

# 储气库智慧化要素三维框架研究

彭睿<sup>1</sup>, 杨旻<sup>1</sup>, 谢仲全<sup>2</sup>, 冯博<sup>3\*</sup>, 徐大宝<sup>3</sup>, 梁久正<sup>3</sup>

<sup>1</sup>国家管网集团西南管道有限责任公司, 四川 成都

<sup>2</sup>南充西南石油大学设计研究院有限责任公司, 四川 成都

<sup>3</sup>中国石油天然气管道工程有限公司, 河北 廊坊

收稿日期: 2023年11月28日; 录用日期: 2024年3月5日; 发布日期: 2024年3月 日

## 摘要

储气库智能化是人工智能时代储气库行业发展的终极目标。通过资料收集检索及调研分析, 划分了储气库全生命周期智慧化业务, 包括工程建设、运营维护、废弃封存、质量安全管理四个部分, 其中, 工程建设包括项目规划选址与方案论证、可研与设计、施工与验收三方面; 运营维护包括库区管理、井与地质体管理、调度运行三方面。同时, 总结了各业务模块下的储气库智慧化要素, 构建了储气库智慧化要素三维框架。为更好地解读和理解体系架构的具体内涵, 对三维体系架构进行了二维映射, 对储气库智慧化建设提供了重要的参考。

## 关键词

储气库, 智慧化业务, 智慧化要素, 三维框架

# Research on Three-Dimensional Framework of Intelligent Elements of Gas Storage

Rui Peng<sup>1</sup>, Yang Yang<sup>1</sup>, Zhongquan Xie<sup>2</sup>, Bo Feng<sup>3\*</sup>, Dabao Xu<sup>3</sup>, Jiuzheng Liang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Pipe Network Group Southwest Pipeline Co., Ltd., Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>Nanchong Southwest Petroleum University Design and Research Institute Co., Ltd., Chengdu Sichuan

<sup>3</sup>China Petroleum Pipeline Engineering Co. Ltd., Langfang Hebei

Received: Nov. 28<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 5<sup>th</sup>, 2024; published: Mar. , 2024

## Abstract

Intelligent gas storage is the ultimate goal for the development of the gas storage industry in the

\*通讯作者。

文章引用: 彭睿, 杨旻, 谢仲全, 冯博, 徐大宝, 梁久正. 储气库智慧化要素三维框架研究[J]. 石油天然气学报, 2024, 46(1): 26-33. DOI: 10.12677/jogt.2024.461004

era of artificial intelligence. Through data collection, retrieval, research and analysis, the intelligent business of the gas storage life cycle was divided, including engineering construction, operations and maintenance, scrap and mothball, quality and safety management. Among them, engineering construction includes three aspects: project planning and site selection and scheme demonstration, feasibility study and design, construction and acceptance. Operation and maintenance include reservoir area management, well and geological body management, and scheduling and operation. At the same time, the intelligent elements of the gas storage under each business module were summarized. And a three-dimensional framework of intelligent elements of the gas storage was constructed. In order to better interpret and understand the specific connotation of the system architecture, a two-dimensional mapping of the three-dimensional system architecture was performed, which provides an important reference for the intelligent construction of gas storages.

## Keywords

Gas Storage, Intelligent Business, Intelligent Elements, Three-Dimensional Framework

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

纵观世界各国的天然气储备与调峰手段，储气库是毫无争议的一号主角。相对于 LNG 调峰、气田调峰等其它常规调峰措施，地下储气库具有储气容量大、经济、不受气候影响、安全可靠、能合理调节用气不平衡等优点，成为各国在地质条件允许下最主要的调峰方式[1]。随着国内用气需求的不断增加，我国储气库行业将开启大规模建设。中石油未来 10 年将建设东北、华北、中西部、西北、西南、中东部 6 个区域储气中心，共 23 座储气库。按照“达容一批、新建一批、评价一批”，加快推进储气库建设。对已建成储气库，中石油将加快达容扩容工作。中石化计划在河南省濮阳县及周边区域落实储气库库址 16 个，落实库容  $556 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。“十四五”期间，中石化还将在该区域规划新建 5 个储气库。中海油正积极开展海上储气库研究工作。国家管网及地方企业等也已有“十四五”建设规划。

