

大型引水渠道 衬砌施工与管理

汪伦焰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

大型引水渠道 衬砌施工与管理

汪伦焰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以南水北调中线工程为实践,介绍了大型引水渠道衬砌施工工法与管理。第1章主要阐述了我国大型引水渠道建设情况,第2章介绍了衬砌混凝土配合比设计,第3章介绍了大型渠道衬砌施工工法与质量控制,第4章介绍了大型渠道衬砌质量管理与监管,第5章阐述了大型渠道衬砌的质量缺陷与修补。

本书可作为相关工程技术人员了解大型渠道施工的重要参考书,对水利、市政等相关专业的在校师生拓宽专业知识、贴近工程实际也大有裨益。

图书在版编目(CIP)数据

大型引水渠道衬砌施工与管理 / 汪伦焰著. -- 北京:
中国水利水电出版社, 2014.8
ISBN 978-7-5170-2427-9

I. ①大… II. ①汪… III. ①引水渠—衬砌—工程施工—施工管理 IV. ①TV67

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第204151号

书 名	大型引水渠道衬砌施工与管理
作 者	汪伦焰 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	170mm×240mm 16开本 11.75印张 224千字
版 次	2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	35.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

目前国内针对大型渠道衬砌施工工法的研究几乎处于空白，已有文献的研究多为针对性的应用，并未形成统一的体系且好的施工法很少得到推广。本书在南水北调大型输水工程的基础上，研究并总结了大型引水渠道衬砌施工的经验与教训，是集体智慧的结晶。本书以南水北调中线工程为实践，介绍了大型引水渠道衬砌施工工法与管理。第1章主要阐述了我国大型引水渠道建设情况。第2章介绍了衬砌混凝土配合比设计，包括混凝土原材料的选择，配合比的计算以及优选，并通过实例进行说明。第3章介绍了大型渠道衬砌施工工法与质量控制，包括施工准备、渠床整理、排水系统、垫层（反滤系统）、保温板、复合土工膜、混凝土衬砌及伸缩缝等。第4章介绍了大型渠道衬砌质量管理与监管，包括监理单位、建管单位的质量管理以及政府部门的质量监管。第5章阐述了大型渠道衬砌的质量缺陷及修补。

经过对大型渠道工程的实践经验及专题研究成果的系统整理分析，本书对大型引水渠道施工工法做了比较全面的理论研究和工程实践经验总结，可作为相关工程技术人员了解大型渠道施工的重要参考书，对水利、市政等相关专业的在校师生拓宽专业知识、贴近工程实际也大有裨益。

由于水平所限，本书可能存在着不妥和需要进一步改进之处，敬请工程技术界的同仁不吝赐教、指正。

华北水利水电大学 汪伦焰

2014年6月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 南水北调工程	1
1.2 引滦入津工程	2
1.3 引滦入唐工程	2
1.4 引黄济青工程	2
1.5 引黄入晋工程	3
1.6 引江济太工程	3
1.7 东深供水工程	3
1.8 引大入秦工程	3
第 2 章 衬砌混凝土配合比设计	5
2.1 概述	5
2.2 主要材料技术指标与选择	6
2.3 混凝土配合比的计算	20
2.4 混凝土配合比的优选	26
2.5 衬砌混凝土配合比设计实例	28
参考文献	34
第 3 章 大型渠道衬砌施工工法与质量控制	35
3.1 概述	35
3.2 施工准备	37
3.3 渠床整理	41
3.4 永久排水系统	52
3.5 砂砾石(粗砂)垫层(反滤系统)	65
3.6 保温板	72
3.7 复合土工膜	76
3.8 渠道衬砌混凝土	85
3.9 伸缩缝	100

3.10 特殊天气施工	105
参考文献	109
第4章 大型渠道衬砌质量管理与监管	111
4.1 监理单位渠道衬砌质量管理	111
4.2 建管单位渠道衬砌质量管理	143
4.3 政府质量监督工作的职责与重点	146
4.4 渠道衬砌的监管重点	149
参考文献	157
第5章 大型渠道衬砌的质量缺陷与修补	158
5.1 概述	158
5.2 混凝土质量缺陷检查处理流程	158
5.3 混凝土质量缺陷处理准备	161
5.4 渠道衬砌混凝土常见质量缺陷处理	162
参考文献	181

第 1 章 绪 论

我国水资源时空分布不均，从时间分配上看，夏秋季多，冬春季少，年变率大；从地区分布上说，东部多西部少，南方多北方少，秦岭—淮河是南方丰水区和北方缺水的一条重要分界线。从我国各大江河径流分布来看，长江、珠江、黑龙江径流量较丰富，而黄河、淮河、海河、辽河径流量较少，水资源十分紧张，形成“三江水富，四河紧缺”的局面。再加上近几十年来人口增长过快，工农业和城市化进程发展较快，更加剧了北方水资源紧缺的程度。此外，我国水资源综合利用率也较低，浪费和污染都相当严重。为了从根本上解决缺水地区水资源不足和水资源优化配置的问题，很多国家已兴建或正在筹建大型和特大型的长距离调水工程，我国也是如此，已建和在建大型调水工程有数十座之多，其中著名的大型调水工程有南水北调工程、引滦入津工程、引滦入唐工程、引黄济青工程、引黄入晋工程、引江济太工程、东深供水工程、引大入秦工程等。

1.1 南水北调工程

从 20 世纪 50 年代提出“南水北调”的设想后，经过几十年研究，南水北调的总体布局确定为：从长江上、中、下游调水，以适应西北、华北各地的发展需要，即南水北调西线工程、南水北调中线工程和南水北调东线工程。南水北调总体规划推荐东线、中线和西线 3 条调水线路。通过 3 条调水线路与长江、黄河、淮河和海河四大江河相联系，构成以“四横三纵”为主体的总体布局，以利于实现我国水资源南北调配、东西互济的合理配置格局。规划的东线、中线和西线到 2050 年调水总规模为 448 亿 m^3 ，其中东线 148 亿 m^3 ，中线 130 亿 m^3 ，西线 170 亿 m^3 ，整个工程将根据实际情况分期实施。

1. 南水北调东线工程

利用江苏省已有的江水北调工程，逐步扩大调水规模并延长输水线路。东线工程从长江下游扬州地区抽引长江水，利用京杭大运河及与其平行的河道逐级提水北送，并连接起调蓄作用的洪泽湖、骆马湖、南四湖、东平湖。出东平湖后分两路输水：一路向北，在位山附近经隧洞穿过黄河，输水主干线全长 1156km；另一路向东，通过胶东地区输水干线经济南市输水到烟台市、威海市，全长 701km。规划分三期实施。

2. 南水北调中线干线工程

从加坝扩容后的丹江口水库陶岔渠首闸引水，沿唐白河流域西侧过长江流域与淮河流域的分水岭方城垭口后，经黄淮海平原西部边缘，在郑州以西孤柏嘴处穿过黄河，继续沿京广铁路西侧北上，可基本自流到北京、天津。中线输水干渠总长达 1277km，向天津输水干渠长 154km。

3. 南水北调西线工程

在长江上游通天河、支流雅砻江和大渡河上游筑坝建库，开凿穿过长江与黄河的分水岭巴颜喀拉山的输水隧洞，调长江水入黄河上游。西线工程的供水目标主要是解决涉及青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西等 6 省（自治区）黄河上中游地区和渭河关中平原的缺水问题。结合兴建黄河干流上的骨干水利枢纽工程，还可以向邻近黄河流域的甘肃河西走廊地区供水，必要时也可相机向黄河下游补水。

1.2 引滦入津工程

水源短缺制约天津城市的建设发展，影响了市民的正常生活。为了解决城市用水问题，国务院于 1981 年 9 月决定兴建引滦入津输水工程，跨流域从 300 多 km 以外引滦河水。工程起点为河北迁西县大黑汀水库，穿燕山余脉，使滦河水西流，循黎河入于桥水库，经州河、蓟运河，转输水明渠，引入天津市区。整个引水工程途经河北省迁西县、遵化县及天津市蓟县、宝坻县、武清县、北辰区，全长 234km。沿线筑有隧洞、泵站、水库、暗渠、管道、倒虹、桥闸等 215 项工程。

1.3 引滦入唐工程

引滦入唐工程是由引滦入还输水工程、邱庄水库、引还入陡输水工程和陡河水库四大工程组成。引滦入唐工程每年可给唐山市和还乡河、陡河中下游输水 5 亿~8 亿 m^3 ，从滦河大黑汀水库引水，跨流域输入蓟运河支流还乡河邱庄水库，再从邱庄水库穿过还乡河与陡河分水岭，经陡河西支将水调入陡河水库，然后再从陡河水库将水输入下游和唐山市，供城市生活和工农业生产用水，全长 25.8km。

1.4 引黄济青工程

从黄河下游利津附近开挖渠道，将黄河水向南引入胶莱河至青岛市，以解决青岛市缺水问题。此工程于 1992 年竣工，全长 290km，建有 253km 人工衬

砌输水明渠和 22km 暗渠。缓解了青岛市工农业生产和人民生活用水，也可防止青岛市的海水倒灌和地面沉降。

1.5 引黄入晋工程

万家寨引黄工程由万家寨水利枢纽、总干线、南干线、连接段和北干线组成。引水线路总长 452.4km，其中，总干线 44.4km，南干线 101.7km，连接段 139.35km，北干线 166.9km。工程分两期实施，水利枢纽位于山西省偏关县西北的黄河干流之上。

1.6 引江济太工程

为改善太湖水体水质和流域河网地区水环境，保障流域供水安全，提高水资源和水环境的承载能力，特别是为缓解太湖地区水污染问题，2002 年 1 月以来，太湖流域实施了引江济太调水试验工程。利用已建成的望虞河工程和沿长江其他闸站，将长江水引入河网和太湖，再通过东导流、太浦河、环太湖口门等工程将太湖水送到黄浦江上下游地区、浙江杭嘉湖地区、沿太湖周边地区。

1.7 东深供水工程

东深供水工程位于广东省东莞市及深圳市，是为解决淡水缺乏而修建的跨流域调水工程。取水口位于东莞市桥头镇的东江南岸，输水道利用东江一级支流石马河河床逐级提水溯流南上，经雁田分水岭进入深圳市境，再利用沙湾河输水至深圳水库，然后以封闭式隧洞或拱涵自流送水至深圳、香港交界处及三岔河交水点，线路全长 80km。

1.8 引大入秦工程

引大入秦工程位于甘肃省，是将大通河水跨流域调至秦王川地区的一项大型自流灌溉引水工程，支渠以上工程全长 880km，主要由隧洞群、大渡槽、倒虹吸及明渠等建筑物组成。

这些大型的引水调水工程，尤其是南水北调工程，沿线绝大部分是以梯形明渠自流的方式送水，这种送水方式能使水与大气、阳光直接接触，具有自洁净的优点。为了控制渠道糙率对水头损失的影响，大型渠道边坡和渠底大部分采用混凝土机械衬砌的方式（图 1.1），部分与桥梁交叉部位采用人工衬砌。

当前,调水工程一般具有线路长、标段多,水文地质条件复杂多变,参建单位管理、施工水平存在差异等特点,加之渠道混凝土衬砌尚缺乏切实有效的经验总结和系统的研究,使得目前混凝土衬砌的质量、效率均难以实现规范化、标准化。在南水北调中线工程完工之际,通过总结南水北调工程渠道衬砌的经验与教训,认为应从衬砌混凝土配合比的合理设计和渠道衬砌工序的合理分解开始,通过确保原材料的质量,形成渠道衬砌流水施工,做好质量管理与监管以及质量缺陷修补等工作,才能保质保量地完成渠道衬砌任务。

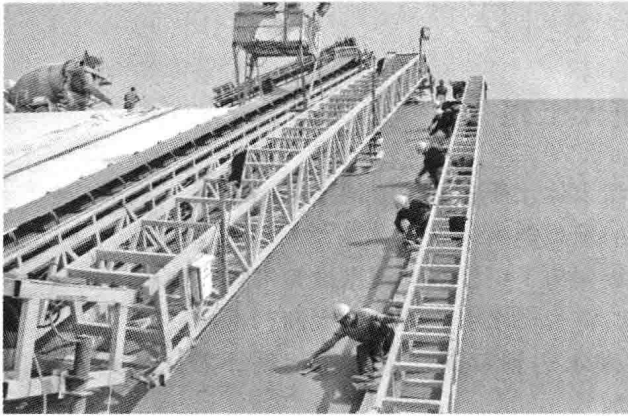


图 1.1 南水北调工程渠道机械化衬砌施工图

目前,大型渠道衬砌方法一般采用机械化滑模施工技术,实践表明,这种方法不仅大大提高了工效,而且能够有效控制衬砌面的平整度,减小糙率。南水北调工程的典型渠道衬砌断面如图 1.2 所示。渠道衬砌施工工序一般包括渠床整理、永久排水系统、砂砾石(粗砂)垫层(反滤系统)、保温板、复合土工膜、渠道衬砌混凝土以及伸缩缝等。

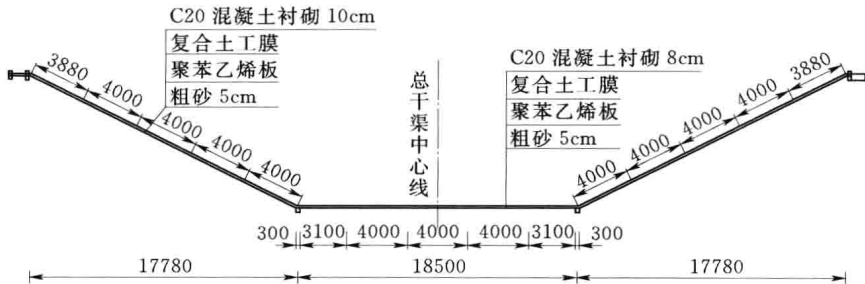


图 1.2 南水北调工程渠道典型断面图(单位: mm)

第2章 衬砌混凝土配合比设计

2.1 概述

混凝土主要由水泥、矿物掺合料、砂、石以及外加剂组成。水泥和矿物掺合料作为胶结材料，起着将砂石胶结并形成强度的作用，其中水泥是主要胶凝材料。混凝土中的砂石材料主要起两种作用：一种是起填充作用，另一种是起骨架作用。混凝土外加剂能改善新拌混凝土（混凝土拌和物）和混凝土硬化后的性能，常用的外加剂有引气剂、减水剂等，其中引气剂可以改善混凝土的抗冻性能；减水剂可以增加混凝土的流动性，提高其工作性。

混凝土配合比设计是大型渠道衬砌施工的关键环节。本章将对渠道衬砌混凝土配合比的设计过程进行详细阐述。

首先根据衬砌混凝土抗压强度、抗渗和抗冻等设计指标要求，结合合同约定，从原材料的选择开始，对水泥、骨料、水、外加剂以及矿物掺合料（主要是粉煤灰）等各种材料性能、指标等方面对混凝土性能的影响和在衬砌混凝土中的使用要求等进行分析。原材料的合理选择是确保混凝土性能的关键，若原材料不满足要求，则不能应用于混凝土中。

混凝土配合比的设计计算应依据设计要求，先通过试验或依据经验计算后确定混凝土的配制强度，并通过计算合理选择衬砌混凝土水胶比，在此基础上，计算混凝土各材料的用量，特别需要重视混凝土砂率的选择。在计算配合比的基础上，还需要进行多次试拌和试验，优化和调整计算配合比，并根据设计要求，通过一系列耐久性的试验才能最终确定设计配合比。

本章参考的主要规范如下。

- (1) 《水工混凝土配合比设计规程》(DL/T 5330—2005)。
- (2) 《普通混凝土设计规程》(JGJ 55—2011)。
- (3) 《水工混凝土试验规程》(SL 352—2006)。
- (4) 《水工混凝土砂石骨料试验规程》(DL/T 5151—2001)。
- (5) 《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144—2001)。
- (6) 《水工混凝土外加剂技术规程》(DL/T 5100—1999)。
- (7) 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T 1346—

2001)。

- (8) 《水泥胶砂强度检验方法 (ISO)》(GB/T 17671—1999)。
- (9) 《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)。
- (10) 《水泥化学分析方法》(GB/T 176—2008)。
- (11) 《水泥比表面积测定方法 勃式法》(GB/T 8074—2008)。
- (12) 《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》(DL/T 5055—2007) 等。
- (13) 《预拌混凝土》(GB/T 14902—2012)。
- (14) 《混凝土质量控制标准》(GB 50164—2011)。
- (15) 《混凝土碱含量限值标准》(CECS 53:93)。
- (16) 《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2003)。
- (17) 《混凝土结构工程施工规范》(GB 50666—2011)。
- (18) 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)。
- (19) 《混凝土结构耐久性设计规范》(GB 50476—2008)。
- (20) 《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2003)。
- (21) 《粉煤灰混凝土应用技术规范》(GBJ 146—90)。
- (22) 《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》(GB 175—1999)。
- (23) 《建设用砂》(GB/T 14684—2011)。
- (24) 《建设用碎石、卵石》(GB/T 14685—2011)。
- (25) 《混凝土外加剂》(GB 8076—2008)。
- (26) 《混凝土用水标准》(JGJ 63—2006)。
- (27) 《用于水泥与混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596—2005)。

2.2 主要材料技术指标与选择

2.2.1 水泥

水泥是混凝土中的主要胶凝材料，也是决定混凝土强度、水化放热量、碱含量等其他各项性能指标的主要因素。为了保证混凝土的强度、耐久性及经济性，根据工程性质与特点、工程所处的环境及施工条件、水泥的特性，合理选择。

(1) 强度等级。混凝土中的活性成分强度大小直接影响着混凝土强度的高低。普通硅酸盐水泥的强度等级分为 P·O42.5、P·O42.5R、P·O52.5、P·O52.5R 4 个等级。衬砌混凝土一般采用 P·O42.5 强度等级的水泥。

(2) 化学指标。水泥的化学指标主要包括烧失量、SO₃ 含量、MgO 含量以及氯离子含量等。

烧失量又称为灼减量，即将样品在 950±25℃ 的高温炉中灼烧所排出的结

晶水，碳酸盐分解出的 CO_2 ，硫酸盐分解出的 SO_2 ，以及有机杂质被排除后物量的损失与低价硫、铁等元素氧化成高价物质的代数之和。水泥烧失量大，意味着碳、硫含量高，其中碳容易吸附混凝土中的外加剂，导致混凝土坍落度损失增大，因此烧失量不宜过大，应控制在 5% 以内。

水泥中 SO_3 含量实质上是对磨制水泥时石膏掺入量的反映，当石膏掺入量过大时，由于硫酸钙水化速度较快，水泥的凝结反而会变快；硫酸钙水化后呈结晶状态，大量晶体硫酸钙还会产生体积膨胀，对水泥石的结构会产生破坏作用，一般控制 SO_3 含量不超过 3.5%。

水泥中 MgO 在水泥凝固后的若干年甚至是十几年后会吸收水体积膨胀导致混凝土的破坏，因此需限制水泥熟料 MgO 含量，一般要求不大于 5%，若水泥经压蒸试验安定性合格，可放宽至 6%。

氯盐在水泥生产中有明显的经济价值，如可作为熟料煅烧的矿化剂，能够降低烧成温度，利于节能高产；还可以作为水泥早强剂，不仅使水泥 3d 强度提高 50% 以上，而且可以降低混凝土中水的冰点温度，防止混凝土早期受冻^[1]。但研究表明，氯离子含量过大时对混凝土质量也有显著的不利影响，如锈蚀钢筋，导致混凝土质量下降，从而影响混凝土耐久性；降低混凝土抗化学侵蚀性和耐磨性以及抗折强度。鉴于此，尽管衬砌混凝土一般为素混凝土，但依然需对氯离子含量进行限制，一般要求水泥生产中允许加入不大于 0.5% 的助磨剂但水泥汇总的氯离子含量必须不大于 0.06%。

(3) 碱含量。水泥中碱性成分 (K_2O 、 Na_2O) 会与空气的 CO_2 和水发生碱骨料反应，在骨料表面生成一种复杂的碱-硅酸凝胶，在潮湿条件下凝胶吸水而产生很大的体积膨胀，胀裂水泥石与骨料的界面，降低混凝土的强度、耐久性，甚至造成混凝土结构的破坏。因此，若使用活性骨料，用户（项目法人或受项目法人委托建设管理的建管单位）要求提供低碱水泥时，水泥中的碱含量应不大于 0.60% 或由买卖双方协商确定，但是不论如何，均需满足混凝土总碱含量控制的要求。

(4) 物理、力学指标。工程中应对拟用水泥品种进行物理、力学性能试验。

凝结时间对混凝土施工有很大的影响，如初凝结时间过短，往往来不及施工，甚至来不及运送到施工工地；终凝时间太长，又会使施工人员难以适应，妨碍工程进展。一般要求初凝不小于 45min，终凝不大于 600min。

水泥的安定性即体积安定性，是指水泥在凝结硬化过程中体积变化的均匀性。如果水泥硬化后产生不均匀的体积变化，即为体积安定性不良，安定性不良会使水泥制品或混凝土构件产生膨胀性裂缝，降低建筑物质量，甚至引起严重事故。安定性要求沸煮法合格。

此外, P·O42.5 水泥的强度应符合表 2.1 中的指标。

表 2.1 强 度 指 标

品 种	强度等级	抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
		3d	28d	3d	28d
P·O42.5	42.5	≥17.0	≥42.5	≥3.5	≥6.5
	42.5R	≥22.0		≥4.0	

(5) 细度。水泥的粉磨细度与时间、强度、干缩以及水化放热速率等一系列性能都有密切的关系。水泥细度越细或比表面积越大, 水泥水化热反应就越快, 早期强度发挥就越快。同时, 水泥粉磨采取“窄级配”, 即水泥颗粒大小越均匀时, 水泥强度也越高。但是, 其水化热也会越大、越集中, 水泥标准稠度需水量越大, 混凝土的水灰比也越大, 与外加剂相容性越差, 开裂敏感性越大。而且, 水化后浆体内凝胶含量增多, 是引起干缩率增大的一个原因。

水泥细度是影响水泥流变性能的重要因素, 水泥流变性能对混凝土施工和工程质量有重要影响。硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的细度以比表面积表示, 其比表面积不小于 $300\text{m}^2/\text{kg}$ 。

(6) 水泥应按不同厂家、不同品种和强度等级分批存储, 并应采取防潮措施。出现结块的水泥不能用于混凝土工程。出厂超过 3 个月应进行复检, 合格后方可使用 (出具检验合格证明)。

2.2.2 粗骨料

粗骨料是指混凝土中用石。粗骨料是混凝土的主要组成材料, 占混凝土总体积的 75% 以上。在混凝土配合比设计时, 混凝土的强度主要取决于水泥强度、水胶比及骨料颗粒形状, 并且研究表明, 随混凝土强度提高, 由于水灰比的减小, 碎石的粒径和级配会对混凝土强度产生很大影响^[2]。混凝土采用的粗骨料分为卵石和碎石, 按技术要求分为 I 类、II 类和 III 类。

(1) 骨料最大粒径受工程特点的限制, 但应采用连续级配。由于衬砌混凝土厚度一般在 $8\sim 15\text{cm}$, 骨料粒径受构建截面最小尺寸限制, 不应超过构建截面最小尺寸的 $1/4$, 可采用 $5\sim 20\text{mm}$ 的连续级配骨料。

(2) 针、片状碎石会增加新拌混凝土在流动过程中的摩擦阻力, 其坚韧性比普通粒形的坚韧性差, 从而影响着混凝土的强度性能。研究表明, 随着针、片状碎石含量的增加, 新拌混凝土的和易性变差^[3]。因此, 粗骨料的颗粒级配要合理, 粒形要好, 尽量选择扁圆、方圆状石头多的碎石, 少用针、片状碎石。针对衬砌混凝土, 一般要求针、片状颗粒含量不超过 15%。

(3) 含泥量指粗骨料中粒径小于 0.075mm 颗粒 (尘屑、淤泥和黏土) 的

质量百分比含量；泥块含量指含泥量合格的粗骨料中，所含的遇水软化物质的质量百分比含量。含泥量和泥块含量超标的粗骨料用于混凝土，不仅会因软弱颗粒而影响混凝土强度和耐久性，而且还会影响骨料与水泥石界面的粘接，从而影响混凝土的品质，在根本上导致混凝土的强度明显降低，对混凝土的其他性能亦有一定的负面影响。若采取二次筛洗工艺或调整混凝土配合比消除负面影响，又会导致工程成本相应增大^[4,5]。因此，需要对含泥量和泥块含量进行控制，一般要求控制含泥量在1%以内、泥块含量在0.5%以内。

(4) 有机质含量是指附属在骨料上的以有机土形式出现的植物腐烂产物，它的危害主要是妨碍水泥的水化，降低混凝土的强度。若骨料中有硫铁矿(FeS_3)、生石灰($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)等硫化物或硫酸盐折算为 SO_3 （按质量计）的含量过高，可能对混凝土产生硫酸盐腐蚀，即与水泥中的氢氧化钙作用后生成的结晶体体积膨胀，致使水泥石严重开裂而破坏。因此，对衬砌混凝土中所采用粗骨料的有害物质应进行严格控制，要求有机物检测合格，硫化物及硫酸盐（按 SO_3 质量计）不超过1.0%。

(5) 有抗冻要求的混凝土所用粗骨料，要求测定其坚固性，即用硫酸钠溶液法检验，试样经5次循环后测得。若衬砌混凝土有抗冻性要求，则质量损失应控制在12%以内。

(6) 压碎指标表示石子抵抗压碎的能力，以间接地推测其相应的强度。根据规范要求，衬砌混凝土碎石压缩指标应不超过30%，卵石压碎指标不超过16%。当碎石采用的岩石品种不同时，应符合表2.2的限值。

表 2.2 碎石压碎指标值

粗骨料种类	岩石品种	混凝土强度等级	压碎指标值/%
碎石	沉积岩	≤C35	≤16
	变质岩或深成的火成岩	≤C35	≤20
	喷出的火成岩	≤C35	≤30

(7) 在配合比设计中，混凝土配比的容重与表观密度有关。堆积密度主要影响混凝土配比设计中砂率的确定。空隙率=堆积密度/表观密度，石子的空隙率越大，砂率越大，反之亦然。同理，砂子的空隙率越大，需要的胶凝材料就越多。合适的空隙率能保证混凝土的较好和易性。因此，粗骨料表观密度、连续级配松散堆积空隙率也应符合要求，表观密度不小于 $2600\text{kg}/\text{m}^3$ ，连续级配松散堆积空隙率不超过47%。

(8) 研究表明，粗骨料的吸水率对混凝土的性能有较大影响，吸水率变大，混凝土的抗压、抗折强度降低，抗冻性、抗渗性、抗盐冻剥蚀性能和抗碳化性能变差。因此，需要严格控制衬砌混凝土所用骨料的吸水率，一般要求控

制吸水率不超过 2.0%。

(9) 衬砌混凝土长期处于潮湿环境下, 混凝土在配制时按规定应对所使用的粗骨料进行碱活性检测。经碱集料反应试验后, 试件应无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象, 在规定的试验龄期膨胀率应小于 0.10%。

(10) 石子进场后, 供货商应提供合格证明。若上述 (2) ~ (8) 有一项不符合要求, 则应进行同批产品加倍取样并复验, 复验后合格则视为合格, 否则视为不合格; 若两项及两项以上不符合要求, 则视为不合格。含碱量应符合混凝土总碱限值。

(11) 选择骨料应注意的其他问题。

1) 砂石料以就地取材为原则。

2) 应充分利用符合质量要求的工程开挖料加工骨料。天然骨料级配不合理, 如弃料较多时, 宜破碎加工予以利用。

3) 在施工条件许可的情况下, 粗骨料的_{最大}粒径应尽量采用较大值, 以节约胶凝材料用量。

4) 在骨料的选择中应重视石子的选择, 在石子的选择中应重视级配的选择。石子的颗粒级配是指石子颗粒的分级和搭配情况。良好的骨料级配可用较小的加水量拌制出流动性好、离析泌水少的混合料, 并能在相应的成型条件下, 得到均匀密实的混凝土, 并同时达到节约水泥的效果。在混凝土工艺上对石子分为连续级配和间断级配。连续级配是使大颗粒的空隙由中颗粒填充, 大、中颗粒的空隙又由较小的颗粒来填充。这样互相填充, 空隙率可以达到最小, 水泥可以减少浪费, 强度也能达到最好。但是, 也要避免中小颗粒过多, 影响大颗粒的分布, 甚至因楔塞支撑着大颗粒, 而扩大了大颗粒间的距离, 也就是扩大了强度较为薄弱的砂浆区。因此, 石子的颗粒级配必须合理。单粒级宜用于组合成具有要求级配_的连续粒级, 也可与连续级配混合使用, 以改善其级配或配成较大粒度的连续粒级。不宜用单一的单粒级配制混凝土, 如必须单独使用, 则应做技术经济分析, 并应通过试验证明不会发生离析或影响混凝土的质量。

5) 对于用于大型渠道衬砌的混凝土, 骨料的选择应首先选择级配和粒形较好的石子, 然后做石子级配试验, 确定 2 种或 3 种石子的级配比例, 力争将石子级配调整到最好, 这是生产高质量混凝土的基础。因为级配良好的石子使混凝土最为密实, 耐久性好, 由于空隙较小, 砂率较低, 可使用水量相应减少, 而且混凝土工作性较好, 易于施工。

2.2.3 细骨料

细骨料是指混凝土中用砂。砂按产源分为天然砂、机制砂两类; 按细度模数分为粗、中、细 3 种规格, 其细度模数分别为 (3.7~3.1 粗)、(3.0~2.3

中)、(2.2~1.6 细);按技术要求分为 I 类、II 类和 III 类。根据美国垦务局 Denver 实验室的经验,理想的砂子细度模数 $FM=2.75$ 左右。按照我国水工混凝土规范,渠道衬砌混凝土宜选用中砂,即天然砂细度模数宜为 2.3~3.0,机制砂细度模数宜为 2.4~2.8。砂子能增加混凝土的握裹力、流动性,调节混凝土中各成分比例,使配合比最优,以便在少用水泥的情况下更好地发挥各种材料的作用,因此应合理选择衬砌混凝土用砂。

(1) 衬砌混凝土的细骨料宜采用中砂,通过 0.315mm 筛孔的颗粒含量不宜小于 15%,且不大于 30%,通过 0.160mm 筛孔的颗粒含量不宜小于 5%。砂的颗粒级配及级配类别应满足表 2.3 和表 2.4。

表 2.3 颗粒级配

砂的分类	天然砂			机制砂		
	1 区	2 区	3 区	1 区	2 区	3 区
方筛孔	累计筛余/%					
4.75mm	10~0	10~0	10~0	10~0	10~0	10~0
2.36mm	35~5	25~0	15~0	35~5	25~0	15~0
1.18mm	65~35	50~10	25~0	65~35	50~10	25~0
600 μm	85~71	70~41	40~16	85~71	70~41	40~16
300 μm	95~80	92~70	85~55	95~80	92~70	85~55
150 μm	100~90	100~90	100~90	97~85	94~80	94~75

表 2.4 级配类别

类别	I	II	III
级配区	2 区	1 区、2 区、3 区	

(2) 砂子的含泥量和泥块含量对混凝土品质的影响与石子类似。针对衬砌混凝土而言,当采用天然砂时,要求其含泥量和泥块含量控制在 5% 和 2% 以内。

(3) 水工混凝土多采用人工砂(或机制砂)。人工砂石粉与天然砂中的泥成分不同、粒径分布不同,在混凝土中所起的作用亦不相同。天然砂中的泥对混凝土是有害的,必须严格控制其含量。而人工砂中适量的石粉对混凝土是有益的,有适量石粉的存在,弥补了人工砂配制混凝土和易性差的缺陷。同时,它的掺入对完善混凝土特细骨料的级配、提高混凝土密实性和韧性都有益处,进而起到提高混凝土综合性能的作用。

目前,对于石粉含量的控制范围尚存在一定争议,水工混凝土一般建议控制在 6%~18%。而衬砌混凝土一般有抗冻的要求,需要掺加引气剂,若石粉