

大气科学纵横谈

周家斌

大气科学，是一门受到社会各界广泛关注，与国计民生密切相关的学问。最近澳大利亚昆士兰州的洪水、巴西的泥石流、阿根廷的干旱，以及2008年我国南方的冰雪灾害就是最好的例子，进而言之，全球变暖问题更把全世界的政治家都卷了进来。

由于人类的生产和生活都在大气层中进行，因此谁也离不开天气预报。不同时效的天气预报应用对象不同，要求不一样，应用范围也不一样。短期预报用于人民群众和各单位日常事务和工作的安排。中期预报主要用于各单位生产和公众事务的安排。长期预报主要服务于国民经济各部门年度生产和计划的安排。十年乃至百年预报，主要用于战略目的，如国民经济计划乃至人类未来的生存环境的评估。

我国某公司有两条相同类型的船舶，某次航行时，其中一条走通常的航线，往返29天，航程6422海里，途中9天受7~8级大风影响，3天遭遇9~10级大风。另一条船采用气象导航推荐的航线，往返安全航行16.6天，比通常的航线缩短1530海里。

1991年夏季，江淮流域发生大水。6月14日，在安徽省王家坝闸向蒙洼分洪的关键时刻，气象部门果断做出雨势将减弱的预报，使中央和省里领导将分洪时间向后推迟7小时，为分洪区9万人安全转移立了大功。

1990年9月22日~10月7日，北京成功举办了第十一届亚运会，火炬点燃、彩排、预演、艺术节、开幕式、闭幕式尤其需要气象保障。开幕式那天，北京周围都下雨，惟独北京没下，预报难度可想而知，气象台硬是报准了。

一、我们祖先的无上智慧

人类最早的关于季风的知识始于何时？

请看帝舜时代的《南风歌》：南风之熏兮，可以解吾民之愠兮；南风之时兮，可以阜吾民之财兮。译成白话文就是：南风依“时”（季节）从“南”吹来，温“熏”多雨，使农业收成丰“阜”，“民”“财”充足，免受饥寒（“解”“愠”）。

我国独有的二十四节气为立春、雨水、惊蛰、

春分、清明、谷雨、立夏、小满、芒种、夏至、小暑、大暑、立秋、处暑、白露、秋分、寒露、霜降、立冬、小雪、大雪、冬至、小寒、大寒。甲骨文中就有关于日至（冬至、夏至）的记述。西汉《淮南子·天文训》中对二十四节气有完整的记载。二十四节气正式形成已有两千多年历史。二十四节气的日期对应的阳历日期相对固定，相差不超过一天。二十四节气的阳历性质很好地解决了节气和农事活动的关系，我国在公元前二世纪已经按节气安排农业生产。

古人还把每个节气分成三候，形成了一年七十二候：立春的15天分为三候。初候东风解冻，二候蛰虫始振，三候鱼陟负冰。这三句话的意思是：初候东南风吹来，气候转暖，冰雪开始融化。二候，蛰伏的虫开始精神振作，蠢蠢欲动。按古人的解释，“春”和“蠢”有相同的意思。“陟”是上升的意思。三候时天暖了，潜伏在水底的鱼儿开始向上游动，接触到水面的冰凌。立春以后的每个节气都有相应的三候和有关的物候，就不一一赘述。

从小寒到谷雨，共8个节气，24个候，每候一种花开，组成下面的二十四番花信风：小寒——梅花，山茶花，水仙花；大寒——瑞香花，兰花，山帆花；立春——迎春花，樱桃花，望春花；雨水——菜花，杏花，李花；惊蛰——桃花，棣棠花，蔷薇花；春分——海棠花，梨花，木兰花；清明——桐花，麦花，柳花；谷雨——牡丹花，酴醾花，楝花。还有一种涵盖全年的二十四番花信风，每月两番，即：鹅花、木兰、李花、海棠、梨花、桐花、金樱、黄芩、楝花、荷花、榴槿、蔓罗、麦花、木槿、桂花、芦花、兰花、蓼花、桃花、枇杷、梅花、水仙、山茶、瑞香。

从冬至开始，每九天一个阶段，共九个阶段，称为九九。全国各地流传不同的“数九歌”，北京地区的是：一九二九不出手；三九四九冰上走；五九六九沿河看柳；七九河开八九雁来；九九加一九，耕牛遍地走。

三伏的规定是：夏至后第三个庚日（古人用天干地支纪日，庚日即天干为庚之日）开始的10天叫

头伏，第四个庚日开始的 10 天叫中伏，立秋后的第一个庚日开始的 10 天叫三伏。如果夏至后的第五个庚日在立秋之前，则中伏延长 10 天，共 20 天。我国南方还有夏九九之说。夏九九说的是从夏至开始，每九天一个九。夏九九的日期固定，比三伏能更好地反映夏季的气候特点，值得进一步推广。

商代后期（公元前 13 至前 11 世纪），帝王常用甲骨占卜吉凶，占卜毕，会将所问之事或所得结果刻在龟甲或兽骨上，称作商代甲骨文，在河南安阳殷墟曾经大量出土。“占”是考虑的意思。“卜”是以火灼龟壳。古人认为以火灼龟壳后出现的裂纹形状可以预测吉凶祸福。占卜的内容涉及风、雨、水、天象、农事、收成以及战事、狩猎、疾病、生育等。其中关于风、雨、水等内容，可以看作是原始的气象预测。

古人在长期观测天气变化的过程中，形成了大量天气谚语。这些谚语，有描述气候规律的，如“冷在三九，热在三伏”；有反映各种天气变化的前后期联系的，如“天上钩钩云，地上雨淋淋”、“八月十五云遮月，正月十五雪打灯”。在现代气象学尚未产生的年代，天气谚语无疑对天气预报起了很大的作用。

