解析版本：V0.3
发布日期：2026年2月10日
版本勘误：fix.geopku.cn



全国中学生
地球科学奥林匹克竞赛
真题解析

2023-2025

全国中学生地球科学奥林匹克竞赛委员会

全国中学生地球科学奥林匹克竞赛真题解析（2023-2025）

（2023 预赛）“海亮杯”2022-2023 学年全国中学生地球科学奥林匹克竞赛预赛试题参考解答 …… 286

（2023 决赛）“海亮杯”2022-2023 学年全国中学生地球科学奥林匹克竞赛决赛试题参考解答与勘误 …… 299

（2024 预赛）“燕园元培杯”2023-2024 学年全国中学生地球科学奥林匹克竞赛预赛试题参考解答 …… 324

（2024 决赛）“燕园元培杯”2023-2024 学年全国中学生地球科学奥林匹克竞赛决赛试题参考解答 …… 340

（2025 预赛）2024-2025 学年全国中学生地球科学奥林匹克竞赛预赛试题参考解答 …… 362

（2025 决赛）2024-2025 学年全国中学生地球科学奥林匹克竞赛决赛试题参考解答 …… 386

本试题、答案与解析版权归全国中学生地球科学奥林匹克竞赛委员会所有。

未经书面授权，任何人不得演绎，不得在出版物或互联网上转载、贩卖、营利，违者必究。

“海亮杯”2022-2023 学年全国中学生地球科学奥林匹克竞赛

预赛试题参考解答

注 意 事 项

在答题前请认真阅读本注意事项及答题要求

1. 本试卷共分为三个部分，第一部分为单选题，第二部分为不定项选择题，第三部分为读图、不定项选择题（除特别说明外）。考试时间为150分钟。考试结束后，请将本试卷、答题卡、草稿纸一并交回。
2. 答题前请务必将自己的姓名、考号用黑色签字笔填写在答题卡的规定位置。
3. 作答选择题须用2B铅笔在机读卡指定位置涂卡。
4. 考试开始30分钟内不允许提前交卷，考试结束后待监考老师确认后方可离场。

一、单选题（只选一个正确答案，正确得一分，错误或多选不得分）

1. 位于北半球的一位驾驶员在夏至这一天中午时分驱车向正北行驶，发现其前方车辆与地面夹 60^{o} 角的汽车玻璃反射的太阳光正几乎平行于地面刺眼地射向他。该驾驶员的地理纬度大约是北纬（ D ）度。

A. 36.5； B. 40.5； C. 45.5； D. 53.5； E. 63.5。

2. 我们在日常吃饭时，米饭中偶尔会有砂粒，组成这个砂粒的矿物最有可能是（ C ）。

A. 橄榄石； B. 辉石； C.石英； D. 角闪石。

3. 通过对岩芯的粒度特征分析发现，组成该岩芯的物质主要为碎屑物，且碎屑物的分选性好、磨圆度和成熟度都很高，该碎屑物最有可能是（ A ）。

A. 冲积物； B.冰碛物； C.坡积物； D.洪积物。

4. 矿石中金属元素或有用组分的单位含量称为（ C ）。

A. 矿床； B. 矿体； C. 品位； D. 矿产。

5. 根据戈尔德施密特的元素地球化学分类，判断以下元素，哪些在地球以及类地行星的硅酸盐部分（地幔+地壳）相对富集，哪些在金属部分（核）相对富集？（ A ）

A. Al, Ti, Ca, Zr, La, K, Na, Cs, Th, U 在硅酸盐部分富集，Fe, Ni, Os, W 在地核富集；

B. Fe, Ni, Os, W 在硅酸盐部分富集，Al, Ti, Ca, Zr, La, K, Na, Cs, Th, U 在地核富集；

C. Al, Ti, Ca, Zr, La, K, Na, Cs, Os, W 在硅酸盐部分富集，Fe, Ni, Th, U 在地核富集；

D. Al, Ca, Zr, La, K, Na, Cs, Os, W 在硅酸盐部分富集，Fe, Ni, Th, U, Ti 在地核富集。

6. 地球内部圈层由不同的物质组成，地球内部结构和物理性质描述不正确的是（ C ）。

A. 温度随深度的增加而增加； B. 压力随深度的增加而增加；

C. 地震波速度随深度的增加而增加； D. 密度随深度的增加而增加。

7. 我国大陆在白垩纪前为东高西低的地势，目前是西高东低的地势格局，但使地形发生倒转机制（原因）是什么？（ B ）

A. 河流侵蚀作用； B. 青藏高原隆升； C. 太平洋板块俯冲； D. 全球变暖。

8. 下列岩石中最易风化的是（ A ）。

A. 橄榄岩； B. 花岗岩； C. 石英砂岩； D. 长石砂岩。

9. 页岩气是保存在黑色页岩中的甲烷等可燃气体，它们形成的主要方式有（ A ）。

A. 有机质热裂解； B. 地下水中生物； C. 沼气； D. 地球内部释出气体。

10. 木星存在岩石核心，其质量（ D ）。

A. 与月球相当； B. 与火星相当； C. 与金星相当； D.比地球还多。

11. 两台光学望远镜的口径分别是 25 cm 和 1 m。用前者观测一颗较暗弱的恒星花了 40 分钟；若要接受同样数目的光子，后者需曝光（ D ）分钟。

A. 1； B. 1.5； C. 2； D. 2.5； E. 10。

12. 某位观测者在居住地观测每日太阳相对于地平面的最高角度，但没有那天发现太阳经过他的天顶。在夏至和冬至时测得太阳最高时角度分别 73.5°和 26.5°，则他的地理纬度是（ D ）度。

A. 26.5； B. 30； C. 35； D. 40。

13. 下列属于岩浆岩的是（ A ）。

A.玄武岩； B. 大理岩； C.板岩； D.石灰岩。

14. 要使船舶能够漂浮于水面，必须（ C ）。

A. 船舶的重量大于排水量； B. 船舶的重量小于排水量；

C. 船舶的重量等于排水量； D. 船舶的重心高于浮心。

15. 渤海大部分海域的潮汐性质为（ D ）。

A. 正规半日潮； B. 不正规全日潮； C. 正规半日潮； D. 不正规半日潮。

16. 潮汐现象是指海水在天体引潮力作用下所产生的周期性运动，习惯上把海面垂直方向涨落称为潮汐，海水水平方向的流动称为潮流，地球的潮汐现象是由（ C ）引起的。

A. 月球； B. 太阳； C. 月球与太阳； D. 地球与太阳。

17. 科学家认为南方涛动指数与厄尔尼诺事件有着紧密的联系，那么南方涛动指数的哪一种情况最有可能发生厄尔尼诺？（ D ）

A. 0.1； B. -0.1； C. 3.0； D. -3.0。

18. 我国近海总面积 470 多万平方千米，下列关于四大海区的说法有误的是（ A ）。

A. 南海是四大海区中海岛数最多的；B. 东海是我国陆架最宽的边缘海；

C. 黄海因海水呈黄褐色而得名；D. 渤海是中国最北的近海，亦为中国最浅的半封闭性内海。

19. 火星被称为“红色星球”，其原因主要是（ B ）。

A. 由于火星大气散射所致；

B. 火星表面被赤铁矿（氧化铁）覆盖；

C. 因距离太阳较远，阳光的照射弱所致；

D. 火星大气中的尘粒反射所致。

20. 当铁磁物质加热到一定温度时，原来的磁性就会消失，把这个温度叫做（ D ）；熔岩完全冷却固结后，该岩石保留了当时地磁场方向和磁化强度，称为（ ）。

A. 熔点，古地磁；　B. 居里点，古地磁；　C. 熔点，热剩磁；　D. 居里点，热剩磁。

21. 陆地上的淡水分布最少的是（ C ）。

A. 冰川；　B. 地下水；　C. 河流；　D. 湖泊。

22. 土壤中的矿物按其成因可分为原生矿物和次生矿物，下列不属于土壤原生矿物的是（ B ）。

A. 硅酸盐；　B. 碳酸盐；　C. 磷酸盐；　D. 硫化物。

23. 地球上不同圈层中的化学元素既有联系，也有差异。下表为地壳、土壤和生物体中部分元素的含量（%），I、II、III 分别为（ C ）。

A. 地壳，生物，土壤；　B. 地壳，土壤，生物；

C. 土壤，生物，地壳；　D.土壤，地壳，生物。

	Si	Al	Ca	K	Na	Mg	O	C	N	P	Fe	H
I	33.0	7.12	1.37	1.36	0.50	0.60	49.0	2.0	0.10	0.08	3.80	1.00
II	0.05	0.02	0.50	0.20	0.05	0.07	70.0	18.0	0.50	0.70	0.02	8.00
III	27.6	8.50	3.50	2.50	2.60	2.00	47.2	0.01	0.02	0.08	5.00	0.15

24. 太阳的质量占整个太阳系的 99.87 wt.%，因此太阳的成分可以代表太阳系的成分。请问太阳系的主要化学成分是什么？（ A ）

A. 氢和氦；　B. 氢和氧；　C. 氧和铁；　D. 铁和镍。

25. 太阳系长周期彗星最有可能的来源地是（ B ）。

A. 柯伊伯带；　B. 奥尔特云；　C. 小行星带；　D. 土星附近。

26. 显生宙海洋三大演化动物群不包括（ C ）。

A. 寒武纪演化动物群；　B. 古生代演化动物群；

C. 中生代演化动物群；　D. 现代演化动物群。

27. 下列不属于年代地层划分单位的是（ B ）。

A. 界；　B. 纪；　C. 系；　D. 统。

28. 下列不属于软体动物的是（ C ）。

A. 双壳动物；　B. 腹足动物；　C. 苔藓动物；　D. 头足动物。

29. 从鱼类向两栖类演化进程中，下列哪个性状被认为是最重要的创新？（ D ）

A. 肺；　B. 脊椎；　C. 羊膜卵；　D. 四肢。

30. 植物光合作用被认为是自然界最为重要的反应之一（$CO_2 + H_2O \longrightarrow CH_2O + O_2$；$CH_2O$ 指代光合作用生成的有机质）。下列哪个表述是正确的？（ D ）

A. 叶绿素a 的最大吸收波长范围为 520～663 nm；

B. 在长时间尺度（>10^4 年），植物生产的大部分有机质会被保存在土壤或沉积物中；

C. 光合作用效率主要控制着地史时期大气氧气浓度的变化；

D. 全球碳循环中，火山放气作用是平衡光合作用消耗CO_2 的重要方式。

二、不确定选择题（单选或多选，每一个正确答案得 1 分，选错一个扣 0.5 分，最多扣至 0 分）

1. 下列影响元素地球化学亲和性的主要因素有（ BC ）。

A. 元素在地壳中的百分含量； B. 元素的基本化学性质；

C. 化学反应的能量效应； D. 元素在水体中的百分含量。

2. 下列是因为矿物对日光的反射、折射等引起的矿物物理性质有（ AB ）。

A. 颜色； B. 光泽； C. 解理； D. 断口。

3. 下列属于宝（玉）石类的矿物有（ ABCD ）。

A. 绿柱石； B. 辰砂； C.孔雀石； D. 刚玉。

4. 深成岩浆岩与火山岩的明显区别有（ ABCD ）。

A. 深成岩矿物自形程度高； B. 深成岩矿物颗粒往往结晶均匀；

C. 火山岩的矿物颗粒肉眼难辨； D. 火山熔岩往往发育气孔杏仁构造。

5. 云南石林是著名的世界地质公园和世界自然遗产，你认为形成石林的主要影响因素有（ ABCD ）。

A. 岩石的可溶性； B. 岩石节理的发育特征；

C. 地下水的运动方向； D. 区域地质构造背景；

6. 天然气水合物俗称“可燃冰”，主要 成分是冰+甲烷，主要产出于什么环境？（ AC ）

A. 大洋； B. 造山带； C. 永冻带； D. 冰川。

7. 地球内部以液体形态存在的圈层为（ C ）。

A. 软流圈； B. 内地核； C. 外地核； D. 下地幔。

8. 地热是绿色能源，其热源有哪些？（ AC ）

A. 地下岩浆； B. 太阳热辐射； C. 放射性热； D. 地下水循环。

9. 同质多像是指相同化学成分的物质，在不同的地质条件（如温度、压力等）下可以形成不同的晶体结构，从而成为不同的矿物。下列物质（ ACD ）属于同质多像。

A. 石墨； B. 甲烷； C. 金刚石； D. 石墨烯。

10. 喀斯特的形成：在可溶性碳酸盐岩广泛分布的地区，地下水沿层面及孔隙流动，在流动过程中不断溶蚀沿途岩石，再加上地表水的共同作用，使地表和地下形成一些特殊地形，这些地形以及作用过程称喀斯特。喀斯特形成的基本条件为？（ ABCD ）

A. 节理等裂隙发育； B. 产状平缓的厚层碳酸盐岩

C. 丰富的可流动的地下水； D. 地下水中含有大量的 CO_2 和有机酸。

11. 关于日食和月食，如下论述中正确的有（ C ）。

A. 月食时月亮处于朔，而日食时月亮处于望；

B. 日食的发生跟月球阴影有关；当地球完全处于月球的阴影区时，发生日食；

C. 月食的发生跟地球阴影有关；当月球完全处于地球的阴影区时，发生月食；

D. 发生日环食时的日月距离比发生日全食时近；

12. 根据火星探测结果分析，下列哪些推断是正确的。（ BD ）

A. 因为发现了地震活动，所以火星表面可能存在板块运动；

B. 火星与地球一样存在着核-幔-壳结构，火星幔中有低速层存在；

C. 火星表面曾经存在有液态水，并于约 10 亿年前枯竭；

D. 火星表面曾经存在有液态水，并于约 30 亿年前枯竭。

13. 虽然围绕一颗 B 型恒星的宜居带很大，但我们却不在那里寻找存在生命的行星，因为这种恒星（ B ）。

A. 有太强的引力； B. 寿命太短，生命没有足够时间进化；

C. 温度太低，生命无法维持； D. 周围只能形成气态的巨行星。

14. 大部分海啸是由（ C ）引起的。

A. 板块俯冲带的深源地震； B. 板块碰撞带的深源地震；

C. 板块俯冲带的浅源地震； D. 转换边界的浅源地震。

15. 关于地壳，下面描述正确的是（ AD ）。

A. 大陆地壳为双层结构； B. 海洋地壳平均厚度 30 km；

C. 海洋地壳为单层结构； D. 地壳最厚可达大约 70 km。

16. 关于地球内部温度变化，下面描述正确的是（ ACD ）。

A. 由地表向下，可分为变温带、恒温带和增温带； B. 地幔温度变化受太阳辐射的影响；

C. 地核与地幔的边界是温度突变的界面； D. 地核内温度随深度增加

17. 珠穆朗玛峰是世界上海拔最高的山峰，按照地壳重力均衡的理论，下面的描述正确的是（ AD ）。

A. 珠穆朗玛峰底部地壳的厚度比较大； B. 珠穆朗玛峰底部地壳的密度比较大；

C. 珠穆朗玛峰的布格重力异常为正； D. 珠穆朗玛峰的布格重力异常为负。

18. 地震横波（S 波）具有下面描述的哪些特征（ BC ）?

A. 它是传播速度最快的体波； B. 它的质点偏振方向与振动传播方向垂直；

C. 它不能在液体介质中传播； D. 它的质点偏振方向与振动传播方向一致。

19. 地下水的赋存状态包括（ BCDE ）。

A. 固态水； B. 包气带水； C. 层间水； D. 承压水； E. 潜水。

20. 按成因可将土壤矿物划分为原生矿物和次生矿物，下列属于次生矿物的有（ BDF ）。

A. 石膏； B. 伊利石； C. 方解石； D. 蛭石； E. 角闪石； F. 高岭石。

21. 嫦娥五号月壤是中国继上世纪阿波罗时代后获得的最新月球返回样品，其中的玄武岩喷发于距今 20 亿年。请问嫦娥五号玄武岩喷发时对应地球的什么时期？地球上是否已经存在生命了？（ CE ）

A. 冥古宙； B. 太古宙； C. 元古宙； D. 显生宙； E. 存在生命； F. 不存在生命。

22. 太阳系的冰卫星包括（ BD ）。

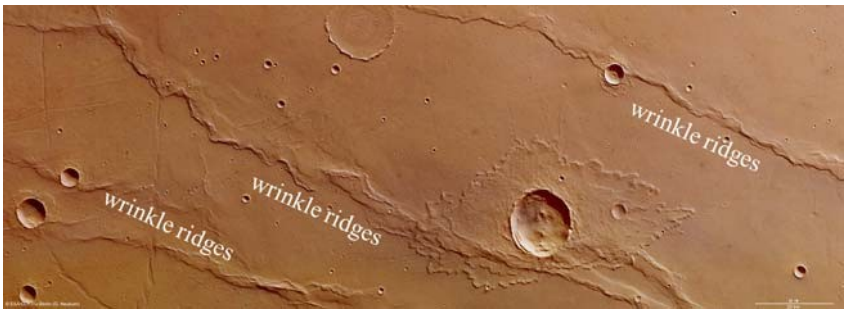
A. 木卫一； B. 木卫二； C. 火卫一； D. 土卫二。

23. 关于类地行星的概念，下列哪些是正确的？（ A ）

A. 以硅酸盐岩和金属作为主要成分的行星； B. 太阳系中所有的类地行星均位于“适居带”；

C. 月球也属于类地行星； D. 与地球结构相同的行星； E. 土星属于类地行星。

24. 火星表面发育许多地质成因的线状构造，其中最常见的一种为皱脊（wrinkle ridge，见下图），以下哪些解释是合理的？（ AC ）



A. 皱脊代表逆冲断层作用；

B. 皱脊代表正断层作用；

C. 皱脊有可能是火山-沉积物的重力构造；

D. 皱脊是火星膨胀的结果；

E. 图中右上第一条皱脊的形成晚于显所示的撞击。

25. “盐尘暴”主要发生在盐渍化区域的干旱地带，是由大风将含盐的尘土吹起而形成，它的危害比“沙尘暴”更甚。你认为“盐尘暴”比“沙尘暴”的危害更甚在哪些方面？（ BCD ）

A. 加剧空气污染； B. 威胁人体健康；

C. 导致土壤盐渍化； D. 腐蚀电线、金属等基础设施。

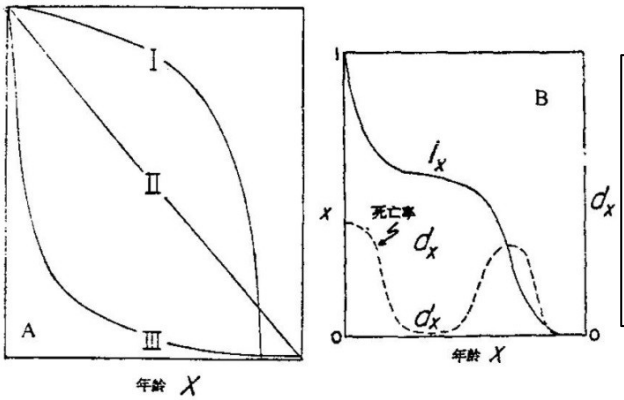
26.下列哪些属于微生物岩？（ AC ）

A. 叠层石； B. 红藻石； C. 凝块石； D. 葡萄石。

27. 我国冰川作用的遗迹主要见于（ AD ）。

A. 前寒武纪； B. 泥盆纪； C. 侏罗纪； D. 第四纪。

28. 生存曲线用来描述生物种群的年龄结构（如下图 A：纵坐标为一个种群中不同年龄个体的生存率，横坐标为年龄），下列哪些陈述是正确的？（ 删除，不计入成绩 ）



A 图：生存曲线的三 种基本类型；
B 图：生存曲线（l_x）和死亡率曲线（d_x）关系图。

A. 上凸形曲线（图 A 中的 I 曲线），指示幼年期死亡率较高，到老年期死亡率急剧降低；

B. 直线（图 A 中的II 曲线），表示整个生命过程中死亡率恒定；

C. 上凹形曲线（图 A 中的III 曲线），指示较高的幼年期死亡率和较低的成年、老年期死亡率；

D. 图 B 中的 l_x 和 d_x 曲线，指示较高的幼年期死亡率和较低的成、老年期死亡率。

29. 只有极少数曾经生活的物种被保存为化石，下列哪些因素有利于化石化作用的发生？（ ABD ）

A. 快速埋藏； B. 硅化； C. 富氧的埋藏环境； D. 细粒沉积物。

30. 恐龙和鸟类被认为是近亲，下列哪些性状是它们亲缘关系的重要证据？（ AC ）

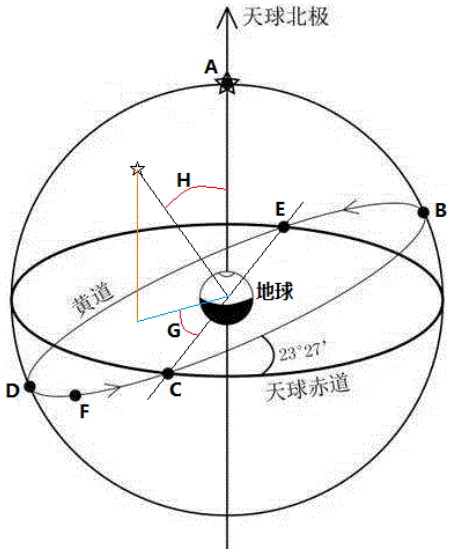
A. 多数兽脚类恐龙具有叉骨； B. 具有骨化的胸骨；

C. 多数兽脚类恐龙具有羽毛； D. 一些恐龙具有飞行能力。

三、综合测试题（单选或多选，每一个正确答案得 1 分，选错一个扣 0.5 分，最多扣至 0 分）

Q1-Q7 背景资料：

天文学上往往用赤经和赤纬来标记天体的位置或命名。依据右图填写赤道坐标系的相关概念（其中 G 和 H 反映角度，可以依据它们给出相关的正确答案）。



Q1. 赤经（ G ）；

Q2. 赤纬（ H ）；

Q3. 夏至（ B ）；

Q4. 冬至（ D ）；

Q5. 春分点（ C ）；

Q6. 秋分点（ E ）；

Q7. 北极星（ A ）。

如果下图是地层中保存下来的流水波痕，据此回答 Q8 和 Q9 的问题。



Q8. 下列哪种说法是正确的？（ BCD ）

A. 重矿物分布于波峰；

B. 流水波痕为单向水流的沉积产物，一般不对称；

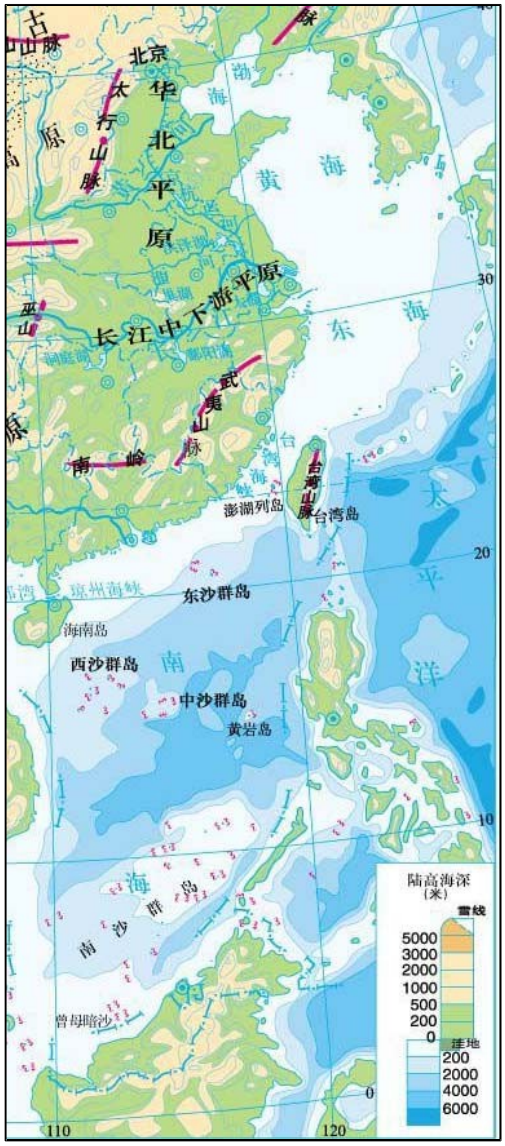
C. 波峰的缓坡指示水流的来水方向；

D. 粗碎屑分布于波谷。

Q9. 根据波痕的特征，判断一下古水流的流动方向是？（ A ）

A. 由左下至右上； B. 由右上至左下； C. 由左上至右下； D. 由右下至左上。

我国是一个临海国，濒临的海洋从北到南依次是渤海、黄海、东海和南海，见下图。请据此回答 Q10-Q13 的问题。



Q10. 根据陆高水深的比例尺，判断一下我国哪个海全部是由大陆架构成的？（ AB ）

A. 渤海； B. 黄海； C. 东海； D. 南海。

Q11. 根据陆高水深的比例尺，判断一下我国哪个海不全是由大陆架构成的？（ CD ）

A. 渤海；　B. 黄海；　C. 东海；　D. 南海。

Q12. 根据陆高水深的比例尺，判断一下我国哪个海存在深海盆地？（ D ）

A. 渤海；　B. 黄海；　C. 东海；　D. 南海。

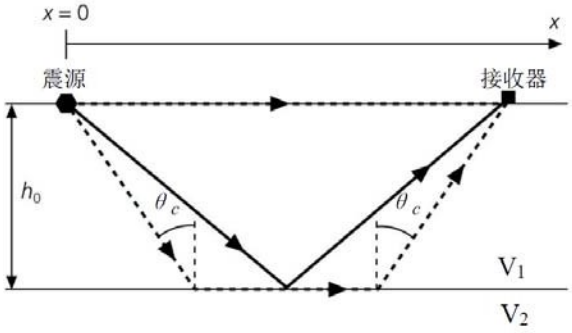
Q13. 钓鱼岛列岛位于在我国的哪个海域？（ C ）

A. 渤海；　B. 黄海；　C. 东海；　D. 南海。

右图所示的是一个均匀半空间上覆盖水平层介质的模型，均匀半空间和上覆层的地震波速度分别为 V_2 和 V_1，并且 $V_2>V_1$。震源和接收器均位于地表。

则

Q14. 首波的走时方程为（ C ）。



A. $T=\frac{X}{V_1}$

B. $T=\frac{2}{V_1}\sqrt{h_0{}^2+(X/2)^2}$

C. $T=\frac{2h_0}{V_1\cos(\theta_c)}+\frac{X-2h_0\tan(\theta_c)}{V_2}$

D. $T=\frac{2X}{V_1}$

Q15. 反射波的走时方程为（ B ）。

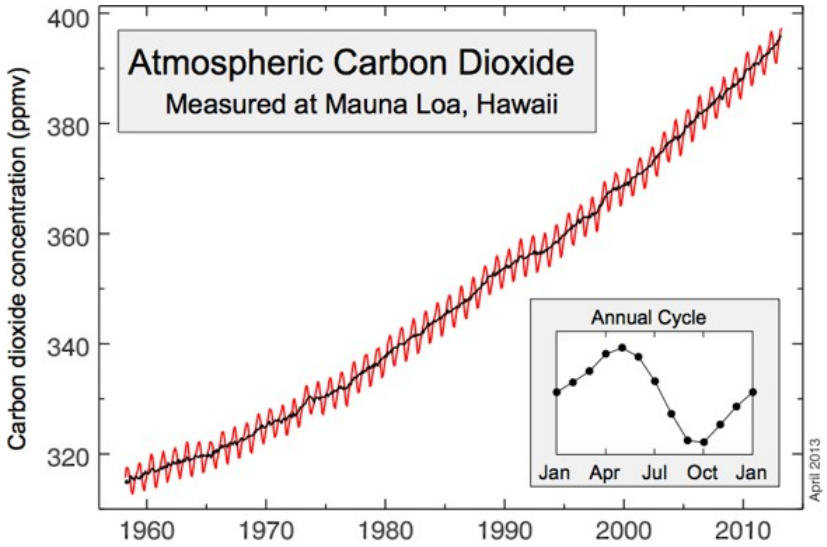
A. $T=\frac{X}{V_1}$

B. $T=\frac{2}{V_1}\sqrt{h_0{}^2+(X/2)^2}$

C. $T=\frac{2h_0}{V_1\cos(\theta_c)}+\frac{X-2h_0\tan(\theta_c)}{V_2}$

D. $T=\frac{2X}{V_1}$

下图为 1958 年以来夏威夷观测到的大气中的 CO_2 浓度变化特征，请据此回答 Q16-Q18 的问题。



Q16. Keeling 于 1958 年开始在夏威夷观测大气中的 CO_2 浓度。一开始的几年，Keeling 观测到了明显的年循环（季节循环）：CO_2 通常在每年春季升至峰值，在秋季降至谷值。这主要是因为什么？（ A ）

A. 北半球植被的光合作用导致的； B. 北半球植被的开花导致的；

C. 北半球动物的呼吸导致的； D. 太平洋海洋的初级生产导致的。

Q17. Keeling 在开始观测后的第 10 年，已经能看到明显的 CO_2 浓度逐年上升，其 10 年间的平均升幅已超过了年循环的振幅。据此，Keeling 给出了全球变暖的温室气体理论的最关键证据，史称 Keeling Curve（基林曲线）。在过去的 65 年间，CO_2 从不到 320 ppm 持续上升至今天的 420 ppm，这说明了什么？（ B ）

A. 全球火山喷发的 CO_2 越来越多；

B. 人类工业活动持续增强；

C. 海洋随全球变暖释出越来越多的 CO_2；

D. 全球范围内持续的森林砍伐导致 CO_2 浓度升高。

Q18. 基林曲线在过去 60 多年间几乎是线性增长，从不曾因为局部战争、经济周期、全球疫情而发生明显改变。但科学家们预言，基林曲线在本世纪很有可能出现“关键的向下弯曲”，这是为什么？（ B ）

A. 全人类碳达峰； B. 全人类碳中和；

C. 化石能源（石油和煤炭）使用量达峰； D. 北半球植被总量止跌回升。

Q19-Q23 背景资料：

有关火星的一些参数：1）火星的赤道半径、体积和质量分别是地球的 53%，15%和 11%；2）地球和火星的轨道半径比为 1:1.5，偏心率分别为地球: 0.0167 和 0.0934，自转轴倾角基本相同；3）火星大气的密度不足地球的 1%，主要成分为 CO_2（95%）, N_2(2.8%), Ar(2%), O_2(0.16%)；

4）火星表面北半球以平原为主，南半球以高原和山脉为主，无液态水存在。以下各题与这些参数相关。

Q19. 火星表面的重力是地球表面的（ B ）。

A. ~45%； B. ~40%； C. ~20%； D. ~50%； E. ~25%。

Q20. 火星上表面地形的不对称，对应于火星地壳北薄南厚的不对称，这些不对称最可能的原因是：（ C ）

A. 行星的自转作用； B. 行星圈层的分异作用； C. 行星撞击作用； D. 星云捕获作用；
E. 行星形成时的不均一增生。

Q21. 地球北半球的春夏季平均气温高于南半球，那么以下关于火星气温的推测哪些是合理的？（ B(C)D* ）

*BD每选一项得1分；C项选与不选均得1分；选择A项扣0.5分，最低扣至0分

A. 南北半球全年平均气温基本相同；

B. 火星南半球春夏平均气温高于北半球；

C. 北半球秋冬平均气温高于南半球；

D. 火星年平均气温低于地球的年平均气温。

Q22. 近来科学探测发现，火星南半球春夏季大气中氧气含量显著增高，其可能的两个原因是什么？（ BC ）

A. 太阳风的作用； B. 光分解作用； C. 生物作用；

D. 大气捕获作用； E. 大气逃逸作用。

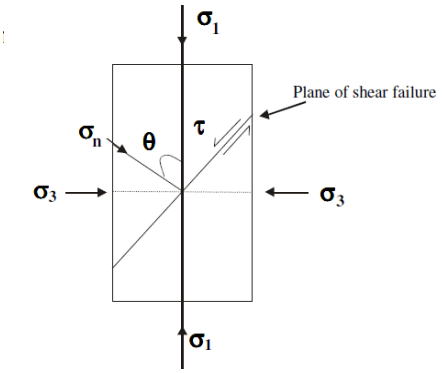
Q23. 火星探测发现，火星的大气压在南半球的春夏季高于北半球的春夏季，最可能的一个原因是（ A ）。

A. 公转轨道所致； B. 自转轴的影响； C. 太阳风作用； D. 潮汐作用。

Q24-Q27 背景资料：

地壳浅部脆性变形导致岩石发生破裂，形成断层。其中，库仑破裂准则是描述地壳浅部岩石脆性破裂强度的物理基础，断层摩擦定律是确定断层强度和滑动稳定性的理论基础。地壳浅部岩石破裂的应力状态如下图所示，岩石破裂面上的剪应力τ为：$\tau=\tau_0+\tan\theta\cdot\sigma_n$

已知τ_0为5 MPa，最大主应力σ_1为30 MPa，最小主应力 σ_3为10 MPa，θ为60°。



Q24. 破裂面上的正应力σ_n为：（ 删除，不计入成绩 ）

A. 20.66 MPa；　B. 21.66 MPa；　C. 23.66 MPa；　D. 30 MPa。

Q25. 破裂面上的剪应力τ为：（ 删除，不计入成绩 ）

A. 40 MPa；　B. 45 MPa；　C. 46 MPa；　D. 50MPa。

Q26. 上地壳普遍存在断层，断层的摩擦强度限定了脆性地壳的极限强度。 断层强度由小到大顺序为：（ A ）

A. 正断层、走滑断层、逆断层；B. 正断层、逆断层、走滑断层；

C. 走滑断层、正断层、逆断层；D. 断层摩擦强度与断层性质无关。

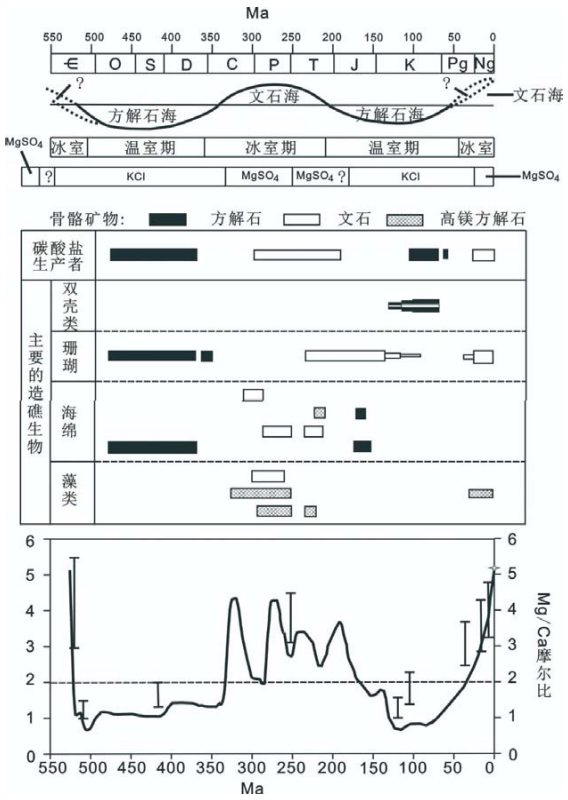
Q27. 地壳浅部普遍存在自由水，形成了孔隙流体压力。孔隙流体压力与断层强度的关系，以下说法正确的是：（ A ）

A. 摩擦强度随孔隙流体压力增加而降低；　B. 摩擦强度随孔隙流体压力增加而增加；

C. 摩擦系数随孔隙流体压力增加而降低；　D. 摩擦强度不随孔隙流体压力变化。

Q28-Q30 背景资料：

显生宙以来，海水的化学成分在“方解石海”和“文石海”之间相互转变（如下图）。早古生代、中至晚中生代以方解石海为主，而古生代中期至早中生代、新生代以文石海为特征。据此回答以下问题：



方解石海、文石海的地史演化及非骨屑碳酸盐矿物、主要造礁生物（Stanley，2006；刘喜停和颜佳新，2009 译）

Q28. 方解石和文石成同质多象，两者具有统一的化学成分，它们的化学式为（ B ）。

A. $CaSO_4$； B. $CaCO_3$； C. CaO； D. $Ca(OH)_2$。

Q29. 下面有关方解石海和文石海表述正确的有（ ABC ）。

A. 文石海以文石和高镁方解石作为主要无机碳酸钙沉淀物；

B. 文石海的形成有多重因素，其中最明显的是海水的高镁/钙比（Mg/Ca>2）；

C. 方解石海的形成有多重因素，其中最明显的是海水的低镁/钙比（Mg/Ca<2）；

D. 方解石海时期的生物骨骼是方解石质的，文石海时期的生物骨骼是文石质的。

Q30. 在自然界文石不稳定，常转变为方解石。文石质骨骼和非骨骼颗粒在埋藏成岩过程中，通常会经历新生变形、溶蚀作用、胶结物充填作用和交代作用等，最终形成碳酸盐岩储层。如果不考虑后期胶结物充填作用和交代作用，下列哪种沉积物颗粒组合能够形成最优质储层？（ B ）

A. 文石质骨骼颗粒+方解石质非骨骼颗粒；

B. 文石质骨骼颗粒+文石质非骨骼颗粒；

C. 方解石质骨骼颗粒+文石质非骨骼颗粒；

D. 方解石质骨骼颗粒+方解石质非骨骼颗粒。

“海亮杯”2022-2023 学年全国中学生地球科学奥林匹克竞赛

决赛试题参考解答与勘误

注 意 事 项

在答题前请认真阅读本注意事项及答题要求

1. 本试卷共分为两个部分，第一部分为不定项选择题，第二部分为综合分析、选择、计算和读图等客观题。本次考试时间为180分钟。考试结束后，请将本试卷、答题卡、答题纸和草稿纸一并交回。
2. 答题前请务必将自己的姓名、考号用黑色签字笔填写在答题卡和答题纸的规定位置。
3. 作答选择题须用2B铅笔在机读卡指定位置涂卡；综合分析题用黑色油笔答在答题纸上。
4. 考试开始60分钟内不允许提前交卷，考试结束后待监考老师确认后方可离场。

第一部分： 理论试题

一、不确定选择题，结果写在答题卡上（单选或多选，每一个正确答案得 1 分，选错一个扣 1 分，每题最低得分为 0 分）

1. 根据物理性质，地球可以划分为若干圈层，关于软流圈，下面描述正确的是（ ABD ）。

A. 岩浆的主要物质来源；

B. 软流圈位于上地幔；

C. 软流圈物质的密度比它上覆介质的密度小；

D. 软流圈物质的地震波速度比它上覆介质的地震波速度小。

2. 关于大地水准面，下面描述不正确的是（ ACD ）。

A. 它是由静止海水面并向大陆延伸所形成的不规则的封闭曲面，其上的重力各处相等；

B. 它是由静止海水面并向大陆延伸所形成的不规则的封闭曲面，其上的引力势各处相等；

C. 它和参考椭球体相同；

D. 它的形状不受地球内部物质密度分布变化的影响。

3. 地球可视为一个磁偶极，关于地磁极，下面描述正确的是（ CD ）。

A. 地磁极由实测结果得到，是指地球表面上地磁场的水平分量等于零，即地磁场倾角为90°、磁场强度最大的地方；

B. 地磁南、北极与地球的南、北极重合；

C. 地磁极为偶极子地磁轴与地球表面的交点，其连线一定通过地心；

D. 地磁南、北极不与地球的南、北极重合。

4. 远震地震图主要包括纵波、横波和面波，一般情况下哪一种类型的波速度最小（ C ）。

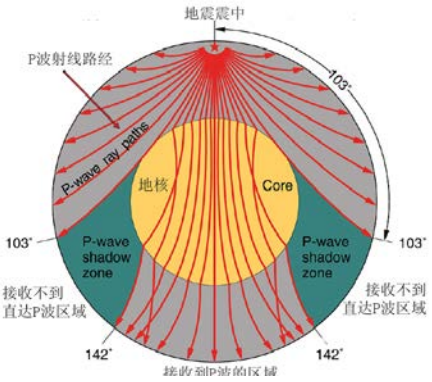
A. 纵波；

B. 横波；

C. 面波；

D. 都有可能。

5. 图中显示的是全球地震观测时出现的 P 波的影区（103°~142°之间的区域内观测不到直达 P 波震相），P 波影区形成的直接原因为（ B ）。



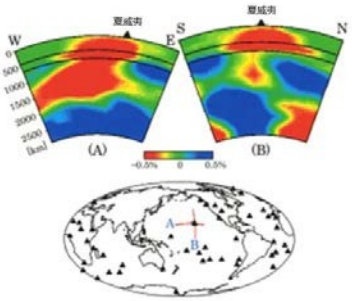
A. 地球外核为液态；

B. 地球外核的 P 波速度比地幔的 P 波速度小；

C. 地球外核的 P 波速度比地幔的 P 波速度大；

D. P 波的质点偏振方向与振动传播方向一致。

6. 图中显示的是夏威夷群岛及附近东西向（EW）与南北向（NS）两个剖面的地幔地震波层析成像结果，显示了沿两个剖面的地幔地震波速度变化，其中红色表示速度较低，蓝色表示速度较高，从两幅图可以直接推断（ BC ）。



A. 夏威夷火山活动可能和太平洋板块运动有关；

B. 夏威夷火山活动可能和上地幔的低速体有关；

C. 该地区上地幔低速体可能来源于核幔边界区域；

D. 夏威夷所处的太平洋板块在向西北运动。

7. 图中显示了中美洲西部海洋的可可板块（粉色区域）和周边的太平洋板块、北美板块以及纳兹卡板块的位置图，其中的红色、绿色和蓝色线条表示板块之间的边界，红色、绿色和蓝色标识的板块边界类型分别为（ C ）。



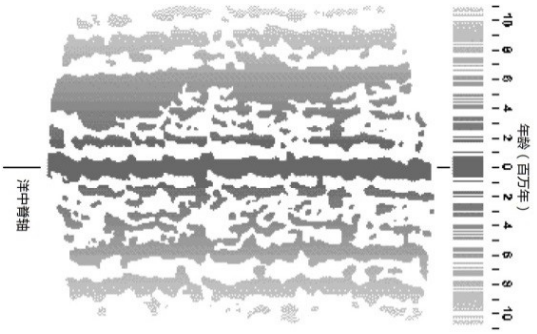
A. 汇聚型、转换断层、离散型；

B. 转换断层、离散型、汇聚型；

C. 离散型、转换断层、汇聚型；

D. 转换断层、汇聚型、离散型。

8. 图中显示的是冰岛附近大西洋中脊周围区域观测到的海底对称条带状分布的磁异常，灰色部分表示正常磁场极性，中间的白色部分表示极性相反，颜色的深浅对应不同的形成年龄，从图中，可以得到以下结论（ ABC ）。



A. 板块从大洋中脊向两侧扩张运动；

B. 大洋中脊是新的海洋板块生成的地方；

C. 两侧板块的扩张速率大约相同；

D. 两侧板块的扩张速率差别很大。

9. 口径为130mm，焦距为1950mm 的折射望远镜，如果接上焦距40mm 的目镜来观测月球，此时放大率大约为（ C ）倍。

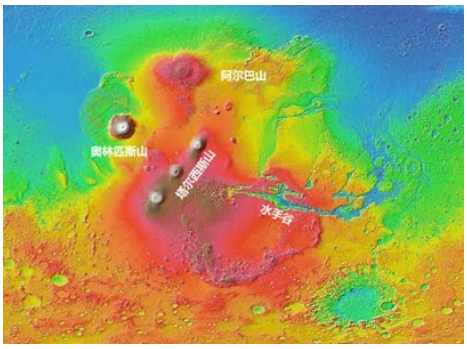
A. 25；

B. 40；

C. 50；

D. 60。

10. 下图为火星西部赤道附近的塔尔西斯高地的DEM 图，从图片上分析，以下哪些推测是正确的是（ A ）。



A. 塔尔西斯高地以火山地貌最为显著，其成因也有可能是行星撞击所致；

B. 塔尔西斯高地的火山岩都具有强烈的磁性，所以其形成较晚；

C. 塔尔西斯高地内发育有显著的水手谷谷地，其地质成因可能是走滑断层；

D. 阿尔巴山及与其相关的放射性构造为陨石撞击所致。

在竞赛委员会编著的《真题解析(2023-2025)》纸质书籍中本题解析有误，现修改如下：

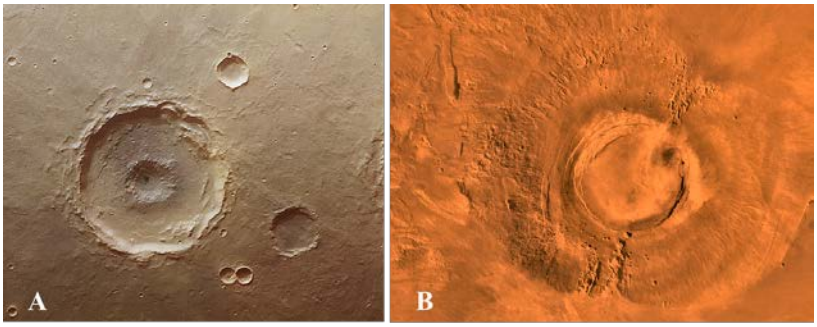
【答案】A

【解析】

从图中可以清晰地看到奥林匹斯山（也译作奥林帕斯山）、阿尔巴山、塔尔西斯山等巨大的盾状火山，因此“塔尔西斯高地以火山地貌最为显著”的描述是正确的。关于其成因，主流观点认为是长期的地幔柱活动导致，但也有假说认为，一次巨大的行星撞击可能导致了该区域长期的地幔热异常和火山活动。因此，将撞击成因作为一种可能的推测在地质学上是可以接受的。A项正确。火星目前没有全球性的磁场，只有部分古老地壳保留的剩余磁场。如果如题目所说，塔尔西斯高地的火山岩磁性强烈，则说明其形成于磁场尚存在的较早时期，而非晚期。B项错误。水手谷是太阳系中最宏伟的峡谷体系。**其成因是岩石圈不足以支撑塔尔西斯隆起而发生的构造破裂，并非板块活动产生的走滑断层。火星并未发育类似地球的板块运动。**C项错误。阿尔巴山（Alba Mons）是一座巨大的盾形火山。其周围的放射状构造是火山的熔岩流和相关的放射状正断层（张裂）系统，这些都是火山构造活动的产物，不是陨石撞击形成的溅射物或环形山。D项错误。**故本题选择A项。**

【考点归纳】火星地貌识别：能够识别火星上典型的地貌单元，如盾状火山（奥林帕斯山）、裂谷（水手谷）等；火星地质过程：了解火星的主要地质作用，包括火山活动、构造运动（张裂）、撞击作用等；火星磁场历史：知道火星曾有全球磁场，但现已消失，只有剩磁；科学假说与事实：区分确定的地质事实和尚在探讨中的科学假说。

