

跨越大江大海——

## 水下隧道，别有洞天

本报记者 张一琪

电梯门打开，一股穿堂风迎面扑来，10月份青岛的海边，透着满满的凉意。电梯下降途中，各种思绪脑海，我将要面对怎样一个水下场景？正想着，随着电梯触底的一震，一片工地映入眼帘，圆形的洞口似有四五层楼高，里面传来叮叮当当的嘈杂声。

跟随工作人员指引，我们上了工程车辆，目的地是隧道施工的最前沿。这座直径可达15米的隧道是山东省青岛市胶州湾第二海底隧道，是一条公路隧道，全长超过14公里，施工规模位居世界前列。隧道贯通后，将成为青岛市主城区和西海岸新

区连接的最新通道，便利两地民众的生活、生产，进而推动青岛市东西两岸同城一体化发展、提升周边城市群的整体竞争力。

这座海底隧道由中国铁建下属的中铁第四勘察设计院设计。这所成立于1953年的设计院，深耕隧道设计，尤其是水下隧道，积累了大量的经验。武汉长江隧道、南京长江隧道、广深港高铁狮子洋隧道、济南黄河隧道……这些记录在院史上的隧道，背后是中国水下隧道技术的一次又一次突破和提升。



南京长江隧道。

## 修桥还是修隧道？

生活在长江边上的人，想必都有如何渡过长江前往对岸的想法。来到湖北武汉，站在长江岸边，我也有同样的疑问。在经济、科技不发达的过去，只能依靠各式船舶来横渡长江。

如今，在武汉，江上有大桥，江面有轮渡，江下有隧道。而让武汉过江迈入“三维”时代的，正是2008年正式通车的武汉长江隧道。

车辆驶入武汉长江隧道，第一感受是忙碌。隧道内是双车道，车辆十分密集。据了解，该隧道是双向四车道，每天的通行车辆可达7万辆。

“设计武汉长江隧道的时候，原本计划是修建双向六车道，但当时水下隧道技术刚刚起步，建造经验并不丰富，加上建设条件复杂，为了安全起见，最终决定修建双向四车道。”中铁第四勘察设计院总工程师肖明清讲起这段历史时，口气中带着微微的遗憾。

肖明清身边的人一直叫他“大师”，起初我以为只是同事间的戏称。但后来才明白“大师”是国家授予的称号——全国工程勘察设计大师。从1992年参加工作起，肖明清就一直深耕于水下隧道技术，在他的带领下，中铁第四勘察设计院已经设计完成水下隧道超过80座。

此前，我们对于隧道的印象更多是山体隧道。跨越大江，修建桥梁似乎是第一选择。“过去一说过江过河，第一反应确实是修桥，修建水下隧道确实不在考虑范围。现如今，情况已经反过来，优先考虑水下隧



青岛胶州湾第二海底隧道施工现场。本报记者 张一琪摄

道。”肖明清说。

有几个因素促成了这种转变，首先是对水面通航的影响；其次就是经济方面的因素，也就是我们俗称的性价比。

以长江为例，如果想修建一条四车道或者六车道的过江通道，那么水下隧道在减少对江面通航影响、工程造价成本等方面就有着很大的优势，是第一选择。但如果是公路、铁路合用的过江通道，那跨江大桥则是更合适。“因为受隧道直径限制，如果修建公铁两用隧道可能需要打多条隧道，两相比较，公铁两用通道上桥梁更有优势。”肖明清表示。

此外，对周边环境的影响也是考虑因素之一。在修建过江通道时，无论是桥梁还是隧道，都涉及对岸边居民的影响。如果是修建桥梁，需要考虑引桥的征地和拆迁问题，同时还要考虑运营期振动和噪声的影响。“对比修建桥梁，修隧道影响会小很多，在岸边打一个竖井，然后将盾构机安装上，就可以开始施工，建成后的交通噪声和振动也很小。”肖明清解释着隧道的优势。

## 盾构隧道是主流

10月31日，中国自主研发、最大开挖直径达16.64米的超大直径盾构机在湖南长沙下线，将应用于目前全国最长公路水下盾构隧道——海太长江隧道施工。

水下盾构隧道是水下隧道修建技术的一种，也是现在常用的技术之一。除此之外，还有沉管法、钻爆法、围堰明挖法等技术。

肖明清一一解释了这几种隧道修筑技术：沉管法简单来说就是在水下挖基槽，将提前预制好的管段沉放下去，然后再连接上，港珠澳大桥、深中通道建设中运用的就是这种技术；围堰明挖法适合建造小规模隧道，并且是在浅水的地方，把水抽干，然后再建造隧道；钻爆法是借鉴建造山体隧道技术而来，是在比较坚硬的岩层中使用炸药，炸开岩石然后修筑隧道。

