

ICS 03.220.01, 35.240.50

CCS R85

团体标准

T/CITSA XX-202X

自主式交通系统载运装备 数字特性建模分类

The classification for the digital feature modeling of equipment in
autonomous transportation systems

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国智能交通协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 总体框架	2
5.1 一般要求	2
5.2 基础特性分类	3
5.3 行为特性分类	3
5.4 关联特性分类	4
5.5 存储层	4
6 ATS 载运装备数字特性建模类型结构	4
6.1 模型数字特性分类索引	4
6.2 载运装备基本属性划分	5
6.3 载运装备系统类属划分	7
6.4 载运装备部件类属划分	7
6.5 载运装备特性类属划分	9
参考文献	18

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由武汉理工大学提出。

本文件由中国智能交通协会归口。

本文件起草单位：武汉理工大学、清华大学、北京交通大学、公安部道路交通安全研究中心、中车长春轨道客车股份有限公司、国能朔黄铁路发展有限责任公司、长安大学、北京航空航天大学、北京世冠金洋科技发展有限公司、中车时代电动汽车股份有限公司。

本文件主要起草人：吴兵、汪洋、王亮、马小平、于鹏程、郑恒亮、张斌、叶挺、魏邦洋、孙士杰、崔志勇、张桥、王坤俊。

自主式交通系统载运装备数字特性建模分类

1 范围

本文件规定了自主式交通系统载运装备数字特性建模的层级、功能以及属性分类总体框架。本文件适用于构建自主式交通载运装备数字孪生系统及其数据支持场景的特性建模层级分类。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 40209-2021 制造装备集成信息模型通用建模规则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

载运装备 vehicular equipment

用于运输人员、货物和其他物资的各种交通工具和相关设备。

3.2

数字模型 digital model

利用数字建模技术对现实世界中的对象、系统或过程的进行结构化表示。

3.3

模型关联 model association

不同模型根据彼此之间功能、结构、互相作用方式等形成的关系。

3.4

模型体系 model hierarchy

按照一定的层次框架，由相互关联的模型构成的系统性整体。

3.5

体系索引 hierarchy index

在模型体系中，为便于分类归属而建立的索引形式。

3.6

模型存储 model storage

对数字模型及其各种特征进行编码并结构化存储的方法。

3.7

模型库 model base

用于组织、存储、管理数字模型的数据库。

3.8

模型实例 model instance

实际应用中，基于模型的形式化定义而创建的特定实体个例。

3.9

物理特征 physical characteristic

实体在物理性质方面表现的区别于它种实体的特质。

3.10

化学特征 chemical characteristic

实体在化学性质方面表现的区别于它种实体的特质。

3.11

运动特征 motion characteristic

实体在运动性质方面表现的区别于它种实体的特质。

3.12

能量特征 energy characteristic

实体在能量性质方面表现的区别于它种实体的特质。

3.13

规则描述 principle description

基于形式化表示的准则、条件或约束，用于表征实体的行为、过程、依赖性等特点。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ATS 自主式交通系统 (Autonomous Transportation Systems)

5 总体框架

5.1 一般要求

ATS载运装备数字特性建模及其分类架构如图1所示，按照装备的基础特性、行为特性、关联特性进行分类，并通过结构化表示和规则及其形式化描述建立联系，最终根据模型关联、模型体系以及体系索引，将模型存储至ATS载运装备模型库实现模型管理。

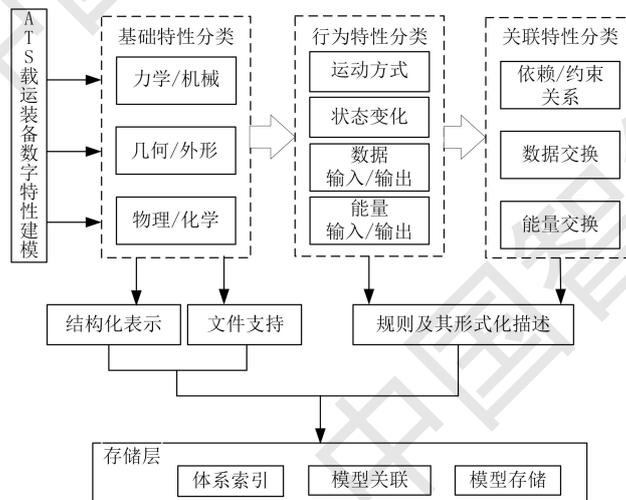


图1 ATS载运装备数字模型总体架构

5.1.1 载运装备数字特性建模的基础特性分类旨在描述该模型内在和基本的特质，包括机械特性、几

何形状/外观尺寸、物理特征以及化学特征，是现实世界中装备功能或性能特征的数字映像。

5.1.2 行为特性分类用于描述载运装备的动态表现，包括运动方式、状态变化、数据和能量的输入/输出等方面，反映载运装备在实际操作运行过程中自身施动或外部条件触动后的反应。

5.1.3 关联特性分类用于描述不同模型之间的相互关系，包括模型在运动特征、能量特征、机械结构上的依赖/约束关系以及数据层面上的交互机制，表现彼此间的协同方式。

5.1.4 结构化表示是指用规范化和形式化的方法描述载运装备模型及其组件的各类动态和静态特征，表现其中的运作和关联方式，展现它们不同基础特性之间的依赖、约束和交互。

