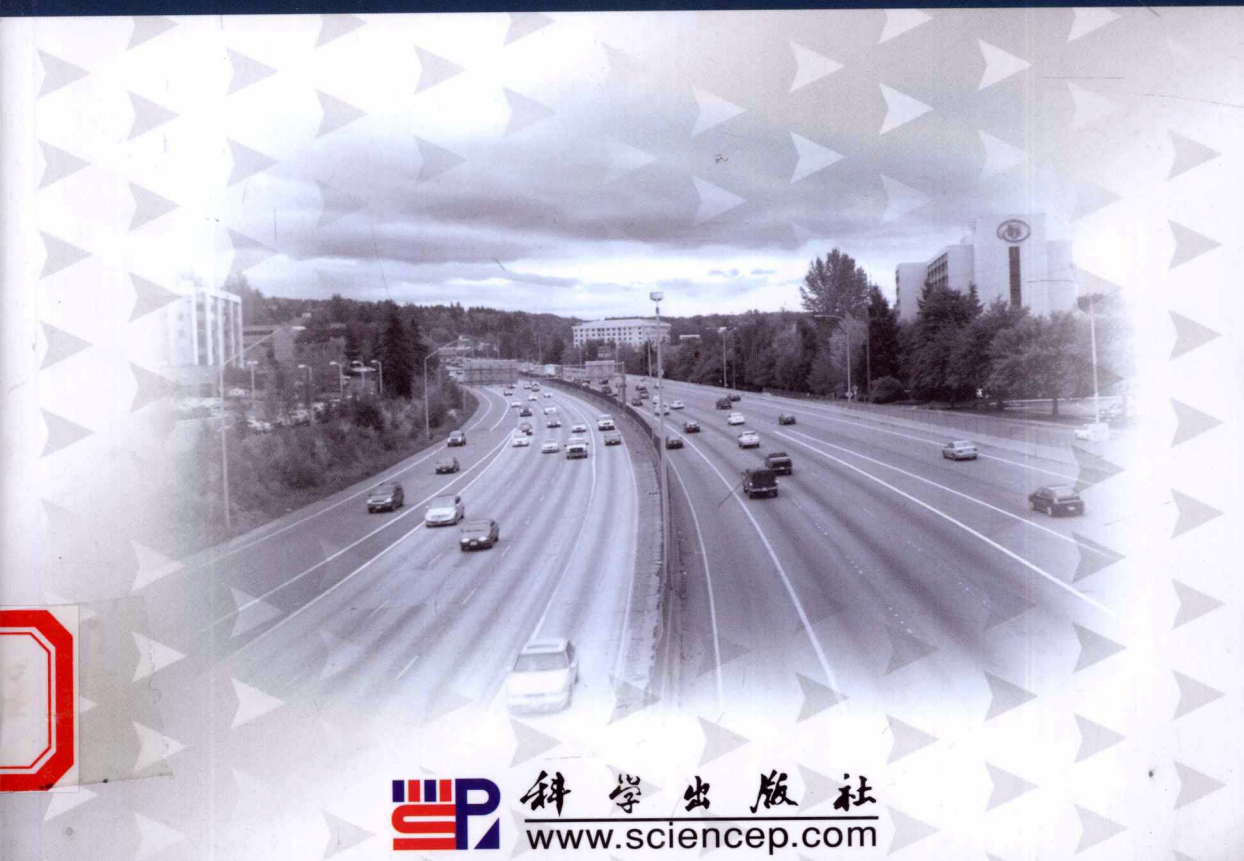


道路工程专论

张金喜 等 ◎编著



科学出版社

www.sciencep.com

道路工程专论

张金喜 等 编著

科学出版社

北 京

无
U41
Z127

前 言

道路工程具有悠久的发展史,道路工程技术水平伴随人类的生产和生活活动而进步和提高。自 19 世纪后期发明汽车、充气轮胎和碎石路面以来,道路工程建设技术从设计、施工、使用、养护和维修到路面技术状况评价,均已形成完善的理论和方法,促进了现代道路交通运输事业的发展,成为国民经济建设和发展的重要支柱。自 20 世纪 80 年代以来,我国道路事业快速发展,仅用二十多年的时间就完成了国外发达国家半个多世纪的发展历程,在道路工程建设方面,道路设计、施工和管理均形成了比较完善的理论和方法,形成了相对独立、完整、成熟的科学体系。

