**深厚黏土层多圈非等强复合冻结壁关键技术研究与应用**

项目公示内容

【**项目名称**】深厚黏土层多圈非等强复合冻结壁关键技术研究与应用

【**提名单位**】河北省煤炭学会

【**完成单位**】中煤第一建设有限公司

中煤邯郸特殊凿井有限公司

中国矿业大学

【**主研人员**】陈跃文 孙猛 郭永富 张勇 牛鹏翔 石荣剑 李锐志 高涛 王杰 张立刚

【**项目简介**】

**所属科学技术领域：**矿山建设工程

**研究起止时间：**2018年7月至2020年8月。

立项背景：山东新巨龙能源有限责任公司，位于山东省菏泽市巨野县龙堌镇，矿井于2004年6月开工建设，2009年11月建成投产，设计生产能力6.0Mt/a，核定生产能力7.5Mt/a, 为满足矿井安全生产要求，新巨龙能源有限责任公司新建一个东副立井。东副立井井筒净直径7.0m，净断面积38.5m2，表土厚度631.11m，井深1054.8m，表土、风化基岩及部分基岩段采用冻结法施工，设计冻结深度958米，双层钢筋混凝土井壁，井壁混凝土厚度冻结段1000～2478mm。东副立井有以下特点：第四系、新近系松散层水流速大，冻土形成困难；粉砂、细砂层主要含水层遇水易液化，易坍塌、泥化、溃砂；粘土层厚，新近系深部多层、厚层状粘土、粉质粘土，吸水膨胀性强，井帮易变形位移；基岩风化带疏松破碎，易坍塌，基岩构造复杂，断层构造破碎带以及多处裂隙发育段，破碎，断层带易遇水泥化，易坍塌；基岩深部地温高达43℃。在此条件下显著增加了冻结壁形成和维护的难度。项目组针对依托工程特点，创新性采取新的设计理念和施工方法，提出了“多圈、非等强、复合”冻结壁的新理念。

主要技术内容及创新点：

1、首次提出深厚黏土层多圈动态复合冻结壁的设计理念，建立了“等效温度”代替“平均温度”的计算方法，突破了冻结深度958m（631m连续深厚黏土层）的冻结工程技术难题。

2、揭示了深井（900m以深）供液管内外及冻结管外壁温度、以及高地温（43℃）情况下的冻结（盐水温度-32℃~-34℃）温度场发展规律，为解决深井冻结工程技术难题奠定了理论基础。

3、创立了动态复合冻结壁的冷量调配成套技术，实现了安全（无断管）、高效、节能的深井绿色冻结施工。

技术经济指标：

深厚黏土层多圈非等强复合冻结壁关键技术研究与应用科技成果应用到山东新巨龙东副立井冻结工程后，其井帮温度控制在不低于-8℃，井帮位移暴露期间最大位移17mm，比类似井筒井帮温度-16℃和井帮位移近50mm降低近一半。在保证安全的情况下为井筒掘砌单位提供了良好环境，少挖冻土，同时降低了冻结施工成本。与现有文献报道成果比较，技术先进，创新性高，适应性强。

专家评价意见：“该研究成果总体达到国际领先水平”。

应用推广及效益情况：在深厚表土层中采用冻结法建井，技术难度大、投资大、风险高，但是山东、河南等地及周边省份属于经济发达地区，能源需求量巨大，巨野地区深厚表土层埋藏大量煤层，煤质上乘，在该地区建设煤矿经济效益显著，同时，一个深厚表土层的立井井筒冻结和掘砌费用以亿计，进行高地温深厚粘土层深井冻结关键技术研究，能够实现冻结工程在科学数据的指导进行施工，优化冻结壁设计，有效避免工程事故的发生，提高冻结站运行效率。在保证冻结施工安全的前提下，优化冻结施工，节省工程成本，缩短施工周期，对于大型矿井，工期节省一天，效益都会以数百万元计算，因此本技术有广阔的应用前景。

【**创新推广贡献**】主要完成单位中煤第一建设有限公司充分发挥自身优势，聘请专家积极开展科技项实施方案的评审和依托工程施工组织设计的审核工作。项目实施期间对项实施各家单位进行组织协调，是项目能够顺利实施。

