

# 基于模型定义的工序模型加工工艺研究

党文浩<sup>1</sup>, 毕晋燕<sup>2</sup>, 姚鹏鹏<sup>1</sup>, 李利民<sup>2</sup>, 丁卫刚<sup>2</sup>, 陆春月<sup>1</sup>

(1. 中北大学 机械工程学院, 山西 太原 030051; 2. 山西汾西重工有限公司, 山西 太原 030051)

**摘要:**以轴类零件为研究对象,对其加工特征进行分析和分类,应用 NX 二次开发技术建立轴类零件特征库,用特征建模的方式建立三维模型,应用 API 函数进行模型特征遍历并与特征库中的特征进行匹配,实现特征识别并对零件进行工艺路线设计,使用 NX 的 WAVE 几何链接器和用户自定义建模的模块完成三维工序模型建立。通过实例验证该方法的可行性与有效性。

**关键词:**特征识别;二次开发;WAVE 几何链接器;MBD 工序模型

**中图分类号:**TH166 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2022)02-0098-05

## Research on Process Model Processing Technology Based on Model Definition

DANG Wenhao<sup>1</sup>, BI Jinyan<sup>2</sup>, YAO Pengpeng<sup>1</sup>, LI Limin<sup>2</sup>, DING Weigang<sup>2</sup>, LU Chunyue<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Shanxi Fenxi Heavy Industry Co., Ltd., Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** The processing features of shaft parts are analyzed and classified. NX secondary development technology is used to establish a feature library of shaft parts, feature modeling is adopted to build a three-dimensional model, and API functions are applied to perform the model features traversal and to match with the features in the feature library so as to realize feature recognition and to undertake the process route design of the parts. The 3D process model is established by the WAVE geometric linker of NX and the user-defined modeling module. Example verification is conducted to prove the feasibility and effectiveness of the method.

**Keywords:** feature recognition; secondary development; WAVE geometric linker; MBD process model

## 0 引言

智能制造随着科技水平的不断发展在汽车、船舶、航空航天等领域获得广泛的应用。西门子公司的 UG NX 软件是一款集 CAD、CAM、CAE 为一体的三维参数化设计软件,其功能强大,几乎可以涵盖产品的整个生命周期,为产品设计及加工过程提供了建模及仿真方法。

基于模型定义(model based definition, MBD)的面向计算机应用的数字化定义技术,以三维设计模型为产品制造过程中的唯一依据,能够直观地表达零件的工艺信息,便于生产加工,提高工作效率及精度<sup>[1]</sup>。MBD 工艺模型不是简单地把设计模型和加工工艺文本结合在一起,而是二者的紧密集成。生成 MBD 工艺模型流程如图 1 所示。传统的制图软件并不能满足这些功能,所以要在已有软件的基础上进行二次开发,实现辅助设计的功能。为了提高生产技术,MBD 工艺技术的研究具有重要意义<sup>[2]</sup>。本文以轴类零件作为研究对象,对其特征进行分类,用 NX 二次开发技术建立特征库,运用特征库进行特征遍历和匹配,并确定加工工艺路线,最后应用 NX WAVE 几何链接器和用户自定义特征模块进行三维工序模型的创建。

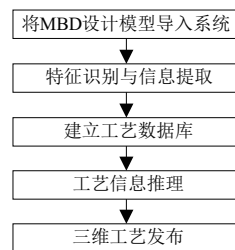


图 1 生成 MBD 工艺模型流程

## 1 加工特征库的建立

用户自定义特征(user defined features, UDF)是原本软件中没有的特征,需要用户进行创建,新建的特征可以单独保存,方便后期调用。根据本文需求,所创建的特征库包括了零件特征的几何信息和工艺信息<sup>[3]</sup>。

### 1.1 轴类零件的特征分类

加工特征是一个零件在加工过程中进行减材制造最小的基本单位,轴类零件的 MBD 模型具有 2 个基本特征:特征独立性和基于加工顺序建模。只有定义完整的加工信息才能符合三维 CAPP 的设计要求,轴类零件的加工特征及分类如图 2 所示。

基金项目:山西省重点研发计划项目(201903D121063)

第一作者简介:党文浩(1996—),男,山西运城人,硕士研究生,研究方向为 NX 的二次开发和三维检索。

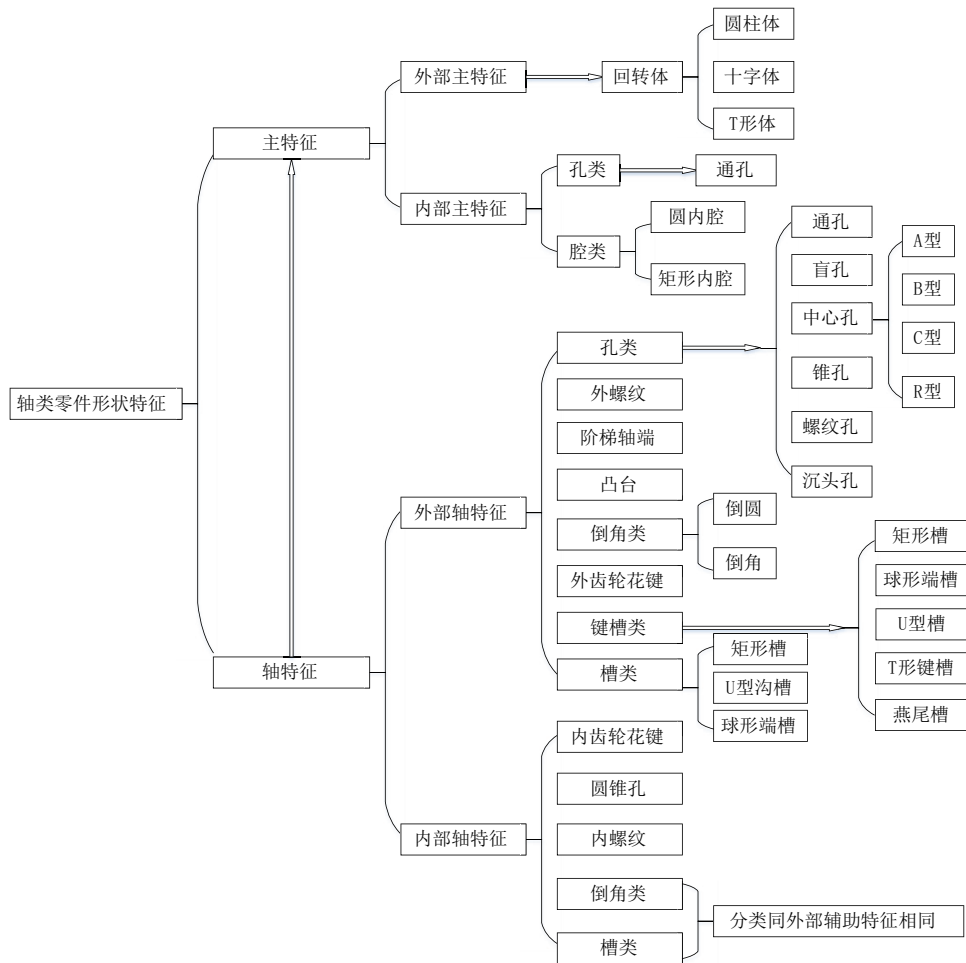


图2 轴类零件的特征及分类

### 1.2 加工特征库的建立

NX 软件自带 UDF 的数据库,但自带的库不能存储工艺信息等非几何参数,只能单独存在。为了满足设计需求,需要在原有的基础上,运用二次开发建立加工特征库,需要按照零件的特征进行分类,依照分类进行建模,用开发 NX 对话框的可视化工具进行创建,最后使用 Visual Studio 2010 进行回调函数的编写。图 3 为加工特征库对话框。



图3 加工特征库对话框

## 2 基于模型遍历的特征识别技术

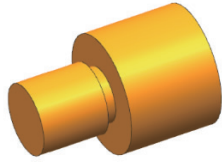
首先要建立零件的设计模型,需要根据模型的特征进

行创建,然后用 NX/Open 做二次开发,建立加工特征库,设计模型需要做特征识别,将特征识别的结果与特征库进行比对,一一对应后得到所需要的结果。

### 2.1 特征识别方法

本文使用一种基于特征遍历的特征识别方法,利用这种方法对零件的特征进行识别,将零件的形状特征通过特征遍历识别后,进行 PMI (product manufacturing information) 信息的提取;以特征建模的方法建立特征库,进行加工特征的遍历,得到形状特征和加工特征的遍历结果。运用成组技术对形状特征进行编码,用编码表示零件的加工特征,然后建立编码的矩阵;用零件的模型特征遍历的结果建立相应的编码矩阵,最后进行两个矩阵的匹配,实现特征识别<sup>[4]</sup>。

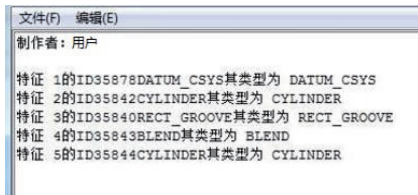
特征遍历是指对 NX 部件导航器中的特征进行遍历,通过这种特征遍历得到的部件特征是 NX 部件导航器中按照创建特征顺序得到的软件本身自动命名的特征<sup>[5]</sup>。NX 建模创建特征的方法不同,得到的特征遍历结果也是不同的。如图 4 所示,图 4(a) 为创建的一个零件的特征,图 4(b) 遍历结果是通过草图拉伸建模得到的,图 4(c) 遍历结果是通过特征建模的模型得到的。



(a)



(b)



(c)

图4 草图拉伸建模与特征建模  
特征遍历结果

由上可得一个简单零件,由于创建特征的方式不同,得到的遍历结果也不同。本文选择运用特征建模,方便后期做特征匹配。

通过NX的二次开发,运用NX软件自带的API函数对设计模型进行特征分析,并进行识别。但是对于一些比较复杂的特征,可以采用人为干涉,用人工交互的方式进行特征的提取。

## 2.2 PMI信息的提取

在创建设计模型之后,为了直观地体现加工所需数据信息,对模型进行PMI标注。提取PMI信息之后,在模型的部件导航器中,可以显示该模型的全部标注信息。NX软件内部自带的API函数可以访问提取的PMI信息<sup>[6]</sup>。与前文提出的遍历方法一样,通过软件内部函数识别和提取PMI信息。

## 2.3 基于MBD的零件特征编码

数字化在制造业起着举足轻重的作用,大量的数据需要进行整理和系统的管理。把零件的结构特征、基本属性等信息进行编码将提高信息的利用率,提供解决问题的方法。编码可建立对零件复杂特征进行简单的描述,便于计算机的识别<sup>[7]</sup>。

以轴类零件的特征为对象,根据前文进行特征识别的结果以及NX内部的特征定义对特征进行编码,如表1所示。

表1 设计特征编码表

特征编号	形状特征编号				
	主特征		辅特征		
	A	B	C	D	E
0	长方体	圆柱	常规孔	矩形槽	倒角
1		圆锥	螺钉间隙孔	球形端槽	倒圆
2		球	钻形孔	U形沟槽	螺纹
3			螺纹孔	T形槽	
4				燕尾槽	

设加工特征库中的特征集合为  $\mathbf{P} = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , 其中  $\mathbf{P}$  中的元素为特征库中的具体加工特征。根据零件的实际加工特征,对比零件特征库,可将零件特征进行编码。在建立的编码系统中,有5种特征以及5种特征编号,以此建立  $10 \times n$  的矩阵来进行编码,每一列代表1种特征,1代表具有该特征,0则代表没有。图4中模型特征包括2个圆柱和1个退刀槽,对其特征进行编码得到矩阵

$$p_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

## 2.4 算法的实现

将零件的加工特征和模型特征进行编码,并用矩阵表示,最后进行两个矩阵的匹配,得到最优的加工工序。

特征识别的算法主要步骤如下:

1) 将三维的prt格式文件导入NX,通过内部函数获得零件的标识;

2) 对设计模型进行特征遍历,特征遍历基于特征树,将遍历得到的结果进行存储,并得到每一个特征的标识;

3) 判断特征的类型。如果是属于特征建模得到的特征,则直接添加到特征列表;

4) 如果是拉伸建立的特征,需要判断布尔运算的类型,再进行添加;

5) 如果是更为复杂的特征,就需要人工介入,确定基准,再自定义特征类型,然后添加到特征列表。

本文运用遗传算法进行工序寻优,遗传算法遵循自然界优胜劣汰的法则选取最优解决方案,将特征编码表示成染色体,进行交叉、变异等操作,不断进行产生下一代,产生更加适应种群的优秀个体,直到找到一个最优的个体。

## 3 三维工序模型的建立

目前MBD工序模型的建立有两种方法,一种是减材制造,首先建立毛坯,然后在这个特征上运用布尔运算中的相减生成工序模型;另一种是增材制造,运用拉伸、旋转、扫略等命令建立实体模型,然后结合加工步骤得到毛坯,求得MBD工序模型的逆解<sup>[7]</sup>。本文运用减材制造建立零件的MBD工序模型。

在实际的生产加工过程中,应遵循先粗后精、先主后次、先面后孔等顺序原则,建模也需要遵循相应的顺序如下<sup>[8-9]</sup>:

- 1) 先创建基本特征,将细节的特征放在后面进行创建;
- 2) 如果轴为空心轴模型,则优先进行轴内打通孔;
- 3) 轴外侧的特征应先切除表面的材料,再进行相关的打孔;
- 4) 螺纹特征应在细节特征创建之后再创建。

### 3.1 加工工艺路线

一个零件从毛坯进行加工成为成品的全部过程就是它的加工工艺路线,创建零件的 MBD 工序模型需要以零件的详细工艺路线为依据,在对零件的特征识别之后,运用遗传算法确定最终的加工工艺路线,根据它建立零件的工序模型。算法以该零件加工特征的所有加工步骤集合为初始种群。采用基于成组技术的实数编码方式进行编码,选用装夹次数,设定适应度函数,进行模拟仿真,得出最优的加工步骤。

### 3.2 零件三维 MBD 工序模型的生成

MBD 工序模型是在传统二维图样的基础上,升级为更加直观可视的三维模型,可以直接在图样上体现模型的尺寸标记、文本注释、属性等工艺信息,可以指导生产加工。基于 MBD 的工序模型可以更加直观地体现零件信息,这些信息能更好地用于后期数控编程以及仿真<sup>[10]</sup>。MBD 工序模型由零件工序的几何模型、零件加工特征的相关工序信息等组成,用公式表示零件的 MBD 模型如公式(2)所示。

$$M_i^{ex} = G_i^{ex} \cup \sum_{j=1}^{n_i} F_{ij} \cup \sum_{k=1}^{m_i} A_{ik}^M \cup \sum_{t=1}^{l_i} S_{it} \quad (2)$$

式中: $M_i^{ex}$  为第  $i$  道工序的 MBD 工序模型; $G_i^{ex}$  为到第  $i$  道工序时的三维几何模型; $F_{ij}$  为第  $i$  道工序进行加工的第  $j$  个特征; $A_{ik}^M$  为与第  $i$  道工序对应的属性信息; $S_{it}$  为该道工序下的一个工步内容。

本文选用逆向推导方式创建零件的三维 MBD 工序模型,运用 NX 软件自带的标注功能对模型进行非几何信息的标注,最后用 WAVE 几何链接器管理工序模型的创建部件。

## 4 工序模型创建实例

以 NX 8.5 三维软件为平台,选择 NX/Open 作为二次开发的工具,用 C++ 作为编程语言,进行 MBD 工序模型系统的开发。实现三维 MBD 工序模型的建立需要在装配环境下进行。首先特征建模,创建轴类零件的三维模型,用 PMI 模块进行标注;然后进行特征识别和工艺规划,根据自建特征库确定三维工序模型的建模顺序以及确定加工的切削参数;最后调用 NX 的 WAVE 几何链接器进行部件之间的链接,链接部件后添加到装配模型树下,将该部件设置为工作部件,进行工序模型的创建,创建模型利用用户自定义开发的三维工序模型建模功能进行快速建模,建模完成后利用 WAVE PMI 链接器进行部件的主要 PMI 信息的链接,部分新建 PMI 信息使用 NX 自身 PMI 功能建立,一个工序模型完成后,依次建立下个工序模型直到创

建到毛坯模型,最终创建出各个三维 MBD 工序模型。三维工序模型建模流程图如图 5 所示。

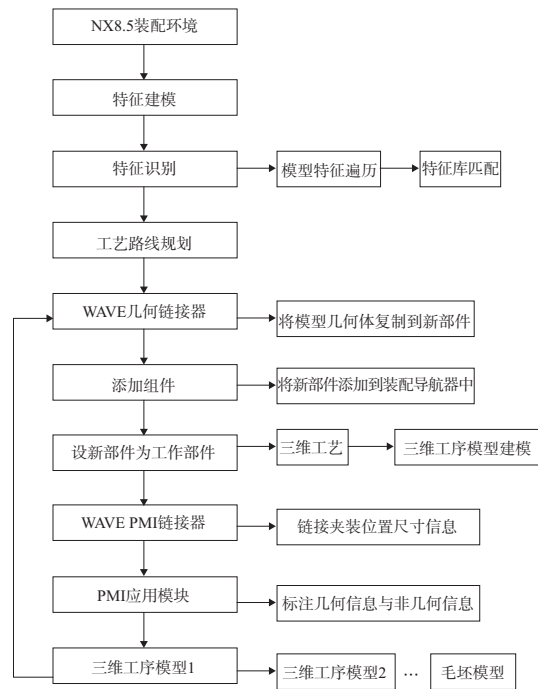


图 5 三维工序建模流程图

按照特征建模的建模方法建立的 MBD 模型如图 6 所示。

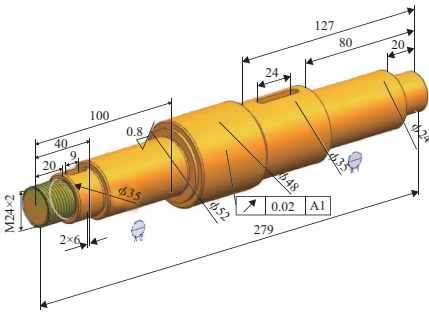


图 6 零件 MBD 模型

运用特征识别算法,对设计模型进行特征遍历,得到如下结果(图 7)。

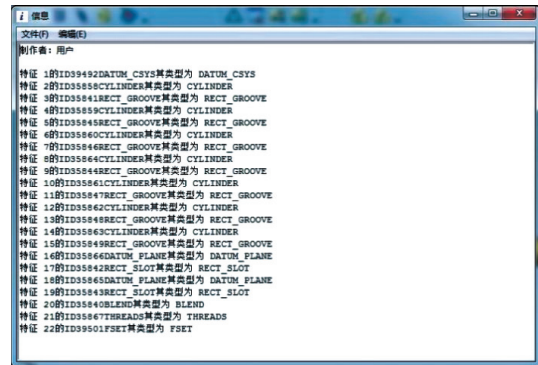


图 7 零件设计模型特征遍历结果

根据遍历结果实现特征识别并确定该零件的工艺路

线。确定模型的工艺路线是为了建立工序模型,因此只考虑形状特征发生改变的工序,表面处理、热处理等信息根据需求使用三维标注的方式标注在 MBD 模型中。该零件逆向从设计模型到毛坯模型共需要经历 7 步建模工序,由设计模型—车螺纹—铣键槽—半精车—端圆柱体—半精车另一端—粗车—端—粗车另一端—毛坯模型。最终工序模型由左到右为的设计模型到毛坯的模型步骤,建模结果如图 8 所示。

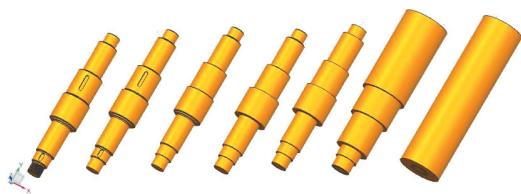


图 8 三维工序模型

### 5 结语

三维工序模型是连接设计与制造的桥梁,本文通过基于特征树的特征遍历匹配方法实现特征识别,应用几何链接器功能和建模功能实现三维工序模型的创建,并通过实例验证了方法的可行性,最终完成了工序模型的创建,该研究为后续完成 CAPP 系统奠定了基础。

### 参考文献:

[1] 吕昆仑,李显君,刘召君. 应用基于模型的定义技术建立三维工序模型研究[J]. 机械制造,2021,59(1):44-47.

[2] 曲令晋,邵鑫. 基于 Pro/E 数字化三维工艺设计系统的研究[J]. 机械制造,2015,53(9):79-83.

[3] 孙汉文,周来水,卫炜. MBD 工艺模型驱动的涡轮盘槽拉刀设计[J]. 机械制造与自动化,2019,48(4):42-45.

[4] 白茜. 基于 MBD 的特征识别方法研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2016.

[5] 石雷,谢新春,王勃,等. 基于 MBD 项目三维工艺技术应用研究[J]. 航空标准化与质量,2020(1):20-22,38.

[6] JING X W, TANG M M, LIU J F, et al. Research on the intelligent generation method of MBD model 3D marking using predefined features[J]. Concurrent Engineering, 2020, 28(3): 222-238.

[7] 吕斌,王细洋. 基于特征编码的飞机结构件工艺设计[J]. 航空制造技术,2017,60(3):81-85.

[8] 黄斌达. 基于 MBD 的工序模型建模方法研究[J]. 机电信息, 2019(15):83-84.

[9] 王杰,李方信,肖素梅. 机械制造工程学[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2004:43-44.

[10] WAN N, MO R, LIU L L, et al. New methods of creating MBD process model: on the basis of machining knowledge [J]. Computers in Industry, 2014, 65(4): 537-549.

收稿日期:2021-05-06

(上接第 97 页)

无效数据进行剔除。未来还需进一步完善数据有效性判别算法,数据采集系统联机调试结果如图 6 所示。

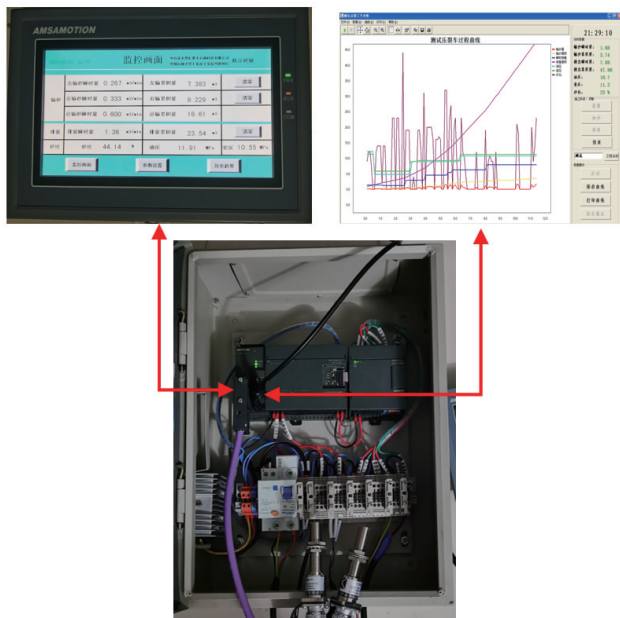


图 6 系统联机调试

### 5 结语

本设计利用 S7-200 PLC、艾莫迅触摸屏和 Delphi 编程平台实现对原有混砂车数据采集系统的改造,基本满足现阶段油气井防砂施工要求。混砂车控制部分仍采用手动操作液压阀件来实现,数据采集系统与液压控制系统相互独立,提高了混砂车运行的可靠性,但同时也降低了作业装备的自动化程度。提高混砂车自动化程度可采用专用车载控制器,在增加系统可靠性的同时将液压控制系统与数据采集系统进一步集成。

### 参考文献:

[1] 杨小涛,白田增,任勇强,等. 油田混砂车自动控制系统的研究与应用[J]. 中国新技术新产品,2020(14):74-75.

[2] 张正祖,彭俊威,李小兵,等. 混砂车液压控制系统设计研究[J]. 机械工程师,2016(7):177-178.

[3] 王万帅. 压裂机组仪表车的监控系统研究与设计[D]. 兰州:兰州理工大学,2014:6-20.

[4] 夏正龙,邓斌. 基于 PLC 的智能仪表通信协议解析设计与实现[J]. 自动化仪表,2020,41(6):17-19,23.

[5] 龚培娇,黄辉,肖飞,等. Modbus 协议在储能系统中的实现与应用[J]. 自动化技术与应用,2020,39(11):48-54.

收稿日期:2021-02-01