当前,我国道路工程学科的教学工作得到广泛开展,在交通运输工程和土木工程专业(道路工程方向)的本科生教育阶段基本完成道路勘测设计和路基路面工程的教学活动,为本科生从事道路工程领域相关工作奠定了基础。道路工程是一个庞大的体系,涉及道路工程的设计理论、设计方法、施工方法、道路建筑材料、道路病害和处治、路面养护和管理等,这些内容都是当代道路工程工作者所应具备的必要知识。但由于教学体系等客观因素的影响,目前大部分本科生课程还只限于道路勘测设计和路基路面工程,对道路工程病害与维修、路面性能评价、道路景观设计等内容介绍较少。另外,道路工程技术日新月异,新的理论、技术和方法层出不穷,道路工程技术研究也在不断地深入。对道路工程技术发展方向的把握、对不同国家技术的了解同样也是道路工程工作者必备的素质。

基于以上目的,根据我国研究生教育特点,以我国道路工程领域国家和部门的相关标准和规范为依据,参照现行教材、研究资料,编写了本研究生教材。对于本科生阶段已经讲授的内容,本教材以“为什么这么做”、“如何做”、“将来要怎么做”等为着眼点进行论述,对本科生阶段未进行系统介绍的内容,本教材同样以以上内容为着眼点进行系统介绍。此外,本教材对国内外的相关道路设计理论进行了阐述,包括编者的最新研究成果。希望读者阅读本教材后了解道路工程的过去、现状和将来,达到理论与实践、技术和方法的同步提高。

全书共 8 章,北京工业大学张金喜编写第 1、5、6、8 章及第 2 章和第 4 章的部分内容,贺玉龙编写第 7 章及第 2 章的部分内容,苗英豪编写第 3 章,魏中华编写第 4 章的部分内容,全书由张金喜统稿。

本书在编写过程中参阅了相关专著、教材和研究资料,由于条件所限,不能与原著者一一联系,引用与理解不当之处,敬请谅解。

本书是在北京工业大学研究生课程建设重点课题“道路工程专论”资助下完成的。在本书编写过程中,北京工业大学博士研究生金珊珊、王书云,硕士研究生林翔、孔静静、陈炜林、陈春珍、范猛、李爽、赵恩强、张晨等协助进行了资料的收集和分析工作。日本岩手大学工学部藤原忠司教授、美国亚利桑那州交通局李永奇博士、美国田纳西大学土木和环境工程系黄宝山副教授为本书的编写提供了大量素材。在此对为本书的出版提供帮助的部门单位和专家学者表示衷心感谢。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏及不足之处,敬请专家和学者指正,并希望有关院校师生及读者提出宝贵意见,以便及时修改完善。

作 者

2009年8月于北京工业大学

目 录

前言

第1章 道路工程发展简史	1
1.1 道路及其重要性	1
1.1.1 什么是道路	1
1.1.2 道路工程的重要作用	2
1.2 国外道路发展简史	4
1.2.1 西方古代道路	4
1.2.2 西方近代道路	5
1.3 我国道路工程发展简史	10
1.3.1 我国古代道路建设简史	10
1.3.2 我国近代道路建设简史	14
1.3.3 我国道路工程建设技术简史	16
1.4 我国道路工程发展现状及规划	21
1.4.1 我国道路发展现状	21
1.4.2 我国公路发展规划	24
1.4.3 我国道路分类、分级与技术标准	27
1.4.4 我国道路建设存在的问题	33
参考文献	35
第2章 道路线形设计理论与方法	36
2.1 道路线形设计概述	36
2.1.1 道路线形的定义	36
2.1.2 道路线形设计的一般注意事项	36
2.1.3 道路线形设计理论的发展	38
2.2 汽车行驶基本理论	39
2.2.1 汽车行驶的动力分析	39
2.2.2 汽车的行驶条件	42
2.2.3 汽车的行驶稳定性	42
2.2.4 汽车的制动性	45
2.3 道路线形设计的主要控制参数	47
2.3.1 线形设计时的设计车辆及车辆折算	47

2.3.2	设计速度	48
2.3.3	设计交通量	50
2.3.4	服务水平与通行能力	52
2.4	道路平面线形设计	53
2.4.1	直线的最大长度	54
2.4.2	直线的最小长度	58
2.4.3	圆曲线	60
2.4.4	缓和曲线	64
2.4.5	行车视距	67
2.5	道路纵断面线形设计	72
2.5.1	纵断面设计的一般要求	72
2.5.2	竖曲线	73
2.5.3	平、纵组合设计	75
2.6	横断面设计	78
2.6.1	横断面组成	78
2.6.2	车行道宽度设计	79
2.6.3	曲线加宽	80
2.6.4	路拱及超高	81
2.6.5	路侧紧急避险车道设计	82
2.6.6	路侧安全设计	90
2.7	互通式立体交叉的设计	109
2.7.1	互通式立体交叉的组成	109
2.7.2	匝道的平面几何设计要素	110
2.7.3	互通式立体交叉的形式	111
2.7.4	加速车道设计	123
2.7.5	减速车道设计	129
2.7.6	互通式立交间距	134
	参考文献	142
第3章	路基路面设计与施工	144
3.1	设计基本参数	144
3.1.1	路基路面工程特点	144
3.1.2	道路稳定性影响因素	147
3.1.3	公路自然区划	148
3.1.4	荷载与环境因素	149
3.2	路基与排水设计	154

3.2.1 路基设计	154
3.2.2 路基排水设计	162
3.2.3 路面排水设计	165
3.3 水泥混凝土路面设计	167
3.3.1 水泥混凝土路面设计基本理论	168
3.3.2 水泥混凝土路面结构组合设计	176
3.3.3 水泥混凝土路面板厚设计	178
3.4 沥青路面设计	180
3.4.1 沥青路面设计基本理论	180
3.4.2 沥青路面结构组合设计	182
3.4.3 沥青路面厚度设计方法	188
3.5 道路工程施工	192
3.5.1 材料及组成设计	192
3.5.2 路基压实	198
3.5.3 沥青路面压实	201
3.5.4 环境条件对水泥混凝土路面施工的影响	205
参考文献	207
第4章 道路景观与多功能路面	208
4.1 道路景观设计理论	208
4.1.1 道路景观的涵义	208
4.1.2 道路景观的设计原则	210
4.1.3 道路景观发展概略	211
4.1.4 道路景观研究的基础	213
4.1.5 道路景观理论的前沿问题	216
4.2 公路景观	217
4.2.1 公路线形协调	218
4.2.2 公路景观设施	221
4.3 城市道路景观	228
4.3.1 城市道路景观分类	229
4.3.2 城市道路景观设计原则	229
4.4 旅游公路景观	233
4.4.1 旅游公路的作用	234
4.4.2 旅游公路的发展	234
4.4.3 旅游公路的特点	235
4.4.4 旅游公路的服务设施	237

4.4.5 旅游公路的规划设计要点	237
4.5 多功能路面设计	239
4.5.1 低噪声大空隙排(透)水沥青路面	239
4.5.2 彩色路面	242
4.5.3 反光路面	244
4.5.4 防滑路面	245
4.5.5 防结冰路面	246
4.5.6 温度抑制类路面	248
4.5.7 其他类型的多功能路面	251
4.6 道路景观评价	251
4.6.1 道路景观要素分析	252
4.6.2 景观指标评价体系	254
4.6.3 评价方法	255
4.7 典型案例	256
4.7.1 美国哥伦比亚河谷公路	256
4.7.2 云南思小高速公路	258
参考文献	262
第5章 道路工程病害及防治方法	263
5.1 道路病害的调查方法	263
5.1.1 道路病害调查的重要性	263
5.1.2 道路工程病害发生原因调查和分析方法	264
5.2 道路工程病害的分类及预防	269
5.2.1 路基典型病害、成因及防治	269
5.2.2 沥青混凝土路面病害	281
5.2.3 水泥混凝土路面病害	310
5.3 道路病害的处治	324
5.3.1 沥青混凝土路面病害的处治	324
5.3.2 水泥混凝土路面病害的处治	341
5.4 结论	348
参考文献	348
第6章 道路养护与技术状况评价	350
6.1 道路养护工作发展概况	350
6.1.1 中国现代公路发展的历史	350
6.1.2 道路养护工作的重要性	351
6.1.3 我国道路养护工作发展历史和现状	352

6.2 道路养护工作基本知识	354
6.2.1 道路养护工作的原则	354
6.2.2 道路养护基本要求	355
6.2.3 道路工程养护的分类与管理	356
6.2.4 道路养护工作的管理	357
6.3 道路养护技术状况评价基本规定	358
6.3.1 道路养护技术状况评价重要性	358
6.3.2 道路养护技术状况评价依据	358
6.3.3 道路养护技术状况评价体系	359
6.3.4 道路技术路况评价指标	360
6.4 城镇道路路面技术状况和养护状况评价	361
6.4.1 城镇道路养护和评价的基本规定	361
6.4.2 城镇道路路面技术状况评价	363
6.4.3 城镇道路养护状况评价	368
6.4.4 城镇道路养护状况评定实例	373
6.5 公路技术状况评定	380
6.5.1 公路技术状况评定基本规定	380
6.5.2 公路技术状况评定体系	382
6.5.3 公路路面使用性能指数	383
6.5.4 路基技术状况	387
6.5.5 桥隧构造物技术状况	387
6.5.6 沿线设施技术状况	388
6.5.7 公路技术状况综合评定	389
6.6 道路养护技术和评价技术的发展	389
6.6.1 道路预防性养护	389
6.6.2 道路养护机械	396
6.6.3 路面管理系统在路面养护中的应用	399
6.6.4 道路路面技术状况的评价方法	402
参考文献	407
附录	408
第7章 道路与交通安全	411
7.1 道路交通安全概述	411
7.1.1 交通事故的定义	412
7.1.2 交通事故的分类	413
7.1.3 交通事故调查	418

