



解决工程问题的通用方法和哲学思考——以四川页岩气开发套管变形问题为例

陈朝伟

中国石油集团工程技术研究院有限公司 钻井工艺研究所, 北京 102206

摘要: 大型工程施工作业中难题时有发生, 为了快速高效地找到解决工程问题的思路和方法, 提高经济效益, 本文对页岩气开发套管变形问题的攻关过程进行了梳理, 并应用辩证唯物主义哲学去观察和提炼, 分析总结了解决工程问题的一般流程和方法 (PRIS)。(1) 提出问题 (P) 指通过调查分析, 从工程问题中提炼科学问题; (2) 研究机理 (R) 指通过建立模型、试验数值模拟和矛盾分析, 探索问题的本质原因; (3) 研发手段 (I) 指根据问题的机理和矛盾, 探索解决问题的思路, 研发具体的技术手段; (4) 试验推广 (S) 指把新工艺和新技术推广到现场, 解决生产问题。PRIS 的底层逻辑契合辩证唯物主义的认识论和方法论, 作为一种体现了哲学规律性的工程流程方法, PRIS 可以在工程实践中为解决工程问题提供指导。

关键词: 石油工程; 工程问题; 哲学思考; 页岩气开发; 套管变形

中图分类号: TE34

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2025)03-0387-10

引言

石油工程是根据油气和储层特性建立适宜的流动通道并优选举升方法, 经济有效地将深埋于地下油气从油气藏中开采到地面所实施的一系列工程和工艺技术的总称, 包括油藏、钻井、采油和石油地面工程等。

石油工程是和地下岩石打交道, 常常遇到诸多问

题, 比如, 钻井破岩问题、井壁失稳问题、井漏问题、套管变形问题和水力压裂造缝问题等等。每个问题都有各自的特殊性, 分析方法都有所不同, 解决思路也差异很大。当面对一个新问题时, 能否快速找到分析方法和解决思路呢? 或者说, 对于这些问题有没有一个通用的分析和解决方法呢?

针对这一问题, 本文以四川页岩气开发套管变形问题为典型案例, 简要介绍了技术攻关过程, 并通过

收稿日期: 2024-07-21; **修回日期:** 2025-05-08

作者简介: 陈朝伟 (1979—), 男, 博士, 正高级工程师, 研究方向为石油工程技术。E-mail: chenzwdri@cnpc.com.cn

引用格式: 陈朝伟. 解决工程问题的通用方法和哲学思考——以四川页岩气开发套管变形问题为例[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2025, 17(3): 387-396. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20240095. CSTR: 32282.14.JES.20240095

Chen Z W. General Methods and Philosophical Thinking for Solving Engineering Problems: Taking the Issue of Casing Deformation in Sichuan Shale Gas Development As an Example[J]. Journal of Engineering Studies, 2025, 17(3): 387-396. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20240095. CSTR: 32282.14.JES.20240095

对工程问题研究方法的总结与思考, 形成了一套系统的工程问题解决流程和方法。该流程方法的底层逻辑与马克思主义认识论和唯物辩证法相契合, 因而使其具备了工程方法论的普遍意义。这套方法和流程可为工程实践提供有效参考与指导。

1 典型案例

为保障国家能源安全并实现“双碳”目标, 中国石油天然气集团有限公司通过评层选区、先导试验、示范区建设和规模上产四个阶段, 目前已成功实现四川地区页岩气的效益开发^[1]。

四川页岩气开发的主体技术包括水平井和分段体积压裂技术。水平井按丛式井组部署, 采用常规双排布井方式, 水平巷道间距为300~400 m, 水平段长度1500~2000 m。井身结构采用“三开三完”^①方式, 水平井井眼直径215.9 mm, 固井采用 $\phi 139.7\text{ mm} \times \text{Q125} \times 12.7\text{ mm}$ 气密封扣油层套管^②。完井方案采用套管射孔完井工艺, 压裂均采用电缆泵送桥塞分簇射孔分段工艺(图1), 按照从“脚趾”(水平井B点)到“脚跟”(水平井A点)的顺序压裂。簇间距按20~25 m设计, 考虑到每段分3簇, 每簇间距20~25 m, 段长为60~75 m。

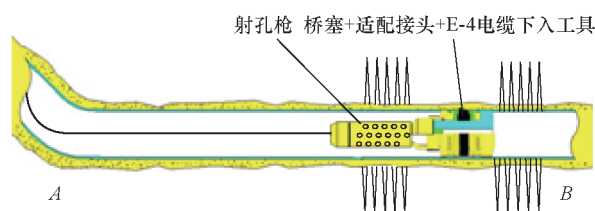


图1 水平井和分段体积压裂技术示意图

Figure 1 Schematic diagram of horizontal well and segmented volumetric fracturing technology

