

# 中穿H型钢冠梁工程实践与设计方法探讨

黄志波<sup>1</sup>, 林奇<sup>2</sup>, 汪勇<sup>1</sup>

(1.福建农林大学金山学院,福建福州350002;2.福建工程学院土木工程学院,福建福州350118)

**摘要:**随着H型钢排桩和型钢水泥土搅拌墙(SMW工法)内撑支护体系的广泛运用,中穿H型钢混凝土冠梁引起的工程问题日益突显。从工程现场及工程设计两个方面入手,研究中穿H型钢混凝土冠梁在工程应用过程中存在的问题,进而提出相应的建议,对确保工程安全及完善中穿H型钢混凝土冠梁设计方法具有重要意义。

**关键词:**H型钢排桩;冠梁;基坑支护;剪切破坏

中图分类号:TU47

文献标志码:A

文章编号:1672-4348(2017)03-0219-05

## Discussion on engineering practice and design method of the top beam entering through H-beams

Huang Zhibo<sup>1</sup>, Lin Qi<sup>2</sup>, Wang Yong<sup>1</sup>

(1. Jinshan College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. College of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** With the widely usage of the inner retaining system of H-steel row piles and composite steel soil-cement mixed diaphragm wall (SMW), engineering problems caused by the concrete top beam entering through H-beams have become increasingly prominent. Tackling the problems of the concrete top beam entering through the H-beams was discussed in the aspects of engineering site and engineering design. Corresponding treatment measures were proposed to ensure the safety of the project and to improve the design of the concrete top beam entering through H-beams.

**Keywords:** H-steel row pile; top beam; foundation pit support; shear failure

随着城市环境复杂程度和变形控制要求的提高,再加节约造价方面的需求,新型深基坑支护方式不断出现,H型钢排桩和型钢水泥土搅拌墙(SMW工法)内撑支护体系应运而生。中穿H型钢混凝土冠梁引起的工程问题日益突显,导致工程存在一定的安全隐患。目前,许多学者对H型钢排桩和型钢水泥土搅拌墙内撑支护体系进行深入的研究并取得一定的研究成果。陈茂德等<sup>[1]</sup>详细介绍SMW工法并与H型钢工具式内支撑配合施工在武汉房地产交易大厦深基坑工程中的应

用,实践表明该支护方法效果良好且降低成本。然而,关于H型钢排桩和型钢水泥土搅拌墙内撑支护体系的研究成果主要集中在介绍具体工程的支护设计参数及其应用效果<sup>[1-6]</sup>,未见涉及中穿H型钢混凝土冠梁在应用过程中的问题、受力特征及其设计理论等方面的研究成果。同时,关于混凝土冠梁的研究成果主要集中在对混凝土灌注桩冠梁的变形及受力研究<sup>[7-10]</sup>,未见与中穿H型钢混凝土冠梁相似的研究成果。为此,本文通过研究中穿H型钢混凝土冠梁在工程应用过程中

收稿日期:2017-03-23

基金项目:福建省中青年教育科研项目(JA15641);福建省大学生创新创业训练计划项目(201614046022)

通讯作者:黄志波(1988-),男,福建南安人,讲师,硕士,研究方向:岩土和地下工程。

存在的问题,进而提出相应的建议。这些建议,有利于进一步完善中穿 H 型钢混凝土冠梁的设计理论。

## 1 中穿 H 型钢混凝土冠梁及受荷机理

### 1.1 中穿 H 型钢混凝土冠梁

H 型钢排桩和型钢水泥土搅拌墙内撑支护体系是指直接在地基土(或水泥土)中插 H 型钢,再结合内支撑的围护结构体系,如图 1。由于该围护结构体系的 H 型钢在工程结束后拔出、回收再利用,使得 H 型钢必须穿过混凝土冠梁,即形成

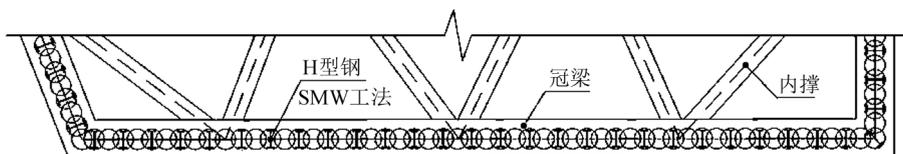


图 1 H 型钢(SMW 工法)桩内撑支护体系局部示意图

Fig.1 Local schematic of the retaining system of H-beams (soil-cement mixed wall)

