

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2024.04.016

引用格式:张鹏.机场纤维混凝土道面钢筋黏结强度及抗裂性能试验研究[J].公路与汽运,2024,40(4):71-74+80.

Citation:ZHANG Peng.Experimental study on bond strength and crack resistance of reinforced bar on airfield fiber concrete pavement[J].Highways & Automotive Applications,2024,40(4):71-74+80.

机场纤维混凝土道面钢筋黏结强度及 抗裂性能试验研究

张鹏^{1,2}

(1.民航机场建设工程有限公司,天津 300456;2.民航机场智能建造与工业化工程技术研究中心,天津 300456)

摘要:将高强改性聚酯纤维和聚乙烯醇纤维分别按 1.0 kg/m³、1.2 kg/m³、1.4 kg/m³ 的掺量掺入混凝土中制作试件进行黏结强度和抗裂试验,并将试验结果与未掺纤维混凝土试件试验结果进行对比,测试机场道面混凝土中掺加高强改性聚酯纤维和聚乙烯醇纤维后混凝土与钢筋的黏结强度及混凝土表面裂缝长度和宽度,分析掺纤维对混凝土与钢筋黏结强度和抗裂性能的影响。结果表明,掺纤维混凝土的钢筋握裹强度均大于未掺纤维混凝土,纤维掺量达到 1.2 kg/m³ 时混凝土与钢筋的黏结强度最大,纤维掺量大于 1.2 kg/m³ 时黏结强度随纤维掺量的增加而降低;掺加纤维可提高机场道面的抗裂性能,高强改性聚酯纤维掺量为 1.4 kg/m³ 时,混凝土试件表面无裂缝,抗裂效果最佳;采用掺量为 1.4 kg/m³ 的高强改性聚酯纤维混凝土,机场道面的综合性能最优。

关键词:公路;机场纤维混凝土道面;黏结强度;抗裂性能;高强改性聚酯纤维;聚乙烯醇纤维

中图分类号:U418.6

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2024)04-0071-04

长期大面积处于室外露天环境的机场道面,不仅要具有较好的抗摩擦、抗冲击、抗腐蚀性等耐久性能,还要具有足够的支撑飞机着陆和起飞的力学性能^[1]。为提高机场水泥混凝土道面的使用性能,在混凝土中掺加纤维。岑国平等研究高强合成纤维对机场道面接缝处抗冲击性能的改善作用,发现采用纤维掺量较高的混凝土,机场道面的抗冲击性能比传统混凝土道面更好,使用寿命更长^[2]。邓宗才等研究发现混掺高性能粗聚烯烃纤维和细聚乙烯醇纤维能显著改善机场道面混凝土的弯曲韧性^[3]。李文哲等分析不同规格玄武岩纤维对机场道面混凝土抗冻性能的影响,确定了最优纤维规格,但未分析玄武岩纤维对道面混凝土力学性能的影响^[4]。Wang Z. H.等在 4 个应力水平下对聚甲醛纤维混凝土进行四点弯曲疲劳试验,发现聚甲醛纤维可使机场道面混凝土的弯曲疲劳变形能力提高近 100%^[5]。Cui Y. H.等采用 IMYD-X 混凝土单边冻融机和改进型加压加速车轮冲击试验机测试纤维对机场道面混凝土相对质量比、相对抗压强度比、相对动模量及抗轮载冲击性能的影响,结果显示在道面混凝土中添加纤维能显著提高上述指标^[6]。Mu Y. F.、Xu L.、

Long X. Y.、Dicu M. H.等对掺纤维道面混凝土与未掺纤维普通道面混凝土进行对比试验,发现掺纤维对提高混凝土的抗冻性能、耐腐蚀性能、疲劳性能具有显著作用^[7-10]。徐丽娜、刘治言、尹俊红等的研究表明纤维混凝土可明显降低机场道面受飞机荷载影响时结构性能方面存在的风险^[11-13]。本文对掺高强改性聚酯纤维(FC)、聚乙烯醇纤维(PVA)的混凝土进行黏结强度和抗裂性能试验,分析掺高强改性聚酯纤维和聚乙烯醇纤维对机场道面混凝土性能的影响。

