

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 引 言	1
第二节 实现铁路数字化选线设计系统的相关技术	3
第三节 虚拟现实（VR）技术的应用	5
第一篇 智能环境建模技术	
第二章 智能环境建模原理	10
第一节 铁路选线设计系统智能环境模型	10
第二节 面向对象建模（OOM）原理	13
第三节 铁路数字化选线设计系统的面向对象模型	17
第四节 面向对象知识表达模型	22
第五节 面向对象的推理机	38
第三章 铁路选线设计系统智能环境原型	49
第一节 选线知识库模型与推理机制	49
第二节 选线系统工程地质知识库原型	82
第三节 选线工程数据库管理系统原型	92
第二篇 三维地理环境建模技术	
第四章 虚拟现实景观生成原理	106
第一节 图形变换与消隐技术	106
第二节 光照模型和明暗处理	112
第三节 纹理映射技术	115
第四节 视屏立体显示技术	120
第五章 铁路虚拟地理环境三维建模技术	132
第一节 三维数字地形建模	132

第二节	数字地物三维建模	144
第三节	铁路构造物三维建模	148
第四节	铁路构造物三维模型与三维地形模型的融合	161
第五节	基于航测和卫星影像信息的铁路地理环境建模技术	165
第六节	基于 Google Earth 的铁路三维地理环境建模方法	180
第六章	三维工程地质环境建模技术	189
第一节	数字地质信息获取方法	189
第二节	数字地质对象建模方法	193
第三节	铁路选线设计系统的数字地质技术	196
第四节	三维地质环境建模	198
第五节	三维地理环境超地图模型	207
 第三篇 铁路数字化选线设计系统的实现技术 		
第七章	基于虚拟环境的铁路数字化选线设计技术	213
第一节	铁路数字化选线设计系统中的三维交互技术	213
第二节	基于三维地理环境的线路局部走向选择	221
第三节	基于虚拟地理环境的复杂地质区域选线方法	224
第四节	线路平纵面智能优化方法	237
第五节	线路方案综合评价方法	243
第六节	基于 Google Earth 的铁路选线设计方法	255
第八章	铁路虚拟环境场景动态仿真与漫游技术	258
第一节	铁路线路三维自动化建模	258
第二节	基于四叉树连续动态多分辨率三维地理环境的实现	261
第三节	场景实时显示技术	266
第四节	场景空间查询与交互	268
第五节	基于 OpenGL 实现动态三维漫游	270
第九章	铁路数字化选线设计系统简介	277
第一节	虚拟环境建模平台的构成	277
第二节	数字地形信息采集系统	279
第三节	立体投影平台	284
第四节	铁路数字化选线设计系统主要功能简介	289
参考文献		302

第一章 绪 论

第一节 引 言

铁路选线设计是整个铁路设计中一项关系全局的总体性工作，它的基本任务是：

(1) 根据国家政治、经济、国防的需要，结合铁路经过地区的自然条件、资源分布、工农业发展等情况，规划线路的基本走向，选定铁路的主要技术标准。

(2) 根据沿线的地形、地质、水文等自然条件和村镇、交通、农田、水利设施等具体情况，设计线路的空间位置，在保证行车安全的前提下，力争提高线路质量，降低工程造价，节约运营开支。

(3) 与其他各专业共同研究，布置线路上各种建筑物，如车站、桥梁、隧道、涵洞、路基、支挡等，并确定其类型或大小，使总体上互相配合，全局上经济合理^[1]。

铁路线路设计是集决策性、知识性和实践性为一体的半结构化问题；其影响因素有二维的也有三维的，有定量的指标也有定性的因素，有确定性的因素也有不确定性的因素，而且各因素之间的关系错综复杂。这些复杂的影响因素可分为两类：一是自然条件引起的对线路的工程、运营的技术和经济方面的影响；自然条件包括地形、地质、水文、土地价值和土地利用情况等，在传统方法中以图形和文本资料的形式提供给线路工程师。二是根据技术条件和运输任务所确定的设计要求；在传统方法中以规范、规程和设计原则的形式存在。工程师进行选线设计的过程就是在自然条件、技术条件和人所构成的环境中，综合分析和协调各项影响因素，采用特定的方法进行线路规划、方案设计和方案技术比选的创造性思维活动的过程。由于线路在空间位置的确定依赖于设计人员对自然条件的分析，选线设计比其他许多工程设计对环境具有更强的依赖性。选线设计过程包含大量的分析、计算、类比和绘图工作。以前由于计算和绘图手段落后，只能对有限的方案进行研究，从而影响了设计质量，设计周期也很长。为了提高设计质量和设计速度，自 20 世纪 50 年代以来，道路与铁路领域的专家和学者们就开始探索用计算机辅助线路

