

DB51

四川省地方标准

DB51/T 3325—2025

姜黄挖掘机设计规范

2025 - 12 - 23 发布

2025 - 12 - 31 实施

四川省市场监督管理局 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 设计依据 1

5 设计原则 2

6 基本构成和功能 2

7 设计流程 3

8 设计要求 3

9 设计计算和一般试验测试 6

参考文献 13

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由四川省经济和信息化厅提出、归口、解释并组织实施。

本文件起草单位：四川省机械研究设计院（集团）有限公司、西华大学、四川省中医药科学院。

本文件主要起草人：陈更荣、菅昆琳、廖敏、詹旻、顾炳龙、孙曼兮、吴小龙、杨松、乔辰洋、杨萍。

姜黄挖掘机设计规范

1 范围

本文件界定了姜黄挖掘机（以下简称挖掘机）的术语和定义，给出了设计依据、设计原则、基本构成和功能，确立了设计流程，规定了设计要求，描述了设计计算和一般试验测试。
本文件适用于姜黄用挖掘机及其部件的设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 699 优质碳素结构钢
- GB/T 1147.1 中小功率内燃机 第1部分：通用技术条件
- GB/T 1243 传动用短节距精密滚子链、套筒链、附件和链轮
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 3098.1 紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 3098.2 紧固件机械性能 螺母
- GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB 10395.1 农林机械 安全 第1部分：总则
- GB 10395.16 农林机械 安全 第16部分：马铃薯收获机
- GB 10396 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械 安全标志和危险图形 总则
- GB 16710 土方机械 噪声限值
- GB 20891 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法（中国第三、四阶段）
- GB/T 23821 机械安全 防止上下肢触及危险区的安全距离
- GB/T 30464 农林拖拉机和机械 道路行驶用照明、光信号和标志装置的安装规定
- JB/T 14285—2022 马铃薯收获机械
- NY/T 3481 根茎类中药材收获机 质量评价技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

