

管道几何参数对钢筋混凝土检查井 井壁性能的影响及优化设计

谭海星, 马安震, 刘 洋, 李钰锟, 韩嘉玮

(中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065)

摘要:市政给排水系统中管道的维护、管理都离不开钢筋混凝土检查井。钢筋混凝土检查井的设计大多参考国标06MS201。而在实际生活中,依据标准图集施工的检查井经统计有易渗漏、管井接口易断裂等问题。文章针对检查井结构运营期暴露的问题,以杭州某项目检查井结构为例,建立三维有限元计算模型,探讨不同管道几何参数下检查井井身结构力学性能。计算结果表明:几种不同管道几何参数下井壁受力状态及变化表现不一;管径较小时更容易形成应力集中;交叉角度增大,管顶的应力逐渐减小,而管底的应力逐渐增加;管道距井底板的距离增大,管道的变形程度降低,结构稳定性提高。针对不同因素下井身结构的应力集中现象给出具体的优化设计建议,在设计和施工中针对应力集中或荷载较大位置进行精细化处理,以保证结构的使用年限和使用功能,对施工和设计具有指导意义。

关键词:市政道路; 检查井; 结构; 力学影响分析

中图分类号: TU990.3

文献标识码: A

文章编号: 1673-8993(2024)12-0073-09

doi: 10.13402/j.gcjs.2024.12.165

Influence analysis of reinforced concrete inspection well wall under different pipe diameters, angles and pipe heights

TAN Haixing, NA Anzhen, LIU Yang, LI Yukun, HAN Jiawei

(CCCC First Highway Survey Design and Research Institute Co., Ltd., Xi'an, 710075, Shaanxi, China)

Abstract: The maintenance and management of pipes in municipal water supply and drainage system are inseparable from reinforced concrete inspection Wells. Most of the design of reinforced concrete inspection Wells refer to national standard 06MS201. In practice, according to the statistics of inspection Wells constructed according to the standard atlas, there are problems such as easy leakage and easy fracture of pipe well interface. In this paper, according to the problem of shaft wall exposure in the construction of a project, the mechanical analysis of shaft wall under different design environments is proposed, and the stress state and change of shaft wall under different design environments are obtained. In this way, the fine treatment is carried out in the design and construction aiming at the stress concentration or the position with large load to ensure the service life and function of the structure, which has guiding significance for construction and design.

Key words: municipal roads; manhole; structure; mechanical influence analysis

市政管网系统是城市基础设施工程的重要组成部分,是城市生命线工程之一,肩负着整个城市的雨、污水排放系统。市政管网系统的设计主要包含管道和检查井两个部分。检查井作为管道的疏通经络,其设计施工质量优劣不仅影响城市整个管道系

统的运营,而且对城市地面道路稳定性、城市抗洪排涝、城市环保系统有着重要的作用。城市片区建筑集中,道路、雨、污水管网体系复杂,因此存在较多雨、污水检查井。为了统一规范检查井的设计,我国陆续推出了02S511/06MS201两册图集,

收稿日期: 2024-06-05

作者简介: 谭海星(1990—),男,工程师,从事隧道与地下结构工程方向工作。

被广范运用于全国各地的设计施工中。检查井的主要形式有圆形和方形两种,主要功能为衔接管线的转弯、交汇、变坡、变径处,同时兼有检修、通淤的功能。

大部分城市管网系统在设计时均位于城市道路的绿化带或非机动车道下,但限于路幅宽度或者其他管线相互影响时,部分管网会设于车行道下,与此同时,相当数量的检查井也相应设于机动车道范围路面下。设置于行车道下的检查井,长期受到反复荷载作用,在车辆荷载下,检查井井口周边及井身结构会出现较多破坏。对此,众多学者进行了研究。陈梓迁等^[1]通过对检查井与管道的受力模拟,分析井与管道最薄弱环节导致的破坏,并对现阶段检查井的施工和设计提出如下优化方案:采用柔性连接在井与管、井身构件中;调整井座材料,使用钢制代替水泥砂浆层;井体 1.5 m 以下范围不可配置除构造筋外的多余钢筋。贺梦琦等^[2]通过研究车辆荷载从开始至离开过程中检查井井壁受力状态,采用 ABAQUS 建立检查井荷载计算模型,得出井周钢筋混凝土结构和沥青混凝土结构主要受力点处的拉应力、压应力和剪应力,分析总结这些数据发现各个应力点处的应力变化规律及受力破坏特征。蒋佳骏等^[3]通过利用 ANSYS 软件对不同加筋结构进行静力仿真,对满足指标要求的两种网状加筋结构进行 6 阶模态分析,得出在相同加筋密度下网状优于条状、三角形优于方形。何维等^[4]通过采用建立检查井及井周围路面三维模型,分析了检查井病害产生的力学机理,并提出在检查井井座下方增设混凝土圈梁以及在井盖与道路路面衔接处增加过度材料来减小病害的措施,并通过工程实例验证,方法可行并具有有效性和实用性。潘永清^[5]通过对杭州城市道路检查井及周边破坏情况进行调查、测量,并用有限元进行分析得出交通荷载作用下检查井应力变化规律。最终得出结论,在车辆荷载作用下,井盖混凝土垫层会出现较大的拉应力,井座混凝土外缘路面面层会反复出现剪切应力。路面开裂及垫层破碎的主要原因是循环交通荷载、垫层拉应力以及反复出现的剪应力。刘深华^[6]研究了荷载作用下检查井纵向振动位移

