

中空纤维超滤膜在饮用水处理中的应用

摘要 本文介绍了一种中空纤维超滤膜产品和超滤膜用于饮用水处理的基本情况，通过分别在国内外完成的两个中试实验阐述了超滤膜在地表水处理方面的应用技术及工艺特点。Hydracap 中空纤维超滤膜与微絮凝结合使用可有效去除天然水体中的细菌、病毒、悬浮物、胶体、铁、硅、铝和 COD 等各种污染物，周期性产水反洗和定期加药反洗可以完全清除膜面累计的颗粒物。超滤系统能够在 100-130l/mh 的高通量下以全量过滤方式保持长期稳定运行。

1. 引论

超滤膜的孔径范围在几个到几十个纳米之间，可以完全去除原水中的细菌、病毒和悬浮物，与微絮凝技术结合使用可有效去除色度、异味物质、TOC 和 COD 等有机物。超滤工艺的应用明显提高了处理水的各项水质指标，而且还有工艺简单、性能可靠、易于扩建、占地面积小、易于操作维护等优点。用于水处理工程超滤膜主要是中空纤维或毛细管膜，运行压力低于 0.1MPa，所以也叫低压超滤。传统超滤主要采用错流模式，运行压力相对较高（一般在 0.1MPa 以上），低压超滤一般采用全量过滤或浓水排放直流过滤模式。与传统超滤相比，具有能耗低、系统简单、投资低、易于控制和操作和优势^[1]。

超滤技术在饮用水处理市场上快速推广的原因有三方面。首先，地下水资源已无法满足日益城市用水的需求，人们开始越来越多的开采地表水源，而地表水水质的不稳定性使传统自来水工艺受到了挑战。其次，饮用水的水质指标比过去更高、要求更严格。还有，膜技术的进步和市场的发展使得膜产品的价格和运行成本能够与传统技术相近^[2,3]。

在过去几年的市政用水市场上，微滤、超滤技术在水过滤工艺中的应用呈爆炸性增长趋势。世界各地有数百套 MF/UF 系统在运行之中，微滤、超滤处理水量超过了 400 万吨/天。在市政用水市场上 MF/UF 的迅速崛起，得益于对以地表水源为主的自来水水质指标日益增长的严格控制。在美国，MF/UF 作为高质量饮用水制造设备得到了普遍的认可，因为能够有效控制病原微生物和有潜在致癌危险的消毒副产物（DBP）。这些微生物和 DBP 控制指标的提出是联邦政府行为，已经被确定为今后的“地表水处理规则（SWTR）”、“改进地表水

处理规则（ESWTR）”和“消毒剂/消毒副产物规则（D/DBPR）”的一部分 [2]。

对于应用于饮用水处理的超滤装置而言，需要满足以下几点：（a）分离性能要达到饮用水安全指标的要求，比如对贾第鞭毛虫和隐孢子菌的去除率达到 99.99 以上，对色度、气味和 TOC 能够有效去除。（b）膜的机械性能和化学性能稳定，膜不易破损（比如中空纤维可能发生断丝现象），不易受到酸碱、氧化剂等化学品的腐蚀。保证使用期内膜分离性能的有效可靠，以及抗污染运行工艺和化学处理的使用。（c）超滤系统可在低压（低于 0.05MPa）和高通量（100lmh 以上）下运行，化学清洗频率低（大于 1-3 月），这样才能保证较低的系统运行费用。（d）水利用率（产品水占系统输入原水的比例）一般要达到 85-95%。

海德能公司是世界主要反渗透/纳滤膜和超滤膜供应商，较早在国内开展超滤水处理应用工程方面的工作。在国外取得的工作经验基础上，海德能针对国内不同水质特点开展了大量的中试工作，形成了一整套针对有效的工程技术规则。本文简要介绍海德能公司的超滤膜 Hydracap 系列产品的应用技术及工程案例。

