

苏州地铁某车站深基坑围护结构监测分析

穆永江

(中铁十三局集团 第二工程有限公司, 广东 深圳 518083)

摘要:对苏州地铁某车站明挖基坑施工进行跟踪监测,及时掌握围护结构变形、支撑内力的变化动态,以指导施工确保基坑稳定。经过对比分析基坑有、无加固措施的变形和支撑内力的变化特征表明:基坑外水泥土搅拌桩加固措施的设置,可以有效地减小围护结构的水平变形,并且能够阻碍边坡滑移破坏面的发展,减小作用于地下连续墙上面的土压力,使得内支撑上的最大轴力减小。

关键词:地铁车站;深基坑加固;施工;监测

中图分类号:TU921 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-0300(2009)03-0038-06

随着国家经济的发展以及城镇化进程的加快,越来越多的城市正在进行地下铁道的建设。尽管国家已经加强了对地铁施工的监管工作,但在工程施工过程中,仍时有工程事故发生的信息见于报端,尤其在2008年11月15日发生在杭州地铁某车站基坑工程的事故之后,城市地铁车站基坑的安全稳定问题越来越受到人们的关注。基坑支护结构变形的大小和变化规律不仅关系到基坑本身安全,也关系到周围建筑物及地下管线的安全。结合苏州地铁一号线塔园路车站基坑工程的监测数据,分析了基坑有、无加固措施的围护结构变形和内支撑轴力的变化规律,希望能对类似工程提供借鉴。

1 工程概况

1.1 车站结构及支护方案

塔园路地铁站位于塔园路与邓尉路交叉路口下,站址北侧为运盛美之苑,西北侧为富士通通信有限公司绿地,东南侧为滨河花苑,西南侧为绿化带。车站外包长度122.65 m,标准段外包宽度19.9 m,为地下两层10 m宽岛式站台车站。车站设置四个出入口,两组风亭,1号风亭位于西南角,2号风亭位于东南角,1号、2号风亭均为低风亭。车站平面布置图如图1所示。

车站基坑在塔园路两侧采用明挖法施工,在塔园路上由于施工栈桥的设置,该部位的基坑采用暗挖法施工。基坑围护采用800 mm厚的地下连续墙加内撑进行支护,内撑根据基坑的开挖深度和宽度的不同而有所区别,但为了有效控制基坑变形,保障基坑的安全施工,基坑第一道内撑均采用1 m×1 m的钢筋混凝土内撑。基坑西端头井开挖宽度为34.11 m,基坑最大开挖深度约18.96 m,地下连续墙为33 m深,地下连续墙入土深度比 $\lambda =$

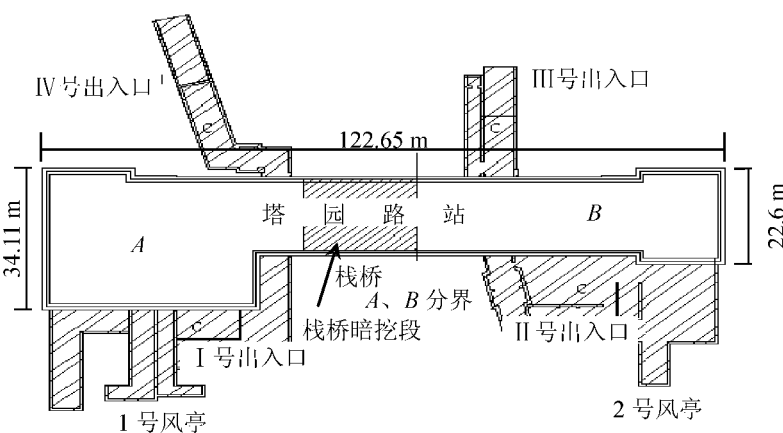


图1 车站平面布置

收稿日期:2009-04-24

作者简介:穆永江 男 1973年出生 工程师

0.74。共采用 5 道支撑,上面 3 道采用 C40 钢筋混凝土支撑,横断面尺寸为 1 m×1 m,下面为 2 道 Q235 的 的钢管撑。基坑东端头井开挖宽度为 22.6 m,开挖深度及地下连续墙深度与西端头井相同,采用 1 道 C40 混凝土支撑和 4 道 Q235 的 的钢管撑作为内撑。在端头井内每道支撑分别布置了斜支撑以保证基坑的局部安全。基坑标准段开挖深度约 16.20 m,地下连续墙为 31 m 深,地下连续墙入土深度比 $\lambda = 0.914$ 。西端头井内的支撑布置形式如图 2 所示。

1.2 岩土工程条件

车站基坑位置处的地质主要由 7 类土层组成,具体的地层物理力学指标如表 1 所示。

表 1 岩土体物理力学综合参数

土层名称	厚度/m	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	含水量/ %	孔隙比	压缩模量/ MPa	黏聚力/ kPa	内摩擦 角/($^{\circ}$)
①填土层	0.80~4.50	19.3	29.6	0.839	4.73		
③ ₁ 粘土层	1.70~4.20	20.0	24.6	0.708	7.32	56.9	10.8
③ ₂ 粉质粘土层	1.30~3.60	18.9	30.8	0.885	6.64	18.8	17.5
④ ₁ 粉土层	1.00~5.50	19.1	31.1	0.847	11.66	8.3	25.6
④ ₂ 粉砂层	3.00~9.80	19.7	25.3	0.702	16.3	6.6	31.8
⑤ ₃ 粉质粘土	4.70~13.10	19.1	30.9	0.867	5.72	8.1	10.6
⑤ ₄ 粉土夹粉质粘土	5.30~13.50	19.1	29.7	0.848	5.06	14.3	7.4

1.3 水文地质条件

苏州属长江流域太湖水系,主要由太湖、阳澄湖群及大小规模不等的河渠组成。水位主要受大气降水和太湖排水的影响,并受人为控制,常年水位(黄海标高)1.10~1.30 m,其年变幅 1 m 左右。③₁ 粘土层和③₂ 粉质粘土层透水性差,可作为相对隔水层。由晚更新世沉积的④₁ 层粉土、④₂ 层粉土~粉砂及⑤层粉质粘土构成含水层组。该含水层组埋深较浅,厚度较大。其中④₁、④₂ 层赋水性、透水性较好,其透系数 $4.34 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$,为中等透水土层。由于本车站基坑底部正好位于④₁ 层粉土、④₂ 层粉砂及⑤层粉质粘土,故在基坑开挖过程中需要分级降低微承压水头。

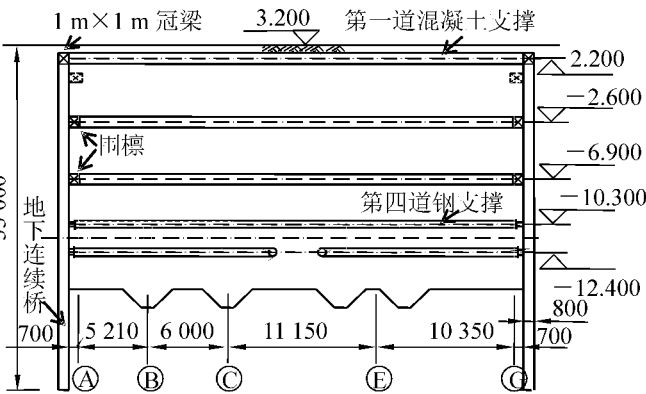


图 2 车站结构剖面图(单位:mm)

2 位移及内力监测方案

根据基坑相关技术规范和设计要求^[1,2],对施工过程中的车站基坑进行了多项监控量测。关于基坑的位移监测是该监控量测方案的重要内容。在基坑西端头井处,共布置了 9 根侧斜管和 4 个支撑轴力断面,用以监测基坑围护结构的侧向变形和内支撑的轴力变化情况。具体布置位置如图 3 所示。

采用 CX-06A 型智能数显侧斜仪对墙体不同深度处的侧向水平位移进行采集。测试时,将探头插入侧斜管,使滚轮卡在导槽内,缓慢下至孔底,等待 5~8 min 以后,待传感器测杆与孔内温度相同后开始测量。测量自下而上沿导槽全长每隔一定距离测读一次,每次测量时将探头稳定在某一位置上。测量完毕,将测头旋转 180°插入同一对导槽,按以上方法重复测量。深层水平位移的初始值为基坑开挖前连续 3 次测量无明显差异读数的平均值^[3,4]。钢筋混凝土内支撑采用钢筋计来监测其轴力。为了消除混凝土内撑因其弯曲和扭转对轴力产生的影响,在布置钢筋计时,需将钢筋计对称布置在支撑横断面上,并且至少布置 4 个传感器。通过应变相等原则,利用所测得的钢筋应变反算出混凝土支撑上的轴力。

3 施工过程及监测结果分析

3.1 端头井加固

为了保证盾构在进出洞时基坑的安全,分别对基坑端头井采用加固措施进行处理。加固措施采用旋喷桩配合搅拌桩,靠近车站端头采用单排双管旋喷桩,搅拌桩采用三轴、排距 500 mm。加固范围如图 4 所示。加固完毕后,经取样测试可知,土体无侧限抗压强度为 1.5 MPa,满足设计要求。

3.2 基坑开挖

基坑开挖严格按照“时空效应”理论,采用分段、分层、分块、对称、均衡、限时开挖,并遵循“开槽支撑、随撑随挖、严禁超挖”的原则,尽可能减少基坑开挖面上围护结构无支撑暴露时间。车站基坑先由西端头井开挖,因端头井斜撑较多,开挖深,面积大,开挖时采用履带吊配抓斗进行出土,基坑内设两台小型挖掘机配合倒土,分层进行。挖掘机自角点位置向后倒退式挖土,顺序如下:东北角土体开挖→焊接托架→架设(围檩)支撑→西北角土体开挖→架设

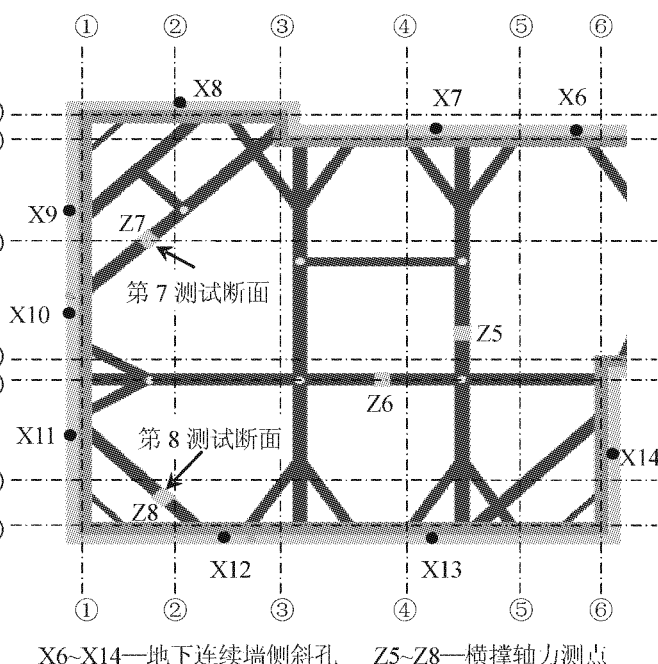


图 3 车站基坑西端头井第 1~3 道支撑监测平面布置

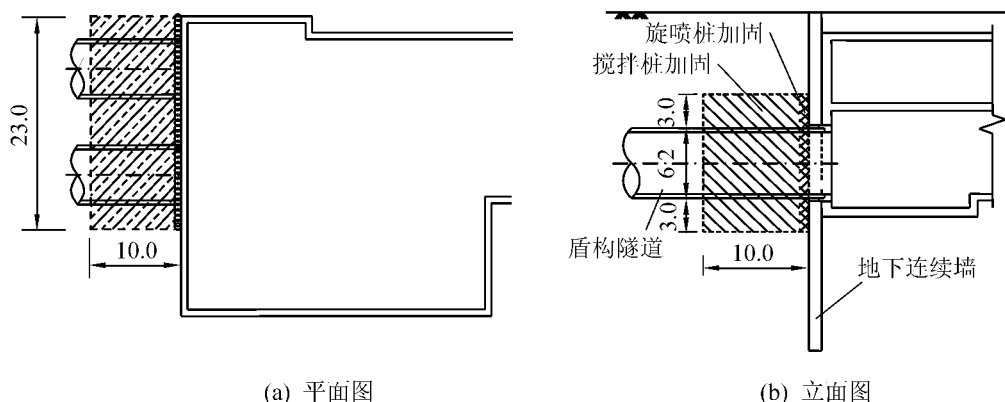


图 4 基坑西端头井加固范围(单位:m)

(围檩)支撑→中间三角体开挖施工→架设钢支撑→按设计要求加设预应力。基坑土方开挖如图 5 所示。

3.3 水平位移监测结果分析

为比较西端头井的加固效果,取 X9 和 X11 两侧斜孔的数据进行对比分析。地下连续墙的在基坑开挖过程中的水平变形及最大变形点的位移时程曲线如图 6 所示。由图 6 可知:

(1) 地下连续墙的最大变形位置不是出现在基坑地表附近,而是在位于埋深 18 m 附近的位置。地下连续墙的顶部不是向基坑内变形,而是向基坑外移动。

(2) 围护结构上具有最大变形的的位置随着基坑开挖深度的增加而逐渐下移。

(3) 基坑开挖过程中,基坑外有无加固措施对地下连续墙的变形速率以及最终变形结果有较大影响。

基坑外有加固措施的地下连续墙,其最大变形明显小于无加固措施的地下连续墙。X9 的最大变形为 41.17 mm,而 X11 的最大变形为 57.31 mm,X11 的最大变形是 X9 的 1.4 倍。另外,在基坑开挖同样深度时,X11 的变形速率明显大于 X9 的变形速率,但基坑开挖完毕后,X11 的变形基本趋于稳定,而 X9 的变

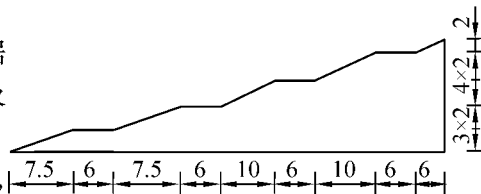


图 5 土方开挖示意(单位:m)

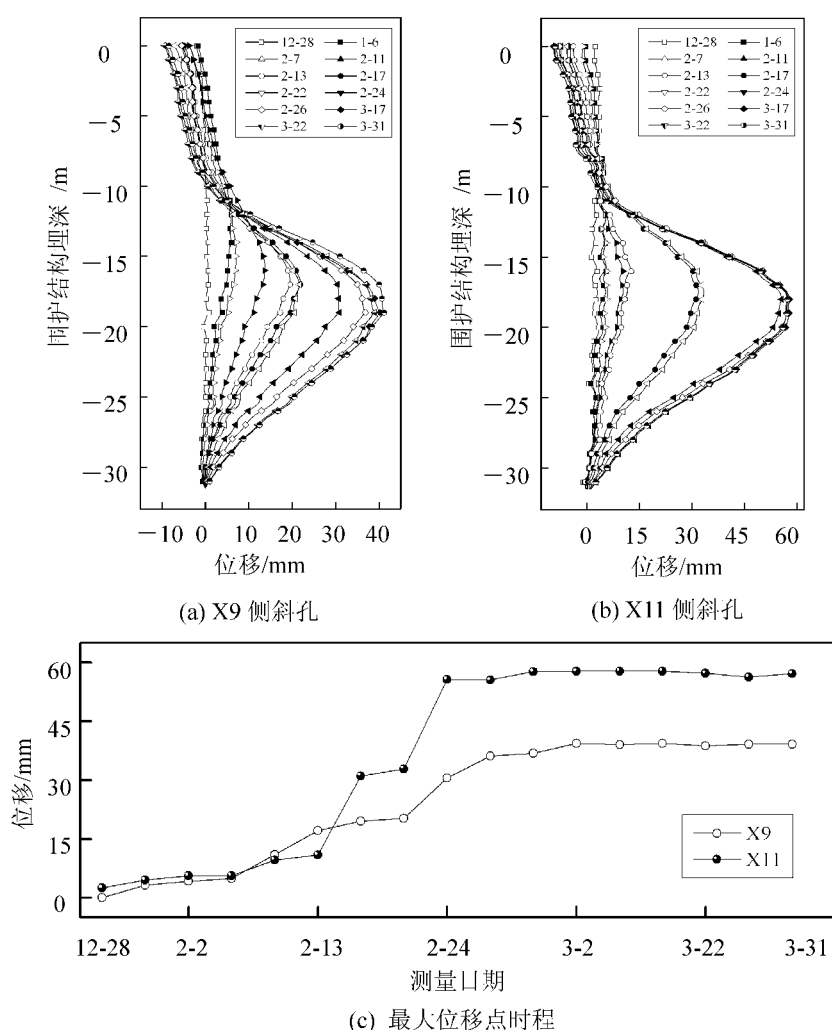


图6 围护结构水平变形

形还将有一定的发展。可以由图6(c)明显得出该结论。

由土力学的理论可以知道,边坡的滑移破坏面基本上为一圆形或椭圆形^[5]。根据边坡土层的物理力学参数的不同,滑移面将有所不同。随着基坑的逐步开挖,滑移破坏面将逐步形成并且滑移面的半径逐步增大,从而使得地下连续墙的最大受力位置逐步向下移动。宏观表现在围护结构上具有最大变形的部位随着基坑开挖深度的增加而逐渐下移。当土压力较小时,地下连续墙的侧向强度完全可以抵抗,此时地下连续墙几乎没有可见变形或侧向变形很小;当土压力增大后,地下连续墙的侧向强度不能满足要求后,且基坑内支撑又没有及时支护,则围护结构的变形将明显增大。图6(a)、(b)中,地下连续墙的侧向变形在2月17日至2月24日之间急剧增大,是基坑开挖后内支撑支护不及时所造成的结果。由于基坑外具有水泥土搅拌桩的加固措施,在一定程度上起到了抵抗土压力的作用,致使作用于地下连续墙上的作用力有所减小,从而使地下连续墙的侧向变形速率以及最终变形结果较小。

3.4 内撑轴力监测结果分析

通过对比第7、8测试断面的支撑轴力,可以反应出基坑加固措施的效果。其时程曲线如图7所示。由图7可知:

(1) 地表堆载对不同深度处的支撑内力影响不同。支撑距离地表越近,其内力受地表堆载影响越大。第一道支撑距地表最近,且在基坑开挖的前期,其轴力上下波动较大,而对于距离地表较远的第三道和第五道支撑来说,其轴力几乎不受地表堆载变化的影响。

(2) 位于基坑10.1 m深度处的第三道支撑受力最大,位于15.6 m深度处的第五道支撑轴力最小。无加固措施的基坑位置处,第三道支撑起主要作用;有加固措施的基坑位置处,第二道和第三道支撑共同

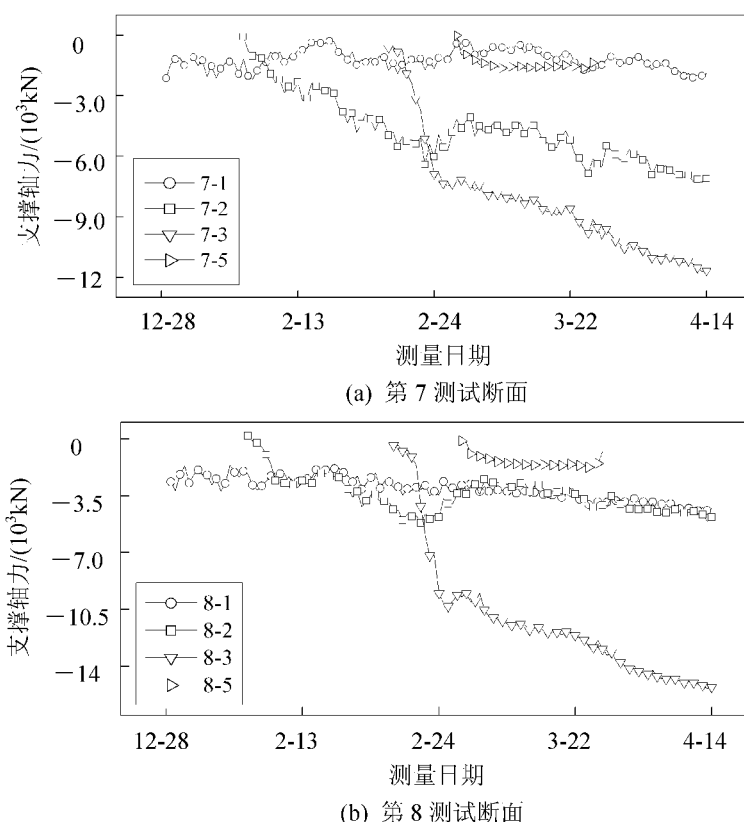


图 7 支撑轴力里程

起主要作用。

(3) 基坑外施加加固措施后,内支撑的最大轴力将明显小于无加固措施的情况。第 7 测试断面处的混凝土内支撑最大轴力为 11.7×10^3 kN,而第 8 测试断面处的混凝土内支撑最大轴力为 15.4×10^3 kN,是第 7 测试断面的 1.32 倍。

在没有其它内支撑支护的情况下,地下连续墙的变形是连续的,但由于第三道支撑的设置,制止了地下连续墙变形的发展,使得该位置以上的变形很小,并以增大其支撑轴力为代价,且制止地下连续墙变形越多,则支撑轴力将越大。第五道支撑轴力很小,主要是由于该支撑是在地下连续墙变形发展以后才进行支护,此时地下连续墙的变形已经趋于稳定,其设置对制止地下连续墙变形的发展所起作用有限,所以其轴力较小。

另外,由于加固措施的实施,阻碍了边坡滑坡破坏面的发展,在一定程度上减小了作用于地下连续墙上面的最大土压力,并且将土压力进行了分散,使第二道和第三道支撑共同分担此处的土压荷载,所以在设置水泥土搅拌桩的位置处,第二道和第三道支撑的轴力均较大;在无加固措施的位置处,作用在地下连续墙上的土压荷载比较集中且大于有加固措施的情况,故只有第三道支撑的轴力较大,并且最大轴力大于有加固措施的情况。

4 结论

(1) 基坑外水泥土搅拌桩加固措施的设置,可以有效地减小围护结构的水平变形,并且能够阻碍边坡滑坡破坏面的发展,减小作用于地下连续墙上面的土压力,使得内支撑上的最大轴力减小。

(2) 地下连续墙的最大变形位置不是出现在基坑地表附近,而是位于基底附近的位置,并且地下连续墙的顶部不是向基坑内变形,而是向基坑外移动。

(3) 严格遵循“开槽支撑、随撑随挖、严禁超挖”的原则,尽可能减少基坑开挖面上围护结构无支撑暴露时间,以减小基坑围护结构的变形和内支撑的最大轴力。

参 考 文 献

- [1] 刘建航,侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [2] 中国建筑科学研究院. JGJ120—S99 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [3] 张明聚,郭忠贤. 土钉支护工作性能的现场测试研究[J]. 岩土工程学报,2001,23(3): 319-323.
- [4] 上海岩土工程勘察设计研究院. 基坑工程施工监测规程[S]. 上海:上海市建筑和交通委员会,2006.
- [5] 陈仲颐,周景星,王洪瑾. 土力学[M]. 北京:清华大学出版社,1994.

Monitoring Analysis on Exterior-protected Construction of Foundation-pit of Subway in Suzhou

Mu Yongjiang

(The 2nd Engineering Co., Ltd. of the 13th Bureau Group of China Railway, Shenzhen 518083, China)

Abstract: A field monitoring program was carried out for the open-excavated project of a subway station in Suzhou, and the trends of the displacements of exterior-protected construction and the inner forces of support were under control in time. The changes of characteristics on the displacements and inner forces of foundation-pit with and without reinforced structure are analyzed respectively. The analytical results show that: the reinforced structures utilizing soil-cement mixed diaphragm wall can diminish the horizontal distortion of exterior-protected construction and the maximal value of inner forces because it can impede the development of slippage failure plane and diminish the soil pressure acted on the concrete diaphragm wall.

Key words: subway stations; reinforcing foundation-pit; constructing; monitoring

(上接第37页)

- [3] 周安,杨庆印,郝成义. 基于静载试验的桥梁结构性能评价[J]. 工程与建设,2008,22(5): 695-697.
- [4] 张俊平,周建宾. 桥梁检测与维修加固[M]. 北京:人民交通出版社,2006.

Structural Behaviors Evaluation of Bridge Based on Load Test

Dang Lijun

(Guangzhou Engineering Inspection and Consulting Company Ltd., Guangzhou 510006, China)

Abstract: In 2004, an overpass was completed and opened to traffic in Dongguan City, Guangdong Province. In order to test whether the load bearing capacity and normal working condition meet the design requirements of this bridge, load test has been carried out. The contents, methods, loading states and results of this load test are introduced in this paper. It can be concluded from the results of load test that the load bearing capacity and normal working condition meet the design requirements of the bridge, and the bridge can be kept in use regularly.

Key words: bridge detection; load test; structural behaviors; testing coefficient