

大跨 RC 拱桥有支架施工中的几个技术问题

罗 红,* 徐君兰,张永水

(重庆交通学院 土木建筑学院 重庆 400074)

摘要:采用支架施工的大跨钢筋砼(RC)拱桥施工中的关键技术问题主要包括主拱圈高度与浇筑的时间确定、主拱圈分段长度与浇筑程序的确定、主拱圈落架方案的拟定.通过介绍许沟大桥在上述三个方面的工程实践与应用,为该类桥梁的建设提供借鉴与参考.

关 键 词:钢筋砼拱桥;主拱圈;支架卸落

中图分类号:U448.22⁺3 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-716X(2004)05-0012-04

近年来大跨 RC 拱桥在我国得到了进一步发展,在一些季节性河流中,该类桥的建设采用了有支架施工方法,随着该类桥跨径进一步增大,主拱圈高度已达几米,一次性浇筑主拱圈变得十分困难,因此,客观上要求在支架上分层、分段浇筑砼,逐段连接,经合龙后卸架,最终形成主拱圈.笔者主要针对大跨 RC 拱桥有支架施工中的三个关键技术问题展开讨论:如何确定主拱圈分层高度与每层之间的浇筑间隔时间;如何确定主拱圈分段长度及浇筑程序,由于不同的支架构造形式将导致不同的分段长度的划分,并且也将导致不同的主拱圈浇筑施工

程序,因此,这是一个与支架形式密切相关的问题;

拟定合理的落架方案,这同样也是一个与支架形式密切相关的问题.为了便于说明问题,以下结合我国最大跨径的有支架施工钢筋砼拱桥——许沟大桥的工程实践展开讨论.

许沟大桥主跨为钢筋砼等截面悬链线箱形无铰拱,净跨径 $L_0 = 220\text{m}$,净矢高 $f_0 = 40\text{m}$,矢跨比 $f_0/L_0 = 1/5.5$,拱轴系数 $m = 1.543$,拱上建筑为 $13 \times 17.5\text{m}$ 预应力砼空心板桥面连续及双柱式排架(图 1).主拱在横桥向为两半幅拱箱,每半幅拱箱为单箱三室截面,宽 9m ,高 3.4m .

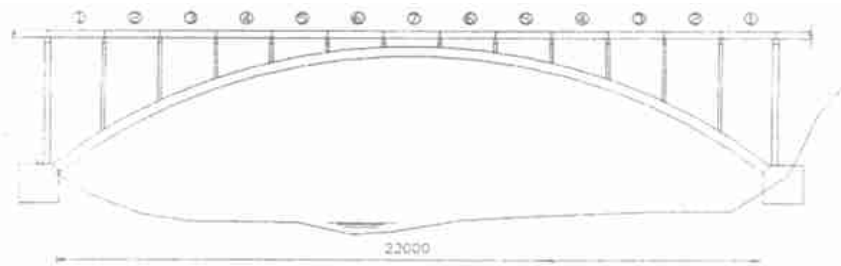


图 1 许沟大桥立面图

该桥采用了有支架施工方法,支架的形式为满堂式支架,用制式军用器材(六五式军用墩和军用梁)组拼成撑架梁式结构,在拱脚区段 34m 范围内用万能杆件拼装成台阶状的结构体系,其上则采用碗扣式支架,其目的主要是可方便调整标高,保证拱轴线的成形及落架时的方便.

1 主拱圈分层高度与浇筑间隔时间的

确定

1.1 主拱圈分层浇筑的原则

1) 主拱圈分层浇筑要确保主拱圈的整体受力特性,分层面应选在截面应力变化幅度较小处,这样可以使分层面的纵向剪应力较小.

2) 充分考虑方便施工.根据现场施工条件,一次性浇筑存在底板、腹板不易振捣,腹板砼侧压力较

* 收稿日期:2003-12-26;修订日期:2004-02-06

作者简介:罗 红(1973-),女,四川省攀枝花市人,硕士生,从事大跨径桥梁施工控制研究.

