

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T XXXXX—XXXX

地面沉降风险评估规范

Specification for risk assessment of land subsidence

(报批稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中华人民共和国自然资源部 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	1
5 总体要求	2
5.1 目的任务	2
5.2 工作内容	2
5.3 工作要求	2
6 评价数据及获取方法	3
6.1 评价数据	3
6.2 获取方法	3
7 地面沉降危险性分析	3
7.1 因子与指标	3
7.2 分析方法与流程	4
8 承灾体易损性分析	5
8.1 因子与指标	5
8.2 分析方法与流程	5
9 地面沉降防灾减灾能力分析	6
9.1 因子与指标	6
9.2 分析方法与流程	6
10 地面沉降风险评价与分区	7
10.1 风险评价	7
10.2 风险分区	7
11 成果编制	7
11.1 成果报告	7
11.2 附图	8
11.3 附件	8
11.4 数据库	8
附录 A（资料性） 地面沉降风险评价技术设计书编制大纲	9
附录 B（资料性） 地面沉降风险评价数据内容及来源	10
附录 C（资料性） 常用的地面沉降监测技术手段	11
附录 D（资料性） 层次分析法计算过程	12
附录 E（资料性） 地面沉降风险评价各因子及指标等级划分	14

附录 F（规范性） 指数标准化计算方法	17
附录 G（资料性） 地面沉降风险评价成果报告编写提纲.....	18
附录 H（规范性） 地面沉降风险评价不同等级分区图示图例.....	20
参考文献.....	21

前 言

本文件按照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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会（SAC/TC 93）归口。

本文件起草单位：中国地质环境监测院、上海市自然资源调查利用研究院、长安大学、中国自然资源航空物探遥感中心、中国地质科学院地质力学研究所、北京市地质环境监测所、天津市地质环境监测总站、河北省地质环境监测院、江苏省地质调查研究院、浙江省地质院、河北省地质矿产勘查开发局第四水文工程地质大队。

本文件主要起草人：郭海朋、臧西胜、王寒梅、王云龙、王海刚、李文鹏、曹佳文、杨天亮、卢全中、史玉金、葛大庆、李惠、姚鑫、罗勇、白晋斌、张进才、龚绪龙、刘聪、武银婷、王桂杰、朱菊艳、李木子、张玲、沈慧珍、张欢、战庆、吕潇文、徐宏斌。

地面沉降风险评价规范

1 范围

本文件规定了地面沉降风险评价的目的任务、工作内容和流程，风险评价数据的内容及获取方法，地面沉降危险性分析、承灾体易损性分析和地面沉降防灾减灾能力分析的因子、指标、方法与流程，风险评价结果的等级划分，成果编制等要求。

本文件适用于地面沉降风险评价工作。

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。

- GB/T 12897 国家一、二等水准测量规范
- GB/T 18314 全球定位系统（GPS）测量规范
- DZ/T 0154 地面沉降测量规范
- DZ/T 0283 地面沉降调查与监测规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

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。

[来源：GB/T 50279-2014, 11.3.3]

3.2

地面沉降风险 land subsidence risk

特定区域一定时段内地面沉降发生及造成各类承灾体损失的可能性。

3.3

地面沉降易发性 land subsidence susceptibility

特定区域由地质条件控制的地面沉降发生的难易程度。

3.4

地面沉降危险性 land subsidence hazardousness

在诱发因素作用下，特定区域一定时段内地面沉降发生的可能性和强度。

3.5

易损性 vulnerability

承灾体遭受地面沉降作用而发生损坏的可能性与严重程度。

3.6

地面沉降防灾减灾能力 capacity of land subsidence prevention and mitigation

防止或减少地面沉降对生命、财产和经济影响的能力。

3.7

地面沉降速率 rate of land subsidence

某一时间段地面沉降量与该时间段的比值。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CR-InSAR: 基于角反射器的合成孔径雷达干涉测量(Corner Reflector InSAR)
D-InSAR: 差分合成孔径雷达干涉测量(Differential InSAR)
GDP: 国内生产总值(Gross Domestic Product)
GNSS: 全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System)
InSAR: 合成孔径雷达干涉测量(Interferometric Synthetic Aperture Radar)
PS-InSAR: 永久散射体合成孔径雷达干涉测量(Persistent Scatterer InSAR)
SBAS-InSAR: 短基线集合成孔径雷达干涉测量(Small Baseline Subset InSAR)

5 总体要求

5.1 目的任务

5.1.1 采用定性定量相结合的方法,对已发生或可能发生地面沉降的地区开展地面沉降危险性、易损性、防灾减灾能力分析,在此基础上开展地面沉降风险评价。

5.1.2 根据地面沉降风险评价结果,进行风险分区,提出有针对性的风险防控对策建议,为地面沉降精准防控管理提供科学依据,为国土空间规划、城镇及重大工程规划建设提供基础支撑。

