

深厚覆盖层上混凝土面板堆石坝基础处理技术创新

常 瑞

新疆北方建设集团有限公司 新疆奎屯 833200

摘 要：在水利工程领域，混凝土面板堆石坝是一种常见且重要的坝型。当建于深厚覆盖层之上时，基础处理面临着诸多独特的技术挑战。混凝土面板堆石坝以其经济性、适应性等优点被广泛应用。然而，深厚覆盖层的存在使得基础条件变得复杂。在地基加固策略上，碾压加固方法有了改进。以往的常规碾压可能无法使深厚覆盖层达到理想的密实度，如今通过对碾压设备的改进和碾压参数的优化，如采用更大吨位的碾压设备、调整碾压的速度和遍数，来提高地基的密实程度。桩基处理技术也朝着更高效、更适应复杂地质条件的方向发展，复合地基的设计理念更是综合考虑了多种因素，将不同的加固方法相结合，以实现最佳的地基加固效果。本文旨在简要阐述深厚覆盖层混凝土面板堆石坝基础处理技术创新的关键方面。

关键词：混凝土；面板；堆石坝；基础处理技术

引言

混凝土面板堆石坝是一种常见且重要的坝型，在水利工程领域有着广泛的应用。这种坝型主要由堆石体、混凝土面板和趾板等部分组成。堆石体作为坝体的主要支撑结构，承担着大部分的坝体重量和水压等荷载。混凝土面板则位于坝体上游面，起到防渗的关键作用。趾板连接着面板与地基，对整个坝体的稳定性和防渗性能有着重要影响。

一、深厚覆盖层上混凝土面板堆石坝基础处理技术难点

（一）覆盖层厚度影响

深厚覆盖层的厚度是混凝土面板堆石坝基础处理中一个极为关键的影响因素。在众多工程实例中，当覆盖层厚度较大时，例如某些大型水利工程中覆盖层厚度可达数十米甚至上百米，会给基础处理带来诸多难题。从力学角度看，较厚的覆盖层意味着其自身重量较大，这会对地基产生巨大的压力。在这种情况下，基础需要承受的垂直荷载显著增加，可能导致地基沉降问题。而且，覆盖层厚度增加使得应力在地基中的传递更为复杂，可能出现应力集中现象。例如，在一些工程的数值模拟中发现，当覆盖层厚度超过一定值时，坝基底部某些特定区域的应力值比薄覆盖层情况下高出数倍。从工程建设的角度，厚覆盖层增加了基础处理的深度和难度。例如，在进行防渗墙施工时，需要穿透更厚的覆盖层到达相对稳定的地层，这就要求更长的造孔深度，从而增加了施

工时间和成本。较厚的覆盖层也会影响到后续堆石坝体的填筑，因为需要更多的处理措施来确保坝体的稳定性，如对覆盖层进行预压等处理。

（二）地质条件复杂性

混凝土面板堆石坝基础处理面临的地质条件往往极为复杂。不同地区的地质构造差异很大，可能包含多种不同类型的岩石、土壤和地质结构。

在一些地区，覆盖层可能由松散的砂土、粉质土等组成。这些土质的抗剪强度较低，在承受坝体压力时容易发生变形。地质构造中可能存在断层、裂隙等地质缺陷。断层的存在会破坏地层的连续性，使得地基在受力时应力分布不均匀。裂隙则可能成为渗流的通道，增加渗流控制的难度。例如，某处于断裂带上的工程，由于断层的影响，在坝基处理过程中需要对断层进行特殊的加固和防渗处理，如采用高压灌浆来填充断层破碎带，以提高其整体性和抗渗性。地下水文地质条件也是复杂性的一部分。地下水位的高低、水流的速度和方向等都会影响基础处理。高地下水位可能导致基础处于饱水状态，降低地基土的强度，还可能造成基坑涌水等问题，影响施工安全和进度。

（三）渗流控制挑战

渗流控制是混凝土面板堆石坝基础处理中的重要挑战。在深厚覆盖层中，渗流的路径复杂且难以准确预测。由于覆盖层的不均匀性，渗流可能会绕过防渗结构，形成所谓的“绕渗”现象。例如，在一些工程中发现，尽管设置了防渗墙，但由于覆盖层中存在局部的高渗透性

区域,部分渗流仍然能够绕过防渗墙,从而影响渗流控制的效果。

覆盖层的渗透系数差异较大,从低渗透性的黏土到高渗透性的砂土都可能存在。这种差异使得在设计防渗措施时难以采用统一的标准。例如,对于高渗透性的砂土区域,需要更加强力的防渗措施,如加密灌浆孔或者采用特殊的防渗材料,而对于低渗透性的黏土区域,过度的防渗处理可能会造成不必要的成本增加。

