

中国科学院綜合考察委員会資料

編 号: 00674

密 級:

中国科学院治沙队第一次学术报告会文件

坎儿井的水文地质学原理

李宝兴(地质部水文地质工程地质局)

坎儿井的存在已经有千余年的历史了,这是干旱地区的产物,是祖国维吾尔族劳动人民的天才创作,这也是利用地下水最早一直延续到现在的范例之一。维吾尔族人民为了适应极端干旱而缺水的气候条件,在掌握了一定的地下水知识以后,创造了坎儿井的方法,大量的挖起坎儿井来了。

坎儿井在天山南麓分布最广,仅据吐鲁番盆地的初步统计,总的出水量在16亿公方以上,灌溉面积约有35万公顷,占全部用水量的60%,基本上解决了当前的需要,当然,在今天工农牧业大发展的形势下,需水量急剧增加,怎样更合理地开采与利用地下水,就是十分重要的问题。

在这里,笔者仅根据野外所收集到的资料,论及有关挖掘坎儿井的几项水文地质问题,供同志们参考研究。

一、坎儿井的水文地质学原理:

坎儿井是引地下水的渠道,坎儿井的水文地质原理,就是利用人工挖掘地下水引水孔道的方法,将深部地下水改变为浅层地下水,在地形有利的地段流出地表,进行灌溉或饮用。换句话说,就是人为的改变地下水的运动条件,经过一定的劳动,将不利的地下水,变为有利的地下水。在水文地质学上,正确说,就是人为的改变地下水的水力坡度,在地下水垂直渗漏地段,挖掘水井,使地下水沿着一定的方向(为利用地下水早已计划好的路线方向)水平运动,最后变为地表水。

挖掘坎儿井的历史也不是一帆风顺的。也正象其他事业的发展与发晨一样,经过了曲折的道路。开始时,人们的地下水知识极少,挖井经验不多,坎儿井的出水率不高。但是人们有征服自然的雄心,为生存付出无穷的代价,失败了,总结失败的经验教训,再挖。随着时间的进展,人们的知识就愈多了。到现在为止,人们已经初步的掌握了干旱区的水文地质特征,利用水文地质学原理来挖掘坎儿井,失败的机会就更少了。虽然人们还不懂得水文地质学,但是他们丰富的经验,广博的水文地质知识,都是我们在西北干旱区工作同志应当虚心学习的,我们应当学习和系统地总结群众的经验,用群众的丰富经验和天才创造,来丰富水文地质学宝库。

坎儿井的分布,有着一定的规律。它是干旱区的产物,大部分集中在山前冲积洪积倾斜平原上。在这里,水文地质条件具有典型的山前带的特征,由山前带的顶部到底部,表现出明显的分带性。地下水的运动,由强烈运流,过渡到缓慢运流,在山前带的尾部或外围地区,局部地变为停滞状态。含水岩层的岩性则由粗到细,即由顶部的卵石、砾石到中部的砂砾石,直到以砂为主的地层。在尾部,局部有土层出现,或与砂层相间或互层。在水化学分带上,由顶部到底部,由硫酸盐水逐渐趋于大陆氯化水,即由顶部的 HCO_3-Ca 水,到下部为 $\text{HCO}_3-\text{SO}_4-\text{Ca}-\text{Mg}$ 水,或 SO_4-HCO_3 为主的水。在地下水停滞的地段,则出现 SO_4-Cl 水,局部有 $\text{Cl}-\text{Na}$ 水形成。地下水的矿化程度由顶部不到0.5克/升,在中部升到<1克/升,在下部局部地区达1克/升或大于1克/升。只在 $\text{Cl}-\text{Na}$ 水出现的地区,矿化度可达3-5克/升或更高一些。

在山前带地下水的埋藏条件，具有显著的分带规律，由顶部的地下水深藏带过渡到中下部的地下水浅藏带及地下水溢出带。

坎儿井的挖掘，正是人为地通过地下渠道，改变地下水的埋藏条件及运动条件，使埋藏较深的，水质较好的地下水变为浅藏的，自动流出地表的水流（附图一）

坎儿井的排列，井距与井深，取决于最下边出水井的位置、高程。尾井出水的位置，一般在地下水位3—5米，最深达10米左右。这一带有不厚的土层覆于地表。在地形上，往往在土层的上缘有一不大的陡坎，高在1—2米，最高有5米者，有利于地下水流。人们就利用了这一自然条件，把坎儿井排的尾井挖在土层的顶部坎坡的下方，地下水流至地表，自动流入渠道，进入灌区。居民点则分布在尾井的周围，在地下水流至地表不到50—100米处（视地形而定），设引水水槽，取水饮用。

