

拖拉机理論及試驗

(第二册)

华南农学院

农机系拖拉机教研组

一九七七年十月

第 二 篇

拖拉机理论及试验

拖拉机理论研究讨论拖拉机的行驶推进原理、拖拉机作业时整机及主要部件的运动、受力和力的变化规律、以及改善提高拖拉机使用性能的条件和因素的规律。

拖拉机试验是以实际数据对拖拉机的使用性能、牵引性能、产品质量作出适当而正确的评价，是分析改进设计和正确使用拖拉机的依据。

拖拉机理论及试验

目 录

第二篇 拖拉机理论及试验

第 一 章	拖拉机主要技术性能指标	1
§ 1-1	拖拉机牵引性能指标	1
一、	牵 引 力	
二、	工作速度和滑转率	
三、	牵引功率和牵引效率	
四、	燃 料 经 济 性	
§ 1-2	拖拉机的稳定性、操纵性指标和基本参数	8
一、	稳定性指标——总体尺寸和重心位置	
二、	操纵性指标——最小转向半径	
三、	拖拉机基本参数	
§ 1-3	拖拉机的农业使用性能	13
一、	生 产 率	
二、	拖拉机农业使用经济性能	
三、	通 过 性	
四、	可靠性和使用寿命	
五、	维护方便性、劳动保护(安全)性、 行驶平顺性。	

第 二 章	轮式拖拉机行驶作业原理	22
§ 2-1	驱动力矩和传动系统效率	24
一、	发动机标定扭矩和转速	
二、	驱动力矩和传动系统效率	
§ 2-2	土壤的物理机械性质	26
一、	土壤的容重和湿度	
二、	行走部分与土壤之间的摩擦系数	
三、	土壤坚实度	
四、	土壤的抗压能力	
五、	土壤的抗剪能力	
§ 2-3	轮 子 运 动 学	33
一、	轮子的滚动	
二、	轮子的滚动轨迹、速度和加速度	
三、	驱动轮的滑转滚动	
四、	胎轮驱动轮的滑转滚动	
五、	驱动轮的滑转—切线牵引力关系	
六、	驱动轮轮叶与滑转率关系	
七、	从动轮的滑移滚动	
§ 2-4	轮式拖拉机行驶作业阻力	42
一、	轮式拖拉机滚动阻力	
二、	耕作阻力	
三、	其他行驶阻力（上坡阻力和空气阻力）	
§ 2-5	轮式拖拉机的牵引附着性能	53
一、	胎轮驱动轮动力学	
二、	驱动轮附着力和附着系数	
三、	驱动轮在土壤上产生的切线牵引力	

§ 2-6	轮式拖拉机的牵引平衡、功率平衡、 牵引效率及最有利牵引力范围	58
一、	牵 引 平 衡	
二、	滚 动 效 率	
三、	行走部分效率	
四、	功 力 平 衡	
五、	牵引效率及最有利牵引力范围	

§ 2-7	四轮驱动拖拉机、手扶拖拉机、船式拖拉机 行驶作业特点	63
一、	四轮驱动拖拉机行驶作业特点	
二、	手扶拖拉机行驶作业特点	
三、	船式拖拉机在水田行驶作业特点	

第 三 章 履带拖拉机行驶作业原理

§ 3-1	履带拖拉机的牵引附着性能	73
一、	履带拖拉机运动速度及滑转速度损失	
二、	切线牵引力产生过程的驱动损失	
三、	履带行走机构与土壤的附着性能	

§ 3-2	履带拖拉机的滚动阻力及滚动阻力系数	78
一、	履带张紧力所引起的阻力	
二、	支重轮滚动阻力	
三、	履带行走机构前方土壤阻力	
四、	履带拖拉机滚动阻力及滚动阻力系数	

