

# 大氣遙測考古題：申論題

曾 忠 一

(2000 年 12 月 28 日更新)

1. 試以地面分辨率、時間分辨率和大氣的影響說明地球資源遙測和大氣遙測的相異點.
1. 試以時間分辨率、觀測範圍、軌道特性說明繞極軌道衛星和地球同步衛星的相異點.
1. 試述太陽同步衛星、地球同步衛星和GPS掩星技術如何達到全球觀測(即涵蓋全球)的目的.
1. 在何種條件下衛星觀測到的輻射資料才能組合成雲圖？
1. GMS衛星攜帶的VISSR有水汽頻道，由觀測資料組合而成的水汽影像上，較亮和較暗的部分分別代表什麼意義？
1. 試寫出下面略語的全名：AVHRR, VISSR, HIRS, TOVS, GOES, SEM, MSU, SSU.
1. 我國中央氣象局衛星站可接收到哪幾種氣象衛星所觀測到的資料？從接收到的輻射強度資料可以求出哪些重要的氣象變數？
1. 直接廣播衛星是地球同步衛星還是繞極軌道衛星？它位於地球上空幾公里處？
1. telemetry 和 remote sensing 這兩個詞的意義有何不同？
1. 視點、視場、像元和景(scene)這 4 個詞有何差別？
1. 解釋下面的名詞：  
(a)Marshall-Palmer 粒徑分布. (b)可降水量(precipitable water). (c)標準狀態下的厘米數. (d)Dobson 單位. (e)降雨強度.
1. 雲對衛星遙測來說，有時是信號，有時是噪聲，試分別舉出兩個例子說明.
1. 試述地球同步衛星做為氣象觀測平台的優缺點.

1. 試述太陽同步衛星做為氣象觀測平台的優缺點.
2. 電磁波譜中有許多區域大氣的吸收很小, 稱為窗區. 窗區頻道在大氣遙測有哪些用途? 紅外窗區的波長範圍是多少到多少?
2. 若要用衛星遙測法決定氣溫垂直分布, 應在哪些氣體的吸收帶進行觀測? 為什麼?
2. 相較於地表本身放出的輻射, 地表對太陽輻射的反射在何種情況下可以忽略不計? 地表對大氣向下輻射的反射在何種情況下可以忽略不計?
2. 太陽輻射由大氣層頂進入大氣後, 受到吸收和散射. 設入射於大氣層頂的太陽輻射強度為  $I_1$ , 太陽截面所張開的立體角為  $\Omega$ , 大氣中氣體的削弱係數和密度分別為  $k_1$  和  $r$ , 太陽天頂角為  $q$ , 試寫出到達地表的太陽輻射通量密度.
2. 寫出下面物理量的因次:
  - (a) 單次散射反照率  $w$  (single scattering albedo).
  - (b) 相函數  $P(\hat{U}' \rightarrow \hat{U})$  (phase function).
  - (c) Planck 函數  $B_n(T)$ .
  - (d) (質量) 吸收係數  $k_n$  [(mass) absorption coefficient].
  - (e) 太陽常數  $\bar{S}$  (solar constant).
  - (f) (單色) 通量密度  $F_n$  [(monochromatic) flux density].
  - (g) 吸收係數  $A_n$  (absorptivity).
  - (h) Boltzmann 常數.
  - (i) Planck 常數.
  - (j) Stefan-Boltzmann 常數.
2. 解釋下面的名詞:
 

(a) Planck 定律	(b) Stefan-Boltzmann 定律
(c) 亮度溫度	(d) 黑體
(e) 太陽常數	(f) Mie 散射
(g) Beer 定律	(h) Rayleigh 散射
(i) Wien 位移定律	(j) 溫室效應

