



团 体 标 准

T/BCEA A\*\*—20\*\*

# 地面沉降处置技术标准

Technical standards for ground subsidence disposal

(征求意见稿)

20\*\*-\*\*-\*\*发布

20\*\*-\*\*-\*\*实施

北京市建设教育协会 发布

# 目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 地面沉降监测调查	2
5.1 技术设计	2
5.2 监测范围	2
5.3 监测网布设	2
5.4 监测设施建设	3
6 地面沉降监测	4
6.1 地面沉降监测项目及其方法	4
6.2 地面沉降监测网的布设	4
6.3 地面沉降监测技术要求	5
6.4 监测方案实例	6
6.5 监测成果整理	6
7 地面沉降评价	7
7.1 地面沉降的规律和特点	7
7.2 地面沉降的危害	8
8 地面沉降评估预测	8
9 地面沉降的防治	10

# 前 言

本文件依据北京市建设教育协会团体标准立项计划，按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》编制。

本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的批准发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京市建设教育协会提出并归口。

本文件主要起草单位：×××、×××、×××

本文件起草单位：×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××

本文件主要起草人：×××、×××、×××

本文件起草人：×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××

# 地面沉降处置技术标准

## 1 范围

为了贯彻执行国家地质灾害防治政策，为地面沉降检测与防治提供技术支撑，制定本标准。

本标准适用于地面沉降的检测防治等。

建设工程地面沉降是地面沉降重要组成部分。

由人为活动诱发的地面沉降，对区域地质环境造成较大影响的，必须按照相关规定进行检测、防治工作。

地面沉降监测与防治工作，除应符合本规程的规定外，尚应符合现行有关标准、规范的规定。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

全球定位系统（GPS）测量规范 GB/T 18314

## 3 术语和定义

### 3.1

**地面沉降** land subsidence

因自然因素或人为活动引发地壳表层松散土层压缩并导致地面标高降低的地质现象。

### 3.2

**止水帷幕** waterproof curtain

用于阻截基坑侧壁及基坑底地下水流入基坑而采用的连续止水水体。

### 3.3

**地面沉降监测设施** land subsidence monitoring devices

监测土层变形及地下水位动态变化的各类测量标志及其配套的仪器设备。

### 3.4

**基岩标** benchmark on bedrock

穿过松软岩土层，埋在坚硬岩石上的地面水准观测标志。

### 3.5

**分层标** borehole extensometer

埋设在不同深度松软土层或含水砂层中的地面水准观测标志。

### 3.6

**地下水位监测井** groundwater level monitoring well

用于监测地下水位变化的管井设施。

### 3.7

**地下水人工回灌井** groundwater artificial recharge well

用于地下水人工回灌的(或同时具备开采与回灌功能的)管井设施。

## 4 基本规定

- 4.1 在地面沉降易发区内应进行地面沉降监测工作。
- 4.2 地面沉降监测工作实施前,应根据区域实地情况编制设计书,并由主管部门审批确认。
- 4.3 监测项目一般包括地面沉降监测、土层分层沉降监测、地下水位监测、采灌水水量监测等。
- 4.4 地面沉降监测应采用精密水准测量、GPS 测量或其它技术方法。
- 4.5 监测水准网宜采用国家一、二等水准网, GPS 监测网宜采用固定站、一级网、二级网,区域地面沉降监测网的基准点应为基岩标、建于基岩之上的 GPS 固定站、周边 IGS 站。
- 4.6 地面沉降监测成果应进行检查验收,并编制检查验收报告。

## 5 地面沉降监测调查

### 5.1 技术设计

- 5.1.1 地面沉降监测技术设计书编制前,应组织踏勘并收集下列资料:
  - a) 测区地形图、已有地面沉降监测设施分布图;
  - b) 已有地面沉降监测资料;
  - c) 测区地质、水文资料。
- 5.1.2 在测区调查及资料收集的基础上,应根据监测目的编制地面沉降监测技术设计书,编制提纲如下:
  - a) 任务由来及目的、意义;
  - b) 技术设计的依据;
  - c) 测区已有工作条件;
  - d) 测量方法及主要技术要求;
  - e) 任务分工;
  - f) 组织实施;
  - g) 成果资料检查验收;
  - h) 提交成果。

