

水污染防治技术信息网格构建研究

王明虎, 李迎峰

(西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 目前我国缺乏有效的环境技术信息共享机制, 导致环境治理最佳可行技术推广水平低, 不能满足环境治理的技术需求。为更好地指导全社会在生产和生活中采用先进的环境技术, 本文在设计水污染防治技术元数据标准和环境技术评估元数据标准的基础之上, 利用智能 Agents 和元数据映射技术构建了水污染防治技术信息网格, 并分别详细地阐述了国内和国际间两种不同的技术共享模式和运行机制, 尤其是元数据查询与技术实体调用的具体实现方式。新构建的水污染防治技术信息网格不仅能够对环境治理技术进行评估、筛选和推荐, 还实现了一站式环境信息服务。

关键词: 水污染防治技术; 信息网格; 元数据映射; 元数据; 智能 Agents

中图分类号: X52

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2020)06-0918-07

Research on construction of water pollution prevention and control technology information grid

WANG Minghu, LI Yingfeng

(School of Management, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: At present, the lack of effective environmental technology information sharing mechanism in China has led to the low popularization level of Best Available Techniques. In order to better guide the whole society to adopt advanced environmental technology in industrial and domestic environments, both the metadata standard of China pollution control and prevention technologies and the metadata standard of China environmental technology verification are designed and the intelligent agents-based information Grid for water pollution control and prevention technologies are established. The discussion is focused on the process of sharing, searching and invoking the wanted technologies. The newly constructed Water Pollution Control Technology Information Grid can not only evaluate, select and recommend the environmental treatment technology, but also realize one-stop environmental information service.

Key words: water pollution control technology; information grid; metadata mapping; metadata; intelligent agents

为更好地实现节能减排和环境保护目标, 指导全社会在生产和生活中采用先进的环境技术, 国务院明确指示: 加快环境信息系统建设, 实行信息资源共享机制; 扩大国际环境合作与交流, 积极引进国外先进环保技术与管理经验。要有效地实现这个目标, 环境技术共享平台建设必不可少。

1 国内外研究现状及意义

1.1 国内外研究现状

国外的环境技术信息化主要集中在环境技术一站式服务方面, 典型代表有: 美国环保署建立了一套完善的环境数据共享平台, 为有效地制订政策和决策提供技术支撑; 欧盟也组建了类似的共享环境信息系统(SEIS)。

国内的环境技术信息化则偏重水环境管理决策支持系统方面, 虽然起步较晚, 但发展较快, 尤其在流域水环境管理以及防洪决策等方面进行很多研究, 并且取得了大量成果。典型代表有: 太湖流域管理局、河海大学和荷兰 Delft 水力实验室联合研发了太湖流域水量水质管理决策支持系统; 天津大学李锡研究过水库电站群长(短)期优化调度决策支持系统; 清华大学翁文斌等人对京津唐地区水资源决策支持系统进行了研究; 长江水利委员会与南京水文水资源所等单位共同开发了“长江防洪决策支持系统”; 黄河水利委员会组织有关人员开发了“黄河防洪防凌决策支持系统”; 太湖防汛指挥系统总体设计组设计了太湖流域防洪决策支持系统; 辽河工程大学开展了环境评价决策支持系统研究, 设计

了大气环境影响评价与预测、水环境影响评价与预测、土壤环境影响评价与预测、噪声环境影响评价与预测及区域环境影响评价等五大子系统, 采用数据库、模型库和知识库三库体系, 取得了较好的效果。

1. 2 建设水污染防治技术信息网格的意义

在信息网格中, 每个节点均可访问整个信息网格中的所有节点数据。因此, 如果建立基于信息网格的水污染治理技术分享平台, 就能高效地促进、整合和推广各种先进的水污染治理技术。

