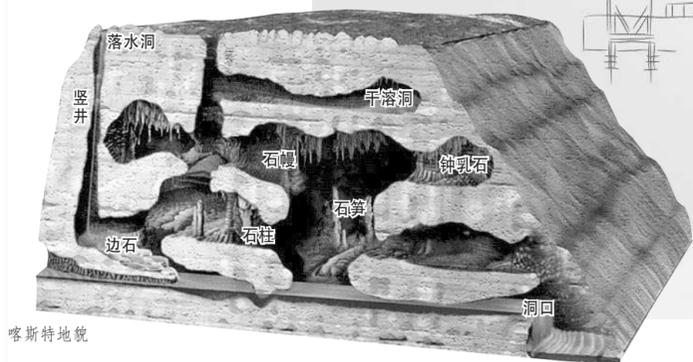


# “地下石林”上架桥，绝对是门技术活



喀斯特地貌

通讯员 李昌伦 本报记者 赵汉斌

要问逢山开路、遇水架桥的桥梁建设者们，施工中他们最头痛的是什么，最具共性的答案一定是遇到复杂地质情况。

黄路，是云南昆明空港经济区联系经济开发区及呈贡新城的重要通道，也是昆明东部

产业带的主要通道。但在昆明的一项重点工程——呈黄公路项目施工中，中铁八局一公司的工程师们就遭遇了“地下石林”。在这里，地下孤石与笋石错综交叉、险象环生。

但历经两年风雨，就在近日，从这个重点工程施工现场传来消息，建设者们克服了罕见的困难，道路预计今年12月底达到通车条件。

号通过接收天线输入到接收机，放大后由示波器显示出来。根据示波器有无反射讯号，可以判断有无被测目标；根据反射讯号到达滞后时间及目标物体平均反射波速，可以大致计算出探测目标的距离。利用地质雷达超高频电磁波，施工人员就可以探测出地下结构及介质的

分布情况，准确计算探测目标的距离。同时，为了进一步探明地质情况，查明桩基地下有无软弱夹层、空洞等不良地质作用，他们还确定了桩基持力层，同步进行超前钻孔。根据不同的地质情况，不断调整施工方法，确保了工程进度、安全和质量。

## 混凝土遇上了“无底洞”

“干了近20年的桥梁施工，我还是头一次遇到让人如此头痛的难题！”项目经理张列东回忆道，2016年7月10日，根据工期安排，项目部开始浇筑该工程的第一根桩基混凝土，开始进展非常顺利，但在浇筑至桩顶约2米的位置时，桩基内的混凝土急遽下降，然后就凭空消失了，“那个时候，浇筑工人和工程技术人员都懵了”。

根据设计，这根桩基只需要浇筑30立方米混凝土，但当现场竟然浇筑了130立方米。超出的100立方米混凝土哪儿去了？那么大体量的混凝土不可能就这样人间蒸发了吧？

答案是下面可能有空洞。项目部很快请来了多名地质、桥梁方面的专家进行咨询，同时请业主、设计、监理、地勘等单位作了现场踏勘。根据踏勘和地质资料，呈黄路工程所经过的地质带属昆明构造陷落大板桥盆地，广泛分布红黏土，有岩溶发育，是典型的喀斯特地貌。由于基岩垂直节理裂隙发育，地下岩石表面多见有“虫孔状”的溶蚀孔隙，岩溶作用较强烈，所以造成了构造裂隙、溶沟、溶槽、岩溶漏斗等分布密集，为桥梁的基础施工带来了非常大的干扰与隐患。

## 用地质雷达探测地下奥秘

对于当时的情形，项目总工程师付德华回顾道：“项目部通过反复实验和技术攻关，结合桩基试验性钻孔及专家咨询意见，确定了一个新的施工方案。”在钻孔成孔进入圆砾、溶洞层后，付德华他们开始回填按1:4比例混合的卵石与红黏土，进行护壁和溶洞填充，并且重复冲孔，将孔壁松散的圆砾层及溶洞填充挤压密实，达到护壁的目的，防止钻孔过程中出现漏浆和孔壁坍塌。

