

# 天津滨海场地土动力学参数研究<sup>1</sup>

史丙新 张力方 吕悦军 钱海涛 彭艳菊

(中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085)

**摘要** 天津滨海地区是典型的软土区, 属晚第四系以来的浅海相沉积软土。本文收集了该地区地震安全性评价报告中的土动力学参数的实验资料, 并补充了 15 个钻孔的测试实验, 统计分析了淤泥质粘土、淤泥质粉质粘土、粉土、粉质粘土、粘土、粉砂、细砂等 7 种土类的实测土动力学参数, 给出了它们在不同深度下的动剪切模量比和阻尼比的统计值。然后, 选取了 2 个典型钻孔并建立了土层地震反应分析模型, 分别运用本文统计值、94 规范值和袁晓铭等(2000)的推荐值进行土层地震反应计算, 从反应谱形状、地表峰值加速度和反应谱特征周期等方面说明了本文统计值的适用性和针对性。本文的研究成果对天津滨海地区各类工程建设的场地地震安全性评价工作具有一定的借鉴和参考价值, 且有利于该地区工程场地地震安全性评价工作的开展。

**关键词:** 场地土 土动力学参数 软土 天津滨海

## 引言

土动力学参数(动剪切模量比和阻尼比)是土层地震反应分析和工程场地地震安全性评价中不可缺少的。影响土动力学参数的因素很多, 不仅与土的组成有关, 还与土的来源和含水量、形成年代及所处的环境等有关。大量的实验也表明(兰青龙等, 1997; 袁晓铭等, 2000; 吕悦军等, 2003; 陈国兴等, 2005), 土动力学参数必须考虑区域性。

在我国的东部沿海沉降地区, 近代海积软土分布十分广泛。天津滨海地区的软土属晚第四系以来的浅海相沉积软土, 主要以淤泥质粘土、粉质粘土为主, 属典型的软土区, 历来是备受关注的热点研究区域(张效龙等, 2008)。而我国当前正在大力开发沿海地区, 许多工业和民用建筑、公路、铁路、港口码头和水利等工程常常不得不建在软土基础上。目前, 关于该地区的土动力学参数的统计分析并不多。张效龙等(2005)对天津滨海局部的滩涂地区的淤泥质粉质粘土、粉质粘土、粉砂等 3 种土类, 选取了 7 个土样进行实验测试, 并分析了动力学参数的区域性, 但该实验的土类数和样本数均较少, 缺乏系统性和广泛性。

本文收集了天津滨海地区的 179 个钻孔的土动力学参数实验数据, 并在滨海典型地区补充了 15 个钻孔的钻探测试, 共计 194 个钻孔, 实测动三轴数据达到 579 组, 涉及淤泥质粘土、淤泥质粉质粘土、粉土、粉质粘土、粘土、粉砂、细砂等 7 种土类。按不同土类和不同埋深

<sup>1</sup> 基金项目 中国地震局地壳应力研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项ZDJ2009-07和ZDJ2009-23资助

[收稿日期] 2010-02-04

[作者简介] 史丙新, 男, 生于 1983 年。中国地震局地壳应力研究所硕士研究生。主要从事工程地震方面的研究。

E-mail: sbx188@163.com

进行了统计分析,给出了该区各类土的动力学参数统计值。然后选取 2 个典型钻孔,构建土层分析模型,进行土层地震反应分析。同时,对比分析了本文得到的统计值与袁晓铭等(2000)的结果和《工程场地地震安全性评价工作规范(DB001-94)》(中华人民共和国地震行业标准,1994)(以下简称 94 规范)推荐值对土层地震反应分析计算结果的影响,结果表明本文的统计值更具有代表性和针对性。

目前,对于天津滨海地区浅海相沉积软土动力参数的系统研究尚未见报道,该研究成果对该地区各类工程建设的工程场地地震安全性评价工作具有一定的借鉴和参考价值,且有利于天津滨海地区工程场地地震安全性评价工作的开展。

## 1 天津滨海地区工程地质条件

天津滨海地区位于华北平原东北部,渤海湾西部。该区在大地构造上处于东西向构造带和北北东向新华夏构造带交接部位。研究表明,该区域呈持续缓沉状态,年沉降速率达 1—3mm,同时在构造活动带和交接部位形成华北著名的 3 条地震活动带和强震频发区,地壳稳定性较差。

天津海岸带成陆晚,属淤进型海退平原、泥质海岸。该区平原广阔,以堆积地貌为主,物质组成以细粒的粉砂和砂质土为主,古河道遗迹发育。下更新统以来,经过 4 次海水的侵入并沉积,形成了陆相、海相有规律的成层现象。其第四纪地层成因类型为潮汐和河流的交互沉积,岩性特征和厚度严格受基底构造和气候环境的控制(陈宇坤等,2008)。

在这种构造背景和多种沉积作用下,该区形成了自己独特的地层特点。第四纪覆盖层巨厚,在浅部广泛发育海相和河流相的淤泥质软弱土层,该土层厚度较大,属于含淤泥质夹层的典型软土场地,对地震动的放大作用明显,并且易产生砂土液化、地基沉降等不良工程地质问题(杨锦贤,1994)。

