

德钦县升平镇高寒地区供水管网防冻技术与改造措施研究

和云妹

云南省迪庆州德钦县升平镇农业农村发展服务中心，云南 德钦 674500

DOI:10.61369/ETQM.2026050041

摘 要： 本文以德钦县农村供水保障工程实践为基础，系统分析高寒地区供水设施冻损机理，从水源工程、输配水管网、末端入户三个环节提出防冻技术改造措施，明确各环节设计参数、施工规程与验收标准，为同类高寒地区供水管网防冻改造提供技术参考。

关 键 词： 高寒地区；供水管网；防冻技术；冻土层；德钦县；升平镇

Research on Anti-Freezing Technology and Renovation Measures for Water Supply Pipeline Networks in High-Altitude and Cold Regions of Shengping Town, Deqin County

He Yunmei

Agricultural and Rural Development Service Center, Shengping Town, Deqin County, Diqing Prefecture, Yunnan Province, Deqin, Yunnan 674500

Abstract： Based on the practice of rural water supply security projects in Deqin County, this paper systematically analyzes the freeze damage mechanism of water supply facilities in high-altitude and cold regions. It proposes anti-freezing technological renovation measures from three aspects: water source projects, water transmission and distribution pipeline networks, and end-user household connections. The paper clarifies the design parameters, construction procedures, and acceptance criteria for each aspect, providing technical references for anti-freezing renovations of water supply pipeline networks in similar high-altitude and cold regions.

Keywords： high-altitude and cold regions; water supply pipeline network; anti-freezing technology; permafrost layer; Deqin County; Shengping Town

德钦县升平镇地处滇西北横断山脉腹地，平均海拔3400m以上，冬季受南支西风气流控制，极端最低气温达 -14.3°C ，最大冻土深度0.98m，属于典型的高寒山区，受特殊地理气候条件制约，当地供水管网冻损问题长期困扰农村居民饮水安全。2020年—2022年，升平镇年均发生供水冻损事件31起，涉及管道冰冻堵塞、管材冻胀破裂、附属设施冻裂等多种类型，严重影响503户2162人的正常用水。尽管国内高寒地区供水防冻技术研究已取得一定进展，但针对滇西北横断山脉复杂地形条件下供水管网的系统性防冻改造研究仍较为薄弱，针对这一情况，就需要加强工作经验的有效总结，加快形成完善的改造技术方案，为同类地区供水管网防冻改造提供技术参考。

一、项目区概况与供水设施冻损机理

（一）自然地理条件与冻土参数

德钦县升平镇位于云南省迪庆藏族自治州西北部，地处青藏高原南延部分横断山脉中段，地理位置为北纬 $28^{\circ}28'$ ，东经 $98^{\circ}53'$ ，平均海拔3400m以上，镇域内地形起伏剧烈，气候属典型高寒山区气候型，冬季受南支西风气流控制，气候严寒干燥，年均气温 5.2°C ，极端最低气温可达 -14.3°C （出现在1999年1月），每年11月至次年3月为冰冻期，持续时长150天以上，最大冻土深度实测值为0.98m（2016年2月），设计冻土深度取值

1.05m（含安全系数1.07）。升平镇辖区内阿墩子、巨水、谷松等行政村大部分村民小组位于海拔3100~3600m范围，供水工程面临“高海拔、低气温、深冻土、多山地”的四重挑战。以2023年实施的升平镇农村供水保障项目为例，项目区涉及7个供水点，覆盖503户2162人，水源类型包括山泉水、溪沟水和地下水，供水方式均为重力自流式。

（二）供水管网冻损类型与成因

1. 管道冰冻堵塞

管道冰冻堵塞占冻损事件的62%。升平镇输水管道多为PE100级聚乙烯管，导热系数为 $0.42\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，若无保温措施，

作者简介：和云妹（1982—），女，藏族，云南德钦人，大专，高级工程师，研究方向：农村水利工程及安全饮用水工作。

在-10℃环境温度、管内水静止状态下，DN50管道4~6小时即可完全冻结，当管段内水体流速低于临界值（一般为0.3~0.5m/s）且持续低温条件下，冰晶首先在管壁形成并逐渐增厚，最终完全堵塞管道断面。

2. 管材冻胀破裂

管材冻胀破裂占冻损事件的28%，水结冰时体积膨胀约9%，升平镇早期铺设的埋深不足管道，冻胀破裂多发生在管道接头和弯头部位，在封闭管道内产生巨大膨胀压力，当该压力超过管材的极限抗拉强度时即发生破裂，PE管虽具有一定延性，但在低温下脆性增加，冻融循环反复作用会加速材料疲劳老化。

