

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2023.338

引用格式: 冯欣,关雨男,田野,等.辽阳空间发展主轴区岩土体承载力分析及工程地质分区[J].中国地质调查,2024,12(4):68-77.(Feng X,Guan Y N,Tian Y,et al. Analysis of rock and soil mass bearing capacity and engineering geological zoning in the spatial development main axis area of Liaoyang[J]. Geological Survey of China, 2025,12(4):68-77.)

# 辽阳空间发展主轴区岩土体承载力分析及工程地质分区

冯欣,关雨男\*,田野,孙肖,刘永恒,赵建军

(中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心,天津 300301)

**摘要:**地质环境是决定城镇规划及城镇用地选择的主要因素,深入认识、分析岩土体结构特征可为地下空间开发利用打下坚实基础。按地层成因、岩性、岩土体工程地质性质等因素,辽阳空间发展主轴区岩土体可划分为人工填土层、黏性土层、粉土层、砂土层、卵砾石层、泥岩层、页岩层和灰岩层8个基本类型,其中黏性土层、粉土层、砂土层及卵砾石层为主要岩土体类型。通过分析岩土体地质结构特征,按照“平面分区、垂向评价”的原则,从表层[0,5)m、浅层[5,10)m、中层[10,30)m、深层[30,50)m4个不同深度范围,对岩土体承载力进行了评价,并划分了工程地质分区(3个工程地质区、5个亚区),提出了对应的工程建设建议。研究成果可为未来辽阳空间发展主轴区地下和地上空间开发提供地质依据,为城镇发展规划提供重要服务支撑。

**关键词:**岩土体;结构特征;地下空间;开发利用;辽阳空间发展主轴区

**中图分类号:** P642.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8706(2025)04-0068-10

## 0 引言

在城镇化不断加快的过程中,建设用地紧缺、交通拥堵等问题日趋严重,合理开发利用地下空间成为解决这些问题的有效途径和必然趋势<sup>[1-3]</sup>。地质环境是决定城镇规划及城镇用地选择的主要因素,岩土体地质结构对地下空间开发利用起重要作用<sup>[4-6]</sup>。目前,我国城市地下空间开发主要集中在地下50 m以浅,普通地级及以下城市开发深度一般在5 m以内,少量达到10 m<sup>[7-8]</sup>,对此,查清地下0~50 m岩土体结构对城镇规划建设至关重要。

辽阳地处辽宁中部,是辽宁省乃至东北地区重要的节点城市,也是沈阳都市圈和辽中南城市群的副中心城市之一。受城市规模限制,区内地下空间开发以0~10 m浅层空间为主,多用于市政管网、地下停车

场、地下商城、加油站储油装置及浅层人防工程等设施建设,10~50 m中深层空间多用于建筑桩基、人防(防灾)工程建设。前人通过对区内工勘资料的收集、整理,在辽阳地区地基土类型、地基承载力等工程地质特性方面取得了一些认识<sup>[9-10]</sup>,相关成果集中于市域整体,但未对重点区域进行分层剖析、评价。辽阳空间发展主轴区位于辽阳县—白塔区—文圣区—灯塔市一线,是“沈大发展轴”的重要组成部分。本文按照“平面分区、垂向分层”的原则对辽阳地区岩土体地质结构进行分析,旨在为地下和地上空间开发提供地质依据,对未来辽阳市发展规划提供服务支撑。

## 1 地质背景概况

### 1.1 地形地貌及地质概况

辽阳地区处在辽东低山丘陵与辽河平原的过

收稿日期:2023-12-19;修订日期:2025-05-30。

基金项目:中国地质调查局“西藏雄梅地区1:5万区域地质调查(编号:DD20250102610)”和“辽阳市多要素城市地质调查(编号:DD20191025)”项目联合资助。

第一作者简介:冯欣(1985—),男,高级工程师,主要从事区域地质调查工作。Email: fengxin01305105@163.com。

通信作者简介:关雨男(1990—),男,工程师,主要从事城市地质调查工作。Email: 1204550257@qq.com。

渡地带,地势总体为东南高西南低,自东南向西北倾斜(图1)。东南属千山山脉西麓低山丘陵地带,东北部位于龙岗山脉尾部丘陵地带,西部位于下辽河平原东侧边缘地带。

研究区出露的基底地层为新太古界鞍山岩群

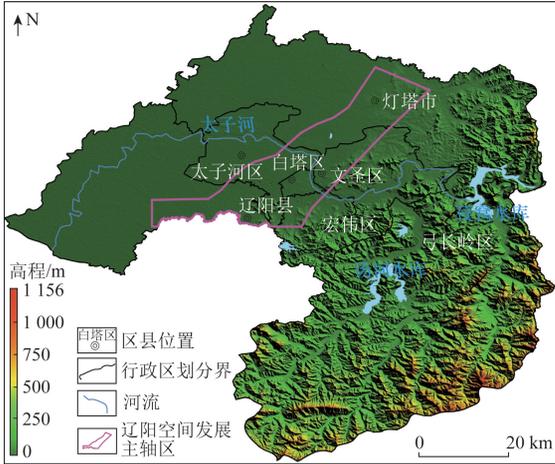


图1 研究区地理位置

Fig.1 Geographical location of the study area

及古元古界辽河群,盖层为新元古界青白口系,古生界寒武系、奥陶系、石炭系、第四系。出露的岩浆岩有晚太古代微斜混合花岗岩和中生代晚侏罗世斜长花岗斑岩。自太古宙起,经过鞍山期、吕梁期、晋宁期、加里东海西期、印支期、燕山期、喜山期多次的构造运动,不同期次、不同方向构造的叠加与改造,致使本区构造形态异常复杂,发育深层次韧性变形,以及中-浅层次脆性变形,构成了纷繁多样的构造格架<sup>[11]</sup>。

研究区地层主要为第四系,西部近下辽河平原区以极为发育的河流冲积相为主,其厚度由山前向西逐渐加大,山前区平均地层厚度约70余米,至沈(阳)大(连)公路一带逐渐加大到近百米,至浑河边缘其厚度增至约300 m。辽阳东部低山、丘陵区第四系发育较少,只沿汤河、兰河河谷呈条带状分布,沉积物类型复杂,厚度不大。区内第四系成因主要有冲积、冲洪积、坡洪积及风积、冰碛等类型(图2)。

