

· 冻土与地基基础 ·

DOI: 10.13905/j.cnki.dwjz.2015.04.034

# 湿陷性黄土地区地下管网灾害分析与防治

党星海, 张晶晶, 牛全福  
(兰州理工大学土木工程学院, 兰州 730050)

**【摘要】** 以绥中渤海经济开发区渤海大街管网工程实例为研究。针对该区湿陷性黄土的特点, 通过分析湿陷性黄土区地下管网的灾害类型及原因, 提出如何进行防灾治理的方法, 使得地下管网运行安全可靠、减少了经济损失。

**【关键词】** 地下管网; 湿陷性黄土; 防灾; 治理方法

**【中图分类号】** TU444

**【文献标识码】** B

**【文章编号】** 1001-6864(2015)04-0095-03

湿陷性黄土在我国国土面积中占有一定比例, 其土质疏松、颗粒较大, 在雨水冲刷和重力作用下会发生显著的下沉现象, 严重威胁到地下管道的安全<sup>[1]</sup>。随着我国城市建设的腾飞发展, 城市的地下管网已经成为一个城市生存和发展中不可分割的一部分, 在现代社会的生产和生活中起着至关重要的作用。当管线穿越湿陷性黄土, 其黄土砂粒含量较高, 粘粒含量较少, 大孔隙发育, 遇水易崩解, 引起地基不均匀沉降及边坡失稳<sup>[2]</sup>。一旦地下管网遇到破坏, 整个城市的生产与生活受到严重打击。湿陷性黄土是一种非饱和的欠压密土, 具有大孔隙和垂直节理, 在天然湿度下, 其压缩性较低, 强度较高, 但遇水浸湿时, 土的强度显著降低, 引起的湿陷变形是一种下沉量大、下沉速度快的失稳性变形, 对地下管网危害性大<sup>[3]</sup>。因此湿陷性黄土对城市地下管网灾害的研究已成为本领域研究的热点。

本文以绥中渤海大街管网工程为例, 通过现场调查、采集勘察数据实验分析, 探索本区域湿陷性黄土对

地下管网致灾的类型、成因以及如何进行防灾治理的方法, 为本区域地下管网的安全运行提供参考。

## 1 工程概况

绥中渤海大街管网工程所在区域位于辽宁省与河北省交界处的辽宁省绥中县境内, 位于辽西南端, 西起东戴河大街, 东至规划九路, 道路全长 3302m, 并在道路两侧铺设给水管道 6690m, 采用高密度聚乙烯管(PE100); 污水管道 6170m, 雨水管道 5700m, 采用 II 级钢筋混凝土管。本区域主要以旱田为主, 零星有一些由于挖土形成的洼地, 大部分是  $Q_3$  晚更新世马兰黄土, 最大沉积厚度大约 30m, 以淡黄色为主, 有的呈浅灰黄色, 疏松、颗粒较均匀, 以粉砂为主, 孔隙十分大, 垂直节理发育, 具有湿陷性; 规划范围内有两条河流及两条规划水系, 两条河流为金丝河与九江河, 周围在经过水系的冲刷、搬运、沉积等形成含有较多的砂以至细砾的  $Q_4$  次生黄土, 厚度约为 10m, 以黄色或褐黄色为主, 土质疏松、强度低、易变性、湿陷性更高。本地区湿陷性黄土具体特征如表 1 所示。

表 1 地下管网工程湿陷性黄土特性

类型	颜色	沉积厚度	特性
晚更新世马兰黄土 $Q_3$	淡黄色或浅灰黄色	30m	疏松、颗粒较均匀、以粉砂为主, 孔隙十分大、垂直节理发育, 具有湿陷性
次生黄土 $Q_4$	褐黄色或黄色	10m	含有较多的砂以至细砾, 土质疏松、强度低、易变性、湿陷性更高

## 2 湿陷性黄土区地下管网的灾害类型

本区域地下管网主要敷设在旱田  $Q_3$  黄土、两条河流周围  $Q_4$  黄土以及贯穿已形成的洼地区, 该地区的土体结构疏松、自重湿陷等级较高。通过搜集区域的气候、地貌资料, 同时对管网沿线周围进行详细的勘察, 得出其主要灾害类型为黄土湿陷和黄土潜蚀两类。

