

# 超大型主缆锚固系统分层安装施工技术

钟永新, 郑先河

(中交第二航务工程局有限公司, 湖北 武汉 430040)

**摘要:**悬索桥型钢锚固系统常采用先整体安装锚固系统后分层浇筑混凝土的施工方法, 但是对于大型锚固系统, 若采用整体安装方法, 需先安装庞大的支撑体系, 因支架自身变形大, 很难满足锚固系统精度控制要求。采用分层安装支架、分层安装锚固系统、分层浇筑混凝土的方法, 可以减小支架的变形, 增强支架的稳定性, 提高锚固系统安装精度, 节约钢材的用量。该文以某特大桥为例, 重点介绍锚固系统分层安装工艺及支架设计方法。

**关键词:**超大型锚固系统; 分层安装; 支架设计; 施工技术

## 1 工程概况

五峰山长江特大桥跨江主桥设计为 $(84+84+1092+84+84)$  m 的钢桁梁公铁两用悬索桥结构。主缆锚固系统为型钢锚固系统, 由后锚梁和锚杆组成。锚杆和后锚梁均采用钢结构制作而成, 每套系统中布置锚杆 192 根、后锚梁上 11 根。左右两根主缆锚固系统总重量 680 t。锚杆采用 H 形截面, 制造时分为两段, 上锚杆长度均为 6 m, 下锚杆长度均为 28.8 m, 后锚梁由 2 片分离的槽形梁通过缀板及牛腿连接而成, 牛腿与锚杆对应均采用 H 形截面。上、下锚杆之间及锚杆与后锚梁之间的连接均采用高强度螺栓进行连接。锚固系统结构如图 1 所示。

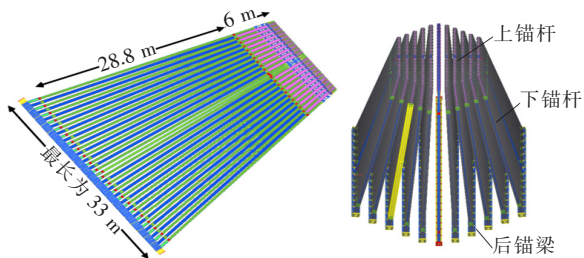


图 1 锚固系统结构图

## 2 大型锚固系统分层法安装工艺

### 2.1 大型锚固系统施工特点

(1) 锚固系统体型庞大, 若先安装完锚固系统后

分层施工混凝土, 则锚固系统支架庞大, 刚度要求大, 用钢量大。

(2) 锚梁安装精度控制锚杆安装精度, 锚梁一旦安装完成, 不具备可调性, 但是单根锚杆前端具备独立可调性, 则要求锚梁支架具备刚度大、变形小、稳定性好的特征。

(3) 锚杆有超长、柔细特点, 须多点支撑受力。锚杆的锚固端重量大, 且悬臂于前锚面外, 宜在前锚面处设置支撑点, 防止锚杆端部下挠。

(4) 锚梁支架随着混凝土浇筑, 支架及锚梁逐渐浇筑在混凝土内, 采用分层安装锚杆方式有利于支架受力。

(5) 前锚面处锚杆支架高度大, 逐层安装锚杆方式, 支架仍需支撑所有锚杆重量, 随着锚杆数量的增加, 支架的受力与变形增大, 则要求前锚面支架具备刚度大、变形小、稳定性好的特征。

### 2.2 大型锚固系统分层法安装方法

锚体混凝土分层浇筑厚度为 3 m, 每安装一批锚杆浇筑 1~2 层混凝土, 锚梁一次安装成型, 锚杆分 4 批次安装, 锚固系统分层安装步骤如下: 步骤 1: 支架安装, 锚梁安装, 第 1 批锚杆安装及混凝土浇筑; 步骤 2: 锚杆支架接高及第 2 批锚杆安装, 并浇筑混凝土; 步骤 3: 锚杆支架接高及第 3 批锚杆安装, 并浇筑混凝土; 步骤 4: 锚杆支架接高及剩余锚杆安装, 并浇筑混凝土。



前端支腿暂不安装,此时考虑安装底部 14 排锚杆;第 2 阶段完成锚体第 5 层混凝土浇筑,安装桁架结构前端支腿后,再安装上部 8 排锚杆。第 2 阶段结构最大综合应力为  $181.5\text{ MPa}<215\text{ MPa}$ ,为锚杆分配梁,桁架结构最大综合应力为  $152.4\text{ MPa}<215\text{ MPa}$ ,结构最大剪应力为  $61.4\text{ MPa}<125\text{ MPa}$ ,支架竖向变形为  $2.43\text{ mm}$ ,均能满足规范要求。

