

钢箱梁桥支座脱空成因分析及处理方案研究

盛宇静¹, 郭烨帅²

(1. 宁波市建设工程安全质量管理服务总站, 浙江 宁波 315000; 2. 宁波市市政工程建设集团股份有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘 要: 为了研究实际工程中梁桥支座出现的脱空情况, 以某钢箱梁桥为例, 针对其出现的支座脱空问题, 应用有限元软件 MIDAS 进行成因分析并提出处理方案。通过对比支座脱空量大小、平面位置和标高变化情况与软件算出的支反力分析情况, 结果表明理论计算与实际观测情况基本相符。基于脱空现象成因, 提出的处理方案包括对脱空的支座进行维护保养、尽快浇筑配重混凝土和持续监测钢箱梁的变形、位移等重要数据, 处理后效果符合预期, 为钢箱梁桥支座脱空现象的处治提供了参考。

关键词: 支座脱空; 钢箱梁; 有限元分析

中图分类号: U443.36; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)11-0170-05

Cause Analysis and Treatment Schemes for Bearing Void of Steel Box Girder Bridge

SHENG Yujing¹, WU Yeshuai²

(1. Ningbo Construction Engineering Safety Quality Management Service Station, Ningbo 315000, China; 2. Ningbo Municipal Engineering Construction Group Co., Ltd., Ningbo 315000, China)

Abstract: In order to study the occurrence of bearing voids in actual engineering of beam bridges, taking a steel box girder bridge as an example, the causes of bearing voids are analyzed by using finite element software MIDAS and the treatment scheme is proposed. By comparing the size of the bearing voids, the plane position, and the elevation changes with the analysis of the bearing reaction force calculated by the software, the results show that the theoretical calculation is basically consistent with the actual observation situation. Based on the causes of the void phenomenon, the proposed solution includes the maintenance and upkeep of the void bearings, pouring of counterweight concrete as soon as possible, and continuous monitoring of important data such as deformation and displacement of the steel box girders. The treated effect meets the expectations and provides a reference for the treatment of the phenomenon of bearing voids in steel box girder bridges.

Keywords: bearing void; steel box girder; finite element analysis

0 引 言

桥梁支座是连接桥梁上部结构和下部结构的重要结构部件, 位于桥梁和垫石之间, 其作用是将桥梁上部结构承受的荷载和变形(位移和转角)可靠地传递给桥梁下部结构, 是桥梁的重要传力装置^[1]。其中球型钢支座因其有传力可靠、转动灵活、承载能力强、容许支座位移量大、设计使用年限长等特点而被广泛应用于大部分钢箱梁桥中^[2]。球型钢支座是靠钢部件的滚动、摇动和滑动来实现支座的位移和转

动功能的, 支座各向转动性能一致, 能更好地适应桥梁的位移和转动的需要, 目前多应用于铁路桥梁^[3-4]。但由于施工不当、质量制不严、忽视温度对钢桥的影响, 常常出现支座脱空的现象^[5, 6]。支座脱空后, 使局部承压增加, 在反复荷载作用下, 主梁会产生振动, 影响桥梁的使用性能。同时支座脱空会降低主梁的稳定性, 会很快降低支座的使用寿命, 甚至使主梁破坏, 所以应及时检查和处理支座脱空情况^[7-9]。本文以某钢箱梁桥为例, 针对其支座脱空问题, 应用 MIDAS 有限元软件分析并提出处理方案, 达到预期效果, 为处治钢箱梁桥支座脱空病害提供参考。

1 工程概况和支座脱空情况

宁波市某工程新建了一座 24 m+42 m 变截面不

收稿日期: 2025-05-08

基金项目: 浙江省建设科研项目(2023K305)

作者简介: 盛宇静(1982—), 女, 学士, 高级工程师, 从事工程管理工作。

等跨钢箱梁桥,该桥与河道呈 14°斜交。桥梁北岸西侧连接有一条景观步道,其与桥梁的接坡桥为现浇钢筋混凝土连续板桥,跨径为 4×9 m,宽 4.5 m。桥梁的结构自下而上分别为钻孔桩、承台、立柱(桥台)、支座和钢箱梁。

