
合理简化的穿甲过程

目录

1	简介	1
2	弹种	2
3	发射	2
4	飞行过程	3
5	炮弹穿深计算	4
5.1	转正效应	4
6	装甲等效计算	8
6.1	T/D 效应	8
6.2	倾斜效应:	8
6.3	间隔效应:	11
6.4	装甲类型:	12
7	伤害计算	12
7.1	剩余穿深	13
8	结论	15

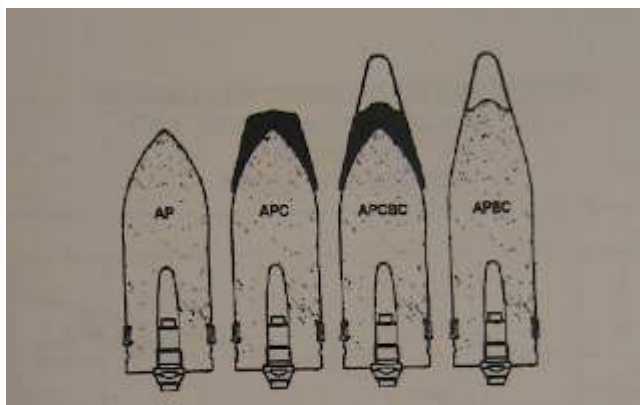
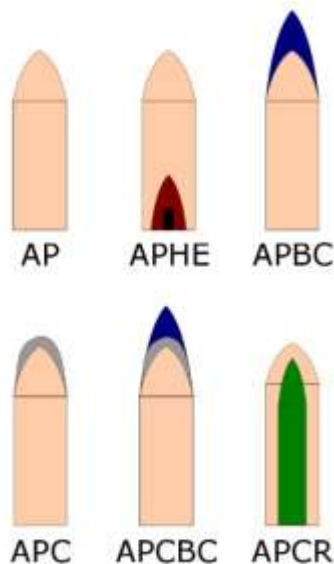
1简介

现实中的穿甲弹穿甲过程较为复杂且存在一定的不确定性，为了在尽量还原各自穿甲弹在穿甲过程中的不同特点，需要一个经过简化的穿甲过程为游戏中的伤害计算提供支撑。

坦克世界的击穿判断比较简单，即炮弹穿深大于装甲等效厚度即可判断为击穿，而伤害是一个浮动的随机值，不能很好的体现击穿后的不同，故应当根据一定的方法对伤害计算方法进行改进，采用剩余穿深进行估算，可以有效的区分不同穿深炮弹对同一装甲的伤害大小，进而鼓励玩家在剩余穿深不同的情况下选择不同的弹种。

