

标准化视角下的语义互操作性概念体系构建及应用

——以智慧城市国际标准研制为例

黄 婕^{1,2,3} 安小米^{1,2,4} 邝苗苗¹ 吴 菁⁵

(1. 中国人民大学信息资源管理学院, 北京, 100872; 2. 中国人民大学智慧城市研究中心, 北京, 100872; 3. 纽约州立大学奥尔巴尼分校政府技术中心, 奥尔巴尼, 12203; 4. 数据工程与知识工程教育部重点实验室, 北京, 100872; 5. 山东省标准化研究院, 济南, 250013)

[摘 要] 运用 ISO 704:2022 的概念构建原则和方法,以国际标准中的语义互操作性定义为研究对象,识别出语义互操作性的核心概念、特征及关系,构建基于标准化视角的语义互操作性概念体系,从而揭示语义互操作性的能力特征和功能要求。采用案例分析法,通过对智慧城市领域相关的国际标准进行标准文本的语义互操作性特征映射,发现智慧城市领域语义互操作性标准研制的缺口,可为智慧城市领域语义互操作性标准选用和研制提供方向指引,也验证了该概念体系的实用性。研究表明,该体系对于提升人工智能场景下数据、信息、知识的共享和交换效率,促进数据、信息、知识的关联、融合和可解释,以及多维度、多场景和多方面语义互操作标准化协同具有指导意义。

[关键词] 语义互操作性 智慧城市 核心概念 概念体系 标准化协同

[中图分类号] G203 [文献标识码] A [文章编号] 2095-2171(2024)03-0056-13

DOI: 10. 13365/j. jirm. 2024. 03. 056

Construction and Application of Semantic Interoperability Concept System from the Perspective of Standardization: Taking Development of Smart Cities International Standards as an Example

Huang Jie^{1,2,3} An Xiaomi^{1,2,4} Kuang Miaomiao¹ Wu Jing⁵

(1. School of Information Resource Management, Renmin University of China, Beijing, 100872; 2. Smart City Research Center, Renmin University of China, Beijing, 100872; 3. Center for Technology in Government, University at Albany-State University of New York, Albany, 12203; 4. Key Laboratory of Data Engineering and Knowledge Engineering, Beijing, 100872; 5. Shandong Institute of Standardization, Jinan, 250013)

[基金项目] 本文系国家重点研发计划“城市数据利用国际标准研制及应用示范”(2022YFF0610004)的研究成果之一。(This work is supported by National Key Research and Development Program of China "Development and Application Demonstration of International Standards on Data Use in Cites"(2022YFF0610004).)

[作者简介] 黄婕,博士研究生,研究方向为智慧城市数据利用与标准化治理;安小米(通讯作者),博士,教授、博士生导师,研究方向为政府信息资源管理、大数据治理、标准化协同治理,Email: anxiaomi@ruc.edu.cn;邝苗苗,博士研究生,研究方向为人工智能场景下的数据治理;吴菁,硕士,工程师,研究方向为标准化。(Huang Jie, Ph.D. candidate, research interests include data use in smart city and the standardization governance; An Xiaomi(corresponding author), professor, Ph.D., doctoral supervisor, Email: anxiaomi@ruc.edu.cn, research interests include government information resource management, big data governance, and standardized collaborative governance; Kuang Miaomiao, Ph.D. candidate, research interests include data governance in AI environment; Wu Jing, master, engineer, research interests: standardization.)

本文引用格式:黄婕,安小米,邝苗苗,等. 标准化视角下的语义互操作性概念体系构建及应用——以智慧城市国际标准研制为例[J]. 信息资源管理学报, 2024, 14(3): 56-68, 135.

[Abstract] This paper adopts ISO 704:2022 terminology work—principles and methods, regards the definitions of “semantic interoperability” in international standards as the research objects, and then identifies the core concepts, characteristic and their relationships of “semantic interoperability”. It constructs a concept system of “semantic interoperability” based on international standards, which reveals the capability characteristics and functional requirements of “semantic interoperability”. Then, this paper uses case analysis method to map the “semantic interoperability” characteristics of relevant international standards in the field of smart cities, to analyse gaps in the development of semantic interoperability standards and to provide guidance for selection and development of semantic interoperability standards in smart cities, which helps verify the practicality of this concept system. The research has shown that this system has significance for improving efficiency of data, information, and knowledge sharing and exchange in artificial intelligence scenarios, for promoting data, information, and knowledge association, fusion, and interpretability, and for promoting standardization collaboration on multi-dimensional, multi-scenario, and multi-dimensional semantic interoperability.

[Keywords] Semantic interoperability; Smart cities; Core concepts; Concept system; Standardization collaboration

1 引言

21 世纪以来,“云大物移智链边”等新一代信息技术迅猛发展,数据共享、交换、流通、利用在新时期下获得了越来越多的关注,促进数据价值实现的底层数据、算法、规则的语义互操作性便显得尤为关键,已经成为数字化转型中智慧城市与物联网、智慧图书馆和档案馆、智能电网等研究领域的重要议题。国际上,2022 年欧盟颁布的《数据法案》指出标准化和语义互操作性应在提供确保互操作性的技术解决方案中发挥关键作用,进一步增强欧洲共同数据空间、应用程序编程接口、云交换和智能合约的互操作性,统一标准^[1]。此外,《欧洲智慧城市和社区互操作性框架(EIF4SCC)》视“语义互操作性”为互操作性框架中的重要要素,确保在个人和组织相互交换数据和信息的过程中能保留和理解其精确格式和含义^[2];《互操作性欧洲法案》将“语义互操作性”作为综合治理重要层级,以提高政府机构和企业间共享数据和信息的效率和准确性^[3]。美国《联邦数据战略》提出要“预测数据未来用途,从开始计划数据重用和互操作性”,鼓励各机构在实践中遵循语义互操作性标准;美国国家标准技术研究所(NIST)选取选举和投票场景,制定了确保语义互操作性的通用数据格式^[4]。欧美政策和实践表明,语义互操作性及其标准化研究对于构筑共同数据空间,

促进政府和企业、组织和个人间的数据共享、交换和利用具有关键性作用,并且应将语义互操作性作为数字基础设施建设和数据治理的基石之一。

在我国迎接数字化转型时代的挑战中,系统厘清语义互操作性的核心概念及其内涵,了解实现语义操作性的功能要求和能力特征,对提升数据交换、共享和利用中的语义互操作能力,促进数据要素复用、知识复用和各类数据价值有效释放,推进知识组织系统互联互通互认互信,发挥数据要素乘数效应的应用前景,推动标准化数字基础设施语义体系的发展和应用具有重要意义。

2 文献述评与研究设计

2.1 语义互操作性的相关研究及应用

2.1.1 语义互操作性相关理论研究

语义互操作性的研究从 20 世纪 80、90 年代发展至今,主要集中在技术研究层面,而技术开发和应用层面的研究较少,涉及的学科包括计算机科学、图书情报与数字图书馆、互联网技术、自动化技术等。相关研究主要以本体论为理论基础,围绕本体知识工程、语义映射和对齐、语义服务和协议等方面开展技术研究。现有研究成果主要包括语义互操作性问题、实现框架和模型、实现路径三方面。

