

大家好，我叫童银栋，来自天津大学环境学院。我们今天聊环境污染的话题。

今天来这里演讲的主要原因是我在过去三年中做的一个工作。大家都知道，中国城市尤其是大城市里面有许多污水处理厂，我们日常洗菜、洗澡以及冲马桶等生活污水可以到污水处理厂去。但是那些污水处理厂有没有用？在实际水环境中，它对我们湖泊中富贵病的处理到底有没有用？

做这个的目的其实主要是来自于两个地名，第一个地名叫琴坞。琴坞是我出生的一个小山村，我是浙江人。琴坞离上海直线距离大概是 230 公里左右，如果开车的话，四五个小时就到了。



我也就是每年过年的时候会回村子一趟。大概是 2002 年或 2003 年，我回去的时候，突然看到了这个东西。



如果你们不仔细看的话，很可能会认为是地主人家的游泳池。但它不是地主人家的游泳池，也不是地主人家的养鱼塘，事实上这是一个氧化塘。

氧化塘是什么？城市里面会产生生活污水，农村地区也会。农村地区产生的生活污水就会汇集到氧化塘里面。在氧化塘里经过初步的微生物分解之后，才会把这部分水排放到水环境中。当然这种污水的处理方式其实是非常低级的，但是建这样一个氧化塘也不便宜，大概是在 200 万左右。

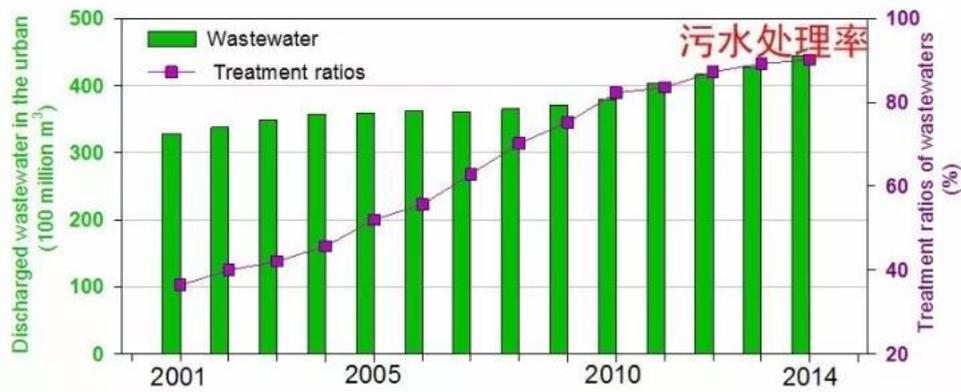
这个成本不包括征地，因为征地说不太清楚。我说的那个氧化塘的建造成本是 200 万，但每年运营成本还得 50 万左右。这是我们村子琴坞发生的事。

在同一年之内，在另一个地方出现了一个东西。这个东西大多数人肯定听到过，跟我们每个人都有接触，就是城镇污水处理厂，也就是每天我们马桶冲水最终汇集到的地方。

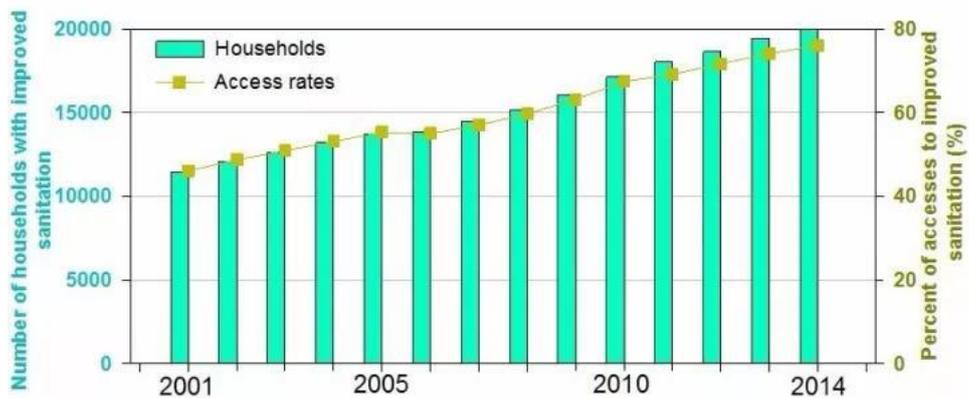


我虽然离开那个村，但是我在那个镇上待了很久。我发现 2005 年那么早的时候，那么美好的一个村都已经出现了这样的氧化塘，这样一个不起眼的镇都出现了城镇污水处理厂。但我们却从来不知道这些东西对水环境、对太湖里面的蓝藻爆发到底有多大的作用。