2. 在平行平面大氣的假設下，若地表可視為黑體，散射略去不計，試分別寫出以高度 $z$ ，垂直光程 $t$ 和氣壓 $p$ 表示的紅外輻射傳遞方程(只寫出在大氣層頂處的向上輻射強度的表達式，並令衛星天頂角 $q = 0^\circ$ ，要定義各個符號)。
2. 設地球大氣系統的反照率為 $\bar{r}$ ，太陽常數為 $\bar{S}$ ，Stefan-Boltzmann常數為 $s$ ，試求出地球大氣系統的平衡溫度。
2. 假設地表在紅外區可視為黑體，散射可以略去不計。
  - (a)寫出輻射傳遞方程。
  - (b)設大氣溫度和地表溫度完全一樣，試求出大氣層頂處的向上輻射強度。試問此時大氣是不是黑體，要如何解釋得到的結果？
  - (c)試問此時輻射強度資料中有沒有吸收氣體(如水汽、臭氧等)的資訊？寫下結論。
2. 已知大氣中高度 $z$ 處的向上和向下紅外通量密度(flux density)分別為 $F^\uparrow(z)$ 和 $F^\downarrow(z)$ ，而在高度 $z + \Delta z$ 處的紅外通量密度分別為 $F^\uparrow(z + \Delta z)$ 和 $F^\downarrow(z + \Delta z)$ ，試問如何求出 $\Delta z$ 層中大氣的紅外冷卻率 $\partial T / \partial t$ ，其中 $T$ 和 $t$ 分別為溫度和時間。
2. 什麼是雷氏(Rayleigh)散射？雷氏散射和波長有什麼關係？大氣中有哪些現象可用雷氏散射來解釋？
2. 什麼是太陽常數，其值為多少？已知太陽常數 $\bar{S}$ ，太陽半徑 $a_s$ ，日地平均距離 $d_m$ ，Stefan-Boltzmann常數 $s$ ，試問如何估計太陽表面溫度 $T$ ？
2. 溫室效應可用最簡單的一層模式來表示。把大氣看做一片理想的玻璃板，其溫度為 $T_a$ 。假如這個玻璃板對太陽輻射是完全透明的，而對地表放出的輻射來說卻是一個黑體。
  - (a)令行星反照率為 $\bar{r}$ ，太陽常數為 $\bar{S}$ ，試寫出地表接收到的太陽通量密度。
  - (b)寫出地表的能量平衡方程，設地表溫度為 $T_s$ 。
  - (c)玻璃板會往地表和太空放出輻射，寫出玻璃板的能量平衡方程。
  - (d)求出地表溫度 $T_s$ 。

2. 設太陽放出的輻射強度、太陽天頂角、太陽在地球上所張開的立體角分別為  $I_1$  ,  $q$  和  $\Omega$  , 地表反照率為  $R_{ns}$  , 整個大氣的垂直光程為  $t_1$  , 試求出地表反射的太陽輻射強度.
2. 試述在何種情況下半球反射率  $r_n$  才能由雙向反射率(即反射分布函數)  $R_n(\hat{U}' \rightarrow \hat{U})$  計算出來?
2. 試求出下面Schwarzschild方程的解:

$$\cos q \frac{\partial I_n}{\partial t} = I_n - B_n(T)$$

其中  $q$  為天頂角,  $t$  為垂直光程,

$$dt = -r k_n dz, \quad t = \int_z^{\infty} r k_n dz$$

也就是說, 求出或寫出大氣中某一高度  $z$  或光程  $t$  處的向上輻射強度  $I_n^{\uparrow}(t)$ .

2. 寫出下面各頻道或吸收帶的波長和用途, 並說明GMS衛星和NOAA系列衛星上哪些輻射計具有這些頻道或吸收帶:
  - (a)最重要的三個紅外窗區頻道和一個微波窗區頻道.
  - (b)最重要的兩個紅外  $\text{CO}_2$  吸收帶.
  - (c)最重要的紅外  $\text{O}_3$  吸收帶.
  - (d)最重要的紅外  $\text{H}_2\text{O}$  吸收帶.
  - (e)最重要的微波  $\text{O}_2$  吸收帶.
2. 令  $\bar{S}$  和  $a_s$  分別為太陽常數和太陽半徑,  $d_m$  為日地平均距離,  $a_e$  和  $\bar{r}$  分別為地球半徑和地球的平均反照率,  $s$  為Stefan-Boltzmann常數, 試寫出下面三個物理量的表達式:
  - (a)地球的平衡溫度  $T_e$  .
  - (b)地球大氣系統向外長波輻射(outgoing longwave radiation)的平均值  $F_e$  .
  - (c)太陽的平衡溫度  $T$  .
1. 試寫出地面輻射計觀測到的來自大氣的向下輻射強度, 垂直坐標

分別使用高度 $z$ 和垂直光程 $t$ ，必須定義使用的符號，要考慮天頂角。在本題中不考慮散射，而且假設大氣是平行平面的。

2. 試問極區地球大氣系統的放射光譜(即大氣層頂處的向上紅外輻射強度 $I_n$ 隨波數 $n$ 的分布)有何特徵?
2. 試問衛星輻射計在二氧化碳 15 微米吸收帶、水汽 6.3 微米吸收帶和臭氧 9.6 微米吸收帶中心觀測到(假設能觀測到)的亮度溫度有何特徵?
2. 下面一句話並未把平行平面近似說清楚，請加以修改。

“假設大氣是層結的，所有物理量只是高度的函數；此外並忽略地球曲率的影響，把地面看做是平面。這稱為平行平面近似。”(曾忠一, 1988: 大氣衛星遙測學. 渤海堂, 台北市, 第 74 頁).
2. 地對空紅外遙測。
  - (a) 試寫出地對空紅外遙測的基本方程(也就是地表處觀測到的向下輻射強度的表達式)。
  - (b) 地對空紅外測溫的權函數有何特性?
2. 下面一句話有沒有語病?

