



T/CECS 1047—2022

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 施工技术标准

Technical standard for concrete construction in
tube of concrete-filled steel tube arch bridge

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	材 料	(4)
3.1	一般规定	(4)
3.2	水泥	(4)
3.3	细集料	(5)
3.4	粗集料	(6)
3.5	外加剂	(7)
3.6	掺合料	(8)
3.7	水	(9)
4	管内混凝土性能	(10)
4.1	拌和物性能	(10)
4.2	力学性能	(10)
4.3	体积稳定性能	(11)
5	配合比设计	(12)
6	施工机械设备	(13)
6.1	一般规定	(13)
6.2	机械设备选型	(13)
6.3	机械设备管理	(16)
7	管内混凝土灌注施工	(17)
7.1	一般规定	(17)
7.2	施工准备	(18)

7.3	拌制和运输	(19)
7.4	真空辅助泵送施工	(19)
7.5	施工管理	(21)
7.6	施工监测	(22)
8	质量检测和缺陷修复补强	(25)
8.1	一般规定	(25)
8.2	质量检测	(25)
8.3	缺陷修复及补强	(27)
	用词说明	(28)
	引用标准名录	(29)
	附:条文说明	(31)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Materials	(4)
3.1	General requirements	(4)
3.2	Cement	(4)
3.3	Fine aggregate	(5)
3.4	Coarse aggregate	(6)
3.5	Additive	(7)
3.6	Admixture	(8)
3.7	Water	(9)
4	Performance of concrete in tube	(10)
4.1	Performance of concrete mixture	(10)
4.2	Mechanical performance	(10)
4.3	Volume stability	(11)
5	Proportioning design	(12)
6	Construction machinery and equipment	(13)
6.1	General requirements	(13)
6.2	Mechanical equipment selection	(13)
6.3	Mechanical equipment management	(16)
7	Concrete pouring construction in the tube	(17)
7.1	General requirements	(17)
7.2	Preparation for construction	(18)

7.3	Mixing and transportation	(19)
7.4	Vacuum-assisted pumping construction	(19)
7.5	Construction management	(21)
7.6	Construction monitoring	(22)
8	Quality monitoring, defect repair and reinforcement	(25)
8.1	General requirements	(25)
8.2	Quality monitoring	(25)
8.3	Defect repair and reinforcement	(27)
	Explanation of wording	(28)
	List of quoted standards	(29)
	Addition: Explanation of provisions	(31)

1 总 则

- 1.0.1** 为规范钢管混凝土拱桥管内混凝土施工的技术要求,做到技术先进、安全适用、经济合理,制定本标准。
- 1.0.2** 本标准适用于跨径 200m 及以上的公路钢管混凝土拱桥管内混凝土的真空辅助泵送顶升施工。
- 1.0.3** 钢管混凝土拱桥管内混凝土施工应建立相应的管理责任体系,明确责任制,确保工程质量、安全生产和环境保护满足相关要求。
- 1.0.4** 钢管混凝土拱桥管内混凝土施工除应符合本标准规定外,尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 钢管混凝土拱桥 concrete-filled steel tube arch bridge

以圆形钢管混凝土为基本单元所形成的拱肋为主要承重结构的桥梁。

2.1.2 管内混凝土 concrete in tube

在泵送压力的作用下,能够沿输送管顶升并充满拱桥拱肋主弦管的混凝土,具有自密实、均质、收缩补偿等性能。

2.1.3 膨胀剂掺量 addition percentage of expansive agent in binding material

混凝土中膨胀剂占胶凝材料质量的百分含量。

2.1.4 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。

2.1.5 真空辅助泵送顶升压注法 vacuum aided pumping-up method

先用真空泵将拱桥拱肋主弦管管内抽成大气负压,在保持负压状态下采用混凝土输送泵将管内混凝土从拱脚向拱顶顶升灌注的施工方法。

2.1.6 管内混凝土超声波检测法 ultrasonic method for concrete in pipe

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,判断管内混凝土密实性的方法。

2.1.7 脱空 cavity due to debonding

由施工工艺等原因形成的拱桥管内混凝土出现大于 3mm 的缝隙现象。

2.1.8 脱空率 debonding rate

脱空截面积与钢管混凝土组合截面积的比值。

2.2 符 号

L ——拱桥跨径；

L_s ——混凝土运输距离；

N ——混凝土搅拌运输车台数；

Q_1 ——每台混凝土泵的平均实际输出量；

S ——混凝土搅拌运输车时速；

T ——每台混凝土搅拌车总计停歇时间；

T_{500} ——扩展时间；

V_1 ——每台混凝土搅拌运输车容量；

η_v ——混凝土运输车容量折减系数，可取 0.90~0.95。

3 材 料

3.1 一 般 规 定

3.1.1 管内混凝土所用材料均应符合国家现行相关产品标准的规定,原材料的性能和质量应在进场时进行检验。

3.1.2 管内混凝土所用每种材料宜来自同一厂家且为同一品种和规格。

3.1.3 管内混凝土所用材料应提前备料,宜一次备足所需各种材料。备料量不应小于单次管内混凝土灌注方量所需各种材料数量的 1.1 倍。

3.2 水 泥

3.2.1 水泥除应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定外,尚应符合下列规定:

1 宜选用强度等级为 42.5 级或 52.5 级、铝酸三钙含量不大于 8%、比表面积 $300\text{m}^2/\text{kg}\sim 350\text{m}^2/\text{kg}$ 的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥;

2 当配制 C80 及以上强度等级的管内混凝土时,水泥 28d 胶砂强度不宜低于 50MPa。

3.2.2 水泥进场时,应检查水泥品种、强度等级、出厂日期、合格证明文件等,并应分批次对水泥进行抽检。水泥的检验试验方法应符合现行行业标准《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG 3420 的有关规定,抽检项目和频率应符合表 3.2.2 的规定。

表 3.2.2 水泥抽检项目及频率

类别	必检项目	可检项目	抽检频率
水泥	强度、安定性、凝结时间、细度	烧失量、三氧化硫、氧化镁、氯离子、碱含量	1次/批,袋装水泥每200t为一个检验批,散装水泥每500t为一个检验批。不足500t或200t时,也按一个检验批计

注:必检项目应按批次检查,可检项目可根据需要检查。

3.2.3 水泥宜采用散装水泥,工地上应采用水泥罐储存,罐内不应混合其他矿物掺合料,并应防止受潮。当水泥存放时间超过3个月或对水泥质量有怀疑时,应重新取样复验,并应以复验结果为准。

3.3 细集料

3.3.1 细集料除应符合现行国家标准《建筑用砂》GB/T 14684的有关规定外,尚应符合下列规定:

- 1 宜采用级配良好、质地坚硬、颗粒洁净的河砂或机制砂;
- 2 宜采用细度模数为2.6~3.0的Ⅱ区中砂;
- 3 细集料的技术指标应符合表3.3.1的规定。

表 3.3.1 细集料的技术指标

类别	项目	技术要求	
		I类	Ⅱ类
河砂	含泥量(按质量计,%)	≤2.0	
	泥块含量(按质量计,%)	≤0.5	
机制砂	亚甲蓝(MB)值	≤1.0	<1.4
	石粉含量(按质量计,%)	≤10.0	≤5.0
	泥块含量(按质量计,%)	≤0.5	
	单级最大压碎指标(%)	≤25.0	

注:1 细集料按产源分为河砂和机制砂,按技术要求分为I类、Ⅱ类;

2 石粉含量是指机制砂中粒径小于75μm的颗粒含量。

3.3.2 细集料进场抽检项目及频率应符合表3.3.2的规定。检验试验方法应符合现行行业标准《公路工程集料试验规程》JTG

E42 的有关规定。

表 3.3.2 细集料抽检项目及频率

类别	必检项目	可检项目	抽检频率
河砂	外观、筛分、细度模数、有机物含量、含泥量、泥块含量	坚固性、有害物质含量、氯离子含量、碱活性、放射性	1 次/批,不超过 400m ³ 或 600t 为一个检验批;小批量进场时宜以不超过 200m ³ 或 300t 为一个检验批
机制砂	外观、筛分、细度模数、有机物含量、石粉含量、泥块含量		

3.4 粗集料

3.4.1 粗集料除应符合现行国家标准《建设用卵石、碎石》GB/T 14685 的有关规定外,尚应符合下列规定:

- 1 粗集料宜采用质地坚硬、级配良好、无风化颗粒的碎石,碎石最大公称粒径不应大于 20mm;
- 2 粗集料宜根据最大公称粒径采用连续两级配或连续多级配;
- 3 粗集料的技术指标应符合表 3.4.1 的规定;

表 3.4.1 粗集料的技术指标(%)

项目	技术要求
碎石压碎指标	≤10.0
坚固性(硫酸钠溶液法质量损失值)	≤5.0
吸水率	≤1.5
针片状颗粒含量(按质量计)	≤5.0
含泥量(按质量计)	≤0.5
泥块含量(按质量计)	≤0.2
连续级配松散堆积空隙率	≤43.0

4 当配制 C70 及以下强度等级管内混凝土时,所用粗集料的岩石抗压强度与混凝土设计强度之比不宜小于 1.5;

5 当配制 C70 以上强度等级管内混凝土时,所用粗集料的

岩石抗压强度与混凝土设计强度之比不宜小于 1.3。

3.4.2 粗集料进场抽检的项目和频率应符合表 3.4.2 的规定。检验试验方法应符合现行行业标准《公路工程集料试验规程》JTG E42 的有关规定。

表 3.4.2 粗集料的抽检项目和频率

类别	必检项目	可检项目	抽检频率
粗集料	外观、颗粒级配、针片状颗粒含量、含泥量、泥块含量、压碎值	坚固性、有害物质限量、氯离子含量、碱活性、放射性	1 次/批,不超过 400m ³ 或 600t 为一个检验批;小批量进场时宜以不超过 200m ³ 或 300t 为一个检验批

3.4.3 粗集料在生产、运输与储存过程中,不应混入影响混凝土性能的有害物质。粗集料应按规格分别堆放在具有排水功能的硬质地面上,并应做好遮雨、防尘措施。

3.5 外加剂

3.5.1 减水剂除应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的有关规定外,尚应符合下列规定:

1 减水剂宜采用聚羧酸高性能减水剂,并应与水泥、矿物掺合料相容,掺量应经试验确定;

2 减水剂的保坍、缓凝等性能应结合施工环境与条件、原材料波动等因素经试验确定;

3 减水剂使用前应按现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的有关规定进行复验,复验结果满足要求后方可用于工程中。

3.5.2 膨胀剂除应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 中关于凝结时间、抗压强度等指标的有关规定外,尚应符合下列规定:

1 膨胀剂的限制膨胀率应符合表 3.5.2 的规定;

表 3.5.2 膨胀剂的限制膨胀率(%)

环境与条件	限制膨胀率指标要求	检验方法
20℃、水中、7d	≥ 0.050	现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439
20℃、空气中、21d	≥ 0.000	
60℃水中 28d 与 3d 限制膨胀率的差值($\Delta\epsilon$)	$\geq 0.015, \leq 0.060$	现行协会标准《混凝土用钙镁复合膨胀剂》T/CECS 10082

2 宜采用钙镁复合膨胀剂,膨胀剂掺量应根据设计文件中对管内混凝土自生体积变形的要求并通过试验确定。

3.5.3 减水剂进场抽检的项目、频率和方法应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的有关规定。

3.5.4 膨胀剂进场抽检的项目、频率和方法应符合现行国家标准《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 的有关规定和本标准表 3.5.2 的规定。

3.5.5 减水剂应单独存放,并应防晒、防潮。膨胀剂贮存时,不应受潮或混入杂物。

3.6 掺合料

3.6.1 管内混凝土的矿物掺合料可选择粉煤灰、粒化高炉矿渣粉和硅灰。粉煤灰、粒化高炉矿渣粉和硅灰除应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596、《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 和《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的有关规定外,尚应符合下列规定:

1 掺合料应保证产品品质稳定,来料均匀,掺量应在使用前通过试验确定;

2 当采用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉和硅灰等矿物掺合料配制 C70 及以上强度等级的管内混凝土时,粉煤灰等级宜采用 I 级,粒化高炉矿渣粉不宜低于 S95 级,硅灰的 SiO_2 含量宜大于 90%、比表面积不宜小于 $15 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{kg}$ 、7d 活性指数不宜小于 105%;

3 当配制 C60 及以下强度等级的管内混凝土时,可采用 II

级粉煤灰与硅灰复掺的方式改善泵送性能和力学性能,掺量应经试验确定;

4 当采用其他矿物掺合料时,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 掺合料进场的抽检项目和频率应符合表 3.6.2 的规定。检验试验方法应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596、《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 和《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的有关规定。

表 3.6.2 掺合料的抽检项目和频率

类别	项目	抽检频率
粉煤灰	细度(45 μm 方孔筛余)、需水量比、烧失量、含水量、三氧化硫质量分数、游离氧化钙质量分数、总质量分数(二氧化硅、三氧化二铝、三氧化二铁)、密度、安定性、强度活性指数	以 500t 相同种类的粉煤灰为一个检验批,不足 500t 按一个检验批计
粒化高炉矿渣粉	密度、比表面积、活性指数(7d、28d)、流动度比、初凝时间比、含水量、三氧化硫、氯离子、烧失量、不溶物、玻璃体含量、放射性	以 500t 相同种类的粒化高炉矿渣粉为一个检验批,不足 500t 按一个检验批计
硅灰	固含量(液料)、总碱量、二氧化硅含量、氟含量、含水率(粉料)、烧失量、需水量比、比表面积、活性指数、放射性、抑制碱骨料反应性、抗氯离子渗透性	以 30t 相同种类的硅灰为一个检验批,不足 30t 按一个检验批计

3.6.3 矿物掺合料应按品种分别储存,储存时应有明显标识,并应做好防雨、防潮措施。矿物掺合料严禁与其他粉状材料混淆。

3.7 水

3.7.1 管内混凝土拌和用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定。

3.7.2 水的检验试验方法应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定。

4 管内混凝土性能

4.1 拌和物性能

4.1.1 试验室条件下,管内混凝土拌和物的性能宜符合下列规定:

1 混凝土拌和物的坍落扩展度宜为 550mm~750mm,扩展时间 T_{500} 宜为 3s~10s;

2 坍落扩展度与 J 环扩展度差值宜为 0~25mm,混凝土拌和物离析率不宜大于 15.0%;

3 倒置坍落度筒排空时间宜为 3s~10s;

4 混凝土拌和物的含气量宜小于 2.0%;

5 3h 坍落扩展度经时损失宜小于 30mm。

4.1.2 入泵时,管内混凝土拌和物的性能应符合下列规定:

1 拌和物应搅拌均匀、颜色一致,不应有离析;

2 入泵坍落扩展度(SF)不应小于 550mm,且不应大于 750mm,宜为 600mm~700mm;扩展时间 T_{500} 宜为 3s~7s;

3 采用接力泵送顶升分仓连续施工时,初凝时间应大于完成灌注一根弦管所需时间;采用分仓不连续施工时,初凝时间应大于完成本仓灌注所需时间;

4 在低气压、大温差等特殊环境下灌注管内混凝土时,宜调整配合比及外加剂掺量。

4.1.3 管内混凝土拌和物的坍落扩展度、坍落扩展度经时损失、倒置坍落度筒排空时间、含气量、扩展时间、凝结时间、间隙通过性和抗离析性能试验方法,应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的有关规定。

4.2 力学性能

4.2.1 管内混凝土的力学性能应满足设计要求。

4.2.2 管内混凝土力学性能试验方法应符合现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定。

4.3 体积稳定性能

4.3.1 管内混凝土 3d 自生体积变形不宜低于 150×10^{-6} , 56d 自生体积变形不宜低于 50×10^{-6} 。

4.3.2 管内混凝土自生体积变形试验方法应符合现行行业标准《水工混凝土试验规程》SL/T 352 的有关规定。

5 配合比设计

5.0.1 管内混凝土配合比设计应根据构件类型、灌注施工工艺、现场环境等因素确定,并应满足设计所需要的抗压强度、弹性模量、自生体积变形等技术指标和施工性能要求。

5.0.2 管内混凝土可根据拱肋受荷时间采用 28d、60d 或 90d 的强度作为配合比设计、强度评定及工程验收的依据。设计图纸中应明确强度评定龄期。

5.0.3 管内混凝土配合比设计,除应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55 的有关规定外,尚应符合下列规定:

1 配合比设计宜采用绝对体积法;

2 水胶比不宜大于 0.35;

3 砂率宜为 40%~50%;

4 当采用 3 个不同的配合比进行混凝土强度试验时,其中一个应为基准配合比,另外两个配合比的水胶比宜较基准配合比分别增加和减少 0.02~0.03;

5 设计配合比确定后,应进行混凝土工作性能和配制强度验证;其中,混凝土工作性能应在减水剂用量 $\pm 15\%$ 的范围内进行验证,且工作性能均应满足施工要求;配制强度验证应采用设计配合比进行不少于 6 次的重复试验,且强度平均值不应低于配制强度。

5.0.4 管内混凝土设计配合比应在生产和施工前进行现场试拌调整,应以调整后的配合比作为施工配合比。

5.0.5 施工配合比宜通过模拟泵送顶升压注试验加以验证。

6 施工机械设备

6.1 一般规定

- 6.1.1 施工机械设备的性能和数量应满足施工方案要求。
- 6.1.2 施工机械设备进场时,设备性能应经单独检验合格。
- 6.1.3 施工现场应配备发电机组,并应设置短路保护、过负荷保护。
- 6.1.4 施工现场用电作业应符合现行行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 的有关规定。

6.2 机械设备选型

6.2.1 当设计文件和施工方案对施工所需机械设备的数量无明确要求时,施工机械设备的数量应符合下列规定:

- 1 混凝土搅拌站(楼)不宜少于1套,且搅拌主机不应少于2台;
- 2 采用单级灌注管内混凝土时,混凝土输送泵不宜少于4台,其中2台备用;采用2级~4级分级灌注时,混凝土输送泵不宜少于6台,其中2台备用;
- 3 抽真空设备不宜少于2套;
- 4 用于吊移混凝土输送泵的吊车,两岸拱脚处每端不宜少于1台。

6.2.2 混凝土运输车的数量应满足不间断施工要求,可按下列公式计算:

$$N = \frac{Q_1}{V_1 \eta_v} \left(\frac{L_s}{S} + T \right) + 1 \quad (6.2.2)$$

式中 N ——混凝土搅拌运输车台数(台);

- Q_1 ——每台混凝土泵的实际平均输出量(m^3/h);
- V_1 ——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;
- L_s ——混凝土搅拌运输车往返距离(km);
- S ——混凝土搅拌运输车平均行车速度(km/h);
- T ——每台混凝土搅拌车总计停歇时间(h)。

6.2.3 搅拌站(楼)除应符合现行国家标准《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站(楼)》GB/T 10171 的有关规定外,尚应符合下列规定:

1 搅拌站(楼)中搅拌主机的混凝土实际生产率,宜根据混凝土的最大初凝时间、每次灌注混凝土方量、输送泵的泵送能力等因素综合确定;

2 搅拌站(楼)的计量设备应经质量技术监督局检定合格;

3 搅拌站(楼)使用过程中应对计量设备进行动态标定,原材料每盘称量的允许偏差(按重量计)应符合表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3 原材料每盘称量的允许偏差(按重量计)(%)

材料名称	允许偏差	依据标准
水泥、膨胀剂、矿物掺合料	±1	现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650
粗、细骨料	±2	
水、外加剂	±1	

6.2.4 混凝土输送泵的型号和规格宜根据工程特点、泵送垂直高度和水平距离、混凝土工作性能等因素确定,输送泵的额定工作压力应大于管内混凝土的最大泵送阻力。

6.2.5 抽真空系统宜采用水环式真空泵,真空泵的性能应符合下列规定:

1 极限真空压力应达到-0.09MPa;

2 最大抽气速率宜大于 $20m^3/min$;

3 30min 内宜将主管的真空压力抽至-0.08MPa。

6.2.6 混凝土运输车应符合现行国家标准《混凝土搅拌运输车》

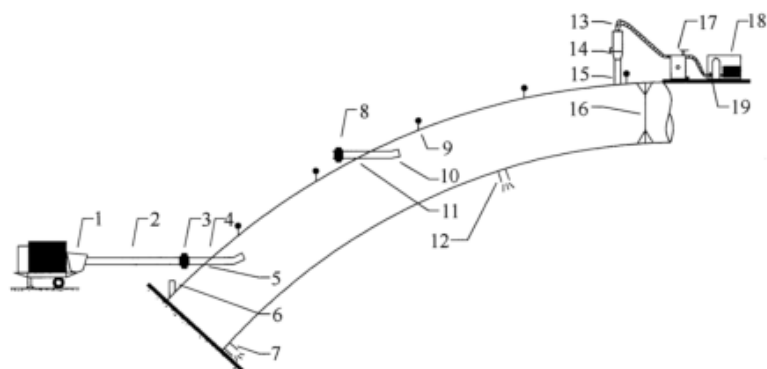
GB/T 26408 的有关规定。

6.2.7 混凝土输送管、进浆管、排浆管和储浆管的选用应符合下列规定：

1 输送管和进浆管的规格宜选用公称直径不小于 125mm 的高压泵管，高压泵管的强度应满足泵送要求，不得有龟裂、孔洞、凹凸损伤和弯折等缺陷，并应符合现行国家标准《无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 17395 的有关规定；

2 进浆管应顺弦管往拱顶走向布设，主管内部进浆管与主管的轴线夹角宜小于 45° ，主弦管进浆管应设置止回阀，且应在进浆管和拱肋相接处设置至少 4 条加劲肋；

3 排浆管的规格应根据粗骨料的最大粒径和混凝土拌和物的性能等因素确定；其中，排浆管的公称直径宜大于 150mm，高度宜大于 1.5m，并应布置在拱顶段顶端，下端不应伸入主管内；其他各级排浆管应布置在拱肋主弦管侧下方，并应设置快速开关装置(图 6.2.7)；



- 1—混凝土输送泵；2—输送管；3—止回阀(一级)；4—一级进浆管；5—一级压注口；
6—拱脚排浆管(一级)；7—泄水排渣管；8—止回阀(二级)；9—真空表；10—二级进浆管；
11—二级压注口；12—二级排浆管；13—真空胶管；14—拱顶储浆管；15—拱顶排浆管；
16—隔仓板；17—储浆桶；18—真空泵；19—拱顶操作平台

图 6.2.7 真空辅助泵送顶升灌注管内混凝土设备布设示意图

4 储浆管的容积应能保证在卸真空压力时浆液不回落至主管。

6.2.8 拱顶储浆桶的容积宜为 $2\text{m}^3 \sim 5\text{m}^3$ ，并应在储浆桶的中间部位设置观察窗。

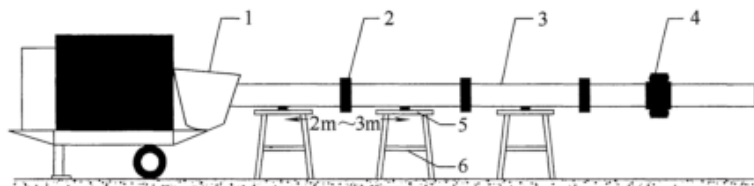
6.2.9 抽水机的额定扬程宜大于 1.5 倍的拱肋矢高，流量宜大于 $50\text{m}^3/\text{h}$ 。

6.2.10 拱顶水箱的容积应大于单次冲洗拱肋内壁所需清水的体积。

6.3 机械设备管理

6.3.1 混凝土输送泵应停放在平整坚实的地方。

6.3.2 输送管的布置宜减少弯管，与进料斗相连的前 3 节输送管宜为直管，并应设置支点和悬挂点，不应悬空。支点上端应设置木垫块与泵管相连接，支点间距宜为 $2\text{m} \sim 3\text{m}$ (图 6.3.2)。



1—混凝土输送泵；2—管卡；3—输送管；4—止回阀；5—木垫块；6—支架

图 6.3.2 泵管支点布设示意图

6.3.3 混凝土输送管水平段直管和弯管总的折算长度不宜小于竖向最大泵送高度的 20%，且不宜小于 15m。

6.3.4 当真空泵正常运行时，应检查真空泵内冷却液的液面高度和温度。当真空泵存放不用或冬季施工后，应排尽真空泵内的冷却液。

6.3.5 施工机械设备运行时，严禁维修作业。当机械设备维修保养时，应切断电源并派专人守护。

6.3.6 停止泵送管内混凝土后，应立即清洗混凝土输送泵、输送管和储浆桶等施工机械设备。

7 管内混凝土灌注施工

7.1 一般规定

7.1.1 管内混凝土专项施工方案,应包括下列内容:

- 1 现场总平面布置图;
- 2 施工进度计划、材料与设备计划;
- 3 混凝土原材料优选、配合比设计、制备与运输计划;
- 4 工艺流程和施工方法,并应包括布管方案与灌注顺序;
- 5 测量监控、扣索调载(如有);
- 6 施工安全保证措施;
- 7 组织机构及人员分工;
- 8 应急预案和应急处置措施,包括堵管的处置方案。

7.1.2 管内混凝土应对称灌注。

7.1.3 管内混凝土灌注施工分级应满足设计文件要求。设计未做要求时,应符合下列规定:

1 当拱肋矢高大于 50m 且不大于 80m 或单管混凝土灌注时长在 8h~10h 时,宜分 2 级接力泵送顶升灌注;

2 当拱肋矢高大于 80m 且不大于 120m 或单管混凝土灌注时长在 10h~12h 时,宜分 3 级接力泵送顶升灌注;

3 当拱肋矢高大于 120m 或灌注时长大于 12h 时,宜分 4 级接力泵送灌注。

7.1.4 拱肋各弦管混凝土灌注顺序应符合下列规定:

- 1 设计文件有规定时,应符合设计文件的规定;
- 2 设计文件未规定时,宜遵循先下弦后上弦、先内侧后外侧的两端对称灌注原则;
- 3 当灌注哑铃型拱肋时,应遵循先钢管、后腹腔的灌注原则,

并应采取增设腹腔对拉螺栓加固和提高混凝土泵送性能等避免腹腔钢板变形的措施；

4 灌注同一拱肋中下一根管内混凝土时，前一根管内混凝土的强度应符合设计文件的规定。当设计文件无规定时，前一根主管内的混凝土强度不宜低于设计强度的 80%。

7.1.5 管内混凝土入模温度宜控制在 5℃~30℃。

7.2 施工准备

7.2.1 管内混凝土灌注施工前应进行专项方案论证，并应按规定完成交底工作，同时建立岗位责任制和交接班制度。

7.2.2 管内混凝土灌注施工应在拱肋安装、焊接、管内清洗等工作完成并验收合格的基础上进行。

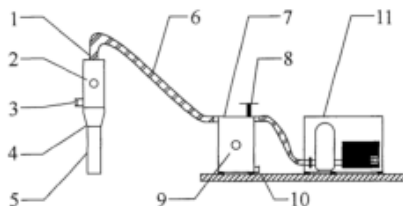
7.2.3 管内混凝土灌注前的准备工作应符合下列规定：

1 对主拱圈各节段高程、拱轴线、焊接质量及相关预埋件的安装情况应进行复测、复核和检查；

2 对主管内壁应进行冲洗，不应残留积水和污物；

3 首次灌注管内混凝土前，应开展各施工机械设备的联动试车，并应进行灌注演练。

7.2.4 施工现场机械设备应按施工总平面布置图的要求按时完成，拱顶抽真空系统应布置在经计算验证的拱顶平台上（图 7.2.4），拱顶平台应增加安全防护措施。



1—拱顶储浆管；2—储浆管观察窗；3—储浆管排气阀；4—法兰盘；5—排浆管；6—真空胶管；7—储桶；8—储浆桶排气阀；9—储浆桶观察窗；10—储浆桶排浆阀；11—真空泵

图 7.2.4 拱顶抽真空系统设备布置示意图

- 7.2.5 施工场区内道路应坚实平坦,并应制订场内外交通方案。
- 7.2.6 施工现场供水、供电应满足管内混凝土不间断施工的需要。
- 7.2.7 管内混凝土供应能力应满足不间断施工的需要,不宜低于单位时间所需量的 1.2 倍。
- 7.2.8 人力资源、材料和应急设备应满足快速应对混凝土输送泵堵管等施工意外风险的需要。

7.3 拌制和运输

- 7.3.1 管内混凝土应采用机械拌制。拌制时应符合下列规定:
- 1 投料顺序宜遵循骨料、粉料、水和外加剂的原则;
 - 2 自全部材料装入搅拌筒开始搅拌至开始出料的最短搅拌时间,应根据设备说明书及现场试拌试验确定;
 - 3 拌制完毕后,宜在搅拌地点和灌注地点分别取样检测混凝土拌和物的性能。
- 7.3.2 管内混凝土运输应符合下列规定:
- 1 运输能力应与混凝土的灌注速度和凝结速度相匹配,应使混凝土灌注工作不间断,且应保证最小灌注速度;
 - 2 运输车搅拌筒的转动速度宜为 $2\text{r}/\text{min}\sim 4\text{r}/\text{min}$,卸料前采用快挡旋转搅拌不应少于 20s;
 - 3 自开始出料至入泵前,搅拌时间不应小于 30min,且不宜大于 2h;
 - 4 当混凝土运输至浇筑地点后,出现离析、泌水或坍落扩展度不符合要求时,应进行二次搅拌,二次搅拌时不应加水,可通过添加同种外加剂调整混凝土;
 - 5 当二次搅拌仍不符合要求时,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。

7.4 真空辅助泵送施工

- 7.4.1 管内混凝土采用真空辅助泵送顶升压注法施工前,应开展

抽真空试验。当抽真空后压力表的数值不能长时间稳定在某一值时,应检查进浆口、排浆口、阀门和结构管的气密性并采取密闭措施。

7.4.2 钢管混凝土拱桥管内混凝土泵送施工时,应符合下列规定:

1 应先泵水检查,并应湿润输送泵的料斗、活塞等直接与混凝土接触的部位。泵水检查后,应清除输送泵内积水。

2 泵送混凝土前,宜先泵送不少于 1m^3 砂浆对输送泵和输送管道进行润滑,再开始泵送管内混凝土。砂浆应与剔除粗骨料的管内混凝土的配合比相同。

3 泵送混凝土前,施工现场不应少于 2 车混凝土,混凝土输送泵不得反向泵送,且混凝土输送泵料斗中的混凝土应保持在搅拌轴线 20cm 以上。当施工现场待料混凝土运输车少于 2 辆时,应放慢泵送速率。

4 当拱脚排浆口排出合格混凝土时,应暂停泵送并观测管口混凝土液面高度。当液面高度稳定时,应从拱脚排浆口插入振捣棒进行振捣并补浆。当管内混凝土终凝后,应切割拱脚排浆管并封闭管口。

5 当管内混凝土面超过压注口 $2\text{m}\sim 3\text{m}$ 后,应进行抽真空。真空表宜设置在 $L/8$ 、 $L/4$ 、拱顶段等位置处,并宜安装在拱肋主弦管上方。其中, L 为拱桥跨径。

6 灌注过程中主管内的真空压力不宜低于 -0.08MPa 。当在高原低气压环境下施工时,真空压力不宜低于 -0.04MPa 。

7 真空辅助泵送顶升管内混凝土时,应由拱脚至拱顶两端对称均衡灌注,并应保持灌注连续性。当混凝土到达拱顶平直段时,应放慢混凝土的灌注速度。

8 灌注完成后,应将拱肋钢管的所有开孔补焊,补焊方法宜采用埋弧自动焊。

7.4.3 分级灌注管内混凝土时,应符合下列规定:

1 当管内混凝土到达当级排浆口时,应停止抽真空并打开本级排浆口排出浮浆;

2 当启动下一级进浆管进浆时,应关闭上一级排浆口,并将上一级进浆管退出工作;

3 当管内混凝土面超过下一级排浆口 2m~3m 后,应将主管内压力抽至 -0.08MPa 后再进行下一级真空辅助泵送顶升施工。

7.4.4 钢管混凝土拱桥拱顶段管内混凝土排浆时,应符合下列规定:

1 管内混凝土到达储浆管观察窗位置时,应再次放慢灌注速度并打开储浆桶排气阀;

2 当去除真空压力后,应打开储浆管上的排气阀和法兰盘;

3 排出的浆液应妥善处理,不得污染拱肋外表面;

4 当排出合格混凝土时,应暂停泵送并观察排浆管内混凝土的液面;若混凝土液面回落明显或有气泡产生,应再次泵送直到排出合格混凝土为止;

5 排浆结束后,应关闭止回阀,并应对施工机械设备进行清洗和性能检查。

7.4.5 当环境温度低于 5°C 或高于 30°C 时,混凝土灌注施工应采取质量保证措施。当外界气温高于 30°C 或主管外壁温度高于 35°C 时,应对混凝土运输车、输送管、进浆管和拱肋钢管采取喷淋降温措施。条件许可时,管内混凝土灌注施工宜选择阴天或夜晚施工。当环境温度低于 5°C 时,宜采取热水拌和、加热骨料等提高混凝土原材料温度和对混凝土运输车采取保温的措施。在条件许可时,混凝土灌注后可对拱肋钢管采取保温措施。

7.5 施工管理

7.5.1 管内混凝土灌注施工应由专人统一指挥。

7.5.2 当一次连续灌注管内混凝土时,混凝土强度试件现场取样不应少于6组。

7.5.3 管内混凝土的安全施工除应符合现行行业标准《公路工程施工安全技术规范》JTG F90的有关规定外,尚应符合下列规定:

1 施工前应对各种安全危险源进行辨识和评估,并应在施工过程中有针对性地采取预防事故发生的措施;若施工中发生事故,应迅速按照应急预案进行救援和处理,最大限度降低事故损失;

2 施工区域应设置足够的消防设备,施工人员应熟悉设备的性能和使用方法;

3 施工作业人员应经专业培训合格后上岗;

4 进入施工区域的作业人员,应按规定佩戴、使用劳动安全防护用品;

5 高处施工作业应设置防护设施,若发现防护设施有缺陷或隐患时,应立即采取措施解决。

7.5.4 管内混凝土施工期间的环境保护应符合下列规定:

1 应遵循“预防为主、防治结合、综合治理”的原则;

2 施工现场临时设施的选址和布局应减少占用耕地、保护植被和保持原有地形地貌;

3 废弃的混凝土拌和物和建筑垃圾,应运至规定的场地集中堆放和处理;

4 施工现场道路宜根据现场扬尘情况进行洒水降尘。

7.6 施工监测

7.6.1 管内混凝土入泵前的监测应符合下列规定:

1 管内混凝土所用原材料的最高入机温度应符合表7.6.1的规定。当原材料的入机温度超过规定要求时,应采取温度控制措施。

表 7.6.1 原材料的最高入机温度

原材料	最高入机温度(℃)
水泥	60
骨料	30
水	25
粉煤灰、粒化高炉矿渣粉等矿物掺合料	60

2 粗、细骨料含水率的监测频率不应少于 2 次/班,并应按测定值调整用水量和集料用量,不得在拌和物出机后再加水。

3 专职人员应监测管内混凝土拌和物的入模温度和环境温度。入模温度应在入模前进行监测,可采用电子测温仪进行测量;环境温度宜在灌注地点采用棒式温度计进行测量。

7.6.2 管内混凝土在灌注过程中的监测应符合下列规定:

1 专职人员应分别在混凝土搅拌地点和灌注地点对混凝土坍落扩展度、温度、施工配合比、混凝土输送泵的压力和排量等参数进行监测,监测频率应符合表 7.6.2-1、表 7.6.2-2 的规定;

表 7.6.2-1 搅拌地点监测参数的监测频率

项目	监测频率
混凝土坍落扩展度	≥1 次/罐车
温度	≥1 次/3 罐车
施工配合比	≥1 次/罐车

表 7.6.2-2 灌注地点监测参数的监测频率

项目	监测频率
混凝土坍落扩展度	≥1 次/罐车
温度	≥1 次/罐车
混凝土输送泵压力、排量	≥1 次/罐车

2 当混凝土输送泵的压力过大时,应降低混凝土的泵送速度和拌和站的供料速度,并调整后续混凝土拌和物性能;

3 专职人员应监测拱桥两端灌注长度,且两端灌注长度偏差

应满足测量监控要求且不宜大于 10m；

4 拱圈线形的施工监测值不应超过施工过程模拟计算值；当超过限值时，应进行误差分析与状态识别，并提出反馈控制措施。

8 质量检测 and 缺陷修复补强

8.1 一般规定

8.1.1 管内混凝土灌注后应进行质量检测和缺陷修复补强。

8.1.2 质量检测的项目宜包括混凝土强度、填充密实度、轴线偏位、拱圈高程和对称点高差。

8.2 质量检测

8.2.1 混凝土强度应符合设计文件的规定,并按现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的有关规定进行检验评定。

8.2.2 管内混凝土填充密实度检测应符合下列规定:

1 填充密实度检测结果应满足设计要求,不宜出现脱空。

2 填充密实度检测宜按先敲击检测、后超声波检测和钻孔检测的顺序,并应符合下列规定:

1) 当人工敲击检查结果发现异常时,应加大检测密度,确定超声波检测范围;

2) 当超声波检测发现异常时,应进行钻孔检测。

3 检测次数不宜少于 3 次,检测时间宜在灌注 7d 后、28d 后和验收前进行。

8.2.3 当人工敲击检测时,可沿钢管周边选取等距离的若干点,从拱脚往拱顶依次进行检测。

8.2.4 采用管内混凝土超声波检测法时应符合下列规定:

1 测区应均匀分布于全桥主拱肋,数量不应少于 8 处。在拱脚、1/4 拱肋、拱顶、进浆口、排浆口及法兰盘、分隔仓等位置宜适当增加测区。

2 每个测区不应少于 3 个测面,测面间距宜为 150mm~300mm。当布置测点时,应将测面 8 等分后设置 4 组径向对测点(图 8.2.4)。

3 径向对测应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。

4 当沿钢管壁环向测试时,应逐点读取声时、波幅和主频。当某环向测位的数据离散性较大或数据较少时,应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填充密实度。

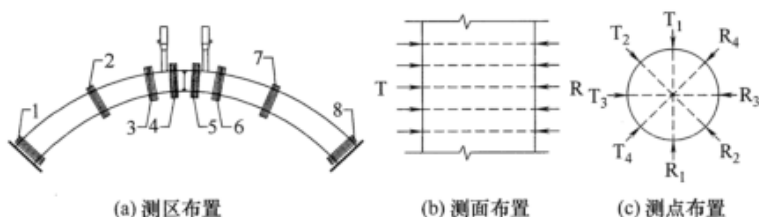


图 8.2.4 超声波检测示意图

8.2.5 当钻孔检测缺陷部位时,应利用磁力钻在缺陷位置钢管壁上开设梅花形孔位,其间距宜为 200mm~300mm。

8.2.6 管内混凝土灌注后实测项目应符合表 8.2.6 的规定。

表 8.2.6 管内混凝土灌注后实测项目

序号	检测项目		规定值或允许偏差 (mm)	检查方法和频率
1	轴线偏位	$L=200\text{m}$	30	全站仪;5 个工况 7 个断面
		$L>200\text{m}$	$L/4000$,且 ≤ 40	
2	拱圈高程		$\pm L/3000$,且 $\leq \pm 50$	全站仪;5 个工况 7 个断面
3	对称点高差	允许	$L/3000$,且 ≤ 40	水准仪;检查各接头点
		极值	允许偏差的 2 倍且反向	

注:1 L 为拱桥跨径;

2 5 个工况分别为灌注前、灌注方量 1/3、方量 2/3、完成时、完成 24h 后。

8.3 缺陷修复及补强

8.3.1 当钻孔检测发现钢管混凝土结构上球冠形脱空率大于 0.6% 或管内混凝土脱空高度大于 5mm 时,应对脱空区域进行缺陷修复补强处理。

8.3.2 压浆口和排浆口应分别设置在脱空区域的最低处和最高处。

8.3.3 缺陷修复补强材料应符合下列规定:

1 缺陷修复补强材料宜采用环氧砂浆或环氧树脂;

2 缺陷修复补强材料的抗压强度不应低于混凝土设计强度。

8.3.4 当压浆材料强度达到 80% 以上时,可对检测孔进行封固。

8.3.5 缺陷区域修复 7d 后,应采用超声波复检填充密实度,检测结果应符合设计文件的规定。

用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

- 1 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”;
- 2 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”;
- 3 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”;
- 4 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中,注日期的,仅对该日期对应的版本适用本标准;不注日期的,其最新版适用于本标准。

- 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080
- 《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107
- 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
- 《混凝土外加剂》GB 8076
- 《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站(楼)》GB/T 10171
- 《建筑用砂》GB/T 14684
- 《建设用卵石、碎石》GB/T 14685
- 《无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 17395
- 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
- 《混凝土膨胀剂》GB/T 23439
- 《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408
- 《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690
- 《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46
- 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55
- 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 《公路工程集料试验规程》JTG E42
- 《公路工程安全施工技术规范》JTG F90
- 《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG 3420
- 《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650
- 《水工混凝土试验规程》SL/T 352
- 《混凝土用钙镁复合膨胀剂》T/CECS 10082

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
施工技术标准

T/CECS 1047—2022

条文说明

制定说明

本标准制定过程中,编制组进行了大量的调查研究,总结了我国钢管混凝土拱桥管内混凝土施工的实践经验,同时参考了国外先进技术法规、技术标准,通过混凝土自生体积变形试验提出了基于历程可控复合膨胀补偿收缩技术和流变调控技术的管内混凝土体积稳定性保障应用技术体系,通过大型真空辅助泵送顶升压注试验提出了管内混凝土真空辅助泵送顶升压注施工工艺,大幅度提升了大跨度钢管混凝土拱桥管内混凝土灌注的密实度。

本标准遵循科学性、承接性和可操作性的原则,针对钢管混凝土拱桥管内混凝土制备、运输、灌注、检测和质量缺陷修复等施工与材料成套技术,采用调研与试验研究相结合的方式,围绕管内混凝土密实度难保证、易灌注不满和灌注施工不连续等重要问题开展研究,并将所取得的原创性技术成果加以提炼。

为便于广大技术和管理人员在使用本标准时能正确理解和执行条款规定,《钢管混凝土拱桥管内混凝土施工技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总 则	(37)
2	术语和符号	(38)
2.1	术语	(38)
3	材 料	(39)
3.1	一般规定	(39)
3.2	水泥	(39)
3.3	细集料	(40)
3.4	粗集料	(41)
3.5	外加剂	(42)
3.6	掺合料	(42)
3.7	水	(43)
4	管内混凝土性能	(44)
4.1	拌和物性能	(44)
4.2	力学性能	(47)
4.3	体积稳定性能	(47)
5	配合比设计	(48)
6	施工机械设备	(50)
6.1	一般规定	(50)
6.2	机械设备选型	(50)
6.3	机械设备管理	(51)
7	管内混凝土灌注施工	(53)
7.1	一般规定	(53)
7.2	施工准备	(53)
7.3	拌制和运输	(54)

7.4	真空辅助泵送施工	(54)
7.5	施工管理	(55)
7.6	施工监测	(55)
8	质量检测和缺陷修复补强	(56)
8.1	一般规定	(56)
8.2	质量检测	(56)
8.3	缺陷修复及补强	(56)

1 总 则

1.0.1 钢管混凝土拱桥以其造型优美、造价经济和结构独特等特点在世界各地被持续建造。在国外,大跨径拱桥建造数量较少。而在国内,已建和在建的钢管混凝土拱桥多达 413 座(跨径不小于 50m),其中跨径超过 200m 的 54 座。我国是钢管混凝土拱桥建造大国,拥有丰富的拱桥建造经验,技术长期领先世界,在建造过程中不断总结经验,编制了国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 和行业标准《公路钢管混凝土拱桥设计规范》JTG/T D65-06 等。由于现行标准主要针对钢管混凝土拱桥整体施工进行论述,对管内混凝土材料、混凝土性能、配合比设计、施工机械设备、灌注施工、质量检测和缺陷修复等内容缺乏明确和详细的规定,为了使管内混凝土灌注施工符合技术先进、安全可靠的要求,特制定本标准。

1.0.2 本条规定了本标准的适用范围。当跨径不大于 200m 时,管内混凝土施工技术较为成熟。但当跨径大于 200m 时,施工技术难度迅速增大、费用大幅增加,而采用真空辅助泵送顶升施工,则能取得较好的经济效益并能保证混凝土灌注质量。这是因为,大跨径钢管混凝土拱桥管内混凝土在泵送顶升过程中,当钢管倾角小于空气临界逃逸角的范围时,空气容易被混凝土自由表面波浪或涌浪封住而形成气腔;当混凝土泵送完成以后,混凝土泌水上升汇集,占据气腔空间,而气泡排开泌水继续向拱顶方向运动汇集,这些泌水空间和气腔空间使得钢管混凝土脱空。而真空辅助泵送顶升压注法可去掉钢管中的空气,减少钢管混凝土的脱空。此外,铁路、市政等其他类型的钢管混凝土拱形结构管内混凝土施工可参照本标准执行。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 钢管混凝土结构主要利用钢管套箍作用提高混凝土抗变形能力、力学性能和耐久性能;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。

2.1.7 本条参考国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923—2013 和行业标准《公路钢管混凝土拱桥设计规范》JTG/T D65-06-2015 中关于脱空的定义,结合实际工程经验,对脱空的定义进一步明确。脱空和脱粘的主要区别在于是否由施工因素引起。脱空是由施工因素引起,其对钢管混凝土刚度和承载能力的削弱影响较大。研究表明,当钢管混凝土与钢管之间的空隙大于 3mm 时,对结构的性能产生一定影响。当钢管混凝土与钢管之间的空隙大于 5mm 时,缺陷修复的工艺较成熟。相对于脱空,脱粘是由温度、管内混凝土收缩等非施工质量原因形成的拱桥管内混凝土与钢管之间出现大于 0.1mm 且不大于 3.0mm 的缝隙现象,其对结构的性能影响较小。

3 材 料

3.1 一 般 规 定

3.1.2 为了确保管内混凝土拌和物质量的稳定性以及硬化混凝土力学性能的可靠性,管内混凝土所用原材料应来自同一厂家且为同一品种和规格。

3.1.3 本条规定了管内混凝土所用原材料的备料原则。根据工程经验,广西平南三桥管内混凝土提前备料,有效减轻了混凝土拌和物质量波动问题,提高了拌和物入泵时的稳定性。当灌注最后一个弦管时,若原材料的储备数量不足,可能导致排浆口处润管砂浆、拱顶平直段弦管顶部的气泡、混凝土中夹杂的气泡无法完全排出,进而导致排浆口或拱顶平直段出现脱空或脱粘现象。因此,管内混凝土原材料备料数量应满足灌注总方量要求。为保证管内混凝土所用原材料的备料符合要求,编制组开展了备料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,大跨度钢管混凝土拱桥最后一根弦管原材料的备料数量为灌注方量的 1.1 倍以上时,可保证管内混凝土排浆口或拱顶平直段处的灌注质量。

3.2 水 泥

3.2.1 本条规定了管内混凝土所用水泥的品种和强度。管内混凝土不建议采用铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥等凝结时间短、流动性经时损失大的水泥,推荐选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。这是因为跨径 200m 及以上的钢管拱桥管内混凝土的灌注时间一般在 6h~12h,要求水泥质量稳定、水化放热速率慢等。此外,本条推荐采用强度等级为 42.5 级或 52.5 级、铝酸三钙含量不大于 8%、比表面积 $300\text{m}^2/\text{kg}\sim 350\text{m}^2/\text{kg}$ 的 P·II 或 P·O 水泥。原

因如下:强度等级为 42.5 级或 52.5 级的水泥可配制高强管内混凝土;P·II 或者 P·O 水泥掺加高质量的矿物掺合料配制混凝土,具有较大的技术和经济合理性;铝酸三钙含量不大于 8%可控制水泥早期水化速度和浆体的流动性;相关国家标准中仅规定水泥比表面积的下限,但目前水泥普遍偏细,上限超过 $350\text{m}^2/\text{kg}$ 会导致水泥水化速度快,水化热过快释放,早强强度过快增长,造成后期强度增长不足。因此,有必要规定水泥比表面积的上限为 $350\text{m}^2/\text{kg}$ 。

3.2.2 为了规范水泥的抽检项目和频率,便于指导施工,本条参考现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定,确定了水泥的抽检项目。

3.3 细 集 料

3.3.1 本条依据现行国家标准《建筑用砂》GB/T 14684 的有关规定,进一步细化了细集料的技术指标。由于大跨径钢管混凝土拱桥管内混凝土的设计强度等级较高,细集料的部分技术指标参考现行行业标准《高性能混凝土用骨料》JG/T 568 和《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650。由于细集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,故本标准规定河砂的含泥量和泥块含量分别不大于 2.0%、0.5%,机制砂的泥块含量小于或等于 0.5。此外,进一步规定 I 类机制砂的石粉含量不大于 10.0%、II 类机制砂的石粉含量不大于 5.0%,I 类机制砂 MB 值不大于 1.0、II 类机制砂 MB 值不大于 1.4,这是因为适量的石粉含量能改善混凝土的流动性能,过量的石粉掺量会导致混凝土拌和物的流动性能减弱。实际工程表明:平南三桥管内混凝土所用机制砂的石粉含量为 6%、MB 值为 0.8,拌和物的流动性能好。最后,当管内混凝土应用于重要工程中,本条第 2 款也可以参考行业标准《公路桥涵施工技术规范》JGT/T 3650—2020 中第 6.3.4 条,取细集料的细度模数为 2.6~2.9。

3.3.2 为了规范细集料的抽检项目和频率,便于指导施工,本条参考现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定确定了细集料的抽检项目。

3.4 粗集料

3.4.1 研究和工程实践表明,钢管混凝土拱桥管内混凝土粗集料应采用质地坚硬、级配良好、无风化颗粒的碎石。

1~3 粗集料的压碎指标、坚固性、吸水率、针片状颗粒含量指标参考行业标准《高性能混凝土用骨料》JG/T 568—2019 中第 5.2.2 条的碎石特级指标;其中,压碎指标和坚固性参考特级指标,吸水率和针片状颗粒含量参考 I 级指标。

粗集料的含泥量、泥块含量和连续级配松散堆积空隙率指标参考行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020 中第 6.4.1 条和第 6.14.2 条的有关规定。另外,本条还规定了粗集料的最大公称粒径不应大于 20mm,且应为连续两级配或连续多级配,项目用粗集料常用 5mm~10mm 和 10mm~20mm 的双级配。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;二是粒径越小的粗集料,其内部缺陷在加工过程中会得到较大程度的消除。

此外,为了提高混凝土拌和物的流动性能,对于外观不符合施工要求的粗集料,应进行整形处理,这是因为整形处理后的砂石骨料同整形前相比,既具备了粒形优势,又具备了界面优势,能够显著提高混凝土性能。同时,本条规定了针片状颗粒含量不宜大于 5.0%,这是因为粗集料中针片状颗粒含量高,不仅会增大混凝土的泵送压力,还影响混凝土的力学性能。

4 本款参考行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020 中第 6.4.1 条,C60 以下混凝土的岩石抗压强度与混凝土之比不应小于 1.5。考虑到管内混凝土应用在工程重要部位,故此规定:当配制 C70 及以下强度等级管内混凝土时,所用粗

集料的岩石抗压强度与混凝土设计强度之比不宜小于 1.5。

5 本款参考行业标准《高强混凝土应用技术规程》JGJ/T 281—2012 中第 4.4.2 条,岩石抗压强度应比混凝土强度标准值高 30%。同时,结合工程经验,当母岩强度与管内混凝土设计强度之比不小于 1.3 时,采用 5mm~16mm 的连续级配碎石(玄武岩、辉绿岩等)可稳定配制 C80~C100 的管内混凝土。

3.4.2 为了规范粗集料的抽检项目和频率,便于指导施工,本条参考现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定确定粗集料的抽检项目。

3.5 外加剂

3.5.1 聚羧酸高性能减水剂以羧基不饱和单体和其他单体合成的聚合物为母体,其指标参考了现行行业标准《聚羧酸系高性能减水剂》JG/T 223 的有关规定。

3.5.2 本条规定了管内混凝土所用膨胀剂的种类和性能,膨胀剂的品种和掺量需经试验确定。

为了实现管内混凝土与钢管不脱粘,建议选用钙镁复合膨胀剂。钙镁复合膨胀剂可分阶段、全过程定量补偿管内混凝土温降收缩和自收缩、钙质膨胀组分早期膨胀、存储膨胀预压应力。此外,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;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。

3.5.3、3.5.4 这两条是为了规范减水剂和膨胀剂的抽检项目和频率,便于指导施工,依据现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和《混凝土膨胀剂》GB/T 23439 的有关规定制定的。

3.6 掺合料

3.6.1 本条通过查阅现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596、《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》

GB/T 18046、《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的有关规定,并结合钢管混凝土拱桥管内混凝土施工经验,分别对粉煤灰、矿渣粉和硅灰的性能进行了规定。平南三桥工程经验表明,当配制 C70 管内混凝土时,选用 I 级粉煤灰、S95 级粒化高炉矿渣粉和硅灰制备的混凝土,其力学性能满足要求。

3.6.2 掺合料的抽检项目和频率参考了现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596、《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046、《砂浆和混凝土用硅灰》GB/T 27690 的有关规定。

3.6.3 矿物掺合料的储存原则参考了现行国家标准《矿物掺合料应用技术规范》GB/T 51003 中的有关规定。

3.7 水

3.7.1 管内混凝土用水标准参考了现行国家标准《混凝土用水标准》JGJ 63 中的有关规定。

4 管内混凝土性能

4.1 拌和物性能

4.1.1 本条对试验室条件下管内混凝土拌和物的性能做出了规定。与普通混凝土相比,管内混凝土除应满足黏聚性和保水性的要求外,还应具备自密实性能要求。自密实性能参考现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 中的填充性、间隙通过性和抗离析性。其中,填充性的性能指标是坍落扩展度和扩展时间 T_{500} ,间隙通过性的性能指标是坍落扩展度与 J 环扩展度差值,抗离析的性能指标是离析率。

1 坍落扩展度描述了非限制状态下新拌混凝土的流动性,是检验新拌混凝土自密实性能的主要指标之一。 T_{500} (s)是检验新拌混凝土抗离析性和填充性的综合指标,也可用来评估流动速率。本条参考现行国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 的有关规定,做出如下修改:一是根据现行行业标准《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG 3420 的规定,取消入泵坍落度及其坍落度损失指标;二是将坍落扩展度指标由原来的“50cm~65cm”优化为“在试验室条件下,混凝土拌和物的坍落扩展度宜为 550mm~750mm”。工程实践经验表明,当管内混凝土坍落扩展度小于 550mm 时,新拌混凝土黏度较大,导致混凝土输送泵的泵送压力大、泵送效率低。平南三桥 C70 管内混凝土的坍落扩展度为 695mm,可泵性好;三是扩展时间由原来的“5s~20s”优化为“3s~10s”。工程经验表明,当混凝土拌和物的扩展度为 700mm 时,扩展时间约为 3s,当混凝土拌和物的扩展度为 600mm 时,扩展时间不超过 7s。

2 间隙通过性用来描述新拌混凝土流过具有狭口的有限空

间,而不会出现分离、失去黏性或者堵塞的情况。抗离析性是保证新拌混凝土均匀性和质量的基本性能。坍落扩展度与J环扩展度的差值和离析率指标参考了现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283的有关规定。

3 考虑到倒置坍落度筒排空时间指标的设置有利于将新拌混凝土的黏度控制在可顺利泵送施工的水平,并使大高程的泵送压力不至于过高。本条参考行业标准《高强混凝土应用技术规程》JGJ/T 281—2012中倒置坍落度筒排空时间($>5s$ 且 $<20s$)的规定,并结合实际工程经验,建议倒置坍落度筒排空时间宜为 $3s\sim 10s$ 。

4 混凝土含气量影响管内混凝土的灌注密实性。由于钢管是封闭的,当含气量较高时,在泵送压力的作用下,混凝土中气体会部分逸出,在钢管和混凝土之间形成气膜,当气膜不能排出或者混凝土的膨胀变形不能弥补气膜时,将造成钢管和混凝土脱粘,降低钢管对混凝土的套箍作用。本条参考国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923—2013第12.1.2条中关于混凝土含气量的规定。

5 为了验证减水剂保坍性能对混凝土拌和物性能的影响,通过大量试验研究和工程经验总结,规定混凝土拌和物3h扩展度经时损失值宜小于 $30mm$ 。某工程管内混凝土扩展度经时损失试验结果见表1。

表1 某工程管内混凝土扩展度经时损失试验(室内)

时间(min)	扩展度(mm)			
	1	2	3	4
初始	610	600	620	630
30	655	650	660	650
60	660	660	670	660
90	650	670	650	655
120	655	650	660	650

续表 1

时间(min)	扩展度(mm)			
	1	2	3	4
150	640	640	650	650
180	615	610	620	630
210	550	530	540	560
240	460	400	430	450

根据上表可得,管内混凝土 3h 的扩展度经时损失小于 30mm。

4.1.2 本条对入泵时管内混凝土拌和物的性能做出了规定。

2 室内坍落扩展度和扩展时间指标可以满足现场可泵性要求,但是大量工程实践经验表明:当坍落扩展度为 600mm~700mm、扩展时间 T_{500} 为 3s~7s 时,混凝土拌和物的可泵性更优,更有利于施工控制和管理。同时,考虑到入泵坍落扩展度和扩展时间指标是可泵性的关键指标,该指标有利于降低堵管风险、确保灌注过程连续不间断。因此,本条在室内坍落扩展度和扩展时间指标的基础上,进一步提出入泵坍落扩展度和扩展时间的指标要求。

3 本款针对管内混凝土分仓连续施工和分仓不连续施工两种情况,对管内混凝土的初凝时间进行了规定。

4 考虑部分项目施工位于高海拔低气压环境(西藏自治区山南市),高海拔地区昼夜温差高达 20℃及以上,气温对混凝土拌和物性能影响较大。在灌注管内混凝土前,宜在室内模拟实际施工温度,研究温度变化对混凝土拌和物性能的影响,并在实际施工过程中,根据外界气温调整混凝土配合比及外加剂掺量,确保入泵混凝土性能符合施工要求。

4.1.3 本条规定了管内混凝土拌和物性能试验方法,主要参考了现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的有关规定。

4.2 力学性能

4.2.1 本条参考现行国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 的有关规定,考虑管内混凝土在特殊地区或季节条件下 3d 抗压强度达不到设计强度的 80%,因此在此取消 3d 强度表述,并修改为“管内混凝土的力学性能应满足设计要求”。

4.3 体积稳定性能

4.3.1 混凝土的自生体积变形是混凝土在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的恒温、绝湿(与外界无水分交换)、无人为外界荷载的条件下,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 自生体积变形大于或等于 150×10^{-6} 、56d 自生体积变形大于或等于 50×10^{-6} 时(体积变形为正值时,表示膨胀),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。

此外,根据现行行业标准《水工混凝土试验规程》SL/T 352 中混凝土自生体积变形试验的规定,以初凝时间对应的电阻及电阻值为基准值,后续测读对应的时间点依次为 2h、6h、12h、24h、2d~14d(每天测量 1 次)、21d~182d(每 7 天测量 1 次)。考虑管内混凝土 56d 后体积基本稳定,后续体积不再发生明显变化。因此,本条规定 56d 的自生体积变形不宜低于 50×10^{-6} 。

4.3.2 自生体积变形试验方法参考现行行业标准《水工混凝土试验规程》SL/T 352 的有关规定。

5 配合比设计

5.0.1 管内混凝土与普通混凝土的标志性区别在于它具有自密实性能、膨胀性能和大流动性能。因此,在配合比设计与试配时,选材和材料用量需要满足前期泵送施工及后期体积稳定性的要求。

5.0.2 随着拱桥跨径的提高,管内混凝土的设计强度及单次灌注方量逐步增加,提高了混凝土的温度应力,增大了混凝土的开裂风险。工程经验表明,在保证混凝土强度满足施工要求的前提下,根据拱肋受荷时间可采用管内混凝土 60d 或者 90d 的后期强度作为验收标准。这样可以减少水泥用量,提高掺合料的用量,降低管内混凝土的绝热温升,降低里表温差,减少温缩应力,从而提高管内混凝土的灌注质量。

5.0.3 不同地区混凝土所用的各种原材料差异很大,故配合比除要按规定进行设计计算外,更重要的是通过实际配制试验确定。由于管内混凝土具备自密实性能,配合比设计主要参考现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 中的绝对体积法。管内混凝土的砂率需根据拱桥顶升泵送施工对工作性能的要求和结构对弹性模量的要求确定,结合实际工程经验,本条给出建议值,宜为 40%~50%。当设计配合比确定后,应对管内混凝土的配制强度进行不少于 6 次的重复试验验证,以确保设计配合比满足钢管混凝土拱桥施工时的力学性能要求。

5.0.4 在管内混凝土生产过程中,堆场上的粗、细骨料的含水率会发生变化,从而影响混凝土的水胶比和用水量等。因此,在生产和施工前,应根据粗、细骨料的含水率变化情况进行试拌调整配合比,并以调整后的配合比进行生产和施工。

5.0.5 泵送顶升压注试验是指利用混凝土输送泵将管内混凝土从拱脚压注到拱顶排出的试验,用来验证管内混凝土施工配合比是否满足泵送施工要求。此外,对于重要工程或施工经验不足的施工单位,施工配合比需要通过模拟泵送顶升压注试验加以验证。

6 施工机械设备

6.1 一般规定

6.1.4 本条参考现行行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 的有关规定制定。

6.2 机械设备选型

6.2.1 工程实践经验表明,当主要施工机械设备拌和站不少于 1 套、混凝土输送泵不少 4 台(其中 2 台备用)、抽真空设备不少于 2 套时,可满足不间断施工的要求。

6.2.2 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,其计算方法可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、应急车辆等因素确定。搅拌运输车台数公式参考现行行业标准《混凝土泵送施工技术规程》JGJ/T 10 中的相关内容,但该标准中未考虑由于交通、设备等因素导致灌注间断的情况。因此,本标准在原公式的基础上配备了 1 台混凝土应急运输车。

6.2.3 为保证管内混凝土的灌注质量,本条参考现行国家标准《建筑施工机械与设备 混凝土搅拌站(楼)》GB/T 10171 对混凝土搅拌站进行了规定;参考现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定,对搅拌站的标定、自动称量系统的精度进行了规定;参考现行协会标准《高性能混凝土应用技术规程》CECS 207 对原材料每盘称量的允许偏差进行了规定。

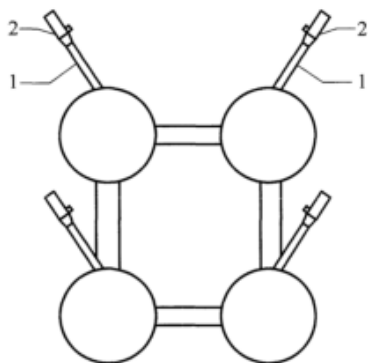
6.2.4 本条参考现行国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 的有关规定制定。

6.2.5 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,本条规定抽真空系统采用水环式真空泵,并细化了水环式真空泵的参数要求。

6.2.6 本条参考现行国家标准《混凝土搅拌运输车》GB/T 26408的有关规定制定。

6.2.7 拱顶排浆管建议倾斜布置在拱顶段顶端,其在水平面上的投影也建议垂直于拱肋中轴线投影,排浆管下端不能伸入主管内,可参考图1。排浆管布置在顶端有利于排出汇集在管内顶部的气泡,排浆管倾斜布置有利于收集排出的浮浆。



1—拱顶排浆管;2—拱顶储浆管

图1 排浆管布置示意图

6.2.8 拱顶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与主弦管的管径成正相关。通过大量工程经验总结得到,储浆桶的容积可按公式(1)确定,建议为 $2\text{m}^3 \sim 5\text{m}^3$ 。

$$V_j = \pi r^2 \times L_r \quad (1)$$

式中: V_j ——储浆桶的容积(m^3);

r ——主管横截面的半径(m);

L_r ——沿主管的纵向长度(m)。

6.3 机械设备管理

6.3.2 为降低堵管和爆管的风险,在灌注管内混凝土时,宜遵循

少弯管的原则。另外,与进料斗相连的前3节输送管承受的冲击力最大,为保证通过人员的人身安全,前3节输送管不宜设置为弯管,建议设置为直管。考虑到与进料斗相连的前3节输送管受地泵、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,不应悬空。

6.3.4 水环式真空泵工作时,其内部转子把液体抛向泵壳并形成与泵壳同心的液环,液环同转子叶片形成了容积周期变化的旋转变容真空泵。当冷却液不足时,无法形成液环会导致抽气量不够,主线管内的真空度达不到使用要求。此外,水温度过高导致水分蒸发较快也容易出现冷却液不足的情形。因此,在实际工程应用中需要随时观察,保证水环式真空泵中的冷却液不低于真空泵轴的中线。

7 管内混凝土灌注施工

7.1 一般规定

7.1.1 本条规定了管内混凝土专项施工方案应包括的主要内容。其中,应急预案和应急处置措施中人力资源、材料和设备要充足以能快速应对堵管等施工意外风险,并应包含因发电机组维修或施工停电等原因导致的堵管处理措施。当发生堵管时,建议采取如下措施:混凝土初凝前,在混凝土泵送液面下方 5m~6m 的位置开口并排出合格混凝土,然后接管继续灌注后续混凝土。若因现场施工组织原因未在混凝土初凝前排出合格混凝土,应待已灌注管内混凝土强度达到设计强度的 80%后,继续灌注后续混凝土。

7.1.4 本条参考现行国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 的有关规定制定,管内混凝土的灌注顺序影响主拱圈在灌注阶段的整体稳定性,当采用“先下弦后上弦、先内侧后外侧”的灌注原则时,主拱圈在施工过程中的屈曲安全系数高、施工操作性强。

7.2 施工准备

7.2.1 方案会审是管内混凝土施工前一项重要的准备工作,应结合实际工程和自身管理水平制订施工作业指导书及应急预案。

7.2.3 本条参考现行国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 的有关规定制定,并强调了主管内壁不应残留积水和污物。

7.2.4 施工现场总平面布置应满足管内混凝土不间断灌注对道路、水、电、专用施工设备等的需要,并加强现场指挥和调度,尽量缩短混凝土的装运时间,控制入泵扩展度,提高施工设备利用率。

7.2.8 管内混凝土施工前,需要进行专业培训,人员、材料和应急设备应满足应对堵管等施工意外风险的需要。

7.3 拌制和运输

7.3.1 采用机械拌制有利于管内混凝土的搅拌。由于管内混凝土对入泵性能要求较高,应在搅拌地点和灌注地点分别取样检测混凝土拌和物性能。

7.3.2 管内混凝土运输车的速度参考现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650 的有关规定制定。在现场施工组织不畅而导致压车或因交通阻塞延长运输时间等场合下,多发生混凝土拌和物坍落度损失过大导致搅拌运输车卸料困难,可向运输车搅拌罐内掺加适量减水剂并搅拌均匀,以改善拌和物稠度将混凝土拌和物卸出。

7.4 真空辅助泵送施工

7.4.1 为了保证管内混凝土灌注过程中真空度维持在合理范围内,在灌注管内混凝土之前需要对主管的密封性进行检测。当进浆管、排浆管(口)、阀门和结构管的气密性差时,易发生抽真空时间过长、频繁抽真空等不利于施工的现象。因此,本条建议在混凝土灌注前,应连通真空泵与主弦管,启动真空泵,检查进浆管、排浆管、阀门和结构管等部位的气密性。

7.4.2 本条参考现行国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 和专利“大型钢管混凝土结构管内混凝土真空辅助灌注方法及灌注系统”(专利号:ZL 201210184040.7)中的内容,规定了管内混凝土真空辅助泵送施工的内容。泵送管内混凝土前,应先泵送水,再泵送砂浆。砂浆应与剔除粗骨料的管内混凝土配合比相同,其各龄期的抗压强度不低于混凝土的抗压强度。此外,考虑到高原低气压环境下,钢管内最大抽真空压力仅能达到 -0.04MPa ~ -0.05MPa ,本条规定了特殊环境下真空压力取值。通常情况下,主弦管上的大部分开孔采用埋弧自动焊,小部分开孔(如真空压力表位钻孔)采用二氧化碳气体保护焊。

7.4.4 采用多级接力泵送时,当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再进行下一级的泵送施工。

7.4.5 为了控制管内混凝土的灌注质量,本条规定了在环境温度低于 5°C 、高于 30°C 或主管外壁温度高于 35°C 条件下进行管内混凝土灌注施工时需遵守的技术措施。

7.5 施工管理

7.5.1 管内混凝土灌注施工工艺复杂、协同要求高,需要由专人统一指挥。

7.5.2 混凝土强度试件现场取样时,建议在混凝土灌注总方量的 $1/6$ 、 $2/6$ 、 $3/6$ 、 $4/6$ 、 $5/6$ 、灌满前等不同阶段取样,以确保混凝土的强度达到设计要求。

7.5.3 本条参考现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650的有关规定制定。由于自然、人为或技术等原因,当事故或灾难不可能完全避免时,建立重大安全事故应急预案、组织及时有效的应急救援行动是抵御事故或控制灾害蔓延、降低危险后果的关键。此外,高处施工需要设立防护设施,避免发生事故,造成重大人员伤亡和财产损失。

7.6 施工监测

7.6.1 本条规定了原材料的最高入机温度。当水泥温度超过 60°C 时,其吸附外加剂的量明显增大,新拌的混凝土坍落度损失相应增大。

7.6.2 大量工程实践经验表明,当两端灌注长度偏差大于 10m 时,易导致拱肋变位。因此,本条规定两端灌注长度偏差应满足测量监控要求且不宜大于 10m 。

当混凝土到达拱顶平直段时,应根据监测输送泵的压力调整混凝土的泵送速度和拌和站的供料速度,避免因断料停止泵送。

8 质量检测和缺陷修复补强

8.1 一般规定

8.1.2 填充密实度的质量检测参考现行国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 的有关规定制定。

8.2 质量检测

8.2.1 本条参考现行国家标准《钢管混凝土拱桥技术规范》GB 50923 的有关规定制定。

8.2.4 为把控钢管混凝土拱桥管内混凝土的灌注质量,超声波检测区需要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,规定在拱顶、进浆口附近及法兰盘等位置适当增加测区。

在测面上布置测点时,将测面 8 等分后设置 4 组径向对测点,其目的是保证每一对检测点的直达声波都通过钢管混凝土圆心且垂直管壁。逐次开展通过断面圆心的径向对测,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。当某环向测位的数据离散性较大或数据较少时,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。

8.3 缺陷修复及补强

8.3.1 对钢管混凝土拱肋,当钢管混凝土脱空率小于 0.6%,且钢管混凝土脱空高度小于 5mm 时,对结构性能影响较小且压浆补强施工工艺尚不成熟,因此可暂不进行压浆补强,但应密切注意其发展情况。

当管内混凝土脱空率大于 0.6% 时,管内混凝土支撑钢管的作用减弱,对钢管混凝土承载能力和刚度影响较大,应进行缺陷修复。当管内混凝土脱空率小于 0.6%,但管内混凝土的脱空高度大于 5mm 时,由于具备缺陷修复的工艺条件,也应进行缺陷修复。

此外,研究结果表明,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也基本恢复。

8.3.3 试验研究表明,当脱空高度大于 5mm 时,缺陷修复材料建议采用环氧砂浆或环氧树脂;当脱空高度大于 3mm 且小于 5mm 时,缺陷修复材料可采用水泥浆。工程经验表明,当脱空高度小于 3mm 时,尚未找到合适的缺陷修复材料,需要进一步探索。