

有关《某深基础工程校核》情况介绍 及对 YJK 软件《.....一文观点的浅析》的回复

上海佳构软件科技有限公司 (2016/11)

【内容提要】

- 1、介绍 JG 基础单拉计算，及有关算例。
- 2、介绍 JG 基础抗浮计算的“总量控制负弹簧”模型的原理，与倒楼盖法、单拉计算的优缺点，及工程应用建议。
- 3、对基础计算所涉及的几个原则性问题的阐述，包括：
 - ①基础非线性真的是非线性吗？是否适用叠加原理？
 - ②单拉计算、倒楼盖法、负弹簧模型、基础非线性等基础计算模式的技术实质。
 - ③单拉计算中土弹簧承担水浮力的合理性。
 - ④重力、水浮力的内力是该叠加、还是取包络？
- 4、原工程的新版本情况，另外工程的比较。及其它对《校核》的必要解释、对《浅析》的必要回复。

【特别提示】

- ◆ 分析表明，单拉计算(或非线性)在底板未脱开时，土弹簧直接承担水浮力，使底板内力小于倒楼盖法(或 JG 负弹簧模型)。
- ◆ JG 软件建议，锚杆验算采用单拉计算，筏板计算采用基础协同分析中隐含的“总量控制负弹簧”模型。

应有关方面的要求，2016 上半年，采用 JG 软件对某深基础工程分析、校核，结果形成《某深基础工程校核—JG-STRAT 与 YJK》(以下简称《校核》) 分析文档，供委托方参考。本非公开资料，但关切者众，流传开了。

近日 YJK 软件对该分析文档作出回应解释，形成《对<某深基础工程校核—JG-STRAT 与 YJK>一文观点的浅析》(以下简称《浅析》)。

《校核》并不是严密的算例。因为针对实际工程，包含因素多，任何一点均可以作为“辩解”的理由，容易陷入无谓的争论。——**但这种比较极为重要，无论算法、软件都是为工程服务，工程安全大于一切！工程师们需要这种比较！** 但《校核》毫无疑问是客观的，所有数据都是真实的。为了解释“差别的原因”作出分析，虽然存在对 YJK 的真实计算过程不了解的客观原因，但都是通过反复试算比较得出、都是“立论有据”的！

注意到，虽然《浅析》中不乏指摘之意，总体还是以正面介绍技术的方式，这值得肯定。同时还注意到，在这段时间以来，相关软件及时调整完善、排除漏洞，这也是必须赞赏的！因为有助于技术进步。

正如《浅析》中提到的，“对于高水工况，.....采用了倒楼盖的计算模型；.....此种计算方法目前还是主流设计方法”。本文的介绍和回复，还是以介绍技术为主，不拘泥于个别细节的辩诘。希望这些介绍对加深基础受力原理、软件计算机制的认识有所帮助。

一、水浮力计算模型 1：YJK 基础非线性，与 JG 单拉计算

通过《浅析》才了解 YJK 的“基础非线性”的所指，就是考虑土体、抗拔桩的单向受力特性，这在 JG 中称为“单拉计算”。(非线性一般指计算过程中材料或单元的力学性能改变，例如材料非线性、几何非线性等。土体、桩的单向特性属于单元“死活”，在 JG 中属于时间属性。——当然，有关命名表达意思清楚、便于理解就行，对此不持异议)。

单拉计算是工程软件中的基本功能，JG 软件大约在 V2.0 的初始阶段就具备。在 2007 年 V4.0 时，实现弹簧的单拉计算，引入“负弹簧”的概念，以满足水池筒仓等特种结构的基础计算，以及多高层中的基础协同计算。近期 JG 单拉实现迭代功能，以更准确判断单拉构件、弹簧的参与程度。

在 JG 中，无论上部结构，还是基础协同结构，单拉机制贯穿始终。对于任意一个结构模型，一旦程序检测具有单拉构件、或弹簧，单拉计算按钮即被激活，均可以进行单拉计算，见图 1-1。对于任意一个结构模型，既可进行常规计算，也可以进行单拉计算，两者完全平行并列。

《浅析》提供了两个基础抗浮算例，这里用 JG 单拉功能计算。

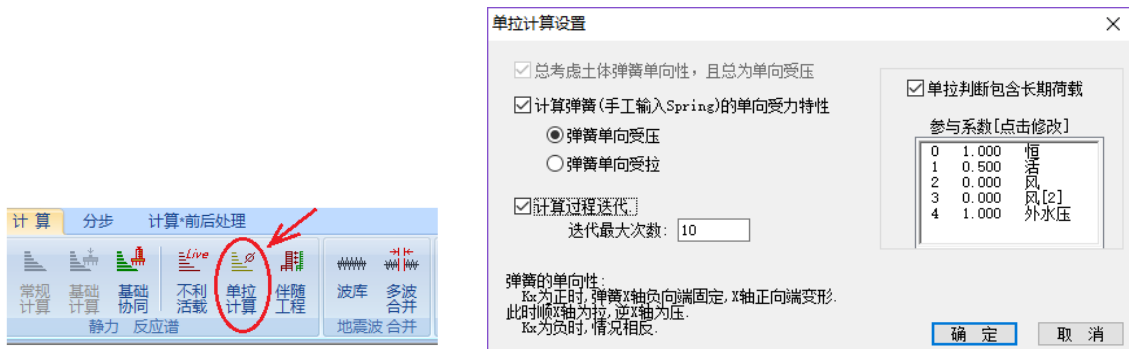


图 1-1、JG 中的单拉计算功能

算例 A、筏板抗浮

《浅析》中的第 1 个筏板抗浮算例，结构及荷载见图 1-2。

JG 软件本质是通用有限元软件，对图 1-2 筏板，可以如 SAP2000 一样、通过单纯的有限元模型实现，见图 1-3。1) 用板单元模拟筏板，剖分网格 1m，2) 输入 $k_s=2 \times 10^4 \text{ kN/m}^3$ 的板面弹簧模拟土体作用，3) 输入 $p_z=100 \text{ kPa}$ 板面荷载模拟水浮力，4) 在 8 个柱位置输入节点荷载 $P_z=-4000 \text{ kN}$ 的集中力。

JG 同时“通用专用相结合”的通用有限元软件，兼顾建筑结构，该算例也可以如 YJK 一样、用建筑基础的方式实现，见图 1-4。1) 将板单元放置于“JC-”图层内以便程序识别为基础筏板，2) 水浮力根据工程标高程序自动添加，3) 采用用户设定天然地基弹簧刚度，4) 设上部柱梁(同 YJK)并加柱端集中力，5) Strat 计算选项中不选“修均地基反力”。JG 基础模型参数设置见图 1-5。

JG 有限元模型、基础协同(XT)模型结果，及原《浅析》数据列于表 1-1。相应图形见图 1-6。

首先，JG 单拉计算与另外软件高度一致，具体数值更接近 SAP2000。其次，JG 两模型结果相同，体现 JG 单拉计算机制的通用性，可以有多种途径实现地基力单向受力特性的模拟。

表 1-1、筏板抗浮算例 (YJK、SAP2000 数据来自《浅析》)

	YJK	SAP2000	JG 有限元	JG 基础 XT
跨中板弯矩 (kN*m/m)	402	412	408	408
跨中挠度 (mm)	74	72	72	72
基底压力 (1-A 轴, kPa)	176	189	193*	193*

* 反力由节点变形 $\delta z = -9.65 \text{ mm}$ 与土体节点弹簧 $k_z = 2 \times 10^4 \text{ kN/m}^3$ 相乘结果。

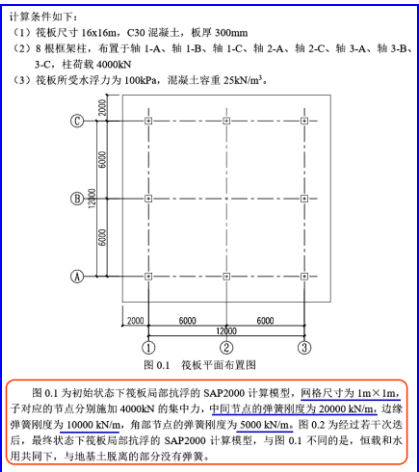
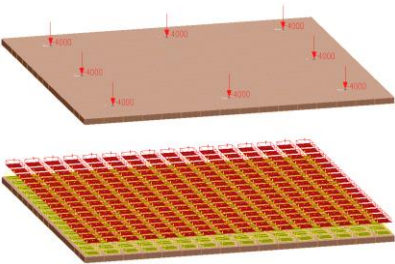


图 1-2、《浅析》中筏板抗浮算例
(加框表示引自《浅析》，下同)



1-3、JG 有限元模型(荷载与板面弹簧)

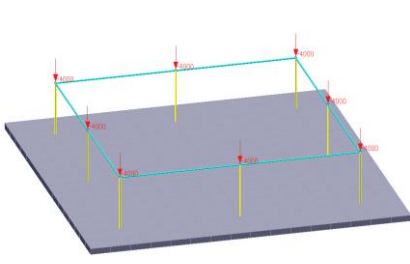


图 1-4、JG 基础协同(XT)模型



图 1-5、JG 基础协同 (XT) 模型中设置水浮力、地基土弹簧

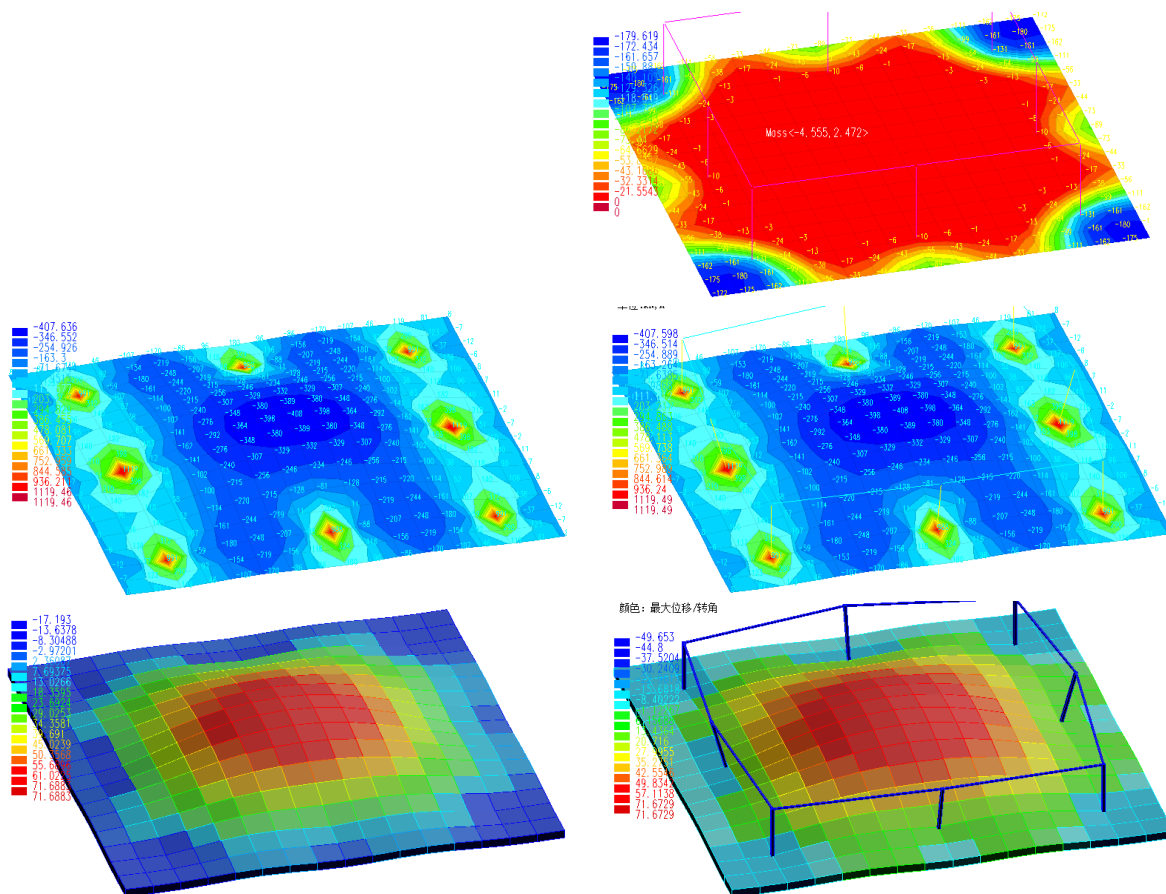


图 1-6、JG 单拉计算筏板抗浮结果

(左:有限元模型; 右:基础 XT 模型)

(上:地基反力; 中:板弯矩; 下:挠度。均为“1.0 恒+1.0 水”组合结果)

算例 B、带锚杆筏板抗浮

《浅析》中的第 2 个算例，在算例 A 模型基础上设置抗浮锚杆。锚杆抗拉刚度 $K_{pt}=3.6 \times 10^5 \text{ kN/m}$ ，总计 64 根，按 2m 间隔均匀分布，见图 1-7。

JG 有限元模型，在图 1-3 基础上增加节点负弹簧，模拟向上受拉的锚杆，见图 1-8。JG 基础模型，在图 1-4 基础上，输入桩单元，并放置“JC-纯拔桩-”图层内表示受拉锚杆，设置抗拔桩刚度为 $K_{pt}=3.6 \times 10^5 \text{ kN/m}$ ，见图 1-9。

JG 有限元模型、基础协同(XT)模型结果，及原《浅析》数据列于表 1-2。相应图形见图 1-10。可看出，JG 计算结果与另外软件高度一致。JG 与 SAP2000 更为接近，而 YJK 差别相对较大。

表 1-2、带锚杆筏板抗浮算例（YJK、SAP2000 数据来自《浅析》）

	YJK	SAP2000	JG 有限元	JG 基础 XT
形心位置板弯矩 (kN*m/m)	29	32	31*	31*
跨中挠度 (mm)	1. 21	1. 65	1. 63	1. 63
基底压力 (1-A 轴, kPa)	194	229	219**	219**
最大锚杆拉力 (kN)	542	534	—	518
受拉锚杆根数	16	16	—	16

* 为跨中两点的平均值。
 ** 反力由节点变形 $\delta z=-9. 65\text{mm}$ 与土体节点弹簧 $k_z=2\times 10^4\text{kN/m}^3$ 相乘结果。

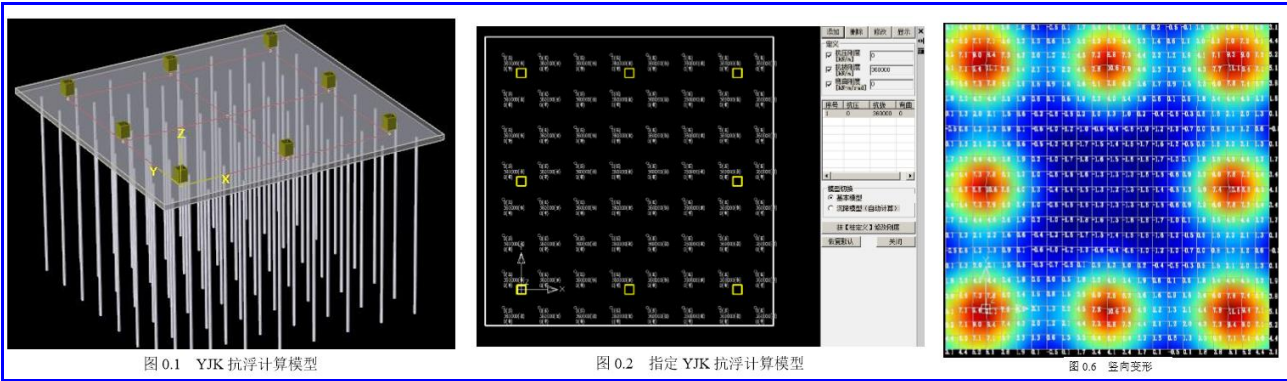


图 1-7、《浅析》中带锚杆筏板抗浮算例（加框表示引自《浅析》，下同）

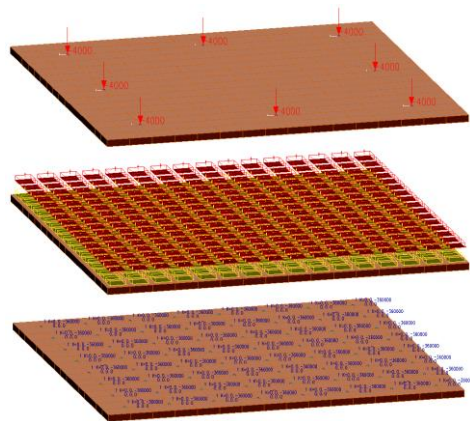


图 1-8、JG 有限元模型（点负弹簧模拟抗拔桩）

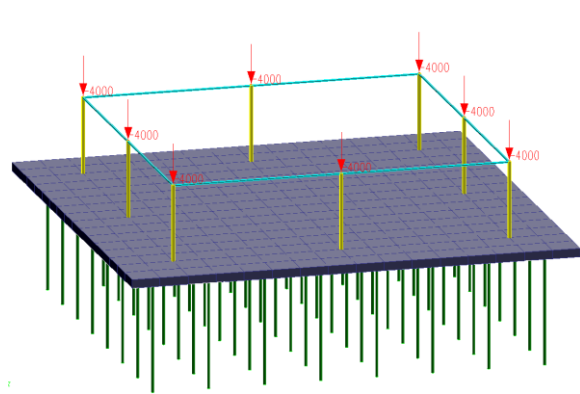
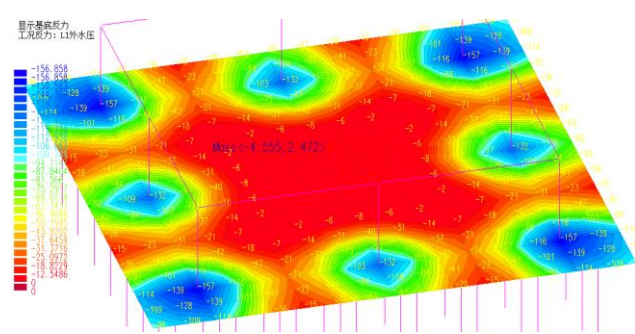


图 1-9、JG 基础协同 (XT) 模型



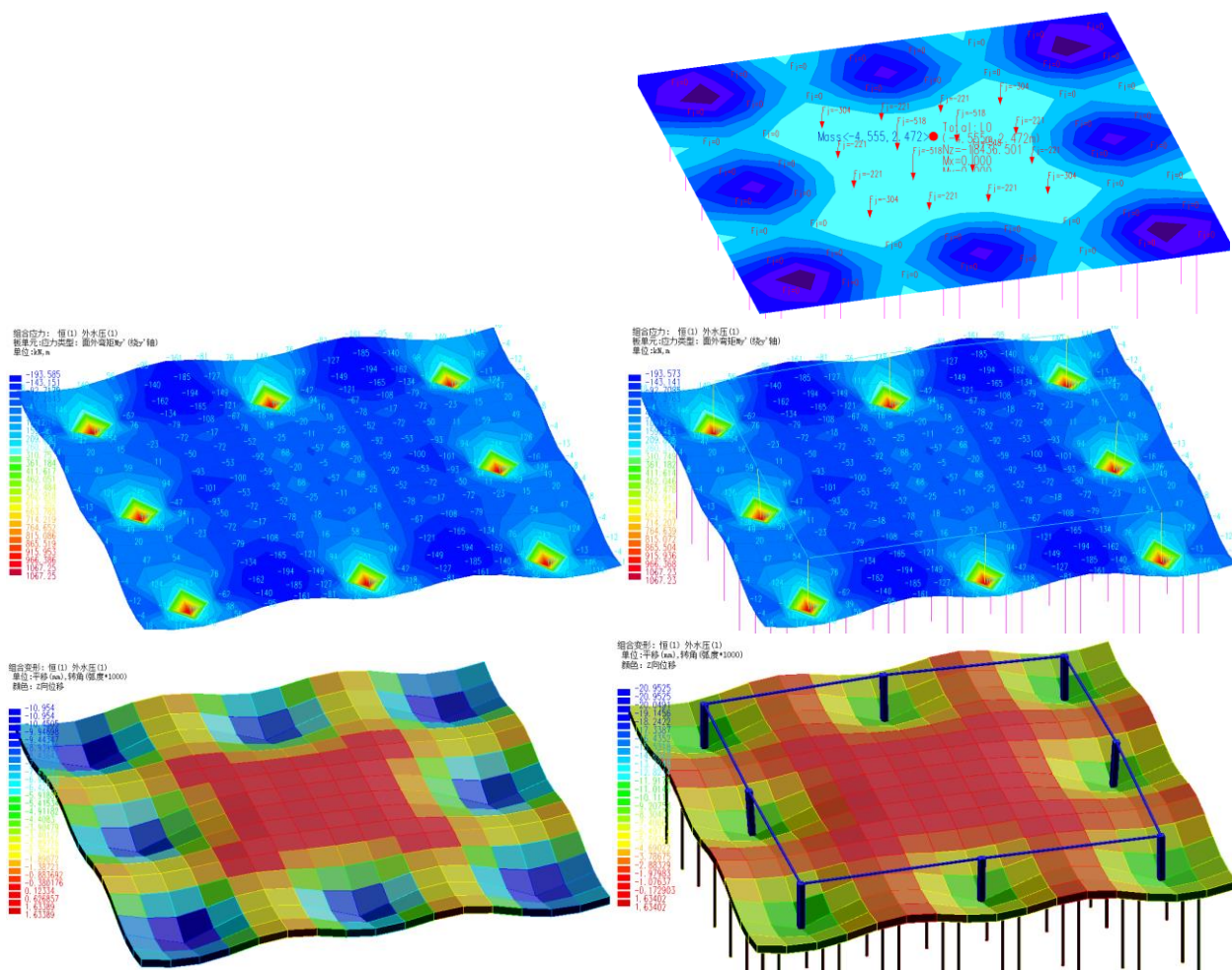


图 1-10、JG 单拉计算带锚杆筏板抗浮结果

(左:有限元模型; 右:基础 XT 模型)

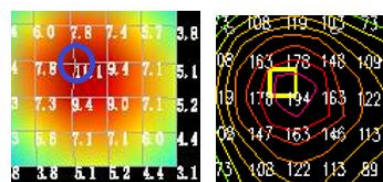
(上 1:地基反力; 上 2: 锚杆反力; 中:板弯矩; 下:挠度。均为“1.0 恒+1.0 水”组合结果)

YJK 粗糙的算例！

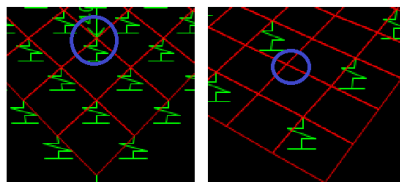
在上述两算例中，柱跨 6m、柱外侧悬挑 2m。SAP2000 采用 1m 的细分网格，锚杆位于板节点上。JG 与 SAP 相同。YJK 柱跨内 8 格，柱外侧 3 格，网格长度小于 1m，与 SAP 并不相同！

网格点与锚杆点不重合，这样弹簧值分散布置，可能计算观感更好。——但这样一来，算例严密吗？

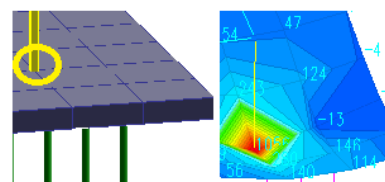
其实，原《校核》揭示的，正是这种工程软件的不严密！



YJK 柱外侧 3 格



SAP2000 柱外侧 2 格



JG 柱外侧 2 格

二、水浮力计算模型 2：YJK 基础线性，与 JG “总量控制负弹簧” 模型

2.1、YJK 基础线性采用倒楼盖法

根据《浅析》中介绍，YJK 基础线性采用的是倒楼盖方法。《校核》中通过重现结果，也判断 YJK 采用的是倒楼盖法，（见《校核》第五节“在 JG 中重现 YJK 水浮力弯矩”）。

图 2-1 是一个实际工程 B，YJK 基础线性方法得到的变形图，柱位置处变形均为 0。

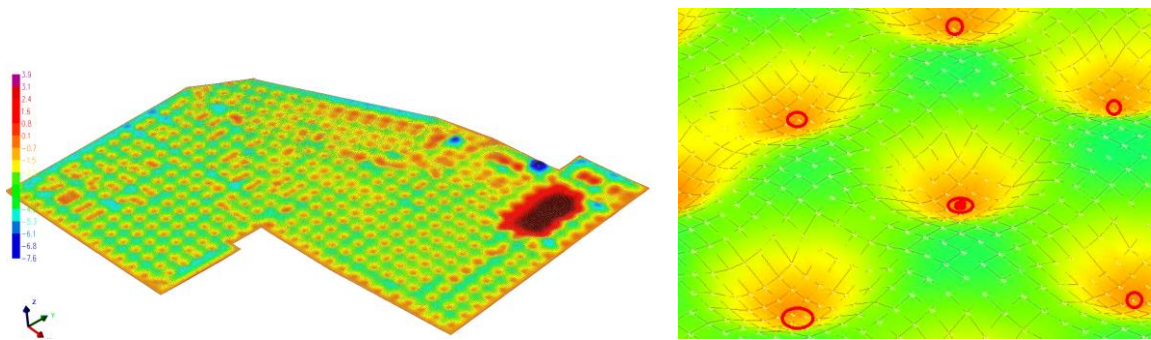


图 2-1、某工程 B 水浮力，YJK “线性” 变形（右侧大图中红圈为柱下端点，变形值为 0）

2.2、JG “总量控制负弹簧” 模型

与 YJK 基础线性的倒楼盖法相对应的，是 JG 的“总量控制负弹簧”模型。该模型的是 JG 软件针对水浮力计算提出的新型计算模型。与倒楼盖最显著的差异是：水浮力作用下，柱底不是简单的嵌固，而是设“负弹簧”——柱底仍然存在变形。

对图 2-1 中实际工程 B，JG 负弹簧模型计算变形见图 2-2。很明显，JG 有效模拟的水浮力使底板“局部上浮”的效果，明显不同于倒楼盖法。

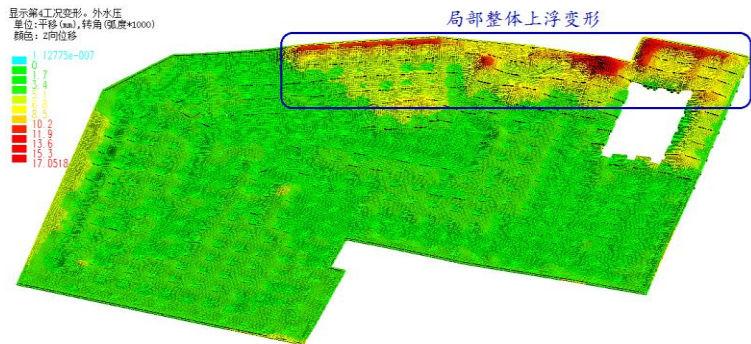


图 2-2、某工程 B 水浮力，JG 负弹簧模型的变形（柱底变形不为 0，右上部位整体上浮）

提示：

- 1、“负弹簧”指的是弹簧的方向性，并不是真的负刚度。最终参与计算的是弹簧的绝对值。
- 2、在 JG 基础功能中，完全不存在“柱底嵌固”的倒楼盖模型。JG 基础选项中的倒楼盖选项(下图)，只是为了与此前技术衔接，人为折减地基弹簧刚度、使弹性地基结果趋近于倒楼盖的修正方法。



三、JG“总量控制负弹簧”模型原理，及适用条件

3.1 原理简介

“总量控制负弹簧”是 JG 软件为解决水浮力计算问题，提出来的一种新型力学模型。——尚未见国内外其他软件具有同类计算模型。

该方法源起于水池水浮力的计算问题，逐步完善，扩展到各种类型结构基础。最初的负弹簧是人工设定的，后来发展到与土弹簧、正向压弹簧关联，由程序自动计算确定负弹簧，形成一种较为成熟完整的、普适性的结构分析模型。(网站 www.strat.cn 技术资料《佳构 STRAT 软件计算水浮力的“总量控制负弹簧模型” 2014. 04》有详细介绍)

这里通过图例，简单介绍其原理。如图 3-1 基础，天然地基(地基弹簧 K_s)、桩基(弹簧 K_{pt})共同作用。

a) 在恒活长期重力荷载作用下，基础产生向下的变形 δ_G 。然后在水浮力作用下，地基产生向上的变形 δ_W 。可以认为，绝大多数工程 $\delta_W < \delta_G$ 。

b) 虽然在水浮力作用下基础上浮，但地基土仍然处于受压状态，地基弹簧 K_s 仍然参与作用。——水浮力作用相当于地基弹簧在承受重力之后的卸载。众所周知，弹性体卸载、加载刚度相同。可以推知，对于结构布置均匀、水浮力小于重力的基础，水浮力作用下地弹簧总量保持不变。

c) 但是，虽然地基土参与作用，但在水浮力计算并不能直接包含作用于基础底板上的土弹簧。因为**基础底板上的土弹簧会直接分担水浮力荷载，使底板内力偏小(详见后文 4.3 条分析)**。这就需要**将地基土弹簧，向柱、墙底端集中**。由于柱底端已知的是压力，而地弹簧是沿基础底面分布，这就需要确定地基土弹簧向柱底端集中的方法。

d) 引入一个假定：设定工程的地基基础设计合理，柱底基础面积与柱底压力成比例。这样，就可以根据柱底集中力的相对大小，将基础底面的土弹簧，比例分配到单个柱底。

e) 将集中到柱底的土弹簧，且设为“负弹簧”，只对水浮力起作用。对其它恒活重力、风、地震等将被忽略，在单拉计算中也被忽略。

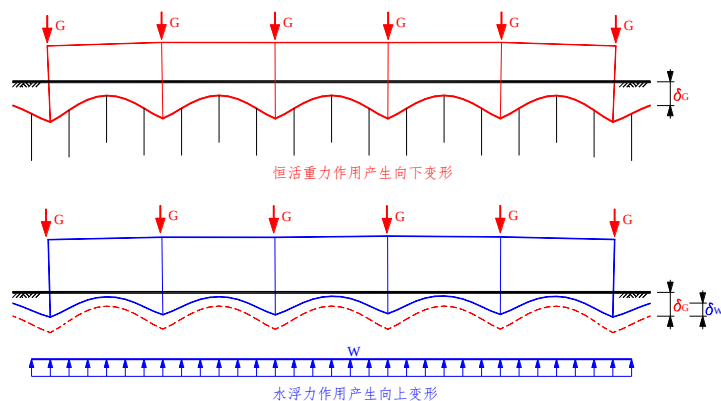


图 3-1、基础恒活重力变形 δ_G 、水浮力变形 δ_W

3.2 负弹簧模型与单拉计算

首先，从理论上说，单拉计算是精确计算，负弹簧模型是一定程度的近似。负弹簧模型的近似性，体现在将板底的地基土弹簧集中到柱底，前提条件是结构布置均匀、结构设计合理。

但是，在工程应用中，负弹簧模型弥补了单拉计算的缺陷，两者是互补的。具体如下：

1) 单拉计算浮力包含土弹簧作用，内力偏小。单拉计算如果判断“恒+水”作用下基础与土体没有脱离，土体弹簧直接分担了部分作用基础底面的水浮力(见图 3-2)，使基础筏板内力偏小。**至于水浮力下土弹簧是否真的参与作用，JG 软件的观点是“存疑”——目前阶段仍不能确定。因为工程问题有其复杂性，地基土在重力下压缩后能否真的在水浮力下回弹、不使底板脱空，这不仅仅是理论推演的问题，需要试验**

或实测确定。在目前情况下，从工程安全角度，不妨偏安全考虑。(更详细论述见后文 4.3 节)。负弹簧模型将土弹簧集中到柱底，避免了土弹簧直接承担水浮力。

2) 单拉计算易发散，负弹簧计算稳定。当水浮力大于重力时且无抗拉桩、锚杆时，基础刚度为 0，结构悬空，单拉计算将失效，这时计算中断或出现异常结果，这对于工程软件是非常不合适的。负弹簧模型一旦确定了负弹簧的数值和分布，基础刚度总存在，计算非常稳定。即便是水浮力很大时，仍能得到相应结果，便于工程师分析判断。

(YJK 软件往往从国外软件中学得技术，比 PKPM 有所进步，就奉为真理与经典。一般不独立判断这些国外技术是否合理，一般也不会根据实际工程情况做更深一层的思索分析。——这些可能就是 JG 与 YJK 差异的核心关键)

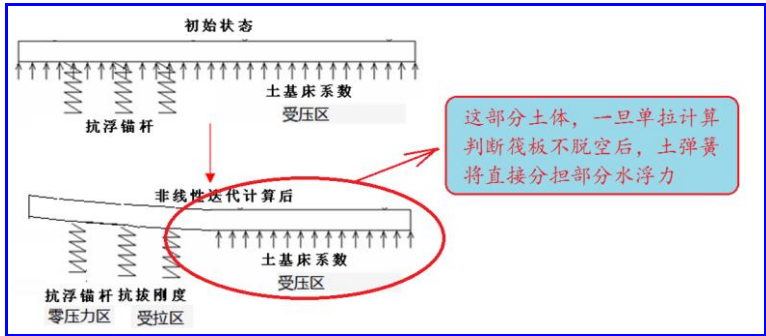


图 3-2、单拉计算中，土弹簧直接分担部分水浮力

3.3 负弹簧模型与倒楼盖法

负弹簧模型是在倒楼盖基础上的发展起来的，可以视为倒楼盖法改良。

1) 倒楼盖法假定柱底嵌固(Z 向约束)，不能模拟水浮力下基础部分上浮的现象。而负弹簧模型能做到(图 3-3，及前文图 2-1、2-2)。

2) 倒楼盖法假定柱底嵌固，柱底刚度无穷大，不能计算带锚杆基础。而负弹簧模型能算锚杆，且在均匀结构中精度相当高。

(原《校核》讨论的焦点，其实是 YJK 倒楼盖法与 JG 负弹簧模型的差异。YJK 非线性结果，由于出现异常并未参与比较，JG 单拉计算自然也没有涉及)

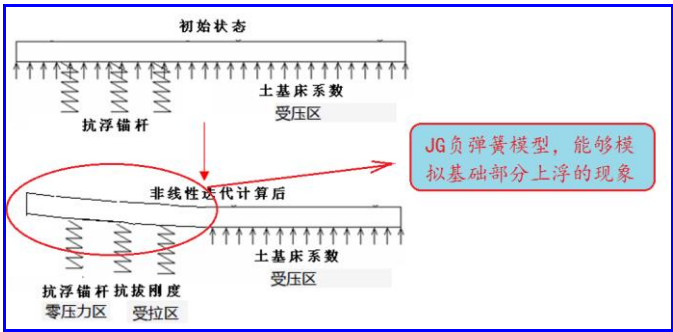


图 3-3、负弹簧模型能模拟部分上浮的整体变形

3.4 JG 负弹簧模型、单拉计算在规则工程中的应用

图 3-4 所示规则结构，水浮力较大。在单拉计算中，按照单拉计算机制(详见图 4-3)，锚桩全部参与受力，恒活下锚桩压力约 1200kN，水浮力下锚杆拉力约-1700kN，两者叠加后约为-500kN。

而采用 JG 负弹簧模型，计算得到的锚杆拉力约-400kN，与单拉计算接近，体现了相当高的计算精度。

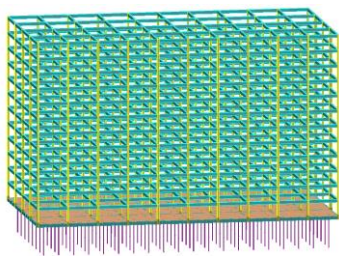


图 3-4、规则结构作用水浮力

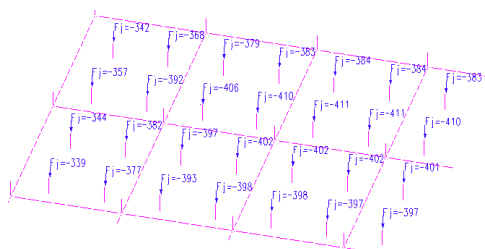


图 3-5、JG 负弹簧模型的锚杆反力

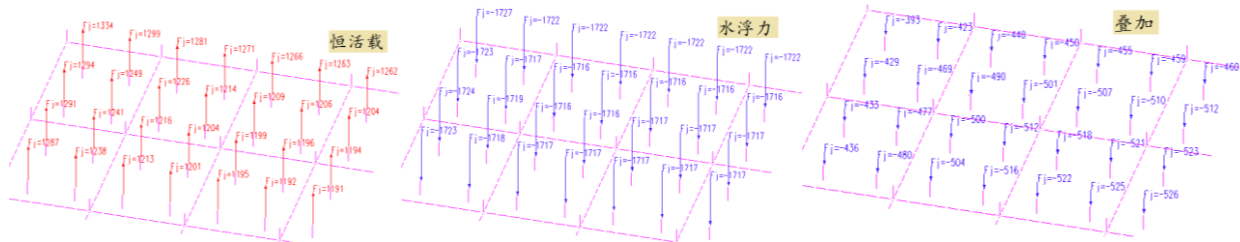


图 3-6、JG 单拉计算的锚杆反力

3.5 JG 负弹簧模型、单拉计算的应用建议

鉴于基础问题的复杂性，依据前文分析的各种方法的优缺点，并根据工程实践，建议：

- 1) 对于基础筏板的配筋，采用“总量控制负弹簧”模型。
- 2) 对于锚杆承载力验算，采用单拉计算。

3.6 JG “总量控制负弹簧”模型的近期发展

《浅析》中对 JG 负弹簧模型的批评，难免以偏概全，但不能视为“求全责备”，部分是中肯的。正如前文所说，该模型作为一个创新性技术，源自工程应用需要，也是在工程应用中不断发展完善。结合工程应用中发现的问题，近期做如下改进：

1) 进一步明确地基弹簧的类型，如图 3-7。这些弹簧类型在 Plots 内能显示，土弹簧标记为 SS，锚杆/纯拔桩为 TT，纯压桩为 PP，压拔桩为 PT，程序自动添加的柱底负弹簧标记为 AN(Anti-Spring)。例如，此前的弹簧只有正负之分，柱底附加负弹簧 AN 归为负弹簧，单拉计算时需要另外准备数据。弹簧类型细分之后，单拉计算中程序自动排除 AN 弹簧，只需一个 Sta 文件即可。

2) 进一步明确柱底负弹簧与锚杆/抗拔桩弹簧之间的关系。柱底负弹簧由基础正弹簧(土弹簧和纯压桩弹簧)总量控制，并可以放大，且放大系数用户可以干预。而锚杆/抗拔桩弹簧单独设定。

3) 将“单拉计算”改名为“单拉单压”计算，与功能相符。

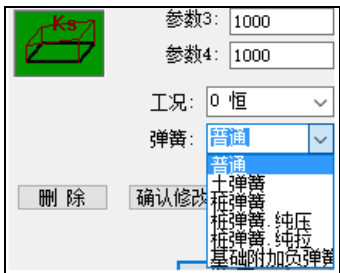


图 3-7、JG 软件的弹簧类型

四、对《校核》《浅析》中几个涉及重大原则性问题的阐述

前文提到“不拘泥于个别细节的辩诘”。但对于一些原则性问题，还是要说清楚，以免误导。

4.1 水浮力计算真的是“非线性”计算、不适用叠加原理吗？

首先，单拉计算(YJK 称为基础非线性)的真实过程，是通过“ γ_G 恒+ γ_W 水”组合下的变形，判断参与受力的土弹簧、锚杆弹簧(如图 4-1)。在这个过程中，由于弹簧参与、退出导致变形动态改变，往往需要多次迭代。这个迭代过程，并不改变结构、土弹簧、锚杆弹簧的属性，不是属性的非线性过程，称“判断单

元死活”更确切。

其次，一旦根据“ γ_G 恒+ γ_W 水”组合确定参与受力的土弹簧、锚杆弹簧，结构即为弹性结构，无论恒活重力荷载、水浮力，还是风、人防等荷载，均可单独作用于结构，计算得到单工况的内力和变形，并按照规范原则进行工况组合、完成设计。**这是一个典型的弹性计算过程，叠加原理完全适用。**

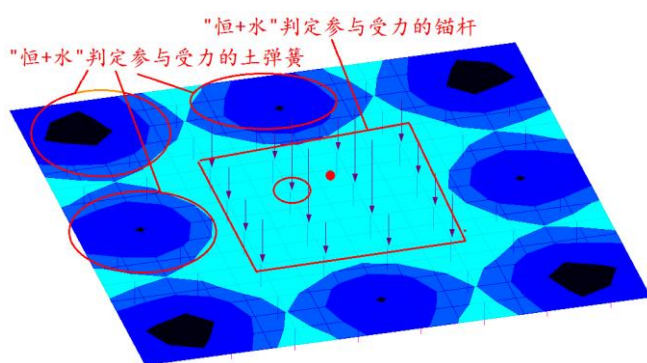


图 4-1、由“ γ_G 恒+ γ_W 水”变形判断参与受力的土/锚弹簧

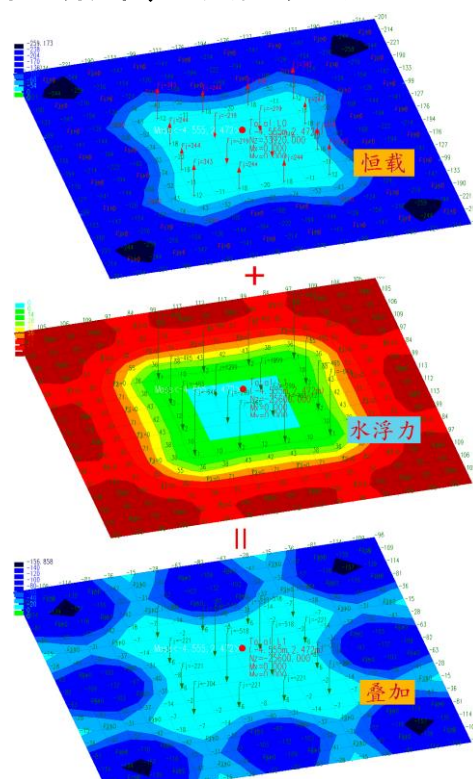


图 4-2、JG 单拉计算的基础反力(上恒载, 中水浮力, 下叠加)

例如，前文“带锚杆筏板抗浮”的算例中，首先判断参与受力的土弹簧、锚杆弹簧(图 4-1)，形成最终的结构计算模型。在该计算模型上分别施加恒载、水浮力，得到相应的筏板内力和弹簧反力。两者叠加，得到最终的结果，如图 4-2 所示。图 4-2 中即为前文表 1-2 数值的来源。在表 1-2 中，SAP2000、YJK 结果与 JG 一致，表明也是按照同样的原理和机制在计算。

得到水浮力下的单个工况的内力、然后灵活组合，不仅仅满足多高层基础、而能满足各种类型工程的需求，是必要的。

《浅析》认为水浮力的“非线性”不适用叠加原理。例如 1.1 节末尾“分析方法上，要采用迭代的非线性计算方法”，再如 1.2 节、1.3 节反复提到“非线性本质要求不能使用叠加原理，所以不能按单工况分别计算……”。《浅析》中这种观点是不恰当的，由此观点出发，将导致巨大的认识偏差。

YJK 不应将单个软件的处理方式(或某国外软件)，当作规律性认识。

另外。工程设计包含大量的荷载组合。如果基础线性得到工况内力，基础非线性得到组合内力，在 YJK 这类专业软件尚可处理，在通用的 JG 中会造成困惑。——JG 的荷载组合是根据规范原则“算”出来的，而不是单独针对某一特定类型设定的。

4.2 单拉计算、重力压弹簧模型、倒楼盖法、及 JG 负弹簧模型的实质 (YJK 的线性、非线性)

对于恒活重力荷载、水浮力荷载，有必要厘清各种计算模型的力学实质。(风、地震、人防等这里不涉及)。

单拉计算是**单模型**，即在同一模型上施加恒活重力、水浮力。根据“ γ_G 恒+ γ_W 水”组合变形确定参与的土弹簧、锚杆弹簧的范围之后，锚杆弹簧参与承担重力荷载，土弹簧也参与承担水浮力，如图 4-3(b、c)所示。YJK 非线性模型也是这种模式。

其它都是**多模型**，即计算恒活重力时仅有土弹簧参与，计算水浮力时仅有锚杆参与。如图 4-3(d、e)。

负弹簧模型与倒楼盖法都是专门用来计算水浮力的，差别在于，倒楼盖法柱底加约束，而负弹簧模型柱底加弹簧。

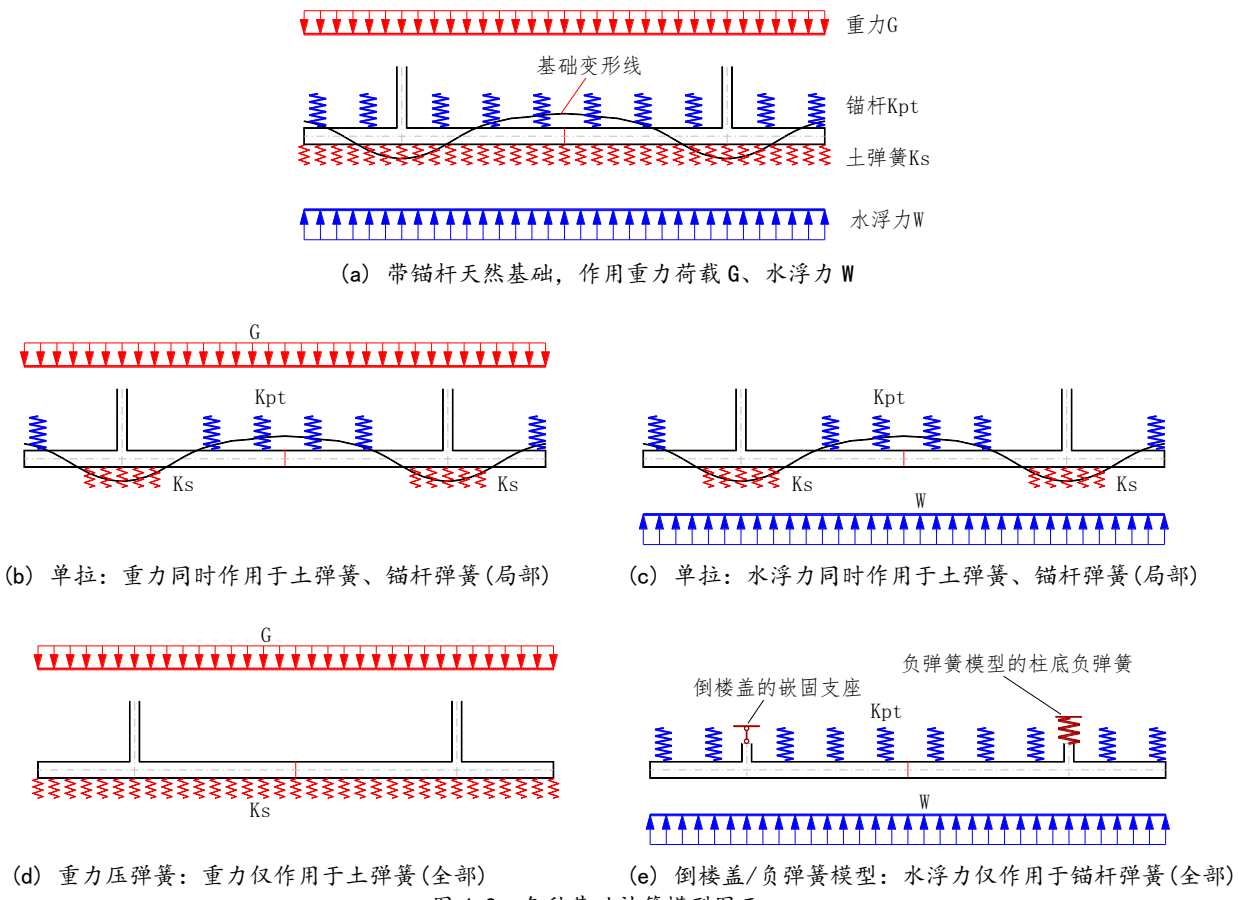


图 4-3、各种基础计算模型图示

4.3 单拉计算中，土弹簧承担水浮力，合适吗？

如前分析，在单拉计算中，如果“ γ_G 恒+ γ_W 水”组合基础竖向变形为负值，地基土承压，则该位置土弹簧，不但承担重力荷载，同时也承担水浮力。

考虑到地下水位是动态变化的。如图 4-4 基础，在重力作用下已经产生向下的变形 δ_G 。如果由于降雨等原因使地下水位抬高、底板水浮力增加，此时底板在原有变形的基础上产生向上的变形增量 $\Delta\delta_W$ 。底板上升使土体压力减小，如果土体是理想弹性体，也会产生与 $\Delta\delta_W$ 等量回弹，使土体与底板不脱开。

但是，土体不是理想的弹性体。首先，按照工程常识，土体的压缩模量、回弹模量的值是不同的，土体回弹小于压缩，水浮力 W 产生的回弹变形将小于等量的 $G=W$ 所产生的压缩变形。

其次，还是按照工程常识，土体的压缩、回弹是个长期过程，而混凝土底板的弹性变形是短时间内完成。这样就存在一个可能性，即在水位升高使底板静水压力增加的较短时间内，底板产生变形而土体未能及时回弹，导致底板、土体脱开。此时水浮力将直接作用于基础底板，土弹簧将不能分担水浮力。

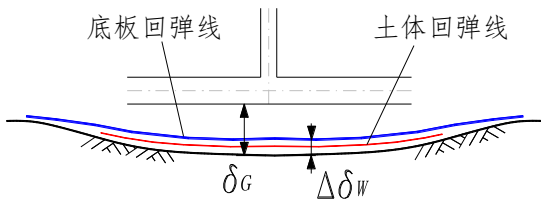


图 4-4、水位变化时的底板回弹、土体回弹

以上只是粗略分析。工程中地基有其复杂性，粘土、沙土等不同土质差异很大。正如前文所述，JG 软

件的观点是“存疑”，需要试验或实测确定。在目前情况下，从工程安全角度，不妨偏安全考虑。所以仍建议计算基础筏板受力时采用“总量控制负弹簧”模型的结果。

正是基于这些考虑，正是为了避免土弹簧参与水浮力受力、使水浮力内力偏小，所以 JG 软件在多年之前，即综合单拉计算、倒楼盖法的优缺点，提出“总量控制负弹簧模型”。

《浅析》2.1 节 2) 条“已经不再推荐 YJK 线性分析模型进行……抗浮设计……”。在作出这些推荐之前，是否已经考虑到地基土体的实际受力情况呢？

4.4 重力荷载与水浮力的内力，是两者叠加？还是取两者较大值？

对于单拉计算，由前面 4.1、4.2 节分析可知，单拉计算的原理，决定重力荷载、水浮力在基础内产生的内力效应，是应该叠加的，而不是取较大值。

对于多模型计算(重力采用压弹簧模型，水浮力采用倒楼盖法或负弹簧模型)，这里通过一个简单模型说明。如图 4-5(a)筏板基础，设结构、荷载都布置均匀。在上部总重力 G 作用下，地基总反力 R ，沿底板面的分布函数为 $r(x)$ ，平均值为 r_0 。有

$$G = R, \quad R = \int r(x)dx$$

考虑到弹性地基的特点，地反力在柱底大、在跨中小。设跨中 A 点处地反力为 r_A ，则有

$$r_A = \mu r_0 \quad (\mu < 1)$$

必然 μ 小于 1。

此时沿基础底面均匀分布的水浮力 $w(x)$ ，总量为 $W=\alpha G$ ，小于总重力且不使底板与地基脱开。则水浮力承担部分重力，减小地基承载，总地基反力减小为 $(1-\alpha)G$ 。由于地基按线弹性计算，则相应地反力分布 $r(x)$ 、平均值 r_0 、跨中值 r_A 均需乘 $(1-\alpha)$ 系数。如图 4-5(b)。

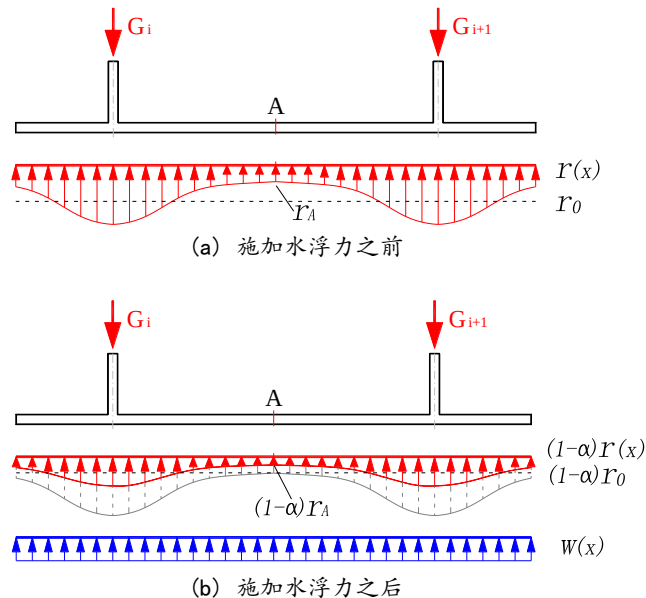


图 4-5、均匀基础的地基反力,在施加水浮力前后的变化

考察基础跨中点，叠加水浮力后，

$$r'_A = \mu (1 - \alpha) r_0 + w(x) \quad \Rightarrow \quad r'_A > w(x)$$

注意到 $w(x) = \alpha r_0$ ，则也可写为：

$$r'_A = r_A \left[1 + \alpha \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right) \right] \quad \Rightarrow \quad r'_A > r_A$$

可见弹性地基反力叠加水浮力后，跨中综合反力值 r_A' ，既大于水浮力 $w(x)$ ，也大于原有的地基反力 r_A 。

如果 $\alpha=0.5$ ， $\mu=0.2$ ，则有

$$r_A' = 1.5 w(x)$$

$$r_A' = 3.0 r_A$$

远大于单独地基反力，和单独的水浮力。

跨中反力的增加，必然意味着基础底板弯矩的增加、配筋的增加。由此可见，仅仅取重力、水浮力的较大值，而完全不进行内力叠加，是不妥当的。

上述分析还是针对简单均匀结构，对于荷载和结构均较为复杂的特殊结构，影响因素更多、叠加效应更不可预估。

基于以上考虑，从工程安全角度，对恒活重力荷载、水浮力，JG 软件隐含两者叠加的荷载组合。——当然，作为通用软件，在程序隐含的基础上，用户如果确有把握的可以进行干预。

《浅析》中 1.1 节 (2) 段 2) 条，“同时在含高水组合工况的内力叠加时，不是直接叠加，是采用高水工况部分与其他 工况部分的包络取大。…… YJK 基础的筏板采用线性分析方法进行抗浮设计时”。YJK 线性方法(倒楼盖法)取重力、水浮力较大值而不叠加，这对于绝大多数抗水浮力基础，将使配筋偏小！

该条是《校核》与《浅析》的焦点之一。《校核》中，JG 采用负弹簧模型结果，由于 YJK 非线性模式计算异常转而采用线性结果(倒楼盖法)进行比较，两者计算计算模式相近，本来可以深入对比的。但 JG 软件考虑“恒+水”的组合模式，而 YJK 虽然也可设“恒+水”组合、但实际未考虑叠加，被认为是“程序漏洞”。

地反力的不均匀性：

弹性地基的地反力，是非常不均匀的。土弹簧刚度越大，地反力越向柱底集中。JG 软件为了便于工程应用(避免局部严重不足、局部大量富余)，在已经完成计算筏板内力的之后、按总量相同的原则，对地反力进行了适度修均。

如果取消 JG-STRAT/Strat 计算选项中“修均地基反力”，将在 Plots 内看到初始的、与计算内力对应的地反力。

《浅析》中部分说法：

1.1 节(2)段 2)条 P3：同时在含高水组合工况的内力叠加时，不是直接叠加，是采用高水工况部分与其他 工况部分的包络取大。此种计算方法目前还是主流设计方法，比如设计师自行采用楼板模块自己构建倒楼盖计算模型进行防水板设计、采用 YJK 基础的防水板构件进行设计或 YJK 基础的筏板采用线性分析方法进行抗浮设计时都是采用类似的处理方法。

1.3 节：我们知道水工况在实际中是不会独立出现的，抗浮设计问题本质是水浮力超过了恒活的下压作用才产生的上浮问题。所以单独计算水工况，是明显错误的做法。

1.3 节：YJK 的抗浮计算，应采用非线性分析，并且直接查看组合工况结果。因为非线性分析不适用叠加原理，不能用单工况结果

2.1 节 2)条：抗浮设计，采用 YJK 明确提出已经不再推荐的 YJK 线性分析模型进行对比 YJK 基础设计软件在各种材料及培训活动中已经明确分析过线性分析模型的缺点，提出了非线性分析的方向，见 YJK 多年一直采用的 PPT 宣传材料，摘其中几页如下：

6.1 节：如第一节前述，多模型线性分析方法中是采用高水的倒楼盖模型计算结果与恒活工况弹性地基梁板法的包络结果。所以被误认为是“仅仅考虑水浮力、没有包含恒活重力”。线性分析方法的此项特点在 YJK 各项技术条件资料中及公开出版物中早已明确指出，并已经为广大用户所熟悉。而此项 YJK 基本常识被该文作者断定为“存在严重的编程漏洞！”。

五、《某深基础工程校核》续

5.1 原《校核》的几点说明

1、在原《校核》中，YJK 基础非线性计算异常未被采用，而 JG 也未采用单拉计算结果，两软件计算模式相近：

① 恒活重力工况采用压弹簧模型，如图 4-3d；

② 水浮力工况采用倒楼盖法，或负弹簧模型，如图 4-3e。

因此是可以对比的。《浅析》认为是“不同模型对比”，是不成立的。

2、在原《校核》中，YJK 软件的基础线性模式，可以手工添加与高水的“ γ_G 恒+ γ_w 水”组合，但配

筋并没有相应增加，被认为是“编程漏洞”。而根据《浅析》（6.1节：……,多模型线性分析……高水的倒楼盖模型计算结果与恒活工况弹性地梁板法的包络结果），并不是漏洞，而是软件所倡导的原则方法。——结合前文（4.3~4.4）分析可看出，归为漏洞就轻了，而是方法欠妥的原则性问题。

3、原《校核》中所用 YJK 数据模型，由设计单位直接提供、没有更改。但在数据分析中，肯定存在对软件不熟悉、对软件特有概念停留在字面理解的现象。但需要指出的是，YJK 作为面向工程的专业软件，多采用土木工程术语(通用有限元软件多力学术语)，且软件高度集成，个别操作不当不应造成严重的计算偏差。下面用 YJK 新版本重算该项目，结果不同、但显著改善，也能证明这点。——实际上，《校核》所体现的，**并不是原理方法的问题，而是该软件的不严密、不稳定。**

4、《浅析》对 JG 水浮力“总量控制负弹簧”模型多有批评。一方面，是对该方法不了解，该方法与 YJK 的基础线性模型的倒楼盖法对应，而不是与 YJK 基础非线性的单拉计算对应。另一方面，正如前文 3.5 节所述，作为一种创新性方法，本身需要在工程应用中不断发展完善——接受批评的正确部分并及时更新完善。

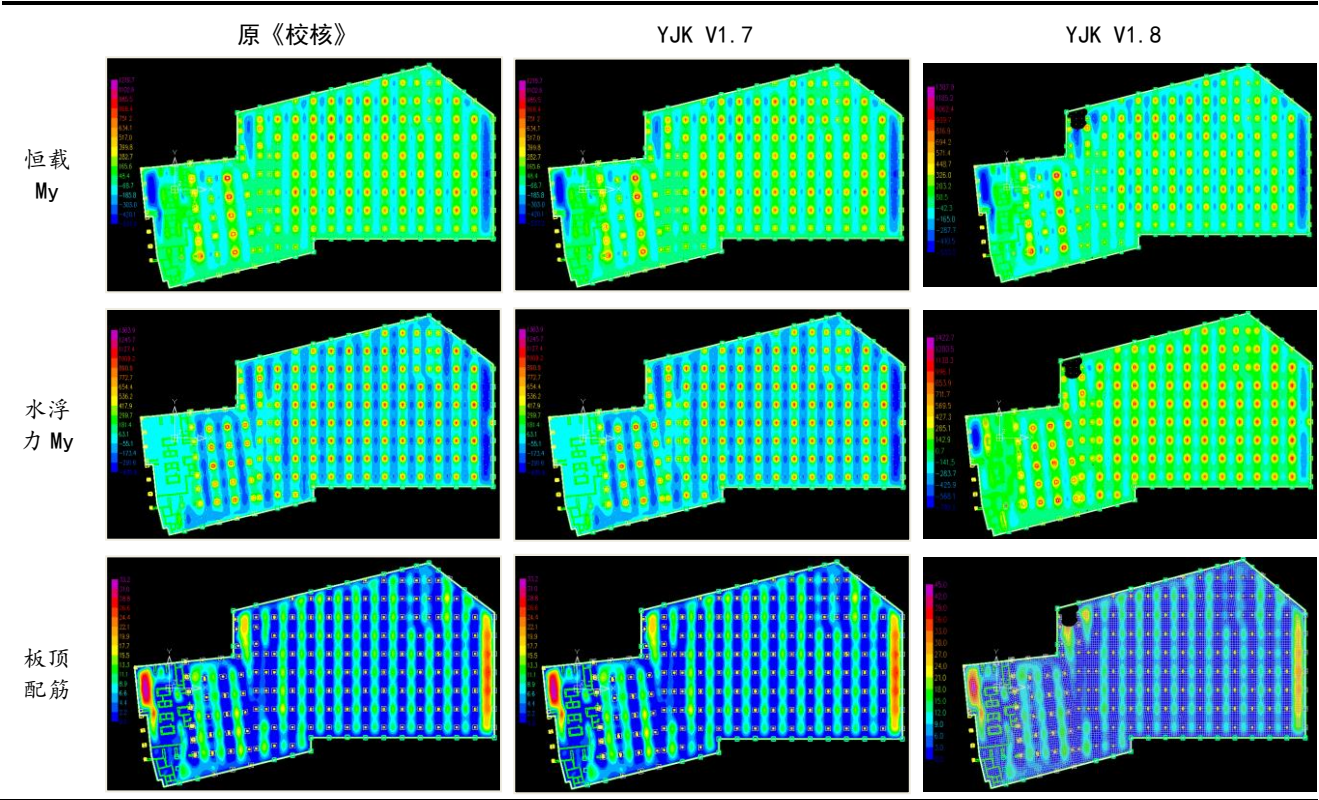
5.2 该项目 YJK 新版重算

采用原来相同的参数设置，用较新的版本计算原工程，相应图形、具体点数值等，列于表 5-1~5-4。

可看出，前后版本之间存在明显的差别，虽然说应该赞赏这种及时更新的技术态度，但不可否认**该软件非常不严密**。读者可以自行对比前后版本数据，自行判断，这里不做评判。

其中，原《校核》异常的水浮力非线性计算，在较新的版本中得到显著改善。这也说明，原《校核》是客观的，对《校核》所揭示的计算异常，不应指责为“不正确使用软件”。实际上，**正是用户发现了结果异常，才寻求 JG 软件的复核。**

表 5-1、YJK 不同版本结果(基础线性)



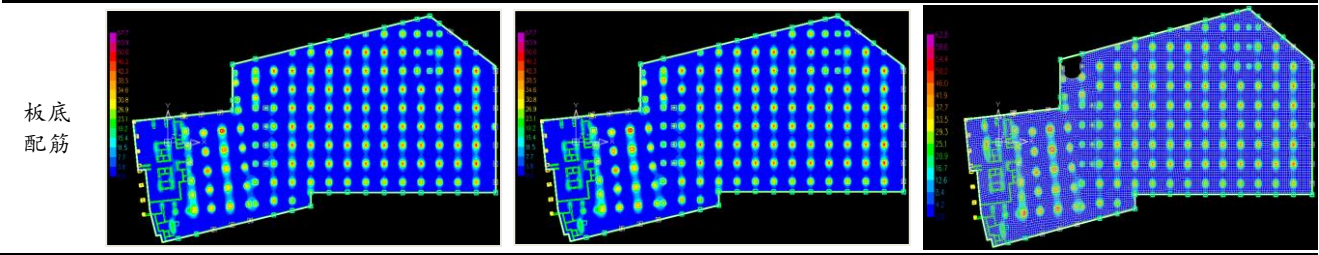


表 5-2、YJK 不同版本结果(基础非线性)

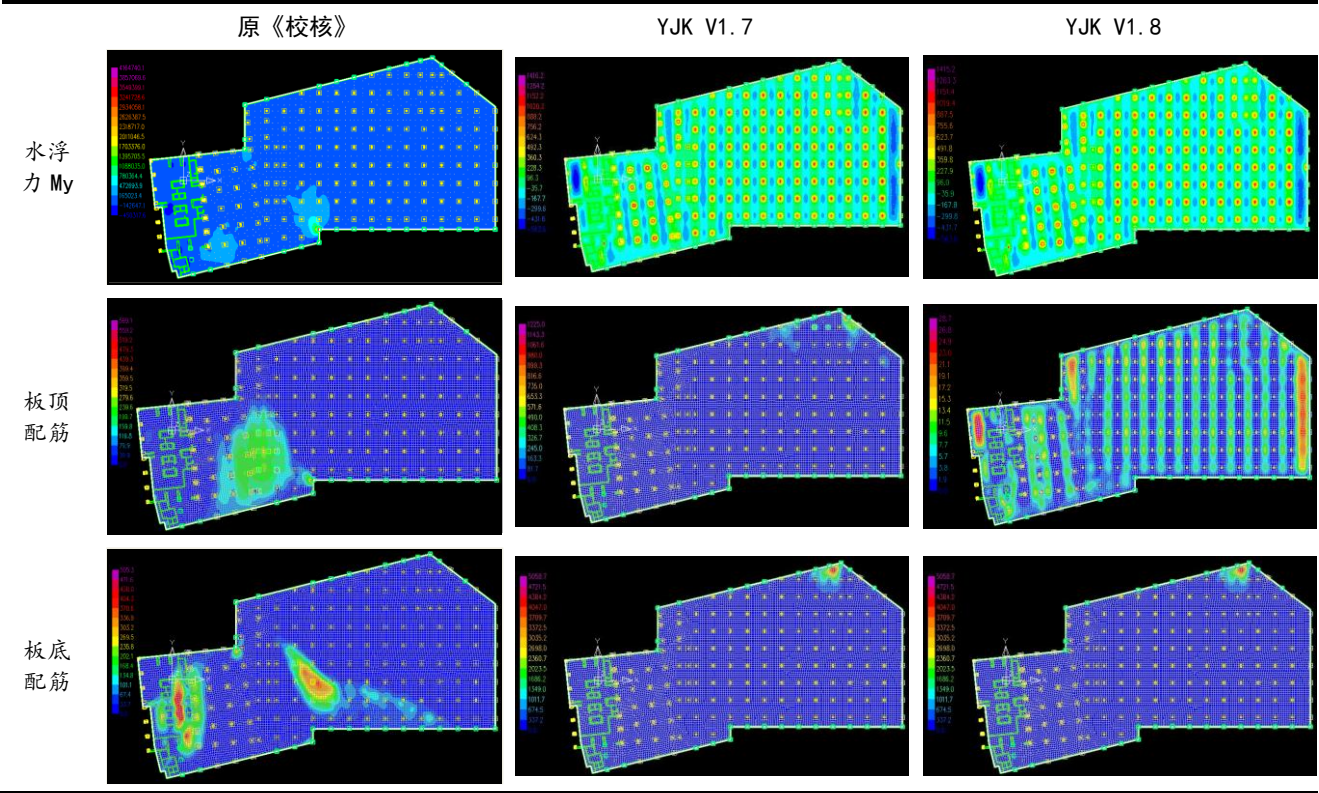


表 5-3、YJK 不同版本内力配筋(基础线性) (单位: kN*m/m, cm²/m)

位置		原<校核> YJK			YJK V1.7			YJK V1.8		
		恒载 My	水压 My	配筋 (恒/水)	恒载 My	水压 My	配筋 (恒/水)	恒载 My	水压 My	配筋 (恒/水)
A	支座	957.4	1244.3	52.3	957.4	1244.3	52.3	895.1	1247.7	52.4
	跨中	-225.7	-256.9	15.3	-225.7	-256.9	15.3	-217.9	-255.9	15.4
B	支座	985.5	1307.2	55.1	985.5	1307.2	55.1	923.1	1256.1	52.8
	跨中	-246.8	-265.5	16.6	-246.8	-265.5	16.6	-239.1	-255.5	16.6
C	支座	1015.4	1170.4	48.9	1015.4	1170.4	48.9	944.4	1224.4	51.4
	跨中	-215.4	-204.6	14.4	-215.4	-204.6	14.4	-213.0	-249.8	14.9
D	支座	948.9	1243.4	52.2	948.9	1243.4	52.2	879.5	1273.5	53.6
	跨中	-220.7	-238.6	14.8	-220.7	-238.6	14.8	-213.9	-238.4	14.6
E	支座	856.7	1066.2	42.7	856.7	1066.2	42.7	939.4	980.0	44.4
	跨中	-187.1	-251.6	17.8	-187.1	-251.6	17.8	180.8	-301.6	18.1

表 5-4、YJK 不同版本内力配筋(基础非线性) (单位: kN*m/m, cm²/m)

位置		原<校核> YJK			YJK V1.7			YJK V1.8		
		恒载 My*	水压 My*	配筋 (恒/水)	恒载 My*	水压 My*	配筋 (恒/水)	恒载 My*	水压 My*	配筋 (恒/水)

A	支座 跨中	957.4	1244.3	44.8	937.4	1247.6	53.5	880.8	1247.6	41.0
		-225.7	-256.9	15.2	-218.1	-257.1	14.8	-216.5	-257.1	14.5
B	支座 跨中	985.5	1307.2	46.2	988.0	1254.8	46.4	931.4	1256.1	43.5
		-246.8	-265.5	16.6	-239.9	-253.5	16.2	-239.4	-255.5	16.1
C	支座 跨中	1015.4	1170.4	47.7	949.0	1224.7	44.4	889.2	1224.4	41.4
		-215.4	-240.6	15.1	-217.7	-251.1	23.5	-214.9	-249.8	14.2
D	支座 跨中	948.9	1243.4	414.2	926.5	1273.7	52.3	863.0	1273.5	40.1
		-220.7	-238.6	58.9	-212.6	-238.4	18.8	-213.7	-238.4	14.3
E	支座 跨中	862.8	924.5	42.7	813.4	929.4	37.8	920.1	980.0	44.2
		-184.2	-298.9	258.3	-180.2	-301.3	21.2	179.6	-301.6	12.3

*注：根据《浅析》介绍，此处单工况的“恒载 My、水压 My”仍是线性结果。

六、某工程 B 的比较

这里列出另外一个深基础工程的结果，供参考。该工程水位较高，采用天然地基，设锚杆抗浮。

YJK 计算采用最新 V1.8 版本，完全由设计单位独立完成，我们完全没有参与。——将整个计算目录转存到移动硬盘内，仅仅查看数据或截取图形。（人们现在都知道，JG 不会用 YJK 😊😊😊😊）。

表 6-1 列出几个位置的具体数值，差别依然很大。这里不深入分析产生差异的原因，也不做对错判断。

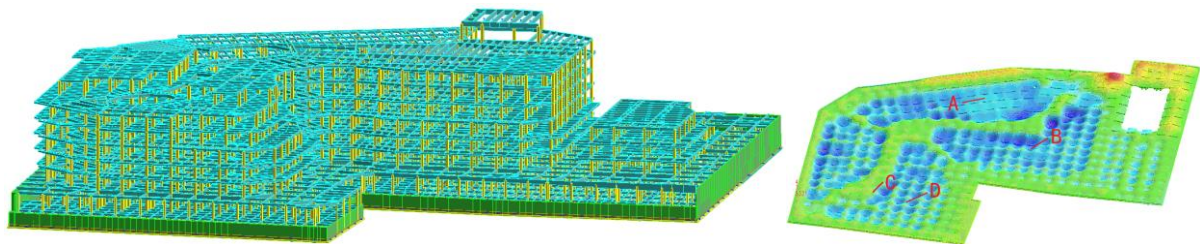


表 6-1、筏板恒载、水浮力下的弯矩 My（绕 x 轴，单位：kN*m/m）

位置	JG			YJK		
	线性 恒载	线性 水浮	非线性 恒+水	线性 恒载	线性 水浮	非线性 恒+水
A 支座	970.6	840.8	1211.8	557.1	937.8	608.8
B 支座	1817.6	583.1	1818.7	433.7	756.5	702.3
C 支座	497.4	124.2	240.9	53.9	500.7	99.7
D 跨中	74.1	-27.1	96.0	-1.3	28.0	30.9

表 6-2、6-3 列出更为直观的变形图。这里仅仅指出明显存在的差异，方便理解，也不深入分析产生差异的原因。

1) 线性计算的恒载变形。JG 基础协同与 JG 单拉计算的恒载部分，高度相似，但请不要误会是同一个图，具体数值是有差别的，表明 JG 计算的高度稳定性。YJK 大部分整体变形小于 JG，可能与土弹簧的取值有关，不应算错，但请注意右上角局部突变。

2) 线性计算的水浮力变形。JG 的负弹簧模型有效模拟出了局部底板上浮的现象。YJK 采用倒楼盖法，柱底变形为 0。（与前文图 2-1、2-2 是同一图形）

3) 非线性计算。JG 可以分别显示恒载重力、水浮力下的变形图，清晰地展示了通过单拉机制确定参与受力的土弹簧、锚杆弹簧后，重力、水浮力的单独作用效果，便于理解与分析。

4) 非线性计算叠加变形。JG 与 YJK 的变形大值趋势相同，但 YJK 的绝对变形量较大。

表 6-2、JG、YJK 计算基础变形图（线性）

	JG 软件, 基础协同计算 (恒载单压土弹簧, 水浮力负弹簧模型)	YJK 软件, 基础线性 (恒活弹性地梁板法, 水浮力倒楼盖法)
恒载 变形		
水浮 变形		

表 6-3、JG、YJK 计算基础变形图（非线性）

	JG 软件, 单拉计算	YJK 软件, 基础非线性
恒载 变形		无输出
水浮 变形		无输出
恒+水 变形		