

DB42

湖 北 省 地 方 标 准

DB42/T 1762—2021

桥梁预应力孔道循环压浆施工技术规范

Technical specification for construction of cyclic grouting in
pre-stressed bridge

2021-09-30 发布

2021-10-01 实施

湖北省市场监督管理局 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和符号 1

4 基本规定 2

5 材料 2

 5.1 一般规定 2

 5.2 预应力孔道 2

 5.3 压浆材料 2

6 设备 3

7 压浆工艺 3

 7.1 一般规定 3

 7.2 压浆流程 4

 7.3 压浆准备 5

 7.4 压浆参数设定 5

 7.5 预应力孔道清洁 6

 7.6 浆液制备、转移与检测 6

 7.7 开始压浆 6

 7.8 循环压浆 7

 7.9 持压补浆 7

 7.10 质量抽查 7

 7.11 封锚 8

8 检测与验收 8

 8.1 一般规定 8

 8.2 压浆现场检测 8

 8.3 压浆施工质量验收 8

附录 A（资料性） 压浆密实性现场测试方法 10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由宜昌市虹源公路工程咨询监理有限责任公司提出。

本文件由湖北省交通运输厅归口。

本文件主要起草单位：宜昌市虹源公路工程咨询监理有限责任公司、中建三局第三建设工程有限责任公司、湖北路桥集团有限公司、华中科技大学。

本文件参编单位：武汉华中科大检测科技有限公司、湖南联智智能科技有限公司、湖北省标准化与质量研究院。

本文件主要起草人：周昌栋、黄家标、丁伟祥、朱红明、罗辉、兰晴朋、徐文胜、李劲、熊荣军、代明净、余岫云、廖辉红、刘德坤、袁观富、杨泽亮、王武科、周乐木、李传凯、何承林、银晓东、连井龙、余祥兴、殷源、叶梦君、杨振、吴克宝、胡团伟、艾同、王佳宇、顾缦琴、克高果、邵璇。

本文件实施应用中的疑问，可咨询湖北省交通运输厅，联系电话：027-83460670，邮箱：hbzjjglc@163.com。对本文件的修改意见请反馈至湖北宜昌市虹源公路工程咨询监理有限责任公司，联系电话：0717-6251958，电子邮箱：YCHYJL@126.com。

桥梁预应力孔道循环压浆施工技术规范

1 范围

本文件规定了桥梁预应力孔道循环压浆施工所用材料、设备、工艺和质量验收的技术要求。
本文件适用于湖北省公路桥梁预应力孔道循环压浆施工过程质量控制及验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）
- GB/T 35014 建筑施工机械与设备 预应力用自动压浆机
- JG/T 225 预应力混凝土用金属波纹管
- JT/T 529 预应力混凝土桥梁用塑料波纹管
- JT/T 946 公路工程 预应力孔道灌浆料（剂）
- JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

循环压浆 *cyclic grouting*

压浆过程中浆液从孔道的一端进入，从另一端流出，并通过管路（预应力孔道和高压胶管）回流到储浆桶的压浆工艺。在压浆过程中，进出口的浆液都具备0.1MPa以上的压力，能够带出预应力孔道内的杂质和空气。

3.1.2

循环时间 *cycle time*

浆液从返浆口回流至低速储浆桶开始计时到系统关闭返浆口停止计时的这段时间。

3.1.3

持压时间 *pressure holding time*

循环时间结束后（关闭返浆口）开始计时，到保证孔道内的浆液维持在持压压力的累计时间。

3.2 主要符号

下列符号适用于本文件。

- A_0 ——波纹管空重的测量平均值（kg）；
- A_t ——封闭波纹管的空重（kg）；

A_s ——单根钢绞线截面积 (m^2) ;
 D ——预应力孔道直径 (m) ;
 F ——压浆泵正常工作时的流量 (m^3/s) ;
 M ——预应力孔道理论进浆的质量 (kg)
 N ——压浆密实度;
 T ——循环前的进浆时间 (s) ;
 V ——流量计测定的体积换算的理论浆液体积 (m^3) ;
 V_s ——波纹管单位长度内理论浆液体积 (m^3) ;
 V_0 ——预应力孔道内需填充浆液体积 (m^3) ;
 V_1 ——进浆口流量计度数;
 V_2 ——返浆口流量计度数;
 l ——预应力孔道长度 (m) ;
 n ——钢绞线根数;
 ρ ——浆液密度 (kg/m^3)

