

Static Analysis of Water Tank Built on the Spot

Zhen Zhu

Huaneng Shanghai Power Service Co. LTD., Shanghai
Email: zhuzhenhn@126.com

Received: Jan. 31st, 2019; accepted: Feb. 13th, 2019; published: Feb. 20th, 2019

Abstract

As rectangular water tank, the finished product water tank is compared with the water tank build on the spot. The on-site production of feed water tank is a direct imitation of the stainless steel finished product feed water tank which may have hidden safety problems. According to the internal strengthening rib form of the stainless steel finished product feed water tank, the design of on-site production of water tank will be obtained. Then, the three-dimensional modeling, the establishment of finite element model, and static analysis are carried out using the ANSYS software. The study found that the central part of the vertical plates on all sides of the water tank is deformed greatly, and the stress at the connection of the vertical plate is large, so that there is a hidden danger of cracking. It is necessary to add a ring of reinforcing bars in the design and manufacture of the water tank built on the spot in order to enhance the strength, stiffness and safety of the water tank.

Keywords

Water Tank Build on the Spot, Finished Product Water Tank, Static Analysis, Strengthening Rib

现场制作给水箱的静力分析

朱 震

华能(上海)电力检修有限责任公司, 上海
Email: zhuzhenhn@126.com

收稿日期: 2019年1月31日; 录用日期: 2019年2月13日; 发布日期: 2019年2月20日

摘 要

对矩形给水箱中的成品给水箱和现场制作水箱进行了比较, 现有的现场制作给水箱是直接仿照不锈钢的

成品给水箱,可能存在安全隐患的问题。根据不锈钢的成品给水箱的内部拉筋形式设计现场制作水箱,对其进行三维建模,建立有限元模型,并进行静力分析。研究发现水箱四面立板中心部位变形较大,且立板连接处应力较大,有开裂的隐患,需要在设计和加工现场制作水箱时添加一圈加强筋,以增强水箱的强度刚度及安全性。

关键词

现场制作水箱,成品给水箱,静力分析,加强筋

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国城市化建设的加快和经济的迅速发展,给水箱在各行各业得到了广泛的应用,可以用作高峰调节储水设备或者工程上的水循环系统的储水设备[1]。现在使用的水箱一般均为矩形给水箱,根据相关国家标准,矩形给水箱包括两大类:成品给水箱与现场制作给水箱[2]。

以不锈钢水箱为代表的成品给水箱,以其安全卫生、造型美观、安装简单等特点成为传统水箱的更新换代产品[3]。但是,不锈钢成品给水箱价格昂贵,严重制约着这种水箱的推广及应用。相比之下,现场制作水箱因为采用普通碳素钢及型钢进行制作,可以根据工程现场的实际空间大小进行现场设计、加工,并且价格低廉,在工程实际中也得到了比较广泛的应用。但是,目前在工程上,现场制作水箱还缺乏比较严格的国家标准。不少现场制作水箱设计比较随意,有些完全仿照不锈钢的成品给水箱的设计方法,有的甚至图纸都完全相同,仅仅把原来的不锈钢材料和内部拉筋的材料,换成 Q235 碳素钢,这种设计缺乏基本的验证。而且,这种现场制作水箱的设计是否可行,是否存在设计缺陷及安全隐患,具有比较重要的工程价值和意义,但是很少有人进行这方面的研究。

本文主要针对上述现场制作水箱的工程问题,直接根据成品给水箱的结构,进行现场制作水箱的设计。利用大型有限元分析软件 ANSYS,从计算力学的角度对这种现场制作水箱结构强度进行了分析计算,并给出了分析结果,期待能够找到按照成品给水箱进行现场制作水箱设计的不足,给出相应的改进措施。

