

工程可视化辅助设计 理论方法与应用

GONGCHENG KESHIHUA FUZHU SHEJI
LILUN FANGFA YU YINGYONG

钟登华 刘东海 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

工程可视化辅助设计 理论方法与应用

■ 钟登华 刘东海 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统地介绍了工程可视化辅助设计的理论方法及其在水利水电工程领域的应用,共分两大部分:第一部分为理论方法篇,详细阐述了工程可视化辅助设计的基本理论及其构成体系、基于GIS的工程可视化辅助设计基本方法、地质三维建模及其可视化分析方法、基于GIS的工程施工三维动态可视化仿真技术和面向对象的图形辅助仿真建模方法。介绍了一些工程可视化辅助设计中的智能优化与决策方法,探讨了基于网络环境的大型工程远程设计和管理的方法与技术体系。第二部分为应用篇,结合工程实例,具体介绍了地下洞室群施工组织可视化辅助设计与优化方法、混凝土坝施工组织可视化辅助设计方法、堆石坝施工组织可视化辅助设计及土石方动态平衡方法、施工导流临时挡泄水建筑物可视化辅助设计与优化方法、施工导截流过程的三维动态可视化分析方法和施工场地时空布置可视化辅助设计与仿真方法。

本书可作为高等院校水利工程、土木工程、系统工程、计算机及相关专业研究生的教学用书,亦可作为广大工程技术和科学研究人员学习、科研的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

工程可视化辅助设计理论方法与应用/钟登华,刘东海著. —北京:中国水利水电出版社,2004
ISBN 7-5084-1850-6

I. 工... II. ①钟... ②刘... III. ①工程—计算机辅助设计—应用—水利工程②工程—计算机辅助设计—应用—水力发电工程 IV. TV

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第109112号

书 名	工程可视化辅助设计理论方法与应用
作 者	钟登华 刘东海 著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 15.5印张 368千字
版 次	2004年2月第1版 2004年2月第1次印刷
印 数	0001—2500册
定 价	52.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

近年来，计算机辅助设计（Computer-Aided Design, CAD）技术的应用给现代工程设计领域带来了极大的便利，尤其是随着计算机软硬件技术的发展，大大促进了CAD技术应用的深度与广度。在大型工程（尤其是在水利水电工程）设计领域，尽管计算机应用水平已有了长足的进步，已经从早期编写简单程序进行结构计算，发展到如今运用计算机进行绘图、报告编制、建筑物形体设计、大型计算分析、多方案比选与优化等许多方面。但是，应用计算机进行辅助设计的水平还远远落后于计算机技术本身的发展，甚至与机械工程、工业自动化工程等先进制造领域的应用水平尚有一定的差距，具体表现在设计建模过程复杂且不直观，设计效率不高，致使设计者尚未摆脱大量的人工劳动。

我国大江大河很多（如长江、黄河、红河水、澜沧江、金沙江等），在大江大河上建坝，如三峡、小浪底、龙滩、糯扎渡、溪洛渡、向家坝等，这些工程大都处于高山峡谷，水深流急，其工程设计与决策是一项十分复杂的工作，需要花费大量人力物力，计算机辅助设计是人们长期以来追求的目标。因此，如何采用科学有效的设计方法以提高设计效率，如何为设计者提供一个交互友好的可视化设计环境，是提高工程设计效率和决策水平的关键。充分利用计算机技术为工程设计服务，是水利水电工程设计者肩负的历史使命，工程计算机辅助设计水平的提高，必将带来设计效益与质量的提高。目前，工程设计界正在掀起集数字化、可视化、智能化于一体的新的“设计革命”浪潮。因此，研究涵盖地质、建筑物结构和施工组织设计等方面的工程可视化辅助设计新的理论与方法，不仅可为大型工程设计与决策提供一个科学有效、简便直观的可视化分析途径，极大提高工程设计效率与决策水平，而且有助于推动现代工程设计革命，必将具有广阔的应用前景。

本书深入系统地介绍了工程可视化辅助设计的理论方法及其在水利水电工程领域的应用，共分两大部分，分别为理论方法篇和理论方法在水利水电工程中的应用研究篇。第1章通过与传统CAD的比较，探讨了工程可视化辅助设计（VCAD）的基本理论及其构成体系；第2章提出了基于GIS的工程可视化辅助设计基本理论与方法，研究了工程VCAD与GIS结合的途径与方式，设计

