

Doi:10.3969/j.issn.1671-4172.2022.03.021

适用于井下狭窄巷道的铰接自行式智能化天井钻机

黎忠炎,龙国强,沈盛强

(湖南一二机械科技有限公司,长沙 410006)

摘要:为解决现有天井钻机尺寸大、转场难、自动化程度低、控制精度差等问题,通过采用中心铰接式底盘结构、浮动车架设计、PLC程序控制和远程智能遥控操作等系统集成与控制技术,对天井钻机的整机结构、动力匹配、智能行走、自动凿岩等核心问题进行了研究,最终开发设计出了一款适用于无轨矿山井下狭窄巷道的铰接自行式智能化天井钻机。该钻机通过履带牵引和轮胎拖挂的方式实现设备的行走和转向,行走、定位、施工全过程无需任何拆装,简单方便。现场应用表明,相比传统天井钻机,本文设计的铰接自行式智能化天井钻机整机尺寸小、巷道通过性好、凿岩速度快、成孔精度高、施工成本低,无论是在施工效率上,还是在智能化程度上都有了很大的提升,很好满足了矿山机械化换人、智能化减人的发展需求,更加高效、智能。

关键词:天井钻机;天井施工;铰接自行;采矿技术;智能凿岩;远程遥控

中图分类号:TD421.3

文献标志码:A

文章编号:1671-4172(2022)03-0133-06

Intelligent articulated self-propelled raise drilling rig suitable for underground narrow tunnel

LI Zhongyan, LONG Guoqiang, SHEN Shengqiang

(Hunan Yier Machinery Technology Co., Ltd., Changsha 410006, China)

Abstract: In order to solve the problems of large size, difficult transport, low automation and poor control accuracy of existing raise driller, this paper uses the system integration and control technology of center articulated chassis structure, floating frame design, PLC program control and remote intelligent control, and mechanical structure, power matching, intelligent walking problem, automatic drilling was studied. Finally, an articulated self-propelled raise drill is designed for narrow tunnel in trackless mine. The drill realizes the walking and turning of the equipment through the way of track traction and tire drag and hang, the whole process of walking, positioning and construction without any disassembly, simple and convenient. Field application shows that compared with the existing drilling rig, the paper design of articulated self-propelled patio drilling roadway through small size, fast drilling, hole of high precision, low construction cost, both in the efficiency of construction, or in the intelligent degree had the very big promotion, is very good to satisfy the development demand of intelligent mining about equipment replaces people, with high efficient and intelligent.

Key words: raise drilling rig; raise drilling rig construction; articulated self-propelled; mining technology; intelligent rock drilling; remote control

目前国内现有天井钻机多采用分体式结构(即将天井钻机分为工作主机和动力系统两部分),钻机无独立行走能力,在地面多通过罐笼或地下装载机将工作主机和动力系统分别运输到井下施工中段,然

后通过预先铺设好的轨道,借助外力牵引才能将其运输到指定施工工位,为现场施工带来诸多不便^[1]。

为解决天井钻机行走问题,目前国外已有的方法是将天井钻机的工作主机和动力单元集成安装在移动底盘上,比如ATLAS的Robbins 34RH QRS系列天井钻机就是采用的整体自行技术。近几年国内也有企业对自行式天井钻机进行了研究,如创远高新的CY-RV系列天井钻机、常州立鼎的ZFYL

收稿日期:2022-01-25

基金项目:长沙市科技计划项目(kh2001029)

作者简介:黎忠炎(1985—),男,工程师,硕士,机械工程专业,长期从事矿山工程采矿装备的设计研究与应用开发工作。

型钻机等都是属于整体自行式结构。该方案虽然有效解决了天井钻机的行走问题,但这种结构形式的天井钻机整机尺寸相对较大,转弯半径大,对井下巷道要求较高,难以满足国内中、小型矿山巷道的行走要求。另外,这种整体移动式天井钻机将工作主机、移动底盘、动力单元刚性连接,在立机钻孔时,移动底盘和动力单元的自重、振动等因素都会影响到工作主机结构的稳定性,进而影响钻孔精度^[1]。