问题,给出等截面、变截面检查井纵向振位移理论解,建立了检查井纵向振动理论,并将检查井纵向振动理论用到工程实际。还有众多学者对交通荷载下的检查井受力进行了研究^[7-10]。然而在较多的研究中,检查井自身结构形式及管道几何参数对设计及施工质量的影响研究不足。本文通过增加不同管道尺寸、高度、角度及圈梁是否施加,考虑更多设计因素,研究不同管道几何参数对检查井井身受力状态,不仅可以为设计提供参考,还可以指导施工加强结构薄弱环节的施工质量,从而做到精细化施工。

1 工程概况

采取杭州某项目典型混凝土检查井作为分析对象,检查井埋深为 7 m,衔接管道尺寸为 0.7 ~ 1.5 m 的雨水检查井。该项目雨、污水管内径从 DN600 ~ DN1500 不等,根据设计图纸,检查井埋深大于 5 m 时采用方形现浇混凝土检查井,井身剖面图如图 1 所示。图中, H 为检查井井身高度, m; D_1 、 D_2 为管道内径, m。

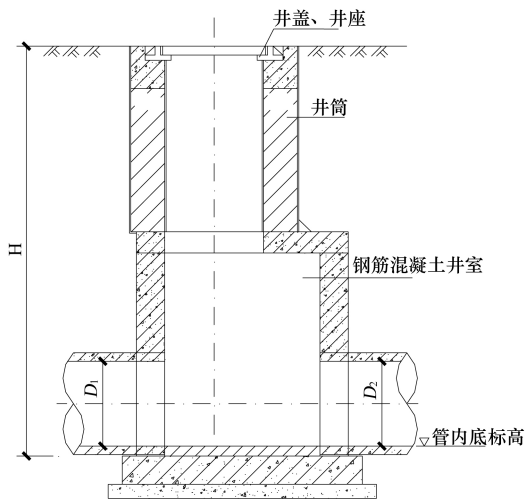


图 1 检查井井剖面

影响检查井井身的管道几何因素主要有不同管径、管道不同角度、管道不同高度及管道与检查井井身是否设置圈梁加固等措施。

2 计算模型及分析工况

2.1 计算模型

采用 Midas gen 作为计算分析软件对管道尺寸、高度、角度及圈梁是否施加对管壁作用效应

进行分析。对检查井埋深为 7 m, 衔接管道尺寸为 1.5 m 的雨水检查井分别在管道与井壁的不同高度、不同角度、不同尺寸以及管道口进行施加圈梁进行建模分析。

计算模型采用荷载-结构法, 检查井井壁采用二维板单元、圈梁采用一维梁单元, 不考虑材料的塑性变形问题。混凝土的主要参数如表 1 所示。

表 1 混凝土材料参数

混凝土标号	弹性模量/GPa	泊松比	极限抗压强度/MPa	容重/($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)
C30	30	0.2	14.3	25

模型采用三维板单元, 井身总高度为 7 m, 下部井身长度为 2.35 m, 宽度为 1.35 m, 管道尺寸采用内径 1.5 m、壁厚 0.25 m 管道。单元数 1 564 个, 单元划分及施加荷载如图 2 所示。

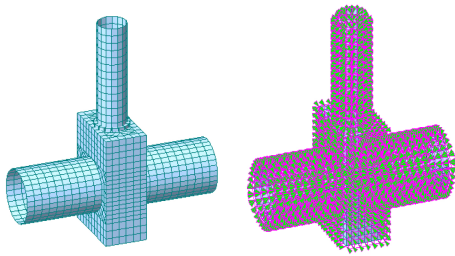
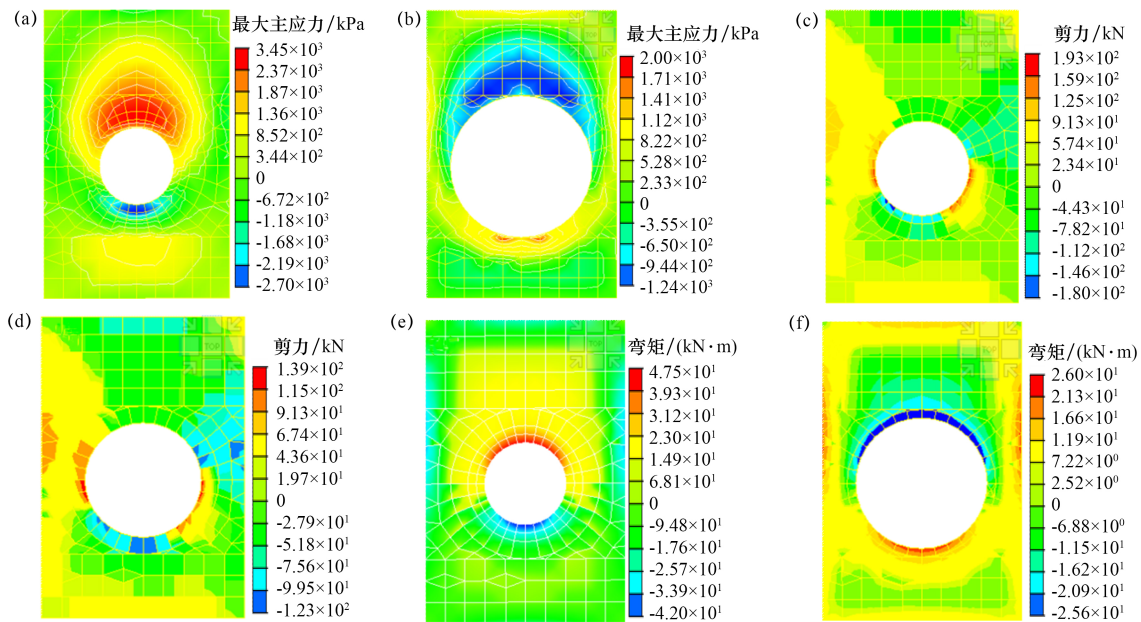


