

浅谈煤矿立井井筒冻结法施工高强度混凝土质量控制

焦鸿毅

鄂尔多斯市国能神东监理有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017200

摘要：水泥选用高标号硅酸盐水泥（ ≥ 42.5 级），严格控制安定性及凝结时间；进场需复检强度、细度等指标，严禁使用受潮或过期水泥。高性能混凝土（HPC）：C50~C70级高标号防水抗冻混凝土在冻结井筒中的应用，降低井壁混凝土支护厚度20%；智能监控：深立井悬吊系统安全监控与温度场实时反馈系统，提升风险预警能力。冻结法施工需严格执行《煤矿安全规程》，井筒冻结段结束后及时充填壁间注浆，且注浆时混凝土温度 $\geq 4^{\circ}\text{C}$ 。

关键词：煤矿；立井井筒；高强度混凝土；施工质量控制

1 研究背景

在煤矿立井井筒建设中，冻结法施工是一种常用且重要的施工方法，尤其适用于穿过不稳定冲积层等复杂地质条件的情况。高强度混凝土作为冻结法施工中井筒支护的关键材料，其质量直接关系到井筒的承载能力、耐久性和安全性。然而，在实际施工过程中，受到多种因素的影响，高强度混凝土的质量容易出现波动，进而可能导致井筒出现裂缝、强度不足、蜂窝麻面等情况，严重威胁煤矿的安全生产。因此，对煤矿立井井筒冻结法施工中高强度混凝土的质量控制进行研究具有重要的意义。

2 高强度混凝土质量的影响因素

2.1 原材料选择

原材料是高强度混凝土质量的基础。水泥的强度等级、安定性、凝结时间等性能指标，骨料的颗粒级配、含泥量、泥块含量、坚固性，外加剂的种类、性能、掺量以及与水泥的相容性等，都会对混凝土的质量有着重要影响。例如，水泥强度等级不足或安定性不合格，会导致混凝土强度无法满足设计要求；骨料含泥量过高，会降低骨料与水泥石之间的粘结力，影响混凝土的强度和耐久性。

水泥应选择强度等级高、耐久性好的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，如42.5级及以上强度等级的水泥。水泥的初凝时间不宜过早，以确保混凝土在施工过程中有足够的操作时间。

水泥的质量应符合相关国家标准，进场时应对其品种、级别、包装或散装仓号、出厂日期等进行检查，并应对其强度、安定性及其他必要的性能指标进行复检，其质量必须符合现行国家标准的规定。尤其要说一下骨料分类情况，（1）细骨料：宜选用洁净、坚硬、级配良好的中砂，细度模数宜在2.6-3.0之间。砂的含泥量不应超过2.0%，泥块含量不应超过0.5%，以避免影响混凝土的

和易性和强度。（2）粗骨料：应选用质地坚硬、级配合理的碎石或卵石，最大粒径不宜超过40mm，且不得超过钢筋最小间距的3/4。粗骨料的含泥量不应超过1%，泥块含量不应超过0.5%，针片状颗粒含量不应超过15%。同时，应选用空隙率小的骨料，以减少水泥用量和混凝土的收缩。

外加剂应根据混凝土的性能要求和施工条件，合理选择外加剂，如减水剂、早强剂、防冻剂等。减水剂可以降低混凝土的水灰比，提高混凝土的强度和耐久性；早强剂可以加速混凝土的硬化，缩短养护时间；防冻剂可以保证混凝土在低温环境下的施工质量。

外加剂的质量应符合相关国家标准和行业标准，进场时应进行复检，其掺量应根据混凝土的配合比和施工要求通过试验确定。

拌合用水应进行取样，送至产品质量监督检验所检验，符合钢筋混凝土拌合用水标准。

2.2 配合比设计

配合比是高强度混凝土质量的关键。水胶比、砂率、外加剂掺量等参数的合理选择至关重要。水胶比过小，混凝土流动性差，施工难度大，容易出现蜂窝、麻面等缺陷；水胶比过大，混凝土强度和耐久性会受到影响。砂率过高或过低，会影响混凝土的和易性和强度。外加剂掺量不当，可能无法达到预期的改善混凝土性能的效果，甚至会对混凝土质量产生负面影响。

2.3 施工工艺

施工过程中的各个环节，如混凝土的搅拌、运输、浇筑、振捣和养护等，都会对高强度混凝土的质量产生直接影响。搅拌不均匀会导致混凝土各组分布不均，影响强度和耐久性；运输过程中时间过长或颠簸，可能导致混凝土离析、坍落度损失过大；浇筑时分层厚度不当、振捣不密实，会形成空洞、蜂窝等缺陷；养护条件

