

# 廊坊市工程地质问题及防治措施

王德强<sup>1</sup>, 熊伟<sup>2</sup>, 关鉴<sup>3</sup>

(1. 河北省区域地质矿产调查研究所, 河北廊坊 065000; 2. 河北省地矿局第三地质大队, 河北张家口 075000; 3. 河北省地球物理勘察院, 河北廊坊 065000)

**摘要:**在工程地质、水文地质、构造地质条件评价的基础上, 讨论了廊坊市工程软土、液化土层工程地质问题的分布特征, 对地基持力层进行了初步选择。在此基础上确定地基加固措施或桩基础方法处理工程地质问题。

**关键词:**工程地质条件; 工程地质问题; 地基持力层; 地基加固; 桩基础; 廊坊市

**中图分类号:** TU753; TU44 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2017)04-0066-05

**Engineering Geology Problems in Langfang City and the Prevention Measures/WANG De-qiang<sup>1</sup>, XIONG Wei<sup>2</sup>, GUAN Jian<sup>3</sup>** (1. Hebei Institute of Regional Geology and Mineral Resources Survey, Langfang Hebei 065000, China; 2. No. 3 Geological Brigade, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Zhangjiakou Hebei 075000, China; 3. Hebei Geophysical Exploration Academy, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** According to the evaluation of engineering geology, hydrogeology and tectonic conditions, the distribution characteristics of engineering geology problems of soft soil and liquefied soil layer in Langfang City are discussed, the preliminary selection of the foundation bearing layer is carried out. Based on the above, the foundation reinforcement measures or pile foundation construction method can be determined to deal with the engineering geology problems.

**Key words:** engineering geological condition; engineering geology problem; foundation bearing layer; foundation reinforcement; pile foundation; Langfang City

廊坊市素有“京津走廊上的明珠”之称, 地处中朝准地台、华北断拗、冀中台陷之廊坊断凹之东北部。该区自新近纪以来新构造运动强烈, 形成了北北东向断陷盆地, 堆积了巨厚的新近系(2280~4800 m)和第四系(500~600 m)沉积物<sup>[1]</sup>。第四系沉积物作为建筑物地基土层, 其分布和土性的差异(包括埋藏深度、结构、物理力学性质等), 对工程建筑物的安全起着决定性作用, 已有不少学者对不同地区的第四系沉积物进行了物理力学和工程地质特性研究<sup>[2-6]</sup>。

京津冀一体化发展战略使地处北京、天津之间的廊坊成为聚焦的中心, 分析廊坊市第四系地基土的物理力学性质、评价工程地质条件非常重要。地质、城市建设、交通等部门在廊坊开展了大量的勘查工作, 市区内分布数计的钻孔资料, 但对区内工程地质条件和工程地质问题进行系统研究的甚少。本文通过分析区内各地质体的工程地质条件、地震效应评价, 讨论工程地质问题, 并提出防治建议。

## 1 地质概况

### 1.1 地层

廊坊市工程地质调查项目查明区内 30 m 内为第四系全新统, 可分为歧口组(Q<sub>4q</sub>)、高湾组(Q<sub>4g</sub>)、杨家寺组(Q<sub>4y</sub>)<sup>[1]</sup>。

#### 1.1.1 歧口组

可分为 5 个工程地质土层。

①层粉砂: 层厚 0~5 m, 灰、黄色, 砂粒占 95%, 分选好, 磨圆度差, 主由石英、长石组成, 松散, 透水性好。

②层粉土: 层厚 1~7.5 m, 黄色, 稍—中密, 局部密实, 稍湿—湿, 干强度低, 低韧性, 摇振反应中等, 无光泽, 含云母, 见锈染, 夹粘性土薄层, 上部含植物根系, 分布较稳定。

②<sub>1</sub>层粉砂: 层厚 0.5~3 m, 黄色, 稍—中密, 稍湿, 由石英、长石和少许云母组成, 颗粒级配良好, 表面粗糙, 夹于②层中。

②<sub>2</sub>层粘土: 层厚 0.5~3.1 m, 黄褐色, 软—可塑, 干强度高, 中—高压缩性, 高韧性, 摇振反应无,

收稿日期: 2017-01-19; 修回日期: 2017-03-27

作者简介: 王德强, 男, 汉族, 1968年生, 注册测绘师, 一级建造师, 高级工程师, 从事工程地质与矿产地质工作, 河北省廊坊市曙光道 32 号, 611991122@qq.com。