二、地基加固策略

(一) 碾压加固方法

碾压加固是深厚覆盖层混凝土面板堆石坝地基加固的重要方法之一。其原理基于通过重型机械对地基土施加压力,使土颗粒之间的孔隙减小,从而提高地基土的密实度和承载能力。在实际操作中,不同类型的碾压设备有着不同的工作特性。例如,振动碾是较为常用的一种,它通过振动和静压相结合的方式对地基进行碾压。

碾压的工艺参数对加固效果有着关键影响。首先是碾压的遍数,一般来说,随着碾压遍数的增加,地基土的密实度会逐渐提高,但达到一定遍数后,密实度的增长幅度会逐渐减小。根据相关工程实践,在某深厚覆盖层地基加固工程中,当采用18t振动碾时,最初的5~6遍碾压过程中,地基土的干密度从 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 提高到 $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 左右,而在10遍以后,干密度的增长幅度变得很小,最终稳定在 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ 左右。其次是碾压的速度,过快的碾压速度可能导致地基土无法充分压实,而过慢则会影响施工效率。通常,振动碾的碾压速度控制在 $2\sim 4\text{km}/\text{h}$ 较为合适。

碾压层的厚度也是一个需要考虑的重要因素。如果碾压层过厚,下部土体会由于上部压力的扩散而得不到充分压实;如果过薄,则会增加施工成本和工期。对于不同类型的地基土,合理的碾压层厚度有所不同。例如,对于砂性土覆盖层,碾压层厚度可控制在 $30\sim 50\text{cm}$;对于粘性土覆盖层,由于其透水性较差,碾压层厚度可适当减小到 $20\sim 30\text{cm}$ 。

(二) 桩基处理技术

桩基处理技术在深厚覆盖层混凝土面板堆石坝地基加固中有着不可替代的作用。当覆盖层土质较为软弱或者承载能力要求较高时,桩基能够有效地将上部结构的荷载传递到更深的持力层。混凝土灌注桩是常见的桩基类型之一。在施工过程中,首先要进行钻孔作业,钻孔的垂直度控制至关重要。如果钻孔倾斜度过大,会导致桩身受力不均,影响桩基的承载能力。根据相关规范,钻孔的垂直度偏差应控制在 1% 以内。为确保钻孔垂直

度,施工方采用了高精度的测量仪器进行实时监测,并通过调整钻进参数等措施,最终将垂直度偏差控制在 0.8% 以内。

桩端持力层的选择也是桩基设计的关键环节。持力层应具有足够的承载能力和稳定性。对于深厚覆盖层地基,持力层可能位于几十米至上百米的深度。在确定持力层时,需要通过详细的地质勘察来获取地层的力学性质和分布情况。例如,在某些地区,基岩埋深较大,中间存在多层不同性质的土层,此时就需要综合考虑各土层的承载能力、压缩性等因素,选择最合适的持力层。

(三) 复合地基设计理念

复合地基是将天然地基土和增强体共同组成的人工地基,这种设计理念在深厚覆盖层混凝土面板堆石坝地基加固中有着独特的优势。它能够充分利用天然地基土的承载能力,同时通过增强体提高地基的整体性能。在复合地基中,增强体的类型多样。其中,水泥土搅拌桩是常用的一种。水泥土搅拌桩通过将水泥与地基土进行搅拌混合,形成具有一定强度的桩体。水泥的掺入量对桩体的强度有着直接影响。一般来说,水泥掺入量越高,桩体强度越大,但同时也会增加成本。根据工程经验,对于一般的深厚覆盖层地基,水泥掺入量控制在 $12\%\sim 18\%$ 较为合适。例如,在某混凝土面板堆石坝地基加固工程中,采用水泥土搅拌桩复合地基,水泥掺入量为 15% ,经过检测,桩体28天无侧限抗压强度达到了 1.2MPa ,有效地提高了地基的承载能力。

复合地基的设计还需要考虑桩土应力比。桩土应力比反映了桩体和土体分担荷载的比例关系。合理的桩土应力比能够使桩体和土体充分发挥各自的承载能力。通过理论分析和数值模拟等手段,可以确定不同工程条件下的合理桩土应力比。例如,在某特定的深厚覆盖层地基工程中,经过数值模拟计算,确定桩土应力比为 $3\sim 4$ 时,复合地基的加固效果最佳,能够满足上部混凝土面板堆石坝对地基承载能力和沉降变形的要求。

三、施工技术改进

(一) 分层填筑工艺

在深厚覆盖层上进行混凝土面板堆石坝施工时,分层填筑工艺至关重要。分层填筑能够有效控制填筑材料的压实度和均匀性,确保大坝基础的稳定性。对于堆石坝而言,堆石材料的分层填筑需要依据严格的标准。例如,每层填筑的厚度通常根据堆石的粒径、性质以及压实设备的能力来确定。一般来说,每层的厚度会控制在 $30\sim 80$ 厘米之间。

在分层填筑过程中，不同粒径的堆石需要合理分布。较大粒径的堆石通常位于下层，这是因为其能够提供更好的承载能力。随着层数的增加，粒径逐渐减小，这样可以保证填筑体的密实度逐渐增加。例如，在某大型混凝土面板堆石坝工程中，底层堆石的粒径最大可达1米左右，而接近面板的堆石层，粒径多控制在10-30厘米之间。这种分层填筑方式有助于将大坝的重量均匀地传递到深厚覆盖层基础上，避免局部应力过大。

分层填筑的施工顺序也需要精心安排。在进行下一层填筑之前，必须确保上一层已经达到规定的压实度和密实度要求。这就需要进行严格的质量检测，检测方法包括核子密度仪检测、灌砂法检测等。只有当上一层检测合格后，才能进行下一层的填筑工作，从而保证整个填筑体的质量。

（二）高效压实技术

高效压实技术是确保混凝土面板堆石坝基础质量的关键因素之一。压实的目的在于提高堆石体的密实度，增强其抗剪强度和承载能力。现代工程中采用多种压实设备和技术来实现高效压实。

振动碾是常用的压实设备之一。其工作原理是通过振动作用使堆石颗粒之间的空隙减小，从而达到压实的效果。不同类型的振动碾适用于不同粒径的堆石材料。例如，对于较大粒径的堆石，需要使用重型振动碾，其压实能力较强。在某工程中，采用了25吨级的振动碾对粒径较大的堆石层进行压实，压实遍数达到8-10遍后，堆石体的密实度能够达到较高水平。

除了振动碾压实，还有冲击压实技术。冲击压实机通过周期性的高能量冲击，使堆石材料在深层产生密实效果。这种技术对于提高深厚覆盖层上堆石坝基础的压实效果非常有效。在一些复杂地质条件下的工程中，冲击压实技术能够使堆石体在更深层次达到密实状态，相比于传统的振动碾压实，能够提高密实度约10%-15%。

在压实过程中，压实参数的控制也极为重要。压实的速度、遍数以及压实的轨迹等都需要根据堆石材料的特性和工程要求进行优化。合理的压实参数能够在保证压实效果的提高施工效率，减少施工成本。

（三）实时监测系统

实时监测系统在混凝土面板堆石坝基础施工过程中起着不可或缺的作用。该系统能够实时获取施工过程中的各种数据，为施工质量控制和决策提供依据。

在分层填筑过程中，实时监测系统可以监测每层填

筑的厚度、平整度等参数。例如，通过激光扫描技术，可以精确测量填筑面的平整度，误差可控制在几毫米之内。对于填筑厚度的监测，可以采用超声波传感器，其能够准确测量不同位置的填筑厚度，确保每层填筑厚度符合设计要求。

在压实过程中，实时监测系统能够监测压实度、压实速度和压实遍数等关键指标。通过在压实设备上安装传感器，可以实时将压实数据传输到监测中心。如果压实度未达到要求，系统会及时发出警报，提示施工人员进行调整。例如，某工程中的实时监测系统在压实度低于设计标准的95%时，会立即发出警报，要求施工人员增加压实遍数或者调整压实参数。

实时监测系统还可以对整个施工区域的环境因素进行监测，如温度、湿度等。这些环境因素可能会对填筑材料的性质和压实效果产生影响。通过对环境因素的监测，可以及时调整施工工艺，确保施工质量不受环境因素的影响。

结束语

混凝土面板堆石坝在深厚覆盖层基础上的建设面临诸多挑战，而基础处理技术的创新在整个工程领域具有不可忽视的重要意义。基础处理技术的成功与否直接关系到整个混凝土面板堆石坝的稳定性、安全性以及耐久性。从稳定性角度来看，通过有效的基础处理技术，能够确保大坝在各种荷载作用下保持稳定，不会出现不均匀沉降等影响大坝结构安全的情况。

参考文献

- [1]何欣, 魏匡民, 屈洁. 峡谷区深厚覆盖层上面板堆石坝结构安全研究[J]. 西北水电, 2024(2): 82-88.
- [2]吴莉. 渗流-流变耦合作用下深覆盖层面板堆石坝长期变形规律研究[D]. 西安理工大学, 2023.
- [3]包腾飞, 周喜武, 张玉霞, 等. 深厚覆盖层上的面板堆石坝防渗布置最优方式[J]. 人民黄河, 2023, 45(2): 144-147.
- [4]李慧敏, 翟宁欢, 赵梦蝶, 等. 深厚覆盖层高面板堆石坝长周期地震动力响应[J]. 水电能源科学, 2023, 41(8): 109-112.
- [5]吴俊杰, 范金勇, 曲苓. 深厚覆盖层超高混凝土面板堆石体填筑标准的研究与应用[J]. 水利水电技术(中英文), 2024, 55(S01): 301-306.