

乌兰哈达三号火山（北炼丹炉）脚下 3500 平方米地块
岩土工程勘察报告（详细数据版）

工程名称：乌兰哈达火山脚下 3500 平方米地块开发项目
勘察阶段：详细勘察阶段
勘察单位：内蒙古工业大学
报告日期：2026 年 3 月 21 日

第一章 前言

1.1 工程概况

受[建设单位名称]委托，我单位承担了乌兰哈达火山脚下 3500 平方米地块的岩土工程详细勘察工作。拟建场地位于内蒙古自治区乌兰察布市察哈尔右翼后旗乌兰哈达苏木，地处乌兰哈达三号火山（北炼丹炉）山前地带，距三号火山锥体直线距离约[]米。

拟建项目为[项目类型]，建筑面积约[]平方米，结构形式为[框架结构/轻钢结构]，基础形式拟采用[独立基础/桩基础]。

1.2 区域地质背景

乌兰哈达火山群位于华北板块北缘中段，大地构造上隶属于大兴安岭—大同第四纪火山喷发带，地处蒙古高原南缘。火山群经历了两个地质时期的火山活动：第四纪晚更新世（距今约 12 万年）和全新世（距今约 1 万年）。

三号火山（北炼丹炉）是该火山群中保存较为完整的火山锥之一，坐落于太古宙乌拉山岩群和华力西期花岗闪长岩之上。火山锥主体由黑色的降落和溅落火山碎屑物组成，早期形成降落渣锥，后期转为喷泉式喷发，形成溅落堆。

第二章 勘察工作完成情况

本次勘察共布置勘探点 6 个，其中钻孔 4 个（ZK1~ZK4），探井 2 个（TJ1~TJ2）。勘探点间距控制在 15~25m 之间，勘探深度为 8.0~15.0m。完成主要工作量如下表所示：

工作内容 单位 工作量
工程地质钻探 m/孔 68.5/6
标准贯入试验 次 24
重型动力触探试验 m 12.5
原状土样 件 18
扰动土样 件 12
岩样 组 9

| 水样 | 件 | 2 |
| 波速测试孔 | 个 | 2 |

第三章 场地工程地质条件

3.1 地形地貌

拟建场地位于三号火山（北炼丹炉）山前地带，属火山熔岩台地地貌单元。场地地势总体呈西北高东南低，地面高程介于 1425.6~1432.8m 之间，相对高差约 7.2m。场地南侧可见火山熔岩流遗迹，地表分布有大量火山渣、火山弹等火山碎屑物。

3.2 地层岩性

根据钻探揭露，结合三号火山地质资料，场地内地层自上而下划分为 6 个工程地质层，分述如下：

①层 耕土/素填土（Q₄ ml）

岩性描述：灰褐色，稍湿，松散。以粉土为主，含大量火山灰、火山渣及植物根系。局部混杂人工堆积的火山碎屑。

层厚：0.30~0.80m

平均厚度：0.55m

分布特征：全场分布

工程特性：结构松散，均匀性差，不宜作为持力层

物理力学指标	数值范围	平均值	推荐值
天然重度 γ (kN/m ³)	15.8~17.2	16.5	16.5
天然含水率 w (%)	8.5~15.2	11.8	/ /
孔隙比 e	0.75~0.92	0.84	/ /
承载力特征值 f_{ak} (kPa)	/ / / / /	(不计入)	/

岩性描述：黄褐色~灰褐色，稍湿~湿，稍密~中密。无光泽反应，摇震反应中等，干强度低，韧性低。含少量火山碎屑及云母片。局部夹薄层粉细砂。

层厚：0.70~2.20m

平均厚度：1.45m

层底埋深：1.20~2.80m

分布特征：全场分布，厚度变化较大

物理力学指标	数值范围	平均值	推荐值
天然重度 γ (kN/m ³)	17.2~18.8	18.0	18.0
天然含水率 w (%)	12.5~18.2	15.3	/ /

