

区域性场地地震安评中地震液化判别方法研究

朱新建

(河北省水文工程地质勘察院(河北省遥感中心), 石家庄 050021)

摘要: 土体的液化现象是地震导致的破坏主要原因之一,对液化进行准确判别成为研究的重点,因此地震液化判别在区域性场地地震安全性评价中是一项很重要的工作。为确保评价结果的准确性和可靠性,以张家口市阳原经济开发区2号地块区域地震安全性评价项目为研究背景,研究在区域性场地地震安全性评价中进行地震液化评价的方法和过程,通过对地震液化判别方法的研究,以期为地震安全性评价工作提供科学依据,以提高地震安全性评价的准确性和可靠性。研究成果对如何进行区域性场地开展地震液化评价有一定的参考和指导意义。

关键词: 地震液化; 安全评价; 区域性; 液化判别

中图分类号: P511.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)10-0187-05

地震液化是在地震力(或其他动力荷载)作用下,饱和疏松砂土、粉土等土体发生颗粒移动和变密倾向,抗剪强度或剪切刚度降低并趋于消失,颗粒悬浮在水中,土体发生振动液化,完全丧失强度和承载能力。地震液化作为一种自然灾害,会对建筑物、基础设施以及生态环境造成严重破坏,引发地面变形、地面沉降、地裂缝等现象。此外,地震液化还可能诱发滑坡、泥石流等地质灾害。

场地地震液化判别是一个复杂的问题,需要考虑多种因素的综合影响,目前虽然取得了一定的研究成果,但仍需进一步深入研究和完善,尤其对于复杂地质条件下的场地地震液化判别仍需深入研究。本文针对区域性场地地震安全评价中的地震液化判别方法进行了深入探讨,目的在于为地震安全性评估提供科学依据,同时,未来研究应持续探索并发展更为精确、高效的地震液化判别方法,为地震防灾减灾工作提供全面的技术支持。本次研究成果对类似项目具有一定的借鉴和指导价值。

1 研究区基本情况

以阳原经济开发区工业片区区域地震安全性评价项目中2号地块为工作研究区,工业片区位于张家口市阳原县阳原经济开发区内,其中工业片区的2号地块重点发展新型能源、高端制造、现代农牧等生产加工型产业,研究范围为2号地块规划红线范围,共占地1.47 km²(图1)。



图1 研究区位置示意图

2 勘探工作布置及实施

结合国家标准《工程场地地震安全性评价》(GB17741—2005)的有关规定,共设计布置勘探孔8个,相邻钻孔间距离不大于700 m,钻孔距离边界线不大于350 m,研究区钻孔布置如图2所示,钻孔基本情况如表1所示。

3 研究区基本条件

3.1 地形地貌

研究区位于张家口阳原县经济开发区,研究区南侧用地边界距离桑干河约2 km,场地地貌属于山

收稿日期: 2024-01-15

作者简介: 朱新建(1979—),男,江苏泰兴人,高级工程师,研究方向为工程地质、岩土工程、地质灾害等。



图2 研究区钻孔布设位置示意图

表1 研究区布设钻孔基本情况

序号	钻孔编号	钻孔类型	孔深/m	孔口高程/m
1	DK1	标准贯入试验钻孔	85	881.43
2	DK2	取土兼标准贯入试验钻孔	85	882.54
3	DK3	取土兼标准贯入试验钻孔	85	862.69
4	DK4	标准贯入试验钻孔	100	857.29
5	DK5	标准贯入试验钻孔	85	847.15
6	DK6	取土兼标准贯入试验钻孔	85	858.28
7	DK7	标准贯入试验钻孔	100	859.37
8	DK8	标准贯入试验钻孔	85	861.64

前倾斜平原区,现场钻孔地面高程为 857.15~882.59 m,场地整体地势由西北向东南倾斜,勘查期间,研究区场地范围内微地貌以施工厂房、道路、荒地、耕地及林地为主。

3.2 场地地层岩性

根据中国区域地质志-河北志的相关内容,研究区场地地处阳原盆地内,所在区域第四系地层厚为 200~300 m,场地地面以下 100 m 深度范围内地层主要为第四系更新统坡洪积、冲湖相沉积物,自上而下分别为:第四系人工堆积物(Qs),主要为黄褐色粉土;第四系更新统郝家台组上部(Qp³h),以坡洪积的黄褐色、灰色、灰黄色的粉质黏土、粉土为主,局部夹中砂透镜体;第四系更新统郝家台组中下部(Qp¹⁻²h),以冲积、湖相沉积的灰褐色、灰色、灰黑色的粉质黏土、粉土为主,局部可见砂纸胶结及方解石结晶等;第四系更新统泥河湾组(Qp¹n),以湖相沉积棕褐色、灰褐色、灰色的粉质黏土、粉土为主。

3.3 场地水文地质条件

研究区范围内无常年性河流,仅在出现强降雨的情况下才有短暂洪流沿沟谷排向下游。

研究区范围内地下水类型主要为第四系孔隙水,地下水稳定水位埋深 2.2~8.6 m。第四系孔隙水:河川盆地孔隙水区,以松散岩类的砂、砾石、卵石为主要赋水层,地下水集中在盆地的古河道之中,该地下水来源于大气降水入渗和基岩裂隙水补给,水位埋深浅是其主要特点。

3.4 地质构造与地震

3.4.1 地质构造

研究区位于阳原县经济开发区区域范围内,阳原县位于天山—阴山纬向构造带南缘。祁吕贺兰山字形构造东翼反射弧与新华夏构造体系之斜接复合部,属轴为北东向的多字型构造盆地,为冀西北雁状排列断陷盆地之一。

境内断裂带全长 88.2 km,东西延伸,其走向大致与桑干河流向相吻合,性质属于特大型正断层。

向斜构造在浮图讲乡圪料村到马圈堡乡赵家沟一带,走向北东 60°,倾向东南,倾角 25°左右,向斜轴部在赵家沟村南 600 m 处。盆地中,沉积矿产及动植物化石丰富,不少地层单元成为我国乃至世界标准地层,为著名的泥河湾地层。

研究区范围内岩浆活动比较微弱。

3.4.2 地震

研究区的地震动峰值加速度为 0.15g(g 为重力加速度),反应谱特征周期 0.40 s,研究区域符合Ⅶ度设防标准,设计地震分组为第二组。

4 地震液化判别方法研究

首先对研究区场地地层进行初步判别,根据初判结果,场地存在可液化土层且具液化可能性时,分别对地面以下 10 m 深度内和 10~30 m 深度范围的可液化土层进行地震液化判别。

4.1 初步判别

初步判别是根据直接震害经验和影响液化的宏观地质因素来定性判别,各种规范和规程对初判的规定基本相同。初步判别为不液化或不考虑液化影响的场地则不需要进行液化可能性的详判,当符合下列条件之一时,可初步判别为不液化或可不考虑液化影响:

①地质年代为第四纪晚更新世及其以前时,Ⅶ度、Ⅷ度时可判断为不液化;

②粉土的黏粒(粒径≤0.005 mm 的颗粒)含量百分率,7°、8°、9°分别≤10°、13°、16°时,可判别为不液化土。

4.2 地震液化判别方法

根据标贯试验击数对地面以下 10 m 内和 10~

30 m 深度范围内饱和砂土、粉土采用不同的液化判别方式进行液化判别。当饱和土标准贯入锤击数 N (未经杆长修正)小于或等于液化判别标准贯入锤击数临界值 N_{cr} 时,应判别为液化土。

(1)在地面下 10 m 深度范围内:

液化判别标准贯入锤击数临界值计算公式为

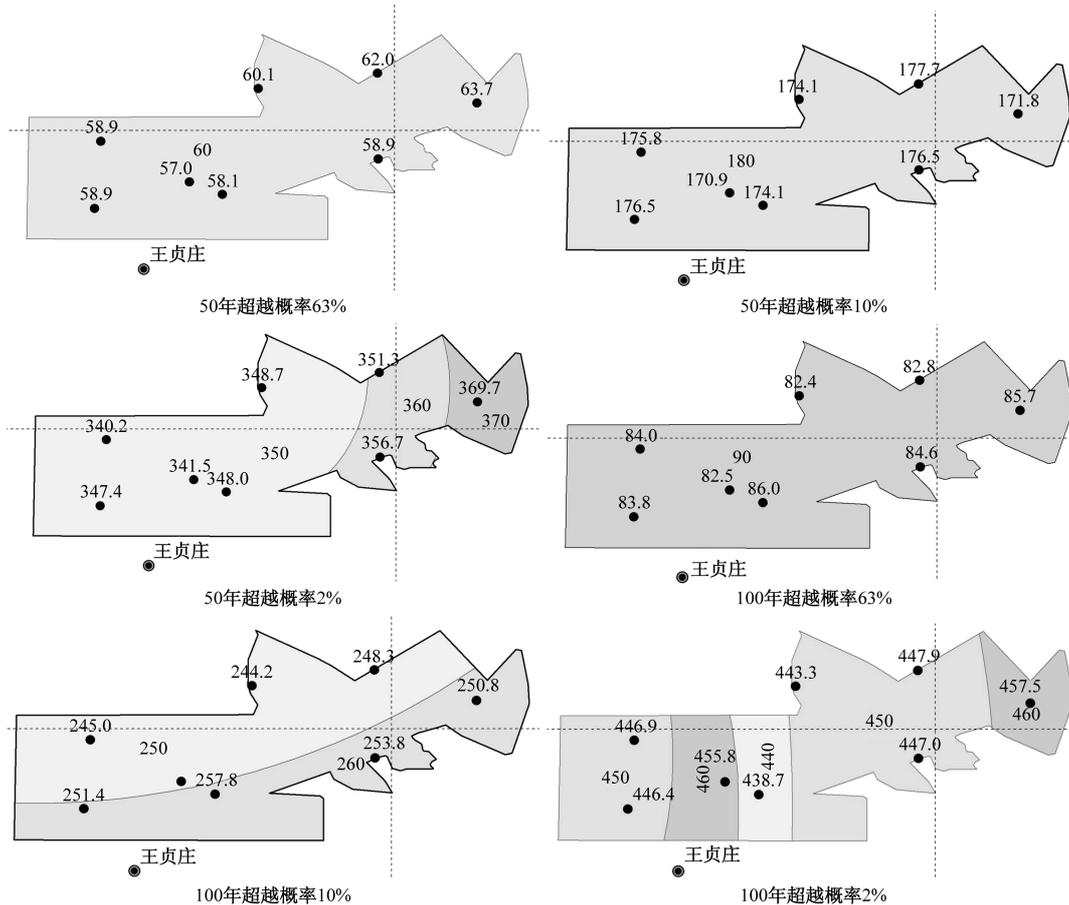
$$N_{cr} = N_0 \beta [\ln(0.6d_s + 1.5) - 0.1d_w] \sqrt{3/\rho_c} \quad (1)$$

式中: N_{cr} 为液化判别标准贯入锤击数临界值; N_0 为对应不同地震动峰值加速度(g)对应的标准贯入锤击数基准值; d_s 为饱和土标准贯入点深度,m; d_w 为地下水位,m; ρ_c 为黏粒含量百分率,当小于 3 或为砂土时,应采用 3; β 为调整系数,按不同设计地震分组取值。

表 2 液化判别标准贯入锤击数基准值

地震动加速度峰值/ g	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
液化判别标准贯入锤击数基准值(N_0)	7	10	12	16	19

(2)地面以下 10~30 m 深度范围:



单位:gal

图 3 不同概率下场地地表水平向地震动峰值加速度分区

《区域地震安全性评价工作大纲(试行)》中规定可采用标准贯入试验判别法进行判别,液化判别标准贯入击数临界值 N_{cr} 计算公式为

$$N_{cr} = \gamma \beta_0 \frac{58\alpha_{max}}{\alpha_{max} + 0.4} (1 - 0.02d_w) (0.27 + \frac{d_s}{d_s + 0.62}) \sqrt{3/\rho_c} \quad (2)$$

式中: γ 为工作等级系数,取 1.0; α_{max} 为场地各钻孔对应地震动峰值加速度, g 。

5 研究区场地地震动峰值加速度

场地地震动峰值加速度是基于场地地震反应分析所给出的场地地表地震动参数值,对 50 年超越概率 63%、10%、2%与 100 年超越概率 63%、10%、2%的地震动参数峰值加速度(gal)进行分区(图 3),并以等值线形式表示研究区地震动参数分区结果。

在 0~10 m 的范围内,钻孔液化判别时地震动峰值加速度采用场地内地震动峰值加速度,其值根据不同的地震加速度分档统计范围值进行分档取值,其分档值如表 3 所示。

在 10~30 m 的范围内,钻孔液化判别时地震

表 3 0~10 m 范围内地震动峰值加速度
(1g=980 gal)分档规定值

加速度分档/g	参数值范围/g
<0.05	<0.04
0.05	[0.04,0.09)
0.10	[0.09,0.14)
0.15	[0.14,0.19)
0.20	[0.19,0.28)
0.30	[0.28,0.38)
≥0.40	≥0.38

动峰值加速度按土层地震反应不同超越概率水准下各钻孔土层地表加速度峰值实际计算值进行取值(表 4)。

6 液化判别

(1)在 0~10 m 的范围:

根据研究区钻探结果,按勘探期间现状水位和历史最高水位(0.0 m)对 0~10 m 的土层的液化判别情况进行判别。在 0~10 m 范围内,50 年超越概率 63%、10%、2%和 100 年 63%、10%、2%分别对应的加速度归档值计算统计如表 4 所示。

(2)在 10~30 m 的范围:

表 4 不同超越概率下加速度归档值一览

超越概率	0~10 m 计算采用加速度归档值/g
50 年 63%	0.05
50 年 10%	0.15
50 年 2%	0.30
100 年 63%	0.05
100 年 10%	0.20
100 年 2%	0.40

λ 为工作等级系数,取 1.0; β_0 为调整系数,场地位于基本地震动加速度反应谱特征周期 0.40 s 分区内场地,故取 1.00; a_{max} 为场地地震动峰值加速度, m/s^2 ,按土层地震反应不同超越概率水准下的钻孔土层地表加速度峰值实际计算值取值。

依据不同超越概率下场地地表水平向地震动峰值加速度分区如表 5 所示,土层地震反应不同超越概率水准下的钻孔土层地表加速度峰值按表 5 取值。

7 判别结果

研究区 0~30 m 深度范围内可能液化的地层为粉土、中砂层。根据液化判别结果,本场地不同概率水准下研究区场地地震液化情况统计如表 6 和表 7 所示。

表 5 场地钻孔不同超越概率下地表水平向地震动峰值加速度

钻孔编号	地表水平向地震动峰值加速度/($m \cdot s^{-2}$)					
	超越概率					
	50 年 63%	50 年 10%	50 年 2%	100 年 63%	100 年 10%	100 年 2%
DK1	0.059	0.177	0.347	0.084	0.251	0.446
DK2	0.059	0.176	0.340	0.084	0.245	0.447
DK3	0.057	0.171	0.342	0.083	0.249	0.456
DK4	0.058	0.174	0.348	0.086	0.258	0.439
DK5	0.059	0.177	0.357	0.085	0.254	0.447
DK6	0.064	0.172	0.370	0.086	0.251	0.456
DK7	0.062	0.178	0.351	0.083	0.248	0.448
DK8	0.060	0.174	0.349	0.082	0.244	0.443

表 6 研究区现状水位地震砂土液化情况

超越概率	30 m 内液化地层	发生液化的孔位统计	超越概率	30 m 内液化地层	发生液化的孔位统计
50 年 63%	粉土	均不液化	100 年 63%	粉土	均不液化
	中砂	均不液化		中砂	均不液化
	其他地层	均不液化		其他地层	均不液化
50 年 10%	粉土	均不液化	100 年 10%	粉土	DK8 存在液化
	中砂	存在液化		中砂	DK5 存在液化
	其他地层	均不液化		其他地层	均不液化
50 年 2%	粉土	DK8 存在液化	100 年 2%	粉土	DK4、DK6、DK8 存在液化
	中砂	DK5 存在液化		中砂	DK5 存在液化
	其他地层	均不液化		其他地层	均不液化

表7 研究区按历史最高水位地震砂土液化情况

超越概率	30 m内液化地层	发生液化的孔位统计	超越概率	30 m内液化地层	发生液化的孔位统计
50年63%	粉土	均不液化	100年63%	粉土	均不液化
	中砂	均不液化		中砂	均不液化
	其他地层	均不液化		其他地层	均不液化
50年10%	粉土	DK5存在液化	100年10%	粉土	DK5存在液化
	中砂	均不液化		中砂	均不液化
	其他地层	DK2、DK3、DK4、DK8、DK10存在液化		其他地层	DK2、DK3、DK4、DK6、DK8、DK10存在液化
50年2%	粉土	DK5存在液化	100年2%	粉土	DK5存在液化
	中砂	均不液化		中砂	均不液化
	其他地层	均不液化		其他地层	均不液化

8 结论

本文以阳原经济开发区2号地块区域性地震安全性评价项目为背景,探讨了在进行区域性场地地震安全评价过程中,如何实施区域性场地地基土液化判别的工作方法。在区域性场地地震安全评价中,地基土液化判别是一项至关重要的工作。在判别过程中,根据初判结果,当场地存在可液化土层并具有液化可能性时,分别针对地面以下10 m深度内、10~30 m深度范围的可液化土层,采用不同的参数和判别公式进行地震液化判别。此外,根据不同概率水准下的地震动峰值加速度,对研究区的场地地震液化进行判别。选取50年超越概率分别为63%、10%、2%以及100年超越概率分别为63%、10%、2%等不同概率水准下的地震动峰值加速度进行液化判别,相关研究过程及方法对其他类似项目具有一定的参考和指导价值。

参考文献

- [1] 胡庆, 汤勇, 朱萌, 等. 饱和砂土地基地震液化深度的试验研究[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(35): 15188-15193.
- [2] 安军海, 闫宏锦, 赵志杰, 等. 地铁车站结构上穿可液化土层地震响应分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(17): 7080-7088.
- [3] 李雪, 曾毓燕, 郁飞, 等. 基于地面运动强度及标准贯入试验的上海地区砂土地震液化评价[J]. 地质力学学报, 2021, 27(6): 998-1010.
- [4] 杨玉生, 刘小生, 赵刻明, 等. 土体地震液化评价方法及其优融点和适用条件[J]. 水利水电技术, 2019(8): 185-194.
- [5] 朱贵兵. 地震液化机理、判别及其危害性评价[J]. 发展与创新, 2019(2): 233-234.
- [6] 张焜, 李平, 辜俊儒, 等. 砂土液化判别方法研究的若干进展[J]. 防灾科技学院学报, 2019(21): 10-14.
- [7] 张轩. 砂土地基地震液化处理方法初步研究[J]. 西部探矿工程, 2014(4): 4-6.

Research on the Discrimination Method of Seismic Liquefaction in Regional Field Seismic Safety Evaluation

ZHU Xinjian

(Hebei Institute of Hydrological Engineering and Geological Exploration (Hebei Remote Sensing Center), Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: The liquefaction of soil is one of the main causes of damage caused by the earthquake. Accurate discrimination of liquefaction has become the focus of research. Therefore, the seismic liquefaction discrimination is a very important work in the regional site seismic safety evaluation. To ensure the accuracy and reliability of the evaluation results, Taking the regional seismic safety evaluation project of Plot 2 of Yangyuan Economic Development Zone, Zhangjiakou City as the research background, the methods and processes of seismic liquefaction evaluation in the seismic safety evaluation of regional sites was studied, in order to provide a scientific basis for the seismic safety evaluation work. The research results can provide a reference and guiding significance for how to carry out seismic liquefaction evaluation on regional sites.

Keywords: earthquake liquefaction; safety evaluation; regional; discriminative method