

Application of Backfilling of Aeolian Sand and Water Settling Method in the Reconstruction Project of Wind Erosion Area

Zhou Zhou Jimao Wang

CCCC Road and Bridge Construction Co., Ltd., Beijing, 100024, China

Abstract

This paper mainly describes the selection of backfill materials and construction techniques, construction arrangements, and specific construction methods and technologies for the fourth contract section of the Daban-Chabaiyintara section of the Erguang Expressway from Jinjing to Arongqi, aspects of control to solve the problem of scarcity of sand and gravel materials in Inner Mongolia, China.

Keywords

aeolian sand; backfilling at the back of the platform; water sedimentation method

风蚀区改建工程风积沙水沉法台背回填应用

周舟 王继茂

中交路桥建设有限公司, 中国 · 北京 100024

摘 要

论文主要讲述二广高速集宁至阿荣旗联络线大板至查白音他拉段公路第四合同段在台背回填的材料和施工工艺的选择上, 施工安排及具体施工方法和技术等方面控制解决中国内蒙古地区砂砾材料稀少的问题。

关键词

风积沙; 台背回填; 水沉法

1 引言

内蒙古有五大沙漠和四大沙地, 沙区总面积达 11.2 亿亩, 占内蒙古总面积的一半以上, 所以说在内蒙古地区, 砂砾材料十分稀少。如果想选用传统的台背回填施工方法, 砂砾材料供应得不到保障, 并且砂砾材料需从其他地方采购运输, 运距较大成本较高。故经项目决定选择风积沙这一材料作为台背回填材料, 风积沙不仅可以就地取材, 而且施工质量也可以得到保证, 同时还减少工程投资缩短工期。

综合技术、经济、区域特征等各方面因素考虑, 可选用风积沙水沉法进行台背回填。与传统台背回填工艺对比, 填筑用料选用便捷, 可就地取材, 施工周期较短; 不受作业空间的局限, 临近背墙、耳墙、台帽处均能保证回填质量。因此, 在风蚀区风积沙水沉法回填技术有很好的应用前景^[1]。

2 工程概况

依托项目位于赤峰市阿鲁科尔沁旗天山镇, 本地区天

然砂砾、碎石土等透水性材料较为稀缺; 但项目沿线风蚀区较多, 风积沙材料丰富, 采用水沉风积沙法施工, 可以节约项目成本。

项目需在半幅通车的情况下进行台背回填施工, 传统工艺的震动机械会扰动通车半幅的路基, 对行车造成一定的安全隐患; 同时施工周期较长, 无法在较短的时间内完成, 增加了通车半幅路基裸露面坍塌的风险。根据项目实际情况, 风积沙水沉法台背回填属于较优方案, 可以解决材料紧缺的问题, 增加施工进度, 有效降低成本, 缓解风积沙对周边环境的污染、保障了通车半幅的行车安全系数。

3 回填材料的比选

桥梁台背回填材料有很多种, 对应材料的施工方式也不尽相同。故材料的选取是台背回填施工中重要的一点, 材料选取要根据现场施工的结构形式、当地的水文地质、材料的实际价格等多方面考量。因此, 结合本项目内蒙古地区材料源的特点, 选择一个合理的台背回填材料和施工工艺至关重要。

【作者简介】周舟 (1996-), 男, 中国辽宁葫芦岛人, 本科, 从事桥梁研究。

3.1 目标函数

本次计算的目标函数是台背回填施工中选用不同的回填材料和不同的施工工艺使用效果的一种量化计算方式,通过经济指标、台背的沉降及变形、土压力和稳定性等多方面因素等。其中,台背的沉降变形是施工质量的一项重要考量,不同的桥台结构形式和施工地区的地址条件决定桥台对土压力和稳定性的要求是不尽相同的。

3.2 重力式和桩承式桥台的比较

3.2.1 台背土压力比较

计算数值结果表明,因为桥梁台背的高度不尽相同,而重力式桥台和桩承式桥台背的土压力合力差异较大,重力式桥台是桩承式桥台的15~23倍,因此土压力是影响重力式桥台台背回填稳定性的关键因素,故而土压力是重力式桥台台背回填材料和施工工艺选优的目标函数的重要组成部分;因为土压力对桩承式桥台影响较小,故土压力不是桩承式桥台台背回填工程质量的的关键因素。

