

DOI: 10.7672/sjgs2019150040

大型无粘结预应力型钢混凝土反力墙施工技术*

李洪¹, 刘天苹², 罗传玲¹, 蒋永金¹, 蒋晓蓉¹, 王扬¹

(1.重庆建工集团股份有限公司, 重庆 401122; 2.中国科学院力学研究所, 北京 100190)

[摘要] 主要介绍大型无粘结预应力型钢混凝土反力墙施工技术, 运用 BIM 技术对反力墙结构中复杂的钢骨架、预埋件、预应力筋束、普通钢筋进行优化布置、深化设计、施工模拟及可视化交底。通过设置预埋件支撑钢架及可调式双螺母螺栓, 安装固定预埋件, 使预埋件位置易于调节, 精度易于控制。研究墙内水平、竖直双向双层无粘结预应力筋束张拉方案, 采用合理的模板及自密实混凝土浇筑技术, 确保反力墙表面平整度、垂直度满足高精度要求。

[关键词] 反力墙; 型钢混凝土; 预应力; 建筑信息模型; 施工技术

[中图分类号] TU755

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-8498(2019)15-0040-05

Construction Technology of Reaction-force Walls with Large Unbonded Prestressed Steel-reinforced Concrete

LI Hong¹, LIU Tianping², LUO Chuanling¹, JIANG Yongjin¹,
JIANG Xiaorong¹, WANG Yang¹

(1. Chongqing Construction Engineering Group Co., Ltd. Chongqing 401122, China;

2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: In this paper, through the use of BIM technology, the steel skeleton, embedded parts, prestressed tendons and steel bars in the reaction-force wall structure are optimally arranged, deepening design, construction simulation and visualization. By setting the embedded part supporting steel frame and the adjustable double nut bolt, and installing the fixed embedded part, the position of the embedded part can be easily adjusted, and the precision is easy to control. In this paper, the horizontal vertical bidirectional double-layer unbonded prestressed tendon bundle tensioning scheme in the reaction-force wall is studied. By reasonably setting the template and self-compacting concrete pouring technology, it is ensured that the surface flatness and verticality of the reaction-force wall meet the high precision requirements.

Key words: reaction-force walls; steel reinforced concrete; prestressing; building information modeling (BIM); construction

0 引言

实验室反力墙结构属于受力特别复杂的大型特种结构, 该结构承受荷载大, 但要求变形小, 在使用条件下处于弹性状态^[1], 须一次浇筑成型, 不允许开裂, 且需施加预应力, 故施工难度较大^[2]。为满足承载力和刚度要求并控制裂缝的产生, 目前反力墙多采用无粘结预应力钢筋混凝土结构, 如东南大学结构实验室和同济大学新建多功能振动试验中心, 其竖向预应力筋均为单层轴心筋方式布

置^[3-4]。随着大功率作动器的出现, 大型无粘结预应力型钢混凝土反力墙考虑受力需求, 墙内水平、竖直方向均设置双层无粘结预应力筋束, 同时墙内密集设置竖向型钢骨架, 共同参与受力。

1 工程概况

重庆交通大学土木建筑工程专业教学实验基地是国家重点实验室基地, 该工程隧道实验室总建筑面积 4 380.95m², 为多层公共建筑, 由试验区及非试验区组成。试验区长 23.82m、宽 20.10m、高 12.3m, 底板厚 2.8m, 中间为长 14.82m、宽 11.1m、高 12.3m 的矩形空洞, 作为隧道实验室三维试验系统。试验区由 4 片剪力墙构成, 呈[]形悬臂结构, 端部嵌固于底板上, 长短反力墙尺寸分别为 14.82m

* 重庆市建设科技计划项目(2018-0561)

[作者简介] 李洪, 教授级高级工程师, E-mail: 2320803325@qq.com

[收稿日期] 2019-03-12

(长)×9.5m(高)×1m(厚),11.1m(长)×9.5m(高)×1m(厚)均属于大型无粘结预应力型钢混凝土反力墙,反力墙内布置间距0.6m×0.6m的加载孔预埋件,共1332个(见图1)。