2. 市政用水安全认证

Hydracap 中空纤维超滤膜通过了多项保证饮用水（市政用水）安全的国际认证。其中包括：

1) 美国环保署（EPA）/国家科学基金会（NSF）环境技术认证报告：病毒的去除率 4.7 log。

2) 英国饮水监测协会（DWI）认证：HYDRAcap 所有材质及配件符合饮用水安全标准。

3) 美国加州卫生与健康事业局（DHS）：HYDRAcap 对贾底鞭毛虫、隐孢子虫和病毒具有 4log 的高去除率。

3. 中试案例

3.1 海德能HYDRAcap在Alamida县水务局的测试

Montgomery Watson邀请海德能对其HYDRAcap®毛细管超滤膜10MGD处理量的地表水处理装置进行现场试验，试验的目的是对San Jose水厂进行技术升级。原水来自于南海湾引水渠。现场试验进行得相当充分，试验期为6个月，对若干预处理条件进行了试验。图 - 1是一个流程简图。

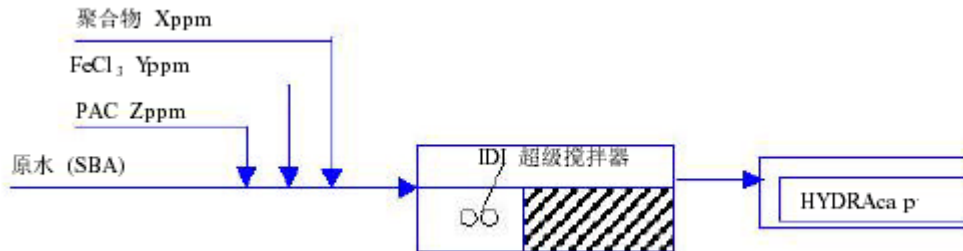


图-1 测试装置工艺流程简图

表 - 1 水质

成分	单位	原水	澄清池出水	UF滤液	UF反洗排水
TSS	mg/L	8	4	0	48
浊度	NTU	~20	~3		
TOC	mg/L	3.1	2		
UV254	cm-1	0.102	0.094		
碱度	mg/L	64.0	60		
pH		8.2	7.2		
硬度	mg/L	86.0			
色度	cu	25.0	15		
铁	ug/L	758	1070	80	~6300

3.1.1 性能总结

这套装置的HYDRAcap组件进行了3000多个小时现场研究。该项研究可以按5个预处理路线分为8个明显的批次。5个预处理路线中有2个进行了重复试验。这些考核总结在表 - 2中。据Montgomery Watson的总结，HYDRAcap®膜在现场试验研究中展示了以下参数：

表 - 2 HYDRAcap®技术指标

供水条件	20 标准通量	错流速率	反洗频率	回收率
原水 (<10NTU)	40GFD	0 to 7 gpm	30 min	85%
原水 (>10NTU)	40GFD	7 to 16 gpm	20 min	75%
澄清水	60GFD	0	30 min	90%

表 - 3现场试验总结

批次	描述	日期	运行时间	原水平均浊度 NTU	产水通量 GFD	循环流速 GPM	反洗周期, 分钟	回收率	反洗加药
1	澄清处理, 15mg/l FeCl ₃ -SP-UF	3/9/99-3/31	5200-5656	3	43	Usually 0	30	85%	5mg/l Cl ₂ every BW
2	原水	4/1 - 6/3	5656-6600	19	43	8	20	80%	5mg/l Cl ₂ 每次反洗, pH2 HCl每三次反洗
3	PA, 10/20mg/l PAC-SP-UF	6/3 - 7/5	6600-7260	25-30	43	16	20	80%	15mg/l Cl ₂ 每次反洗
4	澄清处理II, 5mg/l FeCl ₃ -SP-UF	7/5 - 7/22	7260-7640	2	64	0	30	90%	15mg/l Cl ₂ 每次反洗
5	PAC/澄清处理, 20mg/l PAC-15mg/l FeCl ₃ -SP-UF	7/22 - 8/13	7640-8088	4	64	0	30	90%	15mg/l Cl ₂ 每次反洗
6	原水 II	8/13-8/24	8088-8300	12	43	10	30	85%	15mg/l Cl ₂ 每次反洗
7	PAC 味觉和气味改善	8/25 - 8/27	8300-8350						
8	澄清处理, 5-15mg/l FeCl ₃ -Polymer-SP-UF, 1-3mg/l Calgon Cat-Floc TL 或0.3 - 1mg/l Betz 1115LP	8/30 to 9/15	8350-8680 (不同组件)		43	0	20	80%	15mg/l Cl ₂ 每次反洗

进一步归纳, HYADARcap®展示了以下运行特性:

- 将原水浊度从2 - 60降到0.06NTU以下。
- 悬浮固体TSS降到了检出极限以下。
- 铁去除率大于90%。
- MS2抗菌素去除率(病毒)大于4log。

- e) 味道和气味物质去除率：甲基异冰片（MIB）>90%，与30mg/lPAC及澄清结合使用。
- f) Geosmin去除率>90%，与30mg/lPAC及聚合物澄清结合使用。
- g) 连续5天将1.0mg/l阴离子聚合物（Betz Dearborne 1115LP）与FeCl₃结合使用，没有发生膜通量衰减。
- h) 使用阳离子聚合物（Calgon Cat-Floc TL）9天，没有发生膜通量衰减。
- i) HYDRAcap®连续运行3000小时没有发生断丝。

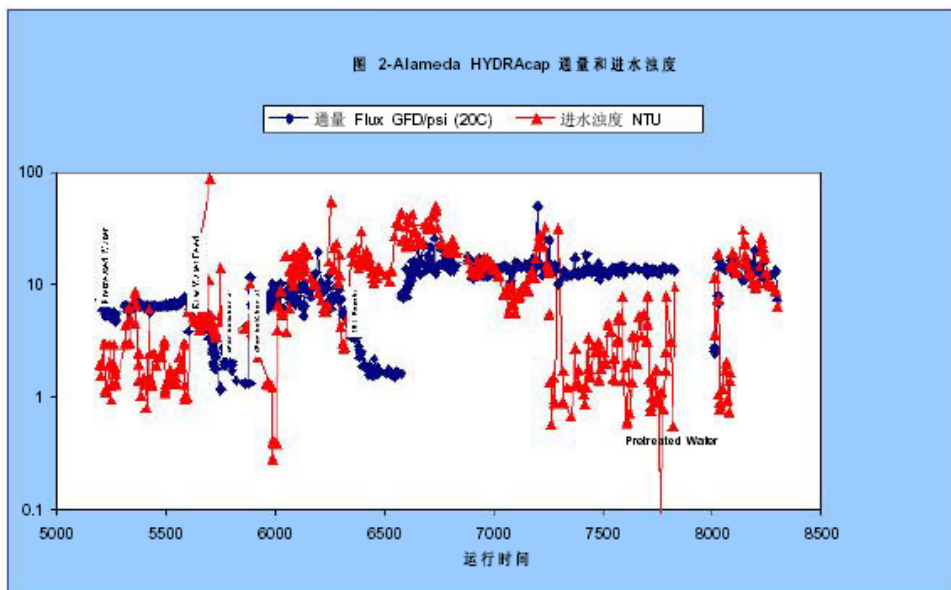
3.1.2膜性能分析

3.1.2.1 膜性能稳定性及膜污染

图2是在整个试验研究期间HYDRAcap®的膜通量随进水浊度变化的情况。

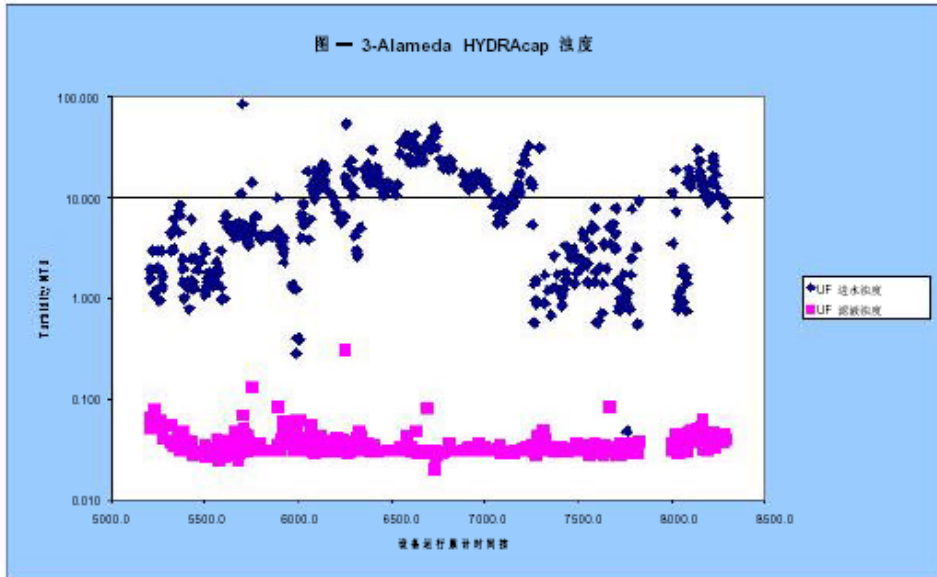
从图 - 2可以发现下列几点有显著特性：

- a) 只有两次污染的情况（膜通量衰减），都发生在第一种原水试验研究期间。在第二种原水研究期间没有发生污染现象。
- b) 在整个现场试验期间，膜通量一直非常稳定。在有预处理的情况下，没有通量衰减。可以明显地看出，HYDRAcap®在配备预处理的情况下，可以将通量调到相当高。
- c) Montgomery Watson在现场试验末期进行了一系列的病毒去除试验，结果证明HYDRAcap®对病毒的去除率>5log，确证了膜的完整性。



3.1.2.3 浊度

