

装配式钢台座结构优化与工程应用研究

刘 勇 王明江 陈赞赞

新疆北新路桥集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011

[摘要] 预制梁场钢台座长期采用整体焊接结构, 转运困难、局部磕碰即报废、振捣振动无缓冲, 这几个问题在新疆地区多点流转的路桥项目里尤其突出。笔者所在团队依托实际工程, 对钢台座做了模块化拆分改造: 上下台座体中间夹设带橡胶块的分隔连板, 靠矩形卡块卡槽定位、螺纹卡杆锁紧; 台座两侧设卡位块与卡位槽, 实现多台座侧向无焊接拼接。本文结合某高速预制梁场 6 套试点台座的装配、使用、拆解全流程, 给出具体装配参数、有限元验算结果和现场问题处置经验。试点数据表明, 单套拼装时间从传统的 4~6h 压缩至 1.5h 左右, 转运成本下降约 42%, 设备全周期损耗成本降低约 31%, 台面平整度稳定在 0.8mm 以内, 可满足 20m、25m 小箱梁预制要求。

[关键词] 预制梁场; 装配式钢台座; 模块化拆分; 橡胶减振; 卡接拼接; 现场试点

DOI: 10.64635/ja.2026.1520

中图分类号: U445.4

文献标识码: A

Research on Structural Optimization and Engineering Application of Assembled Steel Pedestals

Liu Yong, Wang Mingjiang, Chen Zanzan

Xinjiang Beixin Road & Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang 830011, China

Abstract: Steel pedestals in precast beam yards have long adopted integral welded structures, resulting in difficulties in transportation, scrapping after local collision damage, and lack of buffering against vibration during concrete compaction. These problems are particularly prominent in road and bridge projects involving multi-site transfer in Xinjiang. Based on practical engineering applications, the authors' team carried out modular splitting and reconstruction of steel pedestals. A separating connecting plate with rubber blocks was arranged between the upper and lower pedestal bodies, positioning was achieved through rectangular clamping blocks and grooves, and locking was completed by threaded clamping rods. Clamping blocks and grooves were arranged on both sides of the pedestal to realize lateral non-welded splicing of multiple pedestals. Taking six pilot pedestals in a highway precast beam yard as the application case, this paper presents specific assembly parameters, finite element verification results, and field problem-handling experience throughout the whole process of assembly, use, and disassembly. The pilot data show that the assembly time of a single pedestal was reduced from the traditional 4–6 h to about 1.5 h, the transportation cost decreased by about 42%, the full-cycle equipment loss cost decreased by about 31%, and the flatness of the pedestal surface remained within 0.8 mm, meeting the precast requirements of 20 m and 25 m small box girders.

Keywords: precast beam yard; assembled steel pedestal; modular splitting; rubber vibration damping; clamping splicing; field pilot application

引言

新疆地区公路项目线路长、标段分散, 一个预制梁场往往只服务某一段路基桥梁, 预制任务结束后台座就要拆走转场。混凝土台座一次性浇筑不能搬走, 浪费大; 整体焊接钢台座虽然能搬走, 但单件尺寸太大, 普通平板车装不下, 得走大件运输, 一趟运费就够买小半套新台座。更头疼的是吊装转运过程中边角一碰就变形, 整体焊死的结构修都没法修, 只能整套报废, 项目部成本核算的时候这一块一直居高不下。

笔者在参与某高速公路项目预制梁场建设时, 对传统钢台座的使用痛点做了系统梳理, 结

合新疆北新路桥集团已授权的装配式钢台座专利(CN224689270U), 在梁场布置了 6 套装配式试点台座, 从工厂加工精度控制、现场装配工艺、生产过程监测到转场拆解, 全程跟踪记录。本文就是在这些一手资料基础上整理而成, 重点讲清楚结构怎么装、受力够不够、现场用起来怎么样、出了问题怎么处理, 给同行做类似改造提供一个可参照的实例。

1 传统钢台座的使用现状与问题

1.1 工程应用概况

预制梁台座的作用说起来简单, 就是给模板和梁

体提供一个平整、结实的底模支撑,但实际用起来要求不少:台面平整度要控制在 1mm/m 以内,整体沉降不能超过 2mm,还要承受混凝土自重、振捣棒冲击、张拉时的局部集中力。钢台座相比混凝土台座的优势在于可周转,但传统做法是工厂里直接焊成一整件,运到现场吊装就位就行,前期省事,后期转运和维修全是麻烦。

