

T

ICS 93.080.01

CCS P66

团体标准

T/CWDPA XXX—2026

高寒地区路桥过渡段差异沉降施工动态控制技术规范

Technical specification for dynamic construction control of differential settlement in road-bridge transition section in alpine regions

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国西部开发促进会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 2

 4.1 一般规定 2

 4.2 施工准备 2

 4.3 动态控制基本流程 2

5 地基处理与基底施工 2

 5.1 一般规定 2

 5.2 多年冻土区地基处理 2

 5.3 季节性冻土区地基处理 3

 5.4 基底验收 3

6 路堤填筑与压实 3

 6.1 一般规定 3

 6.2 填料技术要求 3

 6.3 分层填筑与压实 3

 6.4 填筑速率控制 4

7 加筋补强结构施工 4

 7.1 一般规定 4

 7.2 土工格栅铺设施工 4

 7.3 土工格室补强施工 4

 7.4 质量验收 4

8 施工期动态监测 5

 8.1 一般规定 5

 8.2 监测点布置 5

 8.3 监测内容与频次 5

 8.4 数据采集与分析 5

9 沉降动态调控与应急处置 5

 9.1 分级预警机制 6

 9.2 分级调控措施 6

 9.3 施工暂停与复工管理 6

 9.4 应急处置 6

10 质量检验与验收 6

 10.2 过程质量检验 6

 10.3 工后沉降验收 7

 10.4 验收组织与判定 7

11 档案管理 7

11.1 一般规定 7

11.2 档案内容 7

11.3 管理要求 7

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中建新疆建工（集团）有限公司、中建新疆建工土木工程有限公司、中交一公局第六工程有限公司提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

高寒地区路桥过渡段差异沉降施工动态控制技术规范

1 范围

本文件规定了高寒地区路桥过渡段差异沉降施工动态控制的基本规定、地基处理与基底施工、路堤填筑与压实、加筋补强结构施工、施工期动态监测、沉降动态调控与应急处置、质量检验与验收及档案管理等技术要求。

本文件适用于多年冻土区、季节性冻土区新建与改扩建公路、铁路工程路桥过渡段的差异沉降施工动态控制，其他寒区道路工程过渡段施工可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTG/T 3331-04 多年冻土地区公路设计与施工技术规范
JTG/T 3610 公路路基施工技术规范
JTG/T D31-06 季节性冻土地区公路设计与施工技术规范
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
TB 10001 铁路路基设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

路桥过渡段 road-bridge transition section

连接桥台刚性结构与路基柔性结构，通过刚度渐变实现线路平顺过渡的特殊路基区段。

3.2

差异沉降 differential settlement

桥台与相邻路基之间，或路基不同区段之间产生的不均匀沉降差值。

3.3

多年冻土 permafrost

持续冻结时间在两年及以上的土体或岩体，具有热敏性与冻胀融沉特性。

3.4

季节性冻土 seasonal frozen soil

冬季冻结、夏季全部融化的土体，冻融循环作用下易产生体积变形。

3.5

动态变形模量 dynamic deformation modulus

采用动态平板载荷试验测得的土体变形模量，表征土体动态承载特性，简称Evd。

3.6

动态监测 dynamic monitoring

通过自动化监测设备对沉降、变形、地温等参数进行连续采集与实时分析的过程。

3.7

工后沉降 post-construction settlement

工程竣工交付使用后，路基土体在自重与荷载作用下产生的沉降变形。

4 基本规定

4.1 一般规定

- 4.1.1 高寒地区路桥过渡段施工应遵循“主动冷却、被动保护、动态调控、渐变过渡”的核心原则，最大限度减少施工对冻土的热扰动，通过刚度渐变控制差异沉降。
- 4.1.2 施工单位应具备相应路基工程施工资质，项目技术负责人、质量管理人员具备寒区路基施工经验，作业人员经专项培训合格，特种作业人员持证上岗。
- 4.1.3 施工前应编制路桥过渡段差异沉降专项施工方案，包含地基处理、填筑压实、监测方案、分级调控预案等核心内容，经企业审批与专家论证后实施。
- 4.1.4 过渡段施工应与桥台、路基主体工程协同衔接，严格控制施工时序，优先安排低温季节施工，减少夏季高温对冻土基底的热扰动。

