

公路设计手册

路线

人民交通出版社

公路设计手册

路线

《路线设计手册》编写组

人民交通出版社

1979·北京

内 容 提 要

本手册是根据交通部1972年颁布的《公路工程技术标准(试行)》和其它有关规定编写的,书中汇集了建国以来公路路线设计的经验及常用的方法和图表,还收集了其它部门和国外一些有关资料。其主要内容包括:汽车行驶性能与道路的关系、路线勘测、选线、原有道路的改建以及路线平、纵、横面设计与沿线设施。

本手册可作为从事公路测设人员和有关院校师生的工具书和参考书。

主编和参加编写单位

交通部第一公路勘察设计院 (主编单位)
西安公路学院 (副主编单位)
交通部第二公路勘察设计院 (副主编单位)
同济大学
南京工学院
北京建筑工程学院
安徽省交通局
浙江省交通局
贵州省交通局
内蒙古自治区交通局
陕西省交通局
四川省交通局

公 路 设 计 手 册

路 线

《路线设计手册》编写组

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米 印张: 23.75 插页: 1 字数: 573千

1979年10月 第1版

1987年7月 第1版 第5次印刷

印数: 34,201—50,100册 定价: 5.15元

前 言

为了满足我国广大公路测设技术人员的需要，在交通部公路局的领导下，部直属公路设计单位邀请部分省、市、自治区交通局和有关院校、科研单位共同组成了《公路路线设计手册》编写组，分工协作，编成本手册。

在编写过程中，编写人员曾多次深入现场进行调查研究、搜集资料，广泛征求了公路基层单位工程技术人员的意见，从而丰富了《手册》的内容。

鉴于编写本手册时新技术标准及有关规范尚未颁布，有的则尚属试行，故本手册中有关路线设计原则、要点、要求、方法和参考数据等，如与将来颁布的有关标准、规范、规程不同时，应以新颁布的标准、规范、规程为准。

本手册在编写过程中，得到了黑龙江、青海、云南、广西、吉林、宁夏、新疆、河南、山西、湖北、湖南、福建、河北、西藏、辽宁、江西、山东等省（区）交通局以及北京市市政工程设计院、北京工业大学、铁道部第一设计院、湖南大学、福州大学等单位的大力支持和帮助，特别是在选线方面，交通部公路规划设计院、甘肃省交通局、四川省公路勘察设计院提供了宝贵的经验和丰富的资料，特表示衷心的感谢。

由于我们技术水平不高，因而未能把各地丰富的经验都汇集起来，书稿中还可能有点和错误，希望广大读者批评指正，意见请径寄西安交通部第一公路勘察设计院，以便重印时修改。

《公路路线设计手册》编写组

目 录

第一章 概述	1
第二章 汽车行驶性能与道路的关系	2
第一节 汽车的行驶性能	2
一、汽车行驶的牵引平衡	2
二、汽车的动力特性	5
三、汽车的经济特性	12
四、汽车的滑行和制动	13
五、汽车的换档和起步	18
第二节 汽车行驶对道路的要求	18
一、路线纵断面	19
二、路线平面和横断面	22
三、行车视距	26
第三章 公路分级与技术标准	28
第一节 现行公路分级与技术标准	28
第二节 技术标准的掌握与运用	28
第四章 勘测设计程序	31
第一节 勘测设计阶段	31
第二节 设计文件的组成和内容	32
第五章 视查和踏勘测量	33
第一节 路线方案的选择	33
第二节 视查	36
第三节 踏勘测量	39
第六章 选线	44
第一节 概述	44
第二节 平原地区选线	45
一、选线要点	45
二、天然河网湖区选线	48
三、人工河网化地区选线	49
第三节 丘陵地区选线	55
一、选线要点	55
二、路线布局示例	57
第四节 沿河(溪)线选线	59
一、路线布局	59
二、各种不同河谷地形条件下的选线	63
第五节 越岭线选线	69

一、路线布局	69
二、各种典型地形的展线	74
三、越岭隧道	77
第六节 山脊线选线	30
第七节 沙漠地区选线	84
一、地区特征	84
二、公路沙害及防治措施	87
三、沙漠地区选线要点	87
四、不同的沙地地貌选线	90
第八节 黄土地区选线	91
一、地区特征	91
二、路线布局	93
第九节 其它特殊和不良地质地区选线	97
一、泥沼及软土地区	97
二、多年冻土地区	98
三、盐渍土地区	100
四、雪害地区	102
五、泥石流地区	105
六、滑坡地区	108
七、崩塌和岩堆地段	109
八、岩溶地区	111
九、高地震地区	113
第七章 详细测量	115
第一节 基本要求和工作内容	115
第二节 准备工作	116
第三节 定线	118
一、定线的基本任务和方法	118
二、定线的步骤与平、纵、横三面的安排要点	119
三、长直线的定线方法	121
四、放坡定线的方法	122
五、一般曲线的定线方法	126
六、回头曲线的定线方法	131
七、有缓和曲线的平曲线定线方法	134
八、简化纸上定线（纸上调整）	134
第四节 中线测量	135
第五节 圆曲线的测设	140
一、圆曲线要素的计算	140
二、圆曲线的测设	147
第六节 缓和曲线的测设	157
一、缓和曲线的计算公式	157
二、有缓和曲线的平曲线的计算	159
三、有缓和曲线的平曲线的测设	168
第七节 回头曲线的测设	176

一、无缓和曲线的回头曲线	176
二、有缓和曲线的回头曲线	179
第八节 路线水准测量	179
第九节 横断面测量	184
第十节 导线测量	189
第十一节 小三角测量	198
第十二节 地形测量	212
第十三节 道路地质和筑路材料调查	219
第十四节 小桥涵调查	229
第十五节 概、预算资料调查	233
第八章 原有公路的改建	236
第一节 原有公路改建的基本原则	236
第二节 改建公路的踏勘测量	237
第三节 改建公路的详细测量	241
第九章 平面设计	250
第一节 平曲线设计	250
一、平曲线半径	250
二、弯道超高	251
三、弯道加宽	255
四、缓和曲线	256
五、平曲线的最小长度和平曲线的连接	258
第二节 平面视距	258
第三节 回头曲线	261
第十章 纵断面设计	263
第一节 一般规定与要求	263
一、最大纵坡和平均纵坡	263
二、坡长限制与缓和坡段	263
三、纵坡折减	264
第二节 纵坡设计	265
一、纵坡设计的一般原则	265
二、纵坡设计(拉坡)的方法	265
第三节 竖曲线	267
一、竖曲线最小半径	267
二、竖曲线设计与计算	268
第四节 纵断面图	270
第十一章 横断面设计	271
第一节 一般横断面的构成及布置	271
第二节 横断面设计方法	273
一、横断面设计注意事项	273
二、横断面图的绘制	273
第十二章 设计的综合检查与修改	274

第一节 路基设计表	274
第二节 设计的综合检查	279
第三节 纸上移线	279
一、移线目的	280
二、移线的方法与步骤	280
三、示例	281
第十三章 土石方计算及调配	284
第一节 横断面填挖面积计算	284
第二节 土石方计算	285
第三节 土石方调配	285
一、一般要求	285
二、调配方法	286
第十四章 路线交叉	291
第一节 概述	291
第二节 公路与公路平面交叉	292
一、一般要求	293
二、平面交叉的布置型式	297
三、平面交叉测设要点	297
第三节 公路与公路立体交叉	300
一、一般要求	300
二、立体交叉的组成部分	300
三、立体交叉的基本类型	302
四、匝道	303
五、立体交叉测设要点	307
第四节 公路与大车道、机耕道交叉	308
第五节 公路与铁路交叉	309
一、公路与铁路平面交叉	309
二、公路与铁路立体交叉	310
第六节 公路与管线交叉	311
第十五章 渡口	314
第一节 渡口的种类	314
第二节 渡口的渡航能力	315
第三节 渡口位置的选择	316
第四节 码头	316
一、码头的平面布置	316
二、码头的型式与构造	319
第五节 码头引道	323
第六节 渡船	324
第七节 附属设施	326
第八节 渡口码头勘测步骤	330
第十六章 安全设备及公路标志	332

第一节 安全设备	332
第二节 公路标志	333
一、交通标志	333
二、指路标志	335
三、路面标志	335
四、标志的构造	336
第十七章 附属设施及绿化	339
第一节 附属设施	339
一、道班房	339
二、辅道	339
三、停车场	339
四、回车道	340
五、堆料坪	340
第二节 绿化	341
附录	343
1. 设计文件用新旧符号对照表	343
2. 几种主要国产汽车、农机及国外汽车技术性能	345
3. 《公路工程技术标准》说明	350
4. 地形划分的有关资料	355
5. 目估小桥涵孔径	356
6. 路基横断面面积图	357
7. 不同地形土石方数量及其它工程参考指标	361
8. 空盒气压计使用知识	362
9. 保证会车、停车视距横净距图（定线用）	363
10. 长直线尽头所需曲线半径及视距参考图	367

第一章 概 述

公路勘测设计是公路建设的重要环节之一，做好公路勘测设计工作对于又快又好地进行公路建设具有十分重要的意义。在勘测设计工作中要尽量采用现代的先进测设技术和先进的测设仪器，以便能既精确又迅速地完成任务，从而使公路勘测设计更好地为社会主义四个现代化服务。

公路勘测设计人员要认真做好调查勘测，精心设计，为四化钻研技术，不断提高勘测设计水平。

要遵守国家有关加强基本建设和设计管理的指示和必要的勘测设计程序，并根据批准的计划任务书和现行标准、规范、规定、办法进行测试。要不断改革不合理的规章制度，对现行规章制度既要从实际出发，因地制宜地去掌握和运用，防止生搬硬套，又要注意在实践中不断总结经验，为使其更臻完善，积累科学的依据。

要加强全局观点。公路布局应统筹兼顾、全面规划、适应需要、平战结合，正确处理长远与近期、平原与山区、内地与边疆、城市与农村建设的关系，与铁路、航运密切配合。在选线工作中，要坚持多跑、多看、多问、多比较，全面掌握第一性资料，广泛征求各方面的意见，综合研究分析，选定合理的路线方案。新建公路，要严格按照标准进行路线勘测设计，根据公路的使用任务、性质，合理地利用地形，正确运用标准，在工程量增加不大时，尽可能选用较高的技术指标，以提高公路的使用质量；要做到运输经济和工程经济辩证的统一，贯彻因地制宜、就地取材的原则，充分利用当地材料和工业副产品，切实防止后遗症，使设计的路线既经济好用，又好修、好养。路线规划与设计，要注意爱惜民力，节约用地，少占农田，支援农业。当采用分期修建时，必须严格掌握分期修建的标准，使前期工程在后期仍能充分利用。对于原有公路，应有计划地改善线形、改建危桥、改渡为桥、加铺路面、加强养护，使其逐步提高使用质量和通过能力。

要加强路线勘测设计的整体性，选线应注意地质对路线的影响，同时要兼顾路基、桥涵、隧道等设计方案的合理性，从全局出发，综合考虑，正确选定方案和设计原则，做出符合党的路线方针政策、切合实际，技术上正确、安全、适用的设计。各项测量、操作、调查、制图、计算等工作，都要符合规定的深度和精度要求，积极推广先进经验和革新仪器，在保证质量和安全的前提下，力求加快速度。要严格执行中间检查、现场验收、设计复核等制度。在加强岗位责任制的基础上广泛发动群众，采取自检、互检、专业审查相结合，以自检为主的方法，做好设计的综合检查和修改工作，使勘测资料和设计能满足又快又好地修建公路的要求。

第二章 汽车行驶性能与道路的关系

汽车行驶的安全、迅速、经济和舒适，是靠驾驶员、汽车、道路三方面来保证的。本章简述汽车行驶性能及其与道路几何设计的关系，以帮助正确理解和运用《公路工程技术标准》，使选定和设计的路线，能更好地为汽车运输提供安全、迅速、经济、舒适的道路条件。

第一节 汽车的行驶性能^①

一、汽车行驶的牵引平衡

汽车在道路上行驶，必须有足够的牵引力来克服各项行驶阻力，这是汽车行驶的第一个必要条件。汽车在行驶中，牵引力与各项阻力之和相等，称为牵引平衡，即：

$$P = Z_{\omega} + Z_{\psi} + Z_j \quad (2-1)$$

式中： P ——汽车的牵引力，公斤；

Z_{ω} 、 Z_{ψ} 、 Z_j ——分别为空气阻力、道路阻力、惯性阻力，公斤。

(一) 汽车的行驶阻力

1. 空气阻力

$$Z_{\omega} = \frac{K \cdot F \cdot V^2}{13} \quad (2-2)$$

式中： K ——空气阻力系数，随车辆的外形和空气密度而变化。对于一定的海拔高度和车型， K 值为常数；

F ——汽车正面投影面积，平方米；

V ——汽车行驶速度^②，公里/时。

解放牌汽车在海平面的空气阻力约为：

$$Z_{\omega} = 0.02V^2 \quad (\text{公斤})$$

2. 道路阻力

道路阻力主要包括滚动阻力和坡度阻力。

$$Z_{\psi} = G \cdot \psi \quad (2-3)$$

式中： G ——车辆总重量，公斤；

ψ ——道路阻力系数，即

① 本节主要阐述汽车在各种行驶情况下的车速和燃料消耗与道路阻力的关系。为了说明问题，以解放牌汽车的主要性能为例，制成一些图来应用。所用数据部分是估计的，有待于资料充分时订正。国内常见的汽车和农业机械的外形尺寸及主要性能见附录2。

② 假设汽车在无风的情况下行驶。

$$\psi = f + i$$

其中： f ——滚动阻力系数，它与路面质量、轮胎和车速都有关。但在一定类型的轮胎和一定的车速范围内，可视为只和路面质量有关的常数，见表2-1；

表 2-1

路 面 类 型	滚 动 阻 力 系 数 f
水泥混凝土及沥青混凝土路面	0.01~0.02
表面平整的黑色碎石路面	0.02~0.025
碎石路面	0.03~0.05
干燥平整的土路	0.04~0.05
潮湿不平整的土路	0.07~0.15

i ——道路纵坡度，上坡取正号，下坡取负号。

在下坡时，如坡值大于滚动系数，则道路阻力系数 ψ 为负值。

3. 惯性阻力

$$Z_j = \delta \cdot \frac{G}{g} \cdot a \quad (\text{公斤}) \quad (2-4)$$

式中： g ——重力加速度，9.81米/秒²；

a ——汽车的变速率，米/秒²(加速时为正值，减速时为负值)；

δ ——汽车旋转部分影响系数，大致可按式求得：

$$\delta = 1 + \delta_1 + \delta_2 i_k^2$$

其中： δ_1 ——数值在0.03~0.05之间，解放 CA10B 型载重汽车 $\delta_1 = 0.032$ ；

δ_2 ——其数值对于小汽车在0.05~0.07之间，对于载重汽车在0.04~0.05之间；

i_k ——变速箱的速比；解放牌 CA10B 型载重汽车的变速比 i_k 及其相应的 δ 值，如表 2-2。

表 2-2

排 档	变 速 比 i_k	δ
I	6.24	2.32
II	3.32	1.40
III	1.90	1.16
IV	1.00	1.07
V(超速档)	0.81	1.06

(二) 汽车的牵引力

当开动发动机时，燃料在发动机内燃烧，热能转化为机械能，产生有效功率 N ，使发动机的曲轴每分钟旋转 n 次，于是曲轴的扭矩为：

$$M = 716.2 \frac{N}{n}$$

在一定的油门开度下， N 与 n 都有一定的关系，见图2-1。

当发动机曲轴的转速 n ，经过变速箱（速比 i_k ）和主传动器（速比 i_0 ）的两次变速，传到驱动轮（后轮）的半轴时，驱动轮的转速降低到：

$$n_k = \frac{n}{i_k \cdot i_0}$$

相应地驱动轮的扭矩提高到：

$$\begin{aligned} M_k &= 716.2 \frac{N}{n_k} \cdot \eta_M \\ &= 716.2 \frac{N \cdot \eta_M \cdot i_k \cdot i_0}{n} \end{aligned}$$

将 M_k 和 n_k 变成牵引力 P 及其相应的行驶速度 V ，则

$$\begin{aligned} P &= \frac{M_k}{r_k} = 716.2 \frac{N \cdot \eta_M \cdot i_k \cdot i_0}{r_k \cdot n} \\ &= 270 \frac{N \cdot \eta_M}{V} \quad (\text{公斤}) \quad (2-5) \end{aligned}$$

$$V = 0.377 r_k \cdot n_k$$

$$= 0.377 \frac{r_k \cdot n}{i_k \cdot i_0} \quad (\text{公里/时})$$

(2-6)

式中： r_k ——驱动轮承载后的轮胎半径，解放牌汽车 $r_k = 0.482$ 米；

η_M ——汽车转动机构的机械效率；

i_0 ——主传动器的速比，解放牌汽车为 7.63。

(三) 汽车行驶与路面物理性质

1. 路面的抗滑性

如前所述，汽车在道路上行驶，必须有足够的牵引力来克服各项阻力，这是汽车行驶的第一个必要条件，即 $P = \Sigma Z$ ；但同时汽车的牵引力又受驱动轮与路面之间的摩擦力所限制，这是汽车行驶的第二必要条件，否则车轮将在路面上打滑，不能前进，即

$$P \leq \varphi \cdot G_k \quad (2-7)$$

式中： G_k ——驱动轮荷载，在一般情况下，小汽车为汽车总重的 0.5~0.55，载重汽车为汽车总重的 0.65~0.80；

φ ——轮胎与路面间的粘着系数，略值见表 2-3。

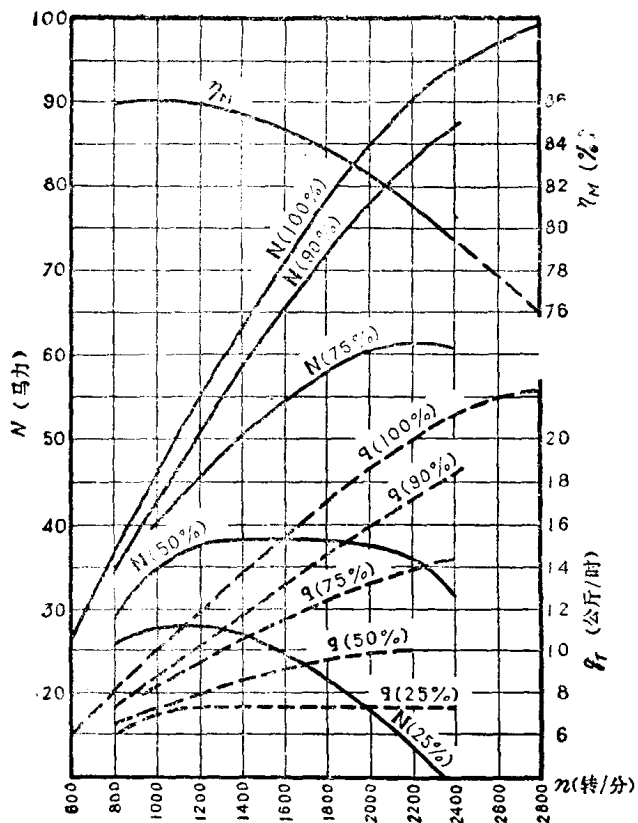


图2-1 解放牌汽车发动机特性图

注：曲线上所注百分数系指油门开度

表 2-3

路面状况	粘着系数 φ
干 燥	0.5~0.7 以上
潮 湿	0.3~0.4
结 冰	0.1~0.2

由于光滑的路面对行车极为不利，因此为了汽车能够安全正常地行驶，路面应具有相当的粗糙度，以提高路面的抗滑性。

2. 路面的平整度

提高路面的平整度，就是减低滚动阻力，对汽车上坡而言，其效果和减缓纵坡相同，即 $\Psi = f + i$ 。此外，平整的路面允许高速行驶而不颠簸，对油料消耗、轮胎和机件的磨损的减轻以及行旅的舒适都是重要的。

二、汽车的动力特性

(一) 动力因数和动力特性图

动力因数是在汽车油门全开的情况下，表征汽车动力特性的主要指标。

根据牵引平衡方程式（式2-1）得动力因数

$$D = \frac{P - Z_{\omega}}{G} = \psi + \frac{\delta}{g} \cdot a$$

并将式(2-2)、(2-5)代入上式即得：

$$D = 270 \frac{N \cdot \eta_M}{G \cdot V} - \frac{K \cdot F \cdot V^2}{13G} \quad (2-8)$$

根据式(2-6)、(2-8)即可制出动力特性图。对解放牌 CA10B 型的载重汽车而言，对应于 n 的 N_T （即油门开度为100%的 N ）和 η_M 可从图 2-1 查出；各排档的 i_k 见表 2-2； $i_0 = 7.63$ ， r_k

$= 0.482$ ， $G_T = 8,000$ ， $\frac{K_0 \cdot F \cdot V^2}{13} = 0.02V^2$ 。其动力特性图如图2-2。

动力特性图系按海平面及车辆满载情况下绘制的，对不同海拔、荷载下的动力因数，应乘以海拔荷载系数 λ

$$\lambda = \frac{G_T \cdot \xi}{G} \quad (2-9)$$

$$\lambda D = \psi + \frac{\delta}{g} \cdot a \quad (2-10)$$

解放牌 CA10B 型汽车的海拔荷载系数图如图2-3。

图 2-2 动力特性图是用以表示式2-10的关系的。根据这个关系，在图上左右纵标尺上用了不同的标注方法，供应用时选择。

从图 2-4 可了解到汽车行驶的概略情况：

1. 由图 2-4a 可确定各排档在正常行驶下的速度范围，即临界速度 V_k 至限制速度 V_x ，以及相邻排档相互调换的速度范围。

V_k 是动力因数 D 值最大时的速度，速度小于 V_k 将出现不稳定行驶（只在汽车起步时才采用）；而 V_x 则为发动机转速最大时的速度。如道路阻力大，需要更高的动力来克服时须换低档；如道路阻力小，需要提高行驶速度时换高档。

2. 由图 2-4b 可确定：可能达到的最高等速 V_0 和道路阻力 Ψ 的相互关系。

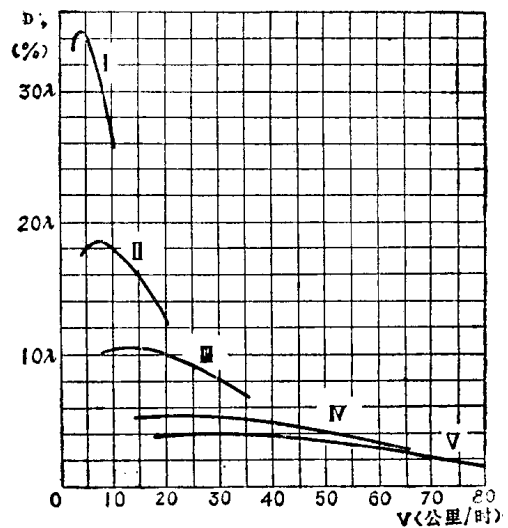


图2-2 解放牌汽车动力特性图

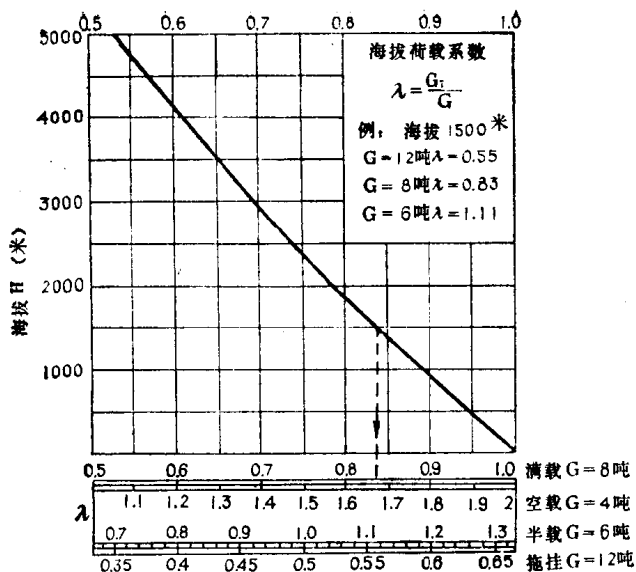


图2-3 解放牌 CA10B 型汽车的海拔荷载系数图

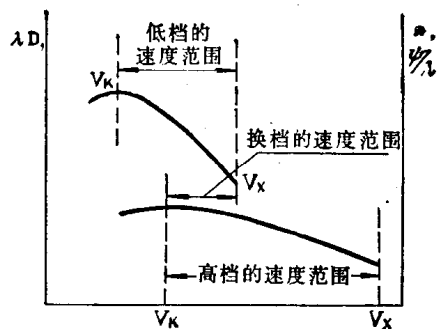


图 2-4a

这里涉及的是等速，即 $a = 0$ ，由式 2-10 得：

$$\lambda \cdot D = \psi$$

或

$$\frac{\psi}{\lambda} = D$$

所以在动力特性图上，以 $-\frac{\psi}{\lambda}$ 线与 D 线相交决定最高等速 V_0 ，以 V_0 线与 D 线相交决定最大道路阻力 $\frac{\psi}{\lambda}$ 。

3. 在一定的道路阻力（系数为 ψ ）下，确定汽车以速度 V 行驶时的加速、减速情况，并求得最大加速率和最小减速率。

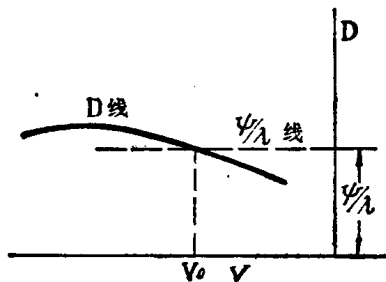


图 2-4b

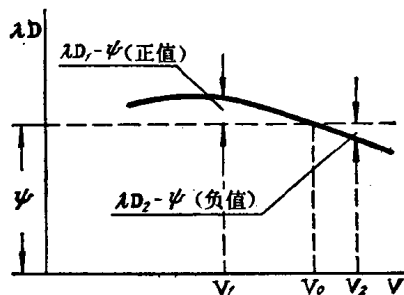


图 2-4c

如图 2-4c 所示：凡小于 V_0 的车速（如 V_1 ），能用调整油门开度的方法使汽车作减速、等速和加速的行驶，油门全开时加速率最大。凡大于 V_0 的车速（如 V_2 ），无论油门开度如何，均作减速行驶，油门全开时减速率最小。由式 2-10，最大加速率和最小减速率为：

$$a = \frac{g}{\delta} \cdot (\lambda \cdot D - \psi)$$

式中， a 为正值时是加速，负值时是减速。

如上所述可知：即使在油门全开的情况下，由于道路阻力的变化，汽车行驶是经常变速的。但是根据汽车的加速、减速的性能，尽管道路阻力和车速有些变化，只要变化不过大，特别是不涉及换挡和制动，则平均的阻力系数 ψ_M 与可能达到的最高平均速度 V_M ，大体上仍保持着前述 ψ 与 V_0 的关系。

〔例1〕有越岭线一段，从垭口至山脚平均海拔约为1500米，计划铺筑渣油路面， $f=2\%$ 。

1) 如采用平均坡度 $i_M=5\%$ ，试估计当解放 CA10B 型汽车满载 ($G=8t$) 和半载 ($G=6t$) 行驶时，分别求可能达到的最高平均速度 V_M 。

2) 如同型汽车拖带4吨 ($G=12t$)，要求能达到平均速度 V_M 为20公里/时，试估计平均纵坡 i_M 最大能用多少。

〔解〕 $H=1500$ 米时，由图2-3查得 λ 如下：

满载 $\lambda=0.83$ ，半载 $\lambda=1.11$ ，拖挂 $\lambda=0.55$

1) 满载车： $\frac{\psi}{\lambda} = \frac{2+5}{0.83} \% = 8.43\%$ ，由图2-2，用右标尺，如图2-4d所示作法，得 $V_M=28.5$ 公里/

时；半载车： $\frac{\psi}{\lambda} = \frac{2+5}{1.11} \% = 6.3\%$ ，同样求得 $V_M=35$ 公里/时。

2) 先试Ⅲ档。 $V_M=20$ 公里/时，由图2-2，用右标尺，如图2-4e所示作法，得 $\frac{\psi}{\lambda}=9.9$ ，于是 $\psi=0.55 \times 9.9\% = 5.4\%$ ， $\therefore i_M=5.4(\%) - 2(\%) = 3.4\%$ 。这个坡度势必导致越岭线展延过长，很不实际。若用Ⅱ档，则 $\frac{\psi}{\lambda}$ 可大至12.3%， $\psi=0.55 \times 12.3\% = 6.77\%$ ， $i_M=6.77(\%) - 2(\%) = 4.77\%$ 。

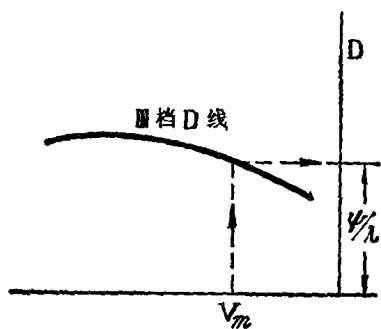


图 2-4d

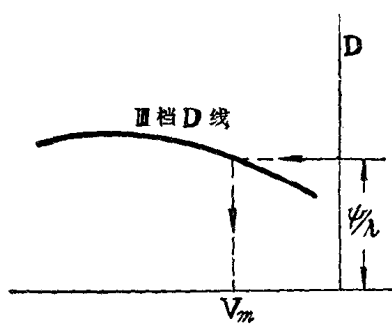


图 2-4e

(二)最短加速行程和最长减速行程

行程可用时间或距离来表示。动力特性图提供了最大加速率和最小减速率，现在要计算相应的行程为：在油门全开和一定的道路阻力的情况下，当车速由 V_1 变至 V_2 时所经的时间和距离。

解放牌 CA10B 型汽车Ⅲ、Ⅳ档的这类行程图如图2-5a~图2-5d。

从图2-5按下式求 V_1 和 V_2 之间的行程：

$$\left. \begin{aligned} \text{减速: } T_{V_2 \rightarrow V_1} &= -\frac{1}{\lambda} (\lambda \cdot T_{V_k \rightarrow V_2} - \lambda \cdot T_{V_k \rightarrow V_1}) \\ S_{V_2 \rightarrow V_1} &= -\frac{1}{\lambda} (\lambda \cdot S_{V_k \rightarrow V_2} - \lambda \cdot S_{V_k \rightarrow V_1}) \\ \text{加速: } T_{V_1 \rightarrow V_2} &= \frac{1}{\lambda} (\lambda \cdot T_{V_k \rightarrow V_2} - \lambda \cdot T_{V_k \rightarrow V_1}) \\ S_{V_1 \rightarrow V_2} &= \frac{1}{\lambda} (\lambda \cdot S_{V_k \rightarrow V_2} - \lambda \cdot S_{V_k \rightarrow V_1}) \end{aligned} \right\} \quad (2-11)$$

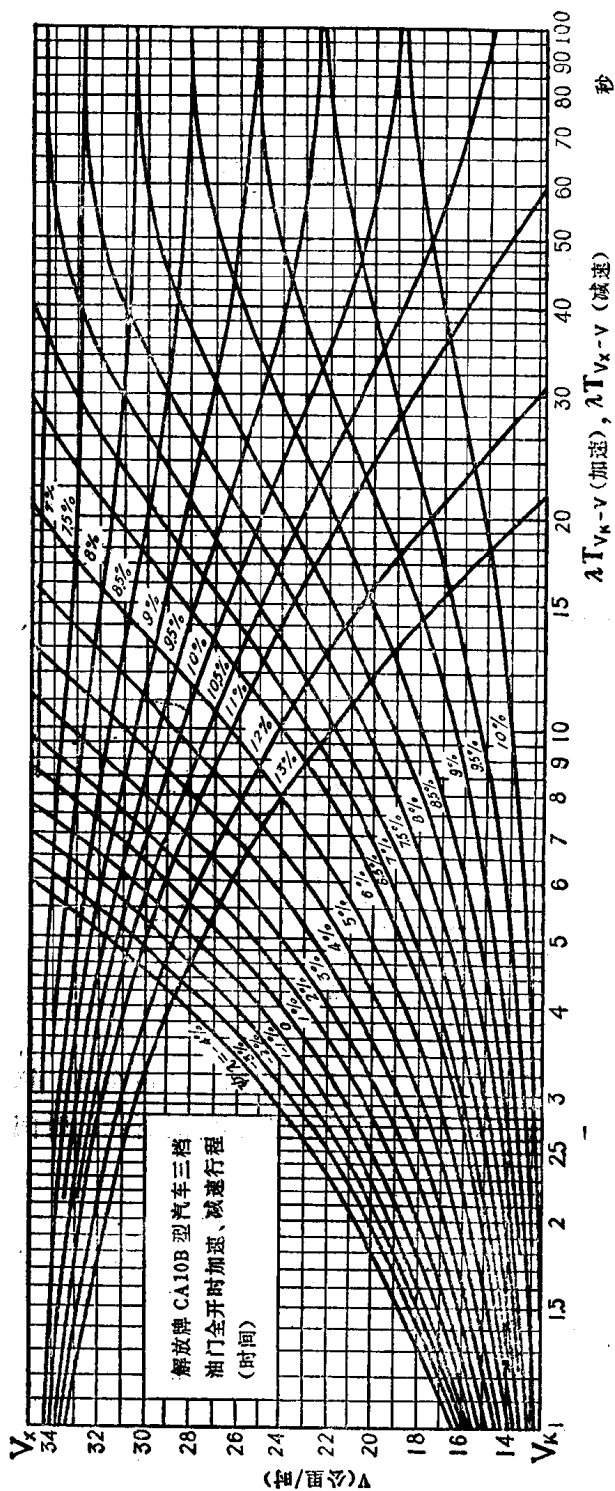


图 2-5a

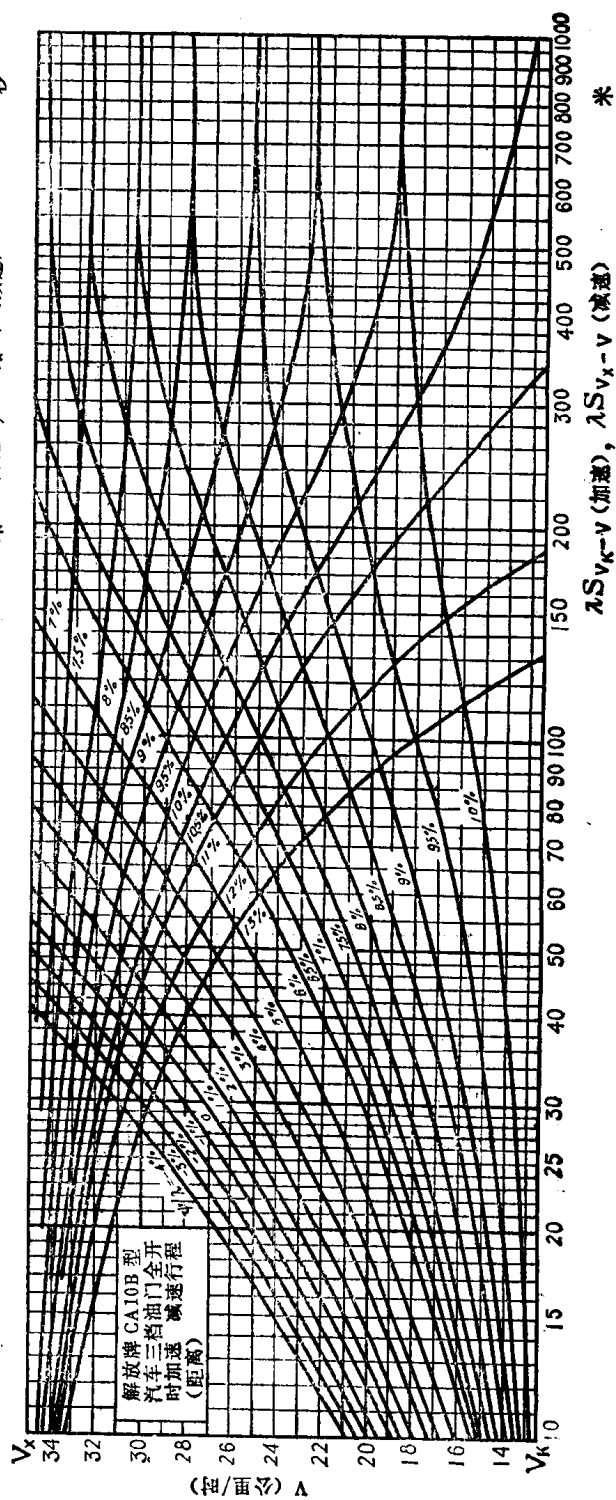


图 2-5b