5.2 工作内容

5.2.1 收集整理评价区地质条件、地下水、地面沉降、经济社会发展状况、国土空间规划等相关资料,编制地面沉降风险评价技术设计书,编制大纲见附录A。

5.2.2 构建评价因子和评价指标体系,收集整理评价因子与指标数据。

5.2.3 判识地面沉降的形成原因、空间分布特征与发展趋势,开展危险性分析。

5.2.4 判识地面沉降威胁的对象、承灾体受损的可能性与严重程度,开展易损性分析。

5.2.5 判识防止或减少地面沉降对生命、财产和经济影响的能力,开展防灾减灾能力分析。

5.2.6 在危险性、易损性和防灾减灾能力分析的基础上,综合开展地面沉降风险评价和风险分区,提出地面沉降风险防控措施建议,预测采取防控措施后地面沉降发展趋势。

5.2.7 编制风险评价成果报告及相关图件,建立数据库。

5.3 工作要求

5.3.1 紧密结合国土空间规划和土地利用现状,服务于城市安全、水资源安全和重大工程安全。

5.3.2 根据评价区地质条件、地下水开发利用状况、人类工程活动、地面沉降状况、承灾体分布、防灾减灾能力等因素,确定风险评价因子与指标。

5.3.3 按照图1规定的评价工作流程,规范收集评价因子与指标数据,采用合适的方法开展分析评价工作,评价结果应客观。

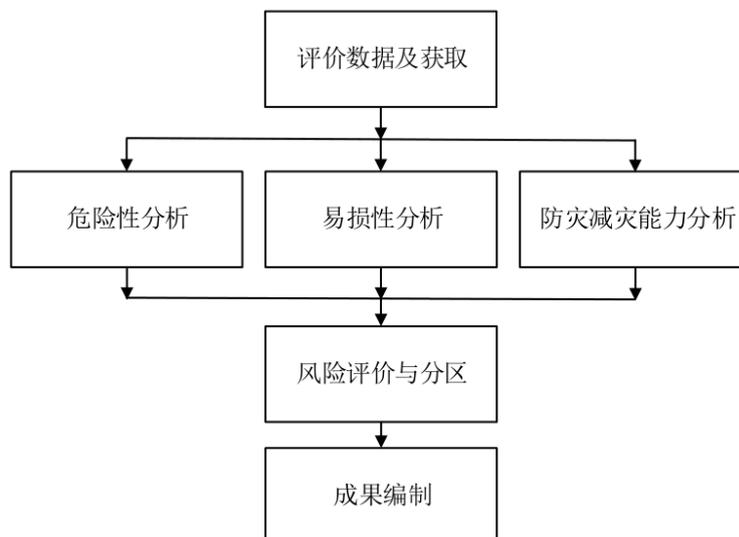


图1 地面沉降风险评价工作流程图

5.3.4 风险评价应定期开展，根据诱发因素、承灾体和防灾减灾能力的变化情况，并与国土空间规划的编制和实施相衔接，3年至5年开展一次。

5.3.5 地面沉降风险评价网格划分的分辨率应不低于1 km×1 km。

6 评价数据及获取方法

6.1 评价数据

地面沉降风险评价数据应包括下列资料：

- a) 松散沉积层厚度，黏性土层或软土层厚度及压缩性，地下水埋藏条件、含水层结构、地下水补径排条件等相关水文地质、工程地质资料；
- b) 地面沉降速率、累计地面沉降量等资料；
- c) 地下水水位/埋深、开采量、压采量、回灌量等资料；
- d) 经济和社会发展、社会安全、建筑工程、交通工程、地面高程等地面沉降承灾体资料；
- e) 地面沉降监测设施类型及数量、分布资料；
- f) 地面沉降调查监测、地面沉降防治工程、地面沉降防灾减灾规划以及公共政策等资料。

6.2 获取方法

6.2.1 应收集整理分析地面沉降调查、监测成果数据，形成地面沉降危险性、易损性、防灾减灾能力分析基础数据。附录B给出了地面沉降风险评价数据内容及来源。

6.2.2 应对多源数据质量进行交叉验证，确保评价数据的一致性和可靠性。

6.2.3 区域地质、水工环地质调查与监测成果等资料比例尺精度宜不低于1:50 000。地面沉降监测数据宜采用地面水准测量数据或InSAR监测数据等，精度应为毫米级。

6.2.4 当基础资料不足或存在明显异常时，应补充地面沉降调查与监测工作，查明地面沉降的分布、基本特征、活动现状、发展趋势、危害程度，以及引发地面沉降的地质环境条件和人类活动因素。地面沉降调查与监测工作应按照DZ/T 0283、DZ/T 0154的规定执行。常用的地面沉降监测技术手段见附录C。

6.2.5 在地面沉降监测空白区或资料较少时，宜优先选用InSAR技术获取地面沉降现状及多年变化数据，并用地面水准测量、GNSS测量等数据进行校核。

7 地面沉降危险性分析

7.1 因子与指标

7.1.1 指标体系

地面沉降危险性分析的因子与指标见表1。

表1 地面沉降危险性分析指标体系

因子	指标	单位
易发程度	松散沉积层厚度	米 (m)
	地下水开采影响范围内的黏性土层厚度或软土层厚度	米 (m)
	地下水主采层数量	个
发育程度	近5年平均沉降速率	毫米每年 (mm/a)
	累计沉降量	毫米 (mm)
地下水开采强度	地下水开采模数	万立方米每平方千米每年 [$10^4 \text{m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$]
	或地下水开采层位的年均水位降幅	米每年 (m/a)