了基于 GIS 的工程可视化辅助设计系统的基本框架,提出了基于 GIS 的工程建筑物交互式参数化辅助设计方法以及工程设计可视化技术;第 3 章深入研究了地质三维建模及其可视化分析方法,介绍了基于 NURBS 技术的地质曲面构造技术,并在此基础上实现了地质任意空间剖切以及信息的三维空间查询与管理;第 4 章提出了基于 GIS 的工程施工三维动态可视化仿真技术,详细研究了 GIS 中工程仿真系统三维动态数字模型构造及其可视化方法,探讨了 GIS 与可视化仿真环境的集成与开发模式,设计了基于 GIS 的交互式可视化仿真系统框架,提出了基于 GIS 的仿真数据可视化获取与三维动态演示方法;第 5 章介绍了面向对象的图形辅助仿真建模方法;第 6 章介绍了一些工程可视化辅助设计中的智能优化与决策方法;第 7 章探讨了基于网络环境的大型工程远程设计和管理方法及技术体系;第 8 章针对复杂地下洞室群施工系统,结合工程实例深入研究了地下洞室群施工组织可视化辅助设计与优化方法,为进行地下洞室群施工进度组织、施工机械设备配套、施工资源均衡以及施工交通运输等方面的设计与分析提供了依据;第 9 章提出了混凝土坝施工组织可视化辅助设计方法,以大坝施工三维动态可视化仿真为基础,结合工程实例研究了大坝施工组织、进度安排及机械配套优化等问题;第 10 章针对堆石坝施工特点,结合工程实例研究了堆石坝施工组织可视化辅助设计及土石方动态平衡方法;第 11 章研究了施工导流临时挡泄水建筑物可视化辅助设计与优化方法,提出了基于改进遗传算法的导流建筑物多目标优化方法、围堰挡水实时风险估计的日径流模拟方法与导流泄水建筑物可靠性分析方法,在此基础上,研究了施工导流建筑物形体的可视化辅助设计方法;第 12 章结合具体工程介绍了施工导截流过程的三维动态可视化分析方法;第 13 章介绍了施工场地时空布置可视化辅助设计与仿真方法。

本书主要由钟登华和刘东海撰写,张伟波、胡程顺、李明超、毛寨汉、宋洋等参加了部分章节的编写工作,李景茹、冯志军、练继亮、周锐、熊小平、朱慧蓉等也为本书的撰写付出了辛勤的劳动。本书的撰写和出版得到了曹楚生院士、崔广涛教授的鼓励和指导,得到了国家电力公司成都勘测设计研究院、中南勘测设计研究院、昆明勘测设计研究院、西北勘测设计研究院等单位的帮助和支持,特此致谢!此外,在本书的撰写过程中,引用了部分文献资料,并已将主要参考文献附在书末,在此谨向有关作者致谢。

