

引用格式:薛嘉星,汤金龙,张来勇,等. 高效填料在新冠肺炎疫情防控用 84 消毒液增产提质中的应用[J]. 北京化工大学学报(自然科学版),2020,47(3):44-49.

XUE JiaXing, TANG JinLong, ZHANG LaiYong, et al. Application of high efficiency packing in the production of 84 disinfectant for resisting novel coronavirus pneumonia[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2020,47(3):44-49.

# 高效填料在新冠肺炎疫情防控用 84 消毒液增产提质中的应用

薛嘉星<sup>1</sup> 汤金龙<sup>1</sup> 张来勇<sup>2</sup> 张国林<sup>3</sup> 孙晓涛<sup>3</sup> 李群生<sup>1\*</sup>

(1. 北京化工大学 化学工程学院 化工资源有效利用国家重点实验室, 北京 100029;

2. 中国寰球工程公司, 北京 100029; 3. 唐山三友集团有限公司, 唐山 063305)

**摘 要:** 开发了一种具有高分离效率、高产能特点的新型高效无壁流规整填料,将其应用于新冠肺炎疫情防控用 84 消毒液的生产中,可达到提质增产的目的。通过计算流体力学(CFD)模拟对无壁流规整填料进行了结构优化,经实验验证,新型无壁流规整填料的干塔压降降低了 12%。将新型填料应用于次氯酸钠(84 消毒液的主要成分)生产的技术改造中,可提高产品质量,扩大产能,同时降低尾气中有害气体的排放,达到了提质、扩产、节能、环保的目的,为控制新冠肺炎疫情的扩散提供强有力的保障。

**关键词:** 高效无壁流规整填料; 新冠肺炎; 84 消毒液; 次氯酸钠; 计算流体力学(CFD)模拟优化

**中图分类号:** TQ053.5 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2020.03.006

## 引 言

2019 年 12 月,新冠肺炎于武汉被首次报导,由于其较强的传染性,世界各地人群均受到不同程度感染,对各国的经济发展与人类健康造成严重影响。84 消毒液作为一种含氯广谱消毒剂具有极强的氧化性,能使病毒的核酸发生氧化而失活,并且相比于 75% 的酒精消毒剂,84 消毒液更安全、可靠、易储存且成本低<sup>[1]</sup>,在疫情期间被广泛使用,对防止疫情扩散起到了重要作用。因此,84 消毒液的迅速提质增产,对及时有效杀灭病毒、防止肺炎疫情蔓延具有重要意义。

84 消毒液的主要成分为次氯酸钠。目前,次氯酸钠的生产方法主要包括电解法和化学法,我国采用的次氯酸钠溶液生产方法主要为化学法,即以氯气和氢氧化钠进行反应<sup>[2-3]</sup>。次氯酸钠生

产设备一般为氯碱厂热备装置<sup>[4-7]</sup>。为了实现环保与废气的综合利用,氯碱厂产生的废氯气通过两级废氯气吸收塔进而与塔顶喷淋而下的氢氧化钠溶液进行逆向接触,借此将碱液氯化,制备得到次氯酸钠溶液。氯气吸收塔内装散堆填料,相对于规整填料压降较高,传质效率较低,因此将旧塔换装新型高效填料和塔内件,已经成为技术改造的主流趋势<sup>[8-9]</sup>。

本文对唐山某公司次氯酸钠生产装置的技术改造进行了方案设计。通过将计算流体力学(CFD)优化后的新型规整填料替代原来的散堆填料,可降低吸收塔与保护塔的压降,提高全塔通量,使得塔内温度变化平稳,进而降低副反应的发生,提高次氯酸钠的收率与产量。

## 1 新型高效无壁流规整填料的开发

### 1.1 无壁流规整填料简介

传统的 Mellapak 填料流道呈斜直线形<sup>[10]</sup>。在填料安装过程中,如果填料盘与填料塔壁存在些许间隙,液体就会顺着填料波纹导入到填料塔壁上并沿塔壁流下,不再进入到填料内进行传质,即为壁流

收稿日期:2020-02-20

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2013CB733603)