7.1.2 易发程度

7.1.2.1 冲（洪）积平原和断陷盆地等地貌类型宜划为地面沉降易发区，基岩裸露区域宜划为不易发区。

7.1.2.2 地面沉降易发程度分析指标宜包括松散沉积层厚度、地下水开采影响范围内的黏性土层厚度或软土层厚度、地下水主采层数量。

7.1.2.3 地面沉降易发程度分析宜采用加权综合评价模型，其中各指标权重宜通过层次分析法确定，层次分析法计算过程见附录 D。

7.1.2.4 地面沉降易发程度分析流程如下：

- a) 收集指标数据，确定各指标分级标准和等级分值，各指标分级标准与分值见附录 E.1；
- b) 根据工作精度和分析方法要求，将评价区划分为若干计算网格，按公式（1）计算各网格的易发性指数。根据易发性指数计算结果，结合现场调查和专家判断确定分级标准，宜将易发程度划分为极高、高、中、低、极低五个级别；
- c) 将不同级别的网格分别合并，形成易发性分区图。

$$S = \sum_{i=1}^n X_{S,i} W_{S,i} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- S ——易发性指数；
- $X_{S,i}$ ——第*i*个指标等级分值；
- $W_{S,i}$ ——第*i*个指标权重($W_{S,i} > 0, \sum_{i=1}^n W_{S,i} = 1$)；
- i ——第*i*个指标；
- n ——指标个数。

7.1.3 发育程度

7.1.3.1 地面沉降发育程度分析指标宜包括近 5 年平均沉降速率、累计沉降量。各指标分级标准与分值见附录 E.2。

7.1.3.2 地面沉降发育程度分析宜采用加权综合评价模型。结合地面沉降缓变性并逐年累积的特征和地面沉降发育现状，宜将发育程度划分为极强、强、较强、中和弱五个级别。

7.1.4 地下水开采强度

7.1.4.1 地下水开采强度应区分浅层地下水和深层地下水，地下水开采模数分级标准与分值见附录 E.3。

7.1.4.2 宜结合评价区地貌类型和地下水实际开采情况，采用加权综合评价模型，将地下水开采强度划分为极高、高、中、低、极低五个级别。

7.1.4.3 对于地下水开采强度资料难以获取的地区，根据地下水开采实际情况，地下水开采强度可用地下水开采层位的年均水位降幅替代。

7.2 分析方法与流程

7.2.1 地面沉降危险性分析宜采用加权综合评价模型，其中各因子权重宜通过层次分析法确定。

7.2.2 地面沉降危险性分析流程如下：

- a) 收集整理因子与指标数据；
- b) 确定各因子分级标准和等级分值；
- c) 根据工作精度和分析方法要求，划分评价区网格，确定各网格各因子的等级分值；
- d) 确定各因子权重，按公式（2）计算各网格的危险性指数；

$$H = \sum_{i=1}^n X_{H,i} W_{H,i} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- H ——危险性指数；
- $X_{H,i}$ ——第*i*个因子等级分值；
- $W_{H,i}$ ——第*i*个因子权重($W_{H,i} > 0, \sum_{i=1}^n W_{H,i} = 1$)；

i ——第 i 个因子；

n ——因子个数。

e) 根据各网格危险性指数计算结果，按附录 F 的规定进行数据标准化处理，宜将危险性划分为极高、高、中、低、极低五个级别，从低到高对应的归一化危险性指数范围可为 $[0, 0.2]$ 、 $(0.2, 0.4]$ 、 $(0.4, 0.6]$ 、 $(0.6, 0.8]$ 、 $(0.8, 1.0]$ ；

f) 将不同级别的网格分别合并，形成危险性分区图。

8 承灾体易损性分析

8.1 因子与指标

8.1.1 指标体系

承灾体易损性分析的因子与指标见表2。

表2 承灾体易损性分析指标体系

因子	指标	单位
人口密度	人口密度	万人每平方千米
单位面积GDP	单位面积GDP	亿元每平方千米
建设用地比重	建设用地面积比重	百分率(%)
重大线性工程密度	单位面积的高速铁路、城市轨道交通、防汛设施和长距离运输管线等长度	千米每平方千米 (km/km^2)
地下空间密度	单位面积的地下交通、市政、公共服务、物流和防灾减灾等地下开发利用空间面积	百分率(%)
地面高程	地面高程	米(m)

8.1.2 人口密度

应根据人口分布状况等数据资料，按照人口密度大小进行分级，宜划分为极高、高、中、低、极低五个级别。

8.1.3 单位面积 GDP

应根据地区经济状况与发展水平等数据资料，按照单位面积GDP大小进行分级，宜划分为极高、高、中、低、极低五个级别。

8.1.4 建设用地比重

应根据城乡住宅、公共设施、基础设施等建筑物或构筑物的规模等数据资料，按照建设用地面积比重大小进行分级，宜划分为极高、高、中、低、极低五个级别。在分级过程中，宜考虑不同类型建设用地易损性的差别。