5.1.5 文件支持是指使用特定软件制作或呈现载运装备数字模型所需的文件及其格式，应符合GB/T40209-2021中7.1.2的要求，一般包含运行该文件所需软件的基本信息和兼容性规则，帮助用户使用软件工具正确提取文件所含信息，保证文件的可读性、可存储性和可维护性。

5.1.6 规则及其形式化描述是指运用通用的机器语言，为模型运行中所需遵循准则建立规范化的描述形式，一般包含基本的语法和语义系统，从而为数字空间中的模型在系统中履行功能提供依据。

5.1.7 存储层是模型库中用于存储并管理各类模型实例的数据载体，包括体系索引、模态关联和模型存储等子模块，建立相应的读写访问架构并维护模型数据集。

5.2 基础特性分类

ATS载运装备数字特性建模中基础特性分类是对实际装备属性进行数字化再现的手段，它们构成模型的核心元素。其中，力学、机械特性包含装备的动力学行为和机械性能；几何外形包含装备的三维形状和尺寸，反映设备在空间中的存在形式；物理、化学性质体现装备材质的特性和反应。

5.2.1 力学/机械特性

力学/机械特性是指载运装备在受到外力作用时所表现出的各种性质和规律，包括但不限于：载运装备各组件所具备的质量、惯性、弹性、刚度、阻尼等，反映载运装备对外界环境变化的响应方式和能力。

5.2.2 几何/外形特征

几何/外形特征是指载运装备各组件的形状、尺寸和位置关系等方面的属性，可以通过测量和计算得到，包括且不限于：长度、宽度、高度、角度、曲率等，决定载运装备与外界环境之间的相互作用方式和强度。

5.2.3 物理/化学特征

物理/化学特征是指载运装备在运行过程中基于物理规则、化学规则、运动规则、能量规则和行为规则所表现出与物质、能量相关的性质，包括且不限于：载具的运动方式和状态变化、固有力学和机械性能、同时涉及载具的相关能量交换等。

5.3 行为特性分类

载运装备数字特性建模中行为特性分类是指该装备在运行过程中所表现出的具体动作或反应，通常涉及装备动态特征的变化，如运动方式和状态转换等。通过收集和分析装备中数据和能量交换情况，建立相应的数学模型来进行描述和预测，更准确地控制模型行为。

5.3.1 运动方式

运动方式是载运装备的几何模型如何移动或改变其位置的方法，涉及速度、加速度和方向等物理量的测量，根据载运装备类别的不同，运动方式可以是直线运动、曲线运动、旋转运动或其他类型的复杂运动。

5.3.2 状态变化

状态变化指的是载运装备从一种状态转变为另一种状态的过程，这种转变可以由外部因素如温度、压力或化学反应引起，也可由内部机制如机械振动或电子信号导致。

5.3.3 数据输入/输出

数据输入/输出是指载运装备数字模型在运行过程中接收和发送的各种信息流，包括传感器采集的数据、控制系统发出的指令、通信网络传输的信息等，构成装备与外界环境交互的关键环节，它是实现装备智能化、自动化和远程操控等功能的基础。

5.3.4 能量输入/输出

能量输入/输出则是指载运装备数字模型在运行过程能量特征的变化情况，包括电力、燃料、太阳能等能源的输入，以及机械能、热能、光能等能量的输出。

5.4 关联特性分类

关联特性分类在载运装备数字特性建模中用于描述各个部分之间的相互依赖和制约关系，包括硬件模块间的接口定义、软件组件间的调用逻辑、算法参数的设定等，反映装备整体的协同工作机制。

5.4.1 依赖/约束关系

依赖约束关系是指载运装备数字特性建模中各个组成部分之间的相互依存和限制条件，包括硬件模块间的兼容性要求、软件组件间的版本匹配、算法参数的取值范围等，反映装备内部的协调机制。

5.4.2 数据交换

模型数据交换是指载运装备数字特性建模中不同部分之间传递和处理信息的过程，包括传感器采集的数据、控制器发出的命令、通信协议规定的格式等，为装备实现智能控制和模型间的互操作等功能提供信息交互。

5.4.3 能量交换

模型能量交换是指载运装备数字特性建模中不同部分之间消耗和产出能量的过程，包括能量的输入、转换、存储、分配和输出等环节，为分析装备能效提供模型。

5.5 存储层

存储层是指载运装备数字特性建模中用于保存和管理模型实例的系统，包含模型文件、元数据、索引等，它是装备数字化、信息化的基础，也是装备研发、生产、运维等环节的重要支撑，通过完善模型存储层的设计，提高装备数据的安全性和完整性。

5.5.1 体系索引

体系索引是指载运装备数字特性建模中用于组织和检索模型数据的系统，包括模型分类、命名规范、查询语法等，为模型数据的管理和维护提供便利，保证模型数据的质量和一致性。

5.5.2 模型特性关联

模型特性关联是指在载运装备数字特性建模中，不同模型以及模型组件之间的相互联系和影响关系，通过定义模型之间的关联关系，使得模型数据更加完整和准确，为模型的管理和应用提供便利。

