

燃气管道研究热点及发展趋势可视化分析

游栋超¹, 姚立国¹, 林鹏程¹, 黄世杰^{2*}, 韩培锋², 陈代果²

¹中国水利水电第七工程局有限公司, 广东 深圳

²西南科技大学土木工程与建筑学院, 四川 绵阳

收稿日期: 2023年5月28日; 录用日期: 2023年6月18日; 发布日期: 2023年6月30日

摘要

本文以“燃气管道”为主题词, 对2002~2022年CNKI中国知网所搜集到的1200条有关“燃气管道”文献数据进行可视化分析, 以此来分析我国目前燃气管道领域的发展趋势及研究热点问题。研究表明:

1) 自2003年开始, 我国对燃气管道领域的研究开始集中涌现, 在2013~2017年进入大规模、快速发展的阶段。2) 燃气管道的研究热点主要为“泄漏”、“施工”、“数值模拟”等, 关键词共线网络结构相对紧密、密度较高, 能够为后续的研究指明方向。3) “燃气管道”领域仍具有较大的可研究性以及研究价值性, 从事该领域的研究人员和研究机构众多, 能够为该领域的发展提供充足的保障。

关键词

CiteSpace, 燃气管道, 知识图谱, 可视化

Visualization Analysis of Research Hotspots and Development Trends of Gas Pipeline

Dongchao You¹, Ligu Yao¹, Pengcheng Lin¹, Shijie Huang^{2*}, Peifeng Han², Daiguo Chen²

¹Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Shenzhen Guangdong

²School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan

Received: May 28th, 2023; accepted: Jun. 18th, 2023; published: Jun. 30th, 2023

Abstract

With the theme of “gas pipeline”, this paper makes a visual analysis of 1200 pieces of literature data about “gas pipeline” collected by CNKI China Knowledge Network from 2002 to 2022, so as to

*通讯作者。

文章引用: 游栋超, 姚立国, 林鹏程, 黄世杰, 韩培锋, 陈代果. 燃气管道研究热点及发展趋势可视化分析[J]. 统计学与应用, 2023, 12(3): 789-798. DOI: 10.12677/sa.2023.123082

analyze the development trend and research hotspot in the field of gas pipeline in China. The research results show that: 1) Since 2003, China's research in the field of gas pipelines began to emerge in a centralized manner, and entered the stage of large-scale and rapid development in 2013~2017. 2) The research focus of gas pipeline is mainly "leakage", "construction", "numerical simulation", etc. The keywords are relatively tight collinear network structure and high density, which can point out the direction for subsequent research. 3) The field of "gas pipeline" still has great research ability and research value. There are many researchers and research institutions engaged in this field, which can provide sufficient guarantee for the development of this field.

Keywords

CiteSpace, Gas Pipeline, Mapping Knowledge Domain, Visualization

Copyright © 2023 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

燃气管道是将天然气或液化石油气(LPG)输送到工业、商业和住宅场所的管道系统。这些管道通常是地下埋设的,以保证安全性和可靠性。随着我国西气东输战略的逐步进行,国内的燃气管道领域也迎来了许多重要的发展和突破。

在设计燃气管道时,有许多因素需要考虑。这些因素包括:地理位置、管道材料、管道直径、压力、安装方式。燃气管道的安全也是一个重要的问题。燃气泄漏可能导致严重的人身伤害和财产损失。因此,燃气管道必须按照严格的安装规范进行安装,并定期进行检查和维护。

总的来说,燃气管道是一种重要的基础设施,起着提供能源的作用。然而,由于其地下埋设,维护和修理燃气管道也是一项艰巨的任务。因此,在设计和运行燃气管道时,必须考虑安全、可靠性和可持续性。近年来,随着能源需求的增长,燃气管道的建设也在不断增加。未来,燃气管道将继续发挥重要作用,并有望通过改进技术和增加可持续性来提高效率。

由于其自身所具有的潜在危险性,以及各种不确定性因素的存在,发生燃气管道事故的案例也屡见不鲜。例如:2017年7月4日,松原市宁江区繁华路发生城市燃气管道泄漏爆炸事故,事故共造成7人死亡,85人受伤,事故造成直接经济损失4419万元。由此可知,发展燃气管道领域,钻研相关技术难题对我国经济发展和国民安全有着重大的意义。

