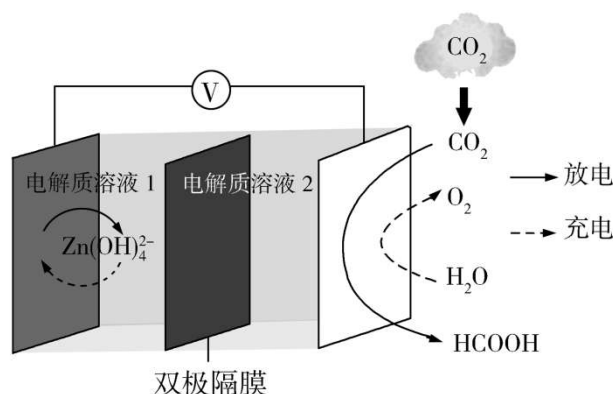


双极膜的导电原理以及高考应用

“科学家近年发明了一种新型 Zn-CO₂ 水介质电池，电池示意图如下，电极为金属锌和选择性催化材料。放电时，温室气体 CO₂ 被转化为储氢物质甲酸等，为解决环境和能源问题提供了一种新途径。”——节选自 2020 年全国高考理综化学第 12 题。图中用到了一种叫做“双极隔膜”的结构，这是什么呢？



2020 年全国高考理综卷

双极膜（bipolar membranes, BPM）是一种新型离子交换膜，提出于 20 世纪 50 年代，其膜主体可以分为阴离子交换层（anion-exchange layer, AEL）、阳离子交换层（cation-exchange layer, CEL）和中间界面层，水解离催化剂被夹在中间的离子交换聚合物中。与传统阴、阳离子交换膜不同，双极膜可以大幅度降低内部电阻，同时水解离产物 H⁺ 和 OH⁻ 可在电场力的作用下快速迁移到两侧溶液中，为膜两侧的半反应（比如 OER/HER）提供各自理想的 pH 条件。

双极膜的研究可追溯到上世纪 50 年代中期。上世纪 50 年代中期至 80 年代初期，这是双极膜发展十分缓慢的时期，双极膜仅是由两片阴阳离子膜直接压制得到，性能很差，水分解电压比理论压低几十倍，当时的研究是以水解离为基础的实验室阶段。从 80 年代初至 90 年代初，由于双极膜制备技术的改进，成功地研制了“涂层型”双极膜，其性能大大提高，在制酸碱和脱硫技术方面得到了应用。从 90 年代初至今，是双极膜迅猛发展的时期，随着对双极膜工作过程机理的深入研究，从膜结构、材料和制备过程上进行改进，使制得的双极性膜在性能上有较大提高，其中主要是对阴膜和阳膜接触界面处导入催化剂层，出现了带有中间“催化层”的复杂结构。现在国际市场上的 BP-I 型双极膜就是这种结构类型。

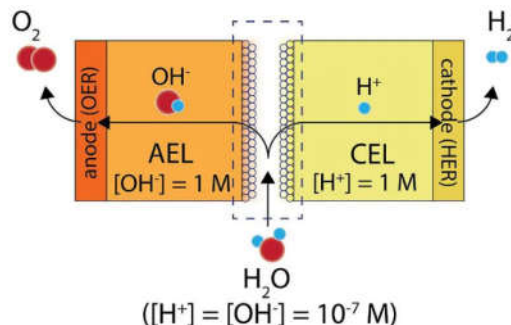
我国的双极膜研发工作从上世纪 90 年代才开始，起步比较晚。1992 年清华大学化工系开展了双极膜的应用研究，采用的是国外双极膜。随后华东理工大学、上海化工厂、中国科技大学、国家海洋局杭州水处理技术研究开发中心等单位进行了双极膜的制备工作，但只得到少量的实验室样品，

性能不好，均未得到实际应用。直到 2006 年，核工业北京化工冶金研究院葛道才高工发明了单片型双极膜，所制备的膜的性能可媲美国外同类产品，某些方面甚至超过它们，该制膜技术在北京廷润膜技术开发有限公司得到实施，我国双极膜已批量生产，结束了国内没有双极膜的历史。

双极膜的技术原理：

1、双极膜亦称双极性膜，是特种离子交换膜，它是由一张阳膜和一张阴膜复合制成的阴、阳复合膜。该膜的特点是在直流电场的作用下，阴、阳膜复合层间的 H_2O 解离成 H^+ 和 OH^- 并分别通过阴膜和阳膜，作为 H^+ 和 OH^- 离子源。双极膜按宏观膜体结构可分为均相双极膜和异相双极膜。

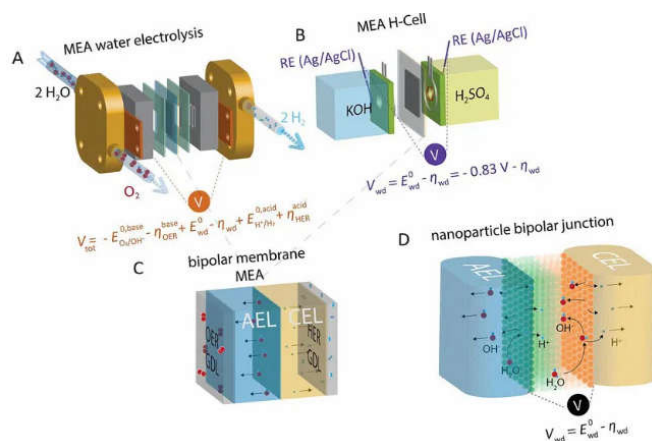
2、双极膜是一种新型的离子交换复合膜，它通常由阳离子交换层(N 型膜)、中间界面亲水层(催化层)和阴离子交换层(P 型膜)复合而成，是真正意义上的反应膜。中间界面层的厚度为纳米级，在直流电场作用下，中间界面层的水发生解离，在膜两侧分别得到氢离子和氢氧根离子。利用这一特点,将双极膜与其他阴阳离子交换膜组合成的双极膜电渗析系统，能够在不引入新组分的情况下将水溶液中的盐转化为对应的酸和碱，这种方法称为双极膜电渗析法。双极膜技术改变了传统工业分离和制备过程，双极膜电渗析法不仅用于制备酸和碱，若将其与单极膜巧妙地组合起来，在资源回收、化工生产和污染控制等方面均有广泛应用。