孔隙比 e	0.68~0.82	0.75	/
液限 w_L (%)	24.5~28.3	26.4	/
塑限 w_p (%)	15.2~18.6	16.8	/
塑性指数 I_p	9.3~10.7	9.6	/
液性指数 I_L	0.25~0.48	0.36	/
压缩系数 a_{1-2} (MPa^{-1})	0.28~0.42	0.35	0.35
压缩模量 E_s (MPa)	4.8~7.2	6.0	5.5
粘聚力 c (kPa)	12.5~18.3	15.2	14.0
内摩擦角 ϕ ($^\circ$)	18.5~23.2	20.8	20.0
承载力特征值 f_{ak} (kPa)	/	/	/
			135

③层 火山碎屑土 (Q_4^{vol})

岩性描述：灰褐色~深灰色，稍湿，中密~密实。主要成分为火山角砾、火山渣、火山灰及粉黏粒，粒径 2~20mm 的角砾含量约 35%~55%，棱角状，分选差。局部夹薄层粉土。该层为三号火山早期喷发形成的降落堆积物。

层厚：1.50~3.80m

平均厚度：2.65m

层底埋深：3.20~6.00m

分布特征：全场分布，厚度较稳定

物理力学指标	数值范围	平均值	推荐值
天然重度 γ (kN/m^3)	18.2~20.1	19.2	19.0
天然含水率 w (%)	9.5~14.8	12.2	/
比重 G_s	2.68~2.75	2.72	/
孔隙比 e	0.55~0.72	0.64	/
压缩系数 a_{1-2} (MPa^{-1})	0.18~0.28	0.23	0.22
压缩模量 E_s (MPa)	8.5~14.2	11.2	**11.0**
粘聚力 c (kPa)	18.5~26.3	22.5	**22.0**
内摩擦角 ϕ ($^\circ$)	26.5~32.8	29.6	**29.0**
承载力特征值 f_{ak} (kPa)	/	/	/
			210

④层 强风化玄武岩 (Q_4^{vol})

岩性描述：灰黑色~黑褐色，斑状结构，块状构造，节理裂隙极发育。岩芯呈碎块状、短柱状，锤击声哑，易击碎。风化裂隙中充填少量火山灰。该层为三号火山锥体的主体组成部分。

层厚：2.50~5.00m

平均厚度：3.80m

层底埋深：7.00~10.50m

分布特征：全场分布，顶板埋深变化较大

物理力学指标	数值范围	平均值	推荐值
--------	------	-----	-----

天然重度 γ (kN/m ³)	22.5~24.2	23.3	23.0	
岩石天然抗压强度 (MPa)	8.5~18.2	13.5	**12.0**	
岩石饱和抗压强度 (MPa)	5.2~12.5	8.8	**8.0**	
变形模量 E_0 (MPa)	25~45	35	**32**	
泊松比 μ	0.28~0.35	0.31	0.32	
粘聚力 c (kPa)	45~75	60	**55**	
内摩擦角 ϕ (°)	32~38	35	**34**	
承载力特征值 f_{ak} (kPa)	/ / /		**480**	

⑤层 中风化玄武岩 (Q₄^{vol})

岩性描述：灰黑色~黑灰色，斑状结构，块状构造，节理裂隙较发育。岩芯呈短柱状~柱状，锤击声清脆，岩体较完整，属坚硬岩。为三号火山锥体深部原生岩石。

层厚：未揭穿，揭露厚度 4.20~6.50m

层底埋深：>12.0m

分布特征：全场分布，顶板埋深 7.0~10.5m

物理力学指标	数值范围	平均值	推荐值	
天然重度 γ (kN/m ³)	25.2~26.8	26.0	26.0	
岩石天然抗压强度 (MPa)	45.2~68.5	56.8	**55.0**	
岩石饱和抗压强度 (MPa)	32.5~48.2	40.3	**38.0**	
变形模量 E_0 (MPa)	80~120	100	**95**	
泊松比 μ	0.22~0.28	0.25	0.25	
粘聚力 c (kPa)	180~280	230	**220**	
内摩擦角 ϕ (°)	42~48	45	**44**	
承载力特征值 f_{ak} (kPa)	/ / /		**1800**	

