

文章编号:1671-1637(2014)01-0011-07

连续配筋混凝土多指标配合比设计方法

张洪亮¹, 陈江^{1,2}, 苏曼曼¹, 李宁利¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 西安市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710086)

摘要:采用 MEPDG 软件分析了连续配筋混凝土路面路用性能对于混凝土抗压强度、干缩应变、温缩系数等参数的敏感性。通过室内试验研究了水泥用量、水灰比等混凝土配合比组成参数对路面设计参数的影响。根据均衡设计的理论,建立了连续配筋混凝土多指标配合比设计方法,推荐了各配合比组成参数的范围,并建立了水灰比与混凝土干缩应变、温缩系数间的回归方程及弯拉强度与抗压强度间的关系式。分析结果表明:连续配筋混凝土配合比设计的控制指标宜包括抗压强度、干缩应变和温缩系数,水泥浆含量宜小于 22%,最大公称粒径宜为 19.0~26.5 mm。根据多指标的配合比设计方法得到的混凝土能更好地满足连续配筋混凝土路面的性能要求。

关键词:道路工程;连续配筋混凝土;配合比设计;参数敏感性分析;抗压强度;干缩应变;温缩系数
中图分类号:U416.216.2 **文献标志码:**A

Mix proportion design method with multiple indexes for continuously reinforced concrete

ZHANG Hong-liang¹, CHEN Jiang^{1,2}, SU Man-man¹, LI Ning-li¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Xi'an Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710086, Shaanxi, China)

Abstract: The sensibilities of continuously reinforced concrete pavement (CRCP) performances on concrete parameters such as compressive strength, drying shrinkage strain and temperature shrinkage coefficient were analyzed by using MEPDG software. The influences of mix proportion parameters of cement content, water-cement ratio etc on pavement design parameters were studied through laboratory tests. According to balanced design theory, the mix proportion design method with multiple indexes for continuously reinforced concrete was set up. The appropriate scopes of mix proportion parameters were recommended, the regression formulae of water-cement ratio with drying shrinkage strain and temperature shrinkage coefficient were established, and the formula of flexural-tensile strength and compressive strength was also established. Analysis result indicates that compressive strength, drying shrinkage strain and temperature shrinkage coefficient are fitted to be control indices of mix proportion design method for continuously reinforced concrete. The mass content of cement slurry should be less than 22%. Nominal maximum aggregate size should be 19.0-26.5 mm. It is shown that the concrete designed according to the mix proportion design method with multiple indexes can better satisfy the performance requirement of CRCP. 9 tabs, 4 figs, 18 refs.

收稿日期:2013-08-18

基金项目:国家自然科学基金项目(50608007);中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2011ZD010, CHD2011SY003, CHD2011JC097);《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ D40—2002)修订项目

作者简介:张洪亮(1974-),男,山东枣庄人,长安大学教授,工学博士,从事路基路面工程研究。

Key words: road engineering; continuously reinforced concrete; mix proportion design; parameter sensitivity analysis; compressive strength; drying shrinkage strain; temperature shrinkage coefficient

Author resume: ZHANG Hong-liang(1974-), male, professor, PhD, +86-29-62630056, zhliang0105@163.com.

0 引 言

连续配筋混凝土路面(Continuously Reinforced Concrete Pavement, CRCP)是高性能路面的一种,适用于重载交通条件下的高速公路。国内外学者对 CRCP 病害进行了广泛研究,发现边缘冲断是 CRCP 的首要病害,其次是宽裂缝^[1-3]。美国力学-经验法公路设计指南中提出 CRCP 的 3 个设计指标,即冲断、平整度和裂缝宽度,其中前 2 项为主要指标,最后 1 项为附加指标,同时该指南提出混凝土模量、干缩、温缩系数、强度等材料参数对冲断的影响较大^[3];Suh 等研究了集料类型对裂缝间距、裂缝宽度和使用寿命的影响,推荐采用石灰石集料^[4-6];Johnston 等针对 CRCP 的开裂问题,研究了混凝土的组成设计、环境因素以及基层类型的影响^[7-8];美国联邦公路局利用高聚合物纤维混凝土修筑 CRCP^[9];王衍辉等研究发现混凝土材料、纵横向钢筋的夹角和基层类型等对 CRCP 冲断的影响较大^[10-11];查旭东分析了板厚、混凝土弹性模量、温缩系数、干缩应变、龄期、气温等因素对 CRCP 开裂的影响^[12-13];王衍辉等分析了各参数对 CRCP 收缩应力的影响^[14];陈江分析了国内外大量 CRCP 的主要病害,探讨了强度等对 CRCP 性能的影响^[15]。虽然 CRCP 研究引起了国内外学者的广泛重视,但是连续配筋混凝土仍然采用普通道路混凝土配合比设计方法进行组成设计。

