

加强肋结构参数对塑料井盖力学性能的影响

韩鹏彪, 孙超, 马磊

(河北科技大学材料科学与工程学院, 河北石家庄 050018)

摘要:为研究加强肋结构参数对塑料井盖力学性能的影响,根据弹性力学理论,采用有限元方法对带肋塑料井盖受力情况进行了模拟分析,通过使用 Abaqus 软件对拥有不同加强肋结构参数的塑料井盖进行受力模拟,分析加强肋结构参数与塑料井盖力学性能的关系。模拟结果表明:提高肋高(h)或肋宽(b)都可以提高塑料井盖的刚度,改善其受力性能;在 $h < 80$ mm 时,提高肋高(h)对增强塑料井盖刚度,改善其受力性能作用显著,而提高肋宽(b)的作用不明显,随着 h 的增大,提高肋高(h)所起到的作用减弱,相对的提高肋宽(b)所起到的作用增强,当 $h > 160$ mm 时,提高肋高(h)所起到的作用极小,而提高肋宽(b)所起到的作用要高于提高肋高(h)所起到的作用;加强肋的最大应力高于面板的最大应力,其差值随塑料井盖受力性能的改善而减小。

关键词:弹性力学;加强肋;塑料井盖;有限元;Abaqus;刚度

中图分类号:TU312.1 **文献标志码:**A

Influence of structure parameters of reinforcing rib to mechanical properties of plastic well cover

HAN Pengbiao, SUN Chao, MA Lei

(School of Materials Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China)

Abstract: In order to study the influence of structure parameters of the reinforcing rib to the mechanical properties of plastic well covers, according to the theory of elasticity, the stress situation of the plastic well cover with reinforcing rib is analyzed with finite element method. The load simulation of the plastic well cover with different reinforcing rib structure parameters is conducted with Abaqus software, and the relationship between the structure parameters of the reinforcing rib and the mechanical properties of the plastic well cover are analyzed. The simulation result shows the stiffness and mechanical properties of the plastic well cover are improved by increasing the height (h) or width (b) of the rib; if h is smaller than 80 mm, the effect of increasing h is extraordinary for improving the stiffness and mechanical properties of the plastic well cover, while the effect of increasing b is not obvious; as h increases, the effect of increasing h is declining, but the effect of increasing b is strengthening relatively; if h is bigger than 160 mm, the effect of increasing h is very small, while the effect of increasing b is higher than the effect of increasing h ; the maximum stress of the reinforcing rib is higher than that of the panel, and their difference reduces as the mechanical properties of the plastic cover is improved.

Keywords: elasticity; reinforcing rib; plastic well cover; finite element; Abaqus; stiffness

收稿日期:2015-09-19;修回日期:2015-12-30;责任编辑:王海云

作者简介:韩鹏彪(1968—),男,河北石家庄人,教授,主要从事金属塑性加工方面的研究。

E-mail:hpb68@163.com

韩鹏彪,孙超,马磊.加强肋结构参数对塑料井盖力学性能的影响[J].河北科技大学学报,2016,37(3):288-293.

HAN Pengbiao, SUN Chao, MA Lei. Influence of structure parameters of reinforcing rib to mechanical properties of plastic well cover[J].

Journal of Hebei University of Science and Technology, 2016, 37(3): 288-293.

随着科学技术的飞速发展以及城市化建设的迅猛扩张,地下管道逐步覆盖了整个城市,因此,井盖在城镇建设中起着越来越大的作用^[1-3]。井盖是一种封闭物,可以封闭地下设施出入口的顶部,安装电力、燃气、自来水等生活中必不可少的设施的地方都需要井盖^[4]。井盖既可以美化环境,又可以保障道路通行,维护行人安全。但是,近年来,由于井盖被盗而导致人员伤亡的事件日益频繁^[5-8]。以往的井盖大部分是由铸铁制造的^[9],这样的井盖回收价值较高,容易引起不法分子的偷盗;而复合塑料井盖与其相比,成本要低很多,可以大大降低被盗的风险,而且与铸铁井盖相比,其产生的噪音也要小很多,市场前景十分广阔^[10-12]。复合塑料的力学性能与传统井盖制作材料相比较差,虽然近些年来,合成塑料的力学性能有较大提高^[13-18],但是性能提高有限,所以为满足使用要求,通常需要设置加强肋来对塑料井盖的整体刚度和强度进行加强,故研究加强肋的尺寸参数对整个塑料井盖刚度和强度性能的影响具有重要意义。

