

# 2018年隧道与地下工程热点回眸

高攀<sup>1,2</sup>

1. 中铁隧道局集团有限公司, 广州 511458
2. 盾构及掘进技术国家重点实验室, 郑州 450001

**摘要** 2018年隧道与地下工程在工程建设和技术进步方面取得了一系列成果。本文介绍了盾构和全断面隧道掘进机、新型隧道形式重大建设和项目技术进展及新型化、智能化的研究进展,并展望了相关技术及行业应用的发展趋势。

**关键词** 隧道;地下工程;盾构;真空隧道;水中悬浮隧道

近年来,中国的隧道与地下工程持续快速发展。截至2018年底,中国内地(不含港澳台地区)共计35个城市开通了城市轨道交通,运营线路达187条,总运营线路达5766.6 km。其中,2018年新增线路22条,新增里程734 km<sup>[1]</sup>。中国大陆地区投入运营的铁路隧道和公路隧道都超过了1.6万km,且近年来每年的新增里程都大于1000 km<sup>[2-3]</sup>。本文以隧道与地下工程领域的重大建设工程为背景,介绍工程领域应用关键技术研究的新进展,展望该行业的未来发展方向。

## 1 全断面隧道掘进机

全断面隧道掘进机是目前最为高效的隧道开挖设备<sup>[4]</sup>。在中国,习惯上将用于软土地层的隧道掘进机称为盾构机,将用于硬岩地层的称为全断面隧道掘进机(tunnel boring machine, TBM)。近年来,伴随着大规模交通与水利基础工程建设,盾构和TBM得到了广泛应用,工作性能也有持续提升。2018年,盾构和TBM方面出现了多项技术创新和新的技术发展方向。

### 1.1 大直径盾构机

2008年之前,在隧道工程中使用直径超过13 m的盾构几乎不可能,且该类高端设备的国产化水平和市场占有率也非常低。但是,2017年10月26日至2018年9月29日,中国自主设计制造的泥水平衡盾构机的直径达15.03 m(图1)和15.80 m(图2),接连刷新了“国内最大直径盾构”的记录。

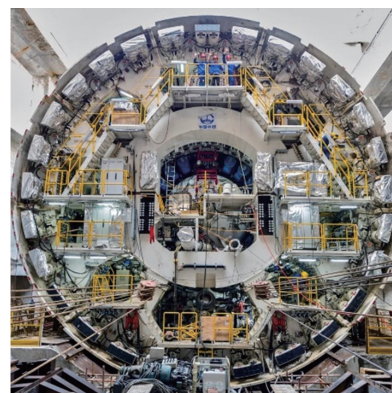


图1 直径15.03 m的“中铁海湾号”盾构机  
(图片来源:中铁装备集团)

Fig. 1 "China Railway Bay" shield machine

收稿日期:2019-01-09;修回日期:2019-01-11

作者简介:高攀,高级工程师,研究方向为隧道施工技术,电子信箱:94474888@qq.com

引用格式:高攀,2018年隧道与地下工程热点回眸[J].科技导报,2019,37(1):186-195;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2019.01.021

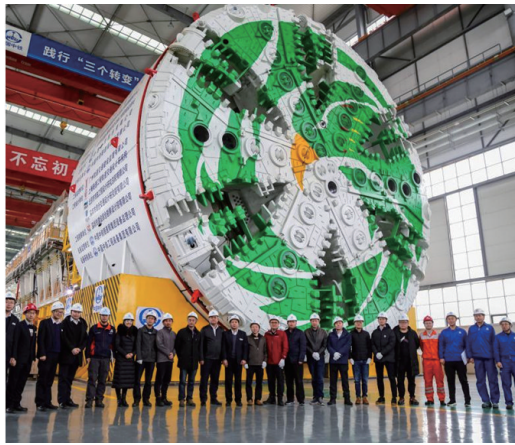


图2 直径为15.8 m的“中铁春风号”盾构机  
(图片来源:中铁装备集团)

Fig. 2 "China Railway Chun Feng" shield machine  
with a diameter of 15.8 m

业内对发展大直径盾构的质疑从来没有停止过,其主要原因是大直径盾构造价高昂、整机重复利用率较低,使得大直径盾构一直存在经济性较差的问题<sup>[5-6]</sup>。但盾构机向超大直径的方向发展既是客观需求也为更多技术创新提供了空间和平台,对行业技术进步有不可替代的作用。因此,不应以经济性差的单一原因而过多的否定盾构的大直径化。

## 1.2 全域型隧道掘进机

全域型隧道掘进机是相对于目前隧道盾构机地层通用性不强而提出的一种发展理念,是一种可以适用各种地质条件的理想的掘进设备。目前,盾构机根据地层适用范围,应用最多的是泥水加压盾构和土压平衡盾构,这两种模式最主要的区别是平衡开挖面的原理不同。土压平衡盾构掘进时,其前端刀盘旋转掘削地层土体,切削下来的土体进入土舱。当土体充满土舱时,其被动土压与掘削面上的土压、水压基本平衡,使得掘削面与盾构面处于平衡状态(稳定状态)<sup>[7]</sup>。泥水加压盾构法在掘进时在盾构开挖面的密封隔仓内注入泥水,通过泥水加压和外部压力平衡,以保证开挖面土体的稳定<sup>[8]</sup>。TBM根据护盾形式不同又可分为敞开式、双护盾式及单护盾式<sup>[9]</sup>。

不同类型的掘进机分别适用于不同地层(图3),因此,施工之前首先要决定采用盾构或是TBM,然后在根据具体地质情况和其他因素进一步确定具体类型。但是,一条隧道中往往包括物理力学特性差异明显的多种地层,这就使得各种模式的掘进机都不同程度地存在地层适应性问题<sup>[10-11]</sup>。

