

四川公路建设中典型路基病害处治 实用案例研究

张 华 方应杰 著
游 宏 主审

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

四川公路建设中典型路基病害处治实用案例研究 /
张华, 方应杰著. —成都: 西南交通大学出版社,
2020.11
ISBN 978-7-5643-7836-3

I. ①四… II. ①张… ②方… III. ①公路路基 - 病
害 - 防治 - 案例 - 四川 IV. ①D922.297.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 230322 号

Sichuan Gonglu Jianshe zhong Dianxing Luji Binghai Chuzhi Shiyong Anli Yanjiu
四川公路建设中典型路基病害处治实用案例研究
张 华 方应杰 著

责任编辑	李 梅
封面设计	GT 工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮 政 编 码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成 品 尺 寸	170 mm × 230 mm
印 张	17.75
插 页	6
字 数	285 千
版 次	2020 年 11 月第 1 版
印 次	2020 年 11 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-7836-3
定 价	108.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

作者简介



张 华

1981年8月生，工学博士，副教授/高级工程师。2004年7月获得西南交通大学土木工程专业工学学士学位，并分别于2007年7月、2011年12月获得西南交通大学道路与铁道工程专业工学硕士、博士学位，2012年3月至2016年6月就职于四川省交通勘察设计研究院有限公司道路咨询审核分院，2016年9月至今在成都大学建筑与土木工程学院任教。



方应杰

1933年10月生，教授级高级工程师，国家注册土木工程师（岩土）。1956年9月本科毕业于唐山铁道学院铁道工程系，毕业后就职于铁道部西南设计分局（中铁二院工程集团有限责任公司前身）直至退休，历任铁二院副总工程师（路基专业）、科技处处长，曾获全国第二次青年社会主义建设积极分子称号。退休后在四川省交通勘察设计研究院有限公司道路咨询审核分院从事路基工程病害处治的咨询、审查工作。

前 言

四川地质构造复杂多样，跨越我国三大构造域：西部是特提斯-喜马拉雅构造域，东部属滨太平洋构造域，北部为古亚洲构造域。自第四纪以来，受地壳强烈上升和河流迅速下切的作用，形成大致以龙门山、邛崃山和大凉山的主脊线为界、东低西高、地貌截然不同的两大地理区：在东部，除四川盆地盆底地势低矮（海拔 200~750 m）外，主要为山地区，海拔多为 1 000~3 000 m，位于中国地势划分的第二级阶梯上；而在四川西部，则是大幅隆起、地域辽阔的高原和山地，海拔多在 4 000 m 以上，属中国地势划分的第一级阶梯。

按地貌特征，四川地区可大致划分为下述五大单元。不同地貌分区之间，海拔、气象水文、岩体构造、水文地质、土壤植被等因素显著不同，导致各区域内工程地质体的处治有不同的侧重点。特别是延绵数十甚至数百千米的公路工程，常需穿越不同地貌单元，所遇到的工程环境也随之变化，必然导致路基病害形式的复杂化与多样化。各区的主要范围及区内典型公路分布为：① 深切高山峡谷区：包括甘孜州、阿坝州与四川盆地接触的地带，以及雅砻江、大渡河、金沙江流域周边地区。典型干线公路有国道 318 线、213 线、108 线，京昆高速雅泸段等。② 深切中山峡谷或宽谷区：主要包括川西南的大部（如眉山、乐山、宜宾等地）以及攀西地区。典型干线公路有国道 108 线、京昆高速西攀段、攀田段、广巴高速等。③ 浅切中山宽谷区：主要包括秦岭大巴山地区和川东、川东南地区。区内干线公路密集，如达渝、广南、内宜、

纳黔、乐自等高速公路以及国道 318 线、210 线等。④ 浅切高原宽谷区：主要包括甘孜州、阿坝州的高原部分。典型干线公路有国道 317 线、213 线等。⑤ 浅切平原丘陵区；主要包括盆地地区及其周边丘陵。该区汇聚了四川省内主要公路交通干线，但路基处治难度一般不大。

为了确保路基工程的安全，省内公路行业的相关技术人员结合实际工程，开展了大量的探索。经过多年的工程实践和理论研究，在路基的设计及处治方面取得了较大成就，公路路基的加固手段由早期单一的挡墙向抗滑桩、锚索桩、锚杆框架梁等多样化的技术措施发展，防护技术理念也由圬工防护向植物防护、生态防护以及综合防护过渡。针对具体的路基工点，在不同部位采取不同的措施，进行综合防治已成为工程界的共识，而病害处治设计的关键是选择合理而有效的技术措施。

公路路基工程大体可分为勘察、设计、施工、运营等四个阶段，路基设计是其中的重要环节，其大致具有 3 个特点：首先，路基治理工程属非标准设计，必须对每个工点进行具体的针对性设计；其次，路基治理工程迄今还是一门不严谨、不完善、不成熟的科学技术，公路路基设计不可避免地存在着一定的风险性；再次，公路路基的设计具有较大的灵活性。因此，路基病害的处治设计既是在理论指导下的设计，更是对实践经验的演绎，而且是在对类似工程处治措施适应性加以总结基础上的演绎，合理的处治措施应当与路基病害的特征个性相适应。

本书根据著者近年来参与四川省公路工程建设中所遇到的典型路基病害问题，结合实际工程的处治实践，尝试以案例的形式针对省内公路工程建设中路基病害处治的重点与难点问题探讨。全书共分为两个部分：第一部分为工程案例咨询，由方应杰撰写；第二部分为工程实例设计，由张华撰写。全书由张华、方应杰统校，由四川省交通勘察设计研究院有限公司游宏教高主审。

