

# 厄瓜多尔 CCS 项目调蓄水库浩林地层灌浆试验探讨

习书田, 王勇, 高强

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610072)

摘要: 以厄瓜多尔 CCS 水电站调蓄水库帷幕灌浆试验为例, 简述了 GIN 法、国内传统灌浆法和结合 GIN 法与传统灌浆三种灌浆方法的控制过程、结束标准及成果分析, 为以后类似地质情况工程施工提供参考。

关键词: GCS 项目; 浩林地层; 灌浆试验; 探讨; 稳定浆液

中图分类号: TV7; TV97; TV62; TV522; TV41

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2014)02-0056-03

## 1 工程地质情况

该调蓄水库库区位于 Sinclair 构造带。Sinclair 构造带呈三角形, 受 NE 和 SN 向垂直断裂的影响, 库区内的构造裂隙多呈 NW ~ SN 向。库区岩层在高程 1 233 m 以下以浩林地层为主。浩林地层的特点是: 页岩层与砂岩层交替出现且厚度较大。页岩层属微透水层, 砂岩层属强透水层。

取芯情况表明: 试验区岩层质量呈现出整体质量偏差、下部岩石质量略好于上部岩石质量的特点。试验区岩石以透水性好的砂岩和渗透性差的页岩为主, 岩石破碎。高程 1 233.5 ~ 1 218.5 m 之间以黑色页岩为主; 高程 1 218.5 ~ 1 190 m 之间以灰白色的砂岩为主。

## 2 灌浆方法

帷幕灌浆试验中, 三种方法均采用自下而上分段卡塞的纯压式灌浆。该方法较孔口封闭自上而下分段循环式灌浆具有以下优点:

(1) 钻孔快, 效率高。避免因自上而下分段灌浆所造成的频繁起钻、下钻和灌浆结束后待凝时间长的问题。但是, 对于钻孔过程中由于地质原因引起的塌孔、掉块、漏水等造成无法继续钻进的情况则要求起钻并对该段进行灌浆处理。

(2) 孔口封闭循环灌浆会对灌浆段以上的部位重复进行灌注, 势必会造成该孔耗灰量较自下而上分段灌浆法的耗灰量稍大。

### 2.1 GIN 法

GIN 法是指运用单一配合比的稳定浆液, 由低压逐渐升高压力进行灌浆。灌浆强度值  $GIN$  值 = 压力  $P$  × 单位灌浆段长度的注浆量  $V$ , 该值

反映出单位灌浆段所消耗能量的大小。GIN 法的优点是: 工艺简单, 节约水泥; 缺点为: 对浆液的性能要求高, 对灌浆过程的控制要求严格, GIN 法灌浆不适于单纯地对土壤层和岩溶层进行灌浆处理。

灌浆前确定  $GIN$  值及最大压力  $P$  和最大每 m 注浆量  $V$ , 根据 GIN 包络线图对灌浆过程进行控制。

GIN 法灌浆采取逐级升压、降压的方法进行控制。灌浆开始后, 立即将压力升至 0.3 MPa, 然后进行监测, 每 3 min 记录一个读数。一旦出现流量小于 3 l/min 时则升压, 如此重复该过程。当压力升至最大设计压力或  $GIN$  值达到要求的  $GIN$  值 (此时每 m 注浆量小于要求的每 m 最大注浆量), 但仍未达到结束条件时开始降压过程, 每次降压 0.3 MPa, 直至出现结束条件。

### 2.2 国内传统灌浆法

本试验中的国内传统灌浆法采用 5 种水灰比: 5:1、2:1、1:1、0.8:1、0.6:1, 根据变浆原则进行变换。要求灌浆开始后, 若无特殊情况 (如漏浆、串浆等) 发生, 应尽快达到设计压力, 直到到达结束标准。

### 2.3 综合法

在调蓄水库的帷幕灌浆试验中, 根据 GIN 法灌浆和国内传统灌浆法的成果分析及施工工艺优缺点的比较, 我们研究出一种结合 GIN 法灌浆和国内传统灌浆优点的综合法。该方法结合了 GIN 法灌浆工序简单、节约水泥和国内传统灌浆法灌浆过程控制简单的优点。灌浆所需浆液与 GIN 灌浆浆液一致, 采用稳定浆液。灌浆过程中的控制及结束

收稿日期: 2014-03-22



标准以传统灌浆法为准进行控制和优化。

灌浆开始后即升压。当注入率超过 40 L/min 时不允许加压,维持该压力;当注入率小于 40 L/min 时则升压。压力达到设计灌浆压力后,维持该压力,直至达到灌浆结束条件。

### 3 施工工艺

帷幕灌浆试验区选择在库区左岸 1 233.5 m 高程平台区位置,采用原位灌浆试验,帷幕灌浆底高程为 1 190 m。试验区由 2 块构成,第一块位于 L0+197.54~L0+215.54 段间,共计 13 个生产孔,3 个检查孔;第二块位于 L0+182.54~L0+176.54 段间,共计 6 个生产孔,1 个检查孔。该区域为单排帷幕,所有孔分布在帷幕轴线上。笔者主要对综合法进行探讨。

#### 3.1 钻孔

钻孔采用重庆探矿机械厂生产的 XY-2 钻机,生产孔均为垂直钻进,严格控制孔深、孔位偏差和孔斜。检查孔均为斜孔,以求尽可能穿过生产孔吃浆量大的孔段。

#### 3.2 洗孔

钻孔采用风水联合冲洗的方法洗孔。

#### 3.3 地下水位测量

洗孔完成后,对钻孔进行地下水位测量。

#### 3.4 压水

压水采用“五点法”标准压水。

#### 3.5 饱和

灌浆开始前,对地下水位线以上的孔段要求进行压水饱和。压水饱和按最大 20 m 的段长进行控制,压力为灌浆压力的 80% 且不大于 1 MPa。

#### 3.6 灌浆

##### 3.6.1 浆液的选取

浆液的选取对灌浆施工起到至关重要的作用,它是影响灌浆效果好坏的重要因素。综合灌浆法采用稳定的浆液。稳定浆液是指具有宾汉流体特性的浆液。该浆液具有较小的析水率、较低的凝聚力、较好的流动性和中等稠度等特性。通常,稳定浆液中都要求加入高效减水剂和膨润土。加减水剂可以增强浆液的流动性、减小粘度,而加膨润土的作用则是提高浆液的稳定性,减小析水。稳定浆液的性能要求见表 1。

根据设计要求的浆液性能,经过大量室内和现场的试验,最终选取的浆液配合比及其性能参

数见表 2。

表 1 稳定浆液性能参数要求表

水灰比	密度 /g·cm <sup>-3</sup>	马氏漏斗粘 度粘度	2 h 析水率	28 d 抗压强度
0.6~0.9	1.5~1.65	不超过 33 s	不大于 5%	不低于 15 MPa

表 2 现场实际应用配合比及其性能参数表

水灰 比	减水剂 PCA-III	膨润 土	密度 /g·cm <sup>-3</sup>	马氏漏斗 粘度	2 H 析水率	28 d 抗压 强度
0.91	1%	1%	1.5	30.4 s	3.5%	18.5 MPa

由表 2 可知,该配合比下的浆液满足稳定浆液所要求的性能。浆液自身有内部结构,不会很快沉淀、过早凝结;具有良好的流动性,渗透性强,能够满足浆液扩散的要求;析水小,对裂隙的填充更加饱满;凝固后强度高。

#### 3.6.2 浆液的制备及性能控制

浆液的制备对浆液性能具有重要的作用。

膨润土浆液由膨润土干料和水按 1:3 的比例混合均匀配制,要求混合 12 h 后方可用于浆液的拌制。

浆液拌制好后,按要求进行浆液的粘度、浆液比重、析水率、温度的测试并取样,待 28 d 后进行抗压试验。将不满足性能要求的浆液弃掉、拒用。

浆液在输送过程中,管路暴露在外,由于阳光照射会引起浆液温度的升高,从而影响浆液的性能。故要求不定时对灌浆管路进行淋水降温处理。

#### 3.6.3 灌浆结束标准

当压力达到设计压力,同时注入率小于 1 L/min,持续灌注 10 min 即可结束。

### 4 不同灌浆方法的成果对比

#### 4.1 生产孔灌浆对比

生产孔灌浆对比情况见表 3。

表 3 试验区生产孔灌浆成果统计表

灌浆方法	总孔数	总灌浆段 长/m	总耗灰量 /t	平均耗灰量 /kg·m <sup>-1</sup>
国内传统灌浆	6	261	27.44	105.13
GIN 法	7	304.5	21.71	71.3
综合法	6	261	22.16	84.9

从表 3 可以看出,三种方法的单位耗灰量大小关系为:传统灌浆法>综合法>GIN 法。GIN 法较国内传统灌浆法和综合法每 m 耗灰量可节省 33.83 kg 和 13.6 kg,经济效益显著。



4.2 检查孔成果对比

灌浆试验中的先导孔和检查孔各段压水情况见表 4。

表 4 试验区先导孔和检查孔各段压水情况统计表

灌浆方法	段数	压水吕荣频率区间 / %				
		0 ~ 3 Lu	3 ~ 5 Lu	5 ~ 20 Lu	> 20 Lu	
传统	先导孔	9	0	0	100	
灌浆法	检查孔	9	44.44	55.56	0	
GIN 法	先导孔	18		0	5.56	94.44
	检查孔	18	11.11	61.11	27.78	0
综合法	先导孔	9	0	0	0	100
	检查孔	9	33.33	66.67	0	0

从表 4 可以看出:采用传统灌浆法和综合法灌浆的检查孔压水吕荣值小于 5 的孔段达到 100%。其中综合法小于 3 的孔段为 33.33%, 小于 5 的孔段为 66.67%。传统法小于 3 的孔段为 44.44%, 小于 5 的孔段为 55.56%。GIN 法灌浆的检查孔压水吕荣值小于 5 的孔段为 72.22%, 大于 5 的孔段为 27.78%, 未达到设计对防渗帷幕压水吕荣值的要求。另外,从先导孔和检查孔透水频率区间看,以上三种灌浆方法的灌浆效果均很明显。上述三种方法在灌前所有孔段的压水吕荣值均大于 5。灌浆后,透水率大于 5 的频率

表 6 综合法及传统灌浆法水泥及灌浆工效对比表

方法	灌浆量/m	水泥量/t	灌浆时间/d	水泥量对比	工效对比
综合法	31 382	2 665	266	采用综合法灌浆可节约水泥 635 t	采用综合法可节省灌浆时间 98 d
传统灌浆法	31 382	3 300	364		

注:灌浆时间按一套灌浆设备计算。

液灌浆具有工艺简单、操作简便等优点;最后,综合法采用的灌浆过程和结束标准较 GIN 法简单易懂、便于操作。在现场实际施工过程中发现,由于 GIN 选用的浆液虽然是性能较好的稳定浆液,但同国内常规方法的浆液比较也算是较浓的浆液。但是,GIN 的升压过程太呆板且升压较慢,对于灌浆效果来说较差于国内常规方法中提倡的尽快达到设计压力,所以,我们改进创新的综合法在这个方面更优于 GIN 法。

5 结 语

通过本工程采用的 GIN 法,我们进一步认识到 GIN 法灌浆节约水泥、高效率、制浆工艺简化的优点,了解到影响 GIN 灌浆效果的几个重要参

变为:0、27.78%和 0。

4.3 工效对比

不同灌浆方法的工效对比情况见表 5。

表 5 不同灌浆法的工效对比表

灌浆方法	总孔数	总灌浆段长/m	总纯灌注时间/min	每 m 纯灌时间/min · m <sup>-1</sup>
传统灌浆法	5	219.72	1 582	16.7
GIN 法	10	441.69	1 945	9.4
综合法	3	131	937	12.2

从表 5 可知,三种灌浆方法的工效对比情况为:GIN 法 > 综合法 > 国内传统灌浆法。GIN 法灌浆每 m 所用时间分别为国内传统灌浆法和综合法的 56.29% 和 77.05%。综合法每 m 所用时间为国内传统灌浆法每 m 所用时间的 73.05%。

从表 3、4、5 可知:传统灌浆法在水泥用量和功效方面均为最差,但压水结果理想;GIN 法在水泥用量和功效方面占有优势,但检查孔压水结果不甚理想;综合法在水泥用量和功效方面均处在中等位置,但检查孔压水结果理想。按照灌浆质量要求,首先将 GIN 法予以排除。在传统灌浆法和综合法中,综合讨论采用综合法。首先,采用综合法可节约大量的水泥和工期(表 6);其次,综合法采用单一水灰比灌浆,较传统灌浆法的多级浆

数:GIN 值、 $P_{max}$ 、 $V_{max}$  及浆液的性能要求和 GIN 法灌浆的过程控制和结束条件。同时,通过对 GIN 法和国内传统灌浆法进行大胆改进、发展出本工程中采用的综合法,该综合法吸取了 GIN 法和国内传统灌浆法各自的优点,灌浆效果较好、施工工艺简单、成本更低,值得推广,可供类似工程参考。

作者简介:

- 习书田(1983-),男,江西宜春人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
- 王 勇(1982-),男,重庆南川人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
- 高 强(1985-),男,重庆长寿人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)