2. 成品给水箱与现场制作水箱

现有水箱一般均为矩形给水箱,包括成品给水箱和现场制作给水箱两大类。成品给水箱包括:组合式不锈钢板给水箱、组合式不锈钢肋板给水箱、组合式不锈钢波纹板给水箱、冲压式不锈钢给水箱、冲压式喷涂钢板给水箱、装配式钢板给水箱、装配式 SMC 给水箱。成品给水箱的主要材料是不锈钢或者其它喷涂钢板及装配式钢板,其中不锈钢成品给水箱居多。

典型的不锈钢成品给水箱,都是在在水箱内部安装有横向和纵向的拉筋,加强筋和拉筋角钢等。由于这种不锈钢水箱大多是由不同规格的小的不锈钢水箱标准板组装而成(尺寸大多是:1000*1000,1000*500,500*500,单位:mm),而这些小的不锈钢板本身就具有较好的强度和刚度,组装在一起之后还是可以保持较好的强度和刚度,因此,外面除了底面之外,也不需要添加筋板、角钢之类的东西。

对于现场制作给水箱,水箱及附件材料均采用普通碳素钢及型钢制作,相比成品给水箱,取材方便、价格低。现场制作水箱所使用的钢板不可能使用像组成不锈钢水箱的小不锈钢板大大小及尺寸,一般都

是使用较大尺寸的钢板进行焊接而成。因此，从两种水箱的构成板材上，就可以看出成品给水箱与现场制作水箱的不同，此外，两种水箱的构成材料表也肯定有所不同。因此直接根据不锈钢成品给水箱来设计现场制作水箱有可能在刚度、强度方面存在一定的问题。

3. 现场制作水箱设计与建模

本文所研究的现场制作水箱，水箱的设计容积为 57.75 m³，具体设计尺寸为：5.5 m × 3.5 m × 3 m 完全采取水箱内部设置了不锈钢拉筋分布，根据水箱尺寸，拉筋之间的位置为 1 m 和 0.5 m，所设计拉筋分布的图纸如图 1 所示。

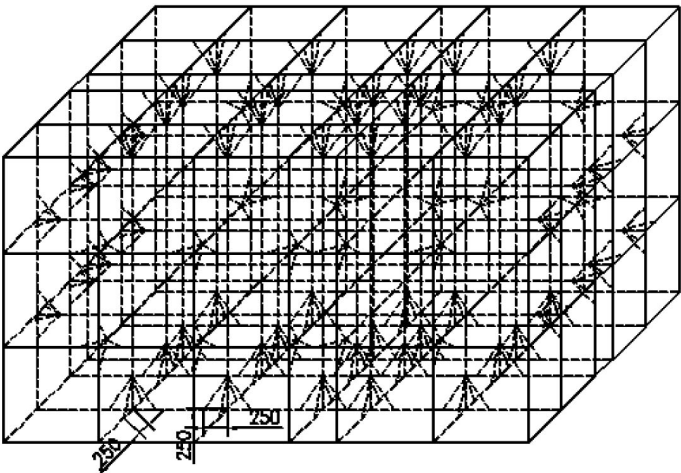


Figure 1. Distribution of internal rib of water tank build on the spot
图 1. 现场制作水箱内部拉筋分布图

4. 有限元分析计算

4.1. 有限元的理论分析

根据 Alembert. D 原理，引入相应的惯性力，可将弹性体的动力问题简化为相应的静力问题，其动力有限元的通用运动方程为[4]：

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \tag{1}$$

[M]、[C]和[K]分别为弹性体系统的质量矩阵、阻尼矩阵和刚度矩阵。 $\{\ddot{u}\}$ 、 $\{\dot{u}\}$ 和 $\{u\}$ 分别为加速度向量、速度向量和位移向量， $\{F(t)\}$ 为动激励向量。

4.2. 材料属性

水箱结构主要部件的材料如表 1 所示。

Table 1. Parameters of material for main components of water tank
表 1. 水箱结构主要部件材料参数表

部件	材质	$\sigma_{0.2}$ MPa	E MPa	μ	ρ kg/mm ³
拉筋(5#槽钢)	Q235	210	1.96E5	0.3	7.85E-6
底座(10#槽钢)	Q235	210	1.97E5	0.3	7.85E-6
箱体(6 mm 钢板)	Q235	210	1.96E5	0.3	7.85E-6

4.3. 有限元模型的建立

根据所设计的现场制作水箱,利用 ANSYS Workbench 软件建立有限元模型及计算分析,如图2所示。为了减小计算规模,保证计算精度的前提下可适当简化物理模型。本文中,不必建出完整的水箱全部,可把水箱看成是一个规则的长方体即可,其水箱内壁装有拉筋条;因不考虑水箱本身受力情况,故水箱简化成质量单元,通过刚性元连接于水箱支架。箱体、底座、拉筋等部件采用合适的单元模型进行建模,有限元模型共包括 9,027,733 个节点和 1,007,695 个单元。

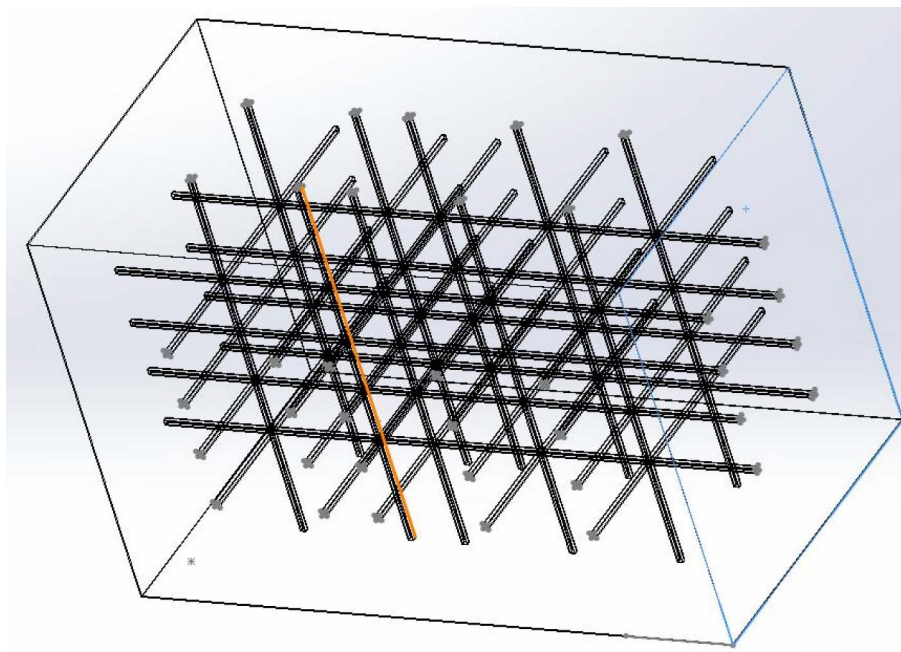


Figure 2. Distribution of internal rib of water tank build on the spot
图 2. 现场制作水箱内部拉筋分布图

4.4. 受力分析

根据《NB/T47003.1-2009 钢制焊接压力容器》的要求[5]以及《建筑给水排水设计规范 2010》要求[6],从而对现场制作水箱进行受力分析,其中水箱的主要目的是储存水,因此需要对水箱储存满所有水时出现的情况进行分析。水箱(5.5 m × 3.5 m × 3 m)为长方体,那么可以从六个面进行受力分析。上面所受的力仅有外界大气压,周围四个面的所受到力为水的对外的挤压所提供的压力,水箱的底面起到的支撑的效果,它整个平面都在支撑着整个水箱以及其中的所有拉筋条的重量。

4.5. 载荷工况

水箱四周壁面所受压强为:

$$P_{\text{壁}} = \frac{F}{S} \quad (2)$$

式中: $P_{\text{壁}}$ 为水箱壁面的压强(Pa); $F_{\text{壁}}$ 为水箱壁面所受的力(N); S 为水箱底面积(m^2);

$$F = mg = \rho Vg \quad (3)$$

式中: m 为水箱壁面所受水挤压的水的质量(kg); ρ 为水的密度(1000 kg/m^3); V 为水箱的总的体积(m^3);

h 为壁面所处位置距离水面的深度(m); g 为重力加速度(9.8 kg/m^3)。

由(2)和(3), 水箱壁面压强为

$$P_{\text{壁}} = \rho gh \quad (4)$$

水箱底面所受压力:

$$P_{\text{底}} = \frac{F_{\text{底}}}{S} \quad (5)$$

$$F_{\text{底}} = m_{\text{水}}g + m_{\text{拉筋}}g \quad (6)$$

$$S = ab \quad (7)$$

式中: $P_{\text{底}}$ 为水箱底面的压强(Pa); $F_{\text{底}}$ 为水箱底部所受的总的合力; S 为水箱底面积(m^2); $m_{\text{水}}$ 为水箱内部水的总质量(kg); $m_{\text{拉筋}}$ 为拉筋的总质量(kg); a 为水箱底面的长度(5 m); b 为水箱底面的宽度(3.5 m)。

4.6. 边界约束条件

对水箱的高度方向进行了固定约束, 使其不会发生高度方向的位置偏移。

5. 强度计算结果及分析

通过对 ANSYS 水箱模型施加外载荷, 然后网格进行划分, 同时施加固定约束, 进行静力分析, 对相关结果分析如下。

图 3 为水箱结构的位移矢量图, 水箱顶部位移很小, 基本上未有任何变化, 而在侧面位置中间部分的位移变化特别大。在长 $\times$ 宽的侧面中, 两列拉筋之间的位移变化为黄色, 量值较大, 这说明在两列拉筋之间的位移变化很大, 需要增加拉筋条; 在宽 $\times$ 高的壁面中, 可看出中心的位置处, 位移变化为红色, 量值非常大, 这说明在中心处所受应力最大, 需要在中心处布置一系列拉筋条。

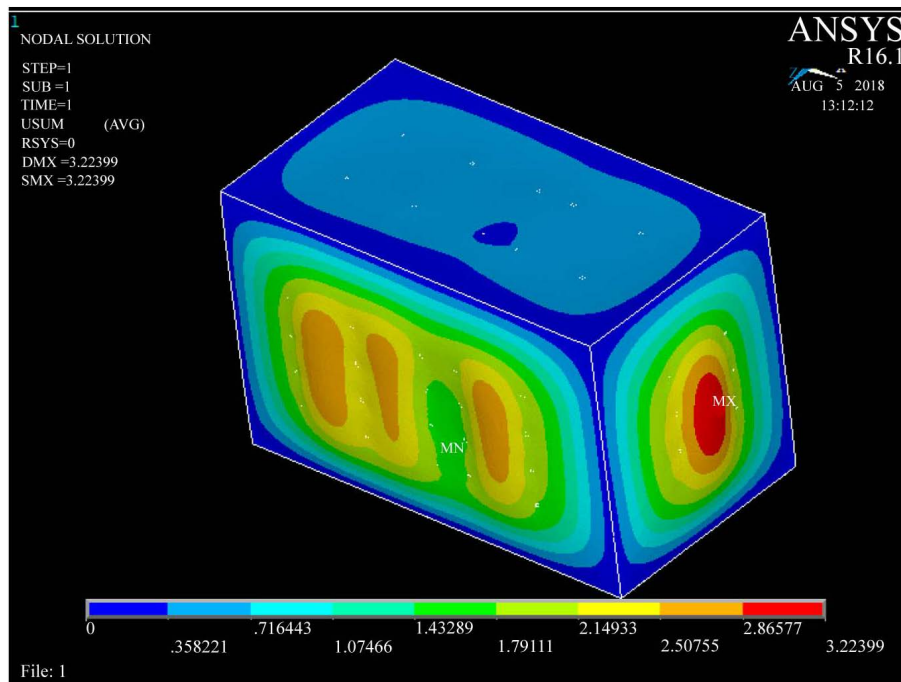


Figure 3. Displacement vector diagram

图 3. 位移矢量图

图4为水箱结构的等效应力图，它用应力等值线来表示模型内部的应力分布情况，它可以清晰描述出一种结果在整个模型中的变化，从而快速确定模型中的最危险区域。可以看出水箱基本上等效应力基本都很小，但是还是面与面的连接处的地方存在等效应力突变的点。该位置就是水箱最危险区域，即水箱最有可能发生开裂的部位，就是长×宽和宽×高这两个水箱壁面相连接的部分，所以可以在外壁面加上一圈的拉筋条，使其水箱更加不容易开裂。

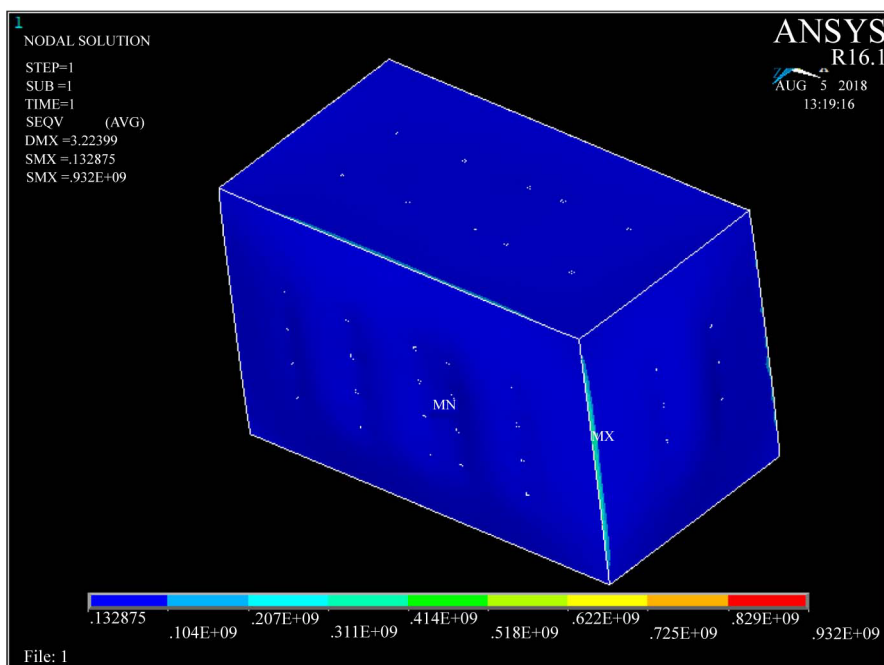


Figure 4. Equivalent stress diagram

图4. 等效应力图

6. 结论

本文对仿照不锈钢水箱进行设计的制作水箱进行静力分析，得到结论如下：

- 1) 直接采用不锈钢成品给水箱设计的现场制作水箱，设计的确存在不足和缺陷，不能直接使用。
- 2) 在水箱侧面中间位置的位移较大，会引起较大的变形，且在水箱四块立板的连接处比各面所承受的应力大，因此，为了增加这种现场制作水箱的强度刚度及使用安全性，应该在四块立板的侧面位置，均匀添加一整圈加强筋，从而弥补现场制作水箱在仿照矩形给水箱进行设计存在的不足。

参考文献

- [1] 任放, 刘敏, 崔长起. 给水箱设计原则[J]. 给水排水, 2003, 29(3): 60-63.
- [2] 中国建筑标准设计研究院. 12S101 矩形给水箱[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [3] 艾合买提·依布拉音, 张广泰, 韩建红. 不锈钢水箱模压板抗压试验与优化设计[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2016, 37(2): 162-167.
- [4] 陈西南. 装配式不锈钢水箱力学响应特性及结构设计[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [5] 中国国家发展和改革委员会. NB/T47003.1-2009 钢制焊接常压容器[S]. 北京: 新华出版社, 2009.
- [6] 中国建筑标准设计研究院. 建筑给水排水设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org