

SHIZHENG YINJING BINGHAI YANJIU

市政窖井 病害研究

李清富 张保雷 郭蔚虹 田启超 著



黄河水利出版社

市政窰井病害研究

李清富 张保雷 郭蔚虹 田启超 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书对市政窨井病害的形式、病害产生的原因与机理进行了详细的阐述,并从窨井的设计、施工和后期维护等方面提出了解决或防治窨井病害的综合措施。主要内容包括:市政窨井病害的常见形式、病害原因与机理;市政窨井设计方法与构造;市政窨井施工技术 with 施工质量控制;市政窨井技术状况评价与预测技术等。

本书可供从事城市道路设计、施工和养护管理的工程技术人员以及相关领域的研究人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

市政窨井病害研究/李清富等著. —郑州:黄河水利出版社,2014.9

ISBN 978-7-5509-0932-8

I. ①市… II. ①李… III. ①城市道路-设计 ②城市道路-道路施工 IV. ①U412.37 ②U415

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 223010 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhslwlp@126.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:890 mm × 1 240 mm 1/32

印张:4.625

字数:140 千字

印数:1—1 500

版次:2014 年 9 月第 1 版

印次:2014 年 9 月第 1 次印刷

定价:15.00 元

前 言

随着我国城市化步伐的加快,城市市政基础设施特别是城市道路建设也迅速发展。与一般公路不同,城市道路除要满足日益增长的城市交通量外,还要承担“管线走廊”的重任,事关城市经济发展、市民生产和生活以及城市安全的多种管线往往依附于城市道路铺设。因此,为确保这些地下管网正常运行的各种窨井也遍布于城市的各条道路上。窨井虽然不是城市道路本身的重要设施,但对城市管渠系统的定期检查、清通和其他特殊检查及检修维护是必不可少的。长期以来,由于人们对市政窨井关注度不够,对窨井的设计、施工和维护等缺乏足够的重视,导致窨井及其周边路面产生沉陷、碎裂等病害,已严重影响到道路正常运营和市民交通安全,并成为道路迅速破坏的“源头”,再加上窨井数量众多、分布面广,政府每年不得不投入大量人力、物力用于窨井维修。因此,迫切需要对窨井的设计、施工和后期维护进行系统研究,以改善城市道路使用性能、延长城市道路使用寿命。

本书密切结合我国城市道路建设的实际,对市政窨井病害进行了较为系统的研究。全书共分六章,主要包括:在充分调研的基础上,系统归纳分析了市政窨井普遍存在的主要病害及其产生原因;对窨井各组成部分的受力性能进行了分析,提出了基于可靠度理论的市政窨井设计方法;对窨井施工工艺进行了优化研究,指出了市政窨井施工质量关键控制点,建立了基于工序能力的市政窨井施工质量动态控制模型;构建了市政窨井使用状况评价指标体系,详细讨论了各评价指标的调查和取值计算方法、评定等级划分标准等,并建立了市政窨井技术状况综合评价与预测模型,为市政窨井的养护维修提供了技术支持。

本书在编写过程中得到了郑州市市政工程管理处、郑州市科学技术局、郑州市城市管理局以及相关施工单位的大力支持和帮助,许多同志参与了本书的调研和实践工作。另外,本书在编写过程中还引用了

大量的参考文献。在此,谨向为本书的完成提供支持和帮助的单位、所有研究人员和参考文献的原作者表示衷心感谢!

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请读者朋友批评指正。

作 者

2014 年 7 月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 研究的背景及意义	(1)
1.2 国内外研究现状与分析	(2)
1.3 本书的主要研究内容	(13)
第2章 市政窨井病害的原因与机理	(14)
2.1 常见市政窨井病害	(14)
2.2 市政窨井周边沉降的原因	(21)
2.3 市政窨井沉降与碎裂力学机理分析	(27)
2.4 本章小结	(63)
第3章 市政窨井设计方法研究	(64)
3.1 引 言	(64)
3.2 基于可靠性理论的窨井设计方法	(64)
3.3 市政窨井构造设计	(79)
3.4 本章小结	(87)
第4章 市政窨井施工技术	(89)
4.1 引 言	(89)
4.2 市政窨井施工关键技术	(90)
4.3 窨井施工质量控制模型	(104)
4.4 本章小结	(110)
第5章 窨井使用状况评价及预测	(111)
5.1 窨井病害及养护维修措施	(111)
5.2 市政窨井技术状况评价	(115)
5.3 窨井使用状况预测	(121)
5.4 本章小结	(135)

