

# 地浸采铀拓荒牛

## 写在我国地浸采铀技术发展三十周年之际

本报记者 陈瑜

不开掘矿井巷道、不使矿石发生位移,集采、选、冶于一体,1984年,经过十余年转战南北的不懈试验探索,留苏归来的水文地质专家、我国地浸采铀技术奠基人王西文带领团队在云南掀起了我国铀矿采冶技术的新篇章。

30年来,从西南边陲到天山北麓、吐哈盆地、内蒙古草原,我国地浸采铀技术不仅实现了从无到有的跨越,而且已成为我国主要的铀矿采冶技术,预计到2016年,应用这一技术生产的天然铀产品将占我国年生产量的50%以上。

从酸法、碱法到中性(CO<sub>2</sub>(二氧化碳)+O<sub>2</sub>(氧气)),地浸人一路探寻,不断创新,让低品位、低渗透、高碳酸盐、高矿化度等复杂的砂岩型铀资源不再是不能开发利用的“呆矿”,而且极大地促进了我国砂岩型铀资源的勘查,使其占铀资源总量由2000年的12%上升到41.57%。

### 向常规铀矿采冶方法宣战

铀资源是国家战略资源和重要的能源资源,是核军工和核电的重要原料。常规采冶方法是把铀矿石从地下挖出来,运到地表,然后采取多种物理和化学手段从中提取出有用组分。

中核集团科技带头人、核工业北京化工冶金研究院(以下简称核化院)第一任地浸技术研究所所长谭亚辉给记者算了一笔账,我国铀矿床矿石平均品位大约在0.1%左右,也就是说,从地下挖出1000吨矿石,能够提取的铀最多只有1吨,其余999吨是废石,这种常规的采冶方式不仅要占用大量土地资源,还要产生大约3000吨废水。

地浸采铀技术是通过注液钻孔将溶浸液注入地下矿层,使其在矿层与矿石发生反应,形成含铀溶液,再通过抽液钻孔用潜水泵将含铀溶液提升至地表,然后进行水冶处理,加工成铀的初级产品;提取铀之后的尾液又配置成溶浸液再注入地下矿层。这种方法采铀,不会破坏地表植被,不会产生废渣,还大大减少外排废水量。

但当时国内并没有地浸技术,国外也只有前苏联和美国等几个国家开展了研究工作,在那个年代,铀与核武器紧密相连,与此相关的技术属于绝密。

因此,中国发展地浸采铀技术,必须完全靠自己,一切都是从零开始的。

“首先要解决的难题是如何将化学试剂输送到矿层。”1985年大学毕业的李建华已在地浸采铀领域“浸泡”了30年,如今是核化院地浸技术研究所所长。他将整个过程比喻为一场武戏,铀矿体埋在地下,看不见、摸不着,如果不能准确判断这个“上将军”在哪里,一切无从谈起。即便知道在哪里,还需要打开一条“水路”,才能探囊取物。

研究地浸采铀技术,首先需要在实验室模拟地下环境,由于铀本身具有放射性,一般人都不愿意接触。在没有现成的实验室,防护措施也十分简陋的情况下,李建华在内的几个80年代初刚大学毕业的毛头小伙,在几间没有通风设施的平房内,经过艰苦努力,建起了国内第一个地浸采铀模拟实验装置。

钻孔是地浸采铀的三大关键环节之一。1983年3月18日,没有红纸招展,没有嘉宾祝词,在云南腾冲的第一个地浸现场试验研究钻孔开始施工了。

虽然事先已经多次研讨,但大家还是忐忑不安,尤其是勘探工程师谢业祥一言不发,面色凝重。

钻机与岩层亲密接触,一寸一寸艰难下行。钻到“橡皮层”了,粗笨的钻机吼叫着,柴油发动机冒着黑烟,两天两夜,尝试了各种手段,进尺几乎为零,走南闯北、经验丰富的老机长无奈地搓手,在一旁抽着呛人的土烟。

一夜无眠,在众人期待的目光中,谢业祥走上机台,趴在机台上根据来自地下数十米深处钻头的“呼吸”,时而调整钻速,时而调整钻压。夜幕降临,奇迹出现了,钻杆已经开始前进了。

