



港珠澳大桥岛隧工程建设关键技术



中交联合体港珠澳大桥岛隧工程

项目总经理部

二〇一三年十一月

让世界更畅通

Contents

1. 概况

2. 沉管隧道施工工艺

3. 人工岛设计施工关键技术

4. 沉管隧道基础设计施工关键技术

5. 沉管隧道结构设计施工关键技术



1.1 港珠澳大桥项目

- 港珠澳大桥东连香港、西接珠海/澳门，是集桥、岛、隧为一体的跨海通道，全长35.6km；
- 大桥共分为珠海和澳门接线、珠澳口岸人工岛、大桥主体工程、香港连接线及香港口岸人工岛六部分；
- 岛隧工程是控制性工程。



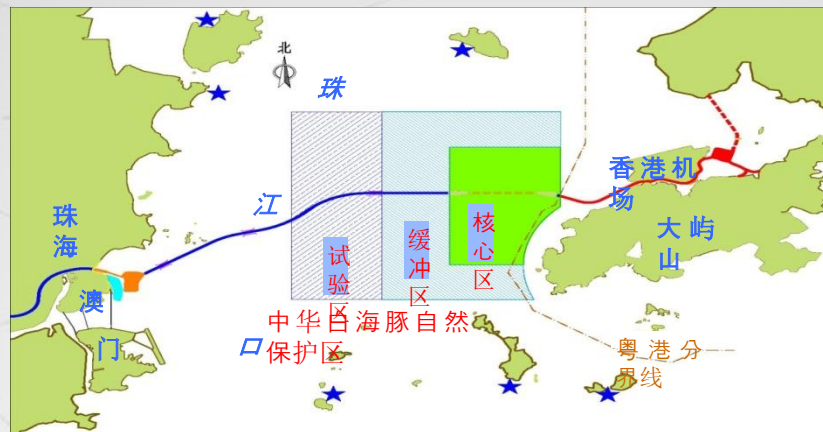
1.2 港珠澳大桥岛隧工程

- 岛隧工程总长7440.5m，包括5664m沉管隧道，2个面积10万m²离岸人工岛及长约700m桥梁。
- 港珠澳大桥沉管隧道是我国首条于外海建设的沉管隧道。是目前世界唯一深埋大回淤节段式沉管工程，建成后是世界上最长的公路沉管工程。



1.3 岛隧工程特点及难点

- 三地共建共管，社会关注度高
- 施工海域环保要求高
- 通航安全问题突出，项目HSE管理面临挑战
- 开敞海域孤岛施工面临挑战
- 工期紧且管理接口众多



1.3 岛隧工程特点及难点

- 隧道基础施工质量控制难度大
- ✓ 均为水下隐蔽工程，且需确保每米基础的施工质量
- 开敞海域深厚软土地基上快速成岛面临挑战
- ✓ 根据总工期要求人工岛需一年内快速成岛，且两年内完成软土地基处理及暗埋段施工，为首节管节对接提供条件
- 工程品质要求及执行标准高
- ✓ 本工程设计使用寿命为120年；
- ✓ 建设标准参照三地要求，就高不就低



Contents

1. 概况

2. 沉管隧道施工工艺

3. 人工岛设计施工关键技术

4. 沉管隧道基础设计施工关键技术

5. 沉管隧道结构设计施工关键技术



2.沉管隧道施工工艺

请观看沉管隧道视频演示



Contents

1. 概况

2. 沉管隧道施工工艺

3. 人工岛设计施工关键技术

4. 沉管隧道基础设计施工关键技术

5. 沉管隧道结构设计施工关键技术



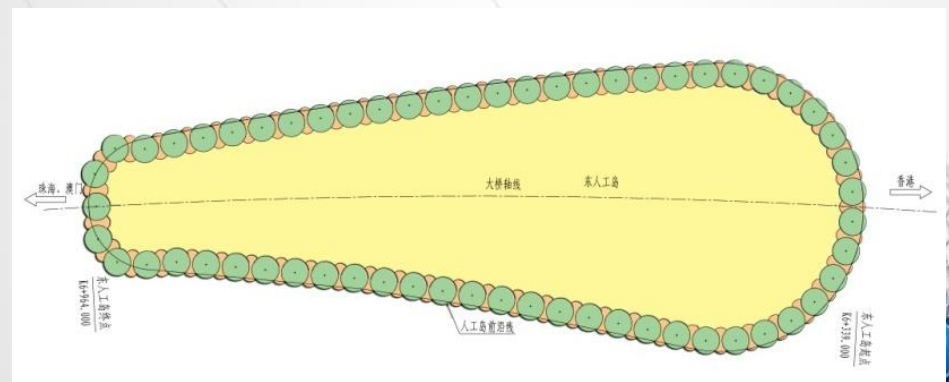
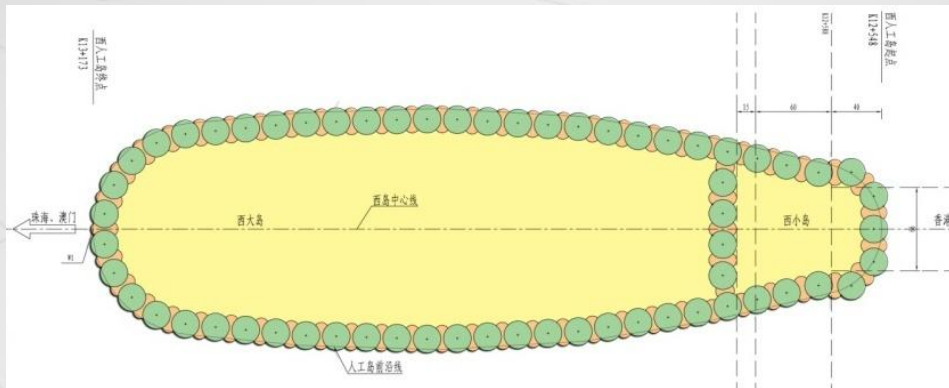
3.1 人工岛设计方案——外海快速成岛新技术

