北京市地面沉降区含水岩组和压缩层划分

刘 予　　叶 超
(北京市地质环境监测总站，北京 100037)

摘要

通过北京地面沉降区综合基础地质及地面沉降专项调查，查明了沉降区水文地质、工程地质条件及地面沉降分布现状，并在典型地面沉降区开展了钻探和各种水文地质、土工试验工作。根据上述成果资料，首次对北京市地面沉降区的含水岩组和压缩层组进行了划分，初步建立北京市地面沉降地质模型，为首都地面沉降网站建设及地面沉降预警预报系统建立奠定了基础。本文对此作一概括介绍。

关键词：北京市；地面沉降；含水岩组；压缩层组

1 引言

1.1 研究工作的目的和意义

地面沉降是指在自然和人为因素作用下，由于地壳表层土体压缩而导致区域性地面标高降低的一种环境地质现象。地面沉降给城市建筑物、道路交通、管道系统及给排水、防洪等带来了诸多困难。特别是一些建在第四纪松散堆积平原区的城市，受地面沉降灾害的影响尤为严重。

地面沉降是北京平原主要的地质灾害之一，其沉降的范围和幅度逐年扩大，目前发生地面沉降的面积已达到 2815km^2，累计最大沉降量约 722mm。除东郊地区地面沉降仍在继续发展外，远郊昌平区海鹅洛、顺义城南、大兴区榆垡又形成了 3 个新的地面沉降区。地面沉降已造成厂房、居民区楼房墙壁开裂、地基下沉、地下管道工程损坏 50 余处，同时导致一些建筑物的抗震能力降低和大量测量水准点失准，对首都城市建设和人民财产安全构成威胁。

本项工作的目的是初步建立北京市地面沉降地质模型，为下一步研究地面沉降机理，建设地面沉降监测网站，预测其发展趋势，建立地面沉降预警预报系统，提出地面沉降危害防治措施，为首都规划和城市建设提供基础资料。

1.2 研究工作概况及存在问题

北京市地面沉降主要发生在北京北部、东部、南部平原地区，该区地质研究程度较高，完成了大量的区域地质工作，水文地质、工程地质工作，环境地质、灾害地质工作。

北京市地面沉降研究工作起步较晚，1984 年北京市水文地质工程地质公司、北京市测绘院、北京市勘测处共同编制了《北京市地面沉降调研报告》；1985 年北京市水文地质工程地质公司提交了《北京市地面沉降工程地质勘察设计》；1990 年建成北京市第一个地面沉降监测站（八王坟地面沉降监测站），为研究北京市东郊地区地面沉降形成机理、发展趋势奠定了基础；同年提交了《北京市东郊地面沉降工程地质调查与八王坟监测站建站阶段报告》；1992 年提交了《北京市东郊地面沉降与地下水开采量关系研究报告》。

综上所述，北京平原基础地质、水文地质、工程地质研究程度较高，但以往工作主要是为工农业供水及城市开发建设服务的，对地面沉降的研究程度较低，特别是尚未划分出北京市地面沉降区含水层组和压缩层组，地面沉降机理、发育规律等方面的研究相对薄弱。

1.3 研究工作的技术路线和方法

本次研究采用的技术方法是选择地面沉降灾害发育较重、环境地质条件具有代表性的地区，通过地面调查与测量、遥感解译、物探等方法，查明北京平原区地面沉降历史、现状和发展趋势。在典型沉降区开展了专门水文地质、工程地质钻探，进行了大量的抽水试验、土工试验，查明地面沉降区的地层结构、含水层组和可压缩层组的埋藏分布特征，含水层组水文地质参数、可压缩层组物理力学性质、土力学参数及孔隙水压力等，为划分沉降区含水层组和压缩层组提供可靠依据。

2.北京平原区地质环境背景

2.1 气象水文

本市气候属于温带大陆性季风气候，年平均气温 11.7℃，北京市多年平均降水量 588.28mm，年降水量最大值 1406mm（1959 年），最小值 256.2mm（1921 年）。

北京地区水系属海河流域，河网发育，大小河流 100 余条，长 2700km。这些河流分属五大水系，由西向东依次为大清河水系、永定河水系、北运河水系、潮白河水系、蓟运河水系，河流总体流向为自西北流向东南，最后汇入渤海。

2.2 地形地貌

本市地形西北高，东南低，西部和北部是太行山脉和燕山山脉连绵不断的群山，一般海拔高度 1000～1500m，山前冲洪积扇坡降 1‰～5‰，平原大部分地区坡度小于 0.5‰。地貌分为西部山区、北部山区和东南平原三大单元。

2.3 平原区地质概况

1、地层

北京平原区地层，除缺失奥陶系上统(O_3)、志留系(S)、泥盆系(D)、石炭系下、中统(C_{1-2})、白垩系上统(K_3)外，从元古界至第四系地层均有分布。地层由老到新分述如下：

