

盈建科水池计算软件 YPool 有限元计算结果验证

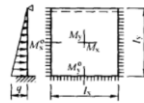
——与手算结果对比

郭峰

水池类结构作为一类特种结构形式，通常采用手算或工具箱的方式来进行结构计算和设计。二者都是采用《给水排水工程结构设计手册（第二版）》中提供的内力计算表格，根据不同的边界条件选用相应的内力系数来得到各个池壁的内力，再查手册中相应的裂缝选筋表格得到设计结果。

三角形荷载作用下三边固定，一边简支矩形板的计算系数表 表 2.2.3-23

l_x/l_y	α_{max}	M_x	$M_{x,max}$	M_y	$M_{y,max}$	M_x^0	$M_{x,max}^0$	M_y^0
0.50	0.001457	0.02049	0.02365	0.00574	0.01290	-0.04153	-0.04987	-0.04582
0.55	0.001371	0.02002	0.02229	0.00644	0.01273	-0.04094	-0.04739	-0.04471
0.60	0.001289	0.01941	0.02100	0.00716	0.01257	-0.04009	-0.04505	-0.04361
0.65	0.001210	0.01868	0.01975	0.00786	0.01241	-0.03903	-0.04276	-0.04250
0.70	0.001134	0.01785	0.01855	0.00850	0.01225	-0.03778	-0.04053	-0.04140
0.75	0.001061	0.01695	0.01739	0.00907	0.01211	-0.03639	-0.03839	-0.04029
0.80	0.000990	0.01602	0.01628	0.00956	0.01197	-0.03489	-0.03634	-0.03918
0.85	0.000922	0.01506	0.01521	0.00996	0.01184	-0.03334	-0.03437	-0.03806
0.90	0.000857	0.01410	0.01418	0.01027	0.01170	-0.03174	-0.03249	-0.03694
0.95	0.000795	0.01315	0.01319	0.01049	0.01156	-0.03014	-0.03068	-0.03581
1.00	0.000735	0.01223	0.01224	0.01063	0.01142	-0.02855	-0.02894	-0.03468
1.10	0.000625	0.01048	0.01048	0.01070	0.01110	-0.02548	-0.02548	-0.03239
1.20	0.000527	0.00890	0.00891	0.01054	0.01071	-0.02263	-0.02274	-0.03012
1.30	0.000443	0.00752	0.00754	0.01020	0.01026	-0.02006	-0.02011	-0.02789
1.40	0.000371	0.00634	0.00637	0.00975	0.00976	-0.01778	-0.01781	-0.02575
1.50	0.000310	0.00533	0.00537	0.00922	0.00922	-0.01578	-0.01580	-0.02370
1.60	0.000259	0.00450	0.00454	0.00867	0.00867	-0.01405	-0.01406	-0.02179



弯矩 = 表中系数 $\times q l_x^2$;
 挠度 = 表中系数 $\times q l_x^4 / B_1$;
 本表按泊松比 $\nu_0 = 0.2$ 编制;
 计算弯矩时 q 用荷载设计值;
 计算挠度时 q 用荷载代表值。

由于水池结构采用手算方式历史较长，也经历了很多实际工程的检验，所以大家在采用软件进行有限元计算时，当发现结果比手算结果小就会认为软件结果不准确；而当有限元结果更大时会找不到原因，觉得软件结果有异常。下面采用一个算例分别进行手算和 YPool 有限元计算，并对计算结果进行分析验证，以证明 YPool 软件计算结果的可靠性。另外对两种方式计算结果产生差异的可能原因进行分析总结，以帮助大家更好的应用软件、助力设计。

本算例来自《给水排水工程结构设计手册》3.4.3 节——“多格快滤池算例”，水池基本条件为：地面式整体钢筋混凝土四格矩形水池，平面尺寸 12.6m×8.6m，池高 H = 3.5m，池壁顶部简支，底部固定，混凝土等级 C25。

计算简图：

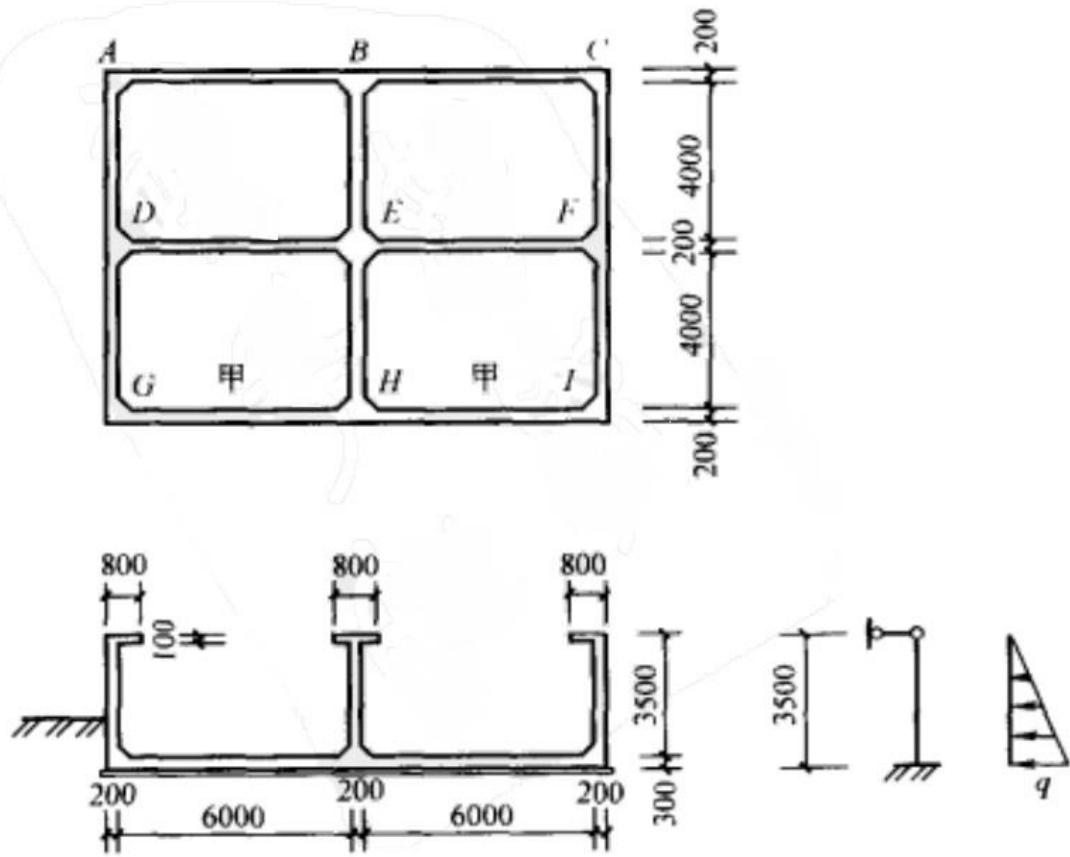
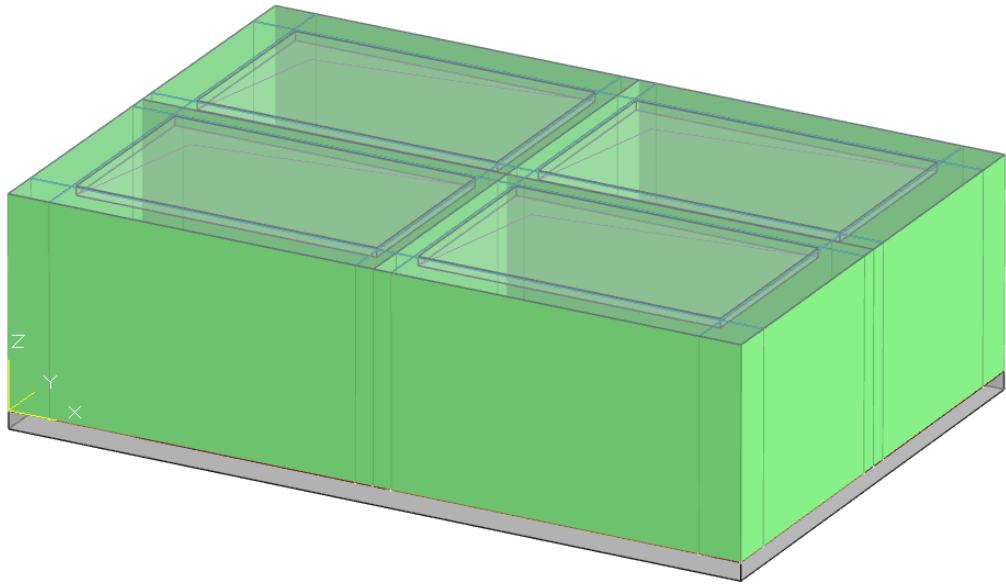


图 3.4.3-1 多格池设计简图

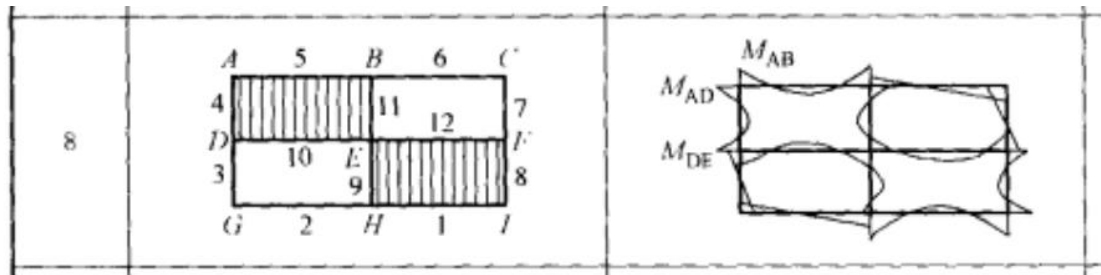
YPool 软件建模模型如下图所示，水池顶部走道板采用虚梁辅助建模，顶、底板和池壁之间按实际约束考虑，底板基床系数按 20000KN/m^3 。计算时考虑到水池体量较小，网格尺寸按照 0.5m 进行划分。



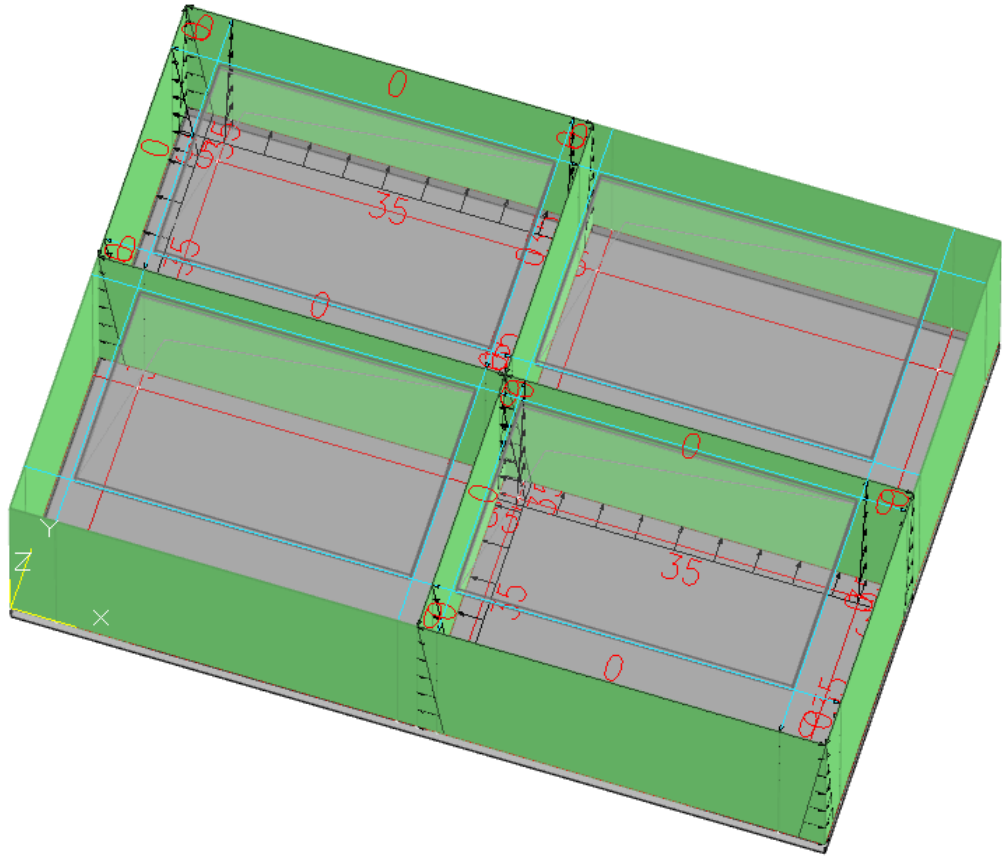
一、池壁弯矩

池壁水平弯矩计算在手册里采用两种荷载组合，下面以第一种，即下图所示表 3.4.1-1 第 8 栏情况进行对比：

多格水池荷载组合表 表 3.4.1-1



软件中池内水荷载做相同布置：



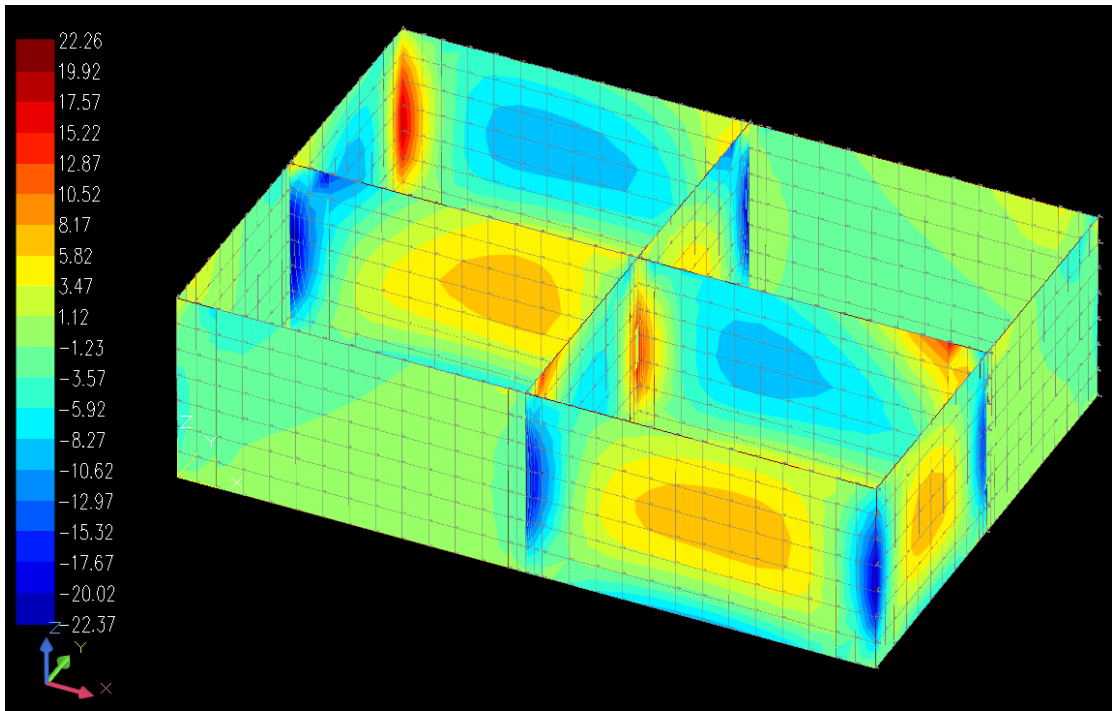
水平向弯矩手册计算结果见表 3.4.3-4:

弯矩值比较表 (kN·m/m)

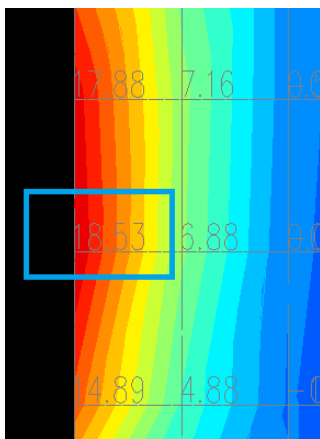
表 3.4.3-4

名 称	综合系数法	按线刚度调整 整边弯矩	按板刚度调整 整边弯矩	名 称	综合系数法	按线刚度调整 整边弯矩	按板刚度调整 整边弯矩
M_{AB}	18.84	18.98	18.79	M_{FH}	18.84	-16.52	-18.79
M_{AD}	18.81	-18.98	-18.79	M_{DA}	18.46	18.52	18.41
M_{BA}	19.82	-19.22	-19.12	M_{DE}	19.17	-19.30	-19.13
M_{BE}	18.46	18.63	18.42	M_{DG}	0.71	0.774	0.715
M_{BC}	1.36	0.596	0.694	M'_{AB}	6.15	6.21	5.51
M_{ED}	19.82	18.98	18.79	M'_{AD}	5.83	5.77	6.53
M_{EB}	18.84	-16.52	-18.79	M'_{BE}	5.83	6.95	6.53
M_{EF}	19.82	18.98	18.79	M'_{DE}	7.30	6.17	5.50

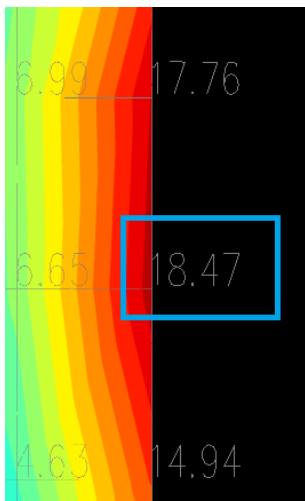
软件计算结果云图如下 (默认对应等值线结果中的 M_{xx}):



MAB:



MAD:



其余结果可以通过相同方法进行逐一查询，这里不再赘述。对比结果汇总

如下表所示：

水平弯矩结果对比				
名称	按线刚度调整	综合系数法	按板刚度调整	Ypool有限元结果
MAB	18.98	18.84	18.79	18.53
MAD	18.98	18.84	18.79	18.47
MBA	19.22	19.82	19.12	21.43
MBE	18.63	18.46	18.42	20.94
MBC	0.596	1.36	0.694	0.87
MED	18.98	19.82	18.79	16.02
MEB	16.52	18.84	18.79	16.14
MEF	18.98	19.82	18.79	16.16
MEH	16.52	18.84	18.79	16.04
MDA	18.52	18.46	18.41	20.48
MDE	19.3	19.17	19.13	22.37
MDG	0.774	0.71	0.715	2.59
M'AB	6.21	6.15	5.51	8.24
M'AD	5.77	5.83	6.53	8.3
M'BE	6.95	5.83	6.53	6.75
M'DE	6.17	7.3	5.5	8.08

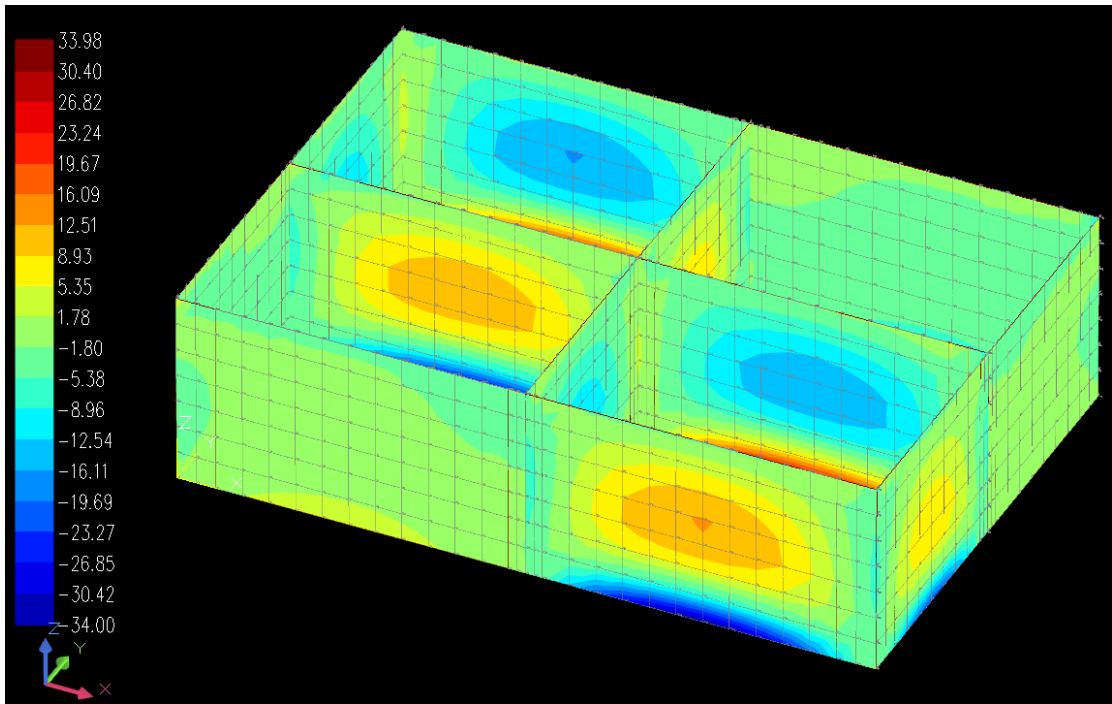
池壁竖向弯矩手册根据池壁长宽比分为了甲乙两类，其中“按线刚度调整”依照内力系数直接给出了计算结果，计算结果见表 3.4.3-1。“综合系数法”和“按板刚度调整算法”结果手册中未按表格汇总。

单块壁板弯矩值

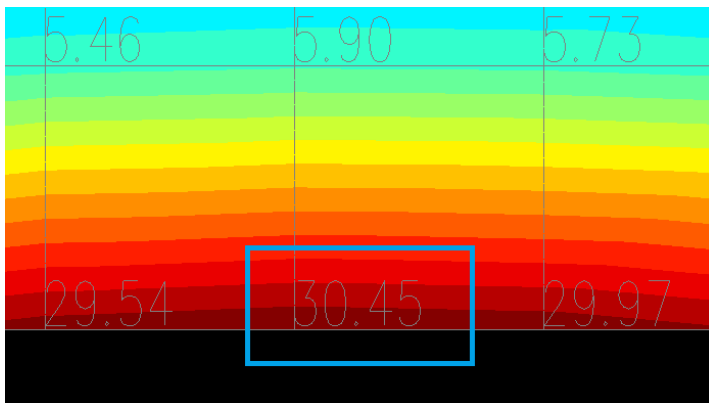
表 3.4.3-1

壁板类型	支座弯矩		跨中弯矩	
	\bar{M}_x	\bar{M}_y	M_x	M_y
甲	19.82	32.18	5.49	13.07
乙	17.75	23.58	6.77	8.22

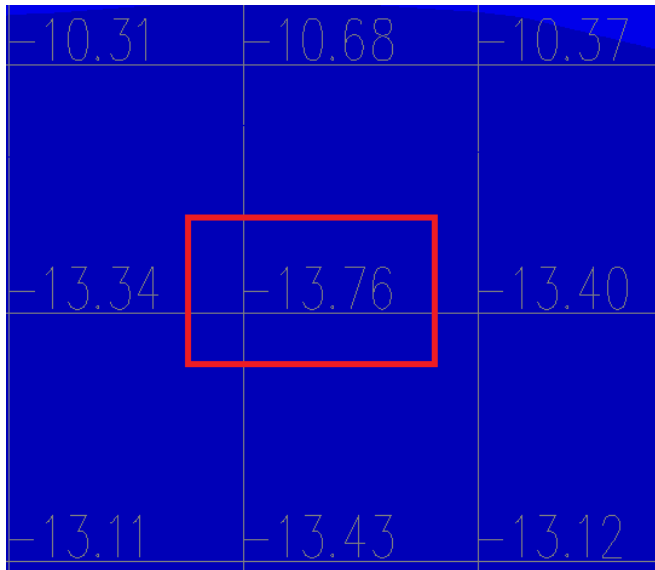
软件计算结果云图如下（默认对应等值线结果中的 Myy）：



M 甲支座:



M 甲跨中:



其余结果也可以通过相同方法进行逐一查询，这里不再赘述。对比结果汇总如下表所示（其中“综合系数法”根据手册公式计算填写，“按板刚度调整算法”从手册计算结果中抄录汇总）：

竖向弯矩结果对比				
名称	按线刚度调整	综合系数法	按板刚度调整	Ypool有限元结果
M甲支座	32.18	32.18	31.98	30.45
M甲跨中	13.07	13.01	13.52	13.76
M乙支座	23.58	23.63	23.19	19.58
M乙跨中	8.22	8.06	7.93	9.53

二、底板弯矩

底板弯矩计算简图如下，手册中考虑了4种工况，分别为（A）自重，（B）I池放空其余满水，（C）I、II池放空其余满水，（D）I、III池放空其余满水。其中工况（A）地基反力较为均匀，基本满足直线分布假定，手册计算结果可以和软件结果进行比较，其他三个工况由于地基反力各个池格差异较大，不满足直线分布假定，本文不再对比。

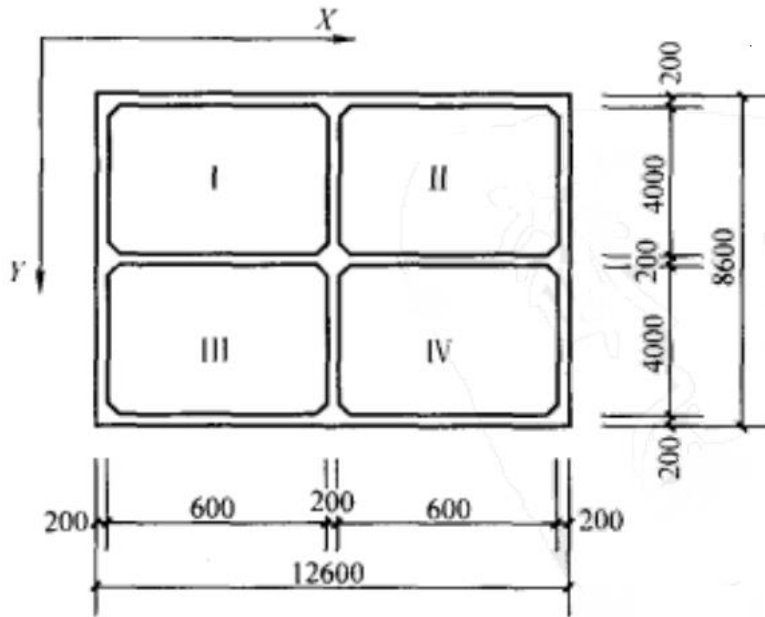


图 3.4.3-10

对比结果如下表所示：

底板弯矩结果对比		
名称	手册计算结果	Ypool有限元结果
跨中 M_{x1}	6.25	7.54
跨中 M_{y1}	13.22	12.83
支座 M_{0x1}	-11.17	-18.69
支座 M_{0y1}	-23.62	-23

综上所述，对于水池形状布局较为规则、水池平面尺寸较小的情况下，两种方式的计算条件比较接近，因而采用手册计算和有限元计算结果基本一致，可以认为软件的计算结果是正确合理的。当水池更为复杂，比如平面尺寸较大、水池布置异形、水池包含有梁板柱构件、多层水池、局部错层水池以及水池和附属用房联建等情况下，手册计算结果无法考虑结构的整体受力效果，两者结果就会因结构本身受力特点不同产生各种差异。所以当结构复杂的情况下，手册计算结果会过于简化而不太适用，推荐采用有限元软件为主来整体分析。

最后总结一下常见的手算结果和软件有限元结果差异的几点原因。

1、即上文所述的计算方式差异，手算是简化计算，软件是有限元整体

分析，当模型稍微复杂一些，两者的受力情况本身差异就很大了；

- 2、 工况组合的差异，手算通常只考虑了面外荷载，即水土压力，并未考虑自重，而自重下的荷载效应有时是很明显的，可能会和水土压力效应抵消，也可能会叠加。另外，对于需要考虑抗浮水位的时候，手算无法考虑在水浮力作用下，土层只受压不受拉的非线性受力特性，这种情况往往是更不利的，软件则可以通过水浮力的非线性工况组合来很好的模拟；
- 3、 设计内力取舍问题，手算时一般都是按纯弯构件考虑的，比如《给水排水工程结构设计手册（第二版）》中就只提供了纯弯下的板裂缝选筋表格，而轴力的影响尤其是轴拉力其实是不应该忽略的，这一点在池壁水平配筋上会比较明显；
- 4、 有限元计算结果可能产生的应力集中，出现应力集中后配筋会异常大，这种情况就需要人为查看判断一下，一般可以根据构件信息中的内力异常的工况号，对应查看一下等值线云图结果。