

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2016.06.021

第二龄期老混凝土与新混凝土 粘结劈拉强度研究

曹宏亮^{1,2}, 史长城^{1,2}, 郭旭东³, 徐晨光⁴, 李利华^{1,2}

(1. 河南省水利工程安全技术重点实验室, 河南 郑州 450003;

2. 河南省水利科学研究院, 河南 郑州 450003;

3. 黄河水利职业技术学院, 河南 开封 475001; 4. 郑州大学, 河南 郑州 450002)

摘要: 实际工程混凝土浇筑意外中断时有发生, 恢复浇筑新混凝土时, 中断前的老混凝土很多处于第二龄期。为提高第二龄期老混凝土与新混凝土的粘结性能, 通过采用不同水灰比水泥净浆和不同掺量粉煤灰水泥浆界面剂, 研究不同水泥第二龄期老混凝土与新老混凝土 7 d 和 28 d 粘结劈拉强度的变化规律。结果表明: 三种水泥混凝土粘结劈拉强度均随水泥净浆界面剂水灰比的增大而减小; 水泥净浆(使用水泥为普通硅酸盐水泥)界面剂对普通硅酸盐水泥的粘结效果最好, 次之为矿渣硅酸盐水泥, 最差为复合硅酸盐水泥。界面剂中掺加粉煤灰可在一定程度上改善第二龄期老混凝土与新混凝土的粘结性能。

关键词: 新老混凝土; 第二龄期; 劈拉强度; 水泥种类; 界面剂; 粉煤灰

中图分类号: TU502⁺.6

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2016)06—0102—05

Experimental Study on Bond Split Strength of the Second Stage Old Concrete to New Concrete

CAO Hongliang^{1,2}, SHI Changcheng^{1,2}, GUO Xudong³, XU Chenguang⁴, LI Lihua^{1,2}

(1. He'nan Key Laboratory of Hydraulic Engineering Security Technology, Zhengzhou, He'nan 450003, China;

2. He'nan Water Conservancy Science Academy, Zhengzhou, He'nan 450003, China;

3. Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng, He'nan 475001, China;

4. Zhengzhou University, Zhengzhou, He'nan 450002, China)

Abstract: The concrete pouring break happens in practical engineering, when the new concrete is poured, the old concrete is in the second stage. In order to improve bond property of the second stage old concrete – to – new. Considering different water cement ratio, cement paste with different content of fly ash interface cementing agent, the change rule of 7d and 28d splitting strength of the second – stage – old concrete – to – new with different type of cement concrete was analyzed. The experimental results indicated that three types of cement concrete bond splitting strength decrease with water cement ratio of cement paste interface cementing agent increases; the bonding effect of cement paste (which is used ordinary Portland cement) interface cementing agent to ordinary Portland cement is the best, the second is the slag Portland cement, the worst is the composite Portland cement.

Keywords: new – to – old concrete; second stage; split strength; the type of cement; interface cementing agent; fly ash

混凝土从浇筑到固化以及后期发挥作用, 大致 分为四个龄期: 第一龄期从混凝土浇筑到初凝, 第二

收稿日期: 2016-08-03

修稿日期: 2016-09-29

基金项目: 河南省基本科研业务费项目; 河南省水利科技攻关项目(GG201621)

