

1 000 m 跨径混凝土拱桥研究

编译 王远洋,陈宝春

(福州大学土木建筑工程学院,福建 福州 350002)

摘要: 对采用活性粉末混凝土修建 1 000 m 跨径拱桥进行了研究。对研究结果进行介绍,着重结构构造、施工方法和静动力主要计算结果。

关键词: 拱桥;活性粉末混凝土;桥梁设计;桥梁施工

中图分类号: U448.22

文献标识码: A

文章编号: 1671 - 7767(2006)01 - 0001 - 03

1 简介

在过去一整个世纪里,随着材料的不断发展和改进,结构的设计方法和施工工艺也有很大的进步,这都有利于桥梁的建设。然而,高强工程材料没有取得很大的突破。近十年来,备受工程师关注的是活性粉末混凝土(Reactive Powder Concrete, RPC),它是以波特兰水泥为基本原料的复合型材料,其抗压强度可从 200 MPa 直至 800 MPa。克罗地亚萨格勒布大学工程学院土木工程系对应用活性粉末混凝土修建跨径超过 400 m 的混凝土拱桥进行了探讨。本文介绍对 1 000 m 跨径拱桥的研究结果。

2 设计简介

2.1 纵向布置

假定全桥均采用预制构件,由于块件的自重较大,每块都像一块巨石,对于一个 5 m 长的拱圈节段,其自重将达 5.61 MN,施工难度很大。除了基础和两侧桥台,其它所有承重构件都采用工地浇注的活性粉末混凝土材料。该桥的矢跨比取 1/6,总体布置详见图 1。

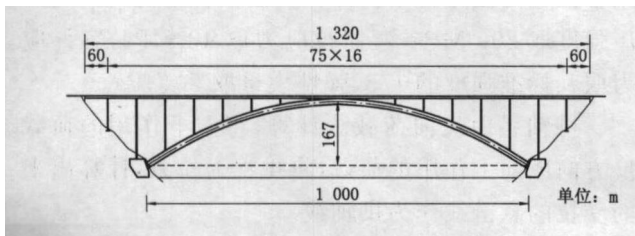


图 1 总体布置

2.2 主拱圈

主拱圈为八边形等截面(见图 2)。顶、底板的厚度从拱脚截面至拱上第 2 根立柱处截面呈线性变

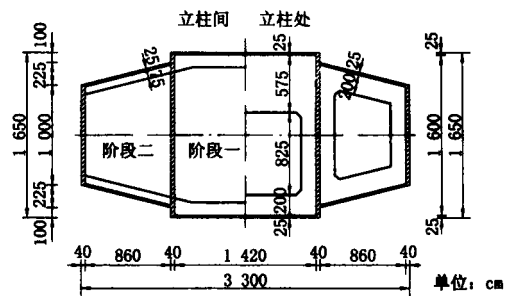


图 2 主拱圈横截面

化,拱脚处厚 100 cm,第 2 根立柱处截面厚 25 cm。拱圈的宽高比为 33/16.5 = 2。拱圈每 5 m 为一节段,节段重为 5.61 MN。为了满足顶板、底板和腹板的长细比不低于 1/30,拱圈每一节段都设有 30 cm 厚的横隔板。

2.3 立柱

拱上立柱和引桥桥墩均为单箱矩形截面(见图 3),采用滑动模板施工,每 5 m 为一节段,节段重为 1 388 kN。

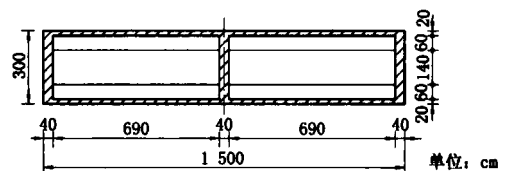


图 3 立柱横截面

2.4 主梁

主梁为梯形截面(见图 4),有 4 块 40 cm 厚的腹板,全跨等截面布置。为了满足节段上主梁跨厚比 $h/t = 4.7/0.20 = 23.5$ 不大于 30 的要求,在每一节段端部设置 30 cm 厚的横隔板。主梁跨径取为 75 m,高跨比为 1/12,以便于进行顶推施工。

为了使拱肋对称受力,主梁从桥的两侧对称双

收稿日期:2005 - 03 - 07

编者简介:王远洋(1981 -),男,2003 年毕业于福州大学土木建筑工程学院土木工程专业,工学学士。

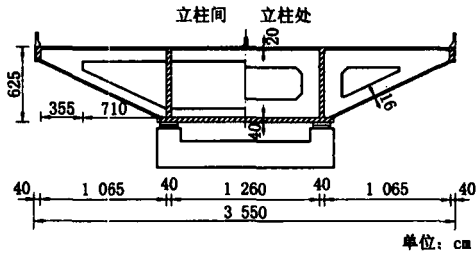


图4 主梁横截面

向顶推施工,导梁长40 m,顶推步长为25 m,每一节段重3206 kN。在顶推过程中,拱座处将产生12 MPa的拉应力。主梁预制节段间用高强预应力筋连接,其预应力筋的数量,必须满足所有节段相接处的最大压应力小于-1.5 MPa。与梁的连接方式不同,拱肋和立柱作为受压构件,块件之间用带螺纹的变形钢筋连接。主梁纵截面见图5。