由于入海河流输运泥沙沿海堆积与河流尾闾摆动的影响,以及泥沙受水动力控制的扩散与沉积作用等复杂因素的影响,造成天津沿海地层在平面和剖面上常出现粘性土与粉土的交互成层或互为透镜体,从而在地层分布划分上出现复杂现象(邢恩桥,2005)。

天津滨海地区的覆盖层厚度一般大于 100m,根据《建筑抗震设计规范(GB50011-2002)》(中华人民共和国国家标准,2002),场地类别一般属于 III 类或者 IV 类,场地的放大作用对工程建设的地基稳定和抗震设计构成严重的威胁。在唐山地震中,该区形成了一些高烈度异常带(天津市抗震办公室,1984)。

## 2 天津滨海场地土动力学参数统计分析

### 2.1 数据收集

本文收集了天津市区和滨海地区 179 个钻孔的动三轴数据,并在滨海典型地区补充了 15 个钻孔的钻探测试,共计 194 个钻孔(图 1),动三轴数据合计达到了 579 组。按照岩性不同,分为淤泥质粘土、淤泥质粉质粘土、粉土、粉质粘土、粘土、粉砂、细砂等 7 种土类。对这 7 类土样的样本量按埋深进行了分组统计,结果见表 1。

### 2.2 各类土的土动力学参数统计值

各类土的土动力学参数统计采用取平均值的方法,对于样本量太小的土类舍弃,以保证样本具有代表性。用标准差来保证数据不过于离散,每组数据的标准差最大值小于 0.09,舍

弃异常点。表 2 给出了本文统计的 7 类土的土动力学参数统计值。

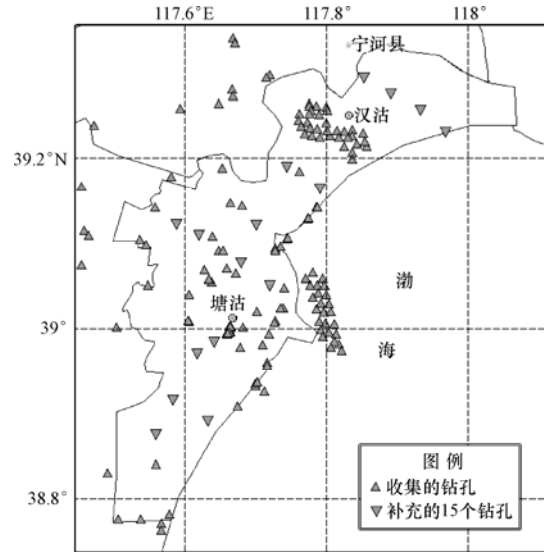


图 1 研究区钻孔分布

Fig. 1 Distribution of boreholes in the study area

表 1 各土类样本量统计

Table 1 Statistics of soil samples of at different depth

土 类	编 号	埋深 (m)	样本量	合 计
淤泥质粘土	1	0—5	4	21
	2	5—10	12	
	3	10—20	5	
淤泥质粉质粘土	4	0—5	6	17
	5	5—10	9	
	6	10—20	2	
粉土	8	0—5	5	90
	9	5—15	9	
	10	15—30	24	
	11	30—50	20	
	12	50—70	15	
	13	70—120	17	
粉质粘土	14	0—5	4	244
	15	5—15	22	
	16	15—30	40	
	17	30—50	48	
	18	50—70	56	
	19	70—90	49	
	20	90—120	25	

续表

土 类	编 号	埋深 (m)	样本量	合 计
粘土	21	0—50	38	64
	22	50—120	26	
粉砂	23	0—50	23	69
	24	50—120	46	
细砂	25	0—50	25	74
	26	50—120	49	
总 计				579

