

煤矿掘进科学的思考

惠兴田

煤炭行业自古以来都是技术传统。技术传统的典型特征是：一方面是在原有技术基础上的不断改进、不断创新；另一方面是规程规范标准的坚定执行者、守护者。这种对技术传统的守护体现在部分生产经营者对新技术、新工艺应用的不信任。20世纪锚固技术出现后部分煤矿技术管理者对锚杆技术提出的质疑是“矿井的矿压能大到把组合工字钢压成‘麻花’，用1根锚杆怎么可能承受住这么大的矿压？”21世纪的疑问又演变成了“你在什么地方用过，是否成熟？”。

这些都是技术传统的后遗症和受害者，问题的关键在于对科学的理解和对现行制度的执行，很多时候不知道规程规范不仅应来自以往的经验，更应是基于科学理论的。目前，煤矿掘进设备的开发正在经历着从制造向创造转变的关键时期。

采掘技术的差距

“综掘”和“综采”在20世纪中后期作为实现煤矿工业化的标杆让很多人充满了憧憬。半个世纪后，综采愿望实现且正在朝着智能方向快速发展，而综合机械化掘进似乎还是一种幻想。目前，“快掘系统”也只是在坚硬顶板情况下，努力从半机械化向机械化方向艰难迈进，掘进施工离全机械化还有很大的差距，与自动化和智能化尚有一定距离。

我们应该思考一个现实：一个数百米长的采煤工作面放置了数百架支架、溜槽、数千根高压管线，还有采煤机与转载机和运输系统的动态相连等，如此复杂多变的系统都能够有条不紊地按照人的意愿关联工作，为何只有5 m宽度的掘进工作面设备的自动化，能让专家们束手无策？

应该清楚地认识到：智能化的基础是全自动化，全自动化的基础是全机械化。但目前煤矿掘进工作面还处在半机械化水平。与综采工作面装备的智能化相比，掘进技术举步维艰的现状不是机械设计与制造水平问题，而是掘进装备工艺科学尚未研究透彻。

技术传统的视力界限

在以往掘进工作面全面采用爆破落煤、人工装岩和架棚支护的时候，悬臂式掘进机（图1）在20世纪中期诞生并显示出了超前的先进性。悬臂式掘进机淘汰落后的爆破掘进，然而，在锚杆支护技术应用到煤矿动压巷道后，很少有人注意到该设备的本质问题。对于后来加入掘进机制造的后来者，几乎不知道悬臂式掘进机诞生时就没有推行锚杆支护巷道这样的事实，认为纵轴悬臂式掘进机用在煤矿巷道掘进是理所当然的。

掘进设备制造行业可以随时捕捉到巷道掘进工艺的变化，并根据巷道支护技术对掘进装备作出很多技术更新。研究者从20世纪中后期出现锚杆



图1 悬臂式掘进机

支护技术不久，便很快设计出了锚网支护的临时支护（图2），且在后来设计并研制了很多款式的临时支护和机载锚杆钻机（图3）。虽然奋斗了几十年且现在还有几个厂家在努力实现悬臂式掘进机上增加锚杆支护装置，市场上也有一些客户接受了这种装备，但这种装备的嫁接方式实用效果却并不理想的。

世界上先进煤机企业在20世纪后期就研究出了适合锚固技术巷道的掘锚一体机，山特维克（Sandvik）和久益（Joy）的几款全断面横轴掘锚机型同时期引进我国，早期引进的ABM20机型（图4）和12CM机型（图5）进入我国第一批进入并分布到我国不同矿区的设备，结果是除了在陕、蒙区域良好顶板条件下可以适应，在全国其他广大区域的煤矿并没有得到广泛认可。

当掘进机+锚杆机时代发展到全面网络化智能化的前夜，煤机行业将全断面横轴掘锚机型匹配了二次三次支护和超长的后配套称之为智能快掘系统

（图6），并很快在陕北侏罗纪煤田良好顶板煤层应用成功。但是，快掘设备在围岩完整性一般的情况下应用得并不成功。

上述分析说明，不论是掘进机+锚杆机，还是一体的掘锚机，都只能适应个别条件较好的围岩而没有广泛的普适性。我们应该思考：尽管在掘进装备的研制上获得了一定的成果，但全国80%的煤矿没有合适的掘进机可选择。

顺应市场的快速掘进

煤矿采掘失调，掘进速度无法满足回采需求是煤矿采掘失调的普遍问题。快掘设备目前有3种主流掘锚设备和1种配套方案，第1种是在传统的悬臂式掘进机上安装临时支护和钻机的（图3、图7）；第2种是利用现有悬臂式掘进机机架改变切削部为基础的掘锚一体机（图4、图5）；第3种是采用全刀盘全断面掘进机匹配各种钻装运（图8）。

