ER 到关系模型转换中结构约束的隐式表示：基数保持分析

Dhammika Pieris

科学计算系

计算学院

斯里兰卡斯里贾亚瓦德纳普拉大学
dhammikapieris@sjp.ac.lk

1. 摘要

本研究考察概念模式中规定的结构约束在转换为逻辑模式后，在多大程度上得以表示。研究聚焦于概念到逻辑映射，将包含二元关系类型的实体–关系（ER）模型转换为关系数据库模式（RDS）。分析采用经典转换框架，其中逻辑模式仅由主键（PK）和外键（FK）约束定义。通过使用结构约束值可变的广义 ER 模型，对生成的 RDS 结构进行评估，以确定最小和最大参与约束能否得到明确表示。研究结果表明，对于一对一和一对多关系，关系数据库模式无法明确表达最小参与约束，且除少数情况外，无法编码精确的最大参与度。对于多对多关系，模式仅表明最大基数大于一，无法保持其精确值。这些结果阐明了标准 ER 到关系模型转换的表示能力局限，并对模式设计和约束实施具有启示意义。关键词：ER模型、关系模型、结构约束、保持

2. 引言

开展数据库开发工作时，通常会绘制概念模型，以捕捉并建模应用领域的用户需求。实体-联系（ER）模型（Chen，1976；Elmasri 等，2016）提供了丰富的图形构造，因而被广泛用于数据库开发过程中创建概念模型。

创建ER模型后，通常会将其转换为关系模型（Codd 1970）的关系数据库模式（RDS），以设计数据库。然而，ER模型中表示的大量信息在转换过程中往往会丢失（Cuadra *et al.*，2012；Krishna，2006），并且通常不会反映在关系数据库模式（RDS）中。例如，结构约束（Cuadra *et al.*，2012；Jumaily *et al.*，2004）、角色名称、复合属性、子类型/超类型层次结构（Goldstein*et al.*，1999）以及某些联系类型）（Pieris *et al.*，2020）通常会在转换过程中丢失。因此，就信息表示而言，生成的关系数据库模式（RDS）往往会与其源ER模型不一致。

3. 范围

本研究考察 ER 模型中表示的结构约束在多大程度上会被转换并表示在相应的关系数据库模式（RDS）中。本文分析了采用经典 ER 到关系模型转换方法时结构约束的表示情况，该方法仅使用主键和外键约束。研究旨在评估转换规则本身保留了哪些结构约束信息，而不考虑特定于DBMS的强制机制。

4. ER模型到关系模型的转换方法

将 ER 模式转换为关系数据库模式（RDS）的方法有多种（例如，Teorey等人（1986年）、Emalsri 和 Navathe（1989年），引自 Batini 等人（1992年）、Batini 等人（1992年）、Fahrner 等人（1995年）、Atzeni 等人（1999年）、Dey 等人（1999年）、Goldstein 等人（1999年）、Ramakrishnan等人（2002年）、Mannino（2007年）、Ricardo（2004年）、Ponniah（2007年）、Coronel 等人（2011年）以及 Hoffer等人（2013年）。如需了解将传统 ER 模型转换为关系模型的最新研究，可参阅 Grambow 于 2023 年发表的工作（Grambow 等人，2023年）。

有人认为，出于多种原因，Elmasri 等人提出的转换方法（2011年，第287-299页）是迄今提出的方法中最成功的一种，也是接受度最高、应用最广泛的方法。

5. 方法论

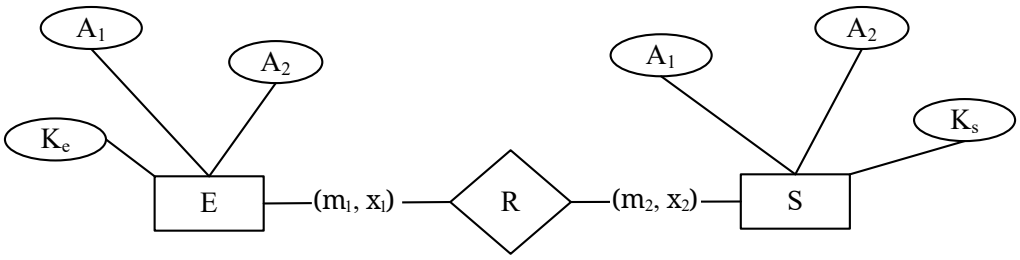
ER模型中包含的联系类型代表结构约束。一个二元关系类型可以包含四个结构约束值，分别成对地位于联系类型的两侧。通过分析关系数据库模式，判断其是否能明确表示这四个结构约束值。

