# 某水冶厂密实移动床吸附塔结构改进设计

赵宏伟，赵文清，王宏斌

（中核第四研究设计工程有限公司，河北 石家庄 050021）

**摘要**：针对密实移动床吸附塔排液装置、上封头、树脂缓冲装置、浸出液进口结构、布液装置和树脂缓冲罐等重要结构部件的不足，采用有限元计算方法、结构局部调整方法进行了改进设计。改进后的密实移动床吸附塔在功能性、使用故障率、更换维修频率、操作便利性和经济性等方面均得到了优化，部件结构简单，零部件更换方便，达到了预期目标。

**关键词**：密实移动床；吸附塔；结构改进设计；有限元计算

**中图分类号**：TL212.12 **文献标志码**：A **文章编号**：1000-8063(2023)01-0023-07

**DOI**：10.13426/j.cnki.yky.2022.04.03

目前，中国铀矿以中小型矿床居多，以中低品位为主。针对这些特点设计的密实移动床吸附塔，已成为铀水冶工艺中重要的离子交换设备。它具有结构简单、操作方便、生产效率高、设备利用率高等特点，在结构、管理和运行方面更简便[1]。

在密实床中进行离子交换时，料液与树脂接触面大，容易实现料液均布，传质效率高。吸附时，料液自塔底部进入，从顶部出口装置排出吸附尾液；树脂则是从顶部进入，与料液全逆流接触，饱和树脂从塔底排出[2-3]。目前，密实移动床吸附塔布液、排液树脂缓冲装置等重要结构部件存在不足，需改进。

## 1 原有密实移动床吸附塔存在的问题

国内铀水冶厂目前使用的密实移动床吸附塔主要有 3 种结构，如图 1 所示。图 1(a)和图 1(b)所示吸附塔，树脂床层较高，排液装置设置在吸附塔筒体上部。实际使用中，树脂易从吸附塔顶部溢出。为了防止树脂溢出，需增加排液装置上方的塔体高度或增设扩口结构。塔体高度较高，造成设备和土建投资增大。排液装置设在筒体上部，在法兰密封处易发生尾液泄漏。图 1(c)所示吸附塔结构设置了树脂缓冲罐，尾液从上封头排出。这种结构较合理，既降低了塔体的高度（约 12.2 m），又避免了尾液的泄漏；但其部分重要结构部件（排液装置、上封头、树脂缓冲装置、浸出液进口结构、布液装置和树脂缓冲罐）在使用中产生了诸多不便。针对图 1(c)所示吸附塔部分重要结构部件存在的不足，笔者对其进行改进设计。

## 2 吸附塔结构改进设计

### 2.1 结构设计基本要求

吸附塔结构应满足：1）料液从下至上流动，树脂从上至下流动的工艺要求；2）强度、刚度和稳定性要求；3）操作方便，零部件更换方便；4）吸附塔造价经济合理。

### 2.2 设计参数

考虑吸附塔的液柱高度约 10 m，因此吸附塔设计工作压力为 0.1 MPa。设计工作温度为 25 ℃，工作介质为树脂、碳酸根、盐酸根，地震设防烈度为 7(0.15$g$)。

设备材质：与介质接触的部分材质为 S31603/GB24511(1D 级)，其余部分（裙座部分）的材质为普通碳素钢 Q235B。

### 2.3 结构改进设计

#### 2.3.1 排液装置

原设计排液装置结构如图 2(a)所示，该结构在使用中存在树脂泄漏、尾液排放慢等问题。由于该结构滤管仅在侧壁开设圆孔，滤网紧贴滤管

**收稿日期**：2022-04-05

**第一作者简介**：赵宏伟(1982—)，男，山西怀仁人，硕士，高级工程师，主要从事铀水冶、化工设备设计工作。

表面，且仅设置了单层滤网；长时间运行后，排液装置上的滤网易被树脂堵塞，影响尾液排放速度。滤网一旦损坏，树脂将会泄漏至尾液收集箱，需立即关闭阀门更换滤网，影响整个系统的正常运行。

