

三峡升船机齿条及螺母柱间隙 灌浆工艺试验

詹剑霞,李纪虎

(中国葛洲坝集团股份有限公司三峡分公司,湖北宜昌 443002)

[摘要] 为了选择出合适的灌浆材料和灌浆工艺并模拟升船机齿条、螺母柱间隙灌浆的实际情况,分别进行了灌浆工艺试验与原型灌浆试验。灌浆工艺试验对比了3种国产灌浆材料和德国PAGEL灌浆材料,试验结果表明德国PAGEL灌浆材料物理性能指标和力学性能指标优于国产灌浆材料。在原型灌浆试验中,对灌浆设备选型、搅拌时间、模板密封、灌浆方式、灌浆流速参数控制等方面进行了试验研究,优选出适用于三峡升船机齿条、螺母柱接缝灌浆的材料和合适的灌浆工艺。以上试验效果明显,解决了灌浆密封难度大、易堵管等施工难题。

[关键词] 齿条;螺母柱;灌浆;升船机;三峡工程

[中图分类号] U642 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)09-0045-05

1 前言

三峡升船机为齿轮齿条爬升式全平衡垂直升船机,船厢的安全机构为“短螺杆-长螺母柱”的保障系统,船厢的驱动机构采用齿轮齿条爬升形式。齿条、螺母柱及其二期埋件共4套,对称安装在4个塔柱的凹槽内。齿条、螺母柱及其二期埋件外表面均有凸出的梯形齿,两者的梯形齿相互咬合,并留有40 mm缝隙。齿间的间隙采用高强度、高流动性的灌浆材料充填,以满足将齿条、螺母柱所受到的巨大荷载传递给钢筋混凝土结构的传力要求。目前,国内外均没有这种采用灌浆材料来实现如此重要结构的结合和传力的工程实例,因此,采用合适的灌浆材料和灌浆工艺是一个重要的课题。

本文在国产高强灌浆材料和同类进口材料性能检测对比试验基础上,通过原型灌浆试验,在灌浆设备选型、搅拌时间、模板密封、灌浆方式和灌浆流速参数控制等方面进行了研究,优选出符合三峡升船机齿条、螺母柱接缝灌浆材料设计要求的灌浆材料和合适的灌浆工艺,取得了明显效果。

2 灌浆工艺试验

本次试验主要分为4个方面:材料物理性能检测试验,材料力学性能检测试验,室内模型灌浆试验和灌浆效果质量检测试验结果。

主要开展了压力灌浆法施工工艺的研究。通过在室内制作灌浆试验模型,试验研究了灌浆材料的流动性、可灌性和扩散半径等基本灌浆参数,并研究了与灌浆材料相适应的灌浆施工工艺参数(压力、注入率等),选择出可应用到实际工程施工中的制浆设备和泵送设备,为现场施工提供合适的灌注工艺参数。

2.1 灌浆材料物理性能、力学性能检测试验

选择了3种国产灌浆材料和德国PAGEL灌浆材料进行室内性能对比检测试验。物理性能试验项目包括凝结时间、泌水率、流动度、固结体28 d干缩率和固结体1 d竖向膨胀率。力学性能试验项目包括固结体抗折强度、固结体抗压强度、固结体弹性模量、固结体抗剪强度和与钢材的粘结强度。

[收稿日期] 2013-06-28

[作者简介] 詹剑霞(1965—),女,河南南阳市人,高级工程师,主要从事水利水电工程施工技术研究;E-mail:Zjx5746@tom.com

2.2 室内模型灌浆试验

2.2.1 模型设计与制作

灌浆模型采用钢板(两侧面及背面)和有机玻璃板(正面)拼装,采用角钢及螺栓固定连接,采用密封条进行密封。为方便拆卸和重复使用,模型分为4节。模型的钢凸轮直接焊接在侧面钢板上,钢板厚度为6 mm,有机玻璃板厚度为10 mm。

为模拟现场螺母柱接缝灌浆的实际情况及浆液的扩散性能,模型试验的接缝宽度为40 mm(与现场预留接缝尺寸一致)。模型总高度为5 310 mm,厚度为200 mm,宽度为180 mm,灌浆口留在模型下部,直径为40 mm。制作完成后的灌浆模型如图1所示。

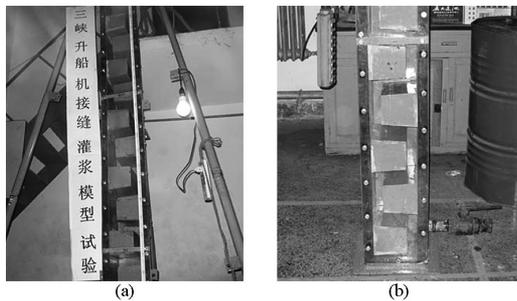


图1 三峡升船机接缝灌浆模型图

Fig.1 Diagram of the Three Gorges Project ship lift joint grouting model

2.2.2 灌浆试验

分别对国产灌浆材料和德国 PAGEL 灌浆材料进行了灌浆试验,试验结果如下。

1) 国产灌浆材料工艺试验(以灌浆材料 A 为例)。分别对缝宽40 mm及20 mm的模型进行了灌浆工艺试验,灌浆模型立放,主要检验浆液的可灌性和流动性,浆液水料比为17%。由于灌浆材料 A 的最大颗粒直径小于2 mm,浆液采用强制式砂浆搅拌机搅拌,搅拌时间不少于5 min,采用螺杆泵作为灌注设备,在灌浆口处安装三通节门,以控制灌浆速率。

2) PAGEL 灌浆材料工艺试验。分别对灌浆模

型进行垂直灌浆试验(模型立放)和水平灌浆试验(模型水平放置)。

模型垂直灌浆试验主要检验浆液的可灌性,通过试验模拟可得到达到实际扩散距离所需要的灌浆压力和灌浆速率,并且选择出合适的制浆设备和泵送设备。试验过程中为了分别研究不同灌浆速率、浆液掺气和模型排气对灌浆质量的影响,共进行了3次试验。第一次灌浆试验主要验证浆液的扩散距离,即浆液通过泵送设备能否达到指定高度(不小于5 m),以及所需的灌浆压力。第二次灌浆试验采用自行加工改造后的砂浆搅拌机和砂浆泵设备。第三次灌浆试验采用如下措施。a. 在灌浆前用浆液排出管路中的水和空气。b. 使泵的螺旋部分始终处于液面以下。c. 加强对灌浆速率和灌浆压力的控制。

为检验浆液在水平方向的扩散距离和灌浆效果,进行了模型水平灌浆试验。灌浆口放在模型底部,模型长度为2.5 m,出口留有排气管进行排气。

2.3 试验结果

1) 3种国产灌浆材料和德国 PAGEL 灌浆材料的性能对比检测试验结果表明,PAGEL 灌浆材料的物理性能指标和力学性能指标均优于国产灌浆材料,如表1、表2所示^[1]。

2) PAGEL 灌浆材料的物理性能与力学性能指标总体上与厂家所提供的性能指标一致,能满足三峡升船机齿条、螺母柱接缝灌浆材料要求。具体实验结果如下。a. 固结体28 d抗压强度达到90 MPa,90 d抗压强度达到108.3 MPa,90 d静力受压弹性模量为37 600 MPa,与厂家提供值基本相同,固结体各龄期抗折强度均大于厂家提供值,固结体28 d与钢材粘结强度为8.6 MPa,大于厂家提供值4.87 MPa,压-压循环疲劳试验循环次数达到200万次未出现裂纹。b. 浆液流动度及1 d竖向膨胀率与厂家提供值相差较大,可能是由于试验方法不同所引起的,其数值均满足《水泥基灌浆材料施工技术规范》(YB/T 9261—98)的要求。

表1 灌浆材料物理性能指标试验汇总表

Table 1 Summary table of physical property indexes of grouting material test

料名	水料比/%	凝结时间/h		泌水率/%	流动度/mm	28 d干缩率/ $\times 10^{-3}$	1 d竖向膨胀率/%
		初凝	终凝				
PAGEL	11	10.5	12.3	0	280	6.06	0.209
国产灌浆材料 A	17	4.5	7.7	0	355	10.6	0.11
国产灌浆材料 B	13.5	3.5	5.2	0	240	7.9	0.087
国产灌浆材料 C	14	4.2	6.4	0	300	13.2	0

表2 灌浆材料力学性能指标试验汇总表

Table 2 Summary table of mechanical property indexes of grouting material test

料名	抗折强度/MPa					抗压强度/MPa					弹性模量/MPa	28 d与钢材粘结强度/MPa
	1 d	3 d	7 d	28 d	90 d	1 d	3 d	7 d	28 d	90 d		
PAGEL	7.9	8.7	12.6	13.5	13.7	48.9	68.6	76.3	90	108.3	37 600	8.6
国产灌浆材料A	7.5	8.5	11.7	12.4	13.9	35.7	51.8	54.5	80.1	93.8	29 700	7.25
国产灌浆材料B	6.3	7.2	11.5	12.6	13.6	33	55.2	62.4	91	98.5	24 200	2.94
国产灌浆材料C	6.4	7.8	11.9	11.8	13.2	32.6	57.0	58.7	84	101.4	21 200	6.86

3) 国产灌浆材料的物理^[2]、力学性能指标^[3]离散性较大,部分性能指标试验值与厂家提供值差别较大。

4) 分层灌浆(二次灌注)对固结体抗压强度和抗折强度(垂直于结合面方向)有一定影响,但降低幅度均在10%以内。

5) 对于PAGEL灌浆材料采用加工改造后的砂浆泵可以满足灌注要求,且制备灌浆材料搅拌时间不少于5 min。最大灌浆压力为0.3 MPa,浆液在竖直方向的扩散距离可以达到5 m以上;灌浆压力小于0.2 MPa时,水平方向的扩散距离可以达到2.5 m以上。

3 原型灌浆试验

为模拟现场螺母柱与二期埋件间的间隙灌浆的实际情况及浆液的扩散性能,原型灌浆试验按最不利灌浆条件即最小的间隙宽度20 mm设计。

试验流程:模型设计与制作安装→排架搭设→钢筋网制作安装→模板、管道施工及密封效果检测→灌浆材料试验及灌浆设备选择→灌浆参数测试→灌浆→养护、拆模→试验块性能检测。

3.1 模板密封检测

为便于观察灌浆过程,模型两侧均采用宽16 cm、厚12 mm的有机玻璃作为模板进行封闭;有机玻璃接缝部位内、外侧都均匀涂抹玻璃胶,外侧玻璃胶

的外部另涂抹“堵漏灵”密封,共形成3层密封材料;通过进浆管进行压水检查密封效果。

3.2 灌浆设备选型

灌浆泵先后采用了HS-B8型华氏螺杆泵、GS50E型申港螺杆泵;灌浆管先后采用了 $\phi 50$ mm高压风管、 $\phi 50$ mm高压钢编管;搅拌机先后采用了JQ350型立式灰浆搅拌机、350型滚筒搅拌机。

试验过程中采用不同的水料比对灌浆管、灌浆泵、搅拌机性能以及高扬程泵送情况进行了试验。

3.3 灌浆参数测试

模型灌浆采用流速和压力两个参数控制整个灌浆过程。灌浆中断试验按3个中断时间段进行模拟试验,即中断0.5 h、1 h和2 h。采用压力法进行灌浆中断试验,试验按10 cm/min的速率控制,PAGEL灌浆材料按11%水料比配浆。

分别采用拔管法灌浆和自重法无压灌浆进行灌浆试验。拔管法灌浆采用 $\phi 40$ mm皮管与螺杆泵出口连接,皮管伸入模型底部,拔管速率与浆液灌入速率相适应,但拔管出口必须始终插入浆面以下不小于30 cm深处。自重法无压灌浆是通过在进浆管顶部布置漏斗,直接将浆液倒入漏斗内。

3.4 试验结果

1) 在脱模后取试块送检,加工切割成70.7 mm \times 70.7 mm \times 70.7 mm的立方体试块进行检测^[4],检测结果均满足设计要求,如表3、表4所示。

表3 PAGEL灌浆材料试块检测结果

Table 3 Results of PAGEL grouting material block test

检测项目	要求指标	检测结果	环境条件	
			密度检测温度/°C	密度检测用水温度/°C
试块密度	2.30 g/cm ³	2.410 g/cm ³	22.0	21.0
7 d抗压强度	≥ 60 MPa	99.1 MPa	-	-
28 d抗压强度	≥ 80 MPa	107.1 MPa	-	-

表4 不同PAGEL灌浆材料试块7 d抗压强度检测结果

Table 4 7 d compression strength results of different PAGEL grouting material blocks

试块编号	检测结果 / MPa	试块密度 / (g·cm ⁻³)	试块布置位置(高程)/m
1	82.0	2.303	0.50
2	89.3	2.303	0.50
3	80.2	2.309	1.00
4	86.9	2.309	1.00
5	90.4	2.266	5.00
6	84.1	2.266	5.00
7	93.5	2.299	3.60
8	89.0	2.299	3.60

注:要求指标≥60 MPa,密度检测用水温度为24.5℃,密度检测温度为22.0℃

2)原型灌浆试验结果表明,采用GS50E型申港螺杆泵、JQ350型立式灰浆搅拌机、350型滚筒搅拌机和钢丝芯液压管可以满足灌浆设备要求。

3)根据模型试验拆模后外观及性能检测成果,顶部采取不封闭的形式进行灌浆,灌浆按流速≤10 cm/min、压力≤0.3 MPa两个参数控制整个灌浆过程,可满足灌浆密实性的要求。

4)模板密封与钢板接缝处内、外边及上、下边接缝处均匀涂抹玻璃胶(内侧及上、下侧玻璃胶涂抹在侧模加固前完成),外侧玻璃胶外部另涂抹“堵漏灵”密封,共形成3层密封材料,可满足密封要求。

5)制浆过程中,PAGEL灌浆材料极易出现结团现象。因此,制浆时应先加少量PAGEL干料,然后加少量水进行搅拌,再逐步加料加水。采用该方法可以避免出现结团现象,大大缩短了拌料时间。

6)压力法灌浆中断1 h可满足继续灌浆要求;环境温度较高时,中断2 h灌浆效果较差。根据试块性能检测结果,骨料均匀部位和无骨料部位PAGEL灌浆材料固结体抗压强度均满足要求。

7)拔管法灌浆与自重法无压灌浆的质量均可满足要求,由于自重法无压灌浆堵管后疏通较难,且压力表等配件每次灌浆均需更换,因此,在现场灌浆时宜采取拔管法灌浆。

8)灌浆材料现场检测试验结果。对德国PAGEL灌浆材料进行了现场检测,水料比为11%,施工配合比如表5所示。PAGEL灌浆材料现场检测结果如表6所示。从表6可以看出,PAGEL灌浆材料现场检测结果均满足要求。

表5 PAGEL灌浆材料施工配合比

Table 5 Mixture ratio of PAGEL grouting material construction

水料比 /%	PAGEL材料用量/kg	用水量 /kg	备注
11	250	27.5	搅拌时材料用量由施工现场拌和量确定

表6 PAGEL灌浆材料试验检测结果

Table 6 Results of PAGEL grouting material test

检测项目	要求指标	检测结果	环境条件	
			温度/℃	相对湿度/%
流动性	≥240 mm	320 mm	20.5	80
凝结时间	≥2 h	初凝:8 h,终凝:9.8 h	20.5	80
泌水率	0	0	20.5	80
7 d抗折强度	≥8 MPa	12.1 MPa	-	-
7 d抗压强度	≥70 MPa	88.1 MPa	-	-
28 d抗折强度	≥10 MPa	13.8 MPa	-	-
28 d抗压强度	≥80 MPa	104.7 MPa	-	-

4 现场施工

现场施工程序:施工前准备→齿条、螺母柱设备安装验收→不锈钢筋网安装→模板安装→设备就位、调试→百分表安装→灌浆→拆模、养护→转下一仓。

灌浆工艺流程如下。a. 按规定的配合比

(11%)进行配料,按搅拌要求先加入2/3水,再加入全部干料,再加入1/3水进行搅拌,搅拌时间不小于180 s。b. 在灌浆管出口处接一根拔管,从齿条、螺母柱顶部缓慢放入到离底部30 cm高处,开始进浆,为防止浆液中混入空气,灌浆泵受料斗内的浆面不得低于进浆口位置。c. 拔管速度与浆液灌入速度相适应,拔管出口始终插入浆面以下不小于30 cm深

处,灌浆按流速 ≤ 10 cm/min、压力 ≤ 0.3 MPa两个参数控制。d. 浆液面在距顶部约5 cm高时终止灌浆,采用吸管将表面的稀浆抽出,确保浆液的浓度。e. 灌浆过程中保持匀速、连续,保持浆液新鲜,中断时间控制在2 h以内。f. 每节螺母柱和齿条灌浆前,均在灌区设置6个观测点采用百分表实施同步变形观测,当百分表观测值有明显增大的趋势(抬动观测值 ≥ 200 μm)时,减缓灌注速度。

实施效果:拆模后进行外观检查,PAGEL灌浆材料固结体与金属结构埋件钢衬结合面没有脱空现象,外露面光滑,无蜂窝、麻面,灌浆密实度较好;对浆液取样所做试块28 d平均抗压、抗折强度分别达到92.4 MPa和13.7 MPa,检测结果均满足设计要求。

5 结语

1)灌浆工艺试验表明,PAGEL灌浆材料的物理性能与力学性能指标总体上与厂家所提供的性能指标一致,此灌浆材料能满足三峡升船机齿条、螺母柱接缝灌浆材料的要求。选择出的制浆设备、泵送设备和灌注工艺参数均可以应用到实际工程。

2)原型灌浆试验模拟了现场螺母柱与二期埋件间的间隙灌浆的实际情况,采用的灌浆设备选型、灌浆方法、灌注工艺参数等均满足了试验要求,为三峡升船机齿条、螺母柱接缝灌浆提供了合适的灌浆工艺。同时,现场检测结果进一步验证了PAGEL灌浆材料满足设计要求。

3)本次灌浆试验优选出了三峡升船机齿条、螺母柱接缝灌浆材料和合适的灌浆工艺,试验效果明显,各项检测指标均满足设计要求,该项技术可为其他类似工程提供参考。

参考文献

- [1] 北京中水科水电科技开发有限公司. 三峡升船机螺母柱接缝灌浆料检测试验研究成果报告[R]. CIWA-TZ-2005-GS-003, 北京:北京中水科水电科技开发有限公司, 2006.
- [2] 中华人民共和国国家计划委员会. GBJ 82—1985 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法[S]. 北京:中国标准出版社, 1986.
- [3] 中华人民共和国建设部, 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 50081—2002 普通混凝土力学性能试验方法标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003.
- [4] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL/T 5150—2001 水工混凝土试验规程[S]. 北京:中国电力出版社, 2002.

Clearance grouting process test of Three Gorges Project ship lift rack and nut column

Zhan Jianxia, Li Jihu

(China Gezhouba Group Co., Ltd. Three Gorges Company, Yichang, Hubei 443002, China)

[Abstract] In order to choose the suitable grouting material and grouting process, and simulate the actual situation of clearance grouting of rack and nut column in ship lift, grouting process test and prototype grouting experiment were carried out respectively. Comparing three kinds of domestic grouting material and the German PAGEL grouting material in grouting process test, the experimental results showed that the physical and mechanical property indexes of German PAGEL grouting material were superior to the domestic grouting material. In prototype grouting test, selection of the grouting equipment type, mixing time, templates seal, method of grouting parameters control of grouting flow were researched, and some applicable grouting material and grouting process were selected which were suitable for the rack and nut column joint in Three Gorges Project ship lift. The above test effects were obvious, and solved the construction problems of great difficulty in grouting seal and easy blockage of pipeline, etc.

[Key words] rack; nut column; grouting; ship lift; Three Gorges Project