

S60固西高速公路高边坡预应力锚索加固施工技术研究及应用

刘伟

宁夏交通建设股份有限公司

[摘要] S60固西高速公路全线路范围内存在较多具有湿陷性的黄土路段，在强降雨等环境的影响下出现边坡滑动、路面沉陷等一系列问题，成为制约高速公路稳定运行的安全隐患。本文针对S60固西高速公路设计了一种通过预应力锚索技术解决高边坡滑动的治理措施，介绍了该技术措施的原理和特点，结合项目现场施工情况对预应力锚索技术的具体应用进行了研究论述，为后续同类施工项目积累了实践经验。

[关键词] 高速公路；预应力锚索；高边坡；边坡加固施工；研究及应用

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.11.585

1. 工程概况

1.1 项目基本情况

S60固西高速公路路线起讫桩号为K0+000-K46+525，全长46.5公里，全线共设置隧道2处，桥梁37座。项目主线设计速度为80km/h，能够满足车辆双向四车道通行，符合高速公路设计标准，路基宽度21.5m，在2016年12月建成通车以来，因持续强降雨天气导致该湿陷性黄土路段受损严重，出现路面沉陷、边坡滑动、排水设施损坏等异常情况，高速公路的安全运行受到严重影响。本文针对该路段存在的边坡问题，拟通过预应力锚索加固处理方式提升边坡稳固性。

1.2 项目水文地质情况

位于宁夏南部山区的S60固西高速公路修建于黄土高原之中，内部丘陵沟壑交错综合，地势起伏多变，在河水冲刷作用下出现了壕、梁、塬等多种地形混杂的地貌，在地势方面北低南高。S60途径区域的气候类型主要为温带大陆性积气候，存在部分干旱区域，本项目经过的地貌类型有：低山山地、黄土丘陵、河谷冲积平原等，在强烈的剥蚀作用下，途经地形存在较大起伏且陡峭边坡、深沟等情况极为普遍，泥石流、滑坡等灾害问题也时有发生，有些部位成群出现，对项目构成较大威胁，而这些灾害问题、不良地质的形成则与区域内的水文、地貌、岩土特征等存在关联。

2. 压力分散型预应力锚索作用机理

在边坡区域安装预应力锚索的过程中，施工人员准备钢绞线材料作为锚索，具体施工需要区分为锚固段和自由段两部分。其中，锚固段能够将边坡岩石承受钢绞线的拉力转化，并以压力的形式传导给注浆体，注浆体是通过高压注浆的方式注入锚孔内部，能够有效填充周边裂缝，通过边坡岩石基体与注浆体之间的巨大摩擦力确保预应力锚索能够将压

力有效分散至岩石基体各部分，实现对边坡稳定性的强化与加固处理。

3. 高边坡预应力锚索加固技术的优势特点

在高速公路建设期间，预应力锚索加固技术对于高边坡施工难题具有良好的解决效果。首先，该技术在应用时具有良好的调整效果，施工人员能够在预应力计划数值以及锚索数量无法达到预期效果时，改进难度较低，能够有效规避工程缺陷等质量问题。其次，该技术具有深层加固的效果，能针对不同密度和深度的湿陷性黄土层能够通过调整锚索长度的方式与现场湿陷性黄土地质情况相适应，满足应力分布控制需求，有效增强边坡稳固性。最后，在施工成本方面，该技术无需应用较多施工材料，在各类软弱地基中具有良好的适用性，能够满足高速公路的高质量、快速建设需求。

4. 高边坡预应力锚索加固施工技术

4.1 施工工艺

预应力锚索加固工艺流程详见图1，施工单位需按流程完成高边坡处理工作。

4.2 施工准备

高边坡处理之前，施工人员需测试预应力锚索相关状态参数，由监理人员对报告审核确认后，组织设计人员优化调整锚固参数，确认无误后方可开展预应力锚索加固施工。项目前期需为后续施工的顺利开展做好场地整理以及平台搭设工作，结合设计图纸对预应力锚索在高边坡上的装设位置进行测量定位；在安装钻机期间，施工人员需要结合图纸对锚孔位置、参数进行测量和标记。

4.3 钻孔

锚孔测放：需在高边坡将设计要求的锚孔测量定位。钻孔设备：设备需结合场地状况、锚孔设计参数、高边坡地质

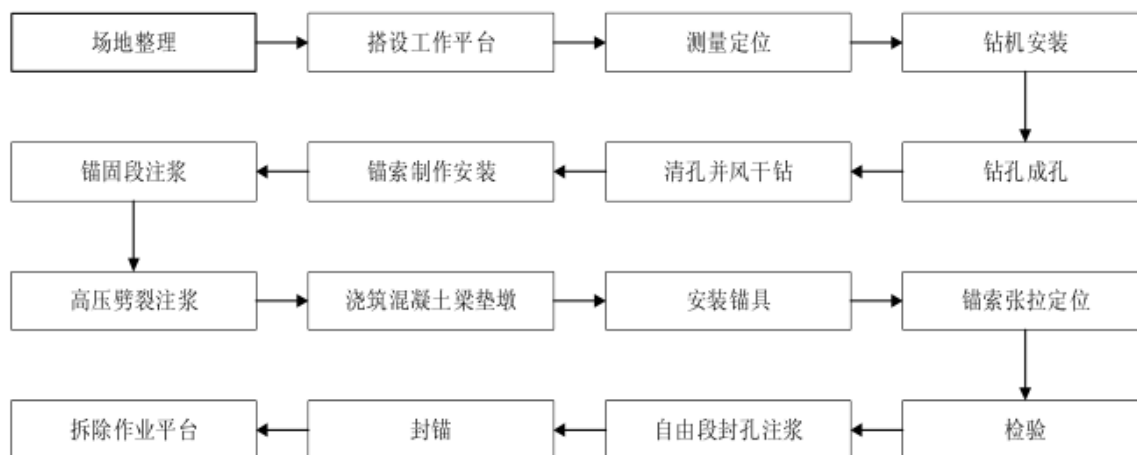


图1 预应力锚索施工工艺流程

状态进行合理选型。钻机就位：施工人员应按稳固性、承载能力等设计要求搭设钻井固定安装的平台，做好钻机就位工作。钻进方式：锚孔钻进应采用无水干钻，需要在钻进过程中注水，避免公路边坡在水分的影响下出现地质性能降低的情况，将孔壁的粘结效果控制在允许范围内。在钻进期间，施工人员需按要求记录钻孔情况，同时做好地下水、地层相关情况的观察记录工作，及时发现并处理异常情况。在钻孔尺寸方面，施工人员需按照设计要求选择适宜的钻头，控制孔径的同时在指定深度停止继续钻进。相对而言，钻孔直径控制较为简单，只需按规定选择钻头，而钻孔深度通常要比设计深度数值更高，一般应超出1m作为预留。针对钻进完成的孔洞，施工人员需要做好锚孔清理工作，为避免因孔底尖灭问题导致孔径不合格，应在达到设计深度后进行1-2分钟的稳钻工作。监理人员需对钻孔质量进行核查，避免因锚孔质量缺陷影响后续施工质量。监理需现场组织施工人员对锚孔深度和直径进行检查，检查期间需借助设计图纸中规定的钻杆和钻头对锚孔进行检验，合格的孔位在钻头推进时能够不出现抖动、冲击等异常情况，能够平顺地向下钻进且深度符合设计要求，在退钻时同样要求顺滑稳定，其内部不存在水体、沉渣等杂物，具体测试时可以借助高压风吹验。此外，还需要对锚孔位置、角度等参数进行核查，在全部核查无误的情况下方可认定钻孔施工验收通过。

4.4 锚索制作

锚筋体材料：锚栓的强度、尺寸、材质、结构等需符合设计要求，S60高速公路应用的锚索具有1860MPa的强度和15.2mm的直径，在结构材质方面为钢绞线，具有无粘结和松弛度低的特点。在锚杆选取方面，则需要选择高强度钢筋，钢筋直径为28mm，外层为螺旋状由精轧成形。在组装锚筋体期间，施工人员需要准备30cm高度以上的组装平台，并针对需组装的锚索做好表面处理工作，避免存在油污、锈迹等情况，同时也需要确保其平直度符合要求。施工人员需要做好排气管、对中支架的布置工作，支架布置间隔为1.5m左右，布置方向与锚索平行，需利用铅丝将支架、排气管绑扎在锚索体上。自由段可以使用塑料套管，并借助铅丝做好与锚固段的固定连接工作，期间需要做好防腐处理。锚索编束时，需避免钢丝、钢绞线存在扭叉或排布不均匀的情况，下料尺寸需符合设计标准，误差需控制在50mm之内。施工人员需避免通过电弧法对钢绞线进行切割处理，现场需机械切割并做好防锈除油处理，并按要求将锈坑、损伤部位剔除。钢绞线的编排需与设计图一致，其平直度需满足要求，锚固段需布置隔离支架，间距为1.3-1.8m，自由段需按照比锚固段高20cm的间距布置隔离支架，两段支架布置方向均与锚索体平行，且锚固段需借助16号铁丝以两圈以上缠绕的方式制作紧箍环，为锚索提供厚度20cm以上的保护层。锚索编束应捆扎牢固，捆扎材料不宜用镀锌材料。锚索体自由段应按设计要求采用塑料套管，对于锚固相交部位，施工人员需利用铅丝将管口密封良好的套管固定。如果锚索结构形式为压力分散型，则需要在各部位做好标记工作，以便采用差异分步张拉。隔离支架：材质不会影响锚筋体性能，通常为塑料、钢等制成。塑料套管：需按设计选型。注浆管：需按设计选型，工作人员需要做好其强度控制工作，避免因材料质量与设计要求不符导致注浆期间出现爆管、堵管、拉断等问题。锚筋体：需按设计控制工艺、尺寸，材料长度误差需控制在5cm范围内，可预留125cm用于张拉调整。锚筋体检验：需按要求核查制作完成的锚筋体状态。

4.5 孔内注浆

施工人员需要在钻孔完毕24小时内完成注浆施工，避免锚孔状态异常影响锚固体安装固定效果。注浆设备：注浆施工人员需要结合施工设计方案要求使用合理的注浆设备材料，严格控制注浆压力和相关技术手段，避免出现注浆设备与锚固地层状态不相符的问题。一般而言，水泥砂浆可以作为注浆材料，具有40.0MPa以上的强度，配置要求为0.40-0.50范围内的水灰比。原材料要求：可以选用硅酸盐类普通水泥制作浆液。为避免水泥凝结受拌和水内部杂质影响，需避免使用污水，并做好杂质清理工作。注浆准备：注浆前需要严格按照要求做好材料配置与设备准备工作，在注浆停止后，需要借助水泥浆或拌合水将管路、泵类设备润滑，在此基础上方可再次注浆。注浆浆液需随拌随用，严格按拌和配比均匀拌和，避免污染物混入其中影响浆液质量，需确保浆体具有30.0MPa以上的强度，并在浆液初凝之前完成注浆施工。注浆结束：当浆液溢出锚孔时，施工人员需要在停止注浆的同时清洁套管、枪、管等注浆器具。注浆记录与试验：施工人员需做好相关数据记录与整理工作，通过后续试验手段验证注浆效果符合设计需求，例如前文所述的30.0MPa浆体强度指标。一次常压注浆：该注浆技术可以采取两种实施方式，分别为全段和锚固段注浆，本工程主要采用前者。

4.6 锚索框架梁施工

框架梁施工需要按照设计要求做好框架定位放线工作，严格控制梁的尺寸、轮廓以及模板的厚度，并按照一定深度将槽刻在坡面上，模板表面需刷涂满足脱模需求的隔离剂。为了避免框架钢筋安装不牢固，施工人员需要在矿模板制作完后将浮渣等杂质清除，并通过调平处理的方式确保底部地基砂浆具有较高的平整度与密实度。在框架钢筋绑扎期间，施工人员需要对接口进行严格控制，避免存在接头贴合的情况，同时也需要结合钢筋根数对接头数量进行控制，避免单一截面具有50%钢筋数量的接头，并按照1.0m之上的间距控制截面与焊接接头的距离，同时也需要借助垫块控制钢筋保护层。混凝土灌注之前，施工人员需要按要求沿锚孔方向在立柱钢筋或地梁区域将锚垫板、钢材质波纹管以及钢筋固定牢固，在摆放平整的情况下进行混凝土浇筑振捣处理，特别是还需要针对钢筋密集区域做好混凝土灌注质量的严格控制工作。对于灌注的混凝土，施工人员需要依次借助木抹子（一次抹平）与铁抹子（两次抹光）进行三次表面压光处理工作。此外，框架施工需分片开展，每片均包括顶梁、横梁以及立柱，需对相邻框架预留填塞浸沥青木板的伸缩缝，尺寸参数为2.0cm。

4.7 张拉锁定与封锚

施工人员需要借助专用设备张拉锚筋，张拉设备需按照要求提前选定摆放位置，同时也需要确保所选用设备与设计要求一致。锚筋张拉：施工人员需要按照垂直于锚筋轴线的方向布置锚斜托台座，这需要提前平整承压面；锚具需按照密贴千斤顶、锚垫板的方式安装，三者需保持中心线对其状态，即锚筋、锚孔与千斤顶三者轴线对齐，具体可以采取调整钢垫片的方式做好均匀同轴承载工作；张拉前需要确保台座与锚固体强度符合要求，避免在80%标准值之下时张拉，锚孔抽验也需要提前做好强度检测工作。锚筋张拉程序：张拉顺序需提前规划，在充分考虑锚孔间影响的情况下设计张拉锚筋的顺序，相关要求为：施工人员通过超张拉方法处理锚筋，在原有张拉应力基础上提升10.0%，张拉工作需一次到位，期间需要做好每级张拉应力情况下的锚筋长度变化情况，对于受力不均匀等异常情况需快速分析并解决。由于本次使用的预应力锚索为压力分散型，锚索张拉需符合设计标

表 1 模型锚杆测试成果

编号	缺陷设置位置/m	设置砂浆密实度/%	实测砂浆缺陷位置/m	实测砂浆密实度/%	实测锚杆有效长度/m
1	无	100	无	100	7.7
2		100	局部	90	8.36
3	1~3	75	3.60~5.20	79	7.98
4	2~4	75	4.26~5.77	77	8.18
5	2~4	75	2.2~5.88	76	8.18
6	6~8	5	6.68~8.04	77	8.04
7	6~8	7	3.92~5.80	77	8.1
8	6~8	75	6.54~8.29	79	8.29

准,各单元锚索同时张拉的前提在于已经补偿不同单元锚索存在的弹性伸长差,为避免受力不均,施工人员需同步张拉同一单元的锚筋,确保锚筋受力情况符合要求。锚筋锁定:工作人员需要在最大张拉数值达到后进行5分钟的持荷稳定工作,持荷稳定之后方可卸去载荷并进行锁定处理工作,锁定施工需应用夹片与锚具,在锁定期间出现预应力损失时,施工人员应通过补偿张拉的方式对预应力损失问题进行缓解。锚孔封锚:对于锁定完成后的锚筋,施工人员需要将剩余部位切除,此时需采取机械切割而非电焊切割方面,可以外露用以避免拽滑的5.0-10.0cm长度的锚筋。最后需借助水泥浆将相关空隙填充封堵,并借助强度在20MPa以上的混凝土进行封闭以规避锈蚀等异常情况。

4.8 锚索压浆密实度的检测

建立注浆密实度与波形特征关系能够反映锚杆的实际情况,根据此方法进行对比测试。对比模型锚杆的缺陷位置及注浆密实度,实测缺陷位置及注浆密实度与模型设计的参数十分吻合,吻合率达到94.6%。

4.9 锚索拉拔试验分析

设计规范中指出,锚索验收期间需对不低于总数5%的锚索进行拉拔试验,且不少于5根,现场共设计有24根锚索,随机抽检了5根锚索进行试验,试验锚索主要结果,依据规定,锚索“变形稳定情况出现于设计载荷加载时”与“锚索弹性变形不低于自由段80%的长度计算值,不高于50%锚固段与自由段长度之后的计算值”,试验锚索的抗拔力,符合设计要求。

5. 高边坡加固监测数据及质量验收

监测点布置在边坡顶断面横向间距 60m、30m处设置位移桩,共4个;在K20+400及K28+700设置1个测斜孔;在坡面共安装5个锚索计。监测结果显示,各锚索应力值均高于设计值,位移速率小于规范限值,边坡基本处于稳定状态。这表明采用预应力锚索对边坡进行加固可最大限度地利用土质的内在强度和潜力,加强边坡自承和自稳能力,改善工程结构的应力状态,提高边坡的强度,以确保边坡长期处于稳定状态。此外,锚索拉拔试验结果表明,锚索预应力施工质量达标,无锚头破坏、锚索张拉量不符合要求等情况。

6. 预应力锚索施工中存在特殊问题及解决措施

6.1 水泥浆注入率过大处理措施

针对注入率过大问题,水泥浆注入人员先暂停施工,并根据地质勘察数据对岩层裂隙等情况进行确认,借助低压或无压注浆的方式经裂缝注浆填补,为提升工作效率,可以在浓砂浆中混合一定量的加速凝剂填充裂缝,并借助硅酸盐水泥配置水泥浆在浓砂浆填充完成1天后进行压力注浆,确保岩

层状态满足水泥浆注入需求。

6.2 塌孔、渗水处理措施

边坡治理期间,以内岩石严重风化,现场存在厚度较大的砂层,导致钻孔期间出现承压水渗漏、孔内坍塌掉块等问题。针对该问题,施工人员结合现场施工情况采取灌浆固壁的方式处理,必要时可以通过间隙灌浆或表面封堵等形式规避漏浆、冒浆问题。

6.3 锚索张拉问题及处理措施

压力分散性预应力锚索施工技术应用期间,施工人员面临锚索长度不一致的情况,施工人员难以控制锚索张拉尺寸。针对该问题,施工人员可以针对不同单元使用不同的张拉工艺,各张拉载荷结合钢绞线程度和设计载荷进行分析计算,通过分布张拉解决施工难题。

7 结束语

预应力锚索加固施工技术能够有效解决S60固西高速公路存在的高边坡滑动安全隐患,在具体施工区间,施工人员按照施工工艺流程做好各项工序质量的控制工作,确保各项机具材料准备到位、施工平台安装到位、相关点位测量到位,严格控制钻孔质量,做好锚索安装、注浆、框架梁施工等相关技术关键点的把控工作,最终通过试验检测和观测,加固处理后抑制了变形和破坏,提高了边坡的稳定性。

预应力锚索在滑坡治理中得到广泛应用,不仅在S60固西高速公路中发挥重要作用,也在莆永高速工程等各类特大型高边坡高速公路中有效解决了施工难题,具有良好的发展前景。在后续应用中,工程单位可以在应用该技术的同时采取边坡方格网植草、注浆等工程措施,在强化公路边坡稳定性的同时带来更多生态效益,为工程单位自身市场竞争力的提升提供助力。

参考文献

- [1]徐学西,孟红利.山岭重丘地区高速公路建设中的预应力锚索加固高边坡施工技术[J].绿色环保建材,2021(05):91-92.
- [2]李敏,解庆贺,刘后华,马明磊.高速公路高边坡预应力锚索加固施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2019(15):141.
- [3]刘海勃,张子艳.乌东德水电站左岸高边坡溶蚀区预应力锚索施工技术[J].西北水电,2020(04):82-85.
- [4]吴文涛.预应力锚索技术在公路高边坡施工中的实践研究[J].黑龙江交通科技,2019,42(11):49-50.

作者简介:

刘伟(1974.04-),男,籍贯:宁夏中宁县,本科学历,高级工程师,研究方向:土木工程,公路施工。