图 2 不同管径模型及荷载分布



(a) 0.7 m 最大主应力云图; (b) 1.5 m 最大主应力云图; (c) 0.9 m 板剪力云图;
(d) 1.1 m 板剪力云图; (e) 0.7 m 板弯矩云图; (f) 1.3 m 板弯矩云图

图 3 不同管径下井壁结果云图

由上图可知: 模型荷载施加为沿管道及井深结构, 其中永久荷载主要为地面超载、水土压力以及结构所受水浮力; 活荷载主要为侧壁汽车荷载, 具体荷载值如表 2 所示。

表 2 模型荷载取值

混凝土标号	地面超载/kPa	水土压力/kPa	侧向水土压力	水浮力/kPa	侧壁汽车荷载/kPa
C30	20	65.55	随高度变化	66.3	10

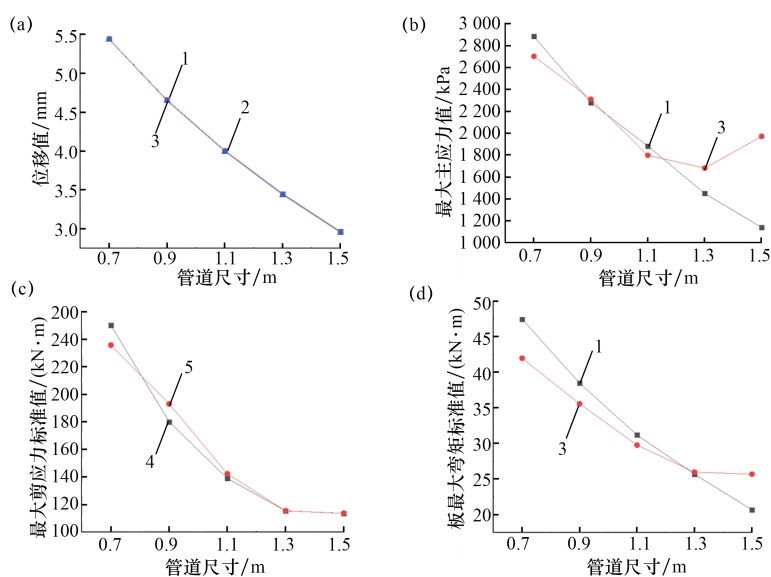
2.2 不同管径对井壁作用影响分析

分别以管道净尺寸为 0.7、0.9、1.1、1.3、1.5 m 进行计算分析, 得到不同模型条件下的最大主应力、剪力、弯矩分布图, 具体如图 3 所示。

由图 3 可知: 1) 随着管径的增大, 井身最大主应力的分布范围、值逐渐减小, 均分布在管道上下两端; 2) 剪力最大值主要分布在管道两侧井身, 随着管径增大, 逐渐向两边墙扩展, 且剪力值逐渐减小; 3) 弯矩最值主要集中在管道上下侧, 随着管径增大, 弯矩最值逐渐向井身两侧扩展且逐渐减小。

不同管径下井壁内力计算结果曲线图如图 4 所示。

由图 4 可知: 1) 随着管径的增大, 井身最大主位移值减小, 由 5.5 mm 下降到 3.0 mm; 2) 最大主应力在管顶由 $2\,900\text{ kN/m}^2$ 减小至 $1\,200\text{ kN/m}^2$,



(a) 位移; (b) 最大主应力; (c) 最大剪应力; (d) 最大弯矩
1—管顶; 2—管道; 3—管底; 4—管道左侧; 5—管道右侧。

图 4 不同管径下井壁结果曲线图

管底在 1.1 m 处出现转折,但减小值达到 800 kN/m^2 ;
3) 最大剪力标准值在管顶和管底都出现了减小,由 250 kN/m 减小至 120 kN/m ; 4) 最大弯矩标准值由 $50 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 减小至 $25 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

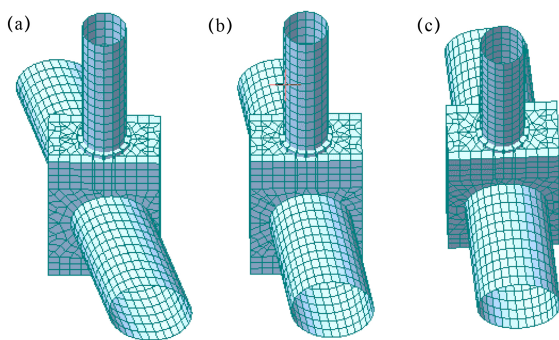
由以上数据可以看出:当管径较小时,井身周围的应力分布会更为集中。这是因为较小的管道直径意味着在相同的外力作用下,管道截面上单位面积所承受的应力会更大。这种应力集中现象不仅增加了管道破损的风险,还可能对井身结构的稳定性造成威胁。因此,在设计和选择管道时,必须充分考虑管径对井身应力分布的影响,以确保系统的安全性和可靠性。

