

融化“凝固的蜂蜜”

——井下大功率电加热器破解稠油开采困局

在我国广袤的油田地下，藏着一种特殊的“蜂蜜”——稠油。它像冬天凝固的蜂蜜一样黏糊糊、流不动，开采难度极大。但如今，一项黑科技正在让这些“凝固的蜂蜜”重新流动起来，它就是井下大功率电加热器。这项技术不仅改写了稠油开采的历史，更为全球能源转型提供了中国方案。

“凝固的蜂蜜”——稠油开采的世界级难题

想象一下，把蜂蜜放进冰箱冷冻室，几个小时后它就会变成硬邦邦的固体。稠油就像这样的“凝固蜂蜜”，在地下高温高压环境中变得异常黏稠，流动速度比普通原油慢几十倍。新疆风城油田的超稠油甚至像沥青一样结块，用传统抽油机根本抽不上来。

这种“凝固蜂蜜”占全球石油储量的 70% 以上，但开采成本极高。传统方法是通过地面锅炉燃烧天然气产生高温蒸汽，注入地下软化稠油。然而，蒸汽在输送过程中会损失大量热量，井口注入的蒸汽到达井底时，干度（蒸汽纯度）可能从 90% 骤降到 30%，相当于把滚烫的开水变成了温水，根本融化不了深层的“蜂蜜块”。

更麻烦的是，这种方法能耗惊人：一口普通稠油井每年

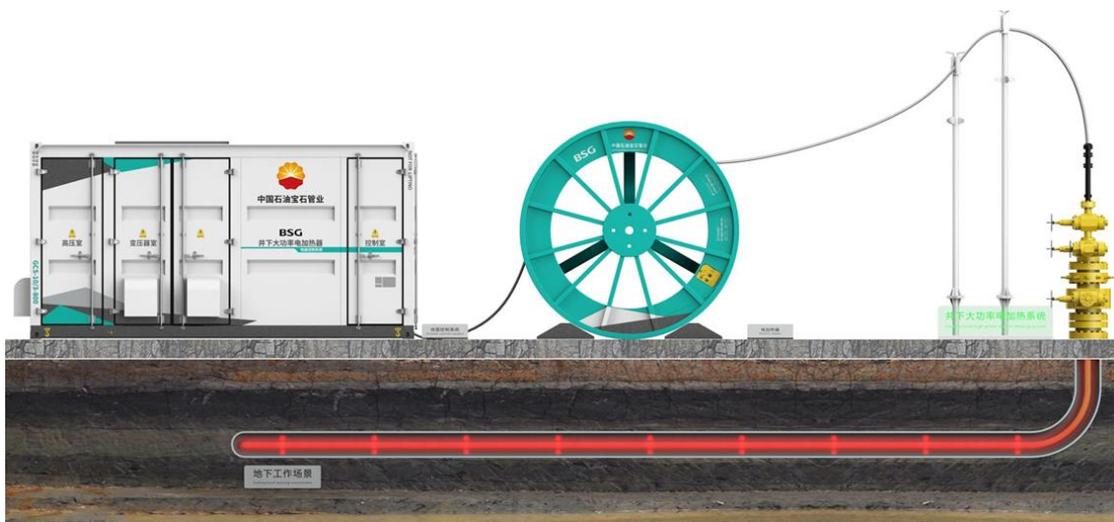
消耗的天然气相当于一个中等城市居民的年用气量，同时排放大量二氧化碳。在“双碳”目标下，传统开采方式急需破除困境。



△新疆油田超稠油

地下“电热毯”的神奇魔法

要融化“凝固的蜂蜜”，就得给它持续加热。井下大功率电加热器就像给油层铺上了一张“地下电热毯”，直接在井底释放热量。



△电加热应用场景

它的工作原理其实很简单，通过电缆将地面的电能输送到井下的加热元件，电能转化为热能后，直接作用于稠油和蒸汽。他还有以下两个特点。

1.智能温控：像家里的热水器一样聪明

电加热器采用热敏元件监控井底温度，根据监测温度智能调控输出功率，就像热水器的恒温功能，当井下温度达到设定值时，加热器会自动降低功率；温度下降时，又会自动“补热”。这种智能调节让稠油始终处于最佳流动状态，避免了过热或加热不足的问题。

2.绿色能源：让风能太阳能当“供暖员”

井下大功率电加热器最亮眼的本事，是能直接“吃掉”风能、太阳能这些绿色电力，就像请来了一群零排放的“供暖员”。在新疆油田，它白天靠太阳能板供电，夜晚由风力发电接力，形成昼夜不打烊的加热模式。这种以电代气的操作，解决了西北多地弃风弃光的难题。比如新疆风城油田的电加

热井组，每年能消化 700 万千瓦时绿电。

据测算，一口井用上它，每年能省下 220 万立方米天然气，少注 2.9 万吨蒸汽，还能少排 3800 吨二氧化碳，把传统锅炉的能耗和污染砍了一大半。让油田“零碳”开采从想法变成可能。

从实验室到油田的闯关之路

要让电加热器在地下千米的高温高压环境中稳定工作，可不是一件容易的事。科研团队就像在针尖上跳舞，攻克了一道道世界级难题。

先过材料关——耐高温的“钢铁侠”

井下环境温度高达 450°C，普通金属材料在这种环境下会迅速软化变形。研发团队选取多种材料进行对比试验，最终采用适合的不锈钢材料作为电加热器外护套，这种材料既有优良的力学性能与导热能力，同时能够在高温下长时间稳定工作，就像给加热器穿上了一层“钢铁侠战衣”，在极端环境中依然坚挺。同时团队筛选出符合要求的发热材料，这种材料能够稳定在 1000°C 的高温下长时间稳定发热，大大提高了电加热器的使用寿命。

再闯绝缘关——给电路穿上“防水衣”

井下充满油气和水，一旦漏电后果不堪设想。研发团队通过设计合理的绝缘层结构，筛选合适的绝缘材料，为电加热器筑起了严密的绝缘保护层，能够让电加热器的绝缘性能

达到 4 千伏乃至更高，相当于家用电压的 18 倍，彻底杜绝了漏电风险。

勇破工艺关：把“大象”装进“火柴盒”

电加热器的外径只有 38 毫米，比普通水管还细，但内部要集成加热元件、温度传感器、电缆接头等数十个部件。这就像把一头大象塞进火柴盒，需要极致的精密制造。

研发团队设计多重定位装置，从电加热器生产开始便精确控制加热元件、绝缘层、测温元件的位置，将电加热器内部空间整齐有序的排列，保证产品整体的一致性；同时采用连续制造工艺，生产出上千米不间断的电加热器，使电加热器每米加热功率达到 2000 瓦，相当于同时点亮 20 个 100 瓦的灯泡。



△电加热器剖面示意图

井下大功率电加热器的成功，不仅破解了稠油开采难题，电加热技术还能应用于高凝油、页岩油等非常规油气开采。例如在高凝油井中，电加热器能防止原油在油管内凝固，避免抽汲卡阻；在页岩油开采中，通过精准加热可以提高压裂效果，降低用水量。这项技术正在从单一的稠油开采，向整个能源行业辐射，为整个能源行业打开了新的想象空间。

从“凝固的蜂蜜”到流动的黑金，井下大功率电加热器正在改写能源开采的历史。它不仅是一项技术突破，更是一场能源革命——用清洁的电能替代高碳的天然气，用精准的加热替代粗放的蒸汽驱，用科技创新破解资源困局。未来，随着这项技术的推广，我们有理由相信，“黑色石油”将与“绿色能源”共舞，为人类的可持续发展照亮前路。