

均匀设计在喷射混凝土的配合比中的应用

吴磊, 谢学斌

(中南大学资源与安全工程学院, 湖南长沙 410083)

摘要:在喷射混凝土配合比设计试验中引入了均匀设计, 利用均匀设计法进行了喷射混凝土配合比设计, 并进行了回归分析, 找出了各因素对喷射混凝土配合比设计的影响, 回归方程使混凝土配合比设计简单可靠, 证明了均匀设计对喷射混凝土配合比试验的适用性。

关键词:喷射混凝土; 配合比; 均匀设计; 回归分析

混凝土配合比是指单位体积的混凝土中各组成材料的质量比例, 确定这种数量比例关系的工作就称为混凝土配合比设计。一个优质的混凝土配合比设计必须达到4项基本要求, 即: 满足结构设计强度、抗渗、抗冻等等级要求; 满足混凝土施工所要求的和易性; 满足工程所处环境对混凝土耐久性的要求; 符合经济原则(节约水泥以降低混凝土成本)。

从表面上看, 混凝土配合比计算只是水泥、砂子、石子、水这4种组成材料的用量。实质上是根据组成材料的情况, 确定满足上述4项基本要求的三大参数: 水灰比、单位用水量和砂率。

传统的喷射混凝土配合比设计方法一般有3种: 全面试验法、多次单因素试验、正交试验设计, 存在着试验工作量大, 试验准确性不够高, 对各因素之间的交叉影响考虑较少等缺点。本文在混凝土配合比设计中通过引入均匀试验, 试图用较少的试验工作量得到合适的混凝土配合比, 然后通过回归分析找出影响混凝土配合比设计的各因素之间的关系。

均匀设计是一种试验设计方法, 由方开泰教授和数学家王元在1978年共同提出。它将数论理论与多元统计相结合, 在选取试验点时只考虑试验点在试验范围内均匀散布性, 能用较少的试验获得比较多的信息。对于水平数较多的一类试验, 均匀设计非常有用。如当水平数从9水平增加到10水平时, 均匀设计试验 n 也从9增加到10, 而正交试验数将从81增加到100。

1 喷射混凝土配合比试验

1.1 试验原材料

(1) 水泥: 普通425硅酸盐水泥。

(2) 8604型液体速凝剂。

(3) 砂石: 颗粒级配良好的中粗砂。

1.2 影响因素选择

影响喷射混凝土强度的主要因素有水泥用量、水灰比、砂率、速凝剂掺量(其对喷射混凝土的早期强度影响很大), 所以选取以上4个因素, 其中水泥用量分为12个水平, 速凝剂掺量、砂率、水灰比分为6水平, 试验指标是混凝土养护7d和28d的立方体的抗压强度。试配强度为C20。

1.3 均匀设计表

试验采取4因素混合水平的 $U_{12}(12 \times 6^3)$ 均匀设计表(见表1)。

表1 $U_{12}(12 \times 6^3)$ 均匀试验设计

试验序号	因素水平				试验序号	因素水平			
	水泥用量	速凝剂掺量	砂率	水灰比		水泥用量	速凝剂掺量	砂率	水灰比
1	1	2	2	6	7	7	4	1	6
2	2	3	4	5	8	8	6	3	5
3	3	5	6	4	9	9	1	5	4
4	4	6	2	3	10	10	2	1	3
5	5	1	4	2	11	11	4	3	2
6	6	3	6	1	12	12	5	5	1

2 试验结果分析

考虑水泥用量与其它三因素的交互作用, 对试验结果建立如下回归模型:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_1^2 + \beta_6 x_2^2 + \beta_7 x_3^2 + \beta_8 x_4^2 + \beta_9 x_1 x_2 + \beta_{10} x_1 x_3 + \beta_{11} x_1 x_4$$

式中, $\beta_i (i=0, 1, 2, \dots, 11)$ 为回归系数; x_1 为水泥用量; x_2 为速凝剂用量; x_3 为砂率; x_4 为水灰比。

根据表2的试验数据, 由后退法分别得到7d

和 28 d 强度的回归方程:

表 2 试验结果

试验号	水泥用量 (kg)	速凝剂 (%)	砂率 (%)	水灰比 (%)	7 d 强度 (MPa)	28 d 强度 (MPa)
1	400	3	42	50	16.7	25.3
2	405	4	46	48	17.1	25.3
3	410	6	50	46	17.7	25.7
4	415	7	42	44	18.3	26.8
5	420	2	46	42	17.9	27.2
6	425	4	50	40	18.6	27.6
7	430	5	40	50	19.1	28.0
8	435	7	44	48	19.9	28.1
9	440	2	48	46	19.7	28.3
10	445	3	40	44	20.4	29.1
11	450	5	44	42	21.1	29.4
12	455	6	48	40	21.5	29.3

$$y_7 = 136 - 0.658x_1 + 0.816x_3 - 0.812x_4 + 0.00086x_1^2 + 0.000276x_1x_2 - 0.00187x_1x_3 + 0.00194x_1x_4 \quad (1)$$

