



T/CECS G XXXX: 2025

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路独柱墩梁式桥抗倾覆加固
设计指南

Design Guide for Anti-Overturning Strengthening of Highway
Single-Pier Beam Bridges

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

(空白)

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

公路独柱墩梁式桥抗倾覆加固设计指南

Design Guide for Anti-Overturning Strengthening of Highway
Single-Pier Beam Bridges
(征求意见稿)

T/CECS G XXXX: 2025

主编单位: 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

发布机构: 中国工程建设标准化协会

实施日期: 2025年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2021 年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2021]**号）的要求，由广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司承担《公路独柱墩梁式桥抗倾覆加固设计指南》（以下简称“本指南”）的制订工作。

编写组经过深入调查，结合工程实践和专项研究，认真总结经验，参考国内相关标准，并在广泛征求意见的基础上，完成了本指南的编写工作。

本指南共分为 9 章，主要内容包括：1 总则、2 术语与符号、3 材料、4 抗倾覆加固验算与设计、5 抗拔约束装置加固法、6 增设盖梁加固法、7 增设墩柱加固法、8 增大支座间距加固法、9 墩梁固结加固法等。

请注意本指南的某些内容可能直接或间接涉及专利，本指南的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本指南基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本指南提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本指南相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本指南由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司负责具体技术内容的解释。本指南在执行过程中，如有意见或建议请函告本指南日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或徐德志（地址：广州市白云区鹤龙街道鹤瑞路 8 号；邮编：510080；传真：020-***；电子邮箱：xudezhi@ghdi.cn），以便修订时研用。

主 编 单 位：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

参 编 单 位：同济大学

中交公路长大桥建设国家工程研究中心有限公司

湖南大学

广东省九域工程技术咨询有限公司

广州市市政工程设计研究总院有限公司

主 编：

主要参编人员：

主 审:

参与审查人员:

参加人员:

征求意见稿

目 次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	2
3 材料.....	4
4 抗倾覆加固验算与设计	6
4.1 一般规定.....	6
4.2 资料收集.....	11
4.3 横向抗倾覆验算.....	11
4.4 横向抗倾覆加固设计.....	14
5 抗拔约束装置加固法	18
5.1 一般规定.....	18
5.2 构造要求.....	18
6 增设盖梁加固法	21
6.1 一般规定.....	21
6.2 构造要求.....	24
7 增设墩柱加固法	26
7.1 一般规定.....	26
7.2 构造要求.....	30
8 增大支座间距加固法	31
8.1 一般规定.....	31
8.2 构造要求.....	32
9 墩梁固结加固法	33
9.1 一般规定.....	33
9.2 构造要求.....	34

1 总则

1.0.1 为提升既有独柱墩梁式桥的横向抗倾覆稳定性，指导既有独柱墩梁式桥横向抗倾覆加固设计，制定本指南。

条文说明：独柱墩梁式桥以其对公路桥梁、城市桥梁等良好的适应能力，在公路跨线桥、立交和城市道路中得到广泛应用。由于独柱墩在横桥向采用单支点支撑或间距较小的双支撑，在汽车偏载作用或在上部结构非对称施工等不利工况下、对结构的横向抗倾覆稳定非常不利。桥梁倾覆类似于结构的“脆性”破坏，防范困难，一旦发生将造成巨大的经济损失和恶劣的社会影响，因此独柱墩梁式桥应按要求进行抗倾覆验算，并设置必要的抗倾覆改造措施，防止倾覆破坏的发生。

1.0.2 本指南适用于公路独柱墩梁式桥的横向抗倾覆性能评估与加固设计。

条文说明：独柱墩梁式桥是指上部结构为梁式桥，结构为简支、连续或连续刚构与连续梁组合体系，下部结构除边墩外的部分或全部桥墩为独柱支承的桥梁，其主梁可为钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢结构或钢混组合结构。除独柱支承梁式桥外，对下部结构采用双支座但支座间距较小的梁式桥，也需要根据实际情况进行横向抗倾覆性能评估及加固。

1.0.3 独柱墩梁式桥横向抗倾覆性能评估与加固设计，除应符合本指南的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 独柱墩梁式桥

上部结构为梁式桥，结构为简支、连续或连续刚构与连续梁组合体系，下部结构除边墩外的部分或全部桥墩为独柱支承的桥梁。

2.1.2 横向倾覆

在汽车荷载横向偏载作用下，上部结构横向失去整体稳定而发生倒塌的结构破坏形式。

2.1.3 抗拔约束装置加固法

通过在下部结构与上部结构之间增设抗拔约束装置，以避免支座脱空引起上部结构横向倾覆的加固方法。

2.1.4 增设盖梁加固法

通过在既有独柱墩顶部增设盖梁，并在盖梁与上部结构之间增设支座，以避免上部结构横向倾覆的加固方法。

2.1.5 增设墩柱加固法

通过在既有独柱墩横桥向两侧或单侧增设墩柱或加大墩柱截面，并在新增墩柱顶面与上部结构之间增设支座，以避免上部结构横向倾覆的加固方法。

2.1.6 增大支座间距加固法

通过在既有双支座的两侧或单侧增设支座，以避免上部结构横向倾覆的加固方法。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应有关的符号

F_{di} ——第 i 个单向受压支座的支反力；

G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值；

Q_{ik} ——第 i 个可变作用的标准值；

$\sum S_{bk,i}$ ——使上部结构稳定的效应标准值组合值；

$\sum S_{sk,i}$ ——使上部结构失稳的效应标准值组合值；

2.2.2 几何参数有关符号

d ——钢筋直径；

d_0 ——锚栓公称直径。

l_{min} ——植筋的最小锚固长度；

l_s ——植筋的基本锚固长度；

2.2.3 计算系数及其他有关符号

θ_i ——第 i 个未脱空支座的转角；

$\theta_{i,max}$ ——独柱墩支座转角设计值（rad）。

k_{qf} ——独柱墩梁式桥，横桥向抗倾覆稳定性系数；

K_{θ_i} ——第 i 个支座转角值的安全系数；

K ——结构刚度矩阵；

Δ ——结构边界约束条件。

3 材料

3.0.1 加固用材料的品种、规格及使用性能，应符合国家、行业有关标准的规定，并应满足设计要求。

3.0.2 加固用新材料，应通过相关管理部门组织的技术鉴定。

3.0.3 加固用混凝土的强度等级不应低于原结构构件设计强度等级，且不得低于 C30。

3.0.4 混凝土的基本性能指标应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）的有关规定。

3.0.5 普通钢筋及预应力钢材的基本性能指标应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）的有关规定。

3.0.6 钢材、焊材、剪力键的基本性能指标应符合现行《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）、《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》（JTG/T D64-01）的有关规定。

3.0.7 混凝土加固用锚固件、胶黏剂的性能指标应符合现行《公路桥梁加固设计规范》（JTG/T J22）的有关规定。

3.0.8 混凝土材料耐久性应符合现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》（JTG/T 3310）的有关规定。

3.0.9 钢材涂装材料应符合现行《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T 722）的有关规定。

3.0.10 补偿收缩纤维混凝土的基本性能应符合现行《补偿收缩混凝土应用技

术规程》（JGJ/T 178）、《纤维混凝土结构技术规程》（CECS 38）的有关规定。

3.0.11 耐候钢的基本性能应符合现行《耐候结构钢》（GB/T 4171）、《桥梁用结构钢》（GB/T 714）的有关规定。

征求意见稿

4 抗倾覆加固验算与设计

4.1 一般规定

4.1.1 独柱墩梁式桥，应进行横桥向抗倾覆性能验算，验算要求按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）的有关规定执行。

条文说明：独柱墩梁式桥以其对公路桥梁、城市桥梁等良好的适应能力，在公路跨线桥、立交和城市道路中得到广泛应用。由于独柱墩在横桥向采用单支点支撑或间距较小的双支撑，在汽车等偏载作用下，对结构的横向抗倾覆稳定非常不利。桥梁倾覆类似于结构的“脆性”破坏，防范困难，一旦发生将造成巨大的经济损失和恶劣的社会影响，因此独柱墩梁式桥需要按要求进行抗倾覆验算，并设置必要的抗倾覆改造措施，防止倾覆破坏的发生。

4.1.2 独柱墩梁式桥，横桥向抗倾覆性能验算除应满足 4.1.1 外，宜符合下列要求：

$$\sum S_{bk,i} - k_{qf} \sum S_{sk,i} = 0 \quad (4.1.2-1)$$

$$\sum S_{bk,i} = \sum S(G_{ik}, Q_{ik}, K, \Delta) \quad (4.1.2-2)$$

$$\sum S_{sk,i} = \sum S(G_{ik}, Q_{ik}, K, \Delta) \quad (4.1.2-3)$$

$$F_{di} > 0 \quad (4.1.2-4)$$

$$\theta_i \leq \frac{\theta_{i,max}}{K_{\theta i}} \quad (4.1.2-5)$$

$$k_{qf} \geq 2.5 \quad (4.1.2-6)$$

k_{qf} ——横桥向抗倾覆稳定性系数，为 k_{qf} 与支座转角 θ_i 关系曲线中曲率突变，转角 θ_i 急速增大而对应的 k_{qf} 值，其值不应小于 2.5；

$\sum S_{bk,i}$ ——在满足（4.1.2-4）、（4.1.2-5）前提下，使上部结构稳定的效应标准值组合值；

$\sum S_{sk,i}$ ——在满足（4.1.2-4）、（4.1.2-5）前提下，使上部结构失稳的效应标准值组合值；

$S(\)$ ——作用标准值的效应函数；

G_{ik} ——第 i 个永久作用的标准值；

Q_{ik} ——第 i 个可变作用的标准值；

K ——结构刚度矩阵；

Δ ——结构边界约束条件；

F_{di} ——独柱墩抗倾覆计算过程中计入 $\sum S_{sk,i}$ 增大 k_{qf} 倍时的单向受压支座反力，当单向受压支座出现负反力时应退出结构约束，修改模型重新计算，直至所有未退出的单向受压支座均满足（4.1.3-4）；

