



中国工程建设标准化协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

桥梁后张预应力孔道压浆技术规程

Technical Specification for grouting of post-tensioned
prestressing channels of Bridges

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction
Standardization

中国工程建设标准化协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

桥梁后张预应力孔道压浆技术规程

Technical Specification for grouting of post-tensioned
prestressing channels of Bridges

主编单位：交通运输部公路科学研究院

发布机构：中国工程建设标准化协会

施行日期：2021 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

2021 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2019 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2019〕12 号）的要求，交通运输部公路科学研究院承担《桥梁后张预应力孔道压浆技术规程》（以下简称“本规程”）的制订工作。

在制订过程中，编制组开展了比较广泛的调查研究，吸纳近年来国内外预应力孔道压浆施工技术最新研究成果、成熟技术和工程经验，并进行了相关工程验证，按照“完善、细化、实用”的指导原则，并以多种形式广泛征求管理部门、项目业主、施工、设计、检测及设备制造等企业、专家的意见，经反复讨论、修改，最终经审查定稿。

本规程共分 6 个章节 3 个附录，主要技术内容包括：总则、术语、材料及设备、孔道压浆、补压浆、质量控制与检验及相关附录。

本规程是基于通用的工程建设技术及原则编制，按照《公路工程标准编写导则》（JTG A04）的要求编写，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特殊条件，使用本规程相关条文时应考虑适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由交通运输部公路科学研究院负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请函告中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或交通运输部公路科学研究院（地址：北京市海淀区西土城路 8 号，邮编：100088，电子邮箱：hf.he@rioh.cn），以便修订时参考。

主 编 单 位： 交通运输部公路科学研究院

参 编 单 位：

主 编：

主要参编人员：

主 审：

参与审查人员：

目 次

1 总则 1

2 术语 2

3 材料及设备 3

 3.1 一般规定..... 3

 3.2 材料..... 3

 3.3 设备..... 4

4 孔道压浆 7

 4.1 一般规定..... 7

 4.2 压浆设备调试..... 8

 4.3 制浆..... 8

 4.4 压浆..... 10

5 孔道补压浆 13

 5.1 一般规定..... 13

 5.2 补浆管..... 13

 5.3 补压浆设备调试及制浆..... 14

 5.4 补压浆..... 14

6 质量控制与检验 15

附录 A 孔道压浆密实度雷达检测法..... 17

附录 B 孔道密实度埋管检测法..... 19

附录 C 压浆、补压浆施工记录表 21

1 总则

1.0.1 为加强桥梁后张预应力孔道压浆的施工过程控制,使孔道压浆密实、饱满,保障工程质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于桥梁后张预应力孔道的压浆和补压浆,规定了所用的材料与设备、制浆、压浆和补压浆及其质量控制与检验的技术要求。

1.0.3 桥梁后张预应力孔道压浆应根据设计要求、现场条件、孔道特征、预应力钢筋类别等选择适当的压浆工艺。

1.0.4 桥梁后张预应力孔道压浆的施工除应符合本规程外,尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语

2.0.1 普通压浆 traditional grouting

利用压浆设备将技术性能满足要求的浆液从进浆端压入预应力孔道，通过排气、检查出浆口排出的浆液流动性和稳压期压浆，使预应力孔道内充满浆液的压浆工艺。

2.0.2 循环压浆 circulating grouting

利用循环压浆设备将技术性能满足要求的浆液从进浆端压入预应力孔道，通过浆液在孔道与储浆装置组成的环路中循环流动，以排除孔道内空气和杂质，并在满足一定要求后进行稳压期压浆，使预应力孔道内充满浆液的压浆工艺。

2.0.3 真空辅助压浆 vacuum-assisted grouting

在对孔道抽真空，使孔道内的真空度达到要求后，再进行后续压浆作业，使预应力孔道内充满浆液的压浆工艺。

2.0.4 补压浆 replenishing grouting

对浆体不密实、饱满的预应力孔道注入技术性能满足要求的浆液而进行的现场作业。

2.0.5 稳压压浆 steady pressure grouting

为使预应力管道充满浆液，在出浆口的止浆阀关闭后，保持一个稳定的压力持续向孔道内压注浆液的作业。

2.0.6 检测管 detecting tube

为查看压浆结束后的预应力孔道内浆体是否饱满充盈，沿管道在需检查部位预埋的辅助管道。

3 材料及设备

3.1 一般规定

3.1.1 预应力孔道压浆的浆液应采用成品压浆料或压浆剂配制，并应在有效期内使用。

3.1.2 预应力孔道压浆施工所采用设备的计量仪表应进行校验，校验合格且在有效期内方可使用。

3.1.3 设备宜采用智能自动制压浆一体化设备。

3.2 材料

3.2.1 水泥应采用符合《通用硅酸盐水泥》(GB175)规定、强度等级不低于 42.5 的低碱硅酸盐或低碱普通硅酸盐水泥，并且应满足与压浆剂相容性的要求。

3.2.2 水泥进场检验取样及存放应符合《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)的有关规定，对水泥的强度、细度、安定性和凝结时间应进行检验。