著者诚挚地感谢四川省交通勘察设计研究院有限公司的游宏教高、杜兴无教高、王告函教高、王明学高工、吕隆光教高、曾启发高工、张允中高工、崔世斌教高、张佐安教高、彭友松教高、黄晚清教高、李宗有教高、陈贵红教高、张庆高工等对我们所从事的路基专业工作的支持、鼓励以及无私帮助。

本书工程案例咨询部分，原系著者工作之余所写工程体会，在日常技术交流过程中，四川省林业勘察设计研究院李明贵教高提出了许多有益的建议。工程实例设计部分：王明学高工对路基病害处治方案的确定提出了诸多宝贵的意见；实习生冯远、陈拔进、潘高鹏、邹逸文、刘昕雨、慎冬冬、张杨等分别参与了部分工点设计文件的编制工作；西南交通大学陆阳教授，四川高速公路建设开发集团有限公司王广军高工、张国强高工，中铁科学研究院有限公司成都分公司罗杰高工，以及成都大学建筑与土木工程学院的诸位教师同仁提供了热情帮助。在此谨表谢忱。

成都大学建筑与土木工程学院 2020 届毕业生徐蝶、吴相瑾、宋永恒、易晓平、王敏、何维薇、张容国、黎克超等同学参与了本书的编校和绘图工作，感谢他们付出的辛勤劳动。

著者感谢家人在本书写作过程中给予的鼓励与支持。

本书的出版得到了四川省交通运输厅计划科研项目（编号 2016C3-4）和四川省科技计划项目（编号 2019YJ0667）的支持，在此谨表感谢。

由于撰写时间和实存资料所限，难免遗漏，为此著者深感遗憾。限于著者水平，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正（联系邮箱：chalkz@126.com）。

著 者

2020 年 5 月底于成都

目 录

第一部分 工程案例咨询	1	膨胀土路基设计	002
	2	成都—乐山高速公路夹江连接线利用过湿土作填料的处治 ..	010
	3	特殊土作路堤填料处治设计方案的选用	012
	4	软弱地基不同类型处治措施的适用条件	017
	5	斜坡路堤软基病害的处治	024
	6	公路软土地基路堤处治设计注意事项	031
	7	顺层灰岩牵引式滑坡的处治	035
	8	路堑边坡中部有重要构造物的设计原则	039
	9	对处于潜在滑坡体的已建桥墩的加固	043
	10	路堑边坡高位滑坡处治设计	048
	11	广甘高速公路宝轮服务区大型顺层滑坡的处治	054
	12	斜坡路堤稳定处治措施	058
	13	路堤桩板墙外倾变位处治措施	069
	14	小口径钢管群桩的应用	072
	15	桩基承台挡墙设计中的一些问题	076
	16	轻型支挡结构类型的应用	081
	17	路基工程在勘察和设计中应注意的问题	085
	18	路堑边坡的防护与加固	091
	19	土质路堑边坡处治设计初探	097
	20	桥头大锥体护坡设计的注意事项	104
	21	大桥建设中两岸岩锚工程设计有关问题	110
	22	预应力锚索锚头联结方式的特例	116
	23	库岸再造问题的勘察和处治	120

24	“气泡混合轻质土路基”简介	125
25	洪灾后弃土场变更设计中的几个问题	128
26	弃土场病害问题产生原因初探	131
27	读《交通科技与汶川地震灾后重建》 26项调查表后的工程建议	136

第二部分

工程实例设计

1	川东某高速公路桥台路基侧滑抢险处治动态设计实例	142
2	攀西地区某高速公路衡重式路肩墙外倾 病害抢险处治设计实例	152
3	川东某高速公路运营期路堑滑坡病害处治设计实例	164
4	乐山境内某高速公路高填路堤变形体抢险处治设计实例	177
5	巴中境内某高速公路弃土场抗滑挡墙开裂 抢险处治设计实例	182
6	攀西地区某高速公路避险车道路基垮塌病害处治设计实例	187
7	广元周边高速公路两处岩质边坡浅层病害处治设计实例	197
8	攀西地区某高速公路路堑边坡水毁病害 抢险处治设计实例	206
9	川东某高速公路岩质路堑垮塌病害处治设计实例	213
10	川东某高速公路外侧河道水毁牵引 路堤垮塌病害抢险处治设计	219
11	川东某高速公路上行右侧河道水毁 病害抢险处治设计实例	228
12	攀西地区某高速公路高填斜坡弃土场工后 稳定评估实例分析	243
13	攀西地区某高速公路高填斜坡路堤工后 稳定评估实例分析	252
14	攀西地区某横穿高速公路泥石流防护工程现场调查与 安全评估	261
15	川东某高速公路12处岩质路堑边坡工后调查与评估	268

	参考文献	272
--	------	-----

第一部分

工程案例咨询

1 膨胀土路基设计

(2013年5月)

基于成昆铁路成都地区、南昆铁路东段技术资料，以及简阳—浦江段高速公路设计中有关膨胀土路基设计的技术问题，进行如下探讨。

1.1 膨胀土路基设计基础资料的搜集

膨胀土矿物成分主要有伊利石、蒙脱石，具有裂隙性、膨胀性、超固结特性，其失水开裂、吸水膨胀软化。对于膨胀土基础资料的搜集，主要是通过野外调查进行初判，然后根据室内试验做进一步的确认。其主要判别标准：自由膨胀率 $\geq 40\%$ ，液限 $> 40\%$ ，且残剪 c 、 ϕ 值较低，区分为强、中、弱三种膨胀土类型。提供“膨胀土地段工程地质调查表”“膨胀土地段室内试验资料汇总表”，供设计使用。