表 2 各类土在不同区间的平均统计值

Table 2 Average values of various types of soils at different depth

岩 性	深度	G/G <sub>max</sub>	剪应变 (10 <sup>-4</sup> ) $\gamma$							
		$\Lambda$	0.0500	0.1000	0.5000	1.0000	5.0000	10.0000	50.0000	100.0000
淤泥质粘土	0-5	G/G <sub>max</sub>	0.9969	0.9937	0.9695	0.9410	0.7647	0.6226	0.2548	0.1472
		$\Lambda$	0.0411	0.0504	0.0805	0.0980	0.1482	0.1708	0.2093	0.2178
	5-10	G/G <sub>max</sub>	0.9949	0.9899	0.9517	0.9061	0.6836	0.5344	0.1867	0.1045
		$\Lambda$	0.0386	0.0478	0.0784	0.0962	0.1468	0.1694	0.2118	0.2257
	10-20	G/G <sub>max</sub>	0.9958	0.9916	0.9595	0.9228	0.7134	0.5610	0.2122	0.1200
		$\Lambda$	0.0341	0.0421	0.0687	0.0844	0.1310	0.1532	0.1988	0.2150
淤泥质粉质粘土	0-5	G/G <sub>max</sub>	0.9958	0.9916	0.9594	0.9222	0.7072	0.5506	0.2022	0.1133
		$\Lambda$	0.0365	0.0461	0.0786	0.0980	0.1542	0.1787	0.2177	0.2256
	5-10	G/G <sub>max</sub>	0.9948	0.9894	0.9498	0.9047	0.6589	0.4941	0.1664	0.0911
		$\Lambda$	0.0369	0.0458	0.0757	0.0937	0.1459	0.1692	0.2130	0.2277
	10-20	G/G <sub>max</sub>	0.9958	0.9917	0.9596	0.9224	0.7045	0.5445	0.1939	0.1075
		$\Lambda$	0.0430	0.0527	0.0839	0.1017	0.1509	0.1716	0.2032	0.2093
粉质粘土	0-5	G/G <sub>max</sub>	0.9968	0.9935	0.9684	0.9390	0.7585	0.6148	0.2489	0.1434
		$\Lambda$	0.0474	0.0568	0.0864	0.1031	0.1494	0.1695	0.2029	0.2102
	5-15	G/G <sub>max</sub>	0.9947	0.9894	0.9494	0.9040	0.6586	0.4950	0.1684	0.0926
		$\Lambda$	0.0293	0.0377	0.0670	0.0851	0.1387	0.1632	0.2048	0.2159
	15-30	G/G <sub>max</sub>	0.9946	0.9894	0.9443	0.9042	0.6632	0.5032	0.1788	0.0983
		$\Lambda$	0.0266	0.0341	0.0607	0.0773	0.1266	0.1490	0.1887	0.2008
	30-50	G/G <sub>max</sub>	0.9957	0.9914	0.9584	0.9208	0.7074	0.5536	0.2079	0.1175
		$\Lambda$	0.0265	0.0336	0.0581	0.0733	0.1193	0.1415	0.1878	0.2045
	50-70	G/G <sub>max</sub>	0.9961	0.9922	0.9626	0.9264	0.7268	0.5725	0.2254	0.1299
		$\Lambda$	0.0254	0.0320	0.0561	0.0711	0.1161	0.1402	0.1865	0.2042
	70-90	G/G <sub>max</sub>	0.9967	0.9935	0.9683	0.9389	0.7610	0.6200	0.2570	0.1506
		$\Lambda$	0.0250	0.0316	0.0549	0.0694	0.1139	0.1362	0.1789	0.1925

续表

岩性	深度	G/G <sub>max</sub>	剪应变 (10 <sup>-4</sup> ) $\gamma$								
			$\Lambda$	0.0500	0.1000	0.5000	1.0000	5.0000	10.0000	50.0000	100.0000
粉质粘土	90-120	G/G <sub>max</sub>	0.9965	0.9930	0.9661	0.9352	0.7496	0.6055	0.2457	0.1428	
		$\Lambda$	0.0256	0.0324	0.0559	0.0678	0.1154	0.1380	0.1843	0.2019	
粉土	0-5	G/G <sub>max</sub>	0.9925	0.9852	0.9308	0.8717	0.5761	0.4200	0.1297	0.0697	
		$\Lambda$	0.0240	0.0308	0.0577	0.0770	0.1264	0.1456	0.1720	0.1767	
	5-15	G/G <sub>max</sub>	0.9950	0.9900	0.9523	0.9094	0.6746	0.4941	0.1833	0.0929	
		$\Lambda$	0.0302	0.0374	0.0610	0.0749	0.1163	0.1366	0.1777	0.2007	
	15-30	G/G <sub>max</sub>	0.9947	0.9894	0.9493	0.9042	0.6635	0.5013	0.1778	0.0990	
		$\Lambda$	0.0264	0.0335	0.0579	0.0730	0.1177	0.1387	0.1810	0.1974	
	30-50	G/G <sub>max</sub>	0.9943	0.9888	0.9486	0.9052	0.6898	0.5399	0.1894	0.1057	
		$\Lambda$	0.0230	0.0305	0.0546	0.0694	0.1124	0.1309	0.1602	0.1661	
	50-70	G/G <sub>max</sub>	0.9932	0.9866	0.9378	0.8853	0.6457	0.4830	0.1699	0.0950	
		$\Lambda$	0.0233	0.0299	0.0533	0.0685	0.1112	0.1297	0.1645	0.1761	
	70-120	G/G <sub>max</sub>	0.9966	0.9932	0.9672	0.9370	0.7579	0.6192	0.2708	0.1540	
		$\Lambda$	0.0248	0.0306	0.0519	0.0651	0.1055	0.1252	0.1620	0.1723	
	粉砂	0-50	G/G <sub>max</sub>	0.9945	0.9891	0.9480	0.9016	0.6538	0.4911	0.1688	0.0933
			$\Lambda$	0.0225	0.0287	0.0505	0.0640	0.1060	0.1269	0.1749	0.1963
50-100		G/G <sub>max</sub>	0.9963	0.9926	0.9641	0.9314	0.7389	0.5929	0.2378	0.1372	
		$\Lambda$	0.0273	0.0287	0.0495	0.0625	0.1031	0.1236	0.1691	0.1865	
细砂	0-50	G/G <sub>max</sub>	0.9955	0.9910	0.9568	0.9178	0.6983	0.5428	0.2004	0.1127	
		$\Lambda$	0.0213	0.0274	0.0491	0.0625	0.1025	0.1201	0.1484	0.1542	
	50-120	G/G <sub>max</sub>	0.9964	0.9930	0.9664	0.9356	0.7534	0.6121	0.2494	0.1482	
		$\Lambda$	0.0199	0.0254	0.0453	0.0580	0.0970	0.1157	0.1491	0.1566	
粘土	0-50	G/G <sub>max</sub>	0.9968	0.9939	0.9700	0.9428	0.7919	0.6670	0.2972	0.1755	
		$\Lambda$	0.0300	0.0372	0.0618	0.0763	0.1209	0.1425	0.1845	0.1967	
	50-120	G/G <sub>max</sub>	0.9974	0.9947	0.9742	0.9498	0.7943	0.6627	0.2913	0.1725	
		$\Lambda$	0.0269	0.0337	0.0567	0.0710	0.1110	0.1368	0.1795	0.1923	

### 2.3 统计结果的对比分析

目前, 可以运用在该区的土动力学参数值有以下三种: 一是中国地震局 1994 年颁布的 94 规范中给出的常规土类剪切模量比和阻尼比的典型值 (以下称“规范值”); 二是袁晓铭等 (2000) 利用改进的共振柱仪对来自北京、上海等全国十几个地区的常规土类进行大量试验而得出的推荐值 (以下称“推荐值”); 三是本文的统计值。

上述三者之间是有差异的, 图 2 和图 3 以粉质粘土和粘土为例, 将本文的统计值与推荐值和规范值进行了比较。

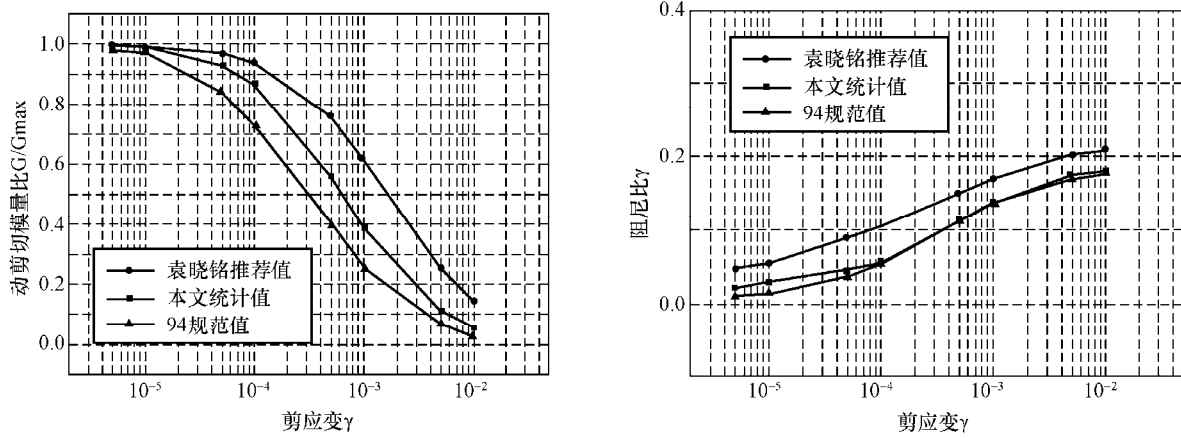


图 2 粉质粘土统计值与推荐值和规范值的比较

Fig. 2 Curves of statistical value, recommended value, and normative value of silty clay

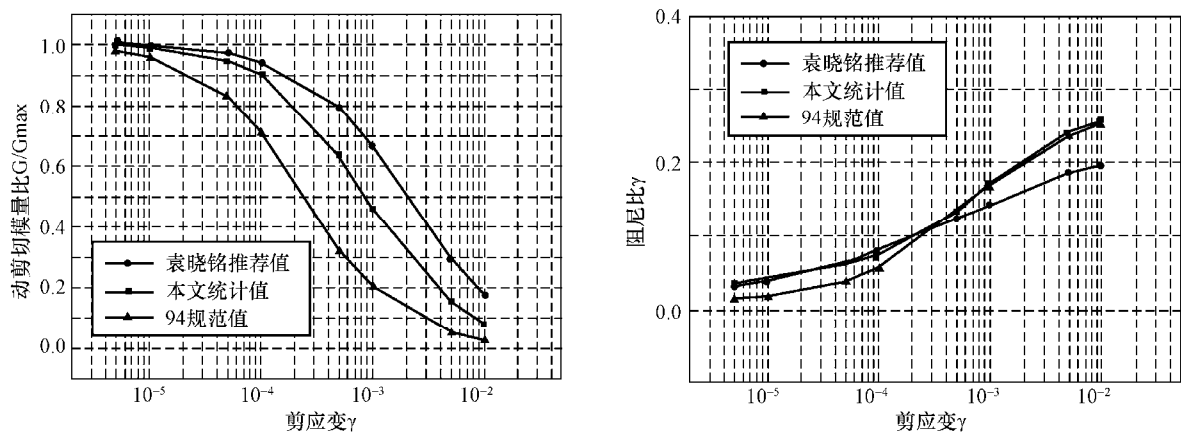


图 3 粘土统计值与推荐值和规范值的比较

Fig. 3 Curves of statistical value, recommended value, and normative value of clay

