

筒仓结构高空模板支撑架及搭设平台的分析研究

郭 艳¹, 胡长明¹, 任文军², 才素平²

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 中国二冶集团有限公司, 内蒙古 包头 014030)

摘要: 简述了钢筋混凝土筒仓结构仓顶施工所用模板支架及其施工操作平台系统, 该操作平台作为满堂支撑架的搭设基础, 用于承担并传递仓顶施工时的荷载。运用 SAP2000 建立满堂支撑架及施工操作平台的数值模型, 通过逆向推演的形式进行模板支撑架及操作平台的内力分析: 先将整个仓顶分三步施工得到每一步混凝土浇筑时模板支撑架立杆底部的轴力, 然后将所得轴力作为外荷载分步作用于施工操作平台之上, 可直观地看到不同混凝土浇筑阶段施工操作平台各构件的内力响应。分析结果表明: 分步施工的方法能够合理地分配外荷载, 避免仓顶一次施工荷载过大可能造成的施工安全隐患, 钢丝绳的提拉能够减小操作平台的变形, 保证施工安全。

关键字: 筒仓结构; 支撑架; 操作平台; 数值模拟; 逆向推演

中图分类号: TU733

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2015)04-0549-6

Analysis of template support frame and the platform erection of the silo structure at a high altitude

GUO Yan¹, HU Changming¹, REN Wenjun², CAI Suping²

(1. School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. China Second Metallurgical Group Company, Baotou 014030, China)

Abstract: The template support frame and its construction operating platform system for roof construction of reinforced concrete silo structure is described, as the operating platform was the erection foundation to undertake and pass the loads during the roof concrete pouring. Numerical models of the template support frame and the operating platform through finite element software SAP2000 were established and their force by reverse deduction analyzed. Firstly the whole roof is divided into three steps, and the axial force at the pole's bottom of the template support frame is obtained under each step. Secondly the axial force as external forces acting on the operating platform is retained step by step, last could retain each element's mechanical response of the operating platform under different concrete pouring steps. Results showed that staged construction can help distribute the external loads reasonably, avoid the construction safety hazards of large loads aroused by once excessive construction. And the rope could ensure construction safety by reducing the deformation of the operating platform.

Key words: the silo structure; template support frame; operating platform; numerical simulation; reverse deduction

随着国民经济建设的高速发展, 筒仓结构作为一种常见的工农业建筑形式, 具有防火性能好, 自动化程度高, 管理方便等优点, 所以在玻璃、水泥、矿产、冶金、农业等行业应用较多并且将拥有更广阔的利用空间。目前, 筒仓结构施工中常采用滑模施工工艺^[1-2], 在滑升过程中由于筒仓直径太大, 操作平台受自重、施工活载、混凝土摩阻力及各种附加荷载的影响后容易产生变形, 随着滑升高度的增加, 变形不断累积。当浇筑仓顶混凝土时, 搭设在变形后的操作平台之上的模板支撑架会产生偏差, 导致模板的支设存在偏差, 从而影响仓顶混凝土的浇筑质量。传统混凝土筒仓结构的施工方法是在筒仓内部搭设落地式满堂支架, 其缺点主要为架管用量多、材料不易堆放; 在筒仓内部搭设及拆除支架

需耗费大量的人力, 且拆除时向外运输架管困难; 施工缓慢, 增长工期; 架体较高, 易发生局部失稳。

基于以上问题, 介绍一种采用大刚度施工操作平台并分步卸荷的筒仓结构仓顶混凝土浇筑施工方法, 采用逆向推演方式, 运用有限元软件 SAP2000 进行分析。某工程采用了刚性平台作为仓顶锥壳及顶板结构的施工平台, 为仓下漏斗结构施工提供了平行作业的时间和空间; 整体结构施工完成后比计划工期减少了 90 d, 节省模板支架租赁费 14 万元, 工费 53 万元, 其他费用 5 万元, 加工平台直接费用约 30 万元, 考虑施工平台的回收成本, 直接节约了工程成本约 50 万元。下面结合具体工程对此施工方法展开讨论。

收稿日期: 2014-03-27 **修改稿日期:** 2015-08-01

基金项目: 陕西省教育厅专项科研计划项目 (12JK0898); 包头市科技计划项目 (2013X1007); 陕西省社会发展科技攻关项目 (2015SF290)

