·实验室建设与管理·

高分子化学教学实验室建设探索与实践

于敬凤，岳喜贵，张　刚，张淑玲，魏士刚，郭玉鹏
（吉林大学 化学学院，长春 130012）

摘要：目前高校实验室建设国家标准暂未出台，关于教学实验室的基础硬件建设实践报道较少，化学学科教学实验室在硬件建设过程中需注意诸多细节问题。吉林大学化学学院高分子化学实验室基于学科自身性质和特点，以“适用性”“实用性”和“安全性”为主旨，展示了化学学科中合成类教学实验室的规范化基础硬件建设的具体过程，以期为高校实验室建设标准的出台提供有益参考。

关　键　词：实验室建设；硬件建设；教学实验室；高分子化学实验室
中图分类号：G482　　**文献标志码：**A　　DOI: 10.12179/1672-4550.20230134

Exploration and Practice of the Construction of the Polymer Chemistry Teaching Laboratory

YU Jingfeng, YUE Xigui, ZHANG Gang, ZHANG Shuling, WEI Shigang, GUO Yupeng
（College of Chemistry, Jilin University, Changchun 130012, China）

Abstract: At present, the national standard for the construction of university laboratories has not yet been issued. There are few reports on the practice of the hardware construction of teaching laboratory and that more details need to be paid attention to the process of the hardware construction of teaching laboratories. Based on the nature and characteristics of the discipline, the Polymer Chemistry Laboratory of the School of Chemistry at Jilin University, with the main themes of applicability, practicality, and safety, shows the specific process of standardized basic hardware construction for synthetic teaching laboratories in the field of chemistry, which provides a useful reference for the introduction of laboratory construction standards in colleges and universities.

Key words: laboratory construction; hardware construction; teaching laboratory; polymer chemistry laboratory

实验室建设是一项复杂的系统工程，是高校基本建设的重要组成部分，实验室建设主要分为两部分：软件建设(实验室科学规范管理、课程体系改革和实验教学队伍等)和硬件建设(实验场所的建筑、装潢、安全设施、实验仪器等基础设计与配置)[1−2]。其中硬件建设的成败对实验室建设成效起决定性作用，其在规划和设计中既要满足实验室当前的建设需要，也要考虑实验室未来的需求。高校教学实验室是开展各种实验教学、进行科学研究、培养学生实践能力与综合素质的重要场所，其培养对象主要是实践经验较少的低年级大学生，与科研实验室相比，教学实验室的人员相对集中，其安全风险具有累加效应，使其危险性更高。

教育部自 2015 年开始，针对高校教学实验室进行了安全检查，提出相关要求并给出建设性意见[3]。但截至目前，高校实验室建设的国家标准仍未出台，导致部分高校实验楼或实验室在改造或新建中无规划、无监督、无据可依[4−8]。在实验室建设中，化学教学实验室的建设尤为复杂，不同专业的化学教学实验室要根据其实验课程，结合自身教学特点进行个性化设计，如与无机化学、分析化学和物理化学专业的基础性教学实验室相比，高分子化学与有机化学教学实验室属于合

收稿日期：2023−03−15；**修回日期：**2023−12−21
基金项目：吉林大学“高分子科学基础人才培养实验室改造”重点专项项目。
作者简介：于敬凤(1979−)，女，博士，工程师，主要从事高分子化学与物理实验教学及实验室管理工作。E-mail: jingfy2006@126.com

成类教学实验室，主要功能为合成高分子聚合物或有机化合物，在实验教学过程中主要使用有机试剂，且涉及腐蚀性、刺激性、毒性、易挥发的试剂较多，实验工作环境比较恶劣。此外，高分子化学教学实验的反应时间较长，涉及使用回流冷凝水的实验较多，部分实验还涉及使用气路进行无氧聚合反应，对在建实验室的要求较为复杂，如实验室的通排风、用水、用电、用气、耗材管理及实验室安全、环保等问题。目前关于合成类教学实验室硬件建设方面的报道非常少[9]，报道主要是针对合成实验的教学实验室较多[1,10–12]，且尚未有相关报道介绍关于合成类教学实验室用气问题。鉴于此，本文以吉林大学化学学院高分子科学实验室的建设为契机，结合学校化学学院国家级示范教学中心实验室的建设经验，根据高分子化学实验室的整体布局设计方案，详细介绍不同区域的具体布局与设计方法，给出诸多注意细节。

1　高分子化学实验室建设规划与设计

1.1　高分子化学实验室的建设背景及特点

吉林大学是国内较早设立高分子学科的院校之一，随着高分子学科的不断进展，高分子化学与物理学科已逐渐发展成为一门基础性的化学学科，与无机化学、有机化学、分析化学、物理化学等并列称为“五大化学”。在学校 2018 版本的培养方案中已经将高分子化学实验列为化学所有专业的基础必修课程。考虑到学校原有的高分子化学实验室条件已不能满足新的培养方案需求，2020 年 3 月 20 日，学校教务处组织召开了高分子科学实验改革论证会，结合学校实际情况，经多方部门协调，确定采用公用房置换方式，将原来的先进技术研究院办公区（400 m^2）改造为高分子教学与科研用途的实验室，其中用于合成实验教学的高分子化学实验室占面积约 220 m^2。

高分子化学实验室特点主要涉及如下 4 个方面。

1）仪器设备多，其中一部分小型仪器为学生自用且需人手一套，如置顶式机械搅拌器、磁力加热搅拌器、水浴锅等；一部分仪器为公用仪器，如电子天平、烘箱、真空循环水泵等。

2）玻璃仪器较多，大部分玻璃仪器学生自用且需人手一套。

3）试剂种类较多，如部分试剂为易挥发、易燃烧、易爆炸和毒性试剂。

4）与其他基础性实验相比，高分子化学的实验装置搭建更为复杂，大部分实验需要多个仪器同时搭建组合使用。实验条件要求较高，如无氧聚合反应及产物的真空后处理。此外高分子化学实验的操作程序也较多，且多为连续操作，实验时间较长。

1.2　高分子化学实验室整体布局

考虑上述实验室特点与未来需求，如实验教学中，学生的流动安全问题、实验室的环境安全及环保问题等，在实验室建设时，根据国家相关标准（GB/T 32146.1—2015、GB/T 21747—2008、GB 24820—2009），依托原始建筑格局，学校相关职能部门、学院相关负责人及实验室管理者等与建筑专业设计单位共同协作，经数次反复讨论、设计并模拟现场操作，设计了高分子化学实验室。其设计在满足实验教学需求的同时合理规划空间、避免浪费、降低日后改造的建设成本。此外，为保障工程的顺利进行，施工建设过程中，实验室管理者需根据施工进度对施工进行实时监管，并根据现场情况进行实时修正。改造后，高分子化学实验室由 2 间实验室构成，每间实验室面积约为 110 m^2，其内部整体布局由实验操作区和实验辅助区两部分构成。为便于后期管理，2 间实验室在空间布局及相关配置上基本一致，不同区域功能如图 1 所示。

1）实验区

实验区（图 1 黄色区域）为学生上实验课的主要操作区，由 2 个大型中央实验台构成，每个中央实验台可容纳 10 人同时进行实验操作，2 个高分子化学实验室共可提供 40 人同时进行独立实验操作。

