

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、交竣工验收资料、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荷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/TJ22、《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

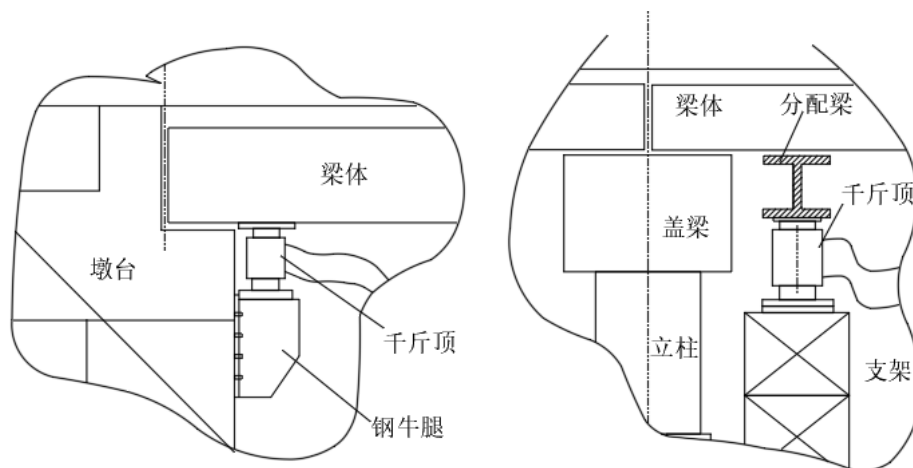
级，且不应低于 C30；

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 款中所说的不平衡效应、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.加固设计时需要与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、且不利于安装拆卸，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。

