

石油工程优化设计 理论及方法

刘 扬 著

北京)

石油工业出版社

PDG

前 言

最优化设计是近几十年出现的一种设计方法，它以最优化数学理论为基础，借助计算机来合理地选择设计方案。应用实践表明，最优化设计方法与传统的设计方法相比，具有明显的优越性，既可以大大缩短设计周期，又可以显著提高设计质量。因而，它代表了现代设计方法的主流发展方向。

本书是一本有关石油工程优化理论与方法研究的专著。除介绍了必要的基础知识外，书中其它内容均为作者多年从事石油工程各类优化问题研究的体会、认识与成果。从专业角度来看，本书的主要内容包括：油田地面“管-站系统”拓扑优化设计问题、油气集输系统优化设计问题、石油钻井设备优化问题、钻井参数优化设计问题、石油管道与设备可靠性分析问题等。从数学角度来看，这些问题又涉及如下几类优化问题：离散优化问题、选址优化问题、参数优化问题、多目标优化问题、模糊决策与模糊优化问题和随机可靠性优化问题。

目前已出版了不少有关工程优化方面的图书，但专门论及石油工程优化方面的书籍尚不多见。希望本书能为石油工程优化技术的进一步推广与普及起到积极的促进作用。

本书涉及的部分研究内容曾得到作者的导师中国科学院学部委员钱令希教授、大连理工大学程耿东教授的指导，作者在此表示深深的谢意。

限于水平，书中难免有疏漏或不足之处，敬请读者批评指正。

刘 扬

1994 年春于秦皇岛

目 录

第一章	石油工程优化设计概述	(1)
第一节	石油工程中的优化设计问题	(1)
第二节	最优化问题数学模型的建立	(3)
一、	模型的建立	(3)
二、	建立模型的基本原则	(5)
第三节	最优化问题的分类	(6)
一、	无约束优化与有约束优化	(6)
二、	线性优化与非线性优化	(7)
三、	连续变量优化与离散变量优化	(7)
四、	多目标优化与单目标优化	(8)
五、	确定性优化与非确定性优化	(8)
第四节	关于石油工程优化设计问题的几点讨论	(9)
第二章	确定性优化问题的基本理论	(10)
第一节	基本知识	(10)
一、	凸集	(10)
二、	凸函数及其性质	(10)
三、	设计空间及可行域	(12)
四、	目标函数的等值面	(12)
五、	函数的方向导数与梯度	(13)
六、	无约束极值条件	(15)
七、	有约束极值条件	(17)
第二节	无约束优化问题	(21)
一、	一维搜索	(21)
二、	最速下降法	(22)
三、	牛顿法	(24)
四、	阻尼牛顿法	(24)
五、	变尺度法	(25)

六、模式搜索法	(28)
七、Powell 方法	(30)
第三节 约束优化问题	(32)
一、约束最优化方法概述	(32)
二、罚函数法 (SUMT)	(32)
三、序列线性规划法 (SLP)	(35)
四、可行方向法	(37)
五、直接序列二次规划法	(40)
六、序列二次规划法及约束变尺度法	(42)
七、简约梯度法	(45)
八、广义简约梯度法	(47)
九、复形法	(49)
第四节 离散优化问题	(52)
一、离散优化问题概述	(52)
二、约束非线性离散变量优化方法	(53)
三、网络最优化	(61)
第五节 多目标优化问题	(70)
一、多目标优化问题的数学模型	(70)
二、多目标优化问题的解集与像集	(70)
三、多目标优化问题的求解方法	(73)
四、优化策略的选择与权系数的确定	(83)
第三章 非确定性优化问题基本理论	(86)
第一节 可靠性数学基础	(86)
一、随机变量及其分布	(86)
二、随机变量的数字特征	(88)
三、常用概率分布	(90)
第二节 可靠性分析方法	(94)
一、单元可靠性分析方法	(94)
二、系统可靠性分析方法	(96)
第三节 可靠性优化方法	(98)

