

土石坝填筑施工实操工艺与压实质量控制

朱彩艳

泗洪县水利工程有限公司 江苏宿迁 223900

摘要: 本文以土石坝填筑施工实操工艺及压实质量控制为研究重点, 详细说明施工准备、卸料与铺料、压实等关键工艺环节, 分析压实质量的影响因素, 如土料性质、压实参数等。并介绍压实质量的检查检测方法, 环刀法、灌砂法等。通过这些内容的研究来提高土石坝填筑施工质量, 保证工程的安全稳定运行。研究成果可以为同类土石坝工程施工提供一定的参考。

关键词: 土石坝填筑; 施工实操工艺; 压实质量控制; 检测方法

土石坝属于水利工程中常见的坝型, 它具有就地取材、结构简单、适应地基变形能力强等优点, 在防洪、灌溉、发电等领域得到了广泛的应用。但是土石坝填筑施工工艺复杂, 压实质量直接影响到坝体的安全性、稳定性。如果压实质量不合格, 会造成坝体渗漏、滑坡等严重问题, 影响工程的正常使用和周边地区安全。因此, 对土石坝填筑施工实操工艺及压实质量控制进行深入研究, 有着十分重要的现实意义。

一、施工准备工作

(一) 料场规划与开采

料场规划是土石坝填筑的第一步, 对工程成本和进度起决定性的作用。选址时要综合考虑储量、质量、开采条件、运输半径等因素, 储量应留有10%到15%的余量, 以应对设计变化或者损耗; 质量上除了颗粒级配、含水量外还要关注土料的渗透系数和有机质含量, 防止后期坝体渗漏或者变形。开采前要勘测地形地质, 平原料场应分层开采保证均匀性, 山地料场要控制边坡坡度(一般 $\leq 1: 1.5$), 并阶梯式开挖, 还要有防尘网和排水设施减小环境影响。开采时不得超深开采, 在接近设计标高时需要预留保护层, 防止扰动坝基。

(二) 施工设备选型与调试

设备选择要符合工程特性, 大型坝体先选20吨以上的振动碾, 激振力要达到400kN以上, 运输车辆按运距安排, 短途(5km以内)用自卸汽车(载重20-30t), 长途用宽体矿车^[1]。调试阶段除了常规的性能检测之外, 还要重点对碾压设备的振幅(一般0.8-1.2mm)以及振动

频率(25-30Hz)加以校核, 并且通过现场试碾来确定最佳工况。操作人员必须持证上岗, 培训内容包含设备日常保养(振动轴承润滑周期), 常见故障排查(液压系统泄漏处理), 建立“一机一档”记录设备运行状态。

(三) 测量放线与场地清理

测量放线采用三级控制网: 首级网用GPS-RTK布设坝轴线控制点, 间距500m, 次级网加密边线控制桩, 间距50m, 末端用水准仪传递高程, 误差不大于 $\pm 2\text{cm}$ 。放线之后要复核坝体轮廓与设计图纸的偏差, 超差时及时调整。场地清理要清除腐殖土(厚度 $\geq 30\text{cm}$)、树根、建筑垃圾, 对坝基软弱层(如淤泥)用抛石挤淤或水泥土换填(换填深度 $\geq 1.5\text{m}$), 压实后承载力应达到150kPa以上。清理场地平整度误差 $\leq \pm 5\text{cm}$, 为后续铺料做好准备。

二、卸料与铺料工艺

(一) 卸料方式与要求

卸料选“进占”还是“后退”, 要看土料的“脾气”。进占法如同推土机边行驶边卸料, 适用于含水量较低($< 18\%$)且透水性较好的砾石土, 可以一次性推进数十米, 效率高, 但是土料容易“分家”, 粗颗粒滚到边上, 细颗粒堆中间。去年某砾石坝施工时因赶工期全用进占法, 压实后坝体出现夹层, 后来不得不返工。后退法则是推土机停在原地, 倒着卸料, 适合含水量高($> 22\%$)的粘性土, 土料像铺地毯一样均匀, 就是速度慢些。卸料高度别超3米, 高了土料砸下来容易离析; 间距按铺料厚度(30cm)和碾压设备宽度(2.5米)算, 一般留1.5米空隙, 别堆成小山。推土机沿着铺料方向行进, 离已铺好的材料至少两米远, 以免把刚刚铺好的材料压坏。

作者简介: 朱彩艳(1974.12), 女, 汉族, 江苏泗洪人, 本科, 工程师, 研究方向: 水利工程施工。

（二）铺料厚度与平整度控制

铺料厚度是压实的“命门”。粘性土一般铺25cm到30cm，砂性土30cm到35cm，太厚了压不实（下层像“夹生饭”），太薄了白费功夫（一天多铺好几层）。采用标尺杆加水准仪双控，每10m处插一根2m长的标尺杆，测量杆顶与铺料面的高差，误差大于2cm时补料或铲平。平整度靠推土机巧劲，用“之”字形路线推，不能单向刮出波浪；遇到坑洼先用小推土机粗平，再用激光平地仪精平，最后用木耙人工找细，保证表面像镜面一样平。铺料不要贪多，每段50米就停，检查厚度和平整度，合格再往前推，避免一错到底。

