

微专题 6 酸碱中和反应过程中的图像分析

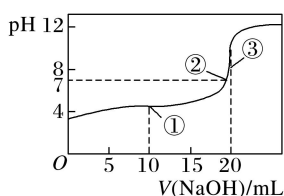
酸碱中和过程中的图像纵坐标为 pH，横坐标为酸或碱溶液的体积。

1. 分析步骤

- (1)横纵坐标：分清加入的酸溶液或碱溶液；
- (2)起点 pH：结合题目信息得出酸(或碱)的强弱；
- (3)滴定终点或 pH=7 的点：利用盐类水解、弱电解质电离平衡、水的电离等知识分析出对应的体积；
- (4)其他特殊点分析：滴定一半或滴定过量等点相关问题。

2. 实例

以用 $0.1000 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaOH 溶液滴定 20.00 mL $0.1000 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ HA 溶液为例，其滴定曲线如图。

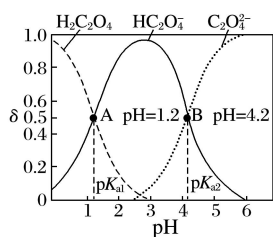


关键点	离子浓度关系
点 O	原点为 HA 的单一溶液， $0.1000 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ HA 的 $\text{pH}>1$ ，说明是弱酸， $c(\text{HA})>c(\text{H}^+)>c(\text{A}^-)>c(\text{OH}^-)$
点①	两者反应生成等物质的量的 HA 和 NaA，此时溶液 $\text{pH}<7$ ，说明 HA 电离程度大于 A^- 水解程度， $c(\text{A}^-)>c(\text{Na}^+)>c(\text{HA})>c(\text{H}^+)>c(\text{OH}^-)$
点②	此时溶液 $\text{pH}=7$ ，溶液呈中性，酸没有完全被反应， $c(\text{A}^-)=c(\text{Na}^+)>c(\text{HA})>1c(\text{H}^+)=c(\text{OH}^-)$
点③	此时两者恰好反应生成 NaA，为弱酸强碱盐溶液， $c(\text{Na}^+)>c(\text{A}^-)>c(\text{OH}^-)>c(\text{H}^+)$
点③之后	此时 NaOH 过量或者远远过量，溶液显碱性，可能出现 $c(\text{Na}^+)>c(\text{A}^-)>c(\text{OH}^-)>c(\text{H}^+)$ ，也可能出现 $c(\text{Na}^+)>c(\text{OH}^-)>c(\text{A}^-)>c(\text{H}^+)$

3.其他图像

(1)分布系数

分布系数：组分的平衡浓度占总浓度的分数



$$K_{a1} = \frac{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}$$

A 点: $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) = c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$

故 $K_{a1} = c(\text{H}^+) = 10^{-1.2}$

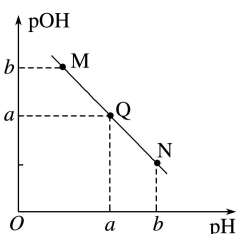
$$K_{a2} = \frac{c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)}$$

B 点: $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$

故 $K_{a2} = 10^{-4.2}$

(2)对数图

pOH—pH 曲线: $\text{pOH} = -\lg c(\text{OH}^-)$



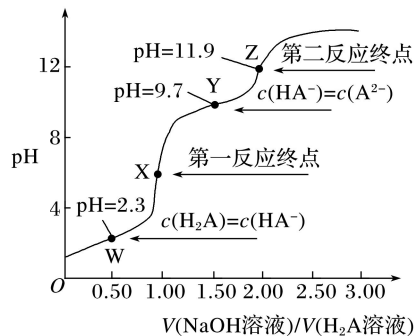
①表示一元酸与一元碱中和过程中 H^+ 与 OH^- 离子浓度的关系。

②Q 点代表中性。

③M 点显酸性, N 点显碱性, 两点水的电离程度相同。

【跟踪训练】

1. 298 K 时, 向 20.0 mL $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ H_2A 溶液中滴加 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液, 滴定曲线如图所示。下列说法正确的是()



A. 该滴定过程应该选择石蕊溶液作指示剂

B. W 点到 X 点发生的主要反应的离子方程式为 $\text{H}_2\text{A} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{A}^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$