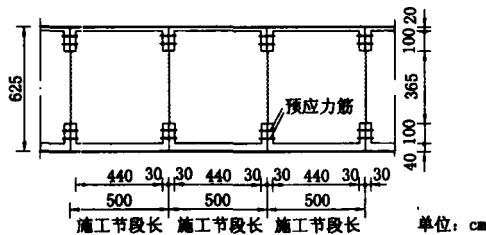


图5 主梁纵截面

3 主拱圈施工方法

主拱圈采用悬臂法施工。施工时,斜拉索、立柱和拱圈形成桁架结构。拱圈为桁架的下弦杆,立柱为桁架的竖杆,它们为受压构件。斜拉索为桁架的斜杆和上弦杆,是受拉构件。为了增加桁架的高度,降低桁架内力,在立柱上设置30 m高的临时钢管柱。拱圈由2×107块混凝土构件拼接而成,跨中合龙段长3 m,其余节段每段长5 m。

斜拉索采用轻质高强的碳纤维复合材料,强度可达到3300 MPa,而容重只有1.56 g/cm³,与同等强度的钢丝绳相比,其重量仅为钢丝绳的1/7。因此,运输和安装十分方便。

拱肋全截面成拱时,斜拉索最大内力高达865 MN,该值取决于地形和锚固拉杆的倾角。在本桥中,锚固拉杆与水平线成18°(见图6)。

斜拉索最大拉力出现在合龙前第2根拉索上。为减小斜拉索中的内力,提出了拱肋两阶段成拱法。在第1阶段,拱脚截面至拱上第3根立柱的拱肋截面采用全截面拼装;从第3根立柱开始直到拱顶,只拼装主拱圈中间矩形截面部分(见图2)。在第2阶段,即合龙后再安装跨中部分主拱圈两侧的梯形部

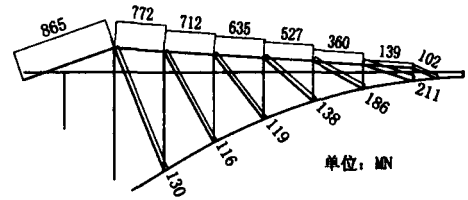


图6 主拱圈全截面安装时斜拉索的内力分,以形成八边形主拱圈。

采用这种两阶段施工法,斜拉索的最大拉力将从865 MN降至590 MN,减少了46%。但主拱圈中的最大压应力增加了35%,压应力峰值出现在拱顶,为-84 MPa。如果加厚拱肋顶底板,由于自重增加将使斜拉索的拉力增大,所以为满足拱圈抗压强度的要求,需要采用强度更高的混凝土,抗压强度要求达到250 MPa,而不能通过加厚顶底板来解决。

对于不同跨径的混凝土拱桥施工时的斜拉索索力作一比较:

(1) 跨径390 m的克尔克(Krk)桥,主拱圈采用高性能混凝土材料,在悬臂拼装拱圈中箱截面时,斜拉索索力达到60 MN。

(2) 跨径432 m的巴卡尔(Bakar)桥,主拱圈采用RPC材料,主拱圈悬臂架设采用交界墩上辐射型斜拉索支撑时,斜拉索索力达到78 MN。

(3) 跨径500 m的上下行分离的拱桥,主拱圈采用RPC材料,主拱圈架设方法与巴卡尔桥相同,斜拉索索力达到90 MN。

(4) 跨径750 m的拱桥,主拱圈架设方法与本文提出的施工方法相同,斜拉索索力达到400 MN。

4 主要计算结果

4.1 静力分析结果

与预应力混凝土结构的计算方法类似,该桥采用容许应力法进行结构计算。活性粉末混凝土的抗压强度取200 MPa,弯曲拉应力取40 MPa,容许应力取其标准强度的1/3,弹性模量取50 GPa。

