

一种新型装配式梁板基础梁-梁节点力学性能研究

苏信智^{1*}, 王臣垒², 吴海亮¹, 乔文涛², 张戊晨¹

1. 国网河北省电力有限公司经济技术研究院, 河北 石家庄 050000

2. 石家庄铁道大学, 河北 石家庄 050043

摘要 : 装配式筏板基础作为一种新型的装配式建筑结构体系, 在电力行业具有广泛的工程应用和推广价值, 本文提出了一种新型的装配式筏板基础梁-梁连接节点, 为研究该节点的受力性能, 对其开展有限元变参数分析, 研究混凝土强度、T型钢腹板厚度、T型钢翼缘厚度对节点受力性能的影响, 结果表明: 节点承载力随着混凝土强度、T型钢腹板厚度、T型钢翼缘厚度的增大而增大, 具体的: 当混凝土由 C40 变化至 C50 时, 极限承载力提高 12%; 当 T 型钢腹板厚度由 10mm 变化至 14mm 时, 极限承载力提高 5%; 当 T 型钢翼缘板厚度由 12mm 变化至 16mm 时, 极限承载能力提高约 11.3%。综上, 混凝土强度、T 型钢翼缘板厚度对梁-梁节点承载力影响较大, T 型钢腹板厚度对节点承载力影响较小。

关键词 : 装配式; 梁-梁节点; 静力性能; 参数分析

Mechanical Performance Study of a Novel Prefabricated Beam-Slab Foundation Beam-Beam Joint

Su Jizhi^{1*}, Wang Chenlei², Wu Hailiang¹, Qiao Wentao², Zhang Wuchen¹

1. Hebei Economic Research Institute of State Grid, Shijiazhuang, Hebei 050000

2. Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang, Hebei 050043

Abstract : As a novel prefabricated building structural system, the prefabricated raft foundation has found extensive engineering applications and promotional value in the power industry. This paper presents a novel beam-to-beam connection node for prefabricated raft foundations. To investigate the structural performance of this node, a finite element parametric analysis was conducted to study the effects of concrete strength, the thickness of T-shaped steel web, and the thickness of T-shaped steel flanges on the node's load-bearing capacity. The results indicate that the node's load-bearing capacity increases with the increase of concrete strength, T-shaped steel web thickness, and T-shaped steel flange thickness. Specifically, when the concrete strength changes from C40 to C50, the ultimate load-bearing capacity increases by 12%. When the thickness of the T-shaped steel web varies from 10mm to 14mm, the ultimate load-bearing capacity increases by 5%. When the thickness of the T-shaped steel flange changes from 12mm to 16mm, the ultimate load-bearing capacity increases by approximately 11.3%. In conclusion, concrete strength and the thickness of the T-shaped steel flange have a significant impact on the load-bearing capacity of the beam-to-beam node, while the thickness of the T-shaped steel web has a relatively smaller effect.

Key words : prefabricated; beam-to-beam node; static performance; parametric analysis

引言

伴随着装配式建筑的发展, 基础能否采用合理的装配式形式的问题也逐渐得到关注。当前, 装配式基础研究与应用主要集中在输变电架构及电气设备基础, 对于变电站建筑物装配式基础的相应研究与应用较少。

鲁先龙等^[1]在我国沙漠地区对扩展基础进行了上拔、上拔+水平荷载组合工况的现场足尺试验, 获得了基础受力变化全过程曲线、确定了不同类型基础的极限承载力以及上拔角主要影响参数。刘观仕等^[2]为研究输电线路金属装配式基础在风积沙地的抗压性能, 开展四组足尺试验, 监测基础的位移和变形特征, 进而得出基础的下压极限承载力。王卫东等^[3]提出了一种锥台型装配式基础, 通过冻土模型试验, 对基础的抗压承载能力以及冻拔特性进行了深入的研究, 获得了基础在不同冻结环境下的承载性能。金子皓等^[4]为研究不同偏心距和偏向方向对全金属装配式基础承载性能的影响, 建立有限元模型进行分析, 结果表明, 单轴偏心作用下基础的承载性能最佳。查