为此，绘制了若干 ER模型图，每个图都包含两个常规实体类型之间的一种二元关系类型：一对一、一对多或多对多。对这些图进行转换后，将对生成的关系数据库模式进行深入分析，以提取四个结构约束值。随后，将关系数据库模式中结构约束值的表示程度与其在相应 ER模型中的实际表示进行比较，并指出关系数据库模式中未表示、缺失的值。

分析从一个广义 ER 模型开始，其中实体类型、属性、关系类型和结构约束值均以未知变量表示。考虑以下情形中的二元关系类型 R 。假设 E 和S 是具有简单属性的常规实体类型，使得 Attributes(E) $=\{K_e, A_1, A_2, \dots\}$ 且 Attributes(S) $=\{K_s, A_1, A_2, \dots\}$（图 1），其中$K_e$ 和K_s 分别是实体类型 E 和S的键属性。

请注意，为使记法尽可能简单，实体类型 E 和 S中的属性并未使用不同的符号，而是采用了记法相似的属性。例如，实体类型 E 的属性表示为 $A_1, A_2,\dots,$. 同样，实体类型 S 的属性也表示为 $A_1, A_2,\dots,$. 不过，由于它们属于不同的实体类型，因此被视为不同的属性。例如，E 中存在的属性 A_2应理解为 E 中的 A_2或 E的 A_2 。而 S 中出现的属性 A_2 应理解为 S 中的 A_2 ，或 S的 A_2 。E 中的属性 A_2 和 S 中的属性 A_2 被视为两个不同的属性。两个实体类型中的其余属性也应以同样的方式视为不同属性，正如属性 A_2 被认定为不同属性一样。

结构约束用方括号中的一对最小值和最大值表示。设最小值为 m，最大值为 x，则 E 与 R 之间的结构约束可表示为 (m_1, x_1)，S 与R 之间的结构约束可表示为 (m_2, x_2)，如下面的图 1 所示。



Fi图 1：具有变量形式结构约束值的二元关系类型 R

四个结构约束值：m_1、 x_1、 m_2和x_2，分别位于以下范围内：

$0 \leq m_1 \leq x_1$ 和 $x_1 \geq 1$ 和

$0 \leq m_2 \leq x_2$ 和 $x_2 \geq 1$

应用转换算法后，两个实体类型的转换结果如下。

$E[K_e, A_1, A_2, \ldots\ldots\ ]$

$S[K_s, A_1, A_2, \ldots\ldots\ ]$

因此，联系类型 R 尚未转换。

请注意，关系模式中已有的主键 K_e 和 K_s无需加下划线，因为字符 K 已表示“键”的含义。

针对联系类型 R 的转换，主要考虑三种情况。第一种情况 $Case\ 1$ 假设 R 为一对一关系类型。第二种情况 $Case\ 2$ 假设 R 为一对多关系类型，第三种情况 $Case\ 3$ 假设 R 为多对多关系类型。

情况 1：R 是一种一对一联系类型

在这种情况下，ER模型（图 1）中的所有最大值都必须为 1。因此，将创建一个新的ER模型，其最大值固定为 $x_1 = 1$ 和 $x_2 = 1$，如下方图2所示。

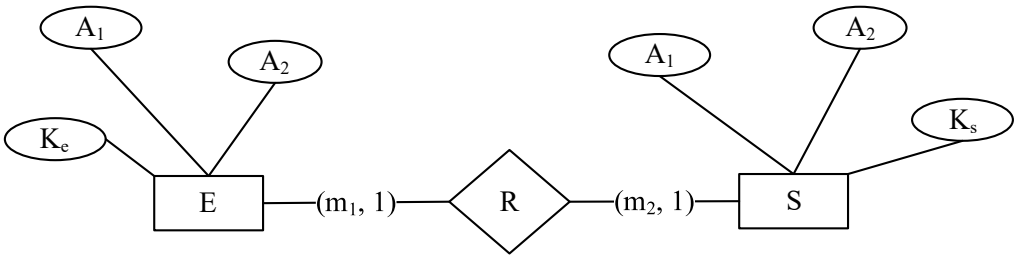


图2：　参与约束值可变的二元一对一联系类型　　m

然而，在这种情况下，最小值：m_1 和 m_2的取值范围为：$0 \le m_1 \le 1$ 和 $0 \le m_2 \le 1$。换句话说，m_1 和 m_2 各自都可以取 0 或 1。m_1 和m_2 可能的取值对如表1所示。