### 5.2 监测范围

- 5.2.1 监测范围应依据地面沉降发育规律、发育程度等确定。
- 5.2.2 监测网可以设为全面网或逐级控制网,必须覆盖整个沉降区域,宜充分考虑地面沉降近期发展扩大的可能范围。
- 5.2.3 水准网监测范围可分为中心城区、局部区域两个层次。
- 5.2.4 GPS 监测范围应为全部范围。
- 5.2.5 土层分层沉降监测范围垂直方向上以能够控制各类土层动态变化为宜。
- 5.2.6 地下水动态监测范围垂直方向上以能够控制各类含水层动态变化为宜。

### 5.3 监测网布设

- 5.3.1 水准网布设应符合下列规定:

- a) 地面沉降一、二等水准网应按统一的技术要求布设。一等水准路线宜沿道路布设，水准路线应闭合成环，并构成网状；二等水准网应在一等环内布设；
- b) 一、二等水准网应选取基岩标、深标或其它稳定的点作为结点，新埋设水准点、临时转站点不得作为结点；
- c) 用于局部区域高程控制的水准点，布设间距宜按 0.5km 布设，可视实地情况适当调整；
- d) 用于地下水开采区和中心城区(特别是工程建设活动密集区)的水准点，宜在水准网基础上按照等间距或者按照远离监测区方向逐渐稀疏的原则适当加密；
- e) 轨道交通、高架道路、天然气、防汛墙等线型工程的地面沉降监测点宜沿其走向布设，监测点布设间距宜按 0.5km 布设，局部重点监测区域可按 0.2~0.3km 间距适当加密；
- f) 对于地质条件变化较大的区域，应沿垂直(斜交)于线型工程走向适当布置少量的监测点。

5.3.2 GPS 网布设应符合下列规定：

- a) 地面沉降 GPS 监测网应具有较强的图形条件以及足够的观测点重复率；
- b) 地面沉降 GPS 监测网应按固定站、一级网、二级网三个层次布设。布网时可逐级布设、越级布设或布设同级全面网；
- c) 一、二级网应布设成连续网，除边缘点外，每点的连接点数不得少于 2 点；
- d) 一级网边缘点连接应构成大的闭合环，边界线宜圆滑；
- e) 二级网应附合在一级网上，附合的一级网不得少于 3 点；
- f) 一、二级网应选取稳定的基岩标、基岩点、固定站作为沉降基准，基准点在平面上应均匀分布，应能控制整个监测区域；
- g) 地面沉降 GPS 监测网设计时应应对沉降基准的选取、优化和突发情况进行充分的规划和论证，必须保持沉降基准的可靠、稳定、连续；
- h) 各级 GPS 网相邻点的平均间距应符合表 1 要求。相邻点最小间距可为平均间距的 1/3~1/2；最大间距可为平均间距的 2~3 倍；

表 1 GPS 网中相邻点之间的平均距离

等级	一级	二级
平均间距 (km)	15	7

- i) 一、二 GPS 网点应与永久性跟踪站(固定站)联测；一级不得少于 3 站，二级不得少于 2 站。

5.3.3 地下水位动态监测网布设

- a) 布设地区以覆盖全市潜水和承压含水层分布地区为原则；
- b) 布设密度以掌握地下水流场动态变化规律为原则；
- c) 应具备监测井建设、长期保护(存)的场地；
- d) 与现有同层次开采井间距不宜小于影响半径量值。

5.4 监测设施建设

5.4.1 监测设施建设应符合下列规定：

- a) 地面沉降监测设施建设应按照监测网络规划设计要求进行；
- b) 监测设施建设过程中发生的网点移位、标志类型更改等，应报上级主管部门审批；
- c) 监测设施建设过程中应做过程质量记录，用于质量检查、验收评审和最终资料的汇交和归档；
- d) 地面沉降普通水准点建设应符合规范的规定。