1.2 膨胀土路堑处治

1.2.1 膨胀土路堑基床处治

为防止膨胀土路堑地段路面工程开裂损坏，须对路堑基床作处治。常用的处治措施为“换填80 cm的透水性材料+左右侧纵向排水盲沟”，以克服不均匀沉降，防止路面开裂。如图1-1所示。

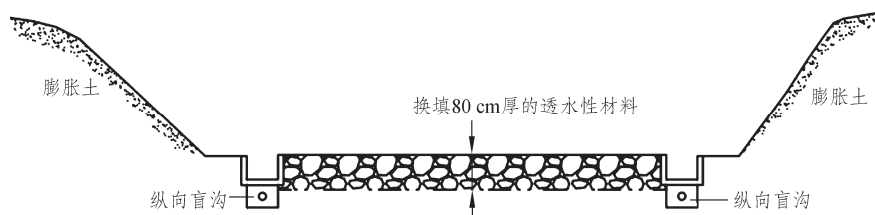


图 1-1 常用的路堑基床处治形式示意图

1.2.2 膨胀土路堑边坡处治

膨胀土路堑边坡变形、失稳的实例较多，如成昆铁路成都地区的狮子山地段，为路堑通过，最大边坡高 8~10 m，缓坡开挖，仅有植草绿化措施，每年雨季均出现路堑边坡滑塌，先后共处治了十多年才治理住。20 世纪 80 年代修建南昆铁路，其东段的广西地区分布有膨胀土特殊地层，在路堑地段采用了“矮挡墙+缓坡+实体护坡全封闭”的处治措施，亦发生变形破坏，因封闭坡面外鼓变形、矮挡墙外倾甚至需重新修建（例如林逢车站膨胀土路堑边坡）。通过工程经验总结后，提出的处治措施包括如下内容：

（1）路堑坡脚修建矮挡墙

挡墙高度一般控制在 3 m 左右（含基础埋深），挡墙的截面尺寸要考虑膨胀力，主要起固脚的作用；如遇强膨胀土的困难地段，必要时需采用“短桩板墙”以强化固脚效果。（注：不宜用土钉墙，经试验均失效。）

（2）缓坡设计

根据地勘资料确定弱、中、强膨胀土分类，其路堑边坡的设计坡比为 1:1.75~1:2.5，分级设置，每级边坡高为 6.0 m，平台宽 1.5~2.0 m。

（3）路堑边坡防护

膨胀土由于含水率升高引起体积膨胀，由此产生膨胀力，如，成都地区膨胀土的膨胀力约为 270 kPa。实践证明不宜采用封闭处理，而适合选用柔性防护。常用的防护措施为“菱形（人字形）骨架内植草防护+边坡支撑渗沟”，其中，“边坡支撑渗沟”的纵向间距 6~8 m，顶宽 1.0 m，深 \geq 2 m。

（4）强化排水系统

强化排水系统包括边沟、纵向盲沟、平台处的排水沟与堑顶截水沟。膨胀土路堑边坡常用处治措施示意如图 1-2 所示。

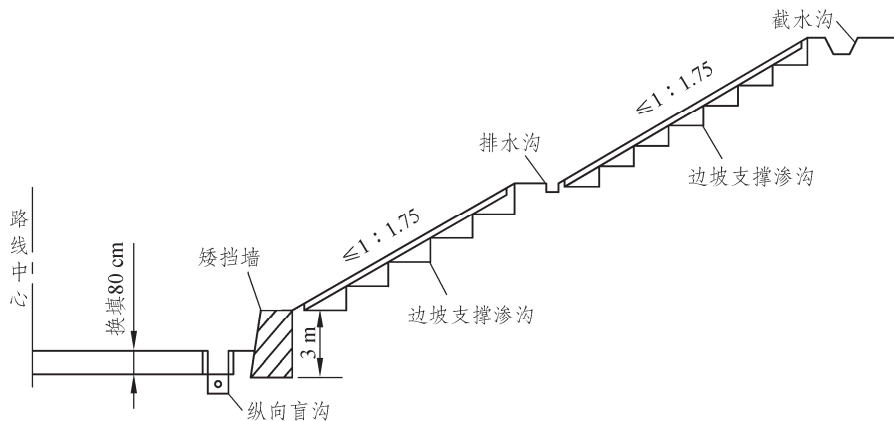


图 1-2 膨胀土路堑边坡常用处治措施示意图

综上，膨胀土路堑边坡处治设计原则为：① 坡脚支挡（矮挡墙或短桩板墙）；② 缓坡（按膨胀土强、中、弱三种不同类型和边坡高度确定设计坡比）；③ 坡面防护以柔性防护为主（不宜做封闭处理，主要有侧向膨胀力存在）；④ 边坡支撑渗沟（具有排水、稳定边坡的支挡功能）；⑤ 排水系统设置（包括地表排水和边沟下纵向盲沟，而盲沟的设置更为重要）。以上 5 个方面，缺一不可。（注：当设有边坡支撑渗沟时，其边坡开挖坡比可以陡些。）

1.3 利用膨胀土作填料的路堤设计

1.3.1 对路堤填料的要求

在《公路路基设计规范》(JTG D30—2004)(以下简称“规范”)中，明确规定：

(1) 填方路堤应优先选用级配较好的砾类土、砂类土等粗粒土作为填料，填料的最大粒径应小于 15 cm。

(2) 泥炭、淤泥、冻土、强膨胀土、有机质土及易溶盐超过允许含量的土等，不得直接用于填筑路基。

(3) 当采用细粒土填筑时，路堤填料最小强度：高速公路、一级公路路面底面以下 0.8 ~ 1.5 m，其 CBR 值为 4；1.5 m 以下的 CBR 值为 3。