“在遙測及許多工程問題中，輻射場可視為定常的。”(曾忠一, 1988: 大氣衛星遙測學. 渤海堂, 台北市, 第 61 頁).
2. 解釋下面的名詞:
  - (a) 平行光束近似. (b) 平行平面大氣. (c) Lambert 表面. (d) 等效黑體溫度. (e) 完全熱力平衡. (f) 化學平衡. (g) Helmholtz 互反定理(reciprocity theorem).
2. 在紅外區，若不計大氣的散射，地表處的向上輻射強度可分為哪三部分？請分別說明。
2. 下面 4 種反照率(或反射率)有何差別?
  - (a) 地球的行星反照率大約為 30%。
  - (b) 衛星可見光雲圖上較暗的地方代表反照率低。
  - (c) 一面積元的吸收率、通量透射率和反射率的和等於 1。
  - (d) 輻射光束入射於一面積元時，吸收率、透射率和反射率的和等

於 1.

2. 試述在何種情況下大氣層頂處的向上紅外輻射強度需要考慮到地表對向下大氣輻射的反射. 試寫出這個反射輻射強度的表達式, 假設地表為理想漫反射面(即 Lambert 表面).

2. 解釋下面的名詞:

(a)雙向反射率. (b)半球方向反射率. (c)方向半球反射率. (d)半球反射率.

2. 下面一段有關平行光束輻射的敘述, 其中一句似乎有些問題, 請說明.

“輻射從一源點發射出來夾有一定限的立體角弧者稱為漫輻射. 在有限的情況中, 從集中的源點輻射來的, 如前面所述定義中的輻射量, 接近於無窮大而其源點之夾角近於零(即, 全部輻射實際是從同一方向來的). 從這樣集中之源點發射有時被稱為平行光線輻射. 為了極多之目的, 認定從太陽到地球之輻射為平行光線是足夠準確的, 此種光線有效的消除了整個立體角.” (殷來朝譯, 1981: 大氣科學. 國立編譯館, 台北市, 357-358 頁).

2. 解釋或說明下面的陳述:

(a)雙向反射率的值可大於 1, 半球反射率不能.

(b)露點溫度和水汽壓之間的關係類似於亮度溫度和輻射強度之間的關係.

(c)人類肉眼所看到的反射率其實是半球方向反射率.

(d)根據能量守恆定律, 輻射光束入射於一面積元時, 吸收率、反射率和透射率的和等於 1, 這個反射率是指方向半球反射率.

(e)儀器的噪聲或觀測誤差限制了最大可測高度.

3. 表達輻射場的物理量大致有下面幾個: 單色輻射強度  $I_\lambda$  (monochromatic radiance), 單色通量密度  $F_\lambda$  (monochromatic flux density或irradiance), 總通量密度  $F$  (total flux density或irradiance), 輻射功率  $f$  (radiant power), 輻射能密度  $u$  (energy density)等等. 試問下面儀器量出的物理量是什麼?

- (a)分光計(spectrometer).
  - (b)銀盤直達日射計(silver disk pyrheliometer).
  - (c)雙金屬片全天輻射計(Robitzsch bimetallic actinograph).
  - (d)NOAA衛星攜帶的輻射計AVHRR.
  - (e)GMS衛星攜帶的輻射計VISSR.
  - (f)中華衛星1號攜帶的輻射計OCI(海洋水色照相儀).
2. 在紅外區大氣最重要的吸收氣體有哪些？它們的吸收帶的波長大約多少？
  3. HIS (High-resolution Interferometer Spectrometer)是一種干涉分光計.
    - (a)它有何優缺點？
    - (b)它測量出的物理量是什麼？要經過何種手續才能取得輻射強度的資訊？
    - (c)假如最大光路差是 0.2cm, 則其光譜分辨率是多少？
  3. 從 900 到  $40\text{cm}^{-1}$  (波長 11 到 250mm)的波段稱為水汽純轉動帶, 在這裏水汽的吸收很強. 有的文獻上說, 這個波段由於水汽吸收太強, 對遙測沒什麼用, 這樣說對嗎？為什麼？這個吸收帶的重要性在哪裏？
  3. 某頻道  $\bar{n}$  的亮度溫度  $T_B(\bar{n})$  可用下式表示:

$$I_{\bar{n}} = \int f(\bar{n}, n) B_n [T_B(\bar{n})] dn$$

其中  $f(\bar{n}, n)$  為儀器反應函數,  $n$  為波數. 試述如何由頻道的輻射強度  $I_{\bar{n}}$  決定出相應的亮度溫度.