第四节	集合论的基本知识	(100)
第五节	隶属函数、模糊子集的概念	(101)
第六节	模糊子集的表示方法及运算	(103)
第七节	确定隶属函数的方法	(104)
第八节	λ 水平截集	(107)
第九节	分解定理与扩展原理	(108)
第十节	模糊判决	(109)
第十一节	非对称模糊优化	(110)
第十二节	对称模糊优化	(112)
第四章	油田地面“管-站系统”拓扑优化设计	(114)
第一节	多级星式集输网络的拓扑优化设计	(114)
一、	问题的数学模型	(115)
二、	分级优化法	(116)
三、	星式网络拓扑优化的动态规划法	(120)
第二节	环型集输网络的拓扑优化设计	(123)
一、	环型集输管网拓扑优化数学模型	(123)
二、	计算复杂性分析	(125)
三、	优化问题的求解方法	(126)
四、	应用实例	(127)
第五章	油气集输系统参数优化设计	(129)
第一节	具有确定网络拓扑关系的集输管网系统布局的优化设计	(129)
一、	关于中间站选址方法的讨论	(129)
二、	具有确定网络拓扑关系的集输管网系统布局优化问题	(130)
三、	计算实例	(133)
第二节	管线越障碍与参数优化	(133)
一、	穿越障碍优化问题	(133)
二、	参数优化问题	(135)
第三节	油气集输管网系统多目标优化设计	(137)

一、概述·····	(137)
二、集输管网多目标优化设计问题·····	(139)
三、集输管网动态多目标优化问题·····	(141)
四、应用举例·····	(142)
第六章 石油钻井井架结构优化设计·····	(144)
第一节 用力学准则法进行井架最轻重量优化设计·····	(144)
一、方法概述·····	(144)
二、优化过程·····	(146)
三、A 型井架优化实例 ·····	(149)
第二节 用最严约束法进行井架最小经济指标优化设计·····	(153)
一、数学模型·····	(153)
二、优化准则·····	(156)
三、数值过程·····	(158)
四、计算实例·····	(159)
第三节 具有系统稳定约束的井架结构优化设计·····	(160)
一、系统稳定约束中可行性调整的有效性·····	(161)
二、最严系统稳定约束条件下的优化准则·····	(162)
三、向量模系数的确定·····	(164)
四、数值计算实例·····	(165)
第四节 具有离散变量的井架结构优化设计·····	(169)
一、优化设计数学模型·····	(169)
二、问题的计算复杂性·····	(170)
三、优化问题的求解方法·····	(172)
四、应用实例·····	(173)
第七章 模糊决策在石油工程中的应用·····	(175)
第一节 模糊决策在钻井工程中的应用·····	(175)
一、概述·····	(175)
二、确定钻头轴承机械负荷极限的模糊决策方法·····	(177)
三、评选钻头序列的模糊决策方法·····	(178)
第二节 向量优化问题标量化的模糊决策法·····	(180)

一、概述	(180)
二、模糊对比法	(181)
三、特征值方程求解	(182)
四、模糊逆变换法	(183)
第三节 套管头结构模糊可靠性分析	(185)
一、引言	(185)
二、套管头结构模糊可靠性分析方法	(186)
三、套管头结构模糊可靠性分析实例	(190)
第八章 模糊优化及其在石油工程中的应用	(195)
第一节 对称模糊优化问题的直接求解法	(195)
一、模糊优化的解集及其特定清晰解	(195)
二、对称模糊优化模型及其迭代解法	(195)
三、对称模糊优化模型的直接求解法	(197)
四、算例	(198)
第二节 模糊优化的特点及其与多目标优化的关系	(199)
第三节 集输管网系统模糊优化设计	(203)
一、集输系统的单目标与多目标模糊优化	(203)
二、模糊优化数学模型	(203)
三、模糊优化问题的求解	(205)
四、优化实例	(207)
第四节 影响模糊优化结果的几个因素	(208)
第九章 多元随机钻井模式理论及其应用	(210)
第一节 概述	(210)
第二节 钻井过程中的随机影响因素	(211)
第三节 多元随机钻进模式的建立	(211)
一、牙轮钻头的随机模式	(211)
二、PDC 钻头的随机模式	(213)
第四节 计算步骤	(214)
第五节 多元随机模式的现场验证	(215)
第六节 多元随机钻井模式的几个应用方面	(217)