θ_i ——独柱墩抗倾覆计算过程中计入 $\sum S_{sk,i}$ 增大 k_{qf} 倍时的未脱空支座的转角，当 $k_{qf} = 2.5$ 倍时，应满足 $\theta_i \leq \frac{\theta_{i,max}}{K_{\theta i}}$ ；

$\theta_{i,max}$ ——独柱墩支座转角设计值（rad），当 $\theta_{i,max} \geq 0.02$ 时，取 0.02；

$K_{\theta i}$ ——支座转角值的安全系数，取 1.3。

条文说明：本条是对执行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）的具体应用说明。

独柱墩梁式桥，在横向偏心荷载逐步增加作用下，对于墩梁固结的独柱墩，随着主梁扭转效应的增加，固结墩所受横向弯矩及水平剪力逐渐增大，当其内力超出其承载力时，墩柱或基础发生破坏，以强度破坏为主要特征。对于设置支座的独柱墩，在偏心荷载逐步增加作用下，随着主梁扭转效应的逐步增加，某些支座相继出现脱空而失效，导致主梁支承体系不断发生变化；随着荷载的进一步增加，某些独柱墩支座达到极限转角，并出现支座正常转动性能失效而使主梁增生对独柱墩的横向推力；当倾覆效应值大于稳定效应值时，结构转化为机构，或因支座达到极限转角导致主梁增生对独柱墩的横向推力而出现桥墩强度破坏时，而使上部结构发生整体倾覆破坏。在倾覆过程的内外力平衡关系中，结构支承反力按包括弯扭刚度在内的结构总体刚度进行荷载或作用的分配，小半径的曲线独柱

墩梁式桥的弯扭联合效应对主梁的倾覆影响尤为显著。当荷载逐步增大到支座转角增加到 $\frac{\theta_{i,max}}{K_{\theta i}}$ 时，或固结墩所受横向弯矩、剪力增大到其极限承载力时，则表明桥梁达到了设计倾覆失稳状态。

独柱墩桥梁抗倾覆稳定安全系数计算值，还应受到支座转角极限值的限制。每种支座产品都有极限转角限值指标，根据实桥倾覆案例及倾覆全过程仿真分析表明，当桥梁倾覆时超过极限转角，支座转动功能失效，桥梁将绕支座外某一旋转轴转动，并对桥墩产生横桥向水平推力，可能使桥墩产生横桥向强度破坏，从而加速主梁倾覆进程。板式橡胶支座转角设计值与其形状、尺寸等相关，一般为0.003~0.014rad，盆式橡胶支座转角设计值一般为0.02rad，球形支座转角设计值一般为0.02~0.06rad。当支座转角达到设计值时，虽然结构可能未发生整体倾覆，但梁体横截面已发生较大横向转角、水平位移及竖向位移，部分支座已经脱空，梁端伸缩缝、护栏等设施已被破坏。为避免上述情况的发生，同时考虑到桥梁上部结构在预应力空间平面外效应、混凝土收缩、徐变、温度作用、离心力、制动力等空间力系作用下均有可能导致支座朝倾覆方向转动，而且支座安装时都会有初始误差，因此，需要限制支座转角值不大于0.02，参考《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363-2019）表5.4.3，在作用标准值组合下墩台抗倾覆稳定安全系数，取支座转角值的安全系数为1.3。在采用有限元分析计算 θ_i 过程中，当单向受压支座出现负反力时则应退出该支座对结构的约束，采用单向受压支承单元或修改模型边界条件重新计算。

4.1.3 既有墩梁固结和新增墩梁固结的独柱墩梁式桥，应按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）和《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363）的有关规定及4.3.1的有关要求，对固结墩的墩顶、墩底、

墩身截面尺寸与配筋变化处等控制截面的承载能力极限状态进行验算，对地基与基础进行验算。

条文说明：本条规定参照了交通运输部办公厅发布的《公路危旧桥梁排查和改造技术要求》（交办公路函[2021]321号）的要求，对墩梁固结的独柱墩梁式桥进行验算。

4.1.4 独柱墩梁式桥应验算其在使用阶段及施工阶段、养护阶段的倾覆稳定性。

条文说明：独柱墩梁式桥须对使用阶段及施工阶段、养护阶段典型偏心荷载工况进行结构倾覆稳定性验算，如单侧防撞护栏施工、桥面沥青混凝土摊铺时大量运输车辆可能置于桥梁一侧边缘等工况。

4.1.5 有特殊使用要求的桥梁，应采用设计规定的特殊荷载标准。

条文说明：规范规定的各公路等级车道荷载或车辆荷载均为虚拟荷载，它的具体数值是由对汽车车队的测定和效应计算经统计分析得到的，不一定满足如码头、矿山等某些特殊荷载的交通。对于特殊荷载路段，需要采用设计规定的特殊荷载标准，作为独柱墩倾覆验算的荷载标准。

4.1.6 独柱墩梁式桥应根据倾覆稳定性要求验算支座的变形性能及受力性能。

条文说明：支座支承的桥梁，支座正常工作是结构符合计算模式的前提，因此，应验算支座的工作性能，确保其正常工作。

4.1.7 独柱墩梁式桥的横向抗倾覆加固设计，应做多方案的技术、经济比选。

条文说明：独柱墩梁式桥的横向抗倾覆加固，技术复杂，可选方案较多，但受制约因素也多，需要做多方案比选，择优选用一种或多种方案组合的加固方式。

4.1.8 独柱墩梁式桥横向抗倾覆加固设计宜按下述流程进行。

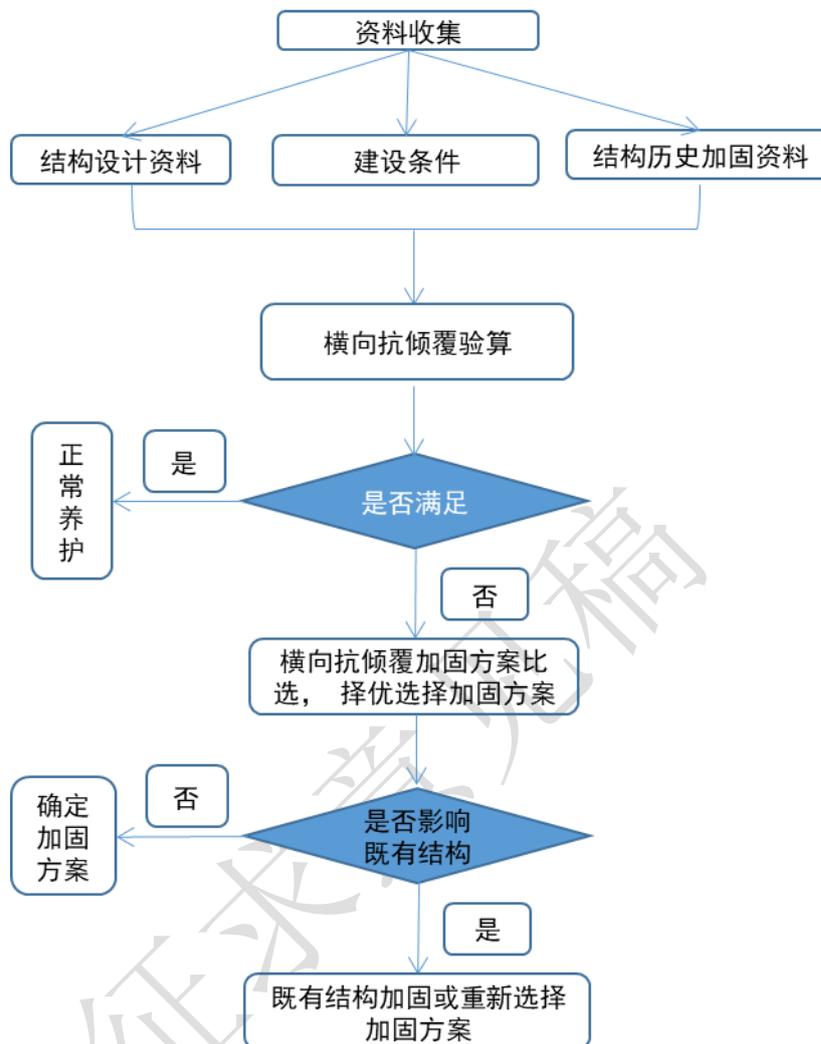


图 4-1 独柱墩梁式桥横向抗倾覆加固设计流程

4.1.9 新增支座的支座型号，应根据受力计算确定，非必要时不宜采用抗拔支座。

条文说明：新增支座后反力发生了重分布，需结合计算确定支座型号。抗拔支座虽然可以在活载工况下提供抗拔力，但是构造复杂，一般情况下不采用。

4.1.10 加固后结构应按《公路桥梁抗震性能评价细则》（JTG /T 2231-02）进行评价，不应降低原设计抗震性能目标。

4.1.11 独柱墩梁式桥应加强定期检测，重点检查既有支座和为抗倾覆加固增加支座的脱空及位移情况。

条文说明：新增支座一般不承受恒载压力，容易因车桥震动而产生脱空或位移，影响抗倾覆加固效果，因此日常巡检中应重点关注。

4.1.12 抗倾覆加固后的独柱墩梁式桥，在运营过程中需要更换支座时，应合理选择更换工序，确保各支座仍为抗倾覆加固设计阶段要求的受力状态。

4.2 资料收集

4.2.1 根据独柱墩梁式桥结构验算、加固设计与施工需要，全面收集相关资料，应包括桥梁勘察设计文件、竣工文件、检测资料、养护资料、交通状况、施工环境等方面资料。

4.2.2 结合资料收集开展现场复核与调查，应包括下列内容：

1 与独柱墩梁式桥结构验算相关的信息。包括桥梁分联、跨径布置，上下部结构形式、材料类型、支座规格与型号、中心间距、预偏心距等。支座设置个数、墩柱个数、以往加固处理以及既有支座是否脱空等情况。

