

doi: 10.7690/bgzd.2018.09.016

## 数据模型在环境模拟试验测控系统的应用

李 剑<sup>1</sup>, 赵小虎<sup>1</sup>, 时志国<sup>2</sup>, 刘旺开<sup>1</sup>

(1. 北京航空航天大学航空科学与工程学院, 北京 100191; 2. 北京富安时科技有限公司, 北京 100083)

**摘要:** 为了解决环境模拟试验内容多样化给测控软件通用性带来的问题, 通过引入数据模型的概念, 参考环境模拟试验测控系统的本身性质和内容, 对测控系统的元素进行分析, 建立初步的概念模型, 并在此基础上进一步建立关系数据模型。最终将设计好的模型以数据库的形式存储为程序的配置文件, 使用户能够通过更改数据库来实现程序针对不同试验配置的更改, 从而提升程序的通用性以及后期维护性。以环控引气双发动态模拟试验台测控系统为例, 使用数据模型进行数据库的建立并调用, 并直观地显示了数据模型的内容, 证明了数据模型可以缩短试验准备的时间, 极大地增强了测控软件的性能。目前依托此数据模型开发出的模拟试验测控系统已经在若干研究所投入使用。

**关键词:** 数据模型; 测控系统; 概念模型; 关系模型

**中图分类号:** TP311.1 **文献标志码:** A

## Application of Data Model in Measurement and Control System of Environmental Simulation Test

Li Jian<sup>1</sup>, Zhao Xiaohu<sup>1</sup>, Shi Zhiguo<sup>2</sup>, Liu Wangkai<sup>1</sup>

(1. School of Aeronautic Science & Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;

2. Beijing Fuanshi Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to solve the generality problems of the measure and control system caused by the diversity of the environment simulation test, this article introduces the concept of data model. Referring to property and content of the environment simulation test, the paper analyses the elements of the measure and control system and builds a conceptual model based on the analysis. Then on this basis, the relational data model is further established. Finally, the designed model is stored as the configuration file of the program in the form of a database, which can make system achieve the different test configurations by changing database, which can enhance the versatility and the later maintenance of the program. This paper takes “the environmental control and twin-engine bleed air dynamic simulation test system” as an example, uses the data model for database creation and invokes the database to display the content of the data model intuitively, which proves that the data model can shorten the time of test preparation and greatly enhance the performance of measurement and control software. At present, the simulation test control system based on this data model has been put into use in several research institutes.

**Keywords:** data model; measure and control system; conceptual model; relation model

### 0 引言

环境模拟试验是通过结合相关的环境试验技术以及环境模拟设备, 并在此基础上发展而来的技术手段。其主要的研究方向是在地面常规的环境条件下搭建相应的环境模拟舱室, 结合控制机构来实现非常规环境模拟的功能, 从而可以在多种无法在自然条件下获得的环境条件中进行相关试验<sup>[1]</sup>。

在试验进行的过程中, 研究人员通过测控软件可以对环境模拟的相关参数(如温度, 压力等)进行测量与控制, 从而保证最终的环境模拟效果, 确保试验顺利进行。

随着人类社会的进步与科学技术的发展, 需要模拟的环境情况不断变多, 试验过程中的配置和要求也就变得越来越多样化。不同的环境需要控制不同的参数, 而且这些参数往往不止一个, 这就对试验所用的测控软件提出了新的要求。

笔者基于数据库原理, 通过建立一个统一的对象-关系数据模型, 将真正的数据处理转移在数据库中进行。用户可以根据需要通过更改数据库, 来实现程序针对不同试验配置的更改, 从而提高程序的通用性和后期维护性。

收稿日期: 2018-06-17; 修回日期: 2018-06-29

作者简介: 李 剑(1993—), 男, 天津人, 硕士, 从事计算机测量与控制研究。

### 1 数据模型的引入

数据模型 (data model) 是人们为了让计算机更好地处理现实世界中的事物, 对现实世界数据的特征做出抽象的工具。数据模型多被用来描述数据、组织数据, 并且可以对数据进行操作, 是数据库系统的核心和基础<sup>[2]</sup>。

环境模拟试验所使用的测控系统本身就是一个拥有大量数据信息的复杂系统。尽管随着试验的变化, 不同的测控系统也有着不同的需求, 但是构成系统的这些数据信息之间还是存在很大的共性。

