



道路防排水技术

The General Technique to Protect and Drain Water on Road

李志勇 王江帅 李彦伟 赵永祯 编著



人民交通出版社
China Communications Press

Daolu Fangpaishui Jishu
道路防排水技术

李志勇 王江帅 编著
李彦伟 赵永楠

人民交通出版社

内 容 提 要

《公路排水设计规范》出版多年,部分内容已经不适应当前公路建设的需要,本书可弥补现有排水设计方法和规范的不足,使排水设计做到有章可循、有据可依。全书共分路表综合防排水系统、道路内部防排水设计、城市道路排水、桥面及支挡构造物排水及工程应用等5篇,详细介绍了当前道路防排水在设计和施工方面的最新技术。

本书可供公路施工技术人员、建设管理、监理等相关从业技术人员参考使用,亦可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

道路防排水技术 / 李志勇等编著. — 北京: 人民交通出版社, 2011.9

ISBN 978-7-114-06292-6

I. ①道… II. ①李… III. ①道路—排水工程 IV. ①U417.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第119150号

书 名: 道路防排水技术

著 作 者: 李志勇 王江帅 李彦伟 赵永祯

责任编辑: 高 培

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 21

字 数: 366 千

版 次: 2011年9月 第1版

印 次: 2011年9月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06292-6

定 价: 65.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



前 言

雨水降落到路界范围内时,一部分会通过道路路面或路基结构渗入道路结构内部;另一部分会首先润湿路基路面结构,继而形成道路表面径流。

渗入道路结构内部的水,首先会损害路面结构,造成水泥混凝土路面的唧泥、板底脱空,进而形成路面板的断裂;对沥青路面结构,则会形成松散、剥落,继而形成坑槽等破坏。一旦水渗入道路的层间结构,还会使层间结构发生变化,使路面结构过早出现破坏,降低路面的使用寿命。

由雨水形成的表面径流,首先会冲刷道路边坡,形成水毁;道路表面的水还会给行车安全带来危害,例如:前车形成的水雾会影响后车的视线;车速过快容易形成“水漂”等,从而造成较严重的交通事故;城市道路内的积水过多也会使居民生活受到影响。

由此可见,不论雨水处于何种情况,都会给道路结构以及行车安全造成重大影响。仅以水毁为例,仅在1990~1996年,全国公路水毁损失就高达200多亿元。每年汛期因洪水造成公路水毁的直接经济损失就达数十亿元,而且呈逐年上升的趋势。另外,从交通运输部获悉,2010年,中国有17条国道,上百条省道因水毁导致交通中断,累计造成公路水毁损失高达118亿元。因此,有效的排水设施对道路结构稳定以及行车安全是必不可少的。而有效的排水设施依赖于正确的排水设计,为弥补现有排水设计方法和规范的不足,使排水设计做到有章可循、有据可依,作者特组织人员编写本书。

全书共分为5篇16章。第1篇:路表综合防排水系统,在对路界表面防排水设计参数论证的基础上,介绍了漫流式防排水、集中式防排水及消能设施的设计方法;第2篇:道路内部防排水设计,包括路基内部排水、路面内部排水及中央分隔带排水三部分;第3篇:城市道路排水,对城市道路综合排水系统及城市路表排水设施——边沟及排水口进行了说明;第4篇:桥面及支挡构造物排水,介绍了桥面排水设施的使用和施工方法;第5篇:工程应用。

本书是在河北省“道路防排水综合技术研究”科研成果的基础上编写而成的。课题参研单位包括:重庆交通大学、河北省交通规划设计院、河北燕峰路桥建设有限公司,河北省交通运输厅公路管理局、石家庄市交通运输局提供了部分参考资料,在本书稿完成之际,特对以上单位表示感谢。管理单位、科研单位、设计单位及工程建设单位的通力合作,使得本书力求“理论升华、实际应用”的宗旨得以实现。

本书由李志勇、王江帅、李彦伟、赵永祯、郑利卫、张文臣、许丽辉、赵彦东、杜群乐、石鑫、党奇志等编著。全书由李志勇、杜群乐统稿。

本书编写尚属首次,错误之处在所难免,有些内容属于初步建立,多有不成熟之处,敬请广大读者谅解。

编者

2011年5月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 水存在的危害	1
1.2 防排水的目的和形式	9
1.3 道路防排水的综合布设	10
1.4 排水设计的原则及思路	11

