中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

工业造型设计在 ZDY 系列定向钻机中的应用研究

姚 克,何玢洁,方 鹏,孙保山,邵俊杰,张 锐,张占强
(中煤科工集团西安研究院有限公司,陕西 西安 710077)

摘 要:为提高钻机产品的整体外观造型及产品操作舒适性,体现钻机“厚重稳定、实用简洁、美观精致”的整体造型风格定位,提高钻机安全性及易操作性方面的用户体验,将工业造型设计引入钻机产品的设计流程,以钻机形态、涂装和表面材质设计为切入点分别进行研究,实现钻机整体外观的形式美、内部功能结构的合理性及人机环境协调性的高度融合,以 ZDY 系列定向钻机为例,详细介绍了工业造型设计在该类型新产品开发中的具体应用与研究,通过多款钻机的生产应用表明,工业造型设计对提高钻机产品的整体外观造型和产品操作舒适性方面有着非常重要的作用。

关键词:工业造型设计;操作舒适性;定向钻机;煤矿
中图分类号:TD41 **文献标志码**:A **文章编号**:0253-2336(2018)04-0088-05

Research on the application of industrial modeling design in ZDY directional drilling rigs

YAO Ke, HE Binjie, FANG Peng, SUN Baoshan, SHAO Junjie, ZHANG Rui, ZHANG Zhanqiang
(*CCTEG Xi'an Research Institute*, *Xi'an* 710077, *China*)

Abstract: In order to improve the overall appearance modeling and operator comfort of drilling rig, embody the styling orientation of the overall modeling of drilling rig "heavy and stable, simple and utility, beautiful and delicate", and improve the user experience in security and ease operation, we introduce industrial modeling design into the design process of drilling rig. With the morphology, coating, and surface texture of the drilling rig being point-cuts, the formal beauty of overall appearance, the rationality of internal functional structure and the human-machine environment coordination of the rig has been highly integrated. Taking a series of ZDY directional drilling rig as the example, the specific application of industrial design to this type of new product development was presented in detail. The production and application of several drilling rigs show that the industrial design plays a very important role in improving both the overall appearance and operator comfort of the drilling rig.

Key words: industrial modeling design; operator comfort; directional drilling rig; coal mine

0 引 言

目前,我国用于煤矿井下的全液压坑道钻机生产厂家与国际同行之间,技术上的差距正在逐渐缩小,但对于该类型产品的工业造型设计方面,由于普遍存在理念缺失,诸如用不着、没人看、使用不便等观念,以及前期设计开发投入不足等问题,煤矿设备造型设计不专业,导致国内煤矿装备研发生产企业在产品形象和品牌塑造方面与国际领先企业还存在一定的差距。国际先进企业通常通过开展工业造型设计研究、设立企业工业造型设计部门等手段,在不断的设计、研发、生产过程中逐渐提高自身产品形象及品牌效应。因此,通过工业造型设计提升煤矿坑道钻机的产品形象是减少这一差距的必然选择[1]。

工业造型设计自 20 世纪 60 年代伴随着我国各行各业的蓬勃发展,已经在我国各个领域都有了不同程度的应用与研究,尤其是在轻工业领域中的设计与研发发展时间长、应用范围广,技术已经相对成

收稿日期:2018-01-02;**责任编辑**:赵 瑞 **DOI**:10.13199/j.cnki.cst.2018.04.015
基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05045-003-001)
作者简介:姚 克(1973—),男,宁夏中宁人,研究员。E-mail:yaoke@cctegxian.com
引用格式:姚 克,何玢洁,方 鹏,等. 工业造型设计在 ZDY 系列定向钻机中的应用研究[J]. 煤炭科学技术,2018,46(4):88-92,109.
YAO Ke, HE Binjie, FANG Peng, *et al*. Research on the application of industrial modeling design in ZDY directional drilling rigs[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(4): 88-92, 109.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

熟,但在煤矿设备尤其是在煤矿坑道钻机产品的设计中,工业造型设计的研究开展时间相对较短,研究基础比较薄弱,应用实例也相对较少[2]。

基于以上背景,结合国家“十二五”和“十三五”科技重大专项,对 ZDY 系列定向钻机中 2 款产品进行创新设计,特别对钻机外观造型进行全新设计并加工样机成品,还对定向钻机类产品的系列化造型设计进行了规范和探索,组织编写系列履带钻机外观造型设计企业标准。2 款钻机产品经过多次大型行业装备展会和现场工业性试验,以及后续长时间实际生产应用表明,经过工业造型设计的产品得到用户的高度认可,也为企业品牌形象的树立奠定了坚实基础。

1　钻机造型风格与设计方案

外观造型设计是技术与艺术的复合体,是科学和艺术结合的设计活动,既与技术有关、又与美学有关,其实质是对工业产品的实用功能和装饰美感二者之间不断协调和统一的过程,更是一个受各种因素限制的综合性设计过程[3-4]。

钻机造型设计属于工业设计范畴,工业设计不能仅局限于外部造型、色彩与装饰,必须考虑功能、结构、材料、工艺、人机工程学等多方面因素,必须遵循“功能第一、形式第二”的原则,形式追随功能,并不是造型设计人员的随意发挥[5-6]。优秀的钻机产品不仅要以逐渐完善的强大功能和可靠性来满足市场需求,而且还应重点考虑用户的情感需求,更要满足用户的审美需求与操作体验,使用户能够简单、舒适地操作产品[7-8]。

中煤科工集团西安研究院有限公司(以下简称西安研究院)定向钻机产品多使用上小下大,下宽上窄的整体履带式造型,以体现产品的稳重大气。一般而言,这种整体形态可以有效降低重型机械的视觉重心,尤其对于深孔定向钻机,这种稳重的设计风格可以令履带钻机有一种牢牢扎根地面的稳定感;钻机整体涂装多采用亮色和高对比度为主的配色体系,视觉感官醒目,能加强产品的厚重感。同时,从机械本身的体积和高度因素考虑,这种形式的设计也更加贴切工程技术的实际要求和使用的安全性,所以整体形态仍然需要在保持西安研究院钻机产品固有风格和特色的基础上进行创新设计。

通过对国内外相关产品的调研分析,在收集整理澳钻、阿特拉斯等国外标杆产品图片,并对其工作环境、外形、涂装进行分析总结后,结合钻机现状及未来发展趋势,通过造型设计理论和人机工程学等理论,对定向钻机结构、布局、操作及人机工程方面进行论证并改进,对现有产品存在的问题进行分析:操纵台区域的仪表应易于观察且被防护;操纵台工作区域功能划分应符合用户的操作习惯和认知特性;操作方向、定位、力度大小和功能等信息的引导应简明易懂;操作手柄的距离、高度和大小等应合乎美学原则,并易于控制而不易出现误操作;安全标志和警示应准确鲜明等,这些论证分析工作为造型方案设计打下了基础,也基本确定了造型设计的要求和目标[9]。

经过对钻机的形态、涂装和表面材质进行设计,最终确定了西安研究院定向钻机“厚重稳定、实用简洁、美观精致”的造型风格要求,初步创建出产品风格、品牌形象和西安研究院系列定向钻机族元素特征库,通过钻机的造型设计体现“以人为本”的设计理念,实现安全性、便利性、可靠性和高效性的操作需要,形成西安研究院独特的产品设计体系和设计风格。同时也期望通过造型设计使高技术水平的品牌产品在外观上有较大提升,体现企业文化,最终加强品牌战略的发展力度。

整个设计及应用过程经过了包括确定基本造型、确定基本涂装样式、完成造型及细节设计等重要步骤,具体步骤如图 1 所示。在整个设计过程中,方案经过多次评审,不断改进和完善,最终达到对产品设计的完美要求。

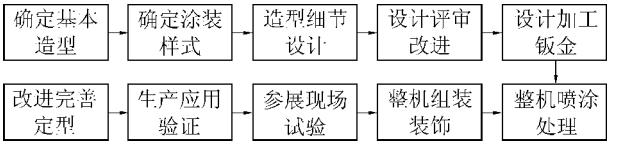

图 1　造型设计及应用过程

Fig.1　Moulding design and application course

2　钻机涂装样式与色彩搭配

西安研究院不同种类的钻机外部结构差异较大,原有产品按照系列结构型式和产品定位不同,具有不同的配色风格,基本具有产品形象系列化的特征:分体钻机以红色为主体色,部分黑色搭配红色;地面工程钻机以工程黄为主体色;履带钻机以白色为主体色的配色风格。

在充分考虑决定色彩设计要素的功能和安全因素、企业文化和理念、产品形象因素和环境色彩因素

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

4 个方面的属性后,设计中沿用继承了西安研究院履带钻机的配色风格,并强化了其配色风格使之更鲜明突出,确立了一套完整的装饰及配色涂装方案:履带式定向钻机整体采用白色主调,搭配红黑装饰条纹,局部加强筋和镂空均为横向条纹,线条以直线为主,曲线为辅,体现稳重、简洁、大方的特点,并将单位徽标更好地融入钻机的配色体系。其中,白色占 80%以上,黑色占近 10%以上,部分红色搭配主要用于边沿轮廓和关键部件,在复杂施工环境中,这样的配色搭配能起到醒目警示的作用。因为黑色具有稳重扎实之感,并具有极强的防污性,因此钻机履带底盘和其余连接部分均采用黑色涂装,同时,作为连接部件的黑色也能有效地在视觉上分割其他 2 组涂装。经过造型设计的钻机外形如图 2 所示[10-13]。

(a) 第一款　　(b) 第二款

图 2　定向钻机造型效果

Fig.2　The moulding effect figure of directional drilling rigs

3　钻机主要造型与细节设计

定向钻机为整体履带式结构,集成了包括动力头、给进装置、夹持器、油箱、电动机泵组、主操纵台、防爆计算机、稳固装置、踏板、行走操纵台、冷却器等主要结构部件。由于结构部件较多,钻机的外观造型应该整齐划一,轮廓分明,具有厚重和稳定的整体形态,必须克服机械产品固有的呆板、单调、生硬和笨拙之感。另外,对于关键部件需要结合整机效果进行必要的造型和装饰设计,使其形成一个完整的视觉形态。造型设计过程中多次对原结构进行了必要调整,并且对包括压力表、温度计、过滤器和流量计等液压附件进行了选型更换,选用外观规整、表面质量处理较佳的产品[14]。

3.1　主操纵台

主操纵台为定向钻机人机交换环节的关键部件,各种造型设计需要充分结合人机工程学原理,操纵台造型效果如图 3 所示。前面板件上装饰黑红条纹,增强视觉效果;操作手柄统一采用黑色着色,与操作铭牌原色形成鲜明对比;圆形调节手轮采用文字和箭头的表示方式,通过箭头的粗细变化体现调节参数的大小变化,与文字说明呼应,具有较强的辨识度,可以有效避免误操作;操纵台上方设计有弧形扶手和拉手,便于操纵台的转动操作,并可防止外侧误碰手柄等事故发生,安全性和便利性大幅提高。主操纵台上方的防护栏采用折线元素和镂空纹路,配合整机利落的折线风格,两端镂空使得整体感觉美观、轻巧,整体风格更加统一,而且网格造型起到遮挡保护操作台的作用,同时不影响向上的视线;为避免操纵台下方油管外露显得凌乱,下方设计护板,横条装饰条纹显得宽阔,视觉上尺寸更狭长[15-17]。

图 3　操纵台造型效果

Fig.3　Moulding effect figure of operating floor

3.2　防爆计算机

防爆计算机为定向钻机的重要部件,整体布置在利于观察和操作的位置,而且进行必要的包裹保护;计算机采用一定倾斜角度的固定安装方式,可有效提高操作者观察计算机屏幕的舒适性;下部分支撑座采用“工”字形结构,类似讲台式造型,左右对称,露出电动机的转向识别观察孔,对称设计美观稳重;侧面留有线槽,方便安装操作,防爆计算机整体造型效果如图 4 所示[18-19]。

图 4　计算机造型效果

Fig.4　Moulding effect figure of computer

3.3　副操纵台与冷却器

副操纵台和冷却器布置在机身和车体平台之间,便于操作和维护;2 组手动多路换向阀主要用于操作钻机稳固油缸升降和给进装置俯仰角的调整等辅助动作,操作时要易识别不能出现误动作,另外工作时还要防止误碰及意外砸落等事故。该部分设计将副操纵台与冷却器两者统一进行包裹与装饰,并配合整机方案,采用三段式折线风格造型,通过外形

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

尺寸的变化,增强盒式结构造型的立体感和层次感;为了提高副操纵台手柄的辨识度,此处铭牌设计的指示文字与操纵手柄一一对应,能有效避免误操作。冷却器处留有出水管孔,能提高冷却水管安装与拆卸的便捷性,下方采用镂空设计方便散热,增强了实用功能,整体造型效果如图 5 所示[19-20]。

图 5　副操纵台与冷却器造型效果

Fig.5　Moulding effect figure of auxiliary operating floor and cooling apparatus

3.4　电动机护板装饰

隔爆型电动机是井下钻机的动力原件,正常使用时要考虑通风散热、防止上方大量水的溅落和浸泡,设计中使电动机护板与操作台底部护板风格相呼应,对电动机起到遮挡作用,整体效果更加美观。条纹斜挖孔起到散热作用和装饰作用,横条纹显得稳重,也和增肌风格保持统一。另外这样布置造型还可使电动机产生的冷却风在钣金件形成的通道内冷却液压泵及操纵台下方的液压管路,而且不会直接吹向施钻人员,提高了操纵的舒适性,电动机装饰护板整体造型效果如图 6 所示。

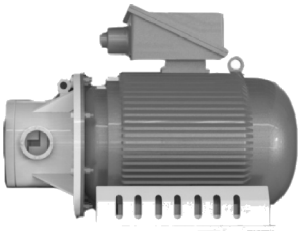

图 6　电动机造型效果

Fig.6　Moulding effect figure of motor guard board

3.5　踏板

踏板作为现场操作人性化的附属装置,设计离地 200 mm 以上高度,可供司钻人员实钻时无障碍平顺行走,有利于舒适地操作钻机和防爆电脑、观察孔口和钻场等钻机周围主要工作区域,钻机移位时可快速收起,节省了钻机的占地空间。踏板配合整机采用折线风格,踏板上表面采用平整式结构,提高行走的舒适性,踏板横梁与加强筋经过一体化设计,相比传统加强筋的结构形态更加美观实用。

3.6　行走操纵台

行走操纵台的造型设计主要为实现操作行走手柄时能可靠安全地控制手柄力度,以控制钻机行走速度和方向。为了提高产品的延续性,行走操纵台最终设计为固定式布局结构,通过螺钉安装在钻机后端油箱上,要求小巧,方便操作。

横梁可用于承受操作者手的质量,钻机行走时可将手搭在上面操作,更省力可靠和人性化,即使是巷道非常不平也能实现钻机行走的良好操控。急停开关布置在行走操纵台右侧下方距离人手较近的位置,采用半包的形式可以防止误碰,同时也能兼顾紧急情况下快速反应的需要。行走操纵台整体造型效果如图 7 所示。

图 7　行走操纵台造型效果

Fig.7　Moulding effect figure of travelling operating floor

4　设计加工与后期处理

4.1　钣金件的设计加工

造型设计过程中必须重点考虑钣金件的连接、安装、刚性、强度、加工以及喷漆或喷塑等问题,有时为了便于安装支撑结构件,需要和产品研发人员商议适当调整产品部分结构的安装位置,出于易拆装、不易损坏变形等实用功能要求,钣金件的数量宜少不宜多,而且连接的方式尽量少用螺钉,采用插卡的方式现场应用起来很方便,不至于因丢失联接螺钉螺母影响实际使用效果。钣金件设计中的折弯、百叶窗、沉槽等造型需充分考虑实际加工的可操作性,有些尺寸的百叶窗和沉槽等结构需要定制专门的冲压模具才可实现。

4.2　整机喷涂处理

喷漆之前需对所有外露的加工件表面进行检查评估,确定需要打磨修正的部位和程度,主要包括焊缝、棱边和尖角等,然后精雕细琢地打磨,打磨后涂抹腻子使各工件表面光滑平整,之后在烤漆房按照设计图样进行喷漆。

4.3　整机组装装饰

为了能在涂装上更好地加强稳定感、品牌感,通过在底座边沿镶焊装饰片,使底座显得稳重的同时增加稍许的灵动。红色的拉环醒目且起到颜色点缀,操作注意事项、各类警示标志和红色的反光警示条装饰在提高设备安全性的同时,也为钻机增光添

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

彩,以亮红色涂装在运动部件卡盘和车身主体上,通过富有装饰性艺术语言的色带样式,很好地表现了产品本身运动与作业方式。企业英文简称、企业名称及 LOGO 涂装在醒目位置,彰显企业品牌形象。

5　应用与完善

2 款科研样机试制完成后,先后参加了北京煤炭行业高峰论坛及装备展览会和新疆煤炭装备展览会等数次行业大型装备展会,经过工业造型设计的产品得到了市场用户的认可。同时钻机产品在晋煤集团下属煤矿进行了现场工业性试验和长时间的实际生产应用,整机外形美观,操作维护安全、简便、舒适,装饰及色彩醒目美观,总体厚重稳定、实用简洁、美观精致。

在此基础上,西安研究院对定向钻机类产品的系列化造型设计进行了规范和探索,组织编写系列履带钻机外观造型设计企业标准,将外观工业造型设计的规范加以引导,积极应用在后续定向钻机新产品的设计开发中。

6　结　　论

1)工业造型设计是技术与艺术结合的设计活动,是对实用功能和装饰美感二者之间不断协调统一的综合性设计过程,涉及到结构设计、造型设计、钣金件加工、喷漆、组装和装饰处理等必要工序,各工序之间相互协调且具有重要联系。

2)好的工业产品需要从事多年装备研发的技术人员、产品造型工程师、机械加工和制造工程师以及模具工程师组成的研发团队共同参与完成,是具有不同专业知识交叉、工作经验、创新远景和理念的科研团队共同努力的结果。

3)优秀的产品需要从设计方法、设计过程进行必要创新,向工业设计的更高层次发展,研发设计人员需要对产品、市场消费、竞争力等方面有着与客户相同的理解,真正做出满足消费者需求且另其满意的产品。

参考文献(References):

[1] 刘志强,刘兆龙.煤炭机械产品的设计创新研究[J].中国科技博览,2012(3):86-87.
LIU Zhiqiang,LIU Zhaolong.The design innovation research of coal machinery products[J].China Science and Technology Review,2012(3):86-87.

[2] 王海云.工业造型设计流程新探索[J].装备制造技术,2015(5):208-211.
WANG Haiyun. New exploration of industrial modeling design process [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2015(5):208-211.

[3] 杨建军,茅　珂.论科学技术的发展与设计艺术的关系[J].华东交通大学学报,2010(2):95-97.
YANG Jianjun,MAO Ke.The relationship between the development of science and technology and design art[J].Journal of East China JiaoTong University,2010(2):95-97.

[4] 杨凤云.谈外观设计中功能与装饰的关系[J].知识产权,2012(12):81-85.
YANG Fengyun.The relationship between function and decoration in appearance design[J].Intellectual Property,2012(12):81-85.

[5] 华尔天.新产品开发与工业造型设计[J].机械开发,1991(4):22-24.
HUA Ertian.New product development and industrial design[J].Machine Development,1991(4):22-24.

[6] 梁习锋,张　健.工业造型和空气动力学在流线型列车外形设计中的应用[J].铁道车辆,2002(7):5-7.
LIANG Xifeng, ZHANG Jian. Application of industrial modeling and aerodynamics in shape design of streamlined trains[J].Rolling Stock,2002(7):5-7.

[7] 李　洋,石宗金,杨国先.工业造型设计中的建模技术研究[J].机械工程师,2007(4):94-96.
LI Yang, SHI Zongjin, YANG Guoxian. The research of modeling technique in industrial formative design[J].Mechanical Engineer,2007(4):94-96.

[8] 朱金艳.自然造型与工业造型[J].艺术与设计(理论),2011(5):210-212.
ZHU Jinyan.Natural shape and industrial modeling[J].Art and Design (Theory),2011(5):210-212.

[9] 石智军,胡少韵,姚宁平,等.煤矿井下瓦斯抽采(放)钻孔施工新技术[M].北京:煤炭工业出版社,2008:1-7

[10] 高　慧.解析工程机械的色彩运用法则[J].包装工程,2012(2):61-64.
GAO Hui.Analysis of color application of construction machinery[J].Packaging Engineering,2012 (2):61-64.

[11] 陈　敏,冯　申,曹师今,等.煤矿机械色彩设计的特点及基本原则[J].煤矿机械,2002 (12):10-11.
CHEN Min, FENG Shen, CAO Shijin, *et al*. The characteristics and basic principles in designing the color of the colliery machinery[J].Coal Mine Machinery,2002 (12):10-11

[12] 王亦敏,丁　文.产品设计中的色彩情感要素分析[J].包装工程,2011(14):137-139.
WANG Yimin,DING Wen.Analysis of color emotional elements in product design[J].Packaging Engineering,2011(14):137-139.

[13] 李江泳.基于品牌识别的工程机械色彩设计研究[J].图学学报,2014,35(3):423-428.
LI Jiangyong.Research of color scheme for construction machine

(下转第 109 页)

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

YANG Yonggang, ZHANG Haiyan, XIE Panshi. Research and practice of large section roadway support system in complex surrounding rocks[J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2009,26(3):354-358.

[12] 伍永平,高喜才,解盘石,等.大跨度动压损毁回采巷道修复与支护技术研究[J].岩石力学与工程学报,2011,30(S1):3016-3021.
WU Yongping, GAO Xicai, XIE Panshi, *et al*. Studies of repair and supporting technology of large span dynamic mining pressure roadway[J].Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011,30(S1):3016-3021.

[13] 侯 琴.大宁煤矿大跨度煤巷锚索支护研究与应用[D].太原:太原理工大学,2005.

[14] 蒋力帅,马念杰,赵志强,等.综放工作面沿空开切眼布置与支护技术研究[J].采矿与安全工程学报,2014,31(1):22-27.
JIANG Lishuai, MA Nianjie, ZHAO Zhiqiang, *et al*. Arrangement and support technology of open-off cut along gob area in fully mechanized caving face[J].Journal of Mining & Safety Engineering,2014,31 (1):22-27.

[15] 牛少卿,杨双锁,李 义,等.大跨度巷道顶板层面剪切失稳机理及支护方法[J].煤炭学报,2014,39(S2):325-331.
NIU Shaoqing, YANG Shuangsuo, LI Yi, *et al*. Shear instability mechanism and support methods of laminated roof and floor strata in roadway [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(S2): 325-331.

[16] 柴肇云,康天合,李义宝,等.特厚煤层大断面开切眼锚索支护的作用[J].煤炭学报,2008,33(7):732-737.
CHAI Zhaoyun, KANG Tianhe, LI Yibao, *et al*. Anchoring effect of extremely thick coal seam large section roadway for cable bolts supporting[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(7): 732-737.

[17] 张 农,袁 亮.离层破碎型煤巷顶板的控制原理[J].采矿与安全工程学报,2006,23(1):34-38.
ZHANG Nong, YUAN Liang. Control principle of separating and broken roof rock strata in roadway[J].Journal of Mining & Safety Engineering,2006,23(1):34-38.

[18] 张茂林,庞东林,于德成.综放大断面开切眼锚杆参数的研究与应用[J].采矿与安全工程学报,2008,25(1):113-118.
ZHANG Maolin, PANG Donglin, YU Decheng. Research and application of parameters of bolts in large section open-off cut of fully mechanized caving face [J].Journal of Mining & Safety Engineering,2008,25(1):113-118.

[19] 魏世义.深井破碎顶板大断面开切眼支护参数优化研究[J].煤炭科学技术,2013,41(4):28-35.
WEI Shiyi.Study on support parameters optimization of large cross section open-off cut with broken roof in deep underground mine [J].Coal Science and Technology,2013,41(4):28-35.

[20] 李爱军.深部厚层软弱复合顶板巷道支护技术研究[J].煤炭科学技术,2015,43(8):29-33.
LI Aijun.Study on support technology of mine roadway with thick soft and weak composite roof in deep underground mine[J].Coal Science and Technology,2015,43(8):29-33.

(上接第 92 页)

based on brand identity[J].Journal of Graphics,2014,35(3):423-428.

[14] 姚 克,石智军,陈 果,等.煤矿井下定向钻进技术与装备动画制作[J].煤矿安全,2014,45(10):74-76.
YAO Ke,SHI Zhijun,CHEN Guo,*et al*.Animation production for coal mine directional drilling technology and equipment[J].Safety in Coal Mines,2014,45(10):74-76.

[15] 姚 克.ZDY 系列履带定向钻机的研制与应用[J].煤炭科学技术,2013,41(3):28-31.
YAO Ke. Development and application of ZDY series crawler mode directional drilling rig[J]. Coal Science and Technology, 2013,41(3):28-31.

[16] 毛 静,王 峰.交互色彩的导向性功能探究[J].包装工程,2012(20):94-97.
MAO Jing,WANG Feng.Research on the oriented function of interactive color[J].Packaging Engineering,2012(20):94-97.

[17] 孟庆强.基于人机工程学的机械操作面板设计研究[J].工业仪表与自动化装置,2011(6):8-10.
MENG Qingqiang. The machinery operation panel design and study based on man-machine engineering[J]. Industrial Instrumentation & Automation,2011(6):8-10.

[18] 陈 玉,颜声远.基于人机工程的煤矿机械人机界面安全评价[J].黑龙江科技大学学报,2015,25(6):692-696.
CHEN Yu, YAN Shengyuan. Human-machine interface safety evaluation of coal mine machinery based on human-machine engineering[J].Journal of Heilongjiang University of Science and Technology,2015,25(6):692-696.

[19] 李洪刚.人机工程学在煤矿机械产品中的应用研究[J].机电产品开发与创新,2013,26(4):60-61.
LI Honggang.The research of the coal machinery products based on human-machine engineer[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products,2013,26(4):60-61.

[20] 耿晓亮,于会荣,韩 燕,等.人机工程在煤矿机械设计中的应用[J].煤矿安全,2012,43(9):222-224.
GENG Xiaoliang,YU Huirong,HAN Yan,*et al*.The application of man-machine engineering in coal mine machinery design[J]. Safety in Coal Mines,2012,43(9):222-224.