3.2.2 台背回填稳定性比较

对于常见的一般重力式桥台,经过数据对比分析,最终认为:在台背发生局部滑动情况下,重力式台背土压力和回填区的稳定性是相对统一的。因此,台背的土压力是影响重力式桥台台背回填稳定性的关键因素。

对于常见的一般桩承式桥台,经过数据分析和离心模型试验得到两个结果均表明:桥台下面地基本身的沉降变形是造成台背回填稳定性破坏的决定因素。因此,台背的沉降变形是桩承式桥台的台背回填体稳定性的关键因素^[2]。

3.3 优化目标函数计算方法

根据上述重力式和桩承式桥台的比较分析,重力式桥台台背回填材料的选择和施工工艺优化的目标函数应由三个部分组成,分别是预算单价、沉降和土压力;而桩承式桥台由两部分组成,分别是预算单价和沉降;故就可以得出优化目标函数的计算公式。

①重力式桥台按下式计算:

$$M = aQ + bS + cP$$

$$a + b + c = 1$$

其中, Q 为回填材料的预算单价 * 元 / m³; S 为回填体表面沉降的平均值 * cm; P 为台背土压力的合力 * kN/m; a、b、c 为权重系数,可以根据当地的车流量和公路等级来确定,经调查本项目施工地区应选取为: a = 0.4、

b = 0.4、c = 0.2。

②桩承式桥台按下式计算:

$$M = aS + cQ$$

$$a + c = 1$$

其中, S、Q 同前; a、c 为权重系数,经调查本项目施工地区应选取为: a = 0.85、c = 0.15。

3.4 比较优选

根据具体的计算结果,再考虑相应的经济因素,来进行不同回填材料和施工工艺的目标函数的大小的比较,最后选出优质的回填材料和施工工艺。

3.5 桥台台背回填材料的比选

经过计算分析得出表1,表中给出了重力式和桩承式桥台五种回填材料和施工工艺相应的目标函数的计算结果。其中,台背回填土体表面沉降的均值和土压力的合力采是经过实验计算得出;回填材料的经济指标为乙方材料供应商给出的材料单价。图1是根据计算得出的数值生成的比较曲线图。

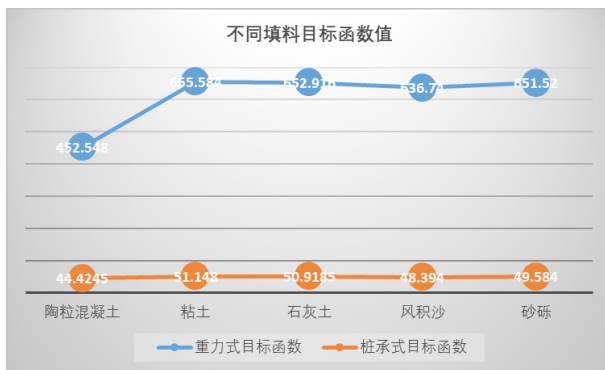


图1 目标函数的比较曲线图

由表1、图1可得出以下结论;

经过对比陶粒混凝土材料具有明显的优势,但价格较高,并且材料运输不便,结合内蒙地区的实际情况,选用目标函数仅次于陶粒混凝土的风积沙作为本项目台背回填的材料,风积沙在内蒙不仅价格便宜,而且取材便利,最重要的一点风积沙各项指标满足台背回填的质量要求。

4 风积沙台背回填的机理分析

①风积沙的颗粒级配不良,相较于砂砾材料来说,风积沙颗粒细,同时风积沙颗粒大多呈圆形。在台背回填施工中,通过振捣棒的振动,风积沙颗粒不断的翻动,使其填补

表1 目标函数的计算表

回填材料	模量/kPa	摩擦角/°	密度/(kg/m³)	渗透系数/(m/d)	泊松比	粘聚力/kPa	重力式				桩承式		
							平均沉降/cm	土压力/(kN/m)	预算单价(元/m³)	目标函数	平均沉降/cm	预算单价(元/m³)	目标函数
陶粒混凝土	38000		12.5	0.0015	0.15		15.29	1058.58	115	452.548	31.97	115	44.4245
粘土	5330	10.45	16.1	0.0010	0.35	20.56	27.2	1576.76	70	655.584	39.88	70	51.148
石灰土	6500	31.2	16.2	0.0010	0.35	23.95	25.13	1564.66	85	652.916	39.61	85	50.9185
风积沙	12385	33.5	17	1.0000	0.32	1.75	21.6	1535.25	70	636.74	36.64	70	48.394
砂砾	12804.4	32.39	18.7	1.0000	0.32	3.05	22.77	1563.53	85	651.52	38.04	85	49.584