不同于美国巴内特等页岩气区块, 川南页岩气区块地质条件更为复杂, 钻完井工程中常面临多种技术难题, 包括井壁失稳、井漏及压裂期间的套管变形等

问题。其中, 套管变形问题尤为突出, 是当前页岩气开发过程中最严峻的工程挑战。

以四川长宁区块第一口页岩气水平井宁201-H1井为例(2011年), 该井分12段, 压裂施工作业前, 使用118 mm钻头钻井底水泥塞过程无阻卡现象。随后顺利完成了第1段压裂施工作业。但是, 在下入2号桥塞过程中, 在井深3490 m处桥塞遇阻, 而其设计井深为3577 m, 距离其设计井深87 m。现场取出桥塞, 使用114.3 mm铣锥通井仍然遇阻, 起出后发现铣锥单侧存在划痕。根据桥塞遇阻及铣锥划痕状态, 判定宁201-H1井在井深3490 m发生了套管变形问题。最后, 在变形处就地坐封桥塞, 设计施工12段调整到实际施工10段, 完成了后续的压裂施工作业。

截至2019年9月6日, 四川长宁区块已完成压裂井161口, 发生套管变形井共计55口, 套管变形比例34.16%。威远区块套管变形比例为52.3%, 近几年才开发的泸州深层页岩气, 套管变形比例也高达40%。套管变形导致压裂段数减少, 降低单井产量, 处理套管变形也会增加作业成本, 而且, 套管变形还影响二次压裂, 缩短井的生命周期。因此, 套管变形从多个方面制约着页岩气的高效开发。

笔者在2014年4月开始接触页岩气开发套管变形问题, 并把解决套管变形问题作为个人和团队的重点攻关方向。在近10年的时间里, 按攻关方向可以分成三个阶段。

第一阶段, 2014—2016年底, 主要研究套管变形的原因和机理。经过近两年的调查研究发现, 套管变形的地质原因为断层/裂缝, 工程原因则是水力压裂。基于地质力学原理, 研究建立了流体通道-断层激活模型。该模型揭示了压裂引发套管变形的过程: 压裂液沿流体通道进入断层/天然裂缝, 导致其孔隙压力上升; 当压力达到临界值时, 将激发断层/天然裂缝滑动, 进而引发套管变形。相关研究成果在

① 在页岩气开发中, “三开三完”是指一口水平井的钻井作业分三个阶段(三开)完成, 并确保每个阶段一次性顺利完工(三完), 以提高效率、降低成本。

② 套管参数解析: 139.7 mm外径、12.7 mm壁厚, 属于API标准常规尺寸, 适用于中深井(3000~5000 m); 钢级Q125, 高强度套管, 适合高压、含腐蚀性流体或地应力复杂地层; 气密封扣为特殊螺纹设计, 通过金属/弹性密封确保高压气井的密封性, 需严格检测上扣扭矩和密封脂涂覆。

2016年11期的《天然气工业》上刊出^[2], 截至目前该论文已被引用150余次, 成为页岩气领域套管变形研究中的高被引论文。

第二阶段, 2017年初—2022年, 主要研究如何解决套管变形的问题。利用断层激活理论与定量风险分析方法, 提出了断层滑动风险评估和套管变形预测方法^[3-4], 并开发了套管变形风险预测软件。建立了断块滑动和套管相互作用数值模型, 定量分析了套管变形的影响因素, 提出了“以柔克刚”的套管变形预防理念^[5-6], 基于该理念, 发明了橡胶组合套管等工具^[7], 以及研发了超低弹性模量材料等大变形固井用材料。研究了套管变形井微地震和施工曲线特征, 提出了套管变形预警方法^[8]。建立了水力压裂激发断层活化的数值模型, 研究了排量、液量和流体黏度对断层滑动的影响规律, 提出了高风险断层降液量, 中风险降排量的套管变形控制方法^[9]。综合来看, 形成了涵盖钻前预测、压前预防、压裂预警及压裂控制的一体化套管变形防控技术方案^[10]。相关研究成果已汇编为专著《四川页岩气套管变形机理与防控技术》^[11], 并于2022年底由科学出版社出版。

第三阶段, 2023年初至今, 主要工作是完善软件、加工产品、室内试验和现场试验等^[12-13], 努力把防控技术推到现场, 最终解决套管变形问题。

2 解决工程问题的通用流程和方法

通过对页岩气套管变形问题以及其他工程问题研究过程的梳理, 可以总结出一套共性的流程和方法, 包括提出问题、研究机理、研发手段和试验推广4个阶段(图2)。

2.1 提出问题

解决工程问题的第一步是从工程问题中提炼科学问题。提出科学问题, 是解决问题的起点, 相当于指明方向, 重要程度不言而喻。钱学森指出: “数学方法只是技术科学研究中的工具, 不是真正关键的部分。那么, 关键的是什么呢? 技术科学工作中最主要的一点是对所研究问题的认识。只有对一个问题认识