第一作者:男,1995 年生,硕士生

\* 通信联系人

E-mail: liqs@mail.buct.edu.cn

现象。填料塔径越小,壁流现象越明显。虽然当前大部分填料都在填料外侧添加防止壁流的喇叭环,但壁流现象只能得到部分缓解,并且导入到填料内的液体在下一层填料盘又会流到塔壁上,使得传质效果大大减弱。

无壁流规整填料原型流道呈折线形,波折数一般为 3~8,如图 1 所示。相对于流道呈直线形的 Mellapak 填料,无壁流规整填料的有效壁流区域更短,仅为前者的 1/3 甚至是 1/8,可有效减缓壁流,并且其曲折的流道使得气液两相在流动的同时流动方向不断变化,气体扰动更加剧烈,液膜不断更新,因此具有更高的传质效率。

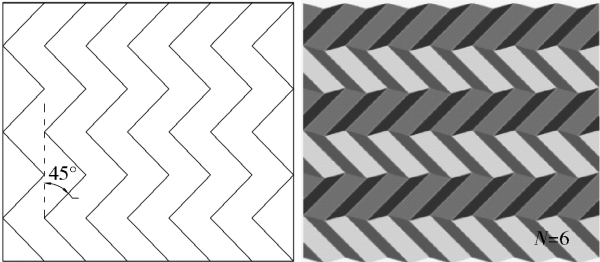


图 1 无壁流规整填料结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of the initial packing

1.2 无壁流规整填料的 CFD 模拟优化

但无壁流规整填料并不是完美无缺的,相对于 Mellapak 填料,无壁流规整填料压降较高。为了研究无壁流填料中的流体流动,在 CFD 模拟优化过程中,采用具有代表性的比表面积为700 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>的无壁流规整填料进行气体单相流模拟。前人的研究表明,仅用一个代表性周期单元就可以很好地预测填料的基本气体流动特性和干压降<sup>[11]</sup>,因此本文选用的周期性代表单元如图 2 所示,模型尺寸均为 48.48 mm×8.08 mm×40 mm。

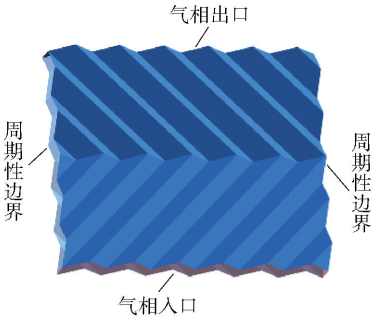


图 2 周期性代表单元结构

Fig. 2 Periodic representative unit of the initial packing

本文仅考虑气相单相流动,不考虑热量交换。单相模型的质量守恒方程为<sup>[12]</sup>

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho v_i) = 0 \tag{1}$$

动量守恒方程为

$$\frac{\partial (\rho v_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho v_i v_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} - \frac{2\delta_{ij}}{3} \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \bar{v}_i \bar{v}_j) + \rho g_i \tag{2}$$

式中,ρ、v、p 分别代表气相的密度、速度和压力。

根据 Said 等<sup>[13]</sup>的建议,选用 shear stress transfer (SST)-k-ω 模型为湍流模型,该模型应用广泛,有关模型的介绍详见文献<sup>[14]</sup>。

气体入口设为速度入口,气体出口设为压力出口,填料壁面设置为无滑移壁面,模型两侧设置为周期性边界。为了获得更精确的流动细节,在网格生成过程中,在壁面设置了 5 层边界层网格:第一层边界层网格厚度为 0.005 mm,第二层厚度为第一层厚度的 1.2 倍,以此类推。经网格无关性检验,最终多面体网格总数为 823 438。

模拟研究了从底部进气口向上每隔 2 mm 高度处的平均压力,以确定填料结构对压降的影响。以气体流速为 1.03 m/s 时为例,各位置平均压力差值如图 3 所示。从图中可知,Z 形流道方向的急剧变化会导致气体方向的突变,造成较大的压力损失。并且在工业生产过程中,由于存在尖锐的折角,气液两相交相互作用大,流速稍微增大就会导致液体聚集甚至逆流,产生液泛,致使无壁流规整填料的通量变小,这对于增加产能来说是一种不利因素。