BPM 电解器驱动水解离示意图

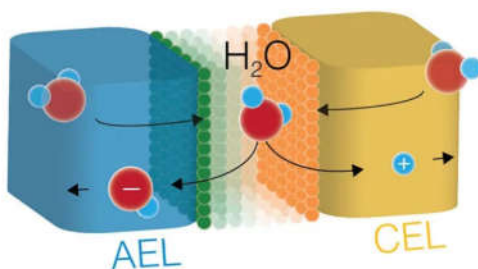
可别以为双极膜只能用来出高考题，用的好，它一样是上顶刊的助力。近日，美国俄勒冈大学的 **Shannon W. Boettcher** 教授和 **Sebastian Z. Oener** 博士等研究者在 *Science* 杂志上发表论文，利用一种双极膜电解器来定量研究多种金属和金属氧化物纳米颗粒的水解离动力学。他们发现，金属纳米颗粒的水解离活性与碱性析氢反应 (HER) 活性相关。而且，水解离催化层在双极膜 AEL-CEL 界面的确切位置会极大地影响催化剂的活性。于是，他们在界面使用催化剂双层——在酸性的 CEL 表面和碱性的 AEL 表面分别引入合适的水解离催化剂纳米颗粒，实现了具有创记录性能的双极膜，水解离过电位低于 10 mV ($20 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$)，纯水双极膜电解器在 $500 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ 电流密度下工作的电解电

压仅为~2.2 V。



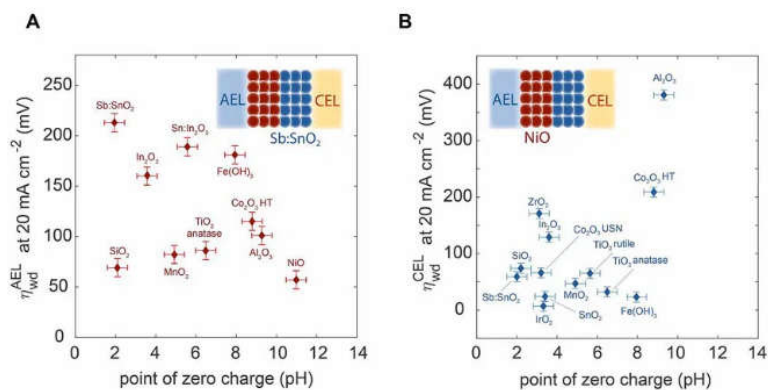
双极膜水解离研究示意图

水的解离对于任何使用水作为反应物的化学反应都非常重要，了解纯水的解离机制，是几十年来实验和理论的研究焦点。尽管双极膜已在工业上进行了小规模应用，然而，其性能只能在低电流密度下稳定，很少有人对双极膜体系进行系统研究，这也导致双极膜的应用缺乏理论基础。



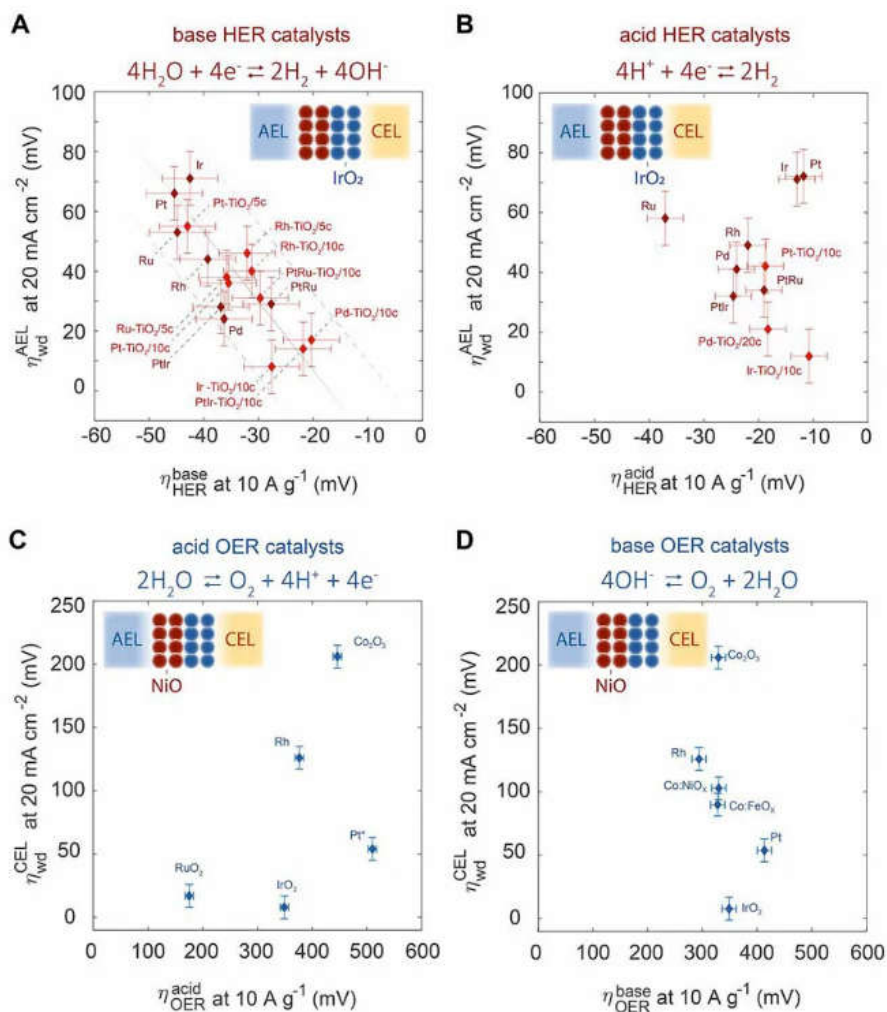
双极膜解离水示意图

研究者设计了一种膜电极组件，将双极膜压在两个刚性多孔集流体之间，组成双极膜电解器，这种方法可以快速研究多种水解离催化剂（~30 种材料）的双极膜，并精确地测量每种催化剂的活性。



