

碾压混凝土凝结时间的影响因素分析

李克亮,温金保,王 毅,黄国泓,陈 健

(南京水利科学研究院瑞迪高新技术公司,江苏 南京 210024)

摘要 讨论了水泥、粉煤灰、凝灰岩、磷矿渣、骨料品种、石粉含量、缓凝剂、引气剂、环境温度、环境湿度、VC 值、扰动等因素对碾压混凝土凝结时间的影响,并分析其影响规律。在考虑如上因素的基础上,结合贵州光照水电站技术要求,配制出适用的 HLC-NAF 缓凝高效减水剂,该产品掺量在 0.6% 时,混凝土初、终凝时间延长 13 h 以上。

关键词 碾压混凝土 凝结时间 影响因素 光照水电站 缓凝高效减水剂

中图分类号 :TU528.04 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2006)S1-0047-04

碾压混凝土施工技术采用连续快速碾压施工,为简化层面处理措施,防止冷缝产生,要求延长混凝土的初凝时间。影响碾压混凝土凝结时间的因素很多,主要有胶凝材料、骨料、外加剂、环境因素以及扰动等,本文进行这些因素对碾压混凝土凝结时间的影响分析,并结合贵州光照水电站的技术要求,推出适用的缓凝高效减水剂产品。

1 胶凝材料

1.1 水泥

不同品种水泥的 C_3S 、 C_3A 、 C_4AF 等矿物不尽相同,各矿物水化速率不同,水化产物不同,导致混凝土凝结时间不同。水泥的凝结时间与 C_3A 及 C_3S 的含量直接相关,初凝时间主要取决于 C_3A 含量,而终凝时间则主要取决于 C_3S 含量^[1]。

在水泥中掺加石膏可调节水泥的凝结时间,使用的石膏种类(二水石膏、硬石膏、半水石膏、磷石膏、氟石膏)不同,对水泥的缓凝作用也不尽相同。在控制 SO_3 相同的情况下,掺加硬石膏的水泥要比掺加二水石膏的水泥凝结时间短。硬石膏的溶解速

度慢,抑制 C_3A 快速水化的能力比二水石膏差,造成掺硬石膏水泥的凝结时间短于掺加二水石膏的水泥^[2]。水泥的细度也对水泥凝结时间有相当程度的影响。 $20\mu m$ 的水泥颗粒全部水化需要 1 年多的时间,而 $2\mu m$ 的水泥颗粒全部水化只需 1.5 h^[3]。表 1 列出不同碾压混凝土坝采用不同水泥时的凝结时间。

1.2 粉煤灰

粉煤灰等量取代水泥后,使浆体中水泥数量相对减少,水泥浆体的浓度相对降低,水化速率发展迅速的矿物组分 C_3A 和 C_4AF 比例降低,影响了水泥净浆的水化速度和水化过程,水化速率减慢,C-S-H 凝胶生成速率随之减慢,水泥基体系形成空间网状结构的速率也减慢,表现为水泥的初、终凝时间延长。表 2 为粉煤灰掺量对水泥浆体凝结时间的影响^[6]。表 2 数据表明:粉煤灰取代率越大,浆体的初、终凝时间延长越多。

1.3 其他掺合料

经过试验研究,大朝山水电站采用凝灰岩和磷矿渣复合掺合料,取得较好的技术经济效益。使用凝灰岩的碾压混凝土初凝时间最长,使用磷矿渣的

表 1 水泥种类对混凝土凝结时间的影响

工程名称	水泥品种	矿物组成/%				细度/%	初凝时间/h	终凝时间/h
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF			
龙滩碾压混凝土坝 ^[4]	红水河 P. 0525R	60.24	13.90	7.86	15.37	4.4	2.15	3.97
三峡工程 ^[5]	湖特 525 中热	50.4	20.33	3.16	20.06	3.86	2.35	3.52
三峡工程 ^[5]	葛洲坝 525 中热	54.38	19.75	1.91	16.96	3.7	2.37	3.52
三峡工程 ^[5]	华新 525 中热	52.47	23.98	2.19	16.26	2.1	2.63	2.60

碾压混凝土初凝时间最短,使用凝灰岩和磷矿渣复合掺合料的碾压混凝土初凝时间达 16 h,能够满足大坝碾压混凝土施工要求^[7]。

表 2 粉煤灰掺量对水泥浆体凝结时间的影响

水泥品种	粉煤灰		凝结时间/h	
	生产厂家	掺量/%	初凝	终凝
湘特 525 中热	华岳	50	4.52	6.73
湘特 525 中热	华岳	60	4.93	7.23
湘特 525 中热	华岳	70	5.07	8.00
葛洲坝 525 中热	湘潭	45	6.13	8.30
葛洲坝 525 中热	湘潭	55	6.82	9.15
葛洲坝 525 中热	湘潭	65	6.88	10.22

2 骨 料

百色水利枢纽碾压混凝土主坝工程采用辉绿岩骨料,现场加工的辉绿岩人工砂中,小于 0.16 mm 粒径的颗粒(即石粉)含量大,占 20% ~ 24%,小于 0.08 mm 的颗粒占石粉的 40% ~ 60%。试验分析表明 石粉含量从 24%降低至 16%,初凝时间相应延长 2 h 左右,即石粉每增加 2%,初凝时间缩短约 30 min,说明石粉含量高低是影响该工程碾压混凝土凝结时间的主要因素^[8]。此种情况可通过掺加部分河沙来延长碾压混凝土凝结时间,河沙掺量 30% 以上,初凝时间延长较为明显^[9]。林长农等也研究了不同石粉含量对凝结时间的影响,结果见表 3^[10]。表 3 中,龙滩工程普通砂与向家坝普通砂虽产地不同,但其物理性能基本相当,碾压混凝土的初凝时间也基本相近 龙滩高粉砂和龙滩普通砂同为龙滩工程的人工砂,但由于石粉含量不同,碾压混凝土的初凝时间也有所不同。

表 3 石粉含量对碾压混凝土凝结时间的影响

细骨料 类型	细度 模数	饱和面干 吸水率/ %	石粉 含量/ %	初凝 时间/ h	试验条件	
					温度/ ℃	相对湿度/%
龙滩高粉砂	2.65	2.3	18.5	6.83	35	45
龙滩普通砂	2.87	1.6	12.9	7.97	35	45
龙滩普通砂	2.87	1.6	12.9	8.65	35	70
向家坝普通砂	2.79	1.3	11.2	8.53	35	70

3 外加剂

3.1 缓凝剂

在早期,碾压混凝土中常掺加木钙、糖钙、糖蜜等缓凝剂,一般掺量在 0.3% 时碾压混凝土初凝时间约为 4.5 ~ 4.75 h,掺量 0.5% 时碾压混凝土初凝时间约为 5.75 ~ 6.25 h。木钙对终凝时间的延长与初凝时间呈同比增加,终凝时间约为初凝时间的 2 倍左右 糖钙能大大延长终凝时间,并随掺量增加,终凝时间延长幅度加大,当掺 0.5% 糖钙时,终凝时

间是初凝时间的 3.5 倍 糖蜜对终凝时间的影响居于糖钙和木钙之间。在高温条件下,各种醇类缓凝成分对碾压混凝土缓凝作用不明显。羟基羧酸(盐)类缓凝成分能延长碾压混凝土凝结时间,掺量增加,凝结时间延长 柠檬酸掺量在 0.25% 时,高温条件下的碾压混凝土初凝时间可达 9.25 h,酒石酸和柠檬酸钠掺量在 0.25% 时,初凝时间在 6.25 ~ 7.25 h,尚不能满足技术要求。随着温度增加,羟基羧酸(盐)的缓凝效果降低,主要是减少了对水泥熟料矿物 C₃S 的水化抑制。各种糖类都具有很强的缓凝作用,掺量为 0.2% 时,初凝时间已超过 9 h。

硼砂、氧化锌、碳酸锌、磷酸盐、偏磷酸盐和锌、铁、铜的硫酸盐等无机盐类缓凝成分不常使用,主要由于其缓凝作用不稳定。在高温条件下,三聚磷酸钠、六偏硫酸钠和偏硼酸钠对碾压混凝土的缓凝作用不明显^[11]。焦磷酸钠缓凝效果较为明显。

多种缓凝成分复合作用可以产生令人满意的效果。梁文全等^[12]把木钙和有机膦酸盐进行复合,掺加 0.25% 的木钙,复合 0.005% 或 0.01% 的有机膦酸盐,在 20℃ 雾室内,碾压混凝土初凝时间在 30 h 以上。“九五”国家重点科技攻关项目进行高温缓凝剂复合试验中,在原用缓凝减水剂的基础上使用复合高温缓凝剂 CHR,进一步延长了碾压混凝土的凝结时间^[13]。

3.2 引气剂

掺入引气剂会延长碾压混凝土的凝结时间,图 1 表示无论是在常温还是在高温条件下,掺加 0.01% 的引气剂(DH9)都会不同程度地引起碾压混凝土初、终凝时间延长^[14]。

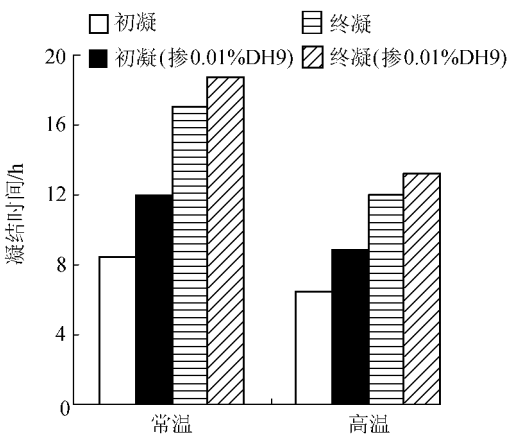


图 1 掺引气剂前后碾压混凝土凝结时间的变化

4 环境因素

4.1 温度

温度是影响碾压混凝土凝结时间的重要因素,一般地说,温度增高则碾压混凝土凝结时间缩短 随

温度的升高,终凝时间和初凝时间比值减小。温度在 30℃以上初凝时间有突变,温度与初凝时间呈分段线性关系,碾压混凝土初凝时间(τ)与温度(t)在高气温小范围内的近似关系表达式^[11]为

$$\tau = 11.93 - 0.16t \quad (30^{\circ}\text{C} < t < 40^{\circ}\text{C})$$
$$R^2 = 0.9795$$

田育功经过试验分析认为:外加剂掺 0.8%时,气温每升高 1℃,初凝时间缩短约 11 min;外加剂掺 1.0%时,气温每升高 1℃,初凝时间缩短约 15 min;外加剂掺 1.5%时,气温每升高 1℃,初凝时间缩短约 34 min^[15]。

罗明华结合大朝山工程分析温度对碾压混凝土凝结时间的影响,得出在常温和高温下 6 种方案碾压混凝土的凝结时间见表 4^[16]。在高温下,凝结时间(尤其是终凝时间)有较大幅度的减小。

表 4 常温和高温下碾压混凝土的凝结时间

方案	常温凝结时间/h		高温凝结时间/h	
	初凝	终凝	初凝	终凝
1	5.93	11.33	4.82	8.08
2	6.68	13.13	6.62	10.10
3	8.23	13.33	6.97	11.77
4	8.38	19.18	7.20	12.42
5	9.02	18.02	7.78	13.23
6	11.98	24.23	8.47	15.80

4.2 相对湿度

相对湿度对碾压混凝土的凝结时间也有相当程度的影响。相对湿度增大,碾压混凝土的凝结时间延长。相对湿度和初凝时间也呈分段线性关系,相对湿度小于 60% 时,初凝时间有突变。碾压混凝土初凝时间(τ)和相对湿度(H_r)在低湿度小范围内的近似关系表达式^[11]为

$$\tau = 0.77 - 0.09H_r \quad (40\% < H_r < 60\%)$$
$$R^2 = 0.9958$$

5 其他因素

5.1 工作度(VC 值)

田育功^[15]分析了温度在 19~20℃时碾压混凝土凝结时间随 VC 值的变化。VC 值为 5s,6s,7s 时,初凝时间分别为 5.5 h,4.87 h 和 4.65 h;VC 值增大 2s,初凝时间缩短约 1 h,即 VC 值每减小 1s,初凝时间约延长 30min。结果说明 在气温相同的条件下,减小碾压混凝土的 VC 值可以相应地延长初凝时间。

5.2 扰动

在碾压混凝土施工过程中,运输、摊铺、碾压将对碾压混凝土造成扰动,会对碾压混凝土凝结过程产生影响。何金荣等^[17]通过重复压振扰动对碾压

混凝土凝结时间的影响进行研究,在距离加水时间为 T 时,将试件置于 VC 值测定仪器上加压振动 3 倍 VC 值的时间,并测试其凝结时间,间隔时间 T 后,对试件再次加压振捣,并抹面、养护,至固定龄期,测试抗压强度,试验结果见表 5。

表 5 重复压振扰动对碾压混凝土凝结时间的影响

T/h	初凝时间/h		抗压强度/MPa	
	1 号试件	2 号试件	1 号试件	2 号试件
0	13.67	14.17	15.4	16.1
4	14.17	14.83	15.3	17.0
8	13.67	17.33	16.4	17.4
10	19.17	20.00	16.7	17.3
12	19.83	20.50	16.5	17.1
14	21.17	21.00	15.9	17.3
16	22.50	21.67	15.6	17.6

结果表明,随着间隔时间 T 的增加,初凝时间延长幅度增大,其中 1 号试件在间隔 16h 扰动后,初凝时间延长了 8.83 h。虽然初凝时间有所延长,但抗压强度基本没有受到影响。扰动使碾压混凝土的凝结时间延长,增加了层面之间塑性结合的可能,使碾压混凝土的层面结合良好。

另外,风速大小和光照强弱也可以影响碾压混凝土的初凝时间。风速大,光照强,蒸发量大,表面失水较多,碾压混凝土硬化快,凝结时间短。碾压混凝土入模温度较高,水泥水化过程加快,混凝土凝结时间缩短。有试验表明,在外加剂相同掺量的情况下,碾压混凝土二级配比三级配初凝时间有所延长。

6 工程应用实例

光照水电站位于贵州省关岭县和晴隆县交界的北盘江中游,工程坝顶总长 412 m,最大坝高 195.5 m,为世界上目前最高的碾压混凝土坝。光照电站大坝混凝土总方量为 278.83 万 m³,其中碾压混凝土和变态混凝土方量为 240.02 万 m³。

充分考虑上述影响碾压混凝土凝结时间的因素,结合光照水电站碾压混凝土技术要求,着眼于提高缓凝高效减水剂的减水、缓凝及保水效果,以改善碾压混凝土的凝结时间、黏聚性、柔塑性及可碾性,配制出适用的 HCL-NAF 缓凝高效减水剂。目前,该产品已经在大坝主体工程中应用。该产品掺量在 0.6% 时,初凝时间延长 13.5 h,终凝时间延长 13.58 h,减水率大于 20%,碾压混凝土(配合比:P. O42.5 水泥为 79 kg/m³,Ⅱ级粉煤灰为 98 kg/m³,人工砂为 842 kg/m³,中石为 743 kg/m³,小石为 613 kg/m³,水为 85 kg/m³)初凝时间为 19.83 h,终凝时间为 25.42 h,并且随 HLC-NAF 掺量增加,碾压混凝土凝结时间进一步延长,在掺量为 1.0% 时,碾压混凝土初凝时间

为 38.17h,终凝时间为 43.58h,见图 2。实际施工过程中,温度在 25℃下,HCL-NAF 缓凝高效减水剂掺量为 0.5%,如果温度在 25℃以上,HCL-NAF 缓凝高效减水剂掺量提高到 0.7%,同时辅以喷雾措施,可以满足高温季节施工对凝结时间的要求。

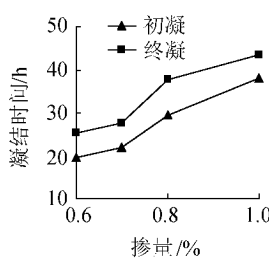


图 2 室温下碾压混凝土凝结时间随 HLC-NAF 掺量的变化

7 结 语

a. 水泥的 C_3A 及 C_3S 矿物含量、细度大小以及使用的石膏种类对碾压混凝土的凝结时间有较大影响,工程中要注意选择。粉煤灰等量取代水泥后会延长碾压混凝土的凝结时间,掺量增加,初、终凝时间都有适当延长。

b. 骨料种类和石粉含量高低对混凝土凝结时间也有相当的影响,该项因素成为百色水利枢纽选择外加剂的主导因素。

c. 外加剂是影响碾压混凝土凝结时间的主要因素,可以通过不同缓凝剂之间的复合,达到进一步延缓凝结时间的目的。

d. 环境因素是影响碾压混凝土凝结时间的重要因素,温度升高、相对湿度降低、风速加大、光照较强都会引起碾压混凝土凝结时间缩短。

e. VC 值减小,碾压混凝土初凝时间延长 施工过程中,运输、摊铺、碾压等活动会对碾压混凝土造成扰动,引起凝结时间延长,有利于层面结合。

f. HLC-NAF 缓凝高效减水剂具有较好的减水、缓凝及保水效果,已用于光照水电站主体工程。

参考文献：

[1] 冯培植,朱教群.不同粉磨系统对水泥凝结时间的影响[J].国外建材科技,1997,18(3) 36-67.

[2] 崔素萍,顾雪慈,王子明,等.石膏种类对硅酸盐水泥性能的影响[J].水泥技术,2005(2) 29-32.

[3] 张大同.对水泥粉磨细度控制方法的建议[J].水泥,2005(6) 1-3.

[4] 林长农,涂传林.掺高温缓凝减水剂的碾压混凝土的性能研究[J].混凝土,2000(3) 29-35.

[5] 陆佑楣.三峡大坝混凝土施工[M].北京:中国电力出版社,2003 352-353.

[6] 刘清波.影响碾压混凝土凝结时间的因素及规律探讨[J].湖南水利,1997(4) 24-26.

[7] 于忠政,陆采荣.大朝山水电站碾压混凝土新型 PT 掺合料的研究与应用[C]//中国大坝委员会秘书处.RCC '99 碾压混凝土筑坝技术国际会议论文集.北京:中国水力发电工程学会,1999 261-272.

[8] 朱国伟,田育功.辉绿岩石粉对碾压混凝土性能影响[J].广西水利水电,2004(增刊) 53-57.

[9] 田育功,李星召.辉绿岩人工砂掺河沙碾压混凝土性能试验研究[J].广西水利水电,2004(增刊) 47-51.

[10] 林长农,涂传林.掺高温缓凝减水剂的碾压混凝土的性能研究[C]//中国大坝委员会秘书处.RCC '99 碾压混凝土筑坝技术国际会议论文集.北京:中国水力发电工程学会,1999 177-187.

[11] 梅国兴,陆采荣,刘伟宝.碾压混凝土高温缓凝减水剂的复合试验研究[C]//中国大坝委员会秘书处.RCC '99 碾压混凝土筑坝技术国际会议论文集.北京:中国水力发电工程学会,1999 273-278.

[12] 梁文全,李亚杰,何真.三峡混凝土工程超缓凝减水剂的研究(II)[J].湖北水力发电,1997,24(1) 29-32.

[13] 蔡跃波,陆采荣,孙君森.碾压混凝土材料性能河耐久性研究专题研究报告[R].南京:南京水利科学研究院,2000 46-47.

[14] 朱育岷.缓凝高效减水剂对碾压混凝土性能影响分析[J].混凝土,2003,162(4) 19-23.

[15] 田育功.温度、VC 值及外加剂对碾压混凝土凝结时间影响探讨[J].广西水利水电,2004(增刊) 60-63.

[16] 罗明华.大朝山水电站大坝工程碾压混凝土外加剂应用研究[J].水力发电,2001(12) 39-40.

[17] 何金荣,谭建军.重复压振扰动对碾压混凝土凝结时间的影响[J].水电勘测设计,2005,53(1) 29-31.

(收稿日期 2005-10-14 编辑 高建群)

· 简讯 ·

中国高等学校电力系统及其自动化专业 第 22 届学术年会在南京召开

中国高等学校电力系统及其自动化专业第 22 届学术年会于 2006 年 10 月 12 ~ 14 日在河海大学举行。会议就以下专题进行交流和研讨:①电力系统规划与可靠性;②电力系统稳态分析与控制;③电力系统暂态分析与控制;④高压直流输电及灵活交直流输电技术;⑤能量管理系统及配电网自动化;⑥电力系统继电保护;⑦电力系统自动化及远动技术;⑧电力设备监测与故障诊断;⑨人工智能在电力系统中的应用;⑩电力市场;⑪理论电工;⑫教学研究。

(编辑部供稿)