表1：图3.8所示 ER模型中 m_1 和 m_2 的可能取值

m_1	m_2
1	0
0	1
0	0
1	1

将分析 ER模型（图2）的关系数据库模式，其中表1的每一行都表示一组最小值。首先，将图2中的最小值：m_1 和 m_2 替换为表格第一行给出的固定值 $m_1 = 1$和 $m_2 = 0$。相应地，绘制出另一个 ER模型（图3）。

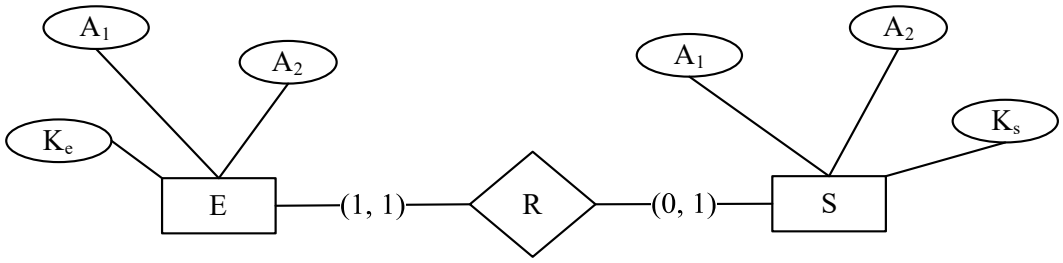


图3：实体类型 E 一侧的参与约束值为 1 的二元一对一关系类型

实体类型 E 通过联系类型 R 与实体类型 S 进行全参与。根据转换算法，在转换该联系类型时，关系模式 S 的主键 K_s 被作为外键纳入关系模式 E。

因此，ER模型（图3）的关系数据库模式如下所示。

$$E[K_e, A_1, A_2, \dots, K_s]$$

$$S[K_s, A_1, A_2, \dots]$$

图4：经转换算法转换后的图3中ER模型的关系数据库模式

联系类型 R 已通过外键 K_s 表示在关系数据库模式中，该外键包含在关系模式 E 中。

本文分析关系数据库模式，以确定其是否能够无歧义地表示 ER模型（图3）中的四个结构约束值：1、1、0、1。分析分为四个子情形，每种情形均假设关系数据库模式能够无歧义地表示相应的值，再通过分析关系数据库模式来判断该假设是否成立。

首先，$Case\ 1\ -\ A$ 假设关系数据库模式（RDS）表示 ER模型中联系类型 R 在实体类型 E 一侧出现的最大值 1。$Case\ 1\ -\ B$ 假设 RDS 表示 ER 模型中同一侧（实体类型 E 一侧）显示的最小值 1。$Case\ 1\ -\ C$ 假设 RDS 表示 ER模型中实体类型 S 一侧出现的最大值 1。最后，$Case\ 1\ -\ D$ 假设 RDS 表示 ER模型中同一侧（实体类型 S 一侧）出现的最小值 0。

首先，对于 $Case\ 1\ -\ A$，请考虑 RDS 的关系模式 E。关系模式 E 的主键必须非空，并且在其所有元组中唯一。换句话说，主键能够唯一标识关系模式 E 中的不同元组。

另一方面，关系模式的属性提供原子且不可分割的值——也就是说，对于某个特定元组，某个属性不会提供多个值。因此，元组不仅彼此不同，而且每个属性都只提供一个值。因此，一个元组只关联一个外键属性值。

关系模式 E 中包含的外键表示一种联系类型，该联系类型将 E 与 S 关联起来。因此，出现在特定元组中的外键值必须表示该联系类型的一个独立实例。因此，关系模式 E 的一个元组仅与该联系类型的一个实例相关联。

