

高海拔山地光伏项目小型混凝土拌合站布局方案比选与优化研究

叶 智 刘继峰 张 浩 林昭旭 罗龙建
中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 615500

摘 要：本文以凉山州美姑县940MW光伏电站EPC总承包Ⅲ标段为例，对小型混凝土拌合站布局方案进行系统研究。在分析工程特征与供应挑战的基础上，确立了“分散布点、就近供应、模块配置”的总体思路，提出了涵盖地形适配、供应保障、交通便利、集约高效及多目标协同的五项选址原则，并完成了拌合站的总体构思与具体规划设计。经多方案比选，自建小型拌合站在运输距离、供应可靠性、质量可控性等方面优势显著，被确定为首选方案。实践验证，该布局有效保障了关键路径施工进度，可为同类工程提供参考。

关键词：山地光伏；高海拔；小型混凝土拌合站；布局优化；方案比选

引言

山地光伏项目与传统房建、公路等工程不同，具有“点多面广、运输困难、窗口期短、质量要求高”四大特点：光伏阵列分散于多个山头，单点混凝土用量小但分布零散；场区原为放牧区，缺乏临时道路，大型搅拌车难以通行；高海拔地区受雨雪和低温影响，有效施工期短；桩基混凝土还需满足高强度、抗冻等严苛性能^[1]。在此背景下，传统集中拌合、长距离运输模式难以适用，而现场分散拌合又面临设备选型、场地布局与质量控制等技术挑战。本文以凉山州美姑县940MW光伏电站EPC总承包Ⅲ标段为例，系统研究适用于山地光伏场景的小型混凝土拌合站布局方案。

1 工程概况

凉山州美姑县940MW光伏电站是四川省“十四五”重点清洁能源项目，本标段装机容量323.1MW，由1#、5#两个地块组成，占地约8440亩，距美姑县城约45km。项目地处青藏高原东南缘，海拔3200—4000m，地形陡峭（局部坡度超50%），交通条件差，气候寒冷，年有效施工期短（主要集中在4—10月）。场区划分为6个工区、101个方阵，需浇筑微孔灌注桩101800根（含单、双立柱）。混凝土供应面临三大挑战：一是道路等级低，大型搅拌车难以直达作业面；二是高海拔低气压影响设备效率与混凝土性能；三是须在有限窗口期内紧密配合桩基施工。因此，合理布局小型拌合站、构建高效稳定供应体系，成为保障项目按期并网的关键。

2 混凝土拌合站选址原则

基于本标段混凝土总需求2.2万m³及日均高峰500m³的特点，项目团队结合美姑地区地形地质、交通网络和水资源分布，经多方案比选，确立“分散布点、就近供

应、模块配置”原则，决定自建小型拌合站并由项目部自主组织供应。

2.1 地形适配与安全保障原则

选址应避免断层破碎带、滑坡体、冲沟口及山脊制高点（雷击高风险区），从源头规避地质灾害和直击雷风险。场地平整采用“混凝土基座（机械设备四角）+级配碎石分层回填”的方案，既确保了设备稳固，又最大限度减少了对原地貌的扰动，有利后期植被恢复^[2]。场区周边设置环形排水沟（纵坡 $\geq 0.3\%$ ），沟尾与三级沉淀池相连；利用混凝土基座及回填层内的预埋钢筋网作为自然接地体，并辅以埋深不小于1m的人工环形接地体，使整体接地电阻不大于4 Ω ，构建完善的防雷接地体系。

2.2 供应保障优先原则

以保障桩基施工这一关键工作为核心，通过GIS地形分析，将拌合站布设于主力施工区的中心位置，并将运输半径严格控制在1.2km以内，确保混凝土从出机到入模的时间不超过45min^[1]。优先利用坡度不大于4.5%的天然缓坡台地作为场地，以最大限度减少场平及回填费用。此举可有效控制混凝土坍塌度损失率（设计要求 $\leq 15\%$ ），从源头上保障桩基混凝土的浇筑质量。

2.3 交通便利原则

为确保原材料（砂石、水泥）进场及成品混凝土出场的运输连续性，进站道路须满足双向通行要求，或设置应急回车场，且道路最大纵坡应控制在10%以内。美姑地区多雨雪的气候特点，具备双通道条件或应急回车场的道路布局，能有效应对山体滑坡、车辆故障等突发事件，避免因道路中断而导致关键路径上的工序停工待料。同时考虑到本项目毗邻已投入运营的风电项目，行驶道路应结合现有路网（检修通道及风电场现有道

路),以减少道路单独开辟的过多成本支出。

2.4 集约高效原则

设备选型方面,选用模块化JS1000型双卧轴强制式搅拌机(产能 $50\text{m}^3/\text{h}$),精准匹配标段日均 120m^3 的混凝土需求。配备自动配料系统,通过精确配比和自动化操作,提升产能和混凝土出罐质量。系统集成方面,集成双仓砂石料斗(容量 45m^3)与闭式废水回收系统(三级沉淀池,容积 30m^3)。能源保障方面,采用柴油发电机自发电,确保拌合站快速投产^[3]。场地布局方面,采用"L型"紧凑布局,操作通道宽度不小于 1.8m ,满足高海拔地区设备防风(抗风速 $\leq 25\text{m/s}$)及日常检修的空间需求。

2.5 多目标协同原则

将3座小型拌合站分散布置于6个工区的核心位置,形成"三点支撑、全域覆盖"的供应网络。所有站点选址均严格控制在地红线范围内,优先利用荒坡地、裸土地,避让林地和基本草原。单个站点临时占地面积严格控制在 800m^2 以内。施工结束后,所有临时设施将全部拆除,并对场地进行土地整治与植被恢复,实现工程建设的绿色闭环。

3 混凝土拌合站规划布局

3.1 拌合站总体构思

针对美姑县光伏项目“点多面广、运输困难、施工窗口期短”的特点,项目采用“多点布设、分区覆盖、机动协同”的拌合站布局思路。在第1、3、5工区中心各设一座小型拌合站,形成“三点支撑、全域覆盖”供应网络,确保混凝土从出机到入模时间控制在45分钟内,有效避免坍落度损失与堵管风险^[4]。每座拌合站占地约 800m^2 ,功能分区明确,包含拌合作业区、砂石料堆场、水泥库房、值班区、车辆停放区及废水处理区,保障高效、稳定供料。

3.2 具体规划设计

依据总体布局思路及现场详细踏勘成果,绘制了拌合站点及材料堆场布置图。各站点具体规划设计。如图1所示



图1 拌合站点及材料堆场布置图

3.2.1 功能分区

拌合站内部按“作业区—储料区—安保区”三级分区布局:(1)拌合作业区位于中央偏上风向,配置JS1000型双卧轴强制式搅拌机、水泥仓及外加剂池,周边设不小于 1.8m 宽操作通道;(2)砂石料堆场设于入口侧,便于卸料,分待检区与合格区,碎石按 $5\sim 20\text{mm}$ 、 $20\sim 40\text{mm}$ 规格分区,砂单独堆放,各区间以 1.5m 高钢制栅栏隔离,严禁混装,并挂标识牌注明材料信息;(3)水泥库房采用20英尺集装箱改造,内铺防潮垫层,胶凝材料以袋装形式储存,满足高海拔防潮要求;(4)安保区位于入口,设安保室和试验留样室,便于现场管理与质量控制。

3.2.2 场内道路与交通组织

为满足混凝土运输车及原材料自卸车的通行需求,场内主干道按双车道标准进行设计:路面宽度为 6.0m ,转弯半径不小于 12m ,最大纵坡控制在 8% 以内^[5]。路面采用 30cm 厚级配碎石铺筑,压实度要求不低于 94% ,以确保重载车辆通行平稳。道路两侧设置排水边沟,并与场外排水系统相连通。

3.2.3 排水与环保设施

针对美姑地区雨季降雨集中的气候特点,拌合站排水系统遵循“防排结合、清污分流”的原则进行设计:(1)场地放坡:站内地面按 1.5% 的坡度向四周找坡,确保雨水能快速汇入周边排水沟。(2)L型排水沟:沿场地边界设置L型成品复合树脂排水沟(沟底宽 0.3m 、深 0.3m),用于截流并导排场外雨水。(3)在拌合站地势最低处设置三级沉淀池(总容积 12m^3),用于收集搅拌机清洗废水和车辆冲洗水。废水经沉淀处理后循环利用于场地洒水降尘等施工环节,实现废水零排放。

3.2.4 供电与供水系统

采用2台 100kW 柴油发电机(一用一备)作为临时电源,选型已考虑海拔 3000m 以上功率约 12% 的折减,并配备低温启动装置,确保雨雪冰冻天气下可靠运行^[6]。供水依托作业区内多条常年流水的天然溪流,水质经检测符合施工标准;取水采用“潜水泵+储水箱”的临时方式,避免大规模开挖和永久设施建设,最大限度减少对水生态环境扰动,施工结束后将及时恢复取水点地貌,实现环境友好型施工。

