

砂细度模数对道面混凝土性能的影响

吴永根¹, 李文哲¹, 韩照^{1,2}, 黄命辉³, 付亚伟³, 张磊⁴

(1. 空军工程大学机场建筑工程系, 陕西西安, 710038; 2. 93926 部队, 新疆和田, 848000;
3. 空军第六空防工程处, 湖南衡阳, 421000; 4. 95959 部队, 北京, 100005)

摘要 细集料的粗细程度即细度模数 M_x 对混凝土的、各项性能都会产生一定影响。将初始细集料进行筛分调配成细度模数分别为 2.11、2.64、3.15、3.6 的 4 种砂, 在保持基准配比不变的前提下, 采用这 4 种砂配制机场道面混凝土制并通过试验对其工作性能、抗压强度、抗折强度、抗冻性、抗渗性和耐磨性进行系统研究, 找出细度模数对道面混凝土性能的影响规律, 确定适合机场道面混凝土用砂的细度模数范围。结果表明: 在机场道面混凝土中, 细集料最佳细度模数综合考虑确定为 2.64 左右。细度模数此基础上偏大则强度、抗冻性、抗渗性下降较快, 偏小则耐磨性下降较快。

关键词 混凝土; 细集料; 细度模数; 工作性; 强度; 耐久性; 抗冻性; 抗渗性; 耐磨性

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.04.002

中图分类号 TU521.1 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2013)04-0005-04

Effect of Sand Fineness Modulus on Performance of Pavement Concrete

WU Yong-gen¹, LI Wen-zhe¹, HAN Zhao^{1,2}, HUANG Ming-hui³, FU Yawei³, ZHANG Lei⁴

(1. Department of Airfield and Building Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China; 2. Unit 93926, Hetian 848000, Xinjiang, China; 3. NO. 6 Air Defense Engineering Department of Air Force, Hengyang 421000, Hunan, China; 4. Unit 95959, Beijing 100005, China)

Abstract: The sand thickness degree namely fineness modulus M_x of fine aggregate has some effect on various performance of concrete. The initial fine aggregate is sieved into four different kinds of sand as 2.11, 2.64, 3.15, 3.6. By keeping the basic mix proportion unchanged, four kinds of pavement concrete are made up with these four kinds of sand, and through a lot of experiments, the workability, compressive strength, flexural strength, frost resistance, impermeability and wearing resistance of these four kinds of pavement concrete are systematically studied, the influence rules of sand fineness modules on the performance of pavement concrete are found, the fineness modules range of the sand suitable for airport pavement concrete is defined. The results show that the optimal range of fineness modules of fine aggregate is synthetically considered and determined as 2.64 or so. If the fineness modulus is over this basic range, the strength, frost resistance and impermeability will decrease rapidly, if less than that range, the wearing resistance will decrease rapidly.

Key words: concrete; fine aggregate; fineness modulus; workability; strength; durability; frost resistance; impermeability; wearing resistance

收稿日期: 2012-12-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51208506)

作者简介: 吴永根(1969—), 男, 上海人, 教授, 主要从事机场施工与材料研究. E-mail: wuyonggen1@163.com

机场混凝土道面以抗折强度为设计指标,当其承受的荷载疲劳应力和温度疲劳应力之和超过混凝土的抗折强度时,道面混凝土会出现纵向、横向、斜向或板角隅裂缝,发生疲劳断裂破坏^[1]。细集料是配制混凝土的重要组分,占到总量的1/3。其粗细度即细度模数 M_x ^[2]对混凝土的和易性、强度和耐久性都有一定的影响。确定细集料最佳细度模数的范围对实际工程中道面混凝土的配合比设计具有重要意义,也是现场保证工程质量的一个有效的途径^[3]。本文通过大量试验,对4种不同细度模数的砂拌合的混凝土的工作性能,强度和耐久性进行试验研究,确定了适合的机场道面混凝土用砂的细度模数范围。

1 试验原材料及方法

实验采用:①砂:西安灞河河砂,含泥量1.76%,细度模数2.80,表观密度 $2\ 630\text{ kg/m}^3$;②水泥:陕西耀县秦岭牌PO42.5R级水泥,28 d抗折、抗压强度分别为8.4 MPa、52.2 MPa;③粗集料:陕西泾阳石灰石,由5~20 mm小石,20~40 mm大石按5:5掺配,表观密度 $2\ 780\text{ kg/m}^3$;④水:普通饮用自来水。

将初始砂进行人工筛分调配成细度模数分别为2.11、2.64、3.15、3.6的细砂、中砂、中粗砂和粗砂,累计筛余见图1,筛分结果符合《建筑用砂》^[2]中对粗砂、中砂和细砂的级配要求。

在常用机场道面混凝土配合比的基础上,经过试拌调整,确定试验配合比,水泥320,水144,砂586,石1419,砂率30%,水灰比0.45。X1、X2、X3、X4分别代表4种细度模数的砂配制的道面混凝土。细度模数对道面混凝土工作性、强度、抗冻性、抗渗性及耐磨性的影响试验研究均以此配合比按相应混凝土规范进行。

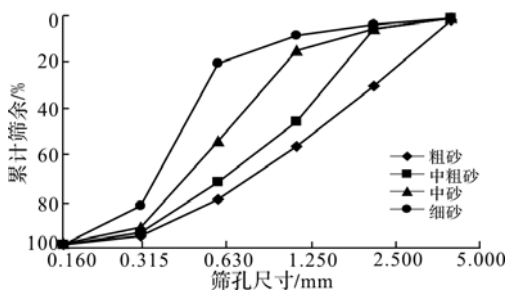


图1 砂累计筛余

Fig. 1 The accumulated sieved residue of the sand

2 对工作性能的影响

道面混凝土为干硬性混凝土,工作性试验采用维勃稠度法^[4]进行工作性测试。试验结果见图2。

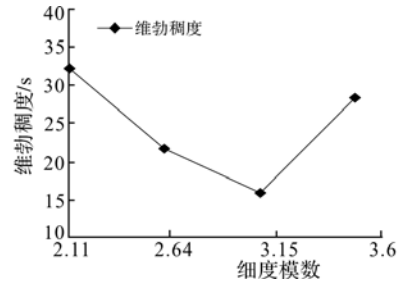


图2 维勃稠度试验对比结果图

Fig. 2 The comparison chart of the results of workability experiment

由图2可知,维勃稠度随细度模数的增大先减小后增大,说明流动性先变好后变差。 M_x 为2.11的细砂,单位质量表面积较大,在拌和过程中会粘附大量水份,造成拌合物干涩,流动性较差,而 M_x 为3.6时,砂颗粒过粗、粒径过大,其中2.5~5 mm颗粒含量达到28.9%,虽表面水膜多,但保水性变差,易泌水,粘聚性差,拌合物中多余的水份并不参与整体的流动,同样表现为干涩,流动性差。 M_x 为2.64的中砂,维勃稠度21 s,流动性最佳。这是因为中砂颗粒级配良好,保水性、粘聚性好,同时砂颗粒表面吸附的水份能充分发挥流动性,因此和易性最佳。我国规范^[2]粗砂细度模数规格为3.1~3.7, M_x 为3.15的粗砂,在粗砂中颗粒偏细,所以保水性较细度模数为3.6的粗砂好。而比 M_x 为2.64的中砂颗粒粗,单位质量的砂表面积更小,将有更多的水参与拌合物的流动,因此细度模数为3.15混凝土拌合物的维勃稠度最小,砂流动性最好。

3 对强度的影响

抗折、抗压强度试验按照国标的规定进行^[5]。采用 $100\text{ mm}\times 100\text{ mm}\times 400\text{ mm}$ 和 $200\text{ mm}\times 200\text{ mm}\times 200\text{ mm}$ 的试件,试件成型后在标准条件下分别养护7 d、28 d后,进行强度测试。试验结果见图3~图4。

由图3可知,道面混凝土7 d、28 d抗折强度均随砂细度模数的增大先增大后减小。 M_x 为2.64的中砂,道面混凝土抗折强度最大,7 d抗折强度达到5.15 MPa,28 d抗折强度达到5.87 MPa。 M_x 为3.6的粗砂,道面混凝土7 d、28 d抗折强度分别只有4.64 MPa和5.19 MPa。 M_x 为2.64的中砂比细3.6的粗砂,7 d、28 d抗折强度分别高10.99%

和 13.1%。

由图 4 可知,道面混凝土 7 d、28 d 抗压强度均

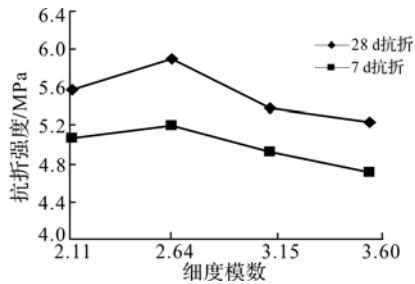


图 3 细度模数与抗折强度关系曲线

Fig. 3 The relationship curve between fineness modulus and flexural strength

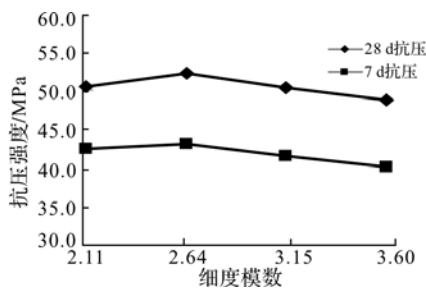


图 4 细度模数与抗压强度关系曲线

Fig. 4 The relationship curve between fineness modulus and compressive strength

随砂细度模数的增大先增大后减小,其它条件不变,仅改变砂细度模数,混凝土的抗压强度有较大差别^[6],与抗折强度相似。当 M_x 为 2.64 时,抗压强度最大,7d、28 d 抗压强度分别达到 42.5 MPa 和 52.27 MPa。当 M_x 为 3.6 时,7 d、28 d 抗压强度只有 39.26 MPa 和 48.65 MPa。 M_x 为 2.64 的中砂比之为 3.6 的粗砂,7 d 抗压强度高 8.25%,28 d 抗压强度高 7.44%,7 d 抗压强度提高幅度比 7 d 抗折强度提高幅度少 24.93%,28 d 抗压强度提高幅度比抗折强度少 43.2%。

综上,将砂细度模数控制在 2.64 左右能有效提高道面混凝土的抗折、抗压强度。同时细度模数对道面混凝土抗折强度的影响较抗压强度更为敏感。

4 对抗冻性的影响

抗冻试验参照国标中的快冻法^[7],采用 100 mm×100 mm×400 mm 的棱柱体试件,试验龄期为 28 d,每冻融循环 10 次后,对各个试件的质量和动弹模量进行一次测定,计算出质量损失率和相对动弹性模量。当相对动弹模量降至 55% 后,继续测试件质量直至质量损失达到 5% 后,停止试验。试验结果见图 5~图 6。

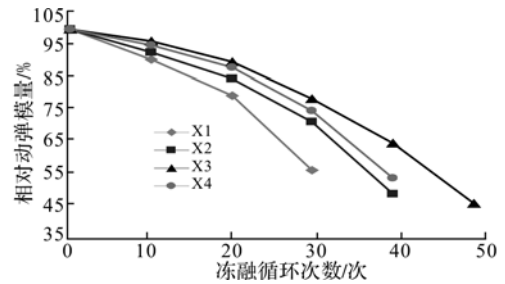


图 5 冻融循环次数与相对冻弹模量关系曲线

Fig. 5 The relationship curve between freeze-thaw cycles and relative loss modulus

由图 5 可知,相对动弹模量下降到 55% 时,试件 X1、X2、X3、X4,经受的冻融循环次数分别为 40 次、50 次、40 次、30 次,为说明 M_x 为 2.64 的中砂配制的道面混凝土抗冻性最好, M_x 为 3.6 的粗砂配制的道面混凝土抗冻性最差。而在相同的冻融循环次数中,试件 X1 的相对动弹模量总大于试件 X3,说明试件 X3 相对动弹模量下降速度比试件 X1 更快,内部结构抵抗冻融循环的能力更差,因此 M_x 为 3.15 的粗砂道面混凝土较 2.11 的细砂道面混凝土抗冻性更差。以上结果是由于细度模数在 2.64 的中砂级配最好,道面混凝土密实度最大。细度模数偏小,细集料表面积偏大,水泥浆量不足,因此抗冻性不好。细度模数偏大,混凝土中毛细孔缺少 0.63 mm 以下的细颗粒填充,这对抗冻性极其不利。

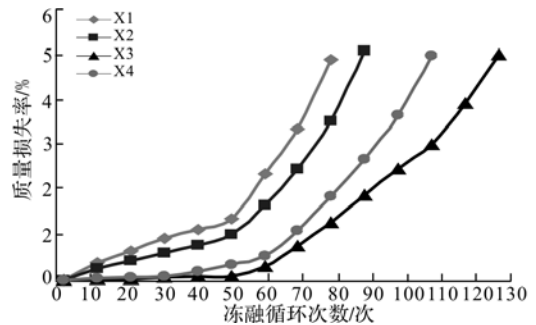


图 6 冻融循环次数与质量损失率关系曲线

Fig. 6 The relationship curve between freeze-thaw cycles and mass loss rate

由图 6 可知,质量损失达到 5% 时,试件 X1、X2、X3、X4,所能经受的冻融循环次数分别为 110 次、130 次、90 次、80 次,说明 M_x 为 2.64 的中砂配制的道面混凝土抗冻性最好,能经受冻融循环次数是 M_x 为 3.6 道面混凝土的 1.62 倍,抗冻性差距十分明显。其次为 3.15 的粗砂,再次为 2.12 的细砂, M_x 为 3.6 的粗砂配制的道面混凝土抗冻性最差。这与前面的结论一致,并且随着冻融循环次数的增加试件抗冻性差异表现的越来越明显。因此,选择细度模数为 2.64 左右的中砂作为道面混凝土的细集料对道面混凝土抗冻性的提高更有利。

5 对抗渗性的影响

抗水渗透性试验按照国标中的渗水高度试验方法^[7],采用顶面直径为 175 mm,底面直径为 185 mm,高度为 150 mm 的圆台形试件,试件龄期 28 d,水压力恒定控制在 0.4 MPa,24 h 后停止试验,将试件沿纵断面劈裂为两半,测量渗水高度。试验结果见图 7。

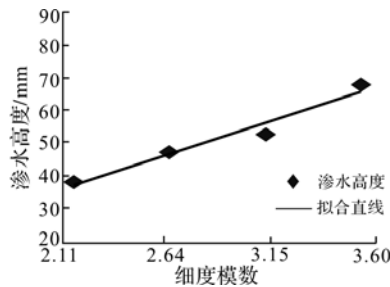


图 7 细度模数与渗水高度关系曲线

Fig. 7 The relationship curve between fineness modulus and water penetration height

由图 7 可知,细度模数越小,道面混凝土渗水高度越低,说明细集料越细道面混凝土抗水渗透性能越好。混凝土水灰比越小,凝固后的水泥浆越密实,抗渗性越高^[8],砂细度模数越小单位质量的表面积越大,会吸收更多拌合物中的水份使得水灰比变小。同时细度模数较小的砂比细度模数较大的砂形成的水泥胶砂界面更加密实,进一步提高了道面混凝土的抗渗性。因此,在保证道面混凝土和易性和强度的同时选择细度模数较小的细砂有助于道面混凝土抗渗性的提高。对细度模数 M_x 和渗水高度 H (mm) 进行线性回归可得下式(R 为相关系数):

$$H = 29.152M_x - 30.688 \quad R^2 = 0.9454$$

6 对耐磨性的影响

耐磨试验按照国标的规定进行试验^[9]。试验采用上海同济大学附属工厂生产的 NS-2 型滚珠式耐磨试验机,试件制作成型边长 150 mm 的立方体标准试件,经过 28 d 标准养护后,将平整面作为受磨面进行耐磨试验。试验结果见图 8。

由图 8 可知,耐磨度最高的混凝土为细度模数 2.64 的中砂,其次依次为 3.15、3.6 和 2.11。在细度模数由 2.11 向 2.64 变化的过程中耐磨度曲线迅速上升,在 M_x 由 2.64 向 3.6 变化的过程中耐磨度曲线缓慢下降,说明砂过粗或过细道面混凝土耐磨度都会下降,其中砂过细道面混凝土耐磨度下降速度更快。因此,控制砂细度模数为 2.64 左右,可以有效提高道面混凝土的耐磨度。

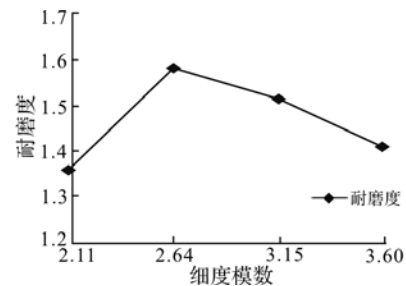


图 8 细度模数与耐磨度关系曲线

Fig. 8 The relationship curve between fineness modulus and wearing resistance

7 结语

本文基于普通机场道面混凝土常用配合比,采用 M_x 分别为 2.11、2.64、3.15、3.6 的 4 种砂,配制了 4 种机场道面混凝土,通过试验系统分析了细度模数 M_x 对道面混凝土工作性能,抗折、抗压强度,抗冻性,抗渗性和耐磨性的影响规律。为保证工程质量,建议采用细度模数为 2.64 左右的中砂,可以得到综合性能最佳的机场道面混凝土。

参考文献 (References):

- [1] Pilar Alaejcs Gutierrez, Mnuel Fernandez Canovas. High-performance concrete requirements for constituent materials and mix proportioning[J]. ACI materials journal, 1996, 93(3): 233-241.
- [2] GB/T14684-2001. 建筑用砂[S].
GB/T14684-2001. Sand for building[S].
- [3] 孙金枝. 砂的细度模数与混凝土强度[J]. 湖南交通科技, 2008, 34(2): 182-183.
SUN Jinzhi. Sand fineness modulus and strength of concrete [J]. Hunan communication science and technology, 2008, 34(2): 182-183. (in Chinese)
- [4] GB/T50080-2002. 普通混凝土拌合物性能试验方法标准[S].
GB/T50080-2002. Standard for test method of performance on ordinary fresh concrete[S].
- [5] GB/T50081-2002. 普通混凝土力学性能试验方法标准[S].
GB/T50081-2002. Standard for test method of mechanical properties on ordinary concrete[S].
- [6] 梁勇. 砂的细度模数与混凝土抗压强度[J]. 山西建筑, 2006, 32(19): 159-160.
LIANG Yong. Fineness modulus of sand and compression strength of concrete[J]. Shanxi architecture, 2006, 32(19): 159-160. (in Chinese)
- [7] GB/T 50082-2009. 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准[S].
GB/T 50082-2009. Standard for test methods of long-term performance and durability of ordinary concrete[S].
- [8] 任峰. 集料对混凝土性能影响的试验研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
REN Feng. Experimental research on the influence of aggregates on the properties of concrete[D]. Dalian: Dalian university of technology, 2007. (in Chinese)
- [9] GB/T16925-1997. 混凝土及其制品耐磨性试验方法(滚珠轴承法)[S].
GB/T16925-1997. Test method for abrasion resistance of concrete and its products(ball bearing method)[S].

(编辑: 徐敏)