第 6 章 结论与展望	(136)
6.1 结 论	(136)
6.2 展 望	(137)
参考文献	(138)

第1章 绪论

1.1 研究的背景及意义

随着我国城市化步伐的加快,城市市政基础设施特别是城市道路建设也迅速发展。与一般公路不同,城市道路除要满足日益增长的城市交通量外,还要承担“管线走廊”的重任,事关城市经济发展、市民生产和生活以及城市安全的多种管线往往依附于城市道路修建。因此,为确保这些地下管网正常运行的各种窨井也遍布于城市的各条道路上。窨井虽然不是城市道路本身的重要设施,但对城市管渠系统的定期检查、疏通和其他特殊检查是必不可少的。当然,窨井也有连接不同管道高程、坡度、方向和管径的作用。由于窨井数量众多,分布面广,不利于集中施工或者维修,因此施工和养护管理成本也相当可观。

长期以来,由于人们对道路窨井关注度不够,对窨井的设计、施工和维护缺少足够的重视,导致窨井及其周边路面产生沉陷、碎裂等严重病害,道路的平整性遭到严重破坏。不平整的路面对行车产生较大影响,比如车辆需提前减速,对道路交通的流畅性和安全性都产生较大影响;车辆颠簸,有的甚至造成跳车,严重影响行车的舒适性,同时也对车辆、窨井和路面造成冲击,损耗机车,加剧路面及窨井的破坏;雨水通过破坏的窨井及路面结构渗入路基,对路面基层和垫层的水稳定性造成破坏,从而进一步加剧路面破坏^[1]。由此可见,窨井及其周边路面的破坏已严重影响到道路正常运营和市民交通安全,并成为道路迅速破坏的“源头”,政府每年不得不投入大量人力、物力用于窨井维修。

因此,开展城市道路窨井病害的系统研究,从设计、施工、选材和养护管理等方面提出解决或防治窨井病害的综合措施,延长窨井使用年限,降低维修和养护费用,不仅具有重要的理论意义,更具有重要的现

实意义。

1.2 国内外研究现状与分析

城市的发展,对窨井的建设、维修和养护提出了更高的标准和要求,国内近十年来陆续开展了关于窨井设计、施工和养护等方面的研究。目前,国内对窨井的研究主要集中在对窨井破坏形式的分析和提出相应的防治措施上,对窨井破坏机理的研究相对来说较少,只有少数研究从深层次揭示了窨井周边土体、交通荷载和回填土对窨井沉降与碎裂的影响。

1.2.1 研究理论和方法

目前国内外并没有关于窨井的专门的研究理论,因此开展深层次研究主要是建立在借鉴其他相似的理论的基础上。现在主要借鉴的理论有桩纵向振动理论、管道纵向振动理论和土与结构相互作用理论^[2]。

1.2.1.1 桩纵向振动理论

桩纵向振动理论是以弹性理论、荷载传递理论、剪切位移理论及有限元理论为基础的。

1. 弹性理论

H. G. Poulos 等在 20 世纪 60 年代初,首先将弹性理论应用到对桩的应力、变形和沉降的研究中,系统地分析了桩-土的性状,将地基土看作均质、连续、各向同性的线弹性半无限空间体,将实际问题进行简化,使其从数学的角度能够相对容易解决,再将模型不断地改进,使模型与现实更加接近。Butterfield 改进了桩端光滑、桩端阻力均布、忽略桩侧径向力等假设,考虑了不同径向距离处桩端阻力不一致的情况,并引入桩侧径向力,采用虚构应力函数的方法,直接对刚性桩求解。我国学者利用弹性理论也开展了不少研究。邹春华等摒弃了桩周各桩段所受的侧摩阻力为均匀分布这一假设,提出了桩侧各桩段的侧摩阻力为线性分布这一基本假定,根据桩-土界面位移协调条件,推导了相应的

