

基于数智化的城市供水混凝投药生产转型

张俊, 夏扬坤

(中南林业科技大学物流学院, 长沙 410086)

摘要: 混凝投药生产是城市供水的一个重要环节, 不仅涉及民生问题, 而且还涉及供水企业的生产成本。通过分析混凝投药生产转型的驱动因素及关键问题, 重点从生产要素和运作管理的角度出发, 分别从城市供水混凝生产的网络化体系变革、生产智能技术的引进、运作管理方式的创新 3 方面进行转型探索, 提出混凝投药生产的“两新三化”转型路线, 为城市供水高质量发展提供解决思路。

关键词: 混凝投药; 城市供水; 数智化

中图分类号: [T-9] **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)21-0212-06

供水行业是一项民生服务产业, 以提高客户业务运行效率为目的, 以解决客户问题为导向, 加强百姓生产生活保障。2022 年国家颁布了新的《生活饮用水卫生标准》, 针对原水水质特征和自来水水质提高的要求, 迫使供水企业需要针对自来水净水工艺“混凝-沉淀-过滤”的传统工艺基础上又进行了多维度不同程度的改造。

从宏观政策上来看, 自 2014 年到“十四五”时期, 国家对水务行业的支持从“发展智能水务”到“发展智慧水务”再到“构建智慧水利体系”的转型。党的二十大报告明确提出“增进民生福祉, 提高人们生活品质”。智慧水务已然成为城市水务行业发展的必然趋势和热点内容, 以应对气候变化、人口增长、城市化进程、老化的基础设施等因素带来的水资源管理挑战^[1]。目前, 城市供水一体化管理存在水务管理能力渐显不足、供水水质能耗浪费等问题, 也直接影响企业经营绩效^[2]。混凝投药生产环节是其中一个最重要的环节, 是供水企业出水品质的重要保障, 是供水改革的方向, 也是行业、学术界的关注重点。

同时, 伴随有关智能制造的政策推出, 数智化激活新业态, 促进新旧生产动能转换的同时提升了生产性服务业的带动力。数智化转型是企业对环境不确定性下让企业焕发新活力的关键行动^[3], 其信息技术的变革及其对产业的重构, 也影响着企业发展的形态及生产质量。根据时代发展和社会需

要, 进行生产数智化转型对供水企业的生存力具有明显的指导作用。混凝投药一直是供水生产过程中的一个研究热点, 不仅具有出水质量的决定性作用, 而且对供水生产成本具有重要的影响。如何高效、有效地实施混凝投药生产决策, 如何降本增效推动城市供水的科学管理和高效运作, 成为城市供水混凝投药生产转型发展的重要考虑因素。本文讨论城市供水混凝投药生产数智化转型的关键问题分析、数智化转型路径研究, 以为城市供水混凝投药生产高质量服务提供建议和对策, 进而推进城市供水数智化快速发展。

1 文献回顾

近年来, 供水企业面临数字经济和数字技术改革创新等一系列机遇与挑战。不少企业的数字技术赋能业务的水平较低, 在建设数字化平台的过程中仅单纯地展示生产数据, 对于企业业务问题的有效解决能力不足^[4-5]。侯煜堃^[6]剖析水务数字化转型面临的堵点和断点, 充分挖掘数据价值, 结合人工智能等技术实现更高效、更准确和更可靠的判断、预测和决策。张新^[7]针对水务发展的趋势, 以数据为支撑, 以模型和智能化算法为核心, 实现数据高质量互联, 供水生产数据价值提升, 进而达到业务运营管理效率、供水生产提质增效、节能减排的目的, 并以某水司的在线模型建设情况及供水业务数字化转型过程中的实际问题为例, 通过分析在线模型的精度变化, 对比分析实时监测数据和模型的

收稿日期: 2024-06-11

基金项目: 湖南省教育厅科研项目(22C0136)

作者简介: 张俊(1978—), 女, 湖南吉首人, 博士, 副教授, 研究方向为生产运作与决策、智慧物流、复杂系统优化; 夏扬坤(1989—), 男, 湖南汨罗人, 博士, 讲师, 研究方向为运筹与系统工程、复杂网络理论与方法、路径规划等。

