

# 提高湿陷性黄土地区水泥土路床压实度的控制措施

朱文华

中铁十五局集团第五工程有限公司

**摘要：**在湿陷性黄土地区进行水泥土路床施工时，面临着独特的自然地理特征和施工环境。这些特征包括复杂的地形、多样化的土地类型以及极端的气象条件，给道路施工带来了巨大挑战。主要问题包括季节性降水引发的路床松散、土壤湿陷性导致的路床变形、温度差异引发的水泥膨胀和地质条件不稳定造成的路床下沉。为了解决这些问题，本文提出了一系列策略，包括施工准备、测量放样、材料选择和养护等方面的技术方法，以及质量管控、安全保证、水泥压实度控制和环境保护等控制措施。通过综合应用这些策略，可以提高湿陷性黄土地区水泥土路床的压实度，确保道路工程的质量和可持续发展，以满足交通运输需求。

**关键词：**湿陷性黄土；压实度；施工措施

**【DOI】** 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.05.027

## 引言

银川至昆明公路（G85）宁夏境太阳山开发区至彭阳（宁甘界）段的建设和改造工程在我国经济快速发展和交通运输需求不断增加的背景下，具有重要的战略地位和发展价值。然而，该工程正位于湿陷性黄土地区，公路建设面临了严重的自然地理挑战。宁夏境内地势南高北低，地貌多样，而甘肃则地形复杂多样，包括高山、丘陵、盆地、山地、平原和戈壁等地貌类型。这些地理特征导致了地质条件的多样性，同时也给施工环境带来了复杂性。为了解决这一问题，需要采取一系列的技术措施和管理策略，提高水泥土路床的压实度。

## 一、工程简介

### （一）自然地理特征

银昆高速（G85）是中国国家高速公路网规划中的一部分，它连接了宁夏和甘肃两个省区，这两个地区都位于中国西北部，拥有独特的自然地理特征，比如湿陷性黄土地区等。湿陷性黄土地区的地势通常较为平坦。这一特点对道路工程的水文条件产生了直接影响。因为地势平坦，降雨水流不易迅速排除，容易导致道路积水和泥泞，降低了道路的通行能力。平坦的地势也可能造成路基坡度较小，排水不畅，增加了路面冻融和涝渍的风险。湿陷性黄土地区的土壤主要由黄土组成，这种土壤黏性强，含水量较高。这使得土壤在降雨或水分变化时容易膨胀和收缩，产生明显的体积变化。在道路工程中，土壤的稳定性是一个极其重要的问题，因为土壤的膨胀和收缩可能导致路基沉降和裂缝，严重影响道路的使用寿命和安全性。湿陷性黄土地区的气候一般属于温带大陆性气候，具有明显的季节变化。这意味着在不同季节，温度、降雨和湿度等气象条件会发生较大变化，给道路维护和管理带来了复杂性。例如，在冬季可能出现结冰和积雪的情况，而在夏季可能会有强降雨，这些气象因素需要及时应对以确保道路的安全和畅通。

## （二）施工环境

LJ11-1标段的施工项目所在地群山环绕，位于黄土高原核心区域，典型的湿陷性黄土地区。这一施工环境的复杂性增加了道路建设的困难。山地地势不仅限制了道路的走向选择，还增加了施工中的地质风险，如山体滑坡和岩石崩塌等。此外，山区地形陡峭，施工队伍需要面对悬崖峭壁和崎岖的山路，运输材料和设备的难度较大。该地区常年干旱，水资源严重匮乏。这对水泥混合和压实工作提出了巨大挑战。水泥混合需要足够的水源，但在干旱的环境下，水资源的获取变得非常困难。因此，施工团队必须采取严格的水资源管理措施，确保水的高效利用，同时考虑到环境保护的因素。该段公路施工还涉及跨越多条重要交通线路，包括定武高速、太中银铁路和G338国道等。这不仅增加了施工的复杂性，还需要高度的协调和精密的计划来避免对现有交通流的干扰，并确保施工区域的安全。交通线路的交叉点需要特别小心处理，以确保交通的畅通和安全。