(4) 液限大于 50%，塑性指数大于 26 的细粒土，不得直接作为路堤填料。

(5) 浸水路堤应选用渗水性良好的材料填筑。

(6) 桥涵台背和挡土墙背应优先选用渗水性良好的填料。

1.3.2 利用（中一弱）膨胀土作路堤填料的临界高度

根据南昆铁路东段广西膨胀土地段的经验，路堤高度大于 10 m 时，要与桥跨方案作比较。在四川、广东的高速公路建设中，当使用膨胀土、过湿土作路堤填料时，其路堤临界高度初定为 10~12 m，并经技术、经济比较后，确定采用路基或桥跨方案。

1.3.3 膨胀土路堤边坡坡比及平台宽度

根据“规范”中相关规定，膨胀土路堤边坡坡比：0~6 m 高，采用 1:1.5~1:1.75；6~10 m 高，采用 1:1.75~1:2.0。平台宽度 \geq 2.0 m。在实际应用中，考虑到作路堤填料的膨胀土已经过改良处理，故采用 0~6 m 高为 1:1.5，6~12 m 高为 1:1.75，平台宽为 2.0 m，设排水沟。（注：有时也建议配合边坡设支撑渗沟。）

1.3.4 膨胀土路堤边坡防护

“规范”明确可采用：植草防护、骨架植物、支撑渗沟加拱形骨架植物。其特点是柔性防护，不做封闭防护处理以消除侧向膨胀力的影响，此类防护的适用性已为实践所证明。但路堤边坡的支撑渗沟防护措施，由于施工难度较大而较少使用；多采用菱形骨架、拱形骨架内植草防护，并要求骨架具排水性能，以尽快将边坡表水排入平台排水沟和坡脚边沟。

1.3.5 利用膨胀土作路堤填料改良措施

“规范”中建议利用膨胀土作路堤填料的改良措施中，仅提到“掺灰法”，尚无更多的论述。在多年的实践中逐渐总结经验，大体上有四种改良措施：“外包法”“分层法”“加筋法”及“掺灰法”，可供参考。

(1) 外包法

利用膨胀土作填料“外包法”的路堤，其措施内容为：

① 原地面处理：清除原地表膨胀土 0.3~0.5 m，填筑 1.0 m 厚的合格填料。如原地面横坡较陡，按规定设置台阶。

② 路堤的顶部及两侧采用合格填料，垂直层厚为 2.0 m，核心部分为弱—中膨胀土，同时自下而上分层填筑。

③ 补强措施：为使压实度达到设计要求，以防路面受损或开裂，建议增加“强夯”或“冲击碾压”的补强措施。当采用“强夯”补强时，每层填筑厚度为 6 m；采用“冲击碾压”时，每层填筑厚度为 2 m。

