

## 再论都市霾与雾的区别

吴 兑<sup>1,2</sup>

- (1. 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广州 510080;
2. 中山大学环境科学与工程学院大气科学系)

**提 要:** 都市霾的出现有重要的空气质量指示意义, 而雾或轻雾与特定的天气系统相联系。由于经济规模的迅速扩大和城市化进程的加快, 都市霾现象或灰霾天气日趋严重, 霾与雾的区分成为一个非常现实, 又迫切需要解决的问题。东南沿海各省用相对湿度区分的标准普遍偏低, 将大量霾记成了轻雾或雾。实际上近地层大气中每时每刻总是有霾存在的, 而雾滴的存在是少见或罕见的; 霾滴要想通过吸湿增长成为雾滴, 必须有足够的过饱和度, 能够越过过饱和驼峰才行, 这在自然界并不容易。在非饱和条件下, 不但非水溶性的霾不能转化成雾滴, 即便是水溶性的霾粒子一般也不可能吸湿转化为雾滴。实测资料表明, 出现雾时, 极端最小相对湿度是91%, 在相对湿度低于90%的情况下, 没有观测到雾。降温是达到饱和形成雾滴的最主要、最重要的物理过程, 在自然界中的霾滴通过吸湿过程增长成雾滴几乎不可能。历史上我国各级气象部门从来不存在以相对湿度70%界定轻雾与霾的补充规定。区分霾和雾, 应该根据影响天气系统的变化, 结合宏观特征的各种判据来确定。建议将相对湿度的阈值定为90%, 作为区分轻雾与霾的辅助判据是合理的。

**关键词:** 都市 霾 雾 过饱和度 相对湿度

# More Discussions on the differences between Haze and Fog in City

Wu Dui<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080;

2. Department of Atmospheric Science, Sun Yat-sen University)

**Abstract:** The appearance of haze has importance indication meaning to air quality, while the fog or light fog has specific weather indication relating to particular weather system. With the rapid development of economic scale and urbanization, the phenomena of haze or haze weather have become increasingly serious. The standard criterion by using relative humidity to distinguish haze or fog in many northeast coastal provinces is generally on the low side, leading to much haze weather recorded as light fog or fog. In the near surface atmosphere there always exists haze, while fog drop hardly exists. Only under the enough supersaturation which is higher than that the maximum of supersaturation can the haze nuclei become fog drop through moisture absorption growing, such a process is not easy to happen. Under non-saturation conditions, not only the insoluble haze nuclei are impossible to transform into fog drop, but also the soluble ones are commonly impossible. The observational data show that the extreme relative humidity is 91% when fog occurred, there is no fog when the relative humidity is lower than 90%. The most important physical process to form fog drop is by falling the temperature to the saturation point. It is hardly impossible to form fog drop through the natural moisture absorption growing of haze nuclei. The distinguishing of fog or haze should be made according to the change of weather system combining with the macro-characteristics. It is rational by using the threshold value of relative humidity 90% as an assistant criterion to distinguish fog or haze.

**Key Words:** haze fog supersaturation relative humidity

## 引 言

在我国改革开放以前,经济相对欠发达时期,都市霾是极少见到的,即便是所谓来源不明的天气现象“霾”,也是少见现象,因而并未引起人们的注意,尤其是关于霾的识别问题,虽然都知道它与雾和轻雾,以及其它引起视程障碍的天气现象易于混淆,但由于霾的出现频率比较低,天气意义不甚重要,也就没有进一步明确它们的识别要点的必要性。即便如此,过去几十年来关于这个

问题一直在观测员中存在争议。《气象》杂志曾经在上个世纪 80 年代初期组织过一次有关识别几种造成视程障碍的天气现象的讨论,并且由易仕明、杨宁两位前辈发表了讨论的总结论文<sup>[1,2]</sup>。易仕明详细分析了霾粒子和雾滴的光学特性后,明确指出“轻雾是由微小水滴组成的,且绝大多数大于  $4\mu\text{m}$ ……,霾的粒径绝大多数在  $0.5\mu\text{m}$  以下……,有的台站规定用相对湿度 70% 作为区分它们的硬指标是不可取的”等精辟观点<sup>[1]</sup>,时至今日还有很强的指导意义。这次讨论是由杨兆明“福建三都的霾”一文引发