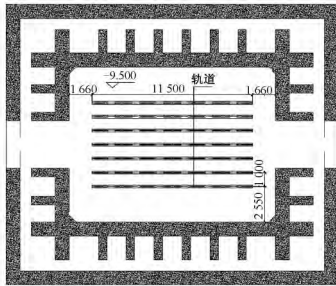


图1 反力墙平面布置

Fig.1 Layout of reaction-force walls

2 施工特点与难点

1) 预埋件定位精度要求高 根据设计要求,加载孔预埋件安装中心偏差限值为±1.5mm,其余各项指标允许误差为0.5mm。

2) 模板体系要求高 反力墙墙面平整度误差限值为±1.5mm,反力墙墙面垂直度误差限值为±1.5mm,墙厚达1m,对模板产生的侧压力较大。

3) 施工方案优化要求高 反力墙内部加载孔数量多,且布置了大量用于受力的型钢骨架、双层双向预应力筋束及非预应力筋网,纵横交错,施工难度大。如何有效避免钢骨架、预埋件、结构钢筋的碰撞及优化施工方案是本工程的难点。

4) 自密实性要求高 因反力墙结构内部劲性钢骨架及钢筋密集,不利于混凝土振捣密实,因此采用自密实混凝土。

3 主要施工技术

3.1 工艺原理

利用反力墙内可承受荷载的密集型钢,设置预埋件支撑钢架。通过研究墙内双向双层无粘结预应力筋束张拉方案,最终确定采用水平预应力筋自下而上张拉、竖向预应力筋自中间向两侧对称张拉的方案,使预应力值均匀准确,提高反力墙刚度、抗裂性能及承受动荷载的能力。通过设置可调式双螺母螺栓,并安装固定预埋件,使预埋件位置易于调节,精度易于控制。通过采用光面桥梁模板及槽钢作为次楞、双肢钢管作为主楞、配套穿墙螺栓加固等技术,确保模板具有足够的刚度和稳定性。通过采用自密实混凝土,确保反力墙表面平整度、垂直度达到高精度要求^[5]。

3.2 施工工艺流程

大型无粘结预应力型钢混凝土反力墙施工工艺流程如图2所示。

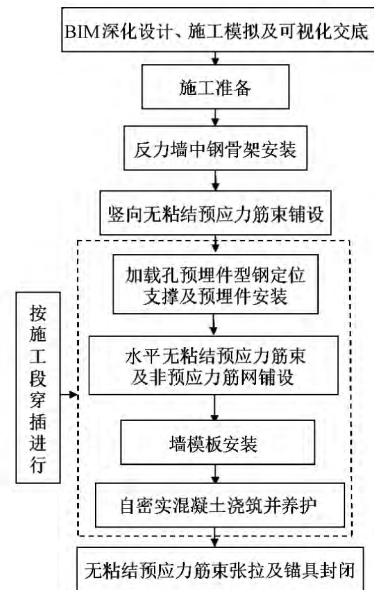


图2 施工工艺流程

Fig.2 Construction process

3.3 BIM技术的应用

反力墙内部结构复杂,需在施工前准确预留孔洞,明确所有钢骨架、预埋件、预应力筋束、非预应力筋网的位置。

1) 根据设计图纸利用BIM技术进行三维建模,建立钢骨架、预埋件、预应力筋束、普通钢筋、混凝土结构模型。对预埋件进行立体分析,保证预埋件定位准确,深化设计预埋件定位安装装置,分析预埋件锚固及稳定情况。将模型导入碰撞检查工具进行碰撞分析,检查各构件关系及构件间有无碰撞,根据分析结果优化预埋件布置,同时指导现场无粘结预应力筋穿束。

反力墙钢筋布置如图3所示,当预应力筋束与钢骨架或预埋件位置发生冲突时,对预应力筋束位置进行调整。当钢筋穿越型钢立柱时,在型钢立柱上开孔(见图4),钻孔直径宜取预应力筋束外径+15mm或非预应力筋直径+10mm。为保证混凝土的流通性,在型钢立柱腹板上设置混凝土流通孔,直径取100mm。

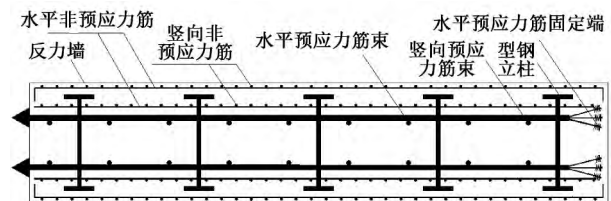


图3 反力墙钢筋布置

Fig.3 Layout of steel bars in reaction-force walls

2) 应用BIM 5D对反力墙施工过程进行模拟,划

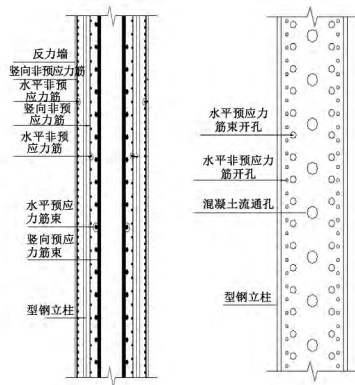


图 4 型钢立柱开孔

Fig.4 Holes of columns

分施工段,优化施工方案。为满足自密实混凝土温度控制及模板稳定性要求,反力墙施工段高度 $\leq 4\text{m}$ 。

3) 采用三维可视化技术交底,使施工人员更加直观清楚地掌握施工要点,确保施工质量和进度。

3.4 施工准备

3.4.1 钢骨架加工制作

反力墙中钢骨架主要构件为型钢立柱。型钢立柱选用非标准型号 H 型钢,需由钢板焊接而成。在腹板上钻预应力筋束钢筋孔、非预应力筋孔、混凝土流通孔,在腹板及翼缘上完成栓钉焊接工作。

3.4.2 预埋件精加工

加载孔预埋件为曲面钢管镀锌埋件,采用 Q235B 级电焊钢管制作,经热浸镀锌处理,镀锌层表面要求光滑美观、光泽一致、无皱皮、无裂缝、无毛刺,锌层厚度 $>85\mu\text{m}$ 时符合国家标准。预埋件加工制作精度要求为:反力台座加载孔预埋件端板平面度误差限值为 $\pm 0.5\text{mm}$,长度偏差限值为 $\pm 1\text{mm/m}$ 。

3.4.3 钢绞线施工

1) 无粘结预应力钢绞线下料长度 $L = \text{图纸尺寸} + L_1 + 100\text{mm}$, L_1 为千斤顶工作长度,100mm为固定端至锚具的预留长度。

2) 下料时采用钢筋专用切断机切割,同时检查钢绞线外观,不合格者不得使用。

3) 下料后使用割刀打开预应力筋一端的塑料套,打开长度取挤压锚长度+5mm(外露长度)。依次套上固定端螺旋筋、承压钢板和挤压锚,将挤压锚置于挤压专用设备进行挤压固定。安放承压钢板时须与预应力筋保持垂直,防止钢绞线张拉时钢板切断预应力筋。

4) 按设计要求用扎丝将 N 根预应力钢绞线绑扎成束,按类别对预应力筋束进行编号、标识,捆绑点进行包裹防护后运至待安装位置。

3.5 钢骨架安装

1) 测量放线 当墙底板钢梁施工完成,与施工图纸对比无误后,在底板上利用经纬仪及现场定位轴线弹出钢柱边线,并做好标记。将 1 根 75×5 沿标记焊接在水平钢梁上,作为控制钢柱的边线。

2) 吊装 钢柱吊装采用直吊法,钢柱起吊时钢丝绳固定在起重机吊钩上,起重机收钩直至柱身呈直立状态,当柱吊离地面 50cm 时应停机检查吊索具是否安全可靠,确认无误后升至安装高度,移至就位柱上方。

3) 钢柱校正 钢柱就位后沿钢柱双向架设光学经纬仪,并用 4 根 $\phi 10$ 钢丝绳作为缆风绳,结合花篮螺栓调整钢柱垂直度,垂直度偏差限值为 $\pm 1.0\text{mm}$ 。垂直度调整完成后,松开缆风绳,使柱身呈自由状态,再使用经纬仪进行复查,如有偏差,重复上述过程,直至满足要求。

