

多层钢结构模块化吊装施工技术研究

夏颀
中铁十局集团有限公司

摘要：近年来工业厂房开始大规模采用钢结构形式，随着建设用地越来越紧张，为提高土地利用率，多层钢结构比例越来越高。此类多层钢结构建筑在高层吊装的过程中需要大量高空作业、高空动火，面临的安全风险非常高。经实践证明解决这一问题最有效的方式是把部分高空拼装作业转化为地面预先拼装，形成组合式构件模块化吊装，既保证安装精度、作业安全，又可提升效率、降本增效。

关键词：多层钢结构；屋面构件；模块化；吊装

一、引言

多层钢结构高层构件吊装具有如下特点：1) 单根钢柱安装为不稳定的自由端结构，柱脚焊接变形不可控，导致柱顶位置定位难度大，影响上层钢梁精度；2) 独立柱卸吊钩时需要工人爬上此钢柱，安全风险极大，安装上层钢梁时钢柱顶端只能站在爬梯上无工作平台，梁柱节点安装作业危险性极高；3) 单构件吊装作业效率低，高空作业频次高，吊车台班消耗量大。采用部分构件地面预先拼装，模块化吊装可有效地解决此类问题，但是模块化吊装需要详细的技术部署。本文以我公司PP0样车试制车间项目为例进行介绍说明。

二、多层钢结构模块化吊装优势

1) 确保安装精度。在地面拼装形成门式构件模块，可更好控制构件尺寸、精度，同时减少空中节点安装数量，有利于后续构件安装精度；2) 降低安全风险。减少总的高空作业时间，避免了风险极高独立柱卸吊钩作业和独立柱梁节点安装作业；3) 提升安装效率。采用模块化吊装后总体吊装次数减少，部分高空作业转化为地面作业，总体效率提升，缩短施工周期；4) 节约成本。模块化吊装提升吊车工作效率，部分高空作业转化为人工效率更高的地面作业，高空拼接调整次数与难度都有所减小，总体上人工、机械均得到节约。

三、模块化吊装技术分析

1) 地面做好构件拼装胎架，加强量测确保模块的尺寸准确；2) 为避免吊装工况在模块梁柱节点产生施工荷载对高强螺栓造成损坏，地面拼装时梁柱节点采用安装螺栓，安装就位后逐孔换装高强螺栓；3) 模块吊装就位后，柱底坡口焊接采用同时两侧对称焊接尽可能减小焊接变形，并通过缆风绳实施调整钢柱垂直度，确保柱顶位置偏移在允许范围内；4) 做好每日吊装部署，确保每天下班前顶面钢梁形成稳定的方格型稳定单元。

四、工程实例

(一) 工程概况

上汽通用汽车有限公司PP0样车试制车间为三层钢结构厂房，建筑物高度23.95m，各层层高分别为一层8.25m、二层6.75m、三层8.95m；厂房建筑面积30614.52m²，南北向单跨最大跨度为15m，总跨度100m，东西向单跨跨度为9m，总跨度99m；厂房采用钢框架结构，钢柱采用箱型柱，钢梁采用焊接H型钢梁，梁柱、梁梁节点均采用高强螺栓连接；本工程钢结构总量约3900t，钢构件全部在专业加工厂加工制作，结构装配率100%。

钢柱总长25.3-27.04米，考虑钢结构吊装时受力变形以及运输方便问题，钢柱分两节加工现场拼接形式，钢柱接头设置在三层楼面标高14.82米处，接头采用现场焊接，下节钢柱长度为16.32米，构件重8吨，上节钢柱长度为8.92-10.72米，构件最重2吨，上下节钢柱各109根；楼面钢框架梁366榀，单榀重5吨；楼面次梁770榀，单榀重1.8吨；屋面框架梁183榀，单榀重2.3吨；屋面次梁77榀，单榀重2.2吨。

(二) 钢结构安装总体部署

4.2.1总体从东往西逐跨吊装，二、三层楼面钢构件采用高

空散装法进行吊装，即单根构件依次进行吊装和安装；三层钢柱和屋面钢梁部分采用模块化吊装，主要采用“门型”“7型”两种组合模块。单独安排一台25t汽车吊专门进行模块预拼装与吊装前的准备工作，主吊机全力吊装，统筹安排模块预拼装与吊装工作的关系加强工序衔接，提升整体吊装效率。