3.2.3 拌合用水应符合《混凝土用水标准》(JGJ 66)的有关规定。符合国家卫生标准的饮用水可直接用于制备浆液，其他水源的水应对其成分进行检验。

3.2.4 压浆料或压浆剂应符合《公路工程预应力孔道压浆材料》(JT/T 946)的规定，并按下列规定进行进场技术性能检验。

表3.2.4 浆液性能指标

序号	项目		性能指标	试验方法
1	水胶比		0.26~0.28	《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T 1346)
2	凝结时间 (h)	初凝	≥5	
		终凝	≤24	
3	流动度 (25℃) (s)	初始流动度	≤17	《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)
		30min流动度	≤20	
		60min流动度	≤25	
4	自由沁水率 (%)	3h自由沁水率	0	
		24h自由沁水率	0	
		3h钢丝间沁水率	0	
5	压力沁水率 (%)	0.22MPa	≤1.0	

		0.36MPa	≤ 2.0	
6	自由膨胀率（%）	3h	0.0~1.0	
		24h	0.0~2.0	
		$\varepsilon_{3h} / \varepsilon_{24}$	≤ 1.0	
7	限制膨胀率（%）	水中7d	0.03~0.10	
8	充盈度	合格		
9	抗压强度（MPa）	3d	≥ 20	《水泥胶砂强度检验方法 （ISO）》（GB/T 17671）
		7d	≥ 40	
		28d	≥ 50 ，且不低于混凝土的设计强度	
10	抗折强度（MPa）	3d	≥ 5	
		7d	≥ 6	
		28d	≥ 10	
11	对钢筋的锈蚀作用		无锈蚀	
注： ε_{3h} 、 ε_{24} 分别为自由膨胀率。				

1 进场时应对压浆料或压浆剂的包装、标识、规格、生产日期及型式检验报告、出厂检验报告、产品说明书及合格证等进行检查,包装完整、标识和质量证明资料等齐全方可分批取样。

2 压浆料或压浆剂进场均应进行取样检验。一次进场的压浆料每 30t 为一个检验批,压浆剂按产品说明书的要求比例与水泥混合后每 30t 为一个检验批,不足 30t 的按一批计。

3 在每个检验批中随机从不少于 10 袋预应力孔道压浆料或压浆剂中抽取样品,压浆料取样量不应少于 12.0 kg,压浆剂取样量应不少于 25kg 水泥对应所需的数量。

4 应按产品说明书的要求拌制出浆液,按表 3.2.4 的规定检验浆液性能指标。

5 检验指标若全部符合要求,则判定该批进场的压浆料或压浆剂合格;若存在指标不符合要求,允许在该检验批中加倍取样进行复检。复验若全部符合要求,判定该批进场压浆料或压浆剂为合格,否则,判定其为不合格。

3.2.5 预应力孔道压浆材料应储存于干燥库房中,防止受潮结块,并应设置标识牌,按型号、出厂日期、批次分类存放。

3.3 设备

3.3.1 制备浆液搅拌机的转速应不低于 1000r/min，搅拌叶的形状应与转速相匹配，其叶片的线速度宜为 10m/s~20m/s，且应能满足在现场需求所规定的时间内搅拌均匀的要求。

3.3.2 用于临时储存浆液的储浆装置应具有低速搅拌功能，转速宜为 50r/min~70r/min，并可储存的浆液体积应不低于孔道所需压浆体积的 1.25~1.5 倍。

3.3.3 制浆装置的浆液出口应设置过滤网，过滤网孔尺寸不大于 3 mm×3mm。

3.3.4 压浆泵应采用可连续、稳定出浆的螺杆式或双向柱塞压浆泵，在压浆过程中应能调节压浆压力、流量，具备稳压功能，且不应使气泡混入浆液。

3.3.5 压浆泵输出压力应根据压浆孔道长度、线形、竖向高度等条件及现场布置合理选用。

3.3.5 所采用的压力表应符合《抗震压力表》(JB/T 6804) 的相关规定，最小分度值应不大于 0.01MPa，最大量程应为实际施工所需压力的 1.25 倍~1.75 倍，精确度等级不低于 1.0 级，其额定最大工作压力不小于 1.25MPa。