本文以 Abaqus^[19-20]为支撑软件,对复合塑料井盖进行受力分析,通过改变塑料井盖的加强肋结构参数,分析其与整个塑料井盖力学性能的关系并建立相关曲线,为带肋塑料井盖结构的进一步设计与改进提供理论依据。

1 模型建立

1.1 塑料井盖

本文所分析的塑料井盖是一种 B125 型井盖,该井盖的制作材料是一种复合塑料,该材料可以通过回收废弃物来进行制备,制造成本很低,其弹性模量 $E=1.0 \times 10^3$ MPa,泊松比 $\mu=0.3$ 。

图 1 是该塑料井盖的简略模型示意图,图中井盖表面的花纹、通风孔等结构都已经进行简化省略。该塑料井盖主要由面板和加强肋组成,整体结构统一由一种复合材料制作,其中面板高度为 50 mm,直径为 660 mm(井盖外径长度),加强肋宽度为 b ,高度为 h ,加强肋长度根据外形确定,是以直径为 600 mm(井盖净尺寸)的圆约束,两条加强肋之间的间距为 120 mm。

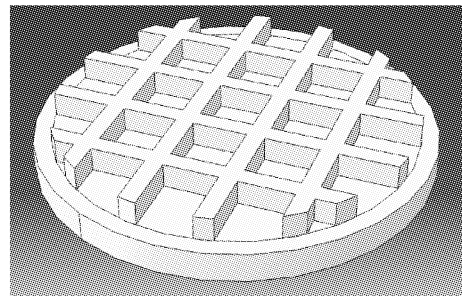


图 1 塑料井盖模型简图

Fig. 1 Simple graphics of the plastic cover model

1.2 塑料井盖有限元模型

图 2 是塑料井盖安装的示意图,井盖安放在井座上,由井座提供固定支撑,井盖的实际使用直径是井盖净尺寸(600 mm)。此井盖是 B125 型井盖,B125 型井盖的使用地点是人行道、非机动车停车场、小车停车场及地下停车场等地,在进行试验校核时,施加的力的形式是在井盖上部以井盖中心点为圆心、以 356 mm 为直径的圆面上施加均匀面载荷,力的大小按国标规定设为 125 kN^[21-22]。所以,用有限元软件进行模拟时,塑料井盖的材料属性设置为弹性体,弹性模量 $E=1.0 \times 10^3$ MPa,泊松比 $\mu=0.3$,整体结构采用 C_3D_4 四面体单元进行划分网格,载荷按图 2 所示的方式施加,大小为 125 kN,换算成面载荷为 $q=1.256$ MPa,固定方式如图 3 所示,对面板下表面直径为 600 mm 的圆进行完全固定,用以模拟图 2 中井座对井盖的固定。

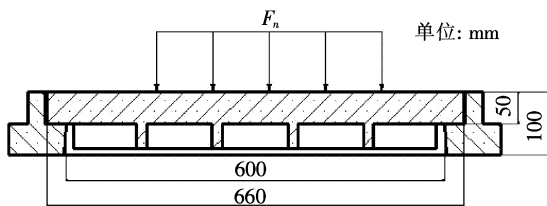


图 2 井盖安装示意图

Fig. 2 Installation diagram of the plastic cover

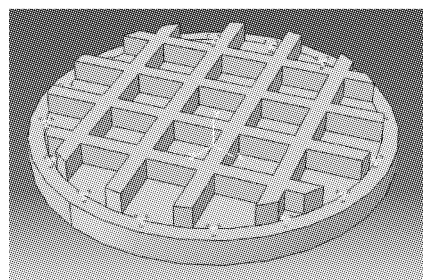


图 3 固定约束示意图

Fig. 3 Schematic diagram of fixed restraint

2 方案设计

塑料井盖是由面板和加强肋组成,面板的作用是承载重物,而加强肋的作用主要是用于增强塑料井盖的刚度和强度。本文主要是为了探究加强肋对整个塑料井盖受力性能的影响,故模拟时,以上文所提到的井盖基本尺寸、材料属性、受力方式等为依据,通过改变加强肋的 b, h 来寻找加强肋尺寸结构与塑料井盖整体结构受力性能的关系。 b 和 h 的参数设置见表1,加强肋尺寸则为 $b_x \times h_y$,长度按上文提到的方法确定。

