

### 第一部分：理解大气圈和水圈之间的相互作用：一项体育比赛

“Vendee Globe”是一项单人无动力帆船比赛。比赛从法国的 Vendee 出发，目标是尽可能快地环游世界。比赛的起点和终点都是在 Sables d’Olannes（图 1A 中可见；图 1B 中 A 点）。这项比赛在 2016 年 11 月 6 日开始，Armel Le Cleac’h 在不间断航行 74 天后最终夺得了冠军，这个成绩创造了新记录。

**图 1：**（A）“Vendee Globe”环球航行的路线图；  
（B）北大西洋大气压图。

**Question 1：**帆船的航行应最大限度地利用风。根据你对不同气团周围风向的认知，选出帆船赛选手出发后到达佛得角（Cape Verde Islands，图 1B 中的 E 点）的最快路径。图 1B 中所示海平面气压可维持一周。（单选题）

- 1-路径 AKGE
- 2-路径 AKBE
- 3-路径 AKDE
- 4-路径 AMPCHE

**Question 2：**在同一时间（利用图 1 的气压图），一名选手决定从 R 点（Rabat）去 Y 点（New York），下列哪条路径最快？（单选题）

- 1 RGDHY
- 2 RBDCY
- 3 RGDPY
- 4 RKDHY

下图显示了比赛进行 10 天后选手们的大致位置。其中一组选手的帆船（图 2A 中圆圈处）似乎已经落后，他们正在以 2.5 节（knots，1 knot 约等于不到 2km/h）的速度缓慢前进。

**图 2：**（A）大气压等值线图（相邻等值线代表 3 hPa 的气压差）；  
（B）海洋表面温度分布图，单位为摄氏度；  
（C）海洋盐度分布图，单位为 g/L。

**Question 3:** 下面哪个选项最好地解释了选手们此时被迫缓慢前进? (单选题)

- 1 海温高阻碍了风的形成
- 2 选手正穿越一个逆风带
- 3 海水盐度高, 因此较高的粘度减慢了船速
- 4 选手正穿越一个极弱风带

**Question 4:** 参考图 2C, 热带内有一个与周围平均盐度不同的区域 (绿色区域), 形成这一区域的最可能原因是: (单选题)

- 1 来自周边陆地大河的淡水输入降低了海水盐度
- 2 在热带存在反气旋带, 气温较低, 因此蒸发作用较弱
- 3 ITCZ 中降水更为强烈, 强降水降低了海水盐度
- 4 ITCZ 附近的强风产生海水上翻, 把深层盐度较低的海水带到海洋表面

避开静风区是所有选手的当务之急。IESO2017 号帆船的船长 Kito de Pavant 同志, 就已在如图所示位置被困好几天了。

**图 3:** (A) Kito de Pavant (蓝色箭头) 以及其他选手在 2016 年 12 月 2 日的航线图。图中的方框展示了过去 24 小时内速度的变化, 距离用海里来计算 (nm), 1 nm =1.85 km。

(B) 2016 年 12 月 12 日比赛海域的大气压等值图 (等值线间距为 3 hPa)。

**Question 5:** 下面关于 Kito de Pavant 在该地区所遭遇的困境描述正确的是: (单选题)

- 1 他的帆船正处于弱风的大气下沉区中心
- 2 他的帆船正处于弱风的反气旋 (顺时针吹, 左手螺旋, 称为反气旋) 中心
- 3 他的帆船正处于一个浅槽控制下的大气下沉区中心, (大气条件) 作用于海表阻碍了船的移动

**Question 6:** 在南半球, 有关围绕反气旋的风描述正确的是: (多选题)

- 1 顺时针旋转
- 2 逆时针旋转
- 3 越靠近反气旋中心风越强
- 4 越靠近反气旋中心风越弱

2016 年 12 月 26 日, 当穿越德雷克海峡 (南美最南端的合恩角以南) 时, 海洋局监测到德雷克海峡剖面 (从南美最南端到南极半岛最北端的连线的剖面) 上各深度的温度和盐度, 如图 4 所示。

