

洋湖再生水厂（二期）池壁模板设计计算

崔欣

湖南捞刀河建设集团有限公司，湖南 长沙 410003

[摘要]本工程主体由预处理池、MSBR池、微絮凝过滤池、中间提升泵站、紫外光消毒池组成。其中预处理池最大池壁高11.1m，最大池壁厚度为0.9m，C40P8；MSBR池最大池壁高9.1m，最大池壁厚度为0.9m，C30P6；微絮凝过滤池最大池壁高8.72m，最大池壁厚度为0.85m，C30P6。部分池壁顶端设计有0.15m厚，宽度为1.5m、1.0m、0.8m、0.55m的走道。池底板厚度0.5-1.1m。设计图纸要求砼水胶比 ≤ 0.5 ，泵送砼塌落度14-16cm，落高不宜超过2.5m。除设计要求的施工缝外，施工单位可根据现场的实际情况增设水平施工缝，但不得设置垂直施工缝。基本风压 0.35KN/m^2 （50年重现期），地面粗糙度类别B类，形体系数1.3。

[关键词]高大模板设计计算；新浇混凝土；池壁模板

DOI: 10.33142/aem.v2i11.3199

中图分类号: X703

文献标识码: A

Design and Calculation of Pool Wall Formwork of Yanghu Reclaimed Water Plant (Phase II)

CUI Xin

Hunan Laodahe Construction Group Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410003, China

Abstract: The main body of the project is composed of pretreatment tank, MSBR tank, micro flocculation filter, intermediate lifting pump station and ultraviolet disinfection tank. The maximum wall height of pretreatment tank is 11.1m, the maximum wall thickness is 0.9m, C40P8; the maximum wall height of MSBR tank is 9.1m, the maximum wall thickness is 0.9m, C30P6; the maximum wall height of micro flocculation filter is 8.72m, the maximum wall thickness is 0.85m, C30P6. The top of some pool walls is designed with 0.15m thick walkways with widths of 1.5m, 1.0m, 0.8m and 0.55m. The bottom plate of the tank is 0.5-1.1m thick. The design drawings require that the water cement ratio of concrete should be ≤ 0.5 , the slump of pumping concrete should be 14-16cm, and the falling height should not exceed 2.5m. In addition to the construction joints required by the design, the construction unit may add horizontal construction joints according to the actual situation of the site, but shall not set vertical construction joints. The basic wind pressure is 0.35KN/m^2 (50 year return period), the surface roughness is class B and the shape coefficient is 1.3.

Keywords: high formwork design and calculation; fresh concrete; pool wall formwork

1 对预处理池池壁高11.1m，最大池壁厚度为0.9m，池墙模板设计与计算

1.1 池壁模板荷载标准值计算

表1 池壁模板布置尺寸

| | | | |
|---------------|-----|---------------|-----|
| 内龙骨布置方式 | 竖直 | 左部模板悬臂长 (mm) | 100 |
| 内龙骨间距 (mm) | 200 | 内龙骨一端悬臂长 (mm) | 100 |
| 外龙骨间距 (mm) | 400 | 外龙骨一端悬臂长 (mm) | 100 |
| 对拉螺栓横向间距 (mm) | 400 | 对拉螺栓竖向间距 (mm) | 400 |

新浇混凝土侧压力公式

$$F = 0.22 \gamma_c t \beta_1 \beta_2 \sqrt{v} \quad F = \gamma_c H$$

γ_c 砼重力密度取 25kN/m^3 ;

T 新浇砼初凝时间 (h)，可按实测确定。当缺少试验资料时，可采用 $t = 200 / (T + 15)$ 计算，T 为砼入模温度；

β_1 外加剂修正系数，不掺外加剂时取 1.0；掺具有缓凝作用的外加剂时取 1.2；

β_2 砼塌落度影响修正系数，当塌落度小于 30mm 时，取 0.85；50-90mm 时，取 1.0；110-150mm 时，取 1.15。

v 砼浇筑速度，m/h；

$$F = 0.22 \times 25 \times 6 \times 1.2 \times 1.15 \times 2^{0.5} = 64.40 \text{ kN/m}^2$$

$$F = 25 \times 2 = 50 \text{ kN/m}^2$$

承载能力极限状态设计值 $S_{承} = 0.9 \max [1.2G_{4k} + 1.3Q_{3k}, 1.35G_{4k} + 1.3 \times 0.7Q_{3k}] = 0.9 \max [1.2 \times 64.403 + 1.3 \times 5, 1.35$

$$\times 64.403 + 1.3 \times 0.7 \times 5] = 0.9 \max [83.784, 91.494] = 0.9 \times 91.494 = 82.345 \text{ kN/m}^2$$

