



港口大型储煤混凝土筒仓结构优化

于建海

(神华黄骅港务有限责任公司, 河北 黄骅 061100)

摘要:以黄骅港煤炭四期筒仓工程为例,对 $\phi 40$ m混凝土筒仓主要结构优化进行介绍。本工程筒仓基础形式为:平板筏基+后压浆钻孔灌注桩,结构性能良好,施工工艺简单;仓底采用大型锥形吊挂漏斗,仓底空间充裕,有利于设备的安装和检修;漏斗采用超轻填料,减轻结构自重,节省基础投资;仓壁取消顶部环梁,方便滑模施工;降低筒仓上部钢结构廊道高度和宽度,钢结构桁架上下弦拉通,节点构造更为安全可靠。

关键词:筒仓;吊挂漏斗;轻质填料;钢桁架

中图分类号:U 653.7

文献标志码:A

文章编号:1002-4972(2016)03-0074-05

Structural optimization of giant concrete silo in port

YU Jian-hai

(Shenhua Huanghua Ports Affairs Co., Ltd., Huanghua 061100, China)

Abstract: Based on the giant concrete silo in Huanghua part phase IV engineering, this paper introduces the structural optimization of the $\phi 40$ m concrete silo in port. Using flat raft pile foundation, the construction procedure is accelerated. A large size tapered hanging funnel without supporting columns is implemented; The space for the equipment under the silo bottom is spacious, so it is very convenient to install and maintain the equipment; The ultra-light silo filler reduces the weight of the silo; The top ring beam of silo wall is canceled, and the sliding formwork construction is easy and accelerated. Reducing the width and height of the steel structure corridor located at the top of the silo, and the bottom and top integrated chord of the steel truss make the structure safer and more reliable.

Keywords: silo; hanging funnel; light filler; steel truss

随着黄骅港(煤炭港区)四期工程筒仓项目完成施工,由48座筒仓组成、最多可储煤144万t的亚洲最大储煤筒仓群在黄骅港建成。

黄骅港筒仓群在煤炭港区三期、四期工程中分别建设。2012年12月,三期24座筒仓建设完成,并重载试运行。在三期工程建设中,积累了丰富的工程建设经验。四期工程在充分吸取三期工程建设经验的基础上,进行了技术优化,筒仓建设更加科学、合理。本文论述四期工程建设中的关键技术优化。

1 工程概况

本工程位于黄骅港,共48座单仓容量3万t

的筒仓,总容量144万t。筒仓按4排6列布置,排净距10m,列净距5m,筒仓内径40m,高43.4m。筒仓采用桩筏基础,桩基为后压浆钻孔灌注桩;筒仓壁采用后张无粘结部分预应力混凝土结构,壁厚500mm;仓底采用分离式梁板结构,支撑墙支撑;筒仓上部廊道采用空间钢桁架结构,桁架最大跨度38.5m。

2 三期工程筒仓建设经验

黄骅港(煤炭港区)三期工程筒仓运煤建设创造了多项国内港口之最,工程建设取得巨大成功:首次将后压浆钻孔灌注桩应用于港口筒仓基

收稿日期:2015-08-06

作者简介:于建海(1962—),男,高级工程师,从事港口工程建设与管理工作。

础中; 筏板采用变刚度调平原理设计, 筒仓的仓底采用锥壳与平板的组合结构; 筒仓壁为部分预应力结构; 仓顶采用自重轻、施工简便的轻钢结构^[1]。四期工程项目组通过分析, 认为可以在以下几个方面进行改进:

1) 基础采用桩-筏基础, 筏板中间区域厚2 m, 边缘区变厚度为0.6 m。因局部厚度变化较大, 在支模、钢筋绑扎和局部回填夯实等方面影响施工效率。

2) 每个漏斗下设置4根边长1.2 m的柱支撑, 由于漏斗下布置有活化给料机、皮带机及检修平台, 支撑柱占用较大空间使得漏斗下空间非常局促, 设备安装和检修困难。

