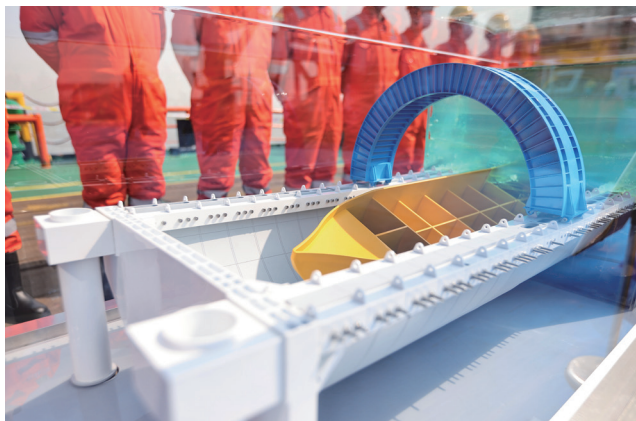




穿钢缆。这种方式容易发生塌方，对潜水员生命安全和古船结构安全造成威胁。长江口水质也非常特殊，属于浑水，且泥沙回淤量极大。即使潜水员完成水下打洞，在短时间内泥沙又会迅速回填，令水下打捞成为不可能完成的任务。由于“长江口二号”古船处于长江入海口的特殊水文环境，水流急、河床淤积快，且相邻航道运输繁忙，也无法采用围堰开挖或底部穿越钢索形成的沉箱方式。

这些客观因素，造成了对“长江口二号”整体打捞迁移的难度，比2007年整体打捞“南海一号”的难度更大。但只有整体打捞才能确保实现文物部门提出的古船安全性、完整性和原生性的要求。

如何确保古船安全、完整地打捞出水，而又不扰动周围泥沙给古船带去二次损伤，对文物保护和打捞人员来说是个考验。面对这一世界性难题，作为曾经圆满完成“桑吉”轮救援及水下抽油、南太平洋“鸚鵡号”、韩国“世越号”等世界级打捞工程的上海打捞局，再度发挥了迎难而上科技创新的精神，组织上海隧道公司和上海电气核电集团等科研团队开展联合攻关，最终拿

出了世界首创的打捞技术方案——“弧形梁非接触式文物整体迁移技术”。可以说，这套科技含量高、对文物保护程度最大的打捞方案，是在特殊环境条件倒逼之下，为“长江口二号”古船量身定制的。

打捞装置精度达到毫米级

“弧形梁非接触式文物整体迁移技术”，被称为“世界第五代打捞技术”。这套为“长江口二号”古船量身定制的打捞方案，将在沉船下的河床里打入22根全钢结构的弧形梁，形成一个长51米、宽19米、高9米的弧形沉箱，每根弧形梁及端板与古船体的距离都在2米以上，古船和包裹着它的泥沙、海水将使沉箱的总重量达到近1万吨。

该技术特别结合了核电弧形梁加工工艺、隧道盾构掘进工艺、沉管隧道对接工艺，并运用液压同步提升技术、综合监控系统等目前全球最为先进的高新技术。同时，这些技术也是首次应用于文物保护和考古领域。

据了解，22根专门制造的弧形梁，顶部是威力强劲的隧道盾构掘

左上图：“创立”号远洋救助打捞船模型。

右上图：长江口二号古船整体迁移项目弧形梁系统。摄影/王凯

进装置，尾部搭载具备400吨巨大推力的隧道盾构推进装置，这个装置可以从古沉船底部快速掘进，就像挖掘地铁隧道一样，击穿长江口海底厚厚的泥沙甚至岩石杂物。

“用造隧道的技术来打捞出水下沉船，这在全世界水下考古中还是第一次。依赖我国的高端制造能力，这样的高科技方案可以最大限度地保护水下文化遗产的原生性和完整性，保障文物安全。”褚晓波说。

打捞装置的弧形梁的直径为19米，一根弧形梁重达70吨，发射架重达150吨，对加工的技术精度要求极高。按照设计要求，海上作业时，发射架要将弧形梁从它内部顶进河床。这对发射架和弧形梁的同心度要求极高，精度要求必须达到0.5毫米，如果达不到精度要求，弧形梁就会在发射架内被“卡死”，无法顺利顶进作业。

上海电气核电集团2021年9月正式接到了建造弧形梁、发射架和端板等打捞装置主体结构的任务，因为如此高精度的构件，唯有核电集团高端装备工程事业部的车铣设备可以加工。

上海电气核电集团曾多次为上海隧道制造超大直径的盾构主要