切面光滑,见锈染,含炭斑,夹粉土薄层,夹于②层中。

③层粘土:层厚 1.2 ~ 4.8 m,灰色,软—可塑,干强度高,中—高压缩性,高韧性,摇振反应无,切面光滑,团粒结构,见锈染,含螺壳、泥炭和腐殖质,夹粉土及粉质粘土薄层,分布稳定。

1.1.2 高湾组

可分为 3 个工程地质土层。

④层细砂:层厚 1 ~ 1.8 m,灰色,中—密实,湿,由石英、长石和少许云母组成,颗粒级配良好,表面粗糙,不稳定。

④<sub>1</sub>层粉土:层厚 1.3 ~ 5.6 m,灰色,中—密实,稍湿—湿,干强度低,低韧性,摇振反应中等,无光泽,见锈染,含螺壳、礞石、云母,夹粉质粘土薄层,该层不稳定,夹于④层中。

④<sub>2</sub>层粘土夹粉质粘土:层厚 0.4 ~ 6.6 m,灰色,软—可塑,干强度高,中—高压缩性,高韧性,摇振反应无,切面光滑,含礞石、腐殖质,见锈染,夹粉土薄层,分布不稳定。

1.1.3 杨家寺组

可分为 6 个工程地质土层。

⑤层粉质粘土:层厚 1.7 ~ 9 m,灰黄色,软—可塑,干强度中等,中等压缩性,中等韧性,摇振反应无,切面稍有光泽,见锈染,含钙核和腐殖质,夹粉

砂、粉土和粘土薄层。该层稳定,几乎全区都有分布,仅个别孔缺失,以粉土为主。

⑤<sub>1</sub>层粉土:层厚 0.6 ~ 7.8 m,灰黄色,中—密实,稍湿—湿,干强度低,低韧性,摇振反应中等,无光泽,见锈染,含钙核和少许腐殖质,夹粉质粘土薄层。该层夹于⑤层粉质粘土中,仅见于少数孔中。

⑤<sub>2</sub>层粘土:层厚 1.2 ~ 4 m,灰黄、黄褐色,可塑,干强度高,中等压缩性,高韧性,摇振反应无,刀切面光滑,见锈染,含钙核、螺壳和腐殖质。该层夹于⑤层之中,仅见于个别孔中。

⑥层细砂:层厚 0.7 ~ 12 m,黄色,中—密实,很湿—饱和,由石英、长石和少许云母片等组成,颗粒级配良好,表面粗糙,夹粉土和粘性土薄层。该层分布不太稳定,少数孔缺失,个别孔厚度较大。

⑥<sub>1</sub>层粉质粘土夹粘土:厚 0.5 ~ 9 m,黄褐色,可—硬塑,局部软塑,干强度中等,中等韧性,摇振反应无,稍有光泽,具团粒结构,见锈染,普遍含螺壳和钙核,夹粉砂和粉土薄层。分布不稳定,少数孔缺失,个别孔厚度大。

⑥<sub>2</sub>层粉土:厚 1 ~ 9.2 m,黄色,中—密实,稍湿—湿,干强度低,低韧性,摇振反应中等,无光泽,见锈染,含钙核和腐殖质,夹粉砂和粘性土薄层。该层少数孔缺失,个别孔厚度较大。