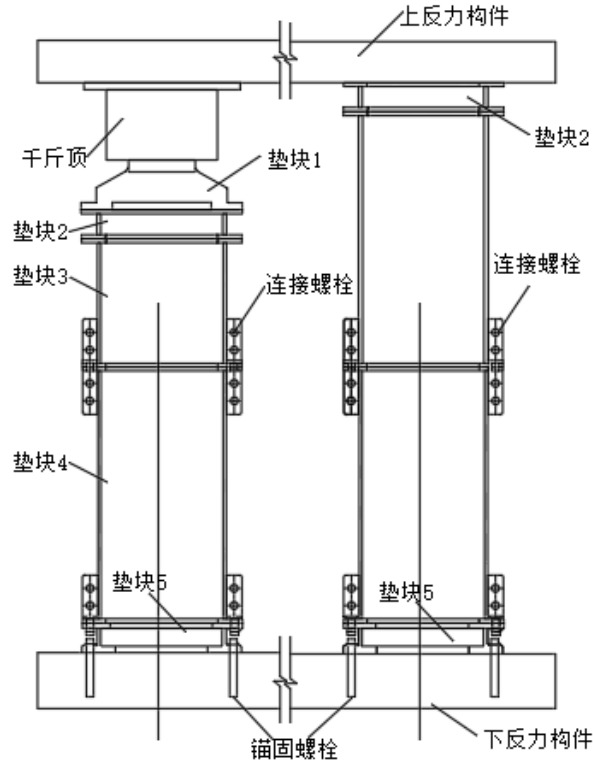


图3 推荐使用的临时支撑示意图

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：

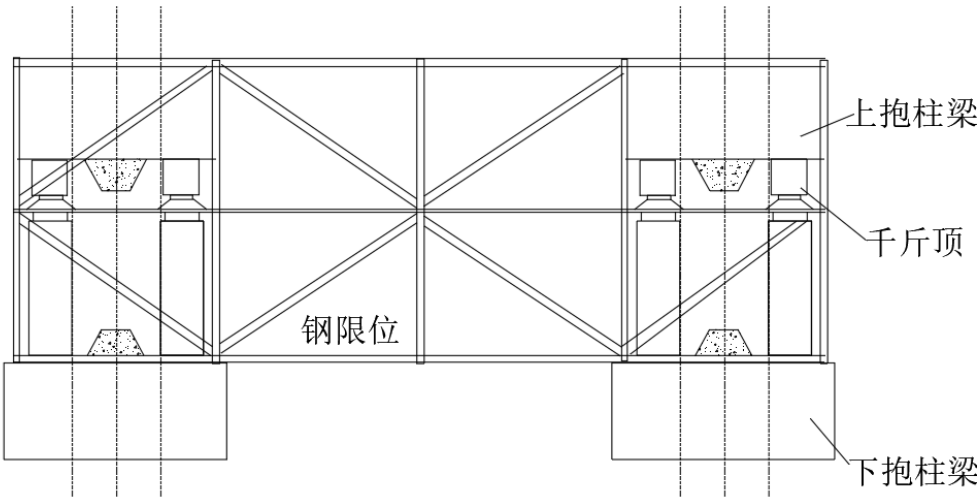
1.绝大多数梁桥和桁架桥，可选用格构支架作为限位系统；

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；

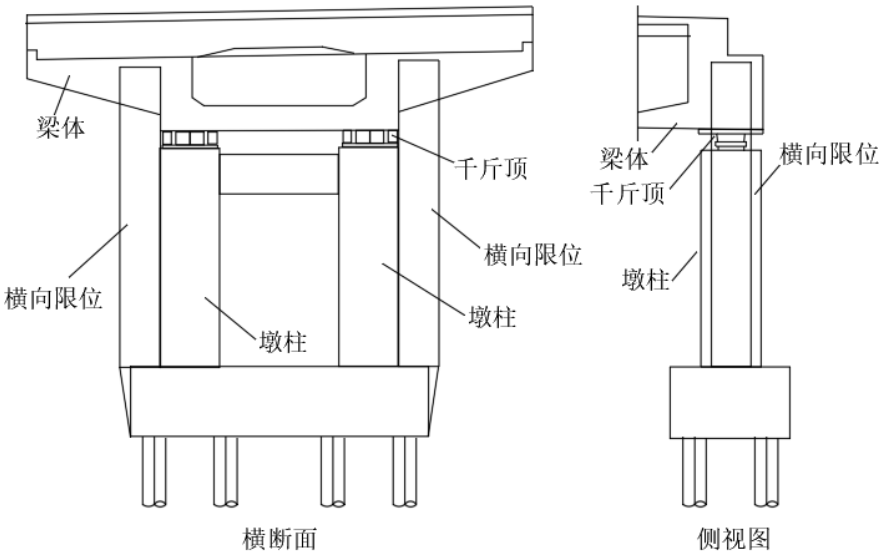
3.多跨多幅梁式桥，可采用斜撑支架作为限位系统；

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。

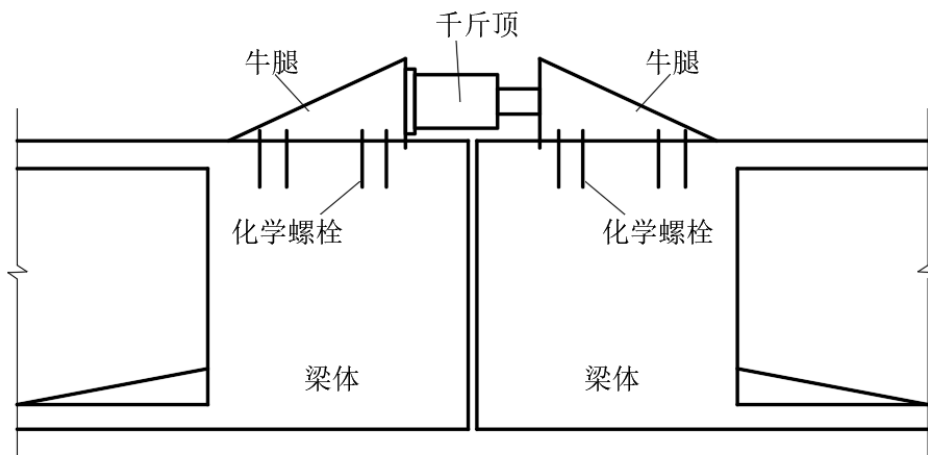


(a) 整体式横向限位

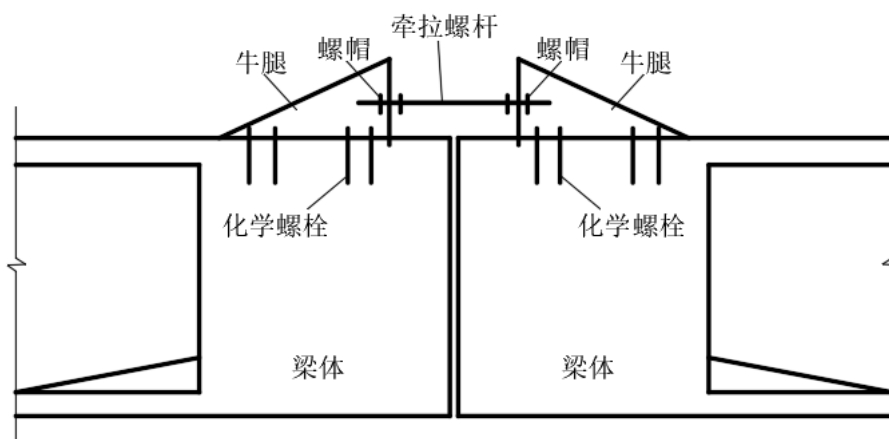


(b) 分离式横向限位

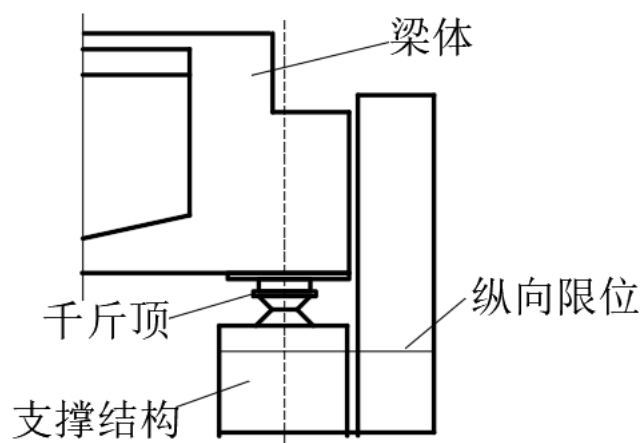
图 4 横向限位示意图



(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



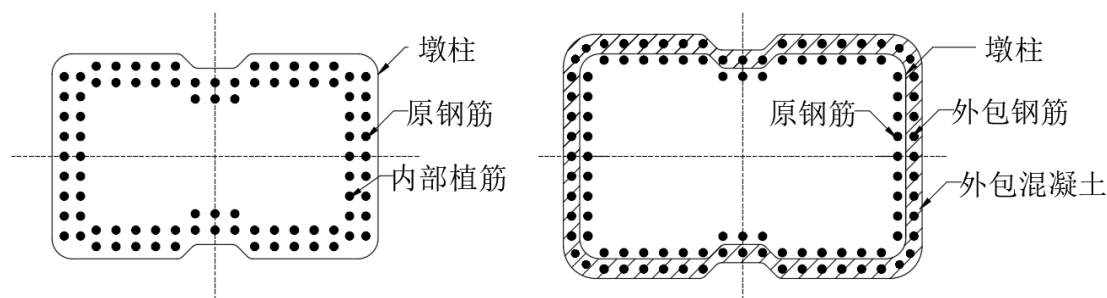
(c)端部纵向限位

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

信息基础设施供电，从而实现结构性节能减排。

5.3 顶升施工

5.3.1 托盘结构体系施工应符合下列规定：

1 当直接采用梁体结构作为托盘体系时，应满足千斤顶安装空间的要求；与千斤顶和临时支撑对应的梁体结构应形成水平支撑面；

2 当采用分配梁作为托盘体系时，钢分配梁应水平安装，钢分配梁与被顶升梁体之间应有可靠的找平支垫；

3 当采用盖梁作为托盘体系时，应对破损、病害部位进行修补和加固处理，并将其底面找平；

4 当采用抱柱梁结构作为托盘体系时，应对结合面的原结构凿毛处理；当采用植筋连接时，应查明主筋位置，不得损伤主筋；

5 当对梁体实施变坡顶升时，应在托盘结构中安装调平对中装置，宜在伸缩缝处安装纵向限位装置。

【条文说明】第1款，此种顶升方法是千斤顶直接放置在盖梁或者桥墩顶部直接顶升上部梁体结构。

第2款，分配梁一般为实腹式钢结构，其基本断面有双拼工字钢、H型钢等。

第4款，钢筋连接规范包括国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50、《钢筋机械连接通用技术规程》JGJ 107 等。

第5款，在桥梁变坡顶升时，桥梁纵坡产生变化，引起桥梁投影长度伸长或缩短，在顶升支点位置千斤顶上表面也会有旋转及水平位移，引起钢支撑的横向受力及偏心受压，要保持支撑及千斤顶的垂直受力及轴心受压而采取的措施即安装调平对位装置。桥梁纵坡产生变化，引起桥梁伸缩缝宽度的增加或减少，增加纵向调整装置以保证伸缩缝的设计宽度。

5.3.2 底盘结构体系施工应符合下列规定：

1 当直接采用盖梁、墩柱、承台、桥台等作为底盘体系时，应使千斤顶及支撑底部处于水平，并对结构缺陷进行修补；当盖梁、墩柱、承台、桥台等承载力不足时，或面积不够时，应采用加固措施或扩大支承面积措施；

2 当采用牛腿结构作为底盘体系时，植筋工艺应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的规定；

3 当采用钢抱箍作为底盘体系时，应按 1.5 倍的安全系数进行钢抱箍承载力试验，试验通过后，方可进行顶升作业；

4 当采用抱住梁结构作为底盘体系时，宜设置于地面线以下。当设置在其他位置时，完成顶升后，抱住梁结构应当拆除。

【条文说明】第1款，选择千斤顶的型号时，因千斤顶的放置空间有限，需要满足空间位置要求。

第3款，钢抱箍承载力试验的原理是将两个抱箍装在同一条试验柱上，两抱箍之间用两个液压千斤顶对顶，慢慢加压到2倍上部

荷载的压力，通过压力表确定施加压力的大小，当达到目标荷载时，如果抱箍没有变形且抱箍与试验柱之间没有发生相对滑动的话，则说明抱箍承载力能够满足施工盖梁的要求；反之，如果以上两种现象出现其中一种，则抱箍不能满足施工盖梁安全和质量的要求。

试验过程：

1 安装抱箍。将抱箍内壁打磨干净，黏贴橡胶片，以增大抱箍与混凝土墩柱之间的摩擦力，同时保护混凝土柱外观不被抱箍破坏，抱箍安装在试验柱上预先设置的标示位置，将两篇抱箍用高强螺栓连接牢固，螺栓的拧紧力矩要达到要求值；

2 安装液压千斤顶。将液压千斤顶对称安装在抱箍两侧，保证千斤顶垂直度，开动油泵调整千斤顶顶面与上抱箍接触；

3 加压。抱箍试验按 2 倍荷载考虑。试验过程中每台千斤顶同步慢慢加压，同时观测抱箍是否有滑动和变形，以及千斤顶压力值变化情况，直至加压到规定压力值。若抱箍与墩柱之间没有发生相对滑动，并且抱箍也没有出现变形和滑动，则抱箍的承载力能够满足施工盖梁的要求。