其中,语义互操作性研究问题包括概念异构、术语和代码异构、句法异构、元数据

异构、知识组织系统异构等现存问题^[5-6]，这些问题的形成原因与大数据背景下数据来源广泛、格式多样、内容庞杂等因素相关。基于相关问题，学者们尝试构建语义互操作实现框架和模型，例如，元数据注册系统（MDR）、扩展元数据注册系统（XMDR）、元模型互操作框架（MFI）^[5]；Silk 框架（Silk Link Discovery Framework）、LIMES（Link Discovery Framework for Metric Spaces）、R2R（Translating RDF Data from the Web to a Target Vocabulary）等关联框架^[7]；面向物联网环境涵盖数据建模、数据标注、语义映射等多个方面的语义互操作性框架^[8-9]。语义互操作性的实现路径主要围绕本体构建展开，包括本体元建模方法、RGPS 元模型框架^[10]，元数据采集、元数据本体构建、语义检索^[6]，构建顶层本体、构建多领域本体、整合已建领域本体^[11]等。

2.1.2 语义互操作性相关研究的应用

在应用方面，语义互操作性相关研究的典型应用领域包括数字图书馆、数字人文、电子政务、地理信息系统（GIS）等，医疗、电力、军事等领域也有相关成果。

为了促进信息意义的无障碍交流、共享和重用^[12]，学者们在 21 世纪初对数字图书馆中的语义互操作性进行了广泛关注，基本达成元数据和本体是实现数字图书馆语义互操作性的路径共识，以资源层（内容层）、元数据层、本体层、互操作层（表现层）为架构，从基于面向服务架构（SOA）^[13]、面向数字图书馆“社会性、情境性、结构性、空间性、流体性”5S 模块特征^[14]、基于 OAI-PMH 元数据采集框架^[15]等方面构建了一系列数字图书馆语义互操作性模型或框架。

近年来，数字人文是关注语义互操作性较多的另一重要领域，语义互操作性在建设数字人文的基础设施和知识工程中发挥了重要作用。“智慧数据”的结构化和语义化^[16]研究有效应对了数字人文资源在语义特征描述和揭示深度、资源之间的语义关联度、语义检索服务模式等方面的挑战^[17]。在数字人文研究中，通过语义单元组织领域知识，促

进文献数据库向知识数据库升级，模拟领域应用的知识环境，实现高效、共享的资源“数据化”成为未来重要发展趋势^[18]。

此外，在电子政务领域，国内外电子政务核心数据（信息资源、元数据）互操作模型、跨数据模型映射关系和核心词汇表的应用等方面受到关注。研究指出，我国电子政务语义互操作性发展应构建开放共享的数据模型标准规范，实现跨系统互操作和跨领域信息共享服务^[19-21]。在 GIS 领域，IFC 和 CityGML 等数据模型、本体和网格技术是促进 GIS 和建筑信息模型（BIM）语义共享、集成和互操作的重要手段^[22-23]。

2.2 标准化视角下语义互操作性概念体系构建的问题提出

早期学者对标准化视角下万维网联盟（W3C）发布的 RDF、OWL、SPARQL、GRDDL、RDFA、RIF 等标准在推动语义互操作性研究和实践方面进行的研究^[24]，表明了 W3C 相关标准对语义互操作性的重要性和影响力，也反映了我国研究者积极推动语义互操作性与业界兼容、国际接轨的重要贡献。近年来，MFI 语义互操作标准对信息模型构建研究发挥了重要指导作用^[10,19,25]。然而，现有标准化视角下语义互操作性的相关研究也存在对 ISO、IEC、ITU-T 三大国际标准化组织发布的标准关注不足的局限。从国际标准化组织的权威性和国际影响力、提升国家标准化软实力等方面考虑，有必要重视和弥补对国际标准关注的不足。

此外，现有研究表明了语义互操作性在信息资源管理、知识组织系统建设中的重要性，但相关成果的研究视角主要为技术实现视角，其研究缺口包括：①在理论层面，缺乏标准化视角下对语义互操作性核心概念的系统分析；②在实践层面，缺乏标准化视角下对语义互操作性功能要求的系统梳理。因此，构建基于 ISO、IEC、ITU-T 三大组织发布的国际标准的语义互操作性概念体系，有助于全面了解语义互操作性的内涵和外延，为知识组织和能力构建研究提供有益指导，从标准化的视角提升国家数字基础设施的互联

互通国际竞争能力。

2.3 研究设计

本研究包括两方面的内容：①通过识别语义互操作性术语的核心概念、特征及关系，构建基于标准化视角的语义互操作性概念体系；②在该概念体系的指导下，明确标准化视角下语义互操作性的能力特征和功能要求。

基于语义互操作性在研究和实践工作中的需求，本研究主要采用文献调研法、内容分析法、基于国际标准的概念体系构建方法和案例研究法开展研究。主要研究流程包括：在数据收集部分，以国际标准中的语义互操作性定义为研究对象，对 ISO、IEC、ITU-T 三大国际标准化组织中与语义互操作性相关的国际标准和中外权威数据库中的代表性文献进行调查，通过文本内容分析梳理，掌握语义互操作性的研究现状和关键特征，为识别语义互操作性的相关概念和特征提供研究基础。在数据分析和概念体系构建部分，以 ISO 1087: 2019《术语工作与术语学 词汇》、ISO 704: 2022《术语工作 原则和方法》和 ISO/IEC 5394: 2024《信息技术 概念体系标准》为指导，遵循人机可读性、全面性、清晰性、可扩展性、稳定性、可检索性和标准化等七项原则，具体步骤包括：①确定语义互操作性的专业领域，处理基本术语名称和相关概念；②通过特征提炼，分析每个概念的内涵和外延；③确定这些概念在概念体系中的关系和位置；④绘制概念图或概念模型可视化；⑤根据概念关系编写、确定和分析定义；⑥赋予每个概念特定指称^[26-28]。在结果检验部分，结合作者团队在参与智慧城市领域相关标准研制中提升标准基础设施语义互操作性的案例，对语义互操作性概念体系进行验证。

3 标准化视角下语义互操作性概念体系构建

3.1 国际标准中语义互操作性的定义调查

3.1.1 语义互操作性的定义调查范围

以“semantic interoperability”为检索词

在 ISO、IEC、ITU-T 三大国际标准库中进行检索，目前共有 21 项国际标准中含有“semantic interoperability”（语义互操作性）或“semantic data interoperability”（语义数据互操作性）术语及定义，其中 20 项为现行的国际标准，1 项为已废止的国际标准。对检索结果按定义进行分类，共得到八种关于语义互操作性的不同定义。

分析八种术语定义的国际标准引用情况和关系，发现国际标准 ISO/IEC 21823-1: 2019 采用了国际标准 ISO/IEC 19941: 2017 中语义数据互操作性术语的定义作为语义互操作性术语的定义，存在术语指称不统一但概念具有相通性的情况。因此，为了更准确地了解当前概念现状，本研究将语义数据互操作性的国际标准定义补充纳入研究范围。

此外，国际标准 ISO 18308: 2011 发布的语义互操作性定义被采用最多，ISO/TR 14639-1: 2012 等七个国际标准采用了该国际标准中“semantic interoperability”的定义，ISO/TR 23262: 2021 采用了该国际标准中“syntactic Interoperability”（句法互操作性）的定义作为语义互操作性的定义。可见，在 ISO/TR 23262: 2021 国际标准的制定组织和专家看来，句法互操作性和语义互操作性在含义上有较强的相关性和融合性。这一发现与欧盟相关政策中强调语义互操作性包含语义和格式两方面的观点相呼应。

