

# 解决干旱山区供水问题的若干经验

赵抱力 白识英

**一、建立雨水贮存系统** 雨水贮存系统是直接收集房顶或其他地表的雨水，并将其输送到某种贮存器中备用。这是一种安全、可靠的供水水源，适用于世界许多地区。

在干旱地区，由于地表水资源被污染或季节性干旱，浅水井季节性干枯或被污染，往往难以获得安全、足够和稳定的供水。雨水贮存系统是解决上述种种问题的有效措施。

除了作为可靠的供水水源之外，雨水贮存系统还有其他一些优点：建造容易；其贮水量可根据当地的降雨状况满足住户的不同需要；供水可靠，水质良好；投资少；劳动集约型，可就地取材；一个贮存系统污染或损坏不会影响其他；它们是独立设置的，可以在边远地区或交通不便地区使用；与易蒸发和渗漏的地表水和地下水相比，贮存系统能收集很大部分的雨水。

**1. 建造方法及材料** 雨水贮在系统的主要构成部分是一个集水面和一个贮存器。大多数情况下雨水是在房顶收集，但是地面集水区也可使用。

贮水器可建在地面上、地下室或地面下。贮水器附有水槽和管道系统将雨水引入，也可配置溢流管将大雨开始时收集的脏水排除。贮水器中的水可以用扁斗、水桶或水泵提取，输送到使用地点。

房顶可用沥青覆盖，或用石灰石建造并用无毒乳胶封盖，或用瓦楞状镀锌铁皮，茅屋房顶也可用来收集雨水。

贮水池可用混凝土或砂浆砌里的混凝土块建造，也可使用当地材料以劳动集约方式建造贮水器。目前，由薄层钢筋混凝土加固外壁的贮水池使用极广。在泰国农村，政府主要推广本地制作的 $2\text{m}^3$ 水泥缸， $6\text{m}^3$ 和 $12\text{m}^3$ 的钢筋水泥池。在印度农村，贮水系统采用砖和砂浆挂里水井，井深 $3\sim 4\text{m}$ ，直径 $1\sim 2\text{m}$ ，水井周围约 $100\text{m}^2$ 的区域是一个地势向井倾斜的集水场。

选择修建这些贮水井的地点要考虑到离村庄的距离、高度、地势、倾斜度等因素。在雨季，雨水被收集到这些贮水井中，用树枝覆盖井口，周围堆放荆棘以防家畜闯入。当其他饮用水源干枯时，即可从这些贮水井中取水。

**2. 贮水量设计** 雨水贮存系统的蓄水量取决于降雨量、收集系统面积、有效集水量和贮水器容积，有时还要考虑到蒸发和渗漏的损失。降雨量应考虑到年降水深度、全年降雨分布状况等。

**3. 水质问题** 影响雨水贮存系统水质的有如下因素：降雨的质量，集水表层的沉淀物，进入贮水器的污染物，贮水器的建筑材料，管理水平及保养的优劣。如果雨水贮存系统经过精心设计、建造和保养，就能提供安全的家庭用水，包括饮用水。

集水面的污染物有：空中飘尘、鸟粪、树叶和树枝、青苔、昆虫卵及幼虫。贮水池内雨水中的污染物随干旱的持续而增长。在持久的干旱之后，排出最初的雨水十分重要。定期清扫屋顶也是可取的。

集水面会使收集的雨水产生气味、颜色或有害化学物。这是因为使用了不适宜的或未经处理的油漆,或由于金属屋顶的腐蚀,或草房及木瓦房顶的沥滤物质所造成的。通过选择优质材料,进行良好的保养,排放新刷油漆后所集雨水,可解决上述问题。

流入贮水池的污物包括冲入的杂物,在池内排粪、产卵、产幼虫的昆虫以及死去的昆虫和鼠类。过滤和封闭流入贮水池中的水,防止溢出和渗漏可减少这类问题。在树叶或有机质积聚的贮水池里,适当地选定贮水池排水孔位置并定期清理,可防止水变质。较大的贮水池可用隔板分开,以便在排水清池时保证供水。露天贮水池可能成为蚊子的孳生地,导致出血热等疾病的传染。暴露在阳光下也会促使水藻的生长。用戽斗和水桶从缸或小贮水池里取水时,也可能将污染物带入水中。

影响水质的贮水池材料可能是油漆、涂层、衬里、金属腐蚀物、混凝土灰浆表层沥滤物。在空气呈酸性的地方,铅和镉这样的金属会在管道系统中溶化。已经发现,混凝土贮水池壁上的沥滤物质可使酸中和并减少对贮水池的侵蚀。所以,在酸雨严重地区,不宜再给贮水池做其他衬里。

