



MOJISHU WENDA

膜技术 问答

■ 王又蓉 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

膜 技 术 问 答

王又蓉 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

膜技术问答 / 王又蓉编著. —北京: 国防工业出版社,
2007. 1

ISBN 7-118-04700-7

I. 膜... II. 王... III. 薄膜技术—问答
IV. TB43-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 089627 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 6% 字数 163 千字

2007 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 16.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764

前 言

膜技术是一种新型、高效、节能的分离技术。作为多学科交叉的产物,膜技术在水处理、食品、医药、生物、石油、化工、气体分离等领域都发挥着重要作用,并为解决我国当前的能源短缺、环境保护和清洁生产等重大战略问题提供了新途径。

目前,我国许多领域的科技和工程工作者都在从事与膜技术相关的工作,并深切地关注着膜产业的发展。编者从事水处理设计和运行工作已四十余年,但只是近几年才体会到膜技术在水处理中的规模化应用真正为我国的水处理技术带来了一次革命。无论是给水深度处理还是行业特种水处理,膜技术可以说是无处不在。随着膜材料和膜品种的日益丰富,膜器件价格的下降,有理由相信膜技术将在水处理领域发挥更大和更深层次的作用。为适应膜技术在我国快速发展,编者结合自己在膜分离技术实践工作中的经验和体会,以问答的形式将有关膜技术的基本知识和工程经验汇编成本书,希望能为我国的膜技术推广贡献微薄之力。

本书采用一问一答的形式编写,涉及的膜技术包括反渗透、纳滤、超滤、微滤以及离子交换膜,并主要将膜技术的应用集中在水处理领域;同时介绍了与水处理相关的一些基础知识供读者参阅。本书由浅入深,理论与实践相结合,既有常见的名词术语问答,也包括基本知识、设计要点和工程经验问答,因此,本书既可供初涉膜技术工作者学习之用,也可作为膜从业者的必备参考书。

鉴于我国膜技术尚与国外存在一定差距,膜技术的一些潜在应用领域尚未被真正开发出来,有理由相信,在未来的 20 年,膜技术将在我国迎来一个新的发展高潮。希望本书的出版能为我国的环保工作者以及其他相关行业的膜从业人员提供一个认识和学习膜技术的工具书,并由此开拓出一些新的产业和应用领域。

本书参阅了大量国内外的有关膜技术的资料及专著,在此对其作者表示感谢。由于编者知识有限,时间仓促,书中难免存在错误和不足之处,在此恳请广大读者和同行批评指正。

编者

2006 年 7 月

目 录

第1章 相关基础知识	1
1. 如何使水处理工艺按所需方向顺利进行?	1
2. 常用的水泵有哪些,如何操作与维护?	2
3. 对水处理工程中的管道有何要求?	5
4. 对水处理工程中的阀门有何要求?	6
5. 水处理工程中常用的仪表有哪些?	7
6. 表征水质和水质处理的常用术语有哪些?	8
7. 表征水的污染与废(污)水处理的术语有哪些?	9
8. 与水质检测或监测有关的术语有哪些?	10
9. 水中所含杂质的主要检测项目术语有哪些?	12
10. 说明水质的概要分类?	14
11. 化学需氧量、生化需氧量与水质污染的关系 如何?	17
12. 温度、压力、流速对水处理工艺有何影响?	19
13. 怎样测准纯水的电导率,其电导率能有多低?	20
14. 何谓难溶物质及其溶度积常数,如何用来判断沉淀的 形成?	21
15. 如何防止成垢物质在反渗透装置中析出?	23
16. 如何认识胶体溶液及胶体溶液的性质?	24
17. 如何按照分散相粒径选取合适的处理方法?	25
18. 试述混凝处理过程及澄清过程?	26
19. 各种过滤工艺的阻滤特点有哪些?	28
20. 水质软化的进展及前景如何?	30
21. 试述各种蒸发脱盐工艺及应用?	31