为了更全面地理解语义互操作性的内涵和外延，进一步对句法互操作性的国际标准定义进行检索，得到 3 种句法互操作性的定义（包含 1 种已被引用的定义）进行补充分析。因此，本研究中语义互操作性的相关定义包括语义互操作性、语义数据互操作性、句法互操作性三类术语的 10 个定义。以原始定义发布的时间为排序依据，语义互操作性的相关国际标准及引用关系如图 1 所示。

3.1.2 语义互操作性的定义调查结果

与语义互操作性术语相关的国际标准和标准制定组织、相关术语和国际标准定义详见附件。调查结果显示，语义互操作性最早在国际标准中作为术语出现于 2004 年发布实

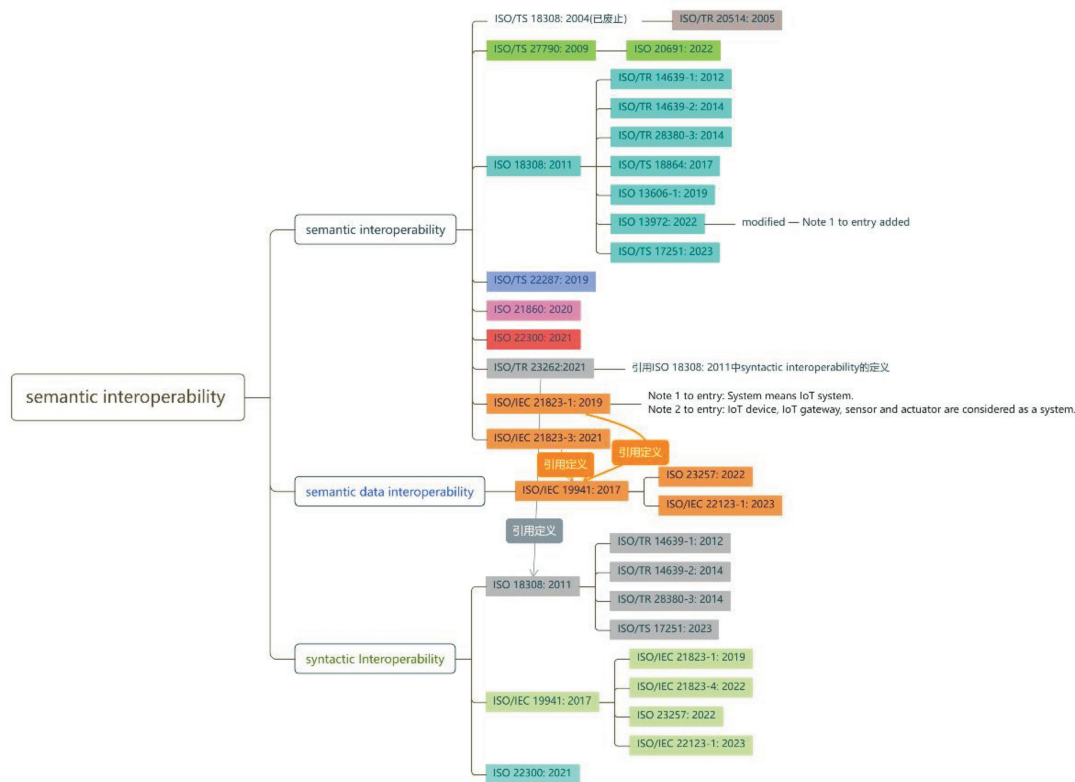


图 1 语义互操作性术语的相关国际标准及引用关系

Fig. 1 Relevant International Standards and Their Citation Relationships Relating to the Term of “Semantic Interoperability”

施、2011 年废止并被取代的 ISO/TS 18308 中，最新出现于 2023 年发布的 ISO/TS 17251: 2023 和 ISO/IEC 22123-1: 2023。由此可见，国际标准中对于语义互操作性定义的关注持续超过 20 年。这一方面反映了语义互操作性是从语义网出现伴随着信息技术发展进程、被国际标准的利益相关方持续关注的重要术语和重点领域，在当下人工智能等新一代信息技术蓬勃发展的背景下仍具有研究生命力；另一方面，相关标准的前沿制定领域，如健康信息学、云计算（2023 年），也为进一步拓展和探索语义互操作性的应用领域、范围和场景提供了参考和启示。

从标准制定组织情况来看，语义互操作性相关术语的国际标准制定组织共涉及 5 个技术委员会和 1 个联合技术委员会，目前健康信息学技术委员会对语义互操作性术语关注度最高，生物技术、安全和韧性、建筑物和土木工程、区块链和分布式账本技术等技术委员会和

第一联合技术委员会下的云计算和分布式平台、物联网和数字孪生分技术委员会等国际标准制定组织和利益相关方，对语义互操作性的概念、技术及应用同样高度关注。

3.2 基于国际标准的语义互操作性的核心概念客体及特征识别

定义通过描述概念并将其与相关概念区分开来的表达来表示概念，因此，现有国际标准中的语义互操作性定义对了解其核心概念具有重要参考价值。在术语工作中，概念可分为上位概念和下位概念、属概念和种概念、整体概念和部分概念、并列概念等。构成概念的一系列特征是该概念的内涵，概念所对应客体的总和是该概念的外延^[26]。因此，从定义的描述性语句中，可以解剖出语义互操作性核心概念的外延包括能力和互操作性（互操作性类别：语义互操作性、句法互操作性、语义数据互操作性）。采用 ISO 704: 2022 中关于核心概念特征识别的方法^[27]，对

语义互操作性的 10 种相关定义进行分析,得到语义互操作性的核心概念特征及相关概念。国际标准中语义互操作性的内涵与外延分析详见附录。

通过对语义互操作性核心概念的属性进行内容分析,提炼出语义互操作性概念认知的四个维度:能力维度(P1)、实体维度(P2)、领域维度(P3)、实现方式维度(P4)。其中,能力维度从 why 的角度出发,指语义互操作性实现的技术要求;实体维度从 what 的角度出发,指语义互操作性的实现实体;领域维度从 where 出发,指语义互操作性应用的范围;实现方式维度从 how 的角度出发,指语义互操作性实现的方式和渠道。四个认知维度下语义互操作性的核心概念客体、属性及特征如表 1 所示。

3.3 语义互操作性核心概念间相互关系的识别

进一步识别语义互操作性的核心概念客体中的上位概念和下位概念、属概念和种概念、整体概念和部分概念、并列概念等,辨析不同概念间的属种关系、整体部分关系、相关关系。

3.3.1 语义互操作性能力维度

语义互操作性能力维度的核心概念及其关系如图 2 所示。语义互操作性能力由被理解的能力、被正确并一贯解释的能力、自动地解释信息的能力、准确地使用信息的能力、通信和交换数据的能力、理解某一主题领域上下文情境中的数据模型的含义的能力组成,为整体部分关系。

标准化视角下,语义互操作性的能力可视为语义互操作性建设的目标和技术要求。其特征主要体现在两个方面:一是互操作的联通性,包括精准使用信息和传输交换数据;二是语义的可解释性,包括正确解释、自动解释、可持续解释、理解和被理解。联通性特征侧重于整体的互操作性、设备模式能力、协商和推理的能力,范围覆盖的对象是整体系统或设备模式^[29]。可解释性特征侧重于处理和应语义信息内涵的能力,(被)解释和(被)理解的主体是系统和人、对象是数据和

