

摘要

公路作为一种交通运输方式，具有“门到门”运输的优势。高速公路起骨干网络作用，农村公路则是其有力的支撑，两者共同完成这一目标。而且农村公路对农村经济发展、农民生活水平提高、农业生产有着特殊意义。随着农村公路作用已经得到政府部门广泛认识和重视，全国范围内农村公路建设蓬勃开展，农村公路的面貌大为改观。

由于某些方面的原因，在我国的农村公路建设中大量地采用水泥路面，由于在设计中没有考虑到农村公路与高等级公路在资金、人员、施工、养护管理等方面区别，或者没有考虑到公路所在地气候和环境的不同，在所有的农村公路水泥路面中千篇一律地采用同一种路面结构，这种设计造成了农村公路水泥路面的大量破坏，以至于对我国的公路建设事业造成巨大的损失，因此十分有必要对不同地区农村公路水泥路面的设计进行研究，以达到减少破坏的目的。

本文针对重庆地区具体的气候、地质和交通量情况，按照国家计划发展委员会和交通部发布有关文件对农村公路的定义，将重庆地区部分交通量较小的二级、三级、四级和等外级公路划分为农村公路的范畴。

本文在对重庆地区现有农村公路水泥路面的病害、交通状况、筑路材料和水文气候等调查资料进行统计分析，并对农村公路路基强度、路面材料参数及交通量划分进行研究的基础上，最后提出了重庆地区农村公路的设计原则及典型结构以及材料品质、质量控制等措施。

关键词：农村公路 水泥路面 设计 典型结构

Abstract

As a kind of transportation method, highway possesses advantage of “door to door”. Expressway plays a main role in highway system, rural highway is important implement of expressway, they achieve the goal together. And rural highway has special significance in developing economy of rural area, improving living standards and agricultural production. With the role of rural highway understand and emphasized by governments, rural highway is constructed vigorously all over the country, its situation takes great changes.

Because of some reasons, the cement concrete has been used in the rural road widely. There have lots of damages in the cement concrete of rural road pavement, and these damages have got a lot of losing in building rural road in our country , because in design people does not thinking of the differences between the freeway and rural road in fund、staff、construction、 maintain and manage and the other factors, or without thinking of the differences in the climate and environment, they have used one kind structure in all the rural road in our country. So it is very necessary to research the design of the rural cement concrete road in different district, in order to reduce the damage of the rural cement concrete road.

This paper is dead against on the climate、geological and the traffic, and according to the define to the rural road of the country development reform committee and communication department, we divide some small traffic in the second-class road、third-class、forth-class and lowermost road into the rural road. And design some model construction according to the traffic in the district of ChongQing , after that, this paper has discussed how to design the high quality with lowest cost in the rural road according to the concrete conditions.

This paper advanced some design principles、model construct、material character and quality control, based on statistics and analysis of the diseases、traffic conditions、pave materials and hydrology, and researched on the strength of roadbed、pave material parameter、staff in ChongQing rural road.

KEY WORDS : rural road , cement concrete pavement, design , model construct

重庆交通大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：边加海

日期：2006年4月6日

重庆交通大学学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权重庆交通学院可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密口，在____年解密后适用本授权书。

本学位论文属于

不保密口。

(请在以上方框内打“√”)

学位论文作者签名: 边加海

指导教师签名: 周晓

日期: 2006 年 4 月 6 日

日期: 06 年 4 月 6 日

第一章 绪 论

1.1 概述

1.1.1 我国农村公路的现状

随着我国国民经济的发展，我国的高速公路建设取得了举世注目的成绩，路网密度、公路里程数都大大增加，高速公路里程由改革开放前几乎为零快速增长到接近3万公里，居世界第二位，全国范围内的公路骨干网络已经基本形成，为我国国民经济快速增长做出了巨大贡献。但作为高速公路毛细血管作用的农村公路建设相对滞后，这种相对滞后的农村公路建设，对高速公路网的作用和使用效率都产生了显著的影响。

就我国的基本国情而言，13亿人口中有7亿多生活在农村，如何发展农村经济，提高农村居民的文化生活水平，已成为我国国民经济发展中的首要问题。发展农村经济离不开公路这一基础设施的支持，但是目前农村公路状况不容乐观，也无法满足农村经济发展的需要。

农村公路建设落后主要表现在两个方面：

第一，农村公路路网通达深度不够，到2003年年底为止，全国还有184个乡镇、5万4千多个行政村不通公路，其中大部分分布在西部地区，中、东部地区也有一定数量的行政村不通公路。

第二，农村公路的技术等级低，到2003年年底为止，全国104.3万公里的砂石路面、土路面里程中，农村就有92.3万公里约占88.5%。还有未纳入统计的村村之间的简易公路约120万公里，这些公路缺桥少涵，晴通雨阻，抗灾能力低、路况差，亟需提高技术等级。

1.1.2 提高农村公路技术等级的必要性及作用

路是经济的载体、文明的象征、开放的标志、致富的基础，没有农村公路的现代化，就没有农村的现代化。加强农村公路建设，是继西部地区通县公路建设之后更大规模的农村交通基础设施建设，广泛地开展农村公路的建设对我国经济的发展和建设和谐的小康社会具有重大的现实意义和长远的影响。主要表现在以下几个方面：

第一，解决“三农”问题要求我们必须加强农村公路的建设

党的十六大提出了全面建设小康社会的宏伟目标和战略部署，去年的中央农村工作会议强调：“为了实现全面建设小康社会的宏伟目标，必须统筹城乡经济

社会发展，更多地关注农村，关心农民，支持农业，把解决好农业、农村和农民问题作为全党工作的重中之重”。新一届政府也把“加强农业基础地位，促进城乡协调发展，大力改善农业和农村基础设施条件”作为本届政府的重要使命。

解决农民问题的关键是增加农民收入；解决农业问题的关键是调整农业产业结构；解决农村问题的关键是改善城乡二元结构，加快城镇化进程。发展和改善农村公路交通，是解决好“三农”问题的重要前提和基础条件。

加强农村公路的建设，一是可以使沿线农民通过材料供应、劳动力投入等方式，获得直接收入；二是可以加强城乡沟通，使农民按照市场需求调整种植结构和品种结构，搞活农产品流通，提高农民进入市场的组织化程度和农业综合效益；三是可以引导乡镇企业合理集聚，完善小城镇功能，壮大县域经济，促进农村剩余劳动力更多更快地转移到小城镇就业。因此，加强农村公路建设的基本出发点，就是贯彻落实党中央战略决策和国务院部署，为解决“三农”问题、加快农业和农村经济发展提供交通运输支持。

第二，全面建设小康社会要求我们必须加强农村公路的建设

实现全面建设小康社会的宏伟目标，最繁重、最艰巨的任务在农村。中央反复强调，没有农民的小康就没有全国人民的小康，没有农村的现代化就没有国家的现代化。特别是少数民族地区、革命老区、边疆地区和贫困地区，交通基础设施建设滞后仍然是制约社会经济发展的突出矛盾。落实全面建设小康社会的战略部署，必须更加重视和采取有力措施，加快推进县际和农村公路建设，把农民增收的路子铺到家门口，把农业和农村经济结构调整的路子修到家门口，把推进城镇化进程的路子通到家门口。所以，加强县际和农村公路建设的落脚点，就是要更好地改善农村生产和生活的基础设施条件，全面推进农村小康建设。

第三，加强农村公路建设，是实现交通新的跨越式发展的必然要求

目前，作为干线路网支撑的县际公路和农村公路发展相对滞后，总量不足，“通达问题”还未得到根本解决，“通畅问题”还未得到根本改善，影响和制约着交通运输的结构优化和整体功能的发挥。从交通发展的整体性、协调性、可持续性来讲，农村公路建设直接关系到我国路网整体水平的提高；离开了农村公路的跨越式发展，也不可能实现交通跨越式发展。加强县际和农村公路建设的立足点，就是促进路网结构优化和协调发展，充分发挥路网整体功能，为实现交通新的跨越式发展奠定更加坚实的基础。

1.1.3 农村公路近几年的发展目标

农村公路的建设主要解决“通”和“畅”两个方面问题，从理论上讲“通”的问题在我国东部大部分地区已经得到解决，在中、西部地区还需要进一步的实施，尤其是在西部地区。而“畅”的问题不管是在东部还是在西部都需要进一步

地解决。解决“通”的问题就是要解决路网通达的深度问题。解决“畅”的问题，就是要解决提高路面等级的问题。目前虽然我国的高速公路网已经基本形成，但由于农村公路的建设相对滞后，总体路网还没有形成。主要表现在地区农村公路发展的不均衡，为了解决这一矛盾，我国制定了农村公路发展规划，力争到“十五”末，全国农村公路的通达深度和服务水平有明显提高，力争使全国乡镇通公路率达到99.8%，高级、次高级路面铺装率达到80%以上；行政村通公路率达到96%，高级、次高级路面铺装率达到50%以上，具体体现在：

东部地区的北京、上海、天津三个直辖市实现村村通沥青（水泥）路，山东、辽宁、河北三省基本实现村村通沥青（水泥）路，广东、江苏、海南、福建、浙江五省基本实现乡乡通沥青（水泥）路、村村通公路。

中部地区的山西、吉林、安徽、河南、湖北五省基本实现乡乡通沥青（水泥）路、村村通公路，湖南、江西、黑龙江三省乡乡通沥青（水泥）路、村村通公路的基本目标。

西部地区除西藏外，其他省、区、市基本实现乡乡通公路，陕西、云南、重庆、青海和四川五省市基本实现行政村通公路，其他省、区、市行政村通公路率超过80%。

根据最新的计划安排，在“十一五”期间，国家将投资1000亿元对所有县乡公路进行改造和道路升级，以满足国民经济发展的需要。到2010年，东、中部地区所有村将实现通油路（水泥路），西部地区所有乡镇将实现通油路（水泥路）。届时农村公路的建设将大大提速，我国路网将得到进一步地完善。

当前我国农村公路建设方面将主要精力集中在“通”和“畅”的问题上，但重点是“畅”的问题，也就是提高路网的等级方面，目前就重庆情况来说，“通”的问题在大部分地区已经基本得到解决，只有在部分较为落后的地区“通”的问题还需要进一步地完善。因此，如何合理地选择农村公路的路面等级、路面类型以及路面的结构组合，将成为重庆公路建设者今后几年着重研究和解决的问题。

1.2 农村公路路面类型的选择

1.2.1 水泥路面的应用现状

1、水泥路面在高等级公路中的应用

现阶段我国高等级公路路面类型主要有沥青路面和水泥路面，这两种路面类型各有优缺点，在我国公路建设中的应用也各不相同，在过去相当长的时间里，由于经济的原因，我国公路建设中大量使用水泥路面。

自20世纪90年代以来我国的水泥路面以前所未有的速度快速发展，截止到1990年，我国建成的水泥路面仅11,373Km。到2003年年底，这一数据达到

220,000Km。在 14 年中净增 200,000Km，增长了近 20 倍，年平均增长率为 26%，截止 2003 年我国沥青路面和水泥路面两种高等级路面的总里程近 350,000Km，其中水泥路面占 58%，目前水泥路面每年在建规模超过 25,000Km，我国已经成为当今世界上拥有水泥路面里程最多的国家之一。

但由于水泥路面的难于修复和舒适性不佳这两个致命的缺陷，导致了水泥路面在高等级公路路面中的应用越来越少，大有被沥青路面完全取代之势，即使在我国水泥路面建造技术和质量都处于全国领先地位的广西、广东、安徽等地，也出现了沥青路面一刀切的情况。

2、水泥路面在低等级公路中的应用

为了加快农村公路的建设“修好农村路，服务城镇化，让农民兄弟走上油路和水泥路”。国家启动了“通畅工程”和“通达工程”。按照规划，至 2020 年我国公路通车里程将达到 260-300 万公里。可以预见水泥路面仍将有很大的发展，今后几年水泥路面的建设规模将会以每年数万公里乃至数十万公里的速度向前延伸。具体的举措是今后 5 年国家将投入 1000 亿元，建设农村公路，2003 年落实的计划是完成 17.6 万公里。按照我国的资源状况，农村公路要因地制宜，更多地采用水泥路面来建设，因此可以预计今后水泥路面的建设规模将得到空前的发展。

与水泥路面在高等级公路中的应用越来越少相比，随着我国农村公路建设的广泛开展，水泥路面在农村公路中的应用却越来越广泛，据不完全统计，在最近几年新建设的农村公路中，水泥路面约占的 70% 左右，在乡通村、村通村公路中这一比例几乎达到了 95% 以上，尤其是在山区，这一比例更高。

水泥路面的特点使得水泥路面在当前的情况下更适合于低等级公路建设。这是造成水泥路面在高等级路面中应用越来越少，而在农村公路中的应用越来越广泛的主要原因。

1.2.2 水泥路面与沥青路面用于农村公路建设优缺点的比较

在我国低等级公路建设中广泛采用水泥路面，这与水泥路面与沥青路面各自的特点密切相关。在我国，相比较沥青路面而言，水泥路面更适合低等级公路的建设，它具有许多先天的优势。主要表现在以下几个方面：

第一：在经济性方面

水泥路面的经济性较好，主要表现在水泥路面的建设费用较少。虽然在农村公路的建设中，水泥路面的一次性投资并不比沥青表面处治等路面形式少，但由于水泥路面的使用年限相比沥青表面处治等路面而言要长很多，一般来说，低等级水泥路面的使用年限为 20 年，而沥青表面处治等沥青路面则远达不到这个使用年限，因此相比较低等级的沥青路面，水泥路面的年平均费用较少。

水泥路面的经济性好，还表现在养护费用较少上。与沥青路面相比，在合理的设计、施工前提下水泥路面的养护费用较少，沥青路面特别是沥青表面处治的低等级路面，每隔几年就需要一次大修，且需要持续不断的养护和管理才能够保持良好的使用状态，而水泥路面则不同。首先，由于水泥路面的强度和刚度都较大，它的使用、大修年限较长。其次，在低等级公路中，水泥路面除了刚铺筑完毕后的养护外，需要的养护管理较少，或者说只需要少量的养护就可以提供与沥青路面相媲美的使用性能。

第二，在材料方面

我国农村公路建设重要的原则之一是就地取材，因此，能否就地取材以及路面对材料的要求，将成为该种路面类型能否在农村公路中广泛应用的先决条件。

首先，在结合料方面

我国的缺乏沥青且质量不好，大量的沥青需要从国外进口，据统计，我国每年进口的沥青都在 100 万吨以上，加上近期国际市场上原油和沥青价格大幅上涨，沥青运距较远，运费居高不下，在可预见的几年，沥青的供应情况不容乐观，国家不可能将有限的沥青资源用于农村公路建设。而反观水泥路面在结合料的选择较为广泛，到目前为止我国的水泥产量已经接近 7 亿吨，水泥的出厂单价不超过 400 元/吨，在这当中有相当一部分水泥是小水泥厂生产出来的，其质量用于高等级公路的建设是不合适的，但对于农村公路的建设来说，由于其价格和路面的要求较低，对于解决当前农村建设资金紧张这一问题有一定的作用。

其次，在集料方面

沥青路面对集料的磨耗值、磨光值以及集料的强度等方面具有较高的要求，即使对于农村公路也不能有较大的降低，这关系到路面质量和使用寿命，它不可能完全做到就地取材。而反观水泥路面，除了裸石水泥路面外，一般对集料的磨耗值、磨光值没有过多的要求，仅在强度上有要求，这就为集料的就地取材创造了条件，就重庆而言，采用水泥路面，集料基本上可以做到就地取材，不仅节约了材料的成本还可以节约大量的运费。

总之，从以上的分析中我们可以看出，在农村公路的建设中，采用水泥路面比采用沥青路面有着不可替代的优势，尤其是在重庆这个多石料地区，这一优势更为明显。

第二章 重庆地区农村公路路面现状调查与定义

2.1 农村公路水泥路面的研究现状及存在问题

2.1.1 农村水泥路面的研究现状

我国目前在农村水泥路面设计方面的研究很少。由于传统观念，加之农村公路的建设近年来才广泛开展原因，因而在设计方面过去几乎没有开展。近几年随着我国大规模农村公路建设的开展，农村公路水泥路面的设计被提到议事日程上来，在这方面的研究也如火如荼地开展起来，这种大规模地开展首先表现在地方和中央两极政府都高度重视。

1、在中央方面

交通部多次召开会议要求加强地方公路的建设，要求各地方根据自己的实际情况搞好农村公路的建设，让农民兄弟走上油路和水泥路的目标。国务院温家宝总理、黄菊副总理、曾培炎副总理对交通部关于加强农村公路建设做出了重要批示，充分肯定了交通部对全国农村公路建设的安排意见，对农村公路建设提出了具体而明确的要求。

在这一大环境的影响下交通部专家委员会出版了《县乡公路水泥路面设计及施工》，该书系统地介绍了农村公路水泥路面设计的几个主要方面，包括农村公路路基宽度、结构组合、材料选择、排水设计及施工机械和施工方法的选择等。

新编制的《公路水泥路面设计规范》(JTG D40—2002) 和《公路水泥路面施工技术规范》(JTG F30—2003) 放弃了我国现行设计规范中采用的确定型设计方法而采用概率型设计方法。该方法主要加强结构组合设计和材料组成的要求，淡化应力的计算和分析。在材料的选择及厚度的确定方面，新规范提出了各种交通量等级下宜选用的基层及面层类型及其适宜的厚度范围，在材料与厚度的选择方面除了要考虑交通等级的变化外，还需要考虑由于公路等级（安全等级和目标可靠度）和其他因素变化而造成的材料和结构尺寸及各种参数的变异。

2、在地方方面

各级地方政府都根据当地实际情况，制定了适合本地的工程技术标准，并用来指导当地的农村公路建设和发展。由重庆交通学院完成的重庆地区交委项目“重庆地区农村公路简易施工手册”(2003年)。此项目根据重庆地理、经济等情况确定重庆农村公路的等级标准、不同交通量下的路面结构类型的选用，对面层、基层和路基的施工工艺过程及质量控制提出具体意见，为重庆农村公路建设做出了规范性、一致性的规定，具有很强的指导作用。

当前甘肃、山西、山东、吉林及青海等省市也根据自己所在地区的气候环境和自身经济发展需要，制定出了不同的公路工程技术标准，用以满足自身的需求。除此之外，为了更好地建设农村公路使其规范化，交通部公路司 2004 年 2 月出台了《农村公路建设标准指导意见》（征求意见稿），这些标准及指导意见较为系统地介绍了农村公路的建设标准，为农村公路的建设提供了宝贵的建设依据。

但这些标准及指导意见涉及到路线、路基、路面等各个方面，涉及的范围较广，没有具体研究某一个方面，特别是在使用广泛的水泥路面方面涉及较少。这就使得如何根据当地实际情况，具体地研究在农村公路中应用较为广泛水泥路面，具有十分重要的有意义。

2.1.2 农村水泥路面存在的问题

当前农村公路水泥路面的破坏现象较为严重，本文将以重庆地区农村水泥路面为例找出农村水泥路面存在的问题，制定农村公路水泥路面的典型结构。

归纳起来我国农村水泥路面存在的问题主要表现在以下几个方面：

1、总体结构偏弱

第一：农村公路的基层类型选择不当，等级较低

当前农村公路中有一部分是泥结碎石、片石基层等低等级的基层，甚至还有部分农村公路没有设置基层。调查结果表明，所有病害严重的路段都是直接在这些基层上直接铺筑水泥路面的，这三种路面结构铺筑的水泥路面在通车两三年内都出现了不同程度的病害，尤其以没有设置基层的路面出现的病害最严重、最多。

第二：基层和面层的设计厚度不够

一部分农村水泥路面在发生病害后，在检验开挖后才发现路面的厚度不足，远远达不到水泥路面厚度的设计要求，甚至一些水泥路面的厚度只有 10—15cm。相比较面层的设计厚度不足，基层的设计厚度不足对路面产生病害的影响要小得多，但基层厚度要保证达到一定的强度刚度和抗冲刷能力。除此之外，厚度不足还表现在面层和基层的总厚度不足上。

第三：用于组合的材料选择不当

部分农村公路由于施工和设计人员技术水平的问题，不能正确地选择材料，在材料的选择中不能提供足够的强度、刚度、抗冲刷和抗冰冻等基层要求，有一些水泥路面材料的选取只单一地考虑当地资源条件，没有考虑路面设计中存在一系列的技术问题，造成了修筑完后路面发生病害。

原材料和配合比要求粗放，原材料选择不符合技术标准，水泥路用品质要求不严格，有的农村水泥路面中使用了游离的氧化钙和氧化镁严重超标的水泥，使用不到一年，造成路面全线崩溃。有些在水泥中掺加了过多的粘土、煤矸石、火山灰等导致路面开裂严重。有些地方的混凝土外加剂和掺合料随意使用，不考虑

