

爬锥与钢牛腿托架平台在沉井施工中的应用

崔增光

(中交一航局第三工程有限公司)

摘 要: 为有效解决沉井接高过程中操作平台搭设周期长、安拆不便捷以及安全隐患大的问题,以监利市城西污水处理厂及配套管网工程项目的沉井施工为例,从组合托架平台设计方案、组合托架平台受力计算、施工注意事项等多个方面深入展开施工实践,成功验证了以爬锥与钢牛腿为基础构建的组合托架平台的可行性。该工艺不仅缩短了作业平台的安拆时间,确保了平台搭设的稳固性,还显著减少了支架的使用数量,大幅节约了施工成本,可为类似结构在工程中的应用提供参考,具有重要的推广意义。

关键词: 沉井; 爬锥; 钢牛腿; 托架平台

0 引言

在沉井接高过程中,沉井内部通常采用落地式支架搭设操作平台,施工时需不断重复地进行整体安装、拆除。随着沉井下沉、接高等工序的循环开展,沉井内部的落地式支架搭设高度逐步增大,经济效果差、安全风险高。针对这类问题,众多学者开展了爬锥与钢牛腿组合托架平台施工的技术研究,并已在高墩柱、高框架、高盖梁等类似施工领域开展了良好的应用,但在高壁板施工领域尚未普及。本文借助于既有的研究成果,利用爬锥和高强螺栓作为牛腿与壁板之间的连接件,通过预埋爬锥、牛腿、分配梁等将上部施工荷载传递到下部混凝土壁板上,是对爬锥与钢牛腿组合托架平台在高壁板施工领域的一次尝试。该技术涉及到的相关构配件,可实行工厂化生产、现场拼装作业,施工成本低、速度快,且可以改善常规支架材料使用量大、周转次数少、施工工期长等缺点,有效地解决了沉井接高过程中施工平台的搭设问题。

1 工程概况

监利市城西污水处理厂及配套管网工程项目中的粗格栅及提升泵房采用沉井施工工艺,该沉井结构平面尺寸为 16.7 m×12.7 m,高度为 15.3 m,壁板厚度为 0.9 m,沉井从原地面预制、起沉,采用 2 次接高、3 次下沉施工工艺,分节预制高度分别为 5.7 m、4.8 m、4.8 m。沉井结构平均划分为 4 个仓室,每个仓室平面内尺寸为 5 m×7 m。在沉井接高过程中,因施工区域地下水位较高、沉井内外高差较大,不具备落地式支架操作

平台搭设条件,故而采用爬锥与钢牛腿形成组合托架,于组合托架上安装工字钢作为受力主梁,随后在工字钢主梁上平铺槽钢形成封闭作业平台,开展脚手架搭设、钢筋绑扎、模板拼装及混凝土浇筑等一系列作业。

2 组合托架平台设计方案

2.1 沉井内壁爬锥预埋件预埋

爬锥是本工艺中起到关键作用的部件,主要具有以下作用:1) 作为支撑系统的连接点。通过爬锥可以连接模板、操作平台等结构,实现分层施工;2) 提供稳定的支撑和锚固。爬锥预埋在沉井壁板中,能够为后续安装的设备或结构提供可靠的固定点,确保施工过程中结构的稳定性和安全性;3) 便于施工操作的连续性。有了爬锥的合理布置,可以实现施工过程的高效进行,减少施工间歇,提高工程施工效率,同时也有助于保证施工质量,避免因连接不牢固等问题导致的工程隐患。

在每节沉井壁板钢筋绑扎时,便开始预埋爬锥,爬锥结构示意图见图 1。预埋爬锥按照每 6 根为 1 组,分 3 层 2 列对称布置,爬锥中心由上至下距离沉井壁板顶面分别为 50 cm、70 cm、100 cm,2 列爬锥的中心间距为 20 cm。

每组爬锥沿每仓室的 2 个长边(7 m)方向,按照中心间距 1.3 m 均匀布置 6 组,并在相对的仓室壁板上对称布置;每组预埋爬锥上缘中心位于沉井顶面以下 50 cm 处。爬锥采用 10.9 级 M24 高强螺栓,使用穿孔限位钢板将爬锥预埋件精确定位并连接成一个稳定“井”字形结构,最后将限位

钢板与沉井壁板钢筋点焊加固。爬锥顶端需紧贴模板面,防止爬锥螺栓孔被混凝土浆液堵塞^[1]。

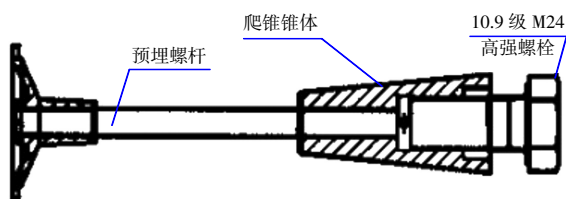
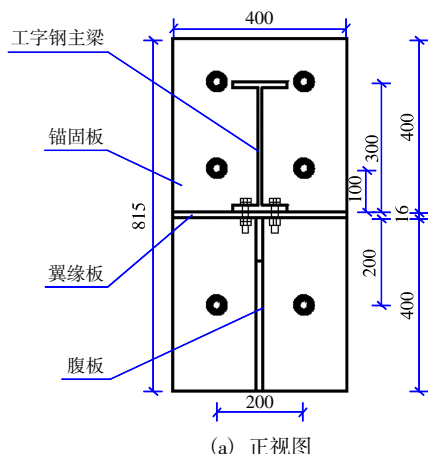
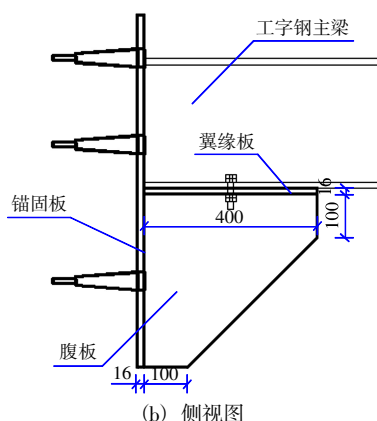


图 1 爬锥结构示意图



(a) 正视图



(b) 侧视图

图 2 爬锥牛腿组合托架(mm)

2.3 组合平台架设

在沉井每仓室长边壁板预埋的爬锥与钢牛腿上放置 30a 工字钢,作为支架架设的主梁,结构形式见图 3。工字钢主梁单跨跨度为 4.95 m,略小于沉井仓室壁板间距,以利于安装。为增强稳固性,在工字钢底面与钢牛腿支撑面上钻出同位孔,采用 5.6 级 M16 螺栓连接,避免工字钢在使用过程中发生侧翻、在竖向荷载作用下发生滑移,确保施工安全。工字钢主梁架设完毕后,在工字钢顶面沿垂直于工字钢的方向满铺 10 号槽钢,作为人工作业平台。为确保平台整体稳定,沿工字钢跨度方向,每间隔 1 m 采用槽钢与工字钢螺栓连接,形成槽钢+工字钢的整体支撑作业平台。

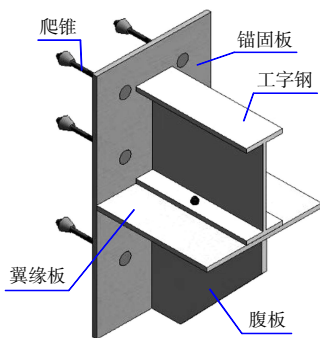


图 3 爬锥与钢牛腿组合托架安装示意图

2.2 组合托架制作安装

钢牛腿由 16 mm 厚的 Q235 钢板焊接加工制作,其结构主要分为锚固板、翼缘板、腹板 3 部分,其中腹板焊缝作为主要竖向受力结构。爬锥牛腿组合托架见图 2。钢牛腿通过预埋在沉井壁板上的对拉爬锥与高强螺栓连接固定,在安装完成之后,务必对预埋牛腿的水平度严格检查,以保障后续施工的顺利进行和整体结构的安全性。

2.4 作业脚手架搭设

作业脚手架采用扣件式脚手架,每个仓室内尺寸为 7 m×5 m,架体搭设长度为 6.6 m,架体与前后隔墙各保留 20 cm 间距;架体搭设宽度为 4.5 m,架体距离左右隔墙各保留 25 cm 间距;脚手架按照立杆横距(仓室短边方向)0.9 m、立杆纵距(仓室长边方向)1.3 m、纵横水平杆步距 1.5 m 的参数搭设,搭设高度为下一节沉井接高高度。脚手架立杆与工字钢支承结构的连接通过焊接定位实现,具体方式为在工字钢主梁上焊接 150~200 mm 高、外径为 $\phi 40$ mm 的钢管或外径为 $\phi 25$ mm 的钢筋,立杆套在其外,同时在立杆下部设置扫地杆,以增强脚手架体系的稳定性,脚手架立杆与工字钢主梁连接示意图见图 4。

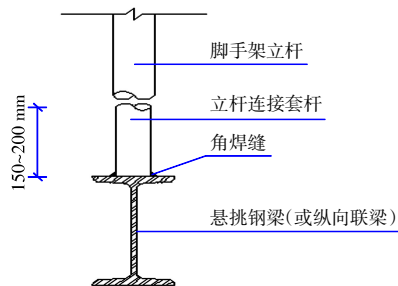


图 4 脚手架立杆与工字钢主梁连接示意图

3 组合托架平台受力计算

通过组合托架平台设计方案分析,作业平台主要由爬锥、牛腿、工字钢、槽钢、脚手架等材料组成,根据荷载情况,需对工字钢主梁、爬锥螺栓等主要受力节点进行受力计算分析。

3.1 工字钢主梁受力计算

每个沉井仓室内布置了6根工字钢主梁,作用于其上的竖向荷载包括脚手架荷载、满铺槽钢荷载、封顶混凝土荷载以及施工活荷载。其中总恒载约360 kN,总活载约180 kN;则分配在每根工字钢主梁上的总恒载约60 kN,总活载约30 kN。按照均布荷载考虑分布在工字钢主梁上,工字钢主梁单跨跨度为4.95 m,则恒载均布荷载约为12.12 kN/m,活载均布荷载约为6.06 kN/m。根据以上荷载情况,需对工字钢主梁进行抗弯、抗剪、挠度及支座反力验算。

工字钢承载能力极限状态:

$$Q = \gamma_c \times P_{gk} + \gamma_Q \times P_{qk} = 1.35 \times 12.12 + 1.5 \times 6.06 = 25.45 \text{ kN/m}$$

工字钢正常使用极限状态:

$$Q' = P_{gk} + P_{qk} = 12.12 + 6.06 = 18.18 \text{ kN/m}$$

式中: P_{gk} 为30a工字钢所受的恒载标准值, kN/m; P_{qk} 为30a工字钢所受的活载标准值, kN/m; γ_c 为恒载分项系数,取1.35; γ_Q 为活载分项系数,取1.5。

1) 抗弯验算

根据工字钢受荷情况,计算工字钢实际产生的弯矩应力值,并与工字钢的理论抗弯强度以及截面的抵抗矩进行比较,来判断构件是否满足抗弯要求。工字钢实际产生的弯矩应力值可按式(1)计算:

$$\sigma = \frac{M_x}{\gamma_x W_x} \quad (1)$$

式中: M_x 为30a工字钢绕 x 轴的弯矩设计值, kN·m, 取77.95 kN·m; γ_x 为30a工字钢 x 轴塑性发展系数,取1.05; W_x 为30a工字钢 x 轴截面抵抗矩, cm^3 , 取597 cm^3 。

经计算, $\sigma = 124.35 \text{ N/mm}^2 \leq [f] = 215 \text{ N/mm}^2$, 满足规范要求。

2) 抗剪验算

根据工字钢受荷情况,计算工字钢实际产生的剪力值,并与工字钢的理论抗剪强度进行比较,判断工字钢在承受剪力作用时是否发生破坏,工字钢实际产生的剪力值可按式(2)计算:

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \quad (2)$$

式中: V 为30a工字钢截面沿腹板平面作用的剪力设计值, kN, 取62.99 kN; S 为30a工字钢剪力处以上毛截面对中和轴的面积矩, mm^3 , 取2 734 716 mm^3 ; I 为30a工字钢的毛截面惯性矩, mm^4 , 取716 000 000 mm^4 ; t_w 为30a工字钢的腹板厚度, mm, 取9 mm。

经计算, $\tau = 26.73 \text{ N/mm}^2 \leq [f] = 125 \text{ N/mm}^2$, 满足规范要求。

3) 挠度验算

根据工字钢所受的荷载情况、工字钢几何形状、尺寸以及力学性能等因素,计算工字钢在荷载作用下的挠度值,评估工字钢在荷载作用下产生的垂直变形量是否在允许的范围内,工字钢在荷载作用下的挠度值可按式(3)计算:

$$V = 5 \times Q' \times L^4 / (384 \times E \times I_x) \quad (3)$$

式中: E 为工字钢的弹性模量, N/mm^2 , 取206 000 N/mm^2 ; I_x 为工字钢截面惯性矩, mm^4 , 取89 500 000 mm^4 ; L 为工字钢跨度, mm, 取4 950 mm。

经计算, $V = 7.7 \text{ mm} < L/250 = 19.8 \text{ mm}$, 满足规范要求。

4) 支座反力验算

$$R = Q \times L/2 = 25.45 \times 4.95/2 = 62.99 \text{ kN} \quad (4)$$

3.2 爬锥螺栓受力计算

组合钢平台上的全部荷载最终均传递至锚固螺栓上,主要为剪应力与拉应力。牛腿每侧采用6根10.9级M24高强螺栓(爬锥连接),计算公式如式(5)、式(6)所示。

剪力承载力设计值:

$$N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b \quad (5)$$

式中: n_v 为受剪面数量; d 为螺栓杆直径, mm; f_v^b 为螺栓承受的剪力强度设计值, N/mm^2 , 取310 N/mm^2 。

拉力承载力设计值:

$$N_t^b = n_v \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^b \quad (6)$$

式中: d_e 为螺栓杆有效直径, mm; f_t^b 为螺栓承受的拉力强度设计值, N/mm^2 , 取500 N/mm^2 。

经计算 N_v^b 和 N_t^b 均大于牛腿固定螺栓所受到的剪应力、拉应力,且 $\sqrt{(\frac{N_v}{N_v^b})^2 + (\frac{N_t}{N_t^b})^2} < 1$, (式中: N_v 为螺栓所承受的剪力; N_t 为螺栓所承受的拉力), 满足规范要求。

3.3 平台受力计算要点

1) 明确荷载类型及取值。精确计算恒载如平台自身重量,合理确定活载及考虑特殊荷载并依规范取值。

2) 准确建立结构模型。详细分析平台几何形状与连接方式,恰当简化复杂连接节点,必要时试验验证,确保模型反映实际受力特性。

3) 可靠确定材料性能。了解所用材料力学性能参数,抽样检测不同批次材料,确保符合设计要求。

4) 合理设置边界条件。考虑平台支撑方式确定约束条件,不准确设置会使结果与实际偏差大。

5) 全面分析计算结果。关注最大应力值,分析应力分布和变形,评估局部应力集中影响并加强,多工况对比确保安全。

4 施工注意事项

1) 建立健全质量保证体系,做好技术交底和各工序、工位之间操作工人员的培训工作,每道工序安排专人负责,技术人员要跟班作业^[9]。

2) 爬锥预埋是一个关键环节,需要多方面的校核。首先,务必保证爬锥预埋位置的精准度,一旦出现偏差,后期与牛腿就无法顺利对接安装,将严重影响施工进度和质量。其次,要仔细校核爬锥表面与模板的贴合度,若贴合不紧密,混凝土浇筑时可能会导致爬锥被掩埋,增加后续施工的难度和风险。再者,还需校核爬锥与混凝土的结合是否牢固,任何松动或位移都可能给整个结构带来安全隐患。

3) 每一道安装工序完工后,即应进行工序检查。对于牛腿焊缝质量,要确保焊缝均匀、饱满,无裂缝、夹渣等缺陷;螺栓应检查是否拧紧、遗漏等;钢牛腿的水平度和垂直度也要符合安装要求,以保证连接的可靠性与稳定性。

4) 拆除作业由上而下逐层拆除,严禁上下同时作业;拆除过程中,凡已松开连接的构件应及时拆除运走,避免误扶、误靠;拆下的杆件应以安全的方式吊走或运出,严禁向下抛掷。爬锥拆除后,需要对拆除位置利用水泥砂浆进行修补^[9]。

5) 在混凝土浇筑过程中,布料要均匀,防止集中荷载对平台造成局部过度受力,从而影响平台的稳定性和安全性。浇筑完成后,要及时对平台全面清理和维护,去除杂物和残留的混凝土,检查平台的结构是否有损伤,为下一道工序做好准备。

5 结语

本文研究是高壁板施工领域的一次创新尝试,基于荷载传递原理,从沉井内壁爬锥预埋、组合托架制作安装、组合平台搭设、作业脚手架搭设等维度开展组合平台的方案设计,同时对各连接节点和钢材受力计算分析,并对施工时的常见问题分析总结,验证了爬锥与钢牛腿组合平台的可行性和实用性。该应用方案与传统工艺相比,施工效率高,支撑系统可操作性和可控性强,能简化安拆工序、降低施工成本,安全系数高,施工质量可靠,经济效益良好,应用价值突出。

后续的研究中,将继续开展更多实际工程案例的应用和数据积累,深入研究组合平台的耐久性问题,建立更完善的施工误差控制和环境影响评估体系,探索与其他先进施工技术和材料的结合,以提升组合平台的综合性能。

参考文献:

- [1] 钟东,林巍杰,童昌.爬锥与钢牛腿组合托架在高大框架结构工程中的应用[J].冶金丛刊,2022,7(12):98-100.
- [2] 史智强,胡健.高墩柱爬锥托架法施工技术[J].铁道建筑技术,2016(5):19-21,33.
- [3] 谭志维,李江.高墩盖梁预埋爬锥托架法施工关键技术[J].山西建筑,2020,46(9):133-135.