4) 钢柱固定 焊接柱根部与底板钢梁,以固定型钢柱。同时每榀钢柱加装 $[10$ 作为临时斜支撑,临时支撑上端焊至竖向钢柱 $1/3$ 高度处,下端焊至底板水平钢梁上,与底板水平钢梁成 60° 角。第 1 施工段混凝土浇筑完成养护 14d 后拆除临时斜支撑。

3.6 竖向无粘结预应力筋束铺设

1) 墙体中的型钢骨架安装至反力墙顶部,作为固定安装预应力筋的支撑。如果型钢分层安装,则需另行搭设预应力筋支撑架。

2) 竖向无粘结预应力筋束设计为直线束型,预应力筋束线形的竖向定位尺寸为束中心至构件边缘面的垂直距离,铺设允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ 。铺设时应严格按照设计要求的直线形状就位,并与定位支架钢筋可靠绑扎。

3) 将固定端及张拉端承压板焊接固定在周围钢筋上,避免其他工序造成预应力筋束移位。

4) 所有预应力筋应在区域图内进行编号,便于后续张拉及资料整理。

3.7 预埋件定位及安装

1) 加载孔预埋件定位安装装置如图 5 所示。

2) 左右定位角钢在地面焊接于定位支撑钢梁上,角钢与加载孔预埋件预留 5mm 间隙。利用测量设备、地面轴线控制网、线锤定出支撑钢梁位置,然后将支撑定位钢梁焊接在型钢立柱上。

3) 安装反力墙加载孔预埋件 在支撑定位钢梁及左右定位角钢的槽口处安装加载孔预埋件,使其与支撑定位钢梁有 5mm 间隙,利用双螺母螺栓固定。反力墙加载孔预埋件自两端向中间进行安装,通过拉通线检查调整。

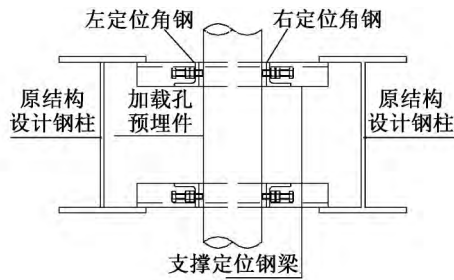


图5 加载孔预埋件定位安装示意

Fig.5 Positioning and installation of the embedded parts for loading parts

1个加载孔预埋件通过前后2层、左右及下方3个方向的6根可调双螺母螺栓进行位置精确调整并固定。通过调节支撑定位钢梁上的双螺母螺栓精确调整预埋件上下位置;调节左右定位角钢上的双螺母螺栓精确调整预埋件左右位置,直至满足精度要求。

3.8 水平无粘结预应力筋束及非预应力筋网铺设

水平无粘结预应力筋束锚固端和张拉端大样图与竖向无粘结预应力筋束一致,施工要点也相同。但需注意水平双层预应力筋束穿越型钢时应防止预应力筋束穿孔造成外套胶皮损坏。

非预应力筋网的绑扎与普通钢筋混凝土结构中钢筋网绑扎基本相同,但需注意应避免加载孔预埋件及型钢柱栓钉。

3.9 墙模板安装

反力墙墙体厚度大,对模板产生的侧压力较大。为保证混凝土表面平整度和垂直度满足设计要求,需对普通模板进行改进,确保模板刚度满足需求,从而保证反力墙表面平整垂直。

1) 采用光面桥梁模板,厚度宜取15mm。

2) 槽钢作为次楞,竖向等间距铺设,净距宜取150mm。双肢钢管作为主楞,水平等间距铺设,净距宜取500mm。配套穿墙螺栓加固模板,螺栓间距宜取600mm。

3) 墙体侧面设置钢管斜支撑,与穿墙螺栓形成一拉一顶的整体支撑体系。斜撑采用大直径($\geq 48\text{mm}$)钢管,钢管顶部设有可调高度的U形托,通过U形托顶紧双钢管主楞,2层及以上模板通过下部加载孔临时固定组合支架进行安装。

3.10 自密实混凝土浇筑及养护

3.10.1 配合比设计

为减少温度收缩、自收缩,尤其是自干燥收缩引起的体积变形,避免早期出现较大的收缩和微裂缝,采用优质水泥+超细矿物掺合料+高效减水剂+优质骨料^[6]经过多次试配,调整石、砂、水泥、外加

剂等用量,确定最终的C50自密实混凝土优化配合比。

1) 水泥选用低热硅酸盐水泥,要求3d水化热宜 $\leq 240\text{kJ/kg}$ 、7d水化热宜 $\leq 270\text{kJ/kg}$ 。

2) 细骨料采用中砂,细度模数宜 > 2.3 ,含泥量 $\leq 3\%$ 。

3) 粗骨料选用10~20mm连续级配碎石,增强混凝土在钢骨架、预埋件、预应力筋束、钢筋间的流动能力。

4) 选用HPWR-S型聚羧酸高性能减水剂及MPC型聚合物纤维膨胀剂,在确保材料质量满足要求的前提下,严格按照配合比控制外加剂用量。

3.10.2 混凝土浇筑

1) 检查模板拼缝不得有 $>1.5\text{mm}$ 的缝隙。

2) 自密实混凝土入模温度 $< 30^\circ\text{C}$,在入模温度的基础上,绝热温升值宜 $\leq 50^\circ\text{C}$,降温速率宜 $\leq 2.0^\circ\text{C/d}$ 。

3) 为满足自密实混凝土温度控制要求,一次浇筑高度不能过高,需按施工段分段浇筑(每个施工段高度宜 $\leq 4\text{m}$),每个施工段浇筑范围内尽量减少浇筑分层(分层厚度宜取1m)。反力墙内均匀对称浇筑,使混凝土重力作用得到充分发挥,并尽量不破坏混凝土整体黏聚性。

4) 使用钢筋进行插捣,并用锤子敲击模板,起辅助混凝土流动和密实的作用。

5) 自密实混凝土浇筑至设计高度后停止浇筑,20min后检查混凝土标高,如标高高低则进行复筑,以满足设计要求。

3.10.3 混凝土养护

根据文献[7]中不同养护方式下混凝土墙体温度场实测研究成果,结合本工程反力墙内复杂的结构布置情况,确定混凝土养护方案如下。

1) 反力墙采用带模养护8d,有利于墙体保温,避免墙体产生温度裂缝。

2) 第8天测量混凝土表面温度,如果测量结果显示与环境温度一致则可拆除模板,然后进行墙顶淋水湿养护,不会引起较大的温度变化,有利于控制墙体温度趋于稳定,效果良好。

3) 养护时间 $\geq 14\text{d}$ 。

3.11 无粘结预应力筋束张拉及锚具封闭

张拉前核实混凝土是否达到设计张拉强度要求,并检查结构几何尺寸、浇筑质量、承压板位置等是否满足施工要求,做好自检记录。

张拉工艺流程为:清除承压钢板上的混凝土→整理、清洁钢绞线,剥去外露钢绞线的外包塑料套皮→安装锚具、千斤顶→钢绞线装入千斤顶及工具

锚内楔紧→张拉钢绞线→伸长值校核→持荷→锚固→切割多余钢绞线→端部涂刷环氧树脂→混凝土封锚。

张拉顺序和张拉控制参数按设计要求确定,设计图纸无明确要求时按规范要求张拉,先张拉水平双层预应力筋,再张拉竖向双层预应力筋。水平双层预应力筋需该段墙体混凝土强度达到 100% 设计强度后方可张拉。张拉自下而上一次进行,将同一截面内外 2 层预应力筋全部张拉完成后再向上进行。竖向双层预应力筋张拉时从墙长的中部开始,将同一截面内外 2 层预应力筋全部张拉完成后再交叉向左右方向依次进行。

