

GIN 法在小浪底帷幕灌浆第六子标工程中的应用

刘 锋, 申国涛

(黄河水利委员会勘测规划设计研究院地质勘探总队, 河南 洛阳 471002)

摘 要 对 GIN 法的基本原理进行了扼要论述, 详细介绍了此法在小浪底帷幕灌浆第六子标工程中的应用情况。对灌浆成果进行了研究评价, 并进行了同类地质条件下 GIN 法和常规灌浆工艺的经济效益分析, 从而肯定了灌浆工程中运用此法的优越性。对 GIN 法在基础施工的进一步推广应用提出了新的看法。

关键词 GIN 法; 灌浆强度值; 灌浆; 小浪底; 第六子标

中图分类号 TV223.4 **文献标识码** B **文章编号** 1000-3746(2003)S1-0136-04

GIN 是英文 Grouting Intensity Number(灌浆强度值)的缩写。GIN 法灌浆是 20 世纪 90 年代初, 瑞士学者 G. 隆巴迪提出的一种新的设计和控制灌浆工程的方法。

该方法的要点是 (1) 整个过程中只用单一水灰比的浆体灌注, 浆体中有高效塑化剂以提高浆体的可灌性(水灰比是 0.67~0.8)。(2) 采用稳定的低~中等的灌注速率在灌浆的全过程中逐渐提高灌浆压力使浆体向岩体裂隙中逐渐扩散。(3) 对灌浆压力、灌注速率、灌注量和可灌性的过程进行实时监测。(4) 当显示在压力—总灌注量(每米长孔段)图上的灌浆流程线与限制灌浆量曲线, 或被选定的 GIN 双曲线之一相交时, 当低于规定注入率的情况下, 在规定的时间内即可结束灌浆。

由于 GIN 灌浆法几乎自动地考虑了岩体地质条件的实际不规则性, 使得沿帷幕体的总的注入浆量合理分布, 灌浆效益—投资比率达到最优。

GIN 法首先在美洲一些国家的工程中应用, 取得了较好的效果。我国于 1994 年引进。

在 1995 年和 1997 年小浪底帷幕灌浆工程施工中, 我单位分别主持完成了 GIN 灌浆试验及 GIN 法灌浆试验性生产。其中 GIN 法灌浆试验最早在国内取得成功, 达到国内领先水平, 该成果于 1998 年获得黄河水利委员会科技进步一等奖。

为扩大 GIN 法灌浆工艺的应用范围, 在 2000 年小浪底水利枢纽帷幕灌浆及帷幕补强灌浆工程第四子标和第六子标灌浆中采用了该工艺。共完成钻灌工程量近 25000 m、灌注水泥 10800 t。笔者作为现场技术管理人员参与了第六子标灌浆施工, 本文就

GIN 法在第六子标工程中的应用情况介绍如下。

1 工程概况

黄河小浪底水利枢纽帷幕灌浆工程第六子标(桩号 DG0-1+025.6~266.6)位于小浪底水利枢纽帷幕防渗体系的最北段, 是左岸山体帷幕防渗体系的重要组成部分。DG0-1+025.6~100.6 段地面帷幕灌浆设计为双排帷幕灌浆孔, 排距 2 m, 孔距 2 m, 灌浆孔呈梅花形布置, 下游排(主)帷幕灌浆孔最深设计孔深为 156 m, 勘探孔最深孔深 166 m, 上游排帷幕孔最深孔深为 81 m; DG0-1+100.6~266.6 段地面帷幕灌浆设计为单排帷幕灌浆孔, 孔距 2 m, 灌浆孔最深孔深 41 m, 勘探孔最深孔深 51 m。所有施工钻孔均为直孔, 其中先导孔、检查孔直径为 75 mm, 序孔直径为 59 mm。

2 地质条件

帷幕灌浆工程设计地面高程为 EL281 m, 顶线控制高程为 EL275 m, 钻进表明地面以下覆盖层厚度 0~9.7 m, 主要为土层和砂卵石层, 覆盖层以下岩层主要为 T_1^{6-1} 、 T_2^1 、 T_1^{5-3} 、 T_1^{5-2} 、 T_1^{5-1} 、 T_1^4 、 T_1^7 、 T_1^{7-4} 等岩层, 在 DG0-1+046.6~086.6 区间, 有 F28 断层穿过, 断层宽度约 10 m, 倾角 80°以上, 是主要灌浆处理对象, 也是施工难度较大的地段。