5.5.3 模型存储

模型存储是指在载运装备数字特性建模中，对模型数据进行存放和管理的过程，使得模型数据能够按需要响应读写操作，为模型的保存和回溯提供保障。

5.5.4 模型精度

模型精度是指载运装备数字特性建模在反映物理实体的几何、行为、性能等特征与真实物理实体的接近和准确程度。

6 ATS 载运装备数字特性建模类型结构

6.1 模型数字特性分类索引

ATS载运装备数字特性建模索引主要从四个方面展开：载运装备基本属性，载运装备系统类属，载运装备部件类属及载运装备特性类属。载运装备基本属性包含载运装备类型，载运装备自主化等级及

能源动力类型；载运装备系统类属包括水路、道路、轨道及低空载运装备的功能等效系统；载运装备部件类属包括水路、道路、轨道及低空载运装备的功能等效部件；载运装备特性类属包括力学/机械特性，几何/外形特性，物理/化学特性，运动方式特性，状态变化特性，数据输入/输出特性，能量输入/输出特性，依赖/约束关系特性，数据交换特性及能量交互特性。

ATS载运装备建立4级索引，如图2所示，从左至右用点号分为四节，分别为载运装备基本属性节、载运装备系统类属、载运装备部件类属及载运装备特性类属。

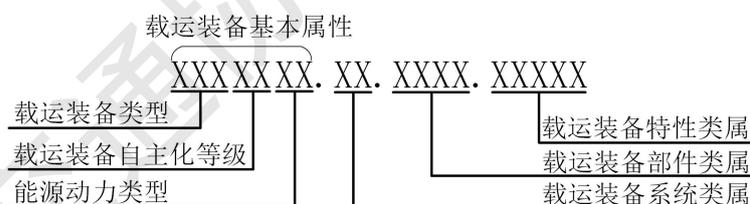


图2 载运装备模型标号结构

6.2 载运装备基本属性划分

索引的第1节为载运装备基本属性，由7位构成，从左至右分为三个位段。第一个位段包括3位，表示载运装备类型；第二个位段包括2位，表示载运装备自主化等级；第三个位段包括2位，表示能源动力类型。

ATS载运装备基本属性及其位段的取值定义见表1。

表1 载运装备基本属性及位段编号定义

	位段编号	含义
	载运装备类型	
水路载运装备	100	内河集装箱船
	101	内河散货船
	102	内河液货船
	103	内河渡轮
	104	内河观光游船
	105	内河拖船
	106	内河清淤船
	107	内河打捞船
	108	内河监管船
	109	内河消防艇
	110	内河执法船
	111	沿海集装箱船
	112	沿海散货船
	113	沿海成品油轮
	114	沿海客滚船
	115	沿海观光船
	116	沿海工程船
	117	沿海渔政船
	118	海洋监测船
	119	沿海救助船
	120	海警船
	121	沿海科考船
	122	远洋集装箱船
	123	远洋散货船
124	远洋油轮	

	125	远洋滚装船
	126	国际邮轮
	127	远洋工程船
	128	远洋科考船
道路载运装备	200	轿车
	201	跑车
	202	运动型多用途汽车
	203	多功能汽车
	204	跨界车
	205	敞篷车
	206	轻型货车
	207	中型货车
	208	重型货车
	209	小型巴士
	210	城市公交车
	211	长途客车
	212	半挂牵引车
	213	救护车
	214	消防车
215	警车	
轨道载运装备	300	市域地铁
	301	市域轻轨
	302	市域通勤铁路
	303	市域有轨电车
	304	市域配送列车
	305	市域轻型货运列车
	306	城际高速列车
	307	城际普通列车
	308	城际货运列车
	309	城际集装箱列车
	310	城际煤炭列车
	311	城际矿石列车
	312	城际冷藏列车
	313	城际汽车运输列车
	314	国际高速列车
	315	国际联运列车
	316	国际集装箱货运列车
	317	国际危险品运输列车
318	国际冷链列车	
低空载运装备	400	航空摄影与测绘无人机
	401	农业监测无人机
	402	物流配送无人机
	403	搜索与救援无人机
	404	消防监控无人机
	405	执法无人机
	406	气象观测无人机
	407	观光直升机

	408	农用直升机
	409	医疗救援直升机
	410	搜索直升机
	411	警用直升机
	412	消防直升机
交通载运装备自主化等级		
	10	完全人工控制
	15	辅助自主化
	20	部分自主化
	25	高度自主化
	30	完全自主化
能源动力位段		
	10	化学燃料
	20	储能电池
	30	太阳能

6.3 载运装备系统类属划分

索引的第二节为载运装备系统类属，由2位构成。

ATS载运装备类属位段的取值定义见表2。

表2 载运装备系统类属位段编号定义

位段编号	含义
10	动力与传动系统
20	控制系统
30	通信系统
40	导航定位系统
50	环境感知系统
60	承载系统

6.4 载运装备部件类属划分

索引的第三节为载运装备部件类属，由4位构成。

ATS载运部件类属位段的取值定义见表3。

表3 载运装备部件类属位段编号定义

	位段编号	含义
动力与传动系统		
水路载运装备	0100	船舶主机
	0101	飞轮
	0101	尾轴
	0102	螺旋桨
	0103	推力轴承
道路载运装备	0200	车用发动机
	0201	电机
	0202	蓄电池
	0203	车轮
	0204	变速箱
	0205	传动轴

