

中国工程建设标准化协会标准

多跨连续桥梁智能同步顶升改造施工 标准

Technical specification of Intelligent Synchronous Jacking Construction Technical
Specification for Multi-Span Continuous Bridge Retrofitting

（征求意见稿）

（提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上）

中国工程建设标准化协会标准

多跨连续桥梁智能同步顶升改造施工标准

Intelligent Synchronous Jacking Construction Technical Specification for Multi-Span
Continuous Bridge Retrofitting

T/CECS**: 2023

202X年 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2022年工程建设标准规范制订、修订计划>的通知》(建标[2022]40号)的要求,规范编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制本规范。

本规范共分7章,主要技术内容包括:总则、术语和符号、基本规定、设计、施工、施工监控、质量检验等。

本规范由中国工程建设标准化协会负责管理,由山东大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送山东大学(地址:山东省济南市经十路17923号;邮政编码:250061)。

主编单位: 山东大学 青岛城建集团有限公司

参编单位:

主要起草人:

主要审查人:

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	3
3 基本规定	8
4 设 计	11
4.1 一般规定.....	11
4.2 顶升移位改造设计.....	14
4.3 同步顶升系统.....	29
5 施 工	33
5.1 一般规定.....	33
5.2 施工准备.....	35
5.3 顶升施工.....	37
5.4 结构改造施工.....	46
5.5 施工设备与操作.....	48
5.6 梁体落位.....	51
5.7 顶升设施拆除.....	52
5.8 桥面系恢复.....	52
5.9 智能化与自动化施工.....	52
6 施工监控	60
6.1 一般规定.....	60
6.2 监控内容与方式.....	63
6.3 监控成果.....	70
7 质量检验	72
用词说明	77
引用标准名录	78

Contents

1 General provision	1
2 Terms and symbols	3
3 Basic requirements	8
4 Design	11
4.1 General requirements	11
4.2 Design of jacking up and reposition	14
4.3 Jacking up system	29
5 Construction	33
5.1 General requirements	33
5.2 Construction preparation.....	35
5.3 Jacking up construction.....	37
5.4 Structure modification construction.....	46
5.5 Construction equipment and operation	48
5.6 Bridge positioni.....	51
5.7 Remove of construction equipment	52
5.8 Restore of bridge deck	52
5.9 Constructioni intelligence and atuomation	52
6 Construction monitor and control	60
6.1 General requirements	60
6.2 Monitor contents and method	63
6.3 Monitor results	70
7 Quality inspection	72
Words explanation	77
List of quoted standards	78

1 总 则

1.0.1 为使桥梁顶升移位改造工程的设计和施工符合安全适用、系统协调、经济合理、技术先进、环境友好的要求，推进新技术、新材料、新设备和新工艺的应用，制定本规范。

【条文说明】

1.0.1 桥梁顶升移位改造工程的设计和施工，不仅要适应水陆交通发展的需要，同时需要符合安全、经济、先进、节能、环保、施工方便的原则，起到促进顶升移位改造技术水平的提高，并最大限度地实现节约资源和保护环境、保证工程质量和安全。

1.0.2 本规范适用于外部静定的多跨连续桥梁的顶升移位改造工程的设计、施工、施工监控与质量检验。

【条文说明】 本条明确了本规范适用的桥梁结构类型和不同行业桥梁的顶升改造工程，内容包括设计、施工、质量检测与验收等。针对不同行业的桥梁工程有不同的设计、施工与验收规范或标准，本规范仅对桥梁顶升移位与改造提出相关规定。

根据目前桥梁顶升移位技术水平以及施工可行性，本规范的适用范围主要包括梁桥和刚架桥。其他桥型（如拱桥）在满足结构和施工安全的前提下，可参照执行。

梁桥包括简支梁、悬臂梁、连续梁等。当顶升支点与原支座位置距离较小时，结构受力状态通常变化不大，采用同步顶升方法，

就能保证桥梁整体、均匀、缓慢地升高。对于刚架桥，如连续刚构，由于墩梁固结，其顶升施工存在一定难度，需要通过精确计算分析，掌握结构实际受力状态，采取合理的施工方案和技术措施，才能保证顺利完成体系转换和桥梁升高。

拱桥可分为有推力拱桥和无推力拱桥。有推力拱桥，因存在水平推力，在实践中往往无法采用临时措施消除，因此，此类桥梁顶升难以实施；但不排除借助临时系杆等措施在克服水平推力的前提下进行顶升。对于无推力拱桥，由于加劲梁(系杆)承担了水平力，其外部为静定结构，桥墩不承受水平力，相对而言，可实施性较强。

对于常见的其它桥梁结构，只要支撑约束处无较大的水平力，且解除约束后桥梁结构受力状态变化不大时，可考虑采用顶升移位技术实施桥梁改造。

1.0.3 桥梁顶升移位改造工程设计、施工、施工监控与质量检验，除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

【条文说明】团体标准是国家现行标准或规范的细化和补充，但不能代替国家现行标准或规范，因此本规范中规定：除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 顶升 jacking-up