设计的理论和方法。近 60 年来，无论是地形信息的识别和处理方法，还是线型优化方法，计算机辅助线路设计方法实质上是设法将影响选线设计的因素表达成某种计算机能识别的形式，并用计算机仿真选线设计方法，辅助工程师进行选线设计工作，因此可以说，由计算机、存储在计算机内的选线设计所需的数据以及应用程序系统与人一起构成了一个辅助选线设计的环境。由于该环境的某些部分是不可见的，与实际的环境有所区别，该环境可定义为铁路选线设计系统的虚拟环境（见图 1.1）。

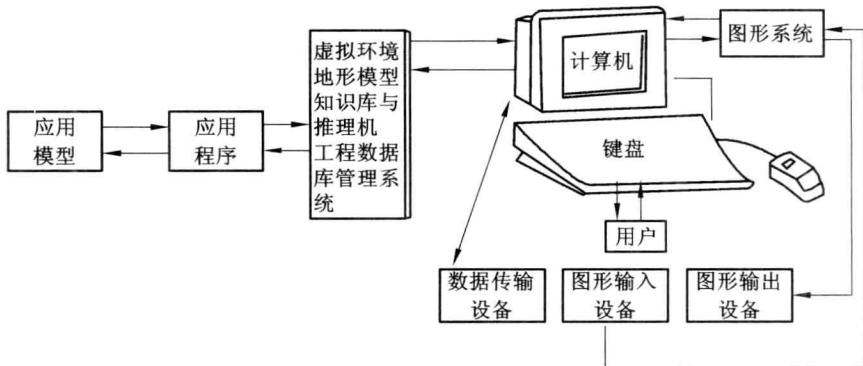


图 1.1 铁路选线设计系统虚拟环境框架

定义 1：铁路选线设计系统的虚拟环境是指由计算机及其辅助设备与系统软件和应用软件所构成的一个由自然环境和智能环境集成的计算机辅助设计环境，可表达为如图 1.1 所示的框架。

定义 2：选线设计系统的自然环境是由与地形、地质、水文、土地属性及既有结构物等相关的数字信息和图形信息构成的集成环境。

定义 3：选线设计系统的智能环境是由选线工程师与基于计算机的选线知识库和推理机、选线工程数据库、图形交互设计界面和优化与决策分析方法所构成的集成环境。

从定义可知，基于虚拟环境的铁路选线设计系统是一个融人工智能与知识工程、数据库技术、计算机图形技术与优化方法为一体的智能 CAD 系统。建立该系统的理论和方法范畴包括：

(1) 建立铁路数字化选线设计系统的智能环境建模理论和方法。分析研究铁路选线领域知识的体系结构和知识分类；研究面向对象知识表达模式和推理机制，针对各类选线领域知识研究合理实用的知识表达模式，建立选线知识库和选线工程数据库管理系统，实现定线过程中信息与知识的智能交换。

(2) 建立铁路数字化选线设计系统的自然环境建模理论和方法。根据选线设计的特点, 研究适合于大型带状区域的数字地形模型快速建模方法, 以便铁路选线系统能在整个选线设计过程中快速、有效地识别、获取和利用地形信息。研究地形表面和设计对象的三维空间曲面模型, 探讨进行三维地形仿真和生成真实感图形的技术; 为选线工程师直观地研究线路走向方案和评价设计成果建立一个逼真显示的三维地理环境。

(3) 研究选线设计中的几个关键技术问题, 研究基于虚拟环境的铁路数字化选线设计技术, 包括线路局部走向选择智能 CAD 方法、线路平纵面智能优化方法、选线多方案综合评价方法等。

(4) 研究铁路数字化选线设计系统的实现技术。

第二节 实现铁路数字化选线设计系统的相关技术

铁路数字化选线设计系统是线路工程信息技术的高端理论和技术的应用, 是计算机图形学、虚拟现实技术、建模技术与仿真技术, 特别是多媒体技术和网络通信技术在线路工程信息技术中的综合应用。

一、数字地球系统技术的应用

从 1998 年 1 月美国提出“数字地球”构想后, 我国科技人员在这方面已经结合国情进行了大量的工作。数字地球的核心是全球信息化, 是一个庞大的系统工程, 在其研究发展中, 与铁路工程领域具有广泛的密切关系, 受到本领域专家的重视。

地理信息系统 (GIS) 是用于管理地理空间分布数据的计算机信息系统。它用直观的地图方式录入、管理、显示和分析与地理空间相应的各类数据, 铁道工程中的工务管理、路网规划、勘察设计、防灾减灾等都与 GIS 有密切关系。

我国数字铁路的研究实际上已有多年的积累, 它是铁路领域科学和技术的一项重要的基础设施。在建设数字地球系统中, 它将得到更大的发展, 从某种意义上讲, 数字铁路也是数字地球的一个部分。

