

[环保·安全]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.04.020

大型塑料检查井刚强度分析及其结构优化

师彩云^{1,2}, 谭文胜^{1,3}

(1. 江苏大学 机械工程学院, 江苏 镇江 212013; 2. 徐州生物工程职业技术学院, 江苏 徐州 221006;
3. 常州信息职业技术学院 常州市大型塑料件智能化制造重点实验室, 江苏 常州 213164)

摘要:针对大型塑料检查井刚强度计算和结构设计关键技术问题,采用 ANSYS 软件建立大型塑料检查井刚强度有限元分析模型,并采用正交试验设计方法,研究检查井壁厚、主管直径、主管高度、子管直径和子管位置高度等尺寸参数对应力和应变的影响规律。结果表明尺寸参数对检查井应力影响程度为:子管直径>子管位置高度>壁厚>主管直径>主管高度。尺寸参数对应变影响程度为:主管高度>子管直径>主管直径>子管位置高度>壁厚;获得的检查井结构优化尺寸为:壁厚 8 mm,主管直径 800 mm,主管高度 800 mm,子管直径 800 mm,子管位置高度 100 mm。主管高度和子管直径是设计过程中应重点考虑的因素。

关键词:塑料检查井;刚强度;正交试验;方差分析;应力应变

中图分类号:TU992.04 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2016)04-0092-05

Strength Analysis and Structure Optimization of Large Plastic Check Well

SHI Caiyun^{1,2}, TAN Wensheng^{1,3}

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China;

2. Xuzhou Vocational College of Bioengineering, Xuzhou, Jiangsu 221006, China; 3. Changzhou Key Laboratory of

Large Plastic Parts Intelligence Manufacturing, Changzhou College of Information Technology, Changzhou, Jiangsu 213164, China)

Abstract: For large plastic check well, the strength analysis and structure optimization design are the key technical problems, ANSYS software was adopted to establish the plastic check well's finite element analysis model. Also, orthogonal test method was used to study the effect of wall thickness of check well, diameter of main pipeline, the height of main pipeline, diameter of particles, location level of particles on stress-strain. Experimental results showed that the influence of size parameters on the stress were as follows: diameter of particles had bigger influence than location level of particles on stress-strain which had bigger effect than wall thickness of check well, and wall thickness had bigger effect than diameter of main pipeline and which had bigger influence than the height of main pipeline. Furthermore, the influences of size parameters on the strain were: the height of main pipeline was bigger than diameter of particles, diameter of particles was bigger than diameter of main pipeline, and diameter of main pipeline was bigger than location level of particles which was bigger than wall thickness of check well. The size of structure optimization was also obtained: wall was 8 millimeters, diameter of main pipeline 800 millimeters, the height of main pipeline 800 millimeters, diameter of particles 800 millimeters and location level of particles 100 millimeters.

Key words: plastic check well; stress-strain; orthogonal test; analysis of variance; rigidity and intensity

检查井又称“窖井”,是市政管网建设的大型塑料管件^[1-2],与传统砖砌检查井相比较,塑料检查井具有质量小、施工方便、使用寿命长和抗渗性好的优点。由

此,国内外积极开展塑料检查井技术开发和应用研究工作。例如,郭林等对新型塑料检查井专用材料的开发^[3];潘宝凤等基于 SMC 晶须改性高密度聚乙烯蠕变

收稿日期:2016-01-07;修回日期:2016-03-15

基金项目:江苏省科技支撑计划(工业支撑)项目(BE2013820);常州市高技术研究重点实验室项目(CM20153001)。

作者简介:师彩云(1987),女,山东武城人,助教,硕士研究生,主要研究方向为模具 CAD/CAM/CAE。通信作者:谭文胜,博士,研究员级高级工程师,主要从事模具 CAD/CAM/CAE 研究工作。E-mail:tw.163@163.com

研究的检查井进行了寿命预测,采用 Moldflow 软件对塑料检查井注塑成形工艺进行了优化^[4-5];魏春良利用有限元软件分析了塑料检查井在不同回填深度时的应力场和位移场,并对肋板设计高度对塑料检查井的力学性能影响进行了分析^[6-7]。