3. Lorentz 譜形和 Doppler 譜形.
  - (a)Lorentz 譜形和 Doppler 譜形是什麼？
  - (b)Lorentz 譜形的半寬在標準狀態下大約為多少？它隨氣溫、氣壓如何變化？
  - (c)Doppler 譜形的半寬在標準狀態下大約為多少？它隨氣壓、氣溫如何變化？
3. 何謂弱線吸收近似(或線性律)和強線吸收近似(平方根律)？

3. 解釋下面的名詞:
- (a)光譜反應函數. (b)透射率. (c)光譜分辨率.
3. 試述為何對頻譜法紅外氣溫遙測來說, 最大可測高度和垂直分辨率是受限制的.
3. 試述下面輻射計的優缺點:
- (a)成像輻射計(imaging radiometer).
  - (b)濾波輻射計(filter radiometer).
  - (c)選擇斬波輻射計(selective chopper radiometer).
  - (d)調壓輻射計(pressure modulator radiometer).
  - (e)光柵分光計(grating spectrometer).
  - (f)干涉計(interferometer).
4. 下一段話中有關太陽軌道的這一句究竟在說些什麼? 請改寫為可以看懂句子.
- “這項升級也包括一些新的衛星. 其中有兩個是地球同步衛星, 即停留在地球表面某一點的上方, 使它們得以二十四小時觀測到大西洋與北美洲的大部分地區, 與部份的太平洋海盆. 其他兩個軌道則是定在與太陽軌道相似的南北極, 如此當地球自轉時便可以綜觀所有的大氣層.” (陳美岑譯, 1999: 出賣先知—徹底解構預言、預測、預言家. 商業周刊出版, 台北市, 39-40 頁).
4. 星蝕(satellite eclipse).
- (a)何謂星蝕? 一般的太陽同步衛星(即繞極軌道衛星)會不會發生星蝕的現象?
  - (b)試述為何地球同步衛星總是在春秋分前後 45 天的期間內每天有一段時間發生星蝕(最長可達 72 分鐘之久).
  - (c)星蝕對氣象衛星的運作有何影響?
4. 解釋下面的名詞:
- (a)Kepler 方程. (b)赤經(right ascension). (c)赤緯(declination). (d)黃道面(ecliptic plane). (e)歲差.

4. 解釋下面的名詞:
- (a) 古典軌道要素. (b) 真近點角 (true anomaly). (c) 近地點幅角 (argument of perigee). (d) 西退經距 (longitudinal distance). (e) 軌道回歸問題 (revisit problem).
4. 試述地球同步衛星雲圖的幾種視運動 (apparent motion).
4. 衛星軌道的攝動是指軌道要素隨時間的緩慢變化. 試問有哪些因子會引起軌道的攝動?
4. 解釋下面的名詞:
- (a) 前進軌道或順行軌道 (prograde orbit).
  - (b) 後退軌道或逆行軌道 (retrograde orbit).
4. 地球同步衛星的軌道實際上不可能是圓形的, 而是有點橢圓形的, 這對它拍攝的雲圖有何影響?
4. 何謂時差 (equation of time)? 為何會有時差?
4. 試述 Kepler 的三個定律.
4. 假設人造衛星軌道是圓形的, 試由離心力等於引力這個簡單的力平衡, 導出衛星飛行速度和周期的表達式. 令周期等於 24 小時, 試導出地球同步衛星高度的表達式.
4. 試以力的平衡說明地球同步衛星一定要在赤道上空.
4. 地球同步衛星雲圖通常使用高空透視投影 (aerial perspective projection), 這種投影的影像平面是在星下點處和地表相切的平面. 試問在這種投影中地球上的某一點會投影到影像平面上的哪一點? 試寫出這一點和星下點之間的距離和衛星高度、地球平均半徑、地心角的關係. 地心角是指地球上某一點和星下點之間的地心角.
4. 何謂衛星的三個姿勢: 縱搖 (pitch), 橫搖 (roll) 和偏航 (yaw)? 它們對雲圖有何影響?
4. 解釋或說明下面的陳述:
- (a) 地球同步衛星的高度和衛星的質量有關.
  - (b) 衛星飛得越高, 其周期也越大.
  - (c) 嚴格的說, 地球同步衛星的軌道傾角應等於零, 昇交點赤經和

近地點幅角都無法定義。

(d)兩顆太陽同步衛星通過某一緯度的時刻不能平均分布在一天內的24小時內。

(e)太陽同步衛星降交點和升交點處的地方時正好相差12小時。

4. 在北極圈上，春秋分、夏至和冬至時白晝時間各有幾小時？
4. 在北回歸線上，春秋分、夏至和冬至時白晝時間各有幾個小時？
4. 1982年11月25日NOAA-7號衛星的昇交資料如下表所示，試計算西退經距和通過赤道的當地太陽時：

軌道圈數	昇交經度	昇交時刻
7344	18.27°W	16:06:15UTC(16.10416667)
7348	120.24°W	22:54:12UTC(22.90333333)
7352	137.76°E	05:42:08UTC( 5.70222222)
7356	35.78°E	15:30:04UTC(12.50111111)