姜黄挖掘机 turmeric excavator
一次性将姜黄根茎挖掘出土的机具。

4 设计依据

挖掘机的设计主要依据设计任务书、生产合同、用户要求、市场需求和姜黄生产模式，还应符合相关法律法规和标准规范的要求。

5 设计原则

5.1 安全性原则

应通过合理的结构设计、安全防护装置、材料规定、排放控制等措施避免挖掘机在使用过程中对人员和环境造成危害。

5.2 可靠性原则

挖掘机应操作简便、故障率低且维修方便。

5.3 适用性原则

在满足挖掘效率高、姜黄根茎损伤小、绿色环保的前提下，适合姜黄各种种植模式、复杂地形地貌和土壤条件。

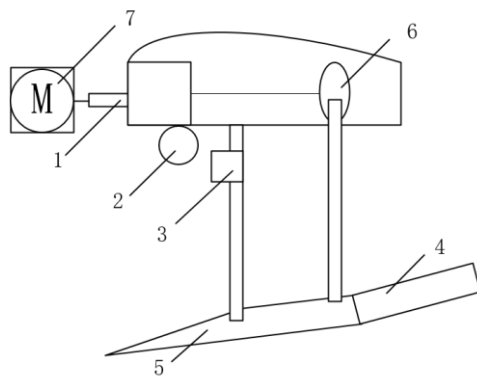
5.4 先进性原则

宜考虑通过智能驱动提升作业精准性与效率，融合绿色技术实现全生命周期节能环保，推动可持续高效生产。

6 基本构成和功能

6.1 基本构成

挖掘机由动力系统和挖掘作业系统组成，如图1所示，挖掘作业系统由传动部件、电气部件、液压部件、输送部件、挖掘铲、振动部件组成。



标引序号说明：

- 1——传动部件；
- 2——电气部件；
- 3——液压部件；
- 4——输送部件；
- 5——挖掘铲；

- 6——振动部件；
- 7——动力系统。

图1 挖掘机组成示意图

6.2 功能

作业时，动力系统为挖掘作业系统提供姜黄挖掘和作业行走的动力，挖掘作业系统完成姜黄根茎的挖掘，并输出姜黄根茎和土壤的结合体（以下简称结合体）。

7 设计流程

挖掘机设计流程如图2所示。

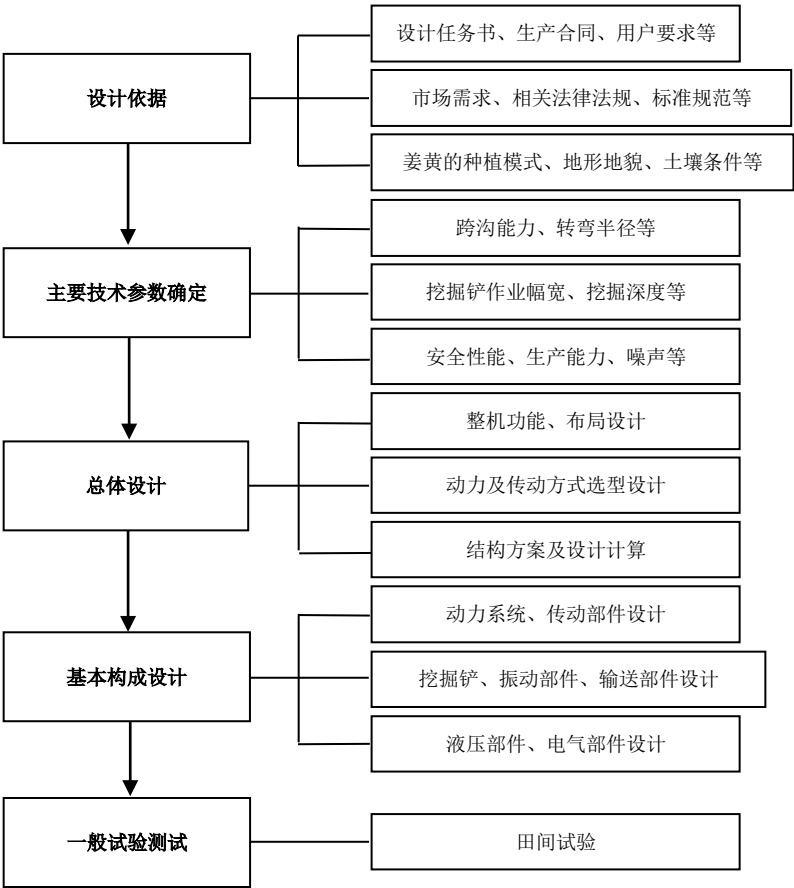


图2 设计流程图

8 设计要求

8.1 正常工作条件

挖掘机应能在下列条件下正常工作：

- a) 环境温度：-5℃~45℃；
- b) 空气相对湿度：≤90%；
- c) 土壤含水率：≤25%；
- d) 土壤坚实度（耕深30 cm处）：≤3.0 MPa；
- e) 作业地块坡度：≤6°；
- f) 作业地块大小：长边≥15 m，短边≥5 m；
- g) 进出田坡道坡度：≤15°；
- h) 排水沟宽度：≤0.3 m；
- i) 边沟宽度：≤0.3 m；
- j) 厢沟宽度：≤1.5 m。

8.2 基本要求

- 8.2.1 挖掘机应转弯半径小、动力充足，通过性好。
- 8.2.2 挖掘机的设计应符合正常工作条件下的稳定工作要求。
- 8.2.3 整体结构布局应符合人机工程学与可装配性原则。
- 8.2.4 零部件的设计和选型应保证通用性和互换性。
- 8.2.5 紧固件的设计和选型应符合 GB/T 3098.1 和 GB/T 3098.2 的规定。
- 8.2.6 紧固件、连接件等外露件均应进行防锈处理。
- 8.2.7 操作把手和各调节部位应灵活可靠，不应有松动现象。
- 8.2.8 焊接件应焊接牢固，焊缝应平整，不应该有裂纹、夹渣、烧穿和脱焊等焊接缺陷。
- 8.2.9 动力系统、液压部件不应出现泄漏现象。
- 8.2.10 挖掘机应设计有强压功能，如通过设置限深装置保证有效挖掘深度。