2弹种

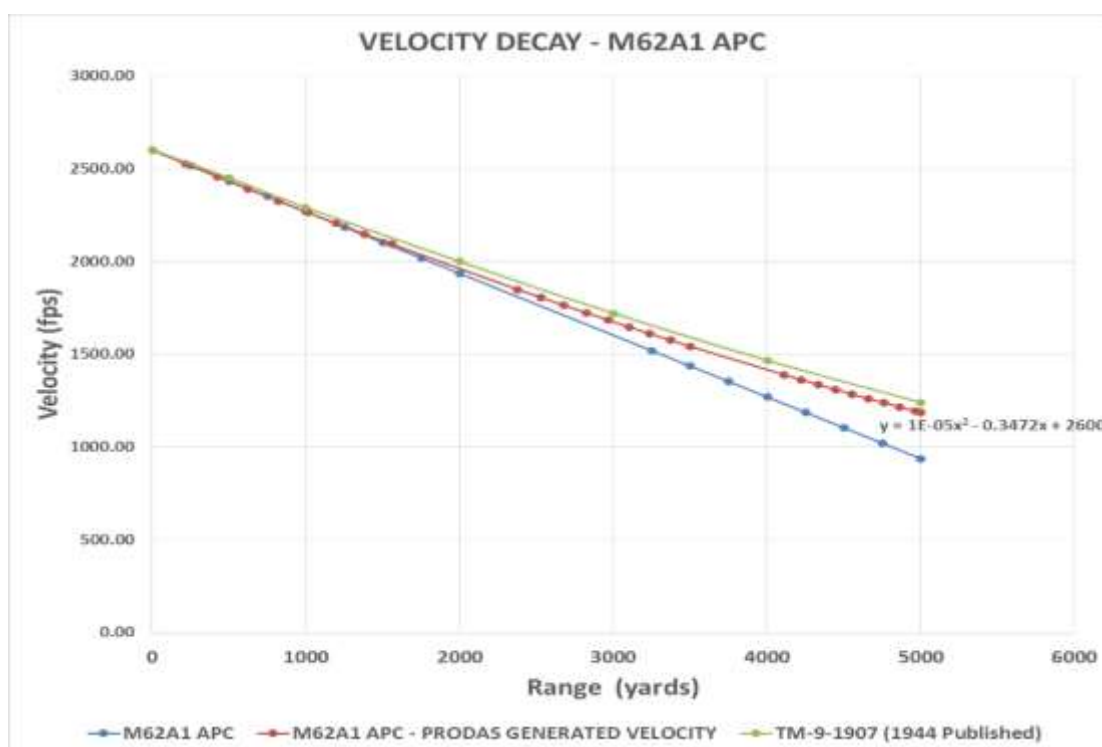
不同弹种的基本结构不同，其穿深后效等指标也各有不同，通过规定不同弹种的不同



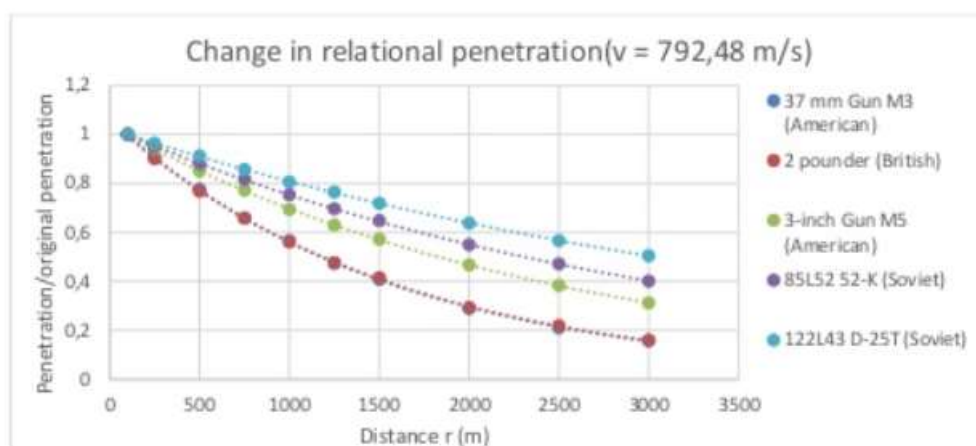
特性可以鼓励玩家选择合适的弹种进行对战。

3发射

从发射开始，初速度决定了炮弹的飞行初始速度。自炮弹被击发，开始在炮膛中加速并立刻火炮，炮弹就拥有了一个较高的初速度，这个速度应当是游戏中给定的固定值。对于无法获得准确数据的坦克来说，应当遵循同口径下炮弹质量越大，初速度越慢的原则。



速度衰减会伴随着穿深下降，因此可以通过规定不同弹种的存速来鼓励玩家在不同距离上选择不同弹种。

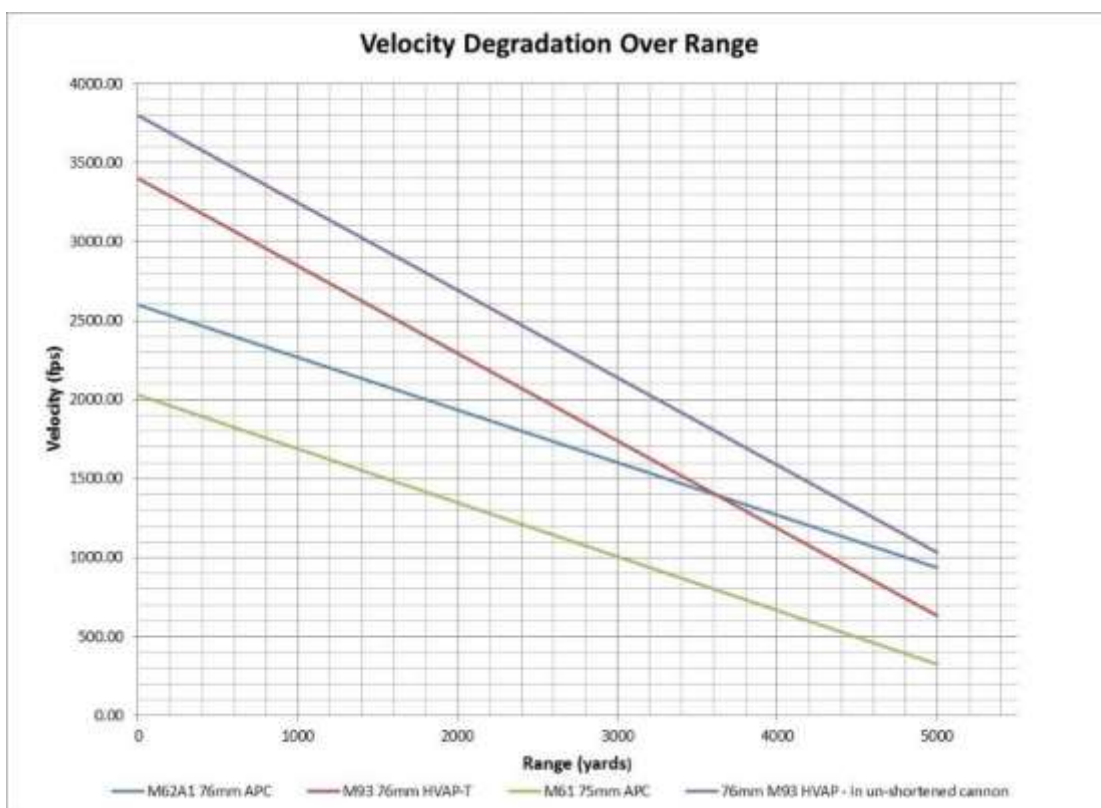


Kuva 14. Change in relational penetration with different calibers and masses.

4 飞行过程

重力和阻力的作用使得炮弹速度不断下降且发生下坠，选择高存速的炮弹可以更好的攻击远距离目标，下坠严重的炮弹可以攻击掩体后的目标。

阻力会使得炮弹的速度开始衰减，衰减速度和空气阻力、炮弹质量有关。通常来说，高速的轻质高阻力炮弹的速度衰减较大。在游戏中，可以以空气阻力系数作为主要变量用一个低阶函数表达全范围内的速度衰减。



剩余速度： $V = F(\text{初速度}, f(\text{空气阻力系数}), f(\text{炮弹质量}))$

重力会使得炮弹在远距离发生一定的下坠，这种下坠是不明显的。为了更好地体现弹种的差异和不同载具弹道的不同，可以适度提高游戏中的重力加速度来表现弹道下坠。

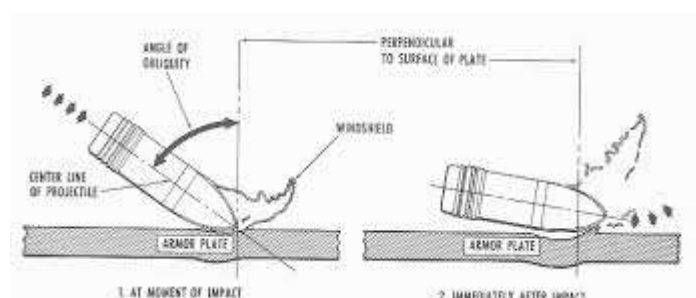
下坠距离： $H = F(\text{飞行时间}, \text{重力加速度}, \text{仰角})$