单桩理论计算公式。龚晓南基于不能承受拉应力材料的弹性理论解和 Mindlin 解,建立了拉压模量不同材料的弹性理论解,能够合理解决桩基沉降计算问题。

弹性理论的特点是考虑了土的连续性,能够进行比较精确的分析,并且可以用于群桩分析。其缺陷在于无法精确考虑层状地基和土的非线性性质的影响。

2. 荷载传递理论

荷载传递理论最初是由 Seed、Reese 根据旧金山淤泥的现场测试结果提出的。它是一种目前使用普遍的简化方法。这种方法将桩划分为多个弹性单元,各个单元依靠非线性弹簧与土体联系,从而模拟桩土之间的荷载传递关系。Kezdi 以级数法对柔性桩进行了分析,对刚性桩,采用以指数函数作为传递函数的方法。佐藤悟提出了考虑多层地基和桩露出地面情况的线弹性全塑性传递函数。Vijayvergiya 考虑到桩周土体在受荷过程中的非线性的情况,采用抛物线为传递函数。Gardner、Kraft 分别提出了两种表达形式不同的双曲线形式的传递函数。潘时声依据工程地质报告中记录的桩侧土极限摩阻力和桩端土极限阻力提出了另一种双曲函数来模拟传递函数。陈龙珠采用双折线硬化模型,分析了桩土特性参数对荷载沉降曲线形状的影响。辛公锋提出了一个考虑桩侧土软化的三折线模型。荷载传递法的关键是建立真实反映桩-土界面摩阻力和剪切位移的传递函数。

3. 剪切位移理论

剪切位移法是 Cooke 在用水平测斜计量测摩擦桩周土体的竖向位移时发现一定半径范围内土体的径向位移分布呈漏斗状曲线的基础上,得出的一种假设,该假设认为沉降只与桩侧土的剪切变形有关。Rondolph 将该方法扩展到可以考虑压缩性桩,并且可以得知轴向位移和荷载的分布情况。Kraft 在 Rondolph 的研究基础上将单桩解推广到土体非线性情况。Chow 将 Kraft 的解推广到群桩分析。王启铜将 Rondolph 的单桩解从均质地基推广到成层地基。宰金珉将此法推广到塑性阶段。剪切位移法可以将桩周土的位移变化场表现出来,较有限元法和弹性理论法简单。

4. 有限元理论

有限单元法是适应计算机应用而发展起来的一种比较新颖和有效的数值计算方法, Clough 等于 20 世纪 60 年代将有限元理论应用到土力学计算分析领域。Ellison 在分析硬结土钻孔灌注桩的荷载传递机理时, 首次将接触单元应用到了桩侧和桩端。Cheung 分析单桩时引入了土体的弹塑性性质和土体的分层性质。陈雨孙、周红(1987)采用节理单元模拟桩土之间的滑移, 对纯摩擦型的钻孔灌注桩进行了有限元分析。汪克让和荆勇(1992)对桩基进行了三维的弹塑性分析。沈伟跃和赵锡宏(1990)运用有限元耦合的方法对单桩进行弹性分析, 得出了耦合方法能对非均质土中桩的性状作出较好的预测的结果。吴鸣和赵明华(2001)利用层状各向同性弹性半空间的地基模型, 采用有限元-有限层法对大变形条件下桩-土共同工作性状进行了分析, 开发出了相应的计算程序。

以上述几种方法为基础, 国内外相关科研人员分别用频域和时域两种分析方法来分析桩的纵向振动问题, 也有研究人员利用频域和时域两种分析方法来分析检查井的纵向振动问题。

1.2.1.2 管道纵向振动理论

目前还没有学者专门分析过动力作用下井的受力性状。但 20 世纪六七十年代以来, 动力作用下的管道和软土地基中的管道受力问题就成为国内外很多学者的研究对象。

Newmark 早在 20 世纪 60 年代末就对地下管线进行了振动分析, 但在其分析中忽略了惯性力的影响, 而且假定管线与土体一起运动; R. A. Parmelee 等(1975)则首次将管线简化为半无限空间的圆柱壳, 土与管线间采用静态 Mindlin 法求解, 为以后的半无限空间相互耦合作用理论奠定了基础。

随着现代科技的不断发展, 尤其是计算机技术在地下管线研究领域的广泛应用, 有限元法、边界元法、离散元模型等在管道的受力计算和分析等方面发挥着越来越大的作用, 为深入地了解管周土压力的分布、管土间的相互变形分析等提供了技术支持。

S. Takata 等(1987 ~ 1990)采用传递矩阵法对管线进行三维拟静态

分析,同时考虑接头的非线性和管土滑移,还采用壳模型和有限元法计算梁模型所不能涉及的管道环向应力和沿管周的土压力分布;张社荣等利用动态有限元法研究了沟埋式管与软土地基的动力相互作用。