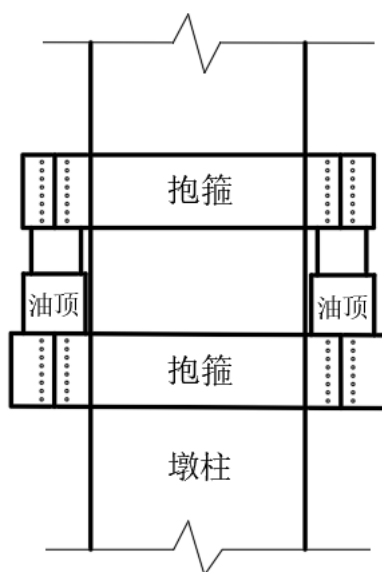


图 7 抱箍试验示意图

5.3.3 支撑体系施工应符合下列规定：

- 1 支撑的中心线应准确定位；
- 2 当采用预埋螺栓连接时，应保证预埋螺栓位置准确；
- 3 当采用植入螺栓连接时，钻孔除位置应准确外，还应避让承台中的主筋；
- 4 螺栓安装数量应与法兰孔数相等；
- 5 不同直径的钢支撑连接时，应采用相应的转换接头；
- 6 钢支撑体系应设置可靠的纵横向联系，宜与下部结构进行可靠连接，确保钢支撑的稳定性。

【条文说明】 桥梁顶升过程中，在千斤顶周围布设临时钢支撑，钢支撑通常采用可以重复利用的钢管立柱，临时钢支撑的布设要与液压缸的布设相符。为满足液压缸分级置换及临时支撑措施要求，可专门设计各种垫块，以保证液压缸和临时支撑的连接可靠。支撑结

构间要连接牢固保证支撑结构良好的整体性，防止顶升过程可能发生的滑移，避免支撑体系的失稳破坏。

当采用钢管作为支撑杆时，钢管上下两端为焊接法兰，法兰上预留螺栓孔，钢管侧面焊有肋板及连接用构件。

5.3.4 限位结构体系的施工应符合下列规定：

1 限位结构与被限位结构的间隙应顺直，宽度应满足被限位结构的验收要求；

2 限位结构的安装和拆除不应产生影响原结构受力安全性的损伤，对因安装限位结构而在原桥结构上形成的孔洞应进行修补。

【条文说明】在桥梁顶升过程中，桥梁始终处于一种飘浮不定的状态，结构很脆弱，受到外部扰动后整个上部结构可能瞬间坍塌。同时，在实际施工中，由于液压缸安装的垂直误差及其他不利因素的存在，很难保证千斤顶的绝对竖直，这样必然在顶升过程中产生部分的水平分力，因此在顶升过程中通常对上部结构在纵横向采取限位装置与监控措施。

限位结构的安装定位时要严格按第 4.2.6 条中有关设计对限位装置与桥梁结构间隙实施的规定，避免限位结构承受不应有的侧向水平力。

5.3.5 顶升系统的安装及调试应符合下列规定：

1 宜采用可编程液压同步控制系统实施顶升，顶升前应进行同

步试验；

2 千斤顶、油管、位移传感器及各类阀件的安装应符合现场安装布置图，千斤顶位置应根据桥梁构造特点、支座位置以及荷载大小合理布置，宜以支座为中心对称布置；

3 千斤顶应竖直安装，可采用正置或倒置两种方式。顶升过程中，千斤顶不宜承受水平力。如若无法避免，应采取措施，减少水平力的影响。顶升后应及时采用临时支撑进行固定，未设置可靠支撑措施不得将千斤顶油缸作为支撑物使用。当有多个千斤顶时，应使用多顶分配阀连接成不少于三组且合力不共线的支撑模式，并使负载尽量均衡，以免产生倾倒或过大变形；

4 千斤顶严禁超载、超行程使用，千斤顶顶升位移量宜控制在千斤顶公称位移量的 80%以内，严禁超过千斤顶行程的 90%；千斤顶压力控制的误差应小于 3%；

5 应根据支反力计算压强，若千斤顶接触面压应力大于混凝土抗压强度设计值，应放置钢板或采用其它措施分配压力，避免混凝土受到破坏；

6 顶升过程中，如遇到顶升不同步、超过控制允许值或其它异常时，应立即停止顶升，采用垫块固定或其它安全措施进行保护，尽快排查原因，恢复正常后方可继续顶升；

8 油管连接时，油管接头、分配器应清洁；油管应在无压情况下拆除，油管拆除后应将油管用堵头封住，油管内部的液压油不得外漏；

9 位移传感器安装位置处的位移，应与所对应的千斤顶合力作用点相一致；顶升系统位移传感器的准确度不应低于 0.2 级；

10 系统在使用前，应进行不少于 1h 的保压试验，以保证出现控制信号中断时，千斤顶能够处于保压状态并锁死，同时控制系统发出警报；

11 大高度顶升施工宜设置不随操作界面跨越的快速反应“紧急停止按键”，能够在紧急情况下使整个系统进入预定的闭锁状态；控制台（柜）和顶升油泵均需配备 UPS 或大容量电瓶，提供不间断电源，UPS 至少保证为主控室提供半个小时的稳定运行电量。

【条文说明】第 1 款，连续桥梁整体顶升中，顶升点的同步性是影响主梁受力的关键因素。可编程液压同步控制系统是桥梁顶升施工中最稳定、最准确的控制方式，在桥梁顶升施工过程中应有限选用。同步液压顶升控制系统的主要配置有控制单元、顶升单元以及测量单元。控制单元由可编程逻辑控制主站和分站组成。可编程逻辑控制主站负责整体状态监测并发出控制指令。分站由可编程控制系统下位机和液压工作站组成，并根据主站的指令控制液压工作站和电液伺服阀工作，实现千斤顶的升降动作。

第 3 款，正置方式要使用在顶升高度较小，或者施工空间狭小的部位；倒置方式要使用在顶升高度大，施工空间较大的部位，倒置时将千斤顶直接固定在托盘底部，在顶升过程中可不拆卸，方便施工。

5.3.6 墩柱截断施工应符合下列规定：

- 1 对顶升系统逐级加载，截断时加载应达到墩柱荷载设计值的90%；
- 2 在整个截断过程中，系统应处于保压状态；
- 3 桥梁墩（柱）截断宜采用无震动或振动较小的线切割设备，并在保压平衡状态下切割，以减小切割对桥梁结构及顶升设施的影响；墩柱切割宜采用水冷，以减少粉尘、噪音、泥浆污染；
- 4 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、临时支撑结构体系的受力及变形。

【条文说明】低震动的静力切割机有利于减小对桥梁结构的影响。墩（柱）切割要采用水冷却，以减小粉尘和噪声污染，做到切口平顺。

5.3.7 采用压力控制设备进行顶升作业时，在试顶升前应进行称重。

【条文说明】称重是为保证顶升过程的同步进行，在顶升前需测定每个顶升点处的实际荷载。从而避免因顶升点受力与原始结构荷载传递差异导致的结构损伤，甚至导致顶升失败。

称重时依据计算顶升荷载，采用逐级加载的方式进行，在一定的顶升高度内，不宜大于10mm，通过反复调整各组的油压，可以设定一组顶升油压值，使每个顶点的顶升压力与其上部荷载基本平衡。

5.3.8 试顶升应符合下列规定：

1 试顶升前应解除全部顶升结构与其他结构的全部连接，结构顶升空间内不得有障碍物，所有限位结构应安装到位；

2 试顶升宜按开始分离、持续分离、确认分离三个阶段实施；应分级分次持续将原桥上部结构顶升至试顶升的预定高程；

3 试顶升过程中实施顶升荷载和位移“双控”，应检查油路是否连接正确且畅通、传感器工作是否正常、数据传输是否稳定正确、系统工作是否稳定；

4 试顶升过程中应做好记录，检查支座反力的计算值与实际值的差距，以便在正式顶升前及时对千斤顶位置及顶升力进行调整，防止出现虚顶现象；

5 试顶升高度不宜大于 10mm。

【条文说明】试顶升时，为观察顶升处是否分离，需要借助可靠的测量工具（如百分表、位移引伸计等、激光测距仪）测定其行程。

5.3.9 正式顶升应符合下列规定：

1 顶升前检查千斤顶是否与接触面贴合，如有缝隙需采取措施保证良好接触；

2 顶升过程中，每完成一个行程，应及时用长支撑替换短支撑，并及时安装横向联系杆件；

3 千斤顶必须按照设计行程同步顶升，顶升及顶降的速度不宜大于 3mm / min；

4 应随时观测系统压力和竖向位移的变化情况，同时随时对每个位移传感器的数据与监测方数据进行比对，发现异常宜立即停止顶升，消除隐患后方可继续作业；

5 变坡顶升时，千斤顶应在允许偏斜角度范围内工作；

6 完成一个行程后，应维持 30min，对临时支撑、千斤顶、油管路、托盘结构体系、底盘结构体系等结构的状态进行检查，确保桥梁结构和顶升同步系统稳定后再进行下一个行程的顶升；

7 顶升完成后，桥梁中线和高程应满足设计要求。

【条文说明】在变坡顶升过程中，因每个墩柱部位的钢支撑高度不同，顶升高度也不相同，每次顶升钢支撑的压缩量也不同，需特别注意观察。

5.4 结构改造施工

5.4.1 结构改造施工包括墩柱接高、桥台改造、承台扩大、垫石修复或加高、梁体改造、支座更换等。

5.4.2 墩柱接高可分为直接接高和断柱接高两种情况，均应符合下列规定：

1 墩柱接高前应首先凿除上下截断面各设计凿除范围内的混凝土，并将保留墩柱表面凿毛、涂抹新老混凝土界面处理剂，以利于新老混凝土的有效连接；

2 主筋应采用机械连接方式，满足I级接头的要求；

3 混凝土等级宜高于原墩柱，并宜采用便于灌注和成型的自密实微膨胀混凝土；

4 断柱连接部位应确保施工质量，接触紧密、焊接牢固、混凝土浇筑应密实、强度符合设计要求，必要时应加固补强；

5 支座位置移动后，墩柱的抗偏压承载力应大于结构荷载效应，否则应增加墩柱截面；

6 墩柱接高部分应采用不低于原墩柱规格和数量的主筋和箍筋；

7 接高的墩柱混凝土宜外包钢管，形成类似钢管混凝土的复合截面。

【条文说明】对商品混凝土坍落度需要提出要求。普通混凝土的坍落度不能小于 $18 \pm 2(\text{cm})$ 。

5.4.3 桥台改造可分为接高改造和台改墩两种情况，均应制定专项施工方案。

【条文说明】在变坡顶升过程中，桥台一般需要拆除，同时保留桩基础及承台基础，在原承台上施工新桥台。

5.4.4 当采用承台扩大时，应将原混凝土表面凿毛且冲洗干净，灌注混凝土前，凿毛面应湿润清洁，新老钢筋应分层分区对应焊接。

【条文说明】本条主要考虑到在原承台下部开挖后，承台受河水冲刷影响或回填不完全密实紧同时，会对承台或承台顶升节点体系产

生不利影响。

5.4.5 当采用垫石修复时，应根据垫石病害程度选择修复方法，可采用补胶、补筑砂浆、补筑混凝土以及更换垫石等方法：

1 采用补胶、补筑砂浆、补筑混凝土等方式时，应将不合格混凝土全部凿除，并将原垫石表面凿毛且冲洗干净后方可补筑，对于损伤严重的垫石可直接更换；

2 当采用直接加高方式时，宜选用无收缩自流平混凝土或灌浆料方式，灌注前应将原垫石表面混凝土凿毛直至露出混凝土粗骨料，并吹（冲）洗干净。

5.4.6 梁体改造可分为端部切割、局部加厚两种情况，应符合下列规定：

- 1 梁体端部切割时，严禁破坏既有预应力筋锚固装置；
- 2 局部加厚时，宜在满足设计要求基础上减轻加厚部分的重量。

5.5 施工设备与操作

5.5.1 千斤顶的使用应符合下列规定：

- 1 轴线应竖直，其偏差应小于 5° ；
- 2 顶部与顶升构件接触部位宜采取防滑措施；
- 3 严禁超载和超行程使用；
- 4 平移施工时，应有抗侧翻措施，滑移面间应有摩擦副材料。

【条文说明】顶升油缸的规定是综合考虑施工的安全性和荷载分布特点制定的。由于桥梁顶升吨位较大，通常采用多台千斤顶同步顶升，千斤顶与受力点间很难保证完全重叠，为减少千斤顶间的受力不均匀性，要求有一定的球面转动。而针对承载油缸的安全系数，考虑到重心偏移等因素，通常顶升载荷重量不能大于顶升油缸承载能力的60%~70%。综合考虑垂直顶升和水平顶升的差异和安全等级，分别取不同的安全系数。为进一步提高安全性，顶升施工要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。

5.5.2 顶升液压系统中应安装专用阀件，顶升和顶降过程中运行措施应平稳，并应采取在停电、油管断裂等意外情况出现时的施工安全措施。

【条文说明】顶升液压系统的规定是基于顶升或下降过程中的平稳性考虑的，虽然有升降阀保证，但对于多点串联顶升时油管破裂出现的安全问题不容忽视，这在实施施工过程中时有发生。

5.5.3 控制系统应符合下列规定：

1 控制系统应能实现位移同步顶升控制功能，能精确控制顶升点同步升降并反映顶升力大小；同时应具有顶力显示、同步误差超限报警等提示功能；

2 控制系统应具有在顶升前消除千斤顶与梁体底部之间间隙的预

顶升功能；

- 3 控制系统的位移显示及控制精度不应大于 2mm。

5.5.4 施工设备操作应符合下列规定：

- 1 施工前应对所有施工设备的操作人员进行技术交底和安全教育培训；
- 2 设备的操作应依据操作流程进行，各关键设备的工程相关参数表应明示；
- 3 在桥梁完全顶升脱离支座之前，不得进行顶推或牵引等移位工作；
- 4 使用千斤顶时，严禁工作人员位于千斤顶安全阀的前面，安全阀有损坏者不得使用。

【条文说明】 本条条文说明如下：

(1)施工前需要对所有施工设备操作人员进行现场培训。根据施工方案配置油缸，连接油管及相关信号线、电缆线，测试油缸动作，信号接收是否正常。

(2)专项设备或专项工程，需要提前准备详细的操作流程，并对技术人员进行交底，尤其是对关键设备的技术参数要标注明显，并设置预警标识。顶升前在进行预顶升过程中，保证所有油缸柱塞伸出并与梁体底部紧密接触，对全套系统进行全面检索。

(3)因在桥梁顶升脱离之前，结构受力体系的转换没有完全到位，如果进行顶推或移位可能不仅仅是对结构有破坏，而且可能导

致全桥的稳定性受到影响。

(4) 从安全角度，为避免千斤顶出现不可预见的失效导致人员安全问题，需要在开始顶升前，在相关加载点周围布置防护网，避免工作人员靠近。

5.6 梁体落位

5.6.1 支座更换完成后，按照设计要求分次分级缓慢回落梁板至支座上。

5.6.2 应由同步顶升系统控制操控千斤顶缓慢下降，分级落梁。

5.6.3 千斤顶应按设计行程同步回落，各项升点的同步差应不大于 0.5mm。

5.6.4 应同时观测和控制梁体回落高度，各项升点的总回落量与设计顶升高度误差应符合设计要求。

5.6.5 实际桥梁高程与设计高程之差应符合设计及相关规范的要求。

5.6.6 梁体复位后应观察不少于 24 小时，确认支座压紧密贴、位置正确后，方可拆除顶升设备。

5.7 顶升设施拆除

5.7.1 抱柱梁结构拆除后，应根据设计要求进行磨平和补强处理。

5.7.2 施工时在原结构上开凿的孔洞，在顶升完成后应及时进行修复、加固和处理。

5.7.3 施工后应清除永久结构上的各种施工临时预埋件。

5.8 桥面系恢复

5.8.1 桥面系恢复包括桥面连续、防撞墙、栏杆扶手等附属设施恢复施工，在桥面系恢复前应检查每道梁端头缝是否满足规范和设计要求，不满足时应做相应处理。

5.8.2 桥面连续施工前，应清扫桥面、清理连续缝，连续缝应大于20mm，确保梁面和连续缝内干净、无杂质方可铺设钢筋，浇筑混凝土应与原桥面连续、等强。

5.8.3 护栏恢复施工应按原护栏钢筋尺寸钻孔、植筋、焊接、绑扎钢筋，立模浇筑和原防撞墙等强度的混凝土，并预留胀缝。

5.9 智能化与自动化施工

5.9.1 桥梁顶升施工现场，宜应用物联网、人工智能等技术建设工地

信息化应用，实现施工工地机具装备、材料、人员、环境的动态监测、预警分析与管控功能，建设智慧工地。

【条文说明】应积极利用物联网、人工智能、大数据等技术，实现施工现场数据自动采集、数据统计分析、档案资料、报表自动生成、人员管理、设备管理等功能；实现对施工区域的设备、人员安全监控功能，宜基于大数据、人工智能等基础支撑，建设评估和预警功能。

5.9.2 应建立起由硬件层、资源管理层、业务逻辑层和应用表现层组成的工地集成管理系统：

- 1 硬件层应由支持信息录入、存储和分析的智能终端设备组成；
- 2 资源管理层应包括各类数据信息，以及实现信息采集、存储、传输、存取和管理的各种资源管理系统；
- 3 业务逻辑层应由实现各种业务功能、流程、规则等应用业务的一组信息处理代码和中间件系统构成；
- 4 应用表现层应以多媒体或其他形式展现信息处理的结果。

5.9.3 工地集成管理系统宜包括人员管理、施工机械设备管理、物料管理、环境与能耗管理、视频监控管理、质量安全管理等子系统。且各子系统应具备远程数据库、API 接口，支持互联网接入，宜与其他管理系统自动同步数据，宜与 BIM、GIS 相关联。

5.9.4 人员管理子系统应具备实名制管理、考勤管理、培训教育管理功能，宜具备评价管理、人员定位管理等功能，对于施工管理人员和作业人员的以下信息进行采集和管理：

- 1 基础信息：包括姓名、证件类型、证件号码、所属单位名称、岗位或工种、特殊工种体检情况、紧急联系人及联系方式等；
- 2 考勤信息：进场时间、出场时间、数据来源等；
- 3 评价信息：不良行为信息、奖惩信息等；
- 4 人员定位信息：活动轨迹、实时位置。

5.9.5 人员管理子系统的数据采集设备应具备自动读取、识别、记录、连接远程数据库、实时上传数据等功能。

【条文说明】 可通过门禁类硬件设备（闸机、指纹人脸等生物识别闸机、视频监控设备、展示设备、身份证识别设备）和非门禁类硬件设备（智能安全帽、穿戴设备定位设备、展示设备、身份证识别设备）采集人员管理数据。

5.9.6 人员管理子系统应对下列情况进行自动甄别和提醒：

- 1 超龄及其它不允许进场的人员；
- 2 不良记录及黑名单。

【条文说明】 第1款：超龄是指工人超过法律规定的最高年龄上限；其它不允许进场的人员包括未成年人、身份证明失效、合同失效、资格证书到期、未接受安全教育、超过正常工作时长的人员

等。

第2款：不良记录是工人在在过往项目上被记录了违规情况；黑名单是工人被当地政府或行管部门记录在黑名单库中。

5.9.7 施工机械设备子系统应具备基本信息管理、运行监控管理、维修保养信息管理等功能；并应具备在移动端、PC 端中管理基本信息及运行监控、维修保养等信息的功能。

【条文说明】施工机械设备基础信息数据应包括数量、规格、型号、生产厂家、机械设备备案证明、进出场记录等。施工机械设备基本信息宜通过二维码、RFID 技术或访问其他管理系统采集。运行监控管理内容包括但不限于顶升千斤顶超过行程、超载、轴线偏移，被顶升结构姿态偏移、应力超限等情况。当监控到施工设备异常时子系统应报警。

5.9.8 物料管理子系统应具备出入库管理、使用管理、库存管理等功能，并应具备在移动端、PC 端中管理物料信息的功能。

5.9.9 物料管理子系统应具备自动读取、识别、记录、连接远程数据库、实时上传数据等功能，对于物料基础信息、入库信息、出库信息、跟踪信息、退场信息进行管理。

【条文说明】物料管理内容应包括钢筋、混凝土、施工工具等。物料基础信息应包括名称、规格型号、材质、数量、生产单位、供应

单位、进场日期、复试结果等。物料入库信息数据应包括入库时间、入库数量、库存总量、使用部位、收料人等。物料出库信息数据应包括出库时间、出库数量、库存余量、使用部位、发料人、领料单位、领料人等。跟踪信息应包括混凝土运输信息、构件和工具的运输存放信息等。物料退场信息数据应包括退场原因、供应单位、退场时间、退场数量、退料人等。

5.9.10 环境与能耗管理子系统应满足以下要求：

- 1 应根据需求合理选择环境和能耗监测设施的功能组成；
- 2 应具备在移动端、PC 端，对喷淋、监测等设备进行远程监控和操控的功能；
- 3 应具备对监测信息进行统计分析和超限报警的功能。

【条文说明】 环境管理信息数据应包括扬尘（PM2.5 浓度、PM10 浓度、TSP 浓度）、噪声值、气象（温度、湿度、风速、风向）等。一般桥梁宜设置风速风向检测器、雨量检测器等监测设施，跨江、河、海的桥梁宜增设风向、风速监测设施，实现对桥梁结构及附属设施周边气象与环境参数的实时采集。能耗管理应包括用水量和用电量信息，宜包括固体废弃物排放信息。

5.9.11 视频监控子系统应符合下列要求：

- 1 宜具备实时显示、视频控制、AI 视频分析、车辆号牌识别、录像回放、权限管理、联动报警等功能。

2 应具备在移动端、PC 端对摄像头进行远程控制的功能。

3 宜采用高清视频监控摄像机，重要工程可采用具有夜视功能的摄像机。

【条文说明】 AI 视频分析功能包括：人员识别、物体识别、行为识别。

5.9.12 视频监控区域应包括施工区、办公区、生活区等，视频监控管理应包括人员信息、物体信息、形象信息。

【条文说明】 人员信息包括人员外部特征、人员行为、人员位置变化等；物体信息包括材料位置变化、机械设备运行状态、车辆进出信息及位置变化等；形象信息包括施工进度、场容场貌等。

5.9.13 出现下列情况之一时，视频监控子系统应报警：

- 1 人员未穿戴安全帽、防护服、抽烟等违规行为；
- 2 人员进入危险区域；
- 3 现场有明火。

5.9.14 视频监控子系统应对下列信息数据进行统计分析：

- 1 人员行为信息；
- 2 车辆进出信息。

5.9.15 质量安全管理子系统应包括施工质量管理及施工安全管理。

【条文说明】质量管理应包括施工方案及技术交底信息、施工过程质量控制信息、质量验收信息，宜包括质量评价信息。安全管理应包括人员信息、专项方案及技术交底信息、安全巡检信息、视频监控信息、安全资料信息等。

5.9.16 集成管理平台应与各子系统建立统一的数据标准，并面向不同使用方的需求，划分权限和授权的功能，开放外部数据接口。

【条文说明】平台为建设方、施工方、监理方、设计方、行管部门及相关人员提供应用服务。随着信息化发展，各参建单位，有关监管部门的相关数据或者平台也会与集成管理平台进行对接，所以集成管理平台必须具备开放的外部数据接口。

5.9.17 平台与各子系统的数据接口应采用 HTTPS 协议，数据传输宜采用非对称加密算法加密。平台数据集成应采用增量模式。

【条文说明】为确保传输数据的安全性，同时要求适用于计算能力有限的设备，采用非对称加密算法加密更通用。

5.9.18 视频数据传输宜采用 RTSP/RTMP 协议，其他硬件采集的数据传输宜采用 MQTT 物联网通讯协议。

【条文说明】视频监控在局域网的传输，RTSP 是一个普遍的标准，与其它设备（如硬盘录像机）对接更兼容，RTMP 是一种设计用来进行实时数据通信的网络协议，适用于在流媒体/交互服务器之间进

行音视频和数据通信。*MQTT* 协议是为大量计算能力有限，且工作在低带宽、不可靠的网络的远程传感器和控制设备通讯而设计的协议。

5.9.19 平台宜采用云架构，非云架构系统宜向云架构升级过渡。

【条文说明】集成平台同时涉及多个不同用户类型、且存在大量的数据共享、沟通协作，云架构能够有效保障不同客户类型之间的沟通协作、数据共享。

6 施工监控

6.1 一般规定

6.1.1 顶升施工前应制定监测与控制方案，并实施顶升前、顶升过程中和顶升后成桥状态的全过程施工监控。

6.1.2 监测设施应包括视频图像、气象环境、基础设施等监测设施，宜包括工程过程质量、应急物资监测等设施。基础设施监测设施应符合下列要求：

1 监控的内容应包括上部结构的监控、下部结构的监控、施工临时结构及设备的监控，实现对荷载、沉降、变形、位移、主要结构受力状态的综合感知、分析及预警功能；

2 跨江、河桥梁应建设具有桥梁碰撞监测、预警功能的设施；

3 针对跨越重要水域的桥梁宜建设桥面径流监测及收集设施，实现对危化、有害液体泄漏的监测和收集处治；

4 监测设施的布设不应影响施工。

【条文说明】第2款：近年来，船撞桥梁事故时有发生，为监视、预警来往船只可能造成的对桥梁的撞击，可在通航桥梁的桥墩设防区域设置一定的监视区，一旦来往船只进入设防区域，预警报警系统能给出相应的处理，防止、避免发生船舶碰撞桥墩事故。

6.1.3 桥梁顶升施工监控应保证施工过程的安全性，确保顶升结束后

桥梁线型、内力与设计相符。

【条文说明】桥梁顶升施工监测要求保证桥梁结构的安全性，确保顶升结束后的桥梁线形和内力与设计相符。

6.1.4 对存在病害的桥梁，在顶升移位过程中应加强对既有病害的监控。

【条文说明】需要顶升移位的桥梁一般属在役桥梁，结构已存在的损伤可能导致受力状态发生变化。因此，需加强施工过程中控制截面及损伤严重截面的监测与控制，保证施工过程的安全性。

6.1.5 施工监控所用设备应经过检定合格或校准后确认其精度符合监控要求方可使用。应根据施工方案，对顶升过程中可能发生的状态变化确定必要的预警值和极限值。

【条文说明】计算临界值与控制指标方法：

- (1)保证截面最大拉应力小于混凝土的抗拉强度；
- (2)以混凝土允许应力为指标，确定相应的允许位移最小值，以此作为顶升过程中的顶升偏差的极限值；
- (3)注意不同构件或部位有不同的允许顶升偏差。

有关监测项目与预警值设置见表 1。

表 1 桥梁顶升过程中预警值和极限值

序号	监测项目	预警值（力或位移）	极限值
1			

2			
3			

6.1.6 顶升过程中每一行程完成后，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，方可实施下一个行程的施工。

【条文说明】 巡视检查要满足下列要求：

(1)桥梁顶升移位改造施工期间，需对桥梁主体结构及辅助设施进行巡视检查；检查频率：顶升平移施工期间每天不少于2次，其他时间每天1次；

(2)需根据被改造桥梁的结构特点及施工方法制定巡视检查程序；巡视检查以目测为主，并要配备如照相机、直尺、裂缝观测仪等必要的检测设备；

(3)巡视检查中如果发现桥梁结构及辅助设施位移异常、原有病害加剧、新的病害出现等情况，需及时通知相关单位，分析原因并采取相应的处理措施。

巡视检查主要包括如下内容：

(1)桥梁主体结构。

1)相邻梁段之间、梁段与桥台之间的水平和竖向错动及开合情况；

2)原有裂缝长度和宽度是否增大，新裂缝是否出现；

3)梁体结构与支撑构件等辅助设施接触的部位是否有混凝土开

裂、剥落等现象。

(2)辅助设施。

1)抱柱梁、圈梁等支撑结构是否有混凝土开裂、剥落等现象；

2)支撑立柱等结构是否倾斜、弯曲；

3)千斤顶、限位装置安装是否牢固；

4)千斤顶、油管是否漏油，油管敷设是否顺直，管材是否老化破损；

5)随动装置等安全设施是否运行正常。

每次巡视检查均需按规定的程序做好现场记录，检查结束后要及时向相关单位提交检查报告。

6.1.7 当监测结果出现结构应力和变形、顶升设备油压等异常时，应暂停施工，待查明原因并及时处理后，方可继续施工。

6.1.8 桥梁顶升移位改造施工期间，应建立对桥梁主体结构及辅助设施的巡视检查制度。

6.2 监控内容与方式

6.2.1 对桥梁顶升移位改造施工的全过程应进行结构状态的监测与控制，包括确定初始状态参数、施工过程监控等。施工过程应包括桥梁的位移和裂缝监测，宜监测结构应力或应变、结构和环境温度等。监测项目及频率可按表 6.2.1 的规定执行。

表 6.2.1 桥梁顶升监测项目及频率

序号	监测项目	监测频率
1	上部结构标高	不少于 3 次
2	水平位移和竖向位移	实时监测
3	控制点三维坐标测量	不少于 3 次
4	裂缝监测	实时监测
5	应变监测	实时监测
6	温度监测	实时监测