由于塑料检查井需要承受交通车辆给予的重力冲击,对刚强度性能提出了较高要求,但是,目前一直缺乏针对大型塑料检查井的刚强度分析。本文采用正交试验的方法^[8],结合 Minitab DOE^[9]和 ANSYS 软件,研究检查井井座壁厚、主管直径、主管高度、子管直径和子管位置高度 5 个因素对检查井强度和刚度的影响,进行大型塑料检查井尺寸参数优化组合。

1 分析模型

1.1 三维模型

大型塑料检查井一般采用聚氯乙烯、聚丙烯等作为原料,并采用图 1 所示的组合结构^[10],主要由井盖、井室和井座 3 部分组成。根据某公司的大型塑料检查井系列产品,选取其中一组井座进行三维建模,井座尺寸数据如表 1 所示。



图 1 检查井组合结构图

Figure 1 Composite Structure of check well

表 1 井座尺寸数据表

Table 1 Size data for chamber body mm

壁厚	主管直径	主管高度	子管直径	子管位置高度
6	120	1 200	600	100

由于大型塑料检查井井座体积大,结构复杂,直接在 ANSYS 中建模困难,因此,本模型采用 Pro/E 建模,模型如图 2 所示。

1.2 有限元分析模型

利用 Pro/E 将井座产品模型以 .x_t 格式导入 ANSYS 中,井座聚乙烯材料的机械特性如表 2 所示。

表 2 井座材料特性表

Table 2 Material characteristics for chamber body

材料	弹性模量/GPa	泊松比	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
聚乙烯	300	0.32	938

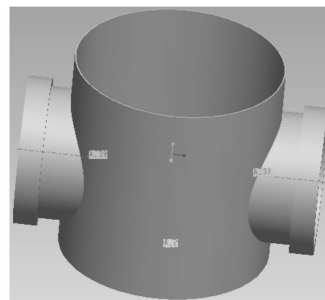


图 2 井座三维模型

Figure 2 3D model of chamber body

利用 ANSYS 对井座进行模拟仿真分析,首先进行网格划分。ANSYS 中常用的实体单元网格类型有 solid45, solid92, solid185, solid187,从模拟精度和计算两方面考虑优先选用 solid187。这种单元网格类型不但计算精度高而且划分简单,本文选用网格自动划分,然后对网格进行局部优化处理,建立的有限元模型如图 3 所示。

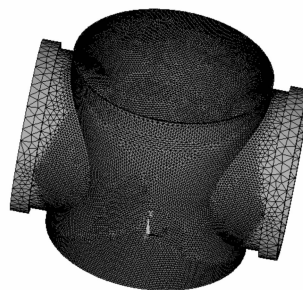


图 3 井座有限元模型

Figure 3 Finite element model of chamber body

其次是对井座进行载荷的施加,考虑到其工作环境允许最大质量为 $3 \times 10^3 \text{ kg}$ 的卡车通过,所以对其施加载荷为 30 000 N。