4. 試述追蹤範圍圖的製作步驟。先把公式整理一下，再將步驟依次寫出，在每個步驟中未知數必須放在等號的左邊，已知數放在等號的右邊。本題中已給定的量為衛星站的經緯度  $I_s$  和  $f_s$ ，最後要求的是 polar stereographic map 上的追蹤範圍圖(必須把地圖投影公式也列入)。
4. 考慮一半徑為  $a$  的中空球體，其質量  $M$  均勻分布在球面上。試求出球內和球外一點的重力場強度和重力位(提示：利用 Gauss 定理)。
4. 試述地球繞日軌道的三種變動。
4. 已知衛星周期  $P$ ，地球自轉周期  $P_e$ ，昇交後時間  $t$ ，軌道傾角  $i$ ，昇交經度  $I_a$ ，試問如何求出星下點的經緯度？請導出必要的公式，並寫出求解步驟。球面三角學公式如下：

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

$$\sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A$$

$$\sin a \sin B = \sin b \sin A$$

4. 試述太陽繞地心視運動的昇交點在何處，軌道傾角、近地點幅角(argument of perigee)以及昇交點赤經(right ascension of ascending

- node)的值是多少.
4. 試述地球同步衛星的昇交點在何處, 軌道傾角是多少, 近地點在何處.
  4. 太陽同步軌道是如何設計出來的?
  5. 解釋下面的名詞:
    - (a)臨邊昏暗(limb darkening). (b)水汽風. (c)太陽反輝區(sun glint).
  5. 利用兩張時間間距很短( 30 分鐘)的雲圖可以決定風向風速. 在何種情況下這個方法完全失效?
  5. 何謂窗區? 窗區頻道在大氣觀測方面有何用途?
  5. 紅外雲圖的亮度受到哪些因素的影響?
  5. 可見光雲圖的亮度受到哪些因素的影響?
  5. 設某一區域有  $60 \times 60$  個像元, 各有一個亮度溫度和反照率值.
    - (a)試述如何用三點法決定出代表這個區域的晴空亮度溫度及其標準差.
    - (b)假如將低反照率(比如說小於 15%)的紅外資料抽出來畫成直方圖, 試問可以決定哪些景的亮度溫度? 假如將高反照率(大於 45%)的紅外資料畫成直方圖, 試問可以決定哪些景的亮度溫度?
    - (c)何謂空間相干法? 如何用空間相干法決定出代表這個區域的晴空亮度溫度和陰天亮度溫度?
  5. 在何種情況下空間相干法無法決定出晴空和陰天亮度溫度?
  5. 大氣中哪三種因子對海溫遙測準確度的影響最大?
  5. 說明或解釋下面的陳述:
    - (a)3.7, 11 和 12 微米頻道的亮度溫度之間的差值可用來偵測某視場內是否有裂雲或薄雲存在.
    - (b)拍攝雲圖時使用 11 微米頻道要比 3.7 微米頻道好.
    - (c)白天時 3.7 微米頻道的資料不能用來決定海面溫度.
    - (d)利用沿軌道掃描輻射計(along-track scanning radiometer)的窗區頻道資料可決定海面溫度.
  5. 試述如何使用可見光與紅外雲圖分辨出卷雲、層雲和積雨雲.

5. 追蹤不隨風運動的雲不能決定風向風速。這種雲有哪些？試舉例說明。
5. 解釋或說明下面有關衛星影像的陳述：
  - (a)在紅外雲圖上，中高緯度地區冬季時海面的色調比陸面要暗，但在夏季時海面的色調反而比陸面亮。
  - (b)在紅外雲圖上，陸地的色調變化大，但潮溼或有植被覆蓋的地區則色調變化小。
  - (c)當窗區輻射計往正下方觀測時，若雲頂高度在 300 mb 高度或以上，衛星測量到的雲頂溫度就沒有什麼誤差。在同樣的觀測條件下，若高度只有 1000 mb，則在中緯度地區衛星觀測到的雲頂溫度要比實際低 4 左右，熱帶地區更低，而且衛星的視角越大，這種誤差越大。
  - (d)白天的短波紅外雲圖上(3.7 微米，如 AVHRR 的第 3 頻道)，海洋、湖泊和河流呈現白色，而岩石、沙漠和乾燥土壤地區呈現較黑的色調。
  - (e)白天的短波紅外雲圖上，層雲、霧、層積雲呈現出比陸地表面更暗的色調。
  - (f)對上午的短波紅外雲圖來說，東半面的色調要比西半面的暗。
  - (g)在水汽圖上地表或低雲看不清。
  - (h)無雲地區的大氣環流，在水汽影像上較清楚，但在紅外雲圖上不能反映出來。
  - (i)在夜間的紅外雲圖上，霧區呈現較暗的色調，一般稱為黑霧 (black fog)。
5. 相較於紅外雲圖，水汽影像有何特徵？
5. 試述如何判定一個視場是否晴天。
5. 試述為何在地球同步衛星的水汽影像上，亮度溫度高的地方代表乾燥地區，而亮度溫度低的地方代表潮溼地區。
5. 試以地表放射率、反射陽光、雲以及水汽吸收的影響，分別說明3.7 微米和11微米這兩個窗區頻道的優缺點。