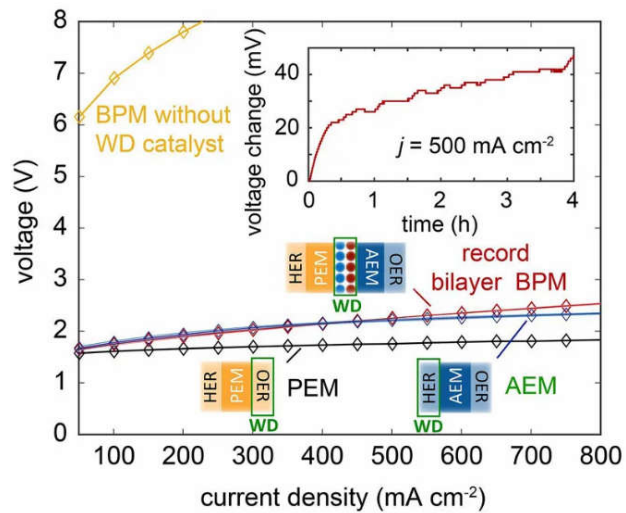
氧化物纳米粒子解离水的过电位和零电荷点

一个有趣的发现是，研究者利用双极膜电解器证明了贵金属纳米颗粒的水解离活性与碱性条件下 HER 活性呈正相关。这与很多文献报道中复合催化剂的性能提升策略相一致，比如，金属氢氧化物（如氢氧化镍）对 Pt 等贵金属进行修饰可提高其碱性 HER 反应活性；而实验中研究者已经证实 NiO（在水中羟基化）是一种优良的水解离催化剂。这一发现对于高性能的电催化剂设计具有启发意义。



相同纳米粒子水解离和电催化反应过电位比较

研究者还发现，利用酸碱性环境对催化剂性能的影响，可以设计出双层水解离催化剂，使表面的酸碱梯度与 AEL/CEL 界面在工作电流密度下的 pH 梯度相匹配，这样能够降低双极膜的过电位，减少能量损失。通过极化曲线比较，即使在较大的电流密度下，双极膜纯水电解器和传统阴、阳离子交换膜电解器的性能相当。

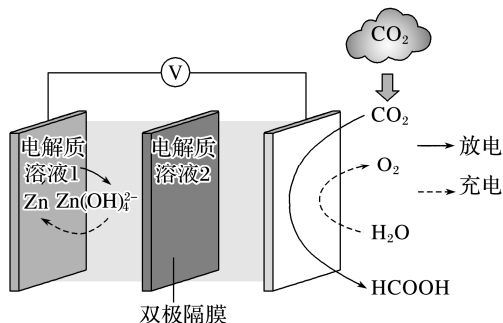


双极膜电解器和传统阴、阳离子交换膜性能对比

双极膜系统可以灵活调节两侧的 pH 值，这为在阴阳两极需要不同酸碱性的装置，如燃料电池、液流电池等提供了更多改进的可能。“这些结果提供了一个初步的模型，可以开拓并推动其在更多领域的研究”^[4]，Boettcher 说。高性能双极膜也将促进废水处理、二氧化碳转化等领域的发展（开篇提到的高考题，就是一个二氧化碳废气处理再利用的模型示例）。Boettcher 说，“我们希望这些研究能转化成产品，减少社会对化石燃料的依赖”。

【题组强化训练】

1. 科学家近年发明了一种新型 Zn—CO₂ 水介质电池。电池示意图如下，电极为金属锌和选择性催化材料，放电时，温室气体 CO₂ 被转化为储氢物质甲酸等，为解决环境和能源问题提供了一种新途径。



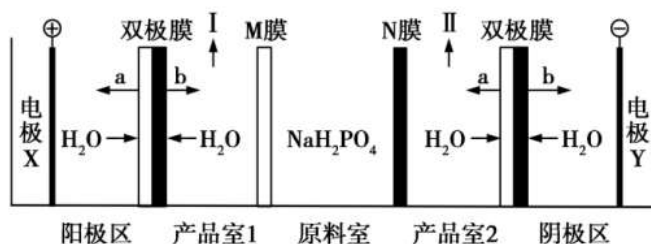
下列说法错误的是()

- A. 放电时，负极反应为 $\text{Zn} - 2\text{e}^- + 4\text{OH}^- = \text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$
- B. 放电时，1 mol CO₂ 转化为 HCOOH，转移的电子数为 2 mol
- C. 充电时，电池总反应为 $2\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-} = 2\text{Zn} + \text{O}_2\uparrow + 4\text{OH}^- + 2\text{H}_2\text{O}$
- D. 充电时，正极溶液中 OH⁻ 浓度升高

答案：D

解析：由装置示意图可知，放电时负极反应为 $\text{Zn} - 2\text{e}^- + 4\text{OH}^- = \text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ ，A 项正确；放电时 CO₂ 转化为 HCOOH，C 元素化合价降低 2，则 1 mol CO₂ 转化为 HCOOH 时，转移电子数为 2 mol，B 项正确；由装置示意图可知充电时正极(阳极)产生 O₂，负极(阴极)产生 Zn，C 项正确；充电时正极(阳极)上发生反应 $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e}^- = 4\text{H}^+ + \text{O}_2\uparrow$ ，OH⁻ 浓度降低，D 项错误。

2. 利用双极膜制备磷酸和氢氧化钠的原理如图所示。已知双极膜是一种复合膜，在直流电作用下，双极膜中间界面内水解离为 H⁺ 和 OH⁻，并实现其定向通过。下列说法正确的是()



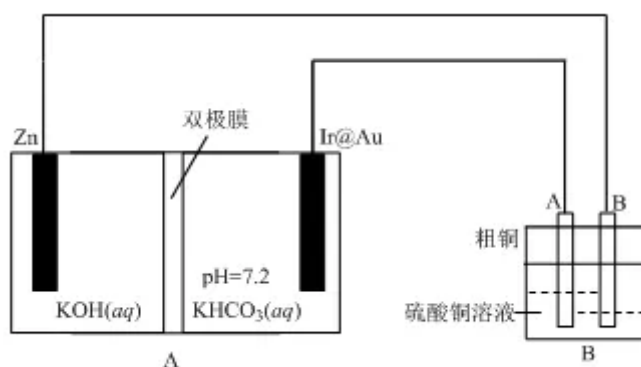
- A. 阴极区溶液的 pH 减小
- B. M 膜为阴离子交换膜
- C. 双极膜中 a 为 H⁺，b 为 OH⁻
- D. 若用铅蓄电池为电源，则 X 极与 Pb 电极相连