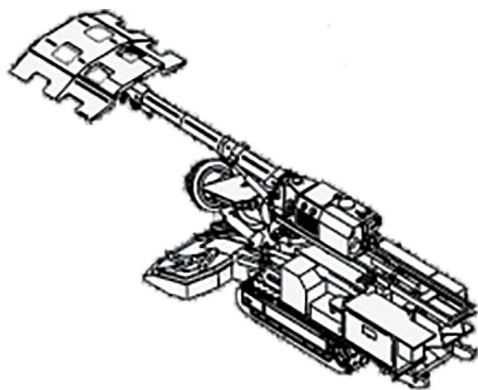


图2 20世纪早期的临时支护



图3 机载支护装置



图4 山特维克ABM20机型



图5 久益12CM 机型

在现有掘进机上增加临时支护和钻锚设备的第1种做法，是一种理所当然的技术传统惯性思维，也确实有效果。但问题是顾此失彼，辅助占据了主导地位，其副作用可能大于益处；第2种全断面横轴掘锚机的宽横轴大幅减少了空顶距，可以将钻机移近到掘进工作面最近位置，并且切割臂独立移动的设计可实现掘锚平行作业，这很大程度上符合完整顶板巷道施工；第3种是设计一组全断面切割刀盘，但切割功率的增加与切割能力并不成正比增长。后来出现的快掘系统的配套（图9）是充分利用顶板的完整性，将支护分为前后几组就可以实现多台钻机同时作业。科学分析并实践证明这些快掘装备的技术进步在坚硬顶板情况下十分有效，

但依旧无法适应全国大部分的市场需要。

机械制造的思维局限

很多装备制造企业没有掘进工艺师，或是认为聘请几个有数十年现场工作经验的工程技术人员作为技术支持，就可以大规模投入研发。实际上，掘进工艺与机械设计是不同的2个专业领域，不是将2个专业人员放在一起这样简单组合就可以解决问题的。

可能是因为掘进施工一眼就能看懂全过程的缘故，很多机械设计师在煤矿井下跟几个班就认为掌握了掘进施工的内涵，这种误导使得设计按照人



图6 全断面横轴掘进机配套锚杆台车



图7 悬臂式掘进机为基础的掘锚机



图8 全刀盘全断面掘锚机组



图9 快掘系统的配套

的行为设计机器，例如在掘进机上增加临时支护和锚杆钻机的做法就是以人的动机为代表。

另一种科学误区是将“看见”视为“发现”。现有的TBM和煤矿盾构掘进机的出现就是这类问题的具体体现。围岩暴露会失稳，采用盾构是正确的方案，而盾构法适应于松软土层的能力推测为适应破碎围岩的错误没有提前预警，对于以全方位挤压防护针对松软土层刚好满足挤压密实的稳定性，这一事实并不是一个初入门岩土行业的人可以理解的。当然，更多的岩土工程知识是设计盾构的基础。所以，目前市场部分盾构掘进装备，没有针对破碎围岩地质条件下的掘进装备，是因为缺乏一流的掘进工程师与机械设计师在理论设计上的有机融合。

虽然，模仿能够避免很多风险并迅速进入商业模式，但这种在技术基础上的不断开发研究永远难以超越首创者，更不太可能有重要突破，只有建立在掘进科学基础上的技术才能超越对方。

装备制造的临时支护

掘进装备制造本来是与工艺参数、围岩地质、矿压和支护材料相关联的系统工程，一般装备制造只要掌握了临时支护的基本属性才可以有很好的实用效果。目前，掘进设备针对临时支护处理的基础科学都是基于围岩顶板稳定状态下进行考量的。目前，有2种处理临时支护的方法：一是利用围岩开挖后具有一段暂短稳定的时间，以进行短空顶长距离空帮作业；此时，制造厂可以设置一个在施工过程中作用较小的临时支架，从而再实现“快速”。岩土工程的基础知识告诉我们，围岩顶板的坚硬永远都不是100%可靠。在这种情况下，人们往往会被看似坚固的围岩所欺骗，总是在不确定的危险概率下进行施工；因为，再稳定的围岩都有不可预测性的地质构造。所以，目前的快速掘进装备的本质安全型只是针对人员，而不是针对施工全过程；二是把围岩看成暴露就会失稳的盾构支护。

盾构法以全方位挤压防护针对松软土层刚好满足挤压密实稳定性，让永久支护顺利进行。目前，市场上针对破碎围岩的盾构或者全断面硬岩全断面掘进机，实际上还是利用围岩暂短的稳定作为施工的前提条件，这并不是盾构的本能。