设计一个能容纳这些共性的统一的数据模型, 可以提高测控软件的可重用性和可维护性, 为新系统的开发提供极大的便利。

### 2 数据模型的建立

#### 2.1 概念模型的建立

##### 2.1.1 测控系统元素分析

要建立具体数据模型, 概念模型是基础。概念模型也称作信息模型, 是设计人员根据测控系统实际的客观需求, 从用户观点对有用的数据信息进行抽象并建立起来的模型。

笔者为了对测控系统进行抽象, 首先考虑有哪些元素以及这些元素之间的联系。

测控系统最基本的任务是测量和控制, 含有测量值与控制量 2 个元素。为了实现测量和控制的过程, 需要传感器以及执行器这 2 个元素: 传感器用来测量数值, 执行器用来执行控制命令。

在系统的最上位主控机和这些位于最下位的现场元器件之间很显然有一道桥梁。通常来说这座桥梁由电脑中的各种采集板卡和连接在电脑上的智能控制仪表组成。这些设备也是测控系统中的主要元素之一。

在一个测控系统中最被用户关注的往往是整个系统的控制回路, 回路中含有控制算法, 系统会根据采集来的数据利用控制算法得到下一步的控制命令。因此控制回路连接的是测量值与控制量 2 个部分。

除此之外, 考虑到实际的使用情况, 往往还需要对测控系统进行如下功能扩充。

很多情况下, 系统采集来的测量值并非直接由现场传来, 而是通过网络通信从其他电脑获得, 也有可能是通过公式计算出转换的结果。因此测量值往往会和网络值、公式计算这 2 部分的值有关。同

样, 试验过程中人们往往会要求一个控制量按照事先规定好的曲线变化, 因此控制量有时会与曲线信息这一元素相关联。

一般来说, 系统需要对某个被控参数进行控制时, 会向现场相应的设备发送控制量来改变设备的工作状态, 实现对被控参数的控制。比如当被控设备是一个阀门的时候, 系统发送的控制量就会改变其开闭状态。出于安全考虑, 这种状态的改变一般会有一个报警线, 因此设备这一项会关联有报警和开关量这 2 个元素。

最后, 从 UI 功能来考虑, 在测控系统流程图的显示界面上, 一半会动态显示数据窗口以及测量值、阀门开闭情况和流向线等内容。通过数据窗口与测量值建立的联系, 可以将测量值显示在窗口中。为了让加热器能够显示其通断状况以及相关测量值, 应该和控制回路和测量值等元素建立联系。阀门一般由控制回路来控制, 因此阀门需要关联控制回路这一元素。流向线的判断则基于对测量值的逻辑运算, 因此会和测量值建立联系。最后, 为了使测控系统能实现多流程图切换显示, 应该将流程图和数据窗口、测量值、阀门及流向线 4 者联系起来。

综上所述, 在经过总结和扩充之后, 测控系统所包含的元素以及各个元素之间的关系可以表示成如图 1 所示的情况。

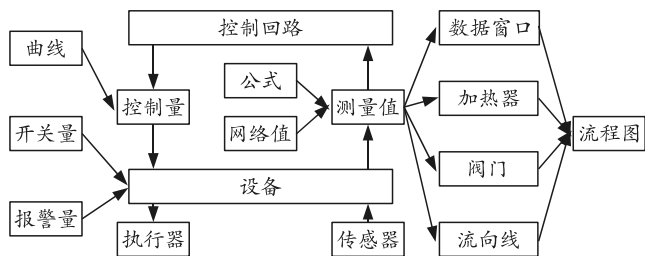


图 1 测控系统包含的元素及其联系情况

这里列举出了测控系统中常见的主要元素及其之间的联系, 并未体现其共性, 为了建立概念模型, 仍需要将其中的一些元素做分类总结, 并归纳出其中的共性作为该元素的属性。

##### 2.1.2 建立概念模型

在概念模型的建立过程中, 常使用 E-R 图来描述现实的抽象情况, 笔者同样使用 E-R 图来总结分类上面提到的元素实体以及其具有的属性。

1) 仪表信息: E-R 图如图 2 所示, 包含有索引、仪表所接的串口号、区分不同仪表的地址以及仪表自身的种类 4 种属性。

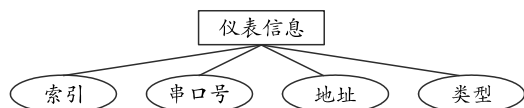


图 2 仪表信息 E-R 图

2) 模拟量输入信息 AD: 模拟量输入需要通过板卡采集, 为此需要制定板卡号以及采集变量对应的板卡通道。由于工业控制中从现场采集来的信号多为 1~5 V 或 4~20 mA 的标准电压电流信号, 因此需要按照下式进行转换:

$$v = L + \frac{H - L}{5 - 1} \times V + \delta \quad (1)$$

其中:  $v$  为最终测量值;  $H$  和  $L$  为测量值上下限;  $V$  为采集电压;  $\delta$  为偏移量。

从式(1)可以看到, 模拟量输入的共有属性还有计算所需的采集传感器上下限和偏移量。其 E-R 图如图 3 所示。

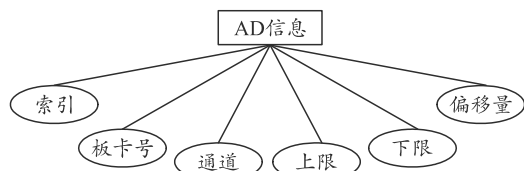


图 3 AD 信息 E-R 图

3) 模拟量输出信息 DA: E-R 图如图 4, 由于同样使用板卡, 因此也含有板卡号和通道 2 个属性, 但因为是直接输出, 不需要进行变换。



图 4 DA 信息 E-R 图

4) 数字量输入信息 DI: E-R 图如图 5, 通过板卡采集, 具有板卡采集带来的属性。由于数字信号只有 1 和 0 2 种, 因此不需要变换。



图 5 DI 信息 E-R 图

5) 数字量输出信息 DO: E-R 图如图 6。主要用来开关某路控制设备。通过板卡进行, 因此带有板卡号和通道这 2 个属性。



图 6 DO 信息 E-R 图

6) 计算公式信息: 监控变量中的一些变量并非通过直接采集, 而是通过其他监控变量值经过公式

计算间接得到。由于一些变量需要使用到不同的公式, 因此首先需要提供公式的名称和表达式。另外, 由于不同的公式参数也不同, 需要另外建立公式参数信息表, 在其中指定不同的参数位于哪个公式以及其关联的监控变量。计算公式信息及参数信息 E-R 图如图 7 所示。

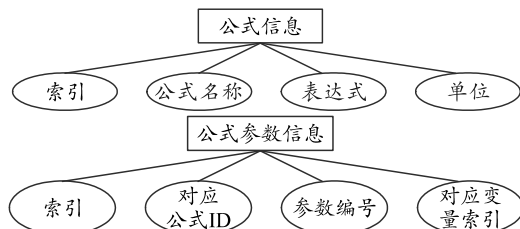


图 7 计算公式信息以及公式参数表信息 E-R 图

7) 监控变量信息: 首先包含有名称、代号、单位和数据类型等测点的一些自身属性, 以及这些变量的采集来源, 一般来说包含有串口、AD、公式计算以及该控制回路的设定 4 种; 另外还要考虑这些变量数据是否需要存储以及报警。其次是变量的数据来自何处; 然后就是变量数据是否需要存储和报警, 如果要报警的话, 就要加入相应的报警上下限, 滞后带和报警标示。其 E-R 图如图 8 所示。

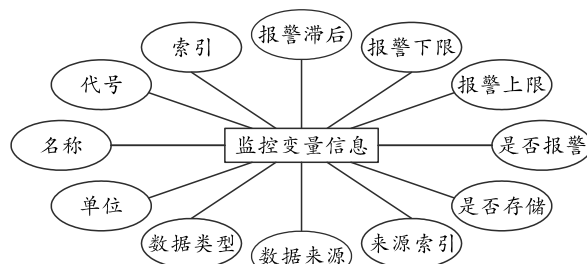


图 8 监控变量信息 E-R 图

8) 控制回路信息: 对于单回路控制器来说, 1 个控制器控制 1 个设备。回路的名称和控制方式作为基本信息应包含在内。控制方式一般有仪表控制和 DA 板控制 2 种。仪表控制方式计算机只参与管理, 发送控制命令, 控制输出的计算由仪表完成, 控制驱动器工作。DA 板控制需要由计算机来计算控制输出, 直接控制驱动器工作。一个特定的控制回路需要指定与之关联的控制设备索引。另外, 为了让流程图动画监控中需要显示现场控制设备的开关状态, 信息中还要包含此回路的 DI 信息索引。控制回路信息 E-R 图如图 9 所示。

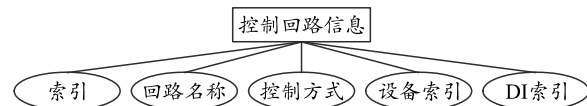


图 9 控制回路信息 E-R 图

至此得到一个基本测控系统的全部概念模型。

### 2.2 关系模型的设计

在建立数据模型的过程中，概念模型的建立是通过抽象现实事物，从用户的观点对数据和信息建模。为了让计算机系统能够理解，需要以计算机系统的观点建立逻辑数据模型，以实现数据库对数据的管理。