地理空间数据库涉及的多维时空属性相关数据, 其主要内容都与铁道工程领域多年积累或需要应用的信息分不开。铁路建设中的现代测绘技术, 既为铁路线路工程提供了应用, 也为数字地球建设提供了基础。特别是在数字地球建设提出后, 这些系统的继续开发和改造, 或者新开发的系统, 在考虑

综合集成和发挥更大效益的目标要求上，有了明确的技术方向。

二、智能决策技术的应用

专家系统在铁路工程建设管理、勘测设计、工务管理中的应用是智能化的重要标志，应大力开展铁路工程领域专家系统的研究。比如，在线路方案选择，复杂桥梁方案拟订，隧道洞口、洞身设计方案确定，工程地质问题评价咨询，遥感图像不良地质判识等领域，专家系统是对设计方案、设计参数进行决策的有力咨询工具，它能使设计在某种程度上达到优秀领域专家水平。

智能化 CAD 系统 (Intelligent CAD system, 缩写为 ICAD system), 是一种引进人工智能、知识工程, 使计算机智能地辅助解决整个设计过程 (决策、优化、分析、绘图) 各方面的复杂问题, 达到自动化程度更高的系统。也称为基于知识的 CAD 系统。设计本身包含着创造性的思索和判断、决策的理解力, 因此 CAD 通向智能化是必然的发展趋势。设计的处理过程涉及的不仅有概念知识, 也有专家知识。智能化、基于知识的 CAD 系统正是考虑概念知识与专家知识的组合, 以期增强 CAD 解决问题的能力。

三、嵌入式系统的应用

计算技术在各行各业的广泛渗透, 使得嵌入式计算机在应用数量上将远远超过传统意义上的计算机。所谓嵌入式系统是指以应用为中心, 以计算机技术为基础, 软件硬件可裁剪, 适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗要求严格的专用计算机系统。嵌入式软件是线路工程专门知识的软件表现形式, 是嵌入式系统的核心, 也是线路工程信息技术的主要研究内容之一。嵌入式软件的具体应用主要表现为各类检测仪器 (用于信息的采集) 和控制系统 (信息的施用) 等的研究与开发。利用全球定位系统 (GPS) 和遥感 (RS) 等各种手段, 它可用于现场数据的自动采集, 并以数字化的标准格式保存下来, 利用嵌入式软件可以分析、加工或转化这些数据, 得到有用的信息并表现出来, 供决策或进行智能监控。目前, 嵌入式系统在线路工程中已经开始应用, 但无论是功能还是成本都与大面积地广泛使用有相当大的差距。而这一问题必然会随嵌入系统技术的发展得到有效的解决。

四、多媒体仿真技术的应用

多媒体仿真是在科学计算可视化和可视仿真技术基础上发展起来的。在

计算机图形学和工程研究与设计空域中，科学计算可视化被定义为：对科学计算数据进行可视化加工和三维图形显示，并且通过系统的交互方式能够改变其参数，以观察计算结果的全貌及其变化。把传统的计算机仿真技术同科学计算可视化相结合，发展了可视化仿真技术，运用多媒体系统的多维信息综合处理平台，实现了人们对于仿真对象的多种表现信息的更全面的感受仿真，即不仅是可视，还可听，有些系统已经可接触，并能模拟力的动态变化响应。这就是多媒体仿真。

多媒体仿真采用不同媒体形态描述不同性质的模型信息，将系统行为和形态、数学模型和物理模型以及它们的时空表现模式，有机地统一建模和求解。多媒体仿真技术在铁路线路规划、建设管理、勘测设计、工务管理中均有很好的应用前景。

五、工程信息管理技术的应用

工程多媒体数据资源的获取和处理是人们关心的首要问题。一项铁路建设工程，从规划、设计、施工到建成后的使用、维修，存在大量的不同媒体形式的工程数据文档；在铁路规划、勘测设计、建设和运营养护过程中，还必须提供有关铁路沿线的地理、水文气象、人文景观、社会经济等信息，需要同基于 GIS 的空间信息管理平台结合，才能有效地实现铁路工程信息管理和应用。支持多媒体数据结构的工程数据库技术近年来取得了实质性的进展，运用面向对象技术进行多媒体工程数据库设计，是铁路工程系统中建立工程数据库的有效解决方案。

第三节 虚拟现实（VR）技术的应用

虚拟现实技术是一种可以创造和模拟体验现实世界的计算机技术，它将真实世界的各种媒体信息有机地融合进虚拟世界，构造用户能与之进行各个层次的交互处理的虚拟信息空间。这种技术在工程中的应用目标，正在派生出一系列应用系统，例如：铁路规划方案的虚拟漫游及环境评价；铁路设计方案建成后的效果展示与评价；设计方案的演示与论证；铁路沿线构造物的虚拟模型和性能测试；既有铁路三维可视化动态建模与运动仿真等。

