

Design and Safety Analysis of Block Protection System for Bridge Lifting Construction

Fulong Nian

Shanghai Chengtou Waterway Construction Co., Ltd., Shanghai
Email: 13501806900@163.com

Received: Apr. 29th, 2016; accepted: May 17th, 2016; published: May 20th, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The installation of block protection system near the bridge pier is one of the most important safety precautions in the construction of bridge lifting construction. However, due to the influence of the structure of the bridges and arrangement of the piers, the setting of the protection system is difficult to carry out. In this paper, the optimized design based on the protection system in the lifting construction of the actual project is carried out and the safety bearing capacity is analyzed, which ensured the construction safety of the actual project.

Keywords

Bridge Lifting, Limiting Protection System, Analysis of Bearing Capacity, Bridge Pier

桥梁顶升限位防护体系设计与安全性分析

年福龙

上海城投航道建设有限公司, 上海
Email: 13501806900@163.com

收稿日期: 2016年4月29日; 录用日期: 2016年5月17日; 发布日期: 2016年5月20日

摘要

在桥梁墩柱附近设置限位装置是桥梁顶升施工中的重要安全措施之一。然而受桥梁结构和墩柱布置的影响，实际限位装置的设置受到限制。本文结合实际工程顶升施工中的限位防护体系的设计，开展了相应的设计优化，并进行了安全性承载力分析，保证了背景工程的顶升施工安全。

关键词

桥梁顶升，限位装置，承载力分析，桥墩

1. 引言

在桥梁顶升施工中，由于千斤顶安装的垂直误差及顶升过程中其它不利因素的影响，在顶升过程中可能会出现微小的水平位移或倾斜，势必导致结构受力的不利出现。为在早期发现不利变位出现，同时避免出现因不利变位导致施工安全性问题，在桥梁墩柱附近设置限位装置是常见施工方法[1]-[3]。

通常，因变位梁体整体倾覆可能性较低，要克服真正发生倾覆时，通过限位柱来抵抗这一作用力是不现实也是不可能的[4]。因此，具体计算时，只能假设其发生一小角度的倾斜，通过这一小角度来判断结构的变位趋势，做出预警并及时调整施工状态。由于限位装置是被动受力，只有在梁体发生一定的水平位移或扭转而迫使限位装置产生相应的强迫位移之后，通过自身受力，限位装置才能对梁体产生作用力[5]。只有在限位装置产生的水平力与梁体倾斜时的水平分力平衡的情况下梁体才能够稳定而不发生倾覆。在梁体发生水平位移或扭转过程中，受限位置的刚度存在一定限制，限位装置的水平力与支座反力的水平分力增长并不同步，如果限位装置的水平力的增长速度较支座反力的水平分力增长速度快的话梁体很容易达到平衡，否则限位装置的水平力一直都不会与支座反力的水平分力平衡，位移就会发散而发生倾覆[6]。

基于上述因素，桥梁顶升施工过程中，限位防护结构体系依然是不可缺少的安全措施之一。考虑到实际限位柱的构造，以及受梁体倾斜后可能出现的对限位的作用力，通常会在桥梁墩柱附近设置有平面限位装置，限制纵横向可能发生的位移[7]-[10]。本文对原设计方案进行了优化分析和设计，分析了其实际可能抵抗的受力大小。

2. 设计优化

本文研究对象是以我国最大跨径的桥梁顶升工程为背景，选择其顶升限位防护体系作为分析对象[2][9]。横潦泾大桥为同三国道(A30)跨越黄浦江上游支流横潦泾的一座大桥。主桥为三跨变截面预应力混凝土连续箱梁，跨径组合 85 m + 125 m + 85 m，全长 295 m [11]。根据黄浦江上游航道整治工程研究结果，横潦泾大桥现状通航尺度不满足整治后的 III 级航道通航净空尺度要求，从而需要对老桥进行顶升改造，顶升高度 1.58 m，维持原状道路纵断面不变。