坎儿井排的尾井出水量，视地下水的补给来源，含水层岩性等因素而异。在一般砂砾石层之中，出水量在30—70公升/秒，在富水性较强的地区，出水量达1000升/秒以上，即在一公方以上。在水文地质条件较差的地方，仅有5—10升/秒，个别的井才有1—3升/秒。同时，水量的大小，亦受山区冰雪融化的深刻影响，而具有季节性的变化。但由于没有作系统的水量变化观测，尚得不到确切的评价数据。

二、坎儿井的几种形式

挖掘坎儿井已经有悠久的历史了，千百年来，维吾尔族的劳动人民在天山南北，根据各种不同的水文地质条件，挖掘了各种各样的坎儿井。现在根据了解到的资料，把已存在的坎儿井，归纳为下列几类。

总结这些存在形式的目的，是便于从总结中找出挖井的规律，挖井的水文地质理论，并再结合于旱地区水文地质条件的特殊性，来进一步指导生产，使挖井的效率有所提高；减少废井率，最后消灭废井。这里边也可以找出利用地下水的丰富经验。

1. 典型的山前带型坎儿井（不完整坎儿井）——托克逊型

这一种型式的坎儿井存在的历史最长，也是人们在大戈壁滩上找水的典范，它分布在山前冲积洪积平原上，第四纪砾石的厚度在几百米，地下水埋藏条件有一定规律，地下水动储量丰富，水质良好。（附图二）

这一类型坎儿井的特点：工程艰巨，全部通过卵、砾石层，井深一般在40—50米，下部在10—20米左右。井排长度一般为十几公里到几十公里，井间距离一般10米，最长者20—30米。这一类型坎儿井分布较广，大都集中在吐鲁番盆地的边缘地区。在托克逊城南20公里的觉罗塔格山北麓，最深者达70米，在300米内未见基岩的地区，水量甚大，为当地灌溉的主要水源。

这一类坎儿井，又称为悬浮式坎儿井，因每个井都未挖到土层，即悬浮在含水层上部的砾石层中，渗失量较大，在地下水动力学上，可把它叫做未完成式的不完整坎儿井。

2. 山前带浅冲沟型坎儿井（完整坎儿井）——哈密型：

这一类型坎儿井存在的历史亦很久了，它是在砾石层不厚的山前带上找水和利用地下水的典范之一。在哈密一带，在山前冲积洪积平原上第四纪砾石层的厚度不超过10米，仅在干谷冲沟中可达20米以上，下部全为第三纪红色泥岩层。在平原上地下水多集中在冲沟中流动，而在其他部分无水，或有水而水量甚少，成片流时就不便取水了。（附图三）

这一类型坎儿井的特点：井浅，一般不超过10米，大部为小砾石、碎石层，下部为土层。工程虽不甚艰巨，但水量小，往往又受季节影响很大，在极端干旱年有干枯的可能性。它普遍分布在哈密盆地的北部，仅个别地区坎儿井排的前井（即集水井）深近40米。

3. 混合型坎儿井（即完整不完整坎儿井）

这一类型坎儿井亦分布在哈密盆地北缘天山南麓，但在吐鲁番盆地亦有之，它的主要作用，一方面取深部地下水为浅部地下水，另一方面，便于集取浅而散流的地下水。这两个方面，都是集中利用地下水的典型。往往出水量不大，亦受季节影响，一般井不深，挖也容易（附图4，5）

4. 吐鲁番型坎儿井：

主要用来截取山前带尾部的地下水，井不深，不长。这样的坎儿井目前已挖了1158条，总出水量达到16.15亿公方，灌溉面积达35万亩，占耕地总面积的80%，最大出水量为424升/秒，最小为6.7升/秒。（附图6，7）

5. 斜交地下水流向的坎儿井——平尻型：

这一类坎儿井集中在地下水浅，但分布面很大的地区。为了便于集取地下水，把井都挖到汗水面以下，以增大出水量。坎儿井井排的方向与地下水流动方向斜交，每一个井都起到集水作用。（附图8）