各层物理力学指标参数统计平均值见表 1。

表 1 各土层物理力学指标参数平均值

地层单元	含水量 ω/%	孔隙比 e	饱和度 S <sub>r</sub> /%	液限 w <sub>L</sub> /%	塑限 w <sub>p</sub> /%	塑性指 数 I <sub>p</sub>	液性指 数 I <sub>L</sub>	压缩系数 α/MPa <sup>-1</sup>	压缩模量 E <sub>s</sub> /MPa	内摩擦角 φ/(°)	内聚力 c/kPa	标贯击 数 N	承载力特征 值 f <sub>k</sub> /kPa
①粉砂	19.8	0.850		26.4	19.7	6.6	0.866	0.25	7.54	26.2	27.9	9.5	135
②粉土	20.1	0.836	67.8	27.6	19.3	7.9	0.274	0.22	10.7	24.7	25.7	12.2	122
② <sub>1</sub> 粉砂	20.5	0.795	79.3	28.9	18.6	10.3	0.028	0.36	5.44			11.7	128
② <sub>2</sub> 粘土	37.5	1.095	92.2	46.6	25.8	20.8	0.509	0.50	5.03	14.1	32.6	12.5	102
③粘土	34.7	0.993	95.2	42.7	23.9	18.8	0.575	0.45	4.60	10.0	37.5	5.5	110
④细砂	22.8	0.672	95.5	26.6	17.2	9.4	0.580	0.27	6.69			24.1	315
④ <sub>1</sub> 粉土	22.8	0.684	91.2	27.8	19.4	8.4	0.620	0.20	9.57	21.0	28.0	16.0	134
④ <sub>2</sub> 粘土	31.8	0.916	96.7	38.1	22.0	16.2	0.660	0.43	5.48	11.6	33.9	12.0	113
⑤粉质粘土	25.7	0.725	96.2	31.7	19.1	12.5	0.550	0.30	6.73	9.8	36.6	18.0	135
⑤ <sub>1</sub> 粉土	22.1	0.641	92.7	26.4	19.0	7.4	0.530	0.16	11.33	28.2	20.3	22.7	172
⑤ <sub>2</sub> 粘土	31.1	0.850	98.9	41.7	23.1	18.6	0.440	0.38	5.79	6.6	42.0		150
⑥细砂	23.5	0.476	92.2	33.1	19.4	13.7	0.470	0.25	7.20	18.2	47.5	37.7	228
⑥ <sub>1</sub> 粉质粘土夹粘土	27.1	0.750	97.4	34.5	20.3	14.2	0.495	0.31	6.25	11.4	39.2	25.0	154
⑥ <sub>2</sub> 粉土	22.3	0.636	93.7	26.4	18.9	7.5	0.500	0.18	10.60	21.5	27.8	33.0	180

1.2 水文地质

廊坊市境内主要河流有永定河、龙河,属海河水系,均为季节性河道,市区内地下水流向与地势基本

相同,自西北向东南。

本区处于永定河洪冲积平原中前端,地下水属第四系松散层孔隙潜水,局部为承压水。浅层地下

水位埋深西北部低(16.5~10 m)、东南部高(5~1 m),总趋势是由东北、西北、西南部较深,有向廊坊市区逐步或突然变浅的趋势,即谓“反漏斗”分布区;深层地下水埋深从市区的72 m到郊区的25 m,

