

灌浆频率曲线的研究

文 / 金小川 江西省地质局第八地质大队

高秀海 江西省地质局第八地质大队

摘要：灌浆频率曲线是成果表的直观体现，能直接反映出灌浆的效果。为了合理地绘制出灌浆频率曲线，首先本文从实际案例出发，对灌浆频率曲线的绘制完全按规范进行绘制，绘制后的曲线未能直观显现出实际的成果；其次，对单位注灰量的区间进行细化；把所有点的坐标放入频率曲线上，用直线依次连接成图；再次，对单位注灰量的区间进行细化后，按频率最大值的方法确定拐点连成曲线；最后，对三个不同方法的频率曲线图形进行比较，得到区间细化后按频率最大值的方法确定拐点连成曲线图更实用。

关键词：灌浆；频率曲线；单位注灰量；透水率；区间

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.022

引言

灌浆频率曲线是在灌浆成果表的基础上，对数据进行整合、分析和处理的方法，运用图形表达出的一种效果图。一般来讲，灌浆频率曲线有两种：一种是单位注灰量与频率之间的曲线图；另一种是透水率与频率之间的曲线图。这两种图形都能快速直接地反应整体的灌浆效果，通过分析比较也能分辨出各序之间的变化规律。

根据《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》（SL/

T62-2020）^[1]图 E.0.1-1 的参照，可以绘制出灌浆频率曲线。但是，灌浆频率曲线绘制的方法以及区间的规定规范中并没有做明细的说明。这对于灌浆频率曲线的正确绘制及其表达的效果可能会有一定的影响，本文对此进行研究。

一、以往灌浆频率曲线及问题

《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》图 E.0.1-1 如下图 1 所示：

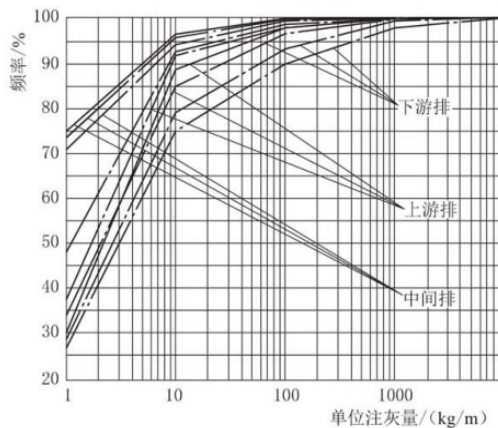


图 1 各次序孔单位注灰量频率曲线图

灌浆频率曲线横坐标是单位注灰量 (kg/m) 或是透水率 (Lu)，纵坐标是频率 (%)。从理论上讲：相同的地质条件下，先施工的灌浆孔单位注灰量要大于后施工灌浆孔的单位注灰量^[2]，透水率亦然。图 1 直观地反映了整体的效果符合实际的要求，但也有以下一个问题和两个规定需进行探究：

(1) 图 1 中单位注灰量频率曲线图的横坐标划分了四个部分：1~10、10~100、100~1000、>1000，这种横坐标区间的划定不是唯一，单位注灰量和透水率区间划分可根据工程具体情况进行调整^[3]。

(2) 图 1 中单位注灰量频率曲线图纵坐标的起点都是从非零开始的，频率曲线上的频率是个累计值，最后的频率都是 100%。

(3) 图 1 中的纵坐标是个累计值，横坐标应取区段中单位注灰量的最大值进行对应。

二、灌浆频率曲线的研究

(一) 灌浆频率曲线图的绘制

某抽水蓄能趾板灌浆，孔距 2m，分 I、II 序施工，其成果表统计如下表 1 所示：

表 1 某抽水蓄能灌浆成果表

孔号	I-1	I-3	I-5	I-7	I-9	I-11	I-13	I-15	I-17	I-19
单位注灰量 (kg/m)	365.73	323.59	239.76	267.8	361.23	295.21	455.73	259.29	165.22	291.47

孔号	II-2	II-4	II-6	II-8	II-10	II-12	II-14	II-16	II-18	II-20
单位注灰量 (kg/m)	174.88	175.95	192.94	146.14	158.15	213.14	212.65	224.75	208.39	216.17

绘制单位注灰量频率曲线图步骤如下：

(1) 按规范对 I 序和 II 序做初步的统计，李磊^[4]等对频率曲线的绘制步骤进行了说明，如下表 2 所示。

表 2 I 序和 II 序频率曲线图频率统计表

	1 ~ 10 (kg/m)	10 ~ 100 (kg/m)	100 ~ 1000 (kg/m)	>1000 (kg/m)
区间最小值 (I 序)	0	0	10	0
区间段数 / 总段数 (I 序)	0%	0%	100%	0%
区间最小值 (II 序)	0	0	10	0
区间段数 / 总段数 (II 序)	0%	0%	100%	0%

(2) 确定 I 序和 II 序频率曲线的拐点，如下表 3 所示。

表 3 I 序和 II 序频率曲线图拐点统计表

I 序孔		II 序	
x1	y1	x1	y1
165.22	100%	146.14	100%

(3) 按规范绘制 I 序和 II 序频率曲线图，如下图 2 所示。

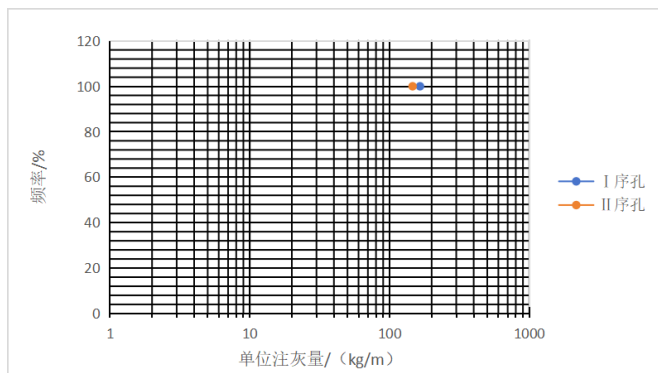


图 2 规范下的 I 序和 II 序频率曲线图

从上图中可以得出，I 序孔单位注灰量的频率曲线是一个点，II 序孔单位注灰量的频率曲线是一个点。

(二) 灌浆频率曲线的研究

从上述频率曲线图可以看出，之所以没得到与实际相符的情况，是因为点集中的区域没有被放大显示出来。所以，在横坐标集中的地方多确定几个区域点，多划分几个区域出来。樊贵超^[5]提出对灌浆区域进行了划分，得到了三个区域：“正常区域”（中间区域）、“微小

裂隙区域”（右下区域）和“扩展区域”（左上区域）得到了可灌性区域的划分，从而进一步实现对可灌性的分析。石海^[6]、龚习炜^[7]对正常区域下单位注灰量（透水率）的区间进行了细化，绘制出的频率曲线符合实际的需求。

根据对 I 序和 II 序单位注灰量的统计和分析，区域可设置为第一区域 100-150、第二区域 150-200、第三区域 200-250、第四区域 250-300、第五区域 300-350、第六区域 350-400、第七区域 400-450、第八区域 450-500，单位注灰量单位为 kg/m。

1. 常规绘制 I 序和 II 序频率曲线图

不设置区域拐点最大值，所有的点都参与数据成图，点与点之间用线段连接，如下图 3 所示。

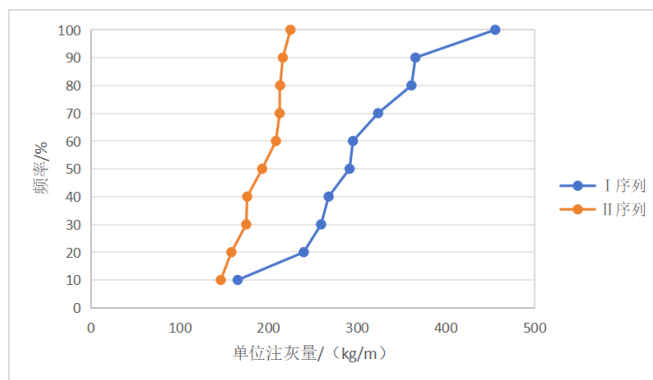


图 3 常规下的 I 序和 II 序频率曲线图

2. 规范下绘制 I 序和 II 序频率曲线图

(1) I 序和 II 序做初步的统计，如下表 4 所示。

表 4 I 序和 II 序初步统计表

	100 ~ 150	150 ~ 200	200 ~ 250	250 ~ 300	300 ~ 350	350 ~ 400	400 ~ 450	450 ~ 500
区间最小值 (I 序)	0	1	1	4	1	2	0	1
区间段数 / 总段数 (I 序)	0%	10%	10%	40%	10%	20%	0%	10%
区间最小值 (II 序)	1	4	5	0	0	0	0	0
区间段数 / 总段数 (II 序)	10%	40%	50%	0%	0%	0%	0%	0%

(2) 确定 I 序和 II 序频率曲线的点，如下表 5 和表 6 所示。

表 5 I 序频率曲线图拐点统计表

I 序孔											
x1	y1	x2	y2	x3	y3	x4	y4	x5	y5	x6	y6
165.22	10%	239.76	20%	295.21	60%	323.59	70%	365.73	90%	455.73	100%

II 序孔					
x1	y1	x2	y2	x3	y3
146.14	10%	192.94	50%	224.75	100%

表 6 II 序频率曲线图拐点统计表

(3) 绘制 I 序和 II 序频率曲线图，如下图 4 所示。

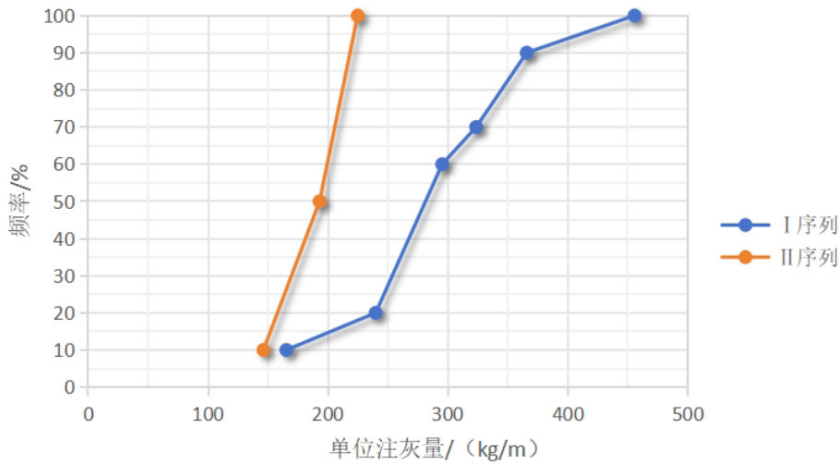


图 4 常规下的 I 序和 II 序频率曲线图

通过上述图形及分析：I 序孔平均单位注灰量为 302.50kg/m，II 序孔平均单位注灰量为 192.32kg/m，I 序孔灌浆单位注灰量大于 II 序孔灌浆单位注灰量。对于同一个区域的坝基趾板灌浆，频率达到 100% 即达到规范或设计要求时，II 序孔更速度更快即所需要的单位注灰量更少。

完全按规范进行绘制，其图形所表达的实际效果没有达到，灌浆频率曲线图的中间过程不能直观地反映出来，主要原因是横坐标的区间段没有细化出来。

当横坐标的区间段细化出来后，把所有点都输入到图形上时，工作量比较烦琐且同一区间段数据相邻较近成图不美观，本文用了区间段最大值的方法进行成图，其效果与所有灌浆孔成图保持一致。

结语

对于数据连续性比较好，量级差异较大的情况，运用规范对图形绘制的效果较好；当数据比较集中，量级差异一般的情况，运用规范对图形绘制的效果较差；需要对单位注灰量区间进行细化，用区间中的最大值作为横坐标，累计频率作为纵坐标，作图效果很好。

不同地质条件下灌浆孔的单位注灰量会有不同的差异，当对数据进行成图的时候可选择不同的方式方法进行绘制，无论何种方法绘制出的灌浆频率曲线，都是为了更好地直接反映出灌浆成果。本文在规范成图的基础上，对成图的区间进行了优化，用区间中的最大值作为

横坐标，其结果更实用。

参考文献

[1] 南京长江都市建筑设计股份有限公司编写组. 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范 (SL/T62-2020) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.

[2] 闫福根, 谬正建, 李明超等. 基于三维地质模型的坝基灌浆工程可视化分析 [J]. 岩土工程学报, 2012, 34 (3): 567 ~ 572.

[3] 闫福根. 水利水电工程坝基灌浆统一模型与分析理论及应用 [D]. 天津: 天津大学, 2014.

[4] 李磊, 李南, 宋健健. 黄金峡水利枢纽坝基帷幕灌浆的防渗效果试验研究 [J]. 水利技术监督, 2024 (9): 224 ~ 228, 232.

[5] 樊贵超. 大坝基础灌浆工程施工质量控制理论与应用研究 [D]. 天津: 天津大学, 2016.

[6] 石海, 吴叶菲. 山西省泽城西安水电站 (二期) 工程溢洪道裂隙段帷幕灌浆施工质量控制 [J]. 山西水利科技, 2015 (1): 28 ~ 30, 33.

[7] 龚习炜. 铜锣山隧道岩溶浅埋段地表注浆试验研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2007.

作者简介：金小川 (1986 年-)，男，硕士，高级工程师，江西上饶人，主要从事地基处理、岩土工程勘察和设计等工作。