1996年,Roitman等忽略海底管土相互作用,对管道受力进行小比例模型试验,确定海底平整度和管土摩擦力的不一致是管道应力剧变和大变形的主要因素,但是管土作用作为管道受力的一个重要方面,需要对其加以综合考虑;Chiou、Yaw、Jeng等对管道在压缩性软土上的力学性状进行数值模拟计算,探讨了管道直径与厚度的比例、下埋管道深度、初始缺陷、管土摩擦、土体地基等因素对管道受力的影响。

Magda, W对海底下埋管道上作用的波浪冲击力采用四节点等参元进行了有限元力学分析,并通过计算机程序进行了与实测数据的对比验证,得出数据与实际基本吻合,但是该模型为二维模型,而且忽略了管道的内部应力作用,并假设土体为线弹性应力应变体,与实际差别较大。

Dwivedi, J. E等经过对管道的非轴对称动力响应分析,得出冲液管道的动力反应数量级比空管的要高得多的结论,并比较了不同土体条件下和不同角度纵向波动力作用下的管道应力响应。

吕西林等实现了结构-软土地基动力相互作用体系的振动台试验,通过试验研究了动力相互作用体系的动力反应的主要规律,由于动力相互作用的影响,软土地基中相互作用体系的频率远小于刚性地基上不考虑结构与地基相互作用的结构频率。

徐志英等考虑土体的动力非线性特征,对地下结构与土体的相互作用进行了分析,但仅对土体的变形性质进行了相关的影响研究,没有涉及动力荷载的作用影响。

李昕等采用二维有限元方法对连续直埋管道在动力荷载作用下的响应进行了分析,管道周围土体采用等效线性黏弹性模型,为反映管土位移则在管单元和土单元之间加入无厚度的 Goodman 接触单元,利用威尔逊- θ 法对管土系统进行动力时程反应分析,但是没有考虑土体的非线性动态特性。

1.2.1.3 土与结构相互作用理论

自 20 世纪 30 年代土与结构相互作用理论提出以来,此理论得到快速发展。而窖井在动力作用下的受力特性和土-桩相互作用有相似特点。本书主要从分析方法、分析模型以及相互作用的非线性来了解土与结构相互作用理论。

1. 分析方法

要考虑土与检查井相互作用,就不得不用到土与结构相互作用理论。土与结构相互作用的研究起源于 1936 年 Eeissner 关于弹性半空间表面刚性圆形基础振动问题的研究。20 世纪 40 年代由 Martel 提出关于建筑物动力反应的土与结构相互作用效应。到了 20 世纪 50 年代,许多学者获得了圆形与矩形基础在应力边值条件下的平移、旋转和扭转、振动的瞬态和稳态解析解。20 世纪 60 年代, Sandi, Lycan, Newmark, Monge, Rosenberg, Hashiba, Whitman 等做了很多工作,如地基柔性的主要影响,改变了有效的基本周期及有效的阻尼。到 20 世纪 70 年代后期,经过对各种分析方法特点的探讨,土与结构相互作用的基本现象被广泛理解和应用。

1985 年 John wlf 的《Dynamic Soil-Structure Interaction》一书出版,它第一个阐述了关于土与结构相互作用问题。这一阶段土与结构相互作用的研究迅猛发展,由线性到非线性,由一维分析发展到三维分析,主要表现有限差分法、有限元法、边界元法及无限元的应用。有限元法便于处理不规则的场问题,而边界元法对无限边界问题的处理则十分方便。无限元可用于模拟无边界的土体。O. C. Zienkiewicz 等发展了综合两种方法的混合元法,使土与结构相互作用的求解范围进一步拓展。

土与结构相互作用分析方法包括频域分析和时域分析。在频域中可以较方便地考虑与频域有关的地基阻抗函数,将结构和地基分为两个子结构,分别研究其反应。用有限元或波的传播理论得到的透射边界,都是频域的函数。因此,大多数研究者都采用频域方法。但由于在频域中难以处理非线性问题,对时域分析方法的研究更为活跃,研究者提出了可用于时域分析的多种边界形式,如廖振鹏提出的透射边界、寂

静边界, Smith 提出的叠加边界等。Doo-Kie Kim 和 Chung-bang Yun 在忽略材料阻尼的情况下, 引入正的参数来考虑波的传播的螺旋式衰减, 推导出时域的运动方程。Chung-bang Yun, Doo-Kie Kim, Jae. Min Kim 处理波的能量耗散, 是通过波形来考虑的, 由于在原场的波形的几何尺寸逐渐变小, 习惯用指数函数 $\exp(-\alpha\gamma)$ 来表示波形, 以忽略材料的阻尼 ($0 < \alpha \leq 1$)。

2. 土与结构相互作用模型

土与结构相互作用模型有两种: 一种是考虑土与结构相互作用下土的反应的模型, 这种情况下真实土体应在计算简图中出现, 土体本构关系常采用等价非线性黏弹模型。另一种是以分析结构反应为主的模型。

1) 质 - 弹 - 阻模型

把结构基础系统看作是一个有质量的弹簧和阻尼器所组成的动力运动体系, 地基的反力用地基的弹簧系数和阻尼常数来反映。用此方法的要求: 一是要确定地基的弹簧系数和阻尼常数, 二是要求解运动体系的动力平衡方程式。

2) 弹床系数模型

弹床系数模型是在文克尔假定的基础上建立起来的。作用于土体中一点的力只使该点产生位移, 而不能使相邻点产生位移。可将土体做如下的处理: 土对结构的作用以弹簧体系代替, 弹簧对结构的作用力与弹簧的变形成正比, 这个比例系数叫弹床系数, 由经验公式可得。有限元模型: 将土体看成有限元的集合体, 利用有限元分析土体与结构的相互作用, 其计算简图的选取应根据具体问题而定。但应指出, 结构的形式对计算简图的选取有决定性的影响。

3) 耦合模型

耦合模型即有限元、边界元、无限元之间的耦合。一般结构和近场土体用有限元来模拟, 远场土体用边界元或无限元来模拟。

3. 土与结构相互作用的非线性

土与结构相互作用实质上是非线性体系, 该体系在时域法中求解。土与结构动力作用问题存在 3 种非线性。

(1)土本身材料的非线性及土体的非线性即土体是非均质的,在土体的不同部位材料的性质不同,又由于地下水的存在使得土体更进一步表现出它的非线性。

(2)几何非线性,这是几何方程的非线性引起的位移和应变的关系。

(3)交通工具与土体、结构三者的接触非线性。

频域阻抗方法对土-结构动力相互作用体系非线性分析无能为力,只有借助于时域方法才能求解。冯仰德、汪越胜、章梓茂应用时域边界元法研究了结构-介质动力相互作用问题,假设摩擦遵守库仑定律,提出了一种单侧摩擦接触界面模型。

总之,在 20 世纪 80 年代以前,土与结构动力相互作用主要是线性分析,可以在时域和频域内得到求解。近年来,随着计算机技术的飞速发展,土与结构动力分析也由线性过渡到非线性阶段,计算机技术为此提供了一个高效的分析工具。

1.2.2 窨井(检查井)研究现状

国外对检查井沉陷破坏性状的研究较少。Salah El Haggag 等研究采用不可回收的塑料和钢筋等材料来做检查井井盖^[3],减少污染,减少造价,减少井盖被偷等造成的事故。美国有很多关于调整检查井井座高度的研究,如 Bowman 关于调整检查井井座的措施^[4]。Christian Falk 在“检查井井盖维修”中研究了检查井上部结构^[5],即上部井筒、井盖和检查井周边一定范围的土体、沥青路面部分。他通过室内试验,在井盖上作用一个动荷载来分析上部结构的受力变形情况,结果表明:检查井上部砂浆层的破坏对检查井与路面的差异沉降有很大影响;又通过现场和室内试验表明砂浆类型、修补方法及现场条件对材料的荷载反应有很大影响。他提出一个设计方法,是把井盖和井筒隔开,使上部交通荷载传递到新做出来的钢筋混凝土井盖上,不会直接作用在检查井的上部井筒上。还有一种检查井的改进措施,就是在井座下安装检查井高度调整装置。当检查井与路面发生沉降差时,可以调整该装置,使得检查井井盖与周边路面标高保持一致。然而,以上文献没有对

交通荷载作用下检查井沉陷等受力变形进行研究。

目前国内很多文章描述了检查井的破坏性状并提出了一系列相应的预防措施。王晓江通过对北京典型路段的检查井进行了深入的现场调查分析、地质雷达检测和有限单元法静力和动力学计算^[6],从检查井井座下砂浆垫层受力上总结分析北京地区检查井病害的主要原因,提出了预防检查井病害发生的四项工艺措施:①井盖安装以现浇混凝土取代砂浆卧底;②井圈周围浇筑钢筋混凝土搭板,其目的是实现井圈与井筒脱离,车辆荷载通过井圈底座搭板传递到道路基层,避免检查井沉陷;③采取预制井圈修复检查井;④采用反挖法施工时用莱克树脂等材料取代检查井周边沥青混凝土。