4 基本规定

- 4.1 预应力桥梁孔道压浆施工前, 应按照 JTG/T 3650 要求进行前期工序施工, 完成预应力张拉。
- 4.2 在进行循环压浆施工之前, 应制定详细的施工方案, 技术交底书; 完成材料配比试验、设备的检验检测、调试, 并确定设备的额定压力和安全压力。
- 4.3 循环压浆施工过程中, 操作人员必须佩戴口罩和护目镜, 除需符合本文件的有关规定外, 尚应遵守公路或其他设施的有关健康安全的规定。
- 4.4 压浆结束后, 应及时进行压浆设备、管路等的清洗。
- 4.5 压浆施工操作人员考核合格方能上岗操作循环压浆设备。

5 材料

5.1 一般规定

- 5.1.1 预应力桥梁孔道压浆施工所采用的材料应符合 JTG/T 3650 的规定。
- 5.1.2 预应力施工所采用的材料均应有检验合格证书。

5.2 预应力孔道

- 5.2.1 塑料波纹管应符合 JT/T 529 的相关规定。
- 5.2.2 金属波纹管应符合 JG/T 225 的相关规定。

5.3 压浆材料

- 5.3.1 预应力孔道压浆材料应采用专用压浆料。
- 5.3.2 用于预应力孔道压浆水泥浆体应符合 JTG/T 3650 和 JT/T 946 的相关规定。
- 5.3.3 进场检验时, 预应力孔道压浆料一次进场一个批次进行验收。使用过程中每周自检一次, 每 3 个月抽检一次。
- 5.3.4 拌合用水中硫酸盐含量应小于 600 mg/L。

6 设备

- 6.1 预应力智能压浆设备由上料系统、制浆和储浆系统、压浆系统、控制系统、安全与环保设施、显示系统 and 人机界面等组成。压浆系统硬件组成应符合 GB/T 35014 的相关规定。
- 6.2 高速制浆机和低速桶的容量必须匹配，制浆速度和储浆容量应能满足正常压浆作业需求。
- 6.3 搅拌时间宜为 180 s~300 s，超出范围时压浆系统应有提示。
- 6.4 系统应能对持压时间设定进行下限限制。
- 6.5 流量传感器精度等级不应低于 0.5 级。
- 6.6 放浆称量装置最大允许误差不应大于 2%，同一时间内高速桶计量的质量与低速桶计量的质量相差不应超过 5%，超过时应进行设备整改。

7 压浆工艺

7.1 一般规定

- 7.1.1 循环压浆施工流程如图 1 所示。预应力筋应在张拉完成后 48 小时内压浆，压浆后 72 小时内梁体温度不应低于 5℃，压浆施工过程中现场环境温度不宜高于 40℃。
- 7.1.2 循环压浆施工过程中，宜采用先下层预应力孔道后上层预应力孔道的施工顺序。压浆的循环回路由 2 孔预应力孔道组成。

