

黄土高原生态果园工程模式设计研究*

邱 凌, 杨改河, 杨世琦

(西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 对由高效沼气发酵子系统、太阳能暖圈子系统、集雨蓄水子系统和节水滴灌子系统构成的黄土高原生态果园工程模式,提出了各子系统主要技术参数的计算方法和结构优化原则。实践证明:设计的新型高效沼气池克服了常规沼气池存在的技术问题,产气率提高 51.7%;设计的太阳能暖圈解决了猪和沼气池越冬问题,猪的生成速度提高 30%,沼气池产气率提高 20%;设计的集雨和贮水系统能有效地解决干旱半干旱地区畜禽、沼气池、果树生产中的用水问题;设计的滴灌系统与沼液施肥联用,可一次完成灌水和施肥作业。

〔关键词〕 黄土高原;生态果园;工程模式;优化设计

[中图分类号] S-0: S66-33 [文献标识码] A

[文章编号]1000-2782(2001)05-065-05

黄土高原地处我国东部温湿季风区向西北内陆干旱区的过渡地带,是典型的农牧交错区域。因自然与人为的原因,该地区遭受了巨大的生态环境创伤,农村能源严重紧缺;植被破坏严重,水土流失日益加重,使该区生态和经济双重失调。构建和发展以高效沼气为纽带的生态果园工程模式,既解决了农村能源问题,又增加了农民的经济收入,是恢复和重建黄