从目前国内天井钻机的现状来看,大部分生产企业将天井钻机的发展方向定为大孔径、智能化,而忽略了小孔径、低矮化的实际用户需求。参照我国近几年的矿山情况统计表,我国现有持证的地下矿山总计 3 832 座,其中大型矿山 154 座,中型矿山 390 座,小型矿山 3 288 座。通过这组数据我们发

现,我国 85.8% 的地下矿山都为小型矿山,而小型矿山的普遍特点是采用无轨化设备作业、巷道狭窄、行走通过性差、施工作业点分散,施工环境恶劣^[2]。因此,研制设计出轻便化、微型化、智能化的高性能自行式天井钻机以满足当前中小型地下矿山开采的发展需求是未来天井钻机发展的必然趋势。

1 天井钻机施工原理

地下矿山采矿溜井、通风井、切割井的施工中,天井施工的前提条件有两个:一是上层硐室的基础建设(用于设备的立机定位与操作);二是下层硐室的贯通(用于更换扩孔刀盘和出渣)。天井施工过程主要包括立机定位、导孔施工、装刀盘、扩孔施工、成井收机等几大步骤(如图 1 所示)。



图 1 天井施工流程

Fig. 1 Raise drilling rig construction process

2 铰接自行式天井钻机

铰接自行式天井钻机是在综合原有轨轮式天井钻机技术优点的情况下研发设计而成,AT-L 系列铰接自行式天井钻机参数见表 1。针对当前矿山开采的新特点,该机型在优化原有凿岩参数的

情况下,通过系统集成技术对整机尺寸进行低矮化设计,行走部分采用履带拖挂行走,把较长的固态车体转化为中心铰接式转向,结合远程遥控操作,使其转弯半径小,对巷道适应性好,行走灵活,安全性高,更好地适应了国内地下无轨矿山的发展需求。