**图 4:** 海水温度 (A) 和盐度 (B) 随海水深度变化的剖面图。横坐标代表了从从合恩角 (南美洲) 到南极半岛最北端的联系的剖面。

**Question 7:** 从图 4 中, 我们可以发现: 在 62.5°W 处: (单选题)

- 1 在所有的深度上, 温度和盐度的梯度都正常
- 2 至少在某一深度存在温度梯度异常
- 3 至少在某一深度存在盐度梯度异常
- 4 温度和盐度的梯度都不正常

**图 5:** 2016 年 8 月到 2017 年 1 月间, 不同时间点的海水温度随深度变化图。横坐标代表了从北往南的纬度 (与图 4 相同)。

**Question 8:** 关于图 4 和图 5 的表述正确的是: (多选题)

- 1 2016 年 8 月, 3000 米处的海水温度比海表温度低
- 2 2016 年 8 月, 南极沿岸的冰山 (海表大型浮冰) 在剖面中到达了 64.5°W
- 3 2017 年 1 月, 冰山 (海表大型浮冰) 密度加大, 并因此沉入水中
- 4 海洋最下层由低温且高盐的海水构成, 因为它们的密度更大

当途径纳米比亚 (Namibia) 沿岸时, 选手们遇到大量的渔船正驶向非洲海岸。在这一区域确实有大量的鱼群存在。

**图 6:** (A) 风速分布图;

(B) 年平均海水温度图;

(C) 海水中所含叶绿素 (Chlorophyll A) 的浓度。

数据来自纳米比亚的 Plateau 地区。

**Question 9:** 关于图 6, 如下表述正确的是: (多选题)

- 1 Namibia 近岸的海水温度比远岸处高
- 2 导致 Namibia 沿岸海水温度异常的原因是由于上升洋流 (海水从深部上翻到表层)。
- 3 海水上翻的驱动力是海洋深层和浅层的温度差异
- 4 海水上翻的驱动力是作用在海表的风应力
- 5 温暖的海水导致较高的初级生产力, 使得食物链 (营养链) 结构复杂, 进而促进鱼的产量大
- 6 较高的初级生产力与营养物质浓度升高有关, 进而维持了复杂的食物链结构 (营养链)

**Question 10:** 纳米比亚-安哥拉附近的大陆架地区, 因其丰富的油气资源(石油、天然气水合物)而著名。这里的自然地理、气象、气候条件已经维持了几十万年没有发生变化。同时, 非洲西南沿岸地区也一直是沙漠。下述表述正确的是: (多选题)

- 1 大量的浮游生物和复杂的食物链是形成油气资源的必要元素
- 2 石油形成于大西洋底, 随着上涌洋流而带到海面
- 3 陆地上的有机物(动物尸体和植物残骸)沉积于大陆架地区, 这些是油气资源的主要来源
- 4 沉积于大陆架上的浮游生物等有机物, 必须在缺氧条件下才能转变为碳氢化合物(油气)

2016年11月17日, 选手Kito de Pavant在穿越赤道时向海水中释放了一个GPS浮标“IESO2017”。浮标只随洋流漂动, 并可每小时发回其经、纬度位置, 如图7所示。

**图7:** 黑线指示了浮标 IESO2017 在 2016 年 11 月 17 日到 12 月 1 日间的移动轨迹。浮标在 Kito de Pavant 跨越赤道时放下。颜色代表了不同的洋流速度; 箭头体现了各处洋流的方向。图中的洋流称之为“赤道洋流”。

**Question 11:** 关于图7, 下述表述正确的是: (多选题)

- 1 运送浮标的洋流, 由南半球的信风引起
- 2 运送浮标的洋流, 由大西洋东-西两岸的海水温度差异引起
- 3 运送浮标的洋流, 由大西洋东-西两岸海水盐度差异引起
- 4 运送浮标的洋流, 由大西洋东-西两岸海水表面高度差异引起
- 5 运送浮标的洋流的方向, 受到科里奥利力的影响