8.3 主要技术参数

挖掘机设计应考虑的主要技术参数包括但不限于表1中列出的内容。其中，挖松率、伤损率应符合 NY/T 3481 的规定。

表1 主要技术参数

序号	项目
1	纯工作小时生产能力
2	单位作业幅宽所需动力
3	整机质量
4	外形尺寸
5	作业幅宽（单行）
6	挖掘深度
7	作业速度
8	爬坡能力
9	坡道驻车
10	越障能力
11	转弯半径
12	跨沟能力

表1（续）

序号	项目
13	入土角度
14	最小离地间隙
15	挖松率
16	伤损率

8.4 基本构成的设计要求

8.4.1 动力系统

8.4.1.1 动力选配应符合 GB 20891 的规定，发动机应符合 GB/T 1147.1 的规定。

8.4.1.2 装配后应进行不少于 30 min 的空运转试验，并符合下列规定：

- a) 起动应顺利平稳，在温度为 5℃～35℃时，每次起动时间不大于 30 s；
- b) 在怠速和最高空转转速下，应运转平稳，无异响，熄火彻底、可靠；
- c) 在正常工作负荷下，排气烟色应正常。

8.4.2 传动部件

8.4.2.1 机械传动的链条、链轮的抗拉和动载强度应符合 GB/T 1243 的规定。

8.4.2.2 各传动轴、带轮、链轮、传动带和链条等外露传动部件和高温部位应设置防护装置，防护装置的结构和强度应符合 GB 10395.1 的规定，防护装置的安全距离应符合 GB/T 23821 的规定。

8.4.3 挖掘铲

8.4.3.1 设计应确保姜黄根茎全部挖出、挖净，且不破坏其表面。

8.4.3.2 入土角度和挖掘深度应设计为可调节形式，设置限深装置，实现掘土深度均匀。

8.4.3.3 设置升降锁定开关，升降应灵活、平稳、可靠，不应有卡阻等现象，在规定挖掘深度范围内机构调整应方便自如，不应与分选链条干涉。

8.4.3.4 采用机械性能不低于 GB/T 699 规定的 65Mn 的钢材制造，铲刃部工作表面热处理硬度应符合 GB/T 3077 的要求。

8.4.4 输送部件

8.4.4.1 能连续输送结合体，不应有卡堵现象。

8.4.4.2 具有碎土效果，能实现土壤分离。

8.4.4.3 作业参数调整方便，减少姜黄根茎损伤。

8.4.5 液压部件

液压部件应符合 JB/T 14285—2022 中 6.3.4 的规定。

8.4.6 电气部件

电气部件的设计应符合 JB/T 14285—2022 中 6.3.5 以及 GB/T 5226.1 的相关规定。

8.4.7 振动部件

振动部件的设计应保证挖掘机正常作业。

8.5 安全设计

- 8.5.1 挖掘机结构设计应保证操作人员按制造厂使用说明书的规定操作和保养时没有危险。
- 8.5.2 挖掘铲等可能造成人身伤害但因功能需要而不能防护的危险运动件，应在其附近固定永久性安全标志，安全标志牌上应标示危险程度、危险产生的后果，并在用户使用手册上明确指出。标志应符合 GB 10396 的规定。
- 8.5.3 发动机排气管道应设隔热装置，并具有火星熄灭功能，排气管出口处离地面高度应不小于 1.5 m。
- 8.5.4 挖掘机应具备防止意外起动发动机的装置（采用人力起动方式的除外）。
- 8.5.5 发动机的排气出口应背离操作者。
- 8.5.6 照明、光信号和标志符合 GB/T 30464 规定。
- 8.5.7 挖掘机的污染物排放限值应符合 GB 20891 的规定。
- 8.5.8 挖掘机噪声排放限值应符合 GB 16710 的规定。
- 8.5.9 其他安全设计应符合 GB 10395.16 中的相关规定。

8.6 可靠性设计

挖掘机设计，应考虑正常工况下能稳定工作，可通过平均故障间隔时间和使用有效度来衡量。

9 设计计算和一般试验测试

9.1 传动部件设计计算

挖掘机的传动部件主要由发动机输出轴、变速机构、链传动等组成。其主要功能是将动力源输出的转速和扭矩经过合理变换后，传递至各工作装置，使其在最佳工况下运行。

(1) 传动比设计计算

对于单级传动机构，其传动比定义为：

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1}$$

式中：

i ——传动部件的传动比；

n_1 、 n_2 ——分别为主动轮与从动轮的转速；

z_1 、 z_2 ——分别为主动轮与从动轮的齿数；

d_1 、 d_2 ——分别为主动轮与从动轮的分度圆直径。

(2) 链传动计算

$$D = \frac{p}{\sin(\pi/z)}$$

$$\frac{L_0}{p} = 2 \frac{c}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{(z_2 - z_1)^2}{4\pi^2(c/p)}$$

