

关于虎门大桥振动的思考

“虎门大桥在改革开放中具有的巨大影响力，使得其突发振动受到全民的关注。为了消除广大民众的顾虑，大量的专家对此发表了自己的观点。该文将对专家们的观点归类，让大家有一个更清晰的认识。”

1 事件时间线

5月4日晚上7时许，某深圳市民驱车从广州返回深圳；行到虎门大桥中部时，突然感到桥面纵向振动，“像过山车一样，一上一下的”。许多当天和第二天经过虎门大桥的市民都感受到了。5月5日下午，又一市民乘车由虎门-南沙方向经过虎门大桥时，桥面上下颠簸持续几十秒，有如乘船，“有点晕”，“被吓得不轻”前方的车辆也正随着桥面“像波浪一样摆动”。另一名5月5日下午2时许经过虎门大桥的网友发布的视频显示，当日天气晴朗，大桥上车流不算密集，画面右侧能看到竖形排放的红色水马，视频持续了两秒，结束时画面有明显的上抛感。5月5日15时32分，广州交警对虎门大桥进行交通管制。随后，大桥管理部门封闭大桥。

2 专家紧急对策

5月5日晚间，广东省交通集团发布通报：5月5日15时20分，虎门大桥悬索桥桥面受主桥风速大影响，产生涡振。虎门大桥大修办公室副总工程师张鑫敏在接受央视采访时介绍，经专家会讨论，

涡振的主要原因为桥面检修时，沿护栏立柱摆放的水马堵塞护栏立柱透风孔，改变了桥梁的抗风外形，进而产生涡振。一位参与调查的路桥专家程述（化名）告知，他从虎门大桥方面了解到，事发时桥面单边最大振幅达到了 31 厘米。5 月 6 日上午，广东交通集团通报：经专家组判断，虎门大桥悬索桥本次**振动主因**为沿桥跨边护栏连续设置**水马**，改变了钢箱梁的气动外形，在特定风环境条件下，产生桥梁涡振现象。“涡振之所以产生，是因为结构的自振频率和涡脱的频率相一致，产生了共振。”程述解释：所谓“涡脱”，即钝体截面受到均匀流作用时，在截面背后形成旋涡脱落。涡脱的产生既和风向、风速有关，也受桥梁断面形状、结构阻尼等影响。在回答媒体提问时，某现场处置专家：虎门大桥桥梁重量在 15000 吨以上，一旦振动发生，“需要足够的时间平息下来”。同济大学桥梁工程系教授葛耀君：5 日下午涡振的产生，除了桥梁气动外形改变外，特定的风速、风向也是条件之一。“这两天正好广州天气非常好，风速就比较均匀，风吹过来的角度也不会改变，这样是更容易引起涡振的。”葛耀君认为，异常振动发生的时间或许还要早于 5 月 4 日。据其了解，早在 4 月底，桥面就放置了水马，但数量不多，因而振幅也不大。西南交通大学土木工程学院教授廖海黎：从目前调查来看，水马是这次涡振的主要诱因，水马撤掉，诱因也就消除了。“但风在桥上还有一些作用力，只是比水马存在的时候要小，等到慢慢能量耗散掉了，它应该会静止下来不动了。”程述表示，按照虎门大桥原本的设计，理论上是不会产生涡振的，但在桥面增设水马改变

了桥体的空气动力外形。当天下午，水马拆除后，加上当晚风速降低，涡振已明显减轻，涡振于 18 时暂停。

3 然而。。。

当晚 20 时，虎门大桥再次发生涡振，并持续。。。。

5 月 7 日下午，广东方面组织了又一场专家会。程述说：在会议上，专家们**明确了后续发生的振动仍属于涡振**，但是对于涡振持续**的原因**，**并没有达成共识**。有人认为，封闭后，光秃的箱梁也可能是涡振持续的诱因之一。

多位参与事件调查的专家称，虎门大桥此次涡振振幅在安全范围内，不会影响悬索桥后续使用的结构安全。一位不愿具名的专家告诉新京报记者，专家们未能对大桥持续振动原因达成共识。多位专家建议虎门大桥方面完善监测系统。

所以，到 5 月 7 日晚，大桥仍处于封闭状态。

4 观点形成及总结

5 日观点：维修大桥的**水马**是形成大桥涡振的主要**原因**。

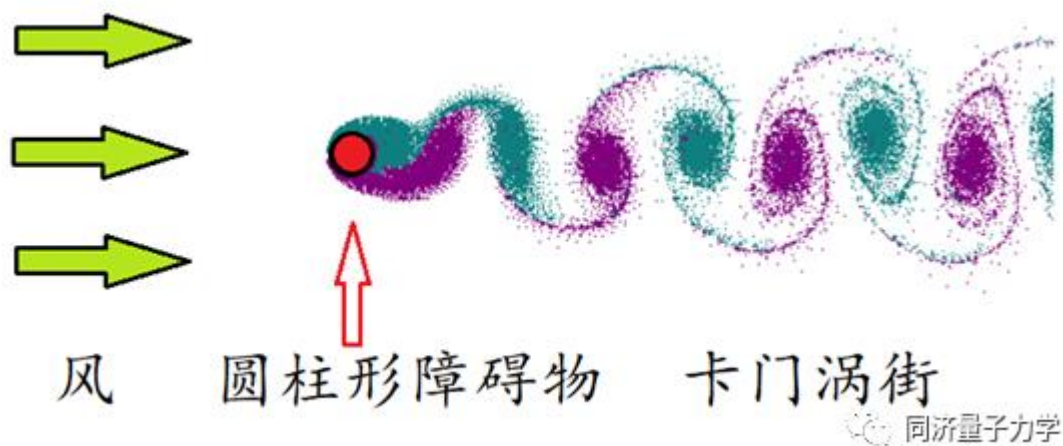
6 日发现按照专家建议，撤去水马，果然，振动停止了，如果这样大桥不再发生振动，是不是前边的振动就是维修放置的水马造成的？

大桥又振，

7 日的观点，大桥仍是涡振，但引起涡振的**原因不明**，也许是光秃的箱梁？

5 认识涡振

专家们现在都一致认定是涡振惹的祸，那么涡振是什么鬼？所谓涡振，就是空气动力学或者流体力学中早有的概念“卡门涡街”在桥梁上的一种特殊表现。卡门涡街是粘性不可压缩流体动力学所研究的一种现象。在一定条件下的稳恒流体绕过某些物体时，物体两侧会周期性地脱落出旋转方向相反、排列有序的双列线涡。开始时，它们分开前进，随着离开物体的距离增大，它们开始纠缠，互相吸引，而且缠绕越来越强，形成非线性“涡街”。流体绕流高大烟囱、高层建筑、电线、油管道和换热器的管束时都会产生卡门涡街。



图片来自网络

1911 年德国科学家 T.von 卡门发现了这种涡旋稳定性的理论依据。对于流体冲击一个圆柱体时，圆柱体后面的漩涡不断周期性均匀脱落，漩涡的脱落频率 f 与流体速度 v 成正比，与圆柱体直径 d 成反比，即

$$f = Sr * v/d$$

Sr 是斯特劳哈尔数（主要与雷诺数 Re 有关）。

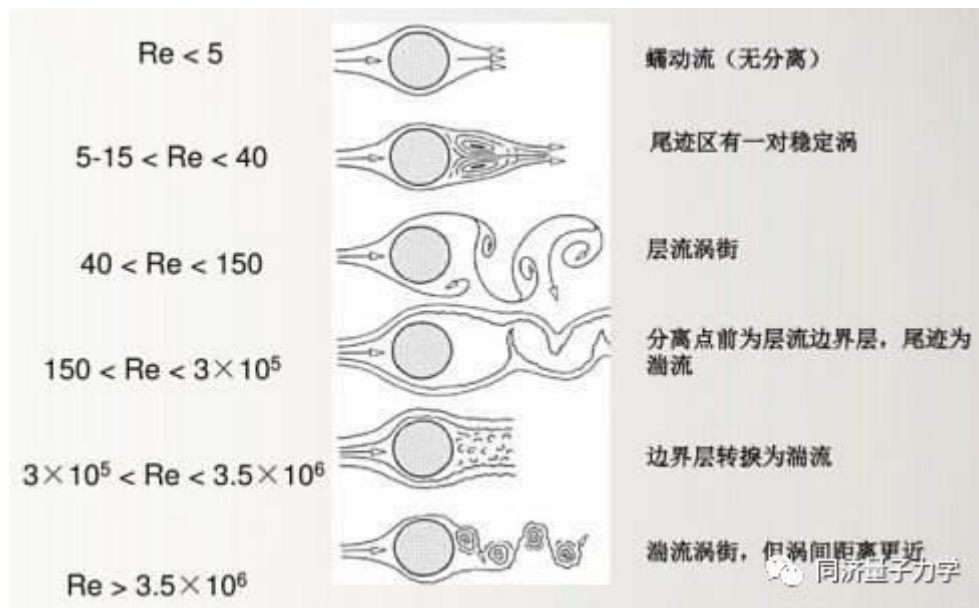
Re 为 $50 \sim 300$ 时，从物体上脱落的涡旋是有周期性规律的；当 $Re > 300$ 时涡旋开始出现随机性脱落；随着 Re 的继续增大，涡旋脱落的随机性也增大。当涡旋不断增长，摆动加强，不稳定的对称旋涡破碎时，会形成周期性的交替脱落的卡门涡街。卡门涡街的形成也同雷诺数 Re 有关。

经过多年研究表明：

当 Re 为 $300 \sim 3 \times 10^5$, $Sr \gg 0.21 = \text{常数} 1$, 出现规则涡街；

当 Re 为 $3 \times 10^5 \sim 3 \times 10^6$, 不存在规则涡街；

当 Re 大于 3×10^6 , $Sr \gg 0.27 = \text{常数}$ 2 , 规则涡街再次出现。



图片来自网络

出现涡街时，流体对物体会产生一个周期性的交变横向作用力。

历史上，卡门涡街惹过不少的祸。不但使潜水艇的潜望镜失去观察能力，海峡大桥受到毁坏，还曾经造成锅炉的空气预热器管箱发生振动和破裂。但是，卡门涡街的这种周期的、交替变化的性质，也有可利用的地方，可制成卡门涡街流量计，通过测量涡流的脱落频率来确定流体的速度或流量。

6 结语与展望

虎门大桥震动了，
专家说，这是
涡振，涡振，就是涡振，

什么造成的涡振？

一眼看到红色的水马？就是它！

专家说，对策就是撤水马！

大桥真听了专家的话，不振了。

专家露出了笑容，

大桥又振起来了！

专家说，这是涡振无疑，

喃喃地说，也许是箱梁捣鬼？

撤不撤，专家不说话了。

风很乖，

变速了，转向了，

从此大桥又不振了，

大桥的振动成了一个谜。

但是，

我们身边有越来越多的越来越长的大桥，

越来越高的大楼，

越来越多的大。。。。。

能否，在开展创新工程前，做好科学研究；

这样，便于在遇到问题时，能够及时正确的处理呢？

路很长，别乱走。