结构重要性系数: 1

F 取二者中较小者, 考虑振动荷载 5 kN/m^2 。总侧压力 $1 \times 50 + 5 = 55 \text{ kN/m}^2$ 。

作用于模板的线荷载 $q = 1.2 \times 55 \times 0.5 + 1.4 \times 5 \times 0.5 = 36.5 \text{ kN/m}^2$ 。模板许用挠度 $1/250$ 。

面板厚度 20 mm , 剪切强度 1.4 N/mm^2 , 抗弯强度 15.0 N/mm^2 , 弹性模量 6000.0 N/mm^2 , 面板计算宽度 50 cm , 面板抵抗矩 $W = 50 \times 2^2 / 6 = 33.33 \text{ cm}^3$, 截面惯性矩 $I = 50 \times 2^3 / 12 = 33.33 \text{ cm}^4$, 内外龙骨采用 $\phi 48 \times 3.5 \text{ mm}$ 双钢管。

新浇砼侧压力标准值 $F_1 = 50 \text{ kN/m}^2$, 倒砼产生的荷载标准值 $F_2 = 5 \text{ kN/m}^2$ 。

1.2 池壁模板面板计算

模板面板按简支梁计算, 计算宽度取 0.5 m ,

荷载计算值 $q = 1.2 F_1 \times \text{计算宽度} + 1.4 F_2 \times \text{计算宽度}$

$$= 1.2 \times 50 \times 0.5 + 1.4 \times 5 \times 0.5 = 33.5 \text{ (kN/m)}$$

按五跨梁计算时

最大弯矩位于倒数第二支座处, 为负弯矩 $M = 0.105 \times 33.5 \times 0.5^2 = 0.88 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 最大剪力位于倒数第二支座处, $V = 0.606 \times 33.5 \times 0.5 = 10.15 \text{ kN}$

最大变形位于第一跨处, $V = 0.644 \times 33.5 \times 50^4 / (100 \times 6000 \times 33.33) = 6.74 \text{ mm} > 500 / 250 = 2$

$6.74 - 2 = 4.74 \text{ mm}$, 因此模板安装时将提前预紧 5 mm , 以消除变形。

抗弯强度验算 $f = M \times 1000 \times 1000 / 33330 = 0.105 \times 1000 \times 1000 / 33330 = 3.15 \text{ N/mm}^2 < [f] = 15.0 \text{ N/mm}^2$,

抗剪强度 $T = 3 \times 1400 / (2 \times \text{计算宽度} \times \text{面板厚度})$

$$= 3 \times 1400 / (2 \times 500 \times 20) = 0.21 \text{ N/mm}^2 < [T] = 1.4 \text{ N/mm}^2,$$

挠度验算 $v = 0.644 < [v] = \text{Min}(1/250, 10 \text{ mm}) = 10 \text{ mm}$

当调整面板至 0.4 m 时, 按连续梁计算:

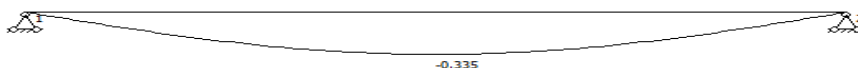


图 1 池壁变形计算图

$$q = bS_{正} = 0.4 \times 64.403 = 25.761 \text{ kN/m}$$

$$v = 0.335 \text{ mm} \leq [v] = 1/400 = 200/400 = 0.5 \text{ mm}$$

1.3 池壁内龙骨计算 (内龙骨间距 0.3 m)