对贮存水的处理包括经常使用次氯酸盐消毒,煮沸,或经常用紫外线消毒。在一些PH值高的贮水箱内氯化作用可能无效。如果没有采取防止动物侵入的有效措施,并对集水面严格防污,地表集水在饮用时需经煮沸。

雨水中的矿物质含量低于地表水和地下水,因此,难以满足人体的营养需要。长期饮用雨水,摄取的矿物质不足,可能影响健康。

**二、构筑人工含水层** 人工含水层的结构很简单:为了防止渗漏,用不透水材料或适当的粘土铺衬库底。为了防止蒸发,将水库填以均匀的砂——这样仍可保留30~40%的库容。垫砂成本不高,因减少蒸发而节省的水足可抵偿。砂体上部只要有几吋厚的砾石覆盖,就能大大减少蒸发率。图1所示为这种人工含水层的纵剖面。

长期以来,对防止地表水蒸发问题的研究,没有得到理想的结果;而对于控制土壤水分蒸发的研究,却有很大进展。在各种消除蒸发的材料中,砾石覆盖被证明是最有成效的。而且,砾石层还能够大大改善雨水对地下水的补给。砾石的大小要均匀,粒径应在14~19mm之间。只要砾石的粒径不大于16mm,覆盖层的厚度不必超过2cm。覆盖层中不能含有大量比含水层较大砂粒还小的砾石。根据粗略估计,如果覆盖层的平均粒径大于砂粒的20倍,则覆盖层就是有效的。

防止渗漏的方法有二,一是在砂体下铺一层塑料布,二是用蒙脱石一类的可膨胀粘土铺垫库底。

人工含水层中的水,可以很方便地用一根有缝的塑料管道汇集之。管道外面围以适当的砾石(就象普通井中的砾石滤料一样),以防止砂子被吸入排水管。这个有缝的排水管沿坝基敷设,如图1所示,再用“T”形接头连接一个排水管,把汇集的水导出坝外。排水管要用塑料布扎紧,以防渗漏。

为了降低挖掘工作的成本,应选择溪谷或河道作为坝址。库容应符合设计要求,基底平

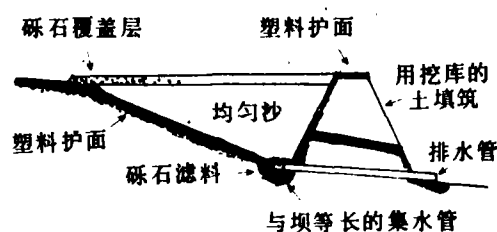


图1 人工含水层示意图

整,以便铺砌不透水护面。通常要在下游修建一座挡土墙或蓄水坝以保证水库的存储。蓄水坝可用挖库取出的土来填筑。砂层是极好的过滤器,它能保证收集的水是免除了污染的十分干净的水。

挡土墙要有安全设施。如修筑溢洪道,防止洪水漫过坝顶;在坝石上种草,以防大雨冲蚀等。这一点极为重要,因为人们往往忽视坝的可侵蚀性。

水库的大小决定于原来溪谷的状况,准备扩大多少以及对储水量的要求。水库的容量等于干季需水总量除以所填砂层的容水量(通常为0.3或0.4)。

$$V = \frac{(q \times D)}{sc}$$

式中  $V$  为水库含水层中砂子的总体积,  $q$  为日常用水要求 ( $m^3/日$ ),  $D$  为干旱时期的天数,  $sc$  为砂层容水量(紧密均匀的砂层的容水量为0.3)。

水库还需要有一个在暴雨期间产生沉积最少的小范围集水区,因为大量沉积会把砂层的孔隙淤塞。水库附近有砂源,对降低运输成本很重要。

如果人工含水层附近常有家畜或野兽经过,那么在它的周围要建造一个栅栏。排水管要在建坝以前铺设完毕,坝建成后,就可以敷设有缝的集水管道,并与排水管连接。水库填砂要从距砂源较远的一端开始,以免卡车或其他运输车辆行经垫好的砂面。塑料布也要按要求铺开,不能让车辆经过其上,以免撕裂。塑料布运来时通常呈条状,铺的时候要用胶布把它们粘合起来,要注意接缝处的不漏水密封。

对世界半干旱地区,人工含水层很有发展前途。它可以用人力代替机械,只需少量资金就能动工兴建。人工含水层对维修的要求很低,也不需要消耗动力来操作。在正常循环条件下,供水质量足可满足公共卫生的要求。