作者简介: 郭艳 (1989-), 女, 博士生, 主要从事土木工程施工与管理研究。E-mail: newmanguoyan@126.com

1 工程概况

某煤矿原煤仓采用筒仓结构,具体为两个直径为 25 m, 竖直仓壁厚度为 0.37 m, 斜仓壁厚度为 0.6 m, 平直段仓顶厚度为 0.13 m, 高度为 45.58 m 的筒仓结构. 施工筒仓圆台形仓顶部分时采用了一种具有辐射式钢桁架的操作平台系统, 施工平台在筒仓的搭设位置及顶部混凝土浇筑步骤如图 1 所示(图中未画出施工平台上的支撑体系). 将圆台形仓顶分三步进行施工, 并设置三道钢丝绳提拉操作平台, 减小平台承受的荷载, 保证施工进度安全进行. 采用逆向推演的形式以仓顶混凝土浇筑时满堂支撑架所承受的荷载及产生的内力为依据, 将支撑架立杆底部轴力视为操作平台的外力作用于其在施工平台相应的搭设位置上, 以分析操作平台的承力性能及其各组成构件的内力响应.

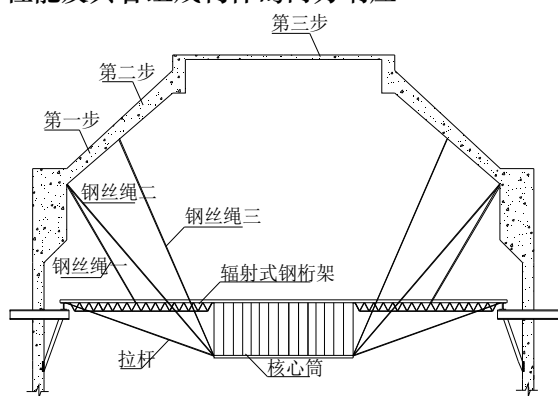


图 1 筒仓顶部混凝土施工步骤示意图

Fig.1 The construction steps of the silo structure roof

2 满堂支撑架的数值分析

2.1 满堂支撑架模型的建立

工程采用扣件式钢管支撑架, 目前国内外对于扣件架的理论研究已较为成熟^[3-6], 可在分析中直接引用. 根据工程实际搭设情况, 运用有限元软件 SAP2000 建立满堂支撑架的有限元模型, 该模型下部为直径 24.26 m 的圆柱体, 上部为圆台; 总高度 7.6 m, 扫地杆高度 0.4 m, 步距 1 m, 立杆上伸出端距离为 0.2 m, 立杆纵横间距均为 0.8 m; 以立杆底部约束位置为 $Z=0$ m 平面, 水平剪刀撑共搭设三道, 其平面位置分别位于 $Z=0.4$ m、 $Z=3.4$ m、 $Z=6.4$ m 高度上; X 向、 Y 向剪刀撑各 5 排, 间距为 8 跨. 模板支撑架模型如图 2 所示. 模型中立横杆及剪刀撑均采用 Q235 钢, 截面尺寸为 $\Phi 48 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm}$; 立杆上下层之间为刚性连接; 横杆及剪刀撑与立杆采用半刚性连接, 节点刚度为 $86 \text{ kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$ ^[3-4]; 立杆底端采用固定铰支座, 顶端自由.