笔者所在项目原计划采购 12 套传统整体钢台座,单套外形尺寸约 6.5m×1.2m×0.8m,自重约 2.1t。询价阶段运输单位反馈,这个尺寸虽然没超国家限宽标准,但高度加上车辆底板后接近限高,部分山区路段涵洞过不去,必须绕行,运费比常规货物贵 60% 以上。这也是推动我们做装配式改造的直接原因之一。

1.2 传统整体钢台座的具体问题

第一,转运吊装受限。整体台座长度 6.5m,梁场内挪位必须用 25t 以上汽车吊,而梁场场地狭窄,吊车支腿展开空间不够,每次挪位都要先清理周边材料,费时费力。转场运输时单件超长,需要办理超限运输手续,新疆地区跨地州运输手续办理周期 3~5 天,严重影响转场效率。

第二,局部损坏即整体报废。钢台座在吊装过程中边角受撞击是常事。传统整体结构的台座面板与加强肋满焊连接,边角撞变形后面板凹陷,无法校平;如果焊缝被撞裂,补焊后应力集中,使用中容易再次开裂。项目上统计过,传统台座平均周转 2 个项目就有近 30% 因局部损伤报废。

第三,振捣振动无缓冲。小箱梁浇筑时使用 50 型插入式振捣棒,振动频率约 50Hz,振动通过模板直接传递到台座钢结构。全钢刚性接触没有任何缓冲,长期使用后台座与基础接触位置焊缝容易出现疲劳裂纹。笔者在旧梁场检查时发现,使用超过 8 个月的整体钢台座,底部焊缝出现细微裂纹的比例超过 40%。

第四,多台座拼接靠现场焊接。梁场台座并排布置时,传统做法是台座之间现场焊连接板,焊接质量受工人水平和天气影响大,新疆冬季气温低,现场焊接预热不到位容易产生焊接缺陷。拆的时候要气割,割完连接板就废了,下次还得重新焊,反复切割对台座本体也有损伤。

2 装配式钢台座的结构设计

2.1 总体方案

装配式钢台座的核心思路就是“化整为零”:把原来一整件拆成上台座体、分隔连板、下台座体三个

独立部件,部件之间用卡接定位加螺栓锁紧;台座侧面做卡位结构,多台座之间横向拼接也不用焊接。拆完之后单件最大长度不超过 3.5m,普通平板车就能拉,现场用 16t 叉车配合人工就能装配。

整套装置由三部分组成:两个台座体(上下各一)、拆装吸振组件(夹在中间)、装配拼接组件(在台座两侧)。

2.2 台座体结构

台座体是主要承载件,采用 Q355B 钢板焊接而成。面板厚 12mm,底部用 10 号槽钢做纵向加强肋,间距 300mm。台座体底部焊接矩形连块,连块尺寸为 200mm×150mm×40mm,底面开矩形卡槽,卡槽尺寸 120mm×80mm×15mm,用于和分隔连板上的卡块配合定位。

台座体顶面钻第一螺孔,孔径 $\Phi 18\text{mm}$,配 M16 螺纹卡杆。螺孔上方扩孔形成第一收纳槽,槽深 20mm,螺栓拧紧后操作块完全埋入槽内,台面保持平整,不会凸出刮蹭模板。

台座体一侧焊接矩形卡位块(150mm×100mm×30mm),另一侧对应位置开矩形卡位槽,相邻台座拼接时卡位块插入卡位槽,实现侧向定位。

2.3 拆装吸振组件

拆装吸振组件是这套装置最关键的部分,既要连接上下台座体,又要起减振作用。主要零件包括:

- 分隔连板:厚 16mm 钢板,尺寸与台座体底面匹配,顶面焊矩形卡块(120mm×80mm×15mm),卡块插入台座体底部卡槽完成定位。板上钻第二螺孔($\Phi 18\text{mm}$),与台座体第一螺孔同轴。

- 矩形环卡框:焊接在分隔连板上部,用 4mm 钢板围成长方形框,内部空腔尺寸略大于橡胶块,橡胶块卡入后不松动。

- 橡胶矩形块:采用丁腈橡胶,邵氏硬度 65±5,尺寸 180mm×120mm×30mm。卡入环卡框后顶面高出框面约 5mm,装配后被上台座体底面压紧,产生预压缩,保证接触紧密。

