

第13届全国大学生化学实验竞赛总决赛情况和实验理论试题解析

林猛*, 宋其圣*, 印志磊, 张斌, 赵宝祥, 徐政虎*

山东大学化学与化工学院, 济南 250100

摘要: 介绍了全国大学生化学实验竞赛及总决赛的进展情况和第13届总决赛实验理论试题的命题思路, 对参赛选手的答题情况和反映出的问题进行了分析总结。

关键词: 化学实验竞赛; 理论试题; 试题解析

中图分类号: G64; O6

Analysis of the Finals and Theoretical Examination Questions from the 13th National Chemistry Experiment Competition for College Students

Meng Lin*, Qisheng Song*, Zhilei Yin, Bin Zhang, Baoxiang Zhao, Zhenghu Xu*

School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China

Abstract: This paper presents an overview of the National Chemistry Experiment Competition for College Students, with particular focus on the 13th finals. It introduces the design principles behind the theoretical examination questions and provides a comprehensive analysis of participants' performance, highlighting the common challenges identified through their responses.

Key Words: Chemistry experiment competition; Theoretical examination question; Exam question analysis

由教育部高等学校化学教育研究中心和教育部高等学校国家级实验教学示范中心联席会共同主办、山东大学承办的“第13届全国大学生化学实验竞赛总决赛”(后文简称总决赛)于2024年8月15日至18日在济南举行。来自全国128所高校的173位学生和300余位教师汇聚泉城, 比赛交流和研讨学习。本项赛事是全国大学生化学实验邀请赛的接续和发展, 赛事的举办不仅检验了学生化学实验的总体水平, 增进了不同高校学生之间的交流学习, 同时对我国高校本科化学实验教学改革与提升起到了积极的促进作用。总决赛期间还同期举办了“化学实验教学研讨会”。来自北京大学、南京大学、中国科学技术大学、浙江大学等20余所高校的参会专家就实验教学研究 and 改革、实践能力和创新意识培养、实验教学队伍建设和管理、实验室安全保障体系等进行了报告, 近300余名教师参与了交流与研讨。报到当晚还举行了竞赛委员会委员首次见面会。

本文介绍了总决赛的办赛历史、现状和发展思路, 同时对实验理论试题的命题思路、试题特点、学生答题情况以及反映出的问题进行了总结分析。期望对全国高校化学实验教学体系、教学内容、教学形式和方法的研究与改革, 以及化学拔尖学生创新实验能力培养起到积极的推动作用。

收稿: 2024-12-30; 录用: 2025-03-04; 网络发表: 2025-06-30

*通讯作者, Emails: mlin@sdu.edu.cn (林猛); sqs@sdu.edu.cn (宋其圣); xuzh@sdu.edu.cn (徐政虎)

基金资助: 山东大学实验室建设与管理研究项目(sy20242201)

1 全国大学生化学实验竞赛总决赛情况介绍

全国大学生化学实验竞赛总决赛是全国大学生化学实验邀请赛的延伸。全国大学生化学实验邀请赛(后文简称邀请赛)是由国家自然科学基金委员会资助、教育部高等学校化学教育研究中心主办的全国最高级别的大学生化学实验竞赛,每两年举办一次。自1998年至2021年先后由南开大学、吉林大学、北京大学、厦门大学、中山大学、浙江大学、武汉大学、复旦大学、兰州大学、南京大学、福州大学、郑州大学承办,其中第12届比赛原定于2020年7月在郑州大学举办,受2020年新冠肺炎疫情的影响,延期至2021年举办^[1]。

邀请赛最初是为国家理科(化学)基础科学研究与教学人才培养基地(后文简称化学基地)学生搭建的化学实验比赛交流平台^[2],每个学校抽签选出3名学生分别参加无机及分析化学实验、有机化学实验和物理化学实验竞赛,由于承办高校实验条件限制,最初几届参赛高校数量和学生均有限,后期对有国家级实验教学示范中心和拔尖学生培养基地的高校有所扩容,在郑州大学举办的第12届比赛,参赛高校数量最多增加到45所,参赛学生增加到135人。由于参赛高校和学生偏少导致赛事辐射面和影响偏小,邀请赛于2022年被移出了全国大学生A类赛事。