目前,在国内,许多学者发表了一系列有关燃气管道的文章。如罗涛等[1]基于多孔介质理论和流体力学原理,使用CFD软件在土壤-大气模型下对埋地天然气管道的泄漏扩散过程进行了模拟,研究了不同土壤工况下的泄漏事故发生后的天然气在土壤和空气中的扩散规律和危险区域范围的演变过程,以及泄漏事故发生后1小时内地面上天然气质量流量的变化情况。王文和等[2]对地下燃气管道事故防控技术的现状进行了总结,并将大数据技术应用于地下燃气管道事故防控(包括监测布点、风险评估、风险预警和突发事故应急决策)的各个方面。此外,还对大数据技术在地下管道事故防控中的应用难点及解决措施进行了综述,为中国地下管道事故防控向信息化、智能化方向发展提供了参考。

刘晓宇[3]分析了杂散电流对燃气管道的危害,并通过对杂散电流监测过程和牺牲阳极保护系统的研究,设计研制了用于监测城市埋地钢制燃气管道电位的智能数据采集装置。在工程实践中,该装置取得

了良好的监测预警结果，为城市埋地钢制燃气管道提供了可靠的安全保护。张梅等[4]研究基于燃气管道泄漏时产生的次声波特性，提出了一种定位燃气管道泄漏源的算法。该算法通过建立泄漏源的定位模型，利用传感器节点与泄漏点之间的位置几何关系来确定泄漏点的位置。此算法可以将定位误差控制在 1 m 以内，具有较高的定位精度。

可视化分析通过挖掘数据文本信息来分析某一领域的热点和科学计量，并通过绘制图谱等方法对该领域的知识进行方向分析，具有导航知识的作用[5]。自 CiteSpace 引入中国以来，许多学科领域使用可视化分析来研究和分析自身学科的知识热点和研究方向。如张畅等[6]基于 CiteSpace 对环境因子有关的渔业资源评估进行可视化分析，研究表明环境因子在渔业资源评估中的补充量估算，模型优化，管理方案设置等多方面都有广泛应用。再例如丁琪洵等[7]利用可视化分析软件 CiteSpace，对 Web of Science 核心合集数据库中 2002~2021 年土壤质量遥感研究领域的 1240 篇有效文献进行分析，分析得出未来土壤质量遥感研究将更注重与多学科交融合作，进一步向全球尺度、高精度方向扩展。

2. 数据来源和分析方法

2.1. 数据来源

以“燃气管道”为检索词，选取中国学术期刊网络出版总库(CNKI)作为数据来源进行文献检索，检索时间区间为 2002 年至 2022 年，从中选取 1200 篇有效文献。

2.2. 分析方法

2.2.1. 分析方向

本次研究将主要通过分析作者与机构合作网络以及关键词共现等知识图谱来展开，通过对知识图谱的分析，可以了解该学科的作者和机构的关系，通过关键词的共现度可以判断该学科当前的发展趋势和热点研究方向。

2.2.2. CiteSpace 软件分析

利用 CiteSpace 文献统计分析软件对某个领域的文献进行分析可以得出该领域的科学知识图谱。科学知识图谱是可视化显示知识资源及其关联的一种图形，可以绘制、挖掘、分析和显示知识间的相互关系，在组织内创造知识共享的环境，从而最终达到促进知识交流和研究深入的目的。目前，CiteSpace 已成为我国研究人员分析某个领域的热点、动态、前沿和发展趋势的重要工具。

2.2.3. LLR 对数似然算法

LLR 对数似然算法可以得出某个聚类的紧密程度。Ochia 相似系数能表现出文本之间的共现率

$$\cos(A, B) = \frac{|A \cap B|}{\sqrt{|A||B|}} \quad (A \geq 0, B \geq 0) \quad (1)$$

A, B 分别代表关键词的出现频次， $A \cap B$ 代表关键词的共现频率，所以依据三角函数定理，当 $\cos(A, B) = 0$ 时，A, B 之间关联度为 0，当 $\cos(A, B) = 1$ 时，A, B 之间关联度为最大[8]。

3. 结果与分析

3.1. 文献历年发文量分析

对每年的文献发文数量进行定量分析，从而可以分析出该领域的发展趋势，图 1 所示为 2002 年~2022 年间有关燃气管道相关文献的每年发文数量。

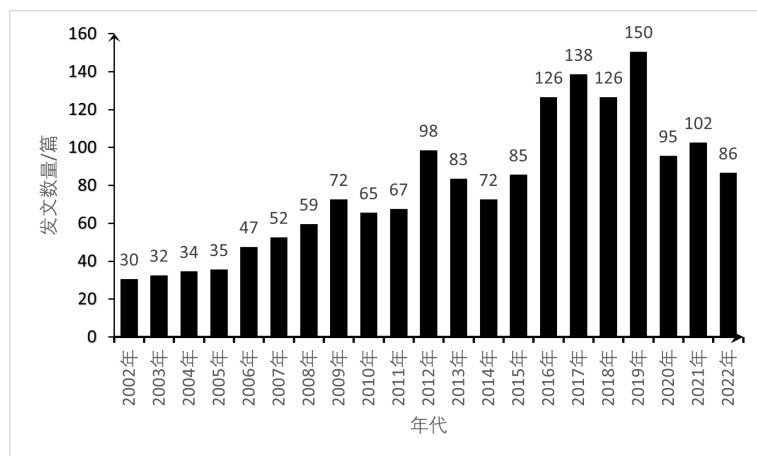


Figure 1. The number of “gas pipeline” in China, 2002~2022

图 1. 2002~2022 年中国“燃气管道”发文数量分析图

根据图 1 可知, 自 2002 年开始, 关于“燃气管道”的年平均文献数一直都超过了三十篇, 在 2019 年时发文量达到最高, 为 150 篇。根据发文量可以推导出, 国内对于“燃气管道”的研究一直是十分重视。

3.2. 文献作者群体分析

CiteSpace 具有分析作者合作关系紧密程度、统计作者发文数量的功能, 图中若作者的文献发表量越多则其节点越大, 节点间的连线表明作者群体之间的合作关系。由图 2 可知, 本次文献作者群体分析共有节点 600 个, 连接 315 个, 网络密度为 0.0018。根据图 2 分析可知, 近二十年来国内有许多的学者都参与了燃气管道这一领域的研究, 但根据可视化图中连线的合作关系可知, 这一领域未能形成较大的学者合作关系网络, 只有少数的合作群体存在。结合表 1 分析可知, 该领域的同一作者发文量较少, 人均发文量仅在三四篇左右, 这说明该领域仍有较大的可研究性。由于该领域的研究人员具有较高的离散型, 从而使得“燃气管道”这一领域的研究方向也随之变得广泛。如高文傲[9]根据实际工况搭建输气管道试验平台, 通过光纤布拉格光栅(FBG)传感系统采集管道壁面振动信息, 使用傅立叶变换和滤波等处理手段分析振动信号频谱。

Table 1. Statistics of published papers by authors of “gas pipeline” in China, 2002~2022

表 1. 2002~2022 年中国“燃气管道”作者发文统计

序号	发文数量/篇	作者
1	7	舒安庆
2	5	周伟国
3	5	王嵩梅
4	5	魏化中
5	5	黄小美
6	4	孙永庆
7	4	彭世尼
8	4	李军
9	4	李夏喜
10	4	李帆

Continued

4	12	北京建筑大学
5	12	华南理工大学
6	9	同济大学机械与能源工程学院
7	9	中国石油大学
8	8	同济大学

本次知识图谱中共有 495 个节点, 142 条连接, 网络密度为 0.0012。根据图 3 可知, 从研究机构的数量来看, 该领域内的研究机构众多, 既有高校参与研究, 也有大型公司参与投资, 这有利于该领域的长远发展。从图 3 中的连线合作关系可知, 在燃气管道领域, 研究机构之间的联系也较为密切, 大多数的合作关系都是基于高校和公司间的合作, 这使得燃气管道领域的发展充满活力。结合图 3 和表 2, 从机构的发文数量以及机构关系网络图中可得出, 北京市燃气集团有限公司在该领域起到了带头作用, 带动高校和大型燃气公司之间的合作, 为该领域的发展做出了突出贡献。

