

钢制套装储液罐改进设计

孙磊

中陕核工业集团陕西二一〇研究所有限公司，陕西 咸阳 712000

DOI: 10.61369/SDME.2025120021

摘要：100立方钢质套装储液罐（简称百方罐）作为中石油井场和地质钻探必需的返排液储蓄容器，现中石油各个井场已全面配备。但原设计结构在井场搬迁吊装时会花费大量时间。改进后的百方水罐是将原来的大罐（60立方）、小罐（40立方）和活动支架三部分上下放置结构变成大罐和小罐两部分，且两罐常处半连体状态，其中大罐和小罐在其各自重要位置增加支撑立柱和限位，从而大幅度缩短中石油井场搬家时百方水罐的吊装拆卸和吊装时间问题，工时仅需原来的1/3。

关键词：返排液；百方水罐；结构；活动支架；吊装；拆卸；时间

Improved Design of Steel Set Liquid Storage Tank

Sun Lei

Shaanxi 210 Research Institute Co., Ltd., China Shaanxi Nuclear Industry Group, Xianyang, Shaanxi 712000

Abstract : The 100-cubic-meter steel set liquid storage tank (referred to as the 100-cubic tank) is an essential storage container for flowback fluid in CNPC well sites and geological drilling, and it has been fully equipped in all CNPC well sites. However, the original design structure takes a lot of time during the hoisting process when relocating the well site. The improved 100-cubic-meter water tank changes the original upper-lower placement structure of three parts (the large tank (60 cubic meters), the small tank (40 cubic meters) and the movable support) into two parts (the large tank and the small tank), and the two tanks are usually in a semi-connected state. Among them, support columns and limiters are added at the respective important positions of the large tank and the small tank, thus significantly shortening the hoisting and disassembly time of the 100-cubic-meter water tank when CNPC well sites are moved, and the working hours are only 1/3 of the original.

Keywords : flowback fluid; 100-cubic-meter water tank; structure; movable support; hoisting; disassembly; time

引言

百方水罐是中石油各个井场必需的返排液储蓄工具，因其叠放时储液量大、承载力强，套放时搬运方便且符合道路运输要求而受到中石油公司领导和工人的青睐^[1]。正因如此，中石油的各个井场基本都配备了30套以上的百方罐，百方罐数量占据井场设备一半以上，但每次井场压裂完成，搬家的过程中，每套百方罐吊装至运输车都需要五道工序：吊下小罐、吊下活动支架、小罐掉入大罐、活动支架吊放于大罐上、吊起大罐放置于运输卡车上，五道工序需要石油工人五次上下设备，吊车吊装五次等，这和石油井场安全、高效搬迁工作出现极大矛盾，所以我们将百方罐进行了改进设计，将原来五次吊装变成只需两次完成的新型结构。

一、百方水罐原来结构

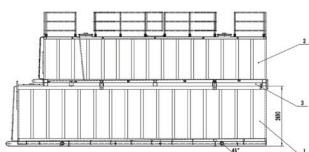


图1 1.60方大罐 ;2.40方小罐 ;3. 活动支架

百方水罐原来结构从下到上依次为大罐、活动支架和小罐。大罐由22#工字钢为主体的底座、6mm厚V型瓦楞板的墙体、150*8方管的上框架组成，小罐由150*8方管的底座、6mm厚V型瓦楞板的墙体、100*5方管的上框架组成，活动支架主要由150*8方管焊接成。放置方式是小罐、活动支架依次从大罐取下，再将活动支架架在大罐上，最后将小罐放置在活动支架上^[2]。这种吊装方式有三个重大的弊端：井场石油工人需要五次上下设备进行吊装锁具的拆装，罐具高度较高，存在很大安全隐患；（1）每

作者简介：孙磊（1990—），男，陕西咸阳人，大学本科学历，中级工程师，注册建造师，机械设计制造及自动化专业，现任职于中陕核二一〇研究所有限公司，主要从事石油罐具及配套设施的结构设计与开发。

具罐吊装次数较多，对井场快速搬迁不利；（2）吊装费用较大。

二、百方水罐改造后结构设计及分析

根据以上情况，我们对原有百方水罐进行了较大改进，将原来的三层摆放方式变成两层摆放，吊装次数由原来的五次减少到仅仅两次。此次改进充分解决了石油工人频繁上下设备安装吊索工具而产生的安全隐患问题，吊装次数的减少大大加快了井场搬迁进度，吊装费用减少三倍^[3-4]。

