

成本约束条件下的套管柱优化设计

金业权

(中国石油大学·华东)

金业权.成本约束条件下的套管柱优化设计.天然气工业,2006,26(5):147-148.

摘要 传统的等安全系数法套管柱设计基本思路是“套管受到的载荷×安全系数小于或等于套管的强度”,其核心是强度安全原则,而较少考虑套管的成本。在现代钻井工程中,套管柱费用所占比例很高,所以研究既考虑强度又考虑成本的套管柱设计方法尤为重要。以传统套管柱设计力学模型为基础,结合线形规划理论,建立了成本约束条件下的套管柱设计的数学模型,并建立了图解法求解的步骤。实例验证表明,该设计方法具有求解简单、所设计的套管柱成本最低的特点。

关键词 套管柱 优化设计 费用 线性规划 成本 约束

传统的套管柱设计主要是考虑套管是否满足载荷、是否安全,并且这种设计是通过逐段校核强度来确定套管的下深,计算比较繁琐。为了达到节约成本的目的,寻找既考虑安全又考虑成本的套管柱设计方法尤为重要。

体参数列入表1。

表1 套管设计参数表

套管种类	抗内压强度 (kPa)	抗外挤强度 (kPa)	单位长度价格 (元/m)	屈服强度 (kPa)	抗拉强度 (kN)	单位长度重量 (kN/m)
1	B_1	C_{01}	C_1	T_1	M_1	q_1
2	B_2	C_{02}	C_2	T_2	M_2	q_2
3	B_3	C_{03}	C_3	T_3	M_3	q_3

一、模型的建立

1. 基本思路

成本约束条件下套管优化设计的基本思路是:以套管能否满足外部载荷和下入深度要求为约束条件,以套管柱整体成本最低为目标函数的最优规划。

套管柱由不同种类(钢级、壁厚)的套管组成,油田库存的套管有很多种,因此可能存在的套管组合也有很多种。对每一种组合,设各段的长度为 L_i ($i=1,2,3,\dots,n$),总存在一组在该种套管组合下的最优长度组合 L_r 。对 m 种组合就存在有 m 组最优长度组。从中选取成本最低的那一组,即为套管柱设计的最优解(或称为理想解)。

成本约束条件下的套管柱优化设计的力学模型与常规的设计相同,这里不再详细讨论。

2. 建立约束方程的初始条件

在一个套管柱组合中,选用几种不同的套管主要取决于库存、力学需要、工程需要以及地区经验等,笔者以套管柱由小于或等于3种套管组成为例,最下面一段套管定义为第一段,将这3种套管的具

3. 建立外挤载荷约束方程

根据套管柱设计强度基本原则,建立生产套管的约束方程如下:

$$9.81\rho S_c(L_1 + L_2 + L_3) \leq 1.03C_{01} \quad (1-a)$$

$$\frac{0.74C_{02}qL_1}{T_2} + 9.81\rho S_cL_2 + 9.81\rho S_cL_3 \leq 1.03C_{02} \quad (1-b)$$

$$\frac{0.74C_{03}qL_1}{T_3} + \frac{0.74C_{03}qL_2}{T_3} + 9.81\rho S_cL_3 \leq 1.03C_{03} \quad (1-c)$$

$$9.81S_i(\rho - \rho_s)L_3 \geq B_1 - p_p S_i \quad (2-a)$$

$$9.81S_i(\rho - \rho_s)(L_2 + L_3) \leq B_2 - p_p S_i \quad (2-b)$$

$$B_3 - p_p S_i \geq 0 \quad (2-c)$$

$$S_i q_1 L_1 \leq M_1 \quad (3-a)$$

$$S_i q_1 L_1 + S_i q_2 L_2 \leq M_2 \quad (3-b)$$

$$S_i q_1 L_1 + S_i q_2 L_2 + S_i q_3 L_3 \leq M_3 \quad (3-c)$$

作者简介:金业权,1968年生,博士,副教授;1992年毕业于原江汉石油学院钻井工程专业,2005年毕业于武汉大学岩土工程专业,获博士学位;现从事岩石力学与石油工程技术教学和研究工作。地址:(257061)山东省东营市北二路271号。电话:13085119863。E-mail:jinyequan156@sohu.com

$$\min C = C_1 L_1 + C_2 L_2 + C_3 L_3 \quad (4)$$

$$H = L_1 + L_2 + L_3 \quad (5)$$

式中： ρ 为管外钻井液密度， g/cm^3 ； p_p 为地层压力，kPa； ρ_w 为完井液密度， g/cm^3 ； ρ_e 为管外平衡液密度， g/cm^3 ； S_i 、 S_t 、 S_c 分别为抗内压、抗拉和抗外挤安全系数。