3.3.6 压浆泵与预应力孔道压浆口之间的输浆管应采用抗压强度不小于 1.5MPa 耐压管，管路之间应采用满足气密性要求的连接件连接。

3.3.7 真空泵应能达到 0.1MPa 的负压力，真空压力表应符合《抗震压力表》(JB/T 6804) 的相关规定，最小分度值应不大于 0.01MPa。

3.3.8 制浆材料的质量称量精度应不低于±1%。

3.3.9 智能自动制压浆一体化设备应符合下列规定：

1 智能自动压浆设备应包括制浆装置、储浆装置、压浆装置和控制系统，具有自动控制制浆和压浆，自动测量压浆压力、浆液流量，自动存储和实时输出压浆压力、水胶比、压浆量和稳压时间等功能。

2 制浆装置、储浆装置应满足本规程第 3.3.1~3.3.3 条及第 3.3.8 条的要求，储浆装置应配置质量称量传感器，其精度不低于±1.5 %。

3 压浆装置应满足本规程第 3.3.4、3.3.5 条的要求，压力传感器、流量传感器精度宜不低于 0.5 级，在稳压过程中应能自动微量补浆。

4 真空泵应满足本规程第 3.3.7 条的要求。

5 控制系统应能照预先设定的参数完成上料、计量、搅拌、自动压浆、微量补浆，自动采集、调整压力和稳压控制，具备压浆压力、压浆量超限等工作异常报警功能，压力自动控制精度小于 0.05 MPa。

6 管道两端废浆的质量称量装置误差应不超过 $\pm 1.5\%$ 。

7 应根据储浆装置的浆液计量和废浆计量计算压浆量。

征求意见稿

4 孔道压浆

4.1 一般规定

4.1.1 后张预应力钢筋张拉锚固后应及时压浆，且应在 48h 内完成。

4.1.2 预应力结构或构件压浆过程中及压浆后 48h 内，其混凝土温度和环境温度不应低于 5℃，否则应采取保温措施，并按冬期施工的要求处理。当环境温度高于 35℃时，不宜进行压浆施工。

4.1.3 应按照工艺试验确定的配合比要求的用水量制备浆液，任何时候均不得通过增加用水量提高其流动性。

4.1.4 浆液自拌制完成至压入孔道的时间不宜超过 40min，储浆装置中的浆液在压注前应持续搅拌。

4.1.5 压浆前应完成以下准备工作：

1 应采用机械切割锚后预应力钢筋。切割后预应力钢筋外露长度不应小于 30mm，且不应小于 1.5 倍预应力钢筋直径。

2 应清除孔道内影响压浆密实性和浆液性能的物质。孔道内的杂物可用压缩空气清除，油污可采用已知对预应力钢筋和管道没有腐蚀作用的中性洗涤剂，用水稀释后进行冲洗，并在冲洗后使用无油的高压热空气排除孔道内的积水。抽芯成型的孔道，应用水冲洗、湿润孔壁，但孔道中不应有积水。

3 应对检测管、排气管、压浆口、出浆口进行检查，排气管、压浆口、出浆口与孔道连接畅通。排气管应布设在孔道每个顶点正上方，非竖直孔道的锚垫板上的进、出浆口应设置在孔道的正上方。检测管应按照附录 B 的要求设置，在压浆过程中应与孔道处于封闭状态，在压浆完成 24h 后方可与孔道联通。

4 对压浆端和排浆端的锚具应进行密封，并应留置浆液泌水的通道。采用普通压浆时，可使用具有气密性和在压浆时不脱落的材料封闭锚板与支承垫板接触面的缝隙、锚板与夹片间的预应力筋之间的缝隙。采用真空辅助压浆时，可使用密封罩密封锚具端头，密封罩的底部需设排水阀门。采用循环压浆时，应根据是否对孔道抽真空选用适当的锚具封闭方式。

5 在压浆端和排浆端应设置止浆阀，压浆压力表的设置宜靠近止浆阀。

6 检查孔道是否存在破损。若存在破损并影响压浆密实性，应进行处理。

4.1.6 压浆作业人员应经培训并考核合格后方可上岗。

4.1.7 制备浆液和压浆过程中，应避免操作人员吸入粉尘和造成环境污染。

4.1.8 压浆后的预应力结构或构件在浆体强度达到设计要求的强度前不应吊装、移运。

4.1.9 对采用连接器连接的预应力钢筋孔道，压浆应在连接器分段的预应力筋张拉后随即进行，不得在各分段全部张拉完毕后一次连续压浆。

4.1.10 作业前，应编制压浆实施方案。

4.2 压浆设备调试

4.2.1 压浆设备调试前应核验其技术指标符合本规程的相关规定，压力表在第一次使用或维修后应进行检定并合格，质量称量器材应核验合格。

4.2.2 应开启压浆设备进行试运转，检查搅拌机转速、压浆泵的压力输出稳定性，设备运转状态应正常，必要时可用清水试压进行检查。

4.2.3 真空辅助压浆管路连接后应进行气密性检查，使管路真空度达到 -0.08MPa 时，停止抽真空后 1min ，真空度应能稳定在 $-0.06\sim-0.08\text{MPa}$ 。否则，应查明原因，重新密封管路。

4.2.4 智能自动压浆设备应按产品说明书进行调试，检查系统功能和技术性能，并应在正常状态。

4.3 制浆

4.3.1 浆液的配合比应以质量比表示，经试验室试配、配合比验证和工艺试验后确定。具有可靠经验的，试验室试配、配合比验证可合并进行。

4.3.2 试验室试配应使用高速制浆搅拌机，其性能应符合本规程第3.3.1条的规定。

4.3.3 试验室试配应符合下列规定：

- 1 在0.26~0.28中间，参考压浆料或压浆剂的产品说明选择3个配合比。
- 2 按照《公路工程预应力孔道压浆材料》(JT/T 946)的相关规定制备浆液。
- 3 按照表3.2.4测试测试浆液性能，并应符合要求。
- 4 试配的成果应提供三个配合比的相关性能技术指标，确定的试验室配合比强度等级应不小于设计值的1.15倍。

4.3.4 配合比验证应符合下列规定：

1 压浆材料进场后，应根据试验室配合比试验程序与结果，取样重新验证三个配合比的浆液性能指标。

2 根据试验结果，检验其强度、膨胀率、泌水率等主要技术指标是否符合表3.2.4要求，确认试验室配合比的有效性。如有必要，可在试验室试配的三个配合比中重新选择并确定。

4.3.5 应使用现场制浆、压浆等施工设备，对通过验证的配合比进行工艺试验，按表4.3.5的技术要求确定最佳配合比、投料比例和顺序、搅拌时间等技术参数。

4.3.6 对浆液有阻锈要求的，尚应验证浆液的阻锈性能。

表4.3.5 浆液工艺性能验证项目及要求

序号	验证项目		性能指标	试验方法
1	凝结时间（h）	初凝	≥5	《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性试验方法》（GB/T 1346）
		终凝	≤24	
2	流动度（25℃）（s）	初始流动度	≤17	《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》（JTG E30）
		30min流动度	≤20	
		60min流动度	≤25	
3	压力沁水率（%）	0.36MPa	≤2.0	
4	自由膨胀率（%）	3h	0.0~1.0	
		24h	0.0~2.0	
		$\varepsilon_{3h} / \varepsilon_{24}$	≤1.0	
5	充盈度	合格		
6	抗压强度（MPa）	28d	≥50，且不低于混凝土设计强度	《水泥胶砂强度检验方法（ISO）》（GB/T 17671）

4.3.7 现场制浆、压浆设备及连接管路使用前，应清理干净影响浆体性能的灰尘、残渣和积水等杂物。

4.3.8 投料前应确认压浆料或压浆剂、水泥在有效期限内，已结块的压浆料或压浆剂、水泥不应使用。

4.3.9 应按选定的配合比、投料比例和顺序制备浆液，按质量准确计量原材料，搅拌时间应不少于工艺试验确定的时间。

4.3.10 制备的浆液应搅拌均匀，无原材料结团、残渣等影响浆液性能的成分。

4.3.11 拌制好的浆液未卸除干净前，不宜向制浆装置中投料拌制浆液。

4.4 压浆

4.4.1 浆液压入预应力孔道之前，应首先排出压浆管路中的水和稀浆。当排出的浆液流动度和储浆装置中的浆液流动度相同一致时，方可开始把浆液压入预应力孔道。

4.4.2 压浆应平稳进行，同一孔道压浆应连续进行一次完成，不应中断。

4.4.3 压浆口的压力宜为 $0.5\text{MPa} \sim 0.7\text{MPa}$ ，长孔道选用较高压力，但最大压力不应超过 1.0MPa ，对长度超过 100m 或竖向高度超过 25m 的孔道，可采用分段的方式进行压浆。

