

低纬高原季风气候区机场项目施工安全管控体系构建与应用研究

作者：王春剑

(云南机场集团有限责任公司，昆明 650000)

摘要：机场工程作为重要交通基础设施，具有规模大、专业集成度高、交叉作业多、安全标准严苛等特点。低纬高原季风气候区极端天气多发、昼夜温差大，对机场施工安全管控提出极高挑战。本文以云南低纬高原地区某机场项目为工程实例，从建设单位全过程监管视角，从组织保障、责任落实、风险防控、过程监督、应急管控等八个方面维度，构建适配高原气候的施工安全标准化管控体系。针对落地式脚手架、塔台超高支模等核心危大工程，实施全链条精准管控。工程实践表明，该体系可有效压实安全主体责任、强化源头风险防控、规范现场作业流程，显著提升机场工程安全治理效能，可为同区域同类机场工程安全管控提供借鉴。

关键词：机场工程；建设单位安全监管；安全生产管控体系；危大工程；超高支模；风险分级管控；闭环管理；低纬高原季风气候

1 绪论

1.1 研究背景与意义

在交通强国战略深入实施背景下，我国民航基础设施建设迈入高质量发展新阶段。机场工程具有施工体系复杂、危大工程集中、多专业交叉作业、行业监管标准严苛等特点，安全风险呈现多点、长线、广面的特征，整体管控难度显著高于常规房建工程。本项目地处低纬高原季风气候区域，大风、雷电、强降雨等极端天气多发，对施工现场支架体系、临边防护、临时用电等关键施工环节的稳定性造成持续不利影响。

当前机场工程施工安全管理仍存在诸多短板，主要表现为安全责任传导层层递减、危大工程管控流于形式、风险辨识覆盖不全、隐患整改闭环管理不到位、季节性安全防控措施针对性不足、智能化安全监测水平偏低等问题。本文严格依据安全生产法律法规及相关规定，借鉴现有机场工程安全研究成果：其中李文婷^[8]以首都机场工程为研究对象，梳理机场建设安全短板，提出机场工程安全管理体系构建思路；陈勇^[9]针对机场在建项目特性，构建了适配机场工程建设的安全管控模式。

基于现有研究基础与现存行业痛点，本文以云南某机场项目为工程载体，构建适配低纬高原气候特征、覆盖施工全过程、涵盖全部参建主体的专项安全管控体系。研究成果能够有效防范施工安全风险、保障工程建设平稳推进，对提升机场工程建设整体统筹管控水平具有实际工程价值，可为同类机场施工安全管理提供可复制、可推广的实践范式。

1.2 国内外研究现状

首先，国外施工安全管理研究起步较早，侧重风险量化分析、信息化监测与安全文化培育，形成以风险预控、过程监管、持续改进为核心的成熟体系，但针对高原气候与机场工程组合条件下的专项研究较少。其次，国内研究多集中于房建、市政工程危大工程管控、安全监督机制、双重预防机制建设等方面，但针对低纬高原气候+机场工程+建设单位统筹监管的一体化管控体系研究不足，尤其缺少将超高悬挑支模、高耸结构防雷、大风防控等专项技术与管理体系（SMS）深度融合的系统性成果^[7, 8, 9]。本文以此为切入点，坚持理论与实践相结合，形成完整的安全生产管控体系及实践成果。

1.3 研究内容与技术路线

本文以云南某机场航管楼、航站楼及塔台施工工程为研究对象，系统剖析机场工程施工安全管理特征，精准识别低纬高原气候环境下项目核心安全风险，并落实分级管控措施。结合现场建设实际，构建覆盖全过程、全要素、全参与方的施工安全管控体系，对落地式钢管脚手架、塔台超高悬挑支模等危大工程实施全流程闭环管控。同时，全面梳理建设单位安全监管的实施成效，剖析现存短板并提出优化提升路径。研究采用理论体系构建、现场工程实践、监测数据验证、管理成效总结、优化提升的完整技术路线，确保研究成果科学严谨、贴合工程实际，具备较强的现场落地性与行业推广价值。