本专著的研究可能只是一个开端,但相信可以为将来进一步研究奠定一定

的基础。同时希望通过本书的出版，能抛砖引玉，使更多的专家、同行关注或投入该领域的研究，共同为早日实现我国大型工程设计的现代化而努力。

由于作者水平有限，书中疏漏和不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

2003年8月于天津大学

目 录

前言

理论方法篇

第 1 章 工程可视化辅助设计基本理论及其构成体系	3
1.1 CAD 及其发展趋势	3
1.2 工程可视化辅助设计 (VCAD) 基本概念	4
1.3 工程可视化辅助设计理论的构成体系	5
1.4 工程可视化辅助设计的工作流程	5
1.5 工程 VCAD 系统的基本功能	6
1.6 智能 CAD 技术的集成	8
1.7 几何造型技术	11
1.8 图形显示技术	14
1.9 工程可视化辅助设计中的有限元方法概述	17
第 2 章 基于 GIS 的工程可视化辅助设计理论与方法	20
2.1 地理信息系统 (GIS) 及其研究现状	20
2.2 GIS 与工程 VCAD 的结合途径及方式	21
2.3 基于 GIS 的工程 VCAD 系统基本框架	22
2.4 数字地形三维建模方法	23
2.5 数字地质三维建模方法概述	27
2.6 基于 GIS 的建筑物交互式参数化辅助设计方法	30
2.7 基于 GIS 的工程设计可视化技术	32
第 3 章 数字地质三维建模及其可视化分析方法	34
3.1 复杂地质三维可视化数字建模	35
3.2 数字地质三维建模过程	39
3.3 地质 NURBS 曲面构造技术	42
3.4 地质趋势面分析技术	44
3.5 地质三维数字模型的可视化及其分析	52
3.6 地质三维可视化分析软件 (VisualGeo) 系统的开发	57
3.7 工程应用实例	60
第 4 章 基于 GIS 的工程施工三维动态可视化仿真技术	63
4.1 GIS 中工程仿真信息的可视化原理	63
4.2 GIS 与可视化仿真环境的集成方式	64
4.3 基于 GIS 的交互式可视化仿真系统框架结构	65

4.4	工程仿真系统三维动态数字模型构造	66
4.5	基于 GIS 的仿真数据可视化及其分析	68
第 5 章	面向对象的图形辅助仿真建模方法	71
5.1	面向对象技术简介	71
5.2	面向对象图形辅助仿真建模理论基础及模型层次划分	75
5.3	可视化动态仿真模型的构成	76
5.4	面向对象技术在仿真建模中的应用	78
5.5	图形辅助仿真建模中的数据库技术	79
第 6 章	工程可视化辅助设计中的优化决策方法	81
6.1	遗传算法及其在工程优化设计中的应用	81
6.2	神经网络方法及其在工程优化与预测中的应用	84
6.3	工程设计方案的多目标综合评价方法	90
第 7 章	基于网络环境的大型工程远程设计和管理	96
7.1	工程远程设计和管理的基本概念	96
7.2	工程远程设计的网络环境	97
7.3	工程远程设计的协同工作模式	99
7.4	工程远程管理的实施	100
7.5	工程虚拟设计技术	105

应 用 篇

第 8 章	地下洞室群施工组织可视化辅助设计与优化	109
8.1	基于仿真的地下洞室群施工组织可视化辅助设计方法	109
8.2	地下洞室群施工进度分析与优化	116
8.3	施工机械设备的优化配置	124
8.4	基于遗传算法的施工资源均衡优化	128
8.5	地下洞室群施工交通运输可视化仿真与优化	134
8.6	地下洞室群施工可视化辅助设计软件研制与开发	137
8.7	工程应用实例	140
第 9 章	混凝土坝施工组织可视化辅助设计与优化	146
9.1	混凝土坝施工系统分析	146
9.2	基于仿真的混凝土坝施工组织可视化辅助设计方法	147
9.3	混凝土坝施工可视化辅助设计建模	150
9.4	混凝土坝施工进度安排及机械配套优化	152
9.5	工程应用实例	155
第 10 章	土石坝施工组织可视化辅助设计及土石方动态调配	158
10.1	土石方动态调配规划	158
10.2	土石坝施工过程三维动态可视化仿真	164
10.3	土石方动态调配可视化分析	174

10.4	基于可视化仿真的土石坝施工组织设计	174
10.5	软件系统程序设计与开发	176
第 11 章	导流临时挡泄水建筑物可视化辅助设计与优化	185
11.1	施工导流建筑物多目标优化	185
11.2	导流围堰挡水实时风险估计	191
11.3	导流建筑物泄流能力的可靠性分析	194
11.4	施工导流临时挡泄水建筑物形体可视化辅助设计	197
11.5	施工导流可视化辅助设计系统 (CDCAD) 开发	200
11.6	工程应用实例	202
第 12 章	施工导截流过程三维动态可视化分析	204
12.1	施工导截流系统三维动态数字模型构造	204
12.2	施工导流过程三维动态可视化仿真建模	205
12.3	截流过程三维动态可视化仿真建模	207
12.4	基于三维动态仿真的施工导截流过程可视化分析	209
12.5	床面起伏影响下载流抛投料稳定性分析	211
12.6	施工导截流过程三维动态可视化分析系统 (CDVAS) 的开发	213
12.7	工程应用实例	215
第 13 章	施工场地时空布置可视化辅助设计与仿真	219
13.1	施工场地布置三维数字建模	219
13.2	渣场三维可视化辅助设计	222
13.3	场内道路三维可视化辅助设计	223
13.4	施工总布置时空演变过程三维可视化仿真	225
13.5	施工总布置可视化信息管理	226
13.6	工程应用实例	228
	参考文献	230