3.4. 关键词分析

3.4.1. 关键词共现图谱分析

通常一篇文献中的关键词往往互相存在着关联, 通过关键词共现分析可以反应学科领域内重要的研究方向, 以及逐年的学科演化与发展, 还可直观体现不同时序内的热点领域、分析视角与研究方法的变化[10]。首先, 在 CiteSpace 中将时间切片 “Year Per Slice = 1”, 取阈值为 Top N = 50 得出关键词的知识网络图谱, 而在此图谱中网络线的颜色反应了首次共被引的时间, 那么整体上从网络线的颜色变化就能了解研究领域的情况, 因此可以通过网络线颜色的变化来考察领域的演进。下图 4 给出了 2002~2022 年燃气管道关键词图谱图。

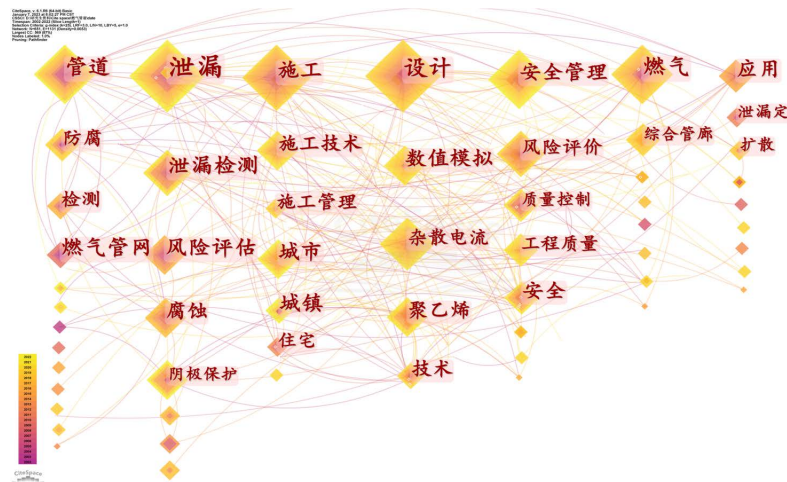


Figure 4. Keywords of “gas pipeline” in China, 2002~2022

图 4. 2002~2022 年燃气管道关键词知识图谱

根据图 4 关键词知识图谱可知, 在 2002~2022 年燃气管道领域研究中, 关键词出现最频繁的是泄漏, 一共出现了 48 次。其次设计、安全管理、燃气出现的频率也较为频繁。对关键词进行量化并取 TopN = 10 的数据, 得到下表 3。

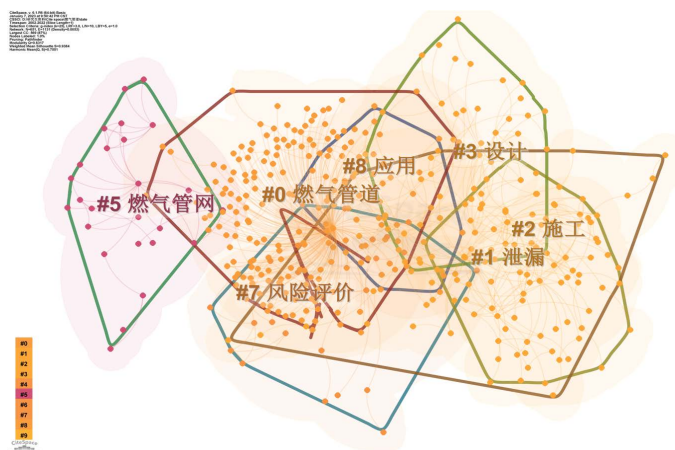
Table 3. Key word centrality of “gas pipeline” in China, 2002~2022**表 3.** 2002~2022 年中国“燃气管道”关键词中心度

序号	关键词	频次	中心度
1	泄漏	48	1
2	设计	36	2
3	安全管理	27	3
4	燃气	26	4
5	施工	24	5
6	城市	23	6
7	数值模拟	23	7
8	管道	23	8
9	杂散电流	22	9
10	安全	20	10