关系模式 E 的一个元组表示实体类型 E 的一个实例。因此，实体类型 E 的一个实例至多与外键所表示的联系类型的一个实例相关联。由此可知，关系模式 E 表示 ER模型中联系 R 位于实体类型 E 一侧的最大值 1。因此，$Case\ 1\ -A$ 假设成立。也就是说，关系数据库模式在相应的 ER模型（图3）中明确表示联系类型 R 位于实体类型 E 一侧的最大值 1。（这一结果称为 $Case\ -\ 1\ -\ A\ -$ 备注）

接下来，对于情况 $1\ -B$ ，再次考虑关系模式 E 。在关系模式 E 中，除其主键属性外的任何其他属性，在该关系模式的元组中都不一定非空或唯一。因此，某个特定的非主键属性可以在关系模式 E 的所有元组中均为非空，也可以仅在部分元组中为空，或者在不同元组中重复出现相同的值。作为非主键属性，该关系模式中的外键属性也可能有类似的表现。

现在，假设关系模式 E 中的外键属性对于关系模式 E 的某些元组为空。这意味着，属于关系模式 E 的此类元组未与外键所代表的联系类型的任何实例相关联。在这种情况下，关系模式 E 表明，其对应的关系数据库模式的 ER模型中，联系类型在实体类型 E 一侧的最小值为 0。这一结果推翻了情况 $1-B$ 的假设，即关系数据库模式表示 ER模型中实体类型 E 一侧所示的最小值 1。因此可以得出结论：关系数据库模式并未明确表示其对应 ER模型（图3）中实体类型 E 一侧所表示的最小值 1。（这一结果称为情况$1-B$ 备注。）

接下来，对于情况 $1-C$，再次考虑图3中的关系数据库模式。假设关系模式 S 的每个元组中的每个主键值，都作为外键值包含在关系模式 E 的元组中。然而，假设关系模式 E 的某些元组中有些外键值重复出现。

关系模式 S 中的一个主键值被包含在关系模式 E 中，并作为外键使用，表示一种将 S 与 E 联系起来的联系类型。假设这样的外键值在关系模式 E 的某些元组中重复出现。在这种情况下，这表明关系模式 S 中的一个元组与该外键所代表的联系类型的多个实例相关联。假设某个重复的外键值对应着此类重复出现的最大数量——n（$n > 1$），例如。

在这种情况下，关系模式 S 的一个元组通过该联系类型参与关系模式 E 的元组的最大参与度为 n（$n > 1$）。相应地，关系模式 S 所对应实体类型（ER模型中的实体类型 S）的一个实例，与关系模式 E 所对应实体类型（ER模型中的实体类型 E ）的实例之间的最大参与度为 n（$n > 1$）。这意味着，在 ER模型中，实体类型 S 一侧在联系 R 上出现的最大值为 n（$n > 1$），而不是 1。此推导与假设 情况 $1-C$ 相矛盾。

因此，可以得出结论：关系数据库模式无法明确表示相应 ER模型（图3）中位于实体类型 S 一侧的联系类型 R 的实际最大值 1。（这一结果称为 $Case\ 1-C-$ 备注）

接下来，对于 情况 $1-D$，考虑再次查看图3中的关系数据库模式。当 关系模式 S的主键包含在关系模式E中作为外键时，关系模式 S 中每个元组的主键值，

可以包含在关系模式 E 的一个元组中。在这种情况下，关系模式 S 的每个元组都关联至少一个由该外键所表示的联系类型实例。

关系模式 E 表明，实体类型 S 参与该联系类型的最小次数为 1。因此，在这种情况下，关系模式 E 表明，在 ER模型中，该联系类型位于实体类型 S一侧的最小值为 1。这一结果与 $Case\ 1\ -\ D$ 的假设相矛盾；也就是说，关系数据库模式表示 ER模型中联系类型 R 位于实体类型S一侧的最小值 0。

因此，可以得出结论：关系数据库模式无法明确表示相应 ER模型（图3）中联系类型 R位于实体类型 S一侧的实际最小值 0（这一结果称为情况 *1 - D* - 备注）。