土高原生态环境的有效途径。本研究对该工程模式的主要技术参数的计算方法和结构进行了研究探讨,以期对生态果园建设有所参考。

1 系统构建

图 1 为以高效沼气为纽带的生态果园工程模式系统构建图。

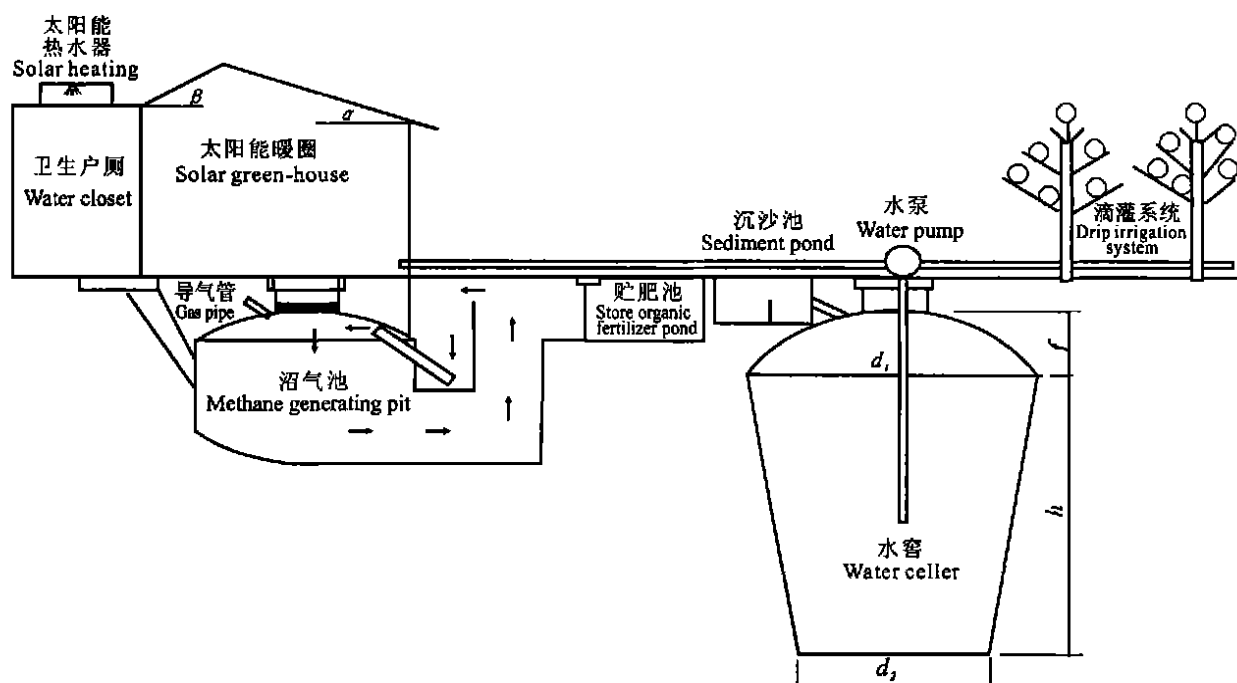


图 1 黄十高原生态果园建设模式

Fig. 1 Ecological orchard project model in the loess plateau

〔收稿日期〕 2001-04-01

[基金项目] 农业部跨越计划项目“西部黄土高原生态农业模式示范”

「作者简介」 邱 凌(1957-),男,陕西西乡人,工学硕士,副研究员。主要从事生物能源和生态农业研究与教学。

从图 1 可以看出,该系统从黄土高原的实际出发,以农户土地资源为基础,以太阳能为动力,以新型高效沼气池为纽带,形成以农带牧,以牧促沼,以沼促果,果牧结合,协调发展的能源-生态-经济良性循环发展系统。系统要素是以 1 个 0.333 hm^2 左右的成龄果园为基本生产单元,在果园或农户住宅前后配套一口 8 m^3 的新型高效沼气池,一眼 60 m^3 的水窖,一座 12 m^2 的太阳能猪圈和果园节水滴灌系统^[1]。

2 系统设计

2.1 高效沼气发酵子系统设计

沼气发酵子系统是生态果园工程模式的核心,起着联结养殖与种植、生活用能与生产用肥的纽带作用。在果园或农户住宅前后建一口 8 m^3 的沼气发酵池,既可解决照明、做饭所需燃料,又可解决人畜粪便随地排放孳生的各种病虫害,改善了农村生态环境。同时,沼气池发酵后的沼液用于果树叶面喷肥、打药、喂猪,沼渣用于果园施肥,从而达到改善环境,利用能源,促进生产,提高生活水平的目的。

2.1.1 规模设计 沼气发酵子系统的规模与沼气用途、原料数量、发酵温度和产气率等因素有关。系统设计时,根据沼气用途决定池容规模,进而决定养殖规模,使之满足厌氧发酵工艺所需的发酵原料需要。

生活用能。 满足生活用能的沼气池池容计算^[2]:

$$V = V_1 + V_2 = V_1 + 0.15V_1 \\ = 1.15V_1 = 1.15n \cdot k \cdot r$$

式中, V 为沼气池净空总容积 (m^3); V_1 为发酵间容积 (m^3); V_2 为贮气间容积 (m^3), $V_2 = 0.15V_1$; n 为气温影响系数,一般南方各省取 $0.8 \sim 1.0$,中部各省取 $1.0 \sim 1.2$,北方各省取 $1.2 \sim 1.5$; k 为人口影响系数,一般 $2 \sim 3$ 口之家取 $1.8 \sim 1.4$, $4 \sim 7$ 口之家取 $1.4 \sim 1.1$; r 为每户人口数。

生产用能。 满足生产用能的沼气池池容计算^[2]

$$V = \frac{t \cdot u \cdot N_e}{\alpha \cdot V_0}$$

式中, V 为沼气池净空总容积 (m^3); t 为加工机器工作时间 (h); u 为发动机耗气量 ($\text{m}^3/(\text{kW} \cdot \text{h})$); N_e 为发动机功率 (kW); α 为沼气池池容产气率 ($\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$); V_0 为有效装料容积 (%)。

2.1.2 发酵装置结构设计 池体结构设计。根据

力学分析,由正削球形池盖、圆柱形池墙和反削球形池底 3 部分组成的沼气发酵池(图 1),其结构合理,力学性能好,能克服和消除应力集中。在反映 3 部分结构的几何关系中,池盖净空矢高 f_1 与池体净空跨度 D 之比 $b_1 = f_1/D = 1/5$,池墙高度 H 与池体净空跨度 D 之比 $b_2 = H/D = 1/2.5$,池底净空矢高 f_2 与池体净空跨度 D 之比 $b_3 = f_2/D = 1/8$ 时的结构较为合理。由此可得到池盖削球体净空容积 V_1 、圆柱体池体净空容积 V_2 、池底削球体净空容积 V_3 3 部分的容积分别为:

$$V_1 = \pi f_1 (3R^2 + f_1^2) / 6$$

$$V_2 = \pi R^2 H$$

$$V_3 = \pi f_2 (3R^2 + f_2^2) / 6$$

式中, R 为池体净空半径, $R = D/2$ 。

水压间设计。 水压间兼有对池内沼气加压、贮肥以及便于出料等多种功能。最优设计要求是无效水压间容积为零;当水压间中料满时,气箱内的沼气压强恰好等于设计压强。

新技术应用。 料液自动循环、自动搅拌、自动破壳、自动出料、两步发酵、固菌与生物膜技术、太阳能增温等沼气新技术^[3],能使装置内部料液动态高效自动运行,系统设计要优先应用。

2.2 太阳能暖圈子系统设计

太阳能暖圈子系统是实现以牧促沼,以沼促果,果牧结合的前提。采用太阳能暖圈养猪,解决了猪和沼气池的越冬问题,提高了猪的生长率和沼气池的产气率。

2.2.1 规模设计 生态果园工程模式最佳圈舍规模,根据所确定的沼气发酵装置容积所需的发酵原料数量,计算出养殖规模,再根据养殖规模计算圈舍规模。可通过下式计算^[2]:

$$n = \frac{V \cdot R \cdot V_0}{G \cdot T_s \cdot H_{rt}} \quad F = k \cdot n + c$$

式中, n 为养殖头数; V 为沼气池净空容积 (m^3); G 为每头猪每天的产粪量 (湿重, kg); T_s 为原料中干物质含量 (%); H_{rt} 为原料滞留时间 (d); R 为发酵料液浓度 (%); V_0 为有效装料容积 (%),通常为 0.90 ; F 为猪舍面积 (m^2); k 为生猪重量调节系数,一般取 $0.8 \sim 1.2$,小猪取低限,大猪取上限; c 为舍温、通风调节系数。

2.2.2 结构设计 太阳能猪圈北墙内侧设 $0.8 \sim 1.0 \text{ m}$ 的走廊,北走廊与猪舍之间用 1 m 高的铁栅栏或 24 cm 砖墙隔开。北墙为 37 cm 实心砖墙或夹心保温墙,墙高 1.8 m ,在其中部 1.2 m 高处设 0.3

m × 0.6 m 的通风窗,东、西、南三面为 24 cm 砖墙,南墙高 1 m,东、西墙上部形状和骨架形状一致。

猪舍舍顶为一面后坡,后坡仰角 $\beta = 10^\circ \sim 12^\circ$ 。后坡投影宽度 2.4~2.6 m。猪舍顶部用树干、树枝、秸秆、草泥和瓦做成,其总厚度为 30~40 cm。其最小采光屋面角 $\alpha_{\min}$ 用下式计算:

$$\alpha_{\min} \geq \varphi - 10.34'$$

式中, φ 为当地地理纬度。

2.3 集水子系统设计

集水系统包括为果园配套的收集和贮蓄地表径流雨、雪等水资源的集水场、水窖等设施,除供沼气池、园内喷药及人畜生活用水外,还可弥补关键时期果园滴灌、穴灌用水,防止关键时期缺水对果树生育的影响。

集水系统规划设计主要考虑集水能力、水窖容积和为果园节水补灌一次的最低需水量等因子,保证一定面积的集水场能充分蓄积一定的水量,使之满足相配套的蓄水容量和补灌最低需水量。

2.3.1 集水能力设计 气候、地貌、土壤、植被及地面处理等是影响坡面产流的重要因素,在不考虑引导和输水损失时,集水场的集水量为^[4]:

$$F_p = E_y \cdot R_p / 1000$$

式中, F_p 为保证率等于 P 的年份单位集水面积上的全年可集水量 (m^3/m^2); E_y 为某种集水材料全年的集水效率 (%); R_p 为保证率等于 P 的年降雨量 (mm)。