煤炭系统业内为了实现快掘突破，各厂家均选择了在陕、蒙区域侏罗纪煤田的坚硬且十分稳定顶板的条件下展开角逐，各装备的制造商采用的都是临时支护以及同样工艺方案开发的快速掘进装备，快掘装备的水平难分高低，客户也就难分取舍。我们更应该知道，煤炭系统每年有上万千米煤巷掘进工程量，绝大多数矿井都属于难确定的不稳定围岩，而现在市场上不论是哪种掘进设备针对破碎围岩都不够优秀，且现有的掘进装备仍处于半机械化人工辅助的模式，无法实现双本质安全。因此，针对一般地层条件的本质安全型煤巷机械化快速掘进成套装备的研制，可以作为煤矿掘进装备制造和煤炭采掘专业院所下一步联合主攻和研究的方向。

画蛇添足的机械思维

在悬臂式掘进机上增加临时支护和锚杆钻机是画蛇添足的典型代表，因为没有从掘进科学层面研究掘进装备结构，在本来就不属于锚杆支护巷道使用的设备上，不断修改得不到预期结果是必然的。还有一个错误是跟风想制造机器人。我们应该清楚地知道，本来机器干活的能力就比人的强，为什么要制造机器人？举个例子，城市街道人行道上抬头可见的摄像头，联想起人脸识别、语音识别、人工智能与摄像头的耦合。一个摄像头就具备了超越人类的强大记忆力、综合判断分析能力、随时原景还原能力。所以，矿山巷道掘进造好机器就足够了（图10）。

机械设计的基本要素是掌握现场施工工艺方法。然而，目前我国巷道掘进施工几乎都是采用悬臂式掘进机切割破煤+人工铺网钻眼的机械化辅助施工方法。于是，机械设计就会想办法把人工劳动

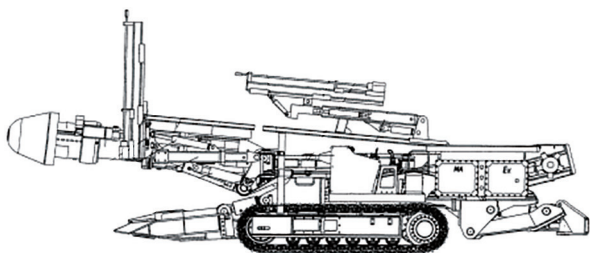


图10 掘锚机

变成机械化工作。比如，人工铺网的机械施工方案就是这样的典型体现。当这种以人的行为设计的铺网系统，投入运营时才发现，人们在搬运网片过程中的复杂行为远不是机械设计师所能想到的。这样的铺网装置不但起不到替换人力的作用，反而造成工作面的很多不方便。

智能掘进的思考

近年来煤矿智能化进程加速推进，机械化换人、自动化减人、智能化高效正深入煤矿生产。这里我们需先从科学思维出发，搞清楚智能化来源于自动化，自动化来源于全机械化。而我国目前最先进的掘进装备还不能实现全机械化的时候，就出现了甄别各种对于矿井工作面实现掘进智能化的报道。应用科学的观点看问题，虽然掘进装备实现智能化还需一段时间，但我们可以推测，机器或一个机器构件超过人的能力是可行的；但如果想要制造一个完全替代人工的掘进机器人来，还有很多技术难题需要攻克，目前煤矿井下应该积极研究的是智能机器而不是机器人。

快速掘进目标的实现途径

煤矿采掘失调，掘进速度不能满足回采需求是普遍问题，也是长期以来很难解决的问题，差不多每个矿井都希望快速掘进。

在科学上“快速”是一个没有意义的词句，

因为今天的快可能是明天的慢，也许你的快掘设备一出厂就已经成为别人的慢速掘进设备。所以，针对掘进需要的快，科学的方法是研究掘进的应用环境和机械的本能，把工艺参数、围岩地质、矿压和支护材料相关联去设计机械装备方案，让掘进装备与工程融合达到最理想效率。

纵观市场，掘进装备的需求很大，而且很多装备制造厂都在积极开发制造。从科学角度出发就会发现，快速掘进，智能构件比比皆是；但我们缺乏的是机械化和全机械化，而不是智能化。显然，机器制造厂没有找到合适的方案，对此有以下2点原因：

（1）拼实力不如拼水平

掘锚系统的组成方案，目前各厂家都是采用掘锚机临时支护+运锚机永久支护分开平行作业+长距离滑道后配套。大家想办法完善系统并提升质量；但是，在只有大型有实力企业角逐的市场，想凭质量占绝对优势是不太可能的。

目前，市场上快速掘进装备都是适应坚硬顶板或是顶板有一定稳定时间和可长距离空帮的情况，这并不符合岩土工程本质安全和本质高效施工的双本质理念。市场上也有针对破碎围岩的煤巷盾构机型，经过反复仔细研究发现，其设计理念没有完全理解“盾”在生产过程的作用，这种背驰掘进科学的形式上的“盾”达不到效果是必然的。造成现阶段困局的是一边在大力宣传快掘设备不断突破而且能力无限，另一边在80%的巷道掘进市场上还没有合适的掘进机可供选择。