答案：B

3. 某同学利用我国科学研究工作者发明的 Zn-CO₂ 可充电电池模拟对铁表面电镀铜，如图所示。

已知：放电时发生反应： $\text{Zn} + \text{CO}_2 = \text{ZnO} + \text{CO}$ ，充电时发生反应： $2\text{ZnO} = 2\text{Zn} + \text{O}_2$

双极膜：阴、阳膜复合层间的 H_2O 解离成 H^+ 和 OH^- 并分别通过阴膜和阳膜，作为 H^+ 和 OH^- 离子源。



下列有关说法不正确的是()

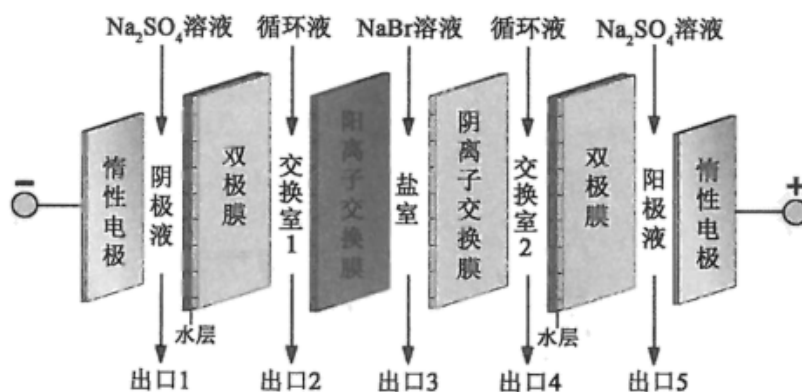
- A. A 池放电过程中，Ir@Au 极可能有 H_2 产生
- B. A 池充电过程中，Ir@Au 极附近 pH 变小
- C. A 池放电过程中，Zn 极电极反应为： $\text{Zn} - 2\text{e}^- + 2\text{OH}^- = \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O}$
- D. B 池电镀过程中，硫酸铜溶液浓度保持不变

命题意图：以 Zn- CO_2 可充电电池及电镀为载体，考查电化学基础，电极反应式的判断、电解质溶液的判断、浓度大小的判断。

答案：D

解析：A. Zn 可能与 H_2O 形成原电池，产生 H_2 ，A 项正确。B. A 池充电过程中，Ir@Au 极电极反应式为： $\text{CO}_2 + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+ = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ ，则附近 pH 变小，B 项正确。C. 通过总反应式不难发现 A 池放电过程中，Zn 极电极反应正确，C 项正确。D. 电镀过程中，采用的是粗铜，优先放电的并非铜单质，当 Zn 单质等杂质放电时，阴极有 Cu^{2+} 放电生成 Cu 单质，溶液中硫酸铜溶液浓度会略有降低，D 项错误。

4. 双极膜在电渗析中应用广泛，它是由阳离子交换膜和阴离子交换膜复合而成。双极膜内层为水层，工作时水层中的 H_2O 解离成 H^+ 和 OH^- ，并分别通过离子交换膜向两侧发生迁移。下图为 NaBr 溶液的电渗析装置示意图。



下列说法正确的是()

- A. 出口 2 的产物为 HBr 溶液
B. 出口 5 的产物为硫酸溶液
C. Br⁻可从盐室最终进入阳极液中
D. 阴极电极反应式为 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$

答案: D

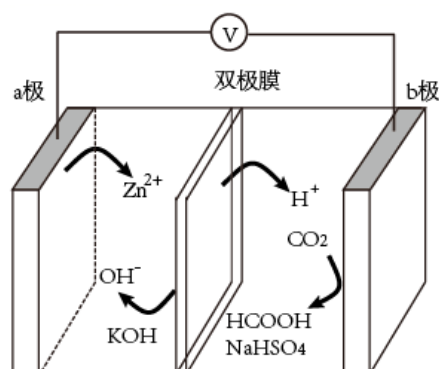
解析: A. 电解时, 溶液中的阳离子向阴极移动, 阴离子向阳极移动, 溶液中的 Na^+ 向阴极移动, 与双极膜提供的氢氧根离子结合, 出口 2 的产物为 NaOH 溶液, A 错误;

B. 电解时, 溶液中的阳离子向阴极移动, 阴离子向阳极移动, 溶液中的 Br^- 向阳极移动, 与双极膜提供的氢离子结合, 故出口 4 的产物为 HBr 溶液, 钠离子不能通过双极膜, 故出口 5 不是硫酸, B 错误;

C. 结合选项 B, Br^- 不会从盐室最终进入阳极液中, C 错误;

D. 电解池阴极处, 发生的反应是物质得到电子被还原, 发生还原反应, 水解离成 H^+ 和 OH^- , 则在阴极处发生的反应为 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$, D 正确; 答案选 D。

5. 可充电水系 Zn—CO₂ 电池用锌和催化剂材料作两极, 电池工作示意图如下图所示, 其中双极膜是由阳膜和阴膜制成的复合膜, 在直流电场的作用下, 双极膜复合层间的 H₂O 电离出的 H^+ 和 OH^- 可以分别通过膜移向两极。下列说法不正确的是()



- A. 放电时, 电极 a 为负极, 发生氧化反应

B. 放电时, b 极的电极反应为: $\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{HCOOH}$

C. 充电时, 若电路中通过 1mol e^- , 则有 0.5mol HCOOH 转化为 CO_2

D. 充电时, 水电离出的氢离子在阴极放电, 阴极区溶液 pH 增大

答案: D

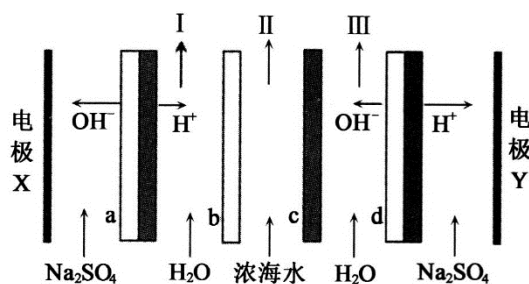
解析: A. 放电时 a 作负极, 故充电时应接电源的负极, 发生氧化反应, 故 A 正确;