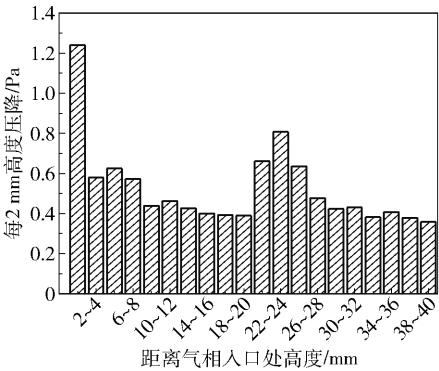


图 3 填料不同高度处每隔 2 mm 的压力差

Fig. 3 Pressure drops of packing with different heights

为了在尽量不降低无壁流填料传质效率的情况下降低流道转折处的单位高度压降,对无壁流填料原型(initial packing)流道折线结构进行了圆弧光滑过渡,得到新型无壁流填料(novel packing),并研究了圆弧尺寸对填料压降的影响。新型填料结构如

图 4 所示。由于填料层与层之间的气体流动更加复杂,气体动能损耗更加剧烈,因此在单层填料片上下两端同样进行了圆弧过渡并作了约 2.5 mm 的竖直延伸。新型填料代表性周期单元模型如图 5 所示,模型网格划分以及边界条件设置方法与原填料模型相同。

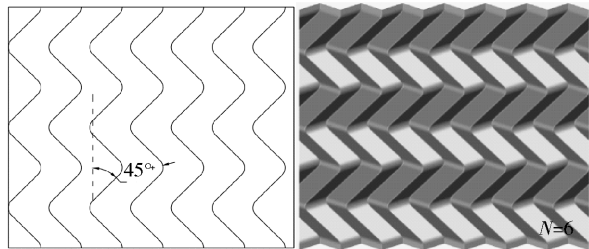


图 4 新型无壁流规整填料结构示意图

Fig. 4 Structural diagram of the novel packing

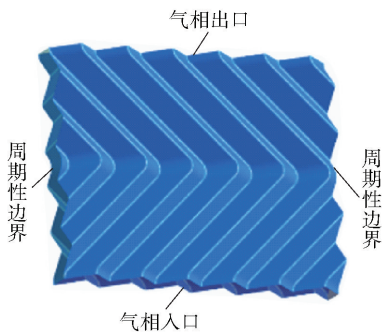


图 5 新型填料周期性代表单元结构

Fig. 5 Periodic representative unit of the novel packing

模拟得到圆弧尺寸与填料单位高度压降的关系如图 6 所示。可以看出随着圆弧半径的增加,填料单元入口处以及流道转折处的压降逐渐降低。当圆弧半径  $R \geq 5$  mm 时,填料单元进口以及流道转折处单位高度压降已经小于斜流道平均值。

### 1.3 实验验证

为了对 CFD 优化结果进行验证,建立了如图 7 所示的实验装置,研究了新型填料 ( $R = 5$  mm) 和原无壁流规整填料的干塔压降。填料塔内直径 476 mm,塔内共置 8 层填料,单层填料高度 125 mm,相邻两层填料呈  $90^\circ$  互相垂直放置。实验开始前开启风机与水泵,对填料进行预液泛处理约 0.5 h。之后关闭水泵,调节风机风量大小,记录不同气相负荷下的塔压降。

改进前后两种无壁流规整填料的干塔压降实验值(预液泛后)与模拟值对比如图 8 所示,实验范围内实验值与模拟值平均偏差为 9.66%,证明本文模拟具有较好的准确性。同时,相比于优化

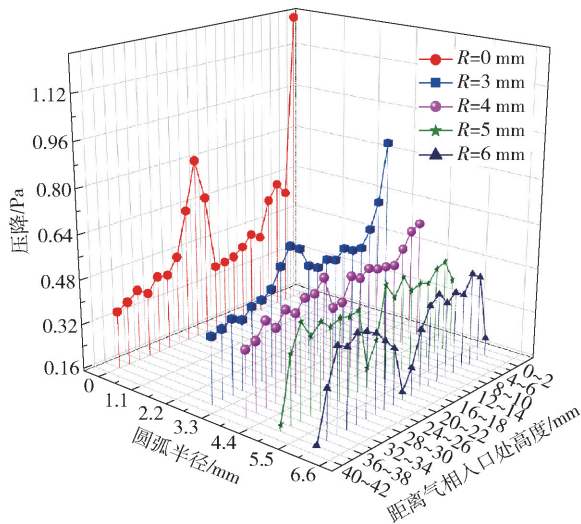


图 6 填料单位高度压降与圆弧半径的关系

Fig. 6 Relationship between pressure drop per unit height of packing and arc radius