5.4.2 基岩标、分层标建设应满足相关技术的要求。

#### 5.4.3 GPS 点建设应符合下列规定：

- a) 埋设现场应具备 GPS 点监测的客观条件并便于 GPS 监测点的长期保存；
- b) 一、二级网观测墩可在现场浇灌，也可先行预制，但其底盘必须现场浇灌。为便于高程联测，底座上必须同时埋设不锈钢标志；
- c) GPS 固定站现场拼装观测台、底座时，必须保证各连接螺丝拧紧到位，并保持顶部钢板水平；
- d) GPS 固定站、观测墩应根据现场条件分别制定标牌，注明点号、联系单位、联系方式及“测量标志、严禁破坏”的标志；
- e) 标识埋设后，必须经过(至少)一个雨季后方可用于观测。基岩点埋设后，必须经过(至少)一个月以后方可用于观测。

## 6 地面沉降监测

### 6.1 地面沉降监测项目及其方法

6.1.1 地面沉降监测项目包括地面沉降测量、土体分层沉降监测、地下水位监测、采灌水水量监测等。相应的监测方法见表 2。

表 2 地面沉降的监测方法

监测项目	监测方法
地面沉降测量	精密水准测量、GPS 测量、雷达干涉测量(InSAR) 及其它技术方法
土体分层沉降监测	自动化监测仪或人工测量方式
地下水位监测	自动化监测仪或人工测量方式
水量监测	流量计

### 6.2 地面沉降监测网的布设

6.2.1 地面沉降监测项目及其方法的选择应根据监测区域地质环境特点、地面沉降历史和现状等确定；地面沉降监测网的布设、监测点密度和观测频率等还应考虑到监测区域的范围大小、开发程度、环境条件和特定目的等因素综合确定。

6.2.2 地面沉降监测网方案可一次制订，分期实施。一般情况下，随着监测区域开发程度的提高或监测技术的进步，会对原方案进行修改、完善。

6.2.3 对地面沉降监测网布设的基本要求如下：

- a) 监测水准网应采用国家一、二等水准网；
- b) 地面沉降监测网的基准点应为基岩标、建于基岩之上的 GPS 固定站、周边 IGS 站；
- c) GPS 监测网宜采用固定站、一级网、二级网（固定站相当于《全球定位系统(GPS) 测量规范》(GB/T 18314-2009) 的 A 级，一级网相当于 B 级，二级网相当于 C 级)；一、二级网观测墩可在现场浇注，也可先行预制，但其底盘必须现场浇注。底座上必须同时埋设不锈钢标志；固定站现场拼装观测台、底座时，必须保证各连接螺丝拧紧到位，并保持顶部钢板水平；固定站、观测墩应根据现场条件分别制定标牌，并进行标识；标石埋设后，必须经过(至少)一个雨季后方可用于观测。基岩点埋设后，必须经过(至少)一个月以后方可用于观测；
- d) 普通水准点建设应符合相关技术标准的规定；
- e) 基岩标的保护管需采用壁厚不小于 7mm 的优于 DZ40 的地质无缝钢管，标杆材质需优于 DZ40 壁厚不小于 5mm 的地质无缝钢管；分层标的保护管和标杆需采用壁厚不小于 5mm 的 DZ40 地质

无缝钢管；基岩标和分层标的滚轮扶正器间距可下密上疏，上部宜为 6~9m，最大间距不得超过 10m；管内填充物可采用清洁水，上部 2~3m 为防锈油。基岩标和分层标的结构要求见表 3；