依照表 3 可看出关键词“泄漏”出现频次最高, 达 48 次, 其次“设计”(36 次), “安全管理”(27 次), “燃气”(26 次), “施工”(24 次), “城市”(23 次)等。从中可以看出, “燃气管道”领域主要是围绕“泄漏”这个主题展开, 从设计、检测、施工、数值模拟等多个方面来研究这个主题。例如, 陈坤、林浩等[11]利用 FLUENT 软件模拟了常态机械通风下不同泄漏口朝向、泄漏口位置、管道压力、泄漏口孔径及形状的燃气浓度分布特性, 揭示了多因素影响下的综合管廊复杂受限空间燃气随时间的扩散集聚特性, 有效支撑管廊可燃气体探测器科学布置和事故预警需求。

3.4.2. 关键词聚类 LLR 算法分析

基于 LLR 对数似然算法的聚类分析, 可以得到图 5 所示的燃气管道领域的聚类知识图谱, 从数据可靠度来看, $Q = 0.6317 > 0.3$, 这说明聚类结果显著; $S = 0.9384 > 0.7$, 这说明聚类结果的可信度是非常高的。由图 5 可知, 2002~2022 年间的燃气管道领域研究, 主要以图 5 中 9 大聚类模块展开。对 CiteSpace 所得到的平均年份表分析, 可以得知“燃气管道”学科的发展初期在 2015 年左右, 起步较晚, 但随后的几年里该学科得到了快速的发展。

**Figure 5.** “Gas pipeline” cluster knowledge map in China, 2002~2022**图 5.** 2002~2022 中国燃气管道聚类知识图谱

CiteSpace 中的紧密程度体现每个聚类中的所有关键词的同质性，如果该数值越大，则代表该聚类成员的相似性越高。表 4 中每个聚类紧密程度均大于 0.75，这说明了本次聚类效果很好，同质性强，关键词之间联系紧密。如在“泄漏”聚类中，“数值模拟”、“扩散”和“土壤”的联系最为紧密；在“杂散电流”聚类中，“阴极保护”、“防腐”、“腐蚀”联系最为紧密。

Table 4. 2002~2022 China “gas pipeline” cluster analysis table
表 4. 2002~2022 中国燃气管道聚类分析详表

聚类号	节点数	紧密程度	平均年份	TOP terms (重要关键词)
#0 燃气管道	186	0.881	2014	管道(14.28); 燃气(14.28); 施工(9.46); 泄漏(7.81)
#1 泄漏	59	0.857	2015	扩散(31.67); 数值模拟(31.18); 土壤(22.56)
#2 施工	57	0.811	2015	住宅(22.56); 分析(21.59); 聚乙烯(14.63); 城镇(14.63)
#3 设计	42	0.869	2015	设计(42.02); 城市(27.51); 原因(23.11); 措施(19.18);
#4 安全	37	0.87	2013	安全(26.84); 燃气(23.6); 埋深(16.14); 燃气管道(14.74);
#5 燃气管网	26	0.952	2014	燃气管网(21.74); 建筑物(14.45); 燃气公司(14.45);
#6 杂散电流	24	0.761	2014	阴极保护(29.51); 防腐(27.41); 腐蚀(24.29); 涂层(17.61)
#7 风险评价	24	0.81	2014	地铁隧道(14.02); 腐蚀失效(14.02); 权重(14.02);
#8 应用	20	0.9	2015	工程质量(21.88); 管理措施(21.88); 安全技术(14.54);