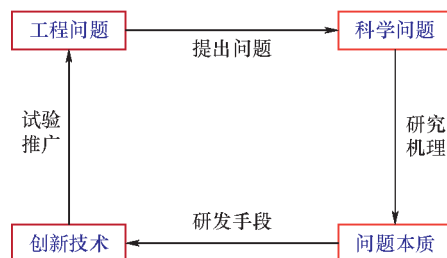


图2 解决工程问题的流程和方法

Figure 2 Processes and methods for solving engineering problems

了以后才能开始分析, 才能开始计算。”^[14]

怎样才能正确地提出科学问题呢? 首先是做调查。围绕工程问题, 尽可能收集现场资料, 特别是现场第一手数据资料。以石油工程问题为例, 资料包括地震、地球物理和测井等地质资料, 也包括钻井、压裂、测试、录井等工程资料。还要在现场和相关技术人员面谈, 了解他们对问题的认识, 听取他们的意见。

接着利用“解剖麻雀”的方法对资料作分析。所谓“解剖麻雀”的方法, 就是选好一两个或几个数据资料比较典型的典型案例, 对其进行全面且详细的剖析, 根据问题发生的时空, 分析每一个因素(各类资料)和问题之间的相关性, 判断什么是问题的主要因素, 什么是次要因素, 哪些因素虽然也存在, 可是它们对问题本身不起多大作用, 因而这些因素就可以忽略不计。

接下来是真正创造性的工作, 即结合这些因素和自然科学及工程专业知识, 提炼出工程问题背后的科学问题。科学问题代表了研究者们对工程问题的认识、对现象机理的初步了解。提出科学问题的过程并非一蹴而就。当发现科学问题存在偏差时, 必须暂停理论工作, 重返现场进行观察, 收集必要的新数据, 继而重新构建科学问题。这种做法既能避免将个别现象误认为普遍规律而导致片面性错误, 又能防止错将支流视作主流而造成重大判断失误。

套管变形问题的科学问题是怎么提出来的呢? 笔者收集了与套管变形相关的所有资料, 包括套管变形检测资料(井径测井数据、铅印资料)、地质资料(蚂蚁体、曲率体、似然体等)、测井数据、钻井资料(井轨迹、狗腿度)、固井质量资料和压裂资料(微地

震监测数据、压裂施工曲线等),并以宁201-H1井和长宁H19平台为典型案例,对套变相关的每一个因素进行解剖分析,并将初步的结论和其他所有井进行对比分析,最早提出套管变形是由温度应力效应引起的,但后来根据新的套管变形实测资料否定了这个认识,前后经历了两年的时间,最终认识到断层/裂缝是套管变形的地质原因,水力压裂是套管变形的工程原因,并结合地质力学原理,提出了“在四川页岩气长宁-威远等区块,水力压裂为什么能引起断层/裂缝滑动”的科学问题。

2.2 研究机理

解决工程问题的第二步是通过对科学问题进行研究,探索问题的本质原因。

最常用的科学方法是模型法,即针对科学问题,结合典型案例和专业理论知识,建立一幅关联各主要因素的“图画”。因此,模型是对现场工程问题发生过程的一种合理正确的抽象,是科研工作者的创造性工作,既体现了本质的、内部联系的东西,又与实际过程相比,具有简化和理想化的特点。通过模型,可以对问题形成一般性的定性认识,并为工程问题提供定性解释。需要说明的是:对于同一过程,在不同问题中,若关注其本质的不同方面,可以构建出截然不同的模型。

模型也是进行定量研究的新起点。基于模型,可以利用理论推导、室内试验或数值模拟等方法对问题进行研究。通过理论推导,能够得到理论结果是最理想的,但由于工程问题的复杂性,得到理论结果的情况还是很少见的。因此,室内试验和数值模拟是更常用的方法。室内试验和数值模拟方法都是要设计一个和现场相似的过程,让问题在实验室或电脑上重现,利用现场典型案例数据设计室内试验或数值模型的数据,得到定量的数据结果。通过对比结果和现场实际数据,可以检验模型正确与否。通过人为控制变量(因素变化),利用试验或数值模拟得到对应的结果,了解不同因素对问题的影响程度,判断问题发生的主控因素,基于问题发生过程中不同因素之间的定量关系,得到过程中各因素的内在联系。

事物的本质是由主要矛盾以及矛盾的主要方面决定的^[15],因此,接下来利用模型分析问题发生的矛盾运动过程,分析过程有哪几个阶段,每个阶段矛盾的特殊性,主要矛盾和次要矛盾,矛盾的主要方面和次要方面(因素),每个因素之间是怎么连接的,矛盾各个方面各占何种地位、对抗情况以及各自的变化情况,从而最终揭示问题发生的本质原因。石油工程中的很多工程问题是与力学相关的,而力学中的基本矛盾是作用力和反作用力。因此,分析这类问题的内在矛盾时,需要利用油气田地质力学、井筒流体力学和井筒管柱力学中的相关原理,分析问题发生过程中的作用力和反作用力,并了解这些作用力之间是怎么联系在一起的。