- 第一螺纹卡杆:M16×80mm 全螺纹螺栓,顶端焊六角操作块(对边 24mm),拧紧后操作块落入第一收纳槽。

装配时橡胶块被上下挤压,振捣振动传递到橡胶层时,橡胶的弹性变形吸收部分振动能量,减少向下传递。橡胶块是易损件,老化后拆上台座直接换新,不需要动钢结构。

2.4 装配拼接组件

台座体侧面的矩形卡位块顶部钻第三螺孔(M16), 台座体上开与卡位槽连通的第四螺孔, 第二螺纹卡杆从顶面旋入, 穿过第四螺孔进入第三螺孔, 将卡位块锁紧。卡杆顶端同样有操作块和第二收纳槽, 拧紧后不凸出台面。

这种拼接方式的好处是: 卡接保证定位精度, 螺栓保证连接刚度, 全程不用焊接, 拆的时候拧出螺栓就能分开, 构件没有切割损伤, 可以反复拆装。

3 装配工艺与操作要点

装配式钢台座的装配分四步走, 现场 4 个人配一台 16t 叉车, 单套从散件到拼装完成约 1.5h。具体流程如下:

第一步, 减振件预装。把橡胶矩形块按入分隔连板上的矩形环卡框。这里要注意橡胶块的方向, 有倒角的一面朝上, 便于上台座体压入时导向。橡胶块装入后用手按压检查, 不应有松动窜动。

第二步, 上下定位。先把下台座体吊到基础上, 调整水平后, 将分隔连板放到下台座体顶面, 使分隔连板上的矩形卡块对准下台座体底部矩形连块的卡槽——这里注意, 卡槽是开在矩形连块底面的, 所以实际上是分隔连板从下方卡入, 操作时需要叉车托住分隔连板从台座体侧面推入。然后吊装上台座体, 使上台座体底部卡槽对准分隔连板顶面卡块, 缓慢落下。卡块卡槽完全配合后, 上下台座体水平方向被限位, 不会错位。

第三步, 竖向锁紧。将第一螺纹卡杆从上台座体顶面第一螺孔插入, 用套筒扳手拧入, 穿过分隔连板第二螺孔, 进入下台座体螺孔。拧紧扭矩控制在 120~150N·m (用扭矩扳手检查)。拧到位后操作块落入收纳槽, 用直尺靠在台面上检查, 操作块顶面应低于台面 1~2mm。每套台座竖向螺栓共 8 根, 沿纵向均匀布置。

第四步, 侧向拼接。相邻台座就位时, 将一台的矩形卡位块对准另一台的卡位槽推入, 到位后从顶面旋入第二螺纹卡杆锁紧。拼接缝处用塞尺检查, 最大间隙不超过 0.3mm。多台座依次拼接, 形成整条生产线。

拆卸就是逆过程: 先拆侧向螺栓分开各台座, 再拆竖向螺栓分离上下台座体和分隔连板, 最后取出橡胶块。所有螺栓拆下后涂防锈油, 和橡胶块一起装箱存放。

4 有限元验算

为确认装配式结构在实际荷载下的安全性, 用

ANSYS 做了静力和模态分析。模型参数如下:

- 台座体、分隔连板: Q355B, $E=2.06 \times 10^5 \text{MPa}$, $\mu=0.3$, 屈服强度 355MPa
- 橡胶矩形块: 丁腈橡胶, $E=7.8 \text{MPa}$, $\mu=0.47$, 采用超弹性本构
- 卡块卡槽间设摩擦接触 (摩擦系数 0.3), 螺栓施加 120N·m 预紧力
- 荷载: 小箱梁自重折算均布荷载 120kN/m, 振捣附加动荷载取静载 15% (18kN/m)
- 边界: 底部固定约束

同时建了一个同等截面的传统整体钢台座模型做对照。

变形方面: 装配式台座最大竖向位移 0.72mm, 出现在跨中位置; 传统整体台座 0.64mm。两者都满足台座变形 $\leq 1 \text{mm}$ 的控制要求。装配式台座略大是因为橡胶层有压缩变形, 但 0.08mm 的差值对预制梁底平整度影响可以忽略。

应力方面: 装配式台座钢结构最大等效应力 172MPa, 位于矩形卡块与卡槽接触的角部以及螺孔周边, 远低于 Q355B 的屈服强度。传统整体台座最大应力 158MPa。应力集中区域在加工时可以通过局部加厚 (卡块处板厚从 16mm 加到 20mm) 和倒圆角 (R5mm) 来缓解, 我们在第二批加工时已经做了这个改进。