在现实的铁路工程设计、管理和分析研究中，人们花了大量的物力、财力和精力，创造特定的工作方式和环境来解决所面临的问题，虚拟现实和多媒体技术为我们提供了建立铁路工程多维感知模型，使铁路工程专家获得一

个先进的认识和改造世界的工具，并且在开发和利用这些系统中，表现出巨大的热情和创造能力。

一、虚拟现实及其基本特征

虚拟现实技术（Virtual Reality，简称 VR），又称临境技术^[2]，是 20 世纪 90 年代为科学界和工程界所关注的技术。它的兴起，为人机交互界面的发展开创了新的研究领域，为智能工程的应用提供了新的界面工具，为各类工程的大规模的数据可视化提供了新的描述方法。这种技术的特点在于，计算机产生一种人为虚拟的环境，这种虚拟的环境是通过计算机图形构成的三度空间，或是把其他现实环境编制到计算机中去产生逼真的“虚拟环境”，从而使得用户在视觉上产生一种沉浸于虚拟环境的感觉。这种技术的应用，改进了人们利用计算机进行多工程数据处理的方式，尤其在需要对大量抽象数据进行处理时；同时，它在许多不同领域的应用，可以带来巨大的经济效益。

“虚拟现实”一词是由美国 VPL Research Inc 公司的 J. Lanier 在 1989 年所创造的一个词，它通常是指用立体眼镜的传感手套等一系列传感辅助设施来实现的一种三维现实，人们通过这些设施以自然的方式（如头的转动、身体的运动等）向计算机送入各种动作信息，并且通过视觉、听觉以及触觉设施使人们得到三维的视觉、听觉及触觉等感觉世界。随着人们不同的动作，这些感觉也随之改变。目前，与虚拟现实相关的内容已经扩大到了与之相关的许多方面，像“人工现实（Artificial Reality）”、“遥现”（Telepresence）、“虚拟环境”（Virtual Environment）、“赛博空间”（Cyberspace）^[3]等，都可以认为是虚拟现实的不同术语或形式。事实上，虚拟现实技术不仅仅是指那些戴着头盔和手套的技术，而且还应该包括一切与之有关的具有自然模拟、逼真体验的技术与方法。它要创建一个酷似客观环境又超越客观时空、能沉浸其中又能驾驭其一的和谐人机环境，也就是由多维信息所构成的可操纵的空间。它的最重要的目标就是真实的体验和方便自然的人机交互，能够达到或者部分达到这样目标的系统就称为虚拟现实系统。

虚拟现实系统就是要利用各种先进的硬件技术及软件工具，设计出合理的硬件、软件及交互手段，使参与者能交互式地观察和操纵系统生成的虚拟世界。从概念上讲，任何一个虚拟现实系统都可以用三个“I”来描述其特性，这就是“沉浸（Immersion）”、“交互（Interaction）”和“想象（Imagination）”^[3]，如图 1.2 所示。

这三个“I”反映了虚拟现实系统的关键特性，就是系统与人的充分交互，它强调人在虚拟现实环境中的主导作用。

虚拟现实系统的设计要达到以下目标：

第一，要使参与者有“真实”的体验。这种体验就是“沉浸”或“投入”，即全心地进入，简单地说就是产生在虚拟世界中的幻觉。理想的虚拟环境应达到用户难以分辨真假的程度，甚至比真的还“真”。这种沉浸感的意义在于可以使用户集中注意力。为了达到这个目标，就必须具有多感知的能力，理想的虚拟现实系统应具备人类所具有的一切感知能力，包括视觉、听觉、触觉，甚至味觉和嗅觉。

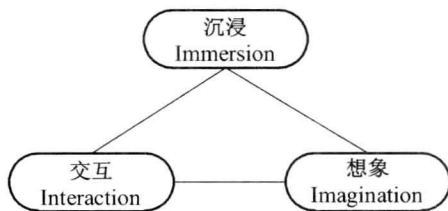


图 1.2 虚拟现实的基本特征

第二，系统要能提供方便的、丰富的、主要是基于自然技能的人机交互手段。这些手段使得参与者能够对虚拟环境进行实时的操纵，能从虚拟环境中得到反馈信息，也能使系统了解参与者的关键部位的位置、状态、变形等各种系统需要知道的数据。实时性是非常重要的，如果在交互时存在较大的延迟，与人的心理经验不一致，就谈不上以自然技能的交互，也很难获得沉浸感。为达到这个目标，高速计算和处理就必不可少。

参与者在虚拟环境中的活动或者经历有两种形式，一种是主观参与，另一种是客观参与。主观参与时，参与者是整个经历的中心，一切围绕参与者进行；客观参与时，参与者则可以在虚拟环境中看到他自己与其他物体的交互。

交互和沉浸是任何虚拟现实经历的两个实质性的特征，因此，根据虚拟现实应用的不同，即沉浸的程度，它可以分成不同的类别。早期的虚拟现实系统可能只有部分虚拟现实的特性，例如环幕电影或立体电影。有的应用也不需要完全的沉浸和投入，例如增强现实系统。在实际应用中，不同虚拟现实系统设计的侧重点和所受约束各不相同。例如，受资金限制装备不上最先进的硬件设备，或是硬件本身性能达不到要求，这样系统的计算速度、交互手段可能要受到影响，此时只能从软件上着手弥补缺陷，产生了许多基于软件的技术，例如基于静态图像的虚拟现实系统、虚拟仿真等。由于虚拟现实本身并不限制使用的技术范围，只要能达到目标，可以把各种技术有效地集成起来设计出一个成功的虚拟现实系统。

二、虚拟现实系统类型的划分

VR 最本质的特征用户对虚拟场景的沉浸，根据用户参与 VR 的不同形式以及沉浸的程度不同，可以把各种类型的虚拟现实技术划分为四类^[2-3]：

(1) 桌面级的虚拟现实。桌面虚拟现实利用个人计算机和低级工作站进行仿真，计算机的屏幕用来作为用户观察虚拟境界的一个窗口，各种外部设备一般用来驾驭虚拟境界，并且有助于操纵在虚拟情景中的各种物体。这些外部设备包括鼠标、追踪球、力矩球等。它要求参与者使用位置跟踪器和另一个手控输入设备，如鼠标追踪球等，坐在监视器前，通过计算机屏幕观察 360°范围内的虚拟境界，并操纵其中的物体，但这时参与者并没有完全投入，因为它仍然会受到周围现实环境的干扰。桌面级的虚拟现实最大特点是缺乏完全投入的功能，但是成本也相对低一些，因而应用面比较广。

(2) 投入的虚拟现实。高级虚拟现实系统提供完全投入的功能，使用户有一种置身于虚拟境界之中的感觉。它利用头盔式显示器、偏正光眼镜或其他设备，把参与者的视觉、听觉和其他感觉封闭起来，并提供一个新的、虚拟的感觉空间，利用位置跟踪器、数据手套及其他手控输入设备、声音等，使得参与者产生一种身在虚拟环境中并能全心投入和沉浸其中的感觉。

(3) 增强现实性的虚拟现实。增强现实性的虚拟现实不仅是利用虚拟现实技术来模拟现实世界、仿真现实世界，而且要利用它来增强参与者对真实环境的感受，也就是增强现实中无法感知或不方便感知的感受。这种类型的虚拟现实的典型实例是战机飞行员的平视显示器，它可以将仪表读数和武器瞄准数据投射到安装在飞行员面前的穿透式屏幕上，它可以使飞行员不必低头读座舱中仪表的数据，从而可集中精力盯着敌人的飞机和导航偏差。

(4) 分布式虚拟现实。如果多个用户通过计算机网络连接在一起，同时参加一个虚拟空间，共同体验虚拟经历，那虚拟现实则提升到了一个更高的境界，这就是分布式虚拟现实系统。目前最典型的分布式虚拟现实系统是作战仿真互联网和 SIMNET，作战仿真互联网（Defense Simulation Internet，简称 DSI）是目前最大的 VR 项目之一。该项目是由美国国防部推动的一项标准，目的是使各种不同的仿真器可以在巨型网络上互联，它是美国国防高级研究计划局 1980 年提出的 SIMNET 计划的产物。SIMNET 由坦克仿真器（Cab 类型的）通过网络连接而成，用于部队的联合训练。通过 SIMNET，位于德国的仿真器可以和位于美国的仿真器一样运行在同一个虚拟世界，参与同一场作战演习。

第一篇

智能环境建模技术

第二章 智能环境建模原理

铁路选线设计是工程师进行创造性思维活动的过程，包括领域知识的学习、专家经验的学习、既有案例的分析与借鉴、技术资料的利用等。利用人工智能技术（Artificial Intelligent，简称 AI）将选线设计所涉及的知识、信息和数据存储起来，并与交互式设计过程相集成，以便工程师能借助于计算机辅助设计系统进行创造性的选线设计活动。这种集成了领域知识、信息和数据的计算机辅助设计系统环境称为智能环境。本章首先进一步加深对知识工程和面向对象建模技术的理解，然后提出将这些新技术用于铁路数字化选线设计系统的构想，建立一个铁路数字化选线设计系统的面向对象模型，进而对面向对象知识表达模式和推理机制进行全面系统的介绍。

第一节 铁路选线设计系统智能环境模型

一、自动化的孤岛——铁路选线设计中知识与信息资源利用的问题

铁路选线设计，无论走向研究、平纵面设计、方案评价还是局部方案优化设计，都是非常复杂的。尽管目前已有了一些信息技术工具和辅助设计软件，但是它们通常只能针对设计中的单一对象和特殊工作提供帮助。这些专门化的软件毫无疑问能帮助设计人员在设计的某一个确定的阶段迅速产生设计解，但它们是孤立和自封闭的。这些以自动化孤岛形式开发的软件很难让设计人员充分发挥和利用各自的专业知识与信息资源，从而协调工作，共同完成有效的总体设计。

良好的协调性必须包括知识与信息资源的管理和利用的各个方面。AI 和计算机系统通过建立不同信息资源之间的内在联系而支持了这种协调性^[4]，从而提供了一个交互式的智能设计环境^[5]。这样，就可以在目前的领域信息与技术信息之间、设计经验与设计规范之间、设计成果与方案评价之间建起一座智能计算机辅助设计的桥梁，从而改进线路设计过程和方法。

二、基于知识的工程原理

最适于在设计中管理知识和共享信息的 AI 技术之一是基于知识的工程

(Knowledge-Based Engineering, 简称 KBE) 系统。它是一种包括推理过程和知识表达的信息处理技术, 是一种允许系统开发人员描述数据和知识, 为集成叙述性信息和知识提供机制的方法。系统开发人员可以在一个具有推理能力的对象中用这种方法来表达知识。这种方法能建立一个大的、灵活的软件开发与实现环境。从 AI 的角度看, KBE 系统能够像具有智能行为的专家一样向设计人员推荐设计结果。像基于计算机的支持系统所能做到的一样, KBE 能够执行、显示和推理设计知识。

作为建立智能环境的 AI 技术, KBE 系统具备以下能力:

(1) 知识表示能力。这是在建模过程中控制设计知识的能力。知识表示的目的是为知识建模和表示专家的知识。面向对象表达和自然语言规则表达被用来描述专家的知识。有时将其称为面向对象建模。在对象内部, 知识被编码成规则(如设计规则、规范和标准), 并存放在计算机数据库中。从这个意义上讲, KBE 也可被称为基于规则的系统。另外, KBE 还与智能推理和工具有关。

(2) 推理机制能力。这是查询和选择应用规则, 评价和生成所用对象的逻辑论点的能力。当命题为 A、B 和 C 时, 推理过程通常有条件的包含形为“如果 A 则 B, 否则 C”的陈述。推理过程是通过将信息从一个对象传递到另一个对象的重复序列来进行的。应用规则的执行是靠信息激发的。作为一种在系统之间通信的手段, 动态联合推理机制被用于允许大容量知识的控制。

(3) 开发界面。KBE 为开发者编制基于知识的对象提供了一个完善的开发环境。它包括知识编辑、知识浏览和知识裁减。其作用是帮助开发者进行基于知识的系统编辑和调试。

三、铁路选线设计系统智能环境的集成求解策略模型

典型的工程规划设计过程可以表示为设计师为主导完成的知识循环“迭代”过程, 可表示为“初始设计—评价—再设计”, 即: 首先, 设计师根据实际要求, 先进行概念构思, 制订出初步的设计方案; 其次, 利用各种技术(如统计分析、优化设计等分析方法)对方案进行评价和计算, 实现详细的具体设计; 最后, 对结果进行评价, 当达到要求时, 设计完成。当要求未达到时, 修改设计方案, 再进行第二轮设计, 这样循环往复, 直到满足要求为止。这样的设计过程可以用现代设计法中的智能设计来仿真。

智能设计(Intelligent Design, 简称 ID) 的目的是利用计算机全部或部分辅助代替设计师从事以上的整个设计过程, 在计算机上模拟或再现设计师的创造性设计过程。基于知识的系统与一般计算机应用系统不同, 一般计算

机系统处理的对象是数据，而基于知识的系统处理的对象可以是数据也可以是信息，更重要的是处理各种知识，使系统具有思维和推理能力。

根据工程规划设计的基本特征，智能环境主要用于解决四方面的困难问题：① 异构知识的处理；② 多方案设计；③ 再设计；④ 设计效率提高。

根据铁路选线设计的特点，可建立如图 2.1 所示的智能环境集成求解策略模型。

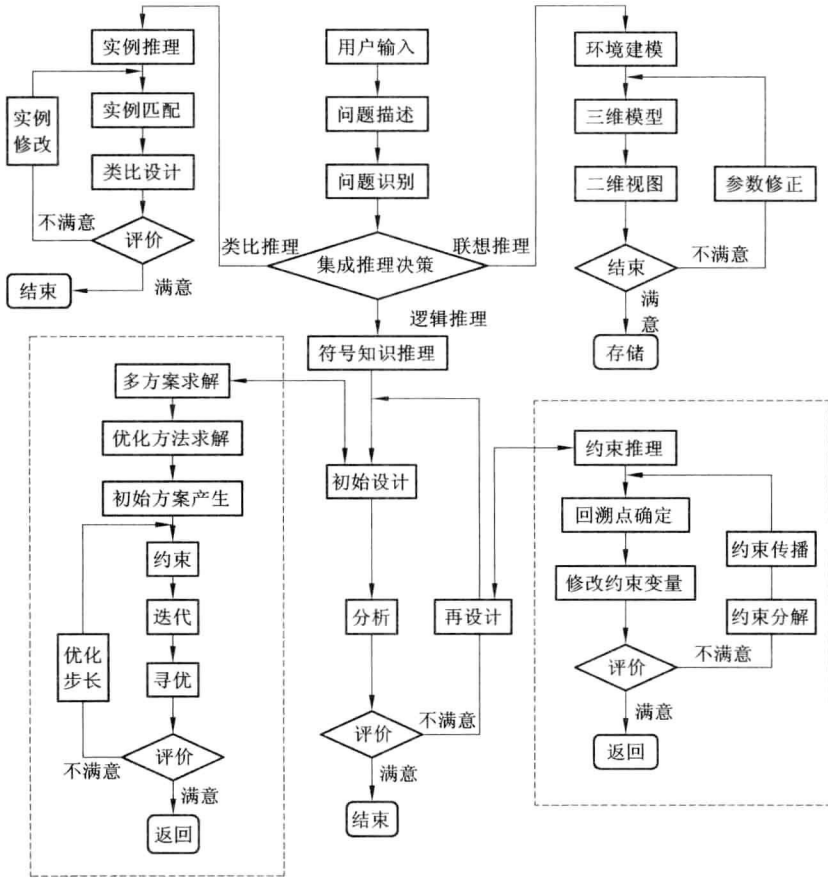


图 2.1 智能环境集成求解策略模型

对于基于符号知识的推理求解来说，初始设计通过专家知识的推理得到初步方案，再进一步分析推理结果，然后评价其结果是否满意。基于符号知识的推理求解符号性知识和过程性知识，属于逻辑思维。由于工程问题的复杂性，基于符号知识推理技术在多方案的产生和再设计问题上非常困难，优

化方法为多方案的产生提供了有效的机制，而约束满足方法则为基于符号知识推理提供了有效的再设计手段。

对于基于实例推理求解来说，初始设计是提取相关实例，对相关实例进行类比设计，再通过实例的评价，确定是否采用该实例，或进一步修改实例以满足设计要求。基于实例推理求解实例知识，属于类比思维。

环境建模包括三维地面仿真、二维“电子地形图”、三维空间数字地形模型等。通过智能 CAD 方法建立可视化图形设计环境。设计人员可对建模结果进行评价。若不满意输出结果，可重新调整网络数值，进行模型修正，直到输出结果满意为止。环境建模根据地形地质信息，建立可视化图形交互设计环境，通过知识集成，生成智能交互式图形设计环境。

对于采用优化算法来说，初始设计是通过模拟人工定线过程，用导向线原理生成满足设计规范要求的线路方案初始解，再由初始方案的选择、重组、迭代、寻优，如果得到方案的最优解则输出，否则进一步通过迭代操作修改初始方案，直到方案满意为止。同时，优化算法为基于符号知识推理快速提供精度相同的多方案设计。

第二节 面向对象建模（OOM）原理

在一个用 KBE 技术建立的智能环境模型中，通过所建立的信息和知识模型来表示为什么设计和怎样设计，系统可捕获工程设计的潜在意图。在信息学中，这种用于描述信息和知识或建立信息和知识模型的程序设计语言或概念建模技术叫做面向对象建模（Object-Oriented Modeling，简称 OOM）。KBE 将 OOM 所用的相同算法作为一种语言来描述对象。因此，KBE 是面向对象建模工作的一部分。在 KBE 中使用 OOM 的主要概念——对象、属性和对象之间的关系来建立系统的智能环境。因此，理解面向对象建模原理是非常重要的。

一、面向对象方法的基本概念

面向对象的系统开发方法是从 20 世纪 80 年代各种面向对象的程序设计方法（如 Smalltalk、C++ 等）逐步发展而来的^[6]。

OOM 的中心概念是一个对象。一个对象是包含描述真实世界对象的属性与与真实世界对象相关联的过程或动作的入口。通过捕捉与真实世界关联的所有知识和信息，对象可以被唯一定义或编码。这些对象可以由系统开发人员在不同的时间内编制或开发，也可以被集成在一起像一个单一的系统一

样返回作用。在一个单一系统中，对象可以共享，也可以通过一个称为继承的机制影响它们与其他对象的行为。通过界面来描述一个对象的行为，叫做属性或方法。属性表示可以被一个对象执行或在一个对象上执行的动作。为了操纵一个对象，必须建立它的一个实例。该实例应被放入有值的对象模板中。因此，可用一个对象（电子原型）来表示设计变量和大多数设计过程。

对象是 OOM 方法的主体。对象至少应有以下特征^[7, 8]：

(1) 模块性。对象是一个独立存在的实体。从外部可以了解它的功能，但其内部细节是“隐蔽”的，它不受外界干扰。对象之间的相互依赖性很小，因而可以独立地被其他各个系统所选用。