对主桥中墩边墩采用直接顶升法，以墩柱为反力基础，在墩柱与箱梁底之间安装顶升千斤顶，通过 PLC 电脑同步控制，整体顶升箱梁(箱梁上部局部需进行加固)的方法实现抬高主桥桥面标高的目的。此方法的优点是顶升时基本不改变原有桥梁的受力体系，受力较明确。考虑受力需要，顶升前，对主墩进行加粗，对边墩加抱箍；对连续梁顶升位置处进行局部加固[11]。

根据原设计方案，在两个主墩左右侧均设置限位装置(四个方向)，在两个边墩左右侧设置限位装置(二

个方向), 均采用格构柱形式, 图 1 是主墩限位装置的实体模型。

(1) 限位装置与主墩的连接问题

在实际结构中, 格构柱只有一角立柱与加粗墩外箍钢板有焊接。但实际上, 在柱上端作用水平推力时, 这一焊缝几乎没有任何作用。另外, 在 10 kN 水平推力作用于柱顶部时, 由于只有一根立柱杆件与墩有接触, 柱子会有一定的扭转变形。计算也证明了扭转的存在, 如图 2 所示。

可见横向必须利用索或其他水平梁将柱与墩上部平面保持固定, 否则立柱将在较大力臂作用下受弯, 其抗力大大降低。最好是通过拉索或抱箍将四个柱子连接成一个整体共同受力, 但由于有梁体的限制, 拉索或抱箍最高位置只能在梁底位置。

计算还表明, 作为一个简单的结构, 原限位柱存在较大缺陷, 在不利状态下, 基本上通过四主股受力。计算表明在 10 kN 水平力作用下, 原设计的格构柱最大应力出现在水平的缀条接头部分, 并未出现在主杆上, 最大应力为 28 MPa。而实际上主杆最大应力仅有 14 MPa。如图 3 所示。

(2) 限位装置的高度

实际上, 梁发生侧向倾覆的可能性是不允许的, 然而梁发生横向位移则是一定存在的, 因而限位柱的设置更应是限制其水平(横向和纵向)位移, 限位柱的作用力的位置高低对梁的受力性能影响不大, 可以

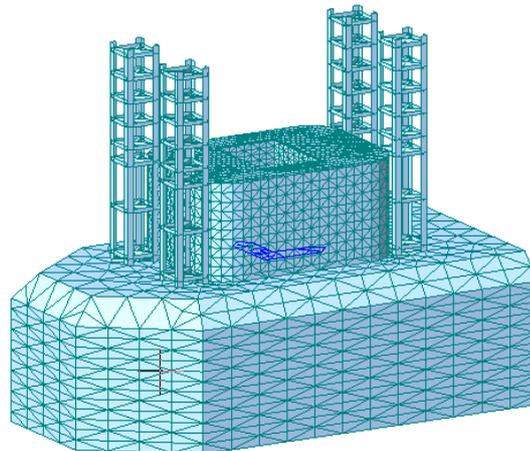


Figure 1. Model of main pier with protection block
图 1. 主墩限位装置实体模型轴侧视图

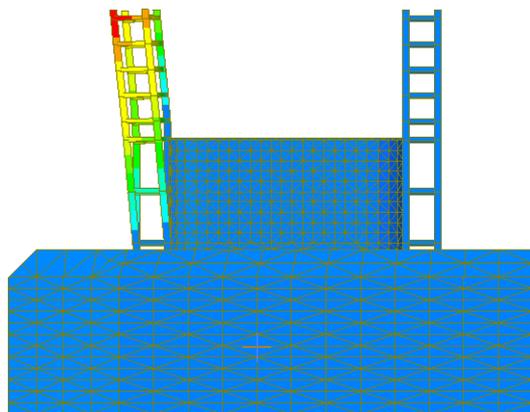


Figure 2. Lattice column torsion deformation under horizontal force
图 2. 格构柱在水平力下的扭转变形

