

# 煤岩体水力致裂的领跑者

## ——记国家优秀青年科学基金获得者黄炳香教授

张宇强

上天不易,入地更难。

我国煤炭资源分布不均,地质条件复杂,煤矿中的坚硬顶板、冲击地压、低渗透性煤层瓦斯抽采、煤与瓦斯突出等一直是制约煤矿安全高效生产的技术难题。这涉及一个共性的核心问题——煤岩体结构改造,即在煤岩体中人工增加裂缝,弱化其强度,改善其渗透性等。与传统方法不同,中国矿业大学黄炳香教授独辟蹊径,开拓了新的研究方向——煤岩体水力致裂。他研制了煤炭行业唯一的大尺寸真三轴水力致裂实验系统,多年攻关研究形成了煤岩体水力致裂理论与工艺技术体系,成功应用于山西、内蒙古、陕西、河南等省(自治区)数十个矿区的30多个煤矿。他还对煤层气地面井水力致裂增产,页岩气、可燃冰开采技术难题开展了相关研究。在前人基础上,他提出了煤与煤系伴生资源共采与矿井闭坑的理论与技术框架,关注采前和采后的科学采矿问题,实现采前、采中和采后的“矿井全生命周期的科学采矿”,为矿山行业可持续发展提供了新的思路。

### 独辟水力致裂方向

1978年,黄炳香出生于一个贫苦家庭,从小就学习刻苦,1997年高考时,机缘巧合进入西北地区唯一一家矿业类院校的西安科技大学采矿工程专业读书。2001年,黄炳香因为各方面表现突出,成为本专业唯一一名被免试推荐免试的研究生。2004年,黄炳香又以优异的成绩硕士毕业,并来到了中国矿业大学采矿工程系任教。

万事开头难。水力致裂在中国矿业大学是一个新的研究方向,在学院的殷切期望和大力支持下,黄炳香成立了水力致裂课题组,开始研究煤岩体水力致裂理论及其在煤矿的各方面应用。他亲力亲为,日夜奋战,广泛查阅最新资料,进行大量基础实验和数据分析。对于实验的每一个小细节,都要做到国际规范化水准,即便对于看似失败的实验,也反复琢磨,常常从中发现新的规律。晚上十点多,学生晚归时常常看到他仍然静静地坐在办公室聚精会神地推敲论文。

皇天不负有心人。黄炳香自行研制了大尺寸真三轴水力致裂实验系统,具备流注致裂、渗流、驱赶瓦斯、水力割缝(70MPa)等一

体化功能;系统研究了煤岩体水力致裂的机理与裂缝扩展规律,揭示了采动煤岩体水力致裂弱化的时空关系,提出了较为系统的煤岩体水力致裂控制方法;提出并研究了煤层水力致裂(注水)的驱赶瓦斯理论、深孔水力致裂驱赶浅孔抽采的增透与消突方法、基于水力致裂驱赶的煤层强度弱化、增透、消突、减尘等的一体化方法。

### 研以致用服务煤矿

一种新技术的开发,从实验室迈向工业化,转化为生产力,要经历一个漫长的攀登过程,水力致裂技术也不例外,很多煤矿不愿去承担风险,这使得黄炳香有了技术,却苦于没有用武之地。

然而,黄炳香坚定地认为自己的研究课题、思路和方法可行,一定能做出实用成果。他跑遍了徐州周边的煤矿企业,终于说服神火集团的一个煤矿试用水力致裂技术。黄炳香带领研究生在现场跟班,一呆就是几十天,获得了很有价值的现场资料。

随后,神东神东集团的一个煤矿综采工作面端头坚硬顶板问题找到黄炳香,在仅有5万元材料费的情况下,试验取得满意效果,神东公司的领导下井考察效果后,将神东公司中有类似问题的6个煤矿统一交由黄炳香进行解决。只要想到能够帮助煤矿解决安全生产问题,黄炳香就干劲十足,忙得不亦乐乎。

山西大同矿区具有全国典型的坚硬顶板,坚硬顶板瞬间垮落可造成采煤工作面大范围冒顶并形成飓风,挤出采空区瓦斯导致瓦斯爆炸等次生灾害。该问题长期制约大同矿区的安全生产,此前同煤集团引进了波兰专家的水力致裂技术和装备,也未能试验成功。在现场专家的一片质疑中,黄炳香接下了这个难题。他自己研发了成套的技术与装备,开始坚硬顶板水力致裂试验。施工期间正值春节,黄炳香坚守项目一线,经过充足的准备,试验取得圆满成功,一次性成功裂开大同矿区这个全国最典型的坚硬顶板,取得突破性的进展。