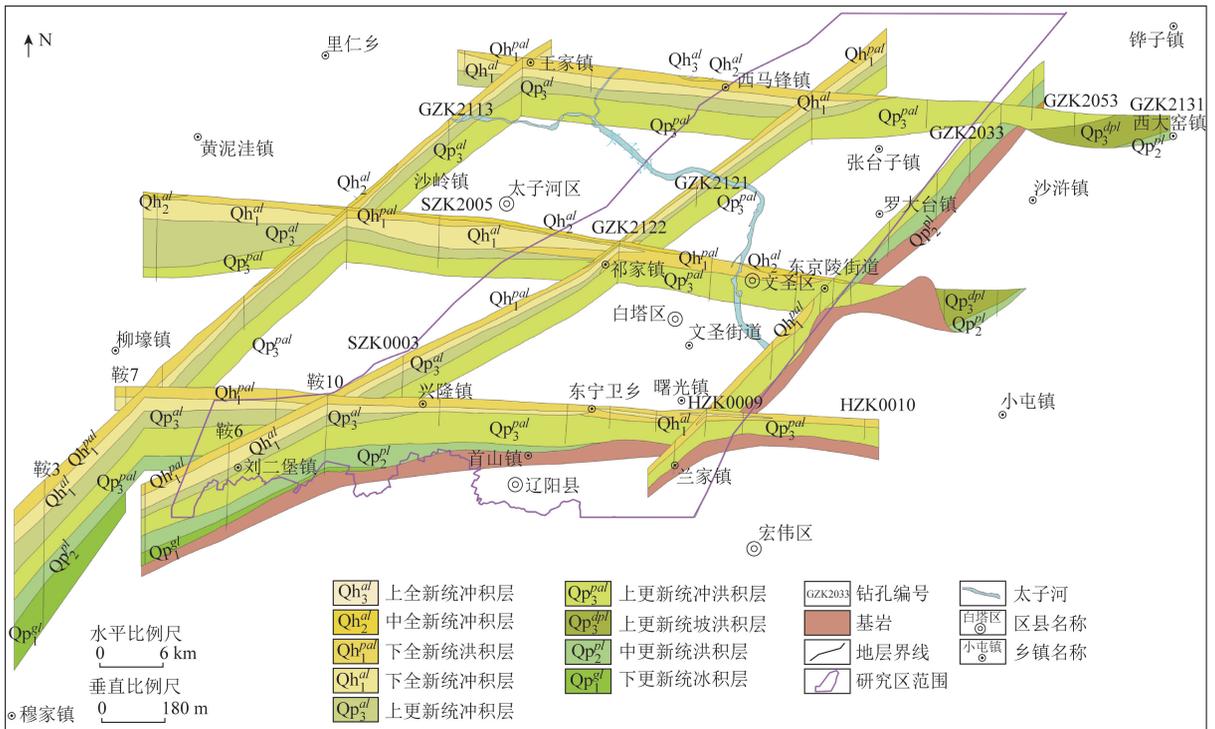


图2 辽阳空间发展主轴区工程地质三维结构图

Fig.2 Three - dimensional engineering geological structure diagram of the spatial development main axis area of Liaoyang

下更新统(Qp<sub>1</sub>)可分为冰碛、冰水堆积和河湖相堆积两种。下更新统仅埋藏于里仁乡—刘二堡镇一线以西地区,一般埋为130~140 m,最下部底板埋深为200~300 m,直接覆于基岩之上,下部为冰碛、

冰水堆积,上部为河湖相堆积;中更新统(Qp<sub>2</sub>)在区内较为发育,普遍埋藏于平原下部的近山前地带,东部山区河谷高阶地亦有零星分布,其成因类型较复杂,有冰碛、冲积、风积、洞穴堆积及坡洪积

等;上更新统( $Qp_3$ )分为冲积、冲洪积、坡洪积、风积等类型。全新统遍布全区,主要有冲积相、冲洪积相、坡洪积相等类型,分布于太子河、兰河、汤河河谷一级阶地、河漫滩、现代牛轭湖、湖沼洼地,最大厚度为25 m。

## 1.2 水文地质概况

辽阳地区地下水主要为松散堆积层孔隙水、碳酸盐岩裂隙岩溶水、碎屑岩类裂隙孔隙水和基岩裂隙水4种类型。在东部山前倾斜平原的前缘,孔隙承压含水层以冲洪积作用形成的砂砾石为主,西部平原区的孔隙承压含水层以冲积作用和冲洪积作用形成的细粒砂层为主;碎屑岩类裂隙孔隙水主要分布在辽阳县东南地区,赋存于层状的碎屑岩裂隙孔隙中,具有承压性质;碳酸盐岩裂隙岩溶水多分布在太子河两岸沙河镇一带,含水层为寒武系厚层灰岩、竹叶状灰岩;基岩裂隙水主要赋存于岩石的构造裂隙和风化裂隙中,主要以风化裂隙为主。东南山丘区裂隙水主要补给来源为大气降水,西北平原区松散岩类孔隙水的补给来源除大气降水补给外,还有农田灌溉入渗、山前侧向补给量及河道渗漏等,特别是城镇集中地下水源区。由于地下水的集中规模性开采,导致地下水位低于河水位,使大量的地表水入渗补给地下水(即袭夺河水量),人为地增大了河道入渗补给量<sup>[12]</sup>。

## 2 岩土体地质结构特征

### 2.1 岩土体类型及物理力学指标

结合第四系沉积特征和岩土体结构,将研究区50 m以浅地层划分为7个工程地质层组。地层结构呈多元化,其中土体有粉质黏土/黏土、粉土、淤泥质土、粉砂、细砂、中砂、粗砂、砾砂、角(圆)砾、卵石,广泛分布在西部平原区和东部低山-丘陵区河谷地带。研究区岩土体类型按地层成因、岩性、岩土体工程地质性质等因素<sup>[13-15]</sup>,可划分为人工填土层、黏性土层、粉土层、砂土层、卵砾石层、泥岩层、页岩层和灰岩层8个基本类型。其中黏性土层、粉土层、砂土层及卵砾石层为主要岩土体类型。

### 2.2 岩土体特征

#### 2.2.1 人工填土层

人工填土层主要分布在主城区、低阶地的边缘区及其他沟、塘或低洼地带,填土的厚度从数厘米

到数十米不等,厚度变化较大<sup>[15]</sup>。由于填土厚度在空间上分布较不均匀,且位于表层,受人类活动影响较为强烈,成分、厚度也产生了改变,压缩性的变化很大,属不良土层。一般采用重型动力触探确定其承载力,填土层动探击数多为2~5击,地基承载力90~130 kPa,最大为180 kPa,组成复杂,均一性及密度差,层厚变化大,有机质含量高,强度低,变化性大,不宜做天然地基。