4.2.2模块数量确定：“门型”吊装模块为两根上节柱和一榀屋面钢框架拼装而成，重6.3吨，一共8组；“7型”吊装模块为一根上节柱和一榀屋面钢框架拼装而成，重4.3吨，一共80组；

4.2.3吊机选型：现场主吊采用50t履带吊，主臂长46米。

1) 起吊工况吊车回转半径12m，主臂离构件安全距离为1.5m>0.5m（规范要求最小安全距离）；2) 吊车可起重量为8.2t，起重安全系数为8.2/6.3=1.3，完全满足吊车性能要求。

另行安排一台25吨汽车吊专门进行模块预拼装与吊装前的准备工作，主吊机全力吊装，统筹安排模块预拼装与吊装工作的关系加强工序衔接，提升整体吊装效率。

(三) 模块化吊装工艺流程

模块化吊装以一个单跨屋面结构单元为单位，此结构单元完成后吊装下一个单位，循环往复完成整个屋面结构的吊装。

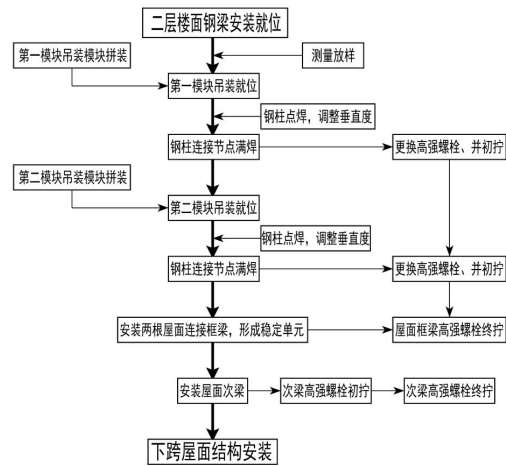


图4-2 模块化吊装工艺流程图

4.3.1 吊装准备

1) 柱顶放样：用全站仪在已安装好的下节柱顶板把柱边线放出来，并焊好定位卡销；2) 地面拼装：在预先做好的拼装胎架上拼装吊装模块，梁柱连接采用安装螺栓紧固，并校核吊装模块位置和尺寸；

4.3.2 模块化吊装

1) 绑吊装钢丝绳并装钩，起吊到对应位置，通过定位销把钢柱安装到位并点焊临时固定；2) 安装缆风绳，通过经纬仪调整好钢柱垂直度并拉紧固定；3) 焊接钢柱接头坡口焊缝，焊满



图4-3 稳定单元示意图

后吊机脱钩；

4) 逐孔用高强螺栓替换梁柱连接板上安装螺栓，完毕后把全部高强螺栓初拧到位；

4.3.3 稳定单元

为确保施工安全，部署好每天吊装计划，确保在天天下班前使屋面钢梁形成方格型稳定单元，确保隐患不过夜。

4.3.4 连接节点锚固控制

1) 连接节点处理：复核螺栓孔径孔距的偏差确保符合规范要求；检查孔边毛刺并彻底去除；检查连接板摩擦面，包括螺栓头和螺母旁边的表面，确保无氧化皮，无污物或其他杂质。

2) 临时螺栓紧固：构件连接节点在吊装的过程中会出现碰撞或动荷载的影响，为避免这些因素对连接点的高强螺栓产生损伤，影响最终的结构质量，在吊装模块拼装时采用临时安装螺栓，在安装就位柱脚焊接完成后逐孔更换为正式高强螺栓。

3) 螺栓紧固：在每个节点高强螺栓更换到位后，采用扭矩扳手把此节点全部初拧到位，初拧值为设计终拧值50%；并在24小时内完成终拧，确保节点连接达到设计要求。

(四) 安全措施

在屋面梁两头安装护笼和生命线钢丝绳，钢柱上安装止坠器与临时钢爬梯，为登高工人提供工作平台与安全设施。

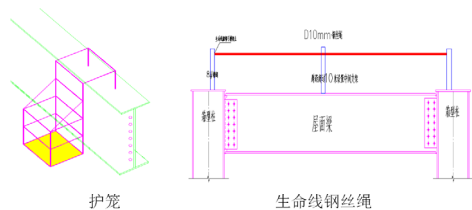


图4-4 安全设施布置图

所有登高工人佩戴双扣安全带、登高防滑鞋，保证在登高全过程安全带不脱钩；吊机配备专职指挥员，确保吊装安全；上下节钢柱连接节点不满焊完成严禁吊机松钩，严禁松缆风绳，必须在确认焊接完毕后再松钩取钩。