模拟结果,统筹推进问题解决,促进供水业务整体数字化转型。文献[8-12]也举例证实通过建立一体化平台,控制服务成本,有针对性优化运营管理手段,消除信息孤岛的问题;并且能及时发现工艺问题,并优化转变成经验-理论结合的水厂运行模式。齐鸣等^[10]还以北京市某水厂的智慧水务平台为例进行阐述,以数据为核心对平台总体框架搭建智慧水务结构逐一分析平台建设的步骤、技术难度及所获成果。王浩铭^[11]以武汉某水处理厂为例,从设计、施工和运行维护3方面策划其全过程数字化技术应用路线,改变粗放式管理的方式,实现智能化管理。

由此可见,从水务体系业务数据化到业务智能化的转变是水务发展的趋势之一。数字化思维的变革融合新一代信息技术于水务技术,实现高水平优化决策,确保供水安全^[13]。数字化技术对水质和水量实时监测和管理,实施智能化手段优化生产。目前关注热点之一在于供水内部的混凝投药生产的决策优化研究,主要进行模式分析及建模预测。近年来在模式分析方面的文献不多。李瑞婷等^[14]在分析混凝原理的基础上,借助产生式规则描述控制算法,将控制专家的智能化和现场操作者的经验值融合到控制算法中,实现对混凝投药过程的多模态控制。另外,在预测建模方面,各种理论方法各有特色,建模方法层出不穷,如数学模型法、胶体电荷控制法、流动电流法、智能模型法等。数学模型法需要分析混凝作用的输入输出因素关系,并建立明确的数学模型,对模型参数的准确度高^[15]。数学模型必须建立在对混凝机理的精准认知基础上,但实际的供水情况受时空等因素影响很难做到采用通用的数学式统一表达。而胶体电荷法基本在实验室进行验证,而在现场生产检测就难以实施;流动电流法通过捕捉原水中矾花的脱稳结果进行分析判断,但检测仪器存在差异性以及检测过程中容易形成沉积物而造成仪器维护难度变大、测量可靠性降低的情况^[16]。

与此同时,技术的创新变革以及智慧水务的发展趋势促使更多先进理念和方法出现。李思敏等^[17]指出以机器学习为主流算法的人工智能技术随着水务行业数据量指数级的增长,在水务行业的应用逐渐拓展并不同程度地开展研究,持续推动水务行业数智化转型。而且,大部分智能算法的应用更多地关注混凝投药生产的优化预测及控制策略上,对生产数据进行无监督学习,采用 SVM(支持向

量机)、ANN(人工神经网络)或数据直接驱动等人工智能建模方法构建预测模型^[18-23],从文献统计发现目前以 ANN 建模方法居多。由此可见,在国内城市化发展过程中,重点围绕混凝投药生产转型问题,从管理体系和控制策略等方面促进生产要素的变革,将有助于推进城市水务数智化发展。

2 城市供水混凝投药生产数智化转型分析

2.1 城市供水混凝投药生产数智化转型驱动因素

城市供水生产数智化转型势在必行。简单来说,数智化是数字化和智能化的有机结合,通过多种新型数字技术和智能方法助力传统城市供水生产升级,借助网络感知技术、通信技术、数据库和人工智能构建供水生产数智化运营场景,实现各异构生产系统的完全链接与融合,支持科学计算、预警处理、优化决策等各类生产业务。这意味这一种彻底改造和重建的战略,或选择一种新业务类型的过程^[24]。另外,智能化转型则体现一种生产力的高级形态,强调在数字化和网络化的基础上,实现人、机、网的动态结合,赋予系统感知、分析和决策的能力,从而提高服务质量和生产效率^[25],主要包括生产流程智能化、服务智能化等^[26]。由此可见,数智赋能有利于实现技术与管理的交叉融合^[27]。

2.2 城市供水混凝投药生产关键问题

城市大部分供水厂通常就地抽取区域里自然水源作为原水,同一城市各供水厂的信息化建设普遍存在各自为政的现象,数据没有共享,一直都存在“数据孤岛”现象,导致系统间缺乏集成和整合,无法实现跨地域、跨组织的个体相互协同、沟通及共同解决问题,难以积累经验、调高创新能力。其中的混凝投药生产环节,很多供水厂采用人工控制方式或简单的 PID(比例-积分-微分)控制方式。虽然能基本满足出水水质要求,但是在投加方式、运营管理和制水成本上并没有过多的关注,也无通用且行之有效的方法。综合可知,城市供水混凝投药生产的关键研究问题集中在技术变革和管理体系的变革。

