

公路桥梁整体顶升技术规程

Technical codes for overall jacking of highway bridges

2022 - 10 - 13 发布

2022 - 11 - 13 实施

目 次

前言	II
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	3
5 调查与评估	3
5.1 一般规定	3
5.2 设计阶段调查与评估	3
5.3 施工阶段调查	4
6 设计	4
6.1 一般规定	4
6.2 原结构验算	4
6.3 桥梁结构设计	4
6.4 顶升方案设计	9
7 施工	14
7.1 一般规定	14
7.2 同步控制方案	14
7.3 施工准备	15
7.4 施工作业	19
8 施工监控	22
8.1 一般规定	22
8.2 监控内容及要求	23
8.3 监控实施	24
9 质量检验	24
9.1 一般规定	24
9.2 分项工程检验评定	25
附录 A （资料性） 台改墩施工步骤	26
附录 B （资料性） 顶升支撑部位选择	35
附录 C （资料性） 各类限位结构设置要求	39

前 言

本标准按照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。

本标准代替DB33/T 936—2014《内河桥梁整体顶升技术规程》，与DB33/T 936—2014相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了标准的适用范围（见第1章，2014年版的第1章）；
- b) 更改了“术语与定义”（见第3章，2014年版的第3章）；
- c) 更改了“基本规定”（见第4章，2014年版的第4章）；
- d) 更改了“调查与评估”，细分了设计和施工的调查内容，并将评估明确为设计时要完成的工作（见第5章，2014年版的第5章）；
- e) 增加了“设计”章节，包括一般规定、原结构验算、桥梁结构设计、顶升方案设计（见6.1、6.2、6.3、6.4）；
- f) 增加了液压同步顶升控制系统（见7.2.2）；
- g) 增加了施工准备，包括基本要求、桥梁结构加固、临时结构施工、SLHC系统安装与调试和顶升前桥梁初始状态确认（见7.3）；
- h) 增加了解除约束及处治（见7.4.2），更改了试顶升（见7.4.3，2014年版的6.5.3）；
- i) 将“墩柱接高”、“支座更换”（2014年版的6.6、6.7）合并为结构改造（见7.4.5.1），增加了结构改造期间需要进行的检查和控制（见7.4.5.3）；
- j) 更改了“梁体复位”更改为就位；（见7.4.6，2014年版的6.8）；
- k) 更改了“临时结构与系统拆除”（见7.4.7，2014年版的6.9）；
- l) 更改了“监控部位及内容”（见8.2.1、8.2.2、8.2.3、8.3，2014年版的7.3）；
- m) 更改了“质量评定方法”为质量检验（见9.1、9.2，2014年版的8.2、8.3、8.4）。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由浙江省交通运输厅提出并组织实施。

本标准由浙江省公路工程标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：杭州市交通规划设计研究院有限公司、杭州市临平区交通运输局、杭州市余杭区交通运输局、上海先达特种土木工程技术有限公司、杭州市交通工程集团有限公司、浙江云桥交通科技有限公司、浙江省港航管理中心、湖州市港航管理中心、河海大学。

本标准主要起草人：方志杨、祁恺飞、郑华奇、杨琳、孙志良、马刚伟、赵玉贤、顾侃、张冬青、毕晓明、叶凡一、宋法宝、陈自辉、汪坚、李永青、叶茂、朱威、周润翔、翁明祥、李乐阳、唐翔、濮辉铭、龙伟、吴佳波、余盛桃、安康、陈弢、沈卫峰、李思望、翁国强、汤修华、何仲文、吉伯海、郑宏、周超、陈妙初、谢发祥、沈勤林、王靖、李大鸣、陈永辉、翟瑞兴、傅中秋、雷笑、莫海峰、徐声亮。

本标准及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2014年首次发布为DB33/T 936—2014；

——本次为第一次修订。

公路桥梁整体顶升技术规程

1 范围

本标准规定了公路桥梁整体顶升的术语和定义、基本规定、调查与评估、设计、施工、施工监控和质量检验等的要求。

本标准适用于公路梁式桥及无推力拱式桥等桥梁整体顶升工程的设计、施工和质量检验。

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标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

- GB 6067 起重机械安全规程
- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50017—2017 钢结构设计标准
- GB/T 51256—2017 桥梁顶升移位改造技术规范
- JTG/T 2231—01 公路桥梁抗震设计规范
- JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范
- JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范
- JTG/T 3650 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 第一册 土建工程
- JTG D20 公路路线设计规范
- JTG D60 公路桥涵设计通用规范
- JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范
- JTG/T D64—01 公路钢混组合桥梁设计与施工规范
- JTG D81 公路交通安全设施设计规范
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- JTG F90 公路工程施工安全技术规范
- JTG H10 公路养护技术规范
- JTG H11 公路桥涵养护规范
- JTG/T H21 公路桥梁技术状况评定标准
- JTG H30 公路养护安全作业规程
- JTG/T J22 公路桥梁加固设计规范
- JTS 205—1 水运工程施工安全防护技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

调坡顶升 slope gradient jacking-up
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

台改墩 transform abutment into pier
桥梁顶升中根据需要将原桥台改造为桥墩。

3.4

梁体顶升 beam jacking-up
直接或通过分配梁将顶升受力点设于梁体底部进行顶升的方式。

3.5

断柱顶升 break column/pier jacking-up
通过截断桥墩，将截断面以上的下部结构和梁体同步顶升的方式。

3.6

工具式垫块 tool backing plate
顶升过程中用于接高、更换的构件。

3.7

转换垫块 conversion backing plate
用于连接不同截面支撑柱的构件。

3.8

分配梁 supported beam for force distribution
置于梁底，借助刚性梁体来分摊顶升荷载，实现均匀布置顶升支撑或增加顶升受力范围。
[来源：GB/T 51256—2017，2.1.10，有修改]

3.9

抱柱梁 steel girdling of column/pier
依附于墩柱四周并与墩柱有效连接，将顶升力传递到桥梁上下部构造的梁式结构。
[来源：GB/T 51256—2017，2.1.9，有修改]

3.10

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。

[来源：GB/T 51256—2017，2.1.11，有修改]

3.11

液压同步顶升控制系统 synchronous lifting hydraulic control system

由液压系统油泵、油缸、检测传感器、计算机控制系统等几个部分组成。通过计算机控制液压设备，实现全自动完成同步位移的系统（简称“SLHC系统”）。

4 基本规定

- 4.1 在确定既有桥梁顶升改造前，应做好前期工作，包括现场调查、相关资料收集、结构检测和受力验算、必要的勘察和测量，并进行技术和经济可行性分析、论证及评估。
- 4.2 桥梁顶升不应损伤原桥受力结构，不宜改变原桥受力体系。
- 4.3 桥梁顶升施工过程中的临时结构、构件及措施，应按 GB 50017、JTG D64、JTG 3362 等的有关规定进行设计。
- 4.4 顶升施工期间应封闭桥上交通，禁止车辆通行，并做好交通组织设计。
- 4.5 对桥下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，采取防撞及保通措施，保障顶升改造期间桥下船舶或车辆通行安全。
- 4.6 桥梁顶升应采用同步顶升，宜采用 SLHC 系统实施顶升。
- 4.7 应制定监控方案，建立监控体系，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。
- 4.8 顶升完成后的桥梁应符合原设计采用的技术标准和顶升设计要求。
- 4.9 顶升施工应注重保护环境，各项环境保护措施应与顶升设计、施工同步实施。

5 调查与评估

5.1 一般规定

- 5.1.1 应对拟顶升桥梁进行现状调查、检测与评估，并给出桥梁检测报告与评估结论。
- 5.1.2 调查分为设计和施工两个阶段，调查的内容包括桥梁结构现状、相关资料和现场条件等。

5.2 设计阶段调查与评估

5.2.1 设计阶段调查

- 5.2.1.1 收集原桥竣工图纸，掌握桥梁基础形式、结构尺寸、支座类型、桥梁荷载等相关信息。
- 5.2.1.2 收集养护维修资料，掌握桥梁管养及维修加固信息。
- 5.2.1.3 收集检测报告，掌握桥梁病害情况、技术状况及技术等级等信息。
- 5.2.1.4 应结合桥梁既有资料对拟顶升桥梁做现状检测，检测项目包括主要构件的材料强度、裂缝和整体性等。
- 5.2.1.5 应对净空、地形、地质、管线、桥下通车和通航情况、建设条件及作业环境等进行调查。
- 5.2.1.6 利用原控制点或新建独立控制网对原桥特征点进行坐标、高程测量。

5.2.2 技术状况评估

5.2.2.1 顶升设计前应按 JTG H11 进行一般性评定或适应性评定，结合现场调查资料、检测报告和试验结果按 JTG/T H21 综合评定桥梁各部件技术状况，确定桥梁的技术状况等级，评定桥梁的实际承载能力、通行能力和抗洪能力等，编制现状评估报告。

5.2.2.2 大跨径或结构复杂的桥梁应按 JTG/T H21 进行桥梁技术状况评定，必要时可进行桥梁荷载试验，以评估桥梁的实际状态。

5.2.2.3 根据 5.2.2.1、5.2.2.2 技术状况评定结果，分析桥梁采用整体顶升施工的可行性，并提出整体顶升前需要进行结构补强加固的方法和建议，以及整体顶升需要注意的问题和建议。

5.3 施工阶段调查

5.3.1 对桥梁实体现状进行详细调查，核对桥梁检测结果和设计图纸。

5.3.2 对施工用水、用电、施工现场及周边场地、管线、道路交通、内河航运等进行详细调查。

6 设计

6.1 一般规定

6.1.1 设计应包括设计调查、原结构验算、桥梁结构设计、顶升方案设计及概预算编制。

6.1.2 设计应根据桥梁结构特点、工程条件、改造目标、技术标准、原结构检测评定结论、改造要求等，通过比选确定相应的顶升方案。

6.1.3 临时结构及桥梁结构改造的设计应符合 JTG 3362、JTG D64、GB 50017 和 JTG/T J22 的要求。

6.1.4 支撑等临时结构验算应符合 GB 50017、JTG D64 和 JTG 3362 的要求。顶升过程中可不计入混凝土收缩和徐变。应根据顶升桥梁所在地区地震烈度按 JTG/T 2231—01 做好抗震设计。

6.1.5 顶升基础应根据顶升支撑部位布置、顶升荷载、顶升高度、原桥基础及结构特点进行设计。

6.1.6 应根据桥梁病害调查、结构验算结果，将桥梁病害处治纳入顶升设计。

6.1.7 顶升设计应考虑施工过程中顶升点的不均匀受力和相邻墩台位移差等对结构内力的影响，提出相应的控制指标。

6.1.8 顶升设计应考虑支座及垫石的施工作业空间要求，改造后梁底与墩顶间距应满足支座系统改造施工要求。

6.1.9 顶升设计应对桥梁整体顶升施工前的重要技术问题提出具体要求，如对桥面系进行处理，减少顶升荷载。

6.1.10 对桥下有交通需求的跨水域桥或跨线桥，桥梁顶升应满足桥下航道和道路所需净空。

6.2 原结构验算

6.2.1 应按 JTG 3362、JTG 3363、JTG D60、JTG D64、JTG/T D64—01、原结构设计文件等相关要求，对结构顶升改造前后上部结构、下部结构及地基基础进行承载能力极限状态下结构承载力、稳定性及正常使用极限状态下抗裂、应力和刚度验算。

6.2.2 顶升后的上部结构验算应采用 JTG D64、JTG 3362 等相应规范的各项作用值及相应组合值，可计入温度、混凝土收缩及徐变、预应力、基础变位、安装应力等在内的各种作用。

6.3 桥梁结构设计

6.3.1 桥梁结构设计内容

设计内容包括平面及纵断面设计、桥墩改造设计、桥台改造设计、上部结构设计、附属结构设计等。

6.3.2 平面和纵断面设计

6.3.2.1 桥梁整体顶升后平面和纵断面线形指标应符合 JTG D20 的相关要求并与前后段顺接，顶升后桥梁平面中心线应与原桥一致。

6.3.2.2 对需与顶升桥梁进行衔接的新建桥梁，特别对于桥梁宽度发生变化的情况，应做好平面衔接设计。

6.3.2.3 对调坡顶升，顶升桥梁改造完成后与既有前后利用段间会形成折点，可通过桥面加铺调整桥梁纵断面线形，使竖曲线半径、坡长等符合 JTG D20 相关要求。

6.3.2.4 根据桥梁顶升后平面和纵断面要求，对桥梁下部结构及基础、上部结构、附属结构、临时结构、前后衔接段等进行相应设计。

6.3.3 桥墩改造设计

6.3.3.1 桥墩改造设计包括对基础利用和墩柱接高的设计。

6.3.3.2 宜直接利用桥墩基础，并根据改造后的桥梁荷载对桥墩基础进行验算。

6.3.3.3 墩柱接高可采用断柱接高和支座垫石接高两种方式，应根据顶升高度确定墩柱接高方式。

6.3.3.4 断柱接高设计符合下列规定：

- a) 接高段混凝土强度等级应高于原墩柱混凝土至少一个标号，并宜采用便于灌注和成型的细石微膨胀混凝土或自密实混凝土，接高段混凝土应一次性浇筑完成；
- b) 接高段主筋直径不应小于原墩柱主筋直径，主筋数量不应少于原墩柱主筋根数，箍筋间距应按不大于 100mm 加密设置；断口处墩柱表面应做凿除处理，露出受力主筋，长度应满足 JTG/T 3650 要求；被切断的墩柱主筋外露最小长度应综合考虑套筒连接的工艺要求、钢筋锚固长度等要求；
- c) 主筋连接可采用焊接、机械连接等工艺，同一断面的接头比例应符合 JTG/T 3650 要求，当切断面在受压区且机械挤压接头符合 I 级接头要求时，接头数量比例可不受限制；
- d) 桥墩采用切断顶升施工工艺时，在墩柱接高后，应根据结构受力需要按 JTG/T J22 的相关要求做加固处理；
- e) 墩柱切割位置的选择应避开钢筋密集区域，并应满足墩柱钢筋连接接长的需要。切割位置宜选择在顶升基础顶面以上 2m 范围内。

6.3.3.5 对设置顶系梁的花瓶型桥墩宜断柱后单独顶升接高利用，可将顶系梁下方做调平处理后作为千斤顶支点，应对系梁承载力按 JTG 3362 相关要求进行了验算。

6.3.4 桥台改造设计

6.3.4.1 桥台改造设计分桥台接高和台改墩。

6.3.4.2 桥台接高可采用支座垫石接高和台身改造接高两种方式，应根据顶升高度确定桥台接高方式：

- a) 采用支座垫石接高时，应同时对耳背墙、挡块等进行接高设计，并考虑台后土压力变化造成的影响；
- b) 当支座垫石接高无法满足承载力及稳定性要求时，应采用台身改造接高。采用台身改造接高时，应根据台身荷载变化对承台桩基进行验算。

