



T/CECS XXX-202X

中国工程建设标准化协会标准

钢管混凝土拱桥管内混凝土施工标准

Construction standard for in-pipe concrete of concrete-filled
steel tube arch bridge

（征求意见稿）

2021 年 X 月 X 日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2018年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2018]015号）的要求，标准编制组在广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并广泛征求意见基础上，制订本标准。

本标准共分8章，主要内容包括总则、术语、管内混凝土原材料、管内混凝土基本性能、施工机械设备、管内混凝土灌注施工、钢管混凝土质量检测、管内混凝土质量验收和附录等。

本标准3.2条和6.4条可能涉及相关专利的使用。涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与本标准的主编单位协商处理。除上述专利外，本标准的某些内容仍可能涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会混凝土结构专业委员会归口管理，由广西路桥工程集团有限公司负责具体技术内容的解释。

本文件起草单位：广西路桥工程集团有限公司、中国建筑金属结构协会、广西长长路桥建设有限公司、广西路桥集团勘察设计院有限公司、广西公路检测有限公司、武汉理工大学、江苏苏博特新材料股份有限公司、广西大学、清华大学、四川省公路勘察设计研究院、中铁二院工程集团有限公司

本文件主要起草人：韩玉、秦大燕、刘民、马文安、杨占峰、丁庆军、陈正、陈光辉、李彩霞、解威威、李威、魏华、吕中玉、刘家兴、蒙立和、陆艺、郑健、莫韵锦、李胜、唐颖贤

目 录

1	总则	1
2	术语	2
3	管内混凝土原材料	3
3.1	一般规定	3
3.2	水泥	3
3.3	细集料	4
3.4	粗集料	4
3.5	外加剂	5
3.6	掺和料	6
3.7	水	7
4	管内混凝土基本性能	8
4.1	一般规定	8
4.2	工作性能	8
4.3	力学性能	9
4.4	体积稳定性	9
5	施工机械设备	11
5.1	一般规定	11
5.2	机械设备选型	11
5.3	机械设备管理	13
6	管内混凝土灌注施工	15
6.1	一般规定	15
6.2	施工准备	15
6.3	拌制和运输	17
6.4	真空辅助泵送施工	17
6.5	施工管理	19
6.6	施工监测	19
7	施工监控和质量检测	22
7.1	一般规定	22
7.2	施工监控	22
7.3	质量检测	22
7.4	缺陷修复及补强	23
8	管内混凝土质量验收	25
8.1	一般规定	25
8.2	原材料	25
8.3	混凝土拌合物	25
8.4	工程质量验收	26
附 录	A 混凝土限制膨胀率试验方法	27
附 录	B 混凝土自生体积变形试验方法	29
	本标准用词说明	31
	引用标准名录	32

CONTENTS

1	General	1
2	Terminology	2
3	In-Pipe Concrete Raw Materials	3
3.1	General Requirements	3
3.2	Cement.....	3
3.3	Fine Aggregate.....	4
3.4	Coarse Aggregate.....	4
3.5	Additive	5
3.6	Admixture	6
3.7	Water.....	7
4	In-pipe Concrete Basic Performance.....	8
4.1	General Requirements	8
4.2	Working Performance	8
4.3	Mechanical Performance	9
4.4	Volume Stability	9
5	Construction Machinery and Equipment.....	11
5.1	General Requirements	11
5.2	Mechanical Equipment Selection	11
5.3	Mechanical Equipment Management	13
6	In-pipe Concrete Pouring Construction.....	15
6.1	General Requirements	15
6.2	Preparation for Construction.....	15
6.3	Mixing and Transportation	17
6.4	Vacuum-assisted Pumping Construction	17
6.5	Construction Management.....	19
6.6	Construction Monitoring	19
7	Construction Monitoring and Quality Inspection.....	22
7.1	General Requirements	22
7.2	Construction Monitoring	22
7.3	Quality Monitoring	22
7.4	Defect Repair and Reinforcement.....	23
8	In-Pipe Concrete Quality Acceptance	25
8.1	General Requirements	25
8.2	Raw Materials	25
8.3	Concrete Mix	25
8.4	Project Quality Acceptance.....	26
	Appendix A Test Method for Limited Expansion Rate of Concrete	27
	Appendix B Concrete Autogenous Volume Deformation Test Method	29
	Explanation of Terms Used in This Standard.....	31
	List of Reference Standards	32

1 总则

1.0.1 为满足钢管混凝土拱桥施工和质量要求，结合品质工程发展理念，使管内混凝土灌注符合技术先进、安全可靠的要求，特制定本规程。

1.0.2 本规范适用于跨径 200m 级及以上的钢管混凝土拱桥拱肋灌注施工。

1.0.3 对有特殊要求和在特殊环境条件下的钢管混凝土拱桥管内混凝土灌注，除本规程明确规定外，尚应遵守现行有关的国家规定。

1.0.4 钢管混凝土拱桥管内混凝土灌注施工应遵守国家建设工程质量、安全生产和环境保护等方面的法律法规，建立相应的管理保证体系，明确责任制，确保工程质量、生产安全和环境保护满足相关要求。工程质量检测评定和工程验收除本规程明确规定外，还应遵循相应行业标准的规定进行。

2 术语

2.0.1 真空辅助泵送顶升压注法 Vacuum aided pumping-up method

真空泵先将拱桥管内抽成大气负压，然后用混凝土输送泵将拱桥管内混凝土从拱脚向拱顶顶升灌注的施工方法。

2.0.2 钢管混凝土 Concrete filled steel tubular(CFST)

在钢管内填充混凝土形成的组合结构。利用钢管套箍作用提高混凝土抗变形能力、耐久性能；利用混凝土的填充提高钢结构的稳定性、安全性和承载能力。

2.0.3 管内混凝土 Concrete in the main chord pipe

在泵送压力的作用下，能够沿输送管流动并充满钢管混凝土拱桥管内空间的混凝土，其具有低气泡、抗离析、均质、收缩补偿、延后初凝等特点。

2.0.4 扩展度 Slump-flow

混凝土拌合物坍落后扩展的直径。

2.0.5 扩展时间（T500）Slump-flow time

用坍落度筒测量管内混凝土扩展度时，自坍落度筒提起开始计时，测量拌合物坍落度扩展面直径达到500mm的时间。

2.0.6 限制膨胀率 Percentage of restrained expansion

管内混凝土试件的膨胀被钢筋限制时引起钢筋的应变值，用钢筋的单位长度伸长值表示。

2.0.7 自生体积变形 Autogenous volume deformation

混凝土在恒温绝湿和无外荷载的条件下，仅由于胶凝材料的水化作用引起的体积变形。

2.0.8 超声波检测法 Ultrasonic method

利用超声波检测仪对管内混凝土进行检测，分析混凝土的声速、波幅和主频等声学参数及其相对变化判断管内混凝土缺陷的方法。

2.0.9 脱粘率 Debonding rate

钢管混凝土横截面上产生脱粘区域对应圆心角与整个截面角度的比值，又称脱粘角度率。

3 管内混凝土原材料

3.1 一般规定

3.1.1 管内混凝土原材料除应符合本文件的规定外，尚应满足相关标准要求。

3.1.2 集料的性能指标应符合 JGJ 52 的规定。

3.1.3 原材料的单次储备数量应根据钢管混凝土拱桥管内混凝土的单次灌注方量确定。

【条文说明】如果忽视原材料的储备数量，将会给管内混凝土的灌注质量带来隐患。当原材料储备数量较少时，可能会导致拱顶平直段角隅处气泡无法排尽，凝结硬化的混凝土会在管内形成脱空脱粘现象。当原材料储备数量超出一定范围时，会增加现场管理的难度。因此，管内混凝土原材料单次储备数量应根据钢管混凝土拱桥主弦管单次灌注方量确定。

3.1.4 当钢管混凝土拱桥跨径 $\geq 200\text{m}$ 时，原材料单次储备量宜为灌注方量的 1.5~2.0 倍。

【条文说明】为保证用于管内混凝土原材料的储备数量符合要求，编制组开展了关于原材料储备数量对管内混凝土灌注质量影响的调查研究。调研结果表明，当钢管混凝土拱桥跨径 $\geq 200\text{m}$ 时，原材料储备量为单次灌注方量的 1.5~2.0 倍时，可保证管内混凝土顺利灌注。

3.2 水泥

3.2.1 水泥应选用符合 GB 175 规定的水泥，宜选用 C_3A 含量 $\leq 8\%$ 、比表面积 $\leq 350\text{m}^2/\text{kg}$ 、强度等级为 42.5 或 52.5 的 P·II 或 P·O 水泥。

【条文说明】本条规定了管内混凝土所用水泥的品种和强度。此外，水泥不宜采用通用硅酸盐水泥，这是因为内掺混合材的通用硅酸盐水泥的胶砂强度一般较低，配制高强管内混凝土的成本较高。而采用 P·II 或者 P·O 水泥并掺加高质量的矿物掺和料配制高强管内混凝土具有较大的技术和经济的合理性。此外，考虑到当前钢管混凝土拱桥跨径逐渐增大，管内混凝土的强度不断提高，本标准限定铝酸三钙的含量 $\leq 8\%$ ，以减小管内混凝土的温度变形。若有特殊要求时，可根据设计和施工的要求确定水泥强度等级。

3.2.2 水泥进场时，应附有生产厂的品质试验检验报告等合格证明文件，并应分批次和数量对同一生产厂、同一品种、同一强度等级及同一出厂日期的水泥进行抽检，抽检项目和频率要求应符合表 3.2.1 规定。

表 3.2.1 水泥抽检项目及频率要求

试验类别	项目	抽检频率	依据标准
水泥	烧失量、三氧化硫、氧化镁、氯离子、凝结时间、安定性、胶砂强度、细度（选择性）、碱含量（选择性）	1次/批，袋装水泥每200t为1批，散装水泥每500t为1批。	JTG/T 3650

3.2.3 水泥应按品种、生产厂家、强度等级分别贮存，并应做好防水防潮措施。

3.3 细集料

3.3.1 细集料宜选用级配合格、细度模数为 2.6~3.0 的Ⅱ区中砂，细集料的含泥量、泥块含量应符合表 3.3.1 的规定。若细集料选用机制砂，MB 值宜 ≤ 1.4 ，石粉含量宜 $\leq 10.0\%$ 。

【条文说明】因为细骨料的含泥量和泥块含量对管内混凝土的收缩性能影响较大，故本标准规定细骨料的含泥量和泥块含量分别不大于 1.0%、0.5%。

若细骨料选用人工砂，人工砂中的适量石粉能改善管内混凝土的流动性能，但过量石粉会吸附较多水分，导致管内混凝土的流动性能减弱，粘聚性增强，故本标准规定人工砂 MB 值宜小于等于 1.4，石粉含量宜小于等于 10.0%。

表 3.3.1 细集料的含泥量和泥块含量性能指标

项目	指标	依据标准
含泥量	$\leq 1.0\%$	JGJ/T 3650
泥块含量	$\leq 0.5\%$	JGJ/T 281

3.3.2 细集料的抽检频率和项目应符合表 3.3.2 的规定。

表 3.3.2 细集料抽检项目及频率

试验类别	项目	抽检频率	依据标准
细集料	筛分、密度、含泥量、泥块含量、有害物质含量、空隙率、人工砂石粉含量、坚固性	1次/批，不超过 400 m ³ 或 600 t 为 1 批；小批量进场的宜以不超过 200 m ³ 或 300 t 为 1 批。	JTG/T 3650

3.4 粗集料

3.4.1 粗集料应采用连续级配且经过整形处理的碎石，其最大公称粒径不宜大于 20 mm。粗集料的含泥量、泥块含量、针片状颗粒含量应符合表 3.4.1 的规定。若管内混凝土设计强度等级不小于 C50 时，其母材强度宜不小于所配制混凝土强度的 1.5 倍。

【条文说明】工程实践和研究证明，钢管混凝土拱桥管内混凝土粗骨料应采用连续级配的碎石且经过整形处理的碎石，其最大公称粒径不宜大于 20mm。原因如下：一是为了提高混凝土的流动性能并减少泵送阻力，二是混凝土强度等级越高，其所用粗骨料粒径应越小，较小的粗骨料，其内部缺陷在加工过程中会得到很大程度的消除。粗骨料的含泥量和泥块含量对管内混凝土的工作性能和力学性能有较大影响，本标准参考《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JFG 52-2006 中的规范，试验结果取值规定含泥量、泥块含量应分别小于 0.5%、0.2%。另外，粗骨料中的针片状颗粒含量对管内混凝土间隙通过性影响较大，当配制高强管内混凝土时，粗骨料中针片状含量越高，管内混凝土的泵送性能损失越明显，强度降低幅度越大。因此，本标准规定，当管内混凝土设计强度大于等于 50MPa 时，其母

材强度宜不小于所配制混凝土强度的 1.5 倍。

表 3.4.1 粗集料的含泥量、泥块含量和针片状颗粒含量性能指标

项目	指标	依据标准
含泥量	$\leq 0.5\%$	JGJ/T 281
泥块含量	$\leq 0.2\%$	JGJ/T 281
针片状颗粒含量	$\leq 8\%$	JGJ/T 281、JGJ/T 283

3.4.2 粗集料的抽检频率和项目应符合表 3.4.2 的规定。

表 3.4.2 粗集料的抽检项目和频率

试验类别	项目	抽检频率	依据标准
粗集料	密度、筛分、含泥量、泥块含量、针片状颗粒含量、压碎值、坚固性、吸水率、空隙率、碱集料反应	1次/批，不超过400 m ³ 或600 t为1批；小批量进场的宜以不超过200 m ³ 或300 t为1批	JTG/T 3650

3.4.3 不同规格和产地的粗骨料应分别堆放在具有排水功能的硬质地面上，堆放时避免骨料离析，贮存时应做好遮雨防尘措施，不得露天贮存。

3.5 外加剂

3.5.1 膨胀剂的种类和性能指标应符合 GB/T 23439 或 T/CECS 10082 的规定。当对管内混凝土体积稳定性有较高要求时，宜选用钙镁复合膨胀剂。

【条文说明】规定制备管内混凝土所用膨胀剂的种类和性能，主要为了实现分阶段、全过程定量补偿管内混凝土收缩变形，达到抗裂和简化温控措施、降低工程成本的目的，推荐采用钙镁复合膨胀剂。钙镁复合膨胀剂中的轻烧氧化镁具有延迟膨胀的特性，能有效补偿混凝土的温降收缩和后期干燥收缩。钙镁复合膨胀剂中的钙质膨胀组分能有效补偿混凝土的自收缩等早期收缩变形。因此，配制钢管混凝土拱桥管内混凝土宜选用钙镁复合膨胀剂。

3.5.2 管内混凝土可掺入缓凝剂、早强剂、减水剂和泵送剂等混凝土外加剂。混凝土外加剂的性能指标应符合 GB 8076、JC 473 的规定。

3.5.3 外加剂和膨胀剂的抽检项目和频率应符合表 3.5.1 的规定。

表 3.5.1 外加剂和膨胀剂的抽检项目和频率

试验类别	项目	抽检频率	依据标准
外加剂	减水率、泌水率比、含气量、凝结时间差、1h经时变化量、抗压强度比、收缩率比	1次/批，掺量大于等于1%同品种的外加剂每100 t为1批，掺量小于1%的外加剂每50 t为1批，不足100 t或50 t的也按1批计。	GB 8076

表 3.5.1 （续）

膨胀剂	细度、含水率、凝结时间、限制膨胀率、抗压强度、氧化镁、碱含量（选择性）	1次/批，不超过200t为1批，袋装和散装应分别编号和取样。	GB/T 23439、T/CECS 10082
-----	-------------------------------------	--------------------------------	-------------------------

3.5.4 掺入混凝土的缓凝剂、早强剂、减水剂、泵送剂等外加剂应单独存放，做好防晒防潮措施。

3.6 掺和料

3.6.1 若采用除粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等其他矿物掺和料时，应经专项试验验证，满足设计及施工要求后方可使用。

3.6.2 管内混凝土可掺入粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等活性矿物掺和料，其性能指标符合下列要求：

- a) 粉煤灰的性能指标应符合 GB/T 18736、GB/T 1596 的规定。管内混凝土的设计强度等级高于 C50 时，宜选用Ⅰ级粉煤灰；当采用Ⅱ级粉煤灰时，应经试验论证，确定性能达到指标后再采用；
- b) 粒化高炉矿渣粉的性能指标应符合 GB/T 18046 的规定。管内混凝土的设计强度等级高于 C50 时，粒化高炉矿渣粉不宜低于 S95 级；
- c) 硅灰的性能指标应符合 GB/T 18736 的规定。

【条文说明】管内混凝土中可掺入粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等活性矿物掺和料。通过参照《高强高性能混凝土用矿物外加剂》（GB/T 18736）和《用于水泥和混凝土的粉煤灰》（GB/T 1596），并结合钢管混凝土拱桥管内混凝土施工技术应用经验，分别对粉煤灰、粒化高炉矿渣粉和硅灰的性能进行了规定。此外，当管内混凝土的设计强度高于C50时，对掺入混凝土内的粉煤灰和粒化高炉矿渣粉做了推荐性规定。

3.6.3 掺和料的抽检项目和频率应符合表 3.6.1 的规定。

表 3.6.1 掺和料的抽检项目和频率

试验类别	项目	抽检频率	依据标准
粒化高炉矿渣粉	密度、比表面积、活性指数、流动度比、含水率、三氧化硫、氯离子、烧失量、玻璃体含量、放射性、氧化镁、需水量比	1次/批，每根弦管为1批。	GB/T 18046
粉煤灰	细度（45 μm方孔筛余）、比表面积、烧失量、需水量比、含水率、游离氧化钙、三氧化硫、安定性、均匀性、总碱量、活性指数	1次/批，每根弦管为1批。	GB/T 1596

表 3.6.1 (续)

硅灰	细度(45μm方孔筛余)、烧失量、氯离子、二氧化硅、含水率、需水量比、活性指数、总碱量	1次/批, 每根弦管为1批	GB/T 27690
----	---	---------------	------------

3.6.4 矿物掺和料应按品种、质量等级、产地分别贮存, 且应做好防雨防潮措施。

3.7 水

3.7.1 管内混凝土拌合用水的性能指标应符合 JGJ 63 的规定。

3.7.2 水的抽检频率和项目应符合表 3.7.1 的规定。

表 3.7.1 拌合用水的抽检项目和频率

试验类别	项目	抽检频率	依据标准
水	pH值、氯化物、不溶物、可溶物、硫酸盐、碱含量	1次/1水源, 或怀疑受污染时	JTG/T 3650

4 管内混凝土基本性能

4.1 一般规定

4.1.1 混凝土拌合物的工作性能、力学性能和体积稳定性等相关性能应满足拱桥设计和施工要求。

4.1.2 混凝土拌合物的入泵扩展度和扩展度经时损失、凝结时间、扩展时间、含气量的试验方法应符合 GB/T 50080 的规定。

4.1.3 混凝土力学性能试验方法应符合 GB/T 50081 的规定。

4.1.4 混凝土限制膨胀率和自生体积变形的试验方法应按照 JGJ/T 178、SL 352 的有关规定进行。

4.2 工作性能

4.2.1 混凝土拌合物除应满足 JGJ/T 283 的规定外，还应符合设计所要求的流动性、粘聚性和保水性等技术指标。

4.2.2 试验室条件下，当计划灌注时间在 6 h 内完成，3 h 坍落度经时损失值宜小于 3 cm；当计划灌注时间在 10 h 内完成，3 h 坍落度经时损失宜为 0 cm，5 h 坍落度经时损失宜小于 3 cm；当计划灌注时间在 10 h 以上时，应经试验验证，确定 3 h 和 5 h 坍落度经时损失值满足设计及施工要求后再使用。

【条文说明】随着钢管混凝土拱桥的跨径不断增大，单根管内混凝土的灌注时间越来越长，相应地对混凝土拌合物的坍落扩展度的要求也越来越严格。管内混凝土的坍落度经时损失值是由灌注混凝土所需时间决定。管内混凝土在泵送顶升过程中，由于管壁和法兰盘对管内的阻力作用，使得中心部位的混凝土上升速度较快，并不断向边部扩散形成“栓流”。而当管内混凝土到达拱顶平直段时，混凝土呈斜截面层叠推进，所以管内混凝土在向上运动过程中并非保持全截面整体推进移动，而是存在混合模式。因此，管内混凝土的流动性在整个灌注过程中需要保持在合理范围内。通过大量的试验研究和工程经验总结，当计划灌注时间在 6 h 内完成，3 h 坍落度经时损失值宜小于 3 cm；当计划灌注时间在 10 h 内完成，3 h 坍落度经时损失宜为 0 cm，5 h 坍落度经时损失宜小于 3 cm；当计划灌注时间在 10 h 以上时，应经试验验证，确定 3 h 和 5 h 坍落度经时损失值满足设计及施工要求后再使用。初凝时间大于完成单根管内混凝土的灌注时间，则混凝土能满足钢管混凝土拱桥泵送顶升混凝土施工要求。

4.2.3 试验室条件下，混凝土拌合物的含气量应小于 2.5%，初凝时间应大于完成灌注一根弦管所需时间。

【条文说明】密闭环境下，主弦管中管内混凝土的气泡无法逃逸。管内混凝土的含气量较高时，混凝土内的微小气泡容易在角隅处汇聚形成气膜，当混凝土的膨胀变形不能弥补气膜时，会造成管内混凝土和管内壁脱粘，降低管对混凝土的套箍作用。因此，本标准规定管内混凝土的含气量应小于 2.5%。

4.2.4 混凝土入泵扩展度 (SF) 不应小于 550 mm 或者大于 750 mm，宜控制在 600 mm～700 mm；扩展时间 T500 (s) 宜为 4 s～10 s。

【条文说明】试验研究和工程实践表明，泵送管内混凝土拌合物的坍落扩展度 600~700mm，扩展时间 T500 (s) 4~10s 时，对钢管混凝土拱桥管内混凝土灌注施工有较强的工程适应性。当管内混凝土坍落扩展度小于 550mm 时，拌合物的黏度较大，在灌注管内混凝土时易出现堵管现象；当管内混凝土坍落扩展度大小 700mm 时，混凝土拌合物的粘聚性不良，在灌注管内混凝土时易发生骨料分离现象，导致堵管和管内混凝土不均匀，影响钢管混凝土的承载能力。所以，管内混凝土在入泵时的坍落扩展度宜为 600~700mm，对应拌合物黏度可保证泵机压力控制在合理范围，且能保证钢管混凝土拱桥管内混凝土顺利完成灌注。

4.3 力学性能

4.3.1 混凝土的抗压强度应满足设计强度等级的要求。

4.3.2 设计未要求时，同条件养护的混凝土试件的 3 d 抗压强度宜达到设计强度的 80%。28 d 的抗压强度应满足设计要求。

【条文说明】大量工程经验表明，当同条件养护的管内混凝土试件达到设计强度 80% 以上，才能进行下一条钢管混凝土的灌注。因此，本标准规定对于管内混凝土同条件养护试件，3d 抗压强度应达到设计强度的 80%，28d 的抗压强度应满足设计要求。

4.4 体积稳定性

4.4.1 混凝土 3 d 自生体积变形 $\geq 150 \mu\epsilon$ ，56d 自生体积变形 $\geq 0 \mu\epsilon$ 。

【条文说明】混凝土的自生体积变形是混凝土在恒温绝湿条件下，仅由胶凝材料水化作用引起的体积变形，它不包括混凝土受外荷载、温度、湿度影响引起的体积变形。大量试验结果和工程经验表明，管内混凝土 3d 自生体积变形 $\geq 150 \mu\epsilon$ 、56d 自生体积变形 $\geq 0 \mu\epsilon$ 时，能充分利用管内混凝土的延迟膨胀特性，补偿管内混凝土在温降过程中产生的体积收缩，简化温控措施，提高管内混凝土自身的抗裂性能，达到经济、快速、优质建设钢管混凝土拱桥的目的。

4.4.2 密闭绝湿环境下混凝土自由膨胀率宜控制为 $0 \sim 6 \times 10^{-4}$ ，其稳定收敛期宜为 60 d。

【条文说明】行业标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》(JGJ/T 178) 中规定了补偿收缩

混凝土限制膨胀率的取样方式、检验方法和验收原则。管内混凝土处于密闭空间，与外界基本无水分交换，可参照限制膨胀率的试验方法反映管内混凝土体积变化情况。大量的试验结果和工程经验表明，当处于密闭环境下的钢管混凝土拱桥管内混凝土自由膨胀率控制在 $0 \sim 6 \times 10^{-4}$ 范围内、稳定收敛期为 60d 时，管内混凝土灌注密实，无脱空脱粘现象产生。若管内混凝土的自由膨胀率大于 6×10^{-4} 时，将不利于材料稳定性的控制及硬化管内混凝土强度和耐久性的控制。

5 施工机械设备

5.1 一般规定

- 5.1.1 施工现场用电作业应符合 JGJ 46 的有关规定。
- 5.1.2 施工现场应配备紧急发电机组，发电机组应设置短路保护、过负荷保护。
- 5.1.3 灌注所需机械设备的数量应满足施工方案要求。
- 5.1.4 施工机械设备应单独进行性能检验，其性能应满足施工要求。
- 5.1.5 每次灌注前，施工现场机械设备均应检查一次。

5.2 机械设备选型

5.2.1 灌注所需机械设备的数量应满足设计文件与施工方案的要求，若无明确要求时，主要机械设备的数量满足下列要求：

- a) 拌合站不少于 2 套；
- b) 混凝土输送泵不少于 3 台；
- c) 抽真空设备不少于 2 套；
- d) 抽水机不少于 4 台。

【条文说明】经调研，结合广西地区工程经验，钢管混凝土拱桥主要机械设备的数量应满足如下要求：拌合站不少于 2 套、混凝土输送泵不少于 3 台、抽真空设备不少于 2 套、抽水机不少于 4 台。

5.2.2 拌合站总装机能力以满足最大批混凝土数量需要为原则，原则上都按一站双机配置。拌合站使用前应进行零点校核，其计量精度应能使原材料每盘允许偏差符合表 5.2.1 的规定。

【条文说明】为了保证管内混凝土的灌注质量，混凝土搅拌机应符合现行国家标准《混凝土搅拌站（楼）》GB/T 10171中对搅拌站主要参数系列、搅拌设备、供料系统、贮料仓、配料装置、混凝土贮斗、安全环保等方面的规定，原则上按照一站双机配制。另外，管内混凝土生产对原材料的计量要求较高，尤其是对水泥、膨胀剂、矿物掺和料、水和外加的要求高。为了保证管内混凝土的生产质量，一方面建议采用电子计量设备，另一方面电子设备每盘的计量精度应满足表5.2.1的要求。

表 5.2.1 原材料每盘称量的允许偏差

材料名称	允许偏差 %	依据标准
水泥、膨胀剂、矿物掺合料	±1	CECS 207
粗、细骨料	±2	CECS 207

表5.2.1 (续)

水	±1	JGJ/T 281
外加剂	±1	JGJ/T 281

5.2.3 拌合站应配备残余混凝土清洗回收、污水处理等装置。

5.2.4 应根据泵送高度、距离、输送速度计算最大泵送压力及泵送功率，确定混凝土灌注输送泵的型号规格。输送泵的额定扬程应大于 1.5 倍灌注顶面高度。输送泵的额定速度宜满足式 (1) 的要求：

$$V \geq 1.2Q/t \dots\dots\dots (1)$$

式中：

V ——输送泵的额定速度 (m^3/h)；

Q ——要求灌注的混凝土方量 (m^3)；

t ——混凝土初凝时间 (h)。

5.2.5 抽真空系统宜采用水环式真空泵，极限真空压力应达到-0.09 MPa，最大抽气速率宜大于 $20 \text{ m}^3/\text{min}$ ，且应满足在 30 min 内将主管的真空度抽至-0.08 MPa。

【条文说明】水环式真空泵具有抽放负压高、流量小、使用范围广等优点。因此，本标准规定抽真空系统采用水环式真空泵，并且规定水环式真空泵的极限压力应达到-0.09MPa。大量科研结果表明，当钢管混凝土拱桥管内的真空度在-0.06~-0.09Mpa 之间时，管内混凝土中的气泡含量少，密实性高。同时，为了防止水环式真空泵因抽气速率慢而导致钢管内真空度不合格。因此，本标准规定水环式真空泵的最大抽气速率宜大于 $20\text{m}^3/\text{min}$ ，且应满足在 30min 内将主弦管抽至-0.08MPa 的真空度。

5.2.6 混凝土运输车的性能应符合 GB/T 26408 的有关规定。

5.2.7 混凝土运输车的数量应根据输送泵的实际平均输出量、运输车的容量、行车速度、往返距离等因素确定，应满足不间断施工要求，并至少配备 1 辆应急车，可按式 (2) 计算：

$$N = Q/60V\eta_v (60L/S + T) + 1 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

N ——混凝土搅拌运输车台数 (台)；

Q ——每台混凝土泵的平均实际输出量 (m^3/h)；

V ——每台混凝土搅拌运输车容量 (m^3)；

η_v ——混凝土运输车容量折减系数，可取 0.90~0.95；

S ——混凝土搅拌运输车时速（km/h）；

L ——混凝土运输距离（km）；

T ——每台混凝土搅拌车总计停歇时间（min）。

【条文说明】混凝土运输车的选配数量应能保证混凝土连续供应，不出现停泵现象。搅拌运输车台数公式是参考行业标准《混凝土泵送施工技术规范》JGJ/T 10中的相关内容，但规范中未考虑由于交通条件或施工条件等因素导致灌注过程中间歇停泵的现象。因此，本标准在原公式的基础上配备了1台应急混凝土搅拌车。

5.2.8 混凝土输送管的规格应根据粗骨料的最大粒径、混凝土拌合物的性能等因素确定，最小内径宜为 125 mm。输送管应平顺布置在钢管混凝土拱桥主管上顶面，尽量减少弯头布置。

5.2.9 排浆管的规格应根据管径大小、骨料最大粒径等因素确定，其容积应能保证在卸真空压力时浆液不回落至主管。

5.2.10 拱顶储浆桶的容积应根据主管的管径、润管砂浆的方量等因素确定，可按式（3）计算：

$$V_j = \pi r^2 \times L \dots\dots\dots (3)$$

式中：

V_j ——储浆桶的容积（m³）；

r ——主管横截面的半径（m）；

L ——沿主管的纵向长度，宜为4m~6m。

【条文说明】储浆桶主要用来存储润管砂浆和混凝土浮浆，泵入润管砂浆的数量一般根据拱桥主弦管的管径确定。因此，储浆桶的容积跟主弦管的管径成正相关。通过大量工程经验总结，储浆桶的容积可按 $V_j = \pi r^2 \times L$ 公式确定。

5.2.11 抽水机的额定扬程宜大于 1.5 倍的拱肋矢高。

5.3 机械设备管理

5.3.1 每次混凝土灌注前，混凝土搅拌机精度应至少进行 1 次动态标定。

5.3.2 混凝土输送泵应停放在平整坚实的地方，并与沟槽、基坑保持安全距离。

5.3.3 机械设备运行时，严禁进行维修作业。

5.3.4 停止泵送管内混凝土后，应立即使用清水对泵机、料斗、储浆桶、输送管进行清洗。

5.3.5 清理混凝土运输车搅拌桶内的混凝土前，必须将发动机熄火，操作档杆置于空挡。

- 5.3.6** 机械设备进行维修保养时，必须切断电源、挂好警示牌并派专人守护。
- 5.3.7** 冬季施工后或存放不用时，应排尽真空泵内的冷却水。

6 管内混凝土灌注施工

6.1 一般规定

6.1.1 跨径 200m 级及以上的钢管混凝土拱桥拱肋灌注施工应采用真空辅助泵送顶升压注法施工，并确保灌注的连续性。

【条文说明】当钢管混凝土拱桥的跨径大于等于200m时，管内混凝土中微小气泡容易在管壁角隅处汇聚形成大气泡，进而降低混凝土的密实度。真空辅助灌注技术建立在泵送顶升压注上，通过将钢管内的空气抽至规定范围，解决了地泵泵机压力大、混凝土灌注不密实等问题。真空辅助泵送施工技术能明显减少管内混凝土的含气量，提高管内混凝土的灌注质量，并对管内混凝土的泵送性能有一定的提高作用。因此，本标准规定，当拱桥跨径当拱桥跨径大于等于200m时，应采用真空辅助泵送顶升压注法施工，并确保灌注的连续性。当不采用真空辅助泵送顶升压注法时，应在拱顶平直段拱肋上部增加排气孔。

6.1.2 拱肋各弦管混凝土灌注顺序应符合设计文件的规定。未做规定时，应遵循先下后上、先内后外的原则。对于哑铃型拱肋，应采用先钢管后腹腔的顺序，且腹腔灌注时应采取可靠措施以避免其出现胀裂。

【条文说明】管内混凝土的灌注顺序对灌注质量影响较大，是保证钢管内壁和管内混凝土共同承载外荷载作用的关键。大量的科研成果和工程实际经验表明：管内混凝土灌注顺序应符合设计文件的规定。未做规定时，应遵循先下后上、先内后外的原则。对于哑铃型拱肋，应采用先钢管后腹腔的顺序，且腹腔灌注时应采取可靠措施以避免其出现胀裂。

6.1.3 在进行下一条钢管混凝土灌注前，应确定管内混凝土抗压强度达到规定。若设计文件无明确规定，管内混凝土的抗压强度应达到设计强度 80% 以上，才能进行下一条钢管混凝土的灌注。

6.1.4 混凝土灌注分级应满足设计文件要求，未做要求时，当 $50\text{m} < \text{拱肋矢高} \leq 80\text{m}$ 或混凝土灌注时长在 $8\text{h} \sim 10\text{h}$ 的，宜分 2 级灌注；当 $80\text{m} < \text{拱肋矢高} \leq 120\text{m}$ 或混凝土灌注时长在 $10\text{h} \sim 12\text{h}$ 的，宜分 3~4 级灌注。当灌注矢高 $> 120\text{m}$ 或灌注时长大于 12h 时，应经试验论证，确定分级次数。

【条文说明】本标准是通过总结钢管混凝土拱桥跨径跟分级次数的关系，得到灌注分级次数的明确规定。

6.2 施工准备

6.2.1 应根据交通条件确定运距短、交通顺畅的运输路线，并采用混凝土搅拌运输车运送管内混凝土。

6.2.2 灌注施工前应检查主拱圈各节段高程和轴线偏位监控设备以及相关预埋件的安装情况。

6.2.3 布设输送管宜遵循少弯管原则，与进料管相连的前3节输送管宜为直管，应设置足够的支点和悬挂点，不可悬空。支点上端应设置木垫块与泵管相连接，支点间距宜为2m～3m（见图6.2.1）。

【条文说明】在灌注管内混凝土时，输送管承受的冲击力较大。为了降低堵管和爆管的风险，宜遵循少弯管的原则。其次，与进料斗相连的前3节输送管承受最大的泵送混凝土冲击力，为了降低爆管风险，保证通过人员人身安全，前3节输送管不宜设置为弯管，宜设置为直管。最后，与进料斗相连的前3节输送管容易受地泵、布料机以及自身振动等因素的影响，容易发生倾覆和伤人事件，建议前3节输送管应设置足够的支点和悬挂点，不可悬空。

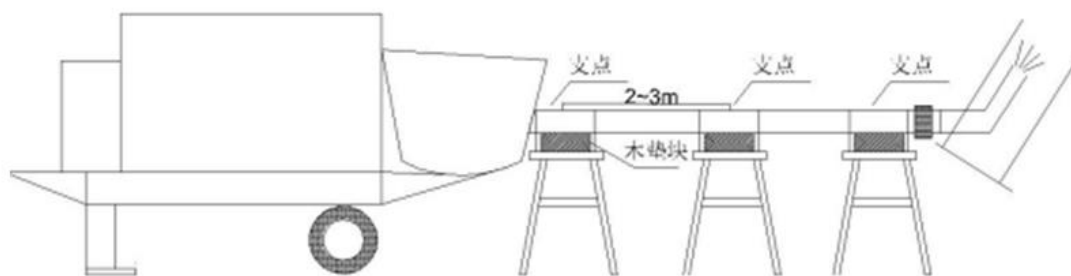


图 6.2.1 泵管支点布设示意图

6.2.4 拱顶段顶端倾斜布置排浆管，排浆管的直径宜为15 cm～25 cm，高度宜为1.5 m，排浆管的下端不应伸入主管内。

6.2.5 进浆管的材质、管径与输送管相同，进浆管的布设方向应跟主管相同，且其与主管的轴线夹角宜小于45°。在进浆管和拱肋相接处设置加劲肋，在距加劲肋1 m～2 m的位置设置止回阀。

6.2.6 管内混凝土灌注前应采用清水冲洗主管内侧管壁，清除管内污物并湿润管壁。

【条文说明】管内混凝土灌注前应采用清水清洗主管内壁，将管内的焊渣、塑料瓶等杂物清洗干净，以防止影响管内混凝土的密实度。

6.2.7 灌注施工前应开展各施工机械设备的联动试车，进行灌注演练。

6.2.8 灌注施工前，现场安全管理应符合JGJ 59的相关规定。

6.2.9 泵送混凝土时，混凝土进料口和弯头管道处应设置安全防护设施。

6.2.10 拱脚压注口至钢管底部的高差不宜超过1.5 m，如因地形条件限制，无法满足要求时，应在钢管底部设置排浆管，灌注时待排浆口排出合格混凝土后，从管口插入振捣棒进行适度振捣，然后将其封闭。

【条文说明】该规定为了减少拱脚处管内混凝土的骨料分离现象。

6.3 拌制和运输

6.3.1 拌制第一盘管内混凝土时，水泥和细骨料用量可增加 10%，但须保持水灰比不变。

6.3.2 原材料投料时，宜先投入粗细骨料、水泥、粉煤灰等矿物掺和料搅拌约 0.5 min，其次加入拌合用水搅拌约 1 min，最后加入减水剂搅拌约 0.5 min。当采用其他投料顺序时，应经试验确定其搅拌时间，搅拌应均匀。

6.3.3 管内混凝土应充分搅拌均匀，搅拌时间应比普通混凝土适当延长，具体时间应根据设备说明书及现场试拌试验确定。

6.3.4 管内混凝土的运输时间不宜大于 90 min，运至现场的搅拌时间不应小于 30 min。若最高气温低于 25℃时，运输时间可延长 30 min。当需要延长运送时间时，应采取经过试验验证的技术措施。

6.3.5 在运输途中，运输车的最高行驶速度不得超过 50 km/h，运输车搅拌筒的转动速度宜为（1~3） r/min。

6.3.6 混凝土在运输过程中，应保持混凝土运输车罐体不间断搅拌。卸料前，罐体宜高速旋转 20 s 以上。

6.3.7 若混凝土到达施工现场，发现坍落度较小无法入泵时，禁止向运输车内添加计量外用水。现场人员应在专职技术人员指导下加入外加剂，并快速转动料筒搅拌均匀。外加剂的数量和搅拌时间应经试验确定。

6.3.8 若混凝土到达施工现场时发生离析，则应进行废弃处理，废弃的混凝土应运输到指定地点进行处理。

6.4 真空辅助泵送施工

6.4.1 采用真空辅助泵送顶升压注法灌注混凝土前，应开展抽真空试验，检查进浆口、排浆口、阀门和结构管的气密性，确保 L/8、L/4、拱顶段和储浆桶上的真空压力表数值在-0.08 MPa~-0.09 MPa 范围内。

【条文说明】为了保证管内混凝土灌注过程中真空度维持在-0.07MPa~-0.08Mpa范围内，在灌注管内混凝土之前需要对主管的密封性进行检测。若进浆管、排浆管、阀门和结构管的气密性差，易发生抽真空时间过长、频繁抽真空等现象，进而延长单根主弦管的灌注时间。因此，本标准建议在混凝土灌注前，应连通真空泵与主弦管，启动真空泵，使管内真空压力达-0.08~-0.09MPa，并保持负压30min以上，检测进浆管、排浆管、阀门和结构管的气密性。

6.4.2 管内混凝土泵送至离压注口 5m 后应进行抽真空。

6.4.3 灌注过程中主管内真空压力不应低于-0.06 MPa，宜为-0.07 MPa~-0.08 MPa。

【条文说明】为了增强混凝土的密实度和与钢管结合的紧密性，提高钢管混凝土结构的质量。大量工程经验表明，管内混凝土灌注过程中管内真空压力不应低于-0.06MPa，当真空压力在-0.07MPa~-0.08MPa区间时，可有效减少管壁上附着的气泡数量以及提高管内混凝土的密实性，并使得钢管混凝土结构的使用性能得到大幅提高。

6.4.4 真空压力表应安装在拱肋的正上方，且其下方应设置阀门。真空压力表的位置宜高出进浆管 2 m 以上，且应避开焊缝 200 mm 以上。灌注完成后，应对真空压力表的孔位进行补焊，焊丝类型与拱肋焊缝使用相同。

6.4.5 混凝土灌注至拱顶后，应将浮浆泵送至储浆桶内，泵送入储浆桶内浆液的方量可按下式计算：

$$V_r=\pi D^2L/4 \dots\dots\dots(4)$$

式中：

V_r ——泵送入储浆桶内的浆液方量（ m^3 ）；

D ——主管横截面的直径（m）；

L ——沿主管的纵向的长度，宜为2m~3m。

【条文说明】管内混凝土泵送至拱顶后，为了保证真空压力恢复后管内混凝土不回落至主弦管，空气不回流至主弦管，应将润管砂浆、浮浆及部分合格混凝土泵送至储浆桶内，泵送的浆液方量应根据公式（4）确定。

6.4.6 当主管内的浆液到达储浆桶观察窗的位置时，应进行卸压、排浆和拆除真空胶管等操作，具体如下（见图 6.4.1）：

- a) 缓慢打开真空泵上的阀门，将储浆桶内的压力恢复至常压；
- b) 缓慢打开排浆管上的阀门，同时增大地泵的排量，确保排浆管内的混凝土不回落至主管内；
- c) 观察排浆口混凝土状态，待合格混凝土排出时，方可暂停泵送；
- d) 暂停泵送后，观察排浆管内混凝土液面，若 5 min 后混凝土无明显回落和气泡产生，即为完成灌注；若回落明显并伴随气泡产生，则再次泵送管内混凝土，直至混凝土液面无明显回落或气泡产生时，方为完成灌注；
- e) 拆除储浆桶和排浆管之间的真空胶管。

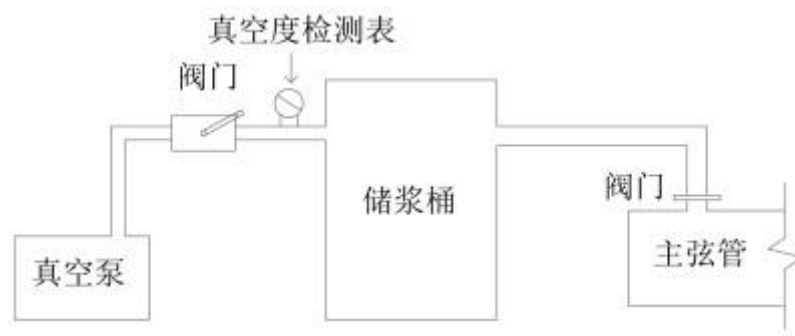


图 6.4.1 拱顶排浆示意图

6.4.7 当采用分级灌注混凝土时，泵送混凝土面接近排浆口时，应使钢管内恢复常压状态后再排浆，待排浆口排出合格混凝土后及时进行下一级的泵送施工。

6.4.8 泵送施工应保持施工连续性，直至拱顶排浆管排出合格混凝土后停止。管内混凝土灌注完成后，应将钢管的所有开孔封闭，防止管内水分蒸发。

6.5 施工管理

6.5.1 现场灌注开始之前

- a) 施工现场应不少于 2~3 车混凝土。
- b) 泵送管内混凝土前，应先泵送润管砂浆润滑输送管。

6.5.2 灌注过程中

- a) 应观察真空泵内冷却液的数量和温度，真空泵应正常运行。
- b) 管内混凝土输送泵正常工作时，料斗中的混凝土应保持在搅拌轴线以上 20 cm 的高度，不得少料或无料泵送。
- c) 夏季高温灌注混凝土时宜保持钢管外壁湿润。
- d) 检查现场安全设备，应保证人员安全
- e) 观察真空泵内冷却液的数量和温度，真空泵应正常运行。

6.5.3 灌注完成后

- a) 及时将混凝土泵、输送管、排浆口周围及储浆桶内残留的浆液清洗干净，宜对施工机械进行检查及维修。
- b) 停泵清洗泵机、输送管和料斗等设备中的混凝土时，相关人员不应站在排料口和弯管接头处。

6.6 施工监测

6.6.1 灌注施工前应监测原材料的入机温度，确保监测项目符合表 6.6.1 的规定。若不符合相关规定，应对原材料采取温度控制措施。当拌合用水超过规定要求时，宜采用足量冰

块对拌合用水进行降温。

表 6.6.1 原材料最高入机温度

原材料	最高入机温度 °C
水泥	60
骨料	30
水	25
粉煤灰、粒化高炉矿渣粉等矿物掺和料	60

6.6.2 灌注施工前应测定粗、细骨料含水率，并应根据其变化情况及时调整称量，确保管内混凝土拌合物的各项性能指标符合设计要求。

6.6.3 润管砂浆为管内混凝土除骨料以外其他成分同配合比的水泥砂浆。在泵送润管砂浆前应监测其性能，并应符合表 6.6.2 的规定。润管砂浆抗压强度的试验方法应符合国家标准 GB/T 17671 的规定。

【条文说明】本条规定了润管砂浆的基本性能和检验方法。

表 6.6.2 润管砂浆的性能

扩展度 (mm)	竖向限制膨胀率 %		抗压强度 MPa	
	3d	7d	3d	28d
≥250	≥0.10	≥0.20	≥30	≥60

6.6.4 管内混凝土灌注前应监测其入模温度和外界气温。管内混凝土的入模温度宜为 5 °C~30 °C。当外界气温高于 30 °C或主管外壁温度高于 60 °C时，宜采取喷淋降温措施。

【条文说明】为了防止管内混凝土水化热集聚，减少温度应力，避免和控制管内混凝土温度裂缝的出现或开裂。已有的试验资料和工程经验表明：当管内混凝土入模温度在5°C~30°C范围内时，可保证管内混凝土的灌注质量。当外界环境气温高于30°C或主弦管外壁温度高于60°C时，混凝土拌合物在运输过程中容易散失水分，容易出现拌合物坍落度损失过大、工作性能下降的现象，造成混凝土堵管。因此，本标准规定当环境气温高于30°C或主弦管外壁温度高于60°C时，宜采取喷淋降温措施。

6.6.5 应安排专职人员对拌合地点和施工地点的相关参数进行监测并记录，具体监测参数及频率应符合表 6.6.3、表 6.6.4 的规定。

表 6.6.3 拌合地点监测参数

项目	混凝土扩展度	温度	实际生产配合比	粗、细骨料含水率
监测频率	≥1次/3罐车	≥1次/3罐车	≥1次/1罐车	≥2次/班

表 6.6.4 施工地点监测参数

项目	混凝土扩展度	温度	地泵压力、流量
监测频率	≥1次/1罐车	≥1次/1罐车	≥1次/1罐车

6.6.6 灌注时，应监测混凝土的已泵送标高，可采取人工敲击管壁方式进行监测。拱桥两岸宜对称灌注。对称灌注的高差应满足设计文件要求，没有要求时，不应大于一个节间距离。若采用分级灌注方式，根据监测的混凝土到达位置，确定分级换管的操作时间及流程。当混凝土到达拱顶平直段时，根据监测结果调整混凝土生产用量及泵送速度，避免因断料停止泵送。

【条文说明】泵送顶升管内混凝土时，应由拱脚至拱顶两端对称均衡的泵送顶升。大量工程实践经验表明，当对称灌注高差超过一个节间距离时，容易导致拱肋变位。因此，本标准规定灌注管内混凝土时，拱桥两岸宜对称灌注。对称灌注的高差应满足设计文件要求，没有要求时，不应大于一个节间距离。若采用分级灌注方式，根据监测的混凝土到达位置，确定分级换管的操作时间及流程。当混凝土到达拱顶平直段时，根据监测结果调整混凝土生产用量及泵送速度，避免因断料停止泵送。

6.6.7 灌注时，应监测混凝土输送泵的压力。当混凝土输送泵压力过大时，不可勉强泵送，应降低混凝土的泵送速度和拌合站的供料速度，并调整后续混凝土的流动性能。若输送管堵塞时，可用木槌敲击管路，找出堵塞的管段，关闭回流阀，卸压后拆卸堵管段，取出堵塞的混凝土杂物，并检查其余管路无堵塞后方可接管。重新压注混凝土时，应先打开回流阀门再进行泵送。

7 施工监控和质量检测

7.1 一般规定

7.1.1 混凝土在灌注过程中应对拱肋进行施工监控，混凝土体积稳定后应对灌注密实性进行检测。

7.1.2 钢管混凝土密实性质量检测常见方法有：敲击检测法、超声波检测法、钻孔检测法。

7.2 施工监控

7.2.1 管内混凝土灌注前后，宜监测拱肋应力。

7.2.2 灌注前后，应监测钢管混凝土拱桥的轴线偏位、拱圈高程和对称点高差，监测结果应符合表 7.2.1 的规定。

表 7.2.1 质量监测

序号	监测项目		规定值或允许偏差		检查方法和频率
1	轴线偏位（mm）		L≤60 m	10	5个工况（灌注前、方量1/3、方量2/3、完成时、完成24h）7个断面
			L=200 m	30	
			L>200 m	L/4 000且不大于40	
2	拱圈高程（mm）		±L/3 000且不大于±50		5个工况7个断面
3	对称点高差（mm）	允许	L/3 000且不大于40		检查各接头点
		极值	允许偏差的2倍且反向		
注：L为跨径，当L在60m～200m时，轴线偏位允许偏差可用现行内插法确定。劲性骨架钢管混凝土拱桥质量监测参数和评价标准可参照执行。					

【条文说明】本条参照现行行业标准《公路工程质量检验评定标准》JTG F80 第 8.8.6 条和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 第 15.8.5 条的规定而制订。

7.3 质量检测

7.3.1 利用人工敲击检测初步确定钢管混凝土灌注质量，标记疑似不密实部位。根据敲击声响，如果声音沉而哑，表明钢管内混凝土已经填充饱满；如果声音有异常，则要作进一步的检查。

7.3.2 超声波检测点应均匀分布于全桥主拱肋，可在拱顶、进浆口附近及法兰盘等位置适当增加测点。

【条文说明】为了把控钢管混凝土拱桥管内混凝土的灌注质量，超声波检测点应均匀分布于全桥主拱肋。此外，拱顶、进浆口及法兰盘等部位容易汇聚气泡，形成局部脱空脱粘。因此，本标准规定在拱顶、进浆口附近及法兰盘等位置适当增加超声波检测测点。

7.3.3 布置测点时，先将钢管外壁周长平均分为 8 等分，在钢管测试部位画出若干根母线

和等间距的环向线，线间距宜为 150 mm～300 mm。

7.3.4 管内混凝土超声波检测应采用径向对测的方法，并保证每一个环线上的 T、R 换能器连线通过圆心且垂直管壁（见图 7.3.1）。

【条文说明】在钢管圆周和母线方向等分、等距画线布置测点，其目的是为了保证每一对测点的直达声波都通过钢管混凝土圆心且垂直管壁。

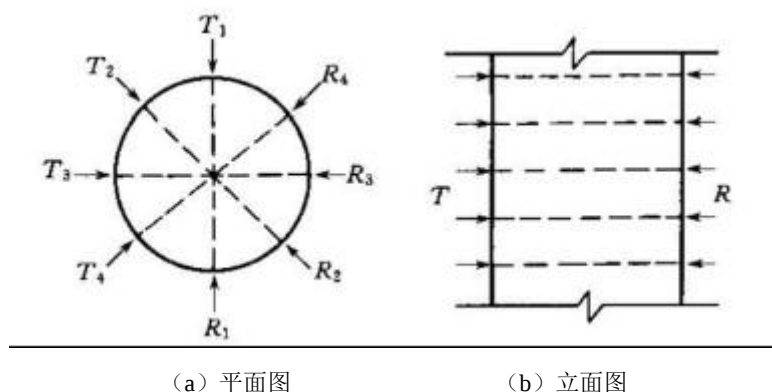


图 7.3.1 管内混凝土超声波检测示意图

7.3.5 沿钢管壁环向测试时，逐点读取声时、波幅和主频。当某环向测位的数据离散型较大或数据较少时，采用可疑测位和正常测位对比的方式，综合判定所测部位管内混凝土的灌注质量。

【条文说明】通过圆心依次逐断面径向对测，是钢管混凝土最基本的检测方法，可直接用钢管标称外径作为测距计算声速，便于检测数据的比较分析。若当某环向测位的数据离散型较大或数据较少时，采用可疑测位和正常测位对比的方式，综合判定所测部位管内混凝土的灌注质量。

7.3.6 当敲击检测和超声波检测结果发现异常时，应进行钻孔检测，检测间距宜为 3 m～6 m。

7.3.7 利用磁力钻在缺陷位置钢管壁上开设梅花形孔位灌浆，孔位间距宜为 200 mm～300 mm。

7.3.8 钻孔验证后，需要采用高压灌浆设备将高强水泥浆或环氧砂浆从灌浆嘴中压注缺陷部位。

7.3.9 压力灌浆结束后，清除灌浆嘴，并将钻孔封闭修复。

7.4 缺陷修复及补强

7.4.1 当检测发现钢管内混凝土脱粘率 $>20\%$ 或脱粘空隙厚度 $>3\text{ mm}$ 时，应对脱粘区域进行缺陷修复补强处理。

【条文说明】对钢管混凝土拱肋的脱粘，当程度较轻（脱粘率不大于 20%且脱粘空隙厚度不大于 3mm）时，对结构性能影响较小且压浆补强施工难度较大，因此可暂不进行压浆补

强，但应密切注意其发展情况，发展到一定程度应进行压浆补强；而当钢管混凝土拱肋脱粘(角度)率大于 20%或脱粘空隙厚度大于 3mm 时，钢管与混凝土的脱粘对钢管混凝土的刚度和承载能力削弱影响较大，且此时压浆补强施工难度也降低了，应进行压浆处理。研究表明，对发生脱粘的钢管混凝土采用压浆处理后，钢管混凝土原有的力学性能基本恢复。

7.4.2 缺陷修复补强的材料宜采用环氧砂浆或其他填充裂缝材料。

【条文说明】针对缺陷修复补强材料，宜采用环氧砂浆或其他填充裂缝材料。实践证明，当采用由水泥、硅灰、膨胀剂、高效减水剂等原材料制备的与混凝土具有相同强度等级的无收缩水泥浆做填充材料时，缺陷修复的效果有待进一步提升；而当采用由环氧树脂、精细石英砂等原材料制备的环氧砂浆进行缺陷修复时，修复补强效果较好。

7.4.3 应对缺陷修复补强材料进行强度试验，其抗压强度不得低于混凝土设计强度。

7.4.4 灌注压浆材料前，应在脱粘区域设置进浆口与出浆口，进浆口和出浆口应分别对应脱空部位的最低处和最高处。

7.4.5 应待压浆强度达到 80%以上后进行钻孔补焊、封固。

7.4.6 待压浆材料灌注 7d 后，对该区域进行超声波检测，检测结果应符合设计文件中的相关规定。

【条文说明】为了确保压浆质量，本规定待压浆材料灌注7天后，对该区域进行超声波检测，检测结果应符合设计文件中的相关规定。

8 管内混凝土质量验收

8.1 一般规定

8.1.1 混凝土强度应按现行国家标准 GB/T 50107 的规定分批检验评定。

8.1.2 检验评定混凝土强度时，宜采用 90d 或设计规定龄期的同条件养护试件。

8.1.3 当混凝土试件强度评定不合格时，应委托具有资质的检测机构按国家现行有关标准的规定对结构构件中的混凝土强度进行检测推定，并按照国家标准 GB 50300 的规定，给出了当检验批质量不符合要求的处理办法。

8.2 原材料

8.2.1 水泥的验收应包括质量证明文件和抽样检验报告，其中质量证明文件包括水泥产品合格证、有效的型式检验报告、出厂检验报告等；抽样检验报告应包括水泥的强度、安定性、凝结时间等性能检验报告。

8.2.2 验收混凝土外加剂的质量证明文件，包括产品合格证、有效的型式检验报告、出厂检验报告。

8.2.3 验收粗、细集料的抽样检验报告，其中粗集料的抽样检验报告包括密度、筛分、含泥量、泥块含量、针片状颗粒含量、压碎值、坚固性、吸水率、空隙率、碱集料反应检测项目，细集料的抽样检测报告包括筛分、密度、含泥量、泥块含量、有害物质含量、空隙率、人工砂石粉含量、坚固性检测项目。

8.2.4 验收混凝土掺合料质量证明文件和抽样检验报告，其中质量证明文件包括产品合格证、有效的型式检验报告、出厂检验报告，抽样检验报告中粒化高炉矿渣包括密度、比表面积、活性指数、流动度比、含水率、三氧化硫、氯离子、烧失量、玻璃体含量、放射性、氧化镁、需水量比检测项目；粉煤灰包括细度（45 μm 方孔筛余）、比表面积、烧失量、需水量比、含水率、游离氧化钙、三氧化硫、安定性、均匀性、总碱量、活性指数检测项目；硅灰包括细度（45 μm 方孔筛余）、烧失量、氯离子、二氧化硅、含水率、需水量比、活性指数、总碱量检测项目。

8.2.5 验收混凝土用水抽样检验报告，抽样检验报告应包括 pH 值、氯化物、不溶物、可溶物、硫酸盐、碱含量检测项目。

8.3 混凝土拌合物

8.3.1 混凝土验收文件主要有：

- a) 混凝土配合比通知单；
- b) 混凝土质量合格证；

- c) 混凝土拌合物扩展度和扩展度经时损失、凝结时间、扩展时间、含气量性能试验报告；
- d) 混凝土运输单预计合同规定的其他资料。

8.4 工程质量验收

8.4.1 工程质量验收材料应包括以下内容：

- a) 检查钢管内混凝土强度和同条件养护的混凝土试件强度试验报告
- b) 检查钢管内混凝土的工作性能和收缩性能的相关施工记录
- c) 检查钢管内混凝土浇筑工艺试验报告和混凝土浇筑施工记录

附录 A 混凝土限制膨胀率试验方法

A.0.1 补偿收缩混凝土的限制膨胀率应符合表 A.0.1 的规定

表 A.0.1 补偿收缩混凝土的限制膨胀率

用途	限制膨胀率 (%)	
	水中 14d	水中 14d 转空气 28d
用于补偿混凝土收缩	≥ 0.015	≥ -0.030
用于后浇带、膨胀加强带和工程接缝填充	≥ 0.025	≥ -0.020

A.0.2 补偿收缩混凝土限制膨胀率的试验和检验应按照现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的有关规定进行

A.0.3 限制膨胀率的设计取值应符合表 A.0.2 的规定。使用限制膨胀率大于 0.060% 的混凝土时，应预先进行试验研究。

A.0.2 限制膨胀率的设计取值

结构部位	限制膨胀率 (%)
板梁结构	≥ 0.015
墙体结构	≥ 0.020
后浇带、膨胀加强带部位	≥ 0.025

A.0.4 限制膨胀率的取值应为 0.005% 的间隔为一个等级

A.0.5 对于下列情况，表 A.0.2 中限制膨胀率取值宜适当增大：

- 1) 强度等级大于等于 C50 的混凝土，限制膨胀率宜提高一个等级；
- 2) 约束程度大的桩基础底板等构件；
- 3) 气候干燥地区、夏季炎热且养护条件差的构件；
- 4) 结构总长度大于 129m；
- 5) 屋面板；
- 6) 室内结构越冬外露施工。

A.0.6 膨胀剂掺量应根据设计要求的限制膨胀率，并应采用实际工程使用的材料，经过混凝土配合比试验后确定。配合比试验的限制膨胀率值应比设计值高 0.005%，试验时，每立方混凝土膨胀剂的用量可按照表 A.0.3 选取。

A.0.3 每立方混凝土膨胀剂的用量

用途	混凝土膨胀剂的用量 (kg/m ³)
用于补偿混凝土收缩	30~50
用于后浇带、膨胀加强带和工程接缝填充	40~60

附录 B 混凝土自生体积变形试验方法

B.0.1. 本实验用于测定混凝土在恒温绝湿的无外荷载的条件下，仅仅由于胶凝材料的水化作用引起的的体积变形，即自生体积变形，本实验方法可供不同混凝土自生体积变形的相对比较。

B.0.2. 仪器设备包括以下几种：

- 1) 测量仪表：测量仪器：差动式电阻应变计（长度用不小于骨料最大粒径的 3 倍）、水工比例电桥等，精度不大于 4×10^{-6} ；率定设备：包括应变计率定器、很稳水槽、标准温度计（0~50℃，精度 0.1℃）、兆欧表。
- 2) 密封试件桶：用镀锌板或其他密封材料制成，尺寸为直径 200mm，高度 500~600mm。

B.0.3. 试验步骤应按以下规定执行：

- 1) 按规定检查和率定应变计
- 2) 密封试件桶在试验前应进行严格检查，要求密封桶不渗水不透气。在密封桶内壁衬一层厚约 1~2mm 橡皮板或涂抹一层厚约 0.3~0.5mm 沥青隔离层。
- 3) 将应变计垂直固定在试件桶中心，并注意在成型时不应使应变计损坏。
- 4) 成型试件前、后，量测应变计的电阻计电阻比，做好记录。
- 5) 按相关规定拌制混凝土，拌合物中粒径超过 40mm 的骨料需用湿筛法剔除，并记录试件灰浆率。
- 6) 将混凝土拌合物分三层装入密封桶内，人工插捣或振动台振捣密实，每组试件至少两个。
- 7) 试件成型后，应尽快将密封桶的盖板紧贴试件端部盖好，周边及应变计电缆口处应密封，以防止试件水分散失。
- 8) 试件密封后应及时量测应变计的电阻及电阻比，并将试件设置在温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的环境中养护，避免振动。
- 9) 基准值得规定：除有特殊要求外，一般以成型后 24h 应变计的测值为基准值。
- 10) 测量时间：成型后 2h、6h、12 h 、24 h 各量测应变计电阻及电阻比一次，以后每天量测一次至两周，然后每周量测 1~2 次，半年后每月量测 1~2 次，龄期一年。

B.0.4. 试验结果处理应按以下规定执行：

混凝土自生体积变形公式（B.0.1）和公式（B.0.2）计算（准确至 1×10^{-6} ）：

$$G_f = f(Z-Z_b) + (b-a)(T-T_0) \quad (\text{B.0.1})$$

$$T = a'(R-R_0) \quad (\text{B.0.2})$$

式中 G_f —混凝土自生体积变形, 10^{-6}

f —应变计应变灵敏度, $10^{-6}/(0.01\%)$;

Z —测量的电阻比, 0.01% ;

Z_b —电阻比基准值, 0.01% ;

b —应变计温度补偿系数, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;

a —混凝土线膨胀系数, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;

T —实测温度, $^{\circ}\text{C}$

T_0 —温度基准值, $^{\circ}\text{C}$

a' —应变计温度灵敏度系数, $^{\circ}\text{C}/\Omega$

R —观测电阻, Ω

R_0 — 0°C 电阻, Ω

本标准用词说明

- 1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - a) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - b) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - c) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - d) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其它有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》 GB/T 1596
- 2 《混凝土外加剂》 GB 8076
- 3 《水泥胶砂强度检验方法（ISO法）》 GB/T 17671
- 4 《砂浆和混凝土用硅灰》 GB/T 27690
- 5 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》 GB/T 18046
- 6 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》 GB/T 18736
- 7 《混凝土膨胀剂》 GB/T 23439
- 8 《混凝土外加剂应用技术规范》 GB 50119
- 9 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》 GB/T 50080
- 10 《混凝土物理力学性能试验方法标准》 GB/T 50081
- 11 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》 GB/T 50082
- 12 《混凝土搅拌运输车》 GB/T 26408
- 13 《混凝土搅拌站（楼）》 GB/T 10171
- 14 《混凝土强度检验评定标准》 GB/T 50107
- 15 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 16 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 JGJ 52
- 17 《建筑施工安全检查标准》 JGJ 59
- 18 《混凝土用水标准》 JGJ 63
- 19 《高强混凝土应用技术规程》 JGJ/T 281
- 20 《自密实混凝土应用技术规程》 JTG/T 283
- 21 《补偿收缩混凝土应用技术规程》 JGJ/T 178
- 22 《特大跨径公路桥梁施工测量规范》 JTG/T 3650
- 23 《公路桥涵施工技术规范》 JTG/T F50
- 24 《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》 JTG F80
- 25 《混凝土泵送施工技术规程》 JGJ/T 10
- 26 《水工混凝土试验规程》 SL 352
- 27 《混凝土用钙镁复合膨胀剂》 T/CECS 10082
- 28 《高性能混凝土应用技术规程》 CECS 207