B. 放电时, b 极为正极, 由图中可知, 二氧化碳在酸性条件下生成甲酸, 电极反应为: $\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{HCOOH}$, 故 B 正确;

C. 充电时, $\text{HCOOH} - 2\text{e}^- = \text{CO}_2 + 2\text{H}^+$, 若电路中通过 1mol e^- , 则有 0.5mol HCOOH 转化为 CO_2 , 故 C 正确;

D. 充电时, 水电离出的氢离子在阴极放电, 多余的氢氧根离子会进入双极膜复合层间, 阴极区溶液 pH 不变, 故 D 错误; 故选 D。

6. 双极膜电渗析一步法盐制酸碱的技术进入到了工业化阶段, 某科研小组研究采用 BMED 膜堆(如图所示), 模拟以精制浓海水为原料直接制备酸和碱。BMED 膜堆包括阳离子交换膜、阴离子交换膜和双极膜(a、d)已知: 在直流电源的作用下, 双极膜内中间界面层发生水的解离, 生成 H^+ 和 OH^- 。下列说法正确的是()



A. 电极 Y 连接电源的正极, 发生还原反应

B. I 口排出的是混合碱, II 口排出的是淡水

C. 电解质溶液采用 Na_2SO_4 溶液可避免有害气体的产生

D. a 左侧膜为阳离子交换膜, c 为阴离子交换膜

答案: C

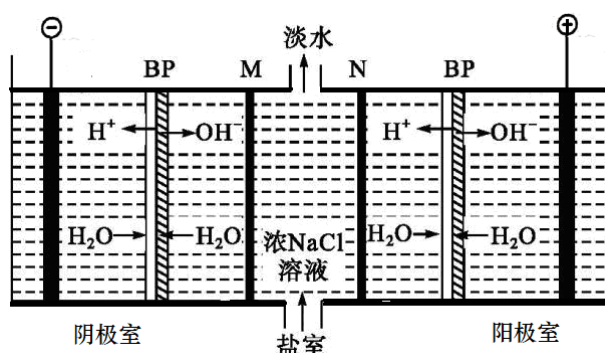
解析: A. 氢氧根离子向左侧移动, 这说明电极 Y 为阴极, 所以电极 Y 连接电源的负极, 发生还原反应, 故 A 错误;

B. 浓海水中的氯离子向左侧移动, 钠离子向右侧移动; 双极膜中, 氢离子向右侧迁移、氢氧根离子向左侧迁移, 因此 II 口排出的是淡水, I 口排出的是盐酸、III 口排出的是碱液, 故 B 错误;

C. 由于氯离子放电会产生有毒的气体氯气, 加入 Na_2SO_4 溶液, 目的是增加溶液的导电性, 氯离子移向I室, 氢离子通过 a 移向I室, 在I室得到 HCl , 可避免有害气体的产生, 故 C 正确;

D. 钠离子移向III室, c 为阳离子交换膜, 氢氧根离子向左侧移动, 所以 a 左侧膜为阴离子交换膜, 故 D 错误。故选 C。

7. 双极膜(BP)是阴、阳复合膜, 在直流电的作用下, 阴、阳膜复合层间的 H_2O 解离成 H^+ 和 OH^- , 作为 H^+ 和 OH^- 离子源。利用双极膜电渗析法电解食盐水可获得淡水、 NaOH 和 HCl , 其工作原理如图所示, M、N 为离子交换膜。下列说法不正确的是()



A. 相同条件下, 不考虑气体溶解, 阴极得到气体体积是阳极两倍

B. 电解过程中 Na^+ 向左迁移, N 为阴离子膜

C. 若去掉双极膜 (BP), 阳极室会有 Cl_2 生成

D. 电解结束后, 阴极附近溶液酸性明显增强

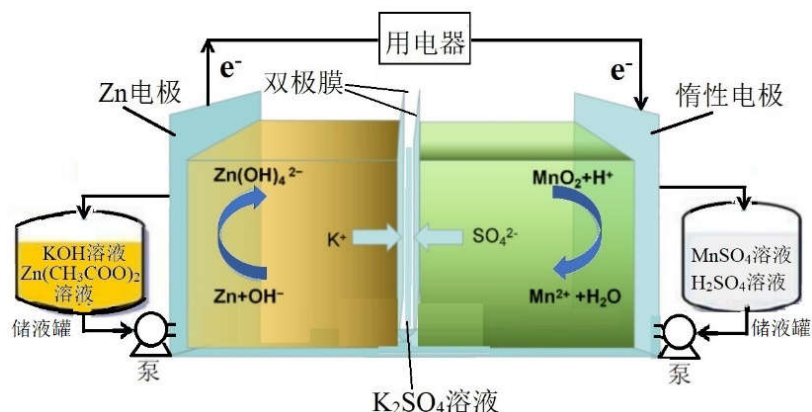
答案: D

解析: A. 阴极室氢离子得电子生成氢气, 发生的反应为 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$, 阳极反应为 $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = \text{O}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$, 转移相同物质的量的电子, 生成氢气的体积是生成氧气体积的两倍, 故 A 正确;

B. 阴极生成氢氧化钠, 钠离子向左穿过 M 进入阴极室, 所以 M 为阳离子交换膜, N 为阴离子交换膜, 故 B 正确; C. 若去掉双极膜(BP), 氯离子进入阳极室阳放电生成氯气, 故 C 正确; D.

阴极室氢离子得电子生成氢气, 发生的反应为 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$, 氢离子被消耗, 酸性减弱, 故 D 错误; 题目要求选错误选项, 故选 D

8. 研究人员采用双极膜将酸-碱电解液隔离, 实现 $\text{MnO}_2 / \text{Mn}^{2+}$ 和 $\text{Zn} / \text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ 的两个溶解/沉积电极氧化还原反应, 研制出新型高比能液流电池, 其放电过程原理示意图如下:

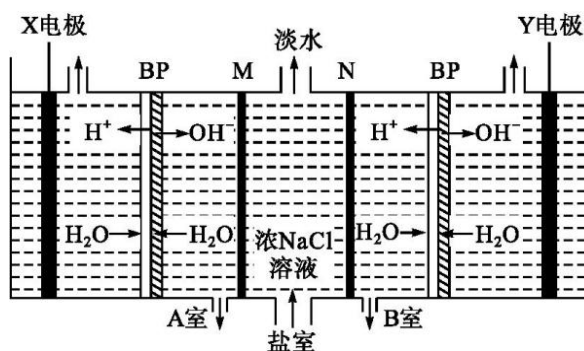


下列说法不正确的是()