从图 2 和图 3 可以看出，除了粘土的阻尼比在大应变的情况下，一般而言，对于动剪切模量和阻尼比本文的统计值都是大于相对应条件下的推荐值和规范值，并且 94 规范的值最小，对于动剪切模量，这个结果更加明显。上述结果再一次证实了土动力学参数区域性的特点，一个地区的数值不能简单地用于另一个地区。

### 3 统计值的适用性分析

为了进一步说明统计值、规范值和推荐值的差异，以及土动力学参数的区域性特点，下面通过对实例钻孔模型进行土层地震反应计算，分别运用实测值、规范值、推荐值和统计值 4 种不同的数值进行计算比较，剪切波速和密度采用实测值，土动力学参数分别采用实测值、统计值、推荐值和规范值，构建土层反应计算模型采用一维等效线性化波动方法进行地震反应分析计算，通过计算结果来进一步说明本文统计的典型土动力学参数的合理性和适用性。

#### 3.1 钻孔模型和计算参数的选取

选取的钻孔位于天津滨海地区，钻孔深度均为 110m，场地类别为 III 类。钻孔 A 覆盖层为 91.3m，主要是粉质粘土和粉砂互层；钻孔 B 覆盖层为 91.8m，其揭示的地层主要是粉质粘土，部分层位夹粉砂和粉土。图 4 给出了钻孔 A 和钻孔 B 的柱状图。

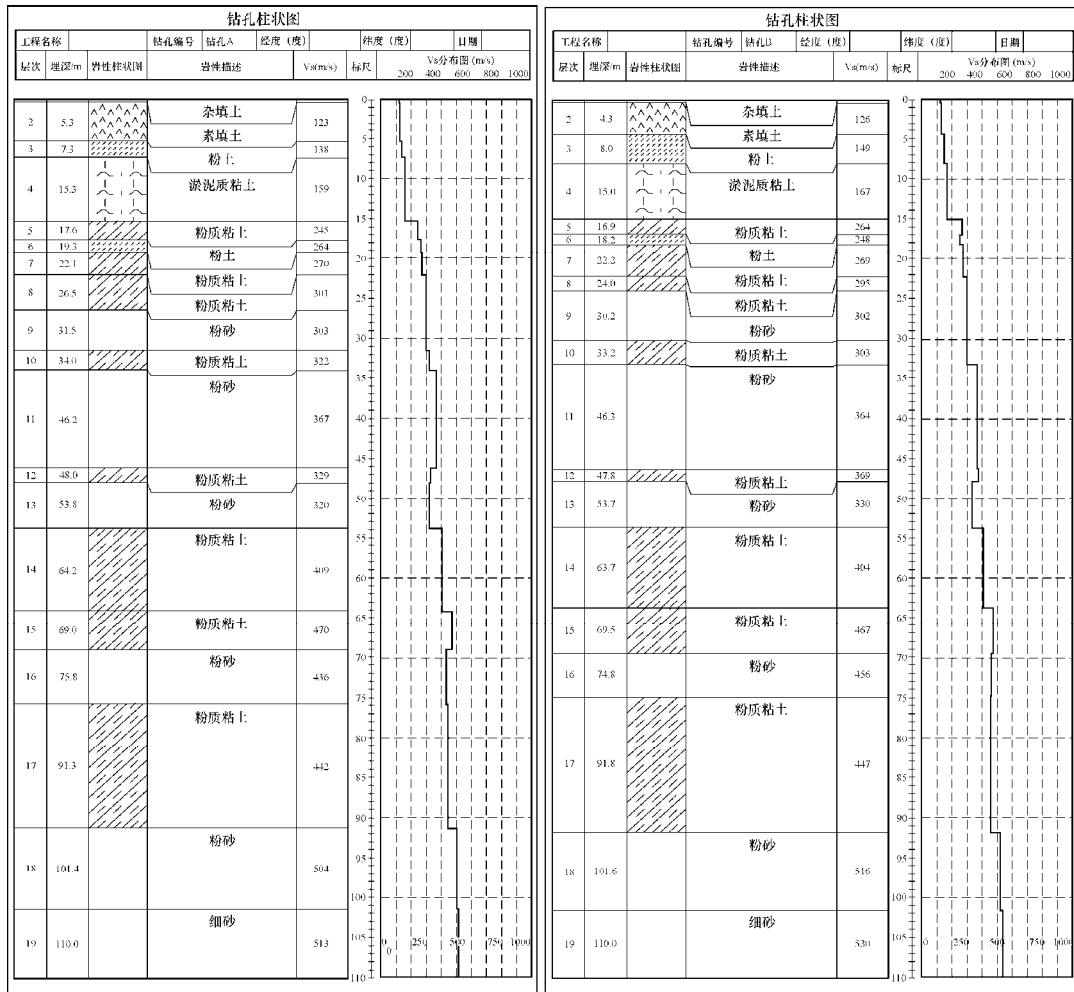


图 4 钻孔柱状图

Fig. 4 Borehole profile

基岩输入地震动采用人工合成地震动，基岩加速度反应谱采用该地的地震危险性分析结果(图 5)，按照 50 年超越概率 63%、10%、2% 三种概率水准合成基岩加速度时程，其中每一种概率水准合成 3 条时程曲线，时程离散步长为 0.02s，离散点数 2048 个，选用 59 个周期作为拟合目标谱的控制点。按照 94 规范要求，这些控制点的周期从 0.04s 到 6.00s 按照对数等间距分布，目标谱与拟合谱之间相对误差小于 5%。