第 1 篇 路表综合防排水系统

第 2 章 公路路表防排水系统的组成及相关参数	15
2.1 路表防排水系统组成	15
2.2 路面表面防排水相关设计参数	20
第 3 章 分散漫流式排水	34
3.1 概述	34
3.2 路表水深、流速	35
3.3 坡面防排水措施	44
第 4 章 集中式排水	61
4.1 排水沟渠设计	61
4.2 倒虹吸与渡水槽	80
4.3 排水口设计	87
4.4 超高路段排水	97
第 5 章 陡坡路段的防排水及消能设施	101
5.1 急流槽水力计算	101

5.2	跌水水力计算	104
5.3	跌水与急流槽施工工艺	106
5.4	阶梯式消能	107
5.5	跌水池消能	111
5.6	急流槽消能池	114
第6章	特殊土地地区路基排水	117
6.1	岩溶地区路基防排水措施	117
6.2	膨胀土地地区路基的防排水措施	117
6.3	多年冻土地地区路基的防排水措施	118
6.4	水稻田地区路基的防排水措施	119
6.5	盐渍地区路基防排水措施	119
6.6	黄土地地区路基防排水措施	120

第2篇 道路内部防排水设计

第7章	一般路基的内部排水	125
7.1	渗沟、渗井构造及布设图	125
7.2	渗沟、渗井现有设计方法及其不足	127
7.3	地下排水设计的完善和优化	136
7.4	盲渗沟和渗井的施工工艺	163
7.5	坡体疏干孔	169
第8章	特殊路基的防排水	172
8.1	排水砂垫层	172
8.2	普通砂井、袋装砂井及塑料排水板	173
8.3	振动沉管碎石桩	177
8.4	隔离防水设施	179
第9章	路面内部排水	180
9.1	路面内部排水系统的组成	180
9.2	路面内部排水的水流计算及结构尺寸	187
第10章	中央分隔带排水	200
10.1	中央分隔带的排水问题	201

10.2	中央分隔带入渗与产流分析·····	201
10.3	入渗水对路基路面湿度状况和结构性能影响分析·····	205
10.4	中央分隔带排水设计方法·····	209

第3篇 城市道路排水

第11章	城市道路综合排水系统 ·····	217
11.1	路基内部排水系统·····	217
11.2	路面结构内部排水·····	221
11.3	道路表面排水·····	223
第12章	城市路表排水的水力计算 ·····	227
12.1	边沟的水力计算·····	228
12.2	排水口的水力计算·····	234
12.3	排水口排水能力的分析·····	260
第13章	排水泵站 ·····	267
13.1	概述·····	267
13.2	设计时须考虑的因素·····	267

第4篇 桥面及支挡构造物排水

第14章	桥面排水系统 ·····	275
14.1	桥面排水·····	275
14.2	桥面过水断面·····	284
14.3	桥面防水层·····	287
第15章	桥头、支挡结构物及通道排水 ·····	293
15.1	桥台和支挡结构物排水·····	293
15.2	通道桥涵排水·····	295

第5篇 工程应用

第16章	防排水设施的工程应用 ·····	301
16.1	排水沟或边沟·····	301

16.2	截水沟·····	307
16.3	急流槽·····	310
16.4	跌水·····	311
16.5	一般路段路面表面排水·····	312
16.6	超高路段路面表面排水·····	312
16.7	中央分隔带排水·····	322
16.8	阶梯式急流槽的应用·····	322
16.9	曲线形排水口及各种排水口的应用·····	322
16.10	边坡防水的应用 ·····	324
16.11	桥面排水的应用 ·····	324
参考文献 ·····		326

第1章

概 论

不论雨水处于何种情况,都会给道路结构以及行车安全造成重大影响。雨水降落到路界范围内时,一部分会通过路面或路基结构渗入道路结构内部;另一部分会首先润湿路基路面结构,继而形成表面径流。据调查,2007~2010年河北省一般国省干线公路水毁损失分别为6 000万元,7 500万元,5 597万元,7 950万元,投入应急抢修资金总额分别为5 350万元,4 350万元,3 000万元,5 500万元;2010年还增加了大量的养护资金以及养护专项资金。就全国范围来看,仅在1990~1996年,公路水毁损失总金额就高达200多亿元。每年汛期因洪水造成公路水毁的直接经济损失就达数十亿元,而且呈逐年上升的趋势。根据有关资料显示,1994年全国公路水毁损失37亿元,1996年达到69亿元,1998年则达到了91亿元。另外,从交通运输部获悉,2010年,中国有17条国道,上百条省道因水毁交通中断;累计造成公路水毁损失达118亿元。