#### 2.2.2 黏性土层

(1)黏土。可进一步划分为坚硬-硬塑状黏土与可塑状黏土。坚硬-硬塑状黏土强度较高,埋藏浅,厚度一般较大,是浅基础开放利用的重要对象。根据物理力学指标统计(表1),除压缩系数和压缩模量的变异系数较大外,孔隙比、固结荷重等变异系数较小,为中等偏低压缩性土,土粒比重均值为2.74,天然重度为18.44~20.50 kN/m<sup>3</sup>,饱和度均值为92.69%,压缩系数为0.07~0.24 MPa<sup>-1</sup>,压缩模量为7.30~23.30 MPa。可塑状黏土强度较高,埋藏深,厚度较大。从表1看,各项指标变异系数不大,数据离散性较小,为中等压缩性土,天然重度为18.14~20.40 kN/m<sup>3</sup>,土粒比重均值为2.745,饱和度均值为94.52%,压缩系数为0.16~0.55 MPa<sup>-1</sup>,压缩模量为3.30~9.90 MPa。

(2)粉质黏土。粉质黏土可进一步划分为坚硬-硬塑状粉质黏土与可塑状粉质黏土。坚硬-硬塑状粉质黏土主要分布于冲洪积及残破积区域,强度较高,埋藏浅,厚度一般较大,但层厚分布不均匀。从表1看,区域内坚硬-硬塑状粉质黏土物理力学性质较好,均为中等偏低压缩性土,天然重度为19.22~20.30 kN/m<sup>3</sup>,土粒比重均值为2.72,饱和度均值为92.96%,压缩系数为0.10~0.22 MPa<sup>-1</sup>,压缩模量为7.80~15.30 MPa。可塑状粉质黏土多在粉质黏土层之下粉细砂层之上,物理力学性质较好,属中等压缩性土。从表1看,天然重度为17.65~20.89 kN/m<sup>3</sup>,土粒比重均值为2.72,饱和度均值为90.24%,压缩系数为0.12~0.83 MPa<sup>-1</sup>,压缩模量为2.40~14.20 MPa。

(3)软塑状黏土及淤泥质土。软塑状黏土及淤泥质土主要分布在低阶地区域的地表水塘、低洼地带、小河阶地以及被埋藏的牛轭湖地等,为静水成因条件下形成,多为灰色、灰黑色,厚度数十厘米至数米不等,呈现饱和状态,土颗粒由粉粒、黏粒组成,含少量有机物,以絮状胶结为主,结构疏松。有机质含量对软土的可塑性有明显影响,当有机质含

表1 研究区黏性土及粉土物理力学指标统计

Tab.1 Statistics of physical and mechanical indices of clay and silty soil in the study area

物理力学指标		含水率/%	湿密度/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	天然重度/ ( $kN \cdot m^{-3}$ )	土粒比重	饱和度/%	孔隙率/%	孔隙比
黏性土层	黏土 坚硬-硬塑状黏土	17.50~30.50	1.88~2.09	18.44~20.50	2.70~2.75	84.00~99.00	36.30~46.80	0.57~0.88
	黏土 可塑状黏土	22.00~33.50	1.85~2.08	18.14~20.40	2.74~2.75	85.00~99.90	37.90~48.10	0.61~0.93
	粉质 坚硬-硬塑状粉质黏土	19.60~26.10	1.96~2.07	19.22~20.30	2.71~2.74	85.90~98.90	36.80~42.00	0.58~0.72
	黏土 可塑状粉质黏土	16.70~31.90	1.80~2.13	17.65~20.89	2.66~2.74	72.40~98.80	33.00~49.90	0.49~1.00
	软塑性黏土及淤泥质土	26.50~44.80	1.63~1.93	1.76~18.93	2.71~2.76	76.00~99.70	44.50~58.30	0.80~1.40
粉土层		14.80~29.20	1.77~2.05	17.36~20.10	2.70~2.78	77.00~99.10	33.90~48.70	0.51~0.95
物理力学指标		固结荷重/ 100 kPa	塑性指数	液性指数	压缩系数/ $MPa^{-1}$	压缩模量/ MPa	黏聚力/ kPa	摩擦角/ $(^\circ)$
黏性土层	黏土 坚硬-硬塑状黏土	0.52~0.86	9.60~21.50	-0.15~0.34	0.07~0.24	7.30~23.30	21.20~69.50	8.50°~22.40°
	黏土 可塑状黏土	0.58~0.83	17.10~20.20	0.06~0.56	0.16~0.55	3.30~9.90	31.10~59.20	10.20°~14.20°
	粉质 坚硬-硬塑状粉质黏土	0.47~0.68	10.40~16.60	0.01~0.64	0.10~0.22	7.80~15.30	24.20~42.30	13.60°~19.10°
	黏土 可塑状粉质黏土	0.42~0.84	0.18~16.80	0.03~14.90	0.12~0.83	2.40~14.20	4.50~40.50	11.10°~21.80°
	软塑性黏土及淤泥质土	0.68~1.30	9.80~29.00	0.02~1.38	0.27~1.47	1.50~7.90	6.80~48.30	7.60°~37.00°
粉土层		0.47~0.90	-0.14~9.80	0.04~18.30	0.20~0.60	3.10~8.30	2.80~26.40	13.90°~41.60°

量高时,软土液限、塑限值均大,反之则减小。从表1看,软塑状黏土及淤泥质土含水率均值为34.09%,接近液限指数,孔隙比较大,为1.04,饱和度最大可达99.70%,均值为90.14%,压缩系数均值为 $0.69 MPa^{-1}$ ,属高压缩性土,压缩模量均值为3.29 MPa,物理力学性质差,属于不良土层。

### 2.2.3 粉土层

粉土层多在低阶地上分布,埋深4~15 m,厚度一般2~6 m,颜色为黄色、褐黄色,稍密至松散状态,强度随含水量大小而变化较大。粉土层岩性以砂质粉土为主,西北部宝山局部地区则以黏质粉土为主,粉砂层以粉砂为主。从表1看,区域内粉土含水率较低,凝聚力较低,属中等压缩性土,湿密度为稍湿至湿,土粒比重均值为2.72,孔隙比变化范围为0.51~0.95,密实至松散,大多数为密实状态,压缩系数为 $0.20 \sim 0.60 MPa^{-1}$ ,具中等压缩性,压缩模量为3.10~8.30 MPa,物理力学性质一般。