1.3 模拟分析结果

图 4~5 所示为大型塑料检查井井座在承受载荷为 30 000 N 情况下的应力和应变云图。

由图 4 可知,应力最大值出现在子管和主管的交接处,应力最大值为 4.88 GPa,其余部分应力值比较小,因此在实际应用过程中需要加大主管和子管交接处的强度。

由图 5 可知,主管底部应变较小,而同样主管和子管交接处应变较大,最大应变为 0.016 315;另外,主管上半部分出现严重变形。

2 正交试验设计

2.1 Minitab DOE 试验设计

Minitab DOE 试验设计方法是采用正交试验设计

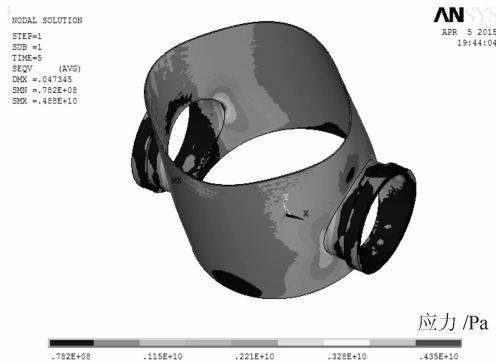


图4 井座应力云图

Figure 4 Stress nephograph of chamber body

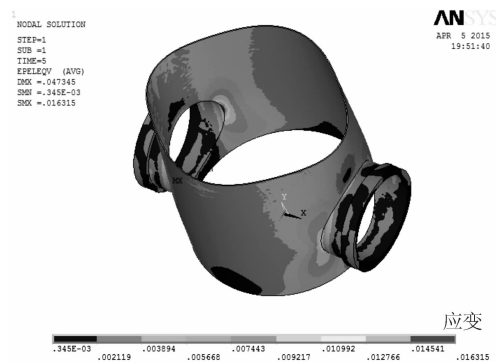


图5 井座应变云图

Figure 5 Strain contours of chamber body

矩阵,分析所有因素对实验指标的影响程度,以及获得对应水平下的最优水平组合。图6是Minitab DOE试验设计的流程图。

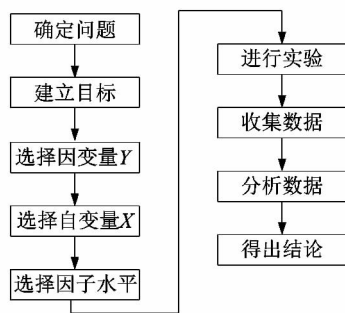


图6 Minitab DOE 试验设计的流程图

Figure 6 Minitab DOE test design flow chart

2.2 正交试验方案

由于壁厚、主管直径、主管高度、子管直径和子管位置高度均对大型塑料检查井井座受力变形产生影响,因此,本文选取这5个可控制的尺寸参数作为试验因子,并进行试验设计。按照Minitab TOE方法,选取5因素4水平正交表进行正交试验,分析不同参数水

平组合下的ANSYS模拟分析结果,依据应力应变确定各因子在不同水平情况下的影响程度,从而获得优选方案。5因素4水平配置表见表3。

表3 因素和水平配置表

Table 3 Factor and level configuration tables mm

水平	壁厚	主管直径	主管高度	子管直径	子管位置高度
1	5	800	800	500	100
2	6	900	1 000	600	200
3	7	1 000	1 200	700	300
4	8	1 200	1 500	800	400

2.2.1 正交试验分析结果

根据L16正交表,ANSYS进行模拟分析,得到如表4所示各组试验结果。

表4 正交试验矩阵和模拟结果

Table 4 Orthogonal matrix and simulation results

试验号	试验因素/mm					指标	
	壁厚	主管直径	主管高度	子管直径	子管位置高度	应力/GPa	应变
1	5	800	800	500	100	4.640	0.154 920
2	5	900	1 000	600	200	0.268	0.000 916
3	5	1 000	1 200	700	300	0.260	0.000 877
4	5	1 200	1 500	800	400	4.170	0.013 918
5	6	800	1 000	700	400	-	-
6	6	900	800	800	300	-	-
7	6	1 000	1 500	500	200	4.110	0.013 760
8	6	1 200	1 200	600	100	4.880	0.016 315
9	7	800	1 200	800	200	6.940	0.024 248
10	7	900	1 500	700	100	4.930	0.016 729
11	7	1 000	800	600	400	-	-
12	7	1 200	1 000	500	200	2.970	0.009 919
13	8	800	1 500	600	300	3.120	0.010 539
14	8	900	1 200	500	400	2.560	0.085 303
15	8	1 000	1 000	800	100	5.780	0.019 837
16	8	1 200	800	700	200	-	-

2.2.2 分析和讨论

本试验的目标是通过寻求较优的尺寸参数组合,提高大型塑料检查井井座的强度,减少其应力、应变。因此,对模拟结果进行均值和变量分析,确定各试验因素对应力应变的影响程度,并且根据每个试验因素在总体方差中所占的百分比,确定各试验因素对应力应变的影响程度,从而预测出最优因素水平组合。

首先对模拟结果进行均值分析,图7~8分别为应力、应变的均值主影响图,其中,横坐标为5个尺寸参数的4个水平,纵坐标为应力和应变在不同水平下的均值;均值越大,说明影响程度越大。