在 10 月底,桥梁的主体结构钢箱梁成功合拢,临时支座被拆除,永久支座的限位被解除。该桥梁采用的支座为球钢支座,其型号包括 GQZ3000、GQZ3500 和 GQZ7000。图 1 为支座的编号示意图。

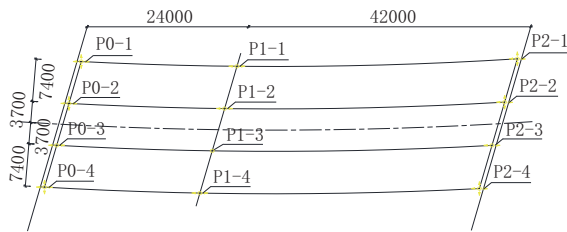


图 1 支座编号示意图

然而,在 12 月的检查中,发现湖茵路 2 号桥的 P0 桥台钢箱梁下方的球钢支座发生了脱空现象。存在脱空现象的支座共有四只,均位于 P0 墩处,脱空高度在 2 cm 左右。其他桥墩的支座均未发现异常。

2 支座脱空原因调查

桥梁支座的脱空病害分为局部脱空和完全脱空两类。此类病害的形成原因主要包括以下方面:

(1)梁底或支座垫石不平整,垫石面标高未控制在同一平面,或者垫石因质量问题强度不够被压坏等,这些因素均可能导致脱空的发生。

(2)梁体在环境温度作用下伸缩量过大,支座的顶板随梁体在纵桥向侧移过大且难以恢复,从而出现支座局部受压的半脱空状态。

(3)支座由于软地基导致墩台沉降引起支座脱空。特别需要注意,当某个支座发生脱空时,其他相邻的支座的受力会增加,导致上部结构受力不均匀,可能会进一步加剧其他支座的损伤^[10]。

通过对该钢箱梁桥施工情况的全面分析,初步判断局部支座脱空现象的发生是由于温差变形和未及时浇筑配重混凝土。

2.1 温差变形导致的脱空

为了验证温度变化是否是影响支座脱空的主要因素。在不同温度下,我们对支座脱空的变化情况以及整个钢箱梁的变形进行了观察和测量。观测时间选在日气温变化明显的时间段,主要观测的数据包括:支座脱空量大小、钢箱梁平面位移和竖向位移。

同时,根据现场实际的施工工况以及监测数据,采用有限元软件 MIDAS 对目前钢箱梁的理论计算结果进行了分析,并与实际观测数据进行了对比论证。

2.1.1 支座脱空量大小

根据表 1 的数据,可以观察到 P0 墩的四个支座脱空量大小随着气温的升高而呈现减小的趋势。这表明,当温度上升时,支座的竖向位移变化有所减小。然而,除了 P0-1 支座在 10 °C 时没有出现脱空现象之外,其余的所有支座在 5 °C/10 °C 时都出现了一定程度的脱空现象。这表明,在 12 月的时候,由于气温相较于 10 月要低很多,钢箱梁可能会产生一定的收缩效应,导致支座顶板随着梁体在竖向和侧向上产生较大的位移,从而引发支座的局部脱空,这在下面两小节中会具体论述。而对于其他墩的支座,现场没有观察到明显的脱空现象,这很可能与桥梁梁端的位移累积有关。

表 1 支座脱空量随温度变化表

支座编号	气温/°C	脱空量/cm	变化量/cm
P0-1	5	2.0	-2.0
	10	0.0	
P0-2	5	3.6	-1.3
	10	2.3	
P0-3	5	4.0	-1.9
	10	2.1	
P0-4	5	3.2	-1.2
	10	2.0	

注:(其他墩的支座未发现明显变化)

2.1.2 箱梁平面位移

根据表 2,可以观察到箱梁平面位置在 P0 处受到温度的影响,产生了一定的变化(变化值不大于 7 mm)。其中,在 10 °C 时平面位移较 5 °C 时小,这表明在一定范围内的温度上升可以降低支座的收缩效应,从而减少侧向位移。其他位置的变化则相对较小,并且连续几天在同一时间段内的观测数据基本保持一致。