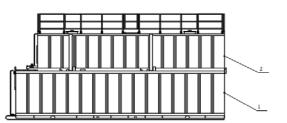


图2 改进后百方水罐图纸

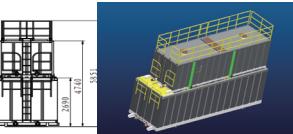


图3 改进后百方水罐三维模型图

（一）改造后的百方罐操作

改造后的百方罐操作如下：（1）百方罐使用吊装前，将大罐前平台抽拉出去（前平台有轴承），中间折叠平台翻转过来；再是石油工人安装吊索工具，吊车准备；（2）吊车将小罐从大罐中吊出，大罐上焊有前后限位，左右限位，中间限位，当小罐吊出向后移动碰到后限位时，吊车缓慢下降，碰左右限位和中间限位，小罐下降小罐立柱会刚好落在大罐内部立柱上；（3）最后将前平台推进去，固定插销和所有护栏，去掉吊索，安装完毕。

（二）增加支撑立柱

将中间一层的活动支架去掉后，小罐失去了在大罐上支撑的受力面，改进后我们在大罐内壁两侧前后增加了四个立柱，四个立柱和大罐后端面作为小罐新的支撑点。四个立柱选用22#A槽钢，槽钢口对口焊接，形成220*154*7矩管，槽钢上下用厚度20mm板封头，立柱按规定尺寸焊接在大罐内壁，防止变形严重，断续焊接。选用140*80*8矩管作为小罐立柱，矩管上下用厚度20mm板封头，立柱按规定尺寸焊接在小罐外壁，防止变形严重，断续焊接。



图4 大罐立柱



图5 小罐立柱

（三）增加限位

大罐对小罐吊装限位有四种：分别是后限位、两侧限位、滑槽限位和防止大罐变形的挂钩。前三种限位都选用长度730mm、120*80*6矩管，不同之处在于限位开口方向不一样。挂钩选用22#A槽钢，在小罐规定位置焊接L=80mm的槽钢作为挂钩母端，在大罐对应位置焊接挂钩公端。

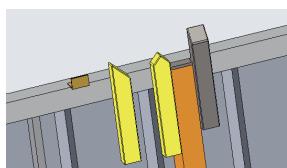


图6 侧限位、滑槽限位及挂钩

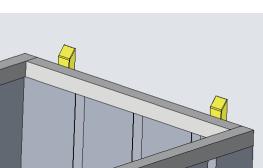


图7 后限位

（四）大罐平台设计

去掉活动支架后，由大罐上小罐中间位置缺少站立的观察平台，这里没有足够的空间，平台还要考虑可以抽拉，方便小罐能够顺利吊入大罐内，故我们将平台分三部分做：两边做1000*1000的活动平台，平台选用5mm厚花纹板，板下用30*30*3方管做加强骨架，平台两边设计U型轨道（靠近边的长，中间短点），轨道安装6001轴承¹，方便抽拉省力；中间小平台分两部分，靠近罐边沿做固定的，尺寸为500*540，另一部分尺寸400*540用合页连接。

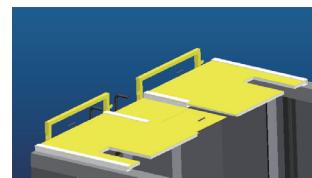


图8 大罐平台

（五）大罐改造受力、应力分析²

查《机械设计手册》可知：

Q235型钢，其屈服应力 $[\sigma_s] = 235 \text{ MPa}$, $a=304 \text{ MPa}$, $b=1.12 \text{ MPa}$ (a, b 是与材料性质有关的常数)

$$\lambda_p=100 \quad (\lambda_p \text{ 表示与比例极限 } \sigma_p \text{ 对应的柔度值})$$

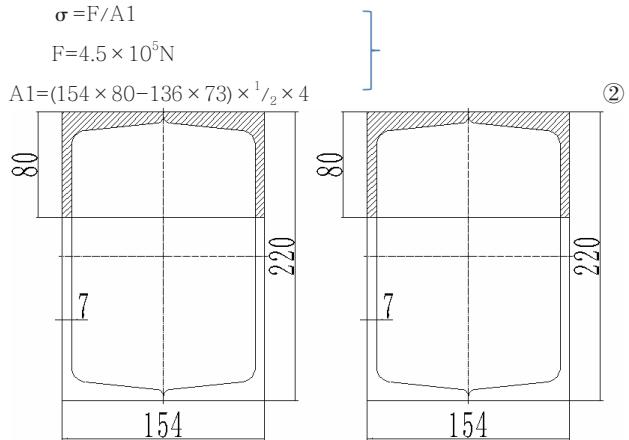
$$\lambda_s=61.4 \quad (\lambda_s \text{ 表示与屈服极限 } \sigma_s \text{ 对应的柔度值})$$