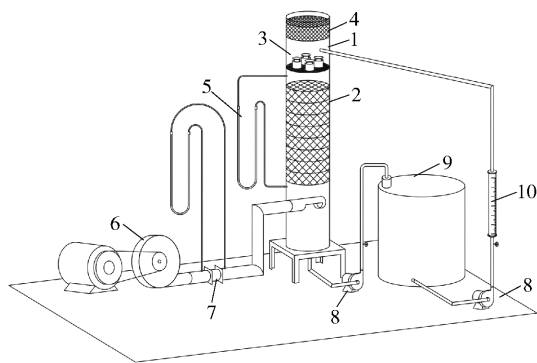


图 7 实验装置图

Fig. 7 Schematic diagram of the experimental apparatus

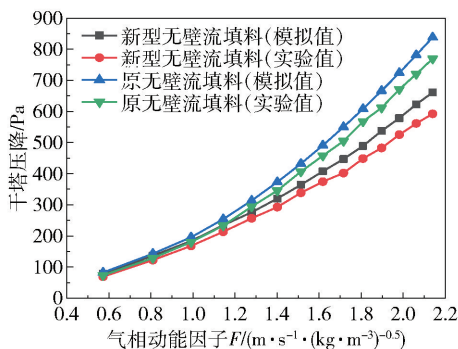


图 8 两种填料干塔压降实验值与模拟值对比

Fig. 8 Comparison between experimental and simulated values of dry pressure drop for the two types of packing 前的无壁流规整填料,新型填料压降的实验值明显降低,且随着气速的增大压降降低更加明显,实



验研究范围内,干塔压降平均降低约 12%。由于结构的优化使得新型填料中气液流动更加通畅,有效地降低了压降,提高了通量,并保留了高分离效率和防壁流的优点。

## 2 新型高效无壁流规整填料在 84 消毒液生产中的应用

### 2.1 84 消毒液生产流程

84 消毒液的生产流程如图 9 所示。将定量的稳定剂、络合剂与水在稳定剂搅拌釜中混合,之后在次氯酸钠搅拌釜中与定量的次氯酸钠混合继续搅拌,为了防止温度对反应物产生影响,两釜均外包有换热蛇管。

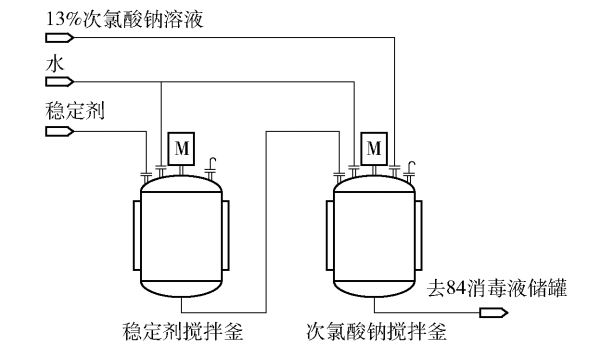


图 9 84 消毒液生产流程简图

Fig. 9 Process for production of 84 disinfectant

次氯酸钠性质活泼,容易分解,生产工艺要求严苛,其产能成为限制 84 消毒液产量的主要因素。次氯酸钠溶液的生产流程简易图如图 10 所示,来自废氯气总管的氯气由废氯气吸收塔塔底进入,与塔顶喷淋而下的质量分数约为 18% 的 NaOH 溶液逆流接触,未被吸收完全的氯气由塔顶排出进入到废氯气保护塔,与塔顶的质量分数约 16% 的 NaOH 溶液逆流接触,尾气经真空泵自塔顶排出。由于氯气与氢氧化钠反应会放出大量热量,因此塔底的碱液在循环过程中需要进行换热降温处理。当次氯酸钠溶液有效氯含量达到 13%,游离碱小于 1% 时,认为产品已经合格,需立即送至成品罐区。