§ 3-3	履带拖拉机牵引平衡、功率平衡、 和牵引效率	81
一、	牵 引 平 衡	
二、	功 率 平 衡	
三、	牵 引 效 率	

第 四 章	拖拉机总体动力学和稳定性	85
§ 4-1	轮式拖拉机总体动力学	85
一、	轮式拖拉机纵向平面总体受力	
二、	轮式拖拉机纵向平面的各力平衡方程式	
三、	轮式拖拉机行驶作业时的驱动轮增重和 前轮减轻	
§ 4-2	轮式拖拉机带悬挂机具时总体动力学特点	91
一、	耕地悬挂机具在纵向平面内的受力	
二、	牵引平衡方程式	
三、	驱动轮增重和从动轮减重	
§ 4-3	轮式拖拉机及机组的纵向稳定性	94
一、	轮式拖拉机静态纵向稳定性	
二、	带悬挂机具的轮式拖拉机纵向稳定性	
三、	轮式拖拉机动态纵向稳定性	
§ 4-4	履带式拖拉机总体动力学和纵向稳定性	103
一、	受 力 分 析	
二、	各力平衡方程式	
三、	压 力 中 心	
四、	履带拖拉机纵向稳定性	
§ 4-5	拖拉机的横向受力及稳定性	105
一、	拖拉机横向受力	
二、	拖拉机横向稳定性	
§ 4-6	手扶拖拉机带农具作业总体动力学 和稳定性	111
一、	手扶拖拉机带牵引农具作业时总体受力	
二、	手扶拖拉机带牵引农具的动态稳定性	
三、	手扶拖拉机带悬挂型的总体动力学	

第五章 拖拉机试验 ----- 117

§ 5-1 拖拉机使用试验 ----- 117

- 一、使用试验的意义
- 二、使用试验主要项目和内容
- 三、拖拉机使用试验的准备和组织

§ 5-2 拖拉机的牵引试验 ----- 124

- 一、拖拉机牵引试验的条件和准备
- 二、牵引试验方法和步骤
- 三、牵引特性实例介绍
- 四、滚动阻力的测定

§ 5-3 拖拉机液压悬挂系统试验、制动试验 和基本参数测定 ----- 136

- 一、液压悬挂系统试验
- 二、制 动 试 验
- 三、拖拉机基本参数的测定 (重心坐标、重心
高度坐标)

§ 5-4 拖拉机试验设备 ----- 146

- 一、拉力计 (电测拉力环)
- 二、扭矩测量设备 (集流环)
- 三、驱动轮转速测量设备 (脉冲记数器和
无触点开关)
- 四、测量燃油消耗量用的量油筒

参 考 资 料 ----- 153

第一章

拖拉机主要性能指标

拖拉机的主要性能指标包括：牵引性能、稳定性、操纵性等。

拖拉机在农业使用条件下的主要性能指标包括：生产率、使用经济性、通过性、可靠性、平顺性、维护保养方便性、安全性等。

以下对各种性能及其指标作一些必要的说明，并尽量将各种类型拖拉机的性能指标具体数值列表，以供参考。

§ 1-1 拖拉机牵引性能指标

拖拉机的牵引性能指标包括拖拉机在各种使用条件下所能产生的牵引力、工作速度、牵引功率（或输出功率）、滑转率和工作效率等，这些指标综合起来显示拖拉机的牵引性能。

一、牵引力 P_q (公斤)

拖拉机是具有较大牵引力的机器，顾名思义，它是靠发挥牵引力（就是拖拉的能力）来工作的。

拖拉机进行作业时，除了克服拖拉机本身的行驶阻力外，还必须发挥足够的牵引力去克服机具作业时的耕作阻力，才能正常工作。因此，牵引力是拖拉机主要性能指标之一。

不同类型的农业拖拉机，以不同的速度、在不同的土壤条件下工作，所能发挥的牵引力是不同的。通常用额定牵引力 P_{qN} (公斤) 表示拖拉机所能发挥的最大牵引力， P_{qN} 一般是在最低工作挡、适耕湿度茬地（或沥青路）水平地段上，行走部分滑转率为规定值（轮式拖拉机 20%、手扶拖拉机 25%、履带拖拉机 7%）时获得。例如，我国生产的手扶拖拉机（10~12

马力) P_{gN} 值一般为 200~300 公斤, 轮式拖拉机(两轮驱动, 20~60 马力) P_{gN} 值为 500~1600 公斤, 履带拖拉机(75~160 马力) P_{gN} 值为 3000~8000 公斤, 参阅表 2-1-3。

拖拉机除按发动机功率分级外, 也常根据额定牵引力(吨——1000 公斤)来分级。

对于农业拖拉机来说, 犁耕是最基本而又繁重的作业, 犁耕阻力是农业生产过程机械化各项作业中最大的。因此, 农业拖拉机的额定牵引力必须能克服犁耕阻力, 以满足这一作业要求。

