

印度尼西亚阿曼铜冶炼项目岩土工程勘察研究

晏露超

中国瑞林工程技术股份有限公司

摘要: 印度尼西亚阿曼铜冶炼项目位于印度尼西亚西努沙登加拉省的松巴哇岛西南角, 本项目岩土工程详细勘察工作主要按照中国岩土工程勘察相关规范和标准执行, 采取了工程测量、地质钻探、采集岩土试样、原位测试(标准贯入试验和重型圆锥动力触探试验)、剪切波速测试、室内试验等手段综合查明了场地的工程地质条件、地震效应和岩土参数等关键信息, 并为中国相关规范和标准在印尼勘察项目的应用积累了经验。

关键词: 岩土工程; 地质勘察; 印度尼西亚

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.03.022

一、工程概况

印度尼西亚阿曼铜冶炼项目工程规模为年处理90万吨铜精矿(干基), 且考虑+15%的富余处理能力。该项目位于印度尼西亚西努沙登加拉省的松巴哇岛西南角, 属西松巴哇县辖区, 场地周边分布有五个村庄, 分别是Benete村、Ukit Damai村、Pasir Putih村、Mantun村和Maluk村。本项目铜冶炼主厂区位于南贝内特区(South Benete), 就在Maluk村的东侧, 项目场地西侧紧邻Batu Hijau矿区的主干道, Batu Hijau矿区位于南贝内特区东南方向约13km。项目规划建设用地面积约1400亩, 总建筑面积约13万平方米。铜冶炼主厂区包括从铜精矿原料及辅助材料进厂至阴极铜、贵金属、硫酸产品及副产品出厂全过程的生产及辅助设施, 主要分为熔炼厂区、精炼厂区、稀贵厂区、烟气净化区、硫酸厂区、渣选区、污水废水处理区、附属建构筑物区、仓储区和公辅设施等。

本项目详细勘察工作主要按照中国岩土工程勘察相关规范和标准执行, 也参考了部分印度尼西亚当地标准。本次勘察在搜集区域地质资料的基础上, 主要采用了工程测量、地质钻探、采集岩土试样、原位测试(标准贯入试验和重型圆锥动力触探试验)、剪切波速测试、室内试验等手段综合查明场地的地质条件。

本项目坐标系统采用印尼当地BIG参照系(基于WGS84系统, UTM 50s), 高程采用项目假定基准面(即平均海平面以下3.27m)。勘探孔布置原则如下: 可能采用桩基础的建筑物按轮廓线及角点进行布孔, 钻孔间距控制在30米以内; 采用浅基础的建筑物按轮廓线及角点进行布孔, 钻孔间距一般为30米左右; 重大设备基础和高耸构筑物单独布置勘探孔; 室外管架按中轴线布置勘探孔, 钻孔间距控制在100米以内。本项目详细勘察共布置了621个勘探孔。

二、场地环境与工程地质条件

(1) 气象和水文概况: 印尼西松巴哇地区属热带雨林气候, 常年气温约在21~35℃之间, 平均温度约

27℃, 平均相对湿度约为78%, 分为雨季和旱季两个季节, 旱季一般从5月持续到10月, 最干燥的月份是8月, 而雨季通常在11月至4月, 最潮湿的月份是12月, 每月降雨量超过250mm。平均年降雨量约为1200~1600毫米, 降雨天数为每年90~130天。盛行南风、西风和东南风, 平均风速约2.50m/s。本项目场地北侧、东侧和南侧三面环山, 西侧正对Maluk村庄, 向西约1公里即为Teluk Balas海湾。场地周边较大型的地表河流主要有两条, 一条是位于场地西南侧的Brang Galingentong河, 另一条是位于场地北侧的Benete河。

(2) 区域地质构造概况: 松巴哇岛与巽他大陆下北北东向的印澳板块俯冲密切相关, 从苏门答腊岛一爪哇岛向东延伸, 形成新生代班达岛弧。松巴哇岛南部由崎岖不平的山脊组成, 被东北—西南和西北—东南走向的山谷系统密集分割, 海拔从800米到1400米不等。形成巴厘岛和龙目岛海岸外弧前区域基础的地壳类型可能是经历了裂谷的大陆地壳, 从松巴哇到班达海转变为海洋地壳类型。上新世以来, 岛屿弧火山开始活动, 由爪哇岛东部的中性成分转变为松巴哇的碱性成分, 标志着陆壳向洋壳的过渡。松巴哇岛构造以西北—西南和东北—西南断裂体系为主, 小型断裂体系走向为南北、东西走向。项目场地附近的大型地质构造主要有松巴哇海峡走滑断层和弗洛勒斯后弧逆断层。本项目区域地质图详见图1。



图1 松巴哇岛西南部区域地质图

(3) 地形地貌: 场地位于Maluk村东部, 场地的北侧、东侧和南侧三面环山, 西侧紧邻连接Batu Hijau矿区与贝内特海湾的主干道, 整体属于低山丘陵地貌, 详细勘察时场地已整平, 地形平缓开阔, 现状地面海拔约10.10~15.31m。地表长有杂草和少量矮树。

