

DOI: 10.3785/j.issn.2096-7195.2022.04.011

【工程应用】

# 全过程工程咨询视角下的岩土工程技术咨询应用与探索

赵宏宇<sup>1,2</sup>, 张诏飞<sup>1,2</sup>, 陈括<sup>1</sup>, 席伟<sup>2</sup>

(1. 中铁资源集团有限公司中心试验室, 河北 廊坊 065000; 2. 中铁资源廊坊物探勘察有限公司, 河北 廊坊 065000)

**摘要:** 全过程工程咨询包含了工程前期决策、设计阶段、采购与施工阶段、交付使用阶段在内的全建设周期工程咨询, 包含组织、管理、经济、技术等多方面、多专业的咨询服务。本文以“一带一路”上非洲节点某重点项目为例, 梳理在各阶段岩土工程咨询的开展情况及效果分析, 不难看出在全过程工程咨询视角下, 岩土工程咨询通过提早介入, 重点关注对工程建设影响较大的不良地质及特殊岩土, 沟通协调建设、勘察设计、施工、监测等单位, 在合理规划建筑平面、规避岩土工程风险、确定地基基础方案、验证地基处理效果、降低建设成本、缩短建设周期等方面均取得了积极的效果。总结在全过程工程咨询模式中, 岩土工程技术咨询的工作模式和工作重点, 以供同行在同类项目中的实践参考。

**关键词:** 岩土工程; 全过程; 质量控制; 技术咨询; 工程勘察; 工程设计

中图分类号: TU71

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2022)04-0345-09

## Application and exploration of geotechnical engineering technology consultation from the perspective of whole process engineering consultation

ZHAO Hong-yu<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhao-fei<sup>1,2</sup>, CHEN Kuo<sup>1</sup>, XI Wei<sup>2</sup>

(1. Central Laboratory of China Railway Resources Group, Langfang 065000, Hebei, China;

2. China Railway Resources Langfang Geophysical Exploration Corporation, Langfang 065000, Hebei, China)

**Abstract:** The whole process of engineering consultation includes decision-making stage, design stage, procurement and construction stage, and running stage. In each stage consulting services of organization, management, economy, technology and other multi-disciplinary are covered. This paper takes a key project in Africa, one of the nodes in the 'Belt and Road', as an example, to sort out the development and influence of geotechnical engineering consulting in each stage of construction. It is not difficult to see that from the perspective of the whole process, geotechnical consulting focuses on adverse geology and special geotechnical that have great impact on construction through early intervention. Good communication and coordination among survey and design, construction, monitoring and other units have achieved positive results in reasonably planning, avoiding geotechnical engineering risks, determining the foundation scheme, verifying the foundation treatment effect, reducing the construction cost and shortening the construction cycle. In the whole-process engineering consulting mode, the working mode and work focuses on geotechnical engineering technical consulting are summarized for the practical reference in similar projects.

**Key words:** geotechnical engineering; the whole process; quality control; technical consultation; engineering survey; engineering design

## 0 引言

近年来, 随着工程管理模式改革的持续推进,

国家正在大力推进全过程工程咨询服务<sup>[1-2]</sup>。从纵向来说, 全过程工程咨询包含了工程前期决策、设计阶段、采购与施工阶段、交付使用阶段在内的全建

收稿日期: 2021-12-30

作者简介: 赵宏宇(1994—), 男, 本科, 主要从事岩土工程方面的工作。E-mail: 2369933420@qq.com。

设周期工程咨询；从横向上来看，又包含了组织、管理、经济、技术等多方面、多专业的咨询服务<sup>[3-4]</sup>。岩土工程是以工程地质、水文地质、岩石力学、土力学等理论为基础，进行岩石和土的利用、改良、灾害防治和环境保护的科学技术，是工程主体与地面结构实现连接的基础性工程技术，关系到工程建设的投资控制、质量控制和安全管理水平<sup>[5-6]</sup>。

钱于军等<sup>[7]</sup>从岩土工程现行模式的弊端出发，构建岩土工程的全过程咨询管理模式，分析其优势，并通过工程实例探索，提出模式实施建议；王伟<sup>[8]</sup>从完善相关制度、人力资源配置、明确市场定位等方面提出了岩土工程勘察、设计、施工一体化的建议；王东利<sup>[9]</sup>通过对比岩土工程勘察、设计、施工独立运作模式和一体化模式，分析一体化模式的优点和必要性；顾国荣<sup>[10]</sup>从客户的需求出发，剖析了岩土工程勘察、设计、施工、监测中的疑难问题，并介绍了在超高层建筑全过程咨询、基坑优化设计与风险控制、既有建筑加固咨询中的应用情况，提出了岩土工程全过程咨询是解决地下工程关键技术问题的基础；杨石飞<sup>[11]</sup>详细介绍了老港再生能源利用中心二期、上海轨道交通 17 号线、上海临港新城芦潮港西侧滩涂圈围工程等 3 个岩土工程全过程咨询的具体案例，提出了开展岩土工程一体化咨询势在必行的观点。从以上文献中，我们可以看出，在全过程工程咨询模式中的岩土工程技术服务对工程建设的巨大作用和自身强大的生命力。本文以“一带一路”上非洲节点某重点项目为例，介绍岩土工程咨询服务在工程前期决策、设计、采购与施工、交付使用阶段的应用情况，总结在全过程工程咨询模式中，岩土工程技术咨询的工作重点，以供同行在同类项目中的实践参考。