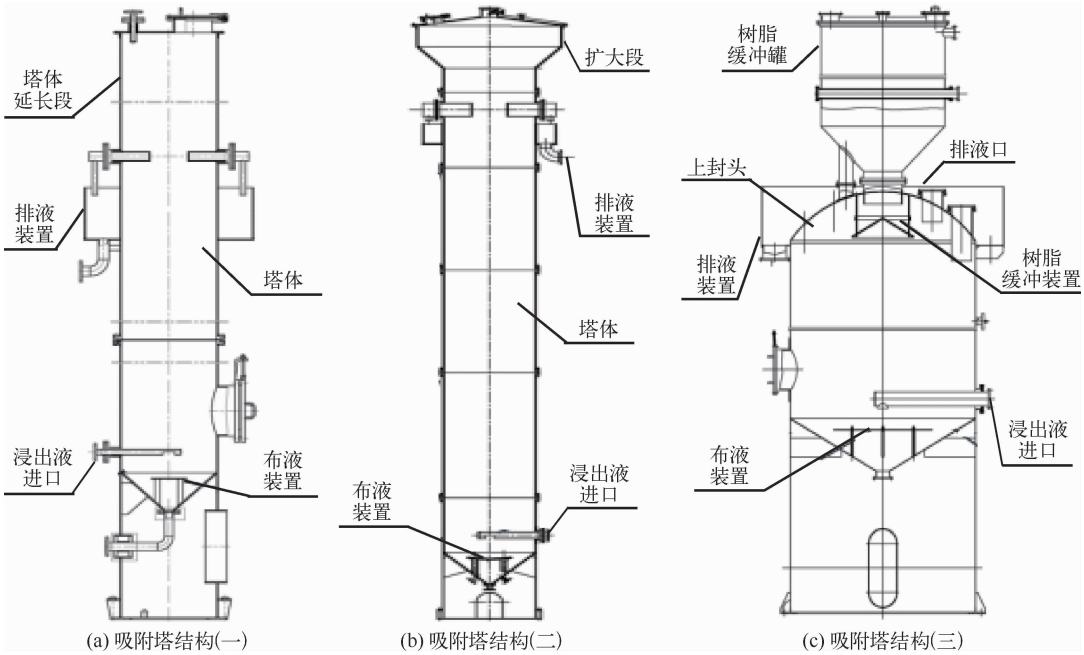



**图 1 吸附塔结构**

**Fig. 1 Adsorption tower structure**

针对这些问题，对排液装置结构进行改进，改进后的结构如图 2(b)所示。在底板上布满圆孔，滤液管上开长圆孔，开孔率可增大 10%，并在过滤网与滤管之间架设筋板。将底板、滤液管以及上法兰环焊接成一体，并用不锈钢丝在底板和滤液管处包扎过滤网。采用双重过滤结构，且滤网孔径由 40 目(380 μm)改为 45 目(325 μm)，料液先后通过两层过滤网，将过滤网夹紧在上压圈和下压圈之间，并通过螺钉连接起来，这种结构可将滤网快速方便地从上、下压板取出。改进后的排液装置在吸附过程中可将料液及时排出，树脂不易泄漏；且一旦发生泄漏，能够快速更换过滤网。