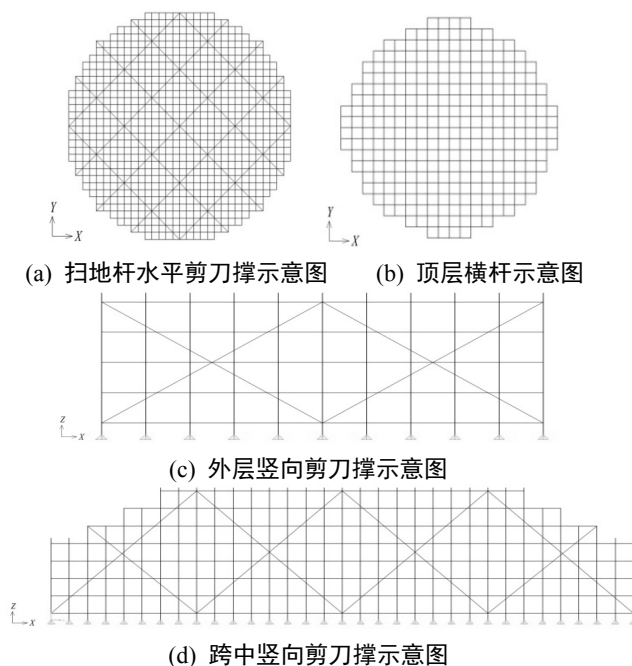


图 2 模板支撑架模型

Fig.2 Models of template support frame

2.2 满堂支撑架承担的荷载

根据《建筑施工模板安全技术规范》(JGJ162-2008)可知, 新浇混凝土自重取为 $24 \text{ kN}/\text{m}^3$, 钢筋自重取为 $1.1 \text{ kN}/\text{m}^3$, 施工均布活荷载取为 $1.0 \text{ kN}/\text{m}^2$, 振捣荷载取为 $3.0 \text{ kN}/\text{m}^2$. 施工过程中将立杆承受的荷载按照其纵横间距划分为不同的单元^[7].

该工程仓顶混凝土浇筑时, 模板支撑架位于筒仓内部, 可忽略风荷载的影响. 由《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ130-2011)知, 验算立杆承载力时的荷载效应组合为:

$$S = \text{永久荷载} + \text{施工荷载}$$

根据《钢结构设计规范》(GB50017-2013), 应考虑钢管的初始弯曲、锈蚀及端面偏差等初始缺陷, 但并未说明应如何考虑其影响, 欧洲规范 EN1993 中关于初始缺陷的规定, 采用竖向荷载的 1% 作为假想水平力作用在立横杆节点处以模拟架体的初始缺陷.

2.3 有限元结果及分析

圆台形仓顶混凝土施工分三步进行: 第一步施工至斜壁段总混凝土方量的一半, 由立横杆间距计算可知, 荷载作用于满堂支撑架外围立杆上, 平面呈环形, 如图 3(a)所示; 第二步将斜壁段施工完成, 计算可知荷载作用于满堂支撑架中间立杆上, 平面呈环形, 如图 3(b)所示; 第三步施工仓顶平直段, 荷载作用于满堂支撑架中部, 平面呈圆形, 如图 3(c)所示, 图 3 中黑点为直接受荷的立杆, 方格线为纵横向横杆.

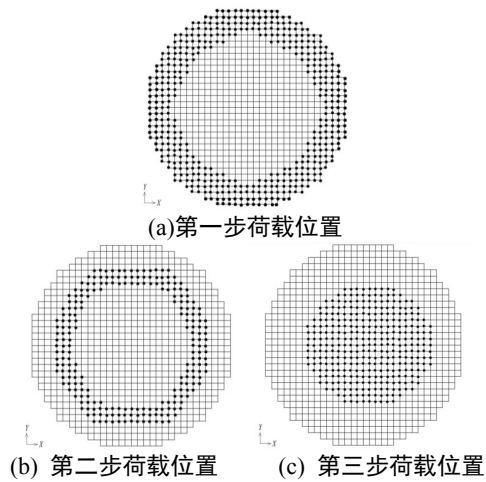


图 3 模板支撑架每步荷载的作用位置（俯视图）
Fig.3 Load location of each step on template support frame
新浇筑混凝土为时变结构^[8]，其强度随养护时间的增加而增加。关于混凝土强度的时变性，文献

[9]给出了普通硅酸水泥在20℃不同龄期混凝土早期强度与28 d 标准强度值的比值 $y:y=0.13+0.574\lg t$ ， t 为龄期。

施工设计及经验表明，混凝土强度达到设计强度的75 %（龄期两周）时后期强度增长缓慢，可做后续操作的基础。故该分析将混凝土时变过程阶段静力化，本工程共分为三个静力分析工况，分别对应三步混凝土浇筑，在有限元模型中分别定义荷载工况及荷载组合，运行分析结束后通过输出单元求解结果得到模板支架的内力响应。