### 2.2.4 砂土层

该层在太子河沿岸均有分布,但南岸较北岸发育,太子河南岸主要分布在刘二堡镇、沙岭镇以及柳壕镇等地区,太子河北岸主要分布在王家镇、西马峰镇和里仁乡等地区。岩性平面上变化不大,垂向上有一定差异,从上至下砂粒含量逐渐增加,粉粒含量逐渐减少,局部地区底部夹有砾石。从上至下由粉土过渡为粉砂、细砂,部分地区为细砂,底部夹有砾石,松散至稍密状态,低阶地区砂土的分选性及磨圆度较好,粉细砂标贯击数多在5~8击,中粗砂和砾砂的标贯击数多在7~18击,砂土层较广

泛,埋藏于卵砾石层之上,厚度范围较大,为10~100 m,局部地区较厚,如西马峰镇北部、王家镇以及黄泥洼镇以西一带,可达150 m厚。中砂其地基承载力为170~210 kPa,细砂和粉砂的地基承载力为120~150 kPa。

### 2.2.5 卵砾石层

该层在各阶地均有分布,在岩溶区的部分区域也有分布,厚度一般数米至数十米不等。高阶地部分及岩溶区由于受到剥蚀,许多卵砾石层裸露于地表。在低阶地地区,卵砾石层多呈灰黄色,颗粒磨圆度较好,粒径一般为2~20 mm,砂和黏土约占30%~45%,卵砾石层普遍埋深在8 m以下,厚度多为30 m左右,河漫滩地区卵砾石层厚度可达约50 m,多呈中密状态。在高阶地及其余区域,卵砾石层呈中密至稍密状态,粒径一般为2~20 mm,砾含量约50%~60%,砾间以中粗砂充填,磨圆度和分选性中等。卵砾石层重型动力触探击数多为12~28击,一般卵砾石层承载力标准值达600~800 kPa。

### 2.2.6 泥岩层

在高阶地地区,上覆土层受剥蚀使泥岩层埋藏较浅或裸露于地表。古近系和新近系湖相沉积物泥岩的胀缩性较大,属中等至强胀缩性土层,对低建筑物影响大,常使建筑物受到破坏。在低阶地地区,泥岩埋藏于卵砾石层以下,埋深一般大于30 m,为山地的基岩,是桩基础较好的持力层。强风化泥岩地基承载力一般为250~500 kPa,中风化泥岩的地基承载力一般为600~1 000 kPa。

### 2.2.7 页岩层

该层主要分布于宏伟区以南地区,呈黄色、紫红色,风化严重,组织结构已大部分被破坏,矿物成分已显著变化,含大量黏土质矿物,呈片状、碎片状,节理裂隙发育,手可掰碎,湿时用镐可挖掘,干钻可钻进,遇水易软化或崩解。岩石坚硬程度类别为极软岩,岩体完整程度为极破碎,岩体基本质量等级为V级<sup>[16]</sup>。该层层厚为0.40~6.50 m,层底埋深为3.40~12.20 m,层底标高为56.00~66.55 m。中风化页岩地基承载力一般约800 kPa;强风化页岩地基承载力一般约350 kPa;全风化页岩地基承载力一般100 kPa。

### 2.2.8 灰岩层

该层在山区均有分布,呈灰白色、紫红色、深灰色,微风化-中等风化,用108 mm径回转取心钻进,采取率在85%以上。节理、裂隙较发育,岩体较完整,较坚硬,岩体基本质量等级为IV级<sup>[16]</sup>。该层层顶埋深为2.20~7.50 m,层顶标高为60.26~75.22 m。中-微风化灰岩的地基承载力一般为2 500 kPa以上。

## 3 不同深度岩土体特征及承载力分析

按照“平面分区、垂向评价”的原则,根据辽阳地区规划建设中地下空间开发、天然地基利用深度、多层与高层建筑地基处理及桩基持力层选择的需要,结合现有试验数据及收集工勘资料等数据,按照表层[0,5)m、浅层[5,10)m、中层[10,30)m、深层[30,50)m 4个不同深度范围对岩土体承载力进行评价。

### 3.1 表层岩土体特征及承载力

表层岩土体的地层岩性主要为人工填土、粉质黏土、粉土、粉细砂,局部见少量卵砾石,地基承载力一般为80~130 kPa。基岩区主要为灰岩、页岩和泥岩,地基承载力一般为0.1~80 MPa,个别达200 MPa以上,其中,中风化页岩地基承载力一般约800 kPa,强风化页岩地基承载力一般约350 kPa,全风化页岩地基承载力一般约100 kPa,强风化泥岩地基承载力一般为250~500 kPa,中风化泥岩的地基承载力一般为600~1 000 kPa,中-微风化灰岩地基承载力一般为2 500 kPa以上(表2)。

总体上,如图3所示,基岩区承载力最高,祁家镇和太子河东岸部分地区的卵砾石分布区承载力相对较高,平原黏性土及砂土(粉细砂)区相对较

表2 研究区表层岩土体地层岩性及承载力

Tab.2 Lithology and bearing capacity of the surface rock and soil mass in the study area

地层岩性	标贯击数/击	动探击数/击	地基承载力/kPa
人工填土	3~8	-	80~120
粉质黏土	6~13	-	90~130
粉土	7~13	-	90~140
粉细砂	11~16	-	120~150
卵砾石	-	21~24	350~600

注:“-”表示无数据。

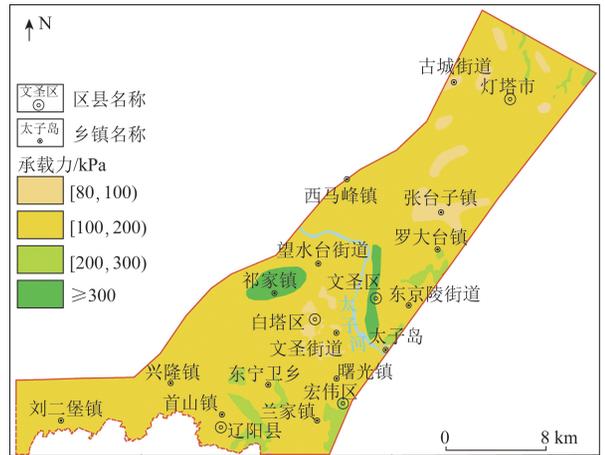


图3 辽阳空间发展主轴区表层岩土体地基承载力分区  
Fig.3 Surface rock and soil mass foundation bearing capacity zoning of the spatial development main axis area of Liaoyang