目前普通的接缝式水泥混凝土路面的主要病害是板底的疲劳开裂,故以弯拉强度作为普通道路混凝土配合比设计时的力学指标。但是,CRCP 中板底的疲劳开裂很少见,最主要病害是冲断,冲断不仅受混凝土强度影响,受混凝土干缩、温缩系数等参数的影响也很大^[3,10]。另外,调查表明,CRCP 约 90% 的冲断发生在密集的横向裂缝(裂缝间距为 0.3~0.6 m)处^[2]。混凝土强度、混凝土面层与基层间的摩擦因数等参数在公路纵向分布越均匀,裂缝分布就越均匀(多为 1~2 m 之间),冲断就越少。对普通的水泥混凝土而言,由于路面存在接缝,混凝土板块尺寸小,混凝土性能参数的变异性对混凝土路面性能的影响较小,仅强度较低的板块先开裂。由此

可见,普通道路混凝土配合比设计方法并不适用于 CRCP。

本文首先分析了温缩系数、干缩应变、抗压强度等混凝土性能参数对于 CRCP 路用性能的影响,然后分析水泥用量、水灰比、含气量、砂率等配合比组成设计参数对于混凝土性能的影响,最后建立了连续配筋混凝土多指标配合比设计方法。

1 CRCP 路用性能参数敏感性分析

CRCP 路用性能指标选用冲断、裂缝宽度和平整度,混凝土性能指标选择强度、干缩、温缩,采用美国力学-经验法公路设计指南中的 MEPDG 软件分析混凝土性能对于路面性能的影响。MEPDG 软件主要输入参数包括基本的设计信息、交通、气候、结构层组成;主要输出结果包括设计年限内的冲断、裂缝宽度、平整度和传荷系数。软件操作界面见图 1。

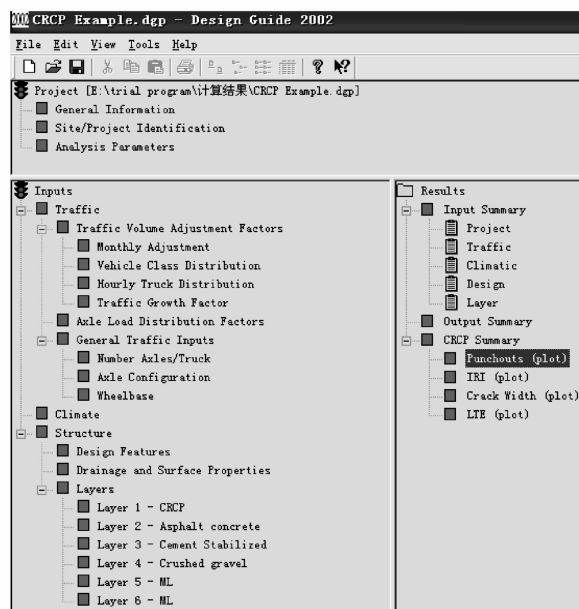


图 1 软件操作界面

Fig. 1 Software operation interface

1.1 软件输入信息

某新建公路初始年设计交通量为 $2\,000 \text{ veh} \cdot \text{h}^{-1}$, 交通增长率为 4%,路面设计年限为 20 年。面层纵向配筋率为 6%,深度方向为面板中部。路基路面结构如下:连续配筋混凝土面层(30 cm)+沥青混凝土夹层(4 cm)+水泥稳定碎石基层(20 cm)+级配