(1)可以推动水污染治理技术创新, 促进技术商业化, 为水环境治理提供及时有效的技术支持。

(2)有利于推广标准化的水污染治理技术评估流程, 以提高技术评估机制的科学性和客观性, 这些评估方法也可为建立和选择示范工程提供科学依据。

(3)通过建设水污染防治技术信息网格, 实现资源整合、优势互补, 使企业、环保部门等能够方便、快捷地从国内外渠道了解前沿的水污染治理技术现状、适用范围、治理效果、经济及环境效益等信息, 从而科学地选择最佳治理技术。

(4)为各级环保部门的管理决策提供真实可靠的技术支撑, 以提高决策的科学性和实效性。

2 数据资源分析及元数据构建

2.1 污染防治技术数据资源分析

污染防治技术数据涉及废弃物处理技术的各个方面, 包括废水处理、废气处理、噪音处理、固废处理等; 按照与污染治理之间的紧密度并考虑各行业自身特征可将污染防治技术数据划分为企业综合信息数据、生产工段技术数据、废弃物处理技术数据、某些行业所需特性数据四种, 具体如图 1 所示。

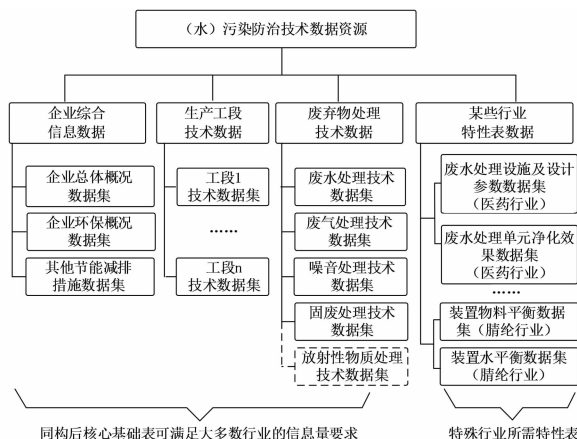


图 1 (水)污染防治技术数据资源结构图

Fig. 1 Structural chart of water pollution control technology

2. 1. 1 企业综合信息数据

(1)企业总体概况数据集. 企业总体概况数据集被整合为“企业总体概况表”, 主要包括企业基本信息、生产工艺流程及排污节点示意图、产品、产能、产量、原辅助材料、污染排放物等数据。

(2)企业环保概况数据集. 企业环保概况数据集被整合为“企业环保概况表”, 主要包括环保员工人数、环保设施总投资、环保设施年运行费用、企业每年在环保方面的投入能否承受、是否通过 ISO14000 环境管理体系评估、是否实施清洁生产审核、安装了哪些在线监测系统、企业所采用的环保技术在同行业中所处水平、现行污染排放标准、企业在环保方面有哪些政策需求及建议等数据。

(3)其他节能减排措施数据集. 其他节能减排措施数据集被整合为“其他节能减排措施表”, 主要包括技术措施描述及设备概况、技术来源、设备投资与运行维护费用、节能减排效果分析等数据。

2. 1. 2 生产工段技术数据

每个行业甚至每个企业的生产工段都不太可能完全一致, 所以工段数是不确定的, 因此将完整生产流程中的每个工段数据集都整合为对应的一张“工段信息表”。“工段信息表”主要包括工段技术名称、技术来源、技术总投资、管理维护费用、关键设备信息、主要技术特性指标、指标完成情况、工段资源能源消耗情况、工段污染物产生情况等数据。

2. 1. 3 废弃物处理技术数据

(1)废水处理技术数据集

废水处理技术数据集被整合为 1 张或多张“废水处理技术表”, 主要包括技术基本信息、技术原理及工艺流程图、技术成本及效益信息、技术效果等数据。

(2)废气处理技术数据集

废气处理技术数据集被整合为 1 张或多张“废气处理技术表”, 主要包括技术基本信息、技术成本、治理效果等数据。

(3)噪音处理技术数据集

噪音处理技术数据集被整合为“噪音处理技术表”, 主要包括噪声源、噪声类别、Leq、标准值、超标率、超标原因及影响程度、拟采取措施、投资估算等数据。

(4)固废处理技术数据集

固废处理技术数据集被整合为“固废处理技术表”, 主要包括固废综合利用情况、固废处置情况、固废贮存情况等数据。

2.1.4 某些行业所需特殊数据

通常情况下,企业总体概况表、工段技术信息表(多工段)、废水处理技术信息表、废气处理技术信息表、固废处理信息表、噪声处理信息表(选填)、其他节能减排措施、企业环保概况表这 8 类表足够体现各个行业的所需信息量;但某些行业因其特殊性,还需增加些额外的数据。如医药行业在这 8 个表的基础上还需废水处理设施及设计参数表和废水处理单元净化效果表。