5. 設一視場完全被薄雲遮蓋，又設雲的放射率為  $e_c$ ，不會反射紅外輻射，則透射率就是  $(1 - e_c)$ ，試寫出衛星輻射計觀測到的輻射強度。為方便起見，可設衛星往天底 ( $q = 0^\circ$ ) 觀測，並且完全不考慮反射陽光。
5. 試問利用環形電影進行衛星測風的最大問題是什麼？
5. 現在GMS衛星攜帶的VISSR有1個可見光、2個紅外和1個水汽頻道。試述如何利用這些影像資料決定高空風向和風速。
5. 試用下面的輻射傳遞方程

$$I_n(q) = B_n(T_s) \mathcal{S}_{ns}^{\text{sec}q} + \int_{\mathcal{S}_{ns}}^1 B_n[T(\mathcal{S}_n)] d\mathcal{S}_n^{\text{sec}q}$$

說明兩種窗區頻道水汽訂正法的原理，一個是多頻道法，另一個是多視角法。

5. 試述多窗區頻道濾雲法的原理。
6. 說明或解釋下面有關臨邊探測法的陳述：
  - (a) 臨邊掃描法不適宜探測 10 到 15 公里以下的大氣。
  - (b) 對臨邊掃描法來說，權函數在切點高度以上總是正的，總是在切點高度處趨近於無窮大。
  - (c) 臨邊掃描法的可測高度有上限，也有下限。
  - (d) 臨邊掃描法可使用較寬的頻道，而且只用兩三個頻道就夠了。
  - (e) 臨邊掃描法所能達到的垂直分辨率相當高。
  - (f) 掩日法可用很窄的頻道。
  - (g) 掩日法不需要掃描。
  - (h) 掩日法只能測定高層大氣的氣體成分，但不需先知道氣溫垂直分布。
6. 在哪些條件下才能由衛星的紅外輻射觀測決定出氣溫垂直分布？
6. 解釋或說明下面有關衛星紅外頻譜法遙測的陳述：
  - (a) 單從能量來考慮，二氧化碳 15 微米吸收帶在測溫方面具有獨特的優點。

- (b)權函數的半寬越窄，則垂直分辨率越高.
  - (c)儀器反應函數不但影響了可測高度，而且也影響了垂直分辨率.
  - (d)選擇斬波輻射計(selective chopper radiometer)和調壓輻射計(pressure modulator radiometer)的有效輻射層較高，即可測高度較高.
  - (e)若大氣是等溫的，而地表是和大氣同溫度的黑體，則水汽頻道就完全沒有水汽垂直分布的任何資訊.
  - (f)若大氣是等溫的，而地表是和大氣不同溫度的黑體，則水汽頻道還是有可降水量的資訊.
6. 相較於氣溫遙測，水汽的紅外遙測有何困難？微波水汽遙測有無類似的問題？
  6. 臭氧的紅外遙測有何難處？
  6. 權函數.
    - (a)何謂(輻射傳遞方程的)權函數？
    - (b)測溫頻道和測溼頻道的權函數有何不同？
    - (c)權函數的寬度和峰值代表何種意義？
    - (d)何謂有效輻射層？
    - (e)一般天底觀測的輻射計權函數有何特點？為何有這種特點？
  6. 掩日法.
    - (a)何謂掩日法(solar occultation)？
    - (b)試述掩日法的原理.
    - (c)掩日法有何優缺點？
    - (d)掩日法儀器需不需要先進行校準(calibration)？為什麼？
  6. 臨邊掃描法.
    - (a)臨邊掃描法有何特點，有何優缺點？
    - (b)權函數有何特點？
  6. 試以能量、透雲性以及陽光的影響說明 4.3 微米、15 微米和 0.5 厘米三個測溫頻道的優缺點.
  7. 經驗正交函數.

- (a) 設  $f_j(k)$  是空間指標  $j$  ( $j=1, 2, \dots, N$ ) 和樣本序號  $k$  ( $k=1, 2, \dots, K$ ) 的函數, 試寫出決定經驗正交函數的步驟.
- (b) 何謂主分量?
7. 何謂 Riemann-Lebesgue 引理? 試以這個引理說明, 為何第一類 Fredholm 積分方程的解可能不是唯一的, 也可能是不穩定的.
7. 在何種情況下氣溫遙測的積分方程才較可能有唯一和穩定的解?
7. 解釋下面的名詞:  
 (a) Fredholm 積分方程. (b) Volterra 積分方程. (c) 第一類和第二類積分方程.
7. 試述氣溫垂直分布的反演法中回歸法和統計控制法的優缺點.
7. 氣溫垂直分布反演的極小資訊解已做了什麼假設?
7. 解釋下面的名詞:  
 (a) 弱勢約束條件. (b) 光滑的度量. (c) 協方差矩陣.
7. 考慮下面的回歸模式

$$\mathbf{f} = \mathbf{D} \mathbf{g}$$

$N \times 1 \quad N \times M \quad M \times 1$

其中  $\mathbf{f}$  為  $N \times 1$  單列矩陣, 代表氣溫垂直分布;  $\mathbf{g}$  為  $M \times 1$  單列矩陣, 代表不同頻道上的輻射強度觀測值. 設  $\mathbf{f}$  和  $\mathbf{g}$  有大量的統計樣本, 兩者的樣本平均都等於零.