图 3 所示每步混凝土浇筑中直接承载的模板支架立杆轴力较大，临载边界区域立杆轴力次之，其他立杆受力较小，现将各混凝土浇筑阶段模板支架立杆轴力情况汇总于表 1。

表 1 不同混凝土浇筑阶段立杆轴力
Tab.1 The axial force of pole in each concrete pouring stage

施工步	直接受力立杆					其它立杆				
	数量 /根	轴力/kN				数量 /根	轴力/kN			
		最小值	最大值	均值	方差		最小值	最大值	均值	方差
1	460	5.422	19.945	12.684	7.262	429	0.119	4.759	2.439	2.32
2	206	6.772	16.777	11.775	5.003	683	0.009	3.986	1.998	1.989
3	333	3.169	4.978	4.074	0.905	556	0.085	2.156	1.121	1.036

由满堂架立杆底部轴力表可知，仓顶混凝土浇筑时新浇混凝土部位正下方架体立杆产生的轴力较大，其他部位架体受力较小，即每一步混凝土浇筑时应特别注意其下部架体的搭设质量；直接受力立杆的轴力也有较大差异，该差异主要由模拟缺陷的假想水平力引起，但直接承载的各立杆轴力均值接近于新浇混凝土的重量；模板支架搭设于操作平台之上，最高处为 7.6 m，模板支撑架管的用量相对较少，并未因其自重引起架体承载的变化；部分非直接受力立杆的较大轴力是由竖向剪刀撑引起的，剪刀撑在模板支撑架体系中起到重要的作用，可以传递部分荷载到与其相连的其他杆件，增加模板支撑架的整体性。

3 施工操作平台的数值分析

工程所用施工操作平台由辐射式钢桁架、核心筒、圈梁及拉杆四部分组成：辐射式钢桁架共 48 个，其中上弦为 16 号工字钢、腹杆和下弦为 25 号圆钢，见图 4，A 端连接圈梁，S 端连接核心筒，第一道钢丝绳在施工平台上的拉结点在 J 处；核心筒由上下两层双 16 号槽钢围圈，48 根 14 号槽钢边立柱，上下两层 90×10 等肢角钢纵横支撑，9 根

90×10 等肢角钢中立柱组成，见图 5；圈梁为 16 号工字钢，由 48 块分段焊接成环；拉杆为单根 25 号圆钢。钢桁架各构件之间为焊接；核心筒各构件之间亦为焊接；钢桁架与核心筒之间为高强螺栓连接；圈梁与钢桁架外端头下翼缘之间为焊接；拉杆一端锚固于钢桁架外端头 B，另一端锚固于核心筒下围圈^[10-11]。

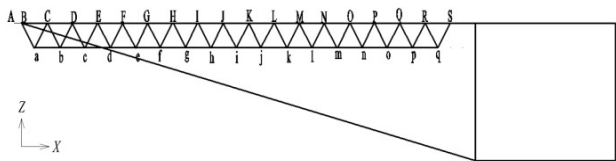


图 4 钢桁架节点编号图
Fig.4 Node number of the steel truss

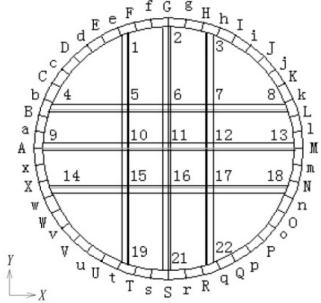


图 5 核心筒节点编号图
Fig.5 Node number of the core tube

3.1 施工操作平台模型的建立

运用有限元软件 SAP2000 建立施工操作平台的有限元模型,该模型中所有构件的截面形状、钢材型号及数量尺寸均与工程中所用的操作平台相同,各构件之间的焊接连接视为刚接,螺栓连接视为铰接,施工操作平台有限元模型见图 6。操作平台上铺设木板直接支撑上部的模板支撑架,支撑架立杆所在位置即为操作平台外荷载的作用点,如图 7 所示,根据满堂支撑架的实际搭设情况,在操作平台顶面划分为 0.8 m×0.8 m 的方格网,方格顶点代表满堂架立杆的搭设位置,亦是施工操作平台外荷载的作用位置点。