2.2 污染防治技术元数据构建

要有效地共享污染治理技术必须首先构建相应的元数据标准,大量资料显示目前尚无体系化的环境技术类元数据标准。由于各行业甚至企业都有各自的特色和需求,导致防治技术信息量不等,结构不同,降低了共享价值;同时发布共享技术信息的部门并非唯一。

如果我国建立污染治理元数据标准,不仅便于推广环境 BAT 技术(最佳可行性技术),更可以避开发达国家“绿色壁垒”,利于出口。加之企业对污染防治技术存在实实在在的迫切需要,有必要抓紧时间构建符合我国国情的水污染防治技术元数据标准。

本文在详细研究 15 个典型水污染行业所涉及的污染防治技术的基础上,立足我国国情,参考国内外主流元数据标准,将污染防治技术元数据细化分为一张元数据基本信息表(尽量简化)、一张 BAT 特征信息表和八张子信息表;同时也建立了一套与其有一定关联关系的 ETV 元数据表。具体如图 2。

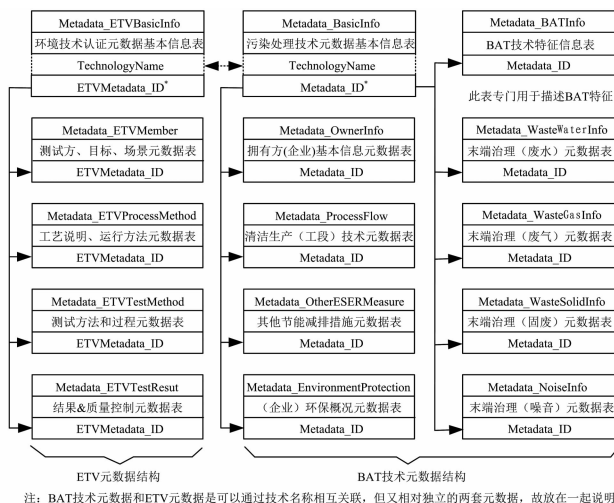


图 2 (水)污染防治技术元数据结构图

Fig. 2 Metadata structure chart of pollution control

考虑到污染本就划分为水污染、大气污染、固体废弃物和噪声污染四大类,因此在设计元数据标准时统一加上了废气、固废和噪音治理技术元数据表,该部分作为选填项;这样也利于将本元数据标准推广为污染防治技术统一元数据标准(不再局限于污水处理)。

3 水污染防治技术信息网格构建

3.1 信息网格虚拟组织构建

在设计虚拟组织时,既要考虑我国事业单位管理体制的实际情况,又要兼顾各节点想独自掌管自己一切数据资源的意愿。本文设计的信息网格虚拟组织中各节点都用一个 Local LDAP 用来存放本节点的元数据;同时全国共用一个 Global LDAP 来存放各节点的位置信息和资源描述信息,因该 Global LDAP 将被建议放置在中国环境科学研究院节点上,所以也可将中国环境科学研究院节点视为中国的主节点。

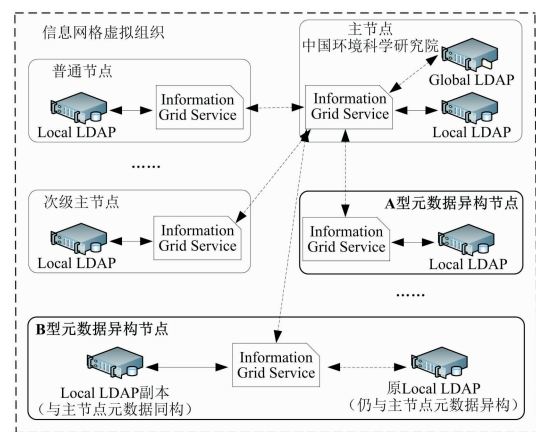


图 3 污染防治技术信息网格虚拟组织

Fig. 3 The virtual tissue of pollution control technology

虚拟组织中的每个节点都可以通过 Information Grid Service 提供的 Register Agent 和 Unregister Agent 动态地组建或撤销,一个新的节点即可选择成为主节点的根节点,也可以选择成为其他节点的子节点,从数据共享的角度来看都没什么区别;但是,主节点可以直接动态的调用每个节点在注册时就定好的该节点访问其他节点的权限,所以真正的控制权是由主节点代国家有关部门掌握。

Information Grid Service 由 Java 运行环境和一些智能 Agents 组成,可以动态地组建信息网格虚拟组织,监控本地节点的各种资源,映射异构元数据,为信息网格应用模块提供监控、查询和调用

接口等。Information Grid Service 中的 Agents 根据功能可以分为 Register Agent、Unregister Agent、Monitor Agent、Judge Agent、Mapping Agent、Translate Agent、Update Agent、LDAP Agent、Query Agent、Access Agent、Security Agent、Trade Agent、Invoke Agent 等。

3.2 信息网格中心节点构建

中心节点运用地理信息系统、数据库技术、计算机可视化技术、目录服务技术、门户网站集成等技术,通过建立包括水污染防治最佳可行技术、政策法规、设备与装置、环境标准、排放标准、示范工程等信息在内的数据库,来及时发布和更新各种水污染防治技术信息,并建立网上发布制度,还可以通过查询、检索、咨询等功能引导政府部门、企业及公众使用者采用最佳可行的技术,促进最佳可行技术的推广,为达标排放和节能减排做贡献。

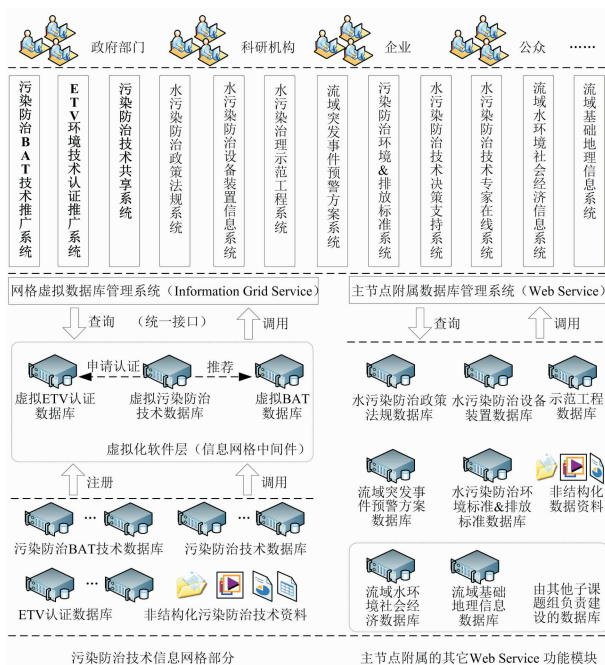


图4 信息网格中心节点系统框架

Fig. 4 System frame of the control node of information grid

3.3 异构节点间共享实现方式

在水污染防治技术信息网格中,所有节点都必须无条件采用或适应污染防治技术元数据标准,对极个别已建污染防治技术数据库的节点,如果尚未建立元数据,则按此标准建立;如果已建立元数据标准,则必须适应该标准,虽然到目前为止还没有发现其它类似标准,但不排除以后出现的可能。为了使异构元数据节点“采用或适应”新标准,本文设计了一套利用 Mobile Agents 和元数据映射技术实现异构元数据共享的方案。