	0206	驱动桥
	0207	离合器
	0208	差速器
轨道载运装备	0300	牵引发动机
	0301	发电机
	0302	受电弓
	0303	轮对
	0304	离合器
	0305	变速器
	0306	换向箱
	0307	传动轴
	0308	车轴齿轮箱
	低空载运装备	0400
0401		蓄电池
0402		螺旋桨
0403		主旋翼齿轮箱
0404		电子调速器
0405		尾桨
控制系统		
水路载运装备	0500	舵轮
	0501	车钟
	0502	舵机
道路载运装备	0600	方向盘
	0601	刹车踏板
	0602	油门踏板
	0603	档把
轨道载运装备	0700	驾驶控制杆
	0701	制动阀
低空载运装备	0800	操纵杆
	0801	方向舵踏板
	0802	油门推杆
通信系统		
水路载运装备	0900	AIS
	0901	VHF
	0902	卫星通信系统
道路载运装备	1000	V2X通信系统
	1001	无线通讯模块
轨道载运装备	1100	列车无线调度系统
	1101	GSM-R (Global System for Mobile Communications-Railway)
低空载运装备	1200	航空频段无线电
	1201	二次雷达应答机
	1202	高频无线电
	1203	卫星通信系统
	1204	ACARS
导航定位系统		
水路载运装备	1300	GPS
	1301	ECDIS

	1302	雷达
	1303	罗经
道路载运装备	1400	GPS
	1401	数字地图
轨道载运装备	1500	列车自动控制系统
	1501	GPS
低空载运装备	1600	飞行管理系统
	1601	GPS
	1602	惯性导航系统
环境感知系统		
水路载运装备	1700	雷达
	1701	AIS
	1702	ECDIS
	1703	风速仪
	1704	测深仪
道路载运装备	1800	摄像头
	1801	超声波雷达
	1802	激光雷达
轨道载运装备	1900	摄像头
	1901	GPS
低空载运装备	2000	摄像头
	2001	红外线传感器
	2002	激光雷达
承载系统		
水路载运装备	2100	龙骨
	2101	甲板
	2102	水密隔舱
	2103	压载水舱
	2104	上层建筑
	2105	货仓
道路载运装备	2200	车架
	2201	弹簧
	2202	减震器
	2203	车桥
轨道载运装备	2300	车体大梁
	2301	悬挂系统
	2302	车厢
低空载运装备	2400	机身框架
	2401	机翼
	2402	尾翼
	2403	起落架

6.5 载运装备特性类属划分

索引的第四节为载运装备特性类属，由5位构成。

ATS载运部件类属位段的取值定义见表4-表19。

6.5.1 力学特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的力学特性分类主要包括质量特性、强度特性、承载能力、关联方式及典型工况条件下表现模型物理性能的参数，旨在评估和保证载运装备在实际使用中的工作效能、耐用性和可维护性，从而确保其能够面对不同的操作环境时依然保持高效且可靠的操作状态。

ATS载运装备模型力学特性分类具体如表4所示。

表4 力学特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
质量特性	01001	总质量	空载质量 重载质量
		质量分布	重心位置 质量沿纵向方向分布 质量沿横向方向分布
强度特性	01100	结构强度	局部强度 总体强度 疲劳强度
		材料强度	材料屈服强度 材料极限强度 材料断裂韧性
承载能力	01200	最大载货量	最大货物重量 最大货物体积
		载荷分布	载荷均匀分布 载荷集中分布 载荷不对称分布
物理性能参数	01300	操纵性	转向性能 直线稳定性
关联方式	01400	主/被动性	主动响应 被动适应 被动响应
		咬合方式	机械咬合 摩擦咬合
		牵引方式	刚性牵引 柔性牵引 液压牵引
		受力方向	推 拉

6.5.2 机械特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的机械特性分类主要包括装备的负载特性、耐久性与可靠特性和典型工况条件下表现模型机械性能的参数，旨在评估和确保其在实际运行中的稳定性、安全性及操作性能。

ATS载运装备模型机械特性分类具体如表5所示。

表5 机械特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
负载特性	02001	静态载荷	最大允许载重 载荷分布
		动态载荷	瞬时载荷 碰撞载荷
耐久性与可靠特性	02100	耐久性	设备使用寿命

			材料耐久性 部件磨损情况
		可靠性	设备的故障率 维修间隔时间 平均寿命 已工作时间
机械性能参数	02200	负载响应	响应时间 系统稳定性 系统效率
		主动力设备性能	功率输出 转速

6.5.3 几何特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的几何特性分类主要包括装备的尺寸特性，旨在评估和确保载运装备在设计上的合理性、结构的紧凑性和空间利用效率，以实现其在各种操作条件下的最佳性能。

ATS载运装备模型几何特性分类具体如表6所示。

表6 几何特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
尺寸特性	03001	长度	最大长度
		宽度	最大宽度
		高度	最大高度

6.5.4 外形特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的外形特性分类主要包括装备的线型特性和风阻特性，旨在评估和确保载运装备在外形设计上的科学性、美观性和流体力学性能，以实现其在各种操作条件下的最佳航行性能和视觉效果。

