

定向战斗部最佳起爆延时研究

李宏刚, 吕 辉

(空军工程大学导弹学院, 陕西三原 713800)

摘 要:在对定向战斗部目前状况分析的基础上,建立了导弹拦截来袭目标的弹目交会模型,求解出了战斗部起爆的最佳起爆延时解析表达式,在此基础上对弹目交会过程进行了仿真,并给出仿真结果分析,对于定向战斗部的设计有一定的参考价值。

关键词:定向战斗部;最佳起爆延时;仿真

中图分类号: TP39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2005)04-0023-04

随着高新技术在军事领域的广泛应用,地空导弹与目标的空间交会的情况变得更加复杂,作战领域的不断扩大,要求导弹武器本身具有良好的作战机动性,而导弹有效载荷战斗部的质量不可能随着作战功能的需求增加很多。因此,在导弹总体给定的战斗部质量约束下,充分发挥装药能量的利用率,提高单发毁伤概率,成为目前研究的焦点^[1-2],本文就是在此背景下对定向战斗部的最佳起爆延时进行了初步研究。

1 弹目交会模型

在弹目交会过程中,由于交会时间很短,一般约0.1~0.3 s,导弹和目标都来不及机动^[3],因此假设:导弹和目标均作匀速直线运动,运动方向沿弹体纵轴。

如图1所示:弹目交会在弹体坐标系下进行,仿真过程中,导弹沿Z轴飞行,目标在空间以不同的俯仰角、偏航角任意飞行。在 t_0 时刻弹目进入交会阶段,此时,导弹引信处于 E_1 点位置,导弹战斗部处于M点,而此时来袭目标处于 A_4 点,其要害部位处于T点,经过一段时间 τ 后,导弹引信处于 D_1 点而其相应战斗部飞抵 B_5 点,来袭目标飞抵 G_4 点,此时导弹战斗部爆炸,弹片以一定的初速度 V (并以指数规律衰减)飞向目标,经时间 T_p 后在 B_4 点与目标交会,击毁来袭目标。

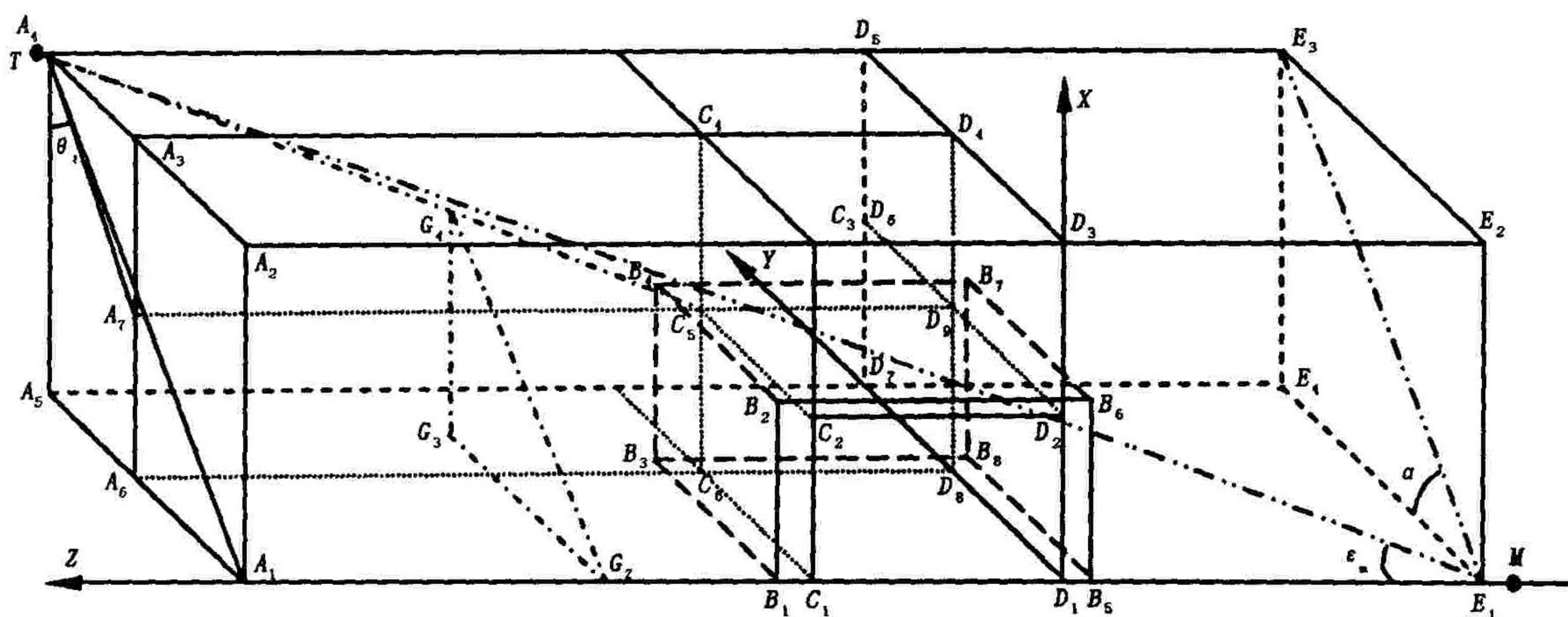


图1 弹目交会图

收稿日期:2004-12-14

基金项目:国家“863”计划资助项目(编号110101106)

作者简介:李宏刚(1978-),男,陕西大荔人,博士生,主要从事导弹引信、制导、控制研究;

吕 辉(1941-),男,江苏无锡人,教授,博士生导师,主要从事计算机、控制理论研究。

新型地空导弹制导系统可通过测到的已知参数计算出来袭目标在弹体坐标系下的入侵角以及来袭目标的速度^[4], 相对速度, 导弹本身的速度, 及相对距离, 导弹本身利用弹上引信信息可测的来袭目标的视线角以及目标的方位角。而且, 对于特定的导弹其头部到引信战斗部的距离为常值, 目标头部到其要害部位也为常值, 导弹起爆弹片静态飞散角及弹片飞出的初速度也均为常量。

