

读懂天空

天气怎么来的，预报怎么算出来的，云图和气压怎么读

王建硕

费曼式写法 · 由多个 AI 代理撰写与互相审校

导读

天气怎么来的，预报怎么算出来的，云图和气压怎么读

先说一件怪事。

预测半年后某一天的股市，全世界最聪明的人也束手无策。可预测三天后你所在城市下不下雨，气象台能说得八九不离十——尽管天气看起来同样地乱、同样地变幻莫测。**凭什么天气能被提前算出来，而很多别的东西不能？**

这本书就是来回答这个问题的。而答案的起点，是一个也许会让你意外的念头：**天气不是天意，而是一锅被太阳烧得不匀的水，正在老老实实在地按物理规律翻滚。**刮风、下雨、打雷、起雾——没有一样是随机降临的，每一样背后都有一条清清楚楚的因果链。你之所以觉得天气「说变就变」，只是因为没人把这条链子拆开给你看过。

所以我们不从「什么是气旋」「什么是锋面」这类词条讲起——那样只会让你多背几个名词。我们从最根上的那个问题问起：太阳把地球晒得不匀，接下来会发生什么？空气会怎么动，动起来为什么要拐弯，里面看不见的水怎么变成看得见的云和雨，冷暖两股空气撞在一起会怎样。一步一步，每一章都用上一章刚讲透的东西。等这条链子铺到头，你会发现：

- 看一眼**气压**的升降，你能先于身体感觉到天要变；
- 抬头看一眼**云**的形状和高度，你能读出高空正在缓升还是猛涌；
- 看一张**卫星云图**，你能认出哪团白是雷暴、哪片灰是连绵雨；
- 看一张**天气图**上的圈和线，你能自己把未来一两天的剧情讲出来；
- 而当你听到「明天降水概率 70%」，你会真正明白那个数字在说什么——以及为什么预报到某一天之后就必然模糊。

这不需要任何数学，也不需要背诵。需要的只是愿意把「天气」当成一台可以拆开看的机器。**拆到最后，你会得到一个小小的超能力：抬头看一眼天，就能读懂它接下来想干什么。**

那就从这台机器的总开关——太阳，开始吧。

第一章 · 一锅烧不匀的水

先问一个傻问题：天气这台机器，动力从哪来？

把地球想象成一口架在火上的大锅，锅里是空气和海水，火就是太阳。如果这口锅被均匀地加热，锅里的水会安安静静，什么都不会发生——没有风，没有云，也没有雨。天气之所以天天有戏，全靠一件事：**这口锅被烧得极不均匀**。

太阳照不匀，才有天气

不均匀有三层。第一层是纬度。太阳光正对赤道时几乎是直射，同样一束光铺在很小一块地面上，晒得又猛又集中；到了两极，同样一束光斜着打下来，摊在一大片地上，还要先斜穿过更厚的大气，早被削弱了。于是赤道常年吃饱了热，两极常年挨饿。

第二层是昼夜。地球在自转，白天被晒的那一面在攒热，背过身去的那一面在散热。第三层是海陆。同样晒一小时，沙子烫得能煎蛋，海水却温吞吞——水的热容量（升高一度所需吸收的热量）比土石大得多，所以海升温慢、降温也慢，陆地则一晒就热、一夜就凉。

大白话

一句话：地球表面从来没有一处的冷热是和邻居一样的。有温差，就有了让空气动起来的理由。

大自然最恨温差

物理世界有个朴素的脾气：哪儿冷热不均，它就想方设法把热从热的地方搬到冷的地方，直到扯平。一杯热咖啡放在桌上会凉，靠的就是这股劲。地球也一样——赤道热得冒油，两极冷得发抖，这么大一笔温差摆在那里，大自然非要把赤道多出来的热往两极搬不可。

怎么搬？靠的就是空气和海水的流动。**我们平时说的「天气」，本质上就是地球在搬运热量时留下的现场**。刮风，是空气在搬热；下雨，是水汽把热带到高处放出来后掉下来的残局；一场台风，是热带积攒的过剩热量找到了一个特别猛的出口。看懂这一点，后面所有的现象——气压、风、云、锋面——就都有了同一个源头。

热为什么非得靠「搬」

你可能会想：热不是会自己传吗？会，但太慢。靠分子一个撞一个地传（传导，就是热在不动的物体里一点点渗过去），空气是极差的导体，赤道的热这么传到两极，几千年也到不了。真正管用的是对流——让被加热的空气整团整团地动起来，连热带人一起搬走。烧开水时锅底的水翻上来、表面的水沉下去，就是对流。大气这口锅里，每天都在上演同样的翻滚，只是尺度大到以千公里计。

一台永不停机的发动机

这台机器有个好处：燃料管够。太阳每天照常升起，赤道每天照常吃饱，温差每天照常被重新拉开。所以哪怕今天一场大风把某处的温差抹平了，明天太阳又会把它重新烧出来。天气因此永远停不下来——它不是偶尔发作的毛病，而是一台**由太阳持续供能、以抹平温差为目标、却永远抹不平的发动机**。

大白话

这里藏着一个反直觉：天气的存在，恰恰说明地球在「努力变得平静」却始终做不到。要是哪天真做到了，天上反而什么都不会发生。

还有一个常被忽略的帮手：水。水从海面蒸发时要吸走大量的热（这些热被「藏」进了水汽里，叫潜热——相变时悄悄吞进或吐出的、不改变温度的那部分热量）；等这团湿空气飘到别处、凝结成云时，又把这笔热原封不动地放出来。于是水汽成了一辆装满热的货车，把低纬海面的热运到高空、运到远方。后面讲云和台风时，你会一次次看到潜热这张暗牌翻出来。

接下来这本书要回答什么

既然天气是太阳驱动、以搬运热量为业的一台机器，那它就该是有章可循的——有因有果，能被观测，能被推算。这正是这本书想带你走的一条线：

- 空气被晒得不匀，会怎样动起来？这就要先搞懂**气压**是什么（第二、三章）；
- 动起来的空气为什么不走直线，而要拐弯打转？（第四章的风）；
- 空气里那点看不见的水，怎么变成看得见的云和雨？（第五、六章）；

- 冷暖两股空气撞在一起会发生什么？（第七章的锋面、第八章的气旋）；
- 我们凭什么能提前几天知道这一切——靠什么看天、又靠什么算天？（第十章往后的观测、云图与数值预报）。

贯穿全书的那个问题很简单：**明天的天气，凭什么能被提前算出来？**要回答它，得先承认一件事——天气不是天意，而是一锅被太阳烧不匀的水，正在按物理规律翻滚。下一章，我们就从这锅水最基本的一个量说起：空气的重量。

第二章 · 空气也有重量

上一章说，天气是空气被晒得不匀之后动起来的结果。可空气是最不起眼的东西——看不见、摸不着，怎么让它「动」，又怎么描述它的状态？气象学给出的第一个、也是最核心的量，是**气压**。这一章我们就把它彻底讲清楚，因为后面所有的风、云、天气图，说的都是这一件事。

你头顶压着一吨多的空气

先纠正一个错觉：空气不是「没有重量」，只是太轻，让我们感觉不到。一升空气大约重 1.2 克——听着微不足道。但大气从地面一直堆到几十公里高，你头顶其实压着一整根**直通太空的空气柱**。把这根柱子的重量全算上，压在你身上每一平方厘米的力，相当于压了大约一公斤的东西。摊到一个成年人的肩背，就是一吨多。