2.1.3 箱梁竖向位移

根据表 3,可以发现箱梁的竖向位移主要发生在 P0 墩处,位移量在 35 mm 以内。随着温度的降低,竖向位移差逐渐增大,这表明温度降低引起了箱梁的收缩变形,进而导致竖向位移差较大。然而,在一定范围内升高温度可以减小箱梁的收缩,从而减少竖向位移差。在其余位置,变化不太明显。

综上所述,箱梁的竖向位移明显大于平面位移,这说明梁体因温度变化导致的收缩变形在竖向会上

表2 测点平面位移表

观测时间	观测气温/℃	观测点位	设计坐标/m		实测坐标/m		偏差/mm	
			X	Y	X	Y	Δx	Δy
9:00	5	P0-1	313 303.273	104 066.651	313 303.270	104 066.644	-3	-7
		P0-2	313 333.893	104 059.357	313 333.891	104 059.351	-2	-6
		P2-1	313 301.935	104 132.585	313 301.938	104 132.584	+3	-1
		P2-2	313 333.592	104 125.045	313 333.594	104 125.047	+2	+2
14:00	10	P0-1	313 303.273	104 066.651	313 303.273	104 066.649	0	-2
		P0-2	313 333.893	104 059.357	313 333.894	104 059.355	+1	-2
		P2-1	313 301.935	104 132.585	3133 01.935	104 132.584	0	-1
		P2-2	313 333.592	104 125.045	313 333.594	104 125.047	+2	+2
21:00	5	P0-1	313 303.273	104 066.651	313 303.272	104 066.647	-1	-4
		P0-2	313 333.893	104 059.357	313 333.892	104 059.355	-1	-2
		P2-1	313 301.935	104 132.585	313 301.937	104 132.584	+2	-1
		P2-2	313 333.592	104 125.045	313 333.593	104 125.046	+1	+1

表3 测点竖向位移表

观测时间	观测气温/℃	观测点位	设计标高/mm	实测标高/mm	偏差/m
9:00	5	P0-1	5 847	5 867	+20
		P0-2	6 092	6 107	+15
		P0-3	5 779	5 808	+35
		P2-1	5 579	5 582	+3
		P2-2	6 080	6 082	+2
		P2-3	5 945	5 948	+3
14:00	10	P0-1	5 847	5 852	+5
		P0-2	6 092	6 097	+5
		P0-3	5 779	5 794	+15
		P2-1	5 579	5 581	+2
		P2-2	6 080	6 081	+1
		P2-3	5 945	5 947	+2
21:00	5	P0-1	5 847	5 855	+8
		P0-2	6 092	6 102	+10
		P0-3	5 779	5 799	+20
		P2-1	5 579	5 582	+3
		P2-2	6 080	6 081	+1
		P2-3	5 945	5 947	+2

产生较大的位移,从而导致支座局部脱空。

2.1.4 理论计算

根据现场实际的施工工况以及监测数据,采用有限元软件MIDAS对不同工况下钢箱梁的支座反力进行理论计算,采用变截面组梁单元建立了钢箱梁纵梁,一般型钢截面梁单元建立横梁,支座采用一般支撑模拟,支座与箱梁之间采用刚性连接,并对结果进行分析比对。

(1)成桥阶段(未压重)支座反力

如图2所示,展示了连续钢梁焊接完成后并拆除支架后的竖向支反力计算图,其中只考虑了钢箱梁自重的效应,未计入端部混凝土压重以及铺装、缘石

等二期恒载的作用。从图中可以观察到,钢箱梁自重作用下的P0号墩支座位置的竖向支座反力相对较小,最小处的支座反力储备仅有96kN。

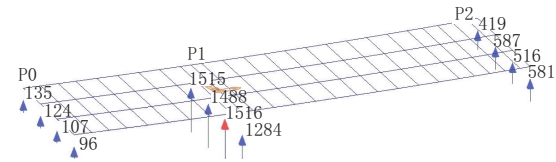


图2 钢箱梁自重下竖向支座反力(单位:kN)

(2)成桥阶段(加温度荷载)支座反力

在钢箱梁自重和温度荷载作用下(梯度降温),P0号边墩有86 kN的负反力,见图3。

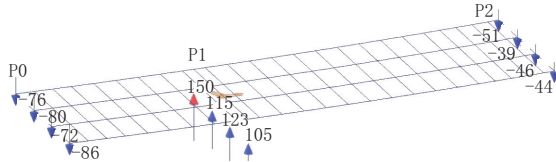


图3 钢箱梁自重+温度荷载下竖向支座反力(单位:t)

图像表明,如果不及时进行压重处理,受到温度效应(甚至桥面局部堆载以及施工车辆的活载作用)的影响,P0号墩处的支座容易发生脱空现象。

通过以上研究和分析,理论计算的分析结果与现场实际观测数据基本一致,由此得出,温度变化是影响支座脱空的主要因素之一。在温度变化明显的情况下,支座脱空量的大小、钢箱梁的平面位移和竖向位移都会发生一定变化。

2.2 未及时配重导致的脱空

在全面复查现场施工情况后,发现支座脱空现象可能与未及时浇筑配重混凝土有关。为验证这一推测,在P0墩的主车道位置加载了一辆重55 t的货车,以模拟配重后可能产生的支座变化情况。与2.1节所述相同,观测时间选择在日气温变化明显的时

间段,主要观测的数据为支座脱空量大小的变化情况。此外,利用 MIDAS 软件对浇筑配重混凝土后的支座情况进行有限元计算,并将实际观测数据与计算结果进行分析对比。

2.2.1 支座脱空量大小

在 5℃ 温度下是否加载 55 t 临时配重对 P0 墩支座脱空量的影响,以及 P0 墩支座在加载 55 t 临时配重后支座脱空量在一天内变化见图 4、图 5。

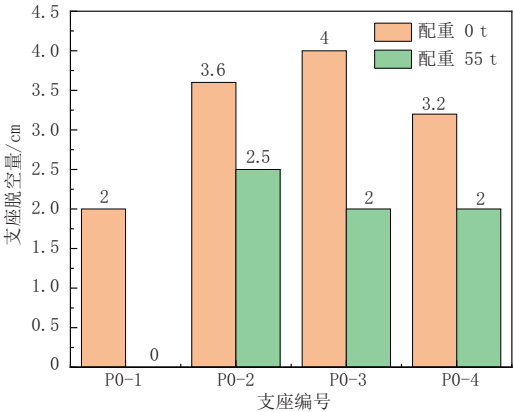


图 4 5℃ 下不同配重对 P0 支座脱空量的影响

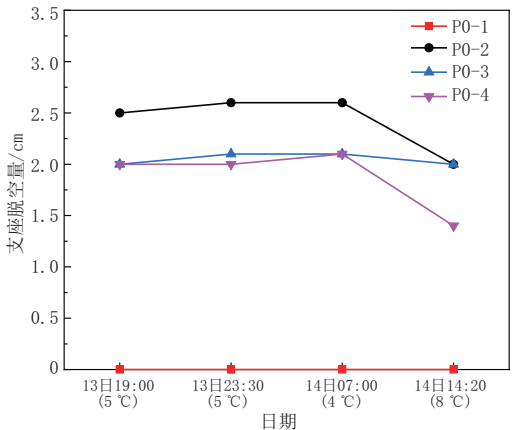


图 5 加载配重 55t 后 P0 支座脱空量随时间变化图

根据图 4、图 5,可以观察到,在相同的温度条件(5℃)下,当在 P0 墩加载临时配重 55 t 时,四个支座处的脱空量明显减小,且减小的幅度超过 30%。同时,在加载临时配重后的 24 h 内,P0 墩的四个支座脱空量均呈现出持续减小的趋势。这进一步证实了配重是影响支座脱空量变化的重要因素之一。

2.2.2 理论计算

在现场的实际施工工况以及监测数据的指导下,利用有限元软件 MIDAS 对不同工况下的钢箱梁支座反力进行了理论验算,并对结果进行了深入的分析与对比。

(1) 成桥阶段(压重)支反力

图 6 为拆除支架后,在 P0 号墩完成 123 m³铁砂

混凝土(3 t/m³)压重后的支反力计算结果。此时也未考虑铺装、缘石等二期恒载的作用。

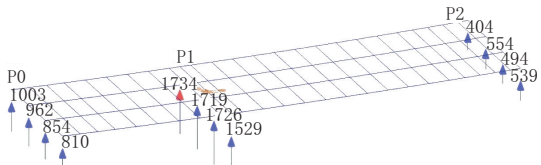


图 6 压重后的竖向支反力(单位:kN)

通过与图 2 的对比,可以发现,在压重之后,P0 号墩位置的竖向支反力最小值由原来的 96 kN 提高到了 810 kN(见图 6)。这样的压力储备足以应对后期可能出现的温度和活载所产生的负反力。

(2) 运营阶段(考虑全部恒、活载)支反力

图 7、图 8 展示了成桥在运营阶段的最不利工况下支反力最大值和最小值计算图,其中综合考虑了全部一期恒载、二期恒载以及活载的作用。

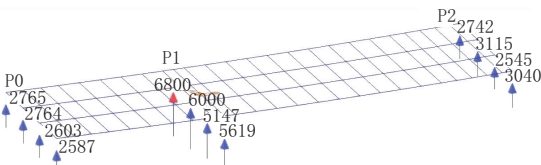


图 7 运营阶段最大竖向支反力(单位:kN)

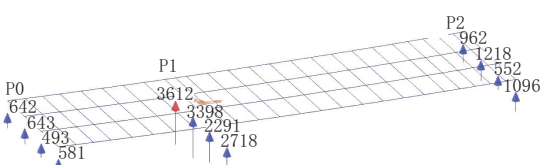


图 8 运营阶段最小竖向支反力(单位:kN)

根据图 7、图 8,可以看出,即使在最不利的工况下,按照图纸要求进行压重处理后,运营阶段支座反力均未出现负反力(即支座脱空)的情况,支座压力储备也满足了要求。

(3) 运营阶段(考虑全部恒、活载)应力

基于 2.2.2.2 节,在成桥运营阶段考虑全部一期恒载、二期恒载以及活载的作用,对桥梁进行压重处理后,钢箱梁上下缘最大应力见图 9、图 10。

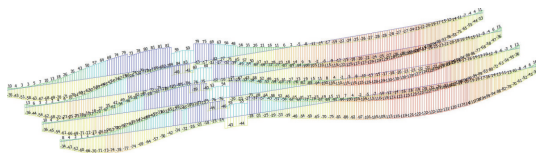


图 9 运营阶段上缘最大应力(单位:MPa)

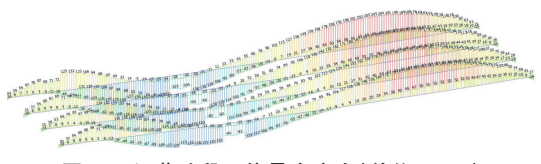


图 10 运营阶段下缘最大应力(单位:MPa)

根据图9、图10,运营阶段的钢箱梁上缘最大应力为132 MPa,最大应力为206 MPa。经过规范验算,这些应力均在容许应力范围内,符合规范要求^[11]。

上述结果表明,未及时浇筑配重混凝土的确会导致P0墩支座产生脱空,而配重处理对于防止支座脱空和满足压力储备要求具有积极的作用,进一步证明了配重处理的有效性和必要性。

2.3 支座脱空原因总结

根据对支座和钢箱梁的实际监测数据和理论计算的验证,基本可以确定,该钢箱梁桥支座脱空主要原因是温度变形和未及时浇筑配重混凝土。

(1) 温度变形

本工程钢箱梁于10月底顺利合拢后,进入冬季气温降低,受钢结构物理特性的影响,钢箱梁产生收缩变形,而这种收缩变形主要表现在伸缩缝位置。由测点在不同时间段支座脱空大小变化情况、钢箱梁平面位移、竖向位移和支反力大小可得,由于温度变化的影响,钢箱梁产生了端部变形,进而导致支座脱空的现象。

(2) 配重未及时施工

本工程钢箱梁为不等跨并带曲率的连续梁结构,其线型和结构较普通连续梁复杂。钢箱梁在主体结构安装完成后,应当尽快施工浇筑混凝土以增加结构稳定性。然而,在实际施工中,由于施工工序安排不合理,未能在钢箱梁主体结构吊装完成和钢结构焊接完成并检测合格后,及时浇筑配重混凝土。这也是导致支座脱空的一个重要原因。经验证,如果增加临时配重,可以显著减小甚至消除支座脱空现象,同时也能使支座压力储备和上下缘应力符合设计规范。

3 处理方案

在深入剖析主要原因后,根据相关规范要求^[12-13],采取了以下处理措施:

(1) 遵循相关的支座养护规定,对发生脱空的支座进行垃圾清理,并在四氟板内部进行适当的保养。

(2) 完成支座保养后,严格依照图纸要求,尽快分两次进行配重混凝土的浇筑。浇筑时间应尽量接近箱梁合拢时的天气条件。

(3) 配重施工完成后,为支座安装防护罩(见图11)。

(4) 持续监测好钢箱梁的变形、位移等重要数据。



图11 配重施工后支座情况图

4 结语

本文通过对某工程实例中钢箱梁桥支座脱空成因分析及处理方案研究,主要得到以下结论。

(1) 在钢箱梁桥施工过程中,应注意温度变化对整体结构变形的影响,特别是曲线型的不等跨钢箱梁,其变形可能导致支座反力分布不均,存在脱空的风险。

(2) 通过软件计算分析,浇筑配重混凝土后的支座反力是未及时浇筑配重混凝土的8倍左右,是影响脱空主要影响因素。

(3) 应在钢箱梁主体结构吊装完成和钢结构焊接完成并检测合格后浇筑配重混凝土,且浇筑时间应尽量接近箱梁合拢时的天气条件,从而防止在支座处产生负反力导致支座脱空。

(4) 如钢箱梁支座处出现了脱空情况,应对支座进行保养、安装支座防护罩和及时浇筑配重混凝土的处理方案,尽快消除脱空现象。在本工程实际采取以上措施后,支座脱空现象消失,故该方案科学可行。

参考文献:

- [1] 庄军生. 桥梁支座[M]. 北京:中国铁道出版社,2015.
- [2] 刘祥,梅向阳,赵定智. 某大跨连续梁桥球型钢支座检测与安装技术[J]. 建设机械技术与管理,2022(1):120-123.
- [3] 李旭东. 桥梁全寿命盆式球钢支座位学及抗震性能研究[D]. 石家庄:河北科技大学,2020.
- [4] GB/T 17955—2009,桥梁球型支座[S].
- [5] 梅艳婷. 钢箱梁桥支座脱空病害处治探讨[J]. 交通世界,2023(4):223-225.
- [6] 陈福斌,丁茂瑞,吴健,等. 某钢箱梁桥支座脱空原因分析及处治[J]. 中外公路,2010(4):149-152.
- [7] 肖金军,鄢谷生. 曲线钢箱梁桥支座最不利反力分析与试验研究[J]. 中外公路,2012,32(3):151-154.
- [8] 吴健. 施工过程中钢箱梁支座脱空病害分析及处理[J]. 城市道桥与防洪,2011(3):95-98.
- [9] 许正坤. 支座脱空对分段吊装连续钢箱梁桥的影响研究[J]. 建材世界,2016,37(3):65-67.
- [10] 姜玉印. 梁桥支座群的脱空病害监测与诊断方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021.
- [11] JTG-D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [12] JTG 5120—2021,公路桥涵养护规范[S].
- [13] JTG/T 5532—2023,公路桥梁支座和伸缩装置养护与更换技术规范[S].