
15年变60年 新技术让公路少“动手术”更“高寿”

作者：writer 来源：科学网

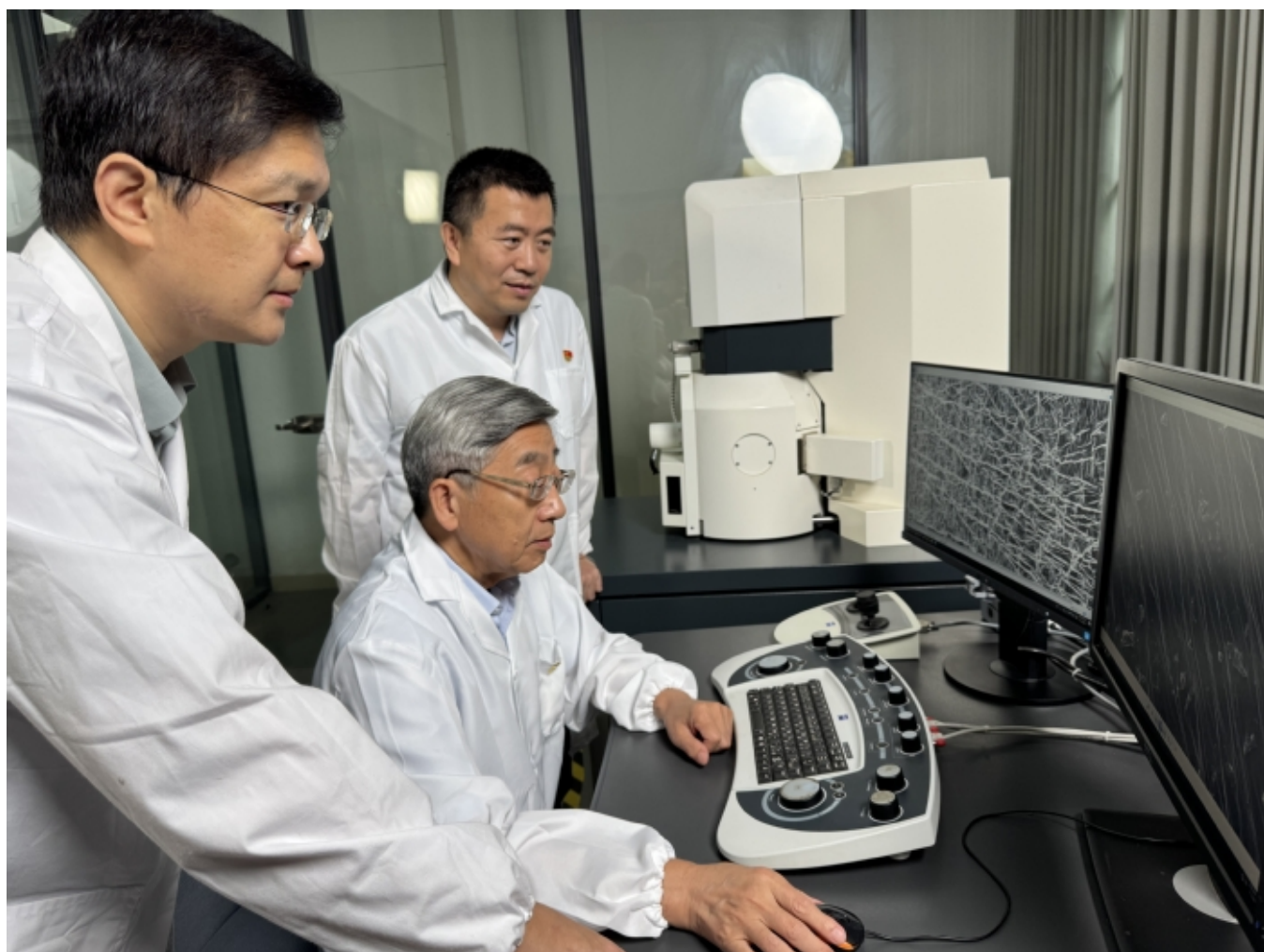
本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/41598.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

高速公路围起来修路，对司机来说并不陌生。蓝色围挡和“前方施工”的路牌，甚至成了路况的一部分。

我国公路总里程已突破550万公里，其中90%以上的是高等级公路铺筑沥青路面。但长期以来，我国高速公路设计寿命仅为15年，因此每年大中修约消耗沥青约6000万吨、砂石料约10亿立方米，若将这些石料铺成一条1米厚、25米宽的道路，可绕地球赤道一圈。采砂石留下极难自然恢复的生态伤疤，频繁翻修也让拥堵加剧。发展长寿命路面是解决该问题的最佳途径。

今年7月，中国工程院院士、长沙理工大学教授郑健龙主持完成的“寿命逐层递增式沥青路面长寿命技术与应用”项目，荣获2025年度国家技术发明奖二等奖。该团队用20余年攻关，将高速公路沥青路面主体结构寿命从15年提升至60年。相关技术已广泛应用，经济效益明显。



郑建龙（中）和团队成员探讨科学问题。王昊昊 摄

不要“等寿命”要高寿命

故事要从2001年说起。

那一年，我国着手对公路沥青路面养护技术规范进行编制，并开展了编制前研究工作。郑健龙参与了规范编制工作，并开展了相关研究。

公路按路面建筑材料主要分为沥青混凝土路面、水泥混凝土路面、砂石路面等，沥青路面因其平整接缝少、工期短、行车体验佳等优势应用最广，我国90%以上公路都是沥青路面。高速公路的基础结构包括路基、基层、面层等部分，面层又分为上面层、中面层和上面层，面层直接承受车辆与环境作用，最易损坏。

“当时高速公路的行业设计标准就是‘等寿命’，也就是说，一条高速公路的路基、基层、面层，都按固定的使用寿命来设计。”郑健龙在规范编制和研究中，敏锐地察觉到这个长期被行业忽视的问题。

长期以来，我国沥青路面执行等寿命设计规范，高速、一级公路全结构层统一设定15年使用寿命，二级公路12年，低等级公路仅8年。

然而，路面是多层复合结构，从上至下受力、服役环境差异巨大：上面层直接暴露于外界，常年承受车辆碾压、高低温循环、雨水冻融侵蚀，实际平均服役仅10年左右便出现车辙、开裂，最先“衰老”；下面层受力环境相对温和，基层深埋于路面下方，荷载经多层扩散后受力大幅降低，受气候侵蚀微乎其微，即便达到15年设计年限，结构完整性依旧完好。路基的寿命则更长。

“统一15年报废的设计模式，直接造成巨大资源浪费与多重社会负担。”郑健龙萌生了念头，不能让公路的每一层“各活各的”、互不“拖累”？他们提出一个理念，要追求高寿命而不是等寿命。基于这些构想，郑健龙带领团队启动攻关。2008年，郑健龙在学术报告中首次系统阐述了“分层递增”的设计理念和“双模量理论”的构想。

让每一层“各活各的”

最终，郑健龙院士团队提出了一个看似简单却颠覆性的理念“寿命逐层递增”，也就是分层设计公路的寿命，让每一层“各活各的”，上面层15年、中下面层30年、基层60年，从上到下，寿命逐层翻倍。团队还在国际上率先提出“寿命逐层递增”的长寿命沥青路面结构体系。

为什么是倍增？团队成员、长沙理工大学教授吕松涛说，当基层需维修时，上面层也刚好到了该修的时候，一次翻修、一并解决问题，不造成额外浪费。表层易坏维修频次高，寿命短一点；深层难坏难修，寿命长一点。这个看似简单的道理，颠覆了行业延续数十年的设计逻辑。



吕松涛（右）展示团队研发的沥青材料。长沙理工大学 供图

理念突破只是第一步。要让“各活各的”从想法变成工程现实，团队做出三大改变。

首先是给路面材料“正名”。过去几十年，行业惯用“单模量”计算路面受力，把沥青混合料当作匀质“铁板”，拉力、压力不分，一律套用同一参数。可沥青的真实特性是抗压力远强于抗拉力，两者相差数倍乃至十倍以上。

郑健龙是学固体力学出身的。“双模量理论”在他脑海中早有雏形——既然材料拉压特性不同，为什么不能用两个模量来描述？团队果断将抗拉、抗压各自独立取值，构建了沥青路面结构力学响应分析的双模量理论与方法。这一突破解决了因传统线弹性理论不能表征路面材料拉压模量差异而导致的设计参数取值不唯一问题，使荷载响应分析精度平均提高30%以上。

其次是还原路面的真实受力。传统设计只关注车轮竖向压力，最多考虑一个方向的拉应力。可实际路面承受的是上下、左右、前后三维复杂应力——一个点既受拉又受压，不同方向受力截然不同。团队首次将三个方向全部纳入计算，创立了三维应力状态下沥青路面结构抗疲劳设计的强度准则。他们还攻克了长期以来不同试验方法得到的疲劳方程不同、工程设计难以选用的难题，建立了疲劳归一化模型，使结构疲劳抗力设计精度成倍提升。

理论精准了，可计算成了新问题。“最初算一次要花几个小时。”郑健龙说，团队从算法上突破，采用有限点法替代有限元法，并自主研发专用计算软件。如今，一次完整的结构设计计算仅需十余秒。

设计算得再准，材料和工艺跟不上也是纸上谈兵。在材料层面，郑建龙院士团队发明了化学增韧型高性能改性沥青技术，让改性剂与沥青产生化学反应而非简单的物理分散，显著提升了材料的抗变形能力和抗疲劳寿命。在工艺层面，团队研发了振动搅拌工艺与装备，即一边搅拌一边振动，将水泥结团震散、将混合料拌和均匀。这一创新使基层材料疲劳寿命提升一倍，水泥用量节省20%。

试验走向应用常态

有了技术，更大的挑战在于推广。

“科研成果产业化，往往要承担失败的风险。”郑健龙坦言，基础设施工程一旦出问题，是要追责的。没有国家标准或行业标准的明确支撑，设计单位不敢用、施工单位不敢做，“那样的话我们的成果只能停留在纸面上”。

如何破局？标准先行。郑建龙院士团队联合相关单位，编制了世界首部基于三维应力和双模量理论的寿命逐层递增长寿命沥青路面设计标准。“这个标准还不像交通部发布的设计标准，不是一个强制性的规范，通俗地说，就是设计施工单位如果相信我可以不用，不相信也可以不用。”郑健龙说，有了标准，就有了依据，也为逐步推广应用打开了局面。

目前，郑建龙院士团队的相关技术已在湖南、河南、广东、海南、内蒙古、广西等在全国31省区的40多项重点工程，以及“一带一路”沿线19个国家成功应用。据主要应用单位统计，近3年成果产生经济效益10.25亿元，社会、经济与环境效益显著。

郑健龙透露，团队下一步将聚焦绿色、智能、极地三大方向。“绿色方面将推动电动重卡普及与交能融合，智能方面聚焦用数字化技术实现养护维修的智能决策，极地方面将攻关青藏高原、北极等极端环境下的道路建设技术。”

作者：王昊昊 来源：中国科学报

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发