元数据异构的节点要加入信息网格虚拟组织时,先在线提出申请,获批准后主节点给其发送一个 Register Agent 完成节点注册;注册后节点再发送一个 Judge Agent 到该节点判断该节点元数据标准是否与节点异构;是异构则再次发送 Mapping Agent 到该节点以便对其进行元数据同构化。

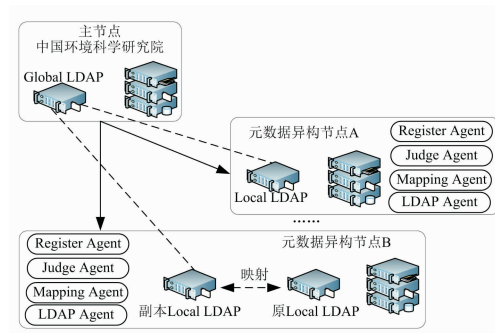


图5 元数据异构节点间共享实现方式

Fig. 5 The way to the shared ncealigation among metadata nodes

Mapping Agent 包含两部分:元数据字段映射模块和字段转化模块。Mapping Agent 调用 LDAP Agent 对节点 Local LDAP 进行修改、复制等操作,最终使异构元数据与主节点元数据同构。

在同构时,节点有两种选择方案:其一是把原元数据直接同构为主节点元数据标准,但如果以后注销节点时不能恢复原结构(如图5中的异构节点A);其二是复制 Local LDAP,将副本同构为主节点元数据标准并注册进 Golbal LDAP,然后在原 Local LDAP 和副本 Local LDAP 间永久驻留一个 Monitor Agent,一个 Mapping Agent 和一个 LDAP Agent 以便同步更新(如图5中的异构节点B)。方案二的好处是如果注销该节点只需删除副本 Local LDAP,原节点一点没改变。

4 国际间共享污染防治技术信息网格

4.1 国际异构主节点间元数据同构研究

考虑到在实际的国际技术交流中,即使发达国家同意与我国共建或对接环境技术信息网格,也绝不可能以我国为主,同理我国也不会以发达国家为主;Mobile Agent 也不太可能随随便便就移动到对方的节点上运行;元数据标准估计也不太可能采用为我国制定的标准。因此,要成功组建国际污染防治技术信息网格,必须要做到各国地位平等;并且访问行为不能增加他国节点的数据安全隐患,即不

可能让别人的 Mobile Agents 在自己的节点上随便运行。综合以上因素考虑,本文设计出一种对等结构的国际污染防治技术信息网格运行模式(图6),该模式不同于国内信息网格的地方主要体现在如何在两个异构的跨国主节点间实现元数据共享。

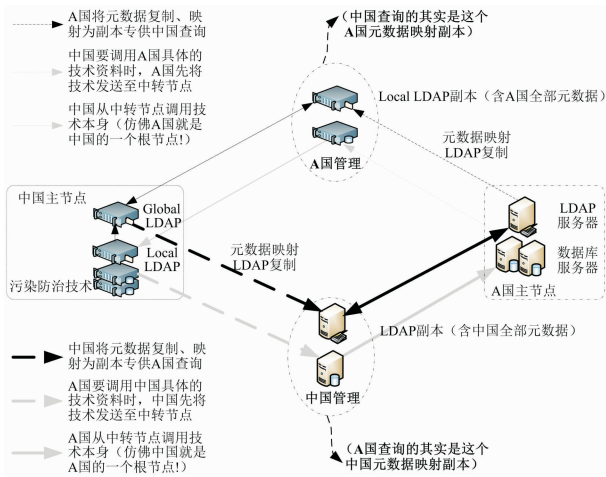


图6 跨国异构的主节点间共享元数据示意图

Fig. 6 Metadata shared between major nodes

4.2 国际信息网格虚拟组织构建

国际污染防治技术信息网格的虚拟组织和国内基本一致,唯一不同之处就是主节点多出个代表他国的映射节点。两个跨国异构的主节点是完全对等的关系,互相视对方节点为自己的一个特殊些的根节点。这样设计的优点如下:

(1)安全。别国只能操作本国为其提供的映射节点(该映射节点替代整个本国节点与对方交流),平时映射节点与本国网格断开,元数据信息只是随机同步。

(2)适应性强。各国之间不用在意对方采用的数据标准、网格架构等,映射节点也可以动态的注册和注销自己。一旦与一国建立对接,也就间接和与之相关联的国家都建立了对接。

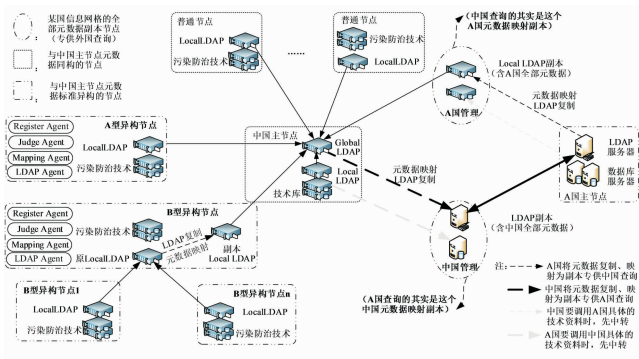


图7 跨国信息网格虚拟组织图

Fig. 7 Virtual organization of information grid

4.3 基于 Mobile Agents 的跨国资源调用过程

(1)用户在刚进入系统进行操作时,系统首先为用户生成一个 Security Agent,该 Agent 将跟随用户的所有活动一起移动,以实现传递安全证书的作用,任务完成后自毁;

(2)向 Global LDAP 发出 Query Agent,初步筛选出那些节点具有所需技术的元数据信息;根据符合要求的节点数自我复制,对这些节点进行并行查询;将查询到的元数据信息返回用户并汇总;

(3)用户根据技术的元数据信息判断那个是自己最需要的。免费的技术根据元数据提供的位置信息,系统可直接为用户调回;查询到国外的收费技术后,如果想购买该技术,则通过 Trade Agent 向基金监管处申请资助,获批后则向基金监管处先付30%的技术购买费,监管处收到后替企业补足余款,再代支付;如果基金监管处审批不同意,用户需自己全额购买;监管处必须审核欲购技术的综合效益才能决定是否资助;

(4)用户以在线或离线的方式获得所购技术或免费技术。

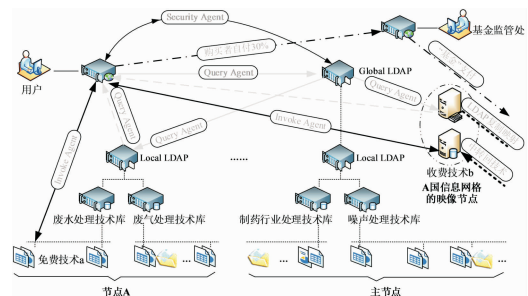


图8 基于 Mobile Agents 的信息网格资源调用过程

Fig. 8 Mobile Agents based information grid resources application

5 信息访问安全策略

污染防治技术信息网格将系统安全策略分为身份评估和访问控制评估两个步骤。

(1)身份评估。在通常情况下,用户与网格节点资源建立联系之前都必须通过相互鉴别的过程。如果用户需要与多个节点资源联系,就必须多次访问私钥文件,即需要多次输入密码,使得相互评估的过程很繁琐。污染防治技术信息网格采用 Globus 安全基础设施方案,对 SSL 协议进行了扩展,使之具有安全委托能力。通过创建安全代理来减少用户必须输入口令得到私钥的次数,在不同的节点之间形成了一个安全信任链。一个代理包含一个新

的证书,这个证书由用户来签署,而不是评估中心。证书中有新的公钥和私钥、用户的标识、代理标记和时间戳。时间戳决定了在一定的时间范围内,这个代理是有效的。当监控网格资源时,需要进行安全身份的鉴别,保证查询者和被查询对象都是虚拟组织中的合法成员。

(2)访问控制评估。在身份评估后,还要进行访问控制的权限评估,确定哪些污染防治技术是允许查询的,哪些是不允许查询的。因为某些新技术可能属于敏感信息,不希望随便被访问。LDAP 提供了一个访问控制的安全模型,根据身份信息对提出的访问请求进行控制。在 LDAP 中存在一个被称为访问控制列表(Access Control List, ACL)的文件,控制各类访问请求具有的权限。ACL 文件中的控制方式具有极大的弹性:即可以在大范围上控制某一类资源可以被某类甚至某个用户访问,还可以具体到资源类中的任何一个属性^[18]。其授权的种类有读、搜索、比较、写这几种,可以单独,也可以组合使用。详细的定制和完善 ACL 文件,可以使目录服务系统提供较好的安全性。另外,节点注册时,Global LDAP 信息数就存有每个节点的“对其他节点的数据查询权限”,Query Agent 在 Global LDAP 上只能看见自己权限所允许访问节点的位置信息,缺乏其他节点的位置信息,Query Agent 自然就不能访问那些受限节点。

6 结论

污染防治技术信息网格所涉及研究范围较广,平台能否顺利构建并高效运营还需考虑以下两个方面:

(1)基于 Mobile Agents 的信息网格具体实现需要多方面的技术知识,本文的研究虽然取得了一定的进展,但对于完美地建立污染防治技术信息网格来说还是稍显不足,部分设计思路和技术方案还需在实际建设中进一步细化和完善。

(2)建设国内和国际级别的污染防治技术信息网格涉及太多非技术因素,国内节点的建设需要相关政府部门牵头或背书,国际节点的建立则需要建立一套稳定的政府间国际合作机制。

参考文献 References

- [1] 李娇,宋永会,蒋进元,等.水污染治理技术综合评估方法研究[J].北京师范大学学报(自然科学版),2020,56(2): 250-256.
- [2] LI Jiao, SONG Yonghui, JIANG Jinyuan, et al. Comprehensive evaluation of water pollution control technologies [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science Edition), 2020, 56(2):250-256.
- [3] 赵晓非,史忠植,刘建伟.基于元数据逻辑无关片断的结构完整性检测方法[J].计算机研究与发展,2020,57(9): 1961-1970.
- [4] ZHAO Xiaofei, SHI Zhongzhi, LIU Jianwei. Structural integrity detection method based on logically independent fragments of metadata [J]. Computer Research and Development, 2020, 57 (9): 1961-1970
- [5] 高学正,孔昭煜,李晓蕾,等.数字地质资料馆元数据编目与服务研究[J].中国矿业,2020,29(5):42-45.
- [6] GAO Xuezheng, KONG Zhaoyu, LI Xiaolei, et al. Research on metadata cataloging and service of digital geological archives [J]. China Mining, 2020, 29 (5): 42-45
- [7] 王新雷,王玥.情报权限制与保障并行视角下的澳大利亚元数据监控制度研究[J].情报杂志,2020,39(6): 38-44.
- [8] WANG Xinlei, WANG Yue. Research on Australian metadata monitoring system from the perspective of restriction and guarantee of intelligence rights [J]. Journal of Information, 2020, 39 (6): 38-44
- [9] HASANZADEH Sepideh Kheirkhah, SAADATPOUR Motahareh, AFSHAR Abbas. A fuzzy equilibrium strategy for sustainable water quality management in river-reservoir system[J]. Journal of Hydrology, 2020, 586: 124892.
- [10] DAVID Arnas, MARCOS Rodríguez. Range searching in multidimensional databases using navigation metadata[J]. Applied Mathematics and Computation, 2020, 386.
- [11] WHITE Dave D, LAWLESS Krista L, VIVONI Enrique R, et al. Co-producing interdisciplinary knowledge and action for sustainable water governance: lessons from the development of a water resources decision support system in Pernambuco, Brazil[J]. Global Challenges (Hoboken, NJ), 2019, 3(4): 1-14.
- [12] 郭芸.城市环境治理技术应用现状及其发展[J].环境与发展,2019,31(7):77-78.
- [13] GUO Yun. Application status and development of urban environmental treatment technology [J]. Environment and Development, 2019, 31 (7): 77-78.
- [14] 王心,魏东洋,胡小贞.水污染防治成套技术系统成熟度评估方法研究[J].环境工程,2017,35(8):15-19+50.
- [15] WANG Xin, WEI Dongyang, HU Xiaozhen. Study on