ATS载运装备模型外形特性分类具体如表7所示。

表7 外形特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
线型特性	04001	载运装备线型	整体线型设计 光滑度
		载运装备断面形状	不同横断面形状 断面形状变化趋势
风阻特性	04100	载运装备风阻因素	风阻系数 迎风面积 表面粗糙度

6.5.5 物理特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的物理特性分类主要包括装备的力学特性和热力学特性，旨在评估和确保载运装备在实际运行中的物理稳定性和环境适应性，以保证其在各种操作条件下的可靠性和效率。

ATS载运装备模型物理特性分类具体如表8所示。

表8 物理特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
力学特性	05001	强度	材料抗拉强度

			材料抗压强度 材料疲劳强度
		形变	弹性形变 塑性形变 伸长率
热力学特性	05100	热量传递	热传导性能 热对流性能 热绝缘性能
		温度变化	部件内外温差 外界温度变化
		热膨胀	热膨胀系数 热应力

6.5.6 化学特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的化学特性分类主要包括装备的材料化学稳定性，旨在评估和确保载运装备在实际运行中的化学稳定性和材料在不同环境下的兼容性与防护性能，以保证其在各种操作条件下的安全性和可靠性。

ATS载运装备模型化学特性分类具体如表9所示。

表9 化学特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
材料化学稳定性	06001	化学稳定性	抗氧化性 抗水解性 抗老化性
		耐腐蚀性	耐酸腐蚀性 耐碱腐蚀性 耐盐腐蚀性
		冷却效率	热传递效率

6.5.7 运动方式分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的运动方式特性分类主要包括装备的推进方式特性、操控特性、移动性能特性、运动位置/轨迹、运动加速及运动姿态，旨在评估和确定载运装备在实际运行中的机动性、操控性能和航行效率，以保证其在各种操作条件下的灵活性、可控性和经济性。

ATS载运装备模型运动方式特性分类具体如表10所示。

表10 运动方式特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
推进方式特性	07001	动力系统类型	类型 布局 原理
		动力系统效率	效率 能耗 在不同速度下性能
		动力系统冷却	效率
操控特性	07100	转向能力	转弯半径 转向速度
		定位能力	定位精度

移动性能特性	07200	速度	实时移动速度
运动位置/轨迹	07300	轨迹形式	直线 曲线运动方程
运动加速	07400	加速度动态	线性加速 非线性加速 离心力 向心力
运动姿态	07500	运动自由度	1 2 3 4 5 6
		旋转方向	俯仰 翻滚 偏航

6.5.8 状态变化分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的状态变化特性分类主要包括装备的动态响应特性、工作状态变化特性及几何形变特性，旨在评估和确保载运装备在不同操作条件下的动态响应能力和工作状态变化的平顺性，以保证其在各种操作条件下的稳定性和可靠性。

ATS载运装备模型状态变化特性分类具体如表11所示。

表 11 状态变化特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
动态响应特性	08001	加减速响应	加减速响应速度 加减速平稳性
		转向响应	响应速度
工作状态变化特性	08100	负载变化	负载增加响应时间 负载降低响应时间
		环境适应	最低工作温度 最高工作温度 最小相对湿度 最大相对湿度
几何形变特性	08200	形变类型	弹性形变范围 塑形形变阈值 结构抗弯刚度 蠕变与松弛特性

6.5.9 数据输入特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的数据输入特性分类主要包括装备的输入功能和输入形态。这些特性旨在评估和确保载运装备在实际运行中的数据准确性和处理效率，以保证其在各种操作条件下的决策支持能力和智能化水平。

ATS载运装备模型数据输入特性分类具体如表12所示。

表 12 数据输入特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
----	------	----	------

输入功能	09001	接收传感信息	物理量传感 化学量传感 数据传输速率 数据误差率
		接收控制指令	平均响应时间 最大响应时间 错误指令接收率
输入形态	09100	输入离散信号	开关信号 数字编码信号 最小信号频率 最大信号频率
		输入连续信号	信号类型 信号带宽
		输入文件	文件格式支持 文件读取速度 文件数据完整性

6.5.10 数据输出特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的数据输出特性分类主要包括装备的输出功能和输出形态，旨在评估和确保载运装备在实际运行中的数据可视化、传输效率和数据利用效果，以保证其在各种操作条件下的信息透明度和决策有效性。

ATS载运装备模型数据输出特性分类具体如表13所示。

表 13 数据输出特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
输出功能	10001	同步数据	同步精度 同步速率
		指令数据	指令准确性 指令执行反馈
		响应数据	响应正确性 平均响应时间 最大响应时间
输出形态	10100	离散状态播发	实时移动、动力状态数据 数据更新频率 故障数据 预警数据
		连续数据流	实时位置 移动轨迹
		定期日志	日志记录完整性

6.5.11 能量输入特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的数据能量输入特性分类主要包括装备的能量供应特性和能量管理特性，旨在评估和确保载运装备在实际运行中的能源供应稳定性、转换效率以及能源使用的经济性和安全性，进而保证其在各种操作条件下的持续运行能力和成本效益。

