

公路工程建设 理论与实践

GONGLU GONGCHENG JIANSHE
LILUN YU SHIJIAN

主编：程新春 王生国

合肥工业大学出版社
2005.7·合肥

公路工程建设理论与实践

主编 程新春 王生国

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

公路工程建设理论与实践/程新春,王生国主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2005.7
ISBN 7-81093-282-9

I. 公... II. ①程...②王... III. 道路工程—工程施工 IV. U415

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 080373 号

公路工程建设理论与实践

主编 程新春 王生国

责任编辑 马国锋 孟宪余

出 版 合肥工业大学出版社
地 址 合肥市屯溪路 193 号
电 话 总编室:0551-2903038 发行部:0551-2903198
版 次 2005 年 7 月第 1 版
印 次 2005 年 7 月第 1 次印刷
开 本 889 × 1194 1/16
印 张 16.25 字 数:530 千字
发 行 全国新华书店
印 刷 安徽星火印刷厂
邮 编 230009
网 址 www.hfutpress.com.cn
E-mail press@hfutpress.com.cn

ISBN 7-81093-282-9/U·4

定价:38.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。

编 委 会

主任委员 李永铎

副主任委员 李起先 何 光 刘效尧
张立早 徐明德 张松寿
蔡儒珍 林国仁 杨永顺

编 委 (按姓氏笔画为序)
王士林 王生国 王建国 许志鸿(特约)
刘效尧 朱新实 应元成(特约)
杨永顺 李永铎 何 光 杨肩宇
张立早 张伟林 张松寿 张奎鸿
汪银华 肖 鹏 林国仁 胡钊芳
侯树荣 项贻强 袁 宏 夏 炜
郭忠印 徐明德 唐 勇 商庆森
黄正方 黄志义 黄晓明 湛润水
彭大文 蔡儒珍 瞿尔仁(特约)

主 编 程新春 王生国

副 主 编 瞿尔仁

编 辑 朱炳朋 冯玉华 王靖靖 孙 健

目 录

道路篇

水泥混凝土路面病害原因分析与防治对策	林荣金(3)
防止水泥混凝土路面出现裂缝病害的探讨	程立志(9)
旧路改造中路基路面的检测方法	奚 勇,沈训龙(12)
防治水泥混凝土路面早期裂缝的质量控制	宋 毅,李晓辉(15)
沥青混凝土路面裂缝的综合防治与新材料技术应用	吴福忠,杨善红(18)
G 318 线宜南段改造工程沥青混合料目标配合比设计	王 静,吴 斌,夏东华(21)
浅谈高等级公路沥青混凝土路面的施工监理	李 诚,戴秀芹,许洪林(23)
加筋挡土墙施工质量控制	陈洪团,陆京飞,魏 磊等(26)
治理超限运输车辆行驶公路的对策与措施	昌云宗,范祖顺(29)
浅析《公路沥青路面设计规范》与《公路路面基层施工技术规范》	
中计算弯沉值的差异	李 斌(31)
多起 终点交通流的城市道路网容量计算	杨晓萍,杨国志,赵 方等(34)
水泥混凝土路面养护的几点体会	林 桦(37)
上海城市出入口和高速公路交通信息化的研究与应用	王一如,陈 洪,戴孙放(40)
对公路工程可行性研究中若干问题的探讨	胡钊芳,万益春,万卫红(44)
利用交通仿真方法探讨城市道路网合理密度问题	杨国志,杨晓萍(46)
一般干线公路沥青路面 早期损坏的原因分析及防治对策探讨	李运恒,王 蕾(49)
普通混凝土路面接缝类病害产生原因和预防措施	丁文胜,张金飞(54)
沥青路面产生不平整原因及防治措施初探	苏文浩,葛光华(56)
水泥稳定碎石基层施工工艺的实践体会	梅秀荣,毕崇阳,党立华等(60)
高速公路沥青混凝土路面早期破损分析	朱兴月,王恩东(63)
邯长高速公路沥青路面级配碎石基层的施工	郭永辉(67)
真空堆载联合预压软基加固技术的应用	曾 勇,王君娟(69)
结构混凝土裂缝的成因及预防措施	李迎春(71)
关于道路缓和曲线平行线长度求法的公式推导及其	
在工程上的应用	陈建国,史名录,刘红辉(73)
高速公路工程施工质量管理	张海涛(75)
提高沥青混凝土路面平整度的几项措施	叶玺铭(78)
浙江省冬季公路除雪工作探讨	舒红波,李金明(81)
采用素混凝土路面作为软基临时性路面的可行性研究	宋春节(83)
浅谈影响沥青路面质量的两方面问题及预防措施	吴盛春,胡家刚(85)
公路路线设计要点	杨灯发,高光彬,钟生玲(88)
新疆兵团垦区公路改扩建工程路面不破除的工程实践	陈 敏,汤玉江(90)
高速公路半刚性基层沥青路面主要早期病害及防治措施	许日春,姜言泉,常志宏(92)
沥青混合料配合比设计与质量控制	汪秋云(97)
浅析沥青路面损坏与弯沉指标的关系	朱建明(99)

水泥稳定粒料干缩性能试验研究	周卫其, 蒋国良(101)
高速公路台背回填施工控制	王之俊(103)
浅谈山区高等级公路石方爆破施工技术	郑章剑(105)
泵送混凝土早期裂缝产生原因及对策	杨 枫(108)
浅析水泥稳定碎石在施工中的质量控制	许世良, 王 颖, 华凤祥等(111)

