# 基于矿冶工程典型风险场景的低空安全管理人才培养

徐鹏[1]，贺跃光[1]，王家福[1]，苗则朗[2]，程彪[3]
1. 长沙理工大学航空工程学院，湖南 长沙 410114
2. 中南大学地球科学与信息物理学院，湖南 长沙 410083
3. 湖南省第三测绘院，湖南 长沙 410114
DOI: 10.61369/RTED.2026160036

**摘　　要：** 低空经济的高速发展催生了大量专业化安全管理岗位需求，国内现有低空人才培养体系却存在显著的结构性缺陷。现阶段高校相关专业教学忽视系统安全治理思维的养成，课程体系碎片化、综合性实践教学缺失，难以适配复杂工况下的低空安全管控岗位要求。矿冶低空作业易受导航盲区、电磁扰动与复杂地形制约，各类风险交叉耦合，安全管控与职业伦理需贯穿工程全流程。本文立足矿冶复杂作业场景的风险机理，构建“场景特征—能力要素—课程体系”的联动转化框架，提出“环境认知、态势研判、系统控制、价值内化”四阶递进的人才培养范式，相应改革路径为低空安全领域复合型人才的规范化培养提供理论支撑与实践借鉴。

**关 键 词：** 矿冶工程；低空安全管理；风险情境；人才培养；四维融合

# Cultivation of Low-Altitude Safety Management Talent Based on Typical Risk Scenarios in Mining and Metallurgical Engineering

Xu Peng[1], He Yueguang[1],Wang Jiafu[1], Miao Zelang[2] ,Cheng Biao[3]
1 School of Aeronautical Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114
2 School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha, Hunan 410083
3 The Third Surveying and Mapping Institute of Hunan Province,Changsha, Hunan 410114

**Abstract:** Booming low-altitude economy creates huge demand for professional safety management positions, while China's current low-altitude talent training system suffers obvious structural drawbacks. Existing university programs neglect to cultivate systematic safety governance thinking. Fragmented course settings and insufficient integrated practical training cannot satisfy post requirements for low-altitude safety control under complex working conditions.Low-Altitude missions at mining-metallurgical sites face navigation blind spots, electromagnetic disturbances and rough terrains, with various risks overlapping mutually. Safety management and professional ethics must run through the whole engineering process. Focusing on risk mechanisms of complicated mining-metallurgical scenarios, this paper builds a conversion framework linking scenario features, competency components and curriculum system. It puts forward a four-level progressive training mode: environmental awareness, situation judgment, system control and value internalization. The proposed reform approaches provide theoretical basis and practical references for standardized training of interdisciplinary low-altitude-safety talents.

**Keywords:** mining and metallurgical engineering; low-altitude safety management; risk scenarios; talent cultivation; four-dimensional integration

## 引言

2024至2026年，低空经济连续三年被纳入政府工作报告，2026年更是被国家正式定位为战略性新兴支柱产业，其长效稳健发展离不开健全的安全管控体系作为支撑保障[1]，当下低空安全方面的短板已经束缚行业进一步发展[2]，仅依托技术或管理制度难以妥善化解

项目信息：
国家自然科学基金（42504018）；
湖南省普通本科高校教学改革研究重点项目（202502000427）。
作者简介：徐鹏（1978—），男，江西南昌人，副教授，研究方向为低空技术与工程应用、地理信息系统工程，E-mail:xupeng@csust.edu.cn。
通信作者：苗则朗（1988—），男，安徽砀山人，博士，副教授，研究方向为遥感解译和灾害风险评价。E-mail:zelang.miao@csu.edu.cn。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

各类安全问题，需要统筹技术、工程、管理、安全四项内容协同落地。矿冶行业是实体经济的关键组成部分，井下巷道交错密闭、电磁干扰突出、生产工序多线并行等复杂工况[3]，使得低空技术装备在此类场景的落地难度远超普通空域环境[4-5]。本文分类梳理矿冶工程领域各类典型低空安全风险场景，总结不同风险情境对从业人员安全管控能力需求，搭建风险情境、能力要素与课程体系三者的精准对应关系，最终构建可操作性强的低空安全管理人才培养模式。

## 一、矿冶工程中低空应用的典型风险情境

### （一）矿冶工程中低空应用风险情境

低空飞行器相关技术持续落地矿冶生产领域，但矿山现场在空间形态、电磁环境、作业条件上存在高度复杂性，给相关技术落地带来多重现实约束。（1）GNSS 拒止环境自主导航与环境感知场景：和露天开阔空域相比，井下巷道、采空区等受限区域空间狭小、空间拓扑结构复杂，岩体遮挡卫星信号，造成全球导航卫星系统（GNSS）无法正常工作。（2）强电磁干扰环境通信链路稳定性与飞行控制场景：矿区大量变频器、高压输电线路等大功率电气设备持续工作，会形成复杂叠加电磁场。高强度电磁辐射容易干扰无人机导航模块与通信链路，出现图像传输中断、操控指令滞后等现象，极端情形下造成飞行器定位偏移。（3）极端工况下载荷作业与本质安全管控场景：重载无人机在高差显著的地形开展起降作业，常会面临动力储备不足、载荷分布失衡、近地紊流扰动等难题；当作业区域存在瓦斯积聚、高湿、强腐蚀条件时，常规无人机极易产生电火花引燃风险，同时伴随元器件加速损坏等隐患。

### （二）典型风险情境共性特征

不同矿山低空作业场景的事故外在表现存在明显差异，但各类隐患孕育发展的内在机理、安全管控思路具备共通规律。（1）风险诱因呈现多要素耦合特征，演化路径不存在固定次序：安全事故极少由单一条件失效诱发，大多是装备性能缺陷、现场环境突变与操作人员处置偏差相互叠加形成。开展风险管控不宜孤立研判各类影响要素，从全局视角梳理多重诱因串联形成的隐性风险链条尤为关键。（2）现有技术能力存在客观上限：矿区恶劣作业条件下，各类机载装备都有性能局限，巷道结构制约定位精度、矿区电磁干扰通信传输都是客观现实，设备很难实现零故障运行。据此，安全管控要跳出完全依赖技术的误区，立足容错思路搭建冗余备用方案，提前备好故障处置预案。（3）管理疏漏会成倍放大安全风险：相较于直观的设备故障，前期装备筹备疏漏、现场环境预判不足等管理短板更难察觉，造成的后果往往更严重。（4）权责划分不清易催生安全责任缺位：人机环境多方协同作业模式下，飞行员、设备生产方、矿山企业权责边界模糊，极易出现各方推诿、疏于管控的问题。低空安全管控不只依靠实操技术，还要厘清各方安全权责，把安全责任意识融入从业人员日常培养。

### （三）矿冶风险情境对安全管理能力的核心要求

结合矿冶项目技术、现场环境、管理制度深度交织的客观现状，从事低空安全管控的从业人员需要循序渐进养成四项关键能力。（1）系统性安全研判能力：从业人员需要建立全流程安全思维，理清设备选型投产、现场作业运行、后期检修养护的关联逻辑，理解软硬件冗余配置、工序交叉核验、第三方独立督查的应用价值，熟练运用 FTA、HAZOP 等分析工具排查事故诱因。（2）前置化风险预判能力：日常工作中要形成危险源排查、分级评估、趋势预判的完整思路，区分设备、环境、人为三类风险源，结合事故概率和危害程度划分风险等级；立足极端工况推演连锁隐患，提前出台防控举措。（3）跨维度统筹管控能力：从业者既要掌握设备状态监测和故障预警相关技术，细化作业规范与人员考核标准，还要协助完善企业安全权责与安全文化建设，打破单点管控局限，落地全系统综合治理。（4）安全理念践行能力：从业人员需要把安全放在决策首位，在工期、成本和安全冲突时守住红线，落实全员安全生产责任制，依规拒绝不合理的冒险作业指令。四项能力层层递进：系统认知筑牢从业根基，风险预判是管控核心，统筹管控作为落地方法，安全理念则是从业准则的内在支撑，共同构成低空安全管理人员的能力框架。

## 二、“四阶递进”人才培养模式构建

### （一）“四阶递进”培养模式及内涵解析

基于矿冶风险情境的能力启示，结合建构主义学习理论和体验式学习理论[6-7]，提出“四阶递进”的低空安全管理人才培养模式。第一阶段立足场景认知，重在引导学生搭建低空作业安全风险的整体认知体系，重点厘清各类作业环境特点与潜藏隐患类型。第二阶段聚焦风险研判，锻炼学生排查、定级和预判隐患的实操本领，围绕风险甄别、危害分级、事故推演开展学习训练。第三阶段落脚系统管控，引导学生整合技术、规章、组织资源落地防控，针对现存风险拟定对策并形成成套管控方案。第四阶段为安全素养内化，重在塑造从业者的安全行事准则，学会在生产效率和安全矛盾中理性抉择，顶住外界压力恪守安全准则。培养模式前两阶夯实理论方法，后两阶锤炼实操与职业操守，循序渐进完成从掌握安全知识到自觉恪守安全准则的转变。

### （二）与“四维融合”框架的呼应

从培养体系的内在逻辑看，“四阶递进”是与“技术－工程－管理－安全”四维融合体系形成纵向过程与横向内容的双向支撑、彼此制约的耦合关系。两套体系共同搭建起本专业建设的完整闭环架构。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License. 

表1 培养阶段与能力目标对照表

| 培养阶段 | 对应维度 | 能力目标 |
| --- | --- | --- |
| 第一阶：场景认知 | 技术、工程 | 立足矿冶复杂场景，建立对低空技术应用边界与工程环境的整体性理解。 |
| 第二阶：风险研判 | 安全（核心） | 聚焦安全科学维度，运用系统方法对复杂隐患进行识别、量化与评估。 |
| 第三阶：系统控制 | 四维集成 | 打破学科壁垒，综合调度技术、工程与管理手段，输出系统化的治理方案。 |
| 第四阶：价值内化 | 伦理贯穿 | 将安全伦理嵌入各维度，为技术选型、工程实施与管理决策提供价值锚点。 |

“四维融合”为知识体系的系统性构建划定了基本框架，“四阶递进”使培养节奏契合学生认知发展的递进规律，二者一内一外、一体一用，最终实现从知识体系输入到价值素养输出的完整转化。

## 三、人才培养改革路径

### （一）课程体系重构

遵循四阶递进式育人逻辑主线，对课程架构进行系统性优化重组，搭建“平台筑基、模块赋能”一体化课程体系，推动技术知识、工程实践、管理方法与安全素养多维要素深度耦合，破解传统课程条块分割、能力链条断裂的育人痛点。

表2 模块化课程体系

| 课程模块 | 对应阶段 | 核心课程示例 | 能力指向 |
| --- | --- | --- | --- |
| 通识基础平台 | 第一阶（认知） | 《低空安全管理导论》《矿山工程概论》《安全科学原理》 | 建立工程背景与系统安全观 |
| 专业核心模块 | 第二、三阶（研判 / 控制） | 《低空运行风险评估》《通信导航抗干扰技术》《矿区安全综合实训》 | 掌握风险分析方法与系统控制技术 |
| 交叉拓展模块 | 第四阶（内化） | 《安全伦理学》《AI 与低空安全》《国际适航标准》 | 拓展技术边界，强化伦理素养 |
| 实践创新模块 | 全阶段贯通 | 认知实习→矿区实飞→企业跟岗→毕业设计 | 实现从知识到实战的转化 |

### （二）实践教学创新

矿冶工程场景具备灾害风险高、工况条件复杂、事故场景不可模拟、不可复现的显著特征，传统实习模式难以兼顾实训安全与能力训练实效，制约工程人才实战能力培养。针对该痛点，本研究构建“仿真推演—实景淬炼—职场融合”三阶递进式实践教学体系。依托数字孪生矿山平台开展交互式仿真训练，夯实学生基础操作规范与现场数据分析能力；依托校企共建矿区野外实训基地，组织学生深入复杂极端工况开展现场实训，磨砺应急处置实战能力；安排学生参与8 ~ 12周企业跟岗实习，在真实生产链条中完成从在校生到准职业人员的身份转化，系统性回应行业人才培养核心命题，逐层破解毕业生“会不会操作、能不能承压、适不适应岗位”现实难题。

### （三）师资队伍建设

破解单一学科背景师资难以支撑复合型人才培养的难题，构建“多元互补、专兼结合”的教学团队。

表3 师资建设举措

| 师资类型 | 来源渠道 | 承担角色 | 建设举措 |
| --- | --- | --- | --- |
| 学术型 | 航空 / 安全院校 | 讲授原理与标准 | 实施“跨学科教研”，鼓励技术教师修读安全管理，管理教师进修工程原理 |
| 实战型 | 行业企业一线专家 | 责案例教学与实训指导 | 建立“三年三个月”企业实践制度，确保教师掌握一线最新技术与规范 |
| 复合型 | 校内骨干教师 | 担任课程组负责人 | 组建双师课程组，实行“一课多师”教学，将技术、管理与工程案例深度融合 |

全面推行“双导师制”，为每位学生配备校内学术导师与企业实践导师，实现理论教学与现场实践的紧密结合。

## 四、结论

本文立足于矿冶行业复杂的工业作业场景，针对低空技术现场落地过程中凸显的各类实操与安全难题展开系统性分析，在此基础上构建“四维融合、四阶递进”的创新型人才培养模式。结合矿冶低空作业的风险特征，梳理安全认知、风险研判、系统控制、价值内化四大核心职业能力，配套设计循序渐进、逐层拔高的阶梯式培养路径。同时，研究打破了重技术、轻素养的传统培养局限，将安全伦理理念贯穿于技术实操、工程落地、现场管控的全流程之中，实现专业技能与职业素养的一体化培育。

## *参考文献*

[1] 贺跃光，徐鹏 . 低空技术与工程导论 [M]. 北京：人民交通出版社，2025.08.

[2] 刘大响 . 专访：低空经济怎么 " 飞 " 得更稳？ [EB/OL]. 人民网，2025-12-04.

[3] 徐鹏，贺跃光 . 低空经济与矿冶工程双向赋能——技术链和人才链耦合机制研究 [J]. 矿冶工程，2025，45 (04)：196-200.

[4] 刘聪，贺跃光，陈帅，等 . 无人机测绘在某铝土矿山土地复垦中的应用 [J]. 中国锰业，2016，34(1)：52-54.

[5] 苗则朗，成志炜，熊耀鹏，等 . 考虑土地利用变化和根系力空间异质性的滑坡易发性评价 [J]. 矿冶工程，2025，45 (06)：19-25.

[6] 北京邮电大学 . 多措并举打造低空技术交叉人才培养新范式 [EB/OL]. 教育部简报〔2025〕第48期 .

[7] 徐鹏，贺跃光 . 服务万亿级赛道：低空类微专业建设的政策赋能与学科适配路径——以长沙理工大学为例 [N]. 安徽科技报（理论版），2025-09-10.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.