**第一章 绪论**

第一节 气象与气象学

一、气象与大气科学的定义

1**.气象**：在地球大气中每时每刻都在发生着风、云、雨、雪、雷电、旱涝、寒暑等等各种各样的自然现象，这些现象统称为大气现象，简称为气象。

2.**大气科学**：研究大气中各种现象及其演变规律以及如何利用这些规律为人类服务的科学。

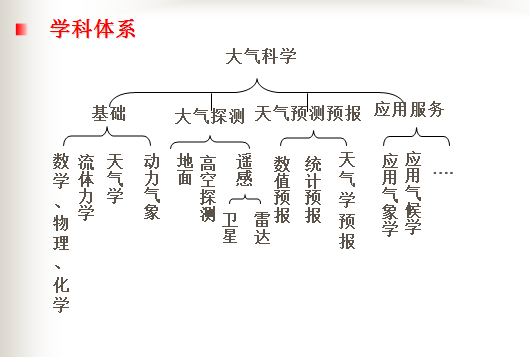
大气科学的研究领域很广，其基本内容是：

（1）把大气当作研究的物质客体来探讨其特性和状态，如大气的组成、范围、 结构、温度、湿度、压强和密度等等；

（2）研究导致大气现象发生、发展的能量来源、性质及其转化；

（3）研究大气现象的本质，从而能解释大气现象，寻求控制其发生、发展和 变化的规律；

（4）探讨如何应用这些规律，通过一定的措施，为预测和改善大气环境服务如人工影响天气（人工降水、消雾、防雹等），使之能更适合于人类的生活和生产的需要。



1. 大气科学的研究对象、气象与社会经济发展的关系

1.**研究对象**：大气圈及大气圈与水土岩石圈、生物圈之间的相互作用。

2.**研究任务**：1）观测和研究各种各样的大气现象、大气层与下垫面之间的相互作用及人类活动所产生的气象效应；

2）系统地、科学地解释这些现象、作用和效应，阐明它们的发生和演变规律；

3）根据所认识的规律分析、诊断和预测过去、现在和未来的天气、气候，为国民经济和人们的日常生活服务；

4）从理论和实践上探索和模拟人为天气过程、人为气候环境，为人工影响天气和气候提供科学依据。

3.**气象与社会经济发展的关系**：气象与农业、气象与林业、气象与工业、气象与渔业海盐生产、气象与航空、气象与军事、气象对人类健康的影响

三、大气科学的主要**分支学科**（11个分支学科）

1. 普通气象学：研究气象学的基本理论和一般问题
2. 大气探测与遥感学：研究对大气进行观测的方法与观测数据的计算，应用各种气象仪器设备和技术对地球大气层及地表浅层进行观测与探测，包括定期观测、运载仪器和常规仪器观测、地基遥感、空基遥感等
3. 大气物理学：研究大气结构、大气热力学特征、大气光电声现象、云物理及人工影响天气等
4. 大气化学：研究酸雨、气溶胶、碳循环、降水化学、大气成分、大气中化学过程等
5. 天气与天气预报学：研究短期预报、中期预报、长期预报，一般天气学原理与方法、天气诊断等
6. 气候与气候变化学：研究不同时期和不同区域的气候与气候变化、气候系统的年际变化预报、地球物理因子对气候的影响、气候影响评估、气候与气候变化预测的方法等
7. 动力气象学：研究数值预报、大尺度大气动力学、气候数值模拟、非线性大气动力学等
8. 边界层气象学：研究海上边界层、陆地边界层、大气湍流、边界层数值模拟、大气扩散与空气污染等
9. 大气环流学：研究不同纬度的大气环流系统、热带大气环流与季风、海—气相互作用、大气环流与遥相关等
10. 应用气象学：研究农业气象、林业气象、水文气象、医疗气象、局地气候与小气候、应用气候等
11. 灾害气象学：研究灾害性天气（如气旋、台风、雷暴、阵雨、暴雨、龙卷、沙尘暴及积云对流、锋、飑线、中尺度对流等其他扰动产生的灾害效应）、灾害性气候及其损失评估等