1.1 水存在的危害

当有水存在于路表及道路结构内部时,其危害主要体现在对道路结构的破坏、对路基稳定性的危害以及降低行车安全等方面。

1.1.1 水引起的道路结构破坏

(1)水能浸入沥青混合料的孔隙中而使沥青黏附性减小,从而导致混合料的强度和劲度减小;另外,水还能进入沥青薄膜和集料之间,阻断沥青和集料的相互黏结,最终导致沥青从集料表面剥落。

(2)水分通过接缝渗入水泥混凝土内部,在水泥混凝土面板和基层之间形成层间水,此部分水在车辆荷载作用下会对基层形成冲刷,使水泥路面出现唧泥,继而形成板底脱空,使得水泥混凝土板过早出现断裂现象。

(3)我国沥青路面大多采用半刚性基层,水分渗入路面结构后,由于半刚性基层的致密性,水分会滞留在面层底面和半刚性基层顶面之间,从而撕裂面层和基层的连续性,使得面层底面出现较大的弯拉应力,使沥青路面过早出现裂缝等破坏。

1.1.2 水引起的路基失稳

对于路基,假设公路施工中路基土的压实按最佳含水率控制,则土颗粒表面上包裹着的结合水膜一般很薄,且是强结合水,溶解在其中的阴阳离子的静电引力较强,将表面带负电荷的黏粒连接起来,形成一定的连接强度。但当水渗入土体时,土体中部分起胶结作用的可溶盐发生离子交换,削弱了骨架颗粒联结点的强度。首先在土体薄弱地方(如支架接触和小桥状联结)形成不稳定结构,水分子顺着原来的大孔隙趁机楔入。由于有支架孔隙的存在,水不断地进入,支架结构迅速瓦解,随着颗粒间水膜的增厚,孔隙中自由水和弱结合水膜增多,水膜像楔子一样将牢固连接的土颗粒分开,使土粒表面产生膨胀,引力减小,内聚力下降,导致更多的胶结物发生软化或溶解。这个过程随水分不断的供给而继续,土体中的孔隙增多增大,压实土体逐渐变成多孔的松散土体,最终,水分渗入到整个土体,使土体强度完全丧失,之后,可能带来路基土沉陷、边坡滑动等地质灾害或病害,与之有关的现象主要有:

(1)湿陷。这是浸湿时黄土的剧烈沉陷,其与一般沉陷的本质区别在于湿陷发生的速度特别快,并且是土的物理力学性质改变的结果。黄土层浸湿的一个主要原因是地下水位的上升,也就是浸湿由下而上进行,浸湿的方向对湿陷特性有重要影响:在地下水位上升情况下,这个过程同自上而下浸湿的过程是不同的。

(2)浸没。当地下水(常为潜水)接近地表,特别是当浸没地表时,可能形成沼泽,发生区域沼泽化。

(3)滑坡。当路基位于天然山坡的坡积层上时,由于坡积层地下水的静水压力和动水压力的作用,引起坡积层滑动,导致路基失稳。

(4)冻胀。在季节性冰冻区,地下水位上升至冰冻线以上时,将产生冻胀,冬季局部抬高,春季出现冻融,引起一系列路基路面病害。

(5)路基土含水率增大。潜水或上层滞水发生毛细水浸润路基时会形成饱和和含水层的局部区,路基土含水率增大,抗剪强度下降,稳定性降低。

地下水水位的变动也会影响到路基土的回弹模量和弯沉,进而影响路面各结构层的应力应变状态。

(6)泥石流。泥石流是指水流中携带着大量泥沙,流速较快,破坏力极大,是山区经常发生的病害之一,每年我国山区公路均有因泥石流冲毁路基的情况发生。

1.1.3 水对行车安全的影响

(1)车辆在有积水的路面上行驶时,尾部因飞溅产生水雾,影响驾驶员视线,容易引起交通事故,妨碍行车安全。

(2)夜间行车时,水面对车灯的反射可造成驾驶员的错觉,影响行车安全。

(3)城市道路表面有积水时,车辆行驶时造成的雨水飞溅还会影响自行车道和人行道的通行。积水问题还可能导致本身已较为拥挤的道路发生更加严重的堵车现象,尤其是在连通主干路的下穿式通道出现大量积水的时候严重影响交通。