2.3 不同管道角度对井壁作用影响分析

模型采用三维板单元,井身总高度为 7 m,下部井身长度为 2.35 m,宽度为 1.35 m,管道尺寸采用内径 1.50 m、壁厚 0.25 m 管道。单元划分如图 5 所示。

由图 5 可知,管道与井身接口处斜交分别取角度为 90° 、 86.25° 、 82.5° 、 78.75° 、 75° 这 5 种斜交角度进行对比分析。图中仅示意斜交 75° 、 82.5° 、 86.25° 这 3 个模型,其余类似。不同管道与井身侧墙的斜交角度最大主应力、板剪力、板弯矩影响(部分云图)如图 6 所示。

由图 6 可知:1) 当斜交角度较小时,应力集



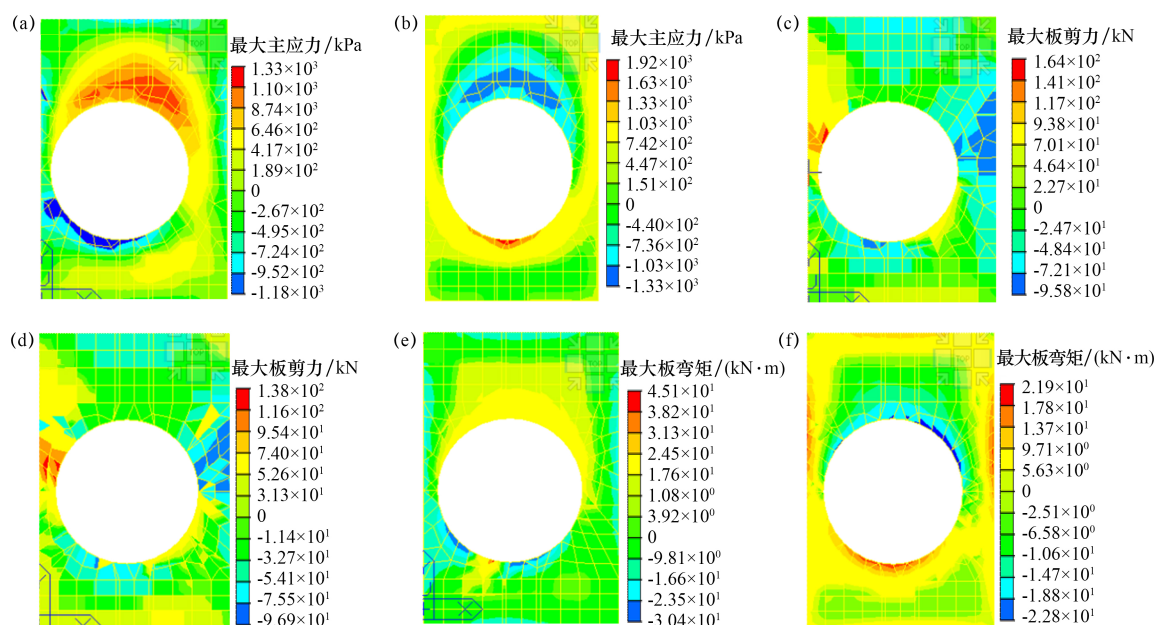
(a) 斜交 75° ; (b) 斜交 82.5° ; (c) 斜交 86.25°

图 5 不同管道角度模型

中区域沿着斜交的角度分布且偏向侧墙转角和顶部容易造成应力集中,随着斜交角度的增加,应力集中范围逐渐减小;2) 随着斜交角度的增大,剪力集中区域减小;斜交较小时尺寸较小墙体出现部分应力集中区域。