这一类型坎儿井的特点，是分布在平尻或任何地区，已不完全属于山前带型了，井浅，水量少，有时干枯，水质不太好。一般由10—12个井组成，为了加大水量，就挖得长些，仅为饮用，则挖得短一些，是极端缺水地区的产物。

6. 截取第二个含水层的坎儿井

在山前地带，为了截取倾斜的，第二个含水层中的地下水，就采用了这种类型（附图9）其井深视层间水埋藏深度及含水层倾斜角度而异。

三、挖坎儿井的几个水文地质问题：

综上所述，坎儿井是利用地下水改变干旱地区面貌的方法之一。在挖掘坎儿井时，有必要了解水文地质条件，当我们掌握了区域水文地质条件以后，在布置井排方面，或在井的设计方面，都有莫大的好处，可以减少废井，增加井的出水量及井的作用时间。也就是说：利用水文地质学原理来指导挖井，将会使挖掘坎儿井的工作，走上多快好省的道路。至于各种类型坎儿井的挖掘方法和适用条件，以及挖井及使用坎儿井过程中可能出现的一些问题，我们都应该加以详尽的研究，以吸取宝贵的经验教训。

下面，对有关挖掘坎儿井的几个水文地质问题，作一初步的讨论。

1. 在山前倾斜平尻上挖掘坎儿井，取决于地下水的埋藏条件：

如前所述，山前带地下水的埋藏条件，具有极其显著的分带规律，由顶部的地下水深藏带过渡到中下部的地下水浅藏带及地下水溢出带。这是因为，地下水的来源，大部取决于山区中的地表水，在出山口后，用垂直渗漏的方式补给地下水，到了山前带的中部，地下水就具有水平运动的特性，而地下水水力坡度一般又小于地形坡降，因此，由山前带顶部到尾部，地下水埋藏深度愈来愈小。

为了今后利用方便，可以将山前带地下水按照埋藏条件划分为下列三级：

1) 地下水深水带（地下水埋藏深度在100米以下）这一带，目前不论是打井，抽水还是挖坎儿井引水，都是极其不利地段，直到目前为止，还未见过坎儿井挖到100米以下的。

2) 地下水中层带（地下水埋藏在50—100米之间），这一带是目前山前带利用地下水的有利地段，但在极需要时，可以打井抽水。目前利用机械抽水的方法，在50米以下的深度内取水，已经不是不可能的事了。根据了解，许多坎儿井的集水井都在50米以下，个别的达到70—80米。

3) 地下水浅水带（地下水埋藏在3—50米之间）：这一带是目前山前带地区供水的主

要水源地，亦是各种井广泛分布的地区，是城镇、居民点分布的地区，亦是干旱区的绿洲所在地，坎儿井大多数都挖在这地段上。其分布范围是山前带的中部到上部，根据供水条件，又可划为二级：即25—50米的供水有利地段及25—3米的供水理想地段。在地下水深水位带的顶部，即以积平层与上部山区交界处，在地下水开始垂直渗漏的地段，有分布范围不宽的一段，也是地下水浅水位带。也正是目前挖坎儿井引地下水的主要地段。挖坎儿井的成功率，取决于对这一带水文地质条件的认识广、深程度。

由上述对地下水埋藏条件的分析中，可以得出如下的结论：

1) 掌握地下水埋藏深度的变化规律，是在山前倾斜平原上挖坎儿井的理论基础，正是掌握了这个规律，维吾尔族劳动人民创造了坎儿井这种有效的方法来取用地下水。这里，有必要强调地下水深水位带上部浅水位带对挖掘坎儿井的重要意义，如果把坎儿井首井安放在这里，就能够大大减少挖井的工作量，同时，还可使引水尾井位于较高的地方，进行引用或灌溉。

因此，坎儿井井排的首井，即集水井的位置，应当在研究了地下水的埋藏规律之后，因地制宜地布置，以减少集水井的报废率。为了研究地下水的埋藏规律，特别是为了研究上部浅水位带的位置和宽度，就有必要在山麓地区进行轻便的勘探。

