

美国贝科城工程

郭林

一、项目概况

美国贝科城水源热泵工程是恒有源单井抽灌技术在美国首次应用，在安装过程中大量应用了美国成井及井下安装技术，取得了良好的使用效果，为单井抽灌在国内应用及技术改进提供了很多可借鉴的经验。

二、技术要点

（一）成井方式是单井抽灌的关键

美国项目这口井所处的地质环境对单井抽灌并非十分理想。

首先上层含水层为沙土混合层，且地下静水位较高，仅为-7米。其次井管透水率低，由于沟通上的问题，美国施工方没有理解单井抽灌的工作原理，只是按照一般抽水井的模式，在下井管时大部分采用光管，井管总的透水率仅为2-3%。后采取了井下打孔的补救措施，完成后单孔直径较大，分布不均，透水率只达到7-8%。

但是在美国项目中没有采用冲击打孔、固井、下井管、下填料、最后洗井的传统成井工艺，而是采用旋转钻孔，直接塞入井管的工艺。这种工艺在井水回灌时获得了良好的效果，在没有任何封井和辅助回灌措施的情况下井水通过井外土壤全部带压回灌，这是单井抽灌工作原理的完美实现。

分析其原因是由于在美国采用的成井工艺保持了井外壁土壤的自然状态，而保持这种状态就可以保证较好的回灌。由此可得出的结论是：我公司在国内单井抽灌工程中有相当一部分不能很好地工作，非常不利的地质条件除外，很大部分是由于成井施工时对土壤的自然状态产生强烈的扰动，而这种扰动破坏了土壤自然的回灌特性，导致回灌不利，出现冒井。为了避免冒井，除在井口采用封闭措施外，还不能彻底封闭填料区，借助填料区的辅助才能实现回灌，这就形成了“热贯通”，造成井温持续变化。

传统工艺对井外壁土壤的扰动主要有以下几个方面：

1、采用冲击打孔，实际上是在向井壁挤压土壤，成孔过程使得井壁变得更加密实，这对抽水和回灌都是不利的。

2、先成孔，后下井管，再放填料，这个过程中有土壤形成的空洞没有支撑，为避免塌井，在成孔时必须加入泥浆，形成护壁。泥浆护壁彻底阻隔了井内外水路的联系，在井使用时必须出去。

3、传统工艺采用的洗净方式无法保证完全去除泥浆护壁。通过拉活塞，在井内形成负压，利用地下水瞬间涌出将护壁泥浆带出的方法，依赖于地下水压头。井底部由于地下水压头大，与拉活塞形成的负压形成较大压差，很容易将泥浆护壁彻底清除。井中部由于地下水压头减小，泥浆护壁清除难度就会加大。而井的上部由于是无水区，利用拉活塞的办法根本无法去除泥浆护壁。传统工

艺成井后，井水位以上实际形成避水区，而这部分恰恰是最有利的回灌区域。

结论：传统成井工艺对于抽水井是适合的，但与单井抽灌的工作原理相悖。单井抽灌要想获得良好的应用效果，必须采用新的成井工艺。美国项目的成井工艺为我们指明了研究方向。

（二）非金属材料是井内装置的发展方向

美国项目中第一次安装的井内装置是完全按照国内应用模式的，即采用钢制泵管，焊接法兰，螺栓连接，均为采用表面处理。这套装在井下时间仅一个月（实际工作仅几十个小时），就发生了严重的腐蚀。在美国同行的建议下我们再次安装时大量采用了美国通用工艺，获得了良好的效果。

1、井管安装

材料：采用6英吋32000型标准PVC井管（保证50年不降解）。

连接：采用套管插接，环形销固定。

优点：

安装效率极高，一根井管安装用时不超过5分钟（包括安装定位器）。

井管内壁非常规整、光滑，不会对内部安装的水胎造成损伤。

造价低于同类型钢管（约减少1/3）。

2、泵管安装

材料：采用2英吋PVC管。

连接：采用标准管螺纹连接。水胎焊接标准管螺纹与泵管连接。

优点：

安装效率极高，一根井管安装用时不超过3分钟（包括固定电缆）。

密封性好：PVC管自带标准管螺纹，用标准铜质管箍连接。PVC管有一定韧性，密封可靠。

泵管整体具有弹性。采用法兰连接时泵管管体刚性较大，不容易随着井管延伸，增加了安装难度，容易造成水胎损伤。采用螺纹连接很好地解决了这一问题。

综合造价低于钢管法兰连接。管材成本降低，管箍造价低于法兰，制作螺纹造价低于法兰焊接。

结论：采用新材料、新工艺改进井管和泵管，避免腐蚀、降低成本，提高工效。

（三）密封水胎的改进

为实现在井内分割抽水和回灌腔，我公司采用了独特的水胎密封。水胎密封是利用利用水泵工作时自动冲压、膨胀、变形，属于动态密封，工艺性能和密封可靠性优于一般的盘封，但水胎密封也有自身的问题。

由于水具有的不可压缩性，当水胎冲压膨胀后，实际上只有变形能力而失去了缓冲能力。缓冲能力是水胎自身保护的关键，在压力意外波动，如水泵工作时，法门关闭，水泵的动压瞬时转化为静压时容易损坏。美国项目第一次安装的两个水胎相继损坏，第一个在首次冲压时就损坏，第二个在工作5天后损坏，经检查全属于水胎自爆。除采用的橡胶的质量原因外，在突然压力变化时缺乏

足够的缓冲能力是关键因素。

在缓冲能力方面水胎不如气胎。由于气体具有可压缩性，气胎可以有效地缓冲突然的压力变化。但气胎的缺点是，当井工作时水位变化会造成气胎内外压力失衡（这一点是水胎最大的优点），造成损坏。同时在施工时需要另外一套冲压装置，也给应用带来不便。

在美国项目中采用的内冲压水胎很好地解决了这一难题，这种水胎最大的特点是没有泄压管，水冲入胎中后，水胎内原有的空气无法排除，这实际上形成了“气水混合胎”。

结论：“气水混合密封胎” 既具备的水胎可自动冲压和自动抵销水位变化产生的压差的功能，又具备了气胎的缓冲能力，是一种优秀的设计。