- A. 放电过程中，总反应方程式为 $\text{Zn} + \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^- + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{OH})_4^{2-} + \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$
- B. 放电过程中，当 1mol Zn 参与反应时，理论上 4mol K^+ 发生迁移
- C. 充电过程中，阴极的电极反应为 $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn} + 4\text{OH}^-$
- D. 充电过程中，右侧池中溶液 pH 逐渐减小

答案：B

9. 目前海水液化可采用双极膜电液析法、同时获得副产品，其模拟工作原理如图所示。其中双极膜(BP)是阴、阳复合膜，在直流电的作用下，阴、阳膜复合层间的 H_2O 解离成 H^+ 和 OH^- ，作为 H^+ 和 OH^- 离子源。M、N 为离子交换膜。下列说法正确的是

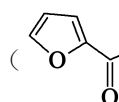
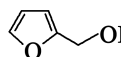
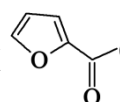


- A. X 电极为电解池的阴极，该电极反应式为： $2\text{H}^+ - 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$
- B. 电子流向：电源负极 → X 电极 → Y 电极 → 电源正极
- C. 电路中每转移 1mol 电子，X、Y 两极共得到标准状况下 16.8L 的气体
- D. M 为阳离子交换膜，A 室获得副产品 NaOH ；若去掉 B 室双极膜，B 室产物不变

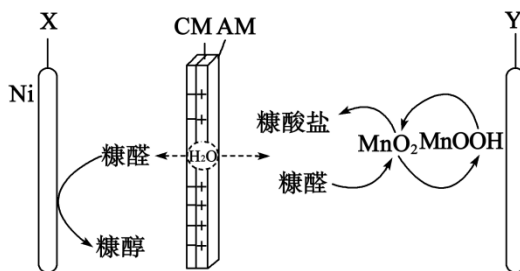
答案：C

解析：A. 电解池中阳离子向阴极移动，故 X 电极为阴极，电极反应式为： $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$ ，选项 A 错误；B. 电子流向：电源负极→阴极 X 电极、阳极 Y 电极→电源正极，选项 B 错误；C. 阴极反应为 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$ ，阳极反应为： $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = \text{O}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ ，当电路中通过 1mol 电子时，阴极得到 0.5mol H_2 ，阳极得到 0.25mol O_2 ，两极一共得到气体为 $0.5\text{mol} + 0.25\text{mol} = 0.75\text{mol}$ ，标准状况下 16.8L 的气体，选项 C 正确；D. 电解池中，电解时，溶液中的阳离子向阴极移动，阴离子向阳极移动，因此 M 为阳离子交换膜，A 室获得副产品 NaOH；若去掉双极膜（BP），则 Cl^- 会在阳极失去电子，生成 Cl_2 ，在阳极室会有 Cl_2 生成，B 室产物发生变化，选项 D 错误。答案选 C。

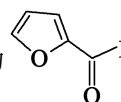
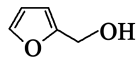
10. 双极膜(CM/AM)在电场作用下能将水解离为 H^+ 和 OH^- ，用双极膜电解槽电解糠醛

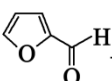
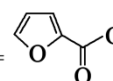
() 溶液制备糠醇 () 和糠酸盐 () 时， $\text{MnO}_2/\text{MnOOH}$ 在电极

与糠醛之间传递电子，电解过程如图所示。下列说法错误的是()



A. 双极膜将水解离为 H^+ 和 OH^- 的过程是物理变化

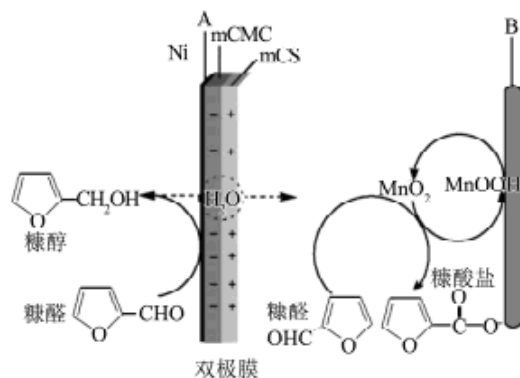
B. X 极反应为  $+ 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- =$ 

C. 生成糠酸盐的反应为  $+ \text{MnO}_2 + \text{OH}^- =$  $+ \text{MnOOH}$

D. 电解过程中，双极膜右侧溶液的 pH 降低

答案：C

11. 在直流电场作用下，双极膜能将水解离为 H^+ 和 OH^- ，并实现其定向通过。工业上用双极膜电解槽电解糠醛溶液同时制备糠醇和糠酸盐，电解时， $\text{MnO}_2/\text{MnOOH}$ 在电极与糠醛之间传递电子，电解过程如图所示，下列说法不正确的是()



A. 电极 A 接直流电源的负极

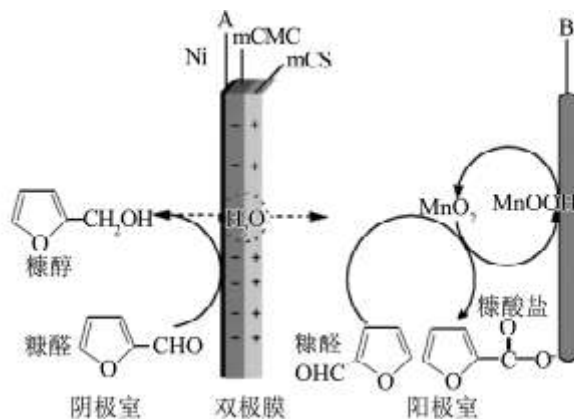
B. 若制得 1mol c1ccoc1CO, 理论上转移 2mol 的电子

C. 生成糠酸盐的反应为: c1ccoc1C=O + $2\text{MnO}_2 + \text{OH}^- = \text{c1ccoc1C(=O)[O-]} + 2\text{MnOOH}$

D. 双极膜的作用是通电时将水解离为 H^+ 和 OH^- , 其中 H^+ 向 B 极方向移动

答案: D

12. 在直流电场作用下, 双极膜能将水解离为 H^+ 和 OH^- , 并实现其定向通过。工业上用双极膜电解槽电解糠醛溶液同时制备糠醇和糠酸盐, 电解时, $\text{MnO}_2/\text{MnOOH}$ 在电极与糠醛之间传递电子, 电解过程如图所示, 下列说法不正确的是()