3.2 土层反应分析计算的结果分析

为更好地说明本文统计值的适用性和合理性，首先比较每个钻孔在同一概率水平下，不同土动力学参数值的平均反应谱(图 6、图 7)，然后比较不同土动力学参数下的峰值速度、峰值加速度和反应谱特征周期值(表 3、表 4)以及它们的偏差(表 5)。

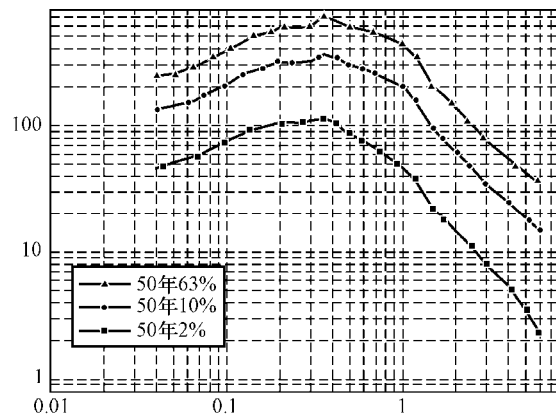


图 5 不同概率水准的基岩加速度反应谱

Fig. 5 Acceleration response spectrum of bedrock at different exceeding probabilities

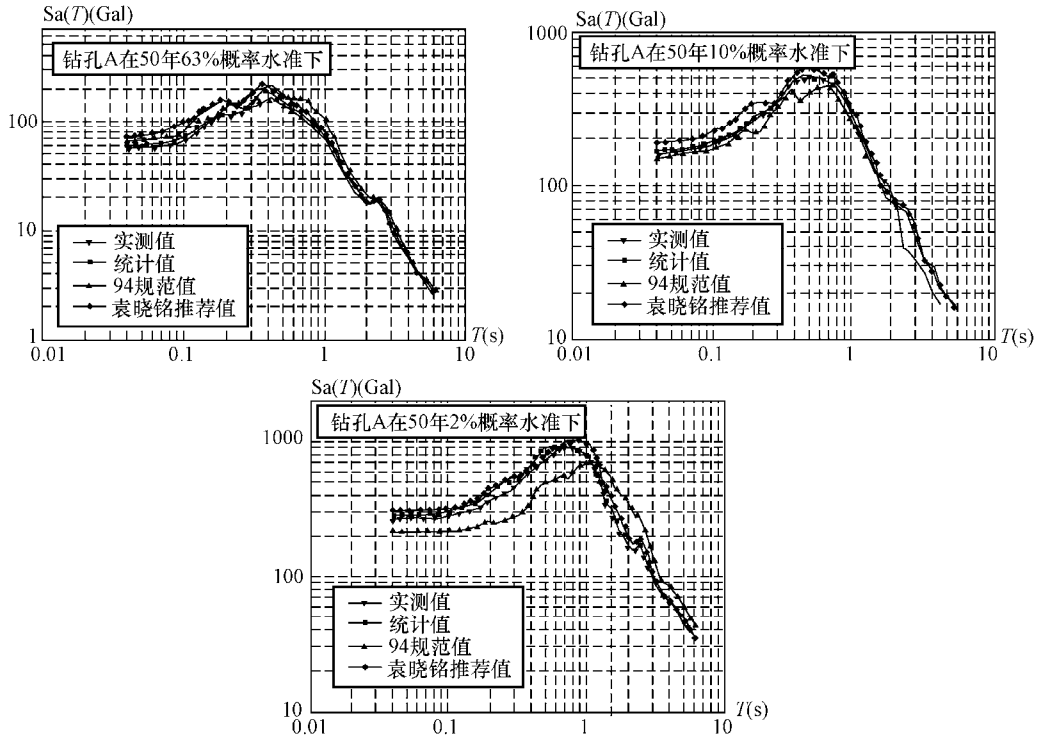


图 6 钻孔 A 在同一概率水准不同土动力学参数的平均反应谱曲线

Fig. 6 Average response spectrum curves at different exceeding probabilities of borehole A

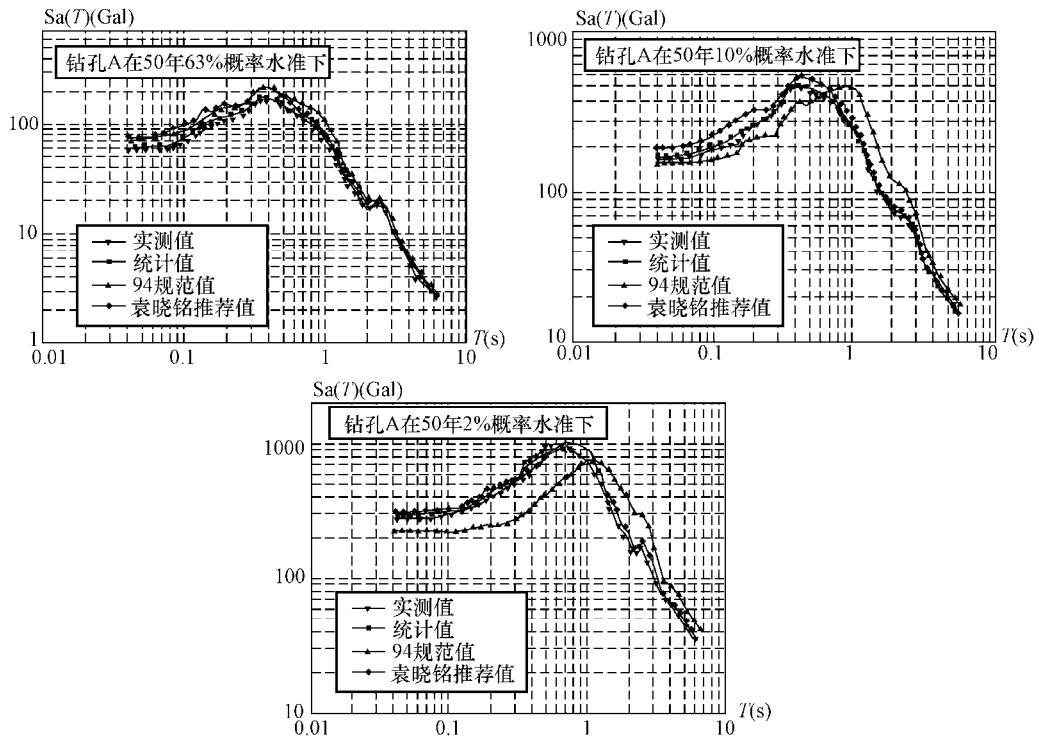


图 7 钻孔 B 在同一概率水准不同土动力学参数的平均反应谱曲线

Fig. 7 Average response spectrum curves at different exceeding probabilities of borehole B

反应谱特征周期  $T_g$  采取双参数法确定，公式为：



$$T_g = 4.44 \times \frac{V_{\max}}{A_{\max}}$$

式中,  $V_{\max}$  为峰值速度;  $A_{\max}$  为峰值加速度。

表 3 不同土动力学参数取值下的峰值加速度和峰值速度

Table 3 Peak acceleration and peak velocity from different soil dynamic parameters

概率水准		峰值加速度 $A_{\max}/\text{cm}\cdot\text{s}^{-2}$				峰值速度 $V_{\max}/\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$			
		实测值	推荐值	规范值	统计值	实测值	推荐值	规范值	统计值
钻孔 A	50 年超越概率 63%	56.32	72.20	68.14	59.64	4.76	5.69	5.71	4.99
	50 年超越概率 10%	158.73	188.83	147.20	165.13	20.00	22.50	24.24	20.67
	50 年超越概率 2%	268.93	300.57	214.07	288.33	39.38	47.93	43.72	41.60
钻孔 B	50 年超越概率 63%	56.48	72.44	70.53	59.14	4.76	5.63	6.08	4.95
	50 年超越概率 10%	163.07	192.37	153.27	167.27	19.99	22.25	25.46	20.53
	50 年超越概率 2%	283.90	308.47	224.13	290.93	39.08	46.44	47.49	40.45

表 4 不同土动力学参数取值下的特征周期

Table 4 Characteristic period from different soil dynamic parameters

概率水准		特征周期 $T_g/\text{s}$			
		实测值	推荐值	规范值	统计值
钻孔 A	50 年超越概率 63%	0.38	0.35	0.37	0.37
	50 年超越概率 10%	0.56	0.53	0.73	0.56
	50 年超越概率 2%	0.65	0.71	0.91	0.64
钻孔 B	50 年超越概率 63%	0.37	0.35	0.38	0.37
	50 年超越概率 10%	0.54	0.51	0.74	0.54
	50 年超越概率 2%	0.61	0.67	0.94	0.62

表 5 三种土动力学参数取值与实测值所得地震动参数的偏差 (%)

Table 5 Deviation of seismic parameters between 3 schemes of soil dynamic parameters and measured values

概率水准		峰值加速度 $A_{\max}/\text{cm}\cdot\text{s}^{-2}$			峰值速度 $V_{\max}/\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$			特征周期 $T_g/\text{s}$		
		推荐值	规范值	统计值	推荐值	规范值	统计值	推荐值	规范值	统计值
钻孔 A	50 年超越概率 63%	0.28	0.21	0.06	0.20	0.20	0.05	-0.07	-0.01	-0.01
	50 年超越概率 10%	0.19	-0.07	0.04	0.13	0.21	0.03	-0.05	0.31	-0.01
	50 年超越概率 2%	0.12	-0.20	0.07	0.22	0.11	0.06	0.09	0.39	-0.01
钻孔 B	50 年超越概率 63%	0.28	0.25	0.05	0.18	0.28	0.04	-0.08	0.02	-0.01
	50 年超越概率 10%	0.18	-0.06	0.03	0.11	0.27	0.03	-0.06	0.36	0.00
	50 年超越概率 2%	0.09	-0.21	0.02	0.19	0.22	0.04	0.09	0.54	0.01

从图 6 和图 7 可以看出, 当超越概率较大时(即小震时), 不同的土动力学参数计算的反应谱差别不大, 在超越概率较小时(即大震时), 这种差别才显现出来。在超越概率较小时, 使用 94 规范值计算的反应谱更宽, 在反应谱的下降段, 其反应谱的值要大于由其他参数计算的值, 而在其他段, 由 94 规范值计算的反应谱值最小。

从表 3 和表 4 可以看出, 由袁晓铭推荐值计算的地面峰值加速度和峰值速度都要大于其它值计算的地面峰值加速度值, 而特征周期则小于其他值的计算结果。从表 5 中看, 对于较大的超越概率, 不同的土动力学参数值、地面峰值加速度、峰值速度和反应谱特征周期差别较小; 当超越概率变小时, 这种差异就变得显著起来, 例如, 特征周期偏差最高达 0.39。而不管在那种概率情况下, 94 规范值偏差都是最大的, 而本文统计值偏差都是最小的。

## 4 结语

本文给出了天津滨海地区的土动力学参数统计值, 为了说明统计值的适用性和合理性, 又选取该区典型的钻孔实例和构造计算模型, 分别运用实测值、94 规范值和袁晓铭等(2000)的推荐值进行了土层反应计算, 结果表明:

(1) 本文统计值的反应谱形状与实测值的反应谱形状最相近。在小震时, 用不同的土动力学参数计算的反应谱差别不大; 在大震时, 这种差别才显现出来; 而本文统计值反应谱不管在大震或小震时, 都与实测值最相近。

(2) 应用本文统计值得到的土层反应计算结果, 其峰值加速度、峰值速度、特征周期的偏差都是最小的。而应用 94 规范值得到的设计地震动参数的偏差最大, 袁晓铭等(2000)的推荐值次之。

综上所述, 本文的土动力学参数统计值是适用于天津滨海地区的, 对该地区各类工程建设的场地地震安全性评价工作具有一定的借鉴和参考价值, 且有利于该地区工程场地地震安全性评价工作的开展。

## 参考文献

- 陈国兴, 刘雪珠等, 2005. 苏南地区新近沉积土的动力特性研究. 地下空间与工程学报, **1**(7): 1139—1142.
- 陈宇坤, 李振海, 邵永新等, 2008. 天津地区第四纪年代地层剖面研究. 地震地质, **30**(2): 383—399.
- 兰青龙, 贺明华, 1997. 太原地区场地土动力性能的统计分析. 山西地震, (3): 6—11.
- 吕悦军, 唐荣余, 沙海军, 2003. 渤海海底土类动剪切模量比和阻尼比试验研究. 防灾减灾工程学报, **23**(2): 368—374.
- 天津市抗震办公室, 1984. 唐山大地震天津市工程震害. 天津: 天津科学技术出版社.
- 邢恩桥, 徐国辉, 胡广海等, 2005. 天津沿海地层工程地质性质统计特征. 海岸工程, **24**(1): 48—52.
- 杨锦贤, 1994. 天津海岸带经济开发的地址环境和环境工程地质问题. 海洋开发与管理, **11**(3): 36—40.
- 袁晓铭, 孙锐, 孙静等, 2000. 常规土类动剪切模量比和阻尼比试验研究. 地震工程与工程振动, **20**(4): 133—139.
- 张效龙, 金永德, 孙永福等, 2005. 天津滨海滩涂土动剪切模量比和阻尼比试验. 海洋地质动态, **21**(8): 27—30.
- 张效龙, 徐家升, 刘敦武, 2008. 河口滨海区浅层海积软土工程特性研究. 东华理工大学学报(自然科学版), **31**(3): 259—264.

中华人民共和国地震行业标准, 1994. 工程场地地震安全性评价工作规范 (DB001-94). 北京: 地震出版社.  
中华人民共和国国家标准, 2002. 建筑抗震设计规范 (GB50011-2002). 北京: 中国建筑工业出版社.

## Research on Dynamic Parameters of Soil Site in Tianjin Coastal Area

Shi Bingxin, Zhang Lifang, Lu Yuejun, Peng Yanju and Qian Haitao

(Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China)

**Abstract** Tianjin coastal area is a typical soft soil site region, where the soil is marine deposit since late Quaternary. In this paper, soil dynamic parameters from seismic risk assessment reports are collected, and dynamic characteristics of samples from 15 drilling holes are measured and analyzed. The data in this study are divided into 7 types based on lithology, i.e. muddy clay, muddy silty clay, silt, silty clay, clay, silty sand and fine sand. Statistics of the dynamic parameters of these soils are carried out to obtain the mean values of dynamic shear modulus ratio and damping ratio at different depth. Then two typical drilling are selected to establish soil dynamic models in order to investigate the seismic response in different cases. The dynamic parameters in the models are taken from statistical values in this study, recommended values in 94 Code and recommended values by Yuan Xiaoming respectively. The applicability and pertinence of the statistical value obtained in this paper are demonstrated by the response spectrum shape, peak ground acceleration and response spectral characteristics. Our results can be taken as a reference of the soil dynamic value in this area and can be used in seismic risk assessment of engineering projects.

**Key words:** Site soil; Soil dynamic parameter; Soft soil; Tianjin coastal area