$$\therefore Q235 \text{ 的柔度值 } \lambda \quad 61.4 \leq \lambda \leq 100$$

$$\text{又} \because \text{中柔度杆 } \lambda \quad 60 \leq \lambda \leq 100$$

$$\therefore \text{该立柱稳定性应根据中柔度杆进行计算，即：} \sigma_{cr}=a-b\lambda \\ \text{当 } \lambda=100 \text{ 时 } \sigma_{crmin}=304-1.12 \times 100=192 \text{ MPa} \quad ①$$

大罐立柱截面为两个22#A槽钢对焊，故截面如下图，受力宽度为80mm；



$$\sigma = 47 \text{ MPa}$$

由失稳时最小应为 $\sigma_{crmin}=192 \text{ MPa} > \sigma = 47 \text{ MPa}$ 故不会失稳

由 $\sigma = 47 \text{ MPa} < [\sigma_s] = 235 \text{ MPa}$ 故强度足够

立柱切应力为立柱和大罐内壁焊缝，共四根立柱，每个立柱两条断续长焊缝，焊缝高度 $h=8 \text{ mm}$ ，立柱长度 $L=2050 \text{ mm}$ 。

切应力

$$\tau = F/A_2 \quad \left. \right\} \\ F = 4.5 \times 10^5 \text{ N}$$

③

$$A_2=2 \times 5 \times 10^{-3} \times 4 \text{ mm}^2$$

$$\tau = 11.25 \text{ MPa} < [\tau] = 0.6 \times [\sigma_s] = 141 \text{ MPa}$$

故切应力足够

由①②③可知，对大罐用对焊22# A槽钢，作为小罐立柱，受力达到要求，此方案可行。

(六) 小罐改造受力、应力分析

小罐自重5t，小罐内储水，储满水时为40m³，记 m_水=40t。

我们用140*80*8方管，现对小罐进行应力分析；

$$F = (m_{\text{小罐}} + m_{\text{水}}) g = F = 4.5 \times 10^5 \text{ N}$$
$$A_1 = 4 \times (140 \times 80 - 124 \times 64) \times 10^{-6}$$
$$\sigma = F/A_1 = 34.5 \text{ MPa} < [\sigma_s] = 235 \text{ MPa}$$

故强度满足。

考虑小罐立柱切应力，L=2000mm，焊缝高度 h=8mm，

$$A_2 = 8 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$
$$\tau = F/A_2 = 7 \text{ MPa} < 0.6[\sigma_s] = 0.6 \times 235 = 141 \text{ MPa}$$

由④⑤可知切应力符合强度要求，

故小罐改进可行。

由①②③④⑤可知，对大罐用22#槽钢对焊做立柱，对小罐用140*80*8矩管做立柱，强度、切应力及稳定性都满足，故可行。

三、车间生产及试验

根据改造设计，我们在车间对一套原来的百方罐进行了改造

试验，改造完成后除了打磨、喷漆外，我们还进行了百方罐灌水试验，对大罐、小罐分别加满水，罐体及水的总重量达到115吨。放置2天后，罐体无任何漏水、变形，焊接立柱焊缝处也无任何开裂情况。此次实验说明：百方罐改造结构的受力能够达到设计要求，满足受力强度。



图9 改造实体图 图10 检验报告

四、结论

改进后的百方罐在结构上简化，具有结构设计合理，操作简单方便，改造成本低等特点。工人操作及吊车吊装时间明显减少，安全隐患大大降低，达到设计要求。下一步我们再根据现场使用反馈信息，将不断完善改进、优化设计，让改造的效果达到最佳。

参考文献

- [1] 黄茹. 基于用 MCGS 实现双储液罐液位监控系统设计研究 [J]. 电子制作 , 2022, 30(14):16–19.
- [2] 杜亮坡, 等. "一种新型低温液氢储罐的设计方法", CN115949881A. 2023.
- [3] 王志文, 叶强. "液流电池系统储液罐中电解液的混合损失及导流策略." 储能科学与技术 12.4(2023):1148–1157.
- [4] 毕金保. 一种带清洗功能的灌装机储液罐 .CN202222575508.7[2025-04-03].