振动方面: 模态分析显示装配式台座一阶固有频率约 28Hz, 传统整体台座约 35Hz。振捣棒工作频率 50Hz, 两者均避开共振区。在 50Hz 简谐激励下, 装配式台座上部振动加速度幅值比传统台座低 36.2%, 说明橡胶块确实起到了减振作用。

验算结论: 装配式钢台座的强度、刚度、振动特性均满足 20m、25m 小箱梁预制工况要求, 卡块卡槽和螺孔是应力薄弱部位, 加工时应局部加强。

5 现场试点应用

5.1 项目情况

试点项目为新疆某高速公路标段, 预制梁场负责生产 20m 和 25m 预应力混凝土小箱梁共 820 片。梁场布置 12 条生产线, 其中 6 条采用装配式钢台座 (试点), 另外 6 条用传统整体钢台座 (对照), 生产任务各承担一半。装配式台座由合作工厂加工, 散件运到现场组装。

5.2 装配与使用情况

装配式台座散件用普通 9.6m 平板车运输, 一车装 4 套构件, 运费比整体台座的大件运输低 42%。现场装配 4 人+16t 叉车, 单套 1.5h 完成; 传统整体台座吊装+现场焊接拼接, 单套 4~6h。6 套装配式

台座全部装配完成用时不到 1 天，传统台座用了 3 天。

生产期间对装配式台座做了定期监测：每生产 20 片梁测一次台面平整度，数据稳定在 0.5~0.8mm 之间，没有出现逐渐增大的趋势，说明连接螺栓没有松动、橡胶块没有明显蠕变。每生产 50 片梁检查一次螺栓扭矩，有个别螺栓扭矩下降到 100N·m 左右，及时复拧到 120N·m 以上，没有出现螺栓松脱的情况。

对照的传统台座在生产到第 3 个月时，有 2 台边角因吊装碰撞变形，1 台底部焊缝出现疲劳裂纹，都做了停机维修。装配式台座没有出现结构性损伤。

5.3 转场拆解

本标段预制任务完成后，6 套装配式台座全部拆解。拆解过程中发现 1 块上台座体在最后一次吊装时被吊具碰了一个凹坑，深度约 8mm，这块单独报废，其余构件（包括分隔连板、橡胶块、螺栓）全部完好，转运到下一个标段继续使用。传统台座有 2 台因局部损伤严重，整体报废。

按全周期成本核算：装配式台座单套初始造价比传统台座高约 8%（主要是加工精度要求高、零件多），但转运成本低 42%，损耗成本低 31%，综合下来周转 3 个项目后每套可节省约 1.2 万元。

5.4 试点中遇到的问题及处理

试点过程不是一帆风顺，有两个问题比较典型：

问题一：首批台座卡接间隙偏大。第一批 3 套台座装配后发现拼接缝有错台，最大 0.6mm，影响台面平整度。检查原因是工厂加工卡槽时尺寸偏大约 0.5mm，卡块卡槽配合间隙达到 0.8~1.0mm。处理措施：后续批次严格控制卡接配合间隙在 0.2~0.4mm，工厂加工后用专用塞规逐件检验；已出厂的 3 套在卡槽内加 0.3mm 不锈钢垫片调整，错台问题解决。

问题二：橡胶块夏季高温老化。新疆夏季梁场台面温度可达 60℃ 以上，第一批橡胶块使用 4 个月后面出现细微裂纹。检测硬度从 65 度升到 72 度，弹性下降。处理措施：更换为耐温等级更高的丁腈橡胶（长期使用温度 40℃~120℃），并建立每 12 个月强制更换橡胶块的制度，即使外观没坏也换，确保减振性能可靠。更换橡胶块不需要拆台座体以外的结构，两个人半小时就能换完一套。

6 与传统钢台座的综合对比

表 1 与传统钢台座的综合对比

对比项目	传统整体式钢台座	装配式钢台座
单件尺寸	6.5m×1.2m×0.8m	最大 3.5m，拆分后三件
运输方式	大件运输，需办超限手续	普通平板车，无特殊手续
单套拼装时间	4~6h（含现场焊接）	约 1.5h（无焊接）
局部损坏处理	大多整体报废	损坏件单独更换
减振构造	无，全刚性接触	丁腈橡胶块，振动加速度降 36%
拼接方式	现场焊接，拆装需气割	卡接 + 螺栓，可反复拆装
台面平整度	焊缝处易有凸起	螺栓头收纳，台面平整
全周期损耗成本	基准值	降低约 31%
转运成本	基准值	降低约 42%