信息。联通性和可解释性是语义互操作性内在和外显缺一不可的两大要求,前者是后者的基础条件,后者是前者的结果表现。在迈向人工智能的进程中,语义互操作性的研究重点期望在基本实现互操作的联通性基础上,不断提高语义的可解释性。

3.3.2 语义互操作性实体维度

语义互操作性实体维度的核心概念及其关系如图 3 所示。语义互操作性实体是与用户相关的基本事物,包括系统、信息、数据、服务和含义,系统包括物联网系统和计算机系统,为属种关系。系统之间共享信息、共享数据,系统与信息、数据为相关关系。物联网系统由物联网设备、物联网网关、传感器和执行器组成,为整体部分关系。标准化视角下,信息和数据是系统的共享对象,更明确了语义互操作性中系统和信息、数据的关系,信息和数据类型的要求,以及对相关实体的全景概览。实体维度的概念有助于针对语义互操作性建设过程中对照不同实体检查功能要求的实现程度。

3.3.3 语义互操作性领域维度

语义互操作性领域维度的核心概念及其关系如图 4 所示。语义互操作性领域特征包括正式定义和完全定义的领域概念级别。其中,医疗保健实践和管理是一个典型的领域。要素间为属种关系。标准化视角下,在划定实现语义互操作性的领域时,领域概念应该是官方的、遵循领域规则的、达成一致的、有领域界限的、明确的。这些领域特征为语义互操作性的实现提供了可遵循和明确的范围。

3.3.4 语义互操作性实现方式维度

语义互操作性实现方式维度的核心概念及其关系如图 5 所示。语义互操作性实现方式与能力维度紧密相关,包括数据格式、通信协议和标准化内容,为属种关系。标准化内容由标准化的词汇表、代码集、术语、标识符、信息模型、复合数据结构、数据对象定义和模板组成,为整体部分关系。标准化的词汇表(即术语标准)提供了明确解释信息的能力。

表 1 语义互操作性核心概念的认知维度、属性及特征

Table 1 Cognitive Dimensions, Properties and Characteristics of the Core Concept of “Semantic Interoperability”

序号	概念认知维度	维度解释	核心概念	核心概念属性	语义互操作性特征	定义来源	标准来源
P1	能力维度	why: 语义互操作性实现的技术要求	能力	<div><div>· 被理解的能力</div><div>· 被正确并一贯解释的能力</div><div>· 自动地解释信息的能力</div><div>· 准确地使用信息的能力</div><div>· 通信和交换数据的能力</div><div>· 理解某一主题领域上下文情境中数据模型的含义</div></div>	<div><div>1 语义的可解释性</div><div>1.1 正确解释</div><div>1.2 自动解释</div><div>1.3 可持续解释</div><div>1.4 被理解</div><div>1.5 数据模型的含义解释</div><div>2 互操作的联通性</div><div>2.1 精准使用信息</div><div>2.2 传输交换数据</div></div>	D1, D2, D3, D4, D6, D7, D8, D9, D10	S1-S12, S14-S20
P2	实体维度	what: 语义互操作性的实现实体	信息数据系统服务含义	<div><div>· 系统共享的信息</div><div>· 正在交换或已交换的信息</div><div>· 结构化信息</div><div>· 系统共享的数据</div><div>· 两个或多个系统</div><div>· 两个或多个服务</div><div>· 系统指物联网系统</div><div>· 物联网设备、物联网网关、传感器和执行器被视为一个系统</div></div>	<div><div>1 语义互操作技术支持</div><div>1.1 两个或多个系统</div><div>1.2 两个或多个服务</div><div>1.3 物联网系统</div><div>1.4 计算机系统</div><div>2 语义互操作对象</div><div>2.1 系统共享的信息</div><div>2.2 系统共享的数据</div><div>2.3 结构化信息</div><div>2.4 正在交换或已交换的信息</div><div>2.5 数据模型</div></div>	D1, D2, D3, D4, D6, D7, D8, D9, D10	S1-S12, S14-S20
P3	领域维度	where: 语义互操作性应用的范围	领域概念 医疗保健实践和管理	<div><div>· 在正式定义的领域概念层上</div><div>· 在完全定义的领域概念层上</div><div>· 计算机系统支撑医疗保健实践和管理</div></div>	<div><div>1 概念层</div><div>1.1 正式定义</div><div>1.2 完全定义</div><div>2 应用层</div><div>2.1 医疗保健</div><div>2.2 其他</div></div>	D1, D2, D3, D4	S1-S12
P4	实现方式维度	how: 语义互操作性实现的方式	数据格式 通信协议 标准化内容	<div><div>· 通过指定的数据格式和通信协议进行传输和交换数据</div><div>· 基于标准化内容</div></div>	<div><div>1 传输和交换数据的方式</div><div>1.1 指定的数据格式</div><div>1.2 指定的通信协议</div><div>2 基于标准化内容</div><div>2.1 标准化的词汇表</div><div>2.2 标准化的代码集</div><div>2.3 标准化的术语</div><div>2.4 标准化的标识符</div><div>2.5 标准化的信息模型</div><div>2.6 标准化的复合数据结构</div><div>2.7 标准化的数据对象定义</div><div>2.8 标准化的数据对象模板</div></div>	D5, D7	S4-S7, S11, S13, S15

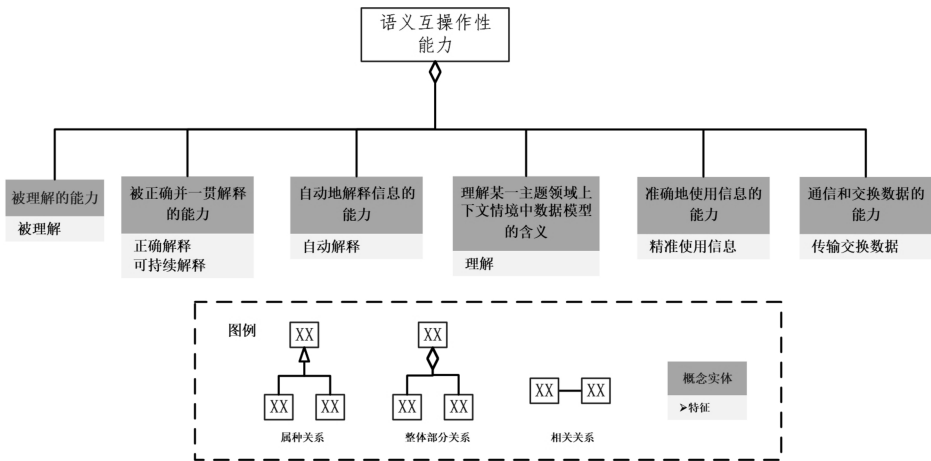


图 2 能力维度语义互操作性核心概念及其关系和特征

Fig. 2 Core Concepts of “Semantic Interoperability” in the Capability Dimension, Their Relationships and Characteristics