为了使人工含水层的工艺更趋合理,有几个问题值得注意: 1. 选择适当范围的集水区。如果区域过大,会加重维修工作,而且大水容易冲蚀坝顶; 2. 储水量在  $45 \sim 75 m^3$  的小型人工含水层看来设计和施工都比较容易; 3. 水库的一定几何形状,有助于把砾石覆盖层的淤积降至最低限度,例如又长又窄的盆地和较平缓的比降等。

**三、建造截水坝进行人工地下蓄水** 筑坝拦蓄地下水可以在干旱和半干旱地区保存很有限的降水。这种技术非常适合季风气候地区,因为在季风气候地区,需要储存雨季过剩的水供旱季使用。

截水坝基本上有两种类型,即地下坝和储砂坝。地下坝建于地面以下,以拦截天然含水层的水流;储砂坝则是要在它本身拦蓄的泥砂中储水。

图2所示为地下坝的基本原理。在一条小河谷里,一个由透水良好的冲积沉积物构成的含水层通过浅井向村庄供水。由于供水消耗和天然地下水流的流失,含水层在干季被疏干,水井逐渐干涸。为了防止这种现象,横穿河谷挖一条沟,直到基岩或其他坚硬的不透水层。在沟里筑一条防渗墙,筑成之后,再用挖出来的泥土将沟填平。用这种方法建造的水库不会自然排水,只要储水量能够满足需求量,整个旱季都可以使用。

图3说明储砂坝的基本原理。这是一条间歇性的小河,当小河有水时,村民们从河里取水;雨季后的短时期内,则在浅河床上挖井取水。但是,河床蓄水量不能满足村庄在整个旱季的需求。横穿河床建造一个适当高度的堰,雨季洪流携带的粗粒砂,在堰后沉积,最终将水库填满。如果选址合理,施工得当,这个人工含水层将在每年雨季得到补给,所蓄水量可供旱季使用。

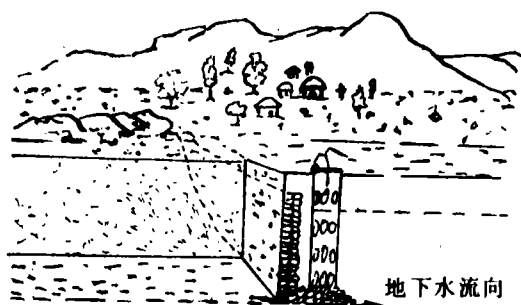


图2 地下坝的基本原理

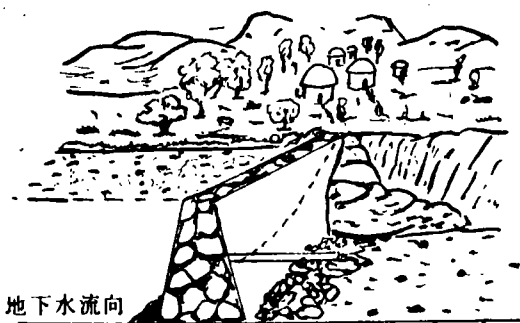


图3 储沙坝的基本原理

实际上,截水坝往往是两种类型的结合。在河床上建造地下坝时,如果增大地面以上坝的高度,促成泥沙堆积,就能增加蓄水量。同样,当修建储砂坝时,必须在砂质河床上挖沟,并到达基岩或稳定的不透水层。

地形条件在很大程度上决定着能否建成补给条件适宜、渗漏损失少而容积又足够大的蓄水库。蓄水盆地的下伏岩层可以是基岩或渗透率低的未固结岩层。通常认为,在边界清晰的狭窄谷地或河道设置地下水坝是可取的,这样可以降低造价,便于估算蓄水量和控制可能的渗漏损失。另一方面,在不增加坝高的条件下,应尽可能扩大蓄水量。在坡度很陡的山区,很难求得蓄水量和坝高之间恰当的比例关系。作为储水材料的河床沉积物的最佳构成一般出现在山区与平原之间的过渡地带。

建造地下坝蓄水的基本设想,是限制天然地下径流。因此,必须确定地下径流量,以便在建坝前估算出工程的效益。

建设地下水坝成本必须低廉。成本的主要支出是建筑材料,在地下水坝建设规划的开始阶段,就应确定所使用的材料。应尽量就地取材,降低成本。

建立地下坝最普遍的方法,是横穿谷地或在河床上挖一条沟,并在沟中筑坝。由于挖掘深度一般不超过3~6m,所以有关的土方工程可以靠人力完成。地下坝一般在旱季末竣工,这时含水层中余水很少,但是,通常多少还有一些水流,施工期间这些水必须抽出。水坝建成、引水管安装完毕之后,再用挖出的材料将沟填平。重要的是,回填时要浇水并用机械压实。

建造储沙坝时,预计用来储水的物质依然滞留在集水区内的原来的地方,有待未知强度的洪水将其输送到坝区。所以储沙坝的设计包括更多的水文和水力计算。

坝的上限——即蓄水量的上限——必须保证坝体能够经受住最大洪峰流量,并使洪峰可在低于河岸水位的情况下泄放,或通过溢洪道排出。

储沙坝一般是分期建造的。基本设想是限制每一阶段坝的高度,以保持必要的洪水流速。这样,细沙就从水库中被冲刷掉,而粗沙沉淀下来。确定每一阶段高度的根据是:水库沉积作用的估算,河流自然沉积的范围或库内流速的计算。

还有一个方法是在坝上留下一个豁口,使泥沙只能淤积到一定高度。在下个雨季前把豁口填上,这样水库就可以淤满。

所有的储沙坝必须很好地防止沿岸侵蚀。坝址尤其如此。在洪峰流量期,坝址的水能非

常大。避免侵蚀的最好方法是在天然岩坝上建坝。如果做不到,那么最重要的是让坝墙深入河岸几米,并用填石或混凝土保护坝址。

世界各地的经验表明,建造地下水坝是改进干旱地区地下水供给的一种可行的方法。为了选择地下水坝的适当位置,需要彻底地了解具体地区的水文地质条件。选出比较坝址以后,务必了解地下水流系统,力求坝的设计正确,以节省建设投资。施工要按季节安排,以便降低成本,并避免暴雨洪水引起的破坏。

**四、在碳酸盐岩区利用干河段寻找地下水库** 碳酸盐岩水文地质特征的极大变化,使我们很难确定能满足供水需要的大型地下水库的位置。近年来利用地下水库的地表标志,如裂隙线来确定孔位,增加了找到地下水源的机会。碳酸盐岩区的干河段,也是地下水库重要的地表标志,可以作为勘探手段来应用。

从概念上说,一个拥有干河段的流域与一个没有干河段的流域,可通过评价在两个水文阶段——高基流阶段和低基流阶段——的水流特征加以区别。两类流域在洪水期间不易识别,因为这时河流挟带着大量雨洪径流;在终端低流态时也不易识别,因为这时河流已经断流。只有在洪水和断流之间的中间阶段,才出现明显的差别。

在高基流和低基流状态时,具有干河段的流域的特征是水流中段,且在干河段的上游有湿河段。承受了河流全部水流的落水洞在低基流期间变得非常明显,它就是干河段上游端的标志。从溶洞流出并拥有稳定水流的大型水泉,一般是干河段的下游出水口。事实上,地下水系成功地袭夺了地表水系的很大一部分水流。在岩溶地区,干河段是一种普遍的现象,它是碳酸盐岩区地表水和地下水密切相互作用的特征。

在美国田纳西州中南部的林肯县,使用了两种方法来区别干河段和湿河段。这两种方法都比试验钻探方法更快更便宜。第一种方法,即遥感方法,使用了1977年2月在低基流干旱期拍摄的黑白红外线航空照片(1:24000)。这些照片被用来描绘出流域内许多干河段的轮廓。

第二种方法是对河道特征进行野外勘测。这种方法可以在任何水流动态条件下使用,而限于低基流阶段。在林肯县,干河段一般由分选很差的砾石构成,这些砾石分布在压实的粘土基质中。河岸通常很陡峻,高1~3m。河床本身很狭窄,有些地方河床宽度小于河岸高度。干河段的植被是生长在河岸上和河床中的树木。沿河床可见一堆堆洪水携带的碎屑物质,包括未分选的变干的淤泥块以及树叶和树枝。这些物质总是堆积在河流中部树木的上游一侧。

反之,湿河段经常有平缓倾斜的长草的河岸,且岸上常有各种野花和水田芥。湿河段的河床物质主要为粘土和细粒沉积。分选程度中等,结构较疏松,不象干河段那种紧密压实的粘土。

尤宁洼地在林肯县的北部,它是干河段与浅层地下水库共存的最好例子。干河段地区井的平均出水量比该县的一般随机井高1个数量级。干河段井的最大出水量是12.6升/秒,比该县任何其他地区井的最大出水量还大。干河段所有的井都出水,而在该县随便钻探的其他井,约有三分之二是干的。

#### 主要参考资料:

1. Waller, D. H., 1989. Rain Water——an alternative source in developing and developed countries. *Water International*, 14 (1989), 27—36.
2. Helweg, O. J., 1978. Appropriate technology for artificial aquifers. *Ground Water*, Vol. 16, No. 3, 144—148.
3. Hanson, G. & Nilsson, A., 1986. Ground water dams for rural water supplies in developing countries. *Ground Water*, Vol. 24, No. 4, 497—506.