11. 火星表面最常见现象的是环形构造（如下图），主要成因为陨石撞击坑与火山机构，以下解释（ AB ）是合理的。



A. 上图中的环形影像，A 为撞击坑，B 为火山机构；

B. 上图中环形影像内部的地貌特征可以指示火山或撞击坑；

C. 图 A 中环形影像中心部位为火山口；

D. 图 B 中环形影像周围的放射状影像为溅射现象。

12. 有关火星磁场的描述，下列（ BD ）描述是正确的。

A. 与地球一样，火星现今仍存在一个全球性磁场；

B. 火星上存在一个很强的地壳磁场；

C. 火星表面玄武岩的磁性强度随形成时代的变新而增强；

D. 火星的磁场是剩余磁场。

13. 地下水是指赋存于地面以下岩石空隙中的水，那么它的主要来源是（ ABCD ）。

A. 大气降水；

B. 原生水；

C. 冰雪融水；

D. 地表水。

14. 大陆边缘是大陆和大洋之间的过渡带，按照其构造活动性分为被动大陆边缘和活动型大陆边缘，活动大陆边缘主要分布在（ BD ）。

A. 大西洋东岸；

B. 太平洋东岸；

C. 大西洋西岸；

D. 太平洋西岸。

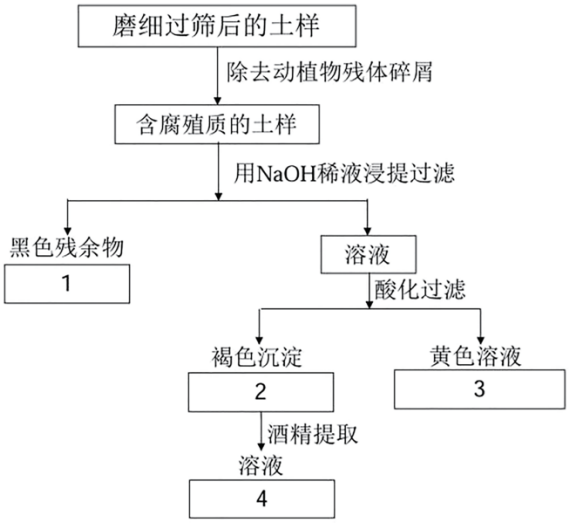
15. 土壤腐殖质是土壤有机质的主要组成部分，根据土壤腐殖质在不同溶剂中的溶解性，可将其分离为不同物质，下图中1、2、3、4依次为（D）。

A. 棕腐酸，胡敏素，胡敏酸，富里酸；

B. 棕腐酸，胡敏素，富里酸，棕腐酸；

C. 胡敏素，胡敏酸，棕腐酸，富里酸；

D. 胡敏素，胡敏酸，富里酸，棕腐酸。



16. 天然水的物质成分中，决定水硬度的有（ABD）。

A. 碳酸钠；

B. 碳酸钙；

C. 硫酸钠；

D. 硫酸钙。

17. 土壤中缺乏人体需要的某些元素，或者某些元素过多，都可以产生地方病。下列叙述中正确的是（ACD）。

A. 环境中硒缺乏—克山病；

B. 环境中硒过多—克山病；

C. 环境中碘缺乏—地方性甲状腺肿；

D. 环境中碘过多—地方性甲状腺肿。

18. 海水中含有11种常量元素，其中大部分常量元素符合Marcet-Dittmar恒比规律，即它们的（B）基本上不变。

A. 含量；

B. 含量比值；

C. 迁移速率；

D. 生物吸收速率；

19. 巴拿马运河横穿巴拿马地峡，沟通了（C）。

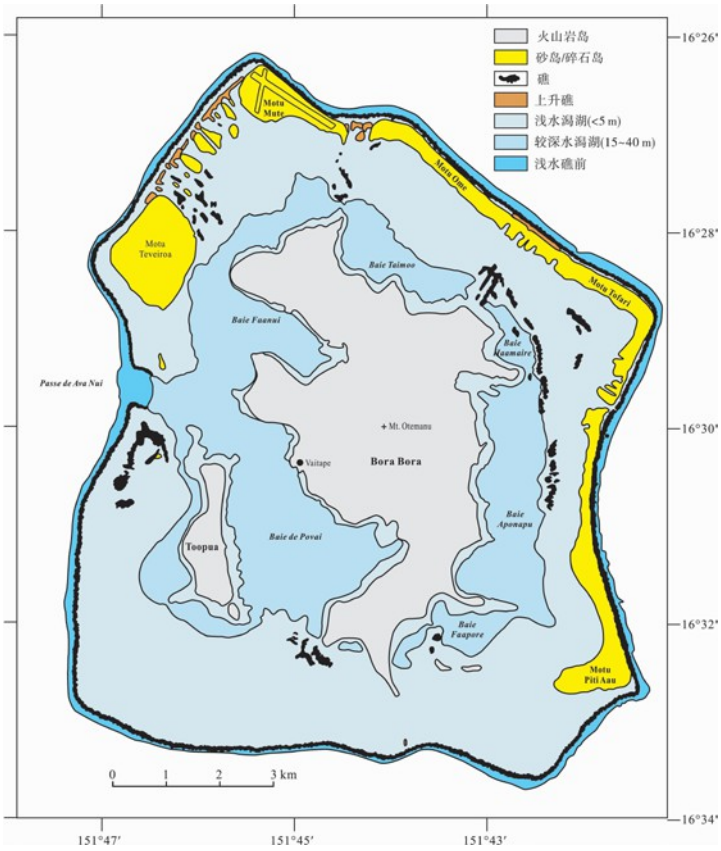
A. 地中海和大西洋；

B. 北冰洋和太平洋；

C. 大西洋和太平洋；

D. 太平洋和印度洋。

20. 下图展示的是南太平洋地区一个发育环状珊瑚礁的火山岩岛，构成一个中心为火山岩岛屿及潟湖、周边为镶边碳酸盐岩台地的混积沉积体系。如下陈述正确的是（ ABD ）。



Bora Bora 岛碳酸盐岩沉积相分布（据Gischler, 2011）

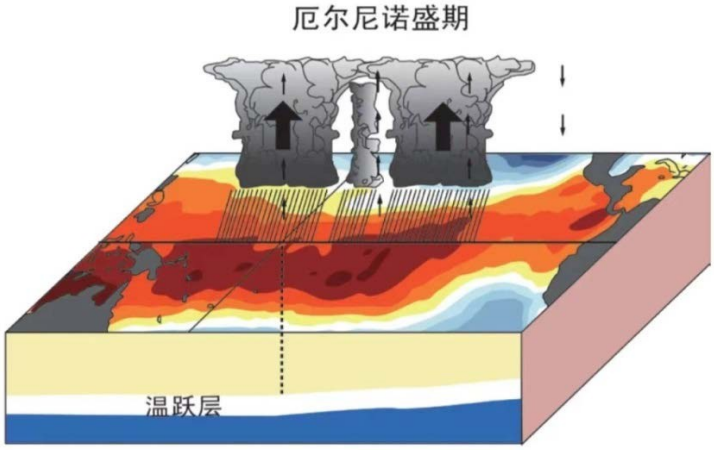
A. 该台地边缘生物礁和生物碎屑滩相主要由珊瑚和珊瑚藻构成；

B. 较深水潟湖内，主要为含软体和有孔虫等异养生物的钙质沉积；

C. 在该障壁生物礁—火山岩岛沉积体系中，陆源碎屑沉积体系发育；

D. 环礁中的潟湖相主要被浅水碳酸盐沉积物充填。

21. 如图所示为厄尔尼诺发生期间温跃层，对比图示拉尼娜发生时热带太平洋温跃层应为（ A ）。



A. 西部深东部浅；

B. 东部浅西部深；

C. 西部浅东部浅；

D. 西部深东部深。

22. 氧气是很活泼的气体，很容易和地球上的其他物质发生反应，如果没有生命，那么地球上的氧气会被几乎消耗殆尽。从类似的角度观察其他行星的大气成分，你认为太阳系还有哪颗星球可能存在生命？（C）

A. 土星；

B. 火星；

C. 木卫二；

D. 木卫五。

23. 从第一次工业革命之后，人们越来越意识到化石的价值，化石的价值不包括（C）。

A. 寻找石油和天然气；

B. 探索大陆漂移的历史；

C. 确定地层的绝对年龄；

D. 研究生物的演化和发育历史。

24. 下列关于腕足动物和双壳动物的说法正确的有（ACD）。

A. 双壳动物壳瓣两侧不对称，腕足动物壳瓣两侧对称；

B. 腕足动物两瓣大小一般相等，双壳动物两瓣大小不等；

C. 双壳动物对称面位于两壳接合面上，腕足动物对称轴垂直于两壳接合面；

D. 双壳动物同一瓣上有齿及窝；腕足动物齿在腹壳，齿窝在背壳。

25. 岩性是形成滑坡的主要条件之一，当其它条件相同时，下列岩石的层面最有可能演变成滑坡滑面或滑动带的岩石为（A）。

A. 泥质岩或页岩；

B. 硬砂岩；

C. 大理岩；

D. 石灰岩。

二、综合分析题，答案请写在答题纸上。

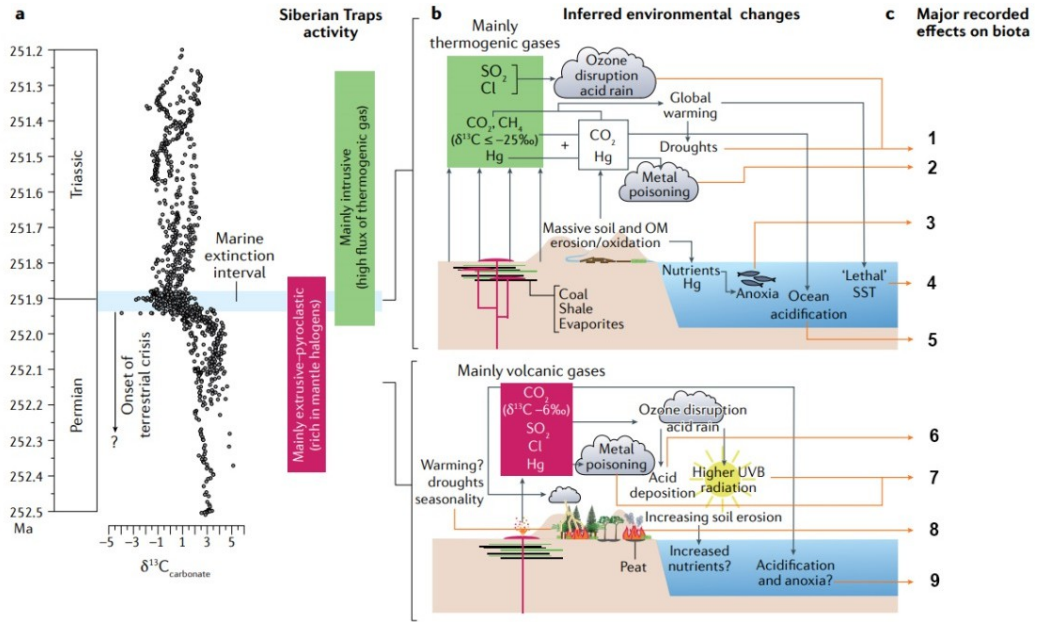
Q1-Q4 背景材料：

距今 2.5 亿年之前的二叠纪-三叠纪之交（P-T 转折），发生了地球历史上最为严重的生物灭绝事件，超过 95%的海洋无脊椎动物发生了绝灭，同时陆地生态系统也受到了严重的破坏。现有的研究认为，P-T 生物绝灭可能发生在非常短暂的时间内（6 万年以内）。对于 P-T 转折的生物绝灭的成因有两种不同的观点：A.大规模火山喷发；B. 地外小行星撞击。

火山喷发假说得到了包括西伯利亚大火成岩省在内的大量地质证据的支持。强烈的火山喷发可能从多个方面对环境产生严重的影响，进而造成生命的绝灭，如火山喷发的大量 CO_2 导致了全球温度升高，或者改变海水的 pH 值，导致了海洋生物的大量绝灭；火山喷发的 SO_2 气体使得酸雨广泛形成，进而对陆地植被造成了影响。

下图是有关学者综合的二叠纪-三叠纪之交生物大灭绝的机制，对该时期生物群影响的主要地质记录（major recorded effects on biota）有：岩浆侵入导致煤层燃烧，释放 CO_2，SO_2；气

溶胶反应；SO_2 酸雨导致风化过程加剧；海洋酸化过程 CO_2 和海洋无机碳库的平衡；碳同位素负漂移的原因；海洋缺氧等。



二叠纪-三叠纪之交生物大灭绝的机制（据Dal Corso et al., 2022）

具体的对生物群落影响的主要地质记录包括：A. 野火；B. 土壤营养丧失；C. 四足动物迁移；D. 四足动物部分灭绝；E. 植物生存压力；F. 植物突变；G. 湿地植物灭绝；H. 海洋生物钙化危机；I. 缺氧耐受力差的生物灭绝；J. 低纬度地区生物选择性灭绝；K. 高纬度地区海洋生物灭绝。

Q1. 请根据上图进行分析，并在箭头数字（1-9）后面填入相应的主要地质记录，结果写在答题纸上（不定项选择，每一个正确答案得 1 分，选错一个扣 1 分，每小题最低得分为 0 分）。

答案：1-ACE;　2-FG;　3-I;　4-J;　5-H;　6-B;　7-FG;　8-ADG;　9-K

Q2. 由上述图解可以看出，火山作用很可能是生物绝灭的一个主要的诱导因素。但是由于地表各圈层之间的相互作用十分复杂，定量火山喷发所引起的环境效应是地球科学研究的重点和难点。下面，我们将利用一些简化的模型，对火山作用所造成的环境影响进行定量的分析。

火山喷发最直接的影响是导致大气 CO_2 浓度的增加。当大气 CO_2 浓度变化的时候，海水中溶解无机碳（H_2CO_3，HCO_3^-, CO_3^{2-}）的浓度也会发生相应的变化。CO_2 在大气-海洋的溶解平衡可以用如下反应式表达：

① 大气CO_2溶解到海水中，并形成H_2CO_3

$$CO_2(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_2CO_3 \qquad K_{CO_2} = 10^{-1.46}\ \text{mol/(L·atm)}\ (T = 25°C)$$

② H_2CO_3离解成HCO_3^-和CO_3^{2-}

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+ \qquad K_1 = 10^{-6.35}\ \text{mol/L}\ (T = 25°C,\ 1\ \text{bar})$$

$$HCO_3^- \rightleftharpoons CO_3^{2-} + H^+ \qquad K_2 = 10^{-10.33}\ \text{mol/L}\ (T = 25°C,\ 1\ \text{bar})$$

假设在火山喷发之前，大气 CO_2 浓度为 1000 ppmv（10^6 ppmv = 1 atm），海水溶解无机碳 DIC = $[H_2CO_3] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]$的浓度为 2 mM，海水的 pH 值为 8.1；当大规模火山喷发之后，大气 CO_2 的浓度增加到了 5000 ppmv。由于海水无机碳库体量巨大，因此我们可以

假设火山喷发后海水DIC 的浓度仍然近似为 2 mM，且暂不考虑升温对各反应常数的影响。

请计算火山喷发之后，海气达到重新平衡，海水的pH 值变成了多少？（15 分）

答案： $K_{CO_2}=\frac{a_{H_2CO_3}}{p_{CO_2}}, K_1=\frac{a_{HCO_3^-}a_{H^+}}{a_{H_2CO_3}}, K_2=\frac{a_{CO_3^{2-}}a_{H^+}}{a_{HCO_3^-}}$

$DIC = a_{H_2CO_3} + a_{HCO_3^-} + a_{CO_3^{2-}}$

带入数值得到 pH=7.37

Q3. 同时，生物圈的波动也导致了全球碳循环的变化，如P-T 生物绝灭的层位也对应着碳酸盐岩碳同位素的负漂移。长时间尺度的碳循环可以表述为，火山喷发的CO_2 以有机碳（CH_2O）和碳酸盐岩（$CaCO_3$）的形式埋藏。对碳循环的扰动，除了火山输入通量的变化以外，也包括有机碳的埋藏量和 $CaCO_3$ 的埋藏量的变化。定量碳循环的变化，通常利用碳同位素方法，因此有机碳形成过程中会发生碳同位素的分馏。C 有^{12}C 和^{13}C 两个稳定同位素，在物理-化学反应中 ^{13}C 和^{12}C 比值（$^{13}C/^{12}C$）的变化，我们称之为同位素分馏。为了方便计算，通常用$\delta^{13}C$ 来标定碳同位素：$\delta^{13}C=[(^{13}C/^{12}C)_{样品}/(^{13}C/^{12}C)_{标准}-1]\times1000$，代表了样品相对于标样 $^{13}C/^{12}C$ 比值的差别。比如，在光合作用的时候，^{12}C 优先进入有机质中，使得有机质的碳同位素比大气 CO_2 的碳同位素更加富集 ^{12}C，体现为有机物的 $\delta^{13}C$ 比大气 CO_2的 $\delta^{13}C$ 值更低。

在稳定平衡态下（即火山喷出的 CO_2 量等于有机碳和碳酸盐岩埋藏量的和），碳循环的物质平衡可以表述为：$F_{in}=F_{org}+F_{carb}$; 其中F_{in} 表示火山输入的 CO_2 的通量；F_{org} 和F_{carb} 分别代表有机碳埋藏和碳酸盐岩埋藏的通量。

碳同位素平衡可以表述为：$F_{in}\times\delta_{in}=F_{org}\times\delta_{org}+F_{carb}\times\delta_{carb.}$其中 δ_{in}，δ_{org}，δ_{carb} 分别代表火山喷出的 CO_2，埋藏的有机碳，和碳酸盐岩的碳同位素值。

已知δ_{in}=-5‰；δ_{org}=-25‰；δ_{carb} 在绝灭之前为+2‰，在发生绝灭后变为+1‰。

通过计算，求解生物绝灭前后，有机碳埋藏比例：$f_{org}=F_{org}/(F_{org}+F_{carb})$是升高还是降低了，变化了多少。（15 分）

答案：综合溶解平衡方程式，可以得出：

$$f_{in}=\left(1-f_{org}\right)\times\delta_{carb}+f_{org}\times\delta_{org}$$

$$f_{org}=\frac{\delta_{in}-\delta_{carb}}{\delta_{org}-\delta_{carb}}$$

绝灭前 $f_{org}=\frac{-5-2}{-25-2}=\frac{7}{27}\approx0.2593$

绝灭后 $f_{org}=\frac{-5-1}{-25-1}=\frac{3}{16}=0.1875$

故绝灭前后，有机碳埋藏减少，由0.2593 变为了0.1875。

Q4. 我们在地质记录中观察到这一时期的小行星撞击留下的可能得撞击记录，下面我们来估算小行星撞击对地球环境可能产生的影响。已知日地距离为 1.5×10^8 千米，地球的公转周期为 365 天，地球的总质量为 6×10^{24} kg，且假设地球轨道为正圆形。假设小行星质量为 10^{21} kg，与地球撞击时的速度为 30 km/s，且撞击发生时小行星的速度与地球速度方向相反。在撞击之后，小行星融入地球之中。撞击产生的能量作用于海洋，导致海水的大量蒸发，已知海水初始温度为 20℃，水的比热容为 4.2 kJ/(kg·℃)，汽化潜热为 2256.4 kJ/kg。

通过计算，试估计这一撞击可能导致的水的最大蒸发量是多少？并简要分析大量水蒸发可能产生的环境效应。（15 分）

答案： $m_1v_1+m_av_a=(m_a+m_1)v_2$

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_av_a^2-\frac{1}{2}(m_a+m_1)v_2^2=10m(C_m\Delta T+l)$$

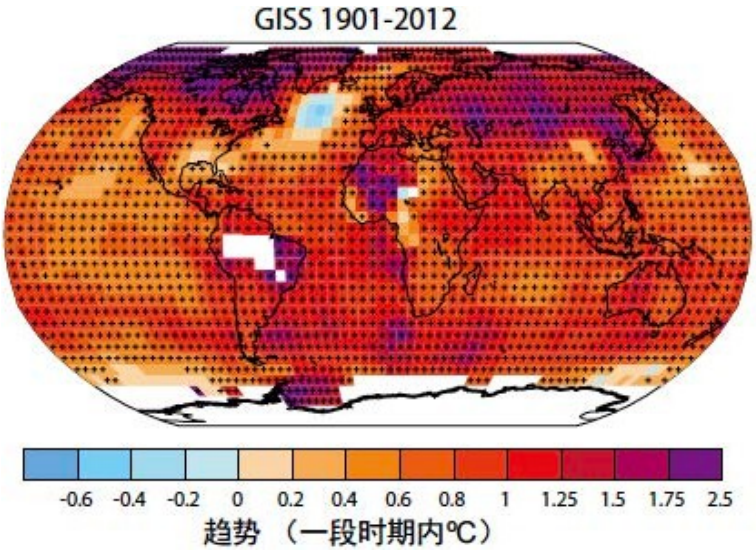
解得：$m\approx6.83\times10^{21}$ kg

文字解答5分。

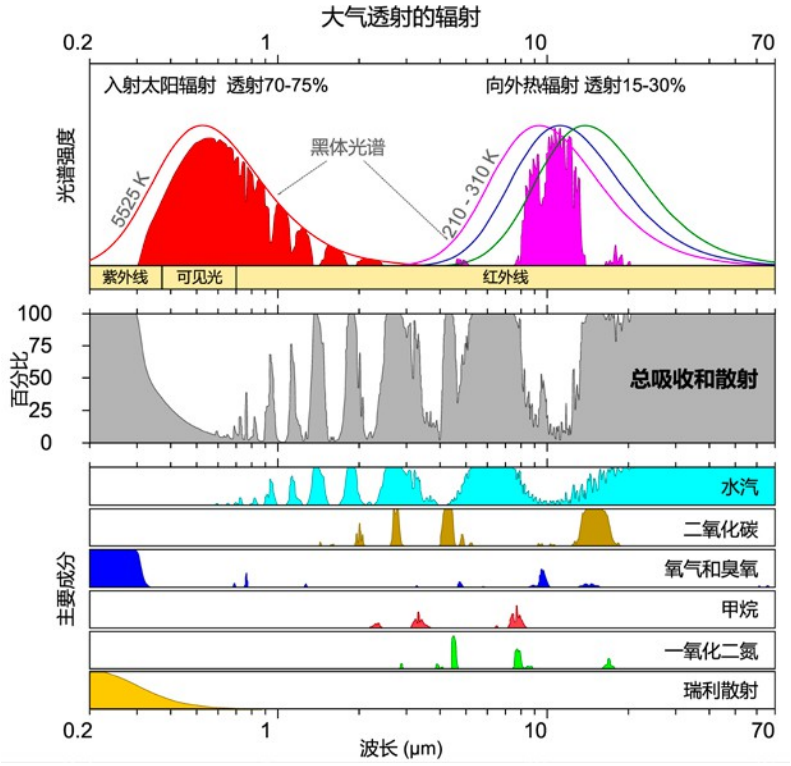
Q5-Q6 背景材料

由图a 所示，观测的全球地表气温近百年来有明显增暖趋势，在中高纬和极地地区增暖更加显著，称为“极地放大效应”。已有研究表明，近百年来全球增暖的原因主要是人类活动所导致的温室气体排放造成的温室效应。图 b 为大气中主要气体成分（水汽，二氧化碳，氧气和臭氧，甲烷，一氧化二氮和氮气等）对不同波长辐射在大气传输过程中吸收和散射的百分比。

图a



图b



Q5. 请根据以上材料并结合物理化学知识回答如下问题（不定项选择，每一个正确答案得1 分，选错一个扣 1 分，每小题最低得分为 0 分）：

1. 以下哪些是造成全球变暖的原因？（ **ABDF** ）

A. 大规模森林砍伐和土地利用变化

B. 大规模畜牧业和养殖业

C. 洪涝、干旱等自然灾害现象频繁发生

D. 非法垃圾堆放和焚烧

E. 非化石能源的可持续利用

F. 中高纬度地区冻土融解

2. 全球变暖对生态环境及人类社会的影响表现有哪些？（ **ABCDEF** ）

A. 生态系统的脆弱性增强

B. 大气环境污染问题更加严重

C. 极端天气变得更加频繁和严重

D. 粮食作物产量下降

E. 全球政治风险上升

F. 疾病传播范围扩大

3. 以下哪些是大气中主要气体成分对辐射吸收和散射的正确表述？（ **BE** ）

A. 不同气体成分对辐射吸收的差异是与它们分子的大小和质量有关

B. 不同气体成分对辐射吸收的差异是与它们分子的结构和形态有关

C. 二氧化碳是非常重要的温室气体，因为它对辐射的吸收能力是最强的

D. 臭氧对紫外线有很强的吸收能力，所以它也是一种重要的温室气体

E. 气体分子的吸收谱段形状和位置受到温度和压力因素的影响

F. 晴朗的天空呈蓝色是由于大气成分对蓝色谱段的光线吸收造成的

Q6. 从全球能量平衡的角度，计算并比较地球存在和不存在大气层时的地表温度差异，说明大气层对地球系统的温室作用。假设地球是一个黑体（即对于任何波长的辐射，吸收和释放率均为100%），黑体辐射的斯蒂芬-玻尔兹曼公式为$S_{\mathrm{in}} = \sigma T_{\mathrm{S}}^4$，其中玻尔兹曼常数$\sigma$为$5.67\times10^{-8}\ \mathrm{W/(m^2\cdot K^4)}$，$S_{\mathrm{in}}$为黑体的热辐射量，$T_{\mathrm{S}}$为所测黑体的表面温度。假设入射到地球的净太阳辐射量为 $239\ \mathrm{W/m^2}$。**（15 分）**

1. 假设地球不存在大气（即存在一个固体地球），并假设固体地球为黑体的情况下，计算地球表面的温度？

答案： $S_{\mathrm{in}}=\sigma T_{\mathrm{S}}^4$

解得 $T_{\mathrm{S}}=254.8\ \mathrm{K}$

2.假设固体地球外围有一个大气层，固体地球仍视为黑体，而大气可视为灰体，其辐射吸收和放射率均为 0.8；计算该状态下固体地球表面的温度？

答案： $0.8\ S_{\mathrm{e}} = 1.6\ S_{\mathrm{a}}$

$S_{\mathrm{in}} + 0.8\ S_{\mathrm{a}} = S_{\mathrm{e}}$

$S_{\mathrm{e}} = \sigma T^4$

得： $T = 289.5\ \mathrm{K}$

Q7-Q9 背景资料

除了地球以外，冰卫星是太阳系中具有天然海洋的另外一类星体，包括木星及土星的多颗

天然卫星，成为了深空探测的热点目标。

Q7.地球到太阳的距离被定义为一个天文单位（1 AU=1.496×10⁸ km），木星到太阳的距离约为 77800 万千米，土星到太阳的距离约为 143300 万千米。**请粗略计算木星和土星单位面积接收到来自太阳的能量分别为地球单位面积接收太阳能的多少倍。（5 分）**

答案： $\frac{R_{木}}{R_{地}}=\frac{D^2_{太\text{-}地}}{D^2_{太\text{-}木}}=0.037$；$\frac{R_{土}}{R_{地}}=\frac{D^2_{太\text{-}地}}{D^2_{太\text{-}土}}=0.011$

Q8. 2005-2015 年间，美国 NASA 的卡西尼号发现土卫二极区存在水冰喷出，随后的采样分析发现喷出物富含氢气、二氧化碳等气体。已知地球上产甲烷菌可以利用氢气和二氧化碳合成甲烷供给自身能量，其化学本质是利用反应的不平衡状态，即化学反应亲和势（$A = R \times T \times (\ln K - \ln Q)$；其中，$R$ 为理想气体常数 8.314 J/(K • mol)，T 为温度，K 为反应平衡常数，Q 为反应商）。在地球环境下，产甲烷菌可以利用 A>10 kJ/mol 的反应亲和势来维持自身的生存。**请利用下述条件进行计算，评估产甲烷菌是否可以在土卫二海水环境（0 摄氏度）下生存，并评估 pH 的影响。（15 分）**

产甲烷反应： $CO_2\,(aq) + 4H_2\,(aq) \longrightarrow CH_4\,(aq) + 2H_2O$。

0 摄氏度条件下，$\Delta G°_{CO_2,\,aq} = -383$ kJ/mole；$\Delta G°_{H_2,\,aq} = 19$ kJ/mole；$\Delta G°_{CH_4,\,aq} = -32.5$ kJ/mole；$\Delta G°_{H_2O} = -235$ kJ/mole。

	当海水 pH = 9 时	当海水 pH = 11
	mol/kg	mol/kg
CO_2, aq	7×10^{-5}	1×10^{-7}
CH_4, aq	3×10^{-5}	4×10^{-8}
H_2, aq	1×10^{-4}	2×10^{-7}

答案： $\Delta_r G^\circ = \Delta G^\circ_{CH_4,aq} + 2\times\Delta G^\circ_{H_2O} - \left(\Delta G^\circ_{CO_2,aq} + 4\times\Delta G^\circ_{H_2,aq}\right) = -RT\ln K$

$\ln Q = \ln \frac{a_{CH_4,\,aq}}{a_{CO_2,\,aq}\times a^4_{H_2,\,aq}}$

当 pH = 9 时，$\ln Q = 36.0$

反应势 $A_{(pH=9)} = 114$ kJ/mol > 10 kJ/mol, 所以适宜产甲烷菌生存。

当 pH = 11 时，$\ln Q = 60.8$

反应势 $A_{(pH=11)} = 57.5$ kJ/mol > 10 kJ/mol, 所以适宜产甲烷菌生存。

综合比较下，pH较低时更利于产甲烷菌的生存。

Q9. 潮汐力是冰卫星的一个重要能量来源。现在假定一个卫星绕着土星（质量 5.7×10^{26} kg）作轨道运动，轨道椭圆非常接近于圆形。土星对于卫星，除了施加引力之外，还施加潮汐力，潮汐力力矩大小为 T，力矩方向与轨道平面垂直。由于潮汐力远小于引力，所以仍然可以近似看作圆周运动的向心加速度完全只由引力加速度提供。

已知 $T = \frac{3}{2} \times \frac{k_2}{Q} \times \frac{Gm^2R_p^5}{a^6}$

其中，a 为卫星轨道半径，取 $a = 2.38 \times 10^8$ m (土卫二)；

k_2/Q 是土星的潮汐参数，约 $0.341/18000 \approx 1.9 \times 10^{-6}$；

G 为万有引力常量，约 6.8×10^{-11} m³/(kg·s²)；

R_p 为土星半径，为 6.03×10^7 m；

m 为卫星质量，为 1.08×10^{20} kg。

请计算土星潮汐力力矩对该卫星做功的功率为多大？（15 分）

答案： $\frac{GM_pm}{a^2} = m\omega^2 a$（$M_p$表示土星质量）

$$P = T\cdot\omega = \frac{3}{2}\cdot\frac{k_2}{Q}\cdot\frac{Gm^2R_p^5}{a^6}\cdot\omega = 5.2\times10^8\ \text{W}$$

Q10-12 背景材料：

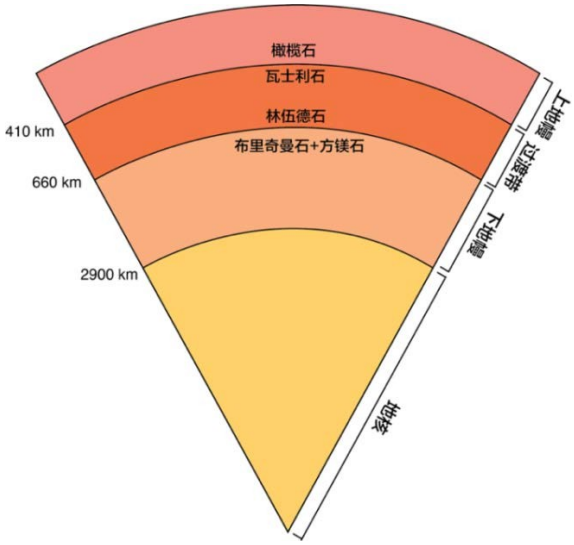
地球的地幔主要由橄榄岩组成，上下地幔之间存在一个过渡带（下图），地幔过渡带的上下界面对应两个地震波不连续面：410 km 不连续面和 660 km 不连续面，这两个不连续面的形成都是由主要地幔矿物在高压下发生晶体结构变化导致，且都伴随着密度的显著增加。

410 km 的相变反应为：

橄榄石→瓦士利石，相变放热。

660 km 的相变反应为：

林伍德石→布里奇曼石+方镁石，相变吸热。



简化的地幔相变示意图（不成比例）

Q10. 过渡带上下界面的相变反应的ΔV_r是正还是负？（5 分）

答案： 密度变大，所以ΔV_r是负。

Q11. 当大洋岩石圈（主要成分与地幔橄榄岩类似）俯冲进入地幔过渡带，大洋岩石圈也会发生上述两次矿物相变，但是由于俯冲的大洋岩石圈物质相对周围地幔温度较低，两次相变对应的压力（深度）和周围地幔有差异。**从热力学角度考虑，大洋岩石圈两次相变相对周围地幔岩石是更浅还是更深？（10 分）**

提示：对于相变反应:

A $\rightleftharpoons$ **B**

$dG_A = -S_A dT + V_A dP$

$dG_B = -S_B dT + V_B dP$

$d(\Delta G_r) = -\Delta S_r dT + \Delta V_r dP$

由此可得平衡时 dT与dP 的关系，即克拉伯龙方程（dT/dP=?）。再结合熵与焓的关系 (ΔS

$=\Delta H/T$），可解答。

答案：根据提示里公式及 $d(\Delta G_r)=0$

可得 $dT/dP=dV_r/dS=T\Delta V_r/\Delta H_r$

相变反应橄榄石→瓦士利石是放热反应，$\Delta H_r<0$，$dT/dP>0$，故大洋岩石相对周围地幔会在更浅的深度发生橄榄石→瓦士利石反应；

类似地，对于林伍德石→布里奇曼石+方镁石的反应是吸热反应，$\Delta H_r>0$，$dT/dP<0$，故大洋岩石圈相对周围地幔会在更深处发生林伍德石→布里奇曼石+方镁石的反应。

Q12. 如果地球早期的地幔比今天热，地球早期地幔过渡带的厚度相对今天如何变化？为什么？（10分）

答案：继续套用第二问得到的克拉伯龙方程，$dT/dP = T\Delta V_r/\Delta H_r$，地球早期地幔温度更高，整个地幔过渡带会变薄。

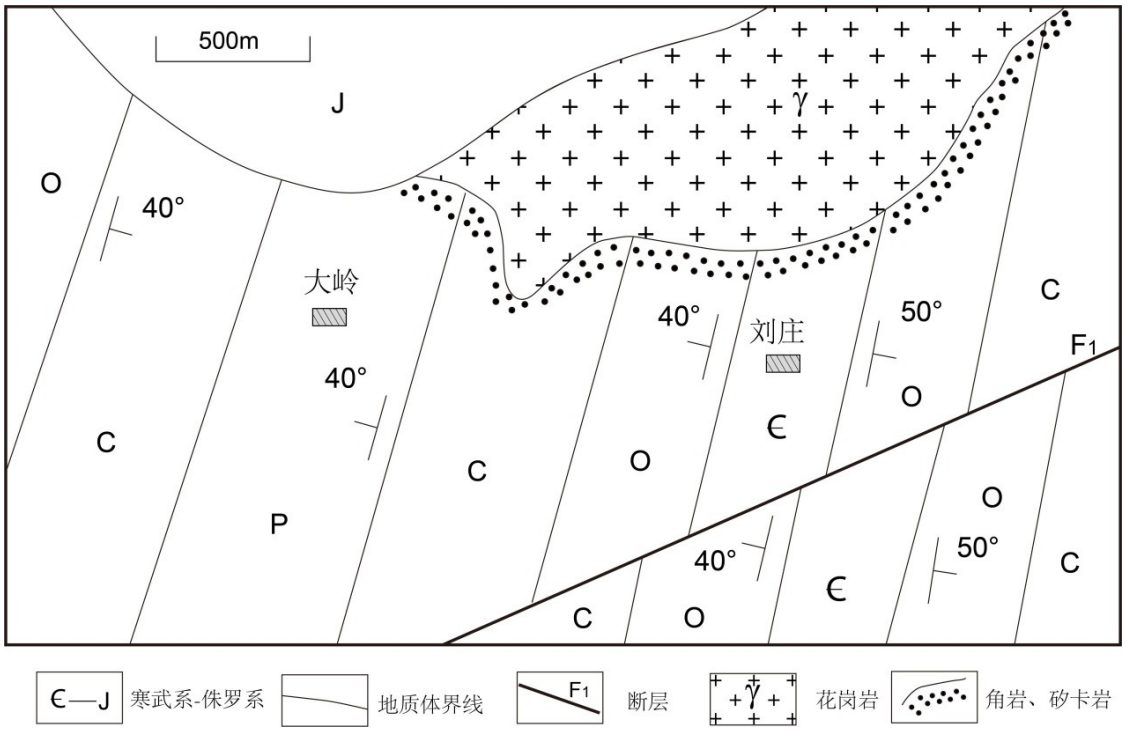
Q13-Q15 背景材料：

地质图是将各种地质体的界线、特征、产状和地质构造以及有意义的地质现象按照规定的图例符号和比例垂直投影、概括缩绘在地形（地理）底图上所制成的图件。

刘庄-大岭地区位于华北板块中部，该地区出露地层为寒武系、奥陶系豹皮状灰岩、泥质条带灰岩、鲕状灰岩、竹叶状灰岩、石灰岩等；石炭系-二叠系砂岩、炭质粉砂岩和页岩、并夹有数层可采煤层；侏罗系为中侏罗统的火山角砾岩、集块岩及少量中性熔岩组成。

代		纪	常用代号	据今百万年 (Ma)
新生代		第四纪	Q	2.58
		新近纪	N	23
		古近纪	E	66
中生代		白垩纪	K	145
		侏罗纪	J	201
		三叠纪	T	252
古生代	晚古生代	二叠纪	P	299
		石炭纪	C	359
		泥盆纪	D	419
	早古生代	志留纪	S	444
		奥陶纪	O	488
		寒武纪	Є	541

显生宙简明地质年表



刘庄-大岭地区地质简图

Q13. 阅读刘庄-大岭地区地质图（上图），依据上面给出的简明地质年表，分析不同时代地层的接触关系；列出各种地质体和地质现象，并简要描述其特征；并给出各种地质体和地质现象的发育顺序。（15 分）

答案：本区寒武系与奥陶系之间、石炭系与二叠系之间为整合接触，奥陶系与石炭系之间为平行不整合接触，侏罗系与其下伏地层为角度不整合接触；花岗岩与寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系之间为非整合接触/侵入接触关系，侏罗系与花岗岩为非整合接触/沉积接触关系。

该区域内的地质体包括：

沉积地层：寒武系(Є)、奥陶系(O)、石炭系(C)、二叠系(P)、侏罗系(J)。岩性分别为：Є、O为各类灰岩；C、P为砂、粉砂岩、页岩夹煤层；J为火山角砾岩等火山岩。

侵入岩：花岗岩(γ)，为一岩体，呈不规则状侵入到古生界地层中。

该区域内的地质现象包括：

围岩蚀变：角岩化和矽卡岩化，呈环带状分布于花岗岩体周围，是接触变质作用的产物。

褶皱：该区域内具有两组褶皱：大岭向斜与刘庄背斜。根据里卡德分类，大岭向斜为直立水平褶皱，刘庄背斜为斜歪水平褶皱，轴面倾向西北。

断层：刘庄断层为一左行走滑断层。

该区域内地质发展史为：

1.早古生代沉积：在海洋环境中，依次沉积了寒武系(Є)和奥陶系(O)的碳酸盐岩地层。

2.第一次构造抬升与剥蚀：奥陶纪末，该地区发生构造抬升，地层遭受剥蚀，导致志留系和泥盆系地层的缺失，形成了一个大的沉积间断（平行不整合）。

3.晚古生代沉积：之后地壳下沉，在陆相或海陆交互相环境中沉积了石炭系(C)和二叠

系(P)的含煤碎屑岩地层。

4.印支运动期:

褶皱/倾斜: 在二叠纪末-三叠纪期间，该地区发生强烈的构造运动，使所有古生界地层（Є、O、C、P）发生倾斜。

断裂: 褶皱之后或同时，发育了刘庄断层，它错断了已经倾斜的Є、O、C地层。

岩浆侵入: 花岗岩(γ)岩浆侵入到已褶皱、断裂的古生界地层中，并对围岩进行烘烤，形成接触变质带（角岩化带和矽卡岩化带）。

5.第二次构造抬升与长期剥蚀: 整个地区再次被抬升，遭受了长期的风化剥蚀，使得倾斜的古生界地层和侵入的花岗岩体出露于地表，形成了一个起伏的侵蚀面（角度不整合面）。

6.中生代火山活动: 侏罗纪时期，该地区发生火山喷发，火山角砾岩等物质(J)覆盖在了不整合面之上。

7.近代构造抬升与剥蚀成景: 侏罗纪之后，该地区再次经历构造抬升和差异性风化剥蚀，最终形成了今天的地质地貌景观。

Q14. 请确定角岩和矽卡岩发育的部位；若角岩是红柱石（化学分子式为 Al_2SiO_5）角岩，我们知道它是由高岭石（分子式 $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$）升温过程中转化而来的，那么它形成过程经历的是什么化学反应？若灰岩分子式为 $CaCO_3$，形成的矽卡岩组成矿物为硅灰石（$CaSiO_3$），请写出这一反应过程的方程式？（10 分）

答案： 石炭系-二叠系的地层。

化学反应方程式： $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8 \xlongequal{} 2Al_2SiO_5 + 2SiO_2 + 4H_2O$

$CaCO_3 + SiO_2 \xlongequal{} CaSiO_3 + CO_2$

Q15. 请确定花岗岩γ的大致形成时代；你有什么办法确定它的具体侵位时间吗，请说明？

答案： 二叠纪和侏罗纪之间。可以利用各种定年方法，如放射性同位素定年。

第二部分： 实践试题

1. 本次实践考试为现场考察，请考生自主观察、记录，监考老师不负责讲解，也不对野外露头现象作任何提示。现场考察时间 2 小时。

2. 野外观察结束后，在室内完成本测试。实践试题共计 20 题。

3. 所有答案请按题号顺序填涂在答题卡上。

本次野外实践考察剖面位于南京周边的汤山地区，出露岩层主要有：

上奥陶-下志留统高家边组（O_3S_1g）：灰黄-黄绿色粉砂质页岩、土黄色泥质页岩夹薄层粉砂岩、砂岩。通常含笔石等化石。

中-下志留统坟头组（$S_{1\text{-}2}f$）：黄绿-灰黄色中-厚层砂岩夹薄层灰黄色粉砂岩、泥质粉砂岩。含三叶虫等动物化石。

中志留统茅山组（S_2m）：紫红色中-厚层细粒石英砂岩、岩屑砂岩，上部为紫红色粉砂质泥岩、粉砂质页岩。

上泥盆统五通组（D_3w）：浅灰白色厚层细-中粒石英砂岩，夹薄-中层硅质、泥质页岩和中-薄层砾岩；底部为灰白色厚-巨厚层含砾中粒石英砂岩。产植物化石。

石炭系老虎洞组（$C_{1\text{-}2}l$）：灰白-灰黄色厚层-块状细晶白云岩，中-下部含紫红色燧石结核或条带。常见刀砍状溶沟。含动物化石。

第四纪松散堆积物（Q）。

一、不定项选择题，结果写在答题卡上（单选或多选，每一个正确答案得 1 分，选错一个扣 1 分，每题最低得分为 0 分，题号顺延上一部分选择题，从 26 号开始）

26. 图 1 是野外某处露头的局部照片，其中所示的岩石应为（ D ）：

A. 砂岩　B. 粉砂岩　C. 泥岩　D. 页岩

图1



27. 图 2 是高家边组（O_3S_1g）地层某处局部露头照片，以下说法正确的有（ AD ）：

A. 地层中发育 X 节理

B. 地层中的节理是两期构造作用形成的

C. 节理是由水平挤压作用形成的

D. 节理与垂向应力有关

图2



图3



28. 图 3 是高家边组（O_3S_1g）和坟头组（$S_{1\text{-}2}f$）地层界限处的野外照片，两地层呈整合接触关系。以下说法中能从野外证实它们接触关系的有（ ABCD ）：