在研究套管变形问题的过程中,基于现场调查分析结果和地质力学原理,建立了流体通道-断层滑动模型^[2](图3)。然后在该模型的基础上,建立了水力压裂激活断层/裂缝数值模型,讨论了压裂施工参数和断层/裂缝之间的定量关系;建立了断块滑动和套管相互作用的数值模型,讨论了套管钢级、套管壁厚、固井水泥石弹性模量和厚度对套管变形量的影响规律等^[6]。在这些规律认识的基础上,进一步理清了套管变形过程的几个矛盾,即井底压力和地层闭合压力、断层/裂缝的剪应力和滑动阻力、滑动的断层/天然裂缝和套管之间的相互作用,以及井底压力和滑动阻力存在定量的依存关系^[13]。进而,结合四川页岩气地质和工程特征,揭示了页岩气套管变形的本质原因。

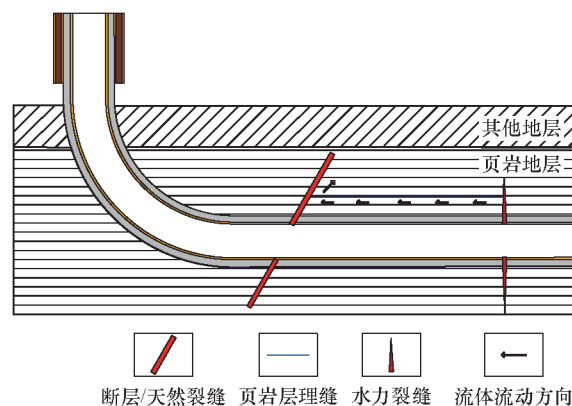


图3 流体通道-断层滑动模型^[10]

Figure 3 Fluid channel-fault slip model^[10]

2.3 研发手段

解决工程问题的第三步是在机理和矛盾认识的基础上,探索解决问题的思路,进而围绕具体的技术问题,研发解决工程问题的技术手段。

揭示了问题发生的矛盾运动过程,就掌握了问题发生的必然性,从而可以实现对工程问题的预测。具体的方法,就是对矛盾的各个方面(因素)以及各自的变化有一个定量的认识,进而根据矛盾的转化条件对问题进行预测。为了方便工程应用,常见的做法是基于模型开发一套关联各主要因素的工程软件,利用该软件,可以方便地进行预测、评估和优化设计等。有些情况下,为了实时掌握关键因素的数值变化,需要研发具有能够对该数据进行实时测量和监测功能的技术,从而实现现场问题的实时预警。

解决工程问题需要具体的技术手段,实现预防和控制的目的。不同的矛盾,要用不同的方法来解决,即具体问题具体分析。其中一种常见的问题是在矛盾转化过程中发生的,这种问题的解决,需要通过分析矛盾两个方面的转化条件入手,研究解决问题的具体思路。唯物辩证法认为,外因是问题发生的条件,内因是问题发生的根据,外因通过内因而起作用。石油工程问题的内因往往是地质原因,外因是工程原因,地质因素是客观的,不可改变的,工程因素是可改变的。在了解工程问题的地质和工程的内在联系后,通过改变工程中可控因素,从而可以避免矛盾双方发生转换。根据该目标,可以提出解决问题的方向。而改变可控因素的具体方法有很多,可以从工艺上改变,也可以开发新产品,包括研发新工具和新材料等。

仍以套管变形问题为例说明研发手段的思路和方法。断层/裂缝面上的剪切力和滑动阻力这对矛盾的转化会引起运动状态的变化。当剪切力小于滑动阻力时,断层/裂缝是稳定的;当剪切力大于滑动阻力时,断层/裂缝发生滑动。根据井底压力和滑动阻力之间的关系,通过改变井底压力,可以控制滑动阻力始终大于剪切力,这种解决套管变形问题的思路可称为“均衡压裂”理念,主要手段包括“控液量和控排量”的双控技术、“一堵一疏”和“一簇一压”等具体策

略。此外,根据断层/天然裂缝和套管之间的相互作用这一对矛盾,应该免“硬碰硬”,而应该采用“以柔克刚”的预防理念。具体的技术手段包括“低弹模”水泥石固井法,即水泥石的抗压强度在满足要求的情况下,弹性模量尽可能低的预防套管变形方法^[6],或应用一种外层膨胀橡胶组合套管工具^[7]。基于上述理念,还可以进一步探索更多的手段或者技术。

