



工程测量实验室安全隐患分析及对策

杨正丽^{1,2}, 曹以¹, 万里¹, 赵璐¹, 鲁恒¹, 蔡诗响¹

(1. 四川大学水利水电学院, 成都 610065; 2. 四川大学水力学与山区河流动力开发保护国家重点实验室, 成都 610065)

摘要: 实验室安全隐患分析是持续提升工程测量实验室安全管理水平的重要依据。针对工程测量实验室人流量大、仪器设备精密贵重、内外业实验环境要求特殊、管理专业性强等特点, 结合四川大学实际情况, 提出基于 4M 因素的基本理论, 分别从实验人员、仪器设备、环境、管理 4 个维度对引起安全隐患的因素进行分析, 总结出防患于未然的 3E 对策(工程技术、教育培训、规章建制)。经过 3 年多实践证明, 采用该模式开展安全隐患排查治理工作, 不仅可以有效提高实验室的安全系数, 而且可以提升教学质量和实验人员整体素养。

关键词: 实验室安全; 4M 因素; 3E 对策; 创新实践; 工程测量

中图分类号: TP75

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20210054

Potential Risk Analysis and Countermeasures in Engineering Measurement Laboratory

YANG Zhengli^{1,2}, CAO Yi¹, WAN Li¹, ZHAO Lu¹, LU Heng¹, CAI Shixiang¹

(1. College of Water Resource and Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Potential risk analysis is an important basis for continuously improving the safety management level of engineering measurement laboratories. Given the characteristics of engineering measurement laboratory such as large flow of people, precision and precious equipment, special requirements for internal and external experimental environment, and strong management expertise, this paper puts forward a basic theory of 4M factors combined with the actual situation of Sichuan University. Analysis is conducted from the four factors of experimenter, equipment, environment, and management that cause potential risks, and 3E countermeasures (engineering technology, education, and enforcement) are summarized. After more than three years of practice, it has been proved that the use of this model to carry out potential risk investigation and management can not only effectively improve the safety factor of the laboratory, but also improve the quality of teaching and the overall quality of the experimenters.

Key words: laboratory safety; 4M principle; 3E countermeasures; innovative practice; engineering measurement

高校实验室的安全是广大师生人身安全和教学科研的重要保障^[1]。教育部在 2020 年专门发布了教科技厅函〔2020〕26 号《教育部办公厅关于做好 2020 年度高等学校科研实验室安全工作的通知》, 对高校的实验室安全建设提出了具体的要求。工程测量实验室是全国上百所高校用于开展工程测量学相关教学与科研的重要场所, 其安全管理水平的持续提升是顺利开展实验活动的前提, 也是各高校测量实验室管理中普遍关注的焦点^[2]。

多年来, 国内外高校实验室普遍采用的安全

管理方法主要有 4M 因素理论、3E 对策法、4M1E 法、4M-C-I 法、EHS 法、PDCA 法、BOW-Tie 等^[3], 其中, 4M 因素理论主要用于安全隐患因素分析, 3E 对策法主要针对存在的安全隐患进行排查处理。到目前为止, 专门针对工程测量实验室安全管理方面的文献较少, 尤其针对安全隐患因素分析和安全排查处理的研究则更少。对比化学、生物、石油等高风险的实验室, 工程测量实验室人员往往容易麻痹大意, 认为安全事故是小概率的事件, 重视教学科研问题而忽略非常重要的安全

收稿日期: 2021-01-30; 修回日期: 2021-04-20

基金项目: 四川大学新世纪教改工程第九期研究项目(CWRH0911); 四川大学校级实验技术项目(SCU201112)。

作者简介: 杨正丽(1980-), 女, 博士, 讲师, 主要从事工程测量实验教学研究与实验室管理工作。

通信作者: 曹以(1978-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事水利水电工程实验中心管理工作。E-mail: 12156549@qq.com

隐患问题。事实上, 工程测量实验室往往存在着人流量大、仪器设备精密贵重、内外业实验环境要求特殊、管理专业性强等特点, 因此针对安全问题采取积极的预防手段和措施, 将4M因素理论和3E对策法融合使用, 防患于未然, 是值得深入分析和研究的一种创新型安全管理模式。