（三）土料含水量调整

含水量相差1%，压实效果就会差很多。最优含水量附近（粘性土18%到22%，砂性土12%到15%）时，土颗粒像加了润滑油一样压得最瓷实。土料太湿像和稀泥，摊开翻晒；厚度15–20cm，用犁铧翻松；晴天晒2天，拿便携式TDR探头测，降到最优值就停；雨天不能晒，用轴流风机对着吹，风速2–3m/s，吹半天能降2%–3%。太干了（土块掰不开），用喷雾洒水车“细水长流”，分2到3次喷，每次间隔2小时，边喷边翻拌，防止局部出现“湿斑”。砂性土含水量偏低时，加入少量水稳剂，既能调整含水量，又能提高早期强度，属于意外的收获^[2]。

三、压实工艺

（一）压实方法选择

常见的压实方法有碾压法、夯实法、振动压实法等。碾压法适合大面积的土石坝填筑，用压路机的滚轮对土料进行碾压，使土料颗粒重新排列，达到压实的目的。夯实法适合于小面积填筑或者对压实质量要求高的地方，用夯锤的冲击力使土料压实。振动压实法是在碾压或夯实的基础上加入振动作用，可以提高压实效果，适用于砂性土等透水性较好的土料。

选择压实方法时要综合考虑土料性质、填筑部位、压实设备的性能等因素。粘性土可以采用碾压法，砂性土可以采用振动压实法。

（二）压实参数确定

压实参数主要有压实遍数、铺土厚度、碾压速度等。压实遍数指压路机在同一个地方碾压的次数，压实遍数过多会增加施工成本和时间，过少又达不到压实要求。铺土厚度及碾压速度也会对压实效果造成影响，铺土厚度过大或者碾压速度过快，都会造成压实不足。

确定压实参数需要通过现场试验确定。试验过程中对不同的压实参数组合进行试验，测量压实后土料的干

密度、压实度等指标，根据试验结果确定最优的压实参数组合。在施工过程中根据实际情况对压实参数作适当调整，保证压实质量^[3]。

（三）压实过程质量控制

压实过程中要严格按照确定的压实参数施工。压路机行驶速度要均匀，不得急刹车、急转弯，以保证压实效果。相邻两次碾压的轮迹要重叠一定的宽度，一般为15–20cm，以保证压实均匀。

同时，对压实过程进行实时检测，用核子密度仪等设备检测压实后的土料干密度。如检测结果不符合设计要求时，要立即分析原因并采取相应措施进行处理，如增加压实遍数、调整铺土厚度等。

四、压实质量影响因素分析

（一）土料性质对压实质量的影响

土料本身的物理力学性质是保证压实质量的基础，颗粒级配、含水量、塑性指数等影响最大。颗粒级配是否合理，直接影响压实密度的提高，级配良好的土料，不同粒径的颗粒可以互相填充，粗颗粒形成骨架，细颗粒填充孔隙，压实后孔隙率低，整体密实度高；颗粒级配单一的土，无论是均匀的粗粒土还是细粒土，由于孔隙无法完全填充，压实效果都不好。含水量是控制压实质量的重要变量，只有当土料的含水量接近最优含水量时，水膜才能起到润滑颗粒表面、减小颗粒间摩擦力的作用，使土颗粒在压实功的作用下更容易排列紧密，达到最佳压实度；含水量过低时，颗粒间摩擦力过大，压实功无法克服阻力推动颗粒重组，密实度受限；含水量过高时，孔隙水压力增大阻碍颗粒挤压，甚至出现“橡皮土”现象，降低压实质量。另外塑性指数表示土料粘性强弱，指数越大粘性越强，压实时颗粒间粘结力过大易形成团聚体，内部难以压实均匀，增加压实难度^[4]。

（二）压实参数对压实质量的影响

压实参数属于施工期间的关键控制指标，它直接关系到压实功的传递效率以及作用效果，主要包含压实遍数、铺土厚度和碾压速度这三个重要参数。压实遍数要同压实功需求准确对应，遍数不够时，土料只有表层受力充分，内部颗粒没有完成有效的重组，密实度无法达到设计要求，遍数过多则会造成能源浪费，甚至因为过度碾压而破坏土料结构。铺土厚度是决定压实深度的因素，厚度过大，碾压设备的压实功随深度衰减，下层土料得不到足够的作用力，造成上下层密实度差异大；厚度过小，施工工序多，成本高，施工效率低。碾压速度要兼顾效率和质量，速度过快时，碾压设备与土料接触

时间过短,压实功不能完全传递给土料,土颗粒没有足够的时间完成紧密排列;速度过慢虽然可以提高压实效果,但是会严重降低施工进度,因此需要根据土料性质和设备性能来合理确定。

(三) 施工工艺对压实质量的影响

施工工艺的规范性和合理性是保证压实质量均匀稳定的重要前提,贯穿于卸料、铺料到压实的全过程。卸料环节若采取集中卸料或者自由倾倒的方式,容易造成土料出现粒径分离的情况,粗颗粒聚集的地方压实之后会形成孔隙,细颗粒聚集的地方则会因为粘性过大而出现局部密实度过高的状况,从而破坏整体的均匀性。铺料环节要保证厚度均匀一致,如果铺料厚薄不均,厚的区域容易出现压实不够,薄的区域则会因为压实过度而引发结构破坏,从而造成整体密实度出现波动。压实顺序的合理与否直接关系到整体压实效果的好坏,一般应遵循先边缘后中间、先轻压后重压的原则,如果顺序混乱,容易造成边缘处由于侧向位移而压实不够,或者局部区域由于受力不均产生压实薄弱点。

五、压实质量检查与检测

(一) 常规检测方法

常规检测方法是压实质量控制的基础方法,环刀法在细粒土检测中应用较广。检测时用环刀准确取土样,经由仔细测量土样的实际质量及体积参数,再联系含水率测试的结果,就能算出土料的干密度,从而体现压实的紧密程度。灌砂法则的适应性更强,可以适用于各种土料的检测,其基本原理是通过准确测定灌入试坑中的标准砂质量,结合砂的堆积密度换算成试坑体积,再推算出土料干密度,检测过程中需要严格控制砂的级配和灌入方式以保证精度。核子密度仪法凭借快速、无损的特点占据重要位置,利用土料对射线的吸收和散射规律,可以同时获得干密度和含水量两个重要参数,大大提高检测效率,但是需要定期校准以保证数据的可靠性^[5]。

(二) 无损检测技术应用

伴随着科技的发展,无损检测技术为土石坝压实质量检测提供了新的角度。地质雷达技术是向土体内发射高频电磁波,根据不同的介质界面反射信号的不同,清楚显示内部结构的特点,可以有效地发现空洞、疏松、层间结合不良等隐蔽缺陷,检测范围广、效率高,可连续剖面探测。超声波检测技术利用声波传播特性,通过测量超声波在土料中传播速度、能量衰减程度,建立传播参数与压实质量的关系模型,进而评价密实均匀性,具有非破坏性特点,在重点区域重复检测中具有明显优势,

两者结合可以形成互补,提高检测的全面性、准确性。

(三) 质量评定与处理

压实质量的评定要以规范标准、设计要求为依据,结合各种检测数据进行综合判断。检测结果达标后,需要有合格报告才能进入下一道工序,并且保存完整的检测记录以供追溯。压实质量不达标时,应立即开展原因排查,从土料性质、压实参数、机械性能、施工工艺等几个方面逐一排查。对于压实度不够的部位,可以采用改变压实机械参数、增加压实遍数、改善土料含水率等方法进行补强;对检测出的空洞、夹层等严重缺陷,应划定范围后进行挖除,重新选用合格土料分层填筑压实,处理后再次检测合格。保证整体的压实质量满足工程需求。

六、结论与展望

(一) 结论

土石坝填筑施工实操工艺及压实质量控制属于系统工程,包含施工准备、卸料铺料、压实等环节。通过合理的料场规划开采、科学的设备选型调试、严格的施工过程控制、有效的质量检测等手段,可以有效地提高土石坝填筑的压实质量,保证坝体的安全、稳定。

(二) 展望

随着科技的不断进步,土石坝填筑施工工艺以及压实质量控制技术也会不断发展。一方面新型施工设备、材料不断出现,可以提高施工效率、质量,另一方面无损检测技术越来越完善,可以更准确、快速地检测压实质量。与此同时,信息化技术在施工管理方面的应用也会愈加普遍,对施工过程展开实时监控并实施智能化管理。不断加强对土石坝填筑施工实操工艺及压实质量控制的研究和实践,将为水利工程的安全稳定运行提供有力保障。

参考文献

- [1] 袁仕方. 土石坝内部安全监测仪器埋设施工方法研究[J]. 水利技术监督, 2024, (07): 13-15.
- [2] 彭培伟. 红黏土与高液限土路基土石互层式填筑施工技术研究[J]. 江西建材, 2023, (10): 263-265.
- [3] 张国全. 土石坝坝体填筑质量影响因素及对策[J]. 建材发展导向, 2023, 21(20): 64-66.
- [4] 王立猛. 土石填筑路基压实机械及设备配置及施工技术[J]. 设备管理与维修, 2022, (02): 137-138.
- [5] 万克诚. 土石坝坝体填筑施工与质量控制研究[J]. 工程技术研究, 2021, 6(21): 173-174.