

## 无锡高架桥侧翻与桥梁神的到来

徐珂/饥饿的盛世

201901025

2019年10月10日傍晚18:10左右，江苏省无锡市锡山区312国道上海方向K135处、锡港路上跨桥出现桥身侧翻。经现场初步勘测，桥下被压小车3辆（其中一辆系停放车辆，无人），事故共造成3人死亡，2人受伤。



事故发生后，当地政府立即组织各方力量清除侧翻桥身，保证其它路段交通

秩序。从新闻报道及图片可知桥身侧翻后，桥身未发生离散性破坏，落地后桥身基本保持原结构形态，这个表现在结构意义上可以认为，桥身本身并未发生重大压、弯、剪、扭等结构设计最关注的破坏形式。设计单位江苏中设集团股份有限公司（中设股份，002883）在设计自查后于 10 月 14 日发布声明：

江苏中设集团股份有限公司（以下简称“公司”）现就媒体关注的有关问题作出如下说明：

1、事发路段为本公司 2005 年设计的无锡市北环路（通江大道-新 312 国道）新建工程，该路段于 2011 年变更为 342 省道，后来又与 312 国道并线。

2、事故发生后，江苏省、无锡市第一时间启动了应急响应机制，全面开展事故救援处置工作。10 月 11 日上午，无锡市事故救援指挥部发布了事故责任的初步认定，为“经初步分析，上跨桥侧翻系运输车辆超载所致”。

3、公司在事故发生后的第一时间赶赴现场并参与了事故调查，同时在公司内部开展了设计自查，自查结果表明设计完全符合各项规范要求。

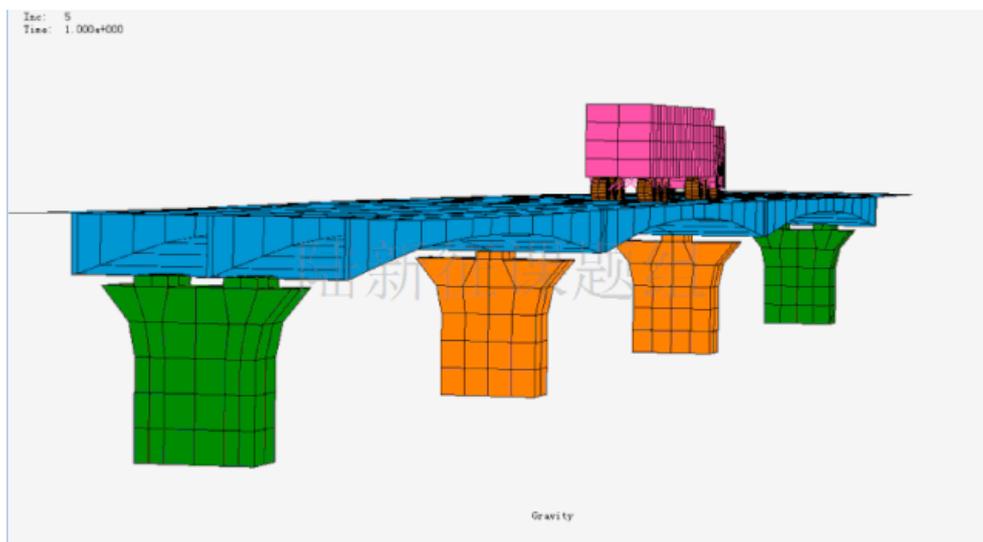
本次事故的后续调查及原因认定以相关权威部门的信息发布为准。截至本公告披露时，公司不存在应予以披露而未披露的事项。

这个声明主要说明几个事情，啰嗦地讲一下我的理解：

一 这座桥已经设计完成 15 年，使用时间已经超过 10 年，在使用时间和承载情况已经经受多种车辆使用、多种工况考验。从后续各种超载报道可知，这座桥地处无锡不锈钢材集散地附近，服役后备受超载考验，而不是仅仅这一次，从设计角度可以这样认为，这座桥一直存在超过设计允许荷载及工况情况，长期处于非正常工作状态。如果给非设计人员角度理解的话，这座桥允许车货总重量为 50 吨货车通行，实际使用中，经常有车货总重量超过 50 吨货车在桥上通行，所以很多司机会有有一种错觉，桥梁允许载重量就是个摆设。这次事故中初步估计，车货总重量在 160~180 吨，是设计允许值的三倍左右，显然货车司机及运营公司将交管运输部颁布的《超限运输车辆行驶公路管理规定》视若罔闻，另外从事后新闻报道当地重载运费上涨三倍也可以佐证事故货车当时重量(以上数据根据

新闻报道而来，详实数据需以事故正式报告为准)。

二是为满足大众对新闻事件的知情权,当地政府于第二天发布事故责任初步认定,“系运输车辆超载所致”。从严格意义来讲,初步认定是基于工程经验和直观数据得出的判断,而非严格工程数据分析结果。严格的数据分析是判断事故最有利的依据,它需要各方取证和分析时间,因此各类事故的正式报告都要等一段时间经各方确认后公布。这并不妨碍工程界人士以最快的速度进行相关分析,例如清华大学陆新征课题组于事故发生后 8 小时发布《2019 年 10 月 10 日无锡高架桥侧翻事故有限元模拟》,这种模拟是基于以往工程事故案例以及相关数据进行的近似分析,在没有实际桥梁设计尺寸和桥上荷载分布情况下,它具有借鉴和预估意义,这个分析提供一个信息,模拟显示该类型桥梁在 1 辆超载货车运行下,存在桥梁侧翻的可能性,至少在时间很短的情况下,数据模拟结果支持超载是事故原因这一判断。



从新闻报道可知,事故发生时桥身上共有 5 辆车,其中 3 辆小车、2 辆货车,两辆超载大货车核定载重都只有 30 吨左右,第一辆车实际装载 7 扎钢卷,总重量约 158 吨;第二辆车实际装载有 6 扎钢卷,总重量约 160 吨。以动态角度看,在桥身侧翻过程中很可能还有其它车辆驶离桥身,工程设计人员都清楚,

这些因素对于结构平衡都有重大影响。初步认定并不能排除设计无缺陷可能性，需要以科学的态度和工程设计原则进行判断，一切以事故最终调查报告为准。

三是中设集团作为设计负责主体，在时间上是事故发生后第 4 天发布设计自查声明“设计符合各项规范要求”。本人作为工程设计人员，我完全理解其中的含义，即在限定的设计条件下，此桥梁符合设计阶段各项规范要求。非工程设计人员可能不理解为什么要加上“限定的设计条件下”？这牵扯到设计标准问题，设计标准跟政治、经济、技术、条件有关，而不是随意制定出来，它具有时限性，像住宅设计中活荷载取值，现在与上世纪 90 年代以前相比提高约 33%（每平方米 150 公斤提升至 200 公斤）如果按现在标准去核算上世纪 90 年代以前的设计，那荷载取值就不满足，所以一定要把设计限定在当时条件下来判断其合理性以及安全性。这座桥设计施工于 10 年前，这 10 年间中国及世界都发生过桥梁破坏事故，设计标准也在修改，像这种类型桥体设计，在国家规范、标准层面已经做较大改进，例如 2018 年把横向整体倾覆控制加进《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》中。设计单位自查肯定是花时间经过多个工程技术人员认真计算，汇总多个部门的数据分析得出的结论，在理论上这个声明虽不具备事故调查报告的权威性，但是作为工程设计而言，设计单位在概率统计意义上不存在设计责任。出具这样的声明是就是告诉公众，如果后续事故调查报告判定存在设计责任愿承担“罪加一等”的判决。

作为工程设计人员，如果不了解事情具体细节或掌握基础资料，就发表判断性结论是缺乏科学态度的。表达事故情况用专业术语来描述更合适，这次事故应该描述为“三跨连续直线桥身整体失稳倾覆”，发生侧翻落地后“局部发生碰撞性破坏”，工程技术人员基本会理解事故的表现情况，而很多媒体甚至专业媒体

使用“垮塌”、“坍塌”等词，“塌”这个词确实描述事故后的状态，其在中文意思里是中性带贬意的，往往指承载主体存在问题引发的后果，例如“坍”的含义是“崖岸或建筑物或堆起的东西倒塌，从基部崩坏。”而无锡高架桥身侧翻后，并未发生大规模松散性破坏，桥墩也未发生大的变形，那么这种装配形式的桥梁，存在复位再使用的可能性，这与桥身断裂、桥墩压溃、材料失效有着本质的区别，只是限于交通压力、起重重量、安全评估、社会认知、管理成本等因素而放弃。