二、天气图上的花花世界

气象学中把表示大气状态的基本物理量和基本天气现象叫做气象要素。主要的气象要素有：温度、湿度、降水、气压、风向和风速等。

1. 温度

温度有高空温度和地面温度之分。高空温度当然是指地面以上高处空气的温度，地面温度却并不真正是地面上的温度，而是指气象观测站百叶箱中 1.5 米高度空气的温度。

天气预报中的最高气温，指的是一天之内的地面最高气温，一般出现在午后 1~2 小时。而最低温度则指一天之内的地面最低气温，一般出现在凌晨。

大气温度不仅在时间上有变化，而且在方向上也有变化。大气在垂直方向因温度分布特征的不同而形成不同的层：地面向上，气温随高度增加而降低，到某一高度，气温不再下降，在有些地区甚至还有微升，这个高度叫对流层顶，其下称对流层。对流层因对流旺盛而得名，风、雨、雷、电等天气现象主要都发生在对流层里。对流层之上称为平流层，其范围为对流层顶至约 50 千米处。该处称平流层顶。平流层顶至 85 千米左右的中间层顶为中间

层。中间层的温度随高度增加而降低。中间层以上为热层，热层以上为外逸层。

2. 湿度

湿度表示大气中水汽的含量。常见的表示湿度的方法有：绝对湿度、相对湿度、水汽压、露点温度、比湿、混合比、饱和差等。日常生活中最常用的表示湿度的方法是相对湿度，它是空气中实际水汽压和当时气温下的饱和水汽压之比，常用百分数（%）表示。

3. 降水

降水是雨雪的总称。雨，指从大气中降落到地面的液态水滴。雨滴直径一般大于 0.5 毫米，直径小于 0.5 毫米的雨滴称毛毛雨。雪，指大量白色不透明的冰晶（雪晶）及其聚合物（雪团）组成的降水。雨雪同时降落叫雨夹雪。

雨量指一定时间内从天空降落到某地地面上的液态降水，未经蒸发、渗透、流失而在水平面上积聚的水的深度。雨量的单位是毫米。24 小时降水在 0.1~9.9 毫米之间称小雨，10~24.9 毫米称中雨，25~49.9 毫米称大雨，50~99.9 毫米称暴雨，100~199.9 毫米称大暴雨，超过 200 毫米称特大暴雨。

降雪量与降雨量的单位相同，也用毫米，表示雪融后形成的水的深度。降雪还用平地上所累积的雪的深度来度量，称为积雪深度，以厘米为单位。日降雪量不足 2.5 毫米为小雪，2.6~4.9 毫米为中雪，超过 5.0 毫米为大雪。近地面气温略高于 0℃，湿雪或雨和雪同时下降为雨夹雪。

4. 气压

气压是大气压强的简称。大气作为一种物质是有重量的。一个平面上所受到的压强就是单位平面向上一直到大气顶的垂直气柱的空气重量。气压的单位是帕，气象上常用百帕作为气压的单位。海平面上的平均气压是 1013 百帕，这就是一个大气压。

5. 风向和风速

风用风向和风速表示。风向指风的来向，通常用方位表示，如西北风、东南风等；也会用角度表示，北风为 0 度，然后顺时针增加，东风 90 度，南风 180 度，西风 270 度。风速常用米/秒表示，也用风级表示，0 级为静风，烟直上，风速 0.0~0.2 米/秒；1 级烟能表示风向，风速 0.3~1.5 米/秒；2 级人面感觉有风，树叶有微响，风速 1.6~3.3 米/秒；3 级树的微枝摇动不息，旌旗展开，风

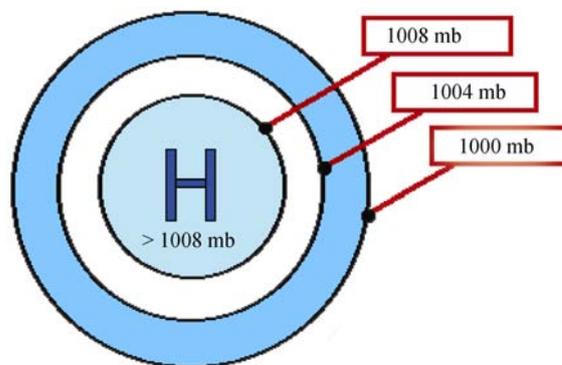
速 3.4~5.4 米/秒；4 级能吹起地面灰尘和纸张，树的小枝摇动，风速 5.5~7.9 米/秒；5 级有叶的小树摇摆，内陆水面有小波，风速 8.0~10.7 米/秒；6 级大树枝摇动，电线呼呼有声，举伞困难，风速 10.8~13.8 米/秒；8 级可折毁树枝，人前行感觉阻力很大，风速 17.2~20.7 米/秒；12 级海浪滔天，陆上绝少，风速大于 32.6 米/秒。通常将 6 级以上的风称为大风。

我们在电视天气预报中经常看到天气图。这些图有的是专业人士工作中用的天气图，有的是为了形象化而经过艺术加工的图。专业人士用的天气图，它的底图是地图，因而山脉、河流、地名、海陆分布样样俱全。科学家在有气象台站的地方填上各种气象资料，使我们对各地的天气情况一目了然。这种气象资料包括气压、温度、湿度、风向、风速、云、雨、雾、露、雷等天气现象。为了分析和比较各地的天气，科学家把气压相等的地方连成等压线，把温度相等的地方连成等温线，有时还把气流方向相同的地方连成流线。然后又分析出高压、低压、高压脊、低压槽、气旋、反气旋和气团等各种各样的天气系统。