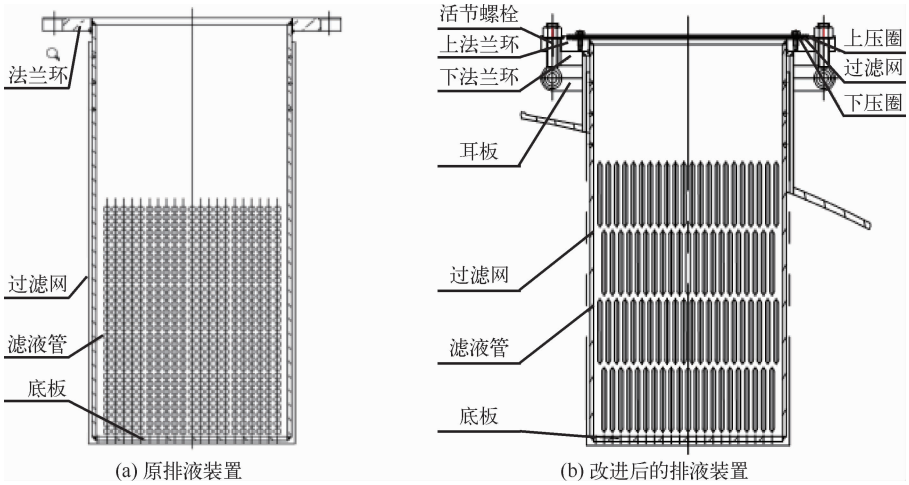



**图 2 排液装置改进前后**

**Fig. 2 Before and after improvement of drainage device**

### 2.3.2　上封头

原吸附塔上封头共开有 18 个排液孔和 1 个树脂接收孔，受集中载荷（树脂缓冲罐）的作用，使得上封头在工作状态下的受力情况较为薄弱。常规设计方法[4-6]均无法对该结构进行计算，采用有限元分析方法[7-10]对原上封头结构进行改进，有限元计算结果如图 3～4 所示。