总之，图3中的关系数据库模式仅表示其对应 ER模型（图3）中，该联系类型 R 位于实体类型 E一侧的结构约束的最大值 1（情况 *1 - A* - 备注）。然而，它并未表示其他三个结构约束值中的任何一个，即

- 最小值 1 (情况 *1 – B* - 备注) 位于联系类型 R 的实体类型 E 一侧，

- 下一个最大值 1 (情况 *1 – C* - 备注) 位于 ER模型图3中联系类型 R 的实体类型 S 一侧。

- 下一个最小值 0（情况 *1 – D* - 备注）位于图3中 ER模型上联系类型 R 的实体类型 S 一侧。

上述结果是针对上方表1第一行中表示的最小值 $m_1 = 1$ 和 $m_2 = 0$ 得出的。

考虑下方图4中的ER模型，对表3.2第二行给出的下一组固定最小值$m_1 = 0$ 和$m_2 = 1$ 重复测试。

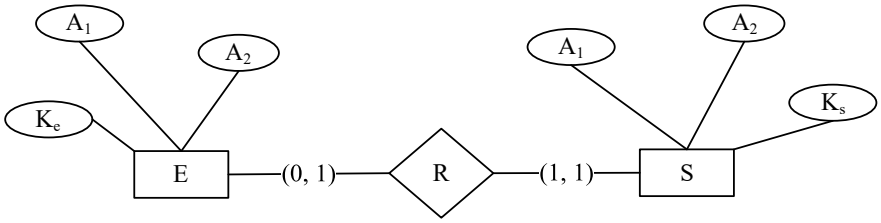


图5：一种二元一对一关系类型，其中实体类型S一侧的参与约束值为1

在ER模型（图5）中，实体类型S 通过联系类型R与实体类型E 全参与。联系类型R 是一对一关系类型。现有转换算法的步骤3对其进行转换，并将关系模式E 的主键K_e作为外键纳入关系模式S。

考虑转换后得到的ER模型（图5）的关系数据库模式（图6）。

$$E[K_e, A_1, A_2, \dots]$$

$$S[K_s, A_1, A_2, \dots, K_e]$$

图6：现有算法转换后的图5中ER模型的关系数据库模式

联系类型 R 已通过外键 K_e 表示在关系数据库模式中，该外键包含于关系模式 S 中。

我们认为，图6中的关系数据库模式在结构上与上文图4中的关系数据库模式相同。唯一的区别在于关系模式、主键和外键的名称。例如，在先前的关系数据库模式（图4中的关系数据库模式）中，包含外键的关系模式名为 E，包含的外键名为 K_S。然而，在当前的关系数据库模式中，包含外键的关系模式名为 S，包含的外键名为 K_e。

假设针对当前关系数据库模式（图6）进行与前一个关系数据库模式（图4）相同的分析，那么可以认为，关于当前关系数据库模式对相应 ER模型（图5）中所表示的结构约束的表达程度，可以得出与前一个关系数据库模式（图4）相同的结论。因此，可以得出以下结论。

关系数据库模式（图6）仅表示 ER模型（图5）中联系类型 R 的 S 实体类型一侧的结构约束最大值 1。然而，它没有表示另外三个结构约束值，即

- 联系类型一侧的 S 实体类型的最小值 1 R,
- ER模型（图5）中联系类型 R 的 E 实体类型一侧的下一个最大值 1。

- 下一个最小值 0 位于联系类型 R 的实体类型 E 一侧。

本研究发现，如果将表1的3rd 行和4th 行中的值替换为ER模型结构约束的最小值（m_1 和 m_2），并将此分析扩展到图2所示ER模型的另外两个版本，也能得出相同的结果。

因此，总而言之，假设在一个关系数据库模式中，关系模式E包含另一个关系模式S的主键作为外键，用以表示相应ER模型（例如图2）中实体类型E与S之间存在的二元一对一关系类型R。在这种情况下，关系模式E仅表示ER模型中联系类型R位于实体类型E一侧的值1（例如图2中的$x_1 = 1$）。它并不表示ER模型中的其他三个值：即两个最小值（例如图2中的m_1、m_2）以及剩余的最大值（例如图2中的$x_2 = 1$），无论m_1和m_2在各自取值范围内可能取何值（如表1所示）。