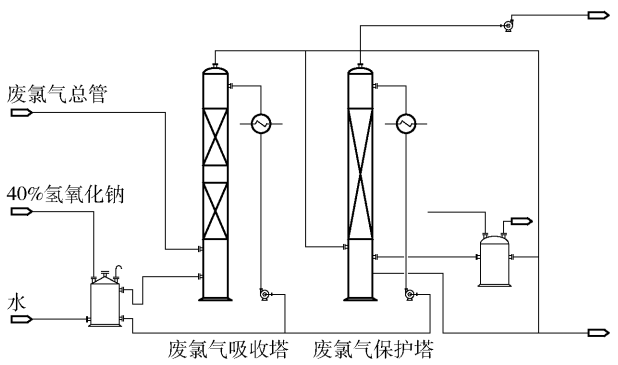


图 10 次氯酸钠生产流程简图

Fig. 10 Process for production of sodium hypochlorite

### 2.2 次氯酸钠生产装置技术改造

唐山三友集团有限公司建设有 13 万 t/a 采用碱液氯化法生产次氯酸钠溶液的热备装置,用于处理液氯管道内残留氯气、开停车及各工况下产生的废氯气,防止有毒氯气扩散至大气。

为了抗击新型冠状病毒疫情,唐山三友集团有限公司决定对次氯酸钠进行扩产,扩产方案有以下两种。

(1) 优化生产工艺。加大氯气通量,增大碱液吸收用量,为了降低温度,主换热器与备用换热器同时工作。

由于在高液量下散堆填料的液体分布效果差,存在严重的沟流和壁流现象,影响次氯酸钠产品质量;高氯气通量下,吸收塔及保护塔对氯气吸收效果差,尾气中含有氯气,尾气排放不达标,致使通过增大生产负荷来提高产能具有一定限制。但该方案实施方便省时,可提高产能 8% 左右。

(2) 进行技术改造。废氯气吸收塔和保护塔内填装的梅花环散堆填料均换装为新型高效无壁流规整陶瓷填料,两塔液体分布器均换装为北京化工大学开发的槽式液体分布器。塔体、其他附属设备及整体工艺流程未发生变化。技术改造设备如表 1 所示。技术改造后,两塔塔体压降平均降低 10%;游离碱含量降至 0.1%,降低了碱量消耗;氯气通量较技术改造前提高 30%,折合增产 84 消毒液(有效氯含量按 6.5% 计)7.8 万 t/a。

表 1 技术改造设备一览表

Table 1 Details of modified equipment

设备名称	设备型号	填料规格	数量	材质
氯气吸收塔	D 2 800, H 10 000, 填料 H 5 000	新型无壁流规整填料 125 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	1	陶瓷
氯气保护塔	D 2 800, H 10 000, 填料 H 5 000	新型无壁流规整填料 250 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	1	陶瓷

D—填料塔内径, mm; H—填料塔高度, mm。

### 3 结论

(1)实验结果表明,采用 CFD 模拟优化得到的新型无壁流规整填料为一种新型高效的规整填料,在保证高分离效率、可防止壁流等优点的前提下,干塔压降较优化前降低了约 12%。

(2)将新型高效无壁流规整填料应用于次氯酸钠生产的技术改造,氯气通量可提高 30%,折合增产 84 消毒液 7.8 万 t/a,有望对新冠肺炎的有效防控提供可靠的物质基础,具有显著的社会效益。