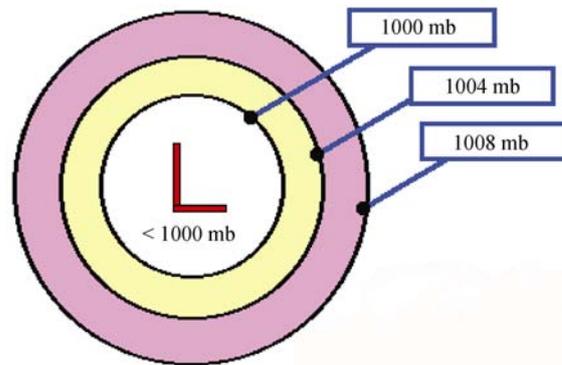
高压是高气压的简称，就是气压比四周高的地区，其中气压最高的地方称为高压中心。低压是低气压的简称，就是气压比四周低的地区，其中气压最低的地方称为低压中心（图 1）。图中圆圈为等压线，旁注数字为气压值。mb 为气压单位毫巴，与百帕等同。H 表示高压中心，L 表示低压中心。高压中天气晴好，低压中常伴有风雨雷电。

如果一个地区没有形成高压，但其气压比两侧高，像一个山脊一样，就说这一地区有一个高压脊。如果一个地区没有形成低压，但其气压比两侧低，像一个槽形的山谷一样，就说这一地区有一个低压槽。

气旋指的是低气压中的气流，也常把具有气旋式气流的低压称为气旋。气旋和低压两个词经常指同一种天气系统，因而也可以认为是两词通用。在北半球的气旋中，风逆时针旋转并偏向低压中心吹。在南半球的气旋中，风顺时针旋转并偏向低压中心吹。气流向一地汇合的过程叫辐合。气流辐合到低压中心后，入不了地，就只好上升。因此低压（气旋）中心有上升运动。气旋中的空气辐合上升，湿空气在上升过程中降温凝结，产生降水。所以常听天气预报员说低压（气旋）要来了，天气要转坏了。



a. 高压示意图（图片来源：中国数字科技馆）



b. 低压示意图（图片来源：中国数字科技馆）

图 1

反气旋指的是高气压中的气流，也常把具有反气旋式气流的高压称为反气旋。反气旋和高压两个词经常指同一种天气系统，因而可以认为两词通用。在北半球的反气旋中，风顺时针旋转并偏向高压之外吹。在南半球的反气旋中，风逆时针旋转并偏向高压之外吹。气流从一地向四周散开的过程叫辐散。地面高压中心的空气流走后，高空的空气就下来填补真空。因此高压（反气旋）中心有下沉运动。反气旋中空气下沉辐散，天气晴朗。所以常听天气预报员说高压（反气旋）要来了，天气要转晴了。如果一个高压常呆在一个地方，该地就要干旱了。

气旋和反气旋经常走马灯似地你来我往，形成一个地方多变的天气。台风就是一种形成于热带太平洋上的气旋。它有直径几百千米的近于圆形的涡旋云带。外围还有长达数千千米的涡旋云带。

气团是性质均一的一团空气。这团空气范围可达几千千米。所谓性质均一，并不是指物理性质完全一样，而是指在大范围内温度、湿度变化不大。比如说，在几百千米范围内的温度差别不过一两度。气团因其源地分成若干类，其中最重要的有两种，



a. 风速大



b. 风速小

图5 高空天气图上地转风示意图(图片来源:周家斌,《趣谈天气》)

三、五花八门的气象预报

现在,我们介绍现代气象预报。

天气预报的时效有长中短期之分。1~2天的预报叫短期天气预报;3~10天的预报叫中期天气预报;10天以上的预报叫长期天气预报;1年以上的预报叫超长期天气预报;1天以下的预报则叫超短期天气预报。短期气候预报指的是一个月、一个季度或一年的长期天气预报。1年以上的预报当然应叫长期气候预报,但是,由于这种预报不经常做,因此长期气候预报一词不大流行。11~30天的预报是一个空档,气象台也在试做这种预报。预报员把它叫做延伸预报。

短期天气预报分为两步,第一步叫形势预报,第二步叫要素预报。

形势预报,简单地说,就是绘制未来天气图的轮廓。用天气图做预报的基本思想是追踪天气系统的发展,估计未来天气系统的位置。

卫星云图在短期天气预报中非常重要。卫星云图时间间隔短(可短至30分钟),水平方向分得很

细(可以达到每千米一个数据),又能覆盖全球,因此一经问世就受到广大天气预报员的欢迎。图6所显示的是台风发展的各个阶段。其中a为初生阶段,b为初步发展阶段,c为形成阶段,X为成熟阶段,而X阶段又分为X₁、X₂、X₃、X₄四个阶段。追踪台风卫星云图,就像追踪天气图上的台风一样,对天气预报非常有用(图6)。

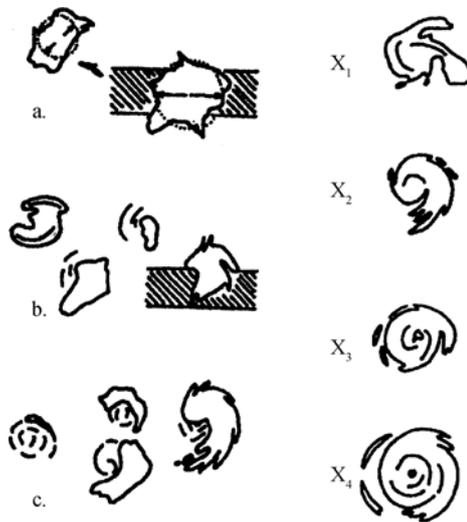


图6 台风发展的各个阶段

(图片来源:孙淑清、高守亭,《现代天气学概论》)

另一种方法,即所谓数值天气预报,就是使用描写大气运动的数学物理方程,用计算机算出未来的天气形势和气象要素分布。要做数值天气预报,需要一个好的预报模式。所谓模式就是一系列描写大气运动的数学物理方程,即描写大气运动的方程,描写大气密度变化的连续方程,描写大气温度变化的热力学方程,描写大气湿度变化的水汽方程,描写压力、密度和温度之间关系的状态方程。例如,热力学方程中有:表示一个地方温度随时间变化的温度局地变化项;表示温度的空间不均匀引起的温度平流变化项:冷空气来了温度降低,暖空气来了温度升高,空气上升引起降温,空气下沉引起增温;还有外界的热量输送项,包括太阳辐射、地面和洋面与大气之间的热量交换以及水汽蒸发和凝结引起的温度变化。将这些方程根据具体问题做若干简化,然后请计算数学家设计一些具体的计算格式,就化成气象预报用的具体公式。把观测资料代进方程,就可以用计算机一步一步算出未来的气象预报。