1 4M致因基本理论的发展动态

早在1919年, 就出现了事故致因理论, 后来人们逐渐认识到导致事故的原因不仅仅是单一因素, 而是由不断增多的复杂因素导致而成的^[4]。1941年美国著名安全工程师海因里希(Herbert William Heinrich)提出了“海因里希因果连锁理论”^[5]。经过多年应用与演变, 该理论衍生出类似于4M、4M1E、4M-C-I等现代安全隐患致因理论。4M分别代表着: 人(Men)的不安全行为、机(Machine)的不安全状态、管理(Management)措施不到位、环境(Medium)因素不佳^[6]。虽然4M理论进入中国的时间不长, 但4M理论却在国内安全管理领域得到了广泛的推进。2007年, 文献[7]尝试将4M理论与PDCA融合使用在建筑安全生产管理工作^[7]。2011年, 文献[8]提出从4M角度建立遵循PDCA运行模型的煤矿本质安全管理体系。2015年, 文献[9]借助“4M”因素理论, 研究国库资金安全管理。2018年, 文献[10]运用4M因素理论, 分析户外广告质量安全事故的原因, 阐述加强户外广告质量安全风险监管的重要意义。2020年, 文献[11]基于4M要素对电气设备运行安全问题开展了初步分析。

2 实验室安全管理“3E对策”

实验室安全防范的“3E对策”即工程技术对

策(Engineering)、教育对策(Education)、规章建制对策(Enforcement), 由海因里希于1931年提出^[12]。2012年, 文献[13]从技术的角度, 以“牛腿”施工的安全技术验证过程为例, 说明在施工过程中安全技术对策的应用。2014年, 文献[14]研究认为, 如果能依靠“3E对策”, 则可以在一定程度上控制民用燃气事故发生的概率, 控制事故发生的频次。2018年, 文献[15]采用“3E对策”的思想对安全管理中存在的缺陷进行改进。

综合上述, 4M与其他安全管理方法的融合使用是其发展的方向, “3E对策”将逐渐应用于国内实验室的安全隐患防范工作中。本文将4M安全隐患分析与“3E对策”融合应用到工程测量实验室的安全管理中, 经过3年多的探索与实践, 研究结果表明, 4M致因基本理论可以为安全管理提供基础, “3E对策”是解决安全隐患的有力工具, 两者融合使用, 可以从根本上提高工程测量实验室的安全管理水平, 为类似实验室的安全管理提供一些新思路。

3 安全隐患防控措施的具体实施

四川大学工程测量实验室始建于1954年, 主要服务于全校土木类、水利类、工程管理、工程造价等多个专业测量实习、大学生创新创业、学术社团、生产实习等实践教学环节。其中工程测量和建筑测量为必修理论课程, 工程测量综合实习和测量实习为必修实践课程, 每年春季有600名左右本科生参与必修课程的学习; 而每年秋季选择3S技术在水利工程中的应用、地球空间信息探索等选修课程及科研训练的学生人数达到200多人。2016—2019年工程测量实验室的基本情况如表1所示。

表1 工程测量实验室基本情况表

学年	人			机			管理	环境
	必修/人	选修/人	科研训练/人	水准仪/台	电子经纬仪/台	全站仪/台		
2016—2017	557	244	30	15	9	6	管理制度较少, 且不是同年份的, 设计规格不一	实验室面积: 59 m ² , 位于江安校区综合楼负一楼; 野外试验场地离实验室较远, 测区内地物单调, 所经区域道路狭窄
2017—2018	616	246	35	29	14	10	安全管理措施单一, 监督力度不够	实验室面积: 151 m ² , 新增一部分位于旧房四合院的一楼和二楼; 野外试验场地离实验室远近兼备, 测区内地物类型丰富
2018—2019	624	251	43	60	14	36	安全教育主要以线下为主, 时间和场地要求高, 培训内容偏理论知识, 不易牢记	实验室面积: 79 m ² , 因水电基地改建, 物品临时堆放于其他实验室; 野外试验场地离实验室较近, 测区内地物类型丰富且道路宽阔

3.1 4M 实验安全隐患排查

工程测量实验室历来很受学校和学院的重视，每年均根据学生人数和教学计划的调整情况，给予了不同程度的管理支持和经费投入。但是由于学生人数逐年增加和学校整体规划建设的改变，工程测量实验室依然存在着一定的安全隐患，结合表 1，依靠 4M 安全致因理论，具体分析如下。

1) 人的不安全行为。从参加测量实验的学生人数看，每年参与必修课为 600 人左右，选修课在 200~300 人之间，并且呈现出逐年递增的趋势。如果按照一个小组 3~5 人进行分组实验，每年就有 100 多个组次到实验室借还仪器，这必然导致实验周期较长，进出测量实验室的人员频率较高；另一方面，实验室面积最小的时候，仅为 59 m²，相对学生人数而言，人均使用面积十分狭小。学生借还仪器时，往往来也匆匆，去也匆匆，悬挂在墙上的安全制度和操作规程往往只能被学生一瞥而过，来不及细看，从而导致安全知识匮乏、安全意识降低。

2) 机的不安全状态。用于工程测量实验的仪器设备，大多是精密贵重的光学仪器，存储及使用不当极易损坏，日常养护过程中需防潮防霉，如长期堆放在较为潮湿的底楼，仪器设备易受潮生锈；而最适合霉菌生长的温度是 25℃~35℃ 之间，12℃~17℃ 生长缓慢，如设备存放地为顶层，长期温度较高更容易生长霉菌，导致光学仪器镜面滋生菌丝而无法观测。因此，测量仪器良好的存放楼层为中间楼层。电子元件为主的仪器设备，时常需要充电，如果充电完毕后，不注意拔除电源，极易导致线路短路。与测量仪器配套使用的脚架、对中杆、觇标等，大都有锋利的边界和棱角，极易碰伤和划伤使用者，造成机械伤害，如图 1(a)所示；而水准尺、花杆等配件长度基本大于 1 m，搬运的过程中极为不便，容易磕碰到附近的使用者，如图 1(b)所示。由于实验室空间狭窄，为了优化存储空间，提高实验室的利用率，往往需要放置高大的储物架在实验室内，这样的弊端就是容易发生高处坠物，如图 2 所示。

3) 管理措施不到位。工程测量实验室由于成立的年代较早，虽然安全管理措施相对成熟，但是仍然存在很多不足。实践课程一直是学时紧张

的状况，很难有时间集中而系统地给学生宣传安全知识。由于学生人数总体众多，实验频率高，往往将大量的时间用于注重培养学生专业实践能力而降低安全监督力度。因此管理措施仍需改进，尤其是在精细化管理方面，需要借鉴一些现代化的管理方法，并且建立实验室安全管理的长效机制，提高师生的安全意识。



图 1 不安全的仪器配件



图 2 高大的配件存储架

4) 环境因素不佳。出于用房面积紧张和便于学生开展实验两方面原因的考虑，测量实验室在很长一段时期里，不得不安置在负一楼和狭窄的空间内。这样的弊端很明显，就是存储环境相对较差，大量的仪器设备挤在一起，实物密度增大的同时，可用于人员疏散的空间必然变窄，消防通道也随之被迫压缩。

野外实验的场地方面，由于开展测量外业实验的测区范围往往较广，学生活动幅度较大，按

照测量实践课程教学大纲的要求, 需选择不同种类的地物进行测量, 如水系、阶梯、建筑物、起伏的地形等, 这样的环境组成结构复杂, 学生在实验的过程中, 往往容易出现失足、跌倒等情况。另一方面, 野外实习的周期长, 会遇到不同天气状况, 如突然降雨, 学生必须马上给仪器设备和自己撑伞, 或者收仪器, 因事发突然, 难免手忙脚乱, 这也在一定程度上提高了测量实习的难度, 加大了安全隐患的出现。

3.2 工程技术对策

工程测量室实验室几经搬迁, 建成现有规模, 每次搬迁前后及使用过程中, 制定方案时考虑最多的因素还是安全问题。对于江安校区综合楼这部分的实验室, 是2006年从望江校区搬迁至江安校区的, 搬迁的主要原因也是减少学生乘车时间防止出现交通安全隐患。综合楼测量实验室空间虽然狭窄, 但因毗邻宽敞的阶梯教室, 可作为室内演示的主要场所。从2020年10月开始, 实验人员开始着手将水电基地测量实验室从2号楼1层搬迁至1号楼2层, 从工程技术角度出发, 以尽量扩大人员活动空间为原则, 从而减少人与人、人与物、物与物相互碰撞的几率, 开展了多种方案的预设计, 如图3所示, 绘制出多张CAD比较设计方案图以供筛选。

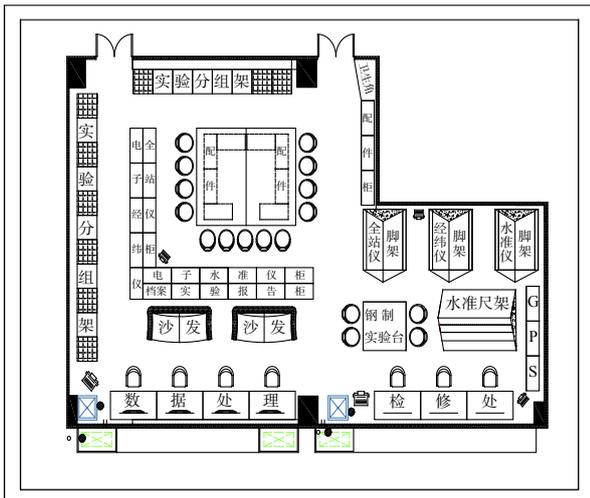


图3 新建实验室预设计(比较方案)

在筛选推荐方案时, 充分考虑到安全距离、消防疏散空间、取用便捷性3方面的因素, 如将高大的实验报告柜从图3中间位置, 挪到靠墙的位置, 这样既便于疏散人员, 又便于取用资料。经过多方咨询和现场测试, 最终筛选出一种方案作为推荐方案, 如图4所示。

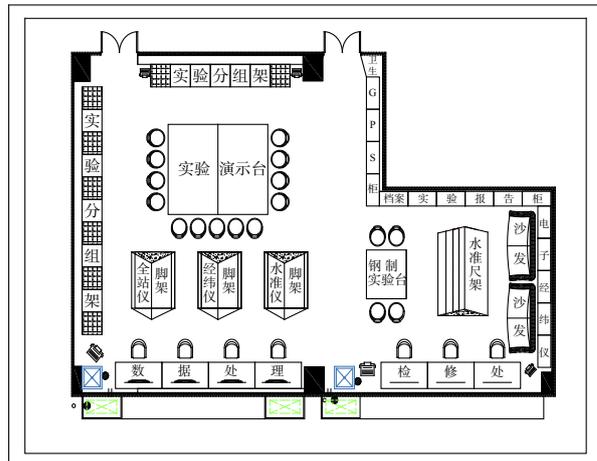


图4 新建实验室预设计(推荐方案)

3.3 安全教育对策

关于安全教育方面, 本模式结合工程测量实践课程的实际情况, 主要从以下3个方面进行改进。

1) 宣传资料标准化。校级安全展板采用统一的四川大学名称及LOGO; 院级展板采用统一的水电学院名称及LOGO, 统一设计风格, 以图片为主, 减少文字占比, 室外展板位于学生来往实验室外必经的过道墙面上, 室内展板位于显眼处。同时基于微信公众平台、学习通、QQ群等线上工具, 推送各种安全知识、安全案例、心得体会等资料, 让安全教育能够线上线下相结合, 不断提高安全防患意识, 规范操作仪器设备, 减少各种意外伤害。

2) 安全教学课程系统化。展板、课堂教育、线上视听三大安全教学课程模块构成一个完备大系统, 每个模块的内在结构也形成健全的小系统, 安全知识丰富而先进, 能完整呈现出测量实验室的专业特点, 将安全知识与测量技能有机地结合在一起, 不断更新安全教学知识以满足学生的求知需求。

3) 安全教学内容趣味化。精选每个教学内容, 尽可能地避免乏味的条条款款和晦涩的术语, 适度增加简图、案例、表格, 线上教学内容多以视频资料为主, 每个视频资料持续时间较短, 大多为5~10分钟, 素材不限于测量实验相关的内容, 也有实验室的管理案例和经验。线下尽量保证每个学生每年参加1~2次的安全系列讲座。实践证明, 学生通过线上预先了解安全常识, 再参与具有专业特点的测量实验室安全培训, 且培训时间为每次测量实验开始之前效果较好。这样利于帮助学生实现课前思维能力的训

练, 课中践行正确的操作规程, 课后升华安全理念。

3.4 规章建制对策

针对工程测量实验室存在的 4M 安全隐患因素, 首要提出安全管理方面的措施并落实到每一个精细化管理子项之中。关于学时紧张的问题, 实验室采取流程化管理, 如学生排队进入实验室, 组长签到完成后即通知下一个组的学生排队准备, 本组组员则陆续进入实验室领取设备, 进出均为一列, 不得并排进入。交叉出入实验室, 既节约了时间又可减少空间冲突。为了提高监督力度, 则要求学生进出实验室需要登记, 在每件物品上编上该组的组号, 如图 5 所示, 哪件器材如有损坏, 即可根据编号溯源, 找到该组成员, 从而迅速找到责任人。



图 5 仪器管理图

4 安全隐患治理成效探讨

通过 3 年多的实践, 在学校和学院的大力支持下, 现已阶段性地完善了工程测量实验室的安全隐患整治工作。实践表明, 在实验室正常运行过程中应时刻注意防范安全隐患, 争取“把事后处理”提前到“事前预防”和“事中监督”上来, 做到防患于未然。整治后的实验室便于仪器存储, 既能提高仪器的使用效率, 又能大大提高实验人员使用器材的安全性。综合分析实验现场情况、仪器状况、学情分析、成果提交情况、评教满意度、实习综合成绩等方面, 对开展该安全管理模式的前后情况进行对比, 实验室的各项指标明显优于实践前, 说明该模式的实践效果良好, 具有一定的推广应用价值。

5 结束语

工程测量实验室的安全管理是一项任重而道远的工作, 不能一蹴而就。在工程测量实验室安

全管理过程中, 应从专业特点出发, 结合实践课程教学的实际情况, 不断探索创新, 必然能防微杜渐。本文提出的通过深入分析 4M 安全隐患致因状况, 将“3E 对策”实实在在地落实到每一个安全精细化管理子项中, 是一种从实验室安全管理基本理念的角度来理性认识工程测量实验室安全管理问题, 以期该安全管理模式能为类似工程测量实验室的安全管理提供一些借鉴作用。

参考文献

- [1] 叶剑新, 骆轶姝. “双一流”建设背景下高校实验室安全管理对策探讨[J]. 纺织服装教育, 2019, 34(3): 280-282.
- [2] 邵维超, 黄刚, 安建强, 等. 高校实验室管理的问题及对策研究[J]. 教育现代化, 2017, 4(45): 366-368.
- [3] 郭成义, 朱鹏飞, 卿大咏, 等. 高校化学实验室不安全因素分析及 3E 对策[J]. 实验科学与技术, 2015, 13(1): 213-215.
- [4] 覃容, 彭冬芝. 事故致因理论探讨[J]. 华北科技学院学报, 2005, 2(3): 1-10.
- [5] 杜莉莉, 郑前进, 姜喜迪, 等. 基于海因里希事故致因理论的高校实验室安全管理[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(8): 257-260.
- [6] 王纯. 基于人的不安全行为的地铁施工安全管理研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2015.
- [7] 谢英豪. 4M 不安全因素与建筑安全管理 PDCA 循环工作方式[J]. 广东科技, 2007(10): 300-302.
- [8] 吴金刚, 郭军杰. 基于 4M 的煤矿本质安全管理体系建设探讨[J]. 中州煤炭, 2011(3): 104-105.
- [9] 刘婷婷. 基于“4M”要素理论下国库资金安全管理探讨[J]. 金融经济(理论版), 2015(4): 212-214.
- [10] 夏晓青, 金耀华, 陈云. 浅析基于 4M 致因理论下的户外广告质量安全风险现状——以扬州市为例[J]. 教育教学论坛, 2018, 386(44): 101-102.
- [11] 马红, 曾雁鸿, 马桂芬. 浅析基于 4M 要素的电气设备运行安全[J]. 电器工业, 2020(6): 60-62.
- [12] 赵亮, 李妍. 高校科研实验室安全管理模式与实践[J]. 科技与创新, 2017(18): 81-82.
- [13] 李朵. 由“牛腿”施工安全技术论证浅谈“3E”对策之技术[J]. 河南水利与南水北调, 2012(20): 84-85.
- [14] 杜世云. 依靠“3E”对策控制民用燃气事故[J]. 才智, 2014(35): 373.
- [15] 姜涛, 卢勇. 实验室安全管理措施的缺陷分析[J]. 山东冶金, 2018, 40(4): 71-72.