第26卷 第3期 石家庄铁道大学学报(自然科学版) Vol. 26 No. 3
2013年9月 JOURNAL OF SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE) Sep. 2013

石灰石粉对道路混凝土耐磨性的影响

刘 杰

(保定市交通运输局 公路工程处,河北 保定 071000)

摘要: 从混凝土工作性、抗压强度、抗折强度和耐磨性等方面,分别研究了石灰石粉对道路混凝土性能的影响,并初步探讨了其影响机理。研究结果表明:掺入质量分数为10%的石灰石粉时,道路混凝土具有良好工作性和后期强度;石灰石粉的掺入可提高混凝土的早期耐磨性;双掺石灰石粉和粉煤灰可有效提高混凝土的早期和后期耐磨性能。

关键词: 石灰石粉;粉煤灰;道路混凝土;耐磨性

中图分类号: TU528.04 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2013)03-0099-04

近年来,水利、交通、工民建等基础和民用设施建设的迅速发展,逐渐面临粉煤灰紧缺的问题,尤其是西南地区这一情况更为突出,粉煤灰的远距离运输将提高混凝土的生产成本。寻找一种可就近取材,质优价廉的新型矿物掺合料迫在眉睫[1]。石灰石粉因易于粉磨、低反应活性、低需水量比、可就近取材等特点而成为替代日益紧缺的粉煤灰和矿渣,对于解决实际工程中原材料紧缺问题、降低工程造价和环保等将具有重大的现实意义。石灰石粉是以生产石灰石碎石和机制砂时产生的石粉和石屑为原料,通过进一步粉磨制成的粒径不大于10μm的细粉,在混凝土中具有良好的减水和填充效应。当前,在混凝土材料中,对石灰石粉的使用,除了将石灰石粉部分取代细骨料外,还将其作为掺合料取代部分水泥。如龙滩、大朝山、小湾等水电工程中,均在混凝土中掺入了石灰石粉,并取得了成功应用[2]。然而针对目前仅仅研究掺加粉煤灰和矿渣后的道路混凝土性能这一现状[3-6],本文进行了掺加石灰石粉后对道路混凝土工作性、强度(抗压、抗折)和耐磨性的影响研究。

1 试验原材料与试验方法

1.1 原材料

水泥。河北鹿泉曲寨水泥有限公司生产的P·O42.5水泥,化学成分及物理力学性能见表1、表2。

粉煤灰。采用正定电厂Ⅰ级粉煤灰,其化学成分见表1所示。

石灰石粉。采用正定石灰石破碎后并置于球磨机中粉磨而得,其化学成分如表1所示。

砂。河北正定河砂,细度模数为2.5,堆积密度为1 360 kg/m^3,表观密度2 610 kg/m^3。

石子。碎石,粒径为5~20 mm。

外加剂。河北青华生产的萘系高效减水剂。

表1 原材料的化学成分 %

材料	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	SO_3	烧失量
水泥	22.01	4.45	62.15	4.19	2.13	2.11	2.48
粉煤灰	50.28	30.48	7.90	0.10	6.91	0.62	1.67
石灰石粉	0.51	0.11	32.0	21.8	0.11	0.14	45.72

表2 P.O42.5水泥的物理性能

比表面积/($m^2 \cdot kg^{-1}$)	安定性(沸煮法)	凝结时间/min		抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
		初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
345	合格	135	184	32.1	57.8	6.3	8.5

收稿日期: 2012-10-19

作者简介: 刘杰 男 1972年出生 高级工程师

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.2 混凝土配合比

不同掺量石灰石粉对混凝土工作性和强度影响的配合比如表3所示。基准组编号WS1为只掺加粉煤灰。试验组WS2～WS4分别为石灰石粉掺量为5%、10%和15%情况下配合比,以验证石灰石粉掺量对混凝土工作性和强度的影响。表4为用于研究道路混凝土耐磨性能的试验配合比,其中NM1为基准组,NM2为掺加30%粉煤灰对照组,NM3为掺加10%石灰石粉对照组,NM4为掺加10%石灰石粉和30%粉煤灰对照组。