【条文说明】对桥梁顶升移位改造施工具体监测部分包括：桥面沉降、盖梁顶面沉降、盖梁水平位移、盖梁应变、支撑轴力、承台沉降，以及其他顶升改造部位的监测。

6.2.2 桥梁位移监测应符合下列规定：

- 1 位移监测的内容宜包括桥梁结构的位移、扭转、裂缝、伸缩缝错动及开合，支撑构件的应力、位移与沉降等；
- 2 位移监测应按测点精度要求确定监测网等级，并根据桥梁规模、结构特征和场地条件等因素，确定监测控制网和监测方案；
- 3 位移监测点宜分为基准点、工作基点和监测点；
- 4 位移监测的测点布置、仪器安装应在顶升位移改造施工前完成，并获取初始数据；
- 5 位移测点布置应符合下列规定：
 - 1) 位移监测断面宜与顶升或平移用液压千斤顶所在截面相一

致，宜设置于桥梁支座所在截面；根据不同跨径桥梁，可在支点、1/8 跨、1/4 跨、3/8 跨、跨中、5/8 跨、3/4 跨、7/8 跨增设监测断面；

- 2) 顶升施工过程中，主梁水平位移和竖向位移测点宜设置在桥面，沿桥面横向布置不应少于两条测线；主梁实时竖向位移监测传感器可布置于梁底顶升千斤顶附近；
- 3) 顶升支撑构件的倾斜测点位置可根据构件的长度确定，可将测点布置在构件顶部，也可在构件四分点和中点增设测点；临时支撑结构测点布置应满足能够判断结构安全的要求；
- 4) 顶升施工过程中，应对墩台的沉降和墩顶的绝对空间位置进行监测，测点布置不宜小于四个。

【条文说明】第 1 款～第 4 款，阶段位移监测为根据桥梁顶升平移规模，将施工过程分成若干阶段，每一施工阶段完成时实施的累计位移监测；实时位移监测为在顶升平移施工过程中对桥梁结构位移实施的全过程跟踪监测。测点的布设位置与结构体系有密切关系。对于简支梁，应变测点要布设在跨中截面上下缘，以反映施工过程中跨中截面拉、压应力的变化；挠度测点也布设在跨中截面。对于连续梁、连续刚构桥，应变测点需布设在边跨 $0.4L$ 截面上下缘、支点截面上下缘、中跨跨中截面上下缘，以反映超静定结构在施工过程中的应力变化；挠度测点则布设在各跨跨中及边跨 $0.4L$ 截面位置即可。施工过程中需对各测点加强监测，发现异常立即停工，查找原因，及时处理，解决后方可继续施工。

桥梁的纵、横坡在顶升移位过程中会产生一定的横向、纵向惯性下滑力，导致结构发生一定的变位。施工中要及时进行观测，掌握结构空间变位状况，并选取调整措施，保证结构定位的准确性。桥梁的三维坐标测点一般均布置在桥面，施工过程中采用全站仪进行观测，监测结果需及时反馈到控制指挥中心，以便下一工况调整千斤顶工作状态，保证桥梁设计平、纵线形定位的准确性。

第 5 款：

(1)水平位移监测方法需作下列选择：

1)采用顶升法改造的桥梁，主体结构水平位移需采用前方交会法、极坐标法、测小角法等方法监测；支撑结构倾斜需采用极坐标法、倾角传感器监测；

2)采用平移法改造的桥梁，主体结构的实时水平位移需采用具有连续监测功能的位移传感器监测；主体结构的阶段水平位移，需采用前方交会法、极坐标法、测小角法等方法监测；

3)水平位移测点需设在支点及桥面中线上。

(2)竖向位移监测方法需作下列选择：

1)竖向位移监测分桥面及桥下竖向位移监测；

2)采用顶升法改造的桥梁，主体结构的实时竖向位移需采用能连续实时采集、显示和存储数据的位移监测系统；主体结构的阶段竖向位移，需采用精密水准法、精密三角高程法、静力水准法监测；

3)采用平移法改造的桥梁，竖向位移需采用精密水准法、精密

三角高程法、静力水准法监测；

4)桥下位移监测控制断面需设在墩（柱）或盖梁附近，边支点设1个断面，中支点设2个断面，每个断面测点不能少于2个。

6.2.3 裂缝监测内容宜包括裂缝位置、长度和宽度变化，宜采用具有实时监测功能的裂缝监测仪、裂缝测宽仪测量。

【条文说明】在顶升前，需进行病害调查，在顶升过程中需对已有裂缝进行观测，并观测有无新裂缝产生。重点监察部位包括：支撑点、板梁铰缝、连续梁受拉区。

裂缝监测要根据结构类型选择代表性裂缝进行监测；监测仪器跨缝布置，且主轴需与裂缝垂直。

6.2.4 应力或应变监测应符合下列规定：

1 应力或应变监测应与变形监测相结合，不同监测项目间数据应能相互验证；

2 应力或应变测点布置应根据结构在施工全过程中的受力特点选择关键或敏感部位设置，具体位置可通过建立桥梁结构模型对施工过程进行模拟分析确定。

【条文说明】桥梁主体结构应力、应变测点需布置在结构内力对位移反应敏感的部位，具体位置可通过建立桥梁结构模型对施工过程进行模拟分析确定；通常主梁应力控制断面设在支点、1/4跨、跨中、3/4跨，每个断面测点根据顶升方式可设置不同点。对断柱式

顶升，不要少于3个；对梁体直接顶升则对每片梁均要监测。

监测数据要能反映结构由于施工导致的附加应力的分布、大小和方向。

对于施工在桥梁结构内产生的附加弯矩，测点要布置在弯曲应力最大的构件上、顶升改造时的结构下缘或平移改造时的结构两侧；对于附加剪力，测点需布置在构件的中性轴上；应变传感器的轴向需与结构附加应力的方向一致。

对于支撑构件，需在每个监测截面的周边布置不少于2个测点，应变传感器的轴向要与构件轴线平行。

6.2.5 当支撑体系作用于桥梁下部结构时，应根据分析结果确定下部结构监测内容和位置。

6.2.6 施工监测应符合下列规定：

- 1 设备监测内容宜包括液压系统压力与千斤顶行程；
- 2 施工方设备运行数据应与监测结果进行校核；若出现异常情况，应暂停施工并及时处理；
- 3 控制系统应能实现全自动同步位移，设备监测应具有故障报警功能；
- 4 应加强施工数据向管理、养护、运营阶段的共享传递，采用大数据、人工智能、云技术等技术，开展设计、建设和运行维护；
- 5 宜合理配置桥梁检测车、无人机、专用智能终端等移动装备，

宜与沿线信息基础设施协同配置与应用；

6 信息化应用宜支持移动终端，具备统一登录与用户管理功能。

【条文说明】第2款：桥梁顶升控制系统是施工的中枢环节，控制系统给各动力装置发出指令，调整各动力装置的工作状态，要保证全自动同步位移，并具有故障报警功能。系统采集千斤顶顶升力需与压力表读数相互校核，并与设计值作对比，控制顶升力。

第4款：《数字交通发展规划纲要》提出推动交通基础设施规划、设计、建造、养护、运行管理等全要素、全周期数字化。建设覆盖建设、管理、养护、运营各阶段的交通设施全要素、全生命周期管理的业务应用势在必行。信息模型将贯穿桥梁建设、养护、运营各阶段，应使用符合各业务精度要求的信息模型，应整合GIS，并建议与可量测实景技术结合，实现针对关键构造物、周边环境的综合建模。

第5款：我国制定的《新一代人工智能发展规划》提出推动人工智能与各行业融合创新，推动人工智能规模化应用，全面提升产业发展智能化水平。基于此，本规程规定要在公路行业合理应用智能化装备与终端，从而促进建、管、养、运智能化水平的提升。

第6款：移动互联网和智能手机等移动智能设备快速发展，基于通用移动智能终端开展各项业务，提高管理效率，已经成为业务系统建设的重要组成部分。鉴于当前移动终端应用软件应用多、用户及其权限管理复杂，从部级系统开始已经建设统一身份认证与访问登陆平台。

6.3 监控成果

6.3.1 应依据工程施工进度，及时对监测数据进行整理，对桥梁结构的状态做出评定，并提交施工阶段监控报告。施工监控的技术资料应作为桥梁交竣工资料，并作为桥梁养护的技术文件。

6.3.2 监测数据整理应项目齐全，数据可靠，规格统一，说明、图表完整。

6.3.3 位移和裂缝监测结果应包括下列内容：

- 1 各施工阶段各测点实时位移、裂缝宽度与时间关系图；
- 2 各测点阶段位移累计值与设计限值的比较；
- 3 实测裂缝宽度与监控限值的比较。

6.3.4 应力、应变监测结果应包括下列内容：

- 1 各施工阶段各测点实时应力与时间关系图；
- 2 各测点阶段应力累计值与设计限值的比较。

6.3.5 温度监测结果应包括下列内容：

- 1 环境温度实测值与时间关系；
- 2 桥梁主体结构的日照温差梯度；
- 3 宜包括温度变化对桥梁结构实测位移、应力的影响。

【条文说明】 实测数据的处理与预报，需根据桥梁顶升移位改造仿

真分析结果对实际采集的数据进行统计和误差分析，通过实测的回归分析数据对结构计算参数进行识别和修正，并预报下一阶段工作状态，以便及时进行调整，使桥梁顶升移位改造始终处于安全控制之中。

监控结果报告作为桥梁改造施工质量及验收提供依据，需要由监控人员签名并由监控单位盖章存档。根据提交的监控报告，设计单位需根据原设计结构和分析结构与监控报告作出分析，并提交相应的差异性分析报告。差异性分析需要与不均匀位移有限元计算结果的控制条件相对比。

7 质量检验

7.0.1 桥梁顶升移位改造工程的检验应符合本规范的要求，同时应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204)、《建筑工程施工质量验收统一标准》(GB 50300)和《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1)、《公路桥梁加固施工技术规范》(CJJ 2)中的相关规定。

7.0.2 顶升工程的分项、分部、单位工程的划分应符合下列原则：

1 桥梁顶升过程质量验收的划分、组合和程序应执行《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1 及其它现行的相关工程质量检验评定标准；

2 按顶升施工的主要工序(工种)划分分项工程；

3 按顶升的主要部位或施工特点划分分部工程；

4 按工程的结构形式、使用功能、施工和交(竣)工验收的独立性划分单位工程；

5 顶升工程的分项、分部、单位工程的划分宜符合表 7.0.2 的规定。

表 7.0.2 顶升工程的分项、分部、单位工程的划分

单位工程	分部工程	分项工程
	顶升工程 (每联为一单元)	基坑开挖，钢筋加工及安装，钢筋的机械连接，混凝土构件、液压整体同步顶升控制

程	混凝土接墩（柱）	墩柱断开与连接，钢筋挤压套筒机械连接，模板，连接墩（柱）混凝土浇筑（按每墩台）
	桥面和附属工程	桥面铺装，栏杆、灯柱、人行道板、支座和伸缩缝
	桥梁接长	按照现行的相关工程质量评定标准的单元划分

【条文说明】针对顶升移位改造的技术特点，顶升工程完成后分部、分项的质量检测及验收，主要针对墩台、盖梁、支座、伸缩缝以及主梁等结构进行质量检测和验收工作。

桥梁顶升施工主要有直接顶升法和断柱顶升法。两种方法质量检测与验收的侧重点不一样。伴随桥梁顶升移位改造工程，经常会与桥梁支座和伸缩装置的更换相结合。

根据建设任务、施工管理和质量检验评定的需要，需按本规范将建设项目划分为单位工程、分部工程和分项工程。施工单位、工程监理单位和建设单位需按相同的工程项目划分进行工程质量的监控和管理。分部、分项和单位工程划分原则为：

(1)单位工程：在建设项目中根据签订的合同，具有独立施工条件的工程；

(2)分部工程：在单位工程中，需按结构部位、路段长度及施工特点或施工任务划分为若干个分部工程；

(3)分项工程：在分部工程中，需按不同的施工方法、材料、工序及路段长度等划分为若干个分项工程。

7.0.3 顶升工程验收应按分项、分部验收及竣工验收两个阶段进行。其中分项、分部验收应按国家现行相关标准提交相关资料；竣工验收除应提交分项、分部验收的文件外，尚应提交下列文件：

- 1 工程竣工图纸、会审记录和设计变更文件；
- 2 工程施工组织设计或专项施工方案；
- 3 竣工验收报告；
- 4 工程监测报告；
- 5 工程实施过程中执行国家现行有关标准的情况报告。

7.0.4 桥梁各检验批、分项和分部检测的主控项目的质量检测基本要求应包括：

- 1 对于实施顶升移位改造的主梁、墩柱及盖梁等混凝土结构，应检测其裂缝宽度是否超过设计允许值；
- 2 在顶升移位改造过程中，变形及应力监控结果应满足设计要求；
- 3 除顶升更换支座工程外，宜开展相应的荷载试验。试验孔跨的选取应符合相关规定外，还应选择可能在顶升移位过程中造成意外损伤的孔跨及断面。

【条文说明】桥梁顶升移位改造工程的主控项目是指“桥梁主体”，即不是“附属工程”所对应的检测项目。

7.0.5 桥梁各检验批、分项和分部检测的主控项目的质量检测项目与新设计值偏差应符合表 7.0.5-1 的规定，断柱后浇段检测项目与新设计值偏差应符合表 7.0.5-2 的规定。

表 7.0.5-1 桥梁总体检测项目

项次	检测项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桥面中心偏位(mm)	± 20	全站仪或经纬仪：每 10m 检查一处
2	桥面横坡(%)	± 0.15	水准仪：每跨检查 5 处~7 处
3	桥头高程衔接(mm)	± 5	水准仪：在桥头搭板范围内顺延桥面纵坡，每米一点测量标高
4	墩柱垂直度或斜度(mm)	0.3%H，且不大于 20	吊锤线或经纬仪；测量 2 点
5	墩柱或盖梁顶面高程(mm)	± 10	水准仪；测量 3 处

表 7.0.5-2 墩柱检测项目

项次	检测项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	断面尺寸(mm)	± 20	尺量：检查 3 个断面
2	节段间错台(mm)	± 0.15	尺量：每节检查 4 处
3	大面积平整度(mm)	± 5	2m 直尺：检查竖直、水平两个方向，每 20m ² 测一处
4	混凝土强度(MPa)	满足设计要求	按回弹法检查
5	混凝土保护层和钢筋间	满足设计要求	

	距(mm)		
--	-------	--	--

【条文说明】墩柱的实测项目主要是针对原桥断柱顶升的情况，为减少对结构构件的损坏，尽采用无损检测的方法测试材料强度。

7.0.6 桥梁顶升验收宜配置移动终端、无损检测、智能化快速巡检等智能化装备进行试验检测数据采集，实现数据的实时传输及在线分析。

用词说明

为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1. 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2. 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4. 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300

《混凝土结构加固设计规范》GB 50367

《公路工程质量检验评定标准》JTG F80/1

《桥梁顶升移位改造技术规范》GB T 51256

《智能建筑工程质量验收规范》GB 50339

《智能建筑工程施工规范》GB 50606

《连续桥梁整体同步顶升技术规程》DB 34/T 3465

《公路桥梁加固施工技术规范》JTG/T

《智慧工地技术规程》DB 11/T 1710

《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50

《钢筋机械连接通用技术规程》JGJ 107