路表径流是水对行车安全的又一重要影响因素,当轮胎在有薄层表面径流的路面上转动时,水被轮胎花纹和道路路面的不平整所渠化,当路表径流量超过轮胎花纹和路面表面的排水能力时,轮胎前开始出现壅水,且轮胎开始出现打滑。当壅水现象出现时,产生一个由水形成的“楔子”,且此“楔子”可产生动水压力,此动力可将轮胎抬离路面表面。因水几乎不提供剪切力,故轮胎失去牵引力,从而形成“水漂”现象。

笔者曾采用图 1-1 所示计算模型对动水压力问题进行过研究,其计算结果亦可从表面径流水膜厚度及行车速度等方面进行分析。

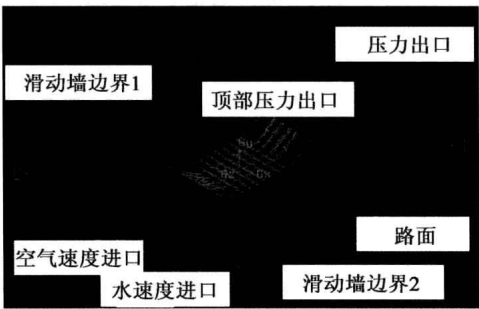
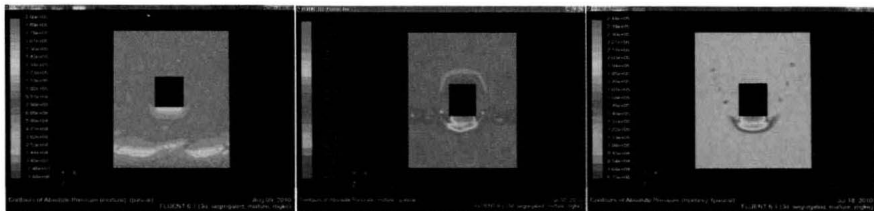


图 1-1 计算模型示意图

1. 水膜厚度对动水压强的影响

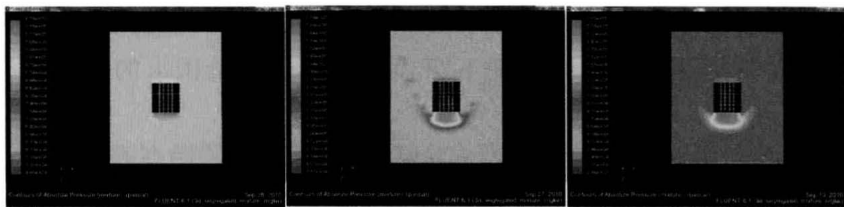
计算结果如图 1-2~图 1-4 所示,不同花纹深度的轮胎在三种水膜厚度的路面上以 90km/h 速度行驶时所受到的动水压强随着轮胎花纹深度的减小、水膜厚度的增加而增长,其原因是当水膜厚度较小时,轮胎花纹能够及时将水排出,使得轮胎沟槽内动水压强不至过大,保证胎面与路面的良好接触;随着轮胎花纹深

度的减小、水膜厚度的增加,同一时间内通过过水断面的水量加大,导致轮胎花纹不能及时将积水排出,使得胎面和路面之间形成一层水膜,轮胎的附着力下降。



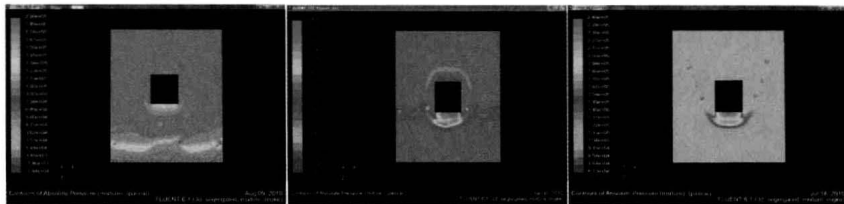
a) $h=0.2\text{cm}$; $v=90\text{km/h}$ b) $h=0.8\text{cm}$; $v=90\text{km/h}$ c) $h=1.2\text{cm}$; $v=90\text{km/h}$

图 1-2 平面动水压强分布图(轮胎花纹深度为 7mm)



a) $h=0.2\text{cm}$; $v=90\text{km/h}$ b) $h=0.8\text{cm}$; $v=90\text{km/h}$ c) $h=1.2\text{cm}$; $v=90\text{km/h}$

图 1-3 平面动水压强分布图(轮胎花纹深度为 4mm)



a) $h=0.2\text{cm}$; $v=90\text{km/h}$ b) $h=0.8\text{cm}$; $v=90\text{km/h}$ c) $h=1.2\text{cm}$; $v=90\text{km/h}$

图 1-4 平面动水压强分布图(轮胎花纹深度为 0mm)

以 8mm 水膜为例[图 1-2b)],轮胎的阻挡作用使水流过水断面减小,并在轮胎的前部形成一个高压区域[图 1-2b)中红色部分]。该高压区域的压力数值分布由中间向两侧递减,大致呈对称分布。当水膜厚度较浅(8mm 以下)时,由于轮胎花纹的排水作用没有完全丧失,高压区域对轮胎的作用会延伸至轮胎底部;随着水膜厚度和行驶速度的提高,轮胎花纹逐渐丧失排水作用(即轮胎发生滑水现象),高压区域对轮胎的作用只发生在轮胎前端。国外专家通过研究认为,如动水压强等于轮胎内部压强就会发生完全滑水现象。汽车行驶速度较低时,轮胎沟槽内的积水能够及时排除,产生的动水压强远小于轮胎内部压强;随着车辆行驶速度的增加,轮胎沟槽内产生雍水现象使得轮胎前端动水压强增大,当动水压强等于轮胎内部压强时,轮胎与路面完全脱离接触,即出现临界滑水状态。

2. 行驶速度对动水压强的影响

当水膜厚度远小于轮胎花纹深度,且车辆以正常速度($v \leq 120\text{km/h}$)行驶时,轮胎花纹能够完全将水排出,不会发生雍水现象,如图 1-5 所示。当水膜厚度与轮胎花纹深度差别不大时,由于轮胎的阻挡,使得轮胎前段形成一条与行驶方向几乎平行的速度界限,从而影响轮胎后部水膜的速度。此时,轮胎花纹已不能完全将积水排出,轮胎前端发生的雍水现象使得动水压强增大、沟槽内水流速度下降,如图 1-6a)所示。当水膜厚度远大于轮胎花纹深度时,轮胎前端的雍水现象更加明显,动水压强迅速增大,轮胎前端的速度界限(图 1-6 中绿色与蓝色分界线)由于轮胎的阻挡则向后偏移,其偏移量随着速度的增大而增大。

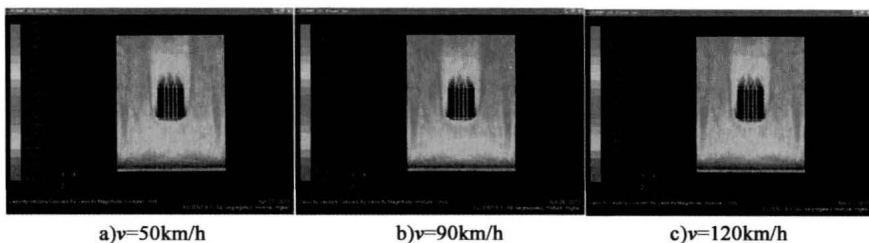


图 1-5 $h=2\text{mm}$ 速度分布图

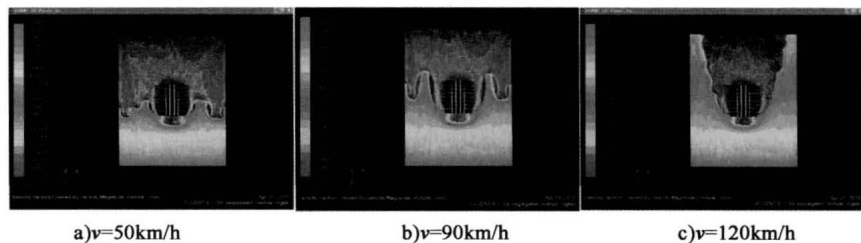


图 1-6 $h=12\text{mm}$ 速度分布图

3. 动水压强影响因素的多元回归分析

调整水膜厚度和行车速度,不同花纹深度轮胎受到的动水压强结果见图 1-7。当水膜厚度很薄时,动水压强与车速几乎呈线性关系,而且增长速度十分缓慢,当路面积水厚度在 5mm 以下时,在正常行驶速度范围内轮胎能够及时将积水排出,因此不会发生临界滑水状态;随着水膜厚度的增加,动水压强与车速逐渐成曲线关系,其增长的速度明显加快,对于 8mm 水膜,当轮胎花纹深度为 7mm ,行驶速度为 120km/h 时,轮胎所受到的动水压强与轮胎内压几乎相等,由此可以判断此时为临界滑水状态,而当花纹深度为 4mm 时临界滑水速度降低为 110km/h ;对于 12mm 水膜,临界滑水状态约为 95km/h ,如果速度进一步提

