

螺栓连接预制龙门架的设计与应用

李海峰, 张子伟*, 李晨阳, 倪浩然, 隗永燕

(国网北京市电力公司建设咨询公司, 北京 西城 100176)

摘要: 针对龙门架安拆存在安全风险、质量问题等现状, 提出通过螺栓连接的原理设计一种螺栓连接预制龙门架。螺栓连接预制龙门架安拆灵活方便、迅速, 不用提前做烦琐的施工准备, 不用电气焊减少废气排放, 安拆过程无动火作业, 降低现场防火、触电等安全风险, 拆除后不损伤型材, 可按原设计位置重新安装, 周转使用费用低; 可解决龙门架运输需要加长车辆的问题, 可通过螺栓连接将行走导梁分成2根, 使用普通车辆即可运输。利用 PKPM 软件建立模型并完成结构计算, 各项指标满足规范要求, 目前已在工程现场应用。

关键词: 龙门架; 预制; 螺栓连接

中图分类号: TP241.2

Design and Application of Bolted Prefabricated Gantry Frame

LI Haifeng, ZHANG Ziwei*, LI Chenyang, NI Haoran, WEI Yongyan

(State Grid Beijing Electric Power Company Construction Consulting Company, Beijing Xicheng 100176, China)

Abstract: In response to the current situation of safety risks and quality issues in the installation and disassembly of gantry frames, a bolt connected prefabricated gantry frame is proposed based on the principle of bolt connection. The installation and disassembly of prefabricated gantry frames connected by bolts are flexible, convenient, and fast. No need to make tedious construction preparations in advance, no need to perform electrical welding, and reduce exhaust emissions. There is no hot work during the installation and disassembly process. Reduce safety risks such as fire prevention and electric shock on site. After removal, the profile will not be damaged and can be reinstalled according to the original design position. Low turnover and usage costs. It can solve the problem of requiring longer vehicles for gantry transportation. The walking guide beam can be divided into two parts through bolt connection, and can be transported using ordinary vehicles. Establish a model using PKPM software and complete structural calculations. All indicators meet the standard requirements. Currently, it has been applied on site in two projects.

Keywords: gantry frame; prefabrication; bolted connection

电力浅埋暗挖隧道截面尺寸较小, 无法使用大型龙门吊等设备, 出土及物料进出一般采用型钢组装龙门架。现有龙门架立柱、主梁、横撑、剪刀撑等采用焊接或焊接与螺栓相结合的方式安装。安装过程中, 焊接接头容易产生较大的焊接变形和焊接残余应力差, 从而影响接头的承载能力、加工精度和尺寸稳定差, 同时在焊缝与配件的交界处(热影响区)产生应力集中, 对接头的疲劳断裂有较大影响。焊接接头中容易产生焊接缺陷(裂纹、气孔、夹渣、未熔合、未焊透)等。这些缺陷的存在会降低焊接接头强度、引起应力集中、损坏焊缝致密性。拆卸过程中, 需要切割架体型钢, 造成钢材截短。架体周转利用率较低、在安拆过程中须进行动火作

收稿日期: 2023-09-27

业, 存在火灾、电击伤害等风险。

针对上述缺陷和不足, 试制一种全螺栓连接的龙门架。架体通过地脚螺栓与基础固定, 各结构件及附件通过普通螺栓或高强螺栓进行连接, 解决现有龙门架安拆过程中因动火造成的一系列安全、质量问题。同时, 螺栓连接具备安拆方便、连接可靠、周转效率高、实用性较强等优点。

1 总体结构设计

针对上述现有技术的缺陷和不足, 通过螺栓连接的原理设计一种螺栓连接预制龙门架。设计依照规范、规程如下: GB 50017—2017《钢结构设计标准》、GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》、GB 50011—2010《建筑抗震设计规范(2016年版)》。

1.1 选材

立柱为 I32a 工字钢，横梁为 I32a 工字钢，导梁为 I36a 工字钢。

1.2 确定龙门架尺寸

根据电力隧道施工条件及施工经验，总长跨度 14 m，横向跨度 7 m，高度 7 m 的龙门架可满足大多数使用场景。

1.3 确定龙门架结构

龙门架共设 6 根 I32a 工字钢立柱，龙门架立柱固定在钢筋砼支墩，以支撑龙门架的自重及吊运重物时所发生的一切荷载。支墩为现浇 C30 砼，尺寸为 1.0 m × 1.0 m × 1.0 m，在基础支墩上预埋地脚螺栓，以便龙门架工字钢立柱与基础支墩牢固连接。

电动葫芦导梁（行走大梁）1 根，根据工程量大小可设为双轨（行走大梁），为 I36a 工字钢，导向梁与立柱上横梁牢固连接，横梁为 3 根 I32a 工字钢，立柱之间用 I32a 槽钢做成剪刀撑和横撑，用以保证龙门架框架的整体稳定性。

如图 1 所示，龙门架屋面及侧面封板使用彩钢板进行全封闭处理，首先在地面上使用螺栓将檩条之间连接好，随后使用吊车吊运至龙门架预留位置，采用曲臂车配合人工使用自攻螺丝将彩钢板固定在檩条上。檩条为 40 mm × 60 mm × 3 mm 矩形管，龙门架立柱上预制钢板檩托，檩条与檩托之间采用 M12 螺栓^[1]。

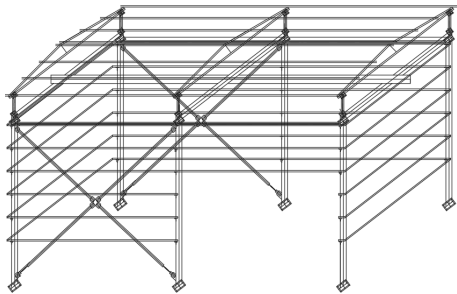


图1 立体剖面图

1.4 建模计算

使用 PKPM 软件建立模型并完成结构计算。

2 主体结构计算

2.1 结构模型概况

根据螺栓连接预制龙门架的设计结构信息，确定主体结构模型的总体信息如表 1~5 所示。

表1 总信息

设计结构	参数
构件自重/kg	4 064
混凝土密度/(kg · m ⁻³)	2 500
钢材密度/(kg · m ⁻³)	7 850
构件总数	16
节点总数	19
截面种类	2
材料种类	1

表2 设计信息

设计信息项目	参数
结构重要性系数	1.0
净截面系数	0.9
是否考虑构件自重	是
自重放大倍数	1.3

表3 风荷载信息

风荷载信息项目	参数
地面粗糙度类别	C
基本风压标准值 w ₀ /(kN · m ⁻²)	0.45
风压高度变化修正系数 η	1
风振系数 β _z	1

表4 地震信息

抗震信息项目	参数
地震计算信息	计算水平和竖向地震
竖向地震计算方法	振型分解反应谱法
竖向地震作用系数底线值	0.1
设防烈度	8度 (0.2 g)
场地类别	Ⅱ类
设计地震分组	第一组
抗震等级	二级
结构阻尼比	0.03
地震作用重力荷载代表值	恒荷载 (1)；活荷载 (0.5)

2.2 单工况内力、位移云图分析

根据实际应用情况，设定工况 5 个：恒载荷、

表5 节点坐标表

节点号	ID	X	Y	Z
1	1	0.000	0.000	0.000
2	2	0.000	0.000	7.000
3	13	0.000	3.000	7.000
4	4	0.000	6.000	0.000
5	3	0.000	6.000	7.000
6	16	3.750	3.000	7.000
7	7	7.500	0.000	0.000
8	5	7.500	0.000	7.000
9	15	7.500	3.000	7.000
10	6	7.500	6.000	0.000
11	8	7.500	6.000	7.000
12	18	11.250	3.000	7.000
13	11	15.000	0.000	0.000
14	10	15.000	0.000	7.000
15	14	15.000	3.000	7.000
16	12	15.000	6.000	0.000
17	9	15.000	6.000	7.000

活载荷、X向地震、Y向地震和竖向地震作用，运用PKPM软件建立螺栓连接预制龙门架模型，并进行内力云图、位移云图计算，如图2~图9所示，计算结果均满足设计规范、规程要求^[2]。

2.3 多工况组合内力云图分析

恒载荷、活载荷、X向地震、Y向地震和竖向



图2 恒荷载（含自重）工况轴力云图 (kN)

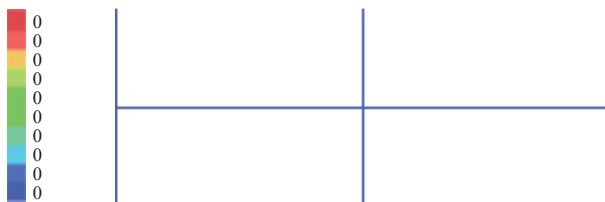


图3 活荷载工况轴力云图 (kN)

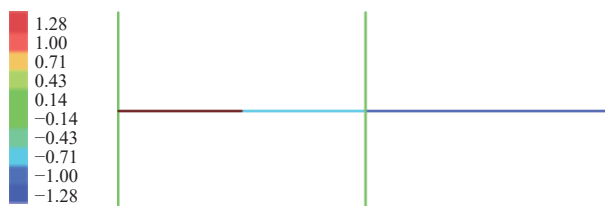


图4 X向地震工况轴力云图 (kN)

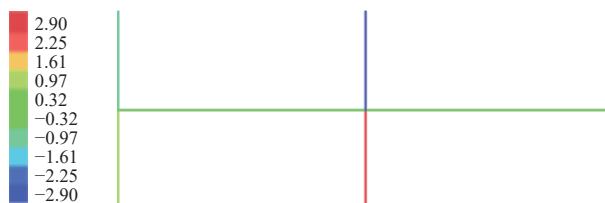


图5 Y向地震工况轴力云图 (kN)



图6 竖向地震工况轴力云图 (kN)



图7 恒荷载（含自重）工况位移云图 (mm)



图8 X向地震工况位移云图 (mm)

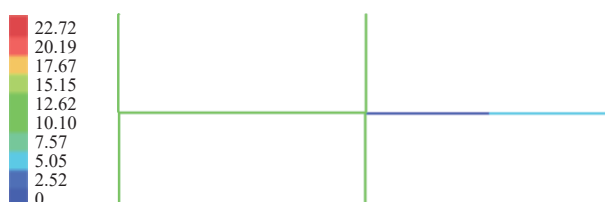


图9 Y向地震工况位移云图 (mm)

地震作用5个工况，模拟现场施工应用场景，各工况乘以系数后两两或三个间相互组合，形成46种组

合模拟应用场景，再分别进行组合内力云图计算，结果表明模型的内力分布情况符合规范要求^[3-5]。其中，极限情况出现在组合 9、组合 10、组合 31、组合 32，仍能满足规范要求，各内力云图如图 10~图 14 所示。

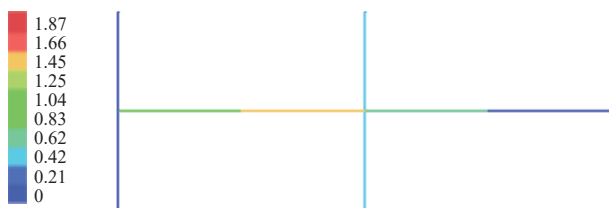


图10 竖向地震工况位移云图 (mm)



图11 组合 9: $1.2 \times$ 重力荷载代表值效应+ $1.3 \times$ X向地震+ $0.5 \times$ 竖向地震轴力云图 (kN)



图12 组合 10: $1.2 \times$ 重力荷载代表值效应+ $1.3 \times$ X向地震- $0.5 \times$ 竖向地震轴力云图 (kN)



图13 组合 31: $1 \times$ 重力荷载代表值效应+ $1.3 \times$ X向地震+ $0.5 \times$ 竖向地震轴力云图 (kN)



图14 组合 32: $1 \times$ 重力荷载代表值效应+ $1.3 \times$ X向地震- $0.5 \times$ 竖向地震轴力云图 (kN)

3 龙门架的应用

目前，姜庄湖 220 kV 输变电工程（沟道）项目 3#竖井龙门架已安装完成并投入使用，现总结了安装流程，具体内容如下。

3.1 龙门架安装整体流程

施工准备→龙门架部件安装→连接电葫芦检修平台及附属设施→安装挡土支撑及挡土钢板→龙门架试运行。

3.2 龙门架部件安装顺序

安装施工顺序为：地面组装立柱和横梁→按照顺序吊装立柱和横梁组合件→吊装导轨梁→吊装剪刀撑、连系梁。

在地面将立柱与横梁采用 M22 螺栓连接为组件，须严格控制横梁与立柱轴线垂直并居中。吊装组件至基础位置时，将其立柱底端连接钢板与基础预埋地脚螺栓连接。龙门架立柱安装过程中，如垂直度偏差不大，可通过底部增加垫块来调整，否则须将组件放平后对立柱底端进行加工处理。

吊装中间立柱，方法同两端立柱。严格控制立柱垂直度。

门框柱安装完毕后，安装导轨梁。在导轨梁顶部与横梁接触位置预制连接板，连接板与横梁采用 M22 螺栓连接。由于导轨梁跨度大，须使用两根（或多根）I36a 工字钢对接而成，连接处两侧对扣 20 mm 厚连接板，使用螺栓连接牢固。安装行走梁时，在安装行走梁先提前把电葫芦安装到比较长的一根。导轨梁吊装过程须平稳，期间信号工与吊车司机须使用对讲机随时沟通，协调一致。吊装前在导轨梁上事先进行捆绑缆风绳，用以牵引导轨梁吊运方向。

龙门架立柱上部纵向设置水平撑，水平撑采用 120 mm × 120 mm × 5 mm 方钢，剪刀撑及门框斜撑采用 12a 槽钢。水平撑、剪刀撑及门框斜撑与立柱接触位置预制连接板，连接板与立柱采用 M22 螺栓连接。