8.1.5 重大线性工程密度

应根据高速铁路、城市轨道交通、防汛设施、长距离运输管线等重大线性工程实际分布情况，按照单位面积的重大线性工程长度大小进行分级，宜划分为极高、高、中、低、极低五个级别。

8.1.6 地下空间密度

应根据地下停车场(站)、地下交通场(站)等地下交通空间，地下综合管廊等地下市政空间，地下商场、地下文化休闲等公共服务空间，地下物流空间，地下防灾减灾空间等实际分布情况，按照单位面积的地下空间面积大小进行分级，宜划分为极高、高、中、低、极低五个级别。

8.1.7 地面高程

应根据区域内地面高程数据资料，按照地面高程大小与影响程度进行分级，宜划分为极高、高、中、低、极低五个级别。地面高程为负向指标，其值越大，级别越高，对应的等级分值越小，易损性越低。

8.2 分析方法与流程

8.2.1 承灾体易损性分析宜采用加权综合评价模型，其中各因子权重宜通过层次分析法确定。

8.2.2 承灾体易损性分析流程如下：

- a) 以县（市、区）或镇（街道）为单元，收集整理因子与指标数据；
- b) 确定各因子分级标准和等级分值，因子分级标准与分值见附录 E. 4；
- c) 根据工作精度和分析方法要求，划分评价区网格，确定各网格各因子的等级分值；
- d) 确定各因子权重，按公式（3）计算各网格的易损性指数；

$$V = \sum_{i=1}^n X_{V,i} W_{V,i} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

V ——易损性指数；

$X_{V,i}$ ——第*i*个因子等级分值；

$W_{V,i}$ ——第*i*个因子权重($W_{V,i} > 0, \sum_{i=1}^n W_{V,i} = 1$)；

i ——第*i*个因子；

n ——因子个数。

e) 根据各网格易损性指数计算结果，按附录 F 的规定进行数据标准化处理，宜将易损性划分为极高、高、中、低、极低五个级别，从低到高对应的归一化易损性指数范围可为[0, 0.2]、(0.2, 0.4]、(0.4, 0.6]、(0.6, 0.8]、(0.8, 1.0]；

f) 将不同级别的网格分别合并，形成易损性分区图。

9 地面沉降防灾减灾能力分析

9.1 因子与指标

9.1.1 指标体系

地面沉降防灾减灾能力分析的因子与指标见表3。

表3 地面沉降防灾减灾能力分析指标体系

因子	指标	单位
地面沉降监测设施密度	地面沉降监测设施密度	个每百平方千米
地下水压采强度	单位面积地下水压采量	万立方米每平方千米每年 [$10^4 \text{m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$]
	地下水压采量占开采量比重	百分率（%）
防灾减灾投入	单位面积防灾减灾投入	万元每平方千米

9.1.2 地面沉降监测设施密度

应根据基岩标、分层标、水准点、GNSS点、地下水位监测井等监测设施类型，按照监测设施密度大小进行分级，宜划分为极高、高、中、低、极低五个级别，分级标准与分值见附录E. 5。

9.1.3 地下水压采强度

应根据地下水开采和压采实际资料，按照单位面积地下水压采量和地下水压采量占开采量比重的大小进行分级，宜划分为极高、高、中、低、极低五个级别。

9.1.4 防灾减灾投入

除地面沉降监测设施建设和地下水压采之外，应根据地面沉降调查监测、含水层的天然或人工补给、防灾减灾规划、公共政策等防灾减灾措施实际投入情况，按照单位面积防灾减灾投入大小进行分级，宜划分为极高、高、中、低、极低五个级别。

9.2 分析方法与流程

9.2.1 地面沉降防灾减灾能力分析宜采用加权综合评价模型，其中各因子权重宜通过层次分析法确定。

9.2.2 地面沉降防灾减灾能力分析流程如下：

- a) 收集整理因子与指标数据;
- b) 确定各因子分级标准和等级分值;
- c) 根据工作精度和分析方法要求,划分评价区网格,确定各网格各因子的等级分值;
- d) 确定各因子权重,按公式(4)计算各网格的防灾减灾能力指数;

$$C = \sum_{i=1}^n X_{C,i} W_{C,i} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

C ——防灾减灾能力指数;

$X_{C,i}$ ——第*i*个因子等级分值;

$W_{C,i}$ ——第*i*个因子权重($W_{C,i} > 0, \sum_{i=1}^n W_{C,i} = 1$);

i ——第*i*个因子;

n ——因子个数。

- e) 根据各网格防灾减灾能力指数计算结果,按附录F的规定进行数据标准化处理,宜将防灾减灾能力划分为极高、高、中、低、极低五个级别,从低到高对应的归一化防灾减灾能力指数范围可为 $[0, 0.2]$ 、 $(0.2, 0.4]$ 、 $(0.4, 0.6]$ 、 $(0.6, 0.8]$ 、 $(0.8, 1.0]$;
- f) 将不同级别的网格分别合并,形成防灾减灾能力分区图。

10 地面沉降风险评价与分区

10.1 风险评价

10.1.1 应根据地面沉降危险性、承灾体易损性和地面沉降防灾减灾能力分析结果,提取归一化危险性指数、易损性指数和防灾减灾能力指数。

10.1.2 按公式(5)计算地面沉降风险指数。

$$R = H^* V^* (1 - \alpha C^*) \dots\dots\dots (5)$$

式中:

R ——风险指数;

H^* ——归一化危险性指数;

V^* ——归一化易损性指数;

C^* ——归一化防灾减灾能力指数;

α ——防灾减灾效果系数,根据评价区地面沉降防控效果,按经验取值。年均地面沉降量呈稳定或增加趋势,取值 $0 \sim 0.1$;年均地面沉降量减缓,取值 $0.1 \sim 0.5$ 。

10.1.3 根据风险指数计算结果,宜将地面沉降风险划分为极高、高、中、低、极低五个级别,分级标准应根据归一化危险性指数、易损性指数、防灾减灾能力指数的分级标准及防灾减灾效果系数确定。

10.2 风险分区

10.2.1 合并风险等级相同的评价单元,结合评价区地面沉降历史、现状及承灾体受损情况,划分地面沉降风险分区,形成风险评价分区图。

10.2.2 应根据地面沉降风险等级与分区提出针对性的地面沉降风险防控建议,包括健全地面沉降防治工作体系、建设优化地面沉降监测预警网络、严格控制地下水超采、实施含水层的天然或人工补给,提出区域平均年沉降量、地面沉降严重区面积等控制指标,优化国土空间规划布局等。

10.2.3 地面沉降是导致地裂缝活动的重要因素,地面沉降应结合地裂缝进行一体化风险防控。

11 成果编制

11.1 成果报告

11.1.1 成果报告应在资料高度综合整理的基础上编制,客观反映地面沉降风险评价过程和成果。

11.1.2 成果报告编写提纲见附录G。

11.2 附图

11.2.1 应编制地面沉降现状图、易发性分区图、发育程度分区图、危险性分析图、易损性分析图、防灾减灾能力分析图、风险评价分区图等。

11.2.2 图件应符合下列要求：

- a) 图面应简洁、易懂；
- b) 不同等级分区的图示图例符合附录 H 的规定；
- c) 平面坐标系统应采用 2000 国家大地坐标系，高程基准面应采用 1985 国家高程基准；
- d) 图件比例尺以能便于阅读为宜，不小于 1:250 000；
- e) 图件要素包含图名、图例、标记、比例尺、指北针、镶图和责任表等内容。

11.3 附件

附件宜包括地质环境资料统计表、调（勘）查成果统计表、监测记录等。

11.4 数据库

11.4.1 数据库应包括空间数据库和属性数据库。

11.4.2 数据库建设应包括以下内容：

- a) 项目基本信息，主要包括评价区基本情况、完成的实物工作量表、主要成果表等；
- b) 地面沉降调查监测数据；
- c) 地面沉降风险评价各因子及指标数据；
- d) 地面沉降空间图形数据，包括遥感解译图、实际材料图、孕灾地质条件图、地面沉降现状图和 risk 评价过程和成果图等数据。

11.4.3 数据库建设应按以下要求开展：

- a) 按照数据内容进行分层、分类组织；同一数据层中，按评价区或县（市、区）、镇（街道）行政区等组织；
- b) 图层要素拓扑关系正确，属性数据完整，逻辑一致；
- c) 数据库具有数据查询、统计等功能，建库与更新有机结合；
- d) 数据库建设贯穿并服务地面沉降风险评价全过程。

附录 A
(资料性)

地面沉降风险评价技术设计书编制大纲

A.1 地面沉降风险评价技术设计书包括前言、技术设计依据、评价区概况、工作部署、组织管理及人员安排、预期成果、质量保障与安全措施等部分。

A.2 前言

主要包括项目概况；评价目的和任务；评价区范围；评价意义和作用等。

A.3 技术设计依据

主要包括技术设计书编制的主要原则；评价工作执行的主要技术规范及相关文件等。

A.4 评价区概况

主要包括地形、地貌、气象、水文等条件；地质环境条件；地面沉降发育现状、特征和成因等；以往工作程度等。

A.5 工作部署

主要包括评价内容；评价方法及主要技术要求；技术路线，工作部署等。

A.6 组织管理及人员安排

主要包括组织管理；人员构成与安排；任务分工；质量检查与验收等。

A.7 预期成果

主要包括评价成果报告、图件及数据库等。

A.8 质量保障与安全措施

主要包括质量保障措施；安全保密及劳动保护措施；项目风险及不确定分析等。

附录 B
(资料性)

地面沉降风险评价数据内容及来源

地面沉降风险评价数据内容及来源见表B.1。

表B.1 地面沉降风险评价数据内容及来源

类型	数据内容	数据来源
危险性	松散沉积层厚度，地下水开采影响范围内的黏性土层厚度或软土层厚度，地下水主采层数量	区域地质、水工环地质调查与监测成果，比例尺精度宜不低于 1:50 000
	近 5 年平均沉降速率，地面沉降监测记录以来的累计沉降量	监测数据宜采用地面水准测量数据或 InSAR 监测数据等，精度为毫米级；在监测资料空白区或资料较少时，宜优先选用 InSAR 技术获取地面沉降现状及多年变化数据，并用地面水准测量、GNSS 等数据进行校核
	地下水开采模数或地下水开采层位的年均水位降幅	水利部门、自然资源部门水资源调查监测成果
易损性	人口密度	最新统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报、人口普查公报和全国国土调查数据、地方政府土地使用及规划等资料
	单位面积 GDP	
	建设用地面积比重	
	单位面积的高速铁路、城市轨道交通、防汛设施和长距离运输管线等长度	
	单位面积的地下交通、市政、公共服务、物流和防灾减灾等地下开发利用空间面积	
防灾减灾能力	地面高程	地面沉降调查与监测成果
	地面沉降监测设施密度	
	单位面积地下水压采量，地下水压采量占开采量比重	
	单位面积防灾减灾投入	地面沉降调查与监测成果