ATS载运装备模型能量输入特性分类具体如表14所示。

表 14 能量输入特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
能量供应特性	11001	石化能	燃料种类 燃料储备量
		电能	电池类型 充电时间
		核能	反应堆类型 能量释放与控制
		其他能源方式	能源类型
能量管理特性	11100	能量消耗	能耗监测与分析
		储能机制	储能设备类型 储能容量

6.5.11 能量输出特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的能量输出特性分类主要包括装备的能量转换效率特性，旨在这些特性旨在评估和确保载运装备在实际运行中的能量利用效率，以保证其在各种操作条件下的高效运行和节能减排。

ATS载运装备模型能量输出特性分类具体如表15所示。

表 15 能量输出特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
能量转换效率特性	12001	动力系统效率	传动效率 动力系统输出转化率

6.5.12 依赖特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的依赖特性分类主要包括装备的系统依赖性，旨在评估和确保载运装备在实际运行中对外部系统和服务的依赖程度以及对环境条件的适应性，以保证其在各种操作条件下的安全性和可靠性。

ATS载运装备模型依赖特性分类具体如表16所示。

表 16 依赖特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
系统依赖性	13001	物理依赖性	传动 承载 悬挂 拉伸/挤压
		控制依赖性	主动/被动 执行 反馈/响应 心跳/定时
		数据依赖性	数据类型 数据准确性 数据一致性 数据更新频率
		逻辑依赖性	功能逻辑
		环境依赖性	温度环境 湿度环境 地形适应性

6.5.13 约束特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的约束特性分类主要包括装备的设计约束、操作约束以及法规约束，旨在评估和确保载运装备在设计、建造和运行过程中遵循各项限制条件，以保证其在各种操作条件下的规范性和安全性。

ATS载运装备模型约束特性分类具体如表17所示。

表 17 约束特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
设计约束	14001	结构强度	材料强度要求 结构设计标准
		尺寸限制	环境通过限制 移动速度限制
		载重能力	最大允许载重量 载重分布要求 稳性要求
操作约束	14100	移动限制	最大允许载重量 载重分布要求
		环境条件	气象条件下操作限制 特殊环境下操作限制
法规约束	14200	国际公约	国际公约约束
		国内法规	国家公约约束
		行业标准	行业标准约束

6.5.14 数据交换特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的数据交换特性分类主要包括装备的内部数据交换特性以及外部数据交换特性，旨在评估和确保载运装备在实际运行中的数据传输效率、数据安全性和数据集成能力，以保证其在各种操作条件下的信息透明度和决策有效性。

ATS载运装备模型数据交换特性分类具体如表18所示。

表 18 数据交换特性分类表

类属	位段编号	子类	特征集合
内部数据交换特性	15001	传输性能	传输速率 传输范围
		传输链路	无线传输（特定协议） 有线传输（特定协议）
		传输模式	并行传输 串行传输
		单/双工模式	单工 半双工 全双工 自适应双工
		数据同步	同步方式 同步精度
外部数据交换特性	15100	传输链路	无线传输（特定协议） 有线传输（特定协议）
		单/双工模式	单工

			半双工 全双工 自适应双工
		数据加密	加密算法 密钥管理
		数据同步	同步方式 同步精度
		授时方式	网络授时协议 硬件时钟同步 卫星授时 混合授时模式
		传输性能	传输速率 传输范围
		传输介质	双绞线 同轴电缆 光纤 电磁波 蜂窝网络 卫星通信 水

6.5.15 能量交换特性分类描述维度

ATS载运装备数字特性建模的能量交换特性分类旨在评估和确保载运装备在实际运行中的能量供应、转换和利用效率，以保证其在各种操作条件下的高效运行和节能减排。

ATS载运装备模型能量交换特性分类具体如表19所示。

表 19 能量交换特性分类表

类属	位段编号	子类	特性集合
能量交换特性	16001	能量供应	类型 额定功率
		能量转换	效率 损耗分析

参 考 文 献

- [1] GB/T 43441.1-2023 信息技术 数字孪生 通用要求
-

中国智能交通协会团体标准
《自主式交通系统载运装备数字特性建模分类》
编制说明

标准编制组

2025年4月

目 录

一、	工作简况	1
二、	编制原则	5
三、	标准内容的起草	5
四、	标准水平分析	7
五、	采标情况	8
六、	与我国现行法律法规和有关强制性标准的关系	8
七、	重大分歧意见的处理过程和依据	8
八、	标准性质的建议	8
九、	贯彻标准的要求和建议	9
十、	废止、替代现行有关标准的建议	12
十一、	其他应予以说明的事项	12

一、 工作简况

1. 任务来源

本标准的制定任务来源为国家重点研发计划《交通载运装备数字化与孪生系统》，旨在解决载运装备模型在数字孪生空间尺度发生变化时的动态适应性问题，围绕系统中各层级装备模型的功能特性，面向系统组分的灵活性及互操作的一致性，研究进行数字化建模所需的通用范式及其语义编码，为ATS数字孪生系统上进行效能评估和设计优化所需的模型构建提供支持。