形成降落漏斗<sup>[8]</sup>。

### 1.3 构造与地震

廊坊附近地质构造以断裂构造为主,发育4条活动断裂<sup>[9]</sup>(图1)。

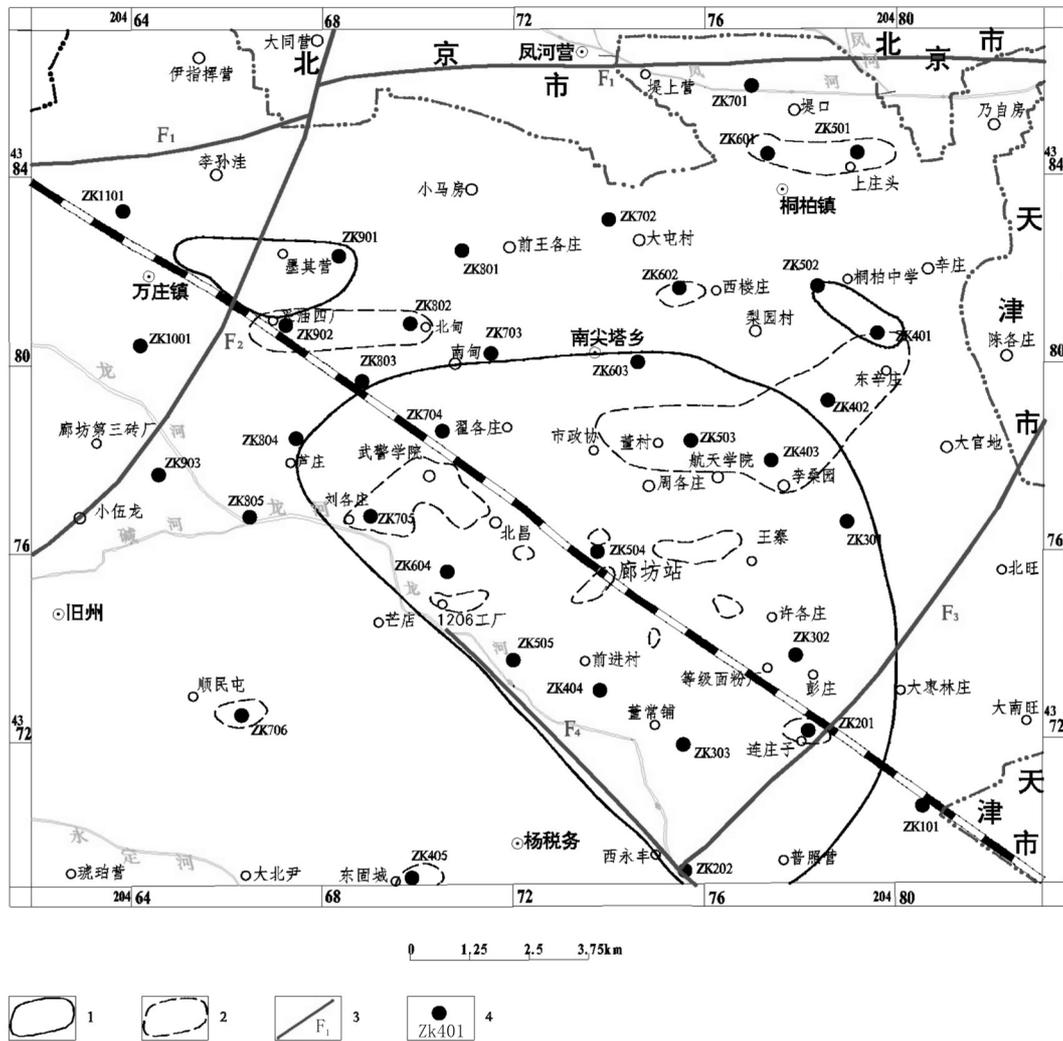


图1 廊坊市工程地质简图

1—液化土分布区;2—软土分布区;3—活动断裂;4—钻孔及编号

(1)夏垫—凤河营—曹家务断裂(F<sub>2</sub>):总体走向北30°东,倾向南东,倾角65°~70°。

(2)牛镇—大北尹(河西务)断裂(F<sub>3</sub>):总体走向北30°东,倾向南东,倾角60°左右。

(3)宝坻—桐柏断裂(F<sub>1</sub>):呈近东西向展布,倾向南,倾角60°~80°。

(4)大王务断裂(F<sub>4</sub>):呈北40°西延伸,倾向南西,倾角65°~70°,为张性反扭断裂。

平谷—三河—廊坊北北东向活动断裂带,往南经任丘、河间、磁县延伸到河南新乡,为华北平原内部一条宏伟的活动性构造带。历史上,沿该断裂带

曾发生多次强震(如1679年三河—平谷8级地震,1830年磁县7.5级地震,1966年邢台7.2级地震)及多次5~6级中震。夏垫—凤河营—曹家务断裂与东西向桐柏弱活动断裂交汇部位附近历史上曾发生过4.5级地震2次。大王务北西向强烈活动断裂,在大王务附近与北北东向牛镇—大北尹强烈活动断裂交汇点附近,历史上曾发生过3~4级地震7次,5.5级地震1次。

## 2 工程地质问题及持力层选择

### 2.1 工程地质问题

廊坊市地处永定河冲积扇平原区,工程土体均为第四系松散堆积物,沉积环境多为河流相、湖沼相,地质环境的特征决定了廊坊市工程地质问题主要为软土和液化土。

### 2.1.1 工程软土

区内第②<sub>2</sub>层、第③层和第④<sub>2</sub>层粘土,具有淤泥质土层的特征:呈灰、黑灰色、中—高压缩性,高韧性,普遍含腐殖质,具臭味或微具臭味。由表1可见,上述土层具有下列物理力学性质,具有明显的软土特征<sup>[10]</sup>。

②<sub>2</sub>层粘土,天然含水量37.5%,孔隙比1.095,液限46.6%,压缩系数 $0.5 \text{ MPa}^{-1}$ ,承载力特征值低(102 kPa)。

③层粘土,天然含水量34.7%,孔隙比为0.993,液限42.7%,压缩系数 $0.45 \text{ MPa}^{-1}$ ,承载力特征值低(110 kPa)。

④<sub>2</sub>层粘土,含水量31.8%,孔隙比为0.916,液限38.1%,压缩系数 $0.43 \text{ MPa}^{-1}$ ,承载力特征值低(113 kPa)。

第②<sub>2</sub>层粘土呈透镜状分布,厚0.5~3.1 m,分别在市区西北、西南及东北。第③层粘土分布较稳定,除市区北中部个别钻孔缺失外(6孔),几乎遍布全区,厚度一般在1.2~4.8 m。第④<sub>2</sub>层粘土亦呈透镜状出现,主要分布于测区西北和东南部,厚度在1~4 m。