(4) 地层结构: 本项目场地地表为第四系全新统人工填土层, 其下为第四系全新统冲积、坡积成因的粉质黏土、砂质黏土和含黏土圆砾, 场地北端区域还揭露了第四系全新统海相沉积的珊瑚质黏土。下伏基岩为晚第三系的凝灰质砂岩和火山角砾岩, 中风化岩石的单轴饱和抗压强度大多为6~25MPa, 属软岩~较软岩。场地内基岩面起伏较大, 覆盖层厚度为0~29m, 其中场地西北部覆盖层最薄, 局部基岩出露, 场地中部偏西区域覆盖层最厚。场地土层中, 砂质黏土含有植物根系和腐树叶, 珊瑚质黏土含有珊瑚碎屑和少量贝壳, 这两类黏性土均为软塑状, 压缩性高, 工程性质较差。

(5) 水文地质条件: 本次详细勘察时间为3月至4月, 处于当地雨季的末尾, 场地内的地下水类型主要为第四系松散层中的孔隙潜水, 赋存于第四系冲积、坡积和海相沉积的黏性土及碎石土中, 水量一般, 由大气降水和地表水流补给, 排泄方式一般为蒸发排泄以及向低洼处侧渗排泄。勘察期间测得初见水位埋深为0.10~3.40m, 稳定水位埋深为0.10~3.62m, 稳定水位高程为7.80~14.98m, 估计场区地下水位年变化幅度约为3~6m。场地地表填土中局部还存在少量上层滞水, 主要受雨水影响, 分布不连续, 无统一水面, 本次勘察深度内基岩中的裂隙水不发育, 水量贫乏。

(6) 场地地震效应: 印度尼西亚所处地质构造环境属岛弧俯冲型地震构造带, 岛弧呈向西南突出的C字形展布。广义而言, 印度尼西亚群岛位于欧亚板块、太平洋板块、菲律宾板块和印度—澳洲板块动力碰撞的影响区。印度洋板块以每年约50至70毫米的速度向东北方向进行位移, 与欧亚板块碰撞汇聚于班达弧, 形成了巽他一爪哇海沟, 并在爪哇和苏门答腊陆块之间形成了长达3000千米的断裂带和火山群, 这使得印度尼西亚成为地震多发地区。根据现场剪切波速测试成果, 并依据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)(2016年版)的相关规定, 本项目场地类别按不同区域划分为I类、II类和III类。参考印尼当地建筑结构抗震规划标准SNI—1726—2012, 结合本项目场地类别, 推断场地地面地震加速度均值约为0.30g, 确定本项目抗震设防烈度为8度, 设计地震分组按近震考虑。

三、岩土工程分析评价

(1) 场地稳定性及适宜性: 场地范围内及勘探孔深度范围内未发现崩塌、滑坡、岩溶、塌陷、采空区、泥石流、危岩、地面裂缝与沉降、活动断裂等不良地质作用及其他地质灾害; 场区内无大型断层穿过, 临近场区周边亦未发现大型断裂带的痕迹; 本项目所在地区近年来的地震主要表现为小震频发的特点, 这些小震震级Mw一般为1.5~5.5, 但2018年场地西边的龙目岛曾经在短期内连续发生过3次6级以上地震; 场地范围内发现了一些埋藏于地下的过水管涵, 除此以外并未发现其他河道、沟浜、墓穴、防空洞、旧基础等不利于施工的埋藏物。综上所述, 拟建场地稳定性一般, 适宜进行本工程建设, 需注意采取适当的抗震措施。

(2) 地基均匀性评价: 拟建场地范围较大, 从地貌上看跨越了剥蚀残丘和山前平原, 从覆盖层上看场地北端下部的海相沉积层与场地中部及南部的冲积层也有所不同, 现场钻探揭露的岩土种类较多, 大部分土层的分布不均匀, 厚度变化较大, 局部还存在缺失、互层等现象, 基岩各风化层面的起伏也较大, 凝灰质砂岩和火山角砾岩有时也存在互层的情况。因此, 综合判断本项目场地为不均匀地基。

(3) 基础选型分析和建议: 场地最北端的附属建筑群、大部分仓库、小型车间及站房、配电室、综合楼等低层建筑可采用浅基础形式, 如独立基础或条形基础, 以可塑粉质黏土、全风化或强风化岩石作为基础持力层, 局部区域可考虑对地表的素填土、软塑粉质黏土进行换填处理。拟建精矿库、配料车间、冰铜仓、磨浮车间、电解车间、熔炼主厂房等荷载较大的建筑物建议采用桩基础形式, 可根据荷载和基岩埋藏情况选择预制管桩或灌注桩, 结合场地的地质条件, 推荐锤击法沉桩和旋挖桩工艺, 选择强风化或中风化岩石作为桩端持力层。