A. 它们的产状几乎相同

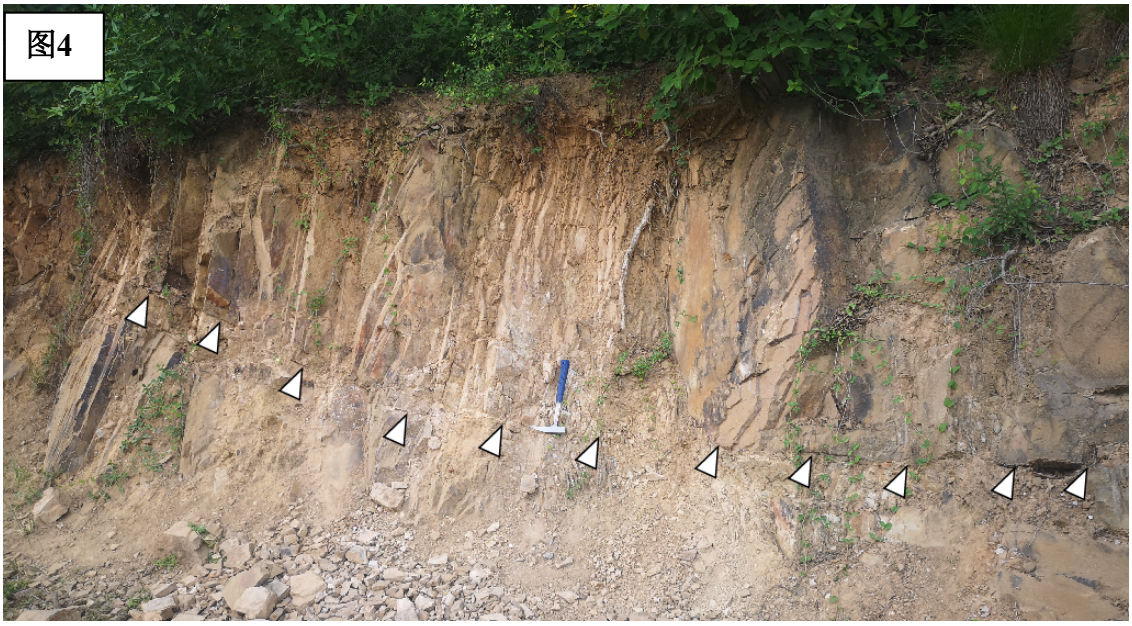
B. 两地层的岩性近似

C. 两地层中的生物化石类似

D. 它们之间没有地层缺失

29. 图 4 是坟头组（$S_{1\text{-}2}f$）地层的露头照片，图中一系列白色三角所示的位置应是（ C ）：

A. 节理　　B. 层理　　C. 断层　　D. 不整合面



30. 图 5 中可观察到的主要地质现象有（ AB ）：

A. 根劈　　B. 节理　　C. 断层　　D. 生物化石

图5



图6



图 6 是茅山组（S_2m）地层的一处野外露头，请回答第 6-8 题。

31. 图中可以看到哪些地质现象（ AB ）？

A. 层理 B. 斜层理 C. 断层 D. 波痕

32. 露头上哪一侧的地层较老（形成得更早）？（ A ）

A. 左侧 B. 右侧 C. 几乎同时形成 D. 无法判断

33. 关于该地层形成的环境，说法正确的是（ B ）：

A. 深海 B. 浅海 C. 河流 D. 湖泊

图 7 是野外某处一断层面的照片，请仔细观察，并回答第 9-10 题。



34. 图 7 中可以观察到的地质现象有（ BCD ）：

A. 线理 B. 擦痕 C. 阶步 D. 反阶步

35. 有关图 7 中断层的性质，以下说法最合理的是（ C ）：

A. 正断层 B. 逆断层 C. 左行平移断层 D. 右行平移断层

图 8 是五通群（D_3w）地层的野外露头照片，请根据图片和野外观察，回答第 11-12 题。

36. 图中一系列白色三角所在的近直立面，属于（ A ）：

A. 层面 B. 解理面 C. 断层面 D. 以上都不是

37. 如图中每个白色三角所指的一系列大小不一的凹坑，最不可能是以下哪种情况（ D ）：

A. 重荷模印迹 B. 大砾石掉落残留所致 C. 同沉积湍流冲刷痕 D. 大型动物足迹


图8


图9

图 9 是石炭系老虎洞组（$C_{1\text{-}2}l$）地层的野外局部露头，请回答第 13-15 题。

38. 图中岩石的主要成分为（ AD ）：

A. 白云石　B. 方解石　C. $MgCO_3$　D. $CaMg(CO_3)_2$

39. 图中似刀砍状溶沟的形成与下列哪些选项无关（ D ）：

A. 地下水溶蚀　B. 地表水侵蚀　C. 构造节理　D. 岩石成分差异

40. 图中岩石形成之后可能经历过哪些地质作用（ BD ）？

A. 胶结作用　B. 变形作用　C. 变质作用　D. 地壳抬升作用

图 10 是野外一处露头的照片，请回答 16-17 题。

41. 关于图中上半部分的表述，最合理的是（ D ）：

A. 角砾岩　B. 断层角砾岩　C. 火山角砾岩　D. 砾石堆积物

42. 图中上、下两部分岩层之间的接触关系为（ D ）：

A. 整合　B. 平行不整合　C. 沉积不整合　D. 角度不整合

图10

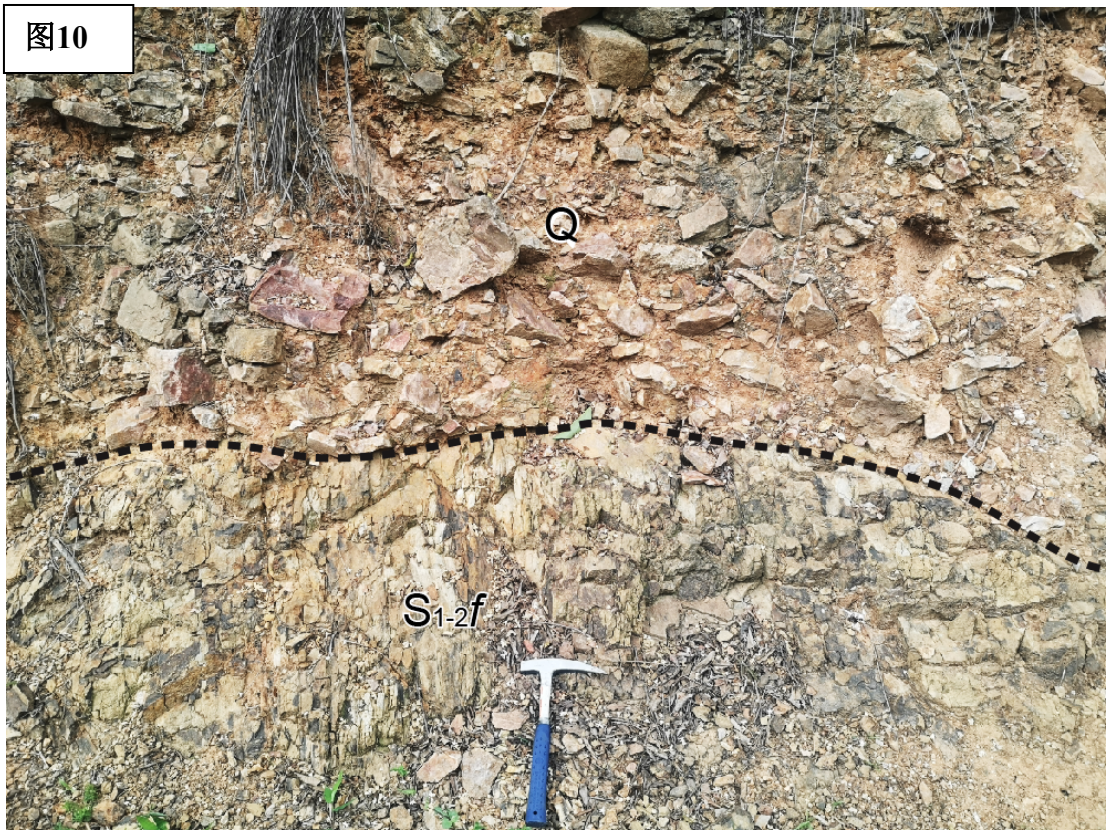


图11



图 11 是野外某处露头的照片，请回答 18-20 题。

43. 关于地层 S_2m 和 D_3w 之间的接触关系，说法正确的是（ B ）：

A. 整合接触　　B. 平行不整合接触　　C. 角度不整合　D. 断层接触

44. 测得 S_2m 地层的产状为 188∠80，D_3w 的产状为 190∠78，则以下说法正确的有（ BD ）：

A. 此处岩层为正常层序

B. 此处岩层为倒转层序

C. 两地层一定是某一背斜的北翼

D. 两地层可能是某一向斜的南翼

45. 结合区域地层信息，以下说法正确的是（ A ）：

A. 该地区在志留纪末-中泥盆世期间的地壳运动以垂直升降为主

B. 该地区晚志留世-中泥盆世期间先后发生了海退和海进事件

C. 地层 S_2m 的岩石形成于深海环境

D. 地层 D_3w 的岩石形成于浅海环境

“燕园元培杯”2023-2024 学年全国中学生地球科学奥林匹克竞赛

预赛试题参考解答

注 意 事 项

在答题前请认真阅读本注意事项及答题要求

1. 本试卷分为A、B两个部分；其中A卷包括三个题型：单选题、不定项选择题、综合测试不定项选择题。B卷为综合分析不定项选择题。本试卷中，所有不定项选择题每一个正确答案得1分，选错一个扣1分，最多扣至0分。考试时间为150分钟，考试结束后，请将本试卷、答题卡、草稿纸一并交回。
2. 答题前请务必将自己的姓名、考号用黑色签字笔填写在答题卡的规定位置。
3. 作答选择题须用2B铅笔在机读卡指定位置涂卡。
4. 考试开始60分钟内不允许提前交卷，考试结束后待监考老师确认后方可离场。

A卷：

一、单选题（只选一个正确答案，正确得一分，错误或多选不得分）

1. 递进变形是指在同一动力作用下，地质体从其初始状态变化到最终状态所经历的连续变形过程，变形的程度称应变。在这个过程中，非常微小瞬间发生的微量应变称为（ **C** ）。

A. 有限应变；B. 无限小应变；C. 增量应变；D. 非均匀应变。

2. 按照断层两盘相对移动的方向可以分为正断层、逆断层和平移断层，也可以根据力学性质分为压性断层、张性断层和扭性断层等。那么，根据断层走向和所切割岩层走向关系的分类中，断层走向与岩层走向基本直交的断层称为（ **A** ）。

A. 倾向断层；B. 走向断层；C. 横断层；D. 顺层断层。

3. 运动学涡度（W_k）可以定量表达物质在变形过程中纯剪切组分和简单剪切组分所占的比例，数值介于 0 和 1 之间。只有纯剪切应变时，W_k=0；而简单剪切应变，W_k=1；二者各占 50%时，W_k=0.71。当 W_k=0.5 时，对纯剪切组分和简单剪切组分大小描述最准确的是（ **A** ）。

A. 纯剪切组分高于简单剪切组分；B. 纯剪切组分低于简单剪切组分；

C. 纯剪切组分等于简单剪切组分；D. 纯剪切组分占简单剪切组分的 1/2。

4. 柱状节理是常见于火山熔岩中的一种呈规则或不规则柱状形态的原生张性破裂构造，其产状一般是（ **B** ）。

A. 垂直地面；B. 垂直冷凝面；C. 平行冷凝面；D. 与冷凝面斜交。

5. 在垂直褶皱枢纽的铅直剖面上，根据褶皱轴面和两翼产状将褶皱分为（ **D** ）。

A. 圆弧褶皱、尖楞褶皱、扇形褶皱、箱型褶皱；

B. 水平褶皱、倾伏褶皱、倾竖褶皱；

C. 平缓褶皱、开阔褶皱、闭合褶皱、紧闭褶皱、等斜褶皱；

D. 直立褶皱、斜歪褶皱、倒转褶皱、平卧褶皱。

6. 褶皱可以根据核部与两翼地层的新老关系分为背斜和向斜，也可以根据其平面上的同一地层出露的纵向长度和横向宽度之比分类，若同一褶皱岩层在平面上出露的纵向长度与宽度比为 6:1 时，该褶皱可以被称为（ **D** ）。

A. 线性褶皱；B. 短轴褶皱；C. 等轴褶皱；D. 长轴褶皱。

7. 威尔逊旋回描述了大陆岩石圈在水平方向上分离与拼合运动的完整过程，反映了大洋形成与消亡的一般规律，整个过程分为（ **D** ）个阶段。

A. 3； B. 4； C. 5； D. 6。

8. 走滑断层断层面常常弯曲，因而走滑运动过程中，在这些断层弯曲部位或叠接部位可能形成局部拉张区，拉分盆地（pull-apart Basin）是拉张区常见的断陷盆地，似菱形，盆地两侧长边为（ **C** ），短边为（ ）。

A. 正断层；走滑断层； B. 正断层；逆断层；

C. 走滑断层；正断层； D. 逆断层；正断层。

9. 人类活动利用土地，会造成土地覆盖变化，从而导致地表反照率发生变化，那么，人类活动导致的土地利用的变化总体而言对全球气候的影响是（ **B** ）。

A. 增暖； B. 降温； C. 不确定； D. 没有影响。

10. 厄尔尼诺事件强弱可以由 NINO3.4 指数表征，即区域（170°W-120°W，5°S-5°N）表面温度异常的平均值。如果两次厄尔尼诺事件具有相似的 Nino3.4 指数值，它们对全球天气影响的程度（ **B** ）。

A. 一定相似； B. 差异可能很大；

C. 和 Nino 3.4 指数无关； D. 由厄尔尼诺其它指数决定。

11. 经过科学家们不懈的努力，我们对于宇宙和太阳系的形成和演化有了一定的认识，那么，下列（ **D** ）是宇宙起源学说。

A. 星云假说； B. 俘获假说； C. 磁耦合假说； D. 大爆炸学说。

12. 同质多像是指同一化学成分的物质，在不同的物理化学条件下形成具有不同晶体结构的多种形态。以下各组中，属于同质多像矿物的是（ **B** ）。

A. 正长石和斜长石； B. 蓝晶石与红柱石；

C. 黑云母与白云母； D. 赤铁矿和褐铁矿。

13. 岩石的结构指组成岩石中矿物的结晶程度、颗粒大小、颗粒形状以及它们之间的相互关系所表现出来的特征，下列术语组完全用于描述岩石结构特征是（ **A** ）。

A. 变余砂状、竹叶状、粒状、斑状；B. 似斑状、全晶质、鲕状、生物碎屑；

C. 等粒状、泥质、片状、结核； D. 碎斑、非晶质、波痕、粗粒。

14. 地质年代是用来描述地球历史中岩石和地层形成过程中时间的术语，它可以分为相对地质年代和绝对地质年代两类。下列关于“地质年代”的论述，不正确的是（ **D** ）。

A. 相对地质年代可以用来表示时间的顺序；

B. 相对地质年代用地层的沉积顺序、生物演化规律和地质体的切割关系来确定；

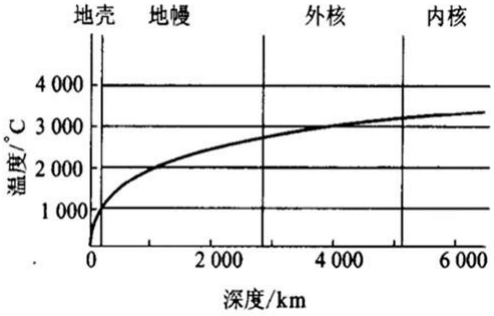
C. 目前我们使用的相对地质年代，基本上都已经知道了其绝对年龄；

D. 同位素地质年代不能用来表示地质体的时间顺序。

15. 地震发生时释放出来的能量，绝大部分以机械能（岩石破裂和位移）和热能的形式存在于震源区，并以地震波的形式向四外传播。地震发生后，地震台站先接收到穿过地球传来的（ **A** ）。

A. 纵波；　B. 横波；　C. 勒夫波；　D. 瑞利波。

16. 下图是地球温度随深度变化的曲线，地球内部增温最快的层位是（ **A** ）。



A. 地壳；　B. 地幔；　C. 外核；　D. 内核。

17. 加拿大努纳武特地区位于北极圈内，自冰消期以来海平面一直在相对下降，形成了众多峡湾海岸线，原因是冰川消融引起的岩石圈地壳均衡调整而发生（ **A** ）。

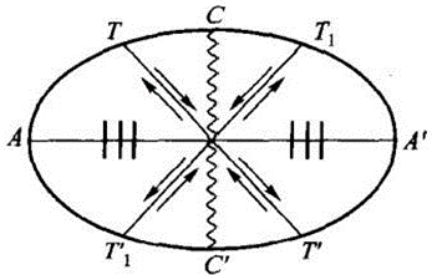
A. 抬升；　B. 下沉；　C. 熔融；　D. 俯冲。

18. 地球内部热能 80%是放射性同位素释放热，其最经常和持续的释放形式是从地球深部向地表的传输，被传输的热量称为大地热流，以下地区地热热流值最低的是（ **A** ）。

A. 古老前寒纪地块；　B. 早古生代加里东褶皱带；

C. 中生代燕山褶皱山系；D. 新生代喜马拉雅造山带。

19. 设想岩石变形前其内部某一点为一小圆球体，受三向不等力作用发生均匀变形后这个圆球体就会变成一个椭球体。图中应变椭球体 CC'方向为最大压应力方向。沿着（ **B** ）方向易形成褶皱形变；沿着（　）方向易产生张性断裂；沿着（　）方向容易产生剪切断裂。



A. CC'，AA'，TT'和 T_1T_1'；B. AA'，CC'，TT'和 T_1T_1'；

C. TT'和 T_1T_1'，CC'，AA'；D. TT'和 T_1T_1'，AA'，CC'。

20. 我国“深地川科 1 井”位于四川盆地西北部，四周群山环绕、层峦叠嶂，地面海拔 717 米，设计井深 10520 米，钻至前震旦系 20 米完钻，预计完钻时钻探围岩主体最可能为（ **A** ）。

A. 硅铝质岩石；B. 硅镁质岩石；C. 玄武质岩石；D. 超基性岩石。

21. 地壳元素丰度决定了地壳中发生的各种地球化学作用的背景，提供了一个衡量元素集中分散变化程度的标尺。以下地壳中元素含量由多到少的顺序正确的是（ **D** ）。

A. O、Si、Al、Fe、Ca、Na、Mg、K；B. O、Si、Al、Ca、Na、K、Fe、Mg；
C. O、Si、Al、Fe、Na、K、Ca、Mg；D. O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg。

22. 矿物硬度是指矿物表面抵抗刻画的能力，可以通过矿物之间相互刻划或者与已知硬度物体刻划的方法确定未知矿物的硬度。以下矿物和常用工具的硬度比较，正确的是（ **A** ）。

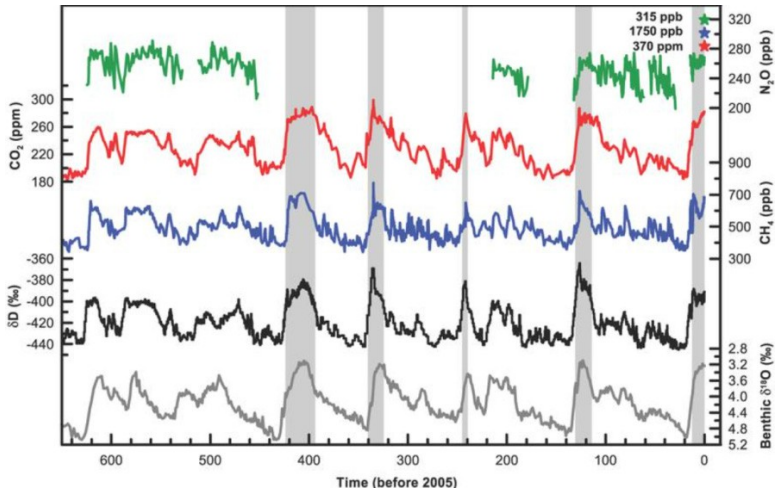
A. 小刀>磷灰石； B. 手指甲>方解石； C. 玻璃<磷灰石；D. 玻璃>长石。

23. 分类问题是自然科学中极其重要的研究课题之一，它反映了人们对某种事物认识的深刻程度。矿物可以根据它们的化学成分进行分类，下列矿物不属于碳酸盐矿物的是（ **B** ）。

A. 菱镁矿； B. 萤石； C. 文石； D. 白云石。

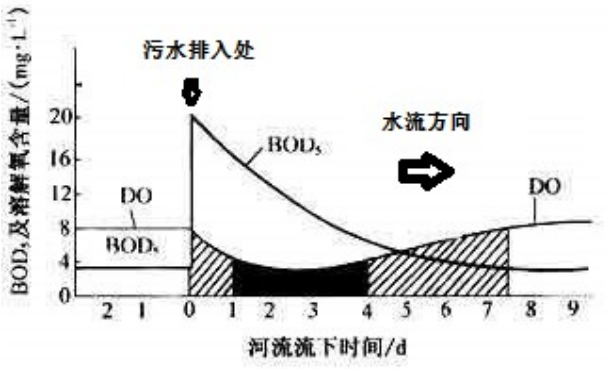
24. 冰芯是从冰川钻取的圆柱状冰体，可得到古气候和古环境的历史资料，是研究环境变化的重要依据。下图为南极冰芯的氧同位素、氢同位素、二氧化碳、甲烷和氮氧化物分析数据，有阴影的时期表明（ **D** ），其原因是（ ）。

A. 气候变冷，气体吸收太阳的短波辐射；
B. 气候变暖，气体吸收太阳的短波辐射；
C. 气候变冷，气体吸收地球的长波辐射；
D. 气候变暖，气体吸收地球的长波辐射。



25. 下图为一条假定污染河流中生化需氧量（BOD）和溶解氧（DO）的变化曲线。横坐标从左至右表示河流的流向和距离，流经时间以日（d）计；纵坐标表示 BOD 和 DO 的浓度，单位 mg/L。如果流入的污水量和浓度全年无大变化，河流的流量也大致不变，则 DO 曲线的最低点位置与污水排入河流处的距离在夏季（ **B** ）冬季。

A. 大于； B. 小于； C. 等于； D. 无法判断。



26. 土壤中的矿物按其成因可分为原生矿物和次生矿物，下列选项中不属于土壤原生矿物的是（ **B** ）。

A. 硅酸盐；　B. 碳酸盐；　C. 磷酸盐；　D. 硫化物。

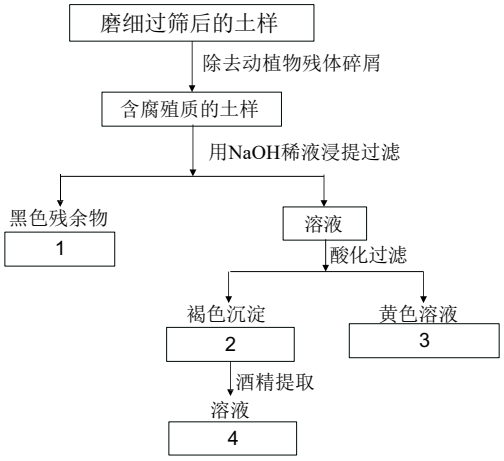
27. 土壤腐殖质是土壤有机质的主要组成部分，根据土壤腐殖质在不同溶剂中的溶解性，可将其分离为不同物质，下图中 1、2、3、4 依次为（ **D** ）。

A. 棕腐酸，胡敏素，胡敏酸，富里酸；

B. 棕腐酸，胡敏素，富里酸，棕腐酸；

C. 胡敏素，胡敏酸，棕腐酸，富里酸；

D. 胡敏素，胡敏酸，富里酸，棕腐酸。



28. 假定有两个生物群落，甲群落中有 C1、C2、C3 三个物种，个体数分别为 60、20 和 20，而乙群落中也有 C1、C2、C3 三个物种，个体数分别为 50、30、20。下列说法正确的是（ **B** ）。

A. 甲群落的生物多样性大于乙群落；　B. 乙群落的生物多样性大于甲群落；

C. 甲乙两个群落的生物多样性一致；　D. 无法比较。

29. 太平洋、印度洋和大西洋三大洋中脊在地球南端相互连接，构成全球洋中脊山系，非洲以南是（ **A** ）？

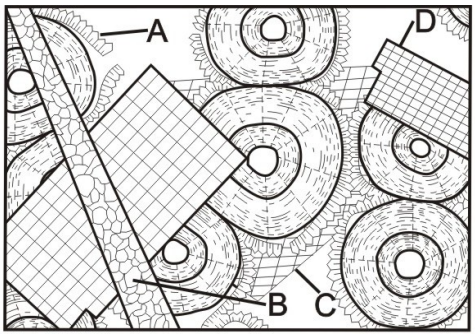
A. 大西洋中脊与印度洋西南支中脊的衔接处；

B. 大西洋中脊与太平洋中隆的衔接处；

C. 太平洋中隆与印度洋东南支中脊的衔接处；

D. 太平洋中隆与印度洋西南支中脊的衔接处。

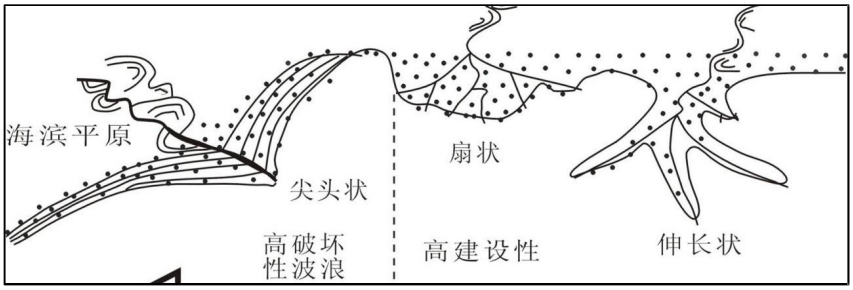
30. 下图为某岩石样品显微镜下素描图，通过解读，判断自生矿物 A、B、C 和 D 形成的先后顺序，顺序正确的是（ **D** ）。



A 栉状方解石；B 方解石脉；C 晶粒状方解石；D 硬石膏

A. BACD； B. ACBD； C. CADB； D. ACDB。

提示：河流三角洲形态与许多因素有关，其中水动力因素很重要，下图是三种三角洲的形态，据此回答下面两题。



31. 随着河流作用影响增加，主要出现（ **A** ）形态的三角洲。

A. 扇状或伸长状；B. 扇状或尖头状；C. 伸长状或尖头状；D. 尖头状。

32. 随着海洋作用（波浪和沿岸流）影响增加，主要出现（ **D** ）形态的三角洲。

A. 扇状或伸长状；B. 扇状或尖头状；C. 伸长状或尖头状；D. 尖头状。

33. 一颗恒星表面温度一万开尔文、半径跟太阳相当。在距离它 1AU 之处一颗流星体，其表面辐射具有最大能量的波长约为（ **删除，不计入成绩** ）Å。

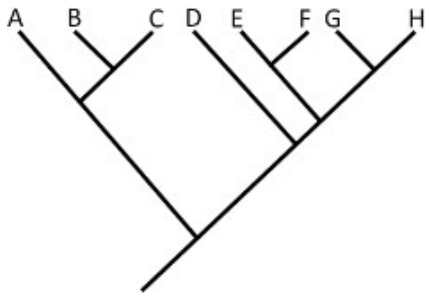
注：1 AU = 1.496×10^{11} m；地球表面辐射具有最大能量的波长约为 10 μm。

A. 4000； B. 5000； C. 6000； D. 7000。

34. 地球发育历史中，显生宙可以划分为古生代、中生代和新生代，每个代包括若干个纪，那么中生代不包括（ **A** ）。

A. 寒武纪； B. 三叠纪； C. 白垩纪。 D. 侏罗纪。

35. 系统发育树是生物信息学中描述不同生物之间的相关关系的方法，可以帮助人们了解所有生物的进化历史过程。以下系统发育树中，（ **B** ）是 B 分类群的姐妹群。



A. A； B. C； C. D； D. E。

36. 准确刻画古海洋食物网关系，重建过去千年尺度的海洋生物的营养级水平一直是研究海洋生物地球化学循环和生态过程的重大挑战。如果你想研究某种海洋动物的营养水平，你应该选择研究（ **B** ）同位素。

A. 氧； B. 氮； C. 碳； D. 硫。

37. 软体动物类型多样，包括双壳类、腹足类和头足类等，下列属于软体动物共同具有的特征是（ **D** ）。

A. 羊膜卵； B. 胎盘； C. 骨针； D. 齿舌。

38. 牙形类是一种微体化石，主要用于古生代地层的生物地层定年和对比，牙形类的主要化学成分是（ **A** ）。

A. 磷酸钙； B. 碳酸钙； C. 硫酸钙； D. 氢氧化钙。

39. 请选择与厄尔尼诺现象相关最密切的一种圈层相互作用（ **A** ）。

A. 皮耶克尼斯反馈； B. 风-蒸发-海温反馈；

C. 反照率反馈； D. 水汽反馈。

40. 从外表来看，火星呈现出红色的色调，因此被称为“红色星球”，其原因主要是（ **B** ）。

A. 由于火星大气散射所致；B. 火星表面被赤铁矿（氧化铁）覆盖；

C. 冬季火星表面被干冰覆盖；D. 因距离太阳较远，阳光的照射弱所致。

二、不确定选择题（单选或多选，每一个正确答案得 1 分，选错一个扣 1 分）

1. 地球表面的活动大陆边缘结构比较复杂，以西太平洋边缘为例，其形态构造单元从洋侧向陆侧依次有（ **D** ）。

A. 海沟、岛弧、大陆坡、弧后盆地、大陆架；

B. 岛弧、海沟、弧后盆地、大陆坡、大陆架；

C. 海沟、岛弧、弧后盆地、大陆架、大陆坡；

D. 海沟、岛弧、弧后盆地、大陆坡、大陆架。

2. 天然水是一种源自地球表面的水体，它们可以来源于不同的地质环境，其可能含有的化学物质包括可溶性物质。天然水的物质成分中，决定水硬度的有（ **ABD** ）。

A. 碳酸钠； B. 碳酸钙； C. 硫酸钠； D. 硫酸钙。

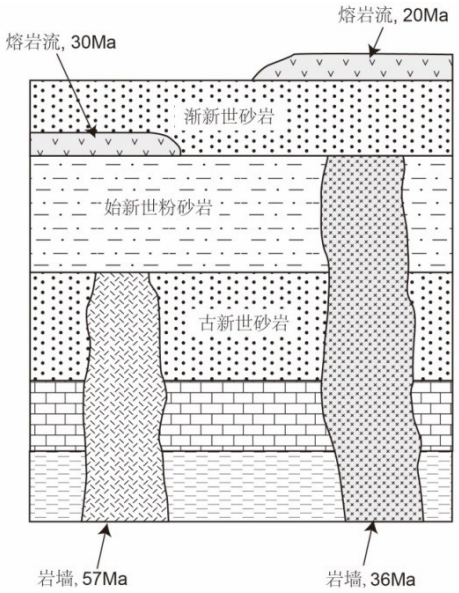
3. 土壤中缺乏人体需要的某些元素，或者某些元素过多，都可以产生地方病。

下列叙述中正确的是（ **ACD** ）。

A. 环境中硒缺乏—克山病； B. 环境中硒过多—克山病；

C. 环境中碘缺乏—地方性甲状腺肿； D. 环境中碘过多—地方性甲状腺肿。

4. 虽然根据地层的层序律，可以确定图中的各沉积岩的先后顺序，但是只有结合同位素年代学方法，我们才能限定地层的绝对年龄，那么下列说法正确的是（ **ACD** ）。



A. 地质体的发育先后为古新世砂岩-36 Ma 岩墙-渐新世砂岩-20 Ma 熔岩流；

B. 古新世砂岩沉积时代介于 57 Ma 和 36 Ma 之间；

C. 始新世粉砂岩沉积早于 30 Ma，但晚于 36 Ma；

D. 图中至少存在两期的沉积间断，期中一期发育于 36 Ma 和 30 Ma 之间。

5. 大陆漂移学说可以用来解释地壳运动和海陆分布、演变，以下哪些现象（ **ABCD** ）可能与大陆的漂移有关。

A. 英国广泛分布煤炭资源；

B. 印度发现冰川遗迹；

C. 小型淡水爬行动物中龙出现于巴西与南非的石炭—二叠纪地层中；

D. 寒冷气候带植物舌羊齿出现于南美洲、非洲、亚洲、南极洲以及大洋洲。

6. 地质碳汇在地下岩层中储存 CO_2，或通过岩溶作用、矿物碳化等消耗空气中的 CO_2。上述过程可以发生在（ **ABCD** ）中。

A. 碳酸盐岩； B. 基性超基性岩； C. 咸水层； D. 土壤。

7. 成语是汉语中经过长期使用、锤炼而形成的固定短语，它是比词的含义更丰富而语法功能又相当于词的语言单位，下列成语与板块构造活动相关的是（ **AD** ）。

A. 沧海桑田； B. 水滴石穿； C. 拨云见日； D. 山崩地裂。

8. 地壳抬升作为一种重要的地质现象，造成侵蚀基准面或者海岸地区侵蚀作用的改变，能够反映地壳抬升的现象有（ **ACD** ）。

A. 深切河曲； B. 冲积平原； C. 河成阶地； D. 高海蚀槽。

9. 岩石的力学性质受到很多因素的影响，不同的温度和压力下会有不同的力行行为，下面能使岩石的强度增加的有（ **AD** ）。

A. 围压增加；B. 温度升高；C. 孔隙流体压力增加；D. 应变速率增加。

10. 冰川形成、运动和消融过程中，存在侵蚀、搬运和沉积的地质作用，形成了各种地貌，其中羊背石与鼓丘的区别在于（ **ABD** ）。

A. 羊背石属于剥蚀地貌； B. 鼓丘属于堆积地貌；

C. 鼓丘的迎冰面缓、背冰面陡；D. 羊背石迎面坡(迎冰面)平缓光滑。

三、综合测试题（单选或多选，每一个正确答案得 1 分，选错一个扣 1 分）

岩浆在其逐渐冷凝过程中，按矿物熔点的高低，可依次结晶出不同成分的矿物，并依次形成不同种类的岩石，这种作用称为岩浆的分离结晶作用。美国岩石学家鲍温根据结晶分异原理，用富含橄榄石的玄武岩实验得出了矿物结晶规律，其反应过程也就是鲍温反应系列。鲍温反应系列分为两种：连续反应系列和不连续反应系列。连续反应系列是指形成矿物的化学成分连续变化，而内部结构无根本变化。而不连续反应系列是指形成的矿物化学成分有差异，同时内部结构有显著变化。以下 Q1-Q4 各题均与鲍温反应系列有关。

Q1. 以下矿物中属于不连续反应系列形成的矿物是（ **BC** ）。

A. 钙长石； B. 橄榄石； C. 黑云母； D. 钠长石。

Q2. 下列符合鲍温反应系列中矿物生成顺序的是（ **B** ）。

A. 橄榄石→角闪石→辉石→黑云母；B. 橄榄石→辉石→角闪石→黑云母。

C. 橄榄石→角闪石→黑云母→辉石；D. 钙长石→中长石→更长石→钠长石。

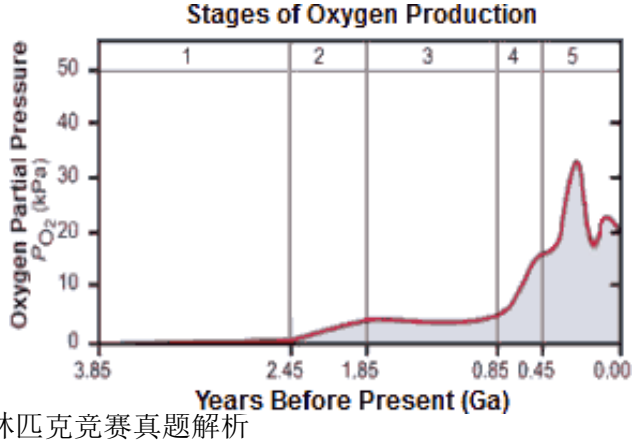
Q3. 花岗岩的矿物组成里一般不包括（ **AC** ）。

A. 钙长石； B. 黑云母； C. 辉石； D. 钠长石。

Q4. 安山岩可以由下列（ **ABC** ）岩石部分熔融形成？

A. 橄榄岩； B. 玄武岩； C. 辉长岩； D. 闪长岩。

地球大气自地球形成（46 亿年前）以来，经历漫长而显著的变化。它时而体现在温度的冷暖上，时而体现在干湿的交替上，时而体现在大气环流的微调上，甚至体现在大气组分的彻底改变上（例如图中所示的氧气含量的变化）。下图为地球大气中氧气含量随时间变化情况，请据此图回答下面 Q5-Q8 问题。



Q5. 下列有关地球大气演化的判断，正确的是（ **ABCD** ）。

A. 天文过程主导了第一代大气；

B. 地质过程主导了第二代大气；

C. 生物过程主导了第三代大气；

D. 太阳系其它行星都没有类似地球大气的演化过程。

Q6. 地球形成早期，太阳亮度只有今天的 70%，理论上这会导致当时的地球十分寒冷，全球陷入冰封的状态，但事实上很可能完全相反，当时地球比今天还要炎热的多。这主要是因为（ **B** ）。

A. 当时地热很大，有效弥补了太阳辐射的不足；

B. 当时温室效应很强，有效弥补了太阳辐射的不足；

C. 当时木星对太阳系内行星影响很大，有效弥补了太阳辐射的不足；

D. 当时月球刚刚形成，有效弥补了太阳辐射的不足。

Q7. 距今约 21 亿年前后，地球大气组分发生了重大改变，也称为大氧化事件（简称 GOE 事件），对此叙述正确的是（ **AD** ）。

A. GOE 之后，厌氧生物经历了灭顶之灾；

B. GOE 期间，海洋中的 Fe 都被氧化了；

C. GOE 并不是当时大气组分发生变化的主要原因；

D. GOE 大大加速了陆地生物的演化进程。

Q8. 自寒武纪以来，地球大气中的含氧量快速上升，最终达到今天的氧气水平。与这一过程有关的叙述正确的是（ **BD** ）。

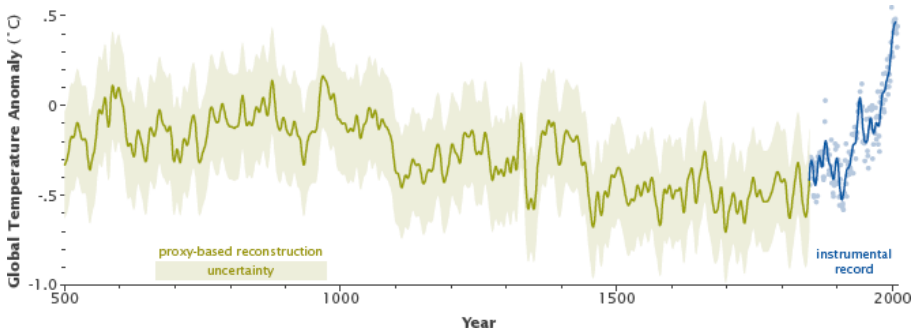
A. 主要是因为海洋中蓝藻的新陈代谢；

B. 主要是因为陆地上蕨类植物的光合作用；

C. 主要是因为恐龙等大型动物的新陈代谢；

D. O_2 上升对应着 CO_2 下降，这有利于动物的进化。

自工业革命以来的全球变暖（例如下图中的蓝色温度曲线）已是当今全人类共同面对的最严峻的挑战之一。围绕全球变暖的物理科学、影响评价、和应对政策等诸多方面的讨论，已成为地球科学的核心议题。下图为公元 500 年以来的全球地表平均温度变化（早期是代用资料；近期是器测资料），据此回答下列 Q9-Q12问题。



Q9. 当前的全球变暖原因是（ **AD** ）。

A. 温室气体的温室效应的显著加强；

B. 根本原因是海水受热释出 CO_2 导致的；

C. 根本原因是高纬度陆地受热释出 CH_4 导致的；

D. 根本原因是人类工业活动导致的。

Q10. 关于全球变暖有许多明确的证据，下面论述正确的是（ **ABC** ）。

A. 本世纪末相较于工业化前，全球可能增暖 1-5 度；

B. 本世纪中叶，北极海冰很可能夏季无冰，形成季节性开放的局面；

C. 海洋酸化问题正持续恶化，到本世纪末，海表 pH 值很可能低到 8.0 以下；

D. 本世纪末，由于南极冰盖和格陵兰冰盖的融化，海平面将上升 50 米以上。

Q11. 为减缓全球变暖，下面论述正确的是（ **BC** ）。

A. 退林还耕有利于碳减排；

B. 海冰越来越少，利于大气 CO_2 灌入海洋，有利于减碳；

C. 为了达到碳中和，发展和推广清洁能源是关键；

D. 为了达到碳中和，约束工业生产规模和碳排放强度是关键。

Q12. 地球工程技术（简称 GE）是用于减缓气候变化的各种新兴工程技术的总称。关于 GE 论述正确的是（ **B** ）。

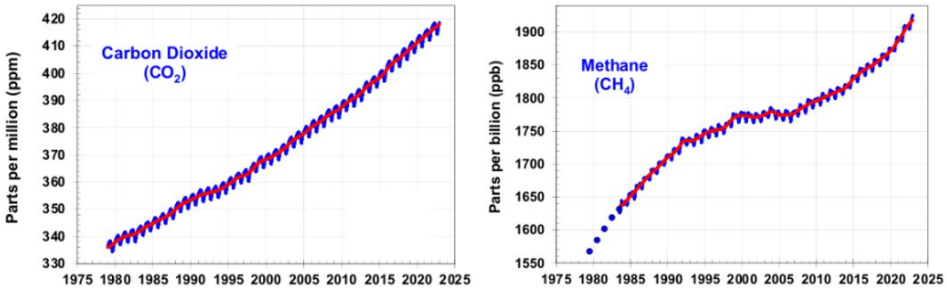
A. GE 中的方案大多已通过了技术性验证，正在大规模铺开使用；

B. 在 GE 各方案中，向海洋中撒铁粉，可能是最有希望的方案；

C. 在 GE 各方案中，在日-地之间放置“太阳伞”，通过其开合来控制太阳辐射，可能是最可靠有效的方案；

D. 在 GE 各方案中，向天空播撒水蒸气形成更多的云，可能是最简单的给地球降温的方案。

下图是上个世纪 80 年代以来全球大气中实测二氧化碳和甲烷浓度变化，据此回答以下 Q13-Q17 问题：



Q13. 大气二氧化碳浓度持续增加可能的原因是（ **AB** ）。

A. 人类工业革命活动；B. 人类农业活动；

C. 地震活动增加； D. 火山活动增加。

Q14. 大气甲烷气体浓度增加可能的原因是（ **ABCD** ）。

A. 人类畜牧业；B. 永久冻土融化；C. 水稻养殖；D. 臭氧层破坏。

Q15. 二氧化碳和甲烷都是大气中主要的温室气体，两者浓度自 1980s 以来持续增加，但在 1998-2005 期间甲烷浓度出现停滞，与之相关的全球平均温度变化

趋势（ **BC*** ）。

*D项存在争议，本题评分时按错误处理

A. 温度在此期间变化趋势与二氧化碳一致；

B. 温度在此期间受到甲烷浓度变化的影响，出现升温停滞；

C. 两者的变化不同反映了影响温室气体变化的因素多元；

D. 甲烷的温室效应远大于二氧化碳。

Q16. 减小大气二氧化碳浓度的方法为（ **BCD** ）。

A. 减小绿化范围；B. 减少人为排放；

C. 将二氧化碳泵入深海储存；D. 把二氧化碳合成白云岩储存。

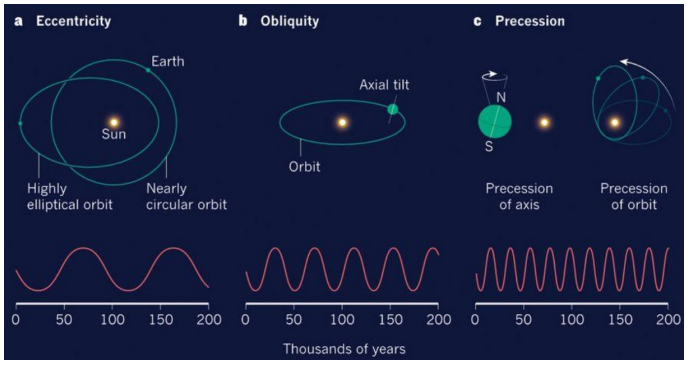
Q17. 1 吨甲烷的增温潜力值相当于 21 吨二氧化碳的增温潜力值，估算 1985-2020 年大气中甲烷的增温能力相当于（ **删除，不计入成绩** ）二氧化碳增加的浓度。

A. 85 ppm； B. 3 ppm； C. 170 ppm； D. 55 ppm。

下面部分为 B 卷：

四、综合分析题（单选或多选，每一个正确答案得 1 分，选错一个扣 1 分）

地球绕太阳旋转时轨道参数（a 轨道偏心率、b 地球倾斜率和 c 地球进动）的变化是控制过去全球变化的因素之一，即米兰科维奇理论。米兰科维奇旋回理论认为轨道参数的变化影响了地球上不同纬度接收到的太阳能量的变化，导致了全球气候变化。仔细阅读下面图件，回答 Q18-Q21 几个问题。



Q18. 图中天文轨道周期包括（ **ABC** ）。

A. 21kyr 的岁差周期； B. 40kyr 的倾斜率周期；

C. 100kyr 的偏心率周期； D. 400kyr 的偏心率周期。

Q19. 有关地球地轴倾斜率与气候关系说法正确的是（ **ABCD** ）。

A. 当倾斜率越大时，地球的季节性越强；

B. 角度越大时，当地轴向太阳倾斜时，每个半球夏季的热量越多；

C. 角度越大，地球越倾向温暖（极地变暖）；

D. 角度越大时，当地轴倾斜远离太阳时，冬季能量越少。

Q20. 现在地球的地轴倾斜度为 23.4°，在 10700 年前达到最大，在 9800 年后达到最小，受地轴倾斜度变化影响未来 9800 年中的气候变化为（ **AB** ）。

A. 倾斜率在逐渐减小，季节变化减弱；

B. 冬季变暖，夏季变凉，地球容易形成冰川；

C. 倾斜率变化周期约为 410 kyr；

D. 冬季变暖，夏季变凉，地球不容易形成冰川。

Q21. 地球不同纬度上接收到的太阳辐射的能量与地球轨道周期变化与地球黄赤交角即倾斜率相关，计算公式如下：

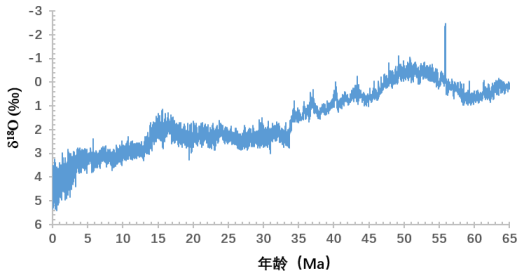
$$N=\frac{E_t}{4\pi}\left[\left(\lambda''-\lambda'\right)-\sin\varepsilon\left(\cos\lambda''-\cos\lambda'\right)\right]$$

其中，N 为北半球季节日照能量；E 为地球年总日照能量；λ为纬度；ε为地球斜率；

假设地球倾斜率的变化在 0 到 45 度之间，计算地球北半球季节日照量在地球倾斜率最大值和最小值时的比值是（ **C** ）。

A. 0.99； B. 2.01； C. 1.01； D. 3。

生动物碳酸盐骨骼和壳体的氧同位素组成与古海洋温度呈现负相关关系。下图是新生代底栖有孔虫壳体中氧同位素变化特征，根据底栖有孔虫氧同位素变化，结合新生代全球冰量的关系，回答以下 Q22-Q24 问题。



Q22. 新生代底栖有孔虫氧同位素变化显示（ **AC** ）。

A. 新生代以来全球温度逐渐降低； B. 新生代以来全球温度逐渐升高；

C. 大约在 55 Ma 前后全球出现高温时期；D. 新生代全球温度变化没有规律。

Q23. 新生代全球变化的可能因素（ **AB** ）。

A. 高原隆升；B. 洋中脊扩张减弱；C. 地震活动增加；D. 光和生物演化。

Q24. 新生代 32 Ma、14 Ma 和 3 Ma 附近全球温度快速变化，其可能原因是（ **A** ）。

A. 构造运动； B. 甲烷释放； C. 人类活动； D. 生物大绝灭。

奥陶纪是显生宙的第二个纪，也是生命演化史上大起大落的时代，既有奥陶纪早中期的生物大辐射又有奥陶纪末期的生物大灭绝。奥陶纪生物大辐射事件是从奥陶纪初，甚至寒武纪中晚期就开始，一直延续到奥陶纪晚期的一次海洋生物多样性的大辐射事件。奥陶纪生物大辐射事件中，较低的生物分类单元（目、科、属和种级别）多样性大量增加，海洋生物的丰度和分异度达到了一个高峰，分异度几乎是寒武纪的三倍。而在距今 4.50-4.43 亿年前的奥陶纪末期，发生了显生宙的第一次生物大灭绝事件，约 27%的科、57%的属和 85%的种灭绝，在地质

历史上的生物大灭绝事件中名列第二。据此回答以下 Q25-Q30 几个问题。

Q25. 以下属于奥陶纪海洋的生物类群组成的有（ **BCD** ）。

A. 菊石； B. 板足鲎； C. 角石； D. 苔藓虫。

Q26. 以下属于奥陶纪生物大辐射可能的原因的有（ **ABC** ）。

A. 超大陆的裂解与火山活动增加；B. 温室气候和下降的海水温度；

C. 食物链革命； D. 大洋富营养化和海水酸化。

Q27. 以下属于奥陶纪末生物大灭绝可能的原因的有（ **BCD*** ）。

*A项存在争议，本题评分时按错误处理

A. 小行星撞击地球； B. 恒星爆炸，伽马射线击中地球；

C. 板块运动，冰川作用，海平面下降；D. 大规模火山活动；

Q28. 华南地区奥陶纪—志留纪之交五峰组—龙马溪组笔石页岩广泛发育，该套笔石页岩层系是目前我国页岩气勘探开发的目标层段。那么，页岩气的最主要组成是（ **C** ）。

A. CO； B. CO_2； C. CH_4； D. H_2。

Q29. 该套黑色页岩中广泛发育笔石，由于其保存状态是压扁成了碳质薄膜，很像铅笔在岩石层上书写的痕迹，因此才被科学家叫做“笔石”。那么，笔石（见下图）属于（ **C** ）。



A. 头足动物；B. 腕足动物；C. 半索动物；D. 节肢动物。

Q30. 我国专家学者对奥陶纪生物地层划分和对比贡献较大，在我国确立了三个金钉子，也就是能够进行全球性地层对比的界线层型剖面和点位（GSSP）。以下（ **ACD** ）属于在我国确定的奥陶系金钉子。