主要完成单位中煤邯郸特殊凿井有限公司发挥自身冻结专业施工队伍优势，紧紧围绕依托工程和科研项目研究内容组织施工，以及科研项目的现场研究工作开展，同时协助矿业大学完成数据收集和整理工作。为依托工程的顺利实施和科研项目的有序开展做出了巨大贡献。

主要完成单位中国矿业大学，组织科研团队，充分发挥自身在理论研究方面的优势，积极针对现场实测数据进行模拟反演，为冻结施工提供技术支持。

【**推广应用及经济社会效益情况**】

项目成果在深井冻结方面具有重大突破，可操作性强，应用前景广阔等特点，在深井冻结和深基坑冻结方面有广泛的推广价值。

**经济效益分析**

（1）科学的人工冻结施工方案为工程的安全提供了重要保证，节省了工程投资。

在非等强复合冻结壁研究的理论基础上，针对新巨龙东副立井井筒穿过地层特点，深厚粘土和高地温环境，方案设计时提出了多圈非等强复合冻结壁的设计理念，优化了冻结孔布置方案和冻结站安装形式。经过冻结孔优化，钻孔工程量节省2000m钻孔，折合到一台钻机施工至少可节省施工工期20天，直接降低施工成本投入100万元；同时冻结站装机优化后减少了四套冷冻机及附属设备的安装，经测算冻结施工人、材、机和设施配置费用等近1500万元，其中仅电费一项费用节省了1200万元的电费。综合以上两项采用该项成果后仅在设计上就节省了施工投入约1600万元。

（2）井筒掘砌施工顺利安全，缩短施工工期。

采用非等强多圈复合冻结壁冻结技术后，提高了井帮温度，降低了井帮位移量，促使掘砌施工快速、高效。经测算，表土掘砌速度比招标工期提前20天，仅冻结单位节省制冷电费350万元，节省人工成本、机械费用和管理成本约100万；为矿建单位节省人工、管理等费用约100万；同时建井工期缩短1个月，提前投产、达产早创效益6000余万元。

因此，《深厚黏土层多圈非等强复合冻结壁关键技术研究与应用》成功应用在山东新巨龙东副立井冻结工程，仅冻结单位节省了施工投入2050万元。井筒缩短建井工期，提前产煤，早创效益约6000万元。

**社会效益分析**

研究项目的社会效益主要体现在以下方面：

（1）多圈、非等强复合冻结壁的设计理念，更贴合实际冻结壁形成现状。

深厚黏土层冻结其冻结壁厚度和强度要求均较高，因此传统的单圈孔不能满足冻结壁厚度和平均温度的需要，冻结采用多圈孔冻结多圈孔冻结因其各圈之间温度场的不均匀性导致冻结壁内部温度不均匀。因此采用传统的设计理念不但要降低盐水温度，每圈冻结孔还要同时冻结。此种设计理念会大大加大冻结工程的施工成本。采用多圈非等强复合冻结壁关键技术，不但解决了深厚黏土层井筒冻结难题，同时还解决了深立井高地温大流速冻结难题。

（2）研究成果有效降低了冻结壁厚度和井筒需冷量，控制了井帮温度，为加快建井速度奠定基础。

冻结孔分期分圈冻结，盐水温度分圈控制，有效的降低了冻结站装机容量，消除了厚冻结壁条件下夹层水不易释放的隐患。分圈控制盐水温度，有效的利用了冻结温度场在不同温度环境下发展规律，分圈控制盐水温度，有效的控制了井帮温度，经统计，表土层施工期间井帮温度一直控制在-8℃以上，井帮暴露时间位移最大为17mm。成果应用后，在保证井筒安全的情况下提高井帮温度，降低冷量损失。

（3）研究成果有效降低了能源消耗，为社会节能减排工作做出贡献。

项目成功应用，优化了冻结孔布置，减少了冻结站装机容量，缩短了冻结站所有设备同时开启的时间，降低了能源消耗。复合冻结壁的应用，打破了常规冻结壁设计理念，在保证冻结壁安全的情况下，提高了盐水温度，提高了冻结设备的制冷效率。采用该成果，不但降低了装机容量，还提高了设备效率，又节省了冷量，符合当前节能要求。

（4）研究成果的应用，可以有效提高施工速度，缩短施工工期。

多圈非等强复合冻结壁的研究与应用，有效控制了冻土入荒径量，提高了井帮温度，降低了开挖强度，提高了开挖速度，缩短了施工工期，节省了施工成本。

（5）分圈冻结孔控制，复合冻结壁设计，降低了冻结壁需冷量，提高了冻结站的制冷效率，减少了装机容量，降低了能源消耗。

多圈非等强复合冻结壁研究与应用，改变了传统厚冻结壁的同时冻结，各圈冻结孔盐水温度一至的思想，设计时采用了非等强复合冻结壁的理念，冻结站分圈控制，各圈冻结壁温度不同，根据需要适时降低或升高某一圈的盐水温度，从而有效降低了冻结站装机容量，为冻结井筒能够快速、安全施工提供条件。冻结站装机量减少，降低了能源消耗，为节能降耗做出贡献。同时控制了井帮温度不至于过低，为掘砌提供了良好的施工环境，加快了建井速度，为矿方早日投产奠定基础。

（6）研究成果的应用，减少了制冷系统的占地面积，降低了能源的消耗。

冻结工程采用多圈孔非等强复合冻结壁技术，冻结各圈盐水温度分别控制，因此冻结站内冷冻机也是分组安装，同时各组之间也可互相补充冷量，因此可以减少冻结站冷冻机的装机台数。同时各圈冷冻机有严格分开，在冷冻机完成制冷任务后可以及时拆除制冷设备。因此采用该技术不但降低了冻结站装机容量，缩小了系统占地面积，同时还加快了制冷设备的周转。采用该技术后不但节省了能源消耗，同时还为施工单位加快了设备周转或降低了设备的租赁费用，因此社会效益显著。

（7）研究成果可以有效地保证施工的安全。

施工过程中，多种监测手段联合应用，确保了冻结壁的安全，经统计新巨龙东副立井检测深厚粘土层冻结壁井帮位移最高仅有17mm，因此该成果的应用有效的保证了井筒施工安全；期间科学合理分析，保证了冻结效果的判断准确性，确保了井筒掘砌安全。

综上所述，项目成果应用保证了井筒施工安全和降低了能源消耗，因此具有良好的社会效益。

【**主要知识产权证明目录**】授权发明专利2项，软件著作权2项。

1、已授权发明专利

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **已授权项目名称** | **国家(地区）** | **专利号** | **专利权人** | **发明人** | **授权公告日** | **专利有效状态** | **证明****材料** | **所支持创新点** | **是否包含河北省完成单位/完成人** |
| 1 | 一种提取上部冻结壁内侧冷量用于加强下部冻结的方法 | 中国 | ZL202010347082.2 | 中国矿业大学 | 孙猛、郭永富、岳丰田、高涛、魏京胜、吴雪慧、陆路 | 2021年4月20日 | 有效 |  |  | 是 |
| 2 | 一种矿井冻结壁冷量冷却风流的测试装置与方法 | 中国 | ZL202010234107 .8 | 中国矿业大学江苏纳奇机电设备工程有限公司 | 高涛、岳丰田、孙猛、魏京胜、纪何、刘展、吴雪慧、陆路、石荣剑、张勇 | 2021年3月16日 | 有效 |  |  | 否 |

2、已登记计算机软件著作权

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **软件或电路布图名称** | **登记号** | **著作权人** | **权利取得方式** | **首次发表****日期** | **证明****材料** | **所支持创新点** | **是否包含河北省完成单位/完成人** |
| 11 | 深厚黏土层多圈动态复合冻结壁设计软件V1.0 | 2021SR0637797 | 郭永富、陈跃文、孙猛 | 原始取得 | 2019年3月1日 |  |  |  |
| 2 | 深厚粘土多圈冻结壁冷量调节与控制软件V1.0 | 2021SR0637796 | 郭永富、陈跃文、孙猛 | 原始取得 | 2018年11月1日 |  |  |  |

【**主要完成人情况**】

| **姓名** | **排名** | **技术职称** | **工作单位** | **完成单位** | **对本项目技术创造性贡献** | **曾获科学技术奖励情况** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 陈跃文 | 1 | 教授级高级工程师 | 中煤第一建设有限公司 | 中煤第一建设有限公司 | 项目总负责及主研人员。为项目实施进行组织协调工作,为项囝丨顷不刂实施不日推广做出了较大贡献。 |  |
| 孙猛 | 2 | 讲师 | 中国矿业大学 | 中国矿业大学 | 技术负责人及主研人员。负责冻结壁温度场验算和计算机模拟分析。主持项目研究报告的编写，为本项目的顺利实施做出了较大贡献。 |  |
| 郭永富 | 3 | 教授级高级工程师 | 中煤邯郸特殊凿井有限公司 | 中煤邯郸特殊凿井有限公司 | 项目主研人员。项目策划与实施，主要参与施工方案的制定与现场实施，参与项目工程质量的检测与分析，组织开展现场实测与参与撰写研究报告。为本项目的顺利实施和推广应用做出了较大贡献。 |  |
| 张勇 | 4 | 副教授 | 中国矿业大学 | 中国矿业大学 | 项目主研人员。负责冻结壁温度场验算和计算机模拟数据的收集、整理和分析，现场数据数据和实施方案的执行。为本项目的顺利实施做出了较大贡献。 |  |
| 牛鹏翔 | 5 | 高级工程师 | 中煤第一建设有限公司 | 中煤第一建设有限公司 | 项目主研人员。主要参与施工方案的确定与现场实施，参与研究报告的编写。为本项目的顺利实施和推广应用做出了较大贡献。 |  |
| 石荣剑 | 6 | 副教授 | 中国矿业大学 | 中国矿业大学 | 项目主研人员。负责研究项目方案理论研究部分的研究，参与现场实测数据的收集和整理。为本项目的顺利实施做出了较大贡献。 |  |
| 李锐志 | 7 | 高级工程师 | 中煤邯郸特殊凿井有限公司 | 中煤邯郸特殊凿井有限公司 | 项目主要参加人员。主要参与施工方案的确定与现场实施，参与工程质量的检测与分析，组织开展了相差实测与参与撰写研究报告。为本项目的顺利实施做出了较大贡献。 |  |
| 高涛 | 8 | 讲师 | 中国矿业大学 | 中国矿业大学 | 项目主要参加人员。负责冻结壁冷量调配方案的制定和实施，参与现场实测数据的收集和整理工作，为项目研究和应用工作做出了较大贡献。 |  |
| 王杰 | 9 | 高级工程师 | 中煤邯郸特殊凿井有限公司 | 中煤邯郸特殊凿井有限公司 | 项目主要参加人员。主要参与施工方案的确定与现场实施，组织协调项目开展。为项目研究和应用工作做出了较大贡献。 |  |
| 张立刚 | 10 | 高级工程师 | 中煤邯郸特殊凿井有限公司 | 中煤邯郸特殊凿井有限公司 | 项目主要参加人员。主要参与施工方案的确定与现场实施，参与工程质量的检查与现场分析，组织开展现场实测和参与撰写研究报告，为项目研究和应用工作做出了较大贡献。 |  |

**完成人合作关系说明**

该项目由中煤第一建设有限公司、中煤邯郸特殊凿井有限公司、中国矿业大学合作完成。完成人中陈跃文、牛鹏翔属于中煤第一建设有限公司；郭永富、王杰、李锐志、张立刚、任东彬、杨岩斌属于中煤邯郸特殊凿井有限公司；孙猛、张勇、石荣剑、高涛、陆路、岳丰田、魏京胜属于中国矿业大学。项目完成单位组成产学研合作联盟。

陈跃文是项目总负责人，是项目研发和实施的总策划者。自2018年以来致力于复合冻结壁研究，全面负责研究内容、方法和技术路线的制定和实施。在项目中提出深厚黏土层多圈非等强复合冻结壁设计施工新理论的总体思路。

孙猛是项目技术研发总负责人，从2018年以来，一直致力于本项目在技术方面的研究。主要负责项目复合冻结壁从设计理论、实验室模拟到施工过程中的动态调整等方面的研究。提出了立井施工过程中，不同深度冻结壁动态调整规律。与第一完成人陈跃文、第三完成人郭永富合作完成了“深厚粘土层多圈动态复合冻结壁设计”软件；与第三完成人郭永富、第八完成人高涛；第十二完成人岳丰田、第十四完成人魏京胜共同申请了发明专利“一种提取上部冻结壁内侧冷量用于加强下部冻结的方法”；与第八完成人高涛、第十二完成人岳丰田、第十四完成人魏京胜共同申请发明专利“一种矿井冻结壁冷量冷却风风流的测试装置与方法”。

郭永富是项目实施的总负责人，从2018年开始一直参与本项目的实施。主要负责项目的整体实施。在项目实施过程汇总分析了不同圈冻结壁强度对整体冻结壁的影响，明确了项目研究的内容。与第一完成人陈跃文、第二完成人孙猛共同完成了“深厚粘土层多圈动态复合冻结壁设计”软件。

张勇是项目成员，从2018年开始致力于本项目的研究工作，期间提出了复合冻结壁不同圈径间的冻结壁调整思路，与其他完成人合作完成了科研成果。

牛鹏翔是项目成员，从2018年开始，一直致力于本项目的研究工作，期间提出了项目研究关于复合冻结壁动态调整的创新理念，与其他完成人共同合作完成科技成果。

石荣剑是项目成员，从2018年开始，一直致力于本项目的研究工作，期间提出了不同圈径间冻结壁设计及非等强复合冻结壁等效温度的理念。

李锐志是项目成员，从2018年开始，一直致力于本项目依托工程施工过程技术管理，提出了施工过程中调节各圈冻结孔运转参数的方法。

高涛是项目成员，从2018年开始，一直致力于本项目的研究工作，提出了运用冻结壁冷量提取技术来提高冻结站运转效果。与第二完成人孙猛、第十二完成人岳丰田、第十四完成人魏京胜等共同申请发明专利“一种矿井冻结壁冷量冷却风风流的测试装置与方法”。

王杰是项目成员，从2018年开始一直参与本项目的研究，主要负责依托工程的设计与施工过程的组织协调工作。

张立刚是项目成员，从2018年开始一直从事本项目的研究，主要负责本项目依托工程冻结施工过程的数据收集和整理工作，参与研究报告的撰写工作。与项目第三完成人郭永富、第七完成人李锐志共同申请实用新型专利“便携式搅浆站”。

具体合作关系见下表。

**承诺：**本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

**第一完成人签名：**



报奖知情同意证明（知识产权）

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 深厚黏土层多圈非等强复合冻结壁关键技术研究与应用 |
| 知识产权名称 | 一种提取上部冻结壁内侧冷量用于加强下部冻结的方法 |
| 知识产权类别 | 已授权发明专利 | 国家（地区） | 中国 |
| 授权号 | ZL202010347082.2 | 授权日期 | 2021年4月20日 |
| 证书编号 | 4368428 | 权利人 | 中国矿业大学 |
| 发明人 | 孙猛、郭永富、岳丰田、高涛、魏京胜、吴雪慧、陆路 |
| **知情承诺：**同意项目完成人使用该知识产权，并已知晓“获奖项目所用知识产权不得再次用于申报省科学技术奖、未获奖项目所用知识产权不得连续两年使用”等有关规定。 |
| 权利人签字：发明人签字：其它情况说明： |
| **承诺：**上述知识产权用于报奖的情况，已取得未列入项目主要完成人的其它权利人（发明专利指发明人和专利权人）的同意，若由此产生异议、争议，本人愿意承担相应责任，同意该报奖项目按照相关规定接受处理。第一完成人签字： 第一完成单位（公章）年 月 日  |

报奖知情同意证明（知识产权）

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 深厚黏土层多圈非等强复合冻结壁关键技术研究与应用 |
| 知识产权名称 | 一种矿井冻结壁冷量冷却风流的测试装置与方法 |
| 知识产权类别 | 已授权发明专利 | 国家（地区） | 中国 |
| 授权号 | ZL202010234107 .8 | 授权日期 | 2021年3月16日 |
| 证书编号 | 4299952 | 权利人 | 中国矿业大学、江苏纳奇机电设备工程有限公司 |
| 发明人 | 高涛、岳丰田、孙猛、魏京胜、纪何、刘展、吴雪慧、陆路、石荣剑、张勇 |
| **知情承诺：**同意项目完成人使用该知识产权，并已知晓“获奖项目所用知识产权不得再次用于申报省科学技术奖、未获奖项目所用知识产权不得连续两年使用”等有关规定。 |
| 权利人签字：发明人签字：其它情况说明： |
| **承诺：**上述知识产权用于报奖的情况，已取得未列入项目主要完成人的其它权利人（发明专利指发明人和专利权人）的同意，若由此产生异议、争议，本人愿意承担相应责任，同意该报奖项目按照相关规定接受处理。第一完成人签字： 第一完成单位（公章）年 月 日  |