2) 掌握地下水位的季节性变化及年度变化规律，是挖掘坎儿井的另一个理论基础。

我们了解了一些坎儿井报废的原因及不能经常出水的道理以后，作这样的分析：有些坎儿井不能经常有水甚至报废的主要原因是对于地下水动态变化规律不了解，挖井的当时没有了解到地下水位有季节性及年度的变化，更没有掌握这一规律。本来是出水的井，但在枯水期就不出水了，或水量极小，简直不能利用，这不是非常明显由地下水位下降所引起来的吗？因此在挖井时，就应当掌握该地区地下水位升降规律，并根据具体地点的局部变化来布置集水井，这样，就会大大避免了挖井的盲目性，从而增加出水率，减少报废率。

新疆维吾尔自治区内山前带类型地下水属冰雪动态成因类型的特征，即补给地下水的地表水是来自高山区的融冰化雪。冰雪融化是随季节性而进行的，每年夏季是融化最高季节，春秋则为一般周期性融化，而冬季则是积雪季节，因而可见地下水的高举一定出现在冰雪融化之后的一段时间内。根据了解：在天山南麓在冬季，但北疆是夏秋季，地下水位最低出现在冬季及春初。

坎儿井的首井（集水井）一定要挖在季节及年度的最低水位带内，这里经常有地下水，以保证枯水期（年）有水供用，如果挖在最低水位以上，那么在枯水季节就不出水了。（附图10），如果坎儿井不出水，应重新挖，重新挖掘的办法有两种：①把原来的井挖深一些，最好挖到最低水位以下0.5—1.0米；②把原定井位向上移动一段距离，在原设计深度内就可以挖到最低水位以下，这两种方法均可采用，因为加深与加井工作量是差不多的，但不能加深时，就要加井（首井上移一个井位）。

2. 第四纪盖层薄的山前倾斜平原上挖坎儿井，取决于地貌条件：

在第四纪复盖层不厚的山前洪积倾斜平原上，第三纪粘土红层直接伏于第四纪砾石层之下，局部出露于地表，在冲沟两岸更为明显，地下水的运动严格的受着地貌条件的控制，在这里大小冲沟具有重要的水文地质意义。在第三纪较大的冲沟里，第四纪砾石层厚达10余米，是地表水汇山后集流的场所，水位亦不深，是挖掘坎儿井的最好地段，便于集取地下水，而在平坦的第三纪红层之上，第四纪砾石层厚仅几米，很少达10米者，一般含水层极薄，水流分散，部分地区缺少地下水流，极不利于集取地下水，只有在这类冲沟中，有较多水量集积的可能，由此可见，在浅冲沟型山前倾斜平原带上，坎儿井应当布置在冲沟里，尤其是

较大的冲沟里，效果更好。

根据地貌条件可以把挖坎儿井地区分为几种类型：

(1) 第四纪砾石层较厚的大型冲沟，是挖坎儿井的理想地段，在这里坎儿井排可以沿冲沟（即地下水流向）布置，为了横截地下水流，可以在取水的地段，挖成垂直于流向（横切冲沟）的集水井排成地下水集水廊道，坎儿井排挖成完整型，井底全部挖到粘土层。

(2) 第四纪砾石层不厚的浅冲沟是挖井的有利地段，在这样的冲沟里，挖井的工程费不大，但水费亦较前者为小，为了增大水费，可采用上述措施。

(3) 在平坦的倾斜平原上，砾石层甚薄，是挖井的不利地段，在这些地区挖坎儿井是不合适的，水费太少，不能满足要求，而且在枯水季节又往往无水可取，但在缺乏冲沟的地区，也有必要挖浅井，取水供小型饮用。

3. 在平原上挖井取决于地下水的运动条件：

在大型平原上，水费甚为缺乏，很难向遥远的山区引水，而且本区的地层亦不适合于地下水的储存，想在这些地区取水，就必须了解地下水的运动规律，最重要的是地下水的流动方向，在这个地区，由于水费极小，沿地下水流向挖的井，效果不大，但斜交地下水流向的井排，使用时间较久，而且水费亦大。

为增大水费，可采取以下几种措施。

(1) 在挖井时，把首井垂直于地下水流向成排，由5—6个井组成，使两边井中水流向中间主首井。

(2) 把首井挖成集水廊道型，横交于地下水流向，长度可根据具体情况来确定，一般长10米，20米，最长可达50米。

(3) 以首井为主，挖可排斜交地下水流向的井，然后再沿地下水流向挖一排引水井。

4. 根据坎儿井的机理及经验，可以推知在同样类型的地区，如祁连山南北的山前地区，及崑崙山北麓的山前带，及贺兰山两侧，均可按当地条件挖坎儿井，引深部地下水为当地饮用，灌溉用以及为了发展畜牧业之用。祁连山北麓（河西走廊）及贺兰山两侧可采用托克逊型坎儿井，在祁连山南麓及柴达木地区可挖哈密型的坎儿井。