➤ 钢圆筒插入不透水粘土层形成止水型围护结构，回填砂形成陆域：

✓ 西人工岛61个大圆筒，东岛59个钢圆筒；

✓ 单个圆筒直径22.0m，高40.5m~50.5m，最大入土深度达29m。

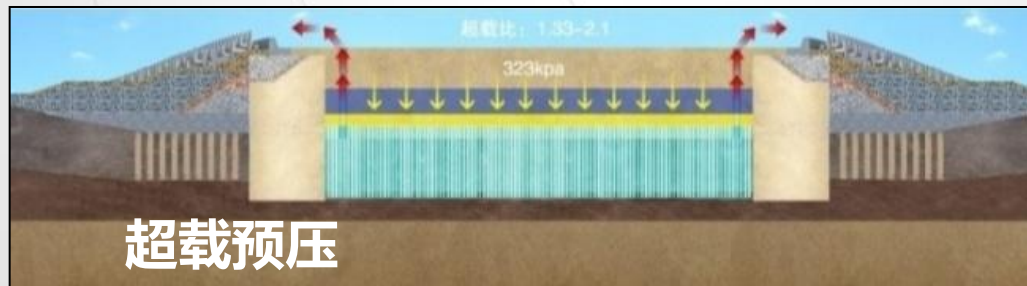
➤ 外侧岛壁结构采用局部开挖换填+挤密砂桩复合地基。



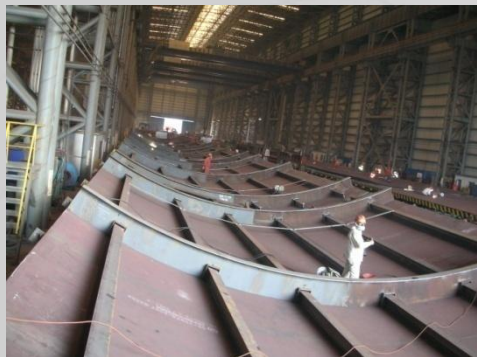
3.1 人工岛设计方案——外海快速成岛新技术

采用深插式钢圆筒形成整岛围护止水结构，实现了：

- 快速形成陆域，提供施工依托；
- 岛内降水、大超载比堆载预压；
- 岛内、岛外同时施工，缩短工期。



3.2 人工岛施工——钢圆筒制作运输及振沉



板单元制作



圆筒拼装



圆筒对接



圆筒装驳

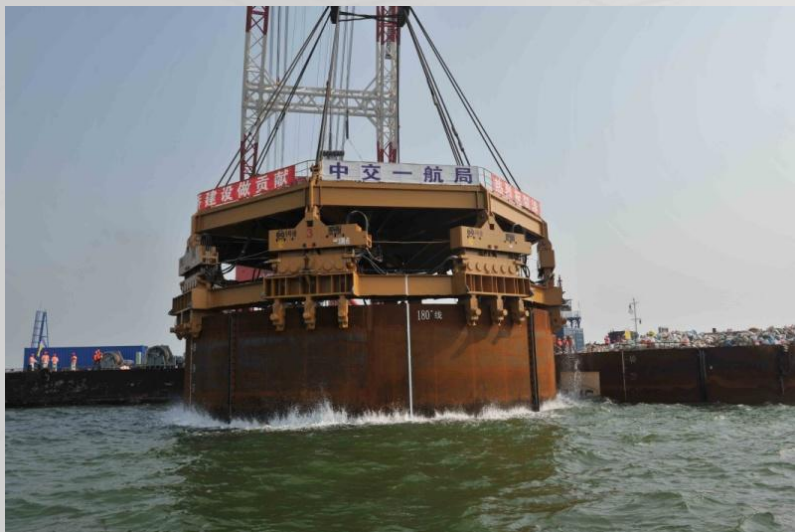


圆筒运输



圆筒振沉

3.2 人工岛施工——钢圆筒振沉



- 采用8台600Kw液压振动锤同步联动振沉系统进行振沉作业；
- 2011年5月15日开始西岛首个钢圆筒振沉，215天完成了东西人工岛120个钢圆筒振沉施工。



Contents

1. 概况

2. 沉管隧道施工工艺

3. 人工岛设计施工关键技术

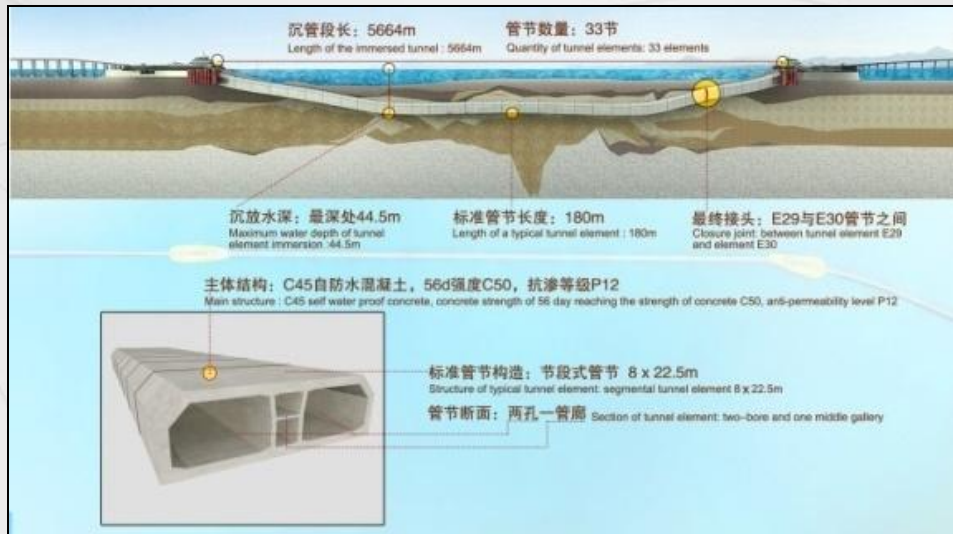
4. 沉管隧道基础设计施工关键技术

5. 沉管隧道结构设计施工关键技术



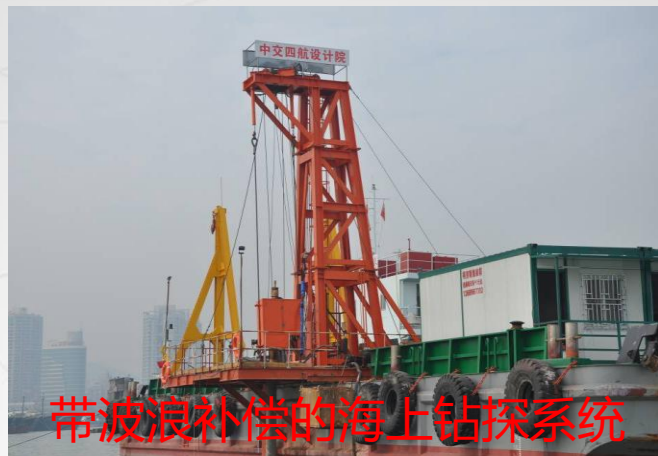
4.1 概述

- 本工程沉管隧道是我国首条于外海建设的沉管隧道;
- 沉管段总长5664m, 分33节, 标准节长180m;
- 沉管隧道的关键: 隧道基础设计与施工、深埋段隧道纵向及结构设计、沉管工厂化预制、沉管安装。



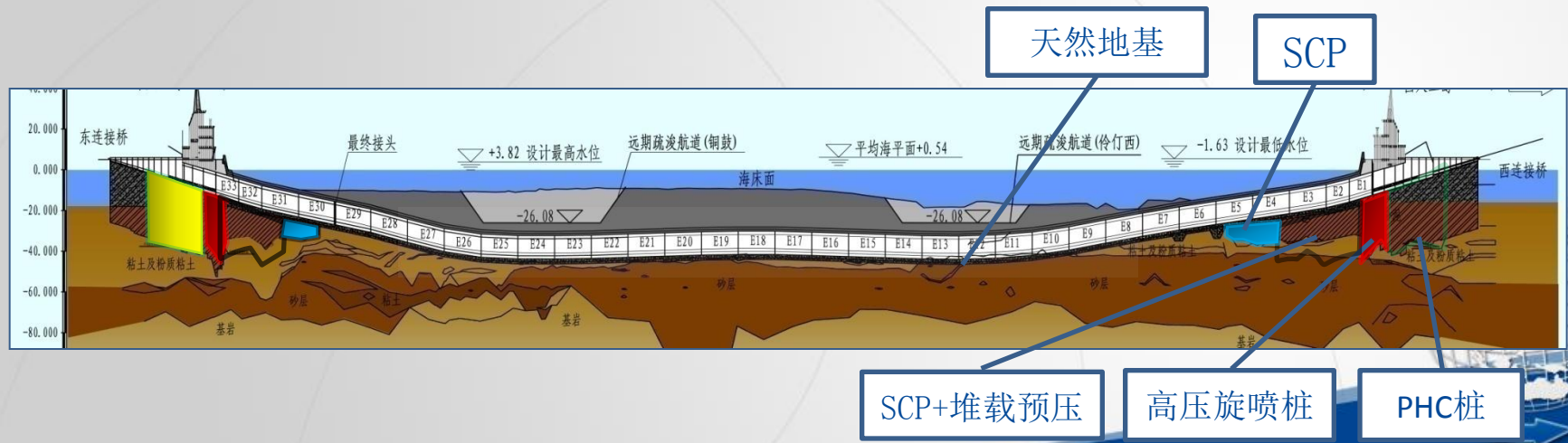
4.2 精细化勘察

- 按国际标准组织岛隧区地质勘察, 获得准确精细的地质资料 ;
- ✓ 执行国际标准、配备国际先进水平的勘察设备 ;
- ✓ 设计全过程介入勘察 , 进行动态管理 ;
- ✓ 获得了连续的地层地质参数、建立了三维地质模型及数据库 , 为设计提供了依据。



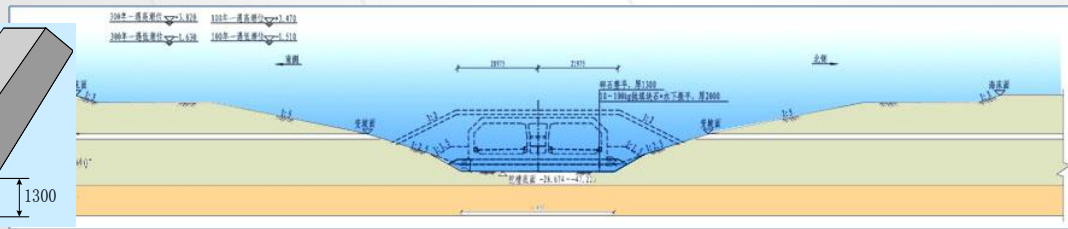
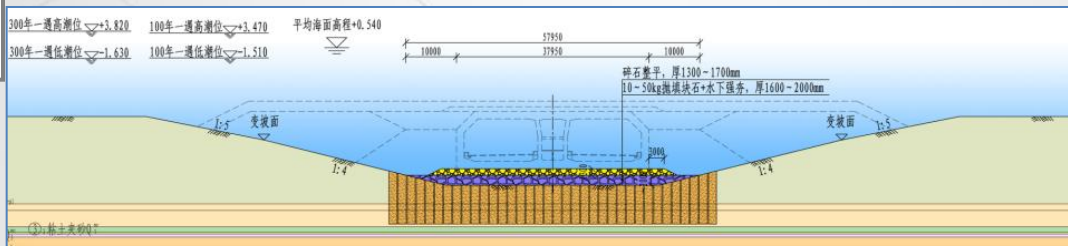
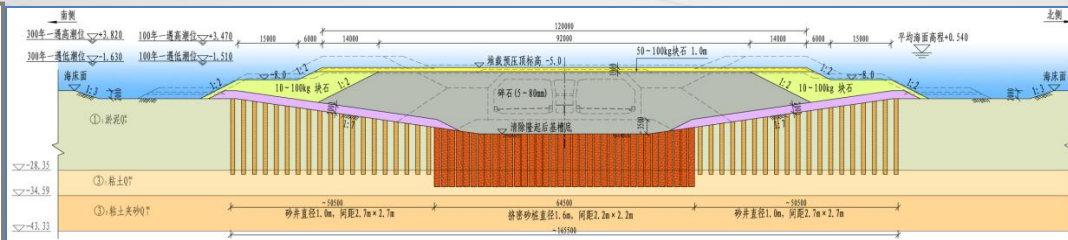
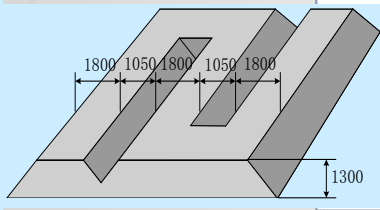
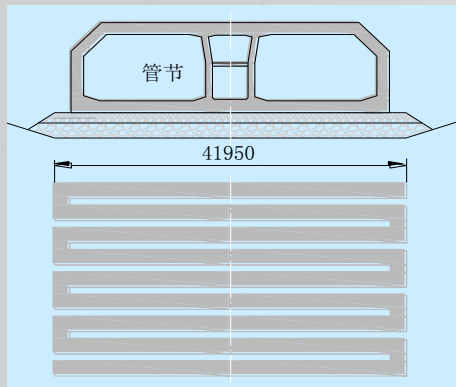
4.3 沉管隧道基础设计——地基设计

- 本工程沉管隧道坐落在深厚软基层上；
- 隧道基础设计采用复合地基，实现基础刚度平稳过渡；
- ✓ 对基础进行了不同程度的加固处理。



4.3 沉管隧道基础设计——垫层设计

- SCP+堆载预压+碎石垫层；
- 高置换率SCP+抛石夯平+碎石垫层；
- 天然地基+抛石夯平+碎石垫层。

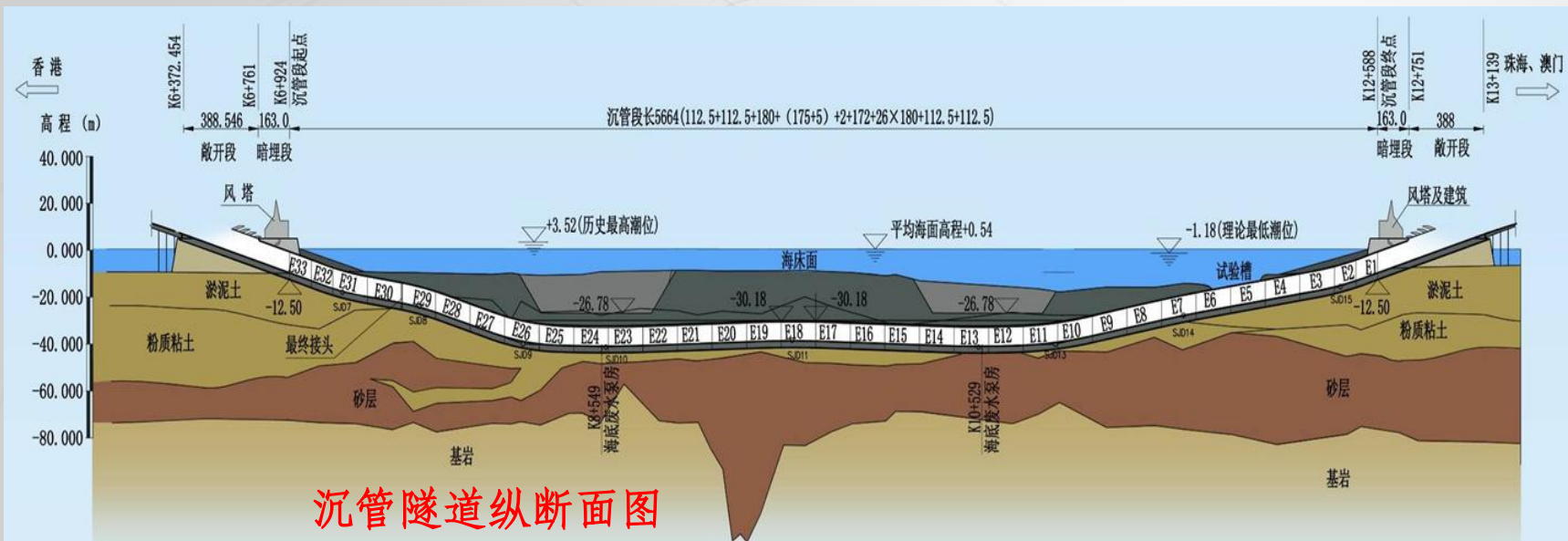


4.4 精细化基础施工

➤ 沉管基础施工质量是决定沉管隧道成败的关键。

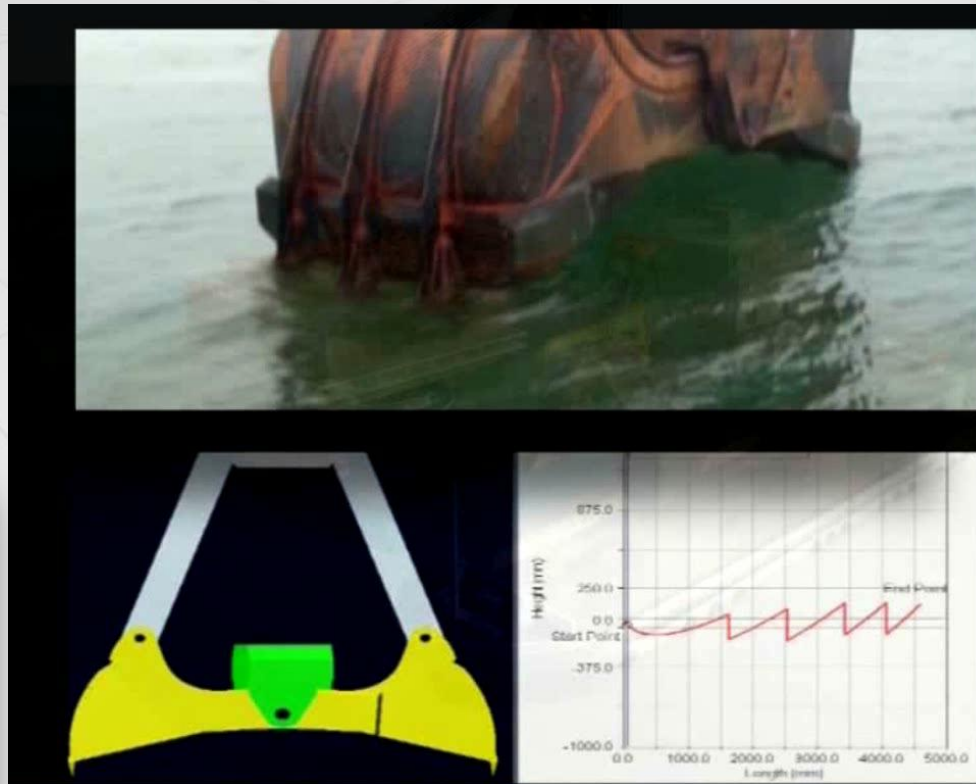
➤ 主要关键工序包括：

- ① 基槽粗挖、精挖；
- ② 基槽清淤；
- ③ 基础抛石夯平；
- ④ 碎石基床铺设。



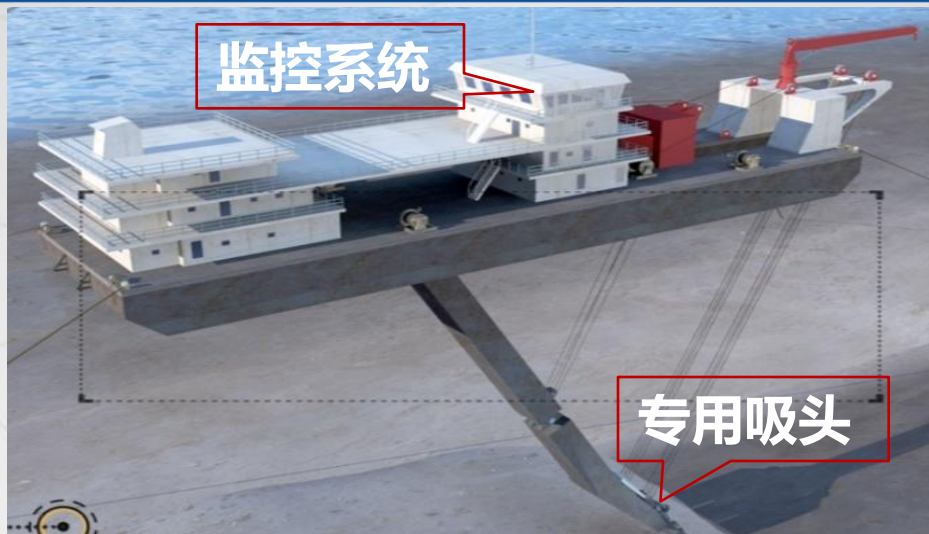
4.4.1 基槽精挖

- 开挖水深大（50m），开挖精度要求高（-60~+40cm）；
- 开发采用大型定深平挖抓斗和挖深精度控制系统。



4.4.2 基槽清淤

- 沉管隧道横卧珠江口，回淤量大；
- ✓ 造成基础沉降、影响沉管安装；
- 研制改造专用清淤船；
- ✓ 能够进行系统定位测量；
- ✓ 采用吸头定压，可满足不同类型基础面上（块石、碎石、粘土等）进行清淤；
- ✓ 为提高在块石基床上的清淤效率，对捷龙号吸头进行了二次改造。



捷龙号专用清淤船

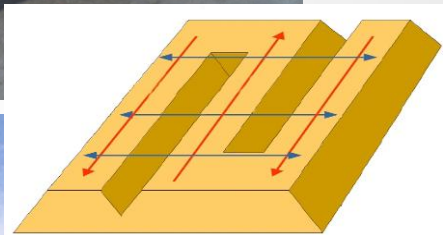
4.4.3 基础抛石夯平

- 抛石夯平作业水深大（46m），夯平精度高（+30~-30cm）；
- 夯平要顺应基础坡度；
- 水下抛石、夯平工作量大；
- 开发专用溜管式抛夯一体船：
 - ✓ 溜管定点定量抛石、定点夯平；
 - ✓ 采用液压振动锤水下夯平，大幅提高夯平效率及质量。



4.4.4 碎石垫层基床铺设

- 水深大（44m），整平精度要求高（允许偏差 $\pm 40\text{mm}$ ）；
- 最大纵坡坡度为 2.98%，单个管节整平工作量大（面积近 0.8万m^2 ）；
- 整平质量影响沉管标高、结构受力；
- ◆ 研制国内第一艘自升式抛石整平船；
- ◆ 集成液压抬升、皮带输送、抛石定位测控管理三大系统，基床铺设采用自动化控制。



Contents

1. 概况

2. 沉管隧道施工工艺

3. 人工岛设计施工关键技术

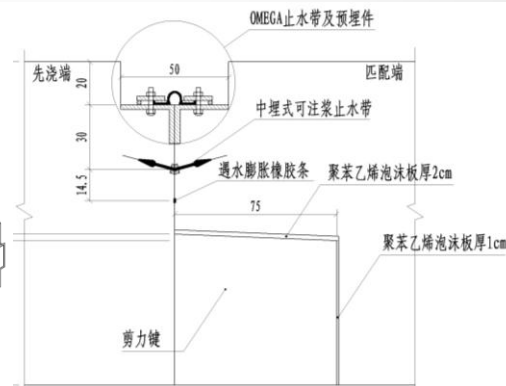
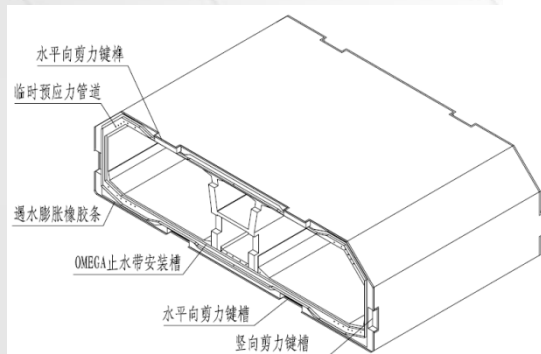
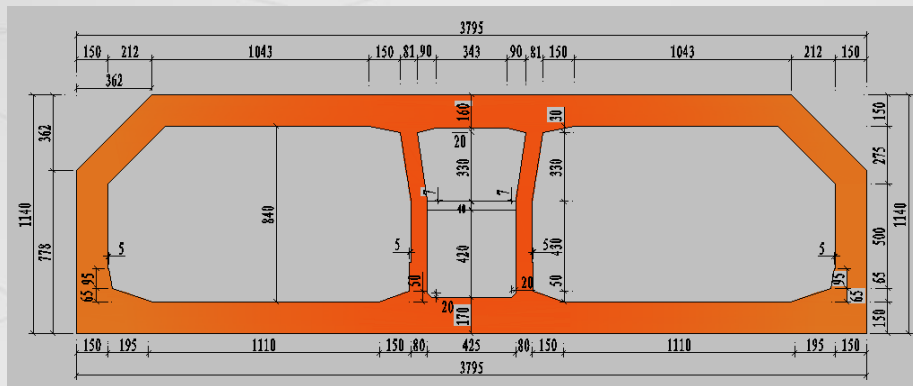
4. 沉管隧道基础设计施工关键技术

5. 沉管隧道结构设计施工关键技术



5.1 沉管隧道结构设计

- 标准节长180m，宽37.95m，高11.4m，单节重约7.8万吨。
- 横截面设计采用Y型中隔墙；
- 管节采用混凝土自防水，设计使用寿命120年；
- 节段接头采用四道防水（Ω止水带、中埋止水带、遇水膨胀胶条和聚脲喷涂）。



5.1 沉管隧道结构设计——深埋大回淤节段式管节结构设计

- 深埋大回淤条件下的节段式沉管，世界范围内无案例。
- 首次提出了半刚性管节结构体系：
 - ✓ 预应力提供的节段接头摩擦力与接头剪力键协同作用，提高抗剪安全度；
 - ✓ 节段接头处无粘结预应力可有效控制节段接头张开变形，使接头能在较小张开情况下适应地基不均匀性，同时降低接头渗漏水风险。



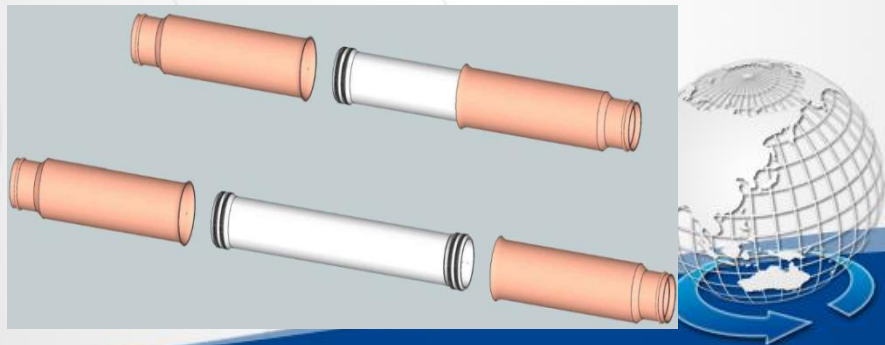
柔性(节段式)管节



刚性(整体式)管节



半刚性(适度永久预应力)管节



5.2 沉管管节预制

- 标准管节长180米，由8个22.5m节段组成；
- 单个节段混凝土方量约3400m³，采用全断面一次性连续浇筑；
- 为提高预制质量，提高工效，沉管预制首次采用工厂法制。



5.2.1 “现代化”沉管预制厂

- 沉管预制厂位于桂山岛，距离隧道轴线约7海里。
- 两条流水线同时生产，每两个多月生产两个管节。
- 预制厂包括：
 - ✓管节生产区
 - ✓浅坞区
 - ✓深坞区



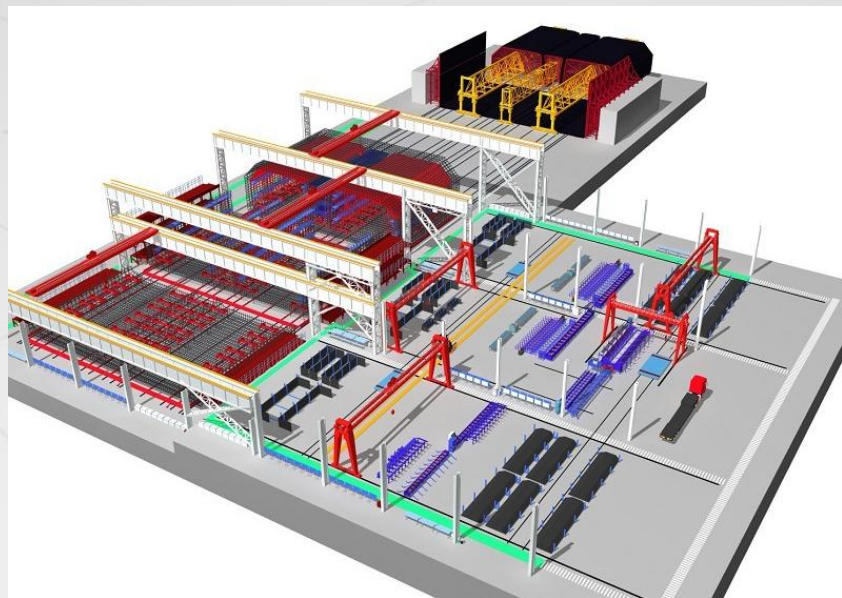
5.2.2 预制厂生产线配置

- 流水化钢筋生产加工线；
- 一次性全断面浇筑液压模板
- 混凝土搅拌及供应系统；
- 混凝土温控及养护系统；
- 管节顶推系统。



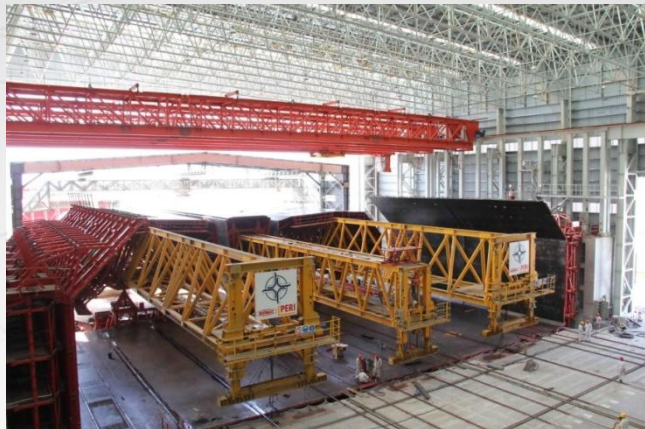
5.2.3 流水化钢筋施工生产线

钢筋加工、绑扎量大，共设置2条生产线，每条生产线设置3个钢筋加工、绑扎区，形成流水作业。



5.2.4 沉管管节全断面一次连续浇筑成型工艺

- 全断面液压模板系统
- 混凝土搅拌供应及布料系统
- ✓ 一次浇注混凝土约 3415m^3 ，平均浇筑 $150\text{m}^3/\text{h}$ ；
- ✓ 液压布料杆全断面布料。



5.2.5 沉管混凝土控裂技术

- 设置制冰系统，采用冰水混合物进行混凝土拌制；
- 原材料到混凝土拌制、运输、浇筑、养护全过程采取温控措施；
- 控制沉管混凝土入模温度， $\leq 25^{\circ}\text{C}$ （高温季节 28°C ）；
- 采用养护棚喷淋养护；
- 全过程进行温度监控；
- 未发现裂纹。



5.2.6 管节顶推——多点主动支撑分散顶推管节新工艺

- 每个管节重约7.8万吨，管段下方设置四条顶推滑动轨道；
- 沉管下部布置192台主动支撑千斤顶，采用“三点”支撑；
- 单个管节设128台顶推千斤顶，多点分散同步顶推；
- 在管节前后设置两套导向装置。



5.3 沉管浮运及安装

- 国内首条外海沉管隧道，工程经验少；
- 位于珠江口航道运输最繁忙水域；
- 外海施工，水流、波浪条件复杂；
- 水深、潜水作业难度大；
- 沉管对接安装精度要求高（轴线偏差 $\pm 5\text{cm}$ ）。



5.3.1 沉管安装流程简介



坞内横移



二次舾装



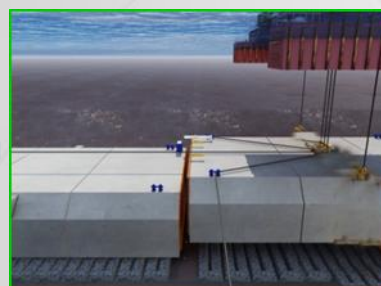
出坞



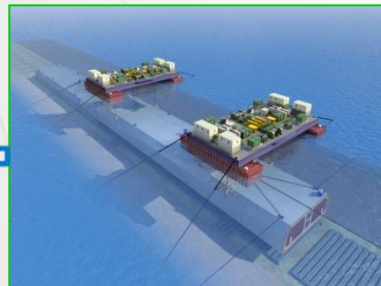
浮运



后续作业



对接



下沉



系泊



5.3.2 精细化作业窗口管理系统

- 窗口预报是沉管安装决策最重要的依据；
- 预报难度：“小区域、长时段、高精度、多要素”；
- 建立了精细化作业窗口管理系统。



5.3.2 精细化作业窗口管理系统

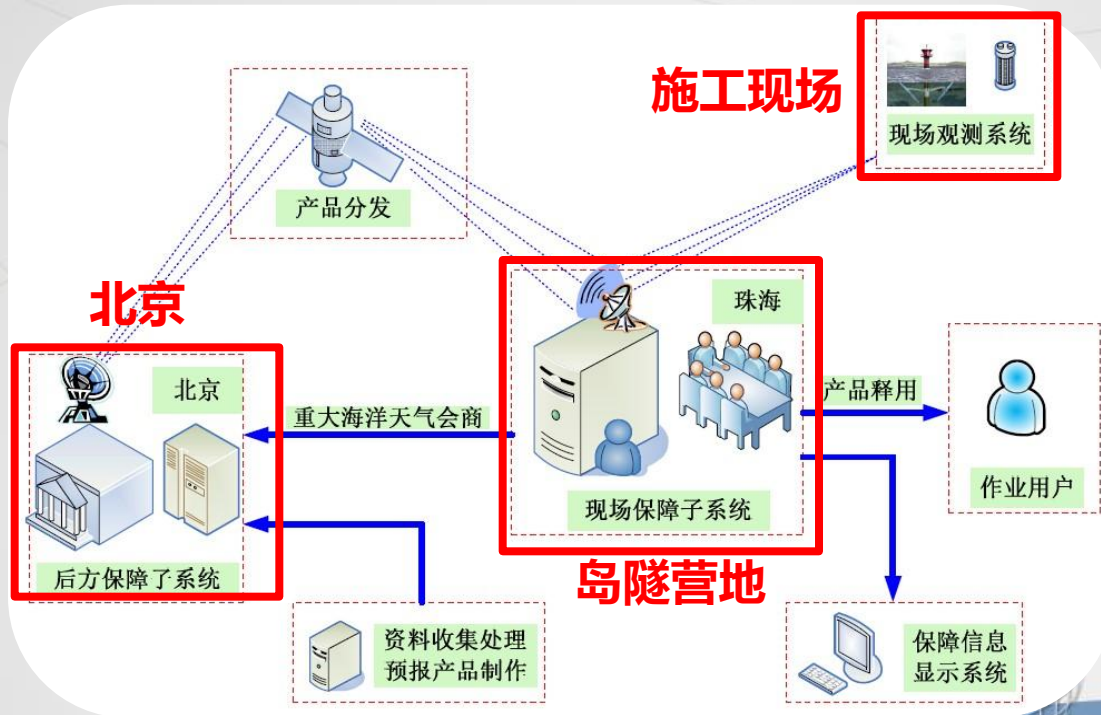
三个子系统：

北京：预报中心服务器

施工现场：水文气象观测

岛隧营地：现场预报

在持续一年的观测、比对基础上，继续开展模型的检验、修正工作，不断提高预报精度



5.3.3 沉管浮运——外海受限水域大体量沉管浮运技术

- 最大的混凝土构件之一，标准管节重达7.8万t，排水量约8万m³；
- 浮运线路位于目前我国航运最繁忙的水域；
- 沉管体量大、吃水深，在宽240m的航路内拖航控制难度大；
- 基槽横拖时最大迎流面积达2100m²，拖航阻力达到300t；
- 需多拖轮协同配合作业。



