

# 波纹钢板-内填混凝土箱形柱轴压性能研究

师 政<sup>1</sup> 卢小松<sup>1</sup> 李昊龙<sup>2</sup>

1. 西安工业大学 陕西西安 710000

2. 中铁二十一局集团轨道交通工程有限公司 山东济南 250000

**摘要:** 本文研究各种波纹尺寸不同的波纹波形、混凝土还有栓钉三者如何协同工作, 以及各个不同参数对竖肋波纹腹板-内填混凝土箱型柱轴压性能的影响。基于以上问题, 本文以波纹波形尺寸, 波纹钢板板厚度, 栓钉布置密度三个研究参数设计不同模型计算对照组, 通过有限元计算软件得出各模型的荷载-位移曲线, 来研究各参数对竖肋波纹腹板-内填混凝土箱型柱轴压性能的影响。

**关键词:** 波纹钢板-内填混凝土; 箱形柱; 轴压性能

## Study on the Axial Compression Behavior of Corrugated Steel Plate - filled Concrete Box Column

Zheng Shi<sup>1</sup>, Xiaosong Lu<sup>1</sup>, Haolong Li<sup>2</sup>

1. Xi'an Technological University Xi'an, Shaanxi 710000

2. China Railway 21 First Group Rail Transit Engineering Co. LTD Jinan, Shandong 250000

**Abstract:** In this paper, we study how the corrugated waves with different sizes, concrete and bolts work together, and the influence of different parameters on the axial compression performance of vertical rib corrugated web - filled concrete box column. Based on the above problems, in this paper, three research parameters of corrugated waveform size, corrugated steel plate thickness and stud layout density were used to design different model calculation control group. The load-displacement curve of each model was obtained by finite element calculation software, so as to study the influence of each parameter on the axial compression performance of vertical rib corrugated web - filled concrete box column.

**Keywords:** Corrugated steel plate - filled concrete; Box column; Axial compression performance

### 引言

本文为了更好地研究各种波纹尺寸下不同的波纹腹板的波形、混凝土以及栓钉三个组成部分协同工作的工作机理, 以及波纹板混凝土柱其中各参数对竖肋波纹腹板-内填混凝土箱型柱轴压性能的影响。以波纹波形的尺寸, 波纹钢板的钢板厚度, 栓钉布置的密度, 三个研究参数设计不同, 来设计模型计算对照组, 并再通过有限元计算软件得出结果, 发掘不同参数对竖肋波纹腹板-内填混凝土箱型柱轴压性能的影响。

### 一、有限元分析

为探求各参数对大尺寸竖肋波纹腹板-内填混凝土箱型柱轴压性能的影响, 模型尺寸参数如下  $b_c = 1000mm$

,  $f_{cu} = 50mpa$ ,  $h = 3000mm$ , 波纹腹板采用的是Q345钢, 栓钉采用的是与波纹腹板

保持一致的材料Q345钢, 内填混凝土采用C50, 波纹板板厚分别设置20 mm, 30 mm, 40 mm, 并使用设计了五种不同的波纹腹板波形。因为栓钉的尺寸设计受到了波纹板的尺寸设计的影响, 所以统一使用的栓钉, 各波形间的栓钉水平布置间距不容易统一, 所以不做统一要求。竖向布置间距分别为100mm、200mm。

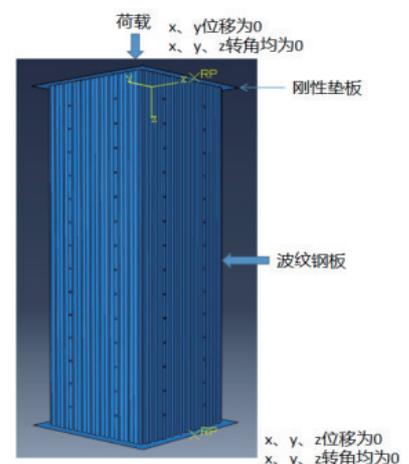


图1.1 VCST-B-II-3有限元模型图

## 二、受力机理分析

### (一) 箱型柱各部分受力分析

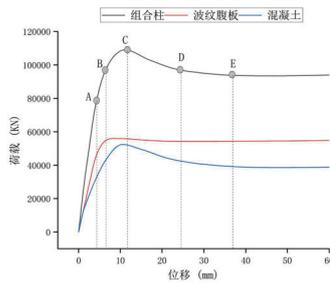


图2.1 VCST-C-II-3各部分荷载-位移曲线

OA段：各部件与构件的位移-荷载曲线均呈线性增长。AB段：A点过后，构件开始进入弹塑性阶段。达到B点时，波纹腹板Mises应力达到屈服强度。BC段：在波纹腹板发生屈服以后，它所承担的荷载就会逐渐减小，并且随着其构件的刚度的减小，而竖肋波纹腹板混凝土柱中，由内填混凝土承担的荷载持续增加。CD段：而在C点，由于内填混凝土逐渐压碎，波纹腹板的纵向应力逐渐减小，导致构件加载进入下降段。达到D点时，构件下降到峰值荷载的92%左右。DE段：D点以后，由混凝土所承受的荷载逐渐降低，但变化幅度较小。E点时，基本达到剩余承载力。