参与编制的个人及单位信息：

武汉理工大学：吴兵、汪洋、叶挺；

清华大学：王亮、魏邦洋；

北京交通大学：马小平；

公安部道路交通安全研究中心：于鹏程；

中车长春轨道客车股份有限公司：郑恒亮；

国能朔黄铁路发展有限责任公司：张斌；

长安大学：孙士杰；

北京航空航天大学：崔志勇；

北京世冠金洋科技发展有限公司：张桥；

中车时代电动汽车股份有限公司：王坤俊。

2. 起草单位情况

本标准起草单位及其工作情况：

武汉理工大学：主要负责水路载运装备部分标准撰写工作；

清华大学、北京航空航天大学、北京世冠金洋科技发展有限公司：
主要负责低空载运装备部分标准撰写工作；

公安部道路交通拿去研究中心、北京交通大学、长安大学：主要
负责道路载运装备部分标准撰写工作；

中车长春轨道客车股份有限公司、国能朔黄铁路发展有限责任公司、
中车时代电动汽车股份有限公司：主要负责轨道载运装备部分标
准撰写工作。

3. 主要起草人及其所做的工作

介绍本标准的主要起草人、工作单位及主要工作，可以表格形式
展示。

主要起草人	工作单位	主要工作
吴兵	武汉理工大学	水路载运装备部分标准撰写的规划、 组织和管理
汪洋	武汉理工大学	水路载运装备部分标准中专业知识 和技术指导
叶挺	武汉理工大学	水路载运装备部分标准主体撰写
王亮	清华大学	低空载运装备部分标准撰写的规划、 组织和管理
魏邦洋	清华大学	低空载运装备部分标准主体撰写
马小平	北京交通大学	道路载运装备部分标准撰写的规划、 组织和管理

于鹏程	公安部道路交通安全研究中心	道路载运装备部分标准撰写的规划、 组织和管理
郑恒亮	中车长春轨道客车股份有限公司	轨道载运装备部分标准撰写的规划、 组织和管理
张斌	国能朔黄铁路发展有限责任公司	轨道载运装备部分标准撰写的规划、 组织和管理
孙士杰	长安大学	道路载运装备部分标准主体撰写
崔志勇	北京航空航天大学	低空载运装备部分标准主体撰写
张桥	北京世冠金洋科技发展有限公司	低空载运装备部分标准主体撰写
王坤俊	中车时代电动汽车股份有限公司	轨道载运装备部分标准主体撰写

4. 主要工作过程

中国智能交通协会团体标准立项审查修改意见

序号	修改意见	修改说明

1	标准题目“自主式交通系统载运装备数字特性建模的层级分类”过于具体，范围太小，建议调整，适当扩大范围。	已按建议将标准题目修改为：“自主式交通系统载运装备数字特性建模分类”。
2	载运装备系统类属分为动力系统、通信系统、导航系统，不是很合理。	已补充“控制系统”、“环境感知系统”和“承载系统”三大系统类属。
3	标准主要内容研究还不够，还要细化研究，特别道路载运装备，远比标准中复杂，建议参考 GA801、802 以及车辆分类进行细化。目前验证工作太少，主要技术要求还不够完善，需要多次验证、实践应用以及研讨会要形成行业共识。	已针对四大载运装备进行类别补充，如“表 1 载运装备基本属性及位段编号定义”所示。
4	编制人员分工要进一步明确，人员还不够。	已按照任务书明确人员分工
5	6.5.7 运动方式分类描述维度第二行：原文为“旨在评估评估和确定载运装备在实际运行中...”建议改为：“旨在评估和确定载运装备在实际运行中.....”	已按建议修改为：“旨在评估和确定载运装备在实际运行中.....”。

二、 编制原则

本标准旨在通过统一的数字化建模规范，为自主式交通系统的载运装备构建标准化数字孪生模型，针对以下目标表现出一定的科学性、先进性和合理性：

- 1、解决模型碎片化问题：传统建模缺乏统一标准，导致不同厂商的模型难以共享或协同；
- 2、推动技术协同：通过四级索引体系实现跨领域分类管理；
- 3、促进创新与迭代：构建模型存储层的结构化管理架构为装备的全生命周期管理提供支持。

三、 标准内容的起草

1. 主要技术内容的确定和依据

本标准结合了 GB/T40209-2021《制造装备集成信息模型通用建模规则》等国家标准以及相关领域的技术规范和方法，通过对不同类型的载运装备（如水路、道路、轨道及低空载运装备）进行研究，确定了适用于这些装备的数字模型构建基础。

主要技术内容包括但不限于：

载运装备的数字特性建模分类，分为基础特性、行为特性和关联特性三类，并进一步细分出力学/机械特性、几何/外形特征、物理/化学特征等多个子类别。

模型体系的建立，包括模型关联、模型层次结构、体系索引等内容。

技术要求与测试方法，例如数据输入/输出特性、能量输入/输出特性等的具体描述和量化指标。

验证过程，确保所有提出的技术参数和技术指标在实际应用中的准确性、科学性和可操作性。

2. 标准中英文内容的汉译英情况

中文	英文
Autonomous Transportation Systems	ATS 自主式交通系统
Cyber-Physical Space	CPS 信息物理空间
Vehicular Equipment	载运装备
Digital Model	数字模型
Model Association	模型关联
Model Hierarchy	模型体系
Hierarchy index	体系索引
Model Storage	模型存储
Model Base	模型库

Model Instance	模型实例
Physical Characteristic	物理特征
Chemical Characteristic	化学特征
Motion Characteristic	运动特征
Energy Characteristic	能量特征
Principle Description	规则描述