附录 C

(资料性)

常用的地面沉降监测技术手段

表C.1给出了常用的地面沉降监测技术手段，包括InSAR监测、GNSS监测、水准监测、基岩标、分层标监测以及地下水位和孔隙水压力监测等。

表C.1 常用的地面沉降监测技术手段

技术手段	适用条件	监测频率	监测精度
InSAR 监测	快速获取较大范围地面沉降信息。在地面沉降野外调查之前，宜利用InSAR 技术进行区域地面沉降调查，圈定地面沉降严重区	监测频率宜为 1~2 次每年，可根据地面沉降速率及季节变化特点等情况增加监测频率	D-InSAR, PS-InSAR, SBAS-InSAR, CR-InSAR 监测精度要求符合 DZ/T 0154 的有关规定
GNSS 监测	具有观测时间短，观测作业简便，布点灵活，可以进行全天候连续监测等优点；为保证获取高精度的监测数据，网点布置宜顾及 GNSS 观测点对周边环境的要求	监测频率符合 GB/T 18314 和 DZ/T 0154 的有关规定	监测精度要求符合 GB/T 18314 和 DZ/T 0154 的有关规定
水准监测	具有布设、测量灵活的特点，适用范围十分广泛；一、二等水准测量用作地面沉降稳定可靠的监测手段	区域地面沉降监测宜为 1 次每年；重大工程沿线地面沉降监测宜为 1~2 次每年，重点区段可按需加密监测频率	监测精度要求符合 GB/T12897 和 DZ/T 0154 的有关规定
基岩标、分层标监测	基岩标是埋设在稳定基岩的地面水准观测标志，可以作为区域地面沉降测量和分层标测量的基准；分层标是埋设在特定深度土层中测量其垂向变形量的地面水准观测标志，可以测量松散土层变形量	人工观测频率不少于 1 次每月，自动化监测可根据地面沉降速率变化情况适当加密	监测精度要求符合 DZ/T 0154 有关规定
地下水位和孔隙水压力监测	在分层标（组）布设时，宜在同层次含水层同步布设地下水监测井，在同层次黏性土层同步布设孔隙水压力监测孔，获取地下水位与孔隙水压力数据，支撑地面沉降机理与防治研究	地下水位、孔隙水压力监测频率不少于 1 次每月；自动化技术监测频率可根据需要加密，不少于 1 次每天	地下水位监测精度允许偏差为±0.01m；孔隙水压力监测精度不宜低于 0.5% F. S，分辨率不宜低于 0.2% F. S

附录 D
(资料性)
层次分析法计算过程

D.1 构造两两比较判断矩阵

D.1.1 对某一准则,采用两两相互比较的方式确定元素*i*和元素*j*哪一个更重要、重要的程度如何,按1~9比例标度对重要性程度赋值,比例标度含义见表D.1。

表D.1 比例标度表

元素 <i>i</i> 比元素 <i>j</i>	量化值
<i>i</i> 比 <i>j</i> 同等重要	1
<i>i</i> 比 <i>j</i> 稍微重要	3
<i>i</i> 比 <i>j</i> 明显重要	5
<i>i</i> 比 <i>j</i> 强烈重要	7
<i>i</i> 比 <i>j</i> 极端重要	9
<i>i</i> 比 <i>j</i> 稍微不重要	1/3
<i>i</i> 比 <i>j</i> 明显不重要	1/5
<i>i</i> 比 <i>j</i> 强烈不重要	1/7
<i>i</i> 比 <i>j</i> 极端不重要	1/9
两相邻判断的中间值	2, 4, 6, 8, 1/2, 1/4, 1/6, 1/8

D.1.2 对于*n*个元素之间相对重要性的比较得到一个两两比较判断矩阵*A*, 见公式D.1。

$$A=(a_{ij})_{n \times n} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- A* ——判断矩阵;
- a_{ij}* ——第*i*行与第*j*列元素重要性比例标度值。

D.1.3 判断矩阵*A*具有下列性质:

- a_{ij}* > 0;
- a_{ij}* = 1/*a_{ji}*;
- a_{ii}* = 1。

D.2 层次单排序

D.2.1 判断矩阵*A*每一个元素除以其所在列元素之和得到*b_{ij}*, 见公式(D.2)。

$$b_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

- b_{ij}* ——按列归一化后的判断矩阵元素。

D.2.2 将归一化后的判断矩阵元素*b_{ij}*按行相加得到*w_i*, 见公式D.3。

$$\bar{w}_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

- w_i* ——按行相加得到的第*i*行元素。

D.2.3 *w_i*除以其所在列的元素之和得到*w_i*, 见公式D.4。

$$w_i = \bar{w}_i / \sum_{i=1}^n \bar{w}_i \dots\dots\dots (D.4)$$

式中:

w_i ——第*i*行元素的归一化元素。

D. 2. 4 整理归一化后的列向量，即为各因素对某一准则的权重，见公式D. 5。

$$w=[w_1, w_2, \dots, w_n]^T \dots\dots\dots (D. 5)$$

式中：

w ——最终的权重向量。

D. 3 一致性检验

D. 3. 1 计算一致性指标CI，见公式D. 6和D. 7。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{nw_i} \dots\dots\dots (D. 6)$$

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n-1} \dots\dots\dots (D. 7)$$

式中：

λ_{\max} ——判断矩阵的最大特征值；

A ——判断矩阵；

w ——最终的权重向量；

w_i ——第*i*行元素的归一化元素；

CI ——一致性指标。

D. 3. 2 计算一致性比例CR，见公式D. 8。

$$CR=CI/RI = (\lambda_{\max} - n)/[(n - 1) \times RI] \dots\dots\dots (D. 8)$$

式中：

CR ——一致性比例；

RI ——随机一致性指标，其和判断矩阵的阶数有关。

D. 3. 3 对于1-15阶正互反矩阵计算1000次得到的随机一致性指标RI值见表D. 2。

表D. 2 随机一致性指标 RI 值

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41
阶数	9	10	11	12	13	14	15	
RI	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59	

D. 3. 4 如果 $CR < 0.1$ ，则认为该判断矩阵通过一致性检验，否则就不具有满意一致性，需要对判断矩阵进行调整。

D. 4 层次总排序

D. 4. 1 计算某一层所有因素对最高层总目标相对重要性的权重值，从最高层次到最低层次依次进行。

D. 4. 2 对层次总排序作一致性检验，同样由最高层次到最低层次依次进行，如果一致性比例 $CR < 0.1$ ，则判断矩阵的一致性可以接受；否则，需要重新调整判断矩阵。

附录 E
(资料性)

地面沉降风险评价各因子及指标等级划分

E.1 地面沉降易发程度各指标分级赋值

地面沉降易发程度各指标分级赋值见表E.1。

表E.1 地面沉降易发程度各指标分级赋值表

指标	等级	分级标准	分值
松散沉积层厚度 m	极低	<50	1
	低	50~150	2
	中	150~250	3
	高	250~350	4
	极高	≥350	5
软土层厚度 m	极低	<5	1
	低	5~10	2
	中	10~20	3
	高	20~30	4
	极高	≥30	5
地下水开采影响范围内的黏性土层厚度 m	极低	<30	1
	低	30~100	2
	中	100~150	3
	高	150~200	4
地下水主采层数量 个	低、极低	1	1~2
	中	2	3
	高、极高	≥3	4~5

注：软土层厚度和地下水开采影响范围内的黏性土层厚度选取一项即可。河口三角洲地区宜选取软土层厚度，其他平原和盆地宜选取地下水开采影响范围内的黏性土层厚度。

E.2 地面沉降发育程度各指标分级赋值

地面沉降发育程度各指标分级赋值见表E.2。

表E.2 地面沉降发育程度各指标分级赋值表

指标	等级	分级标准	分值
近5年平均沉降速率 mm/a	弱	<10	1
	中	10~30	2
	较强	30~50	3
	强	50~80	4
	极强	≥80	5
累计沉降量 mm	弱	<300	1
	中	300~800	2
	较强	800~1000	3
	强	1000~1500	4
	极强	≥1500	5

E.3 地下水开采强度各指标分级赋值

地下水开采强度各指标分级赋值见表E.3。

表E.3 地下水开采强度各指标分级赋值表

指标	等级	分级标准	分值
浅层地下水开采模数 $10^4\text{m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$	极低	<3	1
	低	$3\sim 5$	2
	中	$5\sim 10$	3
	高	$10\sim 15$	4
	极高	≥ 15	5
深层地下水开采模数 $10^4\text{m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{a}$	极低	<1	1
	低	$1\sim 3$	2
	中	$3\sim 5$	3
	高	$5\sim 10$	4
	极高	≥ 10	5

E.4 承灾体易损性各因子分级赋值

承灾体易损性各因子分级赋值见表E.4。

表E.4 承灾体易损性各因子分级赋值表

因子	等级	分级标准	分值
人口密度 万人每平方千米	极低	<0.1	1
	低	$0.1\sim 0.3$	2
	中	$0.3\sim 0.8$	3
	高	$0.8\sim 1.5$	4
	极高	≥ 1.5	5
单位面积GDP 亿元每平方千米	极低	<1	1
	低	$1\sim 5$	2
	中	$5\sim 15$	3
	高	$15\sim 30$	4
	极高	≥ 30	5
建设用地比重 %	极低	<20	1
	低	$20\sim 40$	2
	中	$40\sim 60$	3
	高	$60\sim 80$	4
	极高	≥ 80	5
重大线性工程密度 km/km^2	极低	<0.2	1
	低	$0.2\sim 0.4$	2
	中	$0.4\sim 0.8$	3
	高	$0.8\sim 1.5$	4
	极高	≥ 1.5	5
地下空间密度 %	极低	<1	1
	低	$1\sim 5$	2
	中	$5\sim 10$	3
	高	$10\sim 15$	4
	极高	≥ 15	5
地面高程 m	极低	<3.0	5
	低	$3.0\sim 3.5$	4
	中	$3.5\sim 4.0$	3
	高	$4.0\sim 4.5$	2
	极高	≥ 4.5	1

E.5 地面沉降监测设施密度分级赋值

地面沉降监测设施密度分级赋值见表E.5。

表E.5 地面沉降监测设施密度分级赋值表

指标	等级	分级标准	分值
地面沉降监测设施密度 个每百平方千米	极低	<10	1
	低	10~30	2
	中	30~50	3
	高	50~100	4
	极高	≥100	5

附 录 F
(规范性)
指数标准化计算方法

公式(F.1)规定了地面沉降危险性、承灾体易损性和地面沉降防灾减灾能力指数标准化计算方法。

$$I^* = \frac{I - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \dots\dots\dots (F.1)$$

式中：

I^* ——无量纲化处理后的指数值；

I ——指数值；

I_{max} ——指数最大值；

I_{min} ——指数最小值。

附录 G

(资料性)

地面沉降风险评价成果报告编写提纲

- G.1 地面沉降风险评价成果报告包括前言、自然地理与区域地质环境概况、地面沉降发育特征及成因、地面沉降风险评价体系与数据来源、地面沉降风险评价与分区、结论与建议、参考文献、主要附图、附件等部分。
- G.2 前言主要包括以下内容：
- 项目概况；
 - 评价区概况（地理位置、行政区划、社会经济概况等）；
 - 以往工作概述；
 - 工作部署及完成情况；
 - 质量评述。
- G.3 自然地理与区域地质环境概况主要包括以下内容：
- 自然地理；
 - 地形地貌；
 - 基础地质；
 - 水文地质；
 - 工程地质。
- G.4 地面沉降发育特征及成因主要包括以下内容：
- 地面沉降发育历史；
 - 地面沉降现状特征；
 - 地面沉降危害分析；
 - 地面沉降影响因素及成因。
- G.5 地面沉降风险评价体系与数据来源主要包括以下内容：
- 地面沉降风险评价体系；
 - 地面沉降风险评价数据来源。
- G.6 地面沉降风险评价与分区主要包括以下内容：
- 地面沉降危险性分析；
 - 承灾体易损性分析；
 - 地面沉降防灾减灾能力分析；
 - 地面沉降风险评价与分区（计算风险指数，划定风险等级及分区，提出风险防控措施建议，预测采取防控措施后地面沉降发展趋势）。
- G.7 结论与建议主要包括以下内容：
- 结论；
 - 建议。
- G.8 参考文献
- G.9 主要附图主要包括以下内容：
- 地面沉降现状图（根据 InSAR、水准等监测数据，绘制近 5 年平均地面沉降速率分布图、现状年地面沉降速率分布图、有监测记录以来的累计地面沉降量分布图等）；
 - 地面沉降易发性分区图；
 - 地面沉降发育程度分区图；
 - 地面沉降危险性分析图；
 - 承灾体易损性分析图；
 - 地面沉降防灾减灾能力分析图；
 - 地面沉降风险评价分区图；

h) 其他图件（包括地下水开采强度分布图、地下水位变差图等）。

G.10 附件主要包括以下内容：

- a) 地面沉降调查表；
- b) 地质环境资料统计表；
- c) 调（勘）查成果统计表；
- d) 监测记录等。

附录 H
(规范性)

地面沉降风险评价不同等级分区图示图例

表 H.1 规定了地面沉降风险评价不同等级分区图示图例。

表 H.1 地面沉降风险评价不同等级分区图示图例

等级分区				颜色	RGB值			CMYK值			
危险性	易损性	防灾减灾能力	风险		R	G	B	C	M	Y	K
极高	极高	极低	极高		230	0	0	10	100	100	0
高	高	低	高		255	85	0	0	67	100	0
中	中	中	中		255	255	115	0	0	55	0
低	低	高	低		233	255	190	9	0	25	0
极低	极低	极高	极低		163	255	115	36	0	55	0

注1: RGB (R即Red红色, G即Green绿色, B即Blue蓝色), RGB数值范围为0~255。
 注2: CMYK (C即Cyan青色, M即Magenta品红色, Y即Yellow黄色, K即Black黑色), CMYK数值范围为0~100。

参 考 文 献

- [1] GB/T 40112 地质灾害危险性评估规范
 - [2] GB/T 41925 城市地下空间与地下工程分类
 - [3] GB/T 50021 岩土工程勘察规范
 - [4] GB/T 50279 岩土工程基本术语标准
 - [5] DZ/T 0282 水文地质调查规范（1:50000）
 - [6] DZ/T 0284 地质灾害排查规范
 - [7] DZ/T 0438 地质灾害风险调查评价规范（1:50000）
 - [8] 许树柏编著. 层次分析法原理 实用决策方法[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988
-