需要与否和使用量的大小。集料的要求相当粗放，有的干脆使用抛石混凝土，整个路面厚度只有一块大的石头。这也是当前农村公路路面组合中存在的问题。

2、施工机械化程度较低

尽管我国的水泥路面施工技术已经有了一个质的飞跃，大量的施工技术如：滑摸摊铺技术、轨道摊铺技术、小型机械施工技术已经相当成熟，但由于农村技术人员奇缺，掌握这几种施工技术的人更少，此外，修筑农村水泥路面的资金较少，这些都制约施工技术在农村公路水泥路面建设中的发展。现在我国农村水泥路面建设大量使用人工摊铺，这种施工方式的变异性较大，施工质量没有保证。

3、面层板的振实不够

我国农村水泥路面板普遍采用人工施工，人工施工的最大缺点是水泥路面板欠振实，漏振较多，有些地方甚至出现水泥路面板不振实的情况，这些都给农村路面的质量造成了严重的影响。据有关资料统计，当振捣密实的混凝土强度达到 6.0Mpa 时欠振混凝土仅 2.6Mpa ，没有经过振实的更低。 2.6MPa 的水泥路面在3年内肯定破坏。不少路面由于振实不均匀或者没有振实而导致局部混凝土强度偏低，磨损相当严重，表面裸露骨料，出现了平整度破坏相当严重的病害情况。

4、混凝土配合比不合理

农村公路的设计和施工一般都是有一些级别较低的设计和施工企业进行，有些等外级公路根本就没有经过完整的设计，因此在农村公路的建设中往往容易造成如水泥用量过小或砂率用量过大，外加剂使用不当等方面的问题，在砂石料的选择方面，设计人员往往采用的当地现成的材料，甚至将某些级配明显不合理的石料也用于农村公路的建设中去。

另外在施工过程中，由于人员的专业素质和资金问题，容易造成设计中的配合比不能得到完全的实施，在有些农村公路的建设中根本不遵照设计的要求进行，存在着边设计边施工，甚至不设计就施工的现象，这也是造成配合比不合理的原因。

5、混凝土强度不足

在当前农村公路的建设中，由于资金的原因不能也不允许采用高强混凝土，虽然在低等级农村公路的建设中，可以适当地降低水泥的标号，但降低的幅度不能过大，在重庆的某些农村地区，甚至采用28天强度小于325的水泥，在这种情况下根本不可能考虑水泥的抗折强度问题。

2.2 重庆农村公路水泥路面的使用及破坏情况

1、重庆农村水泥路面的使用情况

随着三峡库区的开发建设国家西部大开发战略的实施，重庆近年来的公路

建设迅速发展，据统计，截止 2000 年底，全市行政区内有公路里程达 29243km，其中高级路面里程 5571km，水泥路面里程达 5297km，占高级路面的 96.1%。这些道路的修筑使得重庆的公路网状况得到了显著的改善，提高了重庆地区道路的服务水平，使得重庆的路网变得十分发达。

2、重庆农村水泥路面的破坏情况调查

笔者通过各种途径，查阅了重庆农村公路水泥路面的有关资料并对附近地区的水泥路面进行了实地调查，并对本人调查资料和前人所做的调查资料进行了分析总结，调查资料分析表明其中有 28 条道路的水泥路面存在着不同程度的破坏病害，约占被调查路段的 40%，路面破坏情况比较严重，基本反映了重庆地区病害水泥路面的破坏比例。表 2.1 是调查资料统计分析后，可以得到的部分资料统计：

表 2.1 路面病害调查资料结果汇总表

路段名称	调查里程 (km)	路面结构形式	病害情况简述
苏拉口—五桥	30	混凝土板 (手摆) 片石 旧泥结碎石路面	断板、露骨、沉降、全段路破坏严重
沙河—分水	20	混凝土板 石灰砂粒 (4cm) 沥青表处旧路	有少量的断板和露骨，全路整体情况良好
万州—忠县	30	混凝土板 (手摆) 片石 旧泥结碎石路面	局部路段断板，露骨严重，由于滑坡引起的路面整体沉降破坏
万州—开县	86	混凝土板	主要由于不良地质 (滑坡) 引起的路面整体下沉破坏
渝—巫路	50	混凝土板 砂砾 旧泥结碎石路面	大量断板、网裂、沉降
开县—城口	40	混凝土板 砂砾 旧泥结碎石路面	由大量重车引起的开裂断板
涪陵—南川	30	混凝土板 旧泥结碎石路面	通车时间近一年，主要病害为未设横向拉杆引起的错台、路况良好
涪陵—长寿	30	混凝土板 砂砾 旧泥结碎石路面	纵向施工缝、混凝土板断裂、露骨、由于路基沉降不均匀引起的沉降破坏
涪陵—丰都	30	混凝土板	由于路基沉降不均匀引起的沉降破坏，总体路况良好

彭水—涪陵	15	混凝土板	局部路段的断板，整体状况良好
彭水—黔江	80	混凝土板 (手摆)片石 旧泥结碎石路面	全线病害严重，包括断板，由于路基滑动引起的路面破坏，露骨，路基压实不均匀引起的破坏
黔江—酉阳	60	混凝土板 (手摆)片石 旧泥结碎石路面	病害较严重，露骨，断板，不良地质引起的路面破坏
合川—武胜	24	混凝土板 水泥稳定砂粒 (手摆)片石	路况良好，基本无病害
塘坝—潼南	20	混凝土板 水泥稳定碎石 沥青表处 旧泥结碎石路面	个别路段有纵向裂缝外，全路状况良好，无病害
柏梓—塘坝	20	混凝土板 水泥稳定碎石 (手摆)片石 旧泥结碎石路面	路况良好
铜梁—西泉	2.5	混凝土板 水泥稳定碎石 (手摆)片石 旧泥结碎石路面	由于填方路基的压实不足引起的路面纵向裂缝和沉降破坏
塘坝—铜梁	30	混凝土板 水泥稳定碎石 (手摆)片石	局部路段有露骨，表面不平整，路况整体良好

结合上表可以得出以下结论：

第一：农村公路水泥路面的破坏较为严重

从资料统计结果来看，在有资料统计的18条道路中只有沙河—分水、涪陵—丰都、合川—武胜、塘坝—潼南、柏梓—塘坝、合川—武胜六条道路路况为良好，其余路面或多或少地存在一定的病害。其中四条道路的路面破坏严重，它们分别是苏拉口—五桥、彭水—黔江、黔江—酉阳、永川县道，其余的路面也都存在一定的破坏现象。

资料统计还表明，省道的破坏较国道严重，而县道比省道的破坏更严重。造成这一现象的原因笔者认为主要是设计人员在结构组合方面和施工方面存在问题，合理、经济的设计和施工是保证水泥路面质量的根本保证。

第二：破坏的类型

① 断板

在有资料统计的 18 条道路中，存在断板现象的有九条，其中有一部分是属于严重断板，全路段存在断板有七条，局部或断板较少的有两条，最多有九条水泥路面不存在断板的现象。这当中有相当大部分是由于路基的压实度不足、半填半挖路基引起的路基沉降不均匀而引起的断板。

② 露骨

露骨是重庆水泥路面中存在的严重问题之一，从统计资料来看，存在露骨现象的路面有七条，占统计资料中统计的 40%，全路段存在露骨现象的有五条。

③ 由于沉降不均匀而造成的路面破坏较多

路基沉降造成的路面破坏较多，这是重庆地区路面破坏区别于其他平原地区的特点之一，在统计的 18 条道路中，有七条是由于路基或由于地质原因而导致的路面破坏。这就提示了我们在重庆的水泥路面设计中要充分注意路基沉降的均匀性，防止由于路基的不均匀沉降而造成的路面断板和纵向裂缝。

第三：破坏与结构组合的关系

从资料统计和调查的情况来看，重庆农村公路水泥路面的结构层数较为复杂，不统一，主要以 3-4 层为主，结合部分两层结构甚至还有一层结构。从破坏的严重程度来看，采用层数越多不一定破坏就越少，如铜梁—西泉路段采用了四层结构，但仍然出现了严重的纵向裂缝和沉降破坏，相反结构层数较少也不意味着破坏就一定严重，如彭水—涪陵路段，只有一层水泥板，但整体路况较好，除了出现少数断板外没有其他大的病害出现。

概括起来说，路基是水泥路面设计的基础，凡是严重的断板或者是纵向裂缝多半是由于路基的不均匀沉降而引起的。没有一个稳定、坚实的路基，不管采用多少层的路面结构，都不可避免地造成路面断板、纵向裂缝等严重的破坏。在资料统计中，有 10 条道路的破坏形式是由于路基引起的，在这当中就有结构层数较多而路基状况不好的情况，这在另外一方面也说明了，路基也是结构组合的重要组成部分。设计一个质量良好、破坏少的水泥路面，首要是重视路基的状况，在地质状况较为复杂的重庆地区尤其应当如此。

当然，在相同的路基条件下，在结构组合方面较好的水泥路面结构，相比较其他的路面结构而言，具有更长的使用寿命，能够更好地满足使用者的要求。

2.3 重庆地区农村公路的定义

公路按使用性质可分为：国家公路、省公路、县公路和乡公路（简称为国、省、县、乡道）以及专用公路五个行政等级。按使用任务、功能和适应的交通量可分为：高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路五个等级，此外

还有等外级公路。但农村公路不能用以上的任何一种方式来划分，农村公路的划分应该结合当地的实际情況，不同的地区、环境、经济发展水平、交通量等都應該对农村公路的划分有影响。

目前，有关农村公路的定义很多，而且也不统一。如在国家计划发展委员会和交通部发布的急/计基础[2003]410号文件〈县际及农村公路改造工程管理办法〉中对农村公路有如下定义：农村公路一般是指通乡（镇）、通行政村的公路。通乡（镇）公路是指县城通达乡（镇）以及连接乡（镇）与乡（镇）之间的公路。通行政村公路是指由乡（镇）通达行政村或村村通的公路。

对于重庆来说，由于重庆经济发展水平较低，重型车辆少、轴载小，大量的国道和省道均采用二级公路或者三级公路的公路等级，提供给少量重载车行使的同时，主要提供给县乡或者行政村使用，因此根据国家计划发展委员会和交通部发布的急/计基础[2003]410号文件〈县际及农村公路改造工程管理办法〉中对农村公路的定义，对于重庆地区来说将中等交通量以下的公路划归农村公路范畴，根据交通量统计结果，将部分交通量较小主要提供给县乡或者农村使用的二级公路、三级公路、四级公路以及等外级公路划分为农村公路范畴。

第三章 重庆地区农村水泥路面设计原则、技术等级及特点

3.1 重庆地区农村水泥路面的设计原则

农村公路水泥路面具有资金紧张、资金使用不合理、施工质量差、养护管理落后、养护管理人员专业素质低等方面的缺点，导致其路面破坏程度比高等级公路严重，总体说来在农村水泥路面的设计过程中要遵循“尽力而为、量力而行、注重实效、确保质量、因地制宜、就地取材、保护生态、改善环境”的原则，主要表现在以下几个方面：

3.1.1 在设计和施工方面

第一：必须关注综合成本的降低

我国农村公路的养护资金严重不足，因此应在建设和养护成本这两方面进行优化选择，力求取得综合成本的降低，而不应该片面追求建设成本的降低。

我国西部农村公路路面使用性能和结构性能总体上处于中至差的水平，为改变这种状况，应该适当提高新建农村公路路基和路面的技术标准。农村公路的路面结构比较薄弱，更容易受到超载的破坏，应该在路面设计时予以充分考虑。从目前农村公路施工所用的材料和设备看，几乎已没有降低造价的空间。

在关注全寿命意义上综合成本的降低以及适当提高农村公路修建技术要求或标准的前提下，应采用技术措施降低工程造价，具体表现在以下几个方面：

（一）确定合理的路面宽度和结构

对于农村公路来说，远景交通量不会太大，因此路基路面宽度的确定应遵循满足当前需要，适当留有发展余地的原则。采用适应当地自然气候条件和交通条件的路面结构，能承载规定的交通荷载，结构稳定、经久耐用是路面设计和施工要达到的首要目标，也是降低工程造价的前提。这就要求路面厚度要合理，路面材料的选用和路面结构组合与水、温度状况相适应。

（二）充分利用地方材料

降低路基路面工程造价最为关键的技术是就地取材，是地方材料或非标准材料的应用。笔者认为，对于农村公路这样的小交通量公路，在经济条件受限的情况下经过试验论证可以适当放宽对材料的要求，以满足一时之需。当然，这并不是说要用降低路面质量作代价，而是必须经过严格的试验论证。为此我们应该研究这些非标准材料的应用技术，研究组成设计、稳定方法、材料参数（抗压强度、劈裂强度、抗压回弹模量、干缩和温缩等）等，供生产应用。

这一点在重庆地区得到了验证，在大足县，交通部门将红碟锶厂的废锶矿铺筑农村公路的面层，这样既解决了红碟锶厂废锶矿的存放问题，也解决了大足县

农村公路铺筑费用的问题。同样在荣昌县，该县采用电厂的粉煤灰和煤矸石来铺筑农村公路沥青路面和水泥路面改造的垫层和基层，彻底解决了荣昌县在公路建设资金紧张的问题。

第二：研究推广简单实用的技术

农村公路大多由当地县级公路施工单位施工，技术人员的素质和技术水平相对较弱，因此应该研究和推广简单实用的技术。施工的工艺应该有广泛的适应性，应能适合人工施工和简单机具施工，同时还应简便易行。

第三：要符合小交通量的特点

根据交通部对重庆地区农村公路所做的调查，路网密度低，低等级公路所占比例大是农村公路网的主要特征；小交通量、轻轴载是农村公路的交通特征。但在农村公路的结构调查资料中，我们多次发现有这种现象：即两条公路所承担的交通量相差很多，但路面结构和结构层的厚度却相差无几。这显然是极不合理的，造成了许多浪费。如果按交通量和交通组成进行设计将会节约很多宝贵的建设资金。

第四：在特殊的地区采用特殊的施工方法

重庆地区的地质状况复杂，这就要求我们在特殊的地区要采用特殊的施工方法，如对软土地区或高填方路基、有可能产生较大沉降的路段，宜采用“分期修建”或“一次设计分期实施”的原则进行设计和施工。待路基趋于稳定后视路面的具体情况再铺筑路面面层。

3.1.2 在环境保护方面

按照交通部的要求，在生态系统正常循环地区，农村公路的建设要尽可能地减少对环境的影响；在生态环境脆弱地区，农村公路的建设要避免造成生态环境的失衡；在生态环境已经破坏的地区，农村公路的建设要最大限度地支持生态系统的恢复。

主要表现在以下几个方面，在线位上加强规划，在勘察设计中深入地了解地质地貌、做到科学、合理，力求不破坏自然资源和自然环境，避免大填大挖，设计标准和设计内容要考虑当地的实际情况和需要。同时要灵活运用标准在保证安全和服务功能的前提下，尽量采用中低值，努力降低工程造价，节约工程投资。

3.2 各种等级的确定

3.2.1 农村公路等级的确定

农村公路等级的确定是一项系统的工程，需要考虑的因素较多，这当中不仅要考虑的当地的发展水平、环境条件和交通状况等，还需要考虑国家公路网的建设，要充分发挥农村公路作为高等级公路毛细血管这一重要的作用，不能漫无目

的，随便确定农村公路的等级。就当前重庆地区的具体情况而言，农村公路等级不宜修得过高，主要满足当前发展的需要，并遵循适度超前的原则。

根据重庆地区的具体情况，宜按照表 3.1 所示的公路等级来修筑农村公路：

表 3.1 农村公路技术分级

公路类别	地级市—县 县—县	县—乡 乡—乡	乡—村 村—村	村内公路
公路技术等级	二、三级	三、四级	四级、等外级	等外级

注：① 表中的县包括县、县级市等县级行政区；乡包括乡、镇等乡级行政区

② 地区经济发达、交通繁重时，可选用较高的公路等级

3.2.2、农村公路路面等级的确定

与公路等级确定一样，路面等级的确定也是一个系统而复杂的工程，当然路面等级确定首要考虑的因素应该是当前的投资，同时也要充分考虑当前的投资和长远规划的需要。就重庆当前的情况来说，由于经济发展的需要，在靠近市区或者是县城的地区，应该适当地提高路面的等级，适应经济发展的需要，避免在短期内大拆大建。而远离城市的乡村应该根据实际情况和具体需要确定路面的等级。具体如表 3.2 所示：

表 3.2 路面技术分级

公路类别	路面技术等级	路面类型
地级市—县 县—县	高级路面	钢筋混凝土路面 混凝土路面
	次高级路面	
县—乡 乡—乡	次高级路面	混凝土路面
	中级路面	
乡—村 村—村	中级路面	混凝土路面
村内公路	中级路面	混凝土路面 泥结砂石路面
	低级路面	

注：① 表中的县包括县、县级市等县级行政区；乡包括乡、镇等乡级行政区

② 地区经济发达、交通繁重时，可选用较高的路面等级

3.3 重庆地区农村水泥路面的特点

3.3.1 交通及轴载条件

1、交通量特点

为了详细地了解重庆地区交通量的特点，以及交通量与路面提前破坏病害之间的关系，并供重庆地区农村公路典型结构设计的交通量做参考，笔者查阅了重庆地区部分公路交通量的有关资料，现归纳如表 3.3：

表 3.3 路面交通量调查表

公路名称	设计交通量	目前交通量	调查里程
涪丰路（涪陵段）	1800	1200	K0+00—K34+00
长寿县 S319	1120	2680	K2309+16—K2357+547
垫江县 S102	300	3500	K140+200—K168+800
沙坪坝（童歌路）	2500	1900	K0+00—K3+600
大足县（龙铜路）		4500	K4+00—K40+00
大足县（大邮路）		5000	K0+00—K20+00
万州区（成万段）	7500	8124	K1824—K1876+200
沙坪坝（火山公路）	2500	1800	K0+00—K2+600
城口县（城河路）	549	488	K20+00—K39+00
开县（郭家—同乐）	2000	1300	K345+00—K352+00
綦江县（赶梨路）	5624	1776	K15+700—K22+00
南川（南永路）	412	689	K0+00—K4+00
忠县（梁平路）	500	2677	K303—K324
忠县（陶有路）	800	700	K0+00—K6+00
南岸区（黄明公路）	1000	1000	K0+00—K30+40

从以上资料中可以看出重庆地区的农村公路交通量最大的特点是，设计交通量和当前交通量不相符合，有一些路段还相差过大：

表中所统计的 15 条公路中，只有 6 条公路达到了设计交通量，有两条公路的设计交通量不明，其余 7 条公路的当前交通量都没有达到设计交通量，有一些公路的当前交通量远远小于设计交通量，如綦江县（赶梨路）的设计交通量为 5624 而当前的交通量只有 1776，这在现实中就造成了巨大的浪费。但在达到设计交通量的公路中有部分公路的当前交通量远远超出了设计交通量如忠县（梁平路）、长寿县 S319 等。

造成以上现象的原因主要是由于在公路建设初期，设计者对交通量的增长率估计错误而造成，这主要包括两个方面：

第一：交通量的增长率估计过高

在资料统计中的 15 条公路中，只有 6 条公路的当前交通量达到设计交通量，而在其余的公路中均未达到，有一些还相差悬殊，这说明了在现实的交通量增长率的估计中，过高估计交通量增长率。

第二：交通量增长率估计过低

在资料中大部分当前交通量小于设计交通量，然而，我们也能清楚地看到，部分公路的交通量增长率估计过低，如垫江县 S102 和忠县（梁平路），这两条路的共同特点是设计交通量远远低于当前的交通量。

2、轴载条件

为了更好地了解重庆农村公路水泥路面的轴载特点，作者查阅了有关统计资

料，由于无法准确知道车辆的轴载，现以车型统计代替轴载统计，通过车型统计的分析，我们可以初步地看出重庆地区农村公路轴载的特点，统计如表 3.4 所示：

表 3.4 车型调查成果表

车辆类型 公路名称	小型 货车	中型 货车	大型 货车	小型 客车	大型 客车	载货拖 挂车	折算交通量
潼南路 G319	340	315	89	460	207	1	1012.5
涪丰路	198	210	37	383	432	0	920
涪陵—南川 G319	1181	518	0	269	347	0	1617
石雷路	102	469	11	148	116	0	721
苏拉口一分水 G318	156	129	68	129	71	10	1045
渝巫路 S108(巫山—开县)	375	305	246	644	75		1826
巫思路 S202	171	100	50	230	46		
开县—万州	368	283	236	550	105		
云阳—江口 S108	169	193	237	164	44		
彭黔路 彭水—黔江	105.5	85	14	181.5	34		459(1999.7)
	80	53.5	10	10	25		352(1999.8)
	64.5	29.5	29.5	29.5	39		406(1999.9)