张强等针对当前窖井存在的主要问题,提出了一种防治窖井沉降的改进型窖井结构^[7]。采用 Terzaghi 一维固结理论计算窖井的沉降速率,在单轮轮载为 25 kN 的工况下,采用分层总和法计算最终的沉降;计算分层沉降时考虑瞬时沉降、主固结沉降和次固结沉降。最后得出三个结论:①在不进行路基加固的情况下对比传统型窖井和改进型窖井,防沉降窖井显著地降低了沉降差,降幅达 60% 左右;②在路基浅层加固的情况下,传统型窖井及改进型窖井与路面仍有沉降差,但是传统型窖井的沉降差仍超过 5 cm,改进型窖井的沉降差比传统型窖井的沉降差减少 60% 左右;③路基深层加固后,沉降差明显减小,传统型窖井 10 年时的沉降差为 32.9 mm,改进型窖井则只有 14.4 mm。虽然路基深层加固后防沉降效果很好,但是与路基浅层加固相比,施工成本大大提高,因此推荐对路基进行浅层加固。

潘永清等通过对城市窖井的现场调查^[8],认为交通荷载是窖井发生破坏的主要原因,窖井与路面产生差异沉降并非是由路基沉降造成的,而是窖井上部沉陷的原因。对城-A 级车辆荷载的最大轴重 200 kN 作用下检查井的有限元分析表明:①当荷载作用在检查井中心时,井体上的混凝土垫层边缘出现了较大的拉应力,而混凝土垫层的抗拉强度极低,因此出现垫层的破碎,导致窖井盖的沉陷;②在单次汽车荷载作用过程中,混凝土垫层经历了两次反复剪切的过程,因此在循环车辆荷载作用下会加速混凝土垫层的破坏;③与垫层中的剪应力变化规

律相似,窨井上部的沥青路面也经历了反复剪切的作用,导致路面出现剪切裂缝,进而发生破坏;④在窨井上部的沥青路面的同一水平面上,窨井井筒外侧所在纵剖面上沥青的剪应力峰值大于同一水平面上的其他点的剪应力峰值。由于井盖垫层的剪应力幅值远大于井体上部沥青路面中的剪应力幅值,因此井盖垫层先于沥青路面发生破坏。垫层的破坏导致窨井盖发生沉降,使窨井与路面之间产生沉降差,在循环交通荷载的作用下会加速窨井与路面的破坏。

上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司通过对窨井结构进行改进,自主研发出一种防沉降窨井结构。防沉降窨井井盖是在原有的传统窨井结构的基础上做出一些改进:将井框与窨井座由“墩座式”改为“承式”;使井盖框成为路面的一部分;窨井上的荷载(比如车辆荷载等)通过特制井盖传递到道路的表层。白彦峰通过对改进型窨井的沉降进行有限元计算得出结论^[9]:不进行路基处治时,改进型窨井和路面差异沉降较大;进行路基浅层处治后差异沉降差可降低约31%;进行路基深层处治对于窨井和路面的差异沉降控制最好,10年时仅为8.9 mm。通过传统型窨井与改进型窨井的差异沉降有限元计算,可以明显看出改进型窨井在防治窨井与路面差异沉降方面效果显著,其与路面的沉降差在各种地基处理条件下均为传统型窨井的60%左右,可以有效防治因窨井沉降引起的窨井及路面破坏。

组装式预制混凝土检查井由预制混凝土构件组成,主要有井口缩径、主井筒、井底筒、弧形槽井底、井基座五个分体构件组成。郭凯^[10]对组装式预制混凝土检查井进行了试验研究和优化分析。首先,对混凝土检查井各分体构件进行试验研究,对井口缩径进行竖向逐级加载,并观测其开裂、破坏特征,观察井口缩径承受竖向荷载时,纵向位移的变化情况,并绘制荷载与竖向位移变化曲线,将破坏过程分为三个阶段;其次,对检查井整体进行试验,用集中力来模拟水平荷载,同时在井体另一侧填满沙来模拟现实井体周围的土体,并最终得出检查井的开裂破坏荷载,以及在受竖向及水平荷载下,检查井的受力特点和力的传递机理;最后,通过对组装式混凝土检查井的构件及整体受力进行有限元数值模拟计算,并对比试验所测得的结果,两者结果基本一致。根据