空隙部位。通过这种振捣方式，进而达到了较大的密实度，并且这种较大的密实度在台背回填中的各个部位均可体现出来。

②风积沙在灌水或洒水后，使风积沙颗粒更加的润化，使其在震动的过程中能够更快速的填补空隙部位，使风积沙排列更加紧密，而注入的水分由于后来的持续振捣作用下排出，使其更加密实压实度增大。

③采用风积沙作为回填材料时，应向风积沙中注入足够的水分使其处于饱和状态，在饱和状态下进行施工成型，再随着振捣棒的振捣风积沙中的水分逐渐减少，干密度和回弹模量不断变大，随之台背强度也不断提高。即便在后续的使用过程中遇到雨水侵蚀也不会产生较大的影响。

④由于风积沙台背回填施工采用振捣棒振实，而非大型机械施工压实，使台背的整个作业面可以完全地得到相同的振捣工艺，不存在漏振的可能，而且振捣棒振捣相较于大型机械施工来说，工艺简单方便，可以很好地缩短施工工期^[3]。

5 总体施工思路

传统的台背回填施工较多采用机械施工，或是机械和人工结合的施工方式，但对于风积沙这种特殊材料来说，因为它本身不像其他材料具有较好的粘聚性和不松散性，所以采用机械碾压和机械夯实或人工夯实都无法达到相应的压实度，而经过比较选择最后才用振捣棒振捣密实，能达到相应的施工效果。

5.1 施工工艺流程图

施工工艺流程图如图 2 所示。

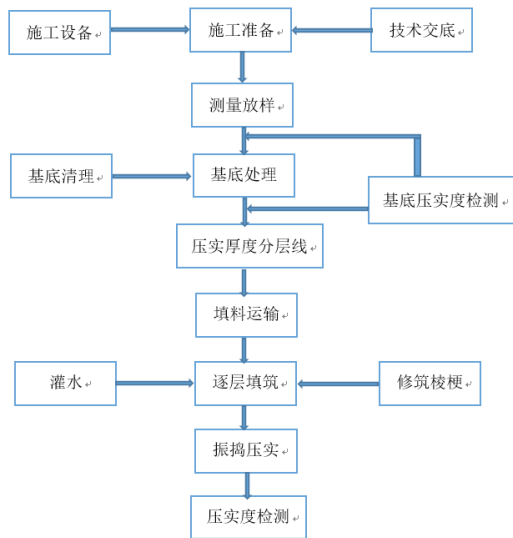


图 2 施工工艺流程图

5.2 关键工序施工技术

①测量放线；测量人员按照图纸放出背墙底宽、锥坡位置、放出路基中线及边坡线，并测出基底距路床顶的高差。

②基底清理；回填前将基坑底杂物及积水清除干净，

并按设计要求对墙身与回填土接触面做防腐处理。将清理的杂物、浮土用自卸车运至指定弃土场。

③画压实分层厚度线；在基底验收合格、台背回填前，在台身上分为左、中、右，把每层的填筑的压实厚度、松铺厚度分别标识出来，以便控制每层的填筑高度。

④运送风积沙；采用自卸汽车由材料存放处运送至桥涵台背回填施工处，并在距台背 6m 处集中堆放。台背回填所用的风积沙细颗粒含量不得大于 6%，最好选用 SP 类风积沙，即其中细颗粒含量小于 5%。

⑤人工填筑风积沙；采用机械和人工组合的方式将风积沙填筑于台背两侧的基坑内，填筑时两侧应同时填筑，防止桥台侧倾；填筑时要注意每层填筑的厚度，每层填筑厚度应该控制在 45cm 以内，填筑至设计标高为止。

⑥填筑整平；将准备好的风积沙回填材料填筑至基坑内，之后采用人工整平，在每层填筑时修筑方格网，方格网的埂高度应在 10~15cm。

⑦灌水；填筑完成后需要向方格网中注水，注水方式采用洒水车运水，直接从洒水车向方格网中喷洒，要使水在风积沙表面形成漫流，直到水将要流出埂后方可停止注水。待洒水完成后，需静置 15~20min，方可进入下一道工序。