5. 坎儿井的布局应当根据当地的水文地质条件来考虑，应当是统一规划，分层利用，保证经常供水，避免亏水，或使区域水位下降，水费减少。在地下水费充足的地方，可以布置得密一些，但在水费极少时，就要稀一些，不要使井与井之间发生干扰。

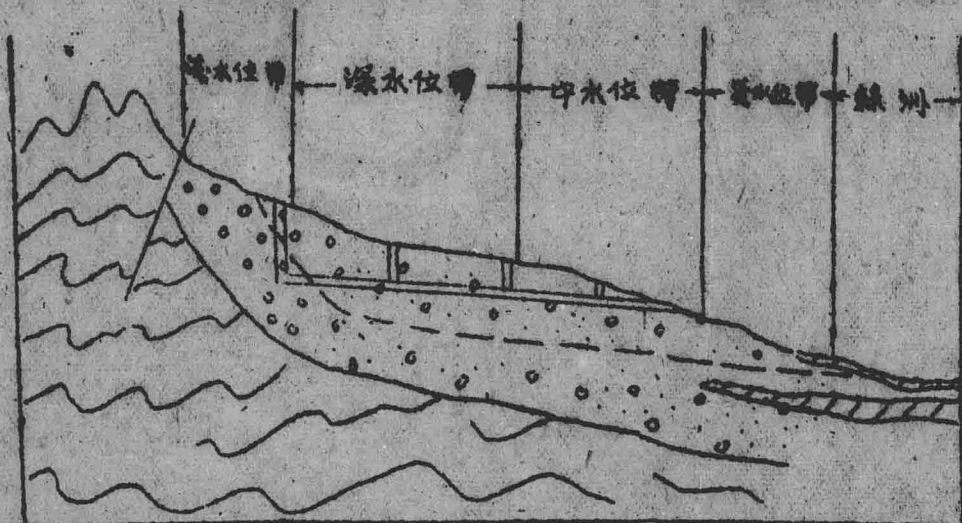
6. 渠道衬砌问题是十分重要的，为了防止渗漏，应先作一些简单的水文地质普查，轻便勘探及短期的动态观测。

结束语

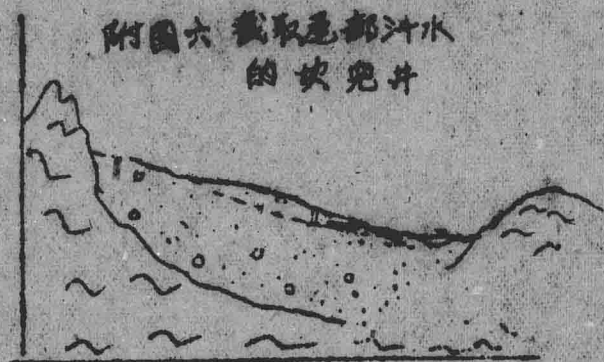
挖坎儿井已有悠久的历史了，经验证明，挖坎儿井吸取地下水，是行之有效的办法，我们应当在进一步总结挖井经验的基础上，从水文地质学观点出发，充分发挥群众的智慧，大力推广坎儿井，开发地下水资源。

