



2017年5月2日,随着港珠澳大桥沉管隧道最终接头的安装成功,世界最大的跨海通道——港珠澳大桥主体工程全线贯通已指日可待。

作为世界首个集桥梁、人工岛、隧道于一体的跨海通道项目,它的建设伴随的是一个世界级技术难题的破解,一项项世界纪录的刷新。而这一切的背后,离不开这样一群人,是他们用自己的智慧静静守护,默默付出,将一个不可能变成了现实。

争分夺秒的7天

2011年5月的骄阳照耀着长兴岛,为繁忙的振华重工长兴基地增加了几分炙热。经过一路的颠簸与期待,港研院港珠澳大桥项目监测小组终于来到了长兴基地钢圆筒预制现场。

第一次面对这个重500多吨,高40余米,直径22米的大型空间薄壁钢结构,小组里就连见多识广的刘思国博士心中也满是震撼和茫然,更不要说他们还要给这个“庞然大物”做振沉的施工应力监测,这可是放眼国内外都没影的事。

“钢圆筒的振沉打设时间刚刚确定,现在距第一批钢圆筒出运只有7天,必须在这段时间内完成全部监测传感器的安装调试!”还没安顿好,突如其来的消息就把小组的同志们打了个措手不及。

当天夜里,刘思国一夜辗转反侧,脑子里反反复复整理着监测方案与现场的预制进度,一遍遍地抽丝剥茧之后,应变片、振弦计、数据线的安装与保护时间节点总算渐渐明晰。

为提高传感器的安装效率,监测小组决定采用点焊式应变片,这需要点焊机将应变片的金属片融焊到钢圆筒筒壁上。然而,4厘米x4厘米金属片,厚度仅0.2毫米,点焊时既要注意焊点与应变片基底的距离,不融化胶基底,又要注意点焊接时间,防止因不能形成熔核导致点焊失败,这绝对是项考验技巧和耐心的“精细活”。

整整一个上午,工作进度一直不理想。刘思国带着肖学超和李达只歪歪扭扭地焊了一列应变片上去。“贴成这样的应变片是不能测出准确数据的,我们得返工。”刘思国心里着急,“咱们三个轮班,今天的进度必须赶回来。”顾不得满身的汗水与周围不断升高的气温,在3天的时间里,40余米高的钢圆筒,大家每天上下至少六趟。就这样,60个应变片,8个振弦计,终于逐一安装到位了。

紧接着就是保护槽盖板焊接,以及对传感器和数据线的防水防潮处理,又是一轮不分昼夜的紧张忙碌后,时间已来到第6日傍晚。

“还有一天,就差数据线的整理了,我们胜利在望。”刘思国刚想松口气,却发现窗外乌云密布,随之而来的便是一天一夜的风雨交加。整整一天的焦急等待,直到天边泛起暮色,现场才又重新恢复了工作。

“今晚的工作是关键,要是出了问题,钢圆筒振沉前数据就无从采集,之前所有的工作都会白费。”刘思国一边火速赶往预制场,一边反复叮嘱着身旁的肖学超和李达。

经过7个小时的高空作业,当他们带着满身的雨水再次回到地面时,刘思国抬头仰望那依旧伫立在黑夜里的“钢铁巨人”,嘴角终于泛起了笑容。



水文观测 黄宣军 摄

超级工程背后的测流记

文/黄宣军

2011年5月15日,在距离珠海市区20多公里的伶仃洋上,人们的欢呼声和鞭炮声此起彼伏。这天,港珠澳大桥西人工岛第一个钢圆筒振沉顺利完成了。而为了这一刻,港研院水文测量小组的同志们付出了太多太多。

由于首个钢圆筒振沉迫在眉睫,作为中国交建唯一一家海岸工程相关的重点实验室,半个月以前,实验室接到命令要求尽快成立水文测量小组,为人工岛的钢圆筒振沉提供实测水文资料。