在龙门架一端设电葫芦检修平台，检修平台外侧设 1.2 m 安全护栏。龙门架出土一侧设置土仓，土仓骨架采用 I20a 工字钢预制而成。土仓立柱水平间距 2.3 m，高度 3.5 m，锚入地下深度 1 m。在距地高度 0.8 m、2.1 m 处设 2 道横杆，横杆与立柱螺栓连接。横杆内侧满铺 10mm 厚钢板。

在龙门架立柱外侧水平预制钢板檩托，钢板檩托与檩条之间采用 M12 螺栓进行连接。在地面上使用螺栓将檩条之间连接好，随后使用吊车吊运至龙门架预留位置，采用曲臂车配合人工使用自攻螺丝将彩钢板固定在檩条上，屋顶需加工成人字屋面。彩钢板封闭密实，板面之间搭接设置。待以上工作完成后，最后做龙门架调试检测工作。

3.3 验收内容

- (1) 金属结构有无开焊和明显变形；
- (2) 架体各节点连接螺栓是否紧固；
- (3) 架体的安装精度是否符合要求；
- (4) 安全防护装置是否符合要求；
- (5) 电气设备及操作系统的可靠性；
- (6) 信号及通信装置的使用效果是否良好清晰；
- (7) 钢丝绳、滑轮组的固接情况；
- (8) 提升机与输电线路的安全距离及防护情况；
- (9) 其他规定的检验项目；
- (10) 空载运行实验；
- (11) 额定载荷实验；
- (12) 超载 25% 实验。

4 主要优点

4.1 制造成本低

螺栓连接预制龙门架的构成件型号简单、统一，制造厂便于统一制造模具，大幅度降低龙门架构件制作成本，并且便于制造过程中的质量监督，间接提升螺栓连接预制龙门架的成品质量。

4.2 运输方便

改进后通过螺栓连接结构，将行走梁部位分成两根并用螺栓连接，每段最长 8 m。运输时，选择普通 6.8 m 货车运输即可，可以减少运输过程中的成本。

4.3 安、拆简单，不损伤型材

传统龙门架安、拆须要使用电气焊，作业前须进行烦琐的施工准备，作业过程中会产生废气影响环境，并且增加了现场火灾、触电等安全风险。此外，在拆除过程中，往往会损伤型材，对后续使用产生影响，降低龙门架型材周转使用次数。

螺栓连接结构的龙门架可以解决上述问题。螺栓连接结构的作业前准备工作简单，操作人工只需要扳手和安全带即可。安拆过程无动火作业，绿色环保，安全可靠。拆除后不损伤龙门架的型材，可

按原设计位置重新安装，周转使用费用低。螺栓连接结构的龙门架安拆灵活方便、迅速，整体安、拆作业时间比传统龙门架短，施工速度快，节省人力成本，大幅度缩短工期。

4.4 使用过程安全可靠

传统龙门架的上下爬梯通过钢筋焊在龙门架立柱上，改进后的螺栓连接预制龙门架选择专业爬梯，再通过螺栓连接方式将专业爬梯与龙门架立柱连接。改进后的连接方式保证作业过程中的安全距离，使脚可以完全踩到爬梯上，避免传统龙门架爬梯踏板窄往往只能脚尖着落在踏板上，保证人脚不踏空，提高上下爬梯作业人员的安全系数。

螺栓连接预制龙门架对电力线路做了专门的穿线管，且穿线管设计位置统一。电力线路穿线管设计合理，满足电力安全操作规程规定，解决电力安全操作规程规定的施工现场临时用电电缆线现场布设要求。穿线管的设计避免了作业过程中电力线路暴露在作业环境中，降低了线缆破损引发的触电风险。

减少各类风险的同时，螺栓连接结构保证龙门架结构更稳定。

5 结束语

目前螺栓连接龙门架已经在电力工程实施，有效解决了现有龙门架运输困难、安装复杂问题，提高了作业效率，降低了现场作业风险，安装灵活方便，安装进度快。

后期通过采集现场使用过程的不足、不合理之处信息，持续改进完善。

参考文献

- [1] 濮良贵，陈定国，吴立言. 机械设计[M]. 2013. 北京：高等教育出版社，2013.
- [2] 徐格宁，杜蜀，李聚轩，等. 龙门吊机门架结构的有限元分析[J]. 起重运输机械，1997 (1)：8-11.
- [3] 胡清志，王玉清，牛志立，等. 基于液压提升装置和龙门架的调相机吊装方法[J]. 中国电力企业管理，2020 (10)：88-89.
- [4] 郑楚文. 谈箱梁出坑龙门架的设计及施工[J]. 科技创新导报，2009 (5)：79.
- [5] 敬谦. 移动式龙门架的结构设计与分析[J]. 陇东学院学报，2016 (1)：91-94.

作者简介

李海峰 (1980—)，男，高级工程师，主要研究方向为电力系统安全管理、电力工程建设管理。

(责任编辑：刘艳玲)