⑧振捣棒振捣；洒水静置后，风积沙表面积水将下渗至填筑层内部，表面没有积水，此时利用插入式振捣棒振捣，振捣棒垂直插入到底，振捣棒插入间距应在 20~30cm，每次插入震动 2~3min 后，倾斜拔出，振捣时不得漏震每一处都需要进行振捣，特别是耳背墙处。

⑨压实度检测；由于振捣后风积沙表面出现积水现象，此时如果进行压实度检测，会因为表面有积水而导致含水量过大，很难满足检测压实度的要求，必须再静置 15~30min 或打开埂留一豁口让多余的水流出后，待风积沙表面无积水时，方可采用环刀法进行压实度检测。

5.3 注意事项

①在对台背进行回填时，应该对基坑基底进行清理，不能有草皮、有机土、腐殖质、淤泥等杂物。

②台背回填施工时，需检查回填用料风积沙，风积沙中不能含有草皮、有机土、腐殖质、淤泥等杂物。

③施工时应严格风积沙的含水量，要让其保持在饱和状态，防止土体松散造成扰动。

④为防止饱水后的风积沙在压实或振捣机械作用下产生类似液化现象，施工过程中要做好排水通道。

5.4 推荐机具组合

机具应该选择合适的机具组合，如表 2 所示。

表 2 推荐采用机具组合表

装料	运输	压实	其他
装载机	自卸汽车	插入式振捣棒	洒水车
		平板式振捣器	

6 实验和具体验证

6.1 风积沙特性分析

风积沙是一种具有特殊工程性质的土体,普遍特征为:颗粒组成非常均匀,粉黏粒含量很低,含水率非常低,沙丘的不同深度、不同部位密实度相差较大;压实曲线具有双峰值,即干燥和饱水状态下都可以达到较大干密度;静荷载下不易压实,动荷载下易压实。

6.2 风积沙的物理性质及颗粒组成

按照国家标准 GBJ145—90《土的分类标准》,风积沙应归为砂类土中中级配不良砂(SP)。

但沙漠中局部区域风积沙,如丘间低地风积沙,粉黏粒(粒径 $d < 0.075\text{mm}$)含量较高,可达到10%以上。而细粒组分含量对最大干密度试验方法、现场压实施工工艺及质量控制措施有显著的影响。针对于此,结合内蒙古省际通道赤峰路段工程,根据风积沙颗粒组成的特殊性,参考水利部发布 SL237—1999《土工试验规程》的分类方法,再辅以 $d < 0.075\text{mm}$ 组分的含量的影响,对风积沙进行了进一步分类如下:

I类风积沙,即颗粒组成中 $< 0.075\text{mm}$ 组分质量小于总质量的5%;

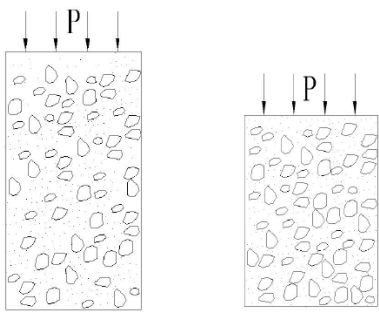
II类风积沙,含细粒土砂,即颗粒组成中 $< 0.075\text{mm}$ 组分质量占总质量的5%~15%,其特点是塑性指数大;

III类风积沙,细粒土质砂,即颗粒组成中 $< 0.075\text{mm}$ 组分质量占总质量的15%~50%,其特点是塑性指数大。

根据本标段取样试验结果,0.075mm以上占总质量94.5%,本标段取样试验结果,0.075mm以上占总质量92.2%,本项目风积沙应归于II类风积沙。

6.3 风积沙的压缩机理分析

风积沙台背回填水沉法施工,通常是通过振捣棒振捣产生的外力作用下,使台背回填骨架颗粒进行挤压密实。在冲击荷载作用下,通过外荷载作用克服了路基土骨架中的土颗粒分子之间的作用力使土颗粒松散,再在荷载作用下,使松散的土粒重新互相靠拢、再挤密的过程,如图3所示。



(a, 压实前) (b, 压实后)

图3 风积沙压缩前后对比图

6.4 风积沙台背回填振实效果

采用风积沙作为台背回填材料,因与传统施工工艺不同,故需要对其振实效果进行验证,以本项目 K712 + 613.280 鲁宝分离立交台背回填为例,通过工地实验室对其进行最大干密度和含水量检测,检测结果如表4所示。

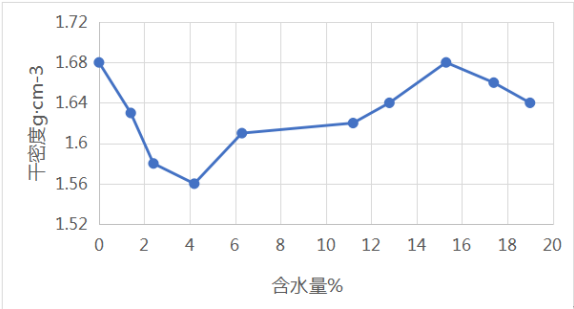


图4 含水量与干密度关系曲线

本项目采用表面振动台法和重型击实法对项目区域风积沙取样试验,试验结果见表3所示。

表3 不同试验方法结果汇总

试验方法	重型击实法	表面振动台法					
		最大干密(g/cm³)	含水量(%)	最大干密(g/cm³)	含水量(%)	最大干密(g/cm³)	含水量(%)
最大干密(g/cm³)	1.69	1.79	1.78	1.65	1.66	1.67	1.66
含水量(%)	0	0	0.32	1	1.1	1.85	2.2

表4 标段风积沙台背回填不同检测方法压实度检测结果

环刀 法	桩号	K712 + 563 左 2m			K172 + 264 左 4m			K172 + 563 左 4m			K172 + 564 左 2m			K172 + 565 左 3m		
	测点位置	下挖	下挖	下挖	下挖	下挖	下挖	下挖	下挖	下挖	下挖	下挖	下挖	下挖	下挖	下挖
		5cm	14cm	20cm	4cm	15cm	24cm	5cm	14cm	20cm	5cm	15cm	20cm	5cm	16cm	25cm
	含水率 (%)	13.1	11.3	10.7	7.3	10	7.5	8.9	7.8	7.5	7	8.3	7	3.6	5.6	6.2
	干密度 (g/m³)	1.64	1.65	1.64	1.64	1.66	1.65	1.64	1.65	1.64	1.64	1.65	1.65	1.65	1.64	1.65
压实度	96.5	97.1	96.5	96.5	97.6	97.1	96.5	97.1	96.5	96.5	97.1	97.1	97.1	96.5	97.1	
罐沙 法	桩号	K712 + 563 右 3m			K172 + 264 右 5m		K172 + 563 右 5m			K172 + 564 右 5m			K172 + 565 右 4m			
	含水率 (%)	10	10.7		8	5.6	7.3	7.5		6.4	6.8		5.3	6		
	干密度 (g/m³)	1.65	1.66		1.64	1.64	1.65	1.64		1.65	1.64		1.65	1.64		
	压实度	97.1	97.6		96.5	96.5	97.1	96.5		97.1	96.5		97.1	96.5		

注:最大干密度取 1.70 g/cm³。

由于采用振捣方式可以将风积沙的水分排出，风积沙的干密度将不断变大强度也随之增强，为了施工时能够更快地得到相应的压实度，故在将风积沙中的水分振捣到表面时应将其及时的排出。

本项目试验段进行了压实度检测，试验结果如表4所示。

从实验数据可以看出采用振捣棒振实方法，风积沙的压实度可以满足规范规定 96% 的要求，且在静置一段时间后其压实度呈增大趋势。

7 结语

在公路工程施工建设中，应根据地域情况，因地因时制宜，有针对性地策划制定合理的施工方案，实施过程中做

好过程的控制管理，保证施工质量，同时更有效地节约成本。

论文依托工程实例，重点阐述的是风积沙作为台背回填材料的性能指标和施工工艺，针对内蒙地区传统台背回填材料严重缺乏的情况，从施工后实际情况来看，应用风积沙作为台背回填材料可以达到相关的质量要求，并且降低了施工成本。

参考文献

- [1] 李世芳,胡作龙.新疆兵团垦区风积沙工程特性试验研究[J].中外公路,2005(6):148-151.
- [2] 肖念婷,杨有海,师歌.桥头跳车及防治措施研究综述[J].公路交通技术,2008(2):94-97.
- [3] JTG/T 3610—2019 公路路基施工技术规范[S].