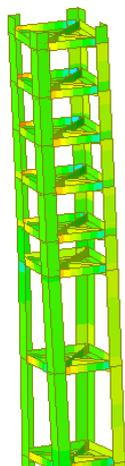


Figure 3. Lattice column stress under horizontal force
图 3. 格构柱在水平力下的应力分布

不考虑，但对限位柱的影响较大。为此，柱的高度应该以后置限位牛腿的最大高度为准，即保证牛腿在柱子顶面以下即可。这样既可降低了横向位移对柱的水平力的高度，从而减小其力臂长度，增大其承载力，同时也能保证纵向作用的存在。

(3) 限位柱之间的纵向连接

在纵向上，原设计在梁侧面加有牛腿，只是希望梁在沿纵向发生位移时，横向两个防护柱通过牛腿阻止梁产生位移。牛腿与两柱并无焊接，能保证顶升过程中牛腿可在竖向自由移动。然而同一侧的两个柱子之间没有连接，在梁发生纵向位移时只有两个柱子发挥了作用，这无形中产生两个柱子的浪费。这里不同于横向的是，因不受梁体高度影响，可以通过拉杆或者拉索使同侧两个柱子在顶部附近相互约束而共同受力，但原设计中并没有实现这一点。

3. 限位柱承载力分析

考虑到防护格构柱受力大小是根据主梁纵横向发生倾斜或纵横向位移作用来估算，而这一力的大小取值无标准可参考，故本文分析只对设计的限位防护柱进行承载力分析，以此反推能提供给主梁多大的抗倾力。

分析时分别按每个柱受横向 10 kN 的水平力和纵向 10 kN 的水平力来计算，再根据采用的材料规格 Q235，求得每个柱的在两个方向上的抗力。本分析是假设柱与墩已有很好的固定，即按照上文中的建议进行了柱子的加固，而不是仅在其下方与承台固定，因为这种焊接缝的受力对于这种抗弯构件无法提供足够的抗力。

下面为不同形式的限位防护柱进行的对比分析。

3.1. 不同结构形式对比

(1) 方案一(原设计方案): 采用如图 4(a)所示的结构形式的格构柱，仅在节点所在水平面内设置交叉斜撑和缀板，其他不设斜撑。

(2) 方案二: 分析原格构柱的杆件布置，结合水平推力的作用，以及其功能是要抗横向和纵向两个方向的受力，格构柱设计成如图 4(b)所示的空间交叉式，即在原方案的基础上再增加一些竖直面内的斜撑，并且根据计算结果去掉了一些作用不是很大的内部水平斜撑，即每个节点水平面只有一根内部斜撑，相邻层的水平斜撑相差 90 度。

(3) 方案三：采用如图 4(c)所示的结构形式，截面采用 0.02 m 厚的矩形钢箱梁。

3.2. 受力性能对比

针对上述三种限位柱的结构形式，经过 Midas/Civil 建模，分别对横向受力性能和纵向受力性能进行了分析，得出以下结果。

3.2.1. 主墩限位柱三种方案横向受力性能对比

- (1) 方案一(最大承载力为 51kN)结果见表 1(a)。
- (2) 方案二(最大承载力为 512kN)结果见表 2(a)。
- (3) 方案三(最大承载力为 1473kN)结果见表 3(a)。

相应的横向受力，受各限位柱无法实际顶部作用力同时作用，因此，实际限位抗力，只有一侧柱提供。即横向限位受力所能提供的抗力分别为上述承载力的 4 倍(每个主墩一侧有 2 个限位柱)。

3.2.2. 主墩限位柱三种方案纵向受力性能对比

- (1) 方案一(最大承载力为 51kN)结果见表 1(b)。
- (2) 方案二(最大承载力为 512kN)结果见表 2(b)。
- (3) 方案三(最大承载力为 1473kN)结果见表 3(b)。

与横向受力不同，在纵向方向上，如果通过设置顶部横梁，将每侧的两限位柱连接，就能保证所有限位柱共同受力。因而，其纵向提供的抗力将是上述计算承载力的 8 倍(每个主墩两侧共 4 根限位柱，两个主墩共 8 根)。

4. 结论和建议

1) 主墩单个限位柱的受力性能在纵横两个方向上基本一样。但是，横向受力时，只有一侧的柱子受力，另一侧柱子无法发挥作用，然而，当梁发生纵向位移时，所有的限位柱可共同受力，但必须是按照建议做好柱子的纵向连接基础上，其整体受力性能较横向有所提高。

2) 如果按原设计方案来施工，主墩单个格构柱的实际能抗倾力相对于主梁的自重几乎可忽略不计，因此限位柱的防护功能几乎丧失。而空间交叉式的限位柱更加有利于其功能发挥，单个柱承受能力是原设计的 10 倍。若对各杆件截面进一步优化，受力可进一步提高，而且受力明确，稳定定性较好，用材较省，加工方便。

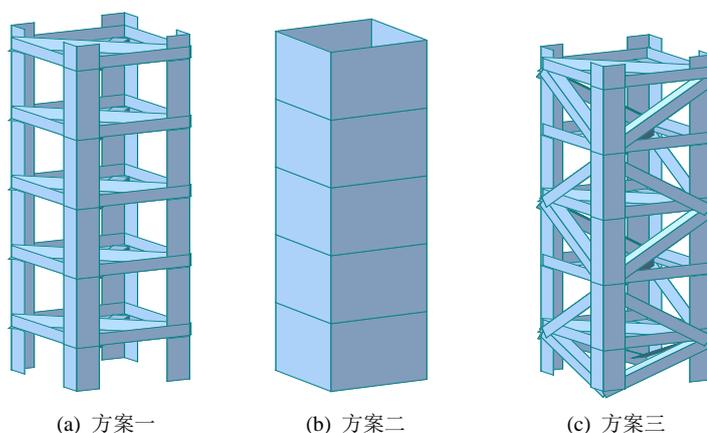


Figure 4. Three structure plan for main pier protection system
图 4. 主墩限位柱三种方案结构形式

Table 1. Bearing capacity of the first plan for main pier
表 1. 主墩限位柱方案一承载力计算

(a)				
项目	对应数值		限值	受力及稳定
外荷载(kN)	10	51	—	—
最大正应力(MPa)	42.23	215	215	临界状态
最大剪应力(MPa)	0.88	4.48	135	满足
单肢最大压力 10 (kN)	0	0	-1600	稳定
单肢最大压力 200 (kN)	0	0	1627	稳定
缀条最大轴力(kN)	-1.8	-10	-359	稳定
整体稳定情况	稳定	稳定	—	—
备注	该方案承载力由最大轴力控制			

(b)				
项目	对应数值		限值	受力及稳定
外荷载(kN)	10	51	—	—
最大正应力(MPa)	42.23	215	215	临界状态
最大剪应力(MPa)	0.88	4.48	135	满足
单肢最大压力 10 (kN)	0	0	-1597.2	稳定
单肢最大压力 20 (kN)	0	0	-1626.8	稳定
缀条最大轴力(kN)	-1.8	-9.1	-358.5	稳定
整体稳定情况	稳定	稳定	—	—
备注	该方案承载力由最大轴力控制			

Table 2. Bearing capacity of the 2nd plan for main pie
表 2. 主墩限位柱方案二承载力计算

(a)				
项目	对应数值		限值	受力及稳定
外荷载(kN)	10	512	—	—
最大正应力(MPa)	3.86	97.69	215	满足
最大剪应力(MPa)	0.284	14.54	135	满足
单肢最大压力 10(kN)	-15.4	-788.7	-1597.2	稳定
单肢最大压力 20(kN)	-18.0	-923	-1627	稳定
缀条最大轴力(kN)	-7	-358.5	-358.5	临界稳定
整体稳定情况	稳定	稳定	—	—
备注	该方案承载力由缀条轴力控制			

(b)				
项目	对应数值		限值	受力及稳定
外荷载(kN)	10	512	—	—
最大正应力(MPa)	3.86	197.6871	215	满足
最大剪应力(MPa)	0.284	14.54486	135	满足
单肢最大压力 10 (kN)	-15.4	-788.7	-1597.2	稳定
单肢最大压力 20 (kN)	-18	-921.857	-1626.8	稳定
缀条最大轴力(kN)	-7	-358.5	-358.5	临界稳定
整体稳定情况	稳定	稳定	—	—
备注	该方案承载力由缀条轴力控制			

Table 3. Bearing capacity of the 3rd plan for main pie
表 3. 主墩限位柱方案三承载力计算

(a)				
项目	对应数值		限值	受力状态
外荷载(kN)	10	1473	—	—
最大正应力(MPa)	1.46	215	215	临界状态
备注	这里没考虑柱的局部稳定, 截面内部应有足够的加劲肋, 并且该方案承载力由最大应力控制			
(b)				
项目	对应数值		限值	受力状态
外荷载(kN)	10	1473	—	—
最大正应力(MPa)	1.46	215	215	临界状态
备注	这里没考虑柱的局部稳定, 截面内部应有足够的加劲肋, 并且该方案承载力由最大应力控制			

3) 采用封闭式的防护结构的受力单柱的承载能力大约是原设计的 28 倍。但是该结构的局部稳定性可能会控制其承载力, 需要增加一些加劲肋, 加工不方便。

4) 要实际防护结构功能的发挥, 需要保证柱与墩顶部位置有很好的固定, 且采取措施保证防护结构不产生扭转。

基金项目

上海市科学技术委员会科技计划项目: 重大工程建设技术(课题编号: 12231201303)。

参考文献 (References)

- [1] 中交第一公路勘察设计研究院. 公路桥梁加固设计规范(JTG/T J22-2008) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [2] 韩金豹. 大跨混凝土连续箱型桥梁整体顶升关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 同济大学, 2012.
- [3] 蒋岩峰, 蓝戊己. 桥梁整体顶升关键技术研究[J]. 建筑结构, 2007, 37(S1): 547-549.
- [4] 蓝戊己, 张志军, 顾远生, 等. 南浦大桥东主引桥整体同步顶升工程[J]. 城市道桥与防洪, 2009(10): 22-25, 135.
- [5] 白云, 沈水龙. 建(构)筑物移位技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [6] Nai, D.G., Van Lam, N. and Duc, D.V. (2003) Research and Application of Bridge Beam Raising Technology by Force Resistance Steel Pipes to Replace Bearing in Normal Traffic Conditions. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, **4**, 1779-1786.
- [7] Seo, J., Yoo, W.S., Lee, U.K., Kim, C., Kang, K.I. and Cho, H. (2010) Case Study of a Synchronous Hydraulic Jack-Up System for Constructing High-Rise Residential Buildings. *Canadian Journal of Civil Engineering*, **37**, 922-926. <http://dx.doi.org/10.1139/L10-026>
- [8] Tan, X.M., Li, J. and Lu, C. (2003) Structural Behaviour Prediction for Jack-Up Units during Jacking Operations. *Computers & Structures*, **81**, 2409-2416. [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-7949\(03\)00299-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-7949(03)00299-2)
- [9] Li, F.Y., Wu, P.F. and Yan, X.F. (2015) Analysis and Monitoring on Jacking Construction of Continuous Box Girder Bridge. *Computers and Concrete*, **16**, 49-65. <http://dx.doi.org/10.12989/cac.2015.16.1.049>
- [10] 金恩. 大跨径连续梁桥顶升过程中的桥墩受力分析[J]. 中国市政工程, 2011(2): 75-77.
- [11] 上海市城市建设设计研究院. 同三国道跨横潦泾大桥改造工程设计图纸[Z], 2010.