从车型的统计中我们可以看出重庆地区农村公路轴载有如下特点：

第一：重型车辆较少

由于重庆地区的经济较为落后，载货拖挂车较少，从表中我们可以很明显地看出在被统计的 10 条公路中，只有苏拉口一分水的 G318 上有少量的载货拖挂车出现，其余均没有载货拖车出现。而轴载相对较大的大型货车出现也较少，在涪陵—南川的 G319 上甚至没有重型货车，而在彭水—黔江这一段路上，重型货车在 1999 年 7、8、9 三个月里的数量分别为 14、10、29.5，这也充分说明了大型货车较少、轴载较小这一特点。

第二：行人和非机动车较多

这一特点在统计资料中我们无法看出，因为在以上资料中所统计的公路，在农村公路的划分中等级较高，而相对等级较低的农村公路的统计较少，但从实际来看，这一特点是客观存在的。

在设计过程中我们必须要充分考虑农村公路的这一特点，在设计轴载数量达到要求的情况下，要验算农村公路的通行能力，以避免在标准轴载数量还未达到设计要求的情况下公路通行能力已经饱和。

第三：农村公路中有明显的不均衡客流

由于我国农村居住的特点及农民劳作的传统习惯，大量的行人是离土不离乡的农民，因此在相当长的时间内，不可避免地存在占较大比重的拖拉机以及各种

非机动车行使，同时，早晚高峰期乡镇主要出入口的进出交通量有明显不均衡的单向客流。此外由于集贸市场的发展，乡镇赶集场次的增加，地点规模的扩大，这类集镇的“集日”规模较平时有成倍的扩大，使早晚单向交通流的特点更为突出。

因此，在进行农村公路设计时，必须考虑这些特点，因地、因时制宜，论证分析，合理地确定公路的宽度和结构组合，切不可盲目套用大、中城市的有关定额。此外随着经济和社会的发展，毫无疑问，不少乡镇的人口、用地规模会逐渐增大，其中某些地理位置较好的乡镇会升级为县级镇或小城市，因此在设计某些具有潜力的农村公路时既要注重远近结合，留有余地，而不宜机械地按目前集镇规模、交通结构，运用技术标准。

3.3.2 环境条件

1、气候条件

自然条件是影响路面结构形式及其使用性能的重要因素之一，公路根据所处地区的气候、地形及土壤地质条件不同，公路结构形式、材料和破坏病害也大不相同，为科学、合理地设计路面结构，必须对公路所处地区的自然环境条件及对路面的影响进行科学、深入地分析。

重庆地处长江中游，与湖南、湖北、四川及贵州接壤，属亚热带温湿气候，雨量充沛，无霜期长，湿度大，云雾多，秋季多绵雨，年平均气温 18°C ，最低气温 -4°C ，最高气温可达 42°C ，年平均降雨 1172mm ，年内降雨分布不均，多集中在5—9月份，约占全年降雨量的70%，区内多年平均相对湿度80%。

根据中国公路自然区划，重庆属于西南潮暖区，其中永川、合川、潼南、綦江、重庆地区区、涪陵地区、万州地区、石柱土家族自治县等，属于四川盆地中湿区，即属于V₂区，区内潮湿系数 $K=1.25-1.75$ ，最高达 $2.0-3.0$ ，年降水量 $1000-1400\text{mm}$ ，雨型为夏雨、秋雨、最大雨季长度达3.5—4.5天，最高月平均气温 $30-32.5^{\circ}\text{C}$ 。在V₂区内的重庆地区区，以及附近的永川、合川、潼南、綦江为湿润丘陵区，石柱、万州、巫山一带边缘区重丘低山地貌，最大地表切割深度为500—1000m。

彭水、黔江、酉阳、秀山这四个县与湖北、湖南及贵州三省相邻交界，属山西、贵州山地过湿区，在中国公路自然区划中属于V₃区，V₃区内潮湿系数 $K=1.5-2.0$ ，最高可以达到 $2.5-4.0$ ，年降水量 $1000-1400\text{mm}$ ，全年多雨，最大月雨季长度4.0—4.5天，最高月平均地温 $20-32.5^{\circ}\text{C}$ ，属湿热喀斯特山地和波状高原，湿润重丘、低山和中山地貌，大部分地表切割深度200—500m。

巫山、奉节、巫溪、城口属于秦巴山地湿润区，在中国公路自然区划中属于V₁区，潮湿系数 $K=1.00-1.50$ ，最高达 $2.0-3.0$ ，年降水量 $800-1400\text{mm}$ ，降雨量

主要集中在夏秋两季，最大月雨季长度3.0—3.5天，最高月平均地温25—32.5℃，为湿润中山，局部为高山地貌，地表切割深度大部为500—1000m，局部为<200m。

2、地质条件

在V₁、V₂、V₃三个区中，V₂区的土质以紫色粘性土为主，岩石主要为易于风化的页岩，主要自然病害为泥泞、滑坡崩塌；V₁区的土质为黄棕色粘性土，岩石以粗岩石为主，地势高差大，主要自然病害为崩塌、滑坡、泥石流，路基强度较高，路面材料丰富；V₃区的土质为红色粘性土，岩性主要有红色石灰岩、溶岩，石灰岩分布广，主要自然病害为岩溶、山洪、泥石流、滑塌等。

3、设计中应注意的事项

根据重庆地区的地理、地形、地貌、气候等自然特点及其对公路工程的影响，重庆地区农村公路水泥路面的设计必须要注意以下事项：

水是影响本地区路基路面稳定的主要因素，要求本地区内路基路面结构组合设计必须要求保证良好的水温稳定性，由于粘性土透水性差，浸水后易于湿软、容易产生淤泥和不均匀沉降，因此，路面结构必须设置不透水、抗冲刷的基层，并做好路面排水。

本地区土质多系碳酸盐类的岩石风化而成，结构稳定、强度较好、山地多、石料丰富有利于路基路面设计中的就地取材。重庆是一个多山的地区，山地较多，在农村公路水泥路面的设计中，不可避免地会遇到大量半填半挖路基，因此，如何适当地提高填土路基的压实度，减少路基两边不均匀沉降十分重要，这也是提高路面质量，延长路面使用寿命的最基本的措施，否则要设计质量良好的水泥路面便无从谈起。

第四章 重庆地区农村水泥路面面层材料的选择

在农村公路水泥路面的设计中，由于设计不完善、施工技术与设备较差和养护、管理水平等诸多因素的综合作用，要求在选用农村公路水泥路面材料时，必须要考虑到以上几个方面的因素，在施工和设计要求的材料变异水平和目标可靠度下选择材料。

4.1 水泥

水泥是路面混凝土中最重要的胶凝材料之一，其质量直接影响混凝土路面的弯拉强度、抗冲击振动性能、疲劳循环周次、体积稳定性和耐久性等关键物理力学性能和路用品质，必须引起高度重视。与沥青路面相比，我国水泥路面对水泥的要求远不及沥青路面对沥青的要求严格，而且在施工中还不可避免地存在偏差。特别是在农村公路的施工中，由于施工水平的原因，路面材料的变异系数更大，我们希望能够严格执行《施工规范》和《设计规范》对水泥提出的各项要求，从原材料入手控制水泥路面质量。

4.1.1 水泥的品种、强度与等级

总体来说在农村公路水泥路面设计中，水泥品种的选择应当注意以下几点：

第一：要因时因地选择水泥品种

在农村水泥路面的设计中，应该因时因地采用适合的水泥。由于资金因素，在低等级农村公路水泥路面中，满足强度要求的前提下，应该尽量避免使用一些等级高、价格贵的水泥。按照正常的施工程序，水泥品种的选择实在不能满足要求的情况下，应采取合适的措施，保证水泥的选择满足要求。如在高等级公路中，低温气候下施工，有快通要求的路段应该采用 R 型水泥，但在农村公路中，作者认为，考虑到经济因素，应该另行选择合适的时间来铺筑水泥路面，而不应当采用 R 型水泥。

第二：在水泥品种选择中不仅要考虑抗压强度，而且还要抗折强度

水泥品种的选择不能仅仅以抗压强度为指标，而应该以抗折强度为基础，同时考虑水泥混凝土的抗压强度。在农村公路水泥路面水泥各龄期的抗折强度不得低于表 4.1 的规定。如果水泥的抗压强度低于表 4.1 的要求，抗折强度也宜满足表 4.1 的要求，不能满足时，经过论证，可适当放宽对抗压强度的要求。同时农村公路水泥路面的水泥强度要大于 425。

表 4.1 各级交通路面水泥各龄期的强度 (MP_a)

交通等级	中、轻交通	
龄期	3	28
抗压强度≥	16	42.5
抗折强度≥	3.5	6.5

从上述说明可以看出以下几点

1、特种、重交通公路必须使用旋窑水泥

在我国每年生产 6.2 亿吨水泥中只有 2.1 亿吨是旋窑水泥，在国内仅占 1/3 左右，国内不出本省很难得到旋窑水泥，如果全部的农村公路水泥路面都采用旋窑水泥在某些地方确实有困难，如重庆地区。因此，就目前情况来说，在特重、重交通的二级公路水泥路面中，推荐采用质量稳定、性能可靠的旋窑水泥，除非在特殊的情况下，不得使用立窑生产的水泥。而在中、轻交通的二级公路、三级公路和四级以及等外级的农村公路中，可以采用矿物成分、安定性、抗折强度和质量变异都能控制住的高质量立窑水泥。这样既可以满足当前水泥生产的现状，也可以解决农村公路建设中高质量水泥与资金短缺的问题。

2、路面适用的水泥品种

特重、重交通的公路应该优先使用道路硅酸盐水泥，宜采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，中等以下交通量的路面，也可以采用矿渣硅酸盐水泥。其他水泥不得在公路水泥路面中使用。

4.1.2 水泥的矿物组成、物理性能等路用品质要求

各级农村公路水泥路面所使用水泥的矿物组成应该满足表 4.2 的要求，水泥进厂时每批量应该附有齐全的矿物组成、物理、力学指标等合格的证明，使用前应该对水泥的安定性、凝结时间、标准稠度用水量、抗折强度、细度等进行检测，合格后方可使用，不合格的水泥一律不得用于重庆地区农村公路的建设中。

4.2 粗集料

4.2.1 重庆地区水泥路面粗集料的种类及特点

集料是混凝土中所占份额最大的组成材料，粒径在 4.75mm 以上者，称为粗集料，粒径在 4.75mm 以下者称为细集料，集料在混凝土中占有 4/5 的比例，所以集料对混凝土的重要性不言而喻。

就重庆的地质情况而言，在 V₁ 区岩石以粗岩石为主，在 V₂ 区岩石主要为易于风化的页岩为主，该种岩石的具体特点是强度、耐久性和化学稳定性较差，表面特性较好，含有杂质。而在 V₃ 区岩性主要有红色石灰岩、溶岩，石灰岩分布广，该地区的石灰岩主要特点是，强度、耐久性、化学稳定性、表面特性和破碎后的

情况较好，可能含有杂质。

表 4.2 农村公路路面用水泥的矿物组成和物理指标

水泥性能	中、轻交通路面
铝酸三钙	不宜 $>9.0\%$
铁铝酸四钙	不宜 $<12.0\%$
游离氧化钙	不得 $>1.5\%$
氧化镁	不得 $>6.0\%$
三氧化硫	不得 $>4.0\%$
碱含量	怀疑有碱活性骨料时 $\leq 0.6\%$ 无碱活性骨料时 $\leq 1.0\%$
混合材料种类	不得掺窑灰、煤矸石、火山灰和粘土，有抗盐冻要求不得掺石灰石粉
出磨时安定性	蒸煮法检验必须合格
标准稠度需水量	不宜 $>30\%$
烧失量	不得 $>5.0\%$
比表面积	宜在 $300\text{--}450 (\text{m}^2/\text{kg})$
细度	筛余量不得 $>10\%$
初凝时间	不早于 1.5h
终凝时间	不迟于 10h
28d 干缩率	不得 $>0.10\%$
耐磨性	不得 $>3.0 (\text{kg}/\text{m}^2)$

因此，按照农村公路就近选材的原则，所生产出来的集料，不论是粗集料还是细集料，都应该具有重庆地区岩石本身的特点。

集料的分类方法有多种，如从岩石成因上可分为火成岩、变质岩和沉积岩。从岩石化学成分上可划分为碱性石灰岩、玄武岩、大理岩等，酸性的花岗岩、石英岩等，中性闪长岩等。从产状分类有页岩、板岩、砂岩、块状岩石等。从粒型上可分为碎石、破口石和卵石，有不规则的角状、片状和针状，从岩石的表面结构上可分为玻璃质、光滑、粒状、粗糙、结晶和蜂窝状等。本文采用集料分类方法中最简单的一种，将岩石从粒型上分为碎石、破口石和卵石。

4.2.2 重庆地区农村水泥路面粗集料的技术要求

粗集料可使用碎石、碎卵石和卵石。粗集料应质地坚硬、耐久、洁净。粗集料按照国际《建筑用卵石、碎石》GB/T14685 的技术要求分为 I、II、III 级。粗级别的等级和混凝土的强度有着密切的关系，一般来说混凝土强度等级大于 C60 宜用 I 级，强度等级为 C30-C60 及有抗盐冻、抗渗或其他要求的混凝土宜用 II 级，强度等级小于 C30 的宜用 III 级。

由于重庆地区气温较高，无抗盐冻的要求，所以在较低等级的农村公路水泥路面的设计中，在二级公路中采用 II 级或以上的集料，在三、四级或等外级公路

中采用III级集料。各种粗集料的技术要求应符合表 4.3 的规定:

表 4.3 碎石、碎卵石和卵石技术要求

项目	技术要求		
	I 级	II 级	III 级
碎石压碎指标 (%)	<10	<15	<20
卵石压碎指标 (%)	<12	<14	<16
坚固性(按质量损失计%)	<5	<8	<12
针片状颗粒含量(按质量计%)	<5	<15	<20
含泥量(按质量计%)	<0.5	<1.0	<1.5
泥块含量(按质量计%)	<0	<0.2	<0.5
有机物含量(比色法)	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐(按 SO ₃ 质量计%)	<0.5	<1.0	<1.0
岩石抗压强度	火成岩不应小于 100MP _a ; 变质岩不应小于 80 MP _a ; 水成岩不应小于 60 MP _a		
表观密度	>2500kg/m ³		
松散堆积密度	>1350kg/m ³		
空隙率	<47%		
碱集料反应	经碱集料反应试验后, 试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象, 在规定试验龄期的膨胀率应小于 0.10%		

注: ① III 级碎石的压碎值指标, 用做路面时, 应小于 20%; 用做下面层或基层时, 可小于 25%;

② III 级粗集料的针片状颗粒含量, 用做路面时应小于 20%; 用做下面层或基层时, 可小于 25%;

③ 在重庆少数有抗盐冻要求的地区, I 级集料 24h 吸水率不大于 1.0%; II 级集料 24h 吸水率不大于 2.0%;

④ 粗集料中不应混有草根、树叶、树枝、塑料等固体杂物。

4.2.3 粗集料的级配和最大公称粒径要求

我国目前有些地方的农村公路水泥路面设计中采用不分级配的统料, 在实际的使用过程中造成石料粒径差别过大, 而水泥用量及用水量不变, 拌和物的稠度大到已经不能正常摊铺的程度, 路面上频繁出现大面积的塌边病害现象。造成这些现象的主要原因是统料在大堆上离析, 边缘全部是大料, 中间全部是小料。即使水灰比不变, 大料塌边, 小料大面积麻面, 这是不允许的。

在有等级的农村公路设计中级配应该满足下表的要求, 组合级配曲线应符合表 4.4 中相应最大公称粒径粗集料连续级配的规定。普通混凝土路面用卵石最大

公称粒径不宜大于19mm；碎卵石的最大公称粒径不宜大于26.5mm；碎石最大公称粒径不宜大于31.5mm。

表 4.4 粗级料的级配范围

级 粒 径 配 型		方筛孔尺寸 (mm)							
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5	37.5
		累计筛余量 (以质量计) (%)							
连 续 级 配	4.75-16	95-100	85-100	40-60	0-10				
	4.75-19	95-100	85-95	60-75	30-45	0-5	0		
	4.75-26.5	95-100	90-100	70-90	50-70	25-40	0-5	0	
	4.75-31.5	95-100	90-100	75-90	60-75	40-60	20-35	0-5	
单 级 配	4.75-9.5	95-100	80-100	0-15	0				
	9.5-16		95-100	80-100	0-15	0			
	9.5-19		95-100	85-100	40-60	0-15	0		
	16-26.5		95-100	85-100	55-70	25-40	0-10	0	
	16-31.5		95-100	90-100	85-100	55-70	25-40	0-10	0

4.3 细集料

水泥路面对粗集料的要求比沥青路面低，一般在水泥路面的设计中不需要考虑粗集料的磨光值，对普通水泥路面的要求是不裸露粗集料，一般修路刚结束就出现裸露粗集料被视为一种病害，所以水泥路面的抗滑、抗磨要求即安全性和耐久性主要依靠细集料。水泥路面中的细集料，其本身的硅质含量即硬度、细粉含量、细度模数及稳定性的要求比其他土建工程结构要高得多、严格得多。

4.3.1 细集料的分类及应用

细集料可以有不同的分类方法，按照制造的方法可以分为天然砂、人工砂。其中天然砂又包括河砂、山砂、湖砂和淡化海砂，人工砂包括机制砂和混合砂。河砂是经过多年的冲刷而形成的，粒径最圆、最清洁、质量也最好，在农村水泥路面的修筑中应该优先采用河砂。同时按照砂粒的粗细，可以分为粗砂、中砂、细砂和特细砂。

重庆地区有嘉陵江、长江和乌江等大江、大河，河砂较多，在河砂中又有大量的特细砂，另外重庆地处大西南地区多山，石料较为丰富。相反在重庆某些远离大江、大河的地区，想要得到数量可观的河砂相当困难，因此只有充分利用当地石料资源，采用机制砂。

在农村公路水泥路面的修筑中，应当充分利用重庆地区的自然资源，采用河砂和机制砂，对于重庆地区丰富的特细砂来说，采用一定的技术措施，如添加高效减水剂等，可以使混凝土路面的抗弯拉强度达到甚至超过规定的要求，如重庆

南坪地区某水泥路面的修筑就是采用特细砂，该路自 20 世纪 80 年代修筑完后一直使用良好，至今未发生大的破坏。

另外，由于重庆地区特细砂丰富，虽然使用后路面横向力系数很低，一般只有 0.12-0.2，但经过拉毛、刻槽等基本工序后，路面的摩擦系数完全可以达到要求。再者，若重庆地区农村公路水泥路面建设中不采用特细砂，那么重庆地区可用的砂源量将大大减少，且需要从较远的地方采购，大大增加了成本，不符合农村公路建设中节约资金的要求。

4.3.2 细集料的质量要求

与粗集料一样，细集料按照国际《建筑用卵石、碎石》GB/T14685 的技术要求分为 I、II、III 级，对于混凝土来说，C60 以上的混凝土用 I 级砂，C30-C60 以上的混凝土用 II 级砂，C30 以下的混凝土用 III 级砂。

就重庆地区农村公路等级与砂等级的采用来说，由于重庆地区无抗盐冻的要求，所以，在二级公路使用砂的类别不应该低于 II 级，在三、四级公路及等外级公路中应该采用 III 级及以上砂。细集料的技术要求如表 4.5 所示：

4.3.3 细度模数和级配要求

砂按照细度模数来分可分为 1 区粗砂、2 区中砂、3 区细砂。各区的级配要求见表 4.6，在农村公路的路面中可以使用 1 区粗砂、2 区中砂和 3 区偏粗砂。具体对于 1 区粗砂来说，主要问题是拌和物泌水较严重、平整度不佳，除了静态 3 米直尺平整度的合格率不高以外，在其他的技术要求方面差别不大，因此，在低等级的农村公路水泥路面中使用不存在较大的问题。

对于特细砂来说，由于在重庆地区的特细砂资源丰富，且特细砂在经过一定的技术处理之后强度完全可以达到设计要求，而仅仅因为将其用于铺筑路面后的行车安全性不高弃置不用显然不太合理，况且在经过一定的处理之后，路面的摩擦系数完全可以达到要求。因此，在重庆地区应该广泛地推广特细砂，一方面可以节约宝贵的农村公路建设资金，另一方面也可以充分利用当地的材料，达到物尽其用的目的。砂的粗细和细度模数分区，见表 4.7

4.3.4 机制砂

在重庆的某些远离大江大河的地区，要得到数量可观的河砂用于农村公路的建设显然具有一定的困难。在这些地区可以充分利用当地丰富的石料资源，采用破碎机制砂。机制砂的主要缺点是耐磨性较差，能否通过采用破碎符合要求的石料来克服机制砂的这一缺点，《施工规范》的下述两项规定做出了肯定的答复。

《施工规范》对机制砂采用的母岩有如下规定：PMV 大于 35，同时对强度较低、抗磨性较差的机制砂母岩的岩石品种加以适当限制，破碎机制砂的岩石品种亦应保证硅质的含量。生产机制砂的母岩强度：火成岩不应小于 100Mpa，变质岩

不应小于 80Mpa, 水成岩不应小于 60Mpa。

表 4.5 细集料的技术要求

项目	技术要求		
	I 级	II 级	III 级
人工砂单粒级最大压碎指标 (%)	<20	<25	<30
氯化物 (氯离子质量计%)	<0.01	<0.02	<0.06
坚固性 (按质量损失计%)	<6	<8	<10
云母 (按质量计%)	<1.0	<2.0	<2.0
天然砂、人工砂含泥量 (按质量计%)	<1.0	<2.0	<3.0
天然砂、人工砂泥块含量 (按质量计%)	<0	<1.0	<2.0
人工砂 MB 值 < 1.4 或合格石粉含量 (按质量计%)	<3.0	<5.0	<7.0
人工砂 MB 值 ≥ 1.4 或不合格石粉含量 (按质量计%)	<1.0	<3.0	<5.0
有机物含量 (比色法)	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐含量 (按 SO ₃ 质量计%)	<0.5	<0.5	<0.5
轻物质 (按质量计%)	<1.0	<1.0	<1.0
人工砂母岩抗压强度	火成岩不应小于 100Mpa; 变质岩不应小于 80Mpa 水成岩不应小于 60MPa		
表观密度	>2500kg/m ³		
松散堆积密度	>1350kg/m ³		
空隙率	<47%		
碱集料反应	经碱集料反应试验后, 由砂配制试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象, 在规定试验龄期的膨胀期的膨胀率应小于 0.1%		

注: ①砂中不应混有草根、树枝、树叶、塑料品、煤块等固体杂质;

②亚甲蓝试验 MB 值用于区分砂中粒径小于 75 μm 颗粒是石粉或泥土;

③MB 值 < 1.4 或合格时, 根据使用地区, 在经实验证明的前提下, 可由供需双方确定;

④天然 III 级砂用做路面时, 含泥量应小于 3%

表 4.6 细集料的级配范围

级配分区	方筛孔级配 (mm)						
	0.15	0.30	0.60	1.18	2.36	4.75	9.5
	累计筛余 (以质量计) (%)						
1 区	90-100	80-95	71-85	35-65	5-35	0-10	0
2 区	90-100	70-92	41-70	10-50	0-25	0-10	0
3 区	90-100	55-85	16-40	0-25	0-15	0-10	-

注: ① 砂实际颗粒级配与表中所列数据相比, 除 4.75mm 和 0.6mm 筛档外, 可以略有超出, 但总体超出量不应小于 5%

② 1 区人工砂中 0.15mm 筛孔的累计筛余可适当放宽到 85%-100%, 2 区人工砂中 0.15mm

筛孔的累计筛余可适当放宽到 80%~100%，3 区人工砂中 0.15mm 筛孔的累计筛余可适当放宽到 75%~100%。

表 4.7 砂的粗细和细度模数

类别	粗砂	中砂	细砂	特细砂
分区	1 区	2 区	3 区	-
细度模数	3.7~3.1	3.0~2.3	2.2~1.6	1.5~0.7

4.4 水

清洗集料、拌和混凝土及养生用水，不应含有影响混凝土质量的油、酸、碱、盐类、有机物等有害杂质。饮用水可直接作为混凝土拌和养护用水。非饮用水或对水质有疑问时，应检验其 PH 值、硫酸盐含量（按 SO₄计）、盐类总含量、杂质等，经化验符合表 4.8 的规定方可使用。

表 4.8 混凝土拌和用水的质量要求

质量指标	PH 值	硫酸盐含量（按 SO ₄ 计）	盐类总含量	杂质
允许值	>4	≤0.0027mg/mm ³	≤0.005mg/mm ³	不得含有油污、泥和其他有害杂质

应当明确的是含有泥砂较多的混水、严重污染的河水、湖水、沼泽水不得用做农村公路水泥路面混凝土的拌和用水。

4.5 粉煤灰

由于重庆经济不发达，在重庆地区的农村公路建设中，应该适当地利用当地的工业材料如发电厂的废料粉煤灰、锯厂的废锯矿等，这样既能解决工厂的废料堆放问题，又可以解决农村公路建设中的材料和资金的问题。本文主要研究在重庆地区农村公路建设中，使用最广泛的辅助材料之一粉煤灰的技术要求。

重庆地区农村公路水泥路面应该掺用质量指标符合表 4.9 要求的电收尘的 I、II 级干排或磨细粉煤灰，不得使用 III 级粉煤灰。

表 4.9 粉煤灰分级和质量指标

粉煤灰 等级	比表面积 (m ² /kg)	烧失量 (%)	需水量 比(%)	含水量 (%)	Cl ⁻ (%)	SO ₄ (%)	混合砂浆活性指 数	
							7d	28d
I	≤600	≤5	≤95	≤1.0	≤0.02	≤3	≥80	≥90
II	≤400	≤8	≤105	≤1.0	≤0.02	≤3	≥75	≥85
III	≤150	≤15	≤115	≤1.0	-	≤3	-	-

第五章 重庆地区农村公路路面基层材料的选择

5.1 重庆地区农村公路水泥路面基层及典型结构调查

5.1.1 调查资料

为了更好、更全面地了解重庆地区农村公路水泥路面的结构组合情况，以及在各种结构组合下路面产生的病害，以便设计出符合重庆地区气候、环境特点的路面结构组合，作者对重庆地区二级及以下公路水泥路面的结构组合情况的资料进行了总结、分析，其结果如表 5.1：

进行了总结、分析，其结果如表 5.1：

表 5.1 重庆地区农村公路典型结构调查统计表

公路等级	公路名称	病害状况	自然区划	厚度	路面结构
二级	垫江县 S102 垫江段	局部有损坏	V ₂	22cm 25cm	水泥混凝土 级配碎石
	国道 318 梁平—收费站	局部有损坏	V ₂	22cm 15cm 16cm	水泥混凝土 三渣碎石 填隙碎石
	壁山县省道 S111 线壁山段	良	V ₂	26cm 15cm 25cm	水泥混凝土 水泥稳定碎石 片石
	壁山县省道 G319 线壁山段	良	V ₂	24cm 20cm 25cm	水泥混凝土 二灰 手摆片石
	大足县 龙铜路	良	V ₂	22cm 15cm 25cm	水泥混凝土 二灰 碎石
	万州区 G318 成 万路	良	V ₂	22cm 22cm 25cm	水泥混凝土 石灰碎石 片石
	万州万忠路	良	V ₂	20cm 10cm 10cm 20cm	水泥混凝土 三渣碎石 碎石 片石
	万州 G318 苏拉口—翠屏	裂缝、断板、 局部地方有破 坏	V ₂	22cm 12cm 20cm	水泥混凝土 填隙碎石 手摆片石

	巫溪县	部分地段有病 害	V ₁	20cm 20cm	水泥混凝土 填隙碎石
	奉节县 巫思路	良	V ₁	20cm 12cm 20cm	水泥混凝土 二渣 手摆片石
	万盛区 G303 石雷路 万盛段	良	V ₃	24cm 20cm	水泥混凝土 二灰碎石
	酉阳 G319	裂缝、局部破 坏病害	V ₃	20cm 10~15cm	水泥混凝土 泥结碎石
	彭水 G319	局部有破坏	V ₃	20cm 30cm	水泥混凝土 手摆片石
	铜梁县 G319 线	局部地段有破 坏	V ₂	24cm 20cm 25cm	水泥混凝土 水泥稳定碎石 手摆片石
	万州云利路 云阳—江口	局部有裂缝等 破坏	V ₂	20cm 10cm 20cm	水泥混凝土 碎石 大片石
	万州—忠县	良	V ₂	22cm 20cm 2cm	水泥混凝土 石灰结碎石 二灰
	开县 S202 马鞍—兼善	有坑槽、板角 断裂裂缝	V ₂	22cm 20cm 18cm	水泥混凝土 石灰结砂砾 片石
	开县 S108 马鞍—兼善	有坑槽、板角 断裂裂缝	V ₂	22cm 20cm	水泥混凝土 石灰结砂砾
	渝北国道 210 双石段	局部地段有破 坏现象	V ₂	21cm 20cm 15cm	水泥混凝土 水泥稳定碎石 二灰碎石
	南岸区 黄明公路	良	V ₂	22cm 14cm 20cm	水泥混凝土 水泥稳定碎石 片石
三级	涪丰路 涪陵段	局部地段有破 坏现象	V ₂	20cm 8cm 20cm	水泥混凝土 碎石 片石
	长寿县 S319	局部地段有破 坏现象	V ₂	24cm 18cm 20cm	水泥混凝土 石灰煤渣碎石 片石

	沙坪坝 童歌路	有坑槽裂缝	V_2	22cm 15cm 16cm	水泥混凝土 三渣碎石 填隙碎石
	沙坪坝 火山公园	良	V_2	24cm 15cm	水泥混凝土 三渣碎石
	城口县 S302 城河路	部分地段有病 害	V_1	22cm 20cm 40cm	水泥混凝土 石灰土 天然碎石
四级	綦江县 赶梨路	局部地段有破 坏病害	V_3	22cm 16cm	水泥混凝土 泥灰结碎石
	南川 南永路	局部地段有破 坏病害	V_3	21cm 10cm	水泥混凝土 二灰
	忠县 陶有公路	有裂缝	V_2	22cm 15cm 2cm	水泥混凝土 泥灰结碎石 二灰

5.1.2 调查资料分析

从以上资料统计中，我们可以看出，重庆地区农村公路水泥路面的结构组合具有以下几个方面的特点：

第一：路面结构对病害的发生有着明显的影响

从资料统计中我们可以看出，在片石、碎石基层或者是泥结碎石、泥灰结碎石的基层上，直接铺筑水泥混凝土板的结构，基本上都不同程度地存在着破坏现象，有些路段的破坏现象还相当严重，而在半刚性基层上直接铺筑混凝土板的路面结构，基本不存在严重的破坏现象。在资料统计中，有三个结构是在泥灰结碎石基层的基础上直接铺筑混凝土板的，统计表明，这三个路面结构都存在着不同程度的破坏现象。

第二：路面的病害与道路的等级之间似乎有着某种程度的关系

在所有被调查统计的三、四级道路中，都存在着不同程度的破坏现象，有一些病害还相当严重。与此相对比的是，被调查的二级公路的使用状况良好，即使有破坏也是局部破坏。笔者认为造成这一现象的原因有：①有关设计人员对低等级公路设计不重视，大量低等级道路没有经过严格的设计、审核就进行铺筑。②在低等级公路的施工中，施工设备和施工技术的选择不能按照当地的实际情况，从而造成了施工质量偏差。③低等级公路的管理不严，大量的三、四级以及等外级公路根本没有养护管理。当然在这些因素当中最重要的是第一条，一个存在缺陷的设计，即使在养护和管理良好的情况下，也不可能获得所要达到的设计效果和使用寿命。

第三：根据资料的统计，重庆地区混凝土路面常用的路面基层、垫层材料主

要有水泥稳定碎石、工业废渣稳定碎石（包括二灰碎石、石灰煤渣碎石等），碎（砾）石、（手摆）片石和泥结碎石等。在以上调查资料所有统计的道路中，几乎所有的路面基层都采用了这几种路面结构。

5.2 基层

水泥路面的设计中，由于水泥板块的强度和刚度较大，承担了其中荷载和温度的大部分应力，基层所承担的应力较小，基层的主要作用体现在以下几个方面：

- ① 防止和减轻唧泥、错台和断裂等病害的产生
- ② 保障接缝的传荷能力和耐久性
- ③ 缓解路基不均匀冻胀和不均匀变形对混凝土面层的不利影响
- ④ 为路面施工提供良好而稳定的工作面

由此可见，要设计一个既经久耐用又经济的基层，对基层要求并不在于其具有很高的强度和承载能力，而需要具有一定的抗冲刷能力和一定的刚度。

仅就抗冲刷能力而言，影响基层抗冲刷能力最主要的因素是结合料的含量，同时级配和压实度对基层的抗冲刷能力也有一定的影响。为此有人提出按照基层的材料的类型和结合料的含量，将其抗冲刷能力分为五级：

- (1) 1 级：极耐冲刷材料——如贫混凝土（水泥含量 7% 或 8%）、沥青混凝土（沥青含量 6.5% 以上）
- (2) 2 级：耐冲刷材料——如厂拌 5% 水泥混凝土
- (3) 3 级：较耐冲刷材料——厂拌 3.5% 水泥稳定粒料，3% 的沥青稳定粒料
- (4) 4 级：较易冲刷的材料——如厂拌 2.5% 水泥稳定粒料，粒料
- (5) 5 级：易冲刷的材料——如混杂的粒料，细粒土等

具体地，对于特重交通量来说，根据降雨的多少，可以采用 1 级或者 2 级抗冲刷材料；对于中等交通量来说，可以采用 2 级或者 3 级抗冲刷材料；对于轻交通量道路可以采用 3 级、4 级或 5 级抗冲刷材料。

重庆地区由于经济欠发达，特别是农村公路交通量和轴载都较小，对路基的抗冲刷要求比高等级公路低很多，考虑到经济因素一般在农村公路中可以选用 3 级、4 级或 5 级抗冲刷材料。

从资料统计中我们知道，重庆地区农村公路的基层、底基层和垫层类型大都采用水泥稳定碎石、工业废渣稳定碎石（包括二灰碎石、石灰煤渣碎石等）、碎（砾）石、（手摆）片石和泥结碎石等，其特点为基本按轻交通量的抗冲刷材料来选择基层材料，也基本属于 3、4 或者 5 级抗冲刷要求，本文着重就重庆地区农村公路水泥路面广泛采用几种基层类型做必要的研究与讨论。

5.2.1 水泥稳定土

水泥稳定土是一个广义的概念，从所稳定材料的粒径上可以分为水泥稳定粗粒土、水泥稳定中粒土和水泥稳定细粒土。从所稳定的材料上可以分为水泥稳定碎石、水泥稳定砾石、水泥稳定土、水泥稳定石渣、水泥稳定石屑、水泥稳定煤矸石等。重庆地区农村公路基层中使用最广泛、效果最好的是水泥稳定碎石。

1、水泥稳定土材料的选择要求

第一：集料

从总体上说，除了有机质及硫酸盐含量较大的土质不适合用水泥稳定外，只要土基中最大颗粒的粒径不超过路面基层材料的最大粒径，几乎所有类型的土都可以用水泥来稳定，但并不是所有的材料用水泥来稳定都是经济合理的。

考虑到施工和设计的经济合理性，实际上各国都对水泥稳定的土的颗粒组成范围都有一定的限制。例如，美国的经验表明，含有10%~35%粉粒和粘粒的砂土和砂粒土用水泥稳定最佳。而英国认为，液限大于45%，塑性指数大于20%以上，用水泥稳定是不经济的。挪威对水泥稳定基层所有集料做了如下规定：

最大粒径： $\leq 31.5\text{mm}$

$\geq 19\text{mm}$ 颗粒的含量： $\leq 25\%$

$\geq 2\text{mm}$ 颗粒的含量： $\leq 75\%$

水泥加集料中小于 0.075mm 的含量： $\geq 10\%$

在我国的《公路路面基层施工技术规范》(JTJ034—2000)中，对水泥稳定土用作路面底基层和基层时，分别做如下规定：

水泥稳定土用做底基层时，颗粒的最大粒径(方孔筛)不应超过 50mm ，压碎值不超过40%，土的颗粒组成应在表5.2所列的范围内，同时土的均匀系数应大于5，土的液限不应超过40，塑性指数不应超过20，同时在实际使用过程中，宜选用均匀系数大于10，塑性指数小于12的土。水泥稳定土用做基层时，土颗粒的最大粒径不应超过 40mm ，压碎值不超过35%。

表 5.2 水泥稳定土的颗粒组成范围

层位	方孔筛尺寸(mm)							
	37.5	31.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
基层	—	100	72~89	47~67	29~49	17~35	8~22	0~7
底基层	100	90~100	67~90	49~62	29~50	18~38	8~22	0~7
备注	集料中 0.5mm 以下细土有塑性指数时，小于 0.075mm 的颗粒含量不应超过5%；细土无塑性指数时，小于 0.075mm 的颗粒含量不应超过7%							

在农村公路水泥路面基层的设计中，粒料最大粒径的选择不宜过小，虽然较大的集料粒径容易造成集料离析、施工摊铺困难、基层平整度较差等不良影响，由于小粒径所要求的破碎工作量较大，就重庆地区乃至全国而言，我国的破碎机械水平不高，规范对碎石的粒径做了较宽的限制。这样在客观上也节约了资金。

在实际的粒径选择中，应该根据农村公路的等级，在低等级的农村公路中采用相对较大的粒径，在较高等级的农村公路中，适当减小集料的粒径。

第二：水泥

在农村水泥路面基层设计中，由于对基层强度要求不高，所以在水泥稳定土基层中可以选择的水泥品种较多，主要有普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰硅酸盐水泥等均可以做水泥稳定土的水泥品种。就重庆地区的具体情况来讲选用符合水泥出厂技术指标的 325 或 425 号水泥是合适的。由于水泥稳定土施工成型延迟时间的影响，不宜选择终凝时间较短的水泥品种。

就水泥剂量来说，水泥稳定土在做沥青路面基层时与做水泥路面基层时有着不同的要求，做沥青路面基层时，应该考虑到过量的水泥容易造成基层的开裂，进而影响路面产生反射裂缝。而对于水泥路面来说，则不需要考虑这一问题，可以采用较大剂量的水泥。另外水泥剂量的选择，还应该根据施工方法的不同而有所不同，具体如表 5.3。

表 5.3 水泥剂量

土类型	路拌法	厂拌法
中粒土和粗粒土	4%	3%
细粒土	5%	4%

2、水泥稳定土的强度指标

水泥稳定土的主要指标有强度指标和耐久性指标，强度指标通常用的是 7d 龄期的无侧限抗压强度试验，而耐久性指标通常采用干湿循环试验和冻融循环试验。不同的国家采用不同的技术标准，多数国家仅采用 7d 龄期的无侧限抗压强度。

我国《公路路面基层施工技术规范》(JTJ034—2000) 规定，当水泥稳定土用做基层或者底基层时，其强度采用 7d 的无侧限抗压强度，具体对于二级及二级以下的公路来说，应该满足表 5.4 的要求，同时其压实度也应该满足表 5.4 的要求：

表 5.4：水泥稳定土的强度指标和压实度

指标 层位	强度指标	压实度
底基层	1.5~2.0	≥97
基层	2.5~3.0	≥95

水泥稳定土强度的采用，可以根据拟建公路交通量的具体情况而确定，对于水泥路面而言，交通量较大的公路可以采用水泥稳定土强度要求的高值。

5.2.2 石灰稳定土

我国早在 1954 年就开始使用石灰土做路面的基层，石灰稳定土在我国城市

道路和公路上使用得非常广泛，几乎在每个地区都使用石灰稳定土做基层或底基层。

石灰稳定土可以使用的范围很广，满足强度要求的石灰稳定土可以使用在除高速公路、一级公路和机场道面以外的其他各个等级道路的基层和底基层。我国《公路路面基层施工技术规范》同时规定，石灰稳定细粒土不宜用做高等级公路的基层，而只宜用做底基层。

1、石灰稳定土材料的选择要求

第一：集料

实践证明，除有机质含量大的土和无塑性并缺少细料（小于0.075mm的颗粒）的粒料和砂性土外，只要土中的最大颗粒粒径不超过规定路面基层材料的最大粒径或者不超过底基层材料的最大粒径的各类土都可以用石灰稳定。当然，并不是说用石灰稳定各种类型的土，在经济和技术上都是科学合理的。

石灰适宜稳定粘粒（指小于0.02mm颗粒）含量大于10%、塑性指数约12以上的粘性细粒土和含有15%以上粘性土和砂性土。具体对于粘性土含量较少的砂砾和不含粘性土的各种粒料（其中包括砂砾、矿渣、煤矸石和碎石等），应该用石灰进行稳定。当用石灰稳定这些材料时，粒料应该具有良好的级配。

我国现行《公路路面基层施工技术规范》规定，当用石灰稳定粒料土或用石灰稳定粒料用做路面基层和底基层时，粒料的最大粒径分别不应大于40mm和50mm，同时粒料按照交通量的大小，压碎值应符合下列要求：

对于轻交通道路 不大于40%

对于中等交通道路 不大于35%

实践证明，用石灰稳定低塑性的土或者砂性土时，宜添加部分水泥，采用水泥石灰综合稳定，以提高其强度和水稳定性。

第二：石灰

在混合料材料中，石灰质量应符合表5.5规定III级以上生石灰或消石灰的技术指标，要缩短石灰的存放时间，石灰放置时间过久，有效钙和氧化镁的含量会损失很大。石灰堆放在野外无覆盖时，遭受风吹雨淋和日晒，其有效钙和氧化镁含量降低很快，有资料统计放置3个月可从原来的80%以上降低到40%左右，放置半年可降低到仅30%左右，因此，石灰在野外堆放较长时间时，应用篷布和土覆盖。

2、石灰稳定土的强度指标

不同的国家对石灰稳定土的强度指标和规范规定有明显的差别，在进行石灰稳定土的材料组成设计时，最通用的指标是试件的无侧限抗压强度。

表 5.5 石灰的技术指标

类别	钙质生石灰			镁质生石灰			钙质消石灰			镁质消石灰		
指标 项目	等 级											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
有效钙加氧化镁含量 (%)	≥ 85	≥ 80	≥ 70	≥ 80	≥ 75	≥ 65	≥ 65	≥ 60	≥ 55	≥ 60	≥ 55	≥ 50
未消化残渣含量 (%)	≤ 7	≤ 11	≤ 17	≤ 10	≤ 14	≤ 20						
含水量 (%)							≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4
细度	0.71mm 方孔筛余 (%)						0	≤ 1	≤ 1	0	≤ 1	≤ 4
	0.125mm 方孔筛累计筛余 (%)						≤ 13	≤ 20		≤ 13	≤ 20	
钙镁石灰的分类界限， 氧化镁含量 (%)	≤ 5			> 5			≤ 4			> 4		

注：硅、铝、镁氧化物含量之和大于 5% 的生石灰，有效钙加氧化镁含量指标，I 等 ≥ 75%，II 等 ≥ 70%，III 等 ≥ 65%；未消化残渣含量指标与镁质生石灰指标相同。

《公路路面基层施工技术规范》对石灰稳定土用在路面上时规定强度采用 7d 无侧限抗压强度，在二级及二级以下的公路中，其强度及压实度标准见表 5.6

在石灰土基层中，碎石（土）的重量比例小于 50%，石灰剂量应该根据表 5.6 的强度要求及土的性质和层位情况进行配合比试验后确定，具体石灰的掺量如表 5.7，一般情况下在工地施工中，实际采用的石灰剂量应该在实验所需要剂量的基础上适当增加，当采用路拌法时宜增加 1%，当采用集中厂拌法时宜增加 0.5%。

表 5.6 石灰稳定土强度及压实度标准

指标 层位	强度指标	压实度
基层	> 0.8	≥ 96
底基层	0.5-0.7	≥ 95

表 5.7 石灰土参考剂量表

土类 层位	粉性土、粘性土	砂性土
基层	10-12	12-14
底基层	8-10	10-12
垫层	6-8	8-10

5.2.3 石灰工业废渣稳定土

一定数量的石灰和粉煤灰或石灰和煤渣与其他集料相配合，加入适量的水，

当其抗压强度符合规定的要求时，成为石灰工业废渣稳定土。通常工业废渣包括：粉煤灰、煤渣、高炉矿渣、钢渣以及其他冶金矿渣、煤矸石等。石灰工业废渣材料可以分成两大类：石灰粉煤灰类和石灰其他废渣类。本文就重庆地区农村公路水泥路面中采用较广泛使用的石灰粉煤灰类进行研究。

1、石灰粉煤灰基层材料的选择

第一：石灰

在石灰粉煤灰类材料的选择中，石灰的选择应该满足III级以上的生石灰或消石灰的技术指标各级石灰的技术指标要求，具体见表 4. 10 所示。

另外，我国现行《公路路面基层施工技术规范》规定，有效钙含量在 20%以上的等外灰、贝壳石灰、珊瑚石灰、电石渣等应用应该通过试验，只要石灰工业废渣混合料的强度符合规定的标准要求就可以使用。

第二：粉煤灰

粉煤灰是火力发电厂的副产品，它是磨细粉煤粉燃烧后从烟道排出的废渣，有机械装置、静电聚灰装置或其他装置收集，其主要成分是 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 ，其总含量常超过 70%，是粉煤灰的主要活性成分，此外 CaO 等其他成分含量一般在 2%-6%。粉煤灰品质主要受烧失量控制，是反映粉煤灰品质的一个重要的指标。粉煤灰的烧失量一般都小于 10%，烧失量过大的粉煤灰明显降低其混合料的强度，因此，可用于石灰粉煤灰基层的粉煤灰的烧失量应小于 10%， SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 总含量应大于 70%。干粉煤灰或湿粉煤灰均可应用，但湿粉煤灰的含水量不宜超过 30%。

具体地，粉煤灰的技术指标应参照表 3. 9 中III级以上的粉煤灰，不得掺用等外级粉煤灰。

第三：集料

石灰粉煤灰稳定材料的质量在很大程度上取决于被稳定的材料。石灰粉煤灰适宜于稳定矿渣、碎石、砾石、各种粒状废渣、砂等集料，也可以用于稳定粉土，但不适宜用来稳定高粘粒含量的细粒土。

在农村公路水泥路面的设计中，二灰稳定粒料基层材料中的粒料的最大粒径应该满足以下要求：

二灰稳定集料混合料用做底基层时，集料的最大粒径不应超过 50mm；

二灰稳定集料混合料用做基层时，集料的最大粒径不应超过 40mm；集料质量宜占 80%以上，并应具有表 5. 8 规定的级配范围：

农村公路水泥路面二灰混合料中碎石或砾石的压碎值应符合下列要求：

基层：不大于 35%

底基层：不大于 40%

表 5.8 二灰混合料中的集料的级配组成范围

粒料类型 通过质量 (%) 筛孔尺寸 (mm)	碎 石		砾 石	
	底基层	基层	底基层	基层
37.5	100		100	
31.5	90-100	100	85-100	100
19.0	72-90	81-98	65-80	85-100
9.50	48-68	52-70	50-70	55-75
4.75	30-50	30-50	35-55	39-59
2.36	18-38	18-38	25-45	27-47
1.18	10-27	10-27	17-35	17-35
0.06	6-20	6-20	10-27	10-25
0.075	0-7	0-7	0-15	0-10

2、石灰粉煤灰稳定粒料的强度指标

石灰粉煤灰混合料的性质随石灰和粉煤灰的性质、混合料的比例、被稳定的材料、加工方法、含水量、密度和养生条件而变。对于给定的混合料，许多性质随养生条件而变。

无侧限抗压强度经常用来评价石灰粉煤灰混合料养生后的质量，我国现行《公路路面基层施工技术规范》对石灰粉煤灰混合料进行组成设计时仅采用 7d 无侧限抗压强度，实践证明，强度满足要求的石灰粉煤灰稳定材料的使用效果是好的。设计合理并压实到高密度的混合料，经过合适的养生后其最终无侧限抗压强度会超过 20Mpa 以上是正常的。对于农村公路水泥路面石灰粉煤灰稳定材料的具体抗压强度指标和压碎值指标见表 5.9。

3、配合比要求

根据有关资料，石灰粉煤灰碎石混合料的石灰与粉煤灰之比为 1: 2—1: 3 范围，但 1: 2 更合适；粒料百分比为 70%—80%，粒料过少，混合料收缩量大、易开裂，粒料过多，混合料抗裂性好，但施工中不容易摊铺均匀，易产生离析。同时要求粒料应该有一定的级配。

表 5.9 二灰混合料的强度标准和压碎值标准

层位 指标	强度指标		压实度
	基层	底基层	
	0.6-0.8		≥97
		≥0.5	≥95

5.2.4 级配碎石

由各种不同粒径集料组成的混合料，当其级配符合技术的规范规定时，称其

为级配型集料，在实际应用中通常包括级配碎石、级配碎砾石和级配砾石等。粗细碎石集料和石屑各占一定比例的混合料，当其颗粒组成符合密级配要求时，称之为级配碎石。一般级配碎石可以由预先筛分成几个大小不同的粒级的碎石组成，也可以用未筛分的碎石和石屑组配而成。

1、级配碎石的适用范围

级配碎石集料的适用范围很广，可以用做水泥路面的基层和底基层，也可以用做路基改善层，在排水良好的情况下，级配型集料可在不同交通等级的道路上，特别是在重庆的潮湿多雨而又盛产石料的地区，使用级配碎石特别有利。

级配型集料用做水泥路面的何种层次或者何种位置，取决于材料本身的性质、质量、气候条件、施工质量和交通量等。一般而言，级配碎石在路面结构中路面的使用方法有三种：在轻交通路面中，可以用做水泥路面的基层材料；在重交通路面中，可以根据具体的施工情况而定，在施工质量良好的情况下，可以用做路面的基层，而在施工质量略次的情况下，可以用做路面的底基层；在半刚性基层沥青路面中，可以用在刚性基层的上部，形成所谓的倒装结构。

我国《公路路面基层施工技术规范》(JTJ034-2000)规定，级配碎石基层可以用在各等级公路的基层或底基层中，也可以用在沥青面层和半刚性基层之间的中间层。

2、材料的选择

级配碎石是由碎石按照不同的粒径组成的一种密实结构，与以上的几种基层类型有所不同的是，它是由一种材料组成。因此，碎石的性质和级配对于级配碎石基层的成败与否起着至关重要的作用。

第一：集料的级配

由于级配碎石基层是用大小不同的材料按照一定的比例配合填充空隙，经过压实而成的一种密实结构，为了保证其密实稳定，其粒径组成应满足一定的级配要求，具体要求见表 5.10 和 5.11。

第二：压碎值指标

农村公路水泥路面级配碎石或者级配碎石所采用石料的压碎值要求：

二级公路的基层	不大于 30%
二级公路的底基层和二级以下公路的基层	不大于 35%
二级以下公路的基层	不大于 40%

表 5.10 级配碎石混合料的颗粒组成范围

编号		1	2
通过右侧筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)	37.5	100	
	31.5	90~100	100
	19.0	73~88	85~90
	9.5	49~69	52~74
	4.75	29~54	29~54
	2.36	17~37	17~37
	0.6	8~20	8~20
	0.075	0~7	0~7
	液限 (%)	小于 28	小于 28
塑性指数		小于 6 或 9	小于 6 或 9

注：① 潮湿多雨地区塑性指数不大于 6，其他地区的塑性指数不大于 9；

② 对于无塑性的混合料，小于 0.075mm 颗粒的含量应接近于高限

表 5.11 未筛分碎石底基层颗粒组成范围

编号		1	2
通过右侧筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)	53	100	
	37.5	85~100	100
	31.5	69~88	83~100
	19.0	40~65	54~84
	9.5	19~43	29~59
	4.75	10~30	17~45
	2.36	8~25	11~35
	0.6	6~18	6~21
	0.075	0~10	0~10
液限 (%)		小于 28	小于 28
塑性指数		小于 6 或 9	小于 6 或 9

注：潮湿多雨地区塑性指数不大于 6，其他地区的塑性指数不大于 9

5.2.5 级配砾石

关于级配砾石的概念、强度形成、影响强度的主要因素、使用性能、材料组成设计和施工方法等方面类似于级配碎石，只是由于级配砾石自身原因，在一些性质方面与级配碎石有着明显的差距。

1、级配砾石的适用范围

我国现行的《公路路面基层施工技术规范》规定：级配砾石可用于二级及二级以下公路的基层和各等级公路的底基层。但是近年来，随着公路使用者对道路服务性能要求的提高，对基层和底基层的要求也随之提高，因此，在实际应用中很少将级配砾石基层应用于二级公路的基层中，一般多将级配砾石用于三级及三

级以下公路的基层和各种等级公路的底基层、垫层中。

2、材料的选择

第一：级配砾石的级配要求

级配砾石的材料一般来自于天然的河床，其级配和材料强度有很大的变异性，因此，在级配砾石做基层和底基层的设计中，必须要满足表 5.12 和表 5.13 的要求。

表 5.12 级配砾石基层的集料级配范围

编号	1	2	3
通过右侧筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)	53	100	
	37.5	90-100	100
	31.5	81-94	90-100
	19.0	63-81	73-88
	9.5	45-66	49-69
	4.75	27-51	29-54
	2.36	16-35	17-35
	0.6	8-20	8-20
	0.075	0-7	0-7
液限 (%)	小于 28	小于 28	小于 28
塑性指数	小于 6 或 9	小于 6 或 9	小于 6 或 9

注：① 潮湿多雨地区塑性指数不大于 6，其他地区的塑性指数不大于 9；

② 对于无塑性的混合料，小于 0.075mm 颗粒的含量应接近于高限

表 5.13 级配砾石底基层的集料级配范围

通过下列筛孔的百分率 (%)						液限 (%)	塑性指数
53	37.5	9.5	4.75	0.6	0.075		
100	80-100	40-100	40-100	8-45	0-15	小于 9	小于 9

第二：压碎值指标

在农村公路水泥路面级配砾石所采用石料的压碎值要求：

三级或四级公路的基层 不大于 35%

二级公路的底基层 不大于 35%

二级以下公路的底基层 不大于 40%

5.2.6 填隙碎石

填隙碎石基层是用单一粒径的粗碎石作为主集料，用石屑填满碎石孔隙，并用振动压路机碾压后形成的路面结构层，这种材料具有良好的水温稳定性。在石料丰富地区常作为各等级公路中湿或潮湿路段的路面底基层或垫层。与其他路面基层相比造价较低，因此，在重庆地区的农村公路建设中得到了广泛的应用。

1、适用范围

填隙碎石基层可适用于各等级公路的底基层和二级以下公路的基层。由于干

法施工不需要用水，在重庆某些高山缺水或者水源运输困难的地区，使用这种基层类型，更显示出其优越性。

2、材料的选择

第一：填隙碎石粗碎石的级配要求

一般来说，填隙碎石是由粗碎石和填隙料两个部分组成，用做基层时，碎石的最大粒径不应超过 53mm，做垫层时最大粒径不应超过 63mm。两种颗粒的级配范围应符合表 5.14 和表 5.15 的要求：

第二：粗碎石的品质要求

粗碎石用具有一定强度的各种岩石或漂石轧制而成，漂石的粒径至少为粗碎石最大粒径的三倍；也可以用稳定的矿渣轧制而成，其干密度不小于 960kg/m^3 。

表 5.14 填隙碎石粗碎石的颗粒组成

编号	标准尺寸(mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)							
		63	53	37.5	31.5	26.5	19	16	9.5
1	30-60	100	25-60		0-15		0-5		
2	25-50		100		25-50	0-15		0-5	
3	25-40			100	35-70		0-15		0-5

表 5.15 填隙碎石填隙料的颗粒组成

筛孔尺寸 (mm)	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075	塑性指数
通过百分率 (%)	100	85-100	50-70	30-50	0-10	小于 6

填隙料宜用机制碎石的石屑，若缺乏石屑可用细砂或粗砂等细集料，粗集料的压碎值应满足下列要求：

用作基层：压碎值 $\leq 26\%$

用作底基层：压碎值 $\leq 30\%$

5.2.7 手摆片石

从前面所提供的路面调查资料上，我们可以看出，手摆片石底基层在重庆地区得到了广泛的应用。在被调查的路面中，有 13 条道路采用手摆片石底基层或垫层。手摆片石基层之所以在重庆地区得到广泛地应用，这与手摆片石基层在重庆地区应用的优势是密不可分的。手摆片石基层的优势主要体现在以下几个方面：

第一：在重庆地区石料来源丰富，采用手摆片石基层可以充分利用当地的材料，从而节约宝贵的农村公路建设资金，从实际应用的状况上来看，片石结构层在重庆地区有广泛的应用，是一种具有明显地方特色的路面结构材料。

第二：在结构组合合理、施工良好的情况下，手摆片石基层的破坏较少。从破坏调查的情况来看，产生病害的路段主要是结构组合不合理，混凝土面层和基层施工状况不好。相反那些施工良好、结构组合合理的路面片石底基层或垫层则

较少产生破坏。

第三：这种路面结构从材料破碎到摊铺，通常采用人工方式，这种施工方式可以解决部分当地居民的就业问题，提高居民的收入。

第四：这种结构层具有较高的强度，与各种结构层的结合不易产生滑动和推移。

当然片石基层本身有着致命的弱点，就是从材料破碎到摊铺都采用人工方式，施工进度慢，施工质量不易保障，这种致命的缺陷导致了这种路面基层结构只适用于轻交通量的二、三、四级公路，这种缺陷也是其没有被列入《公路路面基层施工技术规范》中的重要原因。

1、片石基层的适用范围

由于片石基层的缺陷，使得片石基层只适用于轻交通量的二、三、四级及等外级路面结构中，并且不得在片石基层的上部直接铺筑水泥路面，也就是说片石基层只适用于底基层或垫层中，在二级公路中，其上部应该设置一定厚度的半刚性基层。而在三级、四级公路中也应在其上部铺筑一定厚度的碎（砾）石基层，然后铺筑路面。

当然我们对片石基层的应用应该遵循“因地制宜、实事求是”的原则，既不能过分强调片石基层的优点，也不能因为规范没有推荐这种基层类型而一概否定。就重庆地区多石料、经济不发达、交通量和轴载较小的具体特点，在广大的农村公路建设中适当地采用片石基层是切实可行的。

2、材料性能要求

为了保证片石基层的质量，其材料的性能必须满足以下要求：

第一：石料

石灰岩或砂岩均可以作为片石垫层石料，强度要求不低于三级，压碎值35%-40%，不易风化高度约为层厚的0.7倍，尺寸与厚度的关系如表5.16所示。

第二：嵌缝料

嵌缝料由碎石组成，用于填充片石间的缝隙，嵌缝工作一般分两次进行，第一次嵌缝料粒径为20-40mm，第二次嵌缝料粒径为5-20mm。

表5.16 片石层材料用量参考表

层厚(cm)	石料用量($m^3/1000m^2$)				
	石块		嵌缝料用量		合计
	高度(mm)	用量	第一次嵌缝	第二次嵌缝	
25	180-230	275	58	24	82
20	140-180	220	46	20	66
16	110-140	176	28	12	40

第六章 重庆地区农村公路水泥路面典型结构

结构组合是水泥路面设计中最重要的组成部分之一，也是水泥路面设计成败与否的关键，是当代路面设计研究的热点，如何合理地选择各个结构层的厚度、类型以及层数等，是典型结构需要考虑的首要问题，也是本章要着重讨论的问题。

6.1 路基

对于水泥路面而言，由于混凝土板体的强度、刚度较大，具有良好的传荷能力，传到路基后的应力很小，一般不超过0.07Mpa，因此，对路基的承载能力要求并不高，但路基出现不均匀的变形后，混凝土面板会与下承层之间出现局部脱空，从而导致混凝土面板的断裂破坏，从第二章的资料统计表2.1中可以看出，就重庆地区具体情况而言，农村公路水泥路面严重的病害一般都是由于路基的不均匀沉降引起的，这就要求我们必须重视路基的设计，在重庆地区，路基的不均匀沉降主要出现在以下几种情况：

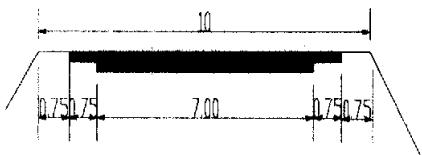
- (1) 软弱路基的不均匀沉降
- (2) 原有道路的加宽设计
- (3) 填挖交替或者新老填土交替
- (4) 填土因压实度不足而引起的压密变形
- (5) 受温度或湿度变化影响而产生的膨胀或收缩变形

为了彻底克服这些引起不均匀沉降的因素，需要我们从填料的选择、压实度的控制和地基的处理等方面采取措施。

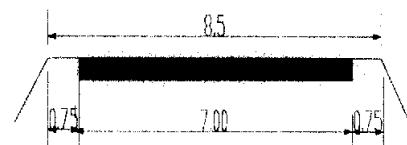
6.1.1 路基的宽度

重庆地区多山地，交通量、轴载较小，为了控制农村公路的造价、减少环境破坏，农村公路的路基宽度应该合理地确定。经过调查发现，重庆地区绝大多数四级和等外级公路的交通由多种车辆组成，村民出行工具多为自行车、摩托车和电动三轮车还有少量的轻型客车。村民的主要运输工具为手扶拖拉机、轻型卡车、面包车，只有极少数的重型卡车，而二级和三级公路的交通量也较小，基于上述情况，重庆地区农村公路的路基宽度不宜修筑得过大，具体如下图所示：

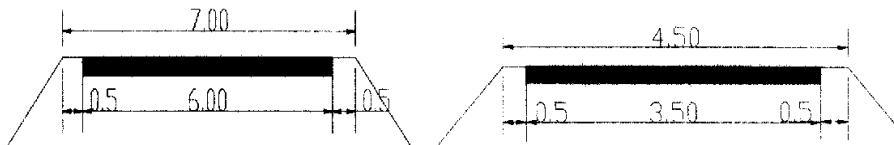
1) 二级公路



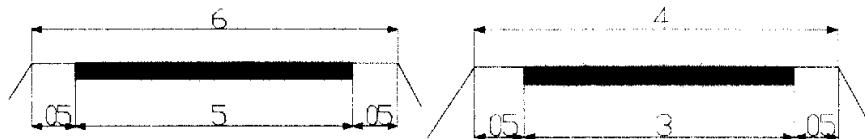
2) 三级公路



3) 四级公路



4) 等外级公路



6.1.2 路基土的工程分类

我国公路界各个部门根据多年的实践经验，吸收国外的“统一土分类法”中的体系和原则，结合了土的工程属性及公路工程的特点，《公路土工试验规程》（JTJ051-93）制定了公路用土的分类方法。分类方法除粒度程度外，还考虑了土的塑性指标及土中的有机质存在情况。

公路工程中土的工程分类如表 6.1

表 6.1 公路工程中土的工程分类表

土组	砂		细粒土质砂	粉质土		
土名	砂	含细粒土砂	粉质土砂	含砂低液限粉土	低液限粉土	含砂低液限粉土
土组	粘性土					
土名	低液限粉土	粘土质砂	含砂低液限粘土	高液限粘土质砂	含砂高液限粘土	高液限粘土

按粒径的大小，土颗粒分为巨粒土、粗粒土和细粒土，其粒径划分范围见表 6.2

表 6.2 土粒组划分

200 60 20 5 2 0.5 0.25 0.074 0.02 (mm)									
巨粒土		粗粒土						细粒土	
漂石	卵石	砾(角砾)			砂			粉粒	粘粒
		粗	中	细	粗	中	细		

在农村公路路基的设计中应该选用级配较好的粗集料作为填料，砾类土和砂类土应优先选做路床材料，土质差的细粒土可填于路堤底部。泥炭、淤泥、冻土、膨胀土及易溶盐超过允许限量的土，不得直接用于路堤的填筑。强分化的岩石及浸水后容易崩解的岩石不宜作为浸水路堤的填料。细粒土用做填料时，当土的含水量超过最佳含水量两个百分点以上时，应采用晾晒或改善稳定土技术进行处理。

在各级公路的设计中必须要求注意路基填料的最小强度和最大粒径，农村公路中路基填料的最小强度和最大粒径应符合下表 6.3 规定的要求：

表 6.3 路基填料的最小强度和最大粒径要求

项目分类	路面底层以下深度 (m)	填料的最小强度 (CBR) (%)	填料的最大粒径
		二、三、四级公路	
填方路基	上路床	0~0.3	6
	下路床	0.3~0.8	4
	上路堤	0.8~1.5	3
	下路堤	1.5 以下	2
零填及挖方路段	0~0.3	6	100
	0.3~0.8	4	100

重庆地区的土质多为粘性土，只是在各个区中所属的粘土种类不同而已，重庆地区可以按照气候情况分为三个二级区即 V₁、V₂、V₃ 区，在这三个二级区当中，V₁ 区的主要土质为黄棕色粘性土、V₂ 区的主要土质以紫色粘性土为主、V₃ 区的主要土质为红色粘性土，在重庆地区农村公路水泥路面设计中，我们必须要把握住这一地质特点，合理地按照上述要求进行路基的各种处理。

6.1.3 路基土的干湿类型

从上文环境资料中知道，重庆地处西南潮暖区，属亚热带温湿气候，全年雨量充沛，无霜期长，湿度大，云雾多，秋季多阴雨，年平均气温 18℃，最低气温-4℃，最高气温可达 42℃，多数年份无冰冻，年平均降雨 1172mm，年内降雨分布不均，多集中在 5~9 月份，约占全年降雨量的 70%，区内多年平均相对湿度 80%。

从数据中我们看出，重庆地区的湿度和温差都较大，降雨频繁，年平均气温较高，全年基本无冰冻现象，重庆地区的气候特点对路基的设计有着明显的影响，另外由于在重庆地区的主要土质为粘性土，在温度和水分的作用下容易造成上文所述的第五种病害即温胀和湿胀，因此在重庆地区农村公路水泥路面的设计中应该特别注意控制路基的干湿状况，必要时需要采取措施处理。

重庆地区农村公路水泥路面设计，应该严格地按规范中规定的干湿状况来处理路基。水泥路面的路基应该处于干燥或中湿状态，对于潮湿或过湿的路基应视不同的情况采取不同的措施进行处理，具体来说，对于高地下水路段，应该尽可能地提高设计路基的标高，当设计标高受限时，应该采取适当的措施来处理路基如选用粗粒土、低剂量的石灰及水泥稳定细集料做路床材料或者设置排水渗沟等。

路基上层的干湿状况按照路床表面以下 80cm 深度内的平均稠度 B_m 来确定，平均稠度 B_m 如下式所示，路床的干湿类型所对应的稠度如表 6.4。

$$B_m = (W_i - W_m) / (W_i - W_p)$$

W_i———土的液限含水量 (%)

W_p———土的塑限含水量 (%)

W_m——土的平均含水量(%)

表 6.4 路基干湿类型

路基干湿类型	平均稠度 B _m	一般特征
干燥	>1.00	路基干燥、稳定，上层不受地下水和地表水的影响
中湿	0.75-1.0	路基上层处于地下水和地表水影响的过渡地带
潮湿	0.5-0.75	路基上层处于地下水和地表水的毛细影响区
过湿	<0.5	路基极为不稳定，非冰冻区雨季软弹

6.1.4 路基土的压实

由于重庆地区多山地，其地质病害多为崩塌、滑坡、泥石流、山洪等，对公路的设计影响较大。在路基的设计中，由于这一特征，造成了路基多填方和挖方的特点，在这当中对路基的压实度选择要求较高，在上述几种情况中，1、3、4 均是由于地质的情况引起的，在重庆地区路基的破坏中经常遇到。因此，如何选择路基压实的器械以及压实度，是研究农村公路压实的主要内容。

1、压实器械及含水量的选择

重庆地区的土质特征为粘性土，这种土质容易发生湿胀，因此，选择在什么样的含水量下进行压实，以及选择何种压实标准是一个值得探讨的问题。

有研究资料表明，粘土填料在重型压实标准条件下，压实时所需的含水量比最佳含水量略少，所产生的压实度也较高，粘土填料所能达到的最大干密度也较大，但这种压实标准在实际的使用过程中，结合重庆地区多雨的条件，一方面容易吸水产生湿胀现象，造成路基的破坏，另一方面，这种压实标准会使多余的压实功白白浪费掉。而相反在轻型压实标准的条件下，压实时所需的含水量比最佳含水量略大，所产生的压实度没有重型机械高，粘土填料所能达到的最大干密度也比重型机械低，因而这种压实标准在实际使用的过程中容易干燥收缩，从而产生对路基的破坏。土基在修筑好以后，其含水量会随着大气降水与蒸发及地下水位的变化而发生变化，但这种湿度变化在经历了几年的干湿循环后最终会趋向一个稳定的值，有研究资料表明，对于大多数粘性土而言，这个值就稳定在土的塑限左右，因此，作者认为如果施工压实时，土的含水量宜选择接近于土的塑限，则压实后的土基在使用过程中的湿度变化和体积变化可以控制在最低限度的范围内，而土基也就可以为路面提供均匀而稳定的支撑。

2、压实度的选择

路基压实标准采用压实度作为控制指标。压实度指的是压实后土的干密度与该种土在室内标准条件下的最大干密度之比，即：

$$\kappa = (\rho_d / \rho_m) \times 100$$

κ —压实度(%)

ρ_d —现场测得的土压实后的干密度

ρ_m —室内标准条件下测得的与现场相同土质的最大干密度

重庆地区农村公路填方路基应分层铺筑，均匀压实，各等级公路路基在不同深度位置上的压实度应满足表 6.5 规定：

表 6.5 路基压实度要求

填挖类型		路床底面以下 深度 (m)	二级公路	三、四级公路	等外级公路
挖 方 路 基	上路床	0~0.3	≥95	≥94	≥90
	下路床	0.3~0.8	≥95	≥94	≥90
	上路堤	0.8~1.5	≥94	≥93	≥87
	下路堤	1.5 以下	≥92	≥90	≥85
零填及挖方路基		0~0.3	≥95	≥94	≥90
		0.3~0.8	≥95	-	-

6.2 可靠度设计方法

6.2.1、定义

2002 年以前我国的水泥路面厚度的设计采用确定型设计方法，也就是对结构抗力进行某种程度的缩小，而对外部荷载进行某种程度的放大。但是，这种方法具有一定的缺陷，在这种方法中，安全系数的选定，主要依靠工程实践经验的积累，所以按照这种方法设计路面结构时并不清楚各项设计参数的变异程度，以及他们对所设计路面的影响程度，因而，并不明确所设计路面结构应达到的可靠度，也不了解该设计结构实际具有或可达到的可靠度。所以，对设计结果的把握程度是较低的，或者是模糊的。

2002 年以后随着新规范的制定，我国水泥路面的设计逐渐转向可靠度设计方法：

路面结构的可靠性是指路面结构在规定的时间、规定的环境和荷载条件下完成预定功能的能力，而完成预定功能的概率就是路面可靠度。

规定的时间是指设计基准期，也就是路面设计所采用的时间，它与路面的寿命有着本质的区别，它是指在计算路面结构可靠度时，考虑各项基准变量与时间关系所取用的基准时间，在这段时间内关于路面的可靠性分析是有效的。

预定的功能是指对于路面来说即为使用性能，包括功能性能和结构性能两个方面，预定的使用性能是用规定的温湿状态下特定的临界状态下表示的，在我国采用行车的荷载疲劳应力和温度梯度的疲劳应力的总和不超过混凝土的弯拉强度为指标。所以在 2002 年我国的水泥路面设计规范中定义可靠度为，在规定的设计基准期内，规定的交通和环境条件下，荷载疲劳应力和温度剃度疲劳应力的总和不超过混凝土弯拉强度的概率。可用下式表示：

$$P_s = P\{N \geq n, n < \infty\}$$

6.2.2、目标可靠度

目标可靠度是指路面设计应具有的可靠度水平。选定较高的目标可靠度，在相同的设计参数变异水平下，所设计的路面厚度较大，后期养护管理的费用较少。相反，在相同的情况下选定较低的目标可靠度，所设计的路面厚度较小，但后期的养护管理费用较大。因此就农村公路水泥路面的自身特点来说，选择目标可靠度是一个综合的经济问题，我们要选择综合费用最少的目标可靠度，以达到节约费用的目的。

综合考虑国内外的各种数据，我国公路工程结构可靠度设计统一标准规定了各级公路的目标可靠度和相应的目标可靠度指标、设计基准期、以及各安全等级路面的材料性能和结构尺寸参数的变异水平等级，结果如下表 6.6-6.8：

表 6.6 可靠度设计标准

公路技术等级	二级公路	三、四级公路
安全等级	三级	四级
设计基准期 (a)	20	20
目标可靠度 (%)	85	80
目标可靠指标	1.04	0.84
变异水平等级	中	中一高

规范规定的设计参数与不同变异水平等级的变化范围如表 2.4：

表 6.7 农村公路主要结构设计参数的变异范围

公路等级	二级	三、四级
C _r (h)	4-6	5-7
C _r (f _r -E _c)	10-15	12.5-17.5
C _r (E _t)	25-35	30-45

表 6.8 不同目标可靠度水平下符合不同变异水平等级的可靠度系数 F_R

变异水平等级	目标可靠度 (%)			
	95	90	85	80
中	1.33-1.50	1.16-1.23	1.08-1.13	1.04-1.07
高	-	1.23-1.33	1.13-1.18	1.07-1.11

6.3 基本指标

6.3.1 交通分级

交通量是水泥路面结构设计中的基本参数，在我国现行的《公路水泥路面设计规范》中，这些参数与大多与公路等级有关，因此在确定典型结构时要将公路等级与交通等级结合起来，综合考虑交通分级。

按照 3.3.1 节的交通分析，目前重庆农村地区的经济和交通发展水平较为落后，重庆大部分远郊区县为经济欠发达地区，交通量较小，日交通量多在

1000~2000 辆之间，交通组成中型车以中型货车和大型客车为主，轻型车以小型客车和小型货车为主，交通组成较为简单。根据当量累计轴载作用次数，修筑次高级路面即可满足要求，但考虑未来交通发展，以及有一些公路虽然通量小，但重车多、超载严重的情况，重庆农村公路的分级应按照下列方法：

第一：重庆地区二级公路的交通等级多介于重交通和中等交通之间，有少数属于特重交通的范围，为了能使典型结构涵盖二级公路的各种交通情况，把二级公路的交通划分为特重、重和中等三个等级，其中按照本文对重庆地区农村公路等级的划分，特重、重交通不属于农村公路的范畴。

第二：三级、四级以及等外级公路多属于一些县道、乡道、村道及一些主干道的支线，交通量较小，属于较轻交通，因此将其划分为轻交通等级。

具体的交通分级如表 6.9

表 6.9 典型结构的交通等级划分

公路等级	交通等级	设计基准期	交通量年平均增长率 (%)	使用初期设计车道日标准轴载作用次数 (n/d)
二级公路	特重	30	3~5	5000
				1501
	重	30	4~6	1500
				201
	中等	20	5~7	200
				7
三、四级及等外级	轻	20	6~8	6

6.3.2 基层和底基层的设计参数

典型结构基层和底基层采用重庆地区来源广泛、应用普遍的材料，包括二灰混合料、水泥稳定碎石、石灰煤渣碎石、级配碎石、填隙碎石和片石，基层材料设计参数的确定以室内测试值和规范推荐值为依据，同时考虑材料性质的变异、施工水平等对各结构层材料强度的影响，典型结构材料参数的取值如表 6.10：

表 6.10 典型结构基层设计参数

材料名称		二灰碎(砾)石	水泥碎(砾)石	石灰碎(砾)石
抗压回弹模 (MPa)	二级及以下公路	1300~1700	1300~1700	1000~1400
材料名称		级配碎石	填隙碎石	片石
抗压回弹模 (MPa)	二级及以下公路	200~350	200~280	200

6.3.3 土基的强度等级

重庆是多山地区，有多种类型的路基存在，路基的情况较为复杂，主要包括挖方、填方和半填半挖三种，这些路基的共同特点是受水的影响较大，而重庆地区气候湿热，雨量充沛，很容易造成路基的破坏，综合考虑以上情况，在重庆农村公路水泥路面的设计中，我们将重庆地区的路基划分为潮湿、中湿、干燥三个

等级，具体的确定方法参照书本。表 6.11 为路基的干湿状况和设计模量的取值：

表 6.11 路基干湿状态划分和模量的取值

路基的干湿状态	潮湿	中湿	干燥
模量 E_0 (MPa)	25-30	30-50	≥ 50
E_0 计算取值 (MPa)	27.5	40	50

6.3.4 混凝土板的设计参数

考虑到水泥用量等实际情况，混凝土的设计弯拉强度为 4.5-5.0 MPa，表 6.12 是典型结构混凝土板的几个设计参数：

表 6.12 混凝土板的设计参数

公路等级	交通等级	混凝土的模量 E_c (MPa)	设计强度 (MPa)	设计年限	交通增长率 (%)	车道横向分布系数
二级	特重	3×10^4	5.0	30	3-5	0.36
	重	3×10^4	5.0	30	4-6	0.34-0.39
	中等	2.8×10^4	4.5	20	5-7	0.34-0.39
三级	轻	2.7×10^4	4.5	20	6-8	0.54-0.39
四级	轻	2.7×10^4	4	20	7-9	0.54-0.39

6.4 重庆地区农村公路水泥路面结构组合

6.4.1 注意事项

在重庆地区，由于气候、资源等各个方面的情况有其特殊性，所以在农村公路水泥路面的结构组合中应该充分考虑这些特殊性，选择适合重庆地区具体条件下的水泥路面结构组合，主要需注意的事项有以下几个方面：

(1) 要注意重庆地区多雨水、潮湿的特点

影响路面强度和稳定性的因素很多，水是这当中极其重要的一个因素，影响路面强度和稳定性的水源主要有地表水和地下水两种。就重庆地区的具体条件来说，气候潮湿，雨水多是重庆地区的主要特征，而重庆地区的土质主要为粘性土，透水性较差，为防止地表水和地下水对混凝土路面的影响，在结构组合设计中，不管是旧路改造还是新建公路，在重庆地区四级及等外级农村公路均应设置基层，过分潮湿的路段还同时需要设置垫层，以防止水份的进入，延长农村公路的使用寿命，从而减少总费用。

在重庆地区的气候条件下，四季无冰冻是重庆地区的重要特点之一，不存在冻胀和翻浆病害，这一特点使我们在路面设计中不需要考虑到路面最小防冻层厚度的问题，主要满足强度和施工要求。

(2) 要充分发挥重庆地区石料丰富的资源优势

在进行路面基(垫)层的材料选择的时候，既要满足混凝土路面对各结构层的

要求，也要考虑到当地的资源情况。就重庆地区的具体情况来说，石料丰富是一大特色和优势，也是在实际应用中被证实具有良好使用效果的材料，因此，在重庆地区农村公路水泥路面的设计中，在各结构层都满足要求的情况下，尽量多采用石料来修筑路面基(垫)层。

(3) 合理确定结构层的厚度

农村公路具有交通量小、轴载轻的特点，在路面设计中所需的厚度较薄。因此，在重庆地区农村公路水泥路面的设计中，结构层的厚度既要满足路面结构层整体强度的要求，又要方便施工操作，每层结构厚度都应该能分别满足最小厚度的要求，基层和垫层的厚度都不应小于15cm。

(4) 要充分考虑重庆地区农村公路小交通量特点

在有关资料的统计中，重庆地区四级及等外级农村公路交通量和轴载均较小，在划分交通量等级中属于轻交通，考虑到施工人员大多为非专业人士，为减少繁琐的设计过程，笔者在研究调查资料的基础上，充分考虑了路基的潮湿状况，提出了部分适合重庆地区农村公路水泥路面的典型结构。

6.4.2 典型结构组合

根据上述组合原则所得的重庆地区农村公路水泥路面典型结构如下表所示：

(1) 二级公路中等交通量路面结构组合

表 6.13 重庆地区农村公路水泥路面典型结构

面 层	22cm 普通混凝土		22cm 普通混凝土	
基 层	15cm 水泥稳定碎（砾）石		15cm 石灰稳定碎（砾）石	
底基层	18cm 级配碎（砾）石	16cm 级配碎（砾）石	18cm 级配碎（砾）石	16cm 级配碎（砾）石
路基潮湿状况	中湿	干燥	中湿	干燥

面 层	22cm 普通混凝土		22cm 普通混凝土	
基 层	15cm 二灰稳定碎（砾）石		15cm 水泥稳定碎（砾）石	
底基层	18cm 级配碎（砾）石	16cm 级配碎（砾）石	18cm 填隙碎（砾）石	16cm 填隙碎（砾）石
路基潮湿状况	中湿	干燥	中湿	干燥

面 层	22cm 普通混凝土		22cm 普通混凝土	
基 层	15cm 石灰稳定碎（砾）石		15cm 二灰稳定碎（砾）石	
底基层	18cm 填隙 碎（砾）石	16cm 填隙 碎（砾）石	18cm 填隙碎（砾）石	16cm 填隙碎（砾）石
路基潮湿状况	中湿	干燥	中湿	干燥

面 层	22cm 普通混凝土		
基 层	15cm 水泥稳定碎(砾)石	15cm 灰土(灰)石	15cm 二灰稳定碎(砾)石
底基层	20cm 手摆片石基层		
路基潮湿状况	中湿-干燥		

(2) 三级公路轻交通量路面结构组合

表 6.14 重庆地区农村公路水泥路面典型结构

面 层	21cm 普通混凝土		21cm 普通混凝土	
基 层	15cm 灰土(灰)石			15cm 二灰稳定碎(砾)石
底基层	17cm 级配碎(砾)石	15cm 级配碎(砾)石	17cm 级配碎(砾)石	15cm 级配碎(砾)石
路基潮湿状况	中湿	干燥	中湿	干燥

面 层	21cm 普通混凝土		21cm 普通混凝土	
基 层	15cm 灰土(灰)石			15cm 二灰稳定碎(砾)石
底基层	17cm 填隙碎(砾)石	15cm 填隙碎(砾)石	17cm 填隙碎(砾)石	15cm 填隙碎(砾)石
路基潮湿状况	中湿	干燥	中湿	干燥

面 层	21cm 普通混凝土		
基 层	15cm 水泥稳定碎(砾)石	15cm 灰土(灰)石	15cm 二灰稳定碎(砾)石
底基层	20cm 手摆片石基层		
路基潮湿状况	只需要路基在中湿或燥即可		

(3) 四级公路轻交通量路面结构组合

表 6.15 重庆地区农村公路水泥路面典型结构

面 层	20cm 普通混凝土	
基 层	15cm 灰土(灰)石	16cm 级配碎(砾)石
底基层	20cm 手摆片石	
路基潮湿状况	只需要路基在中湿或燥即可	

(4) 等外级公路轻交通量路面结构组合

表 6.16 重庆地区农村公路水泥路面典型结构

面 层	16cm 普通混凝土	20cm 普通混凝土	18cm 普通混凝土
基 层	10cm 级配碎石找平层	15cm 填隙碎石	10cm 级配碎石找平层
	20cm 手摆片石		泥结碎石老路面
路基潮湿状况	只需要路基在中湿或燥即可		

6.4.3 结构计算

为了进一步地演示水泥路面的计算过程，本文采用可靠度设计方法，进行设计计算。在设计中所采用的设计参数仅起演示计算作用，不代表任何实例。

重庆某二级公路拟建水泥混凝土路面，由交通调查、预测并计算得知设计车道的日平均货车交通量为 150ved/d，交通量年平均增长率为 6%。路基填土为含砂低液限粘土，地下水位高度为 1.2m 左右。

(1) 交通分析

根据表 6.9，上述初始年设计车道的标准轴载日作用次数属中等交通道路。取设计使用期为 20 年，使用期内的交通量年平均增长率为 6%，车轮轮迹的横向分布系数 0.35，则设计使用期内标准轴载的累计作用次数可由下式确定：

$$Ne = \frac{Ns[(1+\gamma)^t - 1] \times 365}{\gamma} \eta = \frac{150 \times [(1+0.06)^{20} - 1] \times 365}{0.06} \times 0.35 = 0.7 \times 10^6 \text{ 次}$$

属于中等交通路面等级

由所在地公路自然区划为 V₂ 区和基床顶面距地下水位的平均高度为 1.2m，可参照《路面设计手册》表 2-3-7 和 2-3-6 判断路基属于中湿状况其平均稠度为 1.0，参照表 2-3-10，选用土基的回弹模量为 33.5MPa。

(一) 结构类型一

(2) 初拟路面结构

由表 2.3，相应的安全等级为三级，变异水平等级为中等。根据以上资料，初拟路面结构厚度为 22cm 普通混凝土、15cm 水泥稳定碎石、18cm 填隙碎石组成，面层板的横缝采用 5m；纵缝为设拉杆的平缝，板宽 3.75m。

(3) 结构层强度和模量参数的确定

水泥混凝土的设计弯拉强度选用 5MPa。混凝土的配合比设计强度按 $5 \times 1.15 = 5.75$ MPa 确定。由表 4-2-17，混凝土的弹性模量为 28GPa。

参照表 2-4-5，水泥稳定碎石（5.5%）的弹性模量为 1500MPa，参照表 2-4-3 填隙碎石的回弹模量为 200MPa。

利用图 4-2-9，由 $E_t/E_0 = 200/33.5 = 5.97$ 和 $h_1=18$ ，可查得 $E_{t1}/E_0=2$ ，则垫层顶面的当量回弹模量为 $5 \times 33.5 = 67$ MPa，在利用图 4-2-9，由 $E_2/E_{t1}=1500/67=22.4$ MPa 和 $h_2=15$ cm，可查得 $E_t/E_{t1}=2.9$ ，则基层顶面的回弹模量为 $E_t=2.9 \times 67=194.3$ MPa。

按式 4-2-15 计算模量修正系数

$$n=1.718 \times 10^{-3} \left(\frac{hEc}{Et} \right)^{0.8} = 1.718 \times 10^{-3} \left(\frac{22 \times 28000}{194.3} \right)^{0.8} = 1.086$$

由此计算荷载应力时，基层顶面回弹模量值为 $E_{tc}=1.086 \times 194.3=211 \text{ MPa}$
而计算温度应力时，基层顶面的计算回弹模量值为 $E_{tc}=0.35 \times 194.3=68 \text{ MPa}$

(4) 荷载疲劳应力的计算

由 $E_c/E_{tc}=28000/211=132.7$ 和 $h=22$ ，查图 4-2-10，可得到标准轴载作用下板边缘中部的最大荷载应力为 $\sigma_{ps}=1.75 \text{ MPa}$

按纵缝类型和基层类型，选取应力折减系数 $k_f=0.89$ 。按交通等级，由表 4-2-16 选取综合系数为 $k_c=1.2$ 。由使用期内标准轴载累计作用次数 $N_e=0.7 \times 10^6$ ，应用式 4-2-16 可计算得到荷载疲劳应力系数 $k_r=(0.7 \times 10^6)^{0.0516}=2$

由此，按式 4-2-9 将上述各项相乘，即可得到荷载疲劳应力为

$$\sigma_{pr}=k_f k_c k_r \sigma_{ps}=0.89 \times 1.2 \times 2 \times 1.75=3.738 \text{ MPa}$$

(5) 温度疲劳应力

该路段属于 V₂ 区，按照表 2-2-6，选取最大温度梯度为 $0.85^\circ\text{C}/\text{cm}$ 。

混凝土路面结构的相对刚度半径为

$$l_0 = \sqrt{\frac{Eh^3(1-\mu_0^2)}{6E_0(1-\mu^2)}} = 22 \times \sqrt{\frac{28000 \times (1-0.3^2)}{6 \times 68 \times (1-0.15^2)}} = 87.95 \text{ cm} \quad \text{相对板长为}$$

$L/l=500/87.95=5.7$ 。查图 3-3-15 可得到 $D_r=0.65$

由式 4-2-17 板边缘中点在最大温度梯度时的温度应力为

$$\sigma_{tm}=0.5 \times 28000 \times 1 \times 10^{-5} \times 0.85 \times 22 \times 0.65=1.7 \text{ MPa}$$

由 $\sigma_{tm}/f_r=1.7/5=0.34$ ，查表 4-2-18 可得到 V₂ 区的温度疲劳应力系数为 0.5

按照式 4-2-10 可计算得到温度疲劳应力为 $\sigma_{tr}=k_r \sigma_{tm}=0.5 \times 1.7=0.85 \text{ MPa}$

查本文表 6.6，该二级公路的安全等级为三级，变异水平为中等，目标可靠度系数为 85%。再根据表 6.8 查得可靠度系数 $\gamma_r=1.1$ 。

$$\text{则 } \gamma_r (\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) = 1.1 \times (3.738 + 0.85) = 5.05$$

此疲劳综合应力接近混凝土的设计强度，满足要求。

(二) 结构类型二

(2) 初拟路面结构

由表 6.6，相应的安全等级为三级，变异水平等级为中等。根据以上资料，初拟路面结构厚度为 22cm 普通混凝土、15cm 二灰稳定碎石、18cm 级配碎石组成，面层板的横缝采用 5m；纵缝为设拉杆的平缝，板宽 3.75m。

(3) 结构层强度和模量参数的确定

水泥混凝土的设计弯拉强度选用 5MPa。混凝土的配合比设计强度按 $5 \times 1.15=5.75 \text{ MPa}$ 确定。由表 4-2-17，混凝土的弹性模量为 28GPa。

参照表 2-4-5, 二灰稳定碎石的弹性模量为 1500MPa, 参照表 2-4-3 级配碎石的回弹模量为 250MPa。

利用图 4-2-9, 由 $E_t/E_0=250/33.5=7.46$ 和 $h_1=18$, 可查得 $E_{t1}/E_0=2.2$, 则垫层顶面的当量回弹模量为 $2.2 \times 33.5=73.7$ MPa, 再利用图 4-2-9, 由 $E_2/E_{t1}=1500/73.7=20.4$ MPa 和 $h_2=15$ cm, 可查得 $E_t/E_{t1}=2.5$, 则基层顶面的回弹模量为 $E_t=2.5 \times 67=167.5$ MPa。

按式 4-2-15 计算模量修正系数

$$n=1.718 \times 10^{-3} \left(\frac{hEc}{Et} \right)^{0.8} = 1.718 \times 10^{-3} \left(\frac{22 \times 28000}{167.5} \right)^{0.8} = 1.22$$

由此计算荷载应力时, 基层顶面回弹模量值为 $E_{tc}=1.22 \times 167.5=204.35$ MPa
而计算温度应力时, 基层顶面的计算回弹模量值为 $E_{tc}=0.35 \times 167.5=58.63$ MPa

(4) 荷载疲劳应力的计算

由 $E_c/E_{tc}=28000/204.35=137$ 和 $h=22$, 查图 4-2-10, 可得到标准轴载作用下板边缘中部的最大荷载应力为 $\sigma_{ps}=1.6$ MPa

按纵缝类型和基层类型, 选取应力折减系数 $k_j=0.89$ 。按交通等级, 由表 4-2-16 选取综合系数为 $k_c=1.2$ 。由使用期内标准轴载累计作用次数 $N_e=0.7 \times 10^6$, 应用式 4-2-16 可计算得到荷载疲劳应力系数 $k_f=(0.7 \times 10^6)^{0.0616}=2$

由此, 按式 4-2-9 将上述各项相乘, 即可得到荷载疲劳应力为

$$\sigma_{pr}=k_j k_c k_f \sigma_{ps}=0.89 \times 1.2 \times 2 \times 1.6=3.42$$
 MPa

(5) 温度疲劳应力

该路段属于 V₂ 区, 按照表 2-2-6, 选取最大温度梯度为 0.85°C/cm。

混凝土路面结构的相对刚度半径为

$$l_0=\sqrt[3]{\frac{Eh^3(1-\mu_0^2)}{6E_0(1-\mu^2)}}=22 \times \sqrt[3]{\frac{28000 \times (1-0.3^2)}{6 \times 58.63 \times (1-0.15^2)}}=92.4$$
 cm, 相对板长为

$L/l=500/92.4=5.41$ 。查图 3-3-15 可得到 $D_s=0.6$

由式 4-2-17 板边缘中点在最大温度梯度时的温度应力为

$$\sigma_m=0.5 \times 28000 \times 1 \times 10^{-5} \times 0.85 \times 22 \times 0.6=1.68$$
 MPa

由 $\sigma_m/f_r=1.68/5=0.34$, 查表 4-2-18 可得到 V₂ 区的温度疲劳应力系数为 0.5¹

按照式 4-2-10 可计算得到温度疲劳应力为 $\sigma_r=k_r \sigma_m=0.5 \times 1.6=0.8$ MPa

查本文表 6.6, 该二级公路的安全等级为三级, 变异水平为中等, 目标可靠度系数为 85%。再根据表 6.8 查得可靠度系数 $\gamma_r=1.1$ 。

$$\text{则 } \gamma_r (\sigma_{pr} + \sigma_{rr}) = 1.1 \times (3.42 + 0.8) = 4.642$$

此疲劳综合应力接近混凝土的设计强度，满足要求。

第七章 重庆地区农村水泥路面其他方面的要求

7.1 面层接缝的设计

7.1.1 纵向接缝

纵向接缝包括纵向缩缝和纵向施工缝，视路面的宽度和施工铺筑的宽度而定。纵向间距根据路面行车道宽度在3.0~4.5m范围内确定。

当一次铺筑宽度大于4.5m时，应设置纵向缩缝，采用假缝形式。当用级配碎（砾）石基层时，槽口深度为板厚的1/3，宽度为3~8mm；采用水泥稳定粒料基层和石灰粉煤灰基层时，槽口的深度为板厚的2/5。其构造如图7.1所示。

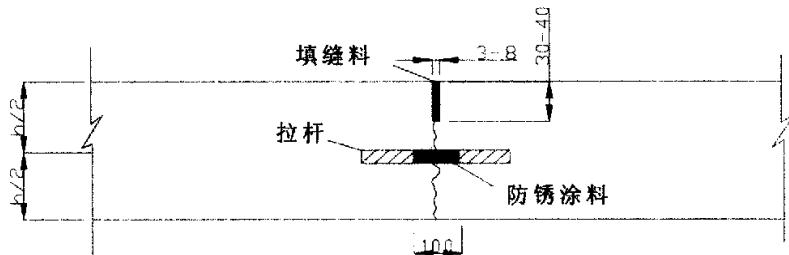


图7.1 纵向缩缝构造

当一次铺筑的路面宽度小于路面宽度时，应设置纵向施工缝。一般采用平缝形式，槽口深度为30~40mm，宽度为3~8mm，槽内灌塞填料，其构造如图7.2所示：

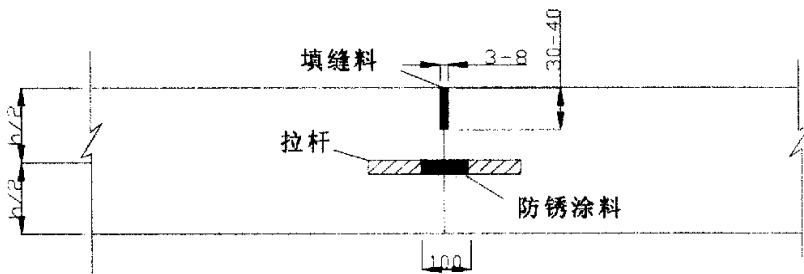


图7.2 纵向施工缝

纵缝中应设置拉杆，拉杆采用螺纹钢筋，设在板厚中央，并对拉杆中部范围内进行防锈处理。拉杆的直径、长度和间距可参照表7.1选用。施工时拉杆间距可按

照横向接缝的实际位置给予调整, 最外侧的拉杆距横向接缝的距离不小于 100mm。

表 7.1 拉杆的直径、长度和间距

到自由边或未设拉杆纵缝的距离 (mm)			
3000	3500	3750	4500
14×700×900	14×700×800	14×700×700	14×700×600

7.1.2 横向缩缝

为了控制普通混凝土路面开裂, 保证接缝具有良好的传荷能力, 在混凝土路面中应该每隔 4~6m 设置横向缩缝。具体缩缝间距的设置应该随路基的情况而定, 在重庆地区, 填方路段的路面设计中应该尽量采用较小的缩缝间距, 以减少路面由于不均匀沉降而形成的裂缝。

在横向缩缝顶部应锯切槽口, 采用假缝形式, 深度为面层厚度的 1/4~1/5, 宽度为 3~8mm, 槽内填塞填缝料, 具体构造如图 7.3 所示。

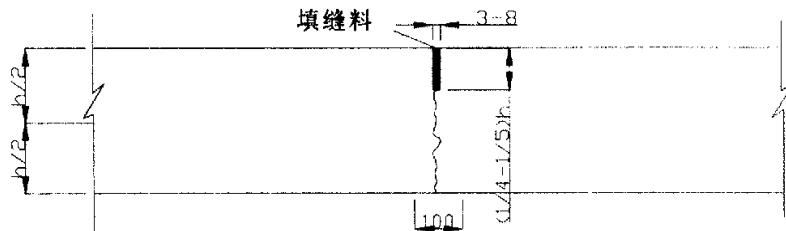


图 7.3 横向缩缝构造

7.1.3 横向施工缝

每天施工结束或者因为临时原因而中断施工时, 必须设置横向施工缝。其位置应尽可能选在缩缝或胀缝处。设在缩缝处的施工缝, 应采用加传力杆的平缝形式, 其构造如图 7.4 所示。设在胀缝处的施工缝, 其构造与胀缝相同。如不能在上述位置而必须设在缩缝之间时, 施工缝应采用设拉杆的企口缝形式, 其构造如图 7.5 所示。

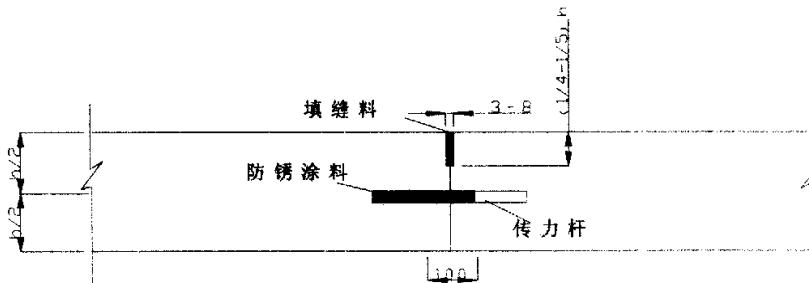


图 7.4 设传力杆平缝形式的施工缝构造

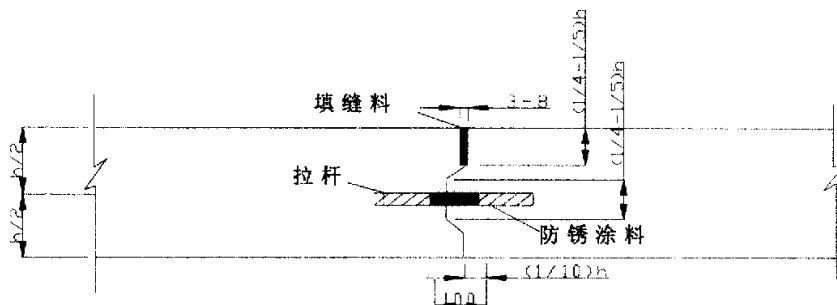


图 7.5 设拉杆企口缝形式施工缝构造

传力杆采用光面钢筋，其尺寸和间距可按照表 7.2 选用。最外侧传力杆距纵向接缝或自由边的间距为 150~250mm。

表 7.2 传力杆尺寸和间距

面层厚度	直 径	最 小 长 度	最 大 间 距
200	26	400	300
220	28	400	300
240	30	400	300

7.1.4 横向胀缝

在邻近桥梁或其他固定构造物处、与其他道路相交处及小半径平曲线和凹型竖曲线纵坡变换处应设置横向胀缝。设置胀缝的条数，视膨胀量大小而定。低温浇注混凝土面层或采用膨胀性高的集料时，宜酌情确定是否设置胀缝。胀缝宽度 20mm，缝内设置填缝板和可滑动的传力杆，传力杆应设在基层预定的位置上设置钢筋支架给予固定。传力杆一半以上长度的表面涂一层沥青，外面在套 0.4mm 厚的聚氯乙烯膜。杆的一端加一金属套，内留 30mm 空隙，填以泡沫塑料，带套的杆端在两相邻板交错布置，具体构造如图 7.6 所示。

7.1.5 接缝封填材料

接缝封填材料有填缝料和填缝板。

(1) 填缝料

填缝料应与混凝土接缝槽壁粘结力强，能适应混凝土板收缩，具有不溶于水、不渗水、高温时不流淌、低温时不脆裂、耐老化特性，其类型有加热式和常温式。

加热施工式填缝料主要有沥青橡胶类、聚氯乙烯和沥青玛碲脂类等，具体技术要求见表 7.3

表 7.3 加热施工式填缝料技术要求

针入度（推针法）	弹性（球针法）(-10℃)	流动度	拉伸量 (-10℃)
<5mm	贯入量 5mm 复原率>30%	<5mm	>5mm

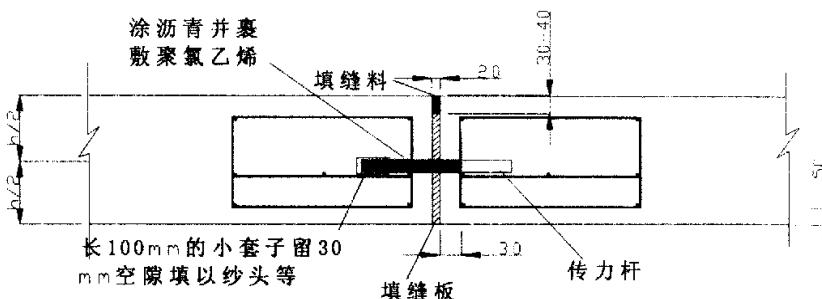


图 7.6 胀缝构造 (单位 mm)

常温施工式填缝料有聚氨脂焦油、氯丁橡胶类、乳化橡胶类等，具体技术要求见表 7.4

表 7.4 加常温施工式填缝料技术要求

灌入稠度	失粘时间	弹性 (球针法) (-10℃)	流动度	拉伸量 (-10℃)
<20h	>6h, <24h	贯入量 3~5mm 复原率>75%	<5mm	>5mm

(2) 填缝板

填缝板应该选择能够适应混凝土膨胀收缩、施工时不变形、复原率高和耐久性好的材料。常用的有木材类、塑料泡沫类、纤维类板等。填缝板的技术要求见表 7.5

表 7.5 填缝板技术要求

种类 试验项目	木材类	塑料泡沫类	合成软木类板
压缩应力 (MPa)	5.0~20.0	0.2~0.6	2.0~10.0
复原率 (%)	55~70	90~100	65~80
挤出量 (mm)	1.0~5.5	2.0~5.0	1.0~4.0
弯曲荷载 (N)	100~400	0~50	5~40

7.2 排水设计

在农村公路水泥路面的设计中排水设计是重要的环节之一，有资料统计，几乎有一半以上的路面破坏与排水不良有关，因此，良好而又经济的路面排水，能够为延长路面的使用寿命提供较好的保障。由于设计、施工、重视程度以及资金的不同，农村公路的排水设计不可能很完备。因此，有必要对农村公路水泥路面的排水设计进行研究，以找出适合重庆地区农村公路水泥路面的排水设计。

农村公路的排水设计在通常意义上包括内部排水和外部排水，考虑到气候状况、资金的紧张程度、道路的重要程度、道路交通量的大小等各个方面的因素，对于重庆地区的二级、三级农村公路水泥路面，宜采用内部排水与外部排水相结合

合的排水方式，而对于四级及等外级的农村公路水泥路面，宜采用以外部排水方式为主，在部分湿度较大的地区结合内部排水的措施。

7.2.1 内部排水

内部排水是通过排除通过路面的接缝、裂缝、路基或路肩渗入并滞留在路面结构内的自由水。一般遇到下列情况，宜设置内部排水系统：

- (1) 路基两侧有滞水，可能渗入路面结构内；
- (2) 严重的冰冻地区，路基为由粉质土组成的潮湿、过湿路段；
- (3) 重要的二级公路，在年降雨量 600mm 以上的湿润和多雨地区，路基由透水性差的细粒土组成。

内部排水系统包括边缘排水系统和排水基层排水或排水垫层排水系统。

(1) 边缘排水系统

沿路面结构的外侧边缘设置纵向集水沟和集水管，并间隔一定距离布设横向出水管或盲沟排出路基。

集水沟的宽度通常采用 300mm，深度应能保证集水管管顶低于排水层的底面，顶面以不透水的路肩面层覆盖，并有足够的回填料使集水管不被施工器械压裂。沟内回填料可采用不含细料的升级配碎（砾）石和矿渣集料等透水性材料，回填料与沟壁间应填设无纺反滤织物，防止垫层、基层和路肩内的细集料侵入而堵塞填料空隙或管孔。

纵向集水管通常选用聚氯乙烯（PVC）或氯乙烯（PE）塑料管，并设 3 排槽口或孔口，开口总面积不小于 $42\text{cm}^2/\text{延米}$ 。其直径在 70-150mm 范围内根据流量确定。集水管的纵坡宜与路线纵坡相同，但不得小于 0.25%。在集水沟内可不设纵向集水管，但集水沟的断面和透水材料的渗透能力需能满足排除设计流量的要求。

横向出水管应选用不带槽或孔的聚氯乙烯（PVC）或氯乙烯（PE）的塑料管，管径与集水管相同。横向盲沟的尺寸和应用材料与纵向集水沟类同。横向出水管或盲沟的设置和间距应考虑邻近地面高程和公路纵断面情况，一般在 50-100m 范围内，坡度不宜小于 5%。其出水口处应进行坡面防护，设置标志标明出水口的位置，并尽可能将水排至排水沟或涵洞内。

(2) 排水基层排水系统

采用透水性材料做基层或垫层，在排水基层、垫层或路肩下及外侧边缘设置纵向集水沟和带孔集水管。

排水基层由水泥处治不含或含少量粒径 4.75mm 以下细料的升级配碎石组成，或者由未经结合料处治的升级配碎石组成。水泥处治碎石的水泥用量不宜少于 160kg/m^3 ，其 7 天浸水抗压强度不得低于 3-4Mpa。排水基层厚度为 8-15cm，根据所需排放的水量和基层材料的渗透系数确定。其宽度应视面层施工的需要超过面

层宽度 30~90cm 或为路基全宽。排水基层的下卧层应选用不透水或低透水的密级配结合料，以阻截自由水的下渗和路基中细粒土的上迁。

排水垫层可选用升级配集料，可根据实际情况确定是否设置纵向集水沟、排水管和出水管等。排水垫层的厚度同排水基层，宽度为路基全宽。排水垫层不但要能渗水，而且能防止渗流带来的细料堵塞透水材料。

纵向集水沟、排水管和横向出水管的尺寸布置要求，同边缘排水系统。

7.2.2 外部排水系统

路面表面排水是要迅速排除降落在路面和路肩表面上的水，以免造成路面积水而影响行车安全。

路面表面排水一般是通过路面和路肩的横向坡度向两侧横向排流。当为路堑时，横向排流的表面水汇集于边沟内。当为路堤时，可让路面表面水以横向漫流的方式向路堤坡面分散排放。如果路面表面汇水量较大，路基较高，路基坡面耐冲刷能力较差时，可在路肩外侧边缘设置拦水带，将路面表面水汇集，并通过一定间距设置的泄水口和边坡急流槽集中排放到路堤坡角外。

行道路面一般应设置双向横坡，坡度为 1%~2%。在部分降雨量较大的地区的四级和等外级公路中可以采用 3% 的路面坡度，同时应该根据当地的具体情况采用适当的外部措施，以利于顺利地排出路面积水。

路肩的横坡应比行道路面横坡大 1%~2%。路肩应采用低透水性材料，以保证水在流出的过程中不下渗。在部分四级和等外级的农村公路水泥路面中，由于不设硬路肩，路面积水流经土路肩时容易渗入其中，形成类似于“两黑一白”的路面结构，因此，在这种情况下宜加强路肩的养护管理，在某些路段实行全断面铺筑路面，以防止积水渗入路肩当中造成路面的破坏。

7.3 表面特性

水泥路面的表面特征在农村公路水泥路面中主要是指抗滑性能，具体地抗滑性能的因素有两点。

第一：细构造

细构造是指由水泥砂浆和粗集料组成的混凝土表面的粗糙度，其断面波长在 0.5mm 以下，它为轮胎提供附着力，对低速行使下车辆的抗滑能力起着决定性的作用。混凝土面层的表面细构造和抗滑能力及其耐久性，主要与水泥砂浆和粗集料的性质有关。在这当中砂粒的硬度起着至关重要的作用。在配合比设计中，应当采用较低的水灰比，同时在满足强度要求的前提下，尽量减少水泥的用量，减少水泥的磨损。

第二：粗构造

粗构造是指施工时在混凝土表面拉毛或刻槽形成的细沟槽，其断面波长在0.5~50mm范围内，其作用主要是迅速排除轮胎与路表面之间的积水，使轮胎与路表面的细构造处于干燥状态，为行车提供抗滑能力。

在农村公路的设计中通常采用拉毛、拉槽和刻槽来形成粗构造。

第一：拉毛

拉毛采用粗麻布袋或扫帚在混凝土表面拖拽以形成粗糙面。这种方法主要在早期使用，但是难以提供足够深度而耐久的粗构造。

第二：拉槽

拉槽主要采用塑料丝、钢丝或棕丝制成的刷子在混凝土表面拉出横向或纵向的细沟槽。它们通常可以提供良好的初始表面构造，但是除非细沟槽达到足够的深度，其耐久性仍嫌不足。

第三：刻槽或压槽

在新鲜或硬化的混凝土上采用机械方法间隔一定距离进行压槽或刻槽，以形成一定深度和宽度的沟槽。它们可以提供良好的排水能力，减少溅水和喷雾现象的发生，这对于高速行车路段是提供粗构造的最佳方法。一般来说压槽的效果不如刻槽。

各种形式的粗构造具有不同的排水能力和耐久性，同时也会产生不同的问题如噪声等。在农村公路水泥路面的设计中，应该根据不同的公路等级、交通量和行车速度选择不同的构造措施。但在有条件的地区尽量采用压槽和刻槽的方式，满足水泥路面的抗滑要求。

第八章 结论及展望

8.1 结 论

随着高速公路网的日渐成形，农村公路的建设在不远的将来必将会提上议事日程。农村公路的作用主要表现在对高等级公路发挥作用的支撑和毛细血管的作用，另外农村公路的建设和发展是农村经济发展的前提和基础。就重庆地区的具体情况而言，在农村公路路面中采用水泥路面，其在经济性、实用性等方面比沥青路面具有不可替代的优势。但是，长期以来由于各种因素的作用，大量的农村公路没有经过设计就进入施工阶段或者在设计没有考虑到气候、地质等方面的特殊性，广泛采用高等级公路的设计方法和参数，这是不合理的，因此，有必要对重庆地区农村公路水泥路面的设计进行深入地研究。本文对农村公路的研究主要表现在以下几个方面：

第一：农村公路与高等级公路有着不同的定义和特点，了解这些特点，才能进一步更好地认识农村公路的作用，为其建设制定前提条件。关于农村公路的定义和划分标准，各地区都不统一，这需要根据具体地区的需要与现实情况而确定，不应该一概而论，以一个地区的农村公路定义和划分标准代表所有地区是不科学的也是不可取的。本文采用国家计划发展委员会和交通部发布的急/计基础[2003]410号文件<县际及农村公路改造工程管理办法>中对农村公路的定义，对于重庆地区来说将中等交通量以下的公路划归农村公路范畴，根据交通量统计结果，将部分交通量较小主要提供给县乡或者农村使用的二级公路、三级公路、四级公路以及等外级公路划分为农村公路范畴。

第二：本文在对重庆地区部分农村公路的路面结构形式、病害及使用状况进行调查的基础上，分析了重庆地区农村路面的病害类型及产生原因及处理方法，以及重庆地区农村公路水泥路面设计与施工中存在的问题。主要有以下几个方面：①总体结构偏弱。②施工机械化程度较低。③面层板的振实不够。④混凝土配合比不合理。⑤筑路强度不足等。

第三：本文根据重庆地区农村公路在水文气候、材料选择、交通量、施工水平等方面特殊的具体情况，提出了重庆地区农村公路水泥路面的设计原则以及材料品质、质量控制措施等。在材料选择方面，作者充分考虑了重庆地区农村公路在资金和施工上的特点，强调重庆地区农村公路水泥路面材料的选择要结合重庆地区的实际情况，并在充分考虑施工变异性较大、资金紧张的基本特点后确定路面材料与质量控制措施。

第四：本文对路基土进行了分类，提出了农村公路水泥路面路基的宽度，同

时在对重庆地区部分农村公路水泥路面的典型结构的基层、面层进行调查，比较和分析的基础上得出路面病害类型与水泥路面结构组合之间的关系，总结出重庆地区农村公路水泥路面常用基层类型并加于分析，除此之外，本文还根据重庆地区农村公路的具体情况，提出了一些重庆地区常用的典型结构，对重庆地区广泛开展的农村公路建设具有一定的参考价值。

8.2 展望

农村公路的建设和发展是我国公路建设必然需要经历的阶段，鉴于我国目前的实际情况，在农村公路的建设中大量采用沥青路面是不现实的，只能大量地采用水泥路面，而我国的农村公路水泥路面设计研究才刚刚起步，不成熟也不完善，笔者认为在以后的研究中应该更加重视以下几个方面：

第一：更加重视农村公路等级的确定

如何提出适合当地实际情况的农村公路等级是一个值得探讨的问题，划分公路等级过高容易造成建设标准降低，而导致路面破坏严重；划分等级过低，又容易提高设计标准造成浪费，现行农村公路等级没有单独提出一个划分的方法。随着农村公路建设与发展的深入，这种划分方法显然不能满足设计的需要，需要进行进一步的探讨和研究。

第二：更加重视结构组合

结构组合是农村公路设计的基础之一，没有良好的结构组合，无论其他方面如何出色，也不能完成设计使用寿命。现行农村公路水泥路面的结构组合，没有考虑当地的实际情况进行，有些甚至没有进行专门的结构组合设计，这样设计出来的路面不可能具有很高的使用寿命，因此，如何根据本地区的实际情况，设计出既充分利用当地材料又具有很高使用寿命的路面结构是今后的发展方向之一。

第三：更加重视路面排水

水是路面破坏的重要原因之一，农村公路水泥路面也不例外，完善的排水可以有效地减少路面破坏的发生，但由于投资等原因，农村公路排水设计不可能与高等级公路一样完善，因此，如何充分利用农村公路水泥路面的特殊性，在不增加路面投资或者在路面投资增加不大的情况下，以“（路基）内疏（路基）外截和（路面）封顶”为宗旨，加强排水构造物和疏导物的设置等方式，设计出能够有效减少路面破坏的排水系统，是当前农村公路的发展动态之一。

第四：更加重视路基

由于各种因素的作用，在水泥路面的设计中，对路基的重视不足，尤其是在农村公路中，在不稳定的路基上进行路面设计或改造时，应先对路基不稳定的因素，诸如软基的下沉、填土的不密实沉降、填料的不稳定和不均匀变形、路堤的

滑塌和崩塌和崩裂等现象进行加固处理。如何综合考虑病害的成因、特征和当地的施工条件或施工方式来综合确定加固方案，并综合考虑农村公路的经济性因素，也是今后农村公路水泥路面发展的动态之一。

8.3 本文创新点

本文的创新点主要有以下几个方面：

- ① 对重庆地区农村公路给出了明确的定义，并且按照这一定义划分出了重庆地区农村公路的范围。在这一基础上提出了农村公路水泥路面的路面类型和技术等级的要求。
- ② 针对重庆地区农村公路建设中资金紧张特点，结合重庆地区实际情况，提出了农村公路在设计、施工以及在环境保护方面的原则，为今后重庆地区农村公路水泥路面的设计、施工以及环境保护提供了合理利用资金的方法。
- ③ 在对重庆地区农村公路现状进行调查的基础上，对重庆地区现有农村公路水泥路面的病害、交通状况、筑路材料、水文气候、路基强度，路面材料参数及交通量划分进行研究的基础上，提出了农村公路的典型结构、材料品质及质量控制等措施。

致 谢

至此论文完成之季，回首论文完成的过程，困难颇多，幸得严师、慈母（父）及诸位师兄弟及亲友的帮助才得以完成。

导师冯晓教授毕业于我国著名学府东南大学，他学术精湛、工作认真负责，这些对我今后的生活和科研中都将要起到很大的帮助，在这三年的研究生生活中，导师冯晓教授在科研和生活都给了我无微不至的关怀。此文是在导师冯晓教授的指导下有作者独立完成的，在这期间，导师冯晓教授给我提供了大量的科研机会，这将使我受益终生。在此，我对导师冯晓教授辛勤的劳动表示衷心的感谢！

我的父母勤劳、善良、朴实，无论是在我研究生学习还是在论文的写作过程中，在经济、精神等各个方面对我提供了无私的帮助，使我受益非浅，在此表示忠心的感谢。

除此之外师弟徐勇、张明、杨佳，师妹李敏，在资料的搜集与写作过程中也提供了大量的资料和写作意见，在此一并表示感谢！

对所有给予我帮助的亲友们表示感谢！

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国行业标准. 公路水泥混凝土路面施工技术规范(JTG F30-2003). 北京. 人民交通出版社. 2003
- [2] 中华人民共和国行业标准. 公路水泥混凝土路面设计规范 (JTG D40-2002) .北京. 人 民交通出版社. 2002
- [3] 中华人民共和国行业标准. 公路工程技术标准 (B01-2003) . 北京. 人民交通出版社. 1998
- [4] 中华人民共和国行业标准. 公路排水设计规范 (JTJ 018) . 北京. 人民交通出版社. 1998
- [5] 中华人民共和国行业标准. 公路工程质量检验评定标准 (JTJ 073) . 北京. 人民交通出版社. 1999
- [6] 中华人民共和国行业标准. 公路路面基层施工技术规范 (JTJ 034) . 北京. 人民交通出版社. 2000
- [7] 中华人民共和国行业标准. 公路自然区划标准 (JTJ 034) . 北京. 人民交通出版社. 1987
- [8] 中华人民共和国行业标准. 公路工程石料试验规程 (JTJ 054-94) . 北京. 人民交通出版社. 1994
- [9] 中华人民共和国行业标准. 公路工程集料试验规程 (JTJ 054-94) . 北京. 人民交通出版社. 2000
- [10] 中华人民共和国行业标准. 公路路面基层施工技术规范 (JTJ 034-2000) . 北京. 人 民交通出版社. 2000
- [11] 中华人民共和国行业标准. 公路工程无机结合料稳定材料试验规程 (JTJ 057-94) . 北京. 人民交通出版社. 1994
- [12] 姚祖康. 路面 (公路设计手册) . 北京. 人民交通出版社. 1999
- [13] 交通部第二公路勘察设计院. 路基 (公路设计手册) . 北京. 人民交通出版社. 1996 年 5 月
- [14] 严家及. 道路建筑材料. 北京. 人民交通出版社. 1999
- [15] 交通部水泥混凝土路面推广小组. 水泥混凝土路面设计、施工与养护. 北京. 人民交 通出版社. 1992
- [16] 傅智. 水泥混凝土路面施工技术. 上海. 同济大学出版社. 2004 年 4 月
- [17] 杨锡武 .公路水泥混凝土路面典型结构设计. 北京. 人民交通出版社. 2002 年 3 月
- [18] 王秉纲. 郑木莲. 水泥混凝土路面设计与施工. 北京. 人民交通出版社. 2004 年 5 月
- [19] 黄晓明. 水泥混凝土路面设计. 北京. 人民交通出版社. 2003 年 6 月
- [20] 邓学均. 陈荣生. 刚性路面设计 (第二版) . 北京. 人民交通出版社. 2005 年 1 月
- [21] 傅智. 金志强. 水泥混凝土路面施工与养护技术. 北京. 人民交通出版社. 2003 年 7 月
- [22] 孙江. 公路路面基层施工. 北京. 人民交通出版社. 2001 年 8 月
- [23] 姚祖康. 水泥混凝土路面设计理论和方法. 北京. 人民交通出版社. 2003 年 10 月
- [24] 交通部专家委员会. 县乡公路水泥混凝土路面设计与施工. 北京. 人民交通出版社.

2004 年 4 月

- [25] 孙家驷、李松青. 道路设计资料集(路基设计). 北京. 人民交通出版社. 2002 年 3 月
- [26] 孙家驷、李松青. 道路设计资料集(路面设计). 北京. 人民交通出版社. 2002 年 3 月
- [27] 姚祖康. 水泥混凝土路面设计. 合肥. 安徽科技出版社. 1999 年
- [28] 李华、缪昌文、金志强. 水泥混凝土路面修补技术. 北京. 人民交通出版社. 1999 年
- [29] 胡长顺、王秉刚. 复合式路面设计原理与施工方法. 北京. 人民交通出版社. 1999 年
- [30] 唐伯明、杨锡武. 重庆市农村公路施工简易手册. 第一版. 重庆出版社. 2004 年 4 月
- [31] 交通部公路司. 农村公路建设文件汇编. 人民交通出版社. 2003 年 6 月
- [32] 中华人民共和国交通部. 中华人民共和国公路法. 1997
- [33] 吉林省交通厅. 吉林省乡村公路工程技术标准. 2002
- [34] 交通部. 公路养护工程管理办法. 2001
- [35] 国家计划发展委员会和交通部. 县际及农村公路改造工程管理办法. 2003
- [36] 交通部公路司. 农村公路建设标准指导意见(征求意见稿). 2004
- [37] 甘肃省交通厅. 甘肃省农村公路工程技术标准. 2002
- [38] 青海省交通厅. 青海省农村公路工程技术标准. 2004
- [39] 黑龙江省交通厅. 黑龙江省通县乡公路建设主要技术政策. 2003
- [40] 河南省交通厅. 县乡公路建设和养护管理办法. 1987
- [41] 吉林省交通厅. 吉林省乡道管理办法. 1996
- [42] 云南省. 云南省县乡公路建设、养护管理办法. 2001
- [43] 贵阳市. 贵阳市农村公路养护管理办法. 2001
- [44] 罗翥. 水泥混凝土路面板底支撑不均匀的力学分析. 2003 年
- [45] 慕长春、杨锡武. 重庆地区水泥混凝土路面病害及治理对策. 重庆交通学院学报. 2003 (3)
- [46] 刘伯莹、姚祖康. 更可靠、更合理、更充实——《水泥混凝土路面设计规范》修订综述. 中国公路. 2003 年第二期. 8-12
- [47] 李香者、李利军、张小平. 农村公路存在问题探究. 农村经济与科技. 2004. 第一期. 14~15
- [48] 严国林等. 江苏省农村公路建设技术指标的研究[J]. 公路. 2005. 6 第 6 期. 135-139
- [49] 甘肃省交通厅. 甘肃省农村公路工程技术标准. 2002
- [50] 张秀海. 县乡公路缺陷和病害的分析与防治[J]. 公路. 2005. 6 第 6 期. 185-189
- [51] PCA. Subgrades and subbases for concrete pavements. PCA. Concrete Information. 1986
- [52] Seed. H. B, Mitchell. J. K. and. Chan C k. The strength of compacted cohesive soils. ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, 1986

附录 本人在校期间参加的科研项目及发表论文

① 科研项目：

参加叙永县胜利桥的改造加固工程，并进行了实地调研、勘测和资料整理等工作。

参加湖北省农村公路养护管理规程的编制工作，进行了资料的收集、整理和汇编等工作

② 发表论文情况：

1) 农村水泥混凝土路面设计研究 交通科技与经济（第一作者）

2) 农村水泥混凝土路面裂缝成因及预防研究综述 重庆交通学院学报(第一作者)