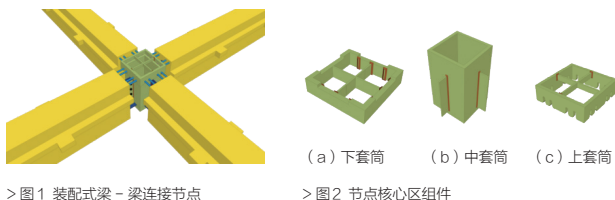
* 作者简介: 苏信智 (1984—), 男, 河北省秦皇岛人, 高级工程师, 主要研究方向为: 装配式建筑结构与绿色建造

晓雄等^[9]提出了一种新型装配式偏心基础,对一缩尺模型进行上拔试验研究,结果表明,基础未出现上拔破坏,现有规程中基础上拔设计方法仍适用于该新型基础。王健等^[6]提出了一种适用于灾后快抢快建的配网杆塔装配式基础,研究了该类型装配式基础在不同粘土地基上的极限承载力及破坏模式,讨论了基础尺寸对承载力的影响。

通过对现有研究现状的分析和总结可知,装配式基础在变电站建筑中的应用依然较少,上述问题已经成为装配式钢结构变电站建筑中亟待深化的问题。本文针对这些问题提出了一种新型的装配式梁板基础梁—梁节点,对其受力性能开展有限元分析,研究混凝土强度、T型钢腹板厚度、T型钢翼缘厚度等因素对节点受力性能的影响,为其在装配式钢结构变电站建筑中的应用和推广提供技术支撑。

一、基础梁—梁连接节点设计

装配式梁—梁连接节点如图1所示。这一连接节点主要由基础梁和后浇节点核心区构成,其中节点核心区包括上套筒、中套筒、下套筒三部分,如图2所示。具体来说,基础梁与中套筒之间采用高强螺栓连接,同时下套筒用于支撑基础梁外伸的T型钢翼缘板,并与中套筒的底部紧密对接。上套筒部分开设槽孔,以便与基础梁上部外伸的钢筋端部锚板卡扣连接。该节点具有结构简单、施工方便等特点,对于装配式基础的进一步发展具有重要意义。



二、有限元模型建立与分析

(一) 模型信息

为研究混凝土强度、T型钢腹板厚度、T型钢翼缘厚度对装配式梁板基础梁—梁节点力学性能的影响,本文以一字型梁—梁连接节点为研究对象,采用有限元软件对梁—梁节点进行数值模拟分析,建立了8个有限元模型,基础梁截面尺寸为400×500 mm,单侧梁长1500 mm,具体参数见表1。

表1 有限元模型参数

试件编号	T型钢腹板厚度 t/mm	T型钢翼缘厚度 t/mm	混凝土强度
L-1	10	16	C30
L-2	14	16	C30
L-3	18	16	C30
L-4	10	8	C30
L-5	10	12	C30
L-6	10	10	C20
L-7	10	10	C40
L-8	10	10	C50

(二) 材料属性

钢材均选用 Q235 钢,本构关系选用双折线模型,弹性模量

206GPa,泊松比为 0.3,屈服强度 180MPa。混凝土选用 abaqus 软件中的塑性损伤模型,其受拉及受压本构按规范选取,以 C30 混凝土为例,弹性模量为 30000MPa,泊松比为 0.2,塑性参数见表 2。

表2 塑性参数

膨胀角	偏心率	f_{b0}/f_{c0}	K	粘性系数 μ
30	0.1	1.16	0.667	0.0005

(三) 有限元模型的建立

采用有限元分析软件 ABAQUS 对 8 个梁—梁连接节点试件进行数值模拟分析,混凝土单元采用 C3D8R,采用塑性损伤模型;钢筋以及型钢采用 Von Mises 屈服准则,本构关系选用双折线模型。在建模时以一字型梁—梁节点为研究对象,在节点核心区上表面以及梁端部下表面各设一个参考点,对参考点所在的平面区域进行耦合,通过参考点施加约束以及位移,型钢以及钢筋内置 (Embedded Region) 在混凝土内,节点核心区混凝土采用绑定 (tie) 的连接方式,网格划分如图 3 所示,采用六面体单元进行网格划分,混凝土的网格大小为 50×50×50 mm,各型钢连接件的网格大小为 30×30×30 mm。在设定边界条件以及荷载时,通过节点核心区上表面参考点,耦合平面内所有自由度,对该点施加集中荷载,实现对节点核心区的轴向加载,对梁两端处参考点施加约束,约束沿 X、Y、Z 三个方向的转动和位移,模拟真实情况下的刚性结构边界条件。