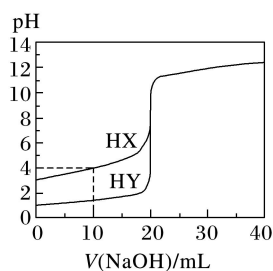
C. Y 点对应的溶液中 $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + 2c(\text{A}^{2-})$

D. 反应 $\text{H}_2\text{A} + \text{A}^{2-} \rightleftharpoons 2\text{HA}^-$ 的平衡常数 $K = 1.0 \times 10^{7.4}$

答案 D

解析 根据第二反应终点溶液显碱性可知 H_2A 为弱酸, 强碱滴定弱酸用碱性条件下变色的酚酞溶液作指示剂, A 项错误; X 点对应的溶液中溶质主要是 NaHA , W 点到 X 点发生的主要反应的离子方程式为 $\text{H}_2\text{A} + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{HA}^- + \text{H}_2\text{O}$, B 项错误; 根据电荷守恒, $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + c(\text{HA}^-) + 2c(\text{A}^{2-})$, 因为 Y 点对应的溶液中 $c(\text{HA}^-) = c(\text{A}^{2-})$, 所以 $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) + 3c(\text{A}^{2-})$, C 项错误; $\text{H}_2\text{A} \rightleftharpoons \text{HA}^- + \text{H}^+$, $K_{a1} = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HA}^-)}{c(\text{H}_2\text{A})}$, 由于 W 点 $c(\text{HA}^-) = c(\text{H}_2\text{A})$, 故 $K_{a1} = c(\text{H}^+) = 1.0 \times 10^{-2.3}$; $\text{HA}^- \rightleftharpoons \text{A}^{2-} + \text{H}^+$, $K_{a2} = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{A}^{2-})}{c(\text{HA}^-)}$, 由于 Y 点对应的溶液中 $c(\text{HA}^-) = c(\text{A}^{2-})$, 故 $K_{a2} = c(\text{H}^+) = 1.0 \times 10^{-9.7}$; $\text{H}_2\text{A} \rightleftharpoons \text{HA}^- + \text{H}^+$ 与 $\text{HA}^- \rightleftharpoons \text{A}^{2-} + \text{H}^+$ 相减即得 $\text{H}_2\text{A} + \text{A}^{2-} \rightleftharpoons 2\text{HA}^-$, 此时的平衡常数 $K = \frac{K_{a1}}{K_{a2}} = \frac{1.0 \times 10^{-2.3}}{1.0 \times 10^{-9.7}} = 1.0 \times 10^{7.4}$, D 项正确。

2. 常温下, 用浓度为 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液分别逐滴加入到 $20.00 \text{ mL } 0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HX 、 HY 溶液中, pH 随 NaOH 溶液体积的变化如图。下列说法正确的是()



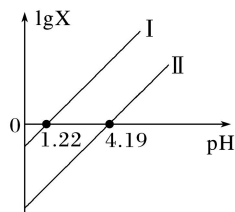
- A. $V(\text{NaOH}) = 0 \text{ mL}$ 时, 两份溶液中, $c(\text{X}^-) > c(\text{Y}^-)$
 B. $V(\text{NaOH}) = 10.00 \text{ mL}$ 时, $c(\text{X}^-) > c(\text{Na}^+) > c(\text{HX}) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$
 C. $V(\text{NaOH}) = 20.00 \text{ mL}$ 时, $c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+) > c(\text{Na}^+) > c(\text{X}^-)$
 D. $\text{pH} = 7$ 时, 两份溶液中, $c(\text{X}^-) = c(\text{Na}^+) = c(\text{Y}^-)$