2 与施工条件相关的环境信息。包括桥梁跨越道路、铁路、池塘、河流情况，桥下净高、净宽、施工作业空间、运输条件等。

4.3 横向抗倾覆验算

4.3.1 抗倾覆验算时，汽车荷载应按照表 4-1 取值。其他可变作用和永久作用及荷载组合按汽车荷载取用等级对应的规范选用。

表 4-1 抗倾覆验算的汽车荷载取用标准

公路类别	原设计汽车荷载等级	汽车荷载取用等级
高速公路、普通国省道	公路-I级	JTG D60 公路-I级
	汽车-超 20 级	
	公路-II级	JTG D60 公路-II级
	汽车-20 级及以下	
	公路-I级	JTG D60 公路-I级

县道、乡道、村道	二级及以上等级公路，交通量大，重载车辆多的三级、四级公路	汽车-超 20 级	JTG D60 公路-II级
		公路-II级	
	汽车-20 级及以下		
	交通量小，重载车辆少的三级、四级公路	/	原设计汽车荷载标准

条文说明：交通运输部办公厅发布的《公路危旧桥梁排查和改造技术要求》（交办公路函[2021]321 号）规定了桥梁抗倾覆验算汽车荷载取用标准，本指南遵照取用。

4.3.2 汽车荷载作用应按规范最不利横向布载进行计算。并根据实际情况考虑非线性的影响。

条文说明：对于曲线梁桥，汽车荷载布置在曲线外侧或内侧均可能产生对倾覆的不利影响，因此需要对横向不同的布载方案进行验算，以确定最不利布载形式。

4.3.3 抗拔约束装置设计荷载应按抗倾覆最不利工况组合进行分析，并根据实际情况考虑非线性的影响。

4.3.4 独柱墩梁式桥倾覆稳定分析中，应充分考虑各类荷载对结构倾覆稳定的影响。

条文说明：独柱墩梁式桥倾覆稳定为空间受力行为，结构重力、二期恒载、基础变位作用、预加力、混凝土收缩、徐变及温度作用、汽车离心力等作用将可能产生较大的扭矩，对结构倾覆稳定性影响较大，因此，各类作用均需要在验算模型中予以充分考虑。实际桥梁运营多年，可能增设了桥面加铺、过桥线缆、护栏改造等，引起结构二期恒载的变化，需充分考虑。曲线独柱墩梁式桥，内外侧腹板长度、护栏长度、钢束长度等均存在差异，模型中需充分考虑。

4.3.5 独柱墩桥梁构件作用效应和倾覆效应应按最不利工况进行组合，并根据实际情况考虑非线性的影响。

4.3.6 公路通行大件运输车辆时，应对独柱墩梁式桥抗倾覆性能进行专项验算。

条文说明：公路通行大件运输车辆时，独柱墩抗倾覆验算布载方式须参照现行《公路大件运输安全通行评价技术规范》（JTG/T 2213）的有关规定。

4.3.7 抗倾覆验算有限元分析时，桥梁跨宽比不小于 2.0 的宜采用空间单梁模型，桥梁跨宽比小于 2.0 的宜采用空间梁格模型，截面抗弯、抗扭刚度、基础边界条件应按实际情况模拟；也可采用满足规范要求的实用精细化分析模型，其纵横向抗弯刚度、抗扭刚度和边界条件应满足抗倾覆分析需要。必要时可采用更精细模型或基于非线性效应进行倾覆全过程计算分析。

条文说明：独柱墩梁式桥倾覆稳定为空间受力行为，尤其对于曲线梁桥，自重、二期恒载、预应力荷载、混凝土收缩、徐变及汽车所产生的扭矩和扭转变形对结构倾覆稳定性影响较大，因此验算时必须根据实际结构建立空间模型，准确模拟其力学行为。一般而言，对于抗倾覆验算梁桥，跨宽比大于 2.0 桥梁的单梁模型可满足精度和准确性要求；宽跨比小于 2.0 桥梁空间效应影响较大，宜采用空间梁格模型。对于已经按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG (3362-2018) 附录 A 建立了实用精细化分析模型，或其他精细化有限元模型，若需采用其模型进行抗倾覆验算，需分析其纵横向抗弯刚度和抗扭刚度对倾覆验算结论的可靠性。

4.3.8 应依据资料收集、现场复核和调查的实际情况进行建模验算。

条文说明：经过多年的运营及周边环境的改变，桥梁结构可能发生的加固等，

均对抗倾覆模型的建立有一定的影响，因此，应进行现场核查并根据实际情况对模型进行核查修正。

4.3.9 结构模型和边界条件可合理简化，墩梁连接和桥墩约束等边界条件应符合结构受力特性并与结构实际受力状态相一致。

4.3.10 结构模型应包含桥墩及相应的基础，并应准确模拟下部结构及支座等连接构件的力学性能。

条文说明：桥墩及基础的横向刚度，对于连续梁桥的支座反力分配有一定的影响，模型中应予以考虑。下部结构及支座等连接构件的力学性能对独柱支承梁式桥的倾覆稳定性有较大影响，不恰当的模拟方式将导致得出错误的结果。

4.4 横向抗倾覆加固设计

4.4.1 独柱墩梁式桥的加固改造方案，应考虑桥梁功能、施工可实施性、检测养护和景观等要求等，结合具体结构形式，进行多方案社会、技术、经济比较后确定。

条文说明：每一座独柱墩梁式桥，其设计方案、预应力配置、支座布置、上跨下穿道路情况等各有差异，因此，独柱墩加固改造方案亦应因桥施策、因地制宜。

4.4.2 应分析和考虑抗倾覆加固设计方案对桥梁原结构性能和安全的影响，并进行结构和地基及基础验算。

条文说明：部分加固措施方案需增加结构恒载，部分加固措施方案改变了原有结构使用阶段的受力形态，因此此类设计方案，需对受影响的结构或构件和地基及基础进行验算，以确保安全。

4.4.3 加固设计新增结构与构件，应按现行行业标准进行承载能力极限状态和正常使用极限状态验算，并应符合下列规定：

1 新增混凝土结构构件应满足现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）和《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363）及《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》（JTG/T 3310）的有关要求。

2 新增钢结构构件应根据现场实施条件和腐蚀环境，做好防腐措施，防腐措施需满足现行《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T 722）的有关要求。

3 锚固件的设计原则及计算指标应满足现行《公路桥涵加固设计规范》（JTG/T J22）的有关要求。

4 钢结构应满足现行《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）的有关要求。

5 组合结构应满足现行《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》（JTG/T D64-01）的有关要求。

4.4.4 加固设计有新增结构或构件时，应保证新增部分与原结构连接可靠，协同工作。

4.4.5 加固设计应尽量减少对原结构的损伤。

条文说明：加固设计应尽量减少对原结构的损伤，如根据原设计图纸钢筋及钢绞线位置，合理确定植筋、锚栓的位置和数量。

4.4.6 加固设计应对施工工艺、施工材料、验收标准和维修养护要点进行详细说明。

4.4.7 加固设计应包含交通保障方案设计、总体施工组织方案设计和配套附属设施设计。

条文说明：独柱墩加固设计工程量一般较小，但可能对现有交通、附属设施等产生影响，同时，施工组织方案对造价影响较大。因此设计阶段应充分考虑施工全过程可能产生的相关影响，并在设计方案及造价中予以充分考虑。

4.4.8 应根据具体加固方案，制定桥梁加固施工期间的交通管控措施。

条文说明：为提高新增结构施工质量，减少通行车辆震动对混凝土、植筋等施工的干扰，宜适当限制交通。

4.4.9 新老混凝土结合面处理应满足下列要求：

1. 宜在原结构混凝土表面沿垂直剪力方向设置剪力槽或进行凿毛处理。
2. 应明确同一构件上分批制孔植筋的工序要求。

条文说明：新增混凝土能否与原结构整体受力，是结构加固的关键，凿毛、做剪力槽、植筋等均是确保结构整体受力的重要举措，设计时需要予以明确。同一构件上分批制孔植筋，保证施工过程中构件净截面满足设计要求。

4.4.10 应根据加固方案具体形式和特点，提出切实可行的施工工艺及质量控制要求。

条文说明：施工过程的控制对于确保既有结构的安全及加固后结构满足设计要求至关重要。例如在植筋钻孔时应先探明原结构内钢绞线及钢筋位置，应确保不损伤钢绞线，尽量避免损伤钢筋；凿毛、凿除过程中，应尽量避免损伤原结构保留利用部分；钢结构桥梁加固施工时应避免局部塑性变形及损坏涂装；抗倾覆加固新增的支座安装时应根据设计要求调整支座反力，确保结构实际受力状态与设计相一致。

4.4.11 应根据桥梁倾覆的特点，提出桥梁运营及养护过程中的交通控制要求。

条文说明：桥梁运营及养护过程中需要避免横向最不利布载工况出现，横向最不利布载工况如养护过程中横向分车道施工，运营阶段大型货车单侧行驶、收费站前及公路执法过程中大型货车密集排队等工况。

征求意见稿

5 抗拔约束装置加固法

5.1 一般规定

5.1.1 本方法适用于支座上拔力较小的情况，可作为其它加固方案的辅助措施。

条文说明：设置抗拔约束装置布置空间一般较为有限，其设计抗拔力一般较小，同时，抗拔装置在结构正常使用时，不能影响其工作性能，因此一般留有一定的间隙，使得抗拔装置作用效果有限。