将桥梁从原位置升高或降低到新位置的工程，包括整体顶升、分段顶升、调坡顶升等。

2.1.2 称重 weighing

正式顶升施工前，通过顶升系统对原结构实际重量进行测量的工艺。

2.1.3 顶升基础 foundation of jacking-up

提供顶升支撑反力的结构的统称，包括直接利用的原来、桥梁基础、改造后的基础、新施工的基础、抱柱梁。

2.1.4 顶升底盘结构体系 basement structure system for jack-up

顶升移位施工过程中，用于承受桥梁顶升荷载，并将该荷载传递到基础的结构体系。

2.1.5 顶升托盘结构体系 pallet structure system for jack-up

顶升移位施工过程中，用于托住上部被顶升结构并与其一同升高的结构体系。

2.1.6 同步顶升体系 synchronous jacking system

桥梁顶升过程中，提供顶升动力设备的总称。

2.1.7 临时支撑体系 temporary support system

顶升移位施工过程中，用于联系顶升托盘结构体系（或桥跨上部结构）和顶升底盘结构体系的所有临时施工构件的总称。

2.1.8 限位结构体系 structure restriction system

限制桥梁在顶升移位施工过程中发生偏移的结构体系。

2.1.9 抱柱梁 reinforced concrete girdling of column/pier

采用包围桥墩墩柱并与墩柱有效连接，将千斤顶的顶升力传递到上部或下部结构的梁式结构。

2.1.10 分配梁 supported beam for force distribution

为顶升托盘结构体系的一种，借助刚性梁体来分摊顶升支撑力，实现均匀布置顶升荷载或增加顶升受力范围。

2.1.11 钢抱箍 steel plate hoops

顶升移位施工过程中，为对墩柱施加一定环向预压力，沿原墩柱外壁布置的钢构件。

2.1.12 联系梁 connection beam

为避免失稳，在墩柱截断面的上方，沿桥梁纵横向设置连接各墩柱，并能承受一定弯矩、剪力及轴力的钢筋混凝土或钢结构连接构件。

2.1.13 接高垫板 backing plate for pier raise

桥梁顶升过程中具有垫块功能，并在顶升完成后作为桥墩结构一部分的垫板。

2.1.14 纵横向偏差 jack-up deviation in longitudinal and transverse direction

顶升移位施工过程中，桥梁纵横向轴线的实测值与设计值的偏差量。

2.1.15 智能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。

2.1.16 智慧工地 smart construction site

建立在高度信息化基础上的一种支持对人和物全面感知、施工

技术全面智能化、工作互通互联、信息协同共享、决策科学分析、风险智慧预控的建筑施工项目的实施模式。

【条文说明】本章仅将本规范出现的、相对于桥梁顶升相关的术语列出。有关桥梁专业性的术语，技术人员较为熟悉，或根据本规范参照其他规范时可查。术语的定义只是概括性涵义，如抱柱梁等，是结合桥梁顶升施工和便于理解角度来定义的。英文术语仅供引用参考。

2.2 符 号

A ——新旧混凝土结合面的面积；

A_{sv} ——结合面上同一水平截面植筋总截面面积；

f_c ——混凝土抗压强度设计值；

f_{sv} ——结合面配置的植筋抗拉强度设计值；

G_k ——顶升时桥梁总荷载标准值；

h_0 ——抱柱梁高度；

k ——安全系数；

n ——千斤顶数量；

N ——单个千斤顶额定承载力；

S_v ——植筋的竖向间距；

V ——剪力荷载设计值；

V_u ——新旧混凝土结合面抗剪承载力；

γ ——体型系数。

【条文说明】有关符号是本规范中少有的几个公式中采用的代表符号。为便于规范使用，直接列出。

3 基本规定

3.0.1 对既有桥梁进行顶升移位改前，应进行现场调查、地基勘察，收集相关资料，对原结构进行检测、鉴定和抗震评估，并进行经济技术可行性分析、和风险评估。

3.0.2 对既有桥梁结构进行顶升移位设计时，其作用及其组合，以及验算方法均可采用该桥原设计的相关规定。材料参数取值应根据材料劣化情况进行确定。

【条文说明】进行顶升移位改造的桥梁，检测鉴定前需先收集桥梁原始勘测报告、设计图、竣工图、养护维修情况以及已有检测报告等相关资料，并现场调查使用情况与环境条件等。原桥现状调查应按下列要求收集和查阅：

- 1 查阅桥梁设计资料：桥型、跨度、梁板截面形状尺寸和配筋、桥墩及桩基形式、混凝土强度设计等级、支座型号及布置情况；
- 2 查阅施工资料：竣工图、监理资料、工程质量检验评定资料、竣工验收资料、荷载试验资料，包括施工单位、开工日期、竣工日期、桥梁结构与桥墩的混凝土强度检测报告、支座生产厂家、检测报告和检测单位等；
- 3 调查收集桥梁所处位置的地形、地貌、地质状况等资料，并根据实测结果对原桥的布置、构件尺寸等进行测绘，绘制工程现状图。

3.0.3 桥梁顶升移位改造过程中的临时结构、构件及临时措施，应按国家现行标准的有关规定进行设计。

【条文说明】按本规范进行设计时，考虑桥梁顶升前后使用性质一般不会发生改变，顶升前一般都根据使用性质采用相关行业的设计标准进行设计，为了保证桥梁结构设计的一致性，对于顶升前后的永久结构，作用（或荷载）及其组合需符合原桥设计时所采用的行业标准。

3.0.4 桥梁顶升施工期间应封闭桥上交通，并做好交通组织。对有船撞风险的桥梁或有车辆撞击风险的跨线桥，应按国家现行有关规定在施工期间采取防船撞或防车辆撞击的措施。

【条文说明】对于顶升移位改造过程中的临时结构、临时受力构件或采用的支架、支撑、限位装置等构件进行验算时，为保证安全、便于操作，建议统一采用现行行业标准《公路桥梁设计通用规范》JTG D60 中的规定，规范中的部分公式统一采用现行行业标准《公路桥梁设计通用规范》JTG D60 中的规定。

3.0.5 应对顶升施工过程的全过程实时监控，控制施工过程对原结构的损伤。桥梁顶升过程不应损坏原桥梁的受力结构，不宜改变原桥梁的受力体系。

3.0.6 施工完成后的桥梁应满足原设计既有的各项指标，同时宜满足

国家现行标准的规定。

【条文说明】近年来我国规范或标准陆续作了修订，其中部分内容有较大变化或提升，因此，若仍参照原有规范对既有桥梁进行顶升移位改造，可能无法达到现行标准的规定，降低了改造后的使用性能。在保证结构安全、耐久和适用的前提下，桥梁顶升移位改造设计要采用现行规范。对提升技术标准难度较大的，仍执行原设计规范时需作技术论证。

3.0.7 顶升的设计、施工、监控、检测均应有具有相应资质的单位实施完成。

4 设计

4.1 一般规定

4.1.1 桥梁顶升移位设计应根据桥梁结构特点、工程条件、改造目的、技术要求及原桥梁技术状况等，选择相应的技术方案。

【条文说明】 本条对进行顶升移位设计考虑的因素作了明确规定，桥梁顶升移位前需根据竣工图及现场检测鉴定结果，按照原来的荷载等级对桥梁承载力进行验算，验算时需要考虑材料劣化、荷载变化等影响并对其进行折减；顶升移位除了根据所确定的承载力及稳定性进行计算外，还需验算顶升移位施工过程中桥梁的强度、刚度和稳定性，保证顶升过程安全。对缺失设计及竣工资料的桥梁或技术性复杂的桥梁，需采用实桥载荷试验确定其实际承载力，作为顶升移位设计的依据。

4.1.2 桥梁顶升移位设计不宜改变结构原有受力体系，不宜损伤原桥受力结构；当确需改变受力体系或对结构有所损伤时，应对相应结构或构件进行加固设计和验算。同时应对顶升移位过程中及完成后的整体结构及局部构件进行强度、刚度和稳定性验算，并应计入临时结构的影响。

【条文说明】 桥梁顶升移位技术设计是一项专项设计，其设计需考虑梁体、基础和地基三方面在顶升过程中和移位后的使用要求，新旧构件的变形要协调一致，除需符合混凝土工程、桥梁工程等相应