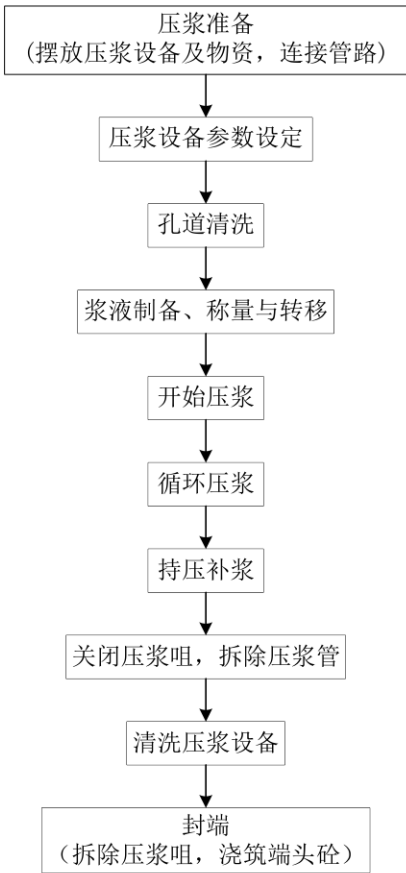


图1 循环压浆施工流程图

7.2 压浆流程

7.2.1 压浆顺序应符合下列要求：

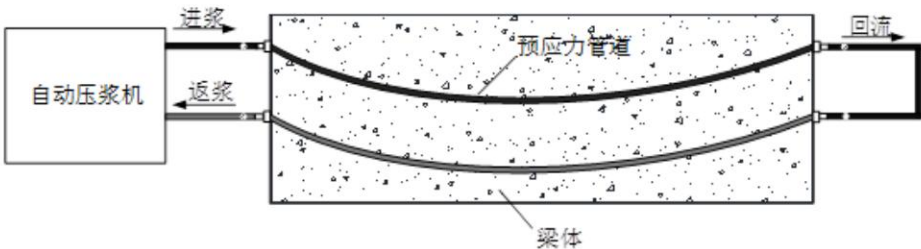
- a) 对结构或构件中以上下分层设置的孔道，应按先下层后上层的顺序进行压浆；
- a) 从预应力孔道最低点的压浆孔压入，最高点压出；
- b) 同一预应力孔道的压浆应连续进行，一次性完成。

7.2.2 单次循环压浆施工预应力孔道总长度小于 100 m 时，可采用单台压浆设备进行循环压浆，如图 2（a）所示；

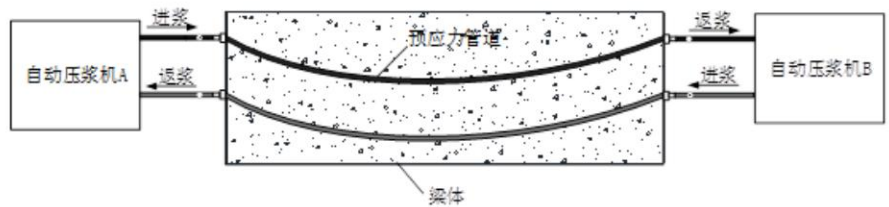
7.2.3 单次循环压浆施工预应力孔道总长度大于 100 m 小于 200 m，应采用两台压浆设备进行互助式循环压浆施工，如图 2（b）所示；

7.2.4 单次循环压浆施工预应力孔道总长度大于 200 m 时，应先测试循环压浆进浆口和返浆口压力，返浆口压力达不到 0.5 MPa 时，表明已不适宜采用循环压浆工艺，应采取其他工艺进行预应力孔道的压浆施工。

7.2.5 对于预制梁，单次循环压浆施工预应力孔道总长度按 2 倍梁长计算；对于现浇梁，单次循环压浆施工预应力孔道总长度按单根预应力管两端头直线距离的 2 倍计算。



(a) 单机循环压浆方式



(b) 互助式循环压浆方式

图2 循环压浆方式

7.2.6 奇数数量预应力孔道进行压浆时，最后剩余的 1 孔预应力孔道可外接 1 根高压胶管组成循环回路，如图 3 所示。

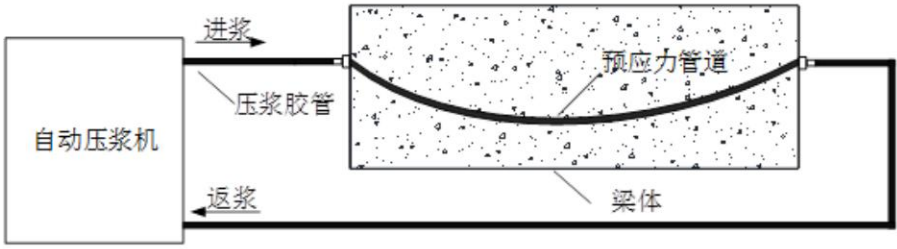


图3 1 孔预应力孔道外接高压胶管循环压浆方式

7.2.7 对于竖向预应力孔道的循环压浆施工，应采取 1 孔预应力孔道外接 1 根高压胶管组成循环回路的形式，应从竖向预应力孔道的底部压入浆液，如图 4 所示。

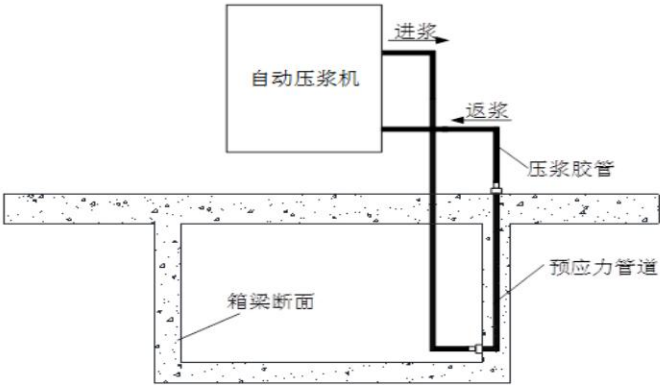


图4 竖向预应力孔道外接高压胶管循环压浆方式

7.3 压浆准备

7.3.1 现场应具备受控的压浆计算书、压浆程序和施工作业指导书，经培训掌握预应力智能压浆工艺和正确操作的施工人员，以及能保证操作人员和设备安全的防护措施。

7.3.2 压浆前应完成压浆材料的水胶比比试验，获得具有资质单位的检测报告，准备充足的压浆材料。

7.3.3 压浆前应对称重系统、压力测量装置和流量测量装置进行检定或校准。当处于下列情况之一时，应进行设备的设备的检定或校准：

- a) 使用次数达到 300 次；
- b) 压浆设备检修或更换配件后；
- c) 压浆设备出现异常情况时。

7.3.4 按照施工规范完成预应力张拉施工，待预应力筋锚固稳定后，采用快硬水泥砂浆封闭锚具、锚垫板、钢绞线及夹具间的空隙，但每个工作锚处钢绞线不应完全封闭在砂浆内，宜使钢绞线端头露出在砂浆外。

7.3.5 应在具有上弯波纹管结构的预应力孔道的最高点设置排气孔，排气孔一般采用直径 25 mm 带阀门的镀锌钢管。

7.4 压浆参数设定

压浆设备施工技术参数包括：

- a) 设定并校验压浆材料、水胶比、搅拌时间、持压压力及时间等；
- b) 梁长 ≤ 40 m 的 T 梁和箱梁，进浆准备时间、循环时间、持压时间、持压压力等参数设定宜符合表 1。
- c) 梁长 > 40 m 的 T 梁和箱梁，进浆准备时间、循环时间、持压时间可根据实际压浆质量为理论压浆质量的 95%~110%范围，结合进浆口流量计、返浆口流量计，以及称重装置进行计算，持压压力均要求返浆口压力为 0.5 MPa。预应力孔道需填充浆液体积、进浆时间、理论进浆量按下公式（1）~（3）计算。

$$V_0 = D \cdot D / 4 \cdot l - A_s \cdot n \cdot l \cdots \cdots (1)$$

$$T = V_0 / F \cdots \cdots (2)$$

$$M = \rho \cdot V_0 \cdots \cdots (3)$$

式中：

V_0 ——预应力孔道内需填充浆液体积；

D ——波纹管内径；

A_s ——单根钢绞线截面积；

n ——钢绞线根数；

l ——波纹管长度；

T ——循环前的进浆时间；

F ——压浆泵正常工作时的流量；

M ——预应力孔道理论进浆质量；

ρ ——浆液密度。

表1 预应力孔道压浆控制要求

孔道长度（T梁 长度）m	水胶比	搅拌时间 s	进浆准备时间 s	循环时间 s	持压时间 s	持压压力（返 浆口） MPa	实际压浆质量 范围 kg kg
40（20）	0.26~0.28	180~300	230	150	300	0.5	278~320
50（25）	0.26~0.28	180~300	300	180	300	0.5	359~416
60（30）	0.26~0.28	180~300	400	240	300	0.5	468~554
80（40）	0.26~0.28	180~300	540	300	400	0.5	658~760