的<sup>[3]</sup>。他在文中介绍在福建三都出现霾时相对湿度可以达到93%，他们当时认为轻雾出现时相对湿度需要达到90%以上。这样的认识在今天看来也是难能可贵的。然而引发了一些不同意见，大多将很低的相对湿度作为区分轻雾与霾的界限<sup>[4,5]</sup>，这种不可取的错误认识到现在仍然广泛存在。也有一些基层台站的观测员认识较为合理，依照地面观测规范来区分<sup>[6,7]</sup>。时至今日，由于经济规模的迅速扩大和城市化进程的加快，大气气溶胶污染日趋严重，由气溶胶造成的能见度恶化事件越来越多，都市霾成为一种常见现象，而且有着重要的环境意义。因而在观测实践中，必须明确区分造成视程障碍的天气现象是霾还是轻雾或雾。我们曾经讨论过这一问题，也提到全国对霾与轻雾或雾的识别没有统一的判别标准，各省的实际情况也是五花八门，南方大多是用相对湿度的某一阈值来区分，绝大多数定得相当低<sup>[8]</sup>。在相当长的时期内，将大量都市霾记成了轻雾。通过进一步的调查和思考，对这一问题的现状有了进一步的了解，在理论上也找到了依据，这对统一认识，形成一个有一定科学基础并得到同行认同、统一的区分霾与轻雾或雾的标准有帮助。

### 1 目前地面观测记录霾与雾的实际情况

调查了广东省所有86个国家台站中的84个台站在观测中是如何区分霾与轻雾(雾)的。我们看到(见表1)，只有8个台站按照地面观测规范来区分霾与轻雾(雾)，占9.5%。其他台站使用相对湿度作为辅助判据来区分霾与轻雾(雾)，相对湿度的取值范围非常宽，从55%~80%，其中使用相对湿度70%来区分的有57个台站，占67.9%；使用相对湿度55%~70%来区分的有11个台站，占13.1%；使用相对湿度70%~85%来区分的有8个台站，占9.5%。结合原来调查全国大部分省的情况，

大致可以知道在全国气象系统的台站观测中，区分霾与轻雾(雾)的判据比较混乱<sup>[8]</sup>，缺乏可比性，因而必须尽快统一认识，使观测和预报业务适应经济发展的进程。

表1 广东省台站目前区分霾与轻雾(雾)的相对湿度(%)判据

RH/%	台站数	百分率/%
80	1	1.2
70~85	2	2.4
75	2	2.4
70~80	2	2.4
70~75	1	1.2
70	57	67.9
65~75	1	1.2
65~70	2	2.4
65	5	6.0
60~70	2	2.4
55~60	1	1.2
无	8	9.5

### 2 霾粒子吸湿增长成为雾滴的可能性

在自然环境中，吸湿性粒子有没有可能单纯通过湿度增加吸湿增长成为雾滴呢，我们原来认为大气中可能存在的吸湿性气溶胶的相变湿度比较低，相对湿度不一定达到100%就可能出现饱和<sup>[8]</sup>，现在看来这一问题需要进一步深入讨论。图1是粒子吸湿增长的寇拉曲线，我们看到，如环境水汽压小于临界值，即使干粒子能吸湿长大，但尺度不能超过临界半径，只能形成霾滴，若此种潮解粒子很多可以影响能见度<sup>[9]</sup>。换句话说，就是霾滴要想通过吸湿增长成为雾滴，必须有足够的过饱和度，能够越过后饱和驼峰才行，这在自然界并不容易实现。需要重申的是，任何吸湿性物质的相变湿度都与粒子直径有关，粒子越小，相变湿度越大，因而，气溶胶粒子的实际相变湿度比室内实验值还要大得多<sup>[10]</sup>。从图1看到，质量为 $10^{-13}$ g的粒子已经是饱和粒子，从 $1\mu\text{m}$ 以