- maturity evaluation method of complete set of water pollution control technology system [J]. Environmental Engineering, 2017, 35 (8): 15-19, 50
- [10] 吕楠, 赵敬源, 张鹏. 基于 GIS 技术的城市大气污染物扩散模型研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2019, 51(5): 724-728.
- LÜ Nan, ZHAO Jingyuan, ZHANG Peng. Study on urban air pollutant diffusion model based on GIS technology[J]. Journal of Xi'an Univ. of Arch. & Tech., (Natural Science Edition), 2019, 51 (5): 724-728
- [11] 李凯. 基于组件式 GIS 的大气环境评价系统的开发及应用[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.
- LI Kai. Development and application of atmospheric environment assessment system based on Component GIS [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Technology, 2016
- [12] 张政尧, 董增川, 管西柯, 等. 沿海围垦区水资源决策支持系统数据库开发[J]. 人民黄河, 2016, 38(4): 50-53.
- ZHANG Zhengyao, DONG zengchuan, GUAN Xike, et al. Database development of water resources decision support system in Coastal Reclamation Areas[J]. People's Yellow River, 2016, 38 (4): 50-53.
- [13] 李爽; 程承旗; 童晓冲; 等. 基于多级信息网格的海量遥感数据存储管理研究[J]. 测绘学报, 2016(12): 106-114.
- LI Shuang, CHENG Chengqi, TONG Xiaochong, et al. Research on massive remote sensing data storage and management based on multi-level information grid [J]. Acta Sinica Sinica, 2016 (12): 106-114.
- [14] 刘婧. 基于元数据的多源异构海洋情报数据交互共享研究[J]. 情报杂志, 2016(9): 169-173.
- LIU Jing. Research on the interaction and sharing of multi-source heterogeneous marine intelligence data based on metadata [J]. Journal of information, 2016 (9): 169-173.
- [15] 王志增, 史菲菲, 但智钢, 等. 欧美经验对我国环境技术管理的启示[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(S2): 453-456.
- WANG Zhizeng, SHI Feifei, DAN Zhigang, et al. Enlightenment of European and American experiences on environmental technology management in China [J]. Environmental science and Technology, 2015, 38 (S2): 453-456
- [16] 赵霞. 发达国家水环境技术管理体系简介[J]. 工程建设标准化, 2015(9): 67-72.
- ZHAO Xia. Introduction to water environment technology management system in developed countries [J]. Engineering Construction Standardization, 2015 (9): 67-72
- [17] 李小涛; 胡晓惠; 李斌全. 基于两层元数据与本体的异构数据共享技术[J]. 北京航空航天大学学报, 2014, 40(12): 1476-1484.
- LI Xiaotao, HU Xiaohui, LI Binqun. Heterogeneous data sharing technology based on two-tier metadata and ontology[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2014, 40(12): 1476-1484
- [18] 陈小青; 马亚平; 段永强. 基于主题映射元数据的数据库访问和集成系统[J]. 系统仿真学报, 2009(7): 4268-4273.
- CHEN Xiaoqing, MA Yaping, DUAN Yongqiang. Database access and integration system based on topic mapping metadata [J]. Journal of System Simulation, 2009 (7): 4268-4273
- [19] 游赣梅; 廖华明; 李峰. 信息网格中具有动态变更适应性的元数据发布策略[J]. 计算机研究与发展, 2003 (12): 1791-1795.
- YU Ganmei, LIAO Huaming; LI Feng. Metadata publishing strategy with dynamic change adaptability in Information Grid [J]. Computer Research and Development, 2003 (12): 1791-1795

(编辑 吴海西 沈 波)