④ 两侧边坡整修后进行柔性防护：菱形或拱形骨架内挂网植草防护，骨架设有单侧沟槽，排除坡体表水。

⑤ 平台处排水沟的设置，以及两侧坡脚处排水边沟的设置。

⑥ 在有条件的情况下，最好有 2~3 个月的预压期，然后再施工路面工程。

⑦ 简要说明：

A. 外包垂直厚度取 2.0 m，系参考“广西大学对膨胀土路堤病害调查研究，其两侧边坡浅层滑塌厚度一般为 1.5~2.0 m”而定的。

B. 填筑前要落实合格填料来源，同时自下而上分层填筑，做好施工组织。如采用先核心后外包的施工顺序，则需有 2.0 m 的搭接碾压要求，以保证先后填筑的结合部达到密实要求。

C. 两侧边坡防护工程，最好在路堤补强措施完成后立即实施，间隔时间不宜过长，因骨架植草防护对边坡的稳定及防表水冲刷大有好处。

D. 路面施工前 2~3 个月预压期的要求，是针对填筑体胀缩不良效应而提出的。

“外包法”横断面设计示意如图 1-3 所示。

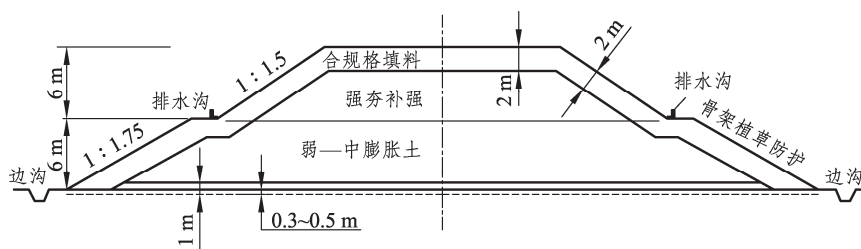


图 1-3 “外包法”横断面设计示意图

(2) 分层法

利用膨胀土作填料“分层法”的路堤，其措施内容为：

① 原地面处理：清除原地表膨胀土 0.3 ~ 0.5 m，填筑 1.0 m 厚的合格填料。如原地面横坡较陡，按规定设置台阶。

② 落实合格填料来源，做好施工组织，按 4 : 6 的厚度比，即每层填 40 cm 厚的合格填料、60 cm 厚的膨胀土填料，分层填筑。

③ 为提高填筑体的压实度，采用强夯或冲击碾压补强措施，强夯的每层厚度按 6.0 m，冲击碾压的每层厚度按 2.0 m 考虑。

④ 至路肩设计标高附近的上层路堤，要求采用合格填料，如系膨胀土填料，应有改良措施，可加铺土工格栅。

⑤ 两侧边坡整修后进行柔性的骨架内植草防护，不作封闭处理。

⑥ 平台及坡脚处排水沟的设置。

⑦ 在有条件的地段，最好有 2 ~ 3 个月的预压期，再施工路面工程。

“分层法”横断面设计示意如图 1-4 所示。

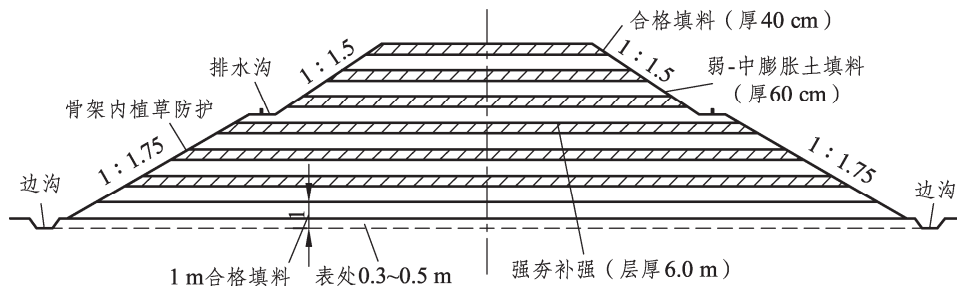


图 1-4 “分层法”横断面设计示意图

(3) 加筋法

“加筋法”的成功使用，源于 20 世纪 80 年代初的南昆铁路建设。铁路通过广西境内的膨胀土地区，由于合格填料来源困难，须利用膨胀土作填料，曾成立专项课题研究小组尝试过多种处治设计方案，最后由铁道部鉴定中心确定采用“加筋法”。其主要内容为：强膨胀土不作路堤填料；路堤边坡高度 $\geq 10 \sim 12$ m 时，则考虑桥跨通过；使用 E131 土工网格（其抗拉强度低于土工格栅），幅宽 2.5 m，设于路堤两侧，每层填土

厚度 30 ~ 40 cm, 无反包措施; 路堤两侧边坡采用柔性防护, 不作封闭处理。通车至今, 稳定完好, 无安全隐患。后在京珠高速公路粤境南段利用过湿土作路堤填料处治设计方案中, “加筋法”的处治措施参加过比选, 但未采用。而在四川高速公路建设中未使用过“加筋法”。

利用膨胀土作填料“加筋法”的路堤, 其措施内容是:

① 原地面处理: 清除原地表膨胀土 0.3 ~ 0.5 m, 填筑 1.0 m 厚的合格填料。如原地面横坡较陡, 按规定设置台阶。

② 经全段土石方调配后, 确认合格填料来源困难、需远运, 在经济上投入较大, 须利用弱一中膨胀土作路堤填料。

③ “加筋法”的措施内容: 利用幅宽 4.0 m 的土工格栅, 其抗拉强度不小于 80 kN/m, 于路堤两侧铺设, 每层填土厚度 40 cm, 不反包, 分层填筑。

④ 为克服路面结构底面产生不均匀沉降, 铺设 3 层土工格栅。

⑤ 为提高路堤填筑体的压实度, 采用强夯或冲击碾压补强措施。强夯的每层厚度按 6.0 m, 冲击碾压按 2.0 m 考虑。

⑥ 两侧边坡整修后进行柔性骨架内植草防护, 不作封闭处理。

⑦ 在有条件的地段, 最好有 2 ~ 3 个月的预压期, 再施工路面工程。

“加筋法”横断面设计示意如图 1-5 所示。

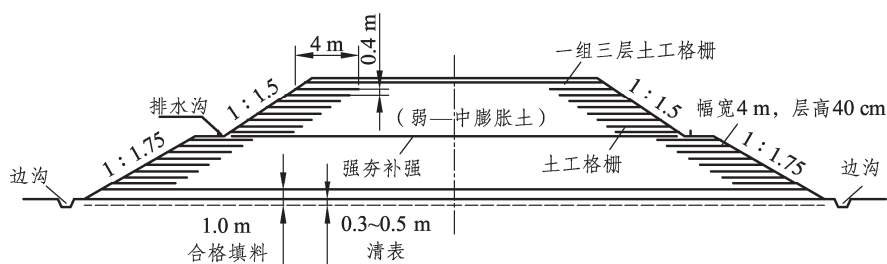


图 1-5 “加筋法”横断面设计示意图

(4) 掺灰法

① 在“规范”条文说明中提到, 掺石灰是膨胀土改性处理的最有效方法, 在多地相关专题研究中均得到验证。一般情况下, 石灰剂量控制在 4% ~ 10% 范围内。掺石灰的最佳配比, 以处理后的膨胀率不超过 0.7% 为宜。

② 在实际操作中，需达到以下要求：不在雨季施工；对弱一中膨胀土进行晾晒，其天然含水量不大于 20%；石灰剂量按 8%考虑；拌和均匀；须做试验段，并控制膨胀率不超过 0.7%。但由于限制条件严格，不利于场地文明施工，似未广泛推广使用。

③ “掺灰法”的措施内容包括：填方地基处理、填筑体的掺灰分层填筑、普夯或冲击碾压补强、路堤两侧整修及柔性边坡防护、平台及坡脚处排水沟设置、路面结构层下土工格栅的设置、2~3 个月的预压期后再修筑路面。

(5) 利用膨胀土作填料的路堤设计程序

① 根据全段土石方调配设计成果，确定须采用膨胀土作路堤填料地段。

② 根据填筑路基、修桥两种方案的技术与经济比较成果，确定采用膨胀土作路堤填料地段。

③ 根据“规范”中对膨胀土的分类，排除强膨胀土作路堤填料。

④ 对地勘报告提供的试验资料，当自由膨胀率接近或略小于 40%，蒙脱石含量接近或略小于 7%的土质，可考虑按最佳含水量、旱季施工、强化压实度、两侧适当加宽填筑、路面结构层下设一组土工格栅等措施进行填筑。