3) 在仓壁顶设置了宽1.2 m、高1.25 m的环梁, 滑模滑至环梁底后无法继续向上滑行, 只能人工二次搭模, 对施工进度产生不利影响。

4) 填料采用轻骨料混凝土, 强度LC15密度达 1.4 t/m^3 , 单仓填料总质量约2 100 t, 对基础结构不利。

5) 上部钢结构廊道高13 m、宽15 m, 非对称布置, 存在一定优化空间。上部钢结构桁架上下弦在节点处断开, 拉杆不连续, 性能较差。

3 四期工程筒仓优化技术分析

3.1 设计条件

1) 荷载。

混凝土密度 $\rho = 2.5 \text{ t/m}^3$, 煤密度 $\rho = 1.0 \text{ t/m}^3$, 填料密度 $\rho = 1.0 \text{ t/m}^3$ 。

仓底活化给料机支腿荷载180 kN/个, 仓顶卸料小车轮压195 kN, 皮带机支腿荷载为25 kN/个, 仓顶维修区荷载 5.4 kN/m^2 。

2) 风及地震。

基本风压: 0.4 kN/m^2 ; 抗震设防烈度为6度, 设计基本加速度为 $0.05g$ 。

3) 地质。

根据勘察资料, 该场地理深83.25 m深度范围内, 地基土为第四系海陆交互相地层; 按照成因

年代可分为7个大层, 按岩性和物理力学性质可进一步划分为16个亚层, 各土层地质指标见表1。

表1 土层地质指标

土层	层顶深度/m	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	压缩模量/MPa
①吹填土	0	13.0	10.5	3.99
② ₁ 淤泥质土	3	8.5	0.8	2.92
② ₂ 淤泥质土	7	20.2	2.3	3.60
② ₃ 粉土	12	10.3	28.6	14.41
② ₄ 粉质黏土	13	23.6	3.2	3.88
② ₅ 粉质黏土	20	26.4	8.7	5.34
③ ₁ 粉砂	22			
③ ₂ 粉质黏土	27	20.6	11.5	4.87
④黏土	31	18.4	3.7	4.57
⑤ ₁ 粉土	36	12.2	29.4	11.94
⑤ ₂ 粉质黏土	37	31.0	13.4	6.16
⑤ ₃ 粉土	51	13.9	28.5	11.73
⑥ ₁ 粉质黏土	55	24.3	13.1	6.27
⑥ ₂ 粉土	61	13.6	29.0	13.47
⑦ ₁ 粉质黏土	65	38.7	15.6	7.25
⑦ ₂ 粉土	71	12.3	28.7	13.45

4) 计算软件。

上部主体结构采用SAP2000计算软件进行计算分析。SAP2000是由美国Computers and Structures Inc. (CSI)公司开发研制的通用结构分析与设计软件, 是全球公认的结构分析计算程序。SAP2000分析计算功能十分强大, 它几乎囊括所有结构工程领域的最新结构分析功能, 从静力动力计算, 到线性非线性分析, 从P-效应到施工顺序加载, 从结构阻尼器到基础隔振, 都能运用自如。在设计能力方面, SAP2000是一个一体化的设计程序, 钢框架设计、混凝土框架设计、壳体设计都是在同一软件中完成。

3.2 基础工程

三期工程筒仓筏板厚度为0.6~2.0 m, 施工工序较多, 影响施工速度, 且钢筋损耗较大。为此, 四期筒仓采用1.7 m的等厚度平板式筏板, 通过桩的疏密布置来调整基础刚度, 以达到控制基础变形协调和桩基受力均匀的目的。筏板采用1.7 m的等厚度筏板, 不用设置板厚中间层钢筋网

片,用钢量降低,钢筋损耗减少,同时施工工序少,速度快,施工工期缩短26 d。

四期工程筒仓在施工过程及运营中均持续进行筒仓沉降观测。根据2013年3月10日—2014年10月14日的观测资料,筒仓沉降已趋于稳定,各观测点累计沉降平均值约40 mm,与理论计算值基本吻合。