## 1 项目决策阶段的岩土工程技术咨询

某铜钴矿二期工程位于刚果金南部地区，当地以矿业生产为主要支柱产业，社会经济、技术条件落后，矿山基建所需的大部分建筑材料、物资和施工机械需要从国内供给。一期工程已于 2014 年建设完成，规模为年产铜 12.5 万吨，钴 2 500 吨。为扩大产能，提高项目盈利水平，2017 年，决策层确定开启二期工程的可行性研究工作。有限的经济技术条件决定了项目可研工作的深度要比一般项目有所提高，任何一方面的考虑欠缺都可能导致建设成本增加，建设周期加长，从而减缓基建投资回收

步伐。岩土工程作为基础专业，在工程建设中属于先导步骤，为避免因本专业的疏漏而对后续工作造成不利影响，项目可行性研究阶段除常规性质的区域地质、地形地貌、地震、地下水等条件的搜集和调查，重点应关注下列内容：

(1) 当地有无对工程建设影响较大的特殊土发育，如软土、湿陷性土、分散性土等。

(2) 当地是否发育影响工程稳定性的不良地质，如岩溶、滑坡、采空区等。

(3) 拟建场地的地形坡度是否过大，场地平整的工作量如何，是否需要采取支护措施。

(4) 地下水对工程的影响程度如何，地表是否有利于施工的排水条件。

(5) 当地的建筑材料、施工机械、施工企业等经济技术条件如何，如果需要做地基处理，或做桩基础等深基础，可供选择的方案有哪些。

基于以上 5 点，岩土工作人员开展了地质调查、地质测绘、挖探、市场调查等必要的工作，取得了以下结论：

(1) 当地属于热带雨林气候区，在雨旱交替的气候环境和反复的雨水淋滤条件下，地表浅层发育的红壤一般具有湿陷性，湿陷深度一般为 2~4 m，在一些沟谷地形的中间部位，湿陷性深度会有所增加，湿陷程度为轻微-中等，仅自重条件下一般不湿陷。厂区地面沉降造成设备错位情况（见图 1）。

(2) 当地的湿陷性土表现出分散性土的特征，比如在有坡度的地方会出现冲沟和孔洞（见图 2），下雨后路旁的水沟、水坑和河道里流的水都是浑浊的。虽然在外观上表现出分散性，但当地建筑经验并未专门关注过分散性土，并且也未发生过因分散性土所造成的工程事故（如尾矿坝等雍水建筑）。



图 1 某厂区地面沉降造成设备错位

Fig. 1 Dislocation of equipment caused by ground subsidence in a factory



图2 降雨前(左)后(右)边坡面对比

Fig. 2 Comparison of slope surface before (left) and after (right) rainfall

(3) 当地矿产资源丰富,历史上曾无序开采和排放,渣碓、尾矿库星罗棋布。首先,埋藏在地下的尾矿不宜发现(如图3)且厚度较大,一般会大于10 m,这些尾矿多属于欠固结土或松散土,在其上布置建筑物后会发生较大沉降,存在严重的隐患;第二,渣碓的成分(采矿弃石)很不均匀,压密程度也不尽相同,厚度一般较大,容易发生不均匀变形;第三,渣碓场地较一般场地地形起伏较大,场地平整的工作难度较大;第四,在一些地方,排放尾矿之后,又逐步堆放矿渣或者尾渣(如图4),一方面掩藏了下面尾矿的分布范围,使得探明尾矿分布的难度加大,另一方面,因排水不畅,渣碓荷载并不能对其下卧尾矿造成压密或固结作用。因此,调查尾矿和渣碓的范围对工程选址至关重要。



(a) 现状图像

(b) 历史图像

图3 尾矿范围与电积车间规划位置

Fig. 3 Range of tailings and planned location of electrowinning workshop



图4 尾矿之上堆放矿渣

Fig. 4 Slag stacked on tailings

(4) 矿区处于区域性的逆冲推覆构造体中,地质条件复杂,露天采场多发育褶皱和断裂,一些

区域受构造作用力强烈,可能发育层间破碎带。采剥生产和疏干排水过程中,受当地雨旱交替的气候条件影响,边帮岩体中地下水位变动频繁,加剧了地下水对岩体的物理及化学侵蚀作用,在白云岩岩组中多有岩溶发育。这些不良地质条件的存在,造成局部边帮的稳定系数和安全储备较低。二期采矿工程在布置输送胶带系统时,应尽量避免不良地质发育和边坡稳定性较低的段落。

(5) 矿区属丘陵地貌,地形变化较大,地面起伏频繁。受采矿生产影响,矿区地下水位一般偏深,对工程建设影响不大。受地形影响,地面排水条件较好,方便布置雨季集中降雨期间的排水措施。

(6) 当地水泥、砂石等建筑材料匮乏,缺乏打桩机、强夯机等专用的地基基础施工机械。矿区配备有采剥生产用的挖掘机、装载机、吊车以及拉矿车。采矿弃石堆积成山,矿山建有小型的砂石料厂,利用采矿弃石生产少量的建筑材料,以备日常基建所需。如需做地基处理,换填压实法是当地最常用和最有效的方法。

基于以上结论,可研报告的岩土部分提出建议如下:工程建设场地基本稳定,采场部分地段受地质构造影响,稳定性尚待专门研究,参考生产探矿等资料揭露的工程地质条件,输送胶带系统等采场建(构)筑物应尽量避免相关区域;矿区地形起伏较多,建议做好各种功能厂区的平面规划,尽量减少场地平整工作量,部分陡坎地段需根据需要进行支护;厂区布置应尽可能避开渣碓和尾矿区域,减少场平和地基处理工作;矿区普遍分布湿陷性土,建议尽量加大基础埋深,减少换填方量,如需换填,可预先对采矿弃石的换填效果进行试验,以供工程建设使用;对于尾矿坝等雍水构筑物,建议深入分析研究浅层湿陷性土的分散性质,排除工程隐患。

## 2 设计阶段的岩土工程技术咨询

设计阶段,岩土工程技术咨询的主要任务是基于决策阶段发现的岩土问题,指导工程勘察单位制定专项方案,采取针对措施查明特殊土和不良地质的分布和工程性质,并指导设计单位制定经济、可行的处理方案。

### 2.1 工程勘察

除常规的勘察任务之外,查明湿陷性土、渣碓和尾矿等特殊土,以及断层、软弱破碎带、岩溶等不良地质的分布及其工程性质是勘察工作和岩土

工程技术咨询同样也是主要任务。图5为铜钴矿选矿二期勘察项目的平面图，表1为建（构）筑物概况表。



图5 尾矿营地工程平面图

Fig. 5 Plane of tailings camp project

(1) 采用地质调绘、谷歌历史影像对比、走访调查和必要的挖探等方法，查明湿陷性土、渣碓和尾矿等特殊土的平面布置范围；对于矿建工程与渣碓、尾矿分布重合的区域，应采用钻探和物探相结合的方法查明特殊土的埋深。钻探应尽量采用双管单动或双管双动工艺，保证取芯率和钻探效率，钻探成果的典型地质剖面图见图6。物探方法以高密度电测深和面波勘探相结合，排除金属矿对物探结果的干扰；采用动力触探为主的原位测试方法获

取渣碓采矿弃石的工程参数，尾矿的参数获取则建议采用标贯为主的原位测试方法，结合必要的原状样室内试验；对于工程建设最为关注的地基土承载力，因当地缺乏充分的判定经验，建议采用静载荷试验直接获取特征值，载荷试验成果汇总见表2。

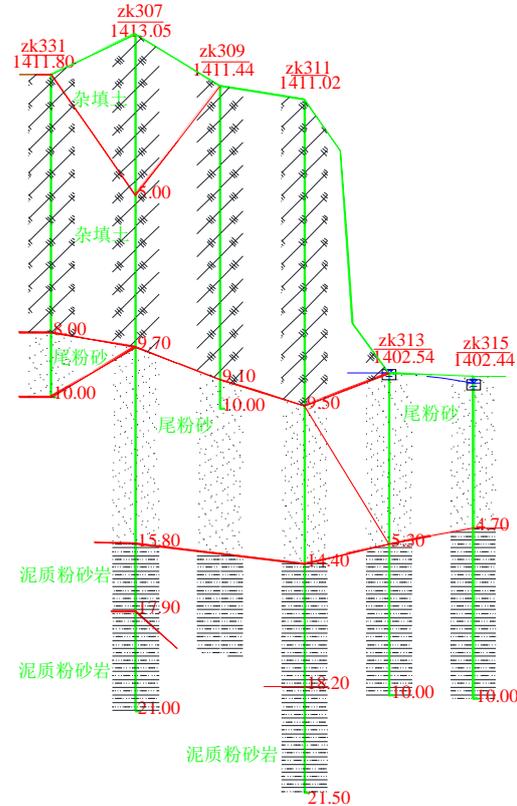


图6 典型工程地质剖面图

Fig. 6 Geological section of typical engineering

表1 主要建（构）筑物概况略表

Table 1 Summary of major buildings

序号	建筑物名称	建筑结构安全等级	层数	对下沉敏感程度	结构形式	柱下最大荷载/kPa	设备名称
1	2号, 3号悬浮车间 (含磁选)	II	1	敏感	单钢	3 500	履机
2	2号, 3号中间矿堆	II	1	敏感	钢混框架	8 200	—
3	2号, 3号顽石破碎	II	1	敏感	多层框架	4 000	—
4	浓密地	II	1	敏感	钢浓密机	3 000	浓密机
5	2号选矿药剂各库	II	1	敏感	单钢	2 800	—
6	1~4转运站	II	1	敏感	钢结构	2 800	—
7	2号实验室	II	1	敏感	钢结构	3 200	—
8	地磅房	II	1	敏感	框架	1 500	—
9	各品各件库, 选矿药剂库 1	II	1	敏感	钢结构	3 200	—
10	冶炼用原材料室、生石灰库	II	1	敏感	单钢	3 200	—
11	选矿综合仓库, 阴极铜和氢氧化钴成品库	II	1	敏感	钢结构	2 800	—
12	选款药剂库 11	II	1	敏感	钢结构	3 200	—

表2 载荷试验结果汇总表  
Table 2 Summary of load test results

试验层位	点号	承载力极限值		承载力特征值		备注
		F/kPa	沉降/mm	F/kPa	沉降/mm	
① <sub>11</sub> 杂填土	Zh22	280	20.49	140	4.00	冶炼厂
	Zh15	280	21.64	140	5.13	
① <sub>12</sub> 杂填土	Zh23	240	22.42	120	7.04	—
② <sub>11</sub> 粉质黏土	Zh24	320	8.03	160	6.08	冶炼厂
	Zh6	320	25.36	160	8.37	
② <sub>12</sub> 粉质黏土	Zh7	280	22.25	140	5.82	—
	Zh19	280	24.70	140	7.58	
	Zh11	220	26.96	110	8.88	冶炼厂
③ <sub>11</sub> 泥质粉砂岩 (W <sub>4</sub> )	Zh20	≥1 020	≥10.79	≥510	≥4.65	—
	Zh21	900	27.20	450	8.30	

(2) 湿陷性土分布广泛,是本工程建设无法回避的问题。建议采用钻探和探槽相结合的方法,查明其在不同部位的埋藏深度;湿陷性室内试验所用的原状样应在探槽的槽壁上刻取,除常规的物理力学试验项目之外,尚应进行必要的颗粒分析、固结快剪、渗透系数及湿陷性试验;湿陷性试验应以室内试验和现场浸水载荷试验(相对少量)相结合,并以现场浸水载荷试验的结果为基础计算场地湿陷量,结合室内试验获取的湿陷系数,推算湿陷量计算的修正系数 $\beta$ ;湿陷性土的下限划定,应严格以室内湿陷性试验和现场浸水载荷试验的结果为依据,在此基础上总结湿陷性土的现场鉴别特征,以便于施工阶段指导现场确定地层层位;矿区湿陷性土与国内分布的湿陷性黄土在形成原因和颗粒级配有本质的不同,在计算湿陷量之后,地基湿陷等级的判定建议参考国标《岩土工程勘察规范》(2009年版,GB 50021—2001)<sup>[12]</sup>中非黄土类的湿陷性土的湿陷等级判定标准,判定结果更符合工程的要求,有利于制定适用性强的地基处理方案。

(3) 矿区断层、软弱破碎带、岩溶等不良地质的埋深一般较大,对一般建(构)筑物的影响较小,可忽略不计。对于采场内部布置的输送胶带系统等,因其布置在边坡台阶之上,易受不良地质的影响。应采用钻探、物探和现场水文试验相结合的方法,查明不良地质的分布。钻探应尽量采用双管单动或双管双动工艺。因工作面受限制,垂直边坡走向的钻孔间距一般较大(大于100 m),且坡面

