

高原高寒地区建筑施工技术挑战与对策

翟伟骥

内蒙古第三建筑工程有限公司 内蒙古 呼和浩特 010051

摘要：高原高寒地区独特的自然环境对建筑施工提出了严峻挑战。本文通过分析高原高寒地区环境特点，指出低温、强风、冻土、复杂地质、材料劣化、设备适应性与人员安全等施工挑点。针对这些挑点，从冻土环境基础施工、混凝土施工、保温养护与材料优化等维度提出技术要点，并从施工工艺优化、基础施工技术创新、特殊材料研发、机械设备改造与维护、人员健康保障等方面提出系统性对策，旨在为高原高寒地区建筑施工提供理论支持与技术指导。

关键词：高原高寒地区；建筑施工技术要点；挑战；对策

引言：随着国家西部大开发等战略的推进，该地区的基础设施建设需求日益增长。传统施工技术难以满足高原高寒地区的特殊要求，导致工程进度缓慢、质量难以保证，甚至可能引发安全事故与生态破坏。深入研究高原高寒地区建筑施工技术挑战，并提出针对性的对策，对于推动该地区工程建设发展、保障施工人员安全与健康、维护生态环境稳定具有重要意义。

1 高原高寒地区建筑施工环境特点

高原高寒地区独特的自然环境，给建筑施工带来诸多限制与挑战，深入了解以下环境特点是攻克施工难题的基础。①海拔高。在地理与气候特征方面，高原高寒地区海拔普遍超过3000米，空气稀薄，含氧量仅为平原地区的60%-70%。②风力强劲。年平均风速超5m/s，大风日数超100天，强风不仅影响高空作业安全，还加速热量散失，增加施工保暖难度。③生态环境脆弱性。高原高寒地区植被生长缓慢，多为草甸、苔藓等低矮植被，一旦遭到破坏，恢复周期长达数十年甚至上百年。④生态系统稳定性差。生物多样性较低，施工活动可能干扰珍稀动植物的生存环境，破坏生态平衡。⑤资源分布不均与交通条件薄弱。高原高寒地区资源分布不均，部分施工所需的建筑材料当地匮乏，需从外地长途运输。加之交通基础设施薄弱，道路多为盘山公路、简易土路，冬季易积雪结冰，夏季受暴雨、泥石流等自然灾害影响，导致材料运输成本高、效率低，甚至可能因道路中断延误工期^[1]。当地水电供应不稳定，电力设施在极端气候下易受损，施工用水也因低温易结冰，进一步增加了施工难度。

2 高原高寒地区建筑施工技术挑战

2.1 极端气候对施工的影响（低温、强风、冻土等）
低温是高原高寒地区施工面临的严峻考验。极低的

气温显著减缓混凝土水化反应速度，致使其凝结时间大幅延长，强度增长缓慢，难以满足工程进度需求。若未采取有效保温措施，新浇筑的混凝土极易受冻，内部形成的冰晶破坏结构，极大削弱其耐久性。强风天气则进一步加剧施工难度，强劲的风力不仅让高空作业充满危险，还对塔吊、脚手架等设施的稳定性构成威胁。强风加速热量流失，使施工保温工作难度倍增，常规保温棚难以抵御强风侵袭，难以维持稳定的施工环境。冻土问题同样棘手，季节性冻土的冻融循环产生强大作用力，导致基础出现不均匀变形，严重威胁建筑物安全。

2.2 地质条件复杂导致的基础施工难题

复杂的地质条件是高原高寒地区基础施工的巨大阻碍。该区域地处板块交界，地质构造活跃，断层、破碎带遍布，岩石风化程度高，地基土承载力差异大。在桩基施工过程中，破碎岩层致使成孔艰难，塌孔、卡钻等问题频发，传统泥浆护壁工艺难以应对。而浅基础施工时，季节性冻土的冻胀融沉作用，使基础不断承受上拔与下沉的作用力，极易引发基础开裂、建筑物倾斜等问题。

2.3 材料性能在特殊环境下的劣化

特殊的环境条件严重影响建筑材料性能。低温会使钢材韧性降低、脆性增加，在低温环境下易发生冷脆断裂，威胁结构安全。混凝土在冻融循环作用下，内部孔隙水反复结冰膨胀，致使表面剥落、骨料松动，强度显著下降。防水材料在低温下变硬变脆，失去密封功能，无法有效防水。保温材料的保温性能也因低温而降低。高原地区强烈的紫外线辐射，加速材料老化，缩短其使用寿命，影响建筑物的长期性能。

2.4 机械设备适应性问题

高原高寒地区的环境对机械设备适应性提出了极高要求。低氧环境导致柴油发动机动力不足，燃油燃烧不

充分,增加机件磨损。低温使润滑油黏度大幅增加,流动性变差,液压系统难以正常运行,甚至出现液压油凝结的情况。蓄电池在低温下启动困难,需要专用加热设备辅助。而沙尘、强风等恶劣天气,加速机械设备表面磨损,提高精密仪器故障率,缩短设备使用寿命,大幅增加维修保养成本。