工程可视化辅助设计理论方法与应用

理论方法篇

LILUN FANGFA PIAN

第 1 章 工程可视化辅助设计基本理论 及其构成体系

为给工程设计人员提供一个科学有效、便捷直观的设计与分析途径,本章将结合 GIS、可视化技术、系统仿真以及 CAD 等先进技术与方法,深入研究工程可视化辅助设计(VCAD)的有关理论与方法。首先在探讨工程 VCAD 基本概念及其理论构成体系的基础上,介绍工程 VCAD 系统的基本组成、功能以及进行工程可视化辅助设计的一般工作流程,并简要介绍了工程可视化辅助设计中的一些关键技术,包括智能 CAD 技术、几何造型及图形显示技术、数值计算技术(如有限元法)等,而对于其他与传统 CAD 技术相类似的相关理论与技术,本书不再赘述,请参考相关文献。

1.1 CAD 及其发展趋势

1.1.1 CAD 理论基础

计算机辅助设计(Computer-Aided Design,简称 CAD),是利用计算机强有力的计算功能和高效率的图形处理能力,辅助设计者进行工程和产品的设计与分析,以达到理想的目的或取得创新成果的一种技术^[158]。它是综合了计算机科学与工程设计方法的最新发展而形成的一门新兴学科。计算机辅助设计技术的发展是与计算机软件、硬件技术的发展和完善以及工程设计方法的革新紧密相关。采用计算机进行辅助设计已是现代工程设计的迫切需要。

CAD 系统是一个综合集成了多种技术的系统,它将信息技术与应用领域技术紧密结合在一起。它主要涉及以下几种技术:

- (1) 计算机技术。包括计算机硬件,即主机、外围设备、接口技术等;计算机软件,包括操作系统、编程语言、软件工具、开发方法等。
- (2) 图形学技术。包括图形学算法及其实现、图形软件及其标准化、图形设备(显示器、绘图仪、数字化仪、扫描仪)及其应用等。
- (3) 数据管理技术。主要指工程数据库管理系统,其具有处理文本、图形、图像、CAD 文件、标准、规范等各种工程数据的功能。
- (4) 数值分析技术。包括有限元分析、数值计算、模拟、仿真等技术。
- (5) 智能技术。包括知识工程、专家系统、人工智能及智能化接口等。
- (6) 人机界面。如图形用户界面(GUI)、多媒体界面等。
- (7) 数据交换技术。包括各系统间数据交换接口及标准。
- (8) 网络通信技术。包括局域网、广域网、分布式处理、客户/服务器(C/S)系统、Internet 和 Intranet 等技术。

1.1.2 CAD 技术发展趋势

CAD 技术从 20 世纪 50 年代诞生至今,随着计算机软硬件技术的不断发展,也日趋成熟。已经被广泛地应用于电子、轻工、纺织、服装、医疗、国防及工程设计等国民经济的各个领域,而且正朝着标准化、智能化、集成化、虚拟设计的方向发展^[158],主要体现在以下几个方面:

(1) 自 20 世纪 80 年代以来,已经出现了图形级的标准,如 PHIGS、GKS;图形交换级的标准,如 CGI、IGES 以及近年来正在不断被完善的 STEP 等。STEP 标准覆盖了整个产品生命周期的数据交换标准,对协同设计、并行工程、集成制造等具有重要的意义。日前利用基于 STEP 的 CAD 技术进行产品设计建模理论的研究已经成为一个热点^[159,160]。

(2) 智能化是 CAD 技术发展的又一热点^[149,153]。这种智能性首先体现在把设计领域专家的知识 and 工程技术人员的经验融入到 CAD 系统中,使之成为可以继承的知识库;其次是 CAD 系统本身的智能化,如人机接口、数据采集、自动建模、方案优选、仿真模拟以及多媒体技术的应用,等等。