地形较陡,垂直边坡走向无法布置物探测线。物探方法建议以单孔管波为主,测试钻孔周边一定范围内的岩溶发育程度和岩体完整程度。现场水文试验采用压水试验,可获取岩体透水率、渗透系数、岩体完整程度以及在动水压力作用下岩体中裂隙的发展趋势。岩体参数除常规的完整岩体的单轴抗压强度、块体密度、吸水率外,应重点关注结构面破碎带内岩体的强度,松散岩体可在现场进行直接剪切试验,碎裂岩体可将样品托运回国,进行大三轴压缩实验,以获取最真实的岩体抗剪强度。针对垂直边坡走向的钻孔间距过大而不利于推断岩组产状的问题,建议可加大横向钻孔密度,以三维地质成型技术弥补钻孔纵向间距过大的缺陷,并结合地质构造应力方向、地下水的变化规律等条件,合理推断了边坡软弱结构面的分布范围和发育产状,同时所建立的三维地质模型,将有利于对边坡稳定性进行数值模拟分析,合理推断边坡应力场和位移场,计算边坡安全系数。

(4) 对于湿陷性土表现出的分散性质,应在尾矿库等雍水构筑物处采取试样进行分散性鉴定试验。根据现场试验条件,可采用碎块试验、孔隙水阳离子试验、交换钠离子试验、不同条件下的(加分散剂、煮沸条件下和不加分散剂、不煮沸条件下)颗粒分析试验等,以便于从碎块浸水崩解状况、土粒表面双电层发育程度、交换性钠离子百分比、经验公式及分散度等不同角度详细判定试样分散性。

在此基础上,勘察工作取得了良好的效果,对

矿区进行了地貌单元划分,标识出湿陷性土、渣碛和尾矿分布区域,便于矿建工程平面布置,对于局部无法避让渣碛和尾矿的建(构)筑物(如图3所示的电积车间),勘察提供了特殊土的分布特征和岩土参数,以供设计使用;查明了湿陷性土的分布深度,基本在3.5 m左右,多为I级非自重湿陷,设计单位可根据建(构)筑物类别,合理确定地基处理方案;矿区发育的湿陷性土虽在表面表现出分散性土的一些特征,但在交换钠离子含量和土颗粒表面的电学性质等方面有本质上的不同,为非分散性土,工程无需考虑因分散性土带来的隐患;对于采场的输送胶带系统,查明了边坡岩组和软弱结构面的产状和发育规律,建立了边坡三维地质模型(如图7),并提供了高精度的岩体参数,为边坡稳定性评价和胶带系统的建设适宜性评价奠定了基础。

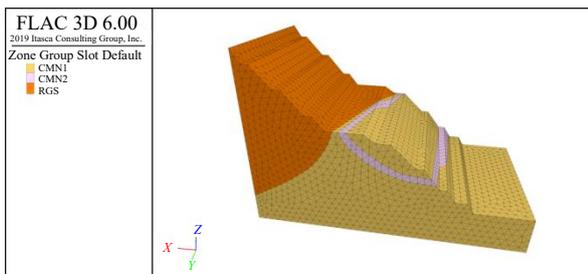


图7 胶带传送段落边坡三维地质模型

Fig. 7 Three dimensional geological model of belt conveyor slope

## 2.2 工程设计

对于岩土工程咨询来讲,工程设计方面的主要任务在于根据工程勘察提供的基础资料,从岩土工程角度提供合理建议,以便于实现工程质量、安全、建设周期和投资控制的有机统一和利益最大化。

针对矿区湿陷性土、填土广泛分布的问题,地基处理在所难免。在有限的经济技术条件下,选择适当的地基处理方案是应首先重点关注的问题。选择拟建生活区进行以采矿弃石做换填材料的可行性试验。生活区拟建场地浅层分布6~8 m厚的素填土,成分以全风化泥岩、粉质黏土、粉土为主,固结程度不高,地基承载力特征值为80 kPa。主体建筑为数栋2层宿舍楼,采用柱下条形基础,基底埋深1.5 m,柱下基底荷载按120 kPa考虑。按换填1 m条件下验算下卧素填土的承载力。

垫层底面处经深度修正后的地基承载力特征值为:

$$f_{az} = f_{ak} + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) = 80 + 1.0 \times 18 \times (2.5 - 0.5) = 116 \text{ kPa} \quad (1)$$

垫层底面处的附加压力值为:

$$p_z = \frac{b(p_k - p_c)}{b + 2z \tan \theta} = \frac{1.2 \times (120 - 1.5 \times 18)}{1.2 + 2 \times 1.0 \times \tan 30^\circ} = 48 \text{ kPa} \quad (2)$$

垫层底面处土的自重压力值为:

$$p_{cz} = 2.5 \times 18 = 45 \text{ kPa} \quad (3)$$

$$p_z + p_{cz} = 93 \text{ kPa} < f_{az} \quad (4)$$

经验算换填1 m时,下卧软弱层的承载力可满足要求。

以上验算中,换填材料的压力扩散角 $\theta$ 参照国内《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2012)<sup>[13]</sup>中矿渣的扩散角确定,采矿弃石应参照上述标准中的相关要求分选处理,最大粒径建议控制在碾压厚度的1/2以内(不大于150 mm),松散重度不小于11 kN/m<sup>3</sup>,有机质及含泥总量不超过5%。按上述要求在拟建生活区进行换填试验,并采用静载荷试验(见图8)检验垫层承载力和压力下的变形程度。