桥梁篇

青岛市福州路立交桥改造工程施工方案研究	李建生, 张淑民, 马祥骏等(117)
国道 205 马鞍山永丰河桥病害分析与加固	陈 智, 吴 斌(119)
风景旅游区桥梁方案设计与美学思考	万益春, 陈建国, 史名录(122)
高强度低松弛钢绞线与 YM 锚固体系在椒江大桥工程中的应用	陈伟康(125)
混凝土连续梁裂缝的研究与施工控制	李英勇, 王 磊, 张 鲲(128)
浅谈桥面铺装层类型对铺装层受力的影响	朱立增, 王恩东, 胡佳波(131)
覆膜竹胶模板安装与使用质量控制技术	方邦伍, 付成亮(134)
高速公路桥面维护工程施工工艺探讨	刘自干(136)
植筋技术在桥梁拼接施工中的应用	高小俊(138)
内嵌预应力门型墩的非预应力连续梁施工控制的研究	李英勇, 王松根, 王 磊(140)
论钻孔灌注桩的过程控制	王 锐(143)
高速公路桥头跳车的探讨	赵宝山, 曾勋泽, 姚文清(146)
混凝土 U 型桥台典型病害分析与加固研究实践	湛洁君, 龚建斌(149)
结构物施工的过程控制	段六一(151)
徐家渡桥荷载试验及加固改造设计	徐建东, 奚 勇(153)
异形连续箱梁桥的空间分析方法的研究	严定国, 王元汉(156)
浅谈狗河桥面铺装病害成因及整治	齐永华(159)
浅谈中小型构造物施工的关键因素控制	黄贻敏(161)
危旧桥板底裂缝及桥梁墩台开裂原因及防治	韩如福, 郑继耀, 魏 涛(163)
探讨克服桥头跳车的方法	戴秀芹, 黄忠昌, 张洪强(166)
浅谈混凝土灌注桩施工质量监督及判定原则	谢克修(168)
控制刚构连续梁桥混凝土徐变的技术对策	于培科, 潘相庆, 尉发宇等(171)
π 形梁桥加固技术研究与实践	林 旭, 左 俊, 秦 放(173)
椒江大桥承台钢套箱设计与施工	陈伟康(175)
浅析桥涵台背回填土质量缺陷及对策	朱金玲(178)

隧道篇

隧道监控量测数据的处理与应用	吴文胜(183)
----------------------	----------

材料篇

沥青材料主要指标的测定	石广发(187)
-------------------	----------

软基处理篇

- 大桥台后软基处治设计与施工控制····· 陈 冰,林欣欣(191)
注浆混凝土桩在桥头软基处理中的应用····· 陈建华,周智军(195)

防护工程篇

- 高速公路渗水防治施工措施····· 王松根,李志强,黄忠昌(199)
沿河路堤挡土墙的质量控制····· 熊墨圣,邹花兰,蒋丽珍(202)
可靠度分析在边坡稳定性分析中的应用····· 唐慧群(204)

管理篇

- 用市场经济的思路破解公路养护管理体制改革的难题····· 张安明(209)
浅谈工程分包管理····· 董先明(211)
公路工程项目业主的管理思路····· 姚维刚(213)
发展高架高速 走可持续发展之路····· 张士全(216)
高等级公路可持续发展与对策····· 许维智,张 钊(219)
合同管理在项目工程实施过程中的具体应用探讨····· 管世东(221)
浅谈如何加强公路施工企业成本的管理····· 牛 涛(223)
运用工程量清单计价模式····· 何小兵,胡小告(226)

综合篇

- GPSROAD 道路勘测系统中动态图形放样的实现技术····· 袁 宏,肖 斌(231)
基于神经网络理论的沥青混合料疲劳性能的预测模型····· 葛折贵,葛折圣,黄晓明(234)
公路交通事故黑点形成机理分析····· 宋俊敏,肖 慎,杨 森等(237)
车辆牌照自动识别系统中的关键技术及应用····· 李彦新(241)
高速公路收费标准的动态调整分析····· 徐媛媛,李铁柱(243)
公路工程质量检测中的几点疑难及对策····· 张良友(246)
上海浦东“一桥三隧”交通影响分析····· 张其云,邹智军(249)

道路篇

水泥混凝土路面病害原因分析与防治对策

林荣金

(福建省漳州市公路局, 福建 漳州 363000)

摘要: 水泥混凝土路面病害的主要原因是地下毛细水上升, 路面积水渗入, 致使路基强度下降; 新旧路基土不均匀沉降, 造成路面开裂; 严重超限车辆行驶, 导致基础支撑强度不足, 使路面失去良好的整体受力结构体系和防渗性。针对路面出现的各种破坏类型进行原因分析并提出修复处理措施和对不同病害的防治对策。

关键词: 水泥混凝土路面; 病害原因分析; 处理措施; 防治对策

水泥混凝土路面具有强度高、稳定性好、刚度大、抗灾能力强、耐久性好等优点, 但也存在开放交通迟、维修较困难等缺点。以国道 319 线漳州段为例, 分析水泥混凝土路面病害原因与防治对策。

国道 319 线漳州段原路基宽 8.5 m, 沥青路面宽 7.5 m, 1995 年底拓宽改建成路基宽 12 m, 水泥混凝土路面宽 11 m, 基层为 20 cm ~ 40 cm 填隙碎石 (或天然砂砾) 加 16 cm ~ 20 cm 水泥稳定碎石, 面层混凝土路面设计抗折强度 4.5 MPa, 厚 22 cm。经 7 年使用后, 路面已严重损坏。出现较严重的裂缝、沉陷、破碎、唧泥、脱空、错台等病害。

1 水泥混凝土路面病害原因分析

1.1 漳州处于东南沿海地区, 年降雨量: 2000 年为 2 287.8 mm, 2001 年为 1 538.2 mm, 2002 年为 1 358.3 mm, 属雨水充沛区, 地下水较丰富。现有路面接缝处填缝料损坏严重, 雨水下渗和路面排水不良, 造成地面水不能及时排出路面, 而是通过接缝、空隙或裂缝渗漏至基层、底基层至土路基。在和溪路段, 市局试验中心对路基填土进行了钻探取芯, 并对所取土样进行了土的物理性质试验。试验表明: 现路基土的含水率 w 在 21.5% ~ 30.1% 之间, 同一钻孔中, 路面底基层下 0 ~ 0.80 m 范围内土的含水率较大, 一般在 26.0% ~ 30.1% 之间; 而 0.80 m ~ 1.60 m 范围内土的含水率明显降低, 一般不超过 25.0%; 饱和度 S_r 在 84.3% ~ 100.0% 之间。

根据路基土分类定名为高液限粘土 (CH) 或低液限粘土 (CL), 平均稠度在 0.81 ~ 1.04 之间, 判定路基干湿类型为“潮湿—中湿”。

自由膨胀率 F_s 在 14% ~ 46% 之间, 多数小于 40%, 局部路基填土具有弱膨胀性, 膨胀性土遇水后

压实度会显著降低, 使路基强度下降。

从所取路基土的试验结果看, 由于毛细水上升, 地表水渗入, 使路基填土中含水量增大, 含水率较高, 已超过该地区土的天然含水率, 饱和度较大, 导致土的凝聚力下降; 加之路基填土中水无法排出, 使路基的结构性遭到损害, 强度降低。

路面积水无法及时排出, 长期滞留, 造成地表积水透过面层下渗, 路面基层和路基土上层受到侵蚀, 结构性能遭到破坏, 加上边坡防护不好, 水土流失严重, 边沟淤塞和行车荷载, 导致板底脱空, 路面出现各种破坏, 而路面的破坏又加剧了路面积水的下渗, 使路基的结构性和强度遭到进一步地损害和影响, 加速了路面的破坏。

1.2 由于国道 319 线漳州段是在原有路基上拓宽改建的, 处于先行工程后期, 时间紧、任务重, 超常规施工, 造成土基和基层强度不足 (特别是加宽部分), 使基层整体强度和稳定性差, 加上水的长期侵入, 导致路面出现纵向开裂。分析其原因主要是原路基底部地基土已处于沉降固结状态而拓宽处土基的密实度、物理力学性能不一, 造成路基拓宽后新增路基土产生的不均匀沉降变形的影响造成的。

根据公路拓宽改造工程一般断面布置形式 (见图 1) 以及地基新增荷载分布情况 (见图 2), 采用地基弹性理论方法以及考虑应力影响的沉降计算方法进行定性分析研究 (地基下沉示意如图 3), 可知原公路因增设补强层和铺筑新面层, 增加了下部 (I 区) 土基的压力 P_I , 拓宽部分 (II 区、III 区、IV 区) 地基相应外加的压力分别为 P_{II} 、 P_{III} 、 P_{IV} , 这些荷载使地基沿路基横断面发生不均匀沉降, 其中 S_{II} 、 S_{III} 、 S_{IV} 大于 S_I , 当路基压力大于地基极限承载

力时还会使路基坡脚附近（图中 V 区，可能在坡脚内，也可能在坡脚外）发生沉降（ S_v ），若路基压力大于土基极限承载力，除 V 区沉降外，还会引起 V 区外的 VI 区地基隆起，这时路堤将因沉降变形过大使公路发生严重的损坏。

通过对纵向裂缝的调查观察和定性分析可得出新老路基出现差异沉降（ $S_I < S_{II}$ ）最终使路面产生纵向裂缝的结论。

（1）由于土地地质差，导致新老路基地部土基因荷载的增加发生沉降（ S_I 、 S_{II} 、 S_{III} 、 S_{IV} ）。但原路基下的地基因在改造时已基本固结沉降到位并且所增加的荷载远小于新拓宽部分，其沉降 S_I 大大小于新拓宽部分地基的沉降（ S_{II} 、 S_{III} ）；

（2）新路基本身所用的填筑材料、压实度等设计施工中存在一定问题，造成新路堤本身沉降；

（3）因施工工期短，土基及路基的固结下沉未到位，工后沉降大；

（4）工后新老路基出现差异沉降，路基失去稳定，表现为路堤内的破裂面（顶部破裂面在老路范围内）外的土体下沉侧移，将路面拉裂造成纵向开裂。

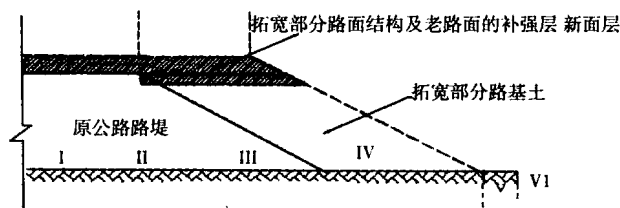


图1 路基横断面示意

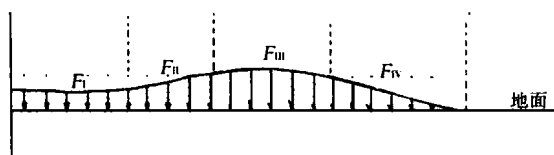


图2 地基新增载荷示意

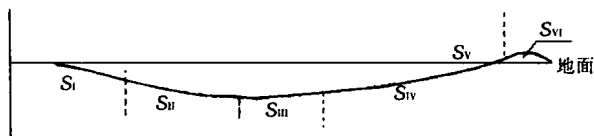


图3 地基沉降(S)变形示意

1.3 重交通荷载（严重超限车辆）的重复作用、基础支撑强度不足以及扭曲应力、收缩应力等因素的综合作用，导致接缝板块不均匀下沉，加上原有混凝土强度不够，加速路面破碎、断角、断裂、错台等病害，使路面板失去良好的整体受力结构体系和防渗性，影响混凝土面板的整体强度和刚度。以国道 319

天宝靖城路段进行路面结构疲劳分析，并在进行路面结构疲劳分析时以面层板的疲劳开裂作为水泥混凝土路面的疲劳损坏标准。

1.3.1 荷载形式

对公路车辆的调查表明：国道 319 线龙岩～漳州下行线龙岩超重车比较普遍，核定载重 4.5 t 或 5 t 货车可以载到 20 t～25 t（后轴载普遍达到 160 kN～200 kN）对混凝土路面破坏较甚，其车辆的轴型种类比较集中，前轴几乎都是单轮组单轴形式，且由于超载时荷载重心偏后，前轴重受超载影响较小，一般在 20 kN～50 kN，前轴轮胎的充气压力随轮胎的结构形式不同而略有变化，一般为 0.5 MPa～0.8 MPa。在调查到的车身后部的承重轴主要为单轴，轴荷载随超限程度的增加而增大，且承重轴的轮胎结构类型采用双轴形式。为了满足承载要求，后轴轮胎的内压比较高，正常情况下在 0.45 MPa～0.8 MPa 之间，超载比较严重时也可以达到 1.0 MPa，因此有必要扩大规范考虑的轴载范围，将车辆超限后的情况包括进去，重新分析超限轴载下的路面荷载应力关系。以 2002 年漳州直属路政所在 319 线稽查到的超限车辆为例，统计路政人员通过专用仪器检测并记录在案的资料：核定载重 4.5 t 或 5 t 货车，单后轴（每侧双轮胎），后轴载重 P 在 150 kN～170 kN 占 5%、170 kN～190 kN 占 18%、190 kN～210 kN 占 71%、最大轴载达到 230 kN；核定载重 10 t，双联轴（每侧双轮胎），双后轴载重 P 在 240 kN～270 kN 占 5%、270 kN～290 kN 占 9%、290 kN～320 kN 占 82%、最大轴载达到 370 kN。把调查到的带有普遍性的不同超限车辆轴载换算成标准轴载的作用次数 N ，按规范公式

$$N_s = \sum_{i=1}^n a_i N_i (P_i/100)^{16} \text{ 计算}$$

（1）组合成东风单后轴（核定载重 5 t，实际载到 20 t～25 t 时，取较集中三种不同后轴载重 P ）：换算成 BZZ-100 标准轴载作用次数 N

$$P \text{ 在 } 150 \text{ kN} \sim 170 \text{ kN} \text{ 取 } P = 160 \text{ kN},$$

