文章编号:1006-544X(2003)04-0435-06

南宁味精厂废水治理站土建设计

金凌志,曹 霞,覃荷瑛

(桂林工学院 土木工程系,广西 桂林 541004)

摘 要:对南宁味精厂废水治理站土建工程的设计进行了总结. 对圆锥型水池在各种作用效应的组合设计、圆柱与圆锥相交处的节点简化、长壁圆水池的计算、高压缩性及低承载力的粉土地基处理等进行了论述与探讨;总结了圆锥型和长细比较大的圆柱型污水池的计算步骤、内容及方法;介绍了直接支承于地基上的圆锥型水池利用浆砌片石做底模的施工方法和采用现场脚手架圆钢管挤密加固地基的处理措施.

关键词:圆锥型水池;温度应力;长壁圆水池;地基处理

中图分类号:TU377;TU249.9 **文献标识码**:A①

1 工程概况

味精废水是我国最严重的污染源之一,南宁味精厂废水COD,SO_4^{2-}和NH_3N浓度特别高,而pH值却很低(1~2). 本课题组引进德国HCR新工艺,减少了常规工艺必需的曝气设备,COD去除率达95%以上,出水pH值接近7,使味精废水直接达标排放[1~3]. 配合这套工艺的废水治理站由中和预曝调节池,初、二、终沉池,污泥浓缩池,HCR池,脱气池,水解酸化池等10个水池组成,其中中和预曝池为地下水池,脱气池、水解酸化池为地上水池,其它均为半地下水池,平面布置见图1.

本项目于2000-07-20签定设计合同,2000-09-05完成全部施工图设计,2001-01开始对污水池进行调试,土建部分从设计到施工,再投入运营,整个过程不到半年时间. 土建设计方案必须考虑这一因素,以满足工程进度要求.

该项目位于南宁市北湖路中段,周围都有建筑物,场地非常狭窄(图1),施工条件受到制约. 所以土建设计方案必须满足施工场地要求,具备可操作性.

2 圆锥形水池的设计与施工

本项目有2种圆锥形水池:“二沉池”,位于地面以上,由6根柱子支承;“初、终沉池”,它直接支承在地面上,由圆柱形和圆锥形组成,圆柱部分露在地面以上,需考虑温度应力;圆锥部分埋在地面以下,不需考虑温度应力(图2).

这里只阐述初、终沉池水池的计算方法.

2.1 内力计算

①池内有水,池外无土;②池内无水,池外有土;③温度作用;味精废水最高温度T_W=22℃,南宁市冬季最低气温T_a=1℃,所以池内外温差按21℃计算. 其内力组合:

(1) $1.2a+0.7\times1.2c$(圆柱壳);

(2) $1.2a+1.2q$(自重)或$1.2b+1.2q$(自重)(初、终沉池圆锥壳);

(3) $1.2a+1.2q$(自重)$+0.7\times1.2c$(二沉池圆锥壳).

式中,1.2为荷载分项系数,对于温度作用的分项系数目前规范尚无明确规定,也取1.2[4],考虑混凝土的徐变和裂缝将使构件的刚度降低,温度

① **收稿日期**:2003-03-07;**修订日期**:2003-06-14

基金项目:教育部科学技术研究重点项目资助[00219].

作者简介:金凌志(1959-),女,湖南双峰人,高级工程师,国家一级注册结构师,注册监理工程师,工民建专业.