3.2 混凝土浇筑过程中施工操作平台受荷分析

该筒仓结构仓顶施工时采用了一种分步卸荷的施工方法,在混凝土浇筑的不同阶段埋设预埋件,待新浇混凝土达到设计强度 75 %后在预埋件及操作平台之间拉设钢丝绳,下一步混凝土浇筑的过程中可通过钢丝绳将部分施工操作平台承受的荷载传递于仓壁之上,此种方法可减少施工过程中存在的安全隐患,降低施工风险,保证施工的顺利进行。

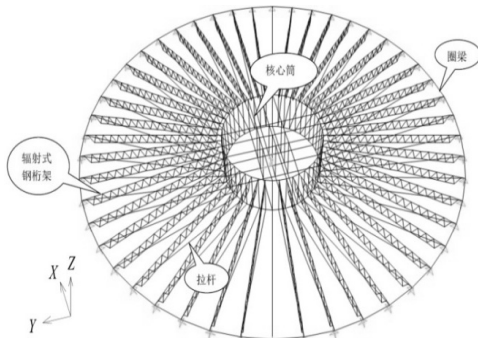


图 6 操作平台 3D 模型图
Fig.6 3D model of the operating platform

有限元分析中考虑混凝土的时变性,将钢丝绳的拉设点设置为铰接连接。第二节分析中已得到三

个施工阶段模板支撑架的内力,现将各施工阶段立杆底部轴力视为外荷载作用于操作平台的相应位置上。因辐射式钢桁架为径向分布,而模板支撑架立杆底部为方格形布置,故每根钢桁架外端承受的荷载较大。同时由于第一道钢丝绳直接作用于钢桁架上弦,可传递部分荷载至筒仓壁,因此越接近辐射中心,钢桁架承担的荷载越小。

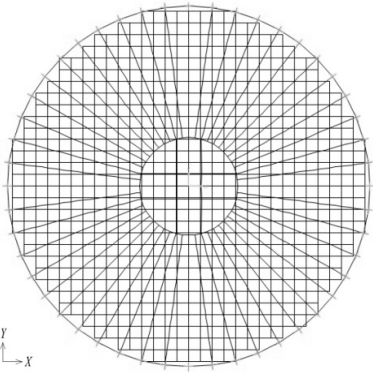


图 7 操作平台荷载作用点
Fig.7 Load points of the operating platform

3.2.1 第一步混凝土浇筑时操作平台的内力响应

为了拉设钢丝绳,在竖直筒仓壁施工结束前已在其顶部埋设钢管,则操作平台滑升至设计高度时可在仓壁与操作平台之间拉设两道钢丝绳,每道钢丝绳有 48 根,张拉松紧度相同,不出现松弛现象也未张拉过度。

运行分析模型,得到第一步荷载下施工操作平台各构件的内力响应,见表 2。由表 2 可知荷载作用点及其附近的辐射式钢桁架内力较大,距离荷载作用点越远构件的内力越小,且腹杆和下弦均有较大轴力响应,说明在第一步荷载作用下,钢桁架为主要受力构件,应提高其构造质量,并且在张拉钢丝绳时应使其张拉程度相同,从而保证荷载在施工平台上均匀传递。

表 2 第一步荷载下施工操作平台内力

Tab.2 Axial force and moment of operating platform under step 1

上弦杆构件编号	AB	BC	CD	DE	EF	FG	GH	HI	IJ	JK	KL	LM	MN	NO	OP	PQ	QR	RS
内 轴力/kN	-6.7	-22.0	-45.7	-58.0	-61.6	-57.9	-47.1	-31.8	-17.0	17.1	17.0	14.7	12.8	11.7	11.6	12.5	14.6	18.3
力 弯矩/kN·m	2.5	2.7	1.7	1.8	2.0	2.3	2.5	2.7	2.8	2.8	2.8	2.7	2.5	2.3	2.0	1.7	1.7	2.7
下弦杆构件编号	ab	bc	cd	de	ef	fg	gh	hi	ij	jk	kl	lm	mn	no	op	pq		
轴力/kN	30.5	47.5	47.5	54.7	47.6	33.2	16.9	3.6	3.8	4.9	7.2	8.7	9.3	8.9	7.5	4.8		
腹杆构件编号	aB	aC	bC	bD	cD	cE	dE	dF	eF	eG	fG	fH	gH	gI	hI	hJ	iJ	iK
轴力/kN	45.2	-45.1	25.1	-25.2	11.2	-11.1	-0.4	0.4	-10.6	10.6	-21.2	21.2	-24.1	24.2	-19.6	19.7	0	0
腹杆构件编号	jK	jL	kL	kM	lM	lN	mN	mO	nO	nP	oP	oQ	pQ	pR	qR	qS		
轴力/kN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4.0	4.0	-7.0	7.1		
核心筒构件编号	Aa	aB	Bb	bC	Cc	cD	Dd	dE	Ee	eF	Ff	fG						
轴力/kN	54.9	54.9	51.5	51.4	51.4	51.4	51.4	51.4	51.4	51.4	51.4	51.6	55.0	55.0	5.6			

3.2.2 第二步混凝土浇筑时操作平台的内力响应

第一步混凝土浇筑结束时在其结束层埋设预埋件,待第一步浇筑的混凝土达到设计强度的 75 % 后在预埋件与操作平台核心筒下围圈之间拉设第三道钢丝绳,共 48 根,与前两道钢丝绳拉结程度相同。

表 3 为第二步荷载作用时施工操作平台的内力响应,辐射式钢桁架中部内力相应增加,其外端内

力也随着荷载的移动而减小;下弦整体受力,充分发挥了其承载作用;荷载作用点逐步向内移动,核心筒内力增加。原因是随着荷载向操作平台中部的聚拢,其作用范围已包含第一道钢丝绳的提拉点,钢丝绳成为主要的受力构件,根据力的平衡原理可知,钢丝绳下作用点周围的构件产生过的内力响应均较大,第三道钢丝绳在传递了荷载的同时也减小了操作平台核心筒的挠度。

表 3 第二步荷载下施工操作平台内力
Tab.3 Axial force and moment of operating platform under step 2

上弦杆构件编号	AB	BC	CD	DE	EF	FG	GH	HI	IJ	JK	KL	LM	MN	NO	OP	PQ	QR	RS
内 轴力/kN	-9.4	-16.7	-29.3	-39.3	-47.1	-52.7	-53.2	-47.2	-37.5	0	0	0	0	4.8	7.0	10.3	14.8	21.4
力 弯矩/kN·m	4.5	4.5	2.9	2.6	2.2	1.6	-1.5	-5.8	-18.8	-18.8	-5.1	1.63	2.9	3.6	4.0	4.1	4.3	5.9
下弦杆构件编号	ab	bc	cd	de	ef	fg	gh	hi	ij	jk	kl	lm	mn	no	op	pq		
轴力/kN	14.6	25.2	34.1	41.2	45.3	42.2	33.2	22.8	21.8	22.2	22.3	21.5	193.8	17.1	13.3	8.0		
腹杆构件编号	aB	aC	bC	bD	cD	cE	dE	dF	eF	eG	fG	fH	gH	gI	hI	hJ	iJ	iK
轴力/kN	21.7	-21.6	15.8	-15.7	13.1	-13.0	10.6	-10.6	6.1	-6.1	-4.7	4.7	-13.0	13.1	-15.6	15.7	0	0
腹杆构件编号	jK	jL	kL	kM	lM	lN	mN	mO	nO	nP	oP	oQ	pQ	pR	qR	qS		
轴力/kN	0	0	0	0	0	0	0	0	-4.0	4.1	-5.6	5.7	-7.7	7.8	-11.8	11.9		
核心筒构件编号	Aa	aB	Bb	bC	Cc	cD	Dd	dE	Ee	eF	Ff	fG					拉杆	
轴力/kN	106.7	106.7	100.0	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.9	106.7	106.7	2.6		

3.2.3 第三步混凝土浇筑时操作平台的内力响应

第三步为仓顶平直段混凝土的浇筑,顶板厚 130 mm,混凝土的浇筑量比斜壁段(厚 600 mm)显著减小,模板支架传递于操作平台上的荷载也较小,核心筒上方模板支架直接承载。