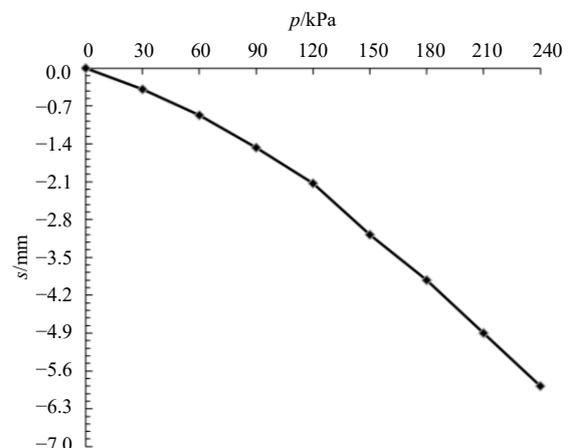


图8 换填试验点载荷试验  $p-s$  曲线

Fig. 8  $p-s$  curve of load test at replacement test point

载荷试验结果显示,在逐级加载条件下,地基沉降量缓慢增加,在90 kPa压力附近, $p-s$ 曲线出现轻微拐点之后进入平滑的直线段落。历时16 h后,压力增长至240 kPa,沉降量5.83 mm,且仍处于直线段落,未达到破坏标准。可见采用分选后的采矿弃石做为换填材料是可行的<sup>[14]</sup>。

根据勘察提供的矿区地貌分布图,合理布置矿建工程,尽量避让渣碛和尾矿分布区域。对于难以避让的区域,可布置对不均匀沉降敏感度较低的低

等级建(构)筑物,如库房、药剂间等,同时应进行换填处理。个别构筑物(电积车间)因与一期车间配套需要,布置在尾矿分布的边缘区域,拟建场地西南侧尾矿及受尾矿影响造成的软弱土深度在2~6 m之间,自西南向东北方向逐步减少。该车间因有不同设备连接的需要,需严格控制地基变形量。建议设计采用0.6~2 m之间不同的垫层厚度进行分级,用以协调不同厚度软弱土的变形量。换填后对不同厚度的垫层区域分别进行载荷试验检测其承载能力和变形量,工后设置沉降观测点监测其长期变形。

协调边坡研究单位对输送胶带系统途径的软弱结构面发育边坡进行评价。经计算,边坡整体稳定,但受软弱结构面穿插的影响,局部区域在数值模拟中出现联通的剪切塑性区,存在局部垮塌的可能。基于评价结果,岩土咨询人员协调评价单位和采矿设计单位进行采矿境界优化,制定了基于压脚的优化处理方案,压矿量 $5\,345\text{ m}^3$ ;另一方面,因勘察提供的岩组产状和岩土参数精准度较高,设计人员对中部稳定区域的台阶坡面角进行了调整,减少剥离量 $41\times 10^4\text{ m}^3$ ,综合计算结果,在不增加成本的情况下,通过调整境界,增加了边坡的安全系数,可实现边坡稳定,可在其上布置输送胶带系统。另外建议在边坡上设置深部位移在线监测点,实时监测边坡岩体深部变形情况,实现对边坡滑移的超前预报。

对于边坡台阶上的胶带系统支架基础,指导设计单位进行基础的稳定性计算,协调基础底面外边缘线至坡肩的水平距离 $a$ 、垂直于坡肩的基础底面边长 $b$ 、基础埋置深度 $d$ 以及坡面角 $\beta$ 四者之间的关系。

### 3 采购与施工阶段的岩土工程技术咨询

该阶段岩土工程技术咨询的主要任务是基于设计方案,落实地基处理要求,提高工程质量,保证工程安全和建设工期。

(1) 指导施工单位识别开槽所见土层,正确识别湿陷性土、填土、尾矿等特殊土。因当地尚未建立轻型动力触探等简易原位测试测定承载力的经验理论,建议应由勘察单位完成基槽底部土层承

载力的判定。

(2) 对于因勘察密度等原因造成的开挖揭露地层与勘察结果不一致的情况,指导施工、勘察、设计单位进行及时判定,并制定经济适用的处理方案,保证工程进度和投资控制水平。

(3) 协助施工单位选取符合要求的采矿弃石,进行分选处理,对粒径、重度、含泥量等指标进行检测,确保垫层材料的质量。

(4) 为换填地基的承载力检测提供咨询,合理安排施工和检测工序,优化检测方案,进行检测结论的复核判断,进一步确认设计方案的安全性。

岩土工程技术咨询以以上要求为原则开展工作,协助矿建单位及时解决施工中遇到的岩土问题,最终保证了地基基础施工费用控制在工程预算范围之内,使得后续工序提早开展,为二期工程提前半年竣工打下基础。