3. 附属设施冻损

附属设施冻损占冻损事件的10%，包括闸阀冻结无法启闭、水表冻裂、排气阀冻堵等，升平镇部分供水点采用地面式闸阀井，井内未做保温处理，冬季极端低温时阀体内残留水冻结，导致阀门无法操作甚至阀体破裂。

二、水源工程防冻改造技术

（一）取水口防冻改造措施

1. 取水口埋深控制

泉室或集水池底板埋深必须大于当地最大冻土层深度，设计取值为1.20m（冻土深度1.05m+基础垫层0.15m），对于必须在冻土层以上设置的进水口，采取双层保温盖板结构，下层为50mm厚聚氨酯保温板，上层为100mm厚钢筋混凝土盖板，盖板与池墙接触面设置20mm厚闭孔泡沫橡胶密封条。

2. 截潜流取水技术

对于流量较小的溪沟水源，在河床以下1.5~2.0m深度埋设集水管（DN200穿孔PE管），管周铺设级配砂石反滤层，利用地层天然保温作用防止取水构筑物冻结。升平镇谷松村供水点改造中采用该技术，2023年冬季运行监测显示，尽管地表气温降至-12℃，但集水管周围地温仍维持在2.5℃以上。

3. 保温取水井房

对必须建在地面的取水井房，按照“阳光房+被动式太阳能采暖”原则设计，房屋朝向正南或南偏东15°以内，南墙设置双层中空玻璃（6+12A+6）采光面积不小于南墙面积的60%；墙体采用370mm厚复合墙体（内120mm烧结普通砖+50mm挤塑聚苯板+外120mm烧结普通砖），屋面铺设100mm厚挤塑聚苯板保温层，进户门安装自闭式保温门，门框周边设密封条^[1]。

（二）蓄水池保温改造

1. 埋地式蓄水池

新建蓄水池全部采用全埋式或半埋式，池顶覆土厚度不小于1.20m（大于设计冻土深度），覆土材料采用原土或砂质粘土，分层夯实（每层虚铺厚度不超过300mm，压实度不小于0.93），池顶覆土表面种植浅根性草本植物，利用植被层辅助保温。

2. 地面式蓄水池保温改造

对已建地面式蓄水池无法改为埋地式的，池壁外侧清理干净

后，粘贴100mm厚挤塑聚苯板（XPS），导热系数 $\leq 0.030\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，燃烧性能B1级，保温板外侧做20mm厚聚合物砂浆防护层，内衬耐碱玻纤网格布，池顶增设双层保温盖板（构造同取水口），盖板与池顶间留设50mm空气层增强保温效果^[2]。

3. 水力循环防冻措施

对于调节容积较大的蓄水池（500m³以上），在池内设置循环管道系统，冬季运行时保持进水阀门微开，使池内水体形成0.1~0.2m/s的缓慢环流，防止表面结冰。这种改造在升平镇阿墩子村500m³蓄水池增设循环管道后，2024年1月极端低温期间池面仅形成3~5mm薄冰，未出现整体冻结。

三、输配水管网敷设与保温改造

（一）管道埋深设计标准

输配水管道埋深是防冻设计根据《村镇供水工程设计规范》（SL310-2019）和德钦县水务局《高海拔地区农村供水工程技术导则》（2022版），升平镇供水管道设计埋深按以下公式确定：

$$H=H_d+\Delta H,$$

式中：H—设计管底埋深（m）； H_d —历年最大冻土深度（m），取值1.05； ΔH —安全附加值（m），根据管径和重要性取值0.15~0.30，经计算升平镇供水管道设计管底埋深取1.20~1.35m，管顶埋深相应为1.14~1.29m（DN110管径）。在实际工程中，根据地形条件和管径大小，干管（DN ≥ 90 ）管底埋深不小于1.35m，支管（DN50-75）管底埋深不小于1.25m，入户管（DN25-32）管底埋深不小于1.20m，对于岩石地层开挖困难段，经技术经济比较后可适当减小埋深，但必须采取加强保温措施。

