MATLAB 在定向钻穿越优化设计中的应用

刘明超[1], 郑晓春[2], 刘 颖[1], 赵伏锐[1]

(1. 中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017;
2. 中国石油西南油气田分公司, 四川 成都 610051)

摘 要: 将最优化理论与石油天然气管道定向钻穿越设计相结合, 通过数学模型的建立, 采用 MATLAB 优化工具箱函数进行求解, 计算实例表明是有效的。提出的方法解决了传统设计计算不能得到最优设计参数的问题, 设计效率显著提高。

关键词: 定向钻; 穿越工程; 优化设计; MATLAB
文章编号: 1006-5539(2006)04-0040-03 文献标识码: A

0 前言

水平定向钻技术最早出现在 20 世纪 70 年代, 是传统的公路打孔和油田定向钻井技术的结合, 这已成为目前深受欢迎、使用广泛的管道非开挖施工方法, 可用于石油、天然气、石化产品、水、污水等流体输送管道和电力、光缆管道的施工。不仅应用于河流、沟渠、水库等水域的穿越, 同时还广泛应用于高速公路、铁路、机场、海岸、岛屿以及密布建筑物、管道密集区等的穿越。定向钻施工技术首先应用于美国海岸地区的冲积层穿越, 现在已经能够开始在粗砂、卵石、冰碛和岩石地区等复杂地质条件下进行穿越施工。

近年来我国油气管道建设发展很快, 定向钻穿越应用非常广泛。在西气东输冀宁联络线工程中, 大中型河流定向钻穿越多达 60 余处, 其中 *DN* 1 000的大管径定向钻穿越 10 处。定向钻穿越设计时间紧, 任务重, 传统的定向钻设计方法效率不高, 不能很好满足工程设计的需要。同时, 如何从多种可能的设计方案中选择最佳的设计方案, 进行优化设计, 减少工程投资, 也是亟待解决的问题。

优化设计具有两方面的含义: 一方面, 通过优化计算得到最佳的设计参数, 使工程的投资最省, 带来显著的经济效益; 另一方面, 是设计方法的更新, 优化计算可以提供一种方便快捷的设计方法, 使设计者从传统设计方法大量烦琐的计算工作中解脱出来, 从而极大地提高设计效率。

1 定向钻穿越设计简介[1~3]

定向钻穿越设计过程通常如下: 结合线路总体走线, 根据河流穿越现场的实际地形情况和工程地质条件, 初步确定定向钻穿越方式, 然后经过实地测量和勘察, 取得满足设计要求的测量和地质资料以后, 最后进入施工图设计。

在大中型河流穿越定向钻设计时, 通常考虑的因素主要有:

a. 场地条件, 确定定向钻施工的钻机岸和管道组装回拖岸;

b. 工程地质条件, 穿越层位应避开卵石、基岩、淤泥、流沙等不良地层;

c. 当两岸有防洪大堤时, 定向钻出土点和入土点与堤坝的距离、堤坝下面钻孔深度均应满足水利主管部门的要求;

d. 定向钻穿越曲线入土角和出土角应根据穿越地形、地质条件和穿越管段管径的大小来确定, 一般入土角控制在 9°~12°, 出土角控制在 4°~8°为宜;

e. 根据规范要求, 穿越管段在入土点之后 20 m 应为直线段;

收稿日期: 2005-07-21

作者简介: 刘明超(1970-), 男, 四川南充人, 工程师, 毕业于西南石油大学储运专业, 硕士学位, 现主要从事油气储运设计工作。电话: (028)86014335。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

f. 入土端管道与陆上管道连接的弯管处和曲线敷设段应保持一定直管段长度;

g. 钻孔深度除满足管道埋深要求外,应具有一定的深度,防止施工过程中出现冒浆、漏浆现象;

h. 穿越两端管道埋深的要求。

常规的设计方法,采用弹性敷设计算公式,运用 EXCEL 电子表格的计算功能,综合考虑上述设计因素,通过反复试算来确定一个设计方案,计算较为烦琐,并且通常不能得到最佳设计参数。