地浸钻孔,肩负着溶浸液进出矿层的重要使命,关键字就是“通”。

“通”蕴含很多的地浸采铀关键技术。

只有几米厚的矿层埋在地下数十到数百米,换句话说,几百米的钻孔需要“通”的仅仅是几米矿层,其余部分是不能“通”的,否则,溶浸液就像脱缰的野马到处跑了。

2001年酷暑,扎基斯河畔511矿床16号勘探线地浸采铀试验现场,在经历两次现场试验失败之后,用创新的填砾结构施工的钻孔仍然“不通”,万般无奈下,时任项目总指挥、新疆矿冶局副局长、现任核化院院长的郭忠德果断决策,用价值数万元的进口潜水泵洗孔,奇迹终于发生了。

要从地下矿层中把铀提取出来,溶浸剂好比关公的青龙偃月刀。青龙偃月刀需要千锤百炼,溶浸剂的选择、配方同样如此。每一种选择、每一个配方都需要经过至少3个月试验,24小时轮流值班,观察溶浸剂与矿石发生的一点一滴的化学反应。

地浸采铀技术的另一个难题是溶浸范围控制,既要使溶浸液与矿石充分接触,又要把已浸出铀的溶浸液全部从地下提升到地面,确保含铀溶液不外溢,以免污染外圈地下水。

“溶浸范围控制不好,不仅影响铀资源回收率,而且可能造成环境污染。但溶浸范围究竟多大、如何控制,是需要通过模拟地下水的运动和流向,进行精确计算,并采取相应技术措施才能做到的。”李建华说。



通辽铀业地浸采铀生产现场

### 从“酸法”到“中性”的探索之途

1998年,国家计委批准的新疆伊犁地浸采铀工业性试验项目通过验收,标志着我国用硫酸做溶浸液的地浸采铀技术基本成熟,开始走向大规模的工业应用。

该技术获得了国家科技进步二等奖,核化院的地浸人名声大震。

“那时大家信心满满,”郭忠德回忆说:“感觉攻克了该技术,只要找到砂岩型铀矿,都可以采用酸法地浸采铀技术。”

但在位于新疆吐哈盆地的十红滩矿(738矿)床地浸现场试验时,地浸人的信心被一点点浇灭。

那是一座地处茫茫戈壁深处、探明铀资源近万吨的砂岩型铀矿床,当年目标是将其建成新疆第二大铀矿基地。因为当时同属砂岩型铀矿床的737矿已在2000年建成工业规模的地浸采铀矿床,739矿也顺利进入到工业性试验阶段。

“含矿层化学结垢和钻孔堵塞非常严重,超出了我们的想象。”时任项目总设计师姚益轩回忆,小碗口粗的溶液管道只剩下小指头那么细。无论是炎炎夏日还是瑟瑟寒冬,每隔几天便要靠人力从一百多米深的钻孔内提出重达数十公斤的潜水泵,然后采取各措施对钻孔进行清洗,再将潜水泵放入孔内;频繁洗孔成了日常工作,但即使如此辛苦,试验结果仍不如人意。

如何避免在矿层中产生严重化学沉淀,减轻钻孔堵塞,保证浸出液浓度和矿石中铀的浸出率满足工艺要求,成了摆在项目组面前的一个巨大难题。

738矿地浸堵塞严重的情况,引起时任中核集团副总经理孙勤的高度重视。国外技术专家团队被邀请来攻关,一晃三年,仍不尽如人意。一时间,如何用较低的成本开采738矿床成了一项世界性难题。

“在738矿,搞酸法肯定不行了,但还有一条路可以走,那就是美国的碱法浸出技术和已工业应用的CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>浸出技术。”郭忠德说。

为此,核化院开始了碱法和CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>浸出技术的探索试验。

酸法浸出与碱法浸出,主要区别在于溶浸液的不同,酸法主要采用硫酸等酸性溶液,碱法采用碳酸氢铵等碱性溶液。

“我们改用碱法,堵塞问题得到有效缓解,但浸出速度相比酸法缓慢,液浓度相对较低,且生产成本过高,铵盐会造成地下水污染。”中核集团首席专家、核化院研究员苏学斌说,“我们被逼着做一些探索。”

经过不懈地试验探索,CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>,人们生活中接触最多的两种气体,变成了738矿床地浸采铀的利器。

核化院党委副书记简晓飞说,用CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>地浸采铀,原理是在地下水加入二氧化碳后,形成的碳酸氢根离子与矿层中的铀发生反应,使铀溶解在溶液中,并可有效抑制钙离子沉淀的形成。

谭亚辉说,气体在液体中容易逸出,要将气体加入液体,需要解决几个关键问题,首先要让气体溶于液体注入矿层,然后让溶液选择性溶出矿层中的铀,回收时将铀从浸出液中分离。

当时能借鉴的国外资料非常少,美国是该技术唯一工业化应用的国家,但对关键技术是严加封锁和保密的。

在国防科工局支持下,核化院联合多个单位先后开展了两个核能开发项目和一个国防预研项目研究,取得了CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>原地浸出采铀和浸出液处理工艺等重大技术体系创新和理论突破。

苏学斌算了一笔账,采用酸法地浸技术,每吨天然铀金属产品耗酸100—400吨,仅浸出试剂成本高达十几万元。采用CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>地浸采铀技术,浸出试剂成本仅2—3万元,“生产成本大大降低了。”

### 人铀和谐相处的绿色之旅

地浸采铀技术最初取得成功的云南腾冲是傣、汉混居区,民风淳朴,但是相对落后。多数人从来没有听说过采矿、铀、地浸等字眼。

“我们刚进去的时候,当地老百姓用怀疑和不信任的眼光看我们。”李建华至今记得,第一台钻机开钻时,老百姓围着钻机,看完一阵稀奇后,一个傣族老头用长长的竹制烟筒猛吸一口,质问道,你们这样打,会不会把我们祖上的龙脉打穿了?幸亏老村长及时出来解释。

半年后试验基本正常了,除了一尺见方的硬化孔口装置,钻孔周边长满了野草。第二年,钻孔周边重新种上了玉米,种上了甘蔗。这下老百姓放心了,“茂盛的玉米和甘蔗把钻孔全部遮住了,巡查人员不得不分开比人还高的玉米秆和甘蔗秆抄录试验数据。”

位于科尔沁草原腹地的通辽是我国优质牛繁育基地,这里培育的西门塔尔牛遍布西北、东北。7月初,记者前往通辽铀业采访时,绿油油的玉米苗已齐腰高。没有露天矿山的巨大采坑和重型采矿设备,也看不到井下矿山的标志竖井和天轮。如果不是院内四个八九米高储气罐上的“通辽铀业”提醒,很难想象这是一座铀矿生产矿山。

在地浸井场,仅手腕粗细的抽液管、注液管通过钻孔插入地中,只在地面小露半截弧度,又很快隐埋入地下进入集控室。整个井场完全看不出任何采挖痕迹,露在地面的白色抽液管在齐人腰身的草从里若隐若现。随手掀开一个铁制保护罩,发现几只甲虫已将这里当成了家。

井场内几座无人值守的小平房有点“孤寂”。“那是集控室,配好的地浸液由集控室通过管线分配至注液孔注入矿层,再由集控室通过抽液孔抽出集中输送到水冶车间吸附、过滤,最后浓缩成天然铀产品。”苏学斌告诉记者,从注液、抽液环节开始,直到看见桔黄色的天然铀产品生产出来,全部工序的值守人员不到10人,仅有的几个当班工人,主要工作是坐在计算机前监视相关数据。

采用地浸技术如何“吃干榨净”地下矿层中的铀,让溶浸液只“榨”出铀,并最大限度地保护环境,是一个世界级难题。

为保护矿区地下水,地浸人在建矿时便根据井场情况做了相应设计,利用多项技术措施防止地浸含铀溶液污染地下水。

“比如通过钻孔套管外的水泥固井,将矿层与上、下含水层隔离,避免含铀溶液上下串层;同时采用了抽大于注的控制措施,防止地浸采铀过程中含铀溶液向周边扩散。”谭亚辉说。

为处理水冶过程中产生的废水,减少污水外排,提高水资源利用率并保证环境零污染,核化院在通辽铀业首创了轴浸出液加二氧化氯带压离子交换吸附工艺,采用反渗透工艺处理水冶过程中的贫树脂转型废水,使废水量减少了70%以上。

“反渗透处理后的淡水水质优于国家农业灌溉用水标准,反渗透处理后的浓缩水则排入蒸发池进行自然蒸发处理,不向周围环境排放。同时蒸发池池底、池壁均做防渗处理,周边修建防洪排水沟,防止雨水流入蒸发池。多项措施共同保证污水对外零排放。”苏学斌告诉记者,我们在整个厂址周边及附近村庄的农户家旁安置了水质监测点,定时监测地下水水质状况。

### 理想与信念的传承之路

李建华至今难忘1986年的那个春节,那时他离家已快一年,但正好处于溶浸剂试验周期,最后被安排值班。大年初一早上喝完粥,用背篓将几个月积攒下来的衣服背到江边洗了,傍晚回到驻地又吃完一大碗粥,接着钻进实验室观察溶浸剂的变化。春节就过去了。