预应力筋张拉完成后,按规范要求采用机械方法切割端部多余钢绞线,严禁采用电弧切割。预应力筋外露长度 ≥ 1.5 倍直径,且 $\geq 25\text{mm}$ 。清理张拉槽孔和锚具上的杂物,按规范要求锚具及外露预应力筋上涂刷环氧树脂,作为防水防腐保护层。最后采用同等级微膨胀细石混凝土封填密实,且保证锚具端部混凝土保护层厚度 $\geq 50\text{mm}$ 。施工完成的反力墙如图 6 所示。



图 6 反力墙

Fig.6 Reaction-force walls

4 结语

实验室反力墙结构系统对预埋件精度、墙体垂直度和平整度要求高^[8],墙体施工完成后请第三方检测单位对预埋件位置及反力墙表面平整度、垂直

(上接第 39 页)

在桩基钻孔施工过程中随机抽取不同地质条件下的泥浆进行性能指标试验,发现其均满足规范要求。

4.2 技术创新

针对工程特殊的地质条件,通过提前对桩基周边孔壁进行钻孔压浆作业,使桩周边土固结,提高桩孔成孔质量及成桩质量。

5 结语

以太原老旧城区某改扩建工程为依托,针对老旧城区复杂地质条件及周边环境条件下基坑施工重难点,创新性地采用型钢桩间干拌砂浆重力埋压法、带滤料的整体式临时集水装置、桩周边孔壁加

度进行检测。经检测,预埋件平面位置偏差控制为 $\pm 1.5\text{mm}$,墙面平整度及垂直度误差控制为 $\pm 1.5\text{mm}$,满足设计要求。

1) 利用 BIM 技术进行施工模拟及深化设计,精确布置反力墙复杂构件,有效规避钢骨架、预埋件、预应力筋束、非预应力筋网的碰撞,避免返工。

2) 加载孔预埋件位置可通过双螺母螺栓调节,确保定位准确。

3) 采用光面桥梁模板体系,相对于钢模板可节约成本,相对于普通木模支撑可提高刚度及稳定性,且能保证墙体表面平整度、垂直度。

4) 自密实混凝土浇筑技术使混凝土填充密实,同时避免机械振捣引起的预埋件及预应力筋束位置变化。

5) 选用合理的水平、竖直双向双层无粘结预应力筋束张拉顺序可使预应力值均匀准确,提高反力墙刚度、抗裂性及承受动荷载的能力。

参考文献:

- [1] 李玉兵.大型预应力箱型反力墙设计方法及力学性能研究[D].武汉:武汉理工大学,2015.
- [2] 江怀燕.某高校大型试验加载反力系统施工关键技术[J].施工技术,2018,47(20):47-51,133.
- [3] 陈云滢.大型预应力反力墙施工技术分析与研究[D].南京:东南大学,2016.
- [4] 阮永辉.同济大学新建多功能振动试验中心结构设计[J].建筑结构,2017,47(16):30-33.
- [5] 重庆建工集团股份有限公司.重庆交通大学土木工程专业教学实验基地“隧道实验室预埋件、预应力及模板专项施工方案”[R].重庆:重庆建工集团股份有限公司,2017.
- [6] 余成行,洪敬福,王友超.低收缩 C70 自密实大体积混凝土的配制[J].混凝土,2015(10):102-108,112.
- [7] 李翠翠,吕春辉,张同波.养护方式对大体积混凝土墙体温度场影响试验研究与分析[J].施工技术,2016,45(18):88-92.
- [8] 赵阳,闫浩,盛伟严.某大型混凝土反力系统施工技术[J].施工技术,2017,46(3):51-54,127.

固技术等多项技术解决施工难题,工程实践证明施工效果良好。

参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院.混凝土结构工程施工质量验收规范:GB 50204—2015[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [2] 中国建筑科学研究院.混凝土结构工程施工规范:GB 50666—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [3] 中国建筑科学研究院.建筑基坑支护技术规程:JGJ 120—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [4] 胡亚东.深基坑止水帷幕失效原因分析及抢险措施研究[J].施工技术,2019,48(1):50-52.
- [5] 中国建筑科学研究院.建筑地基处理技术规范:JGJ 79—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [6] 毛志兵.地基基础工程细部节点做法与施工工艺图解[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.