**图8:** 浮标在 2016 年 12 月 15 日到 2017 年 1 月 4 日间移动的轨迹。图中每一个点代表了每天的位置。

**Question 12:** 关于该浮标在靠近南美沿岸时的路径(图8), 下面表述正确的是: (单选题)

- 1 移动速度均一, 且轨迹平行于海岸线
- 2 移动速度均匀, 且轨迹并未因为靠近海岸而受到影响
- 3 速度在靠近海岸时减慢, 这是因为淡水与海洋洋流相反
- 4 速度在靠近海岸时减慢, 这是因为水深也在逐渐变浅
- 5 速度在靠近海岸时加快, 因为淡水与海洋洋流相反
- 6 速度在靠近海岸时加快, 因为水深也在逐渐递减

**图 9:** 浮标在接近南美洲海岸时的移动轨迹。每一个点代表了每个小时的位置

**Question 13:** 关于**图 9**，下述选项哪个能够最为准确的描述了浮标的移动规律。观测中记录到浮标出现周期性信号，其平均周期为：（单选题）

- 1 6 小时
- 2 12 小时
- 3 24 小时

**Question 14:** 形成**图 9**所示的特殊轨迹，其最有可能的原因是：（单选题）

- 1 湍流，由于内陆水体和海水的盐度差
- 2 湍流，由于内陆水体和海水的温度差
- 3 潮汐流

**第二部分：脚踏实地，仰望（行）星空**

水手 Kito de Pavant 曾经在航行过程中在不同时间、地点观测到了不同的月相。图 10 中给出了他此次航行的观测。我们如何理解他的观测呢？

**图 10:**

(A) 水手 Kito de Pavant 分别于 2016 年 11 月 7 日 23 点，11 月 14 日 1 点，11 月 22 日 4 点进行三次月球观测时所处的位置。

(B) 水手 Kito de Pavant 在这三个时间所看到的月球图像。

**图 11:** 当地球、太阳和月球所处不同位置时，月相的变化。

**Question 15:** 2016 年 11 月 7 日至 8 日夜晩，月球在日地参考系中的相对位置对应于图 11 中的哪个位置（单选）？

- 1- A
- 2- B
- 3- C
- 4- D

**Question 16:** 11 月 14 日至 15 日夜晩，月球运行至观测点正上方（即天顶点）。下列说法正确的是（多选）：

- 1- 只有在热带地区的观测者才能看到。
- 2- 只有在月相为满月时才会发生。
- 3- 在满月时可以在地球上任意地点观测到这一现象。
- 4- 这一现象非常罕见，在同一给定地点每年最多发生两次。

**Question 17:** 航行途中的水手 Kito de Pavant 在 11 月 7 日与 22 日夜晩看见的月球非常相似，这是因为（单选）：

- 1- 月球公转的朔望周期为 14 天左右。
- 2- 月球公转的恒星周期在 28 天左右，因此可以在 28 天的一半，即 14 天时，观测到同样的月相。
- 3- 上弦月和下弦月看起来一样是因为它们并非在同一个半球被观测到。
- 4- 上弦月和下弦月看起来一样是因为它们并非是在夜晚的同一时刻被观测到。

**Question 18:** 11月14日的满月可被观测到的时间为：傍晚18点至次日清晨6点。关于这种现象，下列说法正确的是（单选）：

- 1- 这种现象在满月的时候就可以发生。
- 2- 这种现象非常罕见。在大多数情况下，可以从正午开始观测到。
- 3- 这种现象的出现仅仅因为观测者位于地球赤道附件。