低。其中:太子岛—东京陵街道—西马峰镇一线以东地基承载力相对较高,一般为125~130 kPa,岩性以冲洪积相粉质黏土、黏土为主,适宜作为多层建筑的天然地基持力层;白塔区、灯塔市部分地区存在软土(湖积相粉质黏土、粉土),地基承载力低,为80~100 kPa,不适宜作为多层建筑的天然地基持力层;其他区域地基土为冲积相粉质黏土、黏土,较适宜作为多层建筑的天然地基持力层。

### 3.2 浅层岩土体特征及承载力

地层岩性主要为冲积和冲洪积的粉质黏土和粉土、粉细砂及砾卵石。基岩地区以灰岩、页岩为主,地基承载力一般为5~80 MPa,大者可达200 MPa。地基承载力一般为100~450 kPa(表3)。

总体上,如图4所示,沿太子河两侧分布的卵砾石区域地基承载力相对高,一般为200~450 kPa,文圣区一带达200~500 kPa,可作为多层、高层建筑物地基处理的桩端或桩基持力层,但需注意市区部分地层中夹有薄层砂土,以粉细砂为主,地基承载力为130~180 kPa。南、北地基土以粉质黏土、粉

表3 研究区浅层岩土体地层岩性及承载力

Tab.3 Lithology and bearing capacity of shallow rock and soil mass in the study area

地层岩性	标贯击数/击	动探击数/击	地基承载力/kPa
粉质黏土	6 ~ 12	-	140 ~ 200
粉土	7 ~ 14	-	90 ~ 140
粉细砂	12 ~ 15	-	120 ~ 200
卵砾石	-	22 ~ 25	300 ~ 500

注:“-”表示无数据。

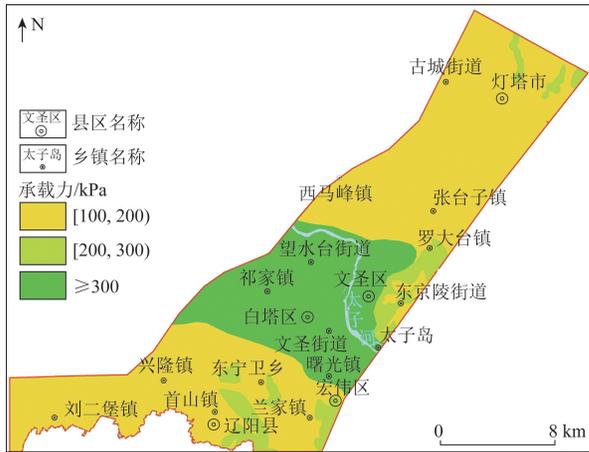


图4 辽阳空间发展主轴区浅层岩土体地基承载力分区  
Fig.4 Shallow rock and soil mass foundation bearing capacity zoning of the spatial development main axis area of Liaoyang

总体上,如图5所示,地基承载力呈东高西低的趋势。其中:太子河以西地带分布有卵砾石层,地基承载力为300~600 kPa,可作为多层、高层建筑物地基处理的桩端或桩基持力层;兰家镇以西及东京陵街道以北山前地段存在少量粉质黏土,地基承载力130~150 kPa;刘二堡镇、西马峰镇—古城街道一带受中细砂影响,地基承载力为150~200 kPa,可以作为多层建筑的天然地基持力层;其他地区地基承载力为200~220 kPa,可作为多层、高层建筑物地基处理的桩端或桩基持力层。

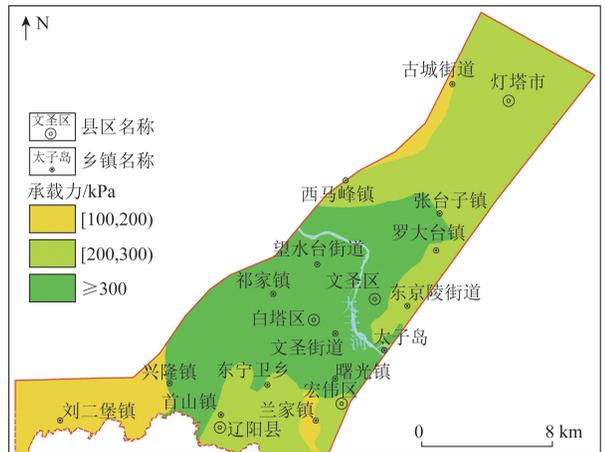


图5 辽阳空间发展主轴区中层岩土体地基承载力分区  
Fig.5 Middle rock and soil mass foundation bearing capacity zoning of the spatial development main axis area of Liaoyang

土及粉细砂为主,承载力逐渐降低,其中分布在刘二堡镇附近的粉细砂、粉土层与东京陵街道—张台子镇一带的软塑状黏性土层,地基承载力值域在110~130 kPa。其他地区地基承载力为130~160 kPa,当无淤泥质黏土下卧层时,可作为多层建筑的天然地基持力层<sup>[16]</sup>。

### 3.3 中层岩土体特征及承载力

地层岩性主要为粉质黏土、粉细砂,卵砾石。基岩地区地基承载力一般为15~80 MPa,大者可达200 MPa。地基承载力一般为130~600 kPa,中部及北部相对较高,向西(粉细砂,中砂为主)逐渐降低(表4)。

表4 研究区中层岩土体地层岩性及承载力

Tab.4 Lithology and bearing capacity of the middle rock and soil mass in the study area

地层岩性	标贯击数/击	动探击数/击	地基承载力/kPa
粉质黏土	10 ~ 22	-	130 ~ 220
粉细砂	12 ~ 16	-	150 ~ 200
卵砾石	-	24 ~ 30	300 ~ 600

注:“-”表示无数据。

### 3.4 深层岩土体特征及承载力

地层岩性主要为含砾细砂和中砂、卵砾石、粉质黏土,地基承载力一般为230~900 kPa(表5)。

表5 研究区深层岩土体地层岩性及承载力

Tab.5 Lithology and bearing capacity of the deep strata rock and soil mass in the study area