一、在钻井参数优化设计中的应用	(217)
二、在钻井过程闭环控制中的应用	(217)
三、在参数敏感性分析中的应用	(217)
第七节 问题讨论	(218)
第十章 钻井参数的随机模糊优化理论	(219)
第一节 具有模糊可靠性约束的钻井机械参数优化	(219)
一、概述	(219)
二、模糊可靠性约束及可靠性、模糊约束的建立	(220)
三、数学模型	(222)
四、求解方法及算例	(224)
第二节 基于随机钻井模式的钻井参数优化方法	(225)
一、概述	(226)
二、钻井参数优化数学模型的建立	(226)
三、优化问题的求解方法	(230)
四、现场应用	(230)
五、参数的灵敏度分析	(231)
六、问题讨论	(232)
第十一章 可靠性分析的最优化算法及其在石油工程中的应用	(233)
第一节 石油工程结构可靠性分析的平行梯度算法	(233)
一、概述	(233)
二、梯度共线条件	(234)
三、石油工程结构可靠性分析的平行梯度算法	(236)
四、应用实例	(237)
第二节 集输管道可靠性的最优化算法	(238)
一、一次二阶矩模式可靠度分析的优化模型	(239)
二、正态分布下可靠度分析的序列二次规划法	(240)
三、任意分布下序列二次规划法	(241)
四、管道可靠性分析实例	(242)
五、问题讨论	(243)
参考文献	(245)

第一章 石油工程优化设计概述

第一节 石油工程中的优化设计问题

石油是国民经济的命脉。石油工业在能源生产中占有重要的地位，同时也是一个多学科交叉、知识密集型行业。从专业内容看，可将其大致分为地质勘探、油田开发和石油工程三个方面。其中石油工程设计主要包括油田地面工程设计、钻井工程设计以及油田使用的各种设备、结构的设计。通常，石油工程设计的对象具有多专业交叉、系统繁杂、投资巨大等特点。因此，应用近代最优化理论，对石油工程进行优化设计，可以达到提高设计速度与质量，降低工程投资的目的。

生产实践已提出了大量的石油工程优化设计问题，如油田地面管-站系统布局优化问题，油气集输系统优化设计问题，钻井设备优化设计问题，钻井过程优化设计问题等。这些优化问题，往往具有不同的数学模型结构，求解方法和策略也各有不同之处。了解和掌握这些方法，对进一步推动最优化技术在石油工程设计中的应用具有积极的意义。

进行石油工程优化设计就是从所有可能的设计方案中选择最佳的设计方案。毫无疑问，这是所有工程设计人员所追求的目标。自古以来，有责任心的工程设计人员常常是先提出几个设计方案，再从中选出“最佳”方案。在计算机技术尚不发达的时期，由于受到计算量和时间的限制，择优只能在有限几个方案中进行。当问题较复杂时，很难达到最优。

50年代以前，求解最优化问题的数学方法只限于古典求导方法和变分法，或用拉格朗日乘子法求解等式约束下的条件极值问题。用这类方法求函数的极值称为古典最优化问题。随着科学技术的发展，许多优化问题已无法用古典方法来解决。50年代初期，

库恩 (H. W. Kuhn) 和塔克 (A. W. Tucker) 首先在理论上取得了突破性成果。他们推导出了关于不等式约束条件下的非线性最优必要条件, 称为 Kuhn-Tucker 条件, 它构成了现代最优化技术的理论基础。在此后 10 年, 电子计算机得到快速发展, 它为最优化技术的发展提供了有效的手段, 使最优化技术获得十分迅速的发展。

现代“最优化设计”是在计算机广泛应用的基础上发展起来的一项新技术。它根据最优化理论综合各方面的因素, 在计算机上进行自动设计或交互式设计, 以确定出最优设计方案。其设计宗旨是寻求最优设计; 设计手段是电子计算机及软件; 设计方法是采用最优化数学方法, 这种方法的威力在于不必试算全部可能方案, 就能确定最佳结果。一般说来, 对于实际工程设计问题, 所涉及的因素越多、越复杂, 优化设计见到的效益越明显。

优化设计分成如下五个阶段:

- (1) 形成问题
- (2) 建立数学模型
- (3) 求解模型
- (4) 检验模型及其解
- (5) 应用模型的解

一般说来, 这五个阶段不能截然分开, 在某种程度上, 各阶段之间是相互影响的, 在时间上也可以是彼此重叠的。比如, 建立数学模型常常要受到现有求解手段的影响; 而形成问题并不是一次完成的; 在后面几个阶段进行的同时, 形成问题本身却需再三地进行。