还有一种天气预报方法叫统计天气预报。经验

表明：低压、高温、高湿情况下容易降雨。用统计学方法把这一经验表示出来，就是

$$R=a_0+a_1P+a_2T+a_3e,$$

式中 R 表示第二天的降水量； P 、 T 和 e 分别表示当天的气压、温度和湿度； a_0 、 a_1 、 a_2 和 a_3 是常数。

形势预报，就是用天气图方法和数值预报方法得出未来天气图的轮廓；要素预报，就是或用数值预报方法或用依赖经验的统计预报方法得出未来的温度、降水等气象要素的数值。例如，彩插中 2008 年我国南方冰冻灾害期间 1 月 11 日的 24 小时预报图和相应的实际观测结果。预报图上雨量分布的态势与实测分布大致一致，10 毫米以上的范围与实测也有一定的可比性，但 25 毫米以上的范围与实测有较大的差距。这张图可以代表当前短期雨量预报水平的一般情况。

天气预报还是一个发展中的科学。我国 24 小时晴雨预报准确率为 81.3%，与发达国家，特别是美国，相当。但是，天气预报不可能百分之百准确，特别具体到一个地方，具体到什么时候下，以及下多大的量等，目前科学上很难办到。

中期天气预报的内容包括旬气温和降水预报、主要冷空气活动过程和大范围降水过程以及台风生成和登陆的趋势预报，具体做法是：先用数值天气预报方法计算出未来气象要素的分布，再根据不同预报项目的需要建立相应的预报系统。

短期气候预报（即长期天气预报）的对象是未来一个月、一个季度或一年气象要素的平均情况，其中最重要的是冬季平均气温和夏季降水总量。气候系统由大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈和生物圈组成。气候预报，原则上，是依据气候系统各分量的变化和各分量变化之间的相互作用，并结合大气运动的外源——太阳辐射的变化做出来的。

数值天气预报方法已经成为中短期天气预报的主角。对于十天以上的长期天气预报，数值天气预报方法也已起到了重要作用。针对月、季预报建立的数值预报模式则比较复杂。科学家还采用统计学方法做短期气候预报。与用天气图方法做中长期天气预报类似，科学家在综合分析的基础上，制作了许多用于短期气候预测的图表。

如此多的方法如何在实际短期气候预测中综合应用呢？常用的方法是召集预报会议，由参加会议的各单位代表发言，然后由主班预报员加以综合，

最后画出预报图。例如，国家气候中心和水利信息中心共同召开的全国气候趋势预测会商会议，综合各单位意见后得出了 1998 年 6~8 月降水距平百分率（即降水量对多年气候平均值的偏差占气候平均值的百分比）。当年长江中下游发生严重涝灾，预报图把这一多雨趋势明显报了出来。

前面提到，11~30 天的预报是一个空档，目前气象台不对外发布这种预报，它也是目前天气预报的一个难点。但是社会上非常需要这种预报，因此气象台也在试做这种预报。预报员把它叫做延伸预报。中央气象台利用历史资料、中期数值天气预报和月数值天气预报的结果，并结合对大气运动持续性、周期性的分析建立了一个预报系统，用以制作 11~30 天的预报。例如，对 2008 年 1 月中旬开始的我国南方的冰雪灾害，中央气象台在 2008 年 1 月 10 日提前 20 天就做出了较准确预报。彩插中 2008 年 1 月下旬的气温预报图中，其中一大片蓝色区域比正常年份低 1 度以上，中心区域低 2 度以上。可以看出，实际低温出现的范围与预报相当接近，但实际温度比正常年份低 4 度以上，预报的低温强度不够。

在日常气象业务中，一年以上的超长期天气预报是不做的。这是因为，目前对一年以上的气候变化的原因还缺乏了解，因而这方面的预报技术还不成熟。但有时为了制定长期经济发展计划的需要，也会应有关部门的要求制作一年以上的气候预报，制作这种预报主要考虑大气运动的准周期性、太阳活动、火山运动、人类活动等因素。

我们在前面说的天气预报在大气科学中叫做大尺度天气预报，就是影响范围超过 1000 千米的天气的预报。有没有尺度较小的天气呢？有的。影响范围在 100 千米左右的天气属于中尺度天气；影响范围在 10 千米左右的天气属于小尺度天气。我们经常遇到的夏季的暴雨就是中小尺度的天气现象。这种中小尺度天气的预报可以用数值天气预报模式来做，也需要应用天气图方法和统计预报方法。如果天气系统的尺度更小，那怎么办呢？可以应用雷达和卫星。一部雷达可以清楚地看到积云的发展，看到 200 千米范围的降水分布，特别是暴雨、冰雹、飚线、雷暴等强对流天气的演变。几部雷达联网，就可以组成一个台风、暴雨的观测系统。气象卫星高高在上，在全球范围内昼夜不停地监视着大气，

各种云系和中小尺度的云团（卫星云图上成团状分布的又白又亮的一片密蔽区域叫云团）在卫星上看得一清二楚。

气象和人们的生产生活关系实在太密切了，气象台每天发布的短期天气预报难以完全满足需要，于是气象部门成立了专业气象台，专门制作为人们的生活和各行各业服务的专业气象预报。服务的产品可以用多如牛毛来形容，我们在这里只能拉一个不完全的单子，那就是：体感温度、紫外线辐射、花粉浓度、气象疾病预报、空气质量预报、啤酒气象指数、冷饮气象指数、供水气象指数、供暖气象指数、着装气象指数、晨练气象指数、登山气象指数、旅游气象指数、洗车气象指数、空调开启气象指数、炎热气象指数、风寒气象指数、划船气象指数、心情气象指数、逛街气象指数、运动气象指数、感冒和呼吸道疾病气象指数等。