第二节 大气科学的历史、现状及发展趋势

一、大气科学的发展历史与现状

**气象史的两个时代**：

古气象史时代 ：从人类有文字记载的历史时期开始到十七世纪末。

近现代气象史时代 ：从十七世纪末至今的三百多年。

**近现代大气科学的四次飞跃**：

第一次飞跃:（约1700—1859年）气象仪器如温度表、雨量器、气压表等相继发明，导致对信风和全球大气环流的研究。

第二次飞跃:（1860—1940）无线电报发明，地面气象观测网产生，天气图诞生，V.Bjerknes创立了锋面学说，提出了著名的斜压概念和环流理论，从此天气学和动力气象学形成并得到发展。

第三次飞跃:（约1941—1980年）无线电探空仪发明，高空观测网迅速建立，Rossby提出了长波动力学，创立了长波理论。 Lorenz提出奇异吸引子与混沌理论、准地转理论、适应理论、突变理论和不稳定理论等并相继得到应用，大尺度天气学进入成熟阶段。

第四次飞跃: （大约1980—）空间和地面大气遥感探测与气象信息技术系统日趋完善，大气科学试验正从局部的专业试验向全球的综合性试验过渡，气候研究正朝着更加广泛、更加综合的方向发展。

**大气科学的历史**：

希腊哲学家 Aristotle （340 BC）著Meteorologica，记述天气与气候相关的知识，综合论述水、空气和地震等问题对大气现象也作了适当的解释。“meteoros”希腊字意指在高空中。Meteorology一字表示由高空掉落以及在空气中各种过程或现象。

希腊哲学家 狄奥佛拉斯塔（287 BC），Book of Signs，第一本天气预报的书，利用与天气变化有关的信息来预报天气。

气象学成为『自然科学』源于利用科学仪器来來量度气象要素的变化。

意大利天文学家 伽利略(1593)：温度表。

意大利数学及物理学家 托里拆利(1643)：水银气压表。

法国数学哲学家 帕斯卡和笛卡尔(17世纪)：气压随高度变化。

英国科学家 虎克(17世纪)：风速计。

德国物理学家 华氏(18世纪)：定华氏温标。

法国化学家 查尔斯(18世纪)：温度与固定体积空气的关系。

瑞典天文学家 摄氏(18世纪)：定摄氏温标。

美国科学家富兰克林(18世纪)：放风筝入雷暴证明闪电来源。

瑞士气象学家 Saussure(1783)：毛发湿度表。

意大利北部1653年首先建立气象台

气象要素（温度，气压，风速风向，湿度等）的测量与天气现象之间关系开始建立起来了。

英国气象学家 哈德里(18世纪)：解释地球旋转如何影响赤道的风向。

1821年🡺 天气图被绘制（天气现象）

法国物理学家 科氏(19世纪)：用数学证明地球旋转对大气运动的影响。

1842年🡺电报系统发展，长途通讯对气象事业发展影响深远

1869年🡺等压线的绘制（现代天气图）

挪威学派 (The Bergen School)

1920年🡺气团与锋面的概念开始建立:极锋理论(polar front theory)，近代天气学的开端

芝加哥学派 (The Chicago School-Dynamical meteorology era)

1940年🡺气球探空、雷达、气象飞机，西风急流，罗斯贝波(Rossby waves 西风帶長波的发现)，WMO成立

现代气象科学的蓬勃发展

1950年🡺冯诺依曼与查尼 (J. Charney)，高速电子计算机，建立准地转理论（長波与氣旋鋒面），数值天气预报开始 (NWP)

1960年🡺气象卫星（泰洛斯1号），全球天气监测 (热帶海洋气象)，多普勒雷达

1970年🡺全球气候与环境变迁，ENSO，南极臭氧洞，全球变暖

1980年🡺风廓线仪、双偏振多普勒雷达、复杂卫星系统、超大快速电子计算机

20世纪50年代以后的近60年来，由于电子计算机和新技术如雷达、激光、遥感及人造卫星等的使用，大大地促进了大气科学的发展。其主要表现如下：

（1）开展大规模的全球联合观测试验

（2）对大气物理现象进行数值模拟试验

（3）把大气作为一个整体进行研究（把对流层与平流层中、高纬地区与低纬地区，南半球与北半球结合起来研究）

（4）气候学领域中的科学革命

**20世纪气候学理论研究的十大成就：**

1）20~30年代, 三大气压震荡,北大西洋震荡(NAO),北太平洋震荡(NPO),南方震荡(SO); Walker (1932)

2） 30年代, 大气长波理论-罗斯贝波, Rossby (1939)

