

预应力混凝土连续箱梁加固设计

田 卿, 龙 岭, 张大勇, 朱 倩

(长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430010)

摘要:某预应力混凝土连续箱梁因混凝土强度达不到设计要求,以及梁截面过渡不平滑,导致截面压应力超标,需进行加固设计。结合边跨堆载压重的技术手段,采用增大截面法及桥面补强法对梁体进行加固设计。通过建立有限元模型,分析了加固前后结构的受力性能。计算表明,该加固措施有效解决了压应力超限的问题,同时也使主应力、抗弯强度、挠度等指标得到有效改善。

关 键 词:连续箱梁;增大截面法;桥面补强法;桥梁加固

中图法分类号:U448.213 文献标志码:A DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.S1.039

1 工程概况及病害简介

某城市高架一联预应力混凝土连续箱梁,上跨南水北调中线总干渠,跨径布置为 35+61+39.49,由左、右两幅桥组成,两幅桥单独受力,单幅桥宽 17.25 m,单幅桥面组成为:0.5 m(防撞栏杆)+5 m(人行道、非机动车道)+11.5 m(机动车道)+0.25 m(1/2 中央分隔带)。上部箱梁纵向及横梁按照 A 类预应力混凝土构件进行设计,桥面板按照普通钢筋混凝土构件进行设计,设计汽车荷载为城-A 级。箱梁构造如图 1 及图 2 所示,采用单箱 3 室斜腹板截面,混凝土标号 C50,顶板宽 17.25 m,底板宽 9.317~11.05 m,中支点处梁高 3.5 m,边支点及跨中处梁高 2.0 m,腹板厚度为 0.4~0.7 m,顶板厚度 0.25 m,底板厚度 0.25~0.4 m。

该桥箱梁施工工艺采用支架现浇,在浇筑完成后,即发现外表面施工缝处有不密实现象,进而发现浇筑后的混凝土存在较多病害。经专业检测单位对全桥进行外观检查、混凝土强度检测和梁体承载能力检算评定,得出主要结论是:①箱梁存在蜂窝麻面、有害大孔、开裂及裂缝等多种病害,上部结构技术状况等级评定为Ⅳ类;②由于箱梁结构混凝土浇筑振捣不密实,混凝土强度等级检测推定值仅为 C40,不满足 C50 的设计要求;③现状裂缝多为非结构性裂缝,可同蜂窝

麻面、孔洞等一般施工质量病害一并加固修复。因此,该桥关键病害是上部结构混凝土强度推定值仅为 C40,达不到 C50 的设计要求。

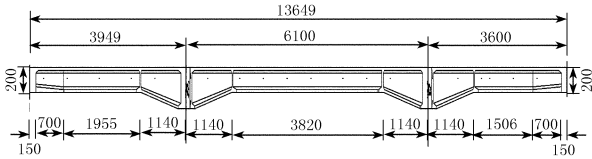


图 1 箱梁立面图(单位:cm)

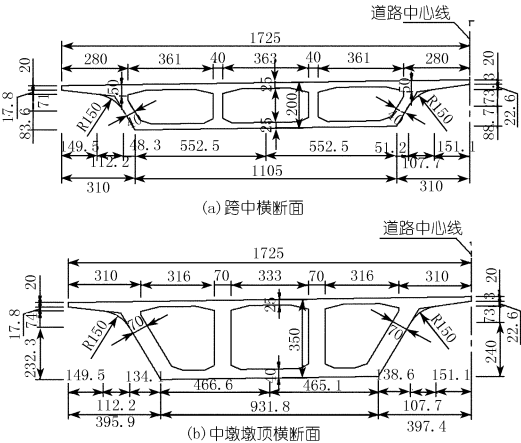


图 2 箱梁典型横断面(单位:cm)

据此,首先应对桥梁的原设计进行检算分析。在计算荷载、边界条件取值与原设计完全相同的条件下进行分析。结果表明:在原设计成桥运营阶段标准值

组合下,边跨跨中截面下缘最大压应力达到 14.5 MPa,中跨跨中截面上缘最大压应力达到 14.3 MPa,均不超过 C50 混凝土的规范限值 16.2 MPa,但超出了 C40 混凝土的规范限值 13.4 MPa,如图 3 所示,而全桥各截面拉应力及主应力均不超出 C40 混凝土的规范限值。因此,该桥加固设计的核心问题就是降低各跨跨中超限的压应力,这也是目前大多数缺陷桥梁加固设计中最不易解决的问题之一。

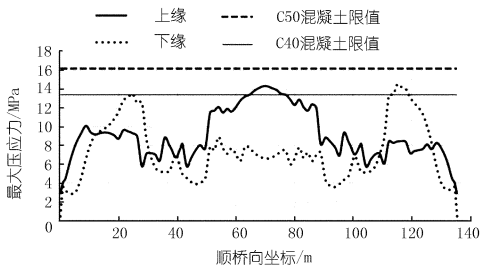


图3 原设计运营阶段标准值组合下最大压应力包络线

此外,图3显示出原设计最大压应力分布较为不均匀,压应力在边跨跨中下缘和中跨跨中上缘出现极大值,其余部位压应力水平则偏低,说明原设计尚有一定程度的不合理性。通过进一步对原设计进行定性分析可知,该桥箱梁按照A类预应力混凝土构件进行设计,最小压应力储备不足,而最大压应力也临近超限,说明在预应力配置上已几乎没有优化的余地,因此该桥箱梁压应力分布差异较大的主要原因可归结为箱梁截面从跨中过渡到墩顶仅经过了一次突变,导致结构刚度分布与结构内力分布吻合度差,若箱梁截面在全桥范围内采用曲线渐变过渡,则全桥最大压应力分布将更趋于均匀,对病害的预防及加固处理将更为有利。

总的来说,该桥箱梁出现病害的主要原因是,由于施工不当造成混凝土低强,而该桥的结构形式也存在一定程度的先天不足。

2 加固设计目标和对策

针对该桥出现的病害,加固方案应当包含以下两个方面的内容:① 缺陷修复和耐久性加固;② 结构性加固。缺陷修复和耐久性加固主要指裂缝封闭、混凝土表面缺陷修复、施工薄弱环节处理及箱梁外表面涂刷油漆,之后方可实施结构性加固。

该桥结构性加固的核心思想是增加截面刚度从而降低压应力^[1-5]。初步考虑的加固方案包括粘贴钢板法、张拉体外预应力法及增大截面法。粘贴钢板法主要针对改善拉应力,对改善压应力效果有限,不适用于该桥;张拉体外预应力法对改善压应力较为有效,但对理论计算的精度要求高,且工艺复杂、施工难度大、成本高、不利于后期维护;而增大截面法则可以避免前两

种方法的种种弊端,故而优先采用。此外,桥面补强法原理及效果与增大截面法类似,可与增大截面法结合使用。

加固之前首先应进行边跨底板减压,具体手段是边跨局部堆载。堆载重量越大减压效果越好,但需防止过度堆载导致梁体产生拉应力。本加固设计中将堆载重量控制在使边跨下缘仅留出0.6 MPa以上的压应力储备。具体堆载方案如下:在两边跨的4条腹板上的一定范围内,堆载2 m×2 m土堆(或其它等效物),第1跨堆载总重为728 t,第3跨堆载总重为854 t,堆载物均匀分布以确保桥面板受力均匀,堆载物截面及立面布置分别如图4、图5所示。

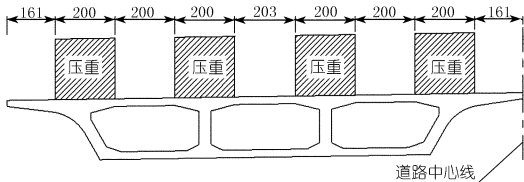


图4 边跨堆载截面布置(单位:cm)

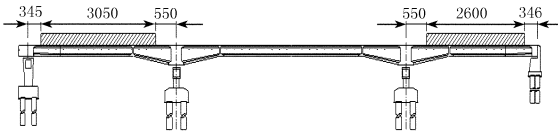


图5 边跨堆载立面布置(单位:cm)

在释放边跨底板超限压应力之后,采用增大截面法对边跨底板进行加固:在边跨箱梁内部底板浇筑20 cm厚钢铰铰削型钢纤维混凝土,采用凿毛植筋法连接新老混凝土,钢纤维按45 kg/m³加入。

在边跨底板减压的同时,中跨顶板超限压应力也得到释放。采用桥面补强法对中跨顶板截面补强,将桥面铺装层原设计8 cm厚混凝土找平层改为8 cm厚钢铰铰削型钢纤维混凝土,从而使桥面铺装参与结构受力,改善中跨顶板压应力的超限情况。之后去除边跨堆载压重。为进一步增强边跨截面抗力,边跨顶板同样采用钢纤维混凝土替换原桥面混凝土调平层。上述结构性加固工序详见表1。需要注意的是,加固工序对结构最终受力状态的形成有决定性影响,不可随意更改。

表1 结构性加固工序

加固工序	加固目标	加固措施
1	释放边跨底板及中跨顶板超限压应力	边跨堆载压重
2	采用增大截面法加强边跨截面刚度	边跨底板浇筑钢纤维混凝土
3	采用桥面补强法加强中跨截面刚度	中跨顶板浇筑钢纤维混凝土
4	恢复原设计受力状态,钢纤维与原结构协同受力	去除边跨压重
5	采用桥面补强法进一步加强边跨截面刚度	边跨顶板浇筑钢纤维混凝土
6	完成加固	进入常规桥面系施工流程,开始桥面铺装

3 加固效果分析

3.1 模型建立

在箱梁混凝土强度等级采用 C40 的前提下,采用与原设计相同的计算荷载、边界条件,对加固效果进行分析。采用 MIDAS 程序建立平面杆系有限元模型。对于加固截面,采用“施工阶段联合截面”功能考虑截面各部分在不同施工阶段的受力,如图 6 所示。

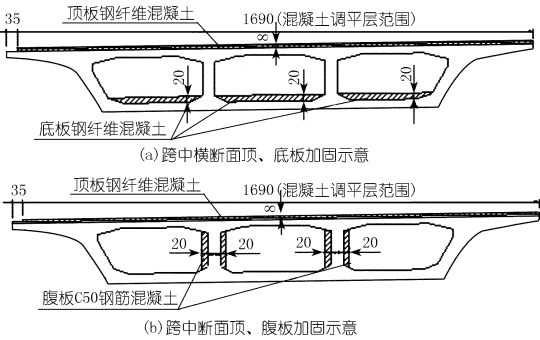


图 6 加固截面模拟示意 (单位:cm)

3.2 加固过程及效果分析

(1) 边跨堆载压重。边跨堆载前后,箱梁压应力包络图见图 7。结果表明,堆载前,边跨跨中下缘最大压应力为 12.2 MPa,中跨跨中上缘最大压应力为 6.5 MPa。堆载后,边跨跨中下缘最大压应力降至 6.1 MPa,中跨跨中上缘最大压应力降至 4.7 MPa。边跨堆载对结构应力分布的调整是显著的,同时也控制了全结构压应力水平处于限值以下。

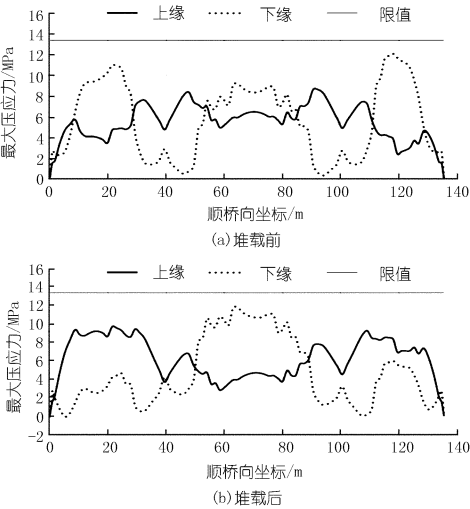


图 7 边跨堆载前后箱梁最大压应力包络线

(2) 在边跨底板处于低应力状态时,浇筑边跨底板钢纤维混凝土。钢纤维混凝土达到设计强度并与原截面协同受力后,箱梁压应力包络图见图 8。边跨底板加固后,边跨跨中下缘最大压应力由 6.1 MPa 降至