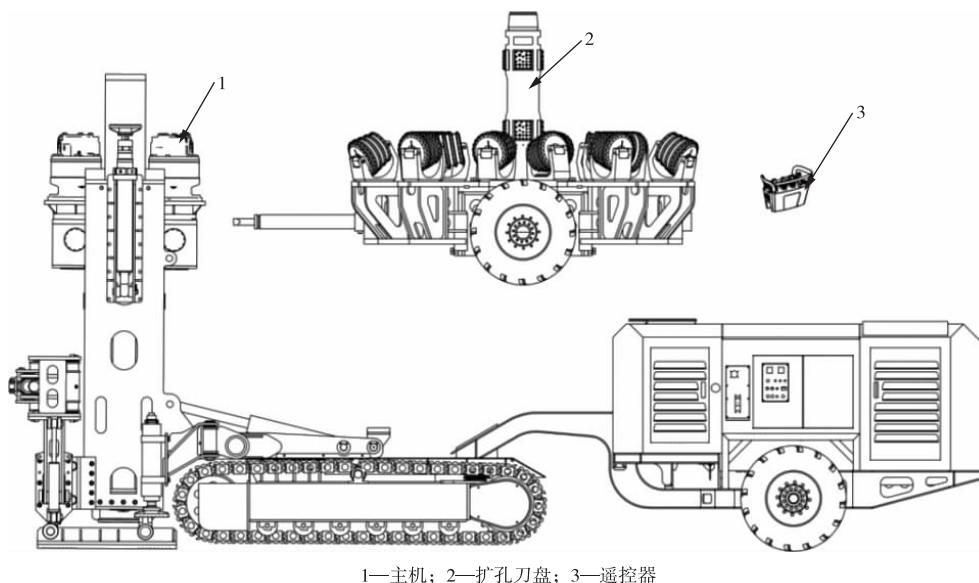
表 1 AT-L 系列铰接自行式天井钻机参数

Table 1 The parameter of AT-L self-propelled raise drilling rig

参数名称	AT-1500 L	AT-2000 L	AT-3000 L
额定转速/(r · min ⁻¹)	0~40	0~28	0~26
额定扭矩/(kN · m)	57	95	172
钻孔推力/kN	≥450	≥880	≥1 400
扩孔拉力/kN	≥1 000	≥1 760	≥2 750
扩孔直径/mm	1 200~1 800	1 500~2 500	2 500~3 500
钻井深度/m	400	400	400
钻井角度/(°)	60~90	60~90	60~90
行走尺寸(长×宽×高)/mm	6 911×1 600×2 076	6 911×1 600×2 076	6 910×1 750×2 020
工作尺寸(长×宽×高)/mm	7 425×2 580×3 320	7 425×2 580×3 750	7 500×2 800×3 820
质量/t	13.5	14.5	17
额定压力/MPa	副泵:32/主泵:28	副泵:32/主泵:28	副泵:32/主泵:28
电动机总功率/kW	101	121	161
额定电压/V	380/660	380/660	380/660
控制方式	远程无线遥控	远程无线遥控	远程无线遥控
行走方式	履带+无线遥控	履带+无线遥控	履带+无线遥控
行走速度 I 挡/(km · h ⁻¹)	1.9±0.14	1.9±0.14	1.9±0.14
行走速度 II 挡/(km · h ⁻¹)	3±0.3	3±0.3	3±0.3
爬坡能力/%	≥25	≥25	≥25
转弯半径(外侧)/mm	≤4 400	≤4 500	≤4 600
最小离地间隙/mm	≥200	≥200	≥200
柴油机额定功率/kW	58	58	73.5

铰接自行式天井钻机由主机和遥控器两部分组成(见图2),并配有钻杆、稳定杆、导孔钻头、扩孔刀盘、高压水泵等辅助设备。其工作原理是液压马达驱动回转,油缸驱动推进与反提,以龙门式框架为导轨,油缸向下推进时,完成导孔作业,切削岩碴由高压水泵上向排出,油缸向上反提时,完成扩孔作业,岩碴依靠自身重力落

下。该钻机采用框架式主机结构,上下油缸支撑定位,具有自动接卸杆与深井防偏控制功能。设备成孔直径1~4 m,最大钻井深度400 m,可完成 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 的斜孔作业,行走速度3 km/h,外侧最小转弯半径4.5 m,最大爬坡角度 20° (见图3),柴油机驱动行走,电机液压驱动凿岩,可整体自行,亦可分体后罐笼运输(见图4)。



1—主机; 2—扩孔刀盘; 3—遥控器
图2 铰接自行式天井钻机组成

Fig. 2 The composition of self-propelled raise drilling rig

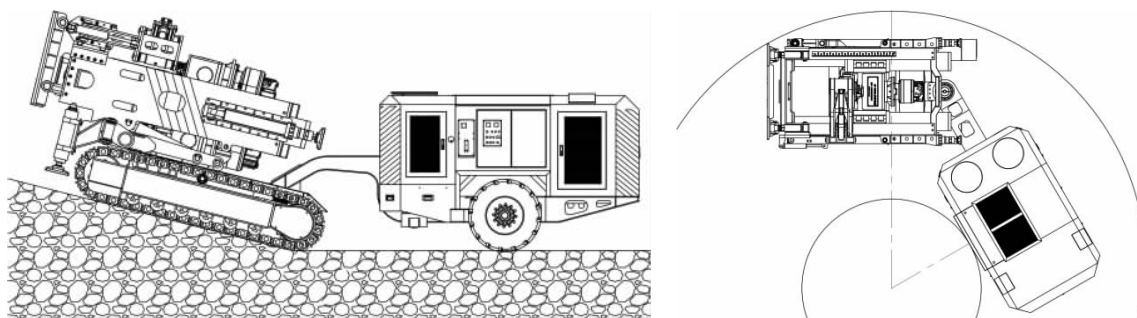


图3 铰接自行式天井钻机行走示意

Fig. 3 The walking diagram of self-propelled raise drilling rig

3 铰接自行式天井钻机关键技术

3.1 多自由度浮动铰接机构^[3]

铰接自行式天井钻机主机由工作主机、前车架、后车架和中心铰接几大部分组成,其中前车架采用履带底盘,后车架采用轮式底盘,前车架与后车架通过中心铰接(如图5所示)相连,该中心铰接采用多自由度浮动式铰接设计,使前车架与后车架既能绕中心轴水平转动又能绕中心轴上下偏摆,既减小了

钻机行走时的转弯半径,又提高了钻机的地面通过性,使其更好地适应井下巷道狭窄、路面不平的恶劣环境^[3]。

这种前车架履带驱动、后车架轮胎行走的多自由度浮动铰接式底盘设计,可整体自行,亦可分体后罐笼运输,大大缩短了设备的拆装和转运周期,简单方便。该结构除了适用于天井钻机行走外,同样可用于其它载重大、行走速度慢、行走工况恶劣的地下矿山装备。