农田基本建设使用拖拉机带推土铲、铲运机等机具作业时(工程用拖拉机同), 铲削土壤和推移松土也要克服很大的阻力, 常按行走部分及土壤附着条件限制所能发挥的最大牵引力来表征。

农业拖拉机在其他工作档将发挥比额定牵引力小的牵引力, 形成一定的牵引力范围。各种配套农机具可选用合适档速和牵引力进行作业。

拖拉机的牵引力决定于发动机扭矩、传动系的各档总传动比、行走部分的型式和尺寸、以及土壤条件等。

二. 拖拉机工作速度 V (公里/小时) 和滑转率 δ (%)

(一) 工作速度 V (公里/小时)

拖拉机作业过程中, 在发挥额定牵引力或一定牵引力的同时, 必然有相应的工作速度 V (公里/小时)。因此, 工作速度是拖拉机牵引性能的另一重要指标。

拖拉机的工作速度决定于发动机转速、传动系各档的总传动比、行走部分的尺寸、和滑转率等。

现代拖拉机的配套作业机具日益增多, 综合利用程度不断提高, 要求拖拉机的速度范围扩大, 工作档数增多。其中, 犁耕工作速度是农业拖拉机的基本工作速度, 另外还设置若干档速以取得旋耕、耙地灭茬镇压、播种、栽植、中耕植保、收获、运输、高低速倒退等工作速度。轮式拖拉机由于适应于综合利用和各种

作业、通用性广，工作速度范围较大，从栽植速度的 0.5 公里/小时，到高速运输的 35 公里/小时，并常设置 6~12 个档速。履带拖拉机则由于受行走机构限制，运输速度目前不超过 12 公里/小时（一般 8~12 公里/小时）。手扶拖拉机由于结构特点和功率所限制，运输速度一般只有 10~16 公里/小时。

现将几种类型拖拉机的主要作业的适宜工作速度范围，列如表 2—1—1，以供使用或设计拖拉机时参考。国产拖拉机的各档工作速度见表 2—1—3。

表 2—1—1 拖拉机主要作业的适宜工作速度范围 (公里/小时)

作 业 项 目	犁 耕		旋 耕		耙 地	播 种	栽 植	中 耕	谷 物 收 获		运 输		推 土 铲 运	倒 运
	水 田	旱 地	水 田	旱 地	灭 茬 镇压	种 子	开 沟	植 保						
速度范围 公里/小时														
轮式拖拉机	5~25	5~25	5~25	5~25	0~10	5~25	5~25	5~25	5~25	5~25	15~20	22~35	5~25	2~12
手扶拖拉机	5~25	5~25	5~25	5~25	—	5~25	5~25	5~25	5~25	5~25	—	7~16	—	1~4.5
履带拖拉机	5~25	5~25	5~25	5~25	0~10	5~25	5~25	5~25	5~25	5~25	—	8~12	2~8	2.5~6

(二) 滑 转 率 δ (%)

拖拉机在按牵引力进行作业时，驱动轮或行走部分不可避免地产上滑转，而速度减慢为一定比例，滑转率标志行走部分滑转程度，是拖拉机牵引性能的重要指标之一。

滑转率 δ (%) 是驱动轮或行走部分因滑转而损失了的速度（即理论速度 V_L 减工作速度 V ）与不存在滑转时所应有的理论速度 V_L 之比，如下式所示：

$$\delta = \frac{V_L - V}{V_L} \times 100 (\%) \quad (2-1-1)$$

式中：

V_k —— 行走部分不存在滑转时的
拖拉机理论速度 (公里/小时)

V —— 行走部分产生滑转，速度
减慢后的拖拉机工作速度 (公里/小时)

三. 牵引功率与牵引效率

拖拉机牵引功率 N_q (马力) 是指拖拉机带牵引农具或悬挂农具进行牵引作业 (没有从动力输出轴作另外的功率输出) 的有效功率。当拖拉机在造耕荒地水平地以等速直线运动进行牵引作业时，牵引功率等于牵引力与作业速度的乘积，并以下式表示：

$$N_q = \frac{P_q \times V}{270} \quad (2-1-2)$$

式中：

P_q —— 牵引力 (公斤)

V —— 作业速度 (公里/小时)