碎石底基层(20 cm)+路基(2 m)+地基。

1.2 参数敏感性分析

在软件给定的参数取值范围内,混凝土的温缩系数、干缩应变、抗压强度分别取最有利值为 $3.78 \times 10^{-6} (\text{℃})^{-1}$ 、 7.60×10^{-6} 、55.2 MPa,最不利值为 $1.80 \times 10^{-5} (\text{℃})^{-1}$ 、 2.54×10^{-5} 、20.7 MPa。当上述 3 个材料参数从最有利值变到最不利值时,分析其对冲断、平整度和裂缝宽度的影响。

1.2.1 对冲断的影响

参数变化对于冲断的影响见图 2,可以看出,对冲断的影响从大到小排序为抗压强度、温缩系数、干缩应变。以公路铺筑 10 年后预估结果为例,从最有利值变到最不利值,抗压强度、温缩系数和干缩应变分别使冲断从 0.046 0、0.006 8、0.063 4 个 $\cdot \text{km}^{-1}$ 增加到 2.919 0、0.245 4、0.064 0 个 $\cdot \text{km}^{-1}$,即抗压强度、温缩系数和干缩应变分别使冲断提高了 6 245.65%、3 508.82%、0.95%。

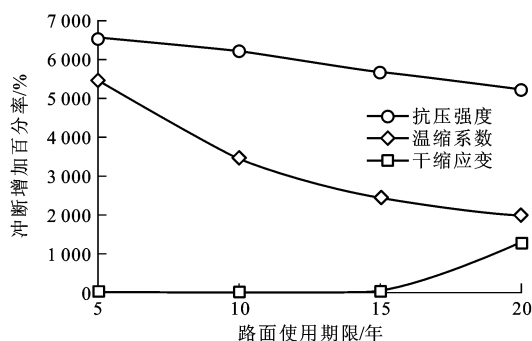


图 2 参数对于冲断的影响

Fig. 2 Influences of parameters on thrust

1.2.2 对平整度的影响

参数变化对于平整度的影响见图 3,可以看出,对平整度的影响从大到小排序为抗压强度、温缩系数、干缩应变。以公路铺筑 10 年后预估结果为例,从最有利值变到最不利值,抗压强度、温缩系数和干缩应变分别使平整度从 0.999、0.994、0.998 $\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$ 增加到 1.140、1.007、0.998 $\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$,即抗压强度、温缩系数和干缩应变分别使平整度提高了 14.11%、1.31%、0。但是在公路铺筑 20 年后干缩应变的变化对平整度影响突然变大。

1.2.3 对裂缝宽度的影响

参数变化对于裂缝宽度的影响见图 4,可以看出,对裂缝宽度的影响从大到小排序为干缩应变、温缩系数、抗压强度。以公路铺筑 10 年后预估结果为例,从最有利值变到最不利值,干缩应变、温缩系数、抗压强度分别使裂缝宽度从 0.114 3、0.149 6、

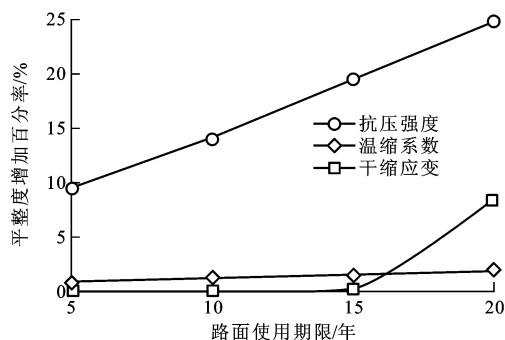


图 3 参数对于平整度的影响

Fig. 3 Influences of parameters on flatness

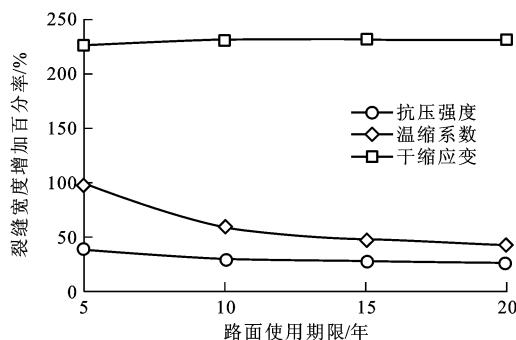


图 4 参数对于裂缝宽度的影响

Fig. 4 Influences of parameters on crack width

0.152 9 mm 增加到 0.378 7、0.237 2、0.198 8 mm,即干缩应变、温缩系数、抗压强度分别使裂缝宽度提高了 231.32%、58.56%、30.02%。

综上,温缩系数和干缩应变对 CRCP 的性能影响很大,在裂缝宽度方面的影响超过抗压强度的影响,因此,配合比设计的控制指标不能仅为混凝土强度,还应该包括温缩系数和干缩应变。

2 混凝土配合比参数对混凝土性能的影响

目前混凝土配合比组成参数对混凝土性能影响的研究比较多,但是多集中在混凝土配合比参数对强度、工作性、干缩应变和温缩系数中某 1 个或 2 个性能的影响,很少同时研究各混凝土配合比参数对强度、工作性、干缩应变和温缩系数的影响,而连续配筋混凝土对这几个性能同时有要求,因此,本文改变水泥用量、单位用水量、水灰比、减水剂、水泥浆含量(质量浓度)、含气量、砂率、粗集料最大粒径等主要配合比参数,研究每个参数的变化对各性能的影响。干缩应变、温缩系数、弯拉强度、抗压强度、劈裂强度均为 28 d 时所测试的数值。但由于试验量过大,对部分参数仅研究了其对部分性能的影响。

在研究混凝土配合比组成参数对其性能的影响时,采用固定因素法进行分析,分析某 1 个因素时,其他影响因素则采用表 1 中所给出的标准值。

表 1 混凝土配合比参数标准值

Tab. 1 Standard parameter values of concrete mix proportion

用水量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	水泥用量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	减水剂掺量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	砂率/ %	引气剂掺量/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	粗集料最大 粒径/mm	水灰 比
145	363	5.445	37	70	26.5	0.4

2.1 混凝土组成设计参数对混凝土性能的影响分析及范围推荐

2.1.1 单位水泥用量、单位用水量、水灰比

单位水泥用量、单位用水量、水灰比对路用性能的影响试验结果见表 2、3。表 2 中水灰比的变化通

过固定单位用水量,改变单位水泥用量而实现。表 3 中水灰比的变化通过固定单位水泥用量,改变单位用水量而实现。

对表 2、3 进行分析可知,混凝土的工作性能随着单位体积用水量的增加有明显的改善,如单位体积用水量由 $131 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 增加到 $160 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 时,坍落度从 29 mm 增加到 45 mm;随着单位体积用水量的增加,混凝土强度持续降低,但干缩应变与温缩系数均先增加后减小。随着水泥用量增加,混凝土温缩系数表现为先减小后增加,其工作性能则恰好相反,为先增加后减小,干缩应变则增大。随着水灰比的增加,混凝土工作性增大,而干缩应变、温缩系数和强度均降低。

表 2 水泥用量、水灰比对混凝土路用性能的影响

Tab. 2 Influences of cement content and water-cement ratio on concrete performance

水泥用量/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	水灰比	坍落度/mm	干缩应变/ 10^{-6}	温缩系数/ $10^{-6}(\text{℃})^{-1}$	弯拉强度/MPa	抗压强度/MPa	劈裂强度/MPa
403	0.36	20	512	10.10	6.02	42.06	3.86
382	0.38	25	465	8.67	5.34	35.47	3.74
363	0.40	38	411	7.46	5.27	32.37	3.30
345	0.42	30	392	6.25	4.79	31.74	3.62
330	0.44	23	383	6.67	4.52	36.97	2.78

表 3 用水量、水灰比对混凝土路用性能的影响

Tab. 3 Influences of water content and water-cement ratio on concrete performance