A. 湖北宜昌王家湾赫南特阶底界金钉子；

B. 湖南花垣县排碧乡排碧阶底界金钉子；

C. 浙江常山钳口镇黄泥塘达瑞威尔阶底界金钉子；

D. 湖北宜昌黄花场大坪阶底界金钉子。

人们最初认为行星的增生起始于原始行星盘形成以后，但最近的研究表明在分子云阶段，可能已经发生了尘埃的凝聚与增长。尘埃的凝聚与增生突破厘米级障碍以后的演化过程可能会以两种形式进行，一是星子增生模式（planetesimal accretion），二是砾石增生（pebble accretion）。之后，行星的增生则进入寡头增生阶段，形成原始行星。原始行星继续吸积原行星盘中的氢气

等气体，最终形成巨行星。从地球的角度来看，寡头增生阶段结束的标志是月球形成大碰撞，但这并不代表地球停止从周边空间区域内继续获取物质，一个典型的过程是晚期薄层增生（late veneer）。据此回答以下 Q31-Q37 几个问题。

Q31. 地幔中强亲铁元素如何支持晚期薄层增生假说（ **ACD** ）？

A. 地幔中强亲铁元素的含量比高温高压实验模拟地核形成的预测值高；

B. 地幔中强亲铁元素的含量与陨石物质接近；

C. 地幔中强亲铁元素的相对含量与陨石物质接近；

D. 地幔强亲铁元素的稳定同位素组成与陨石物质接近。

Q32. 已知现今地球的$\varepsilon^{100}\mathrm{Ru}=0$，陨石的$\varepsilon^{100}\mathrm{Ru}=-0.9$。假定测得地球上某处年龄为 38 亿年的岩石的$\varepsilon^{100}\mathrm{Ru}=0.22$。那么年龄为 38 亿的岩石的 Ru 有（ **删除，不计入成绩** ）不是由陨石带来的。

A. 80%； B. 60%； C. 40%； D. 20%。

Q33. 如果太阳星云的直径为 80 AU，自转周期为 1 百万年；当它缩小到木星轨道大小时，缩小版的太阳星云的自转周期大约为（ **删除，不计入成绩** ）。

A. 6 个月； B. 1 年； C. 10 年； D. 100 年。

Q34. 和太阳相比，木星外部圈层的 He 含量明显偏低，其原因可能是（ **C** ）。

A. 在太阳辐射下，He 通过金斯逃逸脱离了木星；

B. 在太阳风的作用下，木星外部圈层的 He 被吹走了；

C. 木星外部圈层的 He 通过类似于下雨的形式向木星深处落去；

D. 木星外部圈层的 He 被尘埃物质所吸附并在木星较深处形成了云。

Q35. 在太阳系的行星形成以后，行星的轨道并不稳定。随着太阳星云的消散，木星会发生内迁，迫使木星轨道周围以及小行星带的物质被散射到内太阳系。但木星并不是一直向内迁移，这是因为（ **A** ）。

A. 土星与木星形成的轨道共振，迫使木星停止向内迁移，开始向外迁移；

B. 小行星带与木星形成轨道共振，迫使木星停止向内迁移，开始向外迁移；

C. 太阳—地球—木星形成的三体系统最终导致木星不可能一直向内迁移；

D. 柯伊伯带和奥尔特云对向内迁移形成了巨大的吸引力制约。

Q36. 太阳星云中的尘埃物质来自于元素冷凝所形成的矿物。在行星科学中人们用元素的半凝结温度来衡量元素从星云中凝结出矿物的次序。下列从高温到低温不正确的是（ **AC** ）。

A. Al > Mg = Ca； B. Ir > S > Cl； C. Si < Cu < Hg； D. W > Li > Zn。

Q37. 下列（ **ABC** ）事件可以作为一个类地行星形成的标志。

A. 金属核和硅酸盐幔的分离； B. 清空其轨道范围内的其它小型天体；

C. 全球岩浆洋的冷却固结； D. 陨石物质不再降落到其表面。

时间是地球科学研究的“核心”议题，渗透到地球科学的每一个领域，每一次进展都孕育着地球科学的革命。人们很早就在探索测定地质体年代的方法，然而直到 20 世纪初发现了元素的放射性以后，科学的测年方法才告诞生。其

原理是基于放射性元素都具有固定的衰变常数（λ）。已知衰变公式 $N=N_0e^{-\lambda t}$。N_0 表示时间 $t=0$ 时放射性同位素的初始原子数，N 表示经过 t 时间以后剩下的未衰变母体原子数。据此回答如下 Q38-Q40 问题。

Q38. 进行同位素定年实验时，测定了剩余未衰变母体原子数 N 和衰变生成的子体同位素原子数 D，则该放射性同位素年龄 t 表示为（ **B** ）。

A. $\frac{1}{\lambda}\ln\left(1+\frac{N}{D}\right)$； B. $\frac{1}{\lambda}\ln\left(1+\frac{D}{N}\right)$； C. $\lambda\ln\left(1+\frac{N}{D}\right)$； D. $\lambda\ln\left(1+\frac{D}{N}\right)$。

Q39. ^{238}U 经过 m 次α衰变和 n 次β衰变生成 ^{206}Pb，则（ **D** ）。

A. $m=6$，$n=8$； B. $m=7$，$n=6$； C. $m=7$，$n=8$； D. $m=8$，$n=6$。

Q40. 半衰期是指母体同位素衰变一半所需的时间，已知 ^{238}U 的衰变常数为 1.55125×10^{-10}，则其半衰期约为（ **C** ）。

A. 44.7 Ga； B. 4.47 Ma； C. 4.47 Ga； D. 44.7 Ma。

“燕园元培杯”2023-2024 学年全国中学生地球科学奥林匹克竞赛决赛试题参考解答

注 意 事 项

在答题前请认真阅读本注意事项及答题要求

1. 本试卷共分为三个部分，第一部分为不定项选择题，第二部分为综合分析、计算和读图等题目，第三部分为野外实践考察试题。本次考试时间为 180 分钟。考试结束后，请将本试卷、答题卡、答题纸和草稿纸一并交回。
2. 答题前请务必将自己的姓名、考号用黑色签字笔填写在答题卡和答题纸的规定位置。
3. 作答选择题须用 2B 铅笔在机读卡指定位置涂卡；综合分析题用黑色油笔答在答题纸上。
4. 考试开始 60 分钟内不允许提前交卷，考试结束后待监考老师确认后方可离场。

一、不确定选择题，结果写在答题卡上（单选或多选，每一个正确答案得 1 分，选错一个扣 1 分，每题最低得分为 0 分）

现在地球的主要动力学格局以板块运动的形式所呈现，即基性的洋壳俯冲到中酸性的陆壳之下。但地球形成之初，不仅有通常所说的放射性元素生热产生的能量，还有增生过程中重力势能转换而来的热能，加之月球形成大碰撞这一剧烈事件给地球带来的热量，固体地球内部的温度必定远高于现今地球。这种状态意味着早期地球（40 亿年之前的地球）和现今地球截然不同。据此回答下面 Q1-Q10 问题。

Q1.下列（ AB ）属于基性岩石。

A. 辉绿岩； B. 玄武岩； C. 英云闪长岩； D. 花岗岩。

Q2. 从月球大碰撞发生的时间算起（约 45 亿年），到地球最古老的矿物 Jack Hills 锆石形成的时间（约 44 亿年）为止，地球就获得了能够形成锆石的温度、成分和压力条件。锆石主要形成于（ C ）岩类岩石中。

A. 橄榄岩； B. 科马提岩； C. 花岗岩； D. 斜长岩。

Q3. 早期地球内部的温度较高，意味着更为剧烈的火山作用。火上作用喷出的气体形成了当时的大气层。那么请问，这种火山作用形成的大气层中，下列（ ABC ）组分不可能是主导成分。

A. 氢气； B. 氦气； C. 乙醇； D. 二氧化碳。

Q4. 下列（ C ）机制可能可以很快将月球形成大碰撞之后的地球状态改造到适合 Jack Hills 锆石形成的状态？

A. 板块运动； B. 地幔柱； C. 热管构造； D. 软盖构造。

Q5. 地球上最古老的矿物的年龄是 44 亿年，而最古老的岩石的年龄是 40 亿年，二者之间的差距很大，其原因可能是（ BC ）。

A. 形成最古老矿物即 Jack Hills 锆石时，还没形成岩石；

B. 岩石被地球动力过程所销毁，但是锆石被保留了下来；

C. 锆石容易保持放射性同位素封闭状态，而岩石的放射性同位素体系会成为开放状态；

D. 44 亿的 Jack Hills 是陨石带来的，故而远远老于地球自己形成的最古老岩石。

Q6. 太阳系（ D ）天体的现今状态与 43 亿年前的地球最为相似。

A. 火星； B. 水星； C. 谷神星； D. 金星。

Q7. 地球如今依然生龙活虎，高山在隆起，大陆在裂张，但是月球却是已经死得凉透了，下列原因中可能的是（ AB ）。

A. 月球没有大气层，它的热能很快散失到太空去了；

B. 月球的挥发性成分较低，不利于形成类似于地球这样的板块运动的动力学格局；

C. 月球经历了远比地球多的陨石撞击，破坏了月球内部的稳定结构，使得月球难以形成全球统一的动力学体制；

D. 我们目前并没有对月球进行详细采样，所以月球可能没有死翘翘。

Q8. 月球在 40 亿年到 38 亿年之间经历了一次陨石密集撞击事件，这就是常说的晚期月表陨石密集撞击事件（Late Heavy Bombardment）。我们可以清楚地发现月球近地面的陨石坑的年龄在这一时间段内的比例远远高于其它时间段。地球比月球大得多，但是我们并没有在地球上找到类似的陨石密集撞击事件留下的证据，可能的原因是（ BD ）。

A. 从月球是地球的卫星，陨石在撞击地球之前会首先撞击月球。也就是说，月球是地球的屏障，可能拦下了撞向地球的陨石，所以在地球上看不到密集的陨石撞击坑；

B. 月球近地面的陨石坑分布规律提出的晚期月表陨石密集撞击事件不能代表整个月球，也就是说可能从整个月球的角度来看，40~38 亿年之间的陨石通量并不显著高于其它时段。故而，在找地球上找不到相应记录；

C. 月球没有大气层，陨石很容易达到月球表面，留下陨石坑。但是地球有稠密的大气层，陨石会被大气层所消耗，因此没有在地球表面留下晚期月表陨石密集撞击事件的印记；

D. 地球上剧烈而频繁的地球动力学过程把形成于地壳表面的陨石坑破坏完了，所以我们看不到地球表面存留有这一时期的陨石坑。

Q9. 火星曾经有过和地球极为类似的环境，也有广袤的海洋，奔流的大河以及在陨石坑形成的湖泊。但是这样一个湛蓝的火星只持续了很短的时间，火星就进入了红色火星的时代，火星上的水可能去了（ ABCD ）。

A. 火星上的水与火星的大气层一起被太阳风吹跑了；

B. 火星上的水凝结到火星的极地形成了冰川；

C. 火星上的水被储存在粘土矿物中；

D. 火星上的水以地下水或者地下冰的形成储存。

Q10. 近年来，人们在金星的大气层中探测到了磷化氢。在地球上，磷化氢是生命体代谢的产物。金星的大气富含二氧化碳、硫酸以及硫化氢等物质。如果金星大气中的硫化氢真的

是生命体代谢的产物，那么这种生命体应该是（ A ）。

A. 嗜酸厌氧； B. 嗜碱厌氧； C. 嗜酸喜氧； D. 嗜碱喜氧。

不整合接触是指上、下地层间的层序发生间断，即先后沉积的地层之间缺失了一部分地层。这种沉积间断的时期可能代表没有沉积作用的时期，也可能代表以前形成的岩石被侵蚀的时期，据此回答 Q11-Q12 问题。

Q11.下面关于不整合的描述你认为（ BD ）是正确的。

A. 角度不整合是指不整合面上下的岩层均与不整合面呈一定角度相交；

B. 角度不整合下伏岩层的产状与不整合面斜交；

C. 平行不整合面上下的岩层均为水平的；

D. 平行不整合是指不整合面上下的岩层产状基本一致。

Q12. （ ABC ）标志基本可以确定不整合的存在。

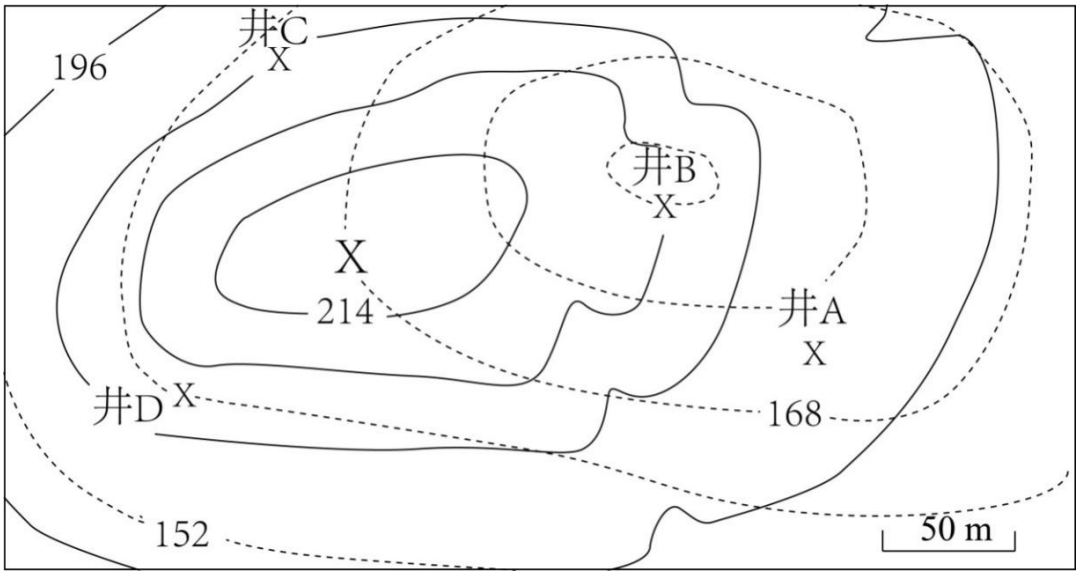
A. 两套地层的产状呈一定角度接触；

B. 两套地层之间存在有古风化壳；

C. 上覆地层底部发现很多下伏岩层成分的砾岩；

D. 上覆岩层和下伏岩层成分基本一致。

下图显示了一个地区的地形（实线等高线）以及该地区的地下潜水面的起伏（虚线等高线），两组高程均以米为单位。未位于等高线的井位高程可以通过内插法求得，即按照等比例计算。据此回答 Q13-Q15 问题。



Q13．在标记为 X 的点位（214m 等高线内），你必须从地表向下钻探（ C ）米才能到达的潜水面？

A. 168； B. 214； C. 大于 46 但小于 52； D. 小于 46。

Q14. 假设位于 X 点位（214m 等高线内）的储油罐开始泄漏，地图上显示的哪口井可能被最早污染（ D ）？

A. 井 A； B. 井 B； C. 井 C； D. 井 D。

Q15. 下面各井水位深度正确的排列顺序为（ B ）。

A. 井 A<井 B<井 C<井 D； B. 井 B <井 A<井 C<井 D；

C. 井 B >井 C >井 A >井 D； D. 井 D >井 C >井 A >井 B。

科学家发现，尽管地球的引力和磁场能够对大气层起到非常好的保护作用，但地球的大气仍然在不断地流失，根据科学家的估算，地球大气的流失速率大概为每年 10 万吨。我们知道，一个物体要脱离地球的引力束缚，就必须具有第二宇宙速度，且呈中性。据此回答下面 Q16-Q17 题。

Q16. 虽然地球有一个强大的磁场，但是它也有薄弱之处，那么地球大气的流失途径包括（ ABC ）。

A. 部分气体分子相互碰撞中获得足够的动能；

B. 大气中电离的“快离子”与速度较慢的中性粒子碰撞，俘获电子成为中性粒子；

C. 从地球的两极地区逃逸；

D. 从地球赤道顶部逃逸。

Q17. 根据大气组成的特征，主要流失的大气分子包括（ AB ）。

A. 氢气； B. 氦气； C. 氧气； D. 氮气。

Q18. 下图是某地发现的某岩层的层面，根据你的知识判断，下面（ A ）是正确的。

A. 该岩层的层面为上层面，因为该图显示了波痕构造；

B. 该岩层的层面为下层面，因为该图显示了印痕构造；

C. 该岩层的层面为上层面，因为该图显示了印痕构造；

D. 该岩层的层面为下层面，因为该图显示了波痕构造。



Q19. 不同的行星具有不同的表面特征，如地球表面分为陆地和海洋，陆地崎岖不平，有山地、丘陵、平原、盆地和高原，月球和水星表面布满了陨石坑。那么塑造行星表面形态特征的主要控制因素有（ ABCD ）。

A. 圈层相互作用； B. 行星的物质组成； C. 陨石撞击； D. 行星环境。

Q20. 假设一个区域中的岩石是倾斜的，如果你沿着地表朝着倾向相反的方向前进，你就会发现（ C ）。

A. 一直走在同一个地层单位内； B. 遇见的地层单位越来越新；

C. 遇见的地层单位越来越老； D. 没有什么规律可言。

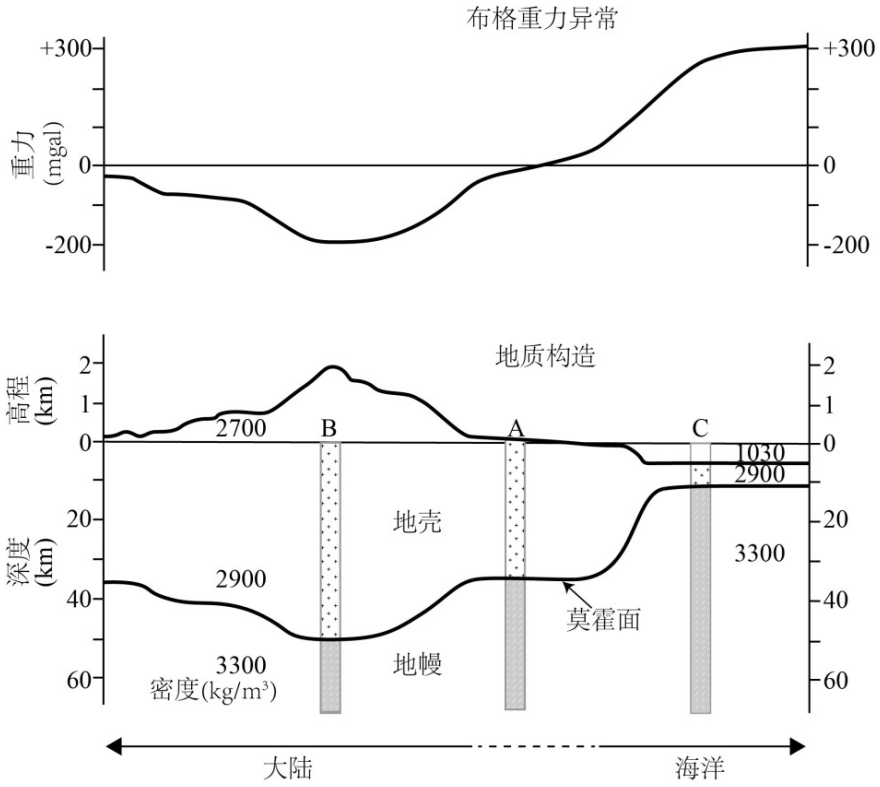
Q21. 下图显示了大陆和海洋过渡地区观测到的布格重力异常的分布曲线和地质构造剖面，从图上可以得到下面正确的结论是（ BD ）。

A. 海洋地区正的布格重力异常是因为海水层的存在；

B. 海洋地区正的布格重力异常是因为海洋地壳较薄；

C. 大陆地区负的布格重力异常是因为地形较高；

D. 大陆地区负的布格重力异常是因为大陆地壳较厚。



Q22. 关于地磁极，下面描述正确的是（ CD ）。

A. 地磁极由实测结果得到，是地球表面上地磁场倾角为 90° 、磁场强度最大的地方；

B. 地磁南、北极极与地球南、北极重合；

C. 地磁极为偶极子地磁轴与地球表面的交点，其连线一定通过地心；

D. 地磁南、北极不与地球南、北极重合。

Q23. 岩体侵入过程中，会烘烤围岩，产生热接触变质晕，其发育程度取决于以下（ ）因素。（ AB ）

A. 岩体的规模； B. 岩体侵位深度；

C. 岩体的酸性程度；D. 岩体与围岩接触面的平缓程度。

Q24. 氢一直以来被认为是一种最清洁的燃料、良好的能量载体和零碳可持续的理想能源。实际上氢气在地下无处不在，天然氢是一种地下可持续由地质作用生成的氢，氢气生成的过程可发生在地下的浅部和深层，深部生成的氢气也可以运移到浅部，当氢气逸出到地表时可以被观测到。1970 年代，科学家发现在大洋中脊“黑烟囱”热液中富含氢气，后来在陆地也陆续发现了自然氢气的存在。虽然地球氢气的生成机制尚无定论，但普遍认为主要有（ BCD ）来源。

A. 花岗质岩浆的脱气作用； B. 微生物有机质分解；

C. 水自然辐射分解； D. 水与超基性岩石发生反应或蛇纹岩水岩反应。

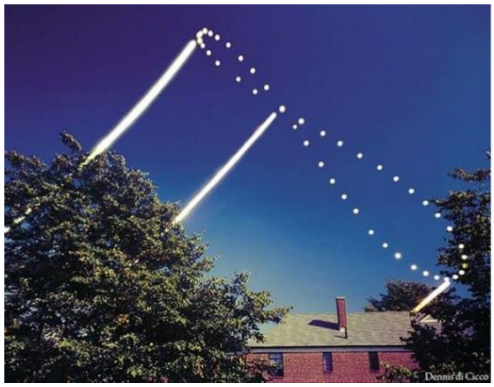
Q25. 在地球上观测周年日行迹的形状很像 8 字形（如下图），其原因有（ ABC ）。

A. 地球在绕太阳公转的同时也在自转，而且自转轴倾斜；

B. 地球的公转轨道是椭圆，地球和太阳的距离时近时远，地球的公转速度也随之时快时慢；

C. 真太阳并非在每天正午（最高点）都正好处于正南方向；

D. 平太阳并非在每天地方平时正午（12 点）都正好处于正南方向。





注：第二版解答中答案有误，决赛时按照原答案AB评分。经竞赛委员会全面复核，确认此次错误未改变最终奖项排名，所有结果维持有效。竞赛委员会对由此造成的不便深表歉意，并将进一步加强审核流程，完善命题与评卷机制，杜绝类似问题再次发生。感谢广大师生的监督与反馈。本次修改的详细解释将在竞赛委员会即将出版的真题解析（2023－2025）中给出。

二、综合分析题，答案请写在答题纸上。

Q26-Q31 背景材料

同位素及同位素分馏是地球科学中非常重要的示踪手段，也是我们了解地球历史上发生的事件的一把钥匙。经由对不同同位素分馏体系的原理探讨及实验，我们得以解译地质样品的同位素数据背后发生的故事。在本题中，我们将对同位素分馏的基本原理进行简单介绍，并以 S 同位素为例对地球历史上的一次重大的环境转折事件进行探索。（共 33 分）

（1） 同位素效应

自然界中的一些元素具有多个同位素。以 S 元素为例，S 具有 $^{32}S/^{33}S/^{34}S/^{36}S$ 四种稳定同位素。虽然同位素具有极其相似的化学行为，但在自然界不同的含 S 化合物中，我们观

察到这四种同位素的含量并非恒定。这种由于原子质量数不同而引起的同位素化学和物理性质变化，我们称之为同位素效应。在同位素地球化学领域，我们通常采用δ值来表示物质的同位素组成。以 S 同位素为例，

$$\delta^{x}\mathrm{S}=\left(\frac{R^{x}_{样品}}{R^{x}_{标样}}-1\right)\times 10^{3}(‰)$$

其中 x 代表不同的硫同位素的质量数（x=32,33,34 或 36），R代表对应的下标（测试样品或标样）中该同位素（^{x}S）与自然界中丰度最高的硫元素的同位素（^{32}S）含量之比。请根据以上信息回答问题 Q26:

Q26. 实验室中新测试了一批不同地质时期的黄铁矿（FeS_2）样品的硫同位素。实验通过质谱仪进行，能够测试样品中 ^{32}S、^{33}S、^{34}S 的相对含量。样品 A 的年龄约为 25 亿年，其由仪器所读出的三种硫同位素的相对含量依次为 19214700、153081、847556；样品 B 的年龄约为 5 亿年，其三种硫同位素的相对含量依次为 300975000、2376070、13335500。样品 A 与样品 B 采用了同一标样进行校准，标样三种硫同位素的相对含量依次为 1000000000、7888000、44234000。请分别计算样品 A 与样品 B 的δ^{33}S与δ^{34}S（答案保留小数点后两位）（10 分）

答案：由题述公式得　　$\delta^{33}_{A}\mathrm{S}=10.00$，　$\delta^{34}_{A}\mathrm{S}=-2.81$，　$\delta^{33}_{B}\mathrm{S}=0.83$，　$\delta^{34}_{B}\mathrm{S}=1.67$

（2）同位素的质量分馏与非质量分馏

同位素效应源于量子力学效应。根据 Born-Oppenheimer 近似，一个分子的能量可以大致被分为分子内部的振动动能和电子运动能量以及分子作为一个整体的平动与转动能量。其中，分子振动的基础频率与其中的同位素的质量数相关，从而意味着一般情况下较轻的同位素组成的化学键要弱于较重的同位素组成的化学键，导致含有轻同位素的分子比含有重同位素的分子更容易参与反应。这种由于同位素质量差异而导致的对于同位素的选择性富集被我们称为同位素质量分馏效应（mass dependent fractionation，简写为 MDF）。自然界中的绝大多数物理与化学过程均遵循同位素质量分馏效应。

然而，自然界中存在一些特殊的不遵循质量分馏效应的物理化学反应，这些反应会使得其产物与反应残余物的同位素组成不遵循质量分馏效应的比例关系。这种不依赖于质量差异而产生的同位素分馏被我们称为同位素的非质量分馏（mass independent fractionation，简写为 MIF）。同位素的质量分馏与非质量分馏效应不会相互影响。举例而言，如果一种物质首先经历了造成非质量分馏的反应，之后经历了造成质量分馏的反应，则经历两步反应之后的反应产物既携带第一步反应造成的非质量分馏效应也携带第二步反应造成的质量分馏效应。为了刻画造成非质量分馏的反应的强度，我们利用Δ值来表示物质的同位素组成偏离质量分馏的程度。Δ值的具体表达式并未得到统一，在本题中我们采用以下表达式：

$$\Delta^{x}\mathrm{S}\ =\ \delta^{x}\mathrm{S}-\theta\delta^{34}\mathrm{S}$$

其中x=33 或36。θ的值与同位素的质量数呈对应关系：x=33 时，θ = 0.515；x=36 时，θ = 1.90。请根据以上信息回答问题 Q27：

Q27. 样品 A 与样品 B 是否存在显著的非质量分馏？试计算样品 A 与样品 B 中存在非质量分馏的样品的$\Delta^{33}S$值。（答案保留小数点后两位；若$|\Delta| < 0.1$，则视为不存在非质量分馏）（5 分）

答案： 由题目信息可知，　$\Delta^{33}_{A}S = 11.45$，　样品 **A** 存在显著的非质量分馏。

同理，　$\Delta^{33}_{B}S = -0.03$，　样品 **B** 不存在显著的非质量分馏。

（3） 早期地球的硫循环与硫的非质量分馏

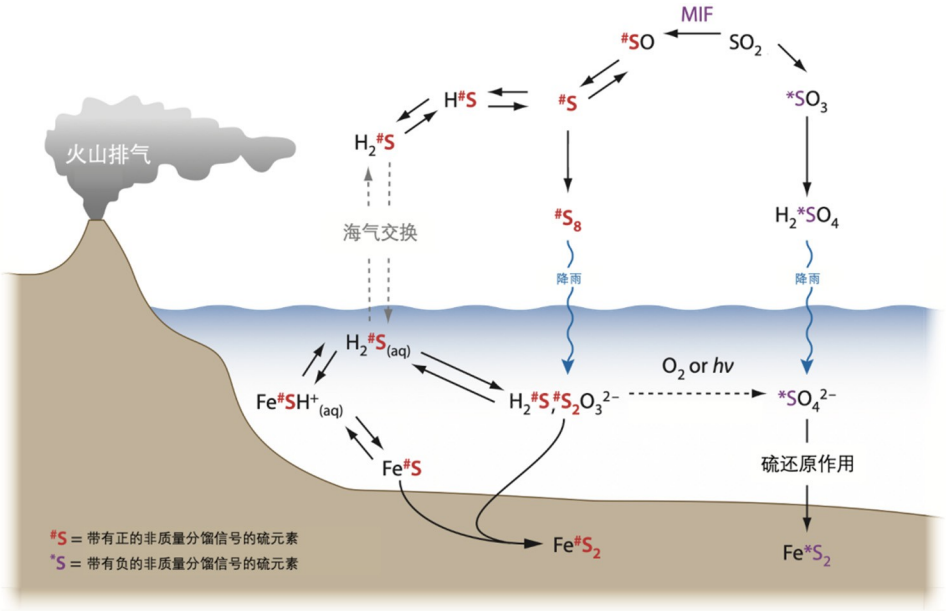


图 1

在早期地球的沉积记录中，我们在黄铁矿中广泛地观察到了硫元素的同位素非质量分馏。图 1 为我们推测的早期地球的硫循环过程。在硫循环过程涉及的所有反应中，我们认为硫元素的非质量分馏仅能由大气层中二氧化硫的歧化作用产生，其余的所有过程均仅能产生质量分馏。所有需要考虑的可能携带硫的非质量分馏信号的反应路径均已在图中给出，不需考虑任何其他的副反应过程或副产物。请仔细阅读图 1，并根据图 1 和以上内容回答问题 Q28和Q29：

Q28. 请写出图表 1 中以下三个过程的化学反应方程式：①二氧化硫的歧化反应；②硫单质的歧化反应；③硫酸根通过硫还原作用被有机质还原生成黄铁矿的反应（有机质的化学式可用 CH_2O 代表）（10 分）

答案：

① $2SO_2 \longrightarrow SO + SO_3$

② $S_8 + 6H_2O \longrightarrow 4H_2S + 2S_2O_3^{2-} + 4H^+$

③ $4SO_4^{2-} + 7CH_2O + 2Fe^{2+} + 4H^+ \longrightarrow 2FeS_2 + 7CO_2 + 9H_2O$

Q29. 在带有负的非质量分馏信号的硫元素的硫酸根中，硫元素可能来源于哪些物理或化学反应？（仅考虑一步物理或化学反应）（5 分）

答案： 可能来源于大气中含硫酸的降雨；也可能来自于硫代硫酸根的氧化。

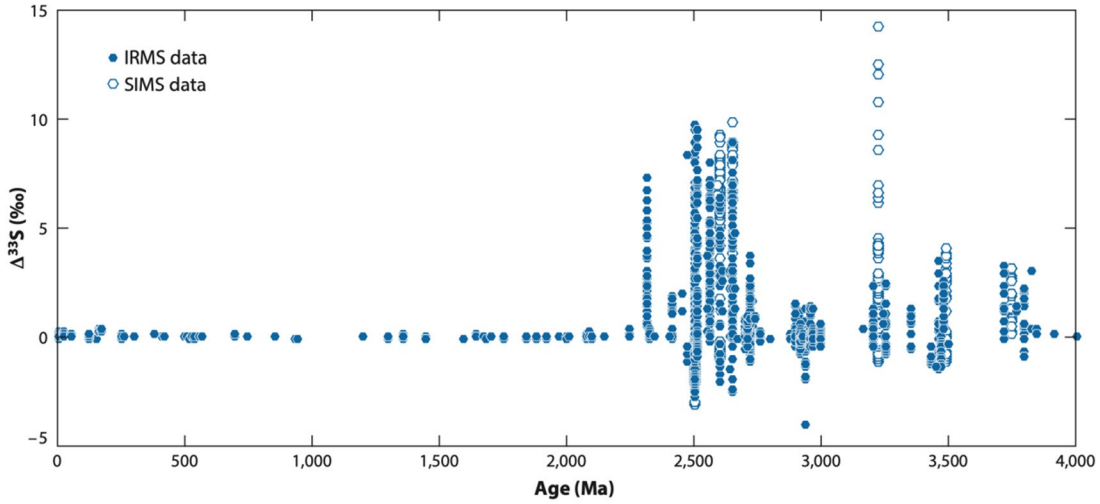


图 2

科学家们曾对地质历史中大量的黄铁矿的硫同位素数据进行测试。图 2 为目前汇总的地质历史上不同时期的黄铁矿的硫同位素数据。SIMS 与 IRMS 是对于硫同位素的两种不同的测试手段。在本题中，我们认为这两种测试手段不会对结果有显著影响，可以等同看待。请根据以上内容与图 1 和图 2 回答问题 Q30：

Q30 在上图中，我们观察到硫的非质量分馏具有不对称性：非质量分馏的正信号的强度的绝对值远高于非质量分馏的负信号。请根据图 1 对这一现象做出解释。（10 分）

答案：

解释一：在二氧化硫的歧化反应中，生成物的比例为一比一，说明在非质量分馏中形成的正信号与负信号本应是对称的。但在硫代硫酸根被氧化为硫酸根的反应中，带正信号的硫元素混合入了带负信号的硫元素中，从而稀释了负信号。（只要答出硫代硫酸根氧化混合造成稀释即可）

解释二：来源于大陆氧化风化的不带非质量分馏信号的硫酸根混合入了带负信号的硫元素中，从而稀释了负信号。（只要答出大陆风化混合造成稀释即可）

以上两个解释答出任意一条即全部给分。

非质量分馏得以发生的普遍机理我们现在仍未得知。但就图表 1 而言，我们认为大气中的二氧化硫在歧化反应的过程中出现非质量分馏是由于发生了特殊的光化学反应。这一反应可简化为如下过程：

$$SO_2 + h\nu\ (190\sim220\ \text{nm}) \longrightarrow SO +$$
$$O\ SO_2 + O + M \longrightarrow SO_3 + M$$

其中，M 为任意的其他气态分子（如 N_2），仅提供反应位点，但其自身物质不参与反应。需要注意的是，这一反应对于光照的波长具有强烈的选择性，仅能在紫外波段照射下发生。请根据以上信息及图 1、图 2 回答问题 Q31：

Q31. 在图 2 中，我们发现地质历史上黄铁矿中硫元素的非质量分馏仅在约 23 亿年前存在，在之后消失。这一时间同样存在其他的地质记录的突变。在 23 亿年之前的沉积物里有碎屑型黄铁矿（即经过剥蚀搬运后沉积下来的黄铁矿）、古土壤里有菱铁矿($FeCO_3$)，但之后，沉积物里没有碎屑型黄铁矿，而古土壤中多见赤铁矿(Fe_2O_3)；同时这一时期也有着大量红层沉积的出现。请根据图 1、图 2 及以上信息推测这一时期的地球表面环境发生了怎样的转变。（5 分）

答案：① 大气氧气含量的升高。②臭氧层的形成。

Q32-Q36 背景材料

电离层是地球大气层被太阳射线电离的部分，它是地球磁层的内界。由于它影响到无线电波的传播，它有非常重要的实际意义，如图 3。

地球大气层最下面的一层是对流层，它从地面延伸到约 10 公里的高处。10 公里以上为平流层，再向上为中间层。在约 80 公里以上的增温层大气已经非常稀薄，在这里阳光中的紫外线和 X 射线可以使得空气分子电离，自由的电子在与正电荷的离子合并前可以短暂地自由活动，这样在这个高度造成等离子体。在这里自由电子的数量足以影响电波的传播。

在电离层中阳光电离大气分子与离子重新捕获自由电子的过程平衡。一般来说高度越高，大气越稀薄，则电离过程越占上风。不过电离层的特性还受到许多其它因素的影响。

电离过程的主力是太阳活动。电离层内电离度主要由获得的太阳辐射所影响。因此电离层随周日和季节（冬季阳光入射角度较低，因此受到的辐射比较少）而变化。太阳活动主要随太阳黑子周期而变化。一般来说太阳表面黑子越多，太阳活动越强烈。除此以外随地球表面纬度的不同当地受到的太阳辐射强度也不同。耀斑和太阳风中的带电粒子可以与地球磁场相互作用，导致对电离层的扰乱。

电离层被用来反射和传送高频无线电信号。反射后的信号回到地球表面，可以再次被反射到电离层。电波可以使得电离层里的自由电子以同样的频率振荡。若此时自由电子被捕获的话，则电波中的部分能量会消失。假如电离层内自由电子的碰撞频率小于电波频率，且自由电子密度够高，则电波能够有全反射的现象。当电波频率高于电离层内的等离子频率时，会因电子运动不够快而使得电波得以穿透电离层。

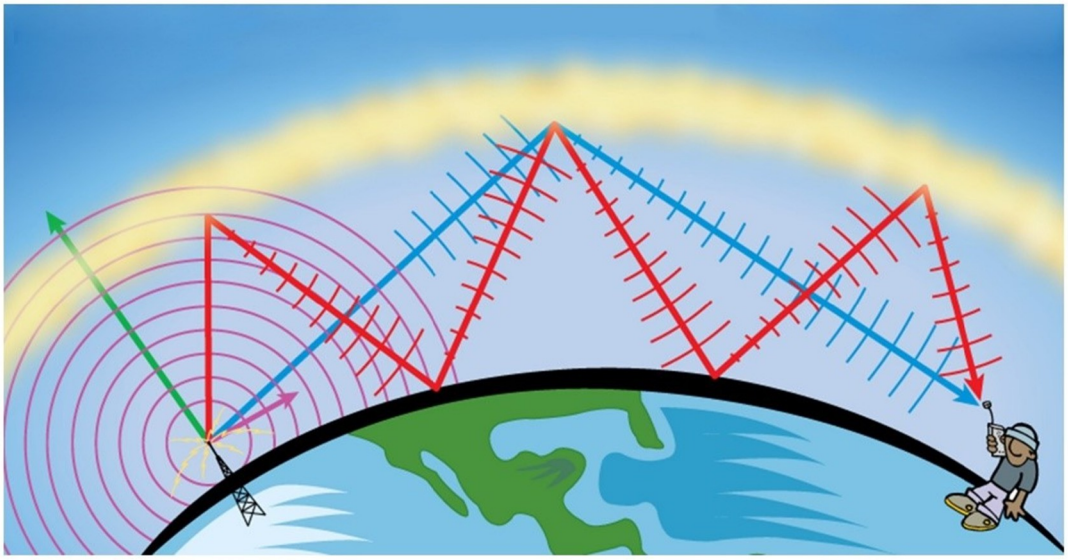


图 3 电离层与电波传播示意图。来源：《探索空间天气的秘密》

1. 标高的概念及计算

假设一个简单的大气模型：只存在一种类型的气体，分子质量为 m；水平方向上分层；等温，绝对温度为 T（绝对零度$T_0=-273℃$）；处于静力学平衡态。则该大气模型中气体分子

数密度$n(z)$随高度z的变化可以表示为 $n(z)=n_0\exp\left(\frac{z_0-z}{H}\right)$ 其中z_0为某一标准面的高度，$n_0=n(z_0)$为该标准面上的大气分子数密度。H为大气标高。

Q32. 理想气体常数为$R=8.31\ \mathrm{J\cdot K^{-1}\cdot mol^{-1}}$,重力常数为$g=10\ \mathrm{m/s^2}$. 请给出$H$的表达式。并计算假设大气温度为 15 摄氏度，大气平均分子量为 28.8 时的大气标高。（15 分）

答案： $H=\dfrac{RT}{Mg}=8310\ \mathrm{m}$

2.分子的电离与复合过程

在上述模型的基础上，讨论电离层的形成。大气中的分子受到太阳极紫外辐射的影响，会发生光电离，产生电子和离子。自由电子可能和离子发生复合而失去。如下：

$$h\nu+\mathrm{X}\longrightarrow\mathrm{X^+}+\mathrm{e^-}$$
$$\mathrm{X^+}+\mathrm{e^-}\longrightarrow h\nu+\mathrm{X}$$

2.1 电离层电子密度控制方程

电离层中同时发生着电离产生电子和复合失去电子两个过程，且总体静止并处于电中性。其中，单位时间单位体积电离产生电子 q 个（单位为 个 $\mathrm{m^{-3}\ s^{-1}}$），单位时间单位体积发生复合的电子数为$\alpha n[\mathrm{X^+}]n[\mathrm{e^-}]$，其中$\alpha$为系数。

Q33. 请写出电子数密度的时间导数表达式。（5 分）

答案： $\dfrac{\mathrm{d}n_\mathrm{e}}{\mathrm{d}t}=q-\alpha n_\mathrm{e}^2$

2.2 Chapman 模型

1931 年，悉尼·查普曼提出了一个简单的数学模型，用于解释电离层的形成，该模型基于这样一个事实：来自太阳的高能光子将空气分子分解成电子和正离子。该模型描述了电离层不同层中观测到的主要特征变化。

已知，电子辐射产生率q随高度z和太阳天顶角χ的分布可以表示为：

$$q(\chi,z)=I_\infty\sigma\eta n(z)\cdot\mathrm{e}^{\tau\sec(\chi)}$$

其中$n(z)$为中性气体分子沿高度的分布，I_∞为与太阳紫外辐射强度相关的常数，σ为吸收截面，η为单位体积的气体在单位时间内吸收单位能量产生的电子-离子对数，$\tau=\sigma nH$. 天顶角指的是太阳与某地连线距离中天的角度，在赤道，正午太阳天顶角为 0 度，午夜太阳天顶角为 180 度。

Q34.最大电离产生率出现在哪个高度上？请写出表达式。（10 分）

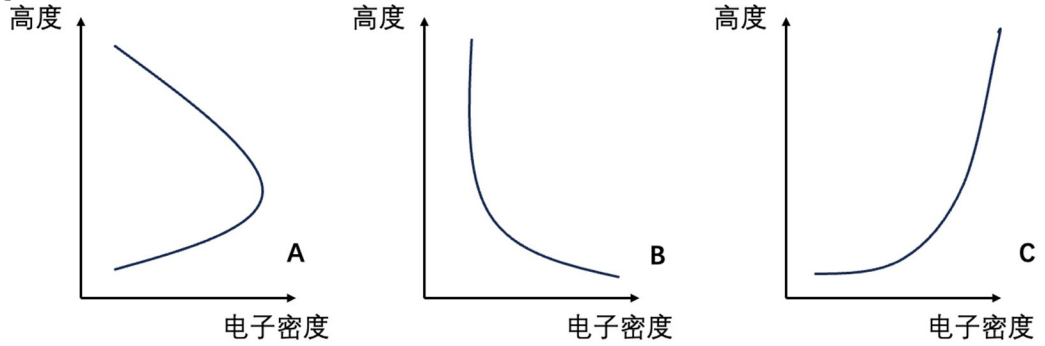
答案： $z=z_0+H\cdot\ln(n_0\sigma H\sec\chi)$

2.3 峰值电子密度

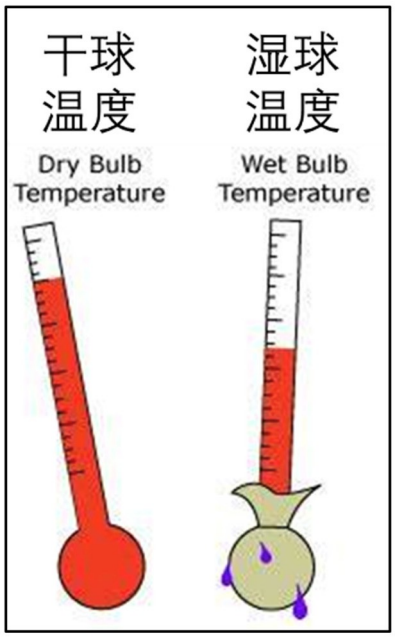
Q35.请计算电离层剖面峰值电子密度的表达式。（5 分）

答案： $n_{\mathrm{e,max}}=\sqrt{\dfrac{I_\infty\eta}{\alpha\mathrm{e}H}\cos\chi}$

Q36. 以下三个选项中，哪一个是电离层电子密度随高度变化的剖面？（5 分）（ A ）



Q37-Q43 背景材料





#	A 干球温度	B 湿球温度	C 天气状况	D 气压
1	14	-2	晴好	1000 hPa
2	[redacted]	-1.5	晴好	925 hPa
3	9	1	晴好	950 hPa
4	4	[redacted]	多云，小雨	900 hPa
5	1	1	[redacted]	850 hPa
6	[redacted]	[redacted]	多云，中雨	825 hPa
7	[redacted]	-2	多云，小雪	800 hPa
8	3	-7	晴好	[redacted]
9	8	[redacted]	晴好	900 hPa
10	18	-16	晴好	1000 hPa

李老师带领全班同学去爬山，在上山、翻越山顶、下山过程中完成了许多次测量。其中， A 同学用普通的温度计测得“干球温度”；B 同学用球泡覆盖有湿纱布的温度计测得“湿球温度”（示意图如下）；C 同学记录了肉眼可见的天气情况；D 同学则用金属空盒气压计测得了气压。所有测得数据见下表，由于过程中经历了下雨，其中部分数据记录有污损，看不清了。请根据这些信息进行初步分析，回答 Q37-Q43 题。

Q37. 关于 *B*：湿球温度通常比干球温度高还是低？从物理上解释为什么？（5 分）

答案：湿球温度通常比干球温度低（或在空气饱和时相等）。原因：汽化潜热。

Q38. 关于（*A-B* ）：干球温度与湿球温度的差的绝对值，反映了哪个气象要素（*X*）的变化？是（*A-B*）越大 *X* 也越大？还是相反？（5 分）

答案：干球温度与湿球温度的差的绝对值（*A-B*），反映了相对湿度（*X*）的变化关系是相反的。即 (*A-B*) 越大，相对湿度 (*X*) 越小。

Q39. 请进行总体判断并说明理由：哪几次测量发生在上山阶段？哪几次测量发生在下山阶段？在哪两次测量之间，队伍到达了山顶？估计山顶有多高？（5 分）

答案：上山阶段：#1-#7；下山阶段：#8-#10；到达山顶：#7和#8之间；2400 m (1900–2500 m 均给分)

Q40. 开始上山后，为什么一开始天气晴好？之后为什么就开始下雨了？再之后为什么还会下小雪？请从这背后的物理过程的角度进行说明。（5 分）

答案：天气晴好（#1-#3）：在上山初期，湿润的空气被地形强迫抬升，随着海拔升高，空气因压力降低而绝热膨胀降温。但此时温度尚未降低到露点，空气未达到饱和状态，天气晴朗。

下雨（#4-#6）：随着空气继续爬升，并逐渐冷却。在测量点#4附近，空气温度降低到了其露点温度，空气达到饱和。水汽开始凝结成微小的云滴，逐渐形成云，随着云滴不断碰撞合并增大，最终形成雨滴降落，开始下雨。

下小雪（#7）：当空气爬升到更高处（#7），气温已经降到0℃以下。此时，云中的过冷水滴或水汽会凝华形成冰晶。冰晶通过凝华和碰撞聚合增长，最终以降雪的形式落下。

Q41. 在雨区，温度随高度是增加还是减少？其变化速率比晴空区的变化速率是快还是慢？为什么？（5 分）

答案：在雨区，温度随高度减少，其变化速率比晴空区慢。原因：在雨区，空气上升时按湿绝热递减率降温。

Q42. 整个翻山过程前后，干球温度从 14 升至 18，湿球温度从 - 2 降至-16，这是为什么？

请从热量和水汽两个角度进行说明。（5 分）

答案：焚风效应。

从热量角度看：空气在翻越山脉后变得更暖。这是因为空气在上山的迎风坡，因水汽凝结释放了潜热，导致其按较慢的湿绝热递减率降温。但在下山的背风坡，空气已经变得干燥，它会按更快的干绝热递减率增温。因此，对于相同的海拔高度变化，下沉增温的幅度大于上升降温的幅度，导致空气到达山脚时比出发时温度更高（从 14℃升至 18℃）。

