

碾压混凝土对外加剂性能的要求

黄绪通

TV431

⑩
35-37, 41

(国家电力公司成都勘测设计研究院科学研究所, 四川成都 610071)

摘要:结合工程试验研究及施工的实践经验,论述了用于碾压混凝土的外加剂,应具有较优的减水增强效果,能延缓混凝土凝结时间,提高可碾性,具有抑制早期水化温升和提高耐久性的作用.介绍了中国龙游县龙游混凝土外加剂厂生产的ZB-1专用外加剂已成功地应用于中国二滩248m双拱坝的低流态混凝土,取得了显著的经济技术效益.

关键词:碾压混凝土;外加剂;混凝土性能;水化热;减水率

中图分类号:TV42+4

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2000)02-0035-03

通过较为系统的试验研究,认识要配制高品质的碾压混凝土,对混凝土外加剂功能的选择应给予足够的重视,即用于碾压混凝土的外加剂,除应具有较好的缓凝效果外,还应有较佳的表面活性、润滑分散及流化等作用,以减少用水量,降低水灰比,提高混凝土强度,同时又能改善碾压混凝土和易性,解决混合材需水量大的问题,因此需选择具有高效减水作用的外加剂.为了满足碾压混凝土大仓面、连续铺筑及夏天施工的要求,提高层间结合性能,混凝土外加剂还应具有缓凝时间长、保塑性好的特性.由于碾压混凝土掺用了大量的混合材,外加剂组份还需有激发混合材活性,促进水化产物产生的作用;为了提高碾压混凝土的抗渗性、抗冻性、可压实的密实性,外加剂还需含有适量的引气组份.

1 外加剂应有较优的减水增强效果

混凝土本身水泥水化需水量约为水泥重量的1/4,即理想水灰比应是0.25.而实际施工时,为了满

足施工工作度的要求,其用水量比理想的用水量要大得多,使混凝土中存在多余的水分,造成混凝土孔隙率及收缩率增大,强度和耐久性降低,使混凝土质量变劣.为了解决这一问题,多年来,国内外通过反复研究,掺用减水剂或高效复合减水剂,使混凝土用水量减少了7%~40%,从而使混凝土的质量等得到显著的提高.混凝土外加剂成了近年来配制高品质混凝土及超高强混凝土不可缺少的材料.但由于水泥中的C₃A及硬石膏的存在,将造成与外加剂相容性不好,特别与缓凝剂相容性更差.因此,外加剂与胶材的相容性选择就显得更加重要(见表1).

从表1中可以看出:大朝山的碾压混凝土试验中,由于采用的凝灰岩及磷矿渣,混合材需水量大,骨料形状不良,未掺外加剂时用水量达95 kg/m³,掺有复合型减水缓凝剂后,用水量只有80 kg/m³,减水率达18%,混凝土和易性和可碾性得到显著提高.在胶材用量相同的条件下,混凝土90d抗压强度提

表1 外加剂对碾压混凝土减水增强的影响

工程名称	胶材用量 (kg·m ⁻³)	用水量 (kg·m ⁻³)	外加剂 名称	掺量 /%	VC值 /s	减水 /%	抗压强度/MPa		强度比值 (90d)	水泥品种 及标号
							28d	90d		
沙牌	178	117		0	8	0	14.0	18.2	100	百花中热 425号
	178	94	FT	0.7	8	20	20	30.3	166	
	178	90	ZB-1	0.7	8	23	21.1	31.8	174	
大朝山	178	95		0	6	0	11.2	14.9	100	滇西 525 号普通硅 酸盐水泥
	178	82	FDN-8	0.7	6	13.7	17.6	26.6	178	
	178	88	RC-1	0.3	9	7.4	12.4	17.9	120	
	180	80	ZB-1A	0.7	8	18.0	17.9	28.3	189	
花滩	160	90	ZB-1RCC	0.7	9	20	11.5	19.7	154	425号普 通硅酸盐 水泥
	160	98	AE-2	0.5	10	12	8.5	13.0	100	

高 89%,比一般复合型外加剂提高 60%左右.经优化后的复合型高效缓凝减水剂,比通常使用的减水剂优异得多.采用百花中热 425 号水泥,掺 ZB-1 复合型外加剂,减水率达 23%,抗压强度比空白混凝土提高 74%,说明采用优质的多功能外加剂,可以显著地提高碾压混凝土的强度,从而进一步减少水泥用量,降低水泥水化热,减小温度应力和收缩变形,减少混凝土粗骨料界面微裂隙,提高其界面粘结力,提高混凝土的各种物理、力学、热学及耐久性能,相应地提高了碾压混凝土的抗裂性.

从花滩优化后的碾压混凝土配合比中可以看出,采用龙游县外加剂厂生产的 ZB-1 型外加剂,比其它复合型(如 CR,AE-Z 型)更具有优越性,在掺量相等时,比掺 AE-Z 型外加剂的混凝土抗压强度提高 53%,其粘聚性、柔塑性及可碾性均好,为提高碾压混凝土的质量创造了条件.

上述结果充分说明,提高混凝土外加剂的减水率,是保证碾压混凝土施工质量,提高碾压混凝土的强度及其性能的一项重要技术措施.

2 外加剂应有延缓混凝土凝结时间的作用

为了保证碾压混凝土大仓面、连续铺筑及夏天施工的技术要求,保证混凝土层间结合良好,通常除采用大掺粉煤灰(达 50%~70%)来降低水泥水化热及延缓水化速率外,一般都采取掺用减水缓凝剂(俗称双掺)的方法来满足夏天高温施工要求.如大广坝及石板水电站 RCC 都采用高掺粉煤灰及缓凝减水剂,气温 32~35℃时,在无温控设施的情况下,混凝土继续施工.由于施工后养护措施较好,使施工的混凝土未出现温度裂缝.目前国内掺用的缓凝减水剂如表 2 所示.

从表 2 中可以看出,只要掺用 50%~63%的粉煤灰、水泥用量可降低到 45~65 kg/m³,这样水泥水化热便可降低 50%以上,加上掺用以糖钙类为主的缓凝剂,可使在温度 30℃左右时,混凝土初凝时间仍大于 8h,达到夏天继续铺筑的要求.若温度超过 30℃,还可以增大缓凝剂掺量,以达到有足够量来延

缓 C₃A 的水化反应,使其难以较快地生成钙矾石结晶,而起到缓凝作用,抑制早期的水化反应.但在选择糖钙类的缓凝剂时,要禁止用硬石膏作水泥调凝剂,并相应降低 C₃A 含量,以防止混凝土产生假凝及速凝的问题.碾压混凝土选用的外加剂应能满足不同温度时施工的要求,同时还应具有用剂量来灵活调节凝结时间,并在混凝土初凝后,终凝时间较短,终凝后混凝土的强度能较迅速增长的作用.

3 外加剂应有提高可碾性的作用

碾压混凝土的强度高低,除与包裹理论、水胶比定则及掺用的混合材质量有直接关系外,还与混凝土压实密度有关.根据前苏联有关资料介绍,碾压混凝土的密实度每下降 1%,强度下降 10%;日本资料介绍,碾压混凝土的密实度下降 1%,90d 抗压强度下降约 2MPa,说明碾压混凝土的密实度与强度有直接的关系.

为了提高碾压混凝土的密实度,我国通常采用高掺粉煤灰(掺量达 50%~65%);提高砂中石粉含量(15%~18%);低工作度(8~12s)等措施,来改善碾压混凝土的可碾性.除此之外,近年来为了提高碾压混凝土的质量,进一步改善可碾性,通过试验研究,改变了原来采用普通型减水缓凝剂的做法,逐步采用复合型的多功能缓凝引气高效减水剂,使外加剂的效应不单具有表面活性,促使胶体颗粒润滑分散、流化等作用;而且还具有表面张力小,易于起泡等作用,增加混凝土柔塑性,提高可碾性.

碾压混凝土的可碾性,从表 3 可以看出,在配合比相同条件下,由于压实度不同,使混凝土强度相差 12%~32%.

表 3 碾压混凝土振实度对强度的影响

试件振捣密实 R_{90d}/MPa	试件振捣不密实 R_{90d}/MPa	混凝土强度 降低/%
21.1	14.2	32
21.3	18.7	12
29.3	25.5	13
32.9	28.6	13
35.6	29.8	16

表 2 外加剂对混凝土凝结时间的影响

工程名称	胶材用量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	混合材 用量/%	外加剂 品 种	掺量/%	VC 值/s	凝结时间/h			
						20℃		30℃	
						初凝	终凝	初凝	终凝
铜街子	150	57	木钙	0.25	10	18	32	12	18
	150	63	RC-1 型	0.25	8	22.83	27.42	14.90	22.75
	150	63	FG	0.25	9	24.17	44.58	20.70	35.50
	150	63	FG	0.20	10	21.17	38.58	15.70	29.67
石板水 电站	178	50	FT 型	0.70	9	19.83	35	14	25.83
	178	50	HR3	0.45	10	18	30	12	25
	178	50	ZB-1 型	0.50	9	14.83	28	12	24

注:石板水电站试验温度为 25℃及 35℃.

表4说明在胶材相同时,VC值大小与RCC的密度及强度有直接关系.从第一组结果可看出,胶材虽相同,但水胶比变化范围为0.45~0.53,VC值为33~8s,其强度相差32%;第二组试验结果表明,水胶比为0.59,比0.72的抗压强度高23%,密度高2%.说明较佳的单位用水量,能得到较佳的VC值,较佳的VC值能得到较佳的密实度及强度.同时第三组试验的结果说明,用增加用水量来降低VC值,形成增加水胶比,使混凝土强度降低29%,是得不偿失的做法.因此,为了提高可碾性,应该采用高效减水引气缓凝剂来改善和易性,这样才能得到事半功倍的效果.

表4 VC值对碾压混凝土强度的影响

配合比	水胶比	用水量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	VC值 /s	R_{90d} /MPa	相对强度 /%	相对密度 /%
1	0.53	95	8	24.3	100	98.5
	0.49	88	20	18.8	77	97
	0.45	80	33	16.5	68	95
2	0.62	105	5	10	84	96
	0.59	100	8	11.9	100	98
	0.53	90	26	8.3	70	94
3	0.68	99	9	22.4	100	98
	0.59	86	20	24.8	111	98
	0.72	104	6	18.5	82	96

4 外加剂应有抑制早期水化温升的作用

为保证碾压混凝土大仓面及连续铺筑,降低水泥的水化热,一般采用降低单位水泥用量,增大粉煤灰或混合材的掺量的方法,这当然是关键的环节,但对于外加剂的作用,也是不能忽视的.从表5中可以看出,由于在水泥中掺入糖钙缓凝减水剂后,糖醇分子在水泥粒子表面形成不溶性钙盐沉淀,阻止水泥粒子和水接触,因此也阻碍从液相析出 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 结晶的形成,延缓了水泥的水化反应,从而使水泥水化热峰值推迟.

从表5中可以看出,在中热水泥中掺用0.2%的缓凝剂,7d水化热比未掺降低了约36%.在普通硅酸

盐525号水泥中掺用0.7%复合型高效减水缓凝剂后,其7d水化热降低32%;掺用龙游县外加剂厂生产的ZB-1RCC型0.55%后,水化热降低73%,说明优质的缓凝减水剂具有显著的降低早期水化热的作用.

5 外加剂应有提高耐久性的作用

碾压混凝土由于掺用大量的混合材,对于混凝土的抗冻性及抗碳化性带来了不利因素.试验结果说明,混凝土中的粉煤灰掺量大于40%时,单掺普通型减水剂,其抗冻性及抗碳化性明显降低,而复掺0.3/万引气剂后,粉煤灰掺量大于50%的C10碾压混凝土,经快冻40次后,其强度损失小于16%;临江电站及潘家口电站,在碾压混凝土中联合掺用木钙及引气剂后,其抗冻标号可达D75~D110.碾压混凝土抗冻性试验研究表明,C20碾压混凝土,水胶比在0.45,粉煤灰掺量为50%时,掺用(ZB-1)0.8%加(PC)0.8%或1%后,使混凝土含气量达4.5%时,经300次快冻试验后,混凝土的质量损失虽达4.2%,但相对动弹模仍可达到89%,说明与常态混凝土一样,只要控制水胶比,掺入适量的引气剂,使含气量达到2.5%~4.5%,碾压混凝土的抗冻性比相同的常态混凝土还优越,其耐久性能满足各种工程环境的技术要求.

6 结 语

通过反复多次试验研究证明,采用高效减水缓凝引气的复合型外加剂,能体现外加剂的多功能联合作用;显著地减少混凝土单位用水量达16.7%~27%,降低水胶比;提高混凝土的柔塑性,提高可压实性能,满足连续铺筑层间结合要求;降低水泥早期水化热32%~73%,延缓混凝土的凝结时间8h左右,满足高温季节施工的要求;提高混凝土的密实度;提高混凝土强度高达40%左右,提高耐久性及抗裂性;提高碾压混凝土的层间结合强度及施工质量;加快施工进度,促进碾压混凝土筑坝技术向深度

表5 水泥水化热对比试验结果

水泥品种 标号	外加剂名称	掺量/%	混合材 掺量/%	热峰出现 时间/h	水化热/($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)			7d降低 /%
					3d	5d	7d	
中热 425号	TG	0	0	13	242.0	266.0	277.0	0
		0	50(F)	19	132.0	158.0	172.0	38
		0.2	50(F)	无峰	32.3	65.0	110.0	60
		0.7	50(F)	无峰	31.0	66.0	117.0	58
普硅 525号	FT	0	0	15	261.5	295.3	308.5	0
		0	60(FT)	12	134.7	155.7	165.1	46
	ZB-1	0.7	60(PT)	5	52.8	58.5	58.5	81
		0.55	60(PT)	5	35.5	44.6	44.6	86
	BQT	0.3	60(PT)	32.3	32.4	33.9	37.7	87
	TDN	0.5	60(PT)	22.65	107.4	126.0	140.0	55

(下转第41页)

5 四边固支矩形钢面板弹塑性调整系数的确定

钢板基本上是均匀的各向同性材料,也接近理想的弹塑性体,故其弹塑性调整系数可直接由上面所求得的弹塑性极限荷载的比值来确定:

$$\alpha = \frac{p^*}{p} = \frac{8M_p^*}{a^2} \cdot \left[\frac{1}{3} \left(\sqrt{\left(\frac{a}{b} \right)^2 + 3 + \frac{a}{b}} \right)^2 + 1 + \left(\frac{a}{b} \right)^2 + \frac{0.29a}{b} \right] \cdot \left\{ \frac{64}{7a^2} \left[\left(\frac{a}{b} \right)^4 + \frac{4}{7} \left(\frac{a}{b} \right)^2 + 1 \right] M_p \right\}^{-1} \quad (26)$$

上式中塑性极限弯矩 M_p^* 是弹性极限弯矩 M_p 的 1.5 倍,其理由是矩形截面受弯构件的塑性抵抗弯矩是弹性抵抗弯矩的 1.5 倍,即 $M_p^* = 1.5M_p$,并设长短边比 $\beta = b/a$,可求得弹性调整系数

$$\alpha = \frac{7}{16} (2\beta^2 \sqrt{1 + 3\beta^2} + 5\beta + 0.87\beta^2 + 6\beta^4) \cdot (1 + \frac{4}{7}\beta^2 + \beta^4)^{-1} \quad (27)$$

6 弹塑性调整系数理论值与规范值的比较

为了便于比较,特将理想弹塑性材料钢面板的弹塑性调整系数近似分析值和各国规范值随 β 的变化曲线绘于图 3。

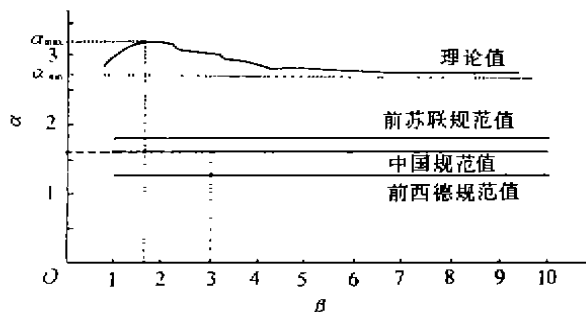


图3 $\alpha \sim \beta$ 关系

由图3可以看出,理论弹塑性调整系数比各国规范值大得多,其最大值为 3.127,最小值为 2.625;特别值得说明的是这一理论结果与因无理论根据而无法编入规范的河海大学 20 年前的实验结果完全吻合,这就为规范制订提供了理论依据,故认为现行规范值是比较保守的,也没有给出 α 与长短边比 β 的一一对应关系。

7 对面板参加主(次)梁整体弯曲强度验算公式的讨论

中国规范中给出的公式(见公式(4)),有不尽合理的地方,这是由于式(4)可化为

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{mx}}{\alpha} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{my}}{\alpha} + \frac{\sigma_{oy}}{\alpha} \right)^2} - \frac{\sigma_{mx}}{\alpha} \left(\frac{\sigma_{my}}{\alpha} + \frac{\sigma_{oy}}{\alpha} \right) \leq [\sigma] \quad (28)$$

而 σ_0 是验算点的主(次)梁上翼缘的整体弯曲应力,在规范所给公式中 σ_{oy}/α 显然默认了主(次)梁本身与面板一样可发生一定程度的塑性变形,实际上主梁是不允许塑性变形的,为什么应用上式设计的钢闸门未发生事故呢?其原因也许是 α 取值比较保守。

因此建议在进行强度验算时采用以下公式:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{mx}}{\alpha} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{my}}{\alpha} + \sigma_{oy} \right)^2} - \frac{\sigma_{mx}}{\alpha} \left(\frac{\sigma_{my}}{\alpha} + \sigma_{oy} \right) \leq [\sigma] \quad (29)$$

式中各应力拉为正,压为负。

参考文献:

- [1] 俞良正,陶碧霞.钢闸门面板实验主要成果与建议[J].水力发电,1986(10):32~42.
- [2] 规范组编.水利水电工程闸门设计规范及编制说明[M].北京:水利电力出版社,1995.
- [3] 安徽省水利局勘测设计院.水工钢闸门设计[M].北京:水利电力出版社,1983.
- [4] 黄克智等.板壳理论[M].北京:清华大学出版社,1987.
- [5] 王仁,熊祝华,黄文彬.塑性力学基础[M].北京:科学出版社,1982.
- [6] Stuart S J. Moy. Plastic methods for steel and concrete structures [M]. London: The Macmillan Press LTD, 1981.

(收稿日期:1998-11-19 编辑:张志琴)

(上接第 37 页)

及广度发展,向高科技型发展,为碾压混凝土向巨型坝、高坝及高拱发展创造了条件。

中国龙游县龙游混凝土外加剂厂生产 ZB-1 RCC 专用外加剂,具有以上性能,该厂生产的 ZB-1 复合型外加剂,已用于中国二滩 248 m 双拱坝的低流态混凝土,该坝混凝土质量优良,已浇筑的 520 万 m^3 混凝土,由于掺用 ZB-1 外加剂而节约费用达 17 992 万元人民币。工程实践证明,使用优质高效多功能的混凝土外加剂,能取得显著的经济技术效益。

参考文献:

- [1] 黄绪通等.石板水电站碾压混凝土试验研究与应用[J].RCC 动态,1996(26):48~50.
- [2] 梅国兴.碾压混凝土抗冻性试验研究[J].RCC 动态,1996(23,24):27~30.

(收稿日期:1999-01-18 编辑:张志琴)