收拾了简单的行囊,韩涛博士便带着数名骨干工程师组成的现场水文测量小组奔赴了港珠澳大桥施工现场。

项目上的环境比大家想象中的要恶劣很多,他们不仅要适应恶劣的气温环境,还要克服晕船的影响,这对于长期在实验室内进行试验操作的员工来说可是一个巨大挑战。“船舶在海中摇摇晃晃的瞬间就会让人头昏脑胀,辨不清方向。”李长宇负责小组里的电焊操作,感受最深,“不过大家全憋了股劲儿,很快都投入到工作中去了。”

今天是个钢圆筒振沉的日子,小组的同志们起了个大早,赶着第一班交通船到达了现场。然而,由于测量船舶不固定,上船后他们才发现,这次使用的方泊甲板离水面有一段距离,测量仪器在波浪作用下,摆幅要比以往大很多,他们必须要在架子下方悬挂重物来保持稳定。

于是他们找来了数百斤重的混凝土块,可是如何能让这数百斤的重量按照预定位置投放到海底?“如果操作不当,不仅有可能数十万元的设备会掉进海里,最危险的是人也可能被拖进海中。”韩涛回忆说。

身旁的对讲机里不时传来现场准备即将完成的声音,另一边原本呼啸的波浪声,逐渐淹没在人身安全与完成工作的争吵之中。

“大伙别争了,我有办法!”韩涛阻止了争吵,“我们可以利用现场的不锈钢云梯作为测量架子,将重量和仪器分别绑在云梯上,这样一方面可以解决测量架子的摆幅问题,另一方面即使重物掉进海里对仪器也没损坏。”

一经试验,方法果然好用,很快改进后的测量架子制作完成,仪器顺利地投入了海底。可正当大家想要松口气的时候,新的问题又来了。

前几日的测试间隔为10分钟,但今天要求实时报送,当大家把时间间隔调整到1分钟时,发现电池的有效工作时间不到2小时了。

“如果关键时刻电池没电了怎么办?”韩涛心里有些着急。“没事,我还带了块备用电池,应该能多撑上一阵。”于金华是队里的老同志,凡事都想得周到,准备也充分。之后,为了保证电池容量,韩涛还把两组电池进行了改良,串联到一起,包装成一个电池包,这样大大增强了仪器的工作时间。

时间一分一秒地过去,身旁的对讲机再次响起,与此同时,风速仪也在驾驶楼顶上成功安装,看到电脑屏幕上弹出测试仪器传来的测量值时,大家才算彻底松了口气。

不远处,拖着七个直径圆筒的运输方驳缓缓而来。“请报告你们的水文测验数据。”韩涛从容地拿起对讲机:“平均风速5米每秒,最大风速8.2米每秒……各项指标正常。”不一会儿,重达数十吨的圆筒缓缓进入海水,越来越深……

“振沉成功!振沉成功!”对讲机传来欢快的呼声。测量小组大伙儿喜极而泣,紧紧相拥。



钢圆筒起吊 高潮摄

跨海通道的护航人

文/陈聪 刘思国 李斌 于健

20毫米的突破

凌晨0点56分,港珠澳大桥岛隧工程会议室里灯火通明,讨论的声音此起彼伏。时间已来到2012年3月,港珠澳大桥的施工已进行到西人工岛内部地基处理的海砂回填部分。

“只要一吹砂,沉降量就达到报警值便要停工,我们根本就不能动啊!”施工单位的负责人在会议室里急得焦头烂额。桌子另一头,岛隧工程的总工程师林鸣站起身,双手按在桌子上,十分着急地说:“今天人工岛地基沉降超过20毫米,到底还安不安全?”边说着,他的目光转向港研院承担西人工岛沉降监测的负责人高潮。

原来,按照现行的港口工程地基规范,基础沉降每天超过20毫米必须进行报警。然而,在离岸如此远的海上进行人工成岛,这可是国内首次,现行规范还不适用,几乎所有人都有疑问。“你们要想办法验证安全性,做出准确的预警值。”林鸣看着高潮,言语中满是急切和严肃。

“地基处理的沉降量预警,这可是关系到人工岛能否顺利成岛,以及正在施工的数百名施工人员安全的核心。”高潮心里清楚它的分量。多名技术骨干在第一时间迅速集结,“头脑风暴”般的数轮方案攻关过后,最终确定采用数学建模法,对人工岛沉降量进行系统的计算分析,得出最后结果。