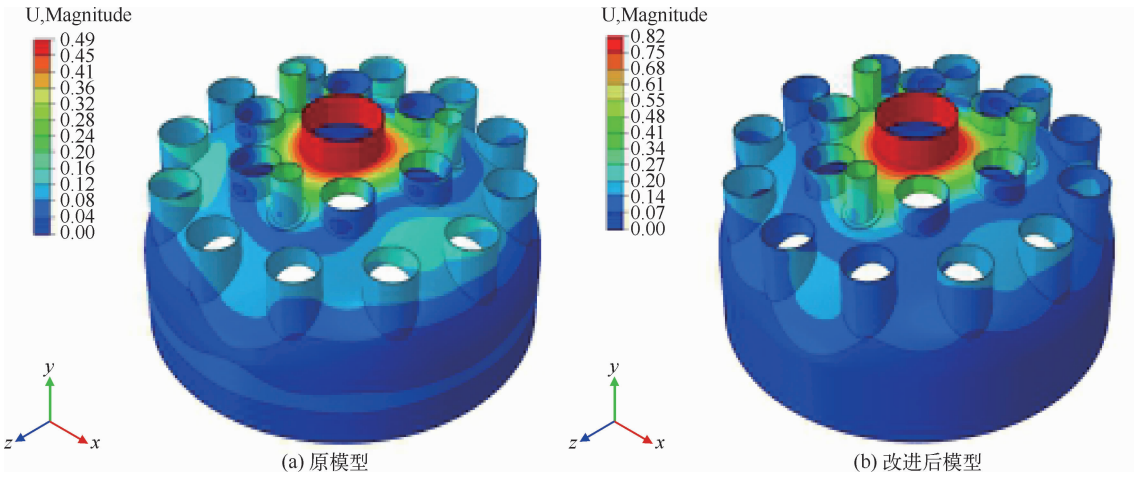



**图 3　封头结构模型变形云图**

**Fig. 3　Head structure model deformation nephogram**

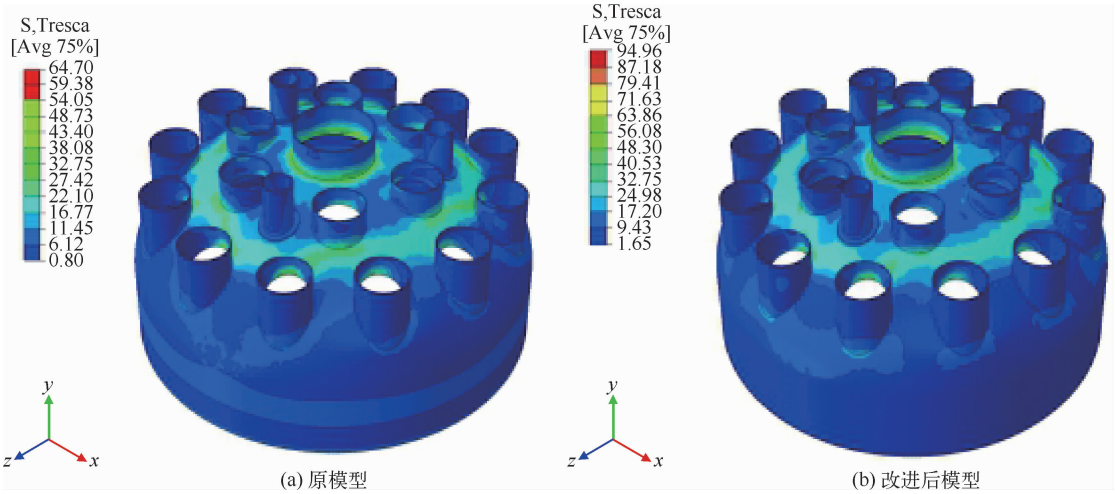



**图 4　封头结构模型应力强度云图**

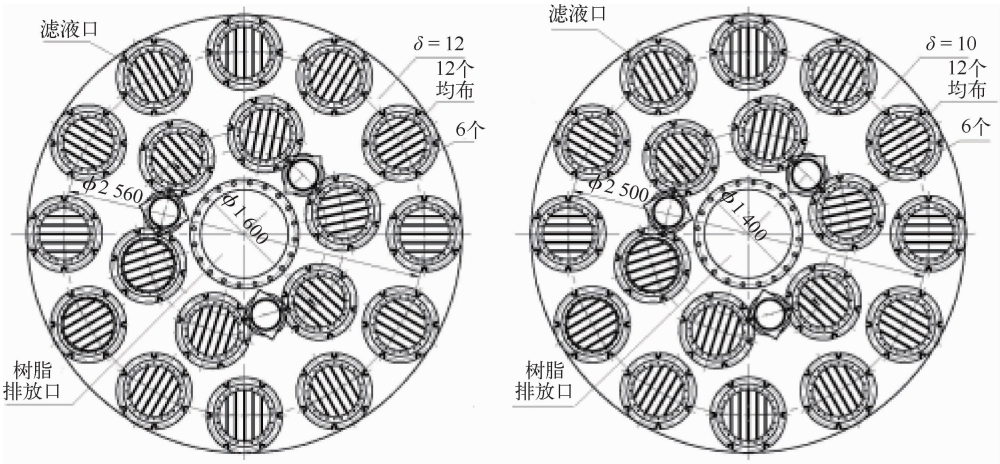
**Fig. 4　Head structure model stress intensity nephogram**

原上封头结构模型，变形最大的位置在树脂进口管与封头连接的部位（图 3a），最大变形约 0.49 mm，最大变形量小于公称尺寸的 1‰，满足要求。改进后的上封头结构模型变形最大的位置在树脂进口管与封头连接的部位，最大变形约 0.82 mm，变形量仍满足设计要求，原设计结构偏于保守。

原上封头结构模型强度云图（图 4a）显示，该

结构应力最大的位置在树脂进口管与封头连接的部位，最大值为 64.7 MPa，小于许用应力 120 MPa，满足设计要求。改进后的上封头结构模型强度云图(图 4b)显示，该结构应力最大的位置在树脂进口管与封头连接的部位，最大值为 94.96 MPa，小于许用应力120 MPa，改进后仍满足设计要求。

原上封头结构如图 5(a)所示，吸附塔排液装置外圈直径为 2 560 mm，内圈直径为 1 600 mm，上封头厚度为 12 mm。改进后的上封头结构如图 5(b)所示，吸附塔排液装置外圈直径为 2 500 mm，内圈直径为 1 400 mm，上封头厚度为 10 mm，这既满足了设备运行要求，也降低了设备的制造成本。




