

Safety Analysis of Foundation Pit Excavation on Adjacent High-Speed Railway Bridges

Wenhao Li

China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd, Wuhan, 430063, China

Abstract: With the increase of the construction of local municipal engineering, more and more roads are intersecting with the bridge of high-speed railway, especially the U-shape pass through the existing railway bridge, the depth of the excavation is deep, and the construction risk is large. In this paper, an overpass related to railway in Shangqiu is taken as the research object, through qualitative analysis and three-dimensional quantitative calculation, the deformation of high speed railway pier during the excavation of the U-shape foundation is evaluated, meanwhile, guided by the measured results, the effectiveness of the calculation will be analyzed. The research shows that the deep foundation pit excavation will produce a large horizontal and vertical displacement to the foundation of the high-speed railway bridge. The negative effect of the foundation pit excavation can be obviously improved by the reinforcement of the high-pressure jet grouting pile and the pressure weight of the bearing platform.

Keywords: High-speed railway; Foundation pit excavation; Loading on bearing platform; U-shape; High-pressure jet grouting pile

基坑开挖对邻近高铁桥梁安全影响分析

李文浩

中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北武汉 430063

摘要: 随着地方市政工程建设增加, 存在越来越多道路与高铁桥梁交叉的情况[1], 尤其是U型槽下穿既有铁路桥梁, 其开挖深度较深, 施工风险较大。本文以商丘市某涉铁立交工程为研究对象, 通过定性分析及三维定量计算的方法评估U型槽基坑开挖过程中高铁桥梁的变形情况, 并以实测结果为指导, 分析计算结果的有效性。研究表明, 深基坑开挖会对邻近铁路桥梁基础产生较大水平及竖向变位, 采取高压旋喷桩加固及承台压重可以明显改善由于基坑开挖造成的不利影响。

关键词: 高铁桥路; 基坑开挖; 承台压重; U型槽; 高压旋喷桩

1 引言

根据最新颁布的《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》的有关规定, 高速铁路运行对铁路桥梁竖向、横向变形要求极为严格, 对于时速 350km/h 无砟轨道桥梁, 邻近工程产生的累计变形不得超过 2mm。本项目以商丘市清凉寺大道 U 型槽下穿郑徐客运专线基坑施工为背景, 利用岩土分析软件对基坑开挖施工过程进行了数值模拟分析及评估[2], 结合现场实测结果, 提出如何有效减小由于基坑开挖造成的卸载效应。本文分析结果可为邻近既有线施工时, 基坑施工方式提供理论指导, 以确保高铁桥梁的运营安全。

2 工程背景

清凉寺大道以 U 型槽形式分四幅下穿郑徐高铁商丘特大桥, 交叉角度为 75.8° , U 型槽下穿段工程采用明挖现浇法施工, 两侧采用直径 1.0m 钻孔桩防护, 桩长 15m, 钻孔桩外侧采用直径 0.6m 高压旋喷桩做止水帷幕, 基坑最大挖深为 6.5m。

U 型槽标准节段长度为 14.97m, 机动车道宽度 16m, 非机动车道宽度为 9m, 采取外绕方式设置如图 1, U 型槽节段之间设置 3cm 沉降缝, 并做防水处理。U 型槽底部需设置直径 0.8m 抗浮桩与底板连接, 防止 U 型槽上浮。基底采用 $\Phi 50\text{cm}$ 高压旋喷桩进行加固, 桩长 8m。高压旋喷桩建议水泥掺量 30%, 28 天龄期的抗压强度平均值为 1.4MPa。U 型槽外侧下部采用砂夹碎石回填, 上部采用非渗水土回填压实。

