

ICS 93.040

CCS P 26



T

团 体 标 准

T/CSPSTC XXX—202X

大跨度梁桥步履式顶推施工技术规范

Technical code of practice for walking type jacking construction of long span beam bridges

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国科技产业化促进会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 临时设施设计及安装	3
5.1 基本要求	3
5.2 临时设施材料	3
5.3 设计作用及组合	3
5.4 顶推支工况验算	4
5.5 顶推支墩设计及验算	5
5.6 导梁设计及验算	5
5.7 其他设施设计及验算	5
5.8 施工要求及质量标准	6
5.9 临时设施拆除	7
6 步履式顶推系统及设备安装	8
6.1 基本要求	8
6.2 步履式顶推系统	8
6.3 步履式顶推设备的设置	8
6.4 步履式顶推设备安装	8
6.5 步履式顶推设备操作流程	9
7 钢箱梁制作、安装及顶推施工	10
7.1 基本要求	10
7.2 钢箱梁现场拼装	10
7.3 钢箱梁顶推施工	11
7.4 线型控制及措施	11
8 顶推施工监控	12
8.1 基本要求	12
8.2 顶推施工监控	12
8.3 监控方法	13
8.4 监控频率	13
8.5 监控指标	13
参考文献	14

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中铁上海工程局集团有限公司提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：中铁上海工程局集团有限公司、中铁上海工程局集团第五工程有限公司、广西交科集团有限公司、柳州欧维姆工程有限公司、XXX。

本文件主要起草人：XXX。

引 言

顶推施工方法在国内桥梁建设工程中已发展成熟，主要应用于桥梁上部结构跨越各种障碍物的施工方法，分为拖拉式、推移式、步履式等多种顶推形式。顶推施工方法具有不影响桥下交通、不需要大型起重设备、高空作业风险低、施工效率高等优点，在跨越河道、山谷、既有线以及桥区场地环境受限的桥梁建设中具有明显的优势，这些年得到了很好地应用。但随着桥梁跨度越来越大、桥型结构越来越复杂、顶推梁体越来越重、安装精度越来越高等特点，步履式顶推施工技术的安全、质量、规范作业也越来越迫切。步履式顶推施工目前还没有专门的规程或指南可以参照。因此，本文结合建设行业采用步履式顶推施工方法进行桥梁安装的实际需求，制定本文件具有十分重要的意义。

本文件系为指导步履式顶推施工方法，统一安全、质量及技术标准要求，更加规范现场施工作业行为，在总结该类桥梁建设经验基础上编制而成的。文件从桥梁施工的结构安全、系统控制和质量要求等方面，对顶推前置条件、场地布置原则、临时设施设计、监控量测、顶推设备操作等关键技术和控制指标进行了系统梳理和总结。同时结合已有的工程实践经验，对步履式顶推施工的关键环节和具体控制指标进行了规定。本文件仅限定了步履式顶推施工所需的临时支架构造设计、安装以及检测、监控量测等，不涉及主梁和梁体本身的附属结构工程施工。除能满足步履式顶推施工的工程外，其他需采用步履式顶推设备进行安装的类似大型构件亦可参考本文件相关内容。

本文件主要包括步履式顶推施工辅助设施设计、步履式顶推设备和系统、线型控制及质量标准、理论分析、测量监控等内容，主要内容如下：

- a) 定义了步履式顶推施工的适用范围、结构体系、顶推基本流程；
- b) 明确了步履式顶推施工的技术指标和质量要求，并对临时结构的设置进行了规定；
- c) 明确了顶推临时设施设计、施工中的材料参数、荷载取值、荷载组合、质量要求和拆除工艺要求；
- d) 提出了步履式顶推系统的设计、安装及其技术要求；
- e) 明确了步履式顶推施工全过程的关键控制技术指标；
- f) 提出了步履式顶推施工过程监控的要求和规定。

大跨度梁桥步履式顶推施工技术规程

1 范围

本文件给出了桥梁工程采用步履式顶推法施工的基本规定，规定了主梁步履式顶推前置条件、场地布置原则、临时设施设计、监控量测、顶推设备操作等关键技术的要求。

本文件适用于采用步履式顶推施工的公路、市政、铁路等桥梁工程施工。可用于采用步履式顶推法安装其他构件的工序、质量控制和施工技术的指导和参考。

本文件不包括桥梁下部结构、附属工程及钢梁焊接制作等施工内容，涵盖了步履式顶推施工的基本施工流程，主要描述了钢梁顶推安装要求、临时顶推支架设计和施工的基本要素、步履式顶推系统设计要求、顶推技术指标、施工监控等关键性工作。本文件主要实践于公路、市政、铁路桥梁，对于其他构件采用步履式顶推法顶推施工时，建议开展专题研究。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 93 标准型弹簧垫圈
- GB/T 156 标准电压
- GB/T 699 优质碳素结构钢
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 762 标准电流等级
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

临时塔架 temporary tower

用于钢箱梁顶推时改善导梁前端下挠及悬臂端应力集中的临时辅助支架。

3.2

顶推支墩 pushing buttress

用于顶推设备安放以及落梁的临时支架。

3.3

导梁 nose girder

装于梁前（后）端的，为保证梁在移动时的纵向抗倾覆稳定性以及减少梁的悬伸长度从而降低安装应力的临时辅助结构。

3.4

步履式顶推设备 walking pushing equipment

步履式顶推施工的核心装备，具备顶推顶、顶举顶、纠偏顶，同时将顶推、纠偏、落梁功能集于一体。

3.5

步履式顶推系统 walking pushing system

为能实现主梁前移施工的机械、电气和液压等组成的顶推装置。

4 基本规定

4.1 步履式顶推施工应遵循设计文件的基本要求，同时，应结合现场地质、水文和气候条件开展施工专项方案研究；应熟悉建设、设计、施工、监理等相关文件及技术资料，充分了解桥梁结构特点、设计理念、施工工艺和质量标准等，全面把握桥梁建设的重点和难点。