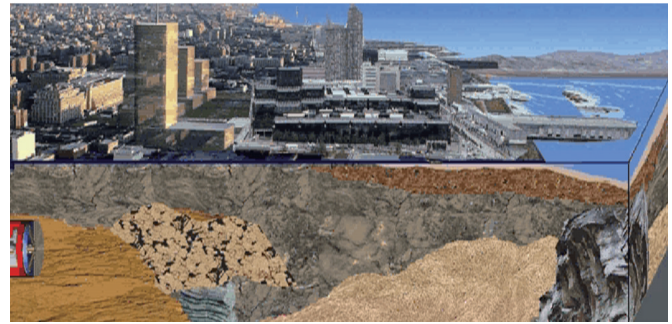


图3 类型丰富的地层

Fig. 3 Various types of strata

因此,产生了同时适用多种地层盾构机的研发需求。1988年,Grauholz隧道实现了单护盾转为泥水式盾构机的工程应用<sup>[12]</sup>,后续又逐步实现了单护盾TBM与土压盾构机的复合、土压平衡盾构机与泥水加压盾构机的复合,并在近年在土压平衡和泥水加压双模式盾构的基础上发展出可变密度盾构<sup>[13]</sup>。

可变密度是指通过调节石灰岩粉与浆液混合物的稀薄程度(增加黏度),以在穿越多变地层时增大膨润土浆液的密度<sup>[14]</sup>。泥水加压模式下,开挖土通过螺旋机传送到皮带上。在皮带机的末端安装有泥浆箱,实现泥水压力平衡模式下掘进过程中出渣,然后厚泥浆将被泵送到地表的泥浆处理池。土压平衡模式下,开挖面的平衡通过控制螺旋机的转速和掘进速度控制。

该方法在经过吉隆坡地铁1号线石灰岩喀斯特地层的成功应用,目前投入到吉隆坡地铁2号线、澳大利亚珀斯Forrestfield机场连接线工程和中国香港沙田中环线工程(图4),2018年投入掘进的可变密度盾构超过了10台,到2019年还将有多台陆续投入<sup>[15]</sup>。



图4 用于香港沙田中环线工程的盾构机  
(图片来源:中国隧道网)

Fig. 4 Shield for the Sha Tin Central Link project in Hong Kong

2018年,日本针对山岭隧道埋深和地层多变问题,在原有研究基础上提出了“新KM21TM”工法。该工法通过一台具有TBM和盾构两种模式的全断面掘进机,同时配备多种地层改良设备和及时的初期支护措施,在深埋和各种不良地层条件下实现完全机械化隧道施工<sup>[16]</sup>。

可变密度盾构和“新KM21TM”工法的技术思路都是采用一台具有多种掘进模式的掘进机,同时配备丰富辅助措施,以此应对地质多样性带来的技术挑战。这是解决掘进设备地层适应性问题的重要技术进步,使得全域型隧道掘进机具备了雏形。

### 1.3 掘进机再制造技术

2018年3月30日,中国首台使用国产主轴承的再制造盾构机圆满完成合肥轨道交通三号线掘进任务,标志着中国盾构机再制造水平和盾构机主轴承自主研发取得重大突破<sup>[17]</sup>。2018年4月21日,中国首台再制造TBM“彩云1号”,在34.5 km的高黎贡山隧道成功穿越第一个地层交接涌水带,掘进里程突破500 m,单日掘进最高达到32.14 m,标志着中国自主研发的最大直径TBM在铁路隧道首次成功应用(图5)。



图5 用于中国铁路第一长隧——高黎贡山隧道施工的国产再制造TBM(图片来源:中铁隧道股份有限公司)

Fig. 5 Remanufacturing TBM for the first long tunnel of china railway—Gaoligongshan Tunnel

《中国制造2025》提出“全面推行绿色制造的战略任务,要求大力发展再制造产业,实施高端再制造、智能再制造、在役再制造,推进产品认定,促进再制造产业持续健康发展”。再制造的本质是修复,但不是简单的维修,是采用制造业的模式进行维修,是一种高科技含量、产业化的修复,是维修发展的高级阶段<sup>[18]</sup>。目前,中国已具备“尺寸修复法再制造”技术,应结合激光熔

覆、类激光冷焊修复等新技术将“尺寸修复法再制造”落到实处<sup>[19]</sup>。再制造零部件的性能和质量达到或者超过原型新品是完全可能的,而再制造整机(包括再制造盾构)达到或超过原型新机也是可能的。

### 1.4 刀具更换技术

刀具用于破碎岩石、切削土体,是掘进机的“牙齿”。在掘进过程中,要检测刀具的磨损情况并及时更换无法正常工作的刀具。对于刀具磨损情况检测,以往采用直接检查,停机后作业人员进入开挖空间对刀具进行逐个检查<sup>[20]</sup>。直接检查虽然有效,但却存在很高的风险,很可能由于开挖面不稳定造成事故。为此陆续发展出多种间接检测方法,如超声波传感器检测、电涡流传感器检测、刀具可视化测量等多种检测方法<sup>[21]</sup>。

2018年,赵海雷<sup>[22]</sup>等采用静电纺丝与气相还原氮化相结合的方式制备了 $\text{Ca}_{0.68}\text{Si}_3\text{Al}_3(\text{ON})_{16}:\text{Eu}^{2+}$ 带状荧光纤维薄膜,薄膜在微观上保持带状纤维结构,宏观上保持薄膜的状态,并在高温条件下表现出较低的荧光衰减结果和较好的机械强度(图6)。纤维膜可以被蓝光有效激发,表现为400~700 nm的宽峰发射光谱。实际应用中将盘型滚刀和荧光纤维膜相结合,并在刀仓内适当位置安装可以激发荧光纤维膜的芯片和可以观察盘型滚刀磨损后发光情况的高清防尘监控设备,在盾构主控室就可以实时掌握每把滚刀的磨损程度,减少了带压和高风险地质段的人工检测(图7)。