4.2 施工准备

- 4.2.1 施工前应完成现场专项勘察，核实冻土类型、冻土上限埋深、年平均地温、地基承载力与水文条件，掌握过渡段地形地质与周边环境特征。
- 4.2.2 完成施工图纸会审与分级技术交底，明确沉降控制目标、施工工艺参数、监测预警阈值与分级调控流程，交底双方签字确认。
- 4.2.3 进场填料、土工材料、保温材料、监测设备按规定验收，涉及性能与安全材料见证取样复验，合格后方可投入使用。
- 4.2.4 平整施工场地，修建临时排水与保温设施，完成施工便道、材料堆放场布置，避免施工区域积水与冻土表层提前融化。

4.3 动态控制基本流程

- 4.3.1 施工期差异沉降动态控制遵循“实时监测、数据分析、分级调控、效果验证”的闭环管理流程，根据监测数据动态调整施工参数与补强措施。
- 4.3.2 建立黄色、橙色、红色三级预警机制，对应不同沉降速率与差异沉降阈值，分级启动管控措施，实现沉降早预警、早干预。
- 4.3.3 定期开展沉降趋势分析与预测，结合地温变化评估冻土稳定性，动态调整填筑速率与补强方案，将差异沉降始终控制在允许范围内。

5 地基处理与基底施工

5.1 一般规定

- 5.1.1 过渡段地基处理应根据冻土类型、地温分区、沉降控制目标确定工艺方案；多年冻土区地基处理的通用技术要求应符合 JTG/T 3331-04 的规定，季节性冻土区应符合 JTG/T D31-06 的规定。
- 5.1.2 地基处理前清除基底植被、腐殖土与软弱土层，整平基底并设置临时排水坡，严禁地表水浸泡基底土体，防止冻土融化。
- 5.1.3 基底施工应遵循快速作业、及时覆盖的原则，减少冻土裸露时间，避免阳光直射与热辐射造成冻土上限下降。

5.2 多年冻土区地基处理

- 5.2.1 多年冻土区可采用保温层换填、热棒、通风管、抛石护坡等主动或被动冷却方式，维持冻土上限稳定，控制地基融沉变形。
- 5.2.2 保温层采用隔热性能稳定的硬质保温板材，接缝严密无间隙，铺设厚度偏差不大于设计值的 $\pm 5\%$ ，覆盖范围超出过渡段边缘不少于 2 m。
- 5.2.3 热棒、通风管安装位置、间距、埋深符合设计要求，安装后做好成品保护，严禁施工机械碾压碰撞，保障冷却效能。
- 5.2.4 基底存在冻融软弱层时，采用换填碎石、抛石挤淤等方式加固，换填深度满足承载力与防冻胀要求，分层压实达标。

5.3 季节性冻土区地基处理

- 5.3.1 季节性冻土区可采用非冻胀填料换填、设置排水隔冻层、地基加固等处理方式，消除或减轻冻胀融沉对过渡段的影响。
- 5.3.2 换填深度满足防冻胀设计要求，换填材料选用级配良好的碎石、砾石等非冻胀性材料，细粒含量不大于 5%，压实度符合标准。
- 5.3.3 基底设置排水层并形成连续坡度，与路基排水系统连通，及时排除地表与地下渗水，避免积水入渗造成冻胀破坏。

5.4 基底验收

- 5.4.1 地基处理完成后检测地基承载力、动态变形模量、地温等核心指标，全部符合设计要求后方可进入下道工序。
- 5.4.2 隐蔽工程验收留存施工记录、检测报告与影像资料，监理单位全程见证，签字确认后方可进行覆盖填筑。