地层岩性	标贯击数/击	动探击数(修正后)/击	地基承载力/kPa
含砾细砂	-	9 ~ 12	>200
含砾中砂	-	12 ~ 14	>200
卵砾石	-	32 ~ 39	[500, 900]
粉质黏土	11 ~ 20	-	[220, 320]

注:“-”表示无数据。

总体上,如图6所示,地基承载力均大于200 kPa,基岩层承载力最高,其次为分布在市区的卵砾石层,其他地层承载力逐渐降低。其中:曙光镇、太子河东部地区、太子河区南部、首山镇地区等地,分布有卵砾石层,承载力500~900 kPa,可作为多层、高层建筑物地基处理的桩端或桩基持力层;灯塔市及首山镇—宏伟

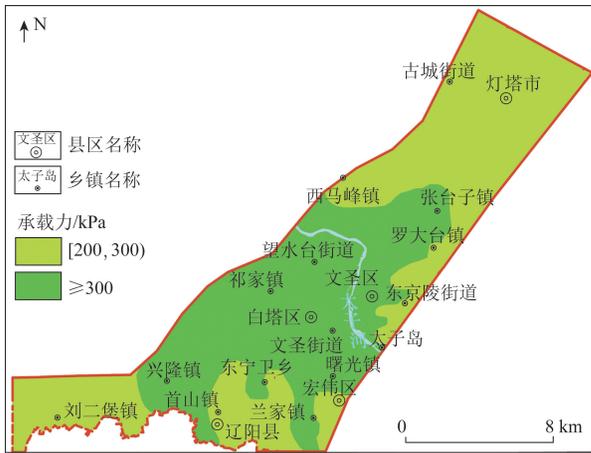


图6 辽阳空间发展主轴区深层岩土体地基承载力分区

Fig.6 Deep rock and soil mass foundation bearing capacity zoning of the spatial development main axis area of Liaoyang

区一带部分地段粉质黏土层,承载力 220 ~ 260 kPa;其他地区地基承载力 250 ~ 320 kPa,可作为建筑物地基处理的桩端持力层。

### 4 工程地质分区及工程建设建议

以地形地貌为主控、沉积物成因为辅控的原则<sup>[17]</sup>,对辽阳空间发展主轴区工程地质分区进行划分,分为3个工程地质区,即冲积-冲洪积平原区(I)、山前堆积区(II)、丘陵区(III)。结合时代成因、岩土体结构特征、地基土构成、不良工程地质作用等进行细分,共划分 I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub>、I<sub>3</sub>、II<sub>1</sub>、III<sub>1</sub> 5个亚区(图7)。

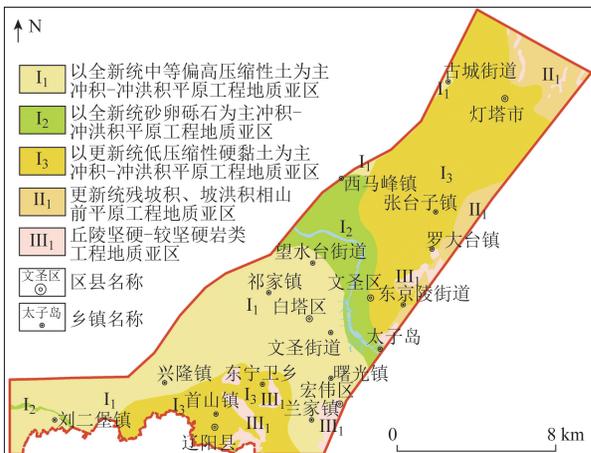


图7 辽阳空间发展主轴区工程地质分区

Fig.7 Engineering geological zoning in the spatial development main axis area of Liaoyang

(1)以全新统中等偏高压缩性土为主的冲积-冲

洪积平原工程地质亚区(I<sub>1</sub>)。该亚区主要分布于太子河流域冲洪积平原地区。地形平坦,局部填土较厚,标高为22~29 m。土体主要由全新世冲积富水卵砾石层为主,其中首山镇-刘二堡镇附近地区以全新统松散砂性土为主,砂砾石含量为10%~35%,粗砂、中砂、细砂层含量高达40%~60%,部分地区见少量黏性土。部分地区砂层自稳性较差,较易发生渗透变形,局部地段发育软土,城区白塔区东北地带由于人类改造堆填发育厚层填土,地下8 m以浅土体的等效压缩模量较小,不适宜高层建筑的基础持力层,地下建设施工中应注意流砂和管涌等不利因素。地下水与太子河水联系密切,水量大、水位高,对工程建设影响非常大。地层次序一般为:人工填土、软-可塑状的一般黏性土、中密粉细砂层、中密-密实砂、砾卵石层、基岩。该亚区场地条件良好,适宜一般工程建筑,高层建筑宜采用桩基础。在该亚区砂层埋深浅、承压水位高的地段开挖基坑时,易产生基坑突涌及基坑侧壁流失流沙现象,应做好排水及支护措施<sup>[18]</sup>。在此亚区修建高层建筑时,宜采用桩基础穿透软土层,修建道路及轻型建筑时,可采取抛石挤淤或者粉喷桩加固等措施对软土进行处理。此区刘二堡镇-首山镇地段,地基承载力特征值一般为120~180 kPa,不宜直接作为高层建筑物的天然地基,应采用桩基础穿透该层或进行加固处理,作为坑壁土时应重点支护。此亚区地下水水量大,工程建设影响非常大<sup>[19]</sup>。

(2)以全新统砂卵石为主的冲积-冲洪积平原工程地质亚区(I<sub>2</sub>)。该亚区主要分布于太子河流域两侧附近。地形较平坦,标高为10~16 mm。砂卵石、砾卵石占绝大部分,砾石成分复杂,有石英岩、砂岩、花岗岩、角闪斑岩、辉绿岩、长英岩等,砾石具棱角状和次棱角状,较小的砾石的平均系数为2~8,砂的含量为4%~14%,黏性土呈薄的夹层或透镜体在边缘偶然出现,含量小于10%。承载力较高,含水量较大,施工时应注意水文地质条件及流砂管涌等因素。地层次序一般为:松散人工填土覆盖、薄层软-可塑状的一般黏性土、中密-密实的砂土及砂砾石层、基岩。该亚区场地条件良好,承载力较高,适宜一般工程建筑,需特殊注意地下水水位及水量等因素,基坑注意防护,防水流砂、失稳等情况发生。