A. A 接直流电源的负极, 糠醛得到电子被还原为糠醇

B. 电解时, 阳极反应为 $\text{MnOOH} - \text{e}^- + \text{OH}^- = \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

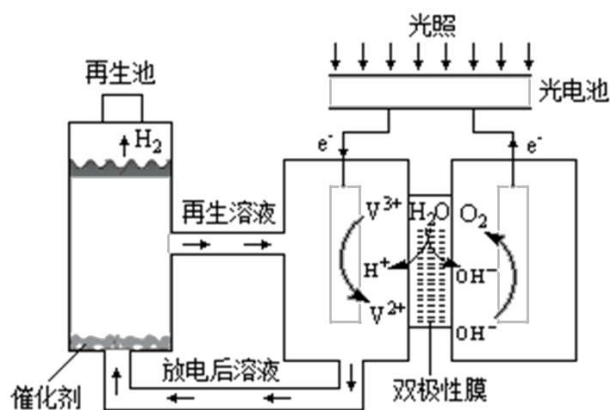
C. 生成糠酸盐的反应为: c1ccoc1C=O + $2\text{MnO}_2 + \text{OH}^- = \text{c1ccoc1C(=O)[O-]} + 2\text{MnOOH}$

D. 通电时双极膜将水解离为 H^+ 和 OH^- , OH^- 向阴极室方向移动

答案: D

13. 利用光能分解水的装置如图, 在直流电场作用下, 双极性膜将水解离为 H^+ 和 OH^- , 并实现

其定向通过。下列说法错误的是()



- A. 光电池能将光能转化为电能
- B. 阳极区发生的电极反应为: $2\text{H}_2\text{O}-4\text{e}^-=4\text{H}^++\text{O}_2\uparrow$
- C. 双极性膜能控制两侧溶液的酸碱性不同
- D. 再生池中发生的反应为: $2\text{V}^{2+}+2\text{H}^+=2\text{V}^{3+}+\text{H}_2\uparrow$

答案: B

解析: A. 由图可知, 该装置将光能转化为化学能并分解水, 选项 A 正确;

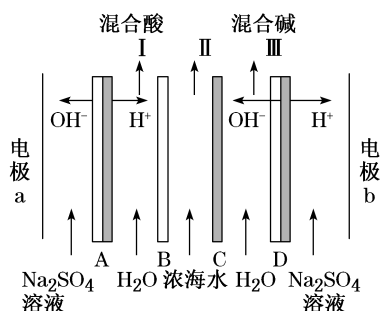
B. 光照过程中阳极区发生的电极反应为: $4\text{OH}^--4\text{e}^-=2\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2\uparrow$, 选项 B 错误;

C. 双极性膜可将水解离为 H^+ 和 OH^- , 由图可知, H^+ 进入阴极, OH^- 进入阳极, 则双极性膜可控制其两侧溶液分别为酸性和碱性, 选项 C 正确;

D. 根据以上分析, 再生的反应方程式为 $2\text{V}^{2+}+2\text{H}^+=2\text{V}^{3+}+\text{H}_2\uparrow$, 选项 D 正确; 答案选 B。

14. 某科研小组研究采用 BMED 膜堆(示意图如下), 模拟以精制浓海水为原料直接制备酸碱。

BMED 膜堆包括阳离子交换膜、阴离子交换膜和双极膜(A、D)。已知: 在直流电源的作用下, 双极膜内中间界面层发生水的解离, 生成 H^+ 和 OH^- 。下列说法错误的是()



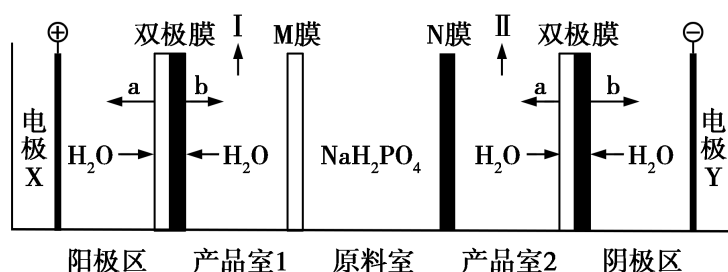
- A. 电极 a 连接电源的正极
- B. B 为阳离子交换膜
- C. 电解质溶液采用 Na_2SO_4 溶液可避免有害气体的产生

D. II口排出的是淡水

答案：B

解析：根据题干信息确定该装置为电解池，阴离子向阳极移动，阳离子向阴极移动，所以电极a为阳极，连接电源的正极，A正确；水在双极膜A解离后，氢离子吸引阴离子透过B膜到左侧形成酸，B为阴离子交换膜，B错误；电解质溶液采用 Na_2SO_4 溶液，电解时生成氢气和氧气，可避免有害气体的产生，C正确；海水中的阴、阳离子透过两侧交换膜向两侧移动，淡水从II口排出，D正确。

15. 利用双极膜制备磷酸和氢氧化钠的原理如图所示。已知双极膜是一种复合膜，在直流电作用下，双极膜中间界面内水解离为 H^+ 和 OH^- ，并实现其定向通过。下列说法正确的是