四、 标准水平分析

1. 国内标准比较

我国在自主式交通系统（ATS）领域已形成政策引导与技术攻关并行的格局，依托《交通强国建设纲要》《数字交通发展规划纲要》等政策，推动数字孪生与智能装备技术深度融合。

关键技术突破：北斗导航、5G-V2X 通信、高精度地图等技术在载运装备建模中广泛应用，GB/T 43441.1-2023 等标准为数字孪生提供基础框架。

产业应用：无人驾驶汽车、智能船舶、低空物流无人机等示范项目逐步落地，但模型标准化程度仍需提升。

2. 国际标准比较

欧美主导性标准：ISO 23273（自动驾驶系统）、SAE J3016（自动驾驶分级）等侧重功能安全，本文件更聚焦装备建模的数字化特性。

技术差异：国外在模型数据交换协议（如 AUTOSAR）和能源规则描述（如 ISO 15118）领域较成熟，本标准通过"模型关联"与"规则形式化"填补了多模态协同的空白。

五、 采标情况

无。

六、 与我国现行法律法规和有关强制性标准的关系

符合《标准化法》《道路交通安全法》《船舶检验条例》中关于装备安全与数据管理的要求。引用GB/T 43441.1-2023（数字孪生通用要求），确保模型基础架构兼容性。引用GB/T 40209-2021（制造装备建模规则），扩展至交通载体场景。

七、 重大分歧意见的处理过程和依据

无。

八、 标准性质的建议

本标准是团体标准。本标准旨在为自主式交通系统载运装备的数字化建模提供一个统一框架，指导相关的研究、开发和应用工作。通过详细规定载运装备数字模型的分类、属性及其相互关系，对整个建

模过程进行规范化管理，提高了行业的标准化水平。明确了从设计到实施各个环节的技术要求和测试方法，有助于确保最终产品的质量和性能符合预期目标。

九、 贯彻标准的要求和建议

一、本标准旨在通过统一的数字化建模规范，为自主式交通系统的载运装备构建标准化数字孪生模型，具体目标包括：

1、标准化建模流程：

通过定义总体框架和建模标号结构，确保不同厂商、系统或领域的模型能够兼容与互操作，例如，标准要求模型索引需包含载运装备类型、自主化等级、能源动力类型，确保分类清晰，避免因术语或格式差异导致的协作障碍。

2、提升系统效能与安全性：

通过量化装备的基础特性和行为特性，支持对装备性能的精确仿真与预测，例如，力学特性分类表要求明确装备的“质量分布”和“强度特性”，这些参数直接影响装备的动态响应和安全性。

3、推动自主化与智能化发展：

定义数据输入/输出特性和能量交换特性，为装备与信息物理系统（CPS）的集成提供技术基础，例如，标准要求模型需支持 V2X 通信系统和飞行管理系统，以实现智能交通系统的协同控制。

二、本标准的适用范围和主要技术内容：

适用范围：

1、适用对象

本文件针对自主式交通系统(ATS)中的四类载运装备包括船舶、车辆、轨道载具、低空飞行器，规范其数字化建模的核心技术要求，适用于交通载运装备的数字孪生系统构建。

2、应用场景

为载运装备的数字化设计、仿真测试、运维管理及系统集成提供基础模型支持，覆盖装备全生命周期管理中的模型构建、数据交互与存储需求。

主要技术内容：

1、总体架构设计

框架组成：基于基础特性（机械、几何、物理/化学属性）、行为特性（运动、状态、数据/能量交互）、关联特性（依赖约束、数据/能量交换）构建模型核心要素，结合结构化表示与规则描述，通过模型库实现存储与管理。

层级关系：从模型实例到体系索引的层级化存储，支持多模态关联与高效读写操作。

2、核心特性建模规范

基础特性：

力学/机械：质量分布、强度、负载能力、耐久性等。

几何/外形：尺寸参数（长/宽/高）、线型设计、风阻系数。

物理/化学：材料抗腐蚀性、热力学性能、能量转换效率。

行为特性：

动态行为：运动方式（速度/加速度）、状态转换（负载/环境响应）。

交互行为：数据输入/输出（传感器信号、控制指令）、能量输入/输出（燃料、电能）。

关联特性：

依赖约束：硬件兼容性、算法参数限制、法规合规性。

数据/能量交换：通信协议、传输加密、能量供应与转换规则。

3. 分类与索引体系

标号结构：采用四级索引（基本属性、系统类属、部件类属），通过7位编码定义装备类型（如水路、轨道）、自主化等级（完全人工至完全自主）、能源类型（化学燃料、太阳能）。

4. 特性分类标准

系统化分类表：涵盖10类关键特性（如力学、化学、运动、数据交换等），每类细分子类与参数集合。

5. 模型存储与管理机制

存储层设计：

模型库：通过体系索引（分类、命名规范）实现模型快速检索。

精度控制：要求模型几何、行为特征与物理实体高度一致。

文件支持：遵循GB/T 40209-2021标准，确保模型文件可读性、兼容性与可维护性。

十、 废止、替代现行有关标准的建议

本标准为新立项制定的标准，无废止、替代现有关标准的建议。

十一、 其他应予以说明的事项

无。