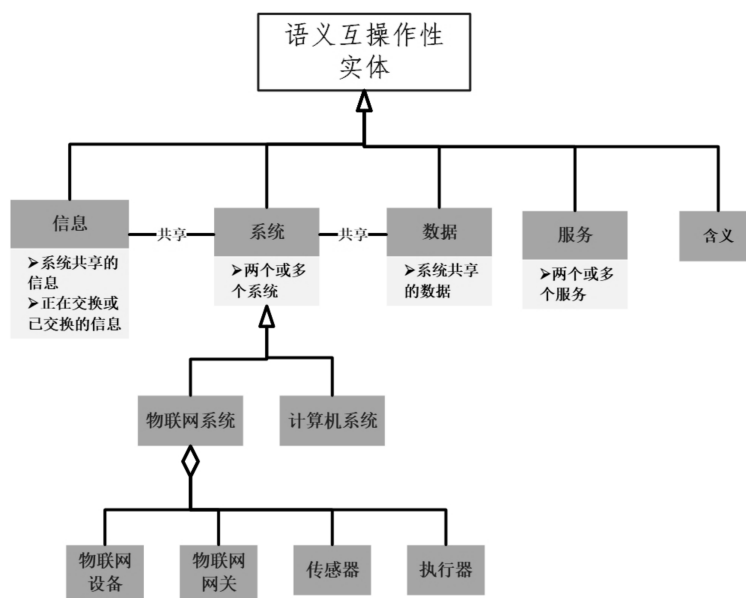


图3 实体维度语义互操作性核心概念及其关系和特征

Fig. 3 Core Concepts of "Semantic Interoperability" in the Entity Dimension, Their Relationships and Characteristics

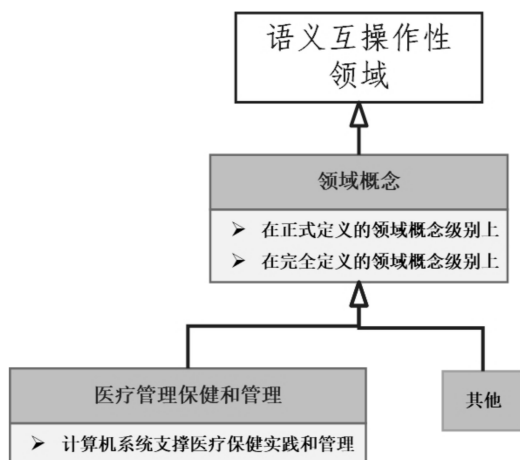


图4 领域维度语义互操作性核心概念及其关系、特征

Fig. 4 Core Concepts of "Semantic Interoperability" in the Domain Dimension, Their Relationships and Characteristics

标准化视角下,实现方式是系统和服务中解决信息和数据互联互通、互信互认、精准治理和协同问题的关键枢纽。现有研究反映的大部分语义互操作性问题往往集中于这一维度(见2.1),并围绕语义互操作性的框架和模型等方面取得了一些成果。在国际标准中,可参考ISO/IEC JTC 1 SC 32 制定的ISO/

IEC 19763 互操作性元模型框架(MFI, Meta-model Framework for Interoperability)系列标准、ISO/IEC 11179 元数据注册(MDR, Metadata Registry)系列标准、ISO/IEC TR 20943 实现元数据注册表内容一致性的程序系列标准、ISO/IEC 20944 元数据注册表互操作性和绑定(MDR-IB, Metadata Registries Interoperability and Bindings)系列标准、ISO/IEC 21838 顶层本体(TLO, Top-level Ontologies)系列标准确定数据格式和通信协议,对语义互操作内容进行标准化处理。

3.4 标准化视角下的语义互操作性概念体系提出及特征分析

基于语义互操作性的10种相关定义核心概念和特征的分析结果,绘制得到语义互操作性的核心概念和概念关系图,构成语义互操作性核心概念体系,如图6所示。

根据该概念体系,本文将语义互操作性定义为互操作性的一种,在正式定义或完全定义的领域概念中,两个或多个系统或服务通过指定的数据格式、通信协议和标准化内容等实现方式,进行信息或数据共享,使系统或服务整体具备联通性和可解释性的能力。

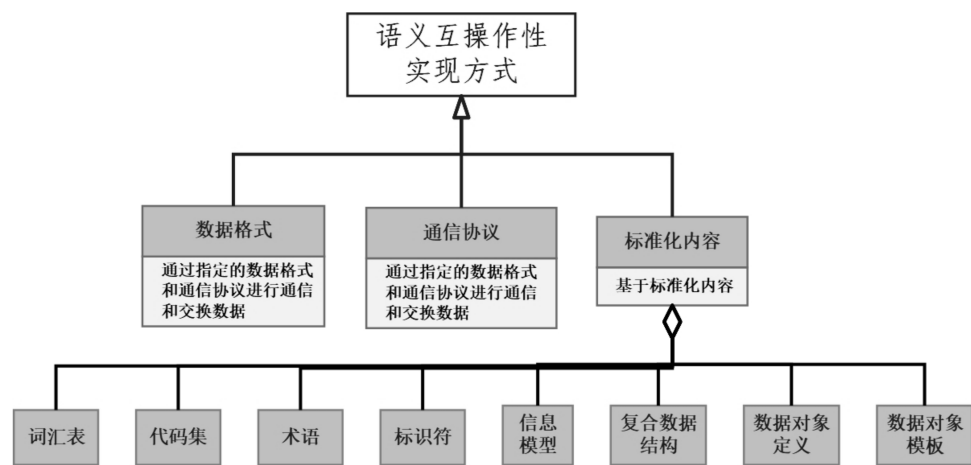


图 5 实现方式维度语义互操作性核心概念及其关系、特征
Fig.5 Core Concepts of “Semantic Interoperability” in the Implementation Dimension, Their Relationships and Characteristics

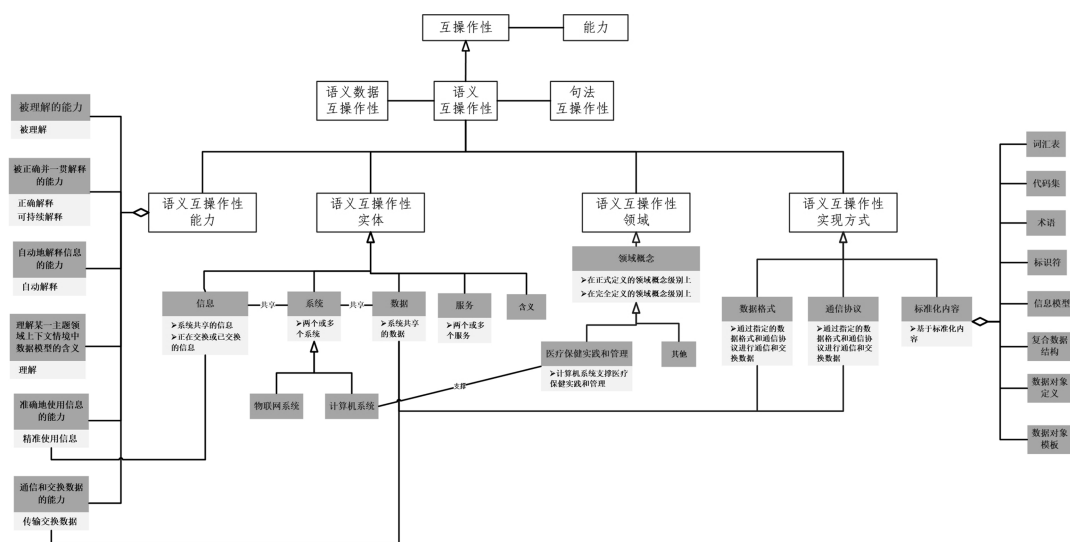


图 6 基于国际标准的语义互操作性概念体系
Fig.6 Concept System of “Semantic Interoperability” Based on International Standards