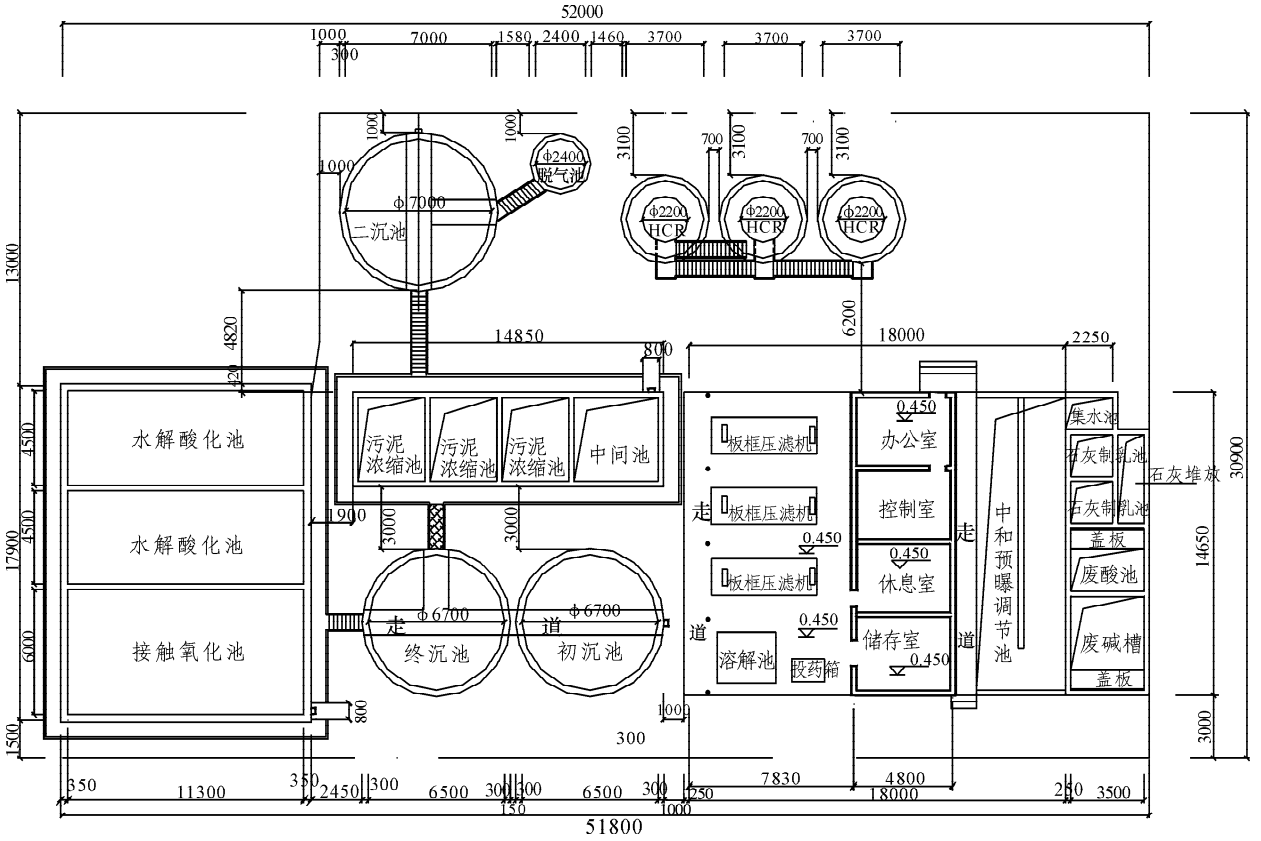


图 1 平面布置图

Fig. 1 Sketch of ground arrangement

应力松弛，所以温度内力乘以折减系数 0.7[4].

结果取其最大值,对于圆柱壳产生的内力有竖向弯矩 M_x,剪力 V_x,环向拉力 N_θ和环向弯矩 M_θ[4](图3).

圆锥形水池内力计算[5]较为复杂，需要将圆柱部分与圆锥部分分开，分别按圆柱壳与圆锥壳进行计算，圆锥壳还要分大头和小头薄膜模型计算各种荷载作用下的径向、环向内力并进行组合，计算简图见图 4. 相比之下，矩形水池要简单一些，因为它要么是单向板，要么是双向板，内力只有水平或竖向. 按常规的计算方法，这种水池计算应考虑圆柱壳与圆锥壳及圆环梁相交处节点平衡的问题，即内力应按刚度进行分配[5]，使其内力平衡，计算起来相当繁琐. 本设计由于工期紧，采用了较为简化的方法，圆柱壳按底端仅有竖向支座，顶自由计算在水压作用下各点薄膜环向力，同时按底固定，顶自由在水压及温差作用下的内力，并进行叠加. 为了保证底端支座固定的可靠性，设置刚度较大的圆环梁（400 mm × 700 mm），其计算直接采用作用于此水平位置的水压和温差产生的内力按偏心受拉构件进行截面设计.