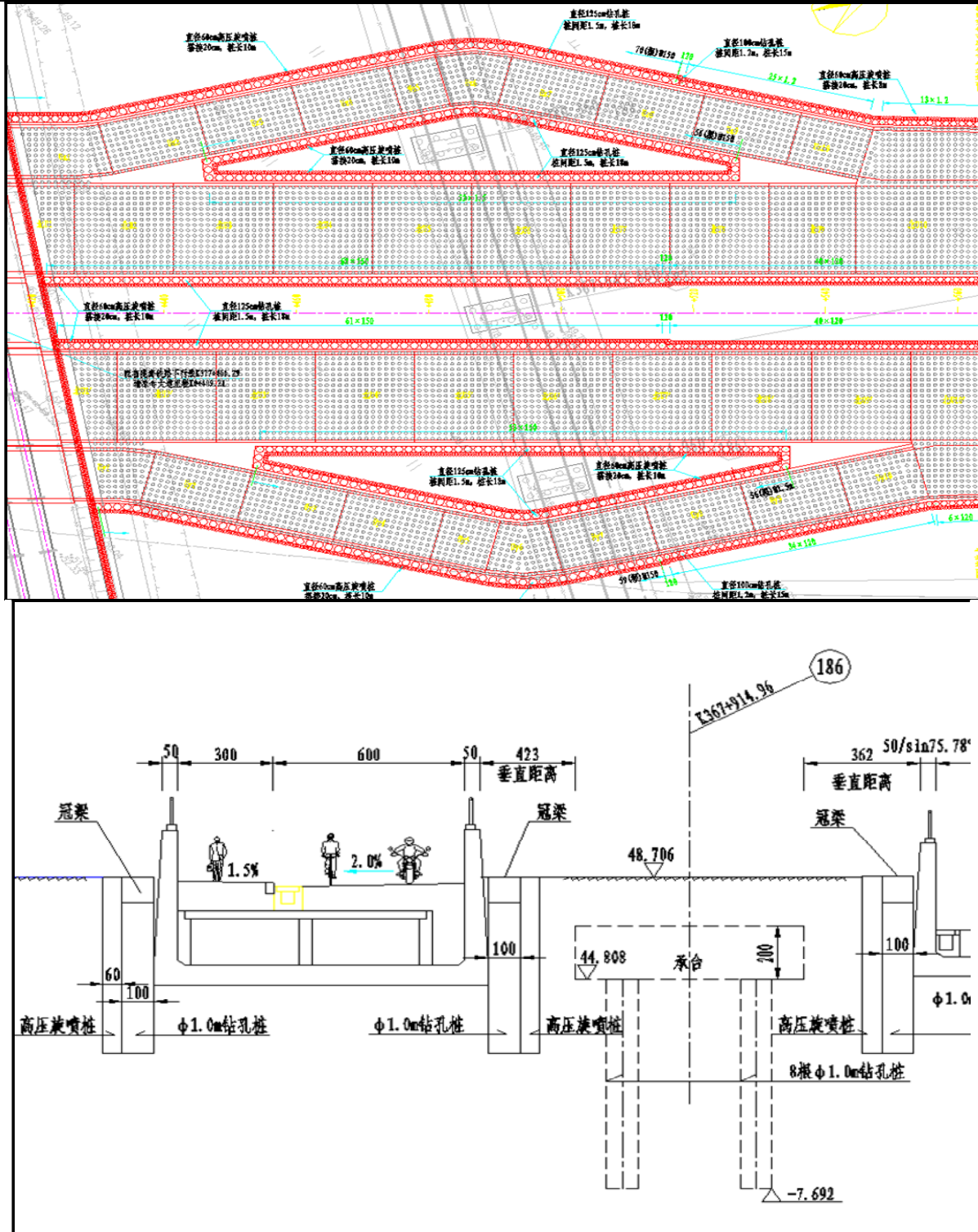


Figure 1. Cross Plane and Cross Section
图 1. 交叉平面及横断面

郑徐客专为电气化高速铁路，无砟轨道，轨道车辆运行对铁路线路竖向、横向变形要求极为严格。设

计最高时速 350km/h，道路与铁路交叉处 185 #~189# 桥墩之间为 4 孔 32m 简支箱梁，铁路轨顶标高为

61.452m，梁底标高 57.628，U 型槽底板底标高为 43.468，桥下净空 10.9m，能够满足城市道路对建筑净空的要求^[4]。

由于高铁下方 U 型槽底板底埋深最大达到了 6.5m，基坑的开挖及回填会对高铁桥墩周围土体的变位产生影响^[3]，结合本项目设计资料，行车道 U 型槽

外边缘距离承台的最小距离为 3.42m，非机动车道 U 型槽外边缘距离承台的最小距离为 2.71m，距离墩身边缘的最小距离为 4.03m。郑徐高铁商丘特大桥 186#~188#桥墩承台均位于 I 区受扰动区，基坑施工将对铁路桥墩造成较大影响。

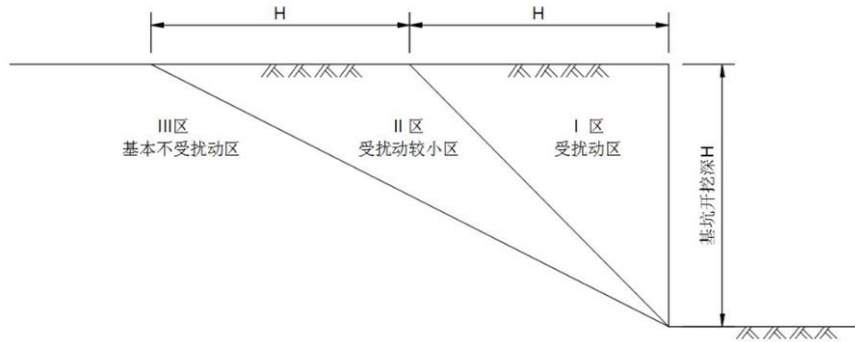


Figure 2. Disturbance Area Map of Foundation Pit
图 2. 基坑扰动区域图

3 评估标准

U 型槽施工对地基土产生扰动，引起邻近土层产生应力重分布，当与铁路桩基础距离较近时且挖深较大时，会扰动桩周土及桩底持力层^[5]，影响既有桥墩桩基的稳定性，造成桩基附加沉降与挠曲变形，若变形过大就会影响行车平顺性，严重时可能危及行车安

全。

