

高寒地区水利水电施工的特殊技术需求与应对措施

朱 飞

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

摘要：高寒地区由于其独特的气候条件，如低气温、大温差、强辐射、多风和多雨等，对水利水电工程的施工提出了严峻的挑战。本文以黑河黄藏寺水利枢纽工程为例，深入探讨了高寒地区碾压混凝土重力坝施工的关键技术需求，并提出了相应的应对措施。通过研究和实践，本文总结了一套适用于高寒地区水利水电施工的综合技术体系，为同类工程提供了宝贵的经验和参考。

关键词：高寒地区；水利水电；碾压混凝土；施工

引言

高寒地区的气候条件对水利水电工程的施工质量和效率产生了显著影响。特别是在碾压混凝土重力坝的施工中，复杂的气候环境可能导致混凝土特性变化、施工难度增加以及工程质量下降。因此，研究高寒地区水利水电施工的特殊技术需求及应对措施具有重要意义。

1 工程概况

黑河黄藏寺水利枢纽属Ⅱ等大(2)型工程，核心结构包括碾压混凝土重力坝与电站厂房，坝顶高达2631.00m，河床坝段基底最低处为2508.00m，坝体最大高度达123m，坝顶绵延210m，共划分为9个坝段，使用碾压混凝土51.59万立方米。工程坐落于青藏高原东北边缘的祁连山脉，深受高原气候影响，呈现高寒半干旱特征，昼夜温差显著。坝址地处高海拔区域，超2500m，气候严酷且干燥。年平均降水量为400mm，主要集中在6至9月，占比高达78%。年平均气温仅为0.7℃，冬季12月平均-12.2℃，极端低温可达-31.1℃；夏季7月平均10.7℃，极端高温30.5℃。年水面蒸发量约1500mm，5、6月蒸发最盛，12、1月最弱。风向多为西北，年平均风速2.0m/s，最大可达20m/s。年降雪日数240至270天，夏季偶有冰雹，冰冻期自9月持续至次年5月，无霜期仅40至110天。上游河流一般自11月上旬开始流冰，1月至2月全面封冻，至3月底解冻。最大岸冰与河冰厚度分别为1.1m和0.8m。

2 高寒地区水利水电施工的特殊技术需求

2.1 碾压混凝土VC值的动态控制需求影响分析

在高寒地区，碾压混凝土VC值的动态控制是施工过程中的核心挑战之一。由于气温低和昼夜温差大，VC值易受影响而发生波动，这对混凝土的性能稳定性构成了严重威胁。VC值的变化直接影响混凝土的流动性、可碾性和密实性，进而关乎施工质量和进度。施工人员需根据VC值的实时变化，灵活调整施工工艺参数，如搅拌时

间、振捣力度等，以确保混凝土达到理想的施工状态。然而，这种调整不仅增加了施工难度和成本，还对施工人员的专业技能提出了更高要求。若VC值控制不当，将可能导致混凝土出现分层、离析等严重质量问题，特别是在关键部位，甚至可能引发安全隐患，对工程的整体质量和耐久性造成不可估量的影响^[1]。

2.2 复杂气候条件下的混凝土浇筑需求影响分析

高寒地区的复杂气候条件，如强风、频繁降雨以及强烈的太阳辐射等，对混凝土的运输和浇筑过程构成了严峻挑战。在恶劣天气下，混凝土的运输变得极为困难，风雨可能导致混凝土温度迅速下降，甚至结冰，从而严重影响其工作性能和浇筑质量。同时，恶劣天气条件也会严重干扰浇筑作业的正常进行，降低施工效率，甚至可能引发安全事故。此外，由于气候条件的多变，混凝土层间的结合质量也难以保证，特别是在降雨后，水分可能渗入混凝土层间，导致结合面出现空隙或裂缝，进而削弱工程的整体稳定性。这些影响不仅增加了施工难度和成本，还可能对工程的整体质量和安全性造成严重影响。

2.3 大温差条件下的混凝土养护与保温需求影响分析

在高寒地区，大温差条件对混凝土的养护和保温提出了极高要求。由于昼夜温差大，混凝土内部温度分布不均，容易产生温度裂缝和干缩裂缝，这些裂缝不仅影响混凝土的美观性，还可能降低其承载力和耐久性。为了应对这些挑战，需要采取一系列养护和保温措施，如覆盖保温材料、加热或冷却混凝土内部等，以确保混凝土在养护期间处于适宜的温度环境中。然而，这些措施不仅增加了施工成本，还对施工人员的专业技能和经验提出了更高要求。同时，养护周期的延长也可能影响整个工程的进度计划。因此，在大温差条件下对混凝土进行有效的养护和保温，是确保工程质量、降低温度变化

对混凝土质量影响的关键所在^[2]。

3 应对措施与实践

3.1 碾压混凝土VC值的动态控制

3.1.1 研究背景与气候特征

本研究针对的工程区域气候特征极为复杂，具体表现为：夏季与冬季温差巨大，夏季最高气温可超过20℃，而冬季最低气温则可降至-20℃以下；日照时间长，太阳辐射强烈，年平均日照时间高达2800小时，施工期间日照时间通常超过8小时；降雨主要集中在6至9月，月雨天数介于15至20天之间；且常年伴有大风天气，最大风速可达20m/s。这些气候因素对碾压混凝土的VC值控制构成了严峻挑战。

3.1.2 VC值变化规律研究

为了深入探究复杂气候环境下碾压混凝土VC值的变化规律，进行了详细的检测试验，并绘制了工程区域内气温分布趋势图和平均降雨量分布趋势图。通过对2020年全年的VC值数据进行整理与分析，综合考虑了气温、日照和降雨等多种气候因素的影响，总结出了每月碾压混凝土VC值的特征变化曲线。进一步地，根据碾压混凝土的工艺特性，确定了可碾性的VC值范围为0至5s，并依据每月的VC值特征曲线，精确计算了每月的VC值损失值。同时，通过碾压混凝土的配合比试验，深入探究了单位用水量、减水剂掺量与VC值之间的定量关系，并绘制了碾压混凝土VC值与单位用水量关系曲线（图1）。

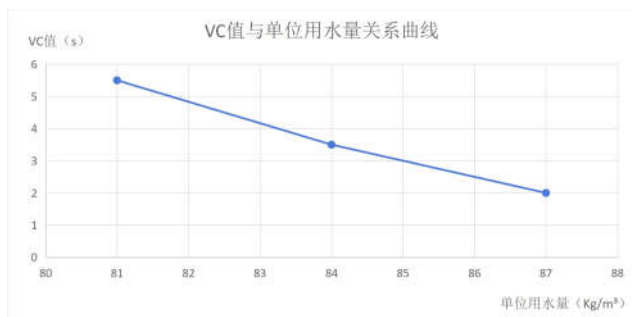


图1 碾压混凝土VC值与单位用水量关系曲线

3.1.3 VC值动态控制策略

在充分掌握碾压混凝土VC值变化规律的基础上，制定了一套科学有效的动态控制策略。首先，通过精确调整减水剂的掺量，可以在混凝土出机口就有效地控制VC值，确保在经历运输过程后，现场碾压混凝土的VC值仍然能够满足施工要求。这一策略的实施，依赖于对VC值与减水剂掺量关系的深入理解。其次，为了应对施工现场复杂的气候条件，特别是大风、高温和日照时间长的情况，采用了仓面喷雾技术来形成“小气候”，从而减小碾压混凝土在仓面卸料和待碾时间段的VC值损失。具

体来说，根据气候条件和施工需求，灵活选择使用可移动喷雾机或水管进行喷雾。在大风期间，使用喷雾机，并根据风向合理确定其位置；而在高温和日照时间长的施工期间，则主要使用水管，通过人工调节水管的布置间距和通水流量，确保坝面“小气候”的稳定性和有效性。

3.2 复杂气候条件下的混凝土浇筑

3.2.1 太阳照射影响应对

在复杂气候条件下，太阳照射成为影响混凝土浇筑质量的重要因素。特别是在坝址等区域，太阳照射时间长且辐射强烈，这导致碾压混凝土拌合物在出拌合楼后，其含水量会迅速蒸发，进而造成混凝土表面发干发白，严重影响其质量和性能。为应对这一挑战，采取了一系列有效的遮阳措施^[3]。首先，在运输混凝土的自卸车顶部安装遮挡棚，有效减少太阳直射对混凝土的影响。同时，车身两侧挡板也布置了橡塑海绵，进一步隔绝阳光，降低太阳辐射的穿透力。此外，在入仓皮带机上部，使用三防布进行遮挡，确保混凝土在输送过程中免受阳光照射（图2）。最后，入仓满管溜槽的管身也被包裹上橡塑海绵，以最大限度地降低太阳辐射对混凝土的不利影响。

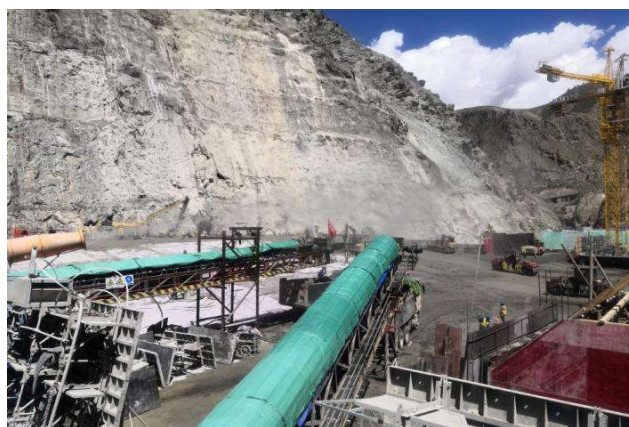


图2 入仓皮带机上部设置遮挡棚

3.2.2 降雨影响应对：

在降雨频发的复杂气候条件下，混凝土浇筑面临严峻挑战。降水易渗入拌合物，导致含水量增加，进而影响混凝土的整体质量。为有效应对这一问题，在运输和浇筑阶段采取了严密的遮挡覆盖措施。通过在自卸车、入仓设备等关键部位设置遮挡物，大幅减少了碾压混凝土与雨水的直接接触面积。同时，对待碾的混凝土，特别使用彩条布进行覆盖，以确保其免受雨水侵袭。此外，还设定了雨量阈值，当雨量达到6mm/h时，暂停碾压混凝土施工，以避免雨水对混凝土质量造成不可逆转的负面影响。

3.2.3 大风天气应对

在大风频发的气候条件下，碾压混凝土面临内含水分快速蒸发的挑战，这会导致混凝土干燥加速，进而影响其质量和性能。为有效应对大风天气带来的不利影响，采用了仓面喷雾技术。通过这一技术，能够在仓面上形成一层均匀的水雾，这层水雾能够有效地保持待碾混凝土的湿润状态，从而显著减缓水分的蒸发速度。仓面喷雾技术的实施，不仅确保了混凝土在碾压前的适宜含水量，还提高了混凝土的整体质量。

3.2.4 斜层碾压铺筑

在复杂气候条件下的混凝土浇筑中，采用了斜层平推铺筑法。这一方法通过精细调整层面坡度，实现了对层间间隔时间的灵活控制。在实际操作中，根据气候条件和施工需求，不断优化层面坡度设计，确保每层混凝土在最佳时机进行碾压。斜层平推铺筑法的应用，不仅显著提高了施工效率，还极大提升了混凝土的整体质量。通过减少层间等待时间，有效避免了混凝土因长时间暴露而引发的质量问题。同时，该方法还增强了施工过程的灵活性和可控性，使能够更好地应对复杂多变的气候条件。

3.3 大温差条件下的养护和保温

3.3.1 夏季养护

在夏季高温环境下进行碾压混凝土施工，由于气温较高，混凝土表面容易因水分蒸发而出现干裂。为有效应对这一问题，采取以下养护措施：①仓面喷雾与覆盖：白天，对正在碾压的区域使用喷雾机进行持续喷雾，确保已碾混凝土表面保持湿润。同时，已碾压完成的区域则采用彩条布或塑料薄膜进行覆盖，以有效防止表面水分的快速蒸发。②模板覆盖养护：在上下游坝面，推迟模板的拆除时间，利用模板对混凝土进行覆盖养护，进一步减少水分流失。③洒水与冷却水管系统：沿上下游坝面布置水管，通过水流的持续流淌保持坝面的湿润状态。此外，碾压混凝土大坝内部每1.5米布置一层冷却水管，每层浇筑完成后即进行通水，结合坝内的温控监控系统和水流量调节系统，实现对碾压混凝土的有效降温。进入9~10月，虽然整体气温下降，但早晚温差大，易出现霜冻。此时，主要采用覆盖方式进行养护，以避免洒水养护带来的冻害风险。

3.3.2 冬季保温

鉴于坝址地区冬季极端低温可降至-20℃，且考虑到混凝土自身的放热特性，大坝内部与表层碾压混凝土之间会产生显著的温度差异，这极易诱发温度裂缝。为有效缓解这一问题，采取了针对性的保温措施来缩小内外混凝土的温度差。对于大坝坝面及溢流面，采用多层覆盖的保温方式，依次铺设橡塑海绵、三防布和保温棉被，以形成有效的隔热屏障。同时，在大坝的上下游立面，选择喷涂硬泡聚氨酯，并在其外层覆盖喷涂了聚氨酯的模板，以增强保温效果。对于泄流底孔的立面，则悬挂保温被并喷涂了聚氨酯，以确保全方位的保温。通过这些物理与化学方法的巧妙结合，可以有效应对冬季极端低温对碾压混凝土施工带来的挑战。

4 实施效果与分析

黑河黄藏寺水利枢纽大坝、厂房土建及安装工程通过实施上述技术措施，有效降低了复杂气候条件对碾压混凝土施工的不利影响。2020年和2021年的大坝碾压混凝土浇筑量分别达到32.5万m³和7.4万m³，单元合格率为100%。实践表明，这些技术措施在高寒地区水利水电施工中取得了显著成效。

结语

高寒地区水利水电施工面临诸多技术挑战，但通过深入研究和实践，可以总结出适用于该地区的施工关键技术。本文以黑河黄藏寺水利枢纽大坝为例，详细阐述了碾压混凝土重力坝在高寒地区的特殊技术需求和应对措施。这些技术和经验不仅为同类工程提供了有力支持，也为未来高寒地区水利水电施工的技术创新和发展提供了重要参考。随着科技的不断进步和施工工艺的不断优化，相信高寒地区水利水电施工的技术水平将不断提高，为国家的水利事业做出更大贡献。

参考文献

- [1]和仕云.高寒地区水利工程混凝土冬季施工措施与方法研究[J].水利科学与寒区工程,2020,3(02):139-141.
- [2]陈自聚.高原高寒地区水利工程施工提高混凝土强度的措施[J].中华建设,2019,(06):172-173.
- [3]“西部高寒地区水利水电工程混凝土防裂技术推广示范项目”在拉洛工程现场顺利开展示范应用[J].长江科学院院报,2019,36(11):26.