(3) 集成化是当今 CAD 技术发展的一大趋势^[63,66]。一方面 CAD 技术不断地与 CAM (计算机辅助制造)、CAPP (计算机辅助工艺流程规划) 以及 MIS (管理信息系统)、PDM (产品数据管理)、MRP (制造资源管理) 等系统相集成。另一方面,由于是当前全球经济一体化、并行工程、异地制造等概念的发展和运用,集成化技术将起到举足轻重的作用。同时,因特网的发展,使得人们在 Internet 上构建 CAD/CAM 集成化系统成为可能。

(4) 科学计算可视化、虚拟设计、虚拟制造技术是 20 世纪 90 年代以来 CAD 技术发展的新趋向^[141,142,145]。在虚拟世界中,设计人员可以直接对所设计的产品进行操作,以及进行各种模拟实验分析,并可及早看到新产品外形,从而可以帮助设计者多方位地观察和评审设计成果。

1.2 工程可视化辅助设计 (VCAD) 基本概念

工程辅助设计经历了从最初的算盘、计算器辅助计算,发展到目前用计算机(甚至是大型计算机群)来辅助设计,而且有着向可视化、智能化、集成化、网络化发展的趋势。从技术上看,计算机可视化辅助设计处于传统 CAD 与尚未成熟的未来先进 CAD 之间的过渡阶段,是两者之间的纽带,但它又是传统 CAD 发展的更高层次。

有别于传统 CAD,工程 VCAD 强调设计过程中的可视化辅助。这里的可视化,即科学计算可视化 (Visualization in Scientific Computing, ViSC^[11]),它强调科学计算的输入过程和计算过程拟人化和形象化,并采用计算机图形和图像处理技术将计算结果直观形象地显示出来并进行交互处理,使研究人员能以更直观和客观的方式发现隐藏在数据中的科学规律^[91,92]。可视化技术是科学计算与图形图像技术的结合,这涉及科学与工程计算、计算机图形学、图像处理、人机界面等多个学科和技术领域。作为一种新兴学科,自正式确立以来获得了迅速地发展。可视化的主要作用体现在以下几个方面。

(1) 为各应用领域提供可视化的分析工具与手段,实现巨量的、随时间变化的多维数据分析和显示,并可快速地提取有意义的特征及结果。

(2) 为模拟计算和数据分析提供视觉交互手段,使研究人员能够跟踪和交互模拟计算过程,大大提高计算的效率和质量。

(3) 将图形和计算紧密结合,使处理的数据实时地转化为图形图像,实现可视化动态模拟(包括大量数据的处理与显示),并能通过视觉对模型的性能或合理性进行有效分析。

(4) 通过这种数据理解的增强,把过去那种将模拟与设计独立进行处理的方法结合起来,使模拟与设计中的三维问题能够交互求解,从而使各领域用户逐步进入设计方法学的新时代。

因此,工程可视化辅助设计可以实现设计过程中直观方便的用户交互与控制,从而可帮助设计人员对设计对象及设计过程有更深刻的观察及理解。

综上所述,工程可视化辅助设计(VCAD)就是利用计算机强有力的计算功能和高效的图形处理能力,来直观、智能地辅助工程设计人员进行工程设计与分析的一种技术。它同时实现了设计过程的可视化与智能化。工程可视化辅助设计(VCAD)所强调的“V”应具体体现在四个方面,即工程设计条件可视化(包括地质、水文、地形、枢纽布置及施工条件等可视化)、设计建模过程可视化、计算分析过程可视化和设计成果可视化(包括三维真实感图形显示及非空间数据的图表、文档输出)。因此,可视化是工程VCAD的核心,而数字化又是实现可视化的基础。

1.3 工程可视化辅助设计理论的构成体系

正如上文所言,数字化是实现工程可视化设计的基础。这里的数字化包括了工程设计条件、设计过程所产生的数据与信息以及最终成果的数字化,其实质是数据与信息在计算机中的存储方式。要实现工程可视化辅助设计,需要有相应的技术来支撑,包括数字化技术、图形建模技术(包括曲线曲面造型技术、实体造型技术、参数化建模技术、变量化建模技术等)、交互技术(包括用户界面技术、数据应用接口技术、交互输入与控制技术)、动态可视化仿真技术、数值计算技术(有限元法等)、图形学技术(包括图形消隐技术、图形几何、投影变换与裁剪技术、真实感图形生成技术等)以及研制开发工程VCAD系统的软件工程技术(包括工程数据库开发技术、软件系统工程方法、图形软件标准化技术、系统集成技术、面向对象软件开发技术等)。当然,从计算机的实现上而言,工程可视化辅助设计的过程其实也是工程数据流向和管理的过程。

具体地,根据工程VCAD所表现的内容,有对应的技术来支撑,见图1-1。同时,该图也详细地反映了工程VCAD理论与技术的构成体系。

1.4 工程可视化辅助设计的工作流程

针对工程可视化辅助设计的特点,主要应该包括工程需求分析、工程设计条件的数字化与可视化、设计对象可视化建模与分析计算、工程施工可视化组织设计、设计反馈,以及设计成果的后处理与提交等几个步骤。具体的,工程可视化辅助设计的一般工作流程,见图1-2。

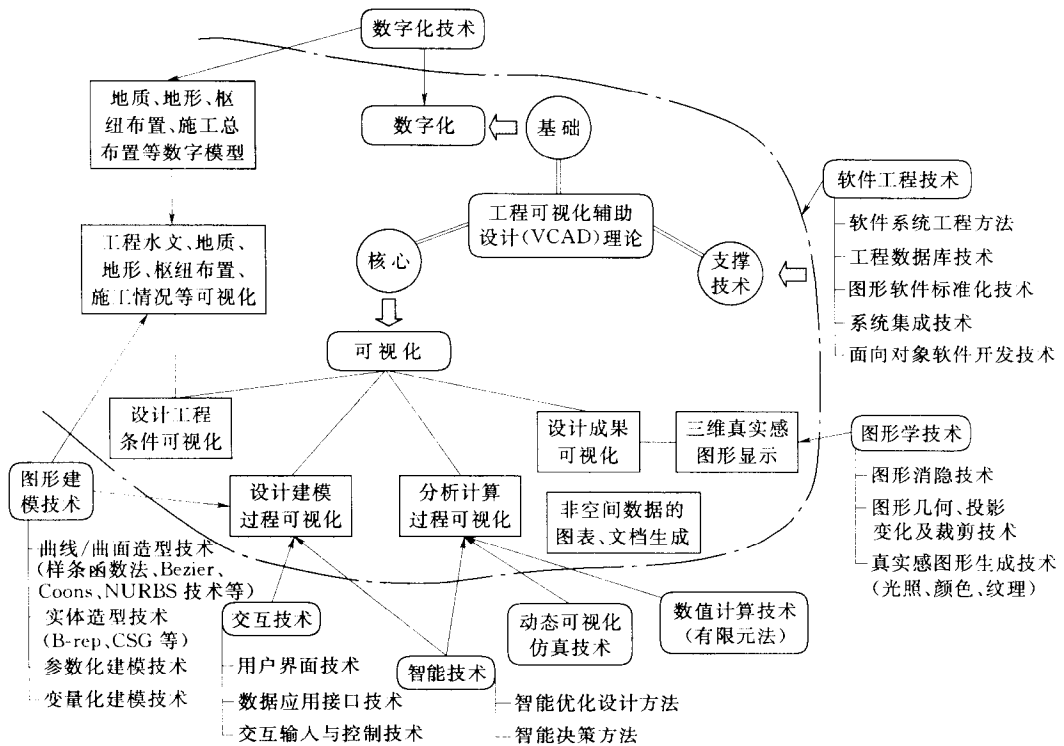


图 1-1 工程可视化辅助设计理论构成体系

1.5 工程 VCAD 系统的基本功能

一个工程 VCAD 系统一般应具有如下功能：

- (1) 高速数据处理能力和数值计算能力，以适应大量工程计算、有限元分析、形体设计、动态分析及模拟仿真的需求。
- (2) 强劲的图形处理能力，以适应设计过程中二维及三维图形的处理，包括透视渲染、真实感图形生成、可视化、虚拟现实等各种高级图形处理技术的需求。
- (3) 有效的数据管理功能，以适应大量非结构化的工程数据、图形图表、标准规范以及图像、语音等各种类型数据的管理实现。
- (4) 具有一定的智能性。通过知识工程、专家系统、神经网络等人工智能方法，以及智能化接口等智能技术的应用，把领域专家的知识、工程技术人员的经验以及工程类似案例等融入到 VCAD 系统中来形成知识库。这样，通过知识库的支撑，可以智能地辅助工程设计人员进行方案的设计与决策。
- (5) 系统标准化，包括系统的开放性标准、用户界面标准、数据存储与数据交换标准、图形处理标准以及各种国际工业标准，如设计规范、标准件库、制图格式标准、编码标准等，以便于进行各种系统间的交换及协同设计、并行设计等。