《高速铁路设计规范》（TB10621-2014）第 7.3.10 条规定，墩台基础的沉降应按恒载计算，其工后沉降量不应超过表 1（规范表 7.3.10）限值：对于本工程涉及到的郑徐客专无砟轨道，因此，控制的墩台均匀沉降为 20mm，相邻墩台的沉降差为 5mm。

Table 1. Post Construction Settlement Limits of Statically Determinate aButment Foundation (Specification Table 7.3.10)

表 1. 静定结构墩台基础工后沉降限值（规范表 7.3.10）

沉降类型	桥上轨道类型	限值
墩台均匀沉降	有砟轨道	30mm
	无砟轨道	20mm
相邻墩台沉降差	有砟轨道	15mm
	无砟轨道	5mm

注：超静定结构相邻墩台沉降量之差除应满足上述规定外，尚应根据沉降差对结构产生的附加应力的影响确定。

《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》（TB 10182-2017）11.0.4 条：鉴于受下穿工程影响的高速铁路桥梁墩台顶位移限值仅为 2mm（无砟轨道）和

3mm（有砟轨道）。本工程为无砟轨道，评判标准按照对铁路桥墩的顺桥向、横桥向及竖向附加位移不超过 2mm 的要求来控制。

4 U 型槽基坑开挖对邻近高铁影响数值模拟

4.1 三维空间模型

本工程采用岩土工程软件 abaqus 对清凉寺大道下穿郑徐客专商丘特大桥梁施工和后期运营进行数值模拟与分析如图 3，模型尺寸为 200m×220m×80m（长×宽×高），铁其中顺桥向方向的长度为 200m。地基土、承台、桩基和支护桩均采用三维应力单元 C3D8R 进行模拟^[6]，并采用结构化网格划分技术对模型进行网格划分。模型中桥梁承台和桥墩采用线弹性的钢筋混凝土实体模拟，铁路桩基与新建桩基采用实体单元模拟。