4.2 步履式顶推施工前，应根据《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》辨识，界定为危险性较大的分部分项工程应编制专项施工方案；界定为超过一定规模的危险性较大的分部分项工程应按程序组织召开专家论证会进行论证、报批。施工专项方案除需按《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》的相关内容编制外，应包括钢箱梁加工质量控制、临时支架设计及施工、导梁设计及施工、步履式顶推系统设计及安装、主梁线型控制、施工监控量测等主要内容。

4.3 步履式顶推施工前，可根据工程规模或精度要求开展不利工况的模拟分析，以确定相关参数的具体理论数值，作为顶推施工的参考。

注：顶推过程主梁线型及姿态随位置不断变化而需不断调整，对于大跨度桥梁，控制好其线型及姿态变化对后期落梁的成桥线形、内力和顶推支架应力监控至关重要，其顶推过程中的部分参数具有较大的不确定性，需要根据数值模拟的结果来确定。

4.4 根据主梁跨度、重量及工程实际，确定顶推施工是否设置临时塔架及拉索体系。主梁节段划分应根据主梁结构设计、设备吊装能力、加工场地大小等因素综合确定。

4.5 对于大跨度步履式顶推施工，在无辅助措施钢箱梁顶推状态下，导梁前端下挠超过允许值，无法正常过墩，且会造成悬臂根部转角过大而接触面积变小，造成应力集中，应在主梁相应位置设置临时塔架及拉索体系（图1），用于综合主梁及导梁的受力及变形，保证顶推的安全可靠。

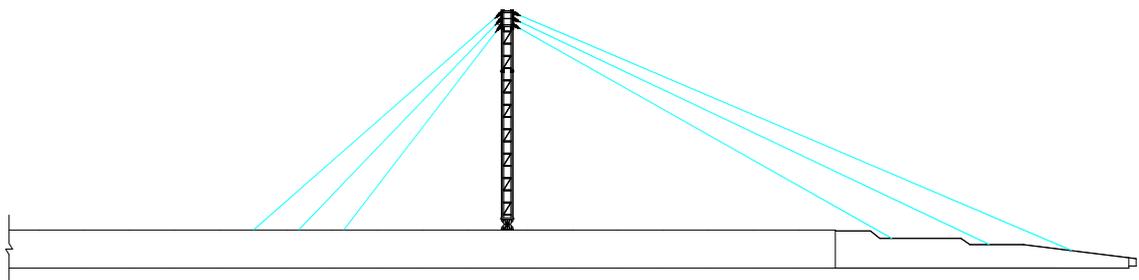


图1 临时塔架及拉索体系

4.6 跨越既有高速公路、通航河流以及各种障碍物时，梁段在拼装区焊接成梁段的长度应考虑梁体能一次性顶推过跨的条件，防止前置导梁长时间处于悬挑状态。

4.7 顶推临时支墩的设计应结合永久结构进行设计，支墩立柱宜优先选择在原有扩大基础或地基承载力较高的地层上，立柱基础前，应对所在位置的地基承载力进行检测，对地基承载力不满足要求的地层，应采取加固补强措施。

4.8 当使用顶推施工法跨越高速公路时，顶推支墩不宜占用既有高速公路的行车道，当条件限制必须占用时，支墩基础应采用现浇混凝土条形基础，基础高度应高出路面高度 ≥ 1.2 m，并按相关部门要求布设交通疏导装置。

4.9 跨高速公路顶推施工时，可根据现场实际条件选择是否设置防坠物防护棚架，在不设置防护棚架条件进行顶推时，应将可能掉落的物品清除干净，顶推过程中，作业人员不应在梁体上作业。

4.10 跨高速公路顶推施工时，应根据施工工况进行交通管制；跨度较大时，宜采用临时封闭交通的措施，减少施工风险；在无法封闭交通时，应编制专项应急预案和交通疏解方案，并应相关管理部门审批后方可实施。

4.11 采用步履式顶推法施工的桥梁，梁体拼装场地及胎架顶部标高、线型宜根据设计线型或顶推理论线型设置，胎架拼装区的梁底到地面的空间应考虑操作人员的作业空间，一般不宜低于1.2 m。

4.12 曲线桥梁采用顶推法施工时，宜根据其曲线的延长线设计后场拼装场地和胎架拼装区，以确保梁体能满足节段拼装。

5 临时设施设计及安装

5.1 基本要求

5.1.1 步履式顶推施工临时支墩设计前要调查和搜集桥位处的水文地质、地形地貌、道路交通等资料。

5.1.2 导梁一般采用变高度工字型或箱型断面，对齐钢箱梁腹板设置。导梁的长度、刚度及强度应经计算确定，导梁与钢箱梁的连接可采用高强螺栓或焊接连接，并需经设计单位认可。

5.1.3 各点步履式顶推器的竖向顶升能力宜大于理论计算最大顶升力的1.5倍，水平顶推力和及横向纠偏调整力不宜小于按实际摩擦系数计算值的2倍。

5.1.4 顶推支墩安装完毕后，应对其平面位置、顶部标高、节点连接及纵横向稳定性进行全面检查，符合要求后，方可进行下一道工序。

5.1.5 导梁可根据其结构特点设置为全焊型或装配型，全焊型导梁焊缝质量应按钢箱梁焊缝质量进行检测，装配型导梁应采用 ≥ 8.0 级高强螺栓和比导梁原材高一等级的板材作为节点连接，节点连接板和高强螺栓应进行力学验算，且高强螺栓不应重复使用。

5.2 临时设施材料

5.2.1 临时结构包括前置导梁、临时支墩以及临时塔架等，临时结构进行设计与计算时，应根据顶推跨径、荷载大小、梁体内部结构构造进行，其选用材料应满足相关规范要求。

5.2.2 临时支架基础所用混凝土材料等级不低于C30，材料性能应符合JTG 3362的规定；对于填充钢管形成钢管混凝土的混凝土材料不低于C20。

5.2.3 临时支架所用钢材宜选用Q235、Q345、Q390和Q420钢材，材料性能应符合GB/T 699、GB/T 700和GB/T 1591等的规定，采用其他牌号钢材时，应符合国家现行相关规范规定。

5.2.4 需要设置临时塔架的大跨度顶推施工，锚索可采用平行钢丝或钢绞线吊杆索。

5.3 设计作用及组合

5.3.1 对于梁体结构的分析计算，一般采用结构力学方法进行计算，复杂结构宜采用有限元方法进行计算。采用容许应力法对顶推工况进行分析计算，分析计算内容包括结构的强度、刚度及稳定性；采用极限状态法对临时支墩、桩基结构进行计算。

5.3.2 各结构计算过程中，据荷载的作用形式及其作用类型见表1。

表 1 顶推荷载类型

序号	分类	名称
1	垂直荷载	结构自重
2		施工荷载（人员及施工机具）
3		冰压力
4	水平荷载	纵向顶推不平衡力
5		横向纠偏不平衡力
6		风荷载
7		流水压力
8	温度作用	均匀温度
9		梯度温度
10	偶然荷载	船舶、漂流物或汽车的撞击作用
11		地震作用

5.3.3 设计顶推工况分析及承重构件时，应根据使用过程中可能出现的荷载取其最不利荷载效应组合进行计算，荷载效应组合宜按表 2、表 3 采用。

表 2 顶推安装计算工况

工况名称	容许应力法	极限状态法
顶推过程	1.0 自重+1.0 风荷载+1.0 施工荷载	1.3 自重+1.5 风荷载+1.5 施工荷载
步履器回位倒换支点	1.0 自重+1.0 风荷载+1.0 施工荷载	1.3 自重+1.5 风荷载+1.5 施工荷载

表 3 导梁、临时墩计算工况

工况名称	容许应力法	极限状态法
顶推过程	1.0 自重+1.0 钢梁竖向支点反力+ 1.0 不平衡水平力+1.0 风荷载+ 1.0 流水压力+1.0 施工荷载	1.3 自重+1.3 钢梁竖向支点反力+ 1.3 不平衡水平力+1.5 风荷载+ 1.5 流水压力+1.5 施工荷载
步履器回位倒换支点	1.0 自重+1.0 钢梁竖向支点反力+1.0 风 荷载+1.0 流水压力+1.0 施工荷载	1.3 自重+1.3 钢梁竖向支点反力+ 1.5 风荷载+1.5 流水压力+1.5 施工荷载

5.4 顶推支工况验算

5.4.1 通过计算梁体结构模型对顶推过程中的各施工阶段进行分析，得出各施工阶段下前置导梁、临时支墩及临时塔架等临时结构的受力及变形情况，并对梁体结构的强度、刚度及稳定性进行检算。

5.4.2 强度、刚度及稳定性分析符合下列规定。

- a) 梁体结构顶推状态、导梁、临时支墩以及临时塔架等受力计算应具有足够的强度、刚度及稳定性。
- b) 分析计算对象应反映梁体结构实际最不利受力状态，尤其是承受集中荷载的部位，如梁底与滑道梁之间的接触区域、梁体腹板开人孔位置等。支点局部稳定计算，导梁和钢梁的步

履器竖向顶升支点处同时存在较大弯曲正应力、剪应力和局部压应力，需对该支点腹板计算高度处的折算应力和腹板局部稳定性进行验算，具体计算方法参照GB 50017。

c) 梁体结构顶推状态应计算整体稳定和局部稳定，并对梁体腹板、导梁等受压区域进行局部稳定应力分析。

d) 梁体结构顶推状态的稳定系数不应小于2.0。

5.4.3 顶推工况计算可采用有限元计算软件按施工顺序分阶段模拟计算，每顶推1.5 m~3 m为一个计算施工阶段，计算顶推过程中钢梁和导梁自身应力及变形、各项推点最大竖向反力。

5.5 顶推支墩设计及验算

5.5.1 临时墩结构可采用刚性墩或柔性墩。

5.5.2 临时墩基础可采用扩大基础、打入桩或钻孔灌注桩。应根据地质、水文条件，选择合理的基础方案和排水措施。

5.5.3 临时墩墩柱宜采用钢管柱或钢管混凝土柱。每个临时墩各墩柱之间均应做横向连接，并满足刚度及稳定性要求。

5.5.4 第一个临时墩与顶推平台之间的距离宜为0.3~0.4倍临时墩标准跨径。

5.5.5 临时墩、纵桥向的墩顶分配梁长度应满足布置步履式顶推器和步履器倒换支点的尺寸要求。宜将步履式顶推器布置在临时墩顶分配梁跨中位置，临时墩顶分配梁两侧布置步履器倒换支点。

5.5.6 若主体结构墩顶尺寸满足布置步履式顶推器和步履器倒换支点的要求，宜将步履式顶推器和步履器倒换支点沿纵桥向布置在墩顶垫石两侧；若主体结构墩顶尺寸不满足布置步履式顶推器和步履器倒换支点的要求，则可在墩旁搭设墩旁托架，在托架顶参考临时墩进行墩顶布置。

5.5.7 临时墩承载力计算与一般支架计算相同，可采用有限元计算软件模拟计算。计算内容包含：分配梁、钢管立柱及连接系的强度、刚度和稳定性验算，节点及连接结构承载力验算，基础承载力及稳定性验算。

5.5.8 临时墩不平衡水平力宜根据顶推同步控制系统的控制精度、临时墩刚度综合考虑，按竖向力的3%~5%计算。

5.5.9 基础计算应符合GB 50007的要求。

5.6 导梁设计及验算

5.6.1 导梁的设计应使施工过程中主梁最大负弯矩与使用状态支点负弯矩接近，尽可能发挥主梁自身的承载能力，提高经济效益。

5.6.2 导梁长度宜为顶推跨径的0.6~0.8，其刚度宜为主梁刚度的1/9~1/15。

5.6.3 导梁结构可采用钢桁梁和变截面实腹梁，在满足强度和稳定性的条件下，宜优先选用刚度较大、重量较轻的变截面导梁，导梁前端最大挠度应不大于设计值。

5.6.4 导梁与梁体连接应采用刚接形式，连接处需加强，使其刚度协调。

5.6.5 导梁结构设计刚度的变化应缓和，避免采用刚度变化较大的结构形式，以免造成应力集中，导致梁体局部变形破坏。

5.6.6 导梁结构设计应考虑其迎墩方式，为方便上墩，可根据前端最大挠度、上墩设备高度设置导梁鼻梁。

5.6.7 导梁安全验算采用容许应力法，验算内容包括导梁整体强度、刚度及重点部位局部稳定性。

5.7 其他设施设计及验算

5.7.1 各点步履式顶推器的竖向顶升能力宜大于理论计算最大顶升力的1.5倍，纵向顶推力及横向纠偏调整力不宜小于按实际摩擦系数计算值的2倍。

5.7.2 横向纠偏调整力不宜小于单点最大竖向反力与动摩擦系数的乘积。横向纠偏装置自身及其依

附结构承载力可采用有限元模拟计算或参照规范公式计算。

5.7.3 临时塔架及拉索设计及验算符合下列要求。

- a) 当顶推跨度过大，单靠设置导梁不足以满足结构施工过程中的强度、刚度、稳定性时，可设置临时塔架及拉索，通过斜拉扣挂方式改善结构的变形及受力，保证安全。
- b) 临时塔架布置形式从构造上主要考虑以下因素：
 - 1) 塔架底部钢箱梁受力情况；
 - 2) 拉索钢箱梁顶板锚点位置优先选择钢箱梁横隔板位置，以改善锚点局部力；
 - 3) 根据施工条件及经济性条件对塔高进行限制。
- c) 施工过程中应以主梁及导梁应力及变形控制为主，同时兼顾索力，将主梁和临时塔架内力和变形控制在合理范围。
- d) 临时塔架安全验算采用容许应力法，验算内容包括塔架底座、塔柱结构、拉索等结构的强度及塔底钢箱梁、拉索锚点的局部稳定性。

5.8 施工要求及质量标准

5.8.1 临时结构的施工及质量标准应符合国家现行相关规范的要求。

5.8.2 临时支架主焊缝位置和螺栓连接应设置覆盖全断面的检查通道，检查通道应结实、牢固，并设置防坠落、防坠物等安全保障措施。

5.8.3 临时支架可按多层进行加工制作，由下而上逐层安装，每制作完成一层，应复核立柱的坐标，确保层间立柱之间的对接精度。

5.8.4 大型支架吊装前，应根据支架中心设置吊点位置及数量，正式吊装前，应进行试吊，试吊高度一般控制在 10 cm 以内，以完全脱离地面为准，持续时间不小于 5 min。

5.8.5 支架钢管可采用成品钢管或自制钢管，焊接钢管的制作工艺应符合国家现行相关规范的规定。

5.8.6 制作临时结构的材料应符合设计要求，并应有出厂合格证明和质量检验报告，临时结构加工制作应满足场地条件、运输与装卸能力等要求。

表 4 临时钢结构检查验收

序号	项目		检查
1	立柱钢管对接	I 级焊缝	100%探伤
2	钢管桁架耳板焊缝	II 级焊缝	30%探伤抽检 100%外观检查
3	滑道梁、横梁、垫梁顶板及底板	I 级焊缝	100%探伤
4	滑道梁、横梁、垫梁隔板及筋板	II 级焊缝	30%探伤抽检 100%外观检查
5	工字钢	II 级焊缝	100%外观检查

5.8.7 顶推施工时要进行结构物的位移、施加顶推力的监测，顶推系统使用前应按照操作流程进行调试与试验，同时符合以下规定。

- a) 每次顶推前对顶推设备进行检查检修，顶推指令单签字完善后方可进行顶推施工。
- b) 每次顶推完成后，应对顶推的钢箱梁中线进行测量，并控制在允许范围以内；如出现偏差，则需要立即调整。
- c) 顶推过程中若发现顶推力骤升，应及时停止并检查原因。

- d) 顶推时，应派专人检查导梁及钢箱梁。
- e) 注意顶推过程中顶升力、平移力、下降力的变化，如果导梁构件有变形、导梁与钢箱梁连接处有变形或钢箱梁局部变形等情况发生时，应立即停止顶推，进行分析处理。
- f) 顶推到最后梁段时要特别注意梁段是否到达设计位置，最后一次顶推时应采用小行程点动，以便纠偏及纵移到位。

表 5 钢箱梁顶推施工允许偏差

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	轴线偏位		10 mm	全站仪或经纬仪： 每段检查 2 处
2△	落梁反力		符合设计，设计未规定时不大于 1.1 倍的设计反力	用千斤顶油压计算：检查全部
3	支点	相邻纵向支点	符合设计，设计未规定时不大于 5 mm	水准仪：检查全部
	高差	同墩两侧支点	符合设计，设计未规定时不大于 2 mm	

表 6 钢箱梁位置尺寸容许偏差

项目		容许偏差
钢 梁 平 面 位 置	1. 箱梁两侧对梁中心连线的偏移	跨度的 1/5000
	2. 拱度偏差：	
	设计拱度 ≤ 60 mm	±4 mm
	60 mm < 设计拱度 ≤ 120 mm	±8% 设计拱度
	设计拱度 > 120 mm	技术文件中另定
钢箱梁两侧相对点置	3. 支撑点处相对高差	梁宽的 1/1000
	4. 跨中处相对高差	梁宽的 1/500
	5. 跨中其他部位处相对高差	根据跨中各部位点高低差按比例增减

5.9 临时设施拆除

5.9.1 临时结构的拆除需制定专项拆除施工方案，并对拆除施工人员进行技术交底，明确临时结构的拆除原则、顺序及安全措施。

5.9.2 导梁拆除应遵循“由导梁前段向导梁根部逐段拆除”的原则，同时应先拆除横向联系杆件，后拆除相应位置纵梁，确保导梁拆除过程中的整体稳定性。

- 5.9.3 临时支架的拆除方案应根据设计要求确定，宜按照“先横后竖、先边后中、先搭后拆，后搭先拆”及“纵向对称均衡、横向拆除同步”的总体原则进行临时支架拆除。
- 5.9.4 拆除前应清理临时支架上的器具及多余的材料和杂物，确保无荷载作用于临时支架上。
- 5.9.5 拆除前应划定作业区域，防止拆除过程中拆除物掉落造成安全事故。
- 5.9.6 当遇雷雨、大雾或6级以上大风等恶劣天气时，不应进行临时支架的拆除作业。

6 步履式顶推系统及设备安装

6.1 基本要求

- 6.1.1 步履顶推设备根据各墩计算最大支反力应设置一定安全储备系数的设备。
- 6.1.2 步履设备根据顶推速度要求应设置长行程千斤顶的步履设备满足顶推速度。
- 6.1.3 步履顶推设备应该根据计算支反力，设备接触面，选择强度系数足够的步履设备。
- 6.1.4 根据顶推、落梁应选择落梁高度低的步履设备。
- 6.1.5 根据顶推支墩的结构形式应选择灵活适用可行的步履设备。
- 6.1.6 应根据不同桥型结构形式合理选用不同结构形式的步履顶推设备。
- 6.1.7 步履设备应现实手动、自动、单动和联动功能。
- 6.1.8 步履顶推设备同步精度应满足方案设计要求。

6.2 步履式顶推系统

- 6.2.1 步履式顶推装置一般包括四大结构和三大系统：滑箱结构、顶升千斤顶结构、平移千斤顶结构、纠偏装置结构，液压泵站系统、分控制系统及总控系统组成。
- 6.2.2 整套步履顶推设备宜将顶推顶、顶举顶、纠偏顶设置为为一体，使顶推、纠偏、落梁功能合为一体。各套步履式顶推装置由一套总控制系统进行集中控制，以提高操作精度。

6.3 步履式顶推设备的设置

- 6.3.1 步履顶推设备与钢箱梁接触面满足设计强度，确保钢梁受力不发生应力集中而失稳。
- 6.3.2 步履顶推设备与钢梁腹板接触长度应满足设计计算要求，应考虑顶推过程中的局部受力问题，并适当进行局部加固。
- 6.3.3 应考虑轻量化和灵活的步履顶推设备，减小顶推和落梁高度。
- 6.3.4 步履顶推支/垫墩应投入结构重量轻，人工可搬运的形式。
- 6.3.5 设备设置应有自动纠偏功能，确保轴线不偏移出方案设计要求。
- 6.3.6 步履设备顶部的抄垫钢板与梁体之间宜采用竹胶板、帆布、高密度胶等摩阻较大且不易对梁体面漆造成损伤的材料支垫。
- 6.3.7 步履式顶推设备的设置应考虑梁体悬挑的极限应力，防止步履式设备间距过大造成梁体自身应力超限。

6.4 步履式顶推设备安装

6.4.1 基本要求

- 6.4.1.1 步履式顶推设备步履器和竖向千斤顶安装位置找平，保证钢结构均匀承受载荷，不产生应力集中。
- 6.4.1.2 步履器和竖向千斤顶中心线在一个顶推纵向方向上，并与顶推钢梁腹板中心线重合在一条线上，保证顶推时钢梁腹板始终受力。
- 6.4.1.3 步履器、竖向千斤顶、临时支垫横桥向的中心距与钢梁腹板横桥向中心距一致。

- 6.4.1.4 竖向千斤顶球头有可旋转的角度，保证竖向起顶时与钢梁底部自动找正，竖向顶支垫完全与钢梁底板接触不存在角度。
- 6.4.1.5 步履器滑箱临时支垫与梁底表面相平行，增大接触面积。
- 6.4.1.6 步履液压泵站安装位置强度满足要求、场地水平，预留操作空间，与钢梁无干涉。
- 6.4.1.7 每个点安装液压泵站与步履器、千斤顶的高差和距离保持一致，高差和距离分别保持在 10 m 和 30 m 内，尽可能减小液压损耗。
- 6.4.1.8 步履式顶推设备的安装位置应选择在梁体刚度较大部位，一般设置在梁体的底腹板夹角处或纵向隔板等加劲部位处，安装前应采用全站仪放出具体的位置，确保梁体结构安全。

6.4.2 控制柜的设置相关规定

- 6.4.2.1 控制柜设置防雷接地装置，现场按照规范要求安装防雷接地装置。
- 6.4.2.2 控制柜元器件选用抗干扰性能好，稳定的部件。
- 6.4.2.3 控制柜面板设置急停制动装置，就地和远程控制旋钮，实现现场控制操作和远程切换功能。
- 6.4.2.4 控制柜现场操作控制千斤顶动作时系统能监控到千斤顶压力和位移等参数。
- 6.4.2.5 控制柜具有断电安全保护功能，电源断电系统停止运行并处于静止安全状态。
- 6.4.2.6 控制柜具有通信中断安全保护功能，通信中断系统停止运行并处于静止安全状态。

6.4.3 液压控制系统操作要点

- 6.4.3.1 步履顶推控制系统应符合相关标准和现场施工要求，并按照专项设计和研究确定的技术方案进行加工制作。
- 6.4.3.2 控制系统具备手动、自动操作功能以及系统防误操作功能。
- 6.4.3.3 控制系统根据顶推速度、顶推能力、同步及精度控制要求，通过液压比例阀控制技术或者变频控制技术实现多点同步控制目的。
- 6.4.3.4 液压控制系统宜用有线网络或者无线网络实现信号传输，配置长距离位移传感器和载荷传感器，实时监测各个顶推点的位移和载荷信息。
- 6.4.3.5 控制系统的自动顶推动作顺序过程应符合系统自动顶推设计要求，自动起落落梁动作顺序过程应符合系统设计要求。
- 6.4.3.6 控制系统应具备手动控制功能，能实现单项、多项、单动和联动等动作。
- 6.4.3.7 控制系统具备紧急停止功能，能实现在自动运行状态下的紧急停止，达到静止安全状态。
- 6.4.3.8 控制系统具备抗电磁干扰功能，应进行抗电磁干扰检测，系统不应因电磁干扰失去控制。
- 6.4.3.9 控制系统具备抗光干扰能力，应进行抗光干扰检测，操作系统不应因光干扰失去控制。
- 6.4.3.10 在超载试验下，顶推系统的超载能力宜为 110% 额定载荷，保持系统稳定。
- 6.4.3.11 控制系统的额定工作电压应符合 GB/T 156 的规定，电流值应符合 GB/T 762 的规定。

6.5 步履式顶推设备操作流程

步履式顶推设备操作流程见表 7。

表 7 步履式顶推设备操作流程

步骤	项目内容
一	检查千斤顶油路、控制线缆连接正确，传感器安装完毕，阀块安装正常
二	在泵站开通电源的情况下，按下千斤顶动作观察对应的电磁阀线圈的电情况及线圈吸合动作正常
三	就地启动泵站，调整接线顺序直到泵站电机正转正常，观察电机运转声音、油温、油压等正常
四	进行排气、限压操作，伸缸限压 ≤ 25 MPa，缩缸限压 ≤ 20 MPa
五	手动操作千斤顶空载伸缩缸，观察活塞杆运动，泵站起压正常，千斤顶活塞杆运动无异响
六	检查油路各接头部位、阀块、千斤顶活塞等部位无漏油现象
七	手动控制泵站、千斤顶伸缸或缩缸动作，控制指令取消后泵站工作状态及千斤顶动作停止
八	系统远程启动泵站，操作控制千斤顶，按下急停按钮泵站停止工作，千斤顶停止运动；取消急停按钮，操作指令恢复正常
九	远程手动控制各点千斤顶、步履器动作，运行 3 个行程循环，控制系统显示的压力、位移等各项数据正常后，启动自动程序开始正式顶推
十	作业完毕后关闭电源，盖好泵站，并做好定期检查、维修保养工作

7 钢箱梁制作、安装及顶推施工

7.1 基本要求

7.1.1 钢箱梁制作应符合下列规定。

- a) 钢箱梁制造前应通过制造验收规则暨焊接工艺评定试验。
- b) 为保证梁段的外形和几何尺寸，防止产生过大的内应力，梁段的焊接应分步进行，并遵循先内后外、先下后上、由中心向两边的施焊原则。优先选用CO₂焊方法，同时尽量采用陶质衬垫单面焊双面成型的焊接工艺。
- c) 钢箱梁根据预拼场地采用“n+1”水平预拼装模式，每轮预拼预留1节复位段参与下轮预拼，进行竖向线形控制、平面线形检测、几何尺寸检测、接口匹配检测。

7.1.2 钢箱梁节段出厂检测合格后，步履式顶推法整体顶推前现场拼装及顶推施工可参考本章节。

7.1.3 钢箱梁制造单位应具有相应的施工资质，线形复杂的钢箱梁安装应进行建筑信息模型（BIM）技术模拟或现场预拼装，确保钢箱梁的拼装精度。

7.1.4 施工单位应根据设计文件、施工图纸、国家现行相关标准绘制施工辅助设施详图，并进行顶推过程中钢箱梁节段及辅助设施相关验算。

7.1.5 顶推施工前，应根据桥梁结构设计特点、现场施工环境，建立高精度测量控制网，形成测量控制成果书，报监理、建设单位审批。钢箱梁桥位拼装时，宜采用固定点测站测量。

7.2 钢箱梁现场拼装

7.2.1 首节钢箱梁与导梁固结时，应考虑成桥竖曲线对导梁及钢箱梁进行配切，以满足成桥后的设计线形要求。

7.2.2 拼装区胎架线形根据钢箱梁成桥线形进行设计，每循环顶推应采用多节段连续匹配拼装，以提高精度要求。

- 7.2.3 现场拼装以基线为基准摆放钢梁节段，根据监控单位下发的监控指令进行调整梁段空间位置，使几何尺寸、接口间隙、接口处钢板错台等项点满足要求，并用码板码固进行限位。
- 7.2.4 钢箱梁桥位拼装焊接过程中，宜优先选择温度稳定的时间段进行。
- 7.2.5 测量接口处腹板、底板纵肋、U肋嵌补段长度，火焰切割下料后并组焊。钢箱梁节段现场焊接应遵循对称施焊原则，防止不对称焊接引起的节段偏位。
- 7.2.6 节段两两焊接并进行无损检测。
- 7.2.7 桥位焊缝部位除锈、涂装及涂层损坏部位补涂装。

7.3 钢箱梁顶推施工

- 7.3.1 顶推前，应制定测量监控方案，全程监控顶推过程中钢箱梁各节段空间位置。
- 7.3.2 顶推过程宜按照“预顶推、正式顶推”开展，预顶推应对所有装置、设备、结构的安全性及工作状态进行检查。
- 7.3.3 顶推施工开始前，应开展顶推全过程的模拟试验，注意钢箱梁结构、顶推设备、顶推支墩、导梁、塔架等构件之间的相互耦合作用，并考虑每循环多种受力状态和体系转换的影响，确保主体结构及临时辅助结构的安全可控。
- 7.3.4 在顶推过程中钢箱梁的受力状态与成桥时受力状态完全不同，整个顶推过程的监控应以支反力控制为主，标高控制为辅的原则进行。因此每轮顶推前依据监控指令，明确该轮顶推钢箱梁所经墩台的竖曲线变化范围（即标高变化值）及主梁许用支反力（即墩台的许用压应力）变化范围，以确定该轮顶推的顶举千斤顶的调整范围。
- 7.3.5 顶推监控设备如振弦式应变计等设备的埋入，应在所有结构受荷载前进行，并采集初始数据，以便后期对比分析。
- 7.3.6 顶推同步性控制中除步履式设备数控值反馈及全站仪复核外，为避免滑移面板影响数据误差，宜增设拉绳式计米器进行复核。
- 7.3.7 顶推设备宜布置在钢箱梁同一横断面腹板处，根据顶推竖曲线不同，需准备钢板进行抄垫，上部放置2 cm橡胶板或高密度木板，可以使主梁局部受力均衡。
- 7.3.8 正式顶推阶段，应遵循“安全、匀速、稳定”的顶推原则。
- 7.3.9 在顶推过程中，液压、电控专业技术人员要密切注意千斤顶、泵站和主控台的工作情况，尤其是自动连续千斤顶前后两套夹持器的持力转换效率。
- 7.3.10 墩台和临时墩承受竖直荷载和水平推力所产生的竖直、水平位移，需要时，观测其应力变化。桥梁顶推过程中，主梁和导梁的控制截面的挠度，需要时，观测其应力变化。滑动装置的静摩擦系数和动摩擦系数。观测的结果应随时记录、整理，如超过设计规定限值，应分析原因，采取措施纠正。
- 7.3.11 顶推过程中，当导梁根据处于最大悬臂状态时，可通过后方设备增加抄垫高度方式使钢箱梁进行强制位移以确保临时顶推支墩的支反力满足要求，同时可通过调整塔架索力形式减少前方支墩支反力。
- 7.3.12 顶推过程中，当导梁根据处于最大悬臂状态时，若出现导梁无法过墩工况，当导梁底部与墩垫高差较小时，可以通过设置在导梁鼻梁上的上墩千斤顶辅助上墩。当导梁底部与墩垫高差稍大，导梁鼻梁辅助千斤顶无法使得导梁上墩时，在保证钢箱梁内力、塔架受力及缆索索力具备足够的安全系数情况下，通过张拉缆索的方式，使导梁前端上翘，导梁鼻梁底部高于步履设备的垫梁。待导梁前端越过墩垫，顺利上墩后，释放缆索索力，导梁降落至步履设备垫梁上，步履装置正常工作。
- 7.3.13 顶推到最后时要特别注意钢箱梁是否到达设计位置，须在温度稳定的夜间顶推到最终位置，并根据温度仔细计算测定梁长。最后一次顶推时应采用小行程点动，以便纠偏及纵移到位。

7.4 线型控制及措施

7.4.1 线形是大跨度桥梁施工控制的最直接控制指标。通过对桥梁实施线形控制，使其结构在施工过程中的实际位置（平面位置、立面位置）与预期状态之间的误差在规范允许范围之内，保证桥梁成桥线形最大程度符合设计要求。钢箱梁顶推施工允许偏差应符合表8的规定。

表8 钢箱梁顶推施工允许偏差

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	轴线偏位		10 mm	全站仪或经纬仪： 每段检查2处
2△	落梁反力		符合设计，设计未规定时不大于1.1倍的设计反力	用千斤顶油压计算：检查全部
3	支点 高差	相邻纵向支点	符合设计，设计未规定时不大于5 mm	水准仪：检查全部
		同墩两侧支点	符合设计，设计未规定时不大于2 mm	

7.4.2 线形控制应满足以下规定。

- a) 基准网按CJJ 8中二等水准测量要求进行，采用电子水准仪，视线长度 ≤ 50 m，前后视距差 ≤ 1.0 m，任一测站上前后视距累积差 ≤ 3.0 m。
- b) 主梁线形监测前，应先复核高程基准点，无误后方可使用。进行测量时，按照三等水准测量的要求，采用附和导线测量法。
- c) 为了减小温度对结构变形测量结果的影响，一般选择在夜间大气和结构温度比较恒定的时段进行。
- d) 顶推过程中，应严格监测墩身的水平位移、导梁的悬臂挠度、塔架的偏转角度及顶推支墩的沉降位移值，确保各临时结构的稳定性。
- e) 顶推过程中应严格监测钢箱梁的顶推速度（平均速度为4 m/h~6 m/h）及顶推监控点标高、位移，发现偏位即时纠正。
- f) 箱梁在顶推过程应采取有效的纠偏措施。当箱梁轴线偏移超过一定范围后及时在顶推进行过程中对箱梁进行纠偏工作，使梁回到预定位置。

8 顶推施工监控

8.1 基本要求

为确保顶推施工过程中梁体结构的安全，梁体结构顶推全过程应进行施工监控，保证顶推施工过程中梁体结构线形、结构受力满足设计要求，保证顶推施工过程中梁体结构的稳定。

8.2 顶推施工监控

8.2.1 梁体结构顶推施工监控内容包括计算分析和现场监测两个部分。

8.2.2 计算分析包括梁体结构顶推施工前期、施工过程和成桥状态三个阶段的监控计算内容：

- a) 施工前期：包括对设计的复核计算、理想施工状态的计算等；
- b) 施工过程：根据实际施工过程中不断修正产生误差的参数计算；
- c) 成桥状态：复核顶推完成后梁体结构实际的成桥状态。

8.2.3 现场监测内容包括变形监测、内力监测、横向偏移监测以及其他监测等：

- a) 变形监测主要包括永久墩、临时墩、导梁以及梁体等结构最不利断面位置变形的监测；
- b) 内力监测主要包括永久墩、临时墩、导梁以及梁体等结构最不利断面位置应力的监测；
- c) 横向偏移监测主要包括导梁、梁体结构等在横向位置的偏移监测；

- d) 其他监测主要包括顶推过程中临时墩支反力、梁体结构顶推力大小的监测，落梁时永久支座反力的监测以及临时塔架索力监测等。

8.3 监控方法

- 8.3.1 变形一般选择普通水准仪、静力水准仪、位移计等方法进行监测。
 8.3.2 内力一般选择振弦式应变计、应变片等方法进行监测。
 8.3.3 横向偏移一般选择全站仪等方法进行监测。
 8.3.4 其他如顶推过程中临时墩支反力、梁体结构顶推力以及落梁时永久支座反力一般选择直接读取油压表读数方法进行监测；临时塔架索力一般选择索力测试仪等方法进行监测。

8.4 监控频率

顶推施工监控频率为：

- a) 监控测点布置完成后，全部监测项目测得初始值；
 b) 每个施工工况的前后；
 c) 顶推一个节段的前后；
 d) 其他工况需要加密监控时。

8.5 监控指标

- 8.5.1 梁体结构在顶推施工时应符合下列基本要求：
 a) 台座和滑道的中线应在桥轴线或其延长线上；
 b) 导梁应在地面试装后，再在台座上安装，导梁与梁身应连接牢固；
 c) 千斤顶及其他顶推设备在施工前应检查校正，采用多点顶推时各点顶推应同步；
 d) 顶推过程中若梁体出现裂缝，应立即停工并查明原因，在采取措施后，方可继续顶推。
 8.5.2 梁体结构顶推施工时的实测项目应符合表 9 的规定。

表 9 梁体结构顶推施工时的实测项目

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	轴线偏位/mm	≤100	全站仪：每段测 2 处
2	落梁反力	满足设计要求；设计未要求时，≤1.1 倍的设计反力	查油压表读数：检查全部

参 考 文 献

- [1] GB/T 97.1 平垫圈A级
- [2] GB/T 226 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法
- [3] GB/T 709 热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
- [4] GB/T 714 桥梁用结构钢
- [5] GB/T 1031 产品几何技术规范（GPS）表面结构轮廓法表面粗糙度参数及其数值
- [6] GB/T 1228 钢结构用高强度大六角头螺栓
- [7] GB/T 1229 钢结构用高强度大六角螺母
- [8] GB/T 1230 钢结构用高强度垫圈
- [9] GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件
- [10] GB/T 2650 焊接接头冲击试验方法
- [11] GB/T 2651 焊接接头拉伸试验方法
- [12] GB/T 2652 焊缝及熔敷金属拉伸试验方法
- [13] GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法
- [14] GB/T 2654 焊接接头硬度试验方法
- [15] GB/T 2970 厚钢板超声检测方法
- [16] GB/T 3323.1 焊缝无损检测射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术
- [17] GB/T 5313 厚度方向性能钢板
- [18] GB/T 5782 六角头螺栓
- [19] GB/T 6170 1型六角螺母
- [20] GB/T 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉
- [21] GB/T 11345 焊缝无损检测超声检测技术、检测等级和评定
- [22] GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
- [23] GB/T 31133 电力设备用液压式提升设备技术规范
- [24] GB 50009 建筑结构荷载规范
- [25] GB 50017 钢结构设计标准
- [26] GB 50068 建筑结构可靠性设计统一标准
- [27] GB 50202 建筑地基基础工程施工质量验收标准
- [28] GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- [29] GB 50254 电气装置安装工程低压电器施工及验收规范
- [30] GB 50303 建筑电气工程施工质量验收规范
- [31] GB 50661 钢结构焊接规范
- [32] GB 50755 钢结构工程施工规范
- [33] GB 51162 重型结构和设备整体提升技术规范
- [34] GB/T 51446 钢管混凝土混合结构技术标准
- [35] CJJ 2 城市桥梁工程施工与质量验收规范
- [36] JB/T 3223 焊接材料质量管理规程
- [37] JG/T 319 预应力用电动油泵
- [38] JG/T 321 预应力用液压千斤顶
- [39] JGJ 8 建筑变形测量规范
- [40] JGJ 80 建筑施工高处作业安全技术规范
- [41] JGJ 82 钢结构高强度螺栓连接技术规程

- [42] JGJ 106 建筑基桩检测技术规范
 - [43] JGJ 276 建筑施工起重吊装工程安全技术规范
 - [44] JGJ 300 建筑施工临时支撑结构技术规范
 - [45] JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
 - [46] JT/T 771 无粘结钢绞线斜拉索技术条件
 - [47] JTG D60 公路桥涵设计通用规范
 - [48] JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范
 - [49] JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
 - [50] JTG F90 公路工程施工安全技术规范
 - [51] JTG 2120 公路工程结构可靠度设计统一标准
 - [52] JTG/T 3360-02 公路桥梁抗撞设计规范
 - [53] JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范
 - [54] JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
 - [55] JTG/T 3651 公路钢结构桥梁制造和安装施工规范
 - [56] JTG/T D65 公路钢管混凝土拱桥设计规范
 - [57] TB/T 2137 铁路钢桥栓接板面抗滑移系数试验方法
 - [58] TB 10002 铁路桥涵设计规范
 - [59] DGJ32/TJ142 建筑地基基础检测规程
 - [60] DB37/T 1389 钢箱梁顶推施工技术规范
 - [61] 《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》（中华人民共和国住房和城乡建设部令 第37号）
-