## 二、存在的危险因素辨析

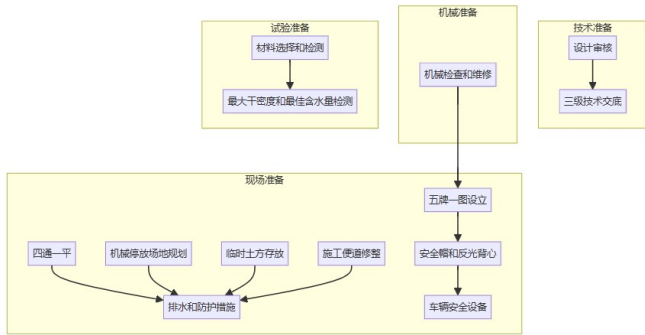
危险因素在路基施工中是一项重要且不容忽视的问题，其存在主要由于施工设备的复杂性和工人行为的不慎，这些因素可能导致事故发生，产生严重的后果。在施工现场，各种大型机械设备如挖掘机、推土机等正在进行复杂的工作任务。机械设备的意外故障或违规操作可能导致机械失控、翻倒或碰撞，不仅会对工程设备造成损坏，还可能对操作人员和附近工作人员的生命安全构成威胁。这种情况通常是由于机械设备的维护保养不到位、操作人员技能不足或疲劳驾驶等原因引起的。如果在施工前没有充分检查和准备工作，可能会忽略机械设备的问题，造成设备运行时的不稳定性，增加了事故发生的风险。如果没有专人指挥并确保操作人员的精力集中，操作人员可能会在施工中产生疏忽，从而导致事故的发生。施工现场的巡查和安全措施也可能不到位，增加了危险因素的存在。缺乏专职安全员或巡查不够频繁，可能会导致对潜在危险的忽视。作业边缘未设立明显的警示标志或障碍物未得到妥善管理，都可能导致工人误入危险区域，增加了事故的风险。

## 三、提高湿陷性黄土地区水泥土路床压实度的技术

### （一）施工准备

技术准备阶段涉及组织技术人员对施工图设计进行审核，确保充分理解设计意图。同时，进行了三级技术交底，内容涵盖技术、质量、安全等各个方面，以确保施工人员对施工要求有清晰的认识，详情请查阅图一。现场准备包括施工现场的“四通一平”、施工机械的停放场地规划以及临时土方存放等工作。还涉及施工便道的修整，确保便道的通行需求得到满足，并采取了相应的排水和防护措施。现场还设有五牌一图，所有施工人员需佩戴安全帽及反光背心，以及对车辆进行安全设备

的配备。对施工机械进行了前期的检查和维修，以确保机械数量满足现场施工要求，并保证施工过程中不因机械原因造成工作中断。试验准备也是重要的一环，这包括了对土料、水泥等材料的选择和检测，以及对原土样及混合料的最大干密度及最佳含水量的检测。通过这些准备工作，确保了施工材料的质量符合要求。



图一：施工准备

### (二) 测量放样

在银川至昆明公路（G85）宁夏境太阳山开发区至彭阳（宁甘界）段项目LJ11-1标段的路床填筑试验段中，测量放样的过程是这样进行的：现场根据道路设计坐标和道路特征点进行测量。这是通过使用全站仪完成的，每20米测量一断面，并在路基中部的边桩上进行标记。这些控制桩上使用红漆进行明显的标记，以便于识别接下来，为了控制施工精度，现场使用石灰洒出8米×8米的控制网格。这种网格布局有助于确保施工过程中的精确度和一致性。为了控制水泥石土垫层的虚铺厚度及宽度，路基中边每20米设置一个30厘米高的灰饼。灰饼作为一个物理标记，帮助施工人员精确地按照设计要求进行作业。

### (三) 备料、摊铺

备料和摊铺是关键步骤之一。这一过程主要包括以下几个方面：第一，计算素土用量：根据虚铺厚度30cm，计算出每个方格（8m×8m）所需的素土用量。对于每个方格，需要约19.2立方米的素土。第二，摊铺过程：使用翻斗车运输土料。每辆翻斗车的容量大约为20立方米，足以为一个方格提供所需的土料。施工现场安排专人指挥车辆，确保土料被正确卸载至指定方格中。土料卸载后，使用推土机进行初步平整，接着用平地机进行精确整平，以保证厚度的均匀性。第三，素土含水率检测：试验人员检测了素土的含水率，发现其在14.3%至14.7%之间。考虑到施工过程中的水分损失，为保证水泥石土达到最佳含水率，使用洒水车对填料进行洒水，以增加其含水率。第四，控制虚铺厚度：利用灰饼作为控制工具，以确保虚铺厚度的准确性。通过人工挖土方式，每隔30米检测一点虚铺厚度，共进行了4点的检测，结果显示虚铺厚度在29.5cm至29.8cm之间，基本满足设计要求。

### (四) 洒布水泥

洒布水泥的过程是精密且技术性强的。该过程使用了XZJ5252TFS粉料洒布车进行水泥摊铺。水泥的用量是

根据施工图设计要求确定的。按照压实厚度25cm计算，每平方米需要约17.3kg的水泥。基于此，对于每个8米×8米的网格区域，总共需要撒布1107.2kg的水泥。洒布参数被交给了洒布车司机，由司机操作的机械控制水泥的用量，以确保水泥在整个施工区域内被均匀摊铺。这个过程确保了水泥石土垫层具有恰当的水泥含量，从而达到所需的结构强度和耐久性。这种精确控制的洒布方法对提高施工质量和确保工程的长期稳定性起着关键作用。

