

# 水泥厂拌冷再生在青藏高原高速公路基层中的应用

刘 鹏 张 哲

安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司 安徽 合肥 230000

**摘要：**以水泥厂拌冷再生用于青藏高原地区高速公路路面基层中的关键技术问题为研究目标，对水泥冷再生材料的旧料利用率、配合比设计、经济性、技术指标等问题进行了系统的分析，探索了青藏高原地区高速公路水泥厂拌冷再生基层设计的关键影响因素，提出了经济合理切实可行的配合比设计和旧料利用率。

**关键词：**水泥厂拌冷再生；旧料利用率；配合比设计；技术指标

## 前言

水泥冷再生属于半刚性材料，半刚性基层早期强度高、板体性好、扩散应力强，一直是“强基”的代名词，受荷载、温度、湿度影响，半刚性基层开裂以及引发的次生病害防治一直是世界性难题。

本项目周边G6京藏高速旧路改造产生大量的沥青路面废旧材料，可作为本项目供应原料。高海拔地区温度低、昼夜温差大，水泥冷再生基层受到温度作用更加严峻，本项目基于青海地区的温度极值、温差变化观测结果，对水泥冷再生配合比设计加以优化，提出适应于区域环境的级配类型，通过旧铣刨料分级、旧料利用率控制，制备出高性能的冷再生材料。

## 1 抗压强度与材料配比的关键关联

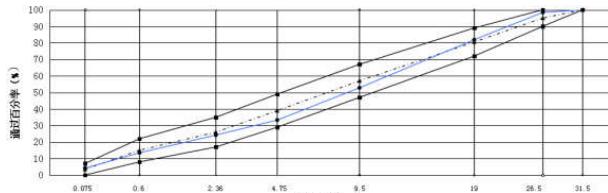
通过7天无侧限抗压强度试验发现，水泥剂量与强度呈现显著的线性正相关关系——水泥剂量每提升0.5%，强度平均增幅约0.3MPa，这为后续配比设计提供了明确的量化依据。同时，旧料利用率对强度的影响同样关键：在相同水泥剂量下，旧料利用率每提高10%，强度平均降低0.2~0.25MPa，核心原因在于旧料中残留的沥青成分具有一定柔性，能有效削弱水泥冷再生混合料的刚性。这一特性并非劣势，反而可大幅减少公路基层因刚性过大产生的反射裂缝，尤其适用于温差较大、易出现裂缝的北方公路工程场景（如青海、甘肃等地）。

需特别注意的是，当水泥剂量控制在2.5%~3%区间时，虽能满足中等交通荷载下的强度基本要求，但旧料利用率一旦超过45%，现场钻芯取样时会出现芯样破碎、完整性不足的问题，无法通过芯样检测验证施工质量。因此，在该水泥剂量范围内，旧料利用率需严格控制在45%以下，避免因材料特性导致质量检测失效<sup>[1]</sup>。

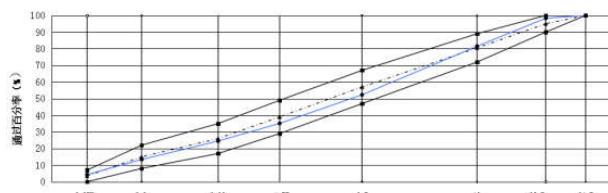
## 2 最佳级配

对G6京藏高速公路铣刨料取样进行筛分试验，通过与《公路沥青路面再生技术规范》JTGT 5521-2019中水泥冷再生混合料级配范围比较，超粒径（大于31.5mm）占2.6%，2.36mm~9.5mm粒径范围比例偏小。在级配设计时，对于超粒径材料予以剔除，对不满足级配要求的其余粒径采用新加集料调整。

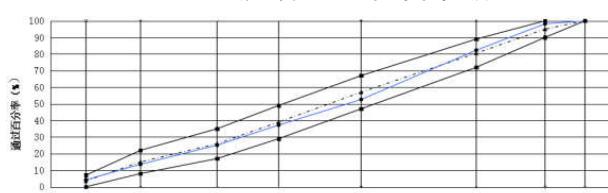
常规先将铣刨料筛分为3~4档，然后掺加新集料而得到理想级配，在旧料筛分过程中会对环境造成污染和增加成本，本次在级配设计中仅对铣刨料剔除超粒径，然后将铣刨料以统料作为一档，新掺加集料分为四档，根据击实试验及7天无侧限抗压强度确定最佳级配。



图一 15%铣刨料利用率的最佳级配



图二 25%铣刨料利用率的最佳级配



图三 35%铣刨料利用率的最佳级配

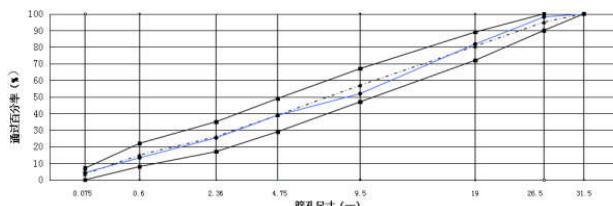


图4 45%铣刨料利用率的最佳级配

以上是不同铣刨料利用率的最佳级配

### 3 配合比设计

沥青铣刨料利用率分别采用15%、25%、35%、45%，使掺配新骨料后的级配满足再生规范要求。每种掺配比例在不同水泥剂量情况下进行重型击实试验和7天无侧限抗压强度试验，结果如下图所示。

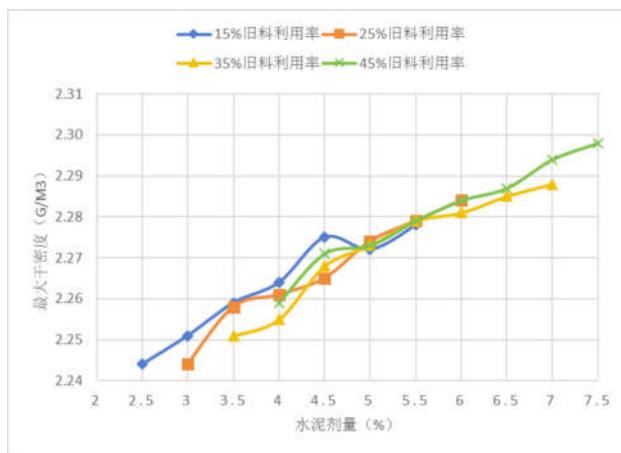


图5 最大干密度与水泥剂量的关系

根据图5可知：随着水泥剂量的增加，最大干密度增大；在相同水泥剂量下，旧料利用率越高，最大干密度越小，这是由于旧料中含有沥青，以及旧料中细颗粒含量较多的缘故；水泥剂量达到5%时，不同旧料利用率的最大干密度基本相同。

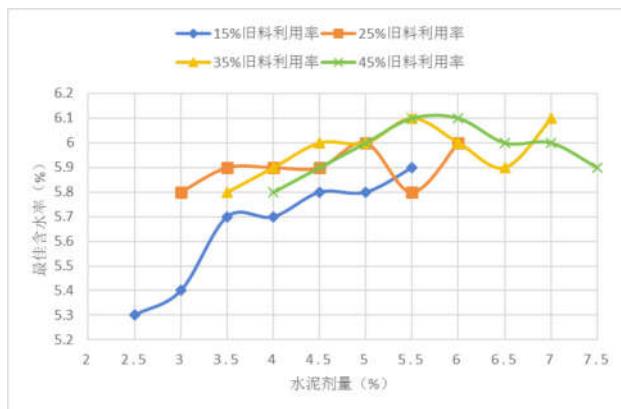


图6 最佳含水率与水泥剂量的关系

根据图6可知：在5%以下水泥剂量时，随着水泥剂量的增加，最佳含水率增大；在相同水泥剂量时，铣刨料

利用率越高，最佳含水率越大，这反映了铣刨料中集料与沥青间的空隙较多，铣刨料中细颗粒含量高。

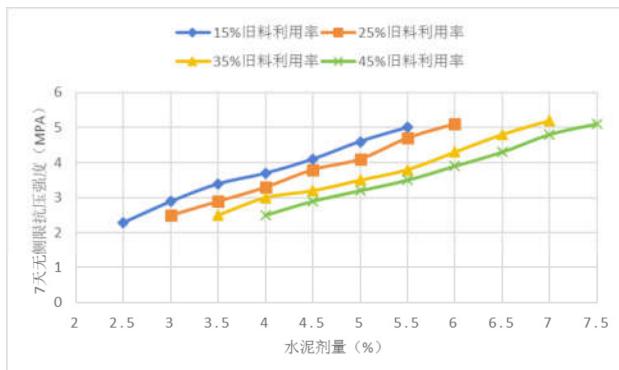


图7 抗压强度与水泥剂量的关系

根据图7可知：随着水泥剂量的增加，7天无侧限抗压强度增大，且基本呈线型关系，在相同水泥剂量下，旧料利用率越高，7天无侧限强度越低，这同样是因为旧料中含有沥青的缘故，这一性质可降低水泥冷再生的刚性，从而减少基层反射裂缝<sup>[2]</sup>。

当水泥剂量在2.5%~3%时，强度虽可满足要求，但是当旧料利用率超过45%时不能取出完整芯样。

水泥冷再生用于重交通荷载底基层时：在旧料利用率15%时，确定2.5%水泥剂量为最佳水泥剂量，其强度代表值2.3Mpa；在旧料利用率25%时，确定3.0%水泥剂量为最佳水泥剂量，其强度代表值2.5Mpa；在旧料利用率35%时，确定3.5%水泥剂量为最佳水泥剂量，其强度代表值2.5Mpa；在旧料利用率45%时，确定4.0%水泥剂量为最佳水泥剂量，其强度代表值2.5Mpa<sup>[3]</sup>。

水泥冷再生用于重交通荷载基层时：在旧料利用率15%时，确定3.5%水泥剂量为最佳水泥剂量，其强度代表值3.4Mpa；在旧料利用率25%时，确定4.0%水泥剂量为最佳水泥剂量，其强度代表值3.3Mpa；在旧料利用率35%时，确定5.0%水泥剂量为最佳水泥剂量，其强度代表值3.4Mpa；在旧料利用率45%时，确定5.5%水泥剂量为最佳水泥剂量，其强度代表值3.3Mpa。

### 4 经济性分析

冷再生的成本主要为旧料的运输费用、旧料筛分费用、新加集料和水泥费用；可节约的成本为旧料利用而减少的新料费用、减少的废料处理费用以满足各项指标要求为前提，旧料以统料利用，避免筛分造成环境污染，提高旧料利用率的同时尽量采用较小水泥剂量，可提高冷再生基层的经济性。

### 5 目标配合比

根据试验结果，同时考虑经济性，对于重交通荷载

的底基层：水泥冷再生混合料目标配合比的集料掺配比例为10-30mm: 10-20mm: 5-10mm: 0-5mm: 铣刨料 = 17%:13%:11%:24%:35%,水泥剂量为3.5%；重交通荷载的基层：水泥冷再生混合料目标配合比的集料掺配比例为10-30mm: 10-20mm: 5-10mm: 0-5mm: 铣刨料 = 17%:13%:11%:24%:35%,水泥剂量为4.5%；对于中等及以下交通荷载的基层，旧料利用率可达到45%，水泥剂量可采用3.0%。

## 6 现场施工情况

项目位于青海省海东市乐都区、化隆县境内，水泥厂拌冷再生用于K0+209.969 ~ K53+915.635段底基层中。将G6京藏高速养护过程中产生的约70000m<sup>3</sup>铣刨料筛分成4.75mm以下细集料和4.75mm ~ 13.2mm粗集料两种规格，新旧料掺配比例根据不同铣刨料和新添集料的性质及目标配合比进行现场试验确定，铺筑后的各项指标既能满足设计要求，又达到了相应的经济效益。

## 7 经济性与环保性分析

### 7.1 成本构成与优化路径

水泥冷再生的成本由“直接成本”和“隐性成本”两部分组成：直接成本包括旧料运输费（平均2.5~3.0元/立方米）、旧料筛分费（若筛分则增加4.0~5.0元/立方米）、新集料采购费（10~15元/立方米）及水泥采购费（400~450元/吨）；隐性成本则包括废料填埋费（若不利用旧料，需额外支出8~10元/立方米填埋费）、环境污染治理费（筛分过程产生的粉尘需处理，成本约1.5~2.0元/立方米）。

基于成本结构分析，优化策略明确：一是旧料采用统料利用（不筛分），可省去筛分费与粉尘治理费，同时减少旧料运输过程中的损耗，每立方米成本可降低5.5~7.0元；二是在满足强度要求的前提下，优先选择“中高旧料利用率+低水泥剂量”组合，例如旧料利用率35%搭配3.5%水泥剂量的方案，比重旧料利用率15%搭配

2.5%水泥剂量的方案，每立方米可节约新集料成本约4.5元，且旧料利用带来的环保效益可进一步降低项目的社会成本<sup>[4]</sup>。

### 7.2 环保效益量化

以某高速公路养护项目为例，若采用传统施工工艺，需产生约70000立方米铣刨废料，全部填埋需占用约12亩土地（按填埋深度2米计算），且会造成土壤污染与资源浪费；而采用水泥冷再生技术后，70000立方米铣刨料全部被利用，不仅节约12亩填埋用地，还减少了新集料开采量（相当于少开采约50000立方米石料，保护约0.8亩山体植被），同时降低了运输车辆碳排放（减少运输里程约140000公里，碳排放降低约28吨），环保效益显著。

### 结论

水泥厂拌冷再生用于重载交通基层的最佳旧料掺量为35%，最佳水泥剂量为4.5%；用于重载交通底基层的最佳旧料掺量为35%，最佳水泥剂量为3.5%；用于中等及以下交通荷载的基层，旧料利用率可达到45%，水泥剂量可采用3.0%。

对于旧沥青铣刨料采用水泥冷再生作为基层，其强度介于半刚性与柔性之间，可以减少基层反射裂缝。

在满足规范的前提下，沥青铣刨料作为统料掺加可提高经济性和环保性。

### 参考文献

- [1]于天龙,方冉,李英泉,于洋.浅谈沥青路面冷再生技术及其研究现状[J].北方交通.2009(11).
- [2]胡嵬,贺启蒙.沥青路面冷再生技术探讨[J].中国水运(下半月刊).2010(10).
- [3]陈晓辉.沥青路面冷再生技术论述[J].交通世界.2006(09).
- [4]王军,刘占广.沥青路面冷再生施工工艺[J].公路交通科技(应用技术版).2008(06).