表3 道路高性能混凝土工作性和强度试验配合比 kg/cm³

编号	水泥	石灰石粉	粉煤灰	砂	石	水	减水剂
WS1	280	0	120	655	1 217	128	4.0
WS2	280	20	100	655	1 217	128	4.0
WS3	280	40	80	655	1 217	128	4.0
WS4	280	60	60	655	1 217	128	4.0

表4 道路高性能混凝土耐磨性能试验配合比 kg/cm³

编号	水泥	石灰石粉	粉煤灰	砂	石	水	减水剂
NM1	400	0	0	655	1 217	128	4.0
NM2	280	0	120	655	1 217	128	4.0
NM3	360	40	0	655	1 217	128	4.0
NM4	240	40	120	655	1 217	128	4.0

1.3 试验方法

混凝土工作性试验根据GB/T50080—2002《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》进行;力学性能试验按照GB/T50081—2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》进行测试,立方体抗压强度试件尺寸为100 mm×100 mm×100 mm,抗折强度所用试件尺寸为100 mm×100 mm×400 mm,试验结果乘相应换算系数;耐磨性按照JTGE30—2005《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》进行。

2 试验结果及分析

2.1 石灰石粉掺量对混凝土工作性的影响

图1显示的是不同石灰石粉掺量对混凝土工作性的影响。由图1可知,石灰石粉掺量在混凝土中存在一个最佳值。当掺量低于10%时,混凝土的坍落度随着石灰石粉掺量的增加而增大,即坍落度由最初的80 mm(掺量为0)到90 mm(掺量为5%),再到掺量为10%的115 mm。而当石灰石粉掺量超过10%时发现混凝土的坍落度略微降低(掺量为15%时坍落度为105 mm)。这表明在适宜掺量范围内,石灰石粉可提高混凝土坍落度,减少混凝土用水量。这是由石灰石粉的形态效应和填充效应所致。表面致密光滑的石灰石粉颗粒分散在水泥和粉煤灰颗粒之间,起到分散剂作用,并能促进水化初期水泥颗粒的解絮。同时又由于石灰石粉比水泥颗粒细,能够填充水泥与粉煤灰之间的间隙,起到填充骨架作用,有利于改善混凝土浆体的颗粒级配,使粉体材料更趋向于最佳堆积密度,从而改善混凝土拌合物的流动性,增加其坍落度。

当掺量超过最佳值后,由于石灰石粉本身的表面积大于水泥、粉煤灰的,需要更多的水来润湿其表面。因此,当石灰石粉掺量过高时,其表面吸附水作用将大于细粉物理填充减水作用而成为主导因素,表现为新拌混凝土坍落度增幅减少,但是表面需水量的增加可增大混凝土拌合物的保水性和黏聚性。

2.2 石灰石粉掺量对混凝土强度的影响

图2、图3分别显示的是石灰石粉掺量对混凝土抗压和抗折强度的影响。由图2可知,掺加石灰石粉的混凝土在早期(3 d)的抗压强度均高于同龄期下未掺石灰石粉的混凝土抗压强度。而掺有石灰石粉的混凝土抗压强度在后期(28 d和90 d)则表现为略低于同龄期下未掺石灰石粉的混凝土抗压强度。这表明石灰石粉主要增加了混凝土早期抗压强度,而对混凝土后期强度的增长存在着不利影响。产生上述原因是由于石灰石粉颗粒比水泥颗粒小,一方面填充在水泥颗粒之间,改善了胶凝材料的颗粒级配,颗粒的均匀性和细颗粒的比例增加;另一方面填充在界面的空隙中,使水泥石结构和界面结构更为致密,提高了

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

密实度。石灰石粉的微晶核效应使 C-S-H 和 CH 生长在 $CaCO_3$ 颗粒表面,有利于防止 CH 在水泥石和集料界面生长成大晶体,增强了界面粘结,同时降低了液相离子浓度,加速了 C_3S 表面的离子向溶液中迁移,从而加速了 C_3S 的水化,这种效应在早期较为明显。$CaCO_3$ 与含铝相会生成碳铝酸盐及碱式碳酸盐,所形成的新相晶体尺寸迅速增大,并且转化为牢固连生的结晶聚体,增强了石灰石粉颗粒与硬化水泥浆体的界面,使水泥石结构致密。