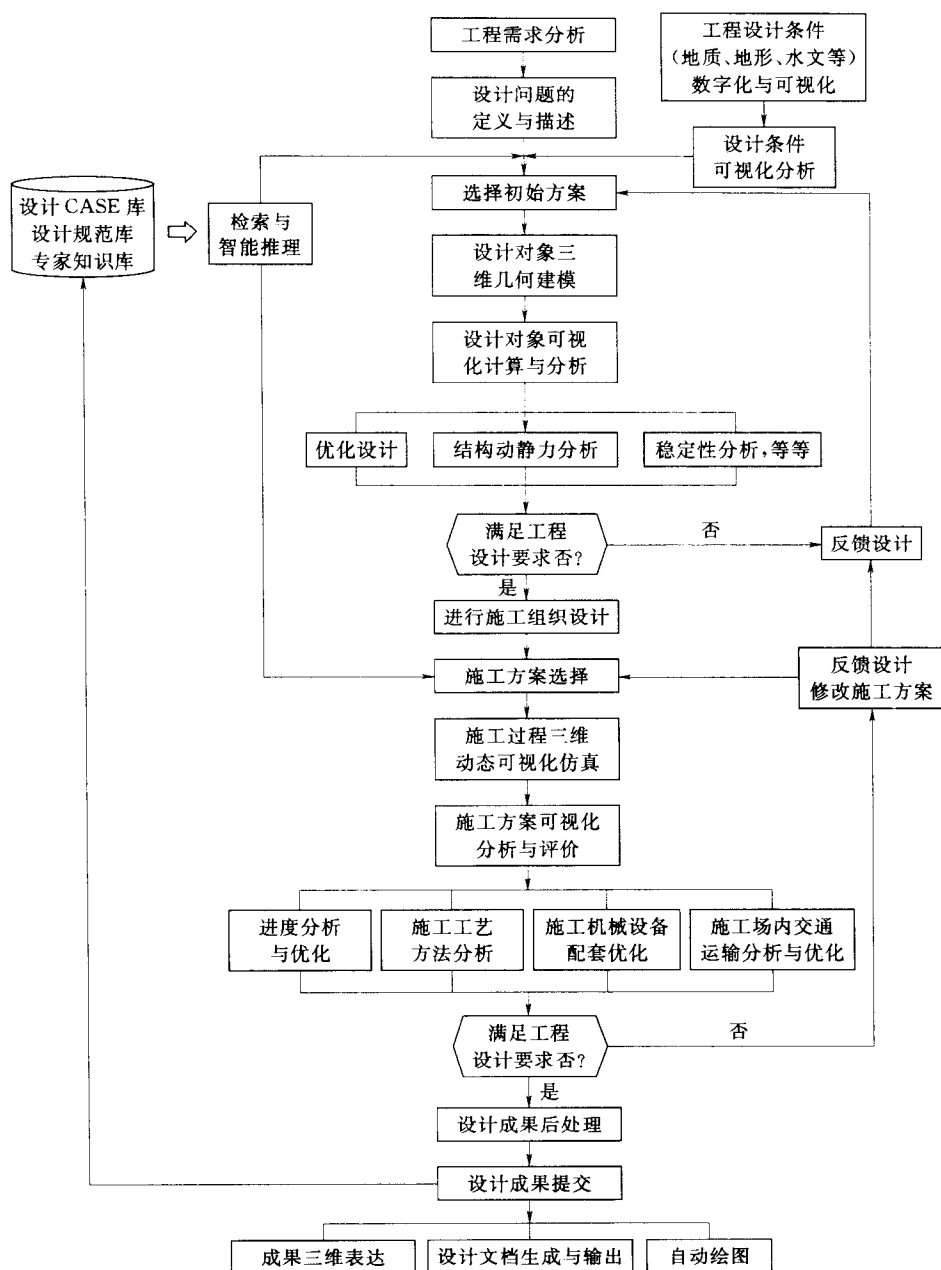


图 1-2 工程可视化辅助设计的工作流程

- (6) 良好的文字处理能力，便于设计文档、报表、清单的制作。
- (7) 友好的用户界面，以便于学习和使用。这就要求系统具有符合国际标准的图形用户界面、方便的菜单以及适用于多媒体操作和中文界面。
- (8) 较好的通用性。不仅对于同一领域（如水利水电工程）的不同工程应用项目有通

用性，而且还在一定程度上适用于其他领域（如土木工程中的结构设计和施工组织设计）。同时，系统还应具有较强的二次开发功能和数据接口。

1.6 智能 CAD 技术的集成

工程可视化辅助设计一个重要的特征是智能化，因此，在工程 VCAD 系统中要考虑与智能技术的集成。一个典型的设计过程可分为概念设计、初步设计和具体设计、结果评价等几个步骤。其中，概念设计和初步设计主要依靠设计者的知识和经验，再加上一定的思考来完成的，并且这些往往不能用精确的数学模型和算法来描述。而传统的 CAD 系统，它不包括知识和推理，也就是说它没有分析问题和解决问题的能力，它所能做的工作主要是提供方便的手段来辅助设计人员进行设计。在此过程中，设计人员是主体，而 CAD 系统只是个辅助工具。这样，在使用传统 CAD 系统时，就要求设计者具有很高的专业水平。针对传统 CAD 的不足，人们开始把 AI 技术引入到 CAD 系统中，提出了智能 CAD 的概念。

1.6.1 智能 CAD 系统的结构

智能 CAD 系统中主要集成的是专家系统，当然，还包括在分析计算过程中应用神经网络及遗传算法等智能优化设计方法。图 1-3 所示的是一个应用专家知识推理和工程类比来辅助设计与决策的智能 CAD 结构。

从图中也可以看出，整个设计过程是一个动态的逐步求精的过程，不断地提出方案，不断地用知识来进行分析和评价，之后又提出改进方案，再进行分析评价，直至得到满意的结果。

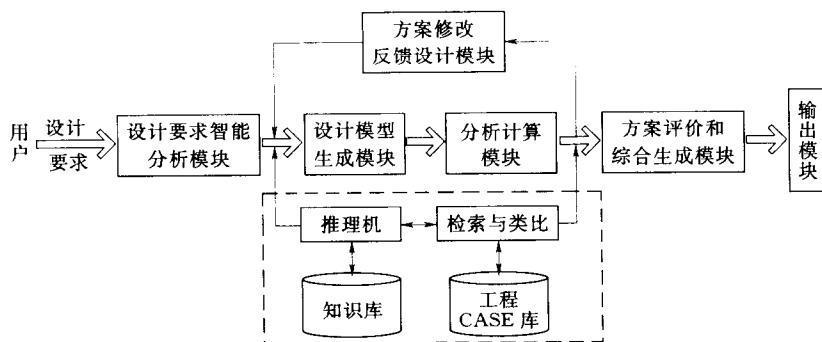


图 1-3 智能 CAD 系统结构

1.6.2 智能 CAD 的知识表示

在专家系统的范畴内，所谓知识表示包括两个方面的问题，一是用什么方法来组织、表示知识的问题；二是如何利用表示成一定形式的知识进行推理的问题。这两方面是相互联系，不可分割的。因为知识的表示方法与形式直接影响到如何使用该知识的问题，而如何运用知识进行推理也是常常随知识表示方法的不同而有所区别。

一般知识的表示方法有：框架式表示法、逻辑表示法、语义网络表示法、过程表示法、规则表示法、特性表示法、状态空间表示法、单元表示法等。其中最为常见的是框架式表