6 路堤填筑与压实

6.1 一般规定

- 6.1.1 过渡段路堤填筑施工的通用要求应符合 JTG/T 3610 的规定，填料优先选用级配良好的碎石类、砾石类填料，或轻质填料，严禁使用冻土块、腐殖土、强膨胀土、有机质土等不良填料。
- 6.1.2 过渡段与相邻路基同步施工，桥台两侧对称填筑、对称压实，避免桥台受偏载作用产生位移与结构损伤。
- 6.1.3 填料含水率控制在最佳含水率±2%范围内，过干洒水湿润，过湿翻晒晾晒，保障压实效果。

6.2 填料技术要求

- 6.2.1 过渡段主体填料最大粒径不超过分层厚度的 2/3，级配连续，压碎值不大于 30%，满足强度与压实要求。
- 6.2.2 防冻胀填料选用洁净碎石、砾石，细粒含量不大于 5%，压实后渗透系数大于 1×10^{-3} cm/s，避免积水冻胀。
- 6.2.3 轻质填料可选用发泡水泥、EPS 颗粒混合土等，减轻路基自重荷载，降低地基沉降，其强度、稳定性与耐久性符合设计要求。
- 6.2.4 过渡段填料主要技术指标应符合表 1 规定。

表 1 过渡段填料主要技术指标要求

填料类型	最大粒径/mm	细粒含量/%	压实度要求（重型击实）	冻胀等级	适用部位
碎石类填料	≤100	≤5	≥96%	不冻胀	过渡段主体
砾石类填料	≤60	≤8	≥95%	弱冻胀	过渡段下层
轻质填料	—	—	≥93%	不冻胀	台背上部
保温换填填料	≤50	≤3	≥94%	不冻胀	基底换填层

6.3 分层填筑与压实

- 6.3.1 过渡段采用水平分层填筑，机械碾压区段分层厚度不大于 300 mm，台背等受限区域分层厚度不大于 150 mm，逐层检测压实质量。
- 6.3.2 台背、结构物周边等大型碾压设备无法到达区域，采用小型振动夯实设备高频次补强压实，压实遍数不少于 6 遍，边角无压实盲区。
- 6.3.3 碾压遵循先轻后重、先慢后快原则，碾压轮迹重叠不小于 1/3 轮宽，接槎部位重叠碾压不少于 1m，确保压实连续均匀；压实质量检验方法与评定标准应符合 JTG F80/1 的相关规定。
- 6.3.4 上下层填筑接槎错开不小于 1 m，台阶宽度不小于 1 m，坡度不陡于 1:1，保障填筑段整体受力

连续性。

6.3.5 过渡段分层压实质量控制标准应符合表 2 规定。

表 2 过渡段分层压实质量控制标准

部位	压实度 (K)	动态变形模量 E _{vd} /MPa	地基系数 K ₃₀ /MPa/m	检测频率
台背0 m~2 m范围	≥96%	≥40	≥150	每50m ² 检测1点
过渡段主体	≥95%	≥35	≥120	每100m ² 检测1点
基底换填层	≥94%	≥30	≥100	每100m ² 检测1点
轻质填料层	≥93%	≥25	≥80	每100m ² 检测1点

6.4 填筑速率控制

- 6.4.1 过渡段填筑速率根据地基地温、沉降监测数据动态调整，多年冻土区日填筑高度不宜超过 300 mm，避免快速填筑产生热积累扰动冻土。
- 6.4.2 每填筑一层后检测沉降与地温变化，沉降速率超过黄色预警阈值时降低填筑速率，达到橙色预警时暂停填筑，待沉降稳定后复工。
- 6.4.3 季节性冻土区避开春季融冻期填筑，冬季施工采取保温措施，防止填料冻结影响压实质量，气温低于-10℃时停止填筑作业。

7 加筋补强结构施工

7.1 一般规定

- 7.1.1 过渡段加筋补强采用土工格栅、土工格室等加筋材料，提高路基整体刚度，均匀传递荷载，逐步缩小桥台与路基的刚度差。
- 7.1.2 加筋材料进场查验出厂合格证与性能检测报告，抗拉强度、延伸率、抗老化与耐低温性能符合设计与标准要求。
- 7.1.3 加筋层沿高度方向加密布置，靠近桥台部位间距缩小，向正常路基段逐步放大间距，实现刚度平稳过渡。

7.2 土工格栅铺设施工

- 7.2.1 土工格栅铺设在平整压实的填土层上，拉紧铺平无褶皱，纵向搭接长度不小于 300 mm，采用塑料卡扣或绑扎带固定，间距不大于 1 m。
- 7.2.2 格栅受力方向与线路纵向一致，台背端与桥台锚固连接牢固，延伸至过渡段外正常路基不少于 2 m，保障传力连续。
- 7.2.3 上层填料填筑时严禁机械直接碾压格栅，先摊铺 300 mm 以上填料后再碾压，避免格栅破损、移位影响加筋效果。
- 7.2.4 加筋层竖向间距符合设计要求，靠近桥台 2 m 范围内间距不大于 0.6 m，向路基方向逐步放宽至 1.0 m~1.5 m，形成刚度渐变的加筋体系。

7.3 土工格室补强施工

- 7.3.1 土工格室适用于台背浅层软弱区域补强，格室高度、焊距符合设计要求，展开后固定牢固，格室内填筑碎石类填料，分层夯实。
- 7.3.2 格室单元拼接牢固，接缝强度不低于母材强度的 80%，铺设平整无凸起，周边与土体密贴，避免格室受力变形移位。
- 7.3.3 格室层顶面铺设一层土工布隔离，防止细粒土进入格室孔隙影响补强效果，隔离层搭接宽度不小于 200 mm。

7.4 质量验收

- 7.4.1 主控项目：加筋材料品种、规格、性能符合设计要求；加筋层间距、锚固长度符合设计；加筋材料铺设牢固，无破损、褶皱。

- 7.4.2 一般项目：搭接宽度偏差不大于-20 mm，铺设平整度偏差不大于 50 mm；固定点间距均匀，无松动。
- 7.4.3 检验批每 100 m 抽查 3 处，不足 100 m 按 3 处计，台背关键部位全数检查，隐蔽工程留存影像资料。

8 施工期动态监测

8.1 一般规定

- 8.1.1 过渡段施工期应建立自动化动态监测体系，同步监测沉降、地温、水平位移等参数，为沉降动态调控提供实时数据支撑。
- 8.1.2 监测设备应具备耐低温、抗冻融、低功耗特性，适应高寒地区恶劣环境，监测精度满足沉降与变形观测的规范要求。
- 8.1.3 监测系统安装完成后进行联调联试，数据采集、传输、存储功能稳定可靠，校准合格后方可投入正式监测。

8.2 监测点布置

- 8.2.1 沉降监测点沿过渡段纵向布置，桥台台背处、过渡段中点、过渡段与正常路基衔接处必须布设，纵向间距不大于 5 m，横向每断面不少于 3 点。
- 8.2.2 地温监测孔布设在过渡段中心与两侧边缘，深度穿透冻土上限以下不少于 2 m，分层监测不同深度地温变化，层间距不大于 0.5 m。
- 8.2.3 水平位移监测点布设在坡脚与台身对应位置，监测路基侧向位移与桥台偏移，预警边坡失稳与桥台偏载风险。
- 8.2.4 监测点布置的最低要求应符合表 3 规定。

表 3 路桥过渡段监测点布置最低要求

监测类型	纵向布置位置	每断面数量	监测精度最低要求	布设说明
地表沉降	台背、过渡段1/2处、过渡段端点	3点	±1 mm	纵向间距≤5 m
分层沉降	台背中心、过渡段中点	1孔	±1 mm	每2 m一层
地温监测	过渡段中心、两侧边缘	3孔	±0.1 °C	深至冻土上限下2 m
水平位移	坡脚、台身对应处	2点	±2 mm	每断面布设

8.3 监测内容与频次

- 8.3.1 施工期沉降监测每日不少于 1 次，填筑期加密至每日 2 次，沉降速率增大时增加监测频次至每 4 小时 1 次，掌握沉降发展趋势。
- 8.3.2 地温监测每 3 日不少于 1 次，高温季节加密至每日 1 次，跟踪冻土上限变化，评估施工热扰动影响程度。
- 8.3.3 水平位移监测每周不少于 2 次，填筑速率加快时加密至每日 1 次，发现位移速率增大立即停止填筑并分析原因。

8.4 数据采集与分析

- 8.4.1 监测数据采用自动采集与人工复核相结合的方式，每日整理沉降、地温、位移数据，绘制沉降-时间曲线、地温变化曲线，分析发展趋势。
- 8.4.2 定期计算沉降速率、差异沉降量、沉降预测值，对比控制阈值判断是否触发预警，形成监测日报与周分析报告。
- 8.4.3 监测数据完整存储，不得随意篡改，异常数据及时复核验证，确保数据真实可靠，为动态调控提供准确依据。

9 沉降动态调控与应急处置

9.1 分级预警机制

- 9.1.1 根据沉降速率、差异沉降量、地温变化三项指标，设置黄色、橙色、红色三级预警，预警阈值结合冻土类型与工程等级确定。
- 9.1.2 预警信息由监测负责人签发，同步推送至施工、监理、设计单位，根据预警等级启动对应管控措施。
- 9.1.3 三级预警阈值最低控制标准应符合表 4 规定。

表 4 差异沉降三级预警阈值（公路工程）

预警等级	日沉降速率限值 (mm/d)	台背差异沉降限值 (mm)	地温异常判定	响应级别
黄色预警	5~8	10~15	冻土上限下降0.3 m以内	关注级，加密监测
橙色预警	8~12	15~25	冻土上限下降0.3 ~0.5 m	警示级，减速填筑
红色预警	≥12	≥25	冻土上限下降≥0.5 m	紧急级，停工处置

9.2 分级调控措施

- 9.2.1 黄色预警时，加密监测频次至每日 2 次，适当降低填筑速率，加强地表排水与遮阳保温措施，每日分析沉降趋势。
- 9.2.2 橙色预警时，将填筑速率降低 50%，增加一层加筋补强，增设遮阳隔热设施，组织专项分析评估，制定补强方案。
- 9.2.3 红色预警时，立即暂停填筑施工，启动应急处置预案，采取覆土保温、补打热棒、增加换填厚度等措施，待沉降稳定、地温恢复后逐步复工。

9.3 施工暂停与复工管理

- 9.3.1 触发红色预警或出现地基失稳征兆时，必须立即停止填筑作业，撤离施工机械与人员，设置警示标识，严禁擅自复工。
- 9.3.2 暂停施工期间持续监测沉降与地温，落实应急补强措施，待沉降连续 7 日稳定在允许速率内，经多方联合验收后方可复工。
- 9.3.3 复工后采用低速率分层填筑，每层增加压实检测频次，确认沉降无异常后逐步恢复正常填筑速率。

9.4 应急处置

- 9.4.1 针对冻土融化、沉降突增、边坡滑塌等突发情况制定专项应急预案，配备应急物资与设备，定期开展应急演练。
- 9.4.2 发生应急事件时，第一时间控制现场防止险情扩大，同步上报相关单位，组织专家制定处置方案，闭环整改后恢复施工。

10 质量检验与验收

- 10.1.1 过渡段施工质量检验分过程检验与竣工验收两个阶段，公路工程检验指标、频率与判定标准应符合 JTG F80/1 的规定，铁路工程尚应符合 TB 10001 的相关要求。
- 10.1.2 质量检验实行实体指标与沉降控制指标双控，压实度、变形模量与沉降监测数据均合格，方可判定工程质量合格。
- 10.1.3 验收资料同步整理，施工记录、检测报告、监测数据、调控记录完整齐全，作为验收必备文件。

10.2 过程质量检验

- 10.2.1 分层填筑过程中，每一层检测压实度、动态变形模量，检测频率符合表 2 要求，不合格的返工碾压，直至指标达标。
- 10.2.2 地基处理、加筋补强、保温层等隐蔽工程逐项进行隐蔽验收，留存实测数据与影像资料，签字手续齐全。

10.2.3 过渡段几何尺寸、边坡坡度、顶面平整度逐项检查，偏差在允许范围内，外观无明显缺陷与不均匀沉降痕迹。

10.3 工后沉降验收

10.3.1 过渡段工后沉降与差异沉降控制值符合设计与规范要求，普通公路工程工后差异沉降不大于10 mm，年沉降速率不大于3 mm/年。

10.3.2 铁路工程路桥过渡段工后差异沉降不大于5 mm，年沉降速率不大于2 mm，满足轨道平顺性与行车安全要求。

10.3.3 工后沉降观测期不少于6个月，观测数据连续完整，经沉降预测推算最终沉降量满足控制标准，方可通过沉降专项验收。

10.3.4 工后沉降控制最低限值应符合表5规定。

表5 路桥过渡段工后沉降控制最低限值

工程类型	工后差异沉降允许值（mm）	年沉降速率允许值（mm/年）	观测最短周期
普通公路	≤10	≤3	6个月
高速公路	≤8	≤2	12个月
普通铁路	≤5	≤2	6个月
高速铁路	≤3	≤1	12个月

10.4 验收组织与判定

10.4.1 分项工程验收由监理工程师组织，分部工程验收由总监理工程师组织，建设、设计、施工单位共同参与，沉降专项验收邀请专家参加。

10.4.2 主控项目全部合格，一般项目合格率不低于90%，沉降监测数据完整且满足控制要求，质量控制资料齐全，判定为验收合格。

10.4.3 验收不合格的限期整改，整改完成后重新组织验收；沉降指标不合格的采取补强措施，复检合格后方可交付使用。

11 档案管理

11.1 一般规定

11.1.1 过渡段施工动态控制全过程档案实行专人管理，覆盖勘察设计、施工、监测、调控、验收全流程，做到完整、准确、可追溯。

11.1.2 档案分为纸质档案与电子档案两类，同步归档、内容一致，电子档案定期备份，防止数据丢失与损坏。

11.1.3 档案保存期限符合工程档案管理规定，沉降监测数据、调控记录、验收资料长期保存，满足工程运维与寿命期评估需求。

11.2 档案内容

11.2.1 基础资料类包含勘察报告、设计文件、专项施工方案、专家论证意见、材料质量证明与复验报告，是工程实施的原始依据。

11.2.2 施工记录类包含地基处理记录、分层填筑压实记录、加筋结构施工记录、隐蔽工程验收记录、施工日志，反映施工全过程质量状态。

11.2.3 监测调控类包含监测点布置图、原始监测数据、日周月分析报告、预警与调控措施记录、应急处置记录，是动态控制的核心档案。

11.2.4 验收资料类包含过程检验报告、实体检测报告、沉降专项验收报告、分部工程验收记录，是工程质量的最终证明文件。

11.3 管理要求

11.3.1 档案分类编号、装订成册，编制目录索引便于检索查阅，借阅履行登记手续，严禁涂改、损毁、

转借档案。

11.3.2 电子档案采用不可篡改格式存储，异地备份不少于2份，存储介质定期检查更新，保障数据长期可读可用。

11.3.3 工程交付时同步移交全套档案，办理移交签字手续，使用单位继续留存运维期沉降观测数据，延续档案完整性。