案例2：R 是一对多联系类型

在这种情况下，图 1 中 ER模型的一个最大值必须为 1，例如 $x_1 = 1$；而另一个最大值必须大于 1，例如 $x_2 > 1$，如图 7 所示的 ER模型。

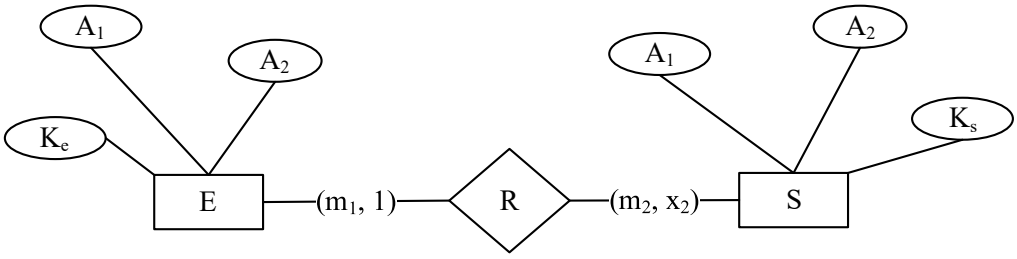


图7：存在于两个常规实体类型 E 和 S之间的二元一对多关系类型 R。

其余结构约束值：m_1、m_2，取值范围为：

$0 \leq m_1 \leq 1$ 和

$0 \leq m_2 \leq x_2$ 和 $x_2 > 1$

m_1 和m_2 的可能取值如表2所示。

表2：图7中的ER模型里m_1 和m_2 可能取的值

m_1	m_2
1	0
0	1
0	0
1	1
1	n, n > 1
0	n, n > 1

表2列出了ER模型（图7）中联系类型R 的结构约束对应的六组最小值（也称参与约束值）。

ER模型的关系数据库模式（图7）将根据表2各行所示的最小值进行分析。首先，绘制另一个ER模型（下方的图8），将图7中的ER模型里的最小值 m_1 和 m_2替换为表2第一行给出的固定值。

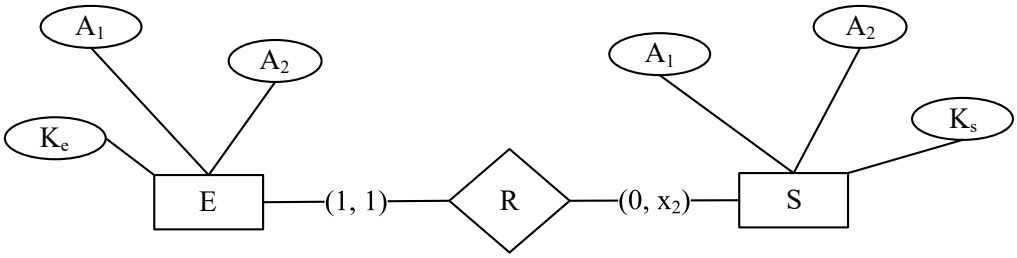


图8：二　　元常规实体类型 R 之间存在的一对多关系类型：E 和S　　.

实体类型 E 通过联系类型R与实体类型 S 保持全参与。转换后，关系模式 S的主键 K_s作为外键纳入关系模式 E。

因此，ER模型（图8）的关系数据库模式可表示如下　　.

$$E[K_e, A_1, A_2, \dots, K_s]$$

$$S[K_s, A_1, A_2, \dots]$$

图 9：图8中ER模型的关系数据库模式

该联系类型 R 在关系数据库模式中由外键 K_s表示，该外键包含在关系模式 E中。

人们认为，图 9 中的关系数据库模式与通过转换图3中的 ER模型而创建的图4中的关系数据库模式相同；该 ER模型包含两个实体类型之间的一对一关系类型。就名称及其在关系数据库模式中的位置而言，图 9 中关系数据库模式的关系模式、主键和外键与图4中的关系数据库模式相同。

假设对当前的关系数据库模式（图 9）进行与先前关系数据库模式（图4）相同的分析，那么，针对当前关系数据库模式（图 9）相对于其对应 ER模型（图 8）所表示的结构约束的表示程度，可以得出与先前关系数据库模式（图4）相同的结论。