(四) 模拟结果

以 L-1 试件为例,在两端集中荷载的作用下,两端悬臂梁向

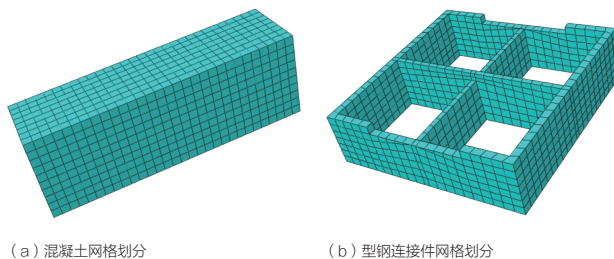


图3 网格划分

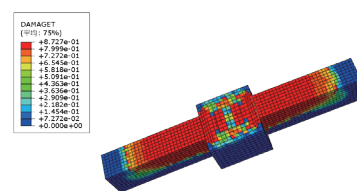


图4 损伤云图

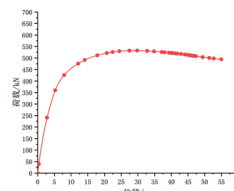


图5 荷载位移曲线

下挠曲,节点核心区连接件未出现明显的变形,应力集中分布在靠近节点区域的T型钢受拉翼缘以及腹板上,节点区未出现较大变形,满足强节点弱构件的设计原则。由图5损伤云图可以看出,损伤主要出现在梁的加载平面上,随着荷载的增加,梁的挠度不断增大,受拉侧混凝土出现裂缝并不断开展,最终,试件破坏。

三、变参数分析

本节主要通过有限元软件 ABAQUS 进行数值模拟,研究各变化参数对节点承载力的影响规律,变化参数主要包括:混凝土强度、T型钢腹板厚度、T型钢翼缘厚度,以此建立了8个有限元模型。

(一) 混凝土强度变化对比分析

以标准试件 L-1 为参照,在 T 型钢腹板厚度、T 型钢翼缘厚度、加载方式以及边界条件均不变的情况下,仅改变混凝土的强度等级来研究梁-梁连接节点的承载能力,混凝土强度变化分别为 C20、C30、C40、C50。如下图6所示,对比不同混凝土强度下试件荷载位移曲线变化规律,对比图中数据可以看出,混凝土强度对节点静力性能有显著的影响,节点的抗弯承载力随混凝土强度的增大而增大;具体的,C40强度和C50强度的试件相比混凝土强度C30的试件分别使极限荷载提高8%和20%,混凝土强度C20时,由于混凝土强度较低,混凝土较早发生破坏,极限荷载出现较早,未能充分发挥节点区钢材的性能。

(二) 翼缘板厚度变化对比分析

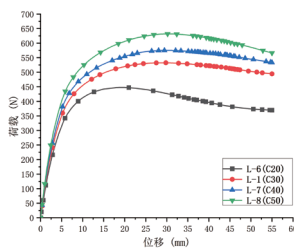
以标准试件 L-1 为参照,在混凝土强度、T 型钢腹板厚度、加载方式以及边界条件均不变的情况下,仅改变预埋 T 型钢翼缘板的厚度来研究梁-梁连接节点的承载能力,T 型钢翼缘厚度从 8mm 变化至 16mm。图7所示为不同翼缘板厚度下试件荷载位移曲线,对比图中数据可以看出,随着 T 型钢翼缘板厚度的增加,试件的极限承载力也越来越大;当板厚从 8mm 变化至 12mm 时,试件极限承载能力提高约 8.4%,板厚从 12mm 变化至 16mm 时,试件极限承载能力提高约 11.3%,该节点的极限承载能力与 T 型钢翼缘板厚基本呈线性正相关。