四、世界瞩目的大气科学热点

热点一、全球变暖

一百多年来，全球年平均气温呈上升趋势：20世纪增加了 $0.56\sim 0.92^{\circ}\text{C}$ ；最近100年是过去1000年中最暖的；最近20年是过去100年中最暖的；2001年至2010年这10年的平均气温已成为有记录以来最热的10年。近100年来，中国年平均地表气温升高 $0.5\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 。

全球变暖的原因有：自然原因——气候系统内部相互作用、火山爆发、太阳辐射变化等；人类活动——主要指燃烧化石燃料排放的二氧化碳等引起的温室效应。大气层中的二氧化碳从1750年280ppm（1ppm为某种气体占大气总体积的百万分之一）增加到2009年的389ppm；甲烷增加了151%；二氧化氮增加了17%；臭氧翻了一番。另外，乱砍滥伐破坏植被和大气污染也都导致全球变暖。植被破坏后，土壤吸热的能力变差，空气温度随之增高；大气中的好些污染物也有温室效应，由此形成的城市热岛加剧了全球变暖。

科学家对全球逐年地面平均气温进行了模拟研究，结果指出全球变暖既有自然原因，也有人类活动的影响，可以说，如果没有人类活动的影响，就不会出现现在这样严重的全球变暖现象。模拟计算表明，未来100年全球平均气温将上升 $1.1\sim 6.4^{\circ}\text{C}$ ，其中北半球中高纬度最明显，我国也将上升 $3.9\sim 6.0^{\circ}\text{C}$ 。

全球变暖带来许多麻烦事，其中有：极端高温事件增多；雷暴、沙尘暴、厄尔尼诺等极端事件增多；降水增加，年际变化加大；干旱、洪涝增加；海平面上升，岛国生存受到威胁；冰雪和冰川融化，冰川退缩，冻土退化；湖泊水位下降，面积萎缩；水资源紧俏，地下水水位下降；干旱加剧，荒漠化加快；酸雨增加，我国和大部分发展中国家减产，但是，我国冬小麦安全种植北界将由长城一线移至沈阳—张家口—乌鲁木齐一线，这对农业生产是有利的；通过昆虫、食物和水传播的疾病，如疟疾、登革热、黑热病、血吸虫病等增加，以及热浪可能引起中暑及心脏和呼吸系统疾病，都将影响人类健康；生态系统难以适应，世界上三分之一的动物栖息地受到威胁，等等。

面对这样严重的全球变暖问题，我们应该怎么办？主要的对策有两条：减缓和适应。

为了减缓全球变暖，首先就要减少温室气体排放。气候变化框架公约（1992）规定世界各国负有共同但有区别的责任。要求发达国家应在2000年将排放量降到1990年的水平，并向发展中国家提供技术和资金。发展中国家应编制信息通报，制定减排计划。《京都议定书》（1997）规定发达国家2008~2012年应减少1990年排放量的5.2%。我国的自主减排目标是：到2020年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~50%。此外，保护森林，阻止滥砍乱伐；限制汽车尾气排放；改变能源结构，使用风能和太阳能等清洁能源，都可以起到减缓气候变暖的作用。

适应气候变化是另一个重要措施。比如说，为了适应气温和降水的变化，粮食生产者需要使用不同于现在的作物品种。提倡低碳生活是每个人都可以做的。以出行方式为例，不同的出行方式，碳排放量和减排量不同：采用轨道交通和乘公共汽车比坐小汽车要低碳。在夏季把空调温度调在 28°C 左右，既有利于健康，又实现了低碳。

需要强调的是，在全球变暖问题上，要注意区分事实、理论和科研成果。

事实：二氧化碳增多，全球变暖，极端天气增多，海平面上升，冰山融化。

理论：二氧化碳增多会使大气温度增高。

科研成果：目前的全球变暖是气候的自然变化和人类大量燃烧化石燃料因而排放了过多的二氧化

碳造成的，未来 100 年全球将继续变暖并带来一系列后果。科研成果有其不确定性。

但是，有些事是永远正确的，例如搞好节能减排工作（即使将来全球变冷），治理大气污染，保护环境，谋求科学发展。

另外，还要注意政治和科学的关系，警惕某些发达国家把全球变暖问题作为遏制发展中国家经济发展的工具。

热点二、气象灾害

主要的气象灾害有：

干旱 一般年份，气象灾害损失占国内生产总值 3%~6%，其中干旱占 50%；洪涝占 27.5%，旱灾的损失总体上是超过水灾的。

洪涝 雨量过大会引发洪水，在排水不畅时就产生内涝，洪涝灾害会造成重大损失。洪水类型有：暴雨洪水，融雪洪水，冰凌洪水，冰川洪水，溃坝洪水，土体塌垮洪水，风暴潮洪水等。

洪涝灾害还会引发地质灾害，这就是泥石流、滑坡和崩塌。

暴雨 2010 年 5 月至 7 月份，南方地区连续遭受了暴雨袭击。一场暴雨就让广州一万多辆车被水泡了。暴雨最大可以达到多少呢？1967 年 10 月 17 日，台湾新寮庄 24 小时降水量达到 1672 毫米，这是我国有资料记载的最大暴雨。世界的最大暴雨是 24 小时降水 1870 毫米，发生在南印度洋的留尼汪岛。

寒潮 大气科学中规定的寒潮的标准是 24 小时内一个地方降温 10 度以上，并且日最低气温在 5 度以下。若达不到这一标准，则根据降温程度分别称为强冷空气活动或冷空气活动。寒潮会对人和农作物造成伤害，还会引起雪灾。

冻雨 冻雨是由过冷却水滴组成的。低于 0℃ 的雨滴在温度略低于 0℃ 的空气中能保持过冷却状态，其外观同一般的雨滴相同。当它落到温度低于 0℃ 的物体上时，立刻冻结成透明的或毛玻璃状的冰层，外表光滑或略有突起，称为雨凇。严重的雨凇能压断树木、电线和电线杆，使通信、供电中止，妨碍公路和铁路交通，威胁飞机的飞行安全。