拖拉机牵引效率 η_q (%) 是指拖拉机发挥的牵引功率 N_q 与发动机功率 N_e 的比值，并以下式表示：

$$\eta_q = \frac{N_q}{N_e} \cdot 100\% \quad (2-1-3)$$

式中：

N_q —— 拖拉机所发挥牵引功率 (马力)

N_e —— 发动机的相应功率 (马力)

牵引功率和牵引效率是拖拉机牵引性能的一个综合性评价指标。无论使用拖拉机进行作业或研究、设计拖拉机，都必须尽可能使牵引功率增大，提高牵引效率，以发挥发动机功率的作用。

我国各种类型拖拉机牵引效率见表2-1-2。

目前，拖拉机牵引效率以履带式拖拉机最高，达70~75%。例如东方红-75型履带拖拉机在茬地以一档工作时， P_g 为3580公斤，作业速度（在 $\delta = 5.5\%$ 滑转率下）为3.80公里/小时，牵引功率 N_g 可计算出是54.10马力，此时柴油机满载，发挥有效功率75马力，牵引效率 η_g 是72.1%。(10)

两轮驱动轮式拖拉机牵引效率一般是50~55%。例如东方红-40拖拉机在旱地（茬地）以工作档Ⅱ档作业时， P_g 为1240公斤，作业速度（在规定滑转率下）为4.94公里/小时，牵引功率 N_g 是22.70马力，按柴油机发挥40马力算，牵引效率 η_g 是54.4%。(7)

四轮驱动轮式拖拉机在茬地牵引效率达60~65%，已接近履带式拖拉机牵引效率。由于四轮驱动轮式拖拉机能在道路上行驶，通用性和适用性广，价格较履带拖拉机低，因而在世界上有取代履带拖拉机的趋势。

手扶拖拉机牵引效率一般较低，只有30~40%。例如工农-10型手扶拖拉机在旱地（茬地）以Ⅱ档作业时， P_g 为280公斤，作业速度为3.9公里/小时（滑转率约32%），牵引功率 N_g 只有3.9马力，按柴油机10马力算，其牵引效率为39%。手扶拖拉机目前我国农业生产的应用日益普及，适合于我国农村人民公社以队为基础的社会主义集体经济，保有量最多，是我国农业机械化事业中的一种主要动力装置，因而提高手扶拖拉机的牵引效率具有重大意义。

四·燃料经济性

在拖拉机试验或研究工作中，常使拖拉机在主要工作档发挥一定牵引力，测量拖拉机通过试验区段（一般应不小于20米）的耗油量 ΔG （克），然后通过下式计算拖拉机的燃油消耗量 G_T （公斤/小时）。

$$G_T = 3.6 \frac{\Delta G}{T} \quad (\text{公斤/小时}) \quad (2-1-4)$$

式中：

ΔG —— 拖拉机通过试验区段的耗油量 (克)

T —— 拖拉机通过试验区段时间 (秒)

表 2-1-2 各种类型拖拉机在受耕地的牵引效率^[6] (参考值)

机型及工作条件		工作速度 V (公里/小时)	牵引力范围 P_2 (公斤)	牵引效率 η_g (%)
手扶拖拉机 (10~12 马力)	旱地	3.5~4.5	250~300	30~40
	水田	3.5~4.5	180~250	30~40
轮式拖拉机 (20~60 马力)	旱地	6.0~7.5	550~1400	50~60
	水田	5.0~7.0	400~900	40~50
四轮驱动拖拉机 (50 马力以上)		6.0~6.5	1350 以上	60~65
履带式拖拉机 (75~160 马力)		3.8~5.0	3000~8000	70~75

为了更确切地反映拖拉机本身的燃料经济性，经常采用的指标是拖拉机燃料消耗率 g_g (克/马力·小时)；即每牵引马力小时所消耗的燃料克数。 g_g 可通过下式计算：

$$g_g = 1000 \frac{G_T}{N_g} \quad (2-1-5)$$

式中：

N_g —— 拖拉机牵引功率 (马力)

这样， G_T 和 g_g 就成为与拖拉机牵引性能有关的燃料经济指标。我国《农业拖拉机鉴定试验规则》(NJ 111-75)，规定将最大牵引功率时的燃油消耗量 G_T 和燃料消耗率 g_g 列为牵引性能指标。各种类型拖拉机的 G_T 和 g_g 值见表 2-1-3。

表 2-1-3 国产拖拉机牵引性能指标 (参政)

拖拉机型号	红旗 100	红旗 105	东风 75	东风 84	东风 55	东风 40	东风 40	红卫 40	丰收 35	东方红 30	东方红 28	丰收 27	东方红 20	工农 10	中山 10	洪湖 12	集材 80-1
拖拉机型式	双带	履带	履带	履带	轮式	轮式	轮式	轮式	轮式	轮式	轮式	轮式	轮式	手扶 轮式(铧式)	铧式	铧式	四轮 驱动
额定牵引力 P _{qN} (公斤)	8000	5500	5500	5500	1400	1240	1230	1000	750	750	650	550	500	280	310	200	4250
工作速度 V (公里/小时)	5.0	5.5	3.8	3.3	4.02	4.94	5.27	4.42	5.35	6.29	6.23	4.05	4.05	4.23	3.3	4.05	3.1
消耗率 S (%)	5.0	5.5	3.5	3.5	4.02	4.94	5.27	4.42	5.35	6.29	6.23	4.05	4.05	4.23	3.3	4.05	3.1
牵引功率 N _q (%)	7.31	7.31	5.41	5.41	2.30	2.27	2.40	18.8	15.5	17.47	15	8.4	4.5	3.9	3.79	5.04	5.0
牵引效率 η _q (%)	73.1	72.1	72.5	72.5	4.18	5.44	58.1	53.7	51.7	55.6	42	57.5	59	59.3	37.9	36.6	62.5
燃油消耗量 G _r (公斤/小时)		15	10.75	5.78	5.78	204.5	250	4					1.58	1.95	1.7	3.45	
燃油消耗率 g _r (克/千瓦小时)		277	275	204.5	204.5	250	201						550	496	448	685	
注: 资料来源 本试验测定值	(11)	(10)	(10)	(11)	(11)	(7)	(7)	(16)	(11)	(12)	(12)	(14)	(14)	(8)	(14)	(13)	(11)

§ 1-2 拖拉机的稳定性、操向性指标和基本参数

一、稳定性指标——总体尺寸和重心位置

拖拉机的稳定性是指拖拉机在坡地或山地安全工作而不倾翻或下滑的性能，主要用不倾翻或下滑的最大坡度角来衡量。一般拖拉机的稳定性主要取决于拖拉机的总体尺寸（轮距和轴距、轨距和履带支承面长度）和重心的配置。

手扶拖拉机起步时或作业时的机头上翘而扶手柄下压，轮式拖拉机在水田作业时机头上翘，也属于稳定性问题。这种动态稳定问题除了和拖拉机总体尺寸、重心配置有关外，还与发动机的扭矩的作用有关。

我国拖拉机的总体尺寸、轴距或轨距 L （毫米）、轮距或接地长度 B （毫米）和重心坐标（与驱动轮轴线的纵向距离 a 、横向距离 c 和高度 h ）见拖拉机基本参数表 2—1—4。

二、操向性指标——最小转向半径

拖拉机的操向性是指拖拉机按照驾驶员操纵的方向往行驶的性能力，包括行驶直线性和转向性。

拖拉机的转向性能通常用最小转向半径 R_{min} 来衡量。最小转向半径的大小和拖拉机类型、转向机构的型式以及拖拉机的总体尺寸有关。从拖拉机的转向瞬时轴线 O 到拖拉机纵向中心轴线的距离称拖拉机的转向半径，以 R 表示。图 2—1—1、图 2—1—2、图 2—1—3 分别表示轮式拖拉机、履带拖拉机、手扶拖拉机的最小转向半径 R_{min} 及其有关影响参数。

轮式拖拉机的最小转向半径 R_{min} 与轴距 L 、轮距 B 以及转向机构（差速器）有关。

履带拖拉机最小转向半径 R_{min} 与轨距 B 、履带拖拉机长度

和转向离合器有关。由于转向离合器能使一边履带解除动力，加上制动器的作用，转向轴线可移至履带中线位置而 R_{min} 接近等于 $\frac{1}{2} B$ ， $R_{min} \geq \frac{1}{2} B$ 。