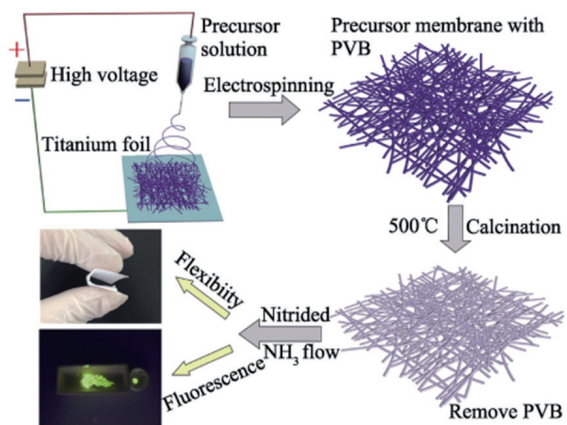


图6 制备荧光纤维膜的机理示意

Fig. 6 Schematic illustration of the fabrication process of the fluorescent inorganic nanofibrous membranes

在刀具更换方面,当处于非稳定地层作业时,需要对地层进行加固或利用气压稳定开挖面,作业人员需要在一定压力下的密闭空间完成刀具更换,因此称为

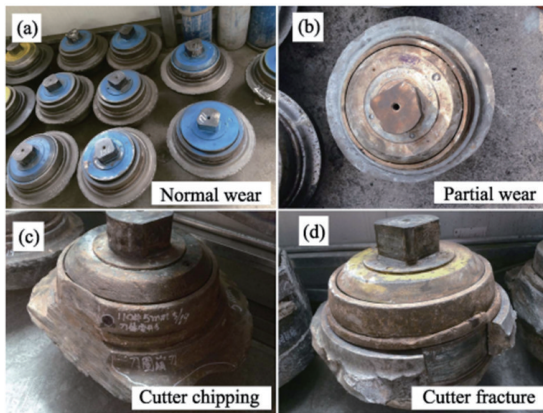
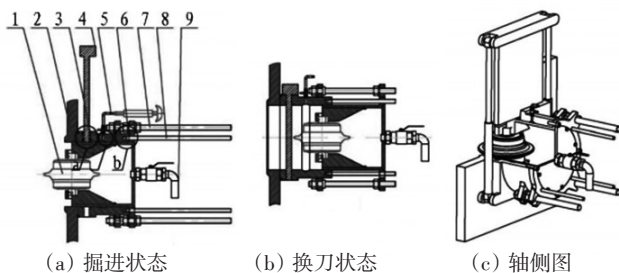


图7 荧光纤维膜用来检测不同类型刀圈磨损的照片  
Fig. 7 Pictures of fluorescent fiber film used to detect the different situation of the cutters wear

“带压换刀”<sup>[23]</sup>。由于地层稳定性和气密性都存在较多影响因素,因此作业人员和设备的安全风险极高。为解决这一问题相继开发了多种隔离式的换刀技术及装置(图8),作业人员不需要进入开挖空间,在正常气压下作业就可以完成受损刀具的更换,因此被称为常压换刀技术<sup>[24]</sup>。



1—滚刀;2—刀盘面板;3—刀座;4—保压门;5—润滑装置;  
6—保压腔;7—拆装装置;8—导向装置;9—泄压装置

图8 滚刀常压换刀装置<sup>[24]</sup>

Fig. 8 Devices used for disc cutter replacement under atmospheric pressure

2017年10月,日本熊谷组有限公司和JIMT(Jagmohans Institute of Management and Technology)公司共同提出了盾构机刀具更换技术“Sunrise Bit工法”。“Sunrise Bit工法”是在盾构机的辐条内配置具有多把备用刀具的旋转装置,通过液压千斤顶使其旋转进行换刀(图9),根据必要的换刀次数需求,最多可配备8把强化型贝壳刀。由于是利用液压千斤顶和棘轮使其旋转,因此作业人员不需要进入换刀位置,可在安全的场所进行远程操作<sup>[25]</sup>。这两种隔离式刀具更换方案都需要配置较大的刀箱,以满足操作空间要求,因此只能在大

直径盾构机上使用,并且会大幅减少刀盘上的刀具安装数量,对掘进能力有一定影响。2018年,大连理工大学的霍军周等<sup>[26-27]</sup>在六关节机器人机身结构的基础上提出了内置式和外置式两种换刀机器人机身结构方案,可以实现刀盘上各个位置刀具的更换。为进一步改进和完善刀具更换机器人,霍军周设计制造了首台换刀机器人试验系统(图10)。

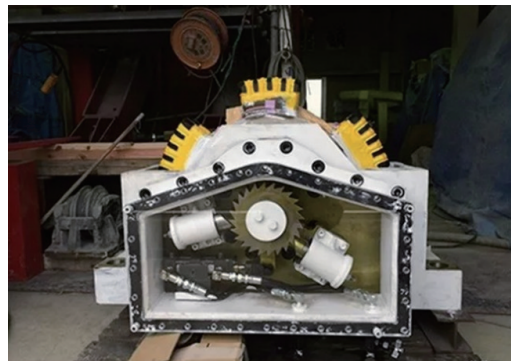


图9 “Sunrise Bit工法”全尺寸模型(图片来源:中国隧道网)  
Fig. 9 Full-size model of "Sunrise Bit Method"



图10 换刀机器人试验系统  
(图片来源:大连理工大学霍军周)  
Fig. 10 Tool change robot test system

## 2 新型隧道形式

### 2.1 低真空管(隧)道磁悬浮隧道

经过多年的积累,中国已掌握了高铁核心技术,能保证时速300 km/h下列车的安全运行(若不计运营成本时速甚至可以超过400 km)。世界范围内,德国城际快车(inter city express, ICE)、日本新干线以及法国高速铁路系统(train à grande vitesse, TGV)均可达到该速度量级,并已经向更高运行速度进发<sup>[28]</sup>。