## 4 交付使用阶段的岩土工程技术咨询

在该阶段的任务主要在于协助矿方落实各种监测方案,进行监测数据的复核和分析,用以监控地基处理措施下各种建(构)筑物的安全运行状况。主要包括以下几个方面:

(1) 原尾矿、填土等软弱土分布区域,换填地基上的建(构)筑物基础沉降变形状况,如电积车间、生活区宿舍楼等。

(2) 输送胶带系统相关的边坡深部岩体位移、坡面位移及人工巡视等监测情况,以及胶带系统支架基础的位移监测情况。

(3) 尾矿坝的沉降、位移等监测情况。

分析近一年的各种监测数据,建(构)筑物基础沉降累计值最大不足 $10\text{ mm}$ (见图9),速度缓慢,平稳,并趋于稳定,可以认为地基处理的效果较好;边坡深部岩体竖向位移累计值 $5\sim 6\text{ mm}$ ,增加量不大(见图10),边坡体内无明显的位移滑动倾向,边坡稳定,境界优化的效果较好;胶带系统支架基础基本无位移量,基础处于稳定状态;尾矿坝在水平、竖直方向上的位移基本稳定,随坝体堆积过程,位移量呈现出递进式增长态势,但总体位移累计值均不超过 $20\text{ mm}$ ,坝体处于稳定状态。

