

DOI: 10.13512/j.hndz.2014.01.006

渭南市地震小区划地震工程地质分区

田勤虎¹, 李 晋², 李晓妮¹, 许俊奇¹, 竹 霞³

(1. 陕西省地震局, 陕西 西安 710068; 2. 广东省地震局, 广东 广州 510070
3. 长安大学, 陕西 西安 710054)

摘要: 渭南市位于华北地台鄂尔多斯地块南缘渭河断陷盆地中西部, 固市凹陷西南缘, 地貌单元主要为渭河漫滩和 I、II、III 级阶地。通过钻孔勘探、剪切波速测试、地基土的物理力学性质及地脉动测试, 结合场地地下水等资料, 将小区划场地划分为四个 I 级工程地质亚区和九个 II 级工程地质段, 从而为地震小区划场地设计地震动参数和评价场地地震地质灾害提供基础资料。

关键词: 地震小区划; 小区划场地; 地震工程地质分区; 工程地质亚区; 工程地质段

中图分类号: P315.912 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2014) 01-0043-05

Earthquake Engineering Geological Zoning of Weinan Earthquake Micro-zoning

TIAN Qinhu¹, LI Jin², LI Xiaoni¹, XU Junqi¹, ZHU Xia³

(1. *Earthquake Administration of Shanxi Province, Xi'an 710068, China;*
2. *Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China;*
3. *Chang'an University, Xi'an 710054, China*)

Abstract: Weinan city is in located in the midwest of Weihe rift basin, southe west margin of Gushi depression, southern margin of the Ordos block in the north china platform. The main geomorphologic units is the floodplain, the first terraces, the secondary terraces and the third terraces of Weihe river. By using the drilling exploration, the shear wave velocity tests, the character of physical mechanics of foundation soil, the ground-micro-tremor-signals tests and the groundwater, we divided the micro-zoning site into four engineering geological area of level I and nine engineering geological section of level II, Which provides the basis material for the design ground motion parameter and seismic geological hazard evaluation in site.

Keywords: Earthquake micro-zoning; Micro-zoning Site; Earthquake engineering geological zoning; Engineering geological area; Engineering geological section

收稿日期: 2012-11-12

基金项目: “十一五”防震减灾“关中四城市地震小区划项目”(SCZC2009-023)资助

作者简介: 田勤虎, 男, 1982年生, 硕士, 工程师, 现主要从事城市地震小区划、城市活断层探测及地震安全性评价等震害防御工作。

E-mail: glorich@126.com.

0 引言

渭南市地震工程地质分区是渭南市地震小区划项目的重要组成部分,同时也是城市地质工作的重要组成部分^[1]。它围绕区划范围,在充分利用和收集已有资料的基础上,开展野外地质调查、场地勘察等工作^①。利用地貌、地层、岩性组合^[2]、波速、地下水等因素,编制地震工程地质分区图,为场地设计地震动参数和评价场地地震地质灾害提供资料和数据^[3,4]。

地震工程地质分区对地震动参数分区有一定的控制作用。早在上世纪 80 年代,陕西省地震局就进行了渭南市地震小区划项目,对小区划场地进行了地震工程地质分区。但限于当时经费和技术条件,以及规划范围的限制,仅对城区附近做了分区,且研究程度较低。随着社会经济的发展,渭南市市区规模急剧扩大,2020 年的规划范围已远远大于从前。所以,对新的规划范围进行地震工程地质分区势在必行。

1 渭南市地震地质构造概况

1.1 地震构造特征

渭南市位于华北地台鄂尔多斯地块南缘渭河断陷盆地的中西部,固市凹陷西南缘。新生代以来表现出以强烈下沉运动为主的特点,第四纪沉积厚度达 1 300 余米。区内活动构造发育,主要为渭南塬前断裂和泾阳-渭南断裂等全新世活动断裂,在这些断裂的局部地段或附近,有多条地裂缝穿城而过,地质构造复杂。

渭南市受渭河地震亚带的地震活动控制,破坏性地震集中于 793~879 年和 1556~1568 年这两个时段。其中 1556~1568 年地震活动强烈,发生了 3 次 5 $\frac{1}{2}$ 级地震和 1 次 8 $\frac{1}{4}$ 级地震,1569 年以来未发生 4 $\frac{3}{4}$ 级以上地震,地震活动水平降低。1970 年以来地震活动较弱,主要为小震活动。2008~2011 年渭南市周围地震频次明显上升,地震活动增强,具有发生强震的构造背景。

1.2 场地地形地貌特征

小区划场地为渭河冲积平原,其南、北夹峙于渭南一道黄土塬与渭河北岸一级阶地之间。由于受断块垂直差异运动控制,小区划场地地势由

南向北呈阶梯式跌落,从黄土台塬到渭河漫滩,水平距离仅约 8 km,高差达 134 m,平均坡降 22.4‰。该区地貌单元主要为渭河漫滩和 I、II、III 级阶地,另外还有沆河河床和漫滩。第四纪沉积发育,沿渭河两岸南北向依次出露全新统冲积砂层、粉质粘土层和上更新统风积黄土。

1.3 地下水特征

地下水的赋存情况不仅决定场地的工程特性,也是决定场地使用的重要条件^[5]。小区划场地地下潜水位埋深与地形地貌有较大关系,总体呈南深北浅的带状分布特点。埋深小于 5.0 m 者分布在渭河漫滩,水位受渭河影响,年变幅在 1.0~2.5 m 之间;埋深 5.0~10.0 m 者分布在渭河 I 级阶地前部和沆河漫滩区,水位与降水有关系,年变幅在 2.0 m 左右;埋深 10.0~15.0 m 者分布在渭河 I 级阶地中部,水位与降水直接有关,年变幅在 1.5~2.0 m 之间;埋深 15.0~30.0 m 者分布在渭河 I 级阶地后部和 II 级阶地区,水位与降水关系明显,年变幅小于 2.0 m;埋深大于 30.0 m 者分布在渭河 III 级阶地和塬前平台区,水位受降水直接影响,年变幅小于 1.0 m。

小区划场地第四系承压水流向大体与潜水一致,其径流速度随地形坡度的减缓而变小。

2 场地地震工程地质条件勘测

场地地震工程地质条件勘测的内容包括:在分析现有资料的基础上,进行场地钻探及场地土体物理与力学特性测试,并对每个钻孔进行剪切波速测试,对场地不同地貌单元进行地脉动测试。通过这些手段,我们可以了解小区划场地土层结构和地基土的物理力学性质,从而为地震工程地质分区和划分场地类别提供依据,为场地地震反应分析模型的建立提供参数。

钻探和测试是根据场地地形地貌及收集的资料基础上,以 1 km×1 km 网格状布设钻孔,实际钻探共计 222 个(图 1)。钻孔根据深度不同分为控制性孔和一般孔,控制性孔孔深 90 m,实际钻探 70 个;一般孔孔深 30 m,实际钻探 152 个。控制性孔在每个工程地质单元内基本均匀分布,且保证每个工程地质单元不少于两个,剪切波速不小于 500 m/s。

① 易学发,田勤虎,许俊奇.渭南市地震小区划报告.陕西大地地震工程勘察中心,2011.

饱和砂土在地震作用下是否液化已成为工程地基抗震设计的重要内容^[6],所以,我们对所有控制性孔的 356 个土样进行了动三轴试验,主要测试了土的含水量、密度、动弹性模量系数、剪切模量与剪应变关系、阻尼比与剪应变关系等,对一般孔的砂层进行了标贯和动探试验,并取样进行了常规试验。

地脉动测试是用仪器记录场地的常时微振动时间序列信号,然后通过频谱分析计算出场地的振动频谱,提取卓越周期,本次在小区划场地内共布设了 25 个地脉动测试点(图 1)。

3 地震工程地质分区

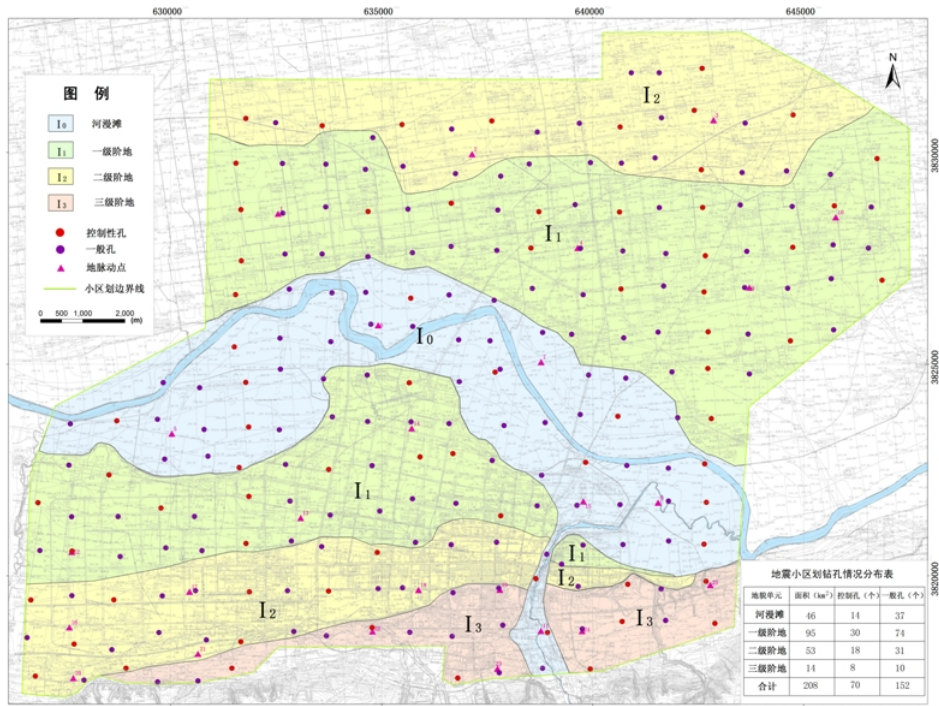


图 1 钻孔、波速及脉动测试位置示意图

Fig.1 Location of the drilling exploration, the shear wave velocity tests and the ground-micro-tremor-signal tests

3.1 分区原则及依据

渭南市地震工程地质分区是对小区划场地中地质成因、物质组成及物理力学特性相同或相近的地质单元进行归类合并,也就是将场地地震效应相同或相近的地质单元进行合并,将勘察地区划分为若干个区,并细分为若干小区^[7]。所以,分区是按照“区内相似,区际相异”的原则,在同一地貌单元中,可根据岩土体类型及工程地质特征、水文地质条件和不良地质现象进行划分。不同的地貌单元,覆盖层厚度和地层结构相同时可进一步合并。由于小区划场地内只有一个大的地貌单元,即渭河冲积平原区,因此一级工程地质分区按地形地貌单元、岩土体结构以及等效剪切波速等进行分区^[8]。二级工程地质分区根据区内工程地质条件的基本特征、工程地质相似性和差异性,侧重考虑土体类型、地形地貌条件和人工填土、

饱和及软黄土进行划分。

由于人工填土对地震动反应谱特征周期有影响,但是尚不清楚其影响程度,为此,将厚层填土($\geq 3\text{m}$)作为一项分区依据,考虑到目前填土的一般厚度以及建筑地基主要在 3~5 m,又将填土按厚度 3~5m 和 >5m 作为分区依据。饱和软黄土由于长期处于饱和状态,多呈软塑和流塑,孔隙比大,天然含水量高,承载力低,压缩性较高,对工程性质影响大,因此将此也作为一项重要的分区依据。

3.2 工程地质分区

根据以上分区原则,可将渭南市地震小区划场地的渭河冲积平原划分为四个 I 级工程地质亚区和九个 II 级工程地质段,见图 2。

3.2.1 工程地质亚区工程地质特征

- (1) 河漫滩工程地质亚区(I₀)
分布在渭河靠近河床的两侧,主要为渭河河漫

滩。该区地形平坦, 水位埋深浅, 渭河南岸地下水位约为 4.6~8.0 m, 渭河北岸为 4.5~7.0 m。表层多为薄层全新统粉土, 褐黄色, 中密, 湿, 含云母及少量氧化铁, 粉砂颗粒; 高漫滩边缘局部有约 1.0 m 的全新统风积黄土状土, 其下多为冲洪积中粗砂。该区只有一个工程地质段, 等效剪切波速均值为 209.4 m/s, 卓越周期介于 0.353~0.394 s 之间

(2) 一级阶地工程地质亚区(I₁)

分布在渭河两岸, 渭河漫滩之以南和以北, 地貌上主要为渭河一级阶地。该区地形平坦, 水位埋深较浅, 渭河南岸靠近漫滩地区水位为 4.5~9 m, 靠近二级阶地的地区水位为 10.0~18.3 m; 渭河北岸靠近漫滩地区水位为 3.4~9.1 m, 靠近二级阶地地区水位普遍为 9.0~12 m。地层结构上, 在其上部为一层全新统填土, 厚 0~1 m, 褐黄色, 可

塑, 稍湿, 有砖块及植物根。其下多为冲洪积中粗砂和粉质粘土。该亚区内局部地段表层覆盖有 3~5 m 厚的填土, 因此, 可进一步划分为 I₁₋₁、I₁₋₂ 两个段, 其中, I₁₋₂ 段内覆盖有 3~4 m 厚的填土。场地等效剪切波速均值为 235.3 m/s, 卓越周期介于 0.353~0.394 s 之间。

(3) 二级阶地工程地质亚区(I₂)

分布在渭河两岸, 地貌上主要为渭河二级阶地。该区地形较平坦, 水位埋深较深, 渭河南岸水位为 18.0~30.0 m; 北岸的饱和软黄土地区水位较浅, 一般为 5.0 m 左右。地层结构上, 上部大都覆盖一层全新统填土; 其下为全新统黄土状土, 厚约 6.2~11.7 m, 黄褐色, 可塑, 稍密, 湿润, 含少量钙膜, 可见零星蜗牛壳, 有虫孔, 针孔发育; 再向下多为冲洪积砂类土和粉质粘土。该区内局

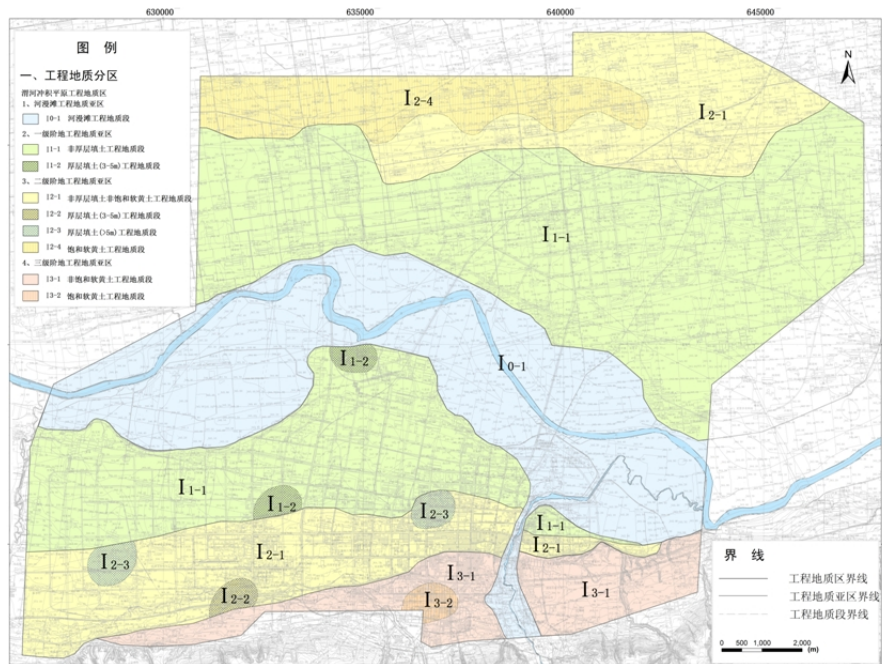


图 2 渭南市地震工程地质分区图

Fig.2 The earthquake engineering geological zoning of Weinan

部地段含有较厚填土和软黄土, 可进一步划分为四个段, 分别为 I₂₋₁、I₂₋₂、I₂₋₃、I₂₋₄。其中 I₂₋₂ 段内覆盖有 3.0~5.0 m 厚的填土; I₂₋₃ 段内覆盖有 >5.0 m 厚的填土; I₃₋₄ 段内发育有软黄土。场地等效剪切波速均值为 254.4 m/s, 卓越周期介于 0.353~0.366 s 之间。

(4) 三级阶地工程地质亚区(I₃)

该区仅在渭河南岸有分布, 位于二级阶地以南到小区划场地南界, 地貌上为渭河三级阶地。地势相对较高, 水位埋藏也最深, 一般为 33.0 m

左右。该区表层大都为填土, 厚约 0~0.3 m, 褐黄, 中密, 稍湿, 含植物根; 其下土层厚约 18.0~30.0 m, 厚度变化较大; 下部多为洪湖积中粗砂和粉质粘土, 粉质粘土的厚度较大。区内局部地段含有厚层填土和软黄土, 可进一步划分为两个段, 分别为 I₃₋₁、I₃₋₂, 其中 I₃₋₂ 段内发育有软黄土。场地等效剪切波速均值为 289.0 m/s, 卓越周期介于 0.341~0.366 s 之间。

3.2.2 工程地质段工程地质特征

(1) 河漫滩工程地质段(I₀₋₁)

为易受洪水淹没段,地层上为砂质粘土和砂的双层、多层结构。渭河南岸及局部平直岸边时有塌岸发生,地震基本烈度 $I \geq 7$ 度时易发生砂土液化。压缩模量 $ES = 8.5 \sim 12.0 \text{ Mpa}$, 属于中等压缩性土,地基容许承载力 $[R] = 120 \sim 200 \text{ Kpa}$ 。

(2) 非厚层填土工程地质段 (I_{1-1})

地层上为砂质粘土和砂的双层、多层结构,砂土液化地段。地震基本烈度 $I = 8 \sim 9$ 时,砂土中等液化。上覆砂质粘土厚 $2.0 \sim 8.0 \text{ m}$, 压缩模量 $ES = 7.0 \sim 12.0 \text{ Mpa}$, 属于中等压缩性土。

(3) 厚层填土工程地质段 ($3 \sim 5 \text{ m}$) (I_{1-2})

地层上为砂质粘土和砂的双层、多层结构,砂土液化地段。局部地震基本烈度 $I \geq 9$ 时,可能发生砂土弱液化。上覆砂质粘土厚 10.0 m 左右,压缩模量 $ES = 7.0 \sim 12.0 \text{ Mpa}$, 属于中等压缩性土。

(4) 非厚层填土、非饱和软黄土工程地质段 (I_{2-1})

地层上为砂质粘土和砂的双层、多层结构,中等自重湿陷地段。上覆砂质粘土厚约 $8.0 \sim 15.0 \text{ m}$ 。湿陷系数 $0.038 \sim 0.045$, 分级湿陷量为 $21.0 \sim 33.0 \text{ cm}$, 湿陷厚度为 $6.0 \sim 9.0 \text{ m}$ 。压缩模量 $ES = 5.0 \sim 10.0 \text{ Mpa}$, 属中等偏高压缩性土。

(5) 厚层填土 ($3 \sim 5 \text{ m}$) 工程地质段 (I_{2-2})

地层上为砂质粘土和砂的双层、多层结构,中等不均匀自重湿陷地段。上覆砂质粘土厚 $10.0 \sim 20.0 \text{ m}$, 湿陷系数 $0.038 \sim 0.056$, 湿陷量 $9.0 \sim 33.0 \text{ cm}$ 。湿陷厚度为 $4.0 \sim 9.0 \text{ m}$, 多层中等自重湿陷。

(6) 厚层填土 ($>5 \text{ m}$) 工程地质段 (I_{2-3})

该段内土层表面有填土,填土厚度 $>5.0 \text{ m}$, 属极不均一的高压缩性土。湿陷系数 $0.032 \sim 0.059$, 湿陷量在 13 cm 左右。下覆的砂质粘土湿陷系数为 $0.038 \sim 0.056$, 湿陷量在 $9.0 \sim 33.0 \text{ cm}$ 左右。

(7) 饱和软黄土工程地质段 (I_{2-4})

该段分布在渭河北岸二级阶地上,发育有大量软黄土,其工程性质较差,具有轻微的湿陷性。

(8) 非厚层填土、非饱和软黄土工程地质段 (I_{3-1})

单一黄土结构,属强自重湿陷、弱侵蚀地段。为湿陷性黄土,层厚 $10.0 \sim 15.0 \text{ m}$, 湿陷系数为 $0.060 \sim 0.069$, 湿陷量为 50.0 cm 。压缩模量 $ES = 5.0 \sim 11.6 \text{ Mpa}$, 属中等-高压缩性土。城南埋藏饱和软黄土,埋深 $6.0 \sim 15.0 \text{ m}$, 厚 $5.0 \sim 8.0 \text{ m}$ 。

(9) 饱和软黄土工程地质段 (I_{3-2})

该段内有填土分布,填土厚度 $3.0 \sim 5.0 \text{ m}$, 分布在渭河南岸三级阶地之上。

4 结论

本次工作是在对渭南市地震小区划场地实际勘察、前人资料收集、野外调查、室内分析基础上形成的研究成果,掌握了现阶段划分地震工程地质单元的最新、最全资料,是继 80 年代渭南市工程地质单元划分后最新的一次勘察工作,主要表现在以下几方面:

(1) 项目投入工程量大。在小区划场地范围内共进行了 222 个钻孔勘探,并全部进行了波速测试;脉动测试 25 个,动三轴实验 356 组,土工实验 4 392 组,并进行了大量野外地质地貌调查。

(2) 工作区范围大。本次工作范围依据渭南市 2001~2020 年的城市总体规划范围,对渭南市区及附近 208 km^2 的范围进行了地震工程地质分区。此项工作的进行,在若干年内,其他部门或者单位将无需进行相关勘察工作。

(3) 成果多。形成了渭南市地震小区划地震工程地质分区图、剪切波速等值线图、工程地质单元剖面图、地下水位等值线图等一系列成果资料及图件,这为我们进行的场地设计地震动参数和地震地质灾害评价提供了基础资料和数据。

致谢:渭南市地震工程分区的划分,是陕西大地地震工程勘察中心和长安大学共同研究的结果。在此,特别感谢陕西大地地震工程勘察中心渭南市地震小区划项目组的种瑾、许俊奇、易学发等高级工程师及长安大学范文教授、竹霞和张司亚等研究生的大力支持与配合。

参考文献:

- [1] 马军,甘宁.库尔勒市工程地质分区初探[J].西部探矿工程,2002,14(Z1):12~14.
- [2] 范士凯.地震小区划的工程地质-地震工程准则及实例分析[J].资源环境与工程,2006(20):601~607.
- [3] 卢寿德.工程场地地震安全性评价宣贯教材(GB17741-2005)[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [4] 胡聿贤.地震安全性评价技术教程[M].北京:地震出版社,1999.
- [5] 方鸿琪,杨闽中.工程场地的特征与工程地质分区[J].工程地质学报,2002,10(3):244~247.
- [6] 王峻,王兰民,李兰.饱和砂土液化的动三轴试验判断与评价[J].西北地震学报,2004,26(3):285~288.
- [7] 李智毅,杨裕云.工程地质学概论[M].北京:中国地质大学出版社,1994.
- [8] 地震安全性评价中地震动衰减关系的类型及其选取[J].地震工程学报,201335(03):709~713.