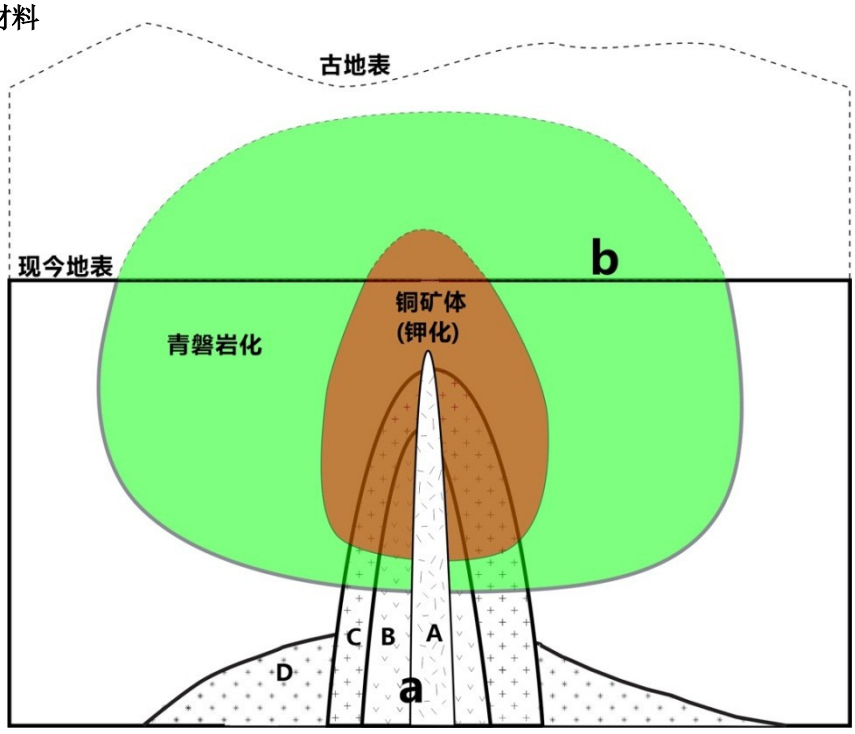
从水汽角度看：空气在翻越山脉后变得更干。这是因为空气在迎风坡上升过程中，通过下雨和下雪的形式，将所含的大部分水汽都脱除了。因此，到达背风坡的空气水汽含量低，相对湿度小，并表现为较大的干湿球温差（在#10，干温 18℃，湿温 –16℃，温差达 34℃）和较低的湿球温度。

Q43. 在爬山过程中，同学们都发现上山坡草木茂盛，而下山坡草木干疏，这是为什么？（5 分）

答案：这是由焚风效应造成的雨影现象。

上山坡是迎风坡，来自远方的湿润气流在此被地形强迫抬升，冷却并形成大量降水（雨和雪），充沛的降水为植物生长提供了有利条件，因此草木茂盛。而下山坡是背风坡，当气流翻过山顶后，在背风坡下沉，变得温暖而干燥（如Q42所述）因此背风坡降水稀少，气候干旱，形成了“雨影区”，不利于大多数植物生长，植被稀疏，且多为耐旱物种。

Q44-Q49 背景材料



炽热的岩浆会从地壳深部上升到较浅部位冷凝固结成岩，在某一位置可以出现多次岩浆侵位。当岩浆侵位时，岩浆与已固结的围岩之间有温度差，即岩浆与围岩界面附近温度梯度较大。这一温度梯度会在该岩浆结晶过程中留下蛛丝马迹。此外，岩浆中可能含有铜等具有经济价值的元素，在岩浆结晶晚期这些铜可能会被释放出来聚集成铜矿体。

Q44. 现代测试手段会有一定的测试误差，如果多个岩体形成时代相近，则在误差范围内无法利用绝对年龄区分各岩体的相对早晚，此时需根据野外侵入关系确定早晚。侵入较晚的岩体会占据早期已固结岩体的位置。根据提示请推断 A、B、C、D 四个岩体的形成顺序。（5 分）

答案：从早到晚：D、C、B、A。

Q45. 假设 D 岩体为 SiO_2 含量较低的基性岩浆，试根据鲍文反应序列推测该岩体可能具有的宏观特点。（5 分）

答案：

矿物成分：以橄榄石、辉石、钙长石为主。

岩石结构：全晶质结构或等粒结构。

岩石产状：岩基或岩盆。

颜色与密度：颜色呈现黑色或暗色，岩石密度较大。

Q46. 岩浆缓慢降温时晶体有足够时间生长，此时岩浆结晶的矿物颗粒通常较大。反之，岩浆快速降温则会形成大量细小的矿物颗粒。据此请推断 a 处可能会出现的现象。（5 分）

答案：a处岩体B中晶体颗粒较大，而岩体A中晶体颗粒较小，岩体B和岩体A内部从外围向内晶体颗粒有变大的趋势。岩体B与岩体A的接触部位晶体颗粒比与岩体C的接触部位晶体颗粒大。

Q47. 岩浆冷却结晶晚期，会有大量流体从岩浆中释放出来并聚集，这些高温流体与冷的围岩相互作用可能会形成有经济价值的铜矿体。根据图示及前面各题的提示，请确定 A 岩体与铜矿体形成时间的关系并探讨 A 岩体对铜矿体的保存是否有益？（5 分）

答案：岩体A的形成时间晚于铜矿体，不利于铜矿体的保存。

Q48. 铜矿体通常发育于钾化带中，钾化也是距离成矿岩体最近的蚀变类型。在钾化的外围，通常发育空间分布范围更广的青磐岩化。在实际找矿勘查过程中，当发现钾化和青磐岩化中哪一个时对找矿勘查更具有实际意义？（5 分）

答案：发现青磐岩化对找矿勘查更具有实际意义。

Q49. 青磐岩化中常出现绿泥石这种矿物，绿泥石中常含有微量的 Ti 和 Sr，前人研究表明绿泥石 Ti/Sr 比值与绿泥石距离成矿岩体的距离有如下关系：$Ti/Sr=3\times10^{6}e^{-0.0088x}$，$x$ 为绿泥石距离成矿岩体的距离。据此请回答：在 b 区域中给你若干含绿泥石的样品，如何通过

其中的 Ti/Sr 比值大致确定成矿岩体在地表的垂直投影的位置？（5 分）

答案：先将每个样品的Ti/Sr比值代入公式中，我们得到每个样品与成矿岩体的距离 $x=-\frac{\ln\left(\frac{\mathrm{Ti/Sr}}{3\times10^{6}}\right)}{0.0088}$。在平面地图上，以每个绿泥石样品的采样点为圆心，以计算所得该样品与成矿岩体的距离x为半径作一个圆，这些圆会相互相交，我们会得到一片交点十分密集的区域，成矿岩体在地表的垂直投影大致在该区域的中心。

Q50 背景材料

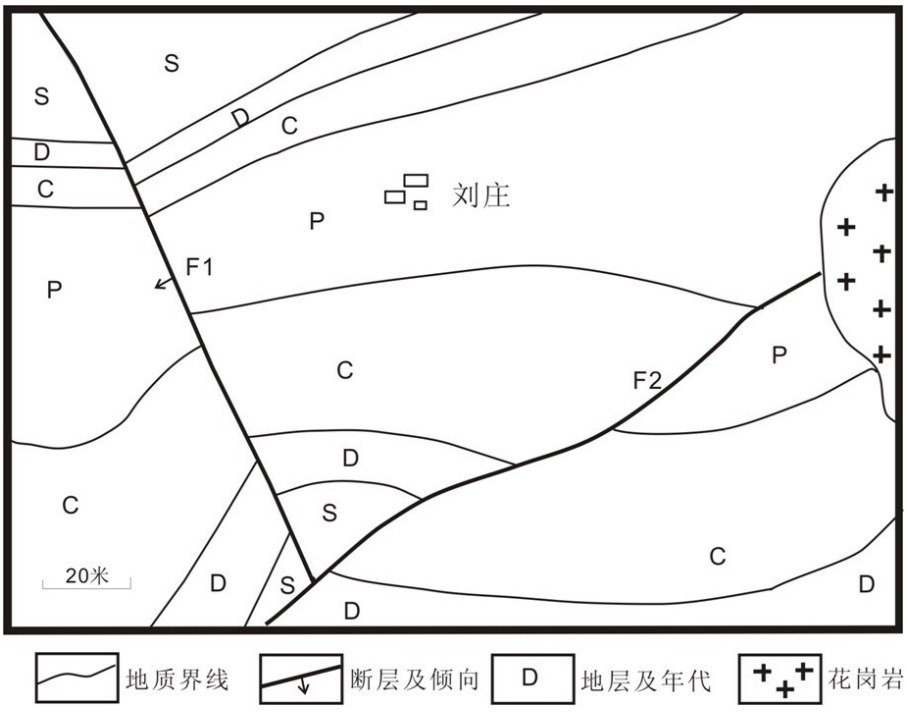
维恩位移定律描述了在一定温度下，绝对黑体的温度与最强辐射波长的乘积为一常数这一规律。太阳的表面温度约 5900 K，可以被近似看着绝对黑体，那么根据该定律可知，太阳的最强电磁辐射波长大约为 491 nm。那么，如果我们要设计一个卫星遥感传感器来探测地球表面的火点（如森林大火），火点的温度通常会因为燃料等的差异大致在 300~800 摄氏度，

Q50.请问该遥感传感器的波段设置应该在什么波长范围？（10 分）

答案：2.70 μm～5.05 μm

Q51-53 背景材料

地质图是将各种地质体的界线、特征、产状和地质构造以及有意义的地质现象按照规定的图例符号和比例垂直投影、概括缩绘在地形（地理）底图上所制成的图件。刘庄地区地层呈正常层序出露，志留系、泥盆系为豹皮状灰岩、泥质条带灰岩、鲕状灰岩、竹叶状灰岩、石灰岩等；石炭系为硅质白云岩，二叠系石英砂岩、炭质粉砂岩和页岩、并夹有数层可采煤层。



Q51. 阅读刘庄地区地质图（上图），分析不同时代地层的接触关系；列出各种地质体和地

质现象，描述其特征；并给出各种地质体和地质现象的发育顺序。（10 分）

答案：

地层: 志留系(S)、泥盆系(D)、石炭系(C)、二叠系(P)。

侵入岩: 东部的花岗岩体。

构造: 一条横穿西部的断层F1；一个以二叠系(P)为核部的向斜构造。

接触关系:

1.整合接触: 志留系、泥盆系、石炭系、二叠系之间为连续沉积的整合接触关系。

2.侵入接触: 东部的花岗岩体侵入到石炭系和二叠系地层中，形成侵入接触关系。

3.断层接触: 断层 F1 切断并错开了志留系、泥盆系、石炭系和二叠系地层，两侧地层为断层接触。

发育顺序（由老到新）:

1.沉积作用: 在古海洋和陆地环境中，依次沉积形成了志留系(S)、泥盆系(D)、石炭系(C)和二叠系(P)地层。

2.褶皱作用: 区域性的挤压构造运动使上述水平地层发生褶皱，形成了现今看到的向斜构造。

3.侵入作用: 花岗岩浆沿地壳薄弱带侵入到已经褶皱的地层中，冷却形成花岗岩体。

4.断裂作用: 在岩体侵入之后或同期，发生了断裂作用，形成断层F1，它切断了已经形成的向斜和地层。

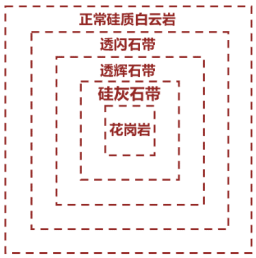
5.剥蚀作用: 长期以来，地表受到风化剥蚀，从而形成了今天的地貌。

Q52. 从外围正常的硅质白云岩到花岗岩体依次出现：透闪石带 $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$、透辉石带 $CaMgSi_2O_6$ 和硅灰石（$CaSiO_3$）带，指出它们的发育部位，并画出从岩体到正常硅质白云岩的平面图。这些变质矿物形成过程经历的是什么化学反应？岩体与石英砂岩接触部位，又会发育什么现象呢？（10 分）

答案：

发育部位与平面图：这些带呈环带状围绕花岗岩体分布，由内向外（即从接触带向外围）依次是：硅灰石带 (紧邻岩体) → 透辉石带 → 透闪石带 (最外围) → 正常的硅质白云岩。

（平面简图如下）



化学反应：通过接触变质/交代作用，侵入体提供热量、Si（及流体），与含 Ca、Mg 的围岩（白云岩等）反应，生成 Ca–Mg–Si 矿物并释放 CO_2，因此可写出化学反应方程式：

$$CaCO_3+SiO_2 \xlongequal{} CaSiO_3+CO_2$$

$$CaMg(CO_3)_2+2SiO_2 \xlongequal{} CaMgSi_2O_6+2CO_2$$

与石英砂岩接触的现象：岩体与石英砂岩（主要成分为SiO_2）接触，会发生热力变质作用。由于化学成分单一，并不会发生过于复杂的化学反应，主要以重结晶作用为主。石英砂岩中的石英颗粒会重新结晶，形成颗粒变粗、结构致密的变质岩（即石英岩）。

Q53. 假设花岗岩中的锆石形成时不含 Pb，所有的 ^{206}Pb 都是 ^{238}U 衰变形成，且一个 ^{238}U 衰变后最终形成一个稳定的 ^{206}Pb。^{238}U 衰变为 ^{206}Pb 的半衰期为 4.468×10^{9} 年，衰变常数λ为 1.55125×10^{-10}/年。测试了 10 个锆石颗粒的 ^{206}Pb 和 ^{238}U 含量，数据见下表。根据衰变方程：$^{206}Pb=^{238}U(e^{\lambda t}-1)$，计算岩浆岩形成的平均年龄。（10 分）

锆石颗粒号	B-01	B-02	B-03	B-04	B-05	B-06	B-07	B-08	B-09	B-10	B-11
$^{206}Pb(\times10^{-6})$	1.89	5.73	1.35	1.85	1.56	0.37	3.06	0.85	0.89	2.75	1.14
$^{238}U(\times10^{-6})$	90	267	63	84	73	18	142	40	41	128	48

答案：137 Ma

三、野外实践考察试题

此部分共 15 小题，共计 20 分。请仔细阅读题干，并根据野外观察和图片展示，回答相关问题。除特殊说明外，均为单项选择题。




上图左（远景）和上图右（近景）为某一岩石的野外露头，根据野外观察，并结合图片展示，回答 Q1-Q4 问题，每题 1 分。

Q1.图中岩石岩性为（ B ）。

A. 正长岩　　B.花岗岩　C.安山岩　　D.闪长岩

Q2. 根据该岩石形成深度和产状判断，该岩石为（ C ）。

A. 喷出岩　　B.浅成岩　C.深成岩　　D.沉积岩

Q3. 该岩石的主要矿物成分可能为（ C ）。

A. 石英、正长石、斜长石、辉石　　B.石英、斜长石、橄榄石、角闪石

C. 石英、正长石、斜长石、黑云母　　D.石英、正长石、辉石、黑云母

Q4. 形成该类岩石的岩浆喷出地表后形成的岩石类型为（ B ）。

A. 安山岩　　B.流纹岩　C.玄武岩　　D.粗面岩



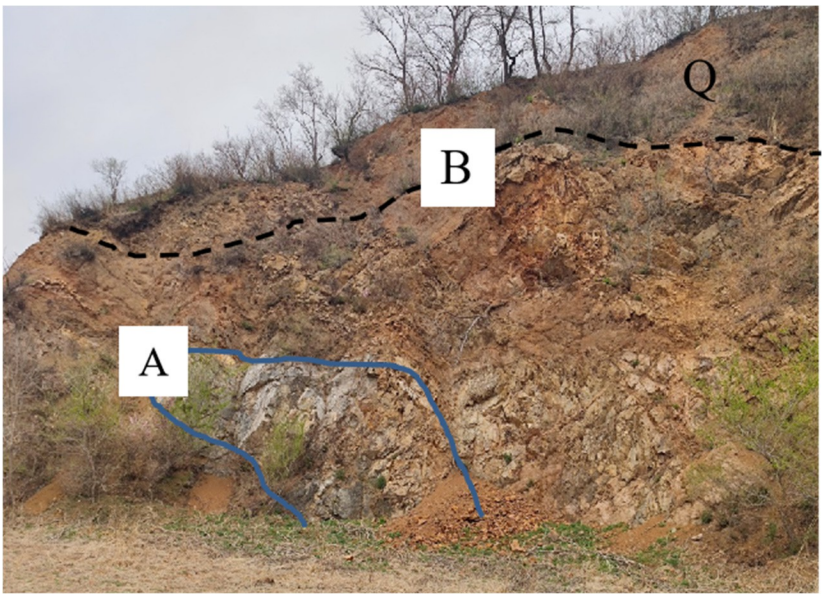
上图为野外剖面中的局部露头，据此回答 Q5-Q6 问题。

Q5. 图中所指示的构造面为（ B ）。（此题 1 分）

A.层理面 B.断层面 C.构造接触面 D.劈理面

Q6. 与图中所示构造现象相关的地质现象可能有（ ABD ）。（此题 2 分，不定项选择题，多选或漏选均不得分）

A.擦痕 B.阶步 C.斜层理 D.断层角砾岩



根据野外观察，并结合上图展示，回答 Q7-Q8 问题，每题 1 分。

Q7. 该野外露头 A 处界线展示的是（ B ）接触关系。

A. 整合 B.侵入 C.角度不整合 D.沉积

Q8. 该野外露头 B 处界线展示的是（ D ）接触关系。

A.整合 B.侵入 C.角度不整合 D.沉积



Q9. 上图中主要观察的野外地质现象有（ B ）。（此题 2 分）

A. 断层 B.根劈 C.节理 D.不整合面



Q10. 上图中观察到的节理类型主要有（ BD ）。（此题 2 分，不定项选择题，多选或漏选均不得分）

A. 张节理 B.剪节理 C.层节理 D.共轭节理





根据野外观察，并结合上图展示，回答 Q11-Q13 题，每题 1 分。

Q11.你观察到的岩石类型是（ C ）。

A. 沉积岩 B.变质岩 C.岩浆岩 D.火山岩

Q12.根据矿物含量，该岩石可定名为（ B ）。

A. 花岗闪长岩 B.正长花岗岩 C.二长花岗岩 D.流纹岩

Q13．该岩石具有的结构是（ A ）。

A. 半自形粒状结构 B.碎屑结构 C. 斑状结构 D.变晶结构



根据野外观察，并结合上图展示，回答 Q14-Q15 题，每题 2 分。

Q14. 图中可以观察到何种构造现象（A）。

A.层裂 B.释重节理 C.球状风化 D.断层

Q15. 图中岩石如果形成于侏罗纪，那么它的形成可能与（B）运动有关。

A. 印支运动 B.燕山运动 C.海西运动 D. 吕梁运动

2024-2025 学年全国中学生地球科学奥林匹克竞赛
预赛试题参考解答

A 卷：

一、单选题（只选一个正确答案，正确得一分，错误或多选不得分）

1. “化石”是指通过自然作用保存在岩石中的古代生物的遗体和生命活动的遗迹，以及生物成因的残留有机物分子。最后者称为分子化石，前两者依次分别称为（ **B** ）。

A. 实体化石与模铸化石； B. 实体化石与遗迹化石；

C. 实体化石与化学化石； D. 硬体化石与遗迹化石。

2. “植物庞贝城”指的是大约三亿年前，中国内蒙古贺兰山西北角乌达煤田形成七号煤层的远古森林，呈现了二叠纪热带成煤沼泽森林的面貌。那么乌达植物群里最不可能包含下列（ **B** ）门类。

A. 大羽羊齿； B. 舌羊齿； C. 苏铁； D. 封印木。

3. 中国陆地范围内金在火成岩、沉积岩和变质岩中的平均含量分别为 0.6、1.0 和 1.0 ng/g，火成岩占地壳（平均深度 35 km）体积的 64.7%；变质岩占地壳体积的 27.4%；沉积岩占地壳体积的 7.9%。若沉积岩只平均分布在地表以下 5km 范围内，而在这范围内变质岩和火成岩按比例分布。那么中国陆地范围（取 960 万平方千米）内深度 1km 范围 Au 的资源量为（ **B** ）。（地壳的平均密度取 2.7g/cm^3）

A. 1.26×10^{10} kg； B. 2.27×10^{10} kg； C. 2.27×10^{13} kg； D. 4.26×10^{10} kg。

4. 陨石坑是行星表面被流星体撞击后形成的坑洞，记录了太阳系内发生的激烈撞击事件，为人类探索太阳系的历史变迁提供了关键线索。那么下述太阳系陨石坑最大的是（ **B** ）。

A. 水星的卡洛里陨石坑； B. 月球的南极艾肯陨石坑；

C. 地球的弗里德堡陨石坑； D. 金星的米德陨石坑。

5. 图 1 为地外天体发育的 4 个陨石坑(A, B, C 和 D)，其中产生 A 陨石坑的撞击作用，还形成了两个次级的撞击坑（图中的 a）和三个方向的撞击射线（Ray）。陨石坑 D 形成时，也产生了一个次生的撞击坑（图中的 d）。据此示意图，几个陨石坑形成的先后顺序正确的是（ **C** ）。

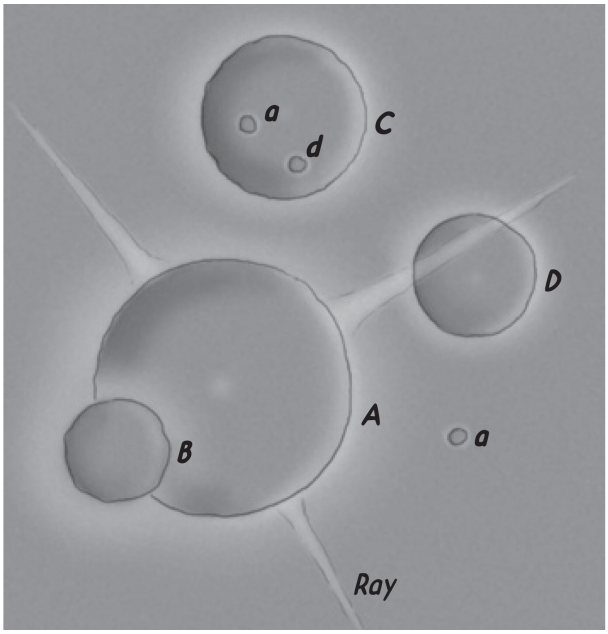


图 1

A. A-B-C-D； B. D-C-B-A； C. C-D-A-B； D. C-A-D-B。

6. 地球表面由于地球的大气圈、生物圈、水圈和岩石圈的相互作用而发生改变。图 2 一幅由异常降雨引发的泥石流灾害掩埋了菲律宾莱特岛上的一个小镇的一张照片，提供了地球系统不同部分之间相互作用的一个例子。有关地球的四个“圈层”对事件的贡献或受到事件的影响，下面说法正确的是（ **B** ）。



图 2

A. 重力在泥石流发育过程中，不发挥作用；

B. 在大气和水的作用下，岩石化学风化作用强烈，堆积了巨厚的残坡积物；

C. 在泥石流发育过程中，植被具有重要的作用；

D. 泥石流主要发生在山区，出山后就没有什么影响了。

7. 图 3 右侧的图显示其三个从砾岩到黏土岩沉积层。左侧为颗粒大小与流速的关系图。根据左侧的图分析一下，形成这些层的沉积位置是（ **D** ）。

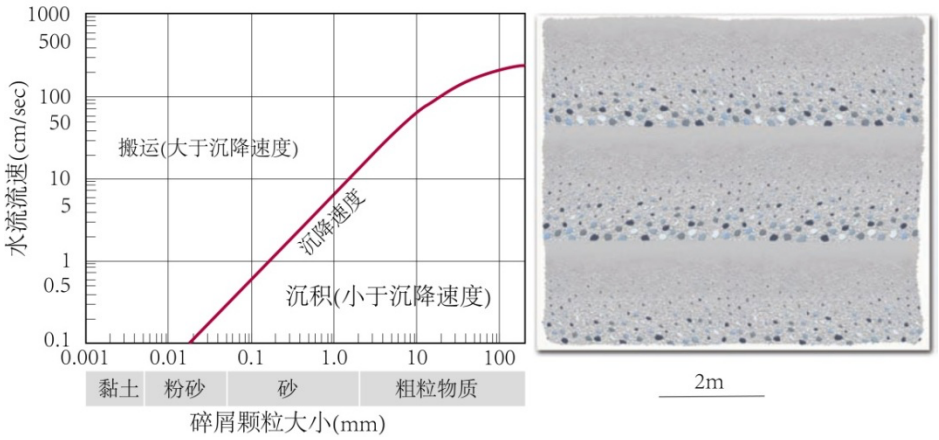


图 3

A. 右图三个沉积层应该属于粒序层理，反映了水动力条件有周期性变化；

B. 河流三角洲前缘地区；

C. 大陆架浅海地区；

D. 大陆坡和深海平原交界地区。

8. 在潮差较大的沿海地区，通过在海湾或河口建造大坝（图 4），海水的强流入和流出流被用来驱动涡轮机和发电机，从而利用潮汐能。那么具有（ **D** ）潮汐条件，建造潮汐发电站才可能有经济效益。

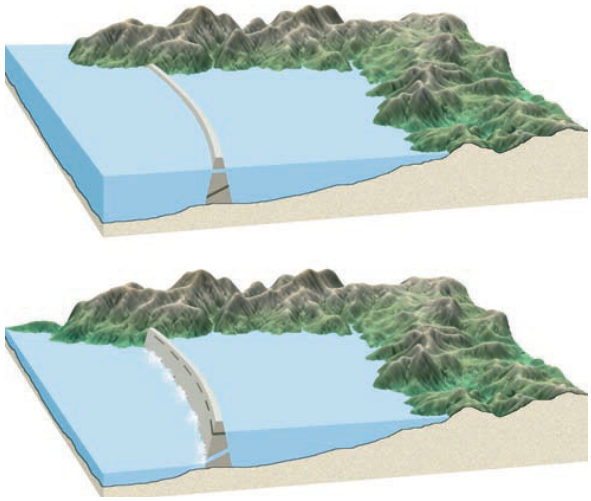


图 4

A. 沙滩海岸和 3m 的潮差；　　B. 潮坪海岸和 2m 潮差；

C. 宽阔开口的海湾海岸和 5m 潮差；D. 狭窄开口海湾海岸和大于 8m 潮差。

9. 面对快速增长的电力用电需求，如何保障供电安全，又让电价保持合理，节能减排，已成为当前亟待解决的重要问题。抽水蓄能电站作为一种储能方式（图 5），它可以将多余的电能转化为水能进行储存，待用电高峰时再将水能转化为电能，向电网释放。那么储能电站存在的意义不包括（ **C** ）。

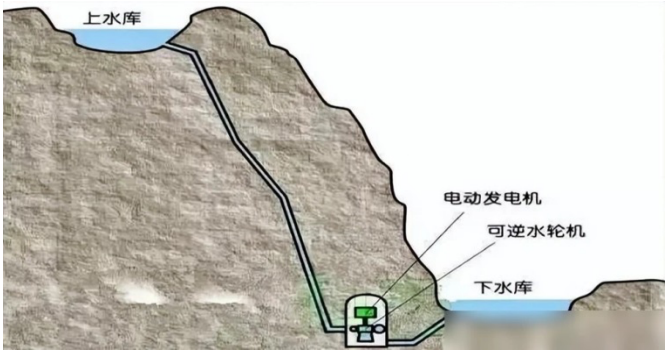


图 5

A. 提高能源利用效率；

B. 可以改善电网运行的稳定性和安全性。

C. 实现生态建设和经济效益的平衡；

D. 有助于节能减排。

地质学家从众多单独的露头中收集地层的产状数据(包括走向、倾向和倾角)，以推断地球表层岩层大规模的构造样式。这种测量和成图的行为可以重建地质历史，解释深部岩层构造的形态和方向，这对资源开采和危害评估来说也是一件重要的事情。下面是地质学家根据露头区的地层产状特征，绘制的地质图（图 6)。

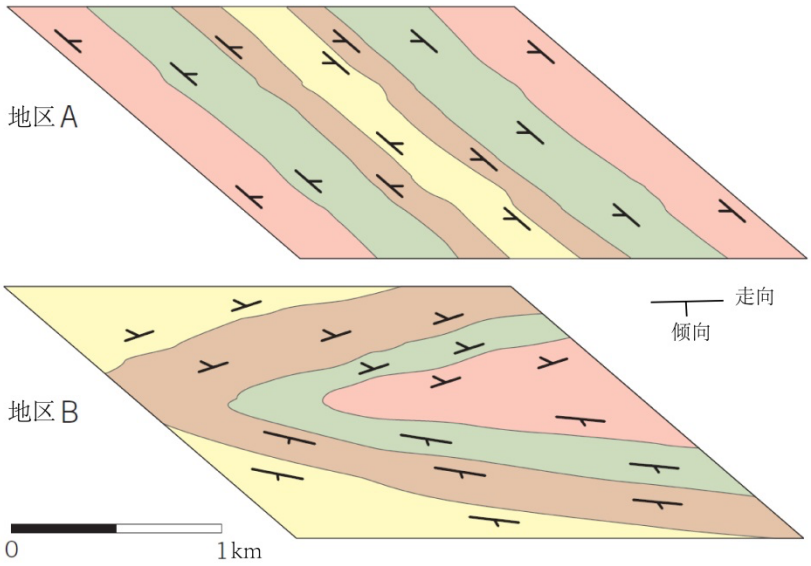


图 6

10. 假如本地区的地层没有发生倒转，下面说法正确的是（ **B** ）。

A. 地区 A 发育线状背斜，地区 B 发育了倒转背斜；

B. 地区 A 发育线状向斜，地区 B 发育了倾伏背斜；

C. 地区 A 发育线状向斜，地区 B 发育了倾伏向斜；

D. 两个地区四套地层，最老的为黄色所代表的地层，最新的为粉红色部分。

研究表明，地壳的厚度在大陆的造山带地区最厚，在大洋地区最薄，青藏高

原的地壳厚度达到 78 km，而在大洋的一些地区不到 5 km，甚至更薄。重力平衡中的浮动地壳概念称为重力均衡（图 7）。均衡原理有助于我们了解地球表面的许多大规模变化——从高耸的山脉到深海盆地。据此完成 11-12 两题。

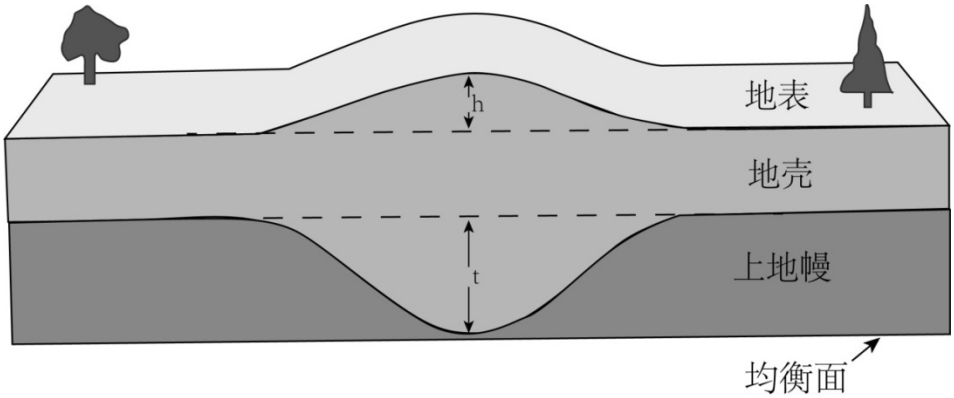


图 7

11. 根据地壳均衡的艾里模型，设具有密度 2.67 g/cm^3 的地壳山体浮在地下具有密度 3.27 g/cm^3 的上地幔岩石体中，山体越高，下面沉的越深，因此山下面存在“山根”。根据密度关系，山根的厚度（t）和地形高度（h）之间存在（ **C** ）关系。

A. t=2.25h；　　B. t=1h；　　C. t=4.45h；　　D. t=6h。

12. 地壳均衡原理可以解释很多地质现象，但是不包括（ **A** ）等。

A. 洋脊巨大的山系；

B. 山脉和相邻盆地具有耦合作用；

C. 年轻的造山带较之古老造山带具有更大的高程；

D. 大陆冰川消融后，地壳的弹性回跳。

图 8 为显示松散沉积物中地下水分布的剖面示意图，可以划分为两个主要部分，其中上部孔隙被部分充填，而下部孔隙充满水分。据此完成 13-14 两题。

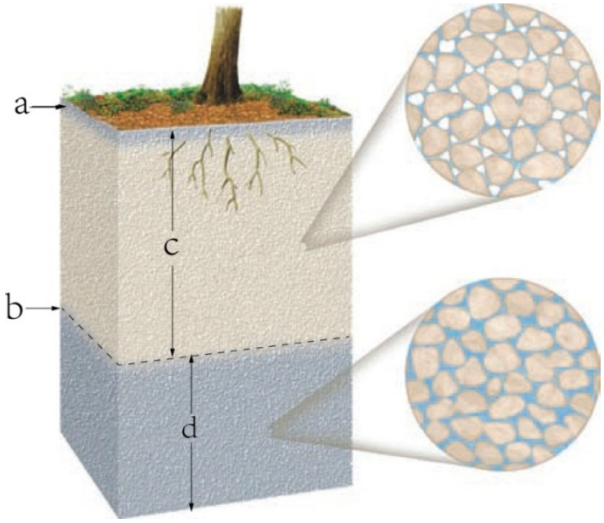


图 8

13. 根据地下水分布特征，下面对各部分标记正确的是（ **D** ）。

A. a 为地面，b 为隔水层，c 为包气带，d 为饱水带；

B. a 为土壤水带，b 为隔水层，c 为包气带，d 为饱水带；

C. a 为土壤水带，b 为潜水面，c 为饱水带，d 为包气带；

D. a 为土壤水带，b 为潜水面，c 为包气带，d 为饱水带。

14. 地下水来源一般为降水入渗所致，而且地下水与地面水、空气和植被等相互作用，发生在上述各带中的地下水运动方式说法不正确的是（ **C** ）。

A. a 带发生入渗和蒸腾作用，与地表水和空气发生作用；

B. b 部分发育入渗和毛细作用，作为 c 和 d 两带水交换；

C. d 带内水静止不动，可以一直保持；

D. c 带内发生毛细作用和入渗作用。

遥感技术的基本原理是通过传感器探测地球表面物体发射、反射或散射的电磁辐射，进而获取目标物体的空间、光谱、辐射等信息。一个典型的被动遥感系统电磁辐射传输过程如图 9 所示：太阳照向地球的电磁辐射经过与大气的相互作用后到达地表，经地物目标相互作用后产生发射电磁辐射，该电磁辐射又经过与大气的相互作用后被传感器捕获，得到与地物目标物性相关的信息。基于该传输过程回答下列 15–19 问题。

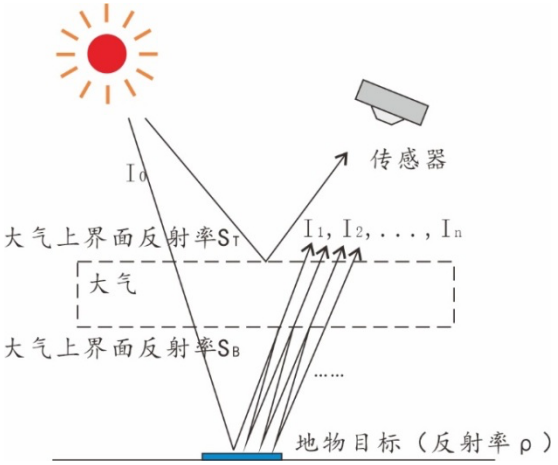


图 9

15. 如果将大气抽象成为一个厚度及内部均匀的平板，其内部对电磁辐射无吸收和散射等衰减作用，上界面反射率为S_T，下界面反射率为S_B。设有电磁辐射I_0下行照射至某地物目标（反射率为ρ），则经大气与地物目标的多次反射后，反射回的总电磁辐射为（ **无正确选项*** ）。

*本题详细说明参见竞赛委员会编著的《真题解析（2023-2025）》（地震出版社）。

A. $I_0 \times \rho^n$；　B. $\frac{\rho}{1-\rho \times S_B}$；　C. $n \times I_0 \times \rho \times S_B$；　D. $I_0 \times \rho \times S_B^n$。

16. 某遥感影像有两个地物目标 A 和 B，假设在无大气时目标 A 读出亮度值 50，目标 B 读出亮度值 0。而实际情况是由于大气的存在会导致电磁辐射发生衰减（亮度降低 10%），以及发生电磁辐射的散射（为传感器带来额外的电磁辐射亮度 10），则目标 A 和目标 B 在有大气情况下的亮度值分别可能是（ **A** ）。

A. 55, 10； B. 44, 9； C. 50, 10； D. 65, 15。

17. 已知物体有以下热力学参数（1）热传导率 K，表征物质内部温度变化的速率；（2）比热容 c，表示一定条件下单位质量的物质升高 1℃ 所需的热量；（3）热扩散率 d，单位时间内通过单位面积的热量与垂直于表面方向上的温度梯度绝对值之比；（4）热惯量 P，表示物体温度因环境温度变化而变化大小的量度。若已知下表中各物体的热力学参数测量值，请问（ **B** ）物质在一天 24 小时的周期中温度波动最大。

	水	沙土	玄武岩	不锈钢
热传导率 K	0.0014	0.0015	0.0050	0.030
比热容 c	1.0	0.2	0.2	0.1
热扩散率 d	1.0	1.8	2.8	7.8
热惯量 P	0.038	0.024	0.053	0.168

A. 水； B. 沙土； C. 玄武岩； D. 不锈钢。

18. 已知维恩位移定律（Wien's displacement law），即在一定温度下，绝对黑体的温度与辐射最大值相对应的峰值波长乘积为一常数，表明当绝对黑体的温度升高时，辐射最大值向短波方向移动。在恒星的演化过程中随着燃料耗尽而膨胀，会导致其表面温度不断降低，因此我们观察到的颜色会越来越（ **C** ）。

A. 蓝色； B. 紫色； C. 红色； D. 白色。

19. 微波（波长大于 1 毫米）的波长比云雾中水滴和气溶胶等颗粒直径大很多，因此不会像可见光那样被散射或吸收，所以具有穿云透雾的能力。如果要利用卫星遥感技术探测茂密雨林地区被植被冠层所遮挡的地表，选择（ **D** ）波长的微波传感器比较合适？

A. 3 纳米； B. 3 毫米； C. 3 厘米； D. 3 分米。

钢铁是现代工业的基础材料，其矿物原料主要来自于铁矿床。人类常用的铁矿石原料主要有磁铁矿（Fe_3O_4）、赤铁矿（Fe_2O_3）、菱铁矿（$FeCO_3$）、褐铁矿[$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$(三氧化二铁水合物)和 $Fe(OH)_3$]。我国最重要的铁矿床包括岩浆成因的钒钛磁铁矿床、变质铁矿床（BIF，一般品位较低）、矽卡岩型铁矿和沉积成因铁矿床。矽卡岩型铁矿因其矿石品位高，在我国占有特殊的地位。据此回答 20-21 题。

20. 矽卡岩型铁矿床的原生铁矿物主要是（ **A** ）。

A. 磁铁矿； B. 赤铁矿； C. 菱铁矿； D. 赤铁矿。

21. 沉积铁矿一般形成于浅水氧化环境，其最要的工业矿物是（ **B** ）。

A. 磁铁矿； B. 赤铁矿； C. 菱铁矿； D. 赤铁矿。

斑岩铜矿虽然品位低，但其储量大、埋藏浅、易开发而成为当今世界和我国重要的铜矿床工业类型，阅读下面图 10 和图 11，回答 22-24 问题。

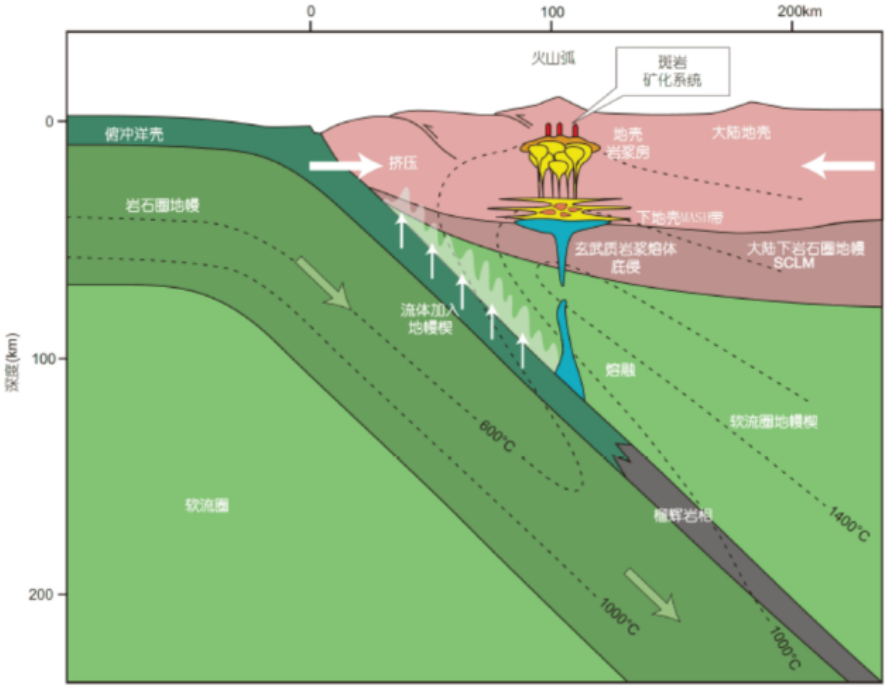


图 10 斑岩铜矿成矿模式

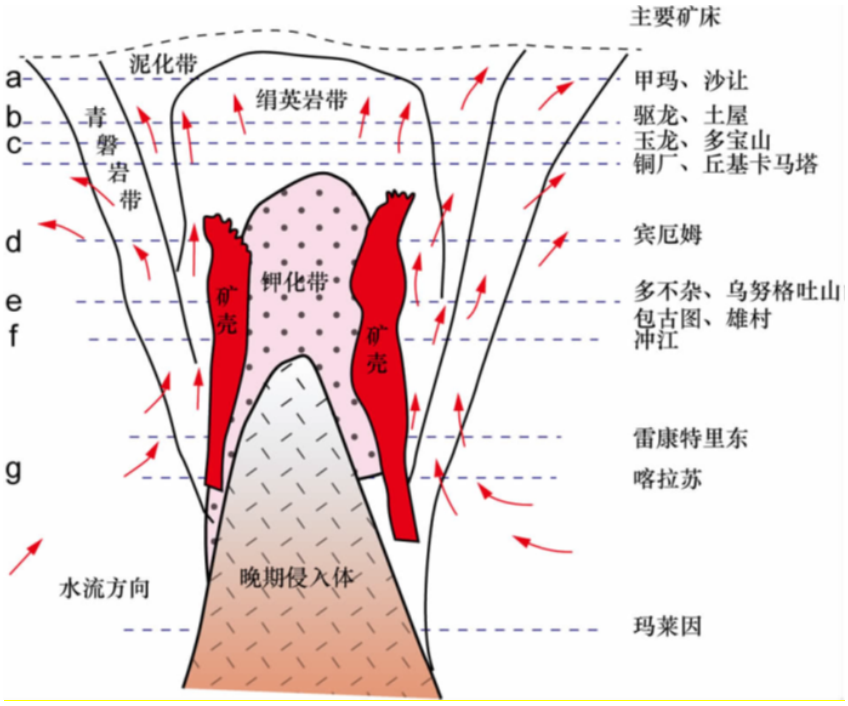


图 11 斑岩铜矿蚀变分带模式

22. 典型斑岩铜矿形成于（ **A** ）。

A. 汇聚板块边缘； B. 离散板块边缘；

C. 转换板块边缘； D. 被动大陆边缘。

23. 斑岩铜矿最常的铜矿物是（ **C** ）。

A. 黑铜矿； B. 赤铜矿； C. 黄铜矿； D. 自然铜。

24. 斑岩铜矿一般形成深度较小，如果一个斑岩铜矿已经出露钾化带，代表这个矿床隆升剥蚀的量（ **C** ）。

A. 很小； B. 小； C. 较大； D. 难以确定。

沉积物的从源到汇过程是地表物质循环的关键环节。具体而言，地表岩石经历风化侵蚀过程后形成松散物质，之后通过地表径流等形式在流域内搬运，最后在河漫滩或者边缘海等沉积区沉积埋藏。国际上已有若干个相关大型计划对此开展专门研究，包括“海岸带陆海相互作用研究计划”（LOICZ）、“大陆边缘从源到汇计划”（MARGINS S2S）和“河控型大陆边缘”（RiOMars）等。示踪沉积物从山区、流域至海区的搬运过程需要有效的研究工具，比如轻、重矿物学、元素地球化学和同位素地球化学等。以下 25-30 题目都与从源到汇过程有关。

25. 以下（ **D** ）矿物不属于重矿物。

A. 锆石； B. 金红石； C. 石榴石； D. 石英。

26. 为了示踪沉积物的来源，所采用的指标应当受后期改造作用，如流域化学风化，影响较小，从而能够反映源区信息。下面列举的矿物中，（ **A** ）最不适合用于物源示踪。

A. 橄榄石； B. 金红石； C. 独居石； D. 电气石。

27. 由于不同矿物的密度及形状不同，在沉积物搬运的过程中，水动力分选作用会导致沉积物的矿物组成分异。若在一条大河的下游地区采集一个垂向水柱剖面，从表层到底层，各矿物占沉积物中的百分比是（ **D** ）。

A. 石英逐渐降低，云母逐渐升高； B. 高岭石逐渐降低，云母逐渐升高；

C. 云母逐渐降低，高岭石逐渐升高；D. 石英逐渐升高，云母逐渐降低。

28. 若要示踪海区沉积物的陆地源区，常用的方法之一是选取在表生环境中化学活动性小的元素，并对比沉积物和潜在源区的元素比值指标以示踪物源。以下哪个元素比值不适宜于物源示踪（ **B** ）。

A. Cr/Th； B. Ca/Al； C. Cr/Al； D. Sc/Th。

29. 近几十年来，单矿物地球化学方法，尤其是碎屑锆石铀铅（U-Pb）年代学迅速发展，逐渐成为沉积物源判别的常用手段，其中的原因不包括（ **C** ）。

A. 原位测试速度快； B. 受风化影响小；

C. 在基性岩中较为缺乏； D. 受水动力分选影响小。

30. 碎屑锆石年代学的关键在于两个同位素衰变体系，即 ^{238}U 衰变为 ^{206}Pb，以及 ^{235}U 衰变为 ^{207}Pb。这两个衰变体系的关联在于 $^{238}U/^{235}U$ 在上地壳的所有岩石中基本保持恒定。通常，我们利用 $^{206}Pb/^{238}U$ 和 $^{207}Pb/^{235}U$ 两组年龄绘制 U-Pb 协和图（如下图 12）。其中，2000 Ma（百万年前）的年龄点已在图中标注，请问五角星标注的年龄应该是（ **B** ）。

A. 1200 Ma； B. 2800 Ma； C. 2000 Ma； D. 无法测量。

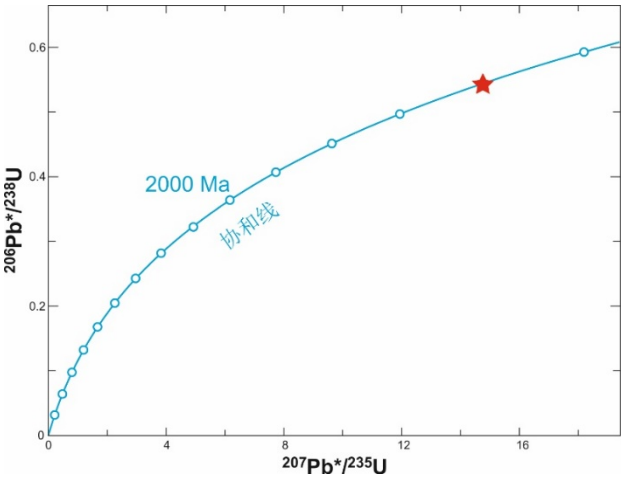


图 12

二、不确定选择题（单选或多选，每一个正确答案得 1 分，选错一个扣 1 分）

水质对生物有机体有很大影响，污水向天然水体的排放会影响水体的生态系统。图 13 为一个溪流生态系统，根据水向下游流动时的溶解氧水平和生物需氧量确定五个不同的区域，每个区域的一些最常见的鱼类和大型无脊椎动物如图所示，请据此回答下面 Q1-Q8 问题。

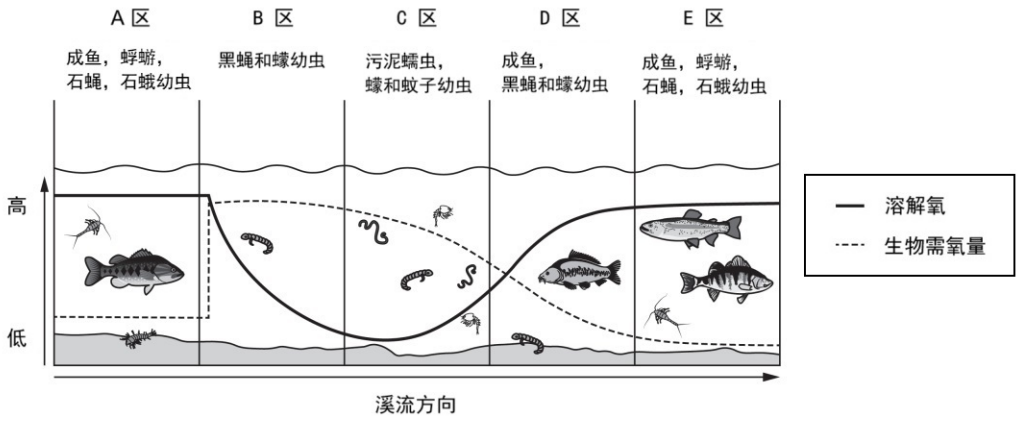


图 13

Q1. 向溪流排放污水最有可能的区域是（ **B** ）。

A. A 区； B. B 区； C. C 区； D. E 区。

Q2. 如果测定水中的氧化还原电位，最低的区域可能是（ **B** ）。

A. A 区； B. C 区； C. D 区； D. B 区。

Q3. 如果研究溪流中溶解氧水平与大型无脊椎动物物种丰富度的关系，选择（ **A** ）作为对照区域最为合适。

A. A 区； B. C 区； C. D 区； D. E 区。

Q4. E 区成鱼中持久性污染物的含量高于蜉蝣中，这一现象称为（ **C** ）。

A. 生物富集； B. 生物积累； C. 生物放大； D. 无法确定。

Q5. 与夏季相比，冬季进行水体中物种丰富度的调查，可能会有如下结果（ **ACD** ）。

A. 冷水将含有更多的溶解氧，这可能会增加物种的数量；

B. 冷水将含有更少的溶解氧，这可能会减少物种的数量；

C. 冷水可能低于某些生物的耐受范围，这可能会减少物种的数量；

D. 低光照水平会降低植物的光合作用，这可能会减少物种的数量。

Q6. 水体中引发富营养化的元素主要是（ **BD** ）。

A. 碳； B. 氮； C. 氧； D. 磷。

Q7. 水体中引发水俣病和骨痛病的主要元素分别是（ **BC** ）。

A. 铅； B. 镉； C. 汞； D. 铬。

Q8. 地球上河流与小溪总水量约占地球总水量的（ **D** ）。

A. 2.59%； B. 0.59%； C. 0.007%； D. 0.0001%。

在生态系统中，各食物链之间可以相互交错，形成复杂的网状食物关系，称为食物网。自然界中普遍存在的食物网，不仅维系着一个生态系统的平衡和自我调节能力，而且推动着有机界的进化。图 14 是一个北极食物网，请据此回答下面 Q9-Q16 问题。

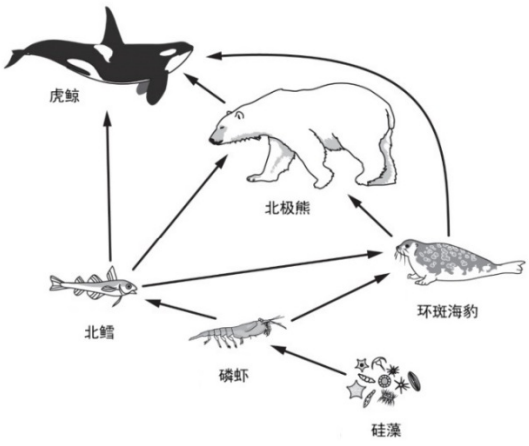


图 14

Q9. 图中三级消费者是（ **BCD** ）。

A. 北鳕； B. 环斑海豹； C. 北极熊； D. 虎鲸。

Q10. 图中能量在沿各个营养级顺序向前传递时，每一级为下一级提供的能量大约为固有能量的（ **C** ）。

A. 50%； B. 30%； C. 10%； D. 5%。

Q11. 硅藻的能量来源于（ **D** ）。

A. 土壤；B. 水体；C. 微生物；D. 太阳。

Q12. 虎鲸中持久性污染物的含量高于环斑海豹，这一现象称为（ **C** ）。

A. 生物富集；B. 生物积累；C. 生物放大；D. 无法确定。

Q13. 环纹海豹是北极熊的首选猎物，它们会到海冰的洞穴呼吸。夏季海冰数量的减少，对北极熊狩猎的影响可能是（ **BD** ）。

A. 狩猎场面积增大，北极熊更易获得食物；

B. 狩猎场面积减少，北极熊更难获得食物；

C. 狩猎场距离增大，北极熊更易获得食物；

D. 生理性压力增大，北极熊更难获得食物。

Q14. 海冰融化将导致如下结果（ **AC** ）。

A. 海冰融化导致水面吸收太阳能量增多；

B. 海冰融化导致水面吸收太阳能量减少；

C. 与北极变暖形成正反馈回路；

E. 与北极变暖形成负反馈回路。

Q15. 生态系统的基本功能是（ **BCD** ）。

A. 生命演化； B. 能量流动； C. 物质循环； D. 信息传递。

Q16. 碳是生命物质的主要元素之一，在地球几大碳库中，最大的是（ **D** ）。

A. 大气圈碳库； B. 水圈碳库； C. 生物圈碳库； D. 岩石圈碳库。

青藏高原位于中国的西南部，介于北纬 26°00′~39°47′，东经 73°19′~104°47′之间。它南起喜马拉雅山脉南缘，北至昆仑山、阿尔金山脉和祁连山北缘，西部为帕米尔高原和喀喇昆仑山脉，东及东北部与秦岭山脉西段和黄土高原相接。青藏高原的总面积约 250 万平方千米，东西长约 2800 千米，南北宽约 300~1500 千米，是中国最大、世界海拔最高的高原，被称为“世界屋脊”、“第三极”（图 15）。以下 Q17-Q23 各题与青藏高原有关。

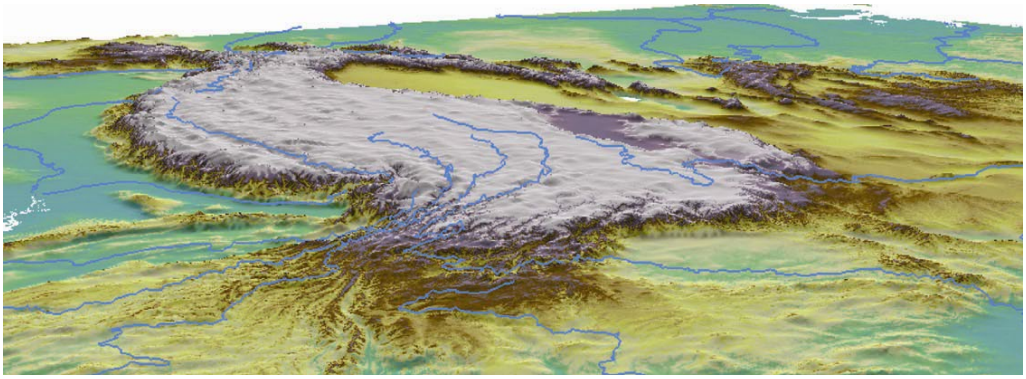


图 15

Q17. 以下关于青藏高原隆升说法正确的是（ **AC** ）。

A. 印-亚大陆碰撞及印度大陆俯冲约在 65~41 Ma；

B. 太-亚大陆碰撞及太平洋大陆俯冲约在 65~41 Ma；

C. 青藏高原隆升至 2000m 以上时对西风产生有效屏障；

D. 板块会聚速率突然降低被指大陆碰撞结束时代。

Q18. 关于青藏高原隆升地质证据说法正确的是（ **AD** ）。

A. 地层倾角变化表明区域褶皱变形产生时期；

B. 沉积地层产状平缓，变形微弱，表明地壳缩短增厚；

C. 造山作用自北向南相继变年老；

D. 出现大量浅海灰岩沉积岩。

Q19. 青藏高原隆升过程的内动力地质作用包含（ **ABD** ）。

A. 地壳运动； B. 岩浆作用； C. 沉积作用； D. 变质作用。

Q20. 青藏高原及周缘地区断层发育，在高原面以下列哪些断层性质为主（ **ABCD** ）。

A. 逆冲型； B. 走滑型； C. 正断型； D. 逆冲兼走滑型。

Q21. 青藏高原及周缘常见自然灾害有（ **ACD** ）。

A. 地震； B. 地面隆起； C. 泥石流； D.雪崩。

Q22. 与青藏高原隆升密切相关的山脉有（ **ABCD** ）。

A. 喜马拉雅山脉； B. 横断山脉； C. 昆仑山脉； D. 天山山脉。

Q23. 青藏高原地区修建大型水库，针对水库蓄水说法不正确的是（ **AB** ）。

A. 增加地壳压力有利于断层带应力平衡，不利于产生地震；

B. 增加岸坡侧向压力有利于岸坡稳定；

C. 对岸坡冲刷和浸泡作用易于引发滑坡等地质灾害；

D. 对周边的气温和降水产生影响。

冰期（ice age）是指地球表面和大气温度长期下降的时期，导致大陆冰川、极地冰盖或者高山冰川长期存在或发生扩张。目前认为，在漫长的地质历史时期，

地球的气候在冰室期（icehouse）和温室期（greenhouse）之间交替(图 16)。冰室期中出现的间歇性温暖期被称为间冰期。据此回答下面 Q24-Q29。

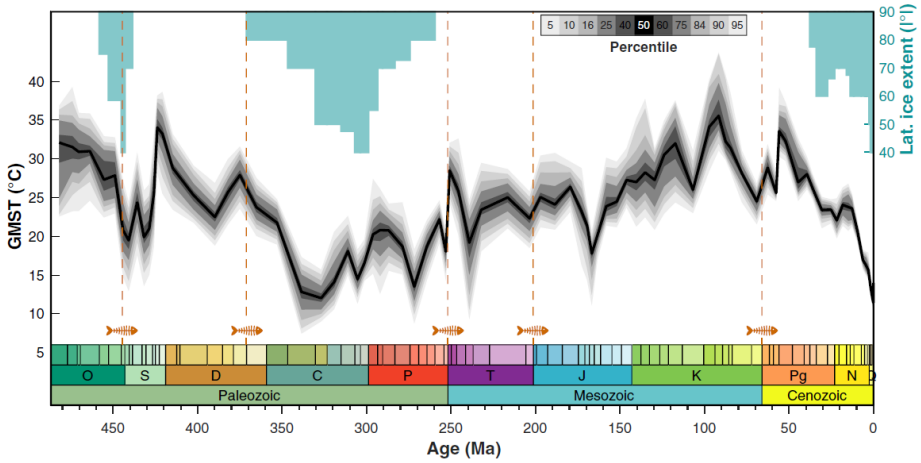


图 16 显生宙温度变化曲线。蓝色矩形指示最大纬度冰范围，黑线表示中位数，橙色虚线指示显生宙五次生物大灭绝的时间。GMST-全球平均表面温度（据 Judd et al., 2024）

Q24. 地质历史上完全没有出现冰期的时代是（ **B** ）。

A. 奥陶纪； B. 白垩纪； C. 第四纪； D. 志留纪。

Q25. 冰期在沉积或化石记录中保存的证据包括（ **ACD** ）。

A. 冰碛岩； B. V 形谷； C. 生物化石壳体中的氧同位素信息；

D. 适应寒冷环境的生物向低纬度地区迁移的现象。

Q26. 雪球地球（Snowball Earth）被认为是地质历史上最严酷、最极端的一次地质和古气候事件，它的发生、发展和结束改变了地球海洋和大气的物理化学条件。关于雪球地球期间的生命活动表述，下列错误的是（ **A** ）。

A. 雪球地球期间，全球冰封，生命活动终止。只有等雪球融化，生命活动才能重新启动；

B. 在冰裂缝、火山喷口以及海底热液活动区域，还存在局部的开放环境，生命可以存活；

C. 雪球地球期间，存在生物的避难所，使得生命可以延续；

D. 雪球地球期间，应该有原核生物和少量真核生物存活。

Q27. 雪球地球之后的地球生物圈发生了翻天覆地的变化，埃迪卡拉系地层中，保存了大量的真核生物。下列不属于当时的真核生物化石的是（ **C** ）。

A. 陡山沱组中保存的大型带刺疑源类；

B. 灯影组中保存的叶状化石；

C. 澄江玉案山组页岩中产出的奇虾化石；

D. 陡山沱组中保存的动物胚胎化石。

Q28. 奥陶纪末期的冰期时段，发生了显生宙第一次生物大灭绝事件：全球性海洋动物~50%的属，~80%的种消失。下列不属于奥陶纪生物的是（ **B** ）。

A. 角石； B. 蕨类； C. 牙形动物； D. 笔石动物。

Q29. 我们现在处在第四纪冰期时代，2.58 Ma 至今，南极大陆与格陵兰岛形成了永久性的冰盖，欧亚大陆北部、北美北部出现了面积广大的大陆冰盖，世界各处高纬度或高海拔地区广泛发育山岳冰川。关于第四纪冰期下列表述错误的是（ **D** ）。

A. 第四纪冰期中也有间冰期存在，表现为大陆冰川面积大规模缩减；

B. 有丰富的地质记录证明了第四纪冰期的存在；

C. 第四纪冰期的发生和构造运动、地球轨道周期等均有一定的关系；

D. 工业革命以来人类活动导致的温室气体升高，不会影响第四纪冰期继续延续下去。

图 17 为某地区的简化地质剖面平面图，从中能够读出的有关相对和绝对地质年代的一些信息。据此回答下面 Q30-Q32 问题。

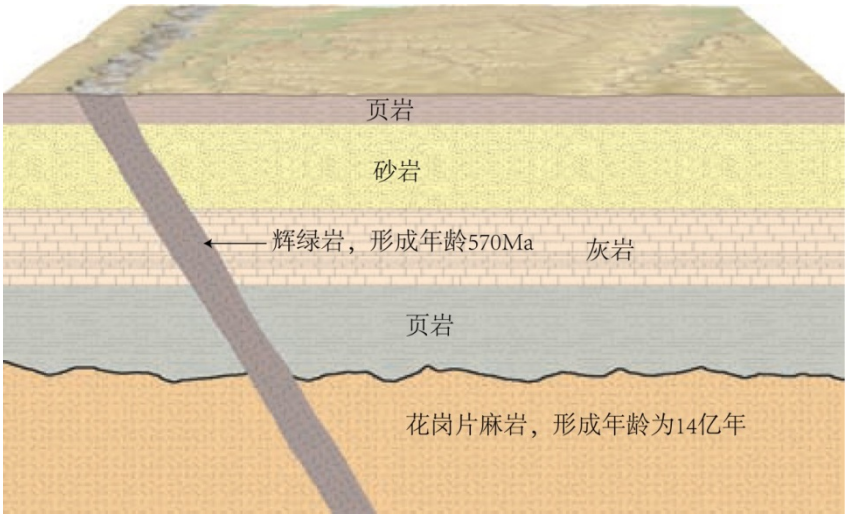


图 17

Q30. 根据剖面图，我们可以确定图中存在的地质体和地质现象及其演化过程，那么下面说法正确的是（ **BD** ）。

A. 本区构造复杂，属于古老的造山带；

B. 该区发育了基底和盖层的结构，现今位于稳定的板块内部；

C. 该区存在海进沉积旋回；

D. 该区存在海退沉积旋回。

注：第一版解答中答案有误，预赛时按照原答案BC评分。经竞赛委员会全面复核，确认此次错误未改变最终奖项排名，所有结果维持有效。竞赛委员会对由此造成的不便深表歉意，并将进一步加强审核流程，完善命题与评卷机制，杜绝类似问题再次发生。感谢广大师生的监督与反馈。本次修改的详细解释请参阅竞赛委员会编著的《真题解析(2023－2025)》（地震出版社）。

Q31. 砂岩的形成时代（ **CD** ）。

A. 大于花岗片麻岩的形成年龄；B. 小于辉绿岩的形成年龄；

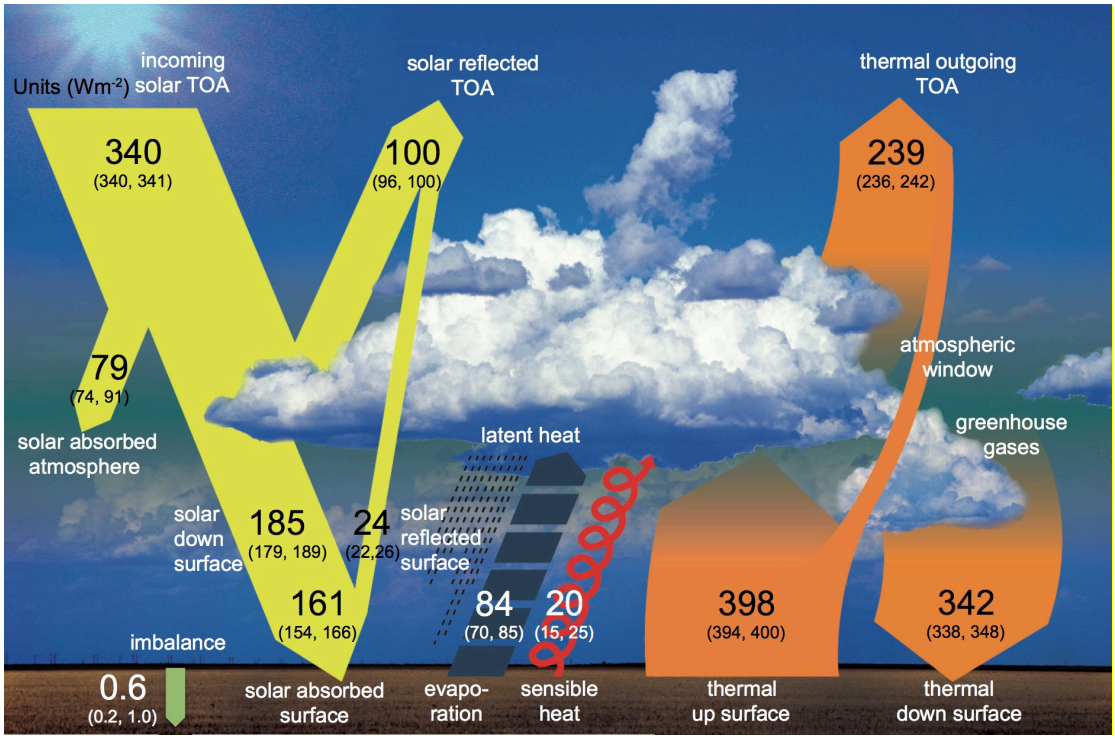
C. 介于花岗片麻岩和辉绿岩形成年龄之间；D. 大于辉绿岩的形成年龄。

Q32. 碎屑岩的形成时代，根据相对年龄的确定原则，可以确定其形成顺序，然而形成温度低于定年矿物的封闭温度时，难于确定其时代，那么可以根据（ **ABC** ）确定图中砂岩形成时代。

A. 磁性地层方法；　　B. 古生物化石；

C. 碎屑矿物测年可以限定上限年龄；D. 碎屑矿物测年可以限定下限年龄。

我们所生活的地球，包括由海洋和大气以及其他组分所形成的气候系统，主要由太阳辐射来驱动，而地球所释放的红外辐射与之形成平衡。图 18 为地表以上能量通量平衡情况，请根据此图回答下面 Q33-Q40 问题。



注释：TOA，大气层顶；atmosphere，大气；surface，地表；up，向上；down，向下；solar，太阳辐射；thermal，红外辐射；incoming，输入； outgoing，输出；reflected，反射；absorbed，吸收； evaporation，蒸发；sensible heat，热传导。

图 18

Q33. 在大气层顶，平衡地球红外辐射输出的能量为（ **C** ）。

A. 太阳辐射输入；　　B. 太阳辐射的反射；

C. 净太阳辐射（输入-反射）；　D. 大气吸收的太阳辐射。

Q34. 在地表，最强的向上热通量是（ **B** ）。

A. 太阳辐射的反射； B. 地表蒸发（潜热）；

C. 热传导（感热）； D. 净红外辐射（向上-向下）。

Q35. 有（ **B** ）W m^{-2} 的太阳辐射被云层反射出去。

A. 100； B. 76； C. 79； D. 24。

Q36. 影响云层对太阳辐射的反射的主要因素有（ **ABCD** ）。

A. 云量； B. 云高； C. 云厚； D. 云形。

Q37. 影响地表热传导的主要因素包括（ **ABC** ）。

A. 风速； B. 大气与表面的温差； C. 大气密度； D. 大气绝对湿度。

Q38. 影响地表蒸发的主要因素包括（ **ABCD** ）。

A. 地表温度； B. 大气与表面的温差；

C. 大气密度； D. 大气绝对湿度。

Q39. 地表的反照率，即向上/向下的太阳辐射约为（ **A** ）。

A. 13%； B. 15%； C. 25%； D. 23%。

Q40. 有（ **D** ）W m^{-2} 的太阳辐射被地球气候系统吸收。

A. 185； B. 161； C. 79； D. 240。

地球的水文地球化学过程在地球形成之初便开始演化，与地球的温度、气候、地壳活动以及生物活动息息相关。水文循环是地球表层化学循环的重要组成部分，通过降水、地表径流、地下水流动以及蒸发等过程，将各种化学元素在陆地、大气和海洋之间输送和转化。早期地球的水文循环受到火山活动和陨石撞击的显著影响，而随着地球逐渐冷却，液态水的形成促进了化学风化和海洋的形成。生物的出现进一步改变了水文地球化学过程，特别是蓝细菌的光合作用导致了大气氧含量的显著增加，称为大氧化事件（GOE），从而改变了全球化学循环的格局。据此回答下面 Q41-Q47 问题。

Q41. 在地球早期，火山喷发是影响水文循环的重要因素，以下（ **ABD** ）过程与火山喷发密切相关。

A. 释放水蒸气，增加大气湿度；

B. 释放二氧化碳，影响温室效应；

C. 释放甲烷，导致大气氧气浓度升高；

D. 提供硫化物，导致酸性降水的产生。

Q42. 在地球早期，没有明显的水文循环时，化学风化作用可能表现出（ **B** ）特点。

A. 风化速率较高，因大气中氧气含量高；

B. 风化速率较低，因液态水缺乏且温度较高；

C. 风化速率较高，因火山释放的气体促进反应；

D. 风化作用完全停止，因岩石未接触液态水。

Q43. 假设地球早期的大气中二氧化碳浓度是现在的 100 倍，以下（ **BC** ）可能是这种高二氧化碳浓度对水文循环的主要影响。

A. 地表温度显著降低，水循环增强；

B. 地表温度显著升高，水循环增强；

C. 降水主要以酸雨形式出现，促进化学风化；

D. 水分蒸发速率下降。

Q44. 在地球大氧化事件（GOE）发生后，以下（ **ABD** ）现象可能与海洋化学的变化直接相关。

A. 海洋中溶解铁的大量沉淀；

B. 硫化物被氧化为硫酸盐；

C. 碳酸盐沉积速率短期内显著增加；

D. 海洋 pH 短期内显著下降，长期趋于稳定。

Q45. 假设地球早期的降水量显著增加，以下（ **B** ）可能是水文地球化学的直接反应。

A. 海洋盐度降低，化学风化作用被削弱；

B. 化学风化作用增强，大量碳酸盐进入海洋；

C. 蓝细菌光合作用减弱，氧气浓度下降；

D. 地表岩石分解速率下降，矿物循环中断。

Q46. 在全球冰冻期（雪球地球事件）结束后，以下（ **ABCD** ）现象可能发生。

A. 冰川快速融化，释放大量矿物质进入海洋；

B. 大气中温室气体浓度增加，导致气温快速升高；

C. 海洋中缺氧环境导致厌氧微生物繁盛；

D. 化学风化作用重新加强，吸收大量二氧化碳。

Q47. 在地球水文地球化学的演化过程中，以下（ **A** ）最能解释水循环对全球气候的调节作用。

A. 水循环通过化学风化吸收二氧化碳，降低温室效应；

B. 水循环通过火山活动释放热量，增加全球气温；

C. 水循环通过海洋蒸发增加氧气含量，减缓气候变化；

D. 水循环通过增加大气中甲烷浓度，稳定气温波动。

地层是具有时间顺序（古生代到中生代包括寒武纪、奥陶纪、志留纪、泥盆纪、石炭纪、二叠纪、三叠纪、侏罗纪和白垩纪）的层状岩石，其岩性和构造特征能揭示地质时期的地理环境和地质演化过程。图 19 为某地地层出露分布示意图。完成下面小题。

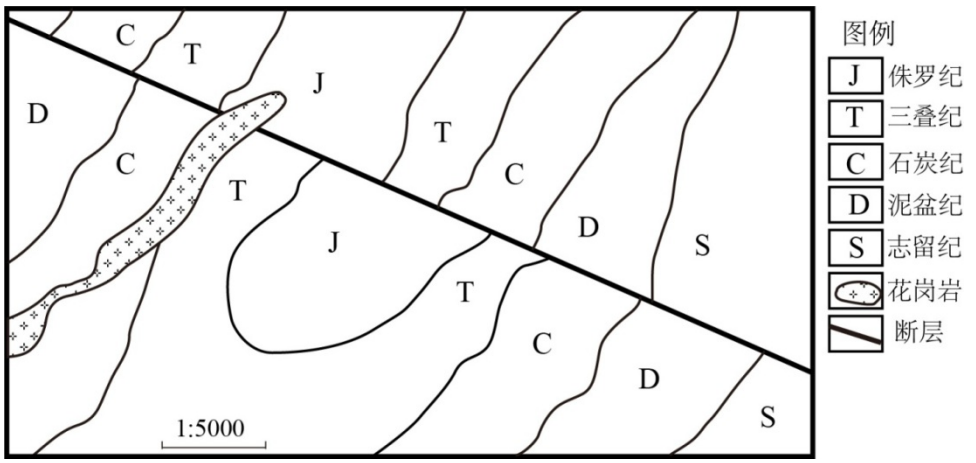


图 19

Q48. 断层东北侧的岩层（ **B** ）。

A. 相对西南侧抬升； B. 向西北水平移动；

C. 相对西南侧下沉； D. 向东南水平移动。

Q49. 该区域地壳至少抬升了（ **B** ）。

A. 1 次； B. 2 次； C. 3 次； D. 4 次。

Q50. 该区域经历的地质作用过程是（ **D** ）。

A. 沉积成岩、断裂作用、水平挤压、岩体侵入；

B. 水平挤压、沉积成岩、岩体侵入、断裂作用；

C. 水平挤压、断裂作用、岩体侵入、沉积成岩；

D. 沉积成岩、水平挤压、岩层断裂、岩体侵入。

B 卷：

三、综合分析题（单选或多选，每一个正确答案得 2 分，选错一个扣 2 分）

脆性破裂是浅部地壳岩石发生变形的主要机制，破裂的类型主要包括张破裂（节理）和剪破裂（断层）两类。其中，库仑破裂准则描述了岩石发生剪破裂所需的临界应力条件，即当岩石受到的剪应力超过岩石所能承受的最大剪应力（或抗剪强度）时，岩石即发生剪破裂。摩擦定律是确定岩石的抗剪强度的理论基础，即 $\tau = C + \mu\sigma_n$。τ为剪应力，σ_n为正应力，C为内聚力，μ为内摩擦系数。假设地壳浅部岩石受到的应力状态如图20所示。已知岩石的内聚力为50 MPa，内摩擦系数为0.5，$\sigma_1 = 200$ MPa，$\sigma_3 = 50$ MPa。据此回答下面W1-W6。

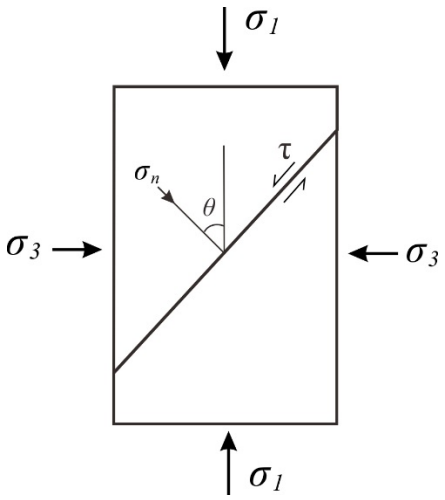


图20

W1. 平行 σ_1 和垂直 σ_3 的平面上所受到的正应力和剪应力分别为（ **A** ）。

A. 50 MPa 和 0 MPa； B. 200 MPa 和 0 MPa；

C. 100 MPa 和 50 MPa； D. 200 MPa 和 50 MPa。

W2. θ 角为 30°的平面上的正应力为（ **B** ）。

A. 125 MPa； B. 163 MPa； C. 185 MPa； D. 200 MPa。

W3. θ 角为 30°的平面上的剪应力为（ **B** ）。

A. 45 MPa； B. 65 MPa； C. 75 MPa； D. 100 MPa。

W4. 如果要使岩石发生剪破裂，可以通过以下哪些方式实现（ **A/ACD*** ）。

*A 或 ACD 均得 2 分，其余答案 0 分

A. σ_1 增大，σ_3 不变； B. σ_1 不变，σ_3 增大；

C. σ_1 和 σ_3 同时减小； D. σ_1 和 σ_3 同时增大。

W5. 孔隙流体广泛存在于地壳中，可以产生孔隙流体压力，孔隙流体压力可以弱化岩石，使岩石更容易发生剪破裂。那么在上述情况下，需要（ **D** ）的孔隙流体压力可以使岩石发生剪破裂。

A. 42.3 MPa； B. 47.5 MPa； C. 52.5 MPa； D. 57.3 MPa。

W6. 断层强度限定了地壳的极限强度，断层强度由小到大顺序为（ **A** ）。

A. 正断层、走滑断层、逆断层； B. 正断层、逆断层、走滑断层；

C. 走滑断层、正断层、逆断层 ； D. 断层强度与断层性质无关。

地球具有明显的分层现象，自内而外可以分成内核、外核、地幔、地壳、大气圈等，科学家们提出了一系列的理论来描述这些不同圈层的运动，如板块构造理论、地幔柱理论等。目前一般认为地球不同圈层之间相互联系与影响，存在明显的物质与能量交换，共同构成一个异常复杂的系统（如图 21 所示）。据此回答以下 W7-W13 问题。

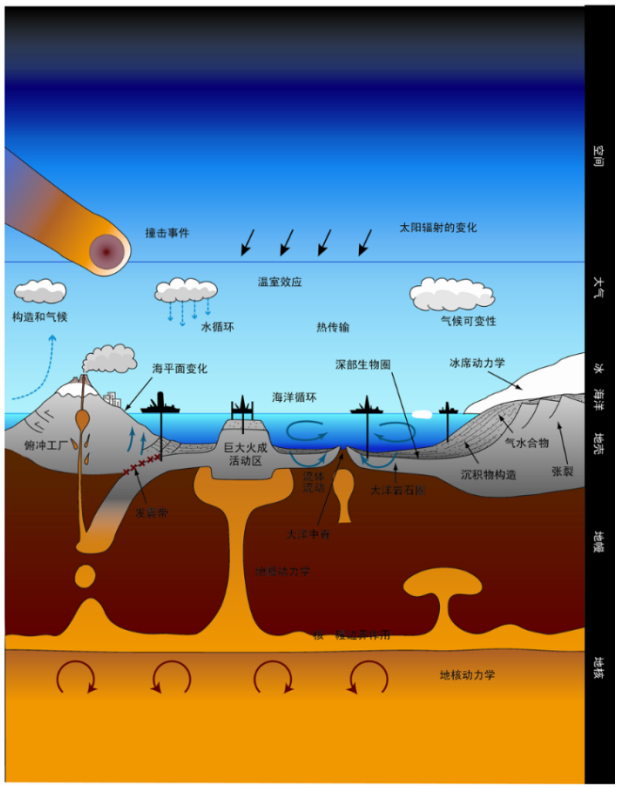


图 21

W7. 上地幔的顶部与地壳构成了地球外层的固态岩石圈，板块运动理论主要描述的就是岩石圈运动。假设岩石圈中岩石的密度为 $3g/cm^3$，请问岩石圈下部 100km 处的压力大致是（ **D** ）。

A. 3×10^6 帕斯卡；　　B. 3×10^7 帕斯卡；

C. 3×10^8 帕斯卡；　　D. 3×10^9 帕斯卡。

W8. 板块构造活动会导致地震频发，地震活动既给人类带来巨大的灾难，但是也在地表形成了丰富多样的地貌景观。下列板块边界类型与其典型地震特性对应正确的是（ **AB** ）。

A. 俯冲带 - 深源地震；　　B. 断裂带 - 浅源地震

C. 生长边界 - 中强地震为主；　　D. 碰撞边界 - 火山喷发多于地震。

W9. 虽然地震具有极大的灾害性，但我们人类依然无法准确预测地震。地震主要危害是地震波传到地表后导致的破坏，尤其是 S 波。现在可以利用 P 波和 S 波的到时差来提前预警 S 波的到达时间。假设某次地震的震源深度为 h=20 km，震中距（观察点到震中的地表距离）为 d=50 km，P 波在地壳中的平均速度为 Vp=6 km/s，S 波的速度为 Vs =3.5 km/s。请问，P 波到达后，大致有多长的 S 波到达预警时间（ **B** ）。

A. 4 秒；　　B. 6 秒；　　C. 8 秒；　　D. 10 秒。

W10. 下列（ **ABCD** ）因素会对地表地形产生影响？

A. 气候条件；　B. 地震和火山活动；　C. 地壳的物质成分；　D. 地幔运动。

W11. 关于地球圈层之间的相互作用，下列说法合理的是（ **CD** ）。

A. 板块构造理论描述的岩石圈水平运动，而地幔柱则主要描述从内核到地壳的竖直运动；

B. 地磁场一般认为是由液态外核流动所产生，其强度和方向比较稳定，对生命的演化非常重要；

C. 地球内部的物质和能量主要通过地震和火山释放到地表，而浅部的物质和能量则通过板块俯冲到达地球深部；

D. 地球内部的运动对大气圈和水圈也有着很强的影响。

W12. 全球气候变化对地震和火山活动可能产生间接影响，下列可能的机制包括（ **ABC** ）。

A. 冰川消退引起地壳负荷减小，诱发火山喷发；

B. 全球变暖增加海水压力，可能抑制海底断层活动；

C. 降雨增加可能导致断层润滑，触发地震；

D. 气候变暖引发的风化作用减少板块俯冲速率。

W13. 假设某一板块长为 1000km、宽为 1000km、厚为 100km，以 10mm 每年的速度朝某一个方向做匀速运动。现要施加一个力将该板块在 1 年内停止运动，请估算一下该力的大小大致是（ **删除，不计入成绩*** ）。

A. 3×10^4 牛顿； B. 3×10^6 牛顿；C. 3×10^8 牛顿；D. 3×10^{10} 牛顿。

*本题详细说明参见竞赛委员会编著的《真题解析(2023-2025)》(地震出版社)。

全球碳循环可简化为碳源（input）与碳汇（output）的平衡。其中，火山及变质去气和有机质风化排放的二氧化碳构成主要的碳源，而这些二氧化碳被碳酸盐沉积（carbonate precipitation）和有机质埋藏（organic carbon burial）移除，构成主要的碳汇过程（如图 22 所示）。



图 22 全球碳循环的简化图

地质学家在估算碳酸盐岩和有机质埋藏两者在碳汇作用中所占的相对比例时，往往需要用到它们的碳同位素值 $\delta^{13}C=(\frac{^{13}C/^{12}C_{样品}}{^{13}C/^{12}C_{标准样品}}-1)\times1000$，可简单理解为样品内 ^{13}C 同位素的相对丰度）。在物质平衡状态情况下，碳源总通量等于碳汇总通量，可以列出如下碳通量 F 和同位素 $\delta^{13}C$ 质量平衡公式:

$$F_{碳源}=F_{碳汇}=F_{有机质}+F_{碳酸盐岩}$$

$$F_{碳源}\delta^{13}C_{碳源}=F_{有机质}\ \delta^{13}C_{有机质}+F_{碳酸盐岩}\delta^{13}C_{碳酸盐岩}$$

假设整个碳循环处于平衡态，碳源的 $\delta^{13}C_{碳源}$为-7.00‰，回答 W14-W17 问题：

W14. 假设现代碳酸盐岩的碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 碳酸盐岩为 0.02‰，有机碳的碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 有机质为-31.69‰，计算有机质埋藏和碳酸盐岩埋藏占总埋藏量的比例约为（ **A** ）。

A. 22% 和 78%； B. 80% 和 20%；

C. 7% 和 93%； D. 31.7% 和 68.3%。

W15. 假设有机碳与碳酸盐岩之间的碳同位素存在分馏平衡（即 $\delta^{13}C$ 有机质与 $\delta^{13}C$ 碳酸盐岩之间差值恒定），有机质埋藏比例的增加会导致（ **C** ）。

A. $\delta^{13}C$ 有机质不变； B. $\delta^{13}C$ 有机质变低

C. $\delta^{13}C$ 有机质变高； D. 不能确定。

W16. 假设有机碳与碳酸盐岩之间的碳同位素存在平衡分馏（即 $\delta^{13}C$ 有机质与 $\delta^{13}C$ 碳酸盐岩之间差值恒定），根据下表推断（ **B** ）时代有机质埋藏比例最高。

表 各时代碳酸盐岩碳同位素值

age (Ma，百万年前)	$\delta^{13}C_{碳酸盐岩}$ (‰)
0-250	0.5
250-350	4.4
350-400	2.5
400-500	1.4

A. 0-250 Ma； B. 250-350 Ma； C. 350-400 Ma； D. 400-500 Ma。

W17. 根据（W16）结果，判断近 5 亿年来氧气含量最高的时期为（ **B** ）。

A. 0-250 Ma； B. 250-350 Ma； C. 350-400 Ma； D. 400-500 Ma。

稳定同位素是广泛使用的天体化学工具，被用于元素溯源、示踪地质过程、解译反应过程等。一个元素存在不同同位素时，其相对丰度通常用两者的比值（R≡$^*C/C$）来表示。其中，$^*C$ 和 C 分别是两种同位素的摩尔含量。稳定同位素测量普遍采用测定两种物质的相对 R 值，即样品与标准物质的 R 值之比。这样要比直接测定样品的 R 值更精确。因此，报导时通常都将 R 比值转换为 δ 值来表征某种物质微量同位素的相对富集程度：$\delta\equiv(R_{sm}/R_{st}-1)\times1000‰$。

大气中 N、C、O 的同位素丰度（$^iA=^iC/C_{tot}$，i 表示同位素，C_{tot} 为元素含量）如下表：

同位素	^{14}N	^{15}N	^{12}C	^{13}C	^{16}O	^{17}O	^{18}O
丰度(%)	99.634	0.366	98.89	1.109	99.759	0.037	0.204

W18. 在测量氮气的 $\delta^{15}N$ 值时，通入质谱的 N_2 中混入了 1%的 CO。以 $^{15}R_{标样}=3.6765\times10^{-3}$ 为标准，此时测出的 $\delta^{15}N$ 值和真实值比（ **删除，不计入成绩** ）。

A. 偏重 2.2‰； B. 偏轻 2.2‰； C. 偏重 1.1‰； D. 偏轻 1.1‰。

W19. 以 $^{15}R_{标样}=3.6765\times10^{-3}$ 为标准，Isheyevo CH/CB$_b$ 碳质球粒陨石中原生捕虏体 PX-18 的氮同位素值为 $\delta^{15}N=4900‰$；而难容包裹体（Calcium-,

Aluminum-rich Inclusion, CAI）里陨氮钛矿（TiN）颗粒 $\delta^{15}N$=−358‰。假设研究人员将 PX-18 和 TiN 颗粒进行 1：1 混合后测量整体的氮同位素组成，获得的 $\delta^{15}N$ 值为（ **B** ）。

A. 2271‰； B. 2246‰； C. 2221‰； D. 2196‰。

W20. 已知：随着温度的升高，水和碳酸钙之间的氧同位素组成之差可以用以下公式来描述：$\delta^{18}O_{碳酸钙} - \delta^{18}O_{水} = 0.24t + 40‰$，其中 t 是温度（℃）。而雨水的同位素值和温度的关系为：$\delta^{18}O_{雨水} = 0.7t - 20‰$。研究人员采集了一个 20 百万年前的 1000 米（原题有误，本题分数未计入总分）的古土壤剖面，发现土壤中的碳酸钙氧同位素组成从-3‰下降到了-15‰。请问这个古土壤剖面的温度梯度是（ **D** ）？

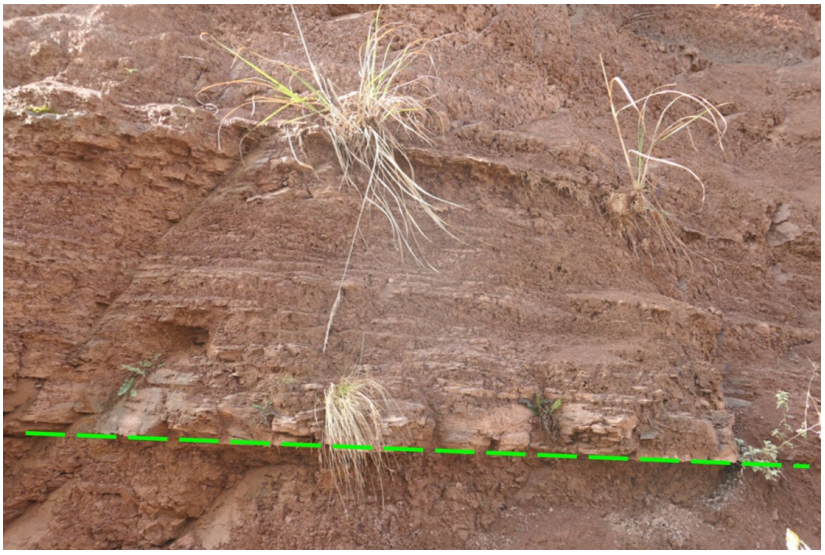
A. -0.0500℃/km； B. -0.0261℃/km； C. -0.0171℃/km； D. -0.0128℃/km。

2024-2025 学年全国中学生地球科学奥林匹克竞赛
决赛试题参考解答

一、野外实践部分，不确定选择题，结果写在答题纸上（单选或多选，每一个正确答案得 2 分，选错一个扣 2 分，每题最低得分为 0 分）

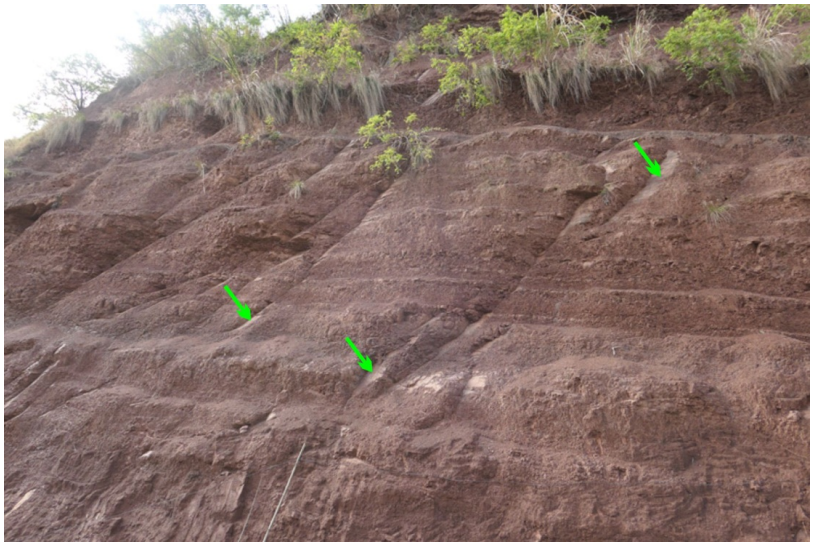
依据两条野外路线的观测结果以及提供的野外照片，回答下面 Q1-Q11 问题。

Q1. 在工厂内剖面，可见一系列产状较平缓的面（如沿绿色虚线垂直于照片/剖面的平面），此面为（ **B** ）。



A. 流面； B. 层面； C. 片理面； D. 片麻理面。

Q2. 在工厂内剖面，可见一系列倾角约 50-60°的较光滑的面（如绿色剪头指示的平面，下图），此面为（ **A** ）。



A. 剪节理面； B. 张节理面； C. 向斜的轴面； D. 背斜的轴面。

Q3. 上题（Q2 题）中一系列倾角约 50-60°结构面的倾向为 20-30°，剖面的方向为 290°，

形成此结构面的作用力及方向可能为（ A ）。

A. 20-30°水平挤压； B. 20-30°水平拉伸；

C. 110-120°水平挤压； D. 110-120°水平拉伸。

Q4. 已知 Q2 题处斜坡的坡面产状为 20°∠65°，如果要在此坡面上修建一条垂直于坡面向南西方向延伸的高速铁路隧道，请根据观察点的岩性组合特征，判断岩层产状在（ C ）情况下，隧道进口斜坡的稳定性最差。

A. 110°∠35°； B. 290°∠35°； C. 20°∠35°； D. 200°∠35°

Q5. 在工厂内剖面，可见岩石似“疙瘩”状，此现象为（ C ）。



A. 枕状构造； B. 球状构造； C. 球形风化； D. 结核。

Q6. 在小路边剖面，可见岩石明显裂开（下图），此现象为（ D ）。



A. 正断层； B. 逆断层； C. 溶蚀； D. 根劈。

Q7. 在小路边剖面，可见剖面岩石掉落形成一石堆（下图），此现象为（ A ）。



A 崩塌； B 滑坡； C 泥石流； D 喀斯特地貌。

Q8. 形成上一题（Q7 题）现象的有利因素为（ BD ）。

A. 下部岩石坚硬、上部岩石软弱； B. 上部岩石坚硬、下部岩石软弱；

C. 裂隙不发育； D. 裂隙发育。

Q9. 在小路边剖面，可见一透镜状灰绿色岩石被紫红色岩石所包裹（下图），灰绿色岩石和紫红色岩石的岩性分别可能为（ C ）。



A. 片麻岩、片岩； B. 板岩、千枚岩；

C. 砂岩、粉砂质泥岩； D. 辉绿岩、流纹岩。

Q10. 上一题（Q9 题）中的灰绿色岩石，与其周围的紫红色岩石相比，形成时间（ B ）。

A 较早； B 基本一致； C 较晚； D 无法判断。

Q11. 在所观测的两个剖面上，均可见类似下图中大量的紫红色岩石，其最可能的形成环境为（ C ）。



A. 强还原环境； B. 弱还原环境；

C. 强氧化环境； D. 弱氧化环境。

二、不确定选择题，结果写在答题纸上（单选或多选，每一个正确答案得 1 分，选错一个扣 1 分，每题最低得分为 0 分）

碳酸盐岩具有广泛的时空分布，主要为生物成因，而该生物成因属性注定了其与海洋生物、海洋化学条件等密切相关。据此回答下面 Q12-13 问题。

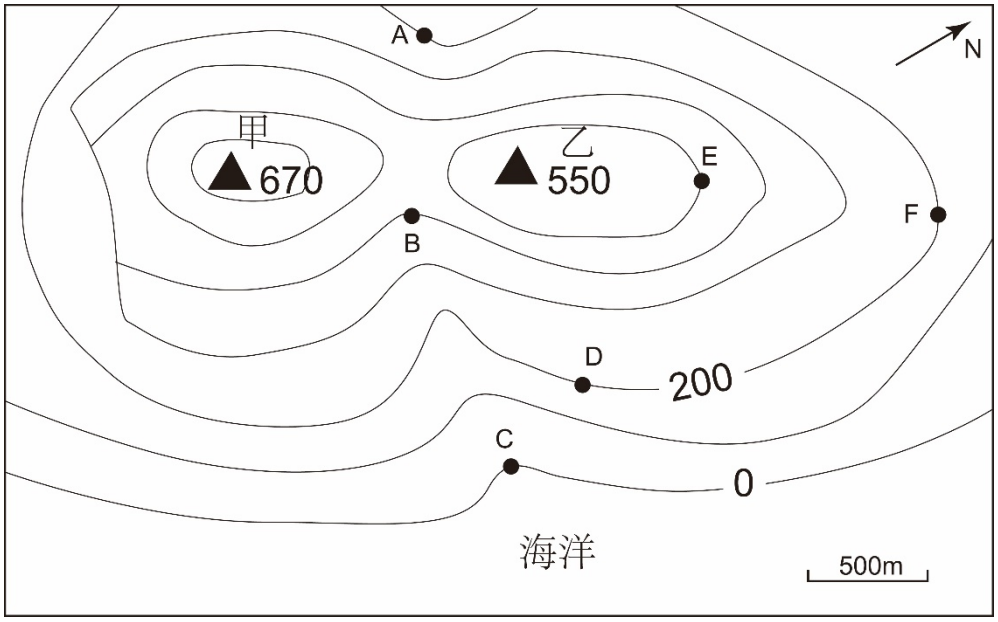
Q12. 以下环境因素影响着碳酸盐工厂的生产效率，其中最重要的有（ ABC ）。

A. 温度； B. Mg/Ca； C. 盐度； D. 海底地形。

Q13. 目前已经确立了热带浅水碳酸盐工厂、灰泥丘工厂和温凉水碳酸盐工厂各自的识别特征，其中关于灰泥丘工厂的主要特征下述说法正确的是（ ABC ）。

A. 沉积物颗粒非常细； B. 有细菌参与； C. 原地沉淀； D. 异地沉淀。

下图为东南沿海某地的地形图，据此回答下面的 Q14-15 问题。



Q14. 图中，有一处适合户外攀岩运动的位置。运动员从崖底攀至陡崖最高处，高差可能有（ C ）。

A. 98 米； B. 398 米； C. 298 米； D. 598 米。

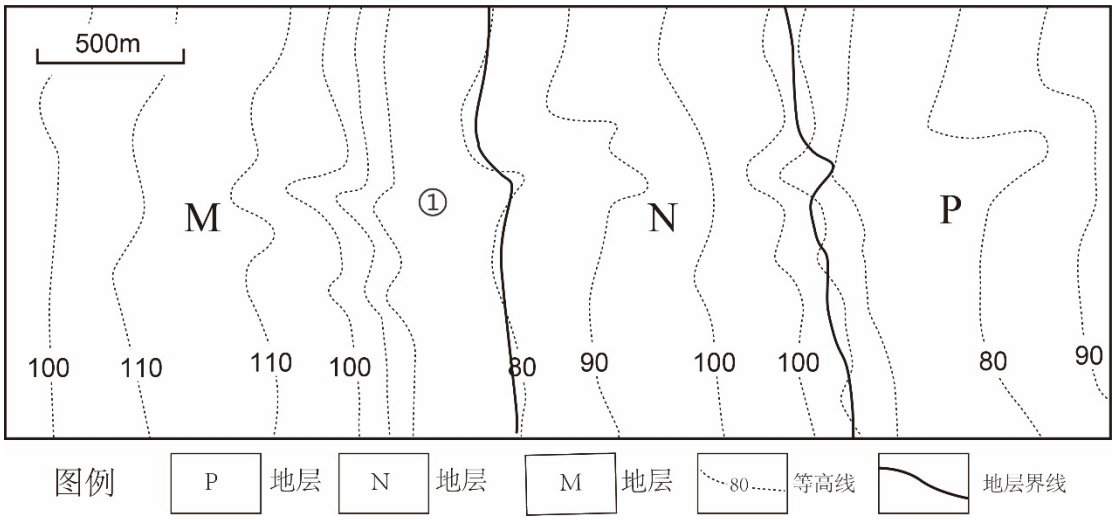
Q15. 关于上图的一些描述说明，其中表述正确的是（ ABD ）。

A. D 地比 A 地降水多； B. 点 B 和 C 位于山谷中，点 E、F 处于山脊上；

C. D 点在西南坡上，阳光充足； D. 甲、乙两山相对高度差为 120 米。

在地形地质图上，倾斜的岩层界线在山谷地区呈近似“V”字形，若岩层界线 V 字形尖端指向沟谷的下方，即与地形等高线弯曲方向相反，则岩层界面倾向与沟谷流水方向相同，但界面倾角大于谷底坡度；若岩层界线 V 字形尖端指向沟谷的上方，与地形等高线弯曲方向相同，则岩层界面倾向与沟谷流水方向相反。下图为意大利南部沿海某地地形地质图，地表分布有三种连续沉积的地层 M、N 和 P，且时代顺序为 M 老于 N 老于 P。据此完成下列

Q16-17 题。



Q16. 图示地区地层产状应该是向同一方向倾斜的，那么它可能处于（ CD ）。

A. 背斜顶部； B. 向斜槽部； C. 向斜左翼； D. 背斜右翼。

Q17. 图中①处地貌的形成原因最可能是（ B ）。

A. 处于断裂带，岩石破碎； B. 地表岩层差异侵蚀；

C. 夏季汛期流水侵蚀严重； D. 向斜槽部地势凹陷。

在野外常见沉积岩、变质岩、岩浆岩等三大岩类，请结合相关知识回答 Q18-20 问题。

Q18. 下面（ B ）岩石具有层理构造。

A. 花岗岩； B. 含放射虫化石的硅质岩； C. 闪长岩； D. 混合片麻岩。

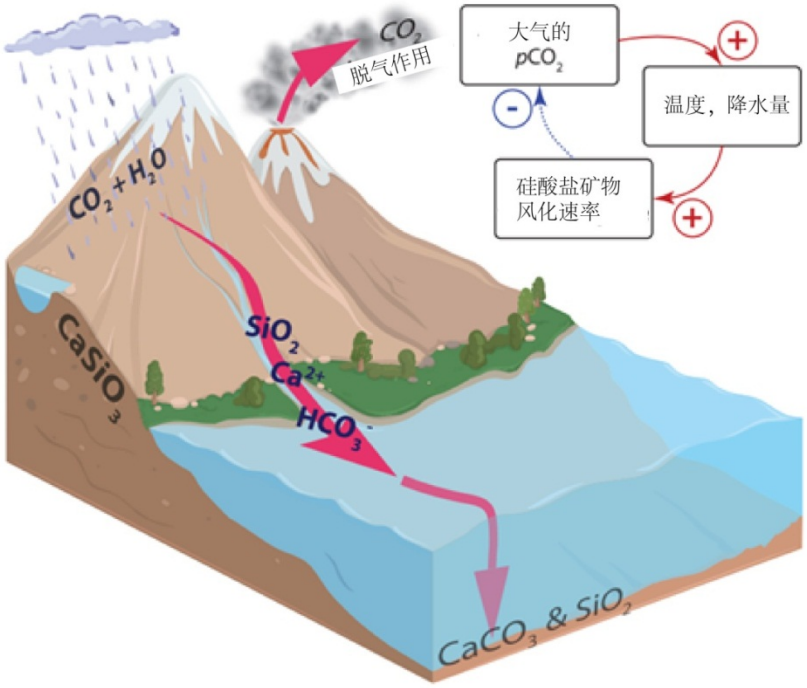
Q19. 下面的岩石，（ C ）不是变质岩。

A. 板岩； B. 混合岩； C. 流纹岩； D. 榴辉岩。

Q20. 由分子式为 $MgCa(CO_3)_2$ 的矿物为主构成的岩石，重结晶变质后一般称为（ D ）。

A. 片麻岩； B. 角岩； C. 混合岩； D. 大理岩。

在地质历史时期中，地表温度以及大气 CO_2 浓度始终保持在相对宜居的范围之内，并没有变得过热或过冷。地表之所以能形成这种宜居环境，其中一个经典假说涉及到硅酸盐风化的负反馈作用。在这一假说中，火山排气作用是最主要的碳源，而陆地硅酸盐的风化作用（消耗 CO_2 并生成 HCO_3^-）及海底碳酸盐埋藏则是最主要的碳汇（见下图）。当火山排气作用增强时，大气 CO_2 浓度升高，地表温度升高，依据经典阿伦尼乌斯方程，硅酸盐风化速率会随之升高，消耗更多 CO_2，从而将大气 CO_2 含量维持在相对稳定的水平，反之亦然。请回答以下 Q21-Q23 问题。



Q21. 以下（ ABCD ）是硅酸盐风化的控制作用。

A. 温度； B. 降水； C. 岩性； D. 物理侵蚀。

Q22. 假设硅酸盐风化过程遵守阿伦尼乌斯方程，地表矿物平均反应活化能（E_a）为 50 kJ/mol，现今地表温度为 14 ℃。如果地表温度升高 5℃，硅酸盐风化速率（与 CO_2 消耗量有关）应该升高（ C ）。

（注：阿伦尼乌斯方程为 $\frac{r_T}{r_0}=e^{\frac{E_a}{R}\times(\frac{1}{T_0}-\frac{1}{T})}$。其中，$r_T/r_0$ 代表反应速率的比值，R 为气体常数 8.314 J/(mol • K)，E_a 为反应活化能，T 和 T_0 代表最终和初始温度条件。）

A. 23%； B. 33%； C. 43%； D. 53%。

Q23. 在不同的地质历史时期，地表矿物平均的反应活化能可能存在差别。若火山排气通量升高，为了维持碳源和碳汇的平衡，反应活化能更高的地质历史时期对应着温度的升高幅度（ B ）。

A. 更大； B. 更小； C. 不变； D. 不确定

岩浆矿床（magmatic deposits）是指各类岩浆通过结晶作用与分异作用，使分散在岩浆中的成矿物质得以聚集而形成的矿床。根据成矿作用不同岩浆矿床主要包括由岩浆结晶分异作用形成的岩浆分结矿床、由岩浆熔离作用形成的岩浆熔离矿床、与火山活动有关的岩浆爆发矿床等。岩浆矿床有一定的成矿专属性，即一定类型的岩浆岩与一定类型矿床间存在密切成因关系。据此回答下面 Q24-26 问题。

Q24. 金刚石矿床属于（ C ）。

A. 岩浆分结矿床； B. 岩浆熔离矿床；

C. 岩浆爆发矿床； D. 岩浆凝结矿床。

Q25. 金刚石（钻石）主要产在以下（ A ）岩浆岩中。

A. 金伯利岩； B. 花岗岩； C. 闪长岩； D. 玄武岩。

Q26. 我国最大的铜镍硫化物矿床是（ B ）。

A. 东川铜矿； B. 金川铜矿； C. 德兴铜矿； D. 玉龙铜矿。

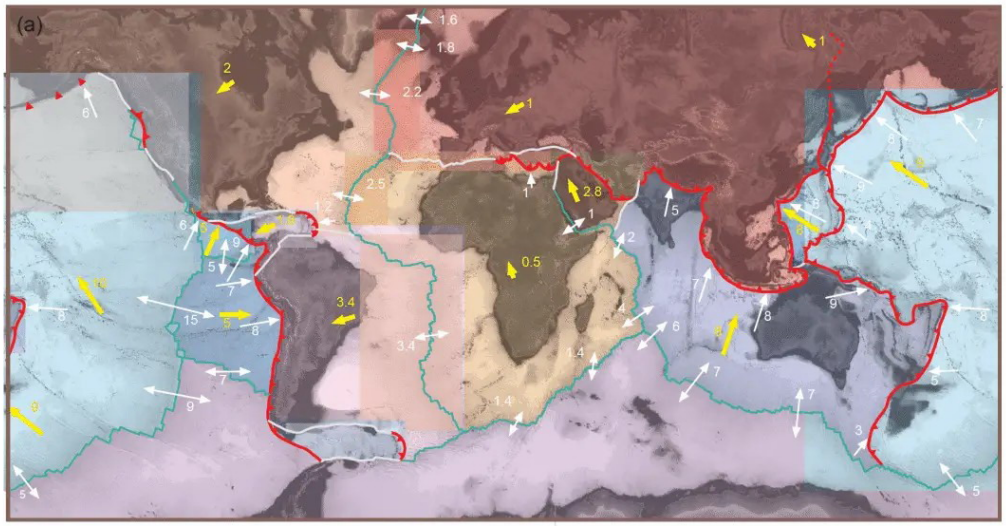
Q27. 孔隙度是指地质体中所有孔隙空间体积之和与其体积的比值，以百分数表示。一般来说，未固结的沉积物孔隙度较大，其次是沉积岩，而结晶岩石孔隙度较小。那么，下面几类地质体(1)花岗岩、(2)粘土、(3)砂岩和(4)砾石，孔隙度由大到小排列正确的是（ C ）。

A. (1)(2)(3)(4)； B. (2)(1)(3)(4)； C. (2)(4)(3)(1)； D. (4)(3)(2)(1)。

Q28. 地质体中经常发育一些面状构造现象，我们称之为面理、片理、节理等，然而其成因各不相同，可以划分为原生和次生现象，那么下面这些地质体中可以形成原生层状构造的是（ C ）。

A. 花岗岩体； B. 片麻岩； C. 泥灰岩； D. 石榴石云母片岩。

Q29. 板块构造学说认为，全球岩石圈可以划分为若干板块，处于不断运动之中（下图）。板块内部比较稳定，板块与板块之间的交界处可以分为三种状态：其一为彼此接近的汇聚型板块边界；其二为彼此远离的离散型板块边界；其三为彼此交错的转换型板块边界。下面地区处于离散型板块边界的是（ D ）。



A. 新西兰群岛； B. 夏威夷群岛； C. 格陵兰岛； D.冰岛。

在未来，人类可能会生活在地球以外的地方，比如火星。有人问这怎么可能。事实上，火星和地球有很多相似之处，但是也有很多不同。根据你的了解，回答下面 Q30-31 问题。

Q30. 阻碍人类在火星上生活的因素不包括（ D ）。

A. 辐射太多； B. 温度低； C. 缺乏足够的氧气； D. 没有金属矿产。

Q31. 探索火星的首要驱动力是（ B ）。

A. 我们在那里很容易找到稀有贵金属； B. 我们想更多地了解未知的世界；

C. 地球上将会人口爆炸； D. 我们的技术将变得非常先进。

下图是某地发现的某沉积岩层的露头，推测成分以碳酸盐矿物为主，据此完成下面 Q32-33 问题。



Q32. 根据你的知识判断，下面（ BD ）说法是正确的。

A. 该岩层的层面为上层面，显示了波痕构造；

B. 该岩层发育了多组节理构造；

C. 该岩层为板状泥灰岩；

D. 该岩层主要由微晶白云石组成。

Q33. 该层面展示出的特征，其可能形成过程是（ C ）。

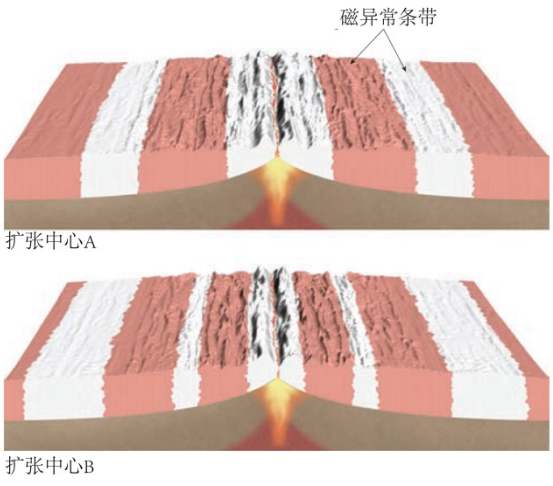
A. 沉积成岩——受力挤压——裂隙充填——地表沉降——风化剥蚀；

B. 沉积成岩——地表沉降——裂隙充填——受力挤压——风化剥蚀；

C. 地表沉降——沉积成岩——受力挤压——裂隙充填——风化剥蚀；

D. 地表沉降——受力挤压——裂隙充填——沉积成岩——风化剥蚀。

想象一下，你正在研究沿着两个不同洋脊的海底扩张。使用磁力计的数据，制作了下面两张地图。



Q34. 根据上面图示，确定下面（ BC ）说法是正确的。

A. 扩张中心 A 和 B 具有相同的发育时间；

B. 扩张中心 A 发育时间短于扩张中心 B 发育时间；

C. 扩展中心 A 的相对扩张速度大于扩展中心 B；

D. 扩展中心 A 的相对扩张速度小于扩展中心 B。

Q35. 固体地球的一些物理参数在地表以下 2900 km 的核幔边界处发生急剧变化，下述有关参数描述正确的是（ AC ）。

A. 密度由 5.6 g/cm^3 急剧上升到 9.7 g/cm^3；

B. 重力加速度在此处形成拐点，并达到最大值 12.37 cm/s^2；

C. 温度在此界面达到 3700 ℃，发生了固液相态的转变；

D. 横波穿越此界面后消失，纵波经过此界面速度急剧变大。

Q36. 有关岩浆和岩浆岩下述说法正确的是（ ABC ）。

A. 岩浆的粘度受温度、氧化物成分、挥发分控制；

B. 酸性岩浆黏度大于基性岩浆；

C. 黏度大不利于岩浆的上侵，因此酸性岩更倾向于形成侵入岩，基性岩更容易形成喷出岩；

D. 中性喷出岩容易形成流纹构造。

Q37. 常见的岩浆中结晶的硅酸盐矿物称为造岩矿物，下列矿物组中全部属于造岩矿物的是（ B ）。

A. 橄榄石、普通辉石、斜长石、蛇纹石；

B. 普通角闪石、黑云母、白云母、钾长石；

C. 橄榄石、普通辉石、斜长石、高岭石；

D. 石英、普通角闪石、白云石、绿泥石。

Q38. 地球上不同圈层中的化学元素既有联系，也有差异。下表为地壳、土壤和生物体中部分元素的含量（%），I、II、III 分别为（ C ）。

A. 地壳，生物，土壤； B. 地壳，土壤，生物；

C. 土壤，生物，地壳； D. 土壤，地壳，生物。

	Si	Al	Ca	K	Na	Mg	O	C	N	P	Fe	H
I	33.0	7.12	1.37	1.36	0.50	0.60	49.0	2.0	0.10	0.08	3.80	1.00
II	0.05	0.02	0.50	0.20	0.05	0.07	70.0	18.0	0.50	0.70	0.02	8.00
III	27.6	8.50	3.50	2.50	2.60	2.00	47.2	0.01	0.02	0.08	5.00	0.15

Q39. 我国近海总面积 470 多万平方千米，下列关于四大海区的说法错误的是（ A ）。

A. 南海是四大海区中海岛数最多的；

B. 东海是我国陆架最宽的边缘海；

C. 黄海因海水呈黄褐色而得名；

D. 渤海是中国最北的近海，亦为中国最浅的半封闭性内海。

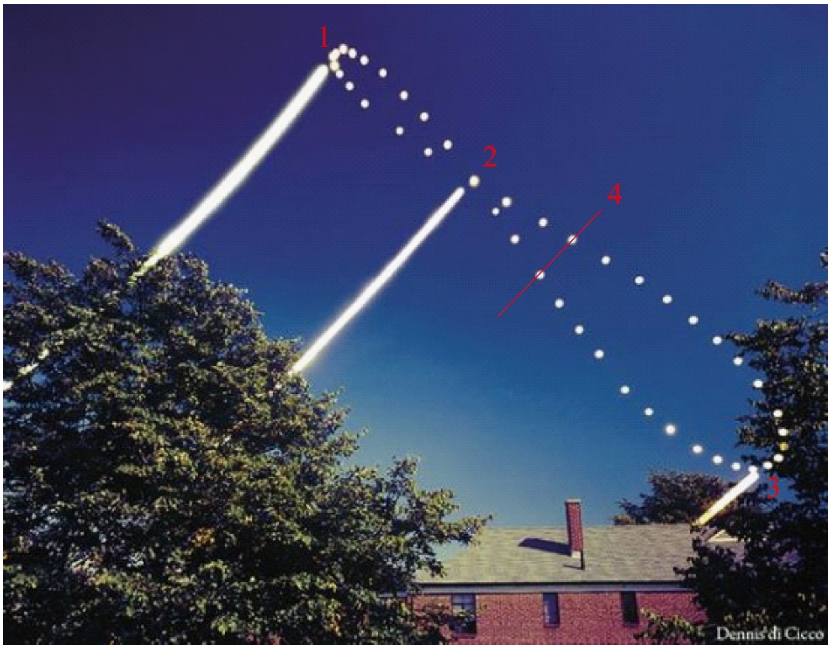
Q40. 在地球上观测周年日行迹的形状很像 8 字形（下图），请选择正确说法（ BCD ）。

A. 图中 1、2、3 三处分别表示夏至点附近、春秋分点附近、冬至点附近；

B. 图中 1、2、3 三处分别表示真、平太阳时差为零；

C. 图中 1 为夏至点附近，3 为冬至点附近，4 为春秋分点附近；

D. 图中真实太阳与 8 字中心线的距离反映了真、平太阳时差。



注：第一版解答中答案有误，决赛时按照原答案ABD评分。经竞赛委员会全面复核，确认此次错误未改变最终奖项排名，所有结果维持有效。竞赛委员会对由此造成的不便深表歉意，并将进一步加强审核流程，完善命题与评卷机制，杜绝类似问题再次发生。感谢广大师生的监督与反馈。本次修改的详细解释请参见竞赛委员会编著的《真题解析(2023－2025)》（地震出版社）。

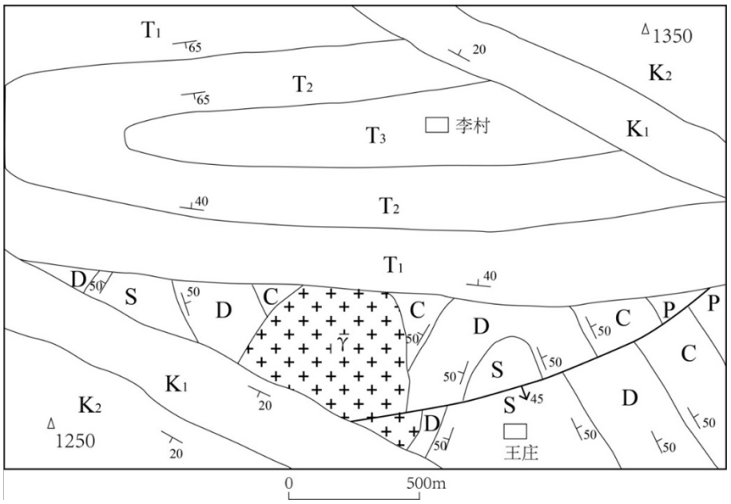
三、综合分析题，答案请写在答题纸上。除特别说明外，计算题只需给出关键步骤与最终结果

W1-W3 背景材料：

地质图是地球科学史上的伟大发明与创想，以科学的符号系统、精确的地图投影和系统的综合方法表达复杂地球物质世界的空间结构和空间关系。

李村-王庄地区出露地层为志留系、泥盆系豹皮状灰岩、泥质条带灰岩、鲕状灰岩、竹叶状灰岩、石灰岩等；石炭系-二叠系砂岩、炭质粉砂岩和页岩、并夹有数层可采煤层；三叠系为火山角砾岩、集块岩及少量中性熔岩组成，白垩系为砂泥岩互层，底部发育一层砾岩。

代	纪	常用代号	据今百万年(Ma)
新生代	第四纪	Q	2.58
	新近纪	N	23
	古近纪	E	66
中生代	白垩纪	K	145
	侏罗纪	J	201
	三叠纪	T	252
古生代 晚古生代	二叠纪	P	299
	石炭纪	C	359
	泥盆纪	D	419
古生代 早古生代	志留纪	S	444
	奥陶纪	O	488
	寒武纪	€	541



左：显生宙简明地质年表　　右：李村-王庄地区地质简图

W1. 阅读李村-王庄地区地质图（上图），依据上面给出的简明地质年表，分析不同时代地层的接触关系；列出各种地质体和地质现象，并简要描述其特征；并给出各种地质体和地质现象的发育顺序。（10 分）

答案：该地区发育了志留系、泥盆系、石炭系、二叠系，各组地层之间为连续沉积，整合接触。三叠系以角度不整合覆盖在上述地层之上，白垩系角度不整合在前述地层之上。总之存在两个角度不整合，划分为三个沉积地层单元。除地层外，本区发育了有志留系为核部的背斜和三叠系地层组成的向斜，以及花岗岩侵入体和断层。花岗岩体为一小型岩株，侵入于志留系-石炭系地层，断层倾向北，为逆断层。

发育顺序：志留系-泥盆系-石炭系-二叠系沉积成岩-受到东西向挤压-形成背斜和向斜-花岗岩体侵入（-热接触变质作用）-断层-区域隆升-三叠系角度不整合沉积成岩-南北向挤压-向斜-白垩系角度不整合沉积成岩-区域隆升剥蚀。

W2. 花岗岩侵入体周围热接触变质带的岩性可能有哪些？（6 分）

答案：与泥盆系灰岩的接触变质带可能有矽卡岩、大理岩等；与石炭系碎屑岩类接触，可形成角岩、千枚岩、板岩等。

W3. 请确定花岗岩γ的大致形成时代，并说明理由。（4 分）

答案：二叠纪期间（252～299 Ma）。依据侵入接触关系，岩体晚于石炭纪（299 Ma）；根据不整合接触关系，早于三叠纪（252 Ma）。

W4-W9 背景材料：

地球上的风，本质上就是大气的运动。哈德利环流（Hadley cell）是一种目前认为普遍存在于宜居星球上的全球尺度大气环流。地球上的哈德利环流指的是大气从赤道附近上升，在中纬度附近区域下沉形成的环流。显然，这个环流的形成意味着，赤道附近上升的气团需要在某个特定高度处停止上升，变成具有向两极运动的分速度的平行地面的运动；同时在某一个纬度处停止向两极运动，并开始下沉。

上升大气停止上升的高度即为地球大气圈层结构中的对流层顶部的高度。大气现象通常

发生在对流层高度范围之内，很难传播到平流层。此外，通常认为流体静力学平衡在对流层范围内适用。而其停止向两极运动，开始下沉的纬度，即为哈德利环流的范围/尺度。不同的行星具有不同尺度的哈德利环流，火星上的哈德利环流可以影响到纬度 60 度的位置，而地球哈德利环流的边界往往在 25 度附近的中纬度区域。

事实上，只需要一些简单的行星参数，就可以通过简化的物理模型估算出某个行星的哈德利环流的尺度，下面让我们一步一步的来实现这个过程！

在估算过程中，仅考虑地球以角速度 Ω 绕地轴自转（忽略其他一切地球的运动：包括地球的公转、地轴的倾斜与地轴的运动等等）且地球为球体；忽略地球大气自身黏性造成的黏性耗散，仅仅考虑大气与地面之间的摩擦，也忽略对流层大气在对流层顶与平流层大气的能量交换（即除与地面接触摩擦以外不存在任何能量损失）；同时也忽略水的相变，将哈德利环流简化为一个单纯的运动学问题（如图 1 所示）。

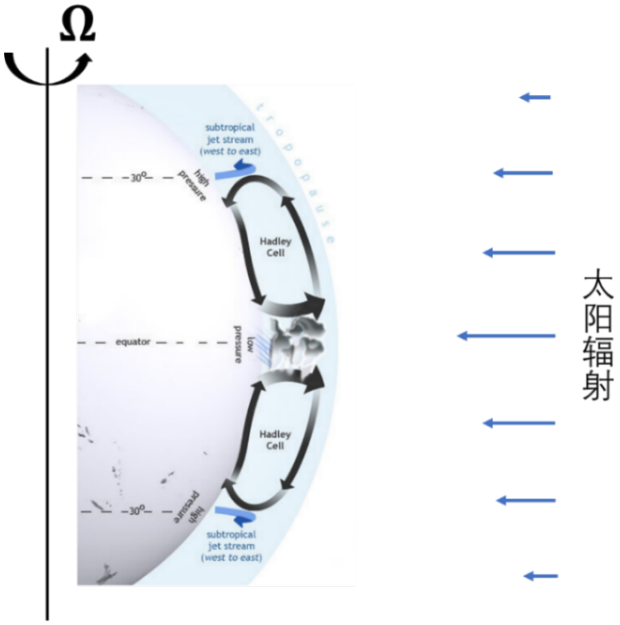


图 1

这样，哈德利环流就可以抽象为流体沿着两个关于赤道对称的近矩形路径进行循环流动（如图 2 所示）。由于哈德利环流关于赤道轴对称，因此我们只考虑北半球的情况。

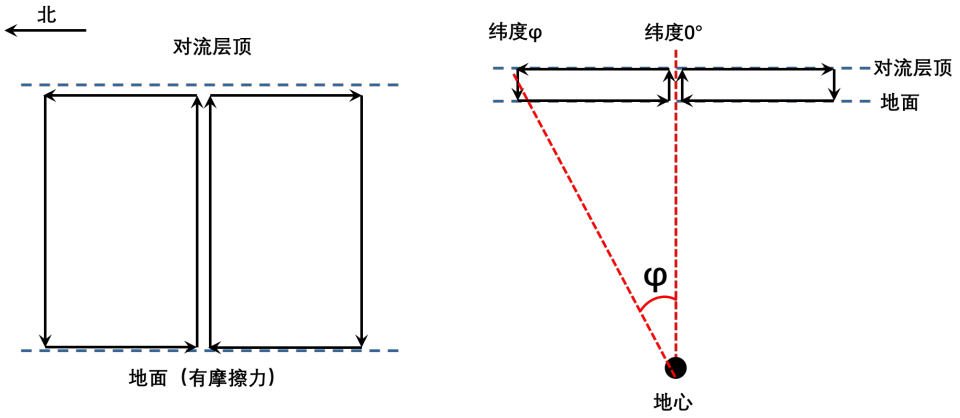


图 2

通常使用“风速”来描述大气相对地面的运动情况。某个特定位置的风速，可以视为这个位置处一个小的大气团块的运动速度（如图 3 所示）。地球风速通常被进行三向分解，分解为垂直于地球表面方向的垂向速度 w （垂直地面向上为正方向），沿经线方向的经向速度 v（向北为正方向），和沿纬线方向的纬向速度 u（向东为正方向）。其中值得注意的是，地球自身在公转，**纬向风速是相对于自转的地球（即相对于最近的地面）的速度**。

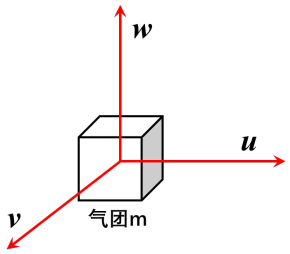


图 3

设地球自转角速度为 Ω ，地球半径为 a ，对流层高度为 H （从地面到对流层顶的高度），相对地球半径而言对流层高度可以忽略不计。首先考虑气团在对流层顶运动的阶段（如图 4 所示的 CD 段，气团不受到摩擦力，可以忽略一切外力的作用）。此阶段气团从赤道向更高纬度的地区运动，垂向速度 w 始终为 0。赤道处的纬向速度 u_c 为 0。

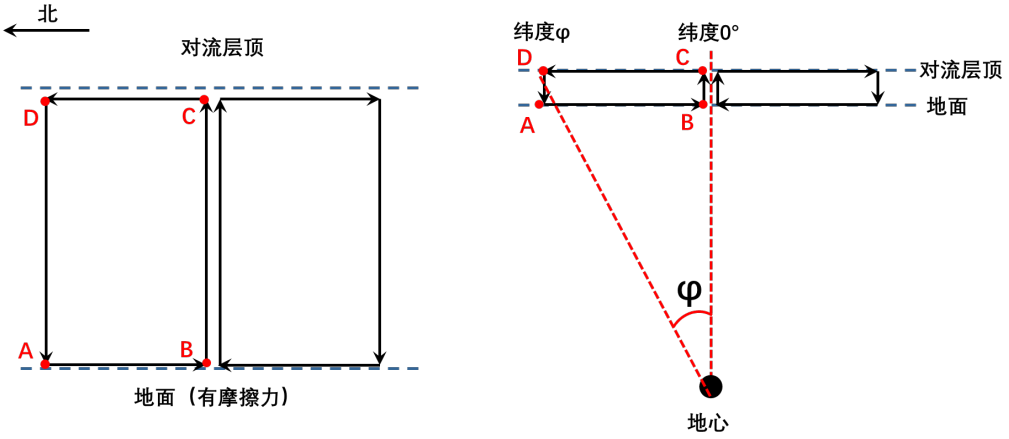


图 4

W4. 请求出气团向两极运移到任意纬度 φ 处，其纬向速度 $u(\varphi)$ 的表达式。若地球自转角速度 $\Omega = 7.3 \times 10^{-5}$ 弧度/s ，地球半径 $a = 6371.4$ km，请求出纬度 20° 与 30° 位置处的纬向速度（计算结果保留两位小数）。（8 分）

【补充知识：在没有外力作用时，绕某个轴旋转的质点，其质量、线速度、到其自转轴的距离这三者的乘积始终不变。】

答案：57.90 m/s, 134.27 m/s

通过上题的计算，我们成功知道了哈德利环流上边界任意一点的纬向速度。而在下边界，由于存在大气与地表的摩擦，通常认为下边界任意纬度处的纬向风速 u 均为 0 m/s，可见从地面到对流层顶纬向风速发生了明显改变。假设纬向风速沿高度线性均匀变化，即在任意纬

度处纬向风速从高度 $h=0$，到高度 $h=H$（H 为对流层顶的高度）都线性递增。将相同纬度，上升单位高度伴随的纬向风速变化量定义为“纬向风速的垂向切变”，记为 τ。

W5. 请求出任意纬度 φ 处纬向风速的垂向切变 $\tau(\varphi)$。若地球自转角速度 $\Omega=7.3\times10^{-5}\ \mathrm{rad/s}$，地球半径 $a=6371.4\ \mathrm{km}$，对流层厚度 $H=12\ \mathrm{km}$，请求出纬度 20° 与 30° 位置处的 τ（计算结果用科学计数法表示，保留两位小数）。（4 分）

答案：$4.83\times10^{-3}\ s^{-1}$, $1.12\times10^{-2}\ s^{-1}$

经过前两题的计算，不难发现纬向风速的垂向切变 τ 从赤道向更高纬度方向迅速增大。随着纬向风速的垂向切变的增加，大气中气块的抗扰动能力会下降（即当气块受到扰动离开原位后，由于其他位置的运动状态与原位置差异过大，会导致进一步偏离原位而难以回到原位）。大气中这种气块的抗扰动动力的下降的过程被描述为：大气“垂直不稳定性”增加。哈德利环流存在纬度边界的原因，在本质上正是：大气的垂直不稳定性随着纬度的增加而增加，在某个纬度处，大气不稳定性达到了大气保持静力稳定平衡的极限，一旦超过这个纬度，大气就将处于极度的不稳定状态。于是哈德利环流在这个纬度处终止，而在哈德利环流纬度边界之外，存在动力不稳定性极高的西风急流。

我们此前已经计算出了纬向风速的垂向切变 τ 随纬度的变化函数，而这个变化，本质上是温度沿纬度分布不均匀导致的。垂向风切变与水平温度梯度成正比，这个关系被称作“热成风关系”，表达式为：

$$\tau=\frac{\Delta u}{\Delta h}=-\frac{g}{2\Omega sin\varphi\cdot T_0}\frac{\Delta T_M}{\Delta y}$$

其中 τ 为垂向风切变，Ω 为地球自转的角速度，g 为重力加速度，φ 为纬度角，T_0 为**全球平均辐射平衡温度**（太阳辐射下处于能量平衡状态下的地球整体的空间平均温度，**与赤道温度不同**）。由于我们仅仅考虑沿经线方向纬度增加（即远离赤道）导致的垂向风切变，所以这里 y 即为沿经线方向远离赤道的距离（赤道处 $y=0$），T_M 为地球表面的温度（是关于 y 的函数），$\frac{\Delta T_M}{\Delta y}$ 是地球表面沿经线方向远离赤道的温度水平梯度（见图 5）。

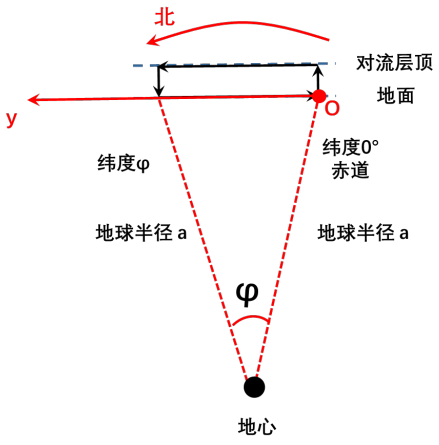


图 5

由于地球上哈德利环流的影响范围不大，可视为处于纬度角 φ 较小的情况。为简化计算，我们可以将某一纬度角 φ 对应的经线 y 和两条地球半径 a 视为等腰三角形。当顶角 φ 较小时，$\sin\varphi$ 可以近似等于 $\frac{y}{a}$，而 $\cos\varphi$ 可以近似等于 1（图 6）。（后续计算均使用此近似）

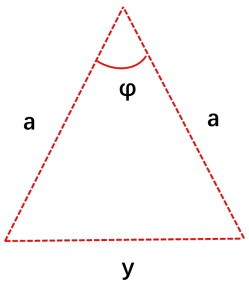


图 6

W6. 请根据此前求得的垂向风切变，结合热成风关系，求出我们简化的哈德利环流模型之下地球表面温度 T_M 随沿经线方向远离赤道的距离 y 的变化函数，并说明 T_M 关于 y 的函数表达式中常数项的意义。（10 分）

【补充知识：不定积分是求导的逆过程，通过不定积分可以根据因变量 y 关于自变量 x 的变化梯度 $\frac{\Delta y}{\Delta x}$，求出因变量与自变量的关系（即原函数） $y=F(x)$。以幂函数中的三次函数为例：已知四次函数 $f(x)=x^4+k$（其中 k 为任意常数），则其导函数 $f'(x)=4x^3$ 是一个三次函数。那么对三次函数 $g(x)=x^3$ 进行不定积分，其积分函数 $G(x)=\int x^3dx=\frac{1}{4}x^4+k$ 是一个四次函数。其中 $\int$ 为积分符号，dx 表示对 x 进行积分，k 为任意常数（但在物理公式中该常数可能有物理意义）。】

答案：

$$T_{\mathrm{M}}=-\frac{\Omega^2T_0}{2ga^2H}y^4+k$$

k 为常数项，代表哈德利环流模型计算出的赤道温度。

在上一题中，我们顺利求出了哈德利环流简化模型下的地球表面温度沿纬度的分布，这个温度分布可以近似看作是在哈德利环流参与将赤道位置的热量向更高纬度地区运输的作用下，地球达成的平衡温度沿纬度的分布。若地球上没有哈德利环流的存在，地球表面温度沿纬度的分布将完全由不均匀的太阳辐射决定，这种情况下的地球表面温度沿纬度的分布被称为**辐射平衡温度** $T_E(\varphi)=T_0-\frac{1}{3}\Delta T(3sin^2\varphi-1)$，其中 ΔT 为赤道位置的温度与极地位置的温度的差异，T_0 与热成风关系中的 T_0 一样，为**全球平均辐射平衡温度**。此处的纬度角 φ 仍然适用等腰三角形顶角三角函数值的近似。

W7. 请根据辐射平衡温度表达式，求出不存在哈德利环流情况下的赤道处的温度

T_{E_0} 的表达式。（2 分）

答案：代入$\varphi = 0$，得到

$$T_{\mathrm{E0}} = T_0 + \frac{\Delta T}{3}$$

将哈德利环流作用之下的地球表面沿纬度的温度分布 T_{M} 与没有哈德利环流作用之下的地球表面沿纬度温度分布 T_{E} 画在一起，图像如图 7 所示。我们假设哈德利环流影响范围内的大气和哈德利环流影响范围以外的大气不存在热量交换，且温度与热量成线性关系。

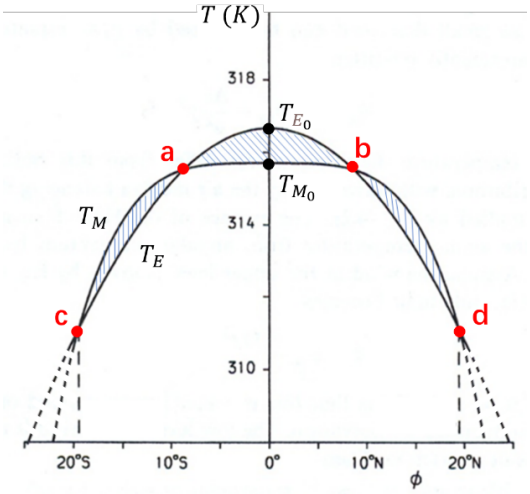


图 7

W8. 请解释图像中阴影面积以及两函数图像间四个交点 *a*, *b*, *c*, *d* 的含义（*c*, *d* 点之外的虚线部分为温度函数的理论延伸，但实际上由于哈德利环流纬度边界存在西风急流，并非连续变化，虚线部分实际上在二温度函数的定义域之外，并不存在）。（6 分）

答案：阴影面积的含义：*a* 点与 *b* 点之间两条曲线围成的阴影部分面积，是有哈德利环流从赤道附近运输到更高纬度地区的热量。*a* 点与 *c* 点、*b* 点与 *d* 点之间围成的阴影部分面积，是哈德利环流运输到更高纬度地区的热量总量。因此，*a* 点与 *b* 点之间两条曲线围成的阴影部分面积等于 *a* 点与 *c* 点、*b* 点与 *d* 点之间围成的阴影部分面积之和。

四个交点的含义：*a* 点和 *b* 的横坐标即为哈德利环流热量输送方向转变（从热量净输出转向热量净输入）的纬度位置，也可理解为哈德利环流停止净运走热量的转折点。*c* 点和 *d* 点的横坐标则对应哈德利环流在经向上的边界纬度。

根据上题的分析，我们实际上知道了哈德利环流的边界位于哪个位置，也知道了 T_{E0} 与 T_{M0} 之间的差值本质上反映的就是哈德利环流从赤道附近的热带区域向更高纬度地区输送的热量的多少。

W9. 请结合 T_{M} 与 T_{E} 关于 y 的简化表达式，求出哈德利环流边界与赤道的距离 y 的表达式，以及 $T_{\mathrm{E0}} - T_{\mathrm{M0}}$ 的表达式。代入下面补充数据，求出 y （单位 km，保留 5

位有效数字）和 $T_{E0}-T_{M0}$（单位 K，保留两位小数）的具体数值。（15 分）

【补充知识：定积分可以精确计算函数图像与 x 轴所围区域的面积。对于区间 $[a,b]$ 内均在 x 轴上方的函数 $f(x)$，它在该区间与 x 轴围成的面积可通过定积分 $\int_a^b f(x)dx = F(b)-F(a)$ 得到。其中 $F(x)$ 为前面介绍不定积分时提到的原函数，原函数中的常数 k 在相减的过程抵消。此外，$\int_a^b [f(x)+g(x)]dx = \int_a^b f(x)dx + \int_a^b g(x)dx$。】

【补充数据】

地球自转角速度：$\Omega = 7.3\times10^{-5}$ 弧度/s

地球半径：$a = 6371.4$ km

对流层厚度：$H = 12$ km

全球平均辐射平衡温度：$T_0 = 255$ K

赤道-极地温度差异：$\Delta T = 100$ K

重力加速度：$g = 9.8$ m/s^2

答案：y=3797.8 km; T_{E0}-T_{M0}=5.92 K

W10-W15 背景材料：

转动惯量（I）是研究行星自转动力学和内部结构的关键参数。其定义为 $I=\int r^2\,\mathrm{d}m$ 其中 r 是质量元 dm 到转动轴的垂直距离。对于行星而言，转动惯量不仅反映其质量分布，还隐含内部密度分层的信息。

W10. 根据转动惯量的定义，以下哪些说法是正确的？（不定项选择，5 分）AC

A. 地球的大陆集中于赤道附近时，地球的转动惯量更大

B. 地球的大陆集中于两极附近时，地球的转动惯量更大

C. 行星自转的动能为其转动惯量乘以自转角速度的平方再乘 1/2

D. 行星公转的动能为其转动惯量乘以公转线速度的平方再乘 1/2

科学家常用比值 I/MR^2（称为转动惯量因子）来标准化转动惯量，其中 M 为星球整体质量，R 为星球平均半径。

W11. 质点自转的转动惯量因子为__0__，质点公转的转动惯量因子为__1__。（4 分）

行星形成初期的分异过程（Differentiation）指内部物质因密度差异发生分层：重元素（如铁、镍）下沉形成金属核心，轻元素（硅、铝等）上浮形成幔层与地壳。这一过程显著改变了天体的质量分布，并反映在转动惯量因子 I/MR^2 的数值中。

W12. 假设行星 A 为均匀实心球体，求其转动惯量因子。（6 分）

【补充知识：①对于半径为 r 的极薄均匀球壳，其质量是一个非常小量 dm，其转动惯量也是一个非常小量 dI，已知 $\mathrm{d}I=\frac{2}{3}r^2\mathrm{d}m$。②对于极薄的球壳，其体积计算可以