### 2.1.2 砂土液化

根据《中国地震动参数区划图》<sup>[11]</sup>及《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)<sup>[12]</sup>,本区地震动峰值加速度为(0.15~0.20)g,抗震设防烈度为Ⅷ度区。区内基底断裂至今仍在活动,具备发生6~7级地震的地震地质条件。因此,对于位于地下水位以下呈饱和状态的疏松或稍密的粉砂、细砂或粉土必须进行液化判别。

采用标准贯入法对地表以下15 m范围内饱和土体进行了液化判别,并对存在液化现象的钻孔采用液化指数( $I_{le}$ )进一步判别。区内液化土层可划分为2层,第一层为黄色粉土、粉砂,为②、②<sub>1</sub>层,层厚1~4 m,底层埋深3~5 m, $N=6.3\sim 10.5$ 击, $f_k=90\sim 120$  kPa;第二层为灰色细中砂,为④、④<sub>1</sub>层,层厚3~10 m,底层埋深8~15 m, $N=20.3\sim 22.4$ 击, $f_k=200\sim 240$  kPa。判别结果见表2。

### 2.2 持力层选择

表2 标准贯入试验液化判别

层号	岩性	试验点位置		稳定 水位/ m	粘粒 含量 $P_c/\%$	实测锤 击数 $N_{63.5}$	临界锤 击数(8 度) $N_{cr}$	液化 指数 $I_{le}$	液化 判别
		孔号	深度 /m						
② <sub>1</sub>	粉砂	ZK302	2.45	2.17	3	8	9.13	0.266	轻微液化
② <sub>1</sub>	粉砂	ZK303	1.95	1.60	3	8	9.20	0.684	轻微液化
④	细砂	ZK401	4.15	3.50	3	9	9.80	0.931	轻微液化
④	细砂	ZK404	10.45	2.17	3	16	17.13	0.395	轻微液化
④	细砂	ZK405	14.80	3.50	3	17	20.10	0.165	轻微液化
②	粉土	ZK503	8.30	2.17	9.3	5	5.56	0.639	轻微液化
②	粉土	ZK603	8.45	2.17	3	9	11.08	0.657	轻微液化
④ <sub>1</sub>	粉土	ZK901	2.00	3.50	3	18	18.80	0.420	轻微液化

通过分析区内工程地质土层物理力学指标和工程地质问题,对工程地质条件作出以下评价。

①层粉砂厚度薄,多位于建筑基础之上,除单层建筑外,不能作为地基持力层;②层粉土在液化土层区不可作为地基持力层,非液化区可作为多层建筑天然地基持力层;②<sub>2</sub>层粘土、②<sub>1</sub>层粉砂厚度薄,分布不均匀,且②<sub>1</sub>层粉砂发育液化土层,②<sub>2</sub>层粘土为软弱土,不可作为地基持力层;③层粘土在软土分布区工程性质差,不可作为地基持力层,但其分布稳定,在非软土分布区可作为多层建筑天然地基持力层;④层细砂虽承载力高,分布稳定,但厚度薄,且部分地区具有液化现象,不宜作为基础端持力层;④<sub>1</sub>层粉土、④<sub>2</sub>层粘土分布不均匀,前者具液化现象,后者具工程软土特征,不宜作为基础端持力层;⑥层细砂厚度大,分布稳定,承载力高,是很好的深基础桩端持力层;⑥<sub>1</sub>层粉质粘土夹粘土、⑥<sub>2</sub>层粉土虽承载力较高,但分布不均匀,厚度不稳定,不宜作为地基持力层。

## 3 工程地质问题处理措施

对于工程软土、砂土液化工程地质问题,一般采用避开、挖除或加固的方法处理。但是廊坊地处京津之间,土地资源紧张,随着城市建设的不断发展,多层及高层建筑越来越多,采用避开、挖除措施液化土层、软土层等常规预防措施已不现实。工程地质问题的防治现多采用深基础方法或地基加固措施。

### 3.1 深基础法

多采用桩基础(端承桩)方法,桩顶荷载由桩端阻力承受。采用桩基础方法时,桩必须穿透液化土层、软土层,桩端深入液化深度以下稳定土层中的长度(不包括桩尖部分),应按计算确定,且对碎石土、砾、粗、中砂,坚硬粘性土和密实粉土应不小于0.5 m,