形成问题是最高层次的决策问题。比如要设计一个集输管网系统, 首先要决定的是使一次性投资最低? 还是在今后 10 年内运行费用最低? 是采用环状管网还是采用树状管网? 只有决定了这些问题后, 才能进行具体的设计。形成问题很费时间, 但它在整个研究工作中却是最为重要的一个阶段。显然我们不希望花费巨大的精力去解一个错误的问题。

建立模型就是用一个数学模型代替真实的系统。它包括：确定一组可调变量（称为设计变量）；确定设计必须满足的若干个等式或不等式的约束条件；确定系统性能的评价指标，它是设计变量的函数。我们希望确定设计变量的取值，以使效能指标达到最优化。

求解模型就是根据模型的数学结构和特点选择恰当的最优化数学方法解出模型的最优值。工程优化设计中经常用到的是迭代法。所谓迭代法就是用某种办法找出一个试探解，然后检验它是否为最优解；如不是最优解，则根据某种信息，求得一个新的可能解，它比原先的解有所改进，至少应一样好。重复这一过程，直到求得一个最优解为止。

接下来就是检验模型并估价所得之解。由于意想不到的疏忽，可能给模型带来某种缺陷。比如模型的数学结构可能有错；模型中的参数可能出错；一些重要的变量未能进入模型等等。检验模型就是根据由模型求出的解来实际运行真实的系统。这样就能相当有效地对模型的结构及一些基本参数进行检验。但是，这未必总能办得到。在这种情况下，就必须将系统过去的性能与对模型所作的预计作一比较。

最后一个阶段是解的使用。投入使用的解应适合于正在研究的那个系统的目前状况。许多情况随着时间的推移往往会发生变化。因此，在试图将求得的解付诸实施时，对原来的数据和假定全部加以检验是完全必要的。

第二节 最优化问题数学模型的建立

一、模型的建立

最优化问题的数学模型是由设计变量、目标函数和约束条件组成的。

1. 设计变量

在设计中可调整的而又必须最终确定其值的各项独立参数，

称为设计变量。比如，钻井井架的高度、井口套管头的截面尺寸、油气集输管道的直径、钻头的类型和某种油品的生产量等都可作为设计变量。设计变量既可以是连续变化的，也可以取离散值或整数值。比如油井的注水量是连续变量，计量站的管井数目是整数变量，而齿轮的模数则必须根据规范从有限个离散值中取值。当然整数亦可以看成是离散数的一种特殊情形。故可以统称为离散变量。

所有设计变量的集合称为设计向量。如有 n 个设计变量，则其全体为一个 n 维设计向量，用 x 表示：

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$$

x 的一个具体值代表一个设计方案。最优化设计就是研究如何合理地选择设计向量值的一种现代设计方法。

2. 目标函数

一个待设计系统的“好”与“坏”，总是以某一效能指标来衡量的。这个效能指标就是优化设计问题中的目标函数。目标函数是设计变量的函数，最优化设计的过程就是优选设计变量的值以使目标函数达到最优值或找出目标函数的极值（最小值或最大值）的过程。

根据问题的性质不同，所选择的目标函数也不同。在航空工业中，一般以飞行器的重量作为目标函数；在机械工业中的零部件设计问题中，常以应力集中系数为目标函数；在土木工程中，常以建筑物的成本为目标函数；在油田地面工程设计中，常以系统的一次性投资或运行费用为目标函数；在钻井优化问题中，常以钻井成本为目标函数。

一般说来，对于同一设计问题，采用不同的目标函数得到的最优解是不同的。

3. 约束条件

在许多实际问题中，设计变量的取值范围是有限制的或必须满足一定的条件。在优化设计中，这种对设计变量取值的限制条件称为约束条件。在工程问题中，可以把约束分为两类。一类是

尺寸约束，用以限制某个设计变量的变化范围或规定某组变量间的相对关系。例如要求构件的截面尺寸 x_i 满足其最大尺寸 x_i^* 、最小尺寸 x_i' 的约束。则尺寸约束可表示为：

$$x_i' \leq x_i \leq x_i^* \quad i = 1, 2, \dots, n$$

或

$$x' \leq x \leq x''$$

另一类约束称为性态约束，它是考虑设计系统的性态或性能要求而导出的约束条件。比如在井架结构优化中，要求每个构件的最大应力小于其许用应力的约束条件就是性态约束。在多数情况下，性态约束是隐约束，即约束函数是设计变量的隐函数。