5.1.2 独柱墩梁式桥可通过在桥墩或桥台处设置抗拔约束装置加固法提高结构的抗倾覆稳定性能。

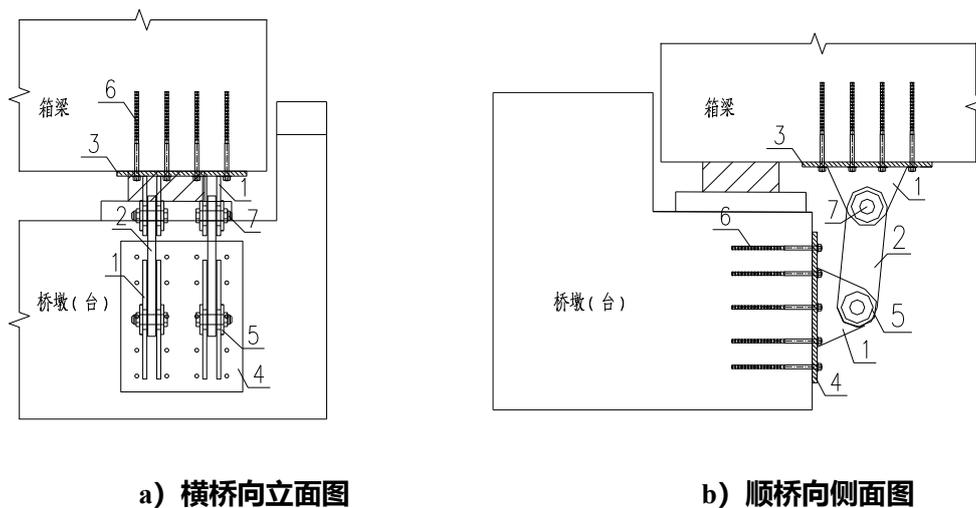
条文说明：在桥墩或桥台处设置抗拔约束装置对于约束梁体转角、提升结构抗倾覆性能有一定作用。相较于中墩，边墩处抗拔约束装置对结构抗倾覆能力的贡献更大。

5.1.3 抗拔约束装置应根据构造形式，对锚固构件、连接构件等进行相应的验算。锚栓钢材承载力的验算应满足《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367）的有关规定。

5.2 构造要求

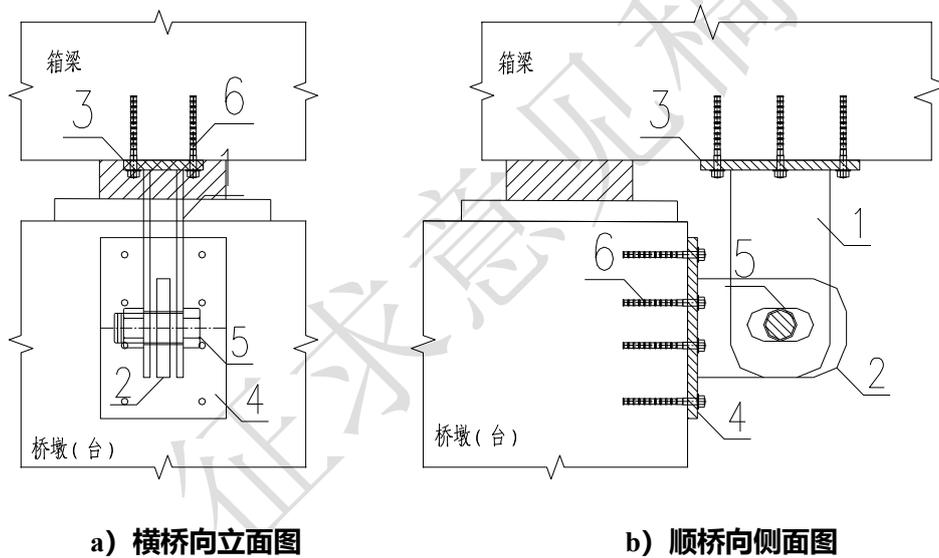
5.2.1 抗拔约束装置宜根据现场条件并结合上下部结构构造空间合理布置。

条文说明：不同桥梁，因现场实施条件、结构受力特点的不同，可在一个或多个桥墩（台）设置抗拔约束装置；越靠近箱梁腹板外侧，抗拔约束装置的效率越高，其设计抗拔力越小，构造越易实现，代价越小。抗拔约束装置一般采用钢构件抗拔销，常用抗拔约束装置详见示意图 5-1~5-3。



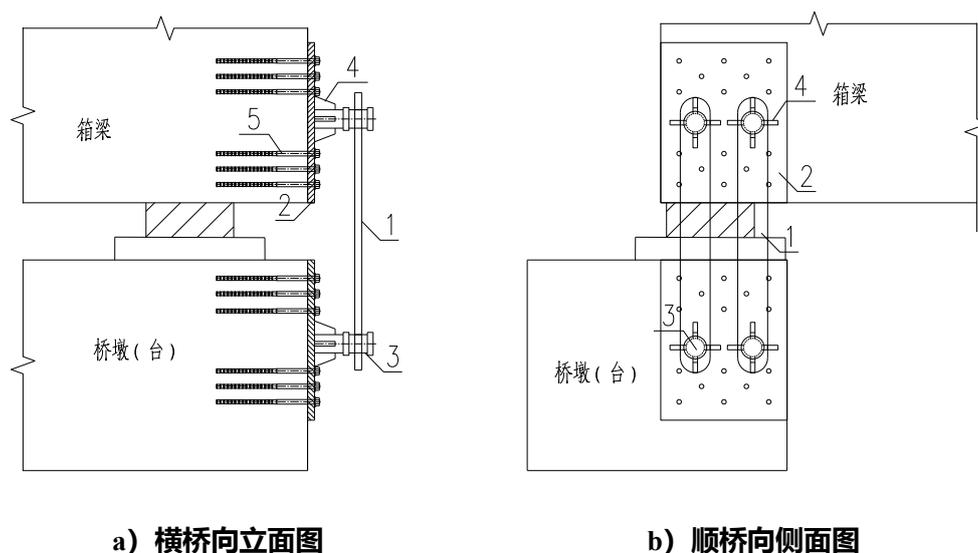
1-抗拉板；2-拉杆；3-锚板 1；4-锚板 2；5-夹片；6-锚栓；7-连接螺栓

图 5-1 钢构件抗拔约束装置 1



1-抗拉板 1；2-抗拉板 2；3-锚板 1；4-锚板 2；5-连接螺栓；6-锚栓

图 5-2 钢构件抗拔约束装置 2



1-拉杆；2-锚板；3-销轴；4-加劲肋；5-锚栓

图 5-3 钢构件抗拔约束装置 3

5.2.2 设置抗拔约束装置应不影响上下部结构原有纵横向正常相对位移功能。

条文说明：上下部结构在温度、混凝土收缩、徐变等作用下，会产生相对变形，增设的抗拔约束装置不应对其产生不良影响。抗拔约束装置仅在抗倾覆时起作用，因此需要预留足够铰链间隙以保证其相对位移功能。

5.2.3 锚栓公称直径不应小于 12mm；按构造要求确定的锚固深度不应小于 80mm。宜采用有机械锁键效应的后扩底锚栓或适应开裂混凝土性能的定型化学锚栓，当采用定型化学锚栓时，其有效锚固深度：对承受拉力的锚栓，不得小于 $8.0d_0$ (d_0 为锚栓公称直径)；对承受剪力的锚栓，不得小于 $6.5d_0$ 。锚栓间距、边距应满足《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367）的有关规定。

5.2.4 应根据现场实际放样的锚栓位置动态调整钢板开孔位置和钢板尺寸的设计，根据现场实测位置动态调整上下耳板位置及尺寸的设计。

5.2.5 应明确钢构件的制造、防腐涂装、开孔及焊接工作均在工厂内完成。

6 增设盖梁加固法

6.1 一般规定

6.1.1 独柱墩梁式桥可通过在独柱墩顶增设盖梁加固法提高结构的抗倾覆稳定性能。

条文说明：对于独柱墩梁式桥，在独柱墩顶增设盖梁，并增设支座可以有效约束梁体转角，提升结构抗倾覆性能。增设盖梁加固示意如图 6-1。

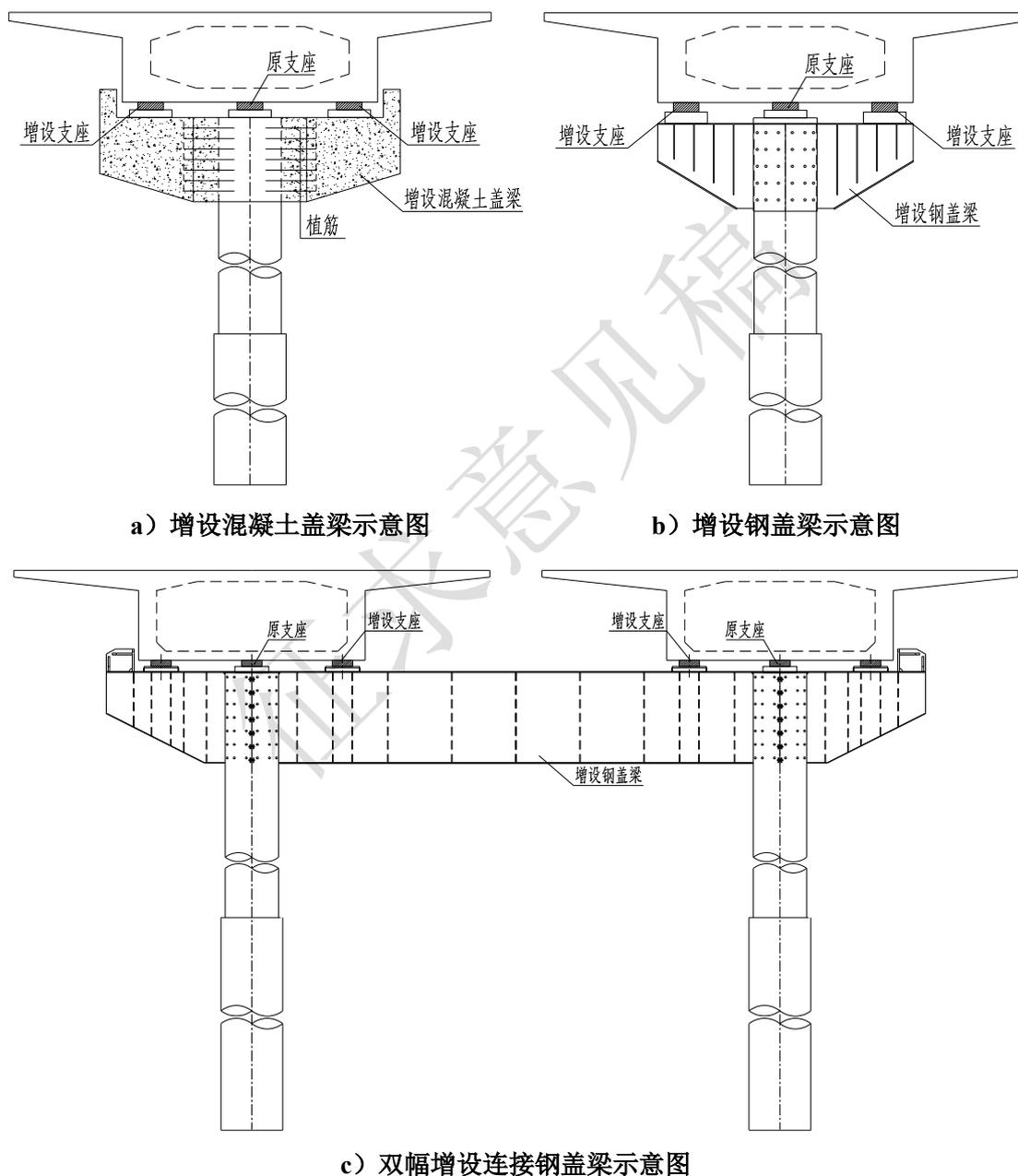


图 6-1 增设盖梁加固示意图

6.1.2 采用本加固方案时，应对原墩柱、基础及相应墩位处主梁横隔梁进行验算。

条文说明：增设的盖梁，在上部结构横向活载偏载下，会产生横向弯矩，需要根据计算确定既有结构墩柱、桩基是否满足要求，若不满足需要对其进行加固处治。

6.1.3 独柱墩梁式桥增设盖梁可根据需要选用钢结构盖梁或混凝土结构盖梁。

条文说明：钢结构盖梁安装方便快捷，但对加工精度要求相对较高，混凝土结构盖梁单个混凝土工程量相对较小，工期较长。可以结合现场条件、工期要求等因素，综合比选确定。

6.1.4 独柱墩梁式桥增设混凝土结构盖梁的结构尺寸及配筋，应通过计算确定，必要时可采用预应力混凝土盖梁。

6.1.5 独柱墩梁式桥增设钢结构盖梁的抱箍结构尺寸，应通过精细测量明确既有柱顶尺寸后确定，抱箍半径可按照墩柱实测半径+5mm 设置，施工时根据实测情况调整。

条文说明：抱箍半径按照墩柱实测半径+5mm 设置，是考虑混凝土表面形状及测量误差的影响，避免抱箍过大影响连接效果，或抱箍过小现场安装困难。

6.1.6 墩柱顶的植筋孔或钢盖梁锚栓孔位置应按原墩柱钢筋设计图初步确定，并按设计初定位置进行现场放样，同时根据设计给定的孔位调整原则采用钢筋探测仪进行现场探测调整。

条文说明：为了避免钻孔碰及钢筋，需要首先采用钢筋探测仪现场探测钢筋实际位置，并根据设计给定的孔位调整原则适当调整锚栓孔位置。调整植入锚栓位置时，需注意避开腹板、顶底板、加劲板或钢板边缘位置以保证安装可行和受

力可靠。墩柱植筋布置示意如图 6-2。

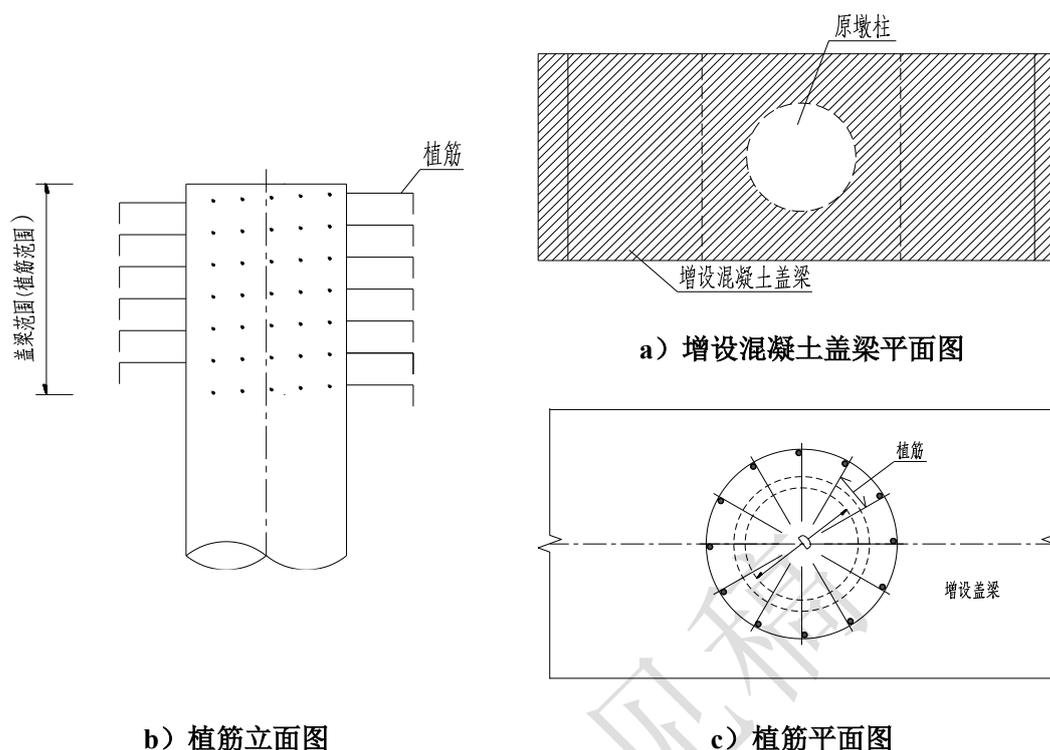
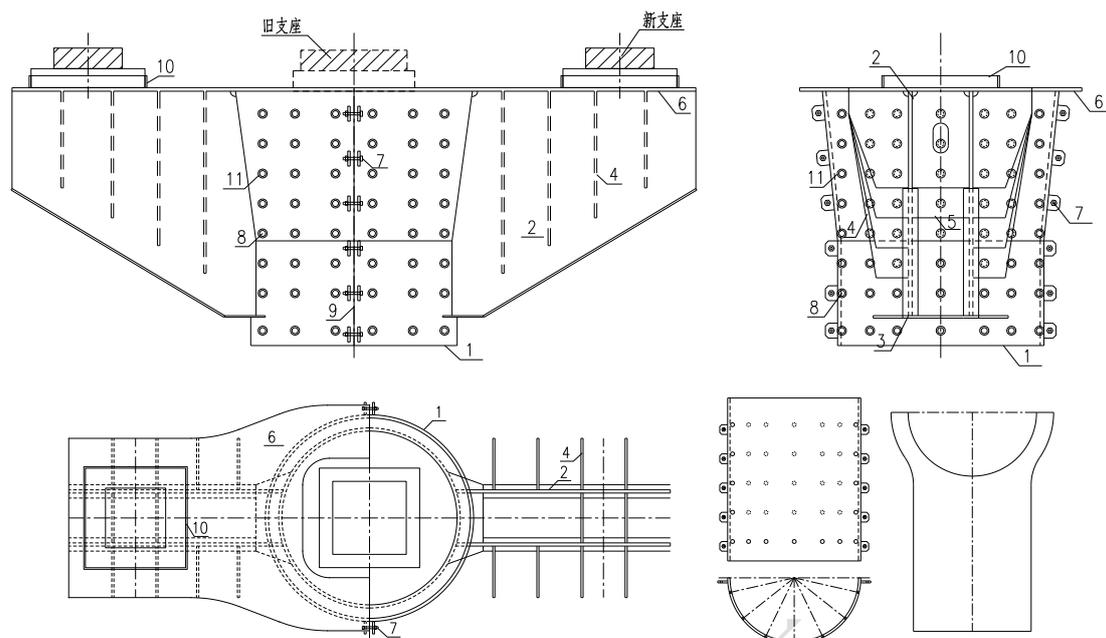


图 6-2 墩柱植筋布置示意图

6.1.7 在墩柱的钢盖梁锚栓孔开孔完毕后，应根据孔位量测的实际位置在钢盖梁相应位置进行开孔。

6.1.8 增设的钢结构盖梁宜结合制作、运输、吊装及现场操作环境等实际条件，设计为左右或前后分离的哈弗式结构，现场连接宜优先采用焊接。

条文说明：哈弗式结构圆形钢板采用螺栓紧固在墩顶并最终采用焊接，加工时需适当缩短周长，以预留紧固变形及焊接缝隙。钢盖梁墩顶位置顶板、哈弗式结构圆形钢板与混凝土立柱结合面处宜压注环氧树脂胶，增强钢结构与混凝土结构整体性。哈弗式钢盖梁结构示意如图 6-3。



1-钢套筒；2-腹板；3-腹板下翼缘；4-腹板外加劲板；5-内隔板；6-顶板；7-连接螺栓；8-锚栓；9-现场焊缝；10-垫石围板 11 弧形垫片

图 6-3 钢盖梁结构示意图

6.2 构造要求

6.2.1 盖梁上增设的支座对应梁底位置应设置调平块，梁底调平块可采用钢板并通过锚栓与梁体连接，调平钢板与梁体空隙可采用环氧砂浆充填。

6.2.2 增设的混凝土结构盖梁，顺桥向外侧与既有墩柱边缘的厚度应通过结构计算确定，不应小于 15cm。

6.2.3 增设的混凝土结构盖梁，应采用植筋、表面凿毛、开凿剪力槽、设置预应力等措施与原墩柱进行可靠连接。

6.2.4 植筋的锚固深度应经设计计算确定。植筋的锚固深度设计值、基本锚固深度 l_s 、边距、间距应满足《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367）的有关规定。当按构造要求植筋时，其最小锚固长度 l_{min} 应符合下列构造要求：

- 1 受拉钢筋锚固： $\max\{0.3l_s; 10d; 100\text{mm}\}$ ；
- 2 受压钢筋锚固： $\max\{0.6l_s; 10d; 100\text{mm}\}$ 。

6.2.5 增设的钢结构盖梁，应采用混凝土结构表面凿毛、锚栓、粘钢胶等措施与原墩柱进行可靠连接。

6.2.6 盖梁上增设的支座，在结构恒载阶段，不宜影响原有结构受力状态。在使用阶段，应对活载等作用产生的影响进行结构验算。

条文说明：增设的支座，采用梁底调平块后灌胶措施保证支座与梁体密贴，避免改变原支座、横隔梁等构件的恒载受力状况。在使用阶段，新增支座参与受力，需要计入新增支座对活载等作用影响的部位进行验算，如原有主梁横隔梁等。

6.2.7 增设的盖梁顶面横坡应考虑现状梁底横坡影响，并保证支座安装和更换的施工空间及结构受力和构造要求。

6.2.8 外包桥墩宜采用补偿收缩纤维混凝土。

条文说明：桥墩外包混凝土厚度较小，外包混凝土与原桥墩混凝土龄期差异较大，为防止外包混凝土在收缩徐变、温度等作用下开裂，需要采用补偿收缩纤维混凝土。

6.2.9 钢构件的制造、防腐涂装、开孔及焊接工作均应在工厂内完成，宜采用自动焊接工艺。

6.2.10 钢构件宜采用耐候钢，并涂装使用。

条文说明：增设钢盖梁加固方法，钢结构材料用量较少、养护不便，采用耐候钢并涂装使用，减少后期养护成本。

7 增设墩柱加固法

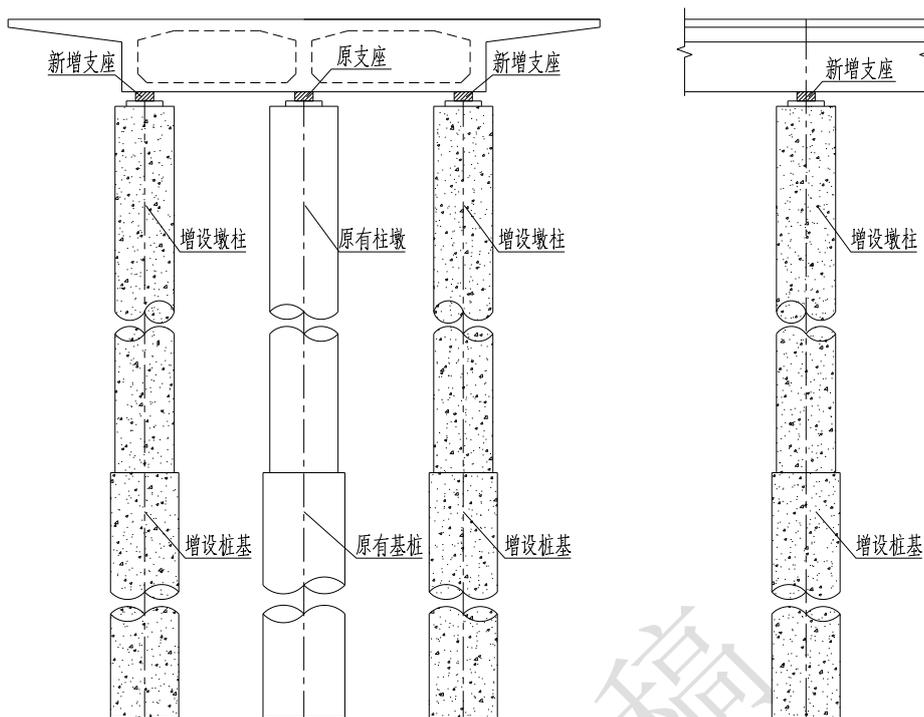
7.1 一般规定

7.1.1 独柱墩梁式桥可通过在既有独柱墩横桥向两侧或单侧增设墩柱或加大截面的加固法提高结构的抗倾覆稳定性能。

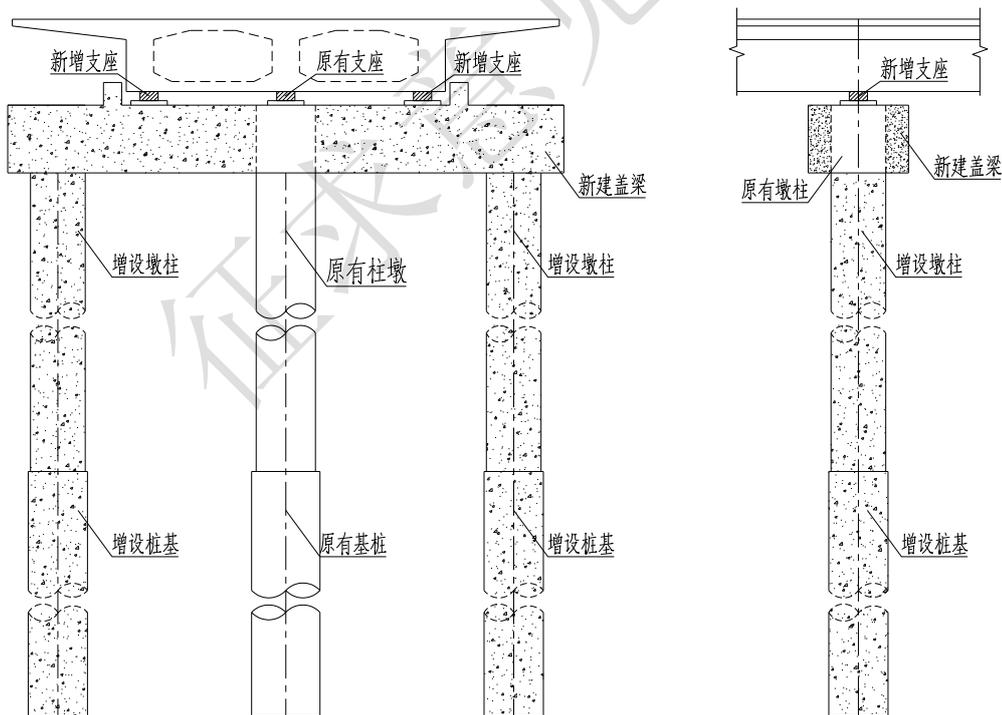
条文说明：对于独柱墩梁式桥，在既有独柱墩横桥向两侧或单侧增设墩柱或加大截面，并增设支座，可以有效约束梁体转角，提升结构抗倾覆性能。

7.1.2 既有独柱墩桥梁桥下空间足够时，可采用本加固方法。当桥宽较大时，可在增设墩柱顶布置支座，当桥宽较小或桥下空间受限时可在墩顶设置盖梁并布置支座；原设计为群桩带承台的独柱墩时，可对既有独柱墩进行外包，在外包墩柱顶布置支座；当既有基础承载力不满足要求时，可在既有桩基两侧增设桩基，通过承台将新老桩基连接形成群桩基础。

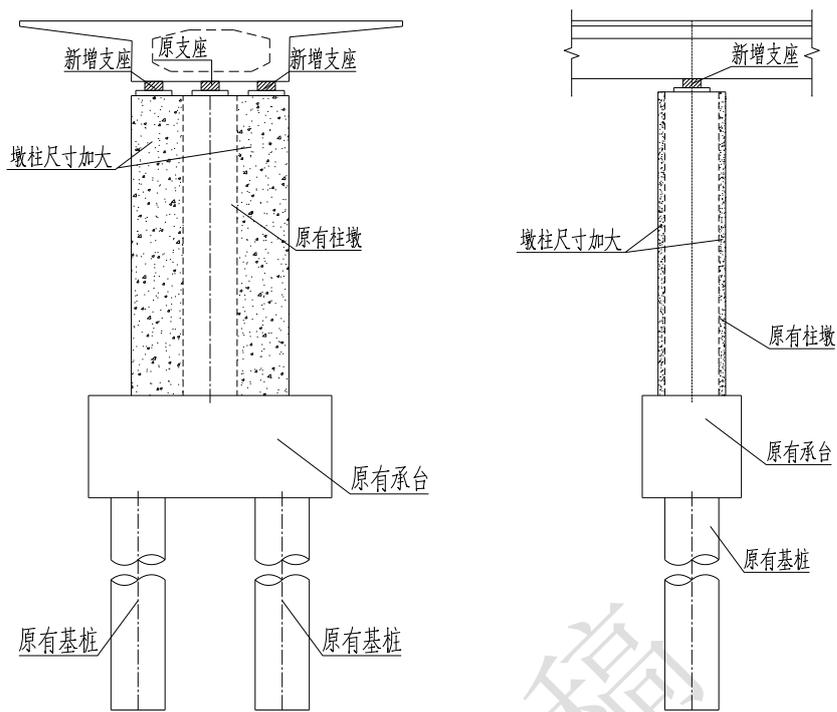
条文说明：根据现状桥下情况及抗倾覆计算结果可采用多种不同型式，如图 7-1：（a）既有墩柱两侧增设墩柱，并布置支座；（b）既有墩柱两侧增设墩柱，并在新增墩柱与原墩柱顶部设置盖梁，并布置支座；（c）既有独柱墩进行外包，加大墩柱直径或改为板式墩，并布置支座；（d）既有桩基两侧增设桩基，通过承台将新老桩基连接形成群桩基础，对墩柱进行外包，加大墩柱直径或改为板式墩，并布置支座；（e）既有独柱墩进行外包，并在柱顶设置帽梁，布置支座；（f）既有桩基两侧增设桩基，通过承台将新老桩基连接形成群桩基础，对墩柱进行外包，并在柱顶设置帽梁，布置支座。



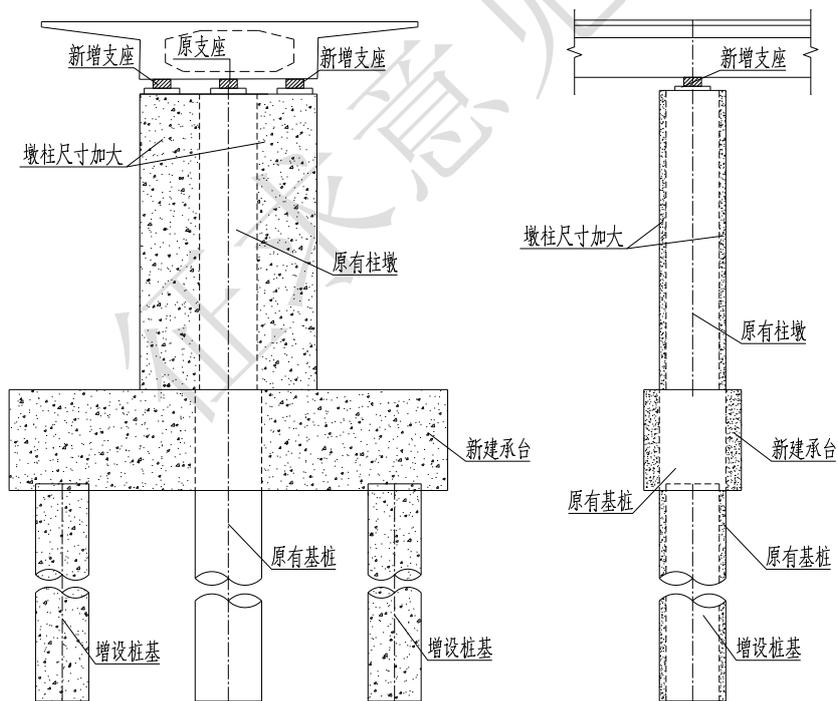
a) 方案一



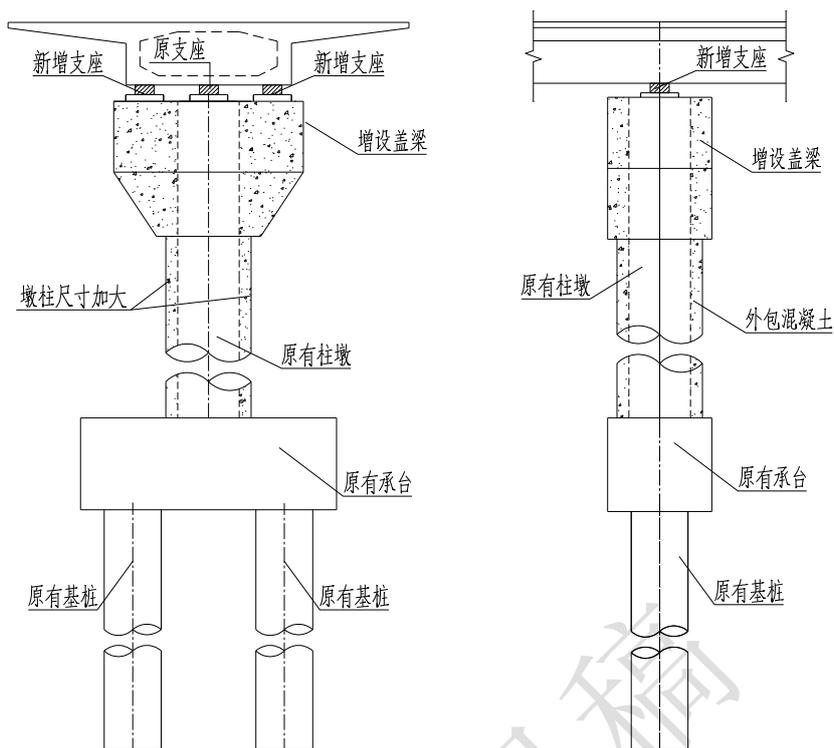
b) 方案二



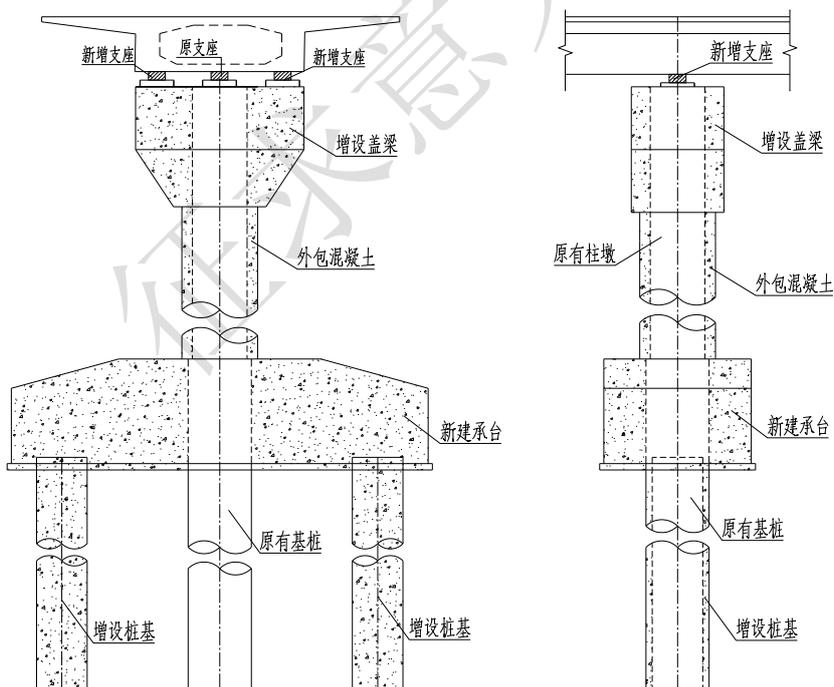
c) 方案三



d) 方案四



e) 方案五



f) 方案六

图 7-1 增设墩柱加固示意图

7.1.3 墩柱上增设的支座，在结构恒载阶段，不宜影响原有结构受力状态。在使用阶段，应计入支座对活载等作用产生的影响进行结构验算。

条文说明：增设的支座，可采用梁底调平块后灌胶措施保证支座与梁体密贴，避免改变原支座、横隔梁等构件的恒载受力状况。在使用阶段，新增支座参与受力，应对活载等作用影响的部位进行验算，如原有横隔梁等。

7.1.4 采用本加固方案时，应对原墩柱、地基和基础及相应墩位处主梁横隔梁进行验算。

7.2 构造要求

7.2.1 新增桩基与原桥既有桩基的距离应满足《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363）的有关规定。

7.2.2 采用墩柱增大截面法加固时，其增设的厚度不应小于 15cm。

7.2.3 外包桥墩宜采用补偿收缩纤维混凝土。

7.2.4 对边桩外侧与承台边缘的距离，桩直径（或边长）小于或等于 1m 时，不应小于 0.5 倍桩径（或边长）且应不小于 250mm；桩直径大于 1m 时，不应小于 0.3 倍桩径（或边长）且应不小于 500mm。新增承台的厚度不宜小于桩直径的 1.5 倍，且不小于 1.5m。

7.2.5 新增墩柱宜与既有墩柱保持相同形式。

7.2.6 若需单侧增设墩柱，应结合增设效果、现场布置条件，择优选择新增墩柱的横向位置。

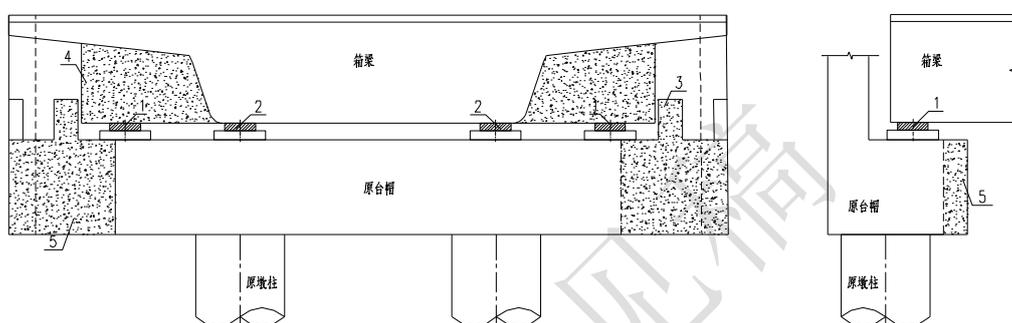
7.2.7 新增桩基施工，宜采用对既有结构影响较小的成孔工艺，并视地质条件增设永久钢护筒。当桥位位于岩溶区时，应进行风险评估，谨慎采用加桩法。

8 增大支座间距加固法

8.1 一般规定

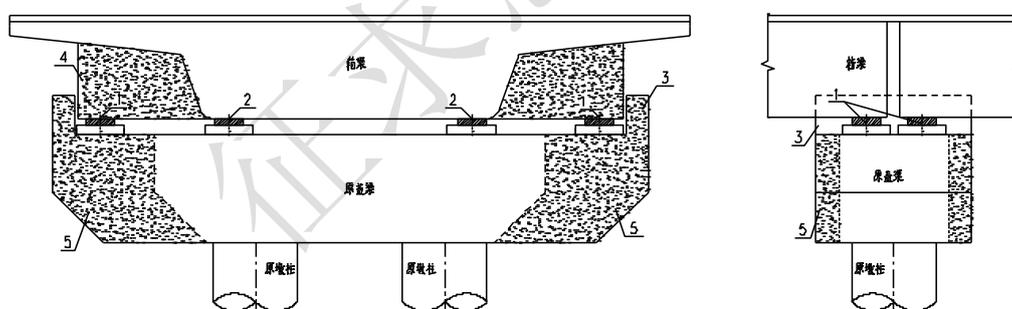
8.1.1 独柱墩梁式桥可在桥墩或桥台处既有双支座的两侧或单侧增设支座，以提高结构的抗倾覆稳定性能。

条文说明：对于独柱墩梁式桥，在桥墩或桥台处，既有双支座的两侧或单侧增设支座，增大了梁式桥活载受力条件下的支座间距，可以有效约束梁体转角，提升结构抗倾覆稳定性能，如图 8-1~8-3。



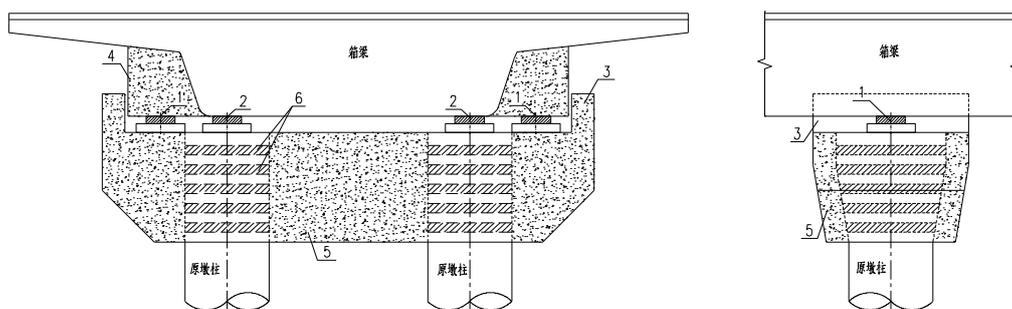
1-新增支座；2-原有支座；3-挡块；4-横隔梁加长；5-台帽加固

图 8-1 桥台处增大支座间距加固示意图



1-新增支座；2-原有支座；3-新建挡块；4-横隔梁加长；5-盖梁加长

图 8-2 过渡墩处增大支座间距加固示意图



1-新增支座；2-原有支座；3-新建挡块；4-横隔梁加长；5-新建盖梁

图 8-3 中墩处增大支座间距加固示意图

8.1.2 增设的支座，在结构恒载阶段，不宜影响原有结构受力状态。在使用阶段，应计入支座对活载等作用产生的影响进行结构验算。

条文说明：增设的支座，可采用梁底调平块后灌胶措施保证支座与梁体密贴，避免改变原支座、横隔梁等构件的恒载受力状况。在使用阶段，新增支座参与受力，应对活载等作用影响的部位进行验算，如原有横隔梁等。

8.1.3 采用本加固方案时，应对原墩柱、基础及相应墩位处横隔梁进行验算。

条文说明：增设的盖梁，在上部结构横向活载偏载下，会产生横向弯矩，应根据计算确定既有结构墩柱、桩基是否满足要求，若不满足应对其进行加固处治。

8.2 构造要求

8.2.1 加固的混凝土结构盖梁（帽梁）厚度不应小于 15cm。

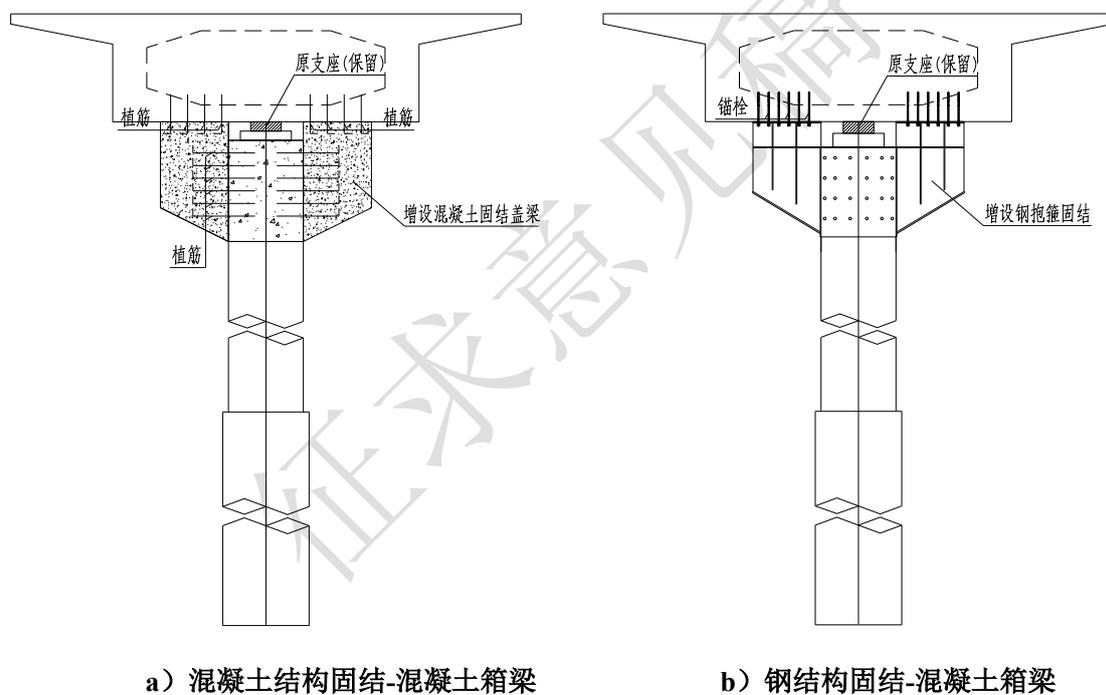
9 墩梁固结加固法

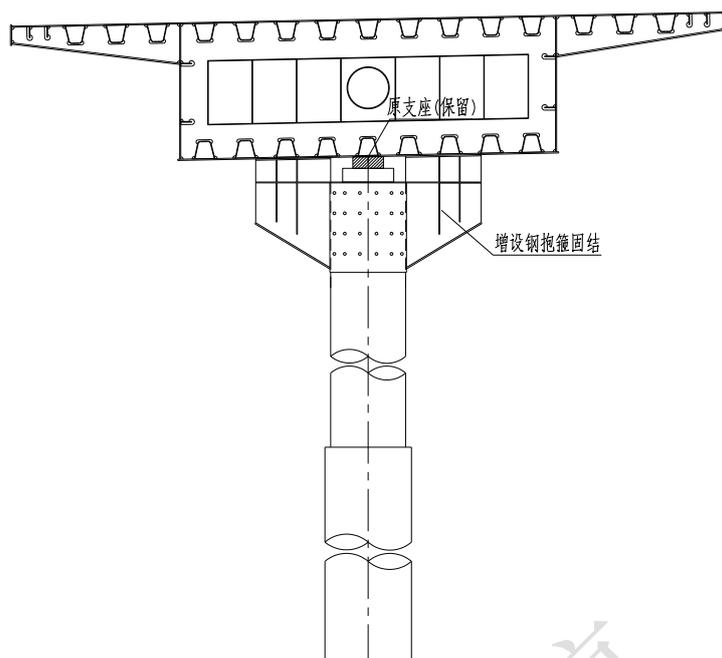
9.1 一般规定

9.1.1 本方法主要适用于桥下净空受限，无法增设盖梁、墩柱的情况。

9.1.2 独柱墩梁式桥可通过独柱墩支座支承改为墩梁固结的加固法提高结构抗倾覆稳定性能。

条文说明：对于独柱墩梁式桥，在独柱支承处，将支座支承改为墩梁固结，可以有效提供抗扭约束，提升结构抗倾覆性能。本加固方法改变原有结构体系，固结构造复杂，施工难度大。墩梁固结结构示意图如图 9-1。





c) 钢结构固结-钢箱梁

图 9-1 墩梁固结结构示意图

9.1.3 独柱墩支座支承调整为墩梁固结后，应对受影响的既有结构及新增结构进行验算，固结墩的计算应满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362）和《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363）的相关要求。

条文说明：支座体系调整为墩梁固结体系，结构体系发生了根本变化，墩柱和桩基受力显著增大，需对原有主梁、横隔梁、支座、墩柱、基础、承台、增设的连接件等构件进行验算，必要时需采取相应的加固措施。

9.2 构造要求

9.2.1 墩梁固结构造，可以采用钢结构抱箍墩梁固结，或植筋浇筑混凝土墩梁固结。

条文说明：支座体系调整为墩梁固结体系，可以采用钢结构抱箍对墩梁之间进行连接，或采用新增混凝土进行连接，应视具体建设条件确定。