在此基础上，进一步将语义互操作性的特征聚焦到领域、实体、实现方式和能力四个维度上，如图 7 所示。结合 3.3 的分析，四个维度的特征保障不是相互孤立的，其相关性极强。具体的功能要求包括：第一步，需确定语义互操作性的领域，明确其概念层满足正式定义和完全定义的要求，以及划定应用层所属领域；第二步，需要对语义互操作性涉及的相关实体进行梳理，如在技术支持上确保两个或多个系统或服务完成理解和解释语义的准备，在对象上明确互操作的信息、数

据及相关的模型；第三步，需要满足传输和交换数据的方式及互操作内容标准化治理的要求，不仅要使该互操作领域及跨领域的数据格式和通信协议达成一致，还要对相关内容（词汇表、代码集、术语、标识符、信息模型、数据结构、数据对象定义、数据对象模式）进行标准化治理；第四步，释放可解释和联通的语义互操作性能力，实现实体对语义的正确、自动、可持续解释，实现实体能主动理解或被理解，实现实体通过精准使用信息或传输交换数据进行互联互通；第五步，语义

互操作性能力对相关领域完成互信互认和精准协同赋能。由此，基于标准化治理的内容，通过指定的传输和交换数据方式，实现语

义互操作相关实体间在特定领域中、跨领域间的语义可解释、联通和赋能的循环。

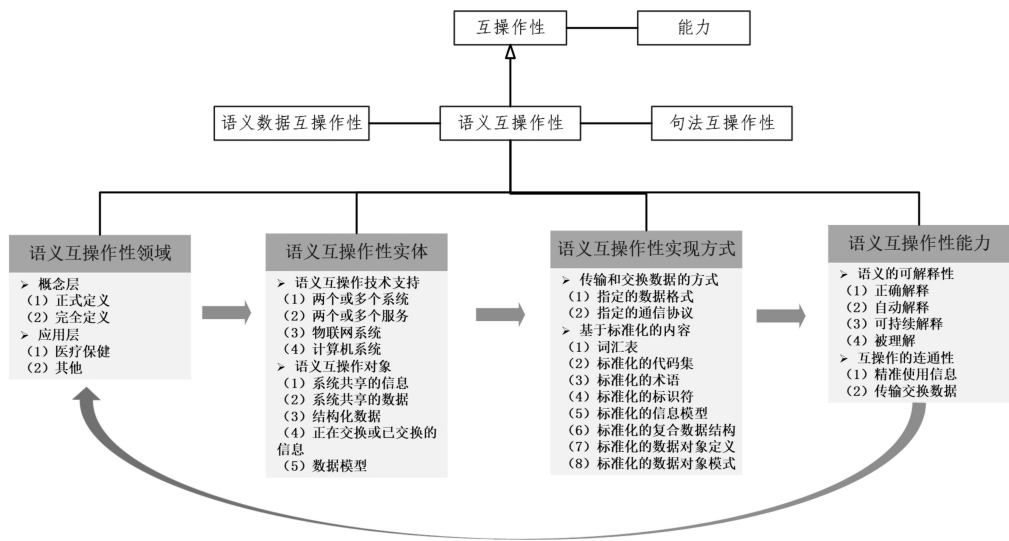


图 7 基于国际标准的语义互操作性特征

Fig. 7 Characteristic of “Semantic Interoperability” Based on International Standards

4 “语义互操作性”概念体系应用:案例研究

4.1 案例选择依据

为了验证语义互操作性概念体系的实用性和指导性，本文选择智慧城市领域的国际标准研制案例进行验证。该案例的合理性和与语义互操作性核心概念的契合点在于：其一，根据国家标准，“智慧城市”是运用信息技术，有效整合各类城市管理系统，实现城市各系统间信息资源共享和业务协同，推动城市管理和公共服务智慧化，提升城市运行管理和公共服务水平，提高城市居民幸福感和满意度，实现可持续发展的一种创新型城市^[30]，可见智慧城市是一个正式定义和完全定义级别上的领域概念；其二，国际标准是由国际标准化组织制定并使公众可及的标准，是面向公众提供服务的载体，不同的智慧城市国际标准代表多个不同的服务；其三，智慧城市的定义反映出其与语义互操作性的关联，即，智慧城市既涉及到了系统、信息等语义互操作性的核心概念，又包括共享、协同等重要特点，无论是智慧城市的标准内容还是

标准研制过程，均与语义互操作性概念密切相关。智慧城市是人、流程、数据和事物智能互联的结果，代表了万物互联（IoE）范式的优秀案例研究，实现智慧城市愿景的主要挑战之一便是如何在物联网实体之间提供无缝互操作性^[31-32]。此外，智慧城市应用数字技术和信息技术，是人工智能应用的重要领域，可作为研究人工智能时代语义互操作性的重要切口，其具有跨领域、跨系统等特征，是比较典型的语义互操作场景。

然而，在现实中，智慧城市系统互联互通的问题仍然是其痛点问题之一。运用语义互操作性概念体系对智慧城市领域的国际标准进行分析，可以检验该领域国际标准掌握语义互操作性概念含义和能力要求的程度，对智慧城市领域国际标准中的语义理解、解释、联通、互操作进行现状总结和差距发现。

4.2 智慧城市领域相关标准的选择

为了有效开展案例研究，本文统一了研究智慧城市领域语义互操作性的相关国际标准，选择依据为标准内容与语义互操作性的定义对象和特征相关。共选择了四项相关国际标准，分别为：IEC SRD 63235: 2021 智慧

城市系统 概念构建方法论^[33]（D1、D2、D3、D5 相关）；IEC 60050-831 国际电工术语 (IEV) 第 831 部分：智慧城市系统^[34]（FDIS 阶段，D5 相关）；IEC SRD 63476-1 智慧城市系统本体 第一部分：缺口分析^[35]（CDTS 阶段，D5 相关）；IEC SRD 63188：2022 智慧城市 智慧城市参考架构方法论^[36]（D6、D7、

D8、D10 相关）。

4.3 案例语义互操作性特征映射和功能要求分析

4.3.1 案例语义互操作性特征映射

对智慧城市领域相关国际标准的语义互操作性特征进行映射，如表 2 所示。

表 2 智慧城市领域国际标准语义互操作性特征映射

Table 2 Mapping of “Semantic Interoperability” Characteristics with International Standards in Smart Cities

特征维度	一级特征	二级特征及要求	IEC SRD 63235:2021	IEC 60050-831 (FDIS 阶段)	IEC SRD 63476-1 (CDTS 阶段)	IEC SRD 63188:2022
能力维度	语义的可解释性	正确解释			V	V
		自动解释		V	V	V
		可持续解释			V	V
		被理解	V	V	V	V
	互操作的联通性	精准使用信息		V	V	V
		传输交换数据			V	V
实体维度	语义互操作技术支持	两个或多个系统	V	V	V	V
		两个或多个服务				
		物联网系统	V	V	V	V
		计算机系统				
	语义互操作对象	系统共享的信息				
		系统共享的数据				
		结构化信息				
		正在交换或已交换的信息			V	V
领域维度	概念层	正式定义	V	V	V	V
		完全定义	V	V	V	V
	应用层	医疗保健				
		其他	V	V	V	V
实现方式维度	传输和交换数据的方式	指定的数据格式			V	
		指定的通信协议				
	基于标准化内容	标准化的词汇表	V	V	V	V
		标准化的代码集				
		标准化的术语	V	V	V	V
		标准化的标识符				
		标准化的信息模型	V		V	V
		标准化的复合数据结构				
		标准化的数据对象定义			V	V
		标准化的数据对象模板			V	V

映射结果表明，所选的智慧城市领域国际标准在能力维度、实体维度、领域维度、实现方式维度均体现了语义互操作性的特征。特征覆盖了四项标准的结果体现了被理解、跨两个或多个系统、物联网系统、正式和完全定义的领域概念、标准化的词汇表和术语是目前智慧城市领域国际标准实现和保障语义互操作

性的重要特征。

特征出现了 1—3 次的结果表明了目前智慧城市领域比较重视的语义互操作性要求，包括：①提升可持续解释、正确解释和自动解释的语义可解释能力；②提升精准使用信息和传输交换数据的互操作联通能力；③将正在使用或交换的信息作为语义互操作对象；④通

过指定的数据格式、标准化的信息模型、标准化的数据对象定义和模板实现语义互操作性。

而特征未出现过的结果体现了当前智慧城市领域国际标准语义互操作性实现不足之处,主要为:①语义互操作性的实体方面,缺少两个或多个服务的技术支持,系统共享的信息、系统共享的数据和结构化信息待进一步纳入语义互操作对象;②语义互操作性的实现方式上,缺少指定的通信协议传输和交换数据,也缺少基于标准化的代码集、标识符和复合数据结构三种类型标准化内容的互操作。

从语义互操作性特征映射结果来看,目前智慧城市领域国际标准在研制中,要有效实现标准互操作性和可持续性的目标,需着重考虑两方面:①明确语义互操作性实体,在智慧城市领域国际标准的研制过程中,需在全过程明晰共享的关键信息和数据、结构化数据及服务支持,这些互操作性实体在这一领域应是一致而关键的,是促进该领域标准统一理解和协同发展的关键;②加强标准数字基础设施建设,面向标准数字化转型的未来,实现代码集、标识符和复合数据结构等关键要素的互操作,形成该领域内所研制标准的数据模型,进一步实现可持续的语义互操作性。

4.3.3 语义互操作性概念体系的应用启示

围绕语义互操作性概念体系,智慧城市领域的人工智能实践提升语义互操作性有以下路径启示:①遵循一致的数据标准,提高计算

机系统对语义的理解和处理能力;②提升数据质量,保障准确性、完整性、一致性和可靠性,提高计算机系统理解和处理数据的正确性;③促进数据共享互联互通,保障数据在不同的计算机系统之间共享和交换。

5 总结与展望

本文在人工智能等技术发展和数字化转型的背景下,从语义互操作性的能力要求模糊现状出发,基于国际标准分析了语义互操作性的术语定义,识别出语义互操作性的功能要求和能力特征,构建了基于国际标准的语义互操作性概念体系。研究结果表明,实现和提高语义互操作性需要前端的标准化思想,即在系统建设之初便要基于某一特定对象概念,对其内容描述、能力等进行顶层设计,打好互联互通的语义互操作性基础。

“语义互操作”的核心概念体系不仅指明了语义互操作性本身的属性特征,将来还有望在相关场景广泛应用。例如,在图书情报和数据科学领域,用于指导规范化地描述、传输标准数据;在政务服务领域,可促进一网通办、一网统管的语义互操作性能力提升和政府绩效提高;在计算机和信息技术领域,有助于改进 ChatGPT 等大语言模型的底层语料基础和提高预测的准确性。

附录下载地址: <https://pan.baidu.com/s/1zYwx7jX0d9VPJPwQ0I9eAQ?pwd=6bnt>, 提取码:6bnt

参考文献

- [1] European Commission. Data Act: Proposal for a regulation on harmonised rules on fair access to and use of data [EB/OL]. [2023-09-25]. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/data-act-proposal-regulation-harmonised-rules-fair-access-and-use-data>.
- [2] European Commission. Proposal for a European interoperability framework for smart cities and communities (EIF4SCC) [EB/OL]. [2023-09-25]. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f69284c4-eacb-11eb-93a8-01aa75ed71a1/language-en>.
- [3] European Commission. Interoperable Europe Act[EB/OL]. [2023-09-25]. https://commission.europa.eu/system/files/2022-11/com2022720_0.pdf.
- [4] National Institute of Standards and Technology. Interoperability[EB/OL]. [2023-09-25]. <https://www.nist.gov/itl/voting/interoperability>.
- [5] 吕元智. 数字档案资源体系的语义互操作实现研究[J]. 档案学通讯, 2013(5): 53-57. (Lv Y Z. Research on semantic interoperability of digital archives resource system[J]. Archives Science Bulletin, 2013(5): 53-57.)
- [6] 肖希明, 颜邓邓. 基于本体的公共数字文化资源整合语义互操作研究[J]. 国家图书馆学刊, 2015, 24(3): 43-49. (Xiao X M, Wanyan D D. Research on ontology-based semantic interoperability of public digital cultural resources integration[J]. Journal of the National Library of China, 2015, 24(3): 43-49.)

- [7] 贾君枝, 李捷佳. 基于关联数据的语义互操作研究[J]. 情报理论与实践, 2017, 40(8): 131-134, 111. (Jia J Z, Li J J. Research on semantic interoperability based on linked data[J]. Information Studies: Theory & Application, 2017, 40(8): 131-134, 111.)
- [8] Du H, Xue Y, Zhao J, et al. An integrated framework for semantic interoperability in internet of things-enabled environments[J]. IEEE Access, 2018, 6: 14808-14820.
- [9] Wang L, Zhang D, Wang S. An ontology-based semantic interoperability framework for internet of things[J]. Sensors, 2016, 16(2), 1-24.
- [10] 何克清, 王翀. 大数据表示与服务的语义互操作方法及其标准[J]. 信息技术与标准化, 2013(10): 10-13. (He K Q, Wang C. Semantic interoperability method and standard of big data representation and service[J]. Information Technology & Standardization, 2013(10): 10-13.)
- [11] Sankaralingam S, Hsieh K Y, Goh D H. An ontology-based approach for achieving semantic interoperability in industry 4.0[J]. International Journal of Advanced and Applied Sciences, 2018, 5(12): 27-33.
- [12] 夏翠娟. 数字图书馆的语义互操作及其实现[D]. 上海: 华东师范大学, 2005. (Xia C J. The realization of semantic interoperability in digital library[D]. Shanghai: East China Normal University, 2005.)
- [13] 刘炜. 基于本体的数字图书馆语义互操作[D]. 上海: 复旦大学, 2006. (Liu W. Ontology-based semantic interoperability for digital libraries[D]. Shanghai: Fudan University, 2006.)
- [14] 刘成山, 赵捧末, 刘怀亮. 基于本体的数字图书馆语义互操作模型[J]. 现代情报, 2009, 29(8): 66-69, 74. (Liu C S, Zhao P W, Liu H L. Semantic interoperability models of digital library based on ontology[J]. Journal of Modern Information, 2009, 29(8): 66-69, 74.)
- [15] 毕强, 韩毅. 语义网格环境下基于元数据本体的数字图书馆互操作研究[J]. 图书情报工作, 2009, 53(15): 17-20, 82. (Bi Q, Han Y. Interoperation research based on metadata ontology in digital libraries under semantic grid environment[J]. Library and Information Service, 2009, 53(15): 17-20, 82.)
- [16] 曾蕾, 王晓光, 范炜. 图档博领域的智慧数据及其在数字人文研究中的角色[J]. 中国图书馆学报, 2018, 44(1): 17-34. (Zeng L, Wang X G, Fan W. Smart data from libraries, archives and museums and its role in the digital humanity researches[J]. Journal of Library Science in China, 2018, 44(1): 17-34.)
- [17] 王晓光, 谭旭, 夏生平. 敦煌智慧数据研究与实践[J]. 数字人文, 2020(4): 11-23. (Wang X G, Tan X, Xia S P. Research and practice of Dunhuang smart data[J]. Digital Humanities, 2020(4): 11-23.)
- [18] 赵薇. 数字时代人文学研究的变革与超越——数字人文在中国[J]. 社会科学文摘, 2022(2): 11-14. (Zhao W. The transformation and transcendence of humanities research in the digital age—Digital humanities in China[J]. Social Sciences Digest, 2022(2): 11-14.)
- [19] 吴鹏, 高升, 甘利人. 电子政务信息资源语义互操作模型研究[J]. 中国图书馆学报, 2010, 36(2): 77-82, 122. (Wu P, Gao S, Gan L R. A study of a model of semantic interoperability of e-government information resources[J]. Journal of Library Science in China, 2010, 36(2): 77-82, 122.)
- [20] 付清涛, 龚建华, 戴钰璵. 欧盟电子政务核心词汇表及应用[J]. 指挥控制与仿真, 2021, 43(2): 133-140. (Fu Q T, Gong J H, Dai Y C. European union e-government core vocabularies and its application[J]. Command Control & Simulation, 2021, 43(2): 133-140.)
- [21] 董克, 谢芳芳, 张晓娟. 政府信息资源元数据语义互操作模式研究[J]. 电子政务, 2017(8): 58-64. (Dong K, Xie F F, Zhang X J. Research on semantic interoperability model of metadata of government information resources[J]. E-Government, 2017(8): 58-64.)
- [22] 汤圣君, 朱庆, 赵君峤. BIM 与 GIS 数据集成: IFC 与 CityGML 建筑几何语义信息互操作技术[J]. 土木工程信息技术, 2014, 6(4): 11-17. (Tang S J, Zhu Q, Zhao J Q. Towards interoperating of BIM and GIS model: Geometric and semantic integration of CityGML and IFC building models[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2014, 6(4): 11-17.)
- [23] 崔巍. 用本体实现地理信息系统语义集成和互操作[D]. 武汉: 武汉大学, 2004. (Cui W. Using ontology to achieve the semantic integration and interoperation of the geography information system[D]. Wuhan: Wuhan University, 2004.)
- [24] 屈振新. 政务信息系统语义互操作研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2010. (Qu Z X. Research on semantic interoperation for e-government information system[D]. Wuhan: Wuhan University, 2010.)
- [25] 刘学博. 基于 MFI 语义互操作的信息模型与映射注册研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2016. (Liu X B. Research on information model and mapping registration based on semantic interoperability of MFI[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2016.)

(下转第 135 页)

- system[J]. Journal of Modern Information, 2019, 39(12): 149-159.)
- [41] De Keyser A, Verleye K, Lemon K N, et al. Moving the customer experience field forward: Introducing the touch-points, context, qualities (TCQ) nomenclature[J]. Journal of Service Research, 2020, 23: 433-455.
- [42] DiMaggio P J, Powell W W. The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields[J]. American Sociological Review, 1983, 48(2): 147-160.
- [43] Liang H, Saraf N, Hu Q, et al. Assimilation of enterprise systems: The effect of institutional pressures and the mediating role of top management[J]. MIS Quarterly, 2007, 31(1): 59-87.
- [44] 孙瑞英, 王浩. 新制度主义理论视域下激发我国政府数据开放驱动力的博弈分析[J]. 信息资源管理学报, 2020, 10(2): 29-36. (Sun R Y, Wang H. Game analysis for stimulating the driving forces of government data open from the perspective of new institutionalism theory[J]. Journal of Information Resources Management, 2020, 10(2): 29-36.)
- [45] Martínez-Ferrero J, García-Sánchez I M. Coercive, normative and mimetic isomorphism as determinants of the voluntary assurance of sustainability reports[J]. International Business Review, 2017, 26(1): 102-118.
- [46] Villena V H, Dhanorkar S. How institutional pressures and managerial incentives elicit carbon transparency in global supply chains[J]. Journal of Operations Management, 2020, 66(6): 697-734.
- [47] Zhang W, White S. Overcoming the liability of newness: Entrepreneurial action and the emergence of China's private solar photovoltaic firms[J]. Research Policy, 2016, 45(3): 604-617.
- [48] 李一然, 王刊良, 于媛, 等. “面向信息管理与信息系统的研究方法应用与实践” 专刊前言[J]. 信息资源管理学报, 2023, 13(3): 4-5, 168. (Li Y R, Wang K L, Yu Y, et al. Preface of the special issue on "application and practice of research methods to information management and information system" [J]. Journal of Information Resources Management, 2023, 13(3): 4-5, 168.)

(收稿日期: 2023-07-03)

(上接第 68 页)

- [26] ISO. Terminology work and terminology science — Vocabulary: ISO 1087: 2019[S]. Geneva: ISO Copyright Office, 2019.
- [27] ISO. Terminology work — Principles and methods: ISO 704: 2022[S]. Geneva: ISO Copyright Office, 2022.
- [28] ISO, IEC. Information technology — Criteria for concept systems: ISO/IEC 5394: 2024[S]. Geneva: ISO Copyright Office, 2024.
- [29] ISO. Internet of things (IoT) - Interoperability for IoT systems - Part 3: Semantic interoperability: ISO/IEC 21823-3: 2021[S]. Geneva: ISO Copyright Office, 2021.
- [30] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 智慧城市 术语: GB/T 37043—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018. (State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Smart city—Terminology: GB/T 37043—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.)
- [31] Pan American Health Organization, World Health Organization Americas. Introduction to semantic interoperability [EB/OL]. [2023-10-12]. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55417/PAHOEIHIS21023_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [32] Nagowah S D, Ben Sta H, Gobin-Rahimbux B. A systematic literature review on semantic models for IoT-enabled smart campus[J]. Applied Ontology, 2021, 16(1): 27-53.
- [33] IEC. Smart city system-Methodology for concepts building: IEC SRD 63235: 2021[S/OL]. [2023-10-10]. <https://webstore.iec.ch/publication/63690>.
- [34] IEC. International electrotechnical vocabulary (IEV) — Part 831: Smart city systems: IEC 60050-831 ED1[S]. Geneva: IEC Copyright Office, 2024.
- [35] IEC. Systems reference deliverable (SRD) smart city system ontology — Part 1: Gap analysis: IEC SRD 63476-1 ED1[S]. Geneva: IEC Copyright Office, 2023.
- [36] IEC. Smart cities reference architecture methodology: IEC SRD 63188: 2022[S]. Geneva: IEC Copyright Office, 2022.

(收稿日期: 2023-10-13)