2 机场工程施工安全管理特征与核心风险辨识

2.1 机场工程施工安全管理典型特征

一是参与主体多元，统筹协调难度大。涉及建设、设计、监理、施工、民航专业、设备安装、检测监测等多方单位，管理链条长、责任界面复杂、管控标准不一，跨专业协同难度高。二是危大工程高度集中，风险耦合性强。涵盖超高支模、落地式脚手架、深基坑、高边坡、起重吊装、高空作业、临时用电等高风险工序，风险动态变化快、叠加效应显著。三是高空作业量大，习惯性

违章防控难。特种作业人员多、流动性强，部分人员安全意识薄弱、操作技能不足，无证上岗、防护缺失、违规作业易发。四是气候影响突出，管控阈值高。大风、雷雨、强降雨频繁，对架体抗风、基础抗沉降、防雷接地、临时用电防水绝缘提出了更高要求。五是监管层级多，责任追究严格。机场项目受住建、民航、应急管理等多部门多级联合监管，标准高、检查密、问责严，安全底线约束刚性极强。

2.2 基于 LEC 法的核心风险辨识与分级

采用 LEC 作业条件危险性评价法进行半定量风险评估，计算公式： $D=L \times E \times C$ 。其中 L 为事故发生可能性（0.1~10），E 为人员暴露频率（0.5~10），C 为事故后果严重度（1~100），D 为风险度（决定风险等级）。依据分值实行四级管控：

I 级重大风险：高支模、脚手架失稳坍塌，塔台悬挑结构倾覆，地基不均匀沉降，违规拆除受力构件；

II 级较大风险：高处坠落、物体打击、起重伤害、临时用电触电、扣件扭矩不足、连墙件缺失；

III 级一般风险：作业人员违章操作，防护用品佩戴不规范，材料堆放无序，消防管理不到位；

IV 级低风险：文明施工、场容场貌、工序衔接等。

依据《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》，项目将高支模、脚手架等纳入重点管控范畴，严格落实专项方案论证与全过程管控要求^[3]。

2.3 低纬高原季风气候区对施工安全的影响

首先大风易造成架体变形倾覆、安全网撕裂，加剧高处作业风险；雷雨天气下塔台为区域制高点，雷击风险突出，易引发触电和造成设备损坏；其次强降雨会导致架体基础积水、回填土软化沉降，降低地基承载力，诱发架体失稳风险；昼夜温差大影响混凝土强度增长，对拆模强度与拆模时间控制提出更严格要求。再次区域突发冰雹天气频发，冰雹高速冲击会直接破损脚手架、安全防护网和临建设施及外露施工有关设备，砸损施工现场建材和构筑物，破坏现场防护体系完整性，还会造成高空作业人员突发避险慌乱，引发次生安全事故，严重扰乱现场施工秩序，极大增加现场安全管控的难度。

3 机场项目施工安全管控体系构建

3.1 体系构建原则与总体目标

构建原则：安全第一、预防为主、源头管控、过程严管、闭环治理、依法合规、协同高效。

总体目标：实现施工全过程零死亡、零重伤、零重大安全事故，隐患整改闭环率 100%，危大工程管控覆盖率 100%，安全管理实现标准化、体系化、闭环化、智能化。

3.2 组织保障与全员责任体系

依据《中华人民共和国安全生产法》关于安全生产责任制的规定，建立横向到边、纵向到底的安全生产责任体系和《建设工程安全生产管理条例》等多部法律法规及规范性文件共同确立的原则，旨在明确建设单位在工程建设全过程中的主导责任和首要义务，确保工程建设的合法合规和质量安全^[1、2]。首先纵向构建从建设单位统筹管控、施工总承包项目部现场管控、作业班组过程管控到作业人员岗位履职的四级安全责任体系，逐级压实安全生产责任。其次横向要严格厘清参建各方法定责任：建设单位负首要责任、施工总承包单位负主体责任、监理单位负监督责任、专业分包单位负直接施工安全责任。

明确项目经理为现场安全生产第一责任人，对项目现场安全生产全面负责，技术负责人对技术层面的安全负总责，专职安全员负现场监督直接责任，班组长负班组管控责任，作业人员负岗位安全直接责任。全员签订安全责任状，将安全职责与绩效考核、评优评先、工程款支付挂钩，实现责任全覆盖、可考核、可追溯。

3.3 制度标准与流程管控体系

构建 1+5+N 标准化制度流程体系：1 项总管理制度为安全管理总纲；5 项核心流程包括危大工程审批、设施设备验收、隐患闭环治理、特种作业管控、关键节点确认；N 项专项制度涵盖教育培训、安全交底、日常巡查、周调度、月联合检查、动火审批、消防、文明施工、季节性防控、应急管理。

严格执行危大工程“无方案不施工、方案不论证不施工、方案不交底不施工”刚性要求，落实设施设备“先验收、后使用、不合格严禁投入”管控要求，符合危大工程全过程管理相关规定^[3]。

3.4 风险分级防控与源头治理体系

依据安全生产法关于安全风险分级管控制度的要求，实行分阶段、分层

级、分专业全覆盖风险辨识与源头防控^[1]。项目开工前开展总体风险辨识，形成重大风险清单；分部分项工程施工前开展专项风险辨识，同步交底；季节性施工前开展气象研判，制定专项措施；对I级重大风险实施挂牌督办、专人值守、重点巡查、每日研判、动态更新。

严格落实“五不施工”：方案未论证不施工、材料未验收不施工、交底未到位不施工、地基未检测不施工、监测未布设不施工。

3.5 过程监督与闭环治理体系

推行“四到现场”刚性监督机制：关键专项方案到现场核对，杜绝“两张皮”；高危工序到现场旁站，制止违章作业；隐患整改到现场复核销号，确保整改到位；安全验收节点到现场签字把关，严守验收底线。

建立隐患动态台账，落实编号、责任人、整改时限、防控措施、复查确认五到位。对拒不整改、虚假整改、逾期未整改单位，采取通报、约谈、停工、考核扣分、暂缓工程款支付等刚性措施，形成强力震慑，符合建设工程安全生产监督检查与隐患治理相关规定^[2]。

3.6 应急管理 with 联动处置体系

依据《中华人民共和国安全生产法》有关应急救援与预案管理要求，构建统一指挥、分工明确、快速响应、高效处置应急联动机制^[1]。统一预案体系，编制架体坍塌、高处坠落、物体打击、触电、火灾、大风、雷雨等专项预案；统一物资配置，配齐急救、救生、通讯、消防、照明、抢险物资；统一联络机制，明确医院、消防、应急管理部门联络方式与路线；统一演练要求，每季度至少开展一次专项应急演练，提升应急处置与自救互救能力。

突发事件发生后，立即启动预案、快速救援、规范上报，杜绝迟报、漏报、瞒报，最大限度降低人员伤亡和财产损失。

4 危大工程安全管控实践

4.1 塔台悬挑梁板超高支模专项管控

4.1.1 工程概况

航管楼塔台为高耸框架剪力墙结构，总高 40.5m，30.85m 标高处设环形悬挑梁板，悬挑宽度 3.35m，最大梁截面 450mm×900mm，板厚 100/120mm^[10]。支撑体系采用承插型盘扣式钢管支架，搭设高度 31.25m，安全等级一级。工程存在架体超高、高宽比大、高低跨交错、多层荷载向下传递和与连廊同步施工

等难点，属典型超高空、大悬挑、高风险危大工程。

4.1.2 地基处理与基础稳定性控制

支撑架设于 2.5m 深回填土层，回填土按压实系数 ≥ 0.94 分层夯实，地基承载力特征值按 140kPa 控制，施工前完成专项检测。为抵御强降雨与温差带来的软化沉降风险，在回填土上方浇筑 120mm 厚 C30 混凝土垫层，设 1% 排水坡度，外围砌筑 200mm 宽砖砌排水沟，形成完整排水系统。立杆底部设可调底座+满铺垫板，确保受力均匀，避免局部沉降。

连廊区域支架搭设于 11.35m 标高屋面板上，提前对屋面板承载力进行验算，严格核算支撑架拆除时间，确保结构安全与工序衔接可靠。

4.1.3 盘扣式支架构造精准管控

在 11.35m 连廊变标高处采用可调底座调平，确保架体顶面水平，扫地杆中心线至可调底座底板距离 $\leq 550\text{mm}$ 。严格控制立杆间距 900mm \times 900mm、步距 1500mm、顶层步距加密为 1000mm，按规范布设竖向斜杆与水平剪刀撑；连墙件与主体结构刚性拉结，每层设置，形成整体受力体系。高低跨、交接部位强化构造措施，确保架体整体性、稳定性与抗侧力满足一级安全等级要求。上述构造严格执行盘扣式支架相关技术标准^[5]。

4.1.4 堆载预压、浇筑与监测管控

采用 1.1 倍设计荷载分级对称堆载预压，分两级加载，满足沉降控制标准后方可卸载。混凝土浇筑执行先柱后梁、先内后外、对称分层、由中向边原则，严控浇筑厚度，严禁集中堆载与单侧偏载，专人全过程监测架体变形。

在关键部位布设沉降、水平位移、立杆轴力监测点，实施浇筑前、中、后全过程监测。明确预警阈值，达到预警值立即停工、疏散人员、排查处置，确保架体状态实时可控。

4.1.5 分段验收与精细化拆除管理

执行基础验收、过程验收、总体验收三阶段程序，由建设、监理、施工及专家共同参与，验收合格挂牌后方可使用。拆除前混凝土强度达到 100% 设计强度，履行拆模审批手续；拆除遵循由上而下、先搭后拆、一步一清原则，严禁上下交叉作业，全过程旁站监督。

4.2 落地式钢管脚手架专项管控

针对高原瞬时大风、温差大、雷雨多发特点，对航站楼、航管楼落地式钢

管脚手架实施全流程标准化管控。严把材料准入关，钢管、扣件进场全数检验，力矩扳手逐点检测；严格按方案搭设，立杆间距、步距、连墙件、剪刀撑全数复核，连墙件采用刚性连接，提升架体抗风能力和整体稳定性。实行分段搭设、分段验收、挂牌使用，大风雷雨前专项排查，雨后全面复查，进一步有效防范架体变形、倾覆、滑移风险，保障高空作业的安全，全过程执行扣件式钢管脚手架与通用规范相关要求^[4] 6]。

4.3 防雷与季节性施工专项措施

塔台为区域制高点，雷击风险突出，支撑架设专用防雷系统，避雷针与主体结构接地体可靠连接，接地电阻 $<10\Omega$ 。严格执行6级及以上大风、雷雨立即停止高空作业刚性要求；雨后对架体、基础、接地、用电系统全面复查合格后方可复工。针对昼夜温差大，强化拆模强度与时间精准控制，严禁提前拆模；强降雨前做好排水挡水，防止基础软化沉降，筑牢季节性施工安全防线。

4.4 危大工程全过程闭环管控

建立方案审查、材料准入、过程旁站、分段验收、监测预警、隐患闭环、应急响应全链条管控机制。严格执行危大工程“三不施工”刚性要求，高危工序全过程旁站，杜绝方案与现场“两张皮”。隐患治理落实“五到位”，对违规单位采取约谈、停工、暂缓付款等措施。应急队伍、物资、预案常态化配置，每季度开展高支模坍塌、高处坠落、雷击触电等演练，实现危大工程风险可防、可控和可救。

5 安全监管实践与实施成效

5.1 安全监管机制

建设单位严格履行统筹、监督、检查、督办、考核法定职责，将安全考核结果与工程款支付、履约评价、评优评先直接挂钩。对高支模、脚手架等危大工程实行提级监管、全程督办，执行“四必查”：方案必查、材料必查、节点必查、监测必查，确保参建各方安全生产主体责任落地见效。

5.2 项目安全管理实施成效

通过体系化、标准化、闭环化安全治理，项目实现零死亡、零重伤、零重大事故，一般隐患大幅下降；累计检查800次，排查隐患300余条，整改与闭环率均达100%；危大工程验收合格率100%，监测数据全部受控，未发生架体变形、沉降、失稳险情；现场作业行为规范，习惯性违章显著减少；管控机制

高效运行，获得行业主管部门与参建各方高度认可。

项目安全管理标准化、精细化水平显著提升，形成建设单位牵头、多方协同的高原机场工程安全管控新模式。通过风险分级管控和隐患闭环治理，项目重大风险受控率 100%，危大工程方案论证、专家审查、旁站监督、分段验收等关键环节执行到位，有效杜绝高支模坍塌、高处坠落、起重伤害、触电等典型事故。季节性施工措施精准落地，大风、雷雨、强降温等恶劣天气下施工安全有序，未发生气候诱发安全事件。智能监测手段在高支模、高耸结构中全面应用，实现风险自动采集、实时预警、快速处置，安全管控由“人工巡检”向“数字智控”转型。

项目安全生产管理体系运行顺畅，责任链条压紧压实，制度流程落地见效，现场安全文明施工水平大幅提升，农民工安全教育培训、特种作业持证上岗、安全技术交底等基础管理全面规范。工程建设期间多次接受民航、住建、应急管理等部门综合督查，安全管理成效得到充分肯定，为项目顺利推进、按期投产奠定坚实安全基础，也为同区域、同类型机场工程提供了可复制、可推广的安全管理示范样本。

5.3 管理经验与核心启示

责任压实是安全管理根本前提，必须构建全员全岗位全链条责任体系；方案管控是危大工程技术基础，必须方案先行、论证到位、交底落地；过程严管是安全落地关键保障，必须旁站、巡查、复核相结合；验收把关是风险防控最后防线，必须严守标准、不合格严禁使用；闭环治理是长效管控核心支撑，必须实现隐患发现、整改、复核、销号全流程闭环；专项管控是危大工程制胜关键，超高、悬挑、高耸结构必须实施专项体系管控。

6 现存问题和优化改进措施

6.1 现场安全管理现存问题

班组自主安全管理能力不足，班前安全活动流于形式，岗位风险辨识不到位；多专业交叉作业频繁，防护责任界定不清，防护设施拆除与恢复衔接薄弱；安全资料与现场施工同步性不足，部分存在后补现象；风险监测以人工为主，自动化、智能化、实时化水平有待提升。

6.2 针对性优化改进措施

推进班组安全标准化建设，实施班前交底、每日自查、违章记分考核，与

工程款支付挂钩；建立交叉作业防护移交制度，明确谁作业、谁防护、谁负责，拆除与恢复履行签字移交；推行安全资料同步归档，交底、验收、检查、培训资料当日完成、签字、归档，严禁后补；升级智能监测手段，对高支模、高脚手架引入自动化设备，实现沉降、位移、轴力实时采集、自动预警；强化督查问责与信用管理，对违规单位采取通报、约谈、停工、暂缓付款等措施，纳入信用评价，倒逼责任落实。

7 结论

本文以云南低纬高原季风气候区某机场项目为实践载体，构建了建设单位统筹、多方协同、全过程覆盖、全要素管控的机场工程施工安全管控体系，并将超高悬挑支模、脚手架、防雷、季节性防控等专项技术深度融入体系运行。研究与实践表明，该体系能够有效压实安全生产责任、强化风险源头治理、规范现场作业行为、防范化解重大安全风险，显著提升机场工程建设安全治理效能，可为同气候区、同类型机场工程提供重要实践借鉴与技术参考。

机场工程安全管理是系统工程，建设单位应持续强化红线意识与底线思维，推进安全管理标准化、数字化、智能化升级，不断完善责任体系、流程体系、监督体系与应急体系，紧盯班组管理、交叉作业、危大工程、季节性防控、智能监测等关键环节，以更高标准、更严要求、更实举措守住安全生命线，为机场项目高质量建设与顺利投运提供坚实可靠的安全保障。

参考文献：

- [1] 中华人民共和国安全生产法 (2021 修正)[S]. 北京：中国法制出版社，2021:15-28.
- [2] 建设工程安全生产管理条例 (国务院令 第 393 号)[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2004:8-19.
- [3] 危险性较大的分部分项工程安全管理规定 (住建部令 第 37 号)[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2018:6-13.
- [4] 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范 (JGJ 130-2011)[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2011:22-45.
- [5] 建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准 (JGJ/T 231-2021)[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2021:15-30.
- [6] 施工脚手架通用规范 (GB 55023-2022)[S]. 北京：中国建筑工业出版社

社, 2022:10-18.

[7] 中国民用航空局机场司·运输机场安全管理体系(SMS)建设指南[S]. 北京: 中国民用航空局, 2019: 7-29.

[8] 李文婷·首都机场安全管理体系构建研究[J]. 科技展望, 2015, 25(31): 137-137.

[9] 陈勇·机场工程建设安全管控模式研究——以上海浦东国际机场三期扩建工程为例[J]. 工程管理学报, 2019,33(04):82-87.

[10] 某机场项目航站楼及航管楼建设工程——塔台悬挑梁板高支模专项施工方案[R]2024.