7.5 预应力孔道清洁

压浆前应对预应力孔道进行冲水清洁处理，使预应力孔道壁完全湿润。冲水后，应采用压缩空气吹出多余的水，直到出口不见水雾为止。

7.6 浆液制备、转移与检测

7.6.1 浆液制备包括下列要求：

- 一次制浆量宜根据现场压浆需要而定，应满足单组循环所需浆液；
- 添加顺序为：先添加 90% 的水，再添加 100% 的压浆料，定时高速制浆 2 min 后，再添加 10% 的水，继续定时高速制浆 3 min，完成浆液制备。

7.6.2 浆液通过自动卸料阀转移到储浆桶，取出部分浆液按 GB/T 17671 的要求测试流动度和抗压强度。

7.7 开始压浆

7.7.1 浆液到达储浆桶稳定后开始压浆，先排出压浆泵到梁体之间这段高压胶管内的水或稀浆，当排出的浆液流动度与储浆桶中的流动度一致时，连接高压胶管至预应力混凝土结构（构件）压浆咀，正式开始压浆。

7.7.2 浆液经过管路、预应力孔道、管路后回到储浆桶，此阶段浆液填充预应力孔道。

7.7.3 正式开始压浆时，实时记录注入预应力孔道的浆液体积和流出预应力孔道的浆液体积。

7.7.4 当注入预应力孔道的浆液体积（进浆口流量）和流出预应力孔道的浆液体积（返浆口流量）稳定并

基本一致时，浆液完成了预应力孔道填充阶段进入了循环压浆阶段。

7.7.5 压浆应缓慢、均匀地进行，压浆速率宜为 20 L/min~30 L/min, 不得中断。

7.7.6 浆液自拌制至压入预应力孔道的时间不应超过 40 min。

7.8 循环压浆

7.8.1 在检测到预应力孔道中的压浆量达到预应力孔道实际所需浆液的 90%以上时，关闭返浆口，进入持压补浆阶段。

7.8.2 压浆过程中压浆设备须能自动判断预应力管道压浆密实度，压浆设备应依据不同的压浆量进行不同的判断与预警（见表 2）。

表2 不同压浆密实度情况压浆设备的处理与现场措施

序号	实际压浆量与理论压浆量的比值	系统设置	措施
1	$N \leq 85\%$	进行红色报警	不能停止压浆，持续补浆
2	$85\% < N < 90\%$; $120\% < N < 125\%$	进行橙色预警	现场查看原因，继续关注。
3	$90\% \leq N < 95\%$; $110\% < N \leq 120\%$	进行黄色预警	现场查看原因，确认压浆结果。
4	$95\% \leq N \leq 110\%$	合格，正常压浆	-
5	$N \geq 125\%$	进行红色报警	现场确定原因后可继续压浆

7.9 持压补浆

7.9.1 具有上弯波纹管结构的预应力孔道先开启排气孔，待出口见到浆液且排气孔连续冒浓浆时关闭排气孔进行持压。

7.9.2 在持压状态下进浆口必须持续补充浆液。

7.9.3 对水平或曲线孔道，进浆口持压压力宜为 0.5 MPa~0.7 MPa，进浆口最大持压压力不应超过 1.0 MPa。

7.9.4 持压时间不低于 5 min，持压补浆过程中进浆流量计所测浆液流量小于 2 L/min 时可以结束持压补浆，关闭压浆咀手动球阀后，拆除高压胶管，进行下一组预应力孔道的循环压浆施工。

7.10 质量抽查

压浆过程中应进行过程抽检，抽检参数及指标见下表3。

表3 压浆过程质量抽查表

序号	过程中抽检项目	技术指标	不合格措施	备注
1	浆液初始流动度	10~17 s	调整搅拌时间或者水胶比	有必要时检测 30 min 流动度
2	进浆压力、返浆压力	0.3~0.7 MPa	检测孔道和设备参数	孔道不密封时压力低于 0.3 MPa，压浆设备不可控或者设置错误时压力大于 0.7 MPa
3	持压时间	3~5 min	保证最低的持压时间	持压时间越长，压浆效果越好。
4	浆液体积	95%~110%	检查设备工艺等	实际质量与理论质量之比
5	压浆数据表	100%	进行设备整改	100%齐全、真实
6	压浆咀处检查是否饱满	100%	进行补压浆	充盈度
7	试块强度	≥ 30 MPa	调整材料配比	-

7.11 封锚

- 7.11.1 拆除压浆咀。压浆完成后 3 h~6 h 拆除压浆咀，清洗压浆咀，以备再次使用。
- 7.11.2 钢绞线切割应符合下列要求：
- a) 压浆 24 小时后，切割端头的预应力筋，切割时应采用砂轮锯，严禁采用电弧进行切割，严禁损伤锚具；
 - b) 切割后预应力筋的外露长度不应小于 30 mm，且不应小于 1.5 倍预应力筋直径；
 - c) 应及时对外露的预应力筋和锚具进行防腐和防锈处理，宜采用混凝土完全包裹外露的预应力筋和锚具。
- 7.11.3 端头混凝土浇筑应符合下列要求：
- a) 切割钢绞线完成后，对构件端部的混凝土冲洗干净，进行封闭处理；
 - b) 应按设计要求设置钢筋网并浇筑封端混凝土，封端混凝土应采用与结构或构件相同强度等级的具有补偿收缩功能的混凝土；
 - c) 浇筑混凝土后进行洒水养护，保证浇筑后 72 小时内温度不低于 5℃。

8 检测与验收

8.1 一般规定

- 8.1.1 应委托具有相应资质的第三方检测机构对预应力孔道压浆质量进行检测。
- 8.1.2 预应力孔道压浆质量宜采用无损方法检测，通过压浆密实度来进行压浆质量评定。
- 8.1.3 每个预制场前 3 片梁应进行检测，后续梁片按梁片数量的 5%抽检且不少于 3 片（少于 3 片时全部检测），且应逐孔检测；现浇预应力混凝土梁前 3 孔应进行检测，后续应按不少于孔道总数的 10%进行检测。

8.2 压浆现场检测

预应力孔道压浆结束后，现场监理进行压浆结果记录表的检验，主要查看压浆密实度、压浆压力、水胶比等数据，检查合格后方可进行下道工序操作；检验过程中如发现异常，立即进行纠正。压浆密实度的计算方法如附录A。

预应力孔道压浆及检查的指标应符合表4。

表4 预应力孔道压浆控制要求

项 目	规定值
浆液材料水胶比	0.26~0.28
压浆压力	压力大小一般为0.3MPa~0.7MPa；持压压力应控制在0.5MPa~0.6MPa；压浆压力最大值不宜超过1.0MPa
实际压浆量	理论压浆量的95%~110%
持压时间	50m以内的压浆孔道为5min；50m~80m的压浆孔道为5min~8min；80m以上的压浆孔道持压时间至少为10min
进出口压力差	持压阶段压力差波动小于0.1MPa

8.3 压浆施工质量验收

8.3.1 压浆施工质量可按照下表 5 中的规定进行评定。

表5 压浆施工质量密实度判定标准

梁体长度m	优良	合格	不合格
≤10	≥90%	85%~90%	<85%
(10, 20]	≥90%	82.5%~90%	<82.5%
(20, 30]	≥92%	85%~92%	<85%
(30, 40]	≥94%	88%~94%	<88%
>40	≥95%	90%~95%	<90%

8.3.2 密实度不合格预应力孔道必须二次补压浆处理。

附录 A (资料性) 压浆密实性现场测试方法

A.1 适用范围

- A.1.1 本方法适用于采用循环压浆工艺施工时现场检测预应力孔道压浆密实度。
- A.1.2 本方法适用于无气孔的预应力孔道,或有气孔但气孔在压浆过程中保持关闭状态的预应力孔道。

