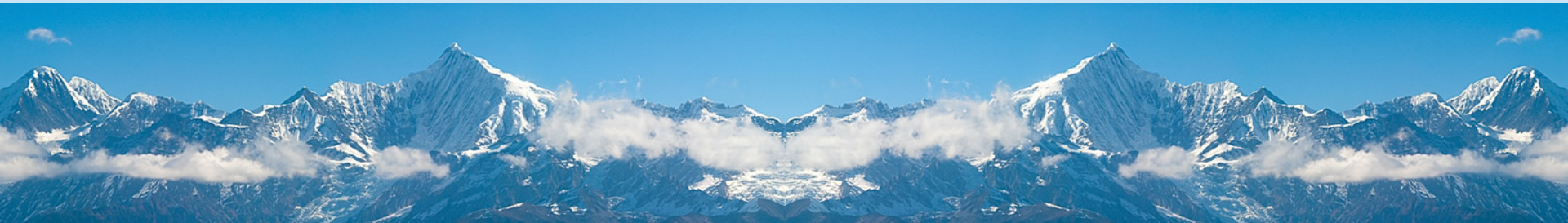
空间数据库2016秋季

空间查询语言1-1020

陈斌

北京大学地球与空间科学学院

gischen@pku.edu.cn



空间查询语言

- 关系代数
- SQL语言
- SQL语言的空间扩展
- 空间查询
- 对象关系数据库及其空间扩展

关系代数

- 什么是关系？
  - 关系是各个对象之间的联系和对应
- 最常见到是两组对象之间的联系和对应
  - 职员-部门的隶属关系
- 也有三组或更多对象之间的联系和对应
  - 供应商-工程-零件的供应关系
- 从集合论看关系
  - 有序组……笛卡儿积……关系

有序组

- 二元有序组，或者二元组(2-tuple)，或者序偶(ordered pairs)
  - 设a,b为任意对象，称集合族{{a},{a,b}}为二元有序组，简记为<a,b>
  - 称a为<a,b>的第一分量，b为第二分量
  - “有序”的含义？
- 定理：对于任意序偶<a,b>, <c,d>，<a,b>=<c,d>当且仅当a=c且b=d

有序组

- 有序的含义
  - 当a≠b时，<a,b>≠<b,a>，但{a,b}={b,a}
  - 利用元素和集合的两个不同层次实现两个对象的有序排列
- n元有序组(n-tuple)$<a_1,\ldots,a_n>$
  - 递归定义：n=2时，$<a_1,a_2>=\{\{a_1\},\{a_1,a_2\}\}$
  - n>2时，$<a_1,\ldots,a_n>=<<a_1,\ldots,a_{n-1}>,a_n>$
  - a_i称为n元组的第i分量
- 定理：对于任意n元组$<a_1,\ldots,a_n>=<b_1,\ldots,b_n>$当且仅当$a_1=b_1,\ldots,a_n=b_n$

集合的笛卡儿积

- 对任意集合$A,A_2,\ldots,A_n$，$A_1\times A_2$称作集合A_1，A_2的笛卡儿积，定义如下：
  - $A_1\times A_2=\{<u,v>\mid u\in A_1,v\in A_2\}$
  - $A_1\times A_2\times\ldots\times A_n=(A_1\times A_2\times\ldots\times A_{n-1})\times A_n$
- 例子：A={1,2}，B={a,b}，
  - 则A×B等于{<1,a>, <1,b>, <2,a>, <2,b>}
  - B×A等于{<a,1>, <a,2>, <b,1>, <b,2>}
  - $A\times\varnothing=\varnothing\times A=\varnothing$
  - R^2={<x,y>|x,y是实数}，R^2为笛卡儿平面，R^3为三维笛卡儿空间
  - 一般来说：$A\times B\neq B\times A$，$A\times(B\times C)\neq(A\times B)\times C$

集合的笛卡儿积

- 定理：对于任意有限集合$A_1,...,A_n$，有$|A_1 \times ... \times A_n| = |A_1| * ... * |A_n|$

关系的基本概念

- 采用二元组或者多元组的集合来表示关系
  - ED={<张三,人事部>,<李四,销售部>,<王五,技术部>}
  - SPJ={<公司甲,大楼,水泥>,<公司甲,公路,水泥>,<公司乙,大楼,钢筋>,<公司丙,公路,沥青>}
- R称为集合$A_1,A_2,\ldots,A_{n-1}$到A_n的n元关系，如果R是$A_1\times A_2\times\ldots\times A_n$的一个子集。
  - 当$A_1=A_2=\ldots=A_{n-1}=A_n$时，也称R为A上的n元关系

关系的例子

- 自然数的相等关系E_N={<0,0>,<1,1>,<2,2>,...}（列举法）
- 整除关系D={<x,y>|x整除y}（描述法）
- 小于关系L：归纳法
  - 基础条款：<0,1>∈L
  - 归纳条款：若<x,y>∈L，则<x,y+1>∈L，<x+1,y+1>∈L
  - 终极条款（略）

关系的基本运算

- R和S为A到B的二元关系，$R,S \subseteq A \times B$
- 并：$R \cup S=\{<x,y> | xRy \vee xSy\}$
- 交：$R \cap S=\{<x,y> | xRy \wedge xSy\}$
- 差：$R - S=\{<x,y> | xRy \wedge \neg xSy\}$
- 补：$R^{-}=\underline{A \times B - R}=\{<x,y> | \neg xRy\}$
  - 并不是全集U-R，而是全关系与R的差

用关系来描述实体和联系

- 实体=属性值的有序集合
  - 具有n个属性的实体用n元有序组描述
  - 所有属性值都相同的实体看作同一个实体
  - 实体的集合可以用关系来表示
    - 即所有属性对应的取值域集合$A_1,A_2,\ldots,A_n$的笛卡儿积$A_1\times A_2\times\ldots\times A_n$的子集
- 例如
  - 实体：<1001,张三,北京>
  - 实体集合：{<1001,张三,北京>, <1002,李四,上海>}

用关系来描述实体和联系

- 联系=实体+联系的属性值的有序集合
  - 用实体的标识属性（ID）代表实体
  - 联系也可以用关系来表示
- 例如：
  - 人员-部门联系<人员ID,部门ID,在部门年数>
    - {<1001,HR,0.5>,<1002,HR,3>,<1002,MGR,2>}

关系代数

- 什么是代数？
- 算术arithmetic
  - 研究整数、有理数、实数和复数的加、减、乘、除等运算
- 代数algebra
  - 算术的一般化，允许用字母等符号来代替数进行运算
- 代数结构algebraic structure
  - 在一个*对象集合*上定义若干*运算*，并设定若干*公理*描述运算的性质

代数结构

- 运算operator
  - S^n到S的一个函数，称为n元运算（*隐含了封闭性*）
  - 常用*表示二元运算，*(x,y)常记做x*y
  - 常用Δ表示一元运算
- 二元运算的一般性质
  - 结合律，如果二元运算满足：
    - $\forall x \forall y \forall z(x,y,z \in S \rightarrow x*(y*z)=(x*y)*z)$
  - 交换律，如果满足
    - $\forall x \forall y(x,y \in S \rightarrow x*y=y*x)$
  - *运算对#运算满足分配律
    - $\forall x \forall y \forall z(x,y,z \in S \rightarrow x*(y\#z)=(x*y)\#(x*z))$

代数结构：例子

- 加法、乘法是自然数集合上的二元运算
- 减法、除法不是自然数集合上的二元运算
- 除法甚至不是有理数、实数集合上的二元运算（除0无意义）
- 加法、乘法满足结合律、交换律；减法不满足结合律、交换律
- 乘法对加法、减法满足分配律

代数结构

- 代数结构的定义
  - 非空集合S，称作代数结构的载体
  - 载体S上的若干运算
  - 一组刻画载体上各运算性质的公理
- 例子
  - <N,+>是一个代数结构
  - 所有2*2实数矩阵M，矩阵乘法*，<M,*>
  - <ρ(A), ∪,∩,~>，A幂集，并、交、补运算，是一个代数结构

关系代数Relation Algebra

- 是一个代数结构
- 运算对象是：关系；
- 六种基本运算
  - 选择select：得到子关系
  - 投影project：生成新的元数更少的关系
  - 笛卡儿积cross production：生成元数更多的关系
  - 并union：关系并集
  - 差difference：关系差集
  - 交intersection：关系交集

关系数据库回顾

- E.F.Codd于70年代初提出关系代数理论，他因此获得1981年的ACM图灵奖
- 关系理论是建立在集合代数理论基础上的，有着坚实的数学基础
- 早期代表系统
  - System/R：由IBM研制
  - INGRES：由加州Berkeley分校研制
- 目前主流的关系数据库管理系统
  - Oracle，Informix，SQL Server，DB2
  - MySQL，PostgreSQL
  - Access，Foxpro，*Foxbase*

●关系模型：数据结构

- 单一的数据结构——关系
- 实体集、联系都表示成关系

DEPT(D# , DN , DEAN)

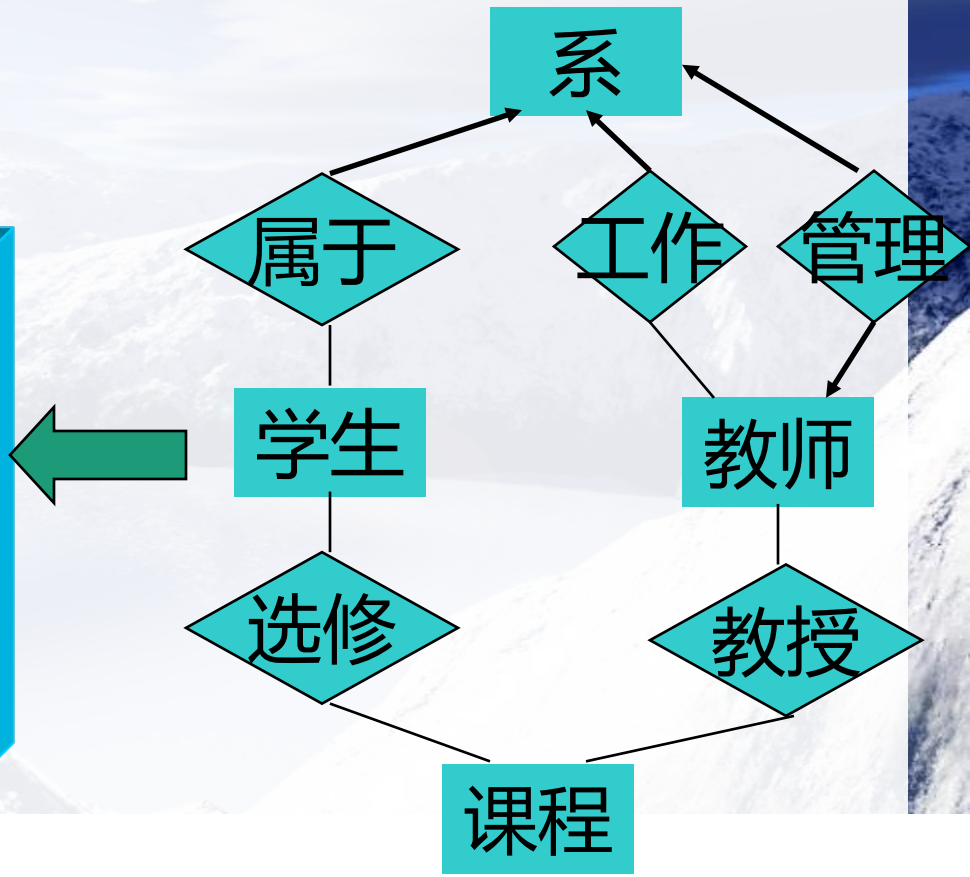
S(S# , SN , SEX , AGE , D#)

C(C# , CN , PC# , CREDIT)

SC(S# , C# , SCORE)

PROF(P# , PN, D# , SAL)

TEACH(P# , C#)



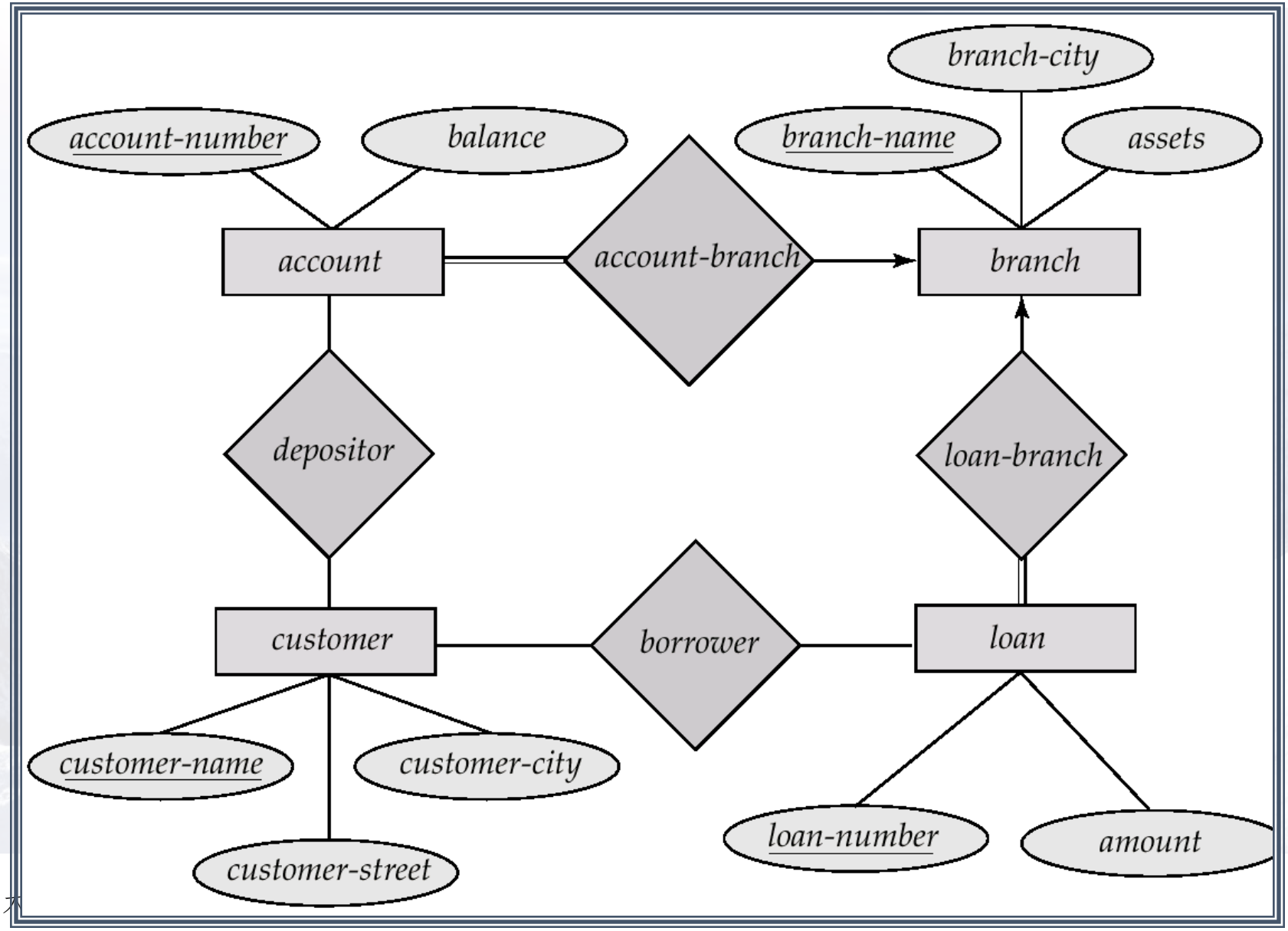
关系模型

- 候选码（Candidate Key）
  - 关系中的一个属性组，其值能唯一标识一个元组。若从属性组中去掉任何一个属性，它就不具有这一性质了，这样的属性组称作候选码
    - 如DEPT中的D#，DN都可作为候选码
  - 任何一个候选码中的属性称作主属性
    - 如SC中的S#，C#