石灰石粉主要在早期起着微集料效应和微晶核效应,增加了混凝土的 3 d 抗压强度,随着石灰石粉掺量的增加而增大(低于 10% 掺量)。但石灰石粉参与水化反应程度十分有限,以致对后期强度造成不利影响。同时,掺量过高的石灰石粉,浆体含量增加,包裹粉体材料的水膜将减少,致使集料表面的空隙无法完整填充,弱化了过渡区结构,直接影响了后期强度的发展。

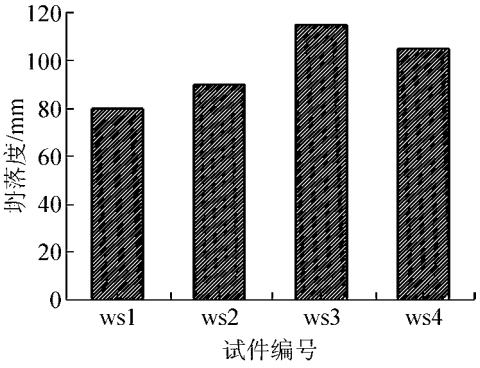

图 1　石灰石粉掺量对混凝土坍落度的影响

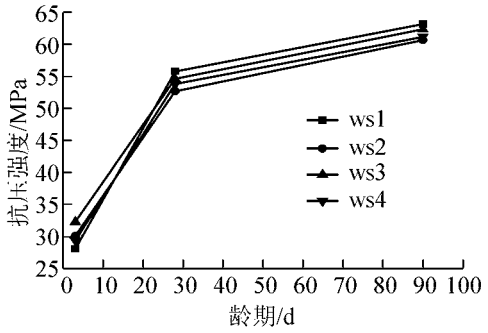

图 2　石灰石粉掺量对混凝土抗压强度的影响

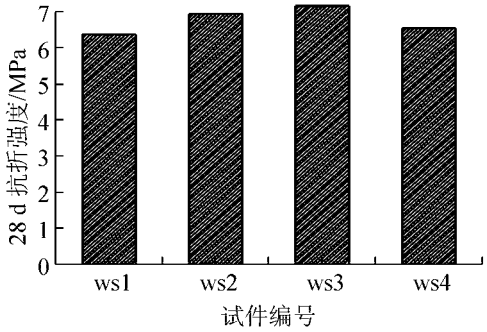

图 3　石灰石粉掺量对混凝土抗折强度的影响

由图 3 可知,掺入不同石灰石粉掺量的混凝土 28 d 抗折强度均高于未掺石灰石粉混凝土抗折强度(6.4 MPa)。其中,当石灰石粉掺量为 10% 时,抗折强度最高,可达到 7.2 MPa。而当掺量分别为 5% 和 15% 时,其抗折强度分别为 6.9 MPa 和 6.5 MPa。这表明石灰石粉的掺入可不同程度改善混凝土抗折强度。这与石灰石粉改善混凝土内部结构及孔结构有关。另外,掺有石灰石粉的混凝土抗折强度均能满足重交通和特重交通开放交通的要求,并且 28 d 抗折强度与未掺石灰石粉混凝土相比均有所提高,为道路混凝土的高耐久性能提供了技术保障。

2.3　石灰石粉对混凝土耐磨性的影响

石灰石粉对混凝土耐磨性的影响如图 4 所示。从图 4 中可知,掺有粉煤灰对照组混凝土在早期(3 d 和 7 d)时,其磨耗值要高于基准组的磨耗值。而随着龄期的延长,其磨耗值逐渐低于基准组磨耗值。这是由于随着龄期的延长,粉煤灰与水泥水化产物 CH 发生二次水化反应,生成了更多的晶体和凝胶,改善了水泥石内部孔结构,达到提高了混凝土密实度,后期强度大幅度提高,因而耐磨性能也进一步得到改善。另外,由图 4 还可看出,单纯掺有石灰石粉的混凝土磨耗值在早期(3 d 和 7 d)均低于基准组(NM1)和 NM2 组,这表明石灰石粉在早期充分发挥了微集料填充和微晶核效应,改善了混凝土孔结构。另一方面,石灰石粉材质本身的耐磨性并不低于细骨料砂子,并且石灰石粉表面非常致密,微集料本身的耐磨性就很高。在这两方面原因共同作用下,提高了混凝土耐磨性能。然而,随着龄期的延长,发现其磨耗值高于同龄期下的 NM1 和 NM2 两组,这也进一步表明了石灰石粉的掺入对混凝土后期强度的发展存在着不利影响,从而影响其耐磨性。最后,发现同时掺有石灰石粉和粉煤灰的 NM4 组,其磨耗值无论在早期

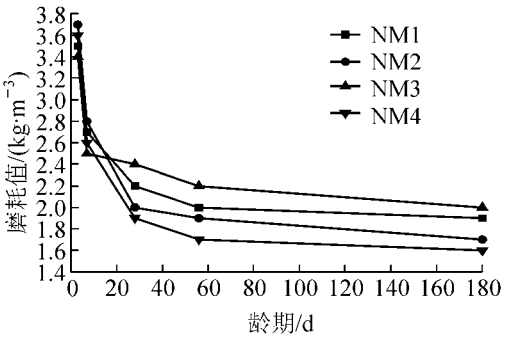

图 4　石灰石粉对混凝土耐磨性的影响

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

还是后期均低于其他三组。这表明掺有石灰石粉和粉煤灰的混凝土耐磨性得到了改善。一方面石灰石粉的掺入弥补了单纯掺入粉煤灰后混凝土早期耐磨性差的缺点,另一方面也弥补了单纯掺入石灰石粉后混凝土后期耐磨性差的不足。双掺的综合作用大大提高了道路混凝土耐磨性能,不论是在早期还是后期,道路混凝土的单位面积磨耗量均小于3.6 kg/m^2,符合国家相关标准(JTGE—2005)。

3 结论

(1)石灰石粉掺量对混凝土工作性能和强度的影响存在着一个最佳值。当石灰石粉掺量在0%~10%范围之内时,随着其掺量的增加道路混凝土的工作性能、早期抗压强度和28 d抗折强度会逐渐改善提高。

(2)石灰石粉的掺入还可有效提高混凝土的早期耐磨性能;当石灰石粉和粉煤灰双掺使用时可有效提高混凝土早期和后期耐磨性能。

参 考 文 献

[1] 杨柳,宋少民.石灰石粉与矿物掺合料复掺对混凝土工作性及强度的影响[J].北京建筑工程学院学报,2010,26(2):49-52.
[2] 刘数华,冷发光.混凝土辅助胶凝材料[M].北京:中国建筑工业出版社,2010:2-4.
[3] 曾阳春,郑克仁,李益进.矿物掺合料对道路混凝土耐磨性的影响及机理[J].铁道科学与工程学报,2007,4(2):59-62.
[4] 熊远柱,万慧文.石灰石粉对混凝土性能的影响[J].混凝土,2010(9):89-91.
[5] 李俊,尹健.道路高性能混凝土耐久性研究与应用[J].混凝土,2007(9):98-101.
[6] 何智海,刘云华.双掺粉煤灰和石灰石粉对混凝土抗冻融性能的影响研究[J].新型建筑材料,2010(2):1-4.

Influence of limestone Powder on Abrasion Resistance of Road Concrete

Liu Jie
(Highway Engineering Department of Transport, Baoding 071000, China)

Abstract: The effect of limestone powder on road concrete is studied through the aspects of workability, compressive strength, flexural strength and abrasion resistance and so on. Meanwhile, the mechanism of action is analyzed and discussed. The results show that the road concrete added 10% by mass of limestone powder has good workability and higher later strength. The abrasion resistance of road concrete at early stage can be improved by limestone powder. In addition, the abrasion resistance of road concrete at early and later stage can be improved by mixing limestone powder and fly ash in concrete.

Key words: limestone powder; fly ash; road concrete; abrasion resistance (责任编辑 刘宪福)

(上接第56页)

Structure Optimal Design for Frame of Torpedo Car

Huang Hui, Feng Guosheng
(School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: This paper introduces the principle and process of optimization for the torpedo tanker frame. The 8 short stringer around the workbench of the frame are optimized as object, the parameters of the thickness of the steel plate ware are extracted, APDL parametric optimization design method is used to optimize. Under the premise of ensuring overall stiffness and strength of the frame, four short-stringers are removed, frame weight is reduced and economic efficiency improved.

Key words: frame; finite element; APDL; optimization (责任编辑 刘宪福)

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net