3） 40~50年代, 时间平均环流之长波预测, Namias (1953)

4） 60年代, 赤道东西向Walker环流, Bjerknes (1969)

5） 70年代, 温室效应(doubling CO2), Manabe (1975)

6） 80年代, 月平均环流预, Miyakoda (1986)

7） 80~90年代, ENSO预测, Cane and Zebiak (1986)

8） 80~90年代, ENSO理论, Suarez (1988), Battisti (1989)

9） 90年代, 温盐环流, Delworth (1993)

10）90年代, 季平均环流预测, Ming Ji (1994)

**大气科学的未来发展：**

1、灾害天气及时监测预警、预报：自动化和遥感遥测设备的蓬勃发展。气象雷达、气象卫星、以及气象飞机等。这方面的研究需要大气科学家和其他学科专家的通力合作。

2、海气交互作用：季风和圣婴现象的研究，并延伸至短期气候变化的预测，这方面的研究关联到大气科学家与海洋学家的合力研究。

3、大气问题的数值模拟：这方面的研究关联到大气科学家、应用数学家及计算机专家的合作。

4、空气污染问题：热岛效应、全球变暖、南极臭氧洞等。该方面的研究关联到大气科学家与化学家的通力合作。

5、探讨地球气候变迁的历史：这方面研究涉及到大气科学家、地球化学家、地质学家、海洋学家及冰河学家们的合作。探讨百年甚至千年气候变化的原因与未來之可能趋势，并讨论应对策略。

6、太阳表面扰动所造成地球高层大气各种特殊現象产生的物理过程：磁暴/太阳风对通訊、太空天气预报的计划。这方面的研究牵涉到高层大气物理学家、太阳物理学家及太空物理学的通力合作。

7、其他星球的大气探索：遥测技术、实地太空观测（太空船）,近代物理之辐射理论的发展与应用等。

**第二章 地球大气**

第一节 地球及其大气

**１.１ 太阳系、行星和地球**

* 宇宙中有1022个星系，太阳系就是其中的一个。
* 太阳系由8颗行星以及小行星，慧星和尘埃等组成。
* 这8颗行星依次是水星，金星，地球，火星，木星，土星，天王星，海王星

**地球**

* 地球离开太阳的平均距离是1.5x108 km， 即1个天文单位。
* 地表和大气主要是被太阳加热的。
* 太阳的能量驱动着大气中的所有变化：冷暖和刮风、下雨。
* 地球表面的平均温度是150C，这是很幸运的，因为人类和自然界大量的生物是适应这一条件的。

**１.２ 大气的成分**

* 大气的成份主要是氮（N2,占78%)，氧 （O2,占21%)。还有少量的 H2O, CO2, O3, CH4, N2O 以及惰性气体Ar, He, Ke,…..
* 如果只考虑大气中数量最多的气体， N2, O2, 那么这二种成分的比值一直到90公里还是不变的，称为均匀混合层。
* 大气中变化最大的气体是H2O和O3。