用水量/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	水灰比	坍落度/mm	干缩应变/ 10^{-6}	温缩系数/ $10^{-6}(\text{℃})^{-1}$	弯拉强度/MPa	抗压强度/MPa	劈裂强度/MPa
131	0.36	29	408	6.75	6.22	39.98	3.44
138	0.38	35	415	7.12	6.09	39.42	3.70
145	0.40	38	411	7.46	5.92	39.18	3.74
153	0.42	40	422	7.28	5.78	38.93	3.78
160	0.44	45	373	5.50	5.77	29.43	3.53

综合各种路用性能要求,并参考国外的相关规定,提出了基于路用性能的水灰比、单位水泥用量、单位用水量 3 个设计参数的控制范围,见表 4。

表 4 水泥用量、用水量、水灰比推荐范围

Tab. 4 Recommended scopes of cement content, water content and water-cement ratio

水灰比	单位水泥用量/kg	单位用水量/kg
≤ 0.40	320~400	≤ 150

表 5 减水剂对混凝土路用性能的影响

Tab. 5 Influence of water reducing agent on concrete performance

减水剂掺量/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	坍落度/mm	干缩应变/ 10^{-6}	温缩系数/ $10^{-6}(\text{℃})^{-1}$	弯拉强度/MPa	抗压强度/MPa	劈裂强度/MPa
6.534	51	510	7.50	4.53	31.07	2.85
5.990	45	496	7.48	5.00	31.72	3.21
5.445	38	411	7.46	5.27	32.37	3.31
4.901	36	428	7.34	5.06	30.75	3.15
4.356	31	441	7.41	4.53	27.19	2.85

2.1.2 减水剂

不同减水剂掺量条件下试验结果见表 5,混凝土的工作性随减水剂的加入而增大,如减水剂掺量由 $4.356 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 增加到 $6.534 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,坍落度从 31 mm 增加到 51 mm;相对于没有掺加减水剂的混凝土,掺加减水剂后干缩应变增大,但减水剂的剂量对于干缩应变的影响没有明显的规律性;减水剂的剂量对于温缩系数影响较小。

本文在分析减水剂掺量的影响时,为研究方便固定了单位用水量。实际上,掺入减水剂可以减少单位用水量。在工程应用中,建议考虑减水剂的增加所导致的单位用水量的降低,通过强度、干缩应变、温缩系数等对比试验确定最佳的减水剂掺量。

2.1.3 含气量

不同含气量条件下试验结果见表 6,可以看出,当含气量处于 3%~6% 时,混凝土的弯拉强度、干缩应变、温缩系数等比较理想,具体可以根据当地路面无抗冻性、有抗冻性或抗盐冻性要求及混凝土最大公称粒径确定^[16]。

表 6 含气量对混凝土路用性能的影响

Tab. 6 Influence of air content on concrete performance

含气量/%	干缩应变/ 10^{-6}	温缩系数/ $10^{-6}(\text{℃})^{-1}$	弯拉强度/MPa
2.5	425	8.08	4.59
4.0	411	7.46	5.27
4.5	440	7.57	5.27
6.0	528	7.14	4.67

2.1.4 水泥浆含量

不同水泥浆含量(质量浓度)条件下试验结果见表 7,可以看出,随着水泥浆含量的增加,混凝土的工作性能明显改善,如水泥浆含量从 $461\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 增加为 $564\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,坍落度从 28 mm 增大为 55 mm,但是水泥浆含量越大,混凝土干缩应变越大,温缩系数也整体上呈增大的趋势,因此,考虑连续配筋混凝土的抗裂性能,在满足工作性能和强度要求的前提下应尽量减小水泥浆用量,建议水泥浆含量一般应小于 22%。

表 7 水泥浆含量对混凝土路用性能的影响

Tab. 7 Influence of cement slurry content on concrete performance

水泥浆含量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	坍落度/ mm	干缩应变/ 10^{-6}	温缩系数/ $10^{-6}(\text{℃})^{-1}$
461	28	334	8.49
483	34	392	8.65
508	38	411	7.46
535	45	432	10.27
564	55	479	10.81

2.1.5 砂率

不同砂率条件下试验结果见表 8,可以看出,砂率在 36%~38% 变化时,随着砂率的增加,混凝土的干缩应变逐渐增加;对混凝土的工作性能、弯拉强度和劈裂强度均存在一个最佳砂率,该参数的取值