近似为无数个小立方体。③定积分除了可以计算函数图像与 x 轴所围区域的面积，还可用于将非常小量相加。已知 $\mathrm{d}y = f(x)\mathrm{d}x$ ，则 $x = r$ 时 y 的值可以通过两边一起积分 $\int_0^r \mathrm{d}y = \int_0^r f(x)\mathrm{d}x$ 得到。】

（若你未解出均匀实心球体的转动惯量因子，下面各题可将其设为 λ_0 继续计算）

答案： $\frac{2}{5}$

W13. 某行星由内核、外层组成：内核半径为整个球体的 1/3，内核密度为外层密度的 2 倍。计算这颗行星的转动惯量因子。并跟均匀球体的转动惯量因子做比较，分析差异的原因。（8 分）

答案： 转动惯量因子为 0.3873（或 $0.9683\lambda_0$）。该值小于均匀球体的 0.4 (λ_0)。原因是行星发生了分异，密度更大的物质向中心集中，使得质量分布更靠近转动轴，从而降低了总的转动惯量。

W14. 若地球只由内核和外层组成，试计算地球内核与外层的密度比。地球内核的半径为 1220 km，地球总质量为 5.97×10^{24} kg，地球的转动惯量因子为 0.33。（6 分）

答案： 约 32.60。

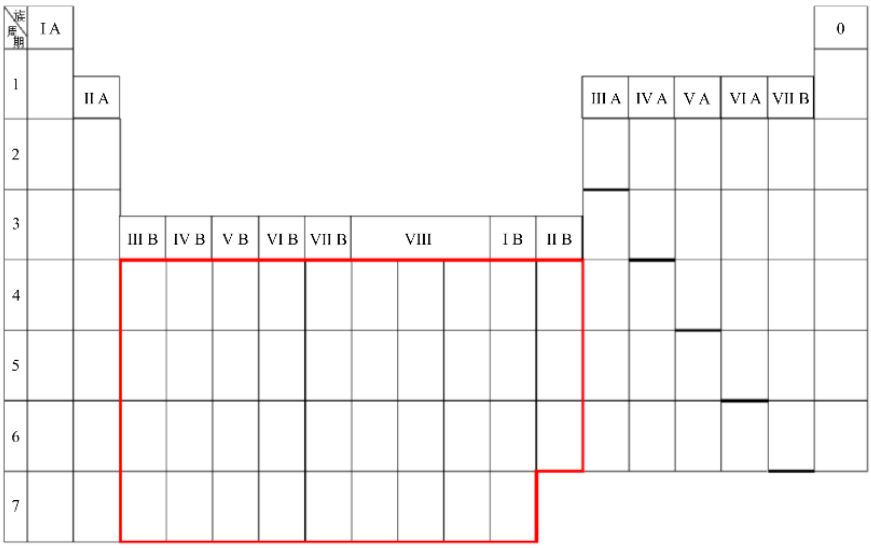
W15. 一个由内核、外层组成的行星，内核密度为外层密度的 2 倍，当内核多大时该行星的转动惯量因子最小？并求出此时的转动惯量因子。（6 分）

答案： 当内核半径与行星半径之比为 0.7221 时，最小转动惯量因子为 0.3476 (或 $0.8691\lambda_0$)。

W16-W23 背景材料：

稀土元素（Rare Earth Elements，简称 REEs）是指元素周期表中的一组 17 种化学元素，包括 15 种镧系元素以及钪（Sc）和钇（Y）。尽管被称为“稀土”，但实际上这些元素在地壳中的丰度并不低，只是它们通常以低浓度的形式存在（一个例外是具有放射性的 61 号元素 Pm，天然几乎不存在）。稀土元素在现代高科技产业中具有重要作用，被称为“工业维生素”。在地球科学中，岩浆岩、沉积岩中的稀土元素也是揭示岩浆作用、构造运动以及海洋化学演变的强力工具。

W16. 写出稀土元素在元素周期表中的位置（表示为族-周期，例如氢为IA-1）（3 分）



答案：钪（Sc）：IIIB-4；钇（Y）：IIIB-5；镧系（Ln）：IIIB-6

现代海洋中稀土元素主要来源于河流输入。由于外层电子结构相似，稀土元素具有相似的化学性质，海洋中它们的离子通常以+3 价态存在并与碳酸根离子络合。但其中 58 号元素**铈(Ce)**具有独特的化学性质。在含氧量高的海水中，三价 Ce 能够被氧化为四价，而四价 Ce 极易水解成 CeO_2 并沉淀下来。CeO_2 能够被铁锰氧化物吸附并沉降到海底。

W17. 假设表层海水与大气处于热力学平衡，计算现代表层海水中最多可溶解多少 Ce（只需保留数量级）（10 分）

【参考数据（25℃，pH=8.1，平衡常数均按 $\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$ 计算）：

$$Ce^{3+}+\frac{1}{4}O_{2(aq)}+3OH^- \rightarrow CeO_2+\frac{3}{2}H_2O \quad K_1=10^{39.4}$$

$$Ce^{4+}+2H_2O \rightarrow CeO_2+4H^+ \quad K_2=10^{8.14}$$

$$Ce^{3+}+CO_3^{2-} \rightarrow CeCO_3^+ \quad K_3=10^{7.61}$$

$$Ce^{3+}+2CO_3^{2-} \rightarrow Ce(CO_3)_2^- \quad K_4=10^{17.53}$$

二氧化碳的溶解平衡常数为 $0.033\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}\cdot atm^{-1}}$，碳酸的电离常数为 $K_{a1}=10^{-6.35}$ 和 $K_{a2}=10^{-10.33}$（假设溶解二氧化碳完全转化为碳酸）。氧气的溶解平衡常数为 $0.00125\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}\cdot atm^{-1}}$ 。】

答案：首先计算表层海水溶解氧浓度 $[O_2(aq)]$ 。现代大气氧分压 $p_{O_2}=0.21\ \mathrm{atm}$ ，

$$[O_2(aq)]=k_{O_2}\cdot p_{O_2}=2.625\times10^{-4}\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$$

再计算碳酸浓度 $[H_2CO_3]$ 。现代大气二氧化碳分压 $p_{CO_2}=4.2\times10^{-4}\ \mathrm{atm}$ ，

$$[H_2CO_3]=[CO_2(aq)]=k_{CO_2}\cdot p_{CO_2}=1.386\times10^{-5}\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$$

可得碳酸根浓度 $[CO_3^{2-}]$ 。 $\mathrm{pH}=8.1$ 时，

$$[CO_3^{2-}]=\frac{K_{a1}K_{a2}[H_2CO_3]}{[H^+]^2}=4.5895\times10^{-6}\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$$

现计算 Ce 各溶解形态的浓度。 $[Ce^{3+}]$ 可通过 K_1 计算

$$K_1 = \frac{1}{[Ce^{3+}][O_2(aq)]^{\frac{1}{4}}[OH^-]^3}，[Ce^{3+}] = \frac{1}{K_1[O_2(aq)]^{\frac{1}{4}}[OH^-]^3} = 1.5675 \times 10^{-21}\ mol \cdot L^{-1}$$

两个络合形态可通过 K_3、K_4 计算

$$[CeCO_3^+] = K_3[Ce^{3+}][CO_3^{2-}] = 2.9308 \times 10^{-19}\ mol \cdot L^{-1}$$

$$[Ce(CO_3)_2^-] = K_4[Ce^{3+}][CO_3^{2-}]^2 = 1.1188 \times 10^{-14}\ mol \cdot L^{-1}$$

$[Ce^{4+}]$ 可通过 K_2 计算，其浓度应当很低，可以忽略

$$K_2 = \frac{[H^+]^4}{[Ce^{4+}]}，[Ce^{4+}] = \frac{[H^+]^4}{K_2} = 2.8840 \times 10^{-41}\ mol \cdot L^{-1}$$

因此，Ce 的溶解量基本由 $[Ce(CO_3)_2^-]$ 决定，数量级为 10^{-14} 。

W18. 测得现代表层海水（中国南海）中溶解性 Ce 的浓度为 8.1 pmol/L（1 pmol = 10^{-12} mol），造成与上题计算结果差异的可能原因有（ ADF ）（不定项选择，5 分）

A. 海水中碳酸根过饱和

B. 海水中碳酸根不饱和

C. 海水中溶解氧过饱和

D. 海水中溶解氧不饱和

E. 稀土元素的供应过少

F. 稀土元素除了可以与碳酸根离子络合外，还可以与有机质络合

考虑到铈与相邻元素的性质差异，沉积物中铈的含量常用**铈异常Ce/Ce***来表示，计算方法为

$$Ce/Ce^* = Ce_{标准化} \times \frac{Nd_{标准化}}{Pr_{标准化}^{\ 2}}$$

浓度单位一般采用 ppm（百万分之一质量分数）。标准化指的是将实测数据除以某种具有代表性的样本的数据（称为标准数据）。以下为一些稀土元素的标准数据与实测数据。

元素	标准数据	现代碳酸盐岩样本 1	现代碳酸盐岩样本 2	现代碳酸盐岩样本 3
$_{57}$La	30	2.436	0.375	3.117
$_{58}$Ce	64	5.203	5.504	5.632
$_{59}$Pr	7.1	0.5574	0.6901	0.6617
$_{60}$Nd	26	2.389	2.675	2.756

解读铈异常的定义以及上面的数据，回答问题。

W19. 为何要对稀土元素的含量进行标准化？（3 分）

答案：观察上述数据可以发现，各个稀土元素在自然界的丰度各不相同。标准化可以消除稀土元素自身的丰度差异。

W20. 考虑海洋中稀土元素的来源，选择下面最适用的标准数据（单选）（3 分）B

A. 球粒陨石的平均元素组成（代表了太阳系的初始成分）

B. 太古宙之后的页岩的平均元素组成（代表了上地壳）

C. 原始地幔的平均元素组成

D. MORB（大洋中脊玄武岩）的平均元素组成

W21. 铈异常的定义为何引入了 $_{59}$Pr、$_{60}$Nd 两种元素？为何不引入 $_{57}$La？（6 分）

答案：① Pr 和 Nd 与 Ce 相邻，铈异常的“Ce*”项通过插值模拟了 Ce 在无变价时的理论值，从而体现铈的相对富集或亏损。

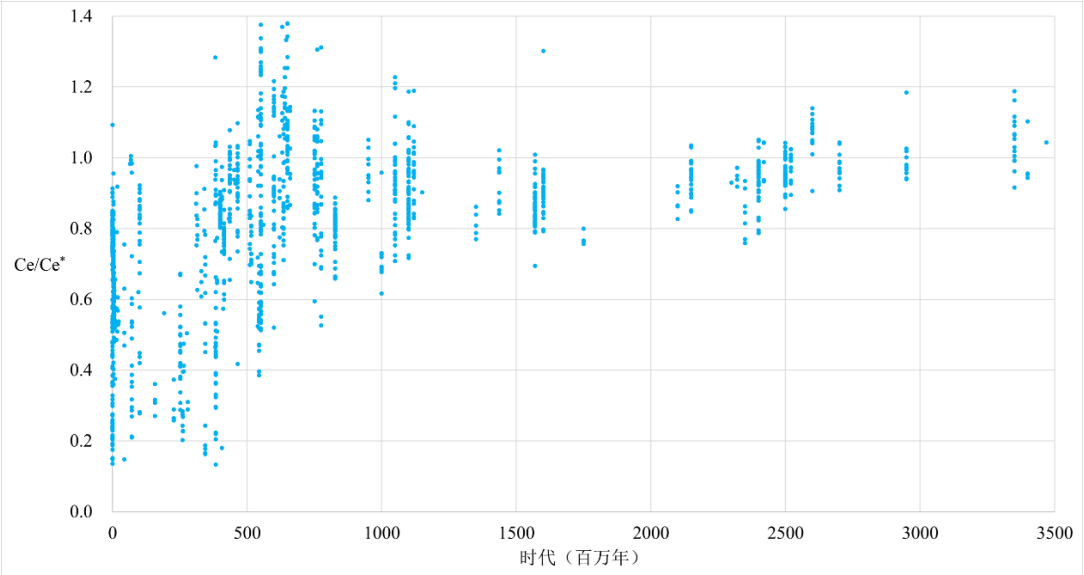
② 观察数据发现，La 在沉积物中的含量过于不稳定，不适合用于插值。

W22. 根据铈异常，三个现代碳酸盐岩样本的沉积环境可能有什么差异？（10 分）

答案：计算铈异常 Ce/Ce* ：样本 1 为 1.21，样本 2 为 0.937，样本 3 为 1.07。故样本 2 的沉积环境最氧化（或最浅），样本 1 的沉积环境最还原（或最深），样本 3 居中。

氧气是真核生物赖以生存的基础。在现今地球大气层中，氧气的体积分数约占 21%，远高于太阳系其他行星。富含氧气的大气层被认为是地球出现复杂生命并不断演化的关键环境要素。了解大气氧的变化历史，是探索生命与环境协同演化以及地外生命可能性的重要基础。铈的变价特性为恢复地质历史时期大气氧的演变提供了一种思路。

下图总结了地质时期浅水碳酸盐岩样本的铈异常数据。由于后期成岩改造的影响，同时代样本会表现出不同的铈异常值。现在，让我们穿越回过去的地球，感受氧气的来龙去脉。



假设：①后期成岩改造只会导致碳酸盐岩中铈的相对含量升高，不会降低；②海水中的稀土元素在进入碳酸盐岩时各自的分配系数（$\frac{c_{沉积物}}{c_{海水}}$）在地球历史上保持相对稳定；③海

水中的其他成分（如 Pr、Nd、碳酸根、pH 等）在地球历史上保持相对稳定；④浅水碳酸盐岩的沉积环境与大气处于热力学平衡。

W23. 选择合适的铈异常数据，基于 W17 建立Ce/Ce^*与大气氧分压的数学关系，定量恢复地球历史上大气氧含量的变化。要求：以 x 轴为时代、y 轴为氧含量绘制曲线图，氧含量的单位采用%PAL（当时氧气分压与现代氧气分压的百分比，即现代为 100%PAL）。曲线图不需要非常精确，可使用对数坐标。（15 分）

答案：由假设①，可以认为铈异常的最低值代表了受到后期成岩改造最少的样本，故采用最低铈异常来恢复地球历史上的大气氧含量。

由假设②和③

$$Ce/Ce^* = [Ce]_{海水} \cdot 常数$$

由 W17 的计算

$$[Ce]_{海水} = [Ce^{3+}] + [CeCO_3^+] + [Ce(CO_3)_2^-]$$

$$= \frac{1}{K_1\left[k_{O_2} \cdot p_{O_2}\right]^{\frac{1}{4}}[OH^-]^3}(1 + K_3[CO_3^{2-}] + K_4[CO_3^{2-}]^2)$$

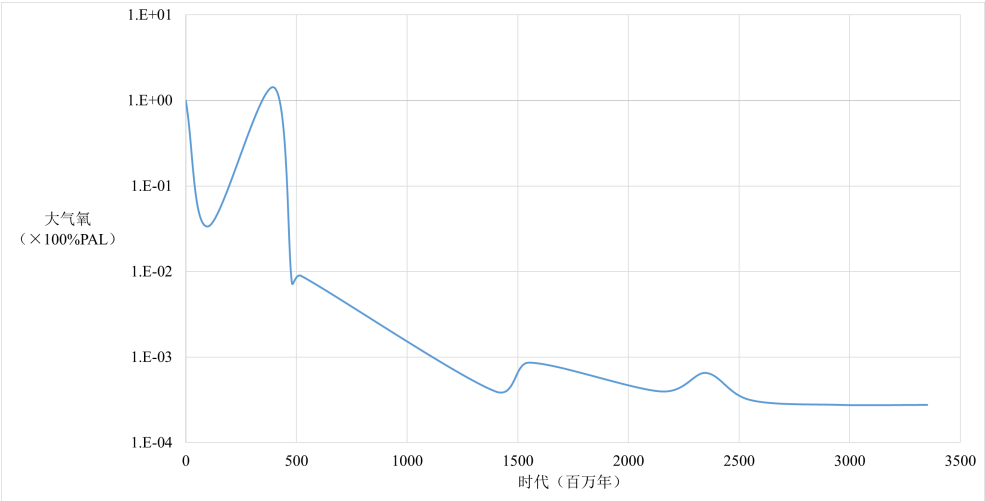
其中只有 p_{O_2} 是变量，因此联立上两式可得

$$Ce/Ce^* \propto p_{O_2}^{-\frac{1}{4}}$$

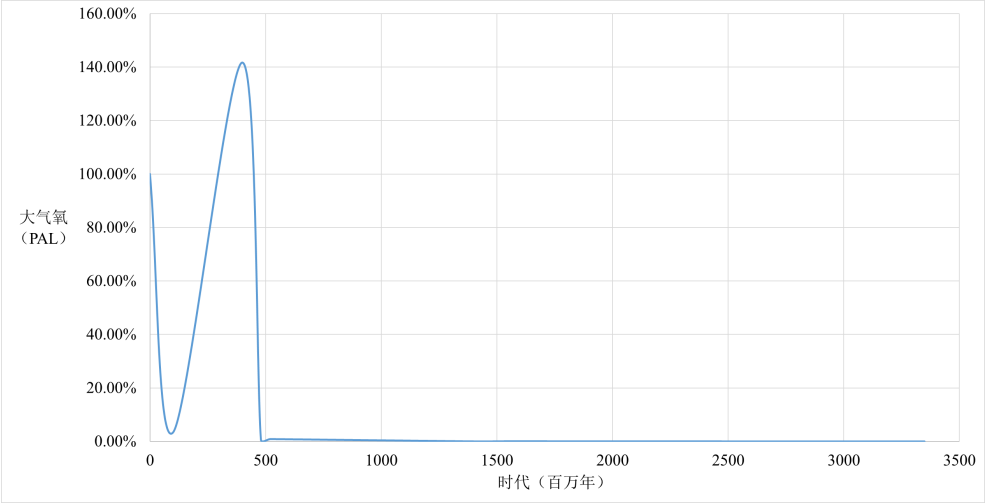
设现代（$x = 0$，PAL=100%）的Ce/Ce^*为基准值（$[Ce/Ce^*]_{现代}$），则

$$p_{O_2(历史)} = p_{O_2(现代)}\left(\frac{[Ce/Ce^*]_{现代}}{[Ce/Ce^*]_{历史}}\right)^4 = \left(\frac{[Ce/Ce^*]_{现代}}{[Ce/Ce^*]_{历史}}\right)^4 \times 100\%\ PAL$$

选取合适位置的最低铈异常值代入计算、投图并连线可得



对数坐标



线性坐标

注意对数坐标更合适。

W24-W31 背景材料：

动物学家通过骨骼测量学发现，由于生物演化中性选择的存在，脊椎动物门下的许多现生物种，其雄性相比于雌性，在统计学意义上，往往具有较大的体型，上述现象被称作性双形 (sexual dimorphism)。然而，对于脊椎动物门下已绝灭的物种而言，由于绝大多数的化石标本仅能反映生物硬体组织的形态信息，个体性别识别上的困难限制了古生物学家对化石物种性选择和性双形现象的系统研究。

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所杨钟健先生命名发表的胡氏贵州龙 (*Keichousaurus hui*)，因其正模标本由中国地质博物馆胡承志先生于 1957 年在贵州兴义绿荫村采集而得名，系华南中三叠统法郎组竹竿坡段地层中多有发现且常保存完好的原始鳍龙类海洋爬行动物。数量可观的胡氏贵州龙完整化石标本足以支持骨骼测量学工作的开展，为古生物学家提供了研究中生海洋代爬行动性双形现象的罕见机会。通过统计学方法，古生物学家得以确定，胡氏贵州龙的确存在两种成体形态型，其体型大小有着显著差异。

近年来发掘所得的部分胡氏贵州龙特异保存化石标本中，可以发现化石标本个体体内还在发育中的胚胎，据此可以直接确定此化石标本个体的性别为雌性，而其骨骼测量学数据在统计学上均被归类为体型较小的成体形态型。古生物学家的上述形态解剖学发现，不仅揭示了胡氏贵州龙的生殖习性很可能为卵胎生，更强烈提示了胡氏贵州龙很可能存在明显的性双形现象。基于上述结论，古生物学家提出了许多统计方法，利用骨骼测量学数据，直接推断胡氏贵州龙化石标本的性别，从而扩充相关数据样本，以支持进一步定量研究，系统评估性双形对胡氏贵州龙生长发育的影响。

胡氏贵州龙性别统计推断的成熟算法涉及一系列现代统计学方法，对化石标本的骨骼测量学参数进行综合考虑，提供了相当可观的一致性和准确率，惟其复杂性致使其计算效率和应用场景相对受限。在早期探索阶段，古生物学家曾尝试过一系列比值指标作为性别判别依

据，即直接计算某两个骨骼测量学参数的比值，并与经统计方法所确定的判别阈值进行比较。此类方法简单高效直观，故至今仍广泛用于胡氏贵州龙性别的初步定性判别。不过，比值指标判别方法忽视了骨骼测量学参数间的复杂关系，故不可避免地存在系统性偏误。在对某些特殊标本进行性别判定时，不同比值指标甚至会出现明显的分歧。

对胡氏贵州龙的性别进行初步定性判别时，有两种经典的比值指标最为常用。其一为肱骨最大远端宽度(maximum distal width of humerus, *dh*)与肱骨干最小宽度(minimum width of humeral shaft, *hs*)之比(*dh/hs*)，一般以1.8作为阈值；另一则为肱骨长度(humerus length, *hm*)与股骨长度(femur length, *fm*)之比(*hm/fm*)，一般以1.1作为阈值。

下表列出了16件胡氏贵州龙化石标本的部分骨骼测量学数据（单位: mm），并同时给出了利用成熟算法推断所得的性别。M 雄性, F 雌性; *rd* 桡骨长度 length of radius, *ul* 尺骨长度 length of ulna。

标本编号	性别	*hm*	*fm*	*rd*	*ul*	*dh*	*hs*
H01	M	26.0	22.0	14.0	13.0	7.8	4.0
H02	M	23.0	20.0	12.0	12.0	6.0	2.5
H03	F	19.5	17.0	10.0	10.0	4.0	3.0
H04	M	27.0	22.0	13.5	13.0	7.0	3.2
H05	F	18.5	15.0	8.0	8.0	4.0	3.0
H06	M	21.5	18.0	10.5	10.0	6.5	4.0
H07	F	12.5	12.5	6.5	6.0	3.0	2.2
H08	F	19.0	17.5	9.0	8.5	3.0	3.5
H09	F	13.0	14.5	7.0	6.0	3.6	2.1
H10	F	11.0	11.2	5.0	5.0	2.4	2.0
H11	M	15.0	13.0	7.0	7.0	3.8	2.0
H12	F	16.8	16.0	8.0	7.5	3.2	3.0
H13	F	12.0	12.0	5.5	5.5	2.9	2.0
H14	F	11.0	12.0	6.0	6.0	2.0	2.3
H15	M	22.0	19.0	11.5	10.5	7.0	3.5
H16	M	16.0	14.0	8.0	8.0	5.0	2.5

W24. 计算所给出各件标本的 *hm/fm* 和 *dh/hs* 比值指标，并利用所给出的对应阈值分别进行性别判别，从而完成下表（保留两位小数）。请抄在答题纸上。(4 分)

答案：

标本编号	*hm/fm*	由 *hm/fm* 判定的性别	*dh/hs*	由 *dh/hs* 判定的性别
H01	1.18	M	1.95	M

标本编号	*hm/fm*	由 *hm/fm* 判定的性别	*dh/hs*	由 *dh/hs* 判定的性别
H02	1.15	M	2.40	M
H03	1.15	M	1.33	F
H04	1.23	M	2.19	M
H05	1.23	M	1.33	F
H06	1.19	M	1.63	F
H07	1.00	F	1.36	F
H08	1.09	F	0.86	F
H09	0.90	F	1.71	F
H10	0.98	F	1.20	F
H11	1.15	M	1.90	M
H12	1.05	F	1.07	F
H13	1.00	F	1.45	F
H14	0.92	F	0.87	F
H15	1.16	M	2.00	M
H16	1.14	M	2.00	M

Pearson χ^2 独立性检验可以用于判断两个分类变量(categorical variable)之间是否存在关联。若随机变量X和Y分别有r和c种可能的取值,则可将样本编制为r行c列的表格，称为$r \times c$列联表(contingency table)。表中第i行第j列的值为样本中X值取X_i而Y值取Y_j的频数，记为$O_{(i,j)}$，其期望则记为$E_{(i,j)}$，则有

$$E_{(i,j)} = \frac{\sum_{n=1}^{r} O_{(n,j)} \sum_{m=1}^{c} O_{(i,m)}}{\sum_{n=1}^{r} \sum_{m=1}^{c} O_{(n,m)}}, \qquad \chi^2 = \sum_{i=1}^{r} \sum_{j=1}^{c} \frac{\left(O_{(i,j)} - E_{(i,j)}\right)^2}{E_{(i,j)}}$$

根据自由度$\nu = (r-1)(c-1)$可以计算在给定显著性水平$(1-p)$上的检测阈值$\chi_p^2(\nu)$。若$\chi^2 > \chi_p^2(\nu)$,则说明在给定显著性水平$(1-p)$上两个分类变量相关联。下表选录了在 80%, 90%, 95%, 99%, 99.9% 五种显著性水平上，部分ν取值分别对应的检验阈值$\chi_{0.2}^2$，$\chi_{0.1}^2$，$\chi_{0.05}^2$，$\chi_{0.01}^2$，$\chi_{0.001}^2$。

ν	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\chi_{0.2}^2$	1.642	3.219	4.642	5.989	7.289	8.558	9.803	11.030	12.242
$\chi_{0.1}^2$	2.706	4.605	6.251	7.779	9.236	10.645	12.017	13.362	14.684
$\chi_{0.05}^2$	3.841	5.991	7.815	9.488	11.070	12.592	14.067	15.507	16.919
$\chi_{0.01}^2$	6.635	9.210	11.345	13.277	15.086	16.812	18.475	20.090	21.666
$\chi_{0.001}^2$	10.828	13.816	16.266	18.467	20.515	22.458	24.322	26.124	27.877

W25. 通过计算说明，根据 *dh/hs* 和 *hm/fm* 两种比值指标得到的性别结果，在最高在上述五种显著性水平中的何种上相关联？（4 分）

【提示：对于本题的情况，有

性别	*dh/hs* M	*dh/hs* F
hm/fm M	$O_{(1,1)}$	$O_{(1,2)}$
hm/fm F	$O_{(2,1)}$	$O_{(2,2)}$

$$\chi^2 = \frac{(O_{(1,1)} + O_{(1,2)} + O_{(2,1)} + O_{(2,2)})(O_{(1,1)}O_{(2,2)} - O_{(1,2)}O_{(2,1)})^2}{(O_{(1,1)} + O_{(1,2)})(O_{(2,1)} + O_{(2,2)})(O_{(1,1)} + O_{(2,1)})(O_{(1,2)} + O_{(2,2)})}$$

】

答案：

性别	*dh/hs* M	*dh/hs* F	*dh/hs* Total
hm/fm M	6	3	9
hm/fm F	0	7	7
hm/fm Total	6	10	16

$\chi^2_{0.01} < \chi^2 = 7.4667 < \chi^2_{0.001}$，两种指标的判定结果在99%的置信水平上相关联。

标度不变性 (Scale invariance) 是自然界中的一种性质，幂律 (Power law) 则是最简单的标度不变性数学模型，即因变量 y 对自变量 x 满足关系 $y = k \cdot x^{\alpha}$，其中$\alpha \neq 0$系标度幂指数，而$k \neq 0$为缩放常数。最典型的例子，如圆球体积与半径的关系 $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ 即满足幂律，其中体积V对半径r的标度幂指数为3，而其缩放常数则为$\frac{4}{3}\pi$。动物的生长发育中，幂律同样广泛存在。青蛙在变态后的几周内，其腿长与体长之间就遵循严格的正比例关系，亦即其腿长对体长的标度幂指数为1；动物的骨骼肌在运动时收缩舒张的频率，则大致与其体重的立方根成反比，故鸟类飞行时振翅的频率对体重的标度幂指数是$-\frac{1}{3}$。

现代动物学与生理学研究指出，对于绝大多数现生动物，其基础代谢率水平与体重的$\frac{3}{4}$次幂成正比，此结论又被称作克莱伯定律 (Kleiber's law)。然而生物体的细胞数基本上与其体重成正比，如果朴素地假设每个细胞的基础代谢率恒定，那么其基础代谢率水平与体重理应也成正比。此类实际幂律关系的标度幂指数偏离朴素预期的情形，在对动物生长发育规律的研究中广泛存在，被称为异速生长 (Allometry)。相应地，如果幂律关系中标度幂指数符合朴素预期，则被称为等速生长。上述青蛙在变态后发育期内的腿长与体长关系，就是等速生长的典型例子。

任意指定两解剖测量学参数分别作为因变量和自变量，二者间生长发育的幂律方程的参数可以利用**线性回归**进行估计。对于容量为 n 的样本，因变量 y 对自变量 x 的线性回归方程 $\hat{y} = \widehat{\beta_0} + \widehat{\beta_1}x$ 有

$$S_{xx}=\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2,\quad S_{yy}=\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2,\quad S_{xy}=\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})$$

$$\widehat{\beta_1}=\frac{S_{xy}}{S_{xx}},\quad \widehat{\beta_0}=\bar{y}-\widehat{\beta_1}\bar{x}$$

$$\mathrm{SSR}=\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i-\bar{y})^2,\quad \mathrm{SSE}=\sum_{i=1}^{n}(y_i-\hat{y}_i)^2$$

其中 SSR 和 SSE 分别被称为回归平方和与残差平方和。回归平方和与残差平方和之和即为总平方和。决定系数 R^2是评价线性回归方程拟合优度的最经典方法，而更进一步判定线性回归方程整体的可靠性则需要使用 F 检验，二者均可通过 SSR 和 SSE 计算

$$R^2=\frac{\mathrm{SSR}}{\mathrm{SSE}+\mathrm{SSR}}=\frac{{S_{xy}}^2}{S_{xx}S_{yy}},\qquad F=\frac{\mathrm{SSR}}{\mathrm{SSE}}(n-2)$$

根据自由度 $\nu=n-2$ 可以计算在给定显著性水平$(1-p)$上的检测阈值$F_p(\nu)$。若$F>F_p(\nu)$，则说明在给定显著性水平$(1-p)$上所检验的线性回归方程可靠。下表选录了在 80%, 90%, 95%, 99%, 99.9% 五种显著性水平上，部分ν取值分别对应的检验阈值$F_{0.2}$，$F_{0.1}$，$F_{0.05}$，$F_{0.01}$，$F_{0.001}$。

ν	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$F_{0.2}$	1.951	1.913	1.883	1.859	1.839	1.823	1.809	1.797	1.787
$F_{0.1}$	3.458	3.360	3.285	3.225	3.177	3.136	3.102	3.073	3.048
$F_{0.05}$	5.318	5.117	4.965	4.844	4.747	4.667	4.600	4.543	4.494
$F_{0.01}$	11.259	10.561	10.044	9.646	9.330	9.074	8.862	8.683	8.531
$F_{0.001}$	25.415	22.857	21.040	19.687	18.643	17.815	17.143	16.587	16.120

CASIO ClassWiz fx-991 CN CW 提供了简单的统计功能，按「主屏幕」按钮并选中「统计」后按「OK」键可以进入统计应用程序。统计应用程序提供了单变量统计和双变量统计两种模式，选中所需模式后按「OK」键即可进入统计编辑器。在统计编辑器中选中特定单元格，输入表达式后按「EXE」键即可录入或修改对应数据。在统计编辑器中按「OK」键即可选择查看统计结果或进行统计计算，对于双变量统计模式，还可以根据所选回归类型进行回归计算，其中「y=ax+b」为线性回归。选中「统计计算」模式后按「OK」键即可进入统计计算屏幕，在统计计算屏幕中按「返回」键即可回到统计编辑器。在统计计算屏幕中，按「目录」按钮并选中「统计」后按「OK」键，即可选择所需的统计量，如「求和」中的平方和$\sum y^2$或「回归」中的相关系数r，将其插入计算表达式中光标所在的位置。

CASIO ClassWiz fx-991 CN CW 的 $y=ax+b$ 线性回归结果中，

$$a=\frac{n\cdot\sum xy-\sum x\cdot\sum y}{n\cdot\sum x^2-(\sum x)^2}=\widehat{\beta_1},\qquad b=\frac{\sum y-a\cdot\sum x}{n}=\widehat{\beta_0}$$

$$r=\frac{n\cdot\sum xy-\sum x\cdot\sum y}{\sqrt{(n\cdot\sum x^2-(\sum x)^2)(n\cdot\sum y^2-(\sum y)^2)}}$$

另外，CASIO ClassWiz fx-991 CN CW 亦在计算屏幕中提供了强大的存储功能，按「SHIFT」键后再按「格式」键可以插入「Ans」即上个表达式的值。按「目录」后选中「多语句/赋值」按「OK」键，可以选择插入赋值运算符，将此运算符置于表达式最右侧后按「EXE」键计算，可将其左侧表达式的值存储到对应的存储器中。按「变量」按钮可查看所有存储器的值，选中所需的值后按「OK」键，选中「调用」后按「OK」键，即可将其插入计算表达式中光标所在的位置，而选中「编辑」后按「OK」键则可在计算屏幕中直接输入表达式，并以其结果更新对应存储器的值。

CASIO ClassWiz fx-991 CN CW 所能提供的统计计算结果是有限的，但通过对未提供的统计量进行适当变形，可以仅利用所提供的统计量得到所求表达式的值，从而避免展开统计量进行逐项求和。事实上，对 W26-W27 中所需计算的表达式进行适当化简后，基本上可以仅使用 CASIO ClassWiz fx-991 CN CW「回归」中所提供的统计量完成解答。另外，适当使用 CASIO ClassWiz fx-991 CN CW 所提供存储功能，并**统筹规划计算任务以避免重复录入数据**，可以进一步地降低计算量。

在解答本题所有统计计算的问题时，如涉及利用 CASIO ClassWiz fx-991 CN CW 得到的统计量，**无需列出计算公式或写出计算细节**，仅需给出所得到统计量的值。参考形式：

	统计对象 A … 统计对象 X
统计量 1 ⋮ 统计量 n	… … …
	判定结论 a … 判定结论 x

W26. 通过计算判定在所给出的数据中，在 99.9% 的显著性水平上，*fm* 对 *hm*, *hs* 对 *dh*, *ul* 对 *rd* 各自是否适用幂律方程。（6 分）

答案：为了将线性回归方法应用于幂律方程，本大题涉及线性回归的计算均应把数据取对数（lg 或 ln 均可，本解答采用 ln）。

如能注意到如下结论，可以大幅降低计算复杂度

$$S_{xx}=\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2=\sum_{i=1}^{n}{x_i}^2-\frac{1}{n}\cdot\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2,\quad S_{yy}=\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2=\sum_{i=1}^{n}{y_i}^2-\frac{1}{n}\cdot\left(\sum_{i=1}^{n}y_i\right)^2$$

$$S_{xy}=\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})=\sum_{i=1}^{n}x_iy_i-\frac{1}{n}\cdot\sum_{i=1}^{n}x_i\cdot\sum_{i=1}^{n}y_i$$

$$R^2=\left(\frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}}\right)^2=r^2,\quad R^2=1-\frac{1}{1+\frac{\mathrm{SSR}}{\mathrm{SSE}}},\quad \frac{\mathrm{SSR}}{\mathrm{SSE}}=\frac{R^2}{1-R^2}$$

$$F = \frac{R^2}{1-R^2}(n-2) = \frac{14}{1-r^2}r^2$$

	fm (*hm*)	*hs* (*dh*)	*ul* (*rd*)
r	0.9679	0.6529	0.9893
F	207.4879	10.4019	641.1659
$p = 0.001$	◦	–	◦

「◦」代表显著，「-」代表不显著，下同

（第一版解答中 S_{xx}、S_{yy}、S_{xy}公式推导有误，但并未影响本题答案，现已修正。）

在评价动物生长发育中的幂律关系时，等速生长对应的标度幂指数往往被作为零假设，即如果在统计学意义上，线性回归所得的标度幂指数显著偏离了零假设，那么就认为存在异速生长，反之则认为等速生长。显然，对于骨骼测量学各参数之间的关系而言，长度与长度之间标度幂指数朴素预期理应为1，即骨骼测量学参数间的等速生长关系意味着在生长发育过程中的等比例缩放。判断线性回归所得的$\widehat{\beta_1}$是否偏离零假设β_1，可以使用 Student t 检验

$$t = \frac{\widehat{\beta_1} - \beta_1}{\sqrt{\frac{\mathrm{SSE}}{S_{xx}(n-2)}}}$$

根据自由度 $\nu = n-2$ 可以计算在给定显著性水平$(1-p)$上的检测阈值$t_p(\nu)$。若$t > t_p(\nu)$，则说明在给定显著性水平$(1-p)$上线性回归所得的$\widehat{\beta_1}$偏离了零假设β_1。下表选录了在 80%, 90%, 95%, 99%, 99.9% 五种显著性水平上，部分ν取值分别对应的检验阈值$t_{0.2}$，$t_{0.1}$，$t_{0.05}$，$t_{0.01}$，$t_{0.001}$。

ν	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$t_{0.2}$	1.397	1.383	1.372	1.363	1.356	1.350	1.345	1.341	1.337
$t_{0.1}$	1.860	1.833	1.812	1.796	1.782	1.771	1.761	1.753	1.746
$t_{0.05}$	2.306	2.262	2.228	2.201	2.179	2.160	2.145	2.131	2.120
$t_{0.01}$	3.355	3.250	3.169	3.106	3.055	3.012	2.977	2.947	2.921
$t_{0.001}$	5.041	4.781	4.587	4.437	4.318	4.221	4.140	4.073	4.015

W27. 通过计算判定在所给出的数据中，在 80% 的显著性水平上，*fm* 对 *hm*, *hs* 对 *dh* 各自是否符合等速生长关系。（6 分）

【提示：比较 R^2 的两种不同表达式，以寻找 SSE 的简单算法。】

答案：如能注意到如下结论，可以大幅降低计算复杂度

$$\mathrm{SSE} + \mathrm{SSR} = \sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2 + \sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2 = S_{yy}$$

$$R^2=\frac{{S_{xy}}^2}{S_{xx}S_{yy}}=1-\frac{\mathrm{SSE}}{S_{yy}}=\frac{\mathrm{SSR}}{S_{yy}},\quad \frac{\mathrm{SSR}}{S_{xx}}=\frac{{S_{xy}}^2}{{S_{xx}}^2}={\widehat{\beta_1}}^2$$

$$\frac{\mathrm{SSE}}{S_{xx}}=\frac{\mathrm{SSE}}{\mathrm{SSR}}\frac{\mathrm{SSR}}{S_{xx}}=\frac{1-R^2}{R^2}{\widehat{\beta_1}}^2=\left(\frac{1}{R^2}-1\right){\widehat{\beta_1}}^2$$

$$t=\frac{\widehat{\beta_1}-\beta_1}{\sqrt{\frac{{\widehat{\beta_1}}^2}{n-2}\left(\frac{1}{R^2}-1\right)}}=\frac{a-1}{\sqrt{\frac{a^2}{14}\left(\frac{1}{r^2}-1\right)}}$$

	fm (*hm*)	*hs* (*dh*)	*ul* (*rd*)
$\widehat{\beta_1}$	0.7150	0.3890	0.9703
t	-5.7410	-5.0653	-0.7753
$p=0.2$	–	–	∘

ul (*rd*)结果供 W31 参考

Welch t 检验可以用于判断两组样本各自代表的总体是否具有相同的均值。若两组样本各自的容量分别为 n_x 和 n_y，对应的均值分别为 $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$，对应的标准差分别为 s_x 和 s_y，则有

$$t=\frac{\bar{x}-\bar{y}}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n_x}+\frac{s_y^2}{n_y}}}\qquad \nu\approx\frac{\left(\frac{s_x^2}{n_x}+\frac{s_y^2}{n_y}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_x^2}{n_x}\right)^2}{n_x-1}+\frac{\left(\frac{s_y^2}{n_y}\right)^2}{n_y-1}}$$

（对于容量为n_w的样本，若均值为$\bar{w}$，则标准差 $s_w=\sqrt{\frac{1}{n_w-1}\sum_{i=1}^{n_w}(w_i-\bar{w})^2}$。标准差同样可以通过 CASIO ClassWiz fx-991 CN CW 的统计计算功能进行计算。）

Welch t 检验与 Student t 检验同为 t 检验，使用相同的阈值函数$t_p(\nu)$相同。在给定显著性水平$(1-p)$上的检验阈值 $t_p(\nu)$ 是自由度 ν 的单调函数。若 $|t|>t_p(\nu)$，则说明所检验的两组样本各自代表的总体在显著性水平 $(1-p)$ 上具有不同的均值。

W28. 通过计算判定在所给出的数据中，在 99% 的显著性水平上，骨骼测量学参数 dh, hs, hm, fs 各自是否有性双形现象。（4 分）

答案：

	hm	*fm*	*dh*	*hs*	*rd*	*ul*
$\lvert t\rvert$	3.1837	2.6129	5.3977	1.5189	3.2513	3.3911
ν	11.1829	9.8480	8.2735	10.4248	9.5878	10.2929
$(\lfloor\nu\rfloor)$	11	9	8	10	9	10
$p=0.01$	∘	–	∘	–	∘	∘

ul 与 *rd* 结果供 W31 参考

（本题题干印刷有误，应为「*dh*, *hs*, *hm*, *fm*」，但不影响解题）

邹氏检验 (Chow test) 可以检验两组独立数据的线性回归方程参数是否相同，记两组数据各自的样本容量分别为 n_1 和 n_2，对应各自独立进行线性回归的残差平方和分别为 SSE_1 和 SSE_2，而两组数据组合后共同进行线性回归的残差平方和为 SSE_0，则有

$$C=\frac{\mathrm{SSE}_0-(\mathrm{SSE}_1+\mathrm{SSE}_2)}{\frac{\mathrm{SSE}_1+\mathrm{SSE}_2}{(n_1+n_2)-4}}$$

根据自由度 $\nu=(n_1-2)+(n_2-2)$ 可以计算在给定显著性水平$(1-p)$上的检测阈值 $C_p(\nu)$。若$C>C_p(\nu)$，则说明在给定显著性水平$(1-p)$上两组独立数据对应的线性回归方程参数不同。下表选录了在 80%, 90%, 95%, 99%, 99.9% 五种显著性水平上，部分ν取值分别对应的检验阈值$C_{0.2}$，$C_{0.1}$，$C_{0.05}$，$C_{0.01}$，$C_{0.001}$。

ν	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$C_{0.2}$	1.981	1.935	1.899	1.870	1.846	1.826	1.809	1.795	1.783
$C_{0.1}$	3.113	3.006	2.924	2.860	2.807	2.763	2.726	2.695	2.668
$C_{0.05}$	4.459	4.256	4.103	3.982	3.885	3.806	3.739	3.682	3.634
$C_{0.01}$	8.649	8.022	7.559	7.206	6.927	6.701	6.515	6.359	6.226
$C_{0.001}$	18.494	16.387	14.905	13.812	12.974	12.313	11.779	11.339	10.971

W29. 通过计算判定在所给出的数据中，在 90% 的显著性水平上，*fm* 对 *hm*, *hs* 对 *dh* 的幂律关系，各自是否表现出性双形现象。（6 分）

答案：如能注意到如下结论，可以适当降低计算复杂度

$$\mathrm{SSE}=(1-R^2)S_{yy}=(1-r^2)\left(\sum y^2-\frac{1}{\mathrm{n}}\cdot(\sum y)^2\right)$$

$$C=\frac{(n_1+n_2)-4}{2}\left(\frac{\mathrm{SSE}_0}{\mathrm{SSE}_1+\mathrm{SSE}_2}-1\right)$$

	fm (*hm*)	*hs* (*dh*)	*ul* (*rd*)
SSE_{ln}	0.4596	0.5265	0.03079
SSE_M	0.002118	0.08710	0.005365
SSE_F	0.02656	0.2921	0.02304
SSE_{lg}	0.008668	0.09931	0.005807
SSE_M	0.0003996	0.01643	0.001012
SSE_F	0.005010	0.05509	0.004347
C	3.613	2.332	0.5013
$p=0.1$	∘	–	–

ul (*rd*)结果供 W31 参考

（第一版解答中 SSE 公式推导有误，导致本题相关统计量和判定结果有误，以及 W31 结论和理由有误。决赛评卷过程中也采用了错误的评分标准。经竞赛委员会全面复核，确认此次错误未改变最终奖项排名，所有结果维持有效。竞赛委员会对由此造成的不便深表歉意，并将进一步加强审核流程，完善命题与评卷机制，杜绝类似问题再次发生。感谢广大师生的监督与反馈。下附第一版错误解答）

[解答：如能注意到如下结论，可以适当降低计算复杂度

$$\mathrm{SSE} = (1-R^2)S_{yy} = (1-r^2)(n\cdot\sum y^2 - (\sum y)^2)$$

$$C = \frac{(n_1+n_2)-4}{2}\left(\frac{\mathrm{SSE}_0}{\mathrm{SSE}_1+\mathrm{SSE}_2}-1\right)$$

	fm (*hm*)	*hs* (*dh*)	*ul* (*rd*)
$\mathrm{SSE_{ln}}$	0.7353	8.4247	0.4926
$\mathrm{SSE_M}$	0.01483	0.6097	0.03756
$\mathrm{SSE_F}$	0.2391	2.6288	0.2074
$\mathrm{SSE_{lg}}$	0.1387	1.5890	0.09291
$\mathrm{SSE_M}$	0.002797	0.1150	0.007083
$\mathrm{SSE_F}$	0.04509	0.4958	0.03912
C	11.3754	9.6084	6.0641
$p=0.1$	∘	∘	∘

*ul (rd)*结果供 W31 参考]

W30. 根据所完成统计检验的判别结果，尝试分别简要解释 *dh/hs* 和 *hm/fm* 两种比值指标为何可以作为推测判定胡氏贵州龙性别的初步依据。（2 分）

答案：从 W28 的检验结果来看，骨骼测量学参数 *hm, dh* 具有性双形现象，而对应的 *fm, hs* 不具有性双形现象。因此，*dh*/*hs* 和 *hm*/*fm* 作为强性双形参数与弱性双形参数作比获得的比值指标，可以消除个体体型差异对胡氏贵州龙性别鉴定造成的影响，从而强化性别差异。

（第一版解答中 W29 的计算错误未影响本题结论和理由。）

W31. 你认为比值指标 *rd/ul* 是否有潜力用于胡氏贵州龙性别的初步判别？请利用上述统计检验思想，结合相关计算结果，简要说明理由。（3 分）

答案：从 W28 的检验结果来看，骨骼测量学参数 *rd*，*ul* 均具有性双形现象，因此其比值难以消除个体体型差异对胡氏贵州龙性别鉴定造成的影响。我们也可以用t检验进一步检验比值指标 *rd*/*ul* 是否具有性双形现象，检验结果如下表所示。可以看出，比值指标 *rd*/*ul* 不具有性双形现象。因此，比值指标 *rd*/*ul* 没有潜力用于胡氏贵州龙性别的初步判别。

表 W31-1 t值、v近似值及t检验结果（*表示显著）

	fm 对 *hm*	*hs* 对 *dh*	*ul* 对 *rd*
t	3.6560*	5.8996*	-0.1840
v	10	14	14