**地球大气由三个部分组成:** 干洁大气（即干空气）、水汽、悬浮在大气中的固液态杂质

**1.干洁大气：**

定义： 除去水汽及其他悬浮在大气中的固、液体质粒以外的整个混合气体。

成分变化：0~90km，主要成分和含量比例基本保持不变。90km以上，氮稍有减少,氧稍有增多,氩和二氧化碳明显减少,其中氧分子和氮分子开始离解 。

* 氮气（N2）：存在方式：以蛋白质的形式存在于有机体中。

作用：是有机体的基本组成部分，也是合成氮肥的基本原料。

自然条件下,氮气只能通过闪电雷暴作成形成,通过降水过程被植物和土壤吸收利用。

* 氧气（O2）：作用：是人类和动植物维持生命活动的极为重要的气体；

积极参与大气中的许多化学过程；

对有机物质的燃烧、腐败和分解起着重要的作用。

* 臭氧（O3）：时空变化：时间变化——最大值出现在春季，最小值出现在夏季。

空间变化——水平：由赤道向两极增加。

垂直：55～60km，含量极少。

20～25km，达最大值，形成臭氧层；

12～15km以上，含量增加特别显著；

从10km向上，逐渐增加；

近地面，含量很少；

作用： 对紫外线有着极其重要的调控作用。

* 二氧化碳（CO2）：

来源： 生物的呼吸、化石燃料的燃烧、有机物质的燃烧和分解、火山喷发作用等。在大气中的停留时间大约是15 年。

时空变化：时间变化： a) 白天、晴天、夏季时的二氧化碳浓度小于黑夜、阴天、冬季。

b) 工业革命前小于工业革命后。

空间变化： 水平：城市大于农村；

垂直：0～20km，含量最高；

20km以上，含量显著减少。

作用：绿色植物进行光合作用不可缺少的原料。

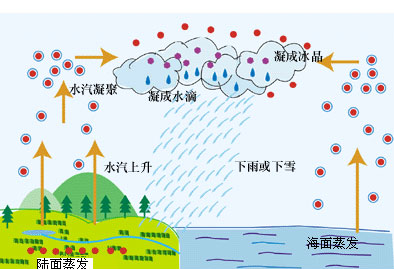
强烈吸收长波辐射（地面辐射、大气辐射），使

地面保持较高的温度，产生“温室效应”。

**2.水汽：**

来源：主要来自江、河、湖、海、潮湿陆面的水分蒸发以及植物表面的蒸腾。

水汽占大气总质量的0.25%，浓度随高度迅速减少，主要存在于近地面3公里以下的层次，水汽在大气中的平均停留时间为10天。



时空变化：时间：夏季多于冬季

空间：一般低纬多于高纬，下层多于上层。

作用：在天气气候变化中扮演了重要角色。

能强烈吸收地面放射的长波辐射并向地面和周围大气放出长波辐射，对大气起着“温室效应”。

**3.大气中的杂质**

定义：大气中悬浮着的各种固体和液体微粒（包括气溶胶粒子和大气污染物质两大部分）。

①气溶胶粒子：大气中沉降速率极小、尺度在10-4μm到100μm之间的固态和液态微粒。

分类：液体质粒、固体质粒

固体质粒的来源：有机质数量较少，大多为植物花粉、微生物和细菌等；

无机质数量较多，主要来源于：尘粒、烟粒、海洋中浪花飞溅的盐粒，流星飞逝后留下的灰烬，火山尘埃等。

作用：吸收太阳辐射，使空气温度增高，但也削弱了到达地面的太阳辐射；

缓冲地面辐射冷却，部分补偿地面因长波有效辐射而失去的热量；

降低大气透明度，影响大气能见度；

充当水汽凝结核，对云、雾及降水形成有重要意义。

②大气中的污染物质：由于人类活动或自然过程，使局部、甚至全球范围的大气成分发生对生物界有害的变化。

分布： 空间上 - 垂直：主要集中在3km以下的低层大气中；

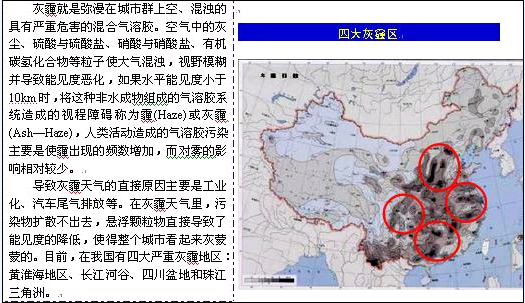
水平：城市多，农村少；陆地多，海洋少。

时间上 - 冬季多，夏季少；清晨和夜间多，午后少。

来源： 自然过程形成。火山爆发、风吹扬沙和沙尘暴、雷击森林失火等。

人为过程造成。工业和交通上煤炭、石油、天然气的使用，农业上化肥、农药的喷施，生活上制冷采暖的排放与泄漏等。

**雾霾**及其分布情况



PM英文全称为particulate matter([颗粒物](http://baike.baidu.com/view/205541.htm)）。科学家用PM2.5表示每立方米空气中这种颗粒的含量，这个值越高，就代表空气污染越严重。在城市空气质量日报或周报中的[可吸入颗粒物](http://baike.baidu.com/view/489133.htm)和[总悬浮颗粒物](http://baike.baidu.com/view/169894.htm)是人们较为熟悉的两种[大气污染物](http://baike.baidu.com/view/268168.htm)。[可吸入颗粒物](http://baike.baidu.com/view/489133.htm)又称为PM10，指直径大于2.5微米、等于或小于10[微米](http://baike.baidu.com/view/89514.htm)，可以进入人的呼吸系统的颗粒物；[总悬浮颗粒物](http://baike.baidu.com/view/169894.htm)也称为PM100，即直径小于或等于100微米的颗粒物。