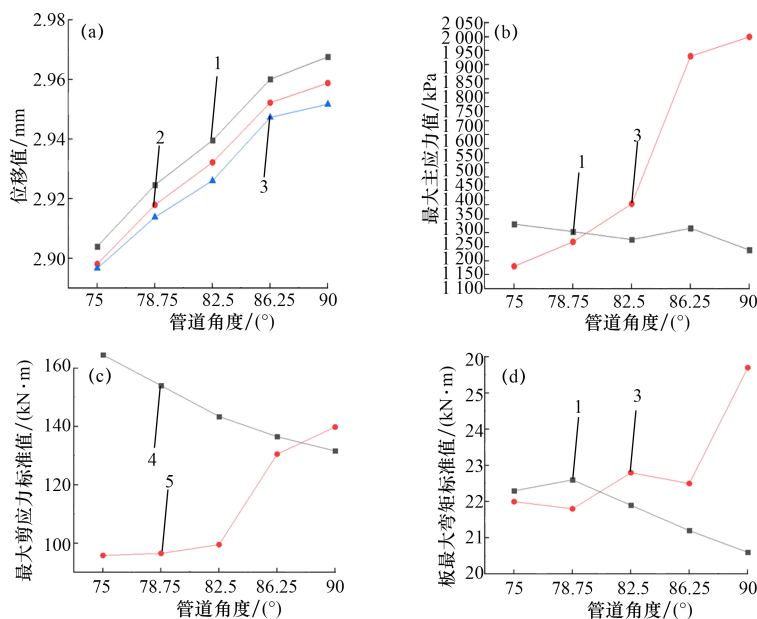
不同角度下井壁内力计算结果曲线如图 7 所示。

图 7 为管道与井身侧墙的斜交角度变化时,其最大主应力、板剪力、板弯矩最值变化情况。由图可知:1) 随着斜交角度的增大,井身最大主位移值逐渐增大,由 2.90 mm 增加到 2.95 mm ,说明斜交角度能够影响结构的整体沉降量;2) 随着斜交角度的增大,最大主应力在管顶由 1300 kN/m^2 减小至 1240 kN/m^2 ,管底由 1180 kN/m^2 减小至 2000 kN/m^2 ,说明斜交对管底的主应力值的影响



(a) 75°最大主应力云图; (b) 86.3°最大主应力云图; (c) 75°最大板剪力云图;
(d) 82.5°最大板剪力云图; (e) 78.8°最大板弯矩云图; (f) 82.5°板弯矩云图

图6 不同角度作用下井壁结果云图



(a) 管道位移; (b) 管道主应力; (c) 最大板剪力标准值; (d) 最大板弯矩标准值

1—管顶; 2—管道; 3—管底; 4—临土侧; 5—背土侧。

图7 不同角度作用下井壁结果曲线图

较大; 3) 最大剪力标准值在尺寸较小出现了下降, 由 165 kN/m 减小至 132 kN/m; 远土侧由 95.8 kN/m 增加至 139 kN/m, 说明随着斜交角度的增大, 井身墙体的受力越平均; 4) 最大弯矩标准值管顶由 22.3 kN·m 减小至 20.6 kN·m; 管底由 22 kN·m 增加至 25.7 kN·m。

由以上数据可以看出: 在管道与井身接口处, 斜交角度的变化对管道的力学特性有着显著影响。随着斜交角度的增大, 管顶和管底侧墙的应力会出现相反的变化趋势。具体来说, 管顶的应力可能会逐渐减小, 而管底的应力则可能逐渐增加。然而, 当斜交角度较小时, 这种变化对材料的最大主应力及弯

矩值的影响相对较小,表明在小角度斜交下,管道结构仍能保持较好的稳定性。但值得注意的是,斜交角度的增大往往伴随着尺寸较小墙剪力值的增大,这可能对井身结构的稳定性产生一定影响。

2.4 不同管道高度对井壁作用影响分析

模型采用三维板单元,井身总高度为 7 m,下部井身长度为 2.35 m,宽度为 1.35 m,管道尺寸采用内径 1.5 m、壁厚 0.25 m 管道。单元划分如图 8 所示。

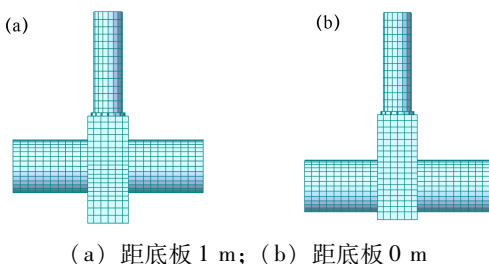


图 8 不同管道高度模型

对管道与井身接口处距离底板分别为 1、0.75、0.5、0.25、0 m 这 5 种高度的工况建立模型,并进行对比分析。图中仅示意距离底板 1 m 及 0 m 两种计算模型,其余类似。其最大主应力、剪力分布、弯矩分布图如图 9 所示。由图 9 可知:当井身埋深位置不变,随着管道距检查井底板的距离增大,井身侧墙的最大主应力影响范围、剪

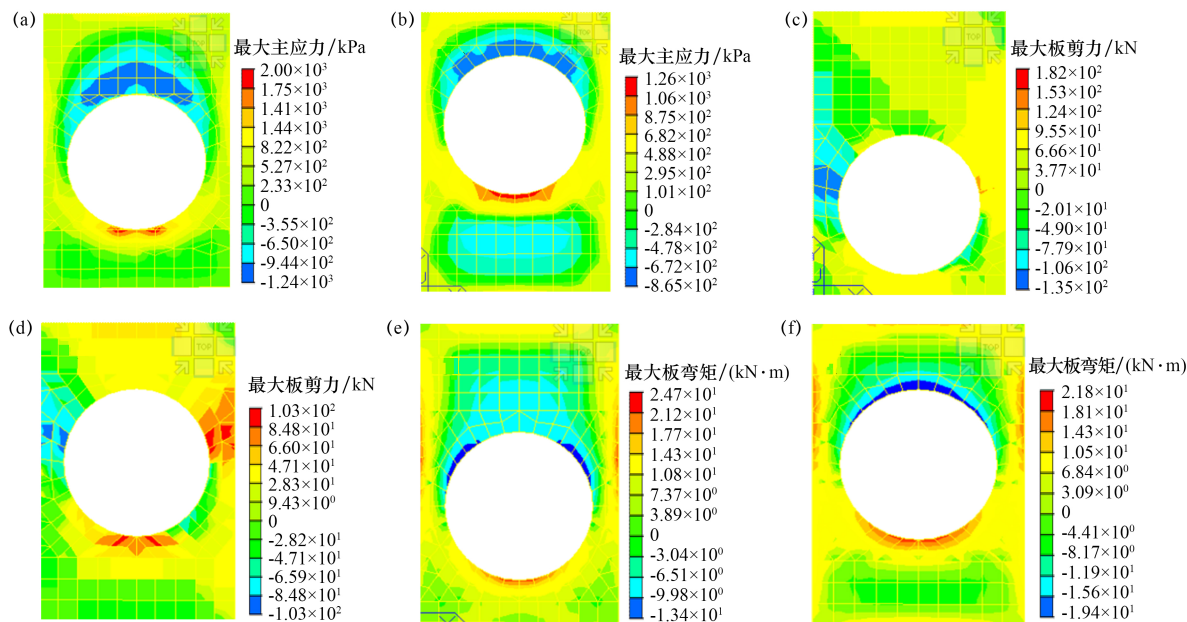
力影响范围、弯矩影响范围都有所扩大。

不同管道高度下井壁内力计算结果曲线如图 10 所示。由图 10 可知:当井身埋深位置不变,随着管道距检查井底板的距离增大,管道位移由 2.95 mm 降至 2.92 mm;最大主应力由 1 800 kN/m² 降至 1 400 kN/m²;板最大剪力标准值由 135 kN/m 减小至 85 kN/m;最大弯矩标准值管顶由 25.5 kN·m 减小至 22 kN·m。

由以上数据可以看出:在井身埋深位置固定的情况下,管道距检查井底板的距离变化对管道和井身结构的力学响应有显著影响。随着管道距井底板的距离逐渐增大,管井管道的最大位移会逐步减小,这表明管道的变形程度降低,结构稳定性提高。同时,管道的最大主应力也随之减小,这意味着管道在承受外力时的应力集中现象得到缓解。此外,板剪力和板弯矩同样表现出减小的趋势,进一步证明了增大管道与井底板距离对于提高管道及井身结构力学性能的有效性。

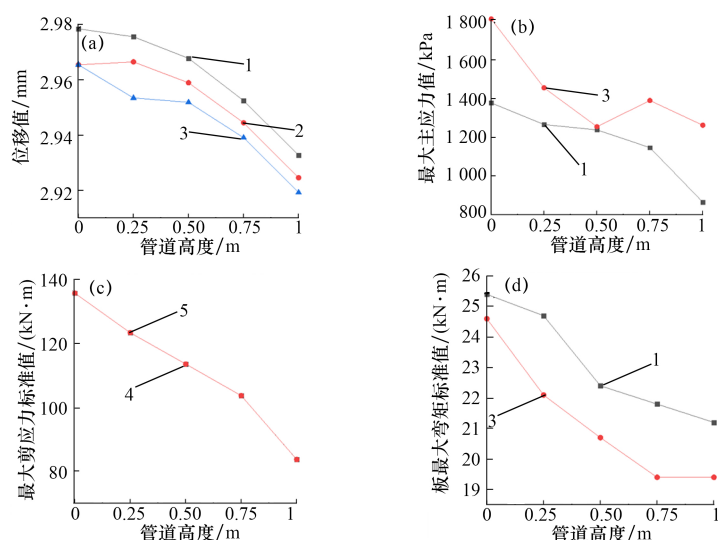
2.5 管道圈梁对井壁作用影响分析

根据以上计算内容,井身侧墙与管道相接处为井体结构受力集中区域,在设计及工程建设中应考虑在处设置圈梁,从而能承担荷载。圈梁尺寸应根据结构壁厚、管道尺寸及壁厚、计算结构



(a) 0.25 m 最大主应力云图; (b) 1 m 最大主应力云图; (c) 0 m 板剪力云图;
(d) 0.75 m 最大板剪力云图; (e) 0.25 m 最大板弯矩云图; (f) 0.75 m 最大板弯矩云图

图 9 不同管道高度作用下井壁结果云



(a) 管道位移; (b) 管道主应力; (c) 板最大剪力标准值; (d) 板最大弯矩标准值

1—管顶; 2—管道; 3—管底; 4—左侧; 5—右侧。

图 10 不同管道高度作用下井壁结果曲线

等进行综合考虑。

由于管道与井身接口处为应力集中区域且应力集中较为明显, 因此在管道与井身接口位置施加圈梁后进行分析, 圈梁尺寸为 $200\text{ mm} \times 300\text{ mm}$, 模型单元划分及荷载施加如图 11 所示。

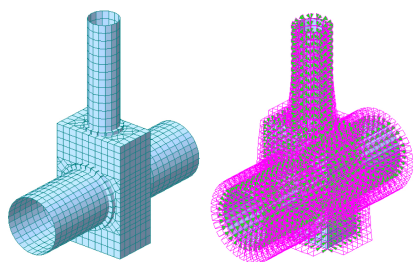


图 11 施加圈梁模型及荷载分布

管道与井身接口设置圈梁后最大主应力、剪力分布、弯矩分布图如图 12 所示。

由图 12 可知: 1) 施加圈梁后, 最大主应力集中范围减小且分布更为均匀; 2) 剪力和弯矩标准值均由集中在管道两侧向井身周边扩散, 井身受力更加均匀。

施加圈梁后井壁内力计算结果曲线图如图 13 所示。

由图 13 可知: 1) 施加圈梁后, 井身的位移由 0.075 mm 增加至 0.106 mm , 位移虽有小幅升高, 但增加值极小, 对井身影响程度较小; 2) 相反的, 随着管径增大, 加圈梁前后应力值对比如下: 最大主应力由 130 kN/m 减至 80 kN/m 、最大

剪力标准值由 130 kN/m 减至 80 kN/m , 弯矩标准值由 $2.0\text{ kN}\cdot\text{m}$ 减小至 $1.2\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

由以上数据可以看出: 施加圈梁后, 其对井身侧壁的保护作用显著增强。然而, 随着管径的逐渐增大, 圈梁对应力的影响逐渐减弱。这是因为大管径管道本身具有较强的结构强度, 能够分散更多的应力, 使得圈梁在缓解应力集中方面的作用相对减小。尽管如此, 圈梁仍然对井身侧壁起到一定的保护作用, 确保整体结构的稳定性和安全性。

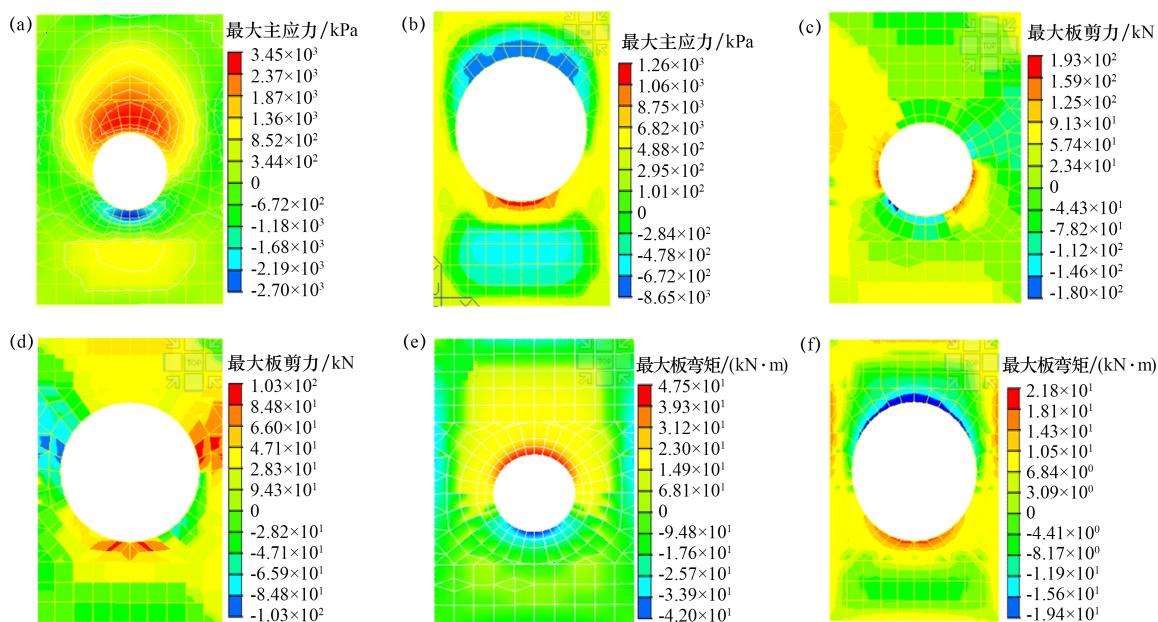
3 结 论

(1) 管径较小时, 井壁的应力值较大, 应力集中较明显。随着管道直径的增大, 最大主应力集中范围逐渐减小; 剪力、弯矩集中范围逐渐增大。

(2) 斜交角度的大小对管道上下侧井壁应力影响较大, 当管道与检查井存在斜交时, 斜交角度越小, 造成尺寸较小处墙体应力集中越明显。

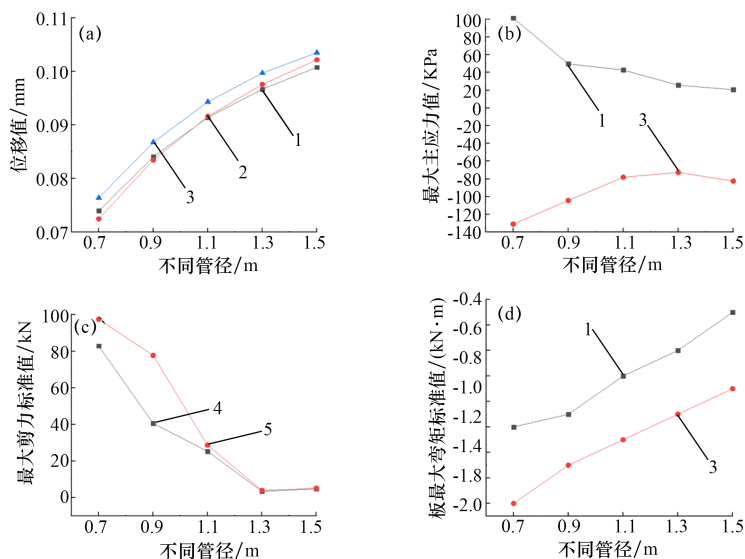
(3) 当检查井尺寸、埋深一定时, 管道与检查井底板的距离越大, 管道对井壁的应力集中越小, 对井壁的保护作用越明显。

(4) 管道圈梁对井身侧壁保护作用明显, 检查井与管道接口处施加圈梁后, 井壁应力分布更加均匀; 随着管径的逐渐增大, 圈梁对应力的影响值越来越小。



(a) 0.7 m 最大主应力云图; (b) 圈梁 -0.7 m 最大主应力云图; (c) 0.9 m 最大板剪力云图;
(d) 圈梁 -0.9 m 最大板剪力云图; (e) 1.3 m 最大板弯矩云图; (f) 圈梁 -1.3 m 板弯矩云图

图 12 圈梁作用下井壁结果云图



(a) 管道位移; (b) 管道主应力; (c) 板最大剪力标准值; (d) 板最大弯矩标准值

1—管顶; 2—管道; 3—管底; 4—左侧; 5—右侧。

图 13 圈梁作用下井壁结果曲线图

根据以上分析, 提出在检查井设计过程中:

1) 在管井较大的检查井设计施工中, 应对井身侧墙转折处加强抗弯抗剪验算; 2) 在管道与井壁接头处施加圈梁能够有效减小井壁的应力集中; 3) 不同斜交角度对井壁的应力影响位置不同, 当斜交较小角度时, 应加强管顶侧墙的抗剪抗弯性能验算; 当斜交角度较大时, 应加强管底侧墙的抗

剪抗弯性能验算; 4) 在检查井埋深一定的情况下, 管道与底板顶存在一定距离时, 可适当减小井壁所受应力集中, 因此在设计过程中应适当考虑该因素影响。在检查井施工过程中, 应对应力较集中区域着重振捣浇筑, 防止该出因未振捣密室而导致结构使用寿命的缩减和使用功能的破坏。

参考文献:

- [1] 陈梓迁,周俊兆,刘静伟. 钢筋混凝土检查井优化设计研究[J]. 中国设备工程. 2019(4):66-68.
- [2] 贺梦琦,魏连雨. 城市道路检查井井周受力分析研究[J]. 河北工业大学学报. 2014(3):110-112.
- [3] 蒋佳骏,吴张永,王文菊等. 基于 ANSYS 塑料检查井井壁加筋结构仿真分析[J]. 软件. 2020(6):158-163.
- [4] 何维,王勇,王艳丽,等. 检查井沉陷病害产生的力学机理与处治方法[J]. 给水排水工程. 2018(5):157-160.
- [5] 潘永清,饶勤波,张仪萍. 城市道路检查井结构破坏原因分析[J]. 交通工程. 2011(19):134-137.
- [6] 刘深华. 基于振动理论分析城市道路检查井纵向位移研究[D]. 杭州:浙江大学,2007.
- [7] 饶静波. 交通荷载下检查井受力变形研究[D]. 杭州:浙江大学,2010.
- [8] 赵全满,王鑫均,卢晓锦,等. 检查井及井周路面影响下的车辆荷载动态特性[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版). 2023. 7,60-68.
- [9] 赵全满,刘瑶,吴楠,等. 井周路面病害特性及平整度模型研究[J]. 中外公路. 2021(4):64-69.
- [10] 何维,王勇,刘伟,等. 市政道路检查井病害调研与成因分析[J]. 市政技术. 2019. (2):186-190.

(上接第 68 页)

- [12] 王帅亮. 超厚基础底板中大跨度组装式钢筋支架的应用——以苏州中南中心为例[J]. 工程建设,2024,56(5):47-52.
- [13] 陈川,胡文,王帅亮,等. 苏州中南中心工程桩永临结合坡道设计与施工[J]. 工程质量,2024,42(2):36-39.
- [14] 段尚磊. 软土深基坑被动区裙边加固方案优化研究[J]. 工程建设,2022,54(9):31-36.

(上接第 72 页)

术与管理方法并没有随之优化与改进,一些浓度比较低的污染物质虽然不会对环境造成严重的污染,但是经过长期的积累会造成严重的影响。因此,需要秉承习总书记的指导“绿水青山就是金山银山”的发展理念^[8],严格地按照相关的制度与要求开展工作,以此促进企业的发展,提高企业的经济效益,使得企业朝着绿色、节能、环保的方向发展。

参考文献:

- [1] 张彩赛. 二氧化硫以及氮氧化物治理及运行控制[J]. 建筑设计. 2016(13):922-922.
- [2] 李洪. 建筑工程造价的动态管理控制分析[J]. 建筑
- 工程技术与设计. 2017(25):773-773.
- [3] 魏淑娟,王爽,周然. 我国烧结烟气脱硫现状及脱硝技术研究[J]. 环境工程. 2014(2):95-97.
- [4] 张范. 电厂脱硫技术与环保措施分析[J]. 城市建设理论研究. 2015(9):5420-5421.
- [5] 褚定杉. 烟气脱硫脱硝一体化技术研究探讨[J]. 科技尚品. 2017(3):24.
- [6] 胡小娟. 热电厂烟气脱硝技术改造[J]. 中国科技纵横. 2015(22):7.
- [7] 穆远庆. 化学工程与工艺中的绿色化工技术研究[J]. 山东化工. 2019(19):139.
- [8] 王永康. 打造“生态保护与生态经济”双示范区[J]. 今日浙江. 2015(6):24-25.