5 炮弹穿深计算

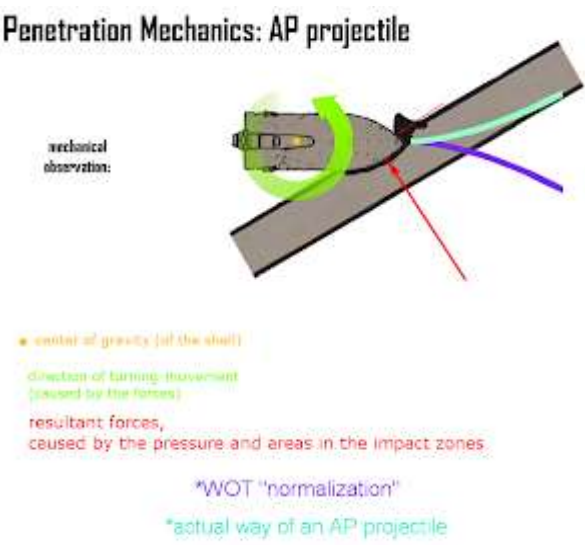
接触装甲是穿甲的开始，如何尽量现实且计算简单的实现穿深计算，对于玩家的最终体验有着重要作用，一个富有变化的穿甲结果有助于玩家选择合理的战术来实现目标。

5.1 转正效应

炮弹的转正效应是炮弹接触装甲后入射角发生变化的过程，该值直接影响炮弹的实际



入射角。



可以看到，炮弹可能转正也可能转偏，通常来讲是钝头容易转正，尖头容易转偏。可以设定带被帽的弹种转正角大，无被帽的弹种转正角小，而判定跳弹的入射角有所不同来简化计算。通过转正角的不同体现不同弹种的优势区间。

上述四种影响因素中，第（1）种因素有利于提高大倾角下装甲的抗弹性能，而第（2）、（3）、（4）种因素将导致大倾角下装甲抗弹能力的下降。对于不同弹种来说，这些因素影响的强烈程度是不相同的（表1），从而导致不同弹种的不同倾角效应规律。

表 1 各种因素对倾角效应的影响			
弹 种	普通穿甲弹	杆式穿甲弹	破甲弹
不对称力作用	+++	+++	+
转正现象	~0	--	0~-
边界条件	-	--	0~-
破坏形式	~0	-	~0
综合结果	++	--	~0

注：“+”表示有利于提高大倾角下的抗弹性能，“-”表示导致大倾角下抗弹性能的下降，“0”表示没有影响。

上述四种影响因素中，第（1）种因素有利于提高大倾角下装甲的抗弹性能，而第（2）、（3）、（4）种因素将导致大倾角下装甲抗弹能力的下降。对于不同弹种来说，这些因素影响的强烈程度是不相同的（表1），从而导致不同弹种的不同倾角效应规律。

表 1 各种因素对倾角效应的影响

弹 种	普通穿甲弹	杆式穿甲弹	破甲弹
不对称力作用	+++	+++	+
转正现象	~0	--	0~-
边界条件	-	--	0~-
破坏形式	~0	-	~0
综合结果	++	--	~0

注：“+”表示有利于提高大倾角下的抗弹性能，“-”表示导致大倾角下抗弹性能的下降，“0”表示没有影响。

转正角度: $D=F(\text{弹种}, \text{转正角度})$

实际入射角 $I=\text{入射角}-D$

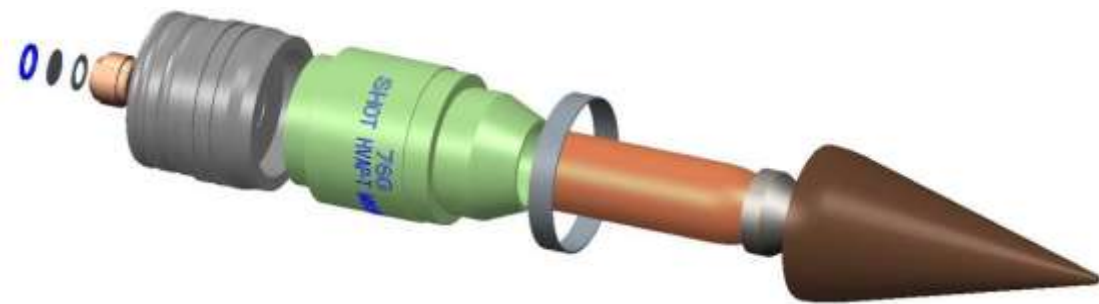
根据实际入射角和存速，计算出弹药的最大穿深。

理想的穿深等效曲线最好可以体现小角度衰减慢，大角度衰减快，不同弹种的优势区间不同的总体特征，鼓励玩家在不同角度下选择不同弹种以击穿对方。

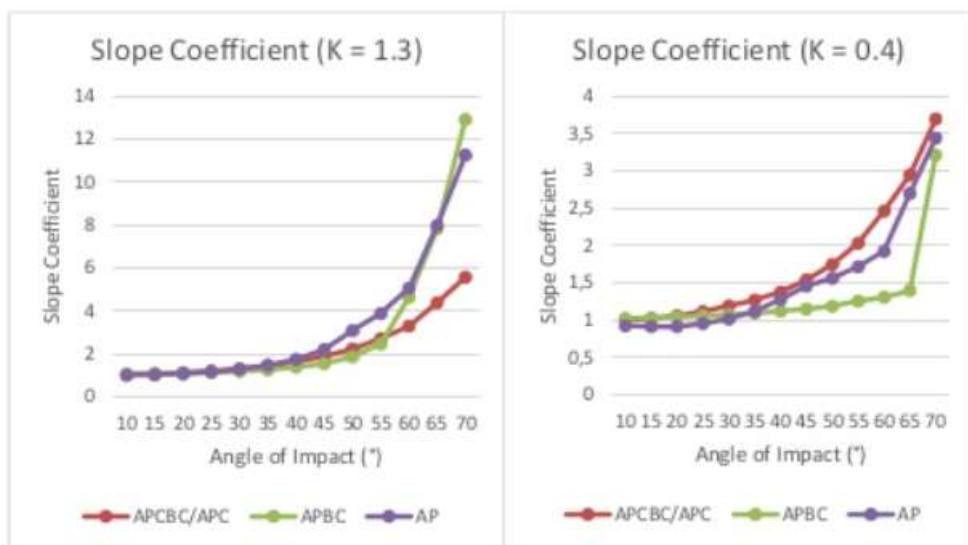
以下是一个典型的案例，分别对应高速小转正低角度优势弹和低速高转正大角度优势弹。



APC 是典型的大倾角远程优势弹种

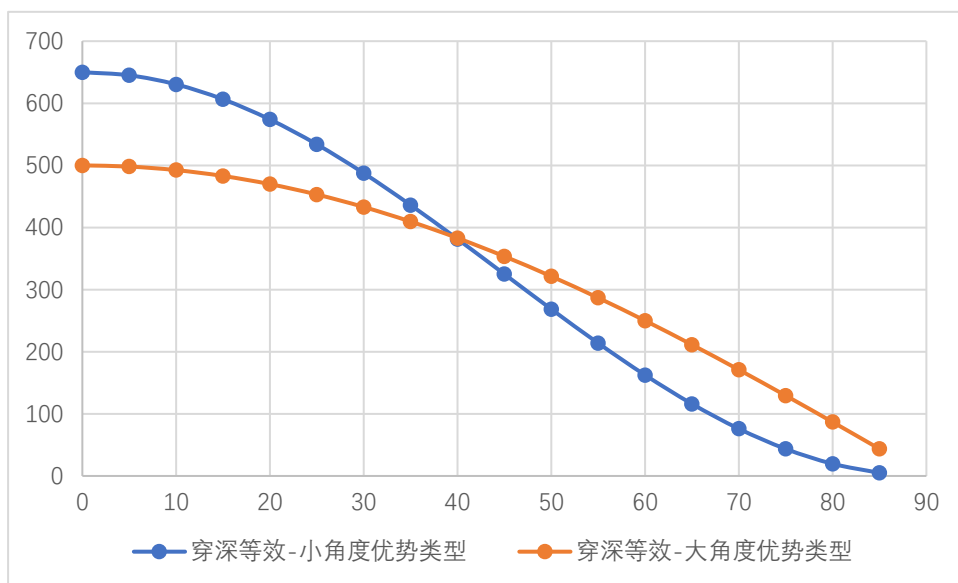


HVAT 是典型的小倾角近距离优势弹种



Kuva 6. Slope coefficient as a function of the angle of impact when $K = 1.3$ and 0.4 .

可以看到带被帽弹的倾斜效应低，更好的适应大倾角下的穿甲。但是这种实验得来的结果难以进行推广，可以采用简单的角度函数来表现穿深变化，要合理设计优势区间，让二者各有优势。下图是简单的三角函数组合得来的不同弹种随角度变化的穿深设定。鼓励玩家选择不同弹种。

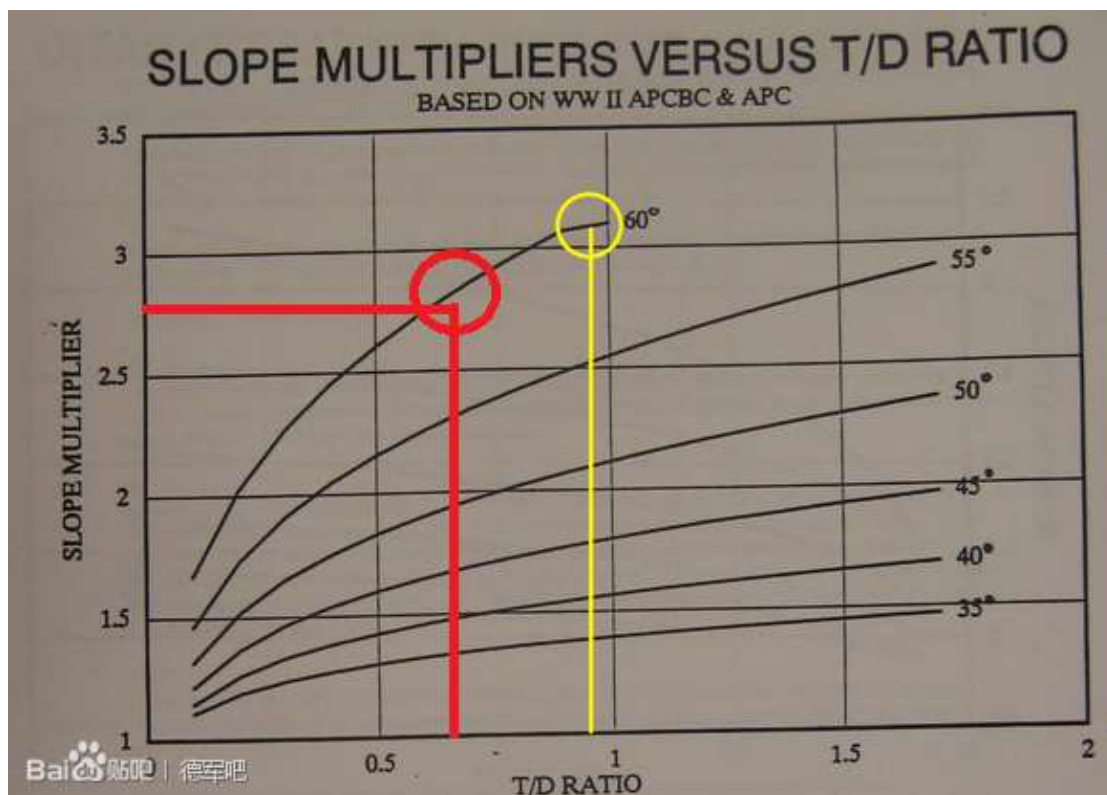


如图所示，小角度优势型在入射角低时表现优秀，但是大角度下不如大角度优势型。鼓励玩家在不同角度下 选择弹种，可以提升游戏的策略性，避免简单的一种弹药用到底的现象。

6 装甲等效计算

6.1 T/D 效应

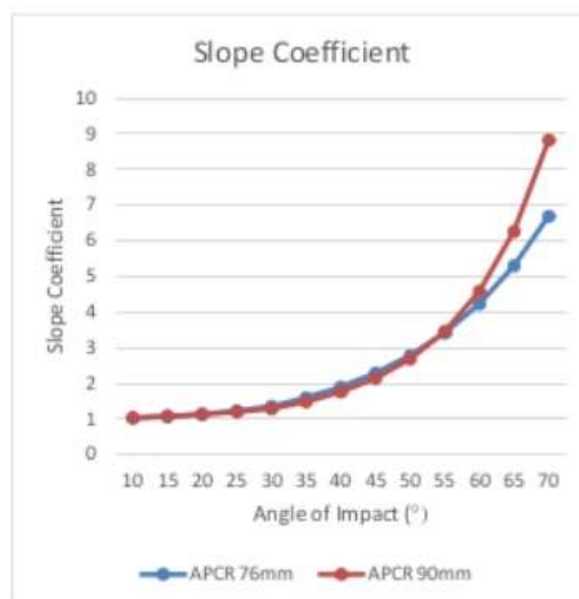
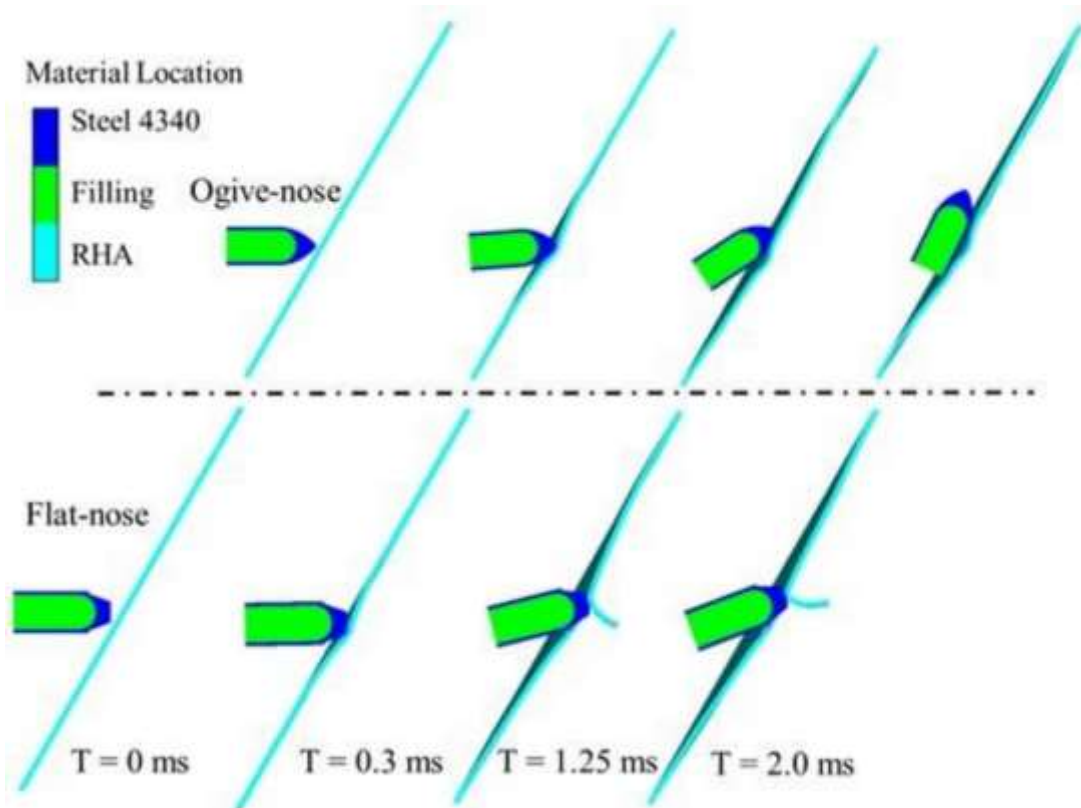
大口径炮弹更不容易发生跳弹，面对大厚度装甲更有优势。



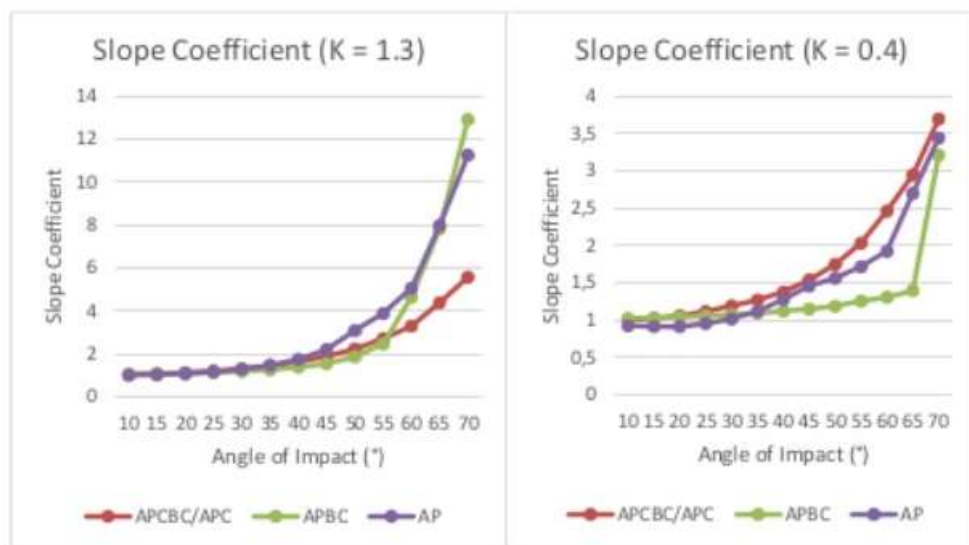
更大口径的炮弹在面对大厚度装甲时表现更优秀，在面对小厚度大倾角的装甲时更不容易跳弹，可以规定当口径大于装甲厚度时一定不会发生跳弹。

6.2 倾斜效应：

面对炮弹时，一定的倾斜角度可以有效提高装甲的抗弹能力，在坦克世界中，等效是简单的三角函数计算，而现实中的装甲并非如此，通过合理的装甲倾斜效应的体现，可以鼓励玩家更好的摆出角度，同时，应当给玩家及时的提示，是否可以击穿。

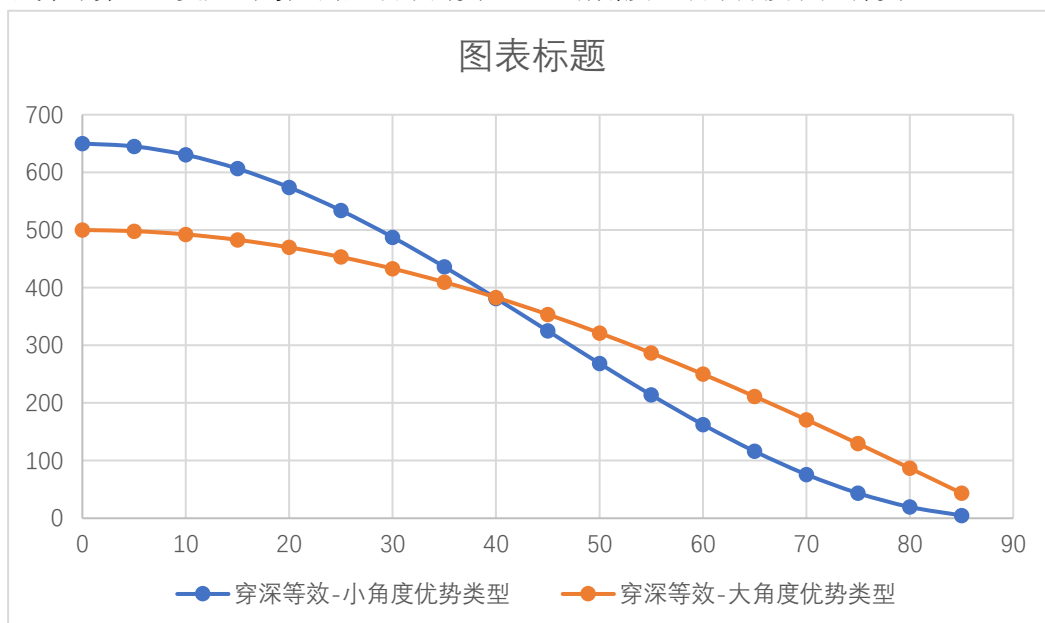


Kuva 7. Slope coefficients for 76 mm and 90 mm APCR-shells as a function of the angle of impact.



Kuva 6. Slope coefficient as a function of the angle of impact when $K = 1.3$ and 0.4 .

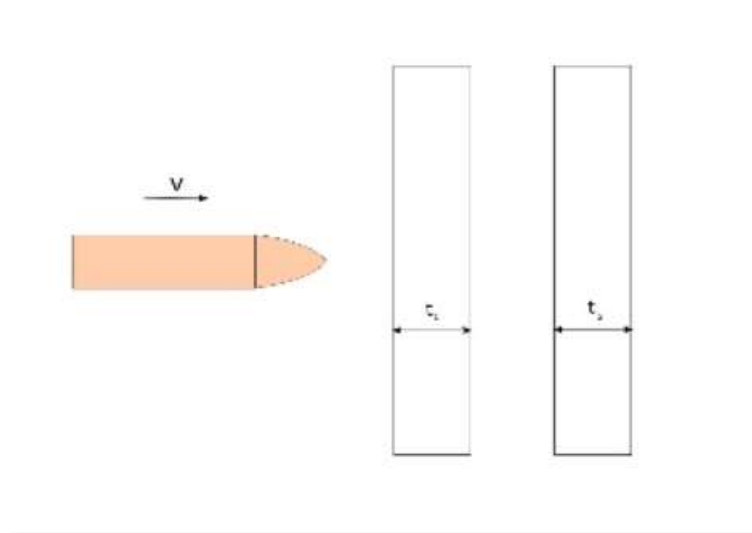
计算装甲的等效厚度，该等效厚度应当根据多个因素进行计算，可以采取一个函数进行拟合并计算。主要应当考虑的是装甲的类型，入射角度，装甲厚度和炮弹类型。



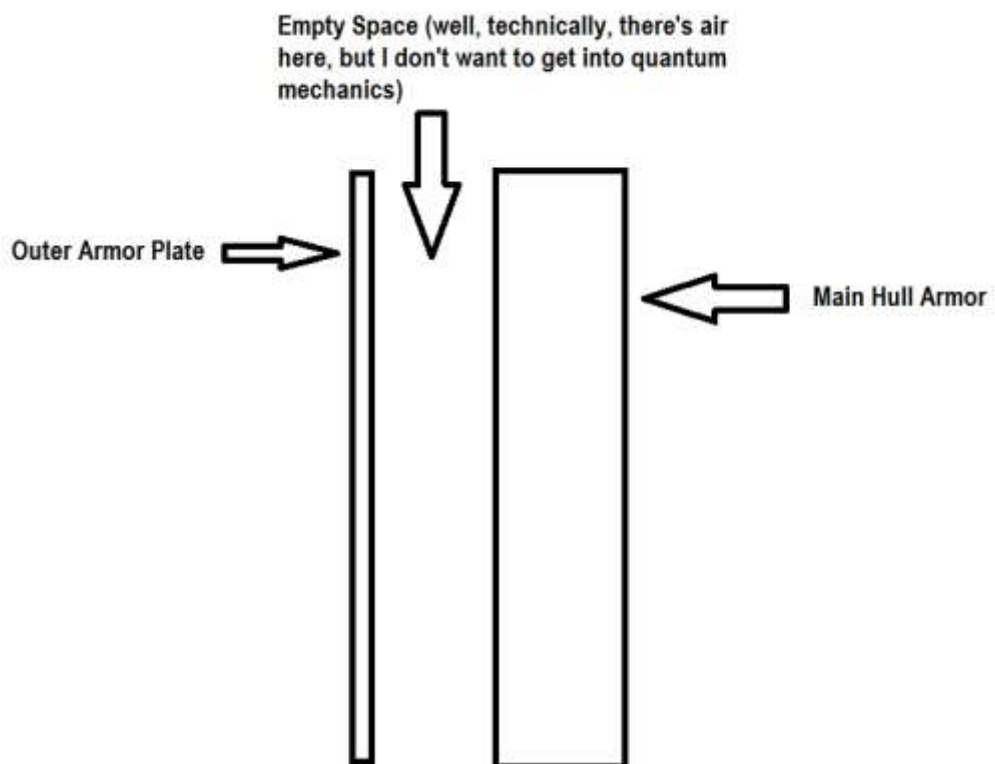
一个理想的穿深变化曲线中，小角度下鼓励选择 HVAP 类，而大角度下鼓励选 APCBC 类。二者穿深等效曲线的交界点，即为玩家理想的弹种切换点。这种设计相比坦克世界的金币弹绝对优势设计，具有更高的策略性。

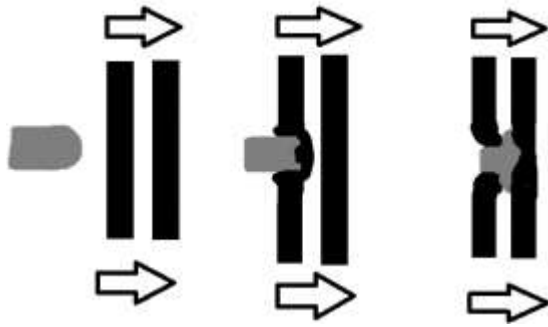
6.3 间隔效应:

多次偏转和提前引爆，经过第一次装甲，炮弹的引信就会击发。每经过一次装甲，则进行一次炮弹的剩余穿深计算。可规定最大的计算次数上限和最小厚度计算。



Kuva 9. Spaced Armour..





间隔装甲对于依赖正确引爆的弹药非常有效（高爆弹，碎甲弹，破甲弹）但是外层装甲容易损毁，可以设定为单块间隔装甲受到一定攻击后会消失，鼓励载具低穿深的玩家主动攻击间隔装甲区域辅助队友。

6.4 装甲类型：

均质还是表面硬化，轧制还是铸造都会影响装甲的等效厚度。可以根据历史上不同类型的装甲给出一个计算公式，换算为等效装甲厚度来简化计算。

表面硬化在小角度下表现优异，但是无法太薄。均质装甲在大角度下表现更优秀，但是不利于对抗高硬度弹头（HVAP）。

装甲等效厚度 $M = F(\text{装甲倾角}, \text{装甲类型}, \text{炮弹口径})$

7伤害计算

造成伤害需要合理的伤害计算过程。为了使得不同弹药能够获得不同的伤害，有必要设计一个合理的击穿后伤害计算系统此处可以考虑使用剩余穿深来进行伤害计算。

2.1 剩余穿深

剩余穿深,是指反坦克炮(导)弹击穿坦克(装甲车)装甲后的剩余能量,通常以长(深)度来表征,单位为毫米,用 L_0 表示。它与反坦克弹药命中目标的部位、命中方向、该部位装甲防护力以及反坦克弹药的威力等参数有关。除坦克外部部件的毁伤外,它是造成坦克部件毁伤的主要毁伤源。相同的装甲防护力,反坦克弹药威力越大,剩余穿深的值就越大,对装甲的毁伤也就越严重。或者说,相同的弹药威力,装甲防护力越强,对装甲造成的毁伤程度就越小。如果某种反坦克弹药的穿甲能量只足以击穿坦克主装或者在击穿主装甲后反坦克弹药剩余能量不能对车内部件和乘员构成威胁,那么,除了反坦克弹药击中装甲后所引起的冲击振动可能对某些部件损伤外,一般不会造成车内部件的战斗毁伤。所以,从某种意义上讲,反坦克弹药只有在穿透主装甲后具有一定剩余能量的情况下才能造成车内部件和乘员的毁伤,也就是保持反坦克弹药的后效。对坦克而言,穿甲弹要达到一定的后效应有 $20\text{mm} \sim 60\text{mm}$ 的裕量;破甲弹要达到一定的后效应有 $80\text{mm} \sim 200\text{mm}$ 的裕量^[1]。也就是穿甲弹必须要有 $20\text{mm} \sim 60\text{mm}$ 的剩余穿深,破甲弹要有 $80\text{mm} \sim 200\text{mm}$ 的剩余穿深,才能确保弹药击穿装甲并保持其后效。这是设计弹药时考虑的基本条件,乘员使用的弹药必须满足上述条件,才能用于作战,否则应改变弹药或变换战法。

7.1 剩余穿深

最终伤害 = $F(f(\text{剩余穿深}), f(\text{弹种修正}), f(\text{模块修正}))$

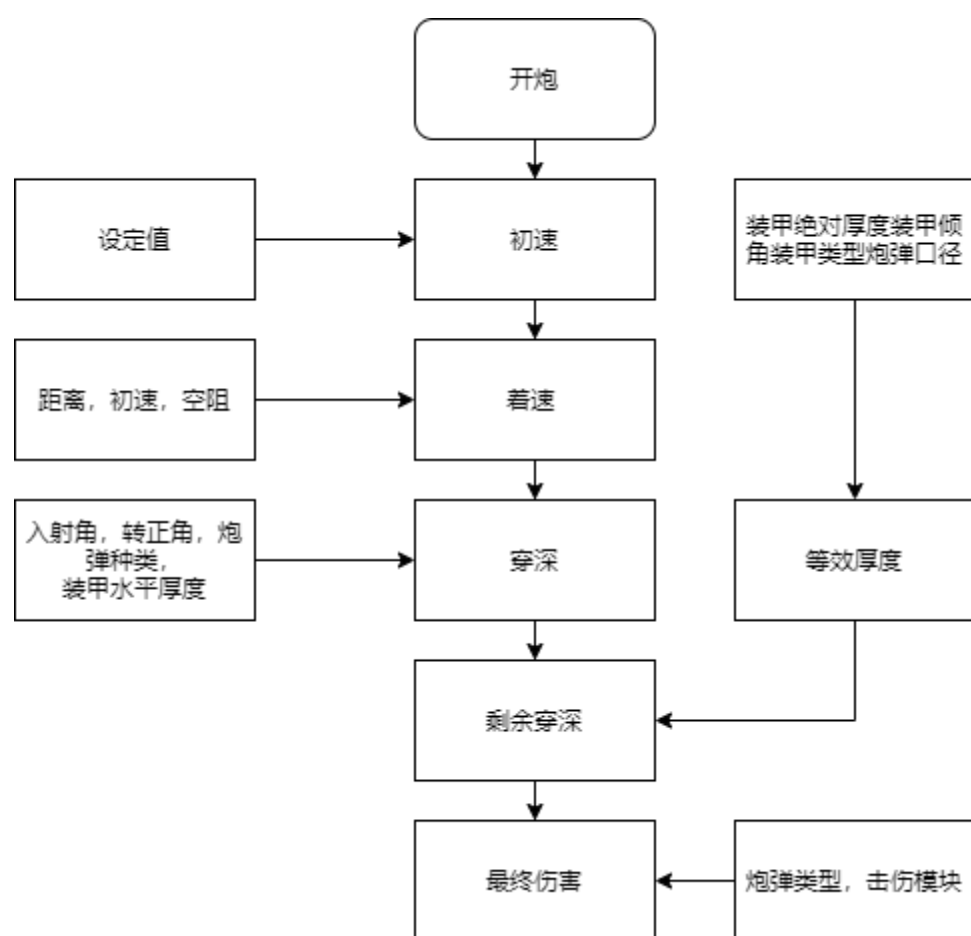
即剩余穿深高,弹种击穿伤害高,模块血量高,则最终伤害高。

直接给出剩余穿深的量,鼓励玩家根据剩余穿深选择合适的弹种进行攻击。

3 剩余穿深理论及对毁伤目标的影响

剩余穿深,是指反坦克炮(导)弹击穿坦克(装甲车)主装甲后的剩余能量,通常以长(深)度来表征,单位为 mm,以 L_D 表示。它与反坦克弹药命中目标的部位、命中方向、该部位装甲防护力以及反坦克弹药的威力等参数有关。除毁伤坦克外部部件外,它是造成坦克内部部件毁伤的主要毁伤源。剩余穿深的数值实际上就是反坦克弹药威力与部位装甲防护力的差值。即:

剩余穿深 = 反坦克弹药威力 - 部位装甲的防护力



8 结论

根据以上的介绍，给出一种根据剩余穿深进行伤害计算的方法，鼓励玩家在剩余穿深不同的情况下选择不同弹种进行攻击。

这样的好处是优势可以直观地转化为伤害数据，给玩家及时的反馈，同时劣势玩家可以选择攻击非重点部位取得少量伤害，不至于获得负面的游戏体验。

4.1 剩余穿深的数值大于 80mm 时

当剩余穿深的数值大于 80mm 时，由上面的论述知，使用穿甲弹和破甲弹对装甲目标射击均能够保证其后效。但考虑到尽可能最大限度地毁伤目标，选择弹种时应首选穿甲弹，次选破甲弹。理由主要有两点：一是因为在相同的条件下，使用穿甲弹射击时的射击误差要小于使用破甲弹射击时的射击误差，故其命中概率要高于破甲弹。二是因为在剩余穿深数值相等的条件下，穿甲弹的毁伤效果要好于破甲弹。由表 2 下页表 3 可以看出：使用穿甲弹剩余穿深值 $L_D = 260\text{mm}$ 时的毁伤效果比使用破甲弹剩余穿深值 $L_D = 300\text{mm}$ 时的毁伤效果还要好。

4.2 剩余穿深的数值介于 20mm~ 80mm之间时

当剩余穿深的数值介于 20mm~ 80mm 之间时,选用破甲弹射击无法保证击穿目标坦克的主装甲并产生后效,而选用穿甲弹射击,能确保击穿目标坦克的主装甲,而且毁伤效果很好,故选择穿甲弹。

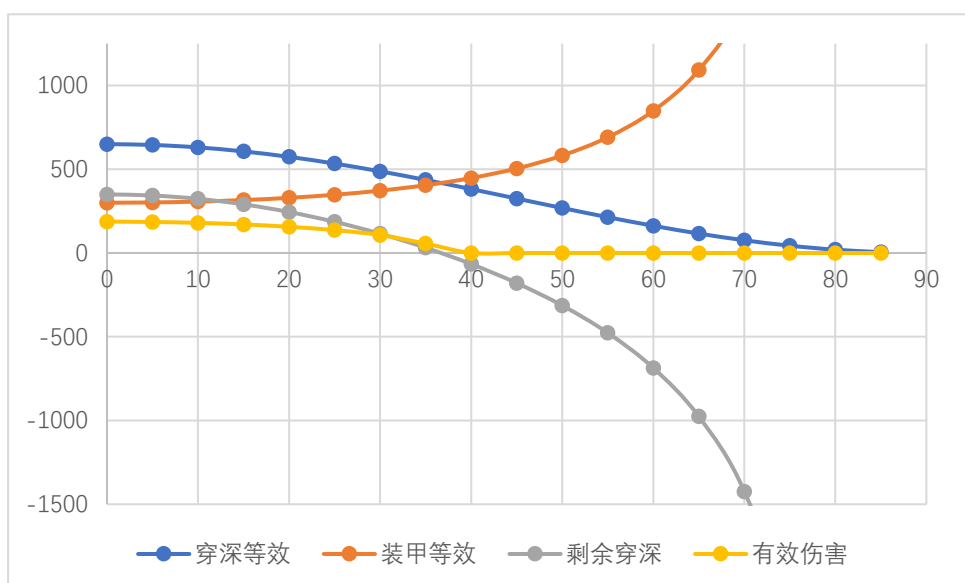
由于使用穿甲弹的剩余穿深值大于 20mm,弹丸的穿甲后效是有保证的。因此,瞄准点的选择应遵循射击距离大于坦克炮的有效射程时,选在目标坦克的几何中心;射击距离小于坦克炮的有效射程时,选在目标坦克要害部位的原则。

4.3 剩余穿深的数值小于 20mm 时

当剩余穿深的数值小于 20mm 时,无论是使用穿甲弹还是破甲弹射击,均不能保证击穿目标坦克的主装甲并产生后效,穿甲弹只能依靠其质量为数千克的弹丸的动能去撞击坦克,破甲弹只能依靠聚能金属射流在目标坦克的装甲上碰撞出一个未穿透的弹坑,这对于防护力很强的目标坦克来讲,除了给乘员造成一定的心理压力外,不会影响其战技性能的发挥。而使用榴弹进行射击时,则可依靠其大量的破片、强大的爆炸冲击波和猛烈的冲击振动来毁伤车外部件、车内乘员和一些减振性能较差的部件。此种条件下,运用榴弹进行射击是最佳的弹种选择,其瞄准点选择在目标的中心最佳。

只能选择穿甲弹或者是破甲弹进行射击时,弹丸的穿甲后效不能保证,故瞄准点的选择应避强取弱,选择其要害部位。从正面攻击时,应将瞄准点选在坦克目标首下装甲的中央部位;从翼侧攻击时,应将瞄准点选在目标坦克炮塔的侧面或车体的侧面中央部位,以提高毁伤目标的效果。

我们假设一种场景,随角度的变化,穿深下降,装甲等效提高,剩余穿深不断减少到无法击穿,而伤害也随之变化。



随着剩余穿深的降低，最终伤害也不断减少，且刚刚能够击穿时的伤害较低，有利于鼓励玩家选择合适的弹种，而非一旦击穿即可获得稳定伤害。