4.4.4 在排气孔、排水孔排出与压浆口处相同流动度的浆液后，将排气孔、排水孔按浆体流动方向依次封闭。

4.4.5 对非分段压浆的孔道压浆时，压浆口应设在孔道低端，出浆口应设在高端。

4.4.6 对结构或构件中上下分层设置的孔道，应按先下层后上层的顺序压浆。

4.4.7 发生孔道阻塞、串孔或因故障中断等不能连续压浆时，应及时用压力水冲洗孔道后用无油高压热空气吹干孔道内的水分或采取其他措施清理，处理后方可重新压浆。

4.4.8 采用普通压浆或真空辅助压浆时，应在出浆口的出浆流畅、饱满，排出的浆液无气泡和微沫，并且流动度与规定流动度相同时，方可关闭出浆口，进行稳压期压浆。采用循环压浆时，应在进浆端口与出浆端的压力差稳定，无浆液窜孔时压入孔道的浆液体积在计算体积的95%~110%，出浆口出浆流畅、饱满，排出的浆液无气泡和微沫，并且流动度与规定流动度相同时，方可关闭出浆口、终止循环，进行稳压期压浆。

4.4.9 稳压期压浆时，应开启浆液的泌水通道，保持出浆口关闭时的孔道内压力稳定，持续注入浆液。当泌水通道不再排出泌水，且稳压期时长不少于5min，方可关闭进浆端的止浆阀。

4.4.10 压浆过程中应随时从储浆装置中取样，检测其流动度，不符合本规程表3.2.4的要求时不应使用。

4.4.11 真空辅助压浆应符合下列要求：

1 进浆口和排气口应设置阀门，压浆泵应设置在压浆口端，真空泵应设置在出浆口端；

2 应先将压浆阀和排气阀全部关闭，启动真空泵，在孔道内部处于0.092MPa负压后，开启压浆阀，同时启动压浆泵开始压浆。

3 压浆过程中，真空泵应保持继续工作，维持孔道内的真空度，直至浆液到达抽真空导管。

4 浆体通过排浆管时，应关闭通向真空泵的阀门和真空泵，并开启出浆阀。

5 进浆口和出浆口的止浆阀关闭、稳压压浆应满足本规程第4.4.8和4.4.9的要求。

4.4.12 循环压浆应符合下列要求：

1 应根据孔道长度和弯起情况，合理选择循环方式。

2 循环管路连接应密封、可靠，不应出现脱管、漏浆现象。

3 应通过调整压浆压力、进浆口和出浆口的流量进行孔道浆液循环，循环浆液应持续搅拌。

4 浆液循环时间应大于浆液流经孔道全长的时间。

5 进浆口和出浆口的止浆阀关闭、稳压压浆应满足本规程第4.4.8和4.4.9的要求。

4.4.13 压浆时，每一工作班应从储浆装置出浆口取样，制备不少于3组尺寸为40mm×40mm×160mm的试件，标准养护28d后进行抗压强度和抗折强度试验，试验方法应按《水泥胶砂强度检验方法（ISO）》（GB/T 17671）的规定执行。

4.4.14 安装在压浆端及排浆端的止浆阀应在浆液终凝后方可拆除。

4.4.15 在压浆2d后，应检查压浆口、出浆口、排气孔的浆体密实情况，需要时应进行处理。

4.4.16 施工时应做好完备的压浆记录，包括每个孔道的压浆日期、原材料、配合比、进浆及稳压压力、稳压时长和浆液流动度、试块强度、故障事故细节及其它必要的信息。

4.4.17 制浆、压浆设备、管路等应在施工结束后及时清洗干净，智能化压浆设备除运行自动清洗程序外，还应配合手动清洗。

5 孔道补压浆

5.1 一般规定

5.1.1 本章适用于存在空隙的已压浆孔道的补压浆。

5.1.2 应根据已确定的孔道空隙贯通长度，选择合理的工艺进行补压浆。当孔道空隙贯通长度小于 15m 时，可采用本章规定的真空补压浆工艺，其它情况可在空隙段两端布设进浆口和出浆口，进行二次压浆。