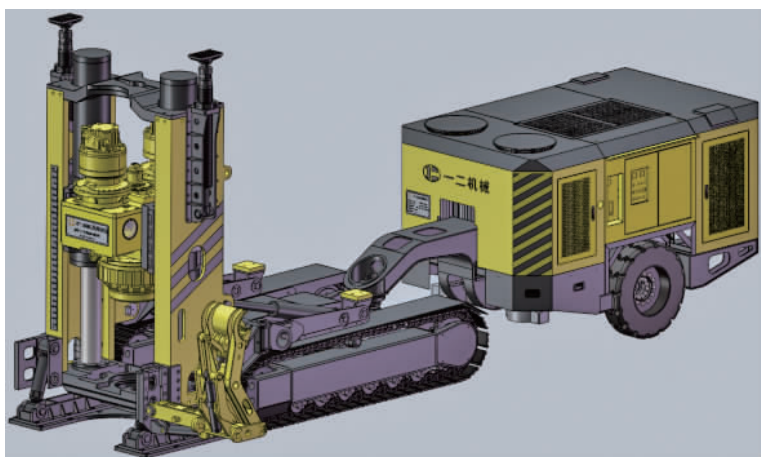


图4 铰接自行式天井钻机整机结构

Fig. 4 The diagram of self-propelled raise drilling rig

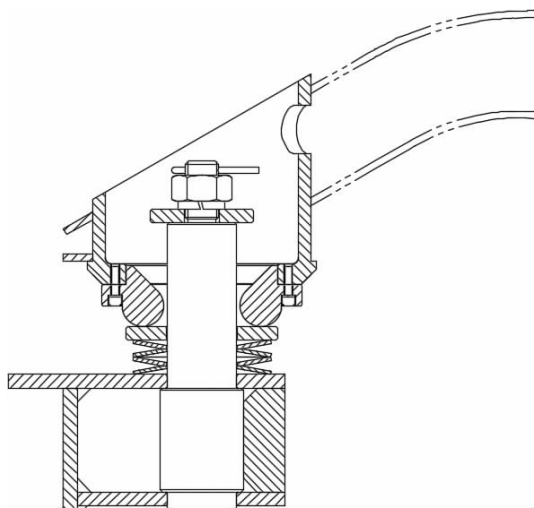


图5 多自由度浮动铰接机构

Fig. 5 Multid floating articulated design

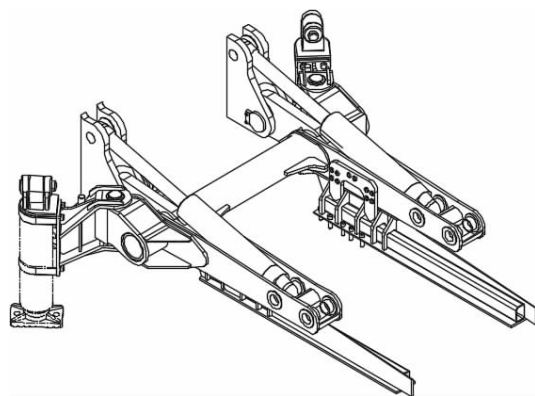


图6 浮动车架结构

Fig. 6 Floating frame design

3.2 浮动车架

为解决天井钻机行走问题,目前国内已有的方法是将天井钻机的工作主机和动力单元集成安装在移动底盘上,该技术虽然有效解决了天井钻机的行走问题,但这种结构形式的天井钻机将工作主机、移动底盘、动力单元刚性连接,在立机钻孔时,移动底盘和动力单元的自重、振动等因素都会影响到工作主机结构的稳定性,进而影响钻孔精度。

铰接自行式天井钻机将工作主机与车架采用浮动式铰接(如图6所示),让工作主机与车架在竖直方向上有一定的补偿空间,既实现了工作主机与车架的铰接,又可以使立机后,工作主机总成在竖直方向上不受车架约束,确保了工作主机在钻孔过程中不受车架重量和振动等因素的影响,提高了设备的钻孔精度^[4]。

3.3 双动力凿岩驱动系统

铰接自行式天井钻机凿岩系统采用双电机驱动,可针对不同的凿岩工况进行合理的动力选择和匹配,提高凿岩效率,降低系统能耗。如导孔作业所需功率小,可选择只开启一套动力系统,以减少功率损耗,而扩孔施工时所需功率大,可选择同时开启两套动力系统,提高凿岩效率。铰接自行式天井钻机两套动力系统均可独立使用和调节,当一套系统出现故障时,另一套系统可继续完成凿岩作业,以保证施工的连续性,节省时间成本。

将双动力凿岩驱动系统用于天井钻机在国内属于首创,该设计不仅能保证设备施工的连续性,减少功率损耗,还能有效提高设备空间的利用率,减小设备体积,更能满足井下设备低矮化的设计需求。

3.4 高强度钻杆

根据天井钻机的工作原理,在导孔施工时,钻杆负责将主机产生的下向推力及扭矩传递到牙轮钻头上,使其产生对岩石的碾压破碎效果;在扩孔

过程中,钻杆负责将主机产生的上向拉力及扭矩传递到扩孔刀盘之上,使刀盘上的滚刀对岩壁产生碾压破碎效果。天井钻机的工作特性决定了钻杆在整个作业过程中负责传递较大的轴向力及扭矩,所以对钻杆的材质及连接螺纹的形式提出了较高的要求。

结合多年的天井钻机施工经验,并参考国外成熟的钻杆螺纹技术,通过不断的试验测试,成功试制出了符合国际通用钻杆螺纹标准的一寸两牙螺纹(简称粗牙螺纹),相比传统的一寸四牙钻杆螺纹(简称细牙螺纹),粗牙螺纹的螺旋升角大,牙型也相对较大,在不破坏螺纹部分基体的前提下能够传递的扭矩相对较大,可有效防止钻杆烧丝、断裂等现象,钻杆的使用寿命更长,可靠性更高。现场施工表明,粗牙螺纹无论是在钻杆强度上,还是在接卸杆的容易程度上,都优于细牙螺纹。该螺纹的试制成功,对提高天井钻机钻杆可靠性、提升钻机的成孔直径与钻井深度都具有非常重要的意义。

3.5 深井防偏智能控制技术

成孔偏斜率是衡量天井施工质量的一个重要参数,而影响天井施工偏斜的因素主要有三个方面:一是由于钻机自身的动作控制精度差导致的机械性偏斜;二是在导孔施工过程中因岩层结构突变(如裂隙、溶洞、断层等)以及钻具自重(斜孔时)导致钻头受力不均,形成钻头的跑偏;三是操作人员的操作控制不当引起的开孔偏斜^[5]。

针对钻机自身原因和人为操作不当引起的偏斜,解决办法相对容易,可采用提高钻机控制精度、增加设备姿态监控、提高操作人员技术水平等方式来解决。而由岩石特性变化导致的凿岩偏斜解决起来就非常困难,需要通过大量的数据采集和分析才能处理,为此本设备搭建了专门的随钻数据采集分析模块,建立了钻杆防偏征兆采集预处理模型,通过对凿岩过程中的数据进行在线分析,来实时调整推进、回转等凿岩参数,在钻头发生偏斜前对凿岩工况进行预处理,以达到钻进防偏的目的。

4 铰接自行式天井钻机现场应用

目前,该铰接自行式天井钻机适用于无轨矿山天井、溜井、通风井、管道井等矿井施工,成井直径1~3.5 m,已在深圳中金岭南凡口铅锌矿、山东钢铁集团莱芜矿业有限公司、湖南蓬源鸿达矿业有限公司等多家单位投入使用(见图7)。从现场反馈来看,铰接自行式天井钻机省去了设备拆装、轨道铺设、动力牵引、基础浇筑等一系列施工前的准备工序,大大减少了天井施工的辅助时间,不仅使天井施工的效率有了显著提高,还有效降低了施工的经济成本(见表2)。相同规格的天井钻机,传统轨轮式设备转场大约需要10 d,需要至少6个人协同作业,而自行式天井钻机仅需要1 d、2人即可完成,天井施工的综合效率大大提高。另外,设备采用远程无线遥控操作,设备故障率少,人工劳动强度低,施工更加安全可靠。

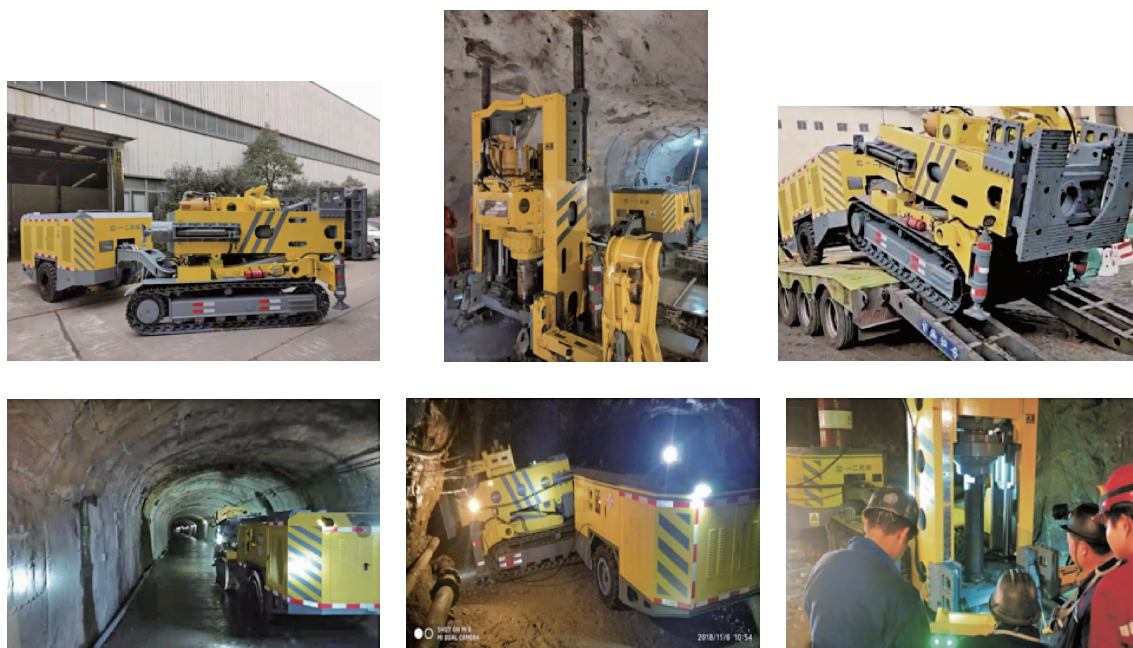


图7 铰接自行式天井钻机现场应用

Fig. 7 Field application of articulated self-propelled raise drilling rig

表2 铰接自行式天井钻机现场应用统计

Table 2 Application statistics of articulated self-propelled raise drilling rig

使用单位	机型	成孔直径/m	施工人员/(人·班 ⁻¹)	施工效率/(m·班 ⁻¹)	成孔精度/%	综合能耗/(kW·m ⁻¹)
凡口铅锌矿	AT-2000L	2	2	6~10	0.5~1	90~126
莱芜矿业	AT-3000L	1.8/3	2	3~6	0.5~1	130~180
蓬源鸿达矿业	AT-1500L	1/1.5	2	5~8	0.5~1	80~120

5 结论

铰接自行式天井钻机立足于低矮化、小型化的地下矿山开采技术特点,有一体化自行、智能化凿岩等多重优势。钻机采用模块化系统集成设计,电液比例控制和负载反馈液压系统,搭载 PLC 程序控制和 Can 总线传输系统,实行人机分离远程无线遥控操作,控制精度高、巷道通过性好、施工高效、安全可靠。该设备针对矿山降本增效、节能环保和少人的实际需求,很好的切合了地下矿山无轨化趋势,整机尺寸和巷道通过性与 2 m³ 地下铲运机相近,可适应国内绝大部分地下矿山的巷道要求,是当前矿山实用、高效、智能的新型设备,也为国内矿山无人化的发展趋势打下了良好的基础。

参考文献

- [1] 龙国强,沈盛强,黎忠炎. 铰接自行式天井钻机[P]. ZL201821229592.4,2018-8-01.

LONG Guoqiang, SHEN Shengqiang, LI Zhongyan. Articulated self-propelled raise drilling rig [P]. ZL201821229592.4, 2018-08-01.

- [2] 易欣. 地下采矿之天井钻机[J]. 矿业装备, 2018(2):12-14.
YI Xin. Underground mining raise drill[J]. Mining Equipment, 2018(2):12-14.
- [3] 沈盛强,王勇,龙国强,等. 多自由度浮动铰接机构[P]. ZL201821231748.2,2018-08-01.
SHEN Shengqiang, WANG Yong, LONG Guoqiang. Multi-d floating articulated design[P]. ZL201821231748.2,2018-08-01.
- [4] 黎忠炎,颜沙,龙国强,等. 用于天井钻机的浮动车架[P]. ZL201821229603.9,2018-08-01.
LI Zhongyan, YAN Sha, LONG Guoqiang. Floating frame design for raise drilling rig[P]. ZL201821229603.9,2018-08-01.
- [5] 胡建钊,张万清. 中深孔凿岩偏斜率控制措施探讨[J]. 中国矿山工程,2016,45(1):36-39.
HU Jianzhao, ZHANG Wangqing. Study on the lowering measures of medium-length hole deflection rate[J]. China Mine Engineering,2016,45(1):36-39.

(编辑:周叶)

(上接第132页)

- [6] 江丽,钟九生,黄国金,等. 贵州丹寨县铅锌矿区小流域土壤重金属污染特征及生态风险评价[J]. 有色金属(冶炼部分), 2021(3):57-64.
JIANG Li, ZHONG Jiusheng, HUANG Guojin, et al. Heavy metal pollution characteristics and ecological risk assessment of soils in small watershed of Lead-Zinc mine in Danzhai County, Guizhou Province [J]. Nonferrous Metals (Extractive Metallurgy), 2021(3):57-64.
- [7] 周海燕,曹梦华,王琳玲,等. 某待搬迁硫酸厂重金属污染土壤健康风险评估[J]. 环境工程,2014,33(8):127-130.
ZHOU Haiyan, CAO Menghua, WANG Linling, et al. Health risk assessment of a potential heavy metal contaminated site from a sulphuric acid plant[J]. Environmental Engineering, 2014,33(8):127-130.
- [8] 周皓宇,刘忠,陈海峰,等. 退役硫酸厂场地土壤污染状况调查研究[J]. 中国资源综合利用,2021,39(5):125-128.
ZHOU Haoyu, LIU Zhong, CHEN Haifeng, et al. Investigation and research on soil pollution status of decommissioned sulfuric acid plant site[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2021,39(5):125-128.
- [9] 于旦洋,王颜红,丁茯,等. 近十年来我国土壤重金属污染源解析方法比较[J]. 土壤通报,2021,52(4):1000-1008.
YU Danyang, WANG Yanhong, DING Fu, et al. Comparison of analysis methods of soil heavy metal pollution sources in China in last ten years[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021,

52(4):1000-1008.

- [10] 段友春,梁兴光,臧浩,等. 日照市典型农用地土壤重金属来源分析及环境质量评价[J]. 环境污染与防治,2020,42(11):1410-1414.
DUAN Youchun, LIANG Xingguang, ZANG Hao, et al. Source analysis and environmental quality assessment of heavy metals in farmland soil in a typical area of Rizhao city[J]. Environmental Pollution & Control, 2020,42(11):1410-1414.
- [11] 陈雨. 河北省典型行业污染场地土壤风险筛选值拟定研究[D]. 石家庄:河北科技大学,2019.
CHEN Yu. Study on the selection of soil risk screening values for tropical industrial contaminated sites in Hebei [D]. Shijiazhuang, Hebei University of Science & Technology, 2019.
- [12] 张斌,邹卉,肖杰,等. RAG-C 和 RBCA 模型中场地特征参数的差异及其启示[J]. 环境工程,2015,34(9):130-133.
ZHANG Bin, ZOU Hui, XIAO Jie, et al. Comparison of site-specific parameters in RAG-C and RBCA model and the implication for China[J]. Environmental Engineering, 2015, 34(9):130-133.
- [13] 李灿,曾云,刘淑运,等. 基于儿童和成人血铅模型的土壤环境铅基准值研究[J]. 环境与健康杂志,2017,34(9):789-793.
LI Can, ZENG Yun, LIU Shuyun, et al. Lead benchmarks for soils based on blood lead model for children and adult in China[J]. Journal of Environment and Health, 2017, 34(9):789-793.

(编辑:周叶)