

# 混凝土拱桥悬臂浇筑施工温度效应影响研究

李清, 张基进, 郭吉平

(贵州路桥集团有限公司, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:** 在采用超长扣锚索的大跨度混凝土拱桥悬臂施工中, 环境温度作用容易引起扣锚索长度的显著变化。为了评估温度荷载对扣塔偏位和拱圈应力的影响, 该文以贵州沙沱特大桥为依托建立施工阶段有限元模型, 对不同扣锚索长度及扣塔高度的参数工况进行计算分析, 研究温度荷载对扣塔偏位及拱肋高程的影响规律。结果表明: 温度变化对拱肋高程影响不大, 而对扣塔偏位会产生较大影响; 当扣锚索长度相差较大时, 温度荷载的影响会显著增加; 在靠近拱脚处的扣索张拉时, 随着扣塔高度增加, 温度荷载引起的扣塔偏位增大, 而在靠近拱顶处节段施工时结果相反。

**关键词:** 悬臂浇筑法施工; 大跨度混凝土拱桥; 温度荷载; 有限元模型

拱桥在中国有着悠久的历史、众多的形式与数量, 其中混凝土拱桥在中国应用广泛, 取得了很高的技术成就。目前中国国内混凝土拱桥的施工一般采用缆索吊装、转体施工、劲性骨架法等方法进行, 而对悬臂浇筑法涉及较少, 该方法在国外的拱桥施工中有着较为广泛的应用。

处在大气环境中的桥梁结构, 温度是影响主拱线形的主要因素之一, 扣锚索对温度变化十分敏感, 温度荷载会引起扣锚索长度的变化, 从而对扣塔偏位和拱圈应力产生一定的影响。目前中国关于温度对结构的影响研究不太全面, 孙国富等研究了温度对钢管拱吊装的影响; 李金志分析了温度对缆索吊装施工的影响。虽然环境条件变化所产生的温度荷载通过人力不可改变或者消除, 但是可以采取相应的措施减少温度变化带来的施工误差。该文以贵州沙沱特大桥为依托, 利用 Midas 建立大桥施工全过程有限元模型, 探究悬臂浇筑施工过程中温度荷载的影响规律。

## 1 工程概况

沙沱特大桥是一座主跨为 240 m 的钢筋混凝土箱形拱桥, 全长 626.8 m。大桥主拱圈为等高度悬链线钢筋混凝土箱形截面, 截面宽 10 m、高 4.5 m。

主拱圈采用挂篮悬臂浇筑法施工。拱圈纵向共分为 37 个节段, 拱脚位置为支架现浇段, 拱顶设一个吊架浇筑合龙段, 其余 34 个节段为悬浇段。沙沱特大桥

立面图及扣锚索布置图如图 1、2 所示。

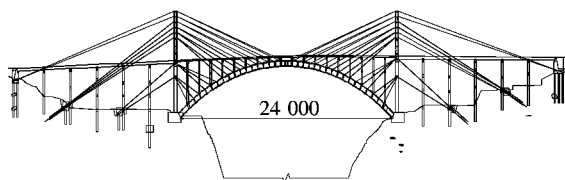
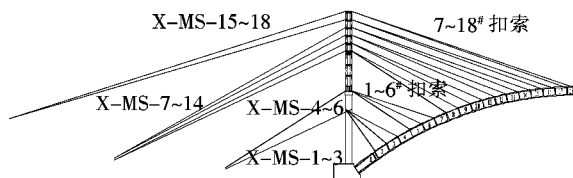


图 1 沙沱特大桥立面图(单位:cm)



注: X-MS 表示锚索

图 2 扣锚索布置图

## 2 有限元数值理论分析

### 2.1 有限元模型

利用桥梁有限元软件 Midas 建立施工过程有限元模型, 根据实际施工过程, 共划分为 75 个施工阶段, 扣塔及拱圈采用梁单元模拟, 扣索锚索采用桁架单元模拟。为方便比较, 该文均选取偶数扣索张拉阶段为对象, 主要施工阶段划分见表 1。

