

灌浆强度值(GIN)法灌浆试验研究

杜晓刚

张明炎

马跃先

(水利部小浪底建管局)

(郑州工业大学水环系)

摘 要 本文介绍了国际上最先进的GIN法灌浆技术首次在我国大型水利工程中的试验应用情况,对应用结果进行了系统地分析研究,得出了一些有价值的结论.对我国推广使用这种先进技术具有一定的指导借鉴意义。

关键词 灌浆强度值 稳定浆液 限制包络线 生产试验

中图分类号 TV543

1 引言

灌浆强度值法又称GIN法灌浆,是国际上近年来发展的一种最新灌浆技术,其核心为采用单一水灰比的稳定浆液、实施现场微机监控、在某一灌浆段内保持最终灌浆压力 P 和灌注浆体体积 V 的乘积 $P \cdot V$ 为常数。据国外有关文献介绍,该法具有简化灌浆工艺、施工方便、节省投资等优点,利用计算机对灌浆全过程进行监控,使得灌浆质量可靠、灌浆范围易于控制。我国对GIN法灌浆技术尚比较陌生,在工程中也未有应用的先例。为了在我国大型水利工程特别是在小浪底水利枢纽的大范畴帷幕灌浆中合理地掌握、应用该项先进技术,特结合小浪底工程生产及在有关部门协调下进行了GIN法灌浆应用试验研究。试验历时四个月,取得了较为满意的效果。

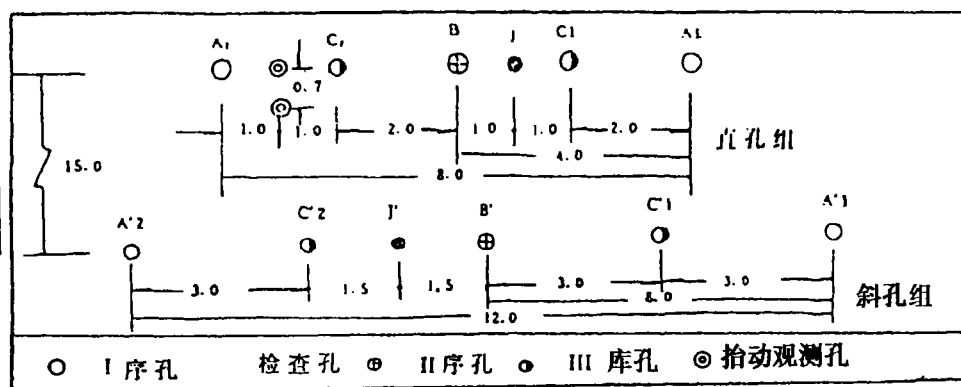


图1 直、斜孔组灌浆试验钻孔平面布置示意图(单位:m)

收稿日期:1996-09-08

2 试验参数选择

2.1 布孔

根据工程的实际地质情况和设计要求,合理地布置灌浆孔位和孔深。本试验分直孔和斜孔两组,孔深 63 米,均分三序按对分法布孔,直孔结合生产放在帷幕轴线上,斜孔布在下游侧 15 米处,顶角 15°,平面布置见图 1。

2.2 浆液选择

浆液选择的原则为:凝聚力较低,利于渗透、凝结后具有较高的强度。一般采用超细水泥 ($>5000\text{cm}^2/\text{g}$) 掺加适量分散剂便可获得高性能的稳定浆液。施工前首先在实验室内进行浆液配制试验,然后根据施工现场的具体情况加以适当调整,尽可能做到在整个工程中全部采用某一种配比的浆液。

如果在地下水位以上灌浆,除灌浆前压水湿润岩体外,还应在浆体中掺加保持水分的添加剂,以防止干燥岩体使浆液失水过多,影响最终灌浆质量。

2.3 确定灌浆限制包络线

灌浆限制包络线是在 $P-V$ 坐标中的一条封闭曲线,如图 2 所示。其纵坐标为浆压力 P (MPa),横坐标为单位孔段灌注量 V (L/M),每条曲线由一个最高限制灌浆压力 P_{\max} 、一个最大限制灌注量 V_{\max} 和一个合适的 GIN 值(MP_a)所构成。