式中：

D ——链轮齿槽底圆特征直径，单位为毫米（mm）；

p ——链条节距，单位为毫米（mm）；

c ——链轮中心距，单位为毫米（mm）；

L_0 ——链条长度，单位为毫米（mm）；

z ——链轮齿数，单位为毫米（mm）。

注：链传动效率一般取0.95~0.98，主动链轮齿数宜不小于11~13，中心距一般为30~50倍节距。

9.2 输送部件设计计算

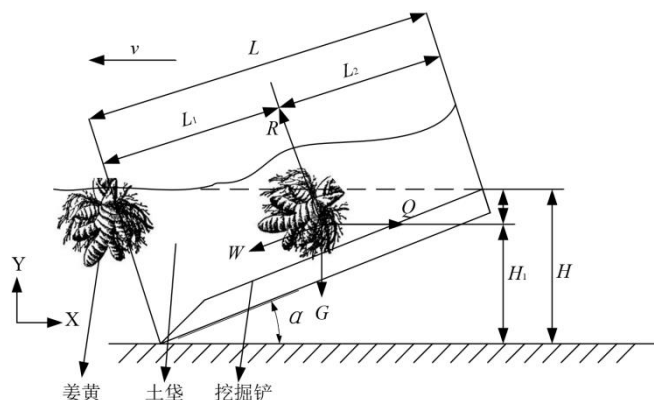


图3 姜黄挖掘出土作业图

挖掘铲的长度 L 分为 L_1 和 L_2 ，运动分析如图所示，得出表达式：

$$L_1 = \frac{H_1}{\sin \alpha}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgL_2 \tan \varphi \cos \alpha + mgL_2 \sin \alpha$$

$$L_2 = \frac{v^2 \cos \varphi}{2g \sin(\alpha + \varphi)}$$

$$L = L_1 + L_2 = \frac{H_1}{\sin \alpha} + \frac{v^2 \cos \varphi}{2g \sin(\alpha + \varphi)}$$