拱轴线由反向荷载法计算,将向下作用的荷载反方向成向上作用的荷载,将拱视为拉索,计算出来的受拉的悬链线作为拱轴线。

在拱肋、立柱、主梁的施工过程以及成桥等各关键阶段都进行了结构分析。表1给出了主要的恒载和活载值。

图7所示的是拱肋在主要荷载和附加荷载组合作用下最大压应力包络图。除了主梁安装中的一个阶段,整个拱肋始终处于受压状态。最大压应力出

表 1 相关荷载数据

单元	荷载/kN·m ⁻¹
主梁自重	641.1
立柱自重	261.1
拱肋自重	1 120.1
永久荷载	144.6
活载	110.7

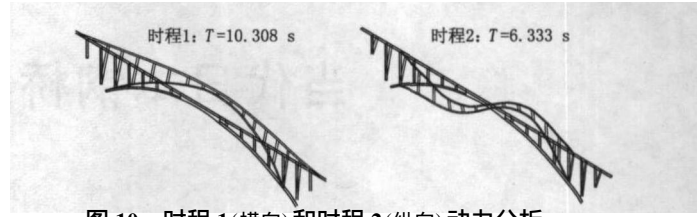


图 10 时程 1(横向)和时程 2(纵向)动力分析

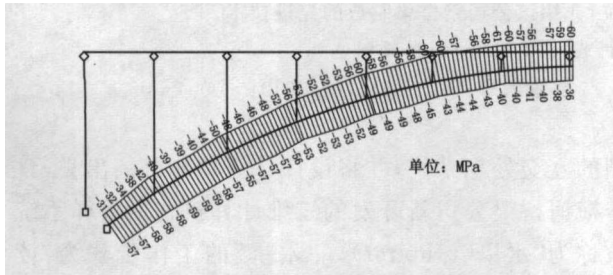


图 7 主拱圈压应力包络图

现在拱顶,其值为 - 61 MPa。

拱肋在恒载作用下的变形见图 8。拱肋在恒载和附加荷载作用下的最大挠度为 1 352 mm。挠度与跨径之比为 1/740,满足了混凝土结构的要求。

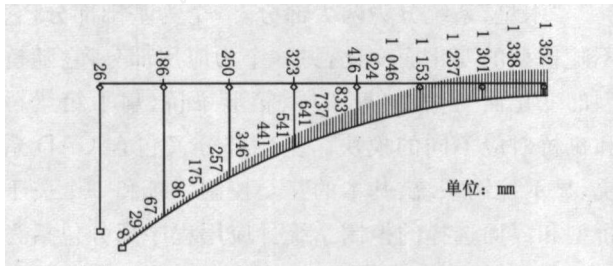


图 8 拱肋在恒载作用下总变形

图 9 描述的是立柱在主要荷载和附加荷载组合作用下最大压应力包络图,其最大压应力为 - 25 MPa,最大拉应力为 5 MPa。

4.2 动力分析结果

一阶振型是面外振型(见图 10),一阶自振周期为 10.3 s。

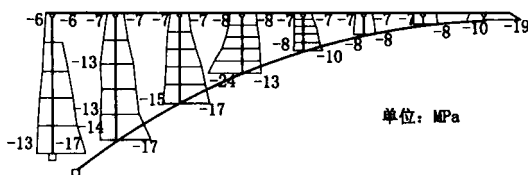


图 9 立柱在主要荷载和附加荷载组合作用下最大压应力包络图

5 结 语

在拱肋、立柱、主梁的施工过程以及成桥等阶段进行了静力分析。最大压应力出现在拱肋与立柱交接处,其值为 - 61 MPa,最大拉应力出现在中间主梁的支承处,其值为 14 MPa。本次试设计中,最突出的问题是施工时斜拉索的拉力问题,若主拱圈全截面一次性安装,拉杆索力将高达 865 MN,若采用两阶段成拱,拉杆索力可减至 590 MN,但主拱圈必须采用强度更高的材料或其它施工方法。作为比较,跨径 750 m 的混凝土拱主拱圈全截面一次性成拱时斜拉索的索力也将达到 400 MN,由此可见,大跨度混凝土拱桥施工采用悬臂拼装方案时,斜拉索的索力将是一个主要的问题。

表 2 给出 1 000 m 和 750 m 跨径混凝土拱桥主要构件(不含桥墩和基础)的 RPC 总用量。1 000 m 跨径时,RPC 总用量为 98 957/(1 320 ×35.5) = 2.11 m³/m²,750 m 跨径时为 1.75 m³/m²。

表 2 各独立构件 RPC 总用量

构件	750 m 拱		1 000 m 拱	
	RPC/m ³	比例 %	RPC/m ³	比例 %
拱肋	22 736	48	50 861	52
立柱	7 096	15	14 246	14
主梁	17 648	37	33 849	34
总计	47 480	100	98 956	100

*注:指该部件占全桥的数量的百分数。

参 考 文 献:

[1] V Candrilic, J Radic, I Gukov. Research of Concrete Arch Bridges up to 1000 m in Span[A], Arch Bridge IV, Advances in Assessment, Structural Design and Construction, Proceedings of the Fourth International Conference on Arch Bridge [C]. Barcelona, Spain, 2004. 538 - 547.

[2] 陈昫明,陈宝春,吴炎海,等. 432 m 活性粉末混凝土拱桥的设计[J]. 世界桥梁, 2005, (1): 1 - 4, 16.