⑤ 对利用弱一中膨胀土作填料的路堤，建议可参考上述四种改良土质方法，作技术、经济比选后确定。

⑥ 建议在开工之前纳入试验路段的研究，以确定有关设计参数，并推广使用。填筑体完成后，建议 2~3 个月的预压期满后施工路面工程。

2 成都—乐山高速公路夹江连接线利用过湿土 作填料的处治

(2011年1月26日)

2.1 问题的提出

由于当地为潮湿多雨区，地下水多以孔隙水和上层滞水的形式存于土体中，致使卵石质土（含石比例约25%）的含水量较大（25%~32%），成为过湿土。利用过湿土作路堤填料，施工时其压实度达不到设计要求，且出现“弹簧”现象，俗称橡皮土，故必须做改良处理。

2.2 处治设计方案的拟定

方案一：废弃过湿卵石质土，全部购买天然砂砾石填筑方案，估算费用4300万元。

方案二：过湿土中掺拌5%生石灰方案（土质改良），估算费用3380万元。

方案三：分层复合填筑方案，估计费用2255万元。（为采用方案）

2.3 分层复合填筑方案的设计要求

（1）清除原地面表层土，并压实。

（2）地基清表压实后，铺设砂砾石透水层60cm。

（3）每层填筑60cm厚卵石质土（过湿土），再填筑40cm厚的砂砾石透水层。

- (4) 路面底面下设 100 cm 厚砂砾土透水层。
- (5) 路堤两侧设骨架植草防护。

2.4 施工要求

(1) 全面施工前选试验路段作试验。目的在于确定分层复合填筑方案的施工参数、施工工艺及检测标准与时机等要素，便于推广使用。

(2) 压实机具的选用，要求大于 20 T 的压路机进行碾压。

(3) 各层过湿土（卵石质土）的表面，设 3% 的路拱。

(4) 当到场的砂砾石透水材料含水量较大时，须静置待水分充分排除后方能填筑。

(5) 施工至路床顶面时，即进行路基弯沉或弹性模量检测。

3 特殊土作路堤填料处治设计方案的选用

(2010年9月29日)

3.1 基本情况 (1985—2010年间的六个工程实例)

3.1.1 南昆铁路利用弱—中膨胀土作路堤填料的处治经过 (1985年)

南昆铁路建于20世纪90年代,在广西段分布有膨胀土(裂土),为利用弱—中膨胀土作路堤填料,试验和研究的结论是:

(1) 凡路堤填筑高度超过12 m时,则以桥跨通过。

(2) 凡利用弱—中膨胀土作路堤填料,必须作改良处理。经西南交大等单位的综合研究,最后确定采用“加筋法”。已通车十多年,效果良好,未出现路基病害。具体措施为:

于路堤两侧采用幅宽2.5 m的土工格网(其强度指标比土工格栅低,仅有8 kN/m),自填方基底面向上分层填筑和铺设,层高30~40 cm,即一层膨胀土经碾压后铺设一层土工格网(土工格网的端部不做反包处理);路堤边坡的设计坡比按规范要求办理;坡面采用柔性防护,即骨架(带有排水功能)植草防护,下设有防渗土工布,以隔断地表水下渗。

3.1.2 京珠高速公路粤境南段利用过湿土作路堤填料处治 (1993年)

京珠高速公路粤境南段建于1993年左右,由于雨量充沛,路堑边坡开挖出的全风化花岗岩体,其含水量超过最佳含水量,将其用于路堤填料填筑施工时压实度达不到设计要求。经广东省交通厅组织立项对“过

湿土”作路堤填料进行研究，所采用“晾晒法”“掺灰法（重量比 6%~8%）”两种改良处治措施取得成功。

3.1.3 西昌—攀枝花高速公路利用昔格达土层（半成岩）作路堤填料处治

西攀高速公路建于 2000 年左右，沿线分布有砂、泥岩半成岩的昔格达土层，具有遇水软化、晾干后龟裂的特性。为解决填料来源，充分利用昔格达土做路堤填料，曾立项作为专题研究。其主要措施是：

（1）控制含水量，择晴好天气晾晒。

（2）从施工工艺入手：通过现场试验确定昔格达土层松铺厚度、压实机械的选用、压实遍数、压实速度等参数。

在试验段（西昌附近）通车以后，曾有些小的问题出现，经增补强化措施后，路堤处于稳定状态。

3.1.4 纳黔高速公路对“过湿土”作填料的处治经过

（1）纳黔高速自 2009 年开工建设以来遇到如何利用“过湿土”作填料的问题。在施工过程中曾利用“过湿土”[风化、含水量较高（40%~50%）的细砂岩]作路堤碾压试验，由于该区段雨季时间特别长，能利用的晴好天气连续时间仅 8~9 天，大多数情况不能满足设计要求（其压实度仅达到 84%）。

（2）经合理的土方调配，利用晴好天气组织晾晒用过湿土作填料后，仍有 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ 过湿土须废方，缺口 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的路堤填料，设计院做了 4 个处治设计方案：

① 全部换填法。

② 掺灰法（6%~8%生石灰）。

③ 分层填筑法 A（过湿土 30 cm + 合格填料 30 cm）。

④ 分层填筑法 B（过湿土 30 cm + 合格填料 60 cm）。

（3）2010 年 9 月终审，确定采用“全部换填法”，增加投资 1 000 万元左右。

3.1.5 乐山—雅安高速公路利用冰水堆积物土体作路堤填料的处治

(1) 基本情况

乐雅高速公路沿线分布有成分非常复杂的“冰水堆积物土体”。据施工图阶段详勘试验资料：该土层含水量高（为 25%~35%，而最佳含水量为 16%~18%），土体湿软，并含有大粒径的卵石（黏土的比例占 50%~70%），因长期受地下水的浸泡与冲刷，土体内出现卵石架空区。经土石方计算全线有 $260 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的冰水堆积物土体要作处理。

(2) 由于“对利用冰水堆积物土体作填料”没有规范和处治经验作设计和施工的依据，故业主单位将组织“设计、施工、科研”三结合，依托高速公路在建项目，开展试验和研究，提出“冰水堆积物特性及路用性状研究”大纲（2012 年 9 月编制，长安大学为主体研究单位）。其主要措施为：

① 堆料含水量控制。

② 施工技术措施：包括松铺厚度、压实机械、压实遍数、压实速度。

(3) 经评审认为：要增加“利用冰水堆积物改良措施的多种类型、使用条件、施工工艺”的研究内容，并择优选用。

3.1.6 其他

2010 年 9 月成都二绕高速公路西段利用弱膨胀土作填料的处治措施：“包边处理”。

3.2 对利用“特殊土”作路堤填料改良措施选用的认识

3.2.1 常遇到的“特殊土”类型

计有膨胀土（裂土）、过湿土、昔格达地层、冰水堆积物土体等。

3.2.2 控制指标

(1) 填方基底沉降控制、路堤填筑体沉降控制、工后容许沉降量控制（5 cm 左右）。

- (2) 填筑体本身压实度控制。
- (3) 路堤边坡稳定性控制（填方设计坡比确定）。
- (4) 填方路堤斜坡滑动控制。

3.2.3 利用特殊土作路堤填料的改良措施(9种改良处治措施)

(1)“晾晒法”：当土体含水量过高时，在有条件的地区，对过湿土采用晾晒（周期7~8天）的方法以降低含水量至基本达到最佳含水量，并作分层碾压。

(2)“加筋法”：当含水量接近最佳含水量时，可于路堤两侧采用幅宽4.0m的土工格栅，按特殊土层高0.4m分层碾压夯实，端部不做反包处理。

(3)“施工工艺改进法”：当含水量接近最佳含水量，加强施工管理，并通过试验段优化施工工艺各项参数。

选取试验段，针对利用特殊土做填料时的松铺厚度、压实机械功能的选用、压实遍数、压实机械行走速度进行试验，并确定各项参数作施工工艺的控制指标。

(4)“强夯置换法”：视“利用（含水量较大）特殊土所填筑路堤”为人工软弱地基，控制层高在6.0m左右，采用“强夯置换”强化措施。

(5)“高压水泥搅拌桩改良法”：

① 视“利用（含水量较大）特殊土所填筑路堤”为人工软弱地基。

② 对路面整幅宽、填高的2/3范围内，采用高压水泥搅拌桩改良，使之形成复合地基，以提高承载能力，减少沉降量。水泥搅拌桩取孔径50cm、纵横间距1.5~2.0m。

(6)“掺灰法（6%~8%）”：对含水量过大、无法晾晒的特殊土，采用掺灰的改良方法。推荐采用拌和方式，条件无法达到时采用分层摊铺。注意控制层厚，建议通过试验作优化处理。

(7)加筋控制沉降量：以压实度为主要控制指标；对少量不均匀沉降，通过铺设土工格栅（室）来解决。土工格栅（室）一般设于路床底面附近，并与“加铺80cm左右的卵砾石土”进行组合。

(8)“夹层法”：俗称“夹烧饼”，好坏填料分层填筑。

(9)“包边处理法”。

3.2.4 特殊土做填料路堤的设计内容

(1) 填方基底处理；包括非软基地段、软基地段的设计内容。

(2) 路堤顶部路床处治：“加筋材料+砂卵（砾）石垫层”。

(3) 路堤两侧边坡防护：“柔性带有排水功能的拱形骨架植草+防渗土工布”。

(4) 路堤两侧设计坡比确定：一般的设计坡比；放缓一级的设计坡比。

(5) 路堤用特殊土作填料的处治设计：

① 通过现场调查和室内试验，掌握特殊土的特性。

② 工程环境调查：土石方调查情况、料源调查、取弃土场地设置情况。

③ 根据工程实际，比照上述“9种特殊土作填料处治措施”，初拟处治设计方案。

④ 组织现场选点做“特殊土作路堤填料”的现场试验，得出设计和施工工艺的各项设计参数。

⑤ 对试验成果组织验收后，推广使用。

4 软弱地基不同类型处治措施的适用条件

(2014年2月18日)

4.1 涵洞软基处治

4.1.1 有效的处治措施

(1) 在有条件的地段,最好能移位于非软基处设涵。应注意涵位上、下游的顺接,并做好防渗、防冲的铺砌,使地表水不渗入路基填筑体内。

(2) 对浅层软弱地基(软基厚度 $< 3\text{ m}$),应考虑全部做换填处理。配备抽水机械,做好施工组织,换填透水性材料,使涵基不发生工后沉降以处于稳定状态。

(3) 对中、厚层的软基涵位(软基厚度 $\geq 3\text{ m}$),以明挖换填难以实施为度,可视实际情况采用复合地基的处治措施,以确保工后沉降接近于零、承载力达到设计要求。目前认可的处治措施有“掺水泥的碎石桩”“高压水泥搅拌桩”,通常桩径取 $D = 50\text{ cm}$,桩中心间距取 $1.1 \sim 1.2\text{ m}$,桩长至硬层,各项设计参数通过试桩后做调整,并应有质量检测要求。

4.1.2 应注意的几个问题

(1) 排水固结法(如采用塑料排水板)不适用于涵位厚层软基的处治,因为涵位下基后仍有不均匀沉降,进而导致涵基失稳。

(2) 曾有对圆管涵的轴线设人字坡(预留沉降),涵基做局部换填或设塑料排水板等处治措施的试验,有成功的,亦有变形的,对圆管涵变形后的修复极为困难,上述措施不建议采用。