2）实验辅助区

实验辅助区（图 1 蓝色区域）为环绕实验区的四周区域，由实验边台、立式通风橱、仪器柜、气瓶柜、药品柜等构成。

3）消防应急区

消防应急区（图 1 红色区域）主要用于存放消防、应急用品，保障实验室安全运行。为便于实验室的科学规范管理，实验室整体布局设计要求尽量简洁、统一化。

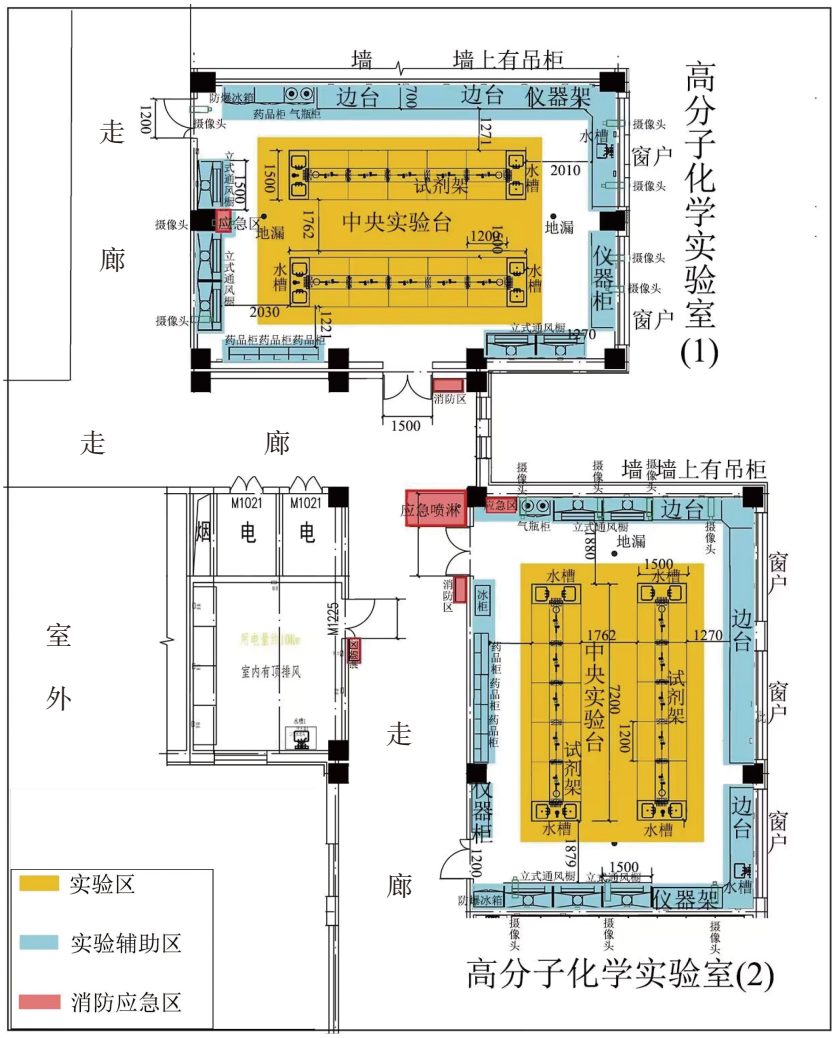


图 1　高分子化学实验室整体布局及区域功能图

2　实验室建设规划细节

2.1　材料材质选择

根据高分子化学实验室的特点，实验台面材质选用 TRESPA 牌板材，台面厚度大于等于 13 mm。实验台的柜体、吊柜与仪器台等均采用全钢(鞍钢盒装国际标准冷轧钢板)结构，钢板厚度大于等于 1 mm。所有钢制部件表面均经过严格的酸洗、磷化处理，再经纯环氧树脂粉末静电喷涂处理。耐腐蚀性符合国家相关标准(GB/T 18593—2010)，附着力强度符合国家相关标准(GB/T 5210—2006)。

其他配件如滑轨(全钢结构)采用优质三节滚珠，承重大于 50 kg 的阻尼滑轨，表面经环氧树脂静电粉末喷涂，耐腐蚀。铰链采用优质的 110°二段力阻尼铰链。插座选用经国家 3C 认证的自闭式防水防尘实验室专用插座。水槽盆为聚丙烯材质的一体成型结构，水槽壁厚 5 mm，水槽底部加装水槽托架；下水安装防臭返水弯，下水口带防漏装置，下水管采用优质耐酸耐碱的聚丙烯材质。水龙头的主体管件为铜质，外表喷塑处理，并采用进口陶瓷阀芯。洗眼器的主体部件为加厚铜质，出水经缓压处理呈泡沫状水柱，防止冲伤眼睛。

2.2　水电配置

2.2.1　水、暖配置

受东北地区冬季气温较低及原始建筑格局的影响，实验室供暖方式选择了节省空间的地热水暖方式来保障实验室冬季的正常运行。由于上下水管路铺设在地暖之下，为避免因后期改造增加成本，实验室建设之初需要充分考虑实验室后期可能涉及的用水问题，如实验区的回流冷凝水与反应瓶清洗问题，实验辅助区仪器(制冰机、超纯

水机及立式通风橱等设备)的上下水布局问题。实验区用水设计如图 2 所示，中央台的中间设计了两个水龙头共用一个下水槽以提供给两侧实验的回流冷凝使用，每个中央台仅需 5 个上下水的位置，即可提供给中央台两侧 10 组实验使用，在保障实验进行的同时节约了空间；此外，在中央台的两端分别设计了 2 个大水槽，用于学生清洗玻璃仪器。

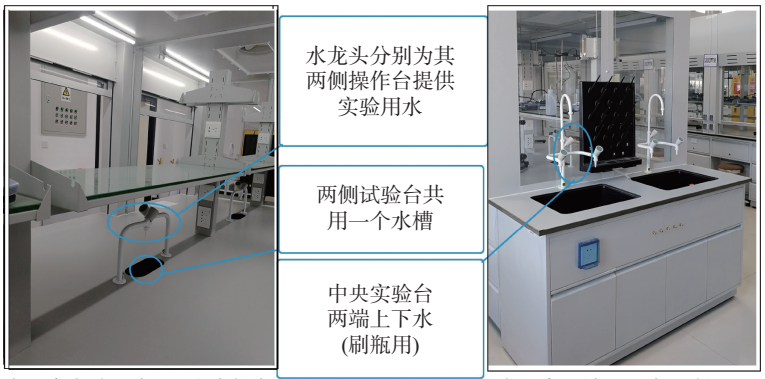


图 2　实验区用水设计

2.2.2　电配置

根据高分子化学教学实验室特点及仪器用电情况设计电路系统。高分子化学的聚合反应大部分都涉及几个小型用电设备同时使用的问题，实验区中央台的插座设计中每名学生至少需配备 1 个 16 A 插座和 4 个 10 A 插座，实验辅助区的墙壁、边台、立式通风橱等位置的插座数量也应尽可能多，用以保障仪器、设备及药品柜等的使用需求。因实验教学中的设备使用集中、用电量较大，为降低因设备损坏或学生误操作等原因造成线路短路对整个实验教学运行的影响，实验室的空气开关采用多分枝独立回路的设计。如实验区的中央台采用 4 个分支回路进行分区控制；辅助区采用东、南、西、北 4 个方向设计回路，并对用电要求较高的仪器设计了单独的回路，如防爆冰箱及烘箱。通过多分枝独立回路的空气开关设计，可快速发现故障并及时解决，最大程度地保障实验人员的安全、设备的正常运行及实验教学的顺利进行。

2.3　实验室内部家具装潢设计

2.3.1　实验区设计

实验区为学生实验操作的主要区域，由 2 个大型中央实验台及实验台上的桌面通风橱与试剂架构成，如图 3 所示 。作为最主要的活动区域，安全、便利、舒适、整洁是设计的主要目标。

本次实验室建设中，实验室家具颜色选用了浅灰平光色，与以往选用的白色家具相比，该颜色不易受氧化而变色、耐脏性更好，更适于合成类教学实验室的使用。



图 3　实验区设计效果照片

1) 中央实验台设计

高分子化学实验室的特点之一是小型仪器和玻璃仪器等耗材的种类及数量较多，实验中学生人手一套，在实验室管理上，由学生自行保管，每学期初实验开始前让学生清点，检查有无缺漏、破损及故障等，即时更换补齐，实验过程中损坏或学期末清点有缺损、丢失的，须按仪器原价一定折扣赔偿补齐。该制度在于引导学生爱护仪器，养成良好的实验习惯，提高学生的责任感。通过近几年回收破损仪器的数量看，破损率显著降低。

基于上述实验室的管理情况，结合以往学生柜使用中出现的问题，如学生柜主要采用上部抽屉、下部柜门的格局，取用设备非常不便，需弯

腰、蹲下等姿势[2]，在本次实验室建设中，中央实验台设计充分考虑了学生柜的分类储物性、座位的舒适性以及实验台水、用电维修与实验室管理的便利性，采用了抽屉结合半凹柜的学生柜设计。学生柜的设计照片如图 4 所示。每个学生柜宽约 1.2 m，其中 3 个带锁的大抽屉宽为 60 cm，可分类存放不同批次实验人员所需的玻璃仪器等耗材，取用设备非常方便，拉开抽屉即一目了然；另一半上部为抽屉，主要存放小型仪器及其配件等常用设备，如机械搅拌器、加热套、烧瓶夹等；下部为半凹对开门的柜子，柜内层板高度可调，可存放水浴锅类体积较大的实验设备。由于大部分实验持续时间较长，半凹式柜体的设计可保障储物空间的同时增加学生腿部舒适性，如图 4(a)所示。此外，为了保障实验台后续使用维修的可行性，柜内背板设计为可拆卸结构，如图 4(b)所示，便于维修家具内部的隐蔽设施，如中央实验台的给排水或电路故障等。该实验台的设计充分满足了学生实验过程中方方面面需求，适用于合成类实验教学实验室的推广与使用。

2）试剂架设计

中央实验台中间为单层试剂架，试剂架的多功能设计是本次实验室建设中的亮点，如图 5 所示。

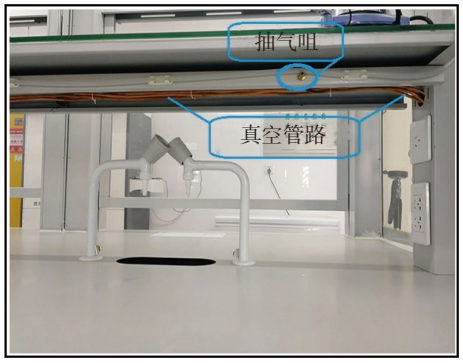


(a) 学生柜及试剂架设计　　(b) 柜内设计

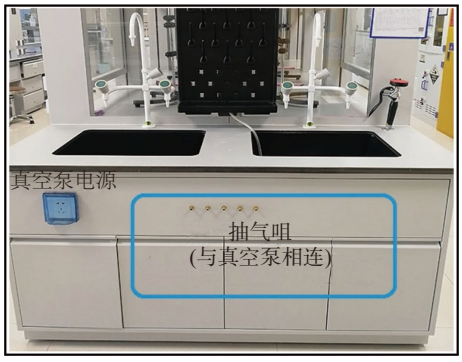
图 4　学生柜设计照片



(a) 试剂架及气路设计



(b) 试剂架真空管路



(c) 中央台两侧真空管路

图 5　多功能试剂架设计照片

① 由于合成类实验所需小型仪器与药品种类较多，单层试剂架可作为其临时存放地，如存放带支架的磁力加热搅拌器(不能在抽屉及柜内存放的较高小型设备)，临时存放实验药品(提前称量好，便于实验中随时使用)。

② 通过试剂架为每名学生的操作台设计了独立的气体管路，如图 5(a)所示。高分子化学实验教学中涉及的气体主要为氮气，以往实验教学中

采用玻璃三通连接管路调节每组学生的实验，操作费时费力，为保证实验稳定需订购大量气瓶进行分组调节，极大地增加了实验室的安全风险。在本次实验室建设中气路问题得到了重点关注，设计了气路系统，实验中，学生可通过调节其操作位试剂架立柱上安装的流量计对其气体流量大小进行控制。一个气路系统即可实现由单个气瓶为全屋 20 个操作台同时供气且彼此不受干扰，大大降低了气瓶的使用数量，保障实验室安全的同时降低了实验成本。

③ 通过试剂架在每个学生操作位设计了隐蔽型的真空管路，如图 5(b)所示，使用时只需将真空水泵与中央台两端水槽中间留置的抽气咀连接，如图 5(c)所示，即可为中央台两侧 10 名学生提供真空操作使用，即学生在自己的操作台即可进行真空操作，从而解决了以往学生到公用区的真空循环水泵处进行操作而导致的一系列问题，如大量学生聚集造成的安全隐患及样品真空处理的时效性等。

3) 桌上通风橱设计

原高分子化学实验室采用的是开放式万向抽风罩，经验证后发现对于合成类气味较大的实验室，使用效果不好，室内仍存在大量药品气味。在本次高分子化学实验室建设中，选用了封闭性较好的桌上通风橱。一方面其封闭性更好，更有利于排除毒害气体，提高实验室环境安全，降低实验人员的吸入量；另一方面，通风橱的玻璃拉门可以保护实验人员，防止其由于操作不当或其他原因而导致反应体系发生喷溅等危险事故。

2.3.2　实验辅助功能区设计

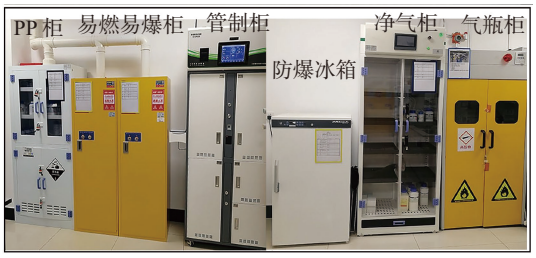
实验辅助功能区主要由立式通风橱、药品柜、防爆冰箱、气瓶柜、边台、吊柜、仪器架(柜)等构成，为实验教学主要提供辅助与设备存储功能。

1) 立式通风橱、药品柜、防爆冰箱及气瓶柜的布局

每个高分子化学实验室分别设计了 5 个立式通风橱，如图 6(a)所示，主要用于药品称量及气味、挥发性或毒性较大的样品或药品的处理。根据《JGJ91−93 科学实验室建筑设计规范》的要求[13]，必须存放少量日常使用的化学危险品的实验室，应设置 24 小时持续通风的专用化学品贮存柜或通风柜。教学实验室的药品使用数量无法做到精准到位，为保证实验教学的顺利进行，通常会适当存量，受建筑布局与面积的限制，新实验室的建设无法规划出独立的药品库房，只能在实验室内适当位置设计药品柜，并根据药品的物化性质与管理机制，购置不同种类的药品柜，如 pp 药品柜、易燃易爆药品柜、净气药品柜、防爆冰箱、管制药品柜等。其中管制类药品采用人脸识别与双人双锁的管理方式。对于不能自排风的药品柜，在药品柜上方，我们增设了排风管道，降低存放药品对实验室内环境毒害的影响，如图 6(b)所示。



(a) 立式通风橱设计



(b) 不同种类的药品柜

图 6　立式通风橱及不同种类药品柜设计照片

2) 边台、吊柜、仪器架(柜)等储物功能设计

高分子化学教学实验室中涉及的小型仪器、玻璃仪器、非玻璃仪器等耗材品种多、数量大，实验室的储物功能是设计的重点。设计中，如图 7(a)所示，边台柜体采用上部抽屉下部双开柜门的格局，其中上部抽屉为深抽(深度可达 21 cm)，可存储一些常用小型耗材，如烧杯、量筒、四口瓶、比色皿等；下部柜体内层板可调，用于存储实验所需体积稍大的小型仪器设备或玻璃仪器耗材。边台的台面上可摆放体积稍大的共用仪器，如超级恒温水浴锅、玻璃气流干燥器、超纯水机等。边台的墙壁上增设了吊柜，用来放置常用轻型耗材。为增加实验室整体美观与简洁性，对于体积较大的落地式仪器设备，如立式循

环水真空泵，设计了带柜门的仪器柜，如图 7(b)所示。对于烘箱、制冰机类的大型仪器设备，为节省空间，设计了仪器架。仪器架台面为双层大理石(厚 4 cm)，用来放置高温设备，如鼓风干燥箱、真空干燥箱或箱式电阻炉等，仪器架下方为制冰机，需要注意的是在建设之初，需提前设计好辅助区相关仪器(如制冰机)上下水的位置便于其使用，具体设计如图 7(c)所示。



(a) 边台及吊柜　　(b) 仪器柜　　(c) 仪器架

图 7　边台、吊柜、仪器柜及仪器架设计照片

3) 消防应急区设计

依据国家相关标准《建筑灭火器配置设计规范 GB 50140—2005》要求及高分子化学实验室的特点，我们在两个高分子化学实验室走廊中间配置了紧急喷淋装置；实验室门口放置消防沙箱与泡沫灭火器；对于高温类易发生火情的设备，如电热鼓风干燥箱、真空干燥箱、箱式电阻炉等区域，在设备附近增设灭火毯类小型消防应急设备。此外在实验室辅助区内，设计了消防应急管理区，用于存放灭火毯、易漏应急处理包、急救箱等装备。

2.3.3　其他设计

1) 环保设计

在绿色、环保设计中，针对高分子科学实验教学中产生的实验垃圾，废液、碎玻璃仪器和尖锐废弃物等依据相关规定采取相应措施。如根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》《危险化学品安全管理条例》和《GB 18597—2001 危险废物贮存污染控制标准》等文件的有关规定，对实验室的废液、化学试剂空瓶等全部进行分类收集和暂存。根据学校高分子科学实验室的课程，废液主要分为无卤化物有机溶剂、含卤化物有机溶剂、碱性无机废液 3 种，处理时根据废液性质分类装于不同废液桶中，并在废液桶上粘贴标签注明成分和危险情况(易燃、易爆等)，定时送至学校固定回收站，由学校负责联系环保服务公司进行后续处理。实验教学中的碎玻璃仪器产生的垃圾需集中放置在玻璃回收垃圾桶内单独回收。尖锐型废弃物，如注射器针头要求必须放入专用医疗废弃桶中回收。

2) 多媒体教学投影同步设计

一流的实验室往往离不开现代化的教学设备。往年仅有一间高分子化学实验室时，学生通过分批次上实验课来解决场地限制的问题，这样的教学运行方式，无形中延长了学生及任课教师的时间成本。在新实验室的建设中，为解决这一问题，高分子化学实验室增设至 2 个，面积扩大比原来的 2 倍还多，实验课教学管理上采用同步投影的多媒体实验教学方式，任课教师只需在其中一个实验室进行展示，即可实现多个实验室的同步授课，如图 8 所示。该设计便利了教学管理的同时节省了学生与教师的宝贵时间，极大地提高了学生与教师的学习和工作效率。



(a) 实验室 (1)　　(b) 实验室 (2)

图 8　高分子化学多媒体同步实验教学授课照片

3）智能视频监控系统设计

近几年，高校时有发生与化学试剂有关的安全事故[14−16]，如复旦大学“N-二甲基亚硝胺”投毒案、南京大学化学楼甲醛反应釜泄漏事件、上海东华大学氧化石墨烯实验爆炸事件等，皆因实验室化学试剂安全上的漏洞而造成的事故和悲剧，社会影响恶劣。为此，我们在每间高分子化学实验室设计了 7 个监控摄像头，即在约 200 m^2 的高分子化学实验室布置了 14 个监控摄像头，对实验室实施了全方位、无死角的布控方式，24 小时实时监控实验室，做好防范安全。

3　结束语

实验室设计与建设是高校基础建设中的重要组成部分，也是一项极为复杂的系统工程，其中实验室的布局设计是决定建设成功与失败的关键，建设之初需要基建管理者、实验室使用者、实验室管理者与建筑专业设计单位共同协作不断完善设计。实验室管理人员在充分了解实验室的功能、特点与用途基础上，根据实验仪器设备的尺寸、规格、配置等需求对实验室进行合理布局。教学实验室设计的基本原则为安全可靠、经济适用、节能环保、高效智能、预留发展，在改建施工过程中需要实验室管理者实时进行现场监督施工，以便及时根据现场实际情况调整设计，避免因后期施工返修而影响实验室建设进展，延误实验室的使用。在实验室建设中，合成类教学实验室的布局设计较为复杂，注意事项较多，鉴于此况，本文详细介绍了吉林大学高分子化学实验室在基础硬件建设过程中的诸多细节与解决办法，期望为其他院校提供广泛参考。自 2021 年实验室投入使用以来，已先后接待了清华大学、四川大学、哈尔滨工业大学等高校教师参观交流学习。

参 考 文 献

[1] 赵云, 任光辉, 付晓宁, 等. 高校实验室建设项目过程管理探究[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(5): 257−260.

[2] 李娇, 金谷, 姚奇志, 等. 高校分析化学实验室建设探索与实践[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(7): 230−233.

[3] 冯建跃, 金海萍, 阮俊, 等. 高校实验室安全检查指标体系的研究[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(2): 1−10.

[4] 钟冲, 张抒. “双一流”背景下高水平实验室新体系建设研究[J]. 实验科学与技术, 2021, 19(2): 151−156.

[5] 丁素军，郑憬文，孙焱. 科研实验建筑的规划设计与实践: 以中国药科大学江宁校区学院实验楼为例[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(11): 23−26.

[6] 吴祝武, 白向玉, 孙志强, 等. 高校实验室安全管理的探索与实践[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(12): 1−4.

[7] 杜奕, 冯建跃, 张新祥, 等. 高校实验室安全三年督查总结 (Ⅱ): 从安全督查看高校实验室安全管理现状[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(7): 5−11.

[8] 董 鹏, 高惠玲, 唐 岚, 等. 从安全、环保角度谈化学类教学实验室建设[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(10): 227−231.

[9] 王义成, 刘玉玉, 马延文. 做好高校化学实验室设计 保障实验室安全[J]. 实验室科学, 2017, 20(3): 219−221.

[10] 翁玉华, 颜长明, 张春艳, 等. 如何精准做好化学教学实验室的建设[J]. 大学化学, 2018, 33(12): 39−45.

[11] 幸文婷，朱赤，叶晓明，等. 高校教学实验室集中统一管理研究[J]. 实验科学与技术, 2023, 21(3): 157−160.

[12] 陈华东, 魏三强. 新校区实验室建设规范设计的探索与实践[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(6): 262−265.

[13] 中国科学院北京建筑设计研究院. JGJ 91−93 科学实验室建筑设计规范 [S]. 北京: 标准出版社, 1993.

[14] 林海旦, 姜周曙, 元文涛, 等. 高校实验室化学试剂安全管理规范化探究[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(7): 299−301.

[15] 李浩，侯永振，田兵伟. 提升高校实验室安全管理的对策和措施研究[J]. 实验科学与技术, 2021, 19(2): 146−150.

[16] 曹艳晓, 陈曦垚, 杨涛, 等. 化学实验室安全管理现状评价和优化探析[J]. 实验科学与技术, 2019, 17(1): 144−148.

编辑　张俊