现行国家标准规范要求外，还应满足相应行业特殊规定。

桥梁顶升移位设计除了对顶升移位前后桥梁的承载力及稳定性进行验算外，还需验算施工过程中桥梁的强度、刚度及稳定性，保证桥梁在施工和运营过程中的安全。对缺失设计及竣工资料的大桥或技术复杂的桥梁，要考虑采用实桥荷载试验确定其实际承载力，作为顶升移位设计的依据。

顶升移位设计需要对全桥进行整体及特殊构件的强度和稳定性验算，使地基承载力和地基变形满足桥梁顶升移位后整体结构的使用要求。计入桥墩新增的附加变形后，所有沉降超过原桥墩的最终沉降量并需满足现行行业标准，如现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22、《铁路桥涵设计基本规范》TB 10002.1 等的要求。

4.1.3 顶升移位的结构验算采用的作用组合和验算方法均应符合原桥设计的相关规定。顶升移位过程设计时的材料取值应该考虑材料劣化，但可不计入混凝土收缩和徐变。

【条文说明】本条进一步明确作用及作用组合情况的取值，顶升移位前的结构验算要考虑实际需要和桥梁实际情况确定设计原则，确定采用原桥修建时所采用的行业设计标准，或是顶升设计时最新版本的该行业设计标准；顶升移位过程中因为顶升时间较短，交通封闭等原因，一般不需要考虑如汽车荷载、温度变化、混凝土收缩及徐变等可变作用；而顶升移位后的结构作为永久结构，需考虑包括

温度变化、混凝土收缩和徐变、预应力、墩台位移、安装应力等在内的各种作用。

不考虑地震的原因是因为顶升施工通常工期较短，尤其是断柱后施工的时间较短。但对于结构因短解除原有约束状态后，需要长期停工的，对降低了原有结构的抗震设计的状态，需要考虑地震力作用。

4.1.4 顶升移位过程设计可不考虑地震作用。但在地震区进行施工时，应采取防震应急措施。对顶升移位前经技术状态鉴定或抗震验算不能满足设计要求的既有结构，应在顶升移位设计的同时进行抗震加固。

【条文说明】桥梁结构具有结构重量大、分布不均、体积大及有效面积大等特点，顶升点能否合理布置是结构能否安全、稳定顶升的关键。在实际工程中，结构物必然会发生变形或移位。在顶升过程中，平面会产生变形，这时多点共同决定一个变形的平面，且顶升面有多个稳定位置。顶升点越多，顶升面的刚度越好，变形越小，稳定性也越好。与此同时，在多点顶升时，刚性面不可避免地会出现“虚腿”现象，即一个或几个顶升点的结构不能完全出力，而其余顶升点的结构要承受比预期大的力，甚至超过构件的承受能力，这在工程中不允许出现。

4.1.5 设计文件中应提供顶升、移位及改造过程中的控制及监控指

标，并应提出施工技术要求和临时性安全措施。

【条文说明】 监控标准分为警戒值和控制值两类。警戒值是指允许达到，但达到后需采取相应措施进行控制和调整，避免参数进一步增大；控制值是指不允许出现的极限值。

4.2 顶升移位改造设计

4.2.1 顶升设计内容包括顶升方法、顶升地基基础、顶升设施、结构改造（托盘结构体系、底盘结构体系）及同步顶升系统等。

【条文说明】 本规范的顶升移位施工仅局限于顶升施工过程中在原有墩柱位置不变情况下的位置调整，其难度小于建筑物的整体平移施工，其相应的受力体系均可借助顶升施力体系来实现。托盘结构体系设计和底盘结构体系设计要结合顶升施工中的相关设计，目的是避免相互影响，并考虑施工空间。

4.2.2 桥梁顶升移位的基础设计应符合下列规定：

1 当原有勘察资料中的地基承载力特征值、压缩模量等参数不充分时，宜通过补充勘察确定；当无法勘察时，可根据国家现行相关标准调整后取用；

2 承台和桩基的受力应根据不同的施工工况，分别进行结构内力、应力与变形分析；宜对承台的抗裂性、承载力及桩基承载力进行复核；

3 当采用桩基作为支撑底盘结构系统的基础时，应根据顶升移

位工程基底附加应力分布情况合理布置顶升桩位，并宜采用对称方式布置；

4 当已有基础不能满足作为顶升底盘结构的要求时，可采用增大基础底面积、增加桩基或增设支撑梁等方法进行改造，并按照最不利施工工况进行验算；

5 当采用增大基础顶升时，应按施工阶段受力设计，基底面积应根据地基强度验算确定；

6 当顶升需增加桩基时，应计入施工阶段受力设计，并应计入新旧桩基支撑条件、桩径与桩长差异等影响；

7 当增加桩基时，应计入新增桩类型、布置等对既有基础的影响；

8 当增设支撑梁方法扩大承台时，应对原承台进行复核。

【条文说明】第1款，顶升移位设计中地基承载力特征值需考虑使用年限的影响，通常地基承载力提高值的经验值可参考本条规定的规范确定，在条件允许的情况下，需通过现场试验确定。

第2款、第3款，当采用桩基作为支撑底盘结构系统的基础时，一般考虑有新做承台梁或利用原有承台作为上部承载力转换部位。其顶升桩位采用对称布置，一是考虑结构本身平衡，二是考虑外加施力点的位置与平衡。若不能对称布置，则要考虑局部加强以满足上部传力要求。

第4款涉及利用既有基础实现顶升的方法，可参考现行行业标准《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ 123 的规定。

第5款、第6款，增大基础顶升的两阶段设计方法是采用桥梁增大截面法，主要考虑两个阶段进行计算。

增大基础顶升的作用（或荷载）效应，按下列两个阶段进行计算：

第一阶段：新浇混凝土在尚未达到强度标准值时，构件按原构件截面计算，荷载需包括原构件的恒载、现浇混凝土层的恒载及施工荷载。

第二阶段：新浇混凝土强度达到标准值后，构件按加同后的整体截面计算，作用（或荷载）需包括加固后构件自重在内的恒载、二期恒载及使用阶段的可变作用，效应分项系数按现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 取用。

混凝土桥梁结构的恒载较大，采用增大截面加固法时不可能卸除全部恒载作用。但在某些特殊情况下，例如同时进行桥面铺装更换、拱上填料更换等，可以在加固前卸除部分恒载进行施工，待加固成桥后，再开放交通。因此在基础顶升前卸除原桥的部分恒载以及因封锁交通可不考虑车辆活载时，对加固效果是有利的。但就加固构件而言，结构实际上是分阶段受力，加固计算要符合构件加固前与加固后不同阶段的受力。

根据基础顶升的分析及施工情况，本规范将桥梁结构带载加固的增大截面法二次受力计算分成受力的两阶段计算：第一阶段是以原构件截面受力的结构计算；第二阶段是以加固后构件截面受力的结构计算。

第7款，增补桩基时可参照原设计方案。当原有桩基稳定后，新旧

桩的间距可适当减少。其中要考虑新桩的沉降量及应力变化不增加原有桩基的沉降量，其设计要符合相关桩基设计规范。

4.2.3 桥梁顶升移位中的顶升底盘体系、顶升托盘体系设计应符合下列规定：

1 顶升底盘体系主要应包含承台、抱柱梁、牛腿、钢抱箍和盖梁等类型，复杂桥梁的顶升，可按不同底盘体系组合。底盘体系选型宜符合下列规定：

- 1) 宜选择承台作为顶升底盘；
- 2) 对深埋式承台、深水承台或一柱一桩，宜采用抱柱梁作为顶升底盘；
- 3) 当顶升重量较小时，可选用钢牛腿作为顶升底盘；
- 4) 当顶升重量很小或提供辅助作用时，可选用钢抱箍作为顶升底盘；
- 5) 当顶升高度较小时，可采用盖梁作为顶升底盘。

2 顶升托盘结构体系主要应包含原有上部梁体结构、分配梁、盖梁或抱柱梁等类型，复杂桥梁的顶升，可按不同托盘体系组合，托盘结构的选型应与底盘体系的选型匹配。

3 设计底盘或托盘结构时，荷载及其组合应符合下列规定：

- 1) 桥梁顶升过程中基本风压宜按 10 年一遇取值；
- 2) 其他荷载应按本规范第 4.1.3、4.1.4 条或按实际荷载取值；
- 3) 应根据上部结构顶升过程中水平和竖向荷载的分布、传递、

不均衡效应、动力放大效应、施工误差效应，按照顶升时的最不利工况进行组合。

4 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下式计算：

$$\gamma V \leq V_u = 0.2f_c A + 0.85f_{sv} A_{sv} h_0 / S_v \quad (4.2.3)$$

式中： γ ——体型系数，一般取 1.1~2.0；

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} ——结合面上同一水平截面植筋总截面面积(m²)；

S_v ——植筋的竖向间距(m)；

h_0 ——抱柱梁高度(m)，大于 0.5m。

5 应对抱柱梁进行抗弯、抗扭、抗冲切及局部承压承载力验算。

6 对传递竖向荷载的钢筋混凝土抱柱梁，施工时应凿除被抱结构的保护层，在浇筑外包混凝土前应将凿除截面冲洗干净。新浇筑的混凝土应符合下列规定：

1) 新浇筑的混凝土强度等级不应低于原墩柱混凝土的强度等

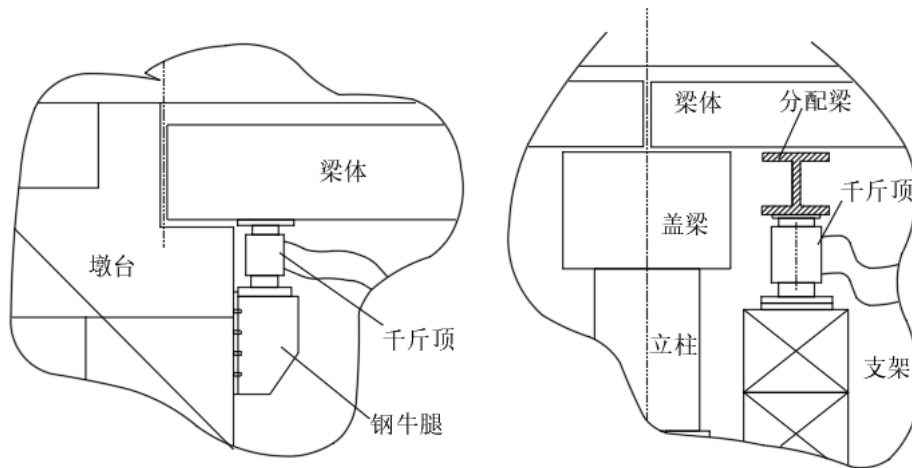
级，且不应低于 C30；

2) 新浇混凝土的最小宽度不宜小于 200mm。

7 在墩柱下部设置顶升托盘结构时，宜根据墩柱高度设置临时的联系梁。

【条文说明】第 1 款，顶升底盘主体承载结构是根据现有不同行业的设置方式分类的，按承台、抱柱梁、钢牛腿、盖梁四种类型灵活设置。辅助结构中要求设置纵横向联系梁的要求是为了增加结构顶升的稳定性提出的；钢抱箍是为了克服原有局部受力改变导致的受力不均提出的。具体根据顶升桥梁的体量和规模来决定。

第 2 款，桥梁顶升常用的托盘结构有盖梁、抱柱梁、钢牛腿、分配梁等（图 1）。此类结构在工程中应用较广，可根据实际条件设置，其结构设计需满足不同行业标准。



(a)钢牛腿形式 (b)分配梁形式

图 1 部分托盘结构

第 3 款中所说的不均衡效应、动力方法效应可考虑取 1.1~1.3 的放大系数；施工误差主要有自重的偏差、顶升位置的改变，以及不

均匀沉降和压缩、千斤顶安装误差等，一般自重的施工误差可考虑1.05的放大系数；以上这些工况均需根据最不利工况进行组合。

第4款，相关公式的引用考虑了下列情况：

1.针对顶升底盘或托盘的受力特点，一般采用植筋处理对极限承载力有明显提升作用；但对于采用植筋效果不明显，或因植筋易造成原结构的破坏，或结构开裂导致千斤顶受力不均匀和不利于控制结构变形的特殊情况，则不能采用植筋处理。

2.公式中的系数0.2来源于全国各地的桥梁顶升移位研究成果，并结合施工单位多年的经验取值，综合推荐采用系数0.16~0.24之间，平均0.2。永久结构取下限，临时结构取上限，并考虑柱的大小、几何形状、混凝土强度、工艺条件等因素作适当调整。如圆柱截面取大值，矩形截面取小值。

3.体型系数需要基于试验和实际应用经验两者结合而对承载力进行折减。

针对不同桥梁墩柱，受承受荷载大小不同，截面尺寸不同，相应的抱柱受力不同。在设计抱柱截面尺寸时，对直径或边长大于2m的墩柱，采用较大的重要性系数2.0，一般墩柱采用1.1~1.6；圆柱截面取大值，矩形截面取小值。

第5款，抱柱梁作为一种环梁结构，是一个复杂的受力体系，新旧结构的接触面不单纯是剪力的作用。由于新施工的抱柱梁收缩对原有混凝土结构产生较大的握裹力，将导致新旧结构之间承载力增加，其设计计算可在忽略墩柱自身抗弯和抗剪作用下，根据千斤

顶布置方式，简化为两个方向的梁或深梁结构，进行相应的抗剪和抗弯设计，但其前提是不能出现冲切或粘结破坏。

当千斤顶作用于抱柱梁底部时，通常要在抱柱梁四角布置四个千斤顶，需要对墩柱四周的抱柱梁分析进行抗弯承载力验算，并作整体抗冲切承载力验算。受施工空间或抱柱尺寸限制无法布置四个千斤顶时，可对称布置两个千斤顶，但需要计算抱柱梁负弯矩，并作验算。

第6款：

1.根据工程经验，对新浇筑混凝土的强度级别、最小厚度提出要求。同时根据工程新材料应用研究成果，采用喷射高性能抗拉复合砂浆、微膨胀或自密实混凝土用在桥梁的某些部位或施工困难处可取得较好效果。

2.加固设计时需要原构件的表面处理提出要求。

第7款，联系梁作为增加施工期间结构稳定性的临时结构，建议采用可重复利用的组合钢结构形式，尤其是纵向联系梁，由于跨度较大，需采用可重复利用结构，以避免造成浪费或采用临时混凝土结构带来的环境影响。

4.2.4 顶升施力体系设计应符合下列规定：

- 1 宜采用同步顶升技术；
- 2 顶升过程中，顶升施力系统应具备控制构件的运动姿态、应力分布的功能，满足结构构件在空中长时间滞留及微动调节的要求；

3 顶升过程中，应随千斤顶高度增加同步加垫钢块或钢垫盒进行保护，必要时采用机械装置跟随保护。

【条文说明】桥梁顶升施力系统主要包括：千斤顶系统、顶升限位系统和顶升临时支撑系统等。针对超静定结构的顶升施工，因存在改变结构受力体系，各支撑点的必需同步顶升。即使对于简支梁桥，因多根板梁或T梁采用多点支撑共同受力，在顶升时至少保证同一梁端部顶升采用整体同步顶升。

4.2.5 临时支撑体系的设计应符合下列规定：

- 1 顶升前应对临时支撑结构体系进行强度、刚度和稳定性的验算；
- 2 临时支撑结构体系宜采用便于安装与拆除的标准化支撑构件；
- 3 工具垫块厚度应与千斤顶每次顶升设计形成相适应，专用垫块应模数化和标准化；
- 4 每节支撑构件之间应可靠连接，钢管支撑墩间应设置可靠的水平撑与斜撑；
- 5 由接高垫板或临时垫块形成的支撑构件，应计入多块叠加厚度误差及非弹性变形、弹性变形对顶升施工的影响；
- 6 临时支撑结构体系的构件宜对称布置；
- 7 临时支撑结构体系利用原桥墩（台）时，应对原桥墩（台）进行承载力和稳定性的验算，必要时进行加固。

【条文说明】支撑体系在顶升桥梁的过程中起到“临时墩柱”的作

用，将桥梁的上部荷载托换到支撑上。支撑体系是施工过程中的重要反力提供平台，其结构安全性、顶升反力体系和液压系统的安全性共同决定整个顶升施工的安全。支撑体系必须具有足够的稳定性，防止顶升过程中因失稳造成安全事故。支撑体系必须能够满足千斤顶顶升及临时支座布置的需要，横桥向和纵桥向均以桥墩中心线对称布置。支撑体系的单个构件和整体结构均需满足各行业现行设计标准要求。

对于现行行业标准中有短期设计验算规定的，其支撑体系设计和验算可按短期设计或验算进行；对于没有短期设计或验算规定的，要按正常设计或验算标准执行。考虑到顶升施工时间短，临时支撑体系的设计和验算不需要考虑地震作用。

由于混凝土支撑施工周期较长、且不便于安装拆卸，因此支撑体系通常采用标准的节段钢管形式，并在上下两端配置不同的专用垫块，节段间采用耳板借助螺栓连接固定。当支撑力较大时，可采用节段钢管混凝土形式。推荐使用的临时支撑如图 3 所示。

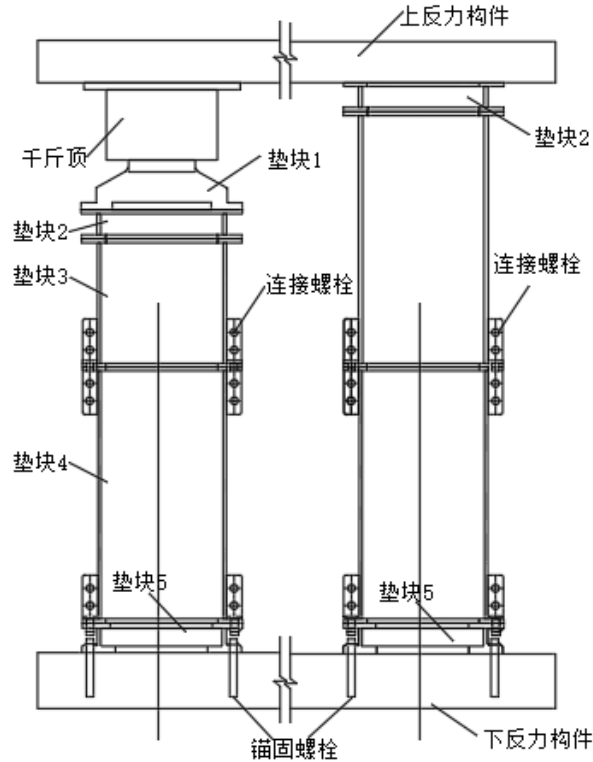


图3 推荐使用的临时支撑示意图

4.2.6 顶升时应该设置限位结构体系，包括横向限位结构体系和纵向限位结构体系。横向限位结构体系可采用格构支架、悬臂桁架、斜撑支架、混凝土挡块等，纵向限位结构体系可采用悬臂桁架、桥面顶撑、挡块、斜撑支架、拉索限位结构等。限位结构体系的设计应符合下列规定：

- 1 强度、不同限位方向的结构刚度及稳定性应满足要求；
- 2 荷载设计值应考虑初始水平分力、顶升水平分力、风荷载等；应计入横桥向荷载、船舶撞击荷载或车辆撞击荷载的作用；
- 3 荷载设计值可根据横桥向失稳破坏的临界值确定，应根据千斤顶的摩阻、最大转角、桥梁体重量及可能位置进行取值。当采用简化计算时，可按原桥上部结构倾斜角度 5° 的作用力进行设计和验算；

4 限位结构与桥梁结构的间距应根据施工过程中结构位置的变化进行确定。限位装置的安装位置偏差应不大于 5mm，垂直度偏差应不大于 0.1%；

5 断柱顶升时，横桥向优先选择格构支架、悬臂桁架作为限位结构体系，混凝土挡块可作为辅助限位结构；

6 对于大高度顶升施工，横桥向限位结构宜布置在主梁外侧，并采用抵抗式限位方法；纵桥向限位结构宜布置在相邻联伸缩缝两侧主梁顶板上，并采用双向拉压式限位方法；

7 当桥梁纵坡大于 1%时，还应对限位结构进行抗下滑力验算。

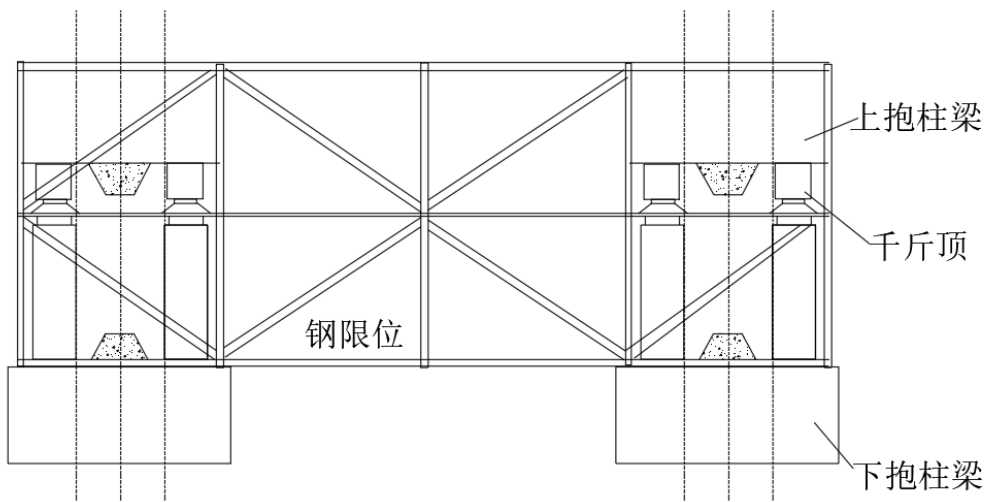
【条文说明】 限位结构体系是对顶升过程中可能出现的结构非预期偏移进行限制，包括横桥向限位（图 4）与顺桥向限位（图 5）。顶升限位装置按其形式不同，可分为格构支架、斜撑支架、悬臂桁架、刚架及混凝土挡块等。鉴于桥梁结构的受力特点，以及顶升偏差可能引起的对限位的作用力，限位结构的作用更多表现是一种预警而非真正限位。因此，本规范对限位结构更多的只是建议性的规定，关键是对限位结构设计荷载取值作出规定，其他结构设计要求要满足各行业规范或标准。

第 1 款：

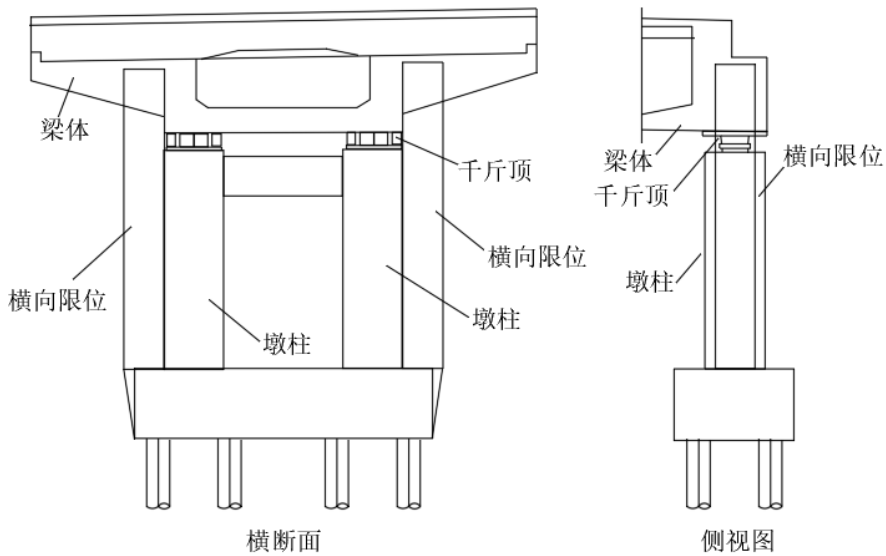
- 1.绝大多数梁桥和桁架桥，可选用格构支架作为限位系统；
- 2.无水平推力的拱桥(包括桁架拱桥、系杆拱桥及梁拱组合桥梁)，可采用悬臂桁架作为限位系统；
- 3.多跨多幅梁式桥，可采用斜撑支架作为限位系统；

4.混凝土挡块不得单独作为顶升限位装置，但可作为辅助限位装置。

第2款~第4款，由于桥梁顶升过程中尤其是需要调整桥面坡度的桥梁和曲线梁桥，结构平面位置将发生较大位移，对限位结构会产生作用力。因此，需要在限位结构设计时考虑这一位移变化，并充分考虑这一变化对施工过程中结构稳定性的影响。

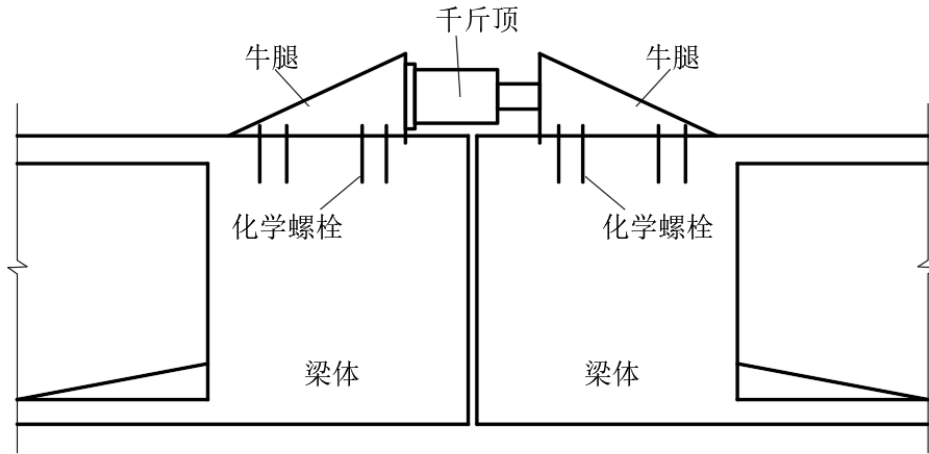


(a) 整体式横向限位

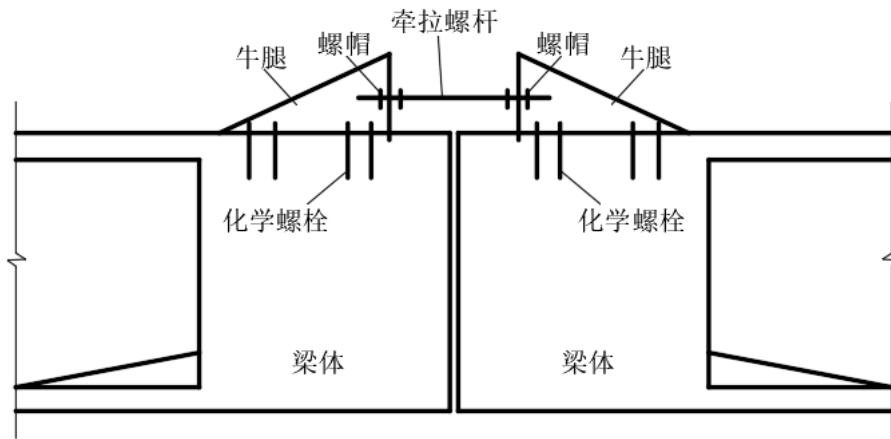


(b) 分离式横向限位

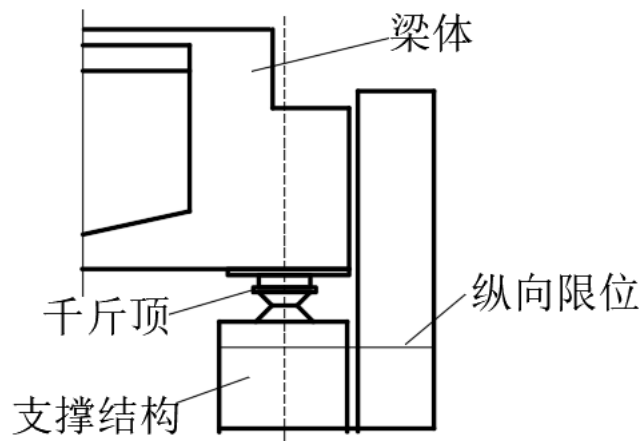
图4 横向限位示意图



(a) 不同步升高纵向限位示意图



(b) 同步升高纵向牵拉限位示意图



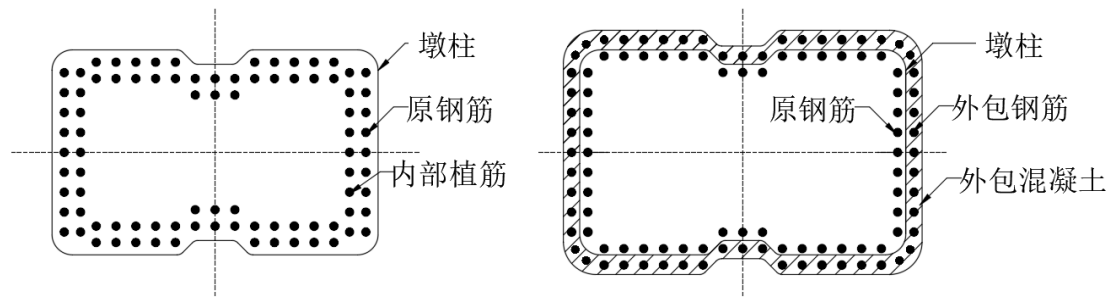
(c) 端部纵向限位

图 5 纵向限位示意图

4.2.7 墩柱高度调整设计应符合下列规定：

- 1 连续桥梁墩柱截断位置应根据下部结构受力状况确定；
- 2 被切断的墩柱上端结构顶升就位后，连接段主筋直径与数量不应少于原结构主筋，箍筋间距应按不大于 100mm 加密设置，切断钢筋的连接应满足I级接头的要求；
- 3 连接段混凝土应一次浇筑连接段；混凝土强度等级应采用高于原墩柱混凝土等级，并宜采用便于灌注和成型的自密实微膨胀混凝土，对于有外观要求的墩柱应进行整体外包混凝土或专门的涂装美化；
- 4 若桥梁顶升高度小于 1m，可直接加高盖梁、帽梁、柱顶或支座垫石；
- 5 墩柱接高部分增加的自重不可忽略，应对下部结构的强度、抗裂性、稳定性进行复核。

【条文说明】墩柱高度调整方式按不同的分类有多种形式，本规范主要分为两大类：柱墩切断顶升和非切断顶升。墩柱高度调整方式的选择需根据结构形式、传力体系、施工条件、施工能力（经验）等各种情况综合确定。对于墩柱切断顶升，为保证墩柱连接部分结构强度满足要求，可采用内部植筋和外包混凝土两种方式进行墩柱连接（图6），当安全储备较高，且对外观没有特殊要求时可采用内部植筋连接，否则应采用外包混凝土连接方式。对于非切断顶升可采用外包混凝土加强连接。



(a)内部植筋连接图 (b)外包混凝土连接

图6 墩柱接高连接示意图

4.3 同步顶升系统

4.3.1 同步顶升系统包括千斤顶、油泵和控制系统。

【条文说明】桥梁同步顶升主要包括千斤顶、油泵和控制系统等。针对超静定结构的顶升施工，因存在改变结构受力体系，各支撑点的同步顶升时必需的。即使对于简支梁桥，因多根板梁或T梁采用多点支撑共同受力，在顶升时至少保证同一梁端部顶升应采用整体同步顶升。

4.3.2 顶升点的布置应根据桥梁结构、荷载分布确定，千斤顶应采用统一型号，宜以支座为中心对称布置。

4.3.3 顶升施工宜采用大吨位双作用油缸，局部空间狭小部位可采用单作用薄型弹簧回缩油缸。

4.3.4 顶升千斤顶应具有保压自锁功能，满足结构构件在空中安

全停留及微动调节的要求；顶升油缸宜配有液控单向阀或平衡阀等防止顶升油缸失压的阀件。

4.3.5 全部千斤顶的顶升能力应大于最大顶升重量的 1.5 倍；千斤顶数量可按下式估算：

$$n = k \frac{G_k}{N} \quad (4.3.5)$$

式中： n ——千斤顶数量；

G_k ——顶升时桥梁总荷载标准值(kN)；

N ——单个千斤顶额定承载力(kN)；

k ——安全系数，取值不小于 1.5，水平承载时不小于 1.25。

【条文说明】对于连续结构体系桥梁，应按同一联进行顶升。为满足同步顶升的要求，千斤顶须满足以下要求：

- 1 使用前计算起重量、选择合适吨位的千斤顶；
- 2 千斤顶的着力点应处于箱梁腹板厚度范围内或空心板的腹板范围内，同时必须考虑到地基承载力的情况，避免起重过程中有倾倒的危险；
- 3 千斤顶将重物顶升后，应及时采用临时支承将重物支撑牢固，禁止将千斤顶作为支撑使用。如数台千斤顶同时使用，应使用多顶分配阀，并考虑负载的均衡性，以避免发生倾倒；
- 4 考虑到多台千斤顶共同作用时，不可避免的存在竖直偏差与受力差异，也无法完全避免施工过程中出现个别千斤顶或油管失效。基于多台千斤顶受力安全性和均匀性，千斤顶数量选择需要考虑顶升安