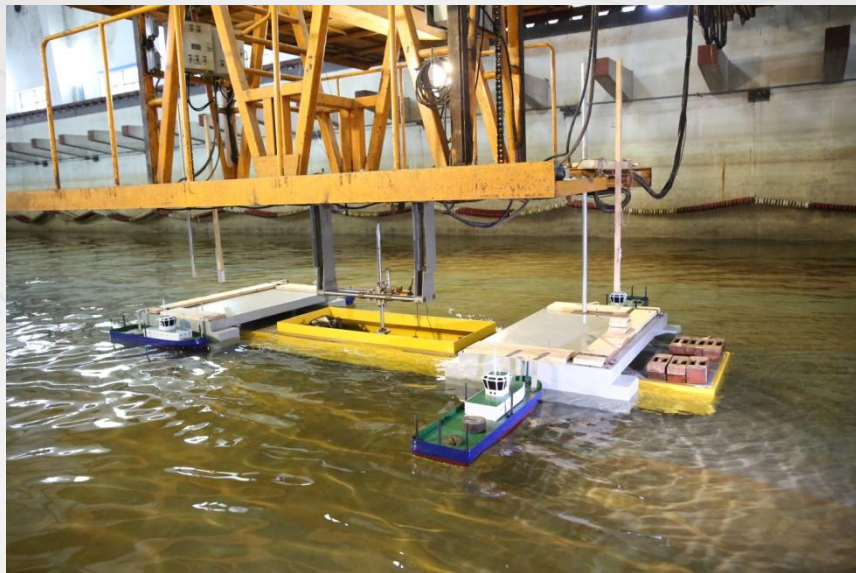
5.3.3 沉管浮运——外海受限水域大体量沉管浮运技术

- 开展了浮运阻力物模试验、数模计算；
- 进行了管节浮运拖带操船模拟试验；
- 在施工海域开展了四次浮运演练。

物模、数模试验
分析拖航阻力

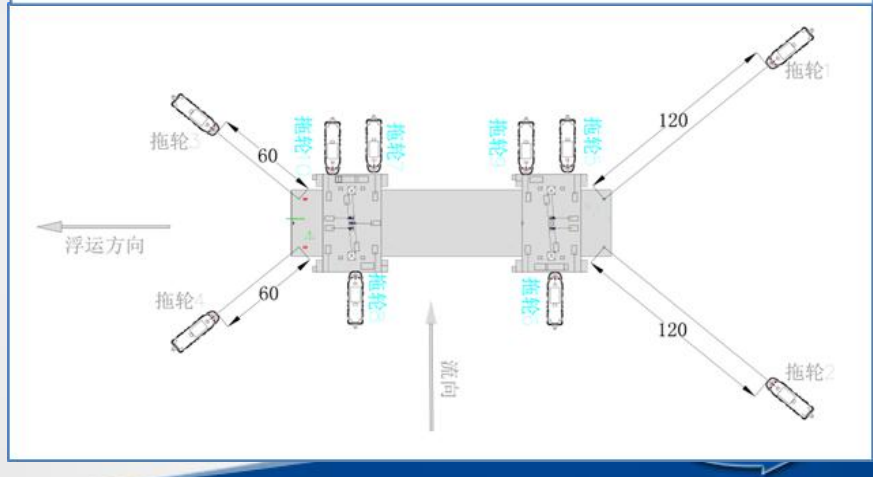
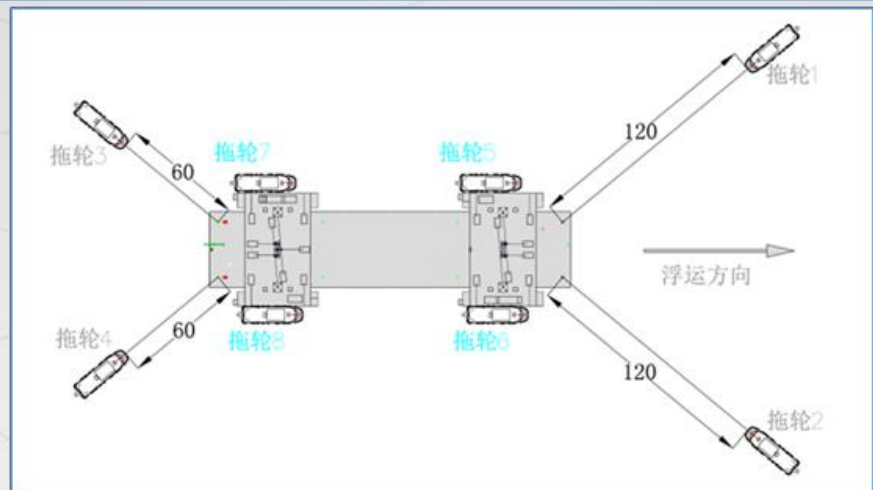
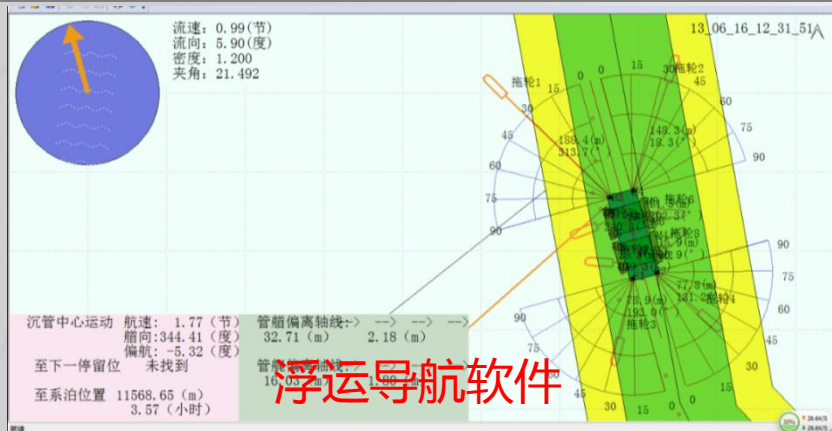


操船模拟试验
分析操控性



5.3.3 沉管浮运——外海受限水域大体量沉管浮运技术

- 采用10艘（总马力数超过5万Hp）大马力全回转拖轮协同作业；
- 开发了专用导航软件协调各拖轮；
- 实施海上临时交通管制和护航。

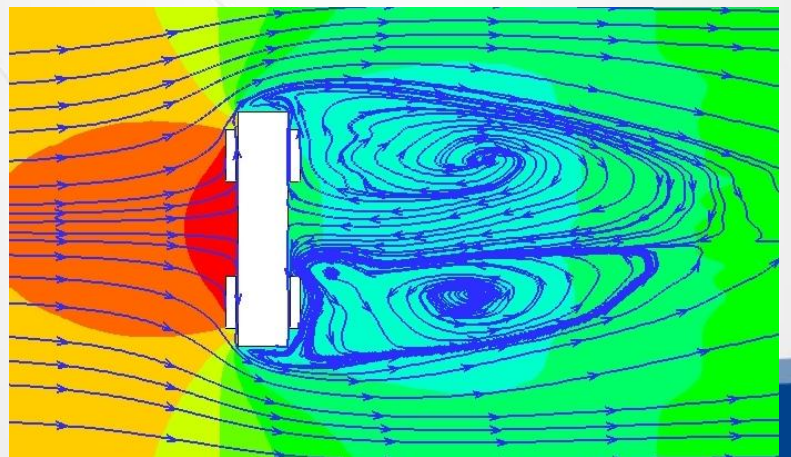
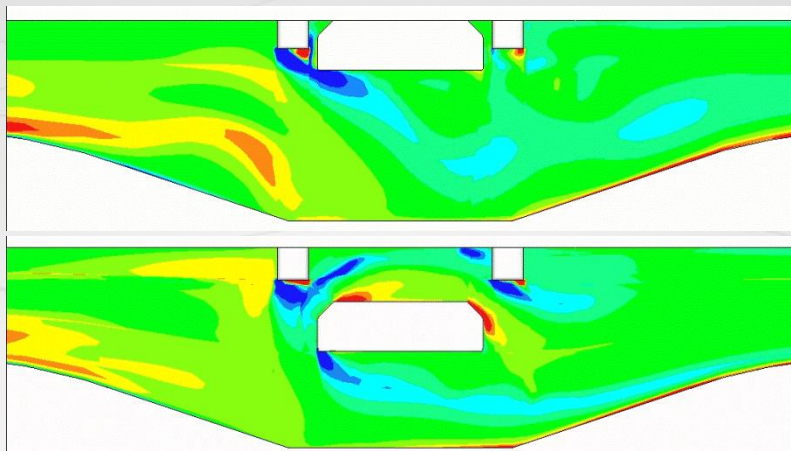


5.3.4 外海沉管系泊

- 管节断面巨大，受波浪、水流力大；
- 流态多变，对锚泊系统威胁大；
- 沉放驳与沉管组成多浮体柔性受力体系，动力响应规律复杂。

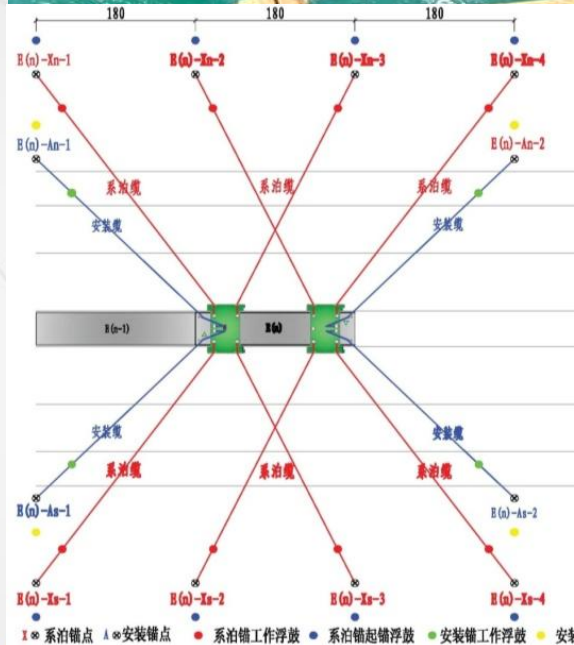
为此进行了物模、数模试验：

- 系泊系统受力（缆力、吊点力）
- 管节系泊、沉放过程中的动力响应
- 锚抓力试验



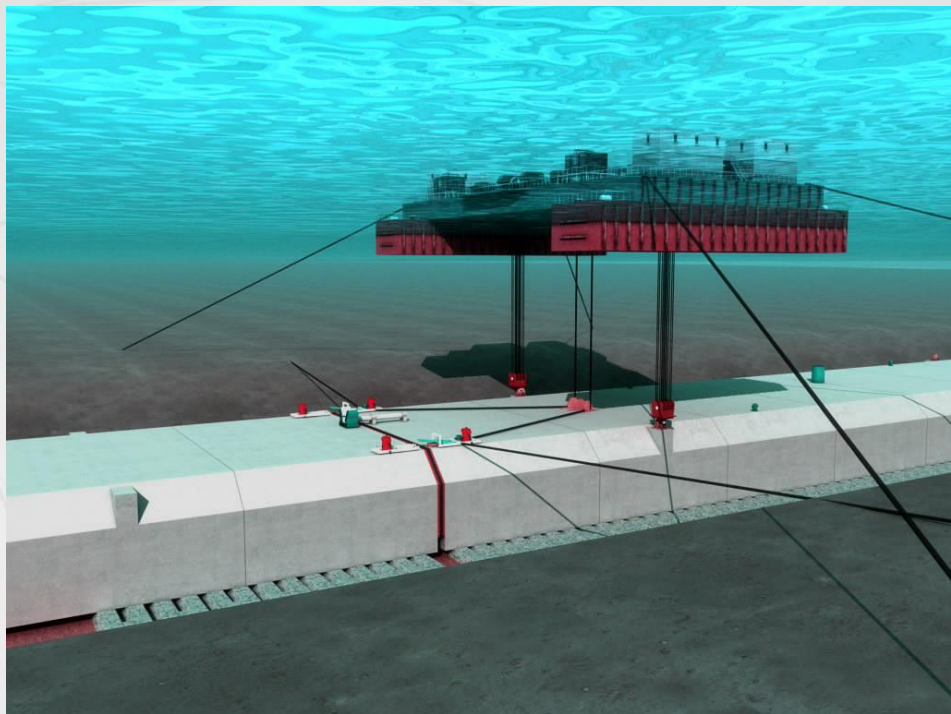
5.3.4 外海沉管系泊

- 采用HY-17型大抓力锚
- 双体船沉放驳锚泊系统
- 设置了系泊锚缆及沉放锚缆系统



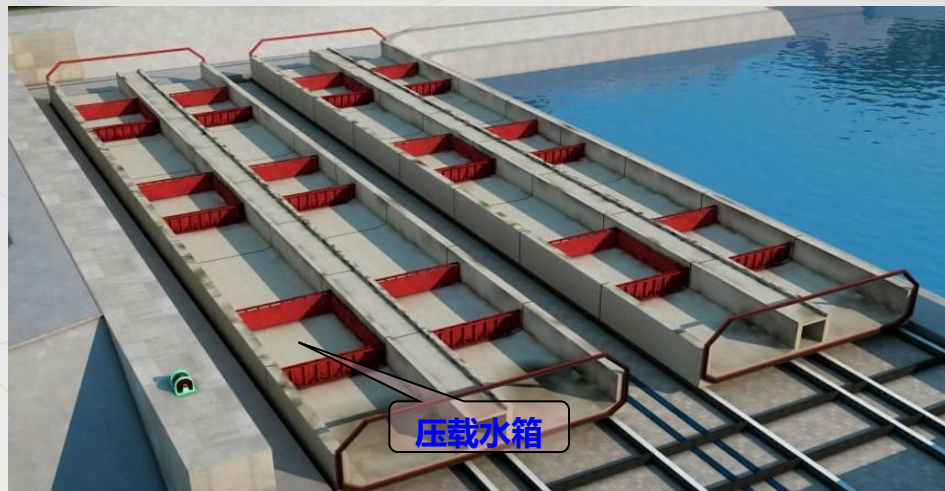
5.3.5 沉管沉放——外海沉管深水无人沉放系统

- 采用扛吊法进行沉管安装；
- 通过遥控技术，在安装船控制室实现管节姿态调整、轴线控制和精确对接；
- 系统包括：锚泊定位系统、压载控制系统、数控拉合系统、深水测控系统、管内精调系统。



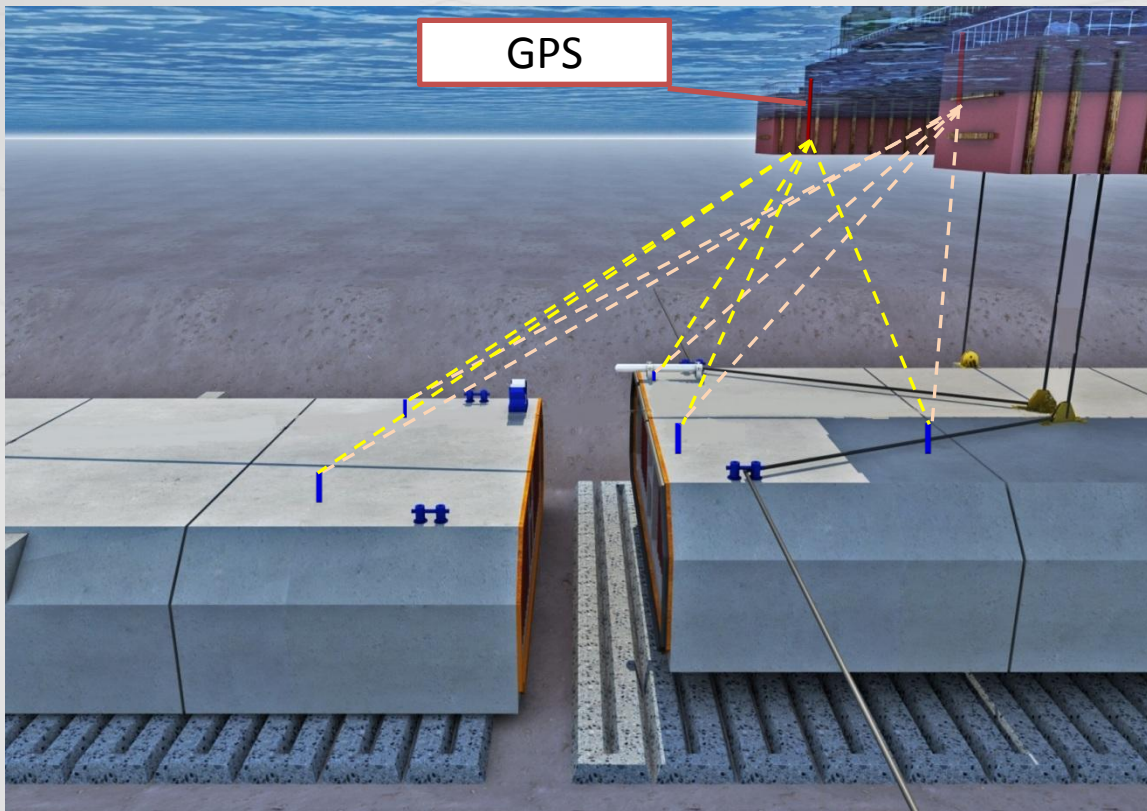
■ 遥控遥测压载系统

➤ 在控制室内遥控，实现管节压载水箱注水、排水，调节管节在水中的负浮力和姿态。



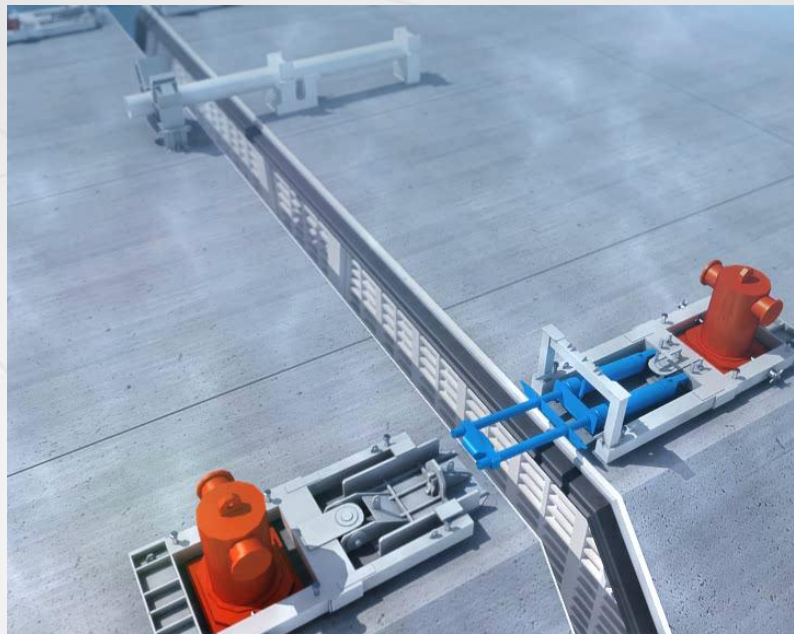
■ 深水测控系统

- 管艏采用GPS+声纳测控系统，可实现沉管水下相对定位，无水下线缆、安装便捷；
- 管艉采用测量塔控制管节尾端轴线。



■ 数控拉合系统

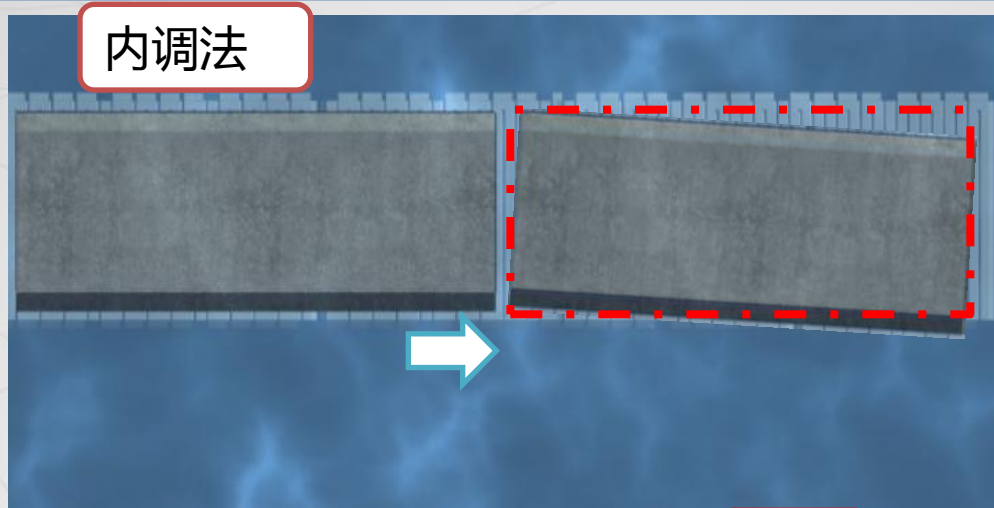
- 沉管对接后，采用拉合系统使GINA止水带初步压缩。
- 拉合系统采用反勾结构，通过遥控实现千斤顶拉合。



■ 管内精调系统

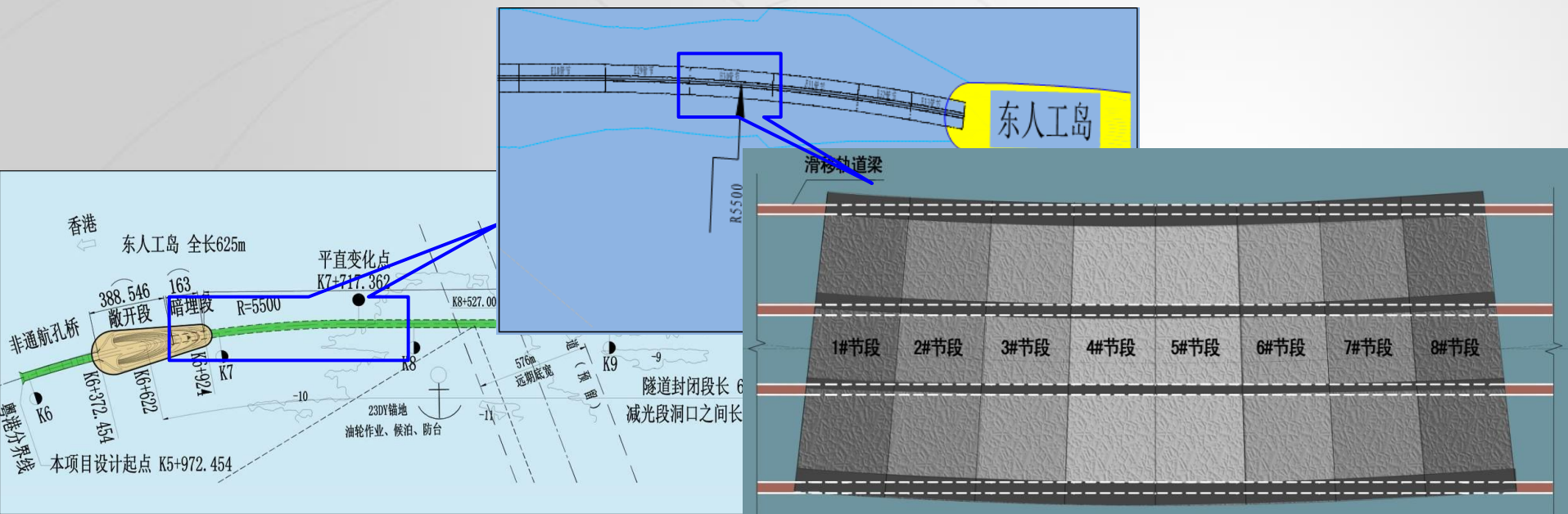
由于隧道长达5.6km，沉管水力压接完成后，如出现轴线偏差超出设计要求，则需进行线形调整。

- 管节与基床摩阻力大；
- 水压高，GINA反力大；
- 设置12台顶推千斤顶和10台限位千斤顶。



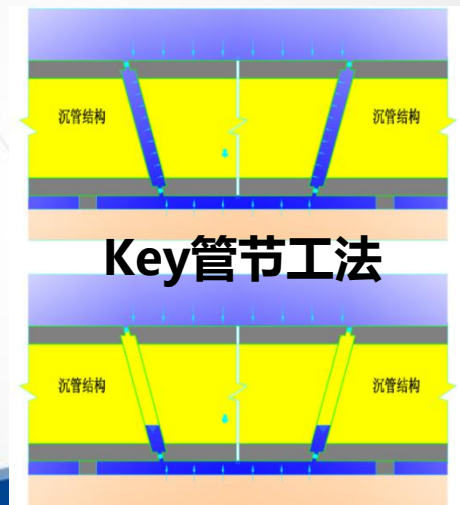
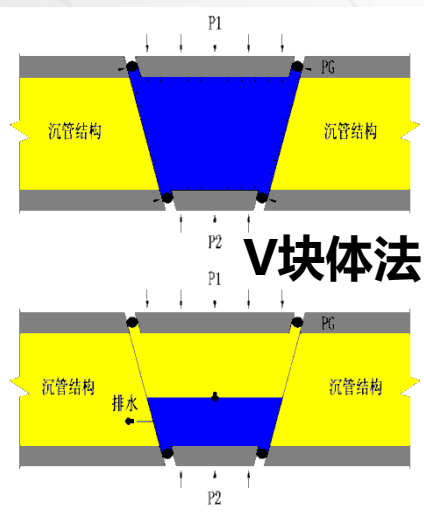
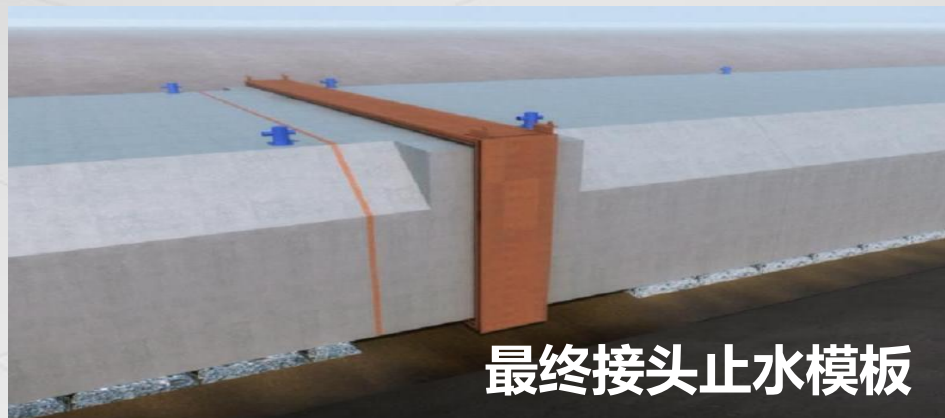
5.4 曲线段管节施工

E28 ~ E33管节位于半径5500m的曲线上，同时纵向有纵坡，管节工厂化预制、顶推、碎石基床铺设、沉管沉放对接控制等许多新问题正在研究。



5.5 沉管隧道水下最终接头

- 接头处水深30m，如采用传统工艺，要求相邻管节相对偏差不大于35mm，水下作业难度大，需工期3~5个月；
- 正对“端部块体法、V型块体法、key管节工法”进行研究，确定快速、安全稳妥的最终接头方案。



■ 结束语：

港珠澳大桥岛隧工程是我国首个在外海建设的深埋沉管隧道，规模庞大，技术难度高。开工两年来受到社会各界及行业内的高度关注，我们通过不懈努力，解决了众多工程中遇到的问题，克服了重重困难，取得了一定进展，目前已安装至E6管节，后续工作仍面临巨大的挑战 and 风险，我们将一如既往以如履薄冰的工作态度，精心组织、努力工作，请各位专家和领导继续给予大力支持和帮助指导。





谢谢

THANKS



让世界更畅通