天津滨海新区分层标监测系统技术研究

齐 波，牛文明
（天津市地质调查研究院，天津 300191）

摘要：阐述了天津滨海新区基本地质条件及工程地质特征，分析了对新近系明华镇组以上地层进行全面系统监测的必要性。介绍了滨海新区分层标监测系统建设的工作方法，简述分层标监测系统建设中各种类型分层标的设置及标孔结构设计。在总结前人分层标建设的基础上，结合多年设计施工及监测工作经验，对分层标的标孔结构、标底及孔隙水压力监测孔做了技术研究改进，并与传统的分层标工艺进行了分析比较。工程验证结果表明，各项技术改进应用效果良好，达到预期设计目标。

关键词：层标；结构设计；标底；技术改进
中图分类号：P642 文献标识码：A 文章编号：1000-3665(2011)06-0044-05

滨海新区地处环渤海经济圈内，人口密集，地下水资源缺乏，多年超采地下水导致地面沉降严重。随着控沉工作的逐步开展，近年来地下水开采虽然得到有效控制，但在各含水层段仍存在着不同程度的开采情况。分层标监测系统建设始于 20 世纪 70 年代末期，这些监测设施在地面沉降控制工作中发挥了重要作用。前人的工作为分层标建设积累了丰富的经验，但受技术条件限制，已有的监测设施相对陈旧，监测的密度和深度也不能满足地面沉降监测研究工作的需要。为全面有效地了解、监测第四系和新近系明华镇组等地层的变形量，亟需建设一套完整的地面沉降分层标监测系统，监测研究由于地下水开采引起的地面沉降和大规模填土、工程施工引起的沉降，为滨海新区的工程规划建设、地下水资源管理提供科学依据。

滨海新区分层标监测系统的建设是地面沉降监测研究工作的基础，对新近系明华镇组以上地层进行全面系统监测，在滨海新区尚属首次，本文简单介绍该监测系统建设的工作方法及一些技术研究改进，以供大家探讨应用。

1 工程概况

滨海新区分层标监测系统共建设完成分层标 2 组，分别为汉沽分层标组及临港工业区分层标组，其中汉沽分层标组控制地层为新近系明华镇组及其以上第四系，最大成标深度 804.56m，为滨海新区第一深标，目的是监测地热开发引起的地面沉降，这在滨海新区尚属首次；临港工业区分层标组主要控制监测第四系地层沉降变化，最大成标深度 425m。2 个标组共设计完成分层标孔 19 个。同时，对潜水及第 Ⅰ 至第 Ⅴ 等五个含水组按层位，分别结合分层标建立水文长期观测孔，进行各含水组的水位变化观测。

2 地层概况

依据场地内 820m 地质钻孔资料，地层概况自下而上简述如下[1]。

(1) 新近系

① 馆陶组(Ng) 岩性由杂色砾岩，浅灰、深灰、灰绿色砂砾岩、含砾砂岩、砂岩与灰绿、紫红、棕红色泥岩组成不等厚互层。与上覆明化镇组为连续沉积。

② 明化镇组(Nm) 岩性由灰、灰绿色砂岩、泥质粉砂岩和灰黄、棕红色泥岩组成，根据岩性组合特征分为上、下两段，厚度1 000m左右。与下伏馆陶组为连续沉积，与上覆第四系杨柳青组成整合或平行不整合接触。

(2) 第四系

① 下更新统杨柳青组(Q_1)

整合于上新统明化镇组之上，底界埋深 415.57m，厚度 233m。该组为曲流河相和河间泛滥盆地相沉积，分上下两段。岩性以棕黄、褐灰色为主，夹灰绿色中厚层粘土、亚粘土、细砂。

② 中更新统佟楼组(Q_2)

本组整合于杨柳青组之上，底界埋深 182.4m，厚近 100m，该组为曲流河相和河间泛滥盆地相沉积夹泻湖相构成。岩性为褐灰、灰绿、浅灰色亚粘土与粉细砂

收稿日期：2011-05-12；修订日期：2011-06-10
作者简介：齐波(1970-)，男，高级工程师，从事水文地质工程地质环境地质技术和科研工作。
E-mail：qibogood@163.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

互层。

③ 上更新统塘沽组(Q_3)

该套地层韵律变化规律性强,以冲积、湖积、三角洲及海相沉积互层为主,底界埋深 82.5m,厚 65m,岩性为灰、黄灰、深灰色粉细砂与黄褐 - 灰绿色粘性土互层,并赋存第二、第三海相层。

④ 全新统地层

天津组(Q_4) 分为三段,底板埋深 18.55m。

天津组一段(Q_4^{al+h}) : 以冲积—沼泽相沉积为主,底板埋深 18.55m。岩性以亚粘土为主,上部夹亚砂土黄色粉土、粉细砂夹深灰色粘性土。

天津组二段(Q_4^{m}) : 以浅海相沉积为主,埋深 14m。岩性以深灰色淤泥质粘土夹粉砂为主,可分为上部滨海相—中部浅海相—下部滨海相。

天津组三段(Q_4^{ml}) : 以人工填土为主,埋深 1 ~ 2m。下部岩性以灰色亚粘土为主,成分不均。

3　分层标孔设置

依据监测目的,本工程分层标共分为 5 类,分别为: 地面标(2 个) 、机械式分层标(12 个) 、水文长期观测孔(与机械式分层标结合建设 6 个) 、磁环沉降标(1 个) 及孔隙水压力监测孔(5 个) 。

2 个标组标孔的平面布置本着便于后期监测及节约土地的目的,平面上均匀分布,标孔之间的水平距离大于 3m。垂向上按监测目的层位由浅至深依次埋设分层标,汉沽分层标组分层标埋设深度依次为: 2.6m (地面标) 、17.5m、62m、225.66m、326m、426.43m、804.56m; 临港工业区标组埋设深度为: 2.0m (地面标) 、3.2m、17.6m、26.5m、56.8m、47.0m (磁环沉降标) 、100.0m、425.0m; 在各个分层标对应的含水组段与分层标结合,下滤水管、填砾料,建水文长期观测孔进行水位观测。另在临港工业区标组浅部地层埋设 5 个孔隙水压力监测孔,进行浅部软土层孔隙水压力监测,深度分别为: 5.0m、7.0m、9.5m、13.0m、21.0m。

4　分层标孔结构设计

分层标孔结构设计是依据标体结构进行的,原则上尽量简单,通常采用一径到底的结构形式,同时标孔孔径要满足投放回填材料及管外固孔的要求[2]。

4.1　地面标结构设计

地面标是监测地表以下地层总体沉降的测量标志,传统的方法是地面浇筑混凝土墩,顶部设测量标志。但因其裸露在地面,不易保护,容易损坏,影响长期监测。本次工作中,地面标按基本水准标石结构形式[3]。主要由混凝土、钢管以及标点组成。底部用混凝土浇筑 0.3m,并固定下部带托盘(Φ180 × 20mm) 的 Φ60.3 × 4.83 × 1180mm 钢管至地面,上部设置测量标点。混凝土顶部至地面设置 Φ215 套管予以维护。这种结构既有利于保护,又便于长期观测。地面标结构如图 1 所示。

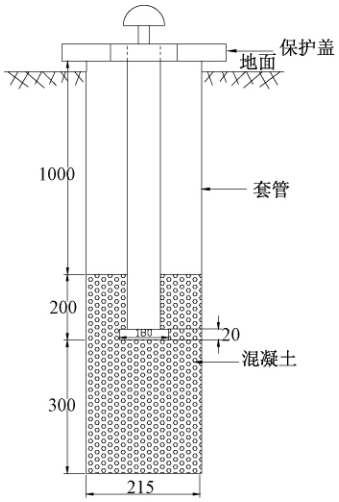

图 1　地面标结构图(mm)

Fig. 1　Structure of ground subsidence monitoring bench mark(mm)

4.2　机械式分层标结构设计

机械式分层标主要由标头(观测标志点) 、标杆、标底、保护管等组成。通过硬连接方式将监测目的地层的标底、与标底相连接的标杆及标杆顶部的测量标头串联起来,依次将该地层的沉降量引致地表,通过观测标头的高程来达到监测目的地层高程变化目的[4]。在各含水组段,将标杆加工成花管,保护管加工成滤水管与分层标孔结合建成水文观测孔,节约建设成本。

分层标标底结构采用保护管带伸缩管形式。该工程采用的带保护管的标底是自行研发的,能有效提高分层标监测精度,经现场试验应用效果良好。机械式分层标结构见图 2。

4.3　孔隙水压力监测孔结构设计

本次孔隙水压力监测孔结构设计在总结以前工作的基础上作了改进,采用单管敞开式的结构[5] (图 3) 。用 Φ60mm 无缝钢管作为测管。测管下端装有长 200mm 的网管,网管底部加工为环型刀口。根据测压深度的不同,采用相应长度的测管。

网管装置是在总结以前监测工作经验的基础上自行研发的,有效解决了监测地层原状土的扰动问题,同

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

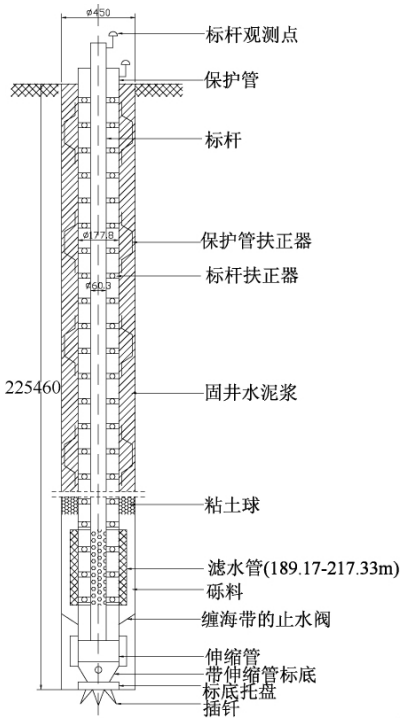

图 2　机械式分层标(结合建设水文长观孔)结构示意图(mm)

Fig. 2 Structure of mechanical layered superscript (mm) (combined with construction of long-term observation holes)

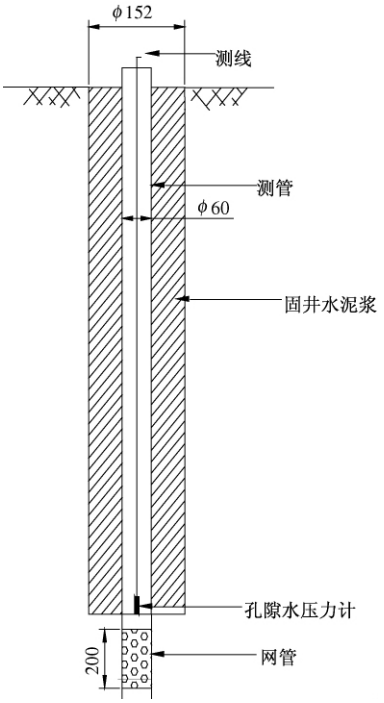

图 3　孔隙水压力监测孔结构示意图(mm)

Fig. 3 Structure of the monitoring holes for pore water pressure(mm)

时实现了底部孔隙水压力计的随时更换。

4.4　磁环沉降标结构设计

为有效地对浅部欠固结地层进行连续同步监测,本次工作引进了磁环式沉降标[6]。该标主要由 PVC 管材外安装沉降磁环组成,通过外接钢尺沉降仪监测不同目的层位高程的变化。磁环沉降标结构见图 4。

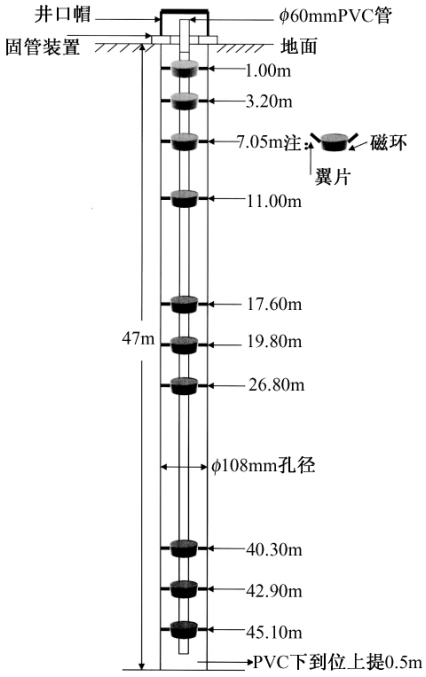

图 4　磁环沉降标结构示意图

Fig. 4 Structure of magnetic settlement superscript

磁环沉降标可在一孔内同时监测多个目的地层的沉降变形,建设成本低,监测效率高。但其监测工作主要是通过外接钢尺对各个磁环的电磁感应来完成,监测精度稍低。

5　分层标监测系统技术改进

在总结前人工作的基础上,针对监测工作过中发现的问题,本次工作对分层标监测系统做了如下技术改进,经本工程应用效果良好。

5.1　分层标孔、地下水位长观孔两孔合一

传统的分层标组都是分层标孔与地下水位长观孔分开建设,工艺上简单易行,但占用土地资源较多,又增加了建设成本。本次设计工作中,经反复研究,在分层标孔内对应的含水组段,把标杆加工成花管,保护管改装成滤水管。在标底以上、滤水管以下处加装止水伞装置(图 2),止水伞内缠绑海带,有效解决了投填砾料时,砾料下移影响标底监测精度的问题。从而成功实现了两孔合一,降低了建设成本。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

5.2　自行研发分层标底

分层标标底是整个分层标系统最灵敏的部件，其主要目的是保护内标杆在保护管移动过程中不受任何影响，将目的地层的几何沉降变形量准确地传递至地表。在参阅大量资料的基础上，自行研究设计并加工了分层标标底[7]（图 5）。

传统的标底下标杆在保护管上提后都裸露在外，长期放置，周围地层水平方向变形容易将其挤住，影响其垂向自由移动，为此，本次设计在保护管外层加装一个可自由滑动的伸缩管，在保护管上提后，伸缩管自由下滑，对裸露的下标杆进行有效保护，从而有效避免了周围地层变形对它的影响。

经现场多次试验，该自主研发的标底灵敏度极高，能将微量的沉降变化传递至地表，从而提高了监测的精确性。

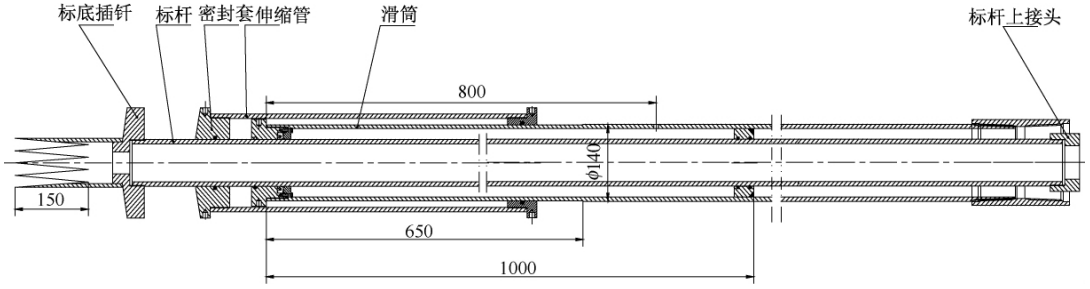

图 5　分层标底结构示意图（mm）

Fig. 5 Bottom structure of layerwise mark（mm）

5.3　孔隙水压力监测孔结构的改进

以往工作中孔隙水压力监测孔都是在成孔后，把带导线的孔隙水压力监测头通过辅助设施直接压入目的地层中进行监测。通过长期观测发现，导线及孔隙水压力计属于易损件，一旦毁坏就不能更换，监测孔从而作废。针对这个情况，本次工作对孔隙水压力监测孔结构进行了改进，在测管底部采用自行研发的网管，网管下带环刀，夹层内装填砾料（图 6）。

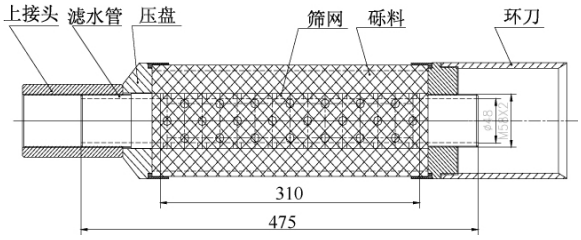

图 6　网管结构示意图（mm）

Fig. 6 Structure of perforated pipe（mm）

成孔后利用测管把网管压入目的地层，网管底部的环刀空间可贮存孔底的松散土层，侧壁原状土层的孔隙水通过网管内砾料进入到测管，从地表把带导线的孔隙水压力计下入到网管内就可进行有效观测。一旦压力计或导线损坏，可随时进行更换。此项改进，经多次专家论证技术可行，应用后监测效果良好，从而保证了孔隙水压力监测工作的可持续性。

5.4　采用自动化监测

过去的沉降监测都是以人工监测为主，监测成本高，监测精度底，本次分层标监测系统实现了自动化监测，采用连通管法，用精密位移和压力传感器，自动巡检目标的物理变化，应用 CDMA 无线远程传输网络实时传送监测数据。进一步提高了监测成果的精度，同时降低了监测成本。

6　结语

滨海新区分层标监测系统于 2008 年建成并开始监测工作。从监测资料分析，监测数据能够比较客观地反映地下水开采、软土变形、工程建设对地面沉降的影响，浅部分层标对分层标房施工引起的上部地层的变形反应敏感，说明该标组设计施工及标底安装满足设计要求。各项技术研究改进达到预期目标。该项工作的圆满完成，完善了滨海新区地面沉降监测网建设，监测数据在地面沉降控制及滨海新区工程建设中得到广泛应用，社会效益明显。

参考文献：

[1]　天津市地质矿产局. 天津市区域地质志［M］. 北京：地质出版社，1992：99 – 122.［Tianjin Bureau of Geology and Mineral Resources. Tianjin Regional Geology［M］. Beijing：Geological Publishing House，1992：99 – 122.（in Chinese）］

[2]　朱恒银，王幼风. 地面沉降监测标结构设计及施工技术要点探讨［J］. 探矿工程（岩土钻掘工程），2003（增 1）：82 – 86.［ZHU H Y，WANG Y F.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Discussion on structural design and construction techniques of layerwise mark [J]. Exploration Engineering (Drilling and Tunneling), 2003(S1): 82 – 86. (in Chinese)

[3] JGJ8 – 2007/J719 – 2007 建筑变形测量规范 [S]. 2007. [JGJ8 – 2007/J719 – 2007 Code for deformation measurement of building and structure [S]. 2007. (in Chinese)]

[4] 工程地质手册编委会. 工程地质手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 575 – 579. [Editorial Board for the Handbook of Engineering Geology. Engineering Geology Manual [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2007: 575 – 579. (in Chinese)]

[5] 林宗元. 岩土工程试验监测手册 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994: 1073 – 1096. [LIN Z Y. Geotechnical engineering test monitoring manual [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1994: 1073 – 1096. (in Chinese)]

[6] 徐树华. 磁环式深层沉降测试仪出膜装置 [J]. 港口工程, 1990(4): 47 – 50. [XU S H, Ring-type tester out of the deep settlement membrane devices [J]. Harbour Engineering, 1990(4): 47 – 50. (in Chinese)]

[7] 张阿根, 顾为栋. 上海市地面沉降监测标的设计原理与施工技术 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2000(5): 67 – 69. [ZHANG A G, GU W D. Design principle and construction technique of ground subsidence monitoring bench mark in Shanghai [J]. Exploration Engineering (Drilling and Tunneling), 2000(5): 67 – 69. (in Chinese)]

A technological study of the monitoring system for layerwise mark in the Tianjin Binhai New Area

QI Bo, NIU Wen-ming

(*Tianjin Institute of Geological Survey, Tianjin* 300191, *China*)

Abstract: This article elaborates the basic geological conditions and engineering geological characteristics in the Binhai New Area of Tianjin, and analyses the necessity of conducting a comprehensive system monitoring the layers above the Neogene Minghuazhen Group. In this paper, the working methods of the construction of monitoring system for the layerwise mark in the Binhai New Area are introduced. The setup and structural design of various types of layer monitoring wells with extensometers are outlined in construction of the monitoring system for the layerwise mark. Based on previous work on construction of layer monitoring wells with extensometers and combining with several years' experience in the design-construction and monitoring work, the structure of the layerwise mark, bottom structure of layerwise mark and monitoring holes for pore water pressure are technologically improved, which are compared with traditional crafts of layer monitoring wells with extensometers. Based on engineering verification, the technical improvements yield good results, and hence the desired goal has been reached.

Key words: layerwise mark; structural design; bottom structure of layerwise mark; technological improvement

责任编辑: 张明霞

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net