根据上面的讨论可知，最优化设计问题就是求一组设计变量的最优值，既满足约束条件又使目标函数最优。

对于一般的可用非线性规划表达的石油工程设计问题，可统一表述为：

$$\begin{aligned} \text{Find} \quad & x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \\ \text{min} \quad & f(x) \\ \text{s.t} \quad & g_j(x) \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \\ & x_i' \leq x_i \leq x_i'' \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

其中 Find 表示求解，min 表示极小化，s.t 表示约束条件。

二、建立模型的基本原则

求解优化设计问题是针对数学模型进行的，而数学模型只是真实系统的替代物。它的好坏直接影响到设计质量。因此，建立数学模型是最优化过程中非常重要的一步^[1]。建立模型的主要原则是：

(1) 用简单模型能够解决的问题不要建立复杂的模型。就模型结构而言，“越大”、“越复杂”并不一定意味着“越好”。与问题本身相比，改进模型可能要花费更多的时间和财力。所以在解决实际问题中，不需要把模型搞得太复杂。

(2) 建立模型要避免生搬硬套。不应靠修改问题去适应求解的方法，而应选择适合求解问题的模型和方法。

(3) 必须严格掌握模型的推论。当模型的结论与实际不符时，原因仅在于原先的假设不当。换句话说，如果不严格掌握模型的推论，就不能区别表达式中的外部误差和逻辑方面的内部误差。

(4) 在运用模型之前，必须检验它的有效性，即检验它偏离近似标准的程度。

(5) 不能仅从字面判断模型的优劣，即简单的模型不一定“劣”，复杂的模型不一定“优”。

(6) 既不应强迫使用一个模型，也不应在使用失败时随便非难一个模型。

(7) 模型的工作情况取决于输入的信息。众所周知，计算机的编程规则是：输入错误，输出也必然是错误。这个准则对建立模型也同样有用。计算机或模型只能运用输入的数据工作，而对识别和纠正输入数据本身的错误是无能为力的。

(8) 模型不能代替决策者。常有人认为，一旦确定了所要考虑的事项，模型就会自动做出决策。这是一种误解，事实上，许多问题常常受到非数量因素的影响。这些问题需要依靠因人而异的决策能力来解决。只有最一般的决策问题才能靠模型“自动”地解决，但在出错时仍需要人来修正系统。

第三节 最优化问题的分类

对于工程优化问题，根据约束条件存在与否可分为无约束优化与有约束优化问题；根据目标函数和约束函数的性质可分为线性优化与非线性优化问题；根据变量的性质可分为连续变量优化与离散变量优化问题；根据评价函数的个数可分为单目标优化与多目标优化问题；根据决定设计的因素、条件是不是确定性的可分为确定性优化与非确定性优化问题。下面予以分别讨论。

一、无约束优化与有约束优化

变量的变化不受限制，即没有约束条件的优化问题，称为无约束优化问题。无约束优化问题的一般提法为：

$$\min f(x), \quad x \in R^n$$

其中 R^n 为 n 维实数空间。无约束优化问题的求解比一般非线性规划问题要容易得多。一般可采用基本下降法、共轭梯度法、变尺度法和直接搜索法求解。在油田科研活动中，经常需要用公式表示离散的试验数据。所采用的最小二乘曲线拟合方法就是一种无约束优化方法。

对于大多数工程问题来说，设计变量的选择是受到约束限制的，比如钻井液的密度，油气集输中的掺水温度等，这就是所谓的有约束优化问题。求解约束优化问题要比求解无约束优化问题困难得多。这是因为在求解过程中，不但要改善目标函数，而且还要保证解的可行性。为此，需采用一些简化策略。比如在当前设计点，将原问题近似为较简单的问题，或将约束优化问题化为一系列无约束优化问题求解等。

二、线性优化与非线性优化

线性优化（或称线性规划）是指目标函数和约束函数都是设计变量的线性函数。如果目标函数和约束函数中存在着设计变量的非线性函数关系，则称为非线性优化（或非线性规划）。

显然线性规划是非线性规划的特例。关于线性规划的理论研究与应用都已十分成熟。事实上，关于线性规划的研究成果直接推动了其它数学规划方法的研究进展。单纯形法以及 Karmakar 法是求解线性规划问题的有效方法。