2.3.2 水窖设计 根据结构力学分析,采用拱形穹顶、园台形窖体的水窖结构(图 1),能保证水窖窖体在蓄水和空置时都能保持相对稳定。这种结构的水窖容积和几何尺寸通过以下公式计算:

$$\text{窖顶} \quad V_1 = [\pi f (3d_1^2/4 + f^2)]/6$$

$$\text{窖体} \quad V_2 = [\pi h (d_1^2 + d_2^2 + d_1 d_2)]/12$$

式中, d_1 为窖体上口净空直径 (m); d_2 为窖体下口净空直径 (m),根据理论分析和工程实践, $d_2 = d_1 - 0.5$; h 为窖体深度 (m),根据力学分析, $h = 1.5d_1$; f 为窖顶净空矢高,根据力学分析 $f = 0.25d_1$ 为宜。

水窖容积 V 由一定集水面积的集水量 W 决定^[4]:

$$V = W = (H_{24p} \cdot F \cdot N) / 1000$$

式中, H_{24p} 是频率为 P 的最大 24 h 降雨量 (mm),水窖设计一般取 $P = 10\%$; F 为水平投影集水面积; N 为集水场地面径流系数,根据试验,土质路面、场院取 0.45; 沥青路面、水泥场院取 0.85~0.9。

2.3.3 沉沙池设计 集水场蓄积雨水,经引水沟渠

或暗管引至沉沙池,通过沉沙池降低径流水中的泥沙含量,沉沙池一般放在距水窖进水口 2~3 m 处,长、宽分别由下列公式计算^[5]:

$$B = \sqrt{\frac{F_s \cdot Q}{5V_e}}, L = 3B$$

$$V_e = 0.563 \cdot D_c^2 (r - 1)$$

式中, B, L 分别为沉沙池的宽和长 (m); D_c 为设计标准粒径 (mm); r 为泥沙颗粒比重 (g/cm^3); Q 为设计流量 (m^3/s); V_e 为设计标准粒径的沉淀速度; F_s 为蓄水系数,一般取 2。

2.4 滴灌子系统设计

滴灌子系统是将水窖中蓄积的雨水通过水泵增压提水,经输水管道输送、分配到滴灌管滴头,以水滴或细小射流均匀而缓慢地滴入果树根部附近。结合灌水可使沼气发酵子系统产生的沼液随灌水施入果树根部,使果树根系区经常保持适宜的水分和养分。

2.4.1 滴灌指标设计 灌水定额 I 。灌水定额是果树在某一生育时期 1 次灌溉的用水量,其值与土壤质地、年份、果树品种和生育阶段等因素有关,常用下式计算^[6]:

$$I = 0.1 h \cdot m (\beta_1 - \beta_2) \frac{r_1}{r_2}$$

式中, h 为计划土壤湿润层深度 (cm); m 为土壤灌溉湿润比 (%); β_1, β_2 为以土体积百分数表示的适宜土壤含水量的上下限 (%); r_1, r_2 为土壤和水的容量 (t/m^3)。

灌水周期 T 。灌水周期 T 是前后两次灌溉之间的时间间隔,常用下式计算^[6]:

$$T = I / E_a$$

式中, E_a 为灌溉中日均耗水量 (mm/d); I 为灌水定额。

灌水时间 t 。灌水时间 t 是完成一次灌水定额所需的时间,用下式计算^[6]:

$$t = \frac{I \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot \eta}{q}$$

式中, S_1 为滴头间距 (m); S_2 为毛管间距 (m); q 为滴头流量 (L/h); η 为滴灌灌水利用系数。

2.4.2 输配管路设计 水泵的选型。水泵的选型包括泵型及牌号的选择,滴灌常用自吸式水泵。牌号的选择主要包括泵功率、设计扬程和流量,在原动机功率给定的条件下,实际选用的泵功率应为动力机功率的 70%~90%。泵的设计扬程及流量依滴头的工作压力及滴水量选定,考虑到管路压力损失及滴

头位置到供水水位的高差, 泵的扬程可初步按滴头工作压力的 1.2~1.4 倍选取, 待管路参数确定后重新选定。

输水管的选取。输水管常用低密度聚乙烯管(SPE), 管内径及长度依照管路许可的压力损失确定, 一般由下式计算:

$$[\Delta H] = H_y - H_g - H_s - \sum \Delta H_i$$

式中, H_y 为水泵的设计扬程(m); H_g 为滴头的工作压力(m); H_s 为滴头额定压力位置与水源水面的高差(m); $\sum \Delta H_i$ 为管路中管件及吸水管部分的压力损失。

上述各项, 仅管件的的压力损失与输水管内径有关不能预先确定, 其余均可预先确定。一般管件压力损失较小, 为简化计算, 在预选管径时, 可忽略不计。

输水管在给定流量条件下的真实压力损失 ΔH 可用下式计算^[7]:

$$\Delta H = S_0 \cdot Q^f \cdot L + \frac{4L \cdot \xi \cdot Q^4}{5g \cdot \pi^3 \cdot d^5}$$

式中, S_0 为与管材内径有关的阻力系数; f 为与管材有关的系数; ξ 为弯管弯曲 180 时的阻力系数; Q 为流量(m^3/s); d 为管内径(mm); L 为管长度(m)。

令真实压力损失不大于许可压力损失, 即 $\Delta H \leq [\Delta H]$, 并预先选出适当的管内径, 便可求得管子的长度。

滴头的选取。滴头选取的主要依据为滴头的滴灌强度不超过土壤的允许滴灌强度, 并考虑在电动机功率给定的条件下, 所选用的泵能否提供所选滴头所需的工作压力及流量。一般选用抗堵性能好、使用寿命长的低压大流量滴头和调压式滴头, 优选补偿式滴头和内镶式滴头。

3 应用效果

应用生态果园系统设计方法和结构优化原则, 在黄土高原的乾县吴店乡三合村和澄城县罗家洼乡杨家陇村建点、研究和检测。结果表明: 高效沼气发酵子系统年平均产气量为 380~500 m^3 , 比标准水

压式沼气池年平均产气量(290 m^3) 提高了 31%~72.4%^[3], 使沼气池在冬季寒冷的黄土高原地区能全年正常产气使用, 填补了北方沼气池全年只能使用半年的空白; 太阳能暖圈子系统解决了猪和沼气池的越冬问题, 圈内温度比圈外温度平均提高 3~8℃, 使猪的生长速度提高了 30%, 沼气池的产气率提高 20%, 实现了全年养猪和用气; 集水子系统解决了沼气池、园内喷药、人畜生活用水和关键时期果园滴灌、穴灌用水, 防止了因缺水对果树生育的影响; 滴灌子系统使 667 m^2 灌溉用水从 300 m^3 减少到 60 m^3 , 用水效率提高了 5 倍, 并可利用滴灌系统使沼液随灌水施入果树根部, 一次完成灌水和施肥作业。

应用动态经济评价方法对所建的生态果园系统投产后进行经济分析, 其净现值(NPV) 为 9.67 万元, 内部收益率(IRR) 为 76.18%, 投资回收期(RP) 为 4.35 年^[8]。这一结果表明, 以高效沼气为纽带的生态果园工程模式的内部收益率 IRR 远远大于社会贴现率, 因此该模式具有较高的获益能力。

4 结 论

1) 黄土高原生态果园工程模式中, 各子系统主要技术参数的计算方法和结构优化原则可用于以沼气为纽带的生态果园设计和建设。

2) 新型高效沼气池克服了常规沼气池存在的技术问题, 产气率提高 51.7%, 应用于果园生产, 可将养殖和种植有机结合, 形成能源—生态—经济良性循环系统。

3) 太阳能暖圈解决了猪和沼气池越冬问题, 猪的生成速度提高 30%, 沼气池产气率提高 20%, 实现了全年养猪和用气。

4) 集水和滴灌系统有效地解决干旱半干旱地区畜禽、沼气池、果树生产中的用水问题, 用水效率提高了 5 倍, 并可利用滴灌系统使沼液随灌水施入果树根部, 一次完成灌水和施肥作业。

【参考文献】

- [1] 邱 凌, 张正茂, 李相运, 等. 高效沼气生态果园模式结构与建设效应[J]. 西北农业学报, 1998, 8(专辑): 148-151
- [2] 邱 凌, 张正茂, 谢惠民. 农村沼气工程理论与实践[M]. 西安: 世界图书出版公司, 1998
- [3] 邱 凌, 谢惠民, 张正茂, 等. 自动循环沼气发酵装置与技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(增刊): 160-164
- [4] 肖国举, 任万海, 刘一祖. 窖蓄雨水与农作物补充灌溉技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(增刊): 44-49
- [5] 高鸿飞, 肖国举, 李武玉. 风砂池修建技术[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(增刊): 100
- [6] 肖国举, 太红杰, 白雪山, 等. 日光温室集水滴灌技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(增刊): 94-95

[7] 喷灌工程设计手册编写组 喷灌工程设计手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989. 364

[8] 邱 凌, 张正茂, 邹养军, 等. 渭北旱塬果园“五配套”生态模式效益评价[M]. 西安: 世界图书出版公司, 1998

A study into the designs of the optimal ecological orchard project model in the Loess Plateau

QIU Ling, YANG Gai-he, YANG Shi-qi

(College of Agronomy, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The paper designs the optimal ecological orchard project model that contains the sub-system of high efficient methane ferment, the sub-system of solar greenhouse, the sub-system of collective precipitation and the sub-system of saving irrigation in the Loess Plateau, and points out the measurement method of the main tech-parameters and principles of optimal construction to each sub-system. The practice testified that the new-type and high-efficient methane generating pit sumounted the technical defects of the traditional methane generating pit. The rate of methane production increases 51.7 percent, and the sub-system of the solar greenhouse solves the effect of low-temperature to the pig and the methane generating pit, the growth rate of pig improves 30 percent, the rate of methane production increases 20 percent, the sub-system of collective precipitation and the sub-system of water-saving irrigation efficiently solves the water-shortage in raising domestic animals (poultry), the methane generating pit and fruit trees. The sub-system of drop irrigation can be applied simultaneously with methane liquid to realize irrigation and fertilization.

Key words: ecological orchard; project model; optimal design; the Loess Plateau

欢迎订阅 2002 年《干旱地区农业研究》

《干旱地区农业研究》由教育部主管、西北农林科技大学主办(主管、主办单位名称更换待批), 是全面反映我国干旱、半干旱及半湿润易旱地区农业科学技术研究新成果、新理论、新技术及国外有关最新研究进展的学术性期刊。

《干旱地区农业研究》为农业科学中文核心期刊, 全国及陕西省优秀科技期刊。被中国科学引文数据库、中国学术期刊综合评价数据库、中国学术期刊(光盘版)、中国期刊网及俄罗斯《文摘杂志》等国内外多家权威检索系统收录。

《干旱地区农业研究》主要刊登有关干旱、半干旱及半湿润易旱地区的旱农耕作与栽培、土壤培肥与施肥、作物与土壤水分动态、节水灌溉、旱区资源开发利用、作物抗旱生理、综合评述、国外旱农动态等内容。以旱作农业为重点, 重视水资源合理利用和灌溉农业的发展; 应用科学研究与应用基础科学研究并重是本刊的主要特色。适合广大从事旱农研究的专家、学者、科技人员、生产管理工作者和农林及有关院校师生阅读参考。此外, 本刊以优惠价格为广大客户提供有关广告业务服务, 有意者请随时与编辑部联系。欢迎投稿, 欢迎订阅, 欢迎刊登广告。

《干旱地区农业研究》(季刊) 国内外公开发行。国际大 16 开本, 128 页, 每期定价 8.00 元, 全年 32 元。2002 年本刊将以全新的面貌呈现给广大读者, 竭诚为读者服务。全国各地邮局均可订阅, 邮发代号: 52-97。若漏订者可直接汇款至编辑部补订。国外总发行: 北京中国图书进出口总公司。编辑部地址: 陕西杨凌西北农林科技大学西农校区 96 号信箱; 邮编: 712100, 电话: (029) 7092370; E-mail: yangy@nwsuaf.edu.cn