$$N = a (P/100)^{16} = 1 \times (160/100)^{16} = 1\,844.7 \text{ (次)}$$

$$P \text{ 在 } 170 \text{ kN} \sim 190 \text{ kN} \text{ 取 } P = 180 \text{ kN},$$

$$N = a (P/100)^{16} = 1 \times (180/100)^{16} = 12\,144 \text{ (次)}$$

$$P \text{ 在 } 190 \text{ kN} \sim 210 \text{ kN} \text{ 取 } P = 200 \text{ kN},$$

$$N = a (P/100)^{16} = 1 \times (200/100)^{16} = 65\,536 \text{ (次)}$$

（2）组合成黄河双后轴（核定载重 10 t，实际载到 25 t～35 t 时，取较集中三种不同后轴载重 P ）：换算成 BZZ-100 标准轴载作用次数 N

P 在 240 kN ~ 270 kN 取 $P = 250$ kN,

$$N = a (P/100)^{16} = 1.46 \times 10^{-5} \times 250^{-0.3767} \times (250/100)^{16} = 4.25 \text{ (次)}$$

P 在 270 kN ~ 290 kN 取 $P = 280$ kN,

$$N = a (P/100)^{16} = 1.46 \times 10^{-5} \times 280^{-0.3767} \times (280/100)^{16} = 24.95 \text{ (次)}$$

P 在 290 kN ~ 320 kN 取 $P = 300$ kN,

$$N = a (P/100)^{16} = 1.46 \times 10^{-5} \times 300^{-0.3767} \times (300/100)^{16} = 73.3 \text{ (次)}$$

(4) 东风标准单后轴 $P = 70$ kN (按核定吨位 5 t、实际载重 5 t), 换算成 BZZ - 100 标准轴载作用次数 N

$$N = 1 \times (70/100)^{16} = 0.003 \text{ (次)}$$

从以上计算可以看出: 就东风车单后轴而言, 若能按核定吨位载货 (不超载), 一部车行驶一次, 则换算成 BZZ - 100 标准轴载作用次数为 0.003 次; 若载货 25 t, 分布到后轴载 $P = 200$ kN, 一部车行驶一次, 则换算成 BZZ - 100 标准轴载作用次数为 65 536 次。对于黄河双后轴, 当载货 35 t 时, 分布到后轴载 $P = 300$ kN, 一部车行驶一次, 则换算成 BZZ - 100 标准轴载作用次数为 73.3 次。可见, 严重的超载, 一部车的轴载作用次数就等于几十部甚至几万部的标准轴载作用次数。

1.3.2 计算荷载疲劳应力 σ_p 和温度疲劳应力 σ_t

1995 年先行工程确定交通等级为中等, 设计使用年限 20 年, 标准轴载作用次数 $Ne = 3.74 \times 10^5$ 次。而先行工程结束后, 公路线形标准提高, 路面为混凝土路面, 车辆数量增加, 超限车辆猛增。从调查牛崎头征管所车辆数和路政部门检测超限车辆轴载资料看, 分析统计目前车辆各级轴载作用次数换算为标准轴载作用次数是 1995 年确定标准轴载作用次数的 150 至 200 倍。以最小 150 倍为例计算现有路面结构承受现有超限车辆行驶的荷载疲劳应力 σ_p 和温度疲劳应力 σ_t 。现有路面各参数如表 1 所示。

表 1 路面结构几何 材料参数

	国道 319 天宝	靖城路段 (原设计 $f_{cm} = 4.5$ MPa)	
面层	$E_1 = 28\ 000$ MPa	$h_1 = 22$ cm	$u_1 = 0.15$
基层	$E_2 = 450$ MPa	$h_2 = 18$ cm	$u_2 = 0.25$
垫层	$E_3 = 150$ MPa	$h_3 = 30$ cm	$u_3 = 0.35$
土基	$E_0 = 25$ MPa	$u_0 = 0.35$	

(1) 标准轴载累计作用次数 $Ne = 3.74 \times 10^5 \times 150 = 5.61 \times 10^7$ (次)。

(2) 混凝土面层 $h = 22$ cm, 水稳层 $h_1 = 18$ cm, 碎石垫层 $h_2 = 30$ cm, 土基 $E_0 = 25$ MPa, $f_{cm} = 4.5$ MPa, 板尺寸 $3.75 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 。

(3) 求板的地基模量值:

$$E_2/E_0 = 150/25 = 6, h_2 = 30, \text{ 查图 3.0.4,}$$

$$E_t/E_0 = 2.778, E_t' = 2.778 \times 25 = 69.4 \text{ (MPa)}$$

$$E_2/E_t' = 450/69.4 = 6.48, h_1 = 18 \text{ cm, 查图}$$

3.0.4,

$$E_t/E_t' = 2.19, E_t = 2.19 \times 69.4 = 152 \text{ (MPa)}$$

计算荷载应力时模量修正系数

$$h = 1.718 \times 10^{-3} \times (22 \times 28\ 000/152)^{0.8} = 1.322$$

$$E_{tc} = nE_t = 1.322 \times 152 = 200.9 \text{ (MPa)}$$

计算温度应力时 $n = 0.35$

$$E_{tc} = 0.35 \times 152 = 53.2 \text{ (MPa)}$$

(4) 荷载疲劳应力 σ_p

$$E_c/E_{tc} = 28\ 000/200.9 = 139.4, h = 22, \text{ 查图 5.1.4}$$

$$\sigma_{ps} = 1.644 \text{ MPa}, K_r = 0.87, K_c = 1.45$$

$$K_f = 0.0516, Ne = 2.51$$

$$\begin{aligned} \sigma_p &= K_r K_c K_f \sigma_{ps} \\ &= 0.87 \times 2.51 \times 1.45 \times 1.644 \\ &= 5.2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(5) 温度疲劳应力 σ_t

$$T_g = 0.86$$

刚度半径

$$\begin{aligned} r &= 0.537 \times h (E_c/E_{tc})^{1/3} \\ &= 0.537 \times 22 (28\ 000/53.2)^{1/3} \\ &= 95.4 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$L/r = 5/0.954 = 5.24, \text{ 查图 5.1.5}$$

$$h = 22 \text{ m}, K_x = 0.78$$

$$\begin{aligned} \sigma_{tm} &= \sigma_c E_c h T_g k_x / 2 \\ &= 1 \times 10^{-5} \times 28\ 000 \times 22 \times 0.86 \times 0.78 / 2 \\ &= 2.066 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

$$f_{cm} = 4.5 \text{ MPa}, \sigma_{tm}/f_{cm} = 0.46$$

查表 5.1.5 得

$$K_t = 0.595, \sigma_t = K_t \sigma_{tm} = 0.595 \times 2.066 = 1.229 \text{ (MPa)}$$

$$\begin{aligned} (6) \quad \sigma_p + \sigma_t &= 5.2 + 1.229 \\ &= 6.429 \text{ (MPa)} > 1.03 f_{cm} \\ &= 4.635 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