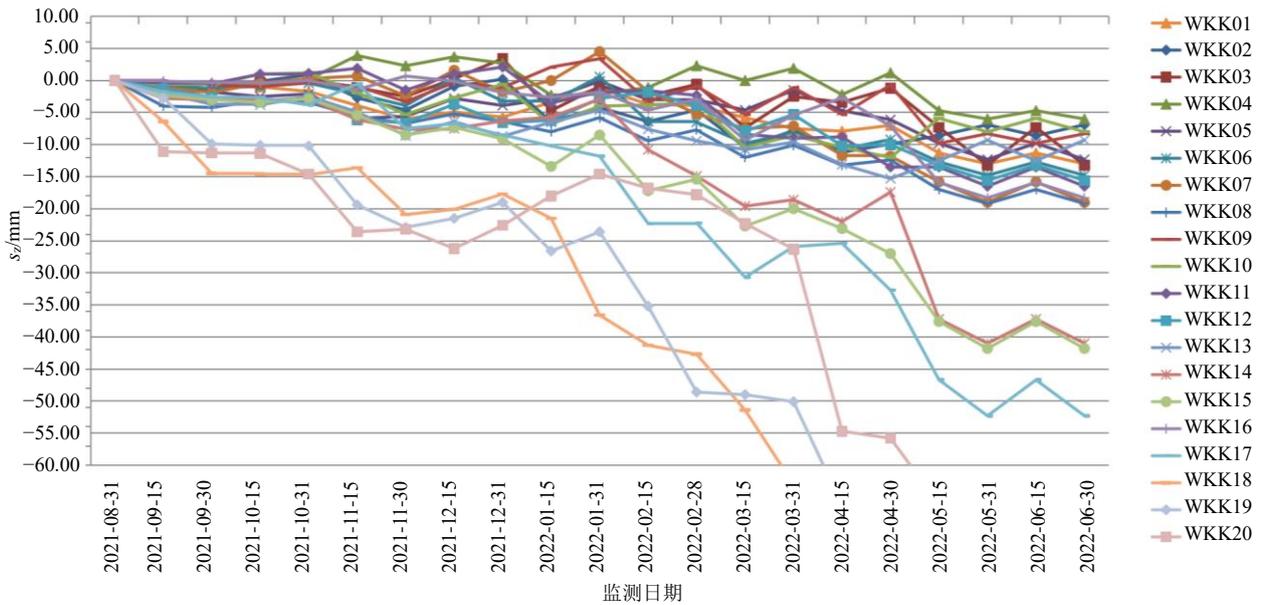


图9 尾矿坝沉降监测成果图  
Fig. 9 Monitoring settlement of tailings dam

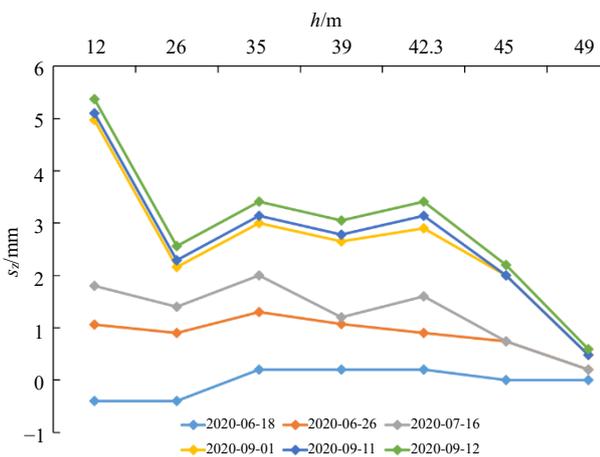


图10 边坡深部位移监测成果图  
Fig. 10 Displacement monitoring in the deep part of the slope

### 5 结论

通过梳理工程建设的前期决策阶段、设计阶段、采购与施工阶段、交付使用阶段岩土工程咨询的开展情况及效果分析,不难看出在全过程工程咨询视角下,岩土工程咨询通过提早介入,沟通协调建设、勘察设计、施工、监测等单位,重点关注矿区尾矿、填土、渣碓等特殊土及滑坡、岩溶等不良地质,在工程质量、安全、成本及建设工期方面均取得了积极的效果。可以得出结论,全过程岩土工程咨询是解决岩土工程问题的良好途径。

#### 参考文献

[1] 修璐. 我国工程咨询已全面跨入全过程工程咨询服务

的新阶段[J]. 中国勘察设计, 2019(5): 26-31.

XIU Lu. Engineering consulting in China has entered a new stage of the whole process engineering consulting service[J]. China Exploration & Design, 2019(5): 26-31.

[2] 徐慧. 关于全过程工程咨询服务现状及发展方向的思考[J]. 居业, 2021(3): 169-170.

XU Hui. Thoughts on the current situation and development direction of the whole process engineering consulting service[J]. Residential Industry, 2021(3): 169-170.

[3] 柏永春. 基于建设项目实践的全过程工程咨询研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020.

BAI Yong-chun. Whole process engineering consultation based on construction project practice[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2020.

[4] 陆鑫. 基于过程控制的全过程工程咨询业务管控研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2020.

LU Xin. Research on management of whole process engineering consulting business based on process control[D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2020.

[5] 向熙熙. 岩土工程施工管理探讨[J]. 住宅与房地产, 2020(26): 155, 165.

XIANG Xi-xi. Discussion on construction management of geotechnical engineering[J]. Housing and Real Estate, 2020(26): 155, 165.

[6] 肖乾. 岩土工程勘察质量控制与评价方法研究[D]. 合

- 肥: 安徽建筑大学, 2020.
- XIAO Qian. Methods for quality control and evaluation of geotechnical engineering survey[D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2020.
- [7] 钱于军, 钱欣楠. 岩土工程一体化全过程项目管理模式的探讨[J]. 工程管理, 2020(16): 151-152.
- QIAN Yu-jun, QIAN Xin-nan. Discussion on the whole process project management mode of geotechnical engineering integration[J]. Engineering Management, 2020(16): 151-152.
- [8] 王伟. 岩土工程勘察、设计与施工一体化模式探讨研究[J]. 地产, 2019(24): 133.
- WANG Wei. Study on the integrated model of geotechnical engineering investigation, design and construction[J]. Real Estate, 2019(24): 133.
- [9] 王东利. 岩土工程勘察、设计与施工一体化模式探讨研究[J]. 城市地质, 2013, 8(4): 15-20.
- WANG Dong-li. On integrative mode of geotechnical engineering investigation, design and construction[J]. Urban Geology, 2013, 8(4): 15-20.
- [10] 顾国荣. 岩土工程一体化全过程咨询实践[C]//首届岩土工程一体化咨询服务发展论坛. 上海, 2019.
- GU Guo-rong. The whole process consultation practice of geotechnical engineering integration[C]//The first Geotechnical Engineering Integration Consultation Service Development Forum. Shanghai, 2019.
- [11] 杨石飞. 岩土工程一体化咨询与实践[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021: 227-259.
- YANG Shi-fei. Consultation and Practice of Geotechnical Engineering Integration[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2021: 227-259.
- [12] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 岩土工程勘察规范 (2009年版): GB 50021—2001[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- Ministry of Construction of PRC, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of PRC. Code for Investigation of Geotechnical Engineering (2009 Edition): GB 50021—2001[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑地基处理技术规范: JGJ 79—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of PRC. Technical Code for Ground Treatment of Buildings: JGJ 79—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [14] 张诏飞, 闻磊, 刘志亮. 刚果金南部地区矿山湿陷性土形成机理分析[J]. 世界有色金属, 2021(2): 117-119.
- ZHANG Zhao-fei, WEN Lei, LIU Zhi-liang. Analysis on forming mechanism of mine collapsible soil in southern DRC[J]. World Nonferrous Metals, 2021(2): 117-119.