(三) 腹板厚度变化对比分析

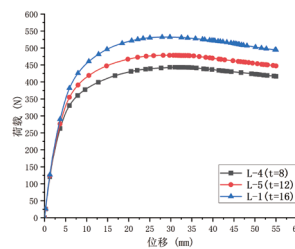
以标准试件 L-1 为参照,在混凝土强度、T 型钢翼缘厚度、加载方式以及边界条件均不变的情况下,仅改变预埋 T 型钢腹板厚度来研究梁-梁连接节点的承载能力,T 型钢翼缘厚度从 10mm 变化至 18mm。图8所示为不同腹板厚度下试件荷载位移曲线,对比图中数据可以看出,随着腹板厚度的增大,试件的极限承载能力基本保持不变,极限承载力最大相差约 5%,腹板厚度对该节点的承载力影响较小,在计算时,可以忽略腹板的影响。

四、结论

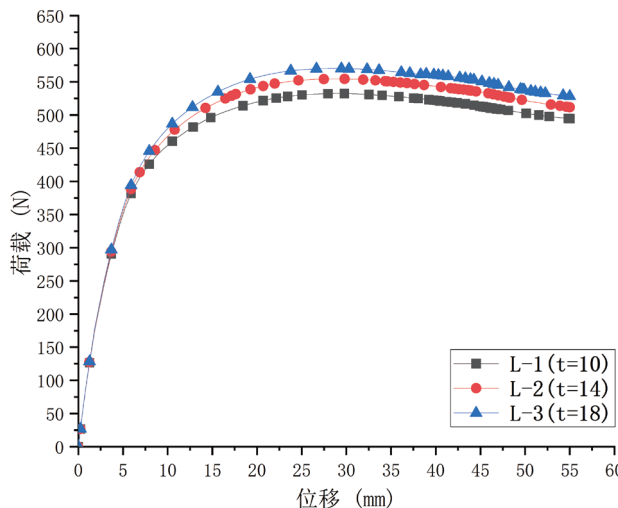
本文提出了一种新型的装配式梁板基础梁-梁连接节点,为研究该节点在静力荷载下的力学性能,开展有限元变参数分析,研究混凝土强度、T 型钢腹板厚度、T 型钢翼缘厚度等参数对



> 图6 不同混凝土强度下荷载位移曲线



> 图7 不同翼缘板厚度下荷载位移曲线



> 图8 不同腹板厚度下荷载位移曲线

节点抗弯承载力的影响规律,根据分析结果,得到的主要结论如下:

(1) 有限元结果表明,极限承载力随着混凝土强度、T 型钢腹板厚度、T 型钢翼缘厚度的增大而增大,具体的:当混凝土由 C30 变化至 C50 时,极限承载力提高 20%;当 T 型钢腹板厚度由 10mm 变化至 14mm 时,极限承载力提高 5%;当 T 型钢翼缘板厚度由 12mm 变化至 16mm 时,极限承载能力提高约 11.3%。

(2) 有限元分析结果表明,表明混凝土强度和 T 型钢翼缘板厚对承载力影响较为显著,而 T 型钢翼缘对承载力的影响较小,在计算时可忽略不计。

参考文献:

- [1] 鲁先龙,丁士君,杨文智,等.沙漠风积沙地基扩展基础抗拔现场试验研究[J].水利与建筑工程学报,2017,15(5):20-25.
- [2] 刘观仕,张程程,赵青松等.风积沙地区金属装配式基础抗压承载特性研究[J].岩土工程学报,2022,44(S1):85-91.
- [3] 王卫东,崔强,韩杨春等.锥台型装配式基础冻拔与抗压承载性能模型试验[J].人民长江,2021,52(01):196-203.
- [4] 金子皓,王京学,冀晓东等.偏心对全金属装配式基础抗拔性能影响研究[J].地下空间与工程学报,2022,18(S1):209-215+225.
- [5] 查晓雄,范佳琪,肖世奎,等.一种装配式电力偏心基础的抗拔性能[J].哈尔滨工业大学学报,2019,51(12):167-171.
- [6] 王健,吴涵,陈彬,等.装配式方形基础的黏土地基承载力特性研究[J].福建师范大学学报(自然科学版),2019,35(2):40-47.