

化工园区给排水管网系统水力计算与布局优化研究

郝杰

中国电子系统工程第四建设有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]化工园区给排水设计在总体规划阶段的主要任务就是测算化工园区给排水负荷,管网的定线,确定给排水方案、污水处理方案以及为节水减排设计的中水回用方案。由于化工园区废水成分复杂、用水量大以及安全环保要求严苛,传统给排水管网布局及水力计算方法难满足其发展需求。文章以化工园区给排水管网系统为对象,梳理其组成特性与核心技术要求,探讨水力计算模型及关键参数确定方法,研究多目标管网布局优化策略,构建适配的水力计算与布局优化体系,为系统设计运行提供参考。

[关键词]化工园区; 给排水管网; 水力计算; 布局优化; 多目标决策

DOI: 10.33142/sca.v8i12.18749

中图分类号: TU82

文献标识码: A

Research on Hydraulic Calculation and Layout Optimization of Water Supply and Drainage Pipeline System in Chemical Industrial Park

HAO Jie

The Fourth Construction Co., Ltd. of China Electronics System Engineering, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The main task of the water supply and drainage design in the overall planning stage of the chemical industrial park is to calculate the water supply and drainage load, determine the pipeline network alignment, determine the water supply and drainage plan, sewage treatment plan, and the reclaimed water reuse plan designed for water conservation and emission reduction. Due to the complex composition, large water consumption, and strict safety and environmental protection requirements of wastewater in chemical industrial parks, traditional water supply and drainage pipe network layout and hydraulic calculation methods are difficult to meet their development needs. The article takes the water supply and drainage pipe network system of chemical industrial parks as the object, sorts out its composition characteristics and core technical requirements, explores hydraulic calculation models and key parameter determination methods, studies multi-objective pipe network layout optimization strategies, constructs an adaptive hydraulic calculation and layout optimization system, and provides reference for system design and operation.

Keywords: chemical industrial park; water supply and drainage pipeline network; hydraulic calculation; layout optimization; multi-objective decision-making

引言

化工园区规划是近些年才出现的区域性规划,由于其具有城市区域规划特点,同时又兼有很强的工业区域规划设计特性,属城乡规划中的特殊区域规划,具有很强的行业特点^[1]。随着我国化工产业加速向园区化、集约化转型,给排水管网系统承担着生产用水供给、生活用水保障、生产废水与雨水收集排放的核心功能,化工园区给排水管网运行关乎企业生产、生态环境质量及公共安全,其特殊性在于用水需求多元、安全环保风险高等^[2]。当前部分园区管网存在布局不合理、水力失衡、能耗高、应急保障不足等问题,制约园区的绿色低碳发展。鉴于此,开展化工园区给排水管网水

力计算与布局优化研究意义重大,通过精准的水力计算,可以更加全面地掌握管网系统的水力特性,从而设计科学、针对性的管网,提高供水、排水的可靠性,降低环保风险^[3]。

1 化工园区给排水管网系统组成与特性分析

1.1 管网系统组成

化工园区给排水管网是“供水-用水-排水-处理”闭环系统,由给水与排水管网组成^[4]。给水系统主要涵盖水源取水、净水处理、输水、配水设施及加压泵站、储水设施及输、配水管网等,水源常采用地表水或地下水,净水处理设施依需求进行针对性的处理,以满足水质需求。输水管网将净水厂处理后的水送至园区储水设施;配水管网采

用环状与枝状相结合的布局形式,覆盖园区企业与公共区域,实现用水点精准供水;加压泵站负责维持管网压力,储水设施用于调节水量波动、保障应急供水。其中,储水设施包括清水池、消防水池等,加压泵站用于提升水压,确保管网末端用水压力满足要求。

排水管网系统主要包括污水收集管网、雨水收集管网、提升泵站、预处理设施等。其中,污水收集管网采用分流制布局,分为生产废水管网与生活污水管网,分别收集不同类型的污水;雨水收集管网负责收集园区内的雨水,避免内涝;提升泵站用于提升污水与雨水的水位,确保其顺利输送至污水处理厂或排放口;预处理设施用于去除污水中的大颗粒杂质、漂浮物及部分悬浮污染物,避免后续处理设备堵塞,降低处理负荷与难度。