22. 简述离子交换脱盐工艺及系统组合?	32
23. 何谓电去离子工艺,它与反渗透联合应用的前景如何?	34
24. 全膜法水质处理的可行性如何?	35
25. 绿色水质处理的途径与前景如何?	37
26. 生活污水如何处理,可否利用膜法精制处理?	39
27. 说明膜的定义?	40
28. 膜可以分为哪些种类?	41
29. 膜分离技术的优点有哪些?	46
30. 膜性能表征有哪几个方面?	47
31. 膜材料具有哪些特点?	47
32. 说明什么是膜的污染和劣化及其影响?	48
33. 膜污染的主要方式有哪些?	50
34. 为防止膜污染和劣化,膜的预处理方法有哪些?	51
35. 说明污染膜的清洗和膜性能再生的方法?	56
36. 膜过程中膜污染的防治方法有哪些?	61
37. 操作运行条件对膜污染的影响有哪些?	62
38. 膜法水处理有哪些方面的应用?	62
第2章 反渗透在水处理中的应用	65
1. 什么是反渗过程?	65
2. 反渗透的分离机理是什么?	65
3. 醋酸纤维素反渗透膜的性能如何?	65
4. 什么是渗透与渗透压?	66
5. 反渗透膜的常用材质是什么?	67
6. 膜的理化指标有哪些?	69
7. 膜的分离透过特性指标有哪些?	69
8. 膜的运行条件的影响因素有哪些?	69
9. 消除浓差极化的措施有哪些?	69
10. 膜元件的标准回收率、实际回收率与系统回收率 分别是什么?	70

11. 如何确定系统回收率?	71
12. 膜元件标准温度与实际使用温度分别是什么?	71
13. 膜元件标准压力与使用压力分别是什么?	72
14. 如何计算系统脱盐率?	73
15. 系统安装前的膜元件如何保存?	73
16. 什么是膜元件的标准脱盐率、实际脱盐率与系统脱盐率?	73
17. 什么是脱盐率衰减系数?	74
18. 反渗透的寿命有多长?	75
19. 膜元件的保质期多长?	75
20. 反渗透系统设计前应考虑哪些方面的情况?	76
21. 水质全分析应该包括哪些内容?	78
22. 如何设计反渗透系统?	79
23. 反渗透复合膜元件通常分为几个系列?	80
24. 如何决定选用哪个系列的反渗透膜?	80
25. 怎样初步确定系统所需膜元件使用数目?	80
26. 反渗透系统常用术语有哪些?	82
27. 反渗透装置的设计程序是怎样的?	83
28. 怎样进行膜组件的选用?	83
29. 反渗透装置的配套件有哪些?	84
30. 反渗透装置的辅助设备有哪些?	86
31. 反渗透脱盐系统检测和控制功能有哪些?	87
32. 反渗透为什么要进行预处理?	90
33. 影响反渗透的因素有哪些?	93
34. 反渗透膜元件的安装注意事项有哪些?	93
35. 反渗透膜元件在使用前应如何保管?	94
36. 什么是反渗透膜的再生系统?	94
第3章 纳滤膜在水处理中应用	96
1. 什么是纳滤过程?	96
2. 纳滤的分离机理和分离规律是什么?	96

3. 试说明纳滤的操作模式?	97
4. 纳滤膜的制备方法有哪些?	97
5. 试说明纳滤膜组件及其分离过程?	101
6. 纳滤膜分离过程的设计内容有哪些?	102
7. 纳滤膜分离系统设计中的注意事项有哪些?	103
8. 什么是纳滤膜的污染和劣化,原因是什么?	104
9. 纳滤膜污染物质的预处理法有哪些?	105
10. 什么是纳滤膜分离系统的维持管理?	108
11. 纳滤膜的应用研究应该侧重哪几个方面?	110
12. 纳滤膜可以应用于哪些方面?	110
13. 纳滤膜有哪些应用特点?	110
14. 纳滤膜如何用于生产和生活用水的净化及软化? ...	111
15. 纳滤膜如何在物料回收、分级及浓缩方面应用? ...	111
16. 纳滤膜如何用于工业废水及生活污水的处理?	113
17. 纳滤膜怎样在脱色方面应用?	117
18. 纳滤膜如何在低聚糖的分离和精制中应用?	117
19. 纳滤膜如何在果汁的高浓度浓缩中应用?	118
20. 纳滤膜如何在多肽和氨基酸的分离中应用?	119
21. 纳滤膜的其他应用还有哪些?	120
第4章 超滤在水处理中的应用	123
1. 超滤膜的分离机理是什么?	123
2. 超滤的操作模式有哪些?	123
3. 什么是超滤过程的数学描述?	124
4. 怎样制备超滤膜,超滤膜的材料有哪些?	124
5. 超滤膜的性能如何测定?	126
6. 什么是超滤膜污染及其影响因素?	129
7. 什么是超滤初始通量下降与长期通量下降,其影响 因素是什么?	130
8. 如何进行超滤膜的清洗?	131
9. 超滤膜的工业应用有哪几种类型?	135