5.1.3 二次压浆前应视孔道内部状况，采用高压水冲洗、湿润孔壁，并用压缩空气清除孔道内的积水、碎屑等，再按本规程第 4 章的相关规定进行压浆。

5.1.4 补压浆时的环境温度、作业时间应符合本规程第 4.1.2 和 4.1.3 条的规定。

5.2 补浆管

5.2.1 真空补压浆应埋设补浆管，补浆管可采用符合《结构用无缝钢管》(GB/T 8162) 要求的无缝钢管，内径应不小于 20mm。

5.2.2 补浆管的位置应符合下列要求：

1 水平孔道时，补浆管应布设在压浆不密实段的中间位置附近，其它情况应布设在最高位置附近。

2 按照附录 B 布设的检测管可用作为补浆管。

5.2.3 补浆管的植埋应符合下列要求：

1 根据孔道空隙立面位置进行钻孔，孔径宜为 20~25mm。钻取的孔道应与空隙连通，并且在预应力孔道壁上的开孔面积应不小于补浆管的管口面积。

2 钻孔完成后，应在混凝土表面进行扩孔，扩孔深度宜为 50 mm、直径大于补浆管外径 10~15mm。

3 在扩孔段内采用结构胶植埋补浆管，补浆管应伸入扩孔端底部，且外露混凝土表面长度不小于 50mm。

4 补浆管与预应力孔道的连接应满足气密性要求。

5.2.4 补浆管端应设置止浆阀。

5.3 补压浆设备调试及制浆

5.3.1 可采用真空辅助压浆的设备或专用设备进行补压浆,按本规程第4章的相关规定、产品说明书进行调试,确保其各项功能正常。

5.3.2 补压浆的制浆和浆液性能应符合本规程第4章的相关要求。

5.3.3 补压浆的设备与输浆管路连接应满足气密性要求。

5.4 补压浆

5.4.1 补压浆前应对孔道进行气密性检查,应使孔道在抽真空后,孔道内的真空度 -0.1MPa 应能维持1min以上。

5.4.2 补压浆应按下列步骤进行:

1 气密性满足要求后,应抽取孔道内空气,使孔道内真空度在 -0.1MPa ;若真空度不满足要求,应查明原因并进行处理。

2 真空抽取完成后,应采用 0.5MPa 压力向孔道内压入空气。

3 待上一步完成后,再次抽取真空,当真空度达到 -0.1MPa 时,应立即灌注浆液。并在关闭补浆口前,应采用 $0.5\sim 0.7\text{MPa}$ 的压力进行稳压压浆,稳压期时长应不少于1min。

4 根据压入浆液数量计算空洞的体积,并与检测结果比较,确认补压浆密实性。

5.4.3 补压浆的浆液取样和流动性、强度检查应符合本规程第4.4.10条、4.4.13条的规定。

5.4.4 浆液终凝后方可拆除补压浆的止浆阀,并应切除外露补浆管,按设计要求进行防护处理。

5.4.5 二次压浆的施工记录应符合本规程第4.4.16条的规定,真空补压浆的施工记录应包括每个管道的补压浆日期、原材料、配合比、孔道真空度、稳压压力、稳压时长、压入浆液数量和浆液流动度、试块强度及其它必要的信息。

6 质量控制与检验

6.0.1 预应力孔道压浆和补压浆应在施工过程中进行质量控制，按照材料进场、制浆、压浆作业等阶段检验、检查，出现问题应及时处理，并应在施工完成后对孔道浆体的密实性进行检验。

6.0.2 施工过程质量控制应符合下列要求：

1 应配有专门的质量检查工程师，并填写相关记录表。

2 确认使用的原材料是否经过验收和合格。

3 压浆设备运行前，检查搅拌装置的转速及计算线速度、前次使用后残渣等是否清理干净；运行中，检查浆液进入储浆装置后，搅拌装置内是否存在未拌和的原材料。

4 锚头的封闭符合本规程第4.1.5条第4款的规定。

5 压力表、质量称量等仪表、设备处于正常状态。

6 对浆液的工艺性能及强度进行抽样检查，并符合本规程第3.2.4条的规定。

7 出浆口的封闭条件应符合本规程第4.4.8条的规定。

8 孔道压浆的稳压期压力及稳压时长应符合本规程第4.4.8条、第4.4.9条的规定，补压浆的稳压期压力及稳压时长应符合本规程第5.4.3条的规定。

6.0.3 孔道浆体密实性检验应按下列要求进行分批和取样：

1 装配式预应力混凝土梁、板，每座桥或集中预制的每100榀预制梁、板为一批，不足100榀的按一批计。每批抽检3榀，少于3榀的全部抽检，抽检的预制梁、板所有预应力孔道均应检测。

2 整体现浇预应力混凝土梁、板，每座桥抽检预应力孔道总数的10%，少于5个孔道的应全部抽检。

3 悬臂施工的预应力混凝土梁，宜根据孔道长度将梁体内孔道分为短孔道、中长孔道和长孔道3类，每座桥抽检每类孔道总数5%的孔道。

- 4 每座装配式预制梁简支变结构连续桥梁抽检负弯矩预应力孔道总数的5%。
- 5 采用定性检测法时，抽样数量应加倍。
- 6 应采用随机方式进行取样。
- 7 对压浆过程中出现过堵塞的孔道或出现其他施工异常的孔道，应逐一进行检测。

6.0.4 孔道浆体密实性检验应根据现场实施的可行性和需要，选择合理的检测方法。施工中尚未制孔的桥梁，宜采用预埋检测管法，其他桥梁可采用雷达法、冲击回波法等方法。

6.0.5 浆体密实性检测部位宜优先选择弯曲较大的孔道区段、负弯矩、起弯点以及管道中位置相对较高的区段。

6.0.6 检验批中，检测结果满足以下要求时可判定该检验批的压浆密实性合格：

- 1 压浆相关的质量保证资料真实、齐全。
- 2 抽样中的所有管道检测均判定为合格。
- 3 当抽样中仅有1个孔管道检测判定为不合格时，应增加1倍的抽检孔道数量，增加的孔管道检测均判定为合格，并且不合格孔道经处理后复检判定为合格。

6.0.7 检验批压浆质量判定为不合格时，可对检验批内的其它未检测的管道再分批和加倍抽样进行检测，判定其是否合格。

6.0.8 压浆检测判定为不合格的孔道，应及时进行补压浆处理，或对所在的结构或构件进行跟踪观察，分析和评价其对安全、耐久性的影响。

附录 A 孔道压浆密实度雷达检测法

A.0.1 雷达检测法适用于采用非金属波纹管的孔道压浆密实性检测。

A.0.2 雷达主机、天线等应成套校准，并应在其校准有效期限内成套使用。

A.0.3 雷达主机的技术性能应满足下列要求：

- 1 信噪比宜大于 110dB。
- 2 系统动态范围宜大于 120dB。
- 3 信号稳定性变化宜小于 1.0%。
- 4 模/数转换动态位数不低于 16 位。
- 5 采样间隔一般不大于 0.2ns。
- 6 可逐次选择叠加信号或自动叠加。
- 7 数据的采集模式宜为自动、连续采集。
- 8 具有手动或自动位置标记功能，测距误差宜小于 0.3%。
- 9 外壳保护等级不应低于 IP54。
- 10 存储设备、外接设备端口性能等均应符合国家相关标准的规定。

A.0.4 雷达天线的选择应符合下列规定：

- 1 宜提供天线极化方向及辐射角度等参数。
- 2 应选择有屏蔽功能的天线。
- 3 分辨率宜高于 1cm。
- 4 宜采用 1.0-4.3GHz 宽频段脉冲天线。
- 5 最大探测深度宜大于 0.6m。
- 6 天线设置宜采用天线阵列，每组天线均同时具备发射和接收信号功能。
- 7 正常工作时，天线电磁波发射参数应符合国家相关标准的规定。
- 8 外壳保护等级不应低于 IP54。
- 9 设备端口性能等应符合国家相关标准的规定。

A.0.5 现场检测应符合下列规定：

1 测线应沿孔道纵向中心线布置。在疑似缺陷的位置，应在测线上、下方距测线 1/4 孔道直径处分别布置加密测线。加密测线长度应在疑似缺陷的沿孔道纵向长度两端各延长 50cm。

2 测线上，每不大于 25cm 应有一个定位标记。

A.0.6 检测前应对构件混凝土的介电常数或电磁波速做现场标定。

A.0.7 仪器操作应符合下列规定：

1 检测前应检查雷达系统是否正确连接，并进行试运行；确认雷达系统试运行状态正常以及采集的数据可正确存储到指定的设备，才可进行正式测试。

2 检测前应对待测管道编号，在构件表面准确标记管道位置和编号，做好定位标记。

3 采集数据图像时，应确保天线与构件表面耦合良好，天线移动速度应平稳、均匀，移动速度不宜大于 3.0km/h。

4 检测记录应包括测线位置、编号、天线移动方向、标记间隔以及天线类型等。

5 当需要分段检测时，相邻检测段接头重合长度不宜小于 25cm。

A.0.8 数据处理应符合下列规定：

1 数据处理前应检查原始数据的完整性、信号清晰度、测距标识是否满足分析要求。

2 需要滤波时，宜结合信号的频谱分析结果调整滤波参数。

3 分析软件宜为雷达系统成套校准时采用的软件。

A.0.9 根据数据图像分析或解释压浆密实性时，应符合下列规定：

1 宜结合经过验证的雷达图像比对分析进行。

2 应根据现场记录，分析可能存在干扰的钢筋等刚性构件的位置，准确区分压浆内部缺陷异常与钢筋等导致的异常。

3 对有异常的部位，应根据实际情况选用冲击回波法、钻芯法等方法 and 相应要求进行验证。

A.0.10 压浆密实性的主要判释特征应符合下列规定：

1 密实：反射信号弱，图像均一且反射界面不明显。

2 不密实：反射信号强，图像变化杂乱。

3 空隙：反射信号强，图像呈弧形且反射界面明显。

A.0.11 根据数据图像，波纹管内部的钢绞线或钢筋图像表征为较连续、顺直型图像时，可以判断钢绞线或钢筋与管道孔壁之间无空洞或严重浮浆，可判定该波纹管的压浆密实性合格。

附录 B 孔道密实度埋管检测法

B.0.1 埋管检测法适用于混凝土浇筑前可埋设检测管的预应力孔道压浆密实度检测。

B.0.2 检测管宜选用符合《结构用无缝钢管》(GB/T 8162)要求的无缝钢管,内径应不小于20mm,长度应伸出混凝土表面50~100mm。

B.0.3 检测管与预应力孔道之间应采用结构扣件连接,结构扣件可选用PP塑料制成,形状应与预应力管道外表面相同。埋设时,结构扣件应紧贴在预应力管道上,并用铁丝或其它绑扎物绑扎固定。

B.0.4 检测管应布置在锚固端、管道的顶点、起弯下降段附近等易产生空隙的管道上方,长直线管道应按最大间距不超过30m埋设。若与排气管的位置冲突,可在孔道的顶点位置前后0.5m、与孔道轴线夹角在80~100度内调整。

B.0.5 在压浆前及压浆过程中,检测管与孔道之间应处于断开状态。

B.0.6 在浆液达到终凝后,应用直径与检测管相匹配的金属器械打通检测管与预应力孔道的连接,使检测管与预应力孔道连通、内窥镜等检测工具可到达预应力孔道内。

B.0.7 压浆密实程度等施工质量状况和压浆泌水情况宜采用内窥镜检查,孔道空隙的高度可通过金属器械插入检测管的长度变化进行测量。

B.0.8 当孔道存在空隙时,应按以下步骤测量空隙的体积。

1 检查孔道的密封性能,应使孔道在抽真空后,孔道内的真空度-0.1MPa应能维持1min以上。

2 若管道密封性能不符合要求时应进行处理。

3 对密封性能满足要求的孔道,在真空抽取完成后采用0.5MPa压力向孔道内压入空气。

4 待上一步完成后,再次抽取真空。当真空度达到-0.1MPa时,立即灌注浆液,至浆液停止流动后,用0.5MPa压力持压压浆,持压时长1min后关闭检测管。

5 根据压入浆液数量计算管道空隙的体积。

6 灌注的浆液性能应符合本标准第3章的相关规定。

B.0.9 当空隙不多于1处,空隙处压浆高度应不低于孔道直径的0.80%,预应

力钢筋被完全包裹,注入浆液体积不超过 1L 时,该孔道压浆密实性判定为合格。
否则判定为不合格。

征求意见稿

附录 C 压浆、补压浆施工记录表

表 C.1 预应力孔道压浆施工记录表

项目名称				施工单位				构件编号及部位			
压浆料(剂) 型号				水泥厂家及型号				材料试验或验收报告编号			
压浆日期				环境温度				压浆工艺		配合比	
序号	孔道 编号	压浆起止 时间 (MPa)	进浆压力 (MPa)	稳压压力 (MPa)	稳压时 长 (min)	止浆阀关闭 时冒浆情况	真空度 (MPa)	浆液性能			
								凝结时间 (h)	初凝		24h 自由泌水率 (%)
									终凝		0.36 MPa 压力泌水
								流动度 (25℃) (s)	初始		率 (%)
									30min		24h 自由膨胀率 (%)
								压浆前检查情况：			
								试件留置情况及试验员：			
压浆人员：				其他情况：							

记录:

质检工程师:

施工负责人:

监理工程师:

表 C.2 预应力孔道补压浆施工记录表

项目名称			施工单位			构件编号及部位				
压浆料(剂)型号			水泥厂家及型号			材料试验或验收报告编号				
补压浆日期			环境温度			配合比				
序号	孔道编号	补压浆起止时间(MPa)	孔道真空度(MPa)	稳压压力(MPa)	稳压时长(min)	压入浆液数量(m³)	浆液性能			
							凝 结 时 间	初凝	24h 自由泌水率(%)	
							(h)	终凝	0.36 MPa 压力泌水率(%)	
							流动度	初始		
							(25℃)(s)	30min	24h 自由泌水率(%)	
							补压浆前检查情况:			
							试件留置情况及试验员:			
补压浆人员:				其他情况:						

记录:

质检工程师:

施工负责人:

监理工程师: