

公路水泥混凝土路面施工技术规范

Technical Specification for Construction of
Highway Cement Concrete Pavements

(JTG F30—2003)

实施与应用指南

Enforcement & Application Guideline

傅 智 李 红 编著



人民交通出版社

China Communications Press

公路水泥混凝土路面施工技术规范

Technical Specification for Construction of
Highway Cement Concrete Pavements

(JTG F30—2003)

实施与应用指南

Enforcement & Application Guideline

傅智 李红 编著

人民交通出版社

2003年6月

内 容 提 要

本指南主要内容为:对《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30—2003)条文的编制理由、定量技术指标的研究出处进行解释,在执行规范条文时应注意的事项、技术细节及以往的经验教训,为方便使用规范补充的有关技术资料等。全书分 13 章,其中 12 章与规范的各章节完全对应,此外,增加了砌块路面 1 章。

本指南适用于从事水泥混凝土路面施工科研、教学和广大工程技术人员学习应用规范时参考

图书在版编目 (C I P) 数据

公路水泥混凝土路面施工技术规范实施与应用指南/
傅智,李红编著. —北京:人民交通出版社,2003.8
ISBN 7-114-04788-6

I. 公… II. ①傅…②李… III. 水泥混凝土路面
—道路工程—施工技术—规范—中国
IV. U416.216.04-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 073493 号

公路水泥混凝土路面施工技术规范

(JTG F30—2003)

实施与应用指南

傅 智 李 红 编著

正文设计:彭小秋 责任校对:宿秀英 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64299025)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:880×1230 1/16 印张:18.75 字数:563 千

2003 年 8 月 第 1 版

2003 年 10 月 第 1 版 第 2 次印刷

印数:4001~9000 册 定价:44.00 元

ISBN 7-114-04788-6

前 言

公路高级路面有两种主要材料和结构形式,一种是沥青混凝土路面(又称柔性或黑色路面);另一种为水泥混凝土路面(又称刚性或白色路面)。这两种路面具有各自的技术特性和优缺点。选用哪种路面材料和结构来铺筑公路高级路面,世界各国因国情不同,选择的依据不尽相同,发展模式也不一样,即使同一国家,不同地区亦可能有所差异。除自然条件外,最主要的是取决于该国或地区的水泥和沥青资源情况及其价格。在水泥产量丰富、价格低廉的国家和地区,往往是以发展水泥混凝土路面为主;而在石油工业发达、沥青产量较多且价格较低的国家和地区,则多是发展沥青混凝土路面。我国沥青资源相对匮乏,发展沥青混凝土路面,需大量进口沥青,受资源条件约束较严重;但我国的水泥资源丰富,年产量居世界第一,发展水泥混凝土路面,可立足国内,拉动内需,高等级公路采用水泥路面造价相对也较低。这就决定了我国公路高级路面的发展必须走以发展水泥路面为主的路子,这也是加快我国公路高级路面建设,提高公路高级路面铺装率,促进公路高级路面发展行之有效的途径。

鉴于此,交通部从 20 世纪 80 年代初,就积极开展水泥混凝土路面的推广工作,从政策、技术和投资等多方面扶持水泥混凝土路面的科研、设计、施工与建设。经过 23 年的努力,我国水泥混凝土路面由 1980 年的 1 600km,2000 年的 118 576km,发展到 2003 年的 167 517km。23 年当中,水泥混凝土路面建设里程增长了 104.7 倍,平均年增长率 22.4%,截至 2002 年底,我国水泥混凝土和沥青混凝土两种高级路面的总里程为 288 644km,其中,水泥混凝土路面占 58%。目前,中国已经成为当今世界上拥有水泥混凝土路面里程最多的国家之一。在全面展开的县乡公路建设高潮中,预计我国水泥混凝土路面将得到更加迅猛的发展。

我们在加快发展的同时,一直在为提高水泥路面的质量和使用寿命进行不懈的努力。如有针对性地组织科技攻关,不断完善设计理论与方法、强化施工组织与管理,积极采用新技术、新工艺、新设备,以保证水泥混凝土路面有足够的强度、稳定性、抗滑性、耐久性和平整度。这些措施为我国公路水泥混凝土路面的健康发展起到了重要作用。

交通部公路科学研究所研究员傅智博士(《公路水泥混凝土路面施工技术规范》的主要起草人之一)与北京建筑工程学院李红副教授为配合《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30—2003)的颁布实施,在总结我国多年来的水泥混凝土路面施工科研和工程经验的基础上,适时地编写了这本《公路水泥混凝土路面施工技术规范实施与应用指南》,对该施工技术规范的具体应用进行了较为详细的阐述、说明和宣贯。这对于从事水泥混凝土路面科研、教学和实际工程的广大工程技术人员正确理解规范条文,把握运用尺度,具有现实意义和指导作用,对提高我国公路水泥混凝土路面施工技术水平和工程质量,亦是

一本有价值的参考书。借此机会,希望有更多的公路科技工作者,对于公路建设中所遇到的技术问题能及时总结,并从理论的高度予以分析,以进一步推动公路技术向前发展。

A handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '杨', '显', and '杨'.

2003年5月28日

前言

中华人民共和国交通行业标准《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30—2003)已经于2003年3月28日发布,并于2003年7月1日实施。为配合该规范的宣贯和实施,交通部公路科学研究所研究员傅智博士(该规范主编)与北京建筑工程学院李红副教授共同编写了这部《公路水泥混凝土路面施工技术规范实施与应用指南》。该书是一部专门为从事水泥混凝土路面建设、施工、监理和质检等部门和单位的工程技术人员、管理人员提供的新规范实施细则的参考工具书。

自20世纪90年代以来,我国水泥混凝土路面以前所未有的速度迅速发展,1990年,我国建成的水泥混凝土路面仅11 373km,到2002年底,我国已经建成水泥混凝土路面为167 517km,增长了14.7倍,13年中净增156 144km,13年的平均增长率为25.12%,截至2002年底,我国水泥混凝土和沥青两种高级路面的总里程为288 644km,其中,水泥混凝土路面占58%。目前,水泥混凝土路面每年的修建规模超过25 000km,中国水泥混凝土路面建设里程位居世界第二。

2003年3月全国交通工作会议期间,交通部提出“让农民兄弟走上水泥路和沥青路”,具体举措是在今后的5年里国家将投入900亿元,建设县乡、乡镇与农村公路,其中,2003年落实的计划是完成17.6万km。按照我国的资源状况,县乡公路要因地制宜,更多地采用水泥混凝土路面来建设。预计今后我国的水泥混凝土路面的建设规模将会得到更加迅猛的发展。

但从1987~2003年,16年来,我国一直执行的是《水泥混凝土路面施工与验收规范》(GBJ 97—87)。20世纪90年代中期进行了修订,但未能发布执行。众所周知,1987年发布的规范仅有小型机具水泥混凝土路面施工工艺,在技术上是相当原始的。16年以来,水泥混凝土路面施工技术在交通部、国家计委、国家经贸委、建设部等部委的领导和支持下,大、中型机械化施工工艺和技术,如滑模摊铺、轨道摊铺、碾压施工、三辊轴机组等技术取得了巨大的实质性进步,而且已经在我国高速公路、一级公路和二级公路的水泥混凝土路面铺筑施工中得到了广泛应用,使我国的水泥混凝土路面施工质量和技术水平得到了稳步提高,积累了丰富的施工经验;另一方面,我国所使用的水泥混凝土路面面层结构形式越来越丰富,水泥混凝土路面适应范围越来越广,如缩缝设传力杆的水泥混凝土路面、钢筋水泥混凝土路面、连续配筋水泥混凝土路面及桥面、钢纤维混凝土路面、双钢混凝土桥面等均已得到大规模采用,这些新型水泥混凝土路面的结构设计与机械化施工技术也已经逐步成熟。新发布的水泥混凝土路面施工规范不仅路面结构形式比1987年规范丰富得多,而且在施工工艺上也先进得多。

针对水泥混凝土路面高速发展和以往施工规范严重滞后于生产实际的现状,交通部发布并实施了《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30—2003)。在人民交通出版社出版并发行该规范的同时,编写这部《公路水泥混凝土路面施工技术规范实施与应用指南》,系统全面地总结了近20年来我国大规模水泥混凝土路面建设与养护的经验和教训,

为水泥混凝土路面建设者提供更详细、具体的施工实施细则指导,使水泥混凝土路面工程的施工,从一门粗放的、经验的、劳动强度极大的手工与小型机具修筑工艺技术,提高为一项依托现代高新机械装备、混凝土材料科学、路面科学及工程经济学等多学科交叉融合的科学体系、自动化系统的专门精湛技艺。在深入探究和实施每项工艺环节中的各个施工操作与控制的细节上下功夫,从而达到切实提高水泥混凝土路面施工技术水平和工程质量,减少早期破损与维修,实现我国水泥混凝土路面的可持续发展。这部《公路水泥混凝土路面施工技术规范实施与应用指南》的出版不仅是十分必要的,而且也是目前我国公路工程建设所急需的。

我们编制本实施与应用指南的目的,首先,是为了使我国广大工程技术人员摆脱 16 年来一直执行的老规范的束缚,便于大家在执行新规范的工程中,逐步掌握新规范中涉及的新材料、新结构、新工艺和新方法的各个实施细节,在此基础上,深入钻研施工细节,有所发展和提高,并不断取得更多的技术进步与创新。期待新施工规范和本指南的执行,不仅能够满足我国更大规模水泥混凝土路面建造高速发展的生产实际急需,而且使我国按新规范建造的水泥混凝土路面的施工质量、使用年限真正迈上一个更新、更高的技术台阶。明显减少早期破损和维修,为公路运输车辆和客户提供更加优质的服务。只要能够将新建水泥混凝土路面的使用年限和维修期切实延长有限的几年,全国就可取得极其巨大的公路交通运输效益和社会经济效益。

本实施与应用指南全面系统地总结了我国近 10 多年来,在水泥混凝土路面施工技术方面所使用的先进机械装备、新材料、新工艺、新技术和新经验。全书分为 13 章,其中 12 章与施工规范的各章节完全对应,此外,增加了砌块路面一章,主要是为了满足我国大量的二、三、四级公路及县乡公路建设的实际建设需要。手工拼装的砌块路面平整度不高,舒适性欠佳,虽在高等级公路上受到一定限制,但在三、四级公路与县乡公路上,车速较低,砌块路面将有较大的发展空间。砌块路面的内容按施工规范的送审稿编写,主要参考了建设部《联锁型路面砖路面施工及验收规程》(CJJ 79—98)。

本指南主要内容有:对规范条文的编制理由、定量技术指标的研究出处进行解释,在执行规范条文时应注意的事项、技术细节及以往的经验教训,为方便使用规范补充的有关技术资料或重要的论文等。

该规范的主要起草人:傅智,刘清泉,牛开民,喻波,梁军林,徐家绛,杨泽涛。

本指南的主编:傅智;为进行大量的文字整理工作,特聘请北京建筑工程学院副教授李红为副主编,编制初稿,该规范的全体编写人员均为本指南的编者。

特别说明:本指南基本按规范的章、节、条的顺序编写,规范条文序号不变,用楷体字示出,编者阐述内容列在规范条文之后,用宋体字示出,重要的技术文献编写在最后,用楷体字示出。

本指南在编写过程中参考了部分文献资料,编者对文献作者的工作业绩和学术成就表示钦佩,在此向他们表示感谢!

由于编著者的水平有限,加之水泥混凝土路面施工新技术发展很快,本书对全国各地成功经验的总结亦不尽全面,疏漏和错误在所难免,恳请各位工程技术人员与读者批评指正!

编著者

2003 年 5 月 28 日

目 次

1 总则	1
2 术语	22
3 原材料技术要求	24
3.1 水泥	24
3.2 粉煤灰及其他掺合料	33
3.3 粗集料	36
3.4 细集料	44
3.5 水	50
3.6 外加剂	50
3.7 钢筋	57
3.8 钢纤维	60
3.9 接缝材料	63
3.10 其他材料	68
4 混凝土配合比	74
4.1 普通混凝土配合比设计	74
4.2 钢纤维混凝土配合比设计	86
4.3 碾压混凝土配合比设计	94
4.4 贫混凝土配合比设计	100
4.5 配合比确定与调整	105
5 施工准备	108
5.1 施工机械选择	108
5.2 施工组织	110
5.3 搅拌场设置	112
5.4 摊铺前材料与设备检查	114
5.5 路基、基层和封层的检测与修整	116
5.6 贫混凝土基层铺筑与质量检验	128
6 混凝土拌合物搅拌和运输	135
6.1 搅拌设备	135
6.2 拌和技术要求	136
6.3 运输车辆	141
6.4 运输技术要求	142
7 混凝土面层铺筑	145
7.1 滑模机械铺筑	145
7.2 模板及其架设与拆除	160
7.3 三辊轴机组铺筑	164
7.4 轨道摊铺机铺筑	171
7.5 小型机具铺筑	173
7.6 碾压混凝土面层施工	180
8 钢筋及钢纤维混凝土路面和桥面铺筑	192

8.1	钢筋混凝土路面铺筑	192
8.2	钢筋混凝土桥面铺装	203
8.3	钢纤维混凝土路面和桥面铺筑	212
9	混凝土砌块路面施工	216
9.1	适用场合及施工方式选择	216
9.2	砌块路面材料	216
9.3	砌块路面路缘基座施工	220
9.4	砂垫层施工	221
9.5	砌块路面铺砌	221
9.6	砌块路面施工质量检验和检查验收	223
10	面层接缝、抗滑与养生	226
10.1	接缝施工	226
10.2	抗滑构造施工	237
10.3	混凝土路面养生	240
11	特殊气候条件下的施工	243
11.1	一般规定	243
11.2	雨季施工	243
11.3	风天施工	244
11.4	高温季节施工	246
11.5	低温季节施工	247
12	施工质量检查与验收	249
12.1	一般规定	249
12.2	铺筑试验路段	249
12.3	施工质量管理与检查	251
12.4	交工质量检查验收	255
12.5	工程施工总结	257
13	安全生产及施工环保	258
13.1	一般规定	258
13.2	安全生产	258
13.3	施工环境保护	260
附录 A	施工质量管理方法	262
A.1	混凝土弯拉强度评定方法	262
A.2	施工质量动态管理方法	262
附录 B	亚甲蓝 MB 值测定方法	265
B.1	试验目的	265
B.2	含泥量测定	265
B.3	石粉含量测定	265
附录 C	混凝土与钢筋握裹力试验方法	268
附录 D	钢纤维混凝土试验方法	270
D.1	钢纤维混凝土弯曲韧性和弯曲初裂强度试验	270
D.2	拌合物钢纤维体积率试验	272
附录 E	真空脱水混凝土试验方法	273
E.1	真空脱水混凝土强度试件成型方法	273
E.2	混凝土拌合物真空脱水率测定	274
附录 F	混凝土抗冻性现场测试方法	275

F.1 取芯法测定混凝土抗冻性	275
F.2 取芯法测定混凝土气泡参数	275
附录 G 本规范用词说明	278
参考文献	279
一、标准规范	279
二、著作	280
三、研究报告	282
四、论文	282
致谢	285

1 总 则

1.0.1 为适应公路建设和交通运输发展的需要,提高我国公路水泥混凝土路面(简称混凝土路面)工程的施工技术水平,保证其施工质量,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于采用滑模摊铺机、轨道摊铺机、三辊轴机组、小型机具施工的各级新建或改建公路混凝土路面工程,也适用于采用沥青摊铺机摊铺的碾压混凝土路面工程。

1.0.3 混凝土路面的施工应根据合同及设计文件、施工现场所处的气候、水文、地形等环境条件,选择满足质量指标要求、性能稳定的原材料,确定配合比、设备种类和施工工艺,进行详细的施工组织设计,建立完备的施工质量保障体系。

1.0.4 混凝土路面施工应积极采用新材料、新装备、新工艺和新技术,不断提高混凝土路面工程质量和施工技术水平。

1.0.5 混凝土路面施工除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

在总则一章中编者首先对条文进行必要的解释,然后,补充一些国内、外的基本状况资料,使读者对于国内、外水泥混凝土路面发展的基本情况有概略的了解,目的是阐明编制本规范对我国公路建设的重要性、必要性及紧迫性。同时,对编制本实施指南的重要性和意义有更加充分的了解,使大家在大规模水泥混凝土路面工程建设中,更加自觉地宣贯和实现本规范的技术意图,切实使我国水泥混凝土路面的施工质量和使用年限迈上一个更高的台阶。

☆ 条文内涵的解释

1.0.1 编制本规范的目的

编制本规范的目的是提高我国公路水泥混凝土路面工程的施工技术水平,保证水泥混凝土路面工程的施工质量及运营的安全可靠性。运营安全性主要体现在对路面平整度及抗滑等指标的严格要求上。运营可靠性体现在此次规范的修订始终贯穿了公路工程可靠度的新标准,即按不同公路等级规定的可靠度要求来规范施工全过程,特别是对面板配制弯拉强度要求执行了可靠度新标准和新规定。

原《水泥混凝土路面施工与验收规范》(GBJ 97—87)是1987年发布执行的,至2003年已有16年没有修订过,20世纪90年代中期进行的修订,由于种种原因,未能发布执行。从水泥混凝土路面结构上看,(GBJ 97—87)中只有普通水泥混凝土路面;从施工工艺上讲,(GBJ 97—87)中只有人工加小型机具施工方式。这些均属于最传统和原始的路面结构及施工方式,已远远落后于时代和施工实践,无法适应我国高等级公路上通行的特重、重交通量及超轴载,因此,路面的使用寿命相当短,一般情况下,实际使用年限仅有设计基准期的1/3左右。尽管大家均知道水泥混凝土路面在高等级公路上的造价比沥青路面低,但由于破损后的水泥混凝土路面维修难度相当大,不少省区不敢在高速公路上大力建造水泥混凝土路面。显然,水泥混凝土路面施工规范和技术的落后在一定程度上阻碍了水泥混凝土路面的高速健康发展,因此编制此规范和实施指南是十分必要和紧迫的,也是目前工程建设所急需的。

在本规范编制期间,交通部领导十分重视,2002年初,时任交通部部长黄镇东同志在海南视察高速公路期间,明确指示主编傅智研究员,尽快编制出本规范。交通部副部长胡希捷同志,时任公路司司长冯正霖同志,副司长李彦武同志为本规范的编写作了具体的指示,公路司技术处处长成平同志和技术处杨屹东同志为本规范的编制出版做了大量细致的工作,交通部公路科学研究所各级领导也给

予了大力支持,与此同时,许多地方的同志们对此规范的编制进程也相当关注,经常询问本规范的编制进程情况,不少的工程在施工进程当中,已经试用本规范的各次稿件,并提出了很多很好的修改建议。编制组充分了解我国水泥混凝土路面建设对此新规范的急需程度和重要性,经过夜以继日、辛勤艰苦的工作和不懈的努力,总共在修改 25 稿的基础上,推出了本规范。

提高我国水泥混凝土路面的工程质量,延长水泥混凝土路面的使用年限,不仅是本规范和指南的目的,而且是我国广大公路和市政建设者的宗旨和不懈的追求目标。

1.0.2 本规范的适用范围

本规范的技术内容与其前一部规范《水泥混凝土路面施工与验收规范》(GBJ 97—87)相比,其施工工艺与路面结构内容丰富得多,复杂得多。最重要的技术内容和特色有如下两点:

(1)适用于目前国内、外水泥混凝土路面施工所采用的五大施工工艺方式:滑模摊铺、轨道摊铺、碾压施工、三辊轴机组铺筑、小型机具铺筑。

(2)包含了更加丰富多样的水泥混凝土路面新型结构形式:除(GBJ 97—87)中含有的普通水泥混凝土路面外,还包括每条缩缝设传力杆的水泥混凝土路面、钢筋混凝土路面、连续配筋混凝土路面及桥面、钢纤维混凝土路面、双钢混凝土桥面。本指南按公路工程建设的实际需要,另增加了混凝土砌块路面。

1.0.3 贯彻质量第一原则

本规范要求因地制宜地贯彻质量第一原则,主要有以下三点具体内涵:

1. 优选路面水泥混凝土原材料和配合比

以往的水泥混凝土路面施工规范对原材料、配合比和施工设备往往强调了就地取材,经济合理的原则。本次规范修订则着重强调原材料、配合比的质量指标及其稳定性,其次才是就近取材和经济合理性。这意味着材料和设备选择的指导思想有所改变。实际工程在应用这个原则时,可能会遇到远运原材料,机械设备要求提高,增加施工费用等一系列问题。尽管如此,从保障水泥混凝土路面设计基准期 30 年来看,依然应该将大宗原材料质量保障和路面混凝土配合比优化和稳定性放在首要地位,应该明确的是原材料和混凝土质量包含着工程的长远经济性。

2. 按公路等级选用能够确保工程质量的机械装备和施工工艺

本规范所编写的五大水泥混凝土路面施工工艺方式并非是等同的和并列的,其机械装备的技术水平和现代化程度有很大差别。滑模摊铺、轨道摊铺和碾压混凝土均采用的是大、中型摊铺机,而三辊轴与小型机具更多地采用了人工辅助,所施工出的水泥混凝土路面质量(弯拉强度、平整度等)也有很大差别,同时,为了适应我国各地机械装备条件、技术水平,提出按公路等级的高低正确选择相应的机械装备和施工工艺(具体规定详见第 5 章第一节),以便达到不仅适应全国各地的条件,满足不同公路等级的技术要求,逐步提升我国水泥混凝土路面施工技术水平,而且能够大幅度提高水泥混凝土路面的施工质量及其稳定性、使用年限和耐久性。

3. 建立完备的施工质量保障体系

按选定的机械设备与工艺方式编制详细的施工组织设计,建立完备的施工质量保障体系。施工组织设计必须满足所选施工机械、铺筑方式的工艺流程要求。首先,所有搅拌、运输、铺筑的机械装备的生产能力必须完整匹配,成龙配套;其次,生产指挥调度应反应及时准确、密切衔接,构成现代化施工的流水作业系统。建立完备的施工质量保障体系包括原材料进场质量检验,混凝土拌合物质量检验和路面铺筑的质量检验。同时,除施工承包商自检外,还包括监理和质检站按规定比例抽检。

1.0.4 鼓励施工技术创新

针对在目前的招投标体制下,各施工单位过分强调经济效益,而较为忽视新技术应用的现状,特编写本条。要求水泥混凝土路面建设单位、承包商应积极采用新材料、新装备、新工艺和新技术,不断提高混凝土路面工程质量和施工技术水平。

☆国内、外水泥混凝土路面发展的基本概况

一、国外水泥混凝土路面施工新技术的发展简况

1. 水泥混凝土路面发展简史

水泥混凝土路面作为一种高级刚性路面结构形式,其最早建造史可追溯到大约公元前1世纪,当罗马人偶然了解到火山灰可以作水硬性胶凝材料,使用在建筑、水利、港口工程上时,就开始应用到重要的道路和广场工程上了。这从近代的考古发掘中可得到证明。

由历史记载可知,我国混凝土路面和地坪的最早使用始于秦汉时期,从长城及一些古墓的考古发掘中见到的混凝土是以熟糯米浆和石灰作胶凝材料的,充填料是砂和河卵石,其粒料级配组成与现代水泥混凝土很接近,惟独胶凝材料不是水泥。所以,同济大学已故教授黄蕴元生前曾阐述过,中国是世界上聚合物混凝土的鼻祖。目前,在安徽省黄山市西递村尚能见到这种混凝土地坪实物,据考证是宋朝时期遗留的古建筑内地面。从磨损后的表面上看,其材料结构、砂石料级配和色泽与现代意义上的混凝土几乎一致。

近现代意义上的水泥混凝土路面,在欧洲是从1824年10月21日英国工匠 Leads 和 J. Aspdin 取得了波特兰水泥的发明专利后,开始发展起来。

全世界第一条水泥混凝土路面是1865年在英国修筑的,至今已有138年的历史。

1914年德国人 Friedrich Todt 博士在柏林建造了汽车专用城市道路;美国在纽约长岛私人住宅的道路上开始使用水泥混凝土路面。

大约在1924年,法国公路部总工程师 Daniel Boutet 在法国43号公路上开始进行连续板块式混凝土路面试验并铺筑了长度大约100km的水泥混凝土路面,当时采用的路面厚度18cm,横向接缝10~20m,采用的是小搅拌机拌和得很干硬的水泥混凝土,需要采用夯和石碾夯碾密实。同时,比利时在矿区道路上开始使用水泥混凝土路面。

1930年前后,美国开始使用水泥处置土做地坪和重交通道路的基层,并用水泥混凝土建设其重要公路干线和城镇道路路面。当时建设的某些城镇水泥混凝土路面有的至今还在使用,没有大修过。美国使用年限最长的水泥混凝土路面达78年之久。

1933年,水泥混凝土路面在各主要的发达国家大量使用并发展起来,德国在当时还没有沥青路面高速公路情况下,建成了第一条水泥混凝土路面的高速公路。

1938年,法国、比利时、北爱尔兰都建成了水泥混凝土路面汽车专用公路。

20世纪30年代发展起来的水泥混凝土路面,板厚为24cm(包括上层5cm的磨耗层)。这一时期,经过多年的试验观测,水泥混凝土路面的经验性设计理论、计算方法和施工技术迅速地发展建立起来。

我国第一条水泥混凝土路面是1928年在浙江奉化溪口镇修筑的,当时采用日本进口的水泥,至今已有72年历史。自1936年开始,我国引进德国技术设备,在唐山建立了第一家生产和销售水泥的启新洋灰公司,开始在室内建造水泥混凝土地面和室外地坪,并在该工厂建造一段水泥混凝土路面试验段。抗战时期,大约20世纪40年代前后,在天津和沈阳,日本帝国主义在我国督造了少量水泥混凝土路面,板厚大约20cm左右。很可惜,随着经济发展,这些最早在我国建造的水泥混凝土路面都没能保留下来。

2. 国际上水泥混凝土路面施工技术发展

(1) 发达国家水泥混凝土路面的基本情况

世界上无论发达国家,还是发展中国家,对水泥混凝土路面建造技术都一直在进行研究和总结,使得水泥混凝土路面在技术上日臻完善,经济上显示出一定的优势,并得到较大范围的应用。特别是在高等级重交通的道路上,水泥混凝土路面有了较快的发展。例如美国在公路网的建设和完善中,对于交通繁忙、汽车载重量较大的道路,更多地选择建造水泥混凝土路面,20世纪90年代兴建的承受重交通的高速公路中,有53%的州际道路和15%的一级联邦资助道路,采用水泥混凝土路面。英国1970年后建造的主要干线公路中,约22%为水泥混凝土路面。法国自1972年以来,每年新建干线公路中,水泥混凝土

土路面所占的比重平均为 10%。加拿大水泥混凝土路面占高级路面的比重,1982 年为 10% 以上。比利时的研究认为,在各级公路上均可建造水泥混凝土路面。即使建造成本略高于沥青路面,但从长远考虑,则更为经济。因此,比利时公共工程部确定新建公路采用水泥混凝土路面,而沥青路面则主要用于已有公路的改建。澳大利亚悉尼至黄金海岸的高速公路、韩国汉城至釜山高速公路均采用水泥混凝土路面。日本高速公路水泥混凝土路面的比例约占 10%。

(2) 经历了两个发展阶段

国际上的水泥混凝土路面的发展,经历了两大发展时期,一个是在 20 世纪 30~40 年代,随着汽车工业的发展,战争物质和军队的调运,客观上对路面的质量要求大大提高。这一时期,最明显的标志是德国建设的世界上第一条汽车专用高速公路是使用水泥混凝土路面结构形式。当时几乎所有的发达国家,如日本、美国、英国、法国、比利时都竞相发展水泥混凝土路面。有的将他们的水泥混凝土路面技术扩散到其殖民地半殖民地国家,如中国等。这个时期水泥混凝土路面主要施工方式是小规模的人工辅助以小型机具。

第二个时期,是 20 世纪 60~70 年代,世界性的石油能源危机,使一些主要使用沥青建造高速公路网的国家,如美国、法国、原西德等,认识到必须尽量减少高速公路建设对石油沥青的依赖性,节约沥青资源和能源。因此,在高速公路水泥混凝土路面技术上开始新一轮的研究开发,从国家战略利益考虑,增加了对水泥混凝土路面的科技投入和建设规模。不仅设计理论和计算方法有了更新和提高,而且主要的施工方式已从人工施工向大规模机械化施工进步,建立了目前广泛采用的轨道链式机组和快速滑模摊铺机施工方式。在此期间,由于要求水泥混凝土路面要适应各种各样的地质地形条件,发展了水泥混凝土路面的多种新型结构形式,如钢筋混凝土路面、预应力钢筋混凝土路面、混凝土砌块路面等。这一时期,美国从政策上扶持水泥混凝土路面的建设,由原来水泥混凝土路面在公路网中只占 20% 发展到 20 世纪 80 年代后期的 53% 左右。法国和原西德也开始打破沥青路面占绝对主导的格局,加速发展了一部分水泥混凝土路面。

我们注意到,国际上各国在发展水泥混凝土路面技术上的一个重要特征是密切结合本国实际和资源约束条件,其直接影响因素是本国水泥和沥青资源供给和价格情况,美国是典型的“黑白并举”(黑白两种路面几乎均等)的国家,在整个国家高速公路网中,水泥混凝土路面占 49%;沥青路面 51%,其原因除了能源方面的考虑外,其经济对比分析是建立在建设、维修、养护全部建设和运营总费用最省的价值工程基础上,强调在路面使用年限内,每平方米每年的价格最节省、投资效益最高。这样水泥混凝土路面即使建设费用较高,但使用寿命长、全使用过程投入不高,也能被选用。法国和原西德是水泥混凝土路面比重相对较少的国家,原东德几乎全部是水泥混凝土单一路面。这些状况取决于水泥和沥青资源的供应、单价和带动其他工业部门发展的情况。

(3) 世纪之交国外水泥混凝土路面主要的新技术

① 滑模摊铺水泥混凝土路面

20 世纪 80 年代以来,欧美各国在水泥混凝土路面施工技术上逐渐摆脱了对轨道链式机组的依赖,各级公路水泥混凝土路面铺筑基本上全部采用了滑模摊铺技术,不仅高速公路依靠大型滑模摊铺机铺筑,乡间小道也采用小型滑模摊铺机建造。1999 年作者在德国、法国考察时,了解他们生产的轨道摊铺机本国并不使用,基本上是出口到亚非拉发展中国家。欧美各国的滑模摊铺技术尽管最初是从路面开始开发的,现已经发展到了高层建筑筒塔,高速铁路连续钢筋混凝土道床,水利工程中的运河、堤坝、护岸、水渠等,公路工程中的路面、路缘石、护栏、排水沟等。只要是断面规则不变的混凝土土木工程结构均可使用滑模施工技术。

② 钢筋混凝土路面

欧美各国在高速公路上大力发展连续配筋混凝土路面,根据工程需要其配筋量差异很大,既有很稀疏的配筋路面,也有很密集的强配筋混凝土路面,消除了绝大部分接缝,使高速公路混凝土路面的承载能力更强、行车舒适性与安全性更好、使用寿命更长。

③ 低噪声混凝土路面

由于欧美各国环保要求的提高,对水泥混凝土路面上的噪声提出了更严格的要求。近年来,欧美各

国加紧了对水泥混凝土路面低噪声技术的研究,其主要目标是将水泥混凝土路面的噪声水平降低 2~3 分贝,达到沥青路面相同的水平。1998 年,德国维特根滑模摊铺机厂商开发出的单机一次双层施工的滑模摊铺机,已经可以方便地一次摊铺水泥混凝土路面下结构层与低噪声混凝土路面表层。表层低噪声混凝土采用单一粒级 5~7 mm 玄武岩耐磨光碎石、抗压强度达到 70MPa 以上的高性能混凝土,下部结构混凝土振捣密实,表面湿软时,就摊铺表层,表层厚度 50mm,使用粗钢辊密集夯实。滑模摊铺机表层铺筑完毕,立即喷洒超缓凝剂,然后用专用刷浆机,制作裸露粗集料的低噪声表面。

④混凝土路面加铺层

近年来,美国在大力发展混凝土加铺层技术,例如老沥青路面上加铺的小块薄混凝土路面、结合式薄层混凝土加铺层、快速加铺层技术等。小块路面与加铺层均采用滑模摊铺机制作,然后切块或切缝,降低应力水平,提高平整度和使用年限,小块路面的设计与沥青路面相仿,是采用小块刚性材料制作的柔性路面,是平整度优良的便捷养护修复的“活”路面。我国已经开始建造这种路面,以便对付建设期限有限、路基严重不稳定的高等级公路水泥混凝土路面。

二、我国水泥混凝土路面施工技术现状与发展

1. 我国水泥混凝土路面发展概述

(1) 我国水泥混凝土路面发展现状

我国水泥混凝土路面从 1928 年起算,至今已经有了 75 年的发展历史,但是,在半封建半殖民地旧中国,不仅其修筑的数量极少,总里程不足 30km,而且设计理论和计算方法是空白,参照西方发达国家的设计规范,施工技术也极端落后。

解放后,我国水泥混凝土路面首先在城镇道路上得到较快发展,在公路上使用起步较晚,20 世纪 90 年代的发展速度非常迅猛。由交通部公路司统计的数字据见表 1-1。

我国水泥混凝土路面建设里程统计表

表 1-1

年 份	1960	1970	1980	1990	1996	1997	1998	2000	2001	2002
里程(km)	60	200	1 600	11 373	56 625	68 740	83 652	118 576	140 745	167 517
占当年建成高级路面比例(%)	2.2	3.9	11.0	24.4	36.3	37.8	40.3	46.2	52.1	58.0

由于交通部很早就认识到我国沥青资源的匮乏(道路沥青年缺口达 100 万 t),质量较差,含蜡量高,而水泥资源丰富(我国连续十年是世界上第一水泥生产国,2002 年产水泥 6.3 亿 t,年出口水泥约 2 000 万 t),价格低廉的现实情况,从“六五”、“七五”计划开始,交通部对水泥混凝土路面就给予高度重视和大力推广。20 世纪 80 年代,交通部对建设水泥混凝土路面曾给予 20 万元/km 的补助,取得了非常显著的效果,这从表 1-1 中可以看到,随着我国水泥混凝土路面造价的降低,建设水泥混凝土路面比沥青路面造价节省,补助逐步取消。

由表 1-1 可见,目前我国水泥混凝土路面每年建设里程已经在 1.5~2.5 万 km,比 1990 年以前 40 年的建设总和还要多。1990 年底我国公路水泥混凝土路面里程仅有 1.137 3 万 km,到 2002 年底发展到 16.751 7 万 km。12 年中增加了 15.614 4 万 km;增长 14.7 倍,平均年增长速率为 25.12%。我国目前在高速公路上,水泥混凝土路面约占 25%,但在二级以下公路上,不少地方已经是水泥混凝土路面为主,在 2002 年全国新建高级路面 28.864 4 万 km 中已占 58%。

这样快的发展速度,这么巨大的建设规模,不只在中国,即使在世界各国水泥混凝土路面发展史上,也是绝无仅有的,作者预计随着滑模机械化施工技术水平、质量的提高和推广应用的普及,我国水泥混凝土路面在相当长的时期内将继续保持高速增长。截止 2002 年,我国水泥混凝土路面总里程已超过 16.751 7 万 km。2002 年建成的水泥混凝土路面 2.5 万 km,占全部高级路面(沥青路面与水泥路面总和)的 58%,不仅达到了与沥青路面平分秋色的局面,而且已经超过一半,实现“因地制宜,黑白并举,共同发展”。

城市道路方面,在许多城市,水泥混凝土路面的比重大大高于公路。其中比重较大的前 6 个城市是

秦皇岛市(几乎 100%是水泥混凝土路面)、佛山市、茂名市、大同市、武汉市和广州市。在我国南方许多城市,水泥混凝土路面几乎成为目前修筑的惟一路型。

加上市政行业建造的 10 万多 km,截止 2002 年底,我国公路、市政共建成水泥混凝土路面 26 万多 km。据作者了解到的资料,我国水泥混凝土路面建设里程位居世界第二。

(2)我国水泥混凝土路面发展经历的三个阶段

纵观我国水泥混凝土路面的技术发展过程,大体可分为三个阶段:

①1977 年以前第一阶段(摸索起步)

初期,1949—1966 年,主要借助于前苏联的建设经验和研究成果,制定了我国 1953 年版和 1966 年版的《水泥混凝土路面设计规范》。后期,1966—1977 年的 10 年,各个领域的技术进步都受到“文革”的严重影响,水泥混凝土路面技术当然也不例外。

这一阶段的显著标志是发展极其缓慢,总里程在 1 000km 以内,主要是国家经济发展有限,汽车的保有量很少,客观需求小;另一方面,我国当时的水泥工业落后,水泥价格与沥青基本持平,其水泥混凝土路面造价比当时普遍采用的薄层沥青表处高许多倍。因此,当时的交通部公路科学研究所没有人研究水泥混凝土路面,主要研究泥结碎石路面和沥青表处路面。

②1978—1985 年第二阶段(技术开发)

在我国 1978—1985 年的科技规划中,安排了水泥混凝土路面技术的重大研究项目。以交通部公路规划设计院、同济大学为首,组织了全国大专院校,公路、市政、民航、空后等部门的设计、施工、科研约 40 多个单位,开展了 10 年“联合攻关”研究,取得了可喜的成果。编写了“水泥混凝土路面设计理论和参数”的研究报告,并于 1981 年 12 月通过专家鉴定。

在此基础上,靠我国自己的研究成果,编制了我国第一部《水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 12—84)。后来,又编制了《水泥混凝土路面施工与验收规范》(GBJ 97—87)。现行的《城市道路设计规范》(CJJ 37—90)中的第十章水泥混凝土路面设计以及民航和空后机场跑道设计的相关标准,均是在上述研究成果基础上编写的。这些研究成果、标准和规范的建立,对发展我国水泥混凝土路面技术起了重大作用。

这一阶段,我国水泥混凝土路面的建设里程已达数千公里,但未达到 1 万 km。研究工作的重点偏向于设计理论和设计参数。在施工技术上仍以手工操作为主,配合小型机具加真空吸水技术,基本上没有专用的配套大型机械设备。

③1986—1998 年第三阶段(迅猛发展)

其发展标志是公路水泥混凝土路面的总里程已由数千公里上升到数万公里,年建成水泥混凝土路面超过 1 万 km。截止到 2002 年底,建成水泥混凝土路面里程已达 16.751 7 万 km。

设计、计算理论进一步深化,在许多方面达到或接近国际先进水平。在混凝土路面板温度疲劳应力的计算等方面,甚至比某些发达国家先进。突出表现在《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002)中。

研究的重点从设计理论转向施工实践。开始从人工、小型机具和真空吸水施工向大型专用快速机械化施工(路面混凝土使用外加剂和混合材料)转变。水泥混凝土路面的施工质量有大幅度提高。

水泥混凝土路面的养护、维修技术受到重视,并取得一定的实用技术成果。在“七五”“八五”连续两个五年研究计划的基础上,“九五”期间已列项开展养护、维修技术的深入研究。在此期间,完成的国家科委“七五”科技先导性 025 项目“我国水泥混凝土路面发展对策及修筑技术研究”和国家计委“八五”85—403 项目“高等级公路水泥混凝土路面施工机械及路用材料的研究”,都取得了丰硕的成果,在水泥混凝土路面施工技术上,主要有《滑模摊铺水泥混凝土路面修筑成套技术研究》,《碾压混凝土路面施工成套技术研究》,《快硬早强混凝土技术开发》等重大成套技术项目,集中反映了我国在这一阶段水泥混凝土路面技术进步的情况和发展趋势。

截止 2001 年底,我国在高速公路水泥混凝土路面建设中已经推广滑模技术,建成了高速公路 2 400km;高等级公路 3 500 多 km。2003 年 6 月 1 日起执行《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002)(以下简称设计规范),2003 年 3 月 28 日交通部颁布的《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30—2003)(以下简称施工规范),于 2003 年 7 月 1 日起执行。两部新规范拓宽了水泥混凝土路面的结

构形式,编写有全缩缝插传力杆的水泥混凝土路面、钢筋混凝土路面、连续配筋混凝土路面、钢纤维混凝土路面等。不仅如此,施工规范包括了滑模摊铺、轨道摊铺、三辊轴机组、碾压混凝土、小型机具五大水泥混凝土路面施工方式。高速、一级公路水泥混凝土路面的建设指定使用滑模摊铺技术。我国的高等级公路施工装备和技术已经接近或赶上发达国家。

新一轮水泥混凝土路面设计与施工两部规范的修订,根据我国特重交通量与超重轴载的运营和路面的早期破损等情况,提出了四字的指导方针:“更强更厚”。更厚由设计规范解决,提出我国一般公路最薄设计厚度 200mm,高速公路水泥混凝土路面最薄设计厚度 260mm;更强由施工规范解决,按可靠度理论提高了水泥混凝土路面施工配制弯拉强度的要求。目前,在我国高速公路滑模摊铺水泥混凝土路面上的平均弯拉强度已经达到 6.5~7.3MPa 的水平,希望将来能够有效遏制特重交通量与超重轴载下的早期快速破损问题。

(3)我国水泥混凝土路面迅猛发展的主要原因

①国家宏观经济形势为水泥混凝土路面大发展提供了良好机遇

十一届三中全会以后,随着我国确立以经济建设为中心的指导思想和改革开放政策,公路交通建设作为我国经济发展的基础设施而受到越来越多的重视和政策倾斜,加快全国高等级主干线公路网建设,成为带动我国经济高速发展的增长点和基础,这一点已经是我国各级领导和全国人民的共识。国家宏观经济发展战略为公路交通超前建设提供了良好的发展和需求大环境,为我国水泥混凝土路面的迅猛发展提供了千载难逢的机遇。

②汽车及交通量增长为水泥混凝土路面的发展提出了更多的需求

自改革开放以来,我国汽车工业调整了发展方向,由生产用车向家庭用车转移,加快了追赶世界汽车工业水平的步伐。汽车产品多元化和规模化,使汽车进入家庭,正在从梦想向现实转化。我国汽车工业的生产规模、数量、品种迅速增长。汽车拥有量在以 30% 以上的速度急剧增加,相应的公路交通量也急剧增长,这就对公路建设的需求量迅猛增长。汽车工业和国民经济的快速发展对公路建设起着巨大的推进作用。

③发展水泥混凝土路面更加适合我国的资源约束条件

在世界各国水泥混凝土路面的发展中,我们特别注意到其密切结合本国国情和资源约束条件。我国是一个沥青资源相对不足而水泥资源相对富足的国家,1998 年我国水泥的总产量已达到 5.6 亿 t,2000 年已经发展到了 6.3 亿 t,连续 10 年雄居世界各国水泥产量之首。产量多,价格稳中有降,又由于国家在强制关闭了一批年产量 10 万 t 以下的小厂,水泥质量在逐步提高并日趋稳定。同时,水泥路面的大规模建设拉动了内需,带动了各地方经济的发展。

④高等级公路水泥路面投资相对较省

与此相反,我国沥青产量较少,价格偏高,质量较差。我国每年能够生产路用沥青 200 万 t 左右,1996 年当年建设各种沥青路面 2.8 万 km,需要沥青 210 万 t;加上 37 万 km 老沥青路面维修需要沥青 100 万 t 左右,我国公路沥青缺口 1/3,总量缺 100 万 t 以上。因此,我国高速公路建设每年都花费巨额外汇,进口了大量重交通沥青。最近我国少部分油田的沥青质量有所提高,但是,总量缺口太大,不可能在短期内停止进口。

国内路用沥青的价格为 1 500~3 300 元/t,水泥为 250~400 元/t。所以,黑白两种路面在高等级公路上的初期建设投资,可节省 1/3~1/4,但在二级以下公路路面上,沥青路面厚度仅 30~50mm,还是水泥路面的造价偏高。若按照建设和使用期全部投资对比,总是水泥混凝土路面具有更大的经济优势。这是一个巨大的经济杠杆,只要我们按经济规律办事,就必须遵循并受其制约。这是水泥混凝土路面在近年来迅猛发展的重大原因之一。

国内水泥价格为 250~400 元/t。市场上沥青与水泥的平均比价为 7:1 左右,国内外市场上沥青供应紧张时,沥青与水泥的比价可上升到 10:1。当沥青与水泥的平均比价为 6:1 时,按笔者的经济分析,厚度为 25cm 的水泥路面将与 15cm 厚的沥青路面投资持平。超过这个比价时,水泥路面将比沥青路面投资节省。目前在我国高等级公路上,每条缩缝均插入传力杆的水泥路面比进口重交通沥青路面便宜;甚至连续钢筋混凝土路面也比改性沥青路面便宜。在公路建设投资相对紧张条件下,投资较省是水