(a) 原上封头结构　　(b) 改进后的上封头结构

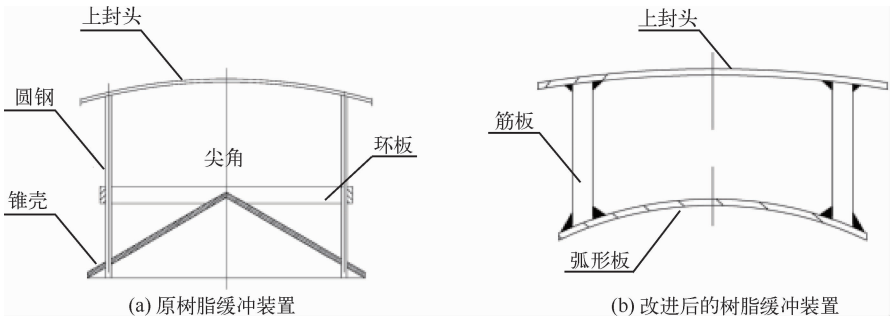
**图 5　上封头结构改进前后**

**Fig. 5　Before and after improvement of upper head structure**

### 2.3.3　树脂缓冲装置

原设计树脂缓冲装置结构如图 6(a)所示，缓冲板结构为圆锥形，支撑结构由 6 个圆钢和 1 个环板焊接组成，这种缓冲装置结构较复杂。改进后的树脂缓冲装置结构如图 6(b)所示，缓冲板结构为圆弧形，支撑结构改为 4 个圆钢直接与上封头焊接。

改进后的结构有如下优点：1)缓冲板结构由锥形改为弧形，树脂下落时不会被锥顶破坏，保证了树脂的完整性，提高了树脂的利用率；2)改进后的缓冲板结构能够降低树脂下落时的阻力，保证了树脂的通畅流动；3)改进后的树脂缓冲装置支撑结构高度降低了 200 mm，结构简单紧凑，施工方便。




(a) 原树脂缓冲装置　　(b) 改进后的树脂缓冲装置

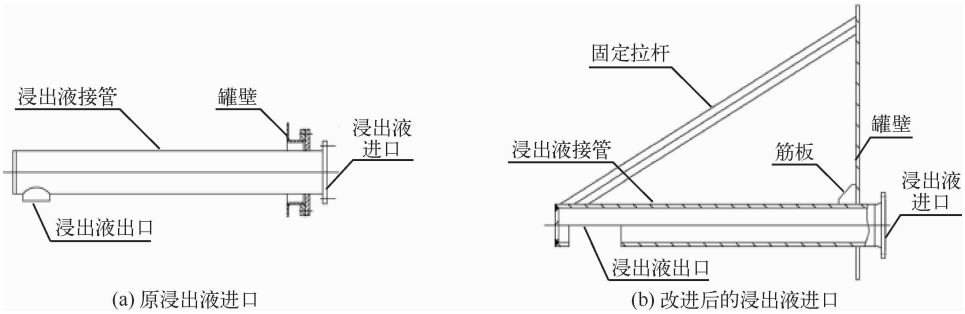
**图 6　树脂缓冲装置改进前后**

**Fig. 6　Before and after improvement of resin buffer device**

### 2.3.4　浸出液进口结构

原设计浸出液进口结构如图 7(a)所示，该结构为可拆结构，浸出液接管由主管和支管组成，支管规格与主管相同。原结构存在以下问题：1)浸出液接管易折断，尤其是在工作过程中接管折断后，更换困难，且无法保证布液均匀；2)浸出液流量较大时，树脂吸附饱和速度较慢。

改进后的浸出液进口结构如图 7(b)所示，该结构的优点：1)浸出液接管由可拆结构改为固定结构，同时在接管与筒体的焊接部位焊上筋板并通过支板将接管与筒体焊接，能够保证浸出液接管在树脂和浸出液的压力下不发生折断，提高了浸出液进口结构的稳定性；2)浸出液接管由主管和支管组合形式改进为直接在主管上开 300 mm 孔，结构简单，焊接工作量小，加工方便；3)原设计结构浸出液接管支管直径为 150 mm，与主管直径比为 1∶1，改进后浸出液出口开孔面积为接管进口面积的 2 倍，浸出液流量得到较大提高。