作者简介: 曹宏亮(1972—), 男, 河南获嘉人, 硕士, 教授级高工, 主要从事水利工程结构与混凝土新材料的开发与应用研究。

E-mail: 625552359@qq.com

通讯作者: 史长城(1982—), 男, 河南太康人, 硕士, 高级工程师, 主要从事混凝土结构与混凝土新材料的开发与应用研究。

E-mail: 250393640@qq.com

龄期从混凝土初凝到终凝,第三龄期从混凝土终凝到 28 d 龄期,第四龄期从混凝土 28 d 龄期到长龄期^[1-2]。其中老混凝土处于第一龄期与新浇混凝土不会产生结合面,而老混凝土处于第二、三、四龄期时,均存在新老混凝土粘结面。新老混凝土粘结界面是混凝土结构薄弱区域,目前,许多学者^[3-6]研究老混凝土龄期为第三、四龄期时新老混凝土结合面劈拉强度。然而在混凝土浇筑的过程中因停电,或突遇大风、大雨等恶劣天气而导致浇筑意外中断时有发生,如北京某大厦,在进行大厦地下三层地下室西南角外墙浇筑过程中,因混凝土泵出现故障,浇筑中断,再次开始浇筑时,已经距离前段浇筑间隔最长达 4 h,下层混凝土基本凝固^[7]。实际上,混凝土浇筑意外中断结束后,恢复浇筑新混凝土时,中断前的老混凝土很多处于第二龄期。意外中断如果不做合适的处理而继续浇筑混凝土则会形成冷缝。冷缝使混凝土抗拉、抗剪、抗弯等力学性能明显下降,同时,其抗渗与抗冻等耐久性能也大大降低^[9-11]。故在

混凝土浇筑意外中断后,采取合适的措施,避免产生冷缝或减轻冷缝的危害,就很有必要,但目前对第二龄期老混凝土与新混凝土粘结性能研究较少,本文通过采用不同水灰比水泥净浆和不同掺量粉煤灰水泥浆界面剂,研究了不同水泥第二龄期老混凝土与新老混凝土 7 d 和 28 d 粘结劈拉强度的变化规律。

1 试验部分

1.1 试验材料

本试验选用三种水泥配制混凝土,分别为 P·O 42.5 型普通硅酸盐水泥、P·S 32.5 型矿渣硅酸盐水泥和 P·C 32.5 型复合硅酸盐水泥,均为河南省新乡市孟电集团生产,其中矿渣水泥中矿渣掺量为 30%,粉煤灰来自孟电集团,为 II 级粉煤灰,相关指标见表 1。砂为普通河砂,细度模数 2.9,级配合格,表观密度 2 530 kg/m³。石子为 5 mm ~ 20 mm 连续级配碎石,表观密度 2 700 kg/m³,堆积密度 1 510 kg/m³。

表 1 粉煤灰指标

细度/%	需水量比/%	含水率/%	表观密度/(g·cm ⁻³)	堆积密度/(g·cm ⁻³)	烧失量/%
17.2	100	0.6	2.2	0.75	6.8

1.2 试验设计

试验考察三种水泥配制的混凝土第二龄期的粘结性能,三种水泥新、老混凝土配比一致,强度等级 C30,参照《水工混凝土配合比设计规程》^[12](DL/T 5330-2015),三种水泥混凝土配合比设计见表 2。其标准养护 28 d 强度分别为 33.6 MPa、35.2 MPa、34.5 MPa。

表 2 三种水泥混凝土配合比设计

水泥种类	水量/ (kg·m ⁻³)	水泥量/ (kg·m ⁻³)	砂量/ (kg·m ⁻³)	石子量/ (kg·m ⁻³)	水灰比
P·O 42.5	200	370	665	1165	0.54
P·S 32.5	185	462	596	1157	0.40
P·C 32.5	185	434	570	1211	0.43

新混凝土在老混凝土浇筑初凝之后浇筑,具体过程如下,将聚乙烯板切割成 150 mm × 170 mm 大小,用作隔板,将隔板竖直放置在试模中间,一侧浇筑混凝土,另一侧用 75 mm 长木块顶住挡板,到龄期后,去掉支撑块与挡板,用批刀刮掉结合面表层水泥浆膜并清理干净,然后刷界面剂,浇新混凝土,振捣成型。

界面剂采用 P·O 42.5 型普通硅酸盐水泥配制

的水泥净浆和掺粉煤灰的水泥净浆,其中水泥净浆水化比分别为 0.30、0.40、0.50、0.54、0.60,掺粉煤灰水泥净浆以水灰比为 0.54 的水泥净浆为基准,分别按水泥质量的 10%、20%、30%、40%、50% 外掺粉煤灰。混凝土凝结时间测试采用灌入阻力法,试验参照《水工混凝土试验规程》^[13](SL 352-2006)进行,测得普通硅酸盐混凝土的初凝时间为 4.25 h,终凝时间为 6.65 h,第二龄期为 2.4 h;矿渣水泥混凝土的初凝时间为 6 h,终凝时间为 11.14 h,第二龄期为 5.14 h;复合型水泥混凝土的初凝时间为 7.38 h,终凝时间为 13.77 h,第二龄期为 6.39 h。新、老混凝土粘结试件标准养护 7 d、28 d 时,参照《水工混凝土试验规程》^[13](SL 352-2006)做劈拉试验,试验时上下垫条对准结合缝。