来源：一般而言，粒径2.5微米至10微米的粗颗粒物主要来自道路扬尘等；2.5微米以下的细颗粒物（PM2.5）则主要来自[化石燃料](http://baike.baidu.com/view/60230.htm)的燃烧（如机动车尾气、燃煤）、[挥发性有机物](http://baike.baidu.com/view/3427144.htm)等 。

第二节 地球大气的演化

**2.1 从大爆炸理论(Big Bang)说起**

一个体积无穷小、质量无穷大的质点突然爆炸形成了宇宙。其过程有点类似于一个核弹的爆炸，原子弹爆炸形成的最高温度相当于宇宙大爆炸一秒钟后的温度。

**宇宙演化的时间尺度**

宇宙的形成大约在150亿年前；银河系形成大约在130亿年前；

太阳系形成在50亿年前；地球的生命大约是46亿年。

**宇宙元素的演化**

* 最初的宇宙仅包含氢(H)和少量的氦(He)原子。
* 在最初的100亿年的时间里，宇宙中的气体团集成许多中心，在万有引力的作用下，气体分别向这些中心收缩，出现许多原星体。
* 这些原星体越收缩密度越大，密度越大收缩越快，其内部温度也越来越高。当温度升高到1000万度以上时，原星体会内部将发生核反应，形成了重元素。这些聚变过程伴随产生大量的辐射能，使原星体转变为发光的恒星体。
* 特别巨大的星体，会发生爆裂，形成超新星，使已经形成的不同的元素散布到星际空间去。

**地球的形成**

* 太阳系是银河系中一个旋臂空间内的气体原星体收缩而成的。原太阳系中弥漫着冷的固体微粒和气体，它们形成行星，卫星及大气。
* 原地球是太阳系中原行星之一。它是原太阳系中心体中运动的气体和宇宙尘借引力吸积而成。它一边增大，一边扫并轨道上的微粒和气体，一边在引力作用下收缩。随着“原地球”转变为“地球”，地面逐渐冷却为固体，原始大气也就同时包围地球表面。

**地球大气的演化**

地球自从它形成以来，大约46亿年。其大气的演变可分为三个阶段：原生大气，次生大气、现代大气。（自由氧的出现是现代大气形成的重要标志。）

**Gaia假说**

面的关于“生命的光合作用产生了氧气，并为生命本身的演化创造了一个环境”的学说被James Lovelock称之为“Gaia Hypothesis”。Gaia是“地球之神”的意思。

但是，该假说似乎与达尔文主意（Darwinism）相矛盾，后者的主要思想是生命必须为适应环境而改变自己，也就是“适者生存”。

**人类活动对以下大气成分的改变影响显著**

**·**化石燃料和生物体的燃烧导致大气中CO2含量升高，煤的燃烧导致SO2含量升高。

**·**汽车等的大量使用导致大气中废气增加和气溶胶含量增加。

**·**人工固氮导致大气中氮的减少。

**·**人工制造的制冷剂CFCs的泄漏导致大气中CFCs含量增加，CFCs在大气平流层分解后产生的氯造成平流层O3减少。

**·**CO2等温室气体的增加导致气候变暖，温度升高后大气中水汽含量增加。

第三节 大气的垂直结构

根据温度的垂直变化，大气分为：**对流层、平流层、中层、热层**等。

我们平常关心的大气层是对流层，0-10公里。大气越往上越稀薄，最后融合到宇宙空间。

虽然大气层没有真正的顶，一般我们认为大气层的厚度为1000公里。

**为什么大气的垂直温度分布是这样的？**

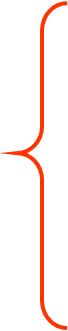
如果没有特殊原因，大气温度也应该随高度单调递减。但现在有些层次温度是上升的，必须有热源。在平流层温度升高是臭氧的吸收，在热层是氧分子的吸收。

