适于小河流的反滤混凝土配合比优化设计

谢应兵 江辉\*

（江西省水工程安全与资源高效利用工程研究中心，南昌工程学院，南昌 330099）

**摘要：**通过室内试验制备反滤混凝土试块，以碎石、水泥、河砂、SR-3、水为试验因素，选用4因素5水平的均匀设计，探究影响反滤混凝土抗压强度、孔隙率、PH等的影响因素。通过试验研究对比，得出适用于小河流治理的反滤混凝土配合比范围：碎石、水泥、河砂、SR-3和水用量分别为1450～1580kg/m³、250～280kg/m³、80～100kg/m³、4.7～5.5L/m³、72.5～80L/m³，为生态混凝土护坡的实际工程应用提供一定的参考价值。

**关键词：**反滤混凝土；均匀设计；护坡；配合比

**中图分类号:** TU528.2 文献标志码: A 文章编号:

Suitable for small rivers filter concrete mix proportion optimization design

XIE Yingbing JIANG Hui

（Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099）

**Abstract:** Through the indoor experiment of preparation of filter concrete test block with gravel, cement, river sand, SR-3, water as experimental factors, the choice of 4 factors and 5 levels of uniform design to explore the influence factors of filter concrete compressive strength, porosity, pH, etc. Through the experimental study on the comparison, it is concluded the scope of mix proportion that is suitable for small rivers filter concrete: gravel, cement, river sand, SR-3 and water consumption is 1450～1580kg/m³、250～280kg/m³、80～100kg/m³、4.7～5.5L/m³、72.5～80L/m³,100kg / m³, 4.7 ~ 5.5L / m³, 72.5 ~ 80L / m³, which can provide reference for the practical engineering application of ecological concrete revetment.

**Key words:** filter concrete; uniform design; slope protection; mix proportion

0 引言

普通混凝土是利用最广泛的人造材料，年使用量大约为70亿吨，是人类与自然界进行物质与能量交换活动中消费量很大的一种材料[1]。在大多数河流治理中，最常用的就是混凝土硬质护坡和是浆砌石混凝土护坡等传统型式。目前，随着科技的发展和人们对环保意识的不断提高，认识到这种传统的河流治理方式阻碍了土壤与水体之间的物质能量交换[2]、导致植被覆盖率降低、热岛现象严重、河道水体自净能力降低等生态问题越发凸显[3-4]。反滤混凝土具有保护植被、减少水土流失、增强水体自净能力、节约造价等优点被越来越多的国内外学者关注[5-7]。尽管许多学者对生态混凝土抗压、抗拉性能、孔隙率、PH等进行了大量研究[8-11]，但在生态混凝土的制备技术、适宜的孔隙率和等效孔径的范围以及相应的技术规范等方面，仍处于实验性阶段[8]。

另外，小河流与大江大河和中型河流相比，目前基本无设防，虽然经济损失相对较小，但直接侵害了农民的切身利益，存在的问题更为突出[12]。主要表现在以下几个方面[13]：（1）山洪频现，山区小河流蜿蜒陡峻，所以洪水具有历时短、汇流快、洪峰高等特点，极易形成洪涝灾害；（2）河床淤积严重，洪水含泥沙量大，部分河段地势坡降明显放缓，水流速度降低，则会造成泥沙大量沉积，河道淤塞严重，导致河床抬高，河道行洪不畅；（3）坡岸不稳，河流较弯曲，且大部分河段丰水期主流逼近坡脚，凹岸部位迎流顶冲，坡脚掏蚀速度相对较快，易发生崩岸塌坡，对岸坡的稳定不利。针对小河流的特征，对反滤混凝土材料进行研究，然后将研究成果运用到实际工程中就显得十分有意义。

鉴于此，本试验采用四因素五水平正交均匀设计，结合已有研究基础测试混凝土各性能参数，探究用于小河流的反滤混凝土各性能参数的影响因素，制定适宜的配合比，为用于生态护坡的反滤混凝土的制备及在小河流治理中提供一定理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

本试验使用5mm-10mm的人工碎石、P·O42.5级水泥、河砂、普通自来水（PH为6.9-7.1）、SR-3添加剂，各技术指标如下：

**表1 反滤混凝土粗骨料技术指标**

Table 1 Filter type ecological concrete coarse aggregate technical indicators

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 碎石粒径（mm） | 表观密度（kg/m³） | 堆积密度（kg/m³） | 孔隙率（%） |
| 5-10 | 2730 | 1610 | 41 |

**表2 反滤混凝土细骨料技术指标**

Table 2 Filter type ecological fine aggregate concrete technical indicators

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 河砂细度模数 | 表观密度（kg/m³） | 堆积密度（kg/m³） | 含泥量（%） |
| 2.1 | 2610 | 1495 | 3.8 |

1.2 试验方法

目前为止，国内尚无关于应用于河流治理的反滤混凝土的规范和标准。因此，本文参考《透水混凝土路面技术规程》[14]中透水混凝土的一些技术指标，再根据反滤混凝土本身的特点和适用范围制定的设计指标。先用体积法，根据所设目标空隙率得出粗骨料和胶凝浆体的用量，根据一些通用公式和技术规程得出粗骨料用量，以及胶凝浆体（包括：水泥、河砂、添加剂和水）用量的大致范围；再用正交试验法，分别以水泥、河砂、添加剂和水为影响因素，以各自的用量多少为水平得出正交试验表；最后对实验数据进行处理分析，以反滤混凝土的设计指标为参考标准，得出一组能适用于小河流的反滤混凝土配合比。

1.3 试验设计

采用四因素五水平均匀设计，共25组试验，最后通过对试验结果进行分析，选出一组能符合反滤混凝土各项技术指标的配合比。粗骨料的用量参考公式*[*15]（*为粗骨料紧密状态下堆积密度，*为折减系数，可取0.96～0.98），不同粗骨料*略有*差异，方便起见，本文*取*1550kg/m³。因素水平编码见表3，实施方案及结果见表4。

**表3 反滤混凝土配合比试验正交设计因素水平编码表**

Table 3 Filter type ecological concrete mix proportion experiment of orthogonal design factors level code table

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 水平 | 影响因素(1m³用量) | | | |
| 水泥（kg） | 河砂（kg） | SR-3（L） | 水(L) |
| -2 | 170 | 20 | 0 | 94 |
| -1 | 210 | 60 | 1.5 | 95.5 |
| 0 | 250 | 100 | 3 | 97 |
| 1 | 290 | 140 | 4.5 | 98.5 |
| 2 | 330 | 180 | 6 | 100 |

**表4 反滤混凝土正交设计与配合比实施方案表**

Table 4 Filter type ecological concrete proportion of orthogonal design and the implementation plan table

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 处理号 | X1 | X2 | X3 | X4 | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 |
| 水泥用量（kg） | 河砂用量（kg） | 水用量（L） | SR-3  （L） | 强度（MPa） | 孔隙率（%） | 渗透系数 | PH |
| 1 | -2 | 2 | 2 | -2 | 9.5 | 20.2% | 1.61 | 11.4 |
| 2 | -2 | 1 | -2 | 0 | 9.7 | 23.3% | 2.14 | 9.7 |
| 3 | -2 | 0 | -1 | 2 | 9.4 | 24.3% | 2.22 | 8.3 |
| 4 | -1 | 2 | -2 | 2 | 13.0 | 19.5% | 1.58 | 8.5 |
| 5 | -1 | 0 | 0 | 1 | 13.4 | 22.0% | 1.9 | 9.3 |
| 6 | -1 | 1 | -1 | -1 | 13.5 | 21.9% | 1.94 | 10.8 |
| 7 | -1 | -1 | 1 | -2 | 12.8 | 23.5% | 2.23 | 11.9 |
| 8 | 0 | 2 | -1 | 1 | 16.4 | 18.0% | 1.32 | 9.5 |
| 9 | 0 | 1 | 0 | -2 | 16.1 | 19.8% | 1.56 | 12.2 |
| 10 | 0 | 0 | 1 | 0 | 15.8 | 21.6% | 1.85 | 10.4 |
| 11 | 0 | -1 | 2 | 2 | 15.5 | 21.7% | 1.96 | 8.8 |
| 12 | 0 | -2 | -2 | -1 | 15.3 | 24.3% | 2.33 | 11 |
| 13 | 1 | 2 | 0 | 0 | 17.5 | 17.0% | 1.28 | 11.4 |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 2 | 17.8 | 18.7% | 1.45 | 9.5 |
| 15 | 1 | 0 | 2 | -1 | 17.4 | 19.2% | 1.49 | 11.8 |
| 16 | 1 | -1 | -2 | 1 | 17.2 | 21.5% | 1.88 | 10.3 |
| 17 | 1 | -2 | -1 | -2 | 17.1 | 22.9% | 2.05 | 12.5 |
| 18 | 2 | 2 | 1 | -1 | 19.4 | 16.5% | 1.27 | 12.6 |
| 19 | 2 | 1 | 2 | 1 | 19.6 | 17.3% | 1.28 | 11.8 |
| 20 | 2 | 0 | -2 | -2 | 19.0 | 18.8% | 1.41 | 12.9 |
| 21 | 2 | -1 | -1 | 0 | 18.8 | 19.9% | 1.55 | 12.3 |
| 22 | 2 | -2 | 0 | 2 | 18.5 | 21.4% | 1.75 | 10.8 |

(表3已剔除泌浆现象严重，透水能力低的组)

2 试验结果及分析

正交结果如表4所示，反滤混凝土强度主要取决于水泥用量，随着水泥用量增多，混凝土强度呈递增趋势。相比普通混凝土，加入添加剂SR-3的反滤混凝土孔隙率明显增大，显著提高混凝土渗透能力。同时，SR-3对反滤混凝土PH具有一定改良作用。

2.1 水泥用量对反滤混凝土强度的影响

根据表4数据，对水泥用量（X1）与28d强度（Y1）进行回归分析，可模拟数学模型如下：

Y1=-0.0004X12+0.307X1-33.727，R2=0.9925。 （1）

|  |
| --- |
|  |
| **图1 水泥用量与抗压强度关系**  Figure 1 Relationship between cement content and compressive strength |

由（1）式及图1可得出，随着水泥用量增加，

反滤混凝土强度变化率先增大后减小。混凝土7d强度明显低于28d强度，在一定范围内，反滤混凝土28d强度随着水泥用量先增大后减小，当水泥用量在250kg/m³时，强度（28d）为18.023MPa，满足小河流护坡的强度要求：28d标准立方体抗压强度至少为18MPa[16]。当水泥用量为330kg/m³时,28d强度为24.023 MPa，抗压强度提高6MPa，同比增长33.3%。水泥用量增加80 kg/m³，同比增长32%。鉴于强度已满足要求，从混凝土孔隙率和经济效益等方面考虑，水泥用量选250～280kg/m³为宜。

2.2 水灰比与反滤混凝土强度的关系

对水灰比与反滤混凝土强度进行回归分析，结果如图2，模拟数学式如下：

|  |
| --- |
|  |
| **图2 水灰比与抗压强度关系**  Figure 2 Water cement ratio and compressive strength |

Y1=-34.265Xw/c+28.998，R2=0.9758。 （2）

由图2及（2）式可知，水灰比对反滤混凝土强度影响较大，随着水灰比增大，强度逐渐降低。以水泥用量250kg/m³为例，当水灰比为0.32时，混凝土强度为18.033 MPa。水灰比为0.29时，强度最大：19.061 MPa，水灰比为0.59时，强度最小：9.5 MPa,最大强度与最小强度差为：9.561 MPa。因此,满足强度要求水灰比取0.29～0.32均可，对应水用量为72.5～80L/m³，试验过程中由于骨料含水率差异，用水量有所增减。

2.3 河砂用量对反滤混凝土孔隙率的影响

由图3可知：孔隙率、目标孔隙率、有效孔隙率、渗透系数与河砂用量均呈现负相关。而满足河道护坡的反滤混凝土孔隙率要求在20%～30%之间[11]。试块制备过程中发现，当河砂用量高于100kg/m³时，试块孔隙率将低于20%，反滤混凝土的透水性能降低；另外，试验过程中由于受到人为等其它因素的影响，在河砂用量高于100 kg/m³时，试块的目标空隙率很难得到保证；同时，河砂用量过低则混凝土强度会有所下降[17]。因此，综合反滤混凝土孔隙率和抗压强度两方面因素考虑，河砂的用量取80～100kg/m³为宜。

|  |
| --- |
|  |
| **图3 河砂用量与孔隙率及渗透系数的关系**  Figure 3 River sand dosage relationship between porosity and permeability |

2.4 SR-3用量对反滤混凝土PH值的影响

由表4对SR-3用量与反滤混凝土PH值进行回归分析可得：

Y4=-0.0303X42-0.3064X4+12.146， R2=0.9977。 （3）

|  |
| --- |
|  |
| **图4 SR-3与PH的关系**  Figure 4 SR - 3 relations with PH |

由图4可得：反滤混凝土PH值与SR-3用量呈负相关，当SR-3用量为0时，PH值最大：12.1，而高碱性会影响周边水体PH，不利于周围生物生存[18]；当SR-3用量为6L/m³时，PH值最小：9.2。本次试验范围内，PH值极差为2.9，说明SR-3对改良混凝土PH具有显著的功效。当SR-3用量大于4.7L/m³，PH值小于10,符合PH在10以内满足适合植物生长需求条件[19]。从混凝土PH值和经济效益等方面综合考量，SR-3用量取4.7～5.5L/m³为宜。由于水位变动区水工建筑物基础水灰比一般在0.38～0.4之间[20]，而本试验反滤混凝土配合比中水灰比取0.29～0.32，说明SR-3同时具有显著地减水效果。

3 结论

由以上可知，水泥用量的不同或水灰比的大小对反滤混凝土强度影响较大，添加剂SR-3用量不同显著影响混凝土PH值大小，河砂用量直接影响混凝土孔隙率及渗透系数，且不同组合下配合比对反滤混凝土各项性能指标影响较大。因此，科学合理的设计混凝土配合比对改善适于小河流的反滤混凝土性能具有重要意义。

针对用于河岸护坡的反滤混凝土要满足强度、孔隙率、有效孔隙率、渗透系数、PH值等指标，建议反滤混凝土其配合比适宜范围：水泥用量250～280kg/m³、人工碎石用量1450～1580kg/m³、河砂用量80～100kg/m³、水用量72.5～80L/m³、SR-3用量4.7～5.5L/m³。

**参考文献：**

[1]张开猛，蒋友新，谭克锋. 生态混凝土研究现状及展望 [J]. 四川建筑科学研究，2008，34(1):152-155.

[2]祝卓. 植生型混凝土砌块在河道治理中的应用[J]. 安徽农业科学,2014,10:3113-3115.

[3]刘峰,颜庭成. 现浇透水性生态混凝土在河道边坡工程中的应用[J]. 地质学刊,2011,04:418-423.

[4]陈杨辉,吴义锋,吕锡武. 生态混凝土在河道护坡中的应用[J]. 中国水土保持,2007,06:42-43.

[5]王红丽. 生态护坡技术在河道治理中的研究与应用[A]. 《决策与信息》杂志社、北京大学经济管理学院.决策论坛——政用产学研一体化协同发展学术研讨会论文集（下）[C].《决策与信息》杂志社、北京大学经济管理学院:,2015:1.

[6]魏莲英. 浅析现浇透水、植生高强生态混凝土在护坡中的应用[J]. 青海科技,2011,04:43-45.

[7]李萌,陈宏书,王结良. 生态混凝土的研究进展[J]. 材料开发与应用,2010,05:89-94.

[8]詹镇峰,李从波,张梅. 浅谈植生混凝土的研究与应用[J]. 江淮水利科技,2007,03:23-25.

[9]梁止水,吴智仁,杨才千,高海鹰. 基于正交试验的高反滤生态混凝土配合比设计[J]. 混凝土,2016,01:137-140+144.

[10]陈树建. 再生材料生态混凝土配制技术及性能试验研究[D].山东农业大学,2013.

[11]谢新生,汤巍,王锦叶. 多孔生态混凝土强度与孔隙率的试验研究[J]. 四川大学学报(工程科学版),2008,06:19-23.

[12] 江辉,刘青,黄宝强等. 农村小河流生态固岸新模式探讨[J].中国农村水利水电,2014,12:56-59.

[13] 谢应兵. 反滤型生态混凝土试验及其在小河流治理中的应用[D].南昌工程学院,2015.

[14]CJJ/T 135—2009， 透水混凝土路面技术规程 [S]. 北京：中国建筑工业出版社, 2009.

[15]郑木莲，陈拴发，王秉纲. 基于正交试验的多孔混凝土配合比设计方法 [J]. 同济大学学报，2006，34(10):1319-1324.

[16]刘荣桂,吴智仁,陆春华,吴春笃,彭振华. 护堤植生型生态混凝土性能指标及耐久性概述[J]. 混凝土,2005,02:16-19+28.

[17]蒙忠欢. 机制砂与河砂配合使用对混凝土强度的影响研究[J]. 工程与建设,2015,05:667-669.

[18]杨益,王振宇,王坤. 混凝土工程植生伪装的研究现状[J]. 混凝土,2008,04:8-10+18.

[19]卢照辉,叶文亚,邓检良,陈兵. 多孔植被混凝土配合比设计与试验研究[J]. 建筑技术开发,2014,11:28-31.

[20]徐福纯 ,倪宇光 ,沈淑红. 浅谈混凝土强度与水灰比的关系[J]. 水利天地,2002,06:47.