2014年12月,东京品川—名古屋低温超导磁悬浮高铁正式动工,全长286 km,时速505 km/h,是世界上首条时速超过500 km/h高速铁路,预计2027年建成通

车。2015年4月21日,在日本山梨试验段上,采用“Lo 系列车”创造了时速 603 km/h 的新纪录<sup>[29]</sup>(图 11)。2016年5月12日,美国超级高铁公司 Hyperloop One,在拉斯维加斯北部的沙漠中测试了超级高铁的推进系统,试验时速约 643 km/h。2017年7月12日,Hyperloop One 首次对超级高铁系统进行全面测试,在内华达州的真空管道试验线实现了 113 km/h 的时速(图 12)。



(a) 日本Lo系磁悬浮列车速度测试照片



(b) 日本Lo系磁悬浮列车

图 11 日本Lo系磁悬浮列车及速度测试

(图片来源:中国隧道网)

Fig. 11 Lo maglev train in Japan and its speed test chart



(a) Hyperloop One 推进系统测试



(b) Hyperloop One 全系统测试

图 12 Hyperloop One 推进系统和全系统测试

(图片来源:极客公园网站)

Fig. 12 Hyperloop One propulsion system and

system-wide testing

轮轨交通的速度提升受轮轨关系、弓网关系、流固耦合关系、运行环境等制约,但影响最大的是空气阻力作用<sup>[30]</sup>。任何一种地面交通工具,速度越快受到的空气阻力比重越来越大。当速度达到 300 km/h 时,比重均超过 70%,500 km/h 以上将达到 90%,大部分能耗用于克服空气阻力<sup>[31]</sup>。目前,从中国多条高速铁路勘察设计看,隧桥比已占线路全长 85% 以上<sup>[32]</sup>,因此,整条线路采用真空管(隧)道解决空气阻力问题及噪声问题从经济性和修建技术上是完全可行的。同时,考虑到中国在高温超导磁悬浮方面取得的技术成果,发展低真空管(隧)道磁悬浮高速铁路技术具有较大的技术优势和可行性。

磁浮技术与磁浮列车教育部重点实验室周大进等<sup>[33]</sup>以真空管道 HTS 侧浮列车驱动系统为研究对象,建立了直线电机 2D 仿真模型,在此基础上,采用有限元软件仿真和设计实验,对不同次级下的电机启动推力及法向力特性进行了研究。提出了高温超导侧挂型磁悬浮列车系统的原创性概念,实现了高温超导磁浮车在小转弯半径轨道上的高速稳定运行,将高温超导磁悬浮车的世界最高运行速度纪录提高到了 160 km/h。西南交通大学赵勇团队设计搭建了第 2 代高速真空管道 HTS 侧浮实验系统,列车运行方式由悬浮变为悬挂,永磁轨道固定在真空管道外侧壁,使列车运动中获得更大的向心力,在真空管道中能高速行驶。管道真空极限压强达到 1335 Pa,常压下磁浮实验车最高平均速度达到了 82.5 km/h,最大瞬时速度达到了 87.5 km/h<sup>[34]</sup>。

### 2.2 水中悬浮隧道

水中悬浮隧道(submerged floating tunnel),又称阿基米德桥,因其具有单位长度造价低、对环境整体影响小、受天气影响小、过往车辆能耗低等优势,建设水中悬浮隧道逐渐成为各跨大面积水域交通工程的热门候选方案,挪威、意大利、美国、日本、中国等对此均有不同程度的研究<sup>[35]</sup>。尽管其概念已经提出近 160 年,但至今世界上还没有建成水中悬浮隧道。2016年,挪威耗资 250 亿美元打造的松恩海峡水中悬浮隧道正式开建,预计将于 2035 年完工(图 13<sup>[36]</sup>)。随着松恩海峡隧道的正式开建,各国学者围绕水中悬浮隧道开展了更为具体更具实际意义的研究。中国交通运输部天津水运工程科学研究所为悬浮隧道研究量身定制的试验水池于 2018 年 6 月正式启用,标志着中国悬浮隧道物理模型试验研究工作全面展开,后续将选取适合水域进行水中

悬浮隧道的修建。上海交通大学海洋工程国家重点实验黄柳楠等<sup>[35]</sup>结合挪威松恩海峡水中悬浮隧道介绍目前水中悬浮隧道的动力响应、设计理念、安全性能等方面的研究进展情况,并对该领域未来趋势提出了展望。重庆交通大学土木工程学院蒋树屏等<sup>[36]</sup>对水中悬浮隧道的管段、锚索动力模拟和波浪、洋流模型试验进展进行总结,并提出深水大型波浪流水池中波流耦合、流固耦合及动水与静水结合的水中悬浮隧道模型试验是未来的研究方向。

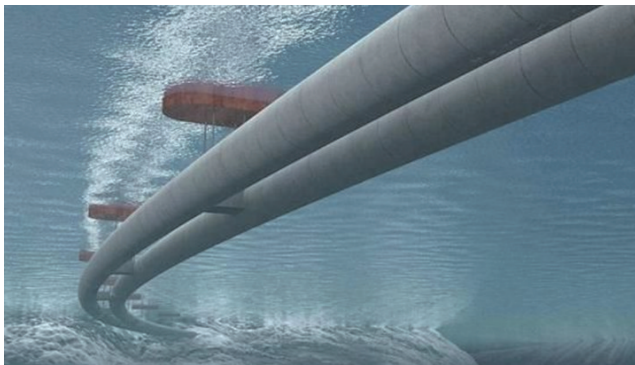


图13 挪威松恩海峡水中悬浮隧道效果

Fig. 13 Conceptual design of Norway Sognefjord submerged floating tunnel

### 3 信息化和智能化在隧道行业的应用

近10年来,大数据与深度学习相关技术发展的日新月异极大促进跨界技术结合的兴起。大数据技术实现了海量数据的分类并行存储、去噪、清洗,并可对数据运行各种算法处理,最终实现数据高级应用<sup>[37]</sup>。深度学习(deep learning)在语音识别、自然语言处理、计算机视觉、图像与视频分析、多媒体等诸多领域的应用表现出了极大的技术优势<sup>[38]</sup>。这些重大技术变革在隧道行业的多个技术方面都存在广阔的应用空间。