5.6 MPa,中跨跨中上缘最大压应力由 4.7 MPa 降至 4.5 MPa。

(3) 浇筑中跨顶板钢纤维混凝土。钢纤维混凝土达到设计强度并与原截面协同受力后,箱梁压应力包络图见图 9。中跨顶板加固后,边跨跨中下缘最大压应力由 5.5 MPa 升至 6.6 MPa,中跨跨中上缘最大压应力由 4.5 MPa 升至 5.7 MPa。

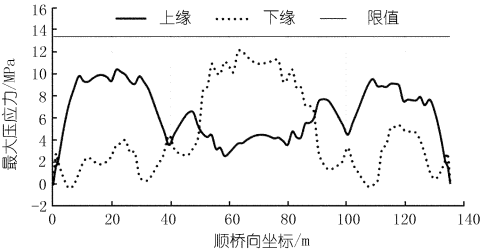


图 8 边跨底板加固后箱梁最大压应力包络线

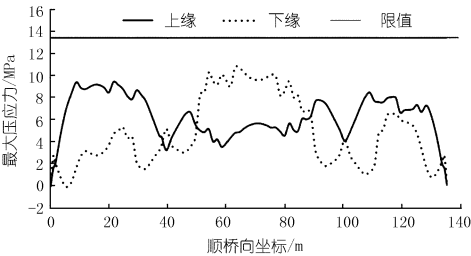


图 9 中跨顶板加固后箱梁最大压应力包络线

(4) 卸除边跨堆载。卸载后,边跨跨中下缘最大压应力由 6.6 MPa 升至 11.5 MPa,中跨跨中上缘最大压应力由 5.7 MPa 升至 7.2 MPa。

(5) 浇筑边跨顶板钢纤维混凝土。边跨顶板加固后,边跨跨中下缘最大压应力由 11.5 MPa 降至 10.7 MPa,中跨跨中上缘最大压应力由 7.2 MPa 降至 7.0 MPa。

(6) 在完成了箱梁结构性加固之后可进行桥面二期恒载的铺装。综观整个加固过程,边跨跨中下缘及中跨跨中上缘这两个关键控制点的应力变化如图 10 所示。

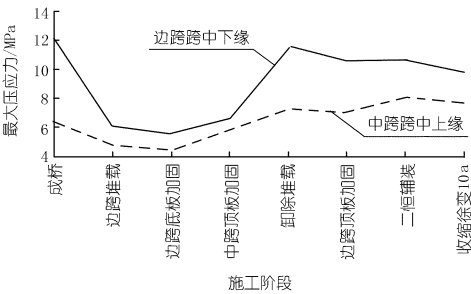


图 10 施工阶段箱梁关键控制点最大压应力变化历程

组,加大土地整理力度,把土地整理与农田基础设施建设相结合,大力开展包括土地平整、农田水利设施建设、田间道路修建等为主要内容的土地整理工程,改变田块零星分散、土地利用率低的状态,提高耕地质量、土地产出率和土地供给能力,实现规模化经营和机械化生产,促进农业产业化发展。通过产业扶持政策,可结合库区实际,发展扶持库区优势产业,形成规模效应,引导库区留置人口走自主致富的农业生产道路。

(3) 公共服务设施配套完善。整合各项资金,进一步完善公益服务设施配套,尽量配套完善医疗卫生室、学校、社区活动室或文化站、商业店铺等公益服务设施,着力改善面临公益服务设施缺失类生活问题的留置人口生活现状。

参考文献:

[1] 长江勘测规划设计研究有限责任公司. 南水北调丹江口水库建设征地移民搬迁后留置人口影响分析报告[R]. 武汉:长江勘测规划设计研究有限责任公司,2013.

[2] 逢智堂,刘道明,李彦强,等. 激励兼容视角下的库区移民安置机制研究[J]. 人民长江,2012,43(增2):176-179.

[3] 长江勘测规划设计研究有限责任公司. 南水北调中线一期工程丹江口水库初步设计阶段建设征地移民安置规划设计报告[R]. 武汉:长江勘测规划设计研究有限责任公司,2010.

[4] 长江勘测规划设计研究有限责任公司. 南水北调中线一期工程丹江口水库建设征地湖北省农村移民安置实施规划报告[R]. 武汉:长江勘测规划设计研究有限责任公司,2011.

[5] 杨荣华,王迪友,王鄂豫. 水利水电工程建设征地移民安置工作的几点思考[J]. 人民长江,2013,(2):5-8.

(编辑:邓玲)

(上接第 122 页)

表 2 加固前后箱梁主要控制指标对比

状态	上缘最大	下缘最大	上缘最小	下缘最小	最大主拉	最大主压	正截面抗弯强度	斜截面抗剪强度	消除自重后的短期组合	
	压应力/MPa	压应力/MPa	压应力/MPa	压应力/MPa	应力/MPa	应力/MPa	安全系数	安全系数	最大挠度/mm	
加固前	14.3	14.5	0.1	2.4	1.1	14.5	1.02	1.65	53.7	
加固后	11.1	12.2	1.4	2.7	0.89	12.2	1.10	1.61	35.3	
最不利位置	中跨跨中	边跨跨中	中支点	中跨跨中	中支点	边跨跨中	中跨跨中	中跨跨中	中跨跨中	

图 10 表明,加固过程中,箱梁结构压应力始终控制在适当的水平,从而反映出在“堆载-卸载”过程中,叠合截面(钢纤维混凝土)起到了分担部分原截面荷载的作用。此外,通过叠合截面对截面刚度进行加强,也将有效减小结构在成桥运营阶段受各荷载作用产生的截面应力。加固前后箱梁各主要控制性指标的对比见表 2。

加固后,箱梁最大压应力降低到限值 13.4 MPa 以下,并留出了 1.2 MPa 的富余量,同时,箱梁的最小压应力、主应力、抗弯强度、挠度等指标均得到一定程度的提高。因此,本加固设计具有一定的有效性及合理性。

4 结 语

该桥箱梁出现的主要缺陷表现为,由于施工不当导致混凝土强度等级推定值为 C40,不满足 C50 的设计要求,且在结构设计上截面刚度突变而非平滑过渡,以致应力分布过于不均,在边、中跨跨中出现了远大于其余部位的压应力,从而导致成桥阶段最大压应力超

出规范限值。

加固设计围绕降低箱梁压应力展开。对箱梁加固前后的计算分析表明,增大截面法及桥面补强法结合,同时辅以外部“堆载-卸载”的方式对加固过程应力状态进行调整,有效解决了箱梁最大压应力超限的问题,同时也使箱梁最小压应力、主应力、抗弯强度、挠度等主要控制性指标均得到有效改善。该桥加固后已正常通车近半年,目前表观病害已经消除且运营状况良好,反映出加固设计取得了预期效果。

参考文献:

[1] 蒙云,卢波. 桥梁加固与改造[M]. 北京:人民交通出版社,2004.

[2] 容洪流. 广西合浦县党江大桥桥梁加固分析[D]. 南宁:广西大学,2004.

[3] 徐爱敏,赵卓,王健. 某在役高速公路高架桥的加固设计研究[J]. 世界桥梁,2006,(3):60-62.

[4] 李铮,林波. 桥梁结构加固设计安全性分析[J]. 桥隧工程,2013,(24):102-105.

[5] 路飞,彭程. 常见桥梁加固方式的分析比较与应用研究[J]. 公路,2013,(10):121-123.

(编辑:郑毅)