黄土湿陷一般在黄土层地表上进行, 是黄土在一定压力作用下受水浸湿后结构迅速破坏而发生显著附加下沉的现象<sup>[4]</sup>。本区域西邻东戴河, 当地气候为东部季风暖温带湿润气候, 年平均降雨量 736mm, 最大积雪深度 13mm, 空气平均相对湿度 62%, 本地区降水量多, 成为本区域黄土湿陷的主要原因。经过试验, 本区域土质一般在干燥的情况下可以承载一定荷

【基金项目】 甘肃省自然科学基金(145RJZA180); 兰州理工大学建工 77 基金(TM-TJ-1402) 资助

载而不变形,一旦遇水浸湿后,土的颗粒连结强度下降,土质结构发生破坏,导致地表出现裂缝、地面下沉,其重量使管道变形、偏离管线、甚至出现管下悬空、管道断裂、管道裸露等。

黄土潜蚀一般在黄土层地表以下进行,是黄土受到地表水、地下水的渗透、冲刷等主要以股流形式带来的侵蚀。本项目规划范围内有两条河流金沙河与九江河及两条规划水系,是本区域地下管网黄土潜蚀的重要因素。黄土的湿陷性是黄土潜蚀作用的先成条件,黄土中富含CaCO<sub>3</sub>及大孔隙(包括构造节理等裂隙),遇水容易崩解,且易形成湿陷<sup>[5]</sup>。水流通过孔隙、孔洞、裂缝等使管网地下形成管下陷穴、浅沟、切沟和冲沟等。

### 3 湿陷性黄土区城市地下管网的灾害成因

本区域黄土对地下管网致灾的原因包括外因和内因两部分,外因主要是水和压力作用产生湿陷造成的强度破坏,水是区域灾害的一切根源。当地降雨量大且集中降雨,在水分的浸入土体作用下,破坏土体的结构;当压力强度超过未压实的土体强度时,土体易遭到湿陷与潜蚀,地基承载力下降,地下管沟遭到破坏,加强水土保持工作是本区域地下管网的防灾的重要因素。

内因主要是黄土本身性质——颗粒组成和结构,是本区域地下管网灾害的重点分析对象。本文中通过试验重点分析内因致灾的原因。在管道沿线选取试验路段进行取样,通过对湿陷性黄土的颗粒及结构的分析,研究湿陷性黄土的各种性质,分析其计算参数,从而为本区域湿陷性黄土区地下管网的灾害提供科学依据。本文中实现以下试验:①湿陷性黄土的颗粒分析试验;②湿陷性黄土的土工试验;③湿陷性黄土的压实度试验;从这三个试验中清晰体现了湿陷性黄土对地下管网的成灾原因。

(1) 颗粒分析试验。本文以钻孔或探井的方式取样,采用未受干扰的三组土样进行筛分和比重法进行试验,一般分为巨粒、粗粒(砂、砾)、细粒(粉粒、粘粒)三类,从选取的土样颗粒分析得出:该项目管网沿线的路基土(0.075~0.002mm)的粉粒黄土,所占比例约68%~72%;小部分为粘粒黄土(<0.002mm),所占比例为约18%~23%;还有极少一部分砂(2~0.075mm)以及砾(>2.0mm),所占比例分别约为6%~8%、1%~2%。颗粒组成的分布范围见表2。

表2 颗粒组成的分布范围

砾	砂	粉粒	粘粒
> 2.0mm	2~0.075mm	0.075~0.002mm	< 0.002mm
1.2~4.7	7.1~9.8	66.9~70.3	18.6~21.4

从表2可以看出该项目管网沿线以粉粒为主,粘粒较少,砂和砾几乎可以忽略;粘粒土质具有合适的塑性及较强的亲水系数,当粘粒越少,孔隙越大;而粉粒土质亲水系数较小,缩性较小不易碾压成型。随着粉粒的增加,粘粒减少,造成湿陷性越强,这就导致地下管网地基强度破坏。

(2) 土工试验。土工试验是验证土的各项技术性能的重要手段和方法,本文从现场取样进行室内土工试验,通过对天然含水率、天然密度、干密度、天然孔隙比、饱和度的计算参数进行分析,经多组样品,反复检测,具有较高的可靠性,合理性。得出主要物理指标如表3所示。

表3 湿陷性黄土室内土工试验指标

	天然含水率/%	天然密度/ $g \cdot cm^{-3}$	干密度/ $g \cdot cm^{-3}$	天然孔隙比	饱和度/%
	9.2~11.4	1.62~1.74	1.44~1.58	0.578~1.326	12.8~69.4
平均	10.3	1.68	1.51	0.952	41.1

从表3可以看出:该管网沿线的黄土干密度较大,天然孔隙比较小,透气性和透水性较好。根据黄土的稠度指标可知,该黄土在较低天然含水率10%左右,即可产生液化,这是导致黄土湿陷的重要指标之一。在同等条件下,随着天然孔隙比越大,湿陷性越高;当地气候的随着降雨量增大,湿陷性越大,这些都是黄土强度受到破坏,产生湿陷的重要原因。所以在地下管网灾害防治过程中,路基排水、防水是保证其稳定性的重要措施。

(3) 压实度试验。压实度是检测土方填筑质量和压实质量最重要控制指标,本文在压实试验前先对本区域土样进行土工击实试验鉴定得其最佳含水率为10.9%和最大干密度 $1.57/g \cdot cm^{-3}$ ,通过对管沟回填土压实度检测得出实际干密度,用实际干密度除以最大干密度即是土的实际压实系数。根据压力管线标准得出:I区在管沟底部及两侧回填土压实系数为0.90~0.93;II区在管沟上方0.5m以下回填土压实系数为0.85;III区在超出管沟外0.3m左右回填土压实系数大于0.85。压力管线标准横断面图见图1。

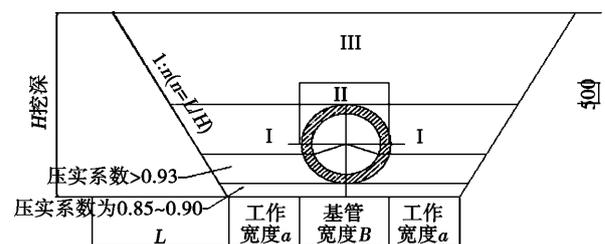


图1 压力管线标准横断面图

通过现场压实度试验测定其实际干密度, 压实计算得出压实系数分别为 I 区 0.81、II 区 0.79、III 区 0.77, 说明本区域未达到压力管线施工标准。压实度越高, 密度越大, 孔隙越小, 说明地基整体性能越好, 不易被湿陷。相反未达到压力管线施工标准, 则湿陷性黄土区的地基整体性能差, 湿陷性高, 影响地下管网的安全运行。

本区域湿陷性黄土粉粒含量约占 70%, 亲水系数小, 在含水量较低时易产生液化, 天然含水量越低, 湿陷性越强; 而土质颗粒的比重、天然容重及天然含水量则是天然孔隙比及饱和度计算的根据, 天然孔隙比越大, 湿陷性越强; 管沟压实度小、强度低、浸水后湿陷变形越大。

#### 4 湿陷性黄土区城市地下管网的防治处理

本区域地下管网的防治处理有两种方法, 一种是土质处理, 通过换填土质的方法提高黄土的密实度和加固; 另一种是水体处理, 设置排水沟等避免地表、地下水等对地下管网的危害。

##### 4.1 土质处理

(1) 换土垫层法。本区域管网沿线 K0 + 200 - K2 + 500 段共 2300m 大部分土质疏松、颗粒较均匀、孔隙较大、透水性强、湿陷性较大的马兰黄土, 项目中采用换土垫层法进行防治处理。换土垫层法主要是将管道沿线湿陷性黄土层挖去, 回填强度较大的砂、石、素土或灰土等。由于素土、灰土成本较高, 不适合管线过长使用, 本项目中采用砂和砂石垫层回填, 这个方法施工简答、经济合理、具有良好的均匀性, 是常用的地基处理方法, 以达到土体的加固。