下增长到能稳定存在的  $3\sim 4\mu\text{m}$  大小的雾滴, 也需要通过过饱和驼峰, 何况含盐量更低的粒子, 需要通过更高的过饱和驼峰才能增长成雾滴。因而, 在非饱和条件下, 不但非水溶性的霾粒子不能转化成雾滴, 即便是水溶性的霾粒子一般也不可能转化为雾滴。过去错误认为凝结核可以在低相对湿度情况下产生凝结生成雾滴的观点, 是忽视了粒子曲率作用的结果, 将实验室大颗粒(常常达 mm 量级)的吸湿性特征, 延用至次微米粒子造成的。

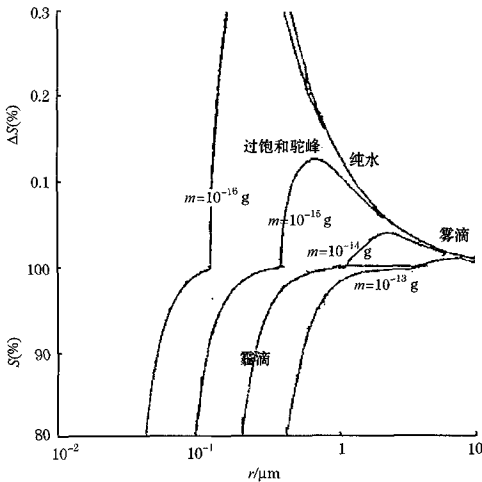


图 1 水溶性粒子吸湿增长的寇拉曲线

### 3 有雾存在时相对湿度能有多低?

实际上, 当相对湿度增加到超过 100% 时, 霾粒子吸湿成为雾滴, 而相对湿度降低时, 雾滴脱水后霾粒子又再悬浮在大气中, 霾和雾是可以互相转化的。严格按照物理意义来区分, 应该在空气饱和情况下, 大气颗粒物造成视程障碍才是轻雾和雾。如果造成视程障碍的粒子肉眼不可见, 说明其尺度小至微米大小, 根据开尔文定律<sup>[9]</sup>和前面讨论的寇拉曲线, 这样大小的水滴能稳定存在并不被蒸发掉, 需要相对湿度大于 100%, 这在地球大气层中并不容易出现。因而, 在大

气未饱和时, 这些粒子应该是霾。我们需要重温大气科学词典: 雾是“悬浮在贴近地面的大气中的大量微细水滴(或冰晶)的可见集合体, ……雾的形成主要是空气中水汽达到(或接近)饱和, 在凝结核上凝结而成。”<sup>[11]</sup>同时, 大气科学词典也明确写到: 霾是“悬浮在大气中的大量微小尘粒、烟粒或盐粒的集合体, ……组成霾的粒子极小, 不能用肉眼分辨。当大气凝结核由于各种原因长大时也能形成霾。……在城市严重空气污染地区, 霾可以频繁出现。”<sup>[11]</sup>

但在实际观测中, 确实有明确有轻雾或雾存在时, 相对湿度并未达到 100%。为了深入讨论这个问题, 我们分析了在南岭山地安装的 5 套自动气象站连续 3 年的逐分钟观测资料, 那里的水雾发生频率非常高<sup>[12]</sup>, 是进行雾综合观测的天然实验室。分析结果表明, 出现雾时, 极端最小相对湿度是 91%, 这还是在高海拔的山顶区域, 随着海拔降低, 有雾存在需要更高的相对湿度, 这就用实测资料证明, 在相对湿度低于 90% 的情况下, 是没有观测到雾的。南岭山地形成雾还是需要较高的相对湿度, 相对湿度至少要达到 91% 以上才能使雾稳定存在。这说明虽然南岭山地大气中含有丰富的凝结核<sup>①</sup>, 仍然需要相当高的相对湿度才能使雾稳定存在。

另外, 关于湿度传感器宏观测量的相对湿度未饱和, 而观测到轻雾或雾的情况, 可能有时雾粒子周围微观湿度是过饱和的, 仪器传感器附近未饱和, 形成两处相对湿度存在差异是有可能的。但这个差值过大, 在仪器传感器和观测到的雾层间存在巨大湿度梯度时, 就需要考虑天气现象观测是否误判。此外, 湿度传感器也存在一定的测量误差, 在气温高于  $-20^{\circ}\text{C}$  情况下, 一般不超过 1%  $\sim 8\%$ <sup>[13]</sup>。

① 吴兑、邓雪娇、叶燕翔等, 岭南山地气溶胶物理化学特征研究(待发表)。

表2 南岭山地有雾时的最小相对湿度

代号	位置(里程碑)	海拔高度/m	最小相对湿度
V1	K24	410	93%
V2	K37	806	91%
V3	K51	420	94%

如此看来,我国东南沿海各省以相对湿度区分雾与霾的补充判据值,普遍偏低,在近年将大量霾记成了轻雾或雾。实际上,人类活动造成的气溶胶污染主要是使都市霾出现的频数增加,而对水雾的影响相对较少。

#### 4 大量都市霾被记成了轻雾(雾)

大气物理学与大气光学专著中关于雾与霾的叙述实际上一直是非常清晰的,明确指出近地层大气中每时每刻总是有霾粒子存在(当然要达到形成天气现象“霾”需要粒子浓度累积到一定水平导致能见度下降到10km以下),而雾滴的存在是少见或罕见的;霾粒子尺度范围从 $0.01\sim 10\mu\text{m}$ ,雾滴是 $3\sim 100\mu\text{m}$ ;云和降水是以霾的身分为生命起点的核的气象结果;白天笼罩在地形上的霾在夜晚因降温造成的饱和形成辐射雾;云雾是低温下饱和和气块的可见标志<sup>[9,14]</sup>;等等。这里实际上提出了在自然界达到饱和形成雾滴的重要机制——降温!在每立方米的饱和空气中,4℃时含有6.4g水,10℃时含有9.4g水,20℃时含有17.1g水,30℃时含有30.0g水。如果过程降温从30℃降到20℃,就会有12.9g水从空气中析出,形成雾滴,降温是达到饱和形成雾滴的既重要又主要的物理过程,而正像前面讨论过的那样,在自然界中的霾滴通过吸湿过程增长成雾滴几乎是不可能的。

在自然界,霾和雾是可以互相转化的,当相对湿度增加超过100%时,比如说辐射降温过程,霾粒子吸附析出的液态水成为雾滴,而相对湿度降低时,雾滴脱水后霾粒子又再悬浮在大气中。华南地区在春季容易形

成湿度较高的天气,霾粒子吸湿后会使得能见度恶化,但仅仅是吸湿长大的灰霾粒子,而不是雾滴,要形成雾滴,要有像凌晨辐射降温那样的过程使液态水析出才行。图2给出了一个典型的例子,可以看到,凌晨由于辐射降温,湿度明显增加,到3时达到98%,对应能见度降低到1.2km,这时的低能见度是雾滴造成的,8时以后,相对湿度降低到90%以下,能见度仍然维持在5~8km的较低水平,是吸湿的灰霾粒子造成的。实际上,另外一种相似的过程在华南春季常常看到,预报员称为回南天,可以看到墙壁和地面都像出汗一样湿淋淋的,一般都解释是空气潮湿,但是空气潮湿并不能形成液态水,要有液态水析出,需要一定的温差。经过较长时间的低温天气回暖时,建筑物的温度由于热滞后效应,与空气温度形成了较大的温差,使得潮湿空气遇到冷的墙壁和地面析出液态水,这也是降温才能有液态水从空气中析出的例子。

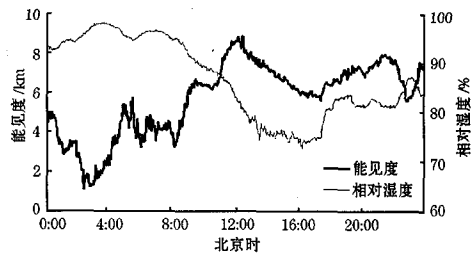


图2 广州2005年3月17日灰霾与轻雾相互转化的例子

多年来,有些台站的观测员与预报员习惯性在能见度低于10km时将相对湿度70%作为区分水雾与霾的界线,有些审核员也将此作为判误的标准。对此,有不少基层台站一线观测员也认为偏低,提出置疑。经过详细调研,历史上国家和广东省气象部门从来不存在以相对湿度70%界定轻雾与霾的补充规定。中国气象局2003版规范对轻雾(雾)与霾有严格定义,除此之外,至今还

未找到有任何官方文字依据证明这种广为流传的做法的出处,普遍的说法是一代代传下来的。实际上,在大海捞针一样找到的间接证据中,反而不支持将相对湿度 70% 作为霾与水雾的判据。比如广东省研制的地面观测审核软件中是这样处理的,其总体思路是继承前辈的,相对湿度 70% 是低限,低于此限应记霾。原意是因为台站观测员一直习惯记轻雾,很少记霾,当相对湿度较低,不具备形成(存在)轻雾条件时仍然记轻雾,所以提出一个相对湿度的参考指标。低于此限要求记霾。高于此限时应根据《地面观测规范》规定记录,可记轻雾,也可记霾。相对湿度 70% 是参考指标,不是观测员记录轻雾或霾对错的绝对指标。这里明确指出相对湿度 70% 不是判据,但正如我们在表 1 中看到的,由于理解的问题,将大量霾记成了轻雾。又比如原使用由安徽气象局编制的审核软件中有关的疑误信息是:记有轻雾,但当日 2 时和 8 时的相对湿度均小于 70%;这里并没有说相对湿度大于 70% 记霾是疑误信息,也是因为理解问题将大量霾记成了轻雾。再比如现在使用的中国气象局编制的审核软件中有关的疑误信息是天气现象 42(雾)出现,相对湿度小于 95%;这里更加限定了相对湿度低于 95% 时能见度小于 1km 的天气现象记雾是不对的,而应该是其它如沙尘暴、浮尘、烟幕、霾、吹雪、雪暴等等。但是遗憾的是,业务人员往往习惯于广为流传的做法,反而不理解这条信息,不处理这些疑误信息,这样在南方又将大量霾记成了轻雾或雾。

## 5 重视轻雾(雾)与霾的天气指示与环境指示意义

都市霾的出现有重要的空气质量指示意义。近几年来,在我国大城市中,由于工业化、城市化、交通运输现代化的迅速发展,化石燃料(煤、石油、天然气)的消耗量迅

猛增加,汽车尾气、燃油、燃煤、废弃物燃烧直接排放的气溶胶粒子和气态污染物通过光化学反应产生的二次气溶胶污染物日增,使得灰霾现象日趋严重,已经成为一种新的灾害性天气。广州的灾害性灰霾天气与北方沙尘暴天气相比,而且其组成成分中有许多有毒有害物质,对人体健康和环境的危害远大于沙尘暴。而雾或轻雾的记录,有明确的天气指示意义,与特定的天气系统相联系,像业务中大量将都市霾记成轻雾的直接后果,就是在天气图上出现莫名其妙的雾区和轻雾区,使得原来的天气指示意义丧失了。

由于经济发展后,人类活动影响出现都市霾增多的问题,使得明确区分轻雾与霾变得非常现实,根据前面的分析,将能见度在 1~10km 之间,排除吹雪、扬沙、浮尘、烟幕等视程障碍之后,将相对湿度的阈值定为 90%,作为区分轻雾与霾的辅助判据是合理的;而为了与现在使用的中国气象局编制的审核软件中有关的疑误信息相衔接,将能见度小于 1km,排除吹雪、雪暴、沙尘暴、浮尘、烟幕等视程障碍之后,将相对湿度的阈值定为 95%,作为区分雾与霾的辅助判据是合理的。实际上,香港天文台在研究工作中,将相对湿度 95% 作为区分起由于干湿粒子导致能见度恶化的判据,在业务工作中,相应的判据是 90%<sup>[15]</sup>。

## 6 小结

综上所述,由于经济规模的迅速扩大和城市化进程的加快,大气气溶胶污染日趋严重,霾与雾的区分成为一个非常现实又迫切需要解决的问题。在全国气象系统的台站观测中,区分霾与轻雾(雾)的判据比较混乱,缺乏可比性,必须尽快统一认识,使观测业务适应经济发展的进程。

实际上近地层大气中每时每刻总是有霾粒子存在,而雾滴的存在是少见或罕见的;

霾滴要想通过吸湿增长成为雾滴,必须有足够的过饱和度,能够越过过饱和驼峰才行,这在自然界并不容易。因而,在非饱和条件下,不但非水溶性的霾不能转化成雾滴,既是水溶性的霾粒子一般也不可能吸湿转化为雾滴。实测资料分析表明,出现雾时,极端最小相对湿度是91%。

降温是达到饱和形成雾滴的既重要又主要的物理过程,而正像前面讨论过的那样,在自然界中的霾滴通过吸湿过程增长成雾滴几乎是不可能的。

经过详细调研,历史上各级气象部门从来不存在以相对湿度70%界定轻雾与霾的补充规定,中国气象局2003版规范对雾(轻雾)与霾有严格定义,除此之外,至今还未找到有任何官方文字依据证明这种广为流传的做法的出处,普遍的说法是一代代传下来的。由于理解的问题,将大量霾记成了轻雾。

霾的出现有重要的空气质量指示意义。而雾或轻雾的记录,有明确的天气指示意义,与特定的天气系统相联系。

区分霾和轻雾(雾),应该根据影响天气系统的变化和台站所处相对位置,结合宏观特征的各种判据来确定。建议将相对湿度的阈值定为90%,作为区分轻雾与霾的辅助判据。

**致谢:**感谢广东省气象局肖永彪先生的支持,周小平女士提供各站霾与雾(轻雾)区别的判据,陈锦冠先生与赵文卓女士提供了相关的历史背景材料,特此一并致

谢。

## 参考文献

- 1 易仕明. 略谈轻雾、霾、浮尘、烟幕. 气象, 1982, 8 (11): 25~28.
- 2 杨宁. 识别视程障碍现象中的几个问题. 气象, 1982, 8 (11): 28~29.
- 3 杨兆明. 福建三都的霾. 气象, 1981, 7 (4): 35.
- 4 阎海庆, 王新斌, 吴子玉等. 关于几种视程障碍现象的讨论. 气象, 1982, 8 (10): 18~21.
- 5 张凤林. 也谈霾、烟幕、轻雾的辨认和记录. 气象, 1982, 7 (9): 29.
- 6 伍端平. 辨认轻雾、霾与浮尘的体会. 气象, 1976, 2 (4): 23.
- 7 吴良会. 早晚记轻雾中午记霾对吗. 气象, 1981, 7 (11): 18.
- 8 吴兑. 关于霾与雾的区别和灰霾天气预警的讨论. 气象, 2005, 31 (4): 3~7.
- 9 盛裴宣, 毛节泰, 李建国等. 大气物理学. 北京: 北京大学出版社, 2003, 318~319.
- 10 S. 图梅. 大气气溶胶. 王明星, 王庚辰等译. 北京: 科学出版社, 1984, 50~65.
- 11 《大气科学词典》编委会. 大气科学词典. 北京: 气象出版社, 1994, 677, 408.
- 12 吴兑, 邓雪娇, 叶燕翔等. 南岭大瑶山浓雾雾水的化学成分研究. 气象学报, 2004, 62 (4): 476~485.
- 13 张霭琛. 现代气象观测. 北京: 北京大学出版社, 2000, 53.
- 14 E. J. 麦卡特尼. 大气光学分子和粒子散射. 潘乃先, 毛节泰, 王永生译. 北京: 科学出版社, 1988, 122~175.
- 15 W. L. Chang, Elaine. H. Koo. A Study of Visibility Trends in Hong Kong. Atmospheric Environment, 1986, 20 (10): 1847~1858.