可以根据砂的细度模数和粗集料种类确定^[16]。

表 8 砂率对混凝土路用性能的影响

Tab. 8 Influence of sand ratio on concrete performance

砂率/ %	坍落度/ mm	干缩应变/ 10^{-6}	弯拉强度/ MPa	抗压强度/ MPa	劈裂强度/ MPa
36	42	380	5.78	42.20	2.99
37	48	383	6.37	47.80	3.36
38	41	384	5.49	41.21	2.97

2.1.6 粗集料最大粒径

不同粗集料最大粒径条件下试验结果见表 9,可以看出,增加粗集料的最大粒径会使集料的比表面积减小,虽然会增大混凝土的坍落度,但其和易性比较差;当最大粒径在 19.5~31.5 mm 范围内改变时,混凝土弯拉强度随着最大粒径的增加先增大后减小。美国力学-经验法公路设计指南^[3]建议粗集料最大粒径宜为 26.5 mm。根据研究结果,连续配筋混凝土最大公称粒径的推荐值为 19.0~26.5 mm。

表 9 粗集料最大粒径对混凝土路用性能的影响

Tab. 9 Influence of maximum diameter of coarse aggregate on concrete performance

粗集料最大粒径/mm	坍落度/mm	弯拉强度/MPa
31.5	42	5.90
26.5	38	6.80
19.5	30	6.70

2.2 试验结果的回归分析

2.2.1 温缩系数、干缩应变与水灰比的回归分析

单位用水量不变,通过改变单位水泥用量来改变水灰比。设水、水泥的质量分别为 W 、 C ,根据试验结果建立水灰比 W/C 与温缩系数 γ_t 和干缩应变 γ_s 之间的回归方程分别为

$$\gamma_t = 18.842 - 24.471W/C \quad (1)$$

$$\gamma_s = 825.37 - 866.74W/C \quad (2)$$

式(1)、(2)判定系数分别为 0.994、0.992。

2.2.2 弯拉强度与抗压强度的回归分析

对混凝土弯拉强度 f'_r 和抗压强度 f_y 采用幂函数进行回归,判定系数为 0.941,说明混凝土弯拉强度和抗压强度之间服从幂函数关系,即

$$f'_r = 0.691f_y^{0.589} \quad (3)$$

3 连续配筋混凝土多指标配合比设计方法

3.1 配合比设计目标

3.1.1 弯拉强度、干缩应变、温缩系数均衡

分析弯拉强度、干缩应变、温缩系数对 CRCP

性能的影响可知,较高的混凝土强度和较低的模量、干缩应变、温缩系数对性能有利,但是两者又相互矛盾,因此,在进行连续配筋混凝土配合比设计时,应保证设计的混凝土在满足一定的强度要求(如满足文献[16]中的要求)的条件下,具有较低的干缩应变和温缩系数。

3.1.2 工作性

由于 CRCP 中存在钢筋,为保证钢筋网下部混凝土振捣密实,连续配筋混凝土的坍落度宜比普通路面混凝土大 10%~20%。

3.1.3 耐久性

连续配筋混凝土的耐久性要求与普通的接缝式水泥混凝土相同。

3.1.4 性能变异性

连续配筋混凝土的强度、弹性模量等参数的变异水平应为低级,变异系数应小于 0.10。

3.2 连续配筋混凝土多指标配合比设计方法

3.2.1 计算试配弯拉强度

根据《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTGF30—2003)的规定,混凝土 28 d 弯拉强度均值计算公式为

$$f_c = \frac{f_r}{1 - 1.04c_v} + ts \quad (4)$$

式中: f_c 为配制 28 d 弯拉强度的均值(MPa); s 为弯拉强度试验样本的标准差(MPa); t 为保证率系数; c_v 为变异系数; f_r 为设计弯拉强度,取标准值(MPa)。

3.2.2 水灰比的确定

参照《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTGF30—2003)的规定,计算初选水灰比为

$$\frac{W}{C} = \frac{1.5684}{f_c + 1.0097 - 0.3595f_s} \quad (5)$$

式中: f_s 为水泥实测 28 d 抗折强度(MPa)。

对初选水灰比分别增减 0.02、0.04,针对每个水灰比,根据式(1)、(2)计算混凝土的干缩应变、温缩系数,根据式(5)反算混凝土 28 d 弯拉强度,进而通过式(3)中幂函数关系式反算出混凝土抗压强度。将混凝土干缩应变、温缩系数、抗压强度代入美国力学-经验法公路设计指南中 MEPDG 软件进行冲断预估,将最少的冲断数对应的水灰比作为设计水灰比。如果缺少 MEPDG 软件,应综合考虑混凝土干缩应变、温缩系数、弯拉强度 3 个参数确定设计水灰比。

3.2.3 其他设计参数的确定

其他设计参数包括连续配筋混凝土砂率、单位

水泥用量、单位用水量和粗、细集料含量,可以参照普通的道路混凝土配合比设计方法确定,具体如下:根据砂的细度模数和粗集料的种类确定砂率;根据混凝土耐久性要求确定单位水泥用量;根据路面施工方式和集料类型(碎石或卵石)确定单位用水量;根据密度法或体积法计算确定粗、细集料用量^[16]。但应注意上述各参数应满足上文推荐的设计范围要求。

3.2.4 确定实验室配合比

检验混凝土拌和物是否满足不同摊铺方式的最佳工作性要求。当混凝土拌和物不能满足相应的摊铺方式要求时,应对配合比设计进行一定的调整,调整时应保持原水灰比不变,改变外加剂掺量、砂率或单位用水量,但不能减小单位水泥用量。以上文确定的水灰比为中心,按 0.02 增减幅度选定 3 个水灰比,制作试件,测试弯拉强度、抗压强度、耐久性、干缩应变、温缩系数等指标。将干缩应变、温缩系数、抗压强度代入 MEPDG 软件进行冲断和平整度预估,根据结果选定最佳实验室水灰比。对于经过上述步骤确定的混凝土配合比,需在实验室内通过试验检验混凝土的工作性、密度、弯拉强度、抗压强度、耐久性等指标是否满足要求^[16],通过上述指标检验的混凝土可确定为实验室基准配合比。

3.2.5 混凝土配合比的施工现场修正

实验室基准配合比应通过搅拌楼实际拌和检验和不少于 200 m 试验路段的验证。考虑施工中原材料含泥量、泥块含量、含水量变化和施工变异性等因素,单位水泥用量应适当增加 5~10 kg。满足试拌试铺的工作性、配制弯拉强度、抗压强度和耐久性等要求的配合比可确定为施工配合比^[16-18]。

4 结 语

(1)由于温缩系数和干缩应变对 CRCP 的性能影响较大,在裂缝宽度方面的影响甚至超过抗压强度的影响,因此,连续配筋混凝土配合比设计的控制指标不能仅为混凝土强度,还应该包括温缩系数和干缩应变。

(2)通过室内试验研究了混凝土配合比组成参数对混凝土强度、干缩应变和温缩系数的影响,提出混凝土单位用水量、水灰比、减水剂掺量、含气量等组成设计参数材料指标的初步推荐范围,建立了水灰比与混凝土干缩应变、温缩系数间的关系式。

(3)在分析路用设计参数对于路用性能的影响,以及分析混凝土组成设计参数对于路面设计参数的

影响的基础上,建立了包括混凝土的抗压强度、干缩应变和温缩系数等指标的连续配筋混凝土多指标配合比设计方法。

(4)建立干缩应变、温缩系数与水灰比的回归关系式时试验数据较少,有待进一步增加试验量,对该公式进行检验和修正。

参考文献:

References:

- [1] ZOLLINGER D G, BUCH N, XIN D P, et al. Performance of continuously reinforced concrete pavements, volume VI—CRC pavement design, construction, and performance[R]. McLean: Federal Highway Administration, 1999.
- [2] SELEZNEVA O I, DARTER M I, ZOLLINGER D G, et al. Characterization of transverse cracking spatial variability using LTPP data for CRCP design [J]. Transportation Research Record, 2003(1849): 147-155.
- [3] Transportation Research Board. Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures[R]. Washington DC: Transportation Research Board, 2004.
- [4] SUH Y C, HANKINS K, MCCULLOUGH B F. Early-age behavior of continuously reinforced concrete pavement and calibration of the failure prediction model in the CRCP-7 Program[R]. Austin: University of Texas at Austin, 1992.
- [5] JIMENEZ M A, MCCULLOUGH B F, HANKINS K. Monitoring of siliceous river gravel and limestone continuously reinforced concrete pavement test sections in Houston 2 years after placement, and development of a crack width model for the CRCP-7 program[R]. Austin: University of Texas at Austin, 1992.
- [6] CHO Y H, DOSSEY T, MCCULLOUGH B F. Early age performance of continuously reinforced concrete pavement with different types of aggregate [J]. Transportation Research Record, 1997(1568): 35-43.
- [7] JOHNSTON D P, SURDAHL R W. Influence of mixture design and environmental factors on continuously reinforced concrete pavement cracking[J]. Transportation Research Record, 2007(2020): 83-88.
- [8] JOHNSTON D P, SURDAHL R W. Effects of base type on modeling long-term pavement performance of continuously reinforced concrete sections [J]. Transportation Research Record, 2006(1979): 93-101.
- [9] Federal Highway Administration. Evaluating the use of fiber-reinforced polymer bars in continuously reinforced concrete pavement[R]. McLean: Federal Highway Administration, 2009.
- [10] 王衍辉. 连续配筋混凝土路面横向裂缝分布预估研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
WANG Yan-hui. Study on predicting transverse cracks distribution of continuously reinforced concrete pavement [D]. Xi'an: Chang'an University, 2010. (in Chinese)
- [11] 左志武, 张洪亮, 陈江. 连续配筋混凝土路面性能参数影响的试验[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2010, 30(1): 23-29.
ZUO Zhi-wu, ZHANG Hong-liang, CHEN Jiang. Test of effects of parameters on continuously reinforced concrete pavement (CRCP) performance[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2010, 30(1): 23-29. (in Chinese)
- [12] 查旭东. 连续配筋混凝土路面横向开裂发展规律[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(2): 65-68.
ZHA Xu-dong. Development laws of transverse cracking for continuously reinforced concrete pavement [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(2): 65-68. (in Chinese)
- [13] 查旭东. 连续配筋混凝土路面横向开裂的敏感性分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2008, 5(2): 64-70.
ZHA Xu-dong. Sensitivity analysis of transverse cracking for continuously reinforced concrete pavement [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2008, 5(2): 64-70. (in Chinese)
- [14] 王衍辉, 徐士翠. 连续配筋混凝土路面收缩应力及参数敏感性分析[J]. 中外公路, 2012, 32(3): 90-95.
WANG Yan-hui, XU Shi-cui. Analysis of shrinkage stress and parameter sensitivity for continuously reinforced concrete pavement [J]. Journal of China and Foreign Highway, 2012, 32(3): 90-95. (in Chinese)
- [15] 陈江. 连续配筋混凝土配合比设计方法及施工技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
CHEN Jiang. Research on construction technique and mix design method of continuously reinforced concrete [D]. Xi'an: Chang'an University, 2010. (in Chinese)
- [16] JTG F30—2003, 公路水泥混凝土路面施工技术规范[S].
JTG F30—2003, technical specification for construction of highway cement concrete pavements[S]. (in Chinese)
- [17] 赵亚兰, 陈拴发. 连续配筋混凝土基层沥青路面层间剪应力分析[J]. 筑路机械与施工机械化, 2010, 27(4): 45-48.
ZHAO Ya-lan, CHEN Shuan-fa. Analysis of interlayer shear stress for continuously reinforced concrete base asphalt pavement [J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2010, 27(4): 45-48. (in Chinese)
- [18] 高莉春, 谭利华. 高性能混凝土拌和用水温度控制[J]. 筑路机械与施工机械化, 2012, 29(9): 47-49.
GAO Li-chun, TAN Li-hua. Temperature control of mixing water for high performance concrete [J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2012, 29(9): 47-49. (in Chinese)