与其他几种方法比起来，盾构法是相对经济、安全的，并且施工过程中对周围环境影响也小。

为了一探盾构隧道的究竟，我们来到了武汉地铁十二号线越江隧道的施工现场。沿着楼梯一路走到隧道口，施工的嘈杂声越来越大。终于走到隧道口，犹如“黑洞”一般，一望无际。

坐上工程车辆，我们开始向隧道深处行去。走到中段偏后的时候，“这是管片，在盾构机向前挖掘的同时，这些预制好的管片就被运输进来，安装在隧道内，安装过程是自动的，工人只需要在最后打上螺栓。”随行的中铁第四勘察设计院设计人员高云龙不断介绍着有关水下隧道的情况，“这条隧道还有一个内衬，相当于加了一层防护，能够消除渗漏水、火灾、撞击等引发的安全隐患，提升了整个隧道的韧性。”

当温度越来越高，声音越来越大时，我们走到了施工的最前沿——盾构机刀头的后面，此时想要跟身边的人交流，只能趴在耳朵边大声叫喊，但仍然很难听见。盾构机平均每天能够向前掘进6至8米。只有需要更换刀具和正常的设备保养时，才会将机器停下。

现如今，水下隧道以盾构隧道为主流，但是走过的路并不是一帆风顺。南京长江隧道是中铁第四勘察设计院设计的第二座水下隧道，2009年全线贯通，是当时世界上在强透水地层中修建的直径最大的盾构隧道，隧道直径达14.5米。

“我们对南京河段的地质情况和水文特性很熟悉，因为从上世纪90年代研究京沪高铁跨江通道时就做了大量的研究。所以当时提出建设双孔双向六车道。”肖明清回忆着，没想到后续进程却遭到了反对，因为国内当时没有做过直径如此大的盾构隧道，部分参与论证的专家担心安全问题，因此建议减少直径，改为四孔八车道。

但肖明清带着团队针对安全性问题，做了大量的工作：理论研究、结构模型试验、结构原型试验、防水试验、火灾试验等，来证明双孔双向六车道的隧道结构没有问题。顶住压力，肖明清团队的方案最终得到了隧道领域专家的支持，成为南京长江隧道的最终设计方案并施工。

“我们国家深水宽水域的地区比比皆是，如果一直停留在小直径隧道上，将来不能应付越来越大的交通量。因此必须要突破大直径甚至超大直径盾构隧道技术。”回忆着当年，肖明清依旧旧情澎湃，这也鼓励着他带领中铁第四勘察设计院的团队不断创新，取得盾构隧道技术上一个又一个突破。

## 造有韧性的隧道

整个采访过程，无论是肖明清还是其他设计人员，一直都在讲“韧性”这个词。

如果说一个人有韧性，那说明这个人抗压能力强、恢复能力强，具有坚定的意志品质。一座水下隧道有韧性，同样也是指水下隧道可以适应各种复杂地质环境，应对各类灾害，从而保证正常使用。韧性隧道可以称得上是对隧道设计理论的提升。

“现在水下隧道设计多采用‘概率极限状态法’，肖明清解释说，所谓概率极限状态法，就是将荷载效应和影响结构抗力的主要因素作为随机变量，根据统计分析确定可靠概率来度量结构可靠度的结构设计方法，其中包括对各种单一灾害的作用分析。”

经过长时间的实践，肖明清和团队都在思考如何在保证安全的情况下，建造隧道更加经济、更加科学。“简单来说，就是在概率极限状态法的基础上，进一步考虑各种灾害量级的不确定性以及不同灾害之间的耦合作用进行综合设计，然后通过周密的计算来设计隧道。”肖明清说。

我们参观过的青岛第二海底隧道、武汉地铁十二号线越江隧道都是按照这种盾构隧道韧性设计理论和方法进行设计和施工。根据这套理论，这些隧道可以在遭受极端事件或意外情况时依然保持功能，并且还可以进行修复。

