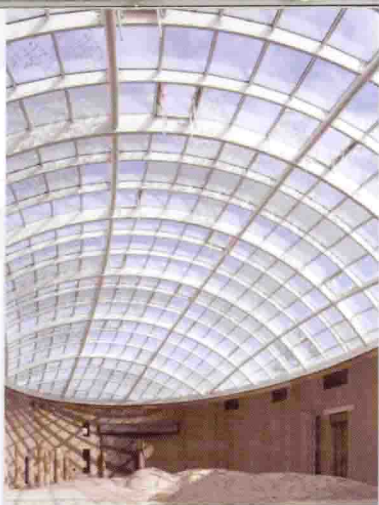




中国科学院教材建设专家委员会立项项目
土木工程科学研究暨研究生教学丛书

工程结构现代设计方法

张社荣 崔 澍 王 超 编著



科学出版社

中国科学院教材建设专家委员会立项项目
土木工程科学研究暨研究生教学丛书

工程结构现代设计方法

张社荣 崔 激 王 超 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本教材在讨论现代设计和工程设计特点的基础上,结合土木水利类工程结构设计的特点,重点介绍设计方法学、工程设计、结构优化设计、可靠度设计、有限元设计、计算机辅助设计、人工神经网络及遗传算法、智能工程等现代设计方法,并对近年发展起来的三维设计、并行设计等其他现代设计方法做了各有侧重的介绍。目的使学生在较少的学时内,了解现代设计与传统设计的区别,理解各种常用现代设计方法可以解决的实际结构工程问题及解决问题的思路,并初步掌握一些常用方法在结构工程中的应用。

本书可作为高等工科院校土木、水利类专业高年级本科生和研究生的教材,也可供相关业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程结构现代设计方法 / 张社荣, 崔激, 王超编著. —北京: 科学出版社, 2013

(中国科学院教材建设专家委员会立项项目·土木工程科学研究暨研究生教学丛书)

ISBN 978-7-03-038423-2

I. ①工… II. ①张… ②崔… ③王… III. ①工程结构-结构设计-教材 IV. ①TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 196880 号

责任编辑: 祝元志 任加林 / 责任校对: 王万红
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013 年 8 月第一次印刷 印张: 16 3/4

字数: 379 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<新科>)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026 (BA08)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

随着计算机技术的快速进步,各种现代设计方法不断涌现和发展,在不同的领域内解决大量科研和生产问题,强有力地推动了社会生产力的发展。但我国的产品设计工作与国外设计水平相比,仍存在较大差距。为尽快改变这种状况,更新设计观念,学习并逐步采用国际先进的设计方法,是我国设计工作当前面临的重要问题。对主要培养科技人员和工程技术人员的高等院校来说,要求学生掌握现代设计方法,也是研究生教育阶段的一项重要任务。

相比机械、电器、航天等领域的设计工作,土木、水利类等领域则偏重于工程结构的设计,且具有较为鲜明的特色:一是涉及介质庞杂,钢材、混凝土、塑料、土、水等都是设计产品的组成部分,各介质之间的关系纵横交错,没有明显的规律,同时产品外延也更难以明确界定;二是边界条件更为复杂,存在更多的不确定性,有些边界条件并没有成熟的约束方程来加以描述;三是产品设计、制造和运用周期更长,设计过程必须考虑材料性能、作用方式等随时间的变化状况。以上这些特点的存在,使得土木、水利类结构设计中应用现代设计方法存在一定的挑战。

掌握现代设计方法对研究生阶段的学习有非常重要的作用。据不完全统计,我国工学类90%以上的硕士和博士论文的研究中至少运用了一种现代设计方法,对学生的专业素养训练具有不可替代的作用。基于此种认识,“工程结构现代设计方法”课程已作为天津大学土木、水利类研究生(工学硕士和工程硕士)选修课和必修课讲授10年,效果良好,为学生了解现代科技发展、工程设计理念、开拓思路、培养创新精神提供了重要途径。通过全国高校水利教学指导委员会、水利工程硕士研究生教学协调组宣传介绍,有多个学校土木、水利学科开设“现代设计方法”课程,为培养学生解决问题能力,引导创新思维发挥了重要作用。

目前高等院校缺乏针对土木、水利学科的有关现代设计方面的专门教材,教学效果不可避免地存在一定缺憾。本教材是在现代设计和工程设计的基础上,结合土木、水利类工程结构设计的特点,重点介绍设计方法学、工程设计、可靠性设计、有限元法、计算机辅助设计、人工神经元计算方法、工程遗传算法、智能工程等现代设计方法,并对近年发展起来的三维设计、并行工程等其他现代设计方法做了各有侧重的介绍。通过本教材的学习,力求使学生了解现代设计与传统设计的区别,理解各种常用现代设计方法可以解决的实际结构工程问题及解决问题的思路,并初步掌握一些常用方法在结构工程中的应用。通过本教材的学习,使科技人员的后备军在未来可以熟练的运用现代设计方法,使结构设计工作朝着更新的境界、更独创的构思、更高的效率和更完美的满足社会需求前进。

参加本书编写的有:张社荣(第二、三、五章)、崔激(第一、六、八、九、十章)、王超(第四、七章)。

本书参考了许多国内外文献资料,在此向原作者表示感谢!由于本书体系是新的

尝试，限于编者水平，疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

最后衷心感谢严磊博士在本书编写过程中给予的支持，感谢高蕊、胡安奎、王浏刘、吕杨、潘飞、陈王在文字与图形处理中给予的大力帮助。特别感谢天津大学研究生院“创新人才培养项目”对本书的出版资助。

编 者

2013年5月于天津

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 现代设计	1
1.1.1 现代设计的概念	1
1.1.2 现代设计的分类	1
1.1.3 现代设计的特征	1
1.1.4 现代设计的特点	3
1.1.5 现代设计和传统设计的区别	4
1.2 结构工程设计	4
1.2.1 结构工程设计	4
1.2.2 结构设计阶段划分	5
1.3 现代设计的发展趋势展望	6
第二章 设计方法学	8
2.1 概述	8
2.1.1 设计方法学及其研究对象	8
2.1.2 设计系统	8
2.1.3 设计类型与设计原则	9
2.2 技术系统及其确定	10
2.2.1 技术系统	10
2.2.2 信息集约	10
2.2.3 调研预测	11
2.2.4 可行性报告	12
2.3 功能分析设计法	12
2.3.1 功能概念	12
2.3.2 确定总功能	12
2.3.3 功能分析	13
2.3.4 功能元求解	13
2.3.5 方案综合	13
2.3.6 设计工具	14
2.3.7 小结	14
2.4 评价决策	15
2.4.1 评价目标树	15
2.4.2 确定目标重要性系数（加权系数）	15
2.4.3 简单评价法	15
2.4.4 评分法	16

2.4.5	技术-经济评价法	17
2.4.6	模糊评价法	17
2.5	创新思维与技法	18
2.5.1	创造力开发	18
2.5.2	创造性思维	19
2.5.3	创新技法	19
2.6	现代设计的目标	21
第三章	工程设计	22
3.1	工程设计概述	22
3.1.1	工程设计的定义和特点	22
3.1.2	工程设计阶段和进程	23
3.2	工程结构系统的软设计理论	25
3.2.1	工程设计理论的发展方向	25
3.2.2	事物的确定性和不确定性	27
第四章	结构优化设计	29
4.1	概述	29
4.1.1	函数的极值	29
4.1.2	传统结构设计与结构优化设计	30
4.1.3	结构最优化设计的基本概念	31
4.1.4	工程结构优化设计发展	33
4.1.5	优化设计方法分类	34
4.2	最优准则法	35
4.2.1	满应力准则法	35
4.2.2	齿行法	37
4.2.3	桁架满位移设计	38
4.2.4	能量准则法	38
4.3	无约束优化算法	40
4.3.1	“成功-失败”法	40
4.3.2	Fibonacci 法	41
4.3.3	“0.618”法	44
4.3.4	牛顿法	44
4.3.5	变尺度法	45
4.3.6	共轭方向法	47
4.4	线性规划问题	49
4.4.1	线性规划问题的数学模型	50
4.4.2	线性规划问题的解法	51
4.4.3	线性规划问题的对偶问题	59
4.5	非线性规划问题	63
4.5.1	拉格朗日乘子法	63
4.5.2	库恩-塔克条件	66

4.5.3	罚函数法	68
4.5.4	可行方向法	72
4.5.5	复形法	74
4.5.6	序列二次规划	76
4.5.7	罚乘法	78
第五章	结构可靠度分析	85
5.1	结构可靠度基本概念	85
5.1.1	结构的功能要求	85
5.1.2	结构的极限状态	85
5.1.3	结构可靠度与可靠度指标	86
5.2	结构可靠度常用分析方法	88
5.2.1	均值一次二阶矩方法	88
5.2.2	改进的一次二阶矩方法	91
5.2.3	JC 法	92
5.2.4	蒙特卡罗法	93
5.2.5	响应面法	94
5.2.6	结构失效概率的优化模型 (优化法/几何法)	95
5.3	结构系统可靠度	98
5.3.1	串联体系及其可靠度计算方法	98
5.3.2	并联体系及其可靠度计算方法	98
5.3.3	概率网络估算技术	99
5.3.4	Ditlevsen 窄界限法	99
5.4	系统可靠度方法在土木水利工程中的应用	100
5.4.1	静定桁架承载力可靠度分析	100
5.4.2	重力坝层间抗滑稳定体系的动力可靠度分析	101
第六章	有限元设计	108
6.1	概述	108
6.1.1	有限元法的基本思想	108
6.1.2	有限元法的应用	108
6.2	有限元法的基本步骤	108
6.2.1	引例	108
6.2.2	有限元法的基本步骤	111
6.3	弹性力学平面问题的有限元法	113
6.4	其他常用单元的刚度矩阵	121
6.4.1	矩形单元	121
6.4.2	等参数单元	123
6.5	有限元软件的应用	126
6.5.1	有限元软件技术	126
6.5.2	有限元法及工程设计中的 CAE 分析	132
6.5.3	水利与土木工程常用有限元分析软件	133

第七章 计算机辅助设计	141
7.1 概述	141
7.1.1 计算机辅助设计的系统构成	141
7.1.2 计算机辅助设计系统的开发原理	144
7.1.3 计算机辅助设计的工作过程	145
7.2 三维设计方法技术及其主流软件环境评测	146
7.2.1 工程设计中的三维设计方法	146
7.2.2 三维设计技术在土木水利行业的运用现状	147
7.2.3 通用三维设计软件环境技术指标评测	149
7.3 现代化土木水利行业三维设计工程运用	157
7.3.1 复杂建筑群施工过程三维仿真	158
7.3.2 复杂地质三维实体构形	158
7.3.3 三维开挖设计关键技术	160
7.3.4 建筑物三维实体建模	162
7.3.5 厂房机电设备三维装配设计	162
7.3.6 工程三维布置理论及可视化效果展示	164
7.4 复杂结构三维设计应用实例	166
7.4.1 基于 CATIA 的复杂工程三维实体建模与结构分析	166
7.4.2 辅助功能模块的实现	168
7.4.3 结论	173
第八章 人工神经网络及遗传算法	174
8.1 人工神经网络优化设计方法	174
8.1.1 人工神经网络简述	174
8.1.2 人工神经元模型	175
8.1.3 人工神经网络模型的拓扑结构	176
8.1.4 人工神经网络的运行过程	179
8.1.5 BP 网络的改进算法及优化设计	181
8.2 遗传算法与工程设计	185
8.2.1 概述	185
8.2.2 遗传算法的基本流程	185
8.2.3 遗传算法的定理与假设	187
8.2.4 遗传算法的应用设计	190
8.3 人工神经网络和遗传算法应用实例	195
8.3.1 人工神经网络在洪水预报中的应用	195
8.3.2 遗传算法在渡槽结构优化设计中的应用	197
8.3.3 基于人工神经网络和遗传算法的土石坝位移反演分析	201
8.3.4 人工神经网络在结构损伤识别中的应用	203
第九章 智能工程	206
9.1 概述	206
9.1.1 智能工程的基本概念和原则	206

9.1.2 智能工程的研究内容与方法	207
9.1.3 智能工程与人工智能及智能设计的区别与联系	208
9.2 知识的获取及表达	208
9.2.1 知识的概念	208
9.2.2 知识获取	209
9.2.3 知识表述	211
9.3 知识的运用	212
9.3.1 知识的推理	212
9.3.2 推理中的搜索策略	213
9.3.3 推理控制策略	214
9.3.4 元推理机的设计	215
9.4 专家系统	215
9.4.1 专家系统概述	215
9.4.2 专家系统的结构	216
9.4.3 专家系统开发工具	217
9.5 应用实例——数据挖掘技术的应用	218
9.5.1 数据挖掘技术	218
9.5.2 数据挖掘技术在大坝安全决策支持系统中的应用	220
第十章 现代设计方法的其他知识	222
10.1 并行设计	222
10.1.1 并行设计过程	222
10.1.2 并行设计的关键技术	223
10.2 虚拟设计	227
10.2.1 虚拟现实与虚拟设计	227
10.2.2 虚拟设计的关键技术	230
10.3 反求工程设计	236
10.3.1 反求工程的一般概念	236
10.3.2 反求工程技术的相关内容	238
10.4 绿色设计	242
10.4.1 绿色设计基本概念与发展趋势	243
10.4.2 绿色设计的内容与方法	244
10.5 模块化设计	248
10.5.1 模块化设计基本概念与特点	248
10.5.2 模块的创建与再设计	249
10.6 现代设计的其他方法	251
10.6.1 价值工程	251
10.6.2 人机工程	251
10.6.3 相似性设计	252
10.6.4 三次设计	252
主要参考文献	253

第一章 绪 论

1.1 现代设计

1.1.1 现代设计的概念

现代设计法是传统设计活动的延伸和发展,是一门新兴的多元交叉学科,是以设计产品为目标的一个知识集合的总称。现代设计并没有明确的定义,20世纪60年代以后设计领域出现的一系列新兴理论和方法统称为现代设计。

计算机技术的飞速发展和广泛应用,深刻影响着设计开发过程、制造过程、行销及售后服务过程,并改变着产品的结构和功能。现代化的通讯技术、通讯网络和通讯工具缩短了企业之间、人与人之间的距离,改变了企业生产的组织模式。人们对社会消费品追求的多样化和个性化,强调了非物质方面的需求。人类为生存,更加强调可持续发展的理念及对生态环境方面的关注,要求生产过程和消费过程中更注重生态和环境方面的相容性和友善性,这些使人们的设计思想、设计方法和设计手段发生飞跃的变化。先进工艺技术和先进制造系统极大地推动了CAD(Computer Aided Design,计算机辅助设计)、CAM(Computer Aided Manufacturing,计算机辅助制造)及CAE(Computer Aided Engineering,计算机辅助工程)技术的发展和运用。

1.1.2 现代设计的分类

现代设计所涉及的理论和方法相当广泛,主要包括:设计方法学、优化设计、可靠性设计、有限元法、动态设计、计算机辅助设计、人工神经元计算方法、工程遗传算法、智能工程、价值工程、工业艺术造型设计、人机工程、并行工程、模块化设计、相似性设计、摩擦学设计、稳健设计、反求工程、建模和仿真技术以及面向“X”的设计等。

1.1.3 现代设计的特征

现代设计是传统设计的深入、丰富和完善,而非独立于传统设计的全新设计。目前对现代设计尚无确切定义,可由以下特征来理解。

1. 以计算机技术为核心

这是现代设计的主要特征。计算机技术的飞速发展对设计产生了巨大影响,表现为以下几方面。

(1) 设计手段的更新

计算机技术推动了设计手段从“手工”向“自动”的转变。传统设计以图板、直

尺、铅笔等作为工具,这种设计手段效率低、人工强度大。CAD技术的出现和发展,使用掉图板的“无纸设计”作为现代设计的主流,显著提高设计效率。

(2) 产品表示的改变

计算机技术推动产品表示从“二维”向“三维”的转变。传统设计利用投影原理表示产品结构,这种二维表示的数据单一、数据量少,不便于产品的进一步分析和制造。随着CAD技术的发展,三维“产品模型”(product model)得到越来越广泛的应用,这种表示不仅包括反映产品形状和尺寸的几何信息,还可包括分析、加工、材料、特性等数据,从而直接用于分析和制造。

(3) 设计方法的发展

现代设计促进了一些新的设计方法的出现,高性能的计算机硬件和先进的软件技术是一些方法实施的保证。一些先进的设计方法,如有限元分析、优化、模态分析等,都涉及大量复杂计算,只有计算机技术的发展才能推动这些方法的进步和应用。出现的新的设计方法有并行设计、虚拟设计、计算机仿真等。

(4) 工作方式的变化

计算机技术促进了设计方式从“串行”到“并行”的变化。受设计手段限制,传统设计过程采用串行方式进行,即设计任务按时序从一个环节传入下一环节。随着数据库技术和网络技术的发展,并行设计得到广泛应用。它要求设计小组(team)同时并行地参与设计,最大限度地交流信息,以缩短设计周期,并有助于将各种新思想、新技术、新方法融入到产品设计中。

(5) 设计与制造一体化

保存于计算机内的产品模型可直接进入CAPP系统进行工艺规划和NC编程,随后加工代码可直接传入NC机床加工中心进行加工。产品模型加强了设计与制造两个环节连接,提高了产品开发效率。

(6) 管理水平的提高

产品设计是一个复杂的系统工程,设计过程涉及大量设计数据 and 设计行为的管理。数据库技术的发展改变了传统手工管理模式。各种MIS、PDM系统的广泛应用大大提高设计的管理水平,保证了设计过程的高效、协同和安全。

(7) 组织模式的开放

网络技术的发展加快数据通讯速度,缩短企业之间的距离。传统的局限于企业内部的封闭设计正在向不受行政隶属关系约束、多企业共同参与的异地设计转变。为完成一种设计任务形成的虚拟企业或动态联盟将实现优势互补和资源共享,极大地提高设计效率和水平。

2. 以设计理论为指导

受科学技术发展水平的限制,传统设计是以生产经验为基础,以运用力学和数学形成的计算公式、经验公式、图表、手册等作为依据进行的。随着理论研究的深入,许多工程现象被不断升华和总结成揭示事物内在规律和本质的理论,如摩擦学理论、模态分析理论、可靠性理论、疲劳理论、润滑理论等。现代设计方法是基于理论形成的方法,利用这种方法指导设计可减小经验设计的盲目性和随意性,提高设计的主动性、科学性

和准确性。因此,现代设计是以理论指导为主、经验为辅的一种设计。

1.1.4 现代设计的特点

1. 系统性

现代设计强调用系统工程处理技术系统问题。设计时分析各部分的有机联系,以“功能-原理-结构”框架为模型,用计算机构造多种方案,评价选出最优方案,力求系统整体最优,同时要考虑系统与外界的联系,即“人-机-环境”的大系统关系。

2. 社会性

现代设计开发新产品的整个过程,从产品的概念形成到报废处理的全寿命周期中所有问题,都要以面向社会、面向市场为指导思想,全面考虑解决。设计过程中的功能分析、原理方案确定、结构方案确定、造型方案确定都要随时按市场经济规律进行。定量进行市场分析、经济分析、价值分析,以并行工程方法指导企业生产管理体制改革和新产品的设计工作。

3. 创造性

现代设计突出人的创造性,充分发挥设计者的创造性思维能力及集体智慧,运用各种创造技法,力求探寻更多的突破性方案,开发创新产品。

创造性方法是现代设计的基石,没有创造性,任何现代设计方法都不可能有质的飞跃。创造性的表面现象是直觉和灵感,但其本质理论基础则是突变论。突变性的创造,关键在于必须要有发散性思维,能够多元、广角、横向交叉各学科知识。

4. 最优化

通过优化理论及技术,对技术系统进行方案优选,寻求最佳的设计参数值,最优的结构形式和结构组成,争取使技术系统整体最优,以获得功能全、性能好、成本低、价值优的产品。

5. 综合性

现代设计重视综合集成,在性能、技术、经济、建造工艺、运行、环境等各种约束条件下,在广泛的学科领域之间,结合计算机等高科技产品,以高效率综合集成最新科技成果,寻求最优方案和参数。现代设计突破传统、经验、类比的设计方法,采用逻辑、理论、系统的设计方法,运用信息论、相似论、模糊论、可靠性、有限元、预测学等理论,同时采用集合、矩阵、图论等数学工具和计算机系统,总结设计规律,提供多种解决设计问题的途径。

6. 计算机辅助化

CAD在工程结构的全寿命周期,全面引入计算机辅助设计,提高设计速度和质量,

工程施工和运行管理的效率明显提高。在计算和绘图中 CAD 不断推广和深化,在信息储存、仿真模拟方面发挥了不可替代的作用。人工智能的应用使设计方案的评价决策更加完善和科学。

7. 设计过程智能化

设计过程智能化是指借助于人工智能和专家系统技术,由计算机完成一部分原来必须由设计者进行的创造性工作。计算机模仿人的思维规律,通过知识和信息的获取、推理及运用,解决复杂的问题。在智能工程理论的指导下,以计算机为主模仿人的智能活动,探求设计高度智能化的产品和系统。

1.1.5 现代设计和传统设计的区别

传统设计经历了直觉设计、经验设计、半经验半理论设计三个阶段,它基本上是凭借直接或间接的经验,通过类比法来确定方案,然后以材料的强度和建筑物的稳定理论来计算和验算结构的形状和尺寸,以满足限定的约束条件。

现代设计方法则是以设计产品为目标的一个知识群体的总称,它运用系统工程,实行“人-机-环境”一体化设计,使设计思想、设计进程、设计组织更合理化;采用动态的分析力法,使问题分析动态化;设计进程和战略、设计方案和数据的选择广义化;计算、绘图及分析计算机化。现代设计方法是在传统设计方法发展的过程中产生的,因此传统设计仍然是现代设计方法的基础。

1.2 结构工程设计

1.2.1 结构工程设计

工程设计是对工程技术系统进行构思、计划,把设想变为现实的技术实践活动和决策过程。国外也曾有这样的定义“工程设计是为适应市场明确显示的需求,而拟定系统、零部件、工艺方法的决策过程。在多数情况下,这个过程要反复进行,要根据基础科学、数学和工程科学为达到明确的目标对各种资源实现最佳的利用。”不同国家不同领域对工程设计有着不同的定义、但定义本身都会涉及设计的依据、目标、要求,设计过程的本质,支持设计工作的基本要素等。

设计一般是根据已经提出的技术思想,制定出具体的明确并可付诸实践的方案、说明。与研究和开发相比,具有更明确的目标,更多的约束条件和方案选择。设计方法与科研方法不同,是一个反向演绎的方法。设计的目的是建立性能好、成本低、价值最优的满足需要功能的技术系统。

人类社会需求的不断膨胀,对设计的发展起着巨大的推动作用,设计中的革新和创新则是设计的本质,设计是建立技术系统的重要环节,所建立的技术系统应能实现预期的功能。设计过程缺乏方案寻求和论证比较,常会出现设计错误和设计质量问题。在大型土木和水利工程中,由于工程本身与社会环境、自然环境的相互影响明显,技术系统更易出现设计错误和计划错误的缺陷。如埃及 20 世纪 70 年代初竣工的阿斯旺水坝,它

的建成对防洪、发电、输水起到巨大作用，但水坝设计时对环境因素分析不够，大坝工程的设计者未能准确地估计库区泥沙淤积的速度和过程。设计者按照尼罗河水含沙量计算，结论是 500 年后泥沙才会淤满库容，认为淤积问题对水库的效益影响不大。但是大坝建成 20 多年后，泥沙在水库入口处形成了三角洲，水库有效库容明显下降，泥沙改道，下游的农田因缺乏肥料而逐渐变得贫瘠；由于河水不再泛滥，也就不再有雨季的大量河水带走土壤中的盐分，而不断的灌溉又使地下水位上升，把深层土壤内的盐分带到地表，导致了尼罗河两岸土壤盐碱化；因为没有河水不断的补充，库区及水库下游的尼罗河水质开始恶化，导致河水富营养化。

1.2.2 结构设计阶段划分

1. 土木工程设计阶段的划分

土木工程设计阶段在国际上一般分为概念设计、基本设计和详细设计三个阶段。在我国一般划分为方案设计、初步设计和施工图设计三个阶段。

各设计阶段主要内容及深度要求如下所述。

(1) 方案设计

投资决策之后，由咨询单位对可行性研究提出意见和问题，经与业主协商认可后提出具体开展建设的设计文件，其深度应当满足编制初步设计文件和控制概算的需要。

(2) 初步设计

根据内容，依项目的类型不同而有所变化，一般来说，它是项目的宏观设计、即项目的总体设计、布局设计、主要的工艺流程、设备的选型和安装设计、土建工程量及费用的估算等。初步设计文件应当满足编制施工招标文件、主要设备材料订货和编制施工图设计文件的需要，是下一阶段施工图设计的基础。初步设计的深度应满足设计方案的选择和确定、主要设备和材料订货、土地征用、基本建设投资控制。

(3) 施工图设计

其主要内容是根据批准的初步设计，绘制出正确、完整和尽可能详细的建筑、安装图纸，包括建设项目部分工程的详图，零部件结构明细表，验收标准、方法，施工图预算等。此设计文件应当满足设备材料采购、非标准设备制作和施工的需要，并注明建筑工程合理使用年限。

工业项目和民用项目主要都是“三阶段设计”，但根据具体项目的特点不同在“三阶段设计”基础上可进行调整。在工业大型项目设计中一般要做总体规划设计（总体设计），但它本身不代表一个单独的设计阶段。

2. 水利水电工程设计阶段划分

一个水利工程，需要经过勘测、规划、设计与施工等几个阶段才能最后建成。水利工程建设应当遵照国家规定的基本建设程序，即设计前期工作、编制设计文件、工程施工和竣工验收等阶段进行。水利工程设计阶段划分为项目建议书、可行性研究报告、初步设计、招标设计和施工图五个阶段（对重要的或技术条件复杂的大型工程，还要在初

步设计与施工图之间,再增加一个技术设计阶段)。水电工程设计阶段划分为预可行性研究报告、可行性研究报告阶段、招标设计和施工图四个阶段。

工程设计阶段的明确划分,使工程设计已不再仅仅是依赖经验和灵感的创造艺术,而是逐步演进为一门科学,即以知识为依托,以科学方法为手段的工程创新活动。近代科学技术分支如系统论、信息论、控制论的形成推进了对设计工作共性的研究,提炼出普遍适用的技术,并发展成有关的新兴学科,如搜集资料提取信息的信息工程,分析系统特性的系统工程,结构功能分析的有限元法,安全性分析的可靠度理论,模型试验、数学模型及算法,结构定型及施工管理的优化算法,模拟人的活动的计算机辅助设计(CAD)系统及专家决策系统等。这些新兴学科在革命性地改变着设计工作面貌,从经验型定性判断走向智能型定量决策。工程设计学进入了系统工程、系统优化和计算机辅助设计的阶段。

大型土木水利工程设计,作为一种有目标的创造性社会活动,既要有自然科学和工程科学的知识基础,还要有相关的专业知识和经验,尤其对新材料、新工艺、施工过程和运行管理方面的知识了解和经验的借鉴十分必要。此外,工程设计人员设计的产品往往要肩负起文明道德和生态环境方面的社会职责,要求设计人员必须具备有关政治、法律、经济、环境、社会心理和文化艺术等方面的素养。

1.3 现代设计的发展趋势展望

随着新技术的进步和现代设计理论的日趋完善,现代设计方法的研究应重点关注如下几个方面:

1) 设计过程的数字化研究。不仅要完善工程对象中确定性变量的数学描述和数学建模,而且更要研究非确定性变量,包括随机变量、随机过程、模糊变量(人的智能、经验、创造力、语言及政治、经济、人文等社会科学因素)等的数学描述和数学建模。

2) 设计过程的自动化和智能化研究。健全、研究、发展各种类型的数据库、方法库和知识库,及自动编程、自学习、自适应等高级商品化软件的研制,如研究设计知识、数据信息的获取与处理技术、智能CAD人工神经网络专家系统的模型和应用软件等。

3) 动态多变量优化和工程不确定模型优化(模糊优化)、不可微模型优化及多目标优化等优化方法与程序的研究,并进一步发展到广义工程大系统的优化设计的研究。

4) 网络化并行设计及协同设计技术、方法及软件的研究。

5) 虚拟设计和仿真虚拟试验、三维打印技术及快速成形技术的深入研究。该项研究是以计算机仿真为基础,集计算机图形学、智能技术、并行工程、人机工程、材料、成形工艺、光电传感技术和多媒体技术为一体的综合学科研究。

6) 大力普及、推广与发展CAD技术的应用研究,其重点是研制开发功能强的商品化软件。

7) 面向集成制造和分布式经营管理的设计方法、人员组织及规划的研究。

8) 微型机电系统的设计理论及设计方法和技术的研究,如智能计算、纳米技术、

微型机器人系统及微型机械系统的设计计算。

9) 面向生态环境的绿色设计理论与方法的研究, 如绿色产品的设计、清洁化生产过程的设计、产品的可回收性设计等。

10) 注重基础性设计理论及共性设计技术的深层次研究, 基础性设计技术, 如动态设计、疲劳设计、防断裂设计、减摩和耐磨设计、防腐蚀性设计及运动学、动力学、传动技术、弹塑性理论等, 是许多现代设计技术的知识源泉和数学建模的理论基础。