内龙骨强度计算均布荷载 $q = 1.2 F_1 \times \text{计算宽度} + 1.4 F_2 \times \text{计算宽度}$ (kN/m)

$$q = 1.2 \times 55 \times 0.5 + 1.4 \times 5 \times 0.5 = 44.75 \text{ kN/m}^2$$

挠度荷载计算标准值 $q = 0.25 \times 55 = 13.75 \text{ kN/m}$ 。

按三跨连续梁计算

最大弯矩 $M = 0.1 q l^2 = 0.1 \times 44.75 \times 0.3^2 = 0.40 \text{ kN} \cdot \text{m}$

最大剪力 $Q = 0.5 \times 0.3 \times 44.75 = 6.71 \text{ kN}$

最大支座力 $N = 1.1 \times 0.3 \times 44.75 = 14.77 \text{ kN}$

截面惯性矩和抵抗矩分别为

$$I = \pi (d^4 - d_1^4) / 64 = 3.14 \times (4.8^4 - 4.1^4) / 64 = 12.18 \text{ cm}^4$$

$$W = \pi \times (d^4 - d_1^4) / (32 \times d) = 3.14 \times (4.8^4 - 4.1^4) / (32 \times 4.8) = 5.08 \text{ cm}^3$$

抗弯强度验算 $f = 0.25 \times 10^6 / 5080 = 49.21 \text{ N/mm}^2 < [f] = 205 \text{ N/mm}^2$,

抗剪强度验算 $Q = 0.6 q l = 0.6 \times 44.75 \times 0.3 = 8.06 \text{ kN} = 8060 \text{ N}$

截面抗剪强度计算值 $T = 3Q / (2 \times \pi (d^2 - d_1^2) / 4)$

$$= 3 \times 8060 / (2 \times 3.14 \times (48^2 - 41^2) / 4) = 24.72 \text{ N/mm}^2 < [T] = 215 \text{ N/mm}^2,$$

挠度验算

最大变形 $v=0.677q_1^4/100EI=0.677 \times 44.75 \times 300^4/(100 \times 20600 \times 121800)=0.98\text{mm} < [v]=1/250=300/250=1.2\text{mm}$
按 30 跨连续梁计算时,

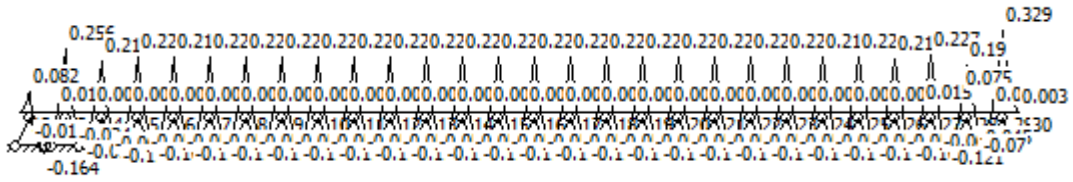


图 2 内龙骨弯矩图 (kN·m)

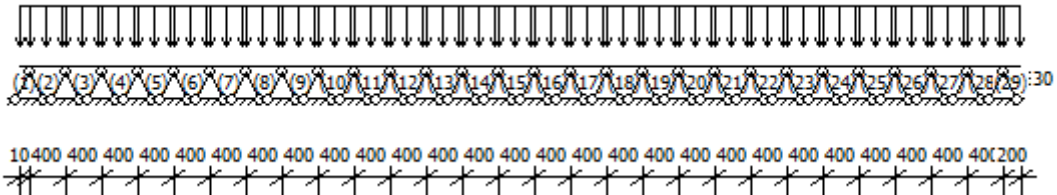


图 3 内龙骨剪力图 (kN)

$$q = b s_{\text{正}} = 0.2 \times 64.403 = 12.881 \text{ kN/m}$$

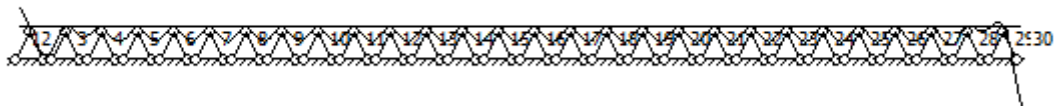


图 4 内龙骨挠度图 (mm)

1.4 池壁外龙骨计算

最大弯矩 $M_{\text{max}}=1.98 \text{ kN} \cdot \text{m}$

抗弯计算强度 $f = M_{\text{max}}/W = 1.98 \times 10^6 / (2 \times 5080) = 194.88 \text{ N} / \text{mm}^2 < [f] = 215 \text{ N} / \text{mm}^2$,

最大支座力 $Q_{\text{max}}=23.55 \text{ kN}$

最大变形 $v_{\text{max}}=0.79 \text{ mm} < [v] = 1.2\text{mm}$

采用 15 跨连续梁计算时

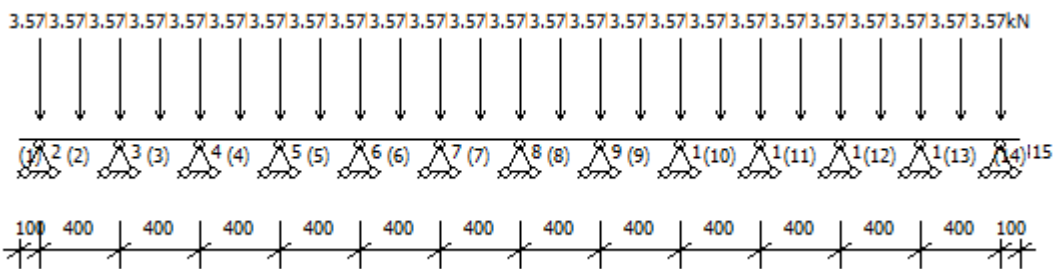


图 5 计算简图

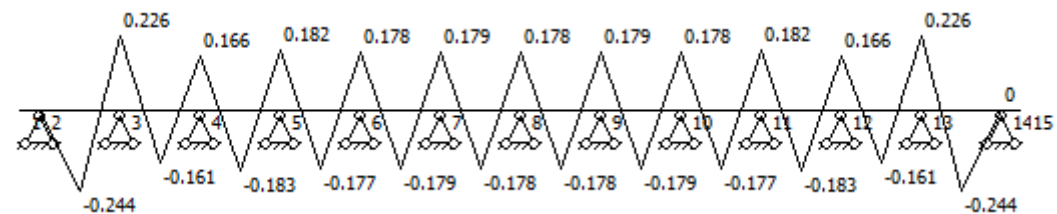


图 6 外龙骨弯矩图 (kN·m)

$$M_{\max} = 0.244 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = M_{\max} / W = 0.244 \times 10^6 / 4170 = 58.475 \text{ N/mm}^2 \leq [f] = 205 \text{ N/mm}^2$$



图7 龙骨挠度图 (mm)

$$v = 0.084 \text{ mm} \leq [v] = 1/400 = 400/400 = 1 \text{ mm}$$

1.5 对拉螺杆直径计算

$$F = 0.22 \gamma_c t \beta_1 \beta_2 \sqrt{v} = 0.22 \times 25 \times 6 \times 1.2 \times 1.15 \times 3^{0.5} = 78.88 \text{ kN/m}^2$$

$$F = \gamma_c H = 25 \times (11.1 - 0.5) = 265 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{对拉螺杆的拉力 } F = 78.88 \times 1.2 \times 0.5 \times 0.5 = 29.58 \text{ kN}$$

$$\text{砼侧压力设计值 } q_1 = 78.88 \times 1.2 = 94.66 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{有效高度 } h = 94.66 / 25 = 3.79 \text{ m}$$

$$\text{倾倒砼产生的荷载标准值 } F_2 \text{ 取 } 5 \text{ kN/m}^2, \text{ 其设计值 } q_2 = 5 \times 1.4 = 7 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{荷载组合 } q = q_1 + q_2 = 94.66 + 7 = 101.66 \text{ kN/m}^2$$

对拉螺杆直径和间距

对拉螺杆拉力 $F = 94.66 \times 0.5 \times 0.5 = 23.67 \text{ N/mm}^2$, 需要螺栓净面积 $A = 23.67 \times 10^3 / 170 = 139.24 \text{ mm}^2$, 选用 M16 螺栓, 净面积 $147 \text{ mm}^2 > A$, 满足要求。

$$\text{M16 螺栓承载力 } [N] = A_s \times f = 3.14 \times 8^2 \times 215 = 43.21 \text{ kN},$$

$$\text{每根螺栓承受荷载 } N = 94.66 \times 0.5 \times 0.5 = 24.11 \text{ kN} < [N] = 36.55 \text{ kN}$$

双臂钢管 $\phi 48 \times 3.5 \text{ mm}$ 计算, 按五跨连续梁计算

集中荷载下, $q = 40 \times 0.3 \times 0.5 = \text{kN/m}$ (次龙骨间距 0.3m),

$$M_{\max} = 0.171 \times q l = 0.171 \times 40 \times 0.3 \times 0.5 \times 0.5 = 0.513 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = M_{\max} / W = 0.513 / (2 \times 0.0000508) = 50492 \text{ kN/m}^2 < [\sigma] = 215000 \text{ kN/m}^2$$

挠度验算

$$q = 53.4 \times 0.3 \times 0.5 = 8.01 \text{ kN}$$

$$I = \pi (d^4 - d_1^4) / 64 = 3.14 \times (4.8^4 - 4.1^4) / 64 = 12.18 \text{ cm}^4, \text{ 双钢管布置时 } I = 24.36 \text{ cm}^4,$$

$$f = 1.097 q l^3 / (100EI) = 1.097 \times 8.01 \times 10^3 \times (0.5 \times 10^3)^3 / (100 \times 2.06 \times 10^5 \times 24.36 \times 10^4) = 0.88 \text{ mm} >$$

$$[v] = \text{Min}(1/250 \text{ m}, 10 \text{ mm}) = 10 \text{ mm}.$$

采用间距 0.4m 间距布置对拉螺杆时,

$$\text{对拉螺栓横向验算间距 } m = \text{max}[400, 400/2+100] = 400 \text{ mm}$$

$$\text{对拉螺栓竖向验算间距 } n = \text{max}[400, 400/2+200] = 400 \text{ mm}$$

$$N = 0.95 m n S_{\text{承}} = 0.95 \times 0.4 \times 0.4 \times 82.345 = 12.516 \text{ kN} \leq N_t^b = 24.5 \text{ kN}$$

2 对预处理池顶板模板设计与计算

预处理池有 $5.7 \times 10 \text{ m}^2$, 厚度 0.15m, 距底板顶面净高 11.1m, 顶板两处,

模板支架高度 11.1m, 板厚 0.15m, 立杆纵距 $b = 0.7 \text{ m}$, 立杆横距 $l = 0.7 \text{ m}$, 立杆步距 $h = 1.5 \text{ m}$, 面板厚度 20mm, 剪切强度 1.4 N/mm^2 , 抗弯强度 15.0 N/mm^2 , 弹性模量 6000.0 N/mm^2 。木方 $100 \times 50 \text{ mm}$, 间距 300mm, 剪切强度 1.3 N/mm^2 , 抗弯强度 1.3 N/mm^2 , 弹性模量 9500.0 N/mm^2 。

模板自重 0.5 kN/m^2 , 钢筋混凝土自重 26 kN/m^3 , 施工活载 3.0 kN/m^2 , 扣件计算折减系数取 1.0, 钢管类型 $\phi 48 \times 3.5 \text{ mm}$ 。

2.1 模板面板按照四跨连续梁计算

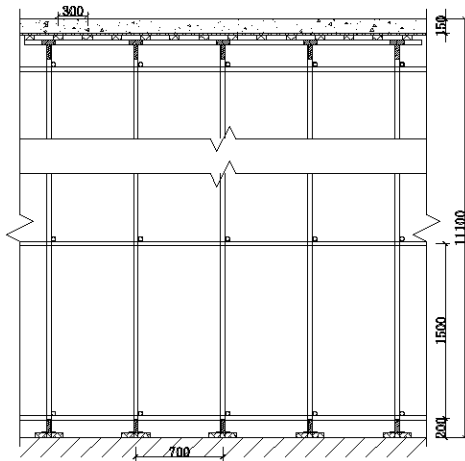


图8 模板设计平面图

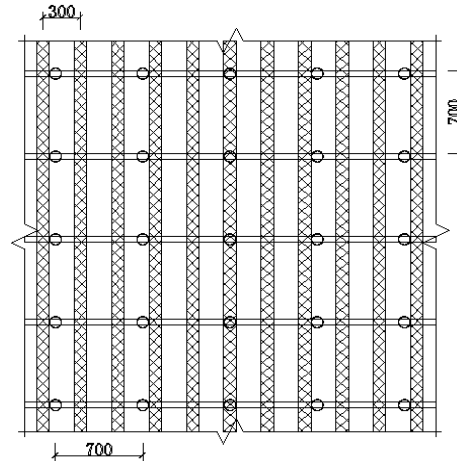


图9 模板设计剖面图

楼板面板应搁置在梁侧模板上，以四等跨连续梁，取1m单位宽度计算。
计算简图如下：

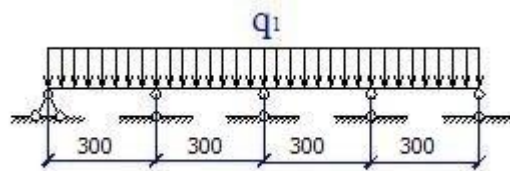


图10 模板面板计算表

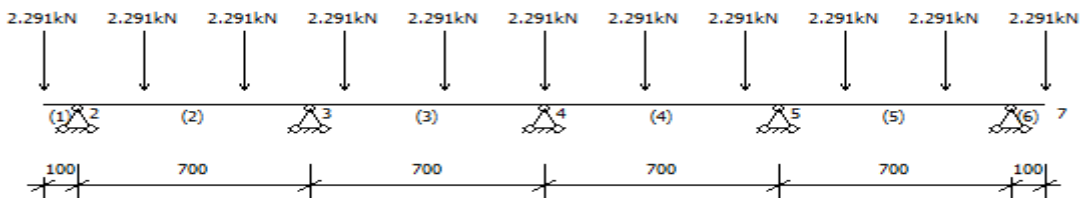


图11 计算简图

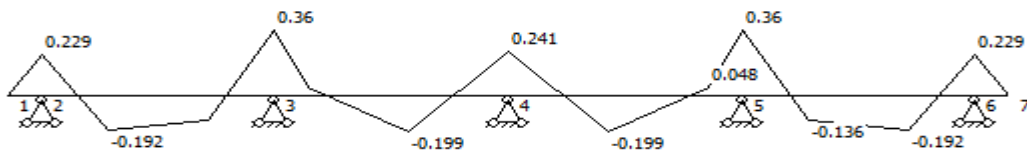


图12 主梁弯矩图

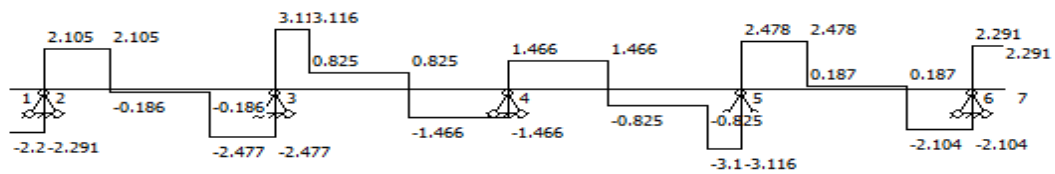


图13 主梁剪力图



图 14 主梁变形图

表 2 计算简图

| 序号 | 验算项目 | 计算过程 | | 结论 |
|----|--------|---|--|------|
| 1 | 面板 | 抗弯 | $\sigma = M_{\max}/W = 0.094 \times 10^6 / 66666.667 = 1.409 \text{N/mm}^2 \leq [f] = 15 \text{N/mm}^2$ | 满足要求 |
| | | 挠度 | $v = 0.058 \text{mm} \leq [v] = L/400 = 300/400 = 0.75 \text{mm}$ | 满足要求 |
| 2 | 小梁 | 抗弯 | $\sigma = M_{\max}/W = 0.149 \times 10^6 / 41667 = 3.583 \text{N/mm}^2 \leq [f] = 13 \text{N/mm}^2$ | 满足要求 |
| | | 抗剪 | $\tau_{\max} = 3V_{\max}/(2bh_0) = 3 \times 1.163 \times 1000 / (2 \times 100 \times 50) = 0.349 \text{N/mm}^2 \leq [\tau] = 1.782 \text{N/mm}^2$ | 满足要求 |
| | | 悬臂端 | $v_{\max} = ql_1^4 / (8EI) = 1.31 \times 150^4 / (8 \times 9500 \times 104.167 \times 10^4) = 0.008 \text{mm} \leq [v] = 2 \times l_1 / 400 = 2 \times 150 / 400 = 0.75 \text{mm}$ | 满足要求 |
| 3 | 主梁 | 抗弯 | $\sigma = M_{\max}/W = 0.36 \times 106 / 4490 = 80.101 \text{N/mm}^2 \leq [f] = 215 \text{N/mm}^2$ | 满足要求 |
| | | 抗剪 | $\tau_{\max} = 2V_{\max}/A = 2 \times 3.116 \times 1000 / 424 = 14.696 \text{N/mm}^2 \leq [\tau] = 125 \text{N/mm}^2$ | 满足要求 |
| | | 挠度 | 跨中 $v_{\max} = 0.152 \text{mm} \leq [v] = 1.75 \text{mm}$; 悬挑段 $v_{\max} = 0.025 \text{mm} \leq [v] = 0.5 \text{mm}$ | 满足要求 |
| 4 | 可调托座验算 | $N = 5.593 \text{kN} \leq [N] = 30 \text{kN}$ | | 满足要求 |
| 5 | 立杆 | 长细比 $\lambda = \max[l_{01}, l_0] / i = 2633 / 15.9 = 165.597 \leq [\lambda] = 210$ | | 满足要求 |
| | | $f_d = N_d / (\varphi_1 A) + M_{wd} / W = 7.758 \times 10^3 / (0.179 \times 424) + 0.003 \times 10^6 / 4490 = 102.958 \text{N/mm}^2 \leq [\sigma] = 205 \text{N/mm}^2$ | | 满足要求 |
| 6 | 高宽比验算 | $H/B = 11.1 / 20 = 0.555 \leq 3$ | | 满足要求 |
| 7 | 架体抗倾覆 | $B^2 l_a (g_{k1} + g_{k2}) + 2 \sum G_{jk} b_j = B^2 l_a [qH / (l_a \times l_b) + G_{jk}] + 2 \times G_{jk} \times B / 2 = 20^2 \times 0.7 \times (0.15 \times 11.1 / (0.7 \times 0.7) + 0.5) + 2 \times 1 \times 20 / 2 = 1111.429 \text{kN} \cdot \text{m} \geq 3 \gamma_0 M_{ok} = 3 \times 1 \times 23.04 = 69.12 \text{kN} \cdot \text{m}$ | | 满足要求 |

3 结语

池壁高 11.1m, 最大池壁厚度为 0.9m, 从整体布置而言, 采用 20mm 面板, 双 $\Phi 48 \times 3.5 \text{mm}$ 钢管作为内外龙骨, 次龙骨间距 $0.2 \times 0.4 \text{m}^2$, 对拉螺杆 M16, 砼初凝时间为 6h 时, 砼每小时上升速度 3m 时, 仍能满足要求。

由于各池功能不同, 体量差异大, 结构变化大, 两 MSBR 池之间间距小, 不能采用大型钢模板, 模板的采用保守设计, 消耗量大, 但是由于冗余设计和通用化, 使现场物料管理趋于简单, 出现质量安全事故的几率大大减小。

[参考文献]

- [1] 东艳辉, 伍孝波, 徐刚. 建筑工程现场常用计算实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [2] 姚谏, 董石麟. 建筑结构静力计算实用手册(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [3] 江正荣, 朱国梁. 简明施工计算手册(第三版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [4] 建筑施工手册(第四版)编写组. 建筑施工手册第四版缩印本[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [5] 吴未红, 刘杨华, 肖果, 蒋诚, 徐放, 齐艳, 黄宏来等. 长沙洋湖再生水厂(二期)施工图[Z]. 2020.

作者简介: 崔欣(1982.3-)男, 本科, 一级建造师, 本工程项目负责人。