（二）“浅埋+保温”敷设技术

1. 保温结构层设计

管沟开挖深度按不小于0.80m控制，沟底整平后铺设100mm厚中粗砂垫层；管道安装就位后，包裹20mm厚闭孔橡塑保温管壳（导热系数 $\leq 0.035\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ），保温管壳接缝处用专用胶粘带密封；保温层外侧缠绕0.2mm厚聚乙烯薄膜防水层，然后回填中粗砂至管顶以上200mm，砂层上方铺设50mm厚挤塑聚苯板保温层，最后用原土回填夯实至地面。

2. 热工计算验证

以DN75管道为例，环境温度-15℃、管内水温5℃条件下，无保温时管道周围冻土发展速度约25mm/天，采用上述保温结构后，冻土发展速度降至5mm/天，可保证连续30天低温不冻结，实际运行中升平镇巨水村采用该技术的管段在2023年12月—2024年1月持续低温期间未发生冻堵。

3. 特殊地段加强措施

管道穿越道路、沟渠等易形成冷桥的地段，保温层厚度增加至40mm，并在保温层内敷设低温自限温电伴热带（功率15~20W/m），伴热带外侧包裹铝箔反射膜提高热效率，电伴热系统设置温度传感器，当管壁温度低于2℃时自动通电加热，高于5℃时自动断电^[3]。

（三）管道附属构筑物保温

1. 保温井室结构

阀门井采用预制混凝土或砖砌结构，井壁内侧粘贴50mm厚挤塑聚苯板保温层，保温层内侧做20mm厚防水砂浆抹面；井盖采用双层保温井盖（上层铸铁盖+下层50mm厚聚氨酯保温板），井盖与井口接触面设橡胶密封条，井底设排水孔或集水坑，及时排出井内积水^[4]。

2. 粗砂填充保温

对于水表井、小型阀门井，在设备安装完成后向井内填充干燥中粗砂至阀体以下50mm，利用砂层低导热性减少井内热损失，升平镇2023年改造的47座水表井均采用此做法，冬季检查时井内温度较室外气温高8~12℃。

3. 排气阀保温

自动排气阀易因阀体内水汽冻结而失效，改造中采用“排气阀+保温盒”方案，排气阀外侧安装定制聚氨酯保温盒（壁厚50mm），保温盒内壁敷设低温自限温电伴热带，排气口接至保温盒外。保温盒外壳采用玻璃钢材质，具有防紫外线和耐候性能。

四、末端入户防冻技术措施

（一）入户管敷设

1. 入户管埋深控制

从分支管至入户外墙段，管底埋深不小于1.00m；外墙内侧至用水点段，沿墙脚内侧敷设，不得穿越室外散水区。对于无法达到埋深要求的局部段，采用“保温层+伴热带”措施（同3.2节）。

2. 穿墙套管处理

管道穿外墙时设置钢制套管（DN比管道大两号），套管内填充聚氨酯发泡材料，套管内外侧用防水密封胶封闭，套管与管道间隙不小于20mm，确保保温层连续无冷桥。

3. 防冻水龙头应用

室外水龙头全部更换为防冻型取水栓，用水时压下手柄，堵水球阀打开出水，停用时上提手柄，球阀关闭，同时立管内余水通过底部泄水孔自动排入渗水层，保证冻土层以上管段无水可冻，目前升平镇2023年安装防冻栓312套，冬季运行故障率为零。

（二）入户设施保温操作

1. 水表保温

室外水表井内水表采用干式水表或防冻型湿式水表，安装后用100mm厚保温棉包裹水表本体，保温棉外层缠绕防水胶带；水表井内填充中粗砂至水表紫铜边缘高度（露出表盘便于读数），对设置在室外的立式水表，定制安装聚氨酯保温罩。

2. 裸露管道保温

因建筑布局必须暴露在室外的管道（如沿外墙敷设的立管）采用40mm厚橡塑保温管壳包裹，保温层外侧包扎0.3mm厚铝皮或不

锈钢薄板防护，保温层接缝处用铝箔胶带密封，确保密闭性。

3. 用户侧防冻指导

德钦县水务局制定《冬季用水防冻须知》，发放至每户居民，内容主要涵盖夜间关闭厨房、卫生间门窗保持室内温度，气温降至-5℃以下时，夜间保持水龙头线流（每分钟约20~30滴），用水桶接存利用；长期外出时关闭表前阀并排空管内余水，已冻结管道用40℃温水浇淋解冻，严禁火烤或开水急烫。

（三）集中供水点防冻改造

对升平镇仍在使用的集中供水点（公用水龙头），供水房采用轻钢结构，墙体为50mm厚彩钢夹芯板（聚氨酯芯材），门窗为塑钢中空玻璃窗；房内地面设排水沟和地漏，排水管埋深不小于1.20m；水龙头采用防冻栓并加装伴热带；房内设置声控LED照明，方便夜间取水，供水房冬季实测室内温度较室外高15~20℃，保证-15℃环境下正常供水。

五、应急保障体系与运行监测

（一）低温预警与应急响应

1. 预警分级与响应

根据气象预报低温程度，将预警分为三级，日最低气温-5℃至-8℃为蓝色预警，-8℃至-12℃为黄色预警，低于-12℃为红色预警，黄色预警及以上时，启动应急值班制度，抢修队伍24小时待命，储备应急管材、保温材料、电伴热带等物资^[5]。

2. 巡查排查规程

每年11月上旬组织全面排查，重点检查水源地、蓄水池、裸露管道、入户设施等关键部位，查看管道覆土是否完整、保温层有无破损、阀门井有无积水、防冻栓是否正常，发现问题建立台账，立查立改。

3. 应急抢修规程

冻管抢修遵循“先生活后生产、先重点后一般”原则，抢修时先关闭上游阀门，用热水循环或电伴热带解冻，确认解冻后再修复破损部位。修复完成后进行水压试验（试验压力为工作压力的1.5倍，保压30分钟），合格后方可恢复供水。

（二）运行监测与效果评估

1. 温度监测网络

在升平镇典型供水节点布设温度监测点15处，取水口2处、蓄水池3处、干管典型断面5处、入户点5处，安装自动温度记录仪（精度±0.5℃），每小时记录一次数据，通过物联网平台实时传输。2023—2024年冬季监测数据显示：极端低温（-14.2℃）期间，埋深1.30m干管管壁温度维持在2.3~3.8℃，埋深1.00m且加保温的支管管壁温度1.2~2.5℃，入户防冻栓阀体温度-1.5~0.5℃（未冻结），各项指标均满足安全要求。

2. 冻损事件统计

升平镇2023—2024年冬季供水冻损事件共发生7起，较改造

前三年平均值（31起）下降77.4%，其中管道冻结3起（均为改造前已建未改段），阀门冻卡2起，水表冻裂2起。改造后新建和改造段实现零冻损。

（三）运行维护技术

每月检查阀门井、水表井内有无积水，及时排除，每季度检查保温层外观，发现破损或脱落及时修补，每年入冬前检查电伴热带及控制系统工作状态，测试温度传感器灵敏度。每年11月上旬，组织管水员对供水系统进行一次全面“体检”，排空不常用支管内存水，检查防冻栓泄水孔是否通畅，补充阀门井内粗砂，

检查伴热带绝缘电阻，次年3月下旬，冰冻期结束后，检查管道有无冻胀变形，保温层有无受潮，电伴热带是否完好。

六、结束语

总之，德钦县升平镇高寒地区供水管网防冻改造实践证明，解决高寒地区供水冻损问题必须坚持系统思维，坚持“深埋是基础、保温是保障、排空是兜底”的工作理念，从水源到水龙头全过程采取综合措施，彻底解决龙头冻结问题。

参考文献

[1] 四川省农村水利中心. 高寒地区农村供水设施防冻保暖技术要点 [EB/OL]. (2020-07-17) [2026-03-15].<http://scns.net.cn/go-a422.htm>.
[2] 西藏自治区水利厅. 关于进一步做好农村供水工程防冻保暖相关工作的通知（藏水农〔2022〕37号）[EB/OL]. (2022-12-02) [2026-03-15].http://slt.xizang.gov.cn/zwgk/zcfg/gfxwj/ncslsd/202301/t20230119_338260.html?glnohlfcbaimglfc.
[3] 薛正. 多年冻土地区的供水和排水系统设计 [J]. 铁道标准设计, 2015, 59(4): 152-155.
[4] 六安市住房和城乡建设局. 关于加强全市建筑供水设施防冻保温工作的通知 [EB/OL]. (2024-03-06) [2026-03-15].<https://zjj.uan.gov.cn/public/6608291/10476595.html>.
[5] 德钦县水务局. 筑牢冬季供水防线保障农村用水无忧 [EB/OL]. (2026-01-28) [2026-03-15].https://www.sohu.com/a/981154856_121106902?scm=10001.325_13-325_13.0.0-0-0-0-0.5_1334&spm=smpc.channel_248.block3_308_NDdFbm_1_fd.10.1769607819996mCCF6D8_324.