A.2 仪器设备与材料技术要求

- A.2.1 流量计2个,体积测量相对误差小于1.0%。所用流量计应进行校准。
- A.2.2 电子秤1个。
- A.2.3 卷尺1把。
- A.2.4 待测预应力孔道同批次同束钢绞线1.00 m, 3根。
- A.2.5 待测预应力孔道同批次波纹管1.00 m, 3根。
- A.2.6 待测预应力孔道,长度大于等于5 m。
- A.2.7 压浆设备。应能够便捷地接入进、返浆流量计,并能够进行数据采集、记录和计算。
- A.2.8 待压浆预应力孔道,至少6孔。

A.3 方法与步骤

A.3.1 准备工作

- A.3.1.1 压浆料浆液制备与密度测量。
- A.3.1.2 流量计标定。
- A.3.1.3 待压浆预应力孔道的清洁。应用高压水冲洗湿润,清洁预应力孔道内一切可能的杂物。应用无油的压缩空气再清洁预应力孔道和排出积水。检查预应力孔道是否被堵塞或泄露。
- A.3.1.4 压浆设备的连接,连接进、返浆口流量计,流量计初始流量清零。

A.3.2 试验步骤

A.3.2.1 预应力孔道理论压浆量测量:

- a) 取长度为 1.00 m 的波纹管 3 根,将其中一端利用胶布及防水胶封闭,确保在试验过程中管内存水不会流失。
- b) 取单位长度的钢绞线,放入波纹管内,使用标定过的电子秤对已经封闭好的波纹管进行称重,记录空重 A_i ,计算 3 组测量平均值 A_0 。
- c) 将以上波纹管分别装水至端头齐平,放入水桶内,用电子秤进行称重(称重前去皮),记录装满水后的重量 A'_i ,计算 3 组测量平均值 A'_0 。
- d) 按式(A.1)计算单位长度内波纹管理论压浆体积 V_s :

$$V_s = A'_0 - A_0 \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

V_s —波纹管单位长度内理论浆液体积(m^3);

A_0 —波纹管空重的测量平均值(kg);

e) 计算待测预应力孔道在理论状态下,按式(A.2)计算压浆密实度达到100%时应压入的理论浆液体积 V_0 (未进行 V_s 现场测试时, V_0 按本文件7.4中的公式(1)计算):

$$V_0 = V_s \cdot l \dots\dots\dots (\text{A. 2})$$

式中:

l ——待测预应力孔道的长度, 可根据施工图纸计算确定。

A.3.2.2 预应力孔道压浆密实度测量按下类要求进行:

a) 正常压浆，分别记录进浆口、返浆口流量计度数 V_1 、 V_2 ，按式（A.4）计算流量计测定的体积换算的理论浆液体积 V 。

b) 按式 (A.3)、计算压浆密实度 N :

$$N = V/V_0 \times 100\% \dots\dots\dots (A.3)$$

$$V = V_1 - V_2 \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

N ——现场流量计测定的压浆密实度;

V ——流量计测定的体积换算的理论浆液体积;

V_1 ——进浆口流量计流量;

V_2 ——返浆口流量计流量。

A.3.2.3 当压浆密实度达到施工要求时, 停止压浆, 记录最终压浆密实度 N 。

A.3.2.4 所有设备在压浆作业完成后，应彻底清洗。

A.4 现场测试记录

现场测试记录见表A. 1。

表A.1 现场测试压浆密实度原始记录表

序号	项目	测试结果	计算结果	备注
1	单位长度波纹管及钢绞线重量 A_1			$A_0 = (A_1 + A_2 + A_3)/3$
2	单位长度波纹管及钢绞线重量 A_2			
3	单位长度波纹管及钢绞线重量 A_3			
4	单位长度波纹管注入水后质量 A'_1			$A'_0 = (A'_1 + A'_2 + A'_3)/3$
5	单位长度波纹管注入水后质量 A'_2			
6	单位长度波纹管注入水后质量 A'_3			
7	单位长度内需要注浆体积 V_s	/		$V_s = A'_0 - A_0$
8	现场波纹管需要注浆体积 V_0	/		$V_0 = V_s \cdot l$
9	现场波纹管实际注浆体积 V	/		$V = V_1 - V_2$
10	压浆密实度 N	/		$N = V/V_0 \times 100\%$

测试:

记录:

复核: