

DOI: 10.11779/CJGE20210909

# 简述岩土离心模拟试验室的建设与管理

侯瑜京, 王 晓

(中国水利水电科学研究院, 北京 100048)

**摘要:** 随着离心模型试验技术的发展, 岩土离心机试验室的数量逐年增多。有些试验室由于在建设之前缺乏系统的规划设计, 造成后期使用上的不便和困难。主要结合中国水利水电科学研究院大型岩土离心机试验室建设和运行的经验, 给出了离心机试验室设计的特点及基本原则, 提出试验室的设计应满足离心模型试验的工艺要求, 同时也给出了一些有关建设和运行方面的细节考虑, 以期有益于今后的岩土离心机试验室建设和发展。

**关键词:** 离心模拟试验室; 规划; 设计; 建设

中图分类号: TU411 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2023)11-2396-07

作者简介: 侯瑜京(1962—), 男, 河北人, 博士后, 教授级高级工程师, 从事水利工程及岩土工程科研工作。E-mail: houyj@iwhr.com。

## Construction and operation of geotechnical centrifuge laboratories

HOU Yujing, WANG Xiao

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China)

**Abstract:** More geotechnical centrifuge laboratories have been set up year by year in China with the development of modeling technology. However, some laboratories are found very inconvenient for model tests and operation due to the unexperienced planning and design prior to their construction. This paper presents the design principles and detailed considerations on the arrangement of facilities and rooms for easy centrifuge modelling tests are put forward based on the experience of development and operation of the geotechnical centrifuge laboratory in China Institute of Water Resources and Hydropower Research.

**Key words:** geotechnical centrifuge laboratory; planning; design; construction

## 0 引言

自 20 世纪 60 年代开始, 随着机械和电子科学技术的飞速发展, 岩土离心机模拟试验技术, 已经成为岩土工程研究领域十分活跃的研究手段, 中国从 80 年代开始, 大力发展岩土离心机并开展物理模拟研究, 陆续建设了有效容量  $50 \text{ g}\cdot\text{t}$  到  $1000 \text{ g}\cdot\text{t}$  的岩土离心机, 截止到 2022 年初, 已经先后建成了 30 多个岩土离心模拟试验室。

然而, 由于大部分试验室各自独立设计和建设, 相互可借鉴的经验十分有限, 使得建成后的试验室在使用和维护过程中出现诸多问题, 主要表现在: 试验室布局不甚合理使得操作很不方便、建设面积浪费或严重不足、离心机地基不均匀变形引起运行故障、各附属设施和设备难以协调运行、对于各类设备的选型或能力估计不足等等, 在以后的运行过程中, 严重制约了离心模拟试验室的发展。有些实验室将岩土离心机视为大型三轴仪之类的土工试验设备进行建设, 对于配套设施的考虑过于简单, 低估了离心模拟试验的难度, 结果建成后无法正常使用, 造成大量的资源浪

费。

实际上离心机试验室建设是一个系统工程, 其中包括了许多专业的协调设计、施工和运行管理, 包括岩土工程、机械工程、建筑工程、电气工程、自动控制等多个专业。在规划设计之初, 就应该对诸多试验应用细节方面进行充分论证, 同时还应考虑试验室未来的运行和发展。本文主要结合中国水利水电科学研究院大型岩土离心机试验室建设和多年运行管理的经验, 简单总结了一些常见的问题和解决方案, 期望对国内今后岩土离心机和试验室的建设, 以及对现有岩土离心机试验室的运行和发展, 提供一定的参考和借鉴。

## 1 试验室建设的基本原则

试验室的规模大小, 主要取决于离心机设备的大小。目前岩土离心机仍是一种非标准设备, 国际上尚没有统一的规范标准用于岩土离心机设计、制造和应

用。如何选择一台适合本单位研究课题的专业岩土离心机, 是试验室建设的首要问题, 目前各建设单位主要是根据自己的研究工作需求和经费预算, 自行确定岩土离心机的型式和技术参数。

岩土离心机主要有臂式离心机和鼓式离心机两种, 臂式离心机又有对称臂和不对称臂之分; 技术参数主要包括有效容量、最大加速度和转臂半径, 以上 3 个参数基本可以确定离心机主体设备的规模。另外具体的技术参数还包括最大有效负载、吊兰尺寸、驱动电机功率、各类滑环方式和通道数量, 以及离心机达到最大加速度需要的时间、离心机加速度控制相对误差、离心机允许最大不平衡力矩等。

尽管国内外没有统一的设备型号和标准, 但国内外在设备选型中, 均采用离心机有效容量为  $100 \text{ g}\cdot\text{t}$  的整数倍, 如  $100 \text{ g}\cdot\text{t}$ ,  $200 \text{ g}\cdot\text{t}$ ,  $300 \text{ g}\cdot\text{t}$  等, 低于  $100 \text{ g}\cdot\text{t}$  的小型岩土离心机, 可以选择  $50 \text{ g}\cdot\text{t}$  或  $80 \text{ g}\cdot\text{t}$ 。离心机最大加速度采用  $50 \text{ g}$  的整数倍, 如  $100 \text{ g}$ ,  $200 \text{ g}$ ,  $300 \text{ g}$  等, 有些小离心机可以采用略高的加速度, 大中型岩土离心机, 最大加速度通常不超过  $200 \text{ g}$ , 这是因为在  $200 \text{ g}$  以上, 不仅需要更大的驱动电机克服风阻力, 同时对设备的强度和安全保障提出更高的要求。

然而对于一些高、大岩土建筑物的模拟, 则需要更高的加速度值, 由于模型的重量较大, 通常不超过  $350 \text{ g}$ 。对于模拟爆炸的专业岩土离心机, 离心加速度可以高达  $1000 \text{ g}$ 。

转臂半径的大小, 决定了试验设备系统误差的大小, 小型岩土离心机的半径通常小于  $3 \text{ m}$ , 中型离心机通常为  $3\sim 5 \text{ m}$ , 大型离心机的转臂半径为  $5\sim 8 \text{ m}$ , 转臂达  $8 \text{ m}$  以上, 同时有效负载在  $5000 \text{ kg}$  以上的离心机, 可以称为巨型离心机。目前对于离心机转臂半径也没有统一的设计标准, 总之半径越大则系统误差越小<sup>[1]</sup>。

岩土离心机的大小, 各有其优缺点。国外很多拥有小型离心机的试验室, 可以在短时间内, 做出大量的高质量科研成果<sup>[2]</sup>。大型或巨型岩土离心机的系统误差小, 试验精度高, 对于验证机理和工程咨询, 都有明显的优势。但其占地面积大, 不仅建设造价高, 完成一个试验同样耗时费力, 运行和维护的成本都很高。国内不宜建的太多, 现有的大型岩土离心模拟试验室均有相应的共享机制, 可以合作共赢, 使研究人员把主要精力和时间, 放到模型的设计和试验中。在确定了岩土离心机技术参数的基础上, 离心机和试验室的建设应遵循以下基本原则:

### (1) 实用性原则

岩土离心机是一种物理模拟试验设备, 应根据本专业的需求, 确定主机设备的各项技术指标, 并根据

试验研究对象、常用的模型率、系统误差容许度、操作和运行要求、建设经费和运行管理经费等因素, 对各项技术指标进一步优化。离心机的技术指标, 决定了离心机建设的规模。与离心机配套的试验室则应从实际应用的角度, 认真仔细考虑各配套附属设施设备的布置和安排, 对于离心机运行造成的振动和噪音应有充分的估计和相应的处理措施, 在建设初期, 就应该对设备和建筑设施等进行充分论证, 尽量减少离心机和试验室在未来运行期间的维护和维修费用。如果是在已有的建筑物内建造离心机试验室, 则需要充分考虑离心机运行的特点, 将离心机主机基础部分与建筑物隔离, 以避免离心机振动对临近结构的影响, 附属设备的布置与电力供应等与建筑物内的其它设备不相干扰, 在空间布置上应尽量方便模型制作与吊装; 对于新建的离心机试验室, 除以上考虑外, 更应考虑预留足够的模型制作的空间, 对于未来试验室的发展有所规划并在建筑设计中留有余地。

### (2) 先进性原则

岩土离心机是技术革命的产物, 如果没有机械制造工艺、自动控制技术和数据采集技术的大幅提高, 岩土离心机可能仍停留在构想和低水平运转阶段。因此新建的岩土离心机, 自然会包含和应用许多当代的最新科学技术, 特别是在离心机的自动控制和数据采集领域, 新建的岩土离心机设备, 都应充分与离心机设计和制造企业沟通, 力求设备的开发可以及时采用当代最新的技术手段来满足试验的要求。同时, 结合岩土离心机开发的各类附属试验设备, 也应尽可能在经济合理的基础上, 采用相关领域先进的科技成果。

### (3) 系统可扩展原则

岩土离心机试验设备和试验的建设应坚持近期使用与长远规划相结合的原则, 在借鉴国内外已建成的先进离心模拟试验机及试验室运行和管理经验的基础上, 应综合考虑长远发展, 统筹布局, 确定合理的建设规模, 从而保证试验设备和配套系统在建成后的相当一段时间内不会因技术落后而进行大规模调整。系统可预留可扩展性接口, 通过不断的升级与改造持续保持设备的先进性和实用性。通常经过长期运行, 大量的附属设备和配套试验设备会逐渐增加, 试验室应预留足够的空间用于储放试验材料、模型模具和各类新增的附属设备。

系统安全性和稳定性并重的原则: 岩土离心机是大惯量高速旋转设备, 一旦出现意外将产生严重后果, 国内外都不乏离心机运转期间出现故障的例子。因此, 主机和附属设备的相关设计应坚持安全至上的原则, 在确保安全的基础上, 实现设备的稳定运行。在设施和设备的设计中应配置相应的保护装置及措施, 并在

运行管理中严格禁止在不具备安全条件下的非法操作。这些都有赖于经过培训的高素质的试验室管理和运行人员以及严格的试验室管理制度<sup>[3-6]</sup>。

## 2 试验工艺流程

岩土离心机模型试验是一种专业性很强的物理模拟试验，许多建筑设计人员并不了解，因此需要试验室建筑设计人员充分了解离心模型试验工艺的要求。离心模拟试验流程主要可分为：模型设计、模型制作、模型试验、成果分析、形成试验研究报告和存档等几个阶段，见图 1。

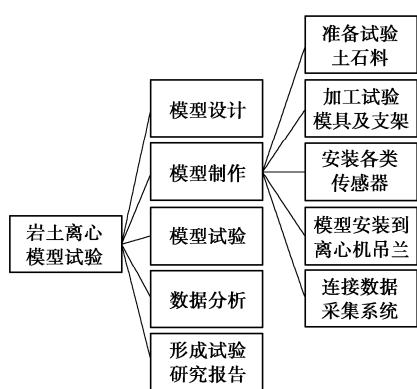


图 1 岩土离心模型试验工艺流程图

Fig.1 Procedures of geotechnical centrifugal model tests

### 2.1 模型设计

模型设计是开展离心模型试验的首要一环，一个模型能否真实的再现原型的力学特性，很大程度上取决于离心模型的设计水平，因为在一个有限体积的模型箱中，不可能将所有的工程要素反映出来，必须找主要问题进行模拟，对于复杂的原型结构进行合理有效的简化。模型设计包括确定试验规模（模型率和试验加速度）、模型布置、设计并开发模型试验所必需的附属试验设备，以及观测设计等内容。技术人员必须熟练掌握离心模型试验的相似率和设备特点，同时了解原型土工建筑物的设计、施工、运行和观测等方面的技术细节，才能够提出较为合理的模型设计方案。

根据模型设计的内容，可以确定试验所需的岩土材料的数量，通常离心机模拟试验要求采用与原型相同的材料进行试验，因此取样、运输、存放等环节必须给予充分考虑，对于一些有含水率要求的黏性土料，不宜露天堆放。试验室中应有足够的面积用于模型试验材料的堆场，通常应具备 5~10 个项目用料的需求。对于大型岩土离心机试验室，由于装载土料或模型的货车或拖车较重，因此试验室内部地面承载力必须满足运输荷载的要求。

土料运抵实验室，通常不能直接用于模型制作，

对于含有超大颗粒的材料，需要剔除；对于不符合粒径相似率要求的土石料，通常需要根据缩尺后的土石料级配曲线，加工成模型需要的土石料，包括晾晒、破碎、筛分或者加水，配置到设计要求的含水率。

### 2.2 模型制作

模型制作也需要详细设计，这一过程类似于实际工程中的施工组织设计，由于步骤繁杂，需要准备的材料和仪器设备较多，必须在操作之前提出一个详细的模型制作步骤，并根据这些步骤的要求准备相应的设备、工具和材料；有些基础性试验需要在模型制作过程中完成，例如密度试验、含水率试验、土料强度试验，以及混凝土材料试验用模具、养护设施、试验设备等，因此配套的一些试验设备和试验室，宜布置在模型制作场地的附近。在模型制作场地的附近，应可以方便地通电、通去离子水、通压缩空气，以方便模型制作。

模型制作过程中常需要各类模具，有些模型中需要模拟一些少量的结构件，如隧道、廊道、桩基等，这些结构的尺寸通常很小，简单的加工可以在实验室完成，复杂的结构件则委托有条件的工厂进行加工，然后拿回实验室组装到模型中，因此试验室应具备基本的金属模具和木模具加工条件。这类加工设备应放置于独立的房间中，使用过程中需要严格做好安全防护。

在模型制作过程中需要埋设各类观测用传感器，这些传感器必须根据模型设计的要求，在模型制作之前准备齐全，根据不同的传感器种类，需要不同的率定设备，率定工作需要在模型制作之前完成。因此试验室内部应有各类传感器的存放间、率定间。工具台应保持清洁整齐，按照传感器的规范或厂家要求进行率定、埋设、连接数据采集系统等工作。

### 2.3 模型试验

模型制作完成后，则可以用试验室内部的吊车将制作好的模型和模型箱移入离心机吊兰中，经过安装、固定、调节配重、连接数据线、接通电源等等细节操作，就可以准备开展离心机试验。

预热后开启离心机进行模型试验，按照模型设计的要求使离心机达到要求的试验加速度。离心机高速转动过程中采集各类传感器的数据，认真观测数据的时程变化曲线，初步判断分析传感器数据是否异常，试验结果是否合理。如果数据异常，应及时叫停离心机，查明原因后再开展试验。有时需要对模型进行录像，观察和记录模型变形或破坏的过程。

离心机的高速运转通常会在机室内产生较高的热量，影响到模型材料的性状，从而影响试验结果。因

此需要对机室降温, 目前国内外常用的有风冷系统和水冷系统, 或者二者的组合使用, 将机室温度控制在400℃以下。因此制冷系统的设计也是离心机试验室设计中十分重要的环节。

停机后, 需要对模型进行简单的量测, 拆除连接线, 将模型箱吊出离心机机室, 放到地面上再进行更为详细的检测, 如分层测量含水率、干密度、剪切强度等。有时模型土料需要重复使用, 则应该将模型料临时存放在料库中, 用防水塑料膜包裹。一些必要的模具或附属测试仪器、设备、支架等, 则需要存放在模具间, 以便下次模型试验使用。

整个离心模型试验过程都需要严格按照行业规范和实验室的规定进行操作, 每次试验前后都应对离心机和附属试验设备进行检查, 并定期进行检测、保养或维修<sup>[7-11]</sup>。

#### 2.4 成果分析和报告存档

作为一种有效的物理模拟试验手段, 岩土离心机提供了一个远超重力场的试验环境, 使得岩土结构物模型可以再现原型的性状, 因此试验成果通常存在一些出乎意料的观测结果。在成果分析中, 应包括原始试验数据部分, 对于一些貌似不合乎规律的观测结果, 应给予认真细致的分析。试验结果的正确与否, 取决于离心机设备、各类传感器、数据采集系统、连接线、屏蔽与信号干扰、模型制作及传感器埋设人员的技术水平等很多细节因素, 都需要一一进行辨认分析, 在大量的错综复杂的数据中挖掘出有用的数据, 对于一些难以发现原因的异常数据, 必要时进行重复试验进行验证分析。

试验完成后, 通常不急于拆除模型, 先对采集到的数据进行核查, 并对照模型进行复查, 确认没有问题后再拆除模型。试验报告中应包括这些检测和核查的内容。在综合分析的基础上, 给出最终的试验结果和结论。

### 3 试验室设备

岩土离心机试验室应紧密围绕离心机主机和附属设备而规划设计, 主机室的设计是整个试验室的核心, 为了减少离心机转动时引起的振动和噪声, 通常主机室采用封闭或半封闭圆柱形建筑结构, 结构侧壁和地基均独立于其它建筑物, 避免振动直接传递给其它周围的建筑物。

一些中小型离心机, 主机室通常布置在地面以上, 不仅方便模型的安装, 方便进出主机室, 同时也降低了造价。但防护墙厚度的设计应考虑极端条件下的撞击荷载并留有余量, 特别是主机室的大门, 必须保证

正常关闭开启。对于大中型离心机或转速较高的岩土离心机, 则通常将主机室布置在地下一层, 驱动系统布置在地下二层, 其优点是安全性高、无需设置主机室侧门, 由机室顶部的吊装孔安装模型。