大等原因,分层高度应根据砼浇筑能力确定。

3) 采用分层浇筑施工方案,要有利于支架的受力和变形控制,合理的分层高度,不仅保证了施工支架的安全,而且使支架的变形较为均匀。

4) 确定各层砼浇筑间隔时间,首先要保证下层砼强度达设计强度 80 % 以上,其次要考虑上、下层砼浇筑时间不同,其砼收缩应变不同,这会在截面上产生附加应力,浇筑间隔时间越长,截面上产生的附加应力越大。

1.2 砼收缩对主拱圈分层高度与浇筑间隔时间的影响

砼收缩是随时间变化的,它的增长速度受到空气湿度等条件的影响。假设收缩的变化规律类似于

徐变变化规律,收缩应变的数学模式用狄辛格 (Dinehinger) 公式表示如下,即

$$\epsilon_s(t) = \epsilon_s(\infty) [1 - e^{-(t-t_0)^n}] \quad (1)$$

根据收缩试验与相关规范可知:

砼收缩应变终值 $\epsilon_s(\infty) = 0.00032$

砼收缩增长速度系数 $n = 0.03876$

在砼分层浇筑过程中,由砼收缩不同所产生的主拱圈截面自应力分析如下:

取一单元拱段,拱箱高为 H ,宽为 b ,下层砼浇筑高度为 h ,当纵向纤维之间不受约束,能自由伸缩时,沿拱箱高度各点的相对自由变形(如图 2b))为:

$$\begin{aligned} \epsilon_s(y) &= \epsilon_s(t) \quad (y \leq h) \\ \epsilon_s(y) &= 0 \quad (h < y \leq H) \end{aligned}$$



图 2 主拱圈砼收缩自应力计算示意

但因拱箱的变形必须服从平面假定,所以截面实际变形后,应在图 2c) 的直线位置,即:

$$\epsilon_a(y) = \epsilon_0 + \kappa \cdot y \quad (2)$$

式中, ϵ_0 ——沿拱箱 $y = 0$ 处的变形值; κ ——单元拱段挠曲变形后的曲率。

图 2d) 中阴影部分的应变,既由纵向纤维之间的约束产生:

$$\epsilon(y) = \epsilon_s(y) - \epsilon_a(y) = \epsilon_s(y) - (\epsilon_0 + \kappa \cdot y) \quad (3)$$

由 $\epsilon(y)$ 产生的自应力为:

$$\sigma_s(y) = E \cdot \epsilon(y) = E[\epsilon_s(y) - (\epsilon_0 + \kappa \cdot y)] \quad (4)$$

由于在单元拱段轴线方向上无外荷载作用,因此自应力在截面上是自平衡状态的应力,可利用截面上应力总和为零和对截面中心轴的力矩为零的条件,求出 ϵ_0 与 κ 值。

$$\begin{aligned} N &= E \int_h \epsilon(y) \cdot b(y) \cdot dy \\ &= E \left[\int_h \epsilon_s(y) \cdot b(y) \cdot dy - \epsilon_0 A - A \cdot \kappa \cdot y_c \right] = 0 \\ M &= E \int_h \epsilon(y) \cdot b(y) \cdot (y - y_c) \cdot dy \\ &= E \left[\int_h \epsilon_s(y) \cdot b(y) \cdot (y - y_c) \cdot dy - \kappa \cdot I \right] \\ &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

式中, A ——拱箱截面面积; I ——拱箱截面的惯矩。

解(5)式得:

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= \frac{1}{A} \int_h \epsilon_s(y) \cdot b(y) \cdot dy - y_c \cdot \kappa \\ \kappa &= \frac{1}{I} \int_h \epsilon_s(y) \cdot b(y) \cdot (y - y_c) \cdot dy \end{aligned} \quad (6)$$

将式(6)的结果代入式(4),得砼收缩产生的截面自应力。截面自应力的极大值发生在上、下层砼交界面处,确定两层砼浇筑间隔时间应使砼收缩应力小于砼的抗拉应力。

对于许沟大桥拱箱截面,拱箱高 3.4m,宽为 9m,面积 $A = 7.66\text{m}^2$;抗弯惯矩 $I = 13.76\text{m}^4$,主拱圈砼分两次浇筑,每层高 1.7m,两层砼浇筑间隔时间不大于 14d。则,14d 砼收缩应变最大量: $\epsilon_s(14) = 1.34 \times 10^{-4}$

代入式(6)计算得

$$\epsilon_0 = 0.9469 \times 10^{-4} \quad \kappa = -0.17625 \times 10^{-4}$$

取 C50 砼弹性模量 $E = 3.5 \times 10^4\text{MPa}$

两层砼交界面处(即拱箱截面中心线)的应力

$$\sigma_s = 2.43\text{MPa};$$

顶、底面砼的应力 $\sigma_s = 1.38\text{MPa}$;