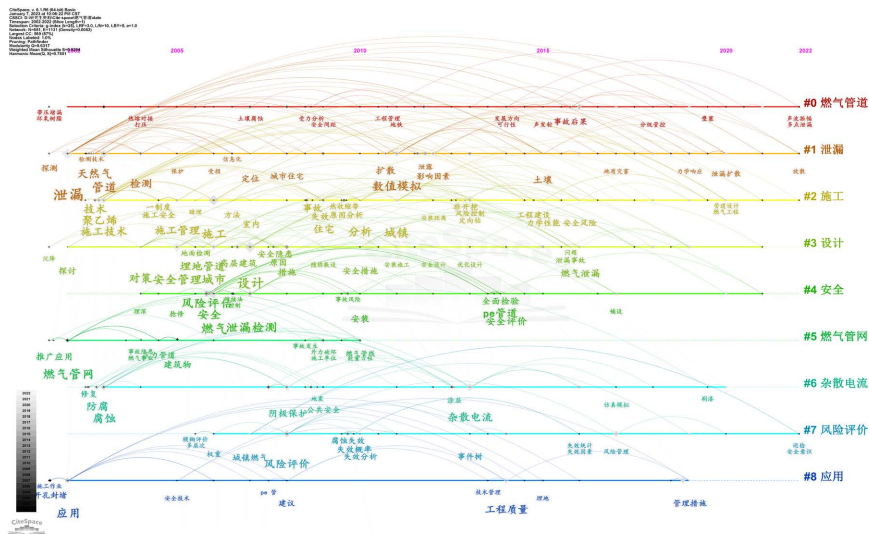


Figure 6. Cluster map of time-line of “gas pipeline” in China from 2002~2022
图 6. 2002~2022 年中国燃气管道时间线聚类图谱

CiteSpace 的时间线图可以清晰直观的体现聚类的时间跨度以及历史进程，对图 6 燃气管道时间线聚类图谱进行分析可以得出：a) 聚类#2 泄漏：研究人员先是从检测燃气泄漏这一角度入手，随后便开始分析燃气扩散的机理，进而研究泄漏出的燃气对土壤的作用效果以及泄漏过程中的力学响应。例如付青云、李尧斌[12]基于燃气管道安全运行的重要性，搭建燃气管道泄漏实验平台，建立孔径大小相等的双泄漏孔燃气管道，研究燃气管道单、双点泄漏的声源特性及传播规律，为燃气管道安全检测提供理论基础。b) 聚类#6 杂散电流：基于杂散电流的客观存在性，研究人员先是对杂散电流的原理进行了研究，随后便从其

引发的腐蚀进行分析,进而发明了阴极保护并根据仿真模拟的结果证明了其阴极保护的有效性。如刘晓宇[13]分析了杂散电流的危害,通过研究杂散电流监测过程、牺牲阳极保护系统,设计研制了管道电位的智能数据采集装置,并应用于工程实践,取得了良好的监测预警结果,为城市埋地钢制燃气管道提供可靠的安全保护。

3.4.3. 研究主题演进与研究前沿分析

CiteSpace 软件的 Burst detection 功能,可以检测到某个时间内频繁使用的关键词,对所检索的文献进行该功能分析可获得 8 个突现词,整理得出如表 5 所示。

从表 5 可知强度最高的突现词为“数值模拟”,在 2017~2022 年间被国内研究人员频繁使用。由于燃气管道自身的复杂性以及进行实际物理研究的可行性较低,近年来研究人员多是采用数值模拟的方法对该领域进行研究。例如杨铮正[14]基于 Midas/GTS 有限元数值模拟,从位移、应力角度研究公路施工对燃气管道的安全影响。通过数值模拟计算得出施工对燃气管道的影响,并较为精确地计算出受施工影响燃气管道发生的位移量、产生的最大拉应力。李琴等[15]采用 MATLAB 进行了数值模拟,得到了杂散电流泄露规律及其对管地电位干扰规律,并对管道防腐层单破损点、双破损点情况下管道的电腐蚀规律进行了分析。从而得出轨道杂散电流泄露量与轨道电位大小成正比,降低轨道电阻可减小杂散电流泄露量。

除此之外,对于“水力计算”也是燃气管道领域研究的热点话题。如赵羽等[16]结合遗传算法与水力计算模型,将城市燃气管网的实际数据与阻力系数辨识后水力计算结果进行对比,以建立与实际情况相符的管网仿真系统。

Table 5. Emergent key word of “gas pipeline” in China from 2002 to 2022

表 5. 2002~2022 年中国“燃气管道”突现关键词

序号	关键词	强度	出现年份	结束年份	持续时间
1	水力计算	3.8	2002	2004	3 年
2	燃气管网	3.66	2002	2010	9 年
3	管道	4.77	2005	2007	3 年
4	负压波	3.47	2006	2008	3 年
5	腐蚀	3.62	2013	2014	2 年
6	阴极保护	3.36	2013	2015	3 年
7	数值模拟	6.01	2017	2022	6 年
8	杂散电流	3.54	2017	2022	6 年

