

·缓变地质灾害危险性评价·

城市地面沉降对给排水管道变形的影响

——以天津市塘沽区响螺湾地区为例

彭 涛¹, 孙 铁², 宋 晶³, 王秉忱¹

PENG Tao¹, SUN Tie², SONG Jing³, WANG Bing-chen¹

1. 建设综合勘察研究设计院, 北京 100007;

2. 天津市勘察院, 天津 300191;

3. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026

1. China Institute of Geotechnical Investigation & Surveying, Beijing 100007, China;

2. Tianjin Institute of Geotechnical Investigation & Surveying, Tianjin 300191, China;

3. Construction Engineering College Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China

摘要:受地面沉降的影响,敷设在不同位置的给排水管道差异沉降明显。运用 GEO-SLOPE 软件中的 SIGMA/W 模块,对天津市塘沽区响螺湾地区敷设给排水管道的地面沉降特征进行数值模拟,分析给排水管道沉降破坏的机理,总结给排水管道的变形规律,指出响螺湾地区给排水管道的规划要点。通过层次分析法确定给排水管道的工程地质要素权重,综合评价给排水管道的分布,为给排水管道规划提供合理的工程地质依据,减少地面沉降引发的环境工程地质问题,指导响螺湾地区的总体规划。

关键词:地面沉降;数值模拟;天津市响螺湾地区;层次分析法;给排水管道规划

中图分类号:P694

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2008)11-1882-06

Peng T, Sun T, Song J, Wang B C. Influence of urban land subsidence on deformation of water and sewer pipelines—A case study of the Xiangluowan area, Tanggu District, Tianjin Municipality, China. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(11): 1882-1887

Abstract: Under the influence of land subsidence, water and sewer pipelines lying at various depths sink markedly differentially. Based on SIGMA/W modularization in the GEO-SLOPE software, land subsidence of water and sewer pipelines in the Xiangluowan area is simulated and the subsidence mechanism of water and sewer pipelines is analyzed. Additionally, based on the deformation features of water and sewer pipelines, the key points of planning of water and sewer pipelines in the Xiangluowan area are presented. In that case, analytical hierarchy progress is used to determine their weight of element factors of geology engineering. The distribution of water and sewer pipelines is evaluated comprehensively to provide rational engineering geological grounds for the plan of water and sewer pipelines, reduce the environmental engineering geological problems induced by land subsistence and guide the general planning of the Xiangluowan area.

Key words: land subsidence; numerical simulation; Xiangluowan area, Tianjin; analytical hierarchy progress; planning of water and sewer pipelines

地面沉降是城市主要的地质灾害之一,由地面沉降引发的给排水管道破裂、污水倒灌、排水不畅等问题严重影响了城市正常的生产和生活^[1-3]。响螺湾

地区软土分布面积广,厚度差异大,产生的不均匀沉降必然威胁到给排水管道的安全,因此有必要研究地面沉降对给排水管道变形的影响,指出敷设给排

收稿日期:2008-08-04;修订日期:2008-09-01

科技项目:国家科技支撑计划课题(编号:2006BAC04B05)资助。

作者简介:彭涛(1968-),男,研究员,从事岩土工程和环境地质研究。E-mail:pengtao@cigis.com.cn;easky@126.com

水管道的有利区和避让区,为规划部门提供合理有效的规划建议。

1 给排水管道规划现状

在以往的给排水管道规划过程中,往往仅从给排水工程自身的角度考虑,局限于单一的规划^[4],地面沉降引发的不均匀沉降等问题常被忽视,但此类环境工程地质问题会导致给排水管道损坏,影响给排水管道的安全运行。

在城市给排水管道规划的初期,建议考虑工程地质要素,合理安排给排水系统的规划,减少环境工程地质问题。在城市给排水管道的规划过程中,将地面沉降作为重要的考虑因素,避免地面沉降引发管道破裂或失效。

2 响螺湾地区地层特征

响螺湾地区位于天津市塘沽区海河沿岸,与塘沽区外滩隔海河相望。响螺湾商务区将汇集全国各省区市和中央企业的驻津机构,实现与于家堡商务核心区的功能互补,同时也将成为就业岗位充足、生态景观和谐、公共设施完善的滨海新区活力地带。规划的开发地块由街道划分,其面积在 $0.5\sim 2.7\text{ hm}^2$ 之间,共有 46 个开发区段。鉴于本地区的重要性,在城市规划中,应全方位地考虑各要素对规划的影响。