表1 加强肋参数

Tab.1 Parameters of the reinforcing rib

加强肋	参数					
b/mm	20	30	40			
h/mm	40	80	120	160	200	240

3 模拟结果与分析

3.1 模拟结果

针对方案设计的数据对整个塑料井盖进行受力分析,所得结果如图4、图5所示。观察两图可以发现,在承受压力的情况下,塑料井盖发生变形,井盖中心处变形最大。另外,从变形后的应力图上可以发现,受力变形后,井盖上表面(承受压力部分)主要呈现压应力状态,而下表面与加强肋则主要呈现拉应力状态。模拟计算的主要结果见表2。其中 s 为面板最大位移, σ_1 为面板最大压应力, σ_2 为面板最大拉应力, σ_3 为加强肋最大拉应力。

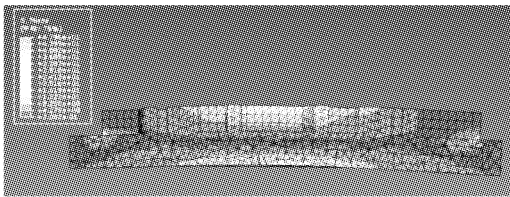


图4 变形应力图

Fig.4 Stress diagram after deforming

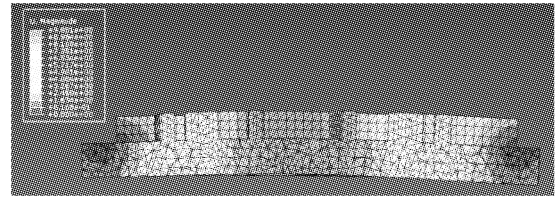


图5 变形位移图

Fig.5 Displacement diagram after deforming

表2 模拟方案及结果

Tab.2 Simulation program and results

编号	$b_x/\text{mm} \times h_y/\text{mm}$	s/mm	σ_1/MPa	σ_2/MPa	σ_3/MPa
0	0×0	17.07	26.72	19.38	
1-1	20×40	12.25	19.80	12.05	23.51
1-2	20×80	7.69	12.01	5.65	19.12
1-3	20×120	4.96	8.12	3.13	13.81
1-4	20×160	3.60	5.52	2.05	9.64
1-5	20×200	2.92	4.39	1.48	7.15
1-6	20×240	2.57	3.73	1.18	5.43
2-1	30×40	11.23	18.44	8.84	20.73
2-2	30×80	6.26	10.21	3.92	15.7
2-3	30×120	3.76	6.19	1.83	10.46
2-4	30×160	2.65	4.16	0.85	7.31
2-5	30×200	2.14	3.22	0.67	5.18
2-6	30×240	1.87	2.55	0.60	3.87
3-1	40×40	10.14	16.67	7.72	18.96
3-2	40×80	5.18	8.65	2.42	13.26
3-3	40×120	2.98	4.91	0.79	8.41
3-4	40×160	2.09	3.16	0.49	5.9
3-5	40×200	1.66	2.45	0.41	4.17
3-6	40×240	1.46	1.92	0.39	3.04

3.2 结果分析

加强肋的作用是改善结构的应力,减小结构的变形。表 2 中的数据显然验证了这一结果。但是加强肋的具体效果还需要进一步分析,如图 6—图 9 所示的曲线。

图 6 是面板的最大位移与加强肋高度的关系图。由图 6 可以发现在现有加固方式的前提下,塑料井盖面板在受压力的情况下会发生变形,结合图 5 可知该塑料井盖发生最大变形位移处在塑料井盖面板的下表面圆心处。另外随着塑料井盖加强肋高度的增加,面板的最大位移逐渐减小,在 $h < 80$ mm 时减小得较快,随着 h 的增大,面板最大位移减小的速度越来越小, $h > 160$ mm 时曲线逐渐趋于平缓;加强肋的宽度对塑料井盖变形的最大位移也有影响,随着宽度的增加,面板最大变形位移逐渐变小,但是效果较差,在 $h < 80$ mm 时,提高肋宽的效果不如提高肋高的效果;而在 $h > 160$ mm 时,提高肋宽的效果反而要优于提高肋高的效果。

