泡沫轻质土的配合比设计及在台背回填中的应用

张慧

中铁十五局集团第五工程有限公司

摘　要：传统的桥涵台背施工由于其材料特性，完成后容易出现路基沉降，造成错台，出现跳车现象。为避免此类问题，选用合适的填料至关重要。本文通过工程实例，对泡沫轻质土配合比设计及台背回填施工进行简单阐述，实践证明，能够有效改善提高桥涵台背回填施工质量。

关键词：轻质土配合比设计；桥涵台背回填；应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.15.099

泡沫轻质土具有容重小，且容重和强度可调整，好施工，成型后与水泥混凝土材料具有同等耐久性的特点，用作台背回填材料，能显著减少路基沉降量。本文就崇明岛项目采用泡沫轻质混凝土回填桥涵台背，从对泡沫轻质土配合比设计优化及施工工艺和特点进行阐述，为以后类似工程施工提供参考。

一、工程概况

（一）项目概况

本项目位于上海市崇明区，西起向化公路，东至陈潋公路，起讫里程为K29+196.899-K34+550，全长5.353km，规划红线宽度为40m。本项目为二级公路，设计时速为60km/h，采用双向4车道。其中新建桥梁1042m/3座，箱涵1640m/41座等工程。

（二）本工程桥头回填部位

六潋港桥：K29+970～K29+991.921、K29+685.527～K30+710。

界河桥：K31+639.018～K31+683.091、K31+709.455～K31+760。

七潋港桥：K32+300～K32+384.618、K32+717.67～K32+800。

（三）该工程台背回填施工特点

1）该工程工期紧，位于主干道，交通量大，且不能因施工中断。

2）台背回填一般采用透水性好的砂砾或者土质材料，需要有3-6个月的沉降稳定期，且工后易产生沉降错台，出现桥头“跳车”现象。经过调查，此项目附近无取土场，借方量大，运距远，施工成本高。综合考虑施工质量、工期要求和成本，经与设计沟通和业主同意，变更为用泡沫轻质土进行台背回填。

二、泡沫轻质土配合比设计

（一）泡沫轻质土设计参数

1）湿容重：路槽下82cm范围内，≤6.5kN/m^3。

2）设计无侧限抗压强度：路槽下82cm范围内为1.2MPa，其余区域为0.8MPa。

（二）原材料要求及性能检测

1.水泥

宜采用42.5级以上的普通硅酸盐水泥，其性能应符合GB175-2007《通用硅酸盐水泥》的规定。本工程水泥使用上海金山南方水泥有限公司水泥生产的P.042.5水泥。

表1　水泥各项物理、力学指标

比表面积（kg/m^2）		凝结时间（min）		标准稠度用水量（%）	密度（kg/m³）	安定性
试验方法	比表面积仪	初凝时间	终凝时间			
333		148	237	27.3	3100	合格

强度	龄期（d）	抗折强度（MPa）	抗压强度（MPa）
	3d	4.6	21.4
	28d	7.4	49.9

2.水

包括拌合用水和稀释用水，以不影响泡沫轻质土强度和耐久性为原则，该工程采用符合混凝土拌合用水技术要求的当地地下水。

3.发泡剂

发泡剂是制作泡沫轻质土的关键材料，发泡剂的种类和质量好坏直接影响到泡沫轻质土的品质。其中稀释倍数（稀释用水质量与泡沫剂质量的比值）、发泡倍数（制得的泡沫体积与形成该泡沫的泡沫液的体积比）是微孔类轻质材料品质差异的关键所在。发泡剂经稀释发泡产生的气泡群具有液膜坚韧、细微均匀、互不连通的特性，不易在浆体挤压过程中破灭或过度变形，保证了气泡混合轻质土不离析分层。其性能符合CJJ/T177-2012《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》的规定要求。本工程采用的是广东泰和建设有限公司生产的复合型发泡剂。发泡剂性能如表2所示。

表2　发泡剂性能试验结果

序号	项　目	检测结果	标准要求
1	气泡群密度（kg/m^3）	50	48-52
2	气泡静置1h的沉降距（mm）	4.3	≤5
3	气泡静置1h的泌水量（ml）	22	≤25
4	新拌静置1h的湿容重增加率（%）	7.8	≤10
5	发泡倍率（%）	20.0	19.2-20.8

（三）配合比设计

1.配合比设计指标

湿容重、流动度及抗压强度，具体要求如下。

1）湿容重应符合CJJ/T177-2012《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》的规定要求：W6级　5.5kN/m^3＜γ≤6.5kN/m^3

2）设计流动度：160mm～200mm。

3）试配抗压强度　qu=γCF（CF0.8为例进行设计计算）

CF0.8　qu=0.8*1.05=0.84MPa

式中：γ为富余系数（一般为1.03-1.10），上式取γ=1.05

2.基准配合比设计计算

1）确定水胶比。规范要求水胶比按0.55-0.65，本

配合比未掺外加剂与细集料，选取水胶比W/B为0.61，分别增减0.02进行试拌。

2）水泥用量m_c，根据经验确定每立方米泡沫轻质土的水泥用量，m_c=310kg/m³

3）每方泡沫轻质土用水量m_w计算。

$$m_w=\frac{W}{B}(m_c+m_m)=0.61\times310=189\text{（kg/m}^3\text{）}$$

式中：m_c为水泥用量，kg）

m_m为掺合料用量，kg（本配比未使用掺合料）

4）每方泡沫轻质土的气泡群体积量V_f计算。

$$V_f=K\ (1-V_C-V_W)$$

$$V_f=1.15\times1000\times(1-\frac{m_c}{\rho_c}-\frac{m_w}{\rho_w})$$

$$=1.15\times1000\times(1-\frac{310}{3100}-\frac{189}{1000})=818(L)$$

式中：K为富余系数（一般为1.10-1.30）上式K取值1.15；Vc为水泥体积，m³；Vw为水体积，m³；ρc为水泥密度，kg/m³、ρw为水密度，kg/m³。

3.配合比计算选定表

按以上步骤，同一水胶比的另外2个配合比的水泥用量宜在基准配合比基础上分别增加和减少10kg。

表3 试拌用量表

序号	水胶比	混凝土/m³材料用量		
		水泥/kg	水/kg	气泡群/L
1	0.59	3.0	1.77	8.35
2		3.1	1.83	8.25
3		3.2	1.89	8.14
4	0.61	3.0	1.83	8.28
5		3.1	1.89	8.18
6		3.2	1.95	8.07
7	0.63	3.0	1.89	8.21
8		3.1	1.95	8.11
9		3.2	2.02	7.99

经试拌，9组配合比试验结果如表4所示。

表4 配合比选定试验结果数据汇总

序号	水胶比	混凝土/m³材料用量			7d强度/MPa	28d强度/MPa	流动度/mm	湿容重/（kg/m³）
		水泥/kg	水/kg	气泡群/L				
1	0.59	300	177	835	0.75	0.87	180	5.5
2		310	183	825	0.74	0.92	180	5.6
3		320	189	814	0.70	0.94	175	5.6
4	0.61	300	183	828	0.65	0.85	175	5.5
5		310	189	818	0.67	0.86	180	5.7
6		320	195	807	0.68	0.88	180	5.7
7	0.63	300	189	821	0.64	0.79	190	5.7
8		310	195	811	0.65	0.81	185	5.8
9		320	202	799	0.66	0.83	185	5.8

（四）试验室配合比确定

1.试验结果分析

1）流动度均满足设计要求（160-200）mm。

2）强度：结果显示，水胶比越大，强度越低；容重越小，强度越低。除7#、8#、9#配比强度不满足设计要求外，其余均满足设计要求。

3）湿容重均满足设计要求。

2.配合比选定分析

在满足施工性能与设计强度前提下，为减少台背自重，选取湿容重相对较小的配比。经比选，选取2#配比为试验室配合比。

3.试验室配合比确定（见表5）

表5 试验室配合比

序号	强度等级	砼/m³材料用量			7d强度（MPa）	28d强度（MPa）	流动度（mm）	湿容重（kg/m³）
		水泥（kg）	水（kg）	气泡群（L）				
1	CF0.8	310	183	825	0.74	0.92	180	5.6

三、施工工艺

（一）泡沫轻质土施工

1.边坡开挖

首先做好临时排水系统；开挖边坡时边开挖边防护；卸载速度严格控制；对桥台墩柱、路基的位移、裂缝的监测加强。

2.面板基础浇筑

面板基础采用C25混凝土现浇。在完成的基础顶面，放样确定边线和支柱位置，安装固定好角钢和组合模板，检查合格，浇筑混凝土至基础顶面6cm时，放入面板安装预留槽口钢模板。

3.面板预制与安装

面板的作用是防止风化、保护填土构造体。该项目采用C25混凝土现场预制安装。面板间缝隙、地基与面板间密实填充；面板和立柱牢靠安装。面板间的沉降缝用2cm厚木板作填塞，缝表面勾缝。

面板安装施工注意事项如下。

1）准确放样。在基础现浇前确定好支柱位置并固定牢靠；

2）面板基础浇筑时，确保面板基础水平、平整，并预留好渗水盲沟的出水空间；

3）面板安装时放置水平，板间紧贴合密，槽口处坐浆饱满，墙面平整、美观；

4）对金属部件做好防锈、防腐处理；

5）面板及其基础在设置沉降缝或伸缩缝处断开；

6）预制异形面板时，要注意预埋筋的位置做合理调整，并固定牢靠；

7）面板间勾缝圆顺、美观、光滑。

4.发泡与搅拌

泡沫轻质土的配置步骤，先将水泥和水充分混合，制成水泥浆，再掺加由发泡装置产生的气泡，两者迅速均匀混合。严控发泡时间，超时的气泡群禁用。

5.泡沫轻质土泵送

根据本工程的特点，均在施工桥头处设置生产场所，为保证轻质土的稳定性，采用泵送施工。

6.浇筑

1）应在浇筑前检查浇筑区基底，确认基底无积水、无杂物。

2）浇筑时水平分层，每层厚度控制在0.5m。

3）路堤底面纵向按设计要求分段设置成台阶状。以便于施工，路堤底面纵、横向均应水平。浇筑完成达到要求强度后，用底基层材料进行纵坡和横坡向的调整，使路面坡度满足要求。填筑表层未硬化时，如遇雨，做好覆盖。

4）施工中，避免过度振动，严格控制离析，确保气泡分布均匀；从软管的前端开始浇注，出料口一直埋在轻质土中，等下层终凝后再进行上层浇筑（见图5）。

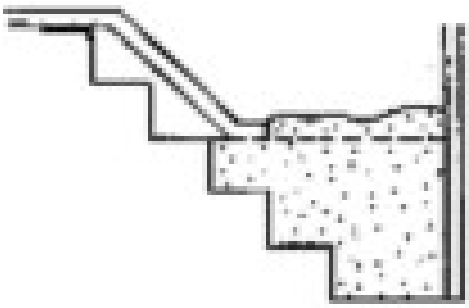

图5 泡沫轻质土浇筑图

5）不宜在高温（气温＞38℃）和低温（气温＜5℃）时段浇筑施工，否则应采取降温或保温措施。

6）在浇筑层内浇筑时，按规定频次取样，进行湿容重和流动度检测，当检测某一测点不合格，立即找出测点周围限界，局部进行处理。

四、施工过程质量检验

（一）湿容重检验

施工中，现场对泡沫轻质土的湿容重取样检测频率为连续浇筑100m^{3}一次，每次取样后立即检测，在5min内完成。湿容重控制值为设计容重值±50kg/m^{3}范围内，以3次试验结果的算术平均值为最终结果。

（二）流动度检验

流动度是表征泡沫轻质土流动性的参数，合适的流动度使泡沫轻质土具有良好的操作性和施工性。取三次试验结果的算术平均值为流动度结果值。

图7 流动度检测

表6 试验检测数据表（CF0.8）

次数	流动度（mm）	湿容重（kg/m³）
1	180	5.6
2	185	5.7
3	180	5.7
4	180	5.8

经检测，流动度和湿容重均满足相关施工规范要求。

五、施工后质量控制

泡沫轻质土固化后的质量控制，一是检验无侧限抗压强度是否满足设计要求，二是浇筑后成品养护的效果。

（一）抗压强度检测

抗压强度试验试块采用100mm×100mm×100mm立方体试块，浇筑施工中应取样制作试件（如图所示），装试模时试样应略高于试模顶面，并采用保鲜膜覆盖。每个构造单元应至少制取二组试件，试件三块为一组。拆模后，将试件装入塑料袋内密封，在温度为（20±2）℃条件下养生28d，然后对养护试件抗压强度进行检验。

表7 试验检测数据表（CF0.8）

组数	7d强度（MPa）	28d强度（MPa）
1	0.67	0.82
2	0.67	0.85
3	0.66	0.84
4	0.67	0.83

经检测，无侧限抗压强度满足相关施工规范要求。

（二）工后成品养护

泡沫轻质土浇筑至设计标高后，及时铺设土工膜，进行洒水保湿养护至少7d。在养护期内，严禁在泡沫轻质土上堆放重物，当强度不低于设计强度后方能展开后续施工。此外，如果施工中下雨，对未固化的泡沫轻质土做好进行覆盖。加强养护，减少裂缝产生。

六、结语

综上所述采用泡沫轻质土填筑台背，与传统台背填筑比较，具有安全性高（减少荷载、土压力、提高抗滑抗倾覆稳定性）、适用性强、经济效益好、施工速度快等特点，特别是在空洞回填、塌方快速抢险及管线回填等工程中的应用更加明显。借助该工程，我们从原材料、配合比、拌合物性能、施工工艺上通过大量的试验及摸索，总结出一套适宜我们自己的工艺控制措施，为以后类似工程提供参考。

参考文献

[1]广东冠生土木工程技术有限公司.气泡混合轻质土填筑工程技术规程：CJJ/T 177-2012[S].广州：[出版社不详]，2012.

[2]广州大学.现浇泡沫轻质土技术规程：CECS 249：2008[S].北京：中国计划出版社，2008.

[3]建筑材料工业技术监督研究中心.泡沫混凝土用泡沫剂：JC/T 2199-2013[S].北京：[出版社不详]，2013.

[4]江西省高速公路投资集团有限公司桥涵台背回填泡沫混凝土施工技术规程：DB36/T 1134-2019[S].江西：[出版社不详]，2019.