式中：

H ——铲顶高，单位为毫米（mm）；

H_1 ——姜黄团聚体重心与水平地面高度，单位为毫米（mm）；

v ——机器前进速度，单位为米每秒（m/s）；

m ——姜黄团聚体的质量，单位为克（g）；

g ——重力加速度，单位为米每二次方秒（m/s²）；

φ ——土壤对挖掘铲的摩擦角，单位为度（°）；

α ——挖掘铲的倾角与水平地面的夹角，单位为度（°）；

L ——挖掘铲的长度，单位为毫米（mm）；

L_1 ——铲面姜黄到铲尖距离，单位为毫米（mm）；

L_2 ——铲面姜黄到铲尾距离，单位为毫米（mm）。

9.3 挖掘铲设计计算

（1）挖掘铲作业幅宽设计

挖掘铲作业幅宽主要取决于姜黄块茎地下分布宽度、行距的不均匀性，植株对垄中心的偏移和机器工作行驶的偏差。

$$B = \varepsilon + 2b$$

式中：

B ——挖掘铲作业幅宽，单位为毫米（mm）；

ε ——姜黄分布中心标准差，单位为毫米（mm）；

b ——机具行驶误差，单位为毫米（mm）。

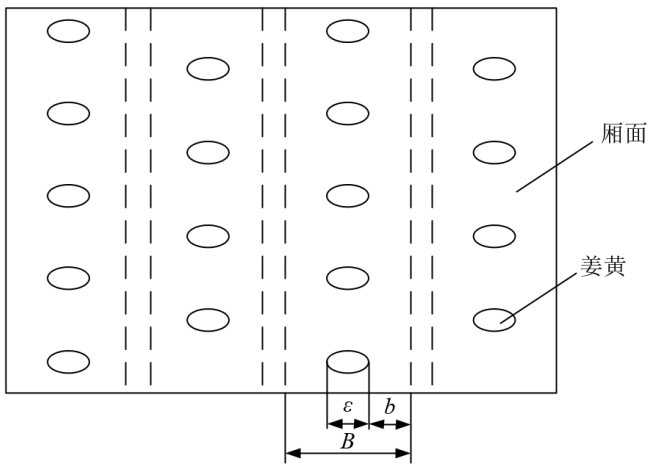


图4 挖掘铲作业幅宽示意图

(2) 挖掘铲宽度设计

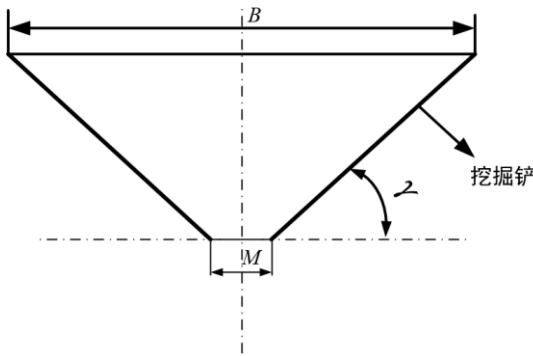


图5 挖掘铲宽示意图

挖掘铲铲宽取决于挖掘宽度、挖掘铲底部缝隙宽度和铲面张角，铲面张角为 γ 。则挖掘铲铲宽 l 为：

$$l = \frac{B - M}{2\cos\gamma}$$

式中：

l ——挖掘铲的铲宽，单位为毫米（mm）；

M ——挖掘铲底部缝隙宽度，单位为毫米（mm）；

γ ——铲面张角，单位为度（°）。

(3) 挖掘铲倾角设计

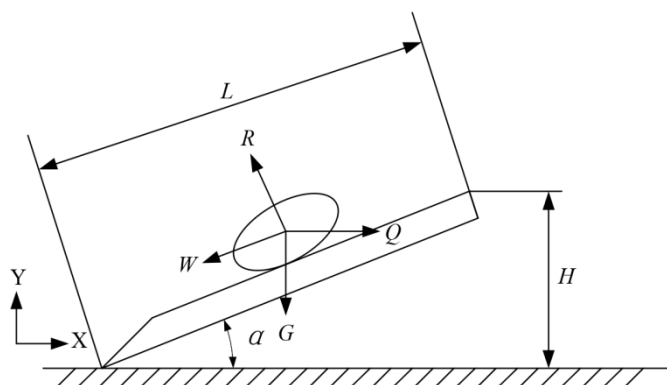


图6 姜土混合物的受力分析

可建立如下方程式，经过推导整理得出挖掘铲的倾角的表达式：

$$\begin{cases} Q \cos \alpha - W - G \sin \alpha = 0 \\ R - G \cos \alpha - Q \sin \alpha = 0 \\ W = \mu R \end{cases}$$

$$\alpha = \frac{\arcsin(Q - \mu G)}{\mu Q + G}$$

式中：

R ——挖掘铲对土壤的反作用力，单位为牛（N）；

W ——摩擦力，单位为牛（N）；

G ——混合物的重力，单位为牛（N）；

Q ——沿着挖掘铲移动崛起姜土所需的力，单位为牛（N）；

μ ——结合体与铲面的摩擦系数， $\mu=0.577\sim 0.721$ 。

9.4 振动部件设计计算

（1）曲柄转速的计算

根据筛子的原理，铲的振动应满足下式：

$$1.7K_0 < \frac{w^2 r}{g} < 2.6K_0$$

$$1.79 < \frac{10w^2}{g} < 2.74$$

$$K_0 = \frac{\cos \beta}{\sin \zeta}$$

式中：

K_0 ——振动特征系数；

w ——曲柄角速度，单位转每秒（rad/s）；

r ——曲柄半径，单位毫米（mm）；

β ——安装角，单位度（°）；

ζ ——振动方向角，单位度（°）。

（2）振动机构设计

对于动力传输轴，扭转强度条件和输出轴直径为：

$$\tau = \frac{T}{W_p} = \frac{9.55 \times 10^6 P}{0.2 d^3 n} \leq [\tau]$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{9.55 \times 10^6 P}{0.2[\tau]n}} = C \sqrt[3]{\frac{P}{n}}$$

$$C = \sqrt[3]{\frac{9550000}{0.2[\tau]}}$$

式中：

P ——额定功率，单位为千瓦（kW）；

n ——输出轴转速，单位为转每分钟（r/min）；

d ——输出轴直径，单位为毫米（mm）；

τ ——轴的扭转切应力，单位为兆帕（MPa）；

$[\tau]$ ——许用扭转切应力，单位为兆帕（MPa）；

T ——轴的扭矩，单位牛毫米（N mm）；

C ——材料系数；

W_p ——抗扭截面系数，单位为千瓦（kW）。

（3）铲尖振幅计算

振动挖掘机构可看成四杆机构，挖掘铲铲尖运动可近似看成由牵引方向匀速直线运动和绕振心摆动叠加而成的倾斜正弦运动。在两极限位置为挖掘铲的最低点和最高点，下图为运动简图。

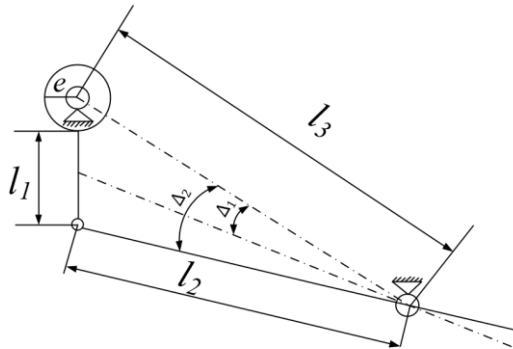


图7 连杆机构运动简图

$$\begin{cases} \Delta_1 = \arccos \frac{l_2^2 + l_3^2 - (l_1 - e)^2}{2l_2l_3} \\ \Delta_2 = \arccos \frac{l_2^2 + l_3^2 - (l_1 + e)^2}{2l_2l_3} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta = \Delta_2 - \Delta_1 \\ A = \frac{\pi \Delta r'}{180^\circ} \end{cases}$$

式中：

Δ_1 、 Δ_2 ——挖掘铲两极限位置与两铰接点间直线的夹角，单位为度（°）；

e ——偏心距，单位为毫米（mm）；

l_1 ——摇臂上两铰点的长度，单位为毫米（mm）；

l_2 ——挖掘铲上两铰点的长度，单位为毫米（mm）；

l_3 ——两铰点的长度，单位为毫米（mm）；

Δ ——挖掘铲的摆动角，单位为度（°）；

r' ——铲尖到振心的距离，单位为毫米（mm）。
 A ——挖掘铲的振动幅度，单位为毫米（mm）。

9.5 动力部件计算

功率的消耗可以分为四部分：行走功耗、挖掘功耗、振动功耗、犁刀切土功耗。

(1) 行走功耗

$$P_1 = F_x v = G_x f v g$$

式中：
 P_1 ——机器前进功率，单位为瓦特（W）；
 F_x ——机器前进动力，单位为牛顿（N）；
 f ——土壤摩擦系数，根据姜黄的土壤特性情况；
 G_x ——整机重量，单位为千克（kg）。

(2) 挖掘功耗

挖掘机构的阻力来源：土壤粘着力、切削阻力、物理密度、铲表面结构等因素的影响，在土壤性质不变的情况下，改善挖掘机构的材料可降低功耗，挖掘机的阻力计算如下：

$$R_c = SL\rho \tan(\alpha + \varphi) + K_S + K_P G_2$$

$$F_0 = G \tan(\alpha + \varphi) = SL\rho g \tan(\alpha + \varphi)$$

轻质土	$K=16000\sim20000\text{N/m}^2$	$K_P=0.25\sim0.26$
中等轻质土	$K=20000\sim24000\text{N/m}^2$	$K_P=0.22\sim0.23$
中等结实土	$K=24000\sim30000\text{N/m}^2$	$K_P=0.14\sim0.17$