2 试验结果分析

图 1、图 2 分别是不同水灰比水泥净浆界面剂 7 d、28 d 的粘结劈拉强度(图中 PO、PS、PC 分别代表 P·O42.5、P·S32.5 和 P·C32.5 三种水泥新老混凝土试件劈拉强度,图中上部三条细水平线为整体混凝土试件劈拉强度,分别用 PO-f、PS-f、PC-f 表示,下部三条粗水平线为未使用界面新老混凝土试件劈

拉强度,分别用 PO-W、PS-W、PC-W 表示;画出整体试件和无界面剂试件劈拉强度的目的是与同种水泥混凝土使用界面剂的劈拉进行比较,为了使图形更易辨认,并不是所有的水平线长度都覆盖图中界面剂水灰比范围,重点显示与同类水泥混凝土使用界面剂劈拉强度曲线的交点),下面结合图 1、图 2 分析界面剂、水泥种类、龄期对劈拉强度影响。

2.1 界面剂水灰比、水泥种类、龄期对粘结劈拉强度的影响

由图 1、图 2 可知,无论 7 d 还是 28 d,混凝土粘结劈拉强度总体上随着水泥净浆界面剂水灰比的增大而减小。其中矿渣水泥混凝土粘结劈拉强度随着水灰比的增大呈线性减小,规律性较强;复合水泥混凝土则减少趋势不明显,规律性不强,较离散;普通硅酸盐水泥混凝土劈拉强度随着界面剂水灰比减少的规律性则介于两者之间。

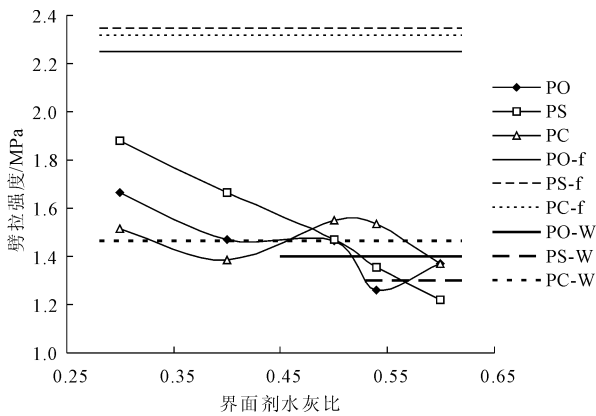


图 1 水泥净浆界面剂 7 d 劈拉强度

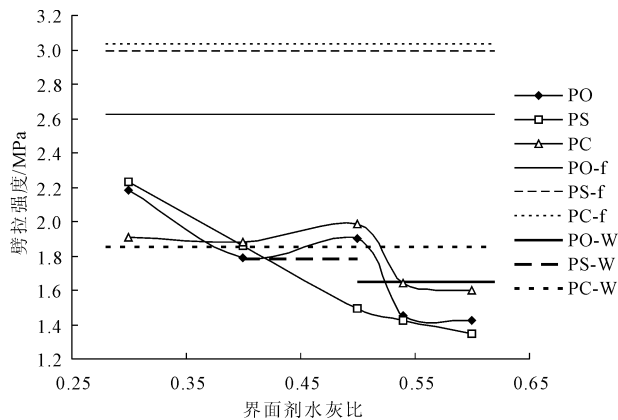


图 2 水泥净浆界面剂 28 d 劈拉强度

与整体试件相比,三种水泥混凝土新老混凝土劈拉强度最大值均小于整体试件劈拉强度,说明老混凝土在第二龄期时,新老混凝土之间是存在明显结合面的,在实际工程中遇到类似问题时应引起足