1 混凝土配合比及强度

1.1 纤维材料的性能

采用北京杜强华微高新材料科技有限公司生产的高强改性聚酯纤维、武汉品泰特种建材科技有限公司生产的聚乙烯醇纤维,其主要技术参数见表 1。

1.2 混凝土配合比

水泥选用湖北世纪新峰雷山水泥有限公司生产的 P. II 42.5 硅酸盐水泥;细集料选用细度模数为 2.72 的河砂;粗集料选用压碎值为 17.9% 的石灰岩碎石;拌和用水为饮用水。上述材料的技术指标均

表 1 纤维的技术参数

纤维类型	参数名称	技术指标
高强改性聚酯纤维	抗拉强度/MPa	≥ 900
	弹性模量/GPa	≥ 10
	断裂延伸率/%	15~25
	抗碱保留率/%	≥ 98
	密度/(g·m ⁻³)	1.25~1.35
聚乙烯醇纤维	抗拉强度/MPa	1 000~1 500
	弹性模量/GPa	28.0~45.0
	断裂延伸率/%	5~13
	密度/(g·m ⁻³)	1.28~1.30
	吸水率/%	≤ 5.0

合格。根据 MH 5006—2015《民用机场水泥混凝土面层施工技术规范》对机场道面水泥混凝土的设计要求^[14]进行混凝土配合比(抗折强度 5.0 MPa)设计,结果见表 2。

表 2 机场道面混凝土设计配合比

材料	用量/(kg·m ⁻³)
水	128.0
水泥	320.0
河砂	640.0
4.75~9.50 mm	68.0
碎石 9.50~19.00 mm	408.0
19.00~31.50 mm	885.0
外加剂(减水剂)	6.4

2 试验方法

2.1 混凝土与钢筋黏结强度试验

按规范要求制作高强改性聚酯纤维、聚乙烯醇纤维掺量分别为 1.0 kg/m³、1.2 kg/m³、1.4 kg/m³ 的纤维混凝土试件进行混凝土与钢筋黏结强度试验,剔除试验结果中最大值和最小值,以其余试验结果的平均值作为试件的黏结强度。同时对未掺纤维混凝土进行对比试验。

2.2 抗裂试验

以 1.0 kg/m³、1.2 kg/m³、1.4 kg/m³ 的掺量分别配制两种纤维混凝土并成型抗裂试件,依据 CECS 38:2004《纤维混凝土结构技术规程》^[15] 和 CECS 13:2009《纤维混凝土试验方法标准》^[16] 进行

抗裂试验。同时对未掺纤维混凝土进行对比试验。

3 试验结果与分析

3.1 混凝土与钢筋的黏结强度

图 3 为掺加和未掺加纤维混凝土的黏结强度试验结果。由图 3 可知:纤维掺量为 1.0 kg/m³ 时,高强改性聚酯纤维混凝土试件的混凝土与钢筋黏结强度为 9.3 MPa,聚乙烯醇纤维混凝土试件的混凝土与钢筋黏结强度为 9.7 MPa,分别比未掺纤维混凝土试件(9.1 MPa)提高 2.2%、6.6%;纤维掺量为 1.2 kg/m³ 时,高强改性聚酯纤维混凝土试件的混凝土与钢筋黏结强度为 9.5 MPa,聚乙烯醇纤维混凝土试件的混凝土与钢筋黏结强度为 10.2 MPa,分别比未掺纤维混凝土试件提高 3.3%、12.0%;纤维掺量为 1.4 kg/m³ 时,高强改性聚酯纤维混凝土试件的混凝土与钢筋黏结强度为 9.4 MPa,聚乙烯醇纤维混凝土试件的混凝土与钢筋黏结强度为 9.3 MPa,分别比未掺纤维混凝土试件提高 3.3%、2.2%。掺加纤维可有效提高混凝土与钢筋的黏结强度,纤维掺量为 1.2 kg/m³ 时黏结强度最大,掺量大于 1.2 kg/m³ 时黏结强度随掺量的增加而降低。