(3)以更新统低压缩性硬黏土为主的冲积-冲洪积平原工程地质亚区(I<sub>3</sub>)。该亚区主要分布于东京陵街道-灯塔市及首山镇-宏伟区附近。地

形较平坦,沟渠密布,地面标高为28~44 m。上部土体主要以晚更新世低压缩性硬黏土为主,厚度较大,分布稳定,工程地质性质较好,是良好的天然地基土;下部以冲洪积富水砂卵石层为主,自稳性较差,较易发生渗透变形,地下水水量大、水位高,对降水响应较迅速,地下水对工程建设的影响大。地层次序一般为:填土及可塑状一般黏性土、可塑-硬塑状老黏性土、砂砾石层(分布不稳定,赋存较丰富的孔隙承压水)。该亚区场地条件良好,适宜一般工程建设,当采用天然地基时,应注意地基均匀性问题,高层建筑宜采用桩基础。一般黏性土覆盖较浅地段开挖基坑时,应做好防排水措施,防止老黏性土吸水膨胀导致基坑边坡失稳破坏。

(4)更新统残坡积、坡洪积相山前平原工程地质亚区(II<sub>1</sub>)。该亚区主要分布于山前等地。地表地形呈波状起伏,坡角一般为10°~20°,土体以残坡积红土为主,土体工程地质性质一般,弱含孔隙潜水,土体厚度变化较大,基岩风化程度不一,基础持力层层面存在较大起伏。需特别注意土体滑坡失稳,软硬不均复合土体结构导致的盾构失稳等问题<sup>[20]</sup>。

(5)丘陵坚硬-较坚硬岩类工程地质亚区(III<sub>1</sub>)。该亚区主要分布于辽阳市东部及南部。地形以中低丘为主。表层一般为薄层残坡积土,下部主要为页岩、泥岩或石灰岩等。其中兰家镇以页岩为主,上部风化较严重,岩石较软。该亚区可作为一般工程持力层,但地形起伏稍大,兰家镇个别地段存在风化软类岩石,罗大台镇个别地段存在岩溶类岩石,工程建设适宜性较差,在开发和使用过程中需注意防范。

## 5 结论

(1)按地层成因、岩性、岩土体工程地质性质等因素,将辽阳空间发展主轴区岩土体划分为人工填土层、黏性土层、粉土层、砂土层、卵石层、泥岩层、页岩层和灰岩层8个基本类型。人工填土层、塑性黏土及淤泥质土,为不良土层;黏土、粉质黏土、粉土层为中等压缩性土。

(2)辽阳空间发展主轴区第四系地层广泛发育,地层结构总体简单,黏性土层、粉土层、砂土层及卵石层为主要岩土体类型。

(3)按照表层[0,5)m、浅层[5,10)m、中层[10,30)m、深层[30,50)m 4个不同深度范围对

岩土体特征和承载力进行了评价。表层[0,5)m地层岩性主要为人工填土、粉质黏土、粉土、粉细砂,局部见少量卵石,地基承载力一般为80~130 kPa;浅层[5,10)m地层岩性主要为冲积和冲洪积的粉质黏土和粉土、粉细砂及砾卵石,地基承载力一般为100~450 kPa;中层[10,30)m地层岩性主要为粉质黏土、粉细砂、卵石,地基承载力一般为130~600 kPa;深层[30,50)m地层岩性主要为含砾细砂和中砂、卵石、粉质黏土,地基承载力一般为230~900 kPa。由于不同深度岩土体类型不同,城市规划建设部门可根据地层结构合理选择地下空间利用布局。

(4)依据地形地貌、沉积物时代成因、岩土体结构特征、地基土构成,并结合不良工程地质作用,将辽阳空间发展主轴区工程地质分区划分为3个工程地质区,即冲积-冲洪积平原区(I)、山前堆积区(II)、丘陵区(III),再细划分5个亚区。其中,以全新统中等偏高压缩性土为主的冲积-冲洪积平原工程地质亚区(I<sub>1</sub>)、以全新统砂卵石为主的冲积-冲洪积平原工程地质亚区(I<sub>2</sub>)、以更新统低压缩性硬黏土为主的冲积-冲洪积平原工程地质亚区(I<sub>3</sub>),这3个亚区场地条件良好,承载力较高,适宜一般工程建设,但需注意地下水和水量因素。

## 参考文献(References):

- [1] Tan Z, Roberts C A, Christopoulos I G, et al. Working in underground spaces: Architectural parameters, perceptions and thermal comfort measurements [J]. *Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research*, 2018, 71: 428 - 439.
- [2] 邢怀学, 窦帆帆, 葛伟亚等. 城市地下空间开发利用地质适宜性三维评价指标体系研究——以杭州市为例[J]. *地质论评*, 2022, 68(02): 607 - 614.  
Xing H X, Dou F F, Ge W Y, et al. A Study on the Three Dimensional Evaluation Index System of Geological Suitability for Urban Underground Space Development and Utilization: A Case Study of Hangzhou City [J]. *Geological Review*, 2022, 68(02): 607 - 614.
- [3] 张建羽, 吕敦玉, 刘长礼等. 河南郑州市岩土地层结构特征及地下空间开发利用建议[J]. *地质论评*, 2023, 69(01): 305 - 315.  
Zhang J Y, Lv D Y, Liu C L, et al. Characteristics of rock - soil stratigraphic structure in Zhengzhou City and suggestions for development and utilization of underground space [J]. *Geological Review*, 2023, 69(01): 305 - 315.
- [4] Li X, Li C, Parriaux A, et al. Multiple resources and their sustain-

able development in Urban Underground Space [J]. Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research, 2016, 55: 59 - 66

[5] 夏伟强,董杰,何鹏等. 青岛主城区地下空间开发利用地质因素的影响评价及适宜性分区[J]. 地质学报, 2019, 93 (S1): 233 - 240.

Xia W Q, Dong J, He P, et al. Evaluation and suitability zoning geological factors affecting the development and utilization of underground space in the main urban area of Qingdao [J]. Acta Geologica Sinica, 2019, 93 (S1): 233 - 240.

[6] 韩博,夏雨波,裴艳东等. 雄安新区地下空间工程地质特征及环境地质效应[J]. 工程勘察, 2020, 48 (03): 1 - 8.