非线性规划的求解要比线性规划问题困难得多，这是显而易见的，通常采用一些近似策略来克服求解上的困难。比如，在当前设计点处，将函数展开成线性函数或二次函数，然后再求解这个较为简单的规划子问题，以期得到一个改进的解。

石油工程中的许多优化问题都属于非线性规划问题。比如集输参数优化、钻井参数优化及井架结构优化等。

三、连续变量优化与离散变量优化

连续变量优化是指设计变量在允许范围内是连续变化的，而

离散变量优化是指变量从一个有限离散集合中取值。求解离散变量的优化问题要比求解连续变量的优化问题困难得多，难度就在于它使比较成熟有效的连续变量优化方法难以施展。

一般地讲，这两类问题有相当不同的特色，并且求解它们的方法也是很不相同的。在离散优化的研究中，从某种意义上讲，是从二者的分界线入手的。油田地面管-站系统布局优化问题就是一种离散优化问题。

四、多目标优化与单目标优化

单目标优化问题是指评价待设计系统效能的函数只有一个，而在实际问题中，评价函数常常不止一个，而是多个，这就是所谓的多目标优化问题。显然，单目标优化问题是多目标优化问题的一个特例。

一般说来，单目标优化问题的解是唯一的，而在多目标优化问题中，各目标函数通常是互相冲突的、不协调的，这造成没有绝对的最优解，只有“有效解”。对于有效解集中的各个解，在没有确定一种评价准则的前提下，无法对它们的最优性进行评价。而这种评价准则的确定带有不确定性，它和人的主观意向、决策条件有关，决策者事先无法给出这些准则。事实上，如果事先能够确定这种准则，则完全没有必要作多目标优化。进行石油工程多目标优化设计的意义，就在于为决策者提供进行多种方案选择的机会。

五、确定性优化与非确定性优化

确定性优化问题是指构成优化问题的条件、因素等都是确定性的。这类问题可以用经典的数学手段研究。非确定性优化问题是指用以决定设计的一些因素、限制条件等都具有不确定性。石油工程设计问题中，主要存在两类不确定性因素：一类是随机性，比如钻头的磨损系数、设备材料的抗力等都是随机变量；第二类是模糊性，比如集输温度、压力的限制条件等都具有模糊性。随机性在优化问题中体现为可靠性优化问题；对于模糊性的研究，需

要借助模糊数学的方法,求解模糊条件下的优化问题。模糊优化问题也即在已知模糊目标集和模糊约束集的条件下求最优方案的问题。由于目标函数和约束的模糊性,模糊优化问题的解也不是唯一的。在确定了隶属函数后,它的解由模糊优越集给出,从中求得一个特定的解,涉及对目标和约束的重要性作出评价。

以上几类优化问题,在石油工程设计中具有一定的代表性,也是本书重点讨论的内容。

第四节 关于石油工程优化设计

问题的几点讨论

优化设计是近20年来出现的一种设计方法。它以最优化数学理论为基础,借助电子计算机合理地选择设计方案。石油工程中的应用实践表明,这种设计方法与传统的设计方法相比具有明显的优越性,既可以大大缩短设计周期,又可以提高设计水平,并可降低工程投资费用。在具体应用时,尚须考虑如下几点:

(1) 优化设计是针对一个数学模型进行的,而数学模型只是在一定程度上代表了真实系统,所以优化结果只能是一个相对的,可供最后设计作为依据的方案。

(2) 由于数学模型的近似性、求解方法的近似性,以及对优化结果进行进一步处理带来的近似性,都会使优化设计结果不是唯一的。事实上,许多实际问题只要求一个较好的改进解。

(3) 石油工程的设计过程应该是一个发挥人类智能与运用机器智能的综合过程,也就是说,一方面我们要用定量化的数学方法建立优化问题的数学模型,并借助计算机求解;另一方面,也要发挥人工智能和专家系统在优化决策中的作用,以便求得真实系统的最优解。

(4) 优化应该是多层次的,在每一层次优化中,可以采用各种不同的方法和手段。一般说来,方案优化是高层次优化,可能产生创新和飞跃,而参数优化能完成预定功能的方案设计和参数设计。