冰雹 冰雹是坚硬的球状、锥状或形状不规则的固态降水。冰雹常伴有雷暴出现。

热浪 热浪指的是比较大的范围内连续好几天的异常高温天气。这时候，在高气压控制下，空气下沉，温度升高，万里无云，红日高照，气温常

高达 40℃ 以上。

台风 台风在欧美叫飓风。台风是一种形成于热带地区的气旋（低压）。台风有直径几百乃至上千千米近于圆形的涡旋云系，外围还有长达数千千米的螺旋云带。台风造成的灾害主要有三种：暴雨和洪涝，强风和海浪，风暴潮。

大风 大风是一种气象灾害。1703 年，英国和法国发生过一次强风暴。这次风暴除了摧毁了许多房屋以外，还把 25 万棵大树连根拔起。北京市平谷区 1959 年出现有气象记录以来的罕见大风，平均风力 8 级，瞬间风力 11 级，使 3.35 万亩果树受灾。

龙卷 龙卷也称龙卷风。龙卷是从积云中伸向下方的猛烈旋转的漏斗状云柱。龙卷风，水平范围很小，中心气压很低，因此，水平方向气压差很大，产生强烈的风速。龙卷风的风速，一般为 50~100 米/秒，最大可达 200 米/秒。由于气流的旋转力很强，龙卷风常将地面的尘土、泥沙和水等卷挟而起，造成很大的破坏。

沙尘暴 沙尘暴也是一种灾害性天气。强风将地面大量尘沙（颗粒直径为 0.05 毫米）吹起，使空气非常混浊，水平能见度小于 1 千米。发生强沙尘暴时，水平能见度小于 0.5 千米。沙尘暴一来，天昏地暗，有时连几百米内的房屋和树木都看不清楚，严重影响人们的出行。沙尘暴破坏农田、牧草和水利设施，掩埋道路，阻断交通，还能使沙漠扩大。

值得指出，看待“灾害”，也应一分为二。我们在这里所说的“灾害”，其实指的是一种自然现象。之所以将其称为“灾害”，是因为它能给人们造成损失。是不是它们在所有情况下都会给人们造成损失呢？也不尽然。实际上，不仅不同情况下所造成的损失不同（这与受灾地区的情况和抗灾能力有关），而且在某些情况下还会带来好处。下面，我们就来说说一些自然现象的好处：

干旱时，晴天多，光热资源丰富，可以利用更多的太阳能。瓜果类作物大多喜温。正是吐鲁番盆地的高温气候造就了新疆享誉国内外的哈密瓜和吐鲁番马奶葡萄。再说，干旱和干旱地区不是一回事。干旱地区是气候带的一种，干旱则是与气候异常有关的灾害。一地某个时期（如汛期）降水比正常年份少 20% 以上就可定为干旱。我国丝绸之路上的明珠——敦煌莫高窟，有 2000 多身彩塑佛像，4.5 万多平方米壁画，已有 1000 多年历史。这些宝藏正是

在当地的干旱气候下才得以保存至今的。

雨多了可以存在水库里。水库里的水多了，就可以多发电。暴雨也不能完全否定。北京汛期降水就以暴雨为主。如果某年暴雨太少，将会发生干旱。

寒潮其实是一把双刃剑。寒潮多了或者强了，发生冻害。寒潮少了或者弱了，也会有问题，如害虫增加。所以说，理想的冬天应当是寒潮不多不少不强不弱的冬天。

让风为人类服务的事，古已有之。早在 3000 多年前，我国就有利用风力驱动帆船的记载。我国是世界上季风最显著的国家之一，风能资源十分丰富。据专家估计，全国风能可开发量达到 2.53 亿千瓦。

台风也是有功劳的。我国东南沿海地区，夏季降水中台风引起的暴雨占一半以上，广东则占到 76%。这就是说，如果没有台风帮忙，我国东南沿海就要闹旱灾了。特别是当台风进入内陆，由于地面摩擦，脾气变得温顺之后，风力减小，它的大量降水又能灌溉万顷良田，造福人民。

沙尘暴能减少酸雨。沙尘暴中的细沙在空中飘浮，从而充当了降水所需要的凝结核的角色，给当地带来降水，滋养了热带雨林和海洋生物。沙漠还是丰富的旅游资源，甘肃敦煌鸣沙山、月牙泉，宁夏沙湖都是著名景点。此外，沙生植物也是大自然给人类的馈赠。种植沙生植物，既可固沙，又有经济效益。

热点三、大气污染

第一代大气污染为煤烟污染；石油工业和汽车工业的发展，又带来第二代污染——光化学烟雾污染；室内空气污染，称为第三代污染。现在，这三代污染与我们同处一个地球村，威胁着我们的生命和健康。

蓝天是纯净大气对太阳光散射的结果。太阳辐射是一种电磁波，它在大气层中传播时与大气分子发生相互作用，使一部分光线偏离原来的方向，以一定的规律在各个方向上重新分布（即散射），就形成了我们看到的蓝天。人类的生活和生产活动，向大气排放了大量有害物质，破坏了原来的散射过程，天就变灰了。

人类向大气排放了哪些有害物质呢？有一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、一氧化氮、二氧化氮和臭氧以及悬浮粒子，如尘埃、烟粒、盐粒、水滴、冰晶、花粉、孢子、细菌、固体和液体粒子。

二氧化硫主要来源于化石燃料的燃烧，可由室外污染源进入室内，也可因室内燃烧和民间煤炉产生。二氧化硫能形成酸雨，酸雨降到河流和湖泊中，就使水体酸化。土壤一旦被酸雨腐蚀，就会板结、肥力下降。酸雨又把土中的铝、镉、锌和汞等有害金属溶解，直接威胁植物生长。二氧化硫对眼黏膜和鼻咽黏膜有强烈的刺激作用，是慢性阻塞性肺病的主要病因之一，还会使哮喘病加重。酸雨是导致癌症、肾病和先天性缺陷的元凶之一。

