

某项目冷冻机吊装拖运施工方案解析

夏 衍

(上海市建设机械检测中心有限公司, 上海 200137)

摘要 从现状地面吊装至地下三层, 因现场条件限制, 本次需采取特殊措施进行吊装, 对方案中吊装设备进行安全系数验算; 并利用有限元计算软件核算: 地下二层顶板 (安装吊索于事先打设好的孔洞上) 的承载力情况, 地下二层底板上运输冷冻机 -2 设备时结构板的承载力情况。通过校核提出建议, 以保证吊装安全, 同时为同类型设备的吊运安装提供可以参考的经验。

关键词 吊装拖运施工; 有限元计算; 楼板结构校核

中图分类号: TU74

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)04-0097-03

1 工程概况

某工程已进入装饰阶段, 本工程需对 4 台冷冻机进行吊装拖运并安装到机房, 最重一台 10500kg。在该工程中, 由于机组重量较重, 尤其是冷冻机都在 B3 层, 且吊装孔不能一直吊到 B3 层。计划先吊到 B1 层拖运 20m 到下一个吊装口, 上面挂 8 只手拉葫芦再把设备吊到 B2 层, 然后上面再挂 8 个 10t 手拉葫芦吊到 B3 层后拖运至机房。经现场仔细勘察和施工图纸分析, 经多次会议讨论, 在 B1、B2、B3 层进行处理拖运。根据设备进场情况, 分二批次吊装搬运地下室内的 4 台冷冻机, 汽车起重机站位于 5-13 轴 -5-14 轴施工道路上, 然后再利用汽车起重机将冷冻机吊到地下 B1 层再拖运 40m 后, 在 B1 顶部安装手拉葫芦拖吊至地下 B2 层; 再拖运 20m 后同样方式拖吊至地下 B3 层, 最后安装就位。^[1]

2 设计计算

现场选用一台 50t 汽车起重机进行吊装作业, 汽车起重机将冷冻机吊运至 B1 层。汽车起重机的型号为 QY-50, 主臂长 19m, 最大作业半径 9m。在作业半径内的最大起重量为 13.9t, 满足设备最大为 10.5t 重量的要求。

对手拉葫芦进行验算校核, 现场选用 8 个 5t 手拉葫芦进行拖吊, 四点受力。

载荷计算: $Q_{计} = K_1 \times (Q+q) = 1.1 \times (10500+500) = 12100\text{kg}$; 钢丝绳负载: $P_{计} = K_1 \times K_2 \times (Q+q) = 1.2 \times 1.1 \times (10500+500) = 14520\text{kg}$

四点受力:

$$P = \frac{Q}{4 \times \cos\delta} = \frac{14520}{4 \times 0.866} = 4192\text{kg}$$

式中 K_1 ——动载系数, $K_1=1.1$; K_2 ——受力不均匀系数, $K_2=1.2$; Q ——冷冻机散件重量, $Q=10500\text{kg}$; q ——吊索具重量, $q=500\text{kg}$ 。

1. 单股钢丝绳的选用; 按 $6 \times 37+fc-1770\text{N}/\text{mm}^2$ 抗拉强度计, 取安全系 $K=8$ 。

2. 则钢丝绳直径为。

$$d = \sqrt{\frac{P \times K}{0.3 \times \sigma}} = 25.12\text{mm}, \text{圆整到标准规格 } d=26\text{mm}.$$

每根钢丝绳长度为 6m 四根。配美标 7/8T 卸扣 8 只或用 8T 尼龙吊带 4 根, 及 2 只 5T 手拉葫芦。

3. 拖运力计算。

$F = Q \times V = 10500 \times 0.3 = 3.15\text{T}$, 设备分体重量 $Q=10.5\text{T}$; 因设备上基础和楼面需卷扬机拖运, 摩擦系数 $V=0.3$ 。

4. 手拉葫芦穿绕绳的选用: 按 $6 \times 37+fc-1770\text{N}/\text{mm}^2$ 抗拉强度计, 取安全系数。

$K=8$, 则钢丝绳直径为: $d = \sqrt{\frac{P \times K}{0.3 \times \sigma}} = 13.9\text{mm}$, 圆整到标准规格 $d=15\text{mm}$ 。钢丝绳长为 350m。

5. 手拉葫芦钢管直径 $\phi 108 \times 8$ 截面积为 25.2cm^2 , 验算强度:

$$\sigma = \frac{P_{计}}{4 \times F} = \frac{15792}{4 \times 25.2} = 156\text{kg}/\text{cm}^2 < [\sigma] = 1600\text{kg}/\text{cm}^2$$

6. 冷冻机拖运用车四脚受力, 每个脚面积 $30 \times 40\text{cm}^2$ 。

$$\sigma = \frac{P_{计}}{F} = \frac{15792}{4 \times 30 \times 40} = 33.27\text{kg}/\text{cm}^2$$

7. 手拉葫芦吊点结构验算。

250mm \times 250mm 宽翼缘 H 型钢的理论重量 $72.36\text{kg}/\text{m}$,

7.3m 自重为 528.2kg。吊重为 10.5t 则平均分配到 $F_1=F_2=F_3=F_4=2.625t$ 。

经计算,最大的支座反力 N_m 为 49.6kN。

工字钢最大内力 $N=22.9kN$, 弯矩 $M=12.605kNm$ 。

250mm×250mm 宽翼缘 H 型钢的截面特性: 截面面积 $A:92.18cm^2$, 惯性矩 $I_x:10800cm^4$, 惯性矩 $I_y:3650cm^4$, 截面模量 $W_x:864cm^3$, 截面模量 $W_y:292cm^3$, 回转半径 $i_x:10.82cm$, 回转半径 $i_y:6.29cm$

$$\text{长细比 } \lambda_0 = \frac{l_0}{i} = \frac{730}{10.82} = 67.5 \leq 180$$

查 GB/T 3811-2008 附录 K: $\varphi=0.852$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} + \frac{M}{W} = \frac{22900}{0.893 \times 9218} + \frac{12605}{864} = 17.4MPa < [\sigma],$$

稳定性合格。

混凝土梁的强度校核:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{49600}{400 \times 250} = 0.5MPa$$

施工方在采用本架设方案前,须由结构设计方根据以上载荷 ($N_m=N_3=49.6kN$, $\sigma=0.5MPa$) 校核其强度,校核安全后方可实施。

需要对汽车起重机所在楼板托运楼板承载能力进行结构校核。^[2]

3 楼板结构校核

3.1 汽车起重机承载楼板校核

根据设计图纸地下室顶板设计有消防车道,设计图纸总说明考虑楼面均布活荷载标准值 $35kN/m^2$ 。

(1) 行驶状态。50 吨汽车吊自重为 38.5t, 按最大后轴整机重量 26T, 最大轮压 $26/2=13T$ 。

(2) 汽车吊工作状态。

已知: 50 吨汽车吊自重为 38.5t, 汽车吊支腿展开尺寸为 $5.75 \times 6.9m$, 4 个支腿, 每个支腿下方垫 $1.5m \times 1.5m \times 0.01m$ 路基钢板。钢构件最大重量为 10.5t, 汽车吊重心距吊点中心距离为 9m。

计算汽车起重机作业最不利情况下单根支腿荷载:

根据受力分析计算简图求出汽车吊支腿最大力 F_2 的支座反力:

$$\Sigma M(A) = 10.5 \times (9 + 5.75/2) - F_2 \times 5.75 + 38.5 \times 5.75/20$$

$$F_2 = 36.18t$$

由于 F_2 代表汽车起重机靠近吊重的 2 根支腿的受力, 所以单根支腿的最大受力为 18.1t。

$F_1=12.82t$, 所以远离吊重的单根支腿受力为 6.41t。

受力计算及楼板承载力复核计算:

已知: 根据结构设计图纸总说明: 楼板活荷载 $35kN/m^2$ 。汽车吊作业时每个支腿下垫 $1.5m \times 1.5m \times 0.01m$ 路基钢板, 所以单根支腿受力面积 $1.5 \times 1.5=2.25m^2$ 。

楼板所受最大弯矩在靠近吊重的支腿处:

强度验算:

$$P = \frac{1.3F_2}{A} = \frac{1.3 \times 181000}{2250000} = 0.11MPa$$

$M_{max}=1.3 \times 181 \times 9/4=529.4kN.m$, 1.3 为活荷载动力系数。根据《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 中附录 B-- 楼面等效均布活荷载的确定方法, 可知楼板上局部荷载 (包括集中荷载) 的等效均布荷载 $q=8M/(bl^2)$

L——板的跨度。

B——板上荷载的有效分布宽度。

M_{max} ——剪支板的最大弯矩。

所以楼面等效均布荷载 $q=8 \times 529.4 / (1.625 \times 9^2) + 0.11=32.29kN/m^2 < 35kN/m^2$

结论: 该情况时结构楼板受力满足要求。

楼板所受最大弯矩在靠近吊重的支腿处:

强度验算:

$$P = \frac{1.3F_2}{A} = \frac{1.3 \times 181000}{2250000} = 0.11MPa$$

$M_{max}=1.3 \times 181 \times 3.25 \times 5.75/9=488.6kN.m$, 1.3 为活荷载动力系数。根据《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 中附录 B-- 楼面等效均布活荷载的确定方法, 可知楼板上局部荷载 (包括集中荷载) 的等效均布荷载 $q=8M/(bl^2)$ 。

L——板的跨度。

B——板上荷载的有效分布宽度。

M_{max} ——剪支板的最大弯矩。

所以楼面等效均布荷载 $q=8 \times 488.6 / (3.25 \times 9^2) + 0.11=15.9kN/m^2 < 35kN/m^2$

结论: 该情况时结构楼板受力满足要求。

3.2 托运楼板验算

在本工程中, 由于地下三层的冷冻机重量较重, 场地狭小给吊装和搬运有一定的难度, 故本方案重点以最重设备冷冻机从现状地面吊装至地下三层, 因现场条件限制, 本次需采取特殊措施进行吊装。本次计算主要核算: 5-K~5-J 轴与 5-7~5-8 轴围合区域地下二层顶板 (安装吊索于事先打好的孔洞上) 的承载力情况, 5-K~5-L 轴与 5-7~5-8 轴围合区域地下二层

表 1

设备名称	尺寸规格 (m)	重量 (吨)	数量 (台)	安装部位	备注
冷冻机 -2	5.6m*3m*3m (高)	10.5 吨	4	B3 层	工况 1

表 2 荷载分项系数及组合系数 (准永久系数) 表

序号	荷载组合验算工况	永久荷载	可变荷载
1	基本组合构件强度计算	1.5 (1.0)	$1.3 \times \psi_c$
2	构件裂缝宽度验算	1.0	$1.0 \times \psi_q$
3	构件变形计算	1.0	$1.0 \times \psi_q$

底板上运输冷冻机 -2 设备时结构板的承载力情况。本次需计算的内容为以最重的冷冻机 -2 作为计算数据, 5-K~5-L 轴与 5-7~5-8 轴围合区域结构设计结构板厚 200mm, 梁 / 板混凝土采用 C30。设备参数如表 1 所示。

3.2.1 计算原则

(1) 本地下结构上方运输设备为临时工况, 计算中对于结构构件根据承载力极限状态的要求, 进行承载力的验算; (2) 受弯构件的挠度限值: $l_0 < 7m$ 时, 不应超过 $l_0/200$; $7m \leq l_0 \leq 9m$ 时, 不应超过 $l_0/250$; (3) 结构构件的裂缝控制等级为三级, 即构件允许出现裂缝。裂缝宽度不应大于 0.3mm。^[3]

3.2.2 计算方法

(1) 结构计算模型为三维平面框架结构, 采用三维有限元计算软件计算; (2) 结构柱端采用固定约束; (3) 计算考虑不同工况下受力状况, 采用计算结果包络值进行结构验算。

3.2.3 荷载组合系数

具体如表 2 所示。

3.2.4 荷载计算

1. 运输荷载。设备自重 $G=10.5 \times 1000 \times 10=105000N$; 均布荷载 $q=105000 / (5.6 \times 3) =6250N/m^2$

2. 吊装工况荷载。根据吊装方案可知, 结构板在步骤一时受力因设备未完全离地, 且设备进入吊装孔较少, 力矩较少, 单点荷载 $< 0.5G$; 步骤二时, 1/2 吊点联合受力, 其总荷载 $< 0.5G$; 步骤三时, 随着设备右移, 设备已一半区域进入吊装口, 此时 1/2/3 吊点联合受力, 其总荷载接近 0.5G; 步骤四时, 设备已完全脱离地面, 此时 1/2/3/4 吊点联合受力, 其总荷载为 G; 步骤五时, 设备已完全脱离地面, 此时 1/4 吊点联合受力, 其总荷载为 G。综述步骤二 (1/2 点较近)、步骤五, 结构受力偏不安全, 针对此两种工况进行吊装顶板受力验算。

3.2.5 计算结果

根据模型和受力计算: 200*400 梁体最大弯矩为 127.9kN*m。结构板最大弯矩为 97.2kN*m, 跨中弯矩为 37.8。跨中板结构竖向最大位移为 27.2mm (计算跨度 9m), 满足 $7m \leq l_0 \leq 9m$ 时, 不应超过 $l_0/250$ 的要求。顶板 500*800 梁体最大弯矩为 227.3kN*m。最大弯矩为 33.3kN*m。板结构竖向最大位移为 4.4mm (计算跨度 9m), 满足 $7m \leq l_0 \leq 9m$ 时, 不应超过 $l_0/250$ 的要求。

4 结论

针对本次冷冻机吊装拖运施工方案, 通过计算验证了手拉葫芦拖吊冷冻机进行吊运的可行性。对 10t 冷冻机通过结构板进行悬吊时, 应注意板上部采用刚度大的构建进行受力的分配, 尽量将力传至结构梁上, 同时吊装时应低速, 避免冲击力对结构板的作用, 作用点应尽量靠近结构梁。并在结构承载力校核中发现, 10t 冷冻机在 150mm 结构板上运输时结构受力较为不利, 建议运输中应尽量扩大荷载接触面, 减少集中荷载对结构的负担。做好上述工作, 将对手拉葫芦拖吊的施工安全起到有益的作用。同时, 也能为其他设备的吊装提供可以参考的经验。

参考文献:

[1] 于天石. 简析冷冻机组吊装引入厂房作业 [J]. 科技与创新, 2018(05):133-134.
 [2] 世博中国馆冷冻机组吊装就位 [J]. 施工技术, 2009, 38(04):32.
 [3] 陶玉书. 浅谈大型制冷机组吊装就位技术 [J]. 建筑工程技术与设计, 2014(14):32-33.