随着信息技术的发展，尤其是人工智能的飞速发展，全自动的拼装技术已经逐渐运用到隧道建造过程中，中铁第四勘察设计院已经研发了多项自动拼装技术，应用于隧道的建设。

穿过已建好的水下隧道，参观了正在建造的水下隧道，我对水下隧道有了更加直观的认识，但同样也产生了疑问，隧道是有设计寿命吗？在设计寿命到期后，隧道何去何从？

肖明清为我解答了第一个疑问：100年。那么问题又来了，中国修建大型水下隧道可以追溯到上世纪60年代，上海市修建的打浦路越江隧道，拥有近60岁的“年龄”。按照100年的设计寿命，这条隧道只剩40余年的使用寿命。

“处理这种到期的隧道，最简单明了的就是废弃。第二种则是减少隧道的一些功能，修缮后继续使用。这两种方法都相对容易实现。”肖明清表示。事实上，国外不少早期修建的隧道都进行过大修，对隧道中的土建、设备等进行更新修复。

但是修复隧道不是一件简单的事情，隧道空间有限，再加上地质环境复杂等，能不能修复、如何修复都是需要认真研究的问题。

“还有一种方法就是原位修复。”肖明清解释说，国外已经有这方面的研究，甚至研制出新型的机器来进行验证，“我们国内在这方面刚刚开始，毕竟我们现在的水下隧道都比较新，所以给我们留下了充足的时间来继续研究。”



武汉长江隧道及洞内3D示意图。本版图片除署名外，均为受访企业供图

## 在建世界最高桥完成首件钢桁梁吊装

据新华社贵阳电（记者向定杰）近日，在建世界最高桥——贵州花江峡谷大桥建设取得重要进展：随着缆索吊机将重约215吨的首件钢桁梁精准吊装至指定位置，大桥施工进入新阶段，为明年通车运营奠定了基础。

据了解，吊装钢桁梁是桥梁主体结构施工的重要组成部分。待所有吊装完成后，大桥将进行主缆缠丝、涂装作业，同时进行钢梁及桥面附属结构的安装。按目前施工计划，花江峡谷大桥预计于明年春节前后合龙。

承建单位贵州桥梁集团介绍，花江峡谷大桥主桥共有93个钢桁梁节段，梁段总重量达2.1万余吨。当天进行的是首节段吊装作业，缆索在将钢桁梁吊至指定位置后，再经过90度旋转连接固定。

2022年开工建设的花江峡谷大桥，因跨越被誉为“地球裂缝”的花江大峡谷而得名，是贵州省六枝至安龙高速公路的控制性工程。全长2890米的大桥为钢桁梁悬索桥，桥面距水面垂直高度625米，建成后将成为新的世界第一高桥。



贵州六安高速花江峡谷大桥钢桁梁吊装现场。刘青摄（人民视觉）

## 中国车企在泰国上市首款纯电皮卡

据新华社曼谷电（记者高博、陈倩慈）中国车企吉利控股集团旗下新能源电动皮卡品牌雷达近日在曼谷举办产品上市发布会。此次雷达电动皮卡在泰国上市，不仅是中国首款纯电皮卡进入泰国，同时也是泰国市场上的首款纯电皮卡。

泰国副总理兼数字经济与社会部长巴色在发布会上表示，中国车企在泰国推出首款纯电皮卡，丰富了泰国电动车型品类，将进一步推动泰国成为东盟地区电动汽车及零部件生产基地。

泰国是东南亚地区重要汽车生产国。近年来泰国政府大力推行汽车电动化，计划到2030年将该国电动汽车产量提升到汽车总产量的30%。皮卡在泰国占有率高，是泰国市场最普及的车型之一。根据泰国工业联合会发布的数据，今年前9个月，泰国国内汽车销量总计43.86万辆，其中皮卡销量为12.65万辆，占该国国内汽车销量的近三成。

自2023年7月开启全球化之旅以来，吉利雷达已成功开拓东南亚、中亚、东欧、中东和中美洲等多个海外市场。

## 宁夏首个“数智零碳”电力物资仓库建成投用



近日，宁夏回族自治区首个物资智能存取、节能设备应用及用能质量监测于一体的电力物资示范仓库在银川建成，实现数智零碳运营。据悉，该仓库通过仓库管理系统（WMS）与仓库立库及智能行车等系统集成，实现场内流转无人化、仓储作业智能化的智能作业模式，年发电总量预计将达50万千瓦时，每年减少碳排放137.29吨。

袁宏彦摄（人民视觉）