从事煤矿掘进装备设计的机械专业人员对煤矿巷道掘进的了解已经到了瓶颈期，缺乏井下采掘一线长期历练经历，用“看见”“替代”“发现”误导了设计思路；还有用机器替代人的理念一直被误解。其实我们更应该知道机器本来就比人厉害，而不用想办法把机器做成机器人，让掘进技术及工艺研究者领航掘进装备设计可能是突破问题的关键。

总体来说，定义快速掘进设备一开始就让人们步入误区，现有的快掘机器设计利用的前提是巷道顶帮暴露后的自稳时间，或者更大的错误在于设备制造工艺以人干活为基础。按照此理念设计的设

备存在先天缺陷,这种缺陷不是机器制造的水平问题,各大掘进装备制造制造商制造技术显示不了水平差异。

(2) 掘进装备不能脱离支护工艺参数去孤军作战

基本上机械装备制造厂都一致地期望把机器制造成高集成度,以便显示自身制造水平和单元设备的集成能力,但对于巷道掘进装备来说,脱离围岩本质和实际去加工围岩是人工干活的技术传统惯性思维的延续。

煤巷掘进装备研制需要正视的一个问题是:支护结构参数、支护材料、掘进工艺、装备性能这4个要素是相互牵连的。现有市面煤巷快掘装备都是4个要素各自为政,例如:支护设计按照力学计算是矿方的事,这种设计往往会出现研制的四臂锚杆钻机需要完成5个顶锚孔的任务,一次推进行程2 m的钻机去干2.1 m的孔深的锚杆等诸多不匹配。上述4个要素不匹配及耦合的煤巷快掘装备无法发挥出高效率。

因此,设计煤巷掘进装备需把支护作为系统基础,应首先研究支护结构参数、掘进工艺及支护材料,在此基础上,再进行快掘机械装备的研制及优化,这是煤巷掘进装备科学化无法绕过的问题。

研发战略需要突破传统

煤炭装备制造企业历来把掘进装备机械化问题归结到机电专业上,而采掘装备的研制又需对采矿、矿建、地质、瓦斯、煤尘、通风等矿业基础学科研究的基础和技术进行融合。单一的由机械专业一统天下,已经让装备制造到了瓶颈期。另外,采矿行业具有相对封闭、安全生产责任压力大等特点,更习惯在国内外市场寻找成熟的装备,很少有矿方愿意花时间去寻找设备制造商定制自己需要的设备。这一点在各自专业独立对等的原则上表现尤为突出,也就是说本专业只解决自己领域的事情,各自独立工作。通过回顾历史、研究历史我们发现

了掘进装备一次技术路径改变给掘进带来了巨大变化,往往重大突破都是跨专业、跨领域研究的结果,有些甚至就是现场工作人员的一个施工习惯影响的结果,也有很多成功的典范是起始于专业,成就于非专业。所以,制造单位首先要有勇气承认自己发展的瓶颈,更应该寻求那些能够推翻他们现有技术的非专业人士。

由于行业的特殊性,专业技术人员已经习惯遵规守矩,更喜欢在现有技术基础上研究技术。一般情况下,这种在原有技术基础上的不断开发研究,永远难以超越首创者,更不可能有重要突破。只有建立在科学基础上的技术,才有可能超越突破,研究装备终极方案并委托定制可能是解决问题的又一好思路。

煤矿掘进装备的研制不仅需要深层次的巷道掘进支护相关科学的坚实基础,而且需要机械设计与制造专业才能作出装备顶层方案的正确方向。现在的装备研发都是用听取各方面专家的意见,而不是顶层方案设计环节。这种表面上看起来跨学科、跨领域造成今天煤炭行业快掘装备与现场条件不能全面应对不适应,与我们对单一专业学科的过分依赖与狭隘的发展观不无关系,我们不要以尊重权威、尊重专家来替代尊重知识。重要的突破是交叉学科的基础理论与科学技术相支撑,与机械设计制造的工匠精神融合。

掘进装备的出路在于各专业的深度融合。中国制造向中国创造转换的前提是掘进科学研究的先行,掘进科学的新发现是制造向创造转变的基础;中国速度向中国质量转变的关键是技术先行,现有装备的本质安全情况下开发本质高效技术是基础;中国产品向中国品牌转变的根本在于科学领先、技术先进和质量可靠三者的共鸣。希望掘进装备研发成为践行3个转变的榜样。

■ 责任编辑:李艾酥

作者简介:

惠兴田,教授,硕士。E-mail: 284639901@qq.com

作者单位:西安科技大学;山西运城职业技术大学