元古界（Pt） 主要地层岩性为长城系、蓟县系、青白口系硅质白云岩、砂岩、页岩，局部有轻微变质。

古生界（Pz） 主要地层岩性为寒武系、奥陶系、石炭系和二迭系碳酸盐岩、碎屑岩及煤系地层。

中生界（Mz） 主要地层岩性为侏罗系、白垩系火山熔岩、火山碎屑岩及煤系地层。

新生界第三系(Tr)的始新统（E_2） 主要岩性为暗紫色或猪肝色砂砾岩夹泥岩或砂质泥岩，呈半胶结状；渐新统（E_3）主要岩性为灰、灰褐、灰绿色砂质泥岩、粉砂岩与含角砾凝灰岩夹黑色页岩，灰绿色硬砂岩；中—上新统（N_{1-2}）主要岩性为棕黄色、棕红色泥质砂岩、砂质泥岩，棕褐色、灰色含砾硬砂岩、硬砂岩夹细砾岩。

新生界第四系（Q） 在北京平原区第四系厚度变化大，由山前到平原厚度由数十米到五、六百米，与下伏第三系多呈平行不整合接触。

1）下更新统（Q_1）为河湖相沉积物，岩性为粘性土夹砾石，或粘性土与砂层互层，厚度 100～300m。

2）中更新统（Q_2）一般埋藏于地表 50～70m 之下，西部地区较浅。其下部为黄棕、棕红色含砂性土，含砾粗砂及砾石层，局部地区为灰黑色粘性土含砂，底部为粘性土含砾、砂砾石和钙质结核混杂的堆积物，厚度 70～110m。

3）上更新统（Q_3）在山前台地及平原区广泛分布，山前台地岩性为黄土状粉质粘土及黄土状粉土，褐黄、棕黄色。含钙质结核，虫孔、针孔、垂直节理发育，下部含砂砾石层，局部钙质胶结，致密坚硬；平原区地层以多层结构为主，岩性为砂砾石层或砂层与褐黄、黄灰色粘性土互层。砾石粒径由西向东逐渐变小，厚度 20～90m。

4）全新统（Q_4）主要岩性一般为粘性土、细砂和砂砾石层，夹沼泽相泥炭层或有机质淤泥层，厚度一般 5～10m，厚的可达 20～25m。

2、地质构造

北京平原区属于中朝准地台之华北断陷拗的西北隅，系中朝准台地新生代以来的下降区，周边常以断裂与邻区为界，近一步划分为北京迭断陷、大兴迭隆起、大厂新断陷 3 个III级构造单元（见图 3-1）。



图3-1 北京市平原区基底构造与第四系厚度图

北京平原区主要构造形成于中生代（燕山运动），新生代以来受喜马拉雅造山运动的影响，得到进一步的改造。在中生代末期形成了许多雁行式排列的隆起带和凹陷带，发育一系列的北北东和北东向断裂，并有北西西向或北西向的张性及张扭性断裂与其垂直或斜交。平原区主要有六条活动断裂，分别为八宝山断裂、黄庄—高丽营断裂、良乡—前门断裂、南苑—通县断裂、马坊—夏店断裂、南口—孙河断裂。

2.4 平原区第四系水文地质条件

2.4.1 地下水系统及其特征

根据水系流域、地貌部位、地下水的含水介质结构、赋存条件和地下水水力特征和水力联系等，将北京平原区划分 5 个系统，各系统水文地质特征见表 1。

表 1 第四系地下水系统特征一览表

系统名称	分布范围	地貌特征	主要水文地质特征	
			空间结构	富水性
永定河冲洪积扇地下水系统	城区、西郊、南郊	向东及东南呈扇形展开，扇中下部地区为缓倾斜的冲洪积、冲湖积平原。	西部山前为单一砂卵砾石层结构，往东南部转为多层结构。	扇顶部至中下部富水性逐渐变小，八宝山以北，单井出水量 5000m^3/d
潮白河冲洪积扇地下水系统	城区东北郊、	向南呈扇形展开，西缘北部与温榆河扇相接，南部与永定河冲洪积扇分界。	北部为单一砂卵砾石层结构，向南部转为多层结构。	扇顶部至中下部富水性逐渐变小，牛栏山－木林一线以北单井水量达 5000m^3/d。
拒马河、大石河冲洪积扇地下水系统	城区西南郊、	拒马河、大石河冲洪积扇的东北部的一部分，扇东缘与永定河冲洪积扇相接。	北部为单一砂卵石层结构，向南部转为多层结构。	含水层较薄，从山前向下游方向富水性变差。
温榆河冲洪积扇地下水系统	城区西北郊、	山前大沟谷出口段广泛发育洪积扇，南口台地及其附近地区形成出 3－4 级冲积扇。	山前为单一砂卵砾石层结构，往东南部转为多层结构。	扇顶部至中下部富水性逐渐变差，土楼村一线以西单井出水量大于 3000 m^3/d。
蓟运河冲洪积扇地下水系统	平谷地区	由洵河、错河冲洪积扇及更新世晚期坡积裙组成的山间盆地。	东部为单一砂卵砾石结构，往西转为多层结构。	盆地中心单井出水量 5000 m^3/d，向盆地边缘富水性变差。

2.4.2 地下水补给、迳流、排泄特征

第四系地下水的流动特征，是第四系地下水补给、迳流、排泄条件的综合体现。第四系潜水、浅层承压水的补给来源主要为大气降水入渗，其次为山区侧向径流补给，地表水，渠道水的渗漏补给以及农田灌溉回归水的入渗补给。

潜水、浅层承压水的排泄，主要是人工开采，其次是地下水蒸发和侧向迳流排泄。平原区地下水蒸发排泄，主要集中在潜水水位埋深小于 4m 的地区，上部潜水对下部浅层及中深层承压水的越流补给也是上部潜水排泄的一个途径。

平原区潜水、浅层承压水在天然条件下的迳流方向与地形地貌变化相一致，即由山前向平原方向运动，受集中开采的影响潜水、浅层承压水也由降落漏斗四周向漏斗中心运动。

中深层和深层承压水，因目前还未开采，迳流场变化不大，以水平径流为主。

2.4.3 地下水动态

1、地下水年动态特征

研究区潜水动态变化以气象—开采型为主，潜水年内动态变化主要受降水和人工开采的影响。在一个水文年内，潜水位季节变化较明显。在 4～6 月水位达到最低值。7～9 月水位出现峰值，水位变幅可达 5～10m。

承压水是平原区主要开采目的层之一，人工开采是影响承压水位动态变化的最主要因素。浅层承压地下水动态类型为径流—开采型，承压水季节性动态变化与潜水动态变化规律基本一致，在一个水文年内，也有一次上升期和一次下降期，只是承压水头随降水而出现峰值的时间有所滞后，承压水年最低水位一般出现在 5～7 月，年最高水位一般出现在 10 至翌年 2 月，年水位变幅 1～3m。

2、地下水多年动态特征

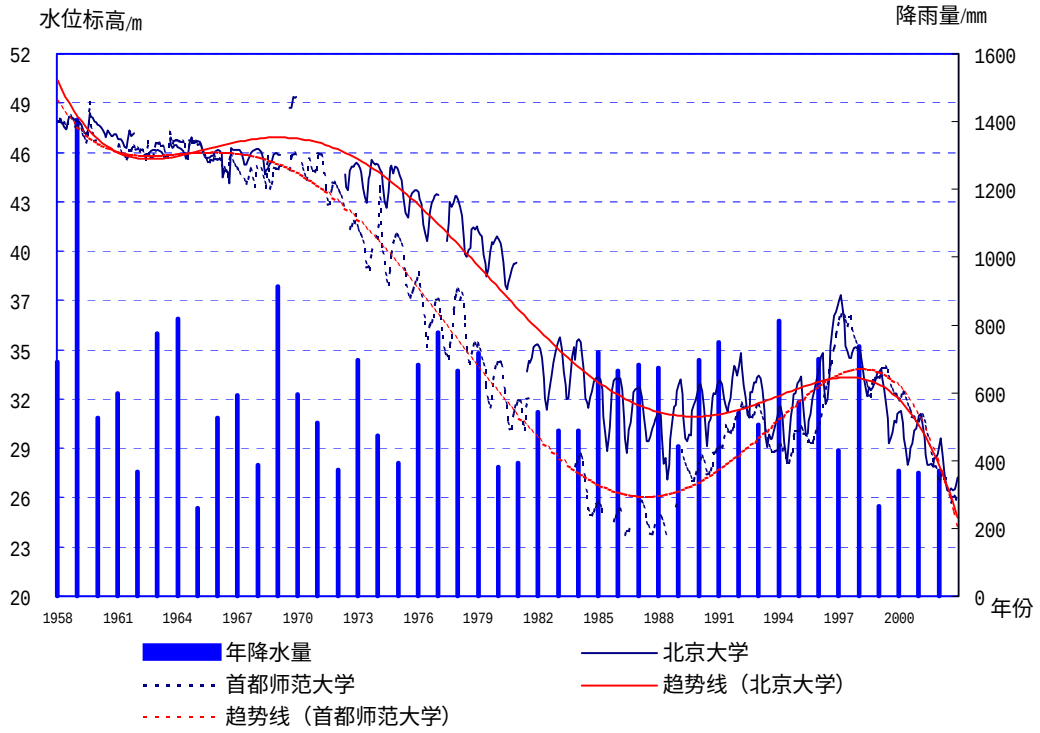


图 2 北京大学（承压水）和首都师范大学（潜水）观测孔地下水位动态曲线

图 2 表明：20 世纪 70 年代以前，北京市地下水开采量小，采补基本平衡，地下水基本呈天然状态；70 年代以后，由于城近郊地下水开采量大幅增加，城近郊地下水位下降很快；八十年代，由于从 1980 年至 1984 年北京地区出现了连续 5 年的干旱少雨气候（5 年平均降水量 459.4mm），地下水补给量减少，开采量增加，地下水位快速下降。在城近郊集中开采区承压水水位下降较快；90 年代，地下水开采量基本得到控制，1994～1998 年连续出现 4 个偏丰年份，城区地下水位有所上升；从 1998 年底至 2003 年，由于五年连续干旱，地下水补给量减少，地下水水位与 1998 年年底水位相比，潜水和承压水水位最大下降幅度均在 15～20m 左右，年均下降为 3～4m/a。

2.5 北京平原工程地质条件

北京平原位于华北平原的山前倾斜平原部位，北北东向活动断裂构造控制了新生代以来平原区的基本格局。平原区大部分为第四系松散的陆相沉积物，从下更新统（Q_1）到全新统（Q_4）地层均有分布；按其成因类型可分成冲积相、冲洪积相、河湖相和山麓坡洪积相地层；地层岩性有卵砾石、砂类土及粉土、粘性土等。

在山前沿山区边缘分布着大大小小的坡积群、洪积锥、黄土台地以及残山、残丘等，宽度 1km 至数千米不等。岩性以碎石、卵砾石和砂层透镜体的黄土类土为主，土体结构复杂。

平原区主要由五大河流冲洪积作用形成的扇前平原，相邻两扇交接部位地势略低，形成扇间洼地。该区是粘性土为主体的多层土体结构类型。

3.北京地面沉降区含水岩组及压缩层划分

至 1999 年，北京市地面沉降量大于 50mm 的面积 2815km^2，大于 100mm 的面积为 1826km^2，分布在南北两区。北区主要分布于城区及北、东、南郊区，面积约 1851km^2，包括东八里庄—大郊亭沉降区（沉

降中心累计沉降量为 722mm)、来广营沉降区（沉降中心累计沉降量为 565mm)、昌平沙河—八仙庄沉降区（沉降中心累计沉降量为 688mm）及顺义平各庄沉降区（沉降中心累计沉降量为 250mm）；南区主要分布于大兴区南部的榆垡、礼贤一带，面积约 964km^2，为大兴榆垡—礼贤沉降区（沉降中心累计沉降量为 661mm)。

北京地面沉降与第四系地层的成因类型、岩性、厚度、结构特点、物理力学性质等内在因素密切相关，地下水开采是形成地面沉降的主要外部原因，因此划分沉降区含水层组及压缩层组、分析地下水含水层和压缩层组的分布与埋藏条件、确定主要开采层和压缩层对地面沉降贡献的大小具有重要意义。

3.1 沉降区含水岩组及压缩层划分的原则与依据

本次划分含水岩组及压缩层组的原则与依据如下：

1、依据《北京地质志》、《北京市（1：5 万）区域地质调查报告》、水文地质勘查资料，结合本次望京站、王四营站、天竺站第四系孢粉、古地磁资料；

2、根据第四系成因类型、时代、岩性、埋藏条件；

3、根据平原区第四系地下水补径排条件、地下水流动特征及开采条件；

4、根据可压缩层物理力学性质指标、固结程度、原位测试指标。

3.2 含水岩组划分

根据上述原则将北京地面沉降区第四系含水层划分为 3 个含水岩组（见表 2)：

第一含水岩组（潜水、浅层承压含水层） 为全新统（Q_4）和上更新统（Q_3）地层；

第二含水岩组（中深层承压含水层） 为中更新统（Q_2）地层；

第三含水岩组（深层承压含水层） 为下更新统（Q_1）地层。

各含水组埋藏条件及水文地质特征如下：

3.2.1 第一含水岩组

广泛分布于北京平原区，在各河流冲洪积扇顶部地区为单一砂砾石结构的潜水含水层，底板埋深 20m 左右；浅层微承压水埋深 20～40m，浅层承压水埋深 40～80m，含水层组底板埋深小于 100m，主要为全新统和上更新统冲洪积物。根据水文地质条件、地下水类型和开采状况等划分潜水含水层和浅层承压水含水层两个亚组：

1、潜水含水层亚组

根据水文地质结构的差异可将该组分为冲洪积扇顶部潜水区、冲洪积扇中下部潜水区。

1）冲洪积扇顶部潜水区：含水层为上更新统（Q_3）和全新统（Q_4）冲洪积相为主的砂卵砾石，构成单一潜水含水层。含水层砂卵石厚度 15～120m，砾卵石呈圆状，次圆状，砾径一般 2～8cm，大者可达 30cm。渗透系数为 300～500m/d，含水层富水性好，单井出水量 5000m^3/d。目前，大部分地区已成为严重超采区或超采区。

2）冲洪积扇中下部潜水区：含水层为上更新统（Q_3）和全新统（Q_4）沉积物，西部、北部含水层岩性以中粗砂、砾石为主，富水性较好。向东、南粒径逐渐变细，含水层主要为粉细砂层，局部河道地区有少量砂卵砾石层，富水性由西北向东南逐渐变差。

表 2　北京地面沉降区含水岩组划分简表

含水岩组	地质时代	地下水类型	位置	主要岩性	累计厚度（m）	渗透系数（m/d）	单井出水量（m^3/d）
第一含水层	Q_3、Q_4	潜水	冲洪积扇顶部	砂卵砾石构成的单一潜水含水层，砾卵石呈圆状，次圆状，砾径一般 2～8cm	15～120	300～500	5000 或大于 5000
			冲洪积扇中下部	西、北部岩性以中粗砂、砾石为主，东、南部主要为粉细砂层			
		浅层承压水	永定河扇中下部	以多层中细砂、粉细砂层为主，局部见有 1～3 层砂砾石层	20～35	5～20	500～3000
			潮白河扇中下部	一般由两到三个较稳定的砂砾石层构成，含水层颗粒由北向南逐渐变细，层次增多。	20～30	10～20	3000～5000
			温榆河扇中下部	含水层为 2～3 层砂砾石或砂层	20～30		500～3000
第二含水层	Q_2	中深层承压水上段	永定河扇中下部	含水层由多层砂砾石构成。	5～20	5～30	500～1500
			潮白河扇中下部	含水层由多层砂砾石、砂层构成。	30～50	上部 20～25，中部 10～15，下部 1～5	500～3000
		中深层承压水下段	永定河扇中下部				
			潮白河扇中下部	含水层岩性以中粗砂、砾石为主。	30～50		500～1500
第三含水层	Q_1	深层承压水	东北、东南部凹陷中心	含水层岩性以中粗砂、砾石为主。			

2、浅层承压水亚组

含水层底界深度 80～100m，主要为上更新统（Q_3）沉积物，广泛分布于北京平原中下部地区。

永定河冲洪积扇中下部地区，含水层以多层中细砂、粉细砂层为主，局部见有 1～3 层砂砾石层，含水层累计厚度 20～35m。根据分层抽水实验资料，该区浅层承压水含水层渗透系数一般在 5～20m/d。单井出水量 1500～3000m^3/d，向下游方向减小至 500～1500m^3/d。

潮白河冲洪积扇中下部地区，含水层颗粒由北向南逐渐变细，层次增多。一般由两到三个较稳定的砂砾石层构成，含水层累计厚度 20～30m。根据分层抽水试验资料，浅层微承压水渗透系数一般为 3～5m/d，浅层承压水渗透系数一般在 10～20m/d，单井出水量 3000～5000m^3/d。

温榆河冲洪积扇中下部含水层为 2～3 层砂砾石或砂层，含水层单层厚度 5～10m。含水层累计厚度 20～30m，单井出水量 500～3000m^3/d 不等。

3.2.2 第二含水岩组

广泛分布于北京平原冲洪积扇中下部地区。地下水类型为中深层承压水，含水岩组顶板埋深 80～100m，底板埋深 300m 左右。本含水岩组为第四系中更新统（Q_2）冲洪积物、冲湖积物，岩性以中粗砂为主，部分含砾。含水层为多层结构。按开采现状及其动态特征分为中深层承压水上段和下段，上段埋深 100～200m，下段埋深 200～300m：

(1)、第二含水岩组上段

永定河冲洪积扇　该含水岩组底板埋深小于 150m，含水层由多层砂砾石构成，累计厚度 5～20m。

根据分层抽水试验资料，含水层渗透系数一般在 5～30m/d，单井出水量 500～1500m^3/d。

潮白河冲洪积扇　该含水组底界深度 200m 左右，含水层由多层砂砾石、砂层构成，累计厚度 30～50m。根据分层抽水实验资料，上部含水层渗透系数 20～25m/d，中部为 10～15m/d，下部为 1～5m/d，单井出水量 500～3000m^3/d。

(2)、第二含水岩组下段

目前永定河冲洪积扇　第二含水岩组下段钻孔揭露资料较少。

潮白河冲洪积扇　该含水层底界深度小于 300m。主要分布于北京平原东北、东南部的凹陷区内。含水层岩性以中粗砂、砾石为主，累计厚度 30～50m。单井出水量 500～1500m^3/d。

3.2.3 第三含水岩组

该岩组主要分布在北京平原东北、东南部的凹陷中心地区。地下水类型为深层孔隙承压水，含水组顶板埋深 300m 左右。含水层岩性为第四系下更新统（Q_1）冲积物，冲湖积物，岩性以中粗砂、砾石为主，含水组为多层结构，顶部有厚度大于 30m 的粘性土隔水层，与上部中深层承压水含水层水力联系差。

3.3 压缩层划分

依据划分原则可将北京地面沉降区可压缩层划分为三个压缩层：第一压缩层底板埋深小于 100m，第二压缩层底板埋深小于 300m，第三压缩层顶板埋深大于 300m。

各压缩层的物理力学指标见表 3。

表 3　北京地面沉降区压缩层物理力学指标综合表

压缩层组	地质时代		底界埋深（m）	物理力学指标					
				W（%）	ρ（g/cm³）	S_r（%）	e	WL（%）	WP（%）
Ⅰ	上段	Q_4-Q_3	20-40	25.89	2.00	97.8	0.733	31.49	18.82
	下段	Q_3	80-100	26.59	1.98	95.6	0.723	34.70	20.78
Ⅱ	上段	Q_2	200	25.91	1.99	95.9	0.720	36.72	20.84
	下段	Q_2	280-300	22.74	2.06			33.36	20.31
Ⅲ	Q_1		>300	20.88	2.06			35.27	20.66
压缩层组	地质时代		底界埋深（m）	物理力学指标					
				IP	IL	a（1/MPa）	Es（MPa）	C_c	C_s
Ⅰ	上段	Q_4-Q_3	20-40	12.65	0.57	0.17	12.97	0.19	0.035
	下段	Q_3	80-100	15.03	0.38	0.077	24.00	0.295	0.054
Ⅱ	上段	Q_2	200	15.88	0,27	0.048	36.69	0.371	0.056
	下段	Q_2	280-300	13.06		0.030	61.07	0.468	0.049

III	Q_1	>300	14.61		0.018	95.76	0.480	0.06

3.3.1 第一压缩层

第一压缩层广泛分布于北京平原区，底板埋深小于 100m。地层岩性为第四系上更新统冲积相、冲湖积相粉土、粘性土层，厚度小于 50m 到大于 80m 不等（见图 3）。根据其地层岩性结构和压缩性可分为上下两段：

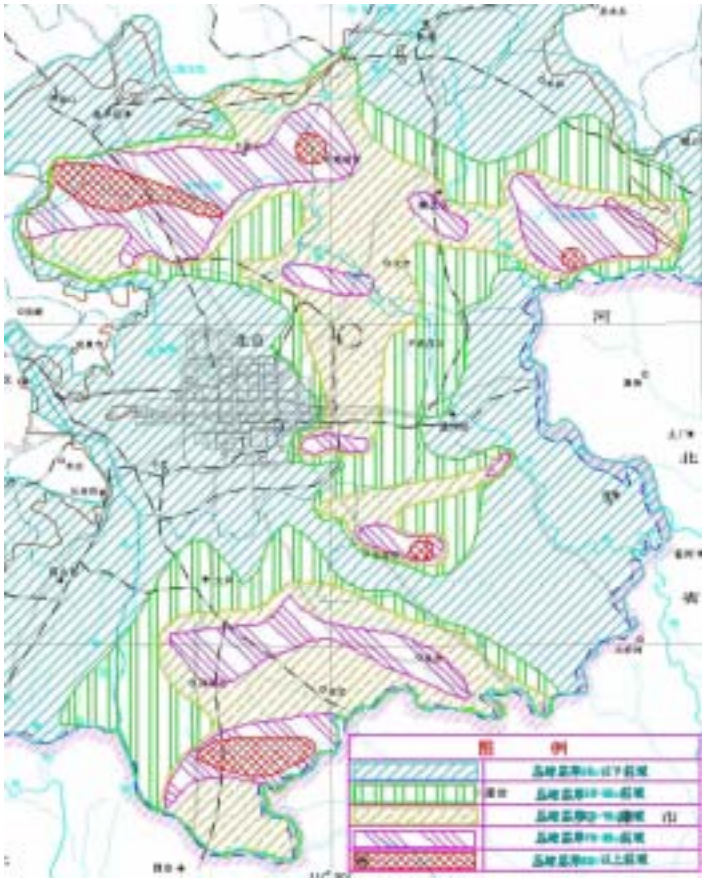


图 3　地下 0-100 米压缩层等厚度分区图

1、第一压缩层上段：

地表以下 0～10m，城区为人工回填土层，大部分地区为褐黄色粉土、粉质粘土层，可塑～硬塑，湿～饱和，中等压缩性，Es 值在 8～15Mpa 之间。

地表以下 10～15m，北京东部、东北部、北部地区为河湖淤积的粉质粘土、粘土，灰褐—灰色，含有机质，软塑—可塑、密实度较差，压缩性较高，Es 值在 4～8Mpa 之间，是该段主要的压缩层；南部地区为冲洪积粉质粘土、粉土层，褐黄色、湿—饱和，可塑—硬塑、中—中上密实，Es 值在 10～20Mpa 之间。

地表以下 25～40m，北京东部、东北部、东南部地区为静水环境洪淤积的粘土、粉质粘土，灰色—灰褐色、可塑、压缩性中等，Es 值在 5～10Mpa 之间，含有机质、螺壳，工程地质性质较差，为相对软弱土层；南部地区为冲洪积的粉土、粉质粘土层，褐黄色，饱和，硬塑，低压缩性，E 值在 15～25Mpa 之间。

2、第一压缩层下段：

地表以下 40～50m 为稳定的粘土、粉土层，北京北部、东部、东北部、东南部等地区广泛分布。岩性为灰色，褐灰色粘土、重粉质粘土层，一般呈可塑—硬塑状态，中等密实，含水量较大，压缩性中等，Es 值在 12～22Mpa 之间；在北京南部地区岩性为粉土、粉质粘土层，褐黄色，饱和，硬塑，压缩性低，Es 值在 18～28Mpa 之间。

地表以下 50～100m 为 3～4 层砂层夹 2～3 层粉质粘土、粘土层，在沉降区广泛分布。粉质粘土、粘土层多呈透镜体状，厚度 20～40m 不等。粉质粘土、粘土层为灰褐色～黄褐色，饱和，局部含有机质，可塑～硬塑，中低压缩性，Es 值在 20～26Mpa 之间。

3.3.2 第二压缩层

广泛分布于北京冲洪积扇中下部地区，岩性为中更新统（Q_2）冲洪积、冲湖积的粉土、粉质粘土、粘土层。在北京西南部，该组底板埋深一般小于 150m；在北京东部、北部该组底板埋深可达 280m 左右（见图 4）。压缩层占总厚度的比例一般为 0.6～0.8。以埋深 200m 为界，可分为上下两段。

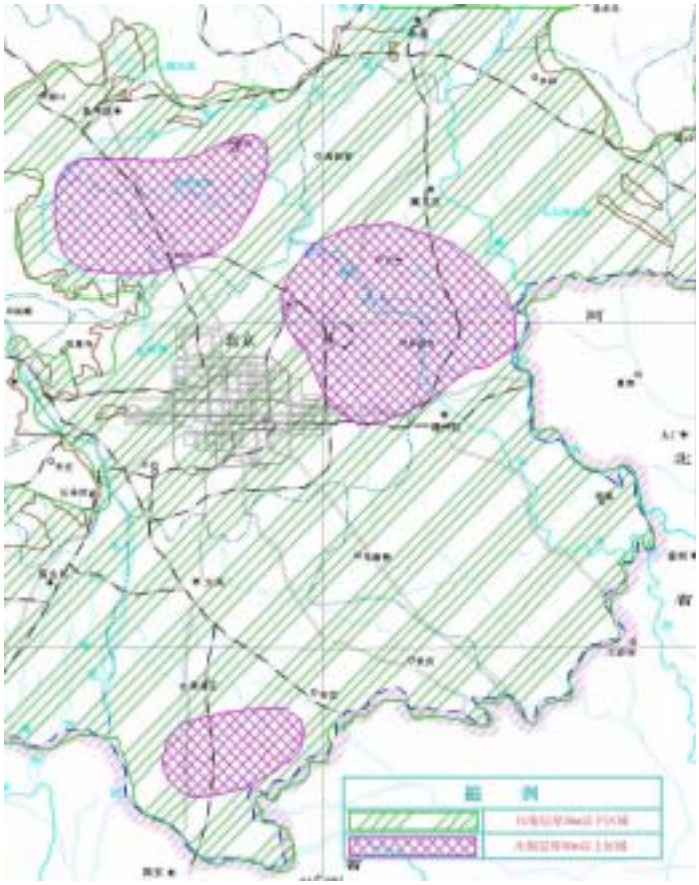


图 4　地下 100-200 米压缩层等厚度分区图

（1）、第二压缩层上段：

该段上部为 10～30m 左右的粉土、粉质粘土、粘土层，夹粉细砂薄层。在北京东部、东北部地区为冲洪积粉质粘土、粘土层，灰褐色—褐黄色，饱和，硬塑，结构致密，局部夹灰黑色粉土、粉砂层，含水量为 25～34%，压缩模量 Es 值在～33Mpa 之间北京南部地区为冲洪积褐黄色粉土、粉质粘土层，结构致密，硬塑—坚硬状态，压缩性低，含水量 20～30%，压缩模量 Es 值在 30~35Mpa 之间。

该段中下部为粉质粘土层。灰褐色、灰黄，饱和、硬塑、压缩性低，压缩模量 Es 值在 35～50Mpa 之间。局部地区分布有大量淤泥及淤泥质粘土层，压缩性相对较高，压缩模量 Es 值在 20～25Mpa 之间。

2、第二压缩层下段：

该段上部为厚 15～25m 左右的粉质粘土层，岩性为灰黑—灰褐色—灰黄色粉质粘土、粘土层，饱和、硬塑、结构致密、压缩性低，压缩模量 Es 值在 50～70Mpa 之间。

该段中下部为灰褐—灰黑色粉质粘土层，夹灰褐色粉土、粉细砂薄层，一般呈硬塑～坚硬状态，结构密实，压缩性低，压缩模量 Es 值在 50～70Mpa 之间。局部区域含淤泥质粘土及淤泥层，压缩性相对较高，压缩模量仅为 27.7MPa。

3.3.3 第三压缩层

主要分布在北京凹陷中心区范围内，为第四系下更新统（Q_1）河湖相沉积的灰褐色、灰色粉质粘土、粘土层。结构致密，大部分呈坚硬状态，密实度高，压缩模量大部分大于 70Mpa。400m 以下土层多呈固结状态，有胶结现象，压缩模量大部分大于 100Mpa，压缩性极低。压缩层中夹冲洪积、冰水沉积的黄色中粗砂、圆砾石层，密实度高。

4.结论

（1）、北京平原区地下水划分为永定河冲洪积扇系统，潮白河冲洪积扇系统，拒马河、大石河冲洪积扇系统，温榆河冲洪积扇地下水系统，蓟运河冲洪积扇系统等五个地下水系统。按含水介质成因类型、地层时代、岩性及埋藏条件等，将北京地面沉降区的含水层划分为三个含水岩组：

第一含水岩组含水组底板埋深小于 100m，在冲洪积扇顶部或中上部以单一结构的砂卵砾石层为主，地下水类型主要为潜水。冲洪积扇中下部及冲湖积平原区为多层结构，地下水类型主要为潜水、浅层微承压水、浅层承压水；

第二含水岩组主要分布于冲洪积扇中下部及冲湖积平原区，为多层结构。地下水类型为中深层承压水。永定河冲洪积扇底板埋深大部分地区小于 150m，潮白河冲洪积扇底板埋深达 270～280m；

第三含水岩组主要分布在北京平原东北、东南部的凹陷中心区。地下水类型为深层承压水，顶板埋深 270～280m。

2、根据土体成因类型、地层时代、岩性、埋藏条件，物理力学性质、固结程度、原位测试指标，将北京地面沉降区划分为 3 个压缩层：

第一压缩层广泛分布于北京平原区，底板埋深一般小于 100m。整体上由西向东、由北向南，压缩层由冲洪积相的粉土逐渐过渡为冲洪积、湖积相粉质粘土、粘土层，一般呈可塑—硬塑状态，为正常固结土；

第二压缩层广泛分布于北京冲洪积扇中下部地区。岩性为中更新统冲洪积、冲湖积的粉土、粉质粘土、粘土层。北京平原西南部该组底板埋深一般小于 150m；平原东部、北部该组底板埋深可达 280m 左右。压缩层占总厚度的比例一般为 0.6～0.8，粘性土呈可塑—硬塑状态，为超固结土；

第三压缩层主要分布在北京平原凹陷中心区范围内，顶板埋深大于 270m。压缩层以粘土为主，呈坚硬状态，为超固结土。

本次对沉降区含水层组及压缩层组的划分，以及获取的各含水层组及压缩层组基本地质参数，为下一步地面沉降监测网站建设、地面沉降预警预报系统建立奠定了坚实基础。

参考文献

[1] 天津市环境地质研究所、地矿部水文所，天津市地面沉降机理研究及预测预报综合治理科研报告，1995
[2] 胡瑞林等，粘性土微结构定量模型及其工程地质特征研究，1995
[3] 曹文炳，应用结合水渗流机制说明粘性土释水机制的初步探讨，全国第二届地面沉降学术讨论会论文，1980
[4] 曹文炳，李克文.水位升降引起的粘性土层释水、吸水与越流发生过程的室内研究方法，勘察科学技术. No.4，1986
[5] 冯晓腊，沈孝宇.饱和粘性土的固结特性及其微观机制的研究，水文地质工程地质. No.1，1991
[6].谢振华等，首都地区地下水资源和环境调查评价，北京市地质调查研究院，2003
[7].蔡启新等，北京统计年鉴（2003 年），2003
[8].贾三满等，北京市地面沉降网站预警预报系统（一期）工程地面沉降调查报告，2004
[9].北京市地质勘察院，北京市东郊地面沉降与地下水开采量关系研究报告，1992
[10].北京市用水调研课题组，北京市用水调研与需水预测研究报告，2002
[11].王子国等，《北京市区域地质志》，1991