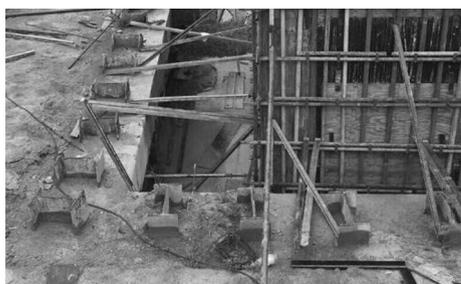


图 2 冠梁局部示意图

Fig.2 Local schematic of top beam



图 3 泡沫塑料包裹 H 型钢

Fig. 3 H-beams wrapped in foam plastics

中穿 H 型钢混凝土冠梁,如图 2。混凝土冠梁中部穿过 H 型钢,为了防止 H 型钢与混凝土浇筑在一起,方便后期回收型钢,实际工程中通常在 H 型钢四周用 20mm 厚泡沫塑料与混凝土隔开,如图 3(JGJT 199-2010 型钢水泥土搅拌墙技术规程中规定型钢与冠梁间的隔离应采用不易压缩的材料)。将该围护体系与传统灌注桩+内撑的支护体系相比的优越性主要体现在:其 H 型钢在工程结束后可拔出再利用,材料损耗小、既节约造价,缩短工期,又环保节能。因此,该围护体系广泛应用于基坑支护工程中。

### 1.2 受荷机理

H 型钢排桩和型钢水泥土搅拌墙内撑支护体系中,冠梁将各个 H 型钢桩连接在一起形成整体,提高围护结构的整体刚度,改善 H 型钢桩的受力性能和变形形态,H 型钢桩的受力简图如图 4 所示。通常冠梁起到约束 H 型钢桩顶位移的作用,导致冠梁产生内力。冠梁所受荷载的传递路径为:土压力→H 型钢桩→冠梁→支撑构件。此

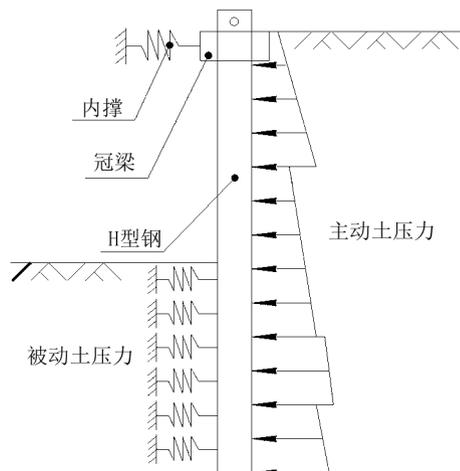


图 4 H 型钢桩受力简图

Fig.4 Mechanical diagram of H typed steel pile

时,冠梁可近似视为多跨连续梁或平面刚架计算, 中穿 H 型钢混凝土冠梁简化示意图如图 5。

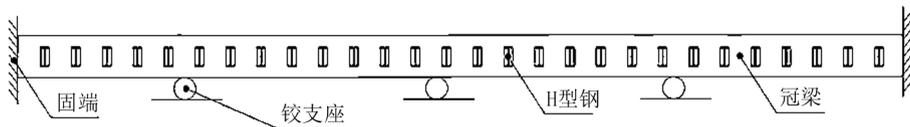


图 5 中穿 H 型钢混凝土冠梁简化示意图

Fig.5 Simplified schematic of concrete top beam entering through H-beams

## 2 工程应用中存在的问题

### 2.1 冠梁在 H 型钢处常出现裂缝破坏

混凝土冠梁中部穿过 H 型钢,为了防止 H 型钢与混凝土浇筑在一起,方便后期回收型钢,实际工程中通常在 H 型钢四周用泡沫塑料(或硬质材料)与混凝土隔开,使得混凝土与 H 型钢之间存在一定的缝隙。工程实践过程中常发现冠梁在与 H 型钢交接处经常出现裂缝破坏,如图 6。其典



图 6 冠梁裂缝

Fig.6 Diagonal crack of top beam

型裂缝破坏模式如图 7。冠梁混凝土在 H 型钢的作用下,由于断面严重削弱,首先由内角处出现混凝土裂缝,随着剪力增大,裂缝逐渐向冠梁边沿延伸,甚至出现向对角延伸并贯穿冠梁整个高度,出现冠梁斜截面破坏,如图 7(a);第 2 种情况是由于中穿冠梁的型钢间距较密,两型钢间混凝土面积很小,型钢间箍筋配筋量不足,在 H 型钢和支撑的相互作用下,H 型钢桩间混凝土极易导致图 7(b)所示的撕裂裂缝,从而影响冠梁的整体性;第 3 种情况是由于 H 型钢施工偏位,型钢翼缘外冠梁混凝土厚度不足,导致 H 型钢作用下冠梁冲切引起混凝土裂缝或破坏,如图 7(c);第 4 种情况是对于圆拱型冠梁,由于中穿 H 型钢造成冠梁抗压截面的削弱,可导致型钢翼缘外混凝土被压碎破坏,如图 7(d)。

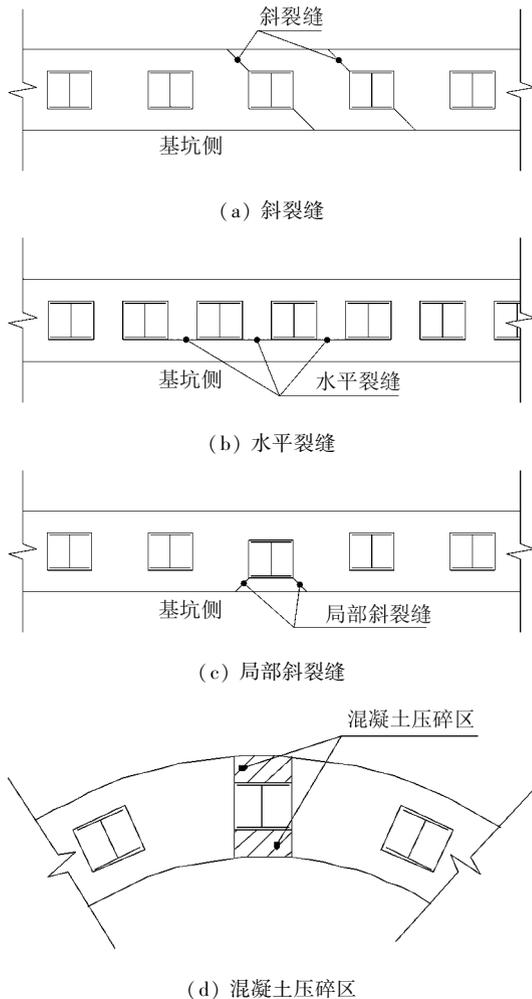


图 7 典型裂缝形式

Fig.7 Typical fracture form

### 2.2 设计方法不完善

基坑支护工程是一项复杂的系统工程,它与场地的地质条件、周边环境、工程规模、支护方法和开挖深度、施工方法和土方运输等密切相关。目前主要的基坑支护设计软件:如 Midas geox 基坑支护设计平台、理正深基坑支护设计软件、启明星基坑支护设计软件等均未考虑中穿 H 型钢对冠梁截面削弱情况下的冠梁设计计算方法。规范

指出了“冠梁的高度和宽度应由设计计算确定,计算时应考虑型钢穿过对冠梁截面的削弱影响”,但并未明确计算内容和计算方法。

中穿 H 型钢混凝土冠梁实际受荷局部示意图如图 8。由于目前缺少专门针对中穿 H 型钢冠梁的设计理论,岩土工程师采用深基坑软件进行 H 型钢排桩和型钢水泥土搅拌墙内撑支护体系设计时,先按照合力等效的原则对荷载进行简化,简化受荷如图 9,再将中穿 H 型钢混凝土冠梁按照普通的混凝土矩形实体冠梁进行设计计算。同时,为了考虑中穿 H 型钢的影响,仅按照经验在 H 型钢两侧加密箍筋(如图 10),或对 H 型钢翼缘外冠梁混凝土进行构造加宽。

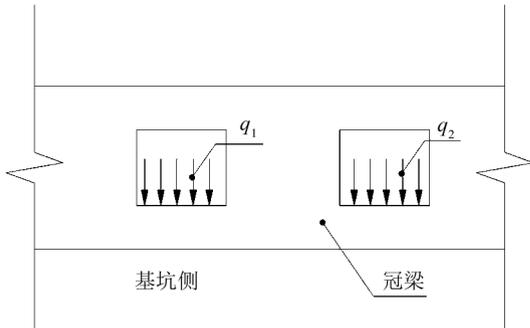


图 8 实际受荷示意图

Fig.8 Local schematic of actual load

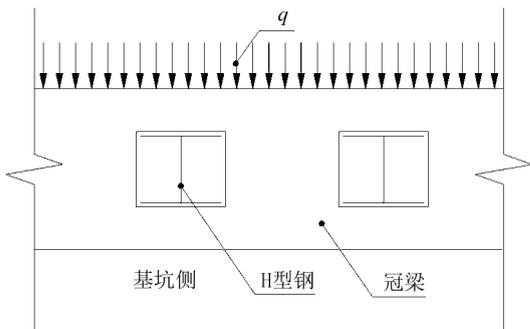


图 9 简化受荷示意图

Fig.9 Simplified local schematic of load

该设计方法存在以下问题:

1) 未考虑中穿 H 型钢对混凝土冠梁截面强度和刚度的影响。与普通混凝土冠梁相比,中穿 H 型钢截面削弱后,其受力性能和整体刚度变差,尤其在 H 型钢密布时更为突出。在中穿 H 型钢处极易存在应力集中而局部破坏,而在支撑节点两侧极易出现剪压(拉)破坏,其破坏模式更为复

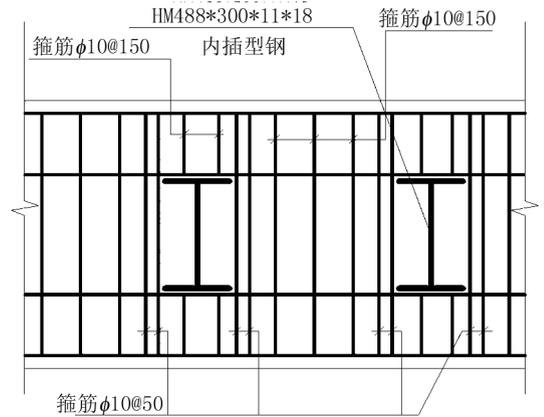


图 10 冠梁配筋设计示意图(单位:mm)

Fig.10 Schematic of the design of top beam reinforcement(unit:mm)

杂,与未削弱计算模型有很大的差异。可见,按照目前的设计方法存在一定的安全隐患。

2) 按照经验在 H 型钢两侧加密箍筋和加厚翼缘外的混凝土,对考虑中穿 H 型钢的影响有一定益处,但存在盲目性。实际工程中发现,型钢的间距和型号不同,其截面削弱影响的差异很大。而施工过程中 H 型钢的偏位以及隔离材料的厚度可能影响更大。

### 3 设计方法建议

针对上述问题,建议设计中穿 H 型钢混凝土冠梁时,荷载等效不能简单地按照普通混凝土矩形实体截面设计,应考虑中穿 H 型钢对混凝土冠梁截面削弱后的强度、刚度影响及破坏模式。

#### 3.1 普通混凝土冠梁矩形实体截面设计方法

将中穿 H 型钢混凝土冠梁按照普通混凝土冠梁矩形实体截面进行整体计算,按相应的内力(轴力、剪力和弯矩)进行矩形实体截面验算与配筋,考虑截面削弱因素,需增加以下几个方面的验算:

1) 斜截面按扣除削弱面积后进行剪压(拉)强度验算。验算截面主要是在支撑点两侧,剪力可以采用实体连续梁计算的剪力值。

2) H 型钢翼缘外混凝土进行抗冲切验算。可按图 8 所示局部均布荷载进行翼缘外混凝土的抗冲切能力验算。

3) 桩间冠梁混凝土抗拉强度验算。此时,计算宽度可取两相邻支撑点距离,荷载取图 8 荷载值,对桩间混凝土进行轴心抗拉强度验算。

4) H型钢翼缘外混凝土压(拉)弯强度验算。对圆拱(抛物线拱、椭圆拱)形冠梁或两斜撑间的冠梁段,尚应进行压(拉)弯强度验算。

由于扣除削弱面积后,桩间混凝土和H型钢翼缘外混凝土的构件截面较小,因此,在验算时宜结合地区质量水平和工艺水平,考虑一定的偏心距影响或截面调整系数。

### 3.2 其他设计方法

#### (1) 刚架计算法

当冠梁桩间混凝土宽度大于 $1/2$  H型钢高度时,可将穿H型钢混凝土冠梁视为混凝土刚架进行截面验算。其中H型钢翼缘两侧混凝土构成两根刚杆,H型钢间的混凝土视为与两根刚杆构成刚节点,荷载按图8所示局部均布(或简化为集中)荷载考虑。根据不改变结构的主要受力及变形特征的原则简化得到刚架的计算简图,采用矩阵位移法等方法计算该刚架内力,进而进行截面设计。

#### (2) 组合结构计算法

当冠梁桩间混凝土宽度小于 $1/2$  H型钢高度时,可将穿H型钢混凝土冠梁视为组合结构进行截面验算。其中,H型钢翼缘两侧混凝土构成两

根连续(深)梁,H型钢间的混凝土视为与两根连续(深)梁构成较节点,荷载按图8所示局部均布(或简化为集中)荷载考虑。根据不改变结构的主要受力及变形特征的原则简化得到组合结构计算简图,采用矩阵位移法等方法计算该组合结构内力,进而进行界面设计。

#### (3) 有限元计算法

采用有限元软件对中穿H型钢混凝土冠梁进行非线性分析。研究混凝土及钢筋的应力、应变规律及塑性区,找出其最危险截面,分析最可能的破坏模式。最后,根据最可能的破坏模式进行设计计算。

## 4 结论

中穿H型钢混凝土冠梁一定程度上削弱了冠梁的强度、刚度,尤其在H型钢密集布置时影响较大。采用传统的矩形实体截面设计,在工程应用中存在裂缝、压碎和破坏等安全隐患。建议采用普通混凝土冠梁矩形实体截面设计方法时,应对可能出现的破坏模式进行截面复核算。有条件时可结合有限元计算法、刚架计算法和组合结构计算法进行复核算。

## 参考文献:

- [1] 陈茂德,李铁军. SMW工法及H型钢内支撑在武汉某深基坑支护工程中的应用[J]. 土工基础,2001,15(1):28-32.
- [2] 胡强,顾建华,朱大宇,等. SMW工法围护结构+斜撑体系在基坑工程中的应用[J]. 建筑施工,2005(9):15-17.
- [3] 周乐敏. SMW工法围护与钢、混凝土混合支撑体系在大型深基坑施工中的应用[J]. 建筑施工,2008(2):91-94.
- [4] 张忠苗,赵玉勃,吴世明,等. 过江隧道深基坑中SMW工法加钢支撑围护结构现场监测分析[J]. 岩石力学与工程学报,2010(6):1270-1278.
- [5] 李灿峰,李鹏. 复杂环境下圆环内支撑结合SMW工法应用技术[J]. 施工技术,2012(7):41-43.
- [6] 林希鹤. SMW工法桩与内支撑支护在复杂环境深基坑工程中的应用[J]. 福建建筑,2013,182(8):75-78.
- [7] 陈煜. 长沙市某基坑桩顶冠梁对基坑支护影响分析研究[D]. 长沙:中南大学,2014.
- [8] 王建军,石东山,黄强. 深基坑支护工程冠梁内力现场试验研究[J]. 建筑科学,2006(4):43-46.
- [9] 吴雄志,白金杰,贾志刚,等. 桩锚支护体系冠梁水平位移试验研究[J]. 河北工程大学学报(自然科学版),2008(4):4-6.
- [10] 邵永健,翁晓红,劳裕华. 混凝土结构设计原理[M]. 2版. 北京:北京大学出版社,2015:125-126.

(责任编辑:陈雯)