不足,如温度、湿度不够或养护时间不足,会影响混凝土的强度增长和耐久性。

2.4 环境因素

冻结法施工环境较为特殊,井筒内温度较低,湿度较大,且可能存在冻结壁的影响。低温环境会减缓水泥的水化速度,延长混凝土的凝结时间,若养护不当,容易导致混凝土早期强度增长缓慢,甚至出现冻害。湿度不足会使混凝土表面失水过快,产生干缩裂缝。此外,冻结壁的变形和位移可能对混凝土结构产生附加应力,影响其质量和稳定性。

3 高强度混凝土质量控制措施

3.1 原材料质量控制

严格选择水泥品种和强度等级,优先选用质量稳定、强度高、耐久性好的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。进场前对水泥的各项性能指标进行严格检验,确保符合设计要求。

骨料应选择级配良好、含泥量低、坚固性好的碎石和中砂。对骨料的含泥量、泥块含量、颗粒级配等指标进行严格控制,进场前进行筛分和清洗处理。

外加剂的选择应根据混凝土的性能要求和施工条件,通过试验确定其种类和掺量。确保外加剂与水泥具有良好的相容性,进场前对其质量进行检验。

3.2 配合比设计优化

在配合比设计前,对原材料进行详细的检测和分析,根据混凝土的强度等级、耐久性要求以及施工条件,合理确定水胶比、砂率、外加剂掺量等参数。

混凝土配合比设计应根据工程要求、原材料性能和施工条件,通过计算、试配和调整确定,以满足混凝土的强度、耐久性、和易性等要求。

在冻结法施工中,由于地层温度较低,混凝土需要具有良好的早期强度和抗冻性能,因此在配合比设计时应适当提高水泥用量,降低水灰比,同时掺加适量的外加剂。

设计步骤如下:

(1) 确定配制强度:根据混凝土的设计强度等级和施工单位的强度标准差,确定混凝土的配制强度。

(2) 计算水灰比:根据配制强度和水泥的实际强度,计算水灰比。水灰比是影响混凝土强度和耐久性的关键因素,应严格控制。

(3) 确定用水量:根据混凝土的坍落度要求和骨料的种类、规格,确定单位用水量。

(4) 计算水泥用量:根据水灰比和用水量,计算单位水泥用量。

(5) 确定骨料用量:根据骨料的级配和堆积密度,计算砂、石用量。可以采用重量法或体积法进行计算。

(6) 试配和调整:根据初步配合比进行试配,测定混凝土的坍落度、强度等性能指标,根据试配结果对配合比进行调整,直到满足设计要求为止。

通过试配和调整,优化配合比,使混凝土具有良好的和易性、强度和耐久性。在试配过程中,应考虑不同施工阶段和环境条件对混凝土性能的影响,确保配合比的适用性和稳定性。

3.3 施工工艺控制

混凝土搅拌应采用强制式搅拌机,严格控制搅拌时间和搅拌速度,确保混凝土各组分混合均匀。搅拌时间应根据搅拌机的类型、混凝土的配合比和坍落度等因素确定,一般不应少于2min。搅拌前应先对搅拌机进行检查和清洗,确保搅拌机正常运行。搅拌时应严格按照配合比计量原材料,计量误差应符合相关标准的规定。在冬季施工时,应采取加热原材料的措施,如对砂、石进行加热;采用温水搅拌,水温控制在40℃~60℃,同时搅拌时间要比正常搅拌时间延长50%左右,确保在低温季节施工时的入模温度不低于15℃。

运输过程中,应采取减少混凝土的离析和坍落度损失。选择合适的运输设备,如混凝土搅拌车,运输过程中保持搅拌筒匀速转动。运输时间应尽量缩短,以减少混凝土的坍落度损失。避免混凝土在运输过程中长时间停留,运输过程中应保持混凝土的均匀性和和易性,避免产生离析、泌水等现象。

浇筑前,对模板和钢筋进行检查,确保模板表面清洁、平整,钢筋位置准确、无锈蚀。浇注混凝土时要垂直入模,下料要均匀,对称连续分层浇注,振捣工作要定人、分区分层振捣,分层厚度不超过300mm,且均匀布置振点,间距一般为300~400mm。随浇注随振捣,确保混凝土饱满密实。在冻结法施工中,由于井筒周围存在冻结壁,混凝土浇筑时应注意避免冲击冻结壁,以免影响冻结壁的稳定性。浇注过程中,工作人员从模板观察门进行浇注效果检查和处理,将混凝土振捣密实,避免出现蜂窝、麻面。

振捣器的选择应根据混凝土的坍落度和结构部位确定,一般采用插入式振捣器。振捣器的插入深度应插入下层混凝土50-100mm,以确保上下层混凝土结合紧密。振捣时间应适当,以混凝土表面不再显著下沉、不再出现气泡、表面泛浆为准。振捣过程中应避免触及模板、钢筋和预埋件。

3.4 混凝土养护

混凝土养护应根据施工季节和环境条件选择合适的养护方法,如自然养护、蒸汽养护等。在冻结法施工中,由于地层温度较低,一般采用蒸汽养护或综合养护方法,以提高混凝土的早期强度和抗冻性能。

自然养护时,应在混凝土浇筑完毕后12h内对混凝土加以覆盖并保湿养护,养护时间不得少于28天。养护期间应保持混凝土表面湿润,避免混凝土失水干燥。

蒸汽养护时,应制定合理的养护制度,控制升温速度、恒温温度和降温速度。升温速度不宜超过 $10^{\circ}\text{C}/\text{h}$,恒温温度应根据混凝土的配合比和养护要求确定,一般不宜超过 60°C ,降温速度不宜超过 $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。养护时间应根据混凝土的强度增长情况确定,确保混凝土达到设计强度要求。

养护期间应保持适宜的温度和湿度,温度过低或过高都会影响混凝土的强度增长和耐久性。在冬季养护时,应采取保温措施,防止混凝土受冻;在夏季养护时,应采取降温措施,避免混凝土因温度过高而产生裂缝。

湿度不足会导致混凝土失水干燥,产生收缩裂缝,影响混凝土的质量。因此,养护期间应保持混凝土表面湿润,可采用覆盖塑料薄膜、湿麻袋等方法进行保湿。

养护是高强度混凝土质量控制的重要环节。在冻结法施工环境下,应采取有效的保温保湿措施,如覆盖保温材料、喷洒养护剂等,确保混凝土表面始终处于湿润状态,养护时间不少于28天。同时,根据环境温度变化,调整养护措施,防止混凝土受冻。

3.5 环境因素应对

如在冬季或低温环境下施工时,可采取加热原材料、调整混凝土配合比(如添加早强剂、防冻剂)等措施,提高混凝土的早期强度和抗冻性能。

加强对冻结壁变形和位移的监测,及时调整施工方案,避免因冻结壁变形对混凝土结构产生不利的影响。同时,在混凝土结构设计中,考虑冻结壁附加应力的影响,合理设置配筋和井壁结构形式。

4 质量检测与验收

4.1 原材料检测

对进场的原材料应按照相关标准进行检测,检测项目包括水泥的强度、安定性,骨料的含泥量、泥块含量、级配,外加剂的性能等。检测频率应符合相关标准的规定,确保原材料质量合格。

4.2 混凝土拌合物检测

在混凝土搅拌过程中,应定期检测混凝土拌合物的坍落度、含气量等性能指标,检测频率应根据施工进度和混凝土配合比的变化情况确定。如发现坍落度不符合

要求,应及时调整配合比。

4.3 混凝土强度检测

混凝土强度应按规定制作试件,进行标准养护和同条件养护,检测其抗压强度。标准养护试件的检测结果用于评定混凝土的强度等级,同条件养护试件的检测结果用于判断混凝土是否达到拆模、张拉等施工强度要求。

检测频率应符合相关标准的规定,对于高强度混凝土,应增加检测次数,以确保混凝土强度符合设计要求。

4.4 外观质量验收

混凝土浇筑完毕后,应检查混凝土的外观质量,如是否存在蜂窝、麻面、裂缝、露筋等缺陷。如有缺陷,应及时进行处理,处理方法应根据缺陷的严重程度确定,如修补、返工等。

5 结论与展望

5.1 结论

在煤矿立井井筒冻结法施工中,高强度混凝土的质量控制是一个系统工程,涉及原材料质量、配合比设计、施工工艺和环境因素等多个方面。通过严格控制原材料质量、优化配合比设计、规范施工工艺和应对环境因素,可以有效地提高高强度混凝土的质量,确保井筒的安全和稳定。

5.2 展望

随着煤矿开采深度的不断增加,立井井筒建设面临的地质条件更加复杂,对高强度混凝土的性能要求也越来越高。未来,需要进一步研究和开发适用于冻结法施工环境的高性能混凝土材料,优化施工工艺和质量控制方法,提高混凝土的耐久性和可靠性。同时,加强对施工过程中的智能化监测和控制,实现高强度混凝土质量的全过程精准把控,确保工程质量和进度同时兼备,加快矿井投产效率和长期运行的安全及抗灾能力。

确保井筒在50~70年服役周期内稳定承载地压、水压及提升荷载,杜绝结构性破坏风险,保障井筒功能完整性长期有效,实现提升运输、通风排水、管线布设等设计功能。严格把控可有效规避井壁塌落、渗漏等风险,保障井筒具备50年以上服役期限。

总之,高强度混凝土通过材料创新与工艺优化,实现了立井井筒的薄壁化、高耐久及低成本建造,但需严格管控泵送连续性及温度应力,以规避结构缺陷风险。

参考文献

- [1]王方.浅谈煤矿立井井筒高强度混凝土施工质量控制.2022.
- [2]刘慧园.关于煤矿立井井筒高强度混凝土施工质量控制分析.2023.