本次响螺湾给排水管道规划基于该区 59 个钻孔资料及若干份勘查报告,初步查明了该区的工程地质条件,为进行数值模拟提供了详实的基础资料。整体而言,该地区地层具有二元性,浅层软土分布广泛,厚度不均,一般在 $2\sim 10\text{ m}$ 之间, $10\sim 25\text{ m}$ 主要为粘性土, 25 m 以下砂土厚度大,可作为良好的桩基持力层。响螺湾地区由于天然软土层分布面积广、强度低、压缩性高,因而地面沉降明显。根据 1996—2006 年 10 年沉降量分布图(图 1),区域差异沉降量为 28 mm 。

3 给排水管道变形的数值模拟

按照响螺湾总体规划要求,该地区给排水管道埋置于地面以下 $4\sim 7\text{ m}$,数值模拟管道自西向东敷设^[5]。

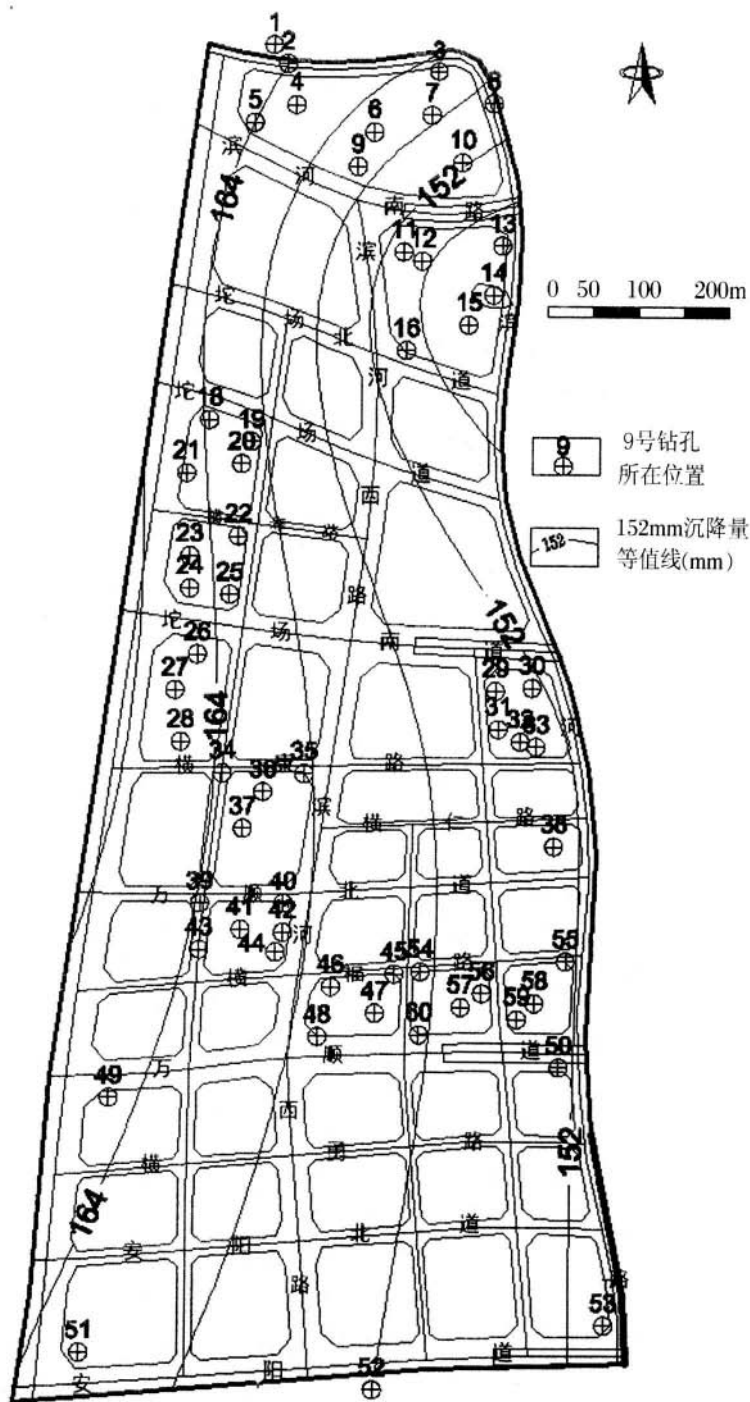


图 1 响螺湾地区 10 年沉降总量示意图

Fig. 1 Map showing the total amount of subsidence over 10 years in Xiangluowan

表 1 响螺湾地区各土类的物理力学性质
Table 1 Physical and mechanical properties of soils in Xiangluowan

土类	厚度 /m	重度 /kN·m ⁻³	变形模量(<i>E</i> ₀) /MPa	静止侧压力 系数(<i>K</i> ₀)	泊松比 (<i>μ</i>)	<i>φ</i> /°	<i>C</i> /kPa
素填土	2~4	19.2	2.65	0.33	0.25	7	16.4
粉质粘土	4~14	19.1	5.01	0.38	0.28	11.9	12.6
淤泥质粘土	2~10	17.8	3.13	0.53	0.35	4	13
粉质粘土	4~15	19.3	7.81	0.37	0.27	11.9	13.3
砂土	18~27	19.5	5.00	0.35	0.25	21.8	12.8

3.1 数值模型的建立

根据响螺湾地区的地层资料统计，各土类的物理力学指标列于表 1。

模型总长度 600 m,深度 50 m,5 类土层,土层自上而下分别为填土、粉质粘土、粉土、淤泥质粘土、粉质粘土。取直径1 m 的钢管作为给排水管道材料，管道作为若干段简支梁处理，弹性模量 206 GPa,埋置于地面以下 4~7 m。图 2 所示的 A-A'剖面为管道变形模型的地层分布剖面，模型划分为 1188 个四边形单元,左右边界施加水平向约束，底面施加水平向和竖向约束。

3.2 数值分析

图 3 为竖直方向位移云图,地表最大沉降量为 0.39 m,自西向东沉降总量有减小的趋势。自重应力随着深度增加逐渐升高,令地层沉降变化梯度增加,距离地表

越远,沉降量越小。同时,西部比东部总沉降量大,这个趋势与 10 年沉降量等值线表征的现象相符。由于西部砂土厚度大,砂土层透水性比粘性土好,在天津地区,砂土层中地下水的抽取更易诱发地面沉降,引发工程地质问题。

经过数值模拟，在运行结果中选取 6 个特征点进行对比分析,验证结论的可靠性。以剖面上的 0、133、211、400、495、590 号点作为特征点,提取模型数

表 2 有限元数值模拟结果
Table 2 Results of finite element numerical simulation

特征点编号	0	133	211	400	495	590
竖直位移(上为正)/m	-0.39	-0.38	-0.38	-0.36	-0.35	-0.35
最大主应力/kPa	9.56	9.54	8.83	7.13	6.29	8.13
最小主应力/kPa	3.75	3.69	3.40	2.69	2.01	3.43
平均主应力/kPa	5.67	5.63	5.21	4.17	3.52	4.90
管道下伏软土厚度/m	3.0	3.0	4.5	8.1	7.0	6
管道埋置深度/m	4.0	4.7	5.1	6.1	6.5	7.0
地表沉降量/m	-0.389	-0.384	-0.379	-0.365	-0.385	-0.36

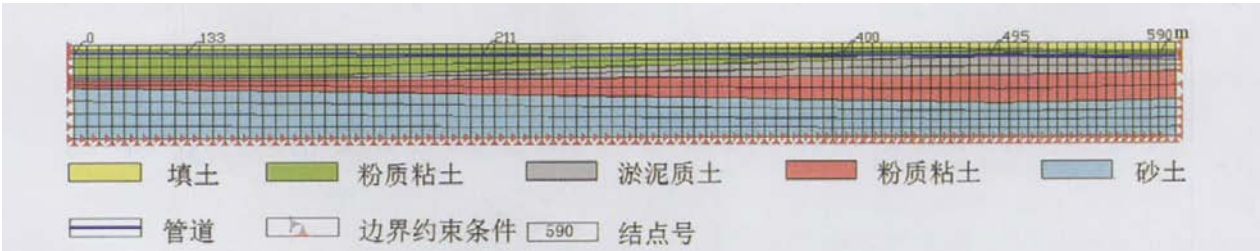


图 2 A-A'剖面的二维有限元模型
Fig. 2 Map showing 2D-finite element model of profile A-A'

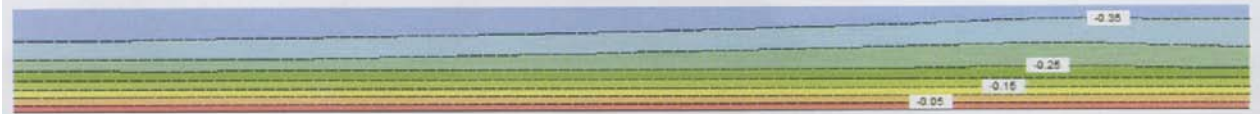


图 3 竖直方向位移云图
Fig. 3 Map showing contour shading of vertical displacement
图中的数字为地表沉降量,单位为 m

据,得到 A-A'剖面的特征点信息。各特征点地表位移量、管道变形量如表 2 所示。

根据有限元数值模拟结果,将 6 个特征点所在位置的地层厚度做分析,结合特征点的位置与沉降量的关系(图 4-a,b),地表沉降量最大的地区(0 号点对应的位置),砂土厚度最大;地表沉降量突变区(495 号点对应的位置)软土厚度相对较大。这一现象表明地面沉降除了受到含水层厚度的影响外,同时还受压缩量大、强度低、渗透性差的软土的影响。尤其在天津滨海地区土层普遍存在二元性特征,因此,在敷设管道时需要充分考虑变形量大的软土的厚度对管道不均匀沉降的影响。

值得注意的是,随着砂土、粘性土的厚度减小,地面沉降量有减小的趋势;同时管道并没有随着地表沉降产生巨大变形,管道属于钢性材料,产生大变形导致脆性断裂的可能性较大。

3.3 给排水管道沉降破坏机理

由于管道敷设于地面以下半无限空间体的浅部,受到地面沉降的影响(图 3),管道在不同位置产生不均匀的沉降^[2]。管道的一端与集水井、给水泵等构筑物铰接,可近似看做悬臂梁。给排水管道受到上部的荷载作用,如路面行驶车辆的影响、土的自重荷载作用等。当地基发生变形和下陷的时候,地基土对

表 3 给排水管道规划要素的权重
Table 3 factor weight of planning of water and sewer pipelines

给排水系统要素	权重	分 项 值			
		0.25	0.5	0.75	1
填土底板埋深	0.094105	>4m	2.5~4m	1~2.5m	<1m
软土厚度	0.487722	>7m	5.5~7m	4.5~5.5m	<4.5m
软土顶板埋深	0.192307	<3m	3~6m	6~8m	>8m
20m 以上粉土厚度	0.100213	>6m	3~6m	1~3m	<1m
地下水对钢结构的腐蚀性	0.125653	强	中	弱	-

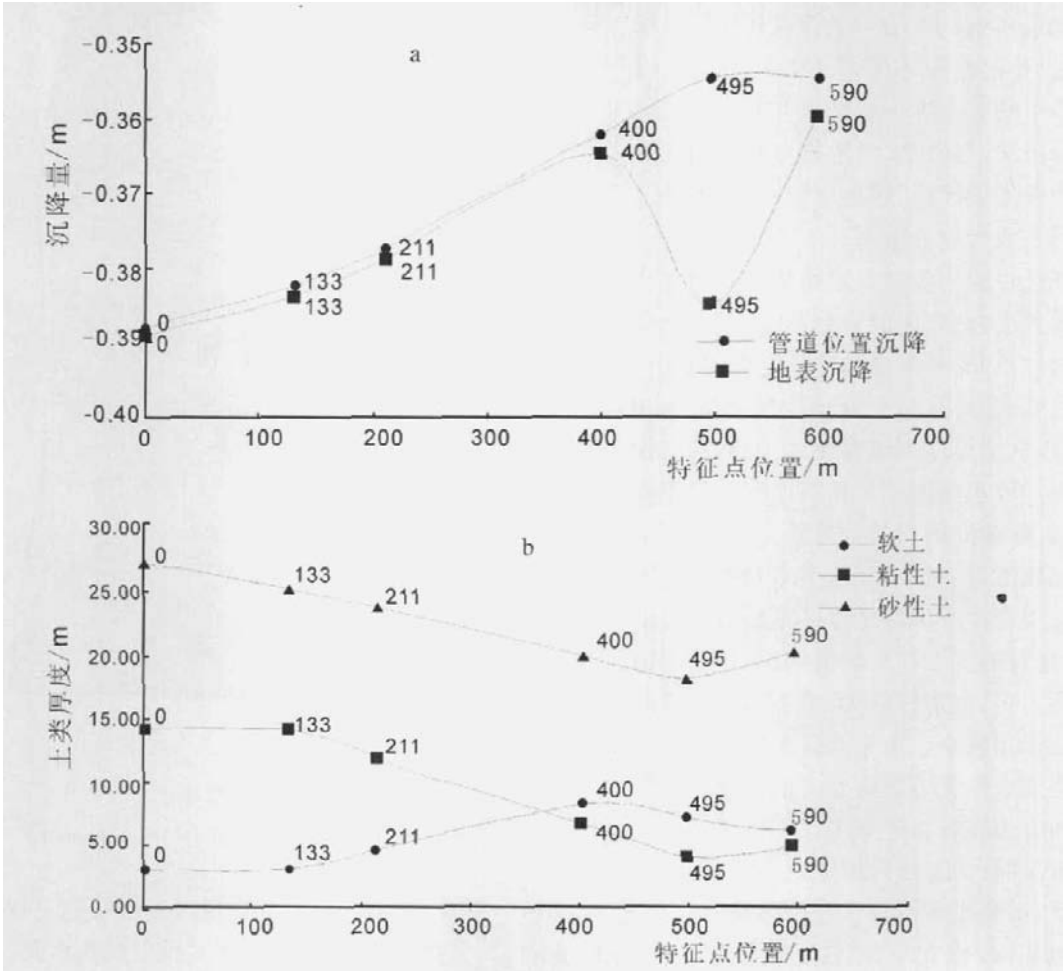


图 4 特征点的位置与沉降量(a)、土类厚度(b)的关系

Fig. 4 Map showing relation of the location of characteristic points to the amount of subsidence (a) and thickness of soils(b)

管道产生的垂直方向上的支持力 p 逐渐减小,管道一端做支点不产生位移和弯曲,另一端悬臂产生较大变形,管道受力不平衡从而引起拉坏。拉坏的管道可能使污水泄漏、地基破坏、地面集水井堵塞,严重的会导致环境破坏,影响正常的生产生活。

4 响螺湾地区给排水管道综合规划

为了确保给排水管道在施工、运行期间的安全稳定性,响螺湾地区给排水管道规划涉及的影响因素较多,故采用层次分析法确定各因素的权重,为综合规划提供依据。

层次分析法(AHP)是将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。在城市建设中,给排水管道规划是目标层,开挖稳定性和运行安全性是准则层,将目前各个钻孔土性资料作为方案层。运用层次分析法,分层次对给排水系统因素的重要性程度做比较,建立比较矩阵,程序运算得到一致性检验结果。

开挖过程中侧壁稳定性和坑底稳定性的重要程度:两方面的重要性相当,因此赋相同的权重。此外考虑侧壁稳定性因素中,填土底板埋深占整个开挖深度的比例减小,所以软土厚度的重要性大。坑底稳定性因素中,软土的厚度和顶板埋深作用重要性相同,赋相同的权值。另外,运行过程中需要比较沉降、振动和地下水对管道腐蚀性的重要程度:沉降是该区重要的工程隐患,对运行的安全性影响最大;振动作用属于地质灾害,危害性较大;地下水对管道的腐蚀性作用较小。由于给排水管道位于浅部,给排水系统不仅需要考虑不均匀沉降引起的管道拉断,还要考虑整体沉降引起的管道拉断,两方面因素缺一不可。综合以上因素,得到影响给排水评价体系的5个要素,即填土底板埋深、软土厚度、软土顶板埋深、粉土厚度和地下水腐蚀性。

利用层次分析法确定的5个要素的权重如表3所示。考虑该地区尽量避免地面沉降产生的给排水

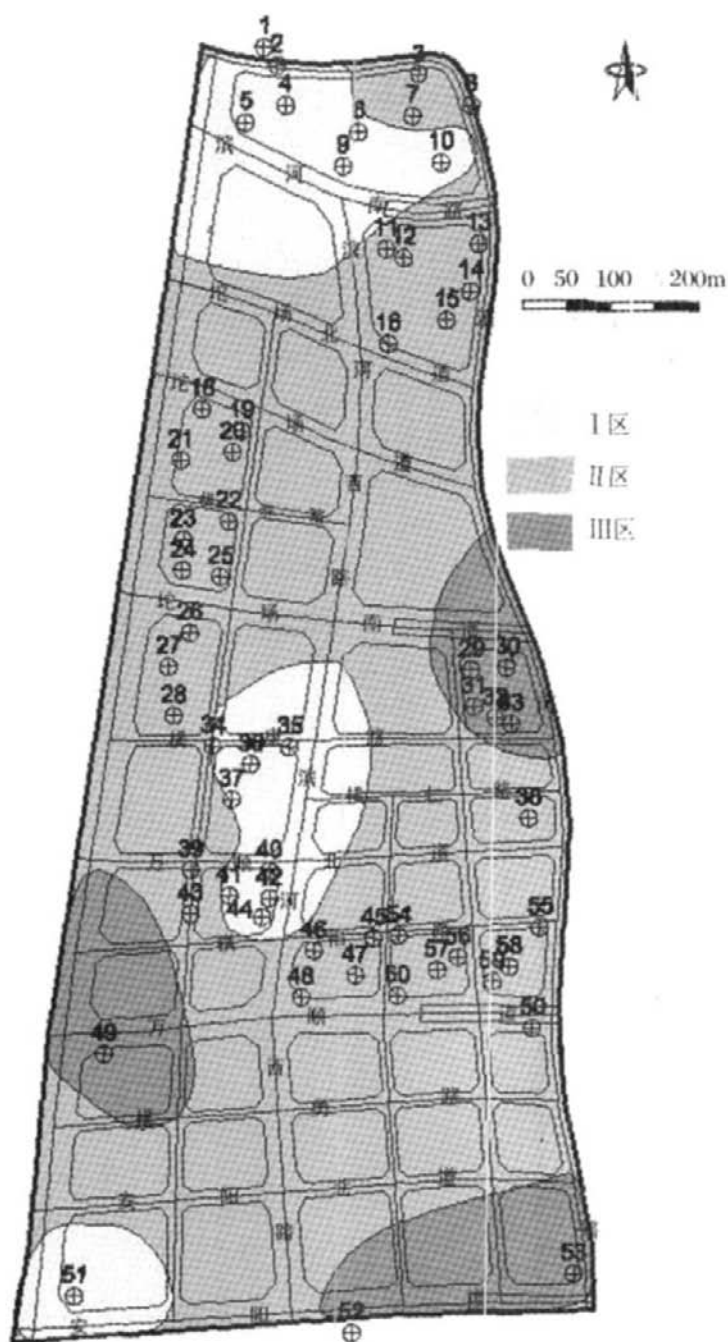


图5 给排水管道综合分区

Fig. 5 Zonation of water and sewer pipelines

管道拉裂等问题,在层次分析法确定权重的过程中,与地面沉降相关的因素重要性相对高;粉土厚度、地下水对管道的腐蚀性等因素重要性相对低。通过已经得到的给排水系统要素的权重,按照下式计算各个钻孔所在位置的综合值:

$$U_i = \sum_{j=1}^5 R_{ij} \times r_{ij}$$

其中 U_i — i 号钻孔位置的给排水综合值; R_{ij} — i 号钻孔位置第 j 个因素的权重; r_{ij} — i 号钻孔位置第 j 个因素的分项值。

由此建立划分给排水系统施工稳定性和运行安全性的综合分区图(图 5),综合值越大表明该地区布置给排水系统稳定性越好。

区:既保证开挖过程中基坑稳定性相对较好(较少支护),又能够保证管道敷设后较长期地安全运行(沉降变形较小、震陷量较小、液化可能性小)。

区:管道开挖过程中和管道运行过程中产生的工程地质问题不多,管道敷设区域的可利用程度适中。

区:在给排水管道的施工需要较大量的支护措施,管道运行过程中沉降变形相对较大、振动的影响作用较为明显。

综上所述,区属于给排水管道优先规划区;区为给排水管道施工运行需要注意的防范区;区为给排水管道避让区。根据以上分析,应合理地安排给排水管道的布局,为区域整体规划提供可行性建议,科学指导城市建设。

5 结 论

(1)地面沉降很大程度上影响给排水管道运行的稳定性。地层沉降差异过大的地区,管道被拉断或者失效的隐患越高。

(2)综合考虑给排水管道施工的稳定性和运行的安全性,采用层次分析法确定要素的权重,综合分区,为给排水管道规划做指导。

(3)给排水管道是城市的生命线,合理的布设能科学合理地指导城市规划。

致谢:天津市勘察院马洪斌、王安等同志对本项目给予大力支持,并协助整理数据,在此表示感谢。

参考文献:

- [1]崔振东,唐益群.城市地面沉降浅析[J].防灾博览,2007,(1):4-6.
- [2]陈立道,施兰章,朱保罗.城市排水管道损坏原因与修复对策[J].施工材料与设备,2002,28(3):76-79.
- [3]杨林玲,欧阳伟德.软土地基敷设给排水管线的设计与施工[J].中国给水排水,2005,9:91-93.
- [4]赵建国.居住小区给排水规划的有关问题探讨[J].给水排水,2004,30(11):12-15.
- [5]中华人民共和国建设部.GB50332-2002 给排水工程管道结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [6]王波.软土地基敷设给排水管线设计探讨[J].广东科技,2008,(3):127-128.