由此可以得出以下结论：关系数据库模式（图 9）仅表示相应 ER模型（图 8）中，联系类型 R 附近、实体类型 E 一侧的结构约束最大值 1。然而，它没有表示另外三个结构约束值，即

- 联系类型 R附近、实体类型 E 一侧的最小值 1，
- 图 8 的 ER模型中，联系类型 R附近、实体类型 S 一侧的另一个最大值 $x_2 > 1$，以及
- 联系类型 R附近、实体类型 S 一侧的另一个最小值 0。

本研究发现，如果将对该关系数据库模式的分析扩展到图7中绘制的 ER模型的另外五种版本，并将表2中3rd、 4th、5th、 6th和7th 行的值替换为 ER模型结构约束的最小值 m_1 和m_2，也可以得出相同的结果。

总之，假设在一个关系数据库模式中，关系模式E包含另一个关系模式S'的主键作为外键，用以表示ER模型上存在的一种二元一对多关系类型R （例如图8）。关系类型R 存在于相应的实体类型E 和S之间。在这种情况下，关系模式E 仅表示ER模型中联系类型R 位于实体类型E一侧的值1（例如图8中的$x_1 = 1$）。它并不表示其他三个值中的任何一个：也就是说，两个最小值（例如图8中的m_1、 m_2）以及剩余的

最大值（例如图8中的$x_2 > 1$），无论m_1、 m_2 在各自取值范围内可能取何值（如表2所示）。

案例3：R 是多对多联系类型

考虑图10所示 ER模型中的多对多联系类型 R。在二元多对多联系类型中，两个最大值都大于 1（$x_1 = n$、$(n > 1)$ 和 $x_2 = q$、$(q > 1)$）。

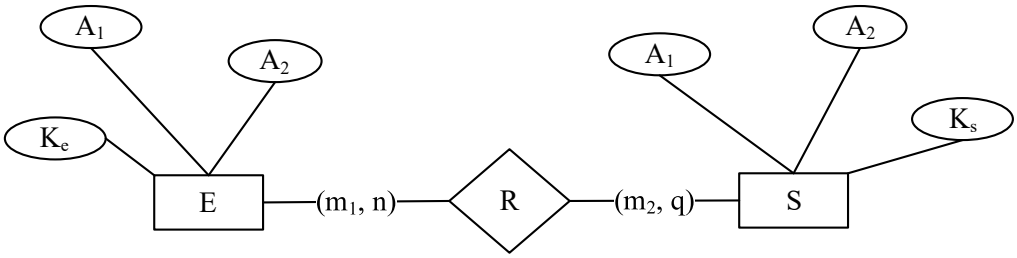


图 10：存在于两个常规实体类型 E 和 S 之间的二元多对多联系类型 R

根据转换算法，为转换联系类型 R，将创建一个名为 R 的新关系模式。关系模式 E 和 S 的主键 K_e 和 K_s 将作为外键包含在R 中。这两个键属性组合起来，构成新关系模式 R 的主键。

$R[K_e, K_s]$

因此，ER模型的完整关系数据库模式（图10）如下。

$$E[K_e, A_1, A_2, \dots]$$

$$S[K_s, A_1, A_2, \dots]$$

$$R\,[K_e, K_s]$$

关系模式 R 对 ER模型 中 n 和 q 的所有取值都保持不变。因此，关系模式 R 仅表示该联系类型 R 的两个 max 值必须大于 1，即 $(n > 1)$ 和 $(q > 1)$。

它并未指出 max 基数值的确切取值（即 n 和 q的值）。对于所有 min 基数值，关系模式 R也保持不变——例如，m_1 =0 和 m_2 = 0、m_1 = 0 和 m_2 = 1、m_1 =1 和 m_2 = 0，或 m_1 = 1 和 m_2 = 1。因此，关系模式 R 并未表示min 基数值。

6. 结果与结论

下文总结了相应 ER模型中表示的一对一、一对多和多对多联系类型的结构约束在关系数据库模式中的表示层级：

(i). 一对一关系类型：

四个结构约束值中，只有一个最大值为 1 的值有所表示，其余三个值均未表示。例如，实体类型一侧存在的最大值 1（如图3.8中的 $x_1 = 1$），其关系模式中包含一个作为外键的主键；这一点在关系数据库模式中由相同的关系模式表示。然而，其余三个值（如图2中的 m_1、 m_2和 $x_2 = 1$）均未表示。

