

# 超高结构无粘结预应力滑模混凝土的配置及 施工质量控制

崔 斌 马学源 李晓飞 晋东阳  
新疆一方商品混凝土有限责任公司 新疆 昌吉 831700

**摘要:** 本文探讨了超高结构储煤仓后张法无粘结预应力滑模混凝土的配置及施工质量控制。在配合比设计时充分考虑了施工工艺的改变对配合比设计中水胶比、早期强度、黏度控制、坍塌度保坍时间等参数的影响。同时在滑模施工过程中,做到“边滑升、边浇筑、边绑扎、边收面”的质量控制原则,保证超高结构预应力滑模混凝土施工质量,为类似工程提供了宝贵的参考经验。

**关键词:** 储煤仓; 超高结构; 滑模工艺; 后张法无粘结预应力钢筋混凝土

引言: 随着工业建筑业的蓬勃发展, 超高结构滑模混凝土施工技术日益凸显其重要地位。在大型煤矿储煤仓等工程中, 预应力滑模混凝土以其高效连续的施工特点, 广泛应用于此类项目。通过优化配合比设计、研发高效外加剂以及实施严格的施工质量控制措施, 确保储煤仓的外观质量与结构耐久性符合设计要求。

## 1 工程概况

特变电工新疆天池能源有限公司准东南露天煤矿三期工程, 位于新疆准东开发区, 占地面积12300m<sup>2</sup>, 建筑体积615000m<sup>3</sup>, 共有12个圆形储煤筒仓, 每个筒仓直径30米, 建筑总高度92米, 混凝土主体结构高78米, 采用后张无粘结预应力钢筋混凝土滑升施工工艺。储煤仓筒壁必须一次性滑升到顶, 且滑升过程中不留任何水平施工缝, 筒仓不能变形, 仓体表面在滑模施工时对混凝土进行压实抹光, 以保证仓壁外观质量。

## 2 预应力滑模混凝土施工工艺简介

滑模混凝土施工工艺是一种先进的建造技术, 它采用滑动模板作为施工平台, 通过不断滑升模板来连续浇筑混凝土, 从而实现结构的快速成型。在滑模施工过程中, 首先需要根据设计要求安装初始模板, 并搭设钢筋骨架以形成混凝土结构的受力体系。随着混凝土的浇筑, 滑模装置会逐步上升, 带动模板同步提升, 确保混凝土结构连续、顺直, 待混凝土强度合格后进行张拉。在施工过程中, 需要严格控制混凝土的质量、浇筑速度和滑升速度, 以确保结构的稳定性和施工质量。

## 3 预应力滑模混凝土配合比设计及外加剂研发

### 3.1 原材料数据

通过筛选, 该工程选用了新疆泰华铭建材有限公司骨料, 新疆宜化化工厂建材分厂生产的P•O 42.5水泥, 新疆东方希望有色金属有限公司生产的F类Ⅱ级粉煤灰, 专门研发的新疆凯欣建材有限公司生产的聚羧酸高性能减水剂。主要材料技术指标如下:

表1 水泥主要技术指标

比表面积 (m <sup>2</sup> /kg)	标准稠度用水量 (%)	凝结时间		抗压强度 (MPa)		MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Cl <sup>-</sup> (%)
		初凝 (min)	终凝 (min)	3天	28天			
354	26.4	168	229	26.2	54.0	1.97	2.57	0.029

表2 粉煤灰主要技术指标

细度 (%)	需水量 (%)	烧失量 (%)	28d活性指数 (%)	含水量 (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Cl <sup>-</sup> (%)
23.6	95	0.5	82	0.1	52.37	17.42	5.07	10.53	3.84	0.037

表3 骨料主要技术指标

细骨料				粗骨料			
细度模数	表观密度 (kg/m <sup>3</sup> )	含泥量 (%)	压碎值指标 (%)	紧密堆积密度 (kg/m <sup>3</sup> )	含泥量 (%)	压碎值指标 (%)	泥块含量 (%)
3.1	2740	1.2	6	1620	0.3	7.2	0.1

表4 外加剂主要性能指标

减水率 (%)	含气量 (%)	氯离子含量 (%)	抗压强度比 (%)		凝结时间之差 (min)	
			7d	28d	初凝	终凝
25	2.1	0.02	161	152	+20	+30

### 3.2 配合比设计及性能试验

针对筒壁C40滑模混凝土的特殊要求,进行精细的配合比设计。试验过程中,探索了不同水胶比、掺合料和外加剂掺量对混凝土滑升性能的影响,并通过对比测试分析,确定最终的配合比方案,对混凝土的流动性和黏度进行了深入研究。

参考《普通混凝土配合比设计规程》JGJ55—2011,

以及该工程地区沙漠干燥气候、水分蒸发速度快的特征,滑模混凝土水胶比不宜大于0.40,不宜小于0.32,坍落度控制在(180±30)mm。为了保证滑升速度和外观质量,单方用水量不易太低,为不低于150kg,不超过165kg为宜,粉煤灰掺量20%-30%之间,具体混凝土配合比设计如下表所示:

表5 试验用混凝土配合比设计

配合比编号	水泥 (kg)	粉煤灰 (kg)	细骨料 (kg)	粗骨料5-20 (kg)	粗骨料20-40 (kg)	高性能减水剂 (kg)	水 (kg)	水胶比	砂率 (%)
YF-1	270	150	755	492	758	9.24	160	0.38	41
YF-2	300	140	736	508	596	10.12	160	0.36	40
YF-3	330	120	712	501	612	10.80	155	0.34	39

依据《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50082-2016和《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081-2019以及《钢筋混凝土筒仓设计标准》GB

50077-2017,测试并收集新拌混凝土拌合物工作性、硬化后力学性能及滑升性能模拟效果,具体见下表所示:

表6 新拌混凝土拌合物性能、力学数据及滑升性能模拟效果评价

配合比 编号	混凝土拌合物性能					力学性能		模拟滑升性能试验 (25-30°)	滑升外观质量
	初始坍落度 (mm)	1h坍落度 (mm)	含气量 (%)	和易性	粘聚性	3d抗压强度 (MPa)	28d抗压强度 (MPa)	滑升速度cm/h	外观质量
YF-1	200	195	1.8	良好	一般	16.8	45.1	30	部分塌边
YF-2	210	200	2.1	良好	良好	20.7	48.6	30	良好
YF-3	210	200	2.3	较好	偏粘	22.2	51.4	20	粘模

根据筒仓连续施工不间断的特点,混凝土用高性能聚羧酸减水剂必须单独复配,既要保持混凝土拌合物的流动性,还要保持混凝土低黏度性。此外,筒壁滑升时需要筒壁的早期强度来支撑滑升用的施工平台。因此,连续施工时,需要提高筒壁的早期强度和凝结时间,以达到连续施工同时不影响筒壁强度和安全支护的目的。为此,专门针对此项工程,研发了流动性好、早期强度提升快、黏度较低的高性能减水剂,通过外加剂改性加入三乙醇胺、葡钠等调节剂,结合施工环境温度,来实现凝结时间的动态调整,有效调控混凝土凝结时间和早期强度,提高滑升速度和质量。

加入专用的外加剂,并通过混凝土试配对比试验,由表6数据可知,水胶比在0.36,粉煤灰掺量31%时,混凝土表现出最佳的拌合物性能、早强性能和低黏度特性。滑升时的滑升速度和混凝土质量协调一致,效果较

好。以此确定编号YF-2配合比满足施工要求,并兼具经济性。

## 4 施工质量控制

4.1 施工时,根据实际需要,为防止施工过程中钢筋变形,应设置竖向钢筋定位卡和保护层定位钢筋卡,混凝土浇筑时采用汽车泵泵送和塔吊吊罐(应急)相结合的浇筑方式,下料时必须分层均匀按顺时针交替交圈浇筑,每层在同一水平面上,每层浇筑厚度为300mm,每层间隔时间应不大于混凝土初凝时间。

4.2 混凝土入模后及时用插入式振动棒振捣,滑模施工具有“边滑升、边浇筑、边绑扎、边收面”的特点,开始滑升前,必须先进行试滑升,试滑升时,应根据现场混凝土的贯入度试验数据,将全部千斤顶全部滑升30mm,观察混凝土出模强度,符合要求即可将模板滑升到300mm高,并对所有提升设备和模板系统进行全面检查,

修正后,可转入正常滑升。

4.3 正常滑升时,两次滑升之间的时间间隔,以混凝土达到0.2-0.4兆帕立方体强度的时间来确定,一般控制在2小时以内,每个浇筑层的控制浇筑高度为300mm,绑扎一层(浇筑层)钢筋、浇筑一层混凝土,混凝土正、反循环浇筑,气温较高时中途提升1-2个行程,防止粘模。

### 5 施工质量缺陷分析及修补措施

5.1 在滑模混凝土施工中,发现滑模混凝土表面出现若干质量缺陷。具体表现为部分区域存在表面粗糙、平整度不达标的情况,甚至在某些转角和连接部位,出现明显的收缩裂缝和麻面。经过分析,这些缺陷主要源于施工过程中对混凝土配比、滑模操作以及环境条件的控制不足,导致收缩加大,易于形成裂缝;滑模过程中速度控制不当,使得表面光洁度无法达到要求;同时,高温、大风等不利环境因素也加剧表面质量问题的出现。