2.4 试验推广

解决工程问题的第四步是在对新工艺和新技术进行测试的过程中,针对系统配套带来的新问题进行测试和分析,对产品进行优化改进,提高技术成熟度,最终解决工程问题。

首先要进行室内试验和测试。对于新工具和新材料等技术手段,在应用到原系统时,可能带来新的问题。这就要求新产品的设计要考虑全面:一方面,通过试验和数值模拟等方法,对新产品进行功能测试;另一方面,还要结合现场工艺,进行安全方面的考虑,进行安全性测试。

在现场试验前要做好现场试验方案,考虑整个现场施工工艺过程,注意每一个细节,并做好安全预案。当顺利完成现场试验后,及时对其效果进行评价。值得说明的是,新技术往往不是一帆风顺的,出现这样那样的问题是正常的。这时要对问题及时总结,对产品进行优化设计。

目前,针对套管变形问题,现场主要采取“双控”的技术方法,即对裂缝发育带穿过的压裂段降低液量 200~300 m³,降低排量 2 m³/min,通过对比可知,优化施工参数对套管变形的减缓取得了一定的效果,但仍有部分井的停泵压力数值较大,仍能够激活断层/裂缝。另外,先后在威远区块高风险区域威 204H38-4 井、威 204H18-5 井和威 204H40-3 井开展了“高强度微珠固井”工艺现场试验,这 3 口井都是位于套管变形高风险区域的高风险井,目前威 204H38-4 井已经顺利完成压裂,没有发生套变^[16]。2024 年,对原创的橡胶组合套管技术在新疆油田 JHW69-13 等 6 口井进行了现场试验,总计下入 38 根,下入过程安全可靠,固井和压裂作业正常,对比试验结果证实了

防套管变形能力显著。

3 哲学思考

笔者在思考解决工程问题方法论的过程中,也在不断思考其背后的哲学基础。为了表述方便,用“PRIS”来描述上述流程,其中P(problem)表示提出问题,R(research)表示研究机理,I(innovation)表示研发创新手段,S(service)表示试验推广。

3.1 PRIS蕴含着辩证唯物主义认识论思想

PRIS的各个环节组成一个前后联系、不可分割的整体。提出问题和研究机理,是对客观实际问题从感性认识到理性认识的过程,最终目的是解释问题(解释世界)。研发手段和试验推广是在理性认识的基础上,形成解决问题的理念和具体手段,并回到现场去解决工程问题,最终目的是解决问题(改造世界),如果遇到新问题,再进入下一个循环。PRIS四个环节是“实践—认识—再实践—再认识”的辩证唯物主义认识论的过程^[17]。

PRIS体现了理论和实践的辩证关系。PRIS是从工程问题出发,通过研究和研发,最终要回到解决工程问题上去。一方面,体现了实践对认识的决定性作用,即实践是认识的来源、动力、目的和检验标准。另一方面,也说明认识对实践的反作用,即正确的认识,科学的理论对实践有巨大的指导作用,而没有理论指导的实践,就是盲目的实践^[17]。在解决工程问题过程中,往往需要不断重复PRIS的过程,即由实践到认识,由认识到实践这样多次的反复,才能够完成。

3.2 PRIS蕴含着唯物辩证法思想

PRIS遵循了特殊和一般的辩证关系。从套管变形研究实例到PRIS,是一个特殊到一般的过程,当利用PRIS研究其他的石油工程问题,甚至其他行业的工程问题时,是一般到特殊的过程。相似地,PRIS和辩证唯物主义认识论也是特殊和一般的关系,PRIS是辩证唯物主义认识论在工程领域的体现,在

其他领域也可以推广和借鉴^[18]。

PRIS的过程,是从工程问题出发,分析矛盾,解决矛盾,从而最终解决工程问题的过程。工程问题是一种现象,是矛盾的表现形式。唯物辩证法认为,事物是运动变化发展的,事物的运动变化发展是由矛盾运动的结果。如果矛盾双方的对立统一关系以对立为主,矛盾双方处于尖锐激化的状态,或者矛盾的两个方面向着它的对立面所处的地位转化时,事物的运动状态就发生了变化。这两种情形都有可能“事与愿违”,在外部可能表现为问题。因此,PRIS遵循了问题和矛盾之间、现象和本质之间的辩证关系。PRIS过程就是在利用矛盾分析法研究工程问题的过程。

4 现实意义

PRIS为科研工作者提供了一套科研工作方法论。

4.1 知道干什么和知道怎么干

科技研究的最高境界,可归纳为十个字:知道干什么,知道怎么干^[19]。根据PRIS,科研工作者要干的工作主要就是解决工程问题。因此,科研工作必须坚持问题导向,要研究真问题,真研究问题^[20]。

PRIS还可告诉科研工作者如何解决工程问题。关键在于明确自己所处的解决阶段,并通过发挥主观能动性,将科研工作从一个阶段推进到下一阶段。

在提出问题的过程中,广泛调查和收集数据,学会解剖麻雀的工作方法,坚持理论和实际相结合,锻炼从现场资料中提炼科学问题的思维能力,避免从论文中寻找科学问题。

在研究机理的过程中,学会模型研究法,锻炼抽象思维能力,提高试验或数值模拟能力,善于寻找和发现规律,养成矛盾分析思维。对问题的规律性认识及时总结,积极撰写论文。主动和现场人员交流,积极参加学术会议,听取不同的意见和建议,丰富认识。

在研发手段的过程中,要从问题的矛盾出发,提出切实可行的解决思路 and 理念,及时撰写专利。积极地把专利转化成技术产品,并努力把产品推广到现场去,以求真正解决问题,不仅把论文写在祖国的大地

上, 而且实现技术创新, 推动技术进步。

总之, 提出问题、研究机理、研发手段、试验推广等阶段都是主动探索的过程, 正体现了毛泽东思想阐述的“实事求是”的“求”的过程^[21]。

4.2 知道学什么和知道怎么学

一般地, 工程问题是多学科交叉的, 解决问题往往不是一蹴而就的。解决问题的过程中需要不断学习。要学习什么呢?

从 PRIS 过程可知, 一方面要学习正确的思维方法。主要的是要学习马克思主义哲学, 以便更好地了解和掌握解决问题的思维过程。要养成抽象思维能力, 研究问题要追求认识问题的本质, 主动寻找问题的矛盾以及矛盾的两个方面; 以及不同矛盾方面之间的关系。另一方面, 认识问题的本质, 解决问题的理念, 以及研究具体的解决问题的技术手段, 包括工具和材料等, 这些都离不开专业知识, 因此, 要学习相关专业知识, 提高运用专业知识的能力。此外, 做研究, 还需要掌握或了解工程分析的数学方法、工程问题的科学基础、工程设计的原理和实践等。

5 结论

通过对 10 年科研经验的总结, 形成了一条解决工程问题的流程和方法——PRIS 理念, 包括提出问题、研究机理、研发手段、试验推广 4 个阶段。

(1) PRIS 揭示了科学、技术和工程之间的内在联系。工程问题具有复杂性、现实性和特殊性, 而科学问题具有一般性, 提出问题是工程问题提炼科学问题的过程, 是由个性到共性的过程。而研究机理的过程是基于工程问题的本质, 研发手段, 试验推广的过程, 是从共性到个性的过程。工程问题是目的, 科学问题是方法, 技术问题是手段, 科学、技术和工程是目的和手段的统一、理论与实践的统一。

(2) PRIS 可为培养卓越工程师提供一套可行的方法论, 在解决具体的工程问题过程中, 按照 PRIS 流程, 坚持干中学, 学中干, 边干边学, 进而可以不断提高技术创新能力和工程思维水平, 最终成长为善于解决复杂工程问题的工程师。

参考文献

- [1] 何晓, 吴建发, 雍锐, 等. 四川盆地长宁: 威远区块海相页岩气田成藏条件及勘探开发关键技术[J]. 石油学报, 2021, 42(2): 259-272.
He X, Wu J F, Yong R, et al. Accumulation conditions and key exploration and development technologies of marine shale gas field in Changning-Weiyuan block, Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(2): 259-272.
- [2] 陈朝伟, 石林, 项德贵. 长宁—威远页岩气示范区套管变形机理及对策[J]. 天然气工业, 2016, 36(11): 70-75.
Chen Z W, Shi L, Xiang D G. Mechanism of casing deformation in the Changning—Weiyuan national shale gas project demonstration area and countermeasures[J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(11): 70-75.
- [3] Chen Z W, Zhou L, Walsh R, et al. Case study: Casing deformation caused by hydraulic fracturing-induced fault slip in the Sichuan Basin [C]//Proceedings of the 6th Unconventional Resources Technology Conference. Houston, Texas, USA. Tulsa, OK, USA: American Association of Petroleum Geologists, 2018, 6: 23-25.
- [4] Chen Z W, Fan Y, Huang R, et al. Case study: Fault slip induced by hydraulic fracturing and risk assessment of casing deformation in the Sichuan basin[C]//Proceedings of the SPE/AAPG/SEG Asia Pacific Unconventional Resources Technology Conference. Brisbane, Australia. Tulsa, OK, USA: Unconventional Resources Technology Conference, 2019.
- [5] 陈朝伟, 房超, 朱勇, 等. 四川页岩气井套管变形特征及受力模式[J]. 石油机械, 2020, 48(2): 126-134.
Chen Z W, Fang C, Zhu Y, et al. Deformation characteristics and stress modes of casings for shale gas wells in Sichuan[J]. China Petroleum Machinery, 2020, 48(2): 126-134.
- [6] 蒋振源, 陈朝伟, 张平, 等. 断块滑动引起的套管变形及影响因素分析[J]. 石油管材与仪器, 2020, 6(4): 30-37.
Jiang Z Y, Chen Z W, Zhang P, et al. Casing deformation and its influencing factors caused by block sliding[J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2020, 6(4): 30-37.