7.2 道路安全的影响因素	420
7.2.1 道路使用者的因素	421
7.2.2 车辆因素	422
7.2.3 道路因素	422
7.2.4 交通流与车辆构成的因素	435
7.2.5 环境因素	437
7.3 道路交通安全评价	438
7.3.1 道路交通事故评价指标	438
7.3.2 交通事故预测	439
7.4 提高道路交通安全的对策	446
7.4.1 健全交通法制,加强交通执法力度	446
7.4.2 加强交通安全教育	446
7.4.3 增进车辆主动安全	449
7.4.4 增进路侧交通安全	449
7.5 道路事故经济损失的计量	451
7.5.1 交通事故损失的研究方法	451
7.5.2 事故综合经济损失计量模型简介	453
参考文献	458
第8章 国外沥青路面设计方法简介	459
8.1 沥青路面设计方法概述	459
8.2 日本沥青路面设计方法简介	461
8.2.1 日本道路设计简介	461
8.2.2 日本沥青路面设计参数	462
8.2.3 经验设计方法——TA法	464
8.2.4 理论设计方法	468
8.3 美国主要沥青路面设计方法	476
8.3.1 AASHTO 1986/1993 设计方法	476
8.3.2 沥青协会设计方法	481
8.3.3 NCHRP 1-37A 设计方法	483
8.4 柔性路面设计方法的发展动态	489
8.4.1 Superpave	490
8.4.2 长寿命沥青路面	492
参考文献	493

第1章 道路工程发展简史

1.1 道路及其重要性

1.1.1 什么是道路

我国著名的革命家、思想家和文学家鲁迅先生在他的《故乡》(1921年1月)一文中写道:“其实地上本没有路,走的人多了,也便成了路”。这句话虽然是鲁迅先生以“路”的形成方式来描述对人生理想、希望和人生出路的思考和探索,但同时也准确、科学地描述了道路的起源和发展特点。道路伴随人类生产和生活活动而产生,促进了人类社会的进步和发展,是历史文明的象征、科学进步的标志之一。

原始的道路是指由人踩踏而形成的小径。东汉训诂书《释名》解释道路为:“道,蹈也,路,露也,人所践踏而露见也”。由道路一词的起源可以看出,道路是伴随人类活动而产生的,也必会随着人类活动的扩大而扩大,随着人类生产和生活活动的改变而改变。在远古的尧舜时代,道路曾被称作“康衢”。西周时期,人们曾把可通行三辆马车的地方称作“路”,可通行两辆马车的地方称作“道”,可通行一辆马车的地方称作“途”。“𡵚[zhen 枕]”是老牛车行的路,“径”是仅能走牛、马的乡间小道。秦始皇统一中国后,“车同轨”,兴路政,最宽敞的道路称为驰道,即天子驰车之道。唐朝时筑路五万里,称为驿道。后来,元朝将路称作“大道”,清朝按不同等级称道路为“官马大路”、“大路”、“小路”等。

1902年中国开始有了两辆汽车,作为稀有之物只供统治者玩赏之用。北洋政府时期(1912~1927年)现代公路建设处于萌芽状态,而“公路”一词的出现,有据可考者,是1920年广东省成立“公路处”,以后各地相继沿用,其词的来源是由外文“public road”翻译而来,至今被我国作为标准用语普遍采用。罗马帝国时代修建的罗马大道网,以29条主干道为主,全长约660km,修建的道路路面高于地面,主要干道平均高出地面2m左右,以利瞭望保障行车安全,因此,成为现代英语所袭用的“highway”一词的来源。汽车发明后,汽车性能不断改善,在速度、安全和舒适方面提出了更高的要求,原来的道路条件已不能适应形势的发展,因而高速公路开始出现,在英国称“motorway”,美国称“freeway”,德国称“Autobahn”,日本称“高速道路”。自第二次世界大战以来,高速公路已成为公路现代化的重要标志。