(4) 基坑工程分析和建议: 本项目存在较深基坑工程的建(构)筑物为循环水水池、污水处理厂和初期雨水收集池, 基坑开挖深度为3.5~10.0m。基坑工程涉及的岩土层主要为素填土、粉质黏土、砂质黏土、含黏土圆砾、全风化和强风化岩石。由于本项目场地开阔, 周边没有重要建筑物, 施工空间充足, 建议可采用放坡、土钉墙或钢板桩等方式对基坑侧壁进行支护。基坑侧壁地层以弱透水性的黏性土、风化岩为主, 地下水渗流速度较慢, 建议可采取集水明排的方式, 如设置排水沟、集水井, 并配备一定数量的抽水设备。为防止雨季地表水流入基坑, 可在坑顶设置截水沟, 并在基坑边缘一定范围内素喷混凝土或抹浆处理。为保证基坑施工时

的构筑物及人员安全，建议在基坑施工的过程中进行监测工作，监测的主要内容包括：基坑顶部变形、基坑外侧深层土体位移、基坑内外地下水位和孔隙水压力、基坑周边地面沉降等。

(5) 抗浮工程分析和建议：本项目场地的设计±0.00高程为12.00~15.50m，场地西侧矿区主干道高程约为12.50~17.00m，场地北侧、东侧和南侧三面环山，因此本项目建设场地处于相对低洼的位置，勘探期间处于当地雨季的末尾，地下水水位较高，稳定水位埋深为0.10~3.62m。考虑到建构筑物使用期间如遇暴雨

等极端天气，大量地表水汇集下渗可能使地下水位迅速上升，将可能对地下构筑物形成较大的浮托力，综合各类不利因素，本工程抗浮水位建议按设计室外地坪高程以下0.50m考虑。设计时应应对地下构筑物进行抗浮验算，若上部荷载不能满足抗浮要求，应进行专门的抗浮设计，抗浮措施可以采用增加配重、设置抗浮桩或抗拔锚杆等。

(6) 岩土层工程性质指标：按有关规范、标准的规定，结合原位测试和室内土工试验的成果，本项目场地各岩土层工程性质指标建议值详见表1。

表1 各岩土层工程性质指标建议表

岩土名称	天然容重 γ (kN/m^3)	黏聚力 c (kPa)	内摩擦角 Φ (度)	压缩模量 E_s (MPa)	建议的承载力特征值 f_{ak} (kPa)
①-1层素填土	17.0	8.0	10.0	3.0	70
②-1层粉质黏土	17.5	9.7	5.2	3.58	80
②-2层粉质黏土	17.8	35.0	12.8	6.42	140
③-1层砂质黏土	16.4	13.8	6.1	3.09	90
③-2层黏土质圆砾	18.5	1.0	30.0	8.0	170
③-3层珊瑚质黏土	15.5	9.9	6.9	2.59	80
④-1层全风化凝灰质砂岩	19.0	30	15	10	160
④-2层强风化凝灰质砂岩	20.0	50	25	30	260
④-3层中风化凝灰质砂岩	22.0	100	30	/	800
⑤-1层全风化火山角砾岩	19.5	35	20	12	200
⑤-2层强风化火山角砾岩	21.0	60	30	35	350
⑤-3层中风化火山角砾岩	23.0	120	40	/	1300

四、结语

(1) 本项目场地位于印度尼西亚松巴哇岛的西南角，兼具剥蚀残丘和山前平原地貌，具有典型的海岛地形特点，场地内岩土种类较多，既有冲积、坡积成因的黏性土和碎石土，又有海相沉积的珊瑚质黏土，基岩的各风化层面起伏也较大，两种火山碎屑沉积岩局部区域也存在互层的现象，地质条件较为复杂。场地揭露的该组地层在当地有一定的普遍性，可供附近工程项目参考。

(2) 场地北侧、东侧和南侧三面环山，西侧的矿区主干道路面高程也比场地内的地面高程要更高一些，因此本项目建设场地处于相对低洼的位置，雨季容易汇集雨水，建议做好充足的截水、排水措施。场地内的黏性土和全风化岩石浸水易软化，会导致工程性质降低，浅基础施工时应尽量避开雨季，做好防水、排水工作，基槽内严禁泡水。强风化岩石长时间暴露在空气中可能

会进一步风化，出现崩解、滑塌等现象，基坑与边坡施工时应注意做好防护措施。

(3) 本项目基础设计方案基本采纳了勘察报告的建议，使用了独立基础、筏板基础、预制管桩和旋挖灌注桩，现场各基础类型施工均较为顺利。

(4) 本勘察项目的成功实施说明参照中国岩土工程勘察相关规范和标准在印度尼西亚地区进行地质勘察工作是可行的，对将来此地区其他建设项目开展的岩土工程勘察工作具有一定的参考和借鉴意义。

参考文献

[1] 解占福, 刘文东. 印尼火山岩地区中国岩土技术应用[J]. 价值工程, 2015(13): 88-90.
 [2] 马百财. 印度尼西亚西爪哇岛火山堆积层工程地质特性研究[J]. 铁道勘察, 2021(3): 65-68.
 [3] 陈源. 印尼塔岛岩土工程勘察总体管理模式初探[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2012(16).