(a) 原浸出液进口　　(b) 改进后的浸出液进口

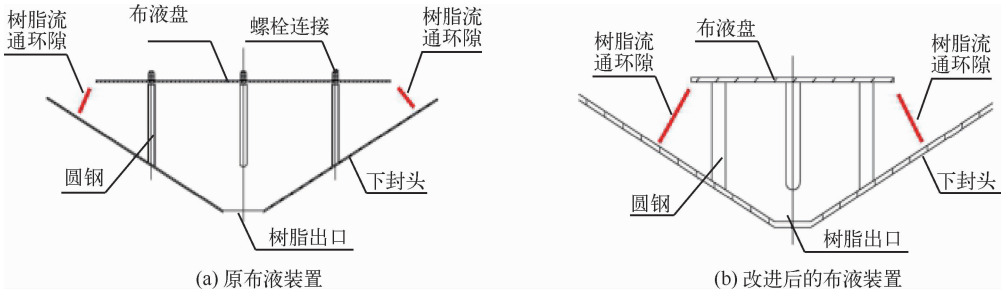
**图 7　浸出液进口结构改进前后**

**Fig. 7　Before and after improvement of inlet structure of leaching solution**

### 2.3.5　布液装置

布液装置的主要功能是保证浸出液均匀分布在设备内，与树脂进行良好的传质作用。原布液装置结构如图 8(a)所示，现场使用中存在以下问题：1)由于布液盘直径为 1 600 mm，同一水平面下封头的直径为 2 700 mm，布液盘距下封头边缘距离较近(350 mm)，树脂排出较慢；2)布液盘厚度为 4 mm，刚性较弱；3)布液装置为可拆结构，安装和维修繁琐。

改进后的布液装置结构如图 8(b)所示，具有如下优点：1)布液盘直径为 900 mm，布液盘距边缘的距离增大，增大了树脂流通截面积，树脂排出较通畅；2)将布液盘厚度改为 8 mm，保证了布液盘的强度和刚度；3)将布液装置改为固定连接，布液盘和 6 个圆钢直接焊接，并在下封头处焊接成一体。改进后的布液装置加工方便，免维护，也可节省成本[11-12]。




(a) 原布液装置　　(b) 改进后的布液装置

**图 8　布液装置改进前后**

**Fig. 8　Before and after improvement of liquid distribution device**

### 2.3.6 树脂缓冲罐

原设计树脂缓冲罐结构如图 9(a)所示。为了满足观察检修功能,原结构设计为可拆结构,在树脂缓冲罐的上部分别设置了设备法兰、法兰盖、垫片、螺栓、螺母以及 PN0.6 DN250手孔。安装检修时需开启 60 个螺栓,工作量较大。

改进后的树脂缓冲罐结构如图 9(b)所示,具有如下优点:1)树脂缓冲罐改为固定连接,上平盖设置了 1 个 DN 500快开人孔,在满足检修功能的同时达到了快速检修的目的;2)取消了进水口、滤水口和溢流口。由于所设计吸附塔具有合理的高径比,且改进结构(尾液收集箱)增大了尾液的排放容积,尾液和树脂均不会溢出至树脂缓冲罐。

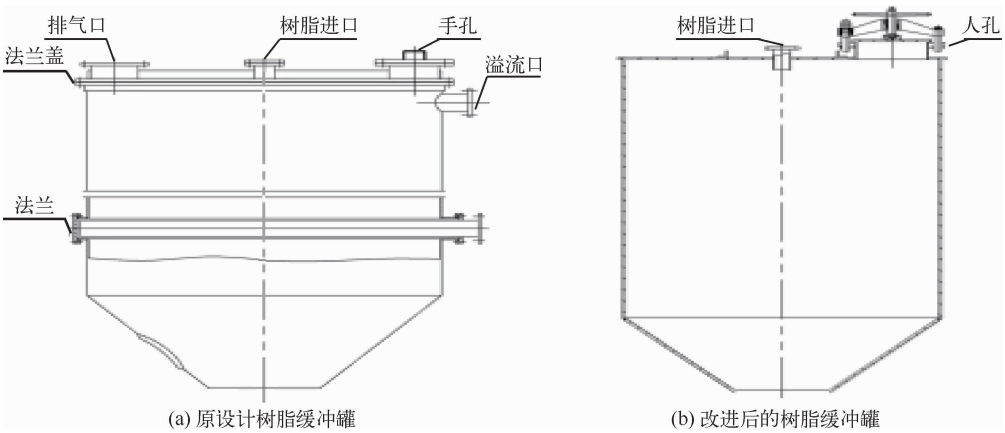



**图 9 树脂缓冲罐结构改进前后**

**Fig. 9 Before and after improvement of resin buffer tank structure**

## 3 工程应用

改进的吸附塔在某水冶厂的应用取得了很好的效果,功能性提高、使用故障率下降、更换维修频率降低、经济性提高,具体如下:1)在同等流量下,吸附塔的排液能力、树脂排放能力均提高了 10%;2)使用故障率低,排液装置滤管处滤网由之前的每周更换一次改为每月更换一次;3)更换维修频率低,浸出液进口结构中的接管和布液装置中的布液盘均为免维修部件;4)树脂缓冲罐平盖结构由可拆结构改为固定结构之后,安装、操作、检修简单方便;5)每台吸附塔树脂缓冲罐和上封头节约不锈钢(S31603)800 kg,6 台吸附塔共节约不锈钢4 800 kg;6)浸出液进口结构、布液装置和树脂缓冲罐上盖结构均改为固定连接,节约了部分机加工费用。

## 4 结论

改进设计后的密实移动床吸附塔在功能性、使用故障率、更换维修频率、安全性、操作便利性和经济性等方面均得到了优化,实现了树脂流动通畅、浸出液布液均匀、排液装置出液通畅且滤网更换方便等功能,部件结构简单,维修方便,达到了预期目标。

该密实移动床吸附塔在中国北方某水冶厂已连续运行多年,应用效果良好,具有推广应用价值。

## 参考文献:

[1] 于湘浩,周秀溪,刘正镛,等. 密实移动床吸附塔吸附及多塔串联淋洗的研究[J]. 铀矿冶,1997,16(3):167-173.

[2] 韩青涛,赵良仁,张春雷,等. 我国铀矿冶领域应用的离子交换塔[J]. 湿法冶金,2008,27(3):176-180.

[3] 宫传文. 密实移动床离子交换提铀设备的结构特点及选型计算[J]. 铀矿冶,2007,26(3):135-141.

[4] 国家能源局. 塔式容器:NB/T 47041—2014[S]. 北京:新华出版社,2014.

[5] 中国国家标准化管理委员会. 压力容器:GB 150—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2012.

[6] 中华人民共和国工业和信息化部. 钢制化工容器结构设计规定:HG/T 20583—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2011.

[7] 郑贤中,付杰,刘根战,等. 反应釜多接管封头有限

元分析[J]. 机械工程与自动化，2021(6)：63-65.
[8] 李川，董金善，史为帅，等. 平封头双开孔接管结构有限元应力分析[J]. 石油化工设备，2020，49(2)：32-37.
[9] 许艳玲，张保. 吸附塔的疲劳分析[J]. 现代制造技术与装备，2012(1)：70-71.
[10] 周根茂，王廷学，王致远，等. 铀水冶离子交换塔中树脂床层状态的研究[J]. 铀矿冶，2006，25(3)：133-136.
[11] 肖微. 密实移动床吸附塔的改进设计[J]. 铀矿冶，2014，33(2)：99-101＋110.
[12] 张兆光. 某水冶厂密实移动床吸附塔溢流液塔盘密封装置的研制总结[J]. 中国矿业，2020，29(S2)：390-393＋397.

## Improvement Structure Design of Moving Bed Adsorption Tower in a Uranium Mill

ZHAO Hongwei, ZHAO Wenqing, WANG Hongbin
(The Fourth Research and Design Engineering Corporation, CNNC, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract**: In view of the shortage of important structural components, such as the liquid discharge device, upper head, resin buffer device, leachate inlet structure, liquid distribution device and resin buffer tank of the packed moving bed adsorption tower, the improved design of the structure was carried out by using the finite element method and the structural local adjustment method. The improved packed moving bed adsorption tower has been optimized in terms of functionality, use failure rate, replacement and maintenance frequency, simple and convenient operation and economy, the component structure is simple, the replacement of parts is convenient, reaching the expected goal.

**Key words**: packed moving bed; adsorption tower; structural improvement; finite element calculation