

ICS 27.140
CCS P 59

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5806—2020

水电水利工程堆石混凝土施工规范

Construction specification for rock-filled concrete
of hydropower and water conservancy engineering

2020-10-23 发布



国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程堆石混凝土施工规范

Construction specification for rock-filled concrete of
hydropower and water conservancy engineering

DL/T 5806—2020

主编机构：中国电力企业联合会

批准部门：国家能源局

施行日期：2021年2月1日

中国电力出版社

2021 北京

中华人民共和国电力行业标准
水电水利工程堆石混凝土施工规范
Construction specification for rock-filled concrete
of hydropower and water conservancy engineering
DL/T 5806—2020

*

中国电力出版社出版、印刷、发行
(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

*

2021年7月第一版 2021年7月北京第一次印刷
850毫米×1168毫米 32开本 2.625印张 69千字

*

统一书号 155198·2823 定价 40.00元

版权专有 侵权必究
本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换

DL/T 5806—2020

国家能源局

公 告

2020 年 第 5 号

国家能源局批准《水电工程生态流量实时监测系统技术规范》等 502 项能源行业标准(附件 1)、《Series Parameters for Horizontal Hydraulic Hoist (Cylinder)》等 35 项能源行业标准英文版(附件 2), 现予以发布。

- 附件: 1. 行业标准目录
2. 行业标准英文版目录(略)

国家能源局
2020 年 10 月 23 日

附件 1:

行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
...							
363.	DL/T 5806—2020	水电水利工程堆石混凝土施工规范			中国电力出版社	2020-10-23	2021-02-01
...							

前 言

根据《国家能源局关于下达 2015 年第一批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2015〕283 号）的要求。

编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本规范。

本规范的主要技术内容是：原材料、配合比、施工、质量检查与评定等。

本规范由中国电力企业联合会提出。

本规范由电力行业水电施工标准化技术委员会归口。

本规范主编单位：中国水利水电第八工程局有限公司

浙江省围海建设集团股份有限公司

清华大学

北京华石纳固科技有限公司

本规范参编单位：国电大渡河流域水电开发有限公司

长春工程学院

遵义水利水电勘测设计研究院

本规范主要起草人：涂怀健 金 峰 吴良勇 李凤亮 安雪晖 周 虎

于永军 刘更军 杨贤水 张 勇 乔志超 胡俊序

陈长久 刘江川 黄绵松 周德文 李善平 曾凡杜

杨 茁 殷航俊 付显阳 俞祥丰 徐艳杰 潘坚文

黄杜若 万 鹏 罗 鑫 薛守宁 张全意 曾 旭

本规范主要审查人：吴新琪 向 建 梅锦煜 楚跃先 尹显俊 陆采荣

郭光文 郑桂斌 刘冬霓 程志华 李志刚 王鹏禹

席 浩 吴高见 王 军 杨和明 沈益源 杨 涛

何小雄 朱明星 张利荣

本规范在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心（北京市白广路二条一号，100761）。

目 录

前言.....	1
1 总则	1
2 术语	2
3 原材料	3
3.1 一般规定.....	3
3.2 堆石	3
3.3 水泥与掺合料.....	3
3.4 高自密实性能混凝土骨料.....	4
3.5 外加剂.....	4
4 配合比	5
4.1 一般规定.....	5
4.2 配制性能指标.....	5
4.3 配合比设计.....	6
5 施工	7
5.1 一般规定.....	7
5.2 模板与预埋件.....	7
5.3 层面与缝面.....	7
5.4 堆石开采与筛洗.....	8
5.5 堆石运输与入仓.....	8
5.6 混凝土生产拌制.....	9
5.7 混凝土运输.....	9
5.8 混凝土浇筑.....	10
5.9 特殊气候条件施工.....	11
6 质量检查与评定.....	12
6.1 一般规定.....	12
6.2 原材料检验.....	12
6.3 堆石入仓质量检测.....	12
6.4 自密实混凝土检验.....	13
6.5 建筑物质量检查.....	13

6.6 质量评定.....	13
附录 A 堆石表面含泥量试验.....	15
附录 B 标准自密实砂浆试验.....	16
附录 C 自密实性能试验.....	19
附录 D 堆石逊径料现场质量检验.....	23
附录 E 堆石混凝土现场质量试验方法.....	24
附录 F 堆石混凝土质量评定表.....	25
本规范用词说明.....	29
引用标准名录.....	30
条文说明.....	31

Contents

Foreword	1
1 General Provisions.....	1
2 Terms.....	2
3 Raw Materials of Rock-filled Concrete.....	3
3.1 General Requirements.....	3
3.2 Rock.....	3
3.3 Cement and Mineral Admixture	3
3.4 Aggregate of High-performance Self-compacting Concrete	4
3.5 Chemical Admixture	4
4 Mix Proportion	5
4.1 General Requirements.....	5
4.2 Configuration Performance Indicators.....	5
4.3 Design of Mix Proportion.....	6
5 Construction.....	7
5.1 General Requirements.....	7
5.2 Formworks and Embedded Parts.....	7
5.3 Bedding and Seam Surface	7
5.4 Quarrying Screening and Cleaning of Rock.....	8
5.5 Transportation and Placement of Rock.....	8
5.6 Production mixing of Concrete	9
5.7 Transportation of Concrete.....	9
5.8 Pouring of Concrete.....	10
5.9 Construction under Special Climatic Conditions.....	11
6 Quality Inspection and Evaluation	12
6.1 General Requirements.....	12
6.2 Inspection of Raw Materials	12
6.3 Quality Inspection of Placing Rock.....	12
6.4 Inspection of Self-compacting Concrete.....	13
6.5 Building Quality Inspection of Rock-filled Concrete Dam	13
6.6 Quality Evaluation.....	13

Appendix A	Mud Content Test of Rock Surface.....	15
Appendix B	Standard Self-compacting Mortar Test	16
Appendix C	Test on Self-compacting Ability.....	19
Appendix D	Quality Inspection of Rock-filled Diameter Material	23
Appendix E	Quality Inspection Method for Rock-filled Concrete.....	24
Appendix F	Quality Inspection Method for Rock-filled Concrete.....	25
	Explanation of Wording in this Specification	29
	List of Quoted Standards	30
	Additions: Explanation of Provisions.....	31

1 总 则

- 1.0.1 为规范水电水利工程的堆石混凝土施工，制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于新建、改建和扩建的水电水利工程的堆石混凝土施工。
- 1.0.3 堆石混凝土的施工应编制施工组织设计。
- 1.0.4 堆石混凝土施工除应符合本规范外，尚应符合现行国家及行业有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 高自密实性能混凝土 high-performance self-compacting concrete (HSCC)

在流动性、抗离析性、自密实性能稳定性等方面高于常规要求的自密实混凝土。高自密实性能混凝土依靠自重堆石体空隙等狭小曲折空间内长距离流动填充,可充填其中的细小空隙。

2.0.2 堆石混凝土 rock-filled concrete (RFC)

利用高自密实性能混凝土自流填充堆石体的空隙,形成完整、密实、满足设计要求的混凝土。

2.0.3 堆石率 rockfill ratio

单位体积堆石混凝土中堆石所占的体积比(%)。

2.0.4 坍落扩展度 slump-flow

衡量自密实混凝土流动性的指标,通过坍落扩展度试验测定。

2.0.5 V形漏斗通过时间 V-funnel flowtime

衡量自密实混凝土抗离析性的指标,通过V形漏斗试验测定。

2.0.6 自密实性能稳定性 self-compacting ability stability

衡量自密实混凝土流动性和抗离析性等性能稳定性的指标,通过自密实性能稳定性试验测定。

2.0.7 体积水粉比 water-powder volumetric ratio

单位体积自密实混凝土拌和时所需水的体积与粉体体积之比。

2.0.8 浇筑完成时间 completion time of HSCC casting

高自密实性能混凝土出机至浇注入仓后停止流动的时间。

2.0.9 浇筑覆盖时间 cover time of HSCC casting

高自密实性能混凝土出机至被新浇筑混凝土覆盖的时间。

2.0.10 自密实防渗层 SCC impervious layer

采用自密实混凝土作为防渗层材料,并且与坝体堆石混凝土一体化浇筑。

3 原材料

3.1 一般规定

3.1.1 高自密实性能混凝土原材料的选取，应有利于改善混凝土拌和物和易性、提高抗分离性及混凝土耐久性。

3.1.2 堆石混凝土所用原材料除应符合本规范的规定，还应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 的有关规定。

3.2 堆 石

3.2.1 堆石宜使用完整、质地坚硬、不易风化、不易崩解的石料，其饱和抗压强度宜满足表 3.2.1 的规定，当与表 3.2.1 的要求不同时应通过试验论证。

表 3.2.1 堆石饱和抗压强度要求

堆石混凝土强度等级	C ₉₀ 10	C ₉₀ 15	C ₉₀ 20	C ₉₀ 25	C ₉₀ 30	C ₉₀ 35
堆石饱和抗压强度 (MPa)	≥30	≥40		≥50	≥60	≥70

3.2.2 堆石选取应考虑粒形要求，不宜使用片状、板状岩块。

3.2.3 堆石最小粒径不宜小于 300mm，可采用孔径为 230mm 的中径筛检验；使用粒径小于 300mm 的堆石料，应通过试验论证；堆石的最大粒径不应超过结构断面最小边长的 1/4，也不宜大于浇筑层厚。

3.2.4 堆石表面含泥量不应大于 0.2%，堆石表面含泥量试验应按本规范附录 A 的有关规定执行。

3.3 水泥与掺合料

3.3.1 使用掺合料的高自密实性能混凝土，宜选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。

3.3.2 高自密实性能混凝土不宜使用铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥等凝结速度较快的水泥。

3.3.3 用于高自密实性能混凝土的粉煤灰应符合现行行业标准《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》DL/T 5055 的有关规定。

3.3.4 用于高自密实性能混凝土的粒化高炉矿渣粉应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046 的有关规定。

3.3.5 用于高自密实性能混凝土的沸石粉应符合现行国家标准《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736 的有关规定。

3.3.6 高自密实混凝土可掺加石灰石粉，石粉掺量应通过配合比试验确定，石灰石粉的性能指标应符合现行行业标准《水工混凝土掺用石灰石粉技术规范》DL/T 5304 的有关规定。

3.3.7 掺用其他类型的石粉或掺合料时，应进行试验验证。

3.4 高自密实性能混凝土骨料

3.4.1 高自密实性能混凝土的细骨料可采用天然砂或人工砂，还应满足下列要求：

- 1 采用天然砂时，含泥量不应大于 3%。
- 2 采用人工砂时，应采用亚甲蓝 MB 值测定方法判定其含泥量，亚甲蓝 MB 值应小于 1.4。

3.4.2 高自密实性能混凝土的粗骨料宜采用连续级配或 2 个单粒径级配的卵石、碎石或碎卵石，最大粒径不应超过 20mm，针片状颗粒含量不应超过 8%。

3.5 外加剂

3.5.1 高自密实性能混凝土宜使用以聚羧酸盐高分子为主要原料的高性能减水剂。

3.5.2 高自密实性能混凝土不宜选用速凝剂或促凝类外加剂，也不宜选用早强剂或早强型外加剂。当自密实性能稳定性要求大于 1h 的情况，宜采用缓凝型外加剂。

3.5.3 高自密实性能混凝土外加剂的性能指标应符合现行行业标准《水工混凝土外加剂技术规程》DL/T 5100 的有关规定。高自密实性能混凝土选用的减水剂，进行标准自密实砂浆试验的性能指标要求应符合表 3.5.3 的规定，标准自密实砂浆试验应按本规范附录 B 的有关规定执行。

表 3.5.3 标准自密实砂浆试验的性能指标要求

项目	初始	静置 1h	静置 2h
扩展度 (mm)	250~300	≥250, 且≥95%初始值	≥250, 且≥90%初始值
V 形漏斗通过时间 (s)	5~15		
泌水率 (%)	≤1		

4 配合比

4.1 一般规定

4.1.1 堆石混凝土强度等级应采用高自密实性能混凝土强度等级代表。

4.1.2 高自密实性能混凝土配合比设计除应符合本规范的规定外，还应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 的有关规定。

4.2 配制性能指标

4.2.1 高自密实性能混凝土的现场自密实性能指标应符合表 4.2.1 的规定，自密实性能试验应按本规范附录 C 的有关规定执行。

表 4.2.1 高自密实性能混凝土的现场自密实性能指标

检测项目	合格指标
坍落度 (mm)	260~280
坍落扩展度 (mm)	650~750
V 形漏斗通过时间 (s)	7~25
自密实性能稳定性 (h)	≥1

注：1 高自密实性能混凝土的工作性能受浇筑方式影响，出机性能与入仓性能可能存在差异，应以入仓性能作为控制标准。

2 自密实性能稳定性在实际工程中可根据施工条件提出更高要求。

4.2.2 高自密实性能混凝土配合比设计的试验室自密实性能指标宜符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 高自密实性能混凝土配合比设计的试验室自密实性能指标

检测项目	合格指标
坍落度 (mm)	260~280
坍落扩展度 (mm)	660~720
V 形漏斗通过时间 (s)	10~22
自密实性能稳定性 (h)	≥1

4.2.3 采用自密实防渗层时，其自密实性能指标宜符合表 4.2.3 的规定。

表 4.2.3 自密实防渗层性能指标

检测项目	配合比设计试验室性能指标	现场入仓性能指标
坍落度 (mm)	260~280	
坍落扩展度 (mm)	620~680	600~700
V 形漏斗通过时间 (s)	10~22	7~25
自密实性能稳定性 (h)	≥1	

4.3 配合比设计

4.3.1 高自密实性能混凝土应按照设计要求，根据现场选用的原材料进行配合比设计试验。

4.3.2 高自密实性能混凝土配合比设计宜采用绝对体积法，合理设计各种成分的体积比例。

4.3.3 高自密实性能混凝土配合比设计参数的选取宜满足下列要求：

- 1 每立方米混凝土中粗骨料体积宜为 $0.27\text{ m}^3\sim 0.33\text{ m}^3$ 。
- 2 每立方米混凝土用水量宜为 $170\text{ kg}\sim 200\text{ kg}$ 。
- 3 体积水粉比宜为 $0.80\sim 1.15$ 。
- 4 每立方米混凝土中的粉体量宜为 $0.16\text{ m}^3\sim 0.20\text{ m}^3$ 。
- 5 含气量宜为 $1.5\%\sim 4.0\%$ ，有抗冻要求时根据抗冻等级确定。

4.3.4 高自密实性能混凝土外加剂的品种和掺量应根据高自密实性能混凝土所需的性能要求经过试验确定。

4.3.5 高自密实性能混凝土的初凝时间应根据生产浇筑能力、运输时间和仓面大小等因素确定。

4.3.6 用于大坝坝体堆石混凝土的高自密实性能混凝土的水泥用量应通过试验确定，应符合表 4.3.6 的规定。

表 4.3.6 高自密实性能混凝土的水泥用量

序号	混凝土强度等级	水泥用量 (kg/m^3)
1	C ₉₀ 10	100~170
2	C ₉₀ 15	130~190
3	C ₉₀ 20	150~210
4	C ₉₀ 25	200~240
5	C ₉₀ 30	200~270
6	C ₉₀ 35	200~300

注：1 水泥用量适用于采用 P.O 42.5 水泥和粉煤灰作为掺合料的高自密实性能混凝土，采用其他水泥和掺合料时可根据实际情况调整。

2 水泥用量适用于抗冻等级小于 F200 的高自密实性能混凝土，对于抗冻等级 F200 及以上的高自密实性能混凝土可适当提高水泥用量。

4.3.7 自密实混凝土的原材料发生以下变化时，应及时调整配合比，经过试验验证后方可用于实际生产。

- 1 水泥和掺合料的生产厂家、品牌、种类、型号、等级或品质发生变化；
- 2 细骨料的种类、产地、品质发生变化，或者细度模数变化超过 ± 0.2 ；
- 3 粗骨料的岩性、产地、品质等发生变化；
- 4 外加剂的厂家或品牌发生变化。

5 施工

5.1 一般规定

5.1.1 施工前应对砂石料生产及贮存系统，原材料供应，堆石入仓和高自密实性能混凝土制备、运输、浇筑和检测等设备的能力及工况等进行检查。

5.1.2 施工前宜进行现场生产性试验，并根据试验结果调整施工工艺参数。

5.1.3 堆石混凝土施工还应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 的有关规定。

5.2 模板与预埋件

5.2.1 模板的设计、制作和安装应符合现行行业标准《水电水利工程模板施工规范》DL/T 5110 的有关规定。

5.2.2 模板应接缝平直密封良好以防止漏浆，其刚度和强度应能够抵抗高自密实性能混凝土产生的侧向压力，高自密实性能混凝土产生的侧向压力可按流体计算，流体密度取为高自密实性能混凝土的密度。

5.2.3 模板型式应与构筑物结构、施工条件等相适应，宜采用悬臂模板、翻升式或自升式模板，条件允许时可采用预制模板。

5.2.4 在堆石过程中，应避免堆石直接撞击模板或其支撑结构，堆石完成后应对模板进行校正。混凝土浇筑过程中，应安排专职人员检查、维护、调整模板的位置和形态。

5.2.5 预埋件布设、安装应牢固可靠，且满足设计及相关规范要求。堆石和浇筑混凝土过程中应注意对预埋件进行保护，不得发生移位或松动。

5.2.6 模板拆除时间应根据堆石混凝土强度及其内外温差确定，并应避免在夜间或气温骤降时拆模。当预报拆模后有气温骤降时，宜延迟拆模时间或在拆模后采取保温措施。

5.3 层面与缝面

5.3.1 水平施工层面应进行处理，并在堆石前用压力水冲洗干净。

5.3.2 有防渗要求的层面处理可用刷毛、冲毛等方法清除混凝土表面的乳皮及松动骨料，达到微露粗砂；包裹在外露堆石料上的混凝土或砂浆也应凿除。

5.3.3 结构缝表面应平整、洁净，外露铁件应割除。缝面填料的材料、厚度应符合设计要求。

5.4 堆石开采与筛洗

- 5.4.1 堆石的爆破开采应通过爆破试验确定合理的爆破参数。
- 5.4.2 开采的石料宜进行筛选，不得混入泥块、软弱岩块。
- 5.4.3 不满足本规范第 3.2.4 条规定含泥量要求的堆石应在入仓前冲洗干净，宜在料场或运输途中对堆石进行冲洗，并在入仓前排尽积水。
- 5.4.4 天然砾石料经筛选后可用于堆石混凝土。
- 5.4.5 堆石存放不宜高堆，装卸时人员不得靠近。
- 5.4.6 仓面堆石摊铺应堆放稳定。

5.5 堆石运输与入仓

- 5.5.1 符合要求的堆石宜采用自卸车运输，应在入仓前对自卸车轮胎进行冲洗，避免轮胎将泥土带入仓面。
- 5.5.2 应结合地形和仓面大小确定合理的堆石入仓方式，堆石入仓应符合下列要求：
 - 1 堆石仓面应避免二次污染，不得在仓面冲洗石块。
 - 2 在堆石前确保仓面清洁，否则不得堆放块石，对于已带入仓内的泥土及岩石碎屑及时清除。
 - 3 应及时将仓面卸料处的积存石屑、石渣清理干净。
- 5.5.3 采用自卸汽车运输入仓时，坝体上游 5m 与下游 3m 范围内不宜直接卸料，其他部位宜一次堆积到位，必要时可设置集中卸料点，自卸车集中卸料点宜合理布置。
- 5.5.4 仓面内石料铺填宜使用挖掘机等设备辅助进行，靠近模板和预埋件部位的堆石宜采用机械或人工辅助堆放。
- 5.5.5 堆石混凝土分层厚度宜为 1.5~2.0m，经论证后可增加分层厚度。
- 5.5.6 应通过优化堆石粒径分布和堆积紧密程度提高堆石率。
- 5.5.7 高自密实性能混凝土抗压强度不低于 2.5MPa 时，方可进行仓面堆石。
- 5.5.8 止水周边 0.5m 范围内不得堆石，图 5.5.8 所示。

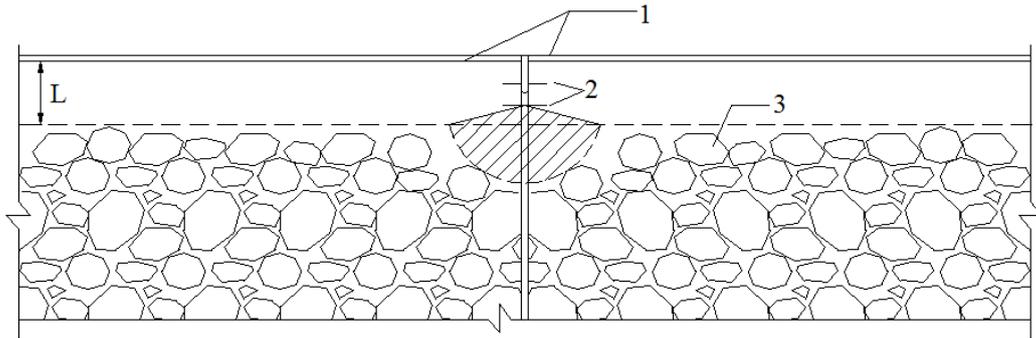


图 5.5.8 坝体横缝止水布置示意图

1—模板；2—止水；3—堆石；L—防渗层厚度

5.6 混凝土生产拌制

5.6.1 自密实混凝土应采用强制式搅拌机进行拌和。

5.6.2 自密实混凝土搅拌时间应适当延长，并结合混凝土配合比、气温、工作性能等确定。

5.7 混凝土运输

5.7.1 高自密实混凝土在运输过程中应避免离析，其运输能力在保证生产与浇筑连续性的同时，还应确保自密实混凝土的浇筑完成时间小于自密实性能稳定性时间要求。

5.7.2 自密实混凝土宜选用混凝土搅拌车或混凝土输送泵运输，也可使用溜槽、溜筒或门塔机、缆机等设备运输，不宜使用各类胶带机运输。

5.7.3 采用混凝土搅拌车运输时，应满足下列要求：

- 1 混凝土搅拌车的运输能力应满足堆石混凝土连续施工的要求。
- 2 接料前，混凝土搅拌车的搅拌筒内部应清理干净。
- 3 混凝土运输过程中保持搅拌筒匀速旋转。
- 4 卸料前，混凝土搅拌车的搅拌筒应高速旋转 1min 以上。

5.7.4 采用混凝土泵输送自密实混凝土时，不宜与其它混凝土交替泵送。

5.7.5 采用门式、塔式、缆式起重机以及其他垂直运输设备配吊罐运输自密实混凝土时，吊罐不得漏浆，并应经常清洗。

5.7.6 采用溜槽、溜筒、溜管输送混凝土时，应满足下列要求：

- 1 溜槽（筒、管）内壁应光滑，运输前应用同配比的自密实砂浆润滑溜槽（筒、管）内壁。
- 2 溜槽（筒、管）宜平顺，每节之间应连接牢固，并有防脱落保护措施。
- 3 运输和卸料过程中不得向溜槽（筒、管）内加水。

5.8 混凝土浇筑

5.8.1 浇筑堆石混凝土时，高自密实性能混凝土浇筑应进行仓面设计，宜满足下列要求：

1 宜采用泵送方式浇筑入仓，下料点间距宜为 3~5m，应均匀布置且不应重复使用。

2 下料点宜遵循单向逐点浇筑的原则，每个下料点浇满后方可移动至下一下料点浇筑。

3 自密实性能稳定性不能满足要求的混凝土不得入仓，还应确保高自密实性能混凝土的覆盖时间小于其初凝时间。

5.8.2 自密实混凝土浇筑时的最大自由下落高度不宜超过 3m。

5.8.3 堆石混凝土浇筑应保持连续施工，浇筑中断时，应根据中断情况采取不同的处理措施：

1 浇筑中断时间超过混凝土初凝时间未达到终凝时间，应先浇筑同配合比的自密实砂浆使其完全覆盖已初凝的混凝土表面，然后浇筑高自密实性能混凝土。

2 中断时间超过混凝土终凝时间时，应先浇筑高一标号的自密实砂浆使其完全覆盖已终凝的混凝土表面，然后浇筑高自密实性能混凝土。

5.8.4 浇筑过程中应采取措施防止模板、预埋件等移动或变形。

5.8.5 堆石混凝土收仓时，除达到结构物设计顶面以外，宜使适量块石高出浇筑面 50~150mm。

5.8.6 堆石混凝土应避免薄层长间歇施工，浇筑块体不宜早期过流。

5.8.7 堆石混凝土大坝施工期间应对仓面的堆石混凝土和环境温度进行监测。

5.8.8 自密实防渗层可参考图 5.8.8 所示的浇筑方式。

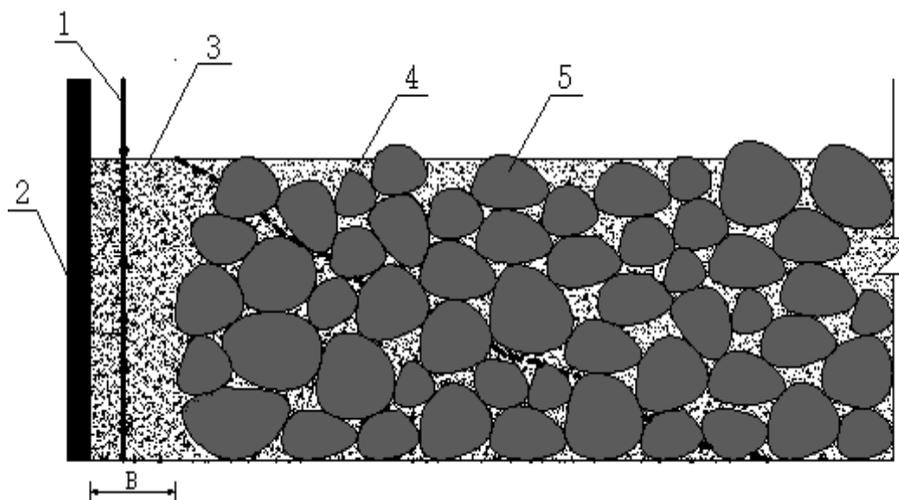


图 5.8.8 防渗层的布置

1—钢筋网；2—模板；3—自密实防渗层；4—坝体高自密实性能混凝土；5—堆石

5.8.9 坝内廊道和孔洞等特殊构造可采用常态混凝土或自密实混凝土浇筑。自密实混凝土应与主体堆石混凝土一体化浇筑。

5.8.10 堆石混凝土浇筑完毕后，应及时养护，保持堆石混凝土表面湿润。

5.9 特殊气候条件施工

5.9.1 特殊气候条件下应有施工方案和技术措施。

5.9.2 雨季施工应满足下列要求：

- 1 进入浇筑仓面的堆石应防雨覆盖，以防止泥污沉积，堆石完成后应及时浇筑。
- 2 小雨时应适当减少混凝土拌和用水量，不得改变自密实性能控制指标。
- 3 遇中雨以上时，应停止仓面浇筑，并采取防雨和排水措施。

5.9.3 在高温季节施工时，可在料场设置遮阳棚，在仓面采用喷雾降温等措施对入仓堆石料温度和仓面环境温度进行控制，也可选择夜间等相对低温时段进行浇筑。

5.9.4 低温季节施工应满足下列要求：

- 1 堆石宜在进入低温季节前筛洗完毕，并应有足够的储备，要有防止冰雪和冻结的措施。
- 2 堆石完成后，应用保温材料覆盖保温或者采用暖棚法施工。
- 3 高自密实性能混凝土应以浇筑完毕后 5d 内的预计日最低气温来选用防冻剂及掺量，并由试验确定。
- 4 高自密实性能混凝土浇筑过程中，堆石仓内不得结冰，也不得混入积雪。

5.9.5 在低温季节和气温骤降季节，堆石混凝土应进行早期表面保护，防止混凝土表面因温度骤降而引起裂缝。

6 质量检查与评定

6.1 一般规定

6.1.1 堆石混凝土原材料、配合比、施工各主要环节、硬化后的堆石混凝土均应进行质量检查与控制。

6.1.2 堆石混凝土的质量检查与控制还应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 的有关规定。

6.1.3 堆石混凝土的质量评定和各项报验资料还应符合现行行业标准《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准第 1 部分：土建工程》DL/T 5113.1 的有关规定。

6.2 原材料检验

6.2.1 水泥进场检验应按每 200t~400t 为一取样单位，不足一个取样单位的应按一个取样单位计。

6.2.2 掺合料进场检验应按每 100t~200t 为一取样单位，不足一个取样单位的应按一个取样单位计。

6.2.3 高自密实性能混凝土的粗骨料针片状含量每 8h 检验 1 次。

6.2.4 高自密实性能混凝土的细骨料在进场检验中应将人工砂亚甲蓝 MB 值作为主控项目，每 8h 检验 1 次。

6.2.5 减水剂进场检验应按每 50t~100t 为一取样单位，不足一个取样单位的应按一个取样单位计。减水剂的标准自密实砂浆试验应符合本规范附录 B 的规定，其结果应符合本规范第 3.5.3 条的规定。

6.3 堆石入仓质量检测

6.3.1 入仓堆石的饱和抗压强度应每 5000m³~10000m³ 为一取样单位检验 1 组，不足一个取样单位的应按一个取样单位计。

6.3.2 入仓的堆石中粒径小于 200mm 的逊径石块体积占比不宜超过 2%，且不宜集中堆放。粒径小于 200mm 的堆石采用孔径为 150mm 的中径筛检验，堆石逊径料现场质量控制可按照本规范附录 D 的有关规定执行，每平米检测区域逊径堆石数量不宜超过 10 盒。

6.3.3 堆石混凝土层面不应被泥土、泥水污染。

6.4 自密实混凝土检验

6.4.1 自密实混凝土拌和物检验，应符合表 6.4.1 的规定。

表 6.4.1 自密实混凝土拌和物检验规定

检测项目	取样位置	检测频率
坍落扩展度	仓面	每 4h 进行 1 次
坍落度	仓面	每 4h 进行 1 次
V 形漏斗通过时间	仓面	每 4h 进行 1 次
自密实性能稳定性	出机口	每仓检验 1 次
含气量	出机口	每仓检验 1 次
拌和物出机口温度	——	每 4h 进行 1 次

6.4.2 用于力学和耐久性能检验的自密实混凝土试件应在出机口取样，试件成型过程中不得进行振捣或插捣。

6.5 建筑物质量检查

6.5.1 堆石混凝土建筑物质量检查应利用钻孔进行，没有防渗要求的结构应进行孔内电视检查，其孔壁的缺陷率不应超过 1%，对于有防渗要求的结构还应进行压水试验。

6.5.2 堆石混凝土建筑物质量检查，孔内电视检查不满足要求或者透水率超过 3Lu 时，应加密钻孔并通过压水试验、孔内电视检查和声波检测等方法对缺陷进行综合评价。

6.6.3 堆石混凝土的现场质量检查应按本规范附录 E 的有关规定执行。

6.6 质量评定

6.6.1 堆石质量应在入仓过程中随时检查，堆石入仓质量检查项目和质量标准应符合表 6.6.1 的规定，其质量评定表格见附录表 F.0.1。

表 6.6.1 堆石入仓质量检查项目和质量标准

项类	检验项目	质量标准	质量评定	
			合格	优良
主控项目	饱和抗压强度	本规范第 3.2.1 条规定	全部符合质量标准	全部符合质量标准
	逊径堆石	本规范第 6.3.1 条规定		
	表面含泥量	本规范第 3.2.4 条规定		
	泥块含量	不允许		
	堆石底部层面控制	不得被泥土、泥水污染		
一般项目	堆石分层厚度	设计要求	70%的检测值符合质量标准	90%的检测值符合质量标准
	超径堆石	本规范第 3.2.3 条规定		
	堆石体边界距离堆石混凝土设计边界距离	<100mm		

6.6.2 自密实混凝土现场拌和质量评定应符合表 6.6.2 的要求，高自密实性能混凝土浇筑工序质量评定表格见附录表 F.0.2。

表 6.6.2 自密实混凝土现场拌和质量检查项目和质量标准

项类	检测项目	质量标准	质量评定	
			合格	优良
主控项目	坍落扩展度	本规范第 4.2.1 条规定	检测合格率 70% 及以上，且全部检测值不低于 600mm	检测合格率 90% 及以上，且全部检测值不低于 600mm；
	坍落度		检测合格率不低于 90%	全部符合质量标准
	V 形漏斗通过时间		检测合格率不低于 90%	全部符合质量标准
一般项目	稳定性检测		检测值大于 50% 设计值	全部符合质量标准

6.5.3 堆石混凝土单元工程施工质量验收评定表格见附录表 F.0.3。

附录 A 堆石表面含泥量试验

A.0.1 本试验方法可用于检测堆石的表面含泥量。

A.0.2 试验设备应符合下列规定：

- 1 电子天平的最大量程不应小于 100kg，感量不应大于 5g。
- 2 毛刷宜选用洗石毛刷，并具有一定的硬度。

A.0.3 试验应按下列步骤进行：

- 1 在仓面堆石体中随机取样，堆石样品每块质量不应小于 40kg，每组取样不应少于 3 块堆石。
- 2 将堆石样品晾至表面干燥，也可用风机等工具将堆石表面吹干，然后称量堆石的质量。
- 3 用毛刷刷洗称重完毕的堆石表面，然后用水冲洗，直至出水清澈为止。
- 4 将清洗完毕后的堆石按照本条第 2 款的方式处理至表面干燥，然后称量堆石的质量。

A.0.4 试验结果应满足下列要求：

- 1 堆石表面含泥量可按下列公式计算：

$$\theta_0 = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \times \frac{\sqrt[3]{3m_2/(4\pi\rho)}}{0.3} \times 100\% \quad (\text{A.0.4})$$

式中： θ_0 ——堆石表面含泥量（%）；

m_1 ——表面含泥的堆石质量（kg）；

m_2 ——表面冲洗干净后的堆石质量（kg）；

ρ ——堆石的密度（kg/m³）。

- 2 堆石表面含泥量应取三个试样测值的最大值。

附录 B 标准自密实砂浆试验

B.0.1 试验方法可用于检测掺入减水剂的标准自密实砂浆拌和物的自密实性能。

B.0.2 试验设备应符合下列规定：

1 水泥胶砂搅拌机应符合现行行业标准《行星式水泥胶砂搅拌机》JC/T 681 的有关规定。

2 水泥胶砂流动度测定仪与试模应符合现行国家标准《水泥胶砂流动度测定方法》GB/T 2419 中的有关规定。

3 砂浆 V 形漏斗（图 B.0.2）应由厚度不小于 2mm 的钢板制成，漏斗内表面应经过加工，在漏斗的出料口部位应附设快速开启的密封盖，并配有支架。

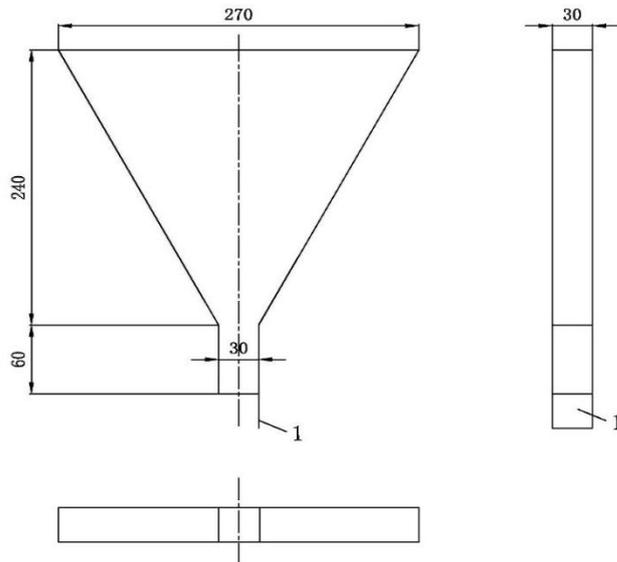


图 B.0.2 砂浆 V 形漏斗示意图（mm）

1—可活动的密封盖

- 4 钢尺的量程不应小于 300mm，分度值不应大于 1mm。
- 5 秒表精度不应低于 0.1s。
- 6 电子天平的最大量程不应小于 3 000g，感量不应大于 0.1g。
- 7 刮刀的刀口应平直，长度应大于 80mm。
- 8 带盖容量筒的容积应为 1.5L。
- 9 带塞量筒容量应为 100mL。

B.0.3 标准自密实砂浆试验应按下列步骤进行：

- 1 调整试验室的温度与湿度，使温度保持在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不低于 50%。

- 2 调整试验所需原材料和仪器设备的温度，使之与试验室相同。
- 3 根据减水剂厂商推荐的掺量称量减水剂，称量偏差应在 $\pm 0.1\text{g}$ 以内。
- 4 称量质量为 1750g 的标准砂，称量偏差应在 $\pm 5\text{g}$ 以内，试验采用的标准砂应符合现行国家标准《水泥胶砂强度检测方法》GB/T 17671的有关规定。
- 5 称量质量为 625g 的水泥，称量偏差应在 $\pm 2\text{g}$ 以内，试验应采用工程确定的用于生产高自密实性能混凝土的水泥。
- 6 称量掺合料，称量质量为掺合料表观密度和 $1,470\text{cm}^3$ 的乘积，称量偏差应在 $\pm 2\text{g}$ 以内，试验采用的掺合料应为工程确定的用于生产高自密实性能混凝土的掺合料；使用多种掺合料时，应按工程确定的各掺合料添加比例制成混合掺合料用于试验。
- 7 称量质量为 403g 的水，称量偏差应在 $\pm 1\text{g}$ 以内，试验用水应为符合国家标准的饮用水。
- 8 称量好的原材料搅拌应满足下列要求：
 - 1) 在搅拌机处于待工作状态下，用潮湿棉布擦拭搅拌锅内壁和搅拌叶，把水泥和掺合料加入锅里，把锅放在固定架上，上升至固定位置。
 - 2) 开动机器，低速搅拌 60s ，在第 $5\text{s}\sim 15\text{s}$ 内均匀加入减水剂和水的混合液，在第 $30\text{s}\sim 60\text{s}$ 内均匀地将砂子加入锅里。当各级砂是分装时，从最粗粒级开始，依次将所需的每级砂量加完。把机器转至高速再拌 30s 。
 - 3) 停拌 90s ，在第1个 15s 内用刮具将叶片和锅壁上的砂浆刮入锅中间。在高速下继续搅拌 60s 。各个搅拌阶段，时间误差应在 $\pm 1\text{s}$ 以内。
- 9 在制备砂浆的同时，用潮湿棉布擦拭跳桌台面、试模内壁、砂浆V形漏斗内壁以及与砂浆接触的用具，将试模放在跳桌台面中央并用潮湿棉布覆盖。
- 10 砂浆V形漏斗下部出口应关闭，并在其下部放置盛接砂浆的容器，将拌好的砂浆在锅内搅拌均匀后一次性将砂浆V形漏斗装满，期间不得振捣或插捣，然后用刮刀沿砂浆V形漏斗上口抹平倾斜。将砂浆静置 1min ，然后打开下部出口，同时使用秒表计时，从上口向下观察，至可见光线时计时停止，所记录的时间为砂浆V形漏斗通过时间，读数应精确到 0.1s 。
- 11 取足量砂浆手工拌和均匀后一次性将试模装满，或者将砂浆V形漏斗试验流出的砂浆直接导入试模，取下模套，将刮刀倾斜，以近水平的角度抹去高出截锥圆模的砂浆，并擦去落在桌面上的砂浆。将截锥圆模在 $2\text{s}\sim 3\text{s}$ 内垂直向上轻轻提起，至其流动扩散停止，使用钢尺测量其最长直径以及与之垂直的直径，以平均值作为砂浆扩展度值。
- 12 当砂浆扩展度值小于 250mm 或大于 300mm 时，应适当增加或减少外加剂掺量，

然后重复步骤 3 至步骤 11；当砂浆 V 形漏斗通过时间小于 5s 或大于 15s 时，应调整外加剂型号或配方，然后重复步骤 3 至步骤 11。

13 将全部拌和砂浆倒入容量筒中静置，盖好桶盖，分别于出机 1h、2h 按照步骤 10、步骤 11 测量砂浆 V 形漏斗通过时间和砂浆扩展度并做好记录，测试前应使用机械或手工将砂浆搅拌均匀。

14 在进行步骤 13 的同时，应按最后确定的减水剂掺量重复步骤 3 至步骤 8，用潮湿棉布将容量筒内壁润湿，称容量筒质量。然后将全部拌和砂浆收集，手工搅拌均匀后一次性倒入桶中，期间不得振捣或插捣。将筒口及表面擦净，称出容量筒及砂浆试样的质量，静置于无振动的地方，盖好桶盖并开始计时。前 60min 每隔 20min 用吸液管吸出泌水 1 次，以后每隔 30min 吸水 1 次，直至连续 3 次无泌水为止。吸出的水注于带塞量筒中，读出吸出水的累计值。

B.0.4 试验结果应满足下列要求：

1 标准自密实砂浆的泌水率可按下列公式计算：

$$B_M = \frac{W_b}{(W/G)G_1} \times 100\% \quad (\text{B.0.4})$$

式中： B_M —— 砂浆泌水率（%），精确至 0.01%；

W_b —— 泌水总质量（g）；

W —— 一次砂浆拌和的总用水量（g）；

G —— 一次拌和的砂浆总质量（g）；

G_1 —— 试样质量（g）。

2 标准自密实砂浆的扩展度应取两直径的算术平均值作为试验结果，扩展度值测量应精确至 1mm，结果应修约至 5mm。标准自密实砂浆的 V 形漏斗通过时间以试验测定值作为试验结果，结果应精确至 0.1s。

附录 C 自密实性能试验

C.1 坍落扩展度试验

C.1.1 本试验方法可用于测定高自密实性能混凝土的坍落扩展度。

C.1.2 试验设备应符合下列规定：

- 1 坍落度筒应符合现行行业标准《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 中的有关规定。
- 2 钢板的厚度不宜小于 5mm，边长不应小于 800mm，表面应平整光滑。
- 3 钢尺或卷尺的量程不应小于 800mm，分度值不应大于 1mm。

C.1.3 试验应按下列步骤进行：

- 1 从拌制好的高自密实性能混凝土中均匀取样不少于 10L 装入盛料容器。
 - 2 将坍落度筒和测量用的钢板冲洗干净并保持湿润，调平钢板，将坍落度筒放在钢板上，双脚踏紧踏板。
 - 3 将盛料容器中的高自密实性能混凝土拌和物连续倒入坍落度筒内，倒满后用镩刀将高自密实性能混凝土拌和物沿筒口抹平，并清除筒外周围的混凝土，整个过程不得振捣或插捣。
 - 4 将坍落度筒在 2s~3s 内竖直提起约 300mm 后，放置在钢板的边角处，当试样不再流动扩散时，用钢尺或卷尺测量试样的最大扩展直径以及与其垂直的扩展直径。
 - 5 如果测得的 2 个扩展直径之差大于 50mm，应调整钢板水平度和平整度并重新取样进行试验。
 - 6 每次坍落扩展度试验应连续进行，并应在 2min~3min 内完成，应同时完成坍落度的测量。
- C.1.4 高自密实性能混凝土拌和物坍落扩展度以拌和物流动扩散停止后的最大扩展直径以及与其垂直的扩展直径的算术平均值作为试验结果，坍落扩展度的测量应精确至 1mm，结果应修约至 5mm。

C.2 V 形漏斗试验

C.2.1 本试验方法可用于测定高自密实性能混凝土的 V 形漏斗通过时间。

C.2.2 试验设备应符合下列规定：

- 1 V 形漏斗（图 C.2.2）由厚度不小于 3mm 的金属或厚度不小于 10mm 的有机玻璃材质制成，漏斗的内表面应经过加工光滑平整，在其底部出料口应附设可快速开启的密封盖。

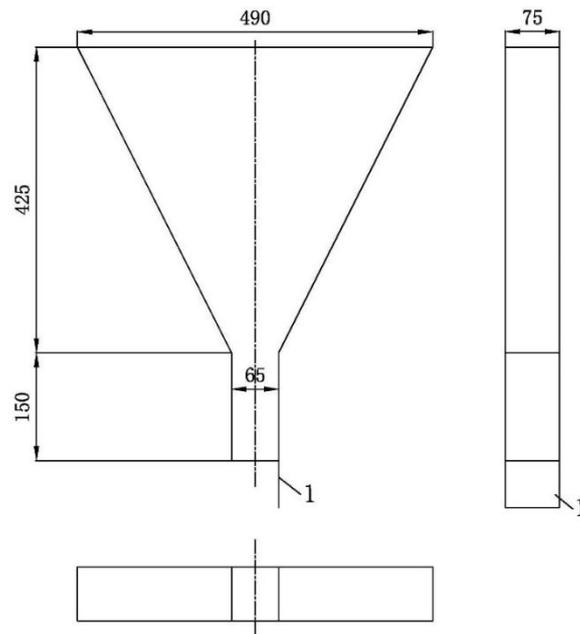


图 C.2.2 V形漏斗示意图 (mm)

1—可活动的密封盖

2 支撑 V 形漏斗的台架宜有调整装置，应确保台架的水平，V 形漏斗支撑在台架上时，其中轴线应垂直于底板；台架应能承受装填混凝土，且易于搬运。

3 盛料容器容积不应小于 15L。

4 秒表精度不应低于 0.1s。

C.2.3 V 形漏斗试验应按下列步骤进行：

1 从拌制好的高自密实性能混凝土中均匀取样不少于 10L 装入盛料容器。

2 将 V 形漏斗竖直放置，下部出口以下不少于 300mm 范围内无遮挡，将 V 形漏斗内壁冲洗干净并保持湿润，关闭下部出口。

3 将盛料容器中的高自密实性能混凝土拌和物连续倒入 V 形漏斗内，倒满后用镩刀将高自密实性能混凝土拌和物沿 V 形漏斗上口抹平，然后开始计时，使高自密实性能混凝土在 V 形漏斗中静置 1min，整个过程不得振捣或插捣。

4 打开 V 形漏斗的下部出口，同时使用秒表计时，从上口向下观察，至可见光线时计时停止，所记录的时间为 V 形漏斗通过时间，当超过 1min 仍未全部流出时，可终止试验。

C.2.4 应以高自密实性能混凝土拌和物全部流出的时间作为 V 形漏斗试验的结果，结果应精确至 0.1s，当秒表读出的时间超过 1min 时，V 形漏斗通过时间计为 >1min。

C.3 自密实性能稳定性试验

C.3.1 本试验方法可用于测定高自密实性能混凝土坍落度、坍落扩展度、V形漏斗通过时间和泌水率的经时变化。

C.3.2 试验设备应符合下列规定：

1 坍落扩展度试验的试验设备应符合本规范附录 C.1 的有关规定。

2 V形漏斗试验的试验设备应符合本规范附录 C.2 的有关规定。

3 混凝土拌和物泌水率试验所需的试验设备应符合现行行业标准《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 中的有关规定。

C.3.3 试验应按下列步骤进行：

1 从首次完成拌和的高自密实性能混凝土拌和物中取样，按现行行业标准《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 和本规范附录 C.1、C.2 的有关规定进行坍落度、坍落扩展度和 V 形漏斗试验，试验应连续进行并在拌和完成后 10min 内完成，其结果记为出机口的坍落度、坍落扩展度和 V 形漏斗通过时间。

2 从首次完成拌和的高自密实性能混凝土中取样，按现行行业标准《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 的有关规定进行高自密实性能混凝土泌水率试验，试验过程中不得对高自密实性能混凝土进行振捣或插捣。

3 收集除进行泌水率试验以外的其余高自密实性能混凝土，装入盛料容器并覆盖玻璃板后静置，至下一次试验前，每隔 0.5h 倒入搅拌机搅拌 2min，然后再装入盛料容器并覆盖玻璃板后静置。

4 首次拌和完成后 1h，进行坍落度、坍落扩展度和 V 形漏斗试验，试验前应将盛料容器中静置的高自密实性能混凝土采用手工或者机械的方式拌和均匀，试验应连续进行并在 10min 内完成，其结果记为出机 1h 的坍落度、坍落扩展度和 V 形漏斗通过时间。

5 当自密实性能稳定性目标时长超过 1h 时，重复步骤 3，在首次拌和完成至达到自密实性能稳定性目标时长时按步骤 4 进行试验，其结果记为自密实性能稳定性目标时长的坍落度、坍落扩展度和 V 形漏斗通过时间。

C.3.4 当自密实性能稳定性目标时长为 1h 时，高自密实性能混凝土出机口和出机 1h 的坍落度、坍落扩展度和 V 形漏斗通过时间应满足表 C.3.4 的要求，且泌水率不大于 1% 时，其自密实性能稳定性记为 1h。

表 C.3.4 自密实性能稳定性目标时长 1h 的性能要求

	出机口	出机 1h
坍落度 (mm)	260~280	出机口坍落度值 ± 10
坍落扩展度 (mm)	650~750	出机口坍落扩展度值 ± 10 且 \geq 出机口坍落扩展度值的 95%
V 形漏斗通过时间 (s)	7~25	

C.3.5 当自密实性能稳定性目标时长超过 1h 时，高自密实性能混凝土出机口、出机 1h 的坍落度、坍落扩展度和 V 形漏斗通过时间应满足表 C.3.4 的要求，出机目标时长的坍落度、坍落扩展度和 V 形漏斗通过时间应满足表 C.3.5 的要求，且泌水率不大于 1% 时，其自密实性能稳定性记为目标时长。

表 C.3.5 自密实性能稳定性目标时长超过 1h 的性能要求

	自密实性能稳定性目标时长	
坍落度 (mm)	出机口坍落度值 ± 10	
坍落扩展度 (mm)	出机口坍落扩展度值 ± 10 且 \geq 出机口坍落扩展度值的 90%	
V 形漏斗通过时间 (s)	7~25	

附录 D 堆石逊径料现场质量检验

D.0.1 本试验方法用于测量检测仓面堆石逊径料。

D.0.2 试验设备应符合下列规定：

- 1 堆石逊径检测盒，内径边长为 150mm 单面开口的立方体检测盒。
- 2 钢卷尺或皮尺，量程不应小于 2000mm，分度值不应大于 1mm。

D.0.3 试验应按下列步骤进行：

1 每次检测，应随机从已入仓堆石外露的顶面或侧面选择不小于 1m² 的面积作为检测区域，并使用钢卷尺或皮尺测量检测区域的边长并计算检测区域的面积。

2 对检测区域内可见的堆石，选取目测可能逊径的堆石，将其取出装入堆石逊径检测盒，完全装入检测盒的堆石为逊径堆石。

3 全部装入检测盒的单块或多块逊径堆石计为 1 盒逊径堆石，将检测区域内的全部逊径堆石分批次装入检测盒，得到检测区域内逊径堆石的总盒数。

D.0.4 检验结果应满足下列要求：

$$ID_R = \frac{B}{S} \quad (D.0.4)$$

式中： ID_R ——单位面积逊径堆石数量（盒/m²）；

B ——检测区域逊径堆石的总量（盒）；

C ——检测区域的面积（m²）。

附录 E 堆石混凝土现场质量试验方法

E.1 钻孔压水试验

E.1.1 堆石混凝土的钻孔压水检测频次应不少于每 2 段/万 m^3 , 钻孔应在混凝土浇筑 14d 后且强度不小于 10MPa 时进行, 堆石混凝土坝的每个坝段均应进行钻孔压水试验检测, 每个坝段的钻孔位置应随机选择, 钻孔数量不应少于 2 个,

E.1.2 堆石混凝土钻孔压水试验应符合现行行业标准《水电工程钻孔压水试验规程》NB/T 35113 的有关规定。

E.2 孔内电视试验

E.2.1 堆石混凝土孔内电视检测孔的位置和数量宜与压水试验一致, 并将圆柱形检测孔壁的图像绘成全孔展示图。

E.2.2 对全孔展示图中缺陷的部位、形状、尺寸等信息应进行标记与记录, 并统计缺陷面积的占比。

E.3 孔内声波试验

E.3.1 堆石混凝土声波检测宜以压水试验或孔内电视检测发现的问题孔作为基础孔, 必要时在其临近区域进行加密钻孔并进行检测。

E.3.2 堆石混凝土的孔内声波检测应符合现行行业标准《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 的有关规定。

E.4 芯样试验

E.4.1 堆石混凝土钻孔取芯应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 的有关规定, 芯样直径宜大于 200mm。

E.4.2 堆石混凝土芯样编录应主要包括混凝土芯样采取率、混凝土芯样 RQD、混凝土层间接触性状、空腔及气泡数量, 并应拍摄芯样照片, 对芯样信息进行完整记录。

E.4.3 堆石混凝土的代表性芯样中块石体积比宜在 1/3~3/4 的范围内, 芯样试验主要包括抗压、劈拉, 每组芯样试验的试件数量不宜小于 10 个, 试验方法按现行行业标准《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 的有关规定执行。

附录 F 堆石混凝土质量评定表

F.0.1 表 F.0.1

堆石入仓工序施工质量验收评定表

单位工程名称		单元工程量			
分部工程名称		施工单位			
单元工程名称、部位		评定日期	年 月 日		
项类	检查项目	质量标准	质量评定		
主控项目	1. 饱和抗压强度	设计要求			
	2. 逊径堆石	≤10 盒/m ²			
	3. 表面含泥量	≤0.2%			
	4. 泥块含量	不允许			
	5. 堆石底部层面控制	不得被泥土、泥水污染			
一般项目	检查项目	质量标准	质量评定		
			总检查 点数	合格 点数	合格率%
	1. 堆石分层厚度	设计要求			
	2. 超径堆石	≤1/4 结构最小断面且层厚			
	3. 堆石体边界距离堆石 混凝土设计边界距离	堆石体边界距离堆石混凝土设计 边界不超过 100mm			
施工 单位	自检结果	主控项目 一般项目	监理单位	检查结果	主控项目 一般项目
	工序质量等级			工序质量等级	
	质量负责人	年 月 日		监理工程师	年 月 日
注：					

F.0.2 表 F.0.2

高自密实性能混凝土浇筑工序质量评定表

单位工程名称			单元工程量		
分部工程名称			施工单位		
单元工程名称、部位			检验日期	年 月 日	
项 类	检查项目	质量标准		质量评定	
		优良	合格		
主 控 项 目	1. 入仓混凝土料 (含原材料、拌合物及硬化混凝土)	无不合格料入仓	少量不合格入仓, 经处理满足设计及规范要求		
	2. 坍落扩展度	不低于70%的检测值在650mm~750mm范围内, 且全部检测值不低于600mm、不高于750mm	不低于90%的检测值在650mm~750mm范围内, 且全部检测值不低于600mm、不高于750mm		
	3. 坍落度	不低于90%的检测值在260mm~280mm范围内	全部检测值在260mm~280mm范围内		
	4. V形漏斗通过时间	不低于90%的检测值在7s~25s范围内	全部检测值在7s~25s范围内		
	5. 浇筑间歇时间	保持连续浇筑, 浇筑覆盖上时间小于自密实性能稳定性	浇筑出现少量间断, 浇筑覆盖时间小于初凝时间		
	6. 混凝土养护	混凝土表面保持湿润, 连续养护时间符合设计要求	混凝土表面保持湿润, 但局部短时间有时于时湿现象, 连续养护时间基本满足设计要求		
一 般 项 目	1. 积水和泌水	无外部水流入, 泌水排除及时	无外部水流入, 有少量泌水, 且排除不够及时		
	2. 插筋、管路等埋件及模板的保护	保护好, 符合要求	有少量位移, 及时处理, 符合设计要求		
	3. 自密实性能稳定性	检测值大于50%设计值	不低于设计值		
	4. 混凝土浇筑温度	满足设计要求	80%以上的测点满足设计要求, 且单点超温不大于3℃		
	5. 混凝土表面保护	保护时间、保温材料质量符合设计要求, 保护严密	保护时间与保温材料质量符合设计要求, 保护基本严谨		
	6. 浇筑最大自由下落高度	未超过3m	少量混凝土自由下落超过3m, 混凝土未发生离析		
	7. 浇筑点布置	均匀布置且浇筑点间距宜超为3~5m	少量浇筑点间距超过5m, 混凝土浇筑充填均匀		
施 工 单 位	自检结果	主控项目	监 理 单 位	检查结果	主控项目
		一般项目		检查结果	一般项目
	工序质量等级			工序质量等级	

	质量负责人		年 月 日		监理工程师		年 月 日
注:							

F.0.3 表 F.0.3

堆石混凝土单元工程施工质量验收评定表

单位工程名称			单元工程量		
分部工程名称			施工单位		
单元工程名称、部位			评定日期		年 月 日
检测项目			质量等级		
1. 基础面、混凝土施工缝					
2. 模板					
3. 预埋件					
4. 堆石入仓					
5. 高自密实性能混凝土浇筑					
6. 混凝土外观					
施 工 单 位	自检结果		监 理 单 位	检查结果	
	评定等级			评定等级	
	质量负责人	年 月 日		监理工程师	年 月 日
注：当混凝土物理力学性能不符合设计要求时应予以重新评定。					

本规范用词说明

- 1 为便于在执行本规范条文时区别对待，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”。
- 2 条文中指明应按其他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

- 《水泥胶砂流动度测定方法》GB/T 2419
- 《水泥胶砂强度检测方法》GB/T 17671
- 《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》GB/T 18046
- 《高强高性能混凝土用矿物外加剂》GB/T 18736
- 《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》DL/T 5055
- 《水工混凝土外加剂技术规程》DL/T5100
- 《水电水利工程模板施工规范》DL/T 5110
- 《水电水利基本建设工程 单元工程质量等级评定标准 第 1 部分：土建工程》DL/T 5113.1
- 《水工混凝土施工规范》DL/T 5144
- 《水工混凝土试验规程》DL/T 5150
- 《水工混凝土掺用石灰石粉技术规范》DL/T 5304
- 《水电工程钻孔压水试验规程》NB/T 35113
- 《行星式水泥胶砂搅拌机》JC/T 681

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程堆石混凝土施工规范

DL/T 5806—2020

条文说明

制 定 说 明

《水电水利工程堆石混凝土施工规范》DL/T 5806—2020，经国家能源局 2020 年 10 月 23 日以第 5 号公告批准发布。

本规范编制过程中，编制组进行了广泛、深入的调查研究，总结了已有的水电水利工程堆石混凝土筑坝的实践经验，吸收了近年来水电水利工程堆石混凝土筑坝研究方面所取得的科技成果。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《水电水利工程堆石混凝土施工规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 录

1 总则	34
3 原材料	35
3.1 一般规定	35
3.2 堆石	35
3.3 水泥与掺合料	36
3.4 高自密实性能混凝土骨料	37
3.5 外加剂	38
4 配合比	39
4.1 一般规定	39
4.2 配制性能指标	40
4.3 配合比设计	40
5 施工	44
5.1 一般规定	44
5.2 模板与预埋件	44
5.3 层面与缝面	45
5.4 堆石开采与筛洗	45
5.5 堆石运输与入仓	46
5.6 混凝土生产拌制	47
5.7 混凝土运输	47
5.8 混凝土浇筑	48
5.9 特殊气候条件施工	50
6 质量检查与评定	12
6.1 一般规定	12
6.2 原材料检验	12
6.3 堆石入仓质量检测	12
6.4 自密实混凝土检验	52
6.5 建筑物质量检查	13
6.6 质量评定	54

1 总 则

1.0.1 本条简要说明了制定本规范的目的。

堆石混凝土坝是我国基于国内工程实践提出的一种新坝型，具有安全、简便、高效、经济、节能、环保等特点。堆石混凝土大量使用石料，显著降低水泥用量，降低了成本，简化了混凝土温控。同时，堆石混凝土不用振捣，简化了施工工艺，可以加快施工速度。

为规范新技术在工程建设施工上的应用，避免新技术应用不当为工程留下安全隐患，推动堆石混凝土技术发展，特制定本规范。

1.0.2 本条规定了本规范的适用范围，主要根据我国已建堆石混凝土大坝的工程经验及科研成果确定。

堆石混凝土技术经过十多年的发展，在大坝体型、坝高及工程规模等方面均取得了较大发展，为堆石混凝土坝的施工积累了不少经验，并在某些方面进行了有益的探索和创新。截止到 2018 年底，已建、在建堆石混凝土工程数量已超过 100 个，其中已建成的重力坝、拱坝约 50 个，在建重力坝、拱坝约 30 个，其余均为基础回填、防洪堤、挡土墙等部位的应用，应用地区超过 20 个省市自治区和直辖市。其中已建的最高堆石混凝土坝为 SXBJ 水电站堆石混凝土拱坝，最大坝高 69m，在建的最高堆石混凝土坝为 YNSL 水库堆石混凝土重力坝，最大坝高 90m。

1.0.3 堆石混凝土作为一种新的筑坝技术和施工工艺，在不同的工程条件下其工艺和施工组织往往具有一定的差异性，因此应在施工前结合工程实际情况编制施工组织设计，以确保堆石混凝土施工的顺利实施。

1.0.4 对于堆石混凝土施工与常规水工混凝土施工不同的地方，本规范进行了具体的要求，本规范未做具体要求的内容应符合现行国家和行业有关标准的规定。

3 原材料

3.1 一般规定

3.1.1 高自密实性能混凝土的性能是影响堆石混凝土性能的重要因素，因此在高自密实性能混凝土原材料的选择上应严格谨慎。高自密实性能混凝土在拌和物的和易性、抗分离性方面的要求高于常规水工混凝土，材料的耐久性是保证和延长结构使用寿命的关键，因此也在本条特别强调。

3.1.2 堆石混凝土作为混凝土的一种，在原材料方面除应符合本规范提出的规定，还应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 的有关规定。

3.2 堆 石

3.2.1 堆石的基本要求为完整和质地坚硬，其质地坚硬的性能通过堆石的单轴饱和抗压强度指标来体现，根据现行行业标准《水电水利工程岩石试验规程》DL/T 5368-2007 的有关规定进行检验。由于堆石粒径较大，堆石中可能存在天然缺陷，为确保堆石混凝土的强度，堆石的饱和抗压强度按照不宜低于堆石混凝土设计标号的 2 倍考虑，对于 C₉₀10、C₉₀15 等级的堆石混凝土还适当提高了要求。在实际的堆石混凝土坝工程中，有少量中低坝的堆石饱和抗压强度略低于本条要求，经研究论证后被允许使用，工程建设情况良好。

3.2.2 堆石之间较平整的面相互接触易形成狭长缝隙，从而影响高自密实性能混凝土的充填密实性，宜避免使用片状、板状的岩块作为堆石，也不宜使用光面平整的岩块。如工程需采用薄片板状岩块，应结合工程规模和技术要求，对片石粒径、岩石强度、破碎情况等经过专题论证。

另外堆石混凝土中的高自密实性能混凝土使用了大量粉煤灰替代水泥，专用外加剂中碱含量很低，同时由于堆石粒径大，堆石发生碱骨料反应的表面积较小，堆石混凝土发生碱骨料反应的可能性要显著小于普通混凝土。

3.2.3 堆石混凝土的堆石料粒径要求是为了确保堆石混凝土的密实度，堆石混凝土是利用高自密实性能混凝土填充堆石空隙形成的一种大体积混凝土，如果堆石粒径过小，会形成一些小的堆石空隙，影响高自密实性能混凝土的充填密实度，从而影响堆石混凝土的性能。根据现有的试验成果，堆石粒径大于高自密实性能混凝土骨料粒径的 10 倍以上时，高自密实性能混凝土能够顺利穿过堆石空隙并将其充填密室，为了适应堆石空隙的复杂性、提高充填密实的保证率，在工程应用中将 10 倍提高至 15 倍，即采用 1 级配高自密实性能混凝土（骨料最大粒径约 20mm）充填堆石空隙时，堆石的最小粒径原则上不小于 300mm。当主要采用粒径为 150mm~300mm 的堆石时，由于堆石空隙的尺寸减小，有可能会影响高自密实性能混

凝土的填充性能，因此，可以通过降低高自密实性能混凝土粗骨料的 最大粒径 ，并优化高自密实性能混凝土配合比等方式提高其填充性，然后经浇筑试验论证其密实性后方可使用。堆石粒径的检验方法参考了《水工混凝土施工规范》DL/T 5144-2015 中关于混凝土骨料粒径检验的中筛方法，等比例的换算了堆石最小粒径的控制标准。

堆石最大粒径的控制原则是不影响建筑物的均质性，同时能够在开采、运输、入仓等方面方便施工。在已实施的堆石混凝土工程中曾使用过粒径 2m 以上的堆石，但是数量较少，在施工中放置在了仓面的中部。

3.2.4 本条规定了堆石表面的含泥量要求，堆石表面含泥量是指附着在堆石表面的泥土或石粉，对于混杂在堆石中的土渣、石渣应作为逊径料在粒径控制时予以清除。当不同粒径的骨料采用相同的含泥量标准时，大粒径骨料对应的单位表面积含泥量相比小粒径骨料显著提高，对于大粒径骨料的胶结是不利的，因此大粒径骨料的含泥量控制标准应更严格，并引入标准含泥量客观评价堆石表面含泥量情况。标准含泥量是将堆石表面含泥量折算成基准粒径堆石的含泥量而得到的，折算过程中假定不同粒径堆石表面含泥量相同。堆石的最小粒径大约为 4 级配骨料最小粒径的 4 倍，在实际施工中还会用到粒径更大的堆石。参考现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T5144-2015 的有关规定，对于 1、2 级配骨料含泥量（标准为 1.0% ）和 3、4 级配骨料含泥量（标准为 0.5% ）的控制要求，堆石含泥量控制标准类比递推为 0.25% ；在实际工程中使用的堆石粒径一般为 $300\text{mm}\sim 1000\text{mm}$ ，故对堆石表面含泥量控制标准略有提高，将上限标准确定为 0.2% 。

3.3 水泥与掺合料

3.3.1 高自密实性能混凝土需要使用掺合料时，其掺量一般较高，如与火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥等混合材料较多的水泥共同使用时，容易引起混凝土强度发展较慢以及与外加剂相容性不好等问题，所以高自密实性能混凝土中使用掺合料时，宜优先选用混合材料较少的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。需要使用粉煤灰水泥、矿渣水泥、火山灰质水泥时，应经过试验论证。

3.3.2 高自密实性能混凝土不宜采用凝结速度较快的水泥，如铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥等，因为这类水泥配制的混凝土流动性损失很快，一般无法满足自密实性能稳定性的基本要求，还会由于凝结硬化过快造成质量缺陷。

3.3.3 良好的粉煤灰可降低胶凝材料的需水量，改善高自密实性能混凝土的自密实性能，提高混凝土的后期强度和耐久性。

3.3.4 粒化高炉矿渣粉具有较高的活性，需水量也较小，能够改善高自密实性能混凝土的工作性能，因此可用于配制高自密实性能混凝土，但应关注其收缩与抗裂性能。

3.3.5 沸石粉能够改善高自密实性能混凝土的抗离析性，可用于配制高自密实性能混凝土。

3.3.6 高自密实性能混凝土中，粉体材料的用量是实现自密实性能的重要保障，在自密实混凝土配合比设计中通常认为粒径 $75\ \mu\text{m}$ 及以下的颗粒属于粉体材料，能够与水形成性能稳定的净浆体系。当人工砂中石粉含量较低时，为了获得合格的自密实性能，高自密实性能混凝土的配合比中往往需要外掺较多的活性掺合料，不仅增加了高自密实性能混凝土材料成本，而且不利于控制水化热温升。已有多个堆石混凝土坝工程在高自密实性能混凝土中掺入了石灰石粉，不仅综合性能全面满足设计要求，其水化热也得以降低，成本得到了控制。YNSL 水库堆石混凝土重力坝，最大坝高 90m，坝体采用 C₉₀15 堆石混凝土，其 C₉₀15 高自密实性能混凝土的施工配合比分别使用了“水泥+粉煤灰+石灰石粉”和“水泥+石灰石粉”两种粉体组成方式，均满足设计和施工要求。

3.3.7 在实际工程中，采用其他类型的石粉或掺合料配制高自密实性能混凝土的经验不多，因此需要经过试验论证后方可使用。

3.4 高自密实性能混凝土骨料

3.4.1 本条规定了高自密实性能混凝土细骨料的品质要求：

1 现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144-2015 对天然砂的含泥量要求分为两档，设计龄期混凝土抗压强度标准值不小于 30MPa 和有抗冻要求的混凝土含泥量不超过 3%，设计龄期混凝土抗压强度标准值小于 30MPa 的混凝土含泥量不超过 5%。天然砂含泥量的增加会对高自密实性能混凝土的自密实性能、强度、抗冻性、抗渗性和外加剂掺量等产生较大的不利影响，因此需要严格控制。虽然坝体所使用的高自密实性能混凝土的强度等级一般低于 C₉₀30，但由于高自密实性能混凝土对泥质成分的敏感性，选取了 3% 作为控制标准。

2 人工砂中的石粉受母材的品质影响，有时也会含有一定量的泥质成分，这同样会影响高自密实性能混凝土的综合性能，参考现行国家标准《建筑用砂》GB/T 14684 的有关规定，选择亚甲蓝 MB 值测定方法对其进行检测，选择 MB 值 1.4 作为上限控制标准。

3.4.2 本条规定了高自密实性能混凝土粗骨料的品质要求：

由于高自密实性能混凝土需要填充堆石空隙，因此粗骨料粒径不宜过大，根据试验研究、工程实践以及自密实混凝土技术的相关标准，规定了粗骨料最大粒径不应超过 20mm。良好的级配可以降低粗骨料的松堆孔隙率，对于高自密实性能混凝土的配合比设计和综合性能提升是有利的。连续级配是指粒径 5mm~20mm 的骨料，2 个单粒径级配是指粒径分别为 5mm~10mm 和 10mm~20mm 的两种骨料。粗骨料中的针片状颗粒含量高，会影响高自密实性能混凝土的流动性能和抗离析性能，从而影响其对堆石空隙的充填，因此参考了国内外自密实混凝土技术的相关标准，确定了不超过 8% 的控制指标。

3.5 外加剂

3.5.1 高自密实性能混凝土在流动性、抗离析性、自密实性能稳定性等方面相比常规自密实混凝土有着更高的要求，目前配制自密实混凝土普遍使用聚羧酸高性能减水剂，其性能明显优于其他种类的减水剂。

3.5.2 由于速凝剂或促凝类外加剂会加快自密实混凝土的凝结硬化，混凝土拌和物在较短时间内丧失流动性，使其在入仓完成前发生凝结和硬化，从而造成质量缺陷。因此，在常规情况下，速凝剂或促凝类外加剂不适用于高自密实性能混凝土。早强剂或早强型外加剂也会使混凝土拌和物流动性的损失，不利于高自密实性能混凝土施工。当施工仓面较大、运输距离较远，高自密实性能混凝土从出机到浇筑入仓的时间超过 1h 时，其自密实性能稳定性的要求通常大于 1h，宜采用缓凝型外加剂以满足施工要求。

3.5.3 由于自密实性能稳定性是堆石混凝土施工中确保高自密实性能混凝土能够将堆石空隙充填密实的关键性因素，应予以重视。为了方便快速地判断减水剂是否能够满足自密实性能稳定性的要求，本规范提出了标准自密实砂浆试验和相关性能指标要求。

4 配合比

4.1 一般规定

4.1.1 本条提出了高自密实性能混凝土强度等级宜与堆石混凝土强度等级一致。已有的堆石混凝土大尺寸试验研究表明：堆石体的骨架作用能够提高堆石混凝土的抗压强度，使其高于用于充填的高自密实性能混凝土的抗压强度。表 4-1 所示为 SPEJ 水电站和 ZM 水电站大尺寸试件抗压强度的实验结果。

表 4-1 大尺寸试件抗压强度

工程名称	岩石种类	标号	RFC28d 抗压强度(MPa)	HSCC28d 抗压强度(MPa)	RFC28d 抗压强度/HSCC28d 抗压强度
SPEJ 水电站	灰岩	C15	31.0	23.5	1.32
ZM 水电站	花岗岩	C15	35.6	23.4	1.52
		C20	38.9	25.2	1.54

试验结果表明，灰岩堆石混凝土的强度提高率平均约为 30%，花岗岩堆石混凝土的强度提高率平均约为 50%。

对部分已竣工堆石混凝土工程进行了芯样抗压强度检测和统计，分别测定了堆石芯样、高自密实性能混凝土芯样和堆石混凝土芯样的抗压强度，统计结果见表 4-2。

表 4-2 部分工程堆石混凝土芯样强度

工程名称	工程部位	设计标号	芯样抗压强度, MPa			抗压强度比
			Rock	RFC	HSCC	RFC/HSCC
GDCKSJ 水库	坝体	C20	100.4	52.2	34.0	1.54
SCSPEJ 水电站	导墙	C20	87.9	38.5	27.9	1.38
XJSK 水电站	围堰	C15	—	40.3	24.9	1.62
YNWDD 水电站	围堰	C15	61.0	32.7	27.0	1.21

通过堆石混凝土大尺寸试验研究与工程实践检测，在堆石料满足本规范第 3.2 节要求的前提下，堆石混凝土的抗压强度取决于高自密实性能混凝土的抗压强度，并且具有一定的超强系数。出于谨慎安全的考虑，本规范未考虑堆石混凝土的强度提高效应，仍以高自密实性能混凝土的强度等级表征堆石混凝土的强度等级，以保证较高的安全裕度。随着堆石混凝土工程经验的积累，建立了堆石混凝土强度与高自密实性能混凝土及堆石料强度的精确关系以后，可以根据堆石料条件，适当降低高自密实性能混凝土的强度要求。

4.1.2 在高自密实性能混凝土配合比方面，除应符合本规范提出的规定，还应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 的有关规定。

4.2 配制性能指标

4.2.1 坍落度值在一定程度上反映高自密实性能混凝土是否出现离析现象，当坍落度值过低时经坍落度试验扩散后的混凝土试样中部往往会出现骨料堆积的现象，应予以重视。坍落扩展度值用于评价高自密实性能混凝土的流动性，该值过小说明其流动性不足，过大往往会发生离析。V形漏斗通过时间用于评价高自密实性能混凝土的抗离析性，V形漏斗通过时间较短通常说明抗离析性不足，较长则需要区分两种情况：一种是离析情况严重，在V形漏斗内发生了堵塞导致时间过长，这是抗离析性不足的一种表现；另一种是粘性过大导致抗离析性过强。在堆石体上浇筑高自密实性能混凝土时，不仅要求在浇筑时具有高自密实性能以确保其充分充填堆石空隙，还要求在流动停止后仍具有较好的高自密实性能以便后续高自密实性能混凝土能够在空隙中与其紧密结合。提出自密实性能稳定性的要求则是为了确保堆石混凝土施工过程中，堆石的空隙能够被充填密实。自密实性能稳定性不小于1h是基本要求，宜根据施工条件确定自密实性能稳定性的要求，对于超过1h的自密实性能稳定性要求，宜以0.5h作为最小单位逐步增加，即选取1.5h、2h、2.5h等作为自密实性能稳定性的目标值。

4.2.2 用水量、粗细骨料含粉量、骨料级配等性能的波动都会在实际生产中造成高自密实性能混凝土的性能波动，本条考虑了这一特点给出了配合比设计的试验室控制标准，相比现场自密实性能指标，在中值的基础上减少了上下边界值的范围。

4.2.3 由于自密实防渗层内部没有堆石，在保证抗离析性能和自密实性能稳定性的前提下，可以适当降低自密实混凝土的流动和充填性要求，因此参考普通自密实混凝土的标准提出了坍落扩展度的要求。

4.3 配合比设计

4.3.1 高自密实性能混凝土对原材料性能的稳定性的要求比较高，因此在进行配合比设计时应根据现场选用的原材料进行试验。

4.3.2 自密实性能的实现与高自密实性能混凝土中各组分的体积比例密切相关，因此宜采用绝对体积法设计配合比。

4.3.3 在参考国内外自密实混凝土相关标准的基础上，结合我国开展高自密实性能混凝土研究和堆石混凝土工程实践的具体情况，本条给出了高自密实性能混凝土配合比主要设计参数的建议值。由于工程中实际使用的原材料性能差异较大，应以高自密实性能混凝土的最终性能判定其配合比是否满足设计要求。

4.3.4 高自密实性能混凝土所选用的外加剂与其性能要求密切相关，减水剂作为最常用的外加剂是影响自密实性能的关键因素。聚羧酸减水剂在不同温度下性能差异较大，因此在实

实验室进行配合比设计试验时，不仅要进行标准环境下的配合比设计，还应结合工程所在地的气候环境条件，有针对性的设计不同温度下的配合比并确定减水剂的配方和掺量。

4.3.5 在实际工程中，堆石混凝土内部的施工缝是不利于大坝结构稳定的，为避免高自密实性能混凝土在堆石内部形成施工冷缝，应结合浇筑仓面的大小统筹安排高自密实性能混凝土的生产、运输和浇筑工艺，保证先浇筑的混凝土被后浇筑的混凝土覆盖前不产生初凝。

4.3.6 堆石混凝土为大体积混凝土，应控制其中高自密实性能混凝土的水化热温升。相比常规的自密实混凝土，要求高自密实性能混凝土具有更低的水泥用量和水化热温升。基于现有工程经验，考虑到混凝土温度控制、经济性要求，以及配合比设计的可实施性，本条给出了不同强度等级标准的高自密实性能混凝土的单位水泥参考用量。目前堆石混凝土工程使用的水泥普遍为标号 42.5 的水泥，因此本条规定的水泥用量范围主要是针对 42.5 水泥的经验参数；由于 52.5 水泥的活性更强、强度更高、水化热也更高，因此当选用标号 52.5 水泥配制高自密实性能混凝土时其水泥用量应适当降低。

高自密实性能混凝土的抗渗能力较强，一般情况下均可满足设计要求，因此抗渗等级不超过 W10 时可按照此表。对于抗冻等级 F200 及以上的混凝土，水泥用量可以适当高于参考值。高自密实性能混凝土配合比设计与原材料性能密切相关，原材料性能越好，越容易进行控制。原材料性能较差时，进行配合比设计时应优先满足其强度指标要求，当单位水泥用量超过参考值时，宜对混凝土温度控制进行论证。

对部分掺加粉煤灰的高自密实性能混凝土施工配合比进行了统计，见表 4-3。

表 4-3 部分掺加粉煤灰的高自密实性能混凝土施工配合比

省份	坝型	应用部位	设计龄期	设计标号	施工配合比 (kg/m ³)						
					水泥	粉煤灰	石粉	水	砂	石子	外加剂
贵州	重力坝	原材料品牌、规格		江葛 P.O 42.5	II 级	石灰 石粉	---	机制砂 MX3.2	5-20mm 碎石	---	
		坝体	90d	C ₉₀ 15W6F50	167	322	---	186	992	665	6.40
贵州	重力坝	原材料品牌、规格		拉法基 P.O 42.5	II 级	石灰 石粉	---	机制砂 MX2.9	5-20mm 碎石	---	
		坝体	90d	C ₉₀ 15W6F50	161	268	---	182	1162	528	6.36
贵州	重力坝	原材料品牌、规格		拉法基 P.O 42.5	II 级	石灰 石粉	---	机制砂 MX2.9	5-20mm 碎石	---	
		坝体	90d	C ₉₀ 15W6F50	166	304	---	199	1001	570	6.40

表 4-3 (续)

省份	坝型	应用部位	设计龄期	设计标号	施工配合比 (kg/m ³)						
					水泥	粉煤灰	石粉	水	砂	石子	外加剂
山西	重力坝	原材料品牌、规格			大同冀东 P.O 42.5	Ⅱ级	石灰 石粉	—	机制砂 MX2.8	5-20mm 碎石	—
		坝体	90d	C ₉₀ 20W6F200	194	194	—	191	984	703	8.65
湖北	重力坝	原材料品牌、规格			骏王 P.O 42.5	Ⅱ级	石灰 石粉	—	机制砂 MX2.7	5-20mm 碎石	—
		坝体	90d	C ₉₀ 20W6F100	194	166	28	210	1034	702	6.53
河北	重力坝	原材料品牌、规格			平泉冀东 P.O 42.5	Ⅱ级	石灰 石粉	—	机制砂 MX2.5	5-20mm 碎石	—
		坝体	90d	C ₉₀ 15W4F50	133	363	—	169	873	748	4.20
云南	重力坝	原材料品牌、规格			海螺 P.O 42.5	Ⅱ级	石灰 石粉	—	机制砂 MX2.7	5-20mm 碎石	—
		坝体	90d	C ₉₀ 15W4	179	254	—	212	1133	465	6.5
云南	重力坝	原材料品牌、规格			宏发 P.O 42.5	Ⅱ级	石灰 石粉	—	机制砂 MX2.8	5-20mm 碎石	—
		坝体	90d	C ₉₀ 15W2F50	180	309	—	191	997	582	6.9
云南	重力坝	原材料品牌、规格			华新 P.O 42.5	Ⅱ级	石灰 石粉	—	机制砂 MX2.7	5-20mm 碎石	—
		坝体	90d	C ₉₀ 15W4F50	185	359	—	193	953	542	6.5
云南	重力坝	原材料品牌、规格			西南明驰 P.O 42.5	Ⅱ级	石灰 石粉	—	机制砂 MX3.2	5-20mm 碎石	—
		坝体	90d	C ₉₀ 15W4	184	349	—	2000	946	631	6.67

高自密实性能混凝土配合比中还可以掺入石粉,对部分掺加石粉的高自密实混凝土配合比的工程实例进行了统计,见表 4-4。

4.3.7 本条针对在自密实混凝土的原材料发生各种变化的情况下,应及时调整配合比,经过试验验证后方可用于实际生产。

表 4-4 部分掺加石粉的高自密实性能混凝土施工配合比

省份	坝型	应用部位	设计龄期	设计标号	施工配合比 (kg/m ³)						
					水泥	粉煤灰	石粉	水	砂	石子	外加剂
云南	重力坝	原材料品牌、规格		昆钢嘉华 P.O 42.5	Ⅱ级	松林料场	---	机制砂 MX3.2	5-16mm 碎石	---	
		坝体	90d	C ₉₀ 15W4F50	204.3	---	405.5	195	726.1	711.8	7.00
		防渗层		C ₉₀ 20W10 F100	246.8	---	370.1	197	736.8	722.2	7.50
云南	重力坝	原材料品牌、规格		状乡 P.O 42.5	Ⅱ级	自产	---	机制砂 MX2.8	5-20mm 碎石	---	
		坝体	90d	C ₉₀ 15W4	225	---	169	189	1055	616	6.55
云南	重力坝	原材料品牌、规格		天宝 P.O 42.5	Ⅱ级	自产	---	机制砂 MX2.7	永宏石料厂	---	
		坝体	90d	C ₉₀ 15W4F50	233	---	206	189	1161	573	6.22
		防渗层		C ₉₀ 25 W6F100	303	---	152	191	1161	573	6.44

5 施 工

5.1 一般规定

5.1.1 堆石混凝土生产系统不配套、不协调或出现故障等情况，均会影响工程进度和质量。本条针对堆石混凝土的施工特点，说明了施工前应进行的检查项目。

5.1.2 本条强调堆石混凝土现场试验的重要性，通过现场试验可以验证混凝土配合比设计的合理性，检验施工过程中原材料生产系统、混凝土制备系统、运输系统和堆石平仓、混凝土浇筑机具等运行可靠性和配套性。通过试验确定合理的施工工艺和参数。此外，对缺乏实践经验的人员起到技术培训作用。堆石混凝土施工技术日趋成熟，堆石混凝土试验可选择专门的场地或结合生产进行。试验内容包括配合比验证、施工辅助系统能力验证、施工设备适应性等。

5.2 模板与预埋件

5.2.1 本条说明了模板的设计、制作和安装时应遵循的规定。

5.2.2 堆石混凝土施工中，对模板密闭性的要求比普通混凝土施工要求高。如果模板密闭性不足，容易出现漏浆现象，高自密实性能混凝土从缝隙流出。所以，在堆石混凝土施工过程中，要注意保证模板的密闭性。高自密实性能混凝土所用模板所受到的侧压力比常规混凝土大，对模板的侧压力计算类似于液体的压力计算，侧向压力计算示意图 5-1 所示。计算中一般采取高自密实性能混凝土的密度为 2300kg/m^3 。

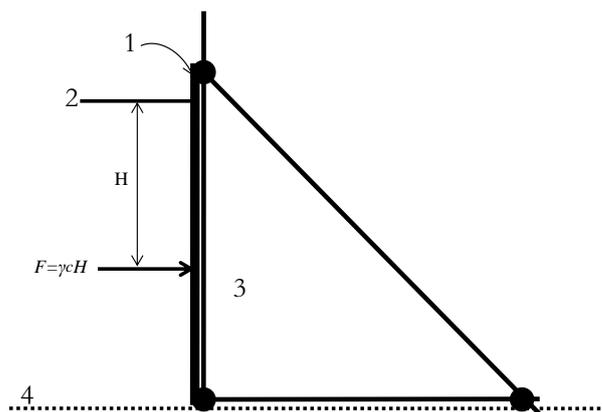


图 5-1 模板侧向压力计算示意图

1—模板；2—新浇筑混凝土顶面；3—钢管支撑架；4—基础面

5.2.3 悬臂模板、翻升式模板和自升式模板其内部没有拉筋干扰堆石仓面，有利于快速机械化堆石，同时模板自身的刚度好能够较好的抵抗高自密实性能混凝土的侧压力，在实际施工中具有良好的效果。预制模板的优点在于可作为坝体的一部分，减少了拆模的工序，在实际

使用中要注意预制模板与坝体混凝土的结合。

5.2.4 堆石混凝土施工过程中，应避免堆石直接撞击模板或其支撑结构，如果模板支撑不够牢固，模板容易发生位移，高自密实性能混凝土从模板底部流出。所以，在堆石混凝土施工过程中，要尤其注意保证模板的牢固性，防止出现“跑模”现象。

5.2.5 堆石宜对预埋件产生冲击，高自密实性能混凝土呈流态可能会造成预埋件的上浮，都应有针对性的对预埋件采取保护措施。

5.2.6 由于堆石混凝土采用长龄期设计，高自密实性能混凝土中掺合料用量较多，因此早期强度略低，应充分考虑温度影响并结合配合比强度发展的实际情况确定拆模时间。在低温季节或者气温骤降时段模板对于早龄期混凝土的表面具有一定的防护作用，可根据情况延迟拆模时间或者在拆模后采取适当的保温措施以防止混凝土受温降影响开裂。

5.3 层面与缝面

5.3.1 堆石混凝土的水平施工层面通常由外露堆石和高自密实性能混凝土层面构成，对于高自密实性能混凝土的水平施工层面应按照常规混凝土施工层面的处理方式进行处理。

5.3.2 本条规定了有防渗要求的层面处理的要求。参考了现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144-2015 中关于施工缝处理的相关规定。常用的层间处理方法及其要求如下：

1 高压水枪冲毛。该方法冲毛速度快，质量易控制。宜采用 25MPa~50MPa 的高压水冲毛机，冲毛机宜距混凝土面 10cm~15cm 且与混凝土面宜呈 70°~75° 度角。冲毛时按射流与混凝土表面接触的宽带状轨迹自左向右进行扫描，且应少量重叠。

2 电（风）镐凿毛。该方法凿毛质量好，但处理速度相对较慢，适合施工速度要求低。多用于新老混凝土竖直结合面部位凿毛和上游面配有止裂钢筋的混凝土面板部位的凿毛。

3 人工凿毛。人工凿毛形式多样，但操作速度较慢，适合施工速度要求低且面积小的仓面。一般采用铁锤配合凿子进行，凿毛过程要轻微细致，深度宜控制在 10mm~20mm，以达到清除所有乳皮，微露粗砂、石子的要求。

4 凿除包裹在外露堆石料上的混凝土或砂浆薄壳。该薄壳一般大约 1cm 左右厚，对混凝土良好结合有极大危害，需清除干净。

5.4 堆石开采与筛选

5.4.1 由于开采对象的岩性、节理等性能的不同，应结合实际情况通过爆破开采试验确定合理的爆破参数，提高堆石的成材率。

5.4.2 开采的石料宜筛选后使用，满足混凝土骨料品质要求的逊径料可用于加工粗细骨料。开采的石料可通过挖掘机筛选来控制堆石粒径，确保满足粒径要求的堆石装车运输。对小石

块较多的料源，用挖掘机筛选效率低且难以保证堆石料粒径要求时，可采用钢轨筛、格栅斗等辅助工具进行筛分。

5.4.3 堆石表面粘有泥土时，会影响堆石与高自密实性能混凝土之间的粘结，对堆石混凝土的物理力学和耐久性性能有一定的不利影响，因此应严格控制堆石料的含泥量。为了避免泥土污染堆石混凝土层面，不得在仓内进行冲洗。

5.4.4 天然砾石料经筛选满足强度、粒型和粒径等要求时，可作为堆石料使用。

5.4.5 由于堆石粒径较大，在存放和装卸时要密切注意安全。

5.5 堆石运输与入仓

5.5.1 采用自卸车直接入仓具有施工效率高，经济性好，能够充分发挥堆石混凝土施工进度快的优势，为了避免自卸汽车进入仓面后污染仓面，本条规定了汽车入仓前应冲洗轮胎。

5.5.2 采用自卸汽车直接从料场将堆石料运至仓面堆积，该运输方式施工速度快，综合造价低，适用于地形开阔的浇筑工程；在没有合适道路无法使用自卸车直接入仓时，也可以采用门塔机、缆机等方式入仓，同时应尽量避免中转减少运输摊铺过程中的堆石撞击。

5.5.3 坝体的上游侧、下游侧受力情况相对复杂，并与水和空气直接接触，在抗渗、抗冻等耐久性方面相比坝体内部有着更高的要求，因此为了保证上下游侧的堆石混凝土层间结合质量，本条结合工程实践经验提出了不宜直接卸料的范围。采用自卸汽车入仓的方式时，不宜直接卸料的部位或者无法一次堆积到位的堆石料应设置集中卸料点，然后通过布置于仓面内的挖掘机或装载机将堆石料堆积到位，使堆石比例在 55%~60%之间。实际工程中的集中卸料点通常会考虑一下具体措施：

1 集中卸料点可设置隔离钢板，集中卸料点的堆石料卸在隔离钢板上，隔离钢板底部可设置缓冲层，除车辆进出方向外其余三边可设置不低于 20cm 的边坎防止石渣被带入仓面。

2 应尽量减少集中卸料点的数量。

3 集中卸料点应及时清理逊径石块、石渣、泥土等，清理方式可采用高压气或扫帚，严禁用水冲洗。

5.5.4 在进行堆石平仓时，宜使用挖掘机，也可配置格栅式挖斗或者抓石器，靠近模板和预埋件部位的堆石宜采用抓石器等机械或人工辅助堆放。

5.5.5 本条规定了堆石铺填基本要求。根据现有的施工经验，分层厚度小于等于 2m 时，堆石混凝土的密实度有很高的保证率；层厚大于 2m 的工程经验不多，需进行现场试验论证。

5.5.6 堆石率的提高不仅有利于降低堆石混凝土的水化热温升，对于温控防裂具有积极作用，而且有利于成本控制，在实际工程中应在满足堆石基本要求的情况下予以重视。

本条规定了堆石铺填基本要求。根据现有的施工经验，堆石块粒径在 300~1000mm 之

间、分层厚度小于等于 2m 时，堆石体堆积密度较均衡，混凝土的密实度保证率较高。

5.5.7 自卸汽车、装载机、挖掘机等机械设备在仓面上行进以及卸料、铺填堆石时，会对下部已浇混凝土产生较大的冲击，因此当已浇混凝土的强度较低时不宜在其上部进行仓面准备工作。

5.5.8 为了保证止水与防渗层混凝土紧密结合并且不受堆石的影响，根据工程实践经验提出了止水周边不得堆石的范围，止水周边的堆石宜采用机械或人工谨慎堆放。

5.6 混凝土生产拌制

5.6.1 在通常情况下，与配制普通混凝土相比，自密实混凝土的砂率较高或粉体量较多，因而新拌混凝土相对比较粘稠。为了确保新拌自密实混凝土的匀质性，强调使用强制式搅拌机搅拌自密实混凝土。

5.6.2 为了确保新拌自密实混凝土的匀质性，与拌和普通混凝土相比，自密实混凝土的搅拌时间宜适当延长。根据目前使用聚羧酸系减水剂配制自密实混凝土的经验，过度延长搅拌时间会导致自密实混凝土的流动性损失。因此，在实际生产中，一定要根据实际情况确定适当的搅拌时间。

在一般情况下高自密实性能混凝土水胶比较低，因此必须准确控制混凝土用水。表 5-1 所列高自密实性能混凝土最少拌和时间，可供参考。

表 5-1 高自密实性能混凝土最少拌和时间

搅拌机容量 Q (m ³)	最少拌和时间 (s)	冬季最少施工拌和时间 (s)
0.8≤Q≤1	80	105
1<Q≤3	95	120
>3	110	135

5.7 混凝土运输

5.7.1 自密实混凝土具有良好的流动性，在振动条件下容易发生离析，因此不宜使用自卸汽车、装载机、胶带机等机械运输。合理的自密实混凝土运输方式，应使混凝土在运输过程中不发生离析、漏浆等不良现象。为了保证自密实混凝土在生产、运输和浇筑三道工序的配合中能够共同满足仓面对浇筑强度的要求，其运输能力应与生产、浇筑能力相协调。自密实性能混凝土浇筑入仓，直至仓内流动停止，均应具有良好的自密实性能才能确保充填密实，因此其浇筑完成时间应小于自密实性能稳定性时间的要求。

5.7.2 自密实混凝土的运输应优先采用混凝土搅拌车、混凝土输送泵等具有拌和或者不易造成混凝土离析的方式进行；在运输距离较短时也可以采用起重设备（吊车、门机、塔机、

缆机等)配合吊罐、溜槽、溜筒、溜管等方式运输。自密实混凝土具有良好的流动性,在振动条件下容易发生离析,因此不宜使用自卸汽车、装载机、胶带机等机械运输。

5.7.3 本条规定了采用混凝土搅拌车运输时,应满足下列要求。

1 为保证施工质量,自密实混凝土的运输应保证浇筑的连续性。

2 搅拌运输车搅拌筒内的残留物会造成自密实混凝土的配合比发生变化从而影响其工作性能,因此在接料前应将搅拌筒内遗留的混凝土或残渣清除,用水洗净并将水排尽。向搅拌筒内加水将会提高水胶比,从而影响自密实混凝土的力学和耐久性能,必须禁止。

3 高速旋转的目的是为了保证混凝土的均匀性。

4 高速旋转的目的是为了保证混凝土的均匀性,1min 为工程实践的经验数据,实际施工中应根据搅拌运输车的条件经试验确定。

5.7.4 在泵送自密实混凝土时,如果与其他混凝土交替泵送,可能会导致自密实混凝土的自密实性能发生变化,因此应尽量避免。

5.7.5 本条参考了《水工混凝土施工规范》DL/T 5144—2015 的相关规定,提出了采用门式、塔式、缆式起重机以及其他吊车配吊罐运输自密实混凝土的要求。

5.7.6 本条参考了《水工混凝土施工规范》DL/T 5144—2015 的相关规定,提出了采用溜槽、溜筒、溜管运输自密实混凝土的要求。

5.8 混凝土浇筑

5.8.1 为获得浇筑良好的堆石混凝土,选择适当的工具及浇筑方法是很重要的,应在施工前研究施工现场和施工部位,根据实际情况确定堆石混凝土的浇筑方案。高自密实性能混凝土浇筑点应均匀布置,浇筑点间距宜为 3~5m。

在高自密实性能混凝土浇筑过程中应遵循单向逐点浇筑的原则,宜选择“Z”形方式布置浇筑点,如图 5-2 所示。对于仓面较小或者高自密实性能混凝土的生产、运输和浇筑能力富裕度较大时,可选择“S”形方式布置浇筑点,如图 5-3 所示。

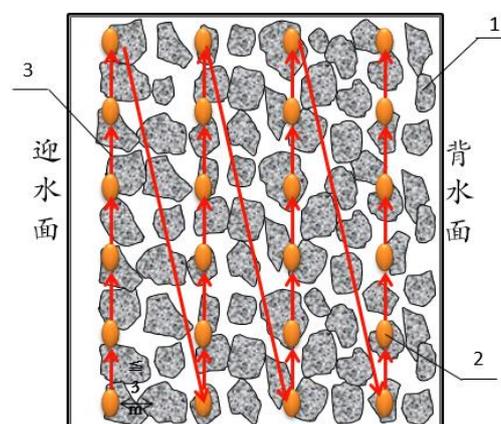


图 5-2 “Z”形方式布置浇筑点

1—堆石；2—高自密实性能混凝土浇筑点；3—浇筑点移动路径

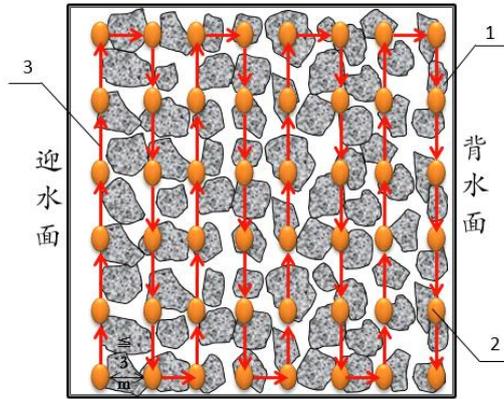


图 5-3 “S”形方式布置浇筑点

1—堆石；2—高自密实性能混凝土浇筑点；3—浇筑点移动路径

5.8.2 自密实混凝土具有较好的抗离析性，出于保证浇筑质量的考虑，常规情况下自密实混凝土浇筑的最大自由下落高度不宜超过 3m，超过时宜采用串筒等工具辅助下料，避免离析分层。

5.8.3 高自密实性能混凝土的浇筑效果主要取决于高自密实性能混凝土的工作性能，因此，保持混凝土浇筑的连续性是关键。本条还规定了浇筑中断时，不同中断时间的不同处理措施。

5.8.4 浇筑混凝土时，钢筋、模板、预埋件的移位和变形，将对结构尺寸、工程质量造成不利影响，应严格控制。由于自密实混凝土侧压力较大，当模板刚度不够时容易发生胀膜。

5.8.5 露在层面之外的堆石在上下层之间可以起到齿合作用，提高冷缝处的抗剪强度，而且可以有效减小凿毛面积。因此一般要求堆石外露高度宜高出浇筑面 50~150mm，且不超过自身高度的 1/3，堆石混凝土仓面倾向抵御主要推力作用，大坝及上游围堰倾向上游，下游围堰倾向下游。

5.8.6 国内外工程经验表明，在基岩或老混凝土块上浇筑薄层混凝土后长期的停歇容易产生裂缝，堆石混凝土也应避免出现该类问题。

5.8.8 自密实混凝土通常具有优良的抗渗性能，试验表明其抗渗性能远高于同标号的常态混凝土；但是自密实混凝土胶凝材料用量较高，其水化热和自身体积变形略高于常态混凝土，不适宜用于厚度较大的结构。因此，采用自密实混凝土作为防渗层时其厚度应小于常态混凝土，宜配制温度钢筋以防止温度裂缝并控制最大厚度。

自密实混凝土防渗层的分缝应充分考虑工程所在地的气候条件，同时，防渗层的横缝原则上应与堆石混凝土坝体横缝的位置相同。防渗层可根据实践经验配置钢筋，表 5-2 所示为

部分堆石混凝土大坝工程高自密实性能混凝土防渗层的钢筋网布置情况。

表 5-2 部分堆石混凝土坝防渗层配筋

省份	工程名称	直径(Φ)	布置间距(mm)
广西	QP 水库	8	200
福建	HSK 水库	12	150
云南	HTX 水库	10	200
陕西	BJ 电站	12	200
云南	SL 水库	12	200

5.8.9 由于堆石混凝土内部难以布置钢筋，因此在使用钢筋部位（如廊道、孔口四周等），需采用常态混凝土或自密实混凝土浇筑。有部分工程，在进行堆石混凝土坝设计时为了便于施工，采取了廊道与堆石混凝土浇筑层协调布置的方案；在堆石混凝土浇筑至廊道底面的设计高程时安置廊道模板，与坝体进行一体化浇筑，廊道模板外侧预留了不小于 0.3m 的不堆石区域，用以防止模板和钢筋被堆石挤压变形。其他类型工程中采用预制廊道方案也可用在堆石混凝土工程中，施工中要避免堆石对预制廊道的撞击。

5.8.10 本条规定了堆石混凝土的养护要求。堆石混凝土浇筑完毕后应及时开始洒水养护，这是预防堆石混凝土干缩裂缝的措施。为提高堆石混凝土的养护质量，强调了养护的连续性，不允许时干实湿，避免混凝土水分蒸发、冷空气袭击、表面干湿变化产生裂缝。

5.9 特殊气候条件施工

5.9.1 特殊气候条件下的堆石混凝土施工应以常规混凝土的施工要求为参考，充分考虑堆石和自密实混凝土的特点，制定施工方案和技术措施。

5.9.2 在雨季施工中，在仓面连续施工中很容易出现雨水天气，对堆石混凝土的堆石入仓、高自密实性能混凝土浇筑等环节产生较大的影响。为了保证施工质量，雨季施工期间仓面需要提前做好防雨措施，还应对已入仓的堆石料采取有效的防雨措施。除需满足《水工混凝土施工规范》DL/T 5144-2015 的有关规定外，已经完成的堆石仓面应有防雨措施并备有不透水覆盖材料。小雨天施工时，应减少混凝土的单位用水量，出机口混凝土坍落度应按下限控制。仓面受雨水冲洗较严重时，可适当增加胶凝材料用量，一般可按缩小水胶比 0.02~0.05 进行掌握，或采用铺筑一层砂浆处理。

5.9.3 堆石混凝土水化热温升较低，一般不需要设置冷却水管进行通水冷却，但在高温季节和昼夜温差较大地区施工时，则应在原材料降温、选择适宜温度时段浇筑等方面采取一定的措施，例如采取仓面喷雾降温等措施对入仓堆石料温度和仓面的环境温度进行控制。

5.9.4 堆石混凝土进行冬季施工时，应考虑高自密实性能混凝土的冬季施工措施，还应考

虑仓内低温堆石对入仓高自密实性能混凝土的影响,泵送自密实混凝土时还应对泵管采取保温措施。

6 质量检查与控制

6.1 一般规定

6.1.1 堆石混凝土质量控制的过程是通过通过对堆石混凝土原材料、配合比、施工生产各工序的质量检测，按要求进行有效的控制，以保证堆石混凝土的施工质量。

6.2 原材料检验

6.2.1 由于自密实混凝土对原材料性能稳定性要求较高，因此在现有检测频次的要求中按照偏严格的原则确定了水泥的检验频次。

6.2.2 由于自密实混凝土对原材料性能稳定性要求较高，因此在现有检测频次的要求中按照偏严格的原则确定了掺合料的检验频次。

6.2.3 粗骨料的针片状含量对自密实性能影响较大，因此提高了其检测频次。

6.2.4 细骨料中人工砂的泥质含量对自密实混凝土的性能影响较大，因此将人工砂亚甲蓝 MB 值检测作为主控项目，并且提高了检测频次。

6.2.5 外加剂除应按照现行国家和行业标准检测基本其基本性能指标外，还应按照本规范附录 B 的方法检测其与现场原材料的适应性。

6.3 堆石入仓质量检测

6.3.1 本条规定了堆石入仓主要的检测要求。堆石混凝土是利用高自密实性能混凝土填充堆石空隙形成的一种大体积混凝土，如果堆石粒径太小，将会形成一些小的堆石孔隙，影响高自密实性能混凝土的充填密实度，进而影响堆石混凝土的性能。为了确保堆石混凝土的密实度，堆石料首先应该满足一定的粒径要求。同时，堆石料还应满足一定的强度、含泥量和泥块量要求。

6.3.2 在选取堆石料时，应按本规范第 3.2.2 条规定了控制堆石最小粒径。在运输和摊铺堆石过程中，由于堆石间的相互撞击，会产生部分小于 300mm 的石料，根据现有研究成果和实践经验，在保证 1 级配高自密实性能混凝土充填密实的前提下，逊径堆石的最小粒径不宜小于理论研究的最小值 200mm，数量比例不宜超过 2%，且不宜集中。在工程实践中，通过 150mm 中径筛的方法判定逊径料，按照每个检测盒堆满逊径料时的孔隙率 60%左右测算，2%的逊径率对应大约 10 检测盒左右逊径堆石。

6.3.3 堆石混凝土层面容易在堆石过程中被污染，应特别关注。

6.4 自密实混凝土检验

6.4.2 自密实混凝土的力学和耐久性能检测的检测内容和频次与常态混凝土一致，为方便操作，可在出机口完成取样和试件的制作，但是应先确认其自密实性能应满足本规范第 4.2.1 条的要求，对于自密实性能不满足要求的混凝土不应用于成型试件。

6.5 建筑物质量检查

6.5.1 孔内电视能够直观地检验坝体堆石混凝土的密实性，通过对孔内影像的分析得到堆石混凝土内部的缺陷率，参考现行行业标准《水工碾压混凝土施工规范》DL/T 5112 的有关规定，碾压混凝土的相对密实度不得小于 98%，结合堆石混凝土工程经验，缺陷率应小于 1%；因此作为主要检测方法，孔内电视的检测孔应穿过层间结合带以反映浇筑层间的密实度情况。XZZM 水电站现场试验密实度检测缺陷率为 0.16%，XJWJ 铁路二线现场试验密实度检测缺陷率为 0.81%。钻孔压水试验能够综合评价坝体堆石混凝土的密实性和抗渗性，因此对于有防渗要求的结构应进行钻孔压水试验。

6.5.2 通过压水试验和孔内电视检测发现的问题还应结合具体情况综合判定。利用超声波检测堆石混凝土内部密实度可通过单孔或对穿孔的方法进行，根据波速的高低与离散性综合评定堆石混凝土的密实度。XZZM 水电站现场试验 C20 堆石混凝土单孔超声检测平均波速 4024m/s，波速为 3500m/s~4000m/s 占 29%，波速为 4000m/s~4500m/s 占 53%，波速为 4500m/s~5000m/s 占 18%；对穿孔超声检测平均波速 4274m/s，波速为 3500m/s~4000m/s 占 33%，波速为 4000m/s~4500m/s 占 53%，波速为 4500m/s~5000m/s 占 22%。SP 二级水电站导墙 C9020 堆石混凝土对穿孔超声检测平均波速 4481m/s，波速在 3500m/s~4000m/s 占 11%，波速为 4000m/s~4500m/s 占 40%，波速为 4500m/s~5000m/s 占 40%，波速为 5000m/s~6000m/s 占 9%。

6.5.3 堆石混凝土的强度可通过钻孔取芯来评价，钻孔时应尽量使用双管单动的方式，确保芯样在钻取过程中不受到扭转、弯折等损伤；芯样的直径不宜过小，以客观评价由于堆石分布不均匀所带来的离散性。对部分堆石混凝土工程进行了芯样抗压强度试验和统计，分别测定了堆石芯样、高自密实性能混凝土芯样和堆石混凝土芯样的抗压强度，统计结果见表 6-1。

表 6-1 部分堆石混凝土工程芯样的抗压强度表

工程名称	取样部位	设计标号	径高比 1: 1 芯样的抗压强度 (MPa)			抗压强度比
			Rock	RFC	HSCC	RFC/HSCC
GDCK 三级水库	坝体	C20	100.4	52.2	34.0	1.54
SCSP 二级水电站	导墙	C ₉₀ 20	87.9	38.5	27.9	1.38
XJSK 电站	围堰	C15		40.3	24.9	1.62
GZDGT 水库	坝体	C ₉₀ 15	55.6	29.1	24.9	1.17
QHMP 水库	围堰	C ₉₀ 15		41.9	23.6	1.78
HNBQ 抽水蓄能电站	坝体	C15		27.5		

6.6 质量评定

6.6.1 本条提出了堆石入仓质量的评定标准。堆石入仓是堆石混凝土质量控制最重要的环节之一，施工单位质量部应设专人进行堆石质量控制，对堆石入仓的情况进行检查。同时配合监理单位按照抽检频次要求进行取样检测。监理工程师全程旁站监督，保证质量要求的实施。

6.6.2 本条提出了自密实混凝土拌和质量评定标准和高自密实性能混凝土浇筑工序评定要求。

6.6.3 本条提出了堆石混凝土单元工程质量验收要求。