4. 结论与展望

基于中国知网数据库,分析了 2002~2022 年燃气管道领域文献的知识图谱结构,详细阐述了历年发表的论文数量、作者群、机构合作、关键词等。可以得出以下三个结论:

时间线聚类图谱表明:燃气管道领域的研究仍具有十分重要的价值,该研究在 2003 年开始集中涌现,在 2013~2017 年进入大规模、快速发展的阶段,并受到了广泛的关注。根据图上的节点数可以得知,该领域有许多的研究方向能够让研究人员从多方面进行钻研。

关键词知识图谱表明:燃气管道的研究热点主要为“泄漏”、“施工”、“数值模拟”等,关键词共线网络结构相对紧密、密度较高,能够为后续的研究指明方向。

随着该领域的发展,国内对燃气管道的研究方向也随之增多,研究人员可以从多方面对该领域进行学习、研究。根据论文发表数量趋势来看,接下来的几年关于燃气管道的发文数量仍会持续增加,将会有越来越多的学者关注这个领域。

参考文献

- [1] 罗涛,马海峰,胡坤,等.埋地燃气管道泄漏气体扩散机理分析[J].应用力学学报,2021,38(6):2405-2410.
- [2] 王文和,庞吉敏,刘伟,等.大数据技术在城市地下燃气管道事故防控中的应用[J].油气储运,2021,40(5):509-514.
- [3] 刘晓宇.城市埋地钢制燃气管道的杂散电流腐蚀防护监测与预警研究[J].机械设计,2021,38(S1):231-235.
- [4] 张梅,张双双,袁宏永,付明.燃气管道泄漏的次声源定位算法研究[J].电子测量与仪器学报,2020,34(3):187-194.
- [5] 韩增林,李彬,张坤领,李璇.基于 CiteSpace 中国海洋经济研究的知识图谱分析[J].地理科学,2016,36(5):643-652.
- [6] 张畅,鲁红月,陈新军.环境因子对渔业资源评估的影响及研究进展——基于 Citespace 的计量分析[J].海洋湖沼通报,2022,44(6):130-139.
- [7] 丁琪洵,江文娟,童童,王强,马友华.基于 CiteSpace 的土壤质量遥感研究文献计量分析[J].土壤通报,2023,54(3):721-729. <https://doi.org/10.19336/j.cnki.trtb.2022042605>
- [8] 王萍,刘涛,杜萍,杨国林.2000-2017 年中国灾害风险研究的知识图谱分析[J].自然灾害学报,2019,28(4):169-177.
- [9] 高文傲,刘洋,李登科,等.基于光纤监测技术的燃气管道泄漏研究[J].中国安全科学学报,2019,29(8):67-72.
- [10] 李杰等.CiteSpace:科技文本挖掘及可视化[M].北京:首都经济贸易大学出版社,2016.
- [11] 陈坤,林浩,陈洁,等.通风状态下综合管廊燃气管道小孔泄漏扩散模拟研究[J/OL].安全与环境学报,2022:1-11. <https://doi.org/10.13637/j.issn.1009-6094.2022.1480>,2023-06-25.
- [12] 付青云,李尧斌.基于声波法燃气管道单双点泄漏安全检测研究[J].安全,2022,43(7):53-56.
- [13] 刘晓宇.城市埋地钢制燃气管道的杂散电流腐蚀防护监测与预警研究[J].机械设计,2021,38(S1):231-235.
- [14] 杨铮正.基于 midas/GTS 的公路施工对埋地燃气管道的影响分析[J].建筑安全,2021,36(5):17-19.
- [15] 刘新喜,夏元友,蔡俊杰,等.降雨入渗下强风化软岩高填方路堤边坡稳定性研究[J].岩土力学,2007,28(8):1705-1709.
- [16] 赵羽,蔡磊,管延文,等.基于遗传算法的燃气管道阻力系数辨识研究[J].煤气与热力,2022,42(5):1-6+10.