5.2 针对质量缺陷,采取相应的修补措施,旨在恢复混凝土表面的平整度和美观性。第一,对于表面粗糙和不平整的问题,采用打磨和局部找平的方法。使用专业打磨机械对表面进行精细打磨,去除凸起的颗粒和不平整的部分。然后,使用与原混凝土配比相同的砂浆进行局部找平,确保表面平整度达到设计要求。第二,针对裂缝和麻面的问题,采取注浆和表面处理的综合方法。首先使用高压注浆设备将修补材料注入裂缝中,填充裂缝并恢复混凝土的完整性。注浆材料固化后,再使用专门的表面修补材料进行涂抹,覆盖并美化注浆痕迹,使表面恢复光滑。第三,在修补过程中,严格控制修补材料的质量和性能,确保其与原混凝土具有良好的相容性和粘结力。同时,我们还注重修补施工的环境条件,避免在高温、大风等不利环境下进行修补工作,以确保修补后的混凝土表面质量得到显著提升,粗糙和不平整的区域得到有效改善,整体表面平整、光滑,符合设计要求。

5.3 混凝土浇筑完成后,应进行及时的养护,确保混凝土达到设计强度。养护过程中应注意保持混凝土表面的湿润,防止干燥收缩导致裂缝;

### 6 无粘结预应力混凝土筒壁后张拉质量控制

此项目采用的是后张法无粘结预应力钢筋混凝土施工工艺,把无粘结预应力筋而非预应力筋一道按设计曲线铺设在模板内,待混凝土浇筑并达到强度后,张拉无粘结筋并锚固,借助两端锚具,达到对结构产生预应力效果。

6.1 对于筒壁张拉所需的预应力材料、锚具、夹具及

张拉设备质量应符合相关国家标准,要求最终有效预应力值为1000N/mm。

6.2 预应力钢绞线由7束15.2(每根7Φ5)组成,张拉控制应力 $\sigma = 0.75f = 1395\text{N/mm}$ ,应采用“双控”张拉。

6.3 为了减少预应力钢筋的应力松弛损失,施工时应采取超长张拉,但最大张拉应力不得超过0.75f。

6.4 本仓壁预应力工艺采用无粘结后张法施工,无粘结预应力筋由四根扶壁柱按180°包角环向布置,张拉需待仓壁混凝土强度达到100%以后,且要求两端张拉,为避免非对称张拉带来的不利影响,必须同-水平的两根半圆束同时张拉。张拉顺序为:预应力筋束自下而上隔根张拉,然后自上而下全都张拉完毕。

6.5 施加预应力工艺后,铺具、垫板等用C40微膨胀混凝土浇灌补平。

### 结束语

(1) 预应力滑模混凝土在配合比设计时,应充分考虑施工工艺的改变对配合比设计中水胶比、早期强度、黏度控制、坍落度保坍时间等参数的影响。

(2) 滑模混凝土工艺的控制难点,即滑升速度与混凝土质量之间的矛盾。生产控制时,应不断调整,寻找混凝土水胶比、早期强度、黏度控制之间的平衡点,以提高滑升速度和筒壁混凝土质量。

(3) 外加剂的配方需要进行专门设计,以改善混凝土的工作性能,有效调控混凝土凝结时间和早期强度,降低混凝土黏度,减少粘模的概率。

(4) 滑模施工过程中,需要实时监控混凝土的浇筑质量、滑升速度、模板的垂直度和平整度等多个方面,施工时应做到“边滑升、边浇筑、边绑扎、边收面”的质量控制原则,当发现仓体出现裂缝、麻面、蜂窝、砂线等缺陷时,需要及时修补。

(5) 筒仓仓壁预应力工艺采用无粘结后张法施工时,张拉时需待仓壁混凝土强度达到100%以后方可张拉,张拉时预应力筋束自下而上隔根张拉,然后自上而下全都张拉完毕。

### 参考文献

- [1]李明.张伟.超高结构滑模混凝土的优化配置与施工技术[J].建筑科学与工程学报.2023.30(2):89-96.
- [2]王晓红.陈亮.超高建筑滑模混凝土施工质量控制技术研究[J].土木工程学报.2022.55(4):123-130.
- [3]郭伟.周慧.超高结构滑模混凝土配置及其施工质量控制要点[J].建筑技术与发展.2021.28(5):78-84.