(2) 继承和类比性。人们是通过对客观世界的分解和合并来认识事物的；事物之间都有一定的相互联系，事物在整体结构中都会占有它自身的位置。这种对象之间属性关系的共同性，在 OOM 方法学中称之为继承性，即子模块继承了父模块的属性。我们将通过类比方法抽象出典型对象的过程称之为类比。

(3) 动态连接性。即各种对象之间统一、方便、动态的消息传递机制。

在用 OOM 具体地分析一个事物时，大致上遵循如下 5 个基本步骤：

第一步，确定对象（object）和类（class）。这里所说的对象是对数据及其处理方式的抽象，它反映了系统保存和处理现实世界中某些事物的信息的能力；类是多个对象的共同属性和方法集合的描述，它包括如何在一个类中建立一个新对象的描述。

第二步，确定结构（structure）。这里所说的结构是指问题域的复杂性和连接关系，类-成员结构反映了泛化-特化关系，整体-部分结构反映了整体和局部之间的关系。

第三步，确定主题（subject）。这里所说的主题是指事物的总体概貌和总体分析模型。

第四步，确定属性（attribute）。这里所说的属性就是数据元素，可用来描述对象或分类结构的实例，可在图中给出并在对象的存储中指定。

第五步，确定方法（method）。这里所说的方法是在收到信息后必须进行的一些处理方法，方法要在图中定义并在对象的存储中指定。对于每个对象和结构来说，那些用来增加、修改、删除和选择一个方法本身都是隐含的（虽然它们是要在对象的存储中定义的，但并不在图上给出），而有些则是显示的，如计算费用等。

二、工程设计系统中的面向对象建模原理

OOM 的概念具有 4 个基本原理^[9]。这些原理为基于知识的对象和真实世

界对象提供了基本算法。下面的主要原理被用于管理复杂的设计信息和知识：

(1) 封装性。在程序设计中，封装是指将一个数据和与这个数据有关的操作集合放在一起，形成一个能动的实体-对象；当开发一个全局的程序结构时，封装是为了让每一个对象捕获一个单一的决策所采用的原理之一。设计决策被封装在一个称为部件或定义好的部件的单一对象中。一个定义好的部件（见图 2.2）可以封装（包含）输入说明、工程规则或属性以及子部件。封装应具有以下条件：

① 具有一个清楚的边界，对象的所有私有数据、内部程序（成员函数）细节都被固定在这个边界内。

② 具有一个接口，这个接口描述了对象之间的相互作用、请求和响应，它就是信息。

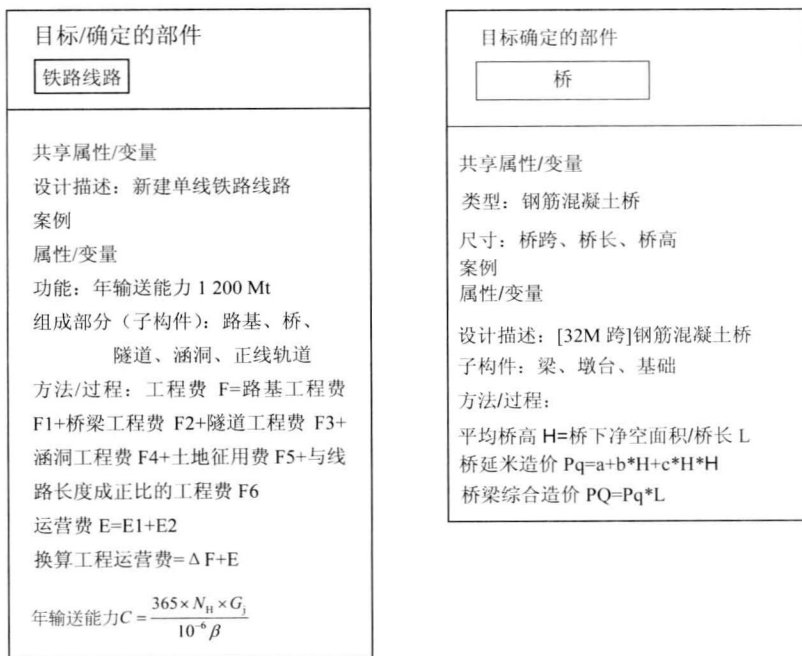


图 2.2 设计信息在对象中的封装

(2) 分类。分类被用于表示集合和将对象以部件类的形式集成。同一部件类的对象共享共同的性质和值。一个类是一个同时定义了该类的对象所具有的数据（案例变量）和能对对象的行为进行操作的过程（方法）。在 KBE 系统中，类按层排列（树状结构），因此一个类可以有几个子类；每一个子类又可以有它自己的子类，等等。对象被组织在一个叫做产品结构树的树状结构中。