为了扩大赛事的覆盖面,增进全国大学生化学实验比赛交流的机会,在教育部高等学校化学教育研究中心领导组织下,由北京大学牵头,联合了教育部高等学校化学类专业教学指导委员会、教育部高等学校国家级实验教学示范中心联席会、第13届赛事承办方山东大学的部分教师,对赛事规模、比赛内容、比赛进程、主办单位、竞赛委员会组成、竞赛章程等进行反复的研究与磋商。达成以下共识:

(1) 制订了比赛章程,将全国大学生化学实验邀请赛更名为全国大学生化学实验竞赛,比赛仍然隔年(偶数年)举办。

(2) 确定全国大学生化学实验竞赛的主办方为教育部高等学校化学教育研究中心和教育部高等学校国家级实验教学示范中心联席会。

(3) 成立了竞赛委员会,确定了竞赛委员会主任、副主任、秘书长和委员。

(4) 将赛事分成初赛和决赛两个阶段,初赛以省为单位,称为全国大学生化学实验竞赛省赛区比赛,初赛后决赛由申办成功的承办高校组织实施。

(5) 确定第13届全国大学生化学实验竞赛总决赛于2024年8月15日至18日在山东大学济南校区举行,由于今年某些省的化学实验竞赛冠名为决赛,因此本届决赛暂时命名为总决赛。参赛学生来源分成两类:第一类是来自北京大学、清华大学等30所拔尖基地高校+2所化学基地高校(中国农业大学和中国海洋大学)+4所强基计划高校(北京理工大学、东南大学、中南大学、西北工业大学)+2所以前一直被邀请参加邀请赛的高校(山西大学、黑龙江大学)共38所高校;第二类是今年举办省级比赛或曾经举办过省级赛事的省份选拔推荐高校。每个学校最多选派两名学生分别参加无机及分析化学实验和有机化学实验,第一类高校参赛学生通过抽签确定,第二类由省级比赛自动选拔产生,参赛名额决定于省赛参赛学校数和参赛学生数。

(6) 决赛内容分为实验理论考试和实验操作考试两部分,实验操作考试由原来的无机及分析化学实验、有机化学实验和物理化学实验精简为无机及分析化学实验和有机化学实验两类,将物理化学实验和仪器分析实验的内容融合到两类实验中。

(7) 确定2026年第14届全国大学生化学实验竞赛决赛由北京师范大学承办,具体时间及是否还称总决赛待定。

总决赛报到当晚,由竞赛委员会主任主持召开了竞赛委员会成员首次见面会,竞赛委员会秘书长对竞赛的发展作了简要说明,本届总决赛组委会负责人汇报了总决赛的准备情况。会议决定成立由教育部高等学校化学类专业教学指导委员会秘书长、教育部高等学校国家级实验教学示范中心联席会化学化工学科组组长、本届总决赛竞赛委员会秘书长和本届总决赛命题组组长四人组成的考试督导组,全程监督操作考试、评分细则制订、成绩核定、各奖项的确定等环节,以保证竞赛的公平

公正。会议重申，由于化学实验竞赛考查的是学生连续2-3年化学实验(包括基础化学实验、仪器分析实验、综合化学实验等)总的训练成效，不是一个或少数几个教师短时间内的教学成果，因此总决赛延续往届邀请赛的惯例，获奖证书不出现指导教师单位和姓名。

总决赛共有来自全国128所高校的173位学生参加，原定人数为174双数，其中一名学生赛前突然生病，无法参赛。本次比赛除实验理论考试和实验操作考试外，还增加了实验室安全准入过关考试，未通关的学生不准进行后续比赛，从而提高了学生的化学实验安全意识，也为比赛安全起到了一定的保障。安全通关后，所有学生参加下午的实验理论考试。赛前已将同一高校的两名学生和同一省赛区来自不同高校的学生均分为两组，实验操作考试当天一早，通过抽签确定两组学生的考试内容。

竞赛组委会特意为本次决赛设计了会标(图1)。



图1 第十三届全国大学生化学实验竞赛总决赛会标

会标为圆形，分为内外两部分。其中内圆上半部为汉字“山”的变形，既代表山东大学又代表五岳之尊泰山，两边加上了两个平盘，整体看起来像个天平，既关联化学实验又蕴含了公平公正的比赛宗旨，同时也是“十”字的拓展；内圆下半部三个波浪图形既代表“三”，又代表天下第一泉趵突泉的三股泉水，还代表黄河，山东大学(现济南校区)坐落于泉城济南，北临黄河，南望泰山，位于山水之间，动感的三条波浪蕴含了“一生二，二生三，三生万物”朝气蓬勃生生不息的思想，意味着全国大学生化学实验竞赛越办越好；整个图案看起来像个“十三”，代表了第十三届全国大学生化学实验竞赛总决赛。图形外圈上部标注了“第十三届全国大学生化学实验竞赛总决赛”，下部注明了比赛年份和地点。