五、结语

本项目通过采用屋面构件模块化吊装工艺成功达到了预期效果。1) 质量上提高了安装精度，实现了高强螺栓一次穿孔率达到99%；2) 安全上减少了风险，实现了项目零事故；3) 施工效率大大提升，缩短了施工周期，同时降低了施工成本。

在多层钢结构建筑吊装施工中，模块化吊装工艺即可通过减小高空作业频次与作业危险系数来大大降低安全风险，又可通过减少高空拼装、集约化吊装实现降本增效。

参考文献

[1] 《起重机械安全规程》GB6067-2010
 [2] 《钢结构工程施工及验收规范》GB 50205-2001
 [3] 侯学钢, 大型钢结构模块化预制与吊装技术, 建筑科学, 2019年2期

(上接第43页)

溶洞的处理方法，比较常用的三种方法：

(1) 采用黏土和片石混合的方法，采用黏土和片石填充适用于溶洞高度6m以下全填充、半填充和无填充的溶洞处理，采用这样的好处在于方便、快捷，施工成本较低。

当钻孔至溶洞层时，一般护筒内泥浆会全部流失或部分，严重时会造成塌孔，这时可按照1:1的比例，采用片石加进行回填处理，溶洞较大时可加入部分水泥，回填一层、及时用钻头冲击一遍，尽量使片石和黏土处于完全的紧密状态，直至回填至溶洞顶部1~2m。溶洞回填完成后，还需要按照正常的施工方法，再次往桩基内注入稠度较大的泥浆，使其泥浆可以浸入片石缝隙内，然后采用钻头冲击，使片石和黏土挤入溶洞内，形成泥石护壁。若溶洞内泥石护壁出现漏浆时，可以反复回填处理和冲击，直至不再漏浆、正常施工为止。

高度10m以上溶洞采用回填黏土、片石处理溶洞时，钢护筒必须穿透砂砾及卵石等透水层、座落在不透水层上，尤其是多层溶洞，以防止溶洞漏水、钻孔内水头急剧下降而造成坍孔。

(2) 采用回填混凝土的方法，对于强岩溶发育区，溶蚀裂隙、溶蚀缝、溶洞、溶槽溶沟等相伴发育，现场实际是半填充或无填充溶洞时，可以采用填黏土和片石的方法难以保证满足施工要求，有可能造桩成孔后在灌注水下混凝土时孔壁被压垮，所以采用回填混凝土的方法处理效果比较明显，能确保施工顺利及质量。

(3) 预埋钢护筒的方法，在溶洞较大，洞内无填充或有流

塑充填物，漏水严重或与暗河连通时，采取片石黏土回填、灌注混凝土仍然无法成孔时，可采用预埋钢护筒施工的方法。这种方法就是一边按照施工顺序正常钻孔、一边按照实际需要加长护筒，采用打击将钢护筒下沉至已钻成的孔内或溶洞内，从而阻断溶洞内流塑充填物或水的流动，使钻孔施工得以顺利进行下去。在竖向溶洞比较多且发育的位置时，桩基设计的长度比较长，钢护筒的预埋需要分级进行，确保施工安全可靠。现场根据桩孔穿过大溶洞的数量，确定钢护筒级数，每增加一级，钢护筒内径增加0.20m，最小一级钢护筒直径大于桩径0.20m。为保证钢护筒的刚度，防止受压变形，钢护筒采用10mm以上钢板卷制。

四、结束语

本文主要分析了岩溶地区桩基础施工控制技术内容，通过本文的介绍能够对岩溶地区桩基础施工提供一定参考和帮助，对于类似地区桩基础施工具有非常重要的意义。

参考文献

[1] 梅志; 张舰. 岩溶地区桥梁基础施工技术分析[J]. 交通世界, 2017(11):15-17
 [2] 翟晓静; 张艳娟. 岩溶地区桥梁桩基础施工技术质量和质量控制探讨[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017(07):18-19
 [3] 林洲. 岩溶地区桩基础施工技术控制[J]. 中国新技术新产品, 2010(06):88-91
 [4] 张海健; 谷永煌; 杜来秋. 浅谈岩溶地区桥梁桩基础施工技术及其质量控制[J]. 科技信息(科学教研), 2007(08):18-19