



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

地下工程组

2022 年土木科技月竞赛委员会

2022 年 3 月

1、选题背景

题目：装配式管片衬砌模型

“装配式管片衬砌”是指用在工厂或工地预制的构件拼装而成的衬砌，采用装配式衬砌是地下工程的发展方向之一。

装配式管片衬砌具有拼装成环后立即受力，便于机械化施工，改善劳动条件，节省劳力等优点，广泛应用于地铁隧道、管廊等的建设当中。



图 1-1 地铁隧道装配式管片衬砌





图 1-2 多种拼装式城市综合管廊

本次竞赛的主题是管片衬砌模型的设计与建造，并通过加载试验检验其承载力和变形特性，从而确定模型结构的可行性、合理性与科学性。加载试验是在制作的模型顶部施加重力砝码进行分级静力加载，并观测各级荷载作用下模型顶部加载板的位移量。

竞赛目的如下：

- (1) 以最低的成本，使用最少的材料（白卡纸）设计并建造管片衬砌模型，并保证其能够承受最大设计荷载；
- (2) 展示设计计算成果，从而充分认识和理解地下工程装配式衬砌的相关理论；
- (3) 锻炼学生的创新能力、设计能力、实践能力和团结协作能力。

2、竞赛模型

- (1) 管片衬砌模型方案设计与理论分析；
- (2) 管片衬砌模型制作；
- (3) 模型加载试验。

3、模型要求

3.1 模型形式要求

模型的横断面形状不限，可为矩形、马蹄形等。管片拼装完成后，必须保证模型为连续体。（连续体判定：提交作品时，评审专家提起结构任意一点可以将整个结构提升脱离支撑面）。模型总体尺寸应在600mm(长)×400mm(宽)×360mm(高)的限定空间内。

3.2 模型制作要求

模型的规格应保证能顺利安放在模型试验加载箱内，并应符合下列要求：

- （1）模型长度为：600mm，尺寸误差限值： $\pm 5\text{mm}$ ；
- （2）模型宽度为：400mm，尺寸误差限值： $\pm 5\text{mm}$ ；
- （3）模型高度为：360mm，尺寸误差限值： $\pm 5\text{mm}$ ；
- （4）模型须由至少 3 节管片环组成，每节管片环至少由 3 片管片组成；
- （5）模型结构体系及选型不限；

（6）建筑限界为矩形，且应满足：模型底板上缘起算的垂直净空高度为 200mm，水平净空尺寸为 260mm。赛前模型检验时，净空检验采用硬质白色 PVC 板，其外形尺寸为 260mm×200mm，检测方法如图 3-1 所示。硬质白色 PVC 板如能顺利推进模型内部，说明模型满足净空要求。选手安装模型完成后，净空检测采用加载箱外使用直尺直接进行测量，并由现场评委进行评判。建筑限界检验在模型建造完毕后进行，若检验不符合要求，则视为模型制作不合格，直接取消参赛资格。

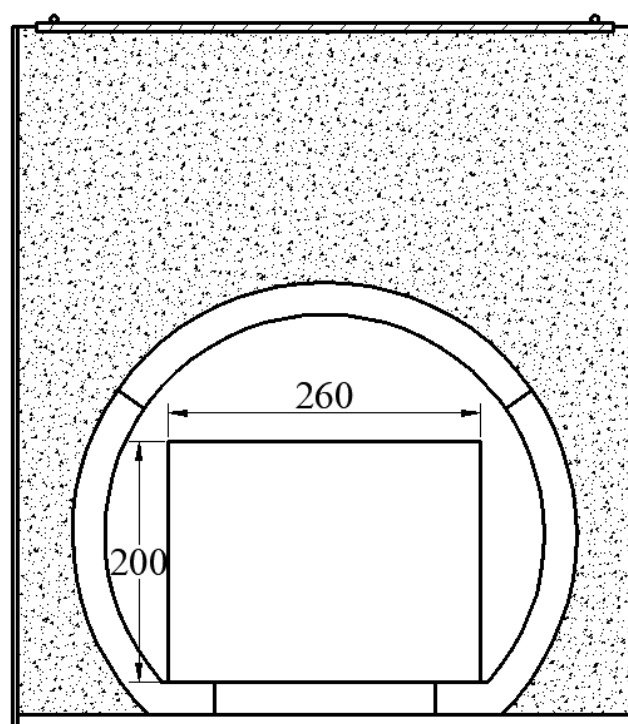


图 3-1 净空检测方法

4、加载方式及过程

4.1 加载方式

加载工具如下：

（1）加载钢板 1 块，其尺寸为 580mm×480mm×10mm，质量为 19.7kg，放置在加载试验箱砂体顶部，用于托放砝码和实现部分加载；

（2）圆柱形和方形加载砝码，与加载板共同实现模型的静力加载，砝码质量规格为 1kg、5 kg 和 10 kg 三种；

（3）钢板质量不计入加载成绩中

本次比赛模型加载试验装置如图 4-1 所示，各部名称及所用材料见表 4-1。

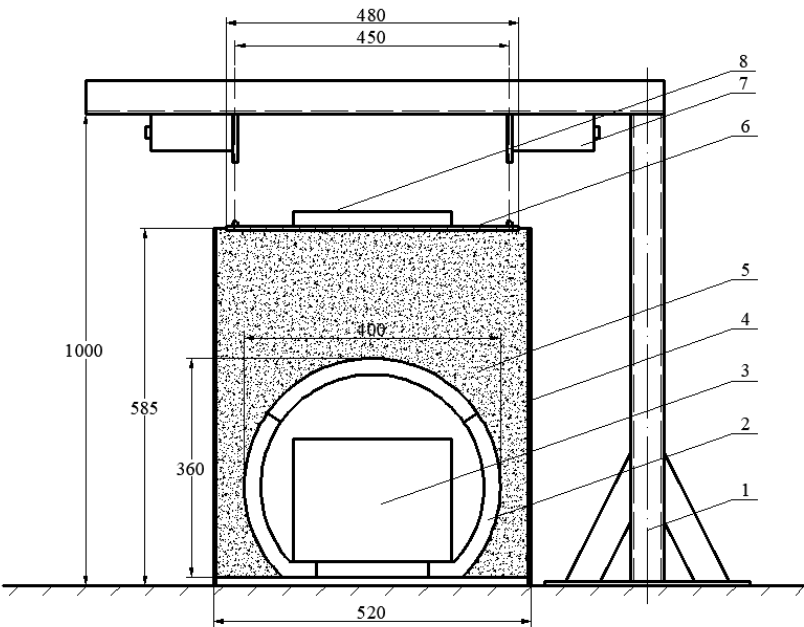


图 4-1 模型总体设计图

表 4-1 模型加载试验装置各部名称、所用材料及尺寸

序号	名称	规格	材料	数量
1	传感器支架			1
2	管片衬砌模型	600×400×360	白卡纸、白乳胶	
3	限界测件	260×200	硬质白 PVC 板	1
4	加载箱	585×620×520		1
5	砂			
6	加载钢板	580×480×10	Q235	1

7	拉线位移传感器			4
8	砝 码	1kg、5 kg、10 kg		若干

4.2 加载过程

该环节所需的场地、模型加载试验装置、数据采集设备及数据统计分析系统等由组委会负责。

在模型顶部区域放置加载钢板，其结构及尺寸如图 4-2 所示。位移测点位于加载钢板的四个角点（吊环处），采用拉线位移传感器。

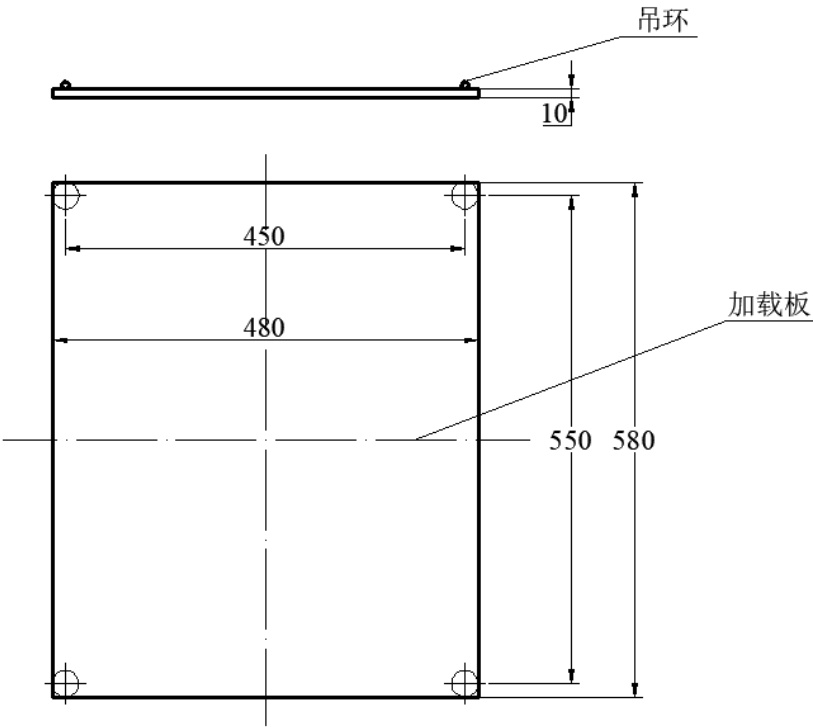


图 4-2 加载钢板

5、加载方法及失效评判

- 在整个加载过程中，发生以下情形之一者，将视为加载失败，结束加载试验：
- （1）模型结构发生破坏而不能继续承担荷载；
 - （2）位移测点在进行实时位移测试时，任何一点实测位移量超过规定限值（20mm）。
 - （3）模型结构在加载过程中任何部位侵限。

6、模型材料及制作工具

6.1 模型材料

模型制作材料为组委会统一提供的如下材料：

- (1) 白卡纸
- (2) 白乳胶；
- (3) 铅发丝线。

注：参赛队不得使用除组委会提供以外的其它任何材料制作模型，否则将直接取消参赛资格。

6.2 模型制作工具

模型制作工具由参赛队自备。

7、模型现场安装、加载及测试步骤

7.1 赛前准备

7.1.1 模型制作

各参赛队应在规定时间内使用由组委会提供的材料（自备模型制作工具）进行管片模型的制作。

7.1.2 模型安装

参赛队伍将制作好的模型组件带至加载场地进行现场拼装，并保证接缝密闭防止漏砂。模型拼装完成后，由组委会对所制作的模型进行尺寸校核和结构检验，对合格的模型由组委会进行称重，精确至 0.1g，同时将称重结果记录在案。质量超过 1.5kg 的模型，将取消参赛资格。

将拼装完成的模型放入加载试验箱内，并调整位置。然后在模型上方的加载试验箱内充填标准砂，直至砂土达到预设位置（距加载箱安放平面 580mm 高处，充填砂可采用自备的击实工具进行击实）。最后平整砂层，为后期加载做好准备。

模型的建造应按下列规定进行：

(1) 填埋砂土达到预设位置为距加载箱安放平面 580mm 高处，其误差 $\pm 5\text{mm}$ ，如不满足要求将取消比赛资格。

(2) 整个模型安装时间不得超过 40min。该阶段工作结束，应经组委会检查和净空检验，合格后方可进行加载试验。若检查不合格将取消比赛资格。

7.2 加载、测试步骤及理论答辩

7.2.1 加载及测试

施加荷载的目的是测试各参赛队模型的极限承载力，分三级进行重力砝码加载。每通过一级加载的测定和校验后方可进行下一级加载试验。

加载比赛按下述要求进行：

（1）加载前各参赛队自行确定本级加载质量，并由参赛队队长报出本级加载质量。一旦报出本级加载质量后不得调整加载质量，并按要求进行加载。若本级加载失败则本级加载质量无效，保留上一级加载质量与加载钢板质量之和作为最终加载成绩。重力砝码加载级数最多为 3 级，加载质量最高为 200kg。

（2）加载过程中，安放砝码结束后由参赛队队长举手示意，裁判开始计时，每级荷载持续作用时间均为 30s。计时过程中参赛选手不得以任何形式接触模型和已加载的砝码，计时结束后读取实时变化位移，取加载持续时间中 4 个测点最大位移为此次加载位移。

7.2.2 理论答辩

参赛队伍向评审专家陈述模型设计、计算及实施过程中的科学构想和理论问题。

8、评分标准

8.1 总分构成

评审专家组负责作品的评审及评奖事宜。每个参赛作品总分为 100 分，包括理论分析（15 分）、模型结构体系选型与布置（10 分）、管片制作质量（15 分）、模型建造时间（10 分）和模型加载试验（50 分）共五个方面。

8.2 评分细则

（1）理论分析（15 分）

依据参赛队提交的设计计算说明书，由评审专家组的评委按设计内容的完整性、计算的正确性、书写的规范性等进行评分。取评委的平均分作为该参赛队的该项得分。

（2）模型结构体系选型与布置（10 分）

依据各参赛队的实际作品，由评审专家组的评委按模型结构的构思、造型和

结构体系的合理性、实用性和创新性等进行评分。取所有评委的平均分作为该参赛队的该项得分。

（3）模型制作质量（15 分）

依据各参赛队的实际作品，由评审专家组的评委按模型制作质量、美观性等进行评分。取所有评委的平均分作为该参赛队的该项得分。

（4）模型建造时间（10 分）

模型建造 10 分，主要扣分项和评判标准如下：按时完成，时间为 40min 以内，得 10 分；此后每超过 1min，扣 2 分，直至扣完。

（5）模型加载试验（50 分）

加载成绩总分为 50 分，主要评判标准如下：

在所有比赛结束后，模型最大承受荷载与模型质量比值最大的参赛队得分为 50 分，模型最大承受荷载与模型质量比值最小的参赛队得分为 5 分，其他参赛队得分按式（1）计算，即

$$R_i = 5 + \frac{k_i - k_{\min}}{k_{\max} - k_{\min}} \times 45$$

（1）式中： R_i 为第 i 支参赛队得分； k_i 为第 i 支参赛队的模型最大承受荷载与模型质量之比， $k_{\min}$ 为所有完成参赛队中模型最大承受荷载与模型质量之比最小值， $k_{\max}$ 为所有完成参赛队中模型最大承受荷载与模型质量之比最大值。

9、参赛选手所需提交的资料

参赛选手需要在提交模型时向组委会提交设计说明书（即计算书及设计图）和答辩 PPT（设计说明书格式为 2007 版 word 文档和一式十份的纸质版本，PPT 为 2007 版 PowerPoint 演示文稿），设计说明书需在封面处注明参赛队伍名称，参赛队员姓名与学号，文件夹以 DX***组命名。文件夹内附上上述文件。

10、附则

10.1 本竞赛规则中若出现叙述不一致之处，请咨询竞赛组委会。

10.2 本竞赛细则最终解释权归竞赛组委会。

西南交通大学第二十一届结构设计竞赛委员会
2022 年 3 月