我们先来看两组数据。第一组数据是 2015 年全国污水处理厂的数据，2015 年全国已经有超过 5000 座的城镇集中污水处理厂。我说的是城镇集中污水处理厂，不包括有一些工厂、化工厂，国家会要求它们自己有一些额外的污水处理厂。



城市污水处理量和处理率



农村卫生厕所覆盖人口和覆盖率

现在中国的城镇污水处理率已经达到了 84%，也就是说基本上每一个城市、每一个县城都有污水处理厂。如果建造一个每年处理 5000 到 10000 吨的污水处理厂的话，建造成本大概是在 5000 万左右。

但是如果你要把水引到污水处理厂去，还会包括各种管网。比如你经常会看到有些地方把马路给扒掉重新盖，很多时候盖的是污水处理管网。所以加上污水处理管网的话，一般一个城市建造一个污水处理厂得 1.5 个亿左右。

以上是指建设成本，每年还有大量的人工成本、维护成本。比如说有一些菌种是要更换的，有一些污水处理厂是需要定期维护的，这些成本基本上是一年两千万左右。所以一个污水处理厂，建造成本加上每年的运营成本，其实是一个非常庞大的数字。

另外一个数字来自于《中国环境统计年鉴》。从 2006 年开始到 2014 年为止，中央财政直接投入支持污水处理 3000 个亿。当然我这里说的是中央财政直接投入，还不包括地方配套的，一般情况下地方配套会是它的两倍。

所以如果按照地方配套两倍计算的话，从 2006 年到 2014 年为止，我们差不多用了一万亿来治理城镇污水，但是我们却从来不知道这个有没有效果。

看到太湖藻类仍然在爆发，肯定很多人有疑问。因此我们提出一个问题：我们花了那么多钱，太湖里面藻类还是继续爆发，那又是为什么？



我突然想起来，那个时候我去查阅统计数据，看全国到底有没有人了解污水处理厂的效果有多大，发现居然没有人。这让我想起高中时的一个例子，高考之前，尤其是我们浙江，做的最多的就是《黄冈兵法》的模拟卷，好像还有王厚雄。

当我们做完模拟卷之后，一般情况下会分为这么几种人：第一，他做完模拟卷，直接对个答案就玩去了。第二类人，他会将对个答案再算个分。比如说是 100 分，他得了 60 分，无所谓，就走了。还有第三类人，往往是学习成绩最好的人。他对完答案之后，就算得了 95 分，人家还对那 5 分不满意，要找到问题的原因，因为找到错的原因下次就不会犯错误了。

大家应该都明白，大多数好的人其实是第三类学生。我突然觉得如果把中国的水环境污染当成我们面临的一张卷子的话，那么城镇污水处理厂的建设，就是我们对这张卷子的一个答题方法。

我们答题的时候，如果你不知道要点的话，你就玩命地往上写，总有几个是对的。我们发现中国的城镇污水处理厂突然也成了这个局势。我们甚至不知道城镇污水处理厂到底有没有用，就玩命地建，以为建得越多效果就越好。但事实上到底怎样，我们并不清楚。我在过去三年中做的一个工作就是，去思考我们花了那么多钱到底值不值得。

当然湖泊的生态系统问题其实有很多，污染也有很多，所以我们这次讨论的只是，污水处理厂是否能有效缓解湖泊中的富贵病。

首先我们来看什么是湖泊中的富贵病。富贵病其实简单地说是水体富营养化的一个表现。水体富营养化是指什么呢？是指水里面氮磷的营养元素过多而造成水质污染的一个现象。

富营养化一般有两种表现形式，第一种是我们刚才看到的藻型富营养化。就是在湖泊上漂着一层类似油漆的东西，你是抓不到的。你一抓它就流走了，跟沙子一样。

还有一类是叫草型富营养化，草型富营养化在城市河道里面特别地多，比如说河道里经常能看到的水葫芦。



很多人可能知道水葫芦是一个外来物种，我们给的解释是这个外来物种对我们水环境系统特别的好。其实我们不知道的是，中国水葫芦那么多，本质上是因为我们湖泊里面营养盐特别多。当然一般情况下藻型富营养化所带来的直接后果，要比草型富营养化的直接后果大得多。

为什么？因为藻的生长周期很短，一般情况下只有 7 到 10 天左右，等到 7 到 10 天之后藻就会死亡。死亡之后有机质是要分解的，在有机质分解过程中会消耗水里面大量的溶解氧。

大家都知道水体里面的鱼也是要呼吸的。当藻的分解消耗了水体中大量的溶解氧，鱼就走投无路了，它也只能死。因为鱼本身也是有机质，所以它也会照样分解。结果就是形成了一个恶性循环。藻死亡发臭，然后溶解氧下降，鱼又死了。鱼死了又进一步导致溶解氧下降，最后全死了。从生态学上讲这就叫作 **Dead Zones**，是一个生态学家提出来的。

所以你在看到藻类出现富营养化，或者看到绿色一片的水葫芦的时候，这个时候还算不错的。等到最后它就会大量死亡，而大量的死亡之后带来的一个后果，就是你会闻到各种各样的恶臭的味道。

我们刚才提到了在水体富营养化中涉及到两种非常重要的元素，一个是氮，一个是磷。我们都知道氮对于人体来说是非常重要的。我们生命体最重要的物质是什么？蛋白质。蛋白质的基本分子，是氨基酸。氨基酸的主要成分是什么？就是氮。

我们经常说要补充蛋白质，补充蛋白质的氮来自于哪里？在我们的农耕社会时期，也叫刀耕火种时期，在每年种完粮食之后，种完小麦、水稻之后，就把它们给烧了。

因为烧完之后地是热的，趁着地是热的，就拿比如各种锄头、石头，把地给捣碎了，然后草在烧完之后形成草木灰。草木灰可以进入土壤，这部分土壤可以作为明年的农作物耕种的一个沃土。

刀耕火种在现在其实就是东北地区的烧荒。每年春天的时候环保部总是查，东北地区、山东、江苏、浙江有多少个火点。其实火点就是刀耕火种的一种表现形式，就是烧荒，但现在我们都不这么干了。现在如果大家去农场的话，都变成这么玩了。就是我们直接会在里面抓一把肥料，把肥料扔到水田里面。



我们现在利用的氮肥，或者说各种各样的以氮为形式的氮肥，包括复合肥等等，都要感谢一个人。这个人叫弗里茨·哈伯。弗里茨·哈伯是工业合成氨的创始人。如果没有他我们肯定很多时候都没有在座的各位。为什么？因为以前那种农耕的方式是没有办法负担地球庞大的人口的。

工业合成氨简单来说就是氮气加氢气催化剂在高温作用下合成氨。这个氨可以进一步转化为硝态氮，或者说氨态的一些肥料，然后我们可以直接用于农作物的施肥，所以我们也就不需要烧荒了。

弗里茨·哈伯是因为工业合成氨这个反应，获得了诺贝尔的化学奖。他是德国人，但是他同时又是个犹太人，所以他最后命不太好，最后被希特勒给杀掉了。

弗里茨·哈伯他还有另一个罪行经常会被人控诉。如果有来自东北的朋友，你们可能知道东北地区有一个日本的毒气弹。日本毒气弹里面有一种非常有名的芥子气，芥子气其实就是氯气。氯气是谁发明的？也是这个弗里茨·哈伯发明的。

关于氮就告一段落了，那磷是怎么回事呢？在很久以前我们都是采用动物粪便来施肥，在那个时候还有一个比较好玩的例子就是，世界上曾经有一个国家是靠卖动物粪便发家致富的，那个国家在澳大利亚的旁边，叫瑙鲁。

瑙鲁是太平洋上的一个岛国。太平洋上有很多鸟，鸟飞来飞去，飞到一半飞不动了，那么得找个地方休息一下，然后那个休息的地方很多时候被选成了太平洋的瑙鲁，所以那边鸟粪特别多。瑙鲁曾经因为卖鸟粪变成世界上最富有的国

家之一，但后来鸟粪卖得差不多了，全球海平面上升，瑙鲁现在经济环境也不是特别好。

这是我们以前用磷施肥的一个方式，后来我们由磷施肥变成了磷灰石的开采，也就是说我们不再采用动物粪便的方式。

磷灰石主要来自于哪里呢？来自于各种各样的磷矿，比如说瓮安磷矿。瓮安磷矿是亚洲最大的磷矿之一，是在我们的贵州。中国的磷矿是世界上储量第二的，但是注意，磷矿是一种不可再生资源。因为大家都觉得我们是个磷的大国，所以对磷矿资源并不是特别地在意。



包括刚才的氮肥。因为氮肥现在很便宜，一吨氮肥也没多少钱，所以导致在农田耕种过程中，用的氮肥、磷肥，都是极其地低效的。我们在农田里面的耕种，磷肥或者氮肥的利用效率大概只有 20%到 30%。

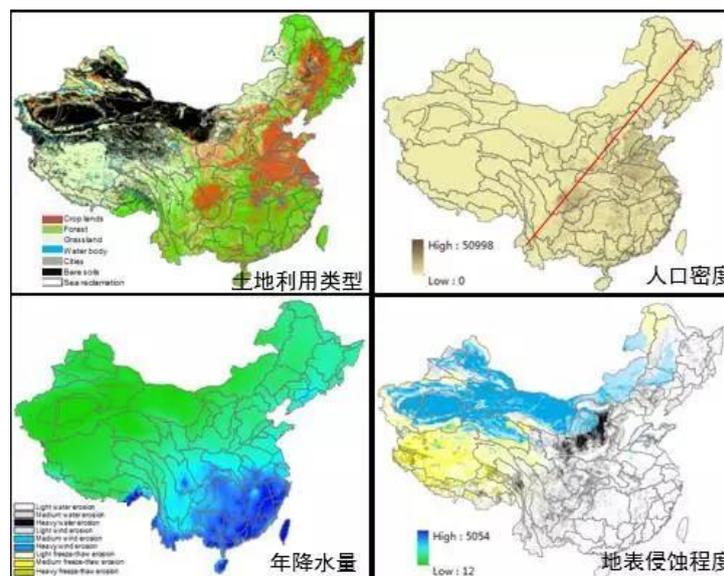
我们为了农耕，为了种庄稼，通过各种方法去获得氮或者磷，但事实上我们并没有珍惜，我们的利用效率是极低的。利用效率偏低的后果是什么？就导致了各种多余出来的氮跟磷，它会进入到水环境中，导致水环境的急剧恶化。

为了解释污水处理厂对于湖泊磷处理到底有没有效果，我们需要解决以下几个问题。第一个问题，我们需要问自己，中国湖泊中的污染物的浓度到底是怎么变化的？

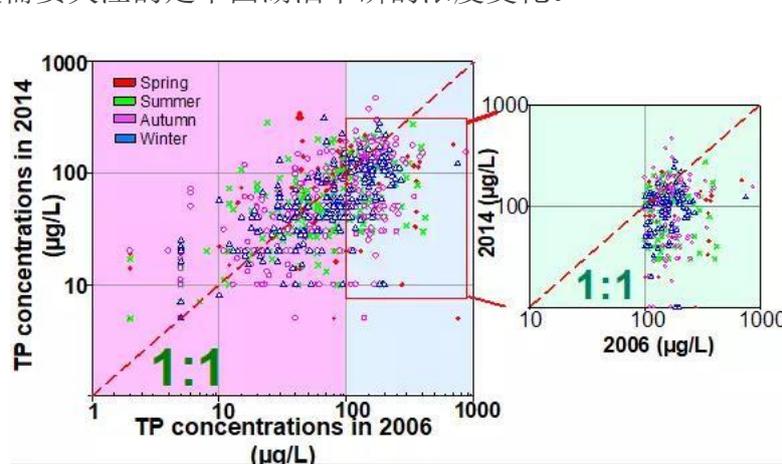
如果在过去 10 年中中国湖泊中的污染物的浓度，像氮跟磷的浓度如果是越来越高的，那么毫无疑问，证明污水处理厂是没有效果的。因为如果有效果，它就不会增加了。

第二步我们需要知道人为活动向水体里面排放的氮跟磷的量。第三步我们需要知道我们哪些人为活动，是能够主导湖泊中的污染浓度变化的。第四步得确认这个主导源是否跟污水排放有关。只有通过以上四个步骤我们才能知道污水处理厂到底有没有用。这部分我可能讲得快一些，因为学术的东西确实比较无聊。

因为中国地大物博，土地利用类型变化很大，人口密度差别很大，年降水量差别很大。所以在这个过程中我们会把中国分成好几个地区，然后不同的地区看它污染物的变化。

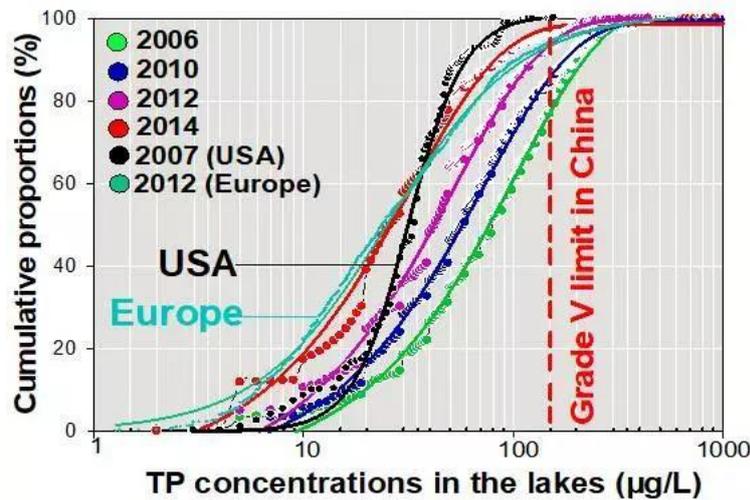


这个图比较需要关注的是中国湖泊中磷的浓度变化。



2006 和 2014 年湖泊总磷浓度比较

比较有意思的是我想让你们关注一下下面那个图，如果你看到右下角那个图的话，旁边有一条浅蓝色的线，那条线是欧洲所有湖泊里面总磷的一个分布趋势图。



中国、美国和欧洲湖泊总磷浓度累积分布

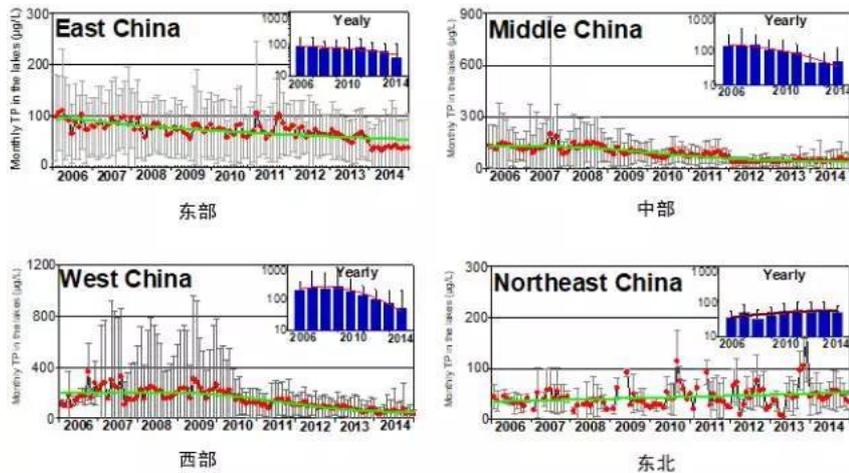
除了浅蓝色那条线之外，再去看看浅蓝色旁边贴着的红色的那条线。有没有发现红色那条线跟浅蓝色那条线其实相似度是非常高的？它们差点就可以叠在一起了。红色那条线是什么？是 2014 年我们全国湖泊中总磷浓度的累积分布曲线。

这个图意味着什么？这个图意味着我们中国湖泊磷的浓度跟欧洲湖泊磷的浓度其实是非常非常接近的，但是跟美国比我们还是有差异的。很多时候我们在说中国，不管是大气环境质量也好，水环境质量也好，我们总喜欢赶英超美，总喜欢跟美国人比，现在又兴起跟澳大利亚比。

但是比较有意思的是，我们在做这种比较的时候，从来没有想过美国人口是多少。美国人口是 3.5 个亿，人家国土面积跟我们差不多。澳大利亚呢，国土面积比我们小，但澳大利亚人口只有 2400 万。但是我们从来不会说跟我们人口最接近的印度比，我们从来不屑于跟印度比。

但事实上在做这种水环境比较的时候，非常需要考虑的一个因素就是人口密度的影响，不同的人口负担下湖泊里面的污染物浓度肯定是不同的。

我刚才提到了不同地区的污染物的自然情况是不一样的，这张图就给出了我们中国四个地区。



湖泊中污染物历史浓度变化

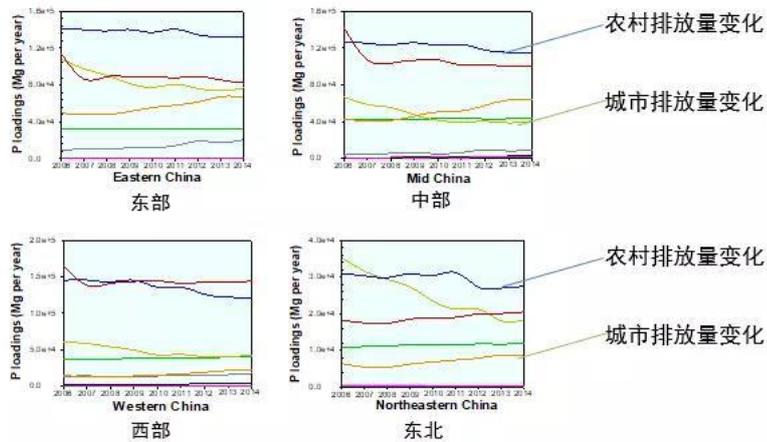
我们可以看到东部、中部，还有西部地区，其实湖泊中的磷浓度下降是非常显著的，基本上都是从 150 到 200 微克每升下降到了现在的 50 微克每升。但是需要注意的是 50 微克每升并不是一个非常好的值，比如说欧洲对于一个湖泊比较好的定义是总磷浓度在 25 微克每升以下，但现在我们仍然远远高于这个值。

但在这张图里面我需要你看的是绿色的那条线。你看绿色那条线，你有没有发现东北地区的总磷浓度存在一个轻微的上升趋势？其实我们后来也研究过，为什么东北地区跟别的地方格格不入。

东北地区总磷浓度虽然是低的，但它在过去几年其实是呈上升趋势的。后来我们分析的也可能是因为这跟东北地区的黑土流失、农业开垦更加有关系，但这个我们就不做细究了。

其实有各种人为活动都可以向水里面排除氮跟磷的。向湖里面排放污染物的途径，不仅仅只来自于人，不仅仅来自于我们的抽水马桶，还有各种途径。比如说农业的散养，大规模的畜禽养殖，农业开采等等，都是有可能导致湖泊中磷浓度出现变化的。

这个也是我们对对应时间段里面的，不同地区的湖泊中磷浓度的变化。这个图看起来比较费劲，直接简单地看下降最大的就是农村地区排放量、城市地区排放量，还有一个是畜禽养殖的排放量，在过去 10 年中是存在着显著的下降的。



有这个下降之后我们就得去找原因，这到底是由什么因素所造成的，所以我们需要用到一些线性回归模型或大规模通用模型。因为我们看到总磷浓度大部分地区是下降的，所以我们需要用模型去判断这两个是不是相关。

最后我们的结论是：城市污水处理厂在过去 10 年中确实带来了水质的改善。但是刚才我也提到了，水质的改善现在尚不足以说我们的湖泊变成了一个清洁的状态。就像你现在看到的太湖里面的蓝藻仍然是爆发的，因为它湖泊仍然是不清洁的。

还有一个，我们继续看刚才这个图。第一点，我们已经证明了污水处理厂是有效果的。那么我们需要进一步说明，如果我们依赖污水处理厂，在未来的城市的污染控制中，它到底还有多大的减排潜力。

我们做了最后一个模拟，我们假设中国所有的城镇人口全都接到了污水处理厂里面，大家每天排放的粪便全都可以去污水处理厂，不用再去别的地方。我们也模拟每个农村都有氧化塘，都有高级的厕所，那么它的削减空间其实只剩下 15%。

因此我们证明了污水处理厂能够带来氮磷营养盐这个污染源的下降，但是在未来它进一步的下降空间是非常有限的。

所以刚才第二个结论就是未来污水处理厂的升级的潜力是有限的，我们需要找到另一个途径，因为污水处理厂覆盖率已经达到 84%了。

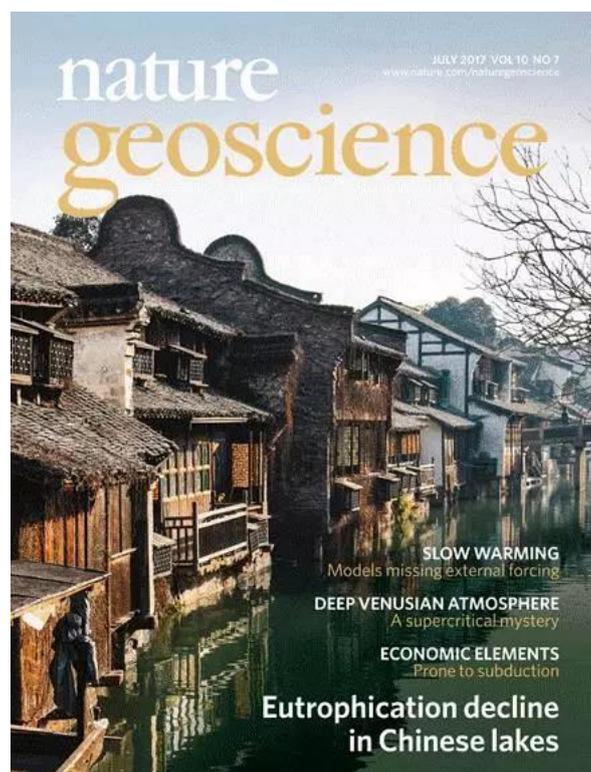
还有我们也得到一个结论，不同地区它的水里面浓度变化是不一样的，它的驱动也是不一样的，所以我们在制定环境标准跟政策制定的过程中不能一刀切。其实我现在比较反对的一点是什么？就是我们中国水环境的标准它是一刀切的。

什么意思？举个例子，我们中国所有湖泊中劣五类水的总磷浓度基本上就是 200 微克每升。但大家有没有发现有一个非常不合理的方面，比如说我们东部地区人口特别密集，但是青藏高原没人。所以青藏高原不管怎么样，不用搞任何污水处理厂建设，它就是不超标，不管怎么做，它都是浓度最低的地方。但是东部地区不管怎么做，它总是超标。

在我们现在的环境标准或者政策过程中，这种一刀切的方式是非常不合理的，因为你没有办法反映出人口对于当地环境的影响。

还有就是路漫漫其修远兮，重要的是我们的方向还是对的。

这篇文章后来在 2017 年的时候发表在了 *Nature Geoscience*。如果有做学术的同学可能知道，它是《自然》杂志的一个子刊，然后它也当选为当年的封面文章，封面文章这个图是来自于我的家乡绍兴。当年这篇文章也是 *Nature* 就是《自然》的当月的全球环境科学研究亮点。



还有几分钟时间，因为刚才的学术问题比较沉重，那我发表一下我对于水环境管理或者说大气管理的一些看法。去过西藏的同学肯定知道西藏三大圣湖之一，纳木措。在纳木措、玛旁雍措、还有羊卓雍措中，纳木措是大家最喜欢去的。

因为纳木措海拔 4700 米，勉强可以去。但是如果去玛旁雍措，绝对会出现高反。但是纳木措，它是处于一个大多数人不会出现高反，少数人会出现高反的这样一个海拔，所以很多人都愿意去体验一下。

这是一张来自纳木措的照片，我们可以看到照片上有黄黄绿绿的东西。这些黄黄绿绿的东西是什么？是塑料袋。



因为那边有各种各样的游人，每年游人接待量是非常大的，大概几万人。游人没有办法把那些垃圾及时带走，就只能在那里随遇而安了。

我的一个感慨就是，我们在花大力气，在建各种污水处理厂，然后去治理那些已经被污染的湖泊，但同时我们又在努力搞脏那些还比较清澈的湖泊。

还有两个例子。这是雅鲁藏布江，你看这沿岸，全都是垃圾。这是夏天的时候。



还有一个是冬天的时候，也是这个样子。



如果你近距离看的话，就可以看到各种各样的垃圾。其实我们以为环境污染离我们很遥远，以为我们的抽水马桶一按，水一冲，就跟我们没有关系了。但问题并没有走远。我觉得用五月天的一句话来形容那些比较清澈的湖泊，就是我们最好的办法就是不打扰，不打扰是最后的温柔。今天五月天还在北京开演唱会。因为以前我是挺喜欢听五月天的。

在 20 世纪 80 年代我们说过一句话，我们坚决不走发达国家先污染后治理的老路。我们是看不起美国的，我们认为他们这种经济都是以牺牲环境为代价的。

但是到 2017 年，时间过了 37 年之后，这句话已经从教科书上删除了。我们再也没有说不走先污染后治理的老路，因为我们先污染已经走上了，而且说不定还走完了，后治理有没有走上，我们并不清楚。

在环境经济学上有一个环境的库兹涅茨曲线，也就是环境的恶化程度是会随着人均收入的变化而变化。这个收入会成为一个环境的库兹涅茨的拐点，这个拐点之后环境会出现改善。大部分研究学家都认为我们现在应该处于黎明前的黑暗时期，或者有一些地方已经处于黎明时期，但大部分地方仍然是黑暗的。

最后我引用古代陶渊明的《归去来兮辞》里面的一句话：悟已往之不谏，知来者之可追；实迷途其未远，觉今是而昨非。这句话是陶渊明干不下去了，回老家的时候说的一句话。

悟已往之不谏，当我们意识到过去的错误犯下的时候，现在想去更改，已经没有机会了。如果你再去更改一些错误，去想当初为什么要这么做，其实是没有用的，因为没有意义了。

我比较有感触的是，现在整个中国对于环境保护是非常地重视。因为昨天前天我还在跟巢湖流域的一个主管的领导在交流，去他们那拜访了一下。他其实是一个挺大的官。

等到周五的晚上 11 点半的时候，我跟他还在争论巢湖到底是内源型污染还是外源型污染。我以为晚上 11 点半的时候不睡觉的只有搞学术的人，突然发现当官的居然晚上还在说这些事情，所以我觉得中国环境还是非常有希望的。

实迷途其未远，觉今是而昨非。其实当我们知道自己犯下错误的时候，我们还没有错得太远。其实我们知道今天做的是对的，比知道昨天是错的要重要得多。

最后我想说的是，我们需要对我们的环境治理、环境改善，抱以更大的宽容和耐心。我们中国的水环境的恶化、大气环境的恶化，绝对不是两三年的事情。

现在公众对于自身权益的保障，对于环境利益的诉求是非常地高的。高到什么地步呢？今天出现环境污染，我巴不得明天大气污染就没了。比如说今天太湖那么脏，我突然想明天太湖要是没有蓝藻了那该多好。

但从理性的角度来说，这是一种不切实际的幻想。这种幻想导致了公众会把自己的利益诉求反映给政府，政府它就会比较急于去做一些改变，做一些解释，甚至在科学研究之前它就会上大量的工程。

其实他在上大量工程的时候，根本就不知道上的工程有没有效果，因为它根本没有做基本的研究，但是它还是必须得上工程。因为如果它不上工程的话，老百姓就会骂它不作为。这就是一个非常大的矛盾。

当然我们公众对环境保护有诉求是对的，但是你要以更大的宽容的心态、包容的心态。所以我觉得如果我们每天在抱怨这个环境的时候，我们也应该想一想，所谓的环境污染是谁造成的？就是在座的各位，包括我。如果没有我们，太湖、巢湖哪会有那么多水藻。

有时候我觉得，环境科研其实是世界上最没趣的职业。比如说一个地方出现了环境污染，那背锅的肯定是环境研究者，肯定是你们干得不好才会出现环境污染。

但是另一种情况，如果这个地方山清水秀环境特别好，他们绝对不会认为这是环境保护者的功劳。天生丽质，本来就这么好。所以有时候环境工作者其实挺无奈的，包括像我们的科研工作者，当地政府的工作人员，还有国家决策机构也是一样。

其实大家都明白，环境问题不是一朝一夕的，不是一蹴而就的事情，但是我们对于这些东西总是等不及。污染了 40 年，你却又希望在 4 年、4 个月或者 4 天之内看到效果，怎么可能？想想都不可能。我也算是呼吁吧，看环境问题应该更加地理性，更加地客观。

突然想说两句关于天津大学的，其实天津大学在南方的知名度并不是特别高。尤其是在这个地方，我估计听过天津大学的人肯定很少吧。其实今年四五月份的时候有一个学院社团采访我说：童老师，你为什么报考了天津大学？

我认真地想了一下我到底为什么报考了天津大学。那年我高考的时候，我跟我的同桌学习成绩差不多，考得其实也差不多，他可能比我高几分。

那时候我问他说，你报哪个学校？他说我要去北方，我要离开故乡，我要自由。我说哪个学校呢？他说天津大学吧。他说的令我印象特别深刻，他说天津大学是中国近代第一所大学，低调奢华有内涵。我说你说的有道理。

我就报了天津大学。那个时候我的第一志愿是天津大学的英语系，结果两个月之后，发现我被调剂到了天津大学的环境科学系。后来他去了复旦的金融。

谢谢大家。