作者希望通过总结这些经验，能够在某些意义上使坎儿井更有成效，对指导生产有所帮助，但由于作者水平有限，没有达到预期的目的，敬希读者批评指正。

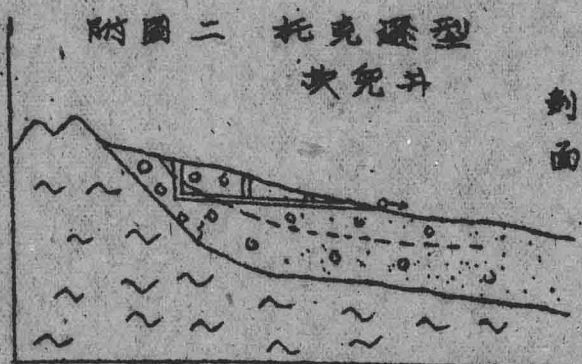
附圖一 坎兒井水文地質示意剖面圖



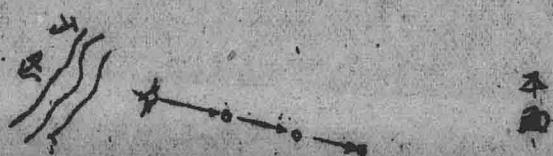
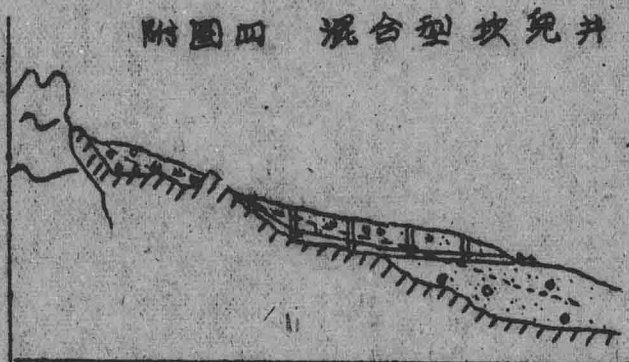
附圖六 截取全部沖水的坎兒井



附圖二 托克遜型坎兒井



附圖四 混合型坎兒井



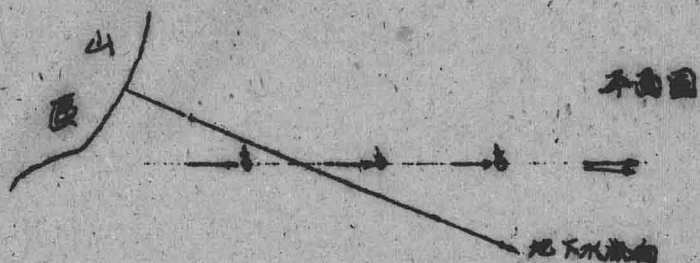
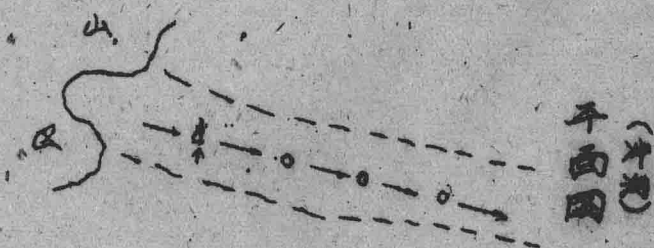
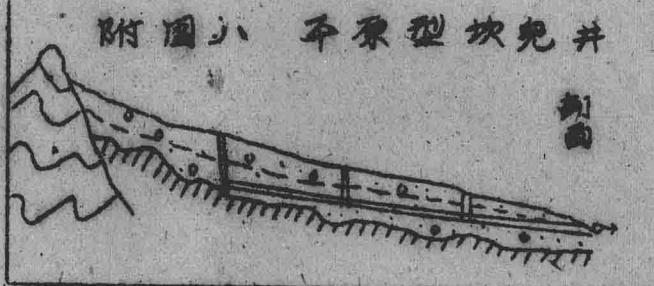
附圖五 混合型坎兒井



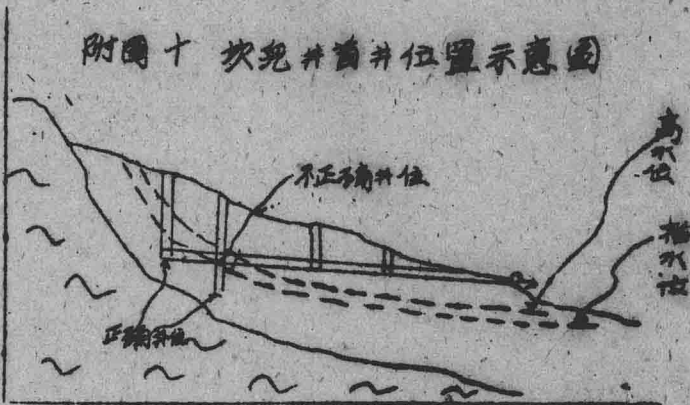
附圖三 哈依型坎兒井



附圖八 平原型坎兒井



附圖十 坎兒井首井位置示意圖



附圖九 截取傾斜的第二個含水層的坎兒井