3 完成工程量

该工程 2000 年 10 月 19 日开工, 2001 年 11 月 20 日完工。完成主要工程量见表 1。

收稿日期 2003-04-30

作者简介: 刘锋(1970-), 河南新乡人, 黄河水利委员会勘测规划设计研究院地质勘探总队工程师, 选矿工程专业, 从事帷幕灌浆工程和黄河防洪工程工作, 河南省洛阳市启明西路 40 号(0379)3552063。

4 灌浆

采用水灰比 0.7 的稳定浆液,其试验室试验结果、技术指标及配比如表 2 所示。

4.1 灌浆浆液

表 1 第六子标灌浆工程完成工程量

| 项目孔 | 孔数 / 个 | 钻孔进尺/m | | | 压水试验 / 段 | 灌注水泥 / kg | 镶管 / 套 |
|-------|--------|---------|----------|----------|----------|------------|--------|
| | | 覆盖层 | 基岩 | 合计 | | | |
| 先导孔 | 10 | 66.85 | 761.13 | 827.98 | 152 | 723512.06 | 10 |
| 帷幕孔 | 151 | 1070.76 | 10445.77 | 11516.53 | 2098 | 5621218.13 | 151 |
| 检查孔 | 13 | 98.60 | 981.60 | 1080.20 | 210 | 23333.79 | 13 |
| 补加孔 | 9 | 57.95 | 191.20 | 249.15 | 22 | 21297.53 | 9 |
| 补加检查孔 | 1 | 6.70 | 13.70 | 20.40 | 3 | 0.00 | 1 |
| 合计 | 184 | 1300.86 | 12393.40 | 13694.26 | 2485 | 6389361.51 | 184 |

表 2 稳定浆液技术指标及室内试验结果

| 配合比(质量比) (水:水泥:膨润土:减水剂) | 析水率(2 h) % | 粘聚力 ($N \cdot m^{-2}$) | 密度 ($g \cdot cm^{-3}$) | 马氏粘度 /s | 初凝时间 /h | 28 天强度 /MPa |
|----------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|------------|----------------|
| 0.7: 1: 0.009: 0.006 | 3.3 | 2.5 | 1.63 | 32.4 | 17.5 | 30.7 |

4.2 灌浆方法

帷幕灌浆孔分为三序施工。排序、孔序间的灌浆高差保证大于 15 m。帷幕灌浆采用孔口封闭,孔内循环,自上而下的 GIN 灌浆工艺,其工艺流程如图 1 所示。

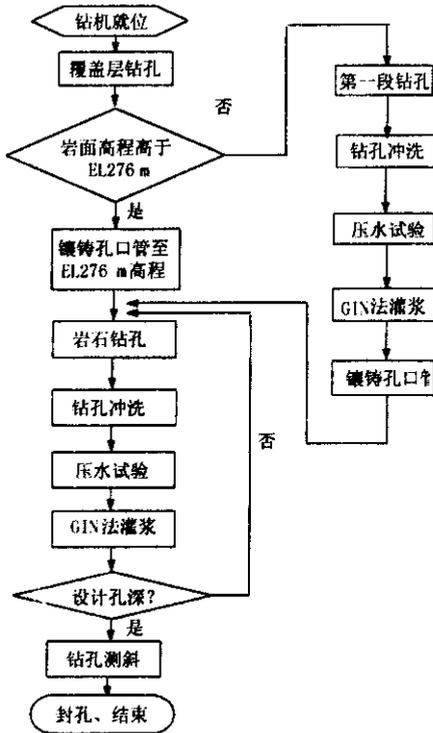


图 1 钻孔、灌浆工艺流程图

4.3 灌浆强度值(GIN)和灌浆压力

灌浆强度值和灌浆控制压力见表 3。

施工过程中工程师根据地层情况对灌浆强度值进行了调整,深度在 20 m 以浅,限制最小压力 0.5 MPa,最大压力不变;在 20 m 以深,限制最小压力 0.8 MPa,限制最大压力 3 MPa。

表 3 灌浆强度值(GIN)和灌浆控制压力

| 孔深/m | ≤20 | 20~40 | >40 |
|--------------------------------------|-----------|-------|-----|
| 灌浆强度值/($MPa \cdot L \cdot m^{-1}$) | 75 | 150 | 240 |
| 限制最大压力/MPa | 2.0 | 3.0 | 4.0 |
| 限制最小压力/MPa | 0.5 | 0.8 | 1 |
| 限制耗灰量/($L \cdot m^{-1}$) | 150 | 200 | 250 |
| 控制注入率/($L \cdot min^{-1}$) | 15.0~20.0 | | |

4.4 灌浆结束标准

(1)当灌浆压力达到最大压力 P_{max} 或达到 GIN 值,且每 5 m 段长注入率 $< 2 L/min$ 时,延续 30 min 结束,或当每 5 m 段长注入率 $< 1 L/min$ 时,延续 10 min 结束。

(2)当灌浆量达到最大 V_{max} ,但小于 GIN 值时,间歇 30 min 后恢复灌浆,如果 30 min 内达到 GIN 值,按(1)条的要求结束,否则,再间歇 30 min,再灌浆……,重复以上过程,直至达到(1)条的结束标准。但当灌浆量达到 2000 L/m 时,也可结束灌浆。

(3)达到 GIN 值且流量较大时,调整压力,使之沿 GIN 曲线下滑,直至流量 $< 2 L/min$ 时,再持续 30 min 结束。灌浆过程中压力不低于最低压力值。

5 单元工程划分及质量评定

单元工程优良率为 87.6%,工程质量优良,检验评定结果详见表 4。

6 灌浆成果分析

6.1 单位注入量分析

从表 5 和图 2 可知,灌浆过程中上、下游各孔序间单耗递减规律明显,表明了地层被逐序加密的过程,从而也说明了灌浆取得了较好的效果。

6.2 检查孔压水试验成果分析(见表 6)

表 4 单元工程质量检验评定

| 单元号 | 部位 | 孔数/个 | 合格孔数/个 | 合格率/% | 优良孔数/个 | 优良率/% |
|-----|----------------------------|------|--------|-------|--------|-------|
| 1 | DG0-1+023.89~068.60(上、下游排) | 46 | 46 | 100 | 39 | 84.8 |
| 2 | DG0-1+068.60~116.60(上、下游排) | 40 | 40 | 100 | 33 | 82.5 |
| 3 | DG0-1+116.60~164.60 | 24 | 24 | 100 | 21 | 87.5 |
| 4 | DG0-1+164.60~212.60 | 24 | 24 | 100 | 23 | 95.8 |
| 5 | DG0-1+212.60~266.60 | 27 | 27 | 100 | 25 | 92.5 |
| 合计 | DG0-1+023.89~266.60 | 161 | 161 | 100 | 141 | 87.6 |

表 5 第六子标灌浆单位注入量对比

| 排序 | 孔序 | 孔数 | 灌浆进尺 /m | 注灰量 /t | 单位注入量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$) | 递减率 /% |
|-------------|-----|-----|------------|-----------|--|-----------|
| 上游排 | E、P | 10 | 628.5 | 214.41 | 341.2 | S-P -20.2 |
| | S | 10 | 632.1 | 259.10 | 409.9 | T-S 32.2 |
| | T | 19 | 1225.9 | 340.83 | 278.0 | T-P 18.5 |
| | 小计 | 39 | 2486.51 | 814.34 | 327.5 | |
| 下游排 | E、P | 31 | 2282.7 | 2144.82 | 939.6 | S-P 32.9 |
| | S | 32 | 2244.1 | 1414.77 | 630.4 | T-S 25.5 |
| | T | 59 | 4193.6 | 1970.79 | 470.0 | T-P 50.0 |
| | 小计 | 122 | 8720.36 | 5530.38 | 634.2 | |
| 上、下游排 合计 | E、P | 41 | 2911.20 | 2359.23 | 810.4 | S-P 28.2 |
| | S | 42 | 2786.20 | 1673.87 | 582.0 | T-S 26.7 |
| | T | 78 | 5419.5 | 2311.62 | 426.5 | T-P 47.4 |
| | 小计 | 161 | 11206.87 | 6344.73 | 566.15 | |

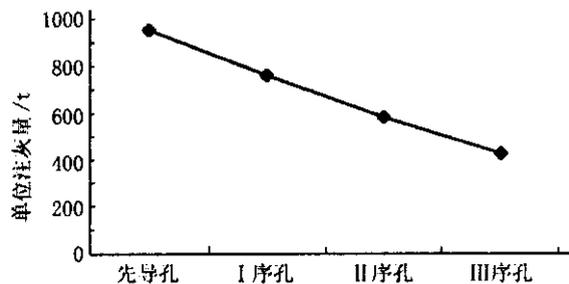


图 2 单位注灰量递减曲线

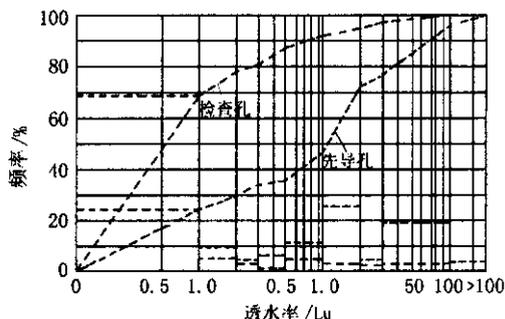


图 3 先导孔、检查孔透水率频率及频率累计曲线

表 6 第六子标检查孔钻孔、压水情况

| | |
|------|--|
| 钻进 | 覆盖层钻进 98.6 m, 基岩钻进 981.6 m, 总计钻进 1080.2 m |
| 方法 | 五点法 |
| 压水 | 压力: 单排帷幕或双排帷幕 20 m 以深为 0.3、0.6、1.0 MPa, 双排帷幕 20 m 以浅为 0.1、0.2、0.3 MPa 合格标准: 单排帷幕 $\leq 5 \text{ Lu}$, 双排帷幕 $\leq 3 \text{ Lu}$ |
| 结果 | 双排帷幕 压水 150 段, 合格 141 段, 合格率 94%; 单排帷幕 压水 48 段, 合格 40 段, 合格率 83.3%; 本工程共计压水 198 段, 合格 181 段, 合格率为 91.4%; 不合格段经补灌后检查合格, 达到设计防渗标准 |
| 对比分析 | 先导孔 压水 $\leq 1 \text{ Lu}$ 的段数占 24.3%, 压水 $> 1 \text{ Lu}$ 的段数占 75.7% 检查孔 压水 $\leq 1 \text{ Lu}$ 的段数占 68.6%, 压水 $\leq 3 \text{ Lu}$ 的段数占 81.2%, 压水 $\leq 5 \text{ Lu}$ 的段数占 87.4% |

从图 3 和表 6 中压水结果前后对照可以看出, 经灌浆处理后, 帷幕线的地质情况得到了明显改善, 岩层透水性得到了有效控制。

6.3 GIN 值分布情况分析

由表 7 可知, 随着灌浆孔的逐序加密, 在最大压力结束的段数占总段数频率呈明显上升趋势, 说明万方数据

灌浆单耗趋于减少, 灌浆效果良好。

6.4 与副坝帷幕灌浆工程的灌浆情况对比分析

副坝帷幕灌浆工程与本工程比邻, 地层分布情况大致相似, 但该工程采用的是常规孔口封闭, 自上而下灌浆工艺, 现选择副坝和第六子标相邻地段统计资料, 就 2 个工程灌浆情况对照分析见表 8。

表 7 GIN 分布情况分析

| 孔序 | 排序 | 孔数 /个 | 灌浆总段数 | 最大压力 | | 达到 GIN 值 | | 达到 10 m ³ | |
|-----|-----|----------|-------|------|-------|----------|-------|----------------------|-------|
| | | | | 段数 | 频率/% | 段数 | 频率/% | 段数 | 频率/% |
| E、P | 下游排 | 31 | 456 | 34 | 7.46 | 295 | 64.69 | 127 | 27.85 |
| S | | 31 | 445 | 56 | 12.58 | 323 | 72.58 | 66 | 14.84 |
| T | | 60 | 847 | 115 | 13.93 | 648 | 76.51 | 84 | 9.56 |
| 小计 | | 122 | 1748 | 205 | 11.73 | 1266 | 72.43 | 277 | 15.84 |
| P | 上游排 | 10 | 127 | 29 | 22.83 | 95 | 74.80 | 3 | 2.36 |
| S | | 10 | 127 | 26 | 20.47 | 95 | 74.80 | 6 | 4.73 |
| T | | 19 | 247 | 62 | 25.10 | 178 | 72.06 | 7 | 2.84 |
| 小计 | | 39 | 501 | 117 | 23.35 | 368 | 73.45 | 16 | 3.20 |
| 总计 | | 161 | 2249 | 322 | 14.32 | 1634 | 72.65 | 293 | 13.03 |

表 8 副坝、第六子标灌浆单位注入量对比

| 排序 | 工程 | 孔数 | 灌浆进尺 /m | 注入量 /kg | 单位孔段注入量/(kg·m ⁻¹) | | | | |
|----------------|---------------|----|------------|------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | | | | | 先导孔 | I 序孔 | II 序孔 | III 序孔 | 平均 |
| 上游 | 副坝 | 10 | 713.10 | 288343.11 | | 433.51 | 608.50 | 301.25 | 404.35 |
| | 第六子标 递减率/% | 11 | 715.00 | 111560.00 | | 198.57 54.20 | 181.54 70.16 | 115.08 61.80 | 156.03 61.41 |
| 下游 | 副坝 | 10 | 1579.90 | 1619472.62 | 1655.19 | 1367.58 | 1087.27 | 794.50 | 1025.05 |
| | 第六子标 递减率/% | 11 | 1659.40 | 981800.00 | 871.25 47.36 | 930.86 31.93 | 471.0 56.68 | 2468.99 40.97 | 591.66 42.28 |
| 上下 游排 总计 | 副坝 | 20 | 2293.00 | 1907815.73 | 1655.19 | 823.96 | 970.61 | 644.94 | 832.02 |
| | 第六子标 递减率/% | 22 | 2374.40 | 1093360.00 | 871.25 47.36 | 642.11 22.07 | 383.50 60.49 | 361.99 43.87 | 460.48 44.66 |

根据表 8 数据可知,在达到同等灌浆质量效果的前提下,第六子标工程中总体灌浆单耗减少达 44.66%。综合前述灌浆效果分析,本次 GIN 灌浆既达到了较好的灌浆效果,又取得了缩短工期、降低工程成本的良好经济效益,完全达到了预期设计目的。

7 结语

GIN 法在小浪底帷幕灌浆第六子标工程中的成功应用,充分证明了 GIN 法的技术和经济优势。为我国在将来的灌浆工程中,较大规模地采用 GIN 法设计和控制灌浆施工积累了十分宝贵的经验。

值得关注的是,作为一种全新概念的灌浆方法,虽然 GIN 法的理论引进到我国已有近十年的历史,有关此法的理论介绍和试验总结类文章,在国内相关专业报刊杂志上也屡见不鲜,国内多数从事灌浆工程研究实践的专家学者也对此法的推广应用给予了充分的肯定。但国内自 1994 年开始开展试验研究至今,仅在湖南江垭大坝、小浪底、三峡等有限的几个工程中进行了试验研究或试验性生产,真正作为一种成熟的灌浆工艺应用到灌浆施工中的,也只有小浪底帷幕灌浆第四子标和第六子标工程。

笔者认为,要推广应用 GIN 法灌浆技术,需要做以下几个方面的工作:

万方数据

(1)有关部门应尽快制定推广 GIN 法灌浆技术的计划,加强对此法的介绍和宣传,并率先在大型、重点工程建设中应用,使建设、施工单位从理论和实践上认识到 GIN 法灌浆工艺的技术优势和经济优势,从而为该方法的推广应用打下坚实的基础。

(2)除适用于帷幕灌浆外,相关部门要对 GIN 法可否用于岩层固结灌浆、回填灌浆、接触灌浆、土层灌浆等方面进行相关的研究和试验,从而拓宽该法的应用范围。

(3)虽说在最新的电力行业标准——《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T 5148-2001)一书中,明确提出了 GIN 法可在灌浆施工中应用,但为使该方法更具可操作性,应尽快制定出具体的 GIN 法灌浆规程,对推广应用是至关重要的。

(4)加强 GIN 法灌浆设备研制,特别是对灌浆监视仪、数据采集系统的研制和标准化、批量生产,对此法的推广也是十分必要的。

参考文献:

- [1] 周晓,易学文.论灌浆强度值灌浆法[J].探矿工程,2001(2).
- [2] DL/T 5148-2001,水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].

致谢:本文撰写过程中参考了白晓光的《黄河小浪底水利枢纽副坝以北帷幕灌浆工程竣工报告》,特此致谢。