港珠澳大桥建设中的科技智慧

10月23日上午,被称为“现代世界新七大奇迹”之一的港珠澳大桥开通仪式在广东珠海举行。10月24日上午正式通车运营。大桥全长55公里,集桥、岛、隧于一体,创造了沉管隧道“最长、最大跨径、最大埋深、最大体量”的世界纪录,涵盖了当今世界岛隧桥多项尖端科技,是当今世界最具挑战性的工程之一。

港珠澳大桥从设计到建设前后历时14年,这背后有着什么样的科技支撑呢?

世界最长的海底沉管隧道

天上有飞机,海上有轮船,夹在中间的港珠澳大桥如何才不会影响邻近香港国际机场航线的飞行安全,又能满足伶仃洋航道30万吨轮船通航的需要呢?

港珠澳大桥设计团队提出了一个极富创造力的方案:建造东西两个人工岛,修建一段海底隧道,将隧道与大桥连接起来。这条世界最长的海底沉管隧道由33个巨型沉管组成,每节管道长180米,单节重约8万吨,且沉到海底40多米。

如此巨大的沉管要怎样才能沉降到海底实现对接?这就需要浮运安装。所谓浮运安装,即是用拖船将沉管拖运到桥位附近,再用绞锚方式进行横、纵移沉管至安装位置并进行沉放安装。为保证浮运安装成功完成,华南理工大学的赵成璧副教授团队采用物理模型试验和数值模拟方法对隧道沉管管段浮运、系泊与沉放等水上施工的关键问题进行研究。这一研究,还真发现问题。

“实验发现,在浅水海域,沉管在水流和波浪的作用下,纵向水流对管段的作用所引起的问题比较容易解决,但若遇横流的作用,管段一放进海里,就会产生横倾与下沉,并容易触碰到海底,极其不安全。”团队成员王冬姣副教授说。为了进一步验证该实验的可靠性,团队一遍遍进行实验与计算。最终为港珠澳大桥的浮运与沉放施工方案提供重要的技术支持。

在大桥主体安装中,钢箱梁桥面铺装代表桥梁建设“面子”工程,它提供车辆行驶的舒适安全。“我们摒弃了价格高昂的进口环氧沥青材料桥面铺装技术,选择了英国浇注式沥青铺装方案。”华南理工大学张肖宁教授说,“但该方案施工效率低,按照此方案,需要5年左右的时间才能完成铺装工程。”他们创新性地提出GMA施工方案,将施工效率提高10倍,半年内完成工程。并建成国内外首个能够满足力学相似的桥梁截断足尺模型。

打破了国内大桥“百年惯例”

除了是世界最长的大桥,港珠澳大桥的设计使用寿命长达120年,打破了国内大桥的“百年惯例”。

位于海泥环境中的钢管桩如何确保120年不损坏,这对港珠澳大桥设计团队提出极大的挑战。“针对特定的海泥环境,我们先后从涂层的抗渗透性、耐阴极剥离性等着手研制新型涂料,解决涂层的耐久性问题。”中国科学院金属研究所耐久性防护与工程化课题组负责人李京研究员告诉记者,他们研制出新一代高性能环氧涂层钢筋,并参与大桥基础的防腐涂装施工,保障了港珠澳大桥120年耐久性设计要求。

复杂的海床结构、恶劣的自然环境、超长的跨度距离,对桥梁钢是一个巨大考验。支撑起这座特大型桥梁的高性能绿色桥梁钢,大部分是基于东北大学王昭东教授团队研发的基于新一代控轧控冷工艺,由鞍钢集团生产。

该工艺使钢材组织细化35%以上,析出相尺寸减少25%以上,有效满足了桥梁钢高强度和高韧性的需求。通过优化的“成分设计+控制轧制+轧后超快冷却”组合拳,满足了桥梁的抗震和抗应变设计。

“搭积木”拼装出大桥

港珠澳大桥像“搭积木”一样拼装出来。先在工厂里把桥墩、桥面、钢箱梁、钢管桩等生产出来,等到伶仃洋风平浪静时再组装起来,首次实现“大型化、工厂化、标准化、装配化”建设理念。

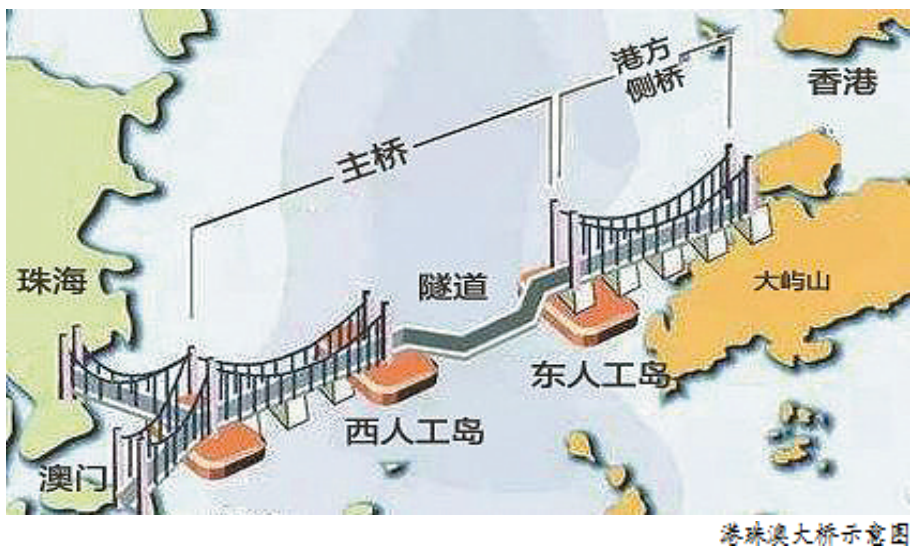
“大钢箱梁运到现场安装,安装误差必须控制在1公分以内,每个焊缝不能超过2公分,难度非常大。”伶仃洋上多台风,为了赶在台风来临前完成施工期,华南理工大学王荣辉教授团队在国内首次采用多工法、不对称、多塔斜拉桥的施工控制技术,完成世界首次3100吨巨型钢索塔整体施工。

今年强台风“山竹”登陆时,当全国人民都为港珠澳大桥捏一把汗时,它稳固屹立。大桥之所以能牢牢“站稳”,抗16级台风、8级地震,离不开科学的数据支撑。

“前期周年观测工作早在2007年就已开始。通过现场波浪观测和分析计算,从而实现潮汐潮流长期预报、台风等极端个例的工程分析等目的。”华南理工大学朱良生教授总共观测出包括“黑格尔”在内7个台风。“拿到观测数据非常困难,部分设备需要依靠千吨以上的海事船进行投放。并在台风季节开展为期3个月的同步对比观测。”

人工岛的防风设计,应该采用什么形状才更能扛强台风呢?团队通过对1949年以来所有台风进行反侦,统计出“50年一遇”“100年一遇”的台风强度,为桥面建设提供参数。

此外,高韧薄层沥青罩面技术、水下结构止水、交通工程系统集成等技术应用,使得港珠澳大桥成为名符其实的“超级工程”。



港珠澳大桥示意图

人工岛示意图

港珠澳大桥建造过程

港珠澳大桥,属于G94珠三角环线高速的一部分。港珠澳大桥的起点是香港大屿山,经大澳,跨越珠江口,最后分成Y字形,一端连接珠海,一端连接澳门。

1983年,港珠澳大桥计划的构想最初提出,从香港到珠海的公路交通将从三、四小时缩短到几十分钟。

2009年10月28日,国务院常务会议正式批准港珠澳大桥工程可行性研究报告。

2009年12月15日,港珠澳大桥在珠海举行开工仪式,四、五艘工程船只停泊在海面上填海建造珠澳人工岛,从而拉开港珠澳大桥建设的序幕。

2010年12月21日,港珠澳大桥岛隧工程设计施工总承包合同正式签署,这是整个大桥最核心、最关键的工程。此次签约标志着大桥主体工程建设正式启动。

2011年11月18日下午,香港特区立法会财务委员会批准了建造港珠澳大桥的拨款。

2011年12月7日,在最后一个直径22米、最高超过50米、重500多吨的巨型钢制圆筒被打入海底20米后,港珠澳大桥重点工程之一的人工岛主体结构工程完成了施工任务。

2012年1月,在西人工岛施工水域,“海趸1550”启用,为港珠澳大桥的现场施工提供了应急保障平台。

2013年4月21日,港珠澳大桥沉管预制、舾装等工作推进顺利,位于桂山牛头岛的预制厂顺利完成首个海底隧道标准管节,7月30日一航局二公司安装团队将这个庞然大物安装于18米深海。

2013年5月6日10时10分,世界最大的外海深埋沉管隧道——港珠澳大桥岛隧工程首节沉管顺利与西人工岛暗埋段对接,完成首个“海底之吻”壮举。

2013年11月18日,港珠澳大桥专责小组第六次会议在香港召开。

2017年4月13日,香港特区政府路政署公布,已经完成港珠澳大桥香港接线观景山隧道管道的所有混凝土箱涵构件,现正进行最后的工序,用千斤顶把预制构件推进位于机场快线下方的隧道最终位置;5月2日,港珠澳大桥沉管隧道最终接头在经过16个多小时的吊装沉放后,最终安装成功。至此,港珠澳大桥沉管隧道顺利合龙。

继2016年9月港珠澳大桥主体工程中的桥梁工程全线贯通后,2017年7月7日,港珠澳大桥海底隧道段的连接工作顺利完成,跨海大桥主体工程全面实现贯通。

2018年5月13日,珠海高速客轮有限公司开通了港珠澳大桥海上游。

2018年9月28日,港珠澳大桥开展首次三地联合试运行,测试口岸运作情况,为大桥全线开通作准备。

2018年10月24日上午9时正式通车。