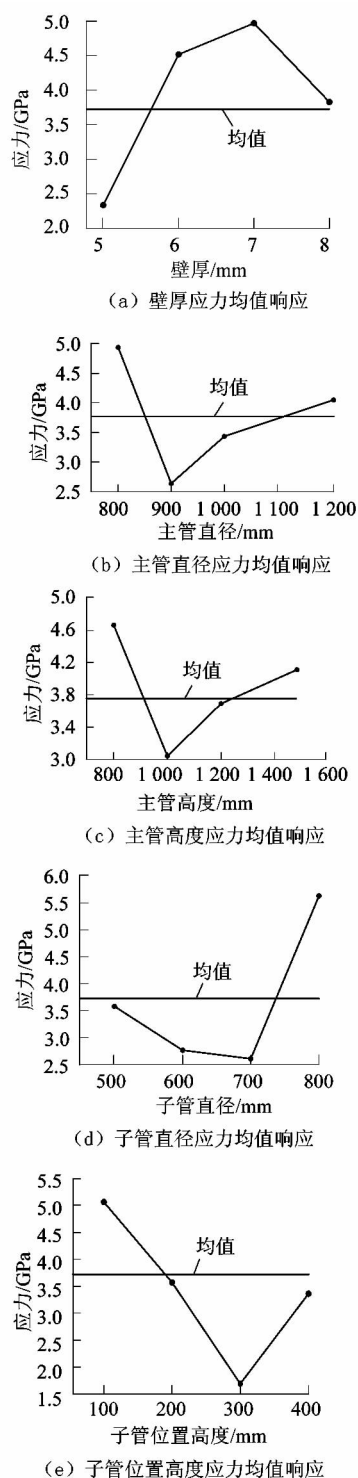


图7 应力均值主效应图

Figure 7 Main effect diagram for mean stress

由图7~8可知各尺寸参数对应力的影响程度排序为:子管位置高度>主管直径>主管高度>子管直径>壁厚。

表5~6为应力、应变均值响应表,对模拟结果进行变量分析,得各尺寸参数对应力应变的影响程度。

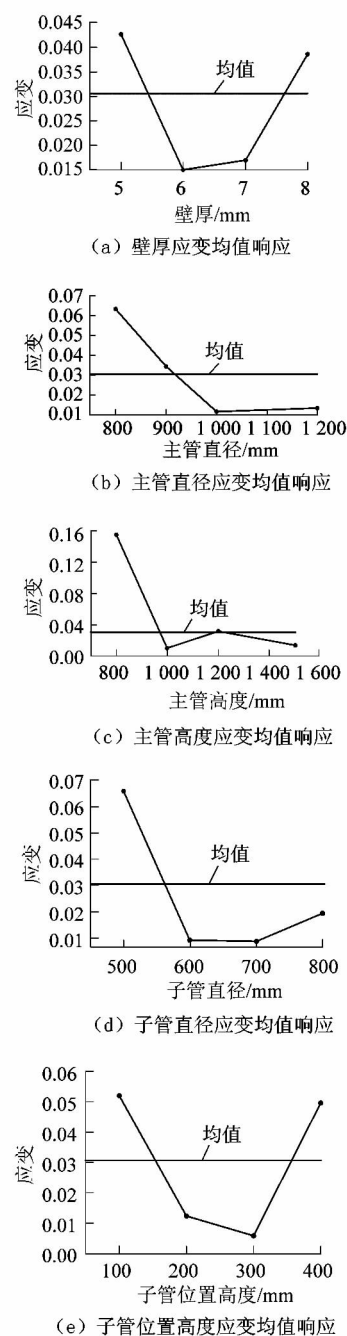


图8 应变均值主效应图

Figure 8 Main effect diagram for mean strain

1) 各尺寸参数对应力的影响程度排序为:子管直径(24.21%)>子管位置高度(23.46%)>壁厚(20.84%)>主管直径(18.45%)>主管高度(13.04%);

2) 各尺寸参数对应变的影响程度排序为:主管高度(44.38%)>子管直径(17.53%)>主管直径(15.87%)>子管位置高度(13.75%)>壁厚(8.47%)。