3.2.5 标识标牌

拌合作业区内悬挂混凝土配合比标识牌及岗位安全操作规程牌,并在设备操作点张贴安全警示标志。场地入口处设置“施工重地,注意安全”的警示牌,并按规定配备消防器材(如灭火器、消防砂箱)。

3.3 供应方案对比分析

经现场调查,项目部初步拟定了三个混凝土供应方案:方案一,利用美姑县城既有商品混凝土拌合站;方案二,依托其他标段已建拌合站;方案三,自建小型拌合站。以下从运输距离、交通条件、供应可靠性、混凝土质量管控、对周边环境影响、经济成本及管理责任等方面对三个方案进行综合对比分析。

3.3.1 方案一:利用美姑县城既有商品混凝土拌合站

优点是可快速启动、无需建设周期,且依托成熟商混站保障配合比稳定、质量可靠。但存在明显短板:一是项目部距拌合站38km,难以全过程监控生产,出厂质量难控;二是运输距离长达55.8km,罐车单程耗时约3.5小时,易致混凝土坍落度损失;三是供料时间固定(早8点发车),与现场弹性施工需求不匹配,协调难度大;四是需承担商品混凝土市场价及高额运费,综合成本偏高。

3.3.2 方案二:依托其他标段已建拌合站

优势在于运输距离较短(约15.23km,耗时45分钟),可降低坍落度损失风险;同时实现资源共享,节省建设时间和成本,并借鉴同区域高海拔施工经验。但存在明显不足:各标段同期抢工导致罐车资源紧张,本标段供料优先级低,易出现断供;高海拔地区通信信号弱,影响调度与应急联络;且因交通不便,政府监管难覆盖,项目部须派驻专人常驻拌合站,大幅增加管理成本,质量监管难度加大。

3.3.3 方案三:自建小型拌合站

优点显著:运距短($\leq 1.2\text{km}$),单站产能 $35\text{m}^3/\text{h}$,精准匹配各工区高峰需求,保障混凝土45分钟内入模;选址避开雨雾、雷暴高发区,配套气象预警与应急机制,提升极端天气下的生产运输安全;全过程质量可控,从原料进场到出站均可严格按设计标准监管。但存在管理责任重、需自主承担采购、配比、检测及环保全流程;环保压力大,须独立处理废水粉尘,易引发投诉;前期投入高,设备与场地建设资金占用大,且20~30天建设周期无法满足紧急开工需求。

3.3.4 综合对比分析

方案三(自建小型拌合站)虽存在前期投入较大、管理责任重等不足,但在运输距离、供应可靠性、质量可控性、安全保障等方面均具显著优势,且受外界干扰最小,能够有效保障混凝土生产进度与质量。相比之下,方案一与方案二在运输时效、供应稳定性、质量监管等方面存在较多不可控因素,对施工工期与质量构成潜在风险。因此,方案三被确定为本项目混凝土拌合站建设的最优方案。该布局方案经现场实施验证,有效支撑了项目关键路径上的桩基施工进度,为高海拔山地光伏项目混凝土供应提供了可复制、可推广的规划范例。

4 结语

目前,美姑光伏项目规划建设的3座小型混凝土拌合站已全部建成并投入运营。配套修建的施工便道网络已全面贯通,形成“干支联动、四通八达”的运输保障体系,实现了拌合站与各作业面的有效连通。混凝土可保质保量、及时准确地运抵各桩基作业面,为项目关键路径的顺利推进提供了坚实的物资保障。实践证明,坚持科学规划与精细管理,是在高海拔山地环境下实现混凝土“连续、稳定、优质”供应的关键^[2]。该模式有效降低了施工成本,最大限度发挥了临时设施的效能,为项目关键路径的顺利推进提供了可靠保障。本研究可为西南地区同类山地光伏项目的混凝土拌合站选型与布局优化提供理论依据与实践参考。

参考文献

- [1]大型混凝土拌合站的选址与布局[J].山西建筑,2020.
- [2]廖敬文.山地光伏电站项目施工管理对策研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(20).
- [3]基于多承包商资源共享的混凝土拌合站的动态配置研究[J].运筹与管理,2013(2):49-54.
- [4]分布式山地光伏项目施工过程管理[J].自动化应用,2024,65(z1):90-105.
- [5]刘陈诚,黄雅彬,黎罗,等.集中式山地光伏基础施工技术及安全管理措施[J].工程设计与施工,2025,7(6).
- [6]汪雪琪.铁路混凝土搅拌站选址优化决策研究[D].兰州交通大学,2020.