- (a) 試用統計法求出迴歸矩陣  $\mathbf{D}$ .
- (b) 試用統計控制法求出  $\mathbf{D}$ .
7. 為何直接線性反演法得到的解是不適定的 (ill-posed)?
7. 考慮迴歸模式  $\mathbf{y} = \mathbf{X}\hat{\mathbf{a}} + \hat{\mathbf{a}}$ . 若誤差向量  $\hat{\mathbf{a}}$  的平均值為 0, 其協方差矩陣為  $\mathbf{C} = \mathbf{s}^2 \mathbf{I}$ , 則參數  $\hat{\mathbf{a}}$  可按下式求得:  $\hat{\mathbf{a}} = (\mathbf{X}^* \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^* \mathbf{y}$ . 現在若誤差的方差不相等, 而且誤差是相關的, 即協方差矩陣不再是對角矩陣, 試證此時參數須按下式求得:

$$\hat{\mathbf{a}} = (\mathbf{X}^* \mathbf{C}^{-1} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^* \mathbf{C}^{-1} \mathbf{y}$$

7. (a) 證明光滑度量  $\sum_{j=2}^N (f_j - f_{j-1})^2$  可寫為  $\mathbf{f}^* \mathbf{H} \mathbf{f}$  的形式，並求出矩陣  $\mathbf{H}$ ，其中

$$\mathbf{f}^* = (f_1 \ f_2 \ \cdots \ f_N)$$

- (b) 試以  $\mathbf{f}^* \mathbf{H} \mathbf{f} \approx 0$  為弱勢約束條件，求出

$$\mathbf{g} = \mathbf{A} \mathbf{f}$$

的光滑解  $\mathbf{f}$ ，其中  $\mathbf{g}$  為已知的  $M \times 1$  單列矩陣， $\mathbf{A}$  為已知的  $M \times N$  矩陣， $\mathbf{f}$  為待求的  $N \times 1$  單列矩陣。

7. 試證協方差矩陣是對稱的、正定的、而且它的特徵值都是正數。  
 7. 試述Smith非線性疊代法的原理，並列出運算步驟。  
 7. 將  $\mathbf{f}$  做經驗正交展開

$$\mathbf{f} = \sum_{m=1}^N c_m \mathbf{u}_m = \mathbf{U} \mathbf{c}$$

其中  $\mathbf{u}_m$  為協方差矩陣  $\mathbf{C}_f = \{\overline{f_i f_j}\}$  的標準化正交特徵向量， $\mathbf{U}$  為特徵向量  $\mathbf{u}_m$  組成的矩陣，即

$$\mathbf{U} = (\mathbf{u}_1 \ \mathbf{u}_2 \ \cdots \ \mathbf{u}_N)$$

而  $\mathbf{c} = (c_1 \ c_2 \ \cdots \ c_N)$ 。試證展開係數  $\mathbf{c}$  的協方差矩陣  $\mathbf{C} = \{\overline{c_i c_j}\}$  是對角方陣：

$$\mathbf{C} = \mathbf{\ddot{E}} \equiv \text{diag}(I_1, I_2, \cdots, I_N)$$

其中  $I_1, I_2, \cdots, I_N$  為  $\mathbf{C}_f$  的  $N$  個特徵值。

7. 實對稱正定方陣的特徵值和特徵向量有哪些特性？  
 7. 假定數值預報結果在垂直方向有10層，輻射傳遞模式需用到20層的氣溫和水汽垂直分布，試問如何由6個紅外測溫頻道的輻射強度觀測以變分資料同化法決定某一晴天視場的氣溫和水汽垂直分布？請列出求解步驟，並寫出每個矩陣的維數和代表的意義。

