

公路桥梁顶升施工技术指南

2022年2月发布

2022年2月实施

浙江省交通运输厅发布

公路桥梁顶升施工技术指南

编制单位： 杭州市交通工程集团有限公司
杭州道乔业交通科技有限公司
上海先达特种土木工程有限公司
批准单位： 浙江省交通运输厅

二〇二二年二月

公路桥梁顶升施工技术指南

审定委员会

主任委员：卞钧霏

委 员：张治中 文 斌 朱玉龙 雷 波
赵明朝 何承玉

编 写 组

主 编：马刚伟

副 主 编：汪 坚 翁明祥

编写人员：赵玉贤 李思望 郑华奇 祁恺飞
翁国强 吴佳波 余盛桃 周扬江
沈卫峰 李永青 安 康

目 次

前 言.....	III
1 总则.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 基本规定.....	2
5 调查与分析.....	3
5.1 一般规定.....	3
5.2 历史资料查阅.....	3
5.3 顶升施工图设计解读.....	3
5.4 桥梁现场调查.....	3
5.5 调查结果分析.....	4
6 技术设计.....	4
6.1 一般规定.....	4
6.2 临时结构设计.....	4
6.3 SLHC 系统设计.....	14
7 施工准备.....	17
7.1 一般规定.....	17
7.2 顶升施工组织设计编制.....	17
7.3 场地建设.....	18
7.4 施工测量.....	18
7.5 人料机进场及技术交底.....	18
7.6 桥梁结构临时加固.....	18
7.7 临时结构施工.....	18
7.8 SLHC 系统安装与调试.....	20
7.9 顶升前桥梁初始状态确认.....	23
8 施工.....	23
8.1 一般规定.....	23
8.2 解除梁板约束及处置.....	24
8.3 试顶升.....	24
8.4 正式顶升.....	25
8.5 桥梁结构改造.....	26
8.6 就位.....	26
8.7 临时结构与系统拆除.....	26
9 施工监控.....	27
9.1 一般规定.....	27
9.2 监控位置及内容.....	27
9.3 监控设备、监测频率及精度.....	28
9.4 监控方法及要求.....	28
10 检查与验收.....	29
10.1 一般规定.....	29
10.2 分项工程检验评定.....	29
附 录 A （资料性） 顶升准备工作关系图.....	31
附 录 B （资料性） 施工记录.....	32

附录 C (资料性) 应用案例——秋石高架二联(0#台~7号墩)桥梁调坡顶升..... 34

前 言

为了贯彻资源节约、环境保护相关方针，在公路工程、航道工程等交通基础设施改建项目中采用顶升技术对既有桥梁进行改造利用日益增多，而桥梁顶升对其施工技术的可靠性、安全性、操作协调性要求较高，现有《内河桥梁整体顶升技术规程》（DB 33/T 936-2014）、《桥梁顶升移位改造技术规程》（GB/T51256-2017），虽然对桥梁顶升的设计、施工、监控作出了相应规定，但对公路桥梁顶升的调查与分析、技术设计、施工准备、顶升作业、顶升监控、检验与验收等未作出系统完整的具体规定，因此，在公路桥梁顶升施工过程中存在上述工作不到位等情况，不利于施工单位规范施工，不利于建设单位及监理单位对工程监管工作的开展。

为此，编写组在认真调查研究国内外桥梁顶升技术发展现状的基础上、总结应用顶升工程的成功案例经验，编制了《公路桥梁顶升施工技术指南》，以规范和指导桥梁顶升工程的施工。

1 总则

1.1 为了规范公路桥梁顶升施工，促进公路桥梁顶升施工技术水平的提高，特制定《公路桥梁顶升施工技术指南》（以下简称“本指南”）。

1.2 本指南共分 10 章 3 个附录，分别为：1 总则、2 规范性引用文件、3 术语和定义、4 基本规定、5 调查与分析、6 技术设计、7 施工准备、8 施工、9 施工监控、10 检验与验收、附录 A（资料性）顶升准备工作关系图、附录 B（资料性）施工记录、附录 C（资料性）应用案例——秋石高架二联（0#台~7 号墩）桥梁调坡顶升等。

1.3 本指南适用于无通车条件下梁式桥梁的顶升施工，也可供无推力拱桥参考使用。

1.4 公路桥梁顶升施工除执行本指南外，尚应执行国家、行业、省的有关法律法规、标准、规范的规定。

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。

GB6067 起重机械安全规程
GB50017-2017 钢结构设计规范
GB/T 51256-2017 桥梁顶升改造技术规程
JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范
JTG/T 3650-2020 公路桥涵施工技术规范
JTG 5220 公路养护工程质量检验评定标准
JTG D64-2015 公路钢结构桥梁设计规范
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
JTG F90-2015 公路工程施工安全技术规范
JTG/T J22 公路桥梁加固设计规范
ZJ/ZN 2019-13 高速公路土建合同段施工管理指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

调坡顶升 slope gradien jacking-up

桥梁顶升后桥面纵坡发生改变。

3.2

顶升基础 foundation of jacking-up

提供顶升支承反力的结构统称为顶升基础，包括直接利用的桥梁原基础、改造后的基础、新施工基础、抱柱梁等。

3.3

工具式垫块 tool backing plate

顶升过程中用于接高、更换的垫块。

3.4

转换垫块 conversion backing plate

连接上、下不同管径支撑的垫块。

3.5

分配梁 supported beam for force distribution

置于梁底，并将梁体荷载传递到多个千斤顶的刚性结构。

[GB/T 51256-2017定义2.1.10，有修改]

3.6

抱柱梁 steel girdling of column/pier

依附于桥墩四周并与桥墩有效连接，将顶升力传递到桥梁上下部构造的结构。

[GB/T 51256-2017定义2.1.9，有修改]

3.7

钢抱箍 steel plate hoops

顶升过程中，沿墩柱外壁布置，对墩柱施加一定环向预压力的钢构件。

[GB/T 51256-2017定义2.1.11，有修改]

3.8

SLHC 系统 synchronous lifting hydraulic control system

由液压顶升系统和同步控制系统组成、能够将建筑物进行同步升降的设备总称为液压同步顶升控制系统，SLHC系统为液压同步顶升控制系统—synchronous lifting hydraulic control的缩写。

3.9

姿态 Spatial shape

梁体各个位置的不同高程组成的形态。

4 基本规定

4.1 桥梁顶升应由具有相应资质和相关施工经验的专业单位进行施工。

4.2 桥梁顶升不宜改变原桥受力体系，不应损伤原桥受力结构。

4.3 桥梁顶升工程应按施工组织设计的要求编制专项施工方案，并组织专家进行专项审查论证，按照审查意见进行补充、修改和完善。

4.4 专项施工方案应包含按第6章要求编制的技术设计文件及临时结构计算书；当专项施工方案涉及原桥内部应力变化时，应由设计单位进行复核并提供复核意见。

4.5 桥梁顶升应采用SLHC系统实施顶升。

4.6 应制定监测与控制方案，建立顶升监控体系，实施顶升监控工作，对施工安全影响较大的因素和重点部位、关键指标进行监测管控。施工中加强监控数据分析以指导施工，确保安全、有序、精准作业。

- 4.7 可参考 ZJ/ZN 2019-13《高速公路土建合同段施工管理指南》，建立健全顶升施工质量、安全、环境保护等管理体系，按照 JTG F90《公路工程施工安全技术规范》的要求采取安全保障措施。
- 4.8 应以保障被顶升结构正常顶升到预定高度，在顶升过程中不被伤害、改造工程符合相应施工规范和本指南的要求等为核心开展计划、进度、质量和安全管理工作。
- 4.9 对有船撞风险的跨水域桥或有车辆撞击风险的跨线桥，应编制专项交通组织方案，采取防撞措施，确保顶升期间船只或车辆通行安全。
- 4.10 顶升作业的安全管理应按施工组织设计中明确的安全目标、安全监管要求、安全保障措施，在每个阶段开展针对性的安全条件验收、顶升过程巡查管控工作。
- 4.11 顶升施工应加强环境保护工作，对改造过程产生的废弃物的堆放、运输及处置均应按 JTG/T 3650-2020《公路桥涵施工技术规范》第 26.3 节相关规定处理。
- 4.12 对复杂桥梁结构顶升，宜采用 BIM 技术进行施工流程 3D 推演、施工监测数据的可视化处理、施工现场的可视化动态管理等。
- 4.13 顶升施工宜积极采用新技术、新设备和信息化管理技术，提高桥梁顶升施工的技术水平。

5 调查与分析

5.1 一般规定

- 5.1.1 桥梁顶升专项施工方案编制前应仔细查阅原桥竣工图、地勘报告、检测报告、运营养护等历史资料，解读桥梁顶升改造顶升施工图设计文件，并对桥梁现状、施工现场及周边环境、管线、交通状况等进行详细调查。
- 5.1.2 根据桥梁顶升的目的，有针对性地开展调查数据分析。

5.2 历史资料查阅

- 5.2.1 查阅原桥竣工资料，掌握桥梁基础形式、结构尺寸、支座类型、结构自重等相关信息。
- 5.2.2 查阅运营养护资料，掌握交通量和车辆构成等交通运营状况、桥梁管养及维修加固信息。
- 5.2.3 查阅检测报告，掌握桥梁健康状况、技术状况及技术等级等信息，为顶升技术设计和监控方案设计提供依据。
- 5.2.4 查阅地勘报告，掌握顶升桥梁区域地质情况，为新增顶升基础设计提供依据。

5.3 顶升施工图设计解读

- 5.3.1 顶升施工图纸解读应重点理解设计要点、顶升作业控制指标、原结构及支座系统改造方案、伸缩缝处理方式等内容。
- 5.3.2 顶升控制要求中应重点关注各墩台设计顶升高度、同步顶升的精度要求、顶升监控项目、监控指标等内容。
- 5.3.3 掌握支座系统改造设计要求，包括支座更换、安装及调平的处理方式，对于调坡顶升桥梁，分析调坡顶升对支座系统改造的影响。
- 5.3.4 分析调坡顶升情况下伸缩缝宽度及梁端面倾斜变化的影响。

5.4 桥梁现场调查

- 5.4.1 对照竣工图纸，应对被顶升结构受影响部分作调查（不限于）：
- 桥跨布置、孔径、桥梁宽度；
 - 下部结构、上部结构和桥面系结构尺寸及高程；
 - 基础类型和构造尺寸；
 - 桥梁设计荷载或限制通行荷载。

- 5.4.2 应对被顶升结构及病害情况进行调查（不限于）：
- a) 桥梁外观、裂缝分布、裂缝宽度、表面缺陷；
 - b) 基础沉降、混凝土强度；
 - c) 支座垫石损坏、支座病害、伸缩缝类型及外观损坏。

- 5.4.3 应对顶升作业条件和周边环境进行调查（不限于）：
- a) 桥下净空、地形情况；
 - b) 跨线、涉路、涉水等情况；
 - c) 架空线路、过桥管线和地下管线等的分布；
 - d) 与两端非顶升区域的结构连接约束；
 - e) 周边交通、场地围护及进出场道路；
 - f) 地质、水文及气象等情况。

5.5 调查结果分析

- 5.5.1 在上述调查的基础上，对以下调查情况进行分析（不限于）：

- a) 原桥竣工图与桥梁结构现状的差异；
- b) 检测报告已检测的结构病害有无变化或遗漏的结构检测；
- c) 顶升施工图中存在的问题；
- d) 影响和制约顶升施工的环境和设施；
- e) 总结分析顶升施工的重点和难点，并提出建议。

- 5.5.2 将以上内容汇总后与监理单位、设计单位和建设单位进行汇报和沟通，为后续技术设计做准备。

6 技术设计

6.1 一般规定

6.1.1 技术设计包括临时结构设计、SLHC 系统设计，按顶升施工图设计要求将桥梁顶升至预设位置。

6.1.2 技术设计应根据桥梁结构特点、工程条件、改造目的、技术要求及检测结论等进行；简支结构以孔为单位设置顶升单元或多孔合并为顶升单元；先简支后连续结构应以联为单位设置顶升单元。应通过比选确定相应的技术设计。

6.1.3 临时结构设计包括升受力点选择、竖向荷载计算、顶升基础设计、顶升支撑体系设计、分配梁设计、限位结构设计等。

6.1.4 临时结构设计应符合 JTG/T J22《公路桥梁加固设计规范》、JTG 3362《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》、JTG D64《公路钢结构桥梁设计规范》的要求，进行受力计算和验算，并形成计算书。顶升过程设计可不计入混凝土收缩和徐变，不计算地震作用。

6.1.5 SLHC 系统应根据荷载分布、顶升支撑体系的设计方案及同步控制要求，明确系统组成及功能，做好同步控制、液压顶升系统、同步控制系统等设计。

6.2 临时结构设计

6.2.1 顶升受力点选择

6.2.1.1 顶升受力点为顶升千斤顶直接或通过分配梁间接作用于被顶升结构的位置，根据原桥梁结构、荷载分布进行布置，相对于桥梁中线或支点对称布置。

6.2.1.2 应对顶升受力点部位的桥梁结构根据原顶升施工图设计文件按 JTG 3362《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》、JTG D64《公路钢结构桥梁设计规范》的要求进行验算。

6.2.1.3 当顶升施工图设计采用直接顶升梁体时，应考虑结构改造所需的范围，空心板梁、T 梁、小箱梁、现浇箱梁、钢箱梁、钢混组合梁等顶升受力点选择如下：

- a) 预制空心板梁：受力点设在腹板下方，不应设在箱室空心部位，见图 1 空心板梁顶升作用点示意图，相邻两片梁设在板缝中间并用钢垫板进行分配，以保证共同受力；

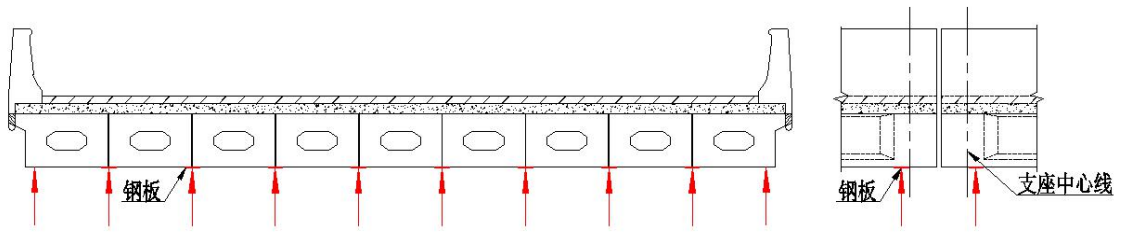
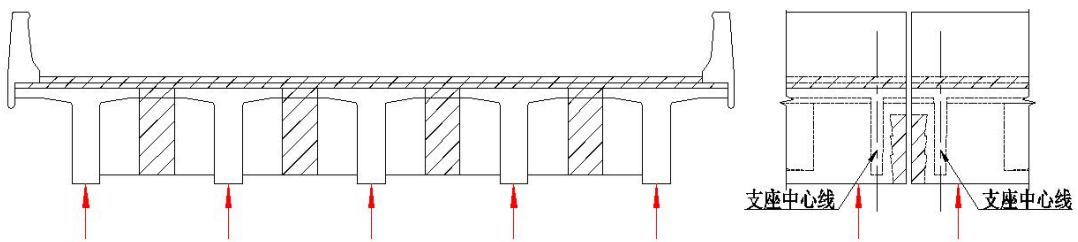
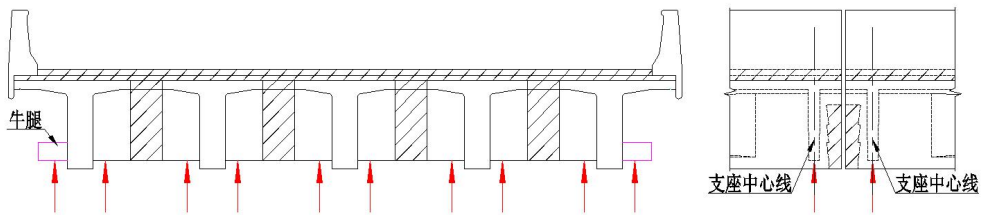


图 1 空心板梁顶升作用点示意图

- b) T 梁：受力点设在腹板见图 2-a)，横隔板见图 2-b)，边梁外侧对应横隔板的位置需增设钢结构牛腿或钢筋混凝土牛腿作为顶升作用点；



a) T 梁顶升作用点设在腹板下方示意图



b) T 梁顶升作用点设在横隔板下方示意图

图 2 T 梁顶升作用点示意图

- c) 小箱梁：受力点设在腹板下方，见图 3，不应设在底板空心箱室范围；

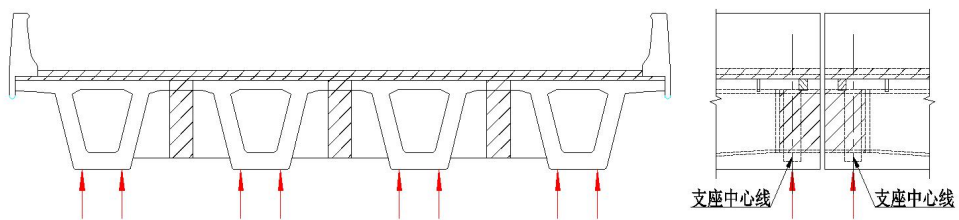
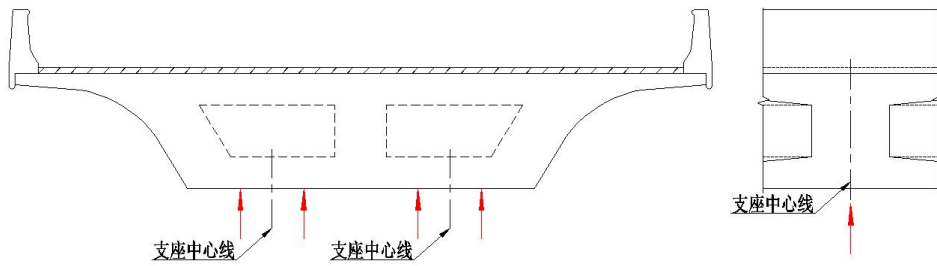
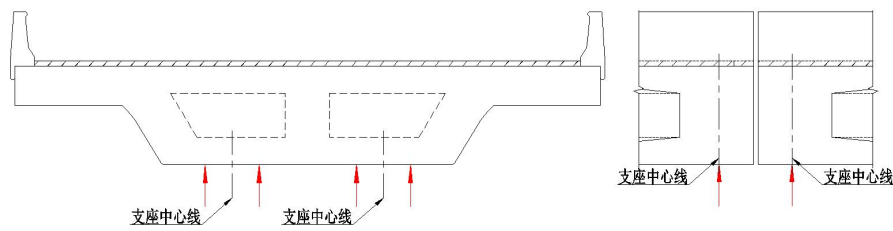


图 3 小箱梁顶升作用点示意图

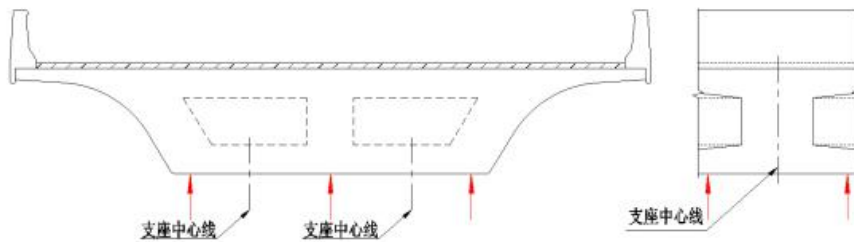
- d) 现浇箱梁：受力点设在横隔梁、腹板位置，中横梁图见 4-a)、端横梁见图 4-b)、腹板见图 4-c)；



a) 现浇箱梁顶升作用点设在中横梁下方示意图



b) 现浇箱梁顶升作用点设在端横梁下方示意图



c) 现浇箱梁腹板处顶升作用点示意图

图 4 现浇箱梁顶升作用点示意图

e) 钢箱梁、钢混组合梁：按照 d) 款现浇箱梁布置顶升受力点。

6.2.1.4 当顶升施工图设计采用在千斤顶与被顶升结构之间设置分配梁时，应考虑分配梁受力平衡，受力点宜按分配梁中心线对称布置，分配梁与被顶升梁体之间的受力作用点与第 6.2.1.3 条一致。

6.2.1.5 当顶升施工图设计采用断柱顶升法时，顶升受力点选择如下：

a) 当有盖梁可利用时，顶升点直接或通过分配梁间接作用于盖梁下方，见图 5 断柱梁法顶升作用点（作用在盖梁下方），顶升点相对于桥梁中线和墩柱对称布置，顶升点数量经过计算确定；

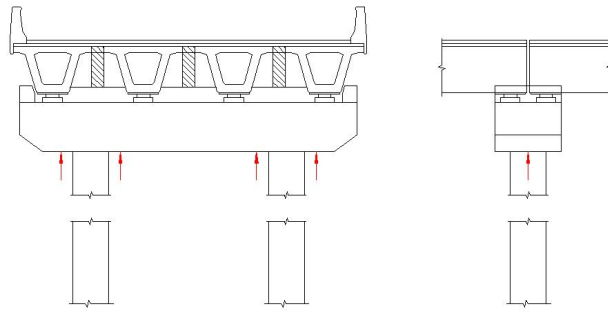


图 5 有盖梁断柱梁法顶升作用点示意图

- b) 当无盖梁可利用时，可在墩柱截断面以上设置抱柱梁，顶升点作用于抱柱梁底面，见图 6 抱柱梁法顶升作用点（作用在抱柱梁下方），顶升点相对于桥梁中线和墩柱对称布置，顶升点数量经过计算确定。

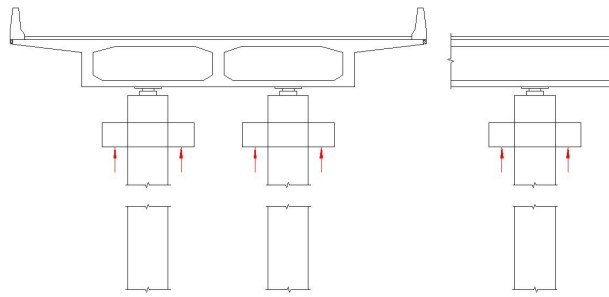


图 6 无盖梁抱柱梁法顶升作用点示意图

6.2.2 竖向荷载计算

6.2.2.1 竖向荷载包括被顶升结构自重、施工荷载、临时结构荷载，当顶升过程处于 12 月到次年 3 月期间内宜考虑雪荷载的作用。

6.2.2.2 被顶升结构自重应考虑以下因素：

- a) 结构自重可按照结构物的实际体积或设计给定的体积乘以材料的容重计算，材料容重取值如下：
 - 1) 钢筋混凝土： 26kN/m^3 ；
 - 2) 沥青混凝土： 24kN/m^3 ；
- b) 当顶升施工图设计采用直接顶升梁体时，结构自重包括梁体、桥面铺装、附属设施等；
- c) 当顶升施工图设计采用断柱法顶升时，还需计入截断面以上墩柱、盖梁与抱柱梁的自重。

6.2.2.3 临时结构荷载按照采用的不同临时结构设计形式，进行相应荷载计算。

6.2.2.4 确定顶升荷载，顶升荷载为千斤顶以上部分的竖向荷载；确定顶升基础荷载，顶升基础荷载为顶升基础以上部分的竖向荷载；确定顶升支撑荷载，顶升支撑荷载为顶升支撑结构以上部分的竖向荷载。

6.2.3 顶升基础设计

6.2.3.1 根据顶升荷载、顶升高度、原桥基础及结构特点进行顶升基础设计。

6.2.3.2 优先利用原基础或结构作为顶升基础，如承台、盖梁或台帽、桩基或墩柱等；当原基础或结构不能直接利用时，可对其进行改造加固；当不能进行改造和加固时，可增设顶升基础。

6.2.3.3 选择顶升基础时应考虑顶升高度，当顶升高度较小时，可选择第 6.2.3.4.2 条和 6.2.3.4.3 条中的盖梁顶或墩柱顶、牛腿、钢抱箍、钢筋混凝土抱柱梁做为顶升基础；当顶升高度较大时，宜采用承台和钢筋混凝土抱柱梁做为顶升基础。

6.2.3.4 直接利用或改造原基础或结构

6.2.3.4.1 当利用原承台时，按照以下要求进行设计：

- a) 当原承台平面尺寸及受力满足要求时，可直接作为顶升基础；
- b) 当原承台平面尺寸或受力不能满足要求时，按照以下要求进行设计：
 - 1) 可按图 7 对其进行加大截面改造，新增混凝土与原承台通过植筋连接；
 - 2) 承台改造后需按第 6.2.2 节计算荷载要求对其进行承载力、变形和抗冲切验算；

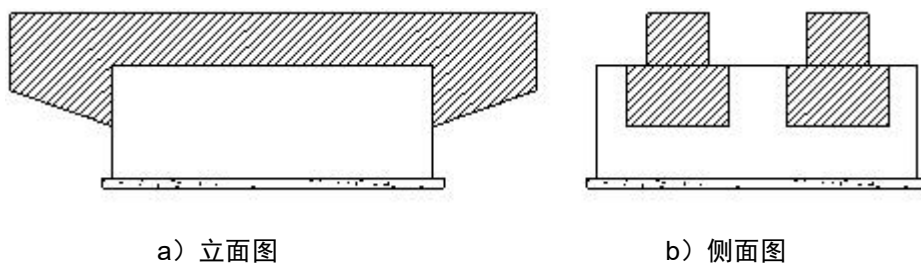


图 7 承台改造示意图

6.2.3.4.2 当利用盖梁或桥台台帽作为顶升基础时，应按以下要求进行设计：

- a) 当盖梁或桥台顶面至被顶升结构之间可以布置千斤顶时，可以将盖梁或桥台顶面作为顶升基础；当盖梁顶面到被顶升结构底面空间略有不足时，在取得设计和建设单位同意后，可将混凝土保护层适当凿除，并在施工完成后进行恢复，并在技术设计文件中明确凿除和修复的工艺要求；
- b) 当盖梁、桥台不能按照 6.2.3.4.2-a) 布置千斤顶时，可按图 8 在盖梁或桥台侧面增设牛腿作为顶升基础，牛腿采用钢结构或钢筋混凝土结构，与盖梁或桥台之间通过植筋连接；
- c) 验算要求如下：
 - 1) 当采用钢牛腿时，应进行强度、稳定与变形计算，以及连接部的计算。
 - 2) 当采用混凝土牛腿时，应进行抗弯、抗剪验算；

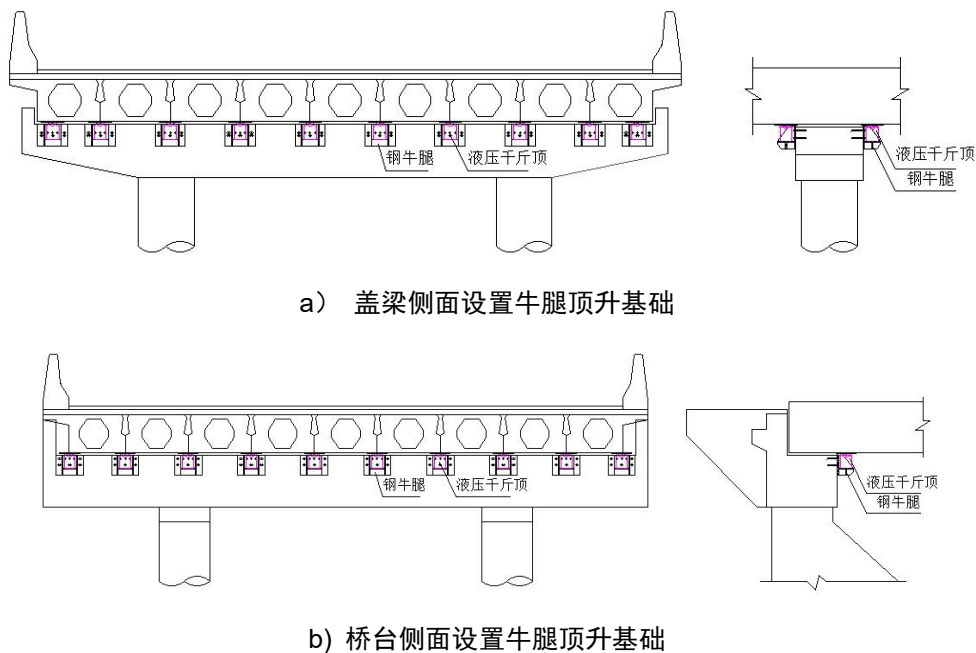


图 8 盖梁、台帽侧面设置牛腿顶升基础示意图

6.2.3.4.3 当利用桩基或墩柱作为顶升基础，应按以下要求进行设计：

- a) 桩基或墩柱通常不能直接作为顶升基础，可在桩基或墩柱四周增设抱柱(桩)结构作为顶升基础，见图 9 钢抱箍顶升基础图与图 10 钢筋混凝土抱柱梁顶升基础；

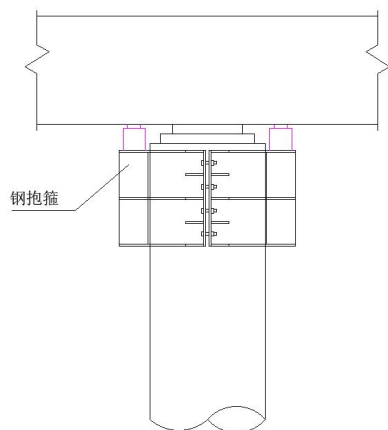


图 9 钢抱箍顶升基础示意图

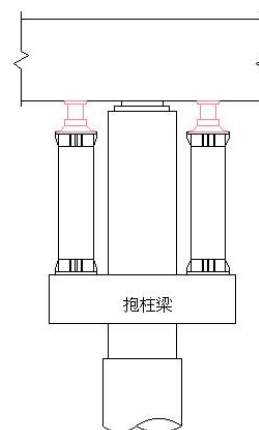


图 10 钢筋混凝土抱柱梁顶升基础示意图

- b) 钢抱箍和钢筋混凝土抱柱梁承载力安全系数不小于 1.5；
 c) 钢抱箍设计应满足 GB50017《钢结构设计标准》；钢筋混凝土抱柱梁应根据 JTG 3362《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》设计；
 d) 新增混凝土结构与原结构接触面要进行充分的凿毛，必要时植入钢筋以提高承载力；
 e) 验算要求如下：
 1) 对传递竖向荷载的混凝土抱柱梁进行结构设计时，新旧混凝土结合面的抗剪承载力可按式 1 进行计算：

$$\gamma V \leq V_U = 0.2 f_c A + 0.85 f_{sv} \frac{A_{sv}}{S_v} h_0 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- γ——体型系数，一般取 1.1~2.0；按照 GB/T 51256-2017《桥梁顶升改造技术规程》条文说明第 4.2.3 第 4 款要求进行取值；
- V——剪力荷载设计值(kN)；
- V_u——新旧混凝土结合面抗剪承载力(kN)；
- f_c——取抱柱梁、既有柱或墩的混凝土抗压强度设计值中的较低值(KPa)；
- A——新旧混凝土结合面的面积(m²)；
- f_{sv}——结合面配置的植筋抗拉强度设计值(KPa)；不采用植筋工艺时，值为 0；
- A_{sv}——植筋混凝土结合面的面积(m²)
- S_v——植筋的竖向间距(m)；
- h₀——抱柱梁高度(m)，大于 0.5m。

- 2) 应对抱柱梁进行抗弯、抗扭及抗冲切承载力验算；

6.2.3.5 增设顶升基础

- a) 当原基础或改造基础均不适用时，可根据地勘资料和顶升荷载设计顶升新基础；
 b) 顶升新基础的形式可采用桩基、扩大基础和利用自然地面硬化基础；
 c) 设计及验算要求如下：
 1) 当新基础采用桩基、扩大基础形式时，应按 JTG 3363《公路桥涵地基与基础设计规范》相关规定验算。
 2) 当新基础利用自然地面硬化基础时，应进行沉降验算、局部承压验算等。

6.2.4 顶升支撑体系设计

6.2.4.1 顶升支撑体系设计应根据顶升荷载、顶升高度、桥梁结构特点、施工条件、经济成本等因素综合考虑；顶升支撑结构形式有钢管柱、钢箱混凝土预制垫块、方形钢垫块和混凝土预制垫块等，根据顶升高度、基础条件结合以下适用条件选择合适的支撑形式：

- a) 钢管柱支撑宜适用于支撑高度 $>1\text{m}$ 的顶升；
- b) 钢箱混凝土预制垫块宜适用于直接顶升梁体且荷载较为集中的现浇箱梁顶升；
- c) 方形钢垫块和混凝土预制垫块宜适用于支撑高度 $<1\text{m}$ 的简支梁顶升。

6.2.4.2 根据位置不同可将钢支撑分为顶升千斤顶位置钢支撑和临时钢支撑（跟随千斤顶位置），两者分别独立设置，并通过加固杆件连成整体。

6.2.4.3 钢结构支撑包含顶帽、调平钢板、工具式垫块、转换垫块、钢支撑等，应用示例见图 11。



图 11 顶升支撑体系应用示例

6.2.4.4 顶升支撑体系设计时，应包含钢管柱、工具式垫块、转换垫块、顶帽和加固杆件的设计。

6.2.4.5 顶升支撑体系设计应满足以下要求：

- a) 承载力和稳定性满足要求，支撑杆件安全系数不小于 1.5；
- b) 各构件的设计和加工应符合 GB50017《钢结构设计标准》、JTG 3362《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》的要求；
- c) 与顶升基础及各构件之间竖向、水平向及斜向节点连接可靠；
- d) 工具式顶升垫块应方便施工安装和拆除，其高度应与千斤顶每次顶升设计行程相适应，并根据顶升高度设计成进阶式；
- e) 相对于顶升结构对称布置；
- f) 应按照顶升转换高度进行支撑转换的设计。

6.2.4.6 顶升支撑体系应验算以下内容：

- a) 竖向顶升荷载取值：顶升荷载=被顶升结构自重+分配梁重量+顶升设施自重+其他施工荷载；当顶升期间可能出现雪天时，应考虑雪荷载的作用；
- b) 水平荷载取值：结合钢管柱、千斤顶安装的竖直度偏差及调坡顶升过程中的转动影响，水平荷载取值顶升荷载的 2%；
- c) 顶升支撑体系计算：宜采用结构计算软件对支撑体系整体建模，将竖向荷载和水平荷载按照最不利工况施加到支撑体系，验算支撑体系最大应力和稳定性，安全系数采用 6.2.4.5a)；
- d) 当采用钢结构时，应按照 GB50017《钢结构设计标准》要求对单支撑按压弯构件进行强度和稳定性验算，强度验算采用 GB50017-2017《钢结构设计标准》式 8.1.1，稳定性采用 GB50017-2017《钢结构设计标准》第 8.2 节相关要求验算。

6.2.4.7 顶升施工作业区应采用封闭作业，作业区与通车区（或通航区）相邻时，应设置防撞设施，避免车船撞击支撑体系结构。

6.2.5 分配梁设计

6.2.5.1 分配梁与被顶升结构之间的受力点应按第 6.2.1 节的要求布置。

6.2.5.2 当顶升基础与被顶升结构之间因条件所限布置顶升支撑困难时，或为了增加被顶升结构的整体性，可在两者之间设置分配梁，进行受力体系转换，当出现以下情形时设置分配梁：

- a) 现浇箱梁顶升：当受力点设在腹板位置时，受腹板宽度限制，在腹板下直接布置顶升支撑困难，可在腹板与顶升支撑间设分配梁，传力路径为：顶升荷载→箱梁腹板→分配梁→千斤顶→顶升支撑→基础；
- b) 简支梁顶升：包括预制空心板梁、小箱梁和 T 梁顶升，由于梁板之间联系较弱，为了保证顶升时的整体性，可在梁板与支撑间设分配梁，梁板与分配梁之间作用点设在腹板位置。传力路径为：顶升荷载→腹板→分配梁→千斤顶→顶升支撑→基础。

6.2.5.3 分配梁通常采用钢结构形式，见图 12 分配梁设置示意图，设计时综合考虑顶升荷载、安装条件、经济性及通用性等因素。

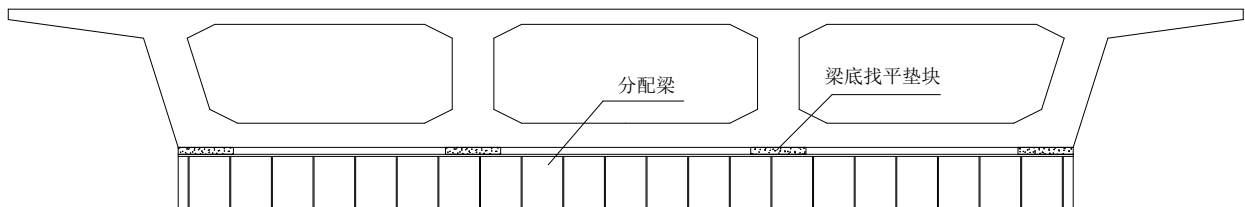


图 12 分配梁设置示意图

6.2.5.4 分配梁设计时应满足以下要求：

- a) 承载力及变形需满足 GB50017《钢结构设计规范》的相关要求；
- b) 稳定性需满足 GB50017—2017《钢结构设计规范》第 6.2 节、第 6.3 节的要求；
- c) 长度满足吊装需要。

6.2.5.5 分配梁受力验算应符合以下要求：

- a) 分配梁受力应对千斤顶受力和临时支撑受力等两种工况进行验算；
- b) 验算内容包括最大正应力、最大剪应力和挠度值，计算结果需满足 GB50017《钢结构设计规范》相关规定，且安全系数不小于 1.5；
- c) 验算可使用 MIDAS 或其它软件。

6.2.6 限位结构设计

6.2.6.1 各类桥梁当顶升高度超过 100mm 时需设限位结构，包括纵向、横向限位结构，保证被顶升结构平面位置偏移在允许范围内。

6.2.6.2 当顶升施工图设计采用直接顶升法时，可利用桥台、墩柱、盖梁、伸缩缝等设置限位，也可独立于桥梁原结构设置限位。设置如下：

- a) 当顶升高度较小时，可直接利用抗震挡块或将抗震挡块接高后设置限位，见图 13 抗震挡块限位示意图；

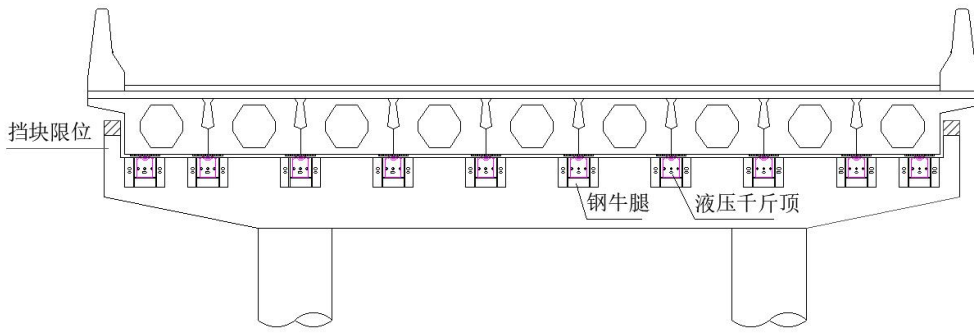


图 13 抗震挡块限位示意图

- b) 当桥梁顶升段一端有桥台或盖梁时，可利用台背或盖梁作为限位基础，通过在台背或盖梁顶面植筋设置钢结构或钢筋混凝土限位结构，见图 14 桥台或盖梁位置限位示意图；



图 14 桥台位置限位结构示例

- c) 当桥梁顶升段相邻跨桥面可以利用时，可在相邻跨桥面设置限位，见图 15 桥面限位示意图；

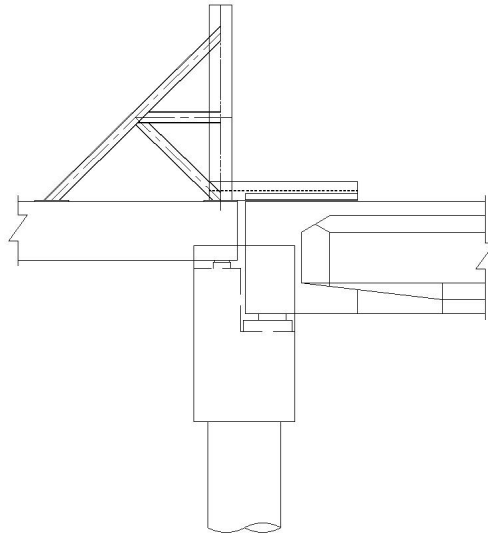


图 15 桥面限位示意图

- d) 当多联整体顶升时，可利用联间伸缩缝位置设置限位，约束联间纵横向相对位移，图 16 伸缩缝位置限位示意图；



图 16 伸缩缝位置限位示例

- e) 当无法利用原结构设置限位时，可在被顶升段两端独立设置限位基础和限位结构，限位柱可采用钢筋混凝土、钢管柱或格构柱，见图 17。

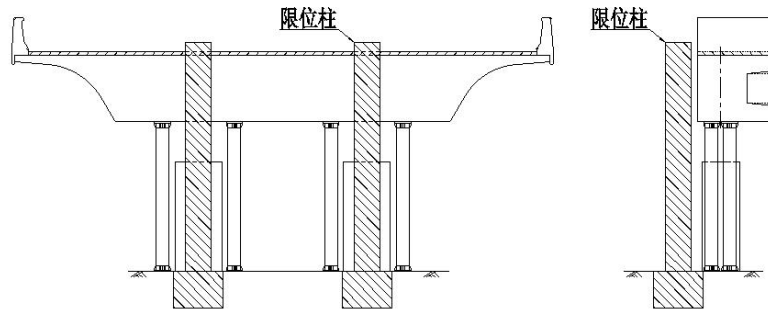


图 17 独立设置限位示意图

- 6.2.6.3 当采用断柱顶升法时，可利用顶升基础（原承台或抱柱梁）作为限位基础，通过约束墩柱水平位移达到限位目的，见图 18 断柱顶升桥墩限位示例；



图 18 断柱顶升桥墩限位示例

- 6.2.6.4 限位结构约束被顶升结构的立杆竖直度偏差不应超过 $2\%H$ ， H 为顶升高度。

6.2.6.5 限位结构与被顶升结构的间距应根据被顶升结构的位置变化、顶升到到位后允许误差等因素进行确定，且限位结构与被顶升结构的间距应满足表 1《限位结构与被顶升结构的间距要求》规定：

表 1 限位结构与被顶升结构的间距要求

限位类型		限位结构与被顶升结构的间距 (mm)
横向限位		≤10mm
纵向限位	等高度顶升	≤10mm
	调坡顶升	$\Delta L^{\text{①}}+10\text{mm}$
桥面联间限位	限位结构与被顶升结构固定连接，限制桥梁联间相对位移	
注：① ΔL 为限位柱所在位置桥梁水平投影长度变化		

6.2.6.6 限位结构应对强度、不同限位方向的结构刚度及稳定性进行验算，按表 2《限位结构水平荷载》取值。

表 2 限位结构水平荷载 (kN)

限位		荷载性质	取值要求
横向限位		横桥向荷载、调坡顶升过程中顶升分力、顶升支撑及千斤顶安装竖直度误差产生的水平分力作用	按顶升荷载的 2%取值
纵向限位	等高度顶升		按顶升荷载的 2%取值
	调坡顶升		
纵横向限位		顶升支撑及千斤顶安装竖直度误差产生的水平分力；调坡顶升过程中千斤顶转动产生的水平分力。	按顶升荷载的 2%取值

6.3 SLHC 系统设计

6.3.1 SLHC 系统设计要要求

- 6.3.1.1 应采用技术先进、信息化程度高、安全可靠的 SLHC 系统进行桥梁顶升施工；
- 6.3.1.2 顶升宜采用双作用千斤顶，当受施工空间限制时可采用薄型单作用千斤顶；
- 6.3.1.3 在 SLHC 系统设计前应完成同步控制设计，通过 SLHC 系统控制每台千斤顶完成单次顶升行程实现同步顶升，满足同步顶升精度要求。

6.3.2 SLHC 系统组成及功能

6.3.2.1 SLHC 系统组成：

- a) SLHC 系统包括液压顶升系统和同步控制系统，见图 19；

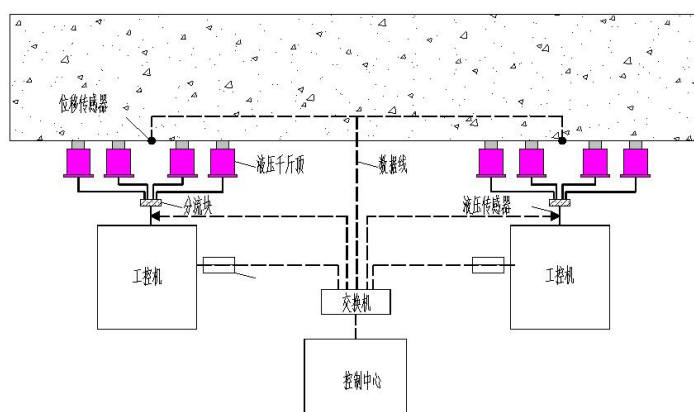


图 19 SLHC 系统配置示意图

- b) 液压顶升系统包括液压泵站、液压管路、液压千斤顶等，是以液压泵站通过液压管路驱动液压千斤顶实现顶升、停止、下降等；
 - c) 同步控制系统包括计算机控制系统、位移压力检测与人机界面操作系统、控制主机等。
- 6.3.2.2 SLHC 系统应具备以下功能：
- a) 顶升、暂停顶升、降落各工况均可实施同步控制；
 - b) 当同步误差超限或受到外界干扰时能够自动停机且自动关闭液压油路，防止油路失压；
 - c) 液压泵站应具备单机操作和同步顶升功能；
 - d) 液压千斤顶应具备液压自锁功能，在超高和超重顶升工程中应尚需同时具备机械自锁功能；
 - e) 液压千斤顶需配备球头，见图 20，以保证千斤顶与顶升支撑面全接触，避免局部承压，球头转动角不小于 3 度；



图20 球头装置示例

- f) 应能避免顶升过程中因油路失压造成支承受力失效，宜采用同步跟随装置及其它有效措施，液压千斤顶与跟随千斤顶布置见图 21；
- g) 应能控制顶升工况及支撑工况的同步精度。

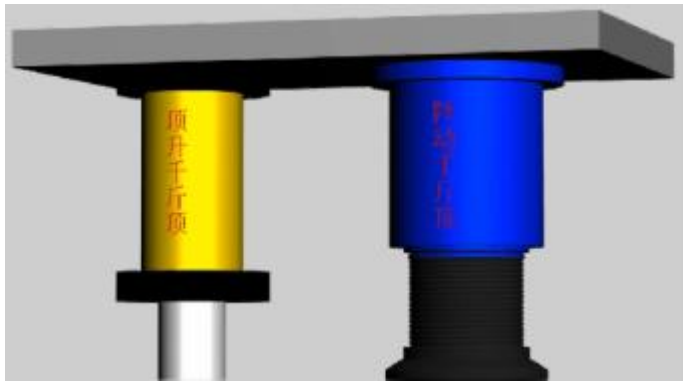


图 21 液压千斤顶与跟随千斤顶布置示意图

6.3.3 同步控制设计

6.3.3.1 同步控制设计包括划分顶升控制区域、进行顶升行程设计、完成顶升行程分解等。

6.3.3.2 划分顶升控制区域。为了保证被顶升结构受力体系基本不变、姿态可控，应按照顶升结构范围，根据位置相近、对称和荷载相近的原则将顶升结构进行区域划分。

6.3.3.3 按照以下要求进行顶升行程设计：

- a) 总顶升高度为设计顶升高度+支座压缩的高度+工作高度；
- b) 考虑以下因素设定每个行程的顶升量：
 - 1) 现场情况；
 - 2) 千斤顶的额定行程；
 - 3) 工具式垫块的匹配高度；
 - 4) 阶段顶升高度或总顶升高度；
- c) 根据单个行程量，确定支撑转换高度。

6.3.3.4 按照划分的顶升控制区域，根据阶段顶升高度或总顶升高度，完成顶升行程分解，确定单次顶升行程的顶升高度。

6.3.4 液压顶升系统设计

6.3.4.1 按照设计要求及同步控制设计结果，进行顶升控制区域内的千斤顶配置，千斤顶数量可按式 2 进行估算：

$$n = k \frac{G_k}{N} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- n ——千斤顶数量；
- k ——安全系数，取 1.5；
- G_k ——顶升时桥梁总荷载标准值，单位为千牛顿（kN）；
- N ——单个千斤顶额定承载力，单位为千牛顿（kN）。

6.3.4.2 按照千斤顶配置的数量，按式 3 计算确定单个千斤顶需要承担的顶升荷载，作为千斤顶顶升的理论顶升力。

$$N_0 = \frac{G_k}{n} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

NO——千斤顶计算顶升荷载（kN）；
Gk ——顶升时桥梁总荷载标准值，单位为千牛顿（kN）；
n ——千斤顶数量。

6.3.4.3 按照区域千斤顶的配置及液压泵站控制的功能和性能，配置液压泵站。

6.3.4.4 应结合施工现场、控制区域的千斤顶配置，布设千斤顶及液压泵站，按照布设情况设置液压管路。

6.3.5 同步控制系统设计

6.3.5.1 根据液压顶升系统设计结果，按照千斤顶的顶升行程，设置各控制区域每个千斤顶的每个阶段的单行程顶升高度；按照设定的行程实现全部顶升区域内千斤顶顶升的同步控制；结合第 6.3.1 节、第 6.3.2 节的要求配置 SLHC 系统的硬件和软件。

6.3.5.2 对于多点联动顶升工程，需要采用控制主机进行顶升控制，对于较为复杂的顶升项目，还需在控制主机上外接监控显示器以便现场监控和指挥。

6.3.5.3 按照顶升控制区域对每个区域内的千斤顶实现连接和控制的要求进行计算机控制系统的配置设计。

6.3.5.4 每个顶升控制区域至少应设置各 1 台位移传感器和压力传感器，位移传感器精度应不低于 0.2 级，压力传感器精度应不低于 0.1MPa。

6.3.5.5 控制主机应按照满足在顶升控制区域中操控所有液压泵和液压千斤顶、并能储存操作过程所有数据的能力进行配置。

6.3.5.6 应按照顶升控制区域及千斤顶的布设设计人机操作界面，人机操作界面可通过输入指令完成顶升操作的全过程，操作界面应包含顶升、落降、停止、设置顶升速度、设置同步控制误差等内容。

6.3.5.7 控制主机应按照能满足顶升控制区域中操控所有液压泵和液压千斤顶、并能储存操作过程所有数据的能力进行配置。

7 施工准备

7.1 一般规定

7.1.1 顶升准备包括顶升施工组织设计编制→场地建设、人料机进场及技术交底→施工测量→工程构件临时加固→临时结构施工→SLHC 系统安装调试和顶升桥梁初始状态的确认等工作，其工作关系见附录 A。

7.1.2 场地建设、设备进场验收、施工班组进场、临时结构施工与验收、同步顶升控制系统的安装调试在符合第 7.1.1 条规定的同时，尚应满足本章的相关规定。

7.1.3 应按照技术设计的要求，配置满足技术和安全要求的顶升设备，明确进场前的检测、保养维修和调试计划和要求，确定顶升过程中检查和保养要求。

7.1.4 应配置临时电源、配备备用液压泵站和液压千斤顶以及其他适量的备品备件，用于应对紧急情况。

7.1.5 应结合作业环境对施工作业及施工设备进行动态安全作业评价，明确风险因素并提出控制措施，确定应急预案并配备应急物资。

7.1.6 应按照第 9 章要求进行监测监控设备的安装。

7.2 顶升施工组织设计编制

7.2.1 桥梁顶升的施工组织设计应按顶升施工图设计、招标文件及浙交〔2019〕197号《浙江省交通建设危险性较大的分部分项工程专项施工管理办法》的要求，完成对顶升技术设计、顶升施工准备、顶升施工作业方法、质量、安全、文明、施工保障措施、监测与监控、顶升风险识别与防范、顶升工程的检查与验收的内容撰写，其中技术设计应独立篇章，按照本指南第6章的要求完成相应设计。

7.2.2 施工组织设计编制完成并经审查后办理报批手续。

7.2.3 如涉及交通组织，应在施工组织设计中包括交通组织方案的编制与报批工作。

7.2.4 施工组织设计中应根据技术设计要求，明确千斤顶的详细布置图表，并明确其承担的顶升荷载，宜配置部分机械同步跟随装置，用于防备液压失效的应急情况。

7.2.5 当涉及桥梁工程改造时，如顶升施工需要，可经设计单位同意后提高加固混凝土强度，混凝土浇筑时，除了按规定制作混凝土试块数量外，应在现场增加制作不少于一组的同条件养护试块。

7.3 场地建设

7.3.1 应按照 JTG/T 3650-2020《公路桥涵施工技术规范》第26.2.3条要求结合桥梁顶升施工实际情况完成施工场地的建设。

7.3.2 被顶升桥梁投影区域应设置警戒线及相应警示标志，非作业人员未经允许不应进入警戒范围内。

7.3.3 在顶升作业周围应设置通行区，通行区内不应堆放杂物等。

7.4 施工测量

7.4.1 应按 JTG/T 3650《公路桥涵施工技术规范》要求建立现场水准控制网和平面控制网。

7.4.2 施工测量方案应与顶升监控方案有机结合，测点宜统一布设。

7.4.3 在顶升过程中，除采用全站仪、经纬仪和水平仪外，可由作业班组采用直尺、垂球进行复核测量。

7.5 人料机进场及技术交底

7.5.1 应按技术设计及 JTG/T 3650《公路桥涵施工技术规范》规范要求，组织施工人员、设备和材料的进场，办理报验工作，属于特种设备、计量设备和特殊工种应按照相应规定做好检测和报备工作，对施工人员完成安全教育和技术交底工作。

7.5.2 进场报验的施工人员应符合以下要求：

- a) 按照技术设计中 SLHC 系统设计要求，配置合格的操作人员和机电维修人员；
- b) 应对施工人员的操作和应急处置能力进行培训考核，考核通过后才能上岗，特种作业人员持证上岗；
- c) 主要施工操作的人员应具有 SLHC 系统施工操作经验，顶升时应按照施工地点和作业内容将相关人员分成若干小组，每个小组安排一名有施工经验施工操作人员做为班长，现场应设置一名统一指挥人员对顶升作业进行指挥协调。

7.5.3 进场报验的机具设备应符合以下要求：

- a) SLHC 系统的硬件、软件进场均应进行检查或测试工作，符合要求后方可进行系统安装和设备调试工作；
- b) 属于特种设备、计量设备应按照相应规定做好检测、标定或校准工作；
- c) 应根据专项施工方案的要求，配置顶升支撑垫块。

7.6 桥梁结构临时加固

如需要进行桥梁结构的临时加固，应在临时工程施工前，按照顶升施工图设计文件、JTG/T 3650《公路桥涵施工技术规范》、JTG/T J22《公路桥梁加固设计规范》、JTG F90《公路工程施工安全技术规范》等要求完成桥梁结构的临时加固工作。

7.7 临时结构施工

7.7.1 基础施工

- 7.7.1.1 当利用原承台作为顶升基础时，应按照以下要求进行处理：
- 将原承台顶面支撑点位置用混凝土或灌浆料找平，平整度允许偏差 $\pm 3\text{mm}$ ，以保证顶升支撑的竖直度；
 - 当支撑高度大于 50cm 时，采用植筋方式将支撑与承台固定连接。
- 7.7.1.2 当采用原承台加固改造后作为顶升基础，应按照以下要求进行处理：
- 对新旧混凝土结合面进行充分凿毛并冲洗干净，以保证新旧混凝土结构的良好结合；
 - 新旧结构之间的植筋应按 JTG/T J22《公路桥梁加固设计规范》等规范有关规定施工，并按照要求进行植筋拉拔试验；
 - 混凝土浇筑完毕及时覆盖洒水养生。
- 7.7.1.3 当利用盖梁或桥台台帽作为顶升基础，应按照设计及以下要求进行处理：
- 若盖梁或桥台台帽顶面不平，可用水泥砂浆或灌浆料找平；
 - 盖梁顶面到被顶升结构底面空间略有不足而将混凝土保护层适当凿除的，应按照技术设计中明确的凿除和修补方法，完成相应的工作。
- 7.7.1.4 当利用盖梁或桥台台帽侧面增设牛腿作为顶升基础，应按照以下要求进行处理：
- 钢牛腿与盖梁或桥台之间通过植筋连接，应按照植筋的工艺要求进行施工；
 - 植筋前用钢筋探测仪探明盖梁或桥台内钢筋分布情况，必要时调整植筋位置，植筋孔位相对于支撑点对称布置；
 - 钢牛腿安装时，应保证钢牛腿安装的竖直度，以及千斤顶支承面的水平。
- 7.7.1.5 当利用桩基或墩柱在桩基或墩柱四周增设抱柱(桩)梁结构作为顶升基础，应按照以下要求进行处理：
- 对新旧混凝土结合面进行充分凿毛并冲洗干净，以保证新旧混凝土结构的良好结合；
 - 抱柱梁混凝土一次浇筑完成，对于结构尺寸较小的抱柱梁，不能使用振捣形式浇筑混凝土时，可采用自密实混凝土；
 - 混凝土浇筑前做好钢支撑地脚螺栓的定位预埋；
 - 混凝土浇筑完毕及时覆盖洒水养生。
- 7.7.1.6 增设顶升基础，按照 JTG/T 3650《公路桥涵施工技术规范》的要求及相关规定组织施工。
- ## 7.7.2 顶升支撑安装
- 7.7.2.1 钢结构支撑宜采用人工配合机械按以下要求进行安装：
- 安装顺序：钢管柱→转换钢垫块→工具式垫块；
 - 第一节钢管柱与基础之间使用法兰盘通过地脚螺栓连接，每节钢管柱安装到位后及时与相邻钢管进行螺栓连接，调直后将所有的螺栓拧紧；
 - 钢管柱安装完成后进行验收，垂直度偏差不大于 2‰，连接螺栓上满拧紧；
 - 按照技术文件要求在各支撑之间焊接（栓接）水平杆件和剪刀撑；
 - 钢管柱与加固杆件通过钢抱箍或连接钢板连接，避免将钢管柱与加固杆件直接连接；
 - 节点连接（焊接或栓接）质量要满足技术文件或 JTG/T 3650《公路桥涵施工技术规范》的相关要求。
- 7.7.2.2 钢箱垫块、混凝土预制垫块宜采用人工配合机械按以下要求进行安装：
- 钢箱垫块、混凝土垫块的支承面要保证平整，平整度允许偏差 $\pm 2\text{mm}$ ，以免因局部受力破坏；
 - 每一节垫块安装完成后要保证与相邻垫块之间完全接触、不应出现局部脱空情况，当出现脱空时用环氧砂浆找平后重新安装。
- ## 7.7.3 分配梁安装
- 7.7.3.1 分配梁进场后要进行验收，包括尺寸、焊缝质量、支承点位置是否严格按图纸制作等。

- 7.7.3.2 分配梁安装前应检查被顶升结构已按照技术设计的要求完成加固处理（如有）。
- 7.7.3.3 被顶升结构按照顶升施工图设计文件做好受力点的位置施工放样工作。
- 7.7.3.4 采用先安装分配梁、后灌注支承垫石的施工顺序，以保证分配梁与被顶升结构在支点位置结合紧密。
- 7.7.3.5 受桥下空间限制，分配梁可根据自重通常采用倒链、电动葫芦等起重工具进行安装，起重工具和钢丝绳的选配要满足 GB6067《起重机械安全规程》的规定。
- 7.7.3.6 采用专用压浆机压注灌浆料，保证支承垫石浇筑密实。

7.7.4 限位结构施工

- 7.7.4.1 当利用原结构限位时，按照以下要求进行施工：
 - a) 当利用抗震挡块作为限位结构时，应调整限位挡块与被顶升结构之间的距离，确保其在 10mm 以内，并在挡块靠近被顶升结构一侧用 20mm 厚的钢板进行保护，防止挡块损坏；当挡块高度不足时，应根据顶升施工图设计要求先行接高；
 - b) 当利用桥台的台背、盖梁作为限位基础，进行限位结构施工时，施工前应对结构物进行检查，并按照顶升施工图设计和第 6 章技术设计文件以及 JTG/T J22《公路桥梁加固设计规范》其他相关规范的规定要求，进行植筋和相应构件的施工；
 - c) 当利用伸缩缝位置进行限位时，按照技术设计文件进行施工，同时应考虑顶升施工图设计文件中对伸缩缝的利用内容，不应损坏直接利用的结构部分。
- 7.7.4.2 当新做限位基础和限位结构时，应按照技术设计文件要求进行施工。
- 7.7.4.3 限位柱施工竖直度偏差应满足设计要求，与被顶升结构相对一侧平整度允许偏差为 $\pm 3\text{mm}$ 。
- 7.7.4.4 当利用顶升基础（原承台或抱柱梁）作为限位基础，通过设置格构柱约束墩柱水平位移进行限位时，按照以下要求进行施工：
 - a) 格构柱宜采用钢结构，各杆件之间可采用焊接或栓接；
 - b) 格构柱立杆与墩柱间距离不超过 5mm；
 - c) 格构柱的设置不能影响墩柱的切割。

7.8 SLHC 系统安装与调试

7.8.1 SLHC 系统安装

- 7.8.1.1 当顶升受力点直接作用于被顶升结构且采用倒置法安装千斤顶时，应将被顶升接触面进行技术处理，当无顶升施工图设计时，可按以下要求进行处理：
 - 1) 宜先用膨胀螺栓将吊顶钢板固定在梁底，调整至水平状态，与梁底保持 2cm~3cm 的距离；
 - 2) 再将千斤顶用螺栓固定在钢板下方；
 - 3) 最后用高强灌浆料将钢板与梁底间的缝隙填充密实；
 - 4) 梁底钢板处理示意图见图 22。

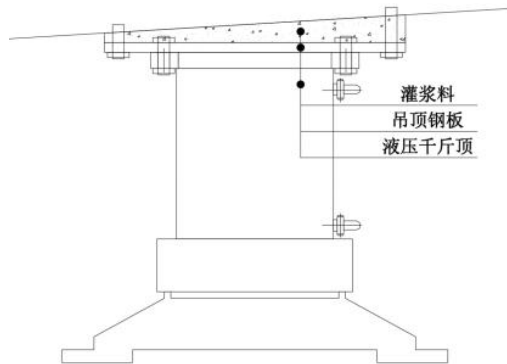


图 22 梁底钢板处理示意图

7.8.1.2 当受力点设置在分配梁上时，千斤顶安装前应按照技术设计文件明确的型号、行程等进行检查，检查符合后方可进行安装。

7.8.1.3 液压顶升系统按照以下要求进行安装：

- a) 千斤顶按照技术设计中的型号和位置，逐个按照以下方式进行安装：
 - 1) 根据规格、自重采用人工或配合叉车、倒链进行安装；
 - 2) 当顶升高度不超过 50cm 时，千斤顶宜采用正向安装，当顶升高度大于 50cm 时，可将千斤顶倒置安装在被顶升结构底部；
 - 3) 千斤顶与基础及被顶升结构的接触面均需设 20mm 钢垫板；
 - 4) 千斤顶安装竖直度控制在 5‰以内；
- b) 应按以下要求进行液压泵站安装：
 - 1) 泵站进场后进行验收，包括外观是否有损伤、液压油位和压力表是否正常等；
 - 2) 按照就近、安全、方便的原则选择泵站安装位置；
- c) 应按以下要求进行液压管路安装：
 - 1) 液压管路包括总油管、接头、分配器、分油管、截止阀安装等，安装路径为：液压泵站→总油管→分配器→分油管→截止阀→千斤顶；
 - 2) 油管、接头等材料进场后要进行检查验收，包括规格、数量、质量等，不应使用存在缺陷或损坏的油管或接头，将通过验收的材料按照顶升配置分类整理并进行标记；
 - 3) 在工程师的指导下由专业液压工按照液压管路安装操作说明文件进行液压管路安装，液压工上岗前需进行培训和技术交底；
 - 4) 液压管路安装完成后要进行检查验收，以免错接、漏接。

7.8.1.4 同一控制区域应使用额定吨位和工作压力相同的千斤顶，当检查发现规格不同时，应停止系统操作，按照 7.8.1.3a) 的要求重新安装。

7.8.1.5 根据控制区域及控制对象的特点，按照第 6.3.5.1 款确定的行程高度输入同步控制系统。

7.8.1.6 同步控制系统安装工作包括控制主机、监控显示器安装、数据线敷设与位移传感器安装，应符合以下要求：

- a) 应按以下要求进行控制主机和监控显示器安装：
 - 1) 控制主机的安装位置根据现场施工条件确定，可以安装在桥面上或桥孔内；
 - 2) 根据施工条件、顶升周期和顶升规模可在现场设控制室，将控制主机、监控显示器和其它监控设备集中安装在控制室内；
- b) 应按以下要求进行数据线敷设和位移传感器安装：
 - 1) 数据线和位移传感器进场后要进行检查验收，包括规格、数量和外观等；
 - 2) 按照设计文件指定位置、沿桥墩横桥向进行位移传感器安装，传感器要安装牢固、竖直，数据线由位移传感器、液压泵站和控制主机位置确定；

- 3) 传感器牵引线应采用细钢丝，不应采用弯曲的铁丝或绵线等易于变形、易断或弹性较大的材料，以免产生虚假位移量；
- 4) 施工过程中加强对传感器的保护，除了专业工程师外，任何人不应触碰、拆卸。传感器位置设置醒目标志，以免施工过程中误碰、损坏。

7.8.2 SLHC 系统检查

7.8.2.1 系统及设备安装完毕后，应对系统的软硬件、设备进行检查，检查发现的问题应在现场进行处理。

7.8.2.2 液压顶升系统安装完成后，应按表 3 对千斤顶安装进行检查，按表 4 对系统元器件进行检查，按表 5 对液压设备进行检查和处理；当重新安装后应再次进行检查。

表 3 千斤顶检查表

序号	检查内容	备注
1	规格、型号符合技术设计文件要求	
2	安装竖直度不超过 5‰	
3	上下支撑面平整，倒置的千斤顶与梁体连接可靠，无松动	
4	千斤顶密封、油管接头无泄露	

表 4 系统元器件检查表

序号	检验项目	检验方法、措施
1	元器件的可靠性检验	元器件的质量是系统质量的基础，为确保元器件可靠，在正式实施顶升前，将以 90%的顶升力在现场保压 5 小时，再次确认系统的可靠性。
2	位置闭环的稳定性	所谓位置闭环就是系统给位移传感器设定顶升高度和速度后，当顶升达到此高度后，系统自动停止顶升，保证系统顶升的同步性。

表 5 液压设备安装检查表

序号	检查内容	备注
1	泵站与千斤顶之间的油管连接必须正确、可靠	
2	油箱液面应达到规定高度	
3	备用 2 桶液压油，加油必须经过滤油机	
4	液压系统运行是否正常，油路有无堵塞或泄漏	
5	液压油是否需要通过空载运行过滤清洁	

7.8.2.3 同步控制系统安装完成后，应按表 6 进行检查和处理。

表 6 同步控制系统检查表

序号	检查内容	备注
1	各路电源，其接线、容量和安全性都应符合设备说明书的要求	
2	控制装置接线、安装正确无误	
3	应检查数据通讯线路全部连接	

表 6 同步控制系统检查表（续）

序号	检查内容	备注
4	各传感器系统安装牢固	
5	各种阀件安装是否符合技术设计要求	
6	监测监控的硬件应符合监控方案的要求	

7.8.3 SLHC 系统调试

7.8.3.1 对所有系统及设备全部检查完毕确认符合要求后，输入各控制区域顶升高度、顶升力，并对 SLHC 系统进行调试。

7.8.3.2 初始加载由系统操作员输入同步控制系统，读取控制系统力传感器和位移传感器初值后将其归零。

7.8.3.3 应按以下要求进行同步控制系统对液压顶升系统保压试验：

- a) 千斤顶、油管、液压泵站、位移传感器、数据线、控制主机等安装完毕检查无误；
- b) 在液压千斤顶与支撑结构之间预留一定空间（不小于一个行程高度），通过控制中心指令逐个对液压千斤顶进行出缸和收缸动作，确认千斤顶的位置被正确识别、确认液压泵站与千斤顶正确连接；
- c) 人工逐个拉动拉线式位移传感器，观测监控界面对该位移传感器对应的位移数据是否发生相应的变化，确认对位移传感器的位置正确识别；
- d) 经过调试确认液压顶升系统控制的所有设备准确显示，安装无误；
- e) 按计算荷载的 90% 加压，进行液压千斤顶的保压试验 5 小时；
- f) 检查整个系统的工作情况，油路情况；
- g) 应对系统硬件进行复查。

7.9 顶升前桥梁初始状态确认

7.9.1 在顶升施工前，应由监理单位、施工单位共同确认的原桥初始状态。

7.9.2 原桥初始状态数据可根据第 5 章调查结果，按照附录 B.1、B.2 的格式对原桥的上部结构线形、混凝土桥面、梁体、墩柱的现场状况和测量结果，裂缝及外观缺陷检查结果进行整理和汇总。

7.9.3 原桥的初始状态应包含以下内容：

- a) 按照桥梁测量规范要求对桥面标高进行测量，每个测量断面取左、中、右 3 个测点，记录每个顶升控制点位置的初始高程；
- b) 在桥梁中线位置布设平面位置监控点，每跨至少布置一个测点；
- c) 原桥的混凝土桥面、梁体、盖梁、墩柱应调查裂缝、外观，裂缝和外观应记录以下内容：
 - 1) 裂缝应检测并明确裂缝所在的准确位置、长度、宽度，并进行编号和绘制展开图；
 - 2) 外观缺陷应明确缺陷的名称、位置、面积及其他特征，并进行编号；
- d) 对于断柱顶升应记录墩柱的竖直度初始状态。

8 施工

8.1 一般规定

8.1.1 准备工作完成后，应办理桥梁顶升工程开工报告，经批准后方可正式开始顶升作业。

8.1.2 应按照图 23 顶升施工流程图完成顶升工程的施工。



图 23 顶升施工流程图

8.1.3 在顶升过程中注意对原结构的保护,每次顶升的高度应略高于钢垫块厚度,满足垫块安装的要求,不宜超出钢垫块 10mm,以避免负载下降的风险。

8.1.4 顶升工作在顶升总指挥统一指令下,各方工作人员,需要听从指挥密切配合。

8.1.5 顶升过程中,应加强巡视工作,应指定专人观察整个系统的工作情况。若有异常,直接通知指挥控制中心。

8.1.6 结构顶升空间内不应有障碍物,顶升(或下落)过程中,桥梁结构横向、纵向的同步误差以及累计顶升同步误差应符合设计允许值,必要时进行单点顶升调整位移误差。

8.1.7 顶升过程中,未经许可非作业人员不应擅自进入施工现场。

8.2 解除梁板约束及处置

8.2.1 顶升前应解除被顶升结构的一切内外部约束,包括:桥梁两端或分段顶升的伸缩缝、支座约束、清理梁缝内的垃圾、过桥管线及断柱顶升时的墩柱切断。

8.2.2 按照施工设计文件的要求对顶升结构的梁板、护栏、伸缩缝进行处置(如有)。

8.3 试顶升

8.3.1 确定顶升施工系统的工作状态,在正式顶升之前,应进行试顶升。

8.3.2 试顶升高度宜设置为 10mm。

8.3.3 按照单个行程顶升工作步骤进行试顶升:

- 顶升时首先加载至理论顶升力的 90%,检查液压系统是否有漏油的情况,检查现场传感器工作是否正常;
- 再缓慢加载至根据位移传感器确定各点已经分离;
- 分级缓慢进行顶升,每级的顶升高度不应超过 2mm,每级顶升完成后持荷不少于 10min,再顶升至 10mm 垂直位移;停机 10min 后检查桥梁各支顶部位和顶升支架有无变形和加载点有无局压破坏。

8.3.4 应按照第 8.6.2a) 的要求进行被顶升结构的回落。

8.3.5 试顶升结束后,施工单位应对试顶升作业进行总结:

- a) 顶升和回落操作流程是否合理；
 - b) 顶升作业中的所有设备的正常运转情况和相互协调匹配情况；
 - c) 指挥人员是否有能力进行现场指挥，班组作业人员操作是否规范和相互之间的配合是否协调；
 - d) 实际顶升总荷载及其分布与理论值进行误差对比是否在允许的范围内；
 - e) 检查临时结构及被顶升结构是否与初始状态一致，被顶升结构不应出现新裂缝或老裂缝发展情况。
- 8.3.6 监理单位应对上述作业进行现场监理，并应对试顶升总结进行审核，确认顶升方案可行后，方可进入正式顶升作业。

8.4 正式顶升

8.4.1 正式顶升前应正确计算各墩位处顶升高度，以确保梁体的竖向线性不发生改变。

8.4.2 正式顶升应按以下要求进行控制：

- a) 整个顶升过程应保持拉线传感器的位置同步误差小于 0.2mm，一旦位置误差大于 0.2 mm 或任一缸的压力误差大于 5%，控制系统立即停止顶升，以确保梁体安全；
- b) 顶升过程中要实时观测基础沉降、顶升系统竖直度、加固系统连接情况等；
- c) 每一轮顶升完成后，对计算机显示的各液压千斤顶的位移和压力情况，随时整理分析，如有异常，及时处理。主梁顶升并固定完成后，测量各标高观测点的标高值，计算各观测点的顶升高度，作为工程竣工验收资料；
- d) 每行程顶升完成后应对各墩位处梁体竖向和水平位置的误差进行统计，在下一个行程顶升的过程中进行纠正，确保累计误差不超过最大允许值；
- e) 每个行程结束后，需要分别在顶升千斤顶和临时支撑位置接高顶升支撑，当顶升到一定高度后，再将较小高度的支撑更换为较大高度的支撑。

8.4.3 按照以下步骤完成单个行程的顶升作业，并按附表 B.3 及第 8.4.5 条要求进行记录：

- a) 使用 SLHC 系统，按照 SLHC 系统设定的单次行程顶升高度进行顶升作业；
- b) 将设备都调整至收缸状态，检查油泵、千斤顶、传感器均处于正常的工作状态，进入初始状态；
- c) 开始顶升作业，液压千斤顶和跟随千斤顶同步伸出，注意观察跟随千斤顶的是否有因设备故障而出现脱空的情况，如果有，应降低顶升速度，确保跟随千斤顶出缸速度跟得上液压千斤顶的出缸速度，并在下一行程顶升前将存在故障的跟随千斤顶更换；
- d) 行程顶升完成后，将液压千斤顶收缸，采用工具式垫块加高液压千斤顶下支撑，再对被顶升结构进行一定量的顶升使其与跟随千斤顶脱离接触，然后将液压千斤顶机械螺纹保压环拧下至与支撑结构密切接触，对液压压力形成机械承压保护；
- e) 跟随千斤顶收缸，并采用工具式垫块接高支撑；

8.4.4 重复 a)~e) 的步骤进行顶升，顶升到支撑转换高度。

8.4.5 按附录 B.3 的格式要求做好正式顶升的施工记录：

- a) 操作：按预设荷载进行加载和顶升；
- b) 观察：各个观察点应及时反映测量情况；
- c) 测量：各个测量点应认真做好测量工作，及时反馈测量数据；
- d) 校核：数据报送至现场指挥组，比较实测数据与理论数据的差异；
- e) 分析：若有数据偏差，有关各方应认真分析并及时进行调整；
- f) 决策：认可当前工作状态，并决策下一步操作。

8.4.6 顶升支撑转换作业应按以下要求进行：

- a) 当顶升到设定转换高度时，应更换并接高支撑面；
- b) 接高和更换支撑时，应确保支撑系统处于保压稳定或机械承压状态，不应在顶升过程中且没有安全保障措施的情况下接高、更换支撑；
- c) 接高、更换支撑时，应有专人指挥，不应碰撞顶升设备、监控设备、被顶升结构和支撑体系；
- d) 更换并接高支撑面按照以下步骤进行：
 - 1) 解除上下支撑间连接螺栓，按照自上而下的顺序逐节拆除工具式垫块；

- 2) 按照自下而上的顺序安装长支撑并进行螺栓连接, 调整竖直度;
 - e) 当接高支撑达到技术设计加固高度后, 按技术设计文件要求增加水平杆件和剪刀撑进行整体性加固;
 - f) 顶升支撑转换作业完成后, 及时接高作业平台并进行安全防护。
- 8.4.7 重复第 8.4.3 条和第 8.4.6 条的顶升作业, 实时监控位移数据, 调整顶升姿态, 直至顶升到总顶升高度。
- 8.4.8 顶升达到总顶升高度后, 应完成以下工作:
- a) 将支撑系统调整为跟随千斤顶支撑为主、液压千斤顶为辅的状态;
 - b) 关闭液控单向阀和截止阀;
 - c) 将所有的连接螺栓上满拧紧;
 - d) 完成支撑体系加固;
 - e) 在不影响后续施工的情况下, 将限位体系与被顶升结构之间连接固定。

8.5 桥梁结构改造

8.5.1 结构改造施工

8.5.1.1 结构改造施工应按照 JTG/T 3650《公路桥涵施工技术规范》的要求进行组织落实。其中墩台改造尚应满足以下要求:

- a) 切断位置, 应保证墩身截面上的主筋预留有足够的长度, 便于接高时连接;
- b) 墩台改造施工过程中应加强对大型机械的管理, 模板应紧固牢固, 避免因碰撞或爆模危及顶升支撑结构的稳定。

8.5.1.2 被顶升结构以下部分需要改造的结构、支座应在梁体回落前进行改造施工; 被顶升结构及以上部分需要改造的结构应在梁体回落就位后进行改造施工。

8.5.2 被顶升结构与顶升支撑系统监测监控

结构改造期间, 应对被顶升结构与顶升支撑按照以下要求进行检测、监测和监控:

- a) 对被顶升结构姿态进行监测, 包括平面位置和标高;
- b) 对梁体裂缝(如有)进行观察;
- c) 对顶升基础和支撑体系进行监测, 包括基础沉降、变形和支撑体系内力变化等;
- d) 检测千斤顶及油路保压情况;
- e) 当上述监控结果出现异常时, 可通过限位体系和支撑体系进行约束和调整, 确保被顶升结构安全。

8.6 就位

8.6.1 被顶升结构以下部分的结构、支座改造完成并达到设计强度后即可将被顶升结构回落就位。

8.6.2 应按以下步骤完成回落就位工作:

- a) 回落时逐级卸载, 每级卸载 5%;
- b) 加强对桥梁姿态、支座系统和下部结构的监测;
- c) 如发现异常立即停止卸载, 排除问题后继续卸载直至回落就位;
- d) 回落就位后应按照确认的初始状态对被顶升结构进行复查和验收。

8.6.3 被顶升结构及以上部分需要改造的结构完成后, 按照顶升施工图设计文件的要求对顶升桥梁结构进行检查和验收, 并对桥梁初始状态进行确认, 如新增裂缝或者既有裂缝有发展, 应进行观察和处置。

8.7 临时结构与系统拆除

8.7.1 桥梁结构回落就位复查验收符合要求后, 按照自上而下的顺序拆除油路、千斤顶和支撑体系, 最后根据要求拆除顶升新增基础如抱柱梁等。

8.7.2 可采用叉车和改装后的挖机进行千斤顶及顶升支撑的拆除, 拆除时注意对桥梁结构的防护。

8.7.3 抱柱梁拆除

8.7.3.1 当抱柱梁低于地面，经设计单位同意，可不拆除；当抱柱梁高于地面时，顶升完成后需要拆除。

8.7.3.2 可采用静力切割的方式拆除，在墩柱以外 10cm 将抱柱梁与墩身分离，根据吊装条件分解成若干块，见图 24 抱柱梁切割分解示意图，分解完成后吊离碎块。

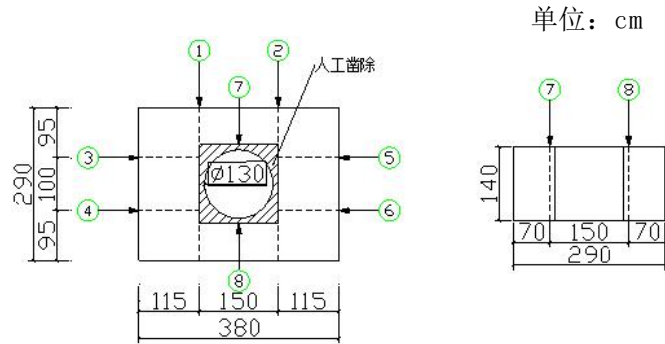


图 24 抱柱梁切割分解示意图

8.7.3.3 按照以下要求拆除抱柱梁：

- 拆除顺序：先按图 24 序号进行静力切割分解，然后进行阴影部分的凿除，最后对墩除表面进行修补；
- 切割前对切割设备和锯绳进行检查、验收，符合安全要求后方可使用；
- 切割时要进行安全防护，非操作人员不得靠近；
- 阴影部分采用人工用电镐凿除，不得使用大型机械拆除。

8.7.3.4 墩柱修复材料应进行配比实验，保证修复材料与原结构粘结紧密，不得出现龟裂、脱落和色差较大的情况。

8.7.3.5 对抱柱梁剩余部分人工凿除后进行表面修补、涂装。

9 施工监控

9.1 一般规定

9.1.1 监控单位应根据顶升施工图设计、顶升施工方案、顶升桥梁现状编制监控方案，对顶升过程中可能发生的状态变化、所面临的风险，明确监控内容、确定监测具体位置、明确监测相关指标、设定预警值和极限值、明确监控设备配置，确定监测频率，经设计单位、监理单位同意后组织实施。

9.1.2 应根据设计要求、顶升的桥梁结构安全要求及顶升的现场情况，分析项目特点，确定顶升，进行监测方案的设计，以保障被顶升桥梁结构的结构物的安全并保证其安全顶升到位。

9.1.3 通过在施工过程中对顶升基础、顶升支撑体系、分配梁、SLHC 系统、被顶升结构等变形、受力指标变化的监控，确保施工过程中上述各工作体系和被顶升结构的安全、桥梁线形和内力状态在受控阈值内，顶升到位后各项指标符合设计要求。

9.2 监控位置及内容

表7 的重点部位、位置和内容设置监控。

表 7 重点部位监控清单

重点监控部位	监控关键位置	主要监控内容
梁体、盖梁、承台、顶升支撑等受力结构	在被顶升结构薄弱或敏感部位进行监控	应力监控

表 7 重点部位监控清单（续）

重点监控部位	监控关键位置	主要监控内容
位移同步控制点	在每个或每组顶升支点均需设置竖向位移监控点，相对于被顶升结构对称布置，通常设在每个桥墩横桥向轴线位置。	竖向位移
液压千斤顶	每组	压力监控
梁端	每个	竖向位移、水平位移
每墩	在每个桥墩桥面上设置水平位移监控点	竖向位移、水平位移
既有病害的监控	在已有裂缝处设置监控点	裂缝监控

9.3 监控设备、监测频率及精度

按照表8的监控频率要求进行监控。监控精度满足表9中各阶段几何位置精度控制要求的规定；如数字有波动或者异常，应加密监测频率。

表 8 监测频率要求

监测内容	监测方式	监测周期	频率要求
竖向位移	位移传感器或全站仪监测	顶升调试至结构连接完成	每个行程监测一次
水平位移	全站仪或经纬仪监测	顶升调试至结构连接完成	每个行程监测一次
应力监控	应变计或应变片传感器	顶升调试至结构连接完成	每 3 天监测一次
裂缝监控	裂缝观察仪监测	顶升调试至结构连接完成	每 3 天监测一次

表 9 各阶段几何位置精度控制要求

阶段	控制要素	偏差范围	参考对象
单个顶升行程	主梁竖向偏位	±5mm	设计值
	主梁水平偏位	±5mm	设计值
	钢管支撑垂直度	≤0.3%*H（墩柱高度）且≤5mm	
	地基或基础沉降	-2mm	设计值
	主梁附加应力	小于 20%，且不出现新的裂缝，原有裂缝宽度无明显增大	与理论计算应力的误差
	钢管轴向应力	80%	同一墩柱两侧支撑钢管材料强度
顶升成桥后	主梁高程	±10mm	设计值
	主梁轴线偏位	±20mm	设计值
	墩柱垂直度	≤0.3H%，且≤20mm	

9.4 监控方法及要求

9.4.1 位移监控

按照以下要求设置监测点或监测断面，明确监测参数，进行位移监控；在每个阶段施工完毕后，应提交监控结果，并对阶段顶升结果进行评价：

- a) 在顶升范围内每个墩顶设置一个位移监测断面,每个断面至少布置 2 个竖向位移监测点和一个水平位移监测点,监测顶升高度及水平位移变化,多联同步或大跨径顶升时,伸缩缝及跨径的 2/3 处相应的给予监测断面加密;
- b) 每阶段的几何位置允许偏差值应符合设计要求,设计无要求是应符合表 9 的规定。

9.4.2 应力监控

按照以下要求设置监测断面,配置合适传感器,进行应力监控;应在每个阶段施工完毕后提供监测成果,并对阶段顶升结果进行评价:

- a) 根据桥梁的受力特点,应力监控截面均布置在跨中及顶升支点位置,每个墩顶截面设置不少于 1 个监测断面,每个截面沿纵向布置 2 个应力测点,监测支点截面由于竖向位移差值产生的附加弯矩;
- b) 应力测点传感器采用弦式数码传感器,使用配套测读仪器,可同时测读埋设位置的结构应变与即时温度。

9.4.3 裂缝监控

按照前期主梁裂缝检测资料,选择裂缝观测对象,原则上在梁顶、箱室内、梁底处安装裂缝传感器,编制裂缝传感器平面图,确保在桥梁顶升施工过程中,包括各项升支撑更换阶段,全面有序不间断地监测裂缝变化情况。

9.4.4 钢管柱竖直度及其他内容监控

应按以下要求开展:

- a) 钢管柱竖直度监测,对于顶升范围内的每个墩的顶升支撑系统布置观测点,每墩不少于 2 个测点,可采用垂线球或其它的观测仪器,观测竖直度变化;在支撑钢架因长度受限更换时,及时进行前后二次闭合竖直度监测,防止出现人为误差累计;
- b) 根据桥梁结构和顶升方案的风险程度需增加监控内容时,应明确监控位置、测点、监控方式、精度要求等。

9.4.5 监测结果及处理

9.4.5.1 顶升过程中每一行程结束后,应对临时支撑、液压千斤顶、管线、系统状态等进行详细检查。并应记录,当经检查各个环节状态完好时,方可进入下一个行程的施工。

9.4.5.2 竖向位移每天的监测数据应同步反馈给施工单位,并与施工的实际顶升高度相对比,验证顶升结果,如出现偏差,应立即停止查找原因,解决后才继续顶升。

9.4.5.3 当结构应力和变形、顶升高度、平面位置、顶升设备和油压出现异常情况时,应立即予以沟通,并做好异常情况的排除工作,当出现异常影响质量和安全时,应停止顶升作业,待查明原因并及时处理、恢复正常后再继续顶升。

9.4.5.4 宜采用自动化实时监测,实时动态跟踪监测,发现异常,实时预警。

10 检查与验收

10.1 一般规定

10.1.1 按照顶升施工图设计的要求完成顶升工作,并经施工单位自检合格后递交验收申请。

10.1.2 监理应组织人员按照 10.2 的要求对顶升工程进行检测验收。

10.2 分项工程检验评定

10.2.1 被顶升结构的检测与评定

10.2.1.1 被顶升结构应满足以下基本要求:

- a) 顶升施工组织设计经过审查和批准;
- b) 按照技术设计确定的行程和姿态完成顶升工作;

- c) 按照顶升施工图设计要求完成相应的结构改造工作；
- d) 按照监控方案完成监测监控工作；
- e) 被顶升结构在被顶升过程中未受到损伤，未出现新增受力裂缝，或原有裂缝未发展；
- f) 顶升的桥梁与相邻结构物应连接顺接，无异常突。

10.2.1.2 实测项目应符合表 10 的顶升实测项目规定。

表 10 被顶升桥梁实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桥面中线偏位 (mm)	±20	全站仪：每 10m 测 1 点，且不少于 5 点
2	桥面高程 (mm)	±10	水准仪：桥面每侧每 50m 测 1 点，且不少于 3 点；跨中、桥墩（台）处应布置测点

10.2.1.3 外观检查应满足以下要求：

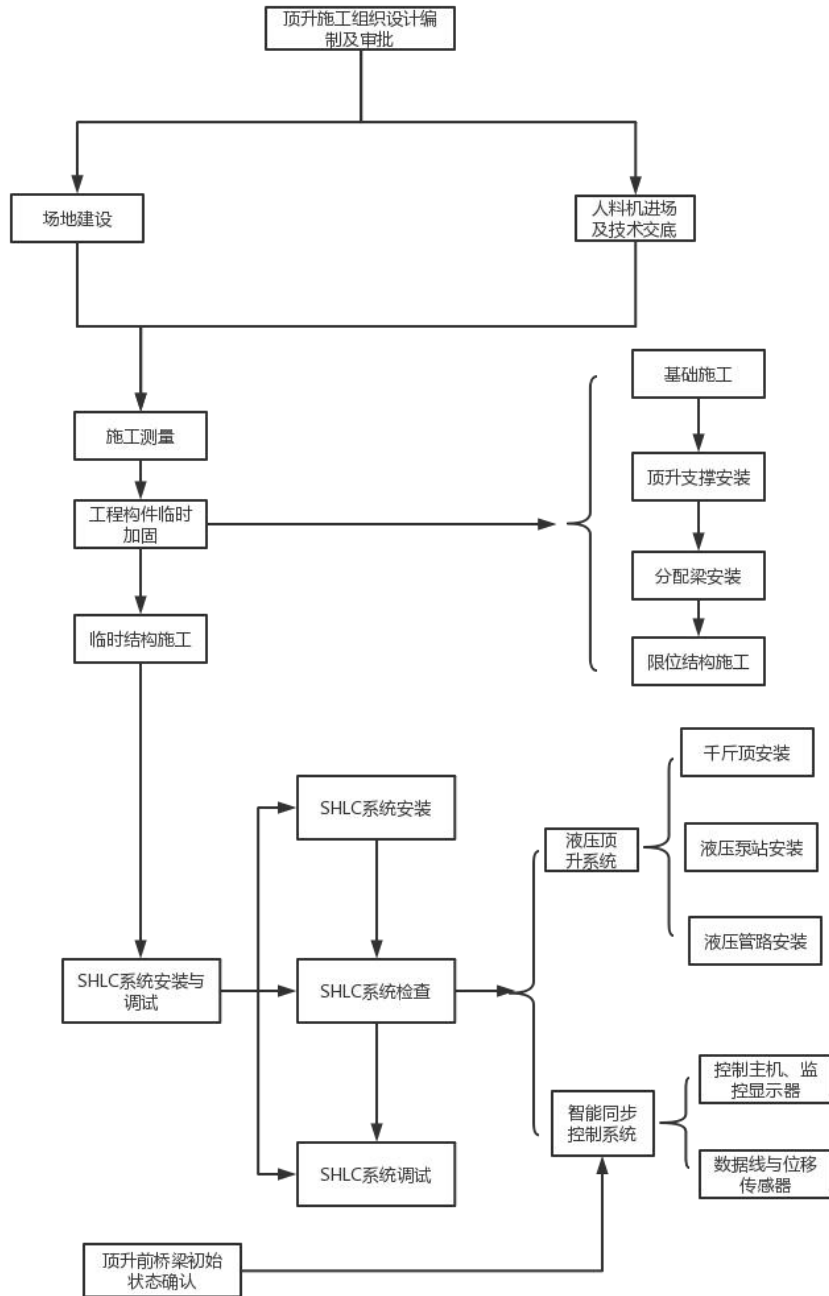
- a) 桥梁的内外轮廓线形应无异常突变；
- b) 结构内外部、支座、伸缩缝处应无残渣、杂物；
- c) 桥头不应出现跳车；
- d) 没有出现新的病害或原有病害没有扩大。

10.2.2 桥梁结构改造的检验与评定

按照顶升施工图设计完成的改造工程其质量应满足以下要求：

- a) 新建结构应符合 JTG F80《公路工程质量检验评定标准》；
- b) 改造结构应符合 JTG 5220《公路养护工程质量检验评定标准》的规定。

附录 A
(资料性)
顶升准备工作关系图



B.2 正式顶升记录

B.2.1 表B.3给出了顶升记录格式

表 B, 3 顶升施工记录

墩号	行程序号	本行程顶升高度 (cm)	累计顶升高度 (cm)	理论累计顶升高度 (cm)	顶升高度误差 (mm)	顶升时间
1#						
2#						
3#						
4#						
5#						
6#						
—						

注：1、理论累计顶升高度为行程分解时，某一行程的累计顶升高度；
2、顶升高度误差为累计顶升高度与理论累计顶升高度的差值。

记录人：

年 月 日

附录 C (资料性)

应用案例——秋石高架二联（0#台~7号墩）桥梁调坡顶升

C.1 工程概况

C.1.1 桥梁现状

秋石快速路二期工程于2014年竣工投入运营，设计荷载为标准公路-I级。主线落地段（里程K20+822.300~K21+032.300）为7跨预应力连续箱梁，桥跨布置为3×30+4×30m，桥梁全宽18m，桥面面积总计3780m²，现状纵坡为-4%下坡。

连续箱梁：断面为单箱三室，梁高2.0m，顶板宽度17.80m，厚度0.22m，底板宽度12.90m，厚度0.22m~0.35m，腹板厚度0.40m~0.60m，中横梁宽度2.2m，边横梁宽度1.3m，顶底板设2.0%横坡，箱梁采用C50砼浇筑。

桥墩：为中间带系梁的H型桥墩，墩柱底平面尺寸均为1.5m×1.5m，0#、3#墩为伸缩缝位置，墩柱顶平面尺寸为2.0（横桥向）×2.1m（纵桥向），1#、2#、4#、5#墩柱顶平面尺寸为2.0m（横桥向）×1.5m（纵桥向）。系梁断面尺寸为1.0m×1.0m。顶升段桥型布置见图C.1，桥梁横断面图见图C.2，各墩柱高度见表C.1。其中曲线段以上高度为2.5m。墩柱砼标号为C40。

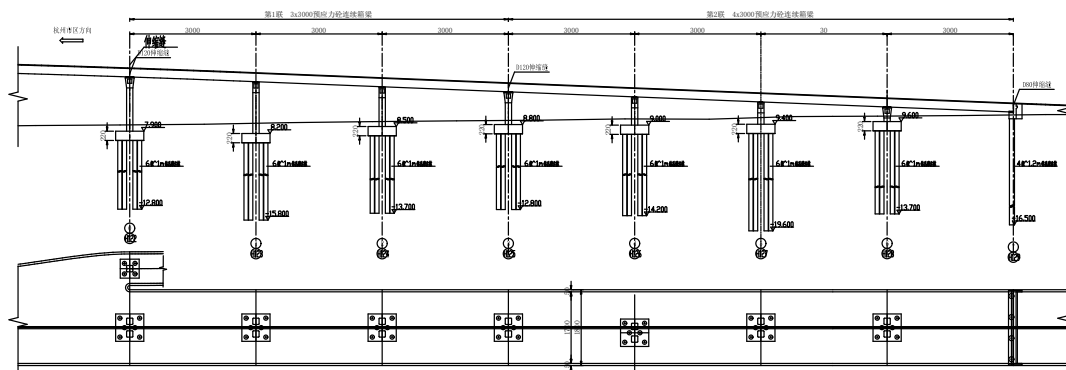


图 C.1 顶升段桥型布置图

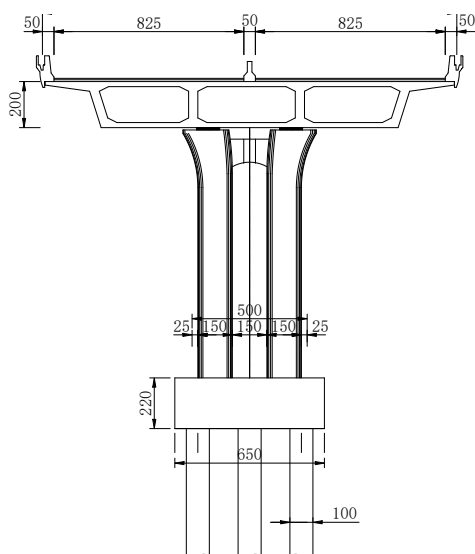


图 C.2 桥梁横断面图

表C.1 墩柱高度表

墩柱编号	0	1	2	3	4	5	6
高度 (m)	11.693	10.219	8.719	7.169	5.619	4.019	2.519

承台：0#~6#墩承台纵横向尺寸为6.7m×6.5m，高度为2.2m。7#桥台纵横向尺寸为1.8m×17.8m，高度为1.5m。

桩基：采用钻孔灌注桩，为端承桩，0#~6#墩桩径为1.0m，桩长19.2m~27.7m，7号桥台桩径为1.2m，桩长27m。

桥面系：桥面铺装为8cm砼+1.2mm防水层+6cm沥青砼，中央隔离墩及两侧防撞墙宽度均为0.5m，桥梁全宽18m。

C.1.2 改造要求

根据总体设计方案，需要对主线落地段进行调坡改建，桥梁纵断由现状-4%下坡调整为0.3%上坡，调坡角度达2.5°，桥台位置最大抬升高度约8.915m，见表C.2，纵向坡度前后比较见图C.3。顶升总面积3780m²，顶升总重达8675t。

表C.2 桥梁各墩台顶升高度表

墩台号	原桥面标高	改建后标高	顶升高度 (m)
0	22.658	22.921	0.263
1	21.534	22.717	1.183
2	20.334	22.799	2.465
3	19.134	22.889	3.755
4	17.934	22.979	5.045
5	16.734	23.069	6.335
6	15.534	23.159	7.625
7	14.334	23.249	8.915

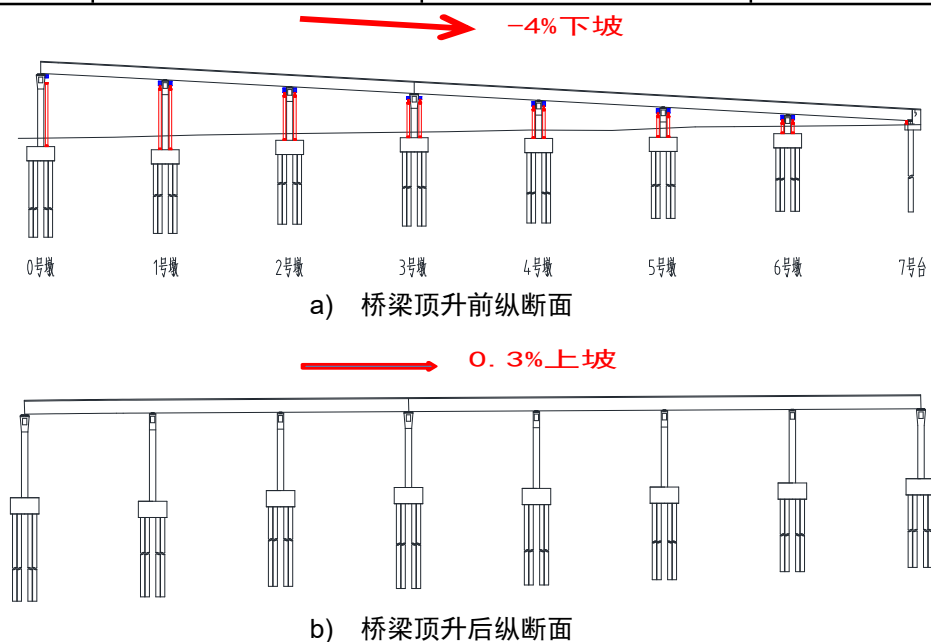


图 C.3 桥梁顶升前后对比图

C.1.3 顶升施工完成情况

该工程于2017年8月15日进行高架道路封闭，12月18日顶升到位，2018年4月11日完成桥台和墩柱改造，除去施工过程中管线拆迁和跨春节施工等因素的影响，实际施工工期165天。目前该顶升段已于2018年12月26日顺利通车。

竣工验收情况：标高及平面位置符合设计要求，结构应力应变监测结果正常，未发现新的结构裂缝。

C.2 技术设计

C.2.1 临时结构设计

C.2.1.1 顶升受力点选择

本结构为现浇箱梁，通过方案比较选择在现浇箱梁腹板处作为顶升受力点。

通过墩柱前后两侧的分配梁将顶升千斤顶和跟随千斤顶间隔布置在一根分配梁上，受力明确，由于靠近原支座的位置，利于梁体结构安全，且利于顶升过程支撑的更换安装，通过增加稳定支撑可提高支撑体系的稳定安全性，见图C.4。

通过顶升荷载计算，各墩顶升荷载见表C.3。

表C.3 各墩顶升荷载 (kN)

墩号	0	1	2	3	4	5	6	7
荷载 (kN)	4590	14500	14500	9100	15000	11900	15000	4510

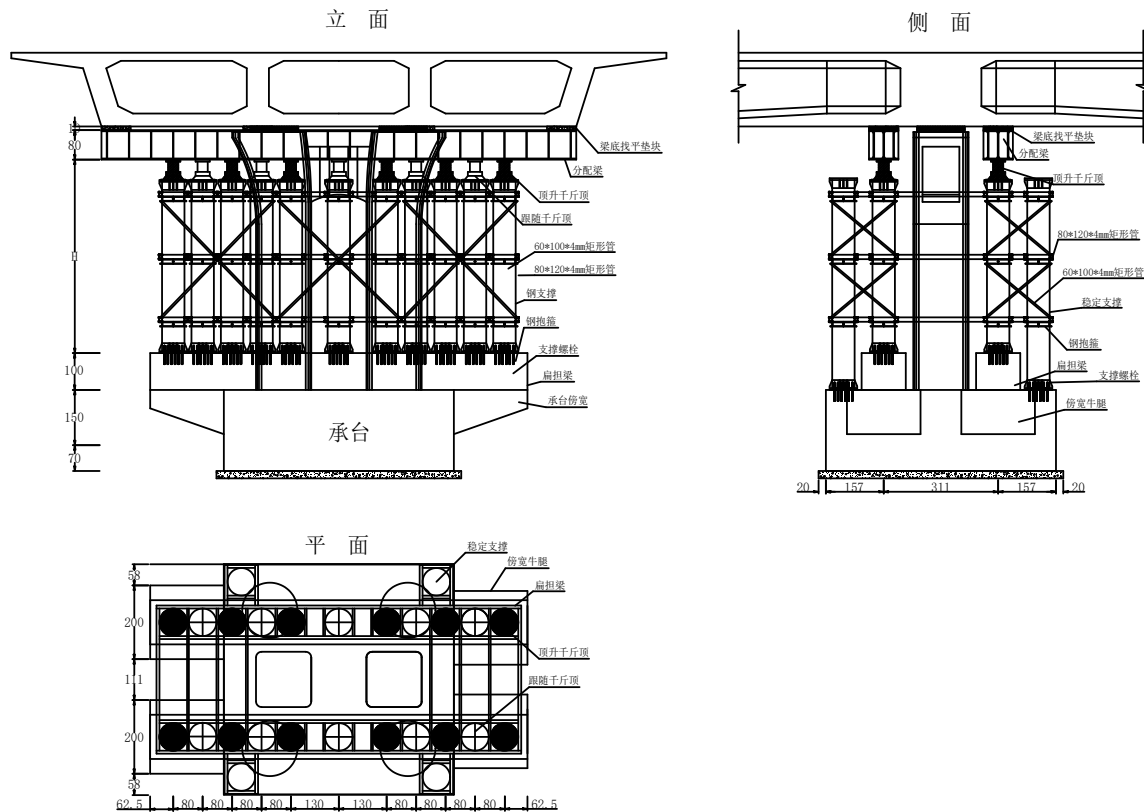


图 C.4 桥梁顶升支撑体系布置图

C.2.1.2 顶升基础设计

C. 2. 1. 2. 1 桥墩处顶升基础设计

采用承台改造，新老混凝土接触面进行凿毛（要露出混凝土粗骨料），然后进行植筋施工，再进行傍宽混凝土钢筋、模板施工，最后进行傍宽混凝土浇筑及养生，经计算复核后，设计形式见图C. 4。

C. 2. 1. 2. 2 桥台处顶升基础

桥台位置由于台帽顶面宽度仅有118cm，无法满足布置两排钢支撑的要求，因此需在桥台台帽内侧进行局部傍宽处理，傍宽结构宽58cm、长320cm、高150cm，如图C. 5所示。

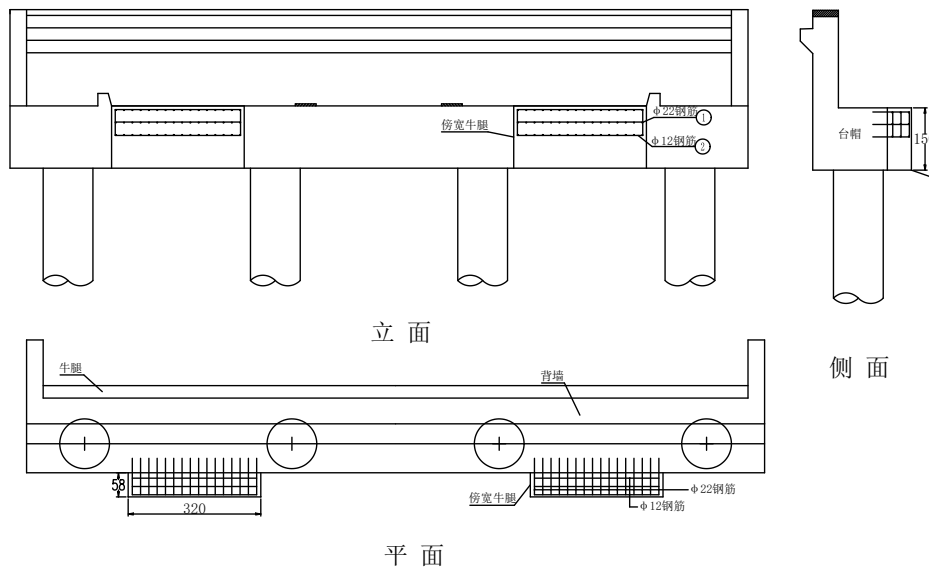


图 C.5 桥台顶升基础傍宽

C. 2. 1. 3 顶升支撑体系设计

由钢支撑、临时垫块、联系杆件等组成。每个墩柱顶升支撑的主体采用直径609mm×壁厚16mm钢管作为支撑，钢管上下两端焊接厚度为12mm的法兰。钢管布置原则为初始节根据现有桥梁净空高度采用较长钢支撑，顶升段采用1m段作为顶升节。高度方向不超过2.5m设一道水平支撑，上下水平支撑之间设剪刀撑，经计算复核后，设计结果见图C. 4。

C. 2. 1. 4 分配梁设计

分配梁固定在箱梁底部，采用三腹板箱式分配梁，梁宽800mm，梁高有800mm和500mm两种，其中800mm高分配梁布置在荷载较大的1#、2#、4#、6#墩，500mm高分配梁布置在荷载较小的0#、3#、5#墩，经计算复核后，设计结果见图C. 4。

C. 2. 1. 5 纵横向限位装置

由于桥梁调坡顶升，梁体的水平投影会变长，同时梁体温度变化也引起梁长的变化，顶升支撑和千斤顶安装误差，也会在顶升过程中产生水平力，为保证梁体的正常姿态和位置，保证顶升系统的安全及梁体的结构安全，需要设置纵横向限位装置，纵横向限位主要设置在三个伸缩缝位置，即0#墩、3#墩和7#桥台位置，以上三处的限位装置兼具纵向限位和横向限位的双重功能。

C. 2. 1. 5. 1 0#墩、3#墩限位装置

0#墩、3#墩位于伸缩缝位置，在调坡顶升过程中梁体会随着不动轴进行旋转，因此梁体旋转轴处的伸缩缝会随着坡度的变化而减小。为控制伸缩缝变化速度，在纵向限位处的锚固块内增设千斤顶，在梁体顶升过程中千斤顶会随着顶升高度的变化而减压，从而控制梁体伸缩缝宽度的变化速度。

限位结构由钢板焊接而成，下部通过植筋的方式与桥面固定。

C. 2. 1. 5. 2 7号桥台限位装置

在桥台背墙位置通过植筋的方式浇筑两根钢筋砼限位柱，其断面尺寸为横向1000*纵桥向600mm，限位柱侧面预埋钢板，利用型钢(H300)将两个限位柱进行连接，增加其横向刚度。

C. 2. 2 SLHC系统设计

C. 2. 2. 1 同步控制设计

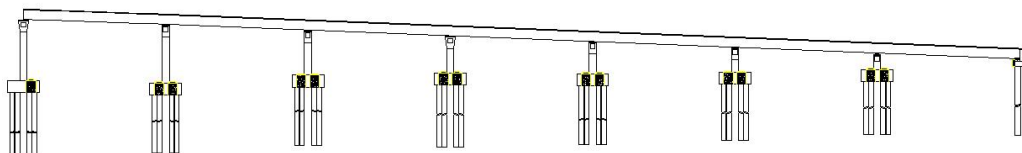
C. 2. 2. 1. 1 顶升区域划分

全桥共划分9个顶升区，在0号墩、1号墩、2号墩、4号墩、5号墩、6号墩、7号桥台各布置1个断面，3号墩布置两个断面。

C. 2. 2. 1. 2 顶升控制方案设计

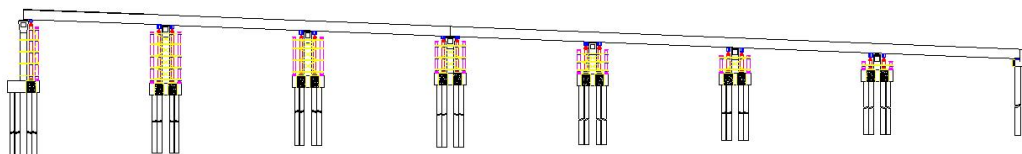
工程顶升控制方案如下：

- 以0#墩（该墩设计顶升高度为0.263m）为旋转点，采用SLHC系统对梁体进行角速度一致的调坡顶升，当7#墩（该墩设计顶升高度为8.915m）顶升高度达到8.652m（7#墩顶升高度与0#墩顶升高度之差）时，停止调坡顶升；
- 对全桥进行同步顶升0.263m，全桥达到设计顶升高度。桥梁顶升结束后，对1#~6#墩进行断柱顶升，再对全桥进行墩柱连接和桥台改造，最后施工支座垫石及支座安装，安装支座后进行落梁工作；
- 顶升施工步骤见图C.6。



第一步：顶升基础改造

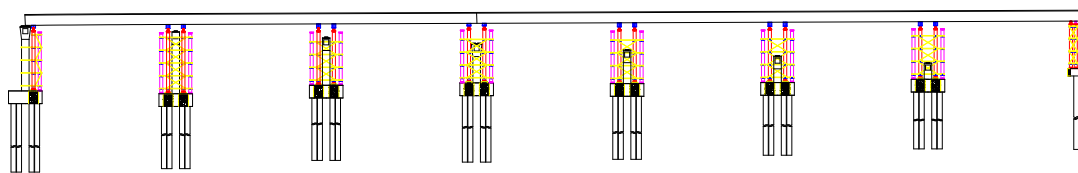
对桥墩、桥台原有承台进行加宽加高改造，以满足顶升支撑体系的布置要求



第二步：顶升支撑体系及顶升系统安装

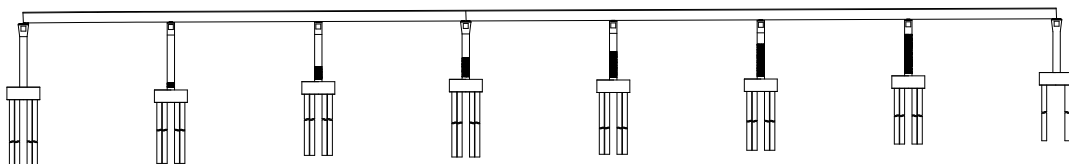
1、顶升支撑体系安装：包括顶升支撑、分配梁、限位装置等；2、SLHC控制液压同步顶升系统及跟随系统安装：包括控制系统、泵站、千斤顶、传感器等；3、第三方监控系统安装。

a) 顶升准备



第三步：全桥整体调坡顶升

1、试顶升：按照理论重量将千斤顶分级加压，直到梁体脱离支座；2、全桥整体调坡顶升。初始顶升阶段每个行程以7#台顶升高度3cm进行顶升控制，第二顶升阶段每个行程以7#台顶升高度为20cm进行顶升控制，当7#桥台累计顶升高度达到8652mm后，采用全桥等高度顶升的方式直至每个墩台位置均达到设计标高；3、顶升控制系统与第三方监控同步监测。



第四步：顶升到位后结构改造

1、墩柱断柱顶升；2、墩柱恢复连接；3、桥台新增桩基和承台；4、桥台改桥墩；5、支座垫石改造及支座安装；6、落梁就位。

b) 调坡顶升及接高改造

图 C.6 顶升施工步骤

C. 2. 2. 2 SLHC系统

C. 2. 2. 2. 1 液压顶升系统设计情况如下：

- a) 为解决顶升同时坡度的发生变化引起的千斤顶与上部结构不垂直对结构产生的局部应力，选用顶部带球头可转动，会随着上部结构坡度的变化自动调整缸顶的千斤顶，顶部球头转角最大可达3度，见图 C. 7，并选择以下3种规格：
- 1) 本体高度 360mm，底座直径 275mm，行程为 140mm，200 吨千斤；
 - 2) 本体高度 472mm，底座直径 324mm，行程为 240mm，200 吨千斤顶；
 - 3) 本体高度 150mm，底座直径 220mm，行程 30mm，100 吨千斤顶。其中行程 30mm 的千斤顶用于 7#桥台初始顶升阶段。



图 C.7 千斤顶顶部球头示意图

- b) 由于台帽顶距箱梁底净空仅有 20cm，无法安装大行程的顶升千斤顶和跟随顶，需要在顶升前期采用本体高度较小的千斤顶顶升到一定高度后更换大行程千斤顶；
- c) 为避免顶升过程因顶升系统液压失压带来的隐患，本工程采用了同步顶升跟随系统，该系统由液压驱动，机械支撑，可以做到同步无间隙跟随。与顶升千斤顶规格相适应，本工程也采用了以下两种规格的跟随千斤顶：
- 1) 本体高度 372mm，底座直径 400mm，行程为 140mm 的 200 吨千斤顶；

- 2) 本体高度 472mm, 底座直径 400mm, 行程为 240mm 的 200 吨千斤顶;
d) 初始顶升阶段千斤顶配置见表 C. 4, 第二阶段千斤顶配置见图 C. 8;

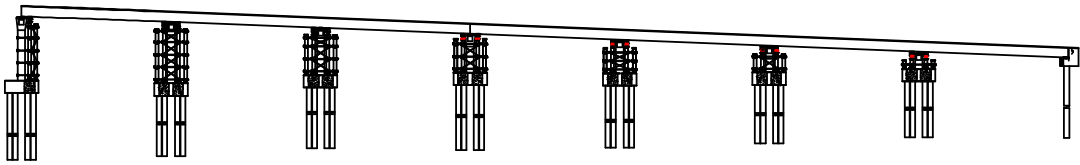
表C.4 初始顶升阶段千斤顶配置表

墩台号	上部结构重量 (kN)	千斤顶行程 (mm)	千斤顶数量 (个)	跟随顶行程 (mm)	跟随顶数量 (个)	备注
0号墩	4590	140	6	140	6	
1号墩	14500	140	12	140	10	
2号墩	14500	140	12	140	10	
3号墩	9100	140	12	140	10	
4号墩	15000	140	12	140	10	
5号墩	11900	240	12	240	10	
6号墩	15000	240	12	240	10	
7号台	4510	30	4	30	4	

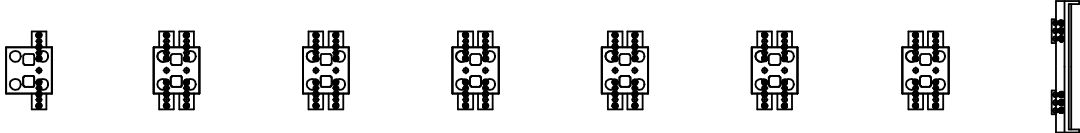
千斤顶配置表:

理论顶升支反力 (kN)	4590	14500	14500	9100	15000	15000	11900	15000	4510
顶升高Δh (m)	0.283	1.183	2.465	3.775	5.045	6.335	7.625	8.915	
顶升精度控制范围 (mm)	-5~5	-5~5	-5~5	-5~5	-5~5	-5~5	-5~5	-5~5	
顶升千斤顶个数	6	12	12	12	12	12	12	12	
千斤顶吨位 (T)	200	200	200	200	200	200	200	200	
随动千斤顶个数	5	10	10	10	10	10	10	10	
随动千斤顶吨位 (T)	200	200	200	200	200	200	200	200	

千斤顶总体布置侧面图:



千斤顶总体布置平面图:



说明:

- 1、本图尺寸以厘米为单位; 2 ● 为千斤顶; ⊕ 为跟随顶。

图 C.8 第二阶段千斤顶配置

- e) 液压顶升系统的液压泵站配置见表 C. 5;

表C.5 各墩液压泵站配置

墩号	0~1	2~3	3~4	5~6	7
数量/规格	一台/4台	一台/4点	一台/4点	1台/4点	一台/两点

- f) 结合施工现场、按照液压泵站与控制的千斤顶, 布置液压管路。

C. 2. 2. 2. 2 顶升高度控制

采用同步控制系统软件对千斤顶的顶升高度按照每个行程进行控制, 每个行程的顶升高度见表C. 8, 将表中数据, 落实到每个千斤顶, 按照千斤顶编号进行数据录入。

表C.8 桥梁各墩顶升高高度分解控制表

墩台号	7#	6#	5#	4#	3#	2#	1#	0#	
顶升高高度 (mm)	8915	7625	6335	5045	3755	2465	1183	263	
初始阶段顶升流程	1	30	25	21	17	13	9	5	0
	2	30	25	21	17	13	9	5	0
	3	30	25	21	17	13	9	5	0
	4	30	25	21	17	13	9	5	0
	5	30	25	21	17	13	9	5	0
	6	30	25	21	17	13	9	5	0
	7	30	25	21	17	13	9	5	0
	8	30	25	21	17	13	9	5	0
	9	30	25	21	17	13	9	5	0
	10	30	25	21	17	13	9	5	0
	11	30	25	21	17	13	9	5	0
	12	30	25	21	17	13	9	5	0
	13	30	25	21	17	13	9	5	0
	14	30	25	21	17	13	9	5	0
	15	30	25	21	17	13	9	5	0
累计顶升高高度	450	375	315	255	195	135	75	0	
第二阶段顶升流程	1	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	2	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	3	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	4	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	5	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	6	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	7	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	8	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	9	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	10	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	11	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	12	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	13	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	14	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	15	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0

表C.8 桥梁各墩顶升高高度分解控制表（续）

墩台号	7#	6#	5#	4#	3#	2#	1#	0#	
第二阶段 顶升 流程	16	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	17	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	18	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	19	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	20	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	21	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	22	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	23	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	24	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	25	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	26	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	27	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	28	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	29	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	30	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	31	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	32	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	33	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	34	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	35	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	36	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	37	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	38	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	39	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	40	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	41	200	170.4	140.4	110.4	82.6	50.4	20.6	0
	42	100	100	100	100	100	100	100	100
43	100	100	100	100	100	100	100	100	
44	63	63	63	63	63	63	63	63	
累计顶升高 度 (mm)	8463	7249.4	6019.4	4789.4	3649.6	2329.4	1107.6	263	

C.3 施工准备

C.3.1 场地建设、人员、设备进场、施工测量、人料机进场及技术交底

完成了技术设计（包括计算）和施工组织方案两部分，监理组织了施工组织设计的审查会，按照审查会的要求修改了施工组织设计，并办理了报批手续。

按照标准化的要求在桥梁投影加宽1m处进行了维护，并对地面进行了硬化，完成了场地建设，并在进出口设置了岗亭，并配有专人值班，局部现场见图C.9。

按照施工组织设计的安排，在规定的时间内、按照规定的要求，组织了人员、设备进场，进行施工测量，组织技术交底。



图 C.9 顶升施工现场

C.3.2 桥梁结构临时加固

本项目设计未要求对桥梁结构进行临时加固。

C.3.3 临时结构施工

C.3.3.1 顶升基础施工

C.3.3.1.1 桥墩处顶升基础施工

本工程中顶升重量较重，原桥墩承台基础尺寸不能满足千斤顶和跟随千斤顶的安装要求，因此需要对桥墩承台进行傍宽牛腿处理。承台沿横桥向进行傍宽牛腿，两侧各傍宽200cm、长200cm、高250cm，在承台顶面沿横桥向通过扁担梁施工将两侧傍宽牛腿连接成一体，扁担梁长825cm、宽120cm、高100cm。桥墩基础施工照片见图C.10。

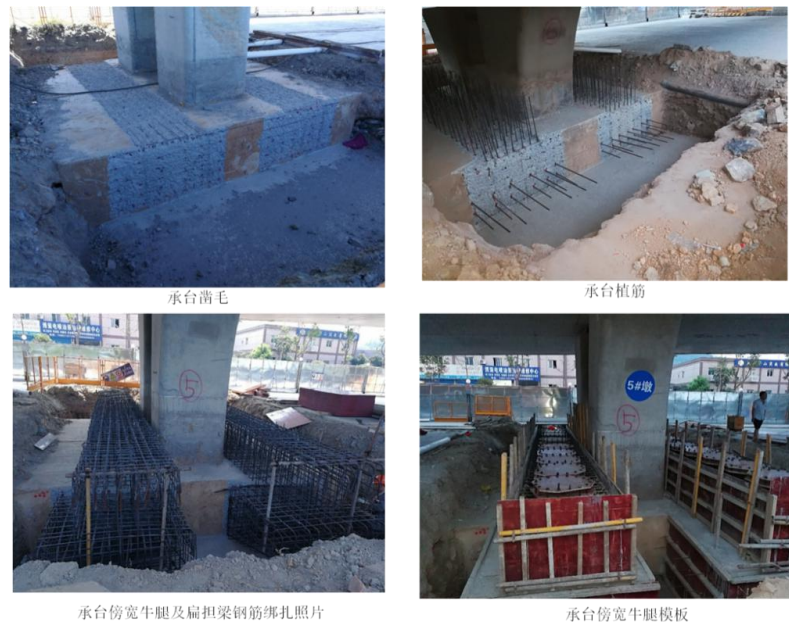


图 C.10 桥墩基础施工

C.3.3.1.2 桥台处顶升基础施工

桥台位置由于台帽顶面宽度仅有118cm，无法满足布置两排钢支撑的要求，因此需在桥台台帽内侧进行局部傍宽处理，傍宽结构宽58cm、长320cm、高150cm。

为增加桥台位置钢支撑的稳定性，需在在桥台位置布置两排钢支撑，即一排用于顶升千斤顶的钢支撑和一排用于跟随千斤顶的钢支撑，两排支撑前后对应布置。

C.3.3.2 顶升支撑安装

提前编制钢支撑使用计划，确定每种规格的数量，并考虑一定的数量储备。

支撑进场后要由材料员和质量员进行检查验收，对于存在质量缺陷并可能影响顶升安全的钢支撑一律不得使用。

钢支撑采用机械配合人工安装，安装过程中有专人指挥。

钢支撑安装前对安装基础进行找平，平整度控制在2mm以内。

钢支撑底法兰盘与承台间的缝隙用高强灌浆料填实，通过M20预埋螺栓与承台顶面新建扁担梁连接，预埋深度25cm。

钢支撑安装完毕要对其位置、竖直度、与基础间的密贴程度进行验收，其中平面位置纵横向不超过20mm，竖直度偏差不得超过0.3%。

钢管柱安装完成后按照技术设计文件要求采用水平杆和斜杆进行整体性加固。

钢支撑安装完毕要进行验收并进行标示，验收不合格不得进入下道工序。

钢支撑安装见图C.11。



图 C.11 钢支撑施工

C. 3. 3. 3 分配梁安装

原桥箱梁底设有2%的横坡，分配梁水平安装，因此需要在箱梁腹板底面与分配梁之间设置厚度不等的调平垫块，调平垫块由钢筋网片与高强灌浆料压注而成，以保证分配梁与腹板的受力面积。

在桥面翼缘板位置用水钻取孔，孔径10cm，每个墩柱桥面需取4个孔作为分配梁吊装孔，采用20t倒链将分配梁吊装至梁体底部指定位置。

将分配梁固定并调平。

在分配梁与梁底腹板之间用灌浆料浇筑调平垫块，分配梁安装，见图C. 12。



a) 分配梁进入梁底

b) 分配梁就位

图 C.12 分配梁安装

C. 3. 3. 4 限位结构施工

C. 3. 3. 4. 1 0#墩、3#墩限位装置

由钢板焊接而成，下部通过植筋的方式与箱梁固定。安装时与顺桥向形成30°的夹角，该限位不仅可以限制桥梁纵横向移位，也能适应梁体的转动。见图C13。

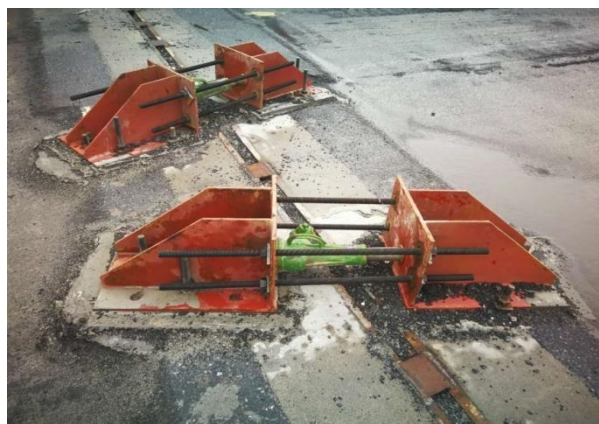


图 C.13 桥面伸缩缝限位装置施工

C. 3. 3. 4. 2 7号桥台位置限位装置

按技术设计文件在7#桥台台背浇筑两根限位柱，在箱梁端部通过植筋的位置设置钢筋砼限位块，在限位块与限位柱之间横向预留空隙10mm。因在桥梁调坡顶升过程中，梁体由较大的下坡变为较缓的上坡，当顶升至水平时，经过计算，梁体的最大梁长增长量为16.33mm，为保证梁体的自由转动，梁体与限位之间纵向预留间距为18.33mm，见图C14。



图C.14 7#桥台位置限位装置施工

C. 3. 4 SLHC系统安装与调试

C. 3. 4. 1 液压顶升系统安装

C. 3. 4. 1. 1 千斤顶安装

在分配梁上按照吊顶钢板四周槽口的位置焊接螺杆，利用螺杆将吊顶钢板固定在分配梁上。在分配梁与吊顶钢板之间按照需要调整的坡度填塞楔形钢板，使吊顶钢板保证水平，见图C. 15。



图C.15 千斤顶安装

安装完毕后按照表C.5进行检查。

表 C.5 千斤顶检查表

序号	检查内容	备注
1	规格、型号符合技术设计文件要求	
2	安装竖直度不超过 5‰	
3	上下支撑面平整，倒置的千斤顶与梁体连接可靠，无松动	
4	千斤顶密封、油管接头无泄露	

C.3.4.1.2 安装液压泵和液压管路

按照技术设计要求进行配置、安装,并按照表C.6进行检查。

表 C.6 液压设备安装检查表

序号	检查内容	备注
1	泵站与千斤顶之间的油管连接必须正确、可靠	
2	油箱液面应达到规定高度	
3	备用 2 桶液压油,加油必须经过滤油机	
4	液压系统运行是否正常,油路有无堵塞或泄漏	
5	液压油是否需要通过空载运行过滤清洁	

检查完成后,按照表C.7进行系统元器件检查。

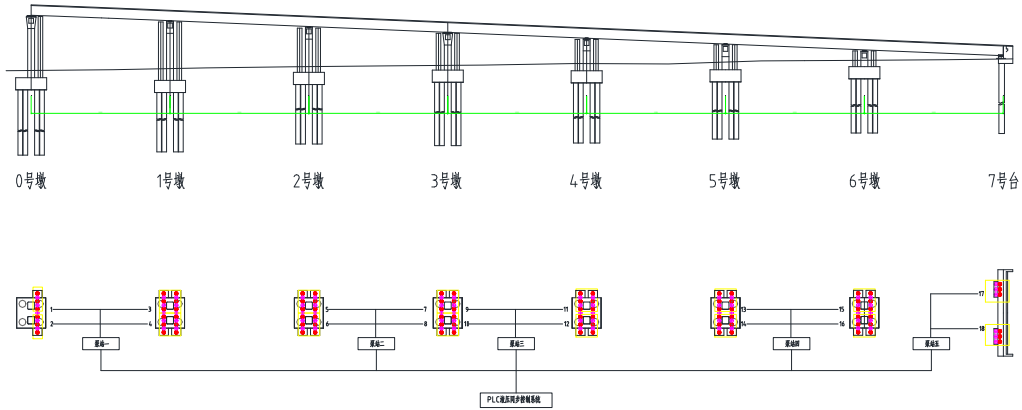
表 C.7 系统元器件检查表

序号	检验项目	检验方法、措施
1	元器件的可靠性检验	元器件的质量是系统质量的基础,为确保元器件可靠,在正式实施顶升前,将以 90%的顶升力在现场保压 5 小时,再次确认系统的可靠性。
2	位置闭环的稳定性	所谓位置闭环就是系统给位移传感器设定顶升高度和速度后,当顶升达到此高度后,系统自动停止顶升,保证系统顶升的同步性。

C.3.4.2 同步控制系统安装

安装控制主机、监控显示器、位移传感器与数据线敷设。全桥共设一台同步顶升控制主机,4台4点和1台2点液压泵站,18台位移传感器,见图C.16。

理论顶升总反力 (KNO)	4590	理论顶升总反力 (KNO)	14500	理论顶升总反力 (KNO)	14500	理论顶升总反力 (KNO)	9,100	理论顶升总反力 (KNO)	15000	理论顶升总反力 (KNO)	11900	理论顶升总反力 (KNO)	15000	理论顶升总反力 (KNO)	4510
顶升高Δh (m)	0.263	顶升高Δh (m)	1.183	顶升高Δh (m)	2.465	顶升高Δh (m)	3.775	顶升高Δh (m)	5.045	顶升高Δh (m)	6.335	顶升高Δh (m)	7.625	顶升高Δh (m)	8.915
顶升精度控制精度 (mm)	-3~3	顶升精度控制精度 (mm)	-3~3	顶升精度控制精度 (mm)	-3~3	顶升精度控制精度 (mm)	-3~3	顶升精度控制精度 (mm)	-3~3	顶升精度控制精度 (mm)	-3~3	顶升精度控制精度 (mm)	-3~3	顶升精度控制精度 (mm)	-3~3
顶升千斤顶个数	6	顶升千斤顶个数	12	顶升千斤顶个数	12	顶升千斤顶个数	12	顶升千斤顶个数	12	顶升千斤顶个数	12	顶升千斤顶个数	12	顶升千斤顶个数	5
千斤顶吨位 (T)	200	千斤顶吨位 (T)	200	千斤顶吨位 (T)	200	千斤顶吨位 (T)	200	千斤顶吨位 (T)	200	千斤顶吨位 (T)	200	千斤顶吨位 (T)	200	千斤顶吨位 (T)	200
顶升千斤顶吨位 (T)	5	顶升千斤顶吨位 (T)	10	顶升千斤顶吨位 (T)	10	顶升千斤顶吨位 (T)	10	顶升千斤顶吨位 (T)	10	顶升千斤顶吨位 (T)	10	顶升千斤顶吨位 (T)	10	顶升千斤顶吨位 (T)	5
顶升千斤顶吨位 (T)	200	顶升千斤顶吨位 (T)	200	顶升千斤顶吨位 (T)	200	顶升千斤顶吨位 (T)	200	顶升千斤顶吨位 (T)	200	顶升千斤顶吨位 (T)	200	顶升千斤顶吨位 (T)	200	顶升千斤顶吨位 (T)	200



图C.16 同步系统情况

C.3.4.3 监控传感器安装

顶升两联，在主梁0、1、2、4、5、6、7#墩顶截面设置1个位移监测断面，3#墩顶截面设置2个位移监测断面，全桥共计9个监测截面。

C.3.4.4 SLHC系统的检查

按照表C.8进行检查。

表C.8 同步控制系统检查表

序号	检查内容	备注
1	各路电源，其接线、容量和安全性都应符合设备说明书的要求	
2	控制装置接线、安装正确无误	
3	应检查数据通讯线路全部连接	
4	各传感器系统安装牢固	
5	各种阀件安装是否复核技术设计要求	
6	监测监控的硬件应符合监控方案的要求	

C.3.4.5 SLHC系统调试

输入表C.8数据输入SLHC系统。

由操作员输入指令进行，通过SLHC系统启动调试液压顶升系统进行保压试验：

- 千斤顶、油管、液压泵站、位移传感器、数据线、控制主机等安装完毕检查无误；
- 在液压千斤顶与支撑结构之间预留一定空间（不小于一个行程高度），通过控制中心指令逐个对液压千斤顶进行出缸和收缸动作，确认千斤顶的位置被正确识别、确认液压泵站与千斤顶正确连接；
- 人工逐个拉动拉线式位移传感器，观测监控界面对该位移传感器对应的位移数据是否发生相应的变化，确认对位移传感器的位置正确识别；
- 经过调试确认液压顶升系统控制的所有设备准确显示，安装无误；
- 按计算荷载的90%加压，进行液压千斤顶的保压试验5小时；

- f) 检查整个系统的工作情况，油路情况；
- g) 应对系统硬件进行复查。

C.3.5 顶升前桥梁初始状态确认


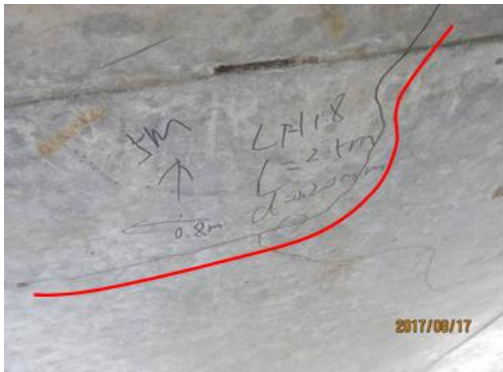
顶升前对以下内容进行了检查，并形成了记录，线形姿态情况见表C.9，裂缝及外观缺陷摘录见表C.10。

表C.9 桥面标高测量确认表

测点编号	0#左	1#左	2#左	3#左	4#左	5#左	6#左	7#左
标高(m)	22.495	21.376	20.179	18.970	17.772	16.575	15.370	14.179
测点编号	0#右	1#右	2#左	3#左	4#左	5#左	6#右	7#右
标高(m)	22.485	21.372	20.169	18.979	17.776	16.573	15.378	14.169

施工单位: ××× 监理单位: ××× 日期: 2017年9月10日

表C.10 顶升结构原始状态（裂缝及外观缺陷）确认单（摘录）

部位	裂缝		外观缺陷	
	位置	裂缝描述	位置	缺陷描述
桥面	西幅	桥面铺装裂缝贯通，长11m	护栏	混凝土破损、露筋锈蚀
				
梁体	第一跨箱梁底板	裂缝超限，宽度Dmax=0.20mm	箱梁底板、腹板	混凝土破损
				

表C.10 顶升结构原始状态（裂缝及外观缺陷）确认单（摘录）（续）

部位	裂缝		外观缺陷	
	位置	裂缝描述	位置	缺陷描述
墩柱		未见裂缝	4#墩	桥墩骨料外露
				

施工单位：xxx

监理单位：xxx

日期：2017年9月10日

C.4 正式顶升

C.4.1 解除梁板约束与处置

0#墩箱梁端部切割,在调坡顶升过程中,总长210m和两联箱梁绕着0#墩的顶升千斤顶活塞头部转动,同时0#箱梁横断面也在绕着该转轴逆时针转动,0#的伸缩缝宽度也因之逐渐变小,根据计算结果,箱梁顶升到位后0#墩的伸缩缝宽度缩小12.8cm,为保证伸缩缝能够正常发挥作用,需在顶升前采用静力切割设备对箱梁端部进行切割,根据箱梁的预应力束布置情况,为了避免损伤预应力束及锚具,采用对伸缩缝两侧的箱梁对称切割的方案,切割宽度6.4cm,见图C.17。为避免切割后的外露钢筋锈蚀,需在切割面上喷涂一层防锈材料。



图C.17 0#墩伸缩缝箱梁端部切割

C.4.2 试顶升

为了观察和考核整个顶升施工系统的工作状态以及对称重结果的校核,在正式顶升之前,应进行试顶升。在试顶升前须对原桥梁结构现状线形进行全面测量,以便后续正式顶升监测对比参照。

试顶升高度：10mm。

顶升时首先加载至理论顶升力的90%，再缓慢加载至根据位移传感器确定各点已经分离,再顶升至达到10mm垂直位移。停机10分钟后检查桥梁各支墩部位和顶升支架有无变形和加载点有无局压破坏。

完成试顶升，进行试顶升总结，形成了试顶升总结报告，报监理单位审核同意后，进入正式顶升阶段。

C. 4. 3 正式顶升

由于本工程为桥梁调坡顶升，7#桥台顶升高度最高达到8,915m，根据7#桥台现状（梁底与盖梁之间的净高无法满足大行程千斤的安装），顶升分两个阶段进行，第一阶段为初始顶升，第二阶段为标准行程顶升阶段。

C. 4. 3. 1 第一阶段初始阶段

初始阶段顶升，使用100吨自锁千斤顶，最大行程为30mm，顶升时按7号桥台每一个行程为30mm进行等高顶升，待顶升至满足大行程千斤安装空间后，再将100吨自锁千斤顶替换成大行程的千斤顶，该阶段顶升需要15个行程完成。

由于顶升初始顶升阶段箱梁底至桥台台帽顶面空间较小，见图C. 18，不能安装大行程千斤顶，因此先采用行程较小的千斤顶进行顶升，待顶到一定高度后，再更换大行程千斤顶。

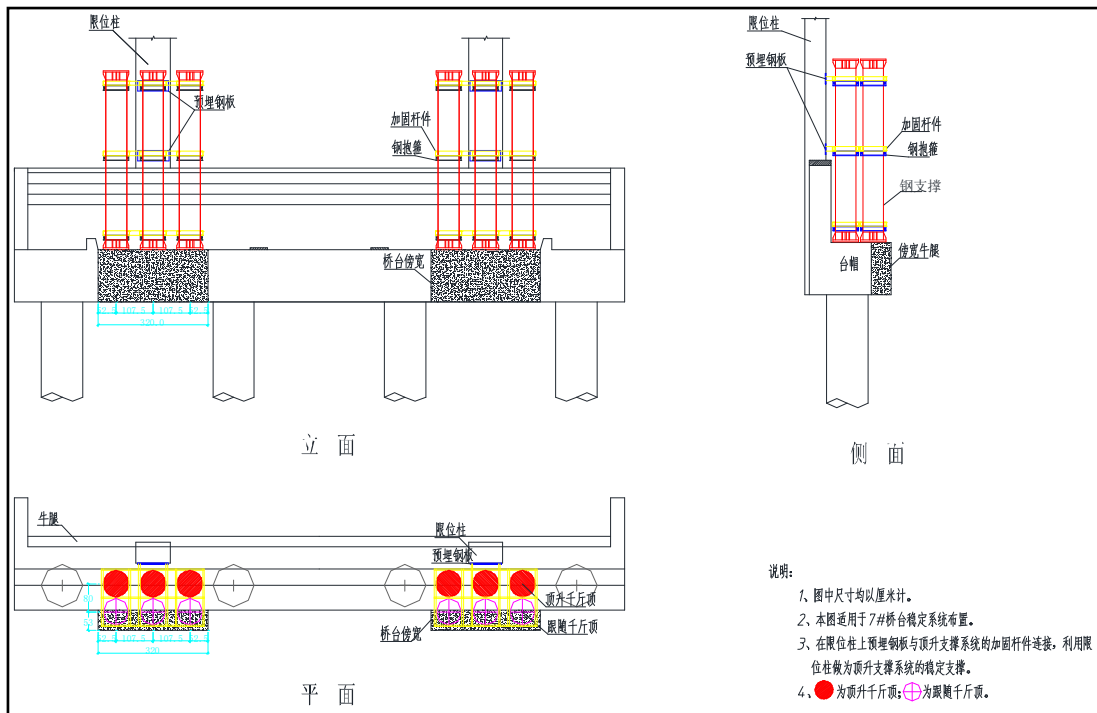


图C.18 第一阶段狭小空间顶升

C. 4. 3. 2 第二阶段标准行程顶升阶段

使用的千斤顶最大行程为240mm，以7号桥台每一个行程为200mm进行调坡顶升，这一阶段完成，全桥顶升需要44个行程，这两阶段顶升时必须进行倒顶施工。

更换成大行程千斤顶后开始按照技术设计的要求开始顶升工作，见图 C. 19。



图C.19 第二阶段顶升

C.4.3.3 顶升施工记录

顶升施工记录摘录见表C.11~C.16

表 C.11 顶升施工记录

墩号	行程序号	本行程顶升高度 (mm)	累计顶升高度 (mm)	理论累计顶升高度 (mm)	顶升高度误差 (mm)	顶升时间
0#	1	0	0	0	0	10:20
1#	1	5	5	5	0	10:20
2#	1	9	9	9	0	10:20
3#	1	13	13	13	0	10:20
4#	1	17	17	17	0	10:20
5#	1	21	21	21	0	10:20

表 C.11 顶升施工记录 (续)

墩号	行程序号	本行程顶升高度 (mm)	累计顶升高度 (mm)	理论累计顶升高度 (mm)	顶升高度误差 (mm)	顶升时间
6#	1	25	25	25	0	10:20
7#	1	30	30	30	0	10:20

记录: xxx

日期: 2017年11月08日

表 C.12 顶升施工记录

墩号	行程序号	本行程顶升高度 (mm)	累计顶升高度 (mm)	理论累计顶升高度 (mm)	顶升高度误差 (mm)	顶升时间
0#	2	0	0	0	0	15:00
1#	2	5	10.1	10	0.1	15:00
2#	2	9	18	18	0	15:00
3#	2	13	25.9	26	-0.1	15:00
4#	2	17	34	34	0	15:00
5#	2	21	44.2	44	0.2	15:00
6#	2	25	50.2	50	0.2	15:00
7#	2	30	60	60	0	15:00

记录: xxx

日期: 2017年11月08日

表 C.13 顶升施工记录

墩号	行程序号	本行程顶升高度 (mm)	累计顶升高度 (mm)	理论累计顶升高度 (mm)	顶升高度误差 (mm)	顶升时间
0#	15	0	0	0	0	8:30
1#	15	5	74.5	75	-0.5	8:30
2#	15	9	135	135	0	8:30
3#	15	13	196	195	1	8:30
4#	15	17	254	255	-1	8:30
5#	15	21	316	315	1	8:30
6#	15	25	375	375	0	8:30
7#	15	30	452	450	2	8:30

记录: xxx

日期: 2017年11月12日

表 C.14 顶升施工记录

墩号	行程序号	本行程顶升高度 (mm)	累计顶升高度 (mm)	理论累计顶升高度 (mm)	顶升高度误差 (mm)	顶升时间
0#	56	0	0	0	0	9:10

表 C.14 顶升施工记录 (续)

墩号	行程 序号	本行程顶升高度 (mm)	累计顶升高度 (mm)	理论累计顶升高度 (mm)	顶升高度误差 (mm)	顶升时间
1#	56	20.6	922	920	2	9:10
2#	56	50.4	2203	2202	1	9:10
3#	56	82.6	3493	3492	1	9:10
4#	56	110.4	4782	4782	0	9:10
5#	56	140.4	6074	6072	2	9:10
6#	56	170.4	7362	7362	0	9:10
7#	56	200	8654	8652	2	9:10

记录: xxx

日期: 2017年12月15日

表 C.15 顶升施工记录

墩号	行程 序号	本行程顶升高度 (mm)	累计顶升高度 (mm)	理论累计顶升高度 (mm)	顶升高度误差 (mm)	顶升时间
0#	57	100	100	100	0	14:15
1#	57	100	1021	1020	1	14:15
2#	57	100	2202	2302	0	14:15
3#	57	100	2593	3592	1	14:15
4#	57	100	4882	4882	0	14:15
5#	57	100	6171	6172	-1	14:15
6#	57	100	7462	7462	0	14:15
7#	57	100	8754	8752	2	14:15

记录: xxx

日期: 2017年12月16日

表 C.16 顶升施工记录

墩号	行程 序号	本行程顶升高度 (mm)	累计顶升高度 (mm)	理论累计顶升高度 (mm)	顶升高度误差 (mm)	顶升时间
0#	59	63	265	263	2	8:40
1#	59	63	1184	1183	1	8:40
2#	59	63	2467	2465	2	8:40
3#	59	63	3756	3755	1	8:40
4#	59	63	5045	5045	0	8:40
5#	59	63	6337	6335	2	8:40
6#	59	63	7627	7625	2	8:40
7#	59	63	8915	8915	0	8:40

记录: xxx

日期: 2017年12月18日

C. 4. 4 桥梁结构改造

C. 4. 4. 1 桥墩顶升改造

首先进行墩顶垫石砼凿除施工，保留垫石预埋钢筋，同时在墩柱系梁下安装墩柱顶升设备及钢支撑，安装完毕后进行墩柱切割，随后进行墩柱顶升施工，顶升达到设计要求后需复核墩柱顶面至箱梁底的空间能否满足新垫石和支座的安装要求，然后进行墩柱连接施工，见图C. 20。

墩柱采用逐墩分别顶升，考虑施工进度安排2套顶升设备进行墩柱顶升施工，1#~6#同样采用SLHC系统进行顶升，顶升时临时支撑安装在墩柱中间，顶升过程中严格控制墩柱的平面位置和竖直度。



图C.20 桥墩顶升改造施工

C. 4. 4. 2 桥台改造施工

桥台部位首先进行新桩及承台施工，施工完成且混凝土强度达到设计要求后，对新建墩柱位置的原桥台台帽进行切割，切割完成后进行新增墩柱施工，见图C. 21。



图C.21 桥台改造施工

C. 4. 4. 3 支座垫石改造

箱梁顶升完成后，梁底支座位置和坡度均产生变化，支座变更采用抗震支座，需要对支座上、下垫石进行改造。方案如下：将原有垫石砼凿除，保留钢筋，下垫石高度增加较多，通过植筋增加与墩柱的连接，下垫石内预埋抗震螺栓；上垫石增加调平钢板，支座与调平钢板进行围焊，见图C. 22。垫石采用C50高强灌浆料，为保证其密实性，在垫石内预留压浆管，在垫石砼初凝后二次压注水泥浆。



图C.22 支座垫石改造施工

C. 4. 5 就位

支座垫石等改造完成，混凝土强度达到设计要求后，对两联连续箱梁进行回落，按照 5%顶升荷载逐级卸载，回落就位后对梁体按照初始状态进行检查，未发现变化，通过验收。

C. 5 监控

C. 5. 1 调控目标和控制精度

结构监控的最终调控目标是：桥梁顶升施工完成，各测点的线形误差均控制在规范规定和设计要求的范围之内。

参照《公路桥涵施工技术规范》（JTJ/TF50-2011）、《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1-2004）、《城市桥梁工程施工与质量验收规范》（CJJ 2-2008），暂定各参数控制精度如下：

- a) 成桥高程与设计值误差±10mm 以内；

- b) 成桥 轴线偏位与设计值误差 20mm 以内；
- c) 顶升过程中，7 号墩主梁每一标准行程 200mm 为一个阶段，每阶段高程与设计值误差纵向控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内，横向控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内；
- d) 顶升过程中，主梁附加应力处于合理范围内，与理论计算应力误差小于 $\pm 20\%$ ，且不出现新的裂缝，原有裂缝宽度无明显增大；
- e) 顶升过程中，钢管支撑轴向应力均应控制在规范规定的材料强度和结构稳定范围之内；当应力水平达到 80%材料允许强度（包括拉应力）或超过上述误差范围时提供预警。

C. 5.2 监控内容及测点布设

C. 5.2.1 主梁位移监控

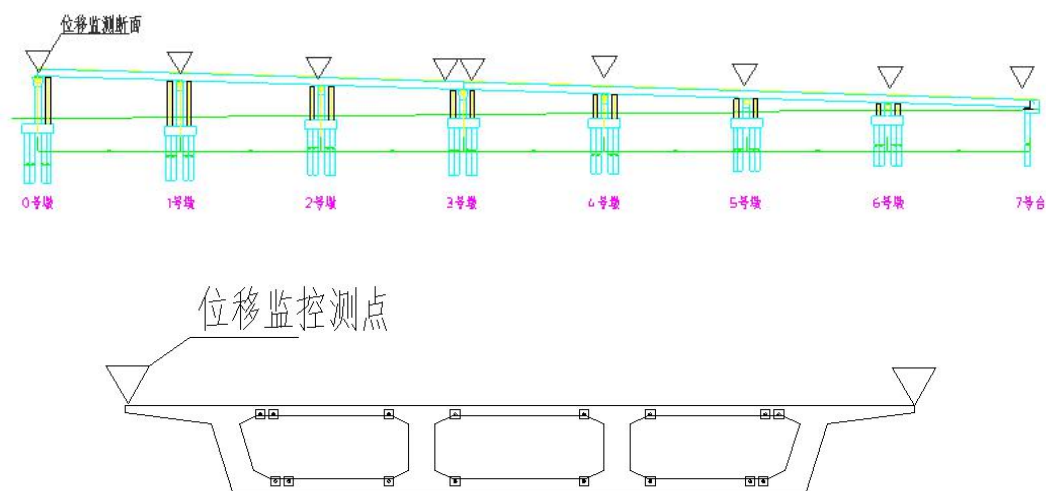
主梁位移监测包括顶升过程位移监测、阶段位移监测，主要目标是控制主梁各项升点高度差，防止结构产生不利附加内力。

由于顶升完成后，梁体水平投影长度延长16.33mm，梁体顶升过程水平位移监控，目的是掌握主梁水平位移变化，防止梁体滑动。

C. 5.2.1.1 顶升过程位移监测

过程位移监测指在顶升过程中通过对各项升点竖向位移的测量来判断主梁结构各测点位移是否协调一致。

主梁0、1、2、4、5、6、7#墩顶截面设置1个位移监测断面，3#墩顶截面设置2个位移监测断面，全桥共计9个监测截面，1、3#墩顶截面避开伸缩缝50cm。每个断面横向布置两个位移测点。测点布置如图 C. 23。



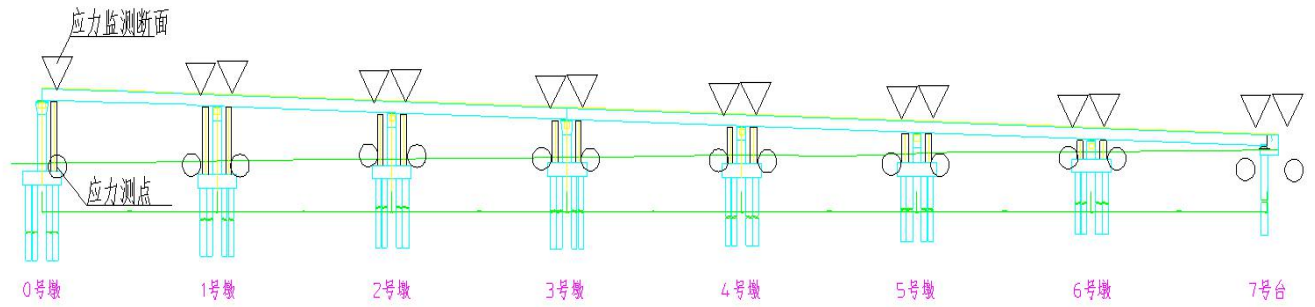
图C.23 位移测点

C. 5.2.1.2 阶段位移监测

7号墩主梁每一标准行程200mm为一个阶段，对桥面高程进行一次全面测量，确定各测点的实际顶升高度，避免因为多次顶升循环导致各测点产生过大的累计高差。当累计高差超过限制值时，应对相应测点的高程进行调整。只有在所有测点的顶升高差均小于规定限值时，方能进行下一阶段的顶升施工。

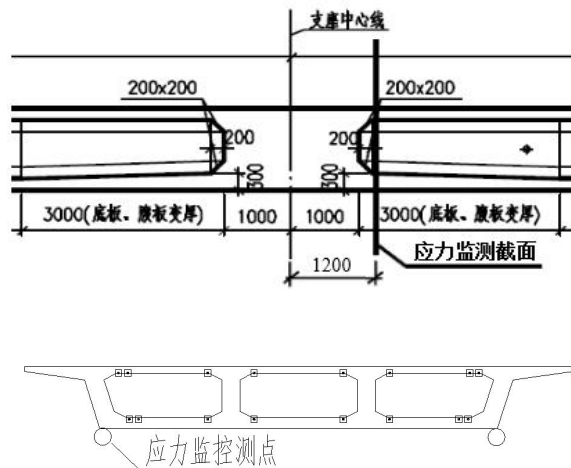
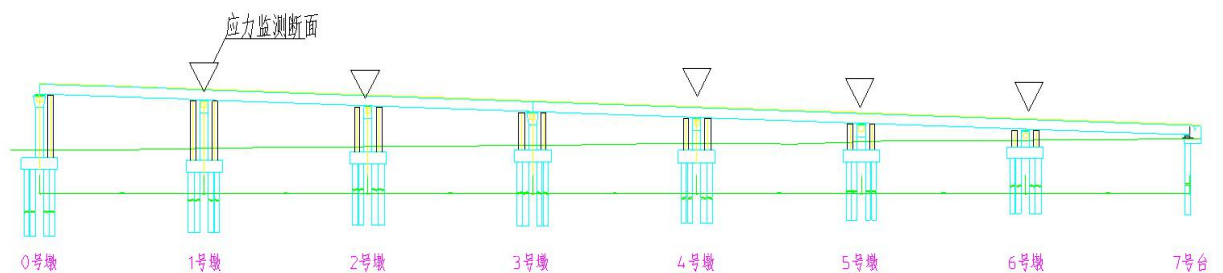
C. 5.2.2 主梁、支撑应力监控

选择0、1、2、3、4、5、6、7#墩钢支撑各一根布置应力测点，全桥共布置8个监测截面。每个截面布置2个应力测点，测点布置如图C. 24。



图C.24 钢支撑应力测点

根据连续箱梁的受力特点，主梁应力监控截面均布置在箱梁中间支点位置，全桥共布置5个监测截面。每个截面沿纵向布置2个应力测点，监测支点截面由于竖向位移差值产生的附加弯矩。测点布置如图C. 25。



图C.25 位移测点

C. 5. 2. 3 主梁梁体裂缝监测

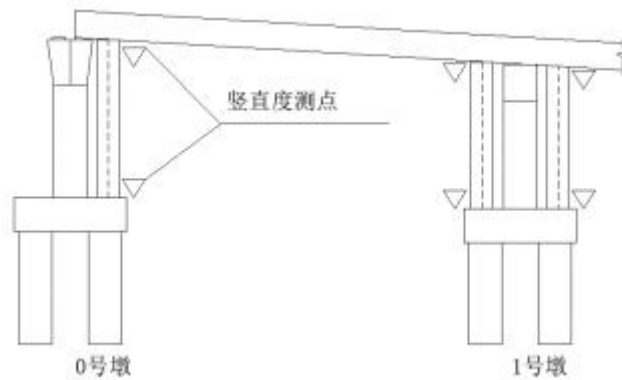
标记主梁梁体原有裂缝，选择跨中部位的代表性裂缝，安装裂缝传感器。顶升施工过程中，以及各项顶升阶段，监测裂缝变化情况。

监测断面测点需根据结构检查情况确定。

C. 5. 2. 4 顶升系统位移监控

由于最大顶升高度达8.915m，顶升系统稳定性对过程安全至关重要。对0、1、2、3、4、5、6、7#墩顶升系统布置观测点，观测竖直度变化。

测点布置如图C.26。



图C.26 顶升系统位移测点

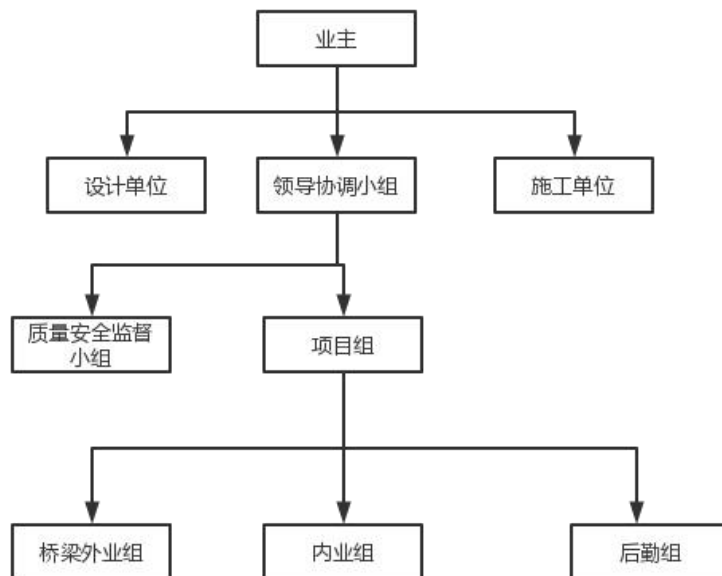
C.5.2.5 温度监测

温度监测分为两部分，结构温度、环境温度。结构温度测点同主梁应力测点，如图5-1。环境温度监测根据施工进度由测试小组现场采集，监测位置根据现场实际情况确定。

C.5.3 监控实施

C.5.3.1 组织机构

组织机构见图C.27。



图C.27 监控组织框图

C.5.3.2 监测频率

根据工况合理安排监测时间间隔，做到既经济又安全。工程监测应跟踪整过改建工程，工期覆盖顶升过程。拟定监测频率见下表C.17。

表C.17 监测频率

序号	项目	施工准备	顶升阶段	顶升结束后一周内	荷载转换结束
1	桥梁现状/成桥检查	1次	/		1次
2	施工监控计算	1次	1次/行程	/	/
3	主梁位移监测	1次初值	1次/行程	1次/天	1次
4	主梁、钢支撑应力监测	1次初值	实时	1次/天	1次
5	裂缝监测	1次初值	1次/行程	1次/天	1次
6	顶升系统位移监控	1次初值	1次/行程	1次/天	1次
7	温度监测	1次	实时	1次/天	/

C.5.3.3 监测仪器

监测用的测试仪器配置见表C.19。

表C.18 测试仪器表

仪器设备名称	规格	单位	数量	备注
全站仪	日本 索佳 NET05	台	1	
水准仪	日本 TOPCON TS-E1	台	1	
测频仪	TFL-ZXRB-B1	台	1	
钢筋直径/保护层厚度测试仪	瑞士 PROFOMETER5	台	1	
裂缝宽度观测仪	武汉博泰思科的 PTS-C10	台	1	
混凝土回弹仪	瑞士 Proceq N-34	台	1	
激光测距仪	德国喜利得 PD42	套	1	
10m 卷尺	10m	把	1	
50m 钢卷尺	50m	把	1	
水平尺	300mm	把	1	

C.6 检查、验收

C.6.1 检查、验收结果见表C.20。

表C.20 验收记录

墩台号	桥面标高偏差 (mm)	桥面中线偏差 (mm)	桥面裂缝、箱梁裂缝
0#	2	0	未发现新的裂缝,既有裂缝没有发展
1#	1	2	
2#	2	4	

表C.9 验收记录（续）

墩台号	桥面标高偏差（mm）	桥面中线偏差（mm）	桥面裂缝、箱梁裂缝
3#西	1	7	未发现新的裂缝，既有裂缝没有发展
3#东	1	6	
4#	0	6	
5#	2	5	
6#	2	5	
7#	0	6	

C.6.2 外观与初始状态对比

监理工程师和质检员共同检查，并与初始状态记录进行对比，未发生变化。

浙江省公路桥梁顶升施工技术指南

条文说明

二〇二二年二月

目 次

1 总则.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 基本规定.....	1
5 桥梁调查与分析.....	1
5.1 一般规定.....	1
5.2 历史资料查阅.....	1
5.3 顶升施工图解读.....	1
5.4 桥梁现场调查.....	2
5.5 调查结果分析.....	2
6 技术设计.....	2
6.1 一般规定.....	2
6.2 临时结构设计.....	2
6.3 SLHC 系统设计.....	3
7 施工准备.....	4
7.1 一般规定.....	4
7.2 顶升施工组织设计编制.....	4
7.3 场地建设.....	4
7.4 施工测量.....	4
7.5 人料机进场及技术交底.....	4
7.6 桥梁结构临时加固.....	4
7.7 临时结构施工.....	4
7.8 SHLC 系统安装与调试.....	5
7.9 顶升前桥梁初始状态确认.....	6
8 顶升施工.....	6
8.1 一般规定.....	6
8.2 解除梁板约束及处置.....	6
8.3 试顶升.....	6
8.4 正式顶升.....	7
8.5 桥梁结构改造.....	7
8.6 就位.....	7
8.7 临时结构与系统拆除.....	7
9 施工监控.....	7
9.1 一般规定.....	7
9.2 监控位置及内容.....	8
9.3 监控设备、监控频率及精度.....	8
9.4 监控方法及要求.....	8
9.5 监测结果及处理.....	8
10 检查与验收.....	8
10.1 一般规定.....	8
10.2 分项工程检验评定.....	8

1 总则

因桥梁顶升施工并不改变原桥的设计和运营标准，因此本施工指南的编制除了应遵循现行的GB/T51256-2017《桥梁顶升移位改造技术规范》外，还应遵循现行的新建桥梁、桥梁养护和维修加固、桥梁检测和使用等级评定的相关标准和规范。

另外本指南参考了诸多国内典型桥梁顶升工程案例。

本指南适用于无通车条件下梁式桥梁的顶升施工，各类外部静定体系的混凝土、钢结构等桥梁顶升施工，包括：预制空心板梁、箱梁、T梁、现浇箱梁、钢箱梁、钢混组合梁。

2 规范性引用文件

3 术语和定义

为了便于专业人员的交流，将本指南出现的和桥梁顶升有关的专业术语列出9个并进行了解释。

4 基本规定

桥梁顶升专业性较强，应由具有相关专业资质的单位进行施工，并由专业单位进行施工方案的编制，必要时应要求具有类似工程施工经验的专业单位进行施工，以保证桥梁顶升施工顺利完成。

桥梁顶升工程因其相对陌生性、临时结构复杂性、容易出现重大质量安全事故、顶升过程容易受外界因素影响的特点，应纳入风险性较大分部分项工程的管理。

桥梁顶升工程施工措施一般均会涉及部分临时结构，对桥梁顶升安全起重要作用的临时结构如：抱柱梁、临时支撑、分配梁等，均应按照相关设计标准进行结构设计和验算。

鉴于目前大多数桥梁顶升单位均配备了PLC设备，在涉及多点同步顶升时不得采用传统的人工同步控制方法，人工控制方法仅可在单点顶升时采用。

可参考按照 ZJ/ZN 2019-13《高速公路土建合同段施工管理指南》进行顶升作业的专项管理。

应根据顶升作业的特点，不得盲目展开抢抓进度。顶升作业质量管理的核心是保障被顶升构件，正常顶升到预定高度，在顶升过程中不被伤害，改造工程应符合JTG/T J22《公路桥梁加固设计规范》及相应施工规范和本指南的要求。为核心开展质量管理工作。

顶升作业的安全管理应按施工组织设计中明确的安全目标、安全监管要求、安全保障措施，在每个阶段开展针对性的条件验收和巡查工作。

环境保护管理应加强对废弃物的管理，对改造过程产生的废弃物的堆放、运输及处置均应符合国家相关规定。

5 调查与分析

顶升是将原结构利用顶升技术顶升到设计位置，因此，原结构的质量不得受损，应对设计图纸进行仔细阅读，掌握设计意图，并对相关设计数据进行解读。并重点对各墩处的顶升高度进行复核，避免引起梁体线型的改变或扭曲。

5.1 一般规定

5.2 历史资料查阅

应按照以下要求查阅历史资料：查阅原桥竣工资料，查阅运营养护资料，查阅检测报告，为顶升技术设计、顶升作业提供技术支撑；查阅地勘报告，掌握顶升桥梁所在地质情况，为新增顶升基础设计提供依据。

5.3 顶升施工图解读

施工图纸解读应重点理解设计要点、顶升作业控制指标、原结构及支座系统改造方案、伸缩缝处理方式等内容。顶升控制要求中应重点关注各墩台设计顶升高度、同步精度要求、顶升监控项目、监控指标等内容。掌握支座系统改造设计要求，对于调坡顶升工程，分析调坡顶升对支座系统改造的影响。

5.4 桥梁现场调查

现场对比竣工图纸，找出对被顶升结构受影响部分，对照桥梁检测报告，找到被顶升结构病害，应对顶升作业条件和周边环境，便于施工组织安排。

5.5 调查结果分析

总结分析的内容涉及原桥竣工图与桥梁结构现状的差异、检测报告已检测的结构或遗漏的结构检测、顶升施工图中存在的问题、影响和制约环境和设施、分析顶升施工的重点和难点，为后续技术设计做准备。

6 技术设计

为了保证原梁体结构的安全，应尽量不改变梁体的原始受力状态。即顶升支撑点尽量靠近支座并对称布置

6.1 一般规定

6.2 临时结构设计

6.2.1 顶升受力点选择

顶升点的选择和顶升反力基础的选择和设计是技术方案设计的重点内容之一，该部分的方案与工期、造价、安全关系密切。应综合考虑桥梁结构和构造特点、顶升高度。

顶升受力点为顶升油缸直接或通过分配梁间接作用于被顶升结构的位置，根据原桥梁结构、荷载分布进行布置，相对于桥梁中线或支点对称布置。

应对顶升受力点部位的桥梁结构应根据原施工图设计文件的要求进行受力验算。

当施工图设计采用直接顶升梁体时，纵向位置应考虑结构改造所需的范围，预制空心板梁、箱梁、T梁、现浇箱梁顶升受力点横断面位置选择如下：

当原结构上不能适合设置顶升点的时候采用在千斤顶与被顶升结构之间设置分配梁时，应考虑分配梁受力平衡，受力点宜按分配梁中心线对称布置，分配梁与被顶升梁体之间的受力作用点与6.2.1.4一致。

当施工图设计采用断柱顶升法时，顶升受力点选择利用盖梁、利用在墩柱截断面以上设置抱柱梁，顶升点作用于抱柱梁顶面，顶升点相对于桥梁中线和墩柱对称布置，顶升点数量经过计算确定。

6.2.2 竖向荷载计算

竖向荷载包括被顶升结构自重、施工荷载、临时结构荷载。

6.2.3 顶升基础设计

顶升点的选择和顶升反力基础的选择和设计是技术方案设计的重点内容之一，该部分的方案与工期、造价、安全关系密切。应综合考虑桥梁结构和构造特点、顶升高度

根据顶升受力点布置、顶升荷载、顶升高度、原桥基础及结构特点进行顶升基础设计。

优先利用原基础或结构作为顶升基础，承台、盖梁或台帽、桩基或墩柱等；当原基础或结构不能直接利用时，可对其进行改造加固；当不能进行改造和加固的，可新做顶升基础。

当原基础或改造基础均不适用时，可根据地勘资料和顶升荷载设计顶升新基础；顶升新基础的形式可采用桩基、扩大基础和利用自然地面；均需要进行设计及验算。

当新基础利用自然地面，应进行地面硬化，并做沉降验算。

安全系数取值引用GB/T 51256-2017

6.2.4 顶升支撑体系设计

顶升支撑体系设计应根据顶升荷载、顶升高度、桥梁结构特点、施工条件、经济成本等因素综合考虑。顶升支撑结构形式有钢结构、钢箱混凝土垫块、混凝土垫块等，根据顶升高度和基础条件选用相应的支撑形式。

千斤顶和跟随顶应是两个不同的支撑体系，相互之间受力独立、互不干涉。

钢结构支撑包含钢管柱支撑、顶帽、工具式钢垫块、转换垫块及调平钢板等。

顶升支撑体系设计时，需要包含钢管柱、工具式钢垫块、转换垫块、顶帽和加固杆件的设计。

当支撑高度或顶升高度较高时，可采用钢管柱；当顶升高度较小、顶升支撑布置较为集中时可采用混凝土垫块或钢箱垫块。

施工作业区应设置防撞围挡，避免车船撞击支撑体系结构影响支撑结构稳定。

6.2.5 分配梁设计

分配梁与被顶升结构之间的受力点不应布置在箱室等空心部位。

当顶升基础与被顶升结构之间因条件所限布置顶升支撑困难时，或为了增加被顶升结构的整体性，可在两者之间设置分配梁，进行受力体系转换，传力的途径为，顶升荷载→腹板→分配梁→顶升支撑→基础。

分配梁通常采用钢结构形式，设计时综合考虑顶升荷载、安装条件、成本及通用性等因素。

6.2.6 限位结构设计

各类桥梁当顶升超过一定高度时，有了稳定性的风险，需设限位结构，包括纵、横向限位结构，保证被顶升结构平面位置偏移在允许范围内。

采用直接顶升法时，可利用桥台、墩柱、盖梁、伸缩缝等设置限位结构，也可独立于桥梁原结构设置限位。当无法利用原结构设置限位时，可在被顶升端两端新做限位基础和限位结构，限位柱可采用钢筋混凝土、钢管柱或格构柱。

当采用断柱顶升法时，可利用顶升基础（原承台或抱柱梁）作为限位基础，通过约束墩柱位来进行限位。

限位的水平分力按顶升荷载的 2%取值，依据千斤顶、支撑体系的垂直度安装偏差不大于1%考虑取值2%。

6.3 SLHC 系统设计

智能同步顶升控制系统（PLC）设计是在顶升过程中通过同步设计，顶升结构在内部应力最小状态下从原状态调整到后续使用状态，是完成顶升工作的保障。应具有技术先进、信息化程度高、安全可靠的智能同步顶升系统进行桥梁顶升施工。

6.3.1 SLHC 系统设计要求

技术先进、信息化程度高、安全可靠的SLHC系统进行桥梁顶升施工。

6.3.2 SLHC 系统组成及功能

智能同步顶升控制系统（PLC）包括液压顶升系统和智能同步控制系统。

液压顶升系统包括液压泵站、液压管路、液压油缸等，是以液压泵站通过液压管路驱动液压油缸实现顶升、停止、下降等工作所需设备的有序组合。

智能同步控制系统包括计算机控制系统、位移压力检测与人机界面操作系统、控制主机。

同步控制设计是通过控制区域划分，根据顶升荷载、支撑体系布置、控制精度要求、顶升设备、顶升高度等因素，将控制区域内的顶升高度结合顶升设备的能力完成每个顶升行程高度设置的过程。

6.3.3 同步控制设计

顶升控制区域划分。为了保证被顶升结构受力体系基本不变姿态可控，应按照顶升结构范围，根据位置相近，对称和荷载相近的原则将顶升结构进行区域分块。

对于现浇箱梁等结构，梁体对应于桥墩处的横断面一般为实心钢筋混凝土横隔梁，横向刚度较大，因此可布置2个同步控制点。对于板梁直接顶梁底而言，横向刚度较小，当桥面较宽时，为了达到横断面较大顶升同步性，减少横断面的变形量，可以增加同步控制点。对于断柱顶升盖梁的桥梁而言，如果只设置2个同步控制点不能控制盖梁沿2条轴线的转动，可在盖梁4角分别设置1个同步控制点进行控制。

顶升行程设计,当顶升支撑结构较高时,通常采用分节拼装的钢管支撑,钢管支撑会存在一定的压缩量,当各墩的支撑高度相差不大时,不会对顶升的同步性产生较大的影响;而当各墩支撑高度相差较大时,则应充分考虑其对顶升同步性产生的不利影响。可以通过增加钢管支撑的刚度和数量,或通过抬高反力基础的高度从而降低支撑结构的高度,或在顶升高度的设定时将压缩量较大的墩的顶升高度适当加高,以抵消部分钢管支撑压缩量,或综合采取以上措施

6.3.4 液压顶升系统设计

按照区域千斤顶的布置及液压泵站控制的性能,配置液压泵站数量及液压管路,结合施工现场、控制区域的千斤顶布设液压泵站,按照布设情况设置液压管路。

6.3.5 同步控制系统设计

根据液压顶升系统设计结果,配置智能同步控制系统的硬件和软件,应采用技术先进、信息化程度高、安全可靠的智能同步顶升系统。明确控制中心、交换机、液压传感器、位移传感器和数据线的型号和性能要求。按照控制区域及千斤顶顶升行程进行确定单个千斤顶的顶升速度。按照设定的行程实现同个顶升区域内千斤顶顶升的同步控制。

7 施工准备

7.1 一般规定

顶升准备包括顶升施工组织设计编制→人料机进场及技术交底→施工测量→工程构件临时加固→临时结构施工→SHLC系统安装调试等工作。

7.2 顶升施工组织设计编制

桥梁顶升的施工组织设计除按照《浙江省公路工程施工招标文件范本》中招标文件施工组织设计编制要求外,重点应明确顶升技术设计、顶升施工准备、顶升施工作业方法、质量、安全、文明、施工保障措施、顶升风险识别与防患、顶升工程的检查与验收等要求。

施工组织设计编制完成并经审查后办理报批手续。如涉及交通组织,应在施工组织设计中包括交通组织方案的编制与报批工作。施工组织设计中应根据技术方案,明确千斤顶的详细布设图表,并明确其承担的顶升荷载,配置部分物理跟随千斤顶,用于防备液压失效的应急情况。

如顶升施工时间紧,可提高加固混凝土标号,混凝土浇筑时,除了按规定制作砼试块数量外,应在现场增加制作不少于一组的砼试块。配置满足技术和安全要求的顶升设备,是重中之重。

配置临时电源、配备备用液压泵站和液压千斤顶以及其他适量的备品备件,用于对应应急情况。应结合作业环境对施工作业及施工设备进行动态安全作业评价,明确风险因素并提出控制措施,确定应急预案并配备应急物资。

7.3 场地建设

应按照TG/T 3650《公路桥涵施工技术规范》规范要求以及相关要求完成施工场地的建设,

7.4 施工测量

做好顶升施工测量工作,建立现场高程和平面控制网。

7.5 人料机进场及技术交底

应按技术设计及JTJ/T 3650-2020《公路桥涵施工技术规范》规范要求,组织施工人员、设备和材料的进场,办理报验工作,属于特种设备、计量设备和特殊工种应按照相应规定做好的检测和报备工作,对施工人员完成安全教育和技术交底工作;

7.6 桥梁结构临时加固

重点针对桥梁顶升施工方案的要求对原桥结构进行检查,如果有影响顶升安全的病害应提前修复,一般病害可在顶升完成后再修复

7.7 临时结构施工

7.7.1 基础施工

当利用原承台作为顶升基础，将原承台顶面支撑点位置用砣或灌浆料找平。当采用原承台加固改造后作为顶升基础，对新老砣结合面进行充分凿毛并冲洗干净，以保证新老砣结构的良好结合。

当利用盖梁或桥台台帽作为顶升基础，若盖梁或桥台台帽顶面不平，可用水泥砂浆或灌浆料找平；如有设计同意的盖梁顶面到被顶升结构底面空间略有不足而将砣保护层适当凿除的，应按照技术设计中明确的凿除和修补方法，完成相应的工作。

当利用盖梁或桥台台帽侧面增设牛腿作为顶升基础，钢、砣牛腿与盖梁或桥台之间通过植筋连接。

当利用桩基或墩柱在桩基或墩柱四周增设抱柱(桩)结构作为顶升基础，对新老砣结合面进行充分凿毛并冲洗干净，以保证新老砣结构的良好结合。

新做顶升基础，按照JTG/T 3650-2020《公路桥涵施工技术规范》的要求及相关规定组织施工。

7.7.2 顶升支撑安装

钢结构支撑宜采用人工配合机械按以下要求进行安装。受桥下空间限制，吊车使用受限，可使用叉车或改装的挖机进行安装，每一节垫块安装完成后要保证与相邻垫块之间完全接触、不得出现局部脱空情况，当出现脱空时用环氧砂浆找平后重新安装。

7.7.3 分配梁安装

分配梁进场后要进行检查，包括尺寸、焊缝质量、支承点位置是否严格按图纸制作等。分配梁安装前应检查被顶升结构已按照技术设计的要求完成加固处理(如有)。被顶升结构按照施工图设计文件做好受力点的位置施工放样工作。

采用先安装分配梁、后灌注支承垫石的施工顺序，以保证分配梁与被顶升结构在支点位置结合牢固。

受桥下空间限制，分配梁可根据自重通常采用倒链、电动葫芦等起重工具进行安装，起重工具和钢丝绳的选配要满足有关安全规定。

7.7.4 限位结构施工

当利用原结构限位时，抗震挡块作为限位结构时，应调整限位挡块与被顶升结构之间的距离，用钢板进行保护，防止挡块损坏；当挡块高度不足时，应根据施工图要求先行接高；

当利用桥台的台背、盖梁作为限位基础，进行限位结构施工时，施工前应对结构物进行检查，再进行植筋和相应构件的施工；

当利用伸缩缝位置进行限位时，按照技术设计文件进行施工，同时应考虑施工图设计文件中对伸缩缝的利用内容，不应破坏需要直接利用的结构部分。

当无法利用原结构设置限位时，按照技术设计文件要求进行施工。

7.8 SHLC 系统安装与调试

7.8.1 SHLC 系统安装

液压顶升系统，当顶升受力点直接作用于被顶升构件时，应将被顶升接触面进行技术处理后方可安装千斤顶，当无施工图设计时，宜先用膨胀螺栓将吊顶钢板固定在梁底，调整至水平状态，再将千斤顶用螺栓固定在钢板下方；最后用高强灌浆料将钢板与梁底间的缝隙填充密实；

当受力点设置在分配梁上时，千斤顶安装前应按照技术设计文件明确的型号、行程等进行检查，检查符合后方可进行安装；

智能液压泵站安装：泵站进场后进行验收，包括外观是否有损伤、液压油位和压力表能否正常启动等；按照就近、安全、方便的原则选择泵站安装位置。

液压管路包括总油管、接头、分配器、分油管、截止阀安装等，安装路径为：液压泵站→总油管→分配器→分油管→截止阀→千斤顶；

在液压工程师的指导下由专业液压工按照液压管路安装操作说明文件进行液压管路安装，液压工上岗前需进行培训和技术交底；液压管路安装完成后要进行检查验收，以免错接、漏接。

根据控制区域及控制对象的特点，按照6.3.1.5的要求进行同步控制系统软件的开发。

智能同步控制系统安装工作包括控制主机、监控显示器安装、光缆敷设与位移传感器安装

7.8.2 SHLC 系统检查

所有系统及设备全部安装完毕后，应对系统的软硬件设备进行检查。

7.8.3 SHLC 系统调试

对所有系统及设备全部检查完毕确认符合要求后，应对SHLC系统进行调试。

顶升系统初始加载由液压工程师会同桥梁工程师共同确定并报总指挥，最终由系统操作员输入智能同步控制系统，读取控制系统力传感器和位移传感器初值后将其归零。通过智能同步控制系统对液压顶升系统进行保压试验

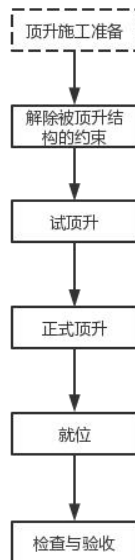
7.9 顶升前桥梁初始状态确认

应原桥的上部结构线形、混凝土桥面、梁体、墩柱将调查和测量结果进行整理和汇总，建立原桥的初始状态。形成的原桥顶升初始状态应经监理、设计、业主单位的确认。

8 顶升施工

8.1 一般规定

准备工作完成后，应办理桥梁顶升工程开工报告，在施工过程中注意对原结构的保护，经批准后方可正式开始顶升作业。顶升施工流程图完成顶升工程的施工。



顶升施工流程图

每次顶升的高度应略高于钢垫块厚度，满足垫块安装的要求，不宜超出钢垫块厚度较多，以避免负载下降的风险。

顶升工作在顶升总指挥统一指令下，各方工作人员，需要听从指挥密切配合。

顶升过程中，应加强巡视工作，应指定专人观察整个系统的工作情况。若有异常，直接通知指挥控制中心。结构顶升空间内不得有障碍物；

8.2 解除梁板约束及处置

顶升前应解除被顶升结构的一切内外部约束，包括：桥梁两段或分段顶升的伸缩缝、支座约束、桥墩切断、清理梁缝内的垃圾、过桥管线等。按顶升方案要求对顶升结构的梁板、护栏、伸缩缝进行处置（如有）。

8.3 试顶升

确定顶升施工系统的工作状态，在正式顶升之前，应进行试顶升。试顶升高度宜设置为10mm。按照顶升和回落工作步骤，进行被顶升结构的回落。

试顶升过程结束后，应对试顶升作业进行总结，施工单位、监理单位确认通过后方可进入正式顶升作业。

8.4 正式顶升

正式顶升前应正确计算各墩位处顶升高度，以确保梁体的竖向线性不发生改变。

8.4.1 按照以下步骤完成单个行程的顶升作业：

设定一次顶升行程；将设备都调整至的收缸状态，检查油泵、千斤顶、传感器均处于正常的工作状态，进入初始状态；开始顶升作业，液压千斤顶和跟随千斤顶油缸同步伸出，注意观察跟随千斤顶的是否有因设备故障而出现脱空的情况，如果有应降低顶升速度确保跟随千斤顶出缸速度跟得上液压千斤顶的出缸速度，并在下一行程顶升前将存在故障的跟随千斤顶更换；第一行程顶升完成后，将液压千斤顶收缸，并加高液压千斤顶下支撑，再对被顶升构件进行一定量的顶升使被顶升构件与跟随千斤顶脱离接触，然后将液压千斤顶机械螺纹保压环拧下至与支撑结构密切接触，对液压压力形成机械承压保护；跟随千斤顶收缸，并采用加高跟随顶垫块加高支撑结构；重复顶升到转换高度；

当顶升到设定转换高度时，应进行接高，更换支撑；接高和更换支撑时，应确保支撑系统处于保压稳定状态，不应在顶升过程中且没有安全保障措施的情况下接高、更换支撑；

接高、更换支撑、顶升转换作业时，应有专人指挥，不应碰撞顶升设备、监控设备、被顶升结构和支撑体系。

在工程实践中由于顶升限位结构刚度问题或调坡顶升中梁体本身要发生纵向位移，限位结构很难完全发挥设计的作用。为了防止梁体水平偏位太大，可以通过调整千斤顶的竖直角或调整梁体姿态的方式进行纠偏。调整千斤顶的竖直角就是使千斤顶的安装方向向相反的方向适当倾斜，调整梁体姿态就是使梁体整体偏位的反方向整体倾斜，也能起到较好的纠偏效果。

直接顶升梁底时，支座安装完成后需要将梁体下落到支座上，而支座需要一定的安装空间并且会有一些的压缩量，因此应对桥梁进行一定量的超顶升，以使落梁后的梁体标高符合设计要求。

8.5 桥梁结构改造

断柱连接时如果顶升高度较高，桥墩承载力不能满足设计要求时应采用桥墩加粗的连接方式；如果顶升高度较小时，应根据桥墩水平偏位的大小选择采用等截面连接或桥墩加粗的连接方式。全桥宜采用统一的连接方式，以保证外观的协调。

工程结构改造期间，对被顶升结构姿态进行监测，对顶升基础和支撑体系进行监测，监控检测千斤顶及油路保压情况；当出现异常时，可通过限位体系和施力体系进行约束和调整。

8.6 就位

桥梁结构、支座系统改造完成并达到设计强度后即可将被顶升构件回落就位。

8.7 临时结构与系统拆除

被顶升构件回落就位验收符合要求后，按照自上而下的顺序拆除千斤顶及油路和支撑体系，最后根据要求拆除顶升新增基础如抱柱梁等。

抱柱梁拆除，当抱柱梁低于地面，在经过工程涉及单位同意，可不予拆除；当抱柱梁高于地面时，顶升完成后需要拆除。可采用静力切割的方式拆除。对抱柱梁剩余部分人工凿除后进行表面修补、涂装。

9 施工监控

9.1 一般规定

应根据设计要求及顶升的现场情况，分析项目特点，确定顶升所面临的风险，进行监测方案的设计，以保障被顶升结构物安全处于施工图设计的位置。

通过在施工过程中对顶升基础、支撑体系、分配梁、施力体系、被顶升结构等变形、受力指标变化的监控，确保施工过程中上述各工作体系和被顶升结构的安全，达到施工结束后桥梁线形和内力状态在受控阈值内，符合设计要求的目标。

根据工况合理安排监测时间间隔，做到既经济又安全。工程监测应跟踪整个改建工程，工期覆盖顶升全过程，并按照阶段提供监控评价表。

9.2 监控位置及内容

监控监测应包括竖向位移、水平位移、裂缝、应力等

9.3 监控设备、监控频率及精度

竖向位移监控，在每个或每组顶升支点均需设置竖向位移监控点，位移监控点相对于被顶升结构对称布置，通常设在每个桥墩横桥向轴线位置。

监控设备包括位移传感器、液压传感器、全站仪、经纬仪、裂缝观测仪、应力计等。

9.4 监控方法及要求

对位移监控、应力监控、裂缝监控、钢管柱垂直度及其他内容监控等明确监控方法和要求

9.5 监测结果及处理

竖向位移每天的检测数据应同步反馈施工单位，并与施工的实际顶升高度相对比，验证顶升结果，如出现偏差，应立即停止查找原因，解决后才继续顶升。

遇见异常情况应立即予以沟通，并做好异常情况的排除工作，当出现异常应影响质量和安全时，应停止顶升作业，等恢复正常后再继续顶升。

10 检查与验收

10.1 一般规定

应按照施工图设计的线形要求完成顶升工作，并按照施工图设计要求完成相应的结构改造工作，顶升过程中应对被顶升构筑物进行观察，构筑物在被顶升过程中不应受到损伤，不应出现受力裂缝。

10.2 分项工程检验评定

结构顶升后主要的施工成果是高程和结构是否受到影响。

10.2.1 被顶升结构的检测与评定

根据被顶升结构作业特点，顶升结构仅改变了竖向位置，明确了评定要求。

10.2.2 改造工程的检验与评定

墩柱接长或外立面恢复等改造工程的质量新建构件应符合JTG F80《公路工程质量检验评定标准》改造构件应符合JTG 5220《公路养护工程质量检验评定标准》)的规定。