### 参考文献:

- [1] 刘永峰, 庞有才. 次氯酸钠生产技术的发展趋势与展望[J]. 产业与科技论坛, 2014, 13(3): 88-89.  
LIU Y F, PANG Y C. Development trend and prospect of sodium hypochlorite production technology [J]. Industrial & Science Tribune, 2014, 13(3): 88-89. (in Chinese)
- [2] 付勇. 次氯酸钠生产装置中竖管降膜吸收反应器的设计[J]. 上海化工, 2014, 39(7): 24-27.  
FU Y. Design of vertical tube falling-film absorption reactor for the production device of sodium hypochlorite [J]. Shanghai Chemical Industry, 2014, 39(7): 24-27. (in Chinese)
- [3] 侯凤银. 次氯酸钠生产装置改造[J]. 氯碱工业, 2017, 53(6): 21-24.  
HOU F Y. Modification of sodium hypochlorite production plant [J]. Chlor Alkali Industry, 2017, 53(6): 21-24. (in Chinese)
- [4] 苗绵会, 史海军, 周立乔. 次氯酸钠生产工艺改造[J]. 氯碱工业, 2006(3): 27.  
MIAO M H, SHI H J, ZHOU L Q. Summary on production process reformation of sodium hypochlorite [J]. Chlor Alkali Industry, 2006(3): 27. (in Chinese)
- [5] 曾星延. 次氯酸钠生产工艺的改进与体会[J]. 中国氯碱, 2002(10): 28-29.  
ZENG X Y. Improvement and experience of sodium hypochlorite production process[J]. China Chlor Alkali, 2002(10): 28-29. (in Chinese)
- [6] 牛建生. 次氯酸钠生产装置运行评价[J]. 氯碱工业, 2017, 53(7): 22-23.  
NIU J S. Operation evaluation of sodium hypochlorite production plant [J]. Chlor Alkali Industry, 2017, 53(7): 22-23. (in Chinese)
- [7] 孔瑞, 韩建华. 用含氯废气生产次氯酸钠溶液[J]. 氯碱工业, 2002(1): 38-39.  
KONG R, HAN J H. The production of chloros solution from waste gas containing chlorine [J]. Chlor Alkali Industry, 2002(1): 38-39. (in Chinese)
- [8] LI H, WU Y, LI X G, et al. State-of-the-art of advanced distillation technologies in China [J]. Chemical Engineering & Technology, 2016, 39(5): 815-833.
- [9] 李洪, 孟莹, 李鑫钢, 等. 蒸馏过程强化技术研究进展[J]. 化工进展, 2018, 37(4): 1212-1228.  
LI H, MENG Y, LI X G, et al. State-of-the-arts review of the research process for distillation process intensification technology [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2018, 37(4): 1212-1228. (in Chinese)
- [10] 王树楹. 现代填料塔技术指南[M]. 北京: 中国石化出版社, 1998.  
WANG S Y. Technological guide of modern packing column [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 1998. (in Chinese)
- [11] LAUTENSCHLEGER A, OLENBERG A, KENIG E Y. A systematic CFD-based method to investigate and optimise novel structured packings [J]. Chemical Engineering Science, 2015, 122: 452-464.
- [12] BATCHELOR G K. An introduction to fluid dynamics [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1967.
- [13] SAID W, NEMER M, CLODIC D. Modeling of dry pressure drop for fully developed gas flow in structured packing using CFD simulations [J]. Chemical Engineering Science, 2011, 66: 2107-2117.
- [14] MENTER F R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications [J]. AIAA Journal, 1994, 32(8): 1598-1605.

# Application of high efficiency packing in the production of 84 disinfectant for resisting novel coronavirus pneumonia

XUE JiaXing<sup>1</sup> TANG JinLong<sup>1</sup> ZHANG LaiYong<sup>2</sup> ZHANG GuoLin<sup>3</sup>

SUN XiaoTao<sup>3</sup> LI QunSheng<sup>1\*</sup>

(1. State Key Laboratory of Chemical Resource Engineering, College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029; 2. China Huanqiu Contracting & Engineering Co., Beijing 100029; 3. Tangshan Sanyou Group Co., Ltd., Tangshan 063305, China)

**Abstract:** A new type of high efficiency non-wall-flow structured packing has been developed, which has the characteristics of high separation efficiency and capacity. The structure of the initial packing was optimized by computational fluid dynamics (CFD) simulation. The experimental results show that the dry pressure drop of the new packing is reduced by 12%. Application of the new packing in the technical modification of 84 disinfectant production can improve the quality of sodium hypochlorite, expand the production capacity, reduce the emission of harmful gases in the tail gas and reduce the energy requirements. The product can be used to inhibit the spread of the new coronavirus epidemic.

**Key words:** high efficiency non-wall-flow structured packing; new coronavirus epidemic; 84 disinfectant; sodium hypochlorite; computational fluid dynamics (CFD) simulation optimization