全系数，安全系数在油缸垂直受力时取值不小于 1.5，水平受力时不小于 1.25；

5 因千斤顶起重行程较小，使用时严禁超过额定行程，以免损坏千斤顶；

6 使用过程中应避免千斤顶剧烈振动，在使用前应进行全面检查。

4.3.6 同步顶升系统应满足下列要求：

1 同步顶升宜采用 PLC 液压同步顶升控制系统。控制系统应能够同步实现荷载控制、位移控制、操作闭锁、过程显示、故障报警、误操作自动保护等功能；

2 控制系统同步精度应高于设计允许值，为便于控制桥梁的顶升位移、姿态及顶升过程的同步性，千斤顶的同步差应满足下列要求：

1) 跨径不大于 20m 时，相邻墩顶升点同步差不应超过 5mm；

跨径大于 20m 时，相邻墩顶顶升点同步差不应超过 10mm；

2) 相邻顶升点间距不大于 2m 时，同一桥墩相邻顶升点同步差

不应超过 0.5mm；相邻顶升点间距大于 2m 时，同一桥墩相

邻顶升点同步差不应超过 1mm；

【条文说明】 液压顶升控制系统应具有位移误差控制、行程控制、负载压力控制、紧急停止、误操作自动保护等功能。同时油缸液控单向阀可防止任何形式的系统及管路失压，从而保证负载有效的支

撑。所有油缸即可同时操作，也可单独操作。

PLC 控制液压同步系统由液压系统、计算机自动控制系统两个部分组成，该系统能全自动完成同步位移，实现力和位移控制、操作闭锁、过程显示、故障报警等功能。该系统具有以下特点：

- 1 具有友好的人机交互界面；
- 2 整体安全可靠，功能齐全；
- 3 操作控制集中，既可实现对所有油缸同时控制，也能实现对个别油缸的单独控制；
- 4 同步控制点数量可根据需要设置，适用于大体积结构物的同步位移；
- 5 各控制点同步偏差小，能够实现对结构物位移的精确控制。

5 施 工

5.1 一般规定

5.1.1 桥梁顶升移位施工前，应进行施工现场调查，结合现场情况核对鉴定结果和设计图纸；应以现场情况和设计文件为依据，编制施工组织设计、安全专项方案、交通组织方案、应急预案；且方案经有关部门审批后才能实施。

【条文说明】 施工前需要通过技术交底，使参与施工的技术人员和工人熟悉了解所承担工程任务的特点、技术要求、施工工艺、工程难点、施工操作要点及工程质量标准。

5.1.2 顶升移位施工应协调、平稳，应有监测和控制措施；顶升（包括下落）过程中，被顶升结构纵向、横向的同步误差以及累计同步误差应符合设计允许值，并应根据现场监测数据及时修正顶升移位参数。

5.1.3 当采用多行程顶升移位施工时，施工前应确定每个行程顶升量；应根据使用的顶升设备、实际支撑条件和支撑结构材料性能，计算确定顶升过程中顶升高度的最大值，即高度限值。

【条文说明】 顶升量系指单次顶升值和总顶升高度，移位量系指单次移位量和总移位距离。

5.1.4 顶升移位施工同步设备与控制系统应满足顶升移位施工的安全及设计要求。

5.1.5 顶升设备使用前，应进行相应的标定。

5.1.6 顶升液压油缸及泵站等设备应有备用方案。

5.1.7 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 6mm，清洗干净后，方可涂界面处理剂。

【条文说明】 对有表面混凝土缺陷的墩柱，为确保与设计的抱柱梁承载力计算相符，除满足规定的凿毛深度外，要将表面缺陷的混凝土层完全去除。

5.1.8 顶升移位施工工序可按照施工准备、称重、试顶升、顶升、结构改造和检查验收的顺序进行。

【条文说明】 施工准备完成后，无论是否设置称重工序，按照常规顶升工序安排，一般需要按照正式顶升所准备采用的所有施工技术措施，对结构进行一次试顶升，以便对各个受力体系和顶升系统进行检查。试顶升的顶升高度不需太高，一般控制在 1 个~2 个行程之内即可。

5.1.9 顶升移位施工中的各道工序，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，确保原结构的沉降量和损伤满足相应要求后，方能进行下一道工序的施工。

5.1.10 为提升工程项目质量安全管理水平，应根据“先进适用、适度超前”的原则，积极稳妥的在桥梁顶升施工过程中，应用 AI 人工智能、5G 通信、自动化检测等新技术。

5.2 施工准备

5.2.1 对桥梁的技术状况应进行复查，重点应复查跨径、中线、标高、坡度、主梁截面、下部结构和基础截面等主要参数以及桥梁病害部位、状况等，并应根据复查结果对施工方案作相应的调整。

【条文说明】 技术状况包括既有桥梁的标高、外观尺寸、混凝土破损、结构局部破坏、裂缝、管线布设等。同时需对伸缩缝、混凝土挡块与梁体等结构缝间残留物进行清理，避免因顶升偏差导致梁体或挡块的破坏。

5.2.2 应对传感器、千斤顶、油表等顶升设备采用同源标准传感器进行自校准，并应出具自校准报告。

【条文说明】 顶升设备的标定包括力值测量标定和位移测量的标定。此处顶升设备的自校准，专指力值测量标定。为了确保不同型号传感器的精度一致性，可采用来自同一标准源传递的标准传感

器。位移测量传感器要按相关规定进行标定，并要采用同源传递标准，以达到较高的测量精度。

5.2.3 顶升施工前应做好人员、设备、材料、技术等各项准备工作。施工准备宜按试顶升前的所有施工技术措施进行，包括托盘结构体系施工、底盘结构体系施工、支撑体系施工、限位结构体系施工、顶升系统的安装及调试、结构改造施工、称重和试顶升等。

5.2.4 供配电设施应为顶升施工提供安全、可靠的电力保障，并统筹临时用电与永久用电需求。

5.2.5 供配电设施应在满足功能要求基础上，宜采用智能电网、功率因数补偿等技术，提高能源利用率及供电质量，降损节能。并宜根据地域特点，统筹建设清洁能源供给网。

【条文说明】 施工阶段需要使用大量电力作为动力，因而在施工阶段必须建设高压外电等供电设施，这些供电设施具有临时性质。而桥梁结构在建成运营后需长期用电。如果缺乏统筹，会导致施工阶段建设的供电设施在桥梁运营阶段无法充分利用，造成重负建设和投资浪费。因此，本规范提出供配电设施永临结合的要求。

交通道路，特别是高速公路项目建成投入使用后，运营电耗极高，而节能减排又是交通行业的一项重要工作，因而需要根据公路所在的地域特点，充分利用沿线丰富的太阳能、风能等清洁能源为

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/788135126072006127>