- [7] 项德贵, 陈朝伟. 一种含膨胀橡胶外层的组合套管: CN 106761442B[P]. 2019-06-11.
Xiang D G, Chen Z W. A combination casing with an expansive rubber outer layer: CN 106761442B[P]. 2019-06-11.
- [8] 陈朝伟, 张浩哲, 周小金, 等. 四川长宁页岩气套管变形并微地震特征分析[J]. 石油地球物理勘探, 2021, 56(6): 1286-1292, 1198.
Chen Z W, Zhang H Z, Zhou X J, et al. Microseismic characteristics of shale gas wells with casing deformation in Changning, Sichuan[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2021, 56(6): 1286-1292, 1198.
- [9] 陈朝伟, 黄锐, 曾波, 等. 四川盆地长宁页岩气区块套管变形井施工参数优化分析[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(1): 93-100.
Chen Z W, Huang R, Zeng B, et al. Analysis and optimization of construction parameters for preventing casing deformation in the Changning shale gas block, Sichuan Basin[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(1): 93-100.
- [10] 陈朝伟, 项德贵. 四川盆地页岩气开发套管变形一体化防控技术[J]. 中国石油勘探, 2022, 27(1): 135-141.
Chen Z W, Xiang D G. Integrated prevention and control technology of casing deformation in shale gas development well in Sichuan Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2022, 27(1): 135-141.
- [11] 陈朝伟. 四川页岩气套管变形机理和防控技术[M]. 北京: 科学出版社, 2022.
Chen Z W. Deformation Mechanism and Prevention and Control Technology of Shale Gas Casing in Sichuan[M]. Beijing: Science Press, 2022.
- [12] 陈朝伟, 周文高, 项德贵, 等. 预防页岩气套变的橡胶组合套管研制及其抗剪切性能评价[J]. 天然气工业, 2023, 43(11): 131-136.
Chen Z W, Zhou W G, Xiang D G, et al. Development of rubber composite casing for preventing shale gas casing deformation and its shear resistance evaluation[J]. Natural Gas Industry, 2023, 43(11): 131-136.
- [13] 陈朝伟, 曹虎, 石元会. 四川长宁区块地应力特征及裂缝带活化分析[J]. 工程地质学报, 2020, 28(增刊): 86-95.
Chen Z W, Cao H, Shi Y H. *In-situ* stress characteristics and fracture zone activation analysis of Changning shale gas in Sichuan Province [J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28(S): 86-95
- [14] 钱学森. 论技术科学[J]. 科学通报, 1957, 4: 97-104.
Qian X S. On technical science[J]. Science Bulletin, 1957, 4: 97-104.
- [15] 毛泽东. 矛盾论[M]//毛泽东选集: 第1卷. 北京: 人民出版社, 1991: 299-337.
Mao Z D. Theory of contradiction[M]//Selected Works of Mao Zedong: Volume 1. Beijing: People's Publishing House, 1991: 299-337.
- [16] 张平, 何均宾, 刘子平, 等. 页岩气水平井套管的剪压变形试验与套变预防实践[J]. 天然气工业, 2021, 41(5): 84-91.
Zhang P, He Y B, Liu Z P, et al. Shear and compression deformation test of casing in horizontal shale gas wells and casing variation prevention practice[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(5): 84-91.
- [17] 毛泽东. 实践论[M]//毛泽东选集: 第1卷. 北京: 人民出版社, 1991: 282-298.
Mao Z D. Theory of practice[M]//Selected Works of Mao Zedong: Volume 1. Beijing: People's Publishing House, 1991: 282-298.
- [18] 毛泽东. 反对本本主义[M]//毛泽东选集: 第1卷. 北京: 人民出版社, 1991: 109-118.
Mao Z D. Opposition to capitalism[M]//Selected Works of Mao Zedong: Volume 1. Beijing: People's Publishing House, 1991: 109-118.
- [19] 苏义脑. 关于工程科技创新的哲学思考[J]. 石油科技论坛, 2020, 39(1): 10-14.
Su Y N. Philosophical thoughts on engineering technological innovation[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2020, 39(1): 10-14.
- [20] 习近平. 努力实现高水平科技自立自强[M]//习近平著作选读(第二卷). 北京: 人民出版社, 2021: 468-475.
Xi J P. Endeavouring to achieve a high level of scientific and technological self-reliance and self-improvement[M]//Selected Writings of Xi Jinping (Volume 2). Beijing: People's Publishing House, 2021: 468-475.
- [21] 毛泽东. 改造我们的学习. 毛泽东选集: 第3卷[M]. 北京: 人民出版社, 1991: 795-803.
Mao Z D. Transforming our learning[M]//Selected Works of Mao Zedong: Volume 3. Beijing: People's Publishing House, 1991: 795-803.