标准回归系数 β_i 分别为: -7.66, 1.96, -1.93, 8.82, 0.144, -2.32, 2.09。

$$y_{28} = 27.4 + 0.841x_3 - 1.85x_4 - 0.00194x_1x_3 + 0.0043x_1x_4 \quad (2)$$

标准回归系数 β_i 分别为: 2.14, -4.66, -2.56, 4.92。

(1) 回归方程显著性检验: 式(1)样本容量 $N = 12$, 显著性水平 $\alpha = 0.05$, 检验值 $F_t = 1330$, 临界值 $F(0.05, 7, 4) = 6.094$, $F_t > F(0.05, 7, 4)$, 剩余标准差 $s = 5.32e - 2$; 式(2)样本容量 $N = 12$, 显著性水平 $\alpha = 0.05$, 检验值 $F_t = 134.1$, 临界值 $F(0.05, 4, 7) = 4.120$, $F_t > F(0.05, 4, 7)$, 剩余标准差 $s = 0.207$, 检验结果为显著。

(2) 回归系数检验值: 式(1)第 3 方程项 $[X(4)]$ 对回归的贡献最小, 对其进行显著性检验: 检验值 $F(3) = 14.49$, 临界值 $F(0.05, 1, 4) = 7.709$, $F(3) > F(0.05, 1, 4)$, 此方程项显著; 式(2)第 1 方程项 $[X(3)]$ 对回归的贡献最小, 对其进行显著性检验: 检验值 $F(1) = 6.295$, 临界值 $F(0.05, 1, 7) = 5.591$, $F(1) > F(0.05, 1, 7)$, 此方程项显著。

(3) 残差分析。残差分析结果见表 3。

表 3 残差分析

方程 1					方程 2				
试验号	观测值	回归值	观测值 - 回归值	(观测值 - 回归值) / 观测值 $\times 100(\%)$	试验号	观测值	回归值	观测值 - 回归值	(观测值 - 回归值) / 观测值 $\times 100(\%)$
1	16.7	16.7	0.00	0.00	1	25.3	25.5	-0.200	0.791
2	17.1	17.1	0.00	0.00	2	25.5	25.5	0.00	0.00
3	17.7	17.7	0.00	0.00	3	25.7	25.7	0.00	0.00
4	18.3	18.3	0.00	0.00	4	26.8	26.7	0.100	-0.373
5	17.9	17.9	0.00	0.00	5	27.2	27.1	0.100	-0.3680
6	18.6	18.6	0.00	0.00	6	27.6	27.5	0.100	-0.362
7	19.1	19.1	0.00	0.00	7	28.0	27.7	0.300	-1.07
8	19.9	19.9	0.00	0.00	8	28.1	28.3	-0.200	0.712
9	19.7	19.7	0.00	0.00	9	28.3	28.6	-0.300	1.06
10	20.4	20.4	0.00	0.00	10	29.1	29.1	0.00	0.00
11	21.1	21.1	0.00	0.00	11	29.4	29.3	0.100	-0.340
12	21.5	21.5	0.00	0.00	12	29.3	29.3	0.00	0.00

3 结 论

(1) 经方程和回归系数显著性检验, 方程和各回归系数显著性明显, 由表 3 残差分析可知, 观测值与回归值残差较小, 回归模型较为理想。

(2) 方程(1)标准回归系数 $\beta(1)$, $\beta(4)$ 绝对值最大, 表明水泥用量是影响 7 d 强度的主要因素, 这一点与经验相符, $\beta(5)$ 绝对值最小, 表明速凝剂掺量对 7 d 强度影响较小, 与经验不符, 是回归方程的不足; 方程(2)的标准回归系数 $\beta(2)$, $\beta(4)$ 较大, 表

明水灰比是影响 28 d 强度的主要因素, 但回归方程没有含 x_2 项, 说明速凝剂对 28 d 的强度影响较小。

(3) 回归方程可以直接用于强度的预测, 结合坍塌落度和经济效益选择适合工程的配合比, 也可以用最优化方法求出理论最优配合比。

(4) 均匀设计选取试验点的“均匀分散”性质使喷射混凝土试验各因素可以选取更多水平数, 提高了试验的精度, 同时减少了试验的次数。

(5) 多元回归分析的应用, 可以将各因素对混 (下转第 75 页)

矿井灾害事故应急防范救援应建立多层次救援体系,逐级汇报,第一级救援为区队自救,井下一旦发生突水,最先发现出水人员应立即向公司调度室汇报,并在保证自身安全的同时,通知灾区所有人员,设法弄清出水地点的位置、涌水量大小、涌水状态等情况,在可能的条件下,由班组长或老工人指挥,就地取材,防止事故扩大。第二级为公司抢救,公司设立救灾指挥部,总经理任总指挥,总工程师任副总指挥,副总经理及各部室负责人为成员,下设一线抢救、物资供应、医院救护、公安保卫等若干救灾小组。公司调度室接到汇报后,要以最快的速度通知指挥部全体人员,救灾人员要立即到位待命,总指挥根据具体情况做出救援方案。第三级为救护队援

救,矿山救护队接到事故报告后,要以最快的速度赶到矿井调度室待命。第四级为集团公司助救,集团公司根据灾情指挥调度救灾人员和救灾物资。第五级为地方政府帮救,矿根据灾害情况,必要时可向当地政府求救。

参考文献:

- [1] 胡福祥,等. 淮北徐楼矿业有限公司四铺铁矿地下开采初步设计(第一卷说明书)[R]. 马鞍山:马鞍山矿山研究院,2005.
- [2] 蔡连君,等. 义安矿井突水隐患的分析及防治措施[J]. 采矿技术,2007,(4).

(收稿日期:2009-11-06)

作者简介:张立(1975-),男,山东单县人,助理工程师,主要从事矿山安全工作。

(上接第39页)

部主井,延深罐笼井为副井方案。

3 结束语

为加速矿山建设进程、缩短建设周期,基建施工的关键点是必须抓紧现有罐笼井的延深改造及箕斗井与回风井的施工进度,扩大平行作业范围。罐笼井和回风井不但要担负本身掘进出渣任务,还要担负中段井巷工程掘进出渣的任务,工作十分繁重,是工程能否按期投产的关键之一。为了减少现有罐笼井延深改造对现有生产的影响,应先在现有罐笼井底留7~10 m岩柱,待下部井筒施工完毕,再破岩柱、贯通罐笼井,然后进行井架和井筒安装。

西区开拓系统预估项目建设投资为2000多万元,系统建成后,预估项目达产年平均可实现近亿元

的利润,项目投资财务内部收益率达16.66%(所得税后),投资回收期为7.68 a(含建设期3 a),总投资收益率为24.64%,项目资本金净利润率为36.25%。项目投资在经济上是可行的。

参考文献:

- [1] 伍选华. 湖南省桂阳县宝山铅锌银矿西部矿区深部地质勘查中间性报告[R]. 长沙:湖南省有色地质勘查局,2008.
- [2] 廖廷德. 论宝山西部铜铅锌银矿床地质特征及找矿预测[J]. 湖南有色金属,2009,(3):1~7.
- [3] 左大镛,等. 湖南宝山有色金属矿业有限责任公司西部矿区资源投资评估报告[R]. 长沙:长沙有色冶金设计研究院,2009.
- [4] YSJ019-92. 有色金属采矿设计规范[S].
- [5] GB16424-1996. 金属非金属地下矿山安全规程[S].

(收稿日期:2010-01-08)

作者简介:刘岳军(1971-),男,湖南岳阳人,工程师,从事井下深部开发项目建设与管理,Email:lyj1981@126.com。

(上接第47页)

凝土抗压强度的影响用一个方程式来表示,求出在试验范围内的任意因素、水平对应的混凝土抗压强度,使喷射混凝土配比设计简单可靠。

需要指出的是,不同回归模型的选择对于试验结果和预测有着很大的影响,鉴于混凝土复杂的特性,目前尚无一个特别好的回归模型,线性回归模型因其简单适用较为常用。

参考文献:

- [1] 方开泰. 均匀设计及其应用[J]. 数理统计与管理,1994,13(1):56~63.
- [2] 方开泰. 均匀设计及其应用(二)[J]. 数理统计与管理,1994,13(2):69~61.

- [3] 方开泰. 均匀试验设计的理论方法和应用——历史回顾[J]. 数理统计与管理,2004,23(3):69~79.
- [4] 杨鹏辉. 混凝土配合比的研究[J]. 五邑大学学报(自然科学版),1995,9(1):47~58.
- [5] GB50086-2001. 锚杆喷射混凝土支护技术规范[S].
- [6] 张向东,辛爽,周梅. 均匀设计在排矸石高强混凝土配合比中的应用[J]. 应用基础与工程科学学报,2003,11(2):196~201.
- [7] 任铁钺,魏莹. 正交设计与均匀设计在混凝土配合比设计中的应用[J]. 商品混凝土,2005,(6):30~35.

(收稿日期:2009-12-03)

作者简介:吴磊(1984-),男,硕士研究生,内蒙古呼和浩特人,主要从事岩土工程技术研究,Email:pingzhongxian@yahoo.com.cn。