同煤集团领导都赞扬这次成功试验意义重大,同煤集团总工程师于斌说:“矿大黄炳香的技术为我们同煤集团实实在在解决了现场技术难题。”

随着水力致裂的成功应用,越来越多的煤矿开始主动找中国矿业大学寻求水力致裂的技术支持,哪怕是小小的煤矿现场问题,黄炳香都认真去解决,他的煤岩体水力致裂技术得到了大家的一致认可,逐渐地形成了“理论—技术—装备—技术服务”的发展模式。目前,黄炳香的研究成果已在大同煤矿集团、神东集团、华北油田煤层气公司等全国大型集团公司的31个矿井和2个煤层气田推广应用,在解决现场技术难题中已取得显著实效。

### 科技成果领跑国际

科学需要忘我的献身精神和严谨的治学态度。而黄炳香正是凭着献身科学的精神,在水力致裂的研究方向上渐行渐深。

他发明了一种基于压裂实现卸荷、应力阻断与让压的强地压巷道压裂应力转移方法。这项技术成功解决了大同塔山、同忻等煤矿坚硬顶板临空巷道冲击地压与大变形等技术难题,技术效果更是得到了现场的充分验证。相关专家鉴定,煤层坚硬顶板水力致裂控制理论与技术达到国际领先水平。黄炳香作为第一完成人获得了国家安全生产监督管理局颁发的安全生产科技成果一等奖。

对于坚硬顶板的冒放性控制这个技术难题,黄炳香提出基于顶煤水力致裂弱化与老顶(定向)水力致裂诱导顶压破断,形成了顶煤顶板水力致裂控制顶煤冒放性的方法。该技术已在榆林柳巷煤矿等多个煤矿应用,尤其在不宜爆破的高瓦斯矿井具有显著的技术经济效益。相关院士、专家鉴定,坚硬特厚煤层综放开采顶煤水力致裂控制理论与技术达到国际领先水平。他作为第一完成人获得了中国煤炭工业协会颁发的中国煤炭工业科学技术一等奖。

黄炳香主持的多项国家自然科学基金项目,教育部新世纪优秀人才、江苏省六大人才高峰等项目受到同行的认可和好评,发表论文50余篇(SCI、EI检索37篇),出版《煤岩体水力致裂理论及其应用》等专著2部,获发明专利11项等。

黄炳香学术思想活跃,治学态度严谨求实,获得了国家优秀青年科学基金(2015)、江苏省“六大人才高峰”A类(2014)、教育部新世纪优秀人才支持计划(2012)、孙越崎青年

科技奖(2012)、江苏省“333人才培养工程”中青年科学技术带头人(2013)、江苏省“青蓝工程”优秀青年骨干教师(2012)、江苏省优秀博士学位论文(2010)等荣誉与奖项。

与此同时,黄炳香31岁便被破格评为副教授,33岁被评为博导,35岁破格晋升为教授,是中国矿业大学优秀创新团队首席专家、中国矿业大学学术骨干。

### 心系煤矿思索矿业

传统煤矿仅开采煤炭资源,对煤系伴生的其他资源考虑较少或没有考虑。2013年全国煤炭行业出现产能过剩、价格断崖式下跌,行业效益整体下滑。同时,我国东部大量井工煤矿的煤炭资源枯竭,处境艰难。而煤系伴生资源种类多且储量丰富,利用现有煤矿开采系统开采伴生资源成本低,因此他提出可以试试转变思路,由传统的只开采煤炭,转变为煤与煤系伴生资源共采,提出了“煤与煤系伴生资源共采的理念”。使产品多样化,突破单一行业的限制,实现企业的最佳经济与社会效益。

他阐明了“煤与煤系伴生资源共采的理论与技术框架”。按开采方式对煤系伴生资源进行了分类,分析了其赋存特征、分布及储量概况。探讨了煤系伴生资源共采的资源所有权统一与共探方法,技术经济评价方法与资源共采规划、协调开采方法,围岩活动与多场演化规律,污染元素迁移规律等理论问题。

面对煤炭行业形势不景气、资源枯竭与产能落后的矿井的淘汰,关闭矿井的数量正在逐年增加。仅1990—2013年期间,中国煤矿由8万多处减少到1.2万处。大量闭坑矿井带来的安全与环境问题日益突出,且闭坑矿井的大量地下空间和资源可进行有条件的再利用。他在分析闭坑矿井的数量、特征以及地下空间特点的基础上,提出了矿井闭坑的工程背景、科学问题、关键技术、实践等基本问题框架。探讨了闭坑矿井的评价标准和责任体系、采空区覆岩长期沉降规律、采空区水、气与污染物的多场耦合与迁移规律、地下空间长期稳定性评价标准、地下空间利用方法等理论问题。

虽然科学采矿已经为行业所共识,但以往主要关注开采中的相关问题,对采前的伴生资源规划共采与采后的矿井闭坑很少关

注。在钱鸣高院士等提出的科学采矿理念基础上,他提出了煤与煤系伴生资源共采与矿井闭坑的理论与技术框架,关注采前和采后的科学采矿问题,实现采前、采中和采后的“矿井全生命周期的科学采矿”。这些新理念都是在国家对能源结构的宏观调控以及重视生态环保的大背景下提出来的,政府与煤矿企业携手转变开采理念,积极探索煤系伴生资源的综合勘探与共采实践,提高资源利用

率,推动煤炭产业结构调整,为矿山行业可持续发展提供新的思路,符合国家的战略发展方向,引领行业积极转型,具有重要的意义。

如今,作为一名国家重点学科的年轻教授,黄炳香正以更加饱满的热情、科学严谨的治学态度,向压裂理论与技术的不同分支方向迈进,向一道道压裂解决煤炭及煤系伴生资源安全高效开采的工程难题发起挑战,为祖国的采矿事业奉献自己的力量。



黄炳香教授深入矿井一线调研



黄炳香教授创新团队

# 黄文华：引领3D打印技术新思潮

杨洋



黄文华工作照

影响着黄文华,他时刻以恩师的话勉励自己。他说:“医学基础研究离不开临床的实际需求,我们所做的工作只是更好地为临床服务,做好‘临床’的配角。”

博士期间黄文华有幸加入钟院士的团队,见证了“中国数字人”的横空出世,这一壮举使中国成为了继美国、韩国之后第三个拥有数字化可视人数据的国家。在钟院士的谆谆教导下,黄文华坚定了基础服务临床的指导原则,以临床应用为主结合数字医学新型技术的科研路线。在团队的共同努力下,南方医科大学解剖学科建设取得一系列突出成果,2007年黄文华作为《中国数字化虚拟人体若干关键技术研究》项目的参与者,荣获了国家科技进步二等奖。

### 继往开来,在3D打印技术领域大显身手

黄文华在3D打印技术领域积累了众多经验,获取了相当大的成绩。他现任中国临床解剖学专业委员会副主任委员,广东省解剖学学会常务理事,广东省3D产业创新联盟副理事长,中国3D打印技术产业联盟生物医学理事,中国医药生物技术协会医学3D打印技术分会主任委员, SICOT中国部数字骨科学会副主任委员,中华医学会数字骨科组副组长,中华医学会显微外科学分会委员,《中国临床解剖学杂志》《中华显微外科杂志》编委。

黄文华介绍道:“3D打印技术的来临,将媲美电脑时代的兴起。目前,3D打印技术的应用领域越来越广泛,作为一项具有开创性意义的技术,3D打印技术也将给医疗行业带来深远的影响。”

3D打印技术作为一种新型制作工艺,它与医学的结合已成为科技界的一股新兴潮流,黄文华从中看到了巨大的潜力和广阔的发展前景。基于虚拟仿真的数字医学研究与3D打印技术具有天然的亲和力。但是不管模型重建的再逼真,它也只能在电脑中观察,而仿真手术却能为患者进行个性化的

手术规划。在实际诊疗中,如何确保个性化实施极为重要。而3D打印技术的兴起给予了黄文华更为广阔的施展空间。

例如,与广西贵港市人民医院合作开展的3D打印技术辅助的瓣膜优化设计在拇指精准重建中的应用,借助3D打印技术,可实现供区皮瓣的最优化设计,最大程度降低了外科重建过程中不必要的供区损伤,从而提高外科重建的临床效果。该项技术在广西多家医院推广获得广西医药卫生适宜技术推广一等奖、广西科学技术进步一等奖,并在中华医学会手外科分会举办的学习班上进行了专项推广。而在次年,合作开展的“3D打印技术在骨科修复重建中的基础与临床研究”再次获广西医药卫生适宜技术推广一等奖。“基础与临床的紧密合作是一种双赢模式”,基于以上,通过大量的临床案例积累和整理,对3D打印技术在骨科临床疾病治疗中的具体运用进行总结,编撰出了国内第一本与3D打印有关的骨科临床应用专著——《3D骨科学》。