操作平台的内力响应如表 4 所示,在第三步荷载作用下核心筒和钢桁架的内半段成为主要承力

构件,第一道钢丝绳仍发挥重要作用,传递较多荷载至竖直仓壁处,第三道钢丝绳起到的作用大于第二道钢丝绳。原因为第三步荷载主要作用于操作平台的中心部位,核心筒上围圈与钢桁架的铰接连接可传递轴力及剪力,故锚固于钢桁架中点的第一道钢丝绳仍传递较大荷载至竖直筒仓壁,第二、三道钢丝绳主要通过下围圈锚固点处的静力平衡来传递荷载,起到提拉操作平台和减小平台变形的作用。

表 4 第三步荷载下施工操作平台内力
Tab.4 Axial force and moment of operating platform under step 3

上弦杆构件编号	AB	BC	CD	DE	EF	FG	GH	HI	IJ	JK	KL	LM	MN	NO	OP	PQ	QR	RS
内 轴力/kN	-4.6	-6.6	-9.7	-11.3	-11.8	-11.3	-9.9	-8.0	-6.9	8.0	0	-8.6	-14.0	-16.6	-16.1	-12.5	-5.4	6.7
力 弯矩/kN·m	11.1	11.0	6.2	6.0	6.0	6.0	5.5	4.2	-11.2	-11.2	5.4	7.0	7.7	7.8	7.8	7.6	7.4	12.4
下弦杆构件编号	ab	bc	cd	de	ef	fg	gh	hi	ij	jk	kl	lm	mn	no	op	pq		
轴力/kN	4.0	6.2	7.2	7.2	6.2	4.4	0	0	10.4	19.5	26.4	30.4	31.6	29.5	24.3	15.3		
腹杆构件编号	aB	aC	bC	bD	cD	cE	dE	dF	eF	eG	fG	fH	gH	gI	hI	hJ	iJ	iK
轴力/kN	5.9	-5.9	3.3	-3.3	0	0	0	0	0	0	0	0	-3.0	3.1	0	0	11.9	-11.9
腹杆构件编号	jK	jL	kL	kM	lM	lN	mN	mO	nO	nP	oP	oQ	pQ	pR	qR	qS		
轴力/kN	13.5	-13.4	10.2	-10.1	6.0	-6.0	0	0	3.1	-3.2	-7.6	7.7	-13.3	13.3	-22.6	22.7		
核心筒构件编号	Aa	aB	Bb	bC	Cc	cD	Dd	dE	Ee	eF	Ff	fG					拉杆	
轴力/kN	211.4	211.4	198.2	197.6	197.8	197.9	197.9	197.8	197.6	198.2	211.6	211.5	3.5					

3.3 钢丝绳受荷分析

仓顶混凝土浇筑前钢丝绳主要用于提拉施工平台,混凝土分步浇筑中钢丝绳用于传递施工平台承担的荷载。三道钢丝绳在不同施工阶段起到不同的作用,第一道钢丝绳拉设角度为45°,其在提拉

施工平台及传递荷载中占有重要地位,有效地减少了施工平台的负荷;第二道钢丝绳拉设角度为60°,用于维持施工平台的稳定性,防止因混凝土的浇筑顺序可能引起的平台失稳,故其承担的荷载较小;第一步混凝土浇筑完成后拉设第三道钢丝绳以分

担仓顶施工产生的荷载。

在混凝土浇筑的三个不同阶段,三道钢丝绳的轴力变化见图 8,图中轴力值为每道钢丝绳的均值。浇筑第二步混凝土时荷载直接作用于第一道钢丝绳在施工平台的拉设点上,故其轴力由第一步的 46.8 kN 增加到第二步的 54.5 kN,因第三步外荷载减小则大幅降低至 35.6 kN;第二道钢丝绳和第三道钢丝绳的轴力在 10 kN 左右,有效的将施工平台承担的荷载传递于竖直筒仓壁上。

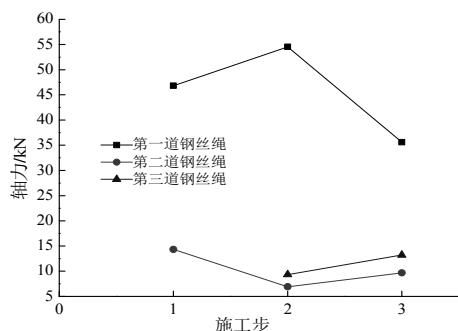


图 8 不同施工步钢丝绳的轴力

Fig.8 The axial force of steel wire ropes in each stage

4 结论

通过对筒仓结构高空模板支撑体系及搭设平台的有限元分析可知:

(1)模板支撑体系中立杆为主要受力构件,随着混凝土浇注位置的变化架体的承力区域不断变化。剪刀撑对模板支撑体系的整体稳定性起到重要的作用,应重视剪刀撑的搭设质量。

(2)操作平台作为模板支撑架的搭设基础,自身的拉杆能够合理的传递和分配荷载,避免荷载集中可能造成的构件破坏,具有刚度大、传力可靠等优点;三道钢丝绳可减小操作平台的受力,并能有效地提拉施工操作平台,较小其变形,防止失稳,保证施工安全。

(3)新浇筑混凝土的强度随着龄期增加而不断增长,应视为时变结构体系,施工中应待前一步混凝土强度达到设计值的 75 %后才能进行后续工序的施工。

(4)本文所述施工方法与传统落地式满堂支架施工相比具有施工速度快,混凝土构件形状及质量易保证,节省人力、材料等的投入,缩短工期,建议在混凝土筒仓结构施工中推广使用。

参考文献 References

[1] 张夫.筒仓滑模技术的应用研究[D].西安:西安建筑科技大学,2011.

ZHANG Fu. Applied research on silo slip form technology in construction[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2011.

[2] 刘玉龙.大直径筒仓滑模及仓顶钢结构整体提升关键施工技术[D].天津:天津大学,2012.

LIU Yulong. Slip-form construction technique and steel structure frame integral lifting method for large diameter storage silo[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012.

[3] 胡长明.高大模板扣件式支撑体系施工技术研究报告[R].西安:西安建筑科技大学,2008.

HU Changming. Experimental study of the lofty formwork support system[R]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2008.

[4] 胡长明.扣件联接钢结构的试验及其理论研究[D].西安:西安建筑科技大学,2008.

HU Changming. Studies on experiment and theory of steel construction connected with fasteners [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2008.

[5] 袁雪霞,金伟良,鲁征,等.扣件式钢管支架模架稳定承载力研究[J].土木工程学报,2006,39(5): 43-50.

YUAN Xuexia, JIN Weiliang, LU Zheng, et al. A study on the stability bearing capacity of fastener-style tubular steel formwork-supports[J]. China Civil Engineering Journal, 2006, 39(5): 43-50.

[6] 陈志华,陆征然,王小盾.钢管脚手架直角扣件刚度的数值模拟分析及试验研究[J].土木工程学报,2010,43(9): 100-108.

CHEN Zhihua, LU Zhengran, WANG Xiaodun. Numerical analysis and experimental study of the stiffness of right angle couplers in tubular steel scaffolds[J]. China Civil Engineering Journal, 2010, 43(9): 100-108.

[7] PENG JL, CHAN SL, WU CL. Effects of geometrical shape and incremental loads on scaffold systems[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2007, 63: 448-459.

[8] 王光远.论时变结构力学[J].土木工程学报,2000,33(6): 105-108.

WANG Guangyuan. On mechanics of time-varying structures[J]. China Civil Engineering Journal, 2000, 33(6): 105-108.

[9] 赵挺生,赵伟,顾祥林,等.高层建筑混凝土结构施工阶段安全性分析的简化模型[J].建筑结构,2002,32(3): 10-12.

ZHAO Tingsheng, ZHAO Wei, GU Xianglin, et al. Simplified model for safety analysis of high concrete structures in construction stage[J]. Building Structure, 2002, 32(3): 10-12.

[10] 胡长明,郭艳,梅源,等.大直径筒仓的仓顶施工用平台及施工方法.中国:201310666051.3[P]. 2013-12-10.

HU Changming, GUO Yan, MEI Yuan, et al. The construction platform and construction method used in the roof construct of large diameter silo. Chinese patent: 201310666051.3[P]. 2013-12-10.

[11] 胡长明,郭艳,梅源,等.大直径筒仓的仓顶施工用平台.中国:201320812169.8[P]. 2014-05-28.

HU Changming, GUO Yan, MEI Yuan, et al. The construction platform used in the roof construct of large diameter silo. Chinese patent: 201320812169.8[P]. 2014-05-28.

(编辑 沈波)