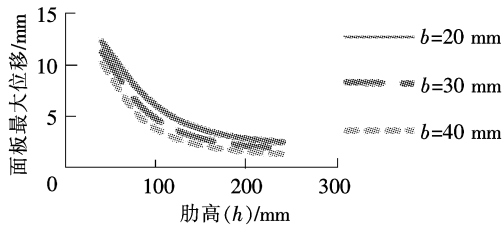


图 6 面板最大位移与肋高的关系

Fig. 6 Relationship between the maximum displacement of panel with the height of rib

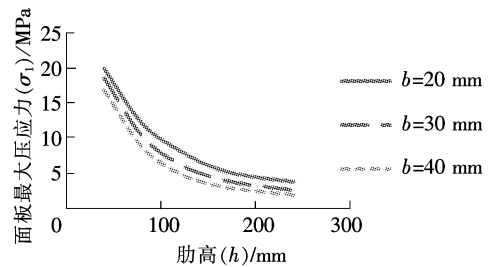


图 7 面板最大压应力与肋高的关系

Fig. 7 Relationship between the maximum compressive stress of panel with the height of rib

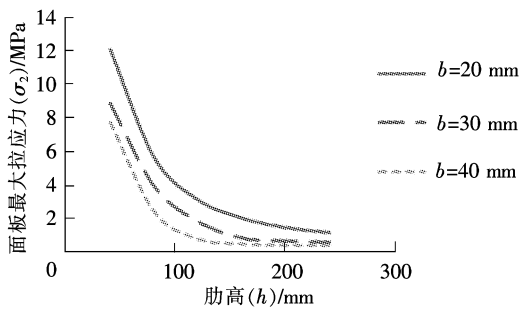


图 8 面板最大拉应力与肋高的关系

Fig. 8 Relationship between the maximum tensile stress of panel with the height of rib

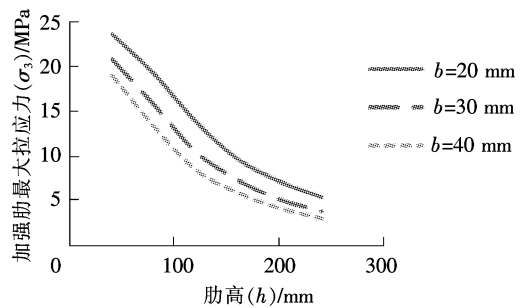


图 9 加强肋最大拉应力与肋高的关系

Fig. 9 Relationship between the maximum stress of reinforcing rib with the height of rib

结合图 4 及表 2 分析 3 个应力图(图 7—图 9),发现:第一,塑料井盖受到压力变形后,面板最大压应力的位置在面板上表面圆心处,而面板最大拉应力的位置则在面板下表面的圆心处,加强肋的最大拉应力的位置在靠近圆心的最远端,即变形位移最大的部分;第二,塑料井盖受力变形后,最大应力为拉应力,位于加强肋上,即塑料井盖受力后最易发生破坏的部位为加强肋;第三,随着肋高的增加, σ_1 , σ_2 和 σ_3 的值逐渐减小,但是减小的趋势越来越小,3 条关系曲线趋势相似,都是随着 h 的提高,应力 σ_1 , σ_2 和 σ_3 减小的速度越来越小,其中 σ_1 和 σ_2 在 $h < 80$ mm 时下降较快, $h > 160$ mm 时下降较慢;而 σ_3 与 h 的关系曲线在 $h < 80$ mm,下降速度要比 σ_1 和 σ_2 曲线的下降速度小,而 $h > 160$ mm 时,下降速度反而比之略高。虽然 3 条曲线的下降速度不一样,但是在肋高 $h > 160$ mm 时,继续提高肋高,3 种应力减小幅度都变得较小,因此,应该适当提高肋高的值,才能有效改善塑料井盖的受力性能,加强肋的肋高过高反而效果不大。另外加强肋的宽度对 σ_1 , σ_2 和 σ_3 的值也是有影响的,随着加强肋宽度的增加, σ_1 , σ_2 和 σ_3 的值逐渐减小,但是效果不大。

3.3 原因分析

由于所受外力的大小及加载方式是固定的,带肋塑料井盖在受力变形后所受最大应力 σ_1 , σ_2 和 σ_3 与截

面抵抗矩负相关,最大变形位移 s 与截面的惯性矩负相关;改变加强肋的结构参数可以改变其截面抵抗距和惯性矩,带肋塑料井盖的形状不规则,截面抵抗距与惯性矩计算较为复杂,但是根据经验公式可以判断其截面抵抗距与 $(bh^2)^x$ 正相关,截面惯性矩与 $(bh^3)^y$ 正相关;故 σ 与 $(bh^2)^x$ 负相关, s 与 $(bh^3)^y$ 负相关。

因此,在 b 和 h 相差不大时,提高肋高 h 对改善塑料井盖力学性能作用较大,随着 h 与 b 差值的提高,提高 b 和 h 对于改善塑料井盖力学性能的作用相差越来越小,在 h 远大于 b 时,提高肋宽对改善塑料井盖的力学性能作用较大;故本文中出现了在 $h < 80$ mm 时,提高肋高对改善塑料井盖力学性能较好,在 $h > 160$ mm 时,提高肋宽对改善塑料井盖力学性能较好的现象。

4 结 论

加强肋可以明显改善塑料井盖的应力状态,并且提高其刚度。针对 B125 型塑料井盖,并结合模拟结果所得的关系曲线进行分析,得出以下结论:

1) 在其他条件不变的前提下,提高肋高(h)或肋宽(b)都可以提高塑料井盖的刚度,改善其受力性能;

2) 在 $h < 80$ mm 时,提高肋高(h)对增强塑料井盖刚度,改善其受力性能作用显著,而提高肋宽(b)的作用不明显,随着 h 的增大,提高肋高(h)所起到的作用减弱,相对的,提高肋宽(b)所起到的作用增强,当 $h > 160$ mm 时,提高肋高(h)所起到的作用极小,而提高肋宽(b)所起到的作用要高于提高肋高(h)所起到的作用;

3) 加强肋的最大应力高于面板的最大应力,其差值随塑料井盖受力性能的提高而减小。

参考文献/References:

- [1] 余学洲. 复合材料检查井盖在市政建设中的应用探讨[J]. 新材料新装饰, 2014(12):24.
YU Xuezhou. Explore of composite inspection covers for the municipal building application[J]. New Material New Decoration, 2014(12):24.
- [2] 莫伟坚. 复合材料检查井盖在市政建设中的应用探讨[J]. 大众科技, 2005(11):62-63.
MO Weijian. Explore of composite inspection covers for the municipal building application[J]. Popular Science and Technology, 2005(11):62-63.
- [3] 卢凯明. 市政道路钢纤维复合混凝土井座井盖的应用[J]. 江西建材, 2013(3):179-180.
LU Kaiming. Application of steel-fiber composite concrete wells seat and covers for municipal roads[J]. Jiangxi Building Materials, 2013(3):179-180.
- [4] 唐宪友. 井盖用再生树脂基复合材料的制备及性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
TANG Xianyou. Preparation and Properties Study of Regenerative Resin Based-Composite Manhole Cover[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011.
- [5] 范伟. 非铸铁检查井盖在市政工程的应用[J]. 广州建筑, 2004(5):32-34.
FAN Wei. The application of non-cast-iron manhole cover in the municipal engineering[J]. Guangzhou Architecture, 2004(5):32-34.
- [6] 叶匡新, 李广国. 用复合材料制成井盖可防盗[J]. 邮电企业管理, 2001(7):42.
YE Kuangxin, LI Guangguo. Using covers made by composite materials can burglar[J]. Management of Post and Telecommunications Enterprises, 2001(7):42.
- [7] 魏荷娟, 冯明旺, 张瑞红, 等. 新型防盗井盖在城乡供水工程中的应用[J]. 山东水利, 2003(9):8.
WEI Hejuan, FENG Mingwang, ZHANG Ruihong, et al. Application of new security covers for the project of urban and rural water[J]. Shandong Water Resources, 2003(9):8.
- [8] 谭仕东, 唐邦福. 市政道路检查井施工的探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2011(21): http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical/csjslljy2011211396, 2012-10-24.
TAN Shidong, TANG Bangfu. Discussion on construction of municipal road inspection wells[J]. Urban Construction Theory Research (Electronic Version), 2011(21): http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical/csjslljy2011211396, 2012-10-24.
- [9] 钟锦洪. 浅谈新型球墨铸铁防盗井盖的特点及其应用[J]. 山西建筑, 2007, 33(26):203-204.
ZHONG Jinhong. Constructing skill of flat top wall slanting tunnel concealed-digging[J]. Shanxi Architecture, 2007, 33(26):203-204.
- [10] 莫志深. 再生塑料粉煤灰复合材料井盖[J]. 再生资源与循环经济, 2008, 1(1):24-26.
MO Zhishen. Composite materials manhole cover of regenerated plastic and flyash[J]. Renewable Resources and Recycling Economy, 2008, 1(1):24-26.
- [11] 赵娟. 城市道路井盖安全性与艺术设计应用研究[D]. 保定: 河北大学, 2014.
ZHAO Juan. The Cover Safety and Application Design of Urban Roads[D]. Baoding: Hebei University, 2014.

- [12] 李双贵,孙可伟. 聚合物基复合材料检查井盖有限元分析及结构优化[J]. 中国资源综合利用, 2008, 26(3): 40-43.
LI Shuanggui, SUN Kewei. Finite element optimization of polymer matrix composites manhole lid[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2008, 26(3): 40-43.
- [13] 宫平,王慧军,李华,等. 高性能 UP/GF 复合材料井盖的开发与应用[J]. 工程塑料应用, 2007, 35(6): 44-46.
GONG Ping, WANG Huijun, LI Hua, et al. Development and application of high-performance UP/GF composite well-cover[J]. Engineering Plastics Application, 2007, 35(6): 44-46.
- [14] 罗恒,邵会菊,兰辛,等. BMC 复合长玻纤井盖材料的制备与性能研究[J]. 塑料工业, 2011, 39(9): 109-111.
LUO Heng, SHAO Huiju, LAN Xin, et al. Study on preparation and properties of BMC long glass fiber composites[J]. China Plastics Industry, 2011, 39(9): 109-111.
- [15] 丁志安,魏玉国,马洪福,等. 复合材料井盖路用性能研究[J]. 天津建设科技, 2010, 20(3): 40-41.
DING Zhian, WEI Yuguo, MA Hongfu, et al. Research on road performances for composite covers[J]. Tianjin Construction Science and Technology, 2010, 20(3): 40-41.
- [16] 常为民,许巍,张瑛,等. 超高分子复合塑料产品通过鉴定[J]. 中国建材, 2002(3): 63.
CHANG Weimin, XU Wei, ZHANG Ying, et al. Products of ultra-high molecular composite plastic through the identification[J]. China Building Materials, 2002(3): 63.
- [17] 赵鸿汉. 高强度复合材料窨井盖[J]. 建材工业信息, 2004(9): 22.
ZHAO Honghan. Manhole cover of high-strength composite material[J]. Building Materials Industry Information, 2004(9): 22.
- [18] 胡先坤,钱城. 基于 ABAQUS 对新型复合井盖受力分析[J]. 低温建筑技术, 2014, 36(11): 58-60.
HU Xiankun, QIAN Cheng. Steel-concrete composite covers stress analysis based on ABAQUS[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2014, 36(11): 58-60.
- [19] 郭淦良. 基于 ABAQUS 的斜交网格转换层节点受力性能有限元分析[J]. 河北工业科技, 2014, 31(4): 281-285.
GUO Ganliang. Finite element analysis on mechanical behavior of transfer joint used in obliquely crossing lattice based on ABAQUS[J]. Hebei Journal of industrial Science and Technology, 2014, 31(4): 281-285.
- [20] 张春会,徐晓攀,赵全胜,等. 基于随机有限元的条形基础地基承载力概率分析[J]. 河北科技大学学报, 2013, 34(5): 471-476.
ZHANG Chunhui, XU Xiaopan, ZHAO Quansheng, et al. Probabilistic analysis for ultimate bearing capacity of a strip footing based on RFEM[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2013, 34(5): 471-476.
- [21] 王贯明,萧岩,郭清平,等. 检查井盖的分级和承载能力分析[J]. 市政技术, 2010, 28(3): 150-153.
WANG Guanming, XIAO Yan, GUO Qingping, et al. Grading and bearing capacity test of manhole cover[J]. Municipal Engineering Technology, 2010, 28(3): 150-153.
- [22] 周友坤,程赫明,李又村. 聚合物基复合材料检查井盖结构的有限元优化设计[J]. 昆明冶金高等专科学校学报, 2007, 23(5): 16-20.
ZHOU Youkun, CHENG Heming, LI Youcun. Finite element optimization of polymer matrix composites manhole lid[J]. Journal of Kunming Metallurgy College, 2007, 23(5): 16-20.