Han B, Xia Y B, Pei Y D, et al. Engineering geology characteristic and environmental geological effect of Underground space in Xiongan New Area [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2020, 48 (03): 1 - 8.

[7] 李晓昭,王睿,顾倩等. 城市地下空间开发的战略需求[J]. 地学前缘, 2019, 26 (03): 032 - 038.

Li X Z, Wang R, Gu Q, et al, Prediction of strategic demand of urban underground space development, Earth Science Frontiers, 2019 26 (3): 032 - 038.

[8] 程光华,王睿,赵牧华等. 国内城市地下空间开发利用现状与发展趋势[J]. 地学前缘, 2019, 26 (03): 039 - 047.

Cheng G H, Wang R, Zhao M H, et al, Present situation and developmental trend of urban underground space development and utilization in China. Earth Science Frontiers, 2019, 26 (3): 039 - 047.

[9] 胡荣华. 辽阳地区工程地质条件的综合分析研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2008.

Hu R H, Analysis and Research of Engineering Geological Conditions in Liaoyang Areas. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2008.

[10] 高欣,熊德新. 辽阳地区地基土的工程地质特点分析[J]. 辽宁省交通高等专科学校学报, 2006, 8 (04): 025 - 026.

Gao X, Xiong D X. Analysis of foundation soil engineering properties in Liaoyang Areas, 2006, 8 (04): 025 - 026.

[11] 杨中柱,陈树良,董万德等. 中国区域地质志 - 辽宁志[M]. 北京:地质出版社, 2001.

Yang Z Z, Chen S L, Dong W D, et al. Regional Geological Records of China - Liaoning Records [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001.

[12] 赵博. 太子河辽阳至小林子段地下水与地表水相互转化研究[J]. 东北水利水电, 2021, 39 (11): 29 - 31.

Zhao B. Research on the mutual transformation between groundwater and surface water in the Liaoyang to Xiaolinzi section of the Taizi River [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2021, 39 (11): 29 - 31.

[13] 彭建兵,黄伟亮,王飞永等. 中国城市地下空间地质结构分类与地质调查方法[J]. 地学前缘, 2019, 26 (03): 9 - 21.

Peng J B, Huang W L, Wang F Y, et al. Geological structural classification of and geological survey method for urban underground space in China [J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26 (03): 9 - 21.

[14] 王建秀,刘月圆,刘笑天等. 上海市地下空间地质结构及其开发适应性[J]. 上海国土资源, 2017, 38 (02): 39 - 53.

Wang J X, Liu Y Y, Liu X T, et al. Geological structure of the Shanghai underground space and a preliminary analysis of the development of adaptation [J]. Shanghai Land & Resources, 2017, 38 (02): 39 - 53.

[15] 么玉鹏,姚坚毅,唐世雄. 珠江口地区岩土层工程地质特征及物理力学性质研究[J]. 水文地质工程地质, 2022, 49 (02): 64 - 70.

Yao Y P, Yao J Y, Tang S X. A study of the engineering geological characteristics and physicommechanical property of rock and soil layers in the Pearl River mouth area [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2022, 49 (02): 64 - 70.

[16] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 工程岩体分级标准: GB/T 50218—2014[S]. 北京:中国计划出版社, 2014.

Ministry of Housing and Urban - Rural Development of the People's Republic of China. Standard for Engineering Classification of Rock Mass: GB/T 50218—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2013.

[17] 宁国民,陈国金,徐绍宇等. 武汉城市地下空间工程地质研究[J]. 水文地质工程地质, 2006, (06): 29 - 35.

Ning G M, Chen G J, Xu S Y, et al. Engineering geological research on the underground space of Wuhan City [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2006, (06): 29 - 35.

[18] 邱明明,李晓敏,杨果林等. 挡墙渗漏对富水砂层基坑变形性状的影响[J]. 水文地质工程地质, 2025, 52 (1): 85 - 96.

Qiu M M, Li X M, Yang G L, et al. Effect of retaining wall leakage on the deformation behavior of foundation pit in water - rich sandy strata [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2025, 52 (1): 85 - 96.

[19] 张晓波,刘凯,蒋鹏等. 基于约束条件的深圳市南山区地下空间开发地质适宜性评价[J]. 水文地质工程地质, 2023, 50 (4): 213 - 224.

Zhang X B, Liu K, Jiang P, et al. Geological suitability evaluation of underground space development in the Nanshan District of Shenzhen based on constraint conditions [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2023, 50 (4): 213 - 224.

[20] 殷玮民,李远耀,李星等. 考虑岩土体物理学参数空间校准分区的滑坡危险性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2025, 36 (2): 162 - 174.

Yin W M, Li Y Y, Li X, et al. Landslide assessment considering spatial calibration zoning of physical and mechanical parameters of rock and soil mass [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2025, 36 (2): 162 - 174.

## Analysis of rock and soil mass bearing capacity and engineering geological zoning in the spatial development main axis area of Liaoyang

FENG Xin, GUAN Yunan, TIAN Ye, SUN Xiao, LIU Yongheng, ZHAO Jianjun

(Langfang Center for General Survey of Natural Resources, China Geological Survey, Tianjin 300301, China)

**Abstract:** Geological environment is the primary factor determining urban planning and land use selection. A deep understanding and analysis of the rock and soil stratigraphic characteristics in a region can lay a solid foundation for the development and utilization of its underground space. The strata in the spatial development main axis area of Liaoyang can be divided into eight basic types according to the formation causes, lithology, and engineering geological properties of the rock and soil mass, including artificial fill layers, clay layers, silty soil layers, sand layers, gravel layers, mudstone layers, shale layers, and limestone layers. Among these layers, the clay layers, silty soil layers, sand layers, and gravel layers are the main rock and soil masses. By analyzing the geological structure characteristics of the rock and soil masses, following the principle of “planar zoning and vertical evaluation”, the authors evaluated the bearing capacity of rock and soil mass from four different depth ranges, including surface layer [0,5) m, shallow layer [5,10) m, middle layer [10,30) m, and deep layer [30,50) m. Besides, the engineering geological zones (3 engineering geological zones and 5 sub-zones) were divided, and the corresponding engineering construction suggestions were put forward. The research results could provide geological basis for future development of underground and above-ground space in the spatial development main axis area of Liaoyang, and provide important service support for urban planning and development.

**Keywords:** rock and soil mass; structural characteristics; underground space; development and utilization; spatial development main axis area of Liaoyang

(责任编辑: 刘丹)