答案 B

解析 由图可知 HX 为弱酸, 在水中部分电离; HY 为强酸, 在水中全部电离, 故浓度均为 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HX 、 HY 溶液中 $c(\text{Y}^-) > c(\text{X}^-)$, A 项错误; 当 $V(\text{NaOH}) = 10.00 \text{ mL}$ 时溶液中溶质为等物质的量的 HX 和 NaX , 由图可知此时 $\text{pH} = 4$, HX 的电离程度大于 NaX 的水解程度, 故 $c(\text{X}^-) > c(\text{Na}^+) > c(\text{HX}) > c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$, B 项正确; 当 $V(\text{NaOH}) = 20.00 \text{ mL}$ 时, 溶液中的溶质为 NaX , 又因 $\text{X}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HX} + \text{OH}^-$, 但极其微弱, 故 $c(\text{Na}^+) > c(\text{X}^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+)$, C 项错误; 当 $V(\text{NaOH}) = 20.00 \text{ mL}$ 时, 两份溶液的溶质分别为 NaX 、 NaY , 由于 NaX 为强碱弱酸盐, 此时 $\text{pH} > 7$, 而 NaY 为强酸强碱盐, 此时 $\text{pH} = 7$, 故当两溶液中 $\text{pH} = 7$ 时, HX 溶液中需 $V(\text{NaOH}) < 20 \text{ mL}$, HY 溶液中需 $V(\text{NaOH}) = 20 \text{ mL}$, 两溶液中 $c(\text{Na}^+)$ 不相等, D 项错误。

3.(2019·四川四市联考)草酸($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)是一种二元弱酸。常温下向 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液中滴加 NaOH 溶液,混合溶液中 $\lg X$ [X 表示 $\frac{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)}{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}$ 或 $\frac{c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})}{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)}$] 随 pH 的变化关系如图所示。下列说法不

正确的是()



- A. 线 I 中 X 表示的是 $\frac{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)}{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}$
- B. 线 I、II 的斜率均为 1
- C. $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) > c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) > c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ 对应溶液 pH : $1.22 < \text{pH} < 4.19$
- D. $c(\text{Na}^+) = c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$ 对应溶液的 $\text{pH} = 7$

答案 C

解析 草酸的电离平衡常数 $K_1 = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)}{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}$, $K_2 = \frac{c(\text{H}^+) \cdot c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})}{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)}$, 且 $K_1 > K_2$, 当 $\lg X$

$= 0$ 时, 即 $X = 1$, $\text{pH} = -\lg c(\text{H}^+) = -\lg K$, $\text{pH}_1 = 1.22 < \text{pH}_2 = 4.19$, 表明 $K_1 = 10^{-1.22} > K_2 = 10^{-4.19}$, 所以线 I 中 X 表示的是 $\frac{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)}{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}$, 线 II 中 X 表示的是 $\frac{c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})}{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)}$, A 项正确; $\text{pH} = 0$

时, $c(\text{H}^+) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $\lg \frac{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)}{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)} = \lg \frac{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)} = \lg K_1 = -1.22$, $\lg \frac{c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})}{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)} =$

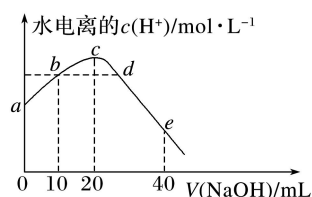
$\lg \frac{c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)} = \lg K_2 = -4.19$, 所以, 线 I、II 的斜率均为 1, B 项正确; 设 $\text{pH} = a$, $c(\text{H}^+) = 10^{-a}$,

$\frac{c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})}{c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)} = \frac{K_2}{c(\text{H}^+)} = 10^{a-4.19}$, 当 $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) < c(\text{HC}_2\text{O}_4^-)$ 时, $10^{a-4.19} < 1$, 即 $a - 4.19 < 0$,

解得 $a < 4.19$; $K_1 \cdot K_2 = \frac{c^2(\text{H}^+) \cdot c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})}{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}$, 即 $\frac{c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})}{c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)} = \frac{K_1 \cdot K_2}{c^2(\text{H}^+)} = 10^{2a-5.41}$, 当 $c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) > c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$

时, $10^{2a-5.41} > 1$, 即 $2a - 5.41 > 0$, 解得 $a > 2.705$, 所以 $c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) > c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) > c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$, 对应溶液 pH : $2.705 < \text{pH} < 4.19$, C 项错误; 根据电荷守恒: $c(\text{Na}^+) + c(\text{H}^+) = c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) + c(\text{OH}^-)$, 当 $c(\text{Na}^+) = c(\text{HC}_2\text{O}_4^-) + 2c(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$ 时, $c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-)$, 对应溶液的 $\text{pH} = 7$, D 项正确。