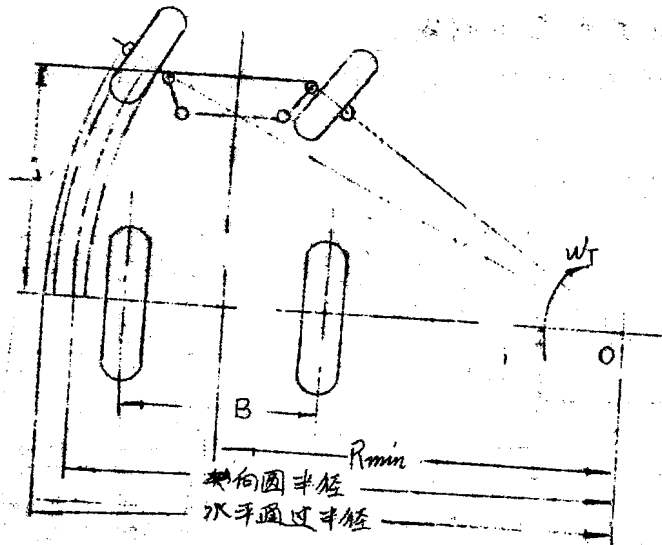


图 2-1-1
轮式拖拉机最小转向半径

手扶拖拉机、船式拖拉机目前都采用牙嵌式转向离合器或摩擦盘式转向离合器，其最小转向半径也能接近等于 $\frac{1}{2} B$ 值，因此适应小块水田灵活作业。

注意：上述最小转向半径 R_{min} 是从理论上泛指整个拖拉机来说的，它在数值上显然小于拖拉机转弯时外轮辙中心及最外端点的实际回转半径。实用上常以最小转向圆半径和水平通过半径两个参数来衡量。〔5〕

三、拖拉机基本参数〔5〕

拖拉机的基本参数包括重量、重心坐标、离地间隙、外廓尺寸、轴距和轮距（轨距或接地长度）、转向圆半径、水平通过半

性、稳定极限角等。

拖拉机基本参数是指装满燃油、冷却水、润滑油保持正常油面高度，配备全套随车工具，配重，在驾驶坐上加 60 公斤重块（无乘坐式手扶拖拉机不加），轮胎气压正常，轮距、轴距、和驾驶室接出厂状态下测定。

按上述状态测定的拖拉机重量称为使用重量：除去上述附加

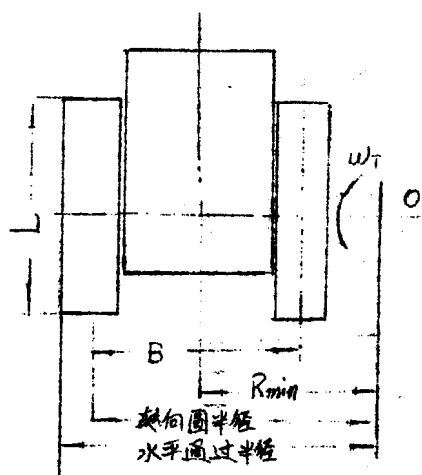
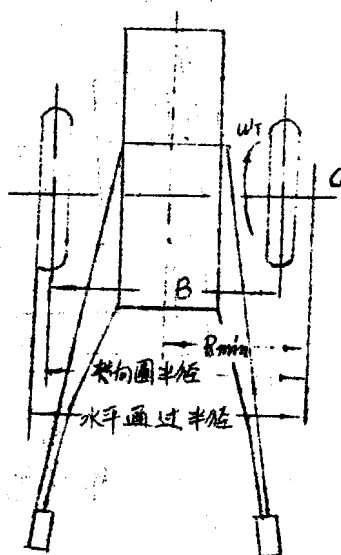


图 2-1-2

履带拖拉机的
最小转向半径



手扶拖拉机的最小转向半径

重量则称为拖拉机结构重量。

拖拉机重心位置用座标 a 、 e 、 h 表示。 a 为重心到通过后轮（手扶拖拉机为驱动轮）轴线垂直平面的距离； e 为重心对左右轮胎（履带）对称平面的偏移量； h 为重心到硬地面的距离。具有弹性悬架或半刚性悬架的拖拉机，指消除弹性元件变形影响的重心位置。

拖拉机离地间隙是指硬地面上测得的最小间隙和前轴下、半轴毂下间隙。履带式拖拉机的离地间隙值已减去履刺高度。