均小于砼的抗拉设计强度 $R_t = 2.45\text{MPa}$ 。

由此可知,拱圈分两层浇筑是合理的。

2 确定主拱圈分段长度与浇筑程序

2.1 确定主拱圈分段长度

主拱圈浇筑分段长度主要依据以下两个方面来

确定:

1) 首先要考虑到施工单位的施工能力, 根据施工单位砼的生产能力, 每段主拱圈浇筑时间控制在 15 ~ 20h 内, 在砼初凝前, 本段砼浇筑必须结束. 只有这样才能保证浇筑过程中引起的支架变形对砼不产生裂缝.

2) 充分考虑施工支架在浇筑砼过程中的受力状态与变形情况, 以及变形对已浇筑成型拱段应力的影响.

根据上述原则, 许沟大桥沿轴向方向将主拱圈划分为 13 段, 其中在拱脚区段 34m 范围内划分为 3 段, 在跨中区域每个军用梁跨为 1 段共 7 段, 段与段之间预留 1m 宽间隔槽, 具体分段情况见图 3.

2.2 确定主拱圈浇筑程序

根据主拱圈分层分段情况, 结合施工支架构造特点, 按照均衡加载原则, 确定了主拱圈浇筑程序 (图 3), 并对主拱圈浇筑施工过程中支架的受力进行了仿真分析.

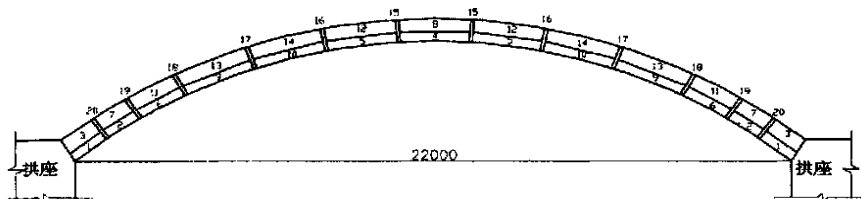


图3 主拱圈砼浇筑顺序示意图

2.2.1 计算模型

为了准确地模拟整个施工支架的受力, 计算按半幅桥的支架来建立模型. 考虑到空间建模太过繁杂, 而且平面模型也可达到计算精度, 故建立平面模型进行受力分析. 按平面计算时, 由于支架横向连接较强, 可视为共同工作. 因此, 可将每跨 8 片军用梁视为一体, 5 个军用墩、4 片纵系梁、5 片万能杆件、10 片碗口支架也都视为一体.

整个计算模型的节点数为 2776 个, 单元数为 5947 个, 其中桁架单元为 2736 个, 梁单元 3211 个. 为了模拟拱圈浇筑时施工支架的受力情况, 在模型中加入了模板单元. 通过模板单元容重的改变来模拟拱圈加载时的各种工况. 模型中碗口支架单元处理为桁架单元, 只能承受轴力而没有弯矩和剪力. 军用梁、纵系梁、军用墩、万能杆件等其他各杆件均处理为梁单元, 能承受轴力、弯矩和剪力. 各万能杆件及军用墩与基础的连接均为固定铰支座.

2.2.2 计算工况

计算时根据图 3 主拱圈加载程序划分了 14 个计算工况:

- 工况 1: 浇筑 1 号段砼后;
- 工况 2: 浇筑 2 号段砼后;
- 工况 3: 浇筑 3 号段砼后;
- 工况 4: 浇筑 4 号段砼后;
- 工况 5: 浇筑 5 号段砼后;
- 工况 6: 浇筑 6 号段砼后;
- 工况 7: 浇筑 7 号段砼后;
- 工况 8: 浇筑 8 号段砼后;
- 工况 9: 浇筑 9 号段砼后;
- 工况 10: 浇筑 10 号段砼后;
- 工况 11: 浇筑 11 号段砼后;
- 工况 12: 浇筑 12 号段砼后;
- 工况 13: 浇筑 13 号段砼后;
- 工况 14: 浇筑 14 号段砼后;

因施工间隔槽重量较小, 故将其重量加到每段中进行计算.

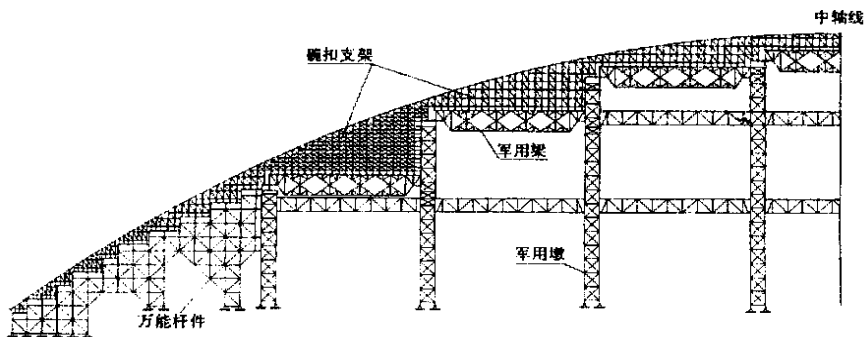


图4 许沟大桥支架分析模型图

2.2.3 计算荷载

施工支架杆件等代荷载容重 132kN/ m³
砣及模板等代荷载容重 32kN/ m³

2.2.4 计算结果

各工况杆件最大应力计算结果见表 1.

施工阶段	最大应力值(MPa)			
	军用墩	军用梁	万能杆件	碗扣支架
工况 1	- 27.6	15.3	- 31.2	- 20.5
工况 2	- 28.1	15.8	- 37.3	- 29.1
工况 3	- 28.3	16.1	- 51.7	- 40.7
工况 4	- 35.2	75.1	- 48.7	- 40.9
工况 5	- 74.9	77.0	- 51.3	- 43.6
工况 6	- 75.2	78.2	- 93.3	- 43.6
工况 7	- 75.3	78.2	- 95.0	- 45.3
工况 8	- 89.6	164.0	- 108.2	- 50.2
工况 9	- 90.2	164.2	- 108.3	- 52.8
工况 10	- 91.6	164.9	- 108.5	- 52.8
工况 11	- 94.3	164.9	- 114.1	- 52.9
工况 12	- 163.2	174.2	- 114.3	- 55.6
工况 13	- 164.7	176.8	- 108.2	- 55.6
工况 14	- 168.9	178.0	- 110.3	- 56.9

从计算结果来看,军用墩、军用梁的最大应力达设计容许应力的 82 %和 88 %;万能杆件的最大应力

达设计容许应力的 81.6 %;碗扣支架的最大应力达设计容许应力的 40 %. 各杆件的强度是满足要求的,施工支架在施工中是安全的.

3 主拱圈落架方案的拟定

3.1 各落架点卸落总量的计算

各落架点卸落总量由两部分组成即主拱圈裸拱的弹性变形 δ_g 与拱架的弹性变形量 δ_e 之和,即 $\delta = \delta_g + \delta_e$, 由计算可得,拱顶最大卸落量达 9cm.

3.2 落架方案

许沟大桥的拱架设计中采用了碗扣式支架顶端设可调托撑,用以调整标高和落架,那么上、下半幅各拱圈落架点多达 2800 个点(每排横向 10 个可调托撑,纵向共 280 排),对于如此多的落架点,就不可能达到各点同步均匀地卸落. 为了获得一种合理的卸架顺序,将拱架与主拱圈组成的复合体系用多种方法进行计算比较,确定于下面的落架方案.

支架卸落在横桥向必须同时均匀卸落,在纵桥向从拱顶向拱脚逐排卸落,并保持左右两侧同步对称进行. 根据这个原则制定施工支架卸落程序如下(图 5):

第 1 步:卸落拱顶第 4 号军用墩至第 5 号军用墩

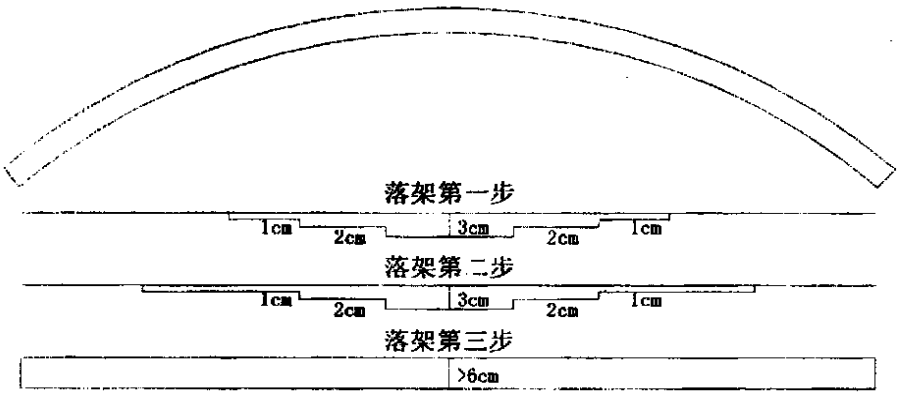


图 5 许沟大桥落架示意图

范围内的支架,125 ~ 133 号杆卸落量 3cm. 卸落第 3 号(第 5 号) 军用墩至第 4 号(第 6 号) 军用墩范围内的支架,110 ~ 124 号杆卸落量 2cm,100 ~ 109 号杆卸落量 1cm.

第 2 步:再次卸落拱顶第 4 号军用墩至第 5 号军用墩范围内的支架,125 ~ 133 号杆卸落量 3cm. 再次卸落第 3 号(第 5 号) 军用墩至第 4 号(第 6 号) 军用墩范围内的支架,110 ~ 124 号杆卸落量 2cm,卸落第 1 号(第 6 号) 军用墩至第 3 号(第 8 号) 军用墩范围内的支架. 48 ~ 109 号杆卸落量 1cm.

第 3 步:从拱顶开始到拱脚全部卸落各立杆,卸

落量均大于 6cm. 要求模板与主拱圈完全脱离.

根据落架过程中的测量结果,理论分析与实测值比较接近. 落架方案是可行的.

4 结 语

1) 大跨 RC 拱桥有支架施工的关键问题不仅要保证施工支架的强度和刚度,而且要保证支架的整体稳定性,尤其对于复合式支架,在结构受力分析时,合理地简化计算模型是允许的,但要保证计算模型与实际结构受力和变形一致. 在确定主拱圈分段浇筑顺序时,应根据施工支架的构造特点,以支架受力和变形最小为原则, (下转 51 页)

[3] 房建国,杨永顺,刘树堂.水泥石灰土稳定碎石的正交试验研究[J]. 华东公路,1999,(5):3-6.

[4] 黄培元.风积砂的路用性能与施工工艺[J]. 东北公路,1999,(1):15-19.

Orthogonal experiment research on cement stabilized aeolian sand and macadam base course

MA Shi-bin , CHANGJurr-ying , WEI Lian-yu , WU Yan

(School of Civil and Architectural Engineering , Hebei University of Technology , Tianjin 300132 , China)

Abstract : By using orthogonal tests , with the 7d unconfined compression strength as criteria , through indoor blending ratio tests about cement and macadam added to eolian sand , this paper studies the road performance of cement stabilized aeolian sand and macadam base course and analyses the effects of cement content , macadam content and macadam gradating on road performance. The results indicate that using cement stabilized aeolian sand and macadam , as base course for road is feasible.

Key words : Aeolian sand ; compression strength ; orthogonal experiment ; ratio of mixture

(上接 15 页)

来确定主拱圈的分层高度和分段长度以及合龙段的位置.

2) 从许沟大桥的工程实践来看,采用支架施工的大跨 RC 拱桥支架卸落是至关重要的施工环节,许沟大桥每半幅桥支架卸落点多达 2800 个,要做到同步卸架是不现实的,分次循环的卸架程序是保证由支架受力转化为主拱圈受力的关键.

参考文献:

[1] 河南省交通勘察设计院.洛三高速公路许沟特大桥施工图设计[R],1998.

[2] 顾安邦.桥梁工程(下册)[M].北京:人民交通出版社,2000.

[3] 杜国华.桥梁结构分析[M].上海:同济大学出版社,2001.

[4] 重庆交通学院.洛三高速公路许沟特大桥设计、施工及其监控技术研究[R].2002.

Some technical problems in the supervision of long span RC arch bridge construction with scaffold

LUO Hong , XU Jun-lan , ZHANG Yong-shui

(School of Civil Engineering & Architecture , Chongqing Jiaotong University , Chongqing 400074 , China)

Abstract : The key technical problems in construction of long span reinforced concrete arch bridge with scaffold include : layer's height of main arch , time of pouring concrete , subsection 's length of main arch , procedures of pouring and decentering of main arch etc. This paper provides some references for constructing bridges of this type by a case study of Xugou Bridge.

Key word : reinforced concrete arch bridge ; main arch ; decentering of scaffold