高,轮胎则完全悬浮于水膜上(发生完全滑水)。

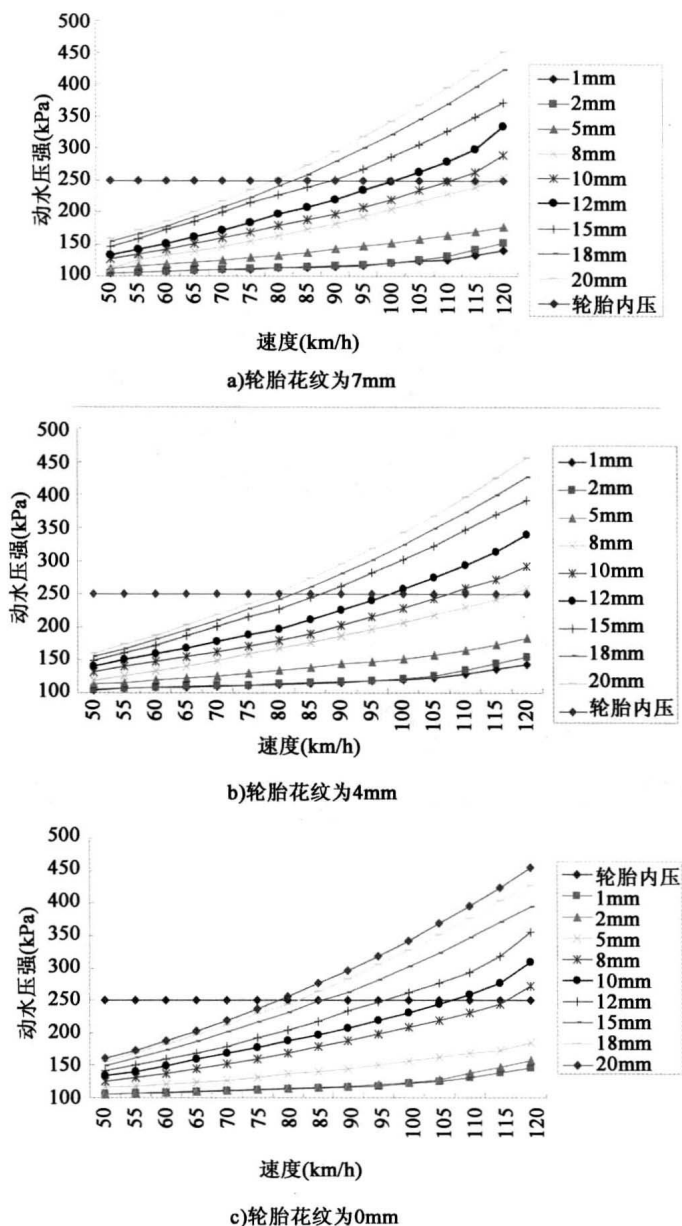


图 1-7 动水压强增长图

由于行车速度、水膜厚度和轮胎花纹深度对动水压强有很大影响,而且上述因素之间有很好的相关关系,因此可以通过行车速度、水膜厚度和轮胎花纹深度与动水压强之间的关系建立四者的多元线性回归模型。

一般的,设有 k 个影响因素 $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k$, 与因变量 Y 关系如式(1-1)所示:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \chi_1 + \beta_2 \chi_2 + \dots + \beta_k \chi_k + \varepsilon \quad (1-1)$$

$$\varepsilon = N(0, \sigma^2) \quad (1-2)$$

称为多元线性回归模型,线性函数:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = \beta_0 + \beta_1 \chi_1 + \beta_2 \chi_2 + \dots + \beta_k \chi_k \quad (1-3)$$

称为多元线性回归函数, $\beta_i (i = 0, 1, 2, \dots, k)$ 称为回归系数。 $\beta_i (i = 0, 1, 2, \dots, k)$ 与 σ^2 均未知。