(1)生产技术变革核心探究。生产要素是一切生产活动的必要生产资料,它是社会生产的重要组成部分,也是经济活动中不可或缺的因素。生产要素的实体类型很多,特别是现代化发展过程中,技术、数据信息的融入成为生产要素,为数智化转型又增加新的元素。

生产制造过程离不开技术,技术是生产制造环节最基础、最重要、最根本的创新源泉^[28],也能催生

新型生产方式^[29]。采用传统的投药方式即人工投加方式,普遍为饱和式投药,且调节滞后,不利于生产过程的现代化发展,将现代技术融入城市供水生产运作过程,运用新的运作控制方式,增加生产技术的先进性、适用性等业已成为供水技术变革的关键。关于模型构建,讨论最多的一种策略是人工神经网络建模或是人工神经网络与其他智能技术的复合建模。例如,韩梅等^[18]采用 XGboost(极端梯度提升法)和 BPNN(反向传播神经网络)建立预测模型;余峰等^[19]结合遗传算法建立 BPNN 模型、王艺颖^[20]则结合随机森林、XGboost 和 BP(反向传播)神经网络进行多个智能模型的预测对比研究;张长胜和韩涛^[21]结合量子粒子群算法和改进菌群觅食算法,与 BPNN 结合建立智能预测模型,等等。对比人工和开环投加方式,这些智能技术满足生产技术的改革,但其对于模型的精确度及具体对象的特性把握度要求高,否则效果易受影响。再者,在国内的文献资料中,采用数据直接驱动的相关研究非常少,仅袁微和朱学峰^[22]利用输入输出数据,在性能指标中加入投药量预估误差惩罚因素,实现控制器参数自整定。

(2)生产管理体系变革研究。城市供水投药生产在管理方式进行数智化转型研究上还缺乏先进的理念,也无成熟的经验,但可以借鉴工业、制造业的成熟理念及应用案例。特别是每个供水厂都是城市的一次供水口,确保供水生产服务质量具有非常重要的现实作用。

数字化的出现为城市供水混凝投药生产提供了一种新型的产品架构即分层模块化架构,打破混凝投药“数据壁垒”现象,发展出一种新的生产管理模式,能够集采集、计算、预测、决策等于一体,实现整个供水的全过程可视化。供水生产的重中之重就是混凝投药生产,更是直接决定一次供水水质和供水厂生产成本的重点,更加需要及时高效的运作管理方式来实现数字化转型,进而提升智能化程度。混凝投药生产过程中需要对出水水质进行检测,在很长的时间里都是采用定期实验法进行检测,检验方法人工化,无法实现对其水质变化状态的全程可视化。这种情况下,缺乏便利的信息交流和共享平台,导致政府或其他社会主体在城市供水过程中的监督和约束效果并不明显,对城市智慧化发展无法起到明朗化的推动。总之,城市供水生产的数据拥有方各自独立,限制城市供水变革的进程,导致缺乏规范的综合性的市场监管体制,无法为

生产方或用户方提供更优质的系统服务和技术支撑。

3 城市供水混凝投药生产数智化转型探索

3.1 城市供水混凝投药生产转型路径

综合上述,作为城市供水生产的重要环节,根据混凝投药生产数智化转型关键问题进行探索,如图 1 所示。

(1)实现网络化全方位覆盖是城市供水生产实现数智化转型的首要条件。这就对供水设施设备及控制技术提出改革要求。城市供水生产中,每个供水厂内部的进水泵、增压泵等各类机器的投入运作虽然已常态化,但仍需要进一步完成设备的完全联网,实现生产管理的网络化变革。混凝投药生产过程经历数据感知、网络传输、智能计算、管理运行 4 个主要环节,形成功能清晰的 4 层架构,且每层之间均可通过适宜的网络结构实现,有利于进行信息的相互交互和协同机制。在供水生产过程中,原水水质、设备生产状态参数、环境影响因素及人为变化等形成异构感知数据群,优化计算、管理决策构建异构执行数据群,为城市供水生产的高质量服务和可持续发展奠定现实基础。