**大气的密度和气压**

在重力的作用下，大气分子主要集中在近地面，大气密度和气压随高度呈指数递减

90%的大气质量或分子位于10公里以下

标准大气压：76cm Hg=1013.25mb=1013.25hPa

* **对流层：**厚度变化 空间：随纬度增加，厚度降低。

低纬地区：平均厚度为17～18km；

中纬地区：平均为10～12km；

高纬地区：平均为8～9km；

时间：夏季大于冬季。

特点：主要天气现象均发生在此层。

温度随高度升高而降低。

（平均高度每升高100m，气温下降0.65℃。）

空气具有强烈的垂直运动和不规则的乱流运动。

气象要素的水平分布不均匀。

* **平流层：**对流层顶～55km

25km以下，气温保持不变；25km以上，气温随高度增加而显著升高。

空气运动以水平运动为主，无明显的垂直运动。

水汽和尘埃含量极少，晴朗少云，大气透明度好，气流比较平稳，适宜于飞机航行。

* **中间层：**平流层顶～85km

气温随高度增加迅速下降，顶部气温可降至-83℃以下。

空气有强烈的垂直运动，故又称之为“高空对流层”。

* **热成层**(热层、暖层、电离层)：中间层顶～800km

气温随高度增加迅速上升。

空气质点在太阳紫外辐射和宇宙高能粒子作用下，产生电离现象。

* **散逸层：**

这一层中的大气物质具有向星际空间散逸的特性，是大气圈与星际空间的过渡地带。

**大气上界：**

根据大气中极光出现的最大高度，大气上界的高度为1,000～1,200km。

另一种是以大气密度接近星际气体密度的高度作为标准，大气上界约在2,000～3,000km高度处。

第四节 大气的物理性质

**一、大气的质量**

假定条件下的大气质量： 假定大气是均质的，以气温0℃时、45°N（或45°S）处、海平面上的大气密度ρ0为标准（ ρ0 =1.293kg.m-3），则此时大气厚度（Z0）经理论计算约为8,000m。于是单位截面积的大气柱中空气的质量为m0=ρ0·Zo=1.293×8000=10344kg.m-2

据此推算，地球表面大气的总质量大约有5×1015t。

**二、气象要素**

定义：表示大气状态和特征的物理量和物理现象。

内容： 日射、温度、湿度、气压、风、云、降水、蒸发、能见度和天气现象等。

天气现象：在大气中或地面上产生的降水、水汽凝结物（云除外）、冻结物、干质悬浮物和光、电学现象，也包括一些风的特征。

第五节 地球大气中的光电声现象

**一、大气中的光学现象**

（1）大气中光的散射现象1.蔚蓝天空 2.霞光 3.曙暮光

（2）大气中光的折射现象1.蒙气差 2.海市蜃楼 3.彩虹 4.晕

（3）大气中光的衍射现象 1.华 2.宝光环

（4）大气中的其它光学现象：夜天光、气辉、极光、地光等等

**二、大气中的电学现象**

**（一）大气电场：1.晴天电场 2.扰动天气电场**

**（二）天电**

**天电是指大气中放电过程所引起的脉冲电磁辐射，最常见的现象就是闪电，此外还有雷暴放电、尘暴放电和电晕放电等，有时也将某些人工放电过程如核爆炸引起的大气放电等也包括在内。**

* 闪电是积雨云云中、云间或云地之间发生放电时激发空气强烈闪光，并伴有雷声的物理过程。云内放电和云际放电形成云闪，云地间放电形成地闪。
* 闪电按形状分为线状闪电、带状闪电 、片状闪电、联珠状闪电和球状闪电，其中最常见的是线状闪电。地球表面每时每刻都有闪电发生，全球每秒有100—300次闪电发生，其中约有20%是地闪。闪电多出现在低纬度地区，但在两极地区有时也能观测到，陆地闪电的次数比海洋多一个数量级，白天闪电多于夜晚，夏季闪电多于冬季。
* **三、大气中的声学现象**
* 频率在15—20000Hz之间的声波，频率低于15Hz的声波称为次声波，频率高于20000Hz的声波称为超声波。
* 大气中声波的声源可分为人工声源和自然声源两类。人工声源包括人工爆炸声、各种机器及交通工具发出的声音和人类活动的种种吵杂声等。自然声源包括火山爆发、流星穿入大气、海浪和地震激发的大气声波、鸟兽等动物的声音、风和地表的摩擦发声、强风暴系统中大气运动引起的湍流和对流发声、雷声以及极光发声等等。
* 大气中自然声源发出的声波具有极宽的频谱，高频端可达102—103Hz的频率，低频端可达几分钟至几十分钟的周期。大部分自然声源主要产生的是大气次声波。