无论时代如何变迁,选择地浸采铀,吃苦、耐得住寂寞是必修课。

十红滩铀矿床地浸试验工地地处戈壁深处,沿途没有居民点,天上见不到飞鸟,地上见不到水草,几十公里范围内荒芜人烟。夏季最高气温在48度以上,热浪可以烤熟鸡蛋,24小时不间断的风沙刮得试验队员吃住用的寝车摇摇晃晃。

“由于风沙和高温,空调都不工作,要想在寝车里整理一点资料,探讨一些技术问题都十分困难,想睡个安稳觉更是一种奢望。”姚益轩回忆,早上醒来时嘴巴里常常满口沙子,有人干脆戴着口罩睡觉。

试验现场距寝车只有300米左右,但隔几天就“光临”的沙尘暴给大家的工作、生活带来了巨大挑战。

“要是上下班途中赶上了,人只能趴在地下等待或匍匐前行。”姚益轩说,现场的生活和试验材料都要从吐鲁番市采购,途中必须经过一个两公里宽的风带,赶上沙尘暴时,能见度为零,透过汽车前挡风玻璃看外面,尘土就像倾盆大雨般从玻璃上一泻而过。

风沙不是十红滩铀矿床地浸试验工地的“专利”。通辽当地流传一句俗语,“通辽一年就刮两次风,一次刮半年”。

“一到冬春季,零下30多度的气温,黄沙漫天,风吹石走,风刀割面,硬水冻凝。”苏学斌和队员们在这种恶劣的环境下进行着艰苦的试验工作,白天大家顶着严寒和风沙在外试验,晚上还要挑灯开会、分析、研究。

寒冷和风沙只是肉体上的痛苦,地浸人最害怕的还是内心的孤独。

“平时除了可以看到试验队队员外,再无其他人。一到晚上,举目望去,除了试验队有零星的灯火,再没有任何光亮。”苏学斌大学毕业后到单位报到后,马上被派往云南试验现场呆了14个月。这已是核化院地浸人入职的惯例。

对于核化院数十人的地浸采铀技术队伍,谭亚辉这样总结:留苏归来的王西文等老专家是拓荒牛,改革初期的大学毕业生是中流砥柱,一批80后的博士、硕士是生力军。一代代地浸人的成长,缘于老一辈地浸人的言传身教。传承的不仅是知识,更重要的是理想与信念,是科研工作的严谨和创新。

溶浸范围控制是地浸采铀技术的关键。但那时还没有用上计算机,一切只能靠小小的计算器。

“王老趴在桌上,一边画图一边用粗笨的手指按着小小的计算器,我在一旁帮助报数、记录,两个星期过去了,第一次模拟计算终于完成了,堆积的计算纸有一尺多厚。”但李建华说,把结果拿到试验现场,溶浸范围误差太大。经过整整5个月的计算、试验、测量、再计算、再试验、再测量,溶浸范围才基本被圈定。

地质编录,按照通常的技术规范,每20厘米岩芯一个描述。为了更准确反映渗透性的变化,地浸要求每10厘米岩芯一个描述。

每天晚上,项目组都要开一个碰头会,星光下大家摇着蒲扇,聊一聊一天的工作。

刚毕业的李建华在介绍当天的编录情况时,不经意间提到的一个细节引起关注。

“大家赶紧上上拖拉机到试验现场,借助微弱的手电筒,把几十米的岩芯1厘米、1厘米对应,发现在矿体的上部存在一层薄薄的致密泥岩层。”李建华回忆,当时大家非常兴奋,因为这薄薄的泥岩可以用来优化钻孔结构,把其他20多个钻孔的岩芯一箱一箱取出、比对后,终于发现在几条剖面线之间都存在类似的局部隔水层。

当大家忙完时,满天的星光已经远去,东方泛起鱼肚白。后来的试验证实,利用这一层泥岩,稀释率减少了20%。

“正是专业上的一丝不苟,精益求精,地浸采铀技术才得以不断完善、进步。”李建华说,从最初的钻孔托盘结构到填砾结构,从最初的气升泵到潜水泵,从酸法到CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>浸出,从传统固定床到密实移动床再到大通量固定床,技术一步步完善、优化、提高,无不渗透着地浸人的求实与创新,正是这样的科研氛围和传承,历练出一代代地浸人,如今他们是我国地浸的骨干和核心,引领我国铀矿采冶发展的技术方向,使我国地浸技术处于国际领先地位。



曾经的737矿厂房



安装期间用餐,条件艰苦但乐在其中



内蒙古巴彦乌拉地浸采铀试验现场