A. 若用铅蓄电池为电源，则X极与Pb电极相连

B. 双极膜中a为 H^+ ，b为 OH^-

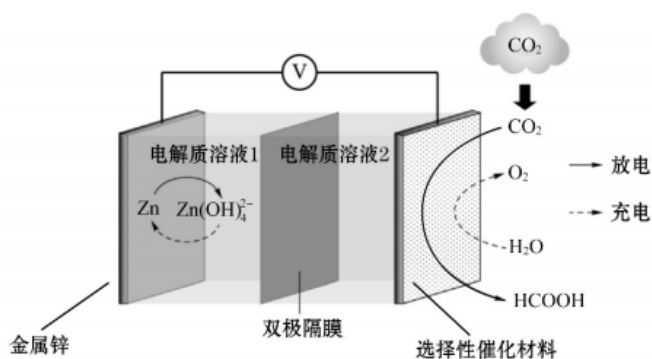
C. 阴极区溶液pH减小

D. M膜为阴离子交换膜，N膜为阳离子交换膜

答案：D

解析：A. 铅蓄电池中Pb为负极， PbO_2 电极为正极，X极应与 PbO_2 相连，A项错误；B. 电解池中阴离子向阳极迁移，阳离子向阴极迁移，所以双极膜中a为 OH^- ，b为 H^+ ，B项错误；C. 阴极电极反应为 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$ ，每转移1mol电子，消耗1mol H^+ ，此时双极膜又产生1mol H^+ ，因阴极区电解液未知，无法确定阴极区溶液pH变化情况，C项错误；D. M膜为阴离子交换膜，原料室中 H_2PO_4^- 通过M膜进入产品室1，与双极膜产生的 H^+ 结合生成 H_3PO_4 ，N膜为阳离子交换膜，原料室中 Na^+ 通过N膜进入产品室2，与双极膜产生的 OH^- 结合生成 NaOH ，D项正确。故选D。

16. 一种新型Zn- CO_2 水介质电池，为解决环境和能源问题提供了一种新途径，其工作示意图如下。

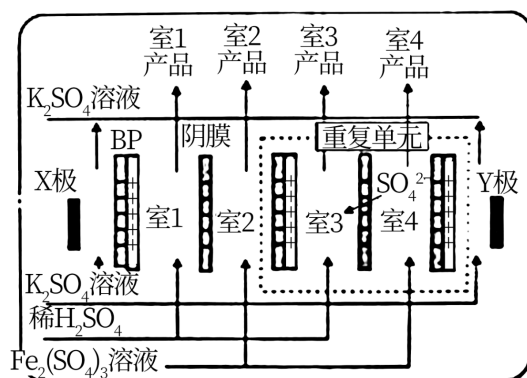


下列说法不正确的是

- A. 放电时，金属锌为负极
- B. 放电时，温室气体 CO_2 被转化为储氢物质 HCOOH
- C. 充电时，电池总反应为 $2\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-} = 2\text{Zn} + \text{O}_2\uparrow + 4\text{OH}^- + 2\text{H}_2\text{O}$
- D. 充电时，双极隔膜产生的 H^+ 向右侧正极室移动

答案：D

17. 聚合硫酸铁 {PFS, $[\text{Fe}_4(\text{OH})_{2n}(\text{SO}_4)_{(6-n)}]_m$ } 是一种性能优越的无机高分子混凝剂，利用双极膜 (BP)(由一张阳膜和一张阴膜复合制成，在直流电场作用下将水分子解离成 OH^- 和 H^+ ，作为 H^+ 和 OH^- 离子源)电渗析法制备 PFS 的装置如图所示，下列说法不正确的是()



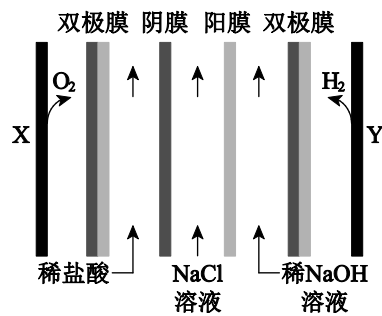
- A. X 极上发生的电极反应为 $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- = \text{O}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- B. “室 1”和“室 3”得到 H_2SO_4 和 K_2SO_4 的混合液
- C. “室 2”和“室 4”产品为浓 PFS
- D. 双极膜向“室 2”和“室 4”中提供 OH^-

答案：B

17. 双极膜由阳离子交换膜、催化剂层和阴离子交换膜组合而成，在直流电场作用下可将水分离，在双极膜的两侧分别得到 H^+ 和 OH^- ，将其与阳离子交换膜（阳膜）、阴离子交换膜（阴膜）组合，可有多种应用。

(1)海水淡化：

模拟海水淡化，双极膜组合电解装置示意图如下。



① X 极是_____极（填“阴”或“阳”）。

② 电解后可获得较浓的盐酸和较浓的 NaOH 溶液，上图中双极膜的右侧得到的是_____（填“H⁺”或“OH⁻”）。

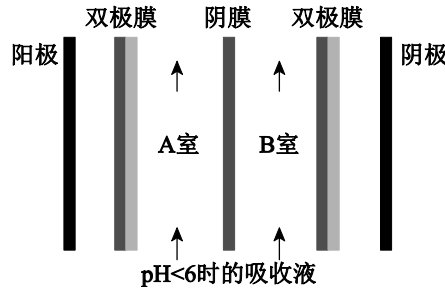
(2)钠碱循环法脱除烟气中的 SO₂，并回收 SO₂：

用 pH>8 的 Na₂SO₃ 溶液作吸收液，脱除烟气中的 SO₂，至 pH<6 时，吸收液的主要成分为 NaHSO₃，需再生。

I. 加热 pH<6 时的吸收液使其分解，回收 SO₂ 并再生吸收液。

所得的再生吸收液对 SO₂ 的吸收率降低，结合离子方程式解释原因：_____。

II. 双极膜和阴膜组合电渗析法处理 pH<6 时的吸收液，可直接获得再生吸收液和含较高浓度 HSO₃⁻的溶液，装置示意图如下。



① 再生吸收液从_____室流出（填“A”或“B”）。

② 简述含较高浓度 HSO₃⁻的溶液的生成原理：_____。

③ 与I中的方法相比，II中的优点是_____（列出 2 条）。

答案：(1)① 阳 ② H⁺

(2)I. 加热 pH<6 时的吸收液，分解的过程中还发生反应：2SO₃²⁻+O₂=2SO₄²⁻，2HSO₃⁻+O₂ = SO₄²⁻+2H⁺，且加热加快化学反应速率，造成再生吸收液中 c(SO₃²⁻)降低，使 SO₂ 的吸收率降低

II. ① B

② B 室中的 SO₃²⁻和 HSO₃⁻在电场作用下通过阴膜进入 A 室，A 室中双极膜产生的 H⁺和溶液中

的 SO_3^{2-} 反应生成 HSO_3^- ，提高 HSO_3^- 的浓度

③ II中可直接获得再生吸收液，减少因加热氧化生成大量的 SO_4^{2-} ，而降低再生吸收液对 SO_2 的吸收率；II中可获得较高浓度的 HSO_3^- 的溶液，进而获得比I中浓度高的 SO_2