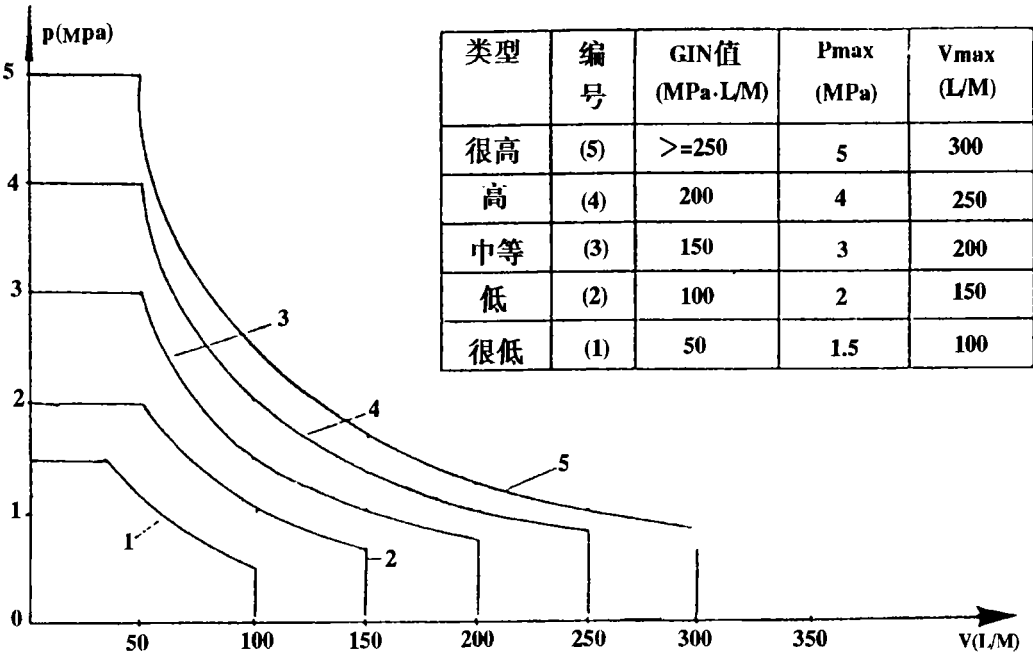


图 2 不同 GIN 值的限制包络线

GIN 的取值范围为 $50\sim 250(\text{MP}_a)$,通常选用 $150\text{MP}_a \cdot \text{L/M}$ 的中等强度值。 GIN 值的选择应考虑具体工程的地质条件、蓄水后的水头损失、浮托力等因素的影响,在大范围施工

前一般要经过一、二段有代表性的实地试验来最后确定。

V_{\max} 的取值范围一般为 200~400L/M。在低压容易灌入的地方,如Ⅰ序孔的灌浆或大裂隙岩体的灌浆,应限制其最大灌入量,即保证大、小裂隙的充分灌注又不致使浆液扩散范围过大,使灌浆变得经济合理。

P_{\max} 的取值范围一般为 3~5MPa,在大裂隙被灌注后或进行Ⅱ、Ⅲ序孔灌浆时,需采用较高一些的灌浆压力使浆体充分充填小裂隙以保证灌浆质量,同时为了避免发生有害的水力劈裂和地层抬动现象,需要限制最高的灌浆压力。

目前我国还没有 GIN 法灌浆经验的情况下,GIN 值可参考同地质条件下进行常规灌浆所取得的技术数据来初定,然后在试验中进行调整,最后合理地定出各孔段的灌浆限制包络线。

3 现场监控

对确定了灌浆限制包络线,经过一定程序处理后,可将其显示在微机屏幕上。微机根据灌浆管路上传感器测出的压力、流量数据,在屏幕上自动描出实际的 P-V 过程线和可灌性曲线(Q/P-V),如图 3 所示。另外还可显示瞬时测得的 P、Q 值。现场操作人员根据屏幕上显示的灌浆流程变化情况,通过改变压力、流量值、控制灌浆过程线向给定的 GIN 曲线逼近。通过对灌浆的全过程进行监控,发现问题及时处理,在灌浆过程线到达 GIN 曲线时结束灌浆。

可灌性曲线是灌浆控制过程中的一条重要辅助曲线,伴随着灌浆过程的进行,可灌性曲线是逐渐下降的,它表明了孔洞或裂隙被逐渐充填而导致灌浆效果下降的情况,反映了灌浆的进程正常。

从灌浆曲线上能方便地监视灌浆过程中发生水力劈裂的现象,如图 3 中在 H 点即反映了本试验中 A1 孔号四段发生了小劈裂,可灌性曲线在此处突然出现了一个尖峰,灌注流量骤然增大,灌浆压力也随之下降。在 P-V 过程线上的对应点出现了一个低谷,也说明了在 H 点发生了水力劈裂。此时操作者应适当减低灌浆压力,避免不利的高压力、大流量组合,从图 4 可以看出,在裂缝被充填后,灌浆过程又恢复了正常。

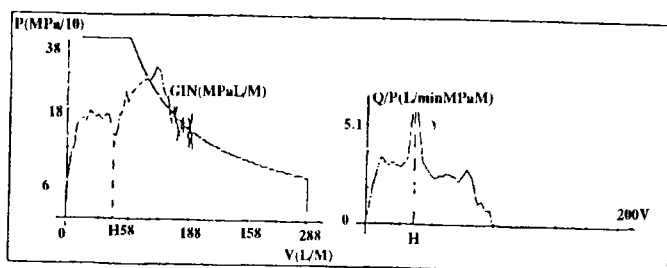


图 3 现场微机描绘的 GIN、P-V、Q/P-V 曲线(H 点是水力劈裂)

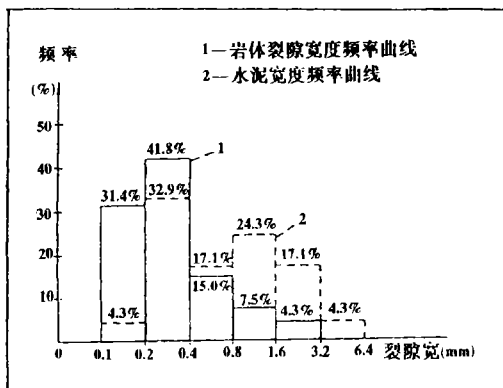


图 4 水泥宽、裂隙宽频率曲线对照图

4 试验结果分析

对常规灌浆质量的检验,规范规定是以检查孔取岩芯和压水试验为主,为了更清楚地说明 GIN 法灌浆的效果,对本次 GIN 法灌浆试验,除按规范要求检验其灌浆质量外,还结合每序孔灌浆前吕荣试验情况进行了分析,用统计评价法对序孔吸浆量情况进行了评价。

4.1 水泥结石

灌浆检查孔在灌浆孔灌浆结束 14 小时后进行。在钻取的岩芯中,水泥结石整孔均有发现,密度大,厚度一般为 0.3~1.0mm,少数大于 2.0mm,胶结良好。从水泥充填的类型来看,张开的、微张的裂隙中水泥充填均良好,胶结密实,在钙质或泥质充填的不完全、不密实的裂隙及粘土岩层面中,水泥亦有很好的充填。水泥在不同开度裂隙组中充填的分布规律如图 4 所示。

由图 4 可见,大于 0.2mm 的裂隙可灌性强,0.2~0.4mm、0.4~0.8mm 同岩体的裂隙开度总体发育水平相一致。另外 0.8mm 以上开度的裂隙被水泥充填的频率较岩体裂隙总体量测的频率高,除该开度的裂隙易于被水泥充填而岩芯量测困难所测条数较实际偏少外,另一个原因是在压力作用下裂隙张开的结果。小于等于 0.2mm 的裂隙多被钙质充填呈闭合状,因而可灌性差,水泥充填频率较低。

试验结果表明,水泥结石主要存在于开度为 0.2mm 以上的裂隙中,而这一开度范围的裂隙正是一般水利工程要解决的主要渗漏通道。

4.2 压水试验

检查孔吕荣压水试验结果如表 1 所示。

表 1 不同段次吕荣压水试验数据表

段次 Lu 斜孔	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均值 (Lu)
	直孔	0.4	0.0	8.3	0.3	0.9	0.2	0.0	1.2	0.1	0.3	0.0
斜孔	2.1	5.3	3.6	1.3	0.9	1.0	0.9	3.2	.0	2.8	1.1	2.1

直、斜孔平均值为 1.0Lu 和 2.1Lu,段次合格率为 91%,大于 5Lu 的不合格段(各一段)只占 9.1%,按规范标准灌浆质量是合格的。帷幕防渗性能由设计的 5Lu 提高到 1~2Lu,说明灌浆效果很好。

灌浆孔灌前压水试验各序透水率平均值及其频率累计曲线如图 5 和图 6 所示。由于斜孔组的变化趋势和直孔组基本一样,故仅对直孔组的灌前压水试验成果进行分析。

从图 5 中可以看出,I、Ⅱ序差别不大,Ⅲ序孔小吕荣值段次显著增加,若以小于 5Lu 段次计,I 序孔为 44.5%,Ⅱ序孔为 45%,Ⅲ序孔为 92.5%。从压水试验吕荣平均值来看,I、Ⅱ序相同,为 12.9Lu,Ⅲ序为 2.0Lu,Ⅲ序较 I、Ⅱ序下降了 86.5%。2.0Lu 较 5.0Lu 的设计值低 60%,防渗性能高于设计指标。

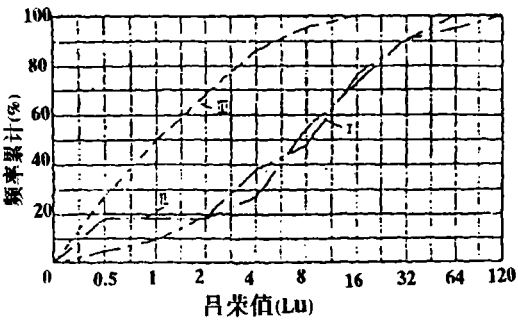


图 5 直孔灌前压水试验吕荣值累计曲线图

序次	孔 号	吕 荣 值 Lu		
		最大值	最小值	平均值
I	A1+A2	80.4	0.60	12.90
	A1	80.40	1.11	16.28
II	B	58.42	0.27	12.90
III	C1+C2	9.69	0.12	2.00

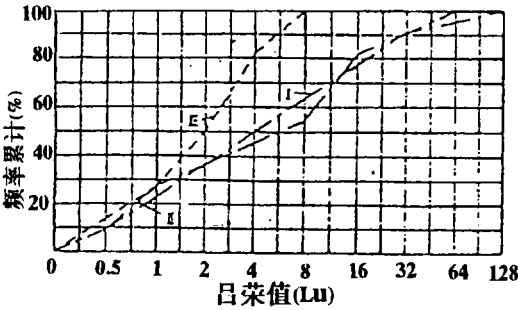


图 6 斜孔灌前压水试验吕荣值累计曲线图

序次	吕 荣 值 Lu			递减率 %
	最大值	最小值	平均值	
I	70.3	0.5	10.8	
II	35.1	0.3	9.5	12.0
III	5.9	0.2	2.2	79.6

从上述分析还可看出,在试验布孔方案下,I序孔灌浆效果是有限的,当II序孔灌浆之后情况才发生了根本变化,III序孔灌浆之前压水试验,平均透水率为2.0~2.2Lu,但实际透水率是不均匀的,还有12~14%的孔段透水率在5~10Lu,仍有很好的可灌性,III序孔灌浆之后,才完全满足了灌浆的设计要求。

4.3 吸浆量的统计分析

由于直、斜孔组吸浆的评价结果一样,下面仅对斜孔组进行分析。斜孔组单耗统计及累计频率曲线见图7所示。

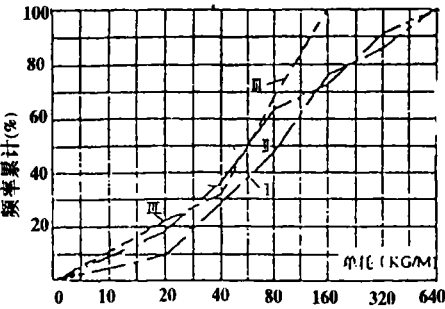


图 7 斜孔单耗频率累计曲线

序次	段长 m	水泥耗量 kg	单耗 kg/m	递减率 %
I	104.3	12506.5	119.9	
II	54.8	5675.8	103.6	13.6
III	110.05	6445.5	58.6	51.1

因为水灰比不变,单耗与吸浆量是线性关系,从图中可以看出,II序与I序在大单耗段的段次接近,序次关系不明显,以80%的累计频率看,I、II序小于240kg/m,而III序小于110kg/m。III序较I、II序递减明显,可灌性减低符合规律。

从各序单耗平均值来看,Ⅱ序较Ⅰ序递减 13.6%,Ⅲ序较Ⅰ序递减 51.1%,单耗Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ序,也表明了灌浆效果较好。

5 GIN 法灌浆与常规灌浆的比较

九一年黄委会设计院曾在小浪底左岸单薄分水岭进行了常规斜孔帷幕灌浆试验。经鉴定那次试验的地质条件与本试验的地质条件基本一样,二者具有可比性,下面定性地对两种灌浆方法和定量地对两次试验的主要技术指标列表进行比较。

表 2 GIN 法灌浆与常规灌浆的定性比较表

比较项目	GIN	常规
浆液	单一水灰比的稳定浆液,全过程使用,工艺简单,故障率低,工时省。	8:1~0.5:1 九种水灰比的浆液,灌注过程中根据压力和流量的变化改变浆液浓度,工艺复杂,故障率较高。
结束标准	在灌浆过程中逐渐提高压力,直到 $P_{max}V_{max}$ GIN 三个之一达到规定值。	在设计压力下基本不吃浆(灌浆吸浆量<0.4L/min,继灌 30~60min
灌浆范围	灌浆范围易于控制,节省灌浆材料。	在改变浆液浓度时,使浆液凝聚力增大,有可能使灌浆过程停止,浆液可能远距离流失。
对地层影响	可避免或大大减少水力劈裂对岩层的破坏,对出现的劈裂能随时监测及时处理。	对出现的水力劈裂无法监控。
帷幕质量	稳定浆液在灌注过程中析水较少,使被灌岩缝充填密实,能形成密实性和强度较高的结石,这种结石具有较高的抗浸蚀能力,可提高帷幕的耐久性。	在采用较稀浆液时,浆液在形成结石的过程中有较多泌水通道,易被地下水溶蚀,影响帷幕耐久性。
设备	需要增加新的监控、测试,购置费用增加。	无需增加新设备。

表 3 两种方法主要技术指标比较表

灌浆方法	纯灌时间 (min/m)	平均单耗 (kg/m)	单位水泥总耗量 (kg/m)	透水率 (Lu)
GIN 法	16.18	91.5	196.8	2.1
常规法	25.94	137.5	184.2	2.1
GIN/常规	0.62	0.67	1.07	1.0

表 3 中 GIN 法的单位水泥总耗量包括试验弃浆,因而无比较价值,在正常施工时,随着

操作熟练程度和管理水平的提高,将减少弃浆,单位水泥总耗量也将有所下降。

6 结论

通过对GIN法灌浆施工程序及试验结果的分析不难看出:采用单一水灰比的稳定浆液使得灌浆工艺简单、施工方便;利用微机对灌浆全过程进行监控,合理选择灌注压力和浆液灌注量,不但使灌浆范围易于控制,减少浆液浪费,节省工程投资,而且使灌浆质量得到了可靠保证;另外,由于工效的大幅度提高,缩短了灌浆工期,使建设单位和施工单位均可获得显著的经济效益。特别对大型水利工程,GIN法灌浆和常规方法相比有着突出的优势,因而在我国有着良好的推广应用前景。

参 考 文 献

- 1 G. 隆巴迪 D. 迪尔. 用“灌浆强度值”法设计和控制灌浆工程. 国际水力发电. NO. 6. 1993
- 2 美 Ken. Weaver 大坝基础灌浆 中国水电工程总公司科技办编译. 1995. 7
- 3 张景秀. 坝基防渗与灌浆技术. 水利电力出版社. 1992. 6
- 4 黄委会设计院. 黄河小浪底水利枢纽工程帷幕灌浆生产实验报告. 1996. 1

Testing Research of Grouting With Grouting Strength Value (GIN Method)

Du Xiaogang

Zhang Mingyan

(Yellow River water and Hydro-Electric Development cooperation)

Ma Yuexian

(Zhengzhou University of Technology)

Abstract This article introduces the using of the internationally advanced GIN grouting technique first time in the hydraulic project of our country; and has a systematic analysis and study of the using outcome from which some Valuable conclusions are gained, and which more or less could direct and be employed to push forward the using of such advanced technique in our country.

Keywords grouting strength value stable grouting liquid limit envelope production test.