设 $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, y_i) (i = 1, 2, \dots, n)$ 为 $(\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k, Y)$ 的试验数据,且:

$$\begin{cases} y_i = \beta_0 + \beta_1 \chi_{i1} + \beta_2 \chi_{i2} + \dots + \beta_k \chi_{ik} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \\ \varepsilon = N(0, \sigma^2), i = 1, 2, \dots, n \\ \text{Cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0, i \neq j, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1-4)$$

记 $\boldsymbol{\beta} = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)^T, \mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T, \boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)^T$

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & \chi_{11} & \chi_{12} & \dots & \chi_{1k} \\ 1 & \chi_{21} & \chi_{22} & \dots & \chi_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & \chi_{n1} & \chi_{n2} & \dots & \chi_{nk} \end{pmatrix}$$

则式(1-4)可以表示为:

$$\begin{cases} \mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \\ \boldsymbol{\varepsilon} = N_n(0, \sigma^2 \mathbf{I}_n) \end{cases} \quad (1-5)$$

式(1-5)就是通常所说的线性模型,式中 $\mathbf{X}$ 是一个纯量矩阵,称为设计矩阵或结构矩阵,在回归分析中一般假设 $\mathbf{X}$ 为列满秩, $E\boldsymbol{\varepsilon} = 0$ 是 n 维零向量, $\mathbf{I}_n$ 是 n 阶单位矩阵。

设 $\boldsymbol{\beta} = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)^T$ 是 $\boldsymbol{\beta}$ 的估计量,则称:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \chi_1 + \dots + \hat{\beta}_k \chi_k \quad (1-6)$$

为多元线性回归方程,记:

$$\begin{aligned} \hat{y}_i &= \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \chi_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k \chi_{ik}, i = 1, 2, \dots, n \\ \hat{\mathbf{Y}} &= (\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_n)^T \end{aligned} \quad (1-7)$$

则:

$$\hat{Y} = X\hat{\beta} \quad (1-8)$$

残差平方和为:

$$\begin{aligned} S_E^2 &= S_E^2(\beta) = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 \chi_{i1} - \beta_2 \chi_{i2} - \cdots - \beta_k \chi_{ik})^2 \\ &= |Y - X\beta|^2 = Y^T Y - 2Y^T X\beta + \beta^T X^T X\beta \end{aligned} \quad (1-9)$$

对给定的观测数据 $(\chi_{i1}, \chi_{i2}, \dots, \chi_{ik}, y_i), i=1, 2, \dots, n$, $\hat{\beta}$ 选择为:

$$\min_{\beta} S_E^2(\beta) \quad (1-10)$$

的最优解, 因此 $\hat{\beta}$ 为:

$$\frac{\partial}{\partial \beta} S_E^2(\beta) = 0 \quad (1-11)$$

的解。由式(1-11)可得:

$$X^T Y = X^T X\beta \quad (1-12)$$

称之为正规方程。由于 $\text{rank}(X^T X) = \text{rank}(X) = k+1$, 所以 $(X^T X)^{-1}$ 存在, 故得到 β 的 LS 估计:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (1-13)$$

从而式(1-8)为:

$$\hat{Y} = X\hat{\beta} = X(X^T X)^{-1} X^T Y \quad (1-14)$$

通过对 405 组数据使用式(1-13)进行回归分析, 求得回归系数的估计值:

$$\hat{\beta}^T = (\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3) = (-84.686, 2.26, 9.437, -0.9996)$$

多元样本线性回归方程为:

$$\hat{y} = -84.686 + 2.26\chi_1 + 9.437\chi_2 - 0.9996\chi_3 \quad (1-15)$$

在此方程中 $\hat{y}$ 为动水压强 P ; χ_1 为车辆行驶速度 v ; χ_2 为道路水膜厚度 $h_{\text{水}}$; χ_3 为轮胎花纹深度 $h_{\text{胎}}$ 。因此, 式(1-15)可以改写为:

$$P = -84.686 + 2.26v + 9.437h_{\text{水}} - 0.9996h_{\text{胎}} \quad (1-16)$$

式中: P ——动水压强, kPa;

v ——行车速度, km/h;

$h_{\text{水}}$ ——道路表面径流水膜厚度, mm;

$h_{\text{胎}}$ ——轮胎花纹深度, mm。

对式(1-16)进行显著性检验, 即检验:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

为此先计算各偏差平方和: