

高寒区富水公路地基施工防治措施

吴东

中国铁建大桥工程局集团西北工程有限公司, 宁夏 银川

收稿日期: 2023年11月25日; 录用日期: 2024年1月4日; 发布日期: 2024年1月12日

摘要

随着一带一路的发展, 许多公路建设会涉及高海拔和高地下水位的软弱富水路段, 因此亟需适用于高寒区软弱地基的地基处理手段, 为保证工程建设的可靠性, 高寒区富水公路地基的地基处理技术也在不断发展。文章介绍了高寒区富水路基的工程特性和主要出现的病害类型, 并在此基础上介绍了适用于不同工况的地基处理手段, 为高寒区富水公路地基病害的防治提供参考。

关键词

高寒区, 富水路基, 地基处理, 沉降, 冻胀

Prevention and Control Measures for Foundation Construction of Water-Rich Highways in Alpine Areas

Dong Wu

China Railway Construction Bridge Engineering Bureau Group Northwest Engineering Co., Yinchuan Ningxia

Received: Nov. 25th, 2023; accepted: Jan. 4th, 2024; published: Jan. 12th, 2024

Abstract

With the development of the Belt and Road, many highway constructions will involve weak water-rich road sections with high altitude and high water table, so there is an urgent need for foundation treatment means applicable to weak foundations in the alpine zone, and the foundation treatment technology for water-rich highway foundations in alpine zone has been continuously developed in order to ensure the reliability of the engineering construction. The article introduces the engineering characteristics of alpine water-rich road foundations and the main types of diseases, and on this basis, introduces the foundation treatment means applicable to different work-

ing conditions, to provide reference for the prevention and control of foundation diseases of alpine water-rich highways.

Keywords

Alpine Zone, Water-Rich Road Base, Foundation Treatment, Settlement, Frost Heave

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国经济的飞速增长,基础建设和公路交通网络得到了进一步的发展与完善。在公路交通网络的建设施工中,不可避免地会遭遇各种复杂的环境条件,其中高寒地区的富水路段就是一种典型的复杂环境条件。富水路基在高寒区昼夜温差大的气候条件影响下,易出现强度丧失、结构破坏等问题,使工程安全性无法得到保障。同时富水路基因其地基土的高含水率特性,同时会出现沉降不均匀、地基承载力不足等工程问题[1] [2] [3] [4]。

富水公路地基具有高含水量、土质较软等特点,土层的形成历时较长,需要土颗粒在静水中逐步沉积,形成较为软弱的地基土层,土质包括淤泥质土、淤泥及沼泽土等。高含水量的特点使富水地基具有结构稳定性较差的特点,不能满足规范所规定的地基承载力要求,且由于高寒区的地理位置因素,富水路基极易出现冻胀和融沉问题,从而导致路基变形、开裂,路面不均匀沉降等问题[5] [6] [7]。寒区富水路基具有以下几个方面的特点:

- 1) 寒区富水路基的土层的主要包括两层,第一层为黑色淤泥质土,厚度一般在 0.4~0.6 m;第二层为黄色粉质黏土,厚度变化范围较大,在 1.4~6.3 m 范围内变化,与沿海地区淤积软土的厚度相比较小。
- 2) 富水路基的含水率较大,浮动区间保持在 30%~70%之间,孔隙比较大,保持在 1.0~2.0 之间,从而导致软土的抗剪强度指标中的内摩擦角和黏聚力均较小,内摩擦角 $\varphi = 3^\circ \sim 18^\circ$,黏聚力 $c = 10 \sim 25$ kPa。
- 3) 土层容重较小,天然条件下容重在 1.4~2.0 kN/m³。
- 4) 富水路基的渗透系数大致在 1×10^{-7} cm/s 左右,较其它土性的地基土渗透系数有明显减小。路基的黏粒含量较高,塑性指数 $I_p = 10 \sim 20$,固结所需的时间较常规地基土大幅度延长。
- 5) 富水路基的压缩系数较大,一般可达到 0.5 MPa^{-1} 以上,压缩模量较小,导致基础的沉降量较大。

2. 高寒区富水公路地基病害类型

高寒区富水公路地基因昼夜温差大、高含水率等特点,会出现较大的下沉变形,在交通荷载及温度等因素的影响下,易出现各种病害,使公路的工程安全不能得到保证,且会造成较大的经济损失[8] [9] [10] [11]。

2.1. 路基沉陷及失稳

富水路基在自重和交通荷载下易发生不均匀变形,导致路面沉降和开裂。高寒区路基由于高含水量和低温,土体内水分冻结并迁移,引起体积膨胀和冻胀变形。频繁的冻融循环导致路基沉陷和不均匀变形,影响行车安全和舒适度[12] [13] [14] [15]。此外,当外荷载超过地基土抗剪强度时,可能导致地基承载力不足,引起路面整体或局部塌陷和失稳。

2.2. 路基边坡破坏

富水路基边坡的高含水量导致地基土侧向蠕变,可能引发挡墙开裂和桩板墙失效,最终导致边坡整体滑坡和塌陷,严重威胁路面安全和通行。边坡破坏主要包括张裂、崩塌、蠕动变形和滑坡,其中滑坡是最常见、分布最广且最危险的破坏形式[16],在高寒区富水路基中尤为显著。

3. 高寒区富水公路地基处理技术

产生高寒区富水公路地基路基病害的关键点是地基的承载力不足和地基的不均匀沉降,故采用合理的手段处理富水路基,从而提高地基承载力和稳定性,是保证路基质量的关键。

3.1. 换土垫层法

换土垫层法通过移除 2~3 m 范围内的浅层软弱富水地基土,并回填具有较好抗冻性、无侵蚀性、高强度的硬质弃渣或碎石材料,然后分层压实以增加密实度。在碎石层上部设置保温层,如聚氨酯保温材料,以提高保温隔热性能。这种方法简便且节能,因此在富水公路地基处理中被广泛使用。

3.2. 土工格室加筋垫层

土工格室是一种新兴的土工合成材料,可用来替代传统加筋材料,被广泛应用于现代土木工程领域。土工格室的材料组成是高密度的聚乙烯片,经焊接后形成网状结构,在软弱富水地基中铺设可填入颗粒级配良好的碎石、石屑等材料的土工格室形成加筋垫层,构成侧向限制较强的大刚度结构体,可增大土体的压缩模量,有效扩散上部荷载,增强地基承载力,减小软弱富水地基的不均匀沉降。

土工格室是一种三维网格状结构,具有传统土工加筋材料优势的同时还拥有格室产生的横向约束力及网格壁产生的侧向摩阻力,防止地基土因载重过大而产生地基沉降,同时土工格室加筋垫层还可减少上部荷载传至软弱地基的附加应力。只要上部荷载仍小于地基承载力极限值,即使地基发生变形土工格室加筋垫层仍可以保证上部结构本身具有一定的完整性。土工格室加筋垫层的应力扩散角可达 70° ,而普通垫层材料的应力扩散角仅为 30° 左右,并且可使软弱路基的沉降量减少 15%以上。

3.3. 强夯置换法

传统的软土地基可考虑采用强夯法提高路基的地基土体密度,来达到改善地基土力学性能的目的,使处理后的地基土可充分发挥地基持力作用。但富水路基作为一种高含水量的软弱地基,在强夯作用下孔隙水不易排出,且易出现隆起变形等现象。

强夯置换法不同于传统的强夯法,可分成整体式置换和墩柱式置换 2 中形式。墩柱式置换是利用强夯对原富水路基土结构造成破坏后,在夯坑中换填入强度高、颗粒直径大的坚硬材料形成置换墩,通过挤密作用和排水固结作用加固富水路基土,加固深度可达 5~8 m。针对于置换率需求较大的富水路基土,可采用整体式置换,加固深度宜为 3~5 m。影响强夯置换法的因素包括置换深度、置换锤的形状、夯击能等,在工程应用中需综合工程实际,尽可能选择较为合适的影响因素来缩短工程造价。

3.4. 碎石桩法

深层寒区富水路基的处治手段应在保证基地排水的前提下,根据不同富水软弱地基厚度采用不同复合地基的手段进行处治,当富水软基厚度在 3~10 m 时,可采用碎石桩复合地基进行处治。碎石桩技术包括沉管法、强夯置换法、振动挤密法和振冲法等施工方法,可适用于不同工况下的碎石桩技术[17] [18]。在富水路基的施工过程中,碎石桩法因施工机械轻便、对施工现场要求低、施工噪音低的特点在富水路基的处治中得到了广泛的应用。

碎石桩的加固作用包括置换、加筋、挤密、排水和垫层作用五部分。置换作用可通过在软弱富水路基中嵌入高强度、高透水性的碎石，从而提高地基土整体承载力，工程实践发现碎石桩的置换率与碎石桩复合地基的承载力提高呈现正相关趋势；加筋作用是指在上部荷载作用下，碎石桩桩体会出现应力集中的现象，从而减小软弱富水地基所需承担的荷载作用，随之降低富水路基的沉降现象；挤密作用是指在碎石桩的施工过程中，桩体会对桩周土体起到挤密的作用，从而增大其密实度；排水作用是指富水路基中的水分会向吸水性较强的碎石流动，提高地基土层的固结能力；垫层作用可有效扩散地基土上部应力，使碎石桩和桩间土共同承担荷载，从而提高富水路基的承载力。

3.5. 预应力管桩法

当富水软基厚度大于 10 m 时，碎石桩复合地基的处理手段便不能满足工程需求，可选择采用预应力管桩的复合地基进行高寒区富水路基的地基处理。

采用预应力管桩可很大程度缩短工期，并减少施工场地的占用和环境污染等问题[19]。预应力管桩的单桩竖向承载力较高、工程质量可靠，且当采用预应力管桩复合地基来处理富水路基时可改善预应力管桩抗剪强度不足的问题，既发挥了预应力管桩的优点，又避免了自身抗剪强度不足的缺点。故预应力管桩复合地基的方法因其自身性能优良、造价低的特点在富水公路地基处治中得到了长远发展。

4. 技术方案的比选和施工技术要点

本工程 G1816 乌海至玛沁高速河南至玛沁段工程 HM-SG3 标起点位于青海省泽库县泽库塘西侧，终点位于同德县尕干龙洼，起迄里程 K56 + 100~K80 + 000，线路全长 23.81 公里，路线起终点位置如图 1 所示。公路采用设计速度 100 公里/小时，整体式路基宽度为 26.0 米、分离式路基宽度为 13.0 米。该项目地处高原地带，平均海拔 3500 m 以上，气候寒冷，途径泽库泽曲国家湿地公园，地下水位较高，施工难度较大。



Figure 1. The starting and ending points of the construction road
图 1. 施工公路起终点位置

综合考虑施工工艺的优缺点并考虑经济因素，采用换土垫层法和土工格室加筋垫层共用的地基处理

技术，并联系海绵城市设计中土工合成材料的综合处理方法，采用以疏代堵的处理手段，解决了高寒区富水路基承载力不足的施工难题，并考虑寒区温度特性，设置边沟和渗沟，渗沟的坡度选择大坡度，减小因排水不畅导致的冻胀挤压破坏。

4.1. 施工技术要点

施工工艺的技术要点包括土样检验、测量放样、清表开挖、摊铺反滤层、碎石摊铺与碾压、顶部反滤层及保温层铺设和路床施工 7 个部分。

1) 土样检验

对公路地基进行基础土性检测，包括天然含水率、液塑限、最大干密度、标准贯入度等，有特殊需求时还应检测土粒比重、易溶岩含量、有机质含量等，从而确定软弱地基的强度不足的原因。

2) 测量放样

控制桩的布置距离随道路直曲而定，直线段间隔 50 m，曲线段间隔 10 m，并根据设计宽度定出路基中心线和坡脚线。

3) 清表开挖

使用器械协同人工作业清理地表，并进行现场检测以符合标准。检测合格后进行 50 cm 深度的挖方工作，挖方过程需保证坑槽的深度和坑壁的垂直度与平整度，同时将土壤进行摊铺晾晒以便后续回填。

4) 摊铺反滤层

在坑槽内壁铺设 50 cm 反滤层土工布，并进行固定处理，防止回填压实过程中土工布发生侧向滑移。

5) 碎石摊铺与碾压

选用回填的材料必须保证压缩性、水稳性和透水性都满足需求，故采取碎石作为回填材料，包括未风化的砾石和片石，此外还需保证回填碎石的级配满足要求，含泥量不大于 15%。碎石摊铺前先铺设土工格室，后将碎石按级配需求分层回填，并在每层施工后检查回填碎石层的稳定性，从而形成土工格式加筋垫层。采用 26 t 振动式压路机静压法压实 2 遍后转为振动碾压重新压实 5 遍，并用蛙式打夯机对转角处回填材料进行夯实，保证道路压实度达到要求。

6) 顶部反滤层及保温层铺设

反滤层土工布需保证平整拉直，施工过程应避免出现破损，并铺设聚苯乙烯泡沫板，减少路基发生冻胀与融沉病害。

7) 路床施工

在保证顶部反滤层和保温层铺设平整，粘结牢固后进行路床的摊铺与碾压施工。

4.2. 施工效果分析

道路施工临近泽库泽曲国家湿地公园，路基基底土层含水率较大，压实难度高，采用换土垫层法和土工格室加筋垫层相结合的地基处理方式，利用碎石的高透水性和高强度保证地基承载力，并在表面铺设保温层和反滤层，形成了类支撑渗沟体系的同时保证了在昼夜温差巨大的保温性能，在保证路基承载力的同时经济有效地提高了路基稳定性和耐久性。

5. 结论

1) 寒区富水公路地基的高含水量、昼夜温差大等特点使地基土易出现不均匀沉降、冻胀路面翻浆等病害，包括路基沉陷、失稳和边坡破坏。

2) 寒区富水公路地基的地基处理技术已经取得了较为全面的发展，且各种工法的施工技术和处理效

果也在不断提高,可针对不同工况选择最适宜的地基处理技术。

3) 寒区富水公路地基的处治手段与富水软土地基类似,但需考虑寒区的气候影响,故需在填土表面铺设保温层来最大程度防治路基发生冻胀和融沉病害。

参考文献

- [1] 吴润聪. 富水地区膨胀土地基处理技术的应用[J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(6): 62-64.
- [2] 陈宇, 霍旭强, 郑水泉, 等. 临近人工湖富水区特殊路基综合施工技术[J]. 建筑机械化, 2021, 42(7): 56-58.
- [3] 冯玉涛, 王全才, 刘军. 山区高速公路富水陡坡高路堤病害原因及其处治技术[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 90-93.
- [4] 陈佩. 富水深厚软土地区保水路基结构设计方法及关键参数研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2021.
- [5] 罗光财, 刘婷婷, 王震, 等. 富水软土区路基承载力的计算及碎石土换填技术的应用研究[J]. 路基工程, 2019(2): 183-187.
- [6] 冯大财. 关于高寒区冻土路基施工的几点看法[J]. 江西建材, 2015(14): 191-192.
- [7] 彭小录, 牛力达. 绿色公路建设理念在甘南高寒区路基设计中的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(5): 27-30.
- [8] 胡峰, 朱汉华, 徐璟, 等. 寒区路基抗冻害阻水改良土设计试验研究[J]. 路基工程, 2023(3): 6-12.
- [9] 胡田飞, 袁一飞, 岳祖润, 等. 季节性冻土区铁路路基保温材料应用现状及展望[J]. 水利与建筑工程学报, 2023, 21(2): 169-177.
- [10] 于廷新. 邻高铁及站房富水砂层基坑变形控制对策研究[J]. 铁道建筑技术, 2022(8): 195-199.
- [11] 唐林, 崔立根, 王经伦, 等. 富水地层基坑群开挖降水及水位变动影响研究[J]. 山西建筑, 2022, 48(11): 68-72.
- [12] 江旭文. 注浆处理在路基沉陷中的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2023, 46(5): 34-36.
- [13] 任晓光. 高速公路路基沉陷注浆施工技术研究[J]. 交通世界, 2023(8): 94-96.
- [14] 张明. 浅谈高速公路试运营期内路基路面沉陷处理措施[J]. 工程建设与设计, 2023(12): 110-113.
- [15] 韩毓. 高速公路湿陷性黄土路基沉陷处治技术探讨[J]. 科学技术创新, 2023(16): 109-112.
- [16] 霍娴堃. 公路路基边坡破坏的形式及防护措施[J]. 交通世界, 2022(15): 135-137.
- [17] 常芳媛. 碎石桩技术在山区高速公路软土地基的运用[J]. 四川建材, 2023, 49(6): 165-167.
- [18] 吕鑫. 试论碎石桩技术在山区高速公路软土地基的应用[J]. 山西交通科技, 2017(4): 50-52+55.
- [19] 谢锡刚, 朱彬彬, 吴毅, 等. 预应力管桩复合地基在厚软土地基闸站工程中的应用[J]. 江苏水利, 2023(3): 18-21.