人工智能、大数据的到来，让“数据驱动”为核心的智能应用成为全球新趋势。以物联网、云计算、下一代互联网技术为代表的新一轮信息技术革命，为信息技术向智能化、集成化方向发展，信息网络向宽带、融合方向发展，信息技术与其他产业技术深度融合提供了重要的技术基础。“智慧储气库”是新一轮信息技术变革和知识经济进一步发展的产物，是工业化与信息化深度融合并向更高阶段迈进的表现，目前已成为行业在未来不断发展的风向标[2]-[9]。在现有储气库管理平台基础上，建立并形成统一的大数据云平台信息系统，构建以一体化模拟为核心的数字化应用平台，打造储气库智能化运行中心。目标是现场全面互联，数据全面说话，实现智能运行；生产全面感知，全程监测预警，实现安全管理；突发应急救援，实现协同指挥；资源全面共享，信息全面融合，实现众协众创。

国外储气库建设和运行管理智能化程度较高，而我国储气库起步晚，信息化建设尚处于初始阶段。目前已建立储气库数据库管理平台(UGSS)，基本实现了对储气库业务的信息存储电子化和过程管理数字化，并开发了基础的应用。随着业务发展及对管理要求的不断提高，现有信息系统不能满足未来智能化、智慧化储气库的发展要求，需进一步深入研究。依托拟建及运营储气库项目等生产实践和科研攻关，遵循“目标明确、结构完整、层次清晰、合理适用、国际接轨”的基本原则，本文以储气库数字化、智能

化为中心，针对储气库业务提炼智慧化要素，构建储气库智慧化要素三维框架，旨在对储气库的智慧化业务内容与需求更加明晰，同时为更好地解读和理解体系架构的具体内涵，对体系架构进行映射，从二维角度展示体系架构各模块的具体内涵，为国内储气库智慧化发展进程提供参考。

## 2. 储气库智慧化要素

### 2.1. 储气库业务划分

储气库主营业务覆盖工程建设、运营维护两阶段。工程建设阶段，包括项目规划选址与方案论证、可研与设计、施工与验收三方面；运营维护阶段包括库区管理、井与地质体管理、调度运行三方面。废弃封存主要对履行报废审批手续或批准核销后进行封堵弃井作业。质量安全管理贯穿工程建设、运营维护、废弃封存三个阶段，提供支持保障。其业务划分如图 1 所示。



Figure 1. The business of gas storage

图 1. 县域等级规划一览表

### 2.2. 储气库智慧化要素

经过对国内众多储气库的调研、资料收集等，总结了储气库各业务下的智慧化要素。其中，选址与方案论证阶段包括库址筛选、协同建库；可研与设计阶段的智慧化要素主要是数字化系统设计；施工阶段的智慧化要素主要是智能工地；在库区管理方面，库区地面完整性管理是其主要的智慧化要素；在井与地质体管理方面，智慧化要素包括井筒完整性管理、地质体完整性管理；在调度运行阶段，智慧化要素包括生产业务高效协同、地下-井筒-地面一体化动态分析、储气库注采运行优化；在废弃封存阶段，暂无智慧化要素；在质量安全方面，智慧化要素包括安全监测与预警、智能一体化管控。储气库智慧化要素详见图 2。

## 3. 储气库智慧化要素三维框架搭建

### 3.1. 智慧管网三维体系架构

储气库三维业务体系架构参考了国内外智慧行业发展现状及趋势[10]-[24]，从生命周期、对象、互操

作三个维度对储气库所涉及到的生产活动、运营管理、智慧化提升等内容进行描述，旨在对储气库的智慧化业务内容与需求更加明晰，指导储气库标准体系的建设。储气库三维业务体系架构如图 3 所示。

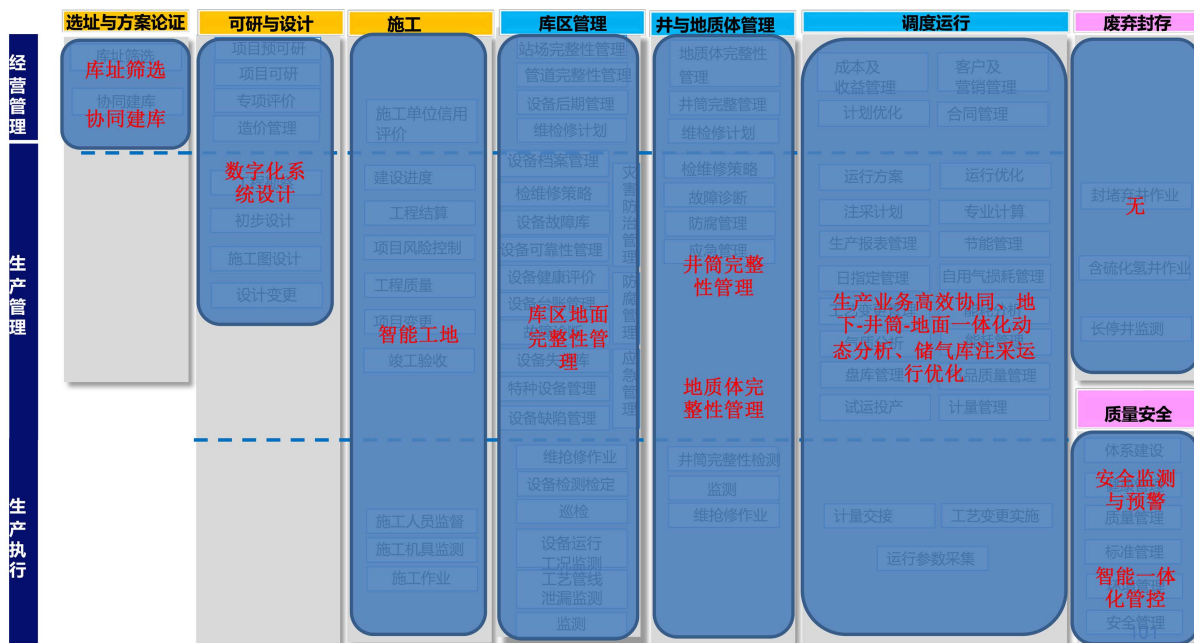


Figure 2. Distribution map of intelligent elements of gas storage  
图 2. 储气库智慧化要素分布图

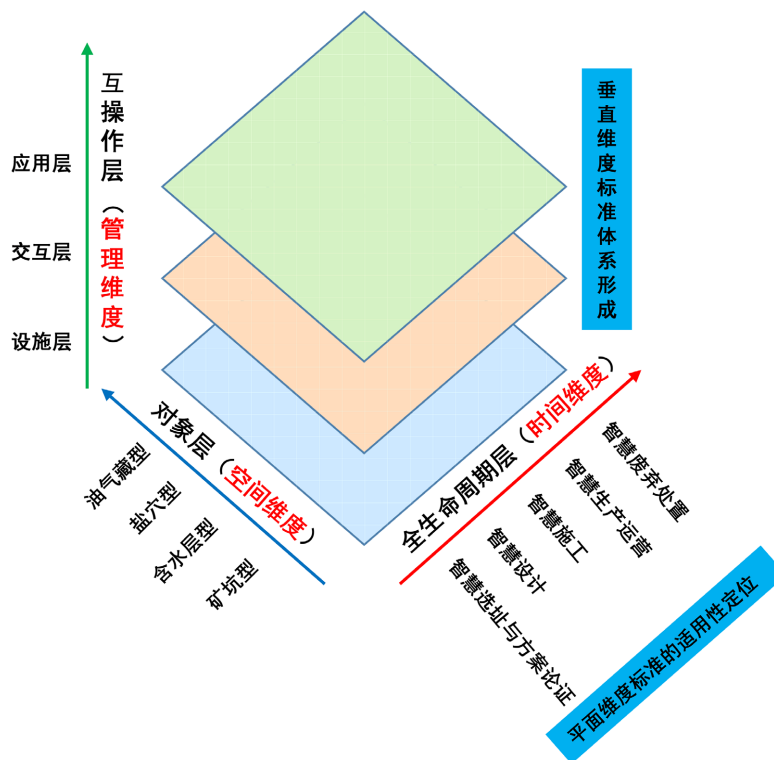


Figure 3. Three-dimensional business architecture of gas storage  
图 3. 储气库三维业务架构

从图 3 可以看出，储气库三维业务框架由时间维度、空间维度、管理维度组成。

时间维度贯穿储气库的全生命周期，主要对储气库智慧化管理的不同阶段进行区分，包括智慧选址与方案论证、智慧设计、智慧施工、智慧生产运营、智慧废弃处置五个阶段。

空间维度由不同的储气库对象组成，即储气库所包含的类型，将对象维度划分为 4 个部分，分别为油气藏型储气库、盐穴型储气库、含水层型储气库、矿坑型储气库。

管理维度主要对储气库的数据流走向和信息交互进行描述，采用自上而下分析方法，围绕从储气库最顶层的业务智慧化需求展开分析，找到满足业务需求的有关功能及实现功能需要的信息和数据，依托信息技术和现代通信技术，进而找到储气库中产生和感知数据的部件。据此，管理维度可划分三个层次，从上到下依次为应用层、交互层和设施层。其中，应用层是指实现智慧管网的各项具体功能和服务；交互层是指完成数据信息的储存、查看、调取、分析的虚拟软件和网络配置，规定系统内部设备设施之间实现信息交互的网络传输协议、数据交换程序、信息对象、数据模型等；设施层是指为实现储气库智慧化运行，提供现场所需数据信息的感知、采集、传输的硬件或软件设施。

### 3.2. 体系架构的映射

储气库体系架构通过三个维度展示了储气库智慧化全貌，为更好的解读和理解体系架构的具体内涵，从管理维度对体系架构进行映射，从二维角度展示体系架构各模块的具体内涵。互操作维度有设施层、交互层、应用层，生命周期维度在互操作的三个层上的映射内容不同，以下分别从互操作的三个层对生命周期维度的映射内容进行介绍。

#### (1) 设施层

**Table 1.** Mapping of objects and lifecycle dimensions at the facility level

**表 1.** 对象和生命周期维度在设施层的映射

对象	生命周期	选址与方案论证	设计	施工	生产运营	废弃处置
油气藏型					管理员驾驶舱建设 腐蚀检测 无人机 传感器 计量设备 压力温度补偿仪表	
盐穴型		设计硬件和软件	设计硬件和软件	卫星 无人机 二维码 移动终端 传感器 内检测器 视频监控设备	人员/机动车辆识别 油品质量检测 设备状态检测 入侵和异常行为检测 违规行为检测 安全管理监测	卫星 无人机 视频监控设备
含水层型					环境保护监测 能耗数据监测 视频监控设备 资产安全状态监测 应急物资状态监测 应急紧急状态监测	
矿坑型					压缩机监测设备 可燃气体检测设备	

## (2) 交互层

**Table 2.** Mapping of objects and lifecycle dimensions in the interaction layer  
**表 2.** 对象和生命周期维度在交互层的映射

对象 \ 生命周期	选址与方案论证	设计	施工	生产运营	废弃处置
油气藏型			物资采购管理系统 合同管理系统 数字化采购系统	地下 - 井筒 - 地面一体化动态分析	
盐穴型	数字化设计平台 设计模型	在线设计 三维设计 数据共享利用 数字化设计平台	工程建设智能化系统 施工管理视频监控系统 竣工资料电子化系统 集团档案管理系统	储气库智能化管理系统 关键设备远程监测平台 模拟仿真系统 机组动态效率监测系统 计量交接电子数据	资产完整性管理系统
含水层型		设计数据 设计模型	施工过程数据 竣工验收数据 设备设施竣工数据	能量计量系统 工业电视监控系统 安全环保管理系统	
矿坑型			数据传输/数据回流与 竣工交付	周界入侵报警系统 远程应急指挥系统平台	

## (3) 应用层

**Table 3.** Mapping of objects and lifecycle dimensions at the application layer  
**表 3.** 对象和生命周期维度在应用层的映射

对象 \ 生命周期	选址与方案论证	设计	施工	生产运营	废弃处置
油气藏型				完整性管理 设备全生命周期管理 关键设备智能化 视频联动融合 无人库安全运行 运行提效降耗	
盐穴型	库址筛选 协同建库	全过程管理 工程项目全生命周期管理及数字化交付 投资建设规划 智慧勘察 智慧设计	工程项目全生命周期管理及数字化交付 工程建设项目管理 智能供应链 智能工地 智慧验收	生产业务高效协同 储气库注采运行优化 无人站控系统自主可控及标准化 物资全数字化移交 数据标准化	资产封存 报废
含水层型		建设工程定额管理	数字化移交	物资全生命周期管理 库区安全及防护智能管理	
矿坑型				储气库智能化 智能调度 安全环保智能化 维抢修智能化	

从表 1、表 2、表 3 可以看出, 施工与生产运营两个阶段在互操作层上的映射内容是最丰富的, 储气库智慧化要素主要集中于施工与生产运营这两个阶段, 也是储气库智能化最重要的两个阶段。

## 4. 结论

本文以储气库数字化、智能化为中心, 针对储气库智能化要素进行了深入研究, 对储气库业务进行了划分, 总结了储气库智慧化要素, 构建了三维框架, 为储气库智慧化发展提供了基础, 取得的主要研究成果如下:

1) 储气库智慧化要素三维体系架构从时间维度、空间维度、管理维度三个维度对储气库所涉及到的生产活动、运营管理、智慧化提升等内容进行描述, 时间维度贯穿储气库的全生命周期, 空间维度由不同的储气库对象组成, 管理维度可划分三个层次, 从上到下依次为应用层、交互层和设施层。

2) 从管理维度对储气库智慧化要素体系架构进行映射, 从二维角度展示了体系架构各模块的具体内涵。研究发现, 储气库智慧化要素主要集中于施工与生产运营这两个阶段, 也是储气库智能化最重要的两个阶段。

## 基金项目

国家管网集团“智慧管网建设运行标准研究”(JCGL202108)。

## 参考文献

- [1] 王树强, 曾晓辉, 王立辉, 等. 国内储气库技术标准发展现状透视[C]//首届地下储库科技创新与智能发展国际会议论文集编委会. 首届地下储库科技创新与智能发展国际会议论文集: 2016 年卷. 北京: 石油工业出版社, 2016: 406-407.
- [2] 税碧垣. 智慧管网的基本概念与总体建设思路[J]. 油气储运, 2020, 39(12): 1321-1330.
- [3] 吴长春, 左丽丽. 关于中国智慧管道发展的认识与思考[J]. 油气储运, 2020, 39(4): 361-370.
- [4] 税碧垣, 张栋, 李莉, 等. 智慧管网主要特征与建设构想[J]. 油气储运, 2020, 38(5): 500-505.
- [5] 聂中文, 黄晶, 于永志, 等. 智慧管网建设进展及存在问题[J]. 油气储运, 2020, 39(1): 16-24.
- [6] 程万洲, 王巨洪, 王学力, 等. 我国智慧管道建设现状及关键技术探讨[J]. 石油科技论坛, 2018, 37(3): 34-40.
- [7] mIQrotech (2020) Predict Leaks before They Happen—How Artificial Intelligence will Help Oil and Gas Companies Predict and Prevent 96% of US Pipeline Leaks in 2018. <http://www.miqrotech.com/>
- [8] Snam Global Solutions (2020) AI for Market Development—Neural Networks for State-of-the-Art Modeling Tools. <https://www.snamglobalsolutions.com/our-case-history/neural-networks.html>
- [9] Business Wire (2020) Robotic Inspection of In-Service Diesel Storage Tank a Success. <https://www.businesswire.com/portal/site/home/>
- [10] 关杰, 白凤香. 浅谈智能电网与智能变电站[J]. 中国电力教育, 2010(21): 251-253.
- [11] 余贻鑫. 面向 21 世纪的智能电网[J]. 天津大学学报, 2020, 53(6): 551-556.
- [12] 盖明辉, 张鹏. 坚强智能电网发展技术的研究[J]. 品牌与标准化, 2014(12): 47.
- [13] 国家电网公司. 国外智能电网发展综述[J]. 物联网技术, 2012, 2(1): 4-8.
- [14] 朱然, 孙冀. 国外智能电网技术发展实践综述[J]. 电子质量, 2016(9): 24-29.
- [15] 胡江秀, 薛惠中. 简析智能电网[J]. 科技创新与应用, 2017(20): 173-174, 176.
- [16] 马民, 秦佳, 杨东升, 等. 人工智能在电力系统中的应用综述[J]. 郑州大学学报(工学版), 2019, 40(5): 22-30.
- [17] 梁锦照, 林志达. 南方电网人工智能平台正式投入运行[J]. 电力安全技术, 2019, 21(10): 44.
- [18] 王飞跃, 孙奇, 江国进, 等. 核能 5.0: 智能时代的核电工业新形态与体系架构[J]. 自动化学报, 2018, 44(5): 922-934.
- [19] 刘强. 智能制造理论体系架构研究[J]. 中国机械工程, 2020, 31(1): 24-36.
- [20] 张祖群. 国内外智慧城市发展动态与基本内涵[J]. 城市管理与科技, 2013(6): 55-58.
- [21] 刘洪民, 刘炜炜. 智慧城市建设理论与实践研究综述[J]. 浙江科技学院学报, 2020, 32(2): 89-95.

- [22] 宋刚, 鄂伦. 创新 2.0 视野下的智慧城市[J]. 城市发展研究, 2012, 19(9): 53-60.
- [23] 王金宝. 浅谈城市大脑与智慧城市发展趋势[J]. 自动化博览, 2020(5): 58-64.
- [24] 臧根林, 王亚强, 吴庆蓉, 等. 智慧城市知识图谱模型与本体构建方法[J]. 大数据, 2020, 6(2): 96-106.