式(1-a)~(1-c)为外挤载荷约束方程，考虑双轴应力，按照全掏空状态设计；式(2-a)~(2-c)为内压载荷约束方程，考虑的是有效内压力作用；式(3-a)~(3-c)为拉力载荷约束方程；式(4)为目标函数。

4. 套管柱设计流程图

成本约束条件下的套管柱设计的基本流程如图1所示，其核心问题是约束方程组的求解。具体方法是利用式(5)将所有的约束方程消去 L_1 变成关于 L_2 和 L_3 的函数方程，并将图像作在同一坐标下，则模型的约束方程就可以确定一个区域，该区域便是套管设计结果可能取到的区域，即可行域。根据运筹学的理论，极值出现在可行域的顶点上。那么当各种套管长度取值在改变的时候，由目标函数所确定的直线将移过可行域，当该直线到达可行域的顶点时，将通过该点的两个直线方程联立便可求解出通过该点处的 L_1 、 L_2 、 L_3 以及最小成本，这个结果即是求得的优化结果。

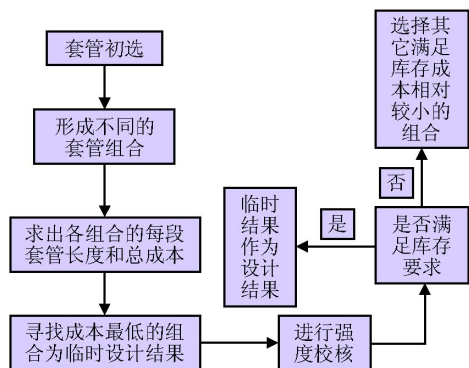


图1 套管设计流程图

二、算例

某井设计套管直径为 0.2445 m，套管鞋深度为 2439 m，水泥面的高度为 300 m，气层压力为 46500 kPa，完井液密度为 1.01 g/cm^3 ，地层流体密度为 1.08 g/cm^3 ，在 2439 m 处钻井液密度为 1.02 g/cm^3 ，地层气体含硫化氢。

1. 按抗内压初选套管

可选用的套管为 C-75x11.99 LTC、L-80x11.05

LTC、N-80x11.05 LTC 等 3 种，首先在最便宜的 C-75 的套管中选择一种套管组合，各参数列入表 2。

表 2 C-75 套管参数表

抗内压强度 (kPa)	抗外挤强度 (kPa)	屈服强度 (kPa)	抗拉强度 (kN)	单位长度价格 (元/m)	单位长度重量 (kN/m)
44402	31785	4258	3087	431.5	0.6859
40886	25717	4190	3451	387.2	0.6348
37163	20615	3821	3789	349.8	0.5838

2. 新方法与传统方法计算结果对比

新方法的计算结果为： $L_1 = 309$ m， $L_2 = 584$ m， $L_3 = 1546$ m。

$$\min C = 414 L_1 + 382 L_2 + 350 L_3 = 89 \text{ (万元)}$$

传统方法的计算结果： $L_1 = 639$ m， $L_2 = 1520$ m， $L_3 = 280$ m。

$$\min C = 414 \times 639 + 1520 \times 382 + 350 \times 280 = 95 \text{ (万元)}$$

以上实例计算表明：利用新模型设计的套管柱成本比传统的低 6 万元。这对一口井来说成本节约虽不多，但该井较浅，且选择的套管钢级较低。而对深井，则必须使用高强度套管，新模型的优越性就体现出来了。

三、结论和建议

(1) 利用运筹学的理论结合套管柱设计的基本理论建立了成本约束条件下的套管柱优化设计模型。

(2) 用单纯形法中的图解法来建立对以上数学模型的求解方法。

(3) 利用实例进行验证分析，并且用传统设计与本文的方法相比较，证明了本方法的可行性。

参 考 文 献

[1] 郝俊芳, 龚伟安. 套管强度计算与设计[M]. 北京: 石油工业出版社, 1987.
 [2] 华仲虎, 等. 套管设计基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
 [3] 杜春常, 等. 套管强度设计方法[S]. SY/T 5322-2000 中华人民共和国石油天然气行业标准.
 [4] 陈平泽. 最小成本的套管柱设计[J]. 国外钻井技术, 1997, 12(5).

(修改回稿日期 2006-03-17 编辑 赵勤)