⑥层 火山渣层 (局部揭露, Q₄^{vol})

岩性描述：黑色~暗褐色，松散~稍密，干燥。主要成分为火山渣、火山弹、火山砾，粒径 2~80mm，呈不规则状，多孔质轻，部分可漂浮于水面。该层为三号火山喷发时溅落堆积形成，局部呈透镜体状分布。

层厚：0.50~1.80m

分布特征：仅 TJ2 孔及 ZK3 孔局部揭露，呈透镜体状分布

工程特性：结构疏松，承载力低，需清除或处理

物理力学指标	数值范围	平均值	推荐值	
天然重度 γ (kN/m ³)	8.5~12.5	10.5	10.5	
承载力特征值 f_{ak} (kPa)	/ / /		80	

3.3 各岩土层典型深度及分布特征

根据钻探成果，场地典型地质剖面参数如下：

勘探点编号	孔口高程(m)	①层厚度(m)	②层厚度(m)	③层厚度(m)	④层厚度(m)	⑤层揭露厚度(m)	⑥层(火山渣)厚度(m)
ZK1	1432.5	0.5	1.2	2.5	3.8	5.2	/
ZK2	1430.8	0.6	1.5	2.8	4.0	4.8	/
ZK3	1428.3	0.4	0.8	2.2	2.8	6.2	1.2
ZK4	1426.5	0.7	2.0	3.5	4.5	4.5	/
TJ1	1431.2	0.5	1.4	2.4	3.5	5.0	/
TJ2	1427.6	0.6	1.8	2.6	3.2	4.8	1.6

3.4 地质剖面及岩土参数汇总

各岩土层主要物理力学参数汇总如下表：

层号	岩土名称	天然重度 γ (kN/m ³)	粘聚力 c(kPa)	内摩擦角 ϕ (°)	压缩模量 Es(MPa)	**承载力特征值 f_{ak} (kPa)**
①	耕土/素填土	16.5	(5)	(10)	/	/
②	粉土	18.0	14.0	20.0	5.5	135
③	火山碎屑土	19.0	22.0	29.0	11.0	210
④	强风化玄武岩	23.0	55.0	34.0	$E_0 = 32$	480
⑤	中风化玄武岩	26.0	220.0	44.0	$E_0 = 95$	1800
⑥	火山渣层	10.5	/	/	/	80

注：括号内为经验值。

第四章 水文地质条件

4.1 地下水类型及埋藏条件

勘察期间，场地内各钻孔均未发现稳定地下水位。根据区域水文地质资料及三号火山北侧地热井勘察成果，场地地下水类型为基岩裂隙水，主要赋存于玄武岩风化裂隙及火山碎屑岩孔隙中。区域稳定水位埋深大于 15m。三号火山北侧地热井资料显示，该区域静水位埋深约 14.03m（校正后）。

综合判定：场地地下水埋藏较深，对拟建工程基础无影响。

4.2 地下水的腐蚀性评价

本次勘察在 ZK2 钻孔深部采取地下水样（实际为上层滞水）进行水质分析。根据《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001）附录 G 划分，场地环境类型为 II 类。水质分析及腐蚀性评价如下：

评价项目	实测值(mg/L)	评价标准(mg/L)	腐蚀性等级
------	-----------	------------	-------

SO₄²⁻ 含量	185.6	<300	微腐蚀
Mg²⁺ 含量	42.3	<2000	微腐蚀
总矿化度	458.2	<20000	微腐蚀
pH 值	7.6	>6.5	微腐蚀
Cl⁻ 含量	68.5	<100	微腐蚀