现代意义上的“道路”包括公路和城市道路等不同的类型。据史料记载,大致在周朝(公元前 11~前 5 世纪)时期,政府管理者已经把道路分为市区和郊区部分,前者称为“国中”,后者称为“鄙野”,分别由名为“匠人”和“遂人”的官吏进行管理,可以说是现代城市道路和公路划分的先祖。城市道路的规划分为“经、纬、环、野”四种,南北之道为经,东西之道为纬,都城中有九经九纬,呈棋盘形,围城为环,出城为野。郊外道路分为路、道、涂、畛、径五个等级。历经秦、汉、唐、宋、元、明、清各代,城市道路的功能和建设标准更加明确,出现了街、巷、坊、弄、胡同等具有城市道路特点的道路名称。唐朝长安城内有 11 条南北大街,14 条东西大街,把全城划分为一百多个整齐的坊市。皇城中间的南北大街称为承天门大街,宽 441m,视野开阔。连接 12 座城门的有 6 条大街。到了宋和辽金时期,在城市道路建设与交通管理方面,实现了街和市的有机结合。城内大道两旁,第一次成为百业汇聚之区。北宋的都城汴京,中心街道称作御街,宽 200 步,路两边是御廊。北宋政府改变了周、秦、汉、唐时期居民不得向大街开门、不得在指定的市坊以外从事买卖活动的旧规矩,允许市民在御廊开店设铺和沿街做买卖。为活跃经济文化生活,还放宽了宵禁,城门关得很晚,开得很早。御街上每隔两三百步设一个军巡铺,铺中的防隅巡警白天维持交通秩序,疏导人流、车流;夜间警卫官府商宅,防盗、防火,防止意外事故发生。

因此,道路是人类社会发展的产物,是社会进步和发展的基础和垫脚石,道路技术的发展和进步改善了人类的生产和生活环境,提高了人类生活质量,极大地促进了人类社会的进步。科学技术的进步是道路工程技术进步的原动力,道路工程及其技术的产生和发展有其自身的规律,采用先进的科学技术发展道路工程,可以为人类社会的发展做出更大的贡献。

1.1.2 道路工程的重要作用

道路是人类社会发展和进步的垫脚石,这充分说明了道路工程在人类社会发展中的重要作用。历史上也不乏因为道路建设的发展或缺失而导致社会变革的例子。

战国时期(公元前 475~前 221 年),各国之间车战频仍、交往繁忙,道路的作用显得日益重要,甚至一国道路的好坏,成为其兴亡的征兆。《国语》载有东周单子经过陈国时,看见其国道路失修,河川无桥梁,旅舍无人管理,预言其国必亡,后来果然应验。

秦蜀之间修建金牛道的故事也说明了道路建设的重要作用。在秦朝之前,四川还没有通往外界的比较像样的陆路通道。战国后期,秦国日益强大,南攻蜀国,东击巴国,出三峡以图楚国。巴、蜀沃野千里,物产富饶,秦垂涎已久。但蜀有剑门之险,巴有江河之阻,道路崎岖,运输艰难,征伐很不容易。后来,秦惠文王采纳大

将司巴错的计策,诈言秦得天降石牛,夜能粪金,秦王写信给蜀王愿与蜀国友邻,馈赠宝物石牛给蜀王,请开道迎接回去。蜀王开明氏素性贪欲,便派大量劳工在大、小剑山、五丁峡一带峭壁处,日夜劈山破石凿险开路,以便进入秦国迎回石牛。秦国等蜀国开通道路后,就暗派大军长驱直入,蜀国由于开凿蜀道耗费巨大的财力和人力,国力下降,加上对秦国没有防备,前线军队又寡不敌众,在葭萌一战中大败,蜀国随之灭亡。

周朝之后,直至元、明、清各代,道路交通网络的建设在巩固国防、加强统治、对外经济交往、民族和国家间的交流等各方面具有举足轻重的作用。周道沿途地区不仅是周、秦、汉、唐的政治经济文化重心,而且在以后的宋、元、明、清时期,以周道为轴线的交通线仍然是横贯东西的大动脉,在我国经济文化发展的历史上起到了奠基性的作用。

秦始皇统一中国后,实现了“车同轨”,把过去错杂的交通路线加以整修和连接,修筑了以驰道为主的全国交通干线,加强了对各国的统治,建立了比较稳定的、统一的封建政权。汉朝时开辟的“丝绸之路”,东以长安(今西安)为起点,沿渭水西行,过了黄土高原,通过河西走廊到达敦煌。由敦煌西行分成南、北两条道路,经过阿富汗、伊朗和中亚诸国,再过地中海,最后到达丝绸之路的终点——古罗马的首都罗马城和意大利的威尼斯。陆上丝绸之路这条国际通道的开辟,有着极为深远的意义。它经过中亚、西亚,可与东南欧及北非的交通线相衔接,构成了世界性的东西大商道。不仅在两汉时期,而且在唐、宋、元、明时期,它始终发挥着重要作用,成为古代东、西方文明联系的主要纽带。

唐、宋、元、明各时期均在过去的道路建设基础上有所提高。元、明、清时期建成了以北京为中心的、稠密的驿路交通网。驿路干线辐射到全国的四面八方。特别是元代,其地域辽阔,综合拓展了汉唐以来的大陆交通网,进一步覆盖了亚洲大陆的广阔地区,包括阿拉伯半岛。同汉唐时期的丝绸之路比较起来,元、明道路规模更大,效率更高,发挥着更为直接的重要作用。

清朝是我国最后一个封建王朝,奠定了近代中国的基本疆域。虽然,就交通工具、交通设施、交通动力、交通管理来说,比起以前朝代,除了量的变化外,没有什么质的突破,但是经过清朝政府的多次整顿,全国道路布局比以往任何时候都更加合理而有效。清朝建设了“官马大路”、“大路”、“小路”等不同等级的道路,从而形成了以“官马大道”为主干,由官马北路系统、官马西路系统、官马南路系统和官马东路系统组成的全国道路交通网络。这些道路交通网络系统的建立,在开发清代北疆、捍卫我国北部边疆、对外经济和文化交流、巩固清朝统治等方面发挥了重要的战略作用。清政府通过这些道路,实现了对全国各省、各市、各县、各乡镇乃至自然村落的政治和经济的统治,全国各地各民族人民也通过这个庞大的道路交通网络,实现了经济、文化等各方面的交流。

随着运输工具的现代化和人们交往的日益扩大,道路交通的作用更加重要。道路是人们生活、学习、工作、旅游等出行的通道,是旅客、货物中转和集散的最主要途径。道路是城乡结构的骨架,是城市建设的基础。道路又是抵御自然灾害的通道,是在自然灾害和战争时人员集散的场地。总之,道路是社会发展的基础产业,是经济发展的先行设施,在工农业生产、国土开发、国防建设、旅游事业等国民经济和社会发展各个方面发挥了举足轻重的作用。

1.2 国外道路发展简史

1.2.1 西方古代道路

公元前 1900 年前,亚述帝国曾修筑了从巴比伦辐射出的道路,今天在巴格达和伊斯法罕之间仍留有遗迹。传说非洲古国迦太基人(公元前 600~前 14 年)曾首先修筑有路面的道路,后来为罗马所沿用。

罗马帝国大修道路对维护帝国的兴盛起到了很大的作用。由首都罗马通过修建道路和意大利、英国、法国、西班牙、德国、小亚西亚部分地区、阿拉伯及非洲北部连成整体,以维持在该地区的统治地位;并把这些区域分成 13 个省,有 322 条联络干道,总长度达 78000km(52964 罗马里)。罗马大道网以 29 条主干道为主,其中最著名的一条是由罗马东南方向越过亚平宁山脉通往布林迪西的阿庇乌大道(亦译亚平大道),全长约 660km,开始兴建于公元前 400 年前后,用了 68 年的时间,完成后起到沟通罗马与非洲北部和远东地区的作用。罗马大道常常不顾地形的艰险,恒以直线相连,工程浩大,至今尚留有隧道、桥梁、挡土墙的遗迹(图 1.1)。其中若干主要军用大道宽达 11~12m,中间部分宽 3.7~4.9m,用硬质材料铺砌成路面,以供步兵使用,两边填筑了高于路面的宽约 0.6m 的堤道,可能是为军官指挥之用,外侧每边尚有 2.4m 宽的骑兵道。其施工方法是先开挖路槽,然后分四层用不同大小的石料并用泥浆或灰浆砌筑,总厚度达 1m。路面的式样也不尽相同,较高级的阿庇乌大道,曾用自 160km 以外运来的边长 1~1.5m 的不整齐石板,镶砌于灰浆之中。有些道路是用大理石方块或用厚约 18cm 的琢石铺砌。罗马帝国的道路建设之所以有如此辉煌的成就,主要原因之一在于统治者的重视,道路的主持者是高级官吏,道路的最高监督有至高的权威和荣誉,如恺撒(公元前 102 或公元前 100~前 44 年)是第一个任此职者,从此以后只有执政官级别的人才有资格充当。正因为道路建设对罗马帝国的兴盛起着很大的作用,罗马人修建了凯旋门,纪念诸如恺撒、图拉真等的筑路功绩。随着罗马帝国的衰亡,道路建设也随之衰落。可以说,国家的兴衰和道路的状况有着密切的联系。

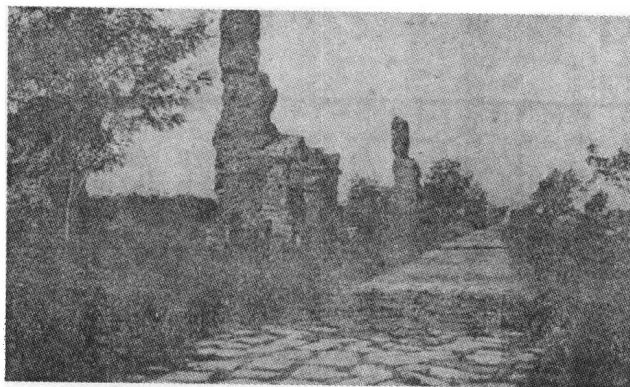


图 1.1 古罗马人建造的道路遗迹

1.2.2 西方近代道路

首先用科学方法改善道路施工的是拿破仑时代法国工程师特雷萨盖,由于他的努力,筑路技术向科学化和近代化迈出了第一步。他曾于1764年发表新的筑路方法,10年后在法国获得普遍采用,主要特点是减小了路面的厚度,底层用较大的石料竖向铺筑,用重夯夯实;其上同样铺成第二层后,再用重夯夯实并将小石块填满大孔隙;最上层撒铺坚硬的碎石,罩面形成有拱度的厚约7.5cm的面层。他重视养护,被认为是首先主张建立道路养护系统的人,在他的影响下,法国的筑路精神重新受到了鼓舞。这使得法国在拿破仑当政期间(1804~1814年),建成了著名的法国道路网。因而当时法国尊称特雷萨盖为现代道路建设之父。

英国的苏格兰工程师特尔福德于1815年修建道路时,采用一层式大石块基础的路面结构,即先将路基做成拱形,用厚15~20cm(6~8in^①)、宽13~25cm(5~10in)、长13~38cm(5~15in)的大石块铺砌在路基上,用铁锤将小石块打入石块之间,然后摊铺薄碎石层并用12t以上滚压机压实。最后摊铺7.5cm(3in)以上的碎石层,用滚压机压实并撒铺石屑作为道路面层。该种结构宜用于软基道路。图1.2为特尔福德式路面结构形式示意图。

1816年,英国的另一位苏格兰工程师马卡丹对碎石路面作了认真的研究,认为路面损坏的原因主要是选用材料不良,准备工作不够,铺筑工艺欠精及设计不合理等。他主张取消特尔福德所发明的笨重的大石块基础而代之以小尺寸的碎石材料,用两层10cm厚的7.5cm大小的碎石,上铺一层2.5cm的碎石作为面层获得成功,因而今天仍将这种碎石路面称为马卡丹路面。他首先科学地阐述了路面结构

^① 1in=2.54cm,下同。

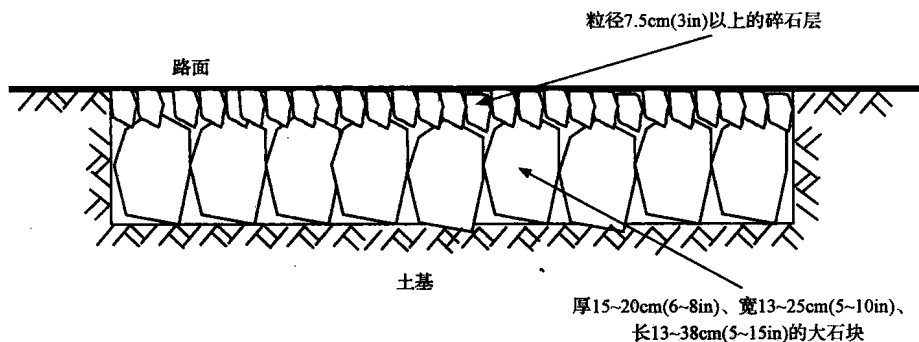


图 1.2 特爾福德式路面結構形式示意圖

的两个基本原则,至今仍为道路工作者所肯定:一是道路承受交通荷载的能力主要依靠天然土路基,并强调土路基要具备良好的排水条件,当它经常处于干燥条件时,才能承受重载而不致发生沉降;二是用有棱角的碎石,互相咬紧锁结成为整体,形成坚固的路面。根据当时的交通情况,路面的厚度一般小于 25cm 即可适用。与罗马时代的路面厚度相比较减小了 3/4,节约了大量的人力和材料。路面施工的压实主要依靠车辆,并经常用工具整平,直到路面坚实为止。因此,路面的成型需要较长的时间,而生产碎石在当时造价较高。1858 年发明了轧石机后,促进了碎石路面的发展,后来又用马拉的滚筒进行压实工作。1860 年在法国出现了蒸汽压路机,进一步促进并改善了碎石路面的施工技术和质量,加快了进度。在 20 世纪初,碎石路面被公认为是最优良的路面而推广于全球。马卡丹还为汽车时代交通与道路的关系提出了正确的见解。他认为,道路的建设应该适应交通的发展,而不应该为了维持落后的道路而限制交通。这个主张为以后公路的发展起到很大的作用。1883 年戴姆勒和 1885 年本茨分别发明了汽车,1888 年邓洛普发明充气轮胎,加上马卡丹的碎石路面,成为近代道路交通的三大支柱。与此同时,特爾福德以道路工程师的身份首先创办了土木工程师学会,并终身担任主席,发展成为国际上群众性学术团体。图 1.3 为马卡丹式路面結構形式示意圖。

进入 20 世纪,道路建设材料、施工机械和施工技术均有巨大进步,除沙土路、卵石路、碎石路、三合土路、块石路、砖路、木块路等路面外,各种形式的沥青路面开始应用。由于沥青材料、施工设备、混合料技术等方面的限制,当时的沥青路面均为简单的沥青处置路面。下面介绍几种沥青处治路面。

1. 沥青氈路面

由于碎石路面易产生尘土飞扬等问题,20 世纪初采用了称为“沥青氈路面”的技术。使用地沥青、柏油等黏结料,将加热的黏结料用压力洒布机洒布于已经整

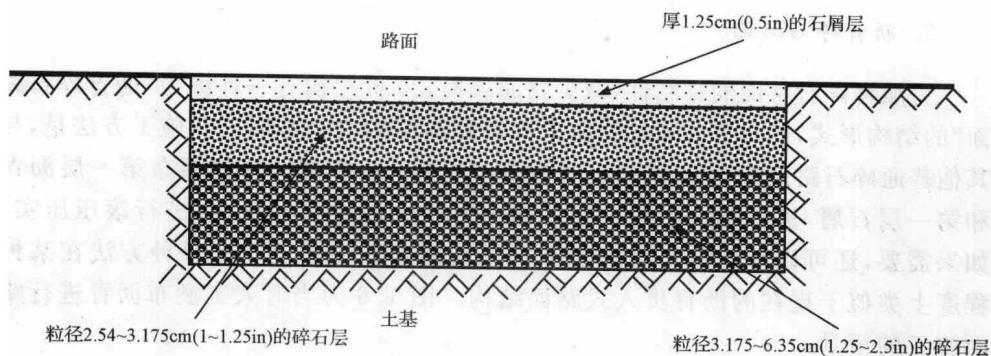


图 1.3 马卡丹式路面结构形式示意图

平、压实且干燥的碎石路面上,用刷子刷匀,静置 3d 凝固后在其上撒铺砂或石屑,以防止沥青黏结到车轮上。该种路面使用寿命短,一般一年需要翻修一次,交通量大时需要半年翻修一次。图 1.4 为 20 世纪初使用的路面清扫机,图 1.5 为 20 世纪初使用的沥青洒布机。

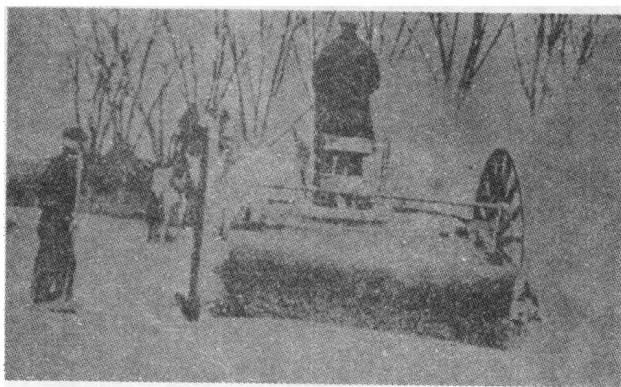


图 1.4 20 世纪初使用的路面清扫机

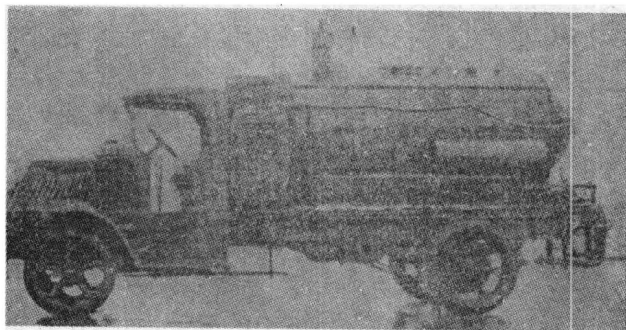


图 1.5 20 世纪初使用的沥青洒布机