

高宗余：沪通大桥是我们为长三角定制的

本报记者 郑蔚

世界排名前十的斜拉桥（均含在建）中，有7座在中国，其中3座是中铁大桥院设计的；世界排名前十的铁路斜拉桥中，9座在中国，9座都是大桥院设计的；世界排名前十的公路悬索桥中，有5座在中国，大桥院设计了其中的2座。中国是世界桥梁设计和建造的第一梯队，名副其实。

今夏将通车的沪通长江公铁两用大桥，在世界排名前十的公铁两用斜拉桥中，位居榜首。“公铁两用桥的设计和建造，比纯公路桥难度大很多。”沪通大桥总设计师、中国中铁大桥勘测设计院集团有限公司总工程师、教授级高工高宗余说。

高宗余，全国工程勘察设计大师，曾先后获得国家科技进步特等奖和一等奖。



▲高宗余近照

沪通大桥桥塔高度达325米。（除署名外，均受访者供图）

“沪通大桥，这桥建得不容易”

“沪通长江大桥是2005年正式开始研究的，此后整整5年，我们都在论证桥位。这5年非常痛苦，因为此处长江已近入海口，江面宽，又是黄金水道，通航要求高，而且好的桥位早就被选完了。”高宗余介绍说。

2009年末，“（南）通-苏（州）-嘉（兴）-甬（宁波）”城际铁路规划确定了，开始做前期设计，而高速公路的跨江“锡通通道”（无锡-南通）也要过江，于是决定沪通铁路、“通-苏-嘉-甬”城际铁路跨江通道和“锡通通道”三者共享一座跨江大桥，铁路由原来的双线改为4线，一增一减，仅此可为国家省下至少100亿元建桥投入，还大大节省了土地和岸线。于是，2010年2月，在苏通大桥上游40公里处建设沪通公铁两用桥的方案得以确定，国家发改委将此列为“多通道合建”的范例。

2013年12月，铁总和江苏省政府下达了《新建南通到上海铁路沪通长江大桥工程初步设计的批复》，仅3个月，大桥院在高宗余的带领下，开足马力，将大桥所有的施工图出完——2014年3月，沪通大桥正式开工。

沪通大桥通航孔主跨为1092米，将是国内最大的公铁两用斜拉桥。“为什么主跨要1092米？桥梁设计师开始设计桥梁跨度和桥塔时，首先要考虑哪些因素？”记者请教他。

“最重要的是两大要素：外部条件和地质缺陷。”高宗余说，“以沪通大桥为例，外部条件首先要满足交通运输部规定的长江通航净宽要求，长江这一段航道宽度要求是900米；其次，因为这里临近长江出海口，水流还受涨潮落潮的影响，夏季和冬季的江水流向也不同，大桥不可能总是正对着主航道，所以还要加上大桥轴线和流向的夹角；再者，还要将桥墩的宽度和防撞设施考虑进去，因为通航的要求是必须满足10万吨船舶的航行需求，所以桥墩必须足够坚固，能承受10万吨船舶的撞击。沪通大桥的跨度是经过精确计算得出来的。”

为确保10万吨船舶的通航，交通运输部规定从江阴到出海口的长江大桥净空高度为62米。“在净空高度之上，桥塔从桥面到塔顶的高度有个大致合理的比例，就是大桥跨度的四分之一。跨度1092米，桥塔上部至少250-270米，再加上桥面下的净空高度、承台高度，所以最后确定塔高325米。”高宗余说，“简单来说，就是江宽和航道、防洪要求决定了跨度，跨度和净空高度又决定了桥塔的高度。”

全世界荷载最重的大桥

沪通长江大桥是铁路4线通行，而1957年通车的武汉长江大桥和1968年通车的南京长江大桥，铁路还是双线通行。直到40多年后，2009年建成通车的京广高铁跨江通道——武汉天兴洲公铁两用大桥才首次采用4线通行，总设计师高宗余因“三索面三主桁公铁两用斜拉桥建造技术”于2013年获得了国家科技进步一等奖。但天兴洲桥的跨度仅504米，沪通大桥主跨是1092米，这意味着什么？

记者手记

2011年，高宗余荣膺全国桥梁界的设计大师，但这个荣誉称号的学名实际上要复杂得多：“全国工程勘察设计大师”。按理说，谁评上都是很高的荣誉，没想到这个荣誉给高宗余带来的首先是“尴尬”。

高宗余说：“之前，我们单位也有前辈评上设计大师的，我们都习惯尊称他们为‘大师’。我评上这个‘大师’后，同事也改称我‘高大师’了。真没想到的是，我突然觉得十分尴尬。我觉得老一辈确实是‘大师’，而我就是个小字辈的工程师，工程师是我的本分，一叫我‘大师’我反而尴尬了。所以，刚开始同事叫我‘高大师’，我不习惯回应，但马上发现不回应不行，刚评上就不回

“我就是个工程师”

应更不行。人家会想：高宗余怎么一评上‘大师’就变得叫他也不睬了？那误会就更大了，所以最后我只好硬着头皮回应了。”

高宗余为人儒雅随和，但遇到困难又特别硬气。有的大桥在建设过程中遇到了困难，甚至出了事故，有的人就躲得远远的，而高宗余从不这样，施工遇到困难，他会盯在现场，一定要和大家一起想出办法，解决了难题才离开。这样的

设计师，大家觉得贴心、放心。

高宗余还很少参加大桥竣工通车典礼。2005年12月，东海大桥开通时，他在南通忙着为沪通大桥选址；去年9月，福建平潭海峡大桥合龙之时，他正奔走在四川大渡河两岸，为川藏铁路建桥踏勘。

从业35年来，他主持设计过30多座大型桥梁。记者请他说说总共参加过几次通车典礼，他掐着手指算了有一会，说好像仅仅参加过2次。

“我就是做桥梁设计的工程师，设计做完，桥造好，我的本职工作就基本完成了。”他为自己为什么屡屡缺席通车庆典“辩解”说。

弄清楚。”

中铁大桥院第二设计院副院长、高工张燕飞说：“有件事给我印象很深。有一次，一个工程师向他汇报时说桥塔的某个数据‘大概’是多少，高总立刻神情严肃地打断他的话，什么是‘大概’？工程师没有‘大概’。从此，项目组向他汇报时，没有人再敢说‘大概’两字。”

“工程师不能失败！”

“科学家可以失败，但工程师不能失败。科学家要苦思冥想，说不定失败反而会激发出智慧的火花；而我们是工程师，工程师失败了，工程就失败了，这国家的损失就太大了。”高宗余多次对团队同事说。

做工程的，决不允许失败。这是高宗余和他团队的执念。

沪通大桥遇到的一大难题是砂土地基。地质勘探发现，桥塔所在的位置再往下二三百米，仍是砂土层。通常建桥是在河床上打桩，桩要一直打到岩石层站住，然后在桩上造桥塔，找不到岩石层怎么办？

此关必破。高宗余和他的设计团队反复研讨，最后他拍板确定了一根桩也不打的“沉井方案”。这是个超巨型的“钢壳+钢筋混凝土”组合式沉井，平面尺寸相当于12个篮球场，是世界上规模最大的深水沉井基础。沉井分为上下两部分，各有将近20层楼这么高，下部是钢壳沉井，在南制造基地焊接完成后，浮运到现场，全部打进江底的砂土层后，底部再用近10多米厚的混凝土封住，形成一个超5000平方米的承重平台；然后上面再加混凝土沉井，混凝土沉井高出江面，上部形成一个高8米的承重平台，桥塔就站在承重平台上。”高宗余说，“我们用这项世界首创的巨型组合沉井技术，将基础打得牢牢的，确保沪通大桥可以抵御8级地震和13级台风侵袭。”

要不是他揭开这水下的秘密，还真不知道沪通大桥与南京长江大桥在江底下有这么大的不同。

“对我们设计师来说，每一座大桥都是不同的，都是根据功能要求和各种环境限制条件专门定制的。沪通长江大桥，就是我们为服务长三角定制的。”高宗余说。

2014年，我国宣布援建马尔代夫中马友谊大桥，它将寸土寸金的马累岛和机场岛连接了起来，意义重大。

这是大桥院第一次在印度洋中设计桥梁。马尔代夫的海水平均盐度是33.1‰，这在全球海洋中是较高的，好在大桥院已经有造东海大桥、平潭海峡大桥的经验，再加上采用了加强钢梁和混凝土的海洋环境耐久性设计等新技术，可以确保大桥100年的寿命。“我们第一次遇到的情况是，那里的海床是由生成年代还不太久的珊瑚礁构成的，它的特点是虽然硬，但是太脆，一打桩就崩。”高宗余说。

“世界上还没有在珊瑚礁上建跨海大桥的经验，曾有外国专家说要把珊瑚礁炸平，但我们团队商量，保护海洋环境非常重要，我们不能把珊瑚礁给炸了。”高宗余说，“那里水深是46米，我们就先在珊瑚礁上打桩，打下去10米后，钢管桩站住了，再打桩，钻深50-60米后，再放钢筋笼子，灌注混凝土，桩就能承重了，这座桥最深的桩有118米长。”

如今，中马友谊大桥早已建成开通，成为马尔代夫新的景观。



高宗余（左）和交通部原总工程师凤懋润在桥梁建设现场。



高宗余（右）和方秦汉（中）院士一起探讨桥梁建设工作。

“‘大概’？工程师没有‘大概’”

高宗余是南京六合人，虽然父母两家世代农民，但南京长江大桥的北引桥离他家不远。小时候，他每次去舅舅家都要走过北引桥。站在桥上，仰望望去，南京长江大桥格外巍峨壮观。记得有一次，还赶上有一列火车越江而来，虽然因桥下视角遮挡，他不知道那火车是客车还是货车，但铿锵的轰鸣声由远而近，越来越响，给这位少年前所未有的震撼。

现在的家长常说“不辅导作业母慈子孝，一辅导作业鸡飞狗跳”，而高宗余回想起来，他读书时简直太自觉了，父母整天种地喂猪，劳碌辛苦，从没为他辅导过什么功课。而他就读的瓜埠中学远在3公里外的镇上，是南京市重点中学，夏天每天6点50分到校；冬天7点10分进校。所以他天不亮就起床，走半小时赶到学校。那时瓜埠中学对农村学生有助学金，但他不好意思说家里困难没去申请，是班主任陆秀生老师主动帮他办了助学金。虽然只有区区1.5元，今天听来这点钱怎么称得上“助学”，但那时已足够交学校一个月午餐的菜金。午餐是米饭加菜汤，间或还真有点肉，令高宗余感恩在心。

1981年高考时，高宗余一时拿不定主意怎么填报志愿。陆老师建议他报考西南交通大学铁道桥梁专业。西南交大虽然离家乡远点，但这个专业有前途啊，中国还要造多少铁路啊，铁路桥可是造不完的！“铁路桥梁”，这一下

面两主桁”。而沪通大桥荷载太重，高宗余决定采用“三索面三主桁”，也就是在桥的双主桁的钢桁梁和两侧的斜拉索之外，在桥中间再加一个钢桁梁和再拉一排斜拉索，用三排斜拉索牢牢拉住桥面。高宗余还提出，仅仅结构上加强还不够，还必须采用强度更大、更耐久的桥梁钢和斜拉索才行。

“当时我们已有Q420桥梁钢和1860兆帕斜拉索，这在国际上已经领先了，国外至今也没有造过大跨度的4线铁路桥。”肖海珠说，“但高总提出要研制屈服强度500兆帕的Q500桥梁钢和应力可达2000兆帕的新型斜拉索。”

根据大桥设计团队提出的技术要求，在宝武和鞍钢的大力支持下，这2款世界上强度最高的桥梁专用钢材终于先后合作研制成功。这不仅提高了桥梁钢和斜拉索的强度，还使整座桥梁的结构支撑变轻了，沪通大桥的自重也大大减轻了。

“沪通大桥的‘钢筋铁骨’，都是我们中国人自主创新研制的。”高宗余很自豪地说。

“造桥时遇到什么情况，您作为设计师最紧张？”记者问。

“那就是大桥即将合龙那一刻，因为桥梁悬臂伸出去最远。”高宗余说，“那时桥面所有的重量都在斜拉索上，前一天晚上会反复地思考：桥梁和桥塔的固结是否可靠？每根斜拉索的力是不是计算准确……”

合龙时，通常会举行一个庆祝仪式，真没想到这彩旗飘扬的时刻，竟然是设计师心情最紧张的时刻。

“我们做工程的，讲假话没有用的，实践会立刻让你现原形。大桥顺利合龙了，我们才真的放心了。”他说。

“首先是桥梁的载重量大大提高了。”高宗余说，“按设计规范，客货兼运的干线铁路每线的荷载是8吨/米，只走旅客列车的客运专线的每线荷载是6.4吨/米，而公路桥每一车道的荷载标准是1.05吨/米，三者相加就可以算出2条干线铁路、2条客运专线和公路6条车道的沪通大桥荷载，已经是世界之最：35吨/米。”

由此可见，公路桥的荷载与公铁两用桥的荷载完全不是一个数量级。记者请教中铁大桥院副总工程师肖海珠，桥梁的跨度越大、荷载越重，对桥梁设计带来的难度是什么？

肖海珠说：“大跨度桥的特点是‘柔’，就是在重力作用下，两座桥塔中间的桥面变形会比较大，工程上叫‘挠跨比’。沪通大桥的挠跨比不能超过千分之二，也就是桥面跨度1092米，最中间部分上下变形的挠度不能超过2米。”

将来列车驶过沪通大桥中间时，桥面竟然会上下移动将近2米？这是记者事先没想到的。如此幅度，客运专列的时速又高达250公里，会不会因轨道变形而危及行车安全？

“这确实带来了沪通大桥必须攻克等诸多难点，也是高总带领我们攻关的几个重大创新点。高总首创了轨道道位研究，明确了桥上线路轨距差、轨道高差等十多项关键控制指标，形成了高铁大跨度桥梁桥位控制设计方法，破解了列车高速通过大桥时轨道平顺不平顺、旅客舒适不舒适的难题。”肖海珠说。

高宗余还带领设计团队通过建立计算机空间模型，对桥梁钢结构和斜拉索的稳定性进行分析，以最大可能地减少桥面的挠动幅度。之前的斜拉桥，大多是大桥两侧各有一排斜拉索系在桥塔上，这在桥梁专业上叫“两索