主机室的位置通常位于试验大厅的一侧, 留出足够的空间用于模型制作和模型吊装, 具体布置需要综合考虑地理环境条件、地质条件、区域内供电供水条件、消防要求、环境要求, 运行方便的要求等, 并于周围整体建筑物的布置相协调。主机室下面通常是驱动设备间, 有驱动电机、稀油站, 以及试验用的油源、气源和水站等, 驱动电机是主要的噪声源, 因此在驱动设备间应有专门的减噪措施, 驱动设备间通常位于地下, 并与离心机排风系统相连接, 设计中需要考虑大型驱动设备的吊装和检修问题, 预留吊装孔, 作为排风系统的通道, 应考虑除尘设施。在离心机长期没有运转的情况下, 需要考虑地下室的防水防潮问题。由于地下室与大气连通, 因此在北方地区还需考虑地下室的防冻问题。

岩土离心机目前常用的机室降温措施有自然风系统、冷风系统和水冷系统, 特殊条件下也可采用液氮制冷系统。对于风冷系统, 其主机部分需布置在室外, 通过管路从顶部与主机室连接, 出风口可位于主机室底部或侧面顶部, 均需考虑顺畅的排风通道。通常制冷系统应根据主机室的温度进行调控, 在温升可控的条件下, 可优先考虑采用自然风冷。对于水冷系统, 需要在主机室侧壁布置冷凝管路, 在一个密闭的液体循环装置, 通过泵产生的动力, 推动密闭系统中的液体循环, 吸收管路中的热量, 通过液体的循环, 带到面积更大的散热装置, 进行散热, 冷却后的液体可以再次回流到吸热设备, 如此循环往复。水冷系统可以使紧邻冷凝管或水冷壁的空气迅速降温, 同时在机室旋转空气的带动下, 给整个机室降温。

### 4 试验室建筑

岩土离心机模拟试验室的规划和设计, 首先需要了解建设区域的水文气象及工程地质条件, 了解试验室设计的特点及基本原则。

岩土离心机的数量和大小决定了试验室建筑的规模, 建筑规划和设计应满足试验工艺流程的需求。在功能上可以大致划分为: 离心机主机室、驱动设备间、主控室、配电室、试验大厅、模型制作间、附属设备间、仪器间、附属试验室、模具加工间、办公室、料库、档案室等。各区域应协调布置, 根据需要布置水、电、气、油等, 以方便应用和管理。

对于主要附属设施的布置, 如水电暖液冷、消防、

通风、制冷、防震等应有详细的安排；主机地基基础是建筑物的核心部位，需要考虑其承载力、抗倾覆、抗振动等需求，同时需设置有效的接地网。

离心机主机室多位于试验室内部，主机室地基是试验室建筑结构中最为关键的部位，离心机机座及转臂总质量通常可到几十吨甚至上百吨，完全由主机室地基承载，同时为满足离心机系统机座对地基的倾覆力矩要求，主机室基础必须具有足够的刚度和抗倾覆能力。基础的自振频率应大于离心机系统旋转频率的3~5倍，以避免共振。通常主机室地面需设置上下两块预埋钢板，两块钢板用长螺栓接紧，且与土建钢筋网组成整体，钢板表面须保证一定的水平度。主机室内部侧墙表面应光滑平整，以减少风阻力。主机室顶部主要用于安装上仪器舱。主机室顶部盖板上按要求预留上仪器舱接口及线路通道，另外根据需要设计模型箱吊装通道。

根据离心模拟试验特点，试验室应将试验大厅和其它常规试验和办公区域分开布置。在大厅中可以考虑有安置离心机附属试验设备的房间。各附属试验室应以离心机试验大厅为中心分别布置其它各层。模型模具加工间，可以布置在远离主机室，靠近模型制作区域的地方。模型制备区域应具备同时制备2~4个模型的工作空间，供试验研究人员制作加工模型，在模型制备区域用集水槽与其它区域分隔，槽内设置几个地漏与大厅其它排水连接，可以在此清洗模型箱、制模工具等，过滤口必须可靠有效，防止堵塞。该区域还将布置真空饱和装置、自动砂雨制模装置、筛分机、粉碎机、研磨机等土料加工设备、固结设备等，在试验室建设期可作为离心机安装、组装和调试场地。

离心机主控室是试验室的中枢神经部位，所有的离心机及其附属设备的控制、数据采集、防护和报警等信号，通过光电滑环和电缆汇集到主控室的电脑中，从而实现集中控制和远程操作。操作技术人员会经常往返与主控室和主机室，主控室应尽量靠近主机室，以方便操作，也可以减少大量电缆布设的长度，同时减少信号损坏，减少故障率。主机室地面下应设置足够宽度和深度的电缆槽，尽量减少电缆线的交叉和干扰，方便与主控台上的控制电脑相连接，整个系统应具有较好的接地和抗干扰措施。主控室布置应紧凑合理，房间应宽敞明亮，具有防静电、防尘、防火等设施。最好可以直接看到模型制作区域和离心机主机室区域。

沿试验大厅一侧可考虑放置机械手、振动台、小型附属设备、小型仪器、器材等附属试验设备。这些设备的使用、安装和移动均需要借助吊车实施，将这些设备放置在试验大厅有利于试验操作或移动。另外

需考虑在适当位置布置办公室、会议室、消防值班室、卫生间等。试验室堆料区应考虑货车可直接驶入，方便运输试验土石料。

在地面或地下一层可以设置变配电间和弱电间。配电室内安装有配电柜等设备，外部电源通过配电室接入离心模拟试验室。通常离心机采用独立变压器配电，与测控系统配电分开，这样可以避免电机运行时干扰测控系统正常工作。为保证试验室中各类大型设备的安装及检修，应配置足够起吊能力的行吊，吊钩长度应能满足地下设备吊装工作的需求，通常应具有遥控、防撞及防摇摆等功能。配电间、驱动间和油水站间均应布置在离驱动电机较近的空间内。在设备驱动间等噪音分贝较高的区域，必须采取相应的降噪措施。

岩土离心机试验室建筑物的设计需要考虑当地的气象条件，北方冬季需要考虑取暖设施，南方雨季则更多地需要考虑机械设备的防锈问题，以及电气设备的防潮问题。离心机在运转期间，主机室温度上升，需要根据当地的气象条件，采取必要的制冷降温措施。

在气候潮湿季节，各类机械设备特别是位于地下室中的设备，最容易产生锈蚀，必须做好防锈措施，重要设备的漆面如果发生擦碰等创伤，必须及时修复。试验室的一些边角部位在梅雨天特别容易滋生细菌，应定期做消毒处理。

试验室建筑设计和施工应尽量与当地的气象条件相协调，在日照、风向、采光、通风、温度调节等方面，给予充分的考虑，为将来试验室的运行创造一个良好的微环境。如离心机试验大厅，应尽量做到冬季向阳防风，夏季遮阳通风，白天尽量采用自然光照明。试验室周围地面应有一定的植被设计，以提高建筑空间的舒适度。

试验室的配电室和驱动设备间通常位于试验室地下一层或地下二层，对于沿海地区以及地下水位较高的地区，则应做好防水、止水处理，同时在地下室设置必要的集水井和自动抽水排水措施。对沿海混凝土工程及钢结构等，应考虑氯化物侵蚀、碳化侵蚀、冻融循环、盐类侵蚀等不利因素，在设计和施工中采用切实可行的治理办法，对于混凝土建筑的耐久性给出评估并提出预防措施。

地形地质条件对于试验室的设计十分重要。对于地质条件要求较高的部位是主机室的设计，要求地基基础必须提供足够的承载力、抗倾覆力矩以及抗震等方面的要求，对于局部不均匀沉降的要求则更高。因此要求在该部位有足够的勘探资料和试验数据。根据勘察报告，充分了解各土层的分布和材料的物理力学性质，结合离心机的运转要求，确定主机室的基

础类型, 对于复杂地质条件下的试验室设计, 还应有专门的论证分析。

## 5 工程建设的前置条件

有些大型的试验室建设, 根据国家相关要求, 需要完成工程建设的前置条件论证工作, 对环境影响、节能、社会稳定风险、水土保持、人防等方面进行专门的设计和评估。

环境影响评价主要是对试验室的建设和运行环境进行评定、判断和提出对策。旨在掌握和比较环境质量状况及其变化趋势, 寻找污染源和治理的重点, 从而为环境综合治理提供依据。试验室在运行过程中产生的污水必须满足国家《水污染物综合排放标准》。离心机、驱动电机、油泵、风冷系统风机及吊运等设备的运行噪声, 常需要进行降噪或减振处理。试验室周围的社会环境现状, 如行政建制、土地使用情况、经济概况、道路交通、通讯状况也应有所考量。需要掌握当地的供水系统、供电系统、供暖系统、污水处理系统等状况。对于试验室所在地区域环境质量的现状及主要环境问题, 如环境空气质量、地表水环境、地下水环境、声环境等应有足够的了解。

离心机试验室建设的节能评估报告, 须符合《中华人民共和国节约能源法》、《节约能源管理暂行条例》的基本原则, 旨在科学合理利用能源, 从源头上杜绝能源浪费, 提高能源利用效率。

## 6 离心机设备维护管理

离心机设备管理和运行维护是提高试验室运行效率的重要保障, 是日常运行管理的重要组成部分, 良好的运行维护, 合理的操作, 及时的检修, 是保证设备长期可靠运行的重要保障, 因此在试验室的建设和运行过程中, 应给予足够的重视。根据岩土离心机的运行特点, 结合实际工作人员配置, 可将设备维护保养方式分为 3 类: ①计划性维护, 含日常维护、定期检修; ②预防性维护, 对于带有一定风险的岩土工程试验, 提前做好全面的检查和维护; ③专业化维护, 最好根据离心机运行的小时数, 或每年定期, 由设备制造商等专业公司对主电机、转轴等特定设备进行专业化维护保养。

由于离心模拟试验室的设备运行和管理人员有限, 因此需要培养一专多能的人才, 同时最大限度地提高管理和运行的信息化和自动化水平, 例如编制专业的离心机试验室运行管理软件, 从任务来源、项目

分解、模型设计、材料准备和试验、仪器设备的率定和使用、水电暖设备管理等, 进行系统的管理; 有些运行步骤尽量采用自动化控制, 例如配重的自动化调整以减少人力负荷, 通过温度传感器反馈控制冷却系统的启闭, 尽量减少复杂的人为操作的步骤, 这些在离心机设计和建设之初就需要提出相应技术要求。

岩土离心机一般都配有附属试验系统, 有些设备自动化水平高, 技术及结构复杂, 对设备维护保养及安全方面的要求较高, 可以让更专业的厂家技术人员参与到设备维护保养工作中来, 由专业技术人员协助进行专业化维保。

随着离心机和试验室投入正常运行, 附属设备的开发和应用和管理也越来越多, 试验室的运行及设备维护也成为试验室技术人员经常面临的问题, 因此需要一个有效的质量管理体系, 包括管理制度和方法。由于离心机是一个大型高速运转的设备, 具有一定的危险性, 试验大厅内更是吊车、运输车、金属结构、土石料相互交错的场所, 因此对于试验室和设备, 应具有有效的安全防护措施, 同时也需要有足够的风险管理意识和应急措施。

## 7 结语

随着离心模拟试验技术的发展, 其应用领域还在不断拓宽, 国内离心机的数量也越来越多。然而每个岩土离心机试验室, 都有其自身的特点, 其建筑及地基设计和施工, 均需服务于今后的试验工艺要求。因此本文结合中国水科院离心机试验室的建设和运行经验, 给出了离心机试验室的基本设计原则, 根据离心模型试验的工艺技术需求, 给出一些试验室规划和设计上的建议。结合国内岩土离心机的建设情况, 提出不宜建设太多巨型的岩土离心机, 现有的大型或巨型岩土离心机完全可以开放共享。以上建议, 或将有益于今后岩土离心模拟试验室的建设和发展。

### 参考文献:

- [1] TAYLOR R N. Geotechnical Centrifuge Technology[R]. Bishopbridggs: Blackie Academic& Professional.1995.
- [2] SCHOFIELD A N. Cambridge geotechnical centrifuge operations[J]. Géotechnique, 1980, 30(3): 227-268.
- [3] 编委会. 岩土离心模拟技术的原理和工程应用[M]. 武汉: 长江出版社, 2011. (Editorial Board. Geotechnical Centrifuge Modelling Techniques and Applications[M]. Wuhan: Changjiang Press, 2011. (in Chinese))
- [4] CHARLES W W NG. The state-of-the-art centrifuge modelling of geotechnical problems at HKUST[J]. Journal of

- Zhejiang University-SCIENCE A, 2014, **15**(1): 1-21.
- [5] 陈生水, 顾行文, 任国峰, 等. NHRI-400 g·t 大型土工离心机升级改造[J]. 岩土工程学报, 2020, **42**(增刊 2): 7-12. (CHEN Shengshui, GU Xingwen, REN Guofeng, et al. Upgradation of NHRI-400 g·t geotechnical centrifuge[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2020, **42**(S2): 7-12. (in Chinese))
- [6] 陈云敏, 韩超, 凌道盛, 等. ZJU400 离心机研制及其振动台性能评价[J]. 岩土工程学报, 2011, **33**(12): 1887-1894. (CHEN Yunmin, HAN Chao, LING Daosheng, et al. Development of geotechnical centrifuge ZJU400 and performance assessment of its shaking table system[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, **33**(12): 1887-1894. (in Chinese))
- [7] 杜延龄, 朱思哲, 刘令瑶, 等. LXJ-4-450 土工离心模拟试验机的研制[J]. 水利学报, 1992, **23**(2): 19-28. (DU Yanling, ZHU Sizhe, LIU Lingyao, et al. Development of LXJ-4-450 centrifuge for geotechnical engineering[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1992, **23**(2): 19-28. (in Chinese))
- [8] 孔令刚, 蔡海强, 衡慈文, 等. 土工离心机在岩土工程教学中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2013, **32**(4): 121-123, 182. (KONG Linggang, CAI Haiqiang, HENG Ciwen, et al.
- Application of geotechnical centrifuges in geotechnical engineering education[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2013, **32**(4): 121-123, 182. (in Chinese))
- [9] 马险峰, 何之民, 林明. 同济大学岩土离心机的研发[C]// 中国水利学会 2000 学术年会. 苏州, 2007. (MA Xianfeng, HE Zhimin, LIN ming. Development of geotechnical centrifuge in Tongji University[C]// Annual Conference of Chinese Hydraulic Engineering Society, Suzhou, 2007. (in Chinese))
- [10] 王永志, 袁晓铭, 孙锐. 大型振动离心机土建总体设计与关键技术研究[J]. 世界地震工程, 2012, **28**(2): 51-56. (WANG Yongzhi, YUAN Xiaoming, SUN Rui. Overall design and key techniques of a large-scale centrifugal shaker in construction[J]. World Earthquake Engineering, 2012, **28**(2): 51-56. (in Chinese))
- [11] 张宇亭, 李建东, 安晓宇, 等. TK-C500 土工离心机实验室的建设与应用 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2019. (ZHANG Yuting, LI Jiandong, AN Xiaoyu, et al. Construction and Application of TK-C500 Geotechnical Centrifuge Laboratory[M]. Beijing: China Communications Press, 2019. (in Chinese))

## 2024 年第二十二届海峡两岸隧道与地下工程学术研讨会征文通知（一号通知）

第二十二届海峡两岸隧道与地下工程学术及技术研讨会议以“长大隧道工程挑战与技术创新”为主题，将于 2024 年 8 月在新疆乌鲁木齐举行，会议将围绕水利、交通、矿山、市政等行业的热点问题进行交流，旨在继续为海峡两岸隧道与地下工程领域的学者和工程师搭建一个高品质的学术交流平台，推动隧道与地下工程领域重要问题进行深入研究，分享最新的观点和最前沿的研究成果，欢迎各界同仁积极投稿。

### 一、会议时间、地点

时间：2024 年 8 月，地点：新疆乌鲁木齐。

### 二、会议主题

长大隧道工程挑战与技术创新

### 三、会议内容

①长大隧道掘进机施工信息化与智能化技术；②隧道岩爆、大变形与突水突泥等重大地质灾害防控技术；③强震区隧道工程抗减震技术；④超长跨海隧道建设与数字化管养关键技术；⑤城市更新与地下空间开发利用；⑥国内外典型地下工程案例分析。

### 四、组织机构

主办单位：中国岩石力学与工程学会地下工程分会，中国土木工程学会隧道及地下工程分会；台湾隧道协会。

### 五、会议征文

①应征论文须是原创的、尚未公开发表的论文，中英文均可，请作者分别参照《岩土力学》和《隧道与地下工程灾害防治》论文的格式撰写投稿。②拟投稿论文请以“题目-单位-姓名”为主题投稿至《岩土力学》或《隧道与地下工程灾害防治》编辑部，并标注“2024 年第二十二届海峡两岸隧道与地下工程学术及技术研讨会投稿”。③投稿截止日期：2024 年 2 月 29 日。

### 六、联系方式

袁敬强 13871173207，杨云 13545026200。邮箱：dxgcfh2023@163.com。《岩土力学》投稿网址：<http://ytlx.whrsm.ac.cn/CN/1000-7598/home.shtml>。《隧道与地下工程灾害防治》投稿网址：<http://tunnel.sdujournals.com/CN/column/column2.shtml>。