3.3 漏斗布置

筒仓漏斗的受力非常复杂,漏斗壁承受垂直壁面的煤法向压力和垂直壁面的煤切向力。

三期工程筒仓漏斗采用“上挂下支”的支撑做法:即漏斗上沿用承重墙吊挂,漏斗底部用4根底层柱支撑。这种方案的不足是漏斗受力不清晰,难以精确计算由于基础变形产生的支撑柱次生内力;4根支撑柱占用了设备安装和调试空间,给设备的安装和维护带来很大困难。为此,四期筒仓采用了无柱支撑的吊挂漏斗方案(图1)。

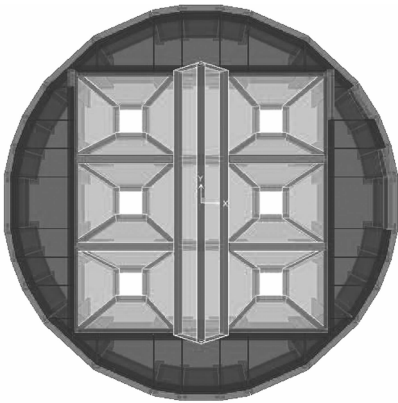


图1 仓底吊挂漏斗布置

小尺寸的锥形混凝土吊挂漏斗在国内筒仓中较为常见,但大尺寸锥形吊挂漏斗在国内鲜见报道。项目组通过采用国际通用有限元软件SAP2000对筒仓内力进行分析。吊挂漏斗受力特征见图2~5。

由图2~5可知:漏斗壁受力主要为拉弯受力,支座位置拉弯力最大。由图6可知,吊挂漏斗竖向和水平变形均很小。应用有限元计算与应用计算手册计算结果十分接近(表2),因此吊挂漏斗方案技术可行。

