

# 镜面混凝土配制和工程应用

徐清, 宋万明, 董斌, 刘育成

(昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 镜面混凝土集结构装饰于一体, 结实坚固, 美观耐久. 受云南省送变电公司委托, 我们利用云南省地方材料, 在实验室对镜面混凝土所用原材料、配比及工艺制作方面进行了试验研究, 并将其研究成果应用于大理凤仪 500 kV 变电站设备基座及禄丰 220 kV 变电站预制梁和设备基座, 镜面混凝土镜面效果较好.

**关键词:** 镜面混凝土; 模板工程; 混凝土工程; 云南

**中图分类号:** TU 377 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2006)02-0086-04

## Research on Preparation of Mirror Surface Concrete and Engineering Application

XU Qing SONG Wan-ming DONG Bin LIU Yu-cheng

(Faculty of Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

**Abstract** Mirror surface concrete has a variety of advantages such as surface decoration, durability, and high mechanical properties. An experimental research, funded by Yunnan province electrical power company, is described on the selection of raw materials, preparation proportion of concrete, and construction technology of mirror-surface concrete. The lab-research results are successfully applied to construction practice in a number of engineering projects, e.g., an electrical station project of 500 kV located in Fengyi of Dali and an electrical station project of 220 kV located in LuFeng.

**Key words** mirror-surface concrete; model engineering; concrete engineering; Yunnan

### 0 引言

和普通混凝土相比, 镜面混凝土不但强度高, 耐久性好, 而且坚固密实, 表面平整光滑, 色泽均匀, 明亮如镜. 犹如花岗岩饰面, 可与大理石媲美. 镜面混凝土可用于民用建筑现浇梁、板、柱结构, 也可用于道路、桥梁及构筑物等结构. 镜面混凝土集装饰和结构为一体. 它可以简化施工工序, 缩短施工工期, 而其装饰效果和耐久性更为人们普遍好评.

镜面混凝土的镜面效果与混凝土本身的密实度有着直接的关系. 混凝土愈密实, 表面愈平整, 则其镜面效果愈好. 因此, 镜面混凝土所用原材料的质量、外加剂、配比、模板及振捣工艺等方面对镜面混凝土的镜面效果有着很大的影响. 受云南省送变电公司委托, 我们利用云南省地方材料, 在实验室对镜面混凝土所用原材料、配比及工艺制作方面进行了试验研究, 并将其研究成果应用于大理凤仪 500 kV 变电站设备基座及禄丰 220 kV 变电站预制梁和设备基座, 镜面混凝土镜面效果较好.

### 1 材料选用

与普通混凝土一样, 镜面混凝土也是由水泥、普通砂石骨料、水、外加剂配制而成. 不同的是, 镜面混凝土对砂石骨料质量要求, 外加剂品种及用量选用方面, 要求更高.

收稿日期: 2005-06-20

第一作者简介: 徐清 (1965~), 女, 硕士, 副教授. 主要研究方向: 高性能混凝土.

## 1 1 砂

评定砂的质量, 主要考虑砂的粗细和级配. 本试验用砂为云南大理凤仪机制砂, 通过试验发现, 该砂由于存在粉尘含量较大, 颗粒级配不好等缺点, 对镜面混凝土的镜面质量有着不利的影响. 我们对该砂进行了水洗处理, 水洗后砂的性能指标和级配情况如表 1 及表 2 所示.

表 1 水洗机制砂的性能指标

Tab 1 Property and index of water washing sand

项目	堆积密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	视密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	空隙率 /%	含泥量 /%
实测值	1 520	2 644	42	1.7

表 2 水洗机制砂的级配

Tab 2 Grain-size distributy of water washing sand

筛孔尺寸 /mm	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
累计筛余百分率 /%	0	3.8	28	46	60	72	88
标准累计筛余百分率 /%	0	10~0	25~0	50~10	70~41	92~72	100~90
级配评定	区砂, 级配良好						
细度模数	$M_x = 2.86$ 中砂						

## 1 2 外掺料与外加剂

镜面混凝土的镜面效果与混凝土本身的密实度有着直接的关系. 与普通混凝土相比, 要求镜面混凝土表面平整密实, 无气孔. 因此配制混凝土时, 应采用低水灰比. 为了保证混凝土获得施工所需要的工作性以及较高的密实性, 外掺料和外加剂的选用非常关键.

### 1 2 1 矿物细掺料

利用优质粉煤灰超量取代水泥, 极大地改善了混凝土拌合物的和易性, 使混凝土的泌水率降低很多. 同时因水泥用量的减少, 可降低混凝土的温升及收缩开裂, 提高混凝土的体积稳定性, 使混凝土硬化后表面平整光滑, 无气孔, 以保证镜面效果<sup>[1, 2]</sup>.

本试验分别采用了曲靖电厂的 Ⅰ级灰和昆明硅酸盐制品厂的 Ⅰ级磨细粉煤灰超量取代水泥. 粉煤灰化学组成和细度如表 3 所示.

试验结果表明, 分别用两种粉煤灰超量取代水泥制作的镜面混凝土试件都有镜面效果. 但用昆明硅酸盐制品厂 Ⅰ级磨细粉煤灰超量取代水泥拌制的混凝土, 可采用更小的水灰比, 密实度更高, 镜面效果更好. 其原因是优质粉煤灰的需水量比 (掺 30% 粉煤灰的水泥浆的标准稠度用水量和纯水泥浆标准稠度用水量比) 小于 1.0 则在保持相同的坍落度时, 混凝土用水量随粉煤灰掺量的增加而降低. 因此可在保证获得所需工作性的前提下, 采用较低水灰比, 减少离析和泌水, 提高密实度, 降低气孔含量.

### 1 2 2 外加剂的选用

外加剂的正确选择是决定镜面混凝土工艺成功与否的关键因素. 镜面混凝土的特点不但要求混凝土表面平整光滑, 还要求有一定的亮度. 把外加剂品种的选择和使用量作为技术攻关的难点, 经过多次试配调整, 终于找出了一种适宜镜面混凝土的外加剂. 该外加剂不引气, 具有较强的减水、保塑和增亮效果<sup>[3-5]</sup>.

表 3 粉煤灰化学组成和细度

Tab 3 Fineness and chemical composition of Fly Ash

成分品种	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	细度 0.045mm 筛余 /%	比表面积 / $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$
昆明硅酸盐制品厂 Ⅰ级粉煤灰	55.75	23.46	12.43	3.49	1.76	—	—	0.26	—	9.2	3443
曲靖电厂 Ⅰ级灰	57.35	24.5	8.77	3.48	1.12	0.15	0.68	0.095	1.2	10.4	2733

## 2 镜面混凝土的配制

镜面混凝土的配制,是根据工程对混凝土性能的要求(强度、耐久性等)和

镜面混凝土表面特征的要求(平整光滑、色泽均匀、明亮如镜),选择适宜的原材料比例,设计出经济、质优、镜面效果好的镜面混凝土。与传统施工的普通混凝土相比,镜面效果是镜面混凝土配制的重点和关键。本次试验按混凝土强度等级 C30 混凝土假定表观密度为  $2400 \text{ kg/m}^3$ ,坍落度 80~100 mm 进行试配。试验在优选原材料的前提下,通过多次试配,测试了配比参数(水胶比、砂率、外掺料、外加剂用量)的变动对镜面混凝土工作性和镜面效果的影响,终于得出最佳配方,为镜面混凝土镜面效果提供了可靠的技术保障。表 4 及表 5 分别列出了镜面混凝土的原材料和技术要求及实验室配合比,仅供参考。

表 4 镜面混凝土的原材料和技术要求

Tab 4 Raw materials and technology requirements of mirror-surface concrete

材料名称	水泥	水洗机制砂	石子级配	粉煤灰	坍落度/mm	水胶比	砂率/%
用量或要求	42.5 普硅	中砂	5-31.5	级	80-100	0.40	38

## 3 工程应用

将所研制的镜面混凝土实验室配比应用于大理凤仪 500 kV 变电站设备基座及禄丰 220 kV 变电站预制梁和设备基座,在施工现场进行中试,通过不断摸索发现,影响镜面混凝土镜面效果成型施工工艺的关键工序主要有模板工程、混凝土工程及预埋件的埋设。

表 5 C30 镜面混凝土的实验室配合比

Tab 5 The lab mix proportion of mirror-surface C30

材料名称	水泥	水	砂	石	粉煤灰	外加剂
用量/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	350	180	681	1110	100	5.7

### 3.1 模板工程

镜面混凝土要求表面平整光滑,因此模板的选用和制作非常关键。本试验首先在实验室选用了几种模板进行小试。考虑镜面效果、施工可行性及经济,最后选定了 PVC 模板在施工现场进行中试。中试选用模板体系为 18 mm 厚的胶合板大模板,模板内表面粘贴 0.7 mm 厚的 PVC 板,在转角部位加设木线条,使拆模后的转角更为美观且不易损坏。

### 3.2 混凝土工程

镜面混凝土浇筑必须达到清水混凝土施工工艺要求:构件尺寸准确,大截面结构棱角倒圆,表面平整,颜色一致,无蜂窝麻面,无明显气泡。通过在实验室和施工现场多次试配,不断摸索,总结出镜面混凝土浇筑时应注意的几个问题:

1) 深而窄的构件或部位,先在底部浇筑一层厚 50~100 mm 的水泥砂浆(配合比与混凝土中的砂浆相同),然后再浇筑混凝土。或者在底部先浇筑一部分“减半石混凝土”,这样在浇筑混凝土过程中混凝土顶部始终保持有一层砂浆,再加上注意捣固,就不容易产生蜂窝麻面。

2) 振捣是混凝土生成镜面的关键因素。为此,镜面混凝土振捣时间比普通混凝土振捣时间长,同时在贴近模板位置(捣棒距模板约 5~10 cm)宜采用二次振捣法。振捣时振捣棒不宜紧靠模板振动,避免刮坏模板,影响表面平整度和光滑度。振捣器最好选用高频振捣器,70 棒为主,50 棒为辅。每棒都要深入下层混凝土 10 cm,振捣时间控制在 30 s 左右,每棒的移动距离为 40 cm。每一层浇筑振捣完后 30 s 开始第二次振捣,避免出现气泡。

3) 混凝土浇筑完毕后,应在 48 h 以后拆模。拆模后,混凝土表面立即用草袋覆盖。昼夜 24 h 浇水养护,养护时间不少于 14 d。有条件可采用养生液进行养护。

### 3.3 预埋件的埋设

预埋件埋设时应严格控制其表面平整和标高。位于梁柱侧面及梁底的预埋件均需开  $\phi 6$  孔(铁件四角开孔距角部 2 cm)。埋件每边长度 200 mm 以下时,开 2 个孔。埋件每边长度 200~400 mm 时,开 3 个孔。埋件每边长度 400~600 mm 时,开 4 个孔。安装时构件底部和侧面预埋件应用  $\phi 5$  螺栓与模板连接牢固。

## 4 质量效果

从已拆出模板的混凝土构件表面看, 镜面混凝土不但质量好, 结实坚固, 而且表面平整光滑, 棱角圆润, 色泽均匀, 能照见人影, 犹如花岗岩饰面, 用手触摸, 光滑如玻璃 (见图 1), 得到了有关业内人士及专家的充分肯定。

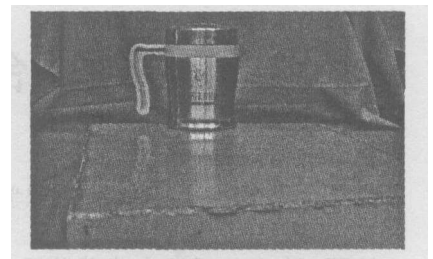


图1 镜面混凝土镜面效果

Fig.1 Effect of mirror-surface concrete

## 5 结束语

镜面混凝土集结构装饰于一体, 结实坚固, 美观耐久, 克服了工程装饰过程中需要进行材料的二次搬运, 增加工期, 以及由于涂料易于老化脱色, 需要经常维修保养等一系列问题。这充分体现了新技术工艺带来的经济效果。该试验成果已准备用于云南大理凤仪送变电站和禄丰变电站设备基座。如能把此项技术推广运用于水电站、构筑物、以及市政工程、工业与民用建筑等方面, 必将为云南的经济发展产生深远的意义。

## 参考文献:

- [1] 吴炳修. 火电厂镜面混凝土工艺简介及建设经济分析 [J]. 电力科技论文期刊, 2002, 3
- [2] 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, 2001.
- [3] 宋功业, 邵界立. 混凝土工程施工技术与质量控制 [M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2003.
- [4] 冯乃谦, 邢锋. 高性能混凝土技术 [M]. 北京: 原子能出版社, 2002
- [5] 王胜辉, 袁勇. 喷射混凝土试验方法述评 [J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2005, 30(4): 55.

(上接第 85页)

## 4 结束语

本文以单级倒立摆为例, 采用线性矩阵不等式方法, 设计了状态反馈  $H_{\infty}$  控制器, 仿真结果表明取得了较好的控制性能。LM I 方法在控制领域中获得了广泛应用, 是当前的研究热点之一, 在此仅介绍了 LM I 的基础概念和基本应用, 它在控制中的典型应用有不确定系统、时滞系统、非线性系统等。

## 参考文献:

- [1] 王广雄, 王新生, 何连.  $H_{\infty}$  控制器的 LM I 算法分析 [J]. 电机与控制学报, 2002, 6(1): 46- 49
- [2] 高金凤, 俞立. 线性矩阵不等式及其在控制工程中的应用 [J]. 控制工程, 2003, 10(1): 145- 148.
- [3] VANANTWERP JG, BRAATZ R D. A tutorial on linear and bilinear matrix inequalities [J]. Journal of Process Control, 2000, 10: 363- 385.
- [4] LAM H K, LEUNG F H F, TAM P K S. A Linear Matrix Inequality Approach for the Control of Uncertain Fuzzy Systems [J]. IEEE Control System Magazine, August 2002, 20- 25.
- [5] 俞立. 鲁棒控制 - 线性矩阵不等式处理方法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002, 6- 64.
- [6] 徐昕, 李涛, 伯晓晨. Matlab 工具箱应用指南 - 控制工程篇 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000, 82- 168.
- [7] SEBER J, KRAUSKOPF B. Complex balancing motions of an inverted pendulum subject to delayed feedback control [J]. Phys D, 2004, 197: 332- 335.
- [8] 余昌盛. 基于 Matlab 的非精确倒立摆系统模糊控制 [J]. 江南大学学报: 自然科学版, 2004, 3(2): 156- 163.