### (二) 柱中波纹腹板受力分析

从模型中提取VCST-C-II-3为典型算例提取柱中波纹腹板波峰处的环向应力、纵向应力以及Mises应力。在初始荷载作用下，整个部件处于弹性阶段，对垂直荷载的承受能力随时间的推移而增加。之后，构件进入了弹塑性阶段，纵向应力与Mises应力曲线的斜率略有降低。当波纹腹板的Mises应力到达钢材的屈服强度时，纵向应力达到 $0.97 f_y$ ，材料强度得以充分发挥。当波纹腹板的应力达到屈服时，柱中的应力和纵向应力便停止增长，不再承受垂直荷载，而柱中的轴向应力却继续增大，说明在构件受力变形的晚期，波纹腹板对混凝土起着主要的约束作用。

### (三) 柱中波纹腹板单个周期各部分受力分析

从有限元软件中提取典型算例中单个波纹周期内各部分应力-应变曲线。而在相同波纹周期内，其中波峰、波谷、波中在工作过程中，到达了钢材的屈服点。当结构在弹性阶段时，波纹腹板各个部分在单个周期内承担了一定的竖向荷载。波峰和波谷的环向应力比波中要大得多，所以波纹板谷对核心混凝土的约束效应主要来自波峰、波谷，而波中则是对核心混凝土的约束作用较微弱。波峰处钢材比其余部分钢材要先屈服而后波峰对内填混凝土的约束作用较快趋于稳定。但在荷载作用下，波谷、波中都没有到达屈服强度，所以，构件相比较则有更好的延性。

## 三、参数分析

### (一) 波纹腹板板厚

由有限元模拟分析计算得出结果所得出的数据可知，波纹腹板板厚越厚。则箱型柱极限承载力也会随其波纹板厚的增加而增加，并且承载力达到在最大后，波纹腹板的板厚越厚，载荷下降趋势就愈缓和。

### (二) 波纹腹板波纹尺寸

从有限元计算结果分析可知竖肋波纹腹板-内填混凝土箱型柱相比较于传统的方钢管混凝土柱其达到峰值的承载力有大幅度的提升。但是波纹波形密集程度相差较小的模型对于峰值承载力提升效果只有小幅度提升。并且波纹波形越密集，达到峰值荷载后到达下降段的速度越缓慢，一定程度上提高了结构延性。

### (三) 栓钉

结果表明，栓钉密实程度对模型结构的极限承载力影响不大。但随着栓钉布置密度的增加，在模型达到极限荷载后，到达下降段的速率就越缓慢。波纹波形越密集则达到峰值荷载后到达下降段的速度越缓慢，一定程度上提高了结构延性。而栓钉的加入以及密集程度则会影响同一种波形模型的结构延性。

### 结论：

在此基础上，利用有限元方法对竖肋波纹腹板-内填混凝土箱型柱受力性能进行了分析，得到了如下结论

1. 在考虑了不同腹板厚度后竖肋波纹腹板-内填混凝土箱型柱受力性能的差异，采用了更厚的波纹腹板，在一定程度上改善了其延性。

2. 随着波纹板的密度增加，波纹板所承受的竖向荷载所占的比例也会增加，与其它波纹板密度较小的模型相比，当其达到残余荷载时，可以承受更多的荷载。

3. 波形腹板的出现，在某种意义上起到了代替栓钉功能的效果。增强了波纹腹板与混凝土的协同工作效果。在竖向波纹腹板-内填混凝土箱形柱受力性能方面，与常规的方钢管受力性能相比，具有更好的协同工作效应。

### 参考文献：

[1] 李斌, 郭世壮, 高春彦. 带肋薄壁方钢管混凝土轴压短柱受力性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2017, 38(S1): 218-225.

[2] 方勇. 波纹钢管型钢混凝土短柱轴压力学性能研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2018.

[3] 方勇, 刘昌永, 王玉银, 等. 波纹钢管-钢夹层复合管混凝土柱轴压力学性能研究[J]. 建筑结构学报, 2019, 40(S1): 126-133.

[4] 路博. 波纹钢管混凝土受弯力学性能研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2019.

[5] 仲涛. 波纹钢管-混凝土-钢管组合构件的轴压与受弯力学性能研究[D]. 中国矿业大学, 2020.