General Methods and Philosophical Thinking for Solving Engineering Problems: Taking the Issue of Casing Deformation in Sichuan Shale Gas Development As an Example

Chen Zhaowei

Drilling Technology Research Institute, CNPC Engineering Technology R&D Company Limited, Beijing 102206, China

Highlights

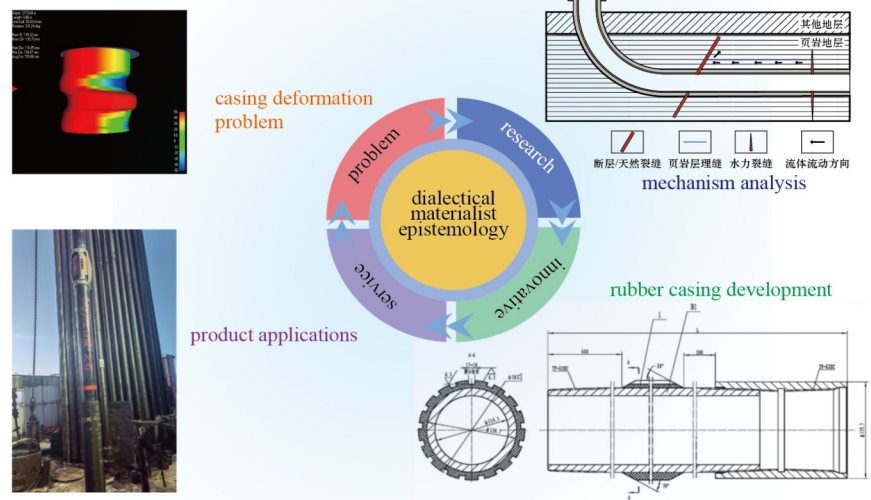
Summarizing 10 years of scientific research experience, a process and method for solving engineering problems were proposed, which includes four stages: problem posing, research mechanism, R&D technical means, and product promotion.

The underlying logic of PRIS aligns with the epistemology and methodology of dialectical materialism. The four stages of PRIS are the process of dialectical materialist epistemology of “practice cognition re-practice cognition”. PRIS follows a dialectical relationship between particularity and generality, problem and contradiction, phenomenon and essence.

PRIS reveals the intrinsic connections between science, technology, and engineering, providing researchers with a methodology for research and graduate education.

Graphical Abstract

General Methods and Philosophical Thinking for Solving Engineering Problems



Abstract: Problems often arise in large-scale engineering construction operations. In order to quickly and efficiently find ideas and solutions to solve engineering problems and improve economic benefits, this paper sorts out the research process of shale gas casing deformation problems, and applies dialectical materialism philosophy to observe and refine. The general process and method for solving engineering problems are analyzed and summarized:

(1) Problems posing: through comprehensive investigation, typical case analysis, as well as refining the rough and accurate, and combining professional theoretical knowledge to extract scientific problems from engineering problems.

(2) Research mechanism: Based on scientific problems, a reasonable abstraction of the occurrence process of on-site engineering problems is carried out, and a model related to various main factors is established. Using the model, theoretical/numerical/experimental research is conducted to clarify the main controlling factors of scientific problems and the inherent connections between each factor. Using a model, analyze the process of contradictory movements that occur in a problem, clarify which stages the process has, the particularity of each stage's contradiction, the main and secondary contradictions, the main and secondary aspects (factors) of the contradiction, how each factor is connected, the position of each aspect of the contradiction, the situation of confrontation, and their respective changes, in order to ultimately reveal the essential causes of the problem.

(3) Research and development innovation means: Based on the understanding of the contradictions that arise, analyze the conditions for the transformation of contradictions, explore ways to solve problems, and then develop specific technical methods to solve engineering problems around technical issues such as prediction, warning, control, and prevention.

(4) Experimentation and extension services: In the process of testing new processes and technologies, analyze and test the new problems brought by system matching, optimize and improve the product, improve technical maturity, and ultimately solve

engineering problems.

The above process can be described using PRIS, whose underlying logic aligns with the epistemology and methodology of dialectical materialism. On the one hand, PRIS contains the epistemological ideas of dialectical materialism, that is, the four stages of PRIS are the process of dialectical materialist epistemology of “practice cognition re practice cognition”. On the other hand, PRIS contains the dialectical thinking of materialism, which follows the dialectical relationship between special and general, problem and contradiction, phenomenon and essence. As an engineering process method that embodies philosophical regularity, PRIS can not only provide guidance for solving engineering problems in engineering practice, but also reveal the inherent connections between science, technology, and engineering, and provide a feasible methodology for cultivating outstanding engineers.

Keywords: petroleum engineering; engineering problems; philosophical thinking; shale gas development; casing deformation