因此, 从以上计算结果得知: 原设计中等交通 (设计使用年限 20 年), 混凝土弯拉强度 $f_{cm} = 4.5$ MPa 远不能适应目前超限车辆的行驶。

1.3.3 《规范》中水泥混凝土材料的疲劳方程的分析结果

采用疲劳开裂作为结构性能损坏标准的设计方法, 可以建立以荷载应力和温度应力综合疲劳开裂为标推的疲劳方程。假设第 i 级轴载每次作用的疲劳损耗为:

$$D = 1/N = [\sigma_{pi}/a (f_{cm} - \sigma_{ti})]^{-1/b}$$

式中 σ_{pi} 、 σ_{ti} ——I 级轴载的荷载应力和温度应力，MPa；

f_{cm} ——混凝土的弯拉强度，MPa；

N ——疲劳断裂时的荷载重复作用次数；

a 、 b ——回归系数，现取用 $b = 0.0516$ 和 $a = 1.0$ 。

对国道 319 天宝、靖城路段以牛崎头征管所和路政部门轴载调查资料为基础，根据计算得出的 σ_{pi} 和 σ_{ti} ，计算不同荷载级别时的疲劳损耗 D ，根据轮迹分布系数，采用 Minner 法则，分析此荷载构成条件下，道路的使用状况通过增加板面厚度以满足其 20 年的正常使用年限，经计算原板厚 $h_0 = 22$ cm，达到 20 年使用寿命所需板厚 $h_1 = 41$ cm，则板厚增量 $\Delta h = 41 - 22 = 19$ cm。

不难看出，目前所采用的路面结构形式远不能满足结构受力要求，由于超限现象非常严重，水泥混凝土路面在很短的时间内即达到破坏状态，如要使其达到一定的使用寿命，则必须增加路面厚度。

1.3.4 运输量不变 计算不同超限程度的轴载构成情况下板厚的增量 Δh

车辆超重加剧了路面的损坏。要定量评价车辆超限对路面损坏的加剧程度，需将超限与不超限两种情况对应的路面使用寿命加以比较，但是不超限情况是一种并未出现的假想状态。要定量评价车辆超限的影响，需将车辆超限与不超限行驶时对应的路面使用寿命进行比较。将超限部分的装载量的一次性运输转成满轴载（单轴 100 kN）和另一不超限荷载（单轴低于 100 kN）多次通过。

根据《规范》中疲劳方程计算不同超限程度下该路段的标准轴载 100 kN 的累计作用次数和使用年限数值，可以得出不同超限程度下达到 20 年使用年限时板需要增加的厚度（ Δh ），结果如表 2 所示。

表 2 国道 319 不同超限程度板厚需增量 Δh (cm)

超限					
100%	80%	60%	40%	20%	不超限
19	17	14	9	7	5

从表 2 可以看出，根据《规范》中的疲劳方程计算时，目前的路面厚度在完全不超限的情况下仍不能满足当前运输量的交通要求，需要增加路面厚度。由表 2 的计算结果就可以计算出该路段因超限需增加的路面厚度。计算结果：不超限情况下达到 20 年使用寿命所需的板厚 $H_1 = 22 + 5 = 27$ cm，按 100% 超限达到 20 年使用寿命所需板厚 $h = 41$ cm，则板厚增量

$\Delta h = 41 - 22 = 19$ cm。因此，得出结论，即使在完全不超限的情况下，目前的路面厚度仍不能满足 20 年设计使用年限的要求。为此，严格控制超限可延长路面使用寿命。

1.4 水泥混凝土路面板破坏分析

1.4.1 混凝土板体易受拉应力产生脆性断裂

板体由于其受力特点和温差影响，相对地板底拉应力大于板顶之拉应力，特别是当基层接触条件不完全吻合 Winkler 地基条件时，板体会产生更大的弯曲受拉。断裂处就产生在张应力区的表面，即板底，由此点开始自板底向板顶内部产生与张应力垂直的拉伸断裂面，当断裂通过中性面后，断裂发生弯曲，有时发生分叉。从而形成一个具几何对称状的断裂，通过试验及现场破坏断面的观测证明，张性断裂往往表现为一条。而压应力区断裂表现为多条，甚至不断分叉（龟裂属此种类型）。

1.4.2 板体剪性断裂

由于路面板中材料不均匀、施工中各种因素造成混凝土强度低下的局部区域与周围板体具有不同弹性性质，都可以集中远场张应力而导致裂隙处的局部张应力超过板体的抗拉强度而成剪性断裂。

按交通分级计算分析时所用的参数和指标以及交通分级计算结果，当荷载疲劳应力、温度疲劳应力共同作用叠加时，其远场弯拉应力可达到 5.0 MPa，则孔洞或裂隙边界切向应力

$$\sigma_0 = 3\sigma_s = 3 \times 5.0 = 15.0 \text{ MPa}。$$

这样的切向应力导致混凝土板开裂。

混凝土路面板一旦开裂，若没有及时进行维修，将在冲击、振动荷载和重复荷载作用下发生板体断裂。

(1) 板底局部脱空、错台现象出现后，汽车行驶时造成的冲击振动荷载对板的断裂起加速破坏作用。由于错台引起的车辆行驶冲击力与车辆速度、错台高差、车辆的轴载等因素有关，在 40 km/h 速度时，错台 10 mm 可引起 20% 冲击荷载的增加值。不难证明：路面越不平整（错台高差越大），车速愈高，荷载超载、超限越严重，这种冲击力会越大，对板的裂缝生成及扩展的作用就越大，板体断裂破坏的速度就越快。

(2) 板底脱空，拉应力明显增大，疲劳破坏作用剧增

按波特兰水泥协会推荐的疲劳方程：

$$\lg N_f = f_1 - f_2 [a/f_{cm}]$$

式中 N_f ——允许重复荷载作用次数；

a ——板底的弯拉应力；

f_{cm} ——板的设计弯拉强度；

f_1 、 f_2 ——设计参数。

可知,实际条件下的路面板: $N_f = N_{f1} + N_{f2}$,其中 N_{f1} 为路面完好无损至裂缝扩展阶段前所有荷载作用循环次数; N_{f2} 为网裂至板面完全断裂破坏所需要的荷载作用循环次数。按伊利诺州公路局在贝茨道路试验中对混凝土的疲劳特性的研究成果:当 $[a/f_{cm}] < 0.5$ 时,可以不考虑该弯拉应力 a 引起的疲劳破坏作用。

而实际情况是:由于板底脱空,板体拉应力增大,其值超过50%以上。显然最大弯拉应力与容许的抗弯拉强度之比 $[a/f_{cm}] > 0.5$,随着这种应力比的增大,允许重复作用次数急剧减少。

1.5 传力杆丧失传荷能力 板间接缝破坏

1.5.1 传力杆丧失传荷能力,面板周边产生过大的荷载应力、翘曲应力或收缩应力,致使面板产生裂缝。横向接缝处发展出来的短的纵向裂缝可能由于横向断面处存在的压应力而引起剪切裂缝。

1.5.2 局部传力杆丧失传荷能力,致使板角承受较大的应力作用,容易造成板角断裂。

1.5.3 传力杆丧失传荷能力,接缝处传力较弱或破坏,板下面存在空隙、软弱的垫层,加上荷载的作用,使板产生振动并在接缝处出现唧泥,最终导致错台。

1.6 路面板底基础温度稳定性破坏

由于路面板吸收辐射热量,不断传递给板底基础,造成基垫层及土基材料的温升。在地表水侵蚀作用下,会产生一定温度的湿度而发生叠合效应,即水温共同效应。这必对板底下的结构起软化作用,使结构层强度降低,为空隙压力水的冲刷创造基础条件。

2 处理措施

2.1 完善路基路面防排水设施

根据路面病害产生的原因,以及路基土的性质,路面修复方案必须解决好路基、路面的排水,防止混凝土路面病害的产生。首先应进行水的处理:对于地面水,特别是通过村镇路段,应结合城镇建设的要求,采用公路两边设置排除周边地表水的纵向排水沟,加钢筋混凝土盖板的方案。路基土含水量大或潮湿的处理:主要是降低地表水位,排除路基地下水。把地表水和地下水引到离路基表面一定深度的范围,一般采用加深边沟降低地下水位,结合路基地下水具体情况而设置盲沟或渗沟。根据土的性质采用换土法、排水固结法或挤密法来减少路基土含水量,以达到提高路基整体强度的目的。而对于通过面层接缝、裂缝和板面外侧边缘下渗的水,特别在降雨量大

而接缝填封料损坏、失效的情况下,下渗到基层或垫层内的水常滞留在路槽内,从而侵蚀基层、垫层和路基,出现断裂、唧泥和错台等病害。因此,必须迅速排除路槽内的水分,可采用两种方法:一是在整个路基宽度下采用开式级配排水层,使用开级配粒料做成的整个透水基(垫)层(可用水泥或沥青结合料处治)汇集由面板接缝、裂缝和外侧边缘渗入的水,通过空隙和横坡排向基(垫)层的外侧,并由纵向集水管汇集后横向排离路基(见图4)。二是采用密级配粒料(土工织物)或其他材料作不透水基(垫)层。通过接缝、裂缝、边缘下渗的水,将沿面层和不透水基(垫)层的界面流向路肩,在路肩下设置排水层,可迅速排除这部分下渗水,将其引离路基。水量大时,可增设纵向排水管(见图5)。

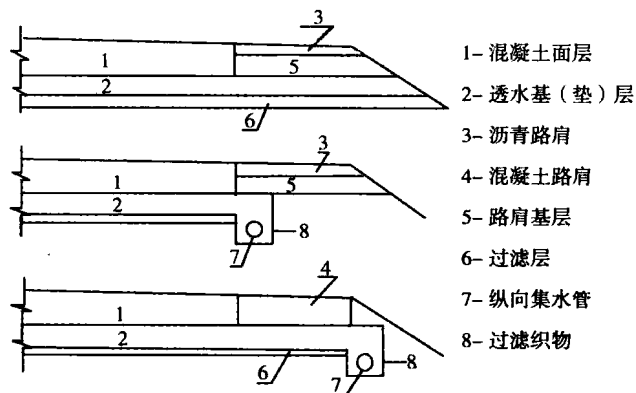


图4 透水基(垫)层排水系统示意

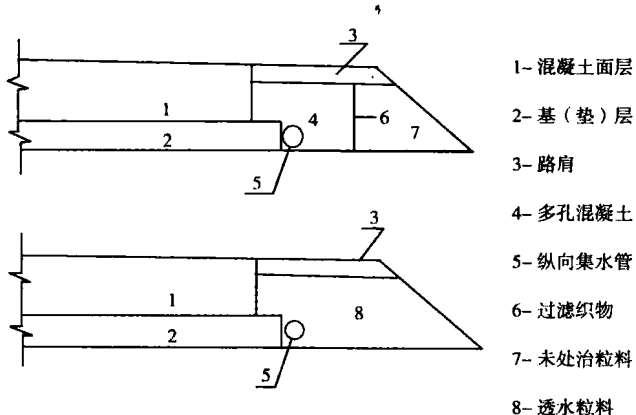


图5 面层—基(垫)层路肩排水系统示意

2.2 路基防侧滑措施

路基土体在沉降过程中特别是高路堤段,如天宝地段地质状况不佳,又受老路充分利用(防止塌方)的限制而不能彻底处理原地基,这时势必使拓宽路基底部的荷载大于地基容许承载力,造成地基土发生较大的沉降,路基土在沉降过程中产生向外侧的水平侧向位移,使路堤发生破坏,将路面拉裂,从而产生纵

向裂缝。这种情况下增设重力式路堤挡墙减小路基断面(路基自重相应减小)或增设一定宽度的反压护坡道提高土基承载力将有效控制路堤的侧滑现象。国道319线漳州北环城一级公路大坑头路段增设300 m反压护道,至今未出现将老路路面拉裂的纵向裂缝,效果较好。

2.3 限制超载和超限车辆行驶

轴荷载随着超限的增大而增大,车辆在路面上的超载和超限行驶,加剧了路面的损害。因此,应加大执法力度,防止超载和超限车辆行驶。

3 路面防治对策

3.1 对宽度在3 mm以下的非扩展性裂缝,用低粘性沥青或环氧树脂等材料灌注;如为扩展性裂缝,则沿裂缝凿槽,注入灌缝材料;对于因混凝土板下有构造物或埋置硬物而产生的裂缝,也应沿裂缝开凿后灌注填缝料,以防路表水下渗。

3.2 对局部性龟裂、脱皮、露骨和错台的路面,可在路面板表面凿除破损到一定深度,而后采用沥青混凝土路面作磨耗层,并调平错台的水泥板。

3.3 对路面板块被几条裂缝分割为三块以上的破碎板,且有沉降影响行车安全的,必须将整块板凿除,处治好基层后,重新浇筑新的混凝土板块。

3.4 对路面板和基层之间,由于出现空隙、空洞而导致路面沉陷,以及路面弯沉大主要是由于基层强度不足,整体性差,路基和基层支撑变形量超出了路面板所能容许的限度而造成的,采用板底灌浆法来增强路面结构的整体强度,解决基层强度不足和板底局部空鼓的现象。使用该方法是通过加压把水泥砂浆灌注到水泥混凝土板底,填充板底的空隙,并把板底已液化的泥浆挤出,从而增强板与基层的联结,提高基层的整体强度,防治路面水下渗等。

3.5 对原水泥混凝土破碎板、唧泥、错台、沉陷等严重损坏,采用冲击压实技术把原混凝土路面冲压破碎,作为新修路面结构底基层,然后加铺水泥稳定碎石基层和水泥混凝土面层。其方法:用三明重型机械厂生产的重型击碎夯实机(型号5YCT20),以五边形压实机械的轮子为非圆形,半径不等,冲压机械在以8 km/h~15 km/h速度行走时,不断地将势能转化为动能对地面进行冲压夯实,瞬间产生巨大的冲击能量(12 km/h达18千焦、15 km/h达20千焦)做断裂稳固处理,当冲击荷载超过水泥混凝土的抗弯拉强度时,顶面横向裂纹扩展而使面板被折断。随着冲压

遍数的增加,钢轮交错作用于面板,横向裂缝变宽并开始出现纵向裂缝。从而大大提高压实效果。然后用石屑填补槽洞,经压路机碾压后,开放交通,使击碎的旧混凝土路面更加坚固密实,经检测计算、设计确定水泥混凝土路面结构层厚度。确定路面结构为:12 cm水泥稳定碎石加25 cm水泥混凝土路面,现已施工完毕,开放交通,效果较好。

3.6 针对新老路衔接引起的纵向裂缝宽大于4 mm,并且裂缝还在继续发展的情况,则在裂缝处开挖至基层(开挖宽度大于50 cm),将基层裂缝用热沥青灌缝处理后在基层表面均匀涂刷粘合剂及改性沥青,加铺二层至三层土工布(土工布之间需涂刷如改性沥青等粘结材料),土工布宽度在缝体两侧不小于15 cm,再重新铺筑面层。对基层有明显损坏的,或路基严重不稳定的,则可采用钢筋混凝土结构取代沿裂缝纵向开挖出的原有路面的基层、底基层,增加路面基层的抗裂性能,修复后可延长路面的使用期限。

4 结 语

水泥混凝土路面板损坏是微裂缝在地表水渗入后,在重复荷载作用下的结果。板体内部缺陷是内因,各种荷载(超载和超限)作用是外因,水是加速板体裂缝扩展、断裂的加速剂,因此防止水泥混凝土板体损坏的根本措施是防水。为此,投入使用的混凝土路面要强化接缝处的养护,以防雨水渗漏和杂物落入。而对尚未产生严重破碎的水泥板,应及时进行板底压力灌注水泥砂浆,既可以有效地防治水泥板病害,延长水泥混凝土路面的使用寿命,又降低了养护成本。而破碎较严重路段采用冲击压实技术既可以消除反射裂缝,又能提供均匀稳固的支撑,同时能加快改建速度,大大缩短改建工期,减少改建期间混合交通造成的事故和由阻车引起的不良社会影响。

参 考 文 献

- [1] JTJ 073—96 公路养护技术规范. 北京:人民交通出版社,1996.
- [2] 道路路基和路面工程. 上海:同济大学出版社,1994,7.
- [3] JTJ 012—94 公路水泥混凝土路面设计规范. 北京:人民交通出版社,1994.
- [4] 邓学钧,黄晓明. 路面设计原理与方法. 北京:人民交通出版社,2001.
- [5] 黄仰贤. 路面分析与设计. 北京:人民交通出版社,1998.

防止水泥混凝土路面出现裂缝病害的探讨

程立志

(福建省三明市公路局大田分局, 福建 三明 366100)

摘要:通过对水泥混凝土路面在“改善工程”施工过程中出现裂缝、断板等病害的观察,并认真分析产生各种病害的原因,提出如何从改善施工工艺、加强初期养护、杜绝病害成因等方面进行预防和控制。

关键词:水泥混凝土路面;病害;防治

近年来,福建省对国省干线公路混凝土路面“改善工程”进行加铺处理。本文从施工角度出发,认真总结路面施工的经验教训,对如何防止混凝土路面出现早期裂缝、断板等病害进行研究,切实提高混凝土路面的施工工艺与质量,具有重要意义。

1 水泥混凝土路面早期产生裂缝 断板的原因分析

1.1 气温原因

混凝土路面施工,当遇到昼夜温差大时,容易发生裂缝甚至发生断板。即当白天新浇筑的混凝土路面尚未达到可以覆盖养生的强度,强烈的阳光直射在混凝土表面上,使混凝土表面温度较高,水分蒸发过快;当夜间气温下降幅度较大时,混凝土板体表面冷却快而收缩,而其下部由于混凝土板体导热作用,使得其硬化过程产生水化热的作用而膨胀,混凝土板的缩缝尚未切开,其自由伸缩受到限制,混凝土板即形成裂缝。这主要是温度变化引起混凝土板的胀缩,加快了应力集中的速度形成裂缝、断板。

1.2 材料原因

混凝土路面选用的材料的优劣,直接影响路面质量,如果选用的材料不当,就很容易造成路面裂缝,如水泥的收缩性很大,浇筑的混凝土在初期就容易开裂,出现早期的收缩裂缝;砂的选用应重视选择合格、含泥量较少的材料,对有机质含量超标的集料应严格禁止使用。如果选择的砂不是中粗砂,且含泥量超过3%时,混凝土的强度就明显降低,抗冻耐久性就很差,并且断板开裂现象会很严重;粗集料是混凝土的主集料,其石质的好坏,对混凝土强度有直接影响,石质不好的石料不能用于施工混凝土路面,因石料强度不足会影响路面强度,石料中针片状颗粒含量的多少也直接影响到混凝土的抗折强度。混凝土中粗细集料的级配必须通过计算和试验求得,不合理的配

合比容易使混凝土产生裂缝。

1.3 施工工艺原因

施工工艺不当,直接影响混凝土路面质量,从而产生裂缝断板,如混合料的配制、运输、路面浇筑等工序直接关系到混凝土路面质量的好坏。混凝土混合料的配制,必须依据设计配合比,严格把关。如果水灰比过大,一则直接降低混凝土的抗折强度;二则使混合料过稀,在运输和施工过程中易出现离析现象,使强度偏低,产生裂缝、断板。

混凝土的拌和与运输、卸料不当也影响混凝土的质量。如果混合料拌和时间太短、太长或不均匀;运输中出现漏浆、离析或运输时间过长时,会使路面混凝土质量受到严重影响,容易出现开裂、断板。

路面浇筑过程中,应注意均匀摊铺和振捣质量,若摊铺不均匀、振捣不实会出现蜂窝、麻面等病害,工地必须做到各工序清晰、各工作人员职责分明,禁止杂乱无章的施工,在振捣时要防止过振或漏振,避免造成混凝土强度不均匀,从而导致面板裂缝、断板。

1.4 养护原因

混凝土路面养生不及时,或养生不足都会使混凝土的表面水分蒸发过快,形成干缩裂缝,尤其在气温高、湿度小、风速大的不利条件下,更会使混凝土表面急速失水,增加路面施工难度,出现裂缝。

1.5 切缝原因

切缝的目的是为了使混凝土面层不出现无规则开裂,减小内部应力,实现人为规则断裂。如果切缝不及时,且深度不够,会造成混凝土内部应力集中,在混凝土板的薄弱处形成不规则贯穿裂缝。

1.6 机械设备原因

机械设备的选用及各种设备的进场是确保混凝土

路面施工质量必要的条件。施工中应积极采用较先进的施工机械,以满足工程的需要。高强度、高标号的水泥混凝土必须使用强制式的拌和设备、摊铺设备和振捣设备,如果只停留在以往落后设备的基础上且数量不足,是无法确保混凝土路面的施工质量,也会使混凝土路面出现裂缝。

1.7 路基原因

水泥路面加铺工程的路基,是在原有水泥混凝土路面上,经过大型击碎机击碎压实,通过一段时间的行车碾压后,进行弯沉测定,设计出符合实际的结构层厚度。但是,福建省“改善工程”水泥路加铺层施工原路基是上世纪90年代初“先行工程”时期施工的,由于当时历史背景,大部分路基碾压不实,无法满足新路面的施工要求。现在进行水泥路加铺,从国道205线三明段、福建省省道306线大田段的水泥路加铺施工现场测试来看,发现不少地段仍有较严重下沉。因此在施工前全面测定和击实路基是保证路面施工质量的必要前提。

1.8 开放交通原因

混凝土路面施工后,其强度随着养生时间推移逐渐提高,在养生期内应禁止通行车辆。如果在混凝土强度尚未达到规定值就开放交通,就很容易产生早期裂缝。

2 防止混凝土路面出现裂缝

针对以上造成水泥混凝土路面裂缝原因的分析,根据不同的原因,采取相应措施预防。

2.1 减少温差影响

在施工时应注意温差影响,采取相应的措施:当现场气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 时,应尽量避免中午高温时间段施工,可选择在早晨、傍晚或夜间施工;当摊铺现场气温 $< 5^{\circ}\text{C}$ 时,一般不能施工。应尽量避免高温或低温时期施工,如果确需在不利气温施工时,应采取相应措施加以防护,如在低温时期施工应加强保温、保湿措施,并应覆盖养生。

2.2 材料控制

混凝土混合料应选优质材料并经过试验合格的材料才允许使用。

2.2.1 选用合适的水泥

水泥品种、水泥矿物组成对混凝土路面的收缩有一定的影响。特重、重交通量的路面宜采用旋窑道路硅酸盐水泥,也可采用旋窑硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥;中、轻交通量的路面可采用矿渣硅酸盐水泥;对低温天气施工时或有早开放交通要求的路段可采用R型水泥,此外可采用普通型水泥。

水泥进场时每批量应附有化学成分及物理力学性

能等指标合格的检验证明。

选用水泥时各交通量等级路面的水泥抗折强度、抗压强度、化学成分和物理指标除应满足施工规范要求外,还应通过混凝土配合比试验,根据其配制抗弯拉强度、抗压强度、耐久性和工作性能适应的水泥品种、强度等级。

不同标号、厂牌、品种的水泥有着不同品质和特性,施工中应尽量选用同一厂家生产的同一品牌、同一标号、质量稳定可靠的水泥。条件受限制需用多厂家生产的水泥时,则不同标号、厂牌、出厂日期的水泥应分开堆放,分别使用。对同一批号的水泥,厂家必须送检(送监理中心试验室检验),并做到现场抽检,对不合格产品坚决不用。水泥和施工工艺的选用必须着眼于保证混凝土的早期强度减少收缩。

2.2.2 采用合格的砂石料 准确掌握施工配合比

粗集料应使用质地坚硬、耐久、洁净的碎石,技术指标、规格、级配应符合规范要求。

细集料也应采用质地坚硬、耐久、洁净的天然砂、机械砂或混合砂,级配应符合试验要求,含泥量应控制在规范规定的范围内,优先采用中(粗)砂。

2.3 施工工艺控制

施工工艺应从混合料的配制、运输、路面浇筑等各环节从严把关,严格按规范要求操作,做好各个环节的工作,保证各环节紧密衔接,不出差错,确保路面施工质量,防止混凝土路面出现裂缝。

混凝土混合料的配制、材料用量,应严格控制,准确掌握配合比,施工中要牢牢把住配比关。由于施工过程中各种材料通常为露天堆放,实际含水量与实验室有出入,所以每天必须测试各集料的实际含水量,及时调整配料数量,确保混凝土配比准确无误。

混凝土混合料拌和必须均匀,拌和时间不能太短也不能太长,拌和时间的长短,是由拌和机的性能与和易性要求来确定。混凝土搅拌以后从出料到施工现场进行摊铺、振捣、抹面直至浇筑完毕的最长时间,应根据水泥混凝土的初凝时间和施工时的气温来确定,必须在初凝时间内完成施工,具体见表1。

表1 施工气温与允许最长时间

施工气温($^{\circ}\text{C}$)	允许最长时间(h)
5 ~ 10	2.0
10 ~ 20	1.5
20 ~ 30	1.0
30 ~ 35	0.75

在路面浇筑过程中,应防止拌和物离析,注意均匀摊铺,进行有序均匀振捣,防止混凝土路面出现裂缝。