式中：
 R_c ——挖掘铲的总阻力，单位为牛（N）；
 F_0 ——沿着挖掘铲移动崛起物所需要的力，单位为牛（N）；
 S ——土壤沉切面积，单位为米平方（ m^2 ）；
 K ——犁沟土壤比阻，单位为牛每平方米（ n/m^2 ）；
 ρ ——土壤密度，单位为千克每立方米（ kg/m^3 ）；
 K_P ——机器沿垄驱动的阻力系数；
 K_S ——挖掘铲沉切土壤需要的力，单位为牛（N）；
 G_2 ——机器和在铲上的土壤重力，单位为牛（N）；
 $K_P G_2$ ——机器在行进过程中需要克服的阻力，单位为牛(N)。

(3) 振动功耗

$$\begin{cases} T_1 = 9550 \frac{P_s}{n_0 k_1} \\ T_1 = F_S r_1 \end{cases}$$

式中：
 T_1 ——挖掘铲的扭矩，单位为牛米（N·M）；
 F_S ——挖掘铲所受的最大力，单位为牛（N）；
 r_1 ——挖掘铲最大受力点的半径，单位为米（m）；
 n_0 ——工作转速，单位为转分钟（r/min）；
 k_1 ——安全系数；
 P_s ——功率，单位为千瓦（kW）。

(4) 犁刀切土功耗

由立柱式深松铲的松土机理分析，深松铲的工作阻力 F' ：

$$F' = \frac{\rho g l h \sin(\alpha + \beta) [2l \sin \beta + h \sin \beta \sec \alpha]}{2z \sin^2 \beta} + \frac{lh[E \sin(\alpha + \beta) + \rho v^2 \sin \alpha \sin \beta]}{z \sin \beta \sin(\alpha + \beta) (\sin \beta + \mu' \cos \beta)} \\ + \frac{E_a l L}{z(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} z = \frac{\cos \alpha - \mu' \sin \alpha}{\sin \alpha + \mu \cos \alpha} + \frac{\cos \beta - \mu' \sin \beta}{\sin \beta + \mu' \cos \beta}$$

式中：

F' ——深松铲的工作阻力，单位为牛（N）；

β ——前失效面的倾角，单位为度（°）；

h ——工作深度，单位为毫米（mm）；

μ' ——土壤之间的摩擦系数；

E ——土壤内聚力；

E_a ——土壤与铲面的附着力因数。

9.6 一般试验测试

9.6.1 通过田间试验验证整机及各子系统的功能、性能指标是否满足设计与使用要求。

9.6.2 试验条件如下：

- a) 选择具有代表性的姜黄种植田块，地表平整、含水率符合作业要求；
- b) 作业对象为成熟姜黄植株，种植密度与常规农艺要求一致；
- c) 试验前检查并确认挖掘机各系统处于良好状态。

9.6.3 试验内容如下：

- a) 各传动部件运转平稳性，有无异常噪声、振动及打滑现象，传动机构润滑状况及温升试验；
- b) 电气部件控制线路、传感器及执行元件工作是否正常；
- c) 液压泵、阀、油缸等元件工作是否正常，有无异常噪声，以及密封性试验；
- d) 输送部件的运行平稳性及输送效果试验；
- e) 挖掘铲的结构强度与耐磨性能试验；
- f) 振动部件对姜黄分离效果及作业稳定性试验。

9.6.4 试验结果评估如下：

- a) 外观结构无破损且未发生永久性变形；
- b) 未出现泄漏且密封完好；
- c) 功能测试指标满足设计性能指标要求。

参 考 文 献

[1] GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）
[2] GB/T 5080.1 可靠性试验 第1部分：试验条件和统计检验原理
[3] GB 5083 生产设备安全卫生设计总则
[4] GB/T 5262 农业机械 试验条件测定方法的一般规定
[5] GB/T 5667 农业机械 生产试验方法
[6] GB/T 14248 收获机械 制动性能测定方法
[7] GB/T 45300 姜黄
[8] JB/T 14285 马铃薯收获机械
[9] NY/T 648 马铃薯收获机 质量评价技术规范
[10] NY/T 1130 马铃薯收获机械
[11] DB51/T 3084 川芎全程机械化生产技术规范
[12] DG/T 078 薯类收获机
[13] DG/T 186 生姜收获机
[14] DG/T 189 根茎类中药材收获机
