

水工混凝土“蜂窝麻面”成因及防治

伏文勇

(大连西卡建筑材料有限公司, 辽宁 大连 116031)

摘要:对混凝土“蜂窝麻面”的成因进行试验研究,认为在成型过程中,混凝土“蜂窝麻面”是其内部未排出的气泡所致,试验结果表明,气泡的排出与混凝土自身的排气能力直接相关,原材料的性能决定着混凝土的排气能力,其中微小颗粒及微气泡的吸附作用使混凝土拌和物粘性增加,不利于排气,防治混凝土“蜂窝麻面”的技术措施有:确定最佳振动成型时间;对混凝土配合比进行优化设计;采用材质优良、表面光洁度高的模板;选用优质脱模剂。

关键词:水工混凝土;空蚀;外加剂;粉煤灰

中图分类号:TV431

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2002)01-0036-03

1 “蜂窝麻面”成因的定性分析

为定性判明混凝土“蜂窝麻面”的成因,进行正常成型试件与排气试件的对比试验,试验依据SD105-82《水工混凝土实验规程》,采用二级配混凝土,骨料系花岗岩人工砂、人工碎石,水胶比0.5,坍落度 (5.0 ± 1.0) cm,含气量 $4.0\% \pm 0.5\%$,20%平圩I级粉煤灰等量替代水泥,脱模剂为机油,正常成型试件为振动台振动成型,振动时间为30 s,排气试件在正常成型基础上,用薄钢片(刮刀、钢尺等)对试件侧面进行插捣(快进慢出,小幅插捣),以排出混凝土表面气泡,使排气试件表面不再有气泡,拆模后对混凝土表面进行观察。

试验结果表明,排气成型的试件表面光洁平整,无明显孔洞,因此,可证明试件表面的孔洞并非水泡所致;而正常成型的试件表面呈蜂窝麻面,孔洞明显,故可证明气泡是形成混凝土表面孔洞的原因;试件表面孔洞外观描述,亦可证明是气泡而非水泡形成混凝土表面孔洞,因此可以认为,混凝土的“蜂窝麻面”主要为气泡所致。

正常成型条件下,传统混凝土的“蜂窝麻面”主要是由气泡和水泡所致,气泡为成型过程中未能排出的气体所形成;水泡为水泥颗粒凝絮作用所包裹的水,在后期蒸发以后的水囊空腔所形成,而水工混凝土技术,由于多采用外加剂与粉煤灰联掺,外加剂特别是高效减水剂对水泥颗粒有很强的分散解絮作用^[1],同时国标I级粉煤灰也有较好的解絮作用^[2],

可使混凝土中胶凝材料颗粒产生凝絮的几率大为减小,因而形成水囊空腔的先决条件基本不存在,所以混凝土的“蜂窝麻面”主要是气泡所致。

2 原材料对混凝土气泡排出的影响

由于“蜂窝麻面”主要是混凝土中未排出的气泡所致,故一定成型工艺条件下,混凝土自身排气性能的优劣,影响着“蜂窝麻面”的气泡数量及孔径大小,而原材料组成是决定混凝土自身排气性能优劣的根本,为此,我们用正交试验 $L_8(2^5)$ 分析各原材料因素对混凝土排气性能的影响,试验依据SD105-82,采用二级配混凝土,骨料系花岗岩人工砂、人工碎石,水胶比0.50,坍落度 (5.0 ± 1.0) cm,含气量 $4.0\% \pm 0.5\%$,20%平圩I级粉煤灰等量替代水泥,脱模剂为机油,成型试件规格为 $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ 的立方体,振动台振动成型,振动时间为30 s。

由于在水工混凝土“蜂窝麻面”中,只有较大孔径气泡易造成空蚀破坏,为便于观察,试验仅对孔径 $r \geq 3\text{ mm}$ 的大气泡进行观察分析。

试验结果表明,对混凝土自身排气性能不利的原材料因素,从大到小依次为:平圩灰,引气剂PC-2,人工碎石,天然砂,人工砂,天然卵石,高效减水剂ZB-1A,见图1。因此,平圩灰和引气剂是影响混凝土自身排气性能的主要因素。

试验比较发现,混凝土拌和物的粘性大小显著影响其排气性能,因为混凝土浆体具有较高的粘性时,增加了气泡排出的阻力,而粉煤灰和引气剂的掺

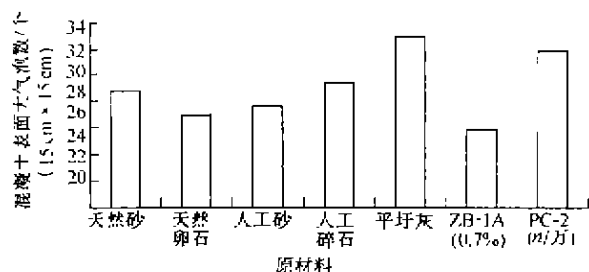


图1 各原材料对混凝土表面大气泡排出的影响

入,较大幅度地提高了混凝土的粘性,因而粉煤灰和引气剂是导致混凝土排气性能降低的主要因素。粉煤灰和引气剂提高混凝土粘性的机理如下:

a. 粉煤灰有非常小的颗粒半径,以平圩灰为例,其颗粒半径小于 $10\mu\text{m}$ 的占其总量 40% 以上,因此具有较大的比表面积。根据固体表面力场的特点可知:平圩灰颗粒表面能较高,具有较高的表面力场,在混凝土拌和过程中,胶凝材料颗粒间自动发生排列组合,根据热力学第二定律,在恒温恒压下自动进行的过程,必伴随着系统中自由能的减少,由此,平圩灰颗粒必然吸附于水泥颗粒表面,以降低其表面自由能,使水泥颗粒间以粉煤灰作为桥梁相互连接,形成空间立体网状结构,在拌合水的润滑作用下,虽然可以起滚珠轴承作用,提高混凝土中浆体的流动度,但由于胶凝材料颗粒间表面力场作用,其浆体粘性提高。同时,由于粉煤灰的表观密度小于水泥,如平圩灰的表观密度为 $2220\text{kg}/\text{m}^3$,而葛洲坝中热 525 号硅酸盐水泥的表观密度为 $3200\text{kg}/\text{m}^3$,等量替代水泥后,胶凝材料的体积变大,相当于水胶(体积)比变小,浆体粘性提高。试验证明,随着粉煤灰掺量的增加,混凝土的排气性能劣化,见图 2。

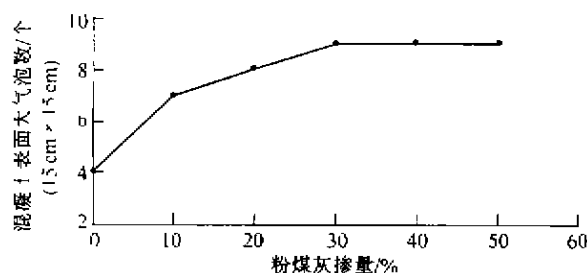


图2 不同粉煤灰掺量对混凝土排气性能的影响

b. 由引气剂成泡机理^[3]可知,引气剂的掺入提高了拌合水的粘度,因而混凝土粘性提高。

3 成型工艺对水工混凝土中大气泡数量与孔径的影响

在工程建设中,混凝土通常采用振动成型工艺。为使试验结果能对施工有现实指导意义,试验采用振动台振动成型,脱模剂为机油,振动成型时间分别为 10s, 20s, 30s, 40s, 50s, 60s, 80s, 100s, 120s, 160s,

200s, 240s, 试验依据 SD105-82, 混凝土配合比见表 1, 试验结果见表 2。

表1 混凝土试验配合比

水	粉煤	超量	配合比/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)						
			水	水泥	粉煤灰	人工砂	人工碎石	ZB-1A	PC-2
胶	灰	系数							
掺	掺								
量	量								
比	比								
量	量								
/%	/%								
0.5	20	1	105	168	42	628	1398	1.47	0.01

表2 混凝土排气试验结果

振动时间/s	表面观察数量/个	孔径/mm	离析情况	含气量/%
10	16	3~6	无	6.2
20	11	3~6	无	5.4
30	8	3~5	无	4.8
40	2	3~5	无	4.6
50	4	3~4	少许	4.4
60	8	3~4	较少	4.0
80	7	3左右	少	3.8
100	5	3左右	少	3.8
120	4	3左右	多	3.6
160	4	3左右	严重	3.5
200	2	3左右	严重	3.5
240	1	3左右	严重	3.4

注:表面观察数量为混凝土成型时的大气泡数量(15 cm x 15 cm);坍落度 5.3 cm。

振动成型过程中,混凝土“蜂窝麻面”中的大气泡($r \geq 3\text{mm}$,下同)的数量随振动时间的延长而变化,总的趋势是减少的。整个变化过程可分为 3 个阶段:第一阶段为 10~40s,大气泡数量随振动时间的延长而迅速减少至第一个谷值,第二阶段为 40~60s,大气泡数量呈渐升趋势,达峰值,但从第二阶段开始,大气泡孔径相对第一阶段的大气泡孔径较小;第三阶段为 60~240s,大气泡数量随振动时间的延长而逐渐减少,直至大气泡数量趋近于零,并且气泡孔径也随振动时间的延长而逐渐减小。就此次试验结果而言,混凝土试验成型时,振动时间为 40s 时混凝土排气效果较好,对于施工现场,由于施工机械功率较大,并考虑工作效率,振动时间可适当减少。

为便于分析,混凝土拌和物中的气泡,可分为 3 种:①不稳定气泡,孔径较大($r \geq 3\text{mm}$),比表面积较小,周围介质对其束缚作用很小,不稳定,成型过程中短时间振动,吸收少量能量即可从混凝土中排出;②稳定气泡,通常是由引气剂引入,孔径较小($r \leq 200\mu\text{m}$),有较大的比表面积,周围介质对其束缚作用较强,能够非常稳定地分布于混凝土中,即使吸收较大能量,也不易被排出;③介稳气泡,孔径、比表面积、周围介质对其束缚作用的大小等性能介于稳定气泡与不稳定气泡之间,当吸收少量能量时,气泡较稳定,只有吸收能量足够多时,介稳气泡则相互汇聚,生成新的不稳定大气泡,从而排出混凝土。

振动成型第一阶段,不稳定气泡迅速大量排出。

导致混凝土表面大气泡数量急剧下降,截止到 40 s 时,不稳定气泡排出殆尽,此时混凝土中大气泡数量最少,为谷值;在第二阶段,介稳气泡吸收了足够多的能量,摆脱周围介质的束缚,发生移动,少部分直接排出混凝土,大部分则互相汇聚,形成新的大气泡(不稳定气泡),此时混凝土表面大气泡数量渐增,因此,从第二阶段起,混凝土中大气泡均为介稳气泡汇聚而成,且气泡孔径偏小;第三阶段,随着振动时间的延长,介稳气泡数量减少,因而汇聚成大气泡的数量也在减少,故混凝土中大气泡数量呈现递减趋势,且气泡孔径趋于更小。

4 减少水工混凝土中大气泡数量的措施

为提高水工建筑物的技术经济性能、特别是在水工溢流面、冲淤道及灌溉装置等处,必须采取必要措施,以减少或避免混凝土“蜂窝麻面”中的大气泡出现。

a. 根据混凝土表面大气泡排出与成型振动时间的关系,并考虑具体施工混凝土的性能及施工条件,找出最佳振动成型时间,以减少混凝土“蜂窝麻面”中的大气泡数量。

b. 分析比较各原材料对混凝土表面大气泡排出的影响,对混凝土配合比进行优化设计,适当减少不利因素影响,充分发挥有利因素的作用,来提高混凝土自身的排气能力。试验证明,采用羧酸聚合物高效减水剂 SP-8N(减水率 26%)替代萘系高效减水剂 ZB-1A(减水率 23%),可明显减少混凝土表面大气泡数量。

c. 采用材质优良、表面光洁度高的模板,可有效减少混凝土表面大气泡数量。如三峡工程溢流面混凝土施工中,采用芬兰进口的有机材质模板,其表面光洁度很高,能降低因模板粗糙对气泡的阻力,使用效果明显,混凝土表面基本上无大气泡,仅有针尖大小的微小气泡。

d. 选用优质脱模剂可以有效减少混凝土表面大气泡数量,但应特别注意,水工混凝土不宜单独采用脱模剂,因为采用脱模剂后混凝土表面大气泡仅被一层极薄的水泥浆层覆盖。试验证明,用砂纸轻磨混凝土表面,磨去厚度约 0.1 mm,其表面大气泡便全部暴露出来,因此,这样的混凝土表面是经不起高速水流(江河中高速水流通常夹带有泥砂,对混凝土表面有较强的磨蚀作用)的冲刷,水工混凝土的大气泡排出,需要采用综合措施,如加大振捣力度、模板加载附着式振捣器、选用优质模板、模板穿孔(孔径约为 3~5 mm^[4]),并选用优质外加剂及脱模剂等技术措施。

参考文献:

- [1] 冯浩,朱清江.混凝土外加剂工程应用手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.8~16.
- [2] 沈旦申.粉煤灰混凝土[M].北京:中国铁道出版社,1989.150~161.
- [3] 陈建奎.混凝土外加剂的原理与应用[M].北京:中国计划出版社,1997.124~129.
- [4] 罗永会,杨惠先,龚晓玲.混凝土消泡脱模剂的研究[J].混凝土,2000(3):21~22.

(收稿日期:2000-09-04 编辑:张志琴)

·小资料·

我国已建成的大型水电站分布状况

按我国现行标准,装机容量大于 25 万 kW 的水电站称为大型水电站。据统计,截至 2000 年底,我国已建成投产的大型水电站共 52 座,现已装机 4 302 万 kW,占全国水电总装机的 56%,它们在全国各省、市、自治式的分布状况见表 1。

表 1 我国已建成的大型水电站分布

省、市、自治区	截至 2000 年底装机容量/万 kW	大型水电站名称
四川	556	龚嘴、铜街子、太平驿、宝珠寺、二滩
湖北	506.7	丹江口、葛洲坝、隔河岩、高坝洲
浙江	332.97	新安江、富春江、紧水滩、天荒坪、湖南镇
湖南	311.75	柘溪、凤滩、东江、五强溪、凌津滩、江垅
吉林	289.5	丰满、云峰、白山、老虎哨
青海	288	龙羊峡、李家峡
广西	287	大化、岩滩、天生桥一级、天生桥二级
广东	270.25	新丰江、广州抽水蓄能
贵州	270	乌江渡、鲁布革、东风、天生桥一级、天生桥二级
甘肃	215.6	盐锅峡、刘家峡、碧口、大峡
福建	170	沙溪口、水口
云南	165.5	鲁布革、漫湾
河南	160	三门峡、小浪底
陕西	80	安康
北京	80	十三陵抽水蓄能
黑龙江	55	莲花
山西	54	万家寨
内蒙古	54	万家寨
辽宁	45	水丰
河北	42	潘家口混合式抽水蓄能
江西	40	万安
宁夏	27.2	青铜峡

注:凡跨国界和跨省区界的水电站,其装机容量均各按一半计算。

从表 1 可见,截至 2000 年底,我国共有 22 个省、市、自治区拥有大型水电站。装机容量最多的是四川省,有 556 万 kW,拥有座数最多的是湖南省,共有 6 座大型水电站。

(吴冀高供稿)