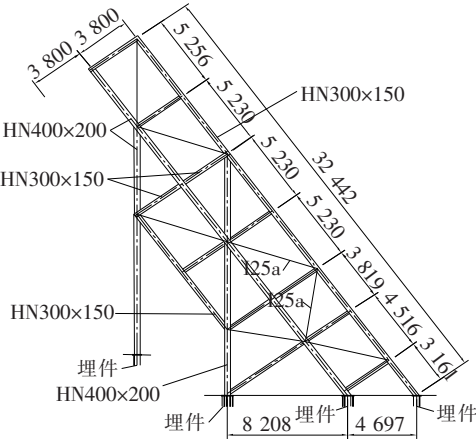


图 5 锚杆前端支架钢桁架结构图(单位:mm)

3.5 结构整体稳定性

锚杆支架整体稳定性采用 Midas/Civil 软件进行分析,对锚杆支架最不利工况进行屈曲模拟,计算结构临界荷载系数。计算结果如图 6、7 所示。

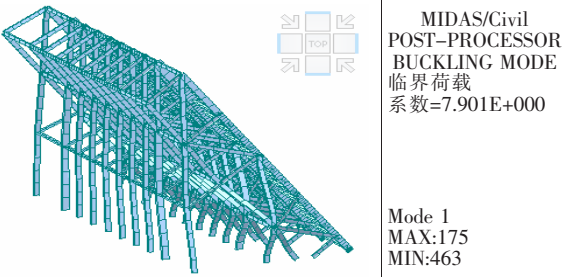


图 6 锚杆中间支架整体稳定分析结果

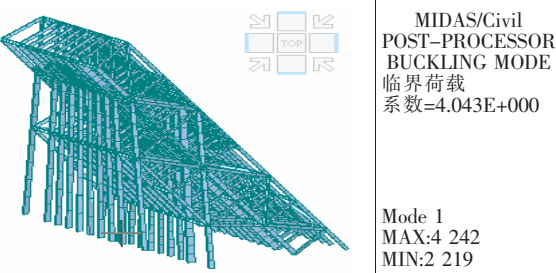


图 7 锚杆前端支架整体稳定分析结果

由图 6、7 可知:锚杆中间支架临界荷载系数为 7.9,锚杆前端支架临界荷载系数为 4.0,支架结构整

体稳定均能满足要求。

4 施工应用

4.1 支撑体系安装

五峰山长江特大桥北锚碇主缆锚固系统总高约 40 m,长度 43 m,宽度约 24 m,采用分层安装施工工艺,考虑支撑系统体型庞大,为确保支撑体系稳定及施工安全,选择混凝土台阶+型钢支架系统。

锚梁支架由 4 层混凝土台阶(总高 12 m)+6 组型钢桁架组成。左右两侧锚梁支架总重量约 70 t。先进行混凝土台阶施工,埋设预埋件,然后分组安装桁架片,并连接横梁及斜撑,锚梁支架一次安装到位。

锚杆支架由混凝土台阶(总高 12 m)+10 组锚杆支架 1、2 组成。混凝土台阶分 4 层浇筑,锚杆支架 1 分 2 次进行安装,锚杆支架 2 分 3 次进行安装。左右两侧锚杆中间支架总重量约 216 t,左右两侧锚杆前端支架总重量约 224 t。锚杆支架在胎架上加工成型后按照分段方式断开,并设置临时法兰连接,每 2 片支架加工成一组,现场分组安装,并连接横梁与斜撑。

4.2 锚固系统安装

锚梁一次安装完成,锚杆按照上述方案分 4 批次安装。锚梁最大长度达到 31.44 m,重 42.5 t,采用 250 t 履带吊进行安装,为确保锚梁不产生变形,采用四吊点进行吊装,通过滑轮自平衡吊点重心。

锚杆分段制造,现场接长,接长后的长度约为 34 m,最重为 16.5 t,采用 200 t 履带吊进行安装,为确保锚梁不产生变形,采用扁担吊具四吊点进行吊装,通过滑轮自平衡吊点重心。