在最佳含水量状态下分层回填压实, 每层的铺设厚度不宜超过 300mm, 并逐层捣实砂层。施工过程中严把质量关, 逐层检测压实度并按要求达到 90% 及以上, 可消除基础底部的湿陷性, 减少基础的压缩性, 提高地基承载力。

(2) 强夯法。本区域内有三处由于挖土形成的洼地, 约有 400m, 内有淤泥和积水, 土质高度饱和, 使用换土垫层法不能达到土体的加固, 因此采用强夯法。强夯法亦称动力固结法, 通过重锤的自由落下, 对土体进行强力夯实, 以提高其强度, 降低其压缩性, 该法设备简单, 原理直观, 适用广泛, 特别是对非饱和土加固效果显著<sup>[6]</sup>。

本项目中在夯坑内回填块石、碎石进行强夯, 采用 300kN 的重锤在 10m 高处自由楼下, 在短时间内反复冲击, 使孔隙内的水顺利排出, 土体迅速固结, 以提高黄土的密实度。施工过程中质量控制是关键, 根据夯击沉降量来决定夯击次数, 夯击过程中如出现歪锤现象, 找出原因并及时调整, 坑底垫平后才能继续施

工。并在强夯后, 检测加固深度(以  $\delta_s < 0.015$  作为判别指标) 是否达到设计要求。

##### 4.2 水体处理

本区域规划范围在起始点到 K0 + 200 和 K2 + 900 - K3 + 200 段有两处水系河流贯穿, 随着当地气貌降雨量的增加, 导致地下管道有水体入侵。一般水体解决办法设置灰土截水墙、草袋子截水墙、挡水土埂、排水沟、截水沟或将地表, 封闭等。

在 K2 + 900 - K3 + 200 段水流多且迅速汇集的地方, 项目中采用设置排水沟, 引导水流的流向, 避免地表水及地下水在管道周围聚集, 导致水体下渗。在起始点 - K0 + 200 段水流少、且渗透慢的地方设置灰土截水墙, 将水流排除在外, 以确保地下管网地基的稳定和安全。

##### 5 结语

(1) 位于辽西南端, 西起东戴河大街, 东至规划九路, 规划范围内有两条河流及两条规划水系, 该地区土体结构疏松、自重湿陷等级较高。通过这一地貌特征, 分析灾害类型为黄土湿陷和黄土潜蚀两类。

(2) 本区域湿陷性黄土对地下管网的成灾原因, 黄土自身的性质以粉粒为主, 亲水系数较小, 干密度较大, 天然孔隙比较小, 透气性和透水性较好, 湿陷性高; 管沟结构破坏、承载力低、压实度小、不易碾压成型、湿陷性大是地下管网灾害的本质原因; 而水是该区域灾害的一切根源, 地下管网易遭到湿陷与潜蚀。

(3) 将本区域地下管网受到的灾害进行处理, 一种是土质处理, 换土垫层法、强夯法; 另一种是水体处理, 设置排水沟、灰土截水墙等, 保证管网安全运行。

##### 参考文献

- [1] 杨楠. 湿陷性黄土地区山地长输管道的施工技术研究[J]. 科技与企业 2014 (1): 220.
- [2] 杨晓秋, 宋德琦. 湿陷性黄土地区长输管道工程灾害治理研究[J]. 天然气与石油 2004 (1): 17.
- [3] 柳墩利. 高速铁路湿陷性黄土地基处理试验研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2012: 1.
- [4] 管频. 甘肃省湿陷性黄土的分类与区域评价[J]. 兰州交通大学学报 2004 (6): 52.
- [5] 孙建中, 赵景波, 等. 黄土高原第四纪[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 1.
- [6] 彭幸福. 湿陷性黄土的力学性质分析和处理对策[J]. 公路交通科技(应用技术版) 2009 (8): 94.

[收稿日期] 2014 - 12 - 12

[作者简介] 党星海(1972 -), 男, 甘肃平凉人, 教授, 硕士, 主要从事地理信息系统、结构健康监测的研究及教学工作。