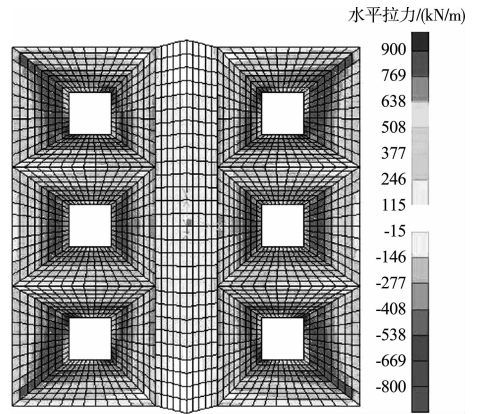


图2 漏斗壁水平拉力设计值

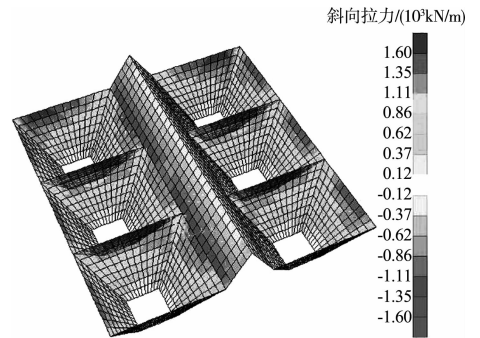


图3 漏斗壁斜向拉力设计值

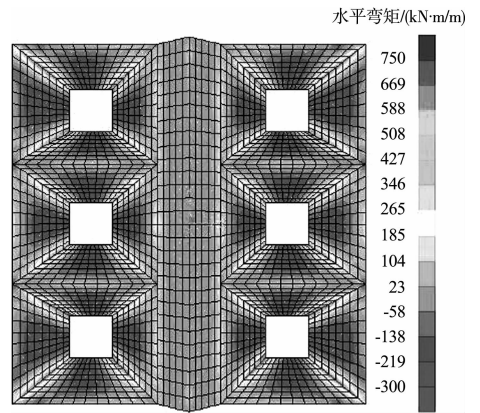


图4 漏斗壁水平向弯矩设计值

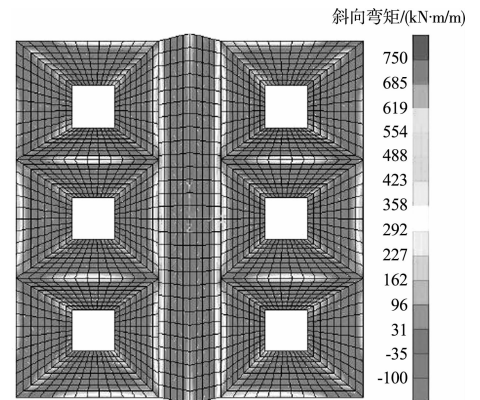


图5 漏斗壁斜向弯矩设计值

表2 计算手册与有限元计算结果对比

计算方法	漏斗壁水平拉力/kN		漏斗壁斜向拉力/kN		漏斗壁水平弯矩/(kN·m/m)		漏斗壁斜向弯矩/(kN·m/m)	
	跨中	支座	跨中	支座	跨中	支座	跨中	支座
计算手册	725	725	1 053	1 518	213	404	213	630
有限元计算	806	806	1 105	1 599	215	455	215	650

注：计算手册为《贮仓结构设计手册》，计算结果均为基本组合值。

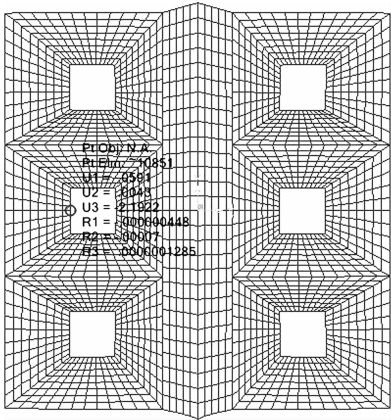


图6 漏斗壁变形 (单位: mm)

四期筒仓的吊挂漏斗上口净尺寸为 10 587 mm × 8 959 mm，下口净尺寸为 3 474 mm × 3 474 mm，净高 6 160 mm，壁厚 1 000 mm，容积 289 m³，创国内最大吊挂漏斗记录。图 7 为正在施工中的漏斗。实践证明，采用吊挂漏斗后，仓底空间得到明显改善。

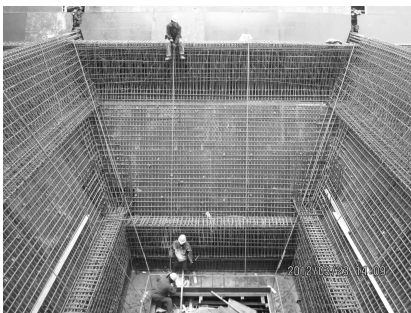


图7 吊挂漏斗施工情况

3.4 仓壁顶环梁

为满足上部钢结构支座的构造要求，并承受温度作用，三期工程筒仓在仓壁顶设置 1.2 m 宽环梁。这种做法的问题是滑模施工到仓壁顶部不能连续作业，需要重新支模施工。计算分析表明：在季节温差作用下，不设置仓顶环梁，仓壁也可以承受相应的温度应力^[2]。因此，四期工程筒仓

取消仓顶环梁 (图 8)，仅在支座位置局部设置加宽牛腿来支撑上部钢结构，同时在仓壁顶设置暗梁，加强局部配筋用来抵抗温度作用。改进后滑模可一次滑至仓顶，只是在牛腿部位局部支模，每座筒仓可缩短工期 20 d。



图8 仓顶取消环梁做法

3.5 填料

为利于筒仓内部储煤的向下流动、防止有煤长期储存，漏斗板需要延伸到筒仓壁内侧，因此漏斗上沿板与筒仓内壁之间需要用填料补充。填料需要一定的抗压强度，以抵抗作用于漏斗板上的煤压力。理论上，在满足抗压强度的前提下，填料越轻越好。目前，常见的漏斗填料有轻型砌块和轻质混凝土。轻型砌块需要人工砌筑，耗时较长；轻质混凝土可以直接灌注，施工速度快，较常采用。

填料所承受的煤压力最大为 160 kPa。四期筒仓漏斗填料采用泡沫混凝土，密度要求不大于 1.0 t/m³，抗压强度为 LC7.5。填料满足 JG/T 266—2011《泡沫混凝土》要求^[3]。采用泡沫混凝土后，每座筒仓荷载减少 600 t，24 座筒仓共减少荷载 14 400 t，降低了基础建设投资。

3.6 上部钢结构廊道

上部钢结构廊道高度和宽度是由卸料小车运行对净高和净宽决定的。在满足卸料小车运行的

基础上,应最大程度地减小廊道高度和宽度,以利于结构受力、节省工程投资。项目组经过反复研究,将四期筒仓的上部廊道卸料小车高度限界确定为9.4 m,宽度限界确定为9.3 m,考虑设备检修高度和宽度后,将廊道高度从13 m减少为12 m,宽度从15 m减少为13 m,并将廊道偏心布置改为居中布置,减轻结构自重,改善筒仓的受力状况(图9)。

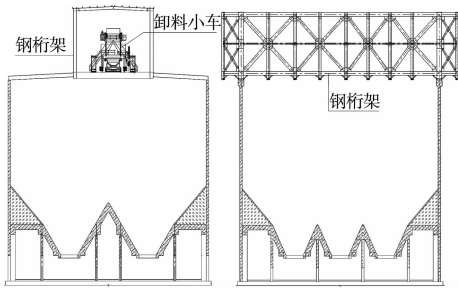


图9 上部钢结构廊道

三期工程筒仓的上部钢结构以横向门式钢架为基本单元,通过纵向钢桁架将门式钢架联系起来,结果桁架的上下弦杆全部打断,结构受力不尽合理。

四期筒仓根据钢桁架的受力特点——下弦受拉,上弦受压,上下弦全部贯通,在节点构造上进行改进。改进后结构受力更为合理,结构更加安全、可靠。

4 结论

1) 基础采用平板式筏板,筏板厚度进行优化调整,整体性能良好,减少了施工工序,大大加快了施工进度。

2) 采用大尺寸吊挂漏斗,增大了漏斗下空间,给后续设备安装和维护创造良好的工作环境。

3) 筒仓壁顶部取消仓顶环梁,滑模速度明显增快,大大提高了施工效率,仅用58 d就完成了24座大直径筒仓的主体施工,创造国内同类筒仓施工的最快纪录。

4) 漏斗内部超轻填料减轻了结构自重,节省基础投资。

5) 上部钢结构廊道减小高度和宽度,有利于结构受力,节约投资。钢桁架上下弦拉通节点构造更为合理。

参考文献:

[1] 邢军,刘仲松.浅谈黄骅港煤码头三期工程中储煤筒仓的应用[J].港工技术,2012(6):11-14.
 [2] 曲军彪.港口直径40 m混凝土筒仓温度应力分析[J].水运工程,2014(7):58-63.
 [3] JG/T 266—2011 泡沫混凝土[S].

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

振华重工中标重庆丰都长江二桥钢结构项目

近日,振华重工中标重庆丰都长江二桥钢结构项目,项目钢结构总质量约为10 600 t。

丰都长江二桥又称名山大桥,该桥南起新县城斜南溪,北接名山街道新城区,与新县城迎宾大道、名山街道文化街相连,全长为2 165 m,主桥长为1 466m,桥型结构为双塔双索面钢箱梁斜拉桥。

丰都长江二桥建成通车后,名山街道到新县城的通行时间将从30 min缩短至2 min,并将新老城区、工业园区连为一体,进一步拓展了城市空间,对促进经济和城市发展具有重要意义。

(摘编自《中国交通建设网》)