8. 試述為何地球的行星反照率在中高緯地區較高，而在副熱帶地區較低。
8. 輻射收支的遙測。
  - (a) 試述輻射收支最重要的三個參數的意義。
  - (b) 一般說來，如何用天底觀測輻射計(如 NOAA 衛星的 AVHRR)的窗區頻道資料決定向外長波輻射(outgoing longwave radiation)?
8. 大氣中一些稀有氣體，如 NO 和 Cl 等，對平流層臭氧有什麼影響？其後果如何？請詳細討論。
9. 試以雲的削弱、光譜分辨率以及地表放射率等三個觀點說明大氣紅外和微波遙測的相異點。
9. 試以地表放射率、海面狀況和大氣削弱的影響，說明海溫紅外和微波遙測的優缺點。
9. NOAA 系列衛星的微波輻射計 MSU (Microwave Sounding Unit) 和紅外輻射計 HIRS (High-resolution Infrared Radiation Sounder) 的星下點分辨率分別為 109 和 17 公里。為何微波輻射計的分辨率會這樣低？
9. 為何海洋上水汽垂直分布和降水的微波遙測比陸地上容易得多？
9. 試述海面上微波亮度溫度會依賴於風速的原因。
10. 試述 GPS 衛星(全球定位系統)在氣象觀測上的三大用途。
10. 試述地表、水汽和雲對微波氣溫遙測的影響。
10. 試由 Fermat 原理以變分學方法證明，對於具有球對稱分布的折射指數  $m(r)$  來說，下面的 Bouguer 定律是成立的：

$$m(r) r \sin q = a$$

其中  $r$  為離地心的距離， $q$  為射線的天頂角， $a$  為衝擊參數(impact parameter)。

10. 試問切點高度、衝擊參數和大氣層頂離地心距離之間有何關係，它們可否按大小次序排列？
10. 考慮下面三個方程：

$$m r \sin q = a, \quad dy = (dr/r) \tan q, \quad da = dy + dq$$

第一是 Bouguer 定律，第二是射線的微分方程，第三是彎角  $a$ ，地心角  $y$  和天頂角  $q$  之間的關係，試由這三個方程導出彎角  $a$  和折射指數  $m$  之間的關係式：

$$da = (-dm/m) \tan q$$

10. 試由 Fermat 原理以變分法證明，若折射指數  $m$  只是高度  $z$  的函數，則

$$m(z) \sin q = a$$

其中  $q$  為射線的天頂角， $a$  為常數。

10. GPS 掩星技術、臨邊掃描法和掩日法的共同點是什麼？相異點是什麼？
10. 試述 GPS 臨邊探測 (limb sounding) 和天底輻射計如何達到高垂直分辨率 (vertical resolution)。
10. 若溼延遲可由 GPS 資料反演得到，試問接下來要如何決定可降水量？
10. LEO 衛星接收到的 GPS 信號的無線電波相位延遲，是由哪些因素造成的？
10. 試述如何用 GPS 掩星技術決定氣溫或水汽垂直分布。
10. 試用文字解釋下面各個名詞，不得使用任何公式：  
(a) Fermat 原理. (b) 掩星技術。
11. Rayleigh 散射的相函數為

$$P(\cos \Theta) = \frac{3}{4}(1 + \cos^2 \Theta)$$

試求出方位無關的相函數  $P(m, m')$ 。

11. 相函數最簡單的近似之一是輸送近似，即

$$P(\cos \Theta) = 2fd(1 - \cos \Theta) + 1 - f$$

其中  $d$  表示Dirac delta函數.

(a)試證這個相函數滿足標準化條件.

(b)試證這個相函數若有正確的非對稱參數  $g$ , 則  $f$  必須等於  $g$ .

(c)試證這個近似相當於令所有的更高階矩量等於  $f$ .

11.解釋下面的名詞(每條限 100 字以內):

(a)離散方向法. (b)球面諧函數法. (c)不變性原理. (d)累加法.

# 大氣遙測試題

(1999.4.12)

1. 解釋下面的名詞:
  - (a) cold bias (Ware) (25頁右欄倒2行).
  - (b) multipath (Bevis) (15794頁右欄倒13行至倒12行).
  - (c) mapping function (Bevis, Businger) (Bevis 15790頁右欄倒6行起).
2. GPS掩星數據如何用來監測全球氣候變化? (Ware) (32頁左欄倒7行至33頁右欄倒20行).
3. 液態水和冰對GPS的水汽觀測有何影響? (Businger) (6頁右欄10行至15行).
4. Ware *et al.* 1996中(A3)式可能有問題, 請指出.
5. 為何GPS臨邊探測(limb sounding)對監測火山爆發引起的氣候變動相當有用? (Ware) (32頁右欄倒19行至倒7行).
6. 寫出電離層延遲、靜水延遲和濕延遲的數量級(order of magnitude)以及現在所能達到的準確度. (Businger, Bevis).
7. 何謂levering? 試用一個簡單的例子說明(Businger) (10頁左欄).
8. Businger 6頁左欄倒10行到倒8行說:

"Per mole, the refractivity of water vapor is ~17 times that of dry atmosphere."

那為何天頂靜水延遲遠大於天頂濕延遲?

\*\*\*這份試題和下面三篇文章有關:

Businger *et al.*, 1996: *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 5-18.

Ware *et al.*, 1996: *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 19-40.

Bevis *et al.*, 1992: *J. Geophys. Res.*, **97**, D14, 15787-15801.