在常见的逻辑模型中，由于关系模型建立在严格的数学概念基础上，数据结构简单、清晰，用户易懂易用，具有较高的数据独立性和安全保密性，开发工作也相对简单，笔者最终选择建立关系模型。

基于关系模型建立的关系数据库，不同的实体之间都存在一定的关系。系统试验信息数据的设计就是所有实体之间关系的集合。

数据的完整性是指数据库的数据在逻辑上的一致性和准确性。关系模型中有 3 类完整性约束：实体完整性、参照完整性和用户定义的完整性<sup>[3]</sup>。

实体完整性又称为行的完整性，要求表中有 1 个主键，其值不能为空且能唯一地表示对应的记录。将实体的某一属性定义为主键，那么在输入数据时，不能有相同属性值的行记录存在。测控系统定义的所有数据实体的索引均为实体的主键。

参照完整性又称为引用完整性。参照完整性是保证主表(被参照表)中的数据与从表(参照表)中的数据的一致性。参照完整性的实现是通过定义外键与主键之间或外键与唯一键之间的对应关系实现。参照完整性保证键值在所有表中一致。

针对实际的测控系统建立数据库的时候，在监控变量表中定义来源索引这一项为外键，用数据来源信息表作为参照；而在控制回路信息表中则定义 DI 和控制设备这 2 个索引为 2 个外键，对应地参照 DI 和控制设备的信息表；在公式参数信息表中，定义公式 ID 和对应监控变量索引为 2 个外键，把公式信息表和监控变量信息表作为参照。

如果定义了 2 个表之间的参照完整性，则要求：1) 从表不能引用不存在的键值；2) 如果修改了主表中的键值，那么在整个数据库中，对从表中该键值的所有引用要进行一致的修改；3) 如果主表中没

有关联的记录，则不能将记录添加到表；4) 如果要删除主表中的某一记录，应先从表中删除与该记录匹配的相关纪录。

最终设计出的控制回路信息表和仪表信息表、DI 信息表之间的引用约束关系，如图 10 所示。

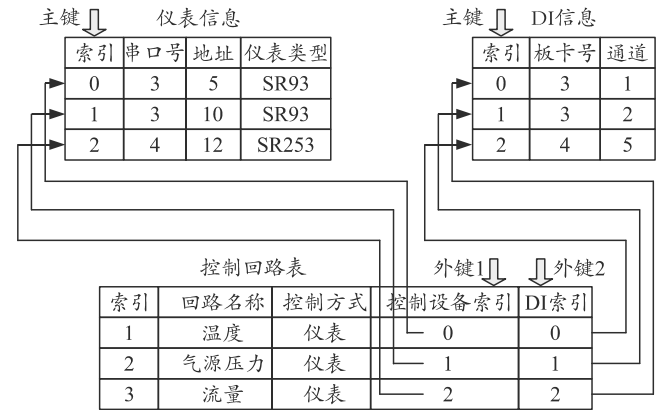
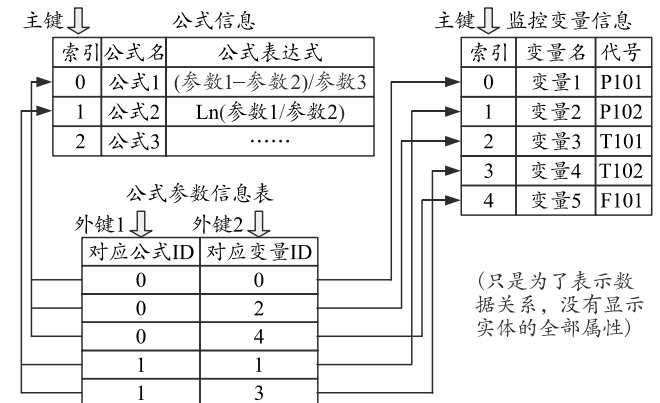


图 10 控制回路信息引用约束图

公式参数信息表与公式信息表、监控变量信息表之间的引用约束关系，如图 11 所示。



(只是为了表示数据关系，没有显示实体的全部属性)

图 11 公式参数信息引用约束图

用户可以通过限制监控变量的名字长度，限制控制回路中控制设备的类型，串口号及仪表地址的输入要求等定义规则，或是以约束默认值的方式来实现列的完整性，同时确保了指定列输入的有效性。

