



西南交通大学

土木工程学院

2022 年 “西南交通土木工程设计有限公司杯”
土木科技月

混凝土设计组

2022年土木科技月竞赛委员会
2022年3月

1、选题背景

作为新一代工程结构材料和功能材料，超高性能混凝土（简称 UHPC）开创了诸多的新结构、新制品和新应用、解决了许多工程难题，其产业在我国已初具规模，正处于发展壮大过程。据不完全统计，2019 年我国民用 UHPC 用量达到 3 万立方米，2020 年预计达到 4 万立方米，2021 年，我国 UHPC 呈现出快速发展趋势。UHPC 领域的研究成果、标准规范编制进展、产业发展、新的工程应用都有长足的进步。我国在 UHPC 的研究和应用方面取得了较大进步，如钢桥面铺装、装配式桥梁湿接缝、建成或在建多种新型 UHPC 梁桥，已成为 UHPC 产业发展的支柱。土木应用项目的数量明显增加，表明已经有一定数量的结构工程师、建筑设计师了解了 UHPC 材料，开始了应用创新。

为了让更多企业、高校以及更多的人，特别是年轻人学习了解 UHPC，加入 UHPC 创新的行列，中国混凝土与水泥制品协会（CCPA）筹备开展“全国 UHPC 设计定制大赛”。美国混凝土学会每两年组织举办一次的“纤维增强混凝土保龄球竞赛”，比赛面对学生团队，以纤维增强混凝土球打倒保龄球数量和球抗压能力评定成绩。这个比赛有趣味性，但不能很好的体现 UHPC 性能水平。参考这个比赛，CCPA 提出用轻质 UHPC 球的弹性来展示 UHPC 材料的强度、韧性、抗冲击性能以及设计制造水平，并于 2021 年 12 月在南京成功举办了“第二届全国 UHPC 设计定制大赛”。第二届比赛有 50 支团队报名参加，现场共有 44 支团队带着 UHPC 弹性球报到参赛，包含了中建西部建设建材科学研究院、中国铁道科学研究院、清华大学、哈尔滨工业大学、湖南大学、中南大学等全国 UHPC 材料研发、设计制造和施工企业、高校和科研院所的专业人员。

为了进一步提升 UHPC 的材料性能和推广应用，西南交通大学土木学院将组织开展与 UHPC 材料相关的系列大赛。本届赛事要求各围绕竞赛主题，结合各学院学生培养，组织实施 UHPC 设计定制大赛活动。推动更多同学了解并在今后工作中开发和应用 UHPC。

2、竞赛模型

按要求的尺寸与重量设计定制 UHPC 弹性球。

3、模型要求

3.1 模型形式要求

1. UHPC 弹性球为完整球体，表面无孔洞、无接缝；规定球体直径为 $190\text{mm} \pm 10\text{mm}$ ，球体重量不超过 6000g。
2. 符合规定要求的 UHPC 球体为轻质球体。
3. 每个参赛团队提供 1 个 UHPC 球参与最终评分。
4. 参赛队伍应提供设计说明书。设计说明书的基本内容应包含 UHPC 材料抗压和抗拉性能、UHPC 弹性球设计理念和制造方法；可包含自测试或预期 UHPC 弹性球的性能（弹性、损伤状态和抗压性能）。

3.2 模型制作要求

1. UHPC 弹性球所使用的 UHPC 材料需自己配制。应符合标准 T/CCPA7-2018《超高性能混凝土基本性能与试验方法》（可在中国混凝土与水泥制品协会网站下载 www.ccpa.com.cn）对 UHPC 的定义，并满足该标准对 UHPC 力学性能的最低等级要求（即抗拉性能为 UT05 或以上等级，抗压性能为 UC120 或以上等级）。
2. UHPC 弹性球为完整球体，增强增韧应使用细短纤维，不限纤维截面形状和尺寸，不限纤维材质。
3. UHPC 弹性球成型后的养护方法不作规定和限制。制作轻质球体的方法包括内部集中填充轻物质球体、空心球体或分散填充轻物质球体（参见示意图）。



示意图：UHPC 弹性球

4. UHPC 弹性球的表面允许打磨和抛光，允许使用相同 UHPC 材料修补缺陷，但表面不允许使用增强类涂层（如环氧、聚脲类涂层）或被整体覆盖。

4、加载方式及过程

1. 竞赛时组委会对每个参赛队的 UHPC 球进行尺寸检验，检验外观、测量质量和 进行弹性测试。比赛顺序现场抽签确定。
2. 表观质量检验包括是否有接缝（指分体成型后用胶粘接的接缝）和美观程度评价（是否有裂缝、孔洞等缺陷）。
3. 质量检验：用电子称称量球体重量 m （精度至 g ）。
4. 直径和圆球度检验：分别测量弹性球三轴方向直径 D_x 、 D_y 和 D_z （ mm ，读数精度 $0.1mm$ ），计算直径平均值 D_{av} （四舍五入至 mm ），计算三轴直径与均值的偏差 以及偏差之和（圆球度） $D_{dev}=[|D_{av}-D_x|+|D_{av}-D_y|+|D_{av}-D_z|](mm)$ 。
5. 弹性测试：地面水平设置厚度 $20mm$ 、边长 $600mm$ 的正方形（或直径 $600mm$ 圆形）钢板，弹性球从 $2000mm$ 高度自由落体撞击地面钢板，记录回弹高度（准确至 cm ，慢动作录像记录，回放确定）。以回弹高度表征 UHPC 弹性球的弹性韧性。记录每次自由落体的第一个回弹高度（ H_1 和 H_2 ），每个球二次的回弹高度之和 $H=H_1+H_2(cm)$ 为该 UHPC 球的弹性测试值。
6. 损伤检验：每个球经二次自由落体后，检验球体表面的开裂状态。有肉眼可见 裂缝，则用测量裂缝宽度的显微镜测量最大裂缝宽度 C_w （精度至 $0.01mm$ ）；有撞击凹陷或剥落损伤，测量最大损伤区的长度 L 和宽度 W （精度至 $1.0mm$ ）。

5、加载方法

弹性球从 $2000mm$ 高度自由落体撞击地面钢板，记录回弹高度，以回弹高度表征 UHPC 弹性球的弹性韧性。

6、模型材料及制作工具

材料：P.O.42.5 普通硅酸盐水泥、I 级粉煤灰、硅灰、30%以上减水率的聚羧酸系高效减水剂、引气剂、消泡剂、保水剂、镀铜钢纤维、POM 纤维、PVA 纤维、PP 纤维、不同粒径的石英砂。

制作工具：UHPC 专用 60L 卧式单轴强制搅拌机、混凝土加速养护箱、混凝土表面 振动器、振捣棒、灰刀等工具。

7、评分标准：

(1) 设计说明书（15分）：要求内容应包含设计理念，设计思路、制作方法、预期性能的分析，若内容不完整，裁判可酌情扣分。

(2) 外观（10分）：无接缝，无裂缝或孔洞等缺陷，表面平滑得10分；有不影响整体外观的接缝，表面不平整或有缺陷，裁判可酌情扣分。有明显接缝或球体不完整者，判定UHPC弹性球不合格，后续竞赛不计入成绩。

(3) 质量：质量超过6000g的UHPC弹性球不合格，扣除5分，并且从6000g起每超过(含)100g加扣1分。

(4) 直径和圆球度（20分）：在x方向上,实测直径平均值 D_{av} 在 $190\pm 4\text{mm}$ 范围内10分， $190\pm 8\text{mm}$ 范围内8分， $190\pm 12\text{mm}$ 范围内7分， $190\pm 16\text{mm}$ 范围内6分， $190\pm 20\text{mm}$ 范围内5分， $190\pm 25\text{mm}$ 内3分， $190\pm 25\text{mm}$ 外1分；y、z方向上直径平均值 D_{av} 在 $190\pm 2\text{mm}$ 范围内5分， $190\pm 4\text{mm}$ 范围内4分， $190\pm 6\text{mm}$ 范围内3分， $190\pm 8\text{mm}$ 范围内2分， $190\pm 10\text{mm}$ 范围内1分， $190\pm 10\text{mm}$ 外0分；该项总分为三个方向得分之和。

(5) 弹性（30分）：以所有参赛UHPC弹性球的弹性韧性实测值 H_i （尺寸重量不合格除外）中最高值 H_{max} 得30分为基准，按比例计算其它球的得分，即i号球弹性韧性得分 $= (H_i/H_{max}) \times 30$ 分（四舍五入保留小数点后一位）。

(6) 损伤（15分）：无肉眼可见裂缝和最大裂缝宽度 C_w 小于0.05mm，且凹陷或剥落损伤尺寸 R 小于20mm，得15分； C_w 大于等于0.05mm、小于0.10mm，且 R 小于50mm，得10分； C_w 大于等于0.10mm、小于0.20mm，且 R 小于100mm，得5分； C_w 大于等于0.20mm、小于0.50mm，且 R 小于150mm，得3分； C_w 大于0.50mm、或 R 大于150mm，得0分；

(7) 视频制作（10分）：现场播放各组选手模型制作视频，评委根据其精良程度打分。

(8) 分项得分之和为总得分，按总得分高低排列名次。评分过程在所有参赛团队代表见证下进行，确保竞赛公开、公平、公正。

8、参赛选手所需提交的资料：

1. 每个参赛队提交1个UHPC弹性球；
2. 参赛队伍应提供设计说明书。