6.3.4.3 典型的台改墩按类型分桩接台帽改造为柱式墩、桩接台帽改造为盖梁柱式墩、座板台改造为柱式墩、U 台改造为柱式墩，台改墩施工步骤详见附录 A。典型的台改墩示意图见图 1~图 4：

- a) 桩接台帽改造为柱式墩，见图 1；

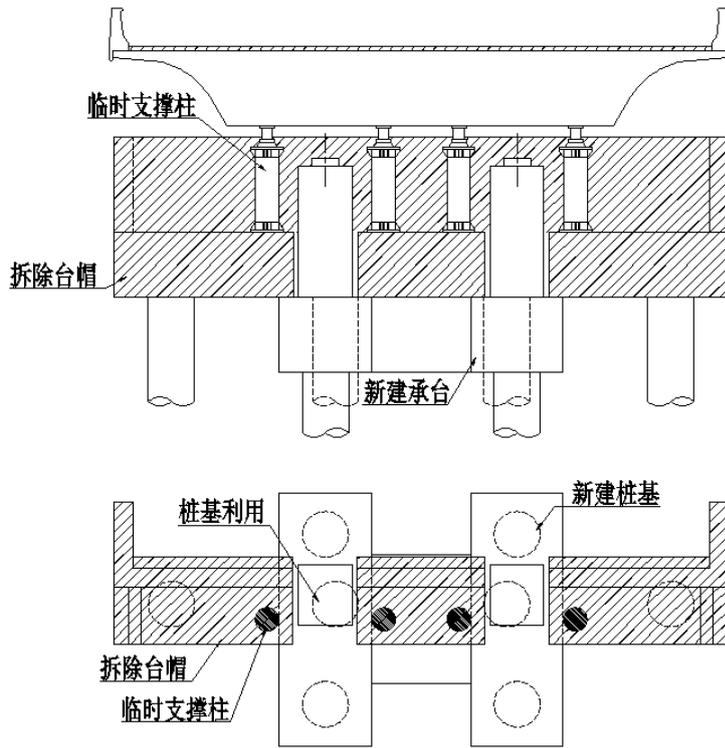


图1 桩接台帽改造为柱式墩

b) 桩接台帽改造为盖梁柱式墩，见图 2；

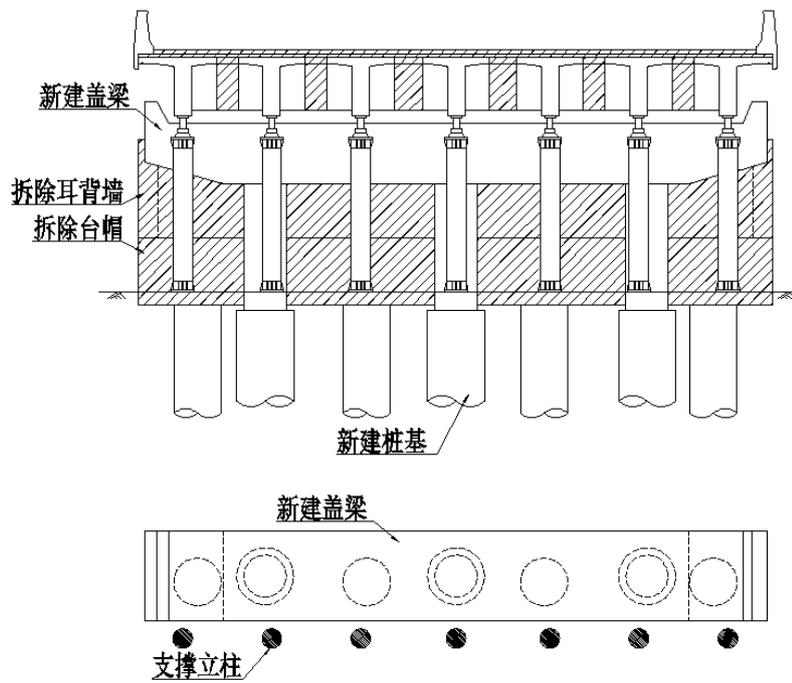


图2 桩接台帽改造为盖梁柱式墩

c) 座板台改造为柱式墩，见图 3；

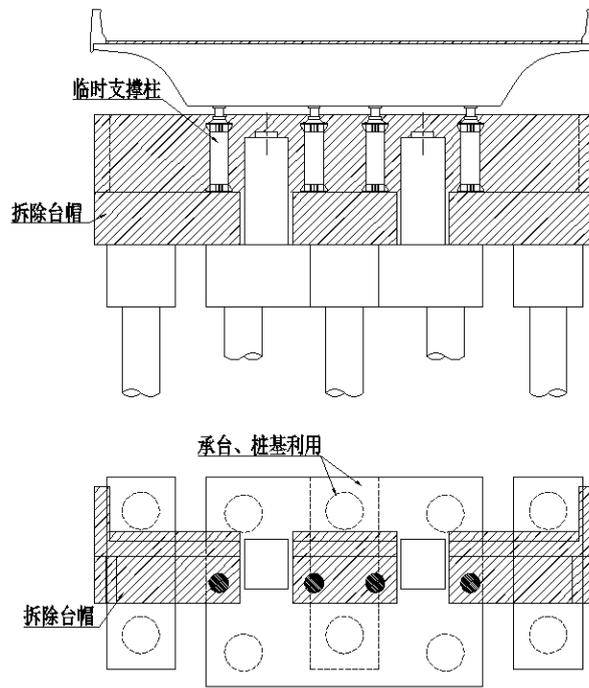


图3 座板台改造为柱式墩

d) U台改造为柱式墩，见图4；

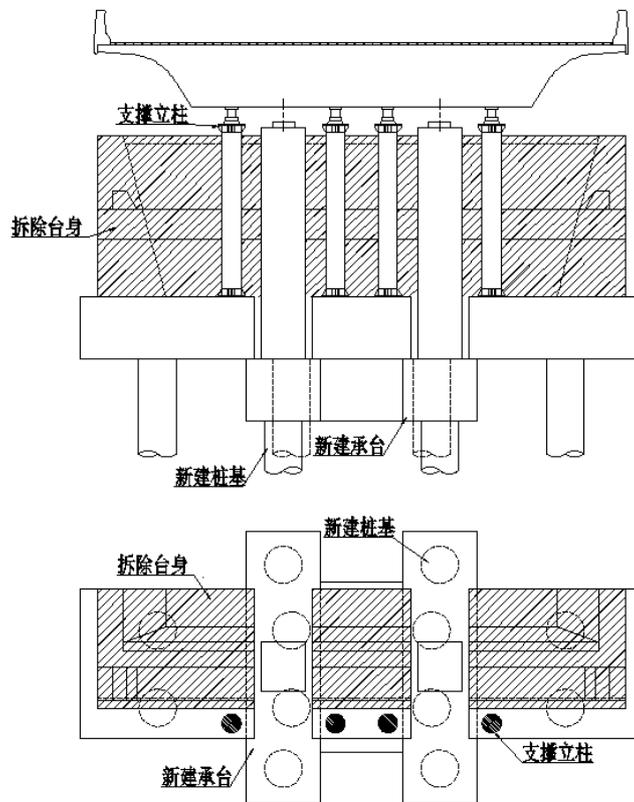


图4 U台改造为柱式墩

6.3.4.4 台改墩设计符合以下要求：

- a) 优先利用旧桩基，需要新建桩基时，新桩基、旧桩基间距应符合 JTG 3363 要求。当旧桩基不作利用时，新旧桩基间距应满足桩基成孔要求；
- b) 新建承台与利用承台的结合部位应进行凿毛、植筋处理；
- c) 台改墩后不宜改变原上部结构横桥向支点位置；
- d) 临时支撑柱底部与原有盖梁凿除后端部的安全距离不应小于 0.5 倍支撑柱柱径（方形柱取柱边长）且不应小于 250 mm；
- e) 当需要在原台帽下新建承台时，应满足以下要求：
 - 1) 新建承台应符合施工阶段及运营阶段的受力要求；
 - 2) 新建承台设计应考虑原台帽拆除的施工操作空间，并要求后续施工专项方案应明确改造方案及流程；
 - 3) 原有台帽部分凿除后与新建承台的搭接长度不应小于台帽高度，并对台帽进行验算，搭接横桥向示意图见图 5；
 - 4) 上部结构落至新建墩柱，完成体系转换后，应对剩余台帽进行拆除。

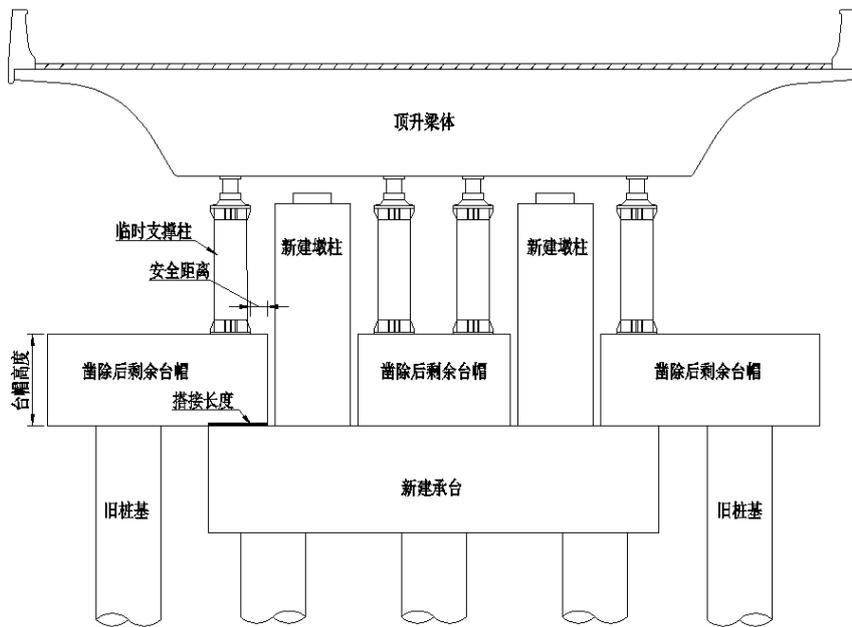


图5 原有台帽与新建承台搭接横桥向示意图

6.3.5 上部结构设计

- 6.3.5.1 当原上部结构需要加固、改造，或桥面系存在顶升施工的制约因素时，需对上部结构进行改造设计。
- 6.3.5.2 桥梁上部结构顶升应以联或简支跨为单位，设计应考虑单位整体的位置变化，兼顾相邻单位的顶升。
- 6.3.5.3 调坡顶升设计应符合以下要求：
 - a) 应根据纵断面设计计算调坡点处不同联（跨）梁端间距，梁体转动时梁端不应发生接触，必要时应对梁端切割方案进行设计，切割时不得损伤梁端预应力及受力主筋；
 - b) 应根据顶升后梁端断面竖直度的变化，做好前后衔接段设计；
 - c) 应考虑由梁体水平投影面变化造成的支点相对位置变化，进行相应的结构验算，必要时应进行加固设计。

6.3.5.4 对桥面铺装、护栏等荷载发生变化的顶升桥梁，其上部结构验算应考虑相应的荷载变化。

6.3.6 附属结构设计

6.3.6.1 需通过加铺桥面铺装调整桥面线型时，宜采用轻集料混凝土作为加铺材料，或采用内设空心钢管等方式，减少铺装恒载。

6.3.6.2 顶升后，桥梁护栏需结合调坡段铺装加厚实际情况，进行加高设计，并符合 JTG D81 的规定要求。

6.3.6.3 桥台改桥墩，应根据前后桥梁联长选取伸缩缝型号。

6.3.6.4 调坡顶升附属结构设计符合下列规定：

- a) 桥梁纵坡改变后需重新考虑桥梁排水设计，纵坡变缓时宜通过增加泄水孔等方式强化桥面排水能力；
- b) 应根据铺装厚度变化调整伸缩缝槽口设计；
- c) 应根据梁底坡度变化、楔形块水平位置变化等做好支座垫石改造设计。

6.4 顶升方案设计

6.4.1 顶升方案设计内容

顶升方案的设计内容包括顶升方式的确定及顶升支撑部位选择、利用原结构作为顶升基础、新建顶升基础、支撑结构设计、分配梁设计、限位结构设计等。

6.4.2 顶升方式的确定及顶升支撑部位选择

6.4.2.1 桥梁顶升方式分为梁体顶升和断柱顶升。应根据顶升类型、顶升高度、下部结构利用方案、支撑布置方案选择合理的顶升方式。以下情况宜采用梁体顶升，其他情况宜采用断柱顶升：

- a) 既有下部结构无法利用；
- b) 采用支座垫石接高进行桥墩（台）接高；
- c) 依托下部结构布置千斤顶存在困难（如采用双柱式桥墩的整体式现浇箱梁）；
- d) 调坡顶升梁底角度发生变化，会对既有支座造成偏压破坏，存在顶升安全隐患时。

6.4.2.2 顶升支撑部位选择：

- a) 顶升支撑部位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、荷载分布情况，宜按桥梁支点、横断面中心线对称布置；
- b) 设计应对顶升支撑部位的桥梁结构根据 JTG 3362、JTG D64 的要求进行受力验算；
- c) 当采用梁体顶升，顶升支撑部位应考虑结构改造所需的范围，根据支撑部位对被顶升结构进行受力验算。预制空心板梁、T 梁、小箱梁、现浇箱梁、钢箱梁、钢混组合梁、系杆拱桥、断柱顶升法、抱柱梁法等支撑部位选择见附录 B。

6.4.3 利用原结构作为顶升基础

6.4.3.1 应根据不同顶升方式选择顶升基础，采用断柱顶升时可选择钢抱箍、抱柱梁、承台等作为顶升基础，采用直接顶升时可选择盖梁顶、墩柱顶、承台等作为顶升基础。

6.4.3.2 宜利用原结构作为顶升基础，包括利用原承台、利用原盖梁或台帽、利用原桩基或墩柱等形式。当原基础或结构不能直接利用时，宜对其进行改造加固。

6.4.3.3 利用原承台，按照以下要求进行设计：

- a) 原承台平面尺寸及受力能够满足顶升要求时，可直接作为顶升基础；
- b) 原承台平面尺寸或受力不满足要求时，可参照图 6 进行承台改造设计；

- 1) 对其进行拓宽、加大截面改造，新增混凝土与原承台通过植筋连接；
- 2) 承台改造后需对其进行承载力和抗冲切验算。

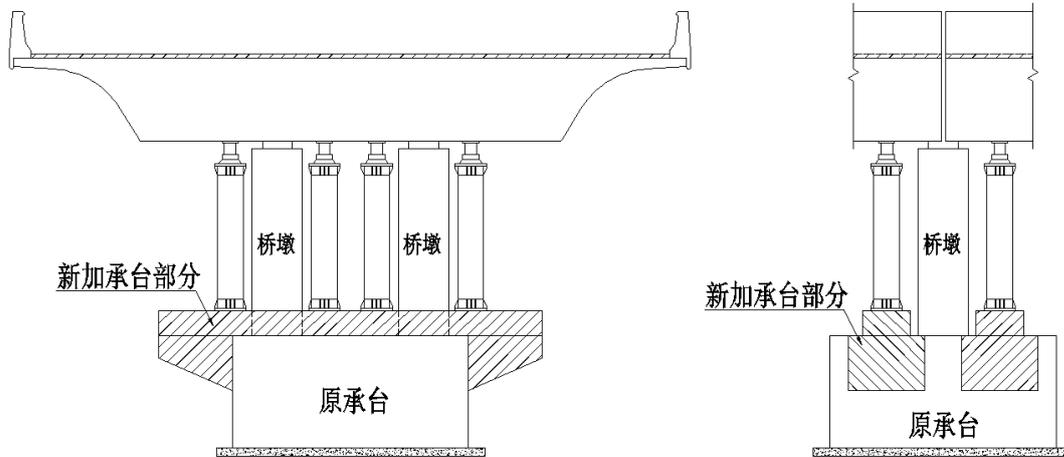


图6 承台改造示意图

6.4.3.4 利用盖梁或桥台台帽作为顶升基础，按照以下要求进行设计：

- 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；
- b) 当盖梁或桥台顶面至被顶升结构之间不能布置千斤顶时，可参照图7、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) 牛腿验算要求如下：
 - 1) 当采用钢牛腿时，应根据 GB 50017 等规范的规定进行强度、稳定与变形，以及连接部的计算；
 - 2) 当采用混凝土牛腿时，应根据 JTG 3362 的规定进行抗弯、抗剪、变形等验算。

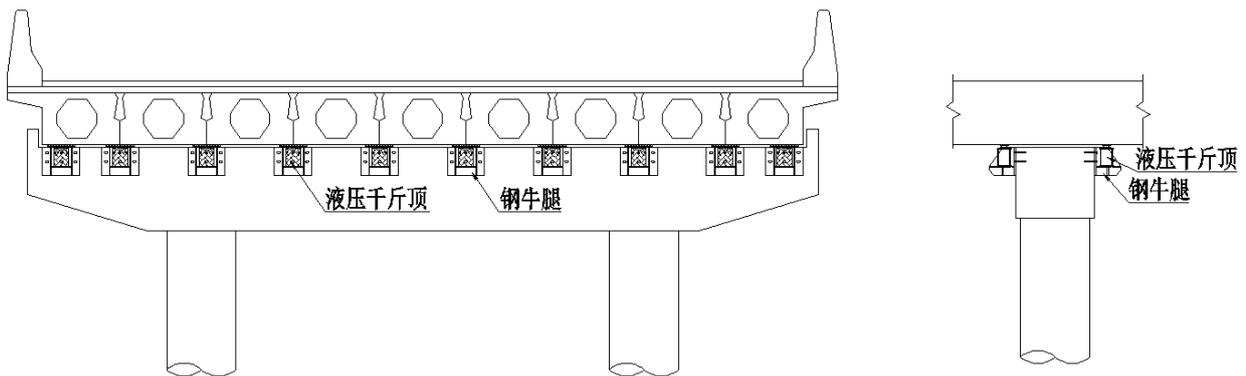


图7 盖梁侧面设置牛腿顶升基础

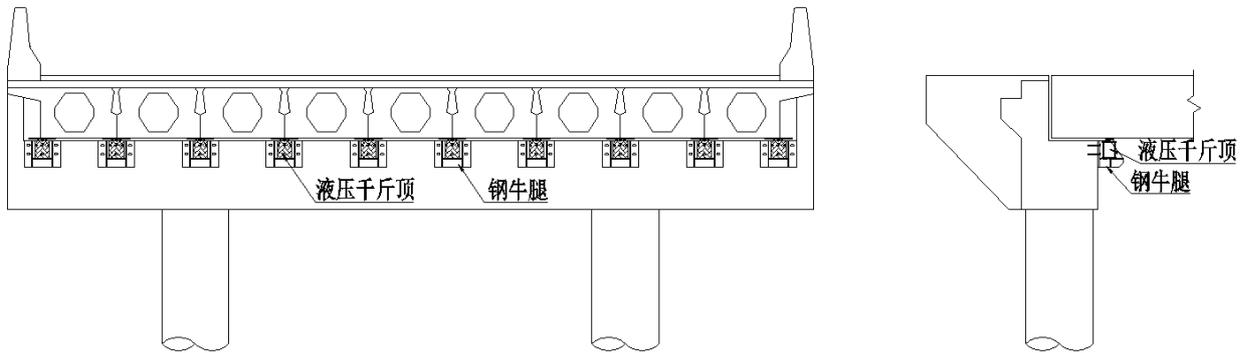


图8 桥台侧面设置牛腿顶升基础

6.4.3.5 利用桩基或墩柱作为顶升基础，应按以下要求进行设计或改造设计：

- 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梁或钢抱箍结构作为顶升基础，图9为钢筋混凝土抱柱梁顶升基础示意图，图10为钢抱箍顶升基础示意图；

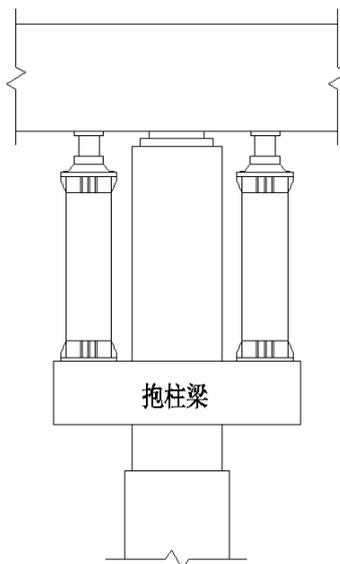


图9 钢筋混凝土抱柱梁顶升基础示意图

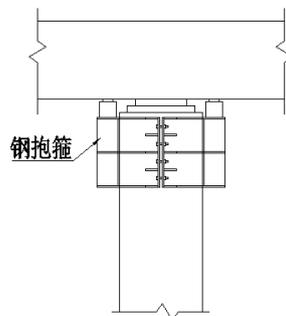


图10 钢抱箍顶升基础图示意图

- b) 钢抱箍设计应符合 GB 50017 等规范的规定，钢筋混凝土抱柱梁应根据 JTG 3362 进行设计；
- c) 新增混凝土结构与原结构接触面应进行充分的凿毛，必要时植入钢筋以提高承载力。

6.4.3.6 因顶升增设的承台拓宽、牛腿、抱柱梁等临时结构，宜在顶升工程完成后进行切除，并对切割断面进行处理，恢复原样。对于不影响交通安全且不影响美观的临时结构可不作处理。

6.4.4 新建顶升基础

6.4.4.1 无法利用原结构作为顶升基础时，可根据地勘资料和顶升荷载新建顶升基础。

6.4.4.2 新建顶升基础的形式可根据地质条件、作业环境、支撑布置等现场情况，选择采用桩基、扩大基础或地面硬化，顶升基础承载力应满足受力要求。

6.4.4.3 设计及验算要求如下：

- a) 新建基础采用桩基、扩大基础形式时，应按 JTG 3363 相关规定验算；
- b) 采用地面硬化作为顶升基础时，应进行沉降、局部承压等的验算，有条件时应进行等载预压。

6.4.5 支撑结构设计

6.4.5.1 顶升支撑结构应根据顶升荷载、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、钢箱混凝土垫块等，根据顶升高度和基础条件选用相应的支撑形式。

6.4.5.2 顶升支撑体系设计内容应包含钢管柱、加固杆件等，并符合以下要求：

- a) 承载力和稳定性符合 GB 50017 等规范的相关规定，根据可能存在千斤顶失效或不同千斤顶受力不均衡的情况，适当考虑安全储备；
- b) 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；
- c) 相对于顶升结构对称布置。

6.4.5.3 顶升支撑体系应验算以下内容：

- a) 竖向顶升荷载取值：顶升荷载为被顶升结构自重、固定在被顶升结构上的分配梁自重和千斤顶自重三者之和；当顶升过程处于冬季时，应按 GB 50009 相关规定考虑雪荷载作用；
- b) 水平荷载取值：应考虑施工期间可能出现的水平荷载，并不低于竖向顶升荷载总值的 2%；
- c) 顶升支撑体系应采用结构计算软件整体建模，计算结果应符合 GB 50017 等规范的相关规定；
- d) 当采用钢结构时，应对单支撑按压弯构件进行强度和稳定性验算，强度和稳定性根据 GB 50017—2017 等规范进行验算。

6.4.6 分配梁设计

6.4.6.1 应根据被顶升结构类型、支撑体系布置等确定是否采用分配梁。当顶升基础与被顶升结构之间受条件限制布置顶升支撑困难，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。连续箱梁腹板下方直接布置顶升支撑困难，或对空心板、小箱梁、T 梁等预制梁顶升时宜设置分配梁。

6.4.6.2 分配梁宜采用钢结构形式，图 11 给出了分配梁应用示意图。

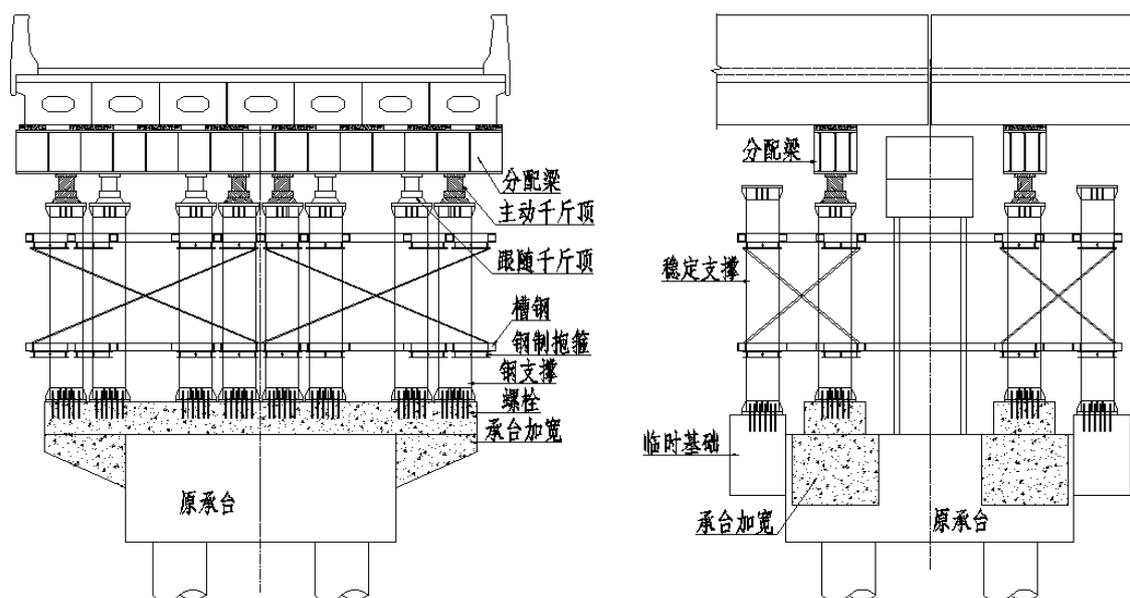


图11 分配梁应用示意图

- 6.4.6.3 分配梁应与顶升支撑体系采用结构计算软件整体建模分析，分配梁受力应分别按主动千斤顶受力和跟随千斤顶受力两种工况进行验算，计算结果应符合 GB 50017 等规范的相关规定。
- 6.4.6.4 分配梁与被顶升结构之间的支撑部位应设置调平块调平，且应避免箱室等空心部位。
- 6.4.6.5 分配梁设计时综合考虑顶升荷载、安装条件、成本及通用性等因素。
- 6.4.6.6 分配梁长度应匹配被顶升结构宽度，并符合吊装需要。

6.4.7 限位结构设计

- 6.4.7.1 为保证被顶升结构平面位置偏移在允许范围内，各类桥梁应设限位结构，包括纵向、横向限位结构。
- 6.4.7.2 当直接顶升梁体时，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。
- 6.4.7.3 各类限位结构设置要求见附录 C。
- 6.4.7.4 限位装置约束被顶升结构的立杆竖直度偏差不应超过 $1\%H$ (H 为顶升高度)。
- 6.4.7.5 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、顶升到后允许误差等因素进行确定，除断柱顶升中墩柱格构限位外，其它限位结构与被顶升结构的间距应符合表 1 的规定。

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		≤ 10
纵向限位	等高度顶升	≤ 10
	调坡顶升	$\Delta L + 10$
桥面联间限位	限制联间横向相对位移，根据需要调整联间伸缩缝宽度	
注： ΔL 为限位柱所在位置桥梁水平投影长度变化。		

6.4.7.6 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 进行取值。

表2 限位结构水平荷载

限位类型		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	应考虑施工期间可能出现的水平荷载，并不低于竖向顶升荷载总值的2%
纵向限位	等高度顶升		—
	调坡顶升		

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 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。

7.1.2 专项施工方案内应包括同步控制方案（含同步顶升控制、SLHC 系统方案），同步控制方案应以施工图设计顶升方案为基础进行深化或补充。

7.1.3 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。

7.1.4 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 相关规定处理。

7.1.5 顶升准备工作完成后，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。

7.1.6 顶升施工中的各道工序，应按专项施工方案或施工组织设计进行控制。各道工序完成后应对隐蔽工程进行检查验收，符合相应要求后，方可进行下一道工序的施工。

7.1.7 施工作业区应按 JTG F90 规定设置防撞围挡，防范车船撞击支撑体系结构。

7.1.8 顶升施工应协调、平稳，并根据现场监测数据及时修正顶升位移参数。

7.1.9 新老混凝土结合面应凿毛处理，露出新鲜混凝土面，凿毛深度不宜少于 6 mm，清洗干净后，方可涂界面处理剂。

7.2 同步控制方案

7.2.1 同步顶升控制

7.2.1.1 按以下要求制定同步顶升控制：

- 当全桥顶升高度相同时，可采用全桥整体等高同步顶升方案；
- 对于调坡顶升工程，可根据各墩顶升高度、相邻不顶升部分桥梁的影响、顶升前的坡度等因素，采用先等高顶升再调坡顶升、先调坡顶升再等高顶升或全桥按比例同步顶升方式；
- 对于结构类型不同的主桥、引桥可采用分别顶升。

7.2.1.2 同步顶升控制区域划分符合以下要求：

- 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同步顶升控制区域划分：
 - 当全桥采用等高度顶升时，每个墩相对桥梁中线不少于两个同步顶升控制区域；
 - 对于连续梁调坡顶升工程，可将中墩按照四个象限划分为四个同步顶升控制区域；
 - 当采用排架式顶升，千斤顶线状布置时，可根据控制精度要求适当增加控制区域数量。

b) 同一个控制区域设一台位移传感器和一台液压传感器，区域内千斤顶液压宜连通。

7.2.1.3 按照以下要求进行顶升行程设计：

- a) 按照设计顶升高度、支座压缩量和施工所需空间，确定总的顶升高度；
- b) 考虑以下因素设定每个行程的顶升量和顶升速度：
 - 1) 千斤顶的额定行程；
 - 2) 工具式垫块的匹配高度；
 - 3) 总顶升高度。
- c) 根据单个行程量，确定转换高度。

7.2.1.4 按照划分的顶升控制区域，完成顶升高度行程的分解。

7.2.1.5 工具式垫块和转换垫块安装应符合以下要求：

- a) 工具式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，常用高度为 0.1 m、0.2 m、0.5 m、1.0 m 等；
- b) 按照顶升转换高度进行支撑转换的设计；
- c) 当采用不同管径的支撑进行接高时，不同管径支撑之间应通过转换垫块进行连接，转换垫块分别与上管节、下管节通过螺栓连接固定，转换垫块的受力应符合要求。

7.2.2 SLHC 系统方案

7.2.2.1 SLHC 系统方案要求：

- a) 应在完成同步控制方案后进行 SLHC 系统方案编制，通过 SLHC 系统控制每组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；
- b) 应采用技术先进、信息化程度高、安全可靠的 SLHC 系统方案；
- c) 位移传感器精度不低于 0.2 级，液压传感器精度不低于 0.1 MPa；
- d) 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。

7.2.2.2 SLHC 系统具备以下功能：

- 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) 液压千斤顶应具备保压功能，在超高和超重顶升工程中尚需同时具备机械自锁功能；
- e) 液压千斤顶需配备可转动球头，以保证千斤顶与顶升支撑面全接触，避免局部承压；
- f) 应能避免顶升过程中因油路失压造成支承失效，宜采用同步跟随装置及其它有效措施；
- g) 应能控制顶升工况及支撑工况的同步精度。

7.2.2.3 千斤顶配置数量按照 GB/T 51256—2017 中式 4.3.5 进行估算。

7.2.2.4 应结合施工现场，根据控制区域的划分，按照就近、方便、安全的原则布置控制主机、液压泵站和液压管路。

7.3 施工准备

7.3.1 基本要求

7.3.1.1 顶升设备使用前应进行验收，验收内容包括设备生产许可证、合格证明、标定证书等。

7.3.1.2 应按照 JTG/T 3650 的要求完成施工场地的建设，组织施工人员、设备和材料的进场，办理报验工作，特殊工种应按照相应规定持证上岗或上岗前进行考核，合格后上岗，对施工人员完成安全教育。

7.3.1.3 应做好桥梁整体顶升设计、施工组织设计、施工专项方案等技术交底工作。

7.3.1.4 根据顶升方案做好如下准备工作：

- a) 明确千斤顶的详细布设及顶升荷载；
- b) 宜配置顶升跟随保护装置，并应配置符合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；
- c) 应配备临时电源、备用液压泵站、液压千斤顶、位移传感器和液压传感器等；
- d) 应进行动态评价安全作业，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；
- e) 顶升作业范围内，应设置警戒线及相应警示标牌，非作业人员未经允许不应出现在警戒范围内。在顶升作业周围应设置通行区，通行区内不应堆放杂物等。

7.3.1.5 建立现场高程和平面控制网，做好顶升施工测量工作。

7.3.2 桥梁结构加固

7.3.2.1 应按设计文件工作内容对工程构件进行加固。

7.3.2.2 加固施工、验收应符合设计文件、JTG/T 3650、JTG F90、JTG/T J22、JTG H10 等相关标准要求。

7.3.3 临时结构施工

7.3.3.1 按照以下要求进行基础施工：

- a) 当利用原承台作为顶升基础，按照以下要求进行处理：
 - 1) 将原承台顶面支撑点位置用混凝土或灌浆料找平；
 - 2) 支撑宜采用植筋方式与承台固定连接；
 - 3) 对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；
 - 4) 新旧结构之间的植筋应按 JTG/T J22 等有关规范规定施工，并按照要求进行植筋拉拔试验。
- b) 当利用盖梁或桥台帽作为顶升基础，应按照以下要求进行处理：
 - 1) 若盖梁或桥台帽顶面不平，可用水泥砂浆或灌浆料找平；
 - 2) 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，应按照设计文件中明确的凿除和修补方法，完成相应的工作。
- c) 当利用盖梁或桥台帽侧面增设牛腿作为顶升基础时，应按照以下要求进行处理：
 - 1) 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；
 - 2) 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。
- d) 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，应按照以下要求进行处理：
 - 1) 对旧混凝土结合面进行充分凿毛并冲洗干净；
 - 2) 混凝土浇筑前做好钢支撑地脚螺栓的定位预埋。
- e) 当在墩柱四周增设钢抱箍作为顶升基础时，应按照以下要求进行处理：
 - 1) 对钢抱箍体进行验收，检查焊缝饱满度，焊缝厚度、有无脱焊、漏焊；
 - 2) 对高强螺栓进行验收，检查有无质量缺陷，垫圈等配套物件是否完全；
 - 3) 抱箍安装在墩柱上时与墩柱应密贴。为提高墩柱与抱箍间的摩擦力，同时对墩柱砼面保护，在墩柱与抱箍之间设一层 5 mm~10 mm 厚橡胶垫；
 - 4) 钢抱箍螺栓应首先进行预紧，然后用扭矩扳手进行检测；
 - 5) 在施工过程中，应派专人对钢抱箍进行监测，发现异常及时处理。

7.3.3.2 按照以下要求进行顶升支撑安装：

- a) 宜采用钢管柱作为顶升支撑结构，应按照以下要求进行安装：

- 1) 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,调直后将所有螺栓拧紧;
 - 2) 钢管柱安装完成后应进行验收,竖直度允许偏差不大于3%,连接螺栓上满拧紧;
 - 3) 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;
 - 4) 节点连接(焊接或栓接)质量应符合要求。
- b) 当钢箱垫块作为支撑结构时,应按以下要求进行安装:
- 1) 钢箱垫块支承面要保证平整,平整度允许偏差 ± 1 mm,避免因局部受力破坏;
 - 2) 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。
- 7.3.3.3 按照以下要求进行分配梁安装:**
- a) 分配梁进场后应进行验收,包括尺寸、焊缝质量、支承点位置是否严格按图纸制作等;
 - b) 分配梁安装前应检查被顶升结构已按照本文件7.3.2规定完成加固处理(如有);
 - c) 被顶升结构按照顶升设计文件做好受力点的位置施工放样工作;
 - d) 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,采用专用压浆机压注灌浆料,保证支承垫石浇筑密实;
 - e) 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GB 6067的规定。
- 7.3.3.4 限位结构施工除应符合GB/T 51256要求外,还应符合以下要求:**
- a) 当利用原结构限位时,按照以下要求进行施工:
 - 1) 当利用抗震挡块作为限位结构时,应调整抗震挡块与被顶升结构之间的距离,确保其在10 mm以内,并在挡块靠近被顶升结构一侧用10 mm厚钢板进行保护,防止挡块损坏;当挡块高度不足时,应根据设计要求先行接高;
 - 2) 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,并按照设计文件的规定要求,进行植筋和相应构件的施工。
 - b) 当利用伸缩缝位置进行限位时,施工前对伸缩缝进行检查,清理伸缩缝内杂物,并按照设计文件的要求,进行植筋和相应构件的施工;
 - c) 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,按照以下要求进行施工:
 - 1) 格构柱立杆与墩柱间距离不超过5 mm;
 - 2) 格构柱的设置不能影响墩柱的切割。
- 7.3.4 SLHC 系统安装与调试**
- 7.3.4.1 SLHC 系统安装包括液压系统和控制系统安装。液压系统包括千斤顶、液压泵站、液压管路;控制系统包括传感器、泵站子系统、控制主机、监控显示器安装和数据线敷设。**
- 7.3.4.2 液压系统的安装顺序为:千斤顶→液压泵站→液压管路;控制系统安装顺序为:传感器→泵站子系统→控制主机→监控显示器→数据线。**
- 7.3.4.3 按照以下要求进行液压系统安装:**
- a) 千斤顶按照同步控制方案中的型号和位置,逐个按照以下方式进行安装:
 - 1) 千斤顶与基础及被顶升结构的接触面均需设钢垫板,钢垫板厚度不小于10 mm;
 - 2) 千斤顶安装竖直度允许偏差控制在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) 泵站安装位置地势应高于周围地面,防止积水;

- 3) 遇雨水季节，泵站上方应搭设雨棚或用雨布覆盖。
- 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，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) 由专业液压工按照液压管路安装操作说明文件要求进行安装。

7.3.4.4 按照以下要求进行控制系统安装：

- a) 应按以下要求进行控制主机和监控显示器安装：
 - 1) 控制主机和监控显示器安装位置应避免施工干扰；
 - 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，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，传感器应安装牢固、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。

7.3.4.5 所有系统及设备全部安装完毕后，应按照以下要求进行 SLHC 系统的检查：

- a) 液压顶升系统的千斤顶安装、液压设备安装分别按表 3、表 4 进行检查；

表3 千斤顶检查表

序号	检查内容
1	规格、型号符合技术设计文件要求
2	安装竖直度允许偏差不超过 5‰
3	千斤顶支架安装牢固，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
5	备用千斤顶和配件充足

表4 液压设备安装检查表

序号	检查内容
1	泵站与千斤顶之间的液压管路连接应正确、可靠
2	油箱液面应达到规定高度
3	液压油是否需要通过空载运行过滤清洁
4	液压系统运行是否正常，油路有无堵塞或泄漏
5	备用设备和配件充足

- b) SLHC 系统安装调试应按表 5 进行检查。

表5 同步控制系统检查表

序号	检查内容
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	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

7.3.4.6 按照以下要求进行 SLHC 系统调试：

- a) 检查完毕验收合格，应组织 SLHC 系统的调试；
- b) 顶升系统初始加载由设备工程师会同桥梁工程师共同确定并报顶升负责人，最终由系统操作员输入 SLHC 系统，读取控制系统液压传感器和位移传感器初值后将其归零；
- c) 应按以下要求对 SLHC 系统进行保压试验：
 - 1) 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；
 - 2) 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；
 - 3) 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；
 - 4) 按计算荷载的 90% 加压，进行液压千斤顶的保压试验 5 h；
 - 5) 对整个系统试运行工作情况、油路情况进行确认。

7.3.5 顶升前桥梁初始状态确认

7.3.5.1 在顶升施工前，应由监理单位、施工单位共同确认原桥初始状态。

7.3.5.2 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 3 个特征点，记录位置及高程；
- 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，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；
- e) 如有加固，对加固内容进行确认。

7.4 施工作业

7.4.1 基本要求

7.4.1.1 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。

7.4.1.2 顶升施工工序应按照解除约束、试顶升、正式顶升、结构改造、就位、临时结构与设备拆除、检查验收的顺序进行。

7.4.1.3 每次顶升的高度应略高于垫块厚度，方便垫块的安装，不宜超出钢垫块厚度 10mm，以避免负载下降的风险。

7.4.1.4 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，启动应急预案。

7.4.1.5 结构顶升空间内不应有障碍物，所有限位装置应安装到位。

7.4.1.6 顶升过程中，未经许可非作业人员不得擅自进入施工现场。

7.4.2 顶升前约束解除及处治措施

7.4.2.1 顶升前应解除阻碍顶升施工的相关约束，包括拆除桥梁伸缩缝、解除支座约束、切断过桥管线、清理梁端处垃圾等，断柱顶升还应切断桥墩。

7.4.2.2 如采用断柱顶升，墩柱截断符合以下要求：

- a) 桥梁墩（柱）的截断宜采用无震动或震动较小的线切割设备，并在保压平衡状态下切割断开；
- b) 截断顺序应按设计施工方案进行，截断施工应注意以下内容：
 - 1) 截断施工前临时支撑体系应安装完毕，并应检查临时支撑体系的可靠性；
 - 2) 临时结构的混凝土达到设计要求强度时方可开始截断施工；
 - 3) 为保证截断时桥梁结构安全，千斤顶油压应维持在 90%设计荷载。
- c) 截断施工前相关监控设备应安装完毕；施工过程中应密切监控桥墩、临时支撑体系的受力及变形。

7.4.2.3 顶升前宜根据设计文件桥面系改造内容进行卸载，包括桥面铺装铣刨，防撞墙拆除等。

7.4.2.4 根据设计文件要求对梁端切割，保证梁体自由顶升和转动，并保证顶升完成后梁缝宽度符合要求，切割时应避免对梁端预应力封锚及钢筋造成结构性影响。

7.4.3 试顶升

7.4.3.1 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，试顶升通过后方可进入正式顶升作业。

7.4.3.2 应按照以下要求复核理论荷载：

- a) 应进行称重，复核各项升点理论顶升荷载；
- b) 分级加载至根据位移传感器确定各支点已经分离且顶升荷载趋于稳定，读取各支点顶升荷载并与理论顶升荷载进行比较，复核千斤顶安全储备是否满足要求。

7.4.3.3 应按照以下要求进行试顶升和回落：

- a) 按照以下要求进行试顶升：
 - 1) 试顶升高度不宜大于 10 mm；
 - 2) 顶升时首先加载至实际顶升荷载的 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；
 - 3) 分级缓慢进行顶升，每级的顶升高度不应超过 2 mm，每级顶升完成后持荷不少于 10 min，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；
 - 4) 试顶升应全过程进行监控，并做好记录。
- b) 按照以下要求进行回落：
 - 1) 回落时逐级卸载，每级卸载 5%；
 - 2) 实施对桥梁姿态、支座系统和下部结构的监测，当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；
 - 3) 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。

7.4.3.4 试顶升过程结束后，应对试顶升作业进行总结，总结应包括以下内容：

- a) 顶升和回落操作流程及操作参数是否合理；
- 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、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；
- f) 检查梁板是否出现新裂缝或老裂缝发展情况。

7.4.4 正式顶升

7.4.4.1 正式顶升前应计算各墩位处顶升速度，以确保梁体的竖向线形不发生改变。

7.4.4.2 应采用试顶升验证的 SLHC 系统按以下步骤执行：SLHC 系统同步顶升→工具式垫块安装→顶升至支撑转换高度→支撑转换接高、加固→顶升至设计标高。

7.4.4.3 正式顶升符合以下要求：

- a) 在顶升过程中，应按以下要求进行顶升控制：
 - 1) 顶升过程中，应有专设监控人员实时观测基础沉降、顶升系统竖直度、加固系统连接情况，实时观测监控数据和结果，关注顶升梁体的关键截面应力和纵、横向位移的情况；
 - 2) 应及时整理分析计算机显示的各组液压千斤顶的位移和压力情况，如有异常及时处理。
 - 3) 顶升过程中，应保持拉线传感器的位置同步误差小于 0.2 mm，当位置误差大于 0.2 mm 或任何同步控制区域内的压力误差大于 3%，控制系统立即停止顶升；
 - 4) 单个行程顶升到位并固定完成后，应进行顶升结构姿态检查；
 - 5) 顶升误差应在下一行程中进行纠正。
- b) 当接高和更换支撑时，应按以下要求进行控制：
 - 1) 支撑系统应处于保压稳定状态，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；
 - 2) 支撑更换完成应与下方相邻支撑用螺栓连接固定；
 - 3) 当接高支撑达到一定高度，应对其进行整体性加固，增加水平杆件和剪刀撑。
- c) 当达到顶升高度后，应按以下要求进行控制：
 - 1) 达到顶升高度时，应复核桥面标高；
 - 2) 确认顶升达到设计高度后，应将液压支撑转换为物理支撑为主、液压保护为辅；
 - 3) 完成支撑体系加固；将所有的连接螺栓上满拧紧；
 - 4) 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。

7.4.5 结构改造

7.4.5.1 按照施工图设计和 JTG/T 3650 的规定及以下要求进行结构改造：

- a) 新旧混凝土的结合面要进行充分凿毛并冲洗干净；
- b) 墩柱接高及截面加大时要严格控制主筋的连接质量、加大截面的植筋质量、混凝土浇筑质量和墩柱的竖直度；
- c) 支座系统改造时要保证支座垫石混凝土浇筑质量，确保支座水平受力；
- d) 墩（柱）截断部位宜采用方形或圆形榫口。

7.4.5.2 桥台改桥墩按照以下要求进行施工：

- a) 新增桩基施工时，应根据设计文件、施工条件和安全防护要求合理选择桩机设备；
- b) 保证新旧混凝土的结合符合设计要求，保证新旧结构的共同作用；
- c) 原桥台拆除应采用静力切割设备，降低震动影响；
- d) 作好结构体系转换过程中的监控工作。

7.4.5.3 结构改造期间，应定期对以下内容进行检查和控制：

- a) 应对顶升支撑结构进行保护；
- b) 对被顶升结构姿态进行监测，包括平面位置和标高；
- 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，可通过限位体系和施力体系进行约束和调整，消除异常。

7.4.6 就位

7.4.6.1 桥梁结构、支座系统改造完成并达到设计强度后方可将被顶升结构回落就位。

7.4.6.2 应按以下要求完成回落就位工作：

- a) 回落时逐级卸载，每级卸载 5%；
- b) 对桥梁姿态、支座系统和下部结构进行监测；
- 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) 回落就位后应按照施工图设计文件要求和顶升初始状态确认的内容对顶升结构进行检查和验收。

7.4.7 临时结构与系统拆除

7.4.7.1 被顶升结构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、油路和支撑体系。

7.4.7.2 顶升施工完成后，应根据需要对临时结构和新增顶升基础进行拆除，并对永久结构进行检查和外观缺陷修复。

7.4.7.3 与桥梁永久结构连接的混凝土临时结构宜采用静力拆除方式。

7.4.8 施工安全

7.4.8.1 施工现场应按 JTG H30 与 JTS 205—1 设置施工安全标志、交通安全标志，并采取相应安全措施；顶升空间内不应有障碍物；使用液压千斤顶时，不应有人站在安全栓前。

7.4.8.2 顶升施工过程中，非操作人员不应操作顶升设备、位移传感器和液压传感器。

7.4.8.3 顶升过程中应按 7.4.4 的要求进行顶升控制，设专人进行统一指挥协调。

7.4.8.4 顶升施工应在天气良好情况下连续顶升。

8 施工监控

8.1 一般规定

8.1.1 监控单位应根据顶升施工图设计、专项施工方案、桥梁现状等编制监控方案，明确监控内容、监测位置、监测频率、监测指标、监控设备配置，设定预警值和极限值，经设计单位同意后组织实施。

8.1.2 监控方案应包括桥梁的整体姿态监控、桥梁结构应力监控、已有裂缝监控、支撑结构监控、分配梁监控等。

8.1.3 监控的内容应包括位移、应力、裂缝、液压压力等。

8.1.4 对存在病害的桥梁，在顶升过程中应加强对结构性裂缝等既有病害的监控。顶升前应对结构裂缝的位置、长度、宽度进行全面检测；顶升过程中应对结构性裂缝的长度和宽度进行实时监测；顶升施工完成后应对梁体再次进行全面检查。

8.1.5 应根据施工方案及表6中控制要求,对顶升过程中可能发生的状态变化,明确监控项目所对应的预警值。当监控项目达到预警值时,应启动预案,暂停施工,待查明原因并及时处理后,方可继续施工。

表6 被顶升桥梁实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差 mm	检查方法和频率
1	桥面中线偏位	±20	使用全站仪检查,每10m测1点,且不少于5点
2	桥面高程	±10	使用水准仪检查,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

8.1.6 顶升过程中每一行程完成后,应对顶升基础、支撑结构、分配梁、被顶升结构位移及应力变化等指标进行详细检查记录;经检查 SLHC 系统状态完好、结构受力正常、被顶升结构达到预期位置后,方可实施下一个行程的施工。

8.2 监控内容及要求

8.2.1 监控内容及常用监控设备

桥梁顶升施工监控内容及常用监控设备见表7。

表7 监控内容及常用监控设备

监控部位	主要监控内容	建议布控位置	常用监控设备
梁体、盖梁等被顶升结构	应力	—	应变传感器
	裂缝	既有结构性裂缝	裂缝观测仪
顶升支撑、分配梁等临时结构	应力	—	应变传感器
同步控制区域	同步位移	同一控制区域千斤顶几何中心附近	位移传感器
每组液压千斤顶	液压压力	—	液压传感器
每联梁体端部	纵向位移	梁顶/底	全站仪、经纬仪、千分表、电子位移计
横梁/横隔板	横向位移	墩顶处梁顶/底	
桥面	竖向位移	墩顶桥面处	

8.2.2 监控方式及精度目标

应按照表8的监控内容、频率和周期要求进行监控,监控精度应符合表9的规定。

表8 监控方式和周期

监控内容	监测频率	监测周期
纵向位移	顶升期间每个行程监测一次,顶升到位后检测 频率不低于5天/次	顶升到位至落梁完成
横向位移		顶升到位至落梁完成
竖向位移		顶升到位至落梁完成
同步位移	顶升期间动态监测	顶升到位前
液压压力	顶升期间动态监测	顶升到位前

表 8 （续）

监控内容	监测频率	监测周期
裂缝	顶升期间动态监测	顶升到位至落梁完成
应力	顶升期间动态监测	顶升到位至落梁完成

表9 监控精度控制要求

阶段	控制要素	控制值或允许偏差	参考对象
单项升行程	主梁纵向偏位	±5 mm	设计值
	主梁横向偏位	±5 mm	设计值
	钢管支撑竖直度	≤0.3%×H（墩柱高度），且≤5 mm	设计值
	主梁附加应力	主梁附加应力与理论计算应力叠加后，拉应力、压应力符合 JTG 3362 规定的设计值和相关设计要求。	理论计算应力
顶升成桥后	主梁高程	±10 mm	设计值
	主梁轴线偏位	±20 mm	设计值
	墩柱竖直度	≤0.3%×H（墩柱高度），且≤20 mm	设计值

8.2.3 监控方法及要求

8.2.3.1 位移监控应按照以下要求设置监测断面：当单联顶升时，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 个位移监测点，监测顶升高度差及水平位移变化；当多联同步顶升时，应在伸缩缝两侧各设置一个监测断面；当大跨径顶升时，应在 2/3 跨处增加监测断面。

8.2.3.2 应力监控按照以下要求设置监测断面：

- a) 梁体截面应力测点应布置在梁体关键断面，顶升测点数量应满足梁体顶升安全的要求；每个墩台宜布置 2 个水平位移测点及 2 个竖向位移测点测量墩台与梁底间相对位移；
- b) 应力测点传感器采用智能弦式数码传感器，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。

8.2.3.3 监控应明确监测参数，在每个阶段施工完毕后提交位移、应力监控结果，并对阶段顶升结果进行评价。

8.2.3.4 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，应及时进行前后二次竖直度监测，闭合监测数据。

8.3 监控实施

8.3.1 应由具有相应资质的机构（监控单位）根据施工图设计、专项施工方案、桥梁现状等编制顶升全过程的监控方案，并在顶升施工完成后提交监控报告。

8.3.2 应将竖向位移监测数据与实际顶升高度进行比对，若出现偏差，应立即停止施工，查明原因后方可继续顶升。

8.3.3 应根据监测数据及时绘制应力应变和位移曲线图，动态开展监测数据收集、分析和归档。

9 质量检验

9.1 一般规定

9.1.1 各项升工程的分项、分部、单位工程的划分，桥梁检验、桥梁总体检测项目、墩柱检测项目等内容按照 GB/T 51256 相关规定执行。

9.1.2 按照施工图设计的要求完成顶升工作后，按照 9.2.2 的要求对顶升工程进行检测评定。

9.2 分项工程检验评定

9.2.1 检测评定要求

新增工程结构按照 JTG F80/1 的规定进行检测和评定，既有工程结构改造按照 JTG 5220 的规定进行检测和评定，被顶升结构按 9.2.2 进行检测评定。

9.2.2 被顶升结构检测评定

9.2.2.1 被顶升结构控制过程应符合以下基本要求：

- a) 顶升施工组织设计经过审查和批准；
- b) 按照施工图设计及专项施工方案要求确定的行程和姿态，完成顶升工作；
- c) 按照监控方案完成监控监测工作；
- d) 被顶升结构在被顶升过程中未受到损伤，既有裂缝没有扩大，未出现新的受力裂缝；
- e) 顶升的桥梁与相邻结构物应连接顺接，无异常突变。

9.2.2.2 实测项目应符合表 6 的顶升实测项目规定。

9.2.2.3 外观检查应符合以下要求：

- 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) 变坡点处或者顶升起终点处应顺接；
- d) 没有出现新的病害或原有病害没有扩大。

附录 A
(资料性)
台改墩施工步骤

A.1 台改墩改造方式

台改墩改造方式包括桩接台帽改造为柱式墩、桩接台帽改造为盖梁柱式墩、座板台改造为柱式墩、U台改造为柱式墩等。

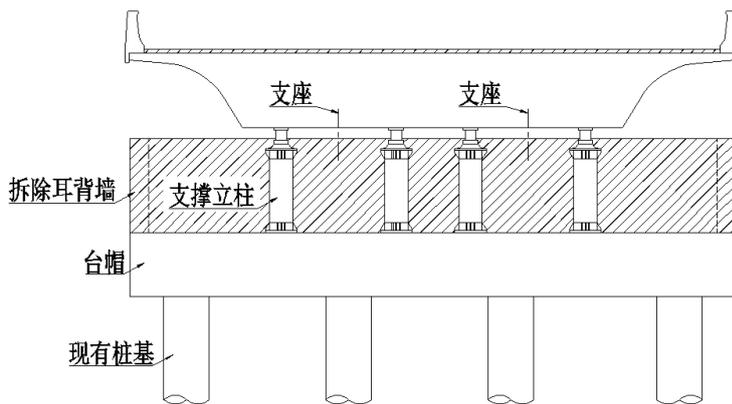
A.2 桩接台帽改造为柱式墩

A.2.1 桩接台帽改造步骤为：

布置千斤顶，顶升至预定位置→拆除耳背墙→新建桥墩桩基、承台→台帽部分凿除（现浇墩柱范围）→新建墩柱→千斤顶卸荷、落梁至新建墩柱→凿除剩余部分台帽。

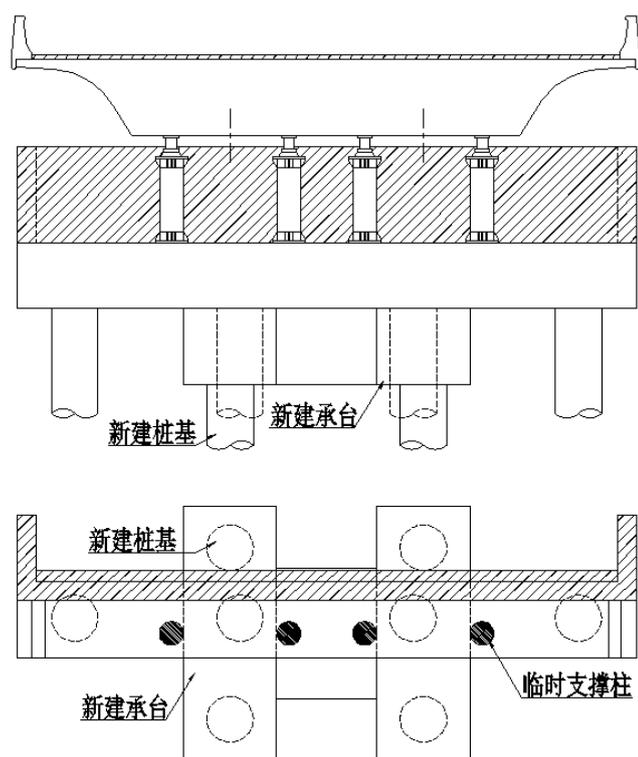
A.2.2 桩接台帽改造具体施工步骤示意图如下：

a) 布置千斤顶，顶升至预定位置，拆除耳背墙，见图 A.1；



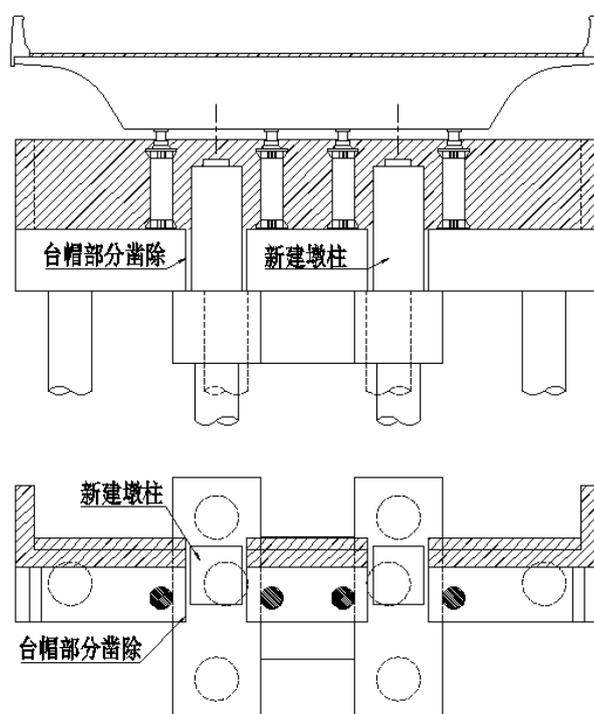
图A.1 拆除耳背墙示意图

b) 新建桥墩桩基、承台，见图 A.2，新建承台与现有桩基贴合部需要做植筋处理；



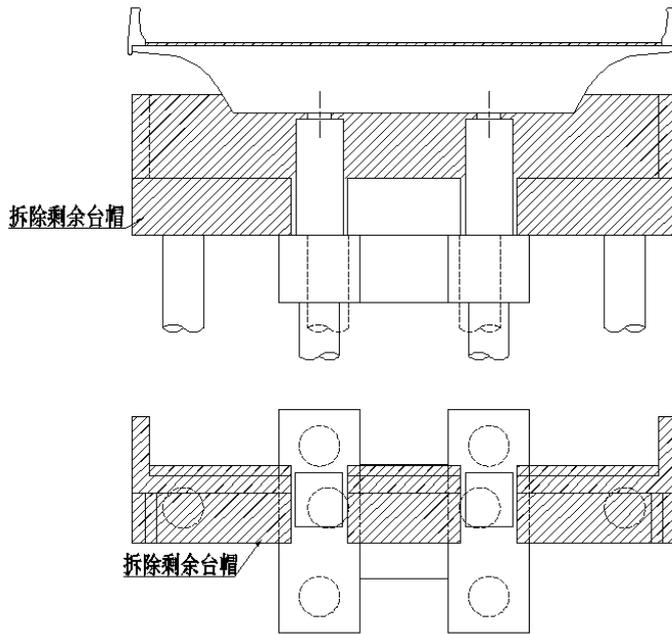
图A.2 新建桩基、承台示意图

c) 台帽部分凿除（现浇墩柱范围），新建墩柱，见图 A.3；



图A.3 新建墩柱示意图

d) 千斤顶卸荷、落梁至新建墩柱，拆除临时支撑，凿除剩余部分台帽，见图 A.4。



图A.4 凿除剩余部分台帽示意图

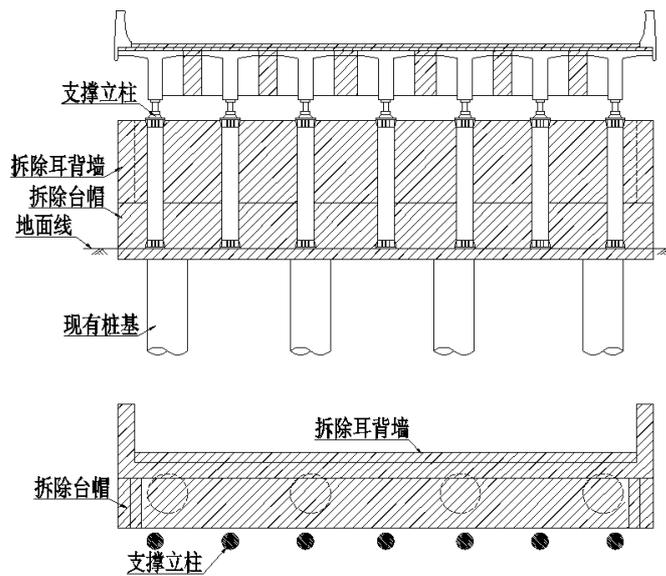
A.3 桩接台帽改造为盖梁柱式墩

A.3.1 改造步骤为：

布置千斤顶，顶升至预定位置→拆除耳背墙和台帽→新建桩柱→新建盖梁→千斤顶卸荷、落梁至新建盖梁。

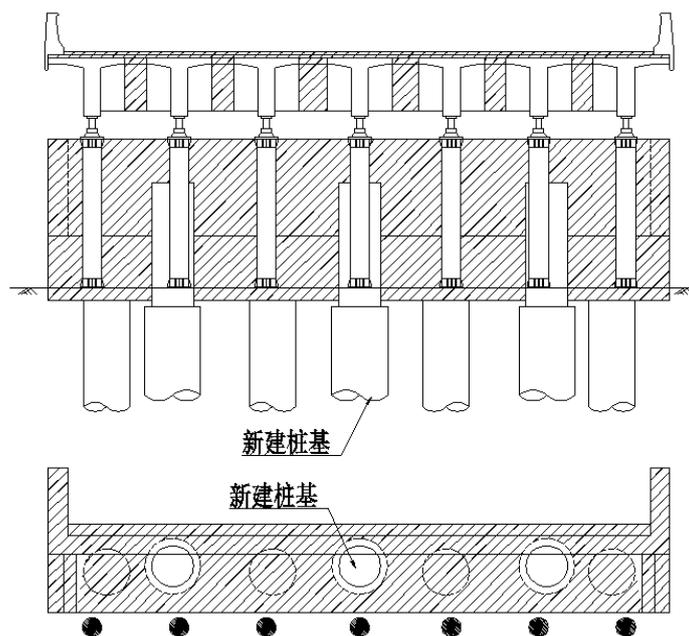
A.3.2 改造具体施工步骤示意图如下：

- a) 布置千斤顶，顶升至预定位置，拆除耳背墙和台帽，见图 A.5（支撑立柱基础未示出，需按要求做相应处理）；



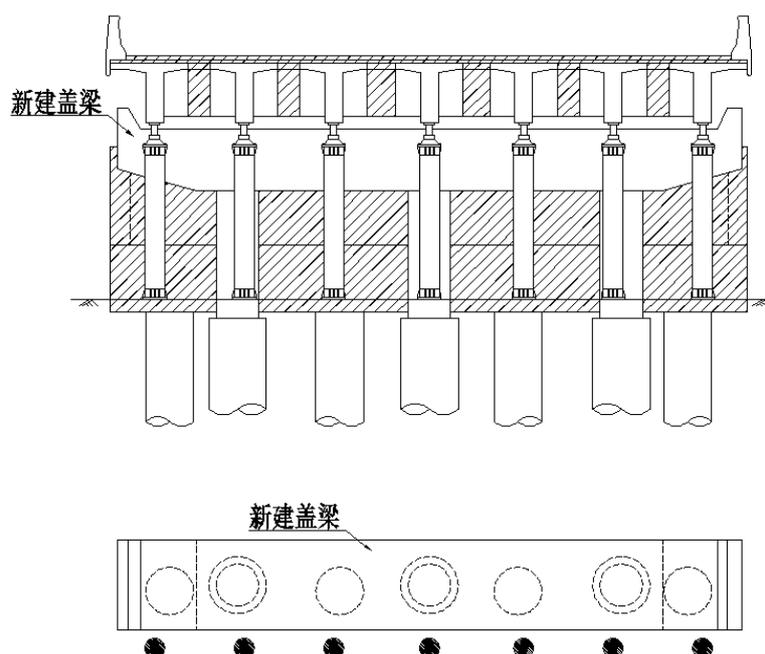
图A.5 拆除耳背墙和台帽示意图

b) 新建桩柱，见图 A.6；



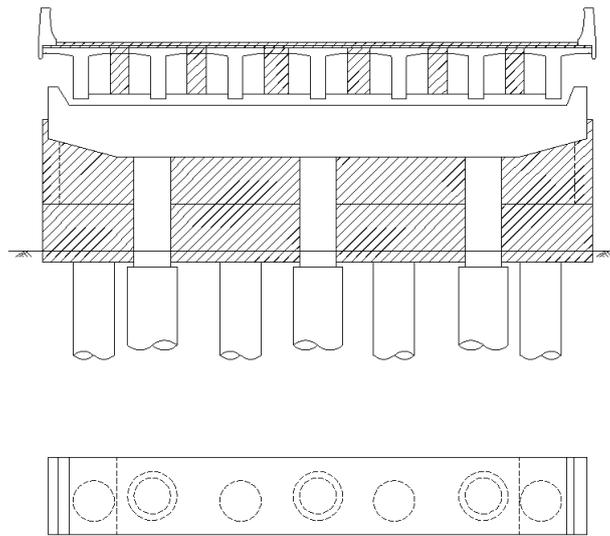
图A.6 新建桩柱示意图

c) 新建盖梁，见图 A.7；



图A.7 新建盖梁示意图

d) 待新建盖梁达到强度要求后，千斤顶卸荷、落梁至新建盖梁，见图 A.8。



图A.8 卸荷、落梁示意图

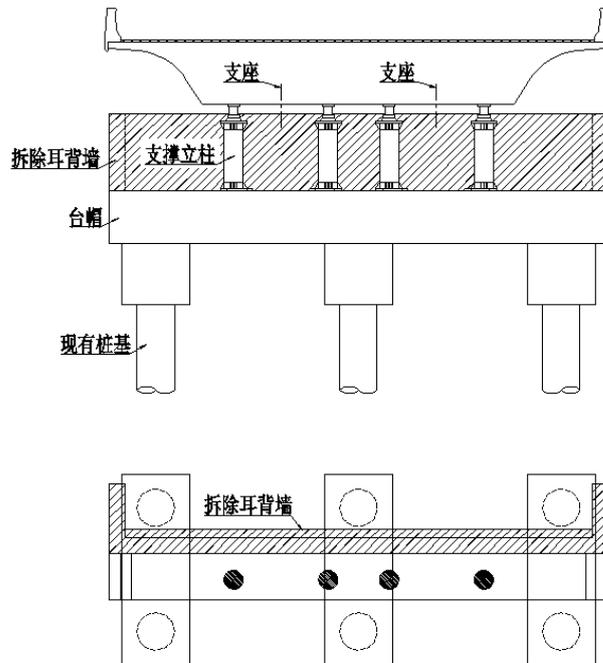
A.4 座板台改造为柱式墩

A.4.1 座板台改造步骤为：

布置千斤顶，顶升至预定位置→拆除耳背墙→新建桥墩桩基、承台→台帽部分凿除（现浇墩柱范围）→新建墩柱→待新建墩柱达到强度要求后，千斤顶卸荷、落梁至新建墩柱→凿除剩余部分台帽。

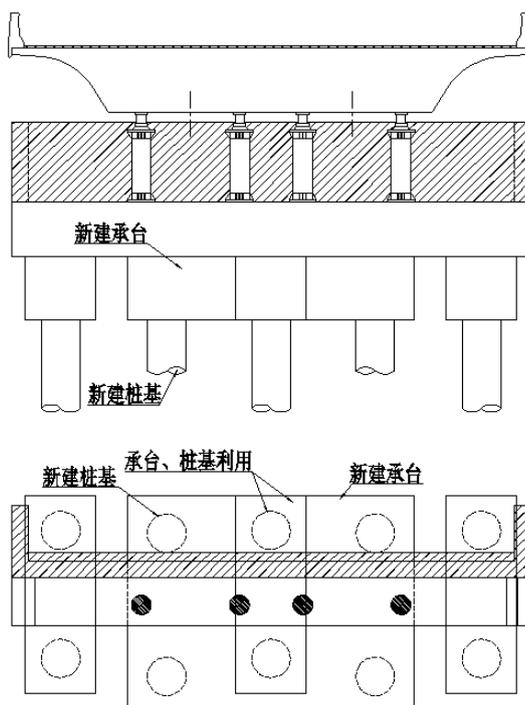
A.4.2 座板台改造具体施工步骤示意图如下：

a) 布置千斤顶，顶升至预定位置，拆除耳背墙，见图 A.9；



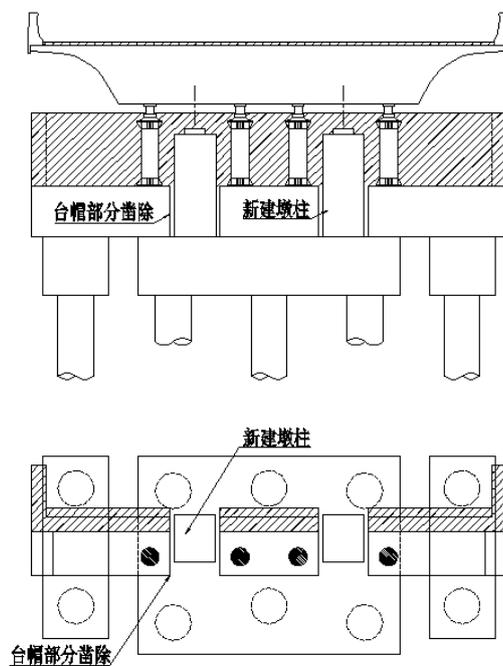
图A.9 拆除耳背墙示意图

- b) 新建桥墩桩基、承台，见图 A.10，新建承台与旧承台连接处做植筋处理，保证新旧承台结合牢固；



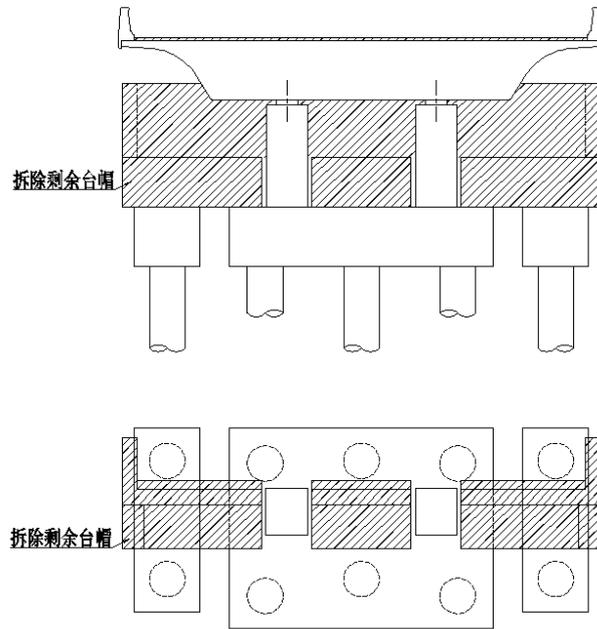
图A.10 新建桩基、承台示意图

- c) 台帽部分凿除（现浇墩柱范围），新建墩柱，见图 A.11；



图A.11 新建墩柱示意图

- d) 待新建墩柱达到强度要求后，千斤顶卸荷、落梁至新建墩柱，凿除剩余部分台帽，见图 A.12。



图A.12 凿除剩余部分台帽示意图

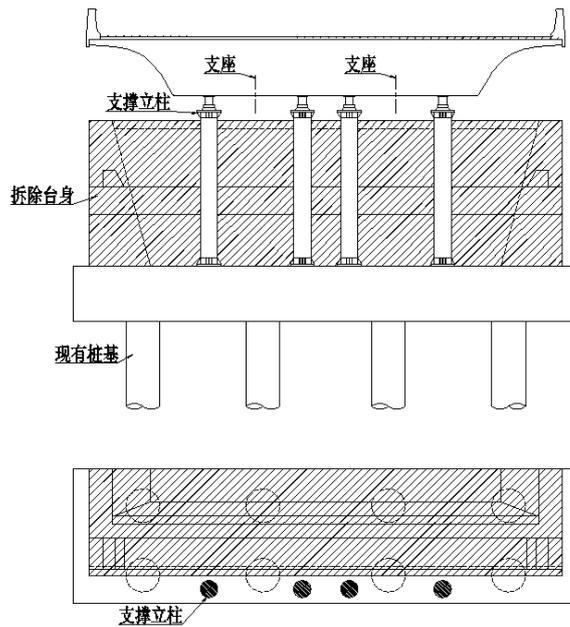
A.5 U台改造为柱式墩

A.5.1 U台改造步骤为：

布置千斤顶，顶升至预定位置→拆除台身→新建桥墩桩基、承台→旧承台部分凿除（现浇墩柱范围）→新建墩柱→待新建墩柱达到强度要求后，千斤顶卸荷、落梁至新建墩柱。

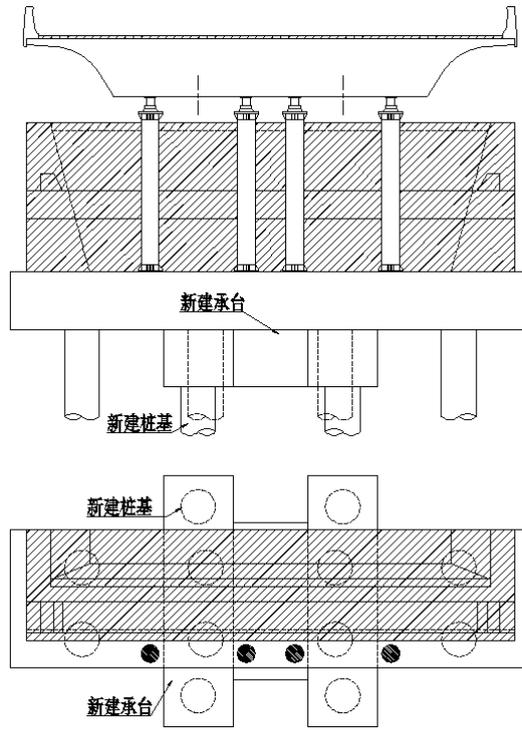
A.5.2 U台改造具体施工步骤示意图如下：

a) 布置千斤顶，顶升至预定位置，拆除台身，见图A.13；



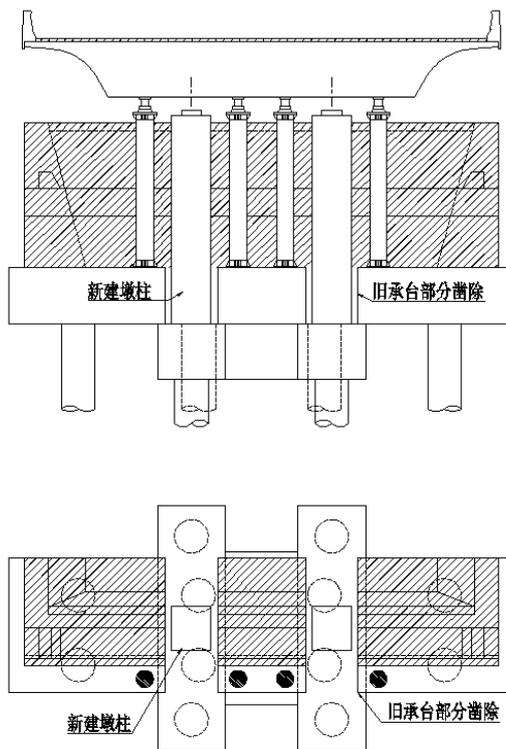
图A.13 拆除台身示意图

b) 新建桥墩桩基、承台，见图 A. 14，新建承台与现有桩基贴合部需要做植筋处理；



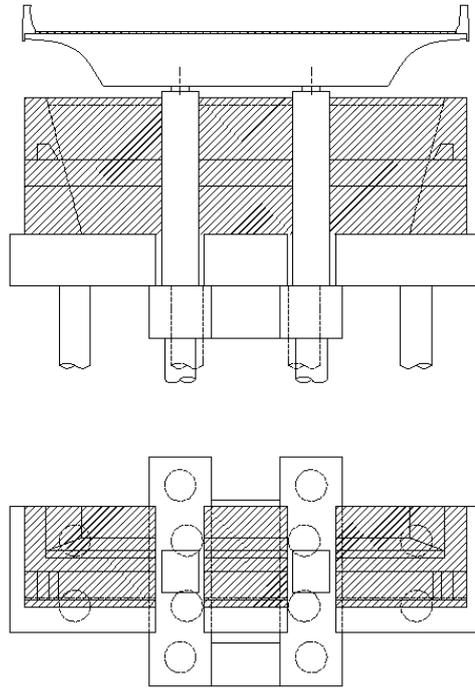
图A. 14 新建桩基、承台示意图

c) 旧承台部分凿除（现浇墩柱范围），新建墩柱，见图 A. 15；



图A. 15 新建墩柱示意图

d) 千斤顶卸荷、落梁至新建墩柱，见图 A.16。

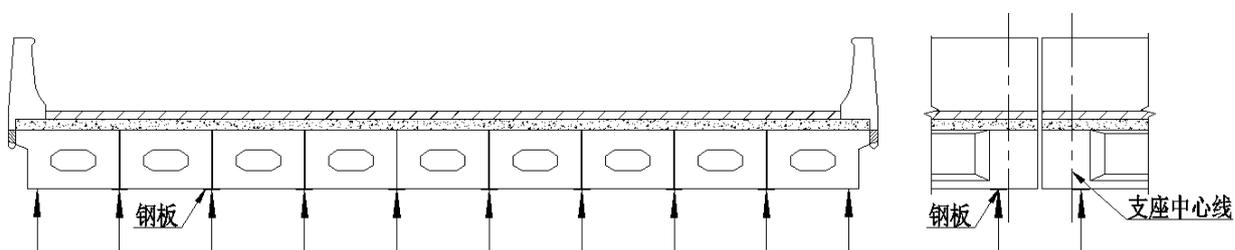


图A.16 卸荷、落梁示意图

附 录 B
(资料性)
顶升支撑部位选择

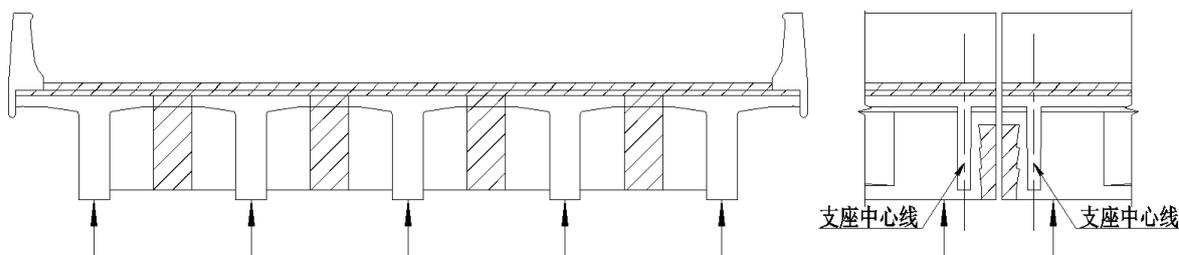
B.1 当采用支撑结构、分配梁等进行梁体顶升时，顶升支撑位置布置应考虑桥墩等其他结构改造施工的需要，根据支撑部位对被顶升结构进行受力验算。预制空心板梁、T梁、小箱梁、现浇箱梁、钢箱梁、钢混组合梁、系杆拱桥顶升支撑部位横断面位置选择如下：

- a) 空心板梁：支撑部位应设在腹板下方，相邻两片梁板缝间采用钢垫板进行分配，空心板梁顶升作用点见图 B.1；

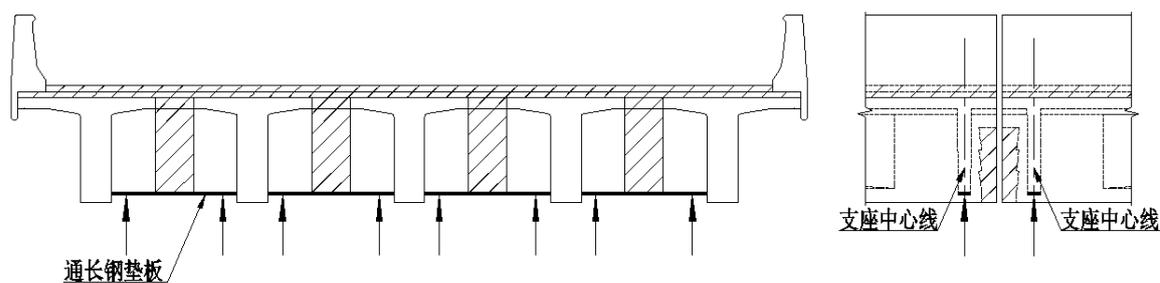


图B.1 空心板梁顶升作用点示意图

- b) T梁：支撑部位宜设在腹板下方，当施工空间受限时可设在横隔板下方，设在腹板下方时见图 B.2。当设在横隔板下方时见图 B.3，应核查横隔板的钢筋设计情况，根据结构的重量进行计算；

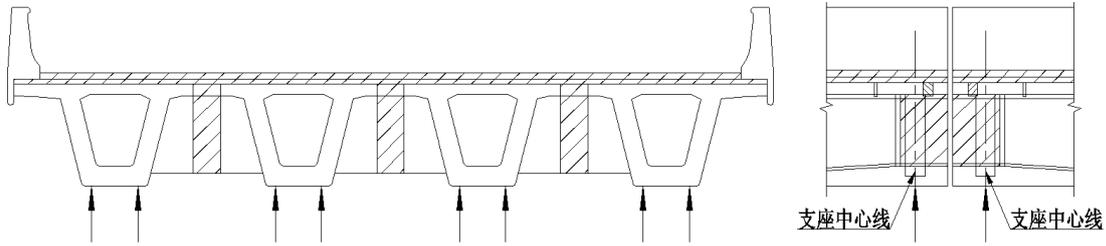


图B.2 T梁顶升作用点设在腹板下方示意图



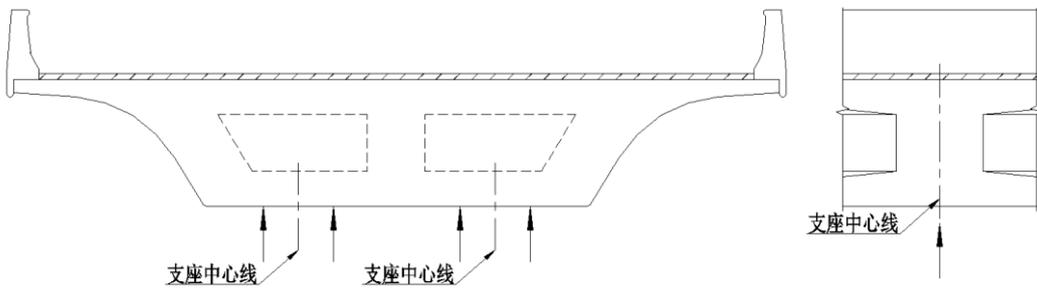
图B.3 T梁顶升作用点设在横隔板下方示意图

c) 小箱梁支撑部位设在腹板下方，不应设在底板空心箱室范围，顶升作用点见图 B. 4；

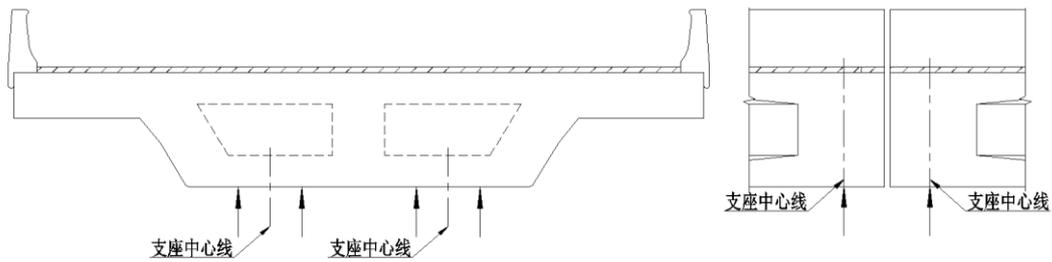


图B.4 小箱梁顶升作用点示意图

d) 现浇箱梁支撑部位设在横隔梁位置，中横梁、端横梁支撑部位分别见图 B. 5、图 B. 6；

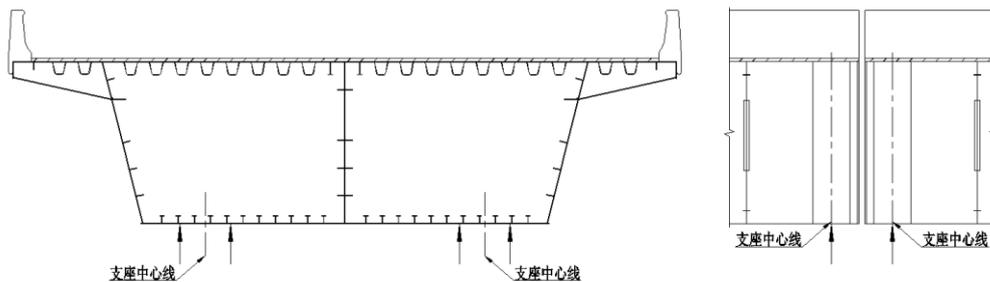


图B.5 现浇箱梁中横梁处顶升作用点示意图



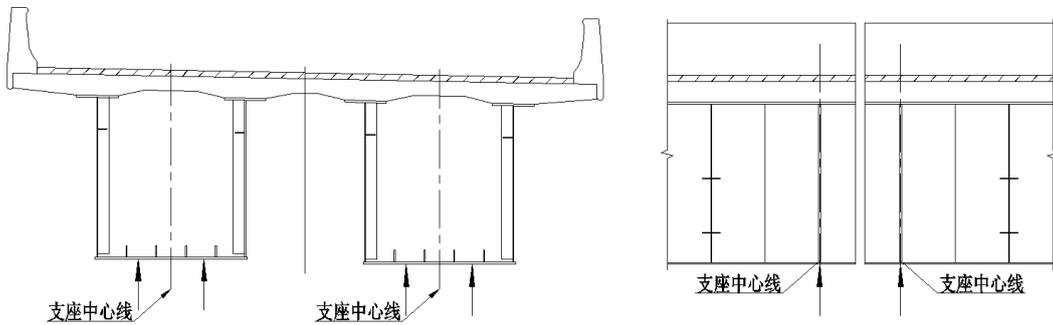
图B.6 现浇箱梁端横梁处顶升作用点示意图

e) 钢箱梁支撑部位设在横隔梁位置，见图 B. 7。应核查箱体内支撑加劲肋设置情况，钢垫板尺寸不够时需要加焊；



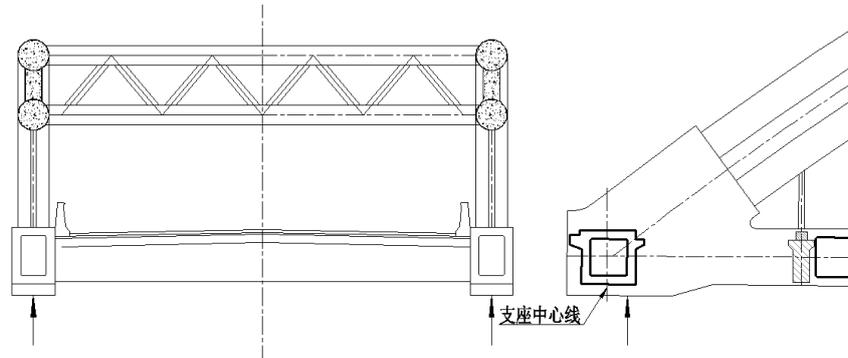
图B.7 钢箱梁顶升作用点示意图

- f) 钢混组合梁支撑部位设在横隔梁位置，见图 B.8。应核查箱体内支撑加劲肋设置情况，钢垫板尺寸不够时需要加焊；



图B.8 钢混组合梁顶升支撑部位示意图

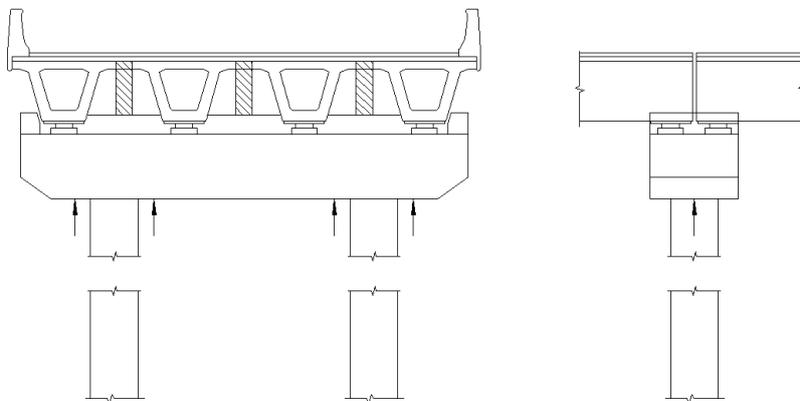
- g) 系杆拱桥支撑部位布设位置，见图 B.9。



图B.9 系杆拱桥顶升支撑部位示意图

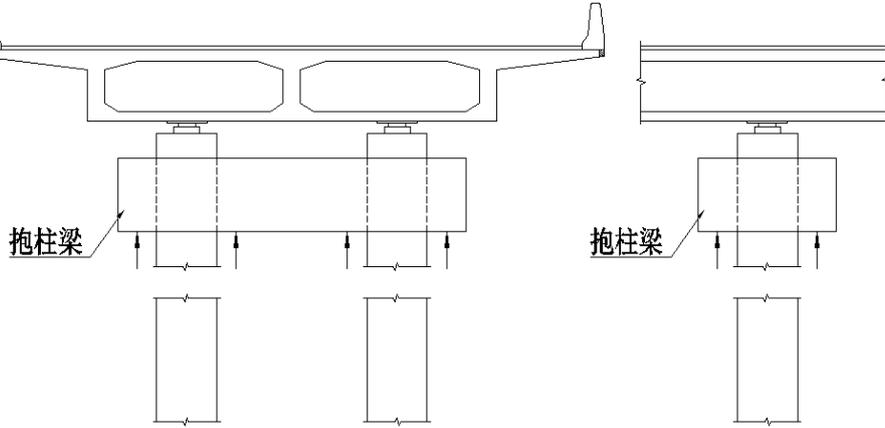
B.2 当设计采用断柱顶升法时，顶升支撑部位选择如下：

- a) 当有盖梁可利用时，顶升点直接作用于盖梁下方，断柱梁法顶升作用点（作用在盖梁下方）见图 B.10。顶升点相对于桥梁中线和墩柱对称布置，顶升点数量根据千斤顶型号及施工需要确定。当墩柱外侧至盖梁底倒角的距离无法满足千斤顶布置要求时，应对倒角进行底部调平改造；



图B.10 断柱梁法顶升作用点示意图

- b) 当无盖梁可利用时，可在墩柱截面以上设置抱柱梁，顶升点作用于抱柱梁底面，抱柱梁法顶升作用点（作用在抱柱梁下方）见图 B. 11。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。

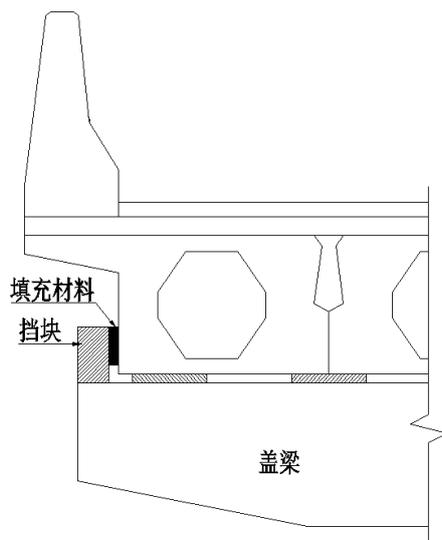


图B. 11 抱柱梁法顶升作用点示意图

附 录 C
(资料性)
各类限位结构设置要求

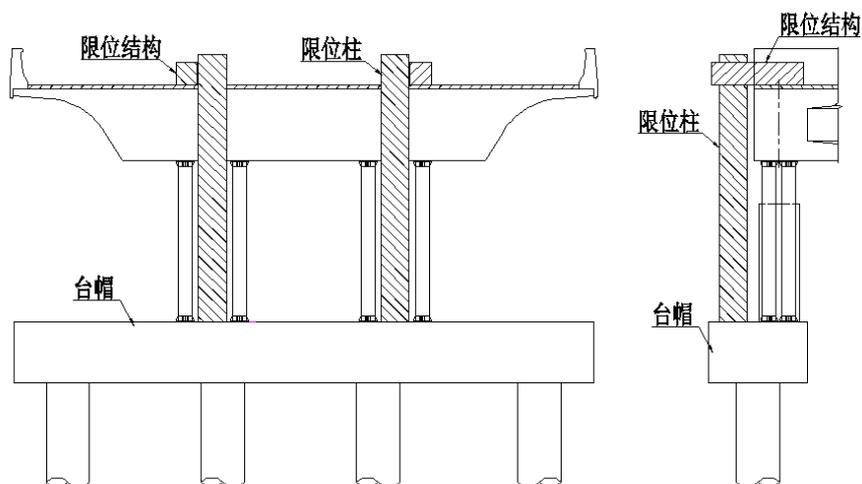
各类限位结构设置应符合以下要求：

- a) 当顶升高度不超过挡块高度时，可直接利用抗震挡块作为限位结构，见图 C.1；



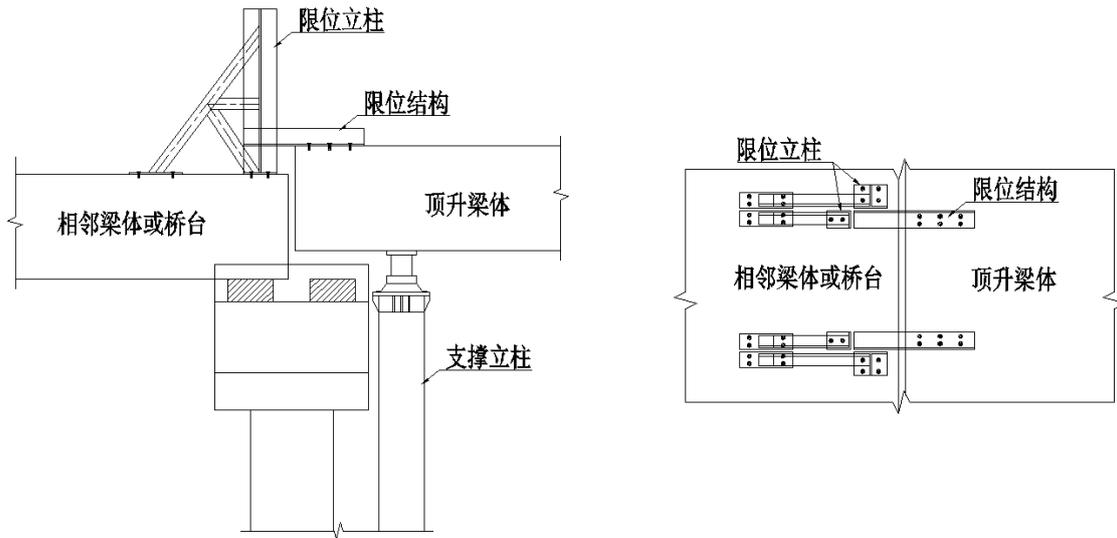
图C.1 抗震挡块限位示意图

- b) 当被顶升结构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 C.2；



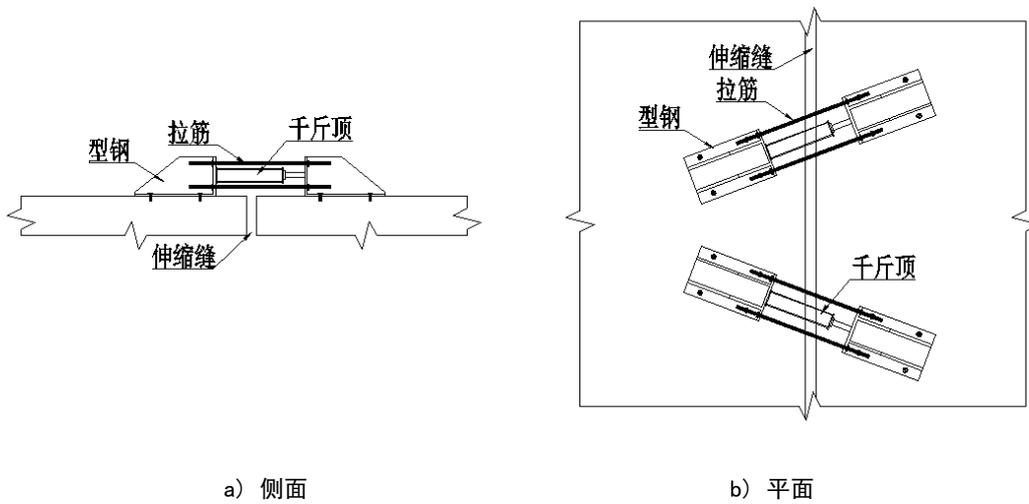
图C.2 桥台位置限位示意图

- 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 C.3；



图C.3 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，见图 C. 4；

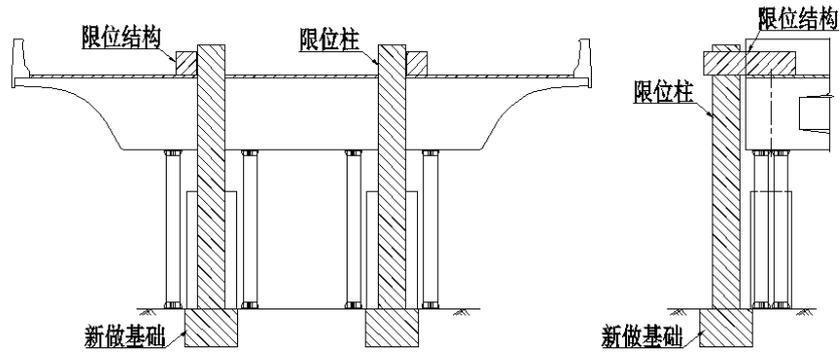


a) 侧面

b) 平面

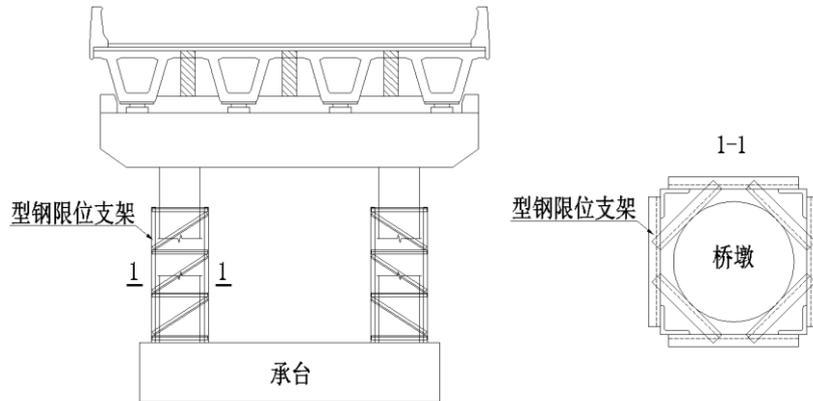
图C.4 伸缩缝位置限位示意图

e) 当无法利用原结构设置限位时，可在被顶升段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，见图 C. 5；



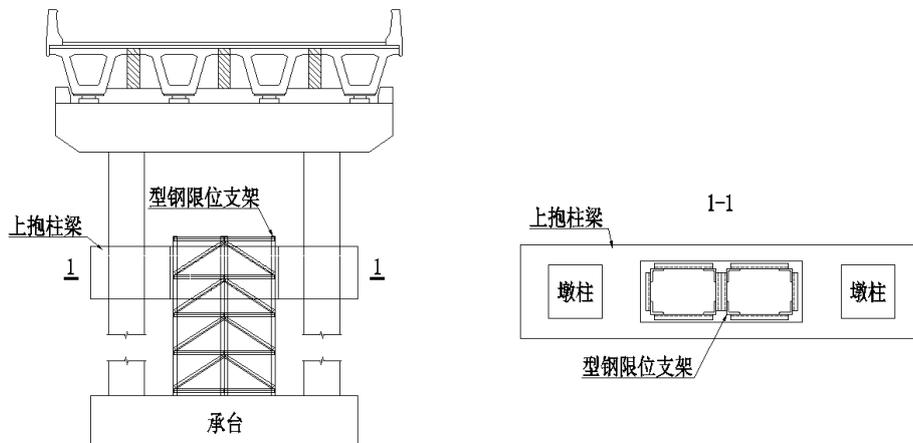
图C.5 独立设置限位示意图

- f) 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C.6;



图C.6 断柱顶升桥墩限位示意图

- g) 当设置上抱柱梁时,可利用顶升基础(原承台或下抱柱梁)作为限位基础,通过约束上抱柱梁水平位移达到限位目的,见图C.7。



图C.7 上抱柱梁限位示意图