大白话

那我们为什么没被压扁？因为身体内部也向外顶着同样的压力，里应外合，正好抵消。就像深海鱼不会被水压压瘪，一个道理。

这就是**气压**——说白了，就是你头顶那根空气柱的重量，压在单位面积上的力。它不是什么玄乎的东西，就是「上面还压着多少空气」。

为什么天气预报里都是 hPa

气压的单位叫**百帕**（hPa，读「百帕斯卡」）。海平面上标准大气压大约是 **1013 hPa**，这个数字值得记住——它是判断高压低压的那条基准线。你可能还见过另一个单位「毫巴」

（mbar），别被它唬住：1 百帕就等于 1 毫巴，两者数值完全一样，只是新旧叫法不同。

为什么单位里带个「帕」？帕斯卡是压强的国际单位，1 帕就是 1 牛顿的力压在 1 平方米上，太小了，日常气压有十万帕这么大，写起来一串零，于是取一百帕打个包，正好让海平面气压落在 1000 上下，读起来清爽。

越往高处，压着你的空气越少

既然气压是「头顶还压着多少空气」，那往山上爬时，你头顶的空气柱就被你自己踩在脚下——一截，柱子变短，气压自然下降。海平面 1013 hPa，爬到约 5500 米高，头顶的空气少了一半，气压也就掉到约 500 hPa。**气压随高度下降**，这是一条铁律，后面读高空天气图时会反复用到。

大白话

这也解释了为什么高原上水烧不开就冒泡——气压低，水面上压着的空气少，水分子更容易挣脱出来，不到 100°C 就沸腾了。爬山耳朵发闷、薯片袋子在飞机上鼓起来，都是同一件事：外面的气压变了。

它是怎么被称出来的

1643 年，意大利人托里拆利干了件漂亮事。他把一根一头封死、灌满水银的玻璃管倒扣在水银槽里，管里的水银会往下掉，但掉到约 76 厘米高就不掉了——因为管外槽面上的空气正压着水银，把它往管里顶，顶到 76 厘米这一柱水银的重量刚好和大气压扯平。

这就是第一支气压计（测气压的仪器）。它的妙处在于：**用一柱水银的高度，把看不见的气压变成了看得见的刻度**。气压高一点，水银就被顶得高一点；气压低一点，水银就落一点。今天的电子气压计原理不同，但那句老话「气压 760 毫米汞柱」，说的就是托里拆利那根 76 厘米的水银柱。

气压才是天气的语言

讲了半天一个数字，它到底有什么用？关键在于：**气压不是均匀的**。这里 1020，那里 1000，空气就像水从高处往低处流一样，要从气压高的地方涌向气压低的地方——这一涌，就是风（第四章的主角）。而气压是升是降，往往比眼睛更早知道天要变：老渔民看气压计猛跌就赶紧收网，因为那预示着一个低压系统正在扑来。

所以你可以把气压理解成天气的「血压」。医生量血压能看出身体的很多问题，气象学家看一张气压的分布图，就能读出风往哪吹、哪里要下雨、暴风雨藏在何处。下一章我们就来看

这张「血压图」上最重要的两种地形：高压和低压，以及为什么它们一个报晴、一个报雨。

第三章 · 高压晴、低压雨

看天气预报，你一定听过「受高压控制，天气晴好」「低压过境，有明显降雨」。为什么高压总带来好天气、低压总带来坏天气？这不是约定俗成，而是有一条硬邦邦的物理链条。搞懂它，你就抓住了整个天气系统的开关。

关键不在气压高低，在空气往哪走

先破一个误会：高压低压带来的天气差别，真正的原因**不是气压那个数字本身**，而是这个数字背后空气在做的动作——是往上走，还是往下沉。

记住上一章的结论：空气要从气压高的地方流向气压低的地方。现在想象地面上有一块低气压（简称低压，就是一片气压比四周低的区域）。四面八方的空气都往这块「洼地」涌过来，这叫辐合——空气从四周向中心汇拢。

问题来了：空气源源不断往中心挤，中心又不能无限塞下去，也不能往地里钻，那它只有一条路——**被逼着往上走**。所以低压中心的招牌动作是：气流上升。

大白话

反过来，高气压（高压，气压比四周高的区域）像一座「山头」，空气从中心往四周淌开，这叫辐散。中心空了，得有空气来补，补的空气从哪来？只能从高空往下沉。所以高压的招牌动作是：气流下沉。

一句话记牢：**低压是抽气机，把空气往上抽；高压是压路机，把空气往下压**。接下来发生什么，全看这团空气是升还是降。

往上走的空气，会自己变冷

这是全书最该记住的一条机制。一团空气往高处走时，四周的气压越来越低（第二章讲过，越高气压越小），它就会膨胀。而膨胀是要花力气的——它得推开周围的空气，这份力气从自己身上出，于是它的温度就降下来了。**空气一上升就变冷，纯粹因为膨胀，不需要谁来给它降温**。这叫绝热冷却（绝热=不和外界交换热量，光靠膨胀就凉了）。

空气一冷，麻烦就来了：冷空气装不下那么多水汽（这是第五章的正题）。装不下的水汽只好凝结成小水滴——**云，就是这么诞生的**。云越长越厚，小水滴并成大水滴，重到托不住，就掉下来成了雨。

于是低压那条链条完整了：**低压 → 辐合 → 上升 → 绝热冷却 → 水汽凝结 → 成云 → 下雨**。这就是为什么低压中心总是阴云密布、风雨交加。

往下沉的空气，会自己变暖变干

高压那边正好是一部反着放的电影。下沉的空气进入越来越高的气压，被四周压缩，压缩就升温——这叫绝热增温。空气一暖，胃口大开，本来能凝结成云的那点水汽全被它「喝」回去了，云被烤化，天空放晴。

所以高压这条链条是：**高压 → 下沉 → 绝热增温 → 云被蒸干 → 晴空万里**。夏天连日的酷热无云、冬天冷冽的大晴天，背后往往就是一个稳稳压在头顶的高压。

大白话

一句话总结这一章：会下雨的从来不是「低气压」这三个字，而是被低压逼着**上升并变冷**的空气。天气好坏，说到底还是空气升降的方向问题。

它们决定了这本书剩下的剧情

升与降这对开关，几乎解释了后面所有的天气现象。一场雷暴，是局地空气猛烈上升到极致（第九章）；一道锋面带来大范围降雨，是暖空气被冷空气抬着爬升（第七章）；台风的狂暴，是一个极深的低压把上升开到了最大档。而看天气图时，你满眼的那些同心圆圈，圈住的正是一个个高压和低压——它们是天气舞台上的主角。

不过还有一个问题没解决：空气从高压流向低压，为什么不是老老实实走直线，而是绕着圈打转，把高低压卷成了一个个漩涡？答案藏在一个很多人听过、却很少真懂的东西里——地球在自转。下一章，我们讲风。

第四章 · 风是被推着走的空气

上一章留了个悬念：空气从高压流向低压，为什么不走最省事的直线，偏要绕着圈打转？如果风只是「从高往低直着吹」，那天气图上的高低压中心就该是一个个向外喷或向内吸的喷泉。可实际上，风是**贴着气压高低的边界打着旋转**的。这一章就把这股「拐弯」的劲讲清楚——它是理解天气图的钥匙。

第一股力：气压差在推

让空气动起来的第一股力，叫**气压梯度力**——哪边气压低，空气就被往哪边推的那股劲。「梯度」是说气压变化的陡缓：两地气压差得越大、离得越近，这股推力就越猛，风就越大。

大白话

这解释了天气图上一条最实用的规矩：**等压线（气压相同的点连成的线）挤得越密，风越大。**
线密＝短距离内气压掉得快＝推力猛。所以看图不用算，看线的疏密就能估风力。

要是只有这一股力，风确实会从高压直冲低压。可地球在转，事情就没这么简单了。

第二股力：地球在你脚下偷偷转

想象你和朋友在一个旋转的大转盘上对扔皮球。你瞄准他直直扔出去，可球飞到一半，他已经被转盘带到了别处——在你俩看来，球明明是直的，却像被一只无形的手掰弯了，偏到了一边。

地球就是这么个大转盘。空气在地面上飞行时，脚下的地球正带着一切自西向东转。于是在我们这些「跟着地球转的人」看来，任何长距离运动的空气都会被系统性地**掰向一边**：北半球一律偏向右手边，南半球一律偏向左手边。这股「拐弯」的效应叫**科里奥利力**（其实不是真有一只手在推，而是我们站在转动的地球上运动，才觉得它拐了弯——所以它被叫作「视示力」或「假想力」）。

科里奥利力有几个脾气值得记：它只在空气已经动起来时才出现，速度越快它越明显；它只改变方向、不改变快慢；在赤道几乎为零，越往两极越强。风走得越远，被它掰得越狠——所以它对大范围的天气系统影响巨大，对你眼前一阵小穿堂风则基本可以忽略。

大白话

顺带破个流言：抽水马桶的漩涡方向由科里奥利力决定——这是假的。马桶那点尺度太小、时间太短，科里奥利力小到可以忽略，方向其实由水槽形状和进水方式决定。它真正说了算的，是几百上千公里的大气和洋流。

两股力一较劲，风就拐着圈走了

现在把两股力放一起。气压梯度力把空气从高压推向低压；空气一动，科里奥利力立刻把它往右掰（北半球）。推一下、掰一下，最后达成一个奇妙的平衡：**风既不朝低压直冲，也不被掰回高压，而是恰好沿着等压线、绕着高低压转圈吹**。这种平衡状态吹出来的风，叫地转风。

结果就是那句气象学老话——在北半球，**背风而立，低压在你左前方，高压在你右后方**（这叫白贝罗定律）。反过来看天气图也成立：风绕着低压逆时针转、绕着高压顺时针转（南半球全部相反）。天气图上那些卷成漩涡的圈，就是这么来的。

贴着地面的风，为什么会往低压里钻

还差最后一块拼图。上面说的是高空的理想情况；可到了地面附近，多了一股搅局的力——摩擦力，地面的山川树木房屋把风蹭慢了。风一慢，科里奥利力就跟着变弱（它认速度），于是气压梯度力占了上风，把风又稍稍拽向低压中心一点。

所以贴地的风不是完全平行于等压线，而是**斜着往低压里旋进去**——这正好接上了第三章那句话：空气辐合进低压中心，被逼着上升。你看，第三章说低压中心气流上升，这一章才补上了它「怎么进去」的动作：风是斜着旋进去的，风、辐合、上升、成云，是同一件事的四个侧面。

到这里，空气的水平运动就讲透了。可天气里最戏剧的部分，是空气里那点看不见的水——它一旦现身，就是云、是雨、是雷暴。下一章，我们去找这些藏在空气里的水。

第五章·看不见的水

前面四章讲的都是「干」空气怎么动。可天气里最会演戏的角色，是空气里那点你看不见的水。云、雾、雨、雪、雷暴，全是它变的。这一章我们把这滴看不见的水找出来，顺便讲清三个总被人搞混的词：湿度、相对湿度、露点。搞懂它们，你就能自己判断「今天会不会起雾」「玻璃为什么出汗」。

空气里一直藏着水，只是你看不见

先破一个直觉错误：你看得见的云和雾，其实**不是**空气里的水汽——它们已经是凝结出来的小水滴了。真正溶在空气里的水，是水汽（气态的水，单个水分子散在空气里，完全透明）。一间屋子里看着空空的空气，可能正飘着好几公斤的水，你一点都察觉不到。

那空气能装多少水？这里有条关键规律：**空气越暖，能装的水汽越多；越冷，装得越少**。而且不是线性的——温度每升高约 10°C ，空气的「装水上限」差不多要翻一倍。所以热带闷热、寒冬干燥，根子就在这条规律上。

大白话

打个比方：把空气想象成一个能伸缩的行李箱。天热时箱子撑得很大，能塞进很多水；天一冷箱子缩小，塞不下的水只好被挤出来——挤出来的，就是露、是雾、是云。

相对湿度：这只箱子塞了几成满

天气预报里报的「湿度 80%」，全称是相对湿度——它说的**不是**空气里有多少水，而是「当前装的水，占这个温度下装水上限的百分之几」。80% 就是箱子塞了八成满。

这里藏着一个大坑：相对湿度会骗人。**同样多的水，光是温度变一变，相对湿度就天翻地覆**。夜里气温降下来，箱子缩小，哪怕一滴水没多进来，相对湿度也会飙升，甚至到 100% 就起雾了；白天太阳一晒，箱子撑大，相对湿度又哗地掉下去。所以清晨草上有露、湿度显示 95%，你别以为空气里水特别多——只是天凉，箱子小了而已。

露点：一个不会骗人的湿度

正因为相对湿度会随温度乱跳，气象学家更爱用另一个量：露点——把这团空气慢慢降温，降到它「装水刚好满」（相对湿度 100%）、开始凝结出水珠的那个温度，就是露点。

露点的好处是：**它只跟空气里实际含多少水有关，不随当前气温瞎跳**。露点越高，说明空气里真的水多。所以判断「闷不闷」，看露点比看相对湿度靠谱得多：露点 25℃ 以上，那是黏在身上甩不掉的南方桑拿天；露点 5℃，哪怕相对湿度显示 90%，也只是干爽的凉。

大白话

还有个立刻能用的判断：**气温和露点越接近，越容易出水汽的花样**。两者贴到几乎相等，空气就饱和了——贴地饱和是雾，高空饱和是云。天气预报里气温和露点两个数凑得很近，往往就是要起雾或下雨的信号。

玻璃出汗、结露、起雾，是同一件事

现在那些日常小谜题都有了统一答案。夏天从冰箱拿出的可乐瓶「出汗」，不是瓶子漏水——是瓶子太凉，把贴着它的那层空气冷到了露点以下，箱子一缩，空气里的水汽只好凝在瓶壁上。清晨草叶上的露珠，是夜里地面辐射散热、贴地空气被冷到露点。山谷里、河面上早起的雾，是同样的降温让一大片空气整体到了露点。**它们全是「空气被冷到装不下水」这一件事的不同版本。**

接下来：把这团水送上天

这一章讲的是水汽在贴近地面时的把戏。但天气的大动作，发生在水汽**被抬到高空**之后——回忆第三、四章：空气被逼着上升，一路绝热变冷，箱子越缩越小，到某个高度终于装不下了，水汽就在那里集体凝结。那个高度上诞生的，就是我们抬头能看见的云。云为什么有平平的底、为什么有千姿百态的形状、又怎么从云的样子看出天要怎么变——下一章，我们就去读云。

第六章 · 云是怎么长出来的

云是天空写给我们的字。学会认云，你不用任何仪器，抬头就能读出高空正在发生什么。这一章先讲云是怎么长出来的（其实第三到五章已经埋好了全部伏笔），再教你两把读云的钥匙：看形状、看高度。

云的诞生：一条你已经会背的链子

把前几章串起来：空气被抬升（第三、四章）→ 一路绝热变冷（第三章）→ 冷到装不下水汽（第五章）→ 水汽凝结成无数小水滴 → 聚在一起，就是云。云不是什么新东西，它就是「空气被抬到高处、冷得装不下水」的可见证据。

但这里有个隐藏条件：水汽不会凭空变水滴，它需要一个「落脚点」。空气里飘着无数肉眼看不见的微尘——盐粒、烟灰、花粉、扬尘，水汽就贴着这些小颗粒凝结。这些颗粒叫凝结核（凝结时给水汽当地基的小微粒）。没有它们，空气哪怕湿过头了也很难成云。所以云的多少，跟空气干净与否也有一层关系。

为什么很多云的底是平的

夏天看那种一朵朵的棉花云，你会发现它们的底部齐刷刷在同一个高度，像被一把尺子裁过。这不是巧合。

贴地的空气成分差不多，被太阳晒着一起往上升，一路绝热冷却。升到某个高度，它们不约而同地到了露点、开始凝结——这个高度叫抬升凝结高度（空气被抬着上升、恰好开始成云的那个高度）。所有从地面升上来的空气都在同一高度「结冰花」，云底自然就齐平了。云底以下是还没饱和的透明空气，云底以上才是凝结区。

大白话

一个立刻能用的小知识：地面越热越潮，这个高度越低，云压得越低；地面又干又凉，云底就抬得很高。看云底高低，能反推近地面的湿热程度。

第一把钥匙：看形状——高空在缓升还是猛涌

云的形状，直接告诉你空气是**怎么**上升的。这是读云最有用的一条。

一类是积状云（一团团、有立体感、边缘鼓鼓的云，像棉花、像花椰菜）。它们是空气一股一股猛烈上涌堆出来的——哪里地面被晒得特别热，哪里就冒出一柱上升气流，顶起一朵积云。所以看见蓬松鼓胀的积云，就知道那底下的空气在对流翻滚。

另一类是层状云（摊开成一大片、平坦、灰蒙蒙没什么立体感的云）。它们是一大片空气被**整体、平缓地**抬升铺出来的，常见于暖空气沿着锋面慢慢爬升时（第七章）。看见天空被一整层灰云盖住，往往意味着一个大范围的天气系统正温吞吞地压过来。

大白话

一句话记：**一团团鼓起来的=对流猛升，可能有雷阵雨；摊平一大片的=大范围缓升，可能有连绵阴雨。**

第二把钥匙：看高度——分高、中、低三层

气象上把云按所在高度分成三族，名字里的偏旁就是线索：带「卷」的最高，带「高」的居中，剩下贴地的最低。

- **高云**（约 6 公里以上）：那里太冷，云全由冰晶组成，又薄又白，如丝如羽——这是卷云。天很高很蓝时飘几缕卷云是好天；但如果卷云成片增多、慢慢连成一层白纱，往往是暖锋在几百公里外靠近的**最早预告**。
- **中云**（约 2 到 6 公里）：名字带「高」字，比如高积云（一片片鱼鳞或羊群似的）、高层云（灰白的幕布，太阳隔着它像毛玻璃后的灯）。它们常是天气系统正在逼近、云层正在压低变厚的中间阶段。
- **低云**（约 2 公里以下）：包括层云（低而均匀的灰盖，像高了的雾）、层积云（成块的灰云）、还有前面说的积云。雨大多从低云里落下来。

最该认识的一朵：积雨云

有一种云横跨三层、一柱擎天，值得单独记住：积雨云——由积云疯长而成，从低空一直冲到高空，顶部被高空强风削平、摊成一个铁砧的形状。**看见铁砧顶的积雨云，就是雷暴、暴**

雨、冰雹、大风的信号，它是天空里最危险的一朵云。它怎么鼓起来、能量从哪来，是第九章的正题。

现在你已经能靠肉眼读一点天了：卷云增厚预告系统将至，积云鼓胀提示对流不稳，铁砧云意味着雷暴。但云只是结果，真正推着大范围天气变脸的，是冷暖两股空气的正面交锋。下一章，我们去看这条「前线」——锋面。

第七章·冷暖空气打架的前线

你有没有过这种经历：前一天还闷热，一夜之间气温骤降、狂风大作、下一场急雨，之后天空豁然放晴、空气变得又凉又干。这不是天气「变脸」，而是有一条看不见的边界从你头顶扫过——**锋面**。它是天气预报里出镜率最高的词，也是中纬度地区（包括中国大部）天气变化的头号导演。

先认识「大气团」这块料

要讲锋面，得先有两块料。空气如果长时间赖在一片性质均匀的地面上——比如广阔的西伯利亚雪原、或热带的洋面——它就会被那片地面「同化」，一大团空气从上到下变得温度、湿度都差不多。这样一大团脾气一致的空气，叫**气团**（一大片温度、湿度大致均匀的空气，动辄上千公里）。

来自高纬雪原的，是又冷又干的冷气团；来自热带洋面的，是又暖又湿的暖气团。**它们各自成块地移动，迟早会撞上**。两块气团碰头的交界面，就是**锋面**（冷、暖两个气团之间的那道倾斜的分界带）。天气的戏，全在这道界面上演。

大白话

关键点：冷暖空气碰到一起，不会痛快地混合，而是像油和水一样分层——冷空气重，赖在底下；暖空气轻，被抬到上面。**暖空气一被抬升，第三到六章那条链子就启动了：上升、变冷、凝结、成云、下雨**。所以锋面几乎总是伴着云和降水。

冷锋：冷空气来砸场子

当冷气团占主动、楔进暖气团下面、把暖空气猛地往上掀，这道界面叫**冷锋**。冷空气像一把铲子，铲得又急又陡，把暖湿空气快速、剧烈地抬起来。

后果很戏剧：暖空气被急速抬升，容易鼓起高大的积雨云，带来一条**又窄又猛**的坏天气带——雷阵雨、大风、有时冰雹，来得快去得也快。冷锋过境后，换成冷气团当家，于是气温

骤降、风向转变、气压升高、天空放晴、空气变干爽。开头说的那种「一场急雨后转凉放晴」，典型就是冷锋刚走。

暖锋：暖空气慢慢爬坡

反过来，当暖气团占主动、推着冷气团走时，暖空气没法把厚重的冷空气掀开，只能**顺着冷空气的斜坡缓缓往上爬**。这道界面叫暖锋。爬升又缓又平，铺开的是大范围的层状云，带来的是**又宽又持久**的连绵细雨，范围能有几百公里。

暖锋最妙的是它会「提前打招呼」，而且顺序固定，正好用上第六章读云的本事：最先来的是几百公里外高空的卷云（细丝状）→接着卷层云给太阳蒙上一圈晕→再厚成灰白的高层云（太阳像隔了毛玻璃）→最后压成低沉的雨层云，下起连绵的雨。**看见卷云一步步压低、增厚，就是暖锋正在逼近的教科书信号。**

还有两种：准静止锋与锢囚锋

如果冷暖两股势均力敌，谁也推不动谁，锋面就赖在一个地方来回摆，叫准静止锋。它能让阴雨连着下好多天——每年初夏长江中下游的**梅雨**，就是一条准静止锋赖着不走的杰作。

还有一种叫锢囚锋：冷锋走得比暖锋快，追上并抄了暖锋的后路，把中间的暖空气整个抬离地面、「关」到高空去。它常出现在一个气旋快走到生命尽头时——这就接上了下一章。

锋面从不单独出现

这里要点破一件事：现实里冷锋和暖锋很少各走各的，它们往往是**同一个大漩涡的两条胳膊**。在中纬度，一个低压（气旋）逆时针旋转，会在它的一侧拖出暖锋、另一侧拖出冷锋，像螺旋桨的两片叶子。所以一次典型的过程常是：暖锋先到（连绵雨、转暖）→中间进入暖气团（短暂闷热）→冷锋后至（急雨、转凉放晴）。

那这个把锋面甩成两条胳膊的大漩涡到底是什么？它就是天气图上那个逆时针的圈——温带气旋。它怎么诞生、怎么长大、天气图上那些同心圆和线条各自在说什么，是下一章的主题。

第八章·天气图上的圈与线

到这一章，你已经攒够了所有零件：气压、升降、风、水汽、云、锋面。现在把它们拼成一张图——气象台每天发布的那张**天气图**（专业叫天气分析图）。学会读它，你看到的就不再是一堆乱糟糟的线，而是一部正在上演的立体大戏。

那些圈是什么：气旋与反气旋

天气图最抢眼的，是一圈套一圈的同心圆，中间标着 L 或 H（有的图用中文「低」「高」）。

标 L 的是**气旋**——就是第三章那个低压，中心气压最低，空气辐合、上升。在中纬度地区，靠冷暖气团交锋孕育出来的叫**温带气旋**，它就是上一章那个把冷暖锋甩成两条胳膊的大漩涡。北半球，风绕着它**逆时针**旋进（第四章）。气旋所到之处，多半是阴云、风雨。

标 H 的是**反气旋**——第三章那个高压，中心气压最高，空气下沉、辐散，风绕着它**顺时针**转出（北半球）。反气旋控制的地方，往往是稳定的晴好天气：夏天的连日高温、冬天的干冷晴空，背后常蹲着一个反气旋。

大白话

一眼分好坏：找到 L，它附近就是坏天气的策源地；找到 H，它笼罩的范围多半天晴。这是读天气图的第一步，也是最有用的一步。

那些线是什么：等压线

圈住高低压的那些闭合曲线，叫**等压线**——把气压相同的点连起来画成的线，就像地形图上把海拔相同的点连成的等高线。顺着一条等压线走，气压始终不变；跨过一条到下一条，气压就变了一档（天气图上通常每隔 4 百帕画一条）。

等压线能读出两件大事，都是前面推过的：

- **疏密看风力**：线挤得越密，说明短距离内气压掉得越急，气压梯度力越强，风越大（第四章）。看到某处等压线密得像斑马纹，那里必定大风。
- **走向看风向**：风大致**平行于等压线**吹，而不是垂直穿过它们（第四章的地转风）。配上「绕低压逆时针、绕高压顺时针」，你不用任何箭头，光看圈和线就能说出风往哪吹。

大白话

所以把地形比喻贯彻到底：**等压线就是气压地形的等高线，低压是盆地，高压是山丘**。但风不像水那样直接往盆地里灌——它被科里奥利力带着，绕着盆地边缘打转着往里旋。

那些带三角和半圆的线：锋

天气图上还有一类醒目的线，上面缀着一排小符号，那是上一章的锋面：

- 缀着一排**三角尖**的（常画成蓝色）是冷锋，三角指向它前进的方向——它扫过的地方，来一阵急雨然后转凉。
- 缀着一排**半圆鼓包**的（常画成红色）是暖锋，半圆朝着它前进的方向——它到来之前，先是连绵的阴雨和逐步压低的云。
- 三角和半圆**交替缀在同一条线**上的，是准静止锋（谁也推不动谁）；三角半圆**同侧叠**在一起的，是锢囚锋（冷锋追上了暖锋）。

这些锋线几乎总是从那个 L（气旋中心）伸出来的——现在你明白为什么了：锋是气旋的胳膊。

把一张图读成一部电影

现在做个综合演练。假设你看到一张图：你所在的城市西边有个 L，从它拖出一条带三角的冷锋正朝你压来，冷锋后面的等压线又密又直。你能读出什么？

西边有低压系统靠近；一条冷锋即将过境，会带来一阵急促的雷雨大风；锋后等压线密集，说明随后是一段大风降温；风向会随冷锋过境明显转变；等这个 L 东移离开、后面的 H 补上来，天就该放晴转凉了。

看，还没等预报员开口，你已经自己把未来一两天的剧情讲了个八九不离十。**这正是这本书想给你的能力：天气图不是天书，而是一套你现在已经能读的因果语言。**

不过天气图最猛的一档戏——夏日午后那种电闪雷鸣、瓢泼冰雹的雷暴——常常不是靠大范围锋面，而是局地空气自己猛烈上冲的结果。它能量从哪来、为什么那么突然又那么凶？下一章专门拆这朵最危险的云。

第九章 · 雷暴是怎么鼓起来的

夏天午后，明明上午还晴着，几个钟头内天边就堆起一座乌黑的云山，接着电闪雷鸣、暴雨如注，甚至砸下冰雹——然后又很快收场。这就是**雷暴**，天空里能量最集中的一场爆发。它和前面讲的大范围锋面阴雨完全是两种脾气：锋面雨温吞绵长，雷暴又急又猛又局地。这一章拆开这朵最危险的云，看它的能量到底从哪来。

关键词：大气「稳不稳」

第三章说过，空气一上升就绝热变冷。但光会上升还不够，问题是：**它升到半路会不会停下来？**这取决于一团上升的空气，和它周围同高度的空气比，谁更暖。

暖的东西轻，会继续往上浮；冷的东西重，会往下沉。于是有两种局面：

- 如果上升的空气一路上都比周围**冷**，它就浮不动，刚抬起来又沉回去——大气是**稳定的**（一推就弹回原位，像躺在碗底的球）。这种天气安静，顶多摊几层平云。
- 如果上升的空气反而一路比周围**暖**，那它就越升越起劲、自己往上冲——大气是**不稳定的**（一推就越滚越远，像搁在馒头顶的球）。雷暴，就诞生在这种不稳定里。

大白话

所以「今天会不会有雷暴」，气象上问的其实是「今天的大气稳不稳」。地面被晒得越热、高空又恰好越冷，上下温差越悬殊，就越不稳定——这正是夏日午后的典型配置，也是雷暴爱挑那个时候发作的原因。

藏在水汽里的燃料

可上升的空气不是会绝热变冷吗，凭什么反而比周围暖？这里第五章那张暗牌——**潜热**——翻出来了，它是雷暴真正的燃料。

湿空气升到凝结高度后开始成云，水汽凝结时会**放出**当初蒸发时吸进去的那笔潜热。这笔热就地加给了这团正在上升的空气，等于给它偷偷续了一把火：它因此比干巴巴、没有凝结放热的周围空气更暖，于是浮力更足、冲得更高，冲高了又凝结更多、放出更多热……**一个自**

我加速的正反馈就此点燃。空气越湿，这把火越旺，这也是为什么闷热潮湿的午后最容易憋出强雷暴。

把条件凑齐，雷暴需要三样东西，缺一不可：**充足的水汽**（燃料）、**不稳定的大气**（让它一点就着往上冲）、**一个把空气抬起来的触发**（地面受热、山坡、或一道冷锋，先给它推第一把）。

一朵雷暴的一生

凑齐条件后，一朵雷暴大致走三步：

1. **发展阶段**：一股强烈的上升气流把积云越顶越高，长成高耸的浓积云。此时全是往上的气流，云内只进不出，个头飞快膨胀。
2. **成熟阶段**：云顶冲到高空一层「爬不动」的稳定层（对流层顶附近），上升气流顶不上去，只好向四周摊开，铺成那个标志性的**铁砧**顶。这时云里的水滴、冰粒已经重到托不住，倾泻而下成暴雨，雨拽着周围空气一起下沉，形成猛烈的**下沉气流**。上升与下沉此刻并存——这是雷暴最凶的时候：暴雨、大风、雷电、冰雹都在此刻。
3. **消散阶段**：下沉气流越来越占上风，从底部掐断了给云供燃料的上升气流，好比釜底抽薪。没了上升气流续命，雷暴很快雨收云散。整个过程往往就一个小时上下——来得快，去得也快。

冰雹与闪电，怎么来的

那么猛的上升气流还有个副产品：**冰雹**。高空的小冰粒往下掉，又被强上升气流托回高处、裹上一层水再冻成一层冰，如此上上下下好几个来回，像滚雪球一样越滚越大，直到重得连上升气流都托不住，才砸下来——所以冰雹越大，说明当时的上升气流越强。

至于**闪电**：云里冰晶和霰粒剧烈碰撞摩擦，把正负电荷分到了云的不同部位，云上部带正电、下部带负电，越积越多，直到空气再也扛不住这么大的电压，「啪」地一道火花把电放掉——那就是闪电。闪电瞬间烤热周围空气，空气爆炸式膨胀，就是我们听到的雷声。所以先见闪电后听雷，不是雷慢，是光比声快得多。

到这里，从一锅被晒不匀的水，到风、到云、到锋面、到雷暴，天气这台机器的物理我们基本讲完了。剩下的问题变成了：这些看不见摸不着的东西，我们究竟是**怎么测到**、又**怎么算**

出它明天的样子的？下一章，我们从「怎么看天」讲起。

第十章 · 我们怎么给天空量体温

前九章讲的是天气「为什么」会这样。从这一章起，我们转到「怎么知道」——怎么测到眼下的天气，又怎么算出明天的天气。先说测。

要预报明天，第一步不是算，而是**把此刻的大气量清楚**。道理很简单：天气是从当下这一刻的状态演化出去的，你得先知道现在这锅水各处的温度、气压、湿度、风向风速，才谈得上推演它下一步怎么翻滚。可大气这么大、又是立体的，怎么量？靠三张网。

第一张网：贴地的气象站

最基础的一张，是遍布地表的地面气象站——一小片装着标准仪器的场地，量五样最要紧的东西：气温、气压、湿度、风向风速、降水量。全球有成千上万个这样的站，还有海上的浮标、船舶补空白。

关键在两个字：**统一**。全世界的站用统一的仪器规格、统一的安放高度（比如温度计一律离地 1.5 米、装在通风的白色百叶箱里，避开阳光直晒和地面辐射），还在**统一的时刻**同时观测。为什么较这个真？因为只有大家在同一刻、用同一把尺子量出来的数，拼到一张图上才可比、才拼得成一幅真实的天气全景，而不是一堆各说各话的数字。

大白话

你手机上的实时天气，源头就是这张网里离你最近的那些站，加上后面要讲的雷达和卫星，一起喂出来的。

第二张网：放上天的探空气球

地面站只量到「地板」。可天气是立体的——第六到九章反复讲，真正的戏发生在高空：几公里、十几公里处的温度、湿度、风，才决定了云怎么长、大气稳不稳。高空怎么量？答案朴素得可爱：**放气球**。

一只灌了氢或氦的大气球，吊着一个巴掌大的仪器盒，叫无线电探空仪（边升边测、边用无线电把数据发回地面的小盒子）。气球一路升到约 3 万米高才胀破，这一路把不同高度的气

温、气压、湿度连续测下来；再根据气球被风吹偏的轨迹，反推各高度的风向风速。一次施放，等于给大气扎了一针「从地面到平流层」的连续体检。

最见功夫的还是那两个字——统一。全球几百个探空站，每天在**同一个世界时刻**（通常是世界时 0 点和 12 点）同时放球。想象一下：某一刻，全球几百只气球一起升空，几乎同时给整个地球的大气拍下一张立体的横切照片。这张照片，就是明天预报的原料。

第三张网：会「看见」雨的雷达

气象站和气球给的是一个个点。可雨到底下在哪儿、下得多大、正往哪移，要靠**天气雷达**。它的原理和蝙蝠、和测速雷达是同一套：向空中发出一束微波，微波打到空中的雨滴、雪花、冰雹上会反射回来一部分，雷达接住这些回波，就知道**哪个方向、多远的地方、有多密的降水**——回波越强，雨越大。天气预报里那张五颜六色、绿黄红一团团流动的「雷达图」，就是这么来的。

更聪明的一步叫**多普勒雷达**。你一定有过这个体验：救护车朝你开来时鸣笛声调高、驶离时声调变低——声波被压缩或拉伸，音调就变了。雷达回波也一样：雨滴朝雷达飞来还是飞走，回波的频率会有细微变化。抓住这个变化，雷达不但能看见雨在哪，**还能测出雨滴（也就是那里的风）在朝哪动、动多快**。这让它能提前发现龙卷、强对流里的旋转，是短时临近预警的利器。

三张网拼成一张「初始快照」

把这三张网——贴地的站、升空的气球、扫描的雷达，再加上下一章要专门讲的头顶卫星——在同一时刻收集到的海量数据拼到一起，就得到一份**此刻全球大气的立体快照**。

这份快照，气象上叫「初始场」，是整个现代天气预报的起跑线。有了它，接下来就是把它交给方程和超级计算机，去推算这锅水下一小时、下一天会翻成什么样。天气怎么被「算」出来——就是第十二章的事。但在那之前，还有一张网我们天天在电视上看却未必真会读：卫星云图。下一章，专讲它。

第十一章·卫星云图怎么读

天气预报里那张缓缓转动的黑白（或彩色）云图，几乎人人见过，却很少有人真会读。这一章把它讲透——读懂它，你就有了一双能从太空俯瞰整个天气系统的眼睛。前提是先弄明白一件最容易被忽略的事：**云图不止一种，白的不一定是同一个意思。**

卫星站在哪里看

先交代视角。气象卫星主要有两种待法。一种是静止卫星——它悬在赤道上空约 3.6 万公里高，转速和地球自转严丝合缝，于是从地面看它像钉在天上不动，能一直盯着同一片区域（比如整个东亚）每隔几分钟拍一张，专看天气怎么**移动、发展**。另一种是极轨卫星，贴着地球低空、绕着南北极转，分辨率高但对每个地方一天只路过两次。我们天天看的动态云图，多半来自静止卫星。

真正的关键不在卫星在哪，而在**它用什么「眼睛」看**。同一片云，用不同的眼睛拍，白的含义完全不同。

第一只眼：可见光云图——看反光

可见光云图看的是云反射的太阳光，本质就是从太空给地球拍的一张黑白照片。规则很直白：**反光越强的地方越白**。又厚又密的云把阳光大量反射回去，显得雪白；薄云灰蒙蒙；地面和海面反光弱，是暗的。

它的长处是能看清云的**质感和厚薄**：一团团鼓起、带阴影颗粒感的，是对流旺盛的积状云（第六章）；平滑一片的，是层状云。但它有个致命短板：**夜里没有太阳光可反射，它就成了睁眼瞎**。所以光靠可见光，你没法追踪一个系统过夜。

第二只眼：红外云图——看冷热

于是有了更常用的红外云图。它不看反光，而是探测物体自己发出的红外辐射——说白了，**是在给天空测体温**。任何东西都按自己的温度往外发热辐射，越冷发得越弱、越热发得越强，卫星据此就能算出每一处的温度。

这里是全章最该记牢的一步转换。回忆第二章：**越高的地方越冷**。所以云顶越高的云、温度就越低。红外云图习惯把冷的画成白、暖的画成黑（或深灰），于是——

大白话

红外云图上越白、越亮的地方，云顶越冷，也就是云长得越高。而云长得越高（回忆第九章的铁砧云），往往意味着对流越猛、天气越剧烈。所以一团刺眼的惨白，多半是一片正在爆发的强雷暴或深厚降雨云团。低矮的暖云顶则是暗淡的灰。

红外云图最大的好处是**不靠太阳、昼夜通用**，所以它是预报员追踪系统的主力。代价是它测的是云顶温度、也就是云的高度，分不清一片薄薄的高云和一座厚实的雷暴——两者云顶一样冷、一样白。**所以老练的看法是把两只眼睛对着看：**红外发白、可见光也又白又厚，才是真的深厚强云；红外白但可见光很薄，那不过是一层高高的卷云。

（还有第三只眼叫水汽云图，专看高空水汽的多寡与流动，能显出晴空里看不见的干湿气流，是进阶用法，这里先按下不表。）

从云的形状，认出是哪种系统

会看明暗之后，再看形状——云图上不同的天气系统有各自的「长相」，一眼可认：

- **一个大逗号：**这是温带气旋（第八章）的招牌。云带卷成一个逗号，逗号的「尾巴」常就是拖在后面的冷锋，「头」是气旋中心附近的密云区。
- **一条长长的白云带：**往往是一条锋面（第七章），暖湿空气沿锋抬升成云，在图上拉成一条几百上千公里的线。
- **带眼的大螺旋：**一圈圈云旋着、正中一个晴朗的小圆孔——那是台风/飓风的眼。螺旋越圆越紧实、眼越清晰，通常强度越强。
- **一簇簇孤立的惨白圆斑：**多半是散布的强雷暴单体（第九章），尤其夏季午后的陆地上。

把云图接回地面

现在你能把整本书串起来看一张云图了：白的亮的看红外是高而冷的云顶、看可见光是厚而实的浓云；逗号是气旋、长带是锋面、螺旋带眼是台风、孤立白斑是雷暴。**再配上第八章那张天气图的圈和线，一个从太空到地面的立体天气，就在你眼前对上号了。**

可看懂此刻，还只是看懂了「现在」。预报员凭什么敢说三天后？那要靠把这份立体快照喂进方程和超级计算机去推演未来——下一章，我们看天气是怎么被「算」出来的。

第十二章 · 把天空切成格子

上一章结束时，我们手里攥着一份「此刻全球大气的立体快照」。现在到了最神奇的一步：怎么从「现在」算出「三天后」？这一章讲现代天气预报的心脏——数值天气预报（用物理方程和计算机把未来的天气一步步算出来）。它把「看天」这门老手艺，变成了一道超大规模的计算题。

一个大胆的念头：天气是能算的

回忆全书第一句话——天气是一锅按物理规律翻滚的水。既然是物理规律，那空气怎么动、怎么升降、水汽怎么凝结，原则上都能用方程写下来：牛顿定律管空气受力后怎么加速，质量守恒管空气不会凭空多出来少下去，热力学管温度与气压如何互相牵制。**把大气当成一团遵守方程的流体，未来就藏在这些方程里，只等你去解。**

一百多年前就有人这么想了。挪威人皮叶克尼斯提出：预报天气，本质是解一道「已知现在、求解未来」的物理题。英国人理查森更莽——第一次世界大战期间，他趴在战地后方，硬用纸笔手算了一次六小时预报。结果算了好几个星期才出来，而且错得离谱（算出的气压变化荒谬得不可能）。**方向是对的，只是靠人手算，慢得毫无意义。**他甚至幻想过用六万四千人组成一座「预报工厂」一起算——直到真正的计算机出现，这个念头才落了地。

核心招数：把天空切成格子

方程虽然写得出，却没法对「整个大气」一口气解出来。于是有了那个决定性的化整为零：**把大气切成一个个小盒子。**

想象给整个地球的大气架上一副三维立体的网格——水平方向按经纬度切成一格一格，垂直方向按高度分成几十上百层，整片大气就成了千千万万个小盒子。每个盒子里，我们从那份「初始快照」拿到此刻的一组数：温度、气压、湿度、风。然后：

1. 对每个盒子用方程算一步：根据它和相邻盒子当前的状态，算出**很短一小段时间后**（比如几分钟）它的温度、气压、风会变成多少——本质就是「隔壁比我冷、比我高压，那下一刻风往我这吹、我要降温」这类邻里之间的推演。

2. 所有盒子都往前挪这一小步，得到几分钟后的新快照。
3. 拿新快照当起点，再算下一步。如此一小步一小步，把大气「推」进未来。

大白话

关键就在这里：预报不是一步算到三天后，而是把三天切成成千上万个几分钟的小步，一步一步挪过去。**每一步都很朴素，难的是步数乘以盒子数——那是天文数字的计算量。**这就是为什么天气预报离不开顶级的超级计算机。

格子多大，决定你能看清多细

盒子切得越小，格点越密，能刻画的天天气细节就越精细。但盒子小一半，数量和计算量就要暴涨，算一次的时间也水涨船高——而预报必须**赶在天气真正发生之前**算完，慢了就成了「预报昨天」。所以格子大小是精度和速度之间的一场永恒拔河。今天的全球模式，水平格子通常在十公里上下。

这带来一个重要的局限：**比一个盒子还小的东西，网格根本「看不见」**。一朵积云、一场局地雷暴，尺度可能就几公里，比格子还小，方程直接算不出来。怎么办？只能用一些经验规则去估它们的整体效果，塞进方程里——这套「打包估算」的手法叫**参数化**（对网格分辨不出的小尺度过程，用近似公式估算它对大格子的影响）。云、降水、地面摩擦，很多都是这么参数化处理的。这也是不同预报模式结果会有差异的原因之一。

算出来之后，还要人来把关

计算机吐出的是一大堆数字和图。但这些结果并非金口玉言：它建立在两个前提上——**初始快照够不够准**（第十章那句「差之毫厘」）、**方程和参数化够不够贴近真实大气**。任何一头有偏差，算出来的未来就会跑偏。所以现代预报员的活，不再是自己掐指算天，而是读懂计算机给的多套结果，结合经验、地形和实况，做出订正与判断。**人和机器，一个管算得快，一个管算得对。**

讲到这，一个尖锐的问题冒出来了：既然大气都能用方程算，为什么预报只能到三五天、再往后就不准了？为什么台风路径还要用一大把线来画、降水只能给个百分比？这不是计算机不够快，而是撞上了一堵更根本的墙——混沌。下一章，我们去看这堵墙。

第十三章 · 为什么预报只能到某一天

上一章说，天气能用方程和超级计算机算。那顺理成章的问题是：既然能算，为什么不能算到下个月、下一年？为什么预报到三五天以后就越来越不靠谱，台风路径要画成一大把发散的线，降雨还只肯给个百分比？这不是计算机不够快——再快一万倍也没用。挡在前面的，是一堵物理定律级别的墙，叫**混沌**。

一个改行天气的意外

1961 年，气象学家洛伦茨在电脑上跑一个简化的天气模型。有天他想重算一段，为了省事，从中途把上次打印出来的一个数字敲了回去——原本是 0.506127，他只敲了 0.506，抹掉了小数点后面那点零头，心想差这么一丁点，结果能差到哪去。

结果差到了天上。头几步两条曲线还几乎重合，可越往后偏得越开，到后来完全成了两种毫不相干的天气。**一个小数点后第四位的微小差别，被系统一路放大成了截然不同的未来。**洛伦茨愣住了——他撞见了一个后来改变整个科学的现象。

什么是混沌：差之毫厘，谬以千里

洛伦茨发现的，就是**混沌**——某些系统对初始状态**极端敏感**：起点上一丁点的差别，会随时间被指数级放大，最终导致南辕北辙的结局。注意，混沌**不是**随机：方程是完全确定的、没有半点掷骰子，可你就是没法长期预测它，因为你永远没法把起点量得**无限精确**。

他后来用一个著名的说法点破它：**蝴蝶效应**——巴西一只蝴蝶扇动翅膀，理论上可能在几周后引发得州的一场龙卷。**意思不是蝴蝶有那么大力气，而是：大气会把最微小的扰动一路放大，小到你根本无从测量、无从写进初始快照的那一点点差别，最终足以改写几周后的天气。**

这就是预报的死穴。第十章那份「初始快照」再密，也不可能测到每一立方米空气——总有测不到的缝隙、总有小数点后被舍掉的零头。今天这点误差小得可以忽略，可大气会替你把它天天翻倍，养大成明显的偏差。所以就算方程完美、计算机无限快，只要初始状态差一丁点，预报也必然在若干天后失控。这堵墙大约立在**两周**左右——再往后，今天的大气状态对那时几乎不含有效信息了。

打不过，就改成「押多注」

既然单条预报早晚要跑偏，聪明的做法不是徒劳地追求那条「唯一正确」的预报，而是换个问法：**把不确定性本身算出来、量出来**。这就是现代预报的杀手锏——集合预报。

做法是：既然我们不确定初始状态到底是 0.506127 还是 0.506，那干脆把这个数在合理误差范围内**微微扰动**，造出几十个「都同样合理、只在小数点后有别」的起点，然后**各算一遍**，得到几十条未来。接着看这几十条：

- 如果几十条几乎都指向同一个结局——那这个预报**很可信**，大气这几天不敏感，报得准。
- 如果几十条分道扬镳、各说各话——那说明大气正处在敏感期，**此时的不确定性本身就是最重要的情报**：预报员会告诉你「有较大不确定性」，而不是硬报一个假装很确定的数。

你在新闻里见过的台风路径「面条图」——一大把从同一起点散开的预测线——正是集合预报的样子。线抱得越紧，路径越有把握；散得越开，越是走一步看一步。

「降水概率 70%」到底在说什么

现在能解开那个最常被误解的数字了。**降水概率 70%，不是说「有七成的天空会下雨」，也不是「七成的时间在下」，更不是预报员心虚的托词**。它的意思接近于：在几十种都同样合理的可能未来里（或历史上无数个和今天极其相似的日子里），大约有七成出现了明显降水。

换句话说，这个百分比是大气面对混沌时，能给出的**最诚实**的回答。它不是含糊，恰恰是精确——精确到承认「我知道我有多不知道」。看懂这一层，你就不会再抱怨「预报怎么又只

给个概率」，反而会明白：那个百分比，是人类和一堵物理定律的墙讨价还价后，能拿到的最好结果。

讲到这，天气这台机器——从成因、到观测、到计算、到极限——我们算是走了一整圈。最后一章，把这一路学到的东西收拢起来，让你合上书、抬起头，真的能自己读一读眼前这片天。

第十四章 · 自己当半个预报员

走到最后一章，你已经把天气这台机器从里到外看了一遍：太阳烧不匀（第一章）→ 气压与升降（二、三章）→ 风（四章）→ 水汽与云（五、六章）→ 锋面与气旋（七、八章）→ 雷暴（九章）→ 观测、云图、计算与它的极限（十到十三章）。这一章不添新零件，只做一件事：把它们拧成一副你随身带得走的「读天」本领。合上书，抬起头，你该能自己读一读眼前这片天了。

三个不花钱的仪器，你身上就有

第一，气压的趋势（你的手机就能看）。记住第二章那句：气压是天气的血压。别只看它此刻多少，要看它在**往哪走**。气压**稳步下降**，往往预示低压或锋面正在靠近，天要变坏；**持续回升**，多半是高压来了，天要转好；掉得又快又猛，是强天气逼近的警报。趋势比数值本身有用得多。

第二，云（你的眼睛就能读）。把第六、七章连起来用：

- 天很高、只飘几缕丝状**卷云**——好天气，但若卷云成片增多、慢慢压低增厚成灰白幕布，那是暖锋在几百公里外打招呼，**约一天内有连绵雨**。
- 上午天空就冒出一朵朵**鼓胀的积云**、还越长越高——大气不稳定，**午后到傍晚提防雷阵雨**；要是长成了铁砧顶的积雨云，雷暴就在眼前。
- 天被一整层低沉的灰云均匀盖死——大范围缓升，多半是**一场绵长的阴雨**，不急但久。

第三，风的转变（你的皮肤就能感觉）。第四、七章讲过，风向一变常意味着系统在移动或锋面在过境。原本闷热的南风忽然转成干冷的偏北风、气温应声下降，多半是冷锋刚刚扫过——接下来往往是转晴、变凉。

大白话

把三样凑起来读最准：**气压在跌 + 卷云增厚压低 + 风向转乱**，几乎可以断定一个天气系统正扑面而来。这不是玄学，是你这一路学到的因果链在现场同时显形。

老话里，哪些是真的

民间看天的谚语，有的藏着真物理，有的只是巧合。用这本书的眼光筛一筛很有意思。

「**朝霞不出门，晚霞行千里**」——这条有真材料。中纬度天气系统大多自西向东移动。傍晚太阳在西边，红霞满天说明西边天空通透少云，坏天气已经过去或不在上风向，明天多半好；清晨太阳在东边，东方红霞则说明晴区已东移到你下风向、而**西边上风向可能正酝酿云雨**，要来了。它本质是在用光，间接读出上风向的天空。

「**日晕三更雨，月晕午时风**」——也有道理。日月周围的光晕，是高空卷层云里的冰晶折射阳光造成的（第六、七章）；而卷层云正是暖锋最前缘的招牌，所以见晕常预示天气系统正在靠近。当然，靠近不等于必到，当个提醒刚好。

把你的眼睛和预报合起来用

这本书不是要你抛开天气预报自己硬猜——恰恰相反。专业预报有你没有的东西：覆盖全球的观测网、超级计算机、几十条集合成员（第十到十三章）。你该做的是**带着理解去用它**：看到「降水概率 70%」，你懂那是大气面对混沌给出的最诚实回答（第十三章），会据此权衡要不要带伞；看到台风路径的面条图散得很开，你知道那意味着此刻不确定性大、要多留意后续更新。**理解让你把同一份预报读出更多信息，也让你对它的边界心里有数。**

回到最初那个问题

全书开头问：**明天的天气，凭什么能被提前算出来？**现在你有完整的答案了——

因为天气不是天意，而是一锅被太阳烧不匀的水，在按物理规律翻滚（一到九章）；因为这些规律能被观测（十、十一章）、能被写成方程交给计算机一步步推演（十二章）。所以它可算。又因为大气是混沌的，微小的误差会被指数放大，所以它只能算到两周这堵墙之前——再往后是概率，不是谎言（十三章）。可算，但有边界；这两句合起来，才是天气预报的全部真相。

于是你得到了本书开头许诺的那个小小超能力：抬头看一眼天上的云、低头瞄一眼气压的升降、打开预报时读懂那个百分比背后的分量——你不再只是被动地「等天气发生」，而是能大致读出它接下来想干什么。天空一直在用云和风写字，从今天起，**这些字你认得了。**