为了方便参赛学生和参会教师摄影留念，还特意在主会场楼前设计构建了打卡点，如图2。



图2 第十三届全国大学生化学实验竞赛总决赛打卡处

经竞赛委员会讨论决定，本届总决赛学生成绩由两部分组成，理论考试占20%，操作考试占80%，安全过关考试不占成绩。获奖比例为一等奖20%，二等奖30%，其余为三等奖，但对于实验中出现重大安全事故和未按要求完成实验的学生不给予奖励。参加无机及分析化学实验和有机化学实验的学

生获奖比例对等, 实际获奖人数为: 一等奖各18人(占比20.8%), 二等奖各26人(占比30.0%), 三等奖各36人(占比41.6%), 有13人(占比7.5%)因未完成规定实验从而未获奖。

继承往届邀请赛惯例但又有所发展, 本次总决赛考试分为化学实验室安全过关考试、实验理论考试和实验操作考试三部分, 分别考查选手对化学实验室安全知识、实验基础理论知识、实验规范等知识的了解和掌握, 重点考查学生的实验基本操作、实验安排和设计、实验现象的观察和记录、常规实验仪器的使用和数据的采集与处理、分析解决问题等能力。无论实验理论考试还是实验操作考试, 难度偏大, 区分度较大, 适赛性较强, 符合往届全国大学生化学实验邀请赛的竞赛宗旨^[2]。

2 试题说明及理论考试试题分析

按照新制订的总决赛竞赛大纲要求, 参考往届邀请赛试题题型及考试内容^[2], 结合《化学类专业教学质量国家标准》^[3]和化学专业教学基本要求, 对实验理论试题和实验操作试题进行分组命制。实验理论试题由无机及分析化学实验、仪器分析实验、有机化学实验、物理化学实验课程负责人联合命制; 无机及分析化学实验和有机化学实验操作试题分别由这两个实验课程组的部分教师联合命制, 并反复进行实验探索, 不断修改完善实验的具体内容和条件, 然后在签订保密协议下, 经部分研究生多次重复, 最后才确定考试内容。新增的安全过关考试由欧贝尔软件公司负责构建, 试题类型及内容由总决赛命题负责人审核通过。

实验理论试题主要涵盖化学实验室安全、无机化学实验、分析化学实验、有机化学实验、物理化学实验的基本理论和基本操作、现代基础化学实验和仪器分析实验常见仪器的使用、实验数据的处理及误差分析等。无机及分析化学实验和有机化学实验均包含物质的制备、产物的分离提纯和成分分析, 相关试题分析另外撰文说明。下面仅对实验理论考试进行分析说明。

实验理论考试时间为2小时, 题型为单项选择题, 共100道题, 每题1分, 总分100分。涵盖化学实验室安全常识及应急处理、无机化学实验基本操作和知识、化学分析和仪器分析基本操作和知识、有机化学实验基本知识、物理化学实验基本操作和知识。由于操作考试为无机及分析化学实验和有机化学实验, 其中无机及分析化学实验主要是无机物的制备及成分分析, 涉及的分析实验内容不多, 所以在实验理论考试中化学分析、仪器分析和物理化学实验的基本操作和知识占比较大。各部分内容占比约为: 化学实验室安全16%, 无机化学实验20%, 化学分析实验35%, 仪器分析实验6%, 有机化学实验5%, 物理化学实验18%。

实验理论试题中化学实验室安全和无机化学实验内容都是化学专业学生必需熟练掌握的基本知识和操作, 相对简单, 但化学分析、仪器分析和物理化学实验综合性较强, 既有简单的基本操作和知识, 也有难度较大、综合性较强的题目, 除了考查学生的基本实验技能和常识外, 还要考查学生综合分析问题、解决问题的能力。