7 工程应用注意事项

7.1 加工质量控制

装配式台座对加工精度要求比整体台座高，卡块卡槽的配合间隙直接决定装配质量。工厂加工时要做到：卡块、卡槽用数控铣床加工，保证尺寸公差 ±0.1mm；配合间隙控制 0.2~0.4mm，逐件用塞规检验；螺孔用钻模定位，保证上下螺孔同轴度 ≤ 0.2mm；卡块角部倒 R5 圆角，减少应力集中；焊接后做外观检查，关键焊缝做磁粉探伤。橡胶块要按使用环境选耐温耐老化型号，进场时抽检硬度和拉伸强度。

7.2 现场装配控制

装配前检查所有构件，变形、螺纹损伤、橡胶开裂的件不能用。基础必须平整坚实，基础顶面平整度用 2m 靠尺检查不超过 2mm。装配时卡块卡槽必须完全落位，不能有虚卡。螺栓用扭矩扳手拧紧，M16 螺栓扭矩 120~150N·m，做好扭矩记录。装配完成后全面检查台面平整度，2m 靠尺塞尺不超过 1mm，拼接缝错台不超过 0.3mm，不合格的拆开重装。

7.3 使用维护

生产期间每生产 20 片梁测一次平整度, 每 50 片梁检查一次螺栓扭矩并复拧。橡胶块每 12 个月更换一次, 发现开裂、变形、硬度明显变化的提前更换。吊装作业时吊具加软垫, 避免直接撞击台座边角。拆卸转运时螺栓涂防锈油单独装箱, 卡块卡槽配合面贴保护膜, 防止磕碰。

7.4 适用范围

本方案适用于 20m、30m 及以下小箱梁、T 梁预制。更大吨位构件 (如 40m 以上箱梁) 需要重新验算, 可能需要加大台座体截面、增加螺栓数量和规格。橡胶减振件在极端低温 (低于 30℃) 环境下弹性会下降, 严寒地区冬季使用时应评估橡胶低温性能, 必要时换用低温型橡胶。

8 结论

通过结构改造、有限元验算和现场试点, 可以得出以下几点结论:

第一, 装配式钢台座将整体结构拆分为上下台座体加分隔连板, 单件尺寸大幅减小, 解决了传统钢台座大件运输难、场内吊装受限的问题, 普通平板车即可转运, 16t 叉车配合人工就能装配。

第二, 卡接定位加螺纹锁紧的连接方式, 装配精度和连接刚度都能满足预制生产要求, 全程不用焊接, 拆装效率高, 构件可反复周转使用。螺栓头收纳设计保证台面平整, 不影响模板安装和梁体外观。

第三, 分隔连板上的橡胶矩形块起到了明显的减振作用, 振动加速度降低约 36%, 有助于减少钢结构

焊缝疲劳损伤。橡胶块可单独更换, 维护成本低。

第四, 现场试点表明装配式台座单套拼装时间约 1.5h, 比传统方式缩短 60% 以上; 转运成本降低 42%, 全周期损耗成本降低 31%; 台面平整度稳定在 0.8mm 以内, 满足小箱梁预制质量要求。加工精度控制和橡胶件耐老化是应用中的两个关键点, 需要在工厂加工和现场维护中重点把控。

预制工装的模块化、装配式是降本增效的有效途径, 这套钢台座的改造思路也可以借鉴到预制梁场的其他工装, 比如模板支撑、张拉操作台等。后续可以进一步开展疲劳试验, 积累更多循环使用次数下的性能数据, 完善不同梁型下的构件选型标准。

[参考文献]

- [1] 刘勇, 吴东林, 王明江, 等. 一种装配式钢台座 [P]. 中国专利: CN224689270U, 20260828.
- [2] GB 50017-2017, 钢结构设计标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [3] JTG/T 3650-2020, 公路桥涵施工技术规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2020.
- [4] 周水兴. 桥梁预制梁场建设与施工技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2021.
- [5] 张雪松. 预制梁台座设计及施工技术要点 [J]. 公路交通科技 (应用技术版), 2020, 16 (08): 212214.
- [6] 王健. 预制梁钢台座有限元仿真及优化设计 [J]. 公路, 2023, 68 (06): 19820

作者简介: 刘勇 (1989.09—), 男, 汉族, 籍贯: 湖南常德人, 学历: 本科, 职称: 中级。