否存在
- 2、通过SQL查询账号B是否存在
- 3、查询账号A上的余额
- 4、修改A上的余额
- 5、修改B上的余额

SQL

Result



客户端

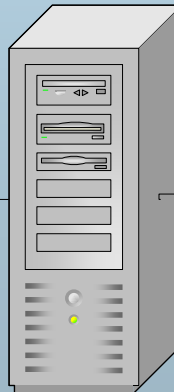


客户端

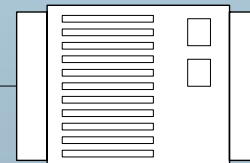
网络

SQL

结果



DBMS



数据库文件

# 3、使用存储过程

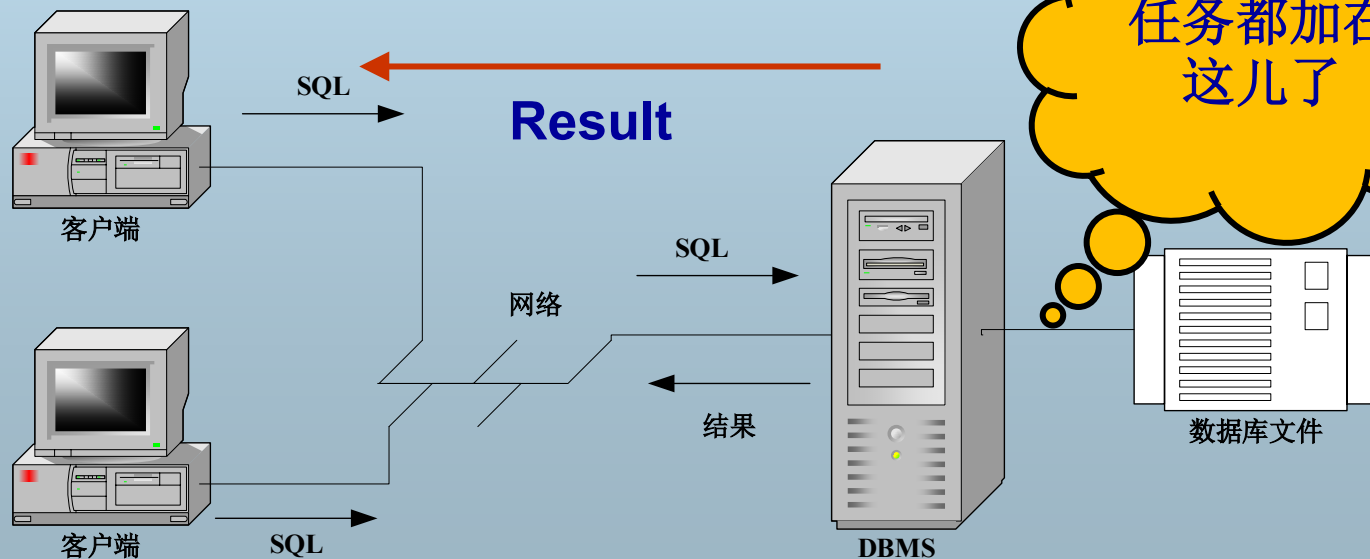
从A账号转帐  
100到B账号

**Total 1**  
客户端更少计算  
更少网络传输

客户机

执行一个预先编写好并存储  
在服务器上的存储过程  
完成转帐

调用过程化SQL程序



# 3、使用存储过程

- 可以在前端程序中调用，将数据密集型任务交给数据库服务器完成

- VC/VB/C#/ASP/Java/ ...

```
1
2 delimiter //
3 CREATE PROCEDURE transfer(IN id_from INT, IN id_to INT, IN amount INT, OUT state INT)
4 BEGIN
5     DECLARE s INT DEFAULT 0;
6     DECLARE a INT;
7     DECLARE CONTINUE HANDLER FOR SQLEXCEPTION SET s = 1;
8     START TRANSACTION;
9     SELECT count(*) FROM account WHERE id = id_from or id=id_to INTO a;
10 IF a < 2 THEN -- 至少有一个账户不存在
11     SET s = 2;
12 END IF;
13
14 SELECT balance FROM account WHERE id = id_from INTO a;
15 IF a < amount THEN -- 余额不足
16     SET s = 3;
17 END IF;
18 UPDATE account SET balance = balance - amount WHERE id = id_from;
19 UPDATE account SET balance = balance + amount WHERE id = id_to;
20 IF s = 0 THEN
21     SET state = 0;
22     COMMIT;
23 ELSE
24     SET state = -1000;
25     ROLLBACK;
26 END IF;
27 END //
28 delimiter;
```



# 3、使用存储过程

## ■ 在程序中使用SQL

- 客户机计算任务多
- 网络传输重
- 服务器计算任务少

胖客户机、瘦服务器

## ■ 在程序中使用存储过程

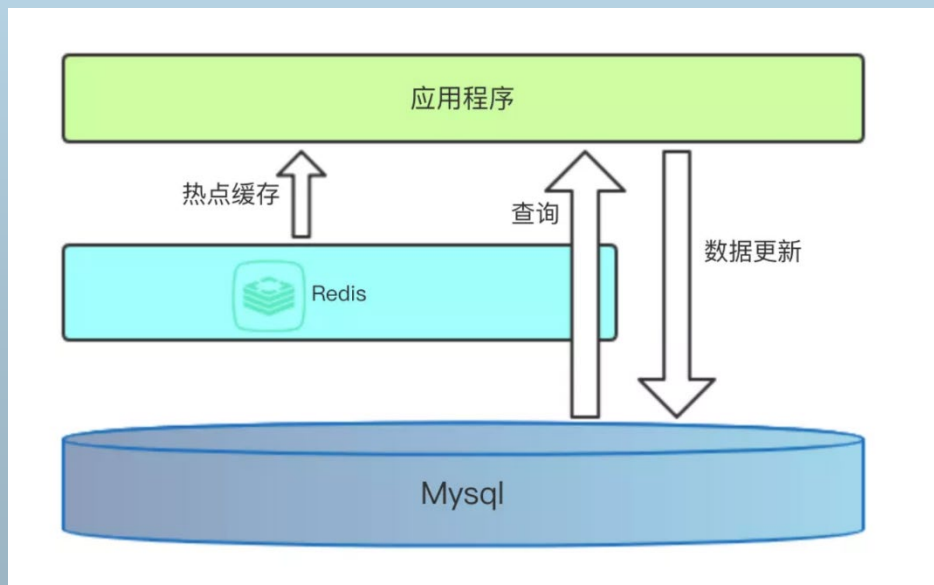
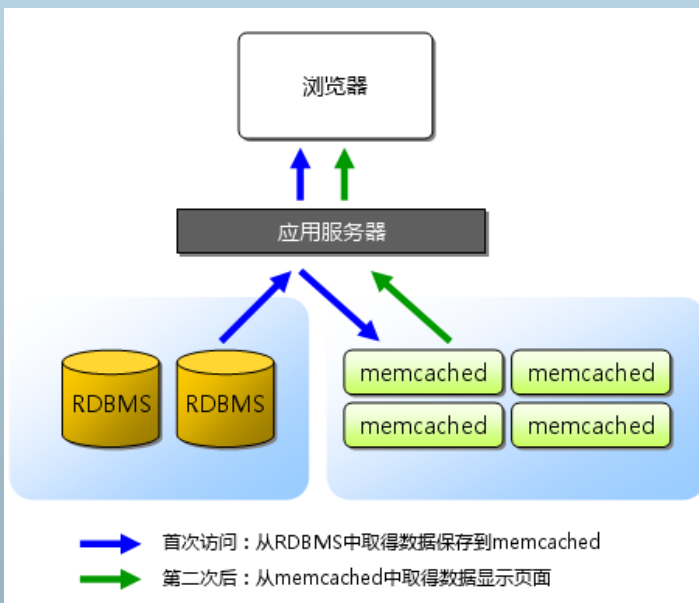
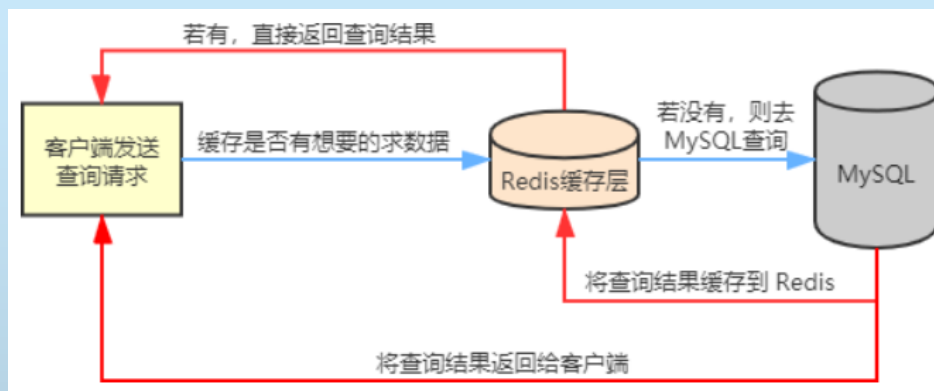
- 可以完成一些SQL不能完成的复杂计算，并且封装处理逻辑
- 客户机计算任务少
- 服务器计算任务加重
- 网络传输少

瘦客户机、胖服务器

# 4、缓存加速

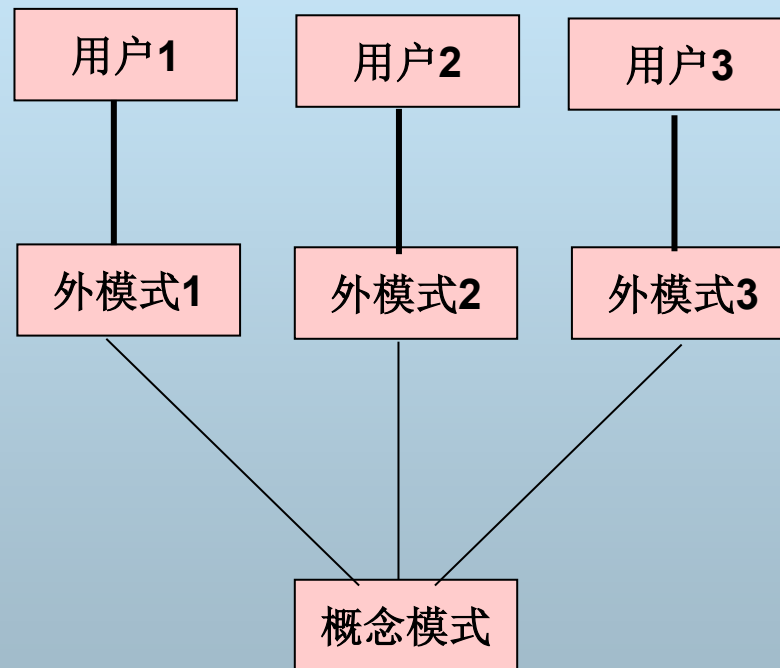
## ■ 使用Key-Value数据库构建缓存层进行查询加速

- Redis
- Memcached



# 6、设计用户子模式（视图）

- 根据局部应用的需求，设计用户子模式



# (1) 设计用户子模式（视图）的考虑

- 使用更符合用户习惯的别名
  - ER图集成时要消除命名冲突以保证关系和属性名的唯一，  
在子模式设计时可以重新定义这些名称，以符合用户习惯
- 给不同级别的用户定义不同的子模式，以保证系统安全性
  - 产品(产品号, 产品名, 规格, 单价, 产品成本, 产品合格率)
    - ◆ 为一般顾客建立子模式: 产品1(产品号, 产品名, 规格, 单价)
    - ◆ 为销售部门建立: 产品2(产品号, 名称, 规格, 单价, 成本, 合格率)
- 简化用户程序对系统的使用
  - 可将某些复杂查询设计为子模式以方便使用



# 六、数据库物理设计

- 设计数据库的物理结构
  - 为关系模式选择存取方法
  - 设计数据库的存储结构
- 物理设计的考虑
  - 查询时间效率
  - 存储空间
  - 维护代价
- 物理设计依赖于给定的计算机系统

# 1、选择存取方法

- 存取方法：数据的存取路径
  - 例如图书查询
- 存取方法的选择目的是加快数据存取的速度
  - 索引存取方法
  - 聚簇存取方法
  - 散列存取方法

可以使用什么样的存取方法依赖于具体的**DBMS**

## 2、设计数据库的存储结构

### ■ 确定数据的存放位置

#### ● 针对应用环境和DBMS特性，合理安排数据存储位置

- ◆ 表和索引可考虑放在不同的磁盘上，使查询时可以并行读取
- ◆ 日志文件和备份文件由于数据量大，而且只有恢复时使用，可放到磁带上

### ■ 确定系统配置

#### ● 系统初始参数不一定适合应用

- ◆ 并发用户数、同时打开的数据库对象数、缓冲区分配参数、物理块的大小等

# 七、数据库实施

- 建立实际的数据库结构
  - **CREATE TABLE**
  - **CREATE INDEX**
  - .....
- 初始数据装入
- 安全性设计和故障恢复设计
- 应用程序的编码和调试
  - 存储过程、触发器等的设计与实现

# 八、运行和维护

## ■ 试运行

- 根据初始数据对数据库系统进行联调
- 执行测试：功能、性能

## ■ 维护

- 数据备份和恢复
- 数据库安全性控制和完整性控制
- 数据库性能的分析 and 改造
- 数据库的重组

# 总结