(2)智能化技术高度融合在网络化的城市供水生产中,达到生产过程的自动化、智能化和最优化,促进供水生产的数字化和智能化的融合发展。通过技术研究来克服人机交互技术的关键技术,计算智能的方式逐步实现普遍化。长期以来,传统的投药方式采用人工投加方式,普遍为饱和式投药,且调节滞后。直到各类信息技术逐渐引入供水系统,供水投药生产从人工投加方式转变为开环投药方式,

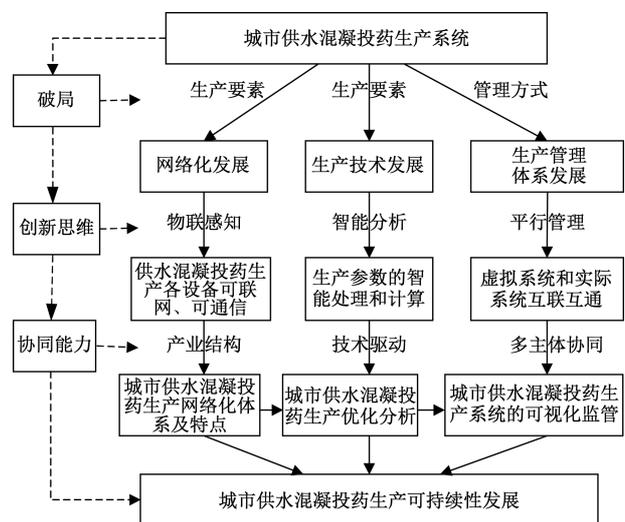


图 1 城市供水混凝投药生产数智化转型探索

再到各类智能化技术的研究和运用。根据已有文献,混凝投药生产控制策略主要分为基于模型和基于数据驱动两种。构建投药生产预测模型是一种主要的解决思路,具体实现的控制策略有多种形式,而直接基于数据驱动,避开建模问题也是在网络化程度日益变广的基础上逐渐兴起的一种新途径。整理发现,在城市供水混凝投药生产的控制策略中,无论采用哪种方法,都需要大量的数据作支撑。在此基础上完成采集、预测、决策等一系列自动化、智能化操作。大量已有的研究成果证明有关智能运作的方式和技术手段实现,在智能化技术和实现途径上还有更加多元化的发展空间。

(3)从生产管理环节关联的视角来看,数智化则体现在生产过程中实现“信息物理系统”,通过感知、人机交互等类人行为实现生产管理、决策等。网络化后的城市供水混凝投药生产可以实现物理世界和虚拟空间的联系,为实现数字化转型和促进智能化升级的重要使能途径,实现监控、仿真、预测、优化等功能,具有一定的指导意义。通过生产数据对其行为及结果进行分析和评估,构建一个虚拟的混凝投药生产现场,通过“模拟计算、预测分析”来评估实际生产现状及其可能的发展趋势;将实际生产系统与计算机虚拟系统进行虚实互动,采用平行方式实施有效地控制和管理,提升混凝投药生产能力和服务,并不断加深其生产规律的探索。

3.2 城市供水混凝投药生产转型趋势

在数字经济时代,数字要素俨然成为企业不可或缺的资源。传统企业要焕发新的动力,就来源于向数智化方向要动力。破局的核心来自思维的变革,进而引领生产的变革,推进城市供水混凝投药生产“两新三化”的变革,其转型路径是多方位的,发展趋势如图2所示。

(1)城市供水各主体可通过网络化实现新的管理体系,进而实现城市供水混凝投药生产数智化转型过程中衍生出“两新”特性即新技术、新模式。新技术为混凝投药生产技术的发展注入新的动力,如人工智能技术为生产技术提供丰富的变革途径。伴随5G(第5代移动通信技术)时代,物联网技术让混凝投药生产网络化程度大大提升,为城市供水完全数字化奠定基础的网路大系统架构;大数据技术提供高级分析方法,其可视化的结果使混凝投药生产的运营管理变得更加精细化。依托物联网、大数据、云计算等,混凝投药生产数字孪生系统将区别于传统的生产信息管理系统,通过沉浸式体验方式

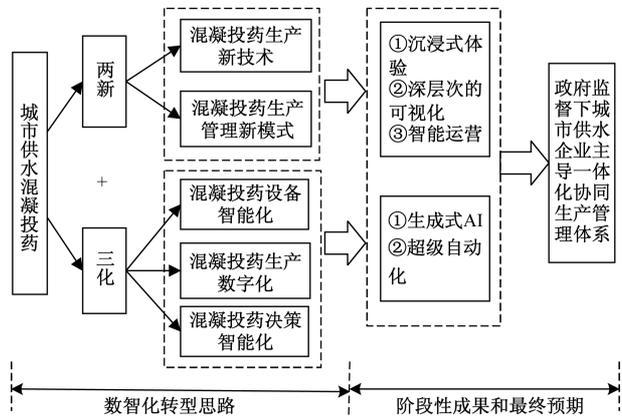


图2 城市供水混凝投药生产发展趋势

进一步增进生产运营的智能化管理。这种管理新模式提供一种虚实融合与实时交互,达到全要素数据驱动的作用,实现迭代运行与优化的智能运营模式,提高企业服务质量,增强企业竞争力。

(2)混凝投药生产不仅涉及软测量问题,还对生产设备提出要求。高新技术的出现促使设备的升级,进而带动混凝投药生产系统朝着高端方向发展,整体展示出“三化”特性。例如,混凝投药生产中各种检测仪器是重要的设备之一,大多数都是只遵循某一种检测原理,即便出现不合理或不理想的结果,也很难发现,更无法提示。智能化的检测仪器能够根据不同的原理进行数据采集传递,具备网络化通信、数据处理的复合型功能,有助于对所有数据集的自主学习提供更好的优质结果,形成生成式AI。生产设备以独立的网络节点存在于混凝投药生产网络系统中,实现生产数据的全数字化过程,并且在控制设备中提供智能化的决策。通过协调使用多种技术来快速识别、审查和自动化尽可能多的生产需求,超越了对技术自身的关注,提升对不确定因素的动态反馈以及生产任务的优化能力,实现一种新的生产作业驱动的方法即超级自动化。

整理可知,城市供水混凝投药生产涉及民生工程,在网络化发展日益广泛的基础上,将高科技信息技术与生产过程结合在一起,打通了混凝投药生产运作的物理世界与生产管理的数字世界。这种“两新三化”的变革为供水各主体提供沉浸式体验及更深层次的可视化,继而朝着更高阶段发展,形成生成式AI或超级自动化,为最终实现一体化协同生产管理体系提供有力的保障。

综上所述,在社会化发展进程中,城市的供水体系中多个主体的融入,实现混凝生产环节的信息共享,在一定条件下有利于城市供水混凝投药过程

中的效率及生产运作能力。并且,智慧水务不断推进,城市供水混凝生产无论是在设备、生产技术还是运营管理等各方面有待于进一步智能化发展,推动整个过程数智化进程。

4 总结

城市供水混凝投药生产作为城市供水过程的重要环节,实施数智化转型是城市供水生产在数字经济时代背景下高质量服务与发展的新主题和必选题。数字化转型促进企业内外部的信息流通,采用数据挖掘、云计算等技术提供强大的数据收集及处理的能力,以便捷的方式获取、整合资源。智能化转型则体现一种生产力的高级形态,强调在数字化和网络化的基础上,实现人、机、网的动态结合,赋予系统感知、分析和决策的能力,从而提高服务质量、生产效率等。结合数智化的发展需求,重点解决混凝投药生产问题实现协同发展也是城市供水生产现代化的必要手段,以混凝生产为重点通过网络化打破各生产主体之间的壁垒,充分利用网络技术、信息技术,有利于新技术的采用和推广,提高生产管理水平,各个有关生产过程的相互协作和合作更合理化、现代化,让生产数智化变成可能。但考虑到城市各供水企业的生产设备和工艺都不尽相同,混凝投药生产乃至整个水务的智能化发展还有很大的提升空间。