4. 常温条件下, 向 $20 \text{ mL } 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CH}_3\text{COOH}$ 溶液中逐滴加入 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液, 溶液中水电离的 $c(\text{H}^+)$ 随加入 NaOH 溶液的体积变化如图所示, 下列说法正确的是()

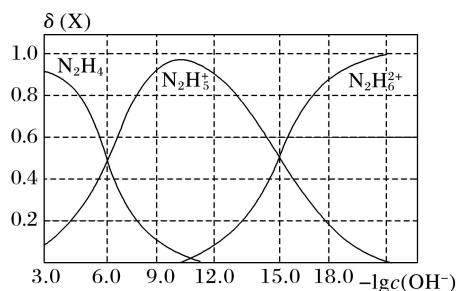


- A. b 、 d 两点溶液的 pH 相同
 B. 从 a 到 c ，对醋酸的电离既有促进作用也有抑制作用
 C. e 点所示溶液中， $c(\text{Na}^+) = 2c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + 2c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0.01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
 D. 从 $a \rightarrow c$ 的过程中，存在 $\text{pH} = 7$ 的点

答案 D

解析 b 点醋酸过量，其电离使溶液显酸性， $\text{pH} < 7$ ， d 点 NaOH 过量， $\text{pH} > 7$ ，故 A 错误；醋酸溶液中存在 $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$ ，加 NaOH 溶液消耗氢离子，醋酸的电离平衡正向移动，所以从 a 到 c ，醋酸的电离始终受到促进，故 B 错误； e 点所示溶液中，加入的 NaOH 的物质的量是醋酸的物质的量的 2 倍，反应后溶液中醋酸钠和 NaOH 物质的量相等，根据物料守恒得 $c(\text{Na}^+) = 2c(\text{CH}_3\text{COO}^-) + 2c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0.01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \times \frac{2}{3}$ ，故 C 错误； c 点，醋酸与氢氧化钠恰好反应生成醋酸钠，溶液显碱性，氢氧化钠溶液体积小于 20 mL 时的某一个值恰好使溶液显中性，所以从 $a \rightarrow c$ 的过程中，存在着 $\text{pH} = 7$ 的点，故 D 正确。

5. (2019·信阳月考) 已知联氨(N_2H_4)为二元弱碱，常温下将盐酸滴加到联氨(N_2H_4)的水溶液中，混合溶液中微粒的物质的量分数 $\delta(X)$ 随 $-\lg c(\text{OH}^-)$ 变化的关系如图所示。下列叙述错误的是 ()



- A. 反应 $\text{N}_2\text{H}_6^{2+} + \text{N}_2\text{H}_4 \rightleftharpoons 2\text{N}_2\text{H}_5^+$ 的 $\text{p}K = -0.9$ (已知 $\text{p}K = -\lg K$)
 B. $\text{N}_2\text{H}_5\text{Cl}$ 溶液中存在: $c(\text{Cl}^-) + c(\text{OH}^-) = c(\text{N}_2\text{H}_5^+) + 2c(\text{N}_2\text{H}_6^{2+}) + c(\text{H}^+)$
 C. $\text{N}_2\text{H}_5\text{Cl}$ 溶液中: $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$
 D. $K_{b1}(\text{N}_2\text{H}_4) = 10^{-6.0}$

答案 A

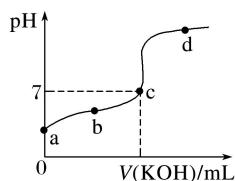
解析 由 $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{H}_5^+ + \text{OH}^-$ 可得 $K_{b1}(\text{N}_2\text{H}_4) = \frac{c(\text{N}_2\text{H}_5^+) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{N}_2\text{H}_4)} = c(\text{OH}^-) = 10^{-6.0}$ 。由

N_2H_5^+ 的电离方程式 $\text{N}_2\text{H}_5^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{H}_6^{2+} + \text{OH}^-$ 可得, $K_{b2}(\text{N}_2\text{H}_4) = \frac{c(\text{N}_2\text{H}_6^{2+}) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{N}_2\text{H}_5^+)}$

$= 10^{-15.0}$, 而反应 $\text{N}_2\text{H}_6^{2+} + \text{N}_2\text{H}_4 \rightleftharpoons 2\text{N}_2\text{H}_5^+$ 的 $K = \frac{c^2(\text{N}_2\text{H}_5^+)}{c(\text{N}_2\text{H}_6^{2+}) \cdot c(\text{N}_2\text{H}_4)} = \frac{K_{b1}(\text{N}_2\text{H}_4)}{K_{b2}(\text{N}_2\text{H}_4)} = \frac{10^{-6.0}}{10^{-15.0}}$, 所以

$\text{p}K = -9.0$, A 项错误, D 项正确; $\text{N}_2\text{H}_5\text{Cl}$ 溶液中存在电荷守恒 $c(\text{Cl}^-) + c(\text{OH}^-) = c(\text{N}_2\text{H}_5^+) + 2c(\text{N}_2\text{H}_6^{2+}) + c(\text{H}^+)$, B 项正确; $\text{N}_2\text{H}_5\text{Cl}$ 溶液因 N_2H_5^+ 水解呈酸性, 所以 $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$, C 项正确。

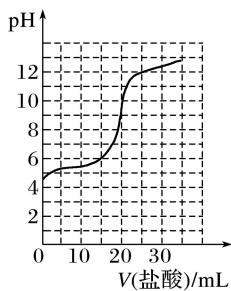
6. 已知某温度下 CH_3COOH 的电离常数 $K = 1.6 \times 10^{-5}$ 。该温度下, 向 $20 \text{ mL } 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COOH}$ 溶液中逐滴加入 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KOH}$ 溶液, 其 pH 变化曲线如图所示(忽略温度变化)。请回答下列有关问题: (已知 $\lg 4 = 0.6$)



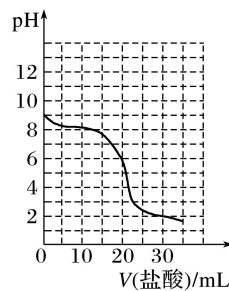
(1) a 点溶液中 $c(\text{H}^+)$ 为 _____, pH 约为 _____。

(2) a、b、c、d 四点中水的电离程度最大的是 _____ 点, 滴定过程中宜选用 _____ 作指示剂, 滴定终点在 _____ (填“c 点以上”或“c 点以下”)。

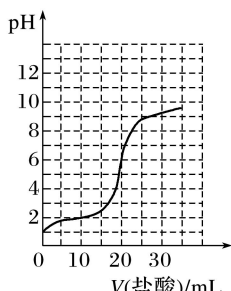
(3) 若向 20 mL 稀氨水中逐滴加入等浓度的盐酸, 则下列变化趋势正确的是 _____ (填字母)。



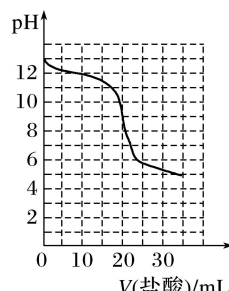
A



B



C



D

答案 (1) $4 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 3.4 (2) c 酚酞 c 点以上 (3) B

解析 (1) 电离消耗的醋酸在计算醋酸的电离平衡浓度时可以忽略不计。由 $K = \frac{c^2(\text{H}^+)}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$

得, $c(\text{H}^+) = \sqrt{1.6 \times 10^{-5} \times 0.01} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 4 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。(2) a 点是醋酸溶液, b 点是醋酸和少量 CH_3COOK 的混合溶液, c 点是 CH_3COOK 和少量醋酸的混合溶液, d 点是 CH_3COOK 和 KOH 的混合溶液, 酸、碱均能抑制水的电离, CH_3COOK 水解促进水的电离, 所以 c 点溶

液中水的电离程度最大。由于酸碱恰好完全反应时溶液显碱性，故应该选择在碱性范围内变色的指示剂酚酞。滴定终点应在 c 点以上。(3)由于稀氨水显碱性，首先排除选项 A 和 C；两者恰好反应时溶液显酸性，排除选项 D。