#### 3.1 深度学习技术在隧道中的应用

同济大学薛亚东等<sup>[39]</sup>基于深度学习研究形成了盾构隧道衬砌的病害识别判识方法,自主研发了快速移动式隧道扫描检测系统:MTI-100系统,可实现高精度衬砌表面图像连续、快速地扫描(图14)。依托上海地铁采集了大量的隧道衬砌灰度图像,并提取渗漏水、裂缝、管片拼缝和管线4类建立样本。在隧道衬砌图像处理方面阶段,针对卷积神经网络结构提出了2种改进方式,优化提出了大尺度图像病害检测流程(图15)。

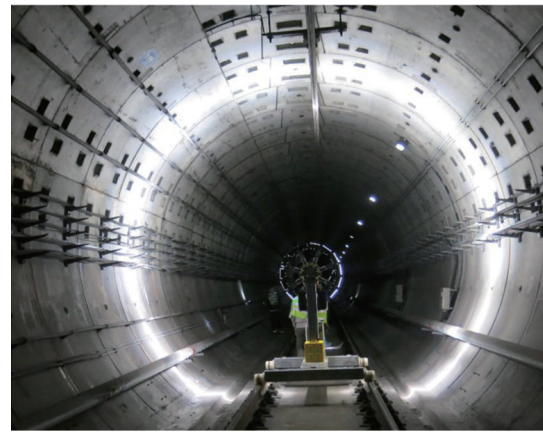


图14 MTI-100隧道病害检测设备

Fig. 14 Tunnel disease detection with MTI-100

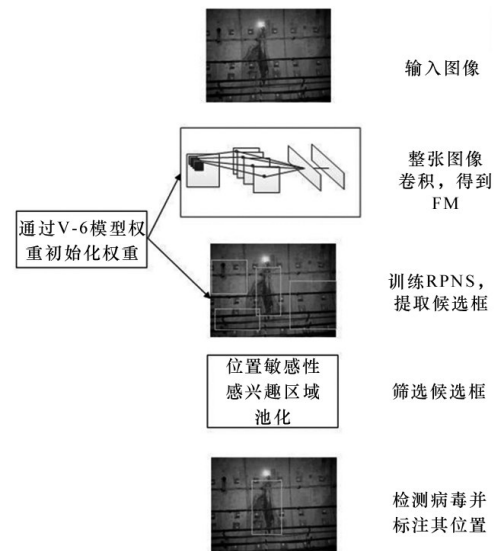


图15 大尺度图像病害检测流程

Fig. 15 Disease detection flow chart on large scale image

长沙理工大学柳厚祥等<sup>[40]</sup>通过深度学习技术提取公路隧道掌子面图片中的围岩分级相关信息(图16)。训练以掌子面图片和特征标签为数据集的深度卷积神经网络模型,识别围岩的节理、裂隙、破碎程度、粗糙程度、光滑程度、泥夹石和涌水等分布式特征;结合深度学习技术和岩体裂隙图像智能解译方法统计围岩节理组数和间距描述结构面完整程度;再利用色彩模型确定岩石种类描述出岩石坚硬程度;最后将围岩分级各判别因子转换为岩体基本质量指标(BQ值)进行分级,获得围岩分级最终结果。验证了深度学习围岩分级的可行性和准确性。

中国铁道科学研究院柴雪松等<sup>[41]</sup>提出了一个基于深度学习的衬砌裂缝识别算法,针对隧道图片特征分

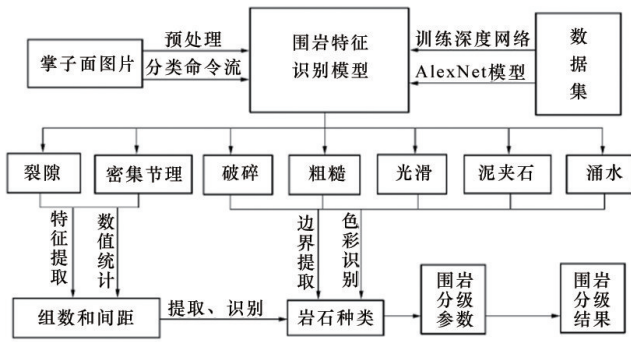


图 16 深度学习围岩分级流程

Fig. 16 Flow chart of deep learning of surrounding rock mass classification

析并优化了SLIC(simple linear iterative clustering)超像素分割算法,构建了一个用于衬砌裂缝分析的数据集CLS-CRACK。在此基础上,设计分类网络ResNet18,用caffe深度学习框架进行模型训练与优化。最后,将训练好的模型在验证集上进行性能分析。该模型在CLS-CRACK数据集上可以达到模型识别正确率94%,能够快速准确地实现裂缝的识别。

除病害判识、围岩级别判识之外,隧道工程技术领域还有很多应用接口,例如在超前地质预报方面也已有初步的应用。长安大学党巾涛<sup>[42]</sup>运用小波包分析对隧道地质超前预报的探地雷达实测数据进行去噪处理,并在卷积神经网络模型lenet-5的基础上,提出两种改进的网络模型,对去噪后的图像数据进行分类研究,提高了对探地雷达图像分类的准确率,后续可以进一步将深度学习方法应用到超前地质预报的结果分析阶段,实现人工智能判识。

### 3.2 大数据技术在隧道方面的应用

随着大数据技术的成熟和广泛应用,中国中铁隧道局、中铁装备、铁建重工等企业均利用大数据技术构建了具有隧道施工信息数据采集、存储、分析及应用等功能架构的掘进机远程信息化管理系统(图17),实现了盾构TBM施工监控应和集群管理功能,与传统管理方式相比,可以较为便捷地进行高通量数据WEB云发布和手机发布。但是这些数据平台都没有进一步实现对数据的深层挖掘,尚不能解决隧道掘进机掘进时海量实时信息与历史数据融合分析与挖掘的难题。



图 17 盾构大数据平台基本架构(图片来源:盾构及掘进技术国家重点实验室)

Fig. 17 Basic architecture of shield large data platform

## 4 结论

2019年,中国要开建川藏铁路,隧道与地下工程领域将面临着前所未有的建设挑战。同时,中国在深埋长大隧道方面已经建成了33座超过20 km的隧道,在建的最长交通隧道达到了34.5 km。经过多年的建设积累,隧道与地下工程领域在工程技术方面已经具备了修建实力。未来10年,围绕南水北调西线工程和川藏

铁路等国家重大战略需求,在岩土基础理论、深部结构设计方法、深部地质勘测与地质预报、掘进装备、新型建筑材料等多个技术领域持续开展技术攻关。期待隧道与地下工程在挑战中不断突破前行。

### 参考文献(References)

[1] 2018年中国内地城轨交通线路概况[EB/OL]. [2019-01-06].

- <https://mp.weixin.qq.com/s/QUQ0J8dVM18klQq2fVw5Hw>.  
Survey of urban rail transit lines in mainland China in 2018 [EB/OL]. [2019-01-06]. <https://mp.weixin.qq.com/s/QUQ0J8dVM18klQq2fVw5Hw>.
- [2] 赵勇, 田四明. 截至2017年底中国铁路隧道情况统计[J]. 隧道建设, 2018, 38(3): 506-508.  
Zhao Yong, Tian Siming. Statistics of railway tunnels in China as of 2017[J]. Tunnel Construction, 2018, 38(3): 506-508.
- [3] 2017年交通运输行业发展统计公报[EB/OL]. (2018-03-29) [2018-12-29]. [http://zizhan.mot.gov.cn/zfxgk/bnssj/zhzh/2018-03/t20180329\\_3005087.html](http://zizhan.mot.gov.cn/zfxgk/bnssj/zhzh/2018-03/t20180329_3005087.html).  
Statistical Bulletin on Transportation Industry Development in 2017[EB/OL]. (2018-03-29) [2018-12-29]. [http://zizhan.mot.gov.cn/zfxgk/bnssj/zhzh/201803/t20180329\\_3005087.html](http://zizhan.mot.gov.cn/zfxgk/bnssj/zhzh/201803/t20180329_3005087.html).
- [4] 刘双. GB/T 34650—2017《全断面隧道掘进机盾构机安全要求》标准评析[J]. 建筑机械, 2018(8): 20.  
Liu Shuang. GB/T 34650—2017 Evaluation and analysis of safety requirements for shield machines of full section tunnel boring machines[J]. Construction Machinery, 2018(8): 20.
- [5] 张亮. 地铁大直径盾构隧道管片结构可行性及经济性分析研究[J]. 安徽建筑, 2015, 22(5): 99-101.  
Zhang Liang. Research on analysis of feasibility and economical efficiency of shield tunnel pipe segment in large metro[J]. Anhui Architecture, 2015, 22(5): 99-101.
- [6] 肖时辉. 海底超大直径盾构隧道造价分析研究[J]. 隧道建设, 2018, 38(6): 907-914.  
Xiao Shihui. Analysis of cost of super large-diameter subsea shield tunnel[J]. Tunnel Construction, 2018, 38(6): 907-914.
- [7] 杨云, 李强, 邱健. 土压平衡盾构机主驱动结构设计分析[J]. 现代制造技术与装备, 2018(9): 1-2.  
Yang Yun, Li Qiang, Qiu Jian. Design analysis of main drive structure of earth pressure balance shield machine[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2018(9): 1-2.
- [8] 蒋奇, 付云升. 盾构选型与发展趋势[J]. 水利规划与设计, 2013(3): 71-75.  
Jiang Qi, Fu Yunsheng. Shield tunnel type selection and development trend[J]. Water Resources Planning and Design, 2013(3): 71-75.
- [9] 王雁军, 齐梦学. 岩石掘进机关键技术展望[J]. 隧道建设, 2018, 38(9): 1428-1434.  
Wang Yanjun, Qi Mengxue. Prospects of key technologies of rock tunnel boring machine[J]. Tunnel Construction, 2018, 38(9): 1428-1434.
- [10] 栾磊. 上软下硬复杂地层盾构机刀盘刀具选型[J]. 城市建筑, 2018(29): 113-115.  
Luan Lei. Selection of cutter head cutter for shield machine in upper soft and lower hard complex stratum[J]. Urbanism and Architecture, 2018(29): 113-115.
- [11] 占传忠. 复合地层盾构的适应性及掘进参数的关联性分析[J]. 中国煤炭地质, 2018, 30(S1): 97-104.  
Zhan Chuanzhong. Relevance analysis of composite strata shield tunneling adaptability and tunneling parameters[J]. Coal Geology of China, 2018, 30(S1): 97-104.
- [12] 胡政才, 王彬, 兰利敏. 瑞士大直径(10 m以上)隧道的掘进机施工[J]. 世界隧道, 1995(1): 14-24.  
Hu Zhengcai, Wang Bin, Lan Limin. Tunneling machine construction of large diameter tunnel (more than 10 m) in Switzerland[J]. World Tunnel, 1995(1): 14-24.
- [13] Rodwell D. Protection and sustainability of historical cities [M]. Chen Jiangning, trans. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2015.
- [14] Gusztav K, Satpal S B. Slurry variation[J]. Tunnels & Tunneling, 2014(5): 24-28.
- [15] 可变密度盾构的成功经验: 香港沙田—中环线[EB/OL]. (2018-06-15) [2018-12-28]. <https://www.tunnelling.cn/PLibrary/PLibraryTechnicalDetail.aspx?Tech=2417>.  
Successful experience of variable density shields: Sha Tin, Hong Kong—Central Link[EB/OL]. (2018-06-15) [2018-12-28]. <https://www.tunnelling.cn/PLibrary/PLibraryTechnicalDetail.aspx?Tech=2417>.
- [16] 新“KM21TM”——实现山岭隧道完全机械化施工[EB/OL]. (2018-04-17) [2018-12-28]. <https://www.tunnelling.cn/PNews/WeChatDetail.aspx?weChatId=323>.  
New “KM21TM” —Complete mechanized construction of mountain tunnels[EB/OL]. (2018-04-17) [2018-12-28]. <https://www.tunnelling.cn/PNews/WeChatDetail.aspx?weChatId=323>.
- [17] 齐中熙. 中铁隧道局: 国内首台使用国产主轴的再制造盾构机应用成功[J]. 表面工程与再制造, 2018, 18(3): 45.  
Qi Zhongxi. China Railway Tunnel Group: Successful application of the first remanufactured shield machine using domestic main bearings in China[J]. Surface Engineering & Remanufacturing, 2018, 18(3): 45.
- [18] 康宝生. 绿色环保经济发展与隧道掘进机再制造探析[J]. 隧道建设, 2013, 33(4): 259-265.  
Kang Baosheng. Analysis on green, environment-friendly economical development and remanufacturing of tunnel boring machines (TBMs)[J]. Tunnel Construction, 2013, 33(4): 259-265.
- [19] 易新乾. 盾构/工程机械再制造推进中14个问题探讨[J]. 隧道建设, 2018, 38(7): 1079-1086.  
Yi Xinqian. Discussion on 14 issues in remanufacturing process of shield/construction machinery[J]. Tunnel Construction, 2018, 38(7): 1079-1086.
- [20] 尚伟, 王百泉. 盾构刀具磨损超声波检测技术研究[J]. 建筑机械化, 2018, 39(1): 56-59.  
Shang Wei, Wang Baiquan. Research on ultrasound testing

- technology of shield tool wear[J]. Construction Mechanization, 2018, 39(1): 56-59.
- [21] 崔蓬勃, 沈彤. 新型土压平衡盾构机刀具磨损检测系统研究[J]. 江苏建筑职业技术学院学报, 2018, 18(1): 49-52.  
Cui Pengbo, Shen Tong. Study on wear detection system of new EPB shield machine cutter[J]. Journal of Jiangsu Jianzhu Institute, 2018, 18(1): 49-52.
- [22] 赵海雷, 孙振川.  $\text{Ca}_{0.68}\text{Si}_9\text{Al}_3(\text{ON})_{16}:\text{Eu}^{2+}$  带状荧光纳米纤维的制备、性能及盾构盘型滚刀的磨损检测[J]. 无机材料学报, 2018, 33(8): 866-872.  
Zhao Hailei Sun Zhenchuan. Synthesis, property and wear detection of disc cutter for shield tunneling machine of nanobelt  $\text{Ca}_{0.68}\text{Si}_9\text{Al}_3(\text{ON})_{16}:\text{Eu}^{2+}$  luminescence fibers[J]. Journal of Inorganic Materials, 2018, 33(8): 866-872.
- [23] 陈健, 刘红军, 闵凡路, 等. 盾构隧道刀具更换技术综述[J]. 中国公路学报, 2018, 31(10): 36-46.  
Chen Jian, Liu Hongjun, Min Fanlu, et al. Technical review of cutter replacement in shield tunneling[J]. China Journal of Highway and Transport, 2018, 31(10): 36-46.
- [24] 韩伟锋, 陈馈, 周建军, 等. 滚刀常压换刀技术研究[J]. 隧道建设, 2015, 35(12): 1351-1355.  
Han Weifeng, Cheng Kui, Zhou Jianjun, et al. Study on Replacement of disc cutter under atmospheric condition[J]. Tunnel Construction, 2015, 35(12): 1351-1355.
- [25] 日本盾构换刀技术旋转式更换装置大幅缩短作业时间[EB/OL]. [2019-01-06]. <https://www.tunnelling.cn/PNews/WeChat-Detail.aspx?weChatId=264>.  
Japanese shield tool change technology rotary replacement device greatly shortens working time[EB/OL]. <https://www.tunnelling.cn/PNews/WeChatDetail.aspx?weChatId=264>.
- [26] 霍军周, 黄晓琦, 孟智超, 等. 一种外置全断面岩石掘进机换刀机器人机身结构: CN108393881A[P]. 2018-08-14.  
Huo Junzhou, Huang Xiaoqi, Meng Zhichao, et al. A frame structure of external tool changer robot for TBM: CN108393881A[P]. 2018-08-14.
- [27] 霍军周, 黄晓琦, 孟智超, 等. 一种内置全断面岩石掘进机换刀机器人机身结构[P]. 中国: CN108340366A, 2018-07-31.  
Huo Junzhou, Huang Xiaoqi, Meng Zhichao, et al. A Frame structure of built-in tool changer robot for TBM: CN108340366A[P]. 2018-07-31.
- [28] 李红侠. 我国智能高铁自动驾驶技术应用进展[J/OL]. [2019-01-10]. <https://doi.org/10.13238/j.issn.1004-2954.201811260001>.  
Li Hongxia. Development of intelligent high-speed rail autopilot technology in China[J/OL]. [2019-01-10]. <https://doi.org/10.13238/j.issn.1004-2954.201811260001>.
- [29] 日本第一条磁悬浮铁路线隧道开挖—全世界最快铁路[EB/OL]. <https://www.tunnelling.cn/PNews/WeChatDetail.aspx?weChatId=82>.  
Tunnel excavation of Japan's first maglev railway line—the fastest railway in the world[EB/OL]. [2019-01-10]. <https://www.tunnelling.cn/PNews/WeChatDetail.aspx?weChatId=82>.
- [30] 邓自刚, 李海涛. 高温超导磁悬浮车研究进展[J]. 中国材料进展, 2017, 36(5): 329-334.  
Deng Zigang, Li Haitao. Recent Development of high-temperature superconducting maglev[J]. Materials China, 2017, 36(5): 329-334.
- [31] 为什么高铁不能随意提速?[J]. 军事文摘, 2018(14): 30-31.  
Why can't high-speed railway speed up at will?[J]. Military Digest, 2018(14): 30-31.
- [32] 李先明. 加强高速铁路勘察设计管理工作的探索与实践[J]. 国防交通工程与技术, 2016, 14(4): 22-25.  
Li Xianming. An exploration into and practice of strengthening the management work in the survey and design of high-speed railways[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defense, 2016, 14(4): 22-25.
- [33] 周大进, 崔宸昱, 马家庆, 等. 真空管道 HTS 侧浮系统线性电机起动特性研究[J]. 西南交通大学学报, 2016, 51(4): 750-758.  
Zhou Dajin, Cui Chenyu, Ma Jiaqing, et al. Starting characteristics of linear motor in evacuated tube hts side-suspended maglev system[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2016, 51(4): 750-758.
- [34] 真空管道高温超导侧浮系统取得重要实验进展[EB/OL]. [2019-01-06]. <https://news.swjtu.edu.cn/ShowNews-11913-0-1.shtml>.  
Important experimental progress in high-temperature superconducting side floating system of vacuum pipeline[EB/OL]. [2019-01-06]. <https://news.swjtu.edu.cn/ShowNews-11913-0-1.shtml>.
- [35] 黄柳楠, 李欣, 伍绍博. 水中悬浮隧道关键问题研究进展[J]. 中国港湾建设, 2017, 37(12): 7-10.  
Huang Liunan, Li Xin, Wu Shaobo. Research progress of key issues concerning submerged floating tunnels[J]. China Harbour Engineering, 2017, 37(12): 7-10.
- [36] 蒋树屏, 李勤熙. 水中悬浮隧道概念设计及动力分析理论与模型试验进展[J]. 隧道建设, 2018, 38(3): 352-359.  
Jiang Shuping, Li Qinxi. Development of conceptual design, dynamic analysis theory and model experiment of submerged floating tunnels[J]. Tunnel Construction, 2018, 38(3): 352-359.
- [37] 李凤远, 韩伟峰. 建设盾构TBM工程大数据云平台 创新引领行业技术发展[J]. 工程机械与维修, 2018(2): 113-115.  
Li Fengyuan, Han Weifeng. Innovation of big data cloud platform for shield TBM project leads technological development

- of the industry[J]. *Construction Machinery & Maintenance*, 2018(2): 113-115.
- [38] 蹇宇澄, 刘昭策. 深度学习的实现与发展——从神经网络到机器学习[J]. *电子技术与软件工程*, 2017(11): 30-31.  
Yu Yucheng, Liu Zhaoce. Realization and development of deep learning: From neural network to machine learning[J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2017(11): 30-31.
- [39] 薛亚东, 李宜城. 基于深度学习的盾构隧道衬砌病害识别方法[J]. *湖南大学学报(自然科学版)*, 2018, 45(3): 100-109.  
Xue Yadong, Li Yicheng. A method of disease recognition for shield tunnel lining based on deep learning[J]. *Journal of Hunan University(Natural Sciences)*, 2018, 45(3): 100-109.
- [40] 柳厚祥, 李汪石, 查焕奕, 等. 基于深度学习技术的公路隧道围岩分级方法[J]. *岩土工程学报*, 2018, 40(10): 1809-1817.  
Liu Houxiang, Li Wangshi, Zha Zhuanyi, et al. Method for surrounding rock mass classification of highway tunnels based on deep learning technology[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2018, 40(10): 1809-1817.
- [41] 柴雪松, 朱兴永, 李健超, 等. 基于深度卷积神经网络的隧道衬砌裂缝识别算法[J]. *铁道建筑*, 2018, 58(6): 60-65.  
Chai Xuesong, Zhu Xingyong, Li Jianchao, et al. Tunnel lining crack identification algorithm based on deep convolutional neural network[J]. *Railway Engineering*, 2018, 58(6): 60-65.
- [42] 党中涛. 基于CNN的隧道地质超前预报GPR实测数据分类研究及应用[D]. 西安: 长安大学, 2018.  
Dang Jintao. Research and application of gpr data classification for tunnel geological advance prediction based on CNN [D]. Xian: Chang'an University, 2018.

## Hot research topics of tunnel and underground engineering in 2018

GAO Pan<sup>1,2</sup>

1. China Railway Tunnel Group, Guangzhou 511458, China
2. State Key Laboratory of Shield Machine and Boring Technology, Zhengzhou 450001, China

**Abstract** The year of 2018 has witnessed a series of construction projects and technological progresses achieved by China in tunneling and underground engineering. This paper introduces the technical progress in shield construction, full-face TBM, new-type tunnel construction as well as the industry's development direction towards new-type and intelligence, so as to reflect the state-of-the-art and the development trend of the industry.

**Keywords** tunnel; underground engineering; shield; vacuum tunnel; submerged floating tunnel ●



(责任编辑 卫夏雯)