1.2 管网系统特性

化工园区用水量且水质要求多样,生产用水量大,部分工艺需达到超纯水的相关标准;生活用水量虽然较少,但是必须达到饮用水的相关标准;消防用水既要保证水量充足,又要保障足够水压。排水方面,生产废水排放量大、成分复杂,多含苯、酚等有毒有害物质,部分具有腐蚀性、易燃易爆性;生活污水排放稳定、成分简单;雨水排放量受降雨强度影响显著,具有突发性和不确定性。化工园区给排水管网安全环保要求极高,给水管网泄漏易造成水资源浪费,若泄漏区域存在化工污染物,还可能污染管网内水体;排水管网泄漏则会污染土壤与地下水,甚至引发安全事故。且园区内存在易燃易爆设施,管网设计与运行需规避与这类设施、化工生产装置的空间冲突,降低泄漏引发的安全风险。此外,管网布局受功能分区、地形地貌、企业分布制约,不同分区用水排水需求存在差异,地形影响管网走向与坡度,企业分布决定管网连接方式与管段长度,需精准对接企业用水排水需求。

1.3 核心技术要求

基于化工园区给排水管网特性,其核心技术要求如下:

- ①水力稳定:不同工况下保持流量、压力稳定,满足用水,并保障排水顺畅;
- ②耐腐蚀:管材要耐生产废水腐蚀,防止老化、泄漏^[5]。
- ③安全可靠:抗干扰能力强,能有效应对设备故障、水质异常等情况,配备完善的应急保障机制。
- ④环保达标:污水全收集处理,雨水排放符合标准,减少对水环境影响。
- ⑤经济性:在满足前述要求下,降低建设投资与运维成本。

2 化工园区给排水管网水力计算模型构建与参数优化

2.1 水力计算核心理论基础

给排水管网水力计算以流体力学基本方程为核心理

论基础,具体应用如下:

(1)连续性方程:管网任意节点流入总流量等于流出总流量($\sum Q_{\text{入}} = \sum Q_{\text{出}}$),是流量分配基础,保障流量平衡。

(2)能量方程:对于管网系统中的任意管段,单位重量流体的能量守恒,即 $z_1 + p_1/\gamma + v_1^2/2g = z_2 + p_2/\gamma + v_2^2/2g + h$ 。其中, z 为位置水头, p 为压强, γ 为流体重度, v 为流速, g 为重力加速度, h 为管段水头损失。该方程用于计算管段的水头损失,确定管网各节点的水压。

(3)动量方程:多用于分析管网局部构件(如阀门、弯头、三通)的流体动量变化与作用力关系,为局部水头损失的精准计算提供理论支撑,确保整体水力计算结果的准确性。

2.2 水力计算模型构建

结合化工园区给排水管网特性,分别构建给水管网与排水管网水力计算模型,构建流程如图1所示:

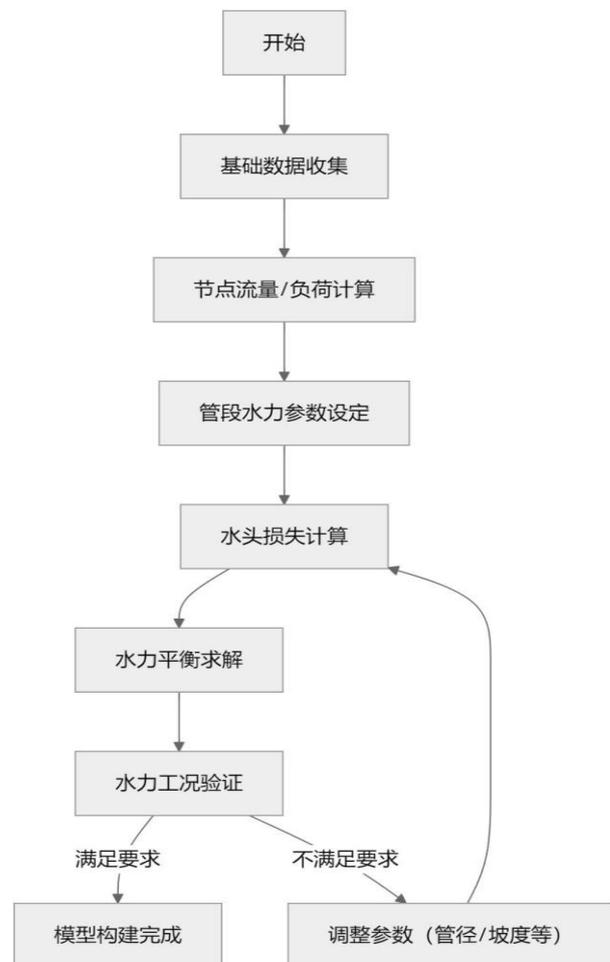


图1 化工园区给排水管网水力计算模型构建流程

基于上述流程,分别构建给水管网与排水管网水力计

算模型:

2.3 给水管网水力计算模型

给水管网水力计算的核心是确定各管段的流量、水头损失与各节点的水压。模型构建步骤如下:

(1) 基础数据收集: 涵盖园区地形、企业用水需求、管网管材管径、水源供水能力与水压等数据。

(2) 节点流量分配: 具体运用“用水定额法+面积比法”计算各节点的设计流量, 生产用水依企业规模工艺定, 生活用水节点流量结合生活用水定额与人口数量计算; 按照相关规范确定消防用水量。

(3) 管段水头损失计算: 采用局部水头损失系数法计算局部水头损失, 即 $h_1 = \xi \times v^2 / (2g)$; 采用达西-魏斯巴赫公式计算沿程水头损失, 即 $h_2 = \lambda \times L \times v / (2g \times d)$ 。总水头损失 $h = h_1 + h_2$ 。

(4) 管网水力平衡求解: 用牛顿-拉夫逊法解环或节点方程, 确保流量与水压平衡。

2.4 排水管网水力计算模型

排水管网水力计算核心在于确定各管段流量、流速、充满度与水头损失, 保障排水顺畅, 防止淤积与溢流。模型构建步骤如下:

(1) 基础数据收集: 涵盖园区地形、企业排水需求、管网管材与管径、污水处理厂接纳能力等数据。

(2) 节点流量计算: 生产废水节点流量依据企业生产规模、工艺特点及排水定额确定; 生活污水节点流量根据人口数量与生活排水定额确定; 雨水节点流量用推理公式 $Q = \psi \times F \times q$ 计算, 其中 ψ 为径流系数, F 为汇水面积, q 为设计暴雨强度。

(3) 管段水力计算: 排水管网采用重力流设计, 管段流速、充满度需合规。排水是根据坡度、管径和粗糙系数算流速和流量。

(4) 管网水力验证: 验证管段流速、充满度, 不符合相关规定则调管径或坡度重新进行计算。

2.5 关键参数优化

化工园区给排水管网水力计算关键参数影响计算准确性, 针对其特性可优化:

管材粗糙系数优化: 传统取值未考虑化工废水腐蚀性, 通过实验研究不同管材在不同浓度腐蚀性废水下的粗糙系数变化, 建立与废水腐蚀性、使用年限的关系模型, 如输送含酸碱废水的管段, 因废水腐蚀会导致管壁粗糙度增加, 需根据废水浓度、pH 值及使用年限修正粗糙系数。

节点流量系数优化: 化工园区生产用水节点流量波动大, 传统取值难适配。用概率统计方法分析企业用水时序

规律, 确定不同时段节点流量系数。

局部水头损失系数优化: 化工园区管网局部构件多, 局部水头损失占比大。通过数值模拟与实验测试, 确定不同局部构件在化工废水输送中的局部水头损失系数, 修正传统取值以提高计算精度。

3 化工园区给排水管网布局多目标优化策略研究

3.1 优化目标体系构建

结合化工园区给排水管网核心技术要求, 构建多目标优化体系:

(1) 经济性目标: 最小化管网建设与运维总成本, 涵盖管材采购、铺设、设施建设及泵站能耗、维修、清淤等费用。目标函数: $\min C = C_1 + C_2$ (C 为总费用, C_1 为建设投资, C_2 为运行维护成本)。(2) 安全性目标: 最大化管网运行可靠性与应急保障能力, 分别以节点水压合格率等、故障恢复时间等指标衡量。目标函数: $\max S = \alpha \times S_1 + \beta \times S_2$ (S 为安全性综合指标, S_1 为运行可靠性指标, S_2 为应急保障能力指标, α 、 β 为权重系数)。

(3) 环保性目标: 最小化管网对周边环境影响, 通过污水收集率等、雨水排放达标率等、管网泄漏风险等指标衡量。目标函数: $\min E = \gamma \times (1 - \eta_1) + \delta \times (1 - \eta_2) + \varepsilon \times R$ (E 为环保影响综合指标, η_1 为污水收集率, η_2 为雨水排放达标率, R 为管网泄漏风险, γ 、 δ 、 ε 为权重系数)。

3.2 优化约束条件确定

管网布局优化约束条件如下:

水力约束: 给水管网节点水压不低于 0.2MPa, 给水管段流速 0.6~3.0m/s; 排水管段流速 0.6~1.5m/s, 重力流管道充满度不超 0.75。

地形约束: 管网顺应地形, 减少高程差与坡度变化; 管段埋深通常不小于 0.7m, 满足防冻、防破坏要求。

安全约束: 与易燃易爆介质、电力等管线保持规范距离; 具备足够抗荷载能力, 适应园区地面建设与车辆通行。

规划约束: 与园区总体规划、功能分区协调, 预留未来发展空间, 方便扩建改造。

3.3 具体优化策略

(1) 给水管网布局优化策略

管网拓扑结构优化: 采用环状与枝状相结合的拓扑结构, 依据化工园区功能分区差异化布局: 核心生产区用高密度环状管网(直径 DN500~800m, 节点间距 $\leq 150m$), 确保供水的可靠性与稳定性; 次要区域采用枝状管网布局, 末端设应急连通管, 并预留接口。合理划分供水区域, 规避障碍物, 减少管网迂回, 降低水头损失。

管径优化选择: 基于水力计算结果与经济性分析, 建

立“水力性能-经济性-耐久性”三维管径优化模型，考量流量波动系数。用线性规划求出最优管径：设计流量 $>500\text{m}^3/\text{h}$ 主干管，优先选DN500~DN800管，流速控制在 $1.2\sim 2.0\text{m/s}$ ；设计流量 $<100\text{m}^3/\text{h}$ 支管，满足最小流速 0.6m/s 选DN100~DN250管径。根据水质的特性，合理选择管材；消防管网选无缝钢管，耐压强度 $\geq 1.6\text{MPa}$ 。

泵站与储水设施布局优化：基于园区用水需求与地形，用重心法+水力模拟优化泵站和储水设施位置数量。泵站布于用水负荷中心附近，以降低能耗；储水设施置于高程较高处，利用重力供水减少能耗。其容积依水量波动合理确定，保障突发情况应急供水。

(2) 排水管网布局优化策略

排水系统的划分，以雨污分流、分级控制、分质处理为原则。所有污水、清净废水均处理后回用，正常情况下无污水直接外排入环境水体。处理产生的浓盐水进一步提浓，最大限度地回收可利用水资源。厂区排水系统可分为：生活污水系统、生产污水系统（又可细分为含油污水系统、气化污水系统等）、生产清净废水系统（又可细分为循环水排污水系统、锅炉排污水系统等）、初期污染雨水系统、清净雨水系统。排水系统可根据不同的处理要求增加、减少或合并。

清污分流体制特点是将生产生活污水与清洁废水分开收集处理回用，清洁废水单独设收集管网。这种体制优点是清洁废水可以单独进行处理，清洁废水中污染物成分比较单-（含有盐类），处理工艺简单可行，处理后的浓盐水可以采用多效蒸发处理，从而进一步提高废水的回收利用，甚至可以采取蒸干方法，达到零排放。清污合流体制

将清洁废水与生产生活污水合并流入污水处理厂，经过处理后统一排放或回用。在进行污水管线设计计算时，必须考虑清洁废水排放量。

4 结论

本文以化工园区给排水管网系统为研究对象，明确化工园区给排水管网系统组成与特性后提出核心技术要求，为其水力计算与布局优化打基础。构建适配其特点的水力计算模型，明确给、排水管网模型构建步骤，修正关键参数取值方法提高计算准确性，还借助专业软件实现水力模拟掌握特性。建立涵盖经济、安全、环保性的多目标优化体系，明确目标函数与约束条件，从多方面提出给、排水管网优化策略，实现多目标协同优化，提升运行效益。

[参考文献]

- [1] 范一丁,杨丽娜.石油化工企业给排水管道工程设计[J].化工设计通讯,2020,46(7):162-163.
 - [2] 蒋威.给水排水用软密封闸阀耐久性试验研究[J].阀门,2024,11(10):1212-1215.
 - [3] 化工建设项目环境保护设计规范:GB 50483—2019[S].北京:中国计划出版社,20019.
 - [4] 化学工业污水处理与回用设计规范:GB 50684—2011[S].北京:中国计划出版社,2012.
 - [5] 消防给水及消火栓系统技术规范:GB 50974—2014[S].北京:中国计划出版社,2014.
- 作者简介：郝杰（1986.1—），毕业院校：河北建筑工程学院，所学专业：给水排水工程，当前就职单位：中国电子系统工程第四建设有限公司，职务：给排水工程师，职称级别：副高级工程师。