10. 如何用超滤进行电泳漆回收?	135
11. 如何利用超滤进行含油废水的回收?	136
12. 如何用超滤处理含重金属废水?	137
13. 如何用超滤处理乳品?	138
14. 如何用超滤进行果汁澄清?	140
15. 如何用超滤进行血清白蛋白的提取?	140
16. 超滤技术还有哪些工业应用?	143
17. 不同超滤组件对于各种工业应用的适用性 如何?	144
18. 说明超滤膜分离系统及工艺流程?	145
19. 超滤的应用现状及前景如何?	146
第5章 微滤膜在水处理中的应用	150
1. 试说明微滤过程?	150
2. 微滤分离机理是什么?	151
3. 微滤操作模式有哪些?	152
4. 微滤膜的特点有哪些?	154
5. 微滤膜的膜材料有哪些?	155
6. 微滤膜的制备技术有哪些?	158
7. 微滤膜的性能及其测试方法有哪些?	163
8. 微滤膜组件的评价有哪些指标?	165
9. 微滤膜的污染与其防治方法有哪些?	167
10. 微滤膜的清洗方法有哪些?	169
11. 微滤膜的特点有哪些?	171
12. 微滤过滤器的类型及其选择原则有哪些?	172
13. 微滤过滤器怎样进行清洗和消毒?	173
14. 微滤膜有哪些应用?	174
15. 微滤的应用现状及前景如何?	176
第6章 离子交换膜在水处理中的应用	178
1. 离子交换膜分离的基本原理是什么?	178
2. 什么是离子交换膜的选择透过性?	180

3. 说明电渗析的基本过程?	181
4. 离子交换膜分离的应用有哪些方面?	182
5. 离子交换膜分离的特点有哪些?	183
6. 离子交换膜的基本性能有哪些?	183
7. 离子交换膜的性能测定方法有哪些?	184
8. 试说明电渗析器的结构?	185
9. 说明电渗析器的组装?	185
10. 说明电渗析除盐的工艺流程?	186
11. 离子交换膜分离的主要用途有哪些?	189
参考文献	193

第1章 相关基础知识

1. 如何使水处理工艺按所需方向顺利进行?

在自然界进行着的一些过程是自发的,但是并非是人们所希望的。例如,地层和土壤中所含的盐分远远超过由冰雪融化所形成的水中的含量;盐分可以自动地由高含量向低含量溶入。制取化学除盐水或反渗透处理水要由原水中除去这些溶入的盐分,这需要能量才能实现。热力学表明:在任何过程中,能量不生不灭,可以转化;生活常识说明:热由高温处向低温处传递,水由高位向低位流动,燃气由高压处流向低压,电位差使电流流过导线与设备。但是许多工程工艺都是要和自发方向相反地进行。除了所举的盐类溶解与脱盐的例证之外,在空调系统中借助冷媒和热交换系统使室内热量向温度较高的室外传送;抽气机可以把低压气体抽至较高的地带去。