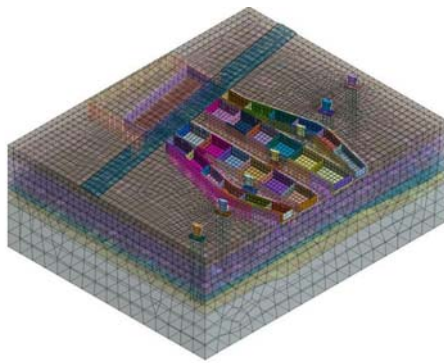


Figure 3. Finite Element Analysis Model
图 3. 有限元分析模型

4.2 U 型槽施工步骤

由于本工程基坑深度较大，为了避免开挖卸载对桥墩造成过大影响，采取分层开挖的方式进行变形控制，计算过程共分为如下几个步骤：

- Step-1: 地应力平衡；
- Step-2: 桩基施工与墩顶荷载施加；
- Step-3: 防护桩及止水帷幕施工；
- Step-4-9: U 型槽开挖(开挖第 1、2、3 步每层 0.7m，第 4、5、6 步开挖每次厚度随 U 型槽的走向在 0.8~1.5 之间变化)；
- Step-10: U 型槽施工；
- Step-11: 运营荷载施加（机动车荷载 15kPa，非机动车荷载 5kPa）

4.3 计算结果

根据 U 型槽不同施工步骤，计算得到各施工阶段铁路桥墩的附加位移，铁路桥梁基础沉降及墩顶纵向位移分别如图 4~图 6 所示。由计算结果可知：

- (1) 由于 186#~188#桥墩两侧 U 型槽开挖深度较大，在进行第六次开挖之后，最大沉降值为-2.177mm，桥墩上浮已超越极限沉降值，此时坑底标高低于承台底约 2m，桥墩受附加弯矩影响，发生不可逆附加沉降，且无法满足墩顶附加沉降不超过 2mm 的评价标准；
- (2) 本工程基坑开挖会导致承台单侧土压力过大，但由于道路两侧对称开挖，卸载均匀，桥墩顺桥向位移未超过允许值；
- (3) 桥墩横向刚度较大，横向附加位移不控制交叉处铁路桥墩的安全。
- (4) 施工前施打高压旋桩能够一定程度抵消由于开挖造成的桥墩上浮，对本工程桥梁结构安全有利。

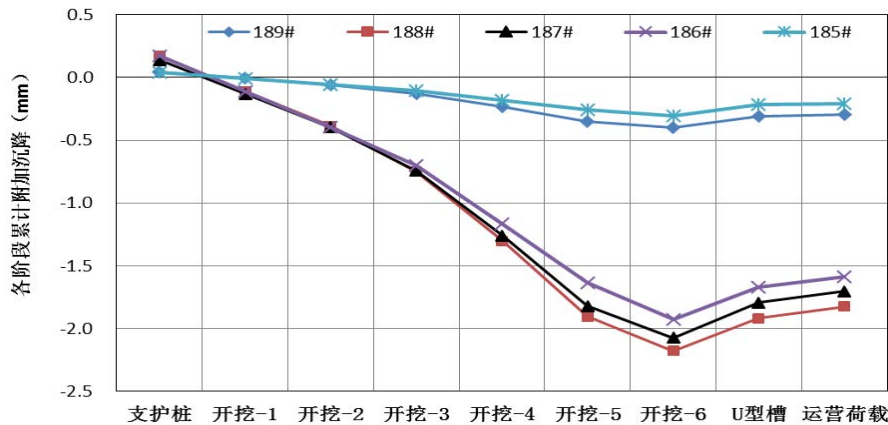


Figure 4. Accumulative Additional Vertical Displacement of Railway Foundation
图 4. 铁路基础累计附加竖向位移

注：负值代表上浮，正值代表下沉

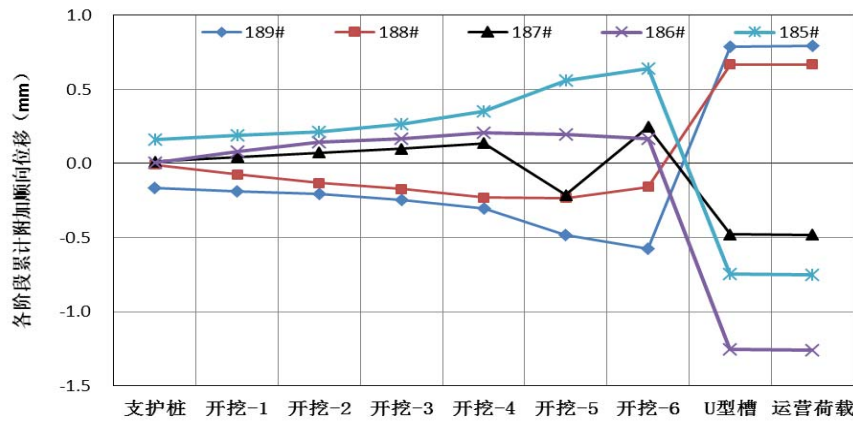


Figure 5. Accumulative Additional CIS Bridge Displacement on the Top of Railway Bridge Pier
图 5. 铁路桥墩顶累计附加顺桥向位移

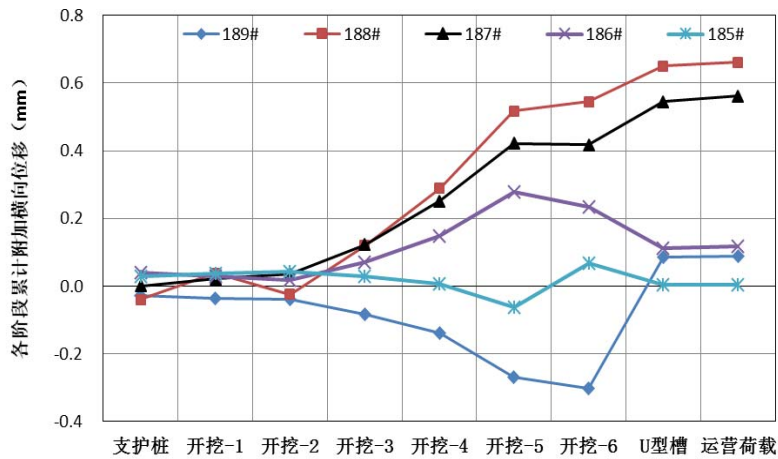


Figure 6. Accumulative Additional Transverse Bridge Displacement on the Top of Railway Bridge Pier
图 6. 铁路桥墩顶累计附加横桥向位移

5 压重方案修正

计算结果表明，深基坑开挖极有可能导致铁路桥梁沉降变形过大，进而危害行车安全，有必要采取措施降低由于基坑开挖造成的桥墩上浮。

由于仅 186#~188#桥墩累计上浮较多，本工程在开挖第四层后，建议进行承台四角压重^[7]，不同压重荷载下 186#~188#桥墩沉降变化如表 2 所示。

Table 2. Vertical Deformation Caused by 4 Corners of 186#, 187# and 188# Pier Caps
表 2. 186#、187#、188#墩承台 4 个角压重后所引起的垂直向变形

荷载/kN	变形/mm		
	186#	187#	188#
240	0.032	0.034	0.038
320	0.043	0.045	0.049

480	0.065	0.067	0.071
640	0.085	0.088	0.091
800	0.146	0.152	0.161
1000	0.183	0.189	0.205

采用压重方案进行沉降修正，对 186#~188#桥墩四角各压重 25t，铁路桥梁基础沉降均能控制在 2mm 范围内（如图 7），满足《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》（TB 10182-2017）的要求。根据计算得到的附加沉降值，与本工程实施前现场实测沉降值

进行叠加，得到累计工后沉降为 15.165mm，附加差异沉降为 0.13mm，两者均满足《高速铁路设计规范》（TB10621-2014）中墩台均匀沉降不大于 20mm，相邻墩台的差异沉降不大于 5mm 的规定。

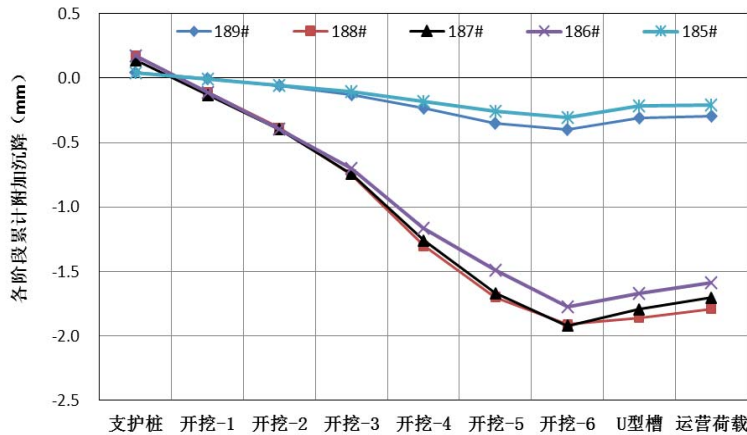


Figure 7. Accumulative Additional Vertical Displacement of Railway Foundation After Adjustment
图 7. 调整后铁路基础累计附加竖向位移

注：负值代表上浮，正值代表下沉

全。

6 结论

对清凉寺大道下穿郑徐客专商丘特大桥施工和后期运营进行数值模拟与分析。研究了防护桩施工、U型槽施工和运营对郑徐客专商丘特大桥 189#、188#、187#、186#和 185#墩桩基变形的影响，可以得出以下几点认识：

本工程基坑开挖不会对铁路桥墩顺桥向及横桥向位移产生过大影响，但会影响较大附加沉降。

控制高铁桥墩安全的主要因素为基坑开挖深度、不均匀卸载、及高压旋喷桩加固等。

U型槽施工基坑开挖对高铁桥墩的影响相对较大，通过局部压重，以及高压旋喷桩加固，能够将高铁桥墩桩基变形控制在规范允许范围内。

基坑开挖会对高铁桥墩产生一定的影响，施工时必须对高铁桥墩进行沉降监控[8]，以保证铁路运营安

References (参考文献)

- [1] 费文燕. 下穿立交引道中 U 型槽结构设计与分析[J]. 路基工程, 2015(5):149-152.
- [2] 王升. 深基坑施工对邻近高铁桥梁影响研究[J]. 铁道建筑, 2014(9):102-104.
- [3] 刘秀章. 高铁桥梁工程基坑开挖方案比选[J]. 长江工程职业技术学院学报, 2016, 33(3):12-15.
- [4] 吉军立. 浅析城市道路下穿高铁的影响与分析[J]. 工程与建设, 2016, 30(1):63-65..
- [5] 李学锋. 基坑开挖对周边土体沉降影响的研究[J]. 山西建筑, 2017, 43(4):106-108.
- [6] 甄精莲. 基于 ABAQUS 的深基坑变形三维有限元分析[D]. 南华大学, 2007..
- [7] 段庆普, 叶长允. SMW 工法在德大铁路下穿京沪高铁 U 形槽基坑支护中的应用[J]. 铁道标准设计, 2012(1):73-76..
- [8] 孙玉国. 基坑开挖过程中的沉降监测与分析[J]. 建筑工程技术与设计, 2016(32).
- [9] 李书强. 近接运营高铁 U 型槽基坑开挖方法研究[J]. 国防交通工程与技术, 2014, 12(1):15-19.