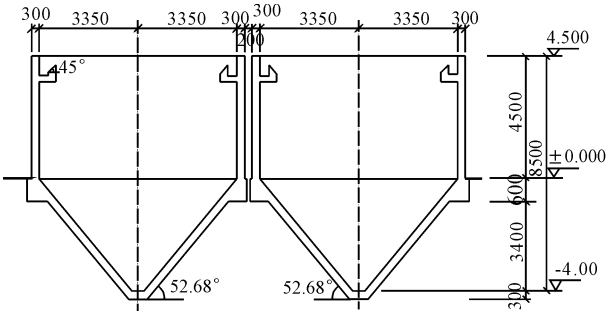


图 2 初、终沉池剖面图

Fig. 2 Section of preliminary and final sedimentation tank

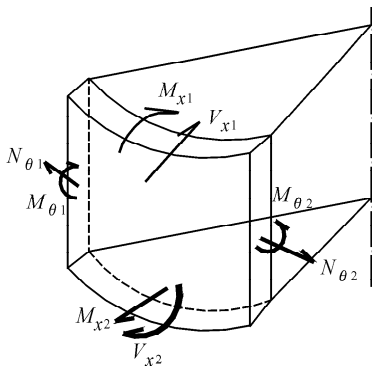


图 3 内力图

Fig. 3 Sketch of internal force in cistern cliff

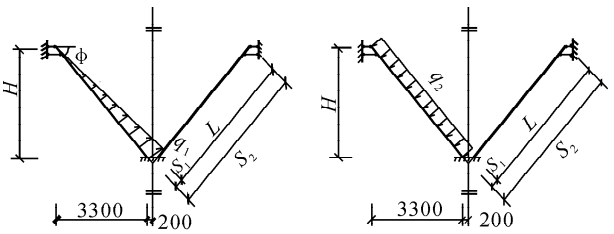


图 4　圆锥壳计算模型

Fig. 4　Calculating model of taper shell

2.1.1　圆柱壳内力计算过程　①计算在水压作用下各点薄膜环向力（图 5）.

查文献［5］表 2.3 -2，$\overline{N}_\theta = rRx = 11 \times 3.5\ x = 39.6\ x$.

②在水压作用下的计算公式

支承条件：底固定，顶自由；荷载情况：三角形荷载；符号规定：外壁受拉为正；荷载分项系数：1.2.

$H^2 \cdot (dh)^{-1} = 4.5^2 \times (3.5 \times 2 \times 0.25)^{-1} = 11.57$，按 12 查文献[5]表 1.2.4 -1、2.

环向力 $N_{水} = k_{n\theta} \times q \times r$，污水容重 = 11 kN/m^3，则 $q = 11 \times 4.5 \times 1.2$(分项系数) = 59.4 kN /m.

剪力 $V_{水} = k_{vx} \times q \times H$（4.5 m），竖向弯矩 $M_{水x} = k_{mx} \times q \times H^2$，环向弯矩 $M_{水\theta} = M_{水x}/6$.

③在温度作用下的计算公式

支承条件及分项系数同上，按 12 查文献［5］表 1.2.4 -20、21.

环向力 $N_{温} = k_{n\theta} \times M_T/h$，竖向弯矩 $M_{温x} = k_{mx温} \times M_T$；

环向弯矩　$M_{温\theta} = (1/6)(k_{mx温} - 5) \times M_T$，剪力 $V_{温} = k_{vx温} \times M_T/H$.

$$\Delta T = -\frac{h/\lambda}{1/\beta + h/\lambda}(T_w - T_a)$$

$$= -\frac{0.25/1.75}{1/20 + 0.25/1.75}(22 - 1) = -15.56$$

$$M_T = 0.1Eh^2\alpha_T\Delta T = 0.1 \times 2.8 \times 10^4 \times 250^2 \times 1 \times 10^{-5} \times (-15.56) = -27.23\ \text{kN} \cdot \text{m/m}$$

式中：λ—壁板导热系数，钢筋砼壁取 1.75；β—壁板与空气的热交换系数，取 20.

池外温度低，池内温度高，则水池外壁受拉，内壁受压，表中也是外壁受拉为正，当池外温度比池内低时，ΔT 是负值，M_T也是负值.

计算结果见表 1（为简化计算本例仅计算 5 点），内力组合见图 6.

2.1.2　圆环梁内力及配筋计算过程　①环梁在水平荷载下的内力计算

环梁断面取 $b = 700$ mm，$h = 400 \sim 850$ mm；

环梁半径 $r = 3\ 700$ mm；

作用在环梁上的水压 $g = 11 \times (4.5 + 0.35) = 53.35$ kN/m^2；

环梁所受的环拉力 $N_\theta = qh_0r = 53.35 \times 0.675 \times 3.7 = 133$ kN.

表 1　圆柱壳内力计算结果

Table 1　Internal force of column shell

项　目		计算点(从顶到底)				
		0	0.3 H	0.5 H	0.7 H	1 H
环向	$\overline{N}_\theta$	0	53.46	89.1	124.74	178.2
拉力	$N_{水}$	-1.247	64.80	111	131.8	0
N_θ/	$N_{温}$	312.5	-58.6	-11.8	2.47	0
(kN·m^{-1})	$\sum N_\theta$	311.25	59.66	188.3	259.01	178.2
环向弯矩	$M_{水\theta}$	0	-0.02	0.08	0.44	-2.73
M_θ/	$M_{温\theta}$	19.06	22.54	23.03	22.93	22.88
(kN·m·m^{-1})	$\sum M_\theta$	19.06	22.52	23.11	23.37	20.15
竖向弯矩	$M_{水x}$	0	-0.12	0.48	2.64	-12.38
M_x/	$M_{温x}$	0	20.88	23.86	23.19	22.7
(kN·m·m^{-1})	$\sum M$	0	20.76	24.34	25.83	10.32
剪力	$V_{水}$	0	0	0	0	-38.5
V_x/	$V_{温}$	0	0	0	0	0.23
(kN·m^{-1})	$\sum V$					-38.27

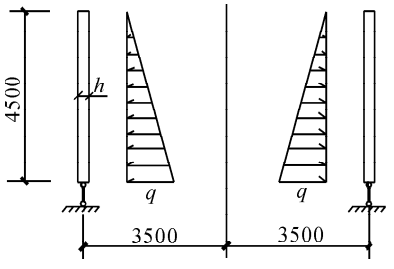


图 5　水压作用下圆环各点环向力计算简图

Fig. 5　Sketch calculating film annular force of each dot in cirque effecting by hydraulic pressure

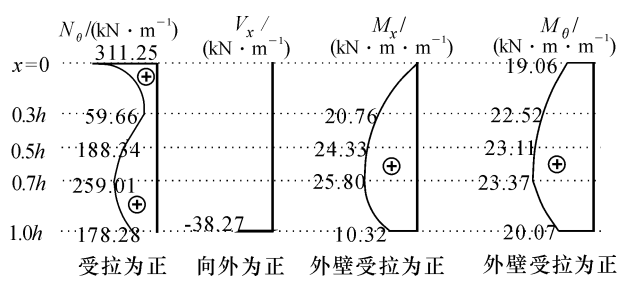


图 6　圆柱壳内应力图

Fig. 6　Internal force diagram of column shell

壁面温差 ΔT 在圆环中所引起的环向弯矩计算

$$\Delta T = \frac{(-1-20)\times h/\lambda}{h/\lambda + 1/e}$$

$$= \frac{-21\times 0.400/1.75}{0.400/1.75 + 1/20} = -17.23,$$

$$M = (1/12)E_h b^2 h_0 \Delta T \alpha_T \times 0.7$$

$$= (1/12)\times 2.8\times 10^4 \times 700^2 \times 370 \times (-17.23)\times 1\times 10^{-5}\times 0.7 = 51\ \text{kN}\cdot\text{m}.$$

②环梁在水平荷载下的配筋计算（按文献[6]计算）

$N_0 = 133$ kN，（砼 C25，钢筋 II 级）.

$M_0 = 51$ kN·m，

$$e_0 = \frac{M_0}{N_0} = \frac{51}{133} = 0.383\,6\ \text{m}\left(\geqslant \frac{0.40}{2} - 0.03 = 0.17\right),$$

$$e = e_0 - \frac{h}{2} + a_s = 0.383\,6 - 0.2 + 0.03 = 0.213\,6\ \text{m}.$$

令 $X = \xi_b h_0$，$\xi_b = 0.544$，

$$A'_s = \frac{Ne - f_{cm}\xi_b b h_0^2(1-0.5\xi_b)}{f'_y(h_0 - a'_s)} = \frac{133\times 10^3\times 1.2\times 21 - 11\times 0.544\times 700\times 370^2(1-0.5\times 0.544)}{310\times(370-30)}$$

$\leqslant 0$，

$$A'_s = \rho'_{\min} b h_0$$

$$= 0.2\% b h_0 = 0.002\times 700\times 370 = 518\ \text{mm}^2.$$

受压钢筋按最小配筋率确定 2φ20，As = 628 mm².

$$N\cdot e = 133\times 10^3\times 1.2\times 21 = 33.5\ \text{kN}\cdot\text{m}.$$

令 $x = 2a'_s$，

$f_{cm} b\cdot 2a'_s(h_0 - a'_s) = 11\times 700\times 2\times 30\times(370-30) = 157$ kN·m，

因此 $N\cdot e \leqslant f_{cm}\times b\times 2a'_s(h_o - a'_s)$.

按单筋截面计算受拉钢筋

$$A_s = \frac{N(e+\gamma_s h_0)}{f_y \gamma_s h_0} = \frac{133\times 10^3\times 1.2(21+0.981\times 370)}{310\times 0.981\times 370^2}$$

$$= 544\ \text{mm}^2,$$

$$\alpha_s = \frac{Ne}{f_{cm} b h_0^2} = \frac{33.5\times 10\,6}{11\times 700\times 370^2} = 0.031\,7,$$

$$\gamma_s = 0.981,$$

$$A_s \geqslant 0.015\% b h_0 = 0.15\%\times 400\times 670 = 402\ \text{mm}^2.$$

2φ20，$A_s = 628$ mm².

为安全储备整截面实配 8φ20，环梁截面配筋见图 7.

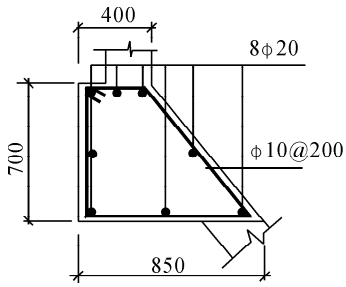


图 7 圆环梁截面配筋图

Fig. 7 Borr arrangement diagram of column shell

2.2 截面设计[4,6]

（1）正截面强度计算，即计算所需环向与径向钢筋；（2）根据环向拉力作用下不允许出现裂缝的要求验算池壁的厚度；（3）验算竖向弯矩作用下的裂缝宽度，对于污水池 $\delta < 0.2$ mm；（4）按斜截面受剪承载力要求验算池壁厚度. 在本计算中进行（2）验算时发现池壁厚度不能满足规范要求：

$$\sigma_{sc} = \frac{M_s}{\gamma W_0} + \frac{N_s}{A_0} = \frac{19.06\times 10^6}{1.2\times 1.75\times 11\,146\,505} + \frac{311.79\times 10^3}{1.2\times 258\,914} = 1.80(>\alpha_{ct} f_{tk} = 1.435).$$

将壁厚改为 300 mm 后，

$$\sigma_{sc} = 1.435(\leqslant \alpha_{ct} f_{tk} = 1.435),$$

满足规范要求，所以最终壁厚改为了 300 mm.

2.3 施工方案

二沉池由 6 根柱子组成，柱下是独立基础，可按常规方法进行施工；而初、终沉池是直接放置于地面上的，支模很困难. 与施工单位协商后，采取了浆砌片石兼作底模的施工方案（图 8），既解决了施工难题，又有利于减少温度内力.

3 HCR 池的计算方法与地基处理

HCR 池是本废水处理站的核心，它由 3 个直径2.2 m，地下4 m，地上12 m，总高16 m的圆柱

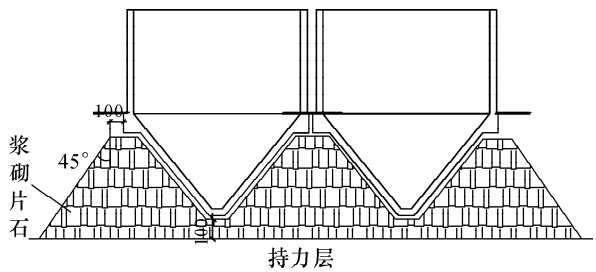


图 8 片石底模

Fig. 8 Slab stone bottom mouldl

形水池组成，其设计的好坏直接影响到废水处理工艺的成效.

3.1　稳定性计算

由于长细比较大（$H/d = 16/2.2 = 7.28$），地面以上有 12 m，所以必须验算池内无水时，在荷载作用下水池的抗倾覆能力. 计算结果表明，本设计满足抗倾覆要求.

3.2　池壁内力计算

由于本水池 $H^2(dh)^{-1} = 16^2(2.20 \times 0.3)^{-1} = 388 > 56$(临界值). 其中：$H$ 为高；d 为直径；h 为壁厚. 所以应按长壁圆水池即深池进行计算[4]，即在离底端 0.25 H 范围以上按两端自由的静定圆环计算水压和温差引起的环向内力，在 0.25 H 以下范围内则按底端嵌固、顶端自由的边界条件来计算，既有竖向的内力，也有环向的内力.

3.3　地基承载力计算

HCR 池下地基土自上而下分为 5 层（图 9）. 其持力层为③粉质粘土 $f_k = 255$ kPa，地基承载力设计值[3] $f = f_k + \eta_d\gamma_0(d - 0.5) = 255 + 1.1 \times 18 \times (4.5 - 0.5) = 334$ kPa（设计时值 2000 年，所以仍按 GBJ 7－89 规范进行计算）.

由于水池底内径为 2.2 m，其基础宽度设为 4.7 m，这样基础每边已扩出 0.95 m，$\beta = r/R = 2.35/1.25 = 1.8$，接近极限值，不能再扩大，这时的基底压力 $P = 3315/(3.14 \times 2.35^2) = 191$ kPa（$< f = 334$ kPa），富余很多，但还要进行下卧层验算.

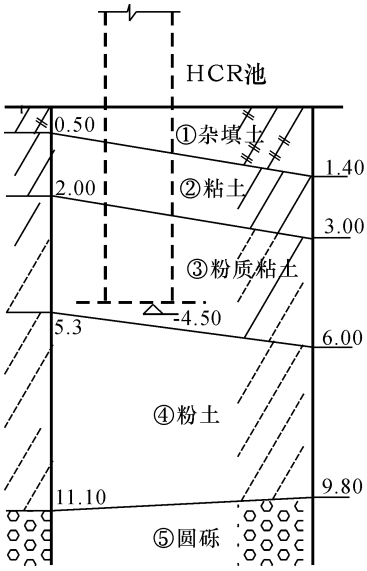


图 9　HCR 池下地基土层剖面图

Fig. 9　Section of foundotion soil under HCR cistern

下卧层顶面应力（摩擦角 $\theta = 4°$，因此不考虑应力扩散）

$P_1 = Pcz + P_\theta = 29.7 + 191 = 220$ kN/m^2，

$< f = 110 + 1.1 \times 19.8 \times (6 - 0.5) = 229$ kN/m^2，刚好满足.

但基槽开挖后，发现地基土与地质报告不符，基底 4.5 m 已至粉土层，这样地基承载力设计值 $f = 110 + 1.1 \times 18 (4.5 - 0.5) = 189 < 191$. 显然下卧层地基承载力不够，由于时间紧，场地又窄，场地条件和进度要求表明进行常规的地基处理（水泥深层搅拌桩、碎石桩）与打桩都不现实，经过反复比较与协商，运用“振冲密实法”与“土或灰土挤密桩法”[8]，因地制宜，就地取材，大胆地采用现场脚手架圆钢管挤密加固地基，具体方法是：用挖土机压入 Φ57 ×3.5 无缝钢管，管内用 C15 细石混凝土灌实，钢管桩长贯穿粉土层至基岩面或≥5m，桩顶再加上一个 800 mm 厚的毛石混凝土桩帽，其宽度周边超出基础 0.5 m，将 3 个水池基础相连，在水池完工之后，将 3 个水池同时灌满水，将地基预压 30 d，并在水池周边设置了 3 个沉降观测点进行定期监测.

4　结　论

本项目地基处理方案简捷、方便、实用、可靠，到目前已使用了两年多，经观测，沉降还不到 10 mm，同时水池也未发现任何裂缝与渗漏，运行良好，说明设计是合理和成功的.

在项目设计过程中一直得到了刘康怀教授、卢国宇高工等工艺设计人员的协助，参加土建设计的还有廖锦云、吴伟华、刘强，在此一并感谢.

参考文献

[1] 赵文玉，刘康怀，黄　晓，等. 南宁味精厂废水处理工程设计与运行［J］. 给水排水，2002，26（4）：51－53.

[2] 李月中，刘康怀. 高负荷好氧生物法处理味精废水试验研究［J］. 桂林工学院学报，2001，21（1）：77－80.

[3] 王　俊，刘康怀，赵文玉，等. 南宁味精厂废水处理工程剩余污泥脱水实验及工程试运行［J］. 桂林工学院学报，2003，23（3）：334－338.

[4] 刘健行，郭先和，苏景春. 给水排水工程结构［M］. 北

京：中国建筑出版社，1994. 255 – 295，432 – 433.
[5] 上海市政工程设计院，北京市政设计院，中国给排水东北设计院，等. 给水排水结构设计手册［M］. 北京：中国建筑出版社，1984. 120 – 392.
［6］GBJ 10 – 89，混凝土结构设计规范［S］.
［7］GBJ 7 – 89，建筑地基基础设计规范［S］.
［8］JGJ 79 – 91，地基基础处理设计规范［S］.

Structural design of waste water harnessing station in Nanning Monosodium Glutamate Factory

JIN Ling-zhi，CAO Xia，QIN He-ying
（*Department of Civil Engineering* ，*Guilin Institute of Technology*，*Guilin* 541004，*China*）

Abstract：Structural design of waste water harnessing station in Nanning Monosodium Glutamate Factory is introduced. The design of coniform tank by load effect combination，simplification of node of this tank，calculation of long-arm´s circular tank and foundation treatment of silt with a low carrying capacity and high compression are discussed. The calculating step，content and method of coniform tank and circular tank with a large length-height ratio are summarized. Construction method using slabston as bottom moulding board in coniform tank directly supported on ground and foundation treatment using falsework steel tube squeezd into soil are introduced.

Key words：coniform cistern；stress of temperature；long – arm circular cistern；foundation treatment