

# 近 60 年新疆吐鲁番盆地坎儿井衰败的 影响因素及环境效应

李吉玫<sup>1,2</sup>, 张毓涛<sup>1,2</sup>

(1. 新疆林业科学院 森林生态研究所, 新疆 乌鲁木齐 830063; 2. 新疆林业科学院 博士后工作站, 新疆 乌鲁木齐 830063)

**摘 要:** 近 60 a 来,吐鲁番盆地坎儿井经历了先增加后急剧减少的变化。引起坎儿井变化的主要原因是:(1) 绿洲规模不断扩大。解放初期至 60 年代初,坎儿井的变化和绿洲耕地面积的增加相一致,而 60 年代中期至今,二者变化趋势则相反。(2) 坎儿井补给水源减少。60 年代初,盆地开始开发利用地表水,在各流域上游和中游修建水库和防渗渠道。到 1993 年修建中小型水库 8 座,总库容达  $8.00 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,防渗渠长达 4 774 km,防渗率达 70%。减少了坎儿井水源的补给。(3) 盲目发展机电井,掠夺式开采地下水。吐鲁番盆地机电井数量由 1966 年的 127 眼增至 2009 年的 5 309 眼,相应地年出水量由  $1.10 \times 10^8 \text{ m}^3$  增至  $7.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ ;机电井布局不合理,有相当数量的机电井打在坎儿井分布区或是其上游。地下水位下降,坎儿井干涸,严重影响了当地居民的生活及生态环境。具体表现在:居民生活受到严重影响,部分村庄整体搬迁;盆地坎儿井的控灌面积不断减少,同时盆地旱灾和风灾呈现不断增加趋势;由坎儿井水维持生长的天然植被面积减少了 45.37%。

**关键词:** 干旱区;地下水;坎儿井;驱动力

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)05-0239-06

中图分类号: S273. 4

## Influence Factors for Karez Abandonment and Its Environmental Effects in Turpan Basin of Xinjiang Wei Autonomous Region over Last 60 Years

LI Ji-mei<sup>1,2</sup>, ZHANG Yu-tao<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Forest Ecology, Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi, Xinjiang 830063, China;

2. Work Station of Science and Technique for Post-doctorate in Institute of Forest Ecology, Urumqi, Xinjiang 830063, China)

**Abstract:** Changes of karez showed the trend of first increasing and then declining over the last 60 years. The reasons for the dramatic changes of karez might be attributed to followings: (1) Oasis was expanded gradually in the Turpan basin. The changes of karez were consistent with arable land in 1949—1960, namely both increased, and however, the number and water flow of karez declined with increased arable land since the middle of 1960's. (2) Water supply for karez declined. In the beginning of 1960's, surface water began to exploit and many reservoirs and antiseepage canals were constructed. Eight large and middle reservoirs with a capacity of  $0.8 \times 10^8 \text{ m}^3$  were constructed in 1993, the total length of antiseepage canals reached 4 774 km, and the seepage ratio was 70%, which caused the decline of water supply for karez. (3) Pumped wells were blindly established around the karez irrigation districts and groundwater was exploited in a plunder manner. There were 127 electric pumped wells at the end of 1966 and the number reached 5309 in 2009. Correspondingly, the annual discharge increased from  $1.10 \times 10^8$  to  $7.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ . Moreover, the layout of pumped wells was unreasonable and lots of them were established in the areas where karez was mainly distributed. The groundwater decline and karez drying-up had seriously negative influences on the Turpan basin, which presented in following aspects: Daily life of residents was influenced and many villages were migrated; The areas irrigated by karezes declined from  $2.17 \times 10^4 \text{ hm}^2$  in 1957 to  $0.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$  in 2003 and meanwhile, the disaster area caused by drought and windstorm increased; The vegetation area was  $12.30 \times 10^3 \text{ hm}^2$  in 1975

收稿日期:2012-11-05

修回日期:2013-01-04

资助项目:国家“十二五”科技支撑计划项目“西北内陆河流域水源涵养林体系构建技术与示范”(2011BAD38B0505);自治区林业重大专项项目“新疆林业生态系统服务功能监测与评估”

作者简介:李吉玫(1980—),女(汉族),新疆维吾尔自治区玛纳斯县人,博士研究生,从事干旱区生态水文研究。E-mail:jimeili@126.com。

and it declined to  $6.72 \times 10^3 \text{ hm}^2$  in 2003, reduced by 45.37%.

**Keywords:** arid region; groundwater; karez; driving forces

随着水资源短缺日趋加重和地表水资源的过度利用,地下水在农业活动中的作用日益突显<sup>[1]</sup>,逐渐成为干旱和半干旱区的主要灌溉水源。目前,全球干旱和半干旱区 30% 的耕地由地下水灌溉,其中美国、伊朗、阿尔及利亚和墨西哥等国家地下水灌溉的耕地分别占耕地总面积的 45%,58%,67% 和 75%。我国约 40% 的耕地由地下水灌溉<sup>[2]</sup>。坎儿井作为干旱区一种利用地下水的传统引水灌溉技术,在全球 34 个国家有分布,尤其是在中东和北非地区分布较多,如伊朗、叙利亚等。我国坎儿井主要分布在新疆吐鲁番、哈密和奇台等极端干旱区<sup>[3]</sup>。在这些水资源严重缺乏地区,坎儿井在农业发展、社会经济发展和生态环境保护中发挥着极其重要的作用,尤其在农业灌溉和人畜饮水安全保障方面仍担负着生命之泉的特殊作用<sup>[4-5]</sup>。鉴于此,国内外学者从不同角度开展了坎儿井的相关研究,如 Kahlowan 等<sup>[5]</sup>综合研究了叙利亚和阿尔及利亚坎儿井水系的形成;Yousefira<sup>[6]</sup>和 Lightfoot 等<sup>[7-8]</sup>调查了墨西哥及叙利亚引起坎儿井减少的原因;Mustafa 等<sup>[9]</sup>分析了巴基斯坦从坎儿井灌溉到机电井灌溉的转变,并分析了这种变化产生的环境和社会问题。已有研究表明,与自然因素相比,人为因素在坎儿井的衰败过程中起着更为重要的作用<sup>[3,10]</sup>。我国有关坎儿井的研究也主要集中在坎儿井的水文特征<sup>[10]</sup>、破坏性特征<sup>[11]</sup>、发展及保护等方面<sup>[3]</sup>。目前的研究较少利用长时间序列资料分析坎儿井的变化过程,同时也忽视了坎儿井变化对周边生态环境的影响。本文通过对近 60 a 来吐鲁番盆地坎儿井数量、流量、年出水量及灌溉面积等资料的分析,结合野外植被调查和走访农户,研究了坎儿井的变化过程及其驱动因素,并探讨了坎儿井变化对吐鲁番盆地人民生活、农业灌溉及生态环境的影响,目的是为该地区今后科学保护坎儿井以及合理开发利用水土资源提供依据。

## 1 研究区概况

吐鲁番盆地位于新疆东部,处于欧亚大陆腹地,行政辖区包括吐鲁番市、鄯善县和托克逊县,总面积  $6.80 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,总人口  $5.66 \times 10^5$  人。吐鲁番盆地降水稀少,年均降水量仅 6.3~25.3 mm,年蒸发量却高达 2 845~3 744 mm,极端最低气温  $-29.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ,极端最高气温  $49.6 \text{ }^\circ\text{C}$ ,年均气温为  $13.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ,多大风。盆地地表水资源量为  $9.33 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,地下水多年平均

补给量为  $7.82 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。吐鲁番地区水资源严重不足,人均占有水资源量  $1 750 \text{ m}^3$ ,远低于全国人均占有量( $2 600 \text{ m}^3$ )和新疆人均占有量( $5 300 \text{ m}^3$ )<sup>[12]</sup>,因此,水资源极为缺乏。

新疆坎儿井主要集中在吐鲁番盆地,并且在吐鲁番盆地的农业发展及社会经济发展中都起到过决定性的作用。吐鲁番各族人民把坎儿井誉为“吐鲁番的生命之泉”。

## 2 研究资料来源

坎儿井和机电井数量、流量等相关资料来自于新疆坎儿井研究会<sup>[13]</sup>;受灾农作物面积数据来源于吐鲁番地区农业局;人口及耕地面积数据来源于《新疆统计年鉴 1955—2005》<sup>[14]</sup>、《吐鲁番统计年鉴 2004》<sup>[15]</sup>、《吐鲁番统计年鉴 2009》<sup>[16]</sup>;植被资料来自于野外调查。

## 3 结果与讨论

### 3.1 近 60 a 来新疆吐鲁番盆地坎儿井变化过程

根据史料<sup>[17]</sup>,吐鲁番盆地的坎儿井始于西汉时期,至今已有 2 000 a 余的历史。历史上坎儿井一直是吐鲁番盆地农业和人民生活用水的主要水源。但由于资料的限制,本文主要分析了近 60 a 来坎儿井的变化。

1949—1966 年,吐鲁番盆地坎儿井处于鼎盛发展期,除坎儿井数量略有减少外,坎儿井出水量、流量及控灌面积等均不断增加。1949 年盆地有坎儿井 1 084 条,流量为  $16.11 \text{ m}^3/\text{s}$ ,出水量为  $5.08 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,总控灌面积为  $1.93 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。1957 年坎儿井数量达到最高,为 1 237 条。1966 年坎儿井数量虽然降至 1 161 条,但总流量增至  $20.95 \text{ m}^3/\text{s}$ ,出水量和年控灌面积增至  $6.62 \times 10^8 \text{ m}^3$  和  $2.52 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。与 1949 年相比,1966 年坎儿井流量增加了 30.04%,出水量增加了 30.17%,控灌面积增加了 30.21%。

但自 1966 年以后,吐鲁番盆地坎儿井呈现不断衰败的趋势,大量坎儿井干涸。由图 1 可见,如坎儿井数量从 1966 年的 1 161 条降至 2009 年的 238 条,减少了 79.50%;同期,坎儿井流量从  $20.95 \text{ m}^3/\text{s}$  降至  $7.26 \text{ m}^3/\text{s}$ ,减少了 65.36%;出水量从  $6.61 \times 10^8 \text{ m}^3$  降至  $2.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,减少了 67.32%;控灌面积从  $2.51 \times 10^4 \text{ hm}^2$  降至  $7.3 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,减少了 70.92%。因此,此阶段为坎儿井急剧衰减阶段。

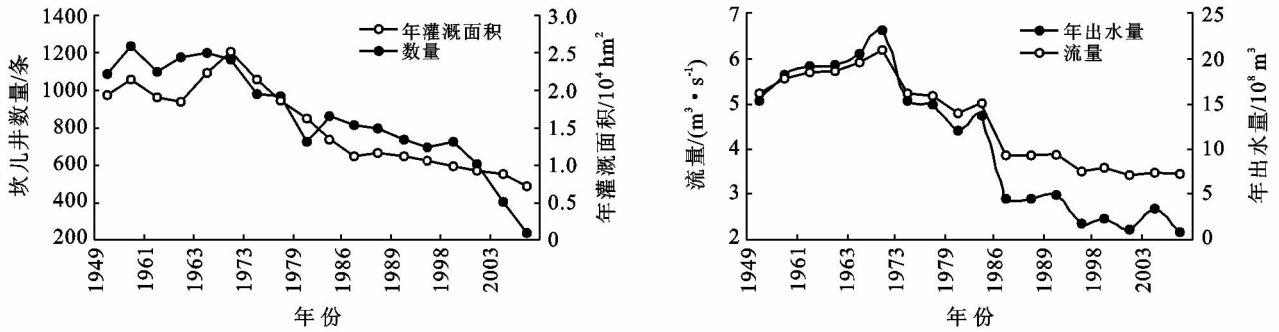


图 1 近 60 a 来吐鲁番盆地坎儿井数量、控灌面积、流量与年出水量的变化

### 3.2 近 60 a 来新疆吐鲁番盆地坎儿井变化的原因分析

3.2.1 绿洲规模的不断扩大 随着社会的不断发展,吐鲁番盆地人口数量由 1949 年的 14.48 万人增至 2009 年的 58.9 万人,增加了 3 倍多。同期,绿洲耕地面积则由  $3.14 \times 10^4$  增至  $5.42 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ ,增加了 77.39%。绿洲耕地面积的变化主要经历了以下几个阶段:

(1) 解放初期至 60 年代初(1949—1960 年),耕地面积快速扩大(图 2)。解放初期吐鲁番盆地绿洲农业开发侧重于扩大耕地面积,大面积开荒,耕地面积由 1949 年的  $3.14 \times 10^4$   $\text{hm}^2$  增至 1960 年的  $6.04 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ 。此阶段坎儿井也处于快速发展期。不断扩大的耕地面积,加之农作物较高的灌溉定额(毛灌溉定额达  $1.80 \times 10^4$   $\text{m}^3/\text{hm}^2$ )<sup>[18]</sup>,使得农业发展对水资源的需求远远超过了此时坎儿井的供水能力。为发展农业和扩大绿洲规模,此阶段开挖了很多坎儿井。

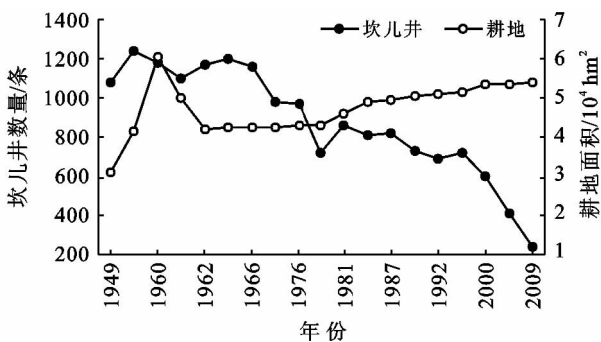


图 2 吐鲁番盆地坎儿井数量与耕地面积的变化

(2) 1960—1962 年,耕地面积呈现减少趋势(图 2)。吐鲁番盆地有限的坎儿井水资源限制了耕地面积持续扩大,部分耕地被弃耕。仅 1961 和 1962 年就有  $1.80 \times 10^4$   $\text{hm}^2$  的耕地因干旱和管理水平下降而被弃耕,至 1962 年耕地面积降至  $4.24 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ 。因此,60 年代初盆地内首次出现了严重的水土资源不

平衡。此阶段坎儿井仍处于快速发展期。

(3) 60 年代中期至今,耕地面积呈现缓慢增加的趋势,此阶段坎儿井处于急速衰减期。随着耕地面积的不断增加,地表水被开发利用,并且机电井不断出现,使得该地区水资源利用发生了很大变化,坎儿井水量日益减少,甚至大量干涸。

人口的增加和绿洲耕地面积的扩大致使社会对水资源的需求不断增加。由表 1 可见,解放初(1949 年)盆地农业用水总量为  $4.73 \times 10^8$   $\text{m}^3$ ,工业用水很少;至 80 年代末,用水总量增至  $7.83 \times 10^8$   $\text{m}^3$ ;2003 年增至  $1.16 \times 10^9$   $\text{m}^3$ ,是 1949 年的 2.45 倍。1949 年引水总量为  $5.50 \times 10^8$   $\text{m}^3$ ;至 80 年代末,增至  $1.12 \times 10^9$   $\text{m}^3$ ,其中地表水占 40.0%;2003 年增至  $1.27 \times 10^9$   $\text{m}^3$ ,地表水占 46.1%。与 1949 年相比,2003 年引水量增加了 1.30 倍。因此,坎儿井的衰败与绿洲人口的不断增加、耕地面积的扩大及绿洲发展对水资源需求的增加有密切的联系。

表 1 吐鲁番盆地用水总量及引水量的变化  $10^8$   $\text{m}^3$

年份	用水总量			引水量		
	工业用水	农业用水	合计	地表水	地下水	合计
1949	—	4.73	4.73	—	5.50	5.50
1987	0.41	7.42	7.83	4.51	6.65	11.16
1991	0.54	10.38	10.92	4.28	6.69	10.97
2003	0.70	10.90	11.60	5.84	6.83	12.67
2009	0.76	11.37	12.13	6.07	6.89	12.96

3.2.2 坎儿井的水源补给减少 山前冲洪积扇是地下水的汇流和径流带,河流和渠道的入渗是地下水的主要补给来源,因此,吐鲁番盆地的坎儿井多建于山前洪冲积扇溢出带上游。1957 年以前,吐鲁番盆地工农业生产主要利用地下水,地表水引用极少。60 年代初开始开发利用地表水,修建水库和防渗渠。到 90 年代修建中小水库 8 座,总库容达  $8.0 \times 10^7$   $\text{m}^3$ ;防渗渠长达 4 774 km,防渗率达 70%<sup>[17]</sup>。这使得山前倾斜平原形成的河道渗漏补给量逐渐减少,地下水

位下降,造成坎儿井出水量不断减少甚至干涸。因此坎儿井的衰减与坎儿井上游入渗量的减少有着密切的联系。如在防渗渠道修建以前,托克逊县阿拉沟水系的水在出山后全部渗入地下,是依拉湖乡和博斯坦乡 2 个乡镇坎儿井的补给源。在阿拉沟干渠修建后,该水系 65% 的水输入下游,使得地下水补给量大大减少。

3.2.3 机电井的增加及其布局的不合理 为了解决吐鲁番盆地春灌期间严重缺水问题,利用灌区内地下水资源丰富的优势,通过打机电井增加可利用水资源是十分必要的<sup>[18]</sup>。但 70 年代初吐鲁番盆地开始盲目打井,随着机电井数量及出水量的迅速增加,坎儿井迅速减少。1966 年末吐鲁番盆地有机电井 127 眼,至 1979 年增至 1 764 眼,年出水量达  $1.80 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,机电井灌溉面积约占总灌溉面积的比例不足 20%;至 2003 年机电井增至 5 254 眼,年出水量达  $6.59 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,机电井浇灌面积已达 50% 以上;2009 年机电井增至 5 309 眼,年出水量达  $7.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,机电井浇灌面积高达 57% 以上,此时,坎儿井则降至 238 条,年出水量仅为  $2.16 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,控灌面积不足 30% (图 3)。由此可以看出,吐鲁番盆地坎儿井的减少与机电井的增加是一致的。

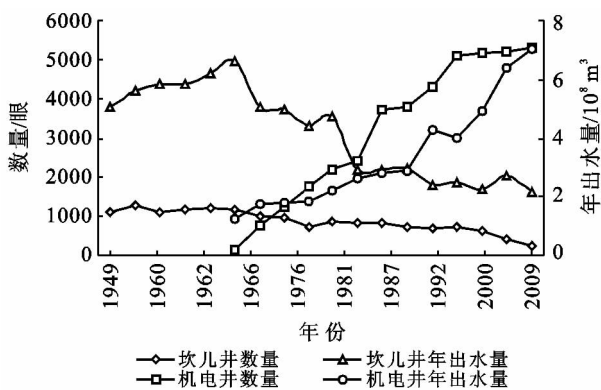


图 3 坎儿井与机电井变化的比较

同时,随着地下水的不断开采,机电井越打越深(表 2)。如在 70 年代初,机电井深度不足 20 m,用离心泵就能抽水,至 80 年代仍不足 30 m,至 90 年代迅速增至约 95 m。2000 年以后机电井则至少要打到 100 m,改用潜水泵才可以抽水。机井越打越深,水位便越降越低,使坎儿井大量干涸。

其次,机电井不合理的布局也是造成坎儿井不断减少的原因。吐鲁番盆地在大规模发展机电井时,没有兼顾坎儿井水源的问题,有相当数量的机电井打在坎儿井分布区和盆地上游,不少机电井距坎儿井集水段只有约 200~300 m,因此,机电井与坎儿井严重争

水。与分布在各流域下游的机电井相比,上游的机电井对坎儿井的影响更明显,同时与距坎儿井较远的机电井相比,距坎儿井较近的机电井对坎儿井的影响较大。如托克逊县郭勒布依乡的塔西买提坎儿井由于在其周围 500 m 范围内没有机电井,该坎儿井的流量仍然保持在  $83 \text{ m}^3/\text{s}$  (2003 年),而鄯善县辟展乡 1957 年有坎儿井 51 条,由于 60 年代末开始在该坎儿井群的上游打了大量机电井,造成机电井和坎儿井争水,到 2003 年有水的坎儿井仅剩 8 条。又如位于吐鲁番市恰特喀勒乡的阿訇坎儿井在 1970 年达到最大流量,为  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ ,1976 年由于在该坎儿井的上游打 2 眼机电井(一眼距坎儿井集水段 270 m,另一眼 330 m),致使该坎儿井集水段周围地下水位不断下降,最终使得该坎儿井于 2005 年 6 月干涸。机电井不合理的布局严重影响了坎儿井的发展,因此,为了水资源的可持续利用和开发,吐鲁番盆地应合理地布局机电井,不能盲目地增加。如在坎儿井灌区上游尽可能运用地表水和坎儿井水,严格限制机电井的开采规模,要用工程和法律措施有效保护坎儿井水源,注重水资源的合理调配,相互补充,尽可能做到近水近浇,提高水资源的重复利用率,坚决杜绝在坎儿井水源区进行机电井建设;在中游地带注重大河水、坎儿井水、机电井水合理调配;下游以机电井灌溉为主,保留条件较好的坎儿井。

表 2 吐鲁番盆地机电井深度变化 m

项目	鄯善县	托克逊县	吐鲁番市	平均
70 年代	18.9	15.2	15.9	16.67
80 年代	27.7	23.4	19.7	23.60
90 年代	113.3	94.3	77.3	94.97
2000 年后	149.7	137.1	104.2	130.33

坎儿井自身的缺陷也是造成其衰退的原因,如坎儿井开采的是浅层地下水,其对地下水位变化的适应性较差。

### 3.3 坎儿井减少对吐鲁番盆地的影响

坎儿井在吐鲁番地区农业生产、生态环境保护及人民生活中都起着重要的作用,坎儿井逐年的干涸和废弃,严重的影响当地居民的生活和生产以及生态环境。

(1) 对居民生活的影响。虽然近 60 a 来,吐鲁番盆地坎儿井大量干涸,但当地居民及牲畜的饮水还是依靠坎儿井水。目前,在 238 条有水坎儿井中,有 16 条用于约有  $5.10 \times 10^4$  人口及  $1.03 \times 10^5$  头牲畜饮用。由于近年来坎儿井的大量干涸,严重影响了当地人畜饮水安全及生态环境,部分村庄不得不搬迁。如

2005 年吐鲁番鄯善县 2 个村庄因坎儿井彻底干涸,导致该村周围环境恶化,村民饮水困难,最终不得不整体搬迁。坎儿井的发展与当地居民的生活是息息相关的。

(2) 对农业灌溉的影响。坎儿井在吐鲁番盆地农业灌溉方面有极其重要的作用,多年来形成了一些独立的坎儿井灌区。同时,坎儿井水量稳定,与河水、机电井水相互配合起到了补充灌溉的作用。吐鲁番盆地地表水资源年内分配不均,夏季径流量占全年的 55%,而春季和秋季仅占 28%,地表水不能满足春季农作物灌溉的需求,此时,坎儿井对缓解春旱起到重要的调节作用。由于坎儿井大量干涸,控灌面积不断减少,如解放初坎儿井灌溉面积为  $1.93 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,1957 扩大到  $2.17 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,由于各种原因到 2003 年坎儿井灌溉面积减至约  $8.80 \times 10^2 \text{ hm}^2$ 。同时,盆地旱灾和风灾较为严重(图 4)。如 50 年代末盆地大规模开荒,造成 60 年代初大面积耕地因缺水而被弃耕,仅 1961 年旱灾面积达  $6.10 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,1989 年风灾面积达  $8.70 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。且旱灾和风灾面积呈现不断增加趋势,尤其是风灾,从 1961 年的  $3.30 \times 10^4 \text{ hm}^2$  增至 2003 年的  $7.10 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,增加了 1 倍多。在大规模打机电井以前,盆地以旱灾为主,以后以风灾为主。

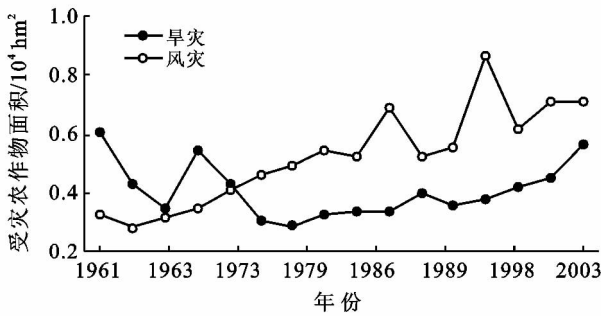


图 4 吐鲁番盆地旱灾和风灾面积变化

(3) 对天然植被的影响。在水资源极其缺乏的吐鲁番盆地,坎儿井水是天然植被获得水分的主要来

源之一。首先,在作物的非灌溉季节,坎儿井水用来灌溉植被,其次,坎儿井通过渗漏补给地下水。由于坎儿井的暗渠大多数没有采取防渗措施,且土层多为沙砾层,因此渗漏量大。同时坎儿井明渠的水在输水过程中也有相当部分渗漏补给地下水。这些回补渗漏的地下水对维持维系植被生长起到了极大的作用。为了进一步分析坎儿井水对天然植被的影响,2003 年 7 月在托克逊县调查了马合木提坎儿井(现在流量 32 L/s)、巴拉提坎儿井(现在流量 8 L/s)和萨吾提巴依坎儿井(现在流量 35 L/s)周围植被盖度和物种组成,结果发现随着距坎儿井出水口距离的增加,天然植被盖度呈现不断降低的趋势(图 5)。以马合木提坎儿井为例,在距离坎儿井出水口 100 m 的样地植被盖度超过了 50%,在距离坎儿井出水口 500 m 的样地植被盖度降至 28%,在距离出水口 1 000 m 的样地植被盖度不足 15%。植物组成由芦苇、花花柴、猪毛菜等草本逐渐过渡为更耐旱的骆驼刺、黑刺和怪柳等半灌木和灌木。以上结果说明在极端干旱的吐鲁番盆地坎儿井显著影响天然植被的组成和分布。

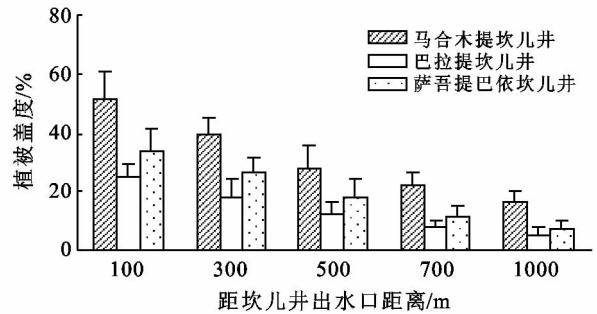


图 5 吐鲁番盆地植被盖度与坎儿井距离的关系

坎儿井大量干涸导致了植被面积不断减少和长势衰败,绿洲边缘环境遭到破坏,局部风沙活动加剧。1957 年该盆地由坎儿水维持生长的天然植被面积达  $1.23 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。2003 年降至  $6.72 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,减少了 45.37%(表 3)。

表 3 吐鲁番盆地 1957 年与 2003 年坎儿井浇灌植被面积比较

10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>

县(市)	总浇灌植被面积		坎儿井明渠浇灌面积		坎儿井涝坝浇灌面积		冬季浇灌草场	
	1957	2003	1957	2003	1957	2003	1957	2003
吐鲁番市	4.64	3.45	0.08	0.07	0.07	0.04	4.49	3.34
鄯善县	4.90	2.03	0.08	0.05	0.08	0.05	4.74	1.93
托克逊县	2.76	1.24	0.04	0.01	0.04	0.01	2.68	1.22
合计	12.30	6.72	0.20	0.13	0.19	0.10	11.91	6.49

## 4 结论

坎儿井在吐鲁番盆地已有 2 000 a 余的历史,曾

对盆地农业发展及整个社会经济的发展都起着决定性的作用。近 50 a 来,盆地坎儿井经历了先增加后急剧减少的变化。

引起坎儿井不断减少的主要原因是:(1)绿洲规模的不断扩大。解放初至 50 年代末,坎儿井的变化和绿洲耕地面积的增加相一致,而 60 年代中期至今,二者的变化趋势则相反。(2)60 年代初开始开发利用地表水,在各流域上游和中游修建水库和防渗渠道,到 90 年代修建中小性水库 8 座,总库容达  $8.00 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,防渗渠长达 4 774 km,防渗率达 70%,减少了坎儿井水源的补给。(3)坎儿井灌区盲目发展机电井,掠夺式开采地下水。机电井数量由 1966 年的 127 眼增至 2003 年的 5 309 眼,相应地年出水量由  $1.10 \times 10^8 \text{ m}^3$  增至  $7.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,并且机电井的打井深度越打越深。

地下水位下降,坎儿井干涸,严重影响了当地居民的生产生活及生态环境。具体表现在:(1)居民生活受到严重影响,部分村庄整体搬迁;(2)农业灌溉受到影响,坎儿井的控灌面积不断减少,由 1957 年的  $2.17 \times 10^4 \text{ hm}^2$  减少到 2003 年的  $8.80 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,减少了 60.37%,同时,盆地旱灾和风灾呈现不断增加趋势,尤其是风灾;(3)由坎儿井维持生长的天然植被面积不断减少,由 1957 年的  $1.23 \times 10^4 \text{ hm}^2$  降至 2003 年的  $6.72 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,降低了 45.37%。

在新疆曾经作为主要引用地下水的水利灌溉设施——坎儿井,目前虽然面临着衰败的局面,并逐渐被机电井取代,但是由于其在生态环境、居民生活中发挥着不可或缺的重要作用,相关政府部门已经采取了一系列工程措施和非工程措施来保护坎儿井这一人类文明的瑰宝,使坎儿井这一古老的水利工程重新焕发青春,更好地造福于吐鲁番人民。

#### [参 考 文 献]

- [1] 刘中培. 农业活动对区域地下水变化影响研究:以石家庄平原区为例[D]. 北京:中国地质科学研究院,2009.
- [2] 于向前. 地下水安全性评价研究:以关中平原中部为例[D]. 西安:长安大学,2011.
- [3] 关东海,张胜江,吾甫尔·努尔丁. 新疆坎儿井水资源保护与可持续利用研究[J]. 水资源保护,2008,24(5): 94-98.
- [4] 崔峰,王思明,赵英. 新疆坎儿井的农业文化遗产价值及其保护利用[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(2): 47-55.
- [5] Kahlow N M A, Hamilton J R. Status and prospect of karz irrigatiopn [J]. Water Resources Bulletin, 1994,30(1):125-148.
- [6] Yousefirad M, Mokhtar S, Mahbod A. The influential factors on the qanat hydrogeology [J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2012,10(2):843-848.
- [7] Lightfoot D R. Syrian qanat Romani: History, ecology, abandonment [J]. Journal of Arid Environments, 1996, 33(3):321-336.
- [8] Lightfoot D R. The origin and diffusion of qanats in Arabia: New evidence from the Northern and Southern Peninsula [J]. The Geographical Journal, 2000,166(3): 215-226.
- [9] Mustafa D, Qazi M U. Transition from Karez to tubewell irrigation: Development, modernization, and social capital in Balochistan, Pakistan [J]. World Development, 2007,35(10):1796-1813.
- [10] 新疆坎儿井研究小组. 干旱地区坎儿井灌溉国际学术论文集[C]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1990:24-30.
- [11] 邢义川,王俊臣,黄庆文. 新疆吐鲁番地区坎儿井的破坏特性研究[J]. 水利学报,2011,42(5):529-535.
- [12] 胡汝骥,樊自立. 中国西北干旱区的地下水资源及其特征[J]. 自然资源学报,2002,17(3):321-326.
- [13] 新疆坎儿井研究会. 新疆坎儿井[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1993:23-28.
- [14] 新疆统计局. 新疆统计年鉴 1955—2005[M]. 北京:中国统计出版社,2006.
- [15] 吐鲁番地区统计处. 吐鲁番统计年鉴 2004[M]. 北京:中国统计出版社,2005.
- [16] 吐鲁番地区统计处. 吐鲁番统计年鉴 2008[M]. 北京:中国统计出版社,2009.
- [17] 傅小锋. 吐鲁番盆地水资源利用与绿洲经济发展探讨[J]. 地理研究,1996,15(4):74-81.
- [18] 程克坚,彭补拙. 干旱绿洲地区土地资源可持续利用初探:以新疆吐鲁番市为例[J]. 资源科学,1998,20(4): 14-18.