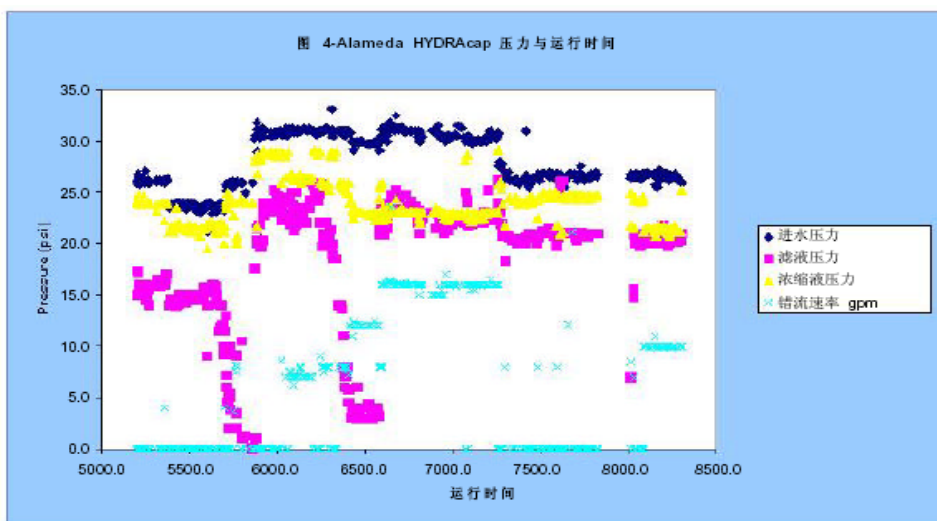
图 - 3显示了在HYDRAcap®UF系统进水浊度高达60NTU的情况下，产水浊度一直保持<0.1NTU（一般<0.06NTU）。



3.1.2.3 压力

图 - 4显示了整个试验过程的压力和错流速率的情况，有意义的是以下几点：

- 进水压力在25psi到30psi之间变动，跨膜压差一般为5 - 10psi。在两次污染发生时，TMP高达25psi。
- 在投加PAC并以16gpm的错流速率运行时，进水口到浓水口（底部到顶端）的压力差为8psi，致使组件的整体驱动力非常低。



3.1.2.4 异味和气味去除研究

表 - 4给出了Geosmin和MIB峰值分析结果。

表 - 4 MIB 和 Geosmin 脱除效果

		MIB mg/L	
PAC, mg/L	增敏原水	超搅拌后	HYDRAcap 滤液
10	77	24	23
20	94	25	6.4
		Geosmin mg/L	
PAC, mg/L	增敏原水	超搅拌后	HYDRAcap 滤液
10	26	3.8	<3
20	31	7.5	<3

3.1.2.5 MS2病毒挑战性测试结果

表 - 5给出了对MS2抗菌素去除达到5.0log，正如预期的一样，去除率在单个过滤循环期间随时间增加。

表 - 5 MS2抗菌素去除效果

时间	操作模式			
	直流1	错流	投加PAC	直流 2
反洗刚完	4.8	3.3	4.2	5.5
循环中间	5.8	4.7	5.2	5.9
反洗前	4.6	5.2	5.3	5.9

3.1.2.6 HYDRAcap®的完整性

虽然这里没有呈完整性测试数据，HYDRAcap®经过了十多次气泡测试，在这个研究期间没有发生一根断丝。