**图 12.** 月球表面撞击坑分布密度随表面年龄的变化规律。图片中的矩形为月球表面不同区域的观测数据，而虚线是对这些数据的拟合结果。

**横轴**为月表年龄，单位为十亿年；

**纵轴**为直径大于500米的撞击坑分布密度，单位为每一千平方公里的撞击坑数量。

**Question 19:** 图12给出了月球表面撞击坑分布密度与表面年龄之间的曲线关系。可以看出，他们的关系近似于双曲线。在以下的因素中，哪些决定了这一曲线的形状及具体数值（多选）：

- 1- 自太阳系形成以后，撞击体的总数大体上一直在持续减少。
- 2- 不断重新塑造行星表面的构造活动。
- 3- 星体与小行星带及柯伊伯带的距离。
- 4- 星体的公转与自转周期。
- 5- 星体表面的温度。
- 6- 星体的大小。

**图 13.** 火星表面卡塞峡谷的位置。(A)该地区的卫星影像。沙罗诺夫撞击坑直径为100 km。(B)该地区的地形图。

**Question 20:** 位于图13B的X处形成卡塞峡谷河流的流向为（单选）：

- 1- 向南。
- 2- 向北。
- 3- 向东。
- 4- 向西。
- 5- 向东南。
- 6- 向西北。
- 7- 向西南。

**Question 21:** 图 13A 红框区域内有一些和小型撞击坑相关联的条纹。这些条纹被认为是由风造成的（风成条纹），那么风向是？（单选）

- 1- 吹向西和西北方向。
- 2- 吹向西和西南方向。
- 3- 吹向东和东北方向。
- 4- 吹向东和东南方向。

**Question 22:** 从图 13 中可以观察到如下五种地质过程：A—河流作用；B—小型撞击坑形成；C—大型撞击坑形成（地图的西北方向）；D—裂隙形成（地图的北方）；E—风成条纹。上述五种地质过程发生的时间先后顺序为（单选）：

- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| 1- A / B / C / D / E | 3- D / C / A / B / E |
| 2- A / C / D / E / B | 4- C / D / B / E / A |

图 14: 火星卫星图像所显示的 Sonia 高原的地形图。

**Question 23:** 关于图 14 中的陨石撞击坑形成的时间顺序为（从最老到最新）（单选）：

- 1- A / B / C / D / E / F
- 2- E / F / D / C / B / A
- 3- C / D / B / A / E / F
- 4- F / E / A / B / D / C
- 5- A / E / F / B / D / C
- 6- C / D / B / F / E / A
- 7- D / A / E / C / B / F
- 8- B / D / E / F / A / C

**Question 24:** 相比于月球和水星而言，金星，地球和火星上的陨石撞击坑分布密度较低，这是因为：（单选）

- 1- 陨石撞击的次数较少。
- 2- 火山活动重新形成了表面。
- 3- 月球对地球的保护。
- 4- 行星表面的剥蚀作用。

图 15: Hughes Scale 图，展示了陨石质量，撞击坑直径与陨石撞击频率之间的关系。纵坐标为陨石撞击的频率（假设陨石撞击地球的速率为 15.4km/s）。图中 meteors 指流星，meteorites 指陨石，craters 指撞击坑。

**Question 25:** 根据图 15 所示的关系计算, 若形成直径为 5Km 的撞击坑, 陨石的质量应为 (单选)

1. 100,000 吨 (100 千吨)
2. 100,000 吨 (0.1 百万吨)
3. 10,000,000 吨 (10 百万吨)
4. 1,000,000,000 吨 (1 十亿吨)

**Question 26:** 发生上述陨石撞击速率 (第 25 题) 的频率为: (单选)

1. 100 年/次
2. 10,000 年/次
3. 1,000,000 年/次

**Question 27:** 陨石撞击坑的直径由如下列哪些因素决定 (多选)

1. 陨石的形状
2. 陨石的质量
3. 陨石中冰的含量
4. 陨石撞击的速率
5. 撞击点森林的密度
6. 撞击点的天气

**Question 28:** 如图 15 所示, 陨石撞击的强度为  $M=5.5$ , 如果撞击的地点在震台 100km 以内, 由撞击所造成的震动大到使得该撞击事件强度无法被准确的记录下来, 我们称之为饱和现象。如果陨石撞击火星的频率可以用  $R(M) = 100 * 10^{(3.5-M)}$  来计算, 火星的半径为 3376km。请计算该强度的撞击事件 ( $M=5.5$ ) 发生的频率为: (单选)

1. 2.9%
2. 100%
3. 33%
4. 0.02%

### 第三部分：土星的一颗有趣卫星

土卫二（Enceladus）是土星七颗主要卫星中的一颗。表 1 给出了这颗卫星的主要特征。这一星球的表面极为清晰，因此人们可以很好的观测到其表面复杂的地貌。对于一个如此小的星球，这些地貌的出现颇为令人费解。目前人们正试图用正在发生的地质活动对此进行解释。

表 1：土卫二的物理与化学参数表

直径 (千米)	密度 (克/厘米 <sup>3</sup> )	重力加速度 (米/秒 <sup>2</sup> )	表面温度 (开尔文)	各组成成分 占体积比例	大气层成分
500	1.2	0.06	73	10%: 硅酸盐 90%: 水	极少量水气

**Question 29:** 土卫二存在着明显分层结构，其核心由硅酸盐组成。根据表格中的信息，计算土卫二的核心半径（单选）：

- 1- 85 千米
- 2- 100 千米
- 3- 115 千米
- 4- 140 千米

**图 16:** 是卡西尼飞船于 2005 年 7 月 14 日在 1000 千米高空拍摄的土卫二图像，A 区域为土卫二的主要部分，其主要特征为广为分布的陨石坑。B 区域位于土卫二南极区域，这一区域存在着较多的地势起伏，其中尤其明显的是一系列条纹状结构。图中的方框为 B 区域条纹结构与 A 区域陨石坑的一个交界区域。因为在区域 B 中几乎不存在陨石坑，因此这一区域被认为是较为年轻的。科学家们猜测，土卫二存在着内部活动，从而可以持续的塑造其表面。

**Question 30:** 通过与地球的类比，我们可以利用以下哪些参数对土卫二目前的内部活动情况进行判断（多选）？

- 1- 土卫二表面的大气压强
- 2- 土卫二表面温度
- 3- 土卫二表面化学，探测可能存在的火山岩
- 4- 土卫二磁场

人们此前曾认为，土卫二得以维持其构造活动的唯一热源是太阳辐射。随后，人们对土卫二的热能情况进行了详细分析，见下图。

**图 17:**

(A) 为假设太阳辐射为土卫二的唯一热源，通过理论计算获得的土卫二表面温度分布图（温度单位为开尔文）。

(B) 为利用卡西尼飞船红外线测量得到的土卫二表面温度分布图。

(C) 为土卫二南极区域的表面照片，同时叠加了某一条纹附近的温度分布。这一照片颜色反应了水冰的不同晶体结构。早期形成的水冰，由于受长时间紫外辐射，已转变为不定形结构，因此呈现为白色；而新近凝固而成的水冰，其结晶程度较高，呈现为蓝色。

**Question 31:** 在图 17 中，理论与观测结果的对比说明了（单选）：

- 1- 太阳辐射的确为土卫二的唯一热源。
- 2- 太阳距离土卫二太远了，因此其对土卫二的温度没有任何影响。
- 3- 在土卫二赤道存在着一个显著的热源。
- 4- 太阳辐射对土卫二的表面温度分布存在影响，但在土卫二的南极附近存在着另一个热源。

**Question 32:** 从图中可以看出，在土卫二南极附近的条纹上存在着明显的热异常现象。这些条纹对应什么结构（单选）？

- 1- 新形成的地质结构。由于新形成的水冰颜色不同，因此可以被观测到。
- 2- 新形成的地质结构。其热异常不允许水的存在。
- 3- 在很早以前形成的地质结构。在早期土卫二表面曾存在着液态水流，从而侵蚀其表面结构。
- 4- 目前在土卫二表面仍然存在着的液态水道。

卡西尼飞船掠过土卫二南极上空时进行了化学成分分析。为此，卡西尼飞船使用了 INMS 仪器（离子与中性粒子质谱仪）探测气态水，同时也使用了 CDA 仪器（宇宙尘埃分析器）探测水冰尘埃。

**图 18** 为卡西尼飞船的探测结果，其中黄星代表了 INMS 仪器获得的气态水密度，蓝点代表了 CDA 仪器获得的水冰尘埃密度。横轴代表卫星观测时间，其中心点 CA（Closest Approach）为该飞船距离土卫二表面最近的时刻。同时图中也给出了飞船在土卫二南极附近上空的轨道。

**Question 33:** 由图 18 可知, 卡西尼飞船的探测结果表明了 (多选):

- 1- 飞船在其飞行过程中, 其探测得到的水气与水冰尘埃密度始终保持恒定。
- 2- 飞船探测到了一个弥散区域, 其大小约 100 千米。在这一弥散区中, 水冰尘埃和水气浓度均达到较高的水平。这一弥散区域对应于飞船距离土卫二表面最近的时刻。
- 3- 飞船在靠近南极热异常区时探测到了较高浓度的水冰尘埃与水气。
- 4- 在热异常区以外仍然存在着一一定浓度的水冰尘埃与水气, 这意味着土卫二存在着一个稀薄的大气层。

**图 19** 为氨-水混合物在土卫二表面大气压强下的相变图。氨与水是互相溶解的, 因此在讨论其相变时, 氨-水混合物可被视为一种单纯的成分进行分析。图中横轴为氨在此混合物中的摩尔百分比, 纵轴为温度 (单位为摄氏度)。图中三相分别为: 固态、液态和固液混合态。

**Question 34:** 从图 19 中可知, 当氨与水各自含量占比为多少时, 其熔点温度可达到最低值 (单选)?

- 1- 氨占比 90%, 水占比 10%。
- 2- 氨占比 35%, 水占比 65%。
- 3- 氨占比 65%, 水占比 35%。
- 4- 氨占比 80%, 水占比 20%。

**Question 35:** 考虑上述最低熔点温度, 以下哪些关于土卫二的判断是正确的 (多选)?

- 1- 在土卫二表面测量得到的平均温度下, 氨-水混合物可以融化(melt)。
- 2- 在土卫二南极点附近的很小区域内, 较高的温度使得液态物质可以快速出现。
- 3- 在土卫二表面任意区域的条件下, 液态氨水都不可以稳定存在。
- 4- 在土卫二大气中出现的水冰与水气表明, 在土卫二内部应可存在液态或气态的水。

**图 20:** 土卫二表面的冰火山喷发照片。分析表明, 喷发物为液态水与冰。

**Question 36:** 根据图 20 提供的信息, 以下哪些描述是正确的 (多选)?

- 1- 土卫二北部是一个古老的火山, 南部是一个古老的海洋。
- 2- 土卫二表面是不均匀的。太阳辐射可改变冰的形态, 从而抹平环形山并形成光滑的表面。
- 3- 土卫二表面仅有部分区域 (位于南半球) 是新形成的。这一区域已然冰封, 今后会逐渐累积越来越多的陨石坑。
- 4- 在土卫二南极附近存在非常有趣的冰火山活动。水气可由此被喷发至大气层, 而液态水也可以通过这一过程弥漫至土卫二表面, 并迅速凝固。
- 5- 土卫二南半球目前存在着活动构造, 而导致这一活动的热源依然未知。
- 6- 尽管土卫二很小, 但仍然存在着一个大气层。该大气层的维持有赖于冰火山的喷发。