氮氧化物通常指一氧化氮（NO）和二氧化氮（NO₂），它的主要来源是化石燃料燃烧，硝酸、氮肥、炸药、染料等生产过程中产生的废气和机动车尾气。二氧化氮的毒性比一氧化氮高 4~5 倍。吸入高浓度的二氧化氮可引起肺水肿，能使呼吸道阻力增加，肺功能下降，引起慢性呼吸道黏膜和慢性支气管炎炎症，造成肾脏、肝脏、心脏等器官的继发性病变。二氧化氮还有促癌作用，并可引起神经系统病变。

臭氧是一种强氧化剂。臭氧能损害敏感的肺部组织，削弱身体对细菌和病毒的抵抗力，还能对呼吸器官造成伤害。臭氧还会和污染物中的其他化学成分产生光化学反应，形成乙醇、过氧化酰硝酸盐等有毒光化学烟雾。由臭氧所导致的光化学烟雾会引起眼睛疼痛、疲劳和视力模糊。

可吸入颗粒物指直径小于 10 微米的颗粒物。它来源于工业和室内各种燃料的燃烧及交通运输。自然界的沙尘天气、火山爆发、森林火灾和海水喷溅等也会产生颗粒物。颗粒物的化学组分可分为无机物和有机物两大类：无机组分指元素及其化合物，如金属细颗粒（汞、铝、铁、镉、锰、铬等）及其化合物，还有氧化硅和石棉等；有机组分包括碳氢化合物、烃基化合物、有机金属、有机卤素、含氮有机化合物等。

直径小于 2.5 微米的细粒子所含有害物质明显高于一般的可吸入颗粒物，对人体的危害更为严重。细粒子是各种病原体（真菌、细菌、病毒、生物致癌物）的主要携带者。它们可沉积在肺泡上，甚至可以经肺部吸收进入血液，到达其他器官，造成重病及慢性病患者死亡率增加，使呼吸系统及心脏疾病恶化。它还能对心血管内皮细胞造成氧化应激损伤。可吸入颗粒物还可能是大气中 SARS 病毒的载体之一。

现在,我国已经开始进行绿色 GDP 核算。所谓绿色 GDP 指的是从 GDP 总量中扣除自然资源消耗和环境退化成本之后的 GDP。扣除后,2004 年的 GDP 将减少 1.8%。

室内污染有四个方面:

化学因素 甲醛、氨、二甲苯等化学物质对人体健康危害很大。

甲醛可以来源于室外的工业废气、汽车尾气和光化学烟雾,但主要来源于室内建筑和装饰材料、化妆品和燃料、烟草的不完全燃烧。甲醛超标可引起流泪、咽喉疼痛、恶心、呕吐、咳嗽、胸闷、气短,还可引起眼睛发红、疼痛、视力模糊甚至下降。皮肤接触后可引起发干、发红和刺激感。患过敏性鼻炎、过敏性哮喘、喘息性支气管炎及肝病的人,接触甲醛气味后会引发病的发作。妇女怀孕后直至分娩都不能接触甲醛,弄不好会导致胎儿畸形。

苯及其同系物甲苯和二甲苯主要由煤焦油分馏和石油裂解获得,三者经常同时存在。室内空气中的苯主要来源于建筑装饰中使用的涂料、填料和各种有机溶剂。短时间吸入大量苯蒸汽可引起急性中毒,主要表现为神经系统症状。轻度中毒可出现眼及呼吸道黏膜刺激症状,随后出现兴奋或醉酒状态,并伴有头痛、头晕、恶心、呕吐。慢性中毒可引起头痛、头晕、记忆力减退、失眠、乏力等,还可出现植物神经紊乱。吸入甲苯和二甲苯对中枢神经有麻醉作用,并对女性生殖功能有影响。

氨来源于家畜和化肥使用,也来源于建筑材料。氨经肺进入血液,可破坏红细胞的输氧功能。短期吸入大量氨气可出现流泪、咽痛、声音嘶哑、咳嗽、痰带血丝、胸闷、呼吸困难,同时可伴有头晕、头痛、恶心、呕吐、乏力等,严重者可发生肺水肿,呼吸窘迫综合征。

TDI,学名为甲苯二异氰酸酯。人们生活环境中的 TDI 主要来源于室内装修材料,床垫垫层,复合面料,沙发用料及弹性地板(主要用于塑胶跑道和人行桥路面)。TDI 可经呼吸道进入人体,对人的皮肤、眼睛有刺激作用,还可引起支气管炎、过敏性哮喘、肺炎、肺水肿等。有消息说,欧共体已不再接受含有 TDI 的塑胶跑道。

一氧化碳是含碳物质不完全燃烧生成的。它是一种影响全身的毒物,能妨碍血红蛋白吸收氧气,使心血管疾病恶化,影响神经系统,以至造成心绞痛。

噪声 当噪声超过 80 分贝时,就会使大脑皮质功能失调,出现诸如头痛、耳鸣、心悸等症状。

生物因素 微生物污染普遍存在于室内环境中,包括细菌、真菌、病毒、立克次氏体、寄生虫及生物体产生的副产物或毒素等。

放射性物质 百多年来,电磁辐射已经深入到人类生活的方方面面。在电气化高度发达的今天,与人们生活、工作关系密切的电脑、电视机、微波炉、电磁炉、电话、手机、空调、电热毯和各种核医学设备已经进入千家万户和医院及各种办公场所。这些电器和电子设备在使用过程中都会不同程度地产生辐射或泄漏电磁波。这些电磁波无色无味,看不见,摸不着,穿透力强,可以充满整个空间,并作用于人的机体。一旦其强度超过人体的耐受极限,并随着作用时间的增加,就会影响人类健康。

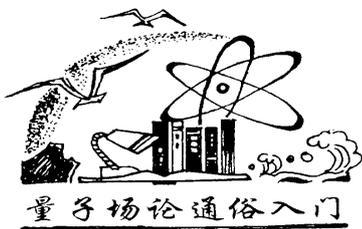
氡是自然界的放射性物质,无色无味。它来源于地基土壤、建筑材料、室外空气、煤和气体的燃烧,也可由地下冒出。氡进入呼吸道后会产生沉积。高浓度氡会危害血液和神经系统,还可导致肺癌。氡在作用于人体的同时很快衰变成人体能吸收的核素,进入人的呼吸系统造成辐射伤害,诱发肺癌。氡对人体的辐射伤害占人体所受到的全部辐射伤害的 55%以上,其发病潜伏期在 15 年以上。

汽车是一种特殊的室内环境,需要引起特别的关注。车内空气污染的主要来源有:装饰材料中的有毒气体,如苯、甲醇、丙酮、二甲苯等;二氧化硫、氮氧化物等和空调蒸发器产生的胺、烟碱、细菌等;车内高温产生的有毒物质。

不利的气象条件容易致病,有利的气象条件是否可以用来治病或保健呢?答案是肯定的。

天然的有利的气象条件可以用来治病或保健。人们常说的空气浴就是一种。海滨、山区、森林、温泉等地,空气洁净,氧气充足,气温和湿度宜人,且含有对人体有益的微量元素。山区的瀑布、海滨浪潮的拍击会使空气中的负氧离子增加,有利于调节中枢神经系统,改善大脑皮层的功能,促进新陈代谢,增强免疫力。

还可以根据人体的需要,创造优良的气象条件。各种人工气候室,就是根据人体健康所需的最佳的气象条件设计出来的,可以用来治疗某些疾病。保健舱是一种集医疗、保健和休闲于一体的设施。这种保健舱由温度、湿度调节装置、制氧和负氧离子



量子场论通俗入门

QCD 揭秘

维尔切克 著

丁亦兵 乔从丰 李学潜 沈彭年 任德龙 译

俗称为 QCD 的量子色动力学是强相互作用的现代理论。从历史上看，它源于原子核物理及对常规物质的描述——理解质子和中子是什么以及它们是如何相互作用的。如今 QCD 被用来描述大部分高能加速器中发生的现象。

二十或者十五年前，这类工作通常被称为“检验 QCD”。这个理论是如此的成功，以致我们现在把“计算 QCD 背景”改称为对更特殊现象的研究。例如，假如人们缺乏对那些由 QCD 支配的、更普遍的过程的精确性和可靠性的认识，发现传递弱相互作用的重的 W 和 Z 玻色子以及顶 (top) 夸克就可能会有更大的困难和更多的不确定性。至于那些仍有待发现的对象，诸如 Higgs 粒子以及超对称性表现形式的探测计划也都依赖于对借助 QCD 计算得到的产生机制和背景的详尽的了解。

量子电动力学的物理内容被概括为一种运算法则，它联系着时空中每一个可能物理过程的概率振幅。这些费曼图通过把图 2 一类的相互作用顶角连接在一起构成，它代表着一个带电的点粒子（轻子或夸克）辐射出一个光子。将每一条线对应的运动学传播子因子与每个顶角对应的相互作用因子乘起来就可得到振幅。反转一条线的方向等价于把粒子替换为它的反粒子。

量子色动力学可以类似地概括，但是有着一组

如图 1 所示的更复杂的组分和顶角。夸克（反夸克）带有一个单位的正（负）色荷。如下所示九种可能的、胶子颜色的线性叠加形成了 8 种物理胶子的一个 SU(3) 八重态。

QCD 的一个定性的新特点是存在描写带色胶子之间直接相互作用的顶角。与之相反，光子只与电荷耦合，而它们自身不带有任何电荷。

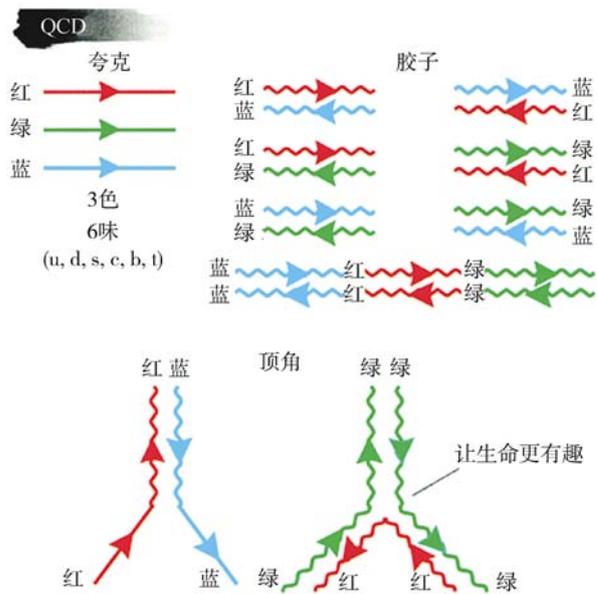


图 1 QCD 图形描述



设备、空气净化设备、保健光照设备、计算机控制系统和起居健身设备等组成。保健舱可以建在医院、宾馆饭店、别墅、高级住宅、办公室、会议中心、学校、商场等处。还可以根据需要，设计保健汽车、保健火车、保健飞机等。

行文至此，我想写下几句结束语。

人们生活在大气层中，谁也离不了大气科学。

天气预报是大气科学服务于社会的主要产品。了解一些大气科学知识，对于充分应用天气预报，

保证自己的业务活动正常进行和提高生活质量，大有裨益。

全球变暖已成为世界瞩目的热点，注意区分关于这个问题的事实、理论和科研成果，有助于理性地看待这一问题。

气象异常会引发各种灾害，但有些异常也有对人有利的方面。

呵护大气，就是呵护人类自己。

（中国科学院大气物理研究所 100029）