(ii). 一对多关系类型：

与一对一关系类型类似，在这种情况下也只表示了四个结构约束值中的一个，即最大值 1。其余三个值均未表示。例如，实体类型一侧存在的最大值 1（$x_1 = 1$）（如图7所示），

以及其中将主键作为外键包含在内的关系模式，在关系数据库模式中均由同一个关系模式表示。然而，其余三个值（如图7中的 m_1、 m_2 和 x_2 ）均未表示。

(iii). 多对多关系类型：

两个最大值均大于一这一事实，通过相应关系数据库模式中的新关系模式本身来表示。尽管如此，最大值的具体数值并未表示出来。此外，最小值均未表示（例如图10中的 m_1 和 m_2 ）。

上述分析首次能够准确揭示：ER模型中与二元关系类型相关联的结构约束值，哪些可以转换并在关系数据库模式中表示。

需要找到一种方法，将现有方法无法转换的值表示在关系数据库模式中。不过，寻找解决方法时不应损害关系数据库模式现有的格式和规则。如果能够找到这样的方法，下一步就是修改现有算法，使其适用于该方法。

7. 参考文献

Atzeni, P.等（1999）。《数据库系统：概念、语言与体系结构》伦敦：麦格劳-希尔。Batini, C.等（1992）。概念数据库设计：实体-关系方法：Benjamin-Cummings Publishing Co., Inc.，美国加利福尼亚州雷德伍德城 ©1992。Chen, P. P. S.（1976）。实体-关系模型：迈向数据的统一视图。《*ACM*数据库系统汇刊》，*1*（1），9-36。doi:10.1145/320434.320440 Coronel, C.等（2011）。《数据库系统：设计、实现与管理》：Course Technology Cengage Learning。

Cuadra, D.等（2012）。二元和三元关系中复杂基数约束的表示指南。软件与系统建模，1-19。doi:10.1007/s10270-012-0234-3 Dey, D.等（1999）。通过关系分析改进数据库设计。*ACM*数据库系统汇刊（*TODS*），*24*（4），453-486。Elmasri, R.等（2011）。数据库系统基础。纽约：Addison Wesley。Elmasri, R.等（2016）。数据库系统基础（第7版）。德里：培生。Fahrner, C.等（1995）。基于实体-关系模型的数据库设计转换综述。数据与知识工程，*15*（3），213-250。Goldstein, R. C.等（1999）。数据抽象：为何以及如何？数据与知识工程，*29*（3），293-311。Grambow, G.等（2023年）。将实体-关系模型转换为关系模型的实用自动化方法。论文发表于西班牙巴塞罗那举行的第十五届数据库、知识与数据应用进展国际会议。Hoffer, J. A.等（2013年）。现代数据库管理（第11版）。美国波士顿：培生。Jumaily等（2004年）。应用模糊方法放宽基数约束。载于F. Galindo、Takizawa, M.、Traunmüller, R（编），数据库与专家系统应用（第3180卷，第654-662页）：施普林格，柏林、海德堡。Krishna, M.（2006年）。通过映射到资源描述框架，在关系数据库中保留语义。网络智能与智能体技术研讨会（*WI-IAT*）论文集，303-306。doi:10.1109/WI-IATW.2006.114 Mannino, M. V.（2007年）。数据库设计、应用程序开发与管理：麦格劳-希尔，纽约。Pieris, D.等（2020年）。ER模型分区：迈向可信自动化系统开发。《国际高级计算机科学与应用杂志》（*IJACSA*），*11*（6）。doi:10.14569/IJACSA.2020.0110638 Ponniah, P.（2007年）。数据建模基础：*IT*专业人员实用指南：Wiley-Blackwell。Ramakrishnan, R.等（2002年）。数据库管理系统（第2版）。美国马萨诸塞州波士顿：麦格劳-希尔。Ricardo, C. M.（2004年）。数据库概论（第1版）。伦敦：琼斯与巴特利特。Teorey, T. J.等（1986年）。采用扩展实体-关系模型的关系数据库逻辑设计方法。《*ACM*计算调查》，*18*（2），197-222。doi:10.1145/7474.7475