### 3 数据库的建立以及在系统中的调用实例

在建立上述关系模型后，笔者最终将其以数据库的形式作为程序的初始化配置文件保存在电脑中。以笔者参与设计的“环控引气双发动态模拟试验台测控系统”为实例，其数据库表格文件节选如表 1、表 2 所示。

表 1 监控变量统一模型配置数据库文件示例节选

Var_ID	Symbol	Name	Source	Source_IN	UNIT	Be_Saved	Be_Alarm
0	TIME	时间	NULL	-1	S	0	0
1	Pr1.1	低压 1 路供气压力	COM	1	kPa	1	1
2	Pr1.2	低压 1 路入口压力	COM	2	kPa	1	1

表 2 控制回路统一模型配置数据库文件示例节选

Loop_ID	Name	Device_Type	Device_ID	DI_ID	Var_ID
0	低压 1 路供气压力	COM	0	0	1
1	低压 1 路入口压力	COM	1	1	2

可以看到，关系模型建立过程中设计好的约束关系在数据库中很好地体现。而数据库在程序中则使用以下代码进行调用和读取。

```

BOOL CMeasureCtrlDoc::DatabaseLink()
{
    CString
strCn("Provider=Microsoft.jet.OleDB.4.0;
Data Source=Result.mdb");
//数据库连接字符串
return
m_pResDBcn.Connect(LPCTSTR(strCn))
&&m_Initial.SetDataSource("Initial.mdb","buaa")
}
    
```

//读取数据信息

```

void CMeasureCtrlDoc::Initial()
{
    m_Initial.ReadVarInfo(m_VarArray);
}
    
```

```

SetVarSaveArray();
m_Initial.ReadMeter(m_MeterArray);
m_Initial.ReadAD(m_ADArray);
m_Initial.ReadDI(m_DIArray);
m_Initial.ReadCtrlLoop(m_LoopArray);
SetObLoopArray();
m_Initial.ReadRomula(m_FormulaArray);
m_Initial.ReadNetSda(m_NetSdaArray);
InitialShareData();
}
    
```

程序通过 ADO (ActiveX Data Object) 控件访问并链接数据库，执行 SQL 语句。相关链接函数预先编写成为动态链接库 dll 文件。因此在测控程序的主程序中，可以直接调用函数链接数据库并读取内部信息<sup>[4]</sup>。

以数据表格显示为例，其最终显示情况如图 12 所示。可以看到，程序成功调用了数据库中的变量信息并将其显示在屏幕上。

### 环控试验台测控数据

开始时间:		运行时间:					
Pr1.1 低压1路供气压力 kPa		Pr1.2 低压1路入口前置压力 kPa		Pr1.3 低压1路入口压力 kPa		Pr1.4 低压1路出口压力 kPa	
Tr1.1 低压1路入口前置温度 °C		Tr1.2 低压1路入口温度 °C		Tr1.3 低压1路电加热热媒组出口温度 °C		Vr1.1 低压1路流量1 kg/h	
Vr1.2 低压1路流量2 kg/h							

图 12 变量信息在程序界面上的显示

有关变量显示的代码中并没有涉及到变量的名称及其他信息，所有信息都是通过上面的代码直接调用数据库得来。同样，当试验内容变化，变量的信息改变时，也无需改动代码，只需改动作为配置文件的数据库即可，非常方便快捷，很好地体现了测控软件的通用性。

## 4 结论

笔者针对环境模拟试验测控系统的本身性质和内容，通过建立一个关系数据模型，并将其以数据库的形式作为测控系统的配置文件存放在电脑中。目前，笔者已经依托此数据模型开发出了数个测控系统并投入到使用之中。使用结果表明：在不同试验条件时，研究人员可以通过改变数据库的内容来

让测控软件快速实现新的试验调整，大大简化了试验准备的过程并节约了准备时间，极大地增强了测控软件的通用性。

## 参考文献：

- [1] 王浚. 环境模拟技术——一门新的综合性工程技术[J]. 中国工程科学, 2003, 5(3): 1-5.
- [2] 萨师煊, 王珊. 数据库系统概论[M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2014: 15-17.
- [3] 万常选, 廖国琼, 吴京慧, 等. 数据库系统原理与设计[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2012: 51-56.
- [4] 郑阿奇, 刘启芬, 顾韵华. SQL Server 实用教程[M]. 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2009: 377-384.
- [5] 肖升. 如何形成关系数据模型到面向对象数据模型的映射[J]. 娄底师专学报, 2004(2): 41-43.