在工程中,尽管重力滤池可以无需补加压力实现水的过滤,但是使用外加动力进行的管式过滤或滤膜过滤效果更好。渗透现象使作为溶剂的水分子穿过半透膜流向浓溶液,这是自发过程;但是为了脱盐的需要,施加外力使水分子由溶液中移出,形成了强大的反渗透膜工艺与反渗透水处理工艺。由热力学观点研究铁矿石的产生是自发的,将其冶炼成钢铁则需要热能。钢铁产品在使用过程中,由于气候作用产生锈蚀,由于热力的和化学的因素产生腐蚀,使其恢复铁矿石的本来面目,回归自然,是自发的。因此,腐蚀作用自动发生,防腐蚀则很困难。

在家庭生活中,要付出金钱,购买电力、燃料气体、热量和处理好的水。从消费角度考察,花费金钱是自动进行的,如果不付出金

钱,则无法进行照明、做饭、采暖和洗涤。但是充分利用太阳能,从家居的小系统之外以取得能量则可以获得光亮、温暖、节省大笔费用。因此人们居住向阳的房间,使用太阳能热水器,来减少开支。这一事实启发研究人员、设计者在小的体系之外获取动力,节省工程费用。

在火电厂中,化学除盐工艺的动力消耗是较大的,各类泵的噪声相当强。但是曾在某滨海观光城市见到过不用原水泵、清水泵、冲洗(含反洗)水泵和脱碳后的中间水泵以及除盐水泵的系统。该电厂原水碱度不超 0.7 mol/L ,省去了脱碳塔鼓风机,同时消除空气摩擦的噪声,依靠城市自来水的压力完成水的脱盐工艺及储存除盐水,除盐水受控均匀向凝汽器补充,保证了凝结含氧量的合格。

在水处理工程中,利用太阳能和外来动力以降低水处理成本,提高产品水质量和创造优美工作环境的可能性是有的,研究人员和设计者应尽量寻求,水处理设备的制造商也应在产品中充分予以考虑。各种低压反渗透膜、节能型滤膜和抗污染的各类膜元件,就是运用热力学原理的成就。

2. 常用的水泵有哪些,如何操作与维护?

泵用于传输液体,由于主要用于各种水的输送,常称做水泵。水泵在工作时,要满足传送目的地压力的要求,要克服管路的阻力,因此具有一定压力。在反渗透系统中,泵是制取产品水的主要设备。

在水处理工程中,常用的是离心泵与柱塞泵。常见的泵为卧式布置,视需要也有立式泵和潜水泵。视出口压力要求不同,有单级泵与多级泵。根据介质腐蚀情况,有时要采用耐腐蚀泵。水泵多用电动机驱动,大容量的高压泵耗电以千瓦·时($\text{kW} \cdot \text{h}$)计,也常使用蒸汽轮机驱动。

用于驱动原水通过反渗透装置的泵是离心泵,其出口压力较高,出水较小,但是功率不小。为了防止膜元件结污垢,要使用柱

塞泵或隔膜泵加入药剂;为便于膜元件的清洗,也要使用耐腐蚀泵。

中等容量和小容量的离心泵安装在混凝土基座上,并有底盘。对安装质量的要求是混凝土基础合格平整,泵的垫板与混凝土基础接触严密。操作时,要将泵的底盘在垫板上就位找平。先将水泵就位找正和固定,再根据水泵轴的中心找正电动机,并加以固定。水泵与电动机之间由靠背轮连接,安装完毕后,应再校正一次靠背轮的中心。水泵的台数应不少于2台,其中1台备用。一般水处理车间的原水泵单台出水200t/h,压力0.8MPa~1MPa,转速2950r/min,电动机功率55kW。

对于离心泵的泵轮、叶轮和诱导轮要求光洁无缺陷,泵轴与叶轮、轴套、轴承配合正确,叶轮的旋转方向应正确。装配好的水泵未加密封填料时,转子转动应灵活,不得偏斜、卡涩和摩擦。

填料密封的轴封装置在安装时,应要求填料质地柔软并具润滑性,填料内侧挡环与轴套的两侧径向间隙应为0.25mm~0.5mm。紧好法兰后,水封环应对准水封进水孔,水封孔道应畅通。加完填料后手动盘车应无偏重感。

立式泵有轴流泵和离心泵两类。立式轴流泵的主要部件是联轴器、填料槽、主轴、导轴承、叶片枢轴、壳罩、轴底座、叶轮、叶片、导水锥和导叶体。立式轴流泵固定部分上、下各节结合面的填料圈必须压正、压紧,不得有局部突起、脱槽或断裂。立式离心泵有叶轮、平衡鼓、平衡套筒和诱导轮等部分。

深井泵有转动轴、叶轮、轴承和进口叶壳等部分,深井泵安装在井管中。有用法兰连接的多级离心泵型的深井泵和用泵管连接的深井泵。潜水深井泵的电动机绝缘应满足要求,在电动机内灌注去离子水,24h后的绝缘电阻值不少于5MΩ方可。电动机的电缆线接头在水中浸泡,用500V绝缘电阻表测量,其绝缘电阻值应不低于5MΩ。耐腐蚀泵系列型号带有“F”字样。例如80F60表示的是入口直径为80mm的耐腐蚀泵,其扬程为60cm水柱(0.59MPa)。这种泵的主要部件是泵体、叶轮、泵盖轴、托架等。

其泵壳与通流部分的材料均为 1G18Ni9Ti 不锈钢。这种泵的出水为 $54\text{m}^3/\text{h}$, 转数 $2960\text{r}/\text{min}$, 电动机功率 22kW 。入口直径为 100mm 的 0.49MPa 的耐腐蚀泵流量可达 $100\text{m}^3/\text{h}$ 。柱塞泵具有计量加药的作用, 与之作用相同的还有隔膜泵。隔膜泵可用于输送和计量易燃、易爆、有毒和腐蚀性液体。这两种泵的动作原理相同, 都由传动箱和液缸头组成。传动箱由曲柄连杆和行程调节机构组成; 液缸是泵的水力部分, 它由吸入阀、排出阀、柱塞和密封填料组成。隔膜式泵头还有隔膜和限制板。柱塞在传动机构作用下作往复运动, 使液体被吸入和挤出; 隔膜泵也是借柱塞在隔膜液缸头内作往复运动, 使隔膜腔内产生压力, 推动隔膜在隔膜腔内前后鼓动而达到吸排作用。由于隔膜将柱塞与被输送介质隔开, 因此可以防止工作介质泄漏的不良影响。对于用非金属材料制作的耐腐蚀泵应注意避免磕碰撞击产生硬伤, 要严格按照使用温度操作, 防止与高温部件接触。在清洗时不可使用有机溶剂。对往复泵输液系统的安全阀应作细致检查, 并按设计压力进行调整, 通常应不超过工作压力的 1.25 倍。工作介质与柱塞直接接触的往复泵, 入口应有 50 目 ~ 100 目滤网。而且滤网的有效面积应不小于入口管截面的 $1/3$ 。对隔膜阀应注意隔膜装好后不得因挤压发生变形, 液压腔内不得含气体。

对新装的往复泵应在无负荷下 (出口阀门全开) 试运转 15min ; 再在工作压力的 0.25 倍、 0.5 倍和 0.75 倍依次试运转 0.5h ; 然后在工作压力下考验。离心泵在启动前应检查靠背轮连接是否牢固, 防护罩是否完整, 手动盘车是否感觉灵活无卡涩摩擦。轴承室内油质应良好, 油位应位于油缸高度的 $1/2 \sim 2/3$ 之间; 压力表的阀门应开启。关闭泵的出口阀门, 开启泵的入口阀门, 确认电动机的绝缘合格, 旋转方向正确后, 方可按“启动”按钮开泵。

启动后检查压力表是否已有指示, 并达到规定值, 注意指针有无摆动现象。注意转动部件是否有异常声响, 运转中应每小时检查一次泵的运行情况, 注意电动机与泵有无异声和振动, 有无糊焦

等异味。电动机轴承温度应小于 70°C 。停泵时应先关闭出口阀门再按停止按钮。如果泵在室外或室温可能低于 5°C ,停泵后应放尽泵的积水,以免冻裂泵体。再次启动时切记充水以排出泵内空气(排气门见水)。往复式计量泵应依序开启泵的出口、入口截门再开泵,启动泵后才能调整柱塞的行程。如果是变频自动计量泵,在按“启动”按钮后,再按变频器上“启动”按钮,将“自动/手动”按钮切到自动位置,泵启动并自动调节。运转中每2h检查一次泵头、减速箱和电动机情况,注意有无异声,隔膜泵出口压力表指针应有所摆动。停泵时应先按“停止”按钮,再关闭出口阀门和入口阀门。

3. 对水处理工程中的管道有何要求?

水质处理设备,尤其是反渗透或其他膜处理设备都是泵、管道和设备的组合。因此各类管道是任何工程,尤其是水处理工程不可或缺的组成部分。反渗透装置的工作压力可达 4MPa ,属中压设备。除反渗透器本身的壳体应满足《压力容器安全技术监察规程》(该《规程》由国家质量技术监督局以质技监局锅发[1999]154号文件发布,用以代替原[1990]8号文件,按该《规程》的规定,设计压力为 $1.6\text{MPa} \sim 10\text{MPa}$ 为中压设备,如果在电力行业使用,还应满足DL612—1996《电力工业锅炉压力容器监察规程》和DL647—1998《电力工业锅炉压力容器检验规程》的要求)。

用于 2.5MPa 及以上压力的钢制管道,其化学成分与力学性能试验结果(包括拉伸强度、屈服及延伸率)均应符合要求。所使用的管子在安装前应作外观检查,有重皮、裂纹者不得使用,并且不得有显著划痕、凹坑等硬伤。管子的壁厚应达到设计要求。用于水质处理工艺的管道应考虑足够的腐蚀裕度。与管道有关的是其附件,如法兰和其他连接件、三通、弯头、大小头和波形补偿器等。在设计中和安装时,都应按管材使用的钢号和质量要求加以考察。如是焊接,则应要求焊丝及焊接质量满足要求。

对法兰的密封面要求光洁,不得有肉眼可见的径向槽痕,法兰

本身不得有毛刺、气孔、裂纹或其他可能降低强度或连接可靠性的缺陷。用于紧固的螺栓、螺、母要求螺纹完整而无伤痕、毛刺缺陷,螺栓与螺纹配合良好,无卡涩或松动感。垫片应平整,其硬度略低于法兰。

水处理工程和反渗透工程中常使用塑料或玻璃钢管道和管件。若是粘接,必须保证胶合剂质量和粘接强度。要求施工者严格按照粘接工艺施工,确保粘接已固化并达到预定强度后再进行安装,与管道相连接的三通、弯头等管件,应由制造厂配合所供应的设备定型模压生产。塑料、玻璃钢管道和管件宜用于室内,不可在烈日下长期使用,以免老化变质。塑料和玻璃钢管道支吊架的间距应符合设计规定,以免充有介质后出现垂弯变形。使用金属卡箍时应有橡胶类软垫,用法兰连接的玻璃钢管应防止受力不均发生变形。

在不同材质的管道敷设过程中,应先敷设钢管,其次是玻璃钢管,最后是塑料管道。不可在玻璃钢管道上钻孔。衬胶管道在安装前应经过电火花漏电检查,在使用中不得接触可以溶解橡胶的溶剂,应对所有法兰进行仔细检查和严格的水压(1.2 倍工作压力)试验。已安装好的衬胶管道不得再进行焊接或钻孔。

用于输送酸碱的管道不宜架空敷设,在有人行走处的法兰、阀门必须有保护罩或遮挡板。浓酸、碱的输送管应尽量用长管道,减少接头。

4. 对水处理工程中的阀门有何要求?

阀门有蝶阀、闸阀、球阀、旋塞阀、针型阀、止回阀、减压阀和安全阀等。在水处理工艺中所用的阀门多为闸阀、球阀,在使用酸、碱的设备管道上使用衬胶隔膜阀和气动隔膜阀。

闸阀与球阀均用于截止管道中介质的流通,起到隔离作用。闸阀也称闸板门,球阀也称截(止)门。对它们的要求是必须严密不漏。对每个阀门都应进行 1.25 倍工作压力的水压试验。对阀门应检查其开闭的灵活程度,查看填料是否符合要求,在填料密封