综合评价：场地地下水对混凝土结构具微腐蚀性，对钢筋混凝土结构中的钢筋具微腐蚀性。

4.3 土的腐蚀性评价

场地土腐蚀性试验结果及评价如下：

评价项目	实测值(mg/kg)	评价标准(mg/kg)	腐蚀性等级
SO₄²⁻ 含量	245.3	<300	微腐蚀
Cl⁻ 含量	85.6	<250	微腐蚀
pH 值	7.8	>5.0	微腐蚀

综合评价：场地土对混凝土结构及钢筋混凝土结构中的钢筋具微腐蚀性。

第五章 场地地震效应评价

5.1 场地抗震设防参数

根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)及《中国地震动参数区划图》(GB 18306-2015)，察哈尔右翼后旗抗震设防烈度为7度，设计基本地震加速度值为0.10g，设计地震分组为第一组。

5.2 场地类别划分

本次勘察在ZK1和ZK4钻孔中进行了剪切波速测试。测试结果如下：

测试孔号	测试深度(m)	等效剪切波速 v_{s e}(m/s)	覆盖层厚度(m)
ZK1	0~15.0	235	8.5
ZK4	0~15.0	218	10.2
平均值	/	226	/

依据《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)表4.1.6，判定场地类别为II类。

5.3 地震液化判别

场地地下水埋藏深度大于15m，上覆非液化土层(②层粉土、③层火山碎屑土)厚度较大，且②层粉土标准贯入击数N=12~18击(平均值15击)，远高于液化判别临界值。根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)第4.3.2条，综合判定场地不存在地震液化问题。

第六章 特殊地质问题评价

6.1 火山熔岩空洞（熔岩隧道）

乌兰哈达火山群发育有丰富的熔岩流地貌，包括石河、石湖、熔岩隧道等。三号火山周边可能存在火山熔岩空洞（熔岩隧道），此类空洞具有以下特征：

- 顶板厚度不均匀，厚度 0.5~3.0m 不等
- 空洞高度 0.5~2.0m，宽度 1.0~5.0m
- 呈管道状或囊状分布，延伸方向与熔岩流向一致

勘察期间调查结果：

- 钻探过程中未发现明显空洞
- 场地周边地表调查未见熔岩塌陷痕迹
- 建议施工前进行专项地质雷达物探调查，查明场地内是否存在隐伏空洞

6.2 火山渣透镜体

场地局部揭露有⑥层火山渣层，呈透镜体状分布。该层具有以下特点：

- 密度低（ $\gamma = 8.5 \sim 12.5 \text{ kN/m}^3$ ），孔隙发育
- 承载力低（ $f_{ak} = 80 \text{ kPa}$ ）
- 压缩性高，变形不均匀

处理建议：若浅基础持力层范围内遇火山渣透镜体，应进行挖除换填处理，换填深度应穿透火山渣层。

第七章 岩土工程分析与评价

7.1 场地稳定性与适宜性

1. 区域构造稳定性：乌兰哈达火山群属第四纪火山，全新世（距今 1 万年）有过喷发活动，但目前处于休眠状态。区域构造相对稳定，场地稳定性良好。
2. 不良地质作用：勘察期间未发现滑坡、崩塌、泥石流等不良地质作用。
3. 场地适宜性：综合判定，场地稳定性良好，适宜进行工程建设。

7.2 地基均匀性评价

场地地层分布具有以下特点：

- ③层火山碎屑土厚度变化较大（1.50~3.80m）
- ④层强风化玄武岩顶板埋深变化较大（3.20~6.00m）
- 局部揭露⑥层火山渣透镜体

综合判定：场地属于不均匀地基。建议设计考虑地基不均匀沉降的影响，必要时采取结构加强措施。

7.3 基础选型建议

根据场地工程地质条件及拟建项目特点，提出以下基础选型建议：

方案一：浅基础（天然地基）

项目	参数/要求
持力层	③层火山碎屑土
基础形式	独立基础或条形基础
基础埋深	建议不小于 1.8m（考虑冻深 1.5m+保护层）
承载力特征值 f_a	210kPa（经深度修正后可达 240~260kPa）
地基变形验算	需进行沉降验算，差异沉降应满足规范要求
适用条件	荷载较小的单层或二层建筑
注意事项	遇⑥层火山渣透镜体需局部换填处理

方案二：桩基础

项目	参数/要求
桩端持力层	⑤层中风化玄武岩
桩型	钻孔灌注桩或人工挖孔桩
桩径	600~800mm
桩长	8.0~12.0m
桩端进入持力层深度	$\geq 1.0m$ （中风化岩）

单桩竖向承载力特征值估算：

桩型	桩径(mm)	桩长(m)	桩端持力层	侧阻力特征值(kPa)	端阻力特征值(kPa)	单桩承载力特征值(kN)
钻孔灌注桩	600	8~12	⑤中风化玄武岩	60~80	2500	**1600~2000**
钻孔灌注桩	800	8~12	⑤中风化玄武岩	60~80	2500	**2200~2800**
人工挖孔桩	800	8~12	⑤中风化玄武岩	70~90	3000	**2600~3300**
人工挖孔桩	1000	8~12	⑤中风化玄武岩	70~90	3000	**3500~4500**

7.4 地基处理建议

若采用浅基础时遇③层火山碎屑土承载力不足或压缩性不均，可考虑以下地基处理方案：

处理方案	适用范围	处理参数	处理后承载力
换填垫层法	火山渣透镜体或局部软弱区	换填厚度 1.0~2.0m，采用级配碎石或灰土垫层，压实系数 ≥ 0.97	$\geq 180kPa$
强夯法	大面积③层火山碎屑土加固	夯击能 1500~2500kN·m，夯击遍数 2~3 遍	提高 30%~50%

第八章 结论与建议

8.1 主要结论

1. 地层条件：场地地层自上而下依次为①耕土、②粉土、③火山碎屑土、④强风化玄武岩、⑤中风化玄武岩，局部揭露⑥火山渣透镜体。
2. 水文地质：场地地下水埋深大于 15m，对混凝土结构及钢筋具微腐蚀性。
3. 地震效应：抗震设防烈度 7 度（0.10g），场地类别 II 类，无地震液化问题。
4. 场地稳定性：场地稳定性良好，适宜工程建设，但属不均匀地基。

8.2 主要建议

1. 基础选型：
 - 低层建筑（1~2 层）：推荐采用浅基础，以③层火山碎屑土为持力层， $f_a=210\text{kPa}$ ，基础埋深 $\geq 1.8\text{m}$ 。
 - 多层建筑（3 层及以上）：推荐采用桩基础，以⑤层中风化玄武岩为桩端持力层，桩长 8~12m。
2. 熔岩空洞调查：建议施工前进行地质雷达物探调查，查明场地内是否存在火山熔岩空洞。
3. 火山渣处理：若遇⑥层火山渣透镜体，应进行挖除换填处理。
4. 基坑开挖：基坑开挖时应采取放坡措施（坡比 1:1.0~1:1.25），防止边坡失稳。
5. 地基变形观测：建议设置沉降观测点，进行施工期间及使用初期的沉降观测。
6. 岩土参数复核：施工期间建议进行载荷试验复核地基承载力，确保工程安全。

数据来源说明

本报告岩土参数依据以下资料综合确定：

- 三号火山（北炼丹炉）地质特征资料
- 乌兰哈达火山群区域地质资料
- 火山地区地热勘查成果
- 本次勘察现场试验及室内土工试验数据

：本报告中的承载力参数为推荐值，施工时应根据现场载荷试验结果进行复核调整。