正确完整的描述工程情况是科学判断事故的重要前提。做过工程设计的人都清楚，同样类型不同尺寸的工程可能在设计方法上是一致的，但是绝对不能拿着一个工程成果去简单套用到另外一个工程上，因为工程分析的差异会导致设计重点不同，简单套用会无视危险部位的存在或者忽略安全方法的贡献。像这次事故后部分专业媒体都会拿类似上面图片分析解释事故的原因，前面已说过是“桥身整体失稳倾覆”，那么这里隐含的前提是，在正常使用状态下桥身是有平衡机制保持整体稳定，否则桥身就是机动构件。对于大众而言，接受过工程知识的人还是少数，看到这类图片解释以后，很多人提出类似的问题：“**这就是一个跷跷板吗，小孩子都知道不平衡，难道设计人员看不出来？这就是设计上出问题，不要**

**把原因赖到超载上!** 林同炎国际工程咨询(中国)有限公司桥梁事业部副总经理周涛就指出：“从专业的角度来说，这种引用和陈述并不完整，有‘断章取义’之嫌，一定程度上会给普通大众造成一定误解。”他对于该事故桥的设计给出的解释为：“**事发桥梁在中间的两个桥墩确实选用了单支座支撑，但在该段桥梁两侧的交接墩处都是选用了双支座的（见下图），从结构体系上来说这个单支座的设置在设计上并没有过错。**”在这种陈述下，大众至少不会简单理解为跷跷板结构，而工程界人士会严肃思考究竟是多大的荷载才能将整个桥身形成倾覆状态。清华大学陆新征课题组所做的模拟分析是建立在类似工程数据上，其分析并未对无锡高架桥事故给出结论，因为其基础数据与事故桥梁并不一致，但是该分析在数字模拟上证实，在超载情况下会发生桥身侧翻事故。



看到周涛的图片后我在微博上发了一条：“无锡高架桥侧翻段的结构并非全线单支座，两端是双支座，侧翻后桥梁并未发生大规模松散破坏，这说明两点，一是桥梁的厢式结构抗扭刚度相当牛逼！二是货车超载的级别也是相当牛逼！”

之所以用形容词来表达我的感受 ,是因为没有工程数据来表达其安全度和货车超载比例 ,要知道 2012 年 8 月 24 日哈尔滨阳明滩大桥引桥侧翻事故中 , 超载货车将双支座桥墩顶盖梁压破坏后造成桥身倾覆 ( 见下图 )。



发表这条微博后 ,自然有非工程人士在下面留言指责设计问题 ,典型的说法 :

*“这种设计容易造成桥梁的侧翻,这是不争的事实,任何解释都无法掩盖其设计的缺陷。”* 这类人士在我看来属于没有工程技术知识或训练的人员 ,其对于工程理解简单总结就是凡是设计的产品都应该是安全的 !在日常生活中 ,你让他超载跑一段土路 ,他会琢磨土路能否经得起车轮折腾 ,但是跑到国家建设的路面上 ,超范围的因素一概不在其考虑范围 ,既然货车能运输 180 吨的货物 ,道桥就能扛得住 ,推理简单直接 ,限制载重量、限制车速在其眼里就是个摆设。世界的科技水平已经能上天入海 ,这么常见的桥不能保证安全 ,那设计一定存在问题完全。这类人士的思维下完全不能理解 “安全使用” 这个词的意思 ,更不能理解 “不安全使用” 会带来什么样的后果。我们已经生活在现代商业时代 ,现代商业时代

相比传统农业时代最大区别是依赖于信用，工程设计的依据是根据社会数据总结出来的大概率成果，所以道路运输会有载重量限制。信用意味什么？您开车上路是相信道路是安全的，工程设计是相信车辆不会超载。超载出了事故的前提是车辆运输重量撕毁信用，而不是工程设计没考虑车辆运输的正常需求。就像下图的案例，在撕毁信用群体眼里，车开的好好的，路也是国家修的，说好的能去远方，怎么就把车引到路杆上？所以对于这类人士的质疑，我没啥可讨论的，简单粗暴地回复：“您要是厉害的话，去设计个不怕超载的桥出来，我就抬举您，否则就滚犊子！”



如果都是非工程人士质疑桥梁设计缺陷的话，并不需要太在意，毕竟术业有专攻，就像我去谈论医学比如肌肉拉伤之类问题，也可以归结到力学方面知识，但我真要张口发表言论的话，各位不用想我基本就是胡嘞。

写到这仍旧要强调，事故原因要以正式调查报告为准。事故原因一般分直接原因和间接原因，我的观点是：结合事故发生后桥体情况和参看工程界特别是路桥方面专业人士的分析，事故直接原因是货车超载，间接原因是设计未考虑严重超载情况下桥身倾覆稳定安全。指责设计缺陷的人士看我说间接原因可能开心了，

终于承认设计有毛病了吧！您也不用高兴，原因是原因并不是设计责任。前面提到 2018 年把横向整体倾覆控制加进桥梁规范中，按现行设计标准再设计出来桥梁，很难再发生桥身整体倾覆失稳情况，但超载会对桥身产生破坏性影响，仍然会在某一天以其它破坏形式出现在大家的视野里，例如 2007 年 8 月 15 日一辆车货总重 183.2 吨装载精矿粉的超载车辆（当时山西省规定车货总重超过 55 吨的货车一律禁止上路行驶），在行驶近 230 公里碾压过数个桥梁后，来到 208 国道太原市小店区段东柳林桥，西半幅桥身是单跨 37 米结构，两端为多支点支撑，不存在类似无锡高架桥倾覆失稳可能，重压之下东柳林桥西半幅桥身整体受弯断裂破坏（见下图），具有讽刺意味的是，肇事司机的名字叫“安全”。



在我的微博留言里，如果仅仅是非专业人士的质疑倒也正常，而工程技术人员对超载不以为然则令我感到困惑，其中一条留言是这样说：“*要是设计明知道超载概率大但是没有考虑，虽然满足规范，但是不能说是个好设计。*”需要指出的是，留言者并未像非工程技术人员胡搅蛮缠，而是出于做更好设计的目的在讨论，其本质还是在苛求设计成不怕超载的桥梁出来，鉴于他后续一再强调改进设

计可以应对超载问题,避免桥身破坏的看法,我回复:*“我知道你的心意是好的,但是好心并不是科学设计的组成部分。如果你的简介是 985 研究生毕业属实,我只能得出两点,一专业课结构可靠度知识在你的工程知识范围内存在空白,二数学概率知识在你的基础知识范围内也就立个幌子。”*

什么是“好”?“好”是一种主观评价,其标准无法量化,并不是工程评价体系,工程评价是需要客观的分析和指标来进行综合判断,在结构工程领域评价标准是依据结构可靠度理论制定。

结构可靠度理论是结构设计领域基础性理论,指导设计建造的各类结构能够满足生命和财产安全要求,与社会经济条件相适应,在正常养护和维修下具有足够的服务期,即安全性、适用性、耐久性,总称为结构的可靠性,用来度量可靠性的指标称为可靠度。在工程设计领域引入结构可靠度理论,源于结构在设计、施工、使用过程中存在各种不确定性,不确定性一般指事物具有随机性、模糊性、认知不完善性。我们做的工程设计成品用结构可靠度原则来描述的话,就是在限定的时间内、在限定的条件下、实现限定的使用要求,具有安全可靠保证率。如果对无锡高架桥设计要求更具体的描述则是,在设计使用年限内,在投资造价、空间尺寸、施工可行等限制条件下,满足每辆车货总重量不超过 55 吨货车通行的使用要求,具有安全可靠保证率。如果满足“好”的愿望,那么无锡高架桥的设计工程评价就变成:*在设计使用年限内,在投资造价、空间尺寸、施工可行等限制条件下,满足每辆车货总重量不超过 160 吨货车通行的使用要求,具有安全可靠保证率。*对于结构工程有深刻认识的话,荷载数据提升至近 3 倍情况下,仅通过一些改进措施解决倾覆稳定性问题,那又将其它安全性指标至于何地?荷载提升在结构设计在安全性方面还是很容易解决,但是经验和工程实际告诉我

们为实现这个目标，结构尺寸将大幅增加，那意味着现有公路桥梁隧道系统需要全部更新才能适应这个变化，这个画面我不敢想像。就算交通运输部下定决心并说服国务院提升公路运输标准，汽车行业也需要翻天覆地的变化，汽车对于公路运输影响绝不是车货总重量这一个数据，简单想到就有车辆尺寸、转弯半径、刹车加速度等等，这都是工程设计关心和遵守的数据。截至目前，尚没有正规汽车生产厂家生产超载车辆，都是非正规改装厂家所为。秦始皇统一中国就提出“车同轨、书同文、行同伦”，两千多年后，作为受过高等教育、学过工程理论、有过实际经验，枉顾严重超载事实，以主意愿判断原设计，就思考设计要向严重超载妥协，以特例代替普遍，以局部代替全面，就不是科学态度，也不是工程技术人员基本素质的表现。

人类很早以前就解决想要“好”的办法，那就是创造出“神”，神的工作就是解决人无法解决的问题。无论西方还是东方，人类有各种神，比如上帝、佛等等，我挺喜欢看神的故事和历史，神可以满足人的各种愿望，像上帝考虑我是个男性，假装意外把一个女性送到我的面前，现在我俩幸福地生活在一起；看我小时候堆泥巴喊过盖大楼，上大学的时候把我丢到结构专业，现在我的工作就是设计大楼；一想到这些我就更崇拜神。为了满足大家各种目的，神分很多种，比如佛教里有过去佛、现在佛、未来佛，满足人生不同阶段的需求，无论前生、后世的需求都不用担心。这类神能量都很大，如果按照可靠度原则评价是这样的：*在无限期限内，在无限条件下，满足无限使用要求，具有安全绝对可靠性。*

能量很大的神一般称为真神，真神离人有些远太让人敬畏，于是人们又创造一些能力弱一点具有人性的神，比如孙悟空能力也很强，跟人的距离就比如来佛近得多，大家更喜欢他，号称会七十二变，以我对他多年的了解，他不大不会变

成货车，变成以古代车马都费劲，唐僧没办法又找沙僧和白龙马解决长途运输的问题。最近美国漫威公司把这个问题成功解决，他们创造了汽车人，好多类型有跑车人、客车人、货车人等等，地上跑不过瘾的话还可以上天入地，中国公路运输部以后可以考虑创造出桥梁神，平时跟桥一样趴在那里看不出来有啥区别，一看到公路上跑来超载汽车，立马启动变形神功换成无敌大力神，安全把超载汽车扛到胜利彼岸，然后迅速变回原样，既应付极端短时大重量需求，又满足平时长期常规重量需求。以前古人没有货运汽车，所以没创造出来桥梁神，并不妨碍他们创造建筑上的神，都见过古建筑上的脊兽吧？皇家建筑上脊兽的数目最多，有了它们天打雷劈都不怕，故宫都有八百年的历史，为啥你家祖上的房子留不下来？当年忘了请神。每次去故宫，我都不得不惊叹神的力量真伟大！



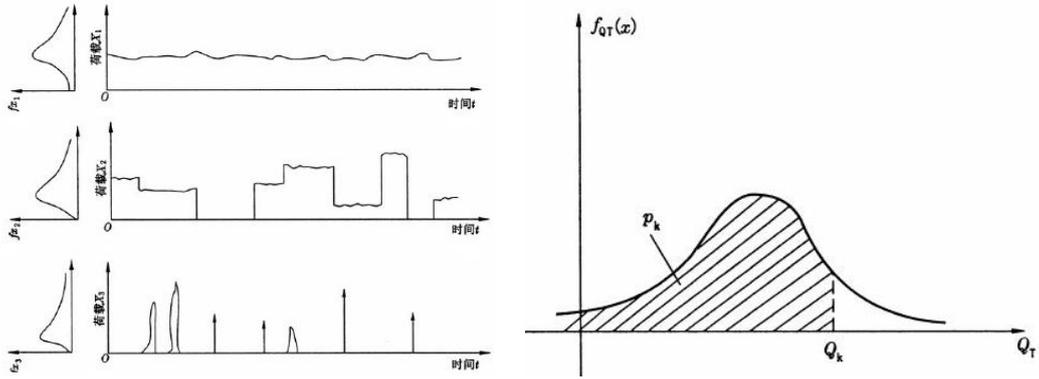
离人最近的“神”是巫，这个汉字形象很好地解释它的含义，工的上下两横分别代表天神和地神，中间的丨表示能上通天意下达地旨；加上人就是通达天地善解人意的意思。其中的人不是孤立的人，是复数的人，是我们这些有各种问题的人。巫就生活在我们中间，很多人都见过或认识一两个巫，我小时候有个巫邻居经常为大家解决问题，我小时候特喜欢汽车，他就摸着我的脑门说，你长大以后就会有的，现在我真的开上自己的汽车，你说这神奇不神奇？当年我见得少应该跟他说想要个汽车人才对。由于巫离人太近，如果按照可靠度原则评价，巫

与真神相比就差点意思：*在有限期限内（巫也要吃饭睡觉到老也死），在有限条件下（巫只是传达旨意），满足有限使用要求（真神不同意巫也没办法），具有安全可靠性随机率（成不成巫说了不算）*。由于人跟巫可以进行对话，很多工程都会请巫去参加开工仪式，说一些人听不懂、结构构件能听懂的话，据说安全效果都很好。

无锡高架桥那两个货车司机出发前一定忘了去跟下面这位神打招呼。

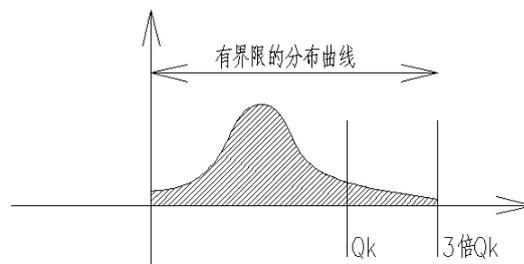


在没有创造出桥梁神之前，结构工程师还是按照结构可靠度理论做设计比较可行，从理论可知结构设计宜采用以概率理论为基础、以分项系数表达的极限状态设计方法。既然用到概率理论，就看一张活荷载代表值曲线形成过程(下图)，先要对可能出现的活荷载进行时间、概率、分布情况统计，然后按照统计原则转化为活荷载正态分布曲线，其中的  $P_k$  是活荷载代表值， $Q_k$  是设计基准期活荷载基本代表值，一般为正常情况下可能出现的最大荷载值，设计就是以  $Q_k$  值基准进行结构设计。



以无锡高架桥例子来说，其  $Q_k$  就是按核定车货总重量为 55 吨标准来进行设计，因为国家正规货车总重量都是按这个数据批准生产上路，在理论上和前面讲到的信用体系中 就不应该出现超过 55 吨货车的状态，这是设计的限定条件，生产超过 55 吨荷载的货车形成的统计数据就是图中  $Q_k$  右侧区域，这次事故车货总重量 160 吨就处于这个区域，按照通俗的说法，在这个区域的设计就像图中所示就是一片空白，何来安全可靠度保证率？（有些人会说在一定范围超载也是安全的，这事就别讨论，有辱斯文。）

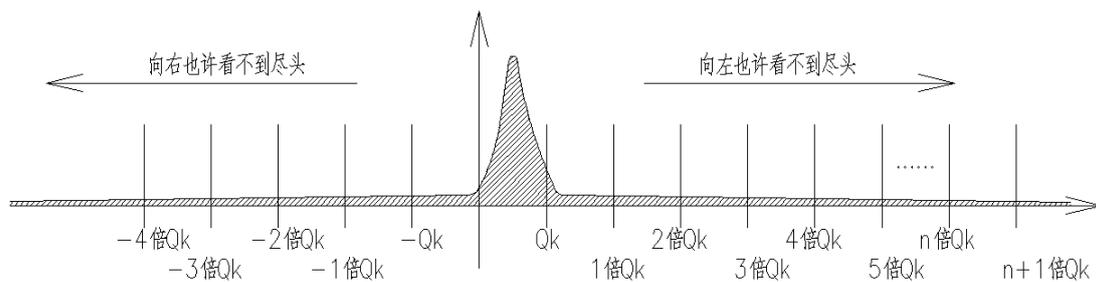
工程技术人员如果认为采取一些措施就可以有效应对超载问题，在概率曲线认知上是存在问题的，很可能在潜意识里把概率分布图认为是有界状态，即认为荷载正态分布曲线有最大值和最小值，像无锡高价桥货车荷载很容易让人联想到都已经超载两倍，再多考虑一点比如超载三倍去加强设计就万事无忧，因此其脑海里的荷载正态分布曲线大概是这样子的：



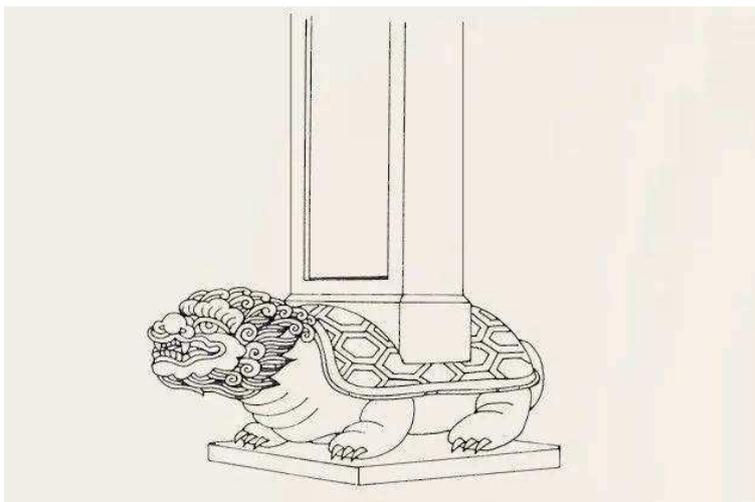
3 倍  $Q_k$  看起来已经为桥梁安全提供充足的缓冲空间，由于纵容超载的发生，3 倍  $Q_k$  就跟正常的  $Q_k$  一样容易被超载，这从两方面可以说明这个判断，一是

人类在没有发明科学之前，都是根据经验来推动社会发展的，货车载重量不断提升是货运参与者长期实践获得利益的结果，在没有付出巨大违规成本前，这种提升重量的实践不会停止。二是荷载正态分布曲线中的  $Q_k$ ，就是将荷载分布曲线变成有界限的分布区域，使结构设计具有安全可靠性能保证率，如果将界限由  $Q_k$  提升至 3 倍  $Q_k$ ，有什么理由可以制止运输荷载上升？好像没有。

正常的荷载分布曲线是下面这个样子，进行可靠性设计所选用的荷载区间在整个分布区间占非常小的一部分，并不像前面那样看起来占了很大部分，尽管占据很小一部分，这部分荷载出现的几率最多，因此结构设计是针对这一部分荷载提供安全可靠性能保证率。



无锡高架桥侧翻事故后，工程界人士对如何提高桥梁安全性提了很多建议，最典型的建议就是采用加固措施提升桥梁性能，这类建议最大缺陷是仅能提升目前看到的薄弱点如倾覆稳定性的安全性，不能全面提升桥梁整体安全性。也有学者提出非常有趣的建议，在桥梁上设计智能分析系统，当感知桥上车辆是超载情况时，迅速启动提升桥梁性能的机制，避免因超载产生重大安全事故，吧啦吧啦的，怎么听都像是桥梁神就要诞生的节奏！太好了，终于不用看漫威电影胡编乱造。桥梁神肯定不是下图蝼蛄样子，创造成这样太没科技含量。



中国以前有个行当叫窃贼，窃贼里有一个分支是街头小偷，专门在街面上偷人家衣兜里的钱财，为了防止被偷，人们想出各种办法，男人把钱掖到裤裆里，女人把钱怀到胸前，恨不得穿上金刚罩，几千年来依然挡不住街头小偷伸手的欲望。但是最近几年，谁还要再当街头小偷会被笑掉大牙，不是人们真的穿上金刚罩，是科技改变了世界。无人驾驶都已经近在眼前，在全国货车上加装超载监控系统，远比加固全国公路桥梁更符合智能管理的需求，不仅可以降低桥梁公路损毁事故概率，也可以有效降低交通部门人力检查超载带来的经济与人力损失。没有超载车辆上路，何来超载引发的安全事故；如果没有超载车辆上路，出现无锡高架桥侧翻事故才是工程界的灾难。

**我滚得远远的，去迎接桥梁神的到来！**

优点往往前进一步，突破分寸，转化成缺点。而缺点则往往变本加厉，从一直收敛状态变成肆无忌惮。

-----张宏杰