2 最佳起爆延时的求取

最佳起爆延时就是指调整导弹起爆延时到适当的大小, 使得弹片对目标的杀伤动能最大。在导弹爆炸后, 弹片的飞行时间很短, 而且飞行速度很高, 空气阻力对于弹片的速度影响很小, 不会因此而改变最佳起爆延时与其它参数的变化规律, 对于考虑空气阻力的情况, 参见文献[1]。由图1的几何关系可得:

$$\begin{aligned} B_5 B_1 + B_5 E_1 + A_1 B_1 &= A_1 E_1; \quad B_5 B_1 = (V_c \cos \beta + V_m) T_p; \quad B_5 E_1 = V_m \tau \\ A_1 B_1 &= V_1 (T_p + \tau) \cos(\pi - q - \varepsilon_m); \quad A_3 A_6 = A_4 A_5 = A_3 A_7 + A_7 A_6; \quad A_7 A_6 = C_5 C_6 = V_c \sin \beta \sin \gamma T_p \\ A_3 A_7 &= V_1 \sin(q + \varepsilon_m) \cos(\theta_1) (T_p + \tau); \quad A_4 A_5 = R \sin \varepsilon_m \sin \gamma \end{aligned}$$

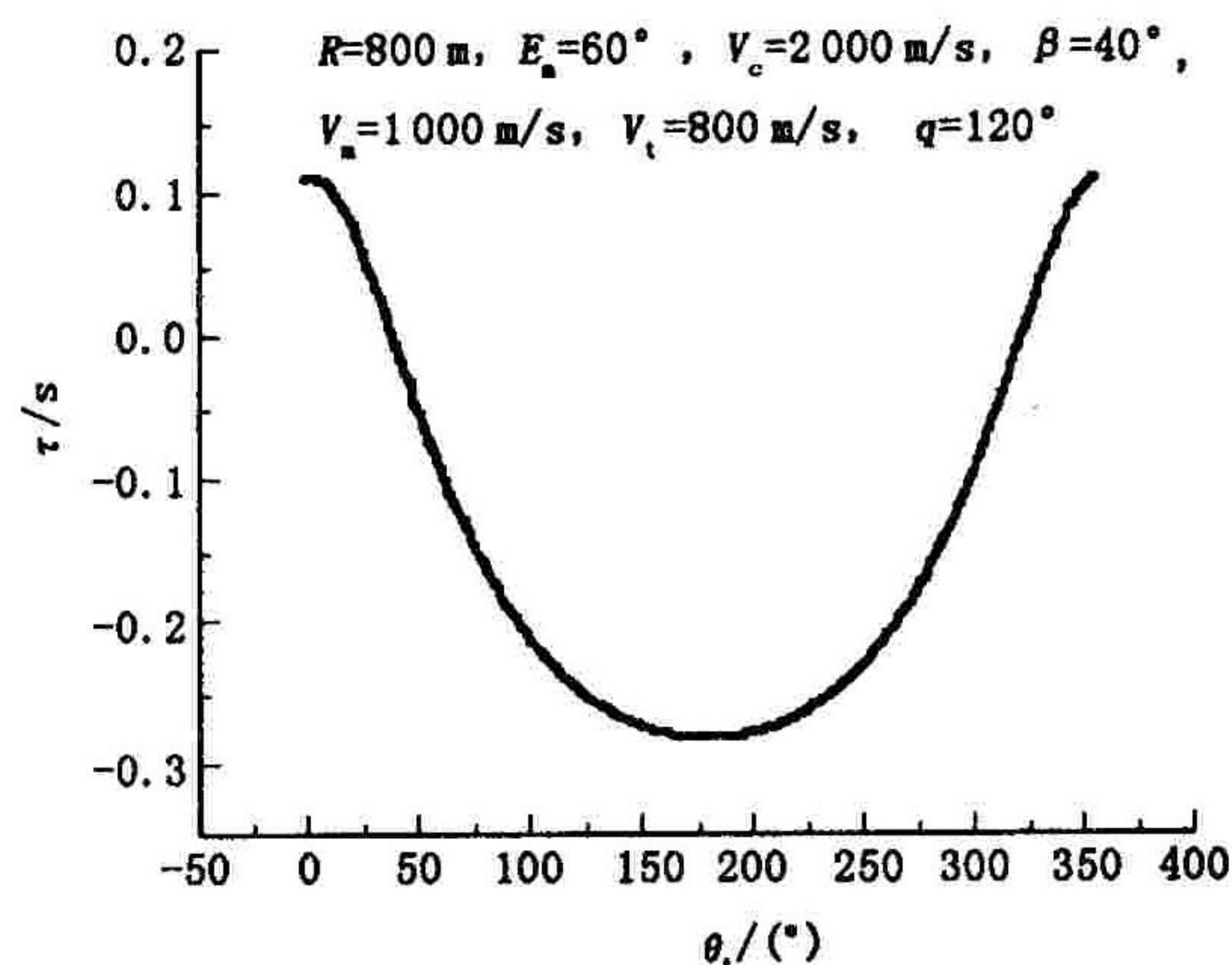
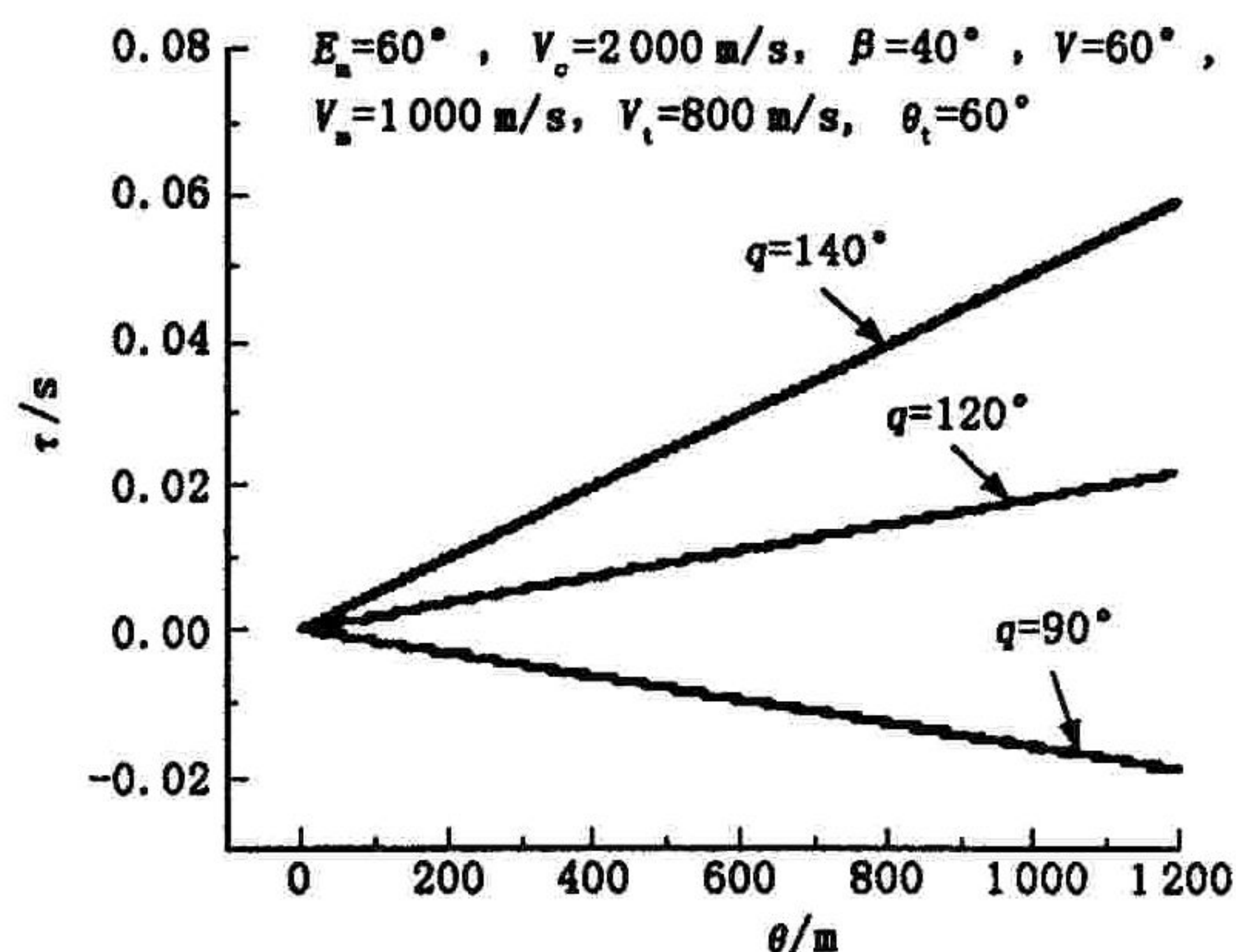
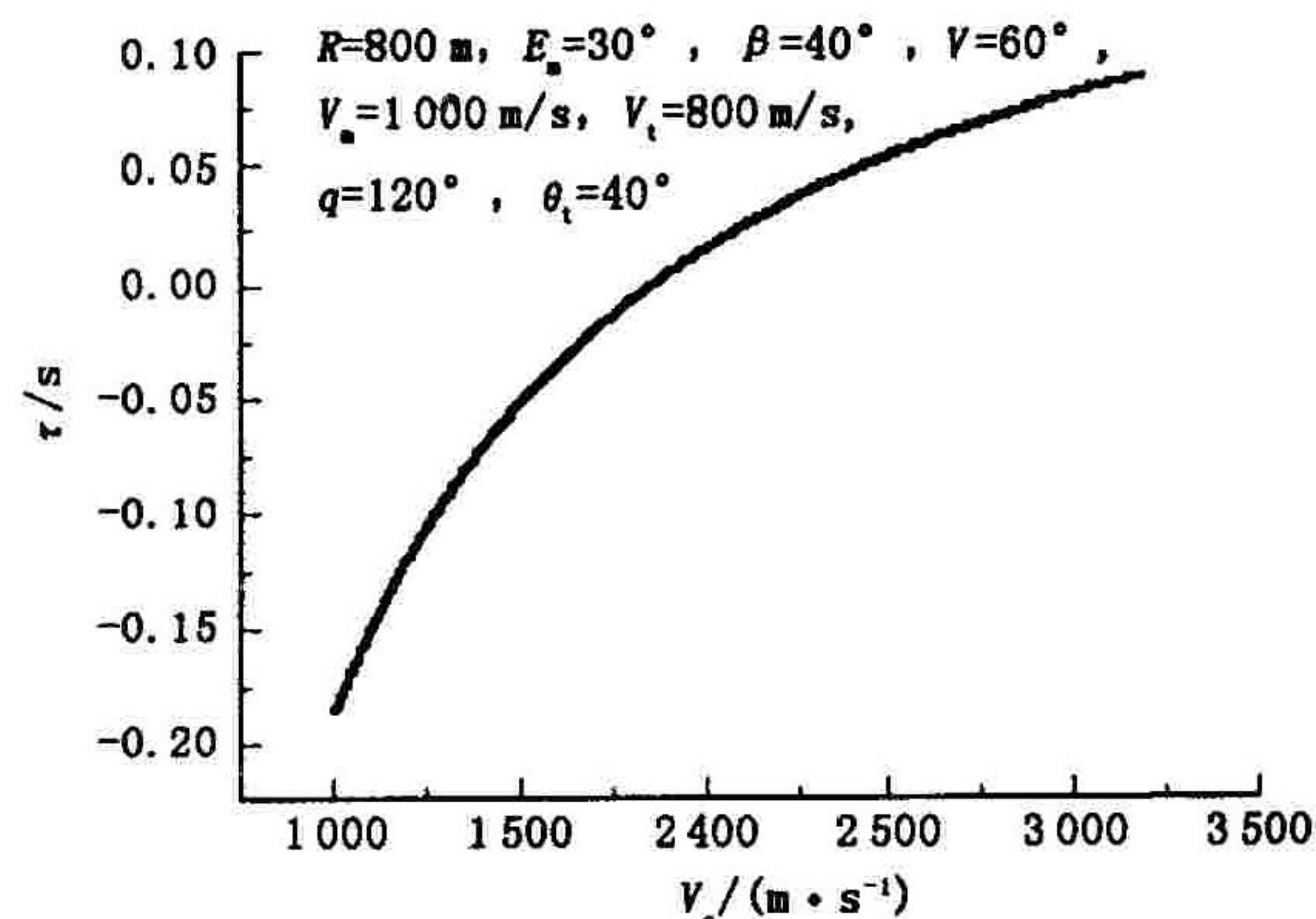
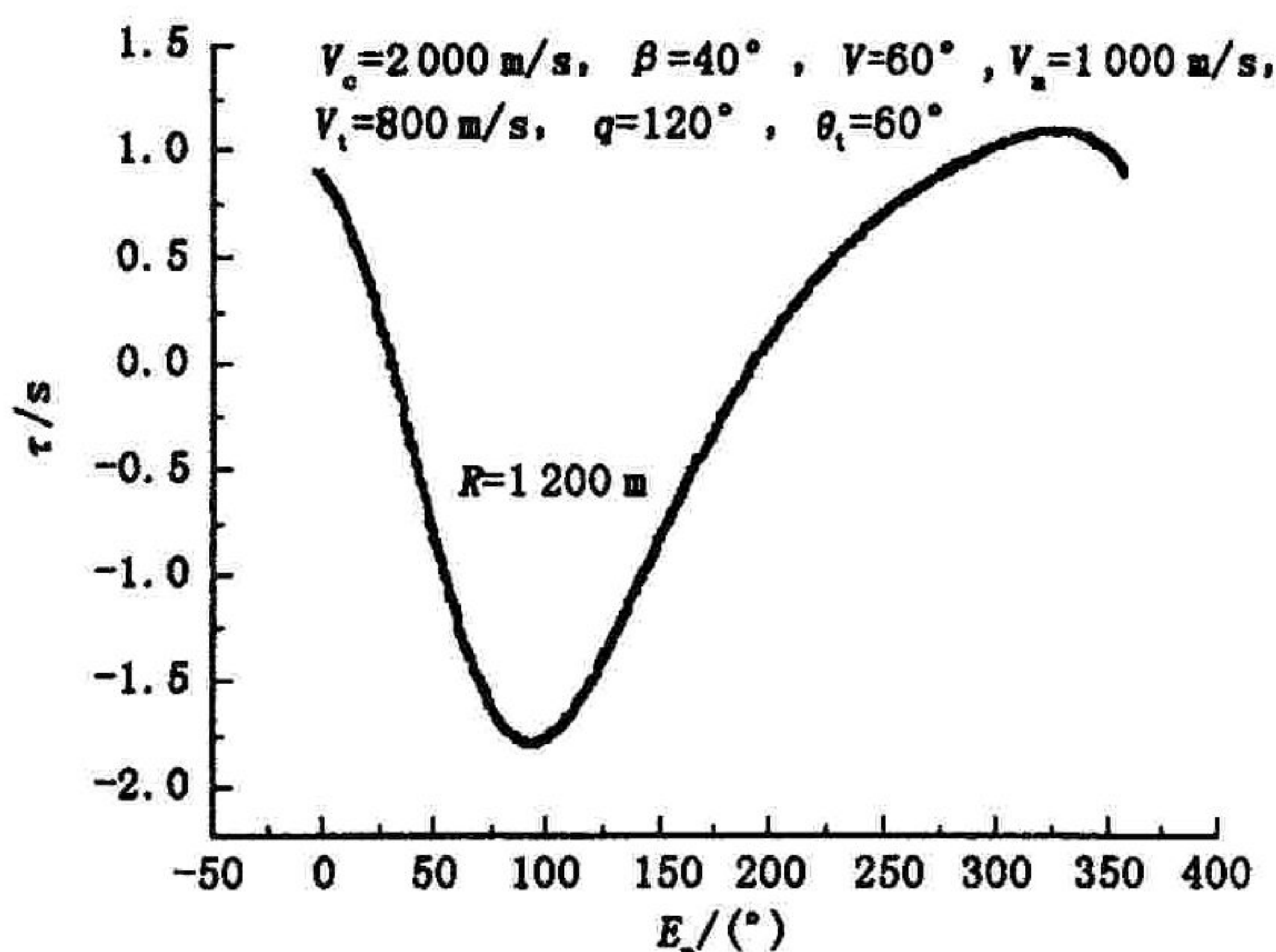
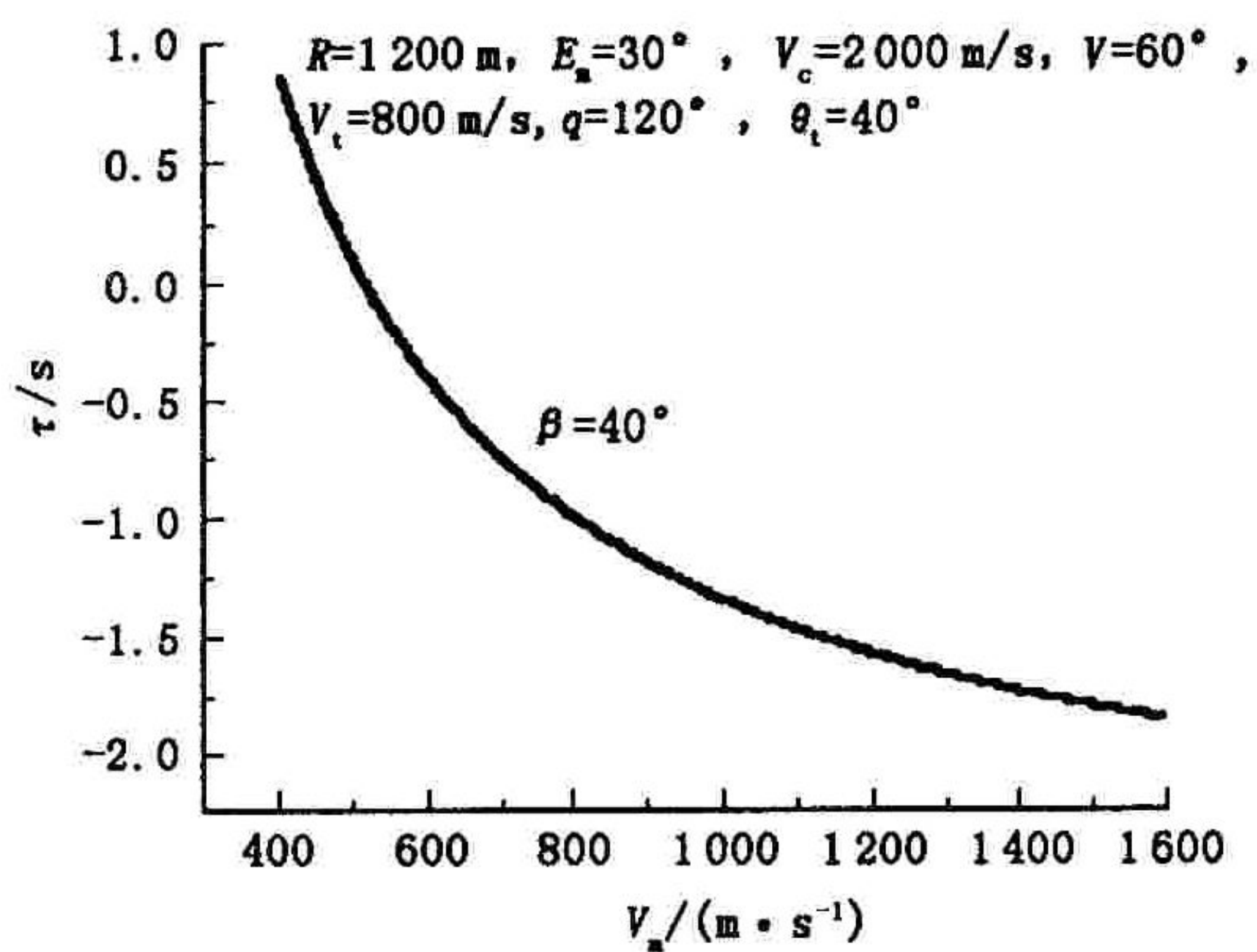
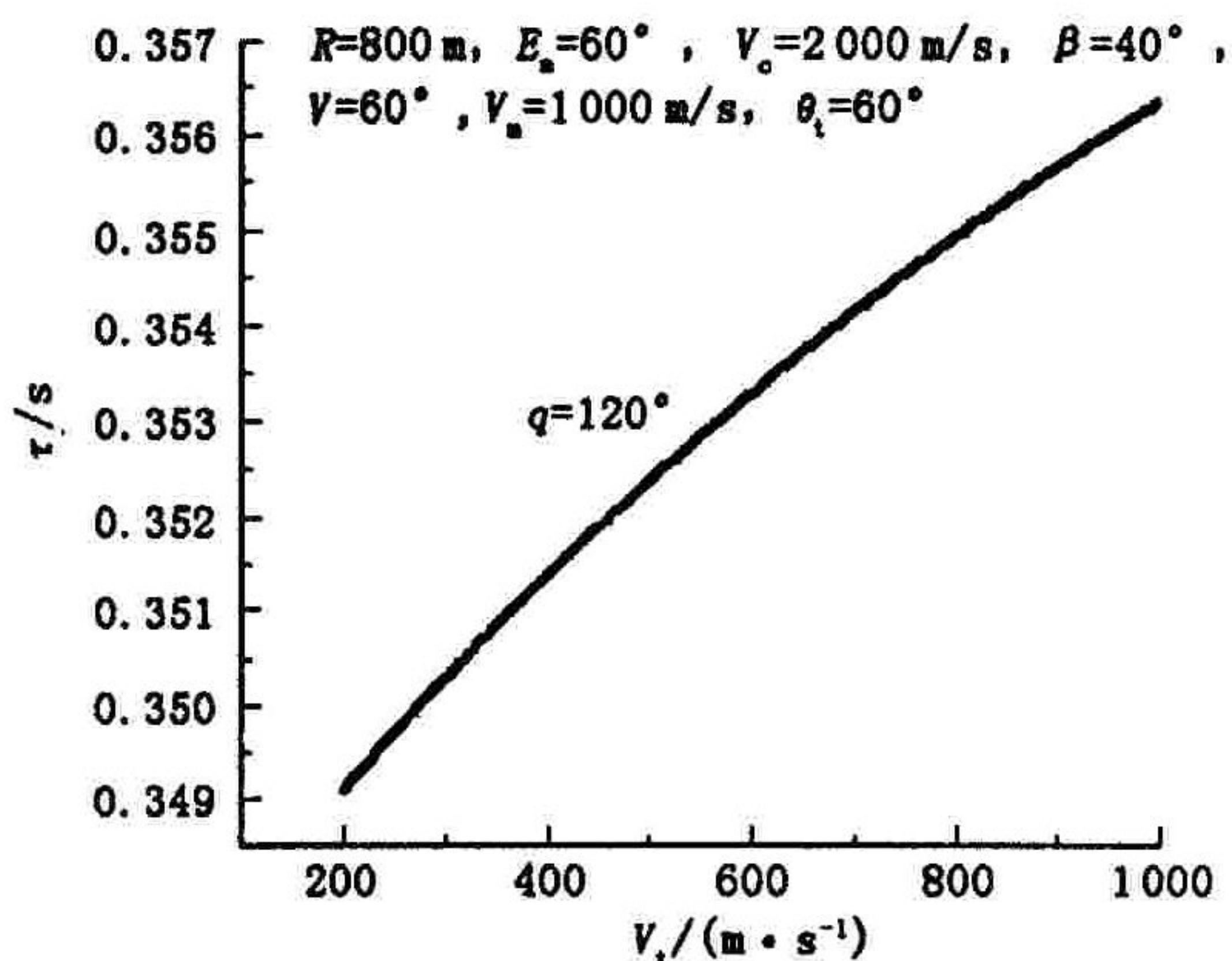
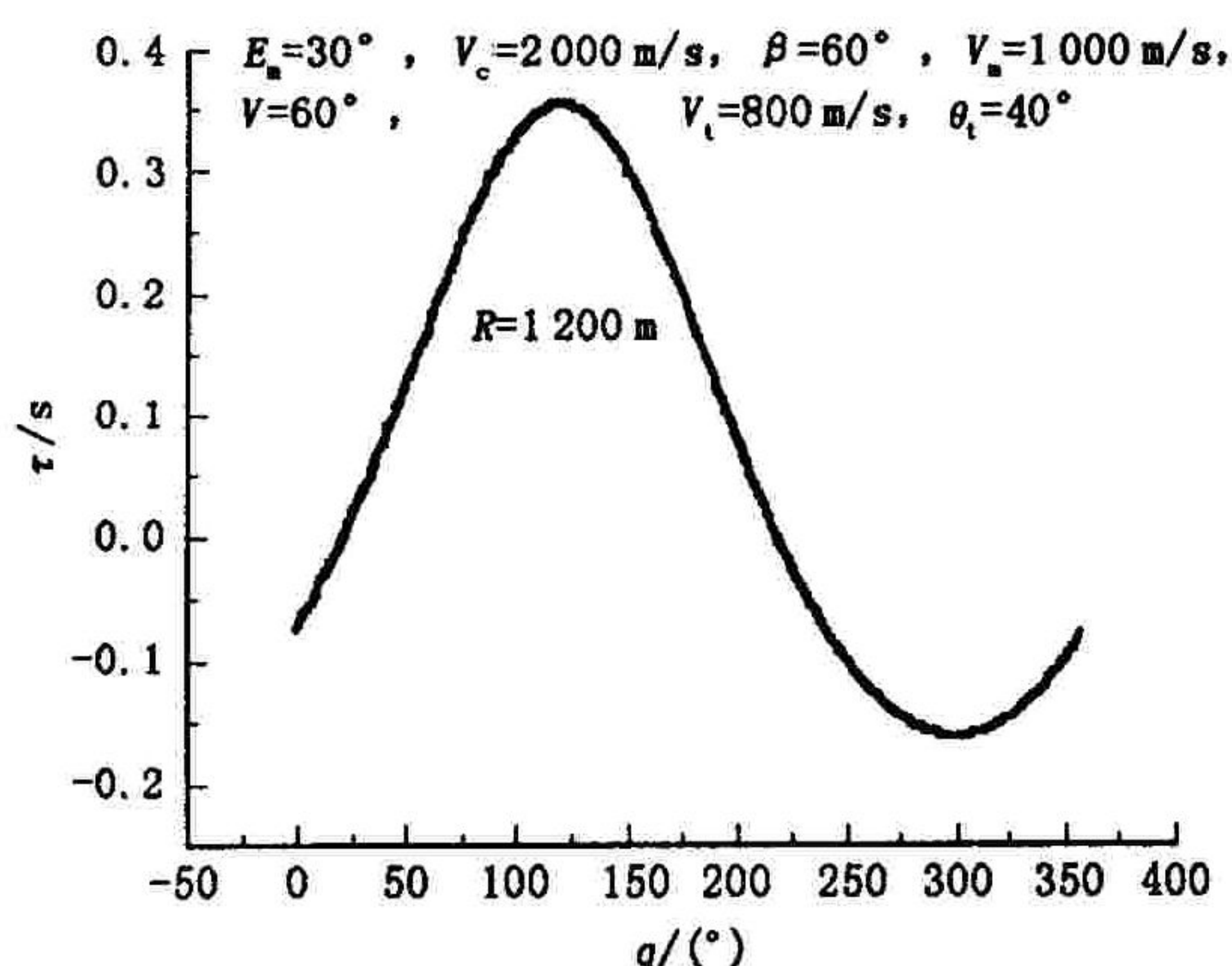
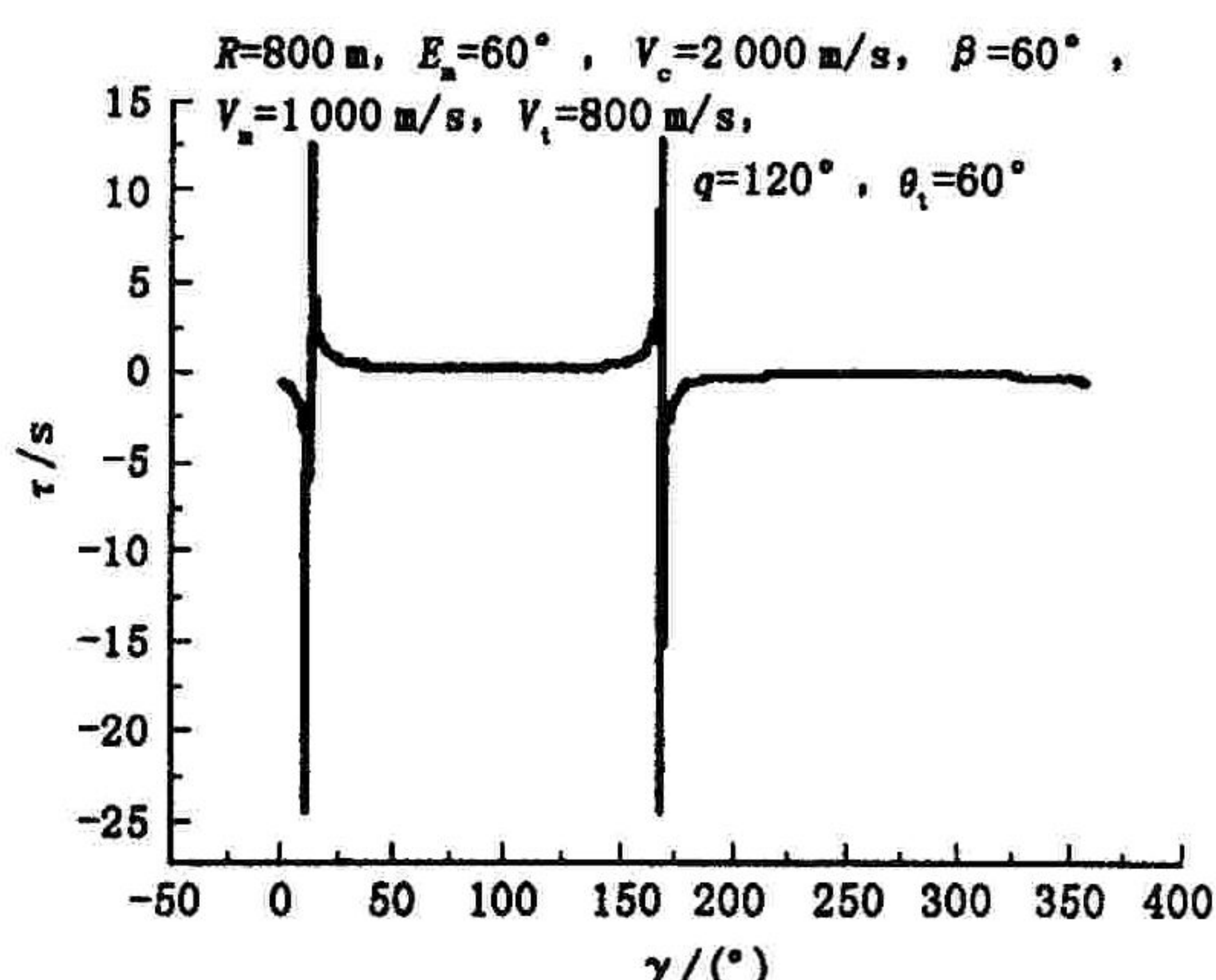
以上各式联立得:

$$\begin{aligned} (V_c \cos \beta + V_m) T_p + V_m \tau + V_1 (T_p + \tau) \cos(\pi - q - \varepsilon_m) &= R \cos \varepsilon_m \\ V_c \sin \beta \sin \gamma T_p &= R \sin \varepsilon_m \sin \gamma - V_1 \sin(q + \varepsilon_m) \cos \theta_1 (T_p + \tau) \\ V_c \cos \beta T_p + (V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)) (T_p + \tau) &= R \cos \varepsilon_m \\ T_p + \tau &= \frac{R \cos \varepsilon_m - V_c \cos \beta T_p}{V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)} \\ V_c \sin \beta \sin \gamma T_p &= R \sin \varepsilon_m \sin \gamma - V_1 \sin(q + \varepsilon_m) \cos \theta_1 \frac{R \cos \varepsilon_m - V_c \cos \beta T_p}{V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)} \\ \left(V_c \sin \beta \sin \gamma - V_1 \sin(q + \varepsilon_m) \cos \theta_1 \frac{V_c \cos \beta}{V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)} \right) T_p &= \\ R \sin \varepsilon_m \sin \gamma - V_1 \sin(q + \varepsilon_m) \cos \theta_1 \frac{R \cos \varepsilon_m}{V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)} \\ T_p &= \frac{R \sin \varepsilon_m \sin \gamma (V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)) - V_1 \sin(q + \varepsilon_m) \cos \theta_1 R \sin \varepsilon_m}{V_c \sin \beta \sin \gamma (V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)) - V_1 \sin(q + \varepsilon_m) \cos \theta_1 V_c \sin \beta} \\ \tau &= \frac{R \cos \varepsilon_m - (V_c \cos \beta + (V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)) T_p)}{(V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m))} = \\ \frac{R \cos \varepsilon_m - (V_c \cos \beta + (V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)) \frac{R \sin \varepsilon_m \sin \gamma (V_m + V_1) - V_1 \sin(q + \varepsilon_m) \cos \theta_1 R \cos \varepsilon_m}{V_c \sin \beta \sin \gamma (V_m + V_1) - V_1 \sin(q + \varepsilon_m) \cos \theta_1 V_c \cos \beta}}{V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)} &= \\ \frac{R \cos \varepsilon_m (V_c \sin \beta \sin \gamma (V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)) - V_1 \sin(q + \varepsilon_m) \cos \theta_1 V_c \cos \beta)}{(V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)) (V_c \sin \beta \sin \gamma (V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)) - V_1 \sin(q + \varepsilon_m) \cos \theta_1 V_c \cos \beta)} - \\ \frac{(V_c \cos \beta + V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)) (R \sin \varepsilon_m \sin \gamma (V_m + V_1) - V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m) - V_1 \sin(q + \varepsilon_m) \cos \theta_1 R \cos \varepsilon_m)}{(V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)) (V_c \sin \beta \sin \gamma (V_m + V_1 \cos(\pi - q - \varepsilon_m)) - V_1 \sin(q + \varepsilon_m) \cos \theta_1 V_c \cos \beta)} & \end{aligned}$$

式中: θ_1 为来袭导弹的入侵角; V_1 为目标速度; V_m 为导弹速度; V_r 为相对速度; ε_m 为目标在弹体坐标系下相对导弹的视线角; β 为静态导弹起爆时弹片的飞散倾角; V_c 为静态弹片的飞散初速; V 为弹片的实时飞行速度; T_p 为弹片在碰到目标之前的飞行时间; τ 为最佳起爆延时; R 为弹目距离; q 为交会角; γ 为最佳起爆方位角。

3 仿真结果

依据上述公式, 仿真结果如图2~图10所示。

图2 入侵角 θ_i 与最佳起爆延时 τ 的关系图图3 弹目距离 R 与最佳起爆延时 τ 的关系图图4 破片初速 V_c 与最佳起爆延时 τ 的关系图图5 视线角 ε_m 与最佳起爆延时 τ 的关系图图6 导弹速度 V_m 与最佳起爆延时 τ 的关系图图7 目标速度 V_t 与最佳起爆延时 τ 的关系图图8 交会角 q 与最佳起爆延时 τ 的关系图图9 起爆方位角 γ 与最佳起爆延时 τ 的关系图

4 仿真结论

①由图 2 曲线对称可知,来袭导弹的入侵角 θ_i 在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 范围内对最佳起爆延时 τ 的影响是对称变化的,因此,只考虑 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围即可;②由图 3、图 4 可知弹目距离 R 以及破片初速 V_c 对最佳起爆延时 τ 的影响较小,因此弹目距离 R 的相对要求较低,由制导雷达提供大致范围即可,而破片的初速也不需特别精确的测量;③由图 5 可知,目标相对导弹的视线角 ε_m 对 τ 的影响最大,因而对其精度要求相对较高,而视线角 ε_m 用调频比相法来测量,可以满足精度的要求;④由图 6 可知,导弹速度 V_m 对 τ 的影响较大,因此,对于导弹在各个阶段的运动规律要进行细致的研究以便能准确得出其在各个时刻的速度;⑤由图 8 可知交会角 q 对最佳起爆延时 τ 影响较大,因此,要求制导雷达能给出较为精确的测量数据;⑥由图 9 可知,最佳起爆方位角 γ 在 10° 和 160° 左右时,最佳起爆延时 τ 会产生急剧变化,因此,在进行定向战斗部起爆控制设计时,应考虑 γ 急剧变化所可能产生的影响;⑦由图 10 可知,弹片的静态飞散倾角 β 在 20° 时最佳起爆延时 τ 会产生剧烈变化,因而,在做战斗部时,其静态飞散角应避开此范围,而应选择曲线较平滑段以使 β 对 τ 产生的影响较小。

综上所述,在设计战斗部时应该使战斗部的静态飞散角避开 20° 范围,而设计在 $30^\circ \sim 40^\circ$ 范围比较合适,战斗部的起爆方位角设计应在 $50^\circ \sim 70^\circ$ 范围比较合适,还有导弹速度对于战斗部最佳起爆延时影响较大,应认真研究导弹飞行过程的实时速度,以便使得战斗部的性能最优。

参考文献:

- [1] Jin Young Choi, Dongkyoung Chwa, Min-soo Kim. Adaptive Control for Feedback Linearized Missile with Uncertainties [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2000, 36(2): 1137 - 1144.
- [2] Vittal P. Optimal and Suboptimal Guidance for A Short-Range Homing Missiles. [J]. IEEE Transaction Aerospace and Electronic Systems, 1976, 12(3): 840 - 848.
- [3] 冯顺山. 偏轴心起爆破片初速径向分布规律研究[J]. 兵工学报, 1993, 14(1): 19 - 24.
- [4] 蒋浩征. 反导破片战斗部的自调定向技术[A]. 新概念兵器论文选编[C]. 北京:北京理工大学科技处, 1993, 117 - 121.
- [5] 李宏刚, 魏少莉, 简金蕾. 定向战斗部最佳起爆方位角研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版) 2003, 4(3): 41 - 43.

(编辑:田新华)

Optimum Detonating Delay Time of Aimed Warhead

LI Hong-gang, LU Hui

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract: Based on the analysis of the national and international development of aimed warhead and the conclusion of its developing direction, this paper establishes a model of missile meeting with target, then gives the analytic expression of optimum detonating delay time, and finally analyzes the result of imitation. It is of a certain reference value to the design of aimed warhead.

Key words: aimed warhead; optimum detonating delay time; imitation

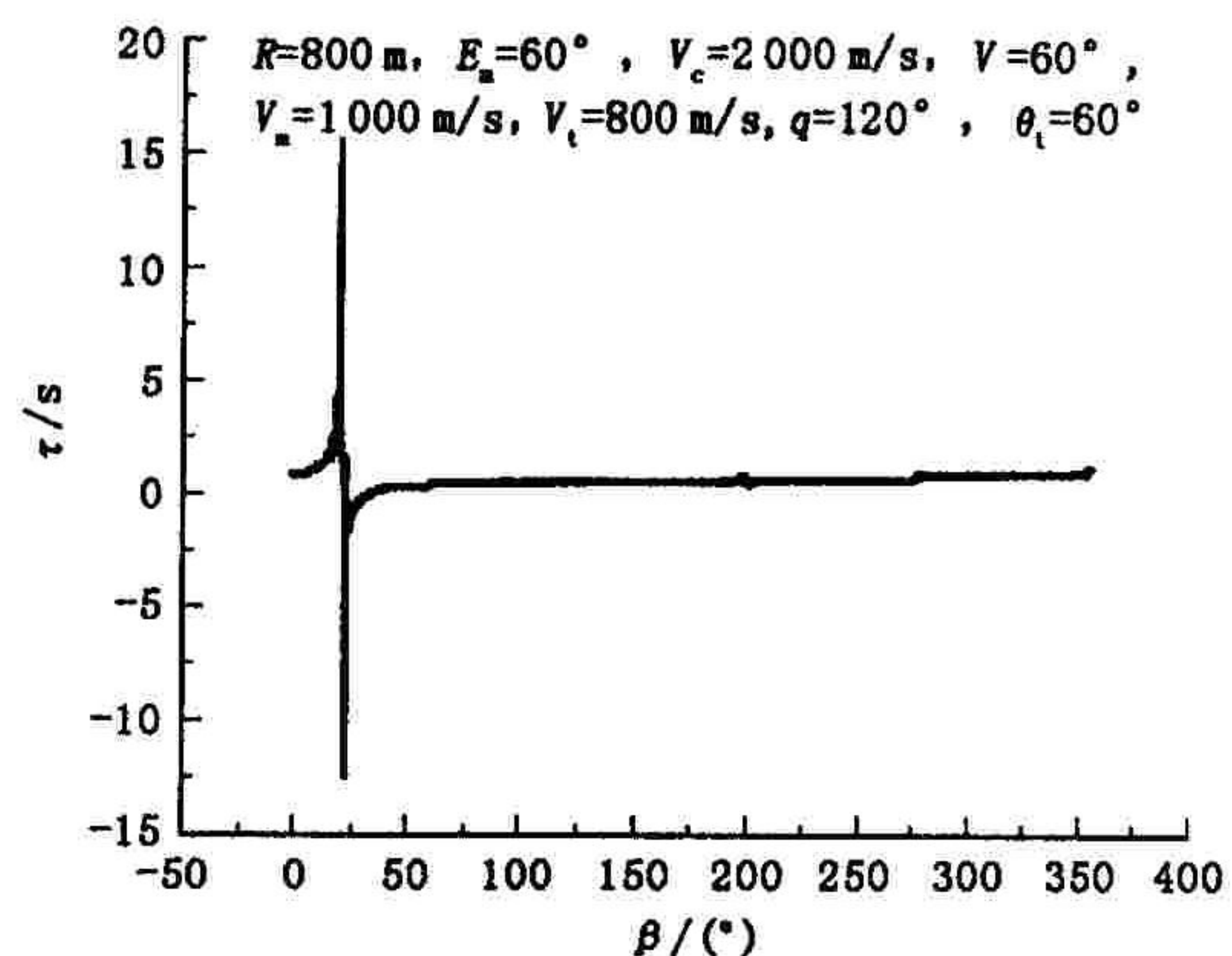


图 10 静态飞散角 β 与最佳起爆延时 τ 的关系图