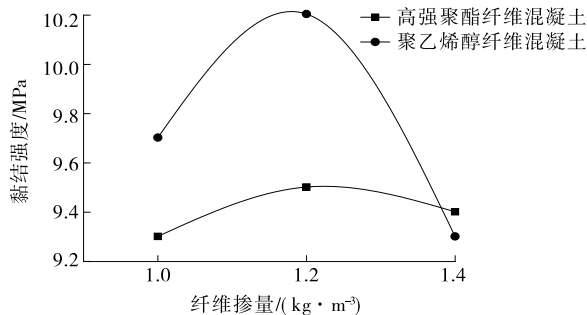


图 1 混凝土与钢筋黏结强度试验结果

对掺加不同纤维混凝土试件的混凝土与钢筋黏结强度和纤维掺量的关系进行拟合,得:

$$P_{FC} = -0.15N^2 + 0.65N + 8.8 \quad (1)$$

$$P_{PVA} = -0.70N^2 + 2.60N + 7.8 \quad (2)$$

式中: P_{FC} 、 P_{PVA} 分别为高强改性聚酯纤维、聚乙烯醇纤维混凝土的钢筋黏结强度(MPa); N 为纤维掺量(kg/m³)。

3.2 纤维混凝土的抗裂性能

不同高强改性聚酯纤维掺量混凝土的抗裂试验结果见图 4。从图 4 可以看出:高强改性聚酯纤维掺量为 1.0 kg/m³ 时,2 组试件表面未出现裂缝;表面出现裂缝的 8 组试件中,第 8 组试件的裂缝长度

和宽度最大,分别为 140 mm、0.035 mm。掺量为 1.2 kg/m^3 时,5 组试件表面未出现裂缝;表面出现裂缝的 5 组试件中,第 1 组试件的裂缝长度和宽度最大,分别为 210 mm、0.030 mm。纤维掺量为 1.4 kg/m^3 时,10 组试件表面都未出现任何裂缝,采用掺量为 1.4 kg/m^3 的高强改性聚酯纤维混凝土,可有效防止机场道面开裂。

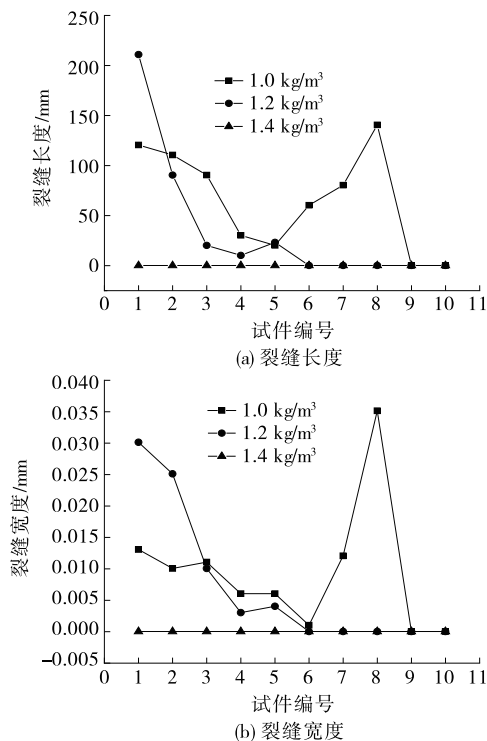


图 2 高强改性聚酯纤维混凝土抗裂试验结果

不同聚乙烯醇纤维掺量混凝土的抗裂试验结果见图 5。从图 5 可以看出:聚乙烯醇纤维掺量为 1.0 kg/m^3 时,2 组试件表面未出现裂缝;表面出现裂缝的 8 组试件中,第 2 组试件的裂缝长度和宽度最大,分别为 260 mm、0.041 mm。掺量为 1.2 kg/m^3 时,3 组试件表面未出现裂缝;表面出现裂缝的 7 组试件中,第 1 组试件的裂缝长度和宽度最大,分别为 210 mm、0.038 mm。掺量为 1.4 kg/m^3 时,3 组试件表面未出现裂缝;表面出现裂缝的 7 组试件中,第 7 组试件的裂缝长度和宽度最大,分别为 70 mm、0.07 mm。

对比两种纤维混凝土试件与未掺纤维试件的抗裂试验结果,未掺纤维试件表面产生的裂缝最长 500 mm,掺加纤维后混凝土试件表面裂缝最大长度值均小于 500 mm;未掺纤维试件表面产生的裂缝最宽 0.035 mm,掺加聚乙烯醇纤维试件的裂缝宽度

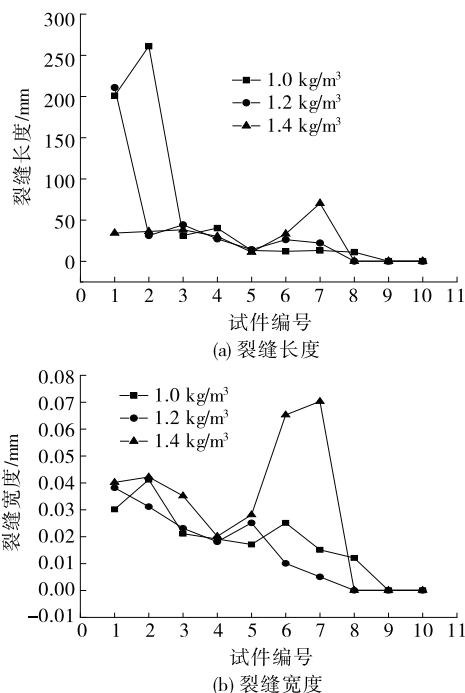


图 3 聚乙烯醇纤维混凝土抗裂试验结果

均大于未掺纤维试件,而掺加高强改性聚酯纤维试件的裂缝宽度均未超过未掺纤维试件,其抗裂性能优于聚乙烯醇纤维混凝土和未掺纤维混凝土。高强改性聚酯纤维掺量达到 1.4 kg/m^3 时混凝土基本无裂缝出现,能达到机场道面不开裂的效果。

4 纤维混凝土道面性能的综合评价

采用模糊综合评判法建立综合判断矩阵,根据试验结果评价道面纤维混凝土的性能^[17-20]。

(1) 确定因素集。由黏结强度、抗裂性能组成评价指标体系集合,记为:

$$U = \{u_1, u_2, u_3\} = \{\text{黏结强度}, \text{裂缝宽度}, \text{裂缝长度}\}$$

(2) 确定评语集。依据规范和施工质量验收表,将评语集设为 3 个等级,分别为优秀、良好、合格,记为:

$$V = \{v_1, v_2, v_3\} = \{\text{合格}, \text{良好}, \text{优秀}\}$$

(3) 确定各因素权重。采用德尔菲法确定黏结强度、裂缝宽度、裂缝长度的权重^[21-23]:

$$A = [a_1, a_2, a_3] = [0.30, 0.35, 0.35]$$

(4) 建立模糊综合判断矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

(5) 综合评判。按式(3)计算综合评价结果 B ，根据最大隶属度原则确定评价等级。

$$B = A \cdot R = [a_1, a_2, a_3] \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

纤维混凝土性能综合评价结果见表 3。

表 3 纤维混凝土性能综合评价结果

纤维类型	掺量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	评价结果		
		合格	良好	优秀
高强改性 聚酯纤维	1.0	0.339	0.365	0.297
	1.2	0.295	0.349	0.356
	1.4	0.252	0.363	0.386
聚乙烯醇 纤维	1.0	0.301	0.340	0.249
	1.2	0.330	0.338	0.333
	1.4	0.292	0.359	0.350

从表 3 可以看出:根据最大隶属度原则,高强改性聚酯纤维掺量为 1.4 kg/m^3 时,混凝土的综合性能最优。

5 结论

对参加高强改性聚酯纤维、聚乙烯醇纤维的混凝土进行混凝土与钢筋黏结强度试验和抗裂试验,分析高强改性聚酯纤维和聚乙烯醇纤维对机场道面混凝土性能的影响,结论如下:

(1) 掺加纤维可有效提高混凝土与钢筋的黏结强度,纤维掺量为 1.2 kg/m^3 时黏结强度最大,纤维掺量大于 1.2 kg/m^3 时黏结强度随纤维掺量增大而降低,掺加过多纤维会影响混凝土与钢筋的黏结强度。

(2) 掺纤维混凝土试件表面出现的裂缝长度均小于未掺纤维混凝土试件,混凝土中掺纤维可提高机场道面的抗裂性能。高强改性聚酯纤维混凝土试件表面裂缝的最大宽度小于未掺纤维混凝土试件和聚乙烯醇纤维混凝土试件,高强改性聚酯纤维的抗裂效果优于聚乙烯醇纤维。采用高强改性聚酯纤维掺量为 1.4 kg/m^3 的混凝土,可达到机场道面不开裂的效果。

(3) 采用掺量为 1.4 kg/m^3 的高强改性聚酯纤维混凝土,机场道面的综合性能最优。高强改性聚酯纤维可用于道面干硬性混凝土施工,提高机场道面的抗裂性能和混凝土与钢筋的黏结强度,减少机场道面裂缝、掉边、掉角等病害,保证机场运营安全,

有利于节约机场道面后期维护费用。

参考文献:

- [1] 武海轮,陈景,李琪,等.钢纤维与聚丙烯纤维复合机场道面混凝土性能研究[J].混凝土与水泥制品,2018(4):53-58.
- [2] 岑国平,陈悦,崔云化.高强合成纤维混凝土机场道面接缝抗冲击性能[J].空军工程大学学报(自然科学版),2018,19(5):25-29.
- [3] 邓宗才,耿雪辉,刘岩,等.机场道面混掺纤维混凝土强度与抗弯韧性试验[J].建筑科学与工程学报,2016,33(5):70-76.
- [4] 李文哲,吴永根,李文蕾,等.玄武岩纤维机场道面混凝土抗冻性试验研究[J].科学技术与工程,2013,13(26):7880-7883+7888.
- [5] WANG Z H, GUO R X, LIU G S, et al. Study on flexural fatigue properties of POM fiber airport pavement concrete[J]. Polymers, 2022, 14(15): 2979.
- [6] CUI Y H, CHEN Y, CEN G P, et al. Comparative study on the effect of organic and inorganic fiber on the anti-wheel impact performance of airport pavement concrete under freeze-thaw environment [J]. Construction and Building Materials, 2019, 211(5): 284-297.
- [7] MU Y F, XIA H T, YAN Y, et al. Fracture behavior of basalt fiber-reinforced airport pavement concrete at different strain rates[J]. Materials, 2022, 15(20): 7379-7400.
- [8] XU L, LAI Y, MA D, et al. Effects of fiber and surface treatment on airport pavement concrete against freeze-thawing and salt freezing[J]. Materials, 2022, 15(21): 7528-7544.
- [9] LONG X Y, CAI L C, LI W Z. RSM-based assessment of pavement concrete mechanical properties under joint action of corrosion, fatigue, and fiber content[J]. Construction and Building Materials, 2019, 197: 406-420.
- [10] DICU M H, MATEI A, VOINIȚCHI C D. Study of the influence of fibres type and dosage on properties of concrete for airport pavements[J]. Romanian Journal of Transport Infrastructure, 2019, 8(1): 102-113.
- [11] 徐丽娜,宋道涵,牛雷,等.玄武岩纤维增强高掺量石粉-混凝土抗冻性能试验研究[J].混凝土,2023(1): 92-97+102.
- [12] 刘治言,杜红秀,吴振戌.纤维-聚合物对混凝土力学性能的影响[J].混凝土,2023(1): 31-34.
- [13] 尹俊红,纪艳春,赫中营,等.碳纤维混凝土力学性能研究[J].混凝土,2023(1): 64-67+72.

(下转第 80 页)