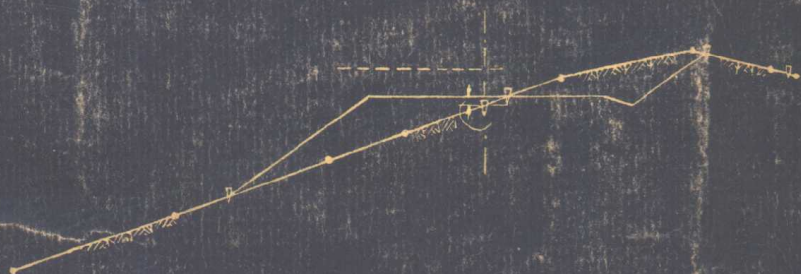


方左英 編著

公路路線設計概要



科學技術出版社

內 容 提 要

本書以一段丘陵区公路的路綫設計为例,叙述路綫的平面設計,縱断面設計,橫断面設計及土方計算与調配。每章中先討論設計所根据的原理和公式的应用,进而叙述設計的步驟,最后依照交通部現行“公路工程設計准則”的規定作例題設計和計算。其設計原理与計算方法,对于平原区及山嶺区公路,也是适用的。

公 路 路 綫 設 計 概 要

編 著 者 方 左 英

*

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海南京西路 2004 号)

上海市書刊出版业营业許可証出 079 号

上海土山灣印刷厂印刷 新華書店上海發行所总經售

*

統一書号:15119·573

开本 787×1092 耗 1/27·印張 68/27·插圖 1·字數 125,000

1957年10月第 1 版

1957年10月第 1 次印刷 印數 1—1,200

定价:(10) 1.00 元

自序

本書主要叙述公路路綫的設計，其概括內容可分为四部分：
(1) 平面設計；(2) 縱断面設計；(3) 横断面設計；(4) 土方計算与調配。

第一部分“平面設計”，着重于叙述平曲綫設計，超高、加寬及緩和曲綫的計算，以及平曲綫地段視距的保證。这部分列为第一、二两章。

第二部分“縱断面設計”，着重于叙述定坡、豎曲綫設計及填挖深度計算。这部分列为第三章。

第三与第四两部分，除說明横断面設計外，进而叙述土方的計算及調配的方法。这两部分分列为第四、五两章。

全書除作理論与方法的分析外，均用計算实例闡明，使讀者易于掌握。設計所用标准，以 1956 年 6 月交通部所頒布的中华人民共和国“公路工程設計准則”(修正草案)为依据。当然，准則內容，今后可能因实际需要而有所更易，但讀者可自行变通适应。

本書在理論分析方面，主要是根据苏联毕如略教授“公路設計”一書所述；所用符号，亦与該書相同。倘有未尽妥善之处，深望專业讀者們惠予指正。

本書承科学技术出版社校閱并提供意見，著者謹申感謝之忱。

方左英 1957 年 8 月于南京工学院

目 录

自 序

导 言

第一章 平曲线设计

- | | |
|------------------|-------------------|
| 1-1 討論·····1 | 1-6 轉角点間的直綫長度 |
| 1-2 公式的应用·····16 | 和曲綫的连接·····23 |
| 1-3 設計步驟·····18 | 1-7 中綫与地形图繪法及 |
| 1-4 規定·····19 | 应注明的项目·····24 |
| 1-5 設計計算·····20 | 1-8 平曲綫的測設·····25 |

第二章 超高度、加寬度及緩和曲綫計算

- | | |
|-------------------|-----------------|
| 2-1 討論·····29 | 2-6 緩和区間逐漸超高及 |
| 2-2 公式的应用·····44 | 逐漸加寬方法·····52 |
| 2-3 設計計算步驟·····46 | 2-7 設計計算(II)——詳 |
| 2-4 規定·····47 | 細計算·····58 |
| 2-5 設計計算(I)——总 | 2-8 緩和曲綫各部分的确 |
| 的計算·····47 | 定·····62 |

第三章 定坡、豎曲綫設計及填挖深度計算

- | | |
|---------------------|----------------|
| 3-1 討論及公式·····68 | 計算·····94 |
| 3-2 公式的应用·····82 | 3-8 縱断面图繪法及应注 |
| 3-3 規定·····83 | 明的项目·····95 |
| 3-4 設計步驟·····84 | 3-9 紙上定綫时的縱断面 |
| 3-5 坡綫的規定和計算·····86 | 图繪法·····98 |
| 3-6 豎曲綫設計·····88 | 3-10 縱断面設計的一般規 |
| 3-7 坡綫标高及填挖深度 | 則·····99 |

第四章 路基横断面設計及体積計算

4-1 設計及計算步驟·····108	4-6 橫断面面积与路基体 积的求法·····114
4-2 橫断面圖繪法及应注 明的項目·····109	4-7 土方体积的計算·····126
4-3 紙上定綫时的橫断面 圖繪法·····111	4-8 体积的膨脹及收縮·····128
4-4 規定·····112	4-9 中間橫断面圖繪法及 体积計算·····130
4-5 标准路基橫断面設計·112	
第五章 土方調配及运土	
5-1 进行步驟·····138	5-5 運輸量計算·····143
5-2 运土·····139	5-6 积量图的性質·····144
5-3 經濟运距·····139	5-7 平衡綫調整的方法·····145
5-4 积量圖繪法及应注明 的項目·····141	5-8 运土計算中的一些复 杂情况·····148
附 录 諾謨圖 ·····151	
参考文献 ·····161	

第一章 平曲綫設計

1-1 討 論

以下就(一)平曲綫度数与半徑关系, (二)平曲綫長度, (三)切綫長度, (四)最小半徑, (五)最短視距, (六)障視物距路綫的淨距, 加以討論。

(一)平曲綫度数与半徑关系 曲綫度数, 乃以弦長或弧長为 20 公尺时圓弧所对的中心夾角的度数来表示的(图 1-1)。

設 D ——平曲綫度数(度);

R ——平曲綫半徑(公尺)。

1. 按弦長为 20 公尺:

$$\sin \frac{D}{2} = \frac{20}{2R} \dots\dots\dots (1-1a)$$

2. 按弧長为 20 公尺:

$$D:20 = 360^\circ:2\pi R,$$

$$D = \frac{1145.915}{R} \approx \frac{1146}{R} \dots\dots\dots (1-1b)$$

当曲綫度数很小时, 弦長与弧長很少差別。当曲綫度数較大时, 則弦長較弧長略小, 故按弧長为 20 公尺而采用式 (1-1b) 时, 則弦長为

$$S = 2R \sin \frac{D}{2}.$$

如在野外測量时已估定了曲綫外距 G (图 1-2), 作为設計平曲綫的参考, 以免設置平曲綫的位置超出地形的許可范围, 可用下

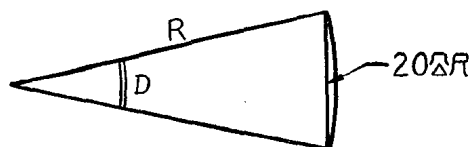


图 1-1 平曲綫度數与半徑

式来估算 R (当然实用的 R 值, 仍应大于“設計准則”所規定的最小半徑数值的限度):

$$R = \frac{6}{\sec \frac{\alpha}{2} - 1} = \frac{6}{\operatorname{exsec} \frac{\alpha}{2}} \dots\dots\dots (1-2)$$

上式 α ——两切綫的偏轉角或平曲綫半徑的夾角(度)。

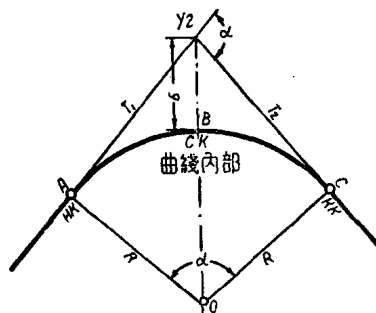


图 1-2 平曲綫

(二) 平曲綫長度

$$K: \alpha = 2\pi R: 360^\circ,$$

故
$$K = \frac{\pi R \alpha}{180} \dots\dots\dots (1-3)$$

上式 K ——平曲綫長度(公尺)。

(三) 切綫長度

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \dots\dots\dots (1-4)$$

上式 T ——切綫長度(公尺)。

(四) 平曲綫最小半徑

1. 抵抗滑动的最小半徑——汽車在曲綫上行駛的稳定性, 影

响到平曲线半径及超高度的设计。当汽车沿曲线行驶时，汽车将受到离心力的作用，此离心力将使汽车向曲线外侧滑动或倾复。

$$\text{离心力} \quad C = \frac{Gv^2}{gR},$$

上式 C ——离心力(公斤);

G ——汽车重量(公斤);

v ——行车速度(公尺/秒);

R ——行驶轨迹的半径(公尺)。

因为离心力与汽车速度的平方成正比，故随汽车速度而急剧增加；又与曲线半径成反比，故对于汽车在急弯上行驶的稳定性有着重要意义。

现在研究倾斜面上汽车行驶的稳定性(图1-3)，离心力 C 及车重 G 可分解为平行及垂直于斜面的两种分力，如图所示。

车重的两个分力：垂直于车道斜面的为 $G\cos\alpha$ ，平

行于车道斜面的为 $G\sin\alpha$ 。后一分力，在车行道横断面为双向倾斜时，如汽车沿内侧车道行驶，此分力指向曲线的中心；如汽车沿外侧车道行驶，此分力指向曲线的外面。

离心力亦分为两个分力： $C\sin\alpha$ 和 $C\cos\alpha$ 。前一分力，当汽车沿内侧车道行驶时，此力方向向下；当汽车沿外侧车道行驶时，此力方向向上。

以汽车为整体来研究(图1-3)，并将各力投影于路面，得到作

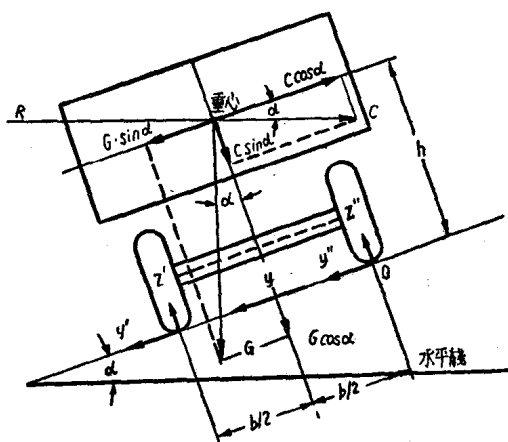


图 1-3 沿曲线行驶时作用到汽车上的力

用于汽車上的橫向力如下(下式負号表示汽車行駛在內側,正号表示在外側):

$$Y = C \cos \alpha \mp G \sin \alpha$$

由于 α 值不大,可假定 $\sin \alpha \approx i_{\pi}$ ① 和 $\cos \alpha \approx 1$, 得

$$Y = \frac{Gv^2}{gR} \mp G i_{\pi}$$

上式 i_{π} ——橫向斜坡。

为解决汽車在曲綫上行駛的穩定性問題,不需研究橫向力的絕對值,而以研究汽車每單位重的相对橫向力之值較為方便。橫向力 Y 与車重 G 之比,称为橫向力系数,即

$$\mu = \frac{Y}{G} = \frac{v^2}{gR} \mp i_{\pi}。$$

μ 值愈大,即 Y 愈大,汽車在曲綫上行駛的穩定性就愈小。

依上式,保証汽車行駛穩定性的曲綫半徑为

$$R = \frac{v^2}{g(\mu \pm i_{\pi})} \quad \text{或} \quad R = \frac{V^2}{127(\mu \pm i_{\pi})} \dots\dots\dots(1-5)$$

上式 V ——設計行車速度(公里/小时)。

R 值随橫向力系数 μ 、車速及橫向斜坡的大小而定。 μ 之許可值随后述及。

在上式中,对于双向傾斜橫断面,在內側車道則 i_{π} 之前用正号,在外側車道則 i_{π} 之前用負号。对于求曲綫的最小半徑,則代入正号的超高坡度值(超高坡度是向曲綫內側單向傾斜的)。

2. 抵抗翻車的最小半徑——汽車第二个行駛穩定条件是抵抗翻車的穩定性。如果橫向力的力矩大于垂直于道路表面分力的力矩,汽車繞 O 点傾复是會發生的(图1-3),即

$$Y \times h > (G \cos \alpha \pm C \sin \alpha) \frac{b}{2}$$

假使 $\cos \alpha \approx 1, \sin \alpha \approx i_{\pi}$, 則

① 在 α 值不大时,正弦 $\sin \alpha$ 、正切 $\operatorname{tg} \alpha (=i_{\pi})$ 及 α 以弧度表示,三者数值上約相等。

$$Y \times h > (G \pm C i_{\pi}) \frac{b}{2} \approx G \frac{b}{2}$$

在极限平衡狀況下,

$$\mu = \frac{Y}{G} = \frac{b}{2h}$$

因为現代汽車 $b \approx 2h$, 故 $\mu \approx 1$ 。这个数值表征着汽車在曲綫上行駛, 对于傾复具有相对地高的稳定性。

对于抵抗滑动, 橫向力 Y 应小于橫向粘着力 $G\phi_0$, 即橫向力系数 μ 应小于橫向粘着系数 ϕ_0 :

$$Y < \phi_0 G,$$

或

$$\mu < \phi_0$$

ϕ_0 一般小于 $\frac{b}{2h}$ 。故根据以上两个稳定条件的分析, 如保持了抵抗滑动的稳定条件, 則抵抗翻車的稳定条件也得以保持; 即滑动条件是比較不利的。对于重心很高的車輛 (如双层公共汽車和无軌電車), 也可根据傾复条件来驗算平曲綫半徑。

3. 平曲綫半徑的选定——既以抵抗橫向滑动的稳定性为最重要, 而路面能保持汽車不滑动的最大可能的橫向阻力为

$$Y = \phi_0 G \text{ 或 } \mu = \frac{Y}{G} = \phi_0$$

若有牽引力矩或掣动力矩附加到車輪上, 則橫向阻力將减小, 因为車輪与路面的粘着力將被利用以平衡牽引力或掣动力。

对于极限平衡, 应当保持的条件是(图 1-4):

$$R^2 = Y^2 + P^2$$

認為 $P = G \times \gamma$ (这里 γ ——牽引力或掣动力系数) 和 $Y = G \times \phi_0$ (这里 ϕ_0 ——路面抵抗滑动的橫向粘着系数), 得

$$G^2 \phi^2 = G^2 \phi_0^2 + G^2 \gamma^2,$$

$$\phi_0 = \sqrt{\phi^2 - \gamma^2} \dots \dots \dots (1-6)$$

上式 ϕ ——路面与輪胎間粘着系数。

根据馬卡罗夫(A. B. Макаров)的建議, γ 之值为:

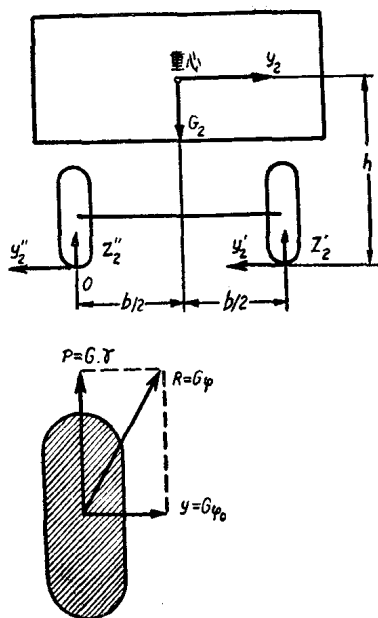


图 1-4

$$\gamma = 0.8\phi \sim 0.7\phi \dots (1-7)$$

于是, 从 ϕ_0 的表示式 (式 1-6) 得

$$\phi_0 = 0.6\phi \sim 0.7\phi \dots (1-8)$$

(1) 在干燥的道路上, 对于一切路面, 系数 ϕ 值变动于 0.6 至 0.8 之间, 平均为 0.7。按照已有的实验数据, 在这种场合下不低于 0.5。

(2) 在潮湿的路面上, ϕ 值与车速、路面种类及表面特征和轮胎表面性质的关系很大。对于湿润的黑色路面, ϕ 值降到 0.3~0.5。对于粗糙的路面(礫石、碎石和水泥

混凝土), ϕ 值因湿润而降低不多, 一般为 0.6~0.7。车速在 60 公里/小时以下时, 潮湿路面取平均值的 ϕ 为 0.4~0.5 已够安全。

(3) 在路面有淤泥或薄冰的路上, ϕ 值降到 0.2 之下 (根据实验数据是 0.06~0.15 及以下)。

如采用 $\phi_0 = 0.6\phi$, 可决定计算值 $\mu = \phi_0$ 如下:

a) 对于与车速无关的干燥道路:

$$\begin{aligned} \text{当} \quad \phi &= 0.6 \sim 0.7, \\ \phi_0 &= 0.36 \sim 0.42 \end{aligned}$$

6) 对于车速在 60 公里/小时以下的潮湿道路:

$$\begin{aligned} \text{当} \quad \phi &= 0.4 \sim 0.5, \\ \phi_0 &= 0.24 \sim 0.30 \end{aligned}$$

b) 对于车速在 60 公里/小时以上的潮湿道路:

$$\begin{aligned}\text{当} \quad \phi &= 0.25 \sim 0.36, \\ \phi_0 &= 0.15 \sim 0.216\end{aligned}$$

在冰雪掩盖的道路上, ϕ 值很低, 要保証設計車速是不可能的; 为防止車禍, 須降低車速, 故在計算曲綫半徑时, 此种場合不予考虑。

根据上述, 可得一結論: 当 $\mu = 0.15 \sim 0.16$ 时, 可保証在干和湿的道路上的車速达到 120 公里/小时。

在中国各自然条件下, 应特別規定 ϕ 值: (I) 在干旱(雨水少)地区, 不必考虑長期滑溜狀況, 可采用較高的 ϕ 值 ($0.6 \sim 0.7$); (II) 在常有結冰的路上或高山地区, 要降低 ϕ 的計算值 ($0.25 \sim 0.30$)。

除了保証不滑动外, 还要保証旅客的舒适和行車的穩定。曲綫对于乘客的影响如下:

当 $\mu < 0.10$, 不感到有曲綫的存在;

当 $\mu = 0.15$, 略感到有曲綫的存在;

当 $\mu = 0.20$, 感觉到有曲綫的存在, 乘客略感不适;

当 $\mu = 0.30$, 轉弯时感到有翻車危險和威胁。

由此又可得一結論, 即橫向力系数不应大于 $0.15 \sim 0.20$ 。

此外, 为了运输上的經濟性, 曲綫半徑不应太小, 以免气輪胎发生很大橫移角 δ (即由于橫向力作用, 輪箍变形, 其輪迹軸綫与輪本身軸綫所成之角度)。当 $\delta < 1^\circ$ 时, 燃料的額外消耗为 $10 \sim 12\%$; 当 $\delta = 1.8^\circ$ 时, 將达到 40% , 而輪胎消耗亦將增速一倍。故單从运输的經濟观点来看, μ 不应超过 0.1 。

(五) 最短視距 汽車司机应在一最短距离內, 可以看見道路及道路上的障碍物或迎面來車, 以便采取办法, 不使汽車与障碍物或汽車与汽車相撞。此最短距离叫做最短視距。

当弯道的位置在隱蔽地区或路塹中, 或如图 1-5a 曲綫內側的影綫部分可能有建筑物、树林、路塹的边坡或其他障碍物, 就不能

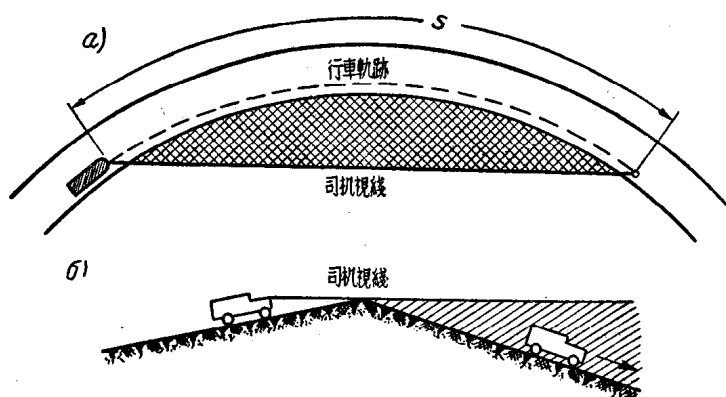


图 1-5 視距图: a—平面; b—縱断面

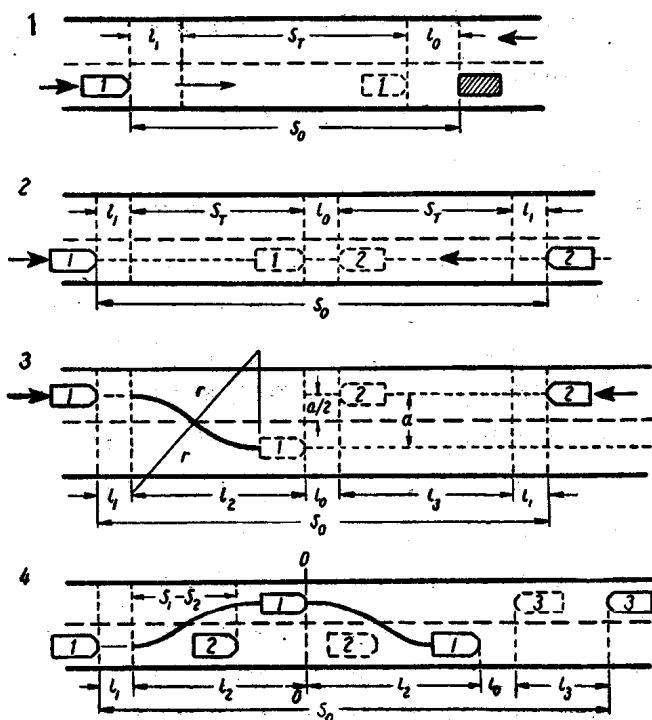


图 1-6 視距計算示意图

保證应有的視距。

在縱断面內，視距可能因縱断面坡度有改變而受到障礙（圖 1-56），其詳細內容當在后面再加討論。

因見及前路障礙物或迎面來車（圖 1-6 之 1 及 2）而掣動（剎車）停車，其最短視距由三部分組成：

1. 反應距離——從司機看見障礙物的一剎那起，到他開始掣動汽車或把汽車轉向的一剎那止，稱為司機的反應時間。在反應時間內所行駛的距離為 $l_1 = vt_1$ 公尺， v 為行車速度（公尺/秒）， t_1 為反應時間（秒）。

2. 掣動距離——從開始掣動汽車的一剎那起，到汽車完全停車止，汽車所行駛的距離為：

$$S_T = \frac{v^2}{2g(\phi + i)} \quad \text{①} \sim \text{③}$$

上式 g 為重力加速度 = 9.81 公尺/(秒)²， ϕ 為粘着係數， i 為縱坡度（以小數表之）；上坡時 i 本身之值為“+”，下坡為“-”，亦即 i 值本身具有正負的意義。

3. 安全距離——在視距數值中，必需列入一些安全距離 l_0 ，約 5~10 公尺。

(1) 停車視距（圖 1-6 之 1）——即見及障礙物或遇前車停止而進行掣動停車前所需的 shortest 距離：

$$S_0 = l_1 + S_T + l_0 = vt_1 + \frac{v^2}{2g(\phi + i)} + l_0$$

如行車速度以 V 公里/小時表示，

$$1 \text{ 公里/小時} = \frac{1000}{60 \times 60} = \frac{1}{3.6} \text{ 公尺/秒，}$$

① 在平地行車之因摩擦阻力而停車，與上坡之因地心吸力減速而停車之理相仿（圖 1-7）。

$$\text{粘着係數 } \phi = \tan \alpha \text{ ②} = \frac{v^2}{2g} / S_T, \text{ 故 掣動距離 } S_T = \frac{v^2}{2g\phi}.$$

這是在平地上行駛的掣動距離。上式 ϕg 為摩擦減速率。

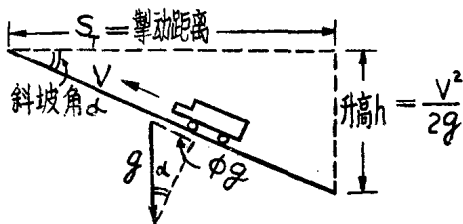


图 1-7 制动距离

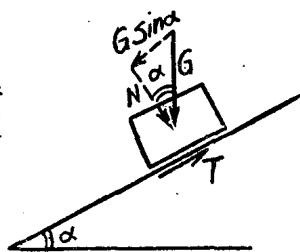


图 1-8 粘着系数与斜坡角的关系

② 当物体(重 G)以恒速下滑(图 1-8), 则摩擦阻力 T 应等于 $G \sin \alpha$ (即 G 沿斜面的分力)。但 $T = \phi N$, 故 $\phi = \frac{T}{N} = \frac{G \sin \alpha}{G \cos \alpha} = \tan \alpha$ 。

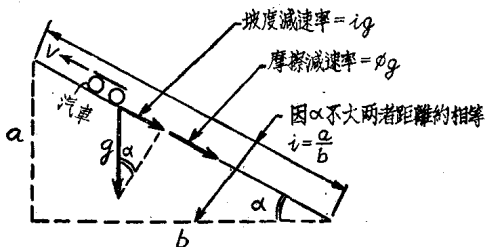


图 1-9 上坡时两种减速率

③ 如汽车在上坡道上行駛, 將受到两种减速率: (一) 摩擦减速率; (二) 坡度减速率(如为下坡, 则属坡度加速率)。前者已在②說明过了, 即摩擦减速率为 ϕg 。后者起因于地心引力沿坡道方向的分力所致。坡度减速率 $= g \sin \alpha$, 见图 1-9。但 α 不大, 则 $\sin \alpha \approx \tan \alpha = i$, 而坡度减速率 $= ig$ 。

由图 1-9, 减速率总值为:

汽车上坡减速率 $=$ (摩擦减速率) $+$ (坡度减速率), 即 $a = \phi g + ig$

如为上坡, i 之值为“+”, 如为下坡, i 之值为“-”, 因上行减速而下行则加速。因之,

$$S_T = \frac{v^2}{2a} = \frac{v^2}{2g(\phi + i)}$$

④ 根据动能消耗于作功的原理, 此式也很容易証明。汽车受制动时之制动力为 ϕG , 上下坡时平行于路面方向之分力(即坡度阻力)为 iG 。忽略其他阻力, 则在 S_T 制动距离内所作之功为

$$S_T G(\phi + i)$$

汽车在原有速度 v 时所具之动能为 $\frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} \times \frac{G}{g} v^2$, 制动后至速度减为 v_0

时所具之动能为 $\frac{1}{2} \times \frac{G}{g} v_0^2$ 。作功 $=$ 所消耗的动能,

$$\text{即 } S_T G(\phi + i) = \frac{1}{2} \times \frac{G}{g} (v^2 - v_0^2); \quad \text{故 } S_T = \frac{v^2 - v_0^2}{2g(\phi + i)}$$

当制动至停車时, $v_0 = 0$, 故 $S_T = \frac{v^2}{2g(\phi + i)}$

則上式可化為

$$S_0 = \frac{Vt_1}{3.6} + \frac{V^2}{254(\phi+i)} + l_0 \dots\dots\dots (1-9)$$

(2) 对開車輛的最短視距(图 1-6 之 2)——即由两个司机在反应時間內所行駛的距离、每輛汽車的掣动距离和一些安全距离所組成。如果兩車各別速度为 V_1 及 V_2 并各在坡度为 i_1 和 i_2 的坡道上行駛, 則

$$S_0 = \frac{V_1+V_2}{3.6} t_1 + \frac{V_1^2}{254(\phi+i_1)} + \frac{V_2^2}{254(\phi-i_2)} + l_0 \dots\dots (1-10a)$$

注意: i_1 及 i_2 数值之为正为負, 乃沿一个方向之为上坡抑下坡而定, 上坡为正, 下坡为負, 勿与車輛行进之方向相混(見第三章图 3-1 及 3-2)。

如果兩汽車的速度同为 V 公里/小时, 并且同在一个坡度为 i 的坡道上行駛(对这一輛汽車來說是上坡, 对另一輛汽車來說是下坡), 則

$$\begin{aligned} S_0 &= 2 \frac{Vt_1}{3.6} + \frac{V^2}{254} \left[\frac{1}{\phi+i} + \frac{1}{\phi-i} \right] + l_0 \\ &= \frac{2Vt_1}{3.6} + \frac{2V^2\phi}{254(\phi^2-i^2)} + l_0 \dots\dots\dots (1-10b) \end{aligned}$$

(3) 繞道最短視距(图 1-6 之 3)——即司机繞过向他迎面而来的汽車(亦即一車从右繞道, 另一仍在原有車道行駛)所需的最短距离。这是双車道車輛較少时的一种情况, 其最短視距由反应距离 l_1 , 繞道距离 l_2 , 來車在繞道時間內所行駛的距离 l_3 和安全距离 l_0 所組成。

繞道距离 l_2 (图 1-6 之 3) 由两个相同的反向曲綫所組成, 半徑为 r , 司机应能在此平稳駕駛而無側向滑动。

因为 a 值与 l_2 及 r 比較起来是很小, 故可認為每一曲綫的長度等于 $\frac{l_2}{2}$, 則 $\frac{a}{2} : \frac{l_2}{2} = \frac{l_2}{2} : 2r$ ① 或 $l_2 = 2\sqrt{ar}$ 。由不发生滑动的穩

① 由图 1-10, $\triangle abc$ 与 $\triangle acd$ 相似, 比例式為 $ab:ac=ac:ad$; 并且近似的認為 $ac = \frac{l_2}{2}$, 則比例式可写成 $\frac{a}{2} : \frac{l_2}{2} = \frac{l_2}{2} : 2r$