表5 应力均值响应表
Table 5 Response table of mean stress

水平	应力/GPa				
	壁厚/ mm	主管直 径/mm	主管高 度/mm	子管直 径/mm	子管位置 高度/mm
1	2.334 5	4.900 0	4.640 0	3.570 0	5.057 5
2	4.495 0	2.586 0	3.006 0	2.756 0	3.772 7
3	4.947 0	3.383 0	3.660 0	2.595 0	2.116 7
4	3.820 0	4.067 0	4.082 5	5.630 0	3.365 0
均方差	2.612 0	2.314 0	1.634 0	3.035 0	2.941 0

表6 应变均值响应表
Table 6 Response table of mean strain

水平	应变				
	壁厚/ mm	主管直 径/mm	主管高 度/mm	子管直 径/mm	子管位置 高度/mm
1	0.042 658	0.063 232	0.154 920	0.065 974	0.051 950
2	0.015 036	0.034 316	0.010 224	0.009 257	0.012 970
3	0.016 962	0.011 490	0.031 683	0.008 803	0.007 112
4	0.038 560	0.013 384	0.013 735	0.019 331	0.049 611
均方差	0.027 622	0.051 742	0.144 696	0.057 171	0.044 839

依据上述应力应变均值响应表和主效应图,可得到如下结论:

- 1) 子管直径和子管位置高度对应力的影响最大,子管直径越大,子管位置高度越低,应力值越小;
 - 2) 壁厚对应力的影响也较大,壁厚越厚,应力值越小;
 - 3) 主管直径越小和主管高度越低,应力值越小,且其对应应力值影响较小;
 - 4) 主管高度对应变的影响最大,主管高度越小,应变值越小;
 - 5) 子管直径、主管直径和子管位置高度对应变的影响也较大,子管直径越大、主管直径越小、子管位置高度越低,应变值越小;
 - 6) 壁厚越大,应变值越小,且对应变值影响较小。
- 综合上述分析结果,可知检查井井座优化尺寸组

合为:壁厚 8 mm,主管直径 800 mm,主管高度 800 mm,子管直径 800 mm,子管位置高度 100 mm。

3 结论

本文采用 ANSYS 有限元分析软件和正交试验设计,研究了塑料检查井壁厚、主管直径、主管高度、子管直径和子管位置高度等 5 种尺寸因素对井座应力和应变的影响,结果表明:

1) 在 5 种尺寸因素中,主管高度和子管直径对大型塑料检查井的应力应变影响较大,因而在设计过程中应重点考虑该因素。

2) 在本文中,大型塑料检查井井座的最佳尺寸组合为:壁厚 8 mm,主管直径 800 mm,主管高度 800 mm,子管直径 800 mm,子管位置高度 100 mm。

3) 5 个尺寸因素对应力、应变的影响程度不一致,有待进一步研究尺寸因素对应力、应变的相互影响关系。

参考文献:

- [1] 田文辉. 组合式塑料检查井简介[J]. 特种结构, 2010, 27(1): 117-118.
- [2] 张祥中, 林廷献. 塑料排水检查井在住宅小区的应用前景[J]. 中国给水排水, 2008, 24(12): 99-101.
- [3] 郭林, 李艳, 胡俊强, 等. 新型塑料检查井专用料的开发与应用研究[J]. 中国塑料, 2010, 24(9): 64-67.
- [4] 潘宝凤, 刘军, 宋斌, 等. 基于 SMC 晶须改性高密度聚乙烯蠕变研究的检查井寿命预测[J]. 四川大学学报, 2007, 39(6): 86-90.
- [5] 周标. 塑料弯管的注塑成形工艺优化[J]. 煤矿机械, 2008, 29(11): 92-94.
- [6] 魏春良. 塑料水工装置结构分析与改进设计研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2013: 17-20.
- [7] 魏春良, 高建和, 赵猛, 等. 基于 ANSYS 的塑料检查井肋板设计高度的力学分析[J]. 特种结构, 2011, 28(6): 112-114.
- [8] 陈吉平, 丁智平. 注塑件翘曲变形分析与成型工艺参数优化[J]. 工程塑料应用, 2013, 41(5): 46-49.
- [9] 刘振学, 黄仁合, 田爱民. 实验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [10] 赵劲松. 塑料检查井简介及改进措施[J]. 聚氯乙烯, 2011, 39(5): 30-33.