

# 一起由粉煤灰引起的混凝土冒泡事故分析

黄象杭<sup>1</sup>, 叶 青<sup>2</sup>

(1. 杭州德川建材有限公司, 浙江 杭州 310019; 2. 浙江工业大学, 浙江 杭州 310014)

**摘 要:**针对某工地混凝土出现的异常冒泡现象,对混凝土的原材料进行了 XRD 分析及模拟试验,认为造成该事故的主要原因是粉煤灰中含有金属铝,致使水泥水化反应产生的碱溶液和粉煤灰中的铝发生化学反应、放出大量氢气,从而产生混凝土冒泡现象。因此,建议选用粉煤灰时应了解其化学成分,以免其有害成分影响混凝土的质量。

**关键词:**粉煤灰;混凝土;冒泡;铝

**中图分类号:** TU476.1      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1008-3707(2007)10-0057-02

## 1 事故现象

某工地浇捣的地下室混凝土,其底板厚 500 mm,承台深 1 500 mm,混凝土抗压强度等级为 C30,抗渗等级为 P8,由商品混凝土公司组织供应。供应时间为当天下午 15 时开始到次日下午 14 时 30 分结束,共浇捣混凝土 1 500 m<sup>3</sup>。

混凝土生产、运输和泵送过程中无异常现象发生,出机混凝土和易性好,入泵混凝土坍落度为 120 ~ 150 mm,当天施工过程中,振捣、抹面时均无异常现象发生。次日早晨 7 时,施工人员发现昨天浇捣的混凝土出现异常现象:表面有较多的气孔,主要分布在地梁及承台处,间距约 300 ~ 400 mm;在气孔处有气体不停地向外冒,在混凝土表面有薄层积水处,能明显看到气泡聚集在水泥浆的表面上,无积水的部分也能看到气泡冒出后在混凝土表面形成的气孔;用打火机点燃气体有轻微爆破声;二次抹面将混凝土表面的气孔抹掉后,不久又有新的气孔产生;随着时间的推移(混凝土浇筑 10 h 以后),后来浇筑的混凝土也逐渐产生相同的问题,表面产生冒泡现象。见图 1。

## 2 混凝土原材料及配合比

水泥采用 42.5 级普通硅酸盐水泥,粗骨料采用 5 ~ 31.5 mm 碎石,细骨料采用混合砂,拌和水使用

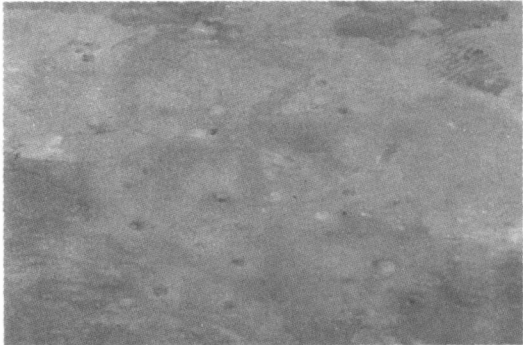


图 1 混凝土冒泡现场

自来水,粉煤灰使用二级灰,原材料进厂抽查时发现部分粉煤灰颜色略深。根据国标《用于水泥和混凝土中的粉煤灰 (GB 1596-2005)》要求进行试验,结果表明该粉煤灰烧失量和需水量略微超过二级灰标准,鉴于本地区一级、二级粉煤灰资源比较紧张,因此此类品质略低于二级灰的粉煤灰被广泛使用。试验结果和实际使用证明,此类粉煤灰的使用对混凝土并无明显的不良影响,所以商品混凝土公司对该灰进行了降级使用。水泥和粉煤灰的性能指标见表 1、表 2、表 3。

表 1 水泥的物理指标

检验项目	初凝时 间 /min	终凝时间 /h min	安定性 (沸煮法)	3 d 抗 折 /MPa	3 d 抗 压 /MPa	28 d 抗 折 /MPa	28 d 抗 压 /MPa
标准要求	不早于 45	不迟于 10	合格	3.5	16.0	6.5	42.5
实测结果	135	3h5min	合格	4.6	22.4	8.1	50.1

收稿日期: 2007-06-11

作者简介:黄象杭(1969—),男,浙江杭州人,工程师,从事建材质量管理工作。

表 2 水泥的化学成分 %

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Loss
25.36	7.31	3.47	56.02	2.46	2.27

表 3 粉煤灰的技术指标 %

检验项目	细度	烧失量	需水量比	SO <sub>2</sub> 含量	含水量
二级灰标准要求	25	8	105	3	1
粉煤灰 1	21	7.7	105	2.7	0.7
粉煤灰 2	23	10.2	107	3	0.5

备注:粉煤灰 1:该工地采用的二级灰;粉煤灰 2:降级使用的粉煤灰。

该工地混凝土所采用的配合比见表 4。

表 4 混凝土配和比 %

原材料	水泥	粉煤灰	粗骨料	细骨料	水	泵送剂
混凝土中各材料用量	300	80	1 082	721	190	7.1

3 混凝土冒泡原因分析

该工地发生混凝土冒泡事故后,商品混凝土公司对当天所有供应过混凝土的工地进行了回访,发现除该工地外,其他工地均未发生冒泡现象。该工地与其他工地的主要区别是该工地混凝土是大体积混凝土,此外冒泡现象大都发生在地梁、承台等混凝土较厚与混凝土内部温度较高处,因此初步判断冒泡现象与一定的温度有关;冒泡现象发生在混凝土浇筑 10 h 以后,随着水泥水化反应的进行,混凝土呈强碱性;冒泡现象持续进行,放出可燃性气体,因此初步判断是混凝土内部材料进行化学反应放出气体造成。根据以上分析进行模拟试验:将混凝土中的胶凝材料(水泥、粉煤灰)放入装有水或碱性溶液的烧杯中,在 65℃ 的烘箱中放置 30 min,观察烧杯中溶液的变化情况,试验结果如下:

在 65℃ 的温度条件下,水泥水化反应并没有冒泡现象产生。

在 65℃ 的温度条件下,粉煤灰和水溶液没有冒泡现象产生。

粉煤灰 1 在碱性溶液里,没有反应产生气体。

粉煤灰 2 (为降级使用的粉煤灰)在碱性溶液里,化学反应产生大量的气体。将产生大量气体的烧杯放在室内冷却至 20℃ 时,气体不再产生,再将烧杯放入 65℃ 烘箱中加热,15 min 后又产生大量气体。

试验表明产生气泡需要三个条件:粉煤灰 2、碱

性溶液、一定的温度。该工地正是具备了以上三个条件,混凝土浇筑 10 h 以后,由于水泥水化反应产生水化热,使得大体积混凝土内部温度较高,此时粉煤灰 2 开始在碱性溶液中发生化学反应,不断放出气体,气体从混凝土表面逸出,形成混凝土表面冒泡现象。

为了探明粉煤灰 2 与粉煤灰 1 化学组成的区别,对粉煤灰 1 和粉煤灰 2 进行了 XRD 分析,XRD 图谱见图 2 和图 3。结果显示:两种粉煤灰的最大区别是粉煤灰 2 中含有金属铝而粉煤灰 1 中没有。我们知道金属铝能与强碱反应,置换出氢气(化学反应式如下:  $2\text{Al} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{OH}^- = 2\text{AlO}_2^- + 3\text{H}_2$ ),因此,可以判定粉煤灰 2 中的金属铝在水泥水化形成的碱性溶液中反应,放出氢气,从而造成混凝土冒泡现象。

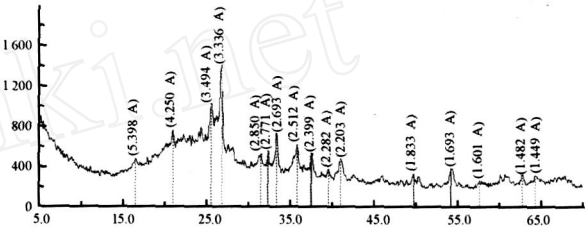


图 2 粉煤灰 1 的 XRD 图谱

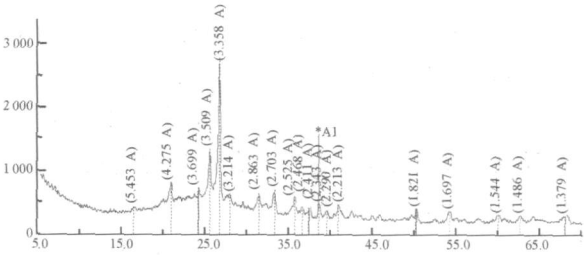


图 3 粉煤灰 2 的 XRD 图谱

4 结 语

引起底板混凝土冒泡的主要原因是混凝土原材料中的粉煤灰中含有金属铝,在一定的温度条件下发生化学反应,不断放出氢气造成的。经试验表明,大部分电厂生产的粉煤灰(包括Ⅰ、Ⅱ级粉煤灰)配制的混凝土均无冒泡等异常现象发生;然而出现冒泡等异常现象的粉煤灰大都与垃圾发电生产的粉煤灰有关,因此建议商品混凝土公司对使用此类粉煤灰时必须进行化学分析或模拟实际情况进行混凝土试配,以防止类似事件的发生。