4.3 测量定位方法

锚固系统安装过程中定位、精调等均以测量数据为依据,考虑温度影响,选择每天最低气温时间段 04:00~08:00 测量定位。由于后锚梁制作过程及安装中,牛腿间相对尺寸为关键控制尺寸,因此后锚梁应以两端牛腿空间位置进行定位,避免使用槽形梁上测量点进行定位。锚杆端部需设置不少于两处测量点,在测量空间定位尺寸的同时,也需确定其偏转角度是否符合设计图纸要求。实测锚梁、锚杆安装最大偏差统计如表 1 所示,均满足设计图纸要求。

5 结语

五峰山长江特大桥北锚碇锚固系统总重量为

# 桥梁静载试验方案自动布载及程序实现

苟洁<sup>1</sup>, 朱浩<sup>2,3</sup>

(1. 武汉交通职业学院, 湖北 武汉 430065; 2. 中交第二航务工程局有限公司; 3. 长大桥梁建设施工技术交通行业重点实验室)

**摘要:**为了解决桥梁静载试验中传统手工算法效率低且无法保证非控制截面内力是否超限等问题,该文基于 Matlab 程序开发平台,根据影响线基本原理,利用 Midas/Civil 桥梁模型导出的影响线,开发了一种可实现车辆自动化布载方案的计算程序。该程序能对车辆加载方案(包括车型、车间距和加载模式)进行自动搜索,并能生成相应加载方案的 Midas 静力荷载工况命令流,通过命令流与 Midas 软件可实现交互式校核,实现对控制截面和非控制截面的内力检算。以某双曲拱桥为例,开展了车辆自动化布载方案研究,结果表明:程序计算速度快,加载效率高,交互式功能可在一定程度上对相关截面进行承载能力验算,确保静载试验方案的安全性。

**关键词:**静载试验;桥梁工程;试验方案;影响线;Midas/Civil

## 1 引言

随着中国经济的高速发展,对交通运输事业的重点投入,中国逐渐成为世界桥梁大国之一。桥梁从过去的梁桥、拱桥,发展到现在的悬索桥、斜拉桥等,其形

式不再单一,结构变得独特,造型逐渐新颖。但随着技术的日益成熟,各种桥梁事故却频有发生。桥梁的建造过程或是使用过程中,其结构的整体性最为重要。桥梁竣工验收之前,桥梁静载试验是对其承载能力判定以及施工质量检验的重要途径。

桥梁静载试验因其重要性广受业内关注,但静载

表1 锚梁、锚杆安装最大偏差统计

项目	锚梁安装		锚杆安装	
	规定值或允许偏差/mm	实测最大误差绝对值/mm	规定值或允许偏差/mm	实测最大误差绝对值/mm
x 轴	±10	8.6	±10	8.0
y 轴	±5	4.1	±5	3.5
z 轴	±5	3.9	±5	4.5

6 800 t,针对此庞大工程,提出了锚固系统分层安装施工工艺,研发了混凝土台阶+型钢混合型支架系统。工程实践证明:该施工工艺可以增强支架稳定性,降低安全风险,同时形成的混合型支架系统可以减小累积变形效应,有效避免重复调整,提高了锚固系统的安装精度及安装工效。支架总用钢量 510 t,占锚固系统总重量的 7.5%,减少了钢材的用量,节约了成本。该施工工艺适用于重量大、对支架稳定性及精度要求高的

大型锚固系统的安装施工。

## 参考文献:

- [1] 马碧波,马秀君,吕建伟. 秀山大桥锚体及锚固系统设计[J]. 桥梁建设,2017(2).
- [2] 许红胜,黄娟,杨红,等. 地锚式悬索桥锚固系统施工定位支架优化研究[J]. 公路,2016(11).
- [3] 肖仕周,王强,祝长春,等. 海外大型悬索桥型钢锚固系统安装定位技术[J]. 公路,2017(11).
- [4] 葛文璇,徐贵娥,陈静. 南京长江四桥北锚碇工程锚体及锚固系统施工技术[J]. 施工技术,2012(11).
- [5] 冯玉祥,薛光雄,杨敏. 马鞍山大桥悬索桥主缆锚固系统安装工艺研究[C]. 中国交通建设股份有限公司 2013 年现场技术交流会论文集,2013.
- [6] 贾立峰,王子相. 分布传力式主缆锚固系统设计关键技术[J]. 公路,2018(7).
- [7] 方鸿斌,田明,易继武. 矮寨大桥锚碇锚固系统测量定位[J]. 中外公路,2018(5).

收稿日期:2020-03-12

基金项目:湖北省交通科技项目(编号:B2018491)

作者简介:苟洁,女,硕士研究生. E-mail:20456150@qq.com