2　优化设计数学模型

定向钻穿越的优化设计,就是根据工程实际情况,在满足规范和施工要求的前提下,计算最佳的设计参数,使穿越工程的投资最省。多数情况下,定向钻穿越长度越短,工程投资越少。故这里以定向钻穿越长度为目标函数,建立优化设计的数学模型。

$$\text{Min } F(x) \quad x \in R^n$$

$$s.t: \quad g_u(x) \leqslant 0,\ u = 1, 2, \cdots, m$$

$$h_v(x) = 0,\ v = 1, 2, \cdots, n$$

式中　$F(x)$——定向钻穿越长度;

$g_u(x)$——不等式约束函数,其个数为 m;

$h_v(x)$——等式约束函数,其个数为 n。

大中型河流采用定向钻穿越,根据不同管径、不同的穿越长度,通常采用两种施工方式:一种是直接入土、直接出土、无中间直管段的方式;另外一种方式则带中间直管段。这两种穿越方式的目标函数在数学上基本相近。

该数学模型属于连续变量的非线性约束最优化问题,求解的方法较多。这里采用 MATLAB 优化工具箱 fmincon()函数求解。

最优化问题的求解,还存在所谓的局部最优解和全局最优解的问题,即通过一次优化计算获得的最优解并不一定是整个求解空间的最优解,从不同的初始点计算有可能得到不同的优化结果。对于局部最优解非全局最优解的问题,通常需要多次计算,从多个优化结果中再选择一个最佳值,计算量相对较大。迄今为止,对于非线性约束最优化问题,还没有全局最优解的通用理论方法。但是针对某个具体的数学模型,通过优化算法获得的局部最优解也可能就是全局最优解。故针对定向钻穿越的目标函数,通过从不同初始可行点的搜索,探索局部最优解和全局最优解的关系是非常必要的。

3　MATLAB 简介[4]

MATLAB 软件是由美国 Mathworks 公司推出的用于数值计算和图形处理的科学计算系统环境。MATLAB 是英文 MATrix LABoratory(矩阵实验室)的缩写。它的第 1 版(DoS 版本 1.0)发行于 1984 年,经过近 20 年的不断改进,现今已推出 MATLAB7.0版。新的版本集中了日常数学处理中的各种功能,包括高效的数值计算、矩阵运算、信号处理和图形生成等功能。在 MATLAB 环境下,用户可以集成地进行程序设计、数值计算、图形绘制、输入输出、文件管理等各项操作。在国际学术界,MATLAB 已经被确认为准确、可靠的科学计算标准软件。在工程技术领域,MATLAB 被用来解决一些实际课题和数学模型问题。

MATLAB 中包括了被称作工具箱(TOOLBOX)的各类应用问题的求解工具。工具箱实际上是对 MATLAB 进行扩展应用的一系列 MATLAB 函数(称为 M 文件),它可用来求解多种学科的问题。MATLAB 优化工具箱包括无约束最优化、有约束最优化、二次规划、多目标规划、最大最小化、半元限问题、最小二乘问题、方程求解以及大型优化问题的求解等。

4　计算实例

对于定向钻穿越最优化模型,在不同的设计条件下具有不同的目标函数和约束条件,采用 MATLAB 优化工具箱 fmincon()函数进行优化时,需要输入一个满足约束条件的可行初始点(即初值),从不同的初始点计算,可能得到不同的求解结果。故下面给出两个算例,均从不同的初始点进行计算,将求解结果进行加以对比,分析 MATLAB 的 fmincon()函数求解定向钻优化问题的有效性。

算例 1:对于 *DN* 1 000 的定向钻穿越,在场地开阔,无不良地质条件,无防洪大堤,两岸地形平坦且高程基本相等的理想条件下,采用直接入土、直接出土、无中间直管段过渡的施工方式,假定两岸管道埋深均为 1.5 m,入土端管道端点(与陆上管道采用冷弯弯管连接处)与管道弹性敷设切点距离不小于 8 m,试确定定向钻最佳入土角、出土角、最大钻孔深度和最短穿越长度。计算结果,见表 1:

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 优化计算结果

优化计算	参数			
	入土角/(°)	出土角/(°)	最大钻孔深度/m	穿越长度/m
初始点 1	9.34	4.50	－23.69	654.52
初始点 2	10.49	4.82	－26.49	692.94
初始点 3	11.68	4.88	－39.16	914.92
最优解	9.00	5.00	－21.3	579.94

上述优化计算采用了三个初始点，初始点 1 与最优解较为接近，初始点 2、初始点 3 与最优解偏差很远，均收敛到唯一的最优解。从表 1 可以看出，在 *DN* 1 000 定向钻穿越规范允许的入土角 9°～12°范围内，任意输入一个初始点，优化计算均可以收敛到一个最优解。这表明，fmincon()函数对于定向钻的数学模型是高度收敛的，其优化解就是唯一的全局优化解。

算例 2：某 *DN* 1 000 的定向钻穿越，场地开阔，无不良地质条件，入土岸高程 19.2 m，出土岸高程 20.7 m，设计要求在里程 0＋748.5 m 处管底设计标高在 16.5 m 以下，出土端管道要加大埋深，在里程 0＋1 295.8 m 处管底设计标高在 14.5 m 以下，试确定定向钻最佳入土角、出土角和最短穿越长度。计算结果，见表 2：

表 2 优化计算结果

优化计算	参数				
	入土角/(°)	出土角/(°)	高程 1/m	高程 2/m	穿越长度/m
初始点 1	9.34	4.69	15.99	13.7	654.58
初始点 2	9.30	4.84	6.35	5.12	813.64
最优解	9.60	5.00	16.49	14.49	636.66

注：高程 1 指在里程 0＋748.5 m 处管底设计标高；高程 2 指在里程 0＋1 295.8 m 处管底设计标高。

上述优化计算采用了两个初始点，初始点 1 与最优解较为接近，初始点 2 与最优解偏差很远，均收敛到唯一的最优解。该算例表明，在进行设计计算时，任意给出一个满足设计要求的方案（该方案可能很不理想），利用 MATLAB 进行优化计算，不仅可以得到最佳设计方案，而且避免了传统设计方法的反复试算，从而大大提高了设计效率。

本算例中，如果需要修改设计，在里程 0＋1 295.8 m处管底设计标高在 14.5 m 以下修改为 15.5 m 以下，则将优化程序中相关约束条件的参数修改后，即可算出一个新的优化方案。故优化设计方法对于设计过程中的方案修改也是非常方便的。

5 结论

a. 定向钻穿越在一般情况下，入土角越小，出土角越大，定向钻穿越长度越短。

b. MATLAB 的 fmincon()函数，求解不同的定向钻穿越优化问题，从不同的初始点搜索，一般均可以收敛到全局最优解。

c. 对于 *DN* 1 000 的定向钻穿越，本文给出了最佳设计参数，可供设计参考。而针对不同管径的穿越，可以得出相应的最短穿越长度和最大钻孔深度。不仅可以优化设计，同时为定向钻穿越设计的前期工作（方案比较、穿越定桩、确定勘察钻孔深度等）提供了一定依据。

d. 采用 MATLAB 优化方法，可以建立一些标准的定向钻穿越数学模型及程序。在具体设计时，直接从模型库中选取对应的模型，作简单的参数修改后就可以进行求解，使用方便快捷。同时 MATLAB 软件界面友好，程序调试方便，是优秀的计算工具。

参考文献：

[1] 中国石油天然气总公司. 石油地面工程设计手册（第五册）[M]. 北京：石油大学出版社，1995.

[2] SY/T 0015.1-98，原油和天然气输送管道穿跨越工程设计规范·穿越工程[S].

[3] SY/T 4079-95，石油和天然气管道穿越工程施工及验收规范[S].

[4] 张 铮，杨文平，石博强，等. MATLAB 程序设计与实例应用[M]. 北京：中国铁道出版社，2003.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net