表 3 基岩标与分层标结构要求

部件名称	埋标深度	基岩标	分层标
保护管	≥150m时	外径≥Φ 168mm	外径为Φ 146mm 或Φ 168mm
	<150m时	外径≥Φ 127mm	外径为Φ 127mm 或Φ 108mm
	底部	安装厚度为20~25mm的环状托盘，托盘与钻孔壁间隙不应大于100mm	
标杆	≥150m时	选用Φ 89mm~ Φ 73mm~ Φ 42mm、长度配比按“九五分割原理”确定的“多宝塔形”结构	选用长度配比按“九五分割原理”确定的“三宝塔”结构
	<150m~ ≥50m时	选用Φ 73mm~ Φ 42mm、长度配比按“九五分割原理”确定的“二级宝塔形”结构	选用长度配比按“九五分割原理”确定的“双宝塔”结构
	<50m时	选用Φ 42mm、一径到底结构	选用一径到底结构
	底部	安装厚度为15~20mm外径小于基岩钻孔直径10mm的环状托盘	与位于滑筒中心的滑杆顶部对接接头相连接，使标杆与标底连为一体
标底形式		用标号为325、水灰比为0.5的水泥浆液将标杆与新鲜基岩固定在一起	由底部插钎、钢质环状托盘、滑杆、对接接头组成，相互连为一体

f) 地下水动态监测网布设地区以覆盖整个区域潜水和承压含水层分布地区为原则，布设密度以掌握地下水流场动态变化规律为原则。水位监测井的孔径不应小于 Φ 400mm，成孔时取芯、孔深误差和孔斜应符合相关标准要求；

g) 监测设施建设过程中应做过程质量记录，用于质量检查、验收评审和最终资料的汇交和归档；

h) 地面沉降监测设施建成后应进行检查验收，并提供竣工报告，内容主要包括：

- 1) 工程概况；
- 2) 设计要求和原则；
- 3) 监测设施建设施工工艺与质量评述；
- 4) 每座标孔的孔口标高、平面坐标及标组平面位置图；
- 5) 由地层柱状图、监测设施结构图、测井、土工测试、水质测试资料等组成的综合柱状图；
- 6) 施工时间、进度及施工组织。

### 6.3 地面沉降监测技术要求

6.3.1 地面沉降的监测技术要求见表 4。

表 4 地面沉降的监测技术要求

监测项目	技术要求
地面沉降测量	精密水准测量、GPS 测量技术要求应符合现行国家标准《国家一、二等水准测量规范》(GB/T12897)、《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB/T18314)、《地面沉降水准测量规范》(DZ/T0154)等标准的规定
土体分层沉降监测	须以人工测量校准，验证稳定后方可投入使用

地下水水位监测	1) 应根据地下水水位监测频率要求, 设置自动化监测的水位监测频率; 2) 应依据使用说明书, 正确安装自动化监测仪; 3) 人工监测前应校正测量所需的电表和测绳; 4) 应确保测绳与电表线路畅通, 使用正常; 5) 必须以监测井固定测点高程为地下水水位测量的起算高程; 6) 应在电表指针发生偏转, 稳定在最大与最小值之间时, 读取测绳深度; 7) 测量时, 应连续测量三次, 取其平均值作为本次测量成果数据。
水量监测	1) 测量前, 应确定流量表的起始读数; 2) 应取流量表的现状读数与起始读数之差为实际水量。

## 6.4 监测方案实例

6.4.1 上海地面沉降监测网经过数十年的建设, 已在全市范围内形成了以水准测量为主的高程监测体系和由地面沉降监测站、地下水环境监测点构成的地下监测体系组成的完整地面沉降监测网络。主要包括:

### a) 精密水准监测网:

自 1961 年, 上海市区建立了由水准点构成的地面沉降监测网。目前, 地面沉降水准监测网已覆盖全市。其中, 中心城区布置了加密水准网, 由 10 个高精度水准测量环线组成, 其中一等水准测量线路长 747.1km, 二等水准测量线路长 837.5km, 水准测量覆盖面积约 450km<sup>2</sup>, 通过每年定期进行精密水准测量, 监测中心城区地面沉降动态。

### b) 地面沉降 GPS 监测网:

自 1999 年开展利用 GPS 技术监测地面沉降的试验研究, 2001 年开始建网, 目前已建成覆盖全市的地面沉降 GPS 监测网。包括数座 GPS 永久观测站、近 50 个 GPS 一级网监测点、近 200 个 GPS 二级网监测点。

### c) 地面沉降监测站:

上世纪六十年代至八十年代中期, 在当时地下水集中开采的市区建设了 17 座地面沉降监测站。以后又陆续新建 20 座地面沉降监测站。新建的地面沉降监测站配置有完善的地面沉降监测设施, 包括基岩标、各类分层标、各类地下水水位监测井、GPS 观测站等。形成了由近 40 座地面沉降监测站组成的覆盖全市的地面沉降监测站系统, 且大部分采用自动化监测技术进行监测。

### d) 地下水动态监测网:

1961 年, 建立了初期的地下水动态监测网。以后进一步加以完善, 目前已在全市范围内建有监测各含水层中地下水动态的监测井 500 多口, 组成平面上以中心城和地下水集中开采区为重点, 覆盖全市范围的地下水动态监测网。

### e) 重大市政工程地面沉降监测网:

近年来, 为监测地面沉降对地铁、高架路、高铁、防汛墙等重大市政工程的影响, 在工程沿线布设了大量水准监测点、基岩标和分层沉降监测标。

## 6.5 监测成果整理

6.5.1 地面沉降监测应提供以下成果:

### a) 现场记录资料:

b) 成果报告, 包括月报、年报。月报宜以简报形式为主。对当月监测资料进行汇总、统计, 提供简要说明, 并绘制相关图表; 年报应对年度地面沉降监测成果和监测工作进行系统总结, 并形成相关图表。其中, 监测工作总结内容应包括:

- 1)年度地面沉降监测与防治工作概况；
- 2)地面沉降动态变化规律；
- 3)地面沉降防治措施与效果评价；
- 4)下年度工作建议等。

## 7 地面沉降评价

### 7.1 地面沉降的规律和特点

7.1.1 发生地面沉降的原因主要由于抽吸地下水引起土层中水位或水压下降、土层颗粒间有效应力增大而导致地层压密的结果。大面积堆土也能使深部土层产生类似机理而导致地面沉降。本章内容未包括由于新构造运动或海平面上升等原因造成的地面绝对或相对下沉。

7.1.2 发生或可能发生地面沉降的地域范围局限于存在厚层第四纪堆积物的平原、盆地、河口三角洲或滨海地带，往往发生在位于上述地貌类型的大城市或高度工业化地区。自 1891 年墨西哥城最先记录地面沉降现象以来，全球有 50 多个国家和地区发生了地面沉降。近年来，我国地面沉降危害主要发生在长江三角洲、华北平原、汾渭盆地、珠江三角洲等经济发达地区，地面沉降区面积不断扩大，累计沉降量不断增大。目前我国 16 个省（区、市）地面沉降面积约为 9.3 万平方公里，地面沉降灾害比较严重的城市超过 50 个。主要地面沉降地区概况见表 5。

表 5 主要地面沉降地区概况

地区	压密层			最大沉降速率 (mm/a)	最大沉降量 (m)	沉降区域面积 (km <sup>2</sup> )
	年代	成因	层底深度(m)			
上海	Q <sub>4</sub>	冲积相 滨海相	300	110	>3	1000
天津	Q <sub>4</sub>	滨海相	—	262	3.25	9840
北京	Q <sub>4</sub>	洪积相 冲积相	—		1.40	4323
西安			100~300	300	2.99	200
无锡	Q <sub>4</sub>	冲积相		120	>1.0	160
常州	Q <sub>4</sub>	冲积相	120~240	147	1.2	>200
江阴	Q <sub>4</sub>	冲积相	120~180	110	1.0	
沧州	Q <sub>4</sub>	冲积相			2.518	
衡水	Q <sub>4</sub>	冲积相			>0.9	>7981
太原	Q <sub>4</sub>	冲积相	—	207	2.96	548
阜阳	Q <sub>4</sub>	冲积相			1.502	410
湛江	Q <sub>4</sub>	冲积相	200	11.9*	0.1787*	
台湾屏东	Q <sub>4</sub>	冲积相 浅海相		—	2.82	1057

日本Saga平原	Q <sub>4</sub>	冲积相 滨海相	200		1.24	320
美国萨克拉门托流域	Q <sub>4</sub>	冲积相 浅海相	330	220	>9	
墨西哥城	Q <sub>4</sub> 、Q <sub>3</sub>	冲积相	50	420	9.0	225
东京	Q <sub>4</sub>	冲积相 浅海相	400	270	4.6	2420
大阪	Q <sub>4</sub>	冲积相 湖积	400	—	2.88	630
新泻	Q <sub>4</sub>	浅海相 海相	1000	—	2.65	430
兵库	Q <sub>4</sub>	冲积相 湘相	200	—	2.84	100
意大利波河三角洲	Q <sub>4</sub>	冲积相 泻湘相浅海相	600	—	3.2	2600

注：上述数据注\*的为2001年数据，墨西哥城、东京、大阪、新泻、兵库、意大利波河三角洲的数据为1991年统计资料，其余的为2010年统计资料。

7.1.3 地面沉降发生的范围往往较大，且存在一处或多处沉降中心，沉降中心的位置和沉降量与地下水取水井的分布和取水量密切相关。

7.1.4 地面沉降速率一般比较缓慢，常为每年数毫米或每年数厘米，也有少数地区达每年数十厘米的情况（见表5）。

7.1.5 地面沉降一旦发生，即使消除了产生地面沉降的原因，沉降了的地面也不可能完全复原。对含水层进行回灌后，也只能恢复因土层颗粒间有效应力变化而引起的弹性变形量部分。

## 7.2 地面沉降的危害

7.2.1 对环境的影响：地面沉降区域内因地面绝对标高降低，引起潮水、江水倒灌，地面积水、受淹，排水设施、防汛设施不能保持原定功效。

7.2.2 对工程的危害：引起桥墩下沉，桥下净空减小，影响通航标准；码头、仓库及堆场地坪下沉，影响正常使用；堤防工程失去原有功能；造成市政设施破坏，如水管线断裂、燃气管线破损、路面塌陷。各类建筑物，特别是一些古老建筑常因地面沉降而造成排水困难，底层地坪低于室外地面的状况；城市地下管道坡度改变影响正常使用功能；地铁、高铁等轨道工程因不均匀沉降导致轨道曲率半径变化，危及运行安全、增大运管成本和维护费用。据有关研究成果，至上世纪末，上海地面沉降造成的经济损失高达近三千亿元。据粗略统计，我国地面沉降造成的经济损失平均每年超过100亿元，累计超过6000亿元。

## 8 地面沉降评估预测

### 8.1 分层总和法

粘性土及粉土按下式计算：

$$s_{\infty} = \frac{a}{1+e_0} \Delta p H \quad (1)$$

砂土按下式计算：

$$s_{\infty} = \frac{1}{E} \Delta p H \quad (2)$$

式中  $S_{\infty}$  —— 土层最终沉降量 (cm);

$a$  —— 土层压缩系数 ( $\text{MPa}^{-1}$ ), 计算回弹量时用回弹系数;  $e_0$  —— 土层原始孔隙比;

$\Delta P$  —— 水位变化施加于土层上的平均附加应力 (MPa);  $H$  —— 计算土层厚度 (cm);

$E$  —— 砂层弹性模量 (MPa); 计算回弹量时用回弹模量。地面沉降量等于各土层最终沉降量之和。

## 8.2 单位变形量法

根据预测期前 3~4 年中的实测资料, 按式 (3)、式 (4) 计算土层在某一特定时段内, 含水层水头每变化 1m 时其相应的变形量, 称为单位变形量。

$$I_s = \frac{\Delta s_s}{\Delta h_s} \quad (3)$$

$$I_c = \frac{\Delta s_c}{\Delta h_c} \quad (4)$$

式中  $I_s$ 、 $I_c$  —— 水位升、降期的单位变形量 (mm/m);

$\Delta h_s$ 、 $\Delta h_c$  —— 某一时期内水位升、降幅度 (m);

$\Delta S_s$ 、 $\Delta S_c$  —— 相应于该水位变化幅度下的土层变形量 (mm)。

为了反映地质条件和土层厚度与  $I_s$ 、 $I_c$  参数之间的关系, 将上述单位变形量除以土层的厚度  $H$ , 称为土层的比单位变形量, 按式 (5) 和式 (5-5-6) 计算。

$$I'_s = \frac{I_s}{H} = \frac{\Delta S_s}{\Delta h_s H} \quad (5)$$

$$I'_c = \frac{I_c}{H} = \frac{\Delta S_c}{\Delta h_c H} \quad (6)$$

式中  $I'_s$ 、 $I'_c$  —— 水位升、降期的比单位变形量 ( $\text{m}^{-1}$ )。

在已知预测期的水位升、降幅度和土层厚度的情况下, 土层预测沉降量按式 (7)、式 (8) 计算。

$$S_s = I_s / \Delta h = I'_s \Delta h H \quad (7)$$

$$S_c = I_c \Delta h = I'_c \Delta h H \quad (8)$$

式中  $S_s$ 、 $S_c$  —— 水位上升或下降  $\Delta h$  时, 厚度为  $H$  的土层预测的回弹量或沉降量 (mm)。

## 8.3 地面沉降发展趋势的预测

在水位升降已经稳定不变的情况下, 土层变形量与时间的变化关系, 可用式 (9)、式 (10) 和式 (11) 计算。

$$S_t = S_{\infty} U \quad (9)$$

$$U = 1 - \frac{8}{\pi^2} \left[ e^{-N} + \frac{1}{9} e^{-9N} + \frac{1}{25} e^{-25N} + \dots \right] \quad (10)$$

$$N = \frac{\pi^2 C_v}{4H^2} \quad (11)$$

式中  $S_t$ ——预测某时刻  $t$  月后地面沉降量 (mm);

$U$ ——固结度, 以小数表示;

$t$ ——时间 (月);

$N$ ——时间因素;

$C_v$ ——固结系数 ( $\text{mm}^2/\text{月}$ );

$H$ ——土层的计算厚度, 两面排水时取实际厚度的一半, 单面排水时取全部厚度 (mm)。

注: 1.  $C_v$  单位为  $\text{mm}^2/\text{月}$ , 试验室一般用  $\text{cm}^2/\text{s}$ , 换算关系为  $1\text{cm}^2/\text{s} = 2.59 \times 10^6 \text{mm}^2/\text{月}$ 。

2. 计算时, 式 (10) 一般取第 1 项即可。

8.4 地区性经验公式法: 在积累地面沉降资料较多的地区可建立各种经验公式预测地面沉降量。例如地下水开采量与地面沉降量的相关公式, 不同开采层位和开采量与地面沉降量的相关公式等。

## 9 地面沉降的防治

9.1.1 与其它种类的地质灾害不同, 地面沉降发生的范围大, 灾害的发生具有明显滞后性、缓变性、不可恢复性, 受灾方与致灾方之间通常为不相关的主体。因此要实现对面沉降的有效控制和防治, 首先需要建立防治地面沉降的行政管理制度, 强化对地下水开采和降排的管理, 坚持以预防为主的原则。例如上海市对地面沉降的防治, 除建立有相关行政管理制度外, 最近又颁布了地方法规“上海市地面沉降防治管理条例”。在上述前提下, 地面沉降防治的主要工程技术措施如下:

- a) 压缩地下水开采量, 减少水位降深幅度。在地面沉降剧烈的情况下, 应暂时停止开采地下水。
- b) 向含水层进行人工回灌, 回灌时要严格控制回灌水源的水质标准, 以防止地下水被污染。并要根据地下水动态和地面沉降规律, 制定合理的采灌方案。
- c) 调整地下水开采层次, 进行合理开采, 适当开采更深层的地下水。
- d) 对深基坑工程要尽量减少基坑开挖过程中抽排地下水的总量, 必要时宜采取同步回灌措施 (坑内排坑外灌)。
- e) 在大面积填筑区进行工程建设时, 宜采用堆载预压法等地基处理措施, 减小工后沉降量。
- f) 当地面沉降尚不能有效控制时, 在新建或改建桥梁、道路、堤坝、排水设施等市政工程时, 应考虑到使用期限内可能出现的地面沉降量。
- g) 对位于地面沉降较严重区域、对沉降变形十分敏感的工程 (如地铁、高铁等), 宜布设必要的地面沉降监测设施, 在其运行过程中进行定期监测。