对其他非岩石土上部应不小于 1.5 m。桩体由钢筋和混凝土构成,淤泥、淤泥质土等软土与非软土层(液化土与非液化土)交界面易受到剪切作用,因此基桩配筋长度应穿过淤泥、淤泥质土层或液化土层<sup>[9]</sup>。基桩成桩工艺一般为振动沉管灌注成桩、泥浆护壁成孔灌注桩和长螺旋钻孔压灌桩,因地层中发育粘性土,振动沉管灌注成桩容易造成缩径、断桩等质量问题,使用后 2 种成桩工艺质量良好。

### 3.2 地基加固

地基加固一般采用碎石桩、CFG 桩复合地基技术。碎石桩复合地基按施工方法进一步分为振冲碎石桩法、沉管碎石桩法。振冲法施工中由于土粒流失较大,成桩困难;振动沉管法施工时,因土层受到强烈的竖向振实作用,管端以下一定范围内(厚度约为桩径 2 倍)的土层易被振密实而使桩管难以继续贯入成桩困难<sup>[13]</sup>。碎石桩复合地基技术虽然消除液化良好,但处理软土地基不适宜,且提高地基承载力有限。随着 CFG 桩复合地基技术的成熟,采用此方法消除液化土层、处理工程软土,提高地基承载力效果较好<sup>[14]</sup>。

采用 CFG 桩方法时,桩体必须穿透液化土层、软土层,桩端应坐落在工程地质性质优良的工程地质层之上(具有一定厚度,密实,不液化的粉土、砂土、砾石土),以保正建筑物对承载力和变形要求,基础外围一定范围应布设护柱<sup>[15]</sup>。CFG 桩施工一般采用振动沉管灌注成桩、长螺旋钻孔中心压灌成桩,振动沉管灌注成桩与基桩施工具有相同的质量问题,廊坊地区 CFG 桩施工宜采用长螺旋钻孔中心压灌成桩工艺<sup>[16]</sup>,桩位布置应采用长桩疏距,避免饱和粉土、粉细砂、淤泥因施工扰动发生窜孔、断桩、缩径等质量问题。

## 4 结论

廊坊市主要工程地质问题是工程软土和砂土液

化;处理工程软土和液化土层应采用深基础方法或地基加固措施,CFG 桩复合地基法处理工程地质问题效果良好。

### 参考文献:

- [1] 河北省地质矿产局. 河北省北京市天津市区地质志[M]. 北京:地质出版社,1989:590-608.
- [2] 李树德,袁仁茂,吕红华,等. 北京地区新近沉积土不同沉积相的工程地质特性及其评价[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2004,40(1):139-143.
- [3] 刘世凯. 长江中下游现代河漫滩土层物理力学性质及工程地质评价[J]. 力学学报,2001,9(2):141-144.
- [4] 莫群欢,王富葆. 上海市第四系的工程地质研究[J]. 高校地质学报,1999,5(4):467-473.
- [5] 杨书遂,盛立云. 渤海湾西岸滩海地区沉积相特征及其物理力学性质[J]. 水文地质工程地质,2004,31(3):93-95.
- [6] 秦雅飞,胥勤勉,姜洪涛,等. 渤海湾北岸晚第四纪沉积物物理力学性质及其对地面沉降的影响[J]. 地质调查与研究,2014,37(2):123-130.
- [7] 河北省区域地质矿产调查研究所. 廊坊市工程地质调查报告[Z]. 河北廊坊:2004.
- [8] 廊坊市水利局,廊坊市地矿局. 河北省廊坊市地下水资源开发利用报告[Z]. 河北廊坊:1997.
- [9] 北京市地震地质会展办公室. 北京地区地震地质会战成果说明书[Z]. 北京:1979.
- [10] 陈希哲. 土力学地基基础[M]. 北京:清华大学出版社,2003:510-520.
- [11] GB 18306—2001,中国地震动参数区划图[S].
- [12] GB 50011—2010,建筑抗震设计规范[S].
- [13] 赵珍,丁丽萍,马旭. 砂土液化及处理措施[J]. 东北水利水电,2005,23(8):11-12.
- [14] 王德强,王行军,宫进忠. 廊坊市规划区饱和砂土液化的危害及防治措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(4):62-64.
- [15] 阎明礼,张东刚. CFG 桩复合地基技术及工程实践[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003:50-120.
- [16] 周红军. CFG 桩复合地基在河北廊坊地区的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(6):55-57.

致谢:感谢河北省区域地质矿产调查研究所廊坊市工程地质调查项目组提供了丰富翔实的地质资料。