“但回填红黏土和卵石重复冲孔也不是万能钥匙。”张列东介绍，对于厚度6米及以上的圆砾层、孔径2米及以上的较大溶洞或串珠状岩溶，就必须采用钢筒跟进法施工，并浇筑C20及以上强度的早强浇筑混凝土进行护壁、封堵和孤石纠偏，以保证桩基施工安全及成孔质量。

当问及在施工过程中遇到的最深溶洞有多深时，付德华如数家珍：“最长的一处有26米，在这样的地质条件下钻孔桩施工，极易出现偏孔、漏浆、塌孔、护筒塌陷，甚至有钻机倾覆的危险。2017年8月，项目部在编号为PXZS38-2的桩基钻孔施工中，就因为多次塌孔导致钻机倾覆。”

为了摸清复杂多变的地质情况，工程人员提前采取了预防处理措施，项目部采用了“桩基逐桩超前钻孔+地质雷达探测”的技术。地质雷达利用超高频电磁波探测地下介质分布，它的基本原理是：发射机通过发射中心频率为12.5M至1200M、脉冲宽度为0.1ns的脉冲电磁波讯号。当这一讯号在岩层中遇到探测目标时，会产生一个反射讯号。直达讯号和反射讯

## 技术合力支撑精准施工

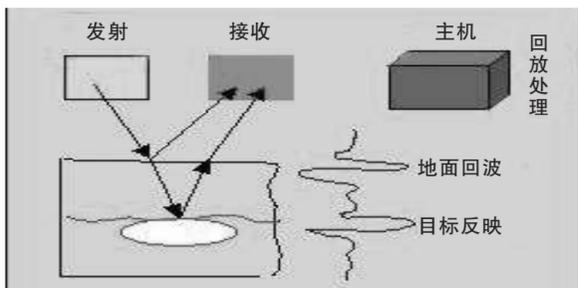
为了避免地下空洞造成的混凝土超耗，项目部根据工程特点还引进了简称“灌无忧”的灌注桩超灌管理物联网设备，通过安装在预定标高处的传感器，实现“物与物”的交流，当灌注桩浇筑达到设计标高时，设备会立即提醒停止浇灌，误差可控制在3%以内，避免混凝土超灌浪费。以常规建筑、桩深8—12米、平均超灌2米的混凝土350—450元/立方米为例，平均每根桩可节约60—110万元（含混凝土浪费费用、截桩截桩费用、废料处理费用）。听起来简单，但这里面却有很多技术壁垒，传感器要清晰地分辨出泥浆与混凝土，这需要大量的介质数据支撑，分辨混凝土介质与泥浆介质的区别能力，也是这套系统的核心所在。

工程师们在前期施工中针对项目特点，还采用PDCA循环法——即计划、检查、执行、处理综合措施，并对施工中“人、机、料、法、环”带来的各种因素不断地进行摸索和分析，形成了《岩溶地质降低冲击钻施工混凝土充盈系数》的质量控制成果。

此外，围绕施工过程中开展的桩基岩溶、溶洞、裂隙及涌水处理技术，不同地质冲程孔桩技术，钻孔桩岩溶地质预防偏孔及纠偏处理技术等工艺工法，他们总结出了一整套针对在岩溶地质上桩基施工的处理方法。为此，团队还形成了一项关于“密集区域多层岩溶钻孔桩施工技术”的科技成果。

呈黄路北起于机场高速公路大板桥立交，止于空港经济区南部规划范围线，全长约4.485千米，双向6车道。工程沿线跨越三条专用铁路、两条道路，还要跨越一条宝象河。施工过程中无法形成贯通道路，施工组织难度大。但如今，在众多高新技术的引领下，人们已经可以站在这一度“卡脖子”的大型公路桥上放眼四望，公路、铁路纵横交错，流线型的桥体已雏形初现。

“等到道路通车的那天，当你驾车飞驰在这里时，你一定想不到自己行驶在一片‘地下石林’之上。”付德华说。



地质雷达探测原理图

# 如何“催熟”国产数控系统技术

## 第二看台

本报记者 刘志伟 实习生 刘晶晶

“长期以来，国防工业急需的高速、高精、多轴联动高档数控机床和高档数控系统一直是重要的国际战略物资，受到西方国家严格的出口限制。”近日，华中科技大学教授、国家数控系统工程技术研究中心主任陈吉红与科技日报记者谈起了国产高档数控系统的发展历程。

2009年，国家启动科技重大专项“高档数控机床与基础制造装备”（以下简称“04专项”），支持国内数控系统企业提升技术水平，攻克了运动控制技术、平台化技术、网络化和智能化技术等4方面关键核心技术，突破高档数控技术瓶颈，全面缩小与国外的差距。陈吉红说，技术差距的缩小，并不等于市场的突破。据统计，目前我国高档数控系统的市场占有率仅有7%。

## 技术差距的缩小，不等于技术成熟度的缩小

作为工业级产品，衡量数控系统主要有3个技术指标：功能、性能和可靠性。它们分别解决的是“能用”“好用”和“耐用”的问题。在国家04专

项的支持下，华中数控在前期几代技术攻关的基础上，开发出了以华中8型为代表的自主可控的高档数控系统。

为了科学评测实际水平，04专项专门委托第三方，对新研制的国产高档数控系统产品进行了测试。第三方评测结果表明：对于功能测试的1989个对标评测项，国产高档数控系统已达到98%；通过两年的可靠性测试，国产数控系统的可靠性与国外产品相当。国产数控系统的高速、高精性能与国外差距也不是很大，在某些应用领域，国产数控系统的加工效率甚至比国外的还高。但在五轴联动、全闭环、多轴同步驱动等复杂应用环境下，国产高档数控系统的动态性能指标，与国外确实存在一定差距。

国产数控系统存在差距是技术成熟度不够。研制几台高档数控系统，在实验室和实际生产中完成各种测试验证并不难，难的是实现一大批国产数控系统长期生产应用。一台数控系统不出问题，不意味着批量不出问题，一年不出问题不意味着十年不出问题。各个点上的突破，不代表面上的突破。所以目前卡住国产高档数控系统脖子的是技术的成熟度。陈吉红认为：“国产高档数控系统的技术进步，缩小了与国外的差距。但是，技术差距的缩小，并不等于技术成熟度的缩小。”

## 没有市场测试，就没有技术迭代的机会

发展国产数控系统的目标是实现产业化。实现产业化的关键点是国产高档数控系统尽快提升技术成熟度，而提升技术成熟度又必须在实现产业化过程中完成。

以日本发那科、德国西门子等为代表的国外企业，在数控系统领域均发展了近60年，积累了大量的先进技术，已在全球范围内建立起了技术壁垒和市场优势。在中国市场，这些国外企业也已经耕耘了40多年。凭借产品在技术、性能上的优势，已拥有了很好的市场品牌与客户美誉度，形成了一个“市场生态圈”。

事实上，国外高档数控系统早期的技术成熟度也不太高。但由于以我国军工企业为代表的大量高端用户，大规模、长期地批量实际生产应用，帮助国外数控系统进行了全面的测试验证和长期的应用考核，为国外高档数控系统发现、反馈了大量的问题，才促使国外高档数控系统的技术成熟度不断提高。

“好产品是用出来的，只有在市场上大量使用，在应用中发现问题，才能获得技术迭代和完善提高的机会，技术成熟度才能不断提升。只有实

现规模化的市场应用，产品的生产成本才能降低，产品的市场竞争力才能进一步提高，前期的研发投入才能收回，企业才能形成具有自我造血能力的良性循环。”陈吉红说。

## 应有重点关照，积极扶持国产数控系统

数控系统技术研发难度大、投入高。而打破国外的“市场生态圈”，实现产业化的难度更大。这就需要雄厚的资源做支撑，需要巨大的投入，这远超出了一般企业的承受能力。

陈吉红说：“与大飞机产业一样，数控系统产业既是战略性、基础性的核心技术产业，又是市场充分竞争的产业。对于这样的战略性、基础性产业，国家不应该按照一般的竞争性产业来对待。”陈吉红还表示，我们应理直气壮地为国产数控系统营造有利的市场环境，在政府采购招标中不指定国外数控系统，为国产数控系统获得参与平等竞争的机会，鼓励用户企业在同等性价比的情况下，指定选用国产数控系统；重新梳理和启动数控机床行业的增值税返还政策，支持我国数控机床行业加大技术研发投入；参照国家首台（套）重大技术装备保险政策，将国产高档数控系统列入实施目录。

## 科技汇

### 3D打印发展重在材料创新

本报记者 叶青

“制造业要转型，必须借助新的工具。要做到制造创新，哪些是重要的？其中有一块就是材料。”近日，第五届世界3D打印技术产业大会在广东省佛山市南海区大沥镇开幕，英国皇家工程院院士、新加坡工程院院士Seeram Ramakrishna在会上指出，要保持世界3D打印发展的速度，特别是中国，重要的是保持在材料方面的创新。

在他看来，包括3D打印在内的科技创新将为世界带来可持续发展最好的智能制造，因为整个过程是可控的，几乎零污染。“3D打印未来的潜力非常巨大，现在主要的限制因素是打印耗材方面还不够多样化。”Seeram Ramakrishna认为，如果能够做到多样化，微型结构做得更优越，我们也能管控得更好，这样的技术就能够应用于所有行业了。

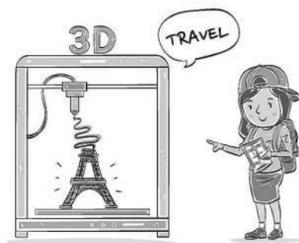
“3D打印表面上看起来一直没有发展起来，实际上是因为我们对它的认识和应用才刚刚开始。”中国3D打印技术产业联盟执行理事长罗军指出，3D打印诞生才30多年，其应用已经发生很多改变，先是打印模型和样件，后来随着技术进步和材料的增多，逐步开始打印一些功能性产品。

随着材料的创新3D打印在医疗领域的应用越来越广。它能为客户量身定制，提供多个方面，例如骨骼、牙科、人体器官的模拟打印。Seeram Ramakrishna说，用钛金属粉末打印出来的假体品质非常高。“假体植入需符合人体功能性需求，无毒、不易腐蚀、有设计感和具有多孔性，钛金属粉末正好符合这些特性，是增材里面的‘高富帅’。”

北京大学第三附属医院大外科主任刘忠军也十分看好3D打印技术在骨科领域的未来。他说：“3D打印在医学领域的发展空间还很大，比如在3D打印的假体中加入一些药物，可以令假体的3D性能上升为4D。”

那么，什么是4D呢？在现有技术基础上，在3D打印假体中加一些药物起局部作用，增加整体功能。“比如，在微孔里面加入了一种霉素，可以起到局部抗菌作用。按照这个思路，加入抗结核的药物可以抗结核，加入抗肿瘤的药物可以抗肿瘤。”刘忠军表示。

除了材料外，增材技术的特性、电子纤维技术的应用都能进一步扩展3D打印在医疗领域的应用。Seeram Ramakrishna说：“对于3D打印技术未来，我非常乐观。”



## 情报所

### “拥江号”盾构机顺利下线

由我国自主设计制造的同类型最大直径（11.7米）的“拥江号”泥水平衡盾构机，6月20日在江苏无锡中铁城轨装备有限公司顺利下线。这标志着无锡高端装备制造技术实现了重大新突破。

据了解，近年来，该公司凭借在地下工程装备和建筑施工技术方面的开发经验，瞄准国际先进技术，在大直径盾构装备制造技术上，取得了一系列重大突破。此次下线的“拥江号”盾构机，将应用于杭州钱江世纪城工程上，这是一条连接主城区（钱江新城）和江南副城（钱江世纪城）的重要过江隧道，是杭州拥江发展战略综合交通带重要组成部分，也是2022年杭州亚运会的核心通道。

据介绍，杭州钱江世纪城工程与其他工程相比，地质条件十分复杂，江北江南的工作井基坑底以下圆砾层承压水头不能满足基坑抗突涌要求，沿线还存在自闭型沼气、局部地段可能存在气量大、气压高的储气层等，施工难度大。因此，研发团队进行了针对性的设计。同时，采用了长寿命立体式刀具布置，提升刀盘强度、刚度、耐磨性和耐久性，确保中途不更换刀盘满足区间施工要求；采用预制口字同步施工及管路延伸浆液零排放快速回收等关键技术，使设备具有可靠、灵敏的泥水压力平衡调节能力，确保通过建筑物时，控制地表隆值不超过5毫米，陷值不超过10毫米，有效解决软土触变沉降、轴线较难控制等施工难题。（姜树明 记者过国忠）



（本版图片除标注外来源于网络）

扫一扫 欢迎关注 核心技术 微信公众号