听起来不算难,但要预警值更准确,那就全靠数学模型里的人工岛与“现实版”有几分一致了,这可是道繁琐而细致的活儿。“我先要根据人工岛设计报告和地质勘察报告计算出模型的规模以及地层分布情况,再找出影响土体沉降的各种参数,比如孔隙比、荷载值、固结系数、渗透系数等,将它们赋予到相应的土层……”侯晋芳博士负责此次数学建模的具体工作,每一个步骤她都如数家珍。

于是,根据现场施工组织设计,侯晋芳捋顺了施工流程,计算出不同施工阶段的施工荷载,然后按照特定时间点施加到特定部位。此外,她还分析了用分层总和法以及固结系数法计算沉降的各种参数,做到了几乎所有工况下参数的不漏选和错选。

经过几番紧张的数模计算之后,基础允许的每天最大沉降预警值被确定了,超出了原规范的三倍。“钢圆筒形成的人工岛封闭区域内,基础允许最大沉降可达70毫米每天,它是安全的、稳定的。”当高潮把最终的结果上报给工程指挥部时,西人工岛旁作业船只的轰鸣声终于划破了沉寂多时的伶仃洋。

30米下的平稳过渡

“小陈,项目上的工作马上交接,明天务必到港珠澳报到。”2012年5月的一天,还在天津的陈运涛突然接到高潮的电话。

此时,港珠澳大桥岛隧的沉管过渡段正在进行挤密砂桩加水下堆载预压的地基处理施工,为能准确预估地基工后沉降量,集团指挥部要求工区必须做好预压施工期的实时沉降数据采集,但水深超过30米的水下沉降观测,难度极大。

顾不得收拾行李,负责技术维护的陈运涛直接从工地出发了。同一时间,崔元才和其他几个人也接到了命令,要求他们立刻赶往港珠澳。

“目前,国内市场上定型的传感器均未考虑深水的防水密封问题,我们如何在定型产品的基础上解决密封问题是这次水下沉降监测的关键。”转天,小分队的第一次技术攻关会就在高潮的主持下召开了。“之前我们只做到过水深10米的,但后期传感器陆续损坏了不少,都是因为防水密封的问题,这次水深达到30米,仪器的成活率我心里更没底了。”陈运涛一脸担忧地说道。他可是仪器安装方面的行家,他都没底,大家心里更发虚了,“密封问题解决不了,什么传感器埋下去都白搭!”顿时讨论陷入了僵局。

“我记得咱们院曾经开发过一套防水配件,据说密封效果很好。”崔元才人称“万金油”,同事都说没有他不认识的东西。“对,对,是个圆形的金属块,我见过一次!”陈运

涛顿时来了灵感,“结构不复杂,要是改良一下用在这里……我先做一个看看!”

接下来的几天,陈运涛先是仔细研究这些传感器,看它们各部件之间的组装情况,设计出形状相符的防水配件。“可是,用什么密封材料呢?”陈运涛立刻和各密封胶生产厂家联系,询问各种密封胶的性能,筛选最适合的密封产品。

几轮严格的比选过后,他终于找到了一种耐高压、抗老化的密封材料,再结合各个传感器的工作原理,重点对薄弱部位进行密封处理,密封防水问题完美解决了。“看着一个个传感器穿上了咱们自制的防水‘外衣’,感觉自豪极了!”崔元才在一旁开心地笑着说,“剩下的放心交给我。”

崔元才负责的是紧接着的钻探作业,作业海域水深30米,也是仪器埋设的另一难点。平潮作业窗口开启,“开钻!”高潮一声令下,崔元才开始指挥钻机一节一节地下放连接杆。随着钻机的开动,长达30米的厚壁套管钻入海床中,到达稳定土层,测量钻探平台与海底和钻孔底部深度。“测

文/诸葛爱军

伴随着计算机的嗡嗡声,计算室内电脑屏幕上的一行行数字飞快地闪过。为配合公司深中通道钢圆筒项目的前期投标工作,仿真分析研究室的技术骨干们已经连续忙碌了数月。

“2月份到现在,我们已经完成了15种钢圆筒工况的计算分析。”徐宾宾博士边盯着电脑边说道,“虽然计算任务还是一个接着一个,但只要研究成果能对人工岛的建设有帮助,我们再辛苦也值!”

从深中通道的前期立项开始,关于钢圆筒变形稳定的讨论越来越多,传统的稳定分析理论中设置了各种各样的假定条件,虽然简化了计算方法,但同时也降低了结果的可靠性和精确性。“港研院务必在钢圆筒稳定计算方法上有所突破。”公司总工程师李一勇在一次技术讨论会上提出了要求。

第一时间,港研院迅速组织精干力量进行攻关,先后调研了国内外常用的6种计算方法,从边界条件、适用范围、可操作性、结果准确性等方面对各种计算方法进行评价,最终发现了采用有限元仿真分析,也就是利用电脑虚拟工程,建造出不同工况和施工阶段所对应的钢圆筒结构,然后施加荷载条件,再将最终的效果呈现出来的方法,这样就可以综合考虑施工全过程中的各种工况了。

然而,正当大家以为找到了一种合适的计算方法时,又一道难题横在眼前。以往的仿真分析中,通常将作用在钢圆筒上的外荷载简化为点荷载,不断增加荷载大小直至钢圆筒失稳破坏,以此来评价钢圆筒的稳定性。但对于钢圆筒岛壁结构,其外荷载形式非常复杂,难以使用上述方法。一连好几天,这些问题都一直萦绕在徐博士的脑中。

一天,还在上幼儿园的女儿放学回家兴奋地和他说道:“爸爸,我今天在幼儿园学太极拳了!我表演给你看看!”太极拳:外荷载和土层条件作为衡量钢圆筒稳定的两个关键因素不正好符合太极拳的此消彼长、对立统一的关系吗?顾不上看女儿的表演,徐博士又急忙赶回了单位。

既然增加外荷载这一主动作用可以评价安全性,那么降低土层条件这一被动作用应该也同样可以评价安全性。于是他立刻着手验证,首先根据静力加载法确定施工期波浪荷载作用下钢圆筒的安全系数,随后在保持其他边界条件不变的前提下逐步降低土体的抗剪强度指标,直至钢圆筒失稳,初始土体强度指标与失稳时强度指标之比即为钢圆筒安全系数。通过对比发现,两种方法得到的安全系数误差在2%以内,两者非常接近,有力地支撑了之前的想法,成功地完成了钢圆筒变形稳定计算任务。

截止目前,仿真分析研究室已经形成包括钢圆筒稳定变形、隧道开挖掘进影响、软土地基变形及加固、基坑降水开挖等一批成套的分析方法。



港珠澳大桥隧道监测小分队 吴国庆 摄

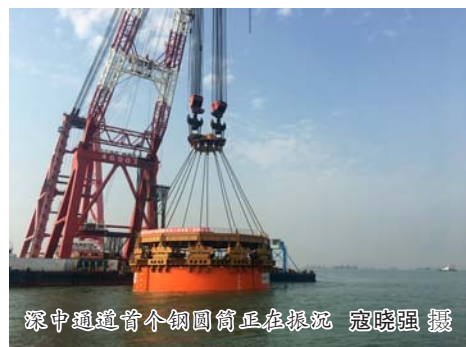
点已达到高出海床0.5米,可以下放仪器。”随后,最后一节装有沉降仪的连接杆开始下放。“潜水员就位。”“沉降仪已安装到沉降盘上,放置在钻空位置。”通过潜水电话,崔元才向潜水员们准确发出各项指令。

“仪器调试显示一切正常!”当高潮和陈运涛在指挥室里看到屏幕上不断跳动的数据符号时,一切又似乎显得是那么理所应当。

如今,港珠澳大桥的建设工作已陆续进入尾声,港研院的科研工作者们也即将奔赴下一个“战场”。但无论身处何方,他们心中总有一份牵挂、一份执着,那是他们共同的信念,他们要守护一项工程、一方天地的平安与未来。



虚拟技术助力人工岛



深中通道首个钢圆筒正在振沉 寇晓强 摄