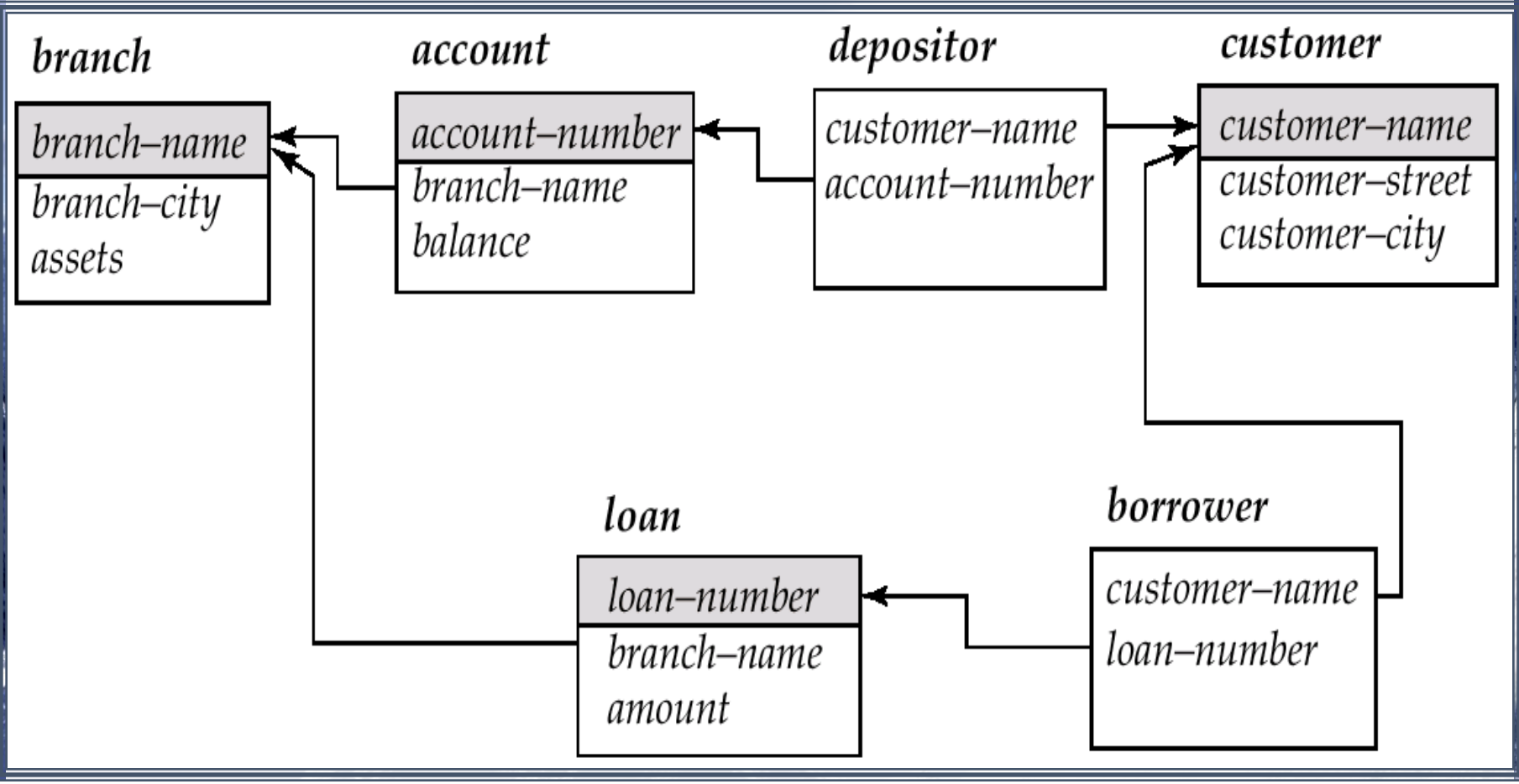
关系模型

- 主码（Primary Key）
  - 进行数据库设计时，从一个关系的多个候选码中选定一个作为主码
    - 如可选定D#作为DEPT的主码
- 外部码（Foreign Key）
  - 关系R中的一个属性组，它不是R的码，但它与另一个关系S的码相对应，则称这个属性组为R的外部码
    - 如S关系中的D#属性

关系模型（图）


branch-city
account-number
balance
branch-name
assets
account
account-branch
branch
depositor
loan-branch
customer
borrower
loan
customer-name
customer-city
customer-street
loan-number
amount

关系模型（图）


branch
branch–name
branch–city
assets
account
account–number
branch–name
balance
depositor
customer–name
account–number
customer
customer–name
customer–street
customer–city
loan
loan–number
branch–name
amount
borrower
customer–name
loan–number

关系模型：关系模式

- 关系的描述称作关系模式，包括关系名、关系中的属性名、属性向域的映象、属性间的数据依赖关系等，记作$R(A_1, A_2, \ldots, A_n)$
- 属性向域的映象一般直接说明为属性的类型、长度等
- 某一时刻对应某个关系模式的内容(元组的集合)称作关系
- 关系模式是型，是稳定的；关系是某一时刻的值，是随时间不断变化的

关系模型：关系数据库

- 其型是关系模式的集合，即数据库描述，称作数据库的内涵(Intension)
- 其值是某一时刻关系的集合，称作数据库的外延(Extension)

关系模型：关系操作

- 关系操作是集合操作，操作的对象及结果都是集合，是一次一集合（Set-at-a-time）的方式
  而非关系型的数据操作方式是一次一记录（Record-at-a-time）
- 关系操作可以用关系代数和关系演算两种方式来表示，它们是相互等价的
  如用关系代数来表示关系的操作，可以有选择、投影、连接、除、交、差、并等

关系模型：关系模式完整性

- 实体完整性
  - 关系的主码中的属性值不能为空值
  - 空值：不知道或无意义
  - 意义：关系对应到现实世界中的实体集，元组对应到实体，实体是相互可区分的，通过主码来唯一标识，若主码为空，则出现不可标识的实体，这是不容许的

关系模型：关系模式完整性

- 参照完整性
  - 如果关系R_2的外部码F_k与关系R_1的主码P_k相对应，则R_2中的每一个元组的F_k值或者等于R_1中某个元组的P_k值，或者为空值
  - 意义：如果关系R_2的某个元组t_2参照了关系R_1的某个元组t_1，则t_1必须存在
  - 例如关系S在D#上的取值有两种可能
    - 空值，表示该学生尚未分到任何系中
    - 若非空值，则必须是DEPT关系中某个元组的D#值，表示该学生不可能分到一个不存在的系中

关系模型：关系模式完整性

- 用户定义的完整性
  - 用户针对具体的应用环境定义的完整性约束条件
  - 如S#要求是8位整数，SEX要求取值为“男”或“女”
- 系统支持
  - 实体完整性和参照完整性由系统自动支持
  - 系统应提供定义和检验用户定义的完整性的机制

关系模型（例）

供应商关系S（主码是“供应商号”）

供应商号	供应商名	所在城市
B01	红星	北京
S10	宇宙	上海
T20	黎明	天津
Z01	立新	重庆

零件关系P（主码是“零件号”，外码是“供应商号”）

零件号	颜色	供应商号
010	红	B01
312	白	S10
201	蓝	T20

今要向关系P中插入新行，新行的值分别列出如下。哪些行能够插入？

A. （‘037’，‘绿’，null）
B. （null，‘黄’，‘T20’）
C. （‘201’，‘红’，‘T20’）
D. （‘105’，‘蓝’，‘B01’）
E. （‘101’，‘黄’，‘T11’）

关系数据语言基本概念

- 关系数据语言的特点
  - 一体化
    - 一般关系系统的数据语言都同时具有数据定义、数据操纵和数据控制语言，而不是分为几个语言。对象单一，都是关系，因此操作符也单一。而非关系型系统，如DBTG，有对记录的操作，有对系的操作
  - 非过程化
    - 用户只需提出“做什么”，无须说明“怎么做”，存取路径的选择和操作过程由系统自动完成
  - 面向集合的存取方式
    - 操作对象是一个或多个关系，结果是一个新的关系（一次一关系）。非关系系统是一次一记录的方式

抽象的查询语言

- 关系代数
  - 用对关系的运算来表达查询，需要指明所用操作
- 关系演算
  - 用谓词来表达查询，只需描述所需信息的特性
- 元组关系演算
  - 谓词变元的基本对象是元组变量
- 域关系演算
  - 谓词变元的基本对象是域变量

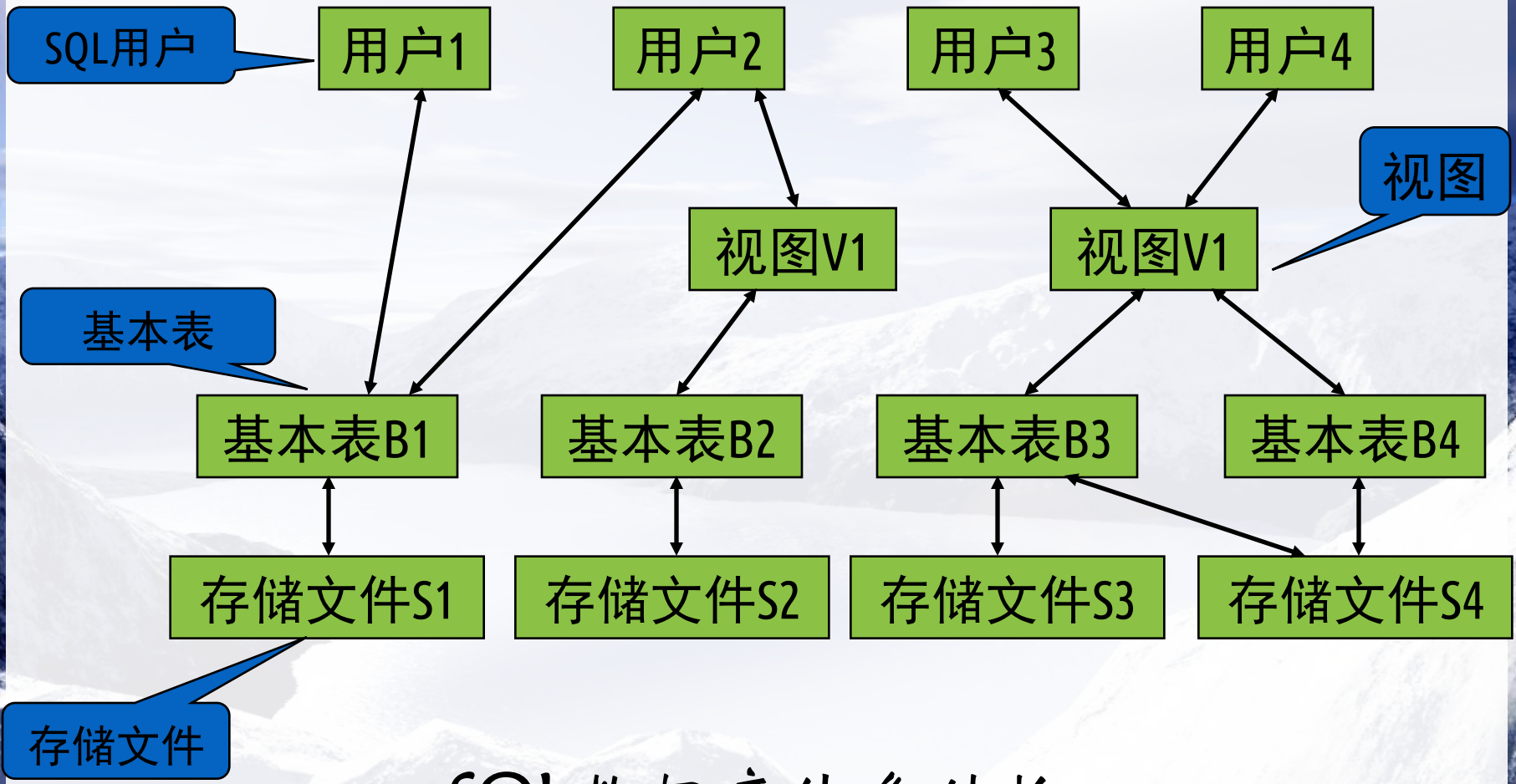
具体系统中的实际语言

- SQL（Structural Query Language）
  - 介于关系代数和关系演算之间，由IBM公司在研制System R时提出
- QUEL（QUEry Language）
  - 基于Codd提出的元组关系演算语言ALPHA，在INGRES上实现
- QBE（Query By Example）
  - 基于域关系演算，由IBM公司研制

SQL概述：历史

- SQL: Structured Query Language
- 1974年，由Boyce和Chamber提出
- 1975-1979年，在System R上实现，由IBM的San Jose研究室研制，称为Sequel

SQL概述（图）



SQL数据库体系结构

SQL概述-标准化

- 有关组织
  - ANSI(American National Standard Institute)
  - ISO(International Organization for Standardization)
- 有关标准
  - SQL-86
  - SQL-89：“具有完整性增强的数据库语言SQL”，增加了对完整性约束的支持
  - SQL-92：“数据库语言SQL”，是SQL-89的超集，增加了许多新特性，如新的数据类型，更丰富的数据操作，更强的完整性、安全性支持等。
  - SQL-3：最新标准，增加对面向对象模型的支持

SQL概述-特点

- 一体化
  - 集DDL，DQL，DML，DCL于一体
  - 单一的结构----关系，带来了数据操作符的统一
- 面向集合的操作方式set-at-a-time
  - 一次一集合，数据操纵的对象和结果都是集合
- 高度非过程化
  - 用户只需提出“做什么”，无须告诉“怎么做”，不必了解存取路径
  - 减轻用户负担，提高数据独立性

SQL概述-特点

- 两种使用方式，统一的语法结构
  - SQL既是自含式语言（用户使用），又是嵌入式语言（程序员使用）
- 语言简洁，易学易用
  - SQL语言完成数据定义、操纵、控制和查询的核心功能只用了9个动词
    - CREATE, DROP, ALTER, SELECT, INSERT, UPDATE, DELETE, GRANT, REVOKE
  - SQL语言语法简单，接近自然语言，容易学习和使用

SQL：数据定义语言DDL

- 数据定义的对象
  - 关系数据库的基本对象是基本表（table）
  - 并可以在基本表上定义视图（view）作为数据外模式
  - 定义索引（index）用于向系统*提示*多种存取路径，由系统自动选择，以加快查找速度。
  - （用户自定义数据类型）

SQL：数据定义语言DDL

操作对象	操作方式		
	创建	删除	修改
基本表Table	CREATE TABLE	DROP TABLE	ALTER TABLE
视图View	CREATE VIEW	DROP VIEW	
索引Index	CREATE INDEX	DROP INDEX	

SQL：数据定义语言DDL

- SQL中，任何时候都可以执行一个数据定义语句，随时修改数据库结构。
  - 而在非关系型的数据库系统中，必须在数据库的装入和使用前全部完成数据库的定义。若要修改已投入运行的数据库，则需停下一切数据库活动，把数据库卸出，修改数据库定义并重新编译，再按修改过的数据库结构重新装入数据
- 数据库定义随时修改
  - 不必一开始就完全合理
- 可进行增加索引、撤消索引的实验，检验其对查询效率的影响

SQL：数据查询语言DQL

- select语句基本结构
  - select $A_1, A_2, \ldots A_n$ --查询输出
    from $r_1, r_2, \ldots r_m$ --查询操作表
    where P --查询条件
- 与关系代数式的等价性

$$\prod_{A_1, A_2, \ldots, A_n}(\sigma_p(r_1 \times r_2 \times \ldots \times r_m))$$

- 示例：查询所有学生的姓名
  - select name from student

SQL：数据查询语言DQL

- 整个select语句的语义：
- 从from子句中指定的表名或者视图名所建立的连接关系中
- 按照where子句所指定的逻辑条件选取目标元组
- 再根据select子句所指定的目标列表达式，选出目标元组中的属性值形成结果关系输出

SQL：数据查询语言DQL

- group by <列名>{,<列名>} [having <条件表达式>]
  - 按照group by子句指定的分组属性列分组，每个组产生结果关系中的一条记录
  - 可以指定多个分组的属性列，而对于分组属性列以外的属性列，select子句中都需要作用以聚集函数才能输出
  - group by子句中的having子句则用来指定和聚集函数有关的输出条件，只有符合条件的分组记录才输出。

SQL：数据查询语言DQL

- order by <列名> [asc|desc]{,<列名> [asc|desc]}
  - 输出结果关系按照order by子句中指定的输出属性列来排序，可以依次指定多个排序属性列
- 条件表达式构成
  - 包含各属性列和运算函数，以及用于各种数据类型值的比较符
  - 用逻辑联结词（NOT、AND、OR）联结表达式项，形成更加复杂的复合条件

SQL：数据查询语言DQL

- 还提供了集合判定条件
- IN操作符判定一个值是否属于某个集合
- EXISTS操作符判定某个集合是否非空
- 而这里的集合都可以用显式枚举或者嵌套子查询来表示
  - where color in ('red', 'yellow', 'blue')
  - where exists(select id from part where color='red')

SQL：数据查询语言DQL

- 提供了一阶谓词的基本表达和支持
- 可以在集合前面加上ANY或者ALL的前缀，分别表示集合中的任意一个元素和所有元素，并可以参与各种比较运算符的比较
- 例：找出平均成绩最高的学生
  - select student_id
    from student_course
    group by student_id
    having avg(score) >= all (*select avg(score) from student_course group by student_id*)

SQL：数据查询语言DQL

- 提供了集合运算符
- 用于联结多个SELECT语句，进一步生成新的关系
- 这些集合运算符包括并运算UNION，交运算INTERSECT和差运算EXCEPT
- 例：求选修了001号课程但是没有选修002号的学生
  - (select student_id from student_course
    where course_no='001')
    except
    (select student_id from student_course
    where course_no='002')

SQL：数据查询语言DQL

- SELECT语句充分体现了SQL语言的特征
- 非过程化：仅需要指明查询结果所符合的条件，而不需要指定如何得到查询结果
- 面向集合：可以对整个元组集合进行操作，而不需要枚举和以某种次序遍历集合中的每个元组

SQL：数据操纵语言DML

- SQL语言中数据操纵语句包括：
- 插入INSERT
- 更新UPDATE
- 删除DELETE
- 用于数据库内数据的维护，这三个语句也是非过程化和面向集合的

SQL：数据控制语言DCL

- 关系数据库提供统一的数据控制功能
  - SQL语言提供了数据控制功能，能够在一定程度上保证数据库中数据的安全性、完整性，并提供了一定的并发控制及恢复能力
- 数据库的完整性
  - 数据库中数据的正确性和相容性
  - SQL语言定义完整性约束条件的语言成分主要体现在基本表、视图和索引的定义语句（CREATE TABLE/VIEW/INDEX）中，可以在表的定义中定义主码、外码、取值唯一和其它的属性列级和表级约束条件

SQL：数据控制语言DCL

- 数据库的安全性
- 保护数据库，防止不合法的使用所造成的数据泄漏和破坏。
- 数据库系统中保证数据安全性的主要措施是进行存取控制
  - 规定不同用户对于不同的数据对象所允许执行的操作，
  - 控制各用户只能存取有权存取的数据
- SQL语言提供了由DBA和数据对象所有者决定的权限定义和收回的手段（grant/revoke）
  - 权限的对象可以定义到数据库、基本表、视图或属性列上

SQL：数据控制语言DCL

- 并发控制和恢复：
- 当多个用户并发地对数据库进行操作的时候，对他们加以控制、协调，以保证并发操作能够正确按照每个用户的操作语义进行，并保持数据库的一致性
- 恢复则是在发生各种类型的故障和错误，数据库处于不一致状态时，将数据库恢复到一致的状态

SQL：数据控制语言DCL

- SQL语言提供了并发控制和恢复的功能
- 定义事务：begin transaction
- 事务的提交：commit work
- 事务的回滚：rollback work