参考文献

- [1] 许雪乔,刘杰,林甲,等.再生水厂运营数字化转型的赋智方案及工程实践[J].给水排水,2022,48(1):137-143.
- [2] 孙超平,苏雷,徐本勇.基于DEA模型的我国城市水务企业经营绩效评价研究[J].运筹与管理,2016,25(3):204-210.
- [3] OSTERRIEDER P, BUDDE L, FRIEDLI T. The smart factory as a key construct of industry 4.0: a systematic literature review[J]. International Journal of Production Economics, 2020, 221: 1-16.
- [4] 张金松,李旭,张炜博,等.智慧水务视角下水务数字化转型的挑战与实践[J].给水排水,2021,57(6):1-8.
- [5] 熊少康.智慧水务视角下水务数字化转型面临的挑战及发展趋势[J].工程技术研究,2021,6(9):203-204.
- [6] 侯煜堃.水务人工智能技术基础与应用趋势:数据、模型与优化[M].上海:同济大学出版社,2021.
- [7] 张新.在线模型推动供水企业数字化转型的探索与实践[J].环境工程,2023,41(11):141-147.
- [8] 许雪乔,刘杰,林甲,等.再生水厂运营数字化转型的赋智方案及工程实践[J].给水排水,2022,48(1):137-143.
- [9] 谢善斌,袁杰,候金霞.智慧水务信息化系统建设与实践[J].给水排水,2018,44(4):134-140.
- [10] 齐鸣,陈燕波,张辛平,等.基于多源信息融合的智慧污水处理厂管控平台与应用[J].给水排水,2020,46(1):120-124.
- [11] 王浩铭.数字化技术在水务项目全产业链中的应用研究[J].给水排水,2023,49(8):124-128.
- [12] 王爱杰,许冬件,钱志敏,等.我国智慧水务发展现状及趋势[J].环境工程,2023,41(9):46-53.
- [13] 侯立安.数字化与智能化赋能智慧水务创新发展[J].中国科技产业,2024(6):1-3.
- [14] 李瑞婷,巫茜,刘步青.原水投药净化不确定性复杂过程的多模态控制[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2016,35(2):211-214.
- [15] 唐德翠,朱学峰,邹振裕.城市供水过程最优待滤水浊度数学模型研究[J].水处理技术,2011,37(12):24-27.
- [16] 李培军,谭光仪,李建锋.混凝投药控制技术的现状及发展趋势研究[J].市政技术,2009,27(5):503-506.
- [17] 李思敏,产青青,金鑫,等.机器学习在水务行业中的应用现状与发展前景[J].水电能源科学,2024,42(3):43-48.
- [18] 韩梅,邹放,苑蕊,等.基于机器学习的混凝智能投药模型应用效果及路径探讨[J].给水排水,2022,58(10):180-184.
- [19] 余峰,王珂佳,张文龙,等.基于遗传算法优化BP神经网络的水生态修复原位控浊混凝投药预测[J].环境工程,2023,41(4):154-163.
- [20] 王艺颖.水厂精准混凝投药实时控制系统的构建[J].给水排水,2023,49(5):156-164.
- [21] 张长胜,韩涛,钱斌,等.改进BFO优化BPNN的自来水混凝加药预测[J].中国环境科学,2021,41(10):4616-4623.
- [22] 袁微,朱学峰.水厂混凝投药大滞后过程的数据驱动直接控制方法[J].控制理论与应用,2011,28(3):335-342.
- [23] 王世杰,李一鸣,植殷,等.小样本数据下基于K-Means聚类和集成学习的混凝投药预测[J].环境工程学报,2024,18(1):181-188.
- [24] 詹姆斯·天.大转变[M].李东贤,译.北京:清华大学出版社,2000.
- [25] 钟志华,臧冀原,延健林,等.智能制造推动我国制造业全面创新升级[J].中国工程科学,2020(6):136-142.
- [26] 李廉水,石喜爱,刘军.中国制造业40年:智能化进程与展望[J].北京:中国软科学,2019(1):1-9,30.
- [27] 陈国青,任明,卫强,等.数智赋能:信息系统研究的新跃迁[J].管理世界,2022,38(1):180-196.
- [28] 齐二石,李建国,罗帅.创新驱动的中国制造转型升级路径研究[J].机械设计,2022,39(1):70-74.
- [29] 沈坤荣,乔刚,林剑威.智能制造政策与中国企业高质量发展[J].数量经济技术经济研究,2024,41(2):5-25.

Coagulant Dosing in Urban Water Supply Production Based on the Digital-intelligent Transformation

ZHANG Jun, XIA Yangkun

(School of Logistics, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410086, China)

Abstract: Coagulant dosing is an important part in urban water supply. It not only is related with people's life, but also cost of water-supply production. The driving factors and key problems were analyzed, focusing on essential factors of production and operation management, researches on the network system reform, intelligent technology and management innovation. A digital-intelligent new technology and mode about transformation route for coagulant dosing production is put forward, providing a solution for coagulant dosing production and high-quality development of urban water supply.

Keywords: coagulant dosing; urban water supply; digital-intelligent