够重视。本次试验,PO、PS 与 PC 三种水泥混凝土 7 d 整体劈拉强度与新老混凝土粘结劈拉强度最大值的差值分别为 0.58 MPa、0.47 MPa、0.77 MPa,28 d 的差值分别为 0.45 MPa、0.76 MPa、1.05 MPa,差值最大的是复合硅酸盐水泥,普通硅酸盐水泥 7 d 差值大于矿渣硅酸盐水泥,28 d 则最小,且小于其本身 7 d 的差值,说明随着时间增长,普通硅酸盐水泥净浆界面剂与普通硅酸盐水泥水化反应更充分,起到连接新老混凝土的桥梁作用。

同时,与不涂刷界面剂试件相比,无论 7 d 还是 28 d,普通硅酸盐水泥混凝土粘结劈拉强度在界面剂水灰比小于 0.54 时大于无界面剂劈拉强度,大于 0.54 时则不如无界面剂劈拉强度,说明作为界面剂的水灰比大于老混凝土的本身水灰比时,就无法起到增强粘结性能的效果,甚至起到相反的效果。故水泥净浆界面剂的水灰比必须小于老混凝土的本身水灰比;矿渣硅酸盐水泥 7 d 时,混凝土粘结劈拉强度在界面剂水灰比小于 0.54 时大于无界面剂劈拉强度,28 d 时则是水灰比 0.4 时大于无界面剂劈拉强度;复合硅酸盐水泥 7 d 时,不同水灰比界面剂的劈拉强度则在无界面剂劈拉强度上下波动,规律性较差,28 d 时则在水灰比大于 0.5 时大于无界面剂劈拉强度;矿渣水泥混凝土与复合水泥混凝土的水灰比分别为 0.40、0.43,从 28 d 的比较结果来看,说明对这两种水泥作为界面剂的水灰比也应大于老混凝土的本身水灰比。由于本试验所有界面剂水泥全部采用 P·O 42.5 型普通硅酸盐水泥,故后两种水泥还应采用同种水泥配制的界面剂做进一步验证。

2.2 劈拉强度相对值比较

由试验结果可知,三种混凝土的基准试件和无界面剂粘结试件的劈拉强度各不相同,为方便比较同种界面剂用于不同种类混凝土的粘结效果,这里引入粘结劈拉强度相对值。相对值为新老混凝土粘结试件劈拉强度与同种混凝土整体试件劈拉强度的比值,不同界面剂粘结强度相对值如表 3 所示。

由表 3 知,三种水泥混凝土,除矿渣水泥 7 d 无界面剂的相对值为 0.55 外,其余相对值在 0.60 ~ 0.63,表现较好的规律性,因此可近似的认为对于老混凝土为第二龄期时的竖直结合面不采取措施直接浇筑后续混凝土的劈拉强度仅为整体的 60% 左右。

比较 7 d 与 28 d 的粘结劈拉强度相对值,发现同种界面剂,普通硅酸盐水泥 28 d 相对值有大于 7 d 相对值的趋势;而矿渣硅酸盐水泥 28 d 相对值则小于 7 d 相对值;复合硅酸盐水泥 28 d 相对值与 7 d 相当。

表 3 新老混凝土粘结试件粘结劈拉强度相对值

界面剂种类	劈拉强度相对值					
	P·O42.5 混凝土		P·S32.5 混凝土		P·C32.5 混凝土	
	7 d	28 d	7 d	28 d	7 d	28 d
整体试块	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
无界面剂	0.62	0.63	0.55	0.60	0.63	0.61
W/C = 0.3 水泥净浆	0.74	0.83	0.80	0.75	0.66	0.63
W/C = 0.4 水泥净浆	0.65	0.68	0.71	0.62	0.60	0.62
W/C = 0.5 水泥净浆	0.65	0.72	0.63	0.50	0.67	0.66
W/C = 0.54 水泥净浆	0.56	0.55	0.58	0.48	0.66	0.54
W/C = 0.6 水泥净浆	0.61	0.54	0.52	0.45	0.59	0.53

从提高新老混凝土粘结性能看,整体来说,水泥净浆界面剂对普通硅酸盐水泥的效果最好,最大相对值达到 0.83,次之为矿渣硅酸盐水泥,最大相对值达到 0.80,最差为复合硅酸盐水泥,最大相对值仅比无界面剂相对值略有提高。

2.3 掺粉煤灰水泥浆界面剂劈拉强度规律及与水泥净浆界面的比较

为节省篇幅,本文将粉煤灰界面剂转化成水胶比,分析掺粉煤灰界面剂劈拉强度规律及与水泥净浆界面剂的比较。根据配制方法,本文外掺 10%、20%、30%、40%、50% 粉煤灰界面剂换算成水胶比分别为 0.491、0.450、0.415、0.386、0.360。图 3、图 4 分别是掺粉煤灰水泥浆界面剂与水泥净浆界面剂 7 d、28 d 劈拉强度(图中 PO - M、PS - M、PC - M 分别代表三种水泥混凝土采用掺粉煤灰水泥浆界面剂的粘结劈拉强度)。

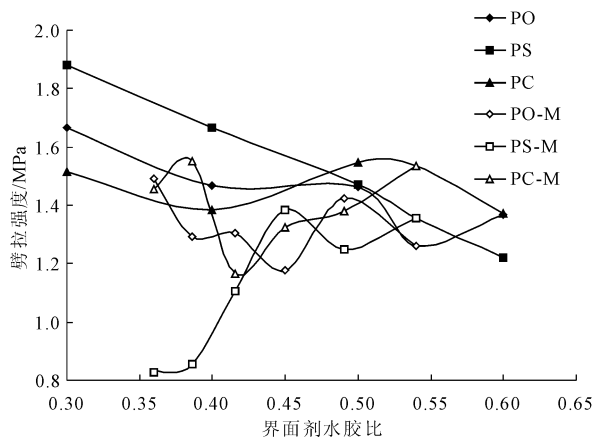


图 3 掺粉煤灰界面剂与水泥净浆界面剂 7 d 劈拉强度

由图 3 知,随着界面剂中粉煤灰掺量的增加(即随着水胶比减少),三种水泥混凝土 7 d 劈拉强度增长趋势均不明显,其中矿渣水泥混凝土的劈拉强度

随着粉煤灰掺量的增加甚至出现了较大幅度的下降;与同水胶比水泥净浆界面剂相比,除了复合水泥掺粉煤灰界面剂的粉煤灰掺量 40%、50% 时劈拉强度超过了同水胶比的水泥净浆界面剂,其余劈拉强度均小于同水胶比的水泥净浆界面剂。

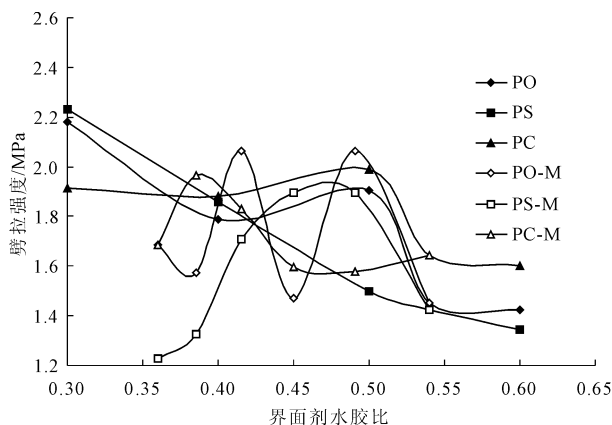


图 4 掺粉煤灰界面剂与水泥净浆界面剂 28 d 劈拉强度

由图 4 知,随着界面剂中粉煤灰掺量的增加(即随着水胶比减少),三种水泥的掺粉煤灰界面剂 28 d 劈拉强度均有一个先增大后减少的过程,其中普通硅酸盐水泥混凝土数据波动较大,矿渣水泥混凝土的最大值在掺量 30%,复合水泥的最大值在掺量 40%,说明粉煤灰存在一个最优掺量。与同水胶比水泥净浆界面剂相比,普通硅酸盐水泥劈拉强度在粉煤灰界面剂掺量 10%、30% 时大于水泥净浆界面剂,其余掺量则小于水泥净浆界面剂;矿渣水泥则是粉煤灰掺量小时大于水泥净浆界面剂,大于 30% 后小于水泥净浆界面剂;复合水泥只有粉煤灰掺量 40% 时大于水泥净浆界面剂,其余掺量则小于水泥净浆界面剂。

3 机理分析

第二龄期老混凝土与新混凝土的粘结结合面是一个薄弱区域,其主要原因有:新老混凝土由于存在龄期差,浇筑新混凝土时,老混凝土逐渐失去塑性,无法与新混凝土完全相互水化融合,存在结合面;新老混凝土结合面处往往是新浇混凝土泌水、排气集中处(尤其是竖直结合时),致使粘结面孔隙多、孔隙大、不密实,且水泥水化晶体大,具有取向性^[1]。新老混凝土由于龄期差而存在收缩差,因而在新混凝土中形成拉应力,在粘结界面的边界附近会产生剪应力和拉应力,致使新混凝土产生收缩微裂纹,粘结层出现收缩微裂缝。使用水泥浆类界面剂可以改善新老混凝土的界面结构,减少泌水、排气对界面的不良影响,水灰比越小,自由水越少,收缩越小,更有利于减少新老混凝土的收缩差,故混凝土粘结劈拉强度总体上随着水泥净浆界面剂水灰比的增大而减小,当水泥净浆水灰比大于混凝土水灰比时,甚至不如不刷界面剂,会起到负面作用。

新老混凝土界面粘结力主要包括机械啮合力、范德华力与化学作用力,老混凝土龄期较长时,老混凝土水化已完成大部甚至全部,化学作用力很小,起主要作用的是机械啮合力^[14],本文研究的老混凝土处于第二龄期,老混凝土水化反应还处于起步阶段,化学作用力也是界面粘结力的主要来源。相比普通硅酸盐水泥,矿渣水泥加入一定比例的矿渣,复合水泥则加入粉煤灰、火山灰、矿渣等掺合料,导致几种水泥混凝土产生不同的水化过程^[15-17],本试验中由于所使用界面剂中水泥全为普通硅酸盐水泥,表现出普通硅酸盐水泥的效果最好,次之为矿渣硅酸盐水泥,最差为复合硅酸盐水泥,说明水泥净浆界面剂存在与混凝土适用性问题,试验结果说明普通硅酸盐水泥净浆与同种类的混凝土适应性最好,其 28 d 相对强度比 7 d 相对强度还有所提高,与另外两种水泥适应性较差,其中与复合水泥的适应性最差,甚至无法起到正面作用。

粉煤灰中存在大量活性 SiO_2 ,掺粉煤灰的水泥净浆用作新老混凝土粘结的界面剂时,粉煤灰中活性 SiO_2 与老混凝土中的氢氧化钙反应生成 C-S-H 凝胶,从而阻止尺寸较大的晶体在粘结界面过渡层中生成,使老混凝土、新混凝土与界面剂接触面过度层中的孔隙减少,新老混凝土粘结界面趋于整体,从而提高粘结强度^[14]。但是,由于粉煤灰的水化过程较慢,同时,本试验使用的是二级粉煤灰,颗粒较

粗,龄期较短时水化反应很不充分,故其 7 d 龄期的劈拉强度增长趋势不明显,其劈拉强度多小于同水胶比的水泥净浆界面剂。同时,粉煤灰掺量较大时,新、老混凝土结合面水泥水化产生的氢氧化钙不足,粉煤灰不能充分进行二次水化,部分粉煤灰相当于惰性填料,降低粘结强度,说明粉煤灰存在一个合理的范围,故三种水泥的掺粉煤灰界面剂 28 d 劈拉强度随着界面剂中粉煤灰掺量的增加均有一个先增大后减少的过程,掺量较小时,劈拉强度有超过同水胶比水泥净浆界面剂的,掺量较大时则小于水泥净浆界面剂。

4 结 论

本文研究了不同水泥第二龄期老混凝土,在使用不同水灰比净浆界面剂和不同掺量粉煤灰水泥浆界面剂时与新老混凝土 7 d 与 28 d 粘结劈拉强度的变化规律。发现三种水泥混凝土粘结劈拉强度均随水泥净浆界面剂水灰比的增大而减小,当界面剂水灰比大于混凝土水灰比时,粘结劈拉强度甚至不如不刷界面剂劈拉强度。

三种水泥混凝土 7 d 劈拉强度随着界面剂中粉煤灰掺量的增加增长趋势均不明显,其劈拉强度多小于同水胶比的水泥净浆界面剂。三种水泥的掺粉煤灰界面剂 28 d 劈拉强度随着界面剂中粉煤灰掺量的增加均有一个先增大后减少的过程。与同水胶比水泥净浆界面剂相比,掺量较小时,粉煤灰界面剂劈拉强度有超过水泥净浆界面剂的,掺量较大时则小于水泥净浆界面剂。

综合分析认为老混凝土处于第二龄期时,新老混凝土之间是存在明显结合面的,使用净浆界面剂时,界面剂水灰比应小于混凝土自身水灰比,界面剂使用水泥与混凝土使用水泥应相同,粉煤灰界面剂中粉煤灰则有一个合理的掺量范围。

参考文献:

- [1] 袁 群,李立清,曹宏亮,等.新老混凝土粘结理论与研究[M].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [2] 史长城,王大辉,袁 群,等.短龄期老混凝土与新混凝土粘结的劈拉强度研究[J].混凝土与水泥制品,2015(5):15-18.
- [3] 赵志方,赵国藩,黄承逵.新老混凝土粘结的劈拉性能试验研究[J].工业建筑,1999(11):56-60.
- [4] 彭小芹,刘艳萌,林立勋.界面剂对界面劈拉强度的影响[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2006(7):596-599.

- [5] 程润喜,周厚贵.新老混凝土结合面新型界面剂的研制[J].南水北调与水利科技,2007(6):94-97.
- [6] 宋玉普,魏春明.混凝土施工缝接缝面劈拉强度试验研究[J].混凝土,2006(6):22-27.
- [7] 傅志斌,杨晓娟,丁 为,等.地下室外墙混凝土施工冷缝与竖向裂缝探测与分析[C]//土工测试新技术——第 25 届全国土工测试学术研讨会论文集,杭州,2008.
- [8] 马朝运,袁 群,李宗坤,等.混凝土冷缝劈裂抗拉强度试验研究[J].人民黄河,2008(6):79-82.
- [9] 袁 群,李宗坤,李立青,等.混凝土冷缝抗折性能的试验研究[J].混凝土,2008(7):1-3.
- [10] 袁 群,马朝运,李宗坤,等.混凝土冷缝抗渗性能试验研究[J].混凝土,2008(9):10-13.
- [11] 马朝运,袁 群,李宗坤,等.混凝土冷缝抗冻性能试验研究[J].人民黄河,2008(7):74-76.
- [12] 国家能源局.水工混凝土配合比设计规程:DL/T 5330-2015[S].北京:中国电力出版社,2015.
- [13] 中华人民共和国水利部.水工混凝土试验规程:SL 352-2006[S].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [14] 谢慧才,李庚英,熊光晶.新老混凝土界面粘结力形成机理[J].硅酸盐通报,2003(3):7-10.
- [15] 李 伟,李科伟,郭嫚,等.高炉矿渣、水泥、粉煤灰联合处理黏性土试验研究[J].水利与建筑工程学报,2013,11(6):50-54.
- [16] 郭林涛,周 艳.粉煤灰对混凝土耐久性影响的试验研究[J].水利与建筑工程学报,2010,8(5):48-50.
- [17] 危加阳.按水灰比修正的混凝土强度公式在粉煤灰混凝土配合比设计中的应用[J].水利与建筑工程学报,2014,12(3):133-137.