化学实验安全知识是化学专业学生必需掌握的基本常识, 也是历届化学实验邀请赛必考内容。本届总决赛中, 除了安全过关考试外, 实验理论考试中也对防火及灭火(1-5题)、个人防护(6-9题)、试剂安全储存(11-15题)进行了考查, 另外还考查了钢瓶的使用(第10题)和玻璃仪器的加热(第16题)。

无机化学实验主要考查仪器洗涤(17-19题)、试剂的处理与选择(21, 22题)、固液分离中的常压过滤、减压过滤、干过滤(20, 21, 25, 26题)、试剂的分类、干燥和取用(28, 29, 34-36题)、冷却和加热操作(31-33题)和反应容器的选择(33题)。这些题目涉及内容都是基础化学实验最常用的操作和知识, 不偏不难。

化学分析实验内容覆盖面较广, 涉及分析化学中样品处理、滴定分析、重量分析、光度分析和数据分析及处理等主要知识点, 包括基础化学分析实验中常用仪器的使用(37-40题)、样品处理、称量和溶液配制(46, 47, 57, 58题)、酸碱滴定分析(41-45题, 48-50题)、络合滴定分析(51, 52题)、氧化还原滴定分析(53-55题)、沉淀滴定分析(56题)、重量分析(59, 60题)、定性分析(61题)、光度法分析(62题)、数据分析及处理中的误差性质、有效数字、置信度/置信区间和显著性检验(63-68题)。

仪器分析实验主要考查基础仪器分析实验的原理、实验技术和应用,包括多种电化学分析法的特点(68, 69题)、原子发射光谱法定性分析的依据(71题)、红外吸收光谱法中基团特征频率的识别(72题)、紫外-可见吸收光谱法的原理(73题)、 ^1H 核磁共振波谱法中化学位移产生的原因(74题)、质谱图的解析(75题)、气相色谱分析中检测器的选择(76题)和液相色谱分离中色谱柱柱效的优化(77题)。

有机化学实验考查内容较少,主要涉及有机物分离中最常用的常压蒸馏和减压蒸馏(78, 79, 82题)、有机物的提纯脱色(80题)和有机物的区分(81题)。

物理化学实验主要考查电化学实验中电源的选择(83, 84题)、电池电动势的测定原理(85题)、雷诺曲线的校正方法(86题)、黏度法测定高聚物的摩尔质量(87, 88题)、有机物浓度的测定方法(89题)、盐桥中电解质的选择(90, 91题)、pH计的工作原理(92题)、溶液表面张力的数据处理(93题)、双液系相图的分析(96题)、溶胶纯化中半透膜的使用(97, 98题)、B-Z振荡反应(99题)和蔗糖转化中旋光度的测定及实验原理分析(94, 95, 100题)。

3 实验理论考试答题情况与成绩分析

在实验理论考试中,绝大多数学生能在规定时间内完成答卷。成绩分布和各题正确率如图3和图4所示。

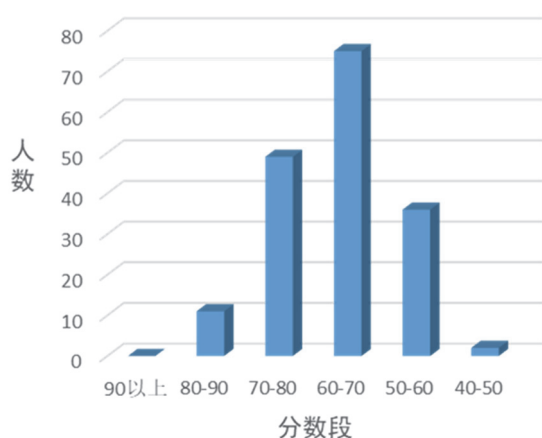


图3 实验理论考试成绩分布图

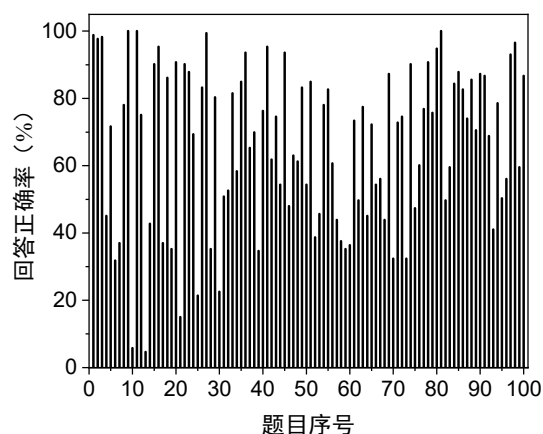


图4 实验理论考试各题正答率

从成绩分布图3可以看出,及格以上的学生为135人(占比78%),不及格的学生为38人(占比22%),80-89分的只有11人,70-79分的49人,60-69分的75人,数据呈现良好的正态分布,但没有学生可以考到90分以上,说明学生能掌握大部分化学实验的基础操作和知识,但有些需要综合分析才能得出答案的题目掌握不牢。这也对实验教学内容和方法提出更高的要求,同时也对学生如何进行化学实验训练和学习,特别是综合分析问题的能力提高提出了新的挑战。

从图4各题正答率可以看出,有15个题正答率超过90%,但也有个别题目正答率低于10%。其中第1题是人们必需掌握的火警电话119,竟然还有2人答错,非常罕见。正答率最低的是第10题和第13题,第10题是考查钢制无缝气瓶的使用年限,正确答案是C 30年,只有10位学生答对,说明学生对钢瓶使用的注意事项不是很清楚,可能的原因是气体钢瓶使用几率较少;第13题是考查固体试剂的易燃性,问下列物质不属于易燃固体的是,四个选项分别是A镁粉、B铝粉、C硝化纤维、D钠块,多数同学选择的是B铝粉和C硝化纤维,A镁粉易燃烧这是常识,既然镁粉易燃烧,同理B铝粉也应该易燃烧才对,再进一步思考,C硝化纤维不是块状固体,和空气接触面积大,同样也应该易燃,所以正确答案只能是D钠块,虽然金属钠是活泼金属,易被空气中的氧气氧化,但钠块与空气接触面积小,

反而不宜点燃,这也反映了学生对实验室安全常识掌握不牢,同时也反映出学生触类旁通、举一反三的思维能力较弱。第21题正答率也比较低,只有21位学生答对,题目考查在 KMnO_4 制备中,碱性 K_2MnO_4 溶液通入 CO_2 歧化生成 KMnO_4 溶液和 MnO_2 沉淀,过滤除去 MnO_2 沉淀需要选择的漏斗,四个选项分别是A短颈漏斗、B长颈漏斗、C石棉纤维漏斗、D玻砂漏斗,由于 KMnO_4 溶液具有强氧化性,不可能用带滤纸的普通漏斗过滤,这就排除了A、B两个选项,由于 K_2MnO_4 生成的 MnO_2 沉淀很细,如果用D玻砂漏斗容易堵塞,很难过滤,所以选项应该是C石棉纤维漏斗,这个题目同样反映出学生分析问题的能力尚有不足。仪器分析实验理论题目的第70题和第73题正答率都只有32%,其中第70题考查的是四种电分析化学方法的理论基础,选项C库仑滴定法的定量依据是法拉第定律,属于绝对定量分析方法,因此不需要使用标准物质。即使未操作过该方法,用排除法也可推出正确答案。第73题涉及光度分析中的比色法,因不借助分析仪器故不能称作分光光度法,该题反映出学生对某些知识点缺乏正确的分析和理解。第93题正答率为41%,该题考查溶液表面张力实验中等温线的绘制,其中 $\sigma-c$ 和 $\Gamma-c$ 关系图为曲线, $c/\Gamma-c$ 关系图为直线,并未涉及 $\ln\Gamma-c$ 关系图,虽然该实验数据处理中的公式推导过程较为繁琐,但在一定程度上也反映了学生对数学公式的不敏感。

4 结语

第13届全国大学生化学实验竞赛总决赛已圆满结束。本次实验理论考试反映出学生对记忆性的实验基础理论知识和基本操作掌握较好,但对需要思考、分析、推理才能得出答案的题目容易出错,这也提示在将来的化学实验教学中,要强化学生综合、归纳、演绎、创新思维能力的训练。

参 考 文 献

- [1] 李恺, 韩润平, 王瑞勇, 武杰, 余旻, 周立鹏, 关新新, 赵旭波, 闫学斌, 郝新奇, 等. 大学化学, **2022**, *37* (2), 2019116.
- [2] 王秋长, 吴世华, 赵鹤喜. 大学化学, **2002**, *17* (1), 51.
- [3] 教育部高等学校教学指导委员会. 普通高等学校本科专业类教学质量国家标准. 北京: 高等教育出版社, 2018.