### 精心打造科研平台,推进3D打印技术应用于实践

随着医学3D打印应用研究的深入,一些问题也逐渐显现出来。对于临床一线工作者,缺乏相关知识背景基础,而且在繁重的医务工作中,也无暇亲自亲为,技术壁垒、硬件设施制约着其发展。而且,理工等相关学科的交叉融合,对于科技人员也提出了更高的要求。

基于以上情况,黄文华带领团队根据临床实际应用的需求,构建了以数字医学、医学3D打印、生物力学等技术为代表的“医学3D打印技术创新平台”,依托解剖国家重点学科,建设了“南方医科大学医学3D打印研究所”,“广东省医学3D打印应用转化工程技术研究中心”等,致力于推进高新技术的医学转化应用。

具体来说,就是通过“临床需求—服务平台—临床应用”的双向联动机制,面向临床医疗服务机构及器械企业提供第三方医学数字化设计、3D打印精准制造等技术服务,有效的突破了数字化技术应用的瓶颈,使医学3D打印技术服务落到临床应用的实处,通过源自临床多样化的医疗需求,有效形成了可持

续创新的3D打印应用机制。目前,这一成果已在全省范围为多家医疗机构提供技术服务,受到业内人士一致好评。如,参与设计并协助南方医科大学第三附属医院成功实施了世界首例“髌臼骨折3D打印腹腔镜辅助下内固定术”,通过术前虚拟仿真及手术规划,并借助3D打印仿真骨折模型于体外进行手术预演,在腹腔镜辅助下成功完成髌臼骨折固定手术,并取得良好的临床治疗效果,这一成功的案例在中央台及地方台均有报道。

### 深入钻研,聚力高端核心技术产品应用转化

说起医学3D打印技术的发展现状,黄文华娓娓道来:“现在的医学3D打印技术创新应用多集中在形态学阶段,成型的模型更多的只能用于体外观察和简单的协助操作,并不具备可植入性及生物功能特性。”对于医学3D打印的应用前景,黄文华认为还有很大的空间去挖掘。他目前的工作重心即为针对医学3D打印关键技术,聚力高端核心技术产品应用转化。

具体来说,就是利用学科优势资源,依托广东省医学生物力学重点实验室,开展基于生物力学测试的新型医疗器械创新设计。如“股骨颈骨折治疗动力加压锁定板”“一种刚度可控的骨肿瘤缺损修复植入体设计和成型方法”“一种个体化骨骼模型的解剖型接骨板的设计及成型方法”,以上研究均申请了相关发明专利。同时,黄文华还与常州华森、佛山安齿等企业合作,在金属3D打印植入体的个性化设计、形态拓扑优化、表面处理、力学性能优化等方面进行了研究,对解剖基础研究应用产业化进行了初步探索。

在医学教学方面的应用潜力也是十分巨大的。他说:“由于大体资源的受限,寻求复制标本的新技术已被提上了科研日程。3D打印与数字医学结合,以数字仿真人体为蓝本,可以有效解决目前国内医学教育大体资源不足的问题。如,南方医科大学生命博物馆铸型标本堪称艺术精品,但其制作周期长、工艺复杂,而且保存不易,更受限于标本来源。如果将模型数字化就可进行永久保存,而通过3D打印技术就能实现批量复制,从根本上解决这一问题。在针对解剖医学教育模型的初步探索中,黄文华带领团队与上海光韵达医

疗联合进行了产业化开发合作,争取在产学研方面取得更大的成就。

### 博学多才,拓展3D打印技术应用范围

青,取之于蓝而青于蓝;冰,水为之而寒于水。作为一名知识渊博、谦虚谨慎的科学家,黄文华在科学的世界不断汲取知识和力量,让自己的科研人生越来越充实,内心越来越强大。他无畏艰险、挑战难题、超越自我,获得了一个又一个令人瞩目的成绩。他先后主持和参与国家自然科学基金重大仪器专项、国

家863计划和其他省市级课题40余项,累计在研经费4000多万元。他还曾赴美国、新西兰、韩国、新加坡、香港、澳门、台湾等国家和地区学习和交流,获取先进经验,让自己的研究更加深入。

黄文华对自己的科研事业有着永不枯竭的动力,他说:“3D打印技术将成为改变未来世界新的创造性科技,它在医学领域的应用蕴含着无限可能,这些可能性是推动我们不断探索、勇于前行的力量源泉。”让我们共同期待黄文华和他的团队引领大家尽快走向医学3D打印应用新时代。



3D打印研究中心及临床基地



2016年毕业生合影