2.5 施工人员健康与安全风险

高原高寒地区的环境对施工人员的健康与安全构成严重威胁。低氧环境极易引发高原反应,轻者身体不适,重者危及生命。长期在高寒环境作业,施工人员易患上冻疮、关节炎等职业病^[2]。极端天气还增加了施工过程中的安全隐患,暴雪降低能见度,提升高空坠落、物体打击等事故发生概率;冻土滑坡、雪崩等地质灾害突发性强,直接威胁施工人员生命安全。复杂恶劣的施工环境还容易引发施工人员心理问题,影响施工效率与工程质量。

3 高原高寒地区建筑施工技术要点

3.1 冻土环境基础施工技术

冻土环境其基础施工技术需结合冻土特性进行精细化设计。以下从冻土保护、温度调控及适应性结构设计三方面展开:①冻土保护与温度调控原则。冻土施工需遵循“最小扰动、主动控温、动态平衡”原则。扰动控制:采用机械快速开挖技术,避免人工反复碾压冻土表层,开挖后及时覆盖保温材料,减少大气温度对冻土的热影响;基础施工期间,禁止在冻土区随意堆放发热材料或排放废水,防止局部温度异常变化。温度调控:通过热学措施维持冻土热平衡,在多年冻土区推广热棒技术,利用气液相变原理导出地基热量,防止冻土融化;同步在基础底部及侧壁铺设隔热层,阻断地表热量向下传递,延缓冻土冻融循环。②适应性基础结构设计。根据冻土类型选择针对性基础形式。季节性冻土区:采用浅埋基础结合换填工艺,将冻胀性土层置换为非冻胀材料(如级配砂石),并在基础侧面设置保温层,降低冻胀力对基础的上拔作用;基础埋深需低于当地标准冻深,避免冻融循环影响基础稳定性。多年冻土区:优先采用桩-板基础或架空通风基础,桩体需穿透活动层进入稳定冻土层,利用深层稳定地层承载荷载;架空通风基础通过设置通风层,利用自然对流降低基底温度,防止冻土融化导致的不均匀沉降。

3.2 混凝土施工关键工艺要点

混凝土施工在高寒地区面临低温、冻融循环等挑战,需从以下原材料、配合比及施工过程进行全流程控制。①原材料优选。胶凝材料选用早期强度高、水化热

适中的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,掺入适量矿物掺合料(如硅灰、粉煤灰),改善混凝土孔结构,提高密实度与抗冻性能。粗骨料选择坚硬致密的碎石,细骨料采用中砂,严格控制含泥量与杂质含量,避免影响混凝土黏结力;外加剂需复配减水剂、早强剂与引气剂,优化混凝土和易性,提升早期强度与抗冻融能力。②配合比原则。采用低水胶比设计,确保混凝土密实性;通过引气剂引入适量封闭气泡,缓解冻融循环时的膨胀应力,气泡参数需满足抗冻性能要求。③施工过程工艺控制。拌和与运输采用预热拌和技术,对骨料与拌和水加热,控制混凝土出机温度;运输过程中采取保温措施,减少热量损失,确保入模温度符合要求^[3]。浇筑与振捣中,分层浇筑厚度适中,振捣均匀密实,避免漏振或过振;灌注桩施工需控制导管埋深,防止泥浆混入混凝土影响质量;大体积混凝土需采取温控措施,避免内外温差过大导致裂缝。

3.3 保温养护与材料优化技术

保温养护与材料优化是高原高寒地区建筑技术的核心保障,需从环境保温、混凝土养护及特殊材料应用三方面综合施策。①极端气候下的保温养护体系。施工环境保温要搭建全封闭暖棚,采用保温性能良好的材料(如岩棉板、彩钢板),内部配备加热设备,维持施工环境温度稳定;基础及结构外侧覆盖多层保温材料(如塑料薄膜、毛毡),形成复合保温层,减少热量散失。混凝土养护技术中,要注意浇筑后及时覆盖保温,确保早期强度增长不受低温影响;采用智能温控系统监测混凝土内部温度,根据温度变化调整养护措施,避免冻害或温度裂缝;养护周期需满足混凝土强度增长需求,达到临界强度后方可拆除保温层。②特殊性能材料应用要点。结构材料选用低温韧性钢材,通过合金成分优化与热处理工艺,提高抗冷脆性能;研发高抗冻混凝土,通过配合比设计与外加剂复配,提升抗冻融循环能力,满足长期耐久性要求。功能材料采用导热系数低、耐低温的保温材料(如气凝胶、真空绝热板),提升建筑保温性能;选用低温下保持柔韧性的防水材料(如改性沥青卷材、弹性密封胶),确保密封防水效果;外部材料需具备抗紫外线老化能力,延长使用寿命。

4 高原高寒地区建筑施工技术对策

4.1 适应极端气候的施工工艺优化

在低温环境下,可采用加热集料、热水拌和混凝土的方式,提高混凝土入模温度。通过添加早强剂、防冻剂,加速混凝土早期强度发展,降低冰点,减少受冻风险。在混凝土中添加复合型防冻早强剂,能使混凝土

在-15℃环境下仍保持良好的凝结硬化性能。施工过程中,搭建暖棚并配备热风幕、暖风机等设备,形成封闭保温空间,确保混凝土浇筑与养护环境温度稳定。对于强风环境,优化高空作业方案,采用模块化施工技术,减少高空组装环节,降低强风对施工的影响。在脚手架、塔吊等设施设计中,增加防风缆绳、加强结构连接,提高整体稳定性。针对冻土问题,采用“快速施工法”,在冻结期进行基础开挖与浇筑,避免冻土融化;若在非冻结期施工,则对开挖暴露的冻土采用保温材料覆盖,防止温度回升导致冻土融化。

4.2 创新基础施工技术与方法

针对地质条件复杂的基础施工难题,可采用新型桩基技术。如旋挖灌注桩结合套管跟进工艺,在破碎岩层中通过套管护壁,有效解决塌孔、卡钻问题;对于冻土区基础,采用桩-板基础、热棒基础等结构形式。热棒基础利用氨的气液两相转换原理,将地基中的热量传递到大气中,保持冻土稳定,防止基础因冻土融化而沉降。在浅基础施工中,采用换填法,将冻胀性强的土换成非冻胀性材料,如砂石、灰土等,并设置隔热层,阻隔热量传递,减少冻胀融沉对基础的影响。运用BIM技术对基础施工进行三维建模与模拟分析,提前预判施工风险,优化施工顺序与工艺,确保基础施工质量与安全。

4.3 特殊性能建筑材料的研发与应用

研发耐低温、抗冻融的新型建筑材料是关键。在钢材方面,选用低温韧性好的合金钢,通过添加镍、铬等合金元素,提高钢材的抗冷脆性能。对于混凝土,采用高抗冻性配合比设计,增加矿物掺合料如硅灰、粉煤灰的掺量,改善混凝土内部孔隙结构,提高抗冻性能;使用引气剂引入微小封闭气泡,缓解冻胀压力。在防水材料领域,研发低温弹性防水涂料、耐候性密封胶,确保材料在低温下仍保持良好的柔韧性与密封性能。保温材料则选用导热系数受温度影响小的新型材料,如真空绝热板、气凝胶毡等,提高建筑保温隔热效果。加强材料的防护措施,对暴露在外的材料表面涂刷抗紫外线涂层,延长材料使用寿命。

4.4 机械设备的改造与维护策略

为适应高原高寒环境,对机械设备进行针对性改

造。在发动机系统中,安装高原专用增压器,提高进气量,补偿低氧环境下的功率损失;采用低温性能好的燃油与润滑油,确保发动机正常运转。液压系统更换低温液压油,增加电加热装置,防止液压油凝结;对蓄电池加装保温套,并配备低温启动电源。在设备维护方面,建立定期巡检制度,缩短保养周期,及时清理设备表面的沙尘、积雪,检查关键部件磨损情况。设立设备应急维修站点,储备常用配件,确保设备故障时能快速维修,减少停机时间。

4.5 施工人员健康保障与安全管理措施

保障施工人员健康与安全需多管齐下。在进入高原前,对施工人员进行全面体检,筛选出不适宜高原作业的人员;组织高原适应性培训,普及高原病防治知识。施工过程中,配备制氧机、氧气瓶,建立吸氧室,定期为施工人员吸氧;提供高热量、易消化的饮食,增强身体抵抗力。在安全管理方面,制定极端天气应急预案,如暴雪、大风、雪崩等灾害发生时的人员疏散与设备保护方案。加强施工现场安全防护,设置防风、防滑、防坠落设施,在危险区域设置明显警示标志^[4]。关注施工人员心理健康,安排心理咨询师定期进行心理疏导,缓解施工人员的焦虑与压力,营造良好的施工氛围。

结束语:高原高寒地区建筑施工技术的发展,需以科学认知环境特性为前提,以技术创新为核心驱动力。本文从环境特点、技术挑战到施工要点与对策,系统探讨了冻土保护、混凝土工艺、保温养护等关键技术,并提出了适应极端气候的施工优化、创新基础施工方法、特殊材料研发、设备改造及人员健康保障等综合对策。

参考文献

- [1]李鹏辉.关于高原高寒地区混凝土施工质量控制的调查分析[J].门窗,2019(22):191-194.
- [2]吕宇.高原高寒地区混凝土施工技术[J].百科论坛电子杂志,2021(24):4104-4105.
- [3]徐垒.高原地区混凝土施工技术在房屋建筑中的运用[J].建筑工程技术与设计,2020(14):505-506.
- [4]朱宝君.高原高寒地区抗震浅基础与独立基础施工技术[J].建筑科技,2019,3(02):31-33.