此外, 62~64 号施工阶段为拆除挂篮、安装吊架、劲性骨架及所有扣锚系统。65~74 号施工阶段为各

收稿日期: 2019-12-12(修改稿)

作者简介: 李清, 男, 大学本科, 高级工程师, E-mail: 17136216@qq.com

排架及垫梁浇筑,75 施工阶段为架设桥面板。

表 1 沙坨特大桥主要施工阶段划分

施工阶段编号	施工项目
6	2 <sup>#</sup> 扣锚索张拉
12	4 <sup>#</sup> 扣锚索张拉
19	6 <sup>#</sup> 扣锚索张拉
25	8 <sup>#</sup> 扣锚索张拉
32	10 <sup>#</sup> 扣锚索张拉
39	12 <sup>#</sup> 扣锚索张拉
46	14 <sup>#</sup> 扣锚索张拉
52	16 <sup>#</sup> 扣锚索张拉
60	18 <sup>#</sup> 扣锚索张拉

2.2 温度荷载对结构的影响

大跨度混凝土拱桥悬臂浇筑的施工时间一般较长,扣锚索必然长期受到温度作用的影响,下面针对沙坨特大桥悬臂浇筑过程,对体系施加均匀温度荷载进行有限元分析,图 3、4 分别为不同温度荷载作用下,拱肋高程和扣塔偏位随施工过程的变化趋势,其中图 3 高程差取温度荷载作用前后拱肋高程的变化值。

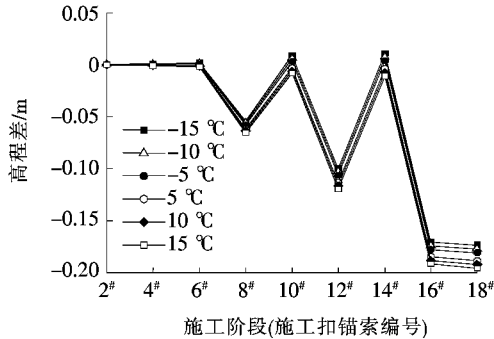


图 3 拱肋高程随施工阶段变化曲线

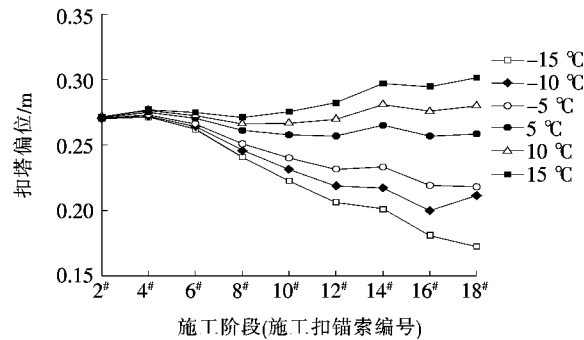


图 4 扣塔偏位随施工阶段变化曲线

由图 3、4 可得:随着温度的升高扣塔偏位和拱肋高程变化都大致呈上升趋势,不同温度下拱肋高程随施工阶段变化的趋势大致相同,但随着温度升高高程

差变化幅度增加,对结构产生的影响不断增大。由于 16<sup>#</sup> 及 18<sup>#</sup> 扣索位于拱顶处,在扣索张拉时会对高程产生较大影响,故高程变化最大为-0.196 1 m,位于拱顶处。

将温度升高 15℃,分析计算各施工阶段主拱圈的应力,结果如图 5 所示。

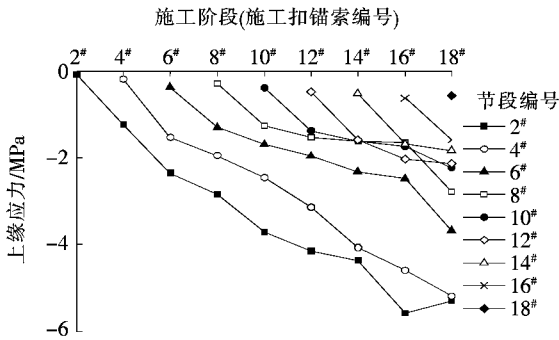


图 5 主拱圈上缘应力变化曲线

由图 6 可知:各节段上缘应力变化趋势大致相同,随着扣索逐渐张拉,拱圈上部受压下部受拉,节段上缘压应力整体呈增大趋势,同时下缘可能会出现拉应力,应进行严格控制,因此取温度升高 15℃时,各节段下部出现的最大拉应力如表 2 所示。

由表 2 可知:各节段在施工过程中均会出现拉应力,但最大不会超过 0.4 MPa,满足相关规范要求。

表 2 各节段下缘最大拉应力

节段号	下缘最大拉应力/MPa	节段号	下缘最大拉应力/MPa
2 <sup>#</sup>	0.338	12 <sup>#</sup>	0.159
4 <sup>#</sup>	0.317	14 <sup>#</sup>	0.232
6 <sup>#</sup>	0.259	16 <sup>#</sup>	0.146
8 <sup>#</sup>	0.226	18 <sup>#</sup>	0.066
10 <sup>#</sup>	0.197		

2.3 锚索长度不同时温度荷载对结构的影响

由于钢材具有热导体的特性,对温度的变化非常敏感,施工中采用不同长度的扣锚索会影响结构对温度的敏感性。因此,该文选取扣锚索长度相等、扣锚索长度相近及扣锚索长度相差较大共 3 种情况分别建立有限元模型进行分析对比,3 种情况下扣塔偏位及拱肋高程随施工阶段变化曲线如图 6、7 所示。

由图 6 可以看出:在相同温度荷载作用下,靠近拱脚处节段施工时,扣锚索长度相差较大会产生较大偏位,这是由于施工初始阶段扣锚索数量较少,长度相差较大的扣锚索对温度的敏感性差别较大,从而使扣塔

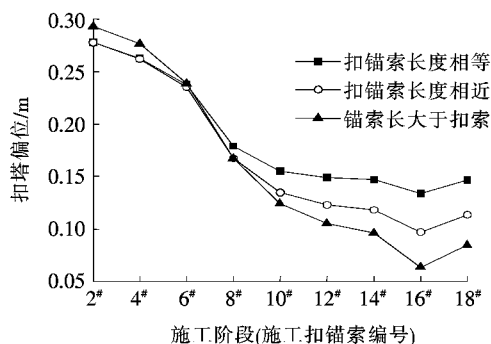


图 6 扣塔偏位随施工阶段变化曲线

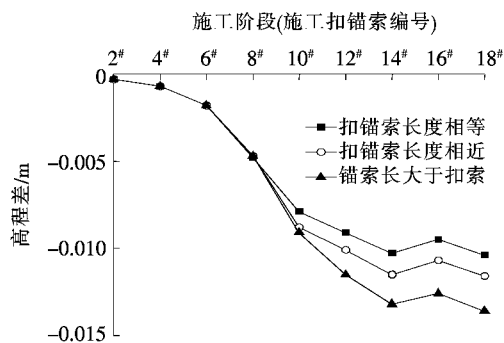


图 7 拱肋高程随施工阶段变化曲线

产生较大偏位。随着施工过程不断进行,扣锚索对温度的敏感性差别逐渐降低,扣塔偏位减小。因此扣塔偏位最大值出现在拱脚处节段施工时。

由图 7 可以看出:拱脚处节段施工过程中,由于已施工节段较少,改变扣锚索长度,结构对温度的敏感性变化不大;随着浇筑节段不断增加,锚索长度增加会对拱肋高程变化产生较大影响,高程差最大值出现在 18# 扣索张拉时。

#### 2.4 扣塔高度不同时温度荷载对结构的影响

扣塔高度不同会使扣锚索的长度及角度发生变化,从而影响结构对温度的敏感性。该文选取扣塔高度增加 5、10、15 m 及降低 5、10、15 m 共 6 种情况分别进行有限元分析,对比结果如图 8、9 所示。

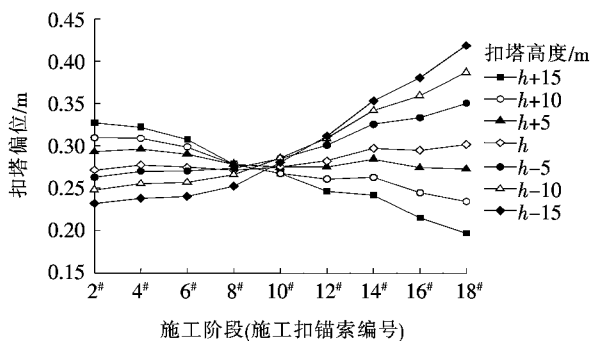


图 8 扣塔偏位随施工阶段变化

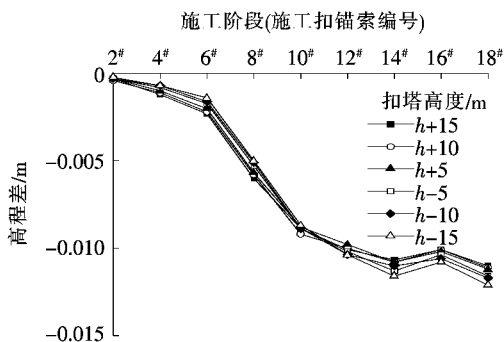


图 9 拱肋高程随施工阶段变化曲线

由图 8 可以看出:扣塔高度增加,扣塔偏位随施工阶段逐渐减小,最大偏位出现在 2# 扣索张拉时;扣塔高度减小,扣塔偏位随施工阶段逐渐增大,最大偏位出现在 18# 扣索张拉时。同时,在靠近拱脚处的扣索张拉时,随着扣塔高度增加,温度荷载引起的扣塔偏位增大,而在靠近拱顶处节段施工时结果相反,这表明在施工初期温度变化对扣塔安全性有着不利影响。

由图 9 可以看出:改变扣塔高度对拱肋高程影响不大,不同高度下高程随施工阶段变化趋势大致相同。在靠近拱顶处节段扣索张拉时,随着扣塔高度增加,温度荷载引起的高程变化增大。这是由于已施工节段增加,结构对温度荷载敏感性也不断增加。

### 3 结论

(1) 由于钢材对温度变化十分敏感,扣锚索在温度荷载作用下会出现较大变形,计算分析表明施工过程中温度荷载对结构的影响不可忽略。

(2) 温度荷载对扣塔偏位会产生较大影响,温度升高,扣塔偏位随施工阶段变化不断增大,温度降低,扣塔偏位随施工阶段变化不断减小。

(3) 在扣索长度一定的情况下,改变锚索长度会影响结构对温度变化的敏感性,锚索长大于扣索时结构对温度变化最敏感,并且随施工的不断进行,温度对结构影响增大。同时,在相同温度条件下,扣锚索长度相差越大,扣塔偏位及拱肋高程变化越大。因此,为保证施工过程中扣塔安全性及主拱圈线形,在进行施工设计时应选取合理的锚索长度。

(4) 改变扣塔高度会使扣锚索的长度及角度发生变化,因此也会改变温度对结构的影响。在靠近拱脚处的扣索张拉时,随着扣塔高度增加,温度荷载引起的扣塔偏位增大,而在靠近拱顶处节段施工时结果相反。改变扣塔高度对拱肋高程影响较小,在靠近拱顶处节

# 米仓山公路隧道出口段施工通风方案设计

周健, 邹逸伦, 徐汪豪, 王宇皓, 陶力铭, 方勇\*

(西南交通大学 交通隧道工程教育部重点实验室, 四川 成都 610031)

**摘要:**近年来中国基础建设事业蓬勃发展,公路里程大幅增加,随之涌现出了一大批长大隧道。在隧道施工和运营中,通风设计是必不可少且非常重要的一个环节。该文以米仓山特长公路隧道为例,对米仓山隧道施工期间通风方案进行设计,并对长大隧道通风方式的选择、施工工区的划分、风量风阻的计算以及通风布置等方面进行了探讨和分析。结果表明:①长距离独头掘进隧道计算需风量时应考虑隧道内作业人员、爆破、内燃机械以及最低风速4个因素,并结合实际情况对某些参数的取值进行扩大;②在考虑射流风机克服隧道阻力的同时,还应增设局扇驱散局部聚集的粉尘及有害气体,如二衬施工处;③长距离独头掘进隧道应充分利用斜井、竖井进行通风,从而减小通风距离,达到理想的通风效果。

**关键词:**长大隧道;施工通风;独头掘进;硬岩;设备确定

## 1 引言

对于长大隧道通风方式的选择、通风方案的确定以及通风效果的分析和优化,一直以来都是隧道施工及运营期间研究的重点。在通风方式的选择上,国外因其生产的通风管漏风率很低,修建的长大隧道多数采用大直径风管匹配大功率风机的压入式通风;在中国,长大隧道通常修建斜井、竖井或平行导洞,采用压入式和巷道式相结合的通风方式。王小敏等以长度为8 168 m的华蓥山隧道为依托,通过对隧道工区划分、

风量及风阻的计算以及通风设备的选用,详细说明了公路瓦斯隧道压入式和射流巷道式相结合的施工通风方案;陈光明等通过对现有隧道竖井、斜井的调研,在施工和运营通风的整体思路,对斜井和竖井位置、设计和施工方法提出了建议;曾艳华、关宝树应用气体流动的能量方程,对公路隧道平行导洞通风模式进行计算,并在隧道实例计算的基础上提出增设射流风机以加强通风;朵生君等根据施工方法、掘进长度、断面大小及水文地质情况,对TBM施工的中天山隧道采用巷道式联合通风方案,并根据现场通风测试调整通风方案以适应现场施工。近年来,中国隧道建设进入西

段施工时,高程变化出现最大值。

## 参考文献:

- [1] 陈宝春,叶琳.我国混凝土拱桥现状调查与发展方向分析[J].中外公路,2008(2).
- [2] 陈淑红. 缆索吊装钢筋混凝土拱桥的施工技术研究[D].重庆交通大学硕士学位论文,2011.
- [3] 程飞,张琪峰,王景全.我国桥梁转体施工技术的发展现状与前景[J].铁道标准设计,2011(6).
- [4] 谢功元,吕剑锋,王守兵.小直径钢管混凝土劲性骨架法

施工拱桥方案研究[J].公路交通科技(应用技术版),2007(10).

- [5] 高玉峰,蒲黔辉,李晓斌,等.悬臂浇筑法在国外大跨度混凝土拱桥施工中的应用发展[J].世界桥梁,2008(1).
- [6] 李开心.考虑季节温差的主拱安装线形控制技术研究[D].重庆交通大学硕士学位论文,2012.
- [7] 孙国富,李术才,张波.大跨度钢管拱吊装中温度荷载效应分析及应用[J].山东大学学报(工学版),2010(4).
- [8] 李金志.大跨径钢管混凝土拱桥缆索吊装施工及影响因素研究[D].重庆交通大学硕士学位论文,2017.

收稿日期:2019-05-09(修改稿)

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2016YFC0802205);国家自然科学基金资助项目(编号:51578460);四川省科技计划重点研发项目(编号:2017SZ0043)

作者简介:周健,男,硕士研究生。

\*通信作者:方勇,男,教授。