### (五) 碾压

碾压是水泥石土垫层施工的最后也是关键的工序。该工程采用一台26吨的单钢轮压路机进行碾压，从低侧向高侧进行。碾压时，每次重叠约为1/3的轮宽，完成对路面全宽的碾压被视为一遍。碾压速度控制在3公里/小时。首先进行静压一遍，以收紧路面，随后使用平地机进行整平，确保路基表面平整。然后，施工人员使用水准仪测量压实后的路基厚度，检测结果显示厚度分别为24.7cm、24.6cm、24.8cm和24.7cm。为了评估压实效果，项目中尝试了三种不同的碾压工艺。第一种是光轮静压1遍，羊角碾碾压4遍，压路机强震2遍，静压收面。测试的四个点压实度分别为94.9%、94.3%、94.4%、94.5%，未达到设计要求。第二种是光轮静压1遍，羊角碾碾压5遍，压路机强震2遍，静压收面，达到的压实度分别为96.5%、96.7%、96.2%、96.5%，符合设计要求。第三种是光轮静压1遍，羊角碾碾压6遍，压路机强震2遍，静压收面，压实度分别为97.2%、97.6%、97.5%、97.5%，也符合设计要求。碾压完成后，再次进行静压以收紧表面，最终水泥石土垫层表面变得平整，无明显轮迹，通过水准仪检测的压实后标高，计算出的压实厚度为25.1cm、25.3cm、25.1cm、24.7cm。

### (六) 养护

在碾压和整平完成后，使用洒水车对水泥石土垫层表面进行洒水养护。这一步骤的主要目的是为了保持垫层表面的湿润状态，确保水泥石土能够正确硬化。此过程中的养护不仅是一个简单的物理过程，而是一个综合的工程管理任务，涉及确保材料的性能、优化施工过程和预防未来的维护问题。水泥的硬化是一个化学过程，需要适量的水分来完成。在碾压和整平完成后，使用洒水车进行洒水养护，有助于维持垫层表面的适当湿度，促进水泥的化学反应和结构强度的发展。这一养护过程还对后续施工阶段有着深远的影响。通过保持下承层的湿润度，不仅有利于第二层水泥石土垫层的施工，还有助于确保整个路基层的均匀压实和结构一致性。这对于防止未来可能出现的路面不平和开裂现象至关重要。养护过程也需要考虑环境因素，如温度和湿度。在不同的气候条件下，水泥石土的养护策略可能需要相应调整。例如，在干燥或炎热的天气条件下，可能需要更频繁的洒水或采取其他保湿措施。养护工作的规范执行对于确保整个施工过程的质量控制至关重要。这包括对养护过程的监控，确保每个施工区域都得到了适当的处理，以及定期检查养护效果，确保水泥石土垫层达到预期的硬化和强度标准。

#### 四、提高湿陷性黄土地区水泥土路床压实度的控制措施

##### （一）加强质量管控

质量管控是确保工程成功的关键。在这个环节中，需要采取一系列综合措施，以确保工程的每一个环节都能达到预定的质量标准。质量管控的核心是建立一个全面的质量管理体系。这包括从项目设计开始，就制定明确的质量标准和检验程序。对于每一个施工阶段，如素土摊铺、水泥洒布、碾压等，都要有明确的质量检测标准，包括材料质量、施工方法和完成后的质量评估。例如，在摊铺过程中，通过精确的计量和均匀的摊铺来确保水泥土垫层的厚度和强度满足设计要求。定期对工作人员进行培训，提高他们对工程质量标准的理解和执行能力，是确保工程质量的关键。实施有效的现场管理，比如合理安排工作流程，确保机械设备的正常运转，也是提高施工质量的重要因素。实时监控和及时纠正是质量管控不可或缺的部分。通过现场监控和定期检查，可以及时发现问题并采取纠正措施。同时，建立一个反馈机制，让施工人员、管理人员和工程师能够及时交流信息，对发现的问题进行分析和处理。对于项目中出现的任何质量问题，都需要进行详细记录和分析。通过这种方式，不仅可以为当前项目提供改进的方向，还能为以后的类似工程积累宝贵的经验。

##### （二）强化安全保证

在这种大型基础设施项目中，强化安全保证不仅是遵守法律法规的必要条件，更是确保工程顺利进行和保护工作人员生命安全的核心要求。安全保证的基础在于制定和执行全面的安全管理计划。这包括识别潜在的安全风险，制定针对性的预防措施，并将这些措施融入日常的施工操作中。例如，在机械操作中，应制定明确的操作规程，确保所有操作人员都经过专业培训并充分了解其职责和操作的安全要求。应配备专职安全监督人员，他们负责监控施工现场，确保安全措施得到有效执行。安全会议和培训应定期进行，以提高员工的安全意识和应对紧急情况的能力。为应对紧急情况，项目应制定详尽的应急响应计划。这包括建立有效的沟通渠道，确保在紧急情况下可以迅速做出反应并采取必要的措施。同时，应定期进行应急演练，以确保所有工作人员在面对真正的紧急情况时能够迅速而有效地行动。对于所有施工人员，提供适当的个人防护装备是基本要求。从安全帽、安全带到专业的防尘口罩和防护眼镜，这些装备对于预防意外伤害和职业病是不可或缺的。对于特殊的施工环节，如高空作业或操作重型机械，还需采取额外的安全措施。

##### （三）控制水泥压实度

控制水泥压实度这不仅是一个技术挑战，而且是一个精细管理的过程，涉及从原材料的准备到施工过程的各个环节。水泥用量的准确控制需要在设计阶段就进行精确计算，确保每平方米所用的水泥量符合设计要求。为此，施工团队需使用专业设备精确测量和分配水泥，保证水泥在施工区域内的均匀分布。例如，使用粉料洒布车可以确保水泥均匀地铺设在预定的区域。水泥土垫层的压实工作需要精心规划和执行。这包括选择合适的

的压路机械，确定合适的压实方法（如静压、震动压实等），以及设定正确的碾压次数和模式。例如，在LJ11-1标段的施工中，通过对不同碾压工艺的试验，确定了最佳的碾压方法，以达到设计要求的压实度。持续的质量监控和检测是确保压实度达标的关键。这包括在施工过程中进行定期的压实度检测，确保每个施工阶段的成果都符合设计要求。这种实时监控不仅可以及时发现问题，还可以根据现场情况调整施工方案。

##### （四）注重环境保护

采取适当的环保措施不仅是遵守法律法规的必要条件，更是对自然生态负责的体现。施工过程中的污染控制是环境保护工作的重点。这包括减少施工噪音、防止空气污染和水污染。例如，使用低噪音施工设备和在噪音较大的施工区域设置隔音屏障，可以有效减少噪音对周边环境的影响。同时，施工现场应设立严格的粉尘控制措施，如定期洒水以降低空气中的尘土。施工过程中产生的废弃物，包括废土、废水和废料，应通过合理的方法进行收集、分离和处理。采用环保的废弃物处理方法，如回收再利用和安全填埋，可以显著减少施工对环境的影响。保护自然生态环境包括避免破坏周边的自然景观和生态系统，比如保护当地的水源、植被和野生动植物。在施工设计阶段就应考虑到生态保护的需求，选择最小化环境影响的施工路径和方法。提高施工过程的资源效率也是环境保护的一部分。这包括优化材料使用，减少浪费，并采用可持续的材料和技术。例如，使用再生材料或环保型建材，以及采用节能的施工设备和技术，都可以减少项目的环境足迹。

##### 结束语

在提高湿陷性黄土地区水泥土路床压实度的控制措施方面，我们已经取得了显著的进展。通过加强质量管控、强化安全保证、控制水泥压实度、注重环境保护等一系列技术手段，我们能够更好地应对湿陷性黄土地区的复杂土壤特性，提高路床的压实度，确保公路建设的质量和可持续性。然而，未来仍然需要进一步研究和创新，以不断提高在这些特殊地理环境下的施工技术。我们可以通过引入更先进的材料和设备，优化施工工艺，提高施工效率和质量。同时，还需要关注环保问题，积极采用可持续的建设方法，减少对环境的不良影响。

##### 参考文献

- [1] 侯梦阳. 公路工程中水泥改良湿陷性黄土路基施工工艺分析[J]. 交通世界, 2023(33): 46-48.
- [2] 马金虎. 湿陷性黄土地区高速公路扩建施工关键技术研究[J]. 交通世界, 2023(30): 98-100.
- [3] 黄崇国. 不同处置措施下湿陷性黄土路基渗透变形研究[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(08): 11-13.
- [4] 韩毓. 高速公路湿陷性黄土路基沉降处治技术探讨[J]. 科学技术创新, 2023(16): 109-112.
- [5] 金明亮, 韦正鹏. 湿陷性黄土地区水泥改良土路床的现场试验研究[J]. 兰州理工大学学报, 2023, 49(03): 135-139.
- [6] 段金明, 赵立芳. 湿陷性黄土路基采用水泥土改良施工工艺[J]. 交通建设与管理, 2023(03): 136-137.