(3) 盖板涵或圆管涵的两侧宜设过渡段,两侧过渡段的长度各 10 m ,以尽量减小涵位和路基的沉降差。

(4) 如涵位的轴线方向分布有不等厚的斜坡软基, 应做稳定检算, 以确保涵位基础处于稳定状态。

4.2 浅层软弱地基的处治

4.2.1 浅层软弱地基厚度的界定

这是一个有争议的问题, 直接影响工程造价。经过多年来的工程实践和技术、经济比较结果的积累, 建议浅层软基的厚度定为 3 m 较为合适。软基厚度超过 3 m 时, 则需根据工程实际选用造价较低的塑料排水板(排水固结法)或强夯筑柱法(复合地基)。

4.2.2 浅层软弱地基有效处治措施

(1) 全部换填透水性材料

该措施效果最好, 但换填数量较大时, 会带来弃方和选用合格填料的困难。可用于零填路段、地面有斜坡及不等厚软基地段。但应在硬层中设台阶或大台阶, 确保斜坡软基稳定。

(2) “局部换填 + 设纵横片石排水沟” “设排水垫层 + 满铺土工格栅”

① 上述两种处治措施, 均有尽量减少弃渣和合格填料的优点, 有利于缩短工期、节约造价、保护生态环境。

② 预留不处治软基厚度的确定。

根据工程实践的经验, 一般对不处治软基厚度按 1 ~ 1.5 m 考虑。如此量化的依据: 对 1 m 厚软塑状的粉质黏土, 在静荷载的作用下, 其沉降量约为 10 cm, 通过填土自重 P 在预压期 T (路堤填筑时间和实际预压期) 的作用, 可保证路面施工前的工后沉降量接近于零。

③ 适用条件:

A. 要有一定的路堤填土高度, 借用路堤填筑体的静载在预压期作用, 来完成 (1 ~ 1.5 m 厚) 未处治软基的沉降量, 使路面施工时的工后沉降接近于零。其填土高一般取 ≥ 5 m。

B. 适用于地面横坡近于水平状 (如于凹槽地段更为有利), 且浅层软基基本上为等厚的地段, 这样路堤的稳定能得到控制。

C. 勿在斜坡软基地段使用，否则要有防侧移变形措施（如于坡脚处设抗滑矮挡墙）。

（3）抛石挤淤

① 对水塘及常年泡水的水田地段，软基一般含水量较大（50%~60%），呈流塑状，承载力较低（50~70 kPa）。对这种浅层软基要采用换填为主的处治措施很难实施，则可采用“抛石挤淤”的处治措施。

② 适用条件：积水难排干、抛石挤入深度为软基厚度的 1/2~2/3、地面横坡近于水平状，路堤填土高 ≥ 5 m。

4.3 对旱地粉质黏土的处治

4.3.1 探讨此问题的由来

根据施工图阶段软基工程地质勘察资料，有注明旱地粉质黏土的地层，其性状为硬塑状，承载力多在 100 到 120 kPa 之间，含水量相对较低，现场开挖探坑侧壁直立，失水后有纵横开口裂缝，缝宽 0.5~1.0 cm，其厚度属于浅层—中厚层（3~5 m）。对旱地粉质黏土的处治一般有两种看法：不处治、适当处治。

4.3.2 旱地粉质黏土处治建议

基于下述两个原因：工程地质勘察时间受季节性的限制，可能未纳入暴雨最不利工况，各项软基指标偏高；现场排水环境会因施工而发生变化，可能会出现凹地积水，恶化软基特性。故建议对旱地粉质黏土，作为预加固做适当处理：于原地面增设排水垫层，以利疏干填方基底地下水。

4.4 中、厚层软弱地基的处治

4.4.1 中、厚层软弱地基处治的影响因素

（1）内部因素：包括软基的厚度、特性，是否存在不等厚软基，地面横坡状态，地形地貌及地表排水条件。这些基础资料需在工程地质详勘阶段获得。

(2) 外部因素：路堤填土高度的大小，建设工期的长短（对排水固结法的加固措施能提供的有效排水固结时间），处治类型的选用（即排水固结法的加固类型或复合地基加固类型）等。

4.4.2 中、厚层软基常用的处治类型

(1) 排水固结法处治类型：袋装砂井、塑料排水板、碎石桩等。

(2) 复合地基处治类型：强夯筑柱、高压水泥搅拌桩、掺水泥的碎石桩。

(3) 抗滑稳定措施：设反压护道、坡脚设抗滑挡墙、坡脚处设抗滑桩。

4.4.3 强夯筑柱的适用条件

(1) 属于对软弱地基进行改良后的复合地基。

(2) 用于浅填路堤或零填地段的路基，无须靠填筑体自重达到排水固结。

(3) 其有效影响范围可达 5 m。软弱地基厚度一般在 3~5 m 地段适用。

(4) 强夯筑柱措施能控制侧向位移，可用于斜坡软基地段。

4.4.4 塑料排水板的适用条件

(1) 塑料排水板加固软弱地基的作用机理

厂制的塑料排水板，由插板机竖向置于软基后，系通过路堤填筑体的自重，迫使塑料排水板之间土体中的水进入排水板，成为承压水，并通过横向的排水垫层，向填方路堤两侧坡脚处排出，由临时纵向排水沟汇于洼地处。随着路堤填筑体的静载不断增加和时间的推移（预压期），促使软基地基不断排水固结，达到工后沉